



Bollettino

della Società Italiana della Scienza del Suolo

Volume 51, 2002

No. 1-2

€ 35

Atti del Convegno del Cinquantenario

1952 - 2001

"L'emergenza suolo"

Erice, 16 - 22 maggio 2001

L'emergenza suolo fra mito e realtà - <i>G. Fierotti</i>	5
Un secolo di scienza del suolo - <i>F. Mancini</i>	31
Qualità delle acque e agricoltura - <i>P. Sequi</i>	41
L'emergenza suolo: le basi del problema	
Salinità e Qualità del Suolo - <i>C. Dazzi</i>	81
Erosione e desertificazione - <i>A. Aru</i>	105
Effetti delle modificazioni della vegetazione forestale e degli incendi sul suolo - <i>G. Sanesi</i>	107
Problemi della gestione del territorio - <i>G. Vianello</i>	121
Impatto dei cambiamenti climatici sul suolo - <i>P. Nannipieri</i>	133
Il Suolo in Italia e in Europa - <i>M. Pagliai, E.A.C. Costantini</i>	135
Suelos del Peru, con enfasis en suelos de Arequipa - <i>V. Medina Hoyos</i>	137
Workshop COST Action 831/838 - Soil Emergency: Microbial Biodiversity Conservation	
Il ruolo delle convenzioni internazionali nella conservazione della biodiversità - <i>A. Benedetti</i>	149
La biodiversità dei microrganismi del suolo - <i>A. Russo, M. Agnolucci, M. Nuti</i>	159
Rapporto della I sessione - <i>F. Tittarelli, S. Mocali</i>	165
Rapporto della II Sessione - <i>E. Rea</i>	169
Sessione poster	
Commissione I	
Caratterizzazione idropedologica di dettaglio di suoli di risaia in Lombardia - <i>S. Brenna, A. Basile, F. Terribile</i>	177
Variazioni di alcuni parametri chimico-fisici del suolo in relazione al passaggio di una trattoria con diversi tipi di pneumatici - <i>P. Servadio, A. Marsili, C. Beni, C. Di Dio, A. Figliolia</i>	187
Caratterizzazione morfologica, chimica e fisica dei suoli e qualità delle acque reflue nella sperimentazione per il riutilizzo dei reflui in agricoltura - <i>A. Aru, P. Botti, R. Corrias, M. Ferralis, G. Marras, H. W. Muntau, P. Pin, R. Puddu, P. Spanu, S. Vacca</i>	201
Confronto tra dati pedologici e dati fisico-chimici del terreno per una migliore operatività nel campo dell'assistenza tecnica all'agricoltura - <i>G. Bourlot, A. Del Vecchio, P.F. Maitaló, M. Piazzì</i>	219
Interpretazione e presentazione dei dati di penetrometro in prove di lavorazione del terreno - <i>A. Castrignanò, D. De Giorgio, F. Fornaro</i>	227
Metodologia sperimentale per il monitoraggio dei suoli irrigati con acque reflue urbane - <i>A. Aru, P. Botti, P. Buscarinu, A. Coppola, R. Corrias, M. Ferralis, G. Marras, H. W. Muntau, E. Murru, P. Pin, R. Puddu, F. Salis, A. Santini, N. Sechi, P. Spanu, S. Vacca, A. Viola, L. Volterra</i> con collaborazione di: <i>M. Bacchitta, L. Barbarossa, C. Borghero, G. Borghero, P. Di Fiore, C. Montis, G. Pichiri, G. Saiu, M. Scalas, S. Zuddas</i>	249
Commissione II	
Biorisanamento in situ di suoli inquinati da idrocarburi con ciclodestrine come coadiuvanti per incrementare la biodisponibilità - <i>L. Bardi, S. Steffan, M. Marzona</i>	259
Valutazione dell'efficienza di fitoestrazione di <i>Brassica napus</i> nei confronti di zinco e rame - <i>G. Rossi, S. Socciarelli, B. Pennelli, A. Figliolia</i>	269

continua in II di copertina

Distribuzione di metalli pesanti in suoli e muschi della Sicilia - <i>R.M. Cenci, P.R. Trincerini, F. Leva, F. Galanti</i>	277
Influenza di leganti organici a basso peso molecolare sull'adsorbimento di Pb^{2+} su ossidi misti di ferro ed alluminio - <i>M. Ricciardella, M. Pigna, A. Violante</i>	289
Effetto di miscele complesse di fenoli sull'attività detossificante di un enzima ossidoriduttivo - <i>F. Sannino, L. Gianfreda</i>	297
Commissione III	
Effetti di compost da RSU sulla qualità biologica dei suoli - <i>C. Crecchio, M. Curci, R. Mininni, P. Ricciuti, P. Ruggiero</i>	307
Protocollo di Kyoto: prime valutazioni a livello nazionale sul contributo di suoli agrari e forestali all'arricchimento di CO_2 dell'atmosfera - <i>A. Benedetti, L. Pompili, L. Nisini</i>	317
Approccio ecosistemico nella gestione dei suoli irrigati con acque reflue - <i>B. Ceccanti, G. Masciandaro, A. Aru, P. Botti, R. Corrias, M. Ferralis, G. Marras, P. Spanu, S. Vacca</i>	333
Gli stazzi dei pascoli d'alta quota: un particolare caso di eutrofizzazione del suolo - <i>S. Baccella, C. Ingoglia, M. Del Gallo</i>	341
Attinomiceti azotofissatori del genere <i>Frankia</i> : biodiversità nei suoli naturali e conservazione <i>ex-situ</i> , in vista delle loro applicazioni nel ripristino ambientale sostenibile - <i>M. Bosco, E. Lumini, R. Materassi</i>	353
<i>Hippophae rhamnoides</i> : una risorsa autoctona per la conservazione dei suoli e della loro biodiversità - <i>M. Antonelli, A.L. Botta, M. Del Gallo</i>	361
Effetto della colonizzazione di micorrize V.A. resistenti al cadmio sullo sviluppo di piante di orzo (<i>Hordeum vulgare</i> cv extra) - <i>E. Rea, M. Tullio, A. Salerno, F. Pierandrei</i>	371
Microrganismi endofiti quali biofertilizzanti: una promettente applicazione per aumentare la biodiversità degli agroecosistemi - <i>A.R. Tiberti, M. Del Gallo</i>	381
Commissione IV	
Emissioni di protossido di azoto e anidride carbonica nell'atmosfera in suoli agrari e forestali - <i>P.G. Arcara, C. Gamba, C. Piovaneli</i>	401
Carico ambientale da fitofarmaci su terreni coltivati a fragola nel metapontino - <i>N. Montemurro, G. Lacertosa, N. Linzalone, F. Grieco, A. Visconti</i>	419
Pratiche di fertilizzazione organica dei suoli: efficacia e limiti - <i>B. Ceccanti, G. Masciandaro, S. Filidei, C. Macci, G. Poggio, C. Garcia</i>	427
Effetto della somministrazione di diversi tipi di fertilizzanti fosfatici sullo status fosforico del suolo - <i>R. Indiatì, U. Neri, A. Figliolia, I. Perucchini</i>	437
Caratterizzazione dell'ecosistema suolo dell'isola di Pianosa - <i>B. Pezzarossa, R. Pini, F. Petacco, M. Scatena, L.P. D'Acqui, A. Doderò, C. A. Santi, M. Mazzoncini, R. Risaliti</i>	447
Risultati sperimentali dello spandimento di acque di vegetazione su un Entisuolo antropico. Primi risultati: effetti sul contenuto in sostanza organica - <i>K. Caniglia, C. Dazzi, R. Scalenghe, D. Tusa</i>	455
Commissione V	
I suoli della taiga meridionale nella "Riserva Biosferica Statale della Foresta Centrale" (Russia) - <i>S. Chersich, M. Freppaz, S. Solaro, D. Tusa, C. Zucca</i>	467
L'inserimento della Carta dei suoli della Sardegna nell'European Soil Data Base. Primi risultati - <i>P. Baldaccini, S. Madrau, M.A. De Roma</i>	493
Confronto tra la metodologia americana di organizzazione delle informazioni pedologiche per serie e quella europea per soil body, in relazione ai suoli della provincia di Siena - <i>A. Lachi, E.A.C. Costantini</i>	505
Commissione VI	
Studio dell'erosione dei suoli della tenuta di Castelporziano. Due metodi a confronto. Nota 1 - <i>F.A. Biondi, G. Montecchi, A. Menconi, L. Cavallari, A. Tinelli, A. Figliolia</i>	517
Valutazione quali-quantitativa del consumo di suolo in funzione dello sviluppo del sistema insediativo nei territori prossimi all'asta del fiume Po - <i>S. Lorito, P. Rosetti, G. Vianello</i>	531
Monitoraggio delle proprietà idrauliche nei suoli irrigati con acque reflue urbane - <i>P. Botti, A. Coppola, E. Murru, F. Salis, A. Santini, S. Vacca</i>	541
Emergenza suolo e antropizzazione del territorio: un esempio di perdita della pedodiversità per entisolizzazione - <i>C. Dazzi, S. Monteleone</i>	557
Il consumo di suolo per urbanizzazione in Sardegna negli anni 1954 - 1997. La provincia di Sassari. Primi risultati. - <i>S. Madrau</i>	571
Commissione VII	
Forme chimiche e mineralogiche di metalli pesanti nei suoli contaminati dell'area di stoccaggio delle materie prime dell'ex impianto siderurgico ILVA di Bagnoli - <i>P. Adamo, M. Arienzo, M.R. Bianco, P. Violante</i>	589
Commissione VIII	
Realizzazione di un sistema di monitoraggio per il controllo del fenomeno di salinizzazione dei suoli: risultati della fase conoscitiva nella piana di Muravera-Villaputzu (Sardegna sud-orientale) - <i>R. Puddu, F. Sanna, S. Fanni, F. Fantola, D. Manca, G. Mereu, N. Fadda, P. Lai, M. Onano</i>	607
Monitoraggio del cadmio in differenti comparti ambientali italiani. Nota I: risultati preliminari - <i>P. Sequi, L. Nisini, A. Trincherà, A. Benedetti</i>	627
Indagine preliminare sull'evoluzione dei suoli in ambienti di recente bonifica (Delta del Po - Valli Ferraresi) - <i>A. Buscaroli, M. Gherardi, G. Vianello</i>	637

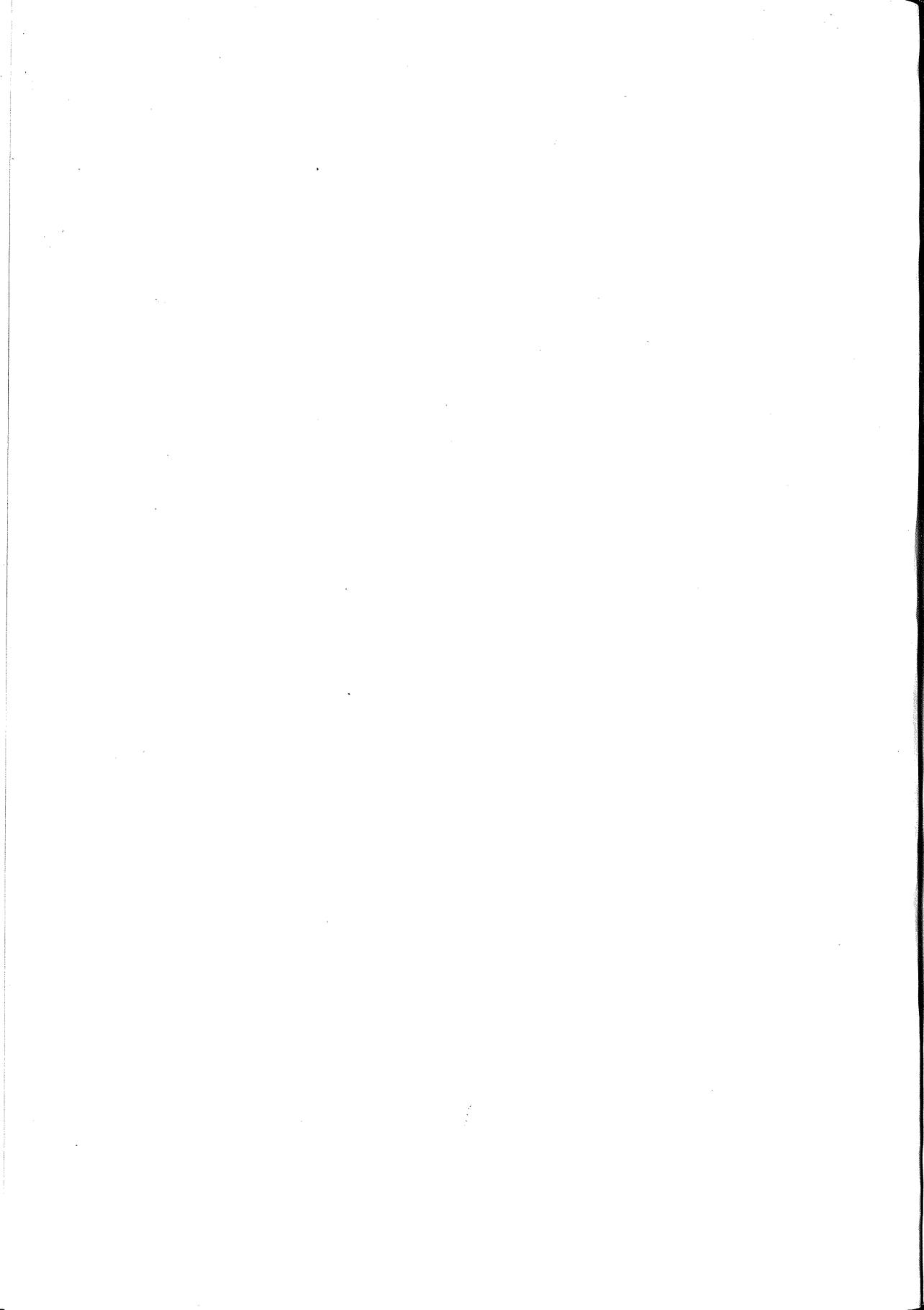
Armando Lucifora



Bollettino
della Società Italiana
della Scienza del Suolo

Volume 51

No. 1-2 2002





**Società Italiana della
Scienza del Suolo**



**Ettore Majorana Foundation
and Centre for Scientific Culture**

**Atti del Convegno del Cinquantenario
1952 - 2001**

L'emergenza suolo

con il contributo del

Ministero delle Politiche Agricole e Forestali

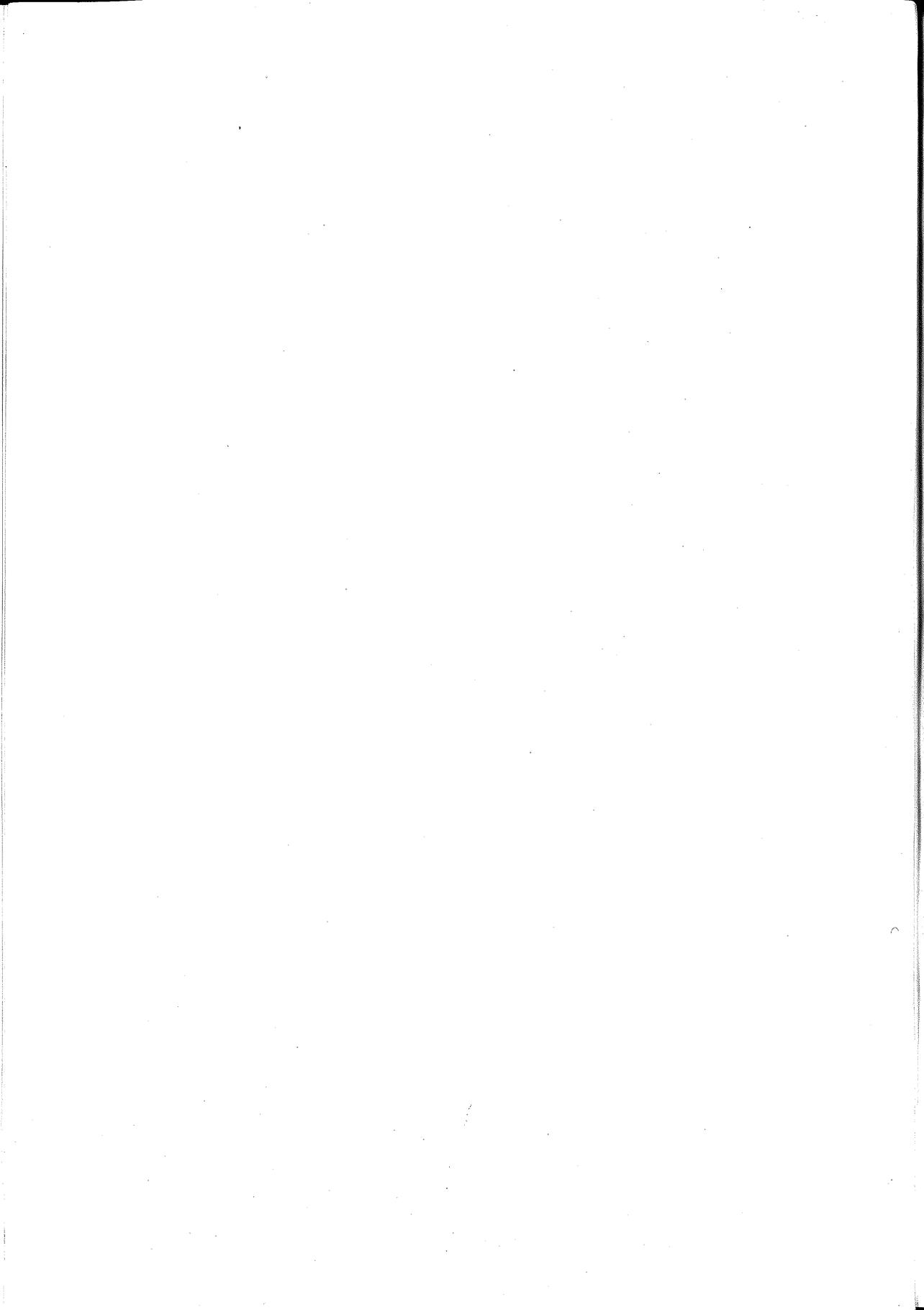
in collaborazione con

- Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante
 - Progetto Finalizzato PANDA (MiPAF)
- DG XII-U.E. "European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research"

Fondazione Ettore Majorana

Erice (Sicilia)

16-22 Maggio 2001



*L'EMERGENZA SUOLO FRA MITO E REALTÀ**

Giovanni Fierotti

Dipartimento A.C.E.P., Università di Palermo
Viale delle Scienze, 13 - 90128 Palermo

Illustre Presidente, cari Amici, gentili Signore,

per celebrare il cinquantesimo anniversario della Società Italiana della Scienza del Suolo, non poteva essere scelto argomento più appropriato di quello del suolo visto come emergenza.

E' stata questa una felice intuizione avuta dal nostro dinamico e vulcanico Presidente Paolo Sequi, a cui rivolgo il più vivo ed affettuoso ringraziamento, non solo per avere scelto come sede la prestigiosa sede del Centro di Cultura Scientifica Ettore Majorana, ma anche per avermi voluto affidare l'alto onore di aprire i lavori del Convegno.

Ringraziamento che estendo a tutti Voi, sicuro che non farete mancare il contributo delle vostre idee e delle vostre conoscenze.

A Voi, gentili Signore, che ci avete voluto onorare con la Vostra presenza, va il mio più caloroso ed affettuoso benvenuto in questa splendida e per certi versi unica cittadina di Erice, con la speranza che, ritornando a casa, possiate portare impresso, nel cuore e nella mente, il ricordo di una Sicilia, generosa, splendida ed accogliente.

1. Il secolo che abbiamo appena consegnato ai ricordi del passato, è stato caratterizzato da enormi contraddizioni, contrassegnate da due conflitti mondiali, da numerose guerre locali, dal rapido incremento della popolazione, dall'aumento dei diseredati e della fame nei Paesi sottosviluppati, dalle generalizzate gratuite violenze contro la natura, ma anche dalle grandi conquiste in campo economico, umanistico, etico, scientifico, tecnologico, sociale e dallo spettacolare e rapido cambiamento, negli usi e nei costumi, di tutti i popoli.

A sua volta il secolo appena iniziato, fa intravedere la possibilità di toccare nuovi ed interessanti traguardi, costituiti da un più elevato ed equilibrato standard della qualità della vita per tutti i popoli.

* Lezione Magistrale tenuta al Corso organizzato dalla Società Italiana della Scienza del Suolo (S.I.S.S.) (Presidente Prof. Paolo Sequi), presso la "Advanced School for the Study of the Agronomical Problems of the Mediterranean Region G.P. Ballatore" (Direttore Prof. Giovanni Fierotti), della "Ettore Majorana Foundation and Center for Scientific Culture" di Erice (Direttore Prof. Antonino Zichichi)

Si tratta di un obiettivo sicuramente ambizioso, in mancanza del quale si assisterà ad una ulteriore divaricazione delle differenze socio-economiche già esistenti fra Paesi sviluppati e Paesi sotto sviluppati, accompagnata da un generalizzato e diffuso aumento dei fenomeni di degradazione delle risorse naturali.

Fra queste risorse il suolo giuoca un ruolo fondamentale ed insostituibile nell'economia generale dell'equilibrato sviluppo dell'intera società, per le sue capacità di assicurare la conservazione della biodiversità e della pedodiversità, di quei due pilastri cioè, sui quali si regge l'intera impalcatura del continuo divenire dell'uomo e dell'intero ecosistema terrestre.

La perdita, anche di un solo ettaro di suolo, si risolve sempre in un grave danno per l'intera umanità, non per niente gli Scienziati che si riuniscono ogni anno ad Erice per procedere all'analisi sullo stato dell'evoluzione del mondo, lo hanno inserito fra le cinquanta emergenze più importanti del mondo moderno (Zichichi 1993 - 2000).

2. Era credenza degli antichi Greci che all'inizio esistesse solo il Cahos, una infinità misteriosa ed indecifrabile, da cui, poi, si formò la Terra a cui diedero il nome di Gaia.

Gaia, per certi versi, è l'opposto del Cahos.

Essa, infatti, possiede una forma distinta, separata, precisa e oppone nettezza, compattezza, stabilità alla confusione ed alle indistinte tenebre del Cahos.

Gaia, è il pavimento del mondo e può essere definita come il suolo su cui camminano ed agiscono, dèi, uomini e animali. (Vernant 1999).

Oggi sappiamo che non è esattamente così. Il suolo infatti, è sì, il necessario supporto per le piante, per gli animali e per gli uomini, ma soprattutto è un ecosistema naturale, finito, complesso, variegato, sensibile alle sollecitazioni esterne, di cui subisce i contraccolpi negativi, purtroppo molto spesso irreversibili.

Qualcuno ha detto che *"il tessuto della vita umana è ordito con i telai della terra ed esso ovunque profuma di argilla"* (Mitchell et al. 1950). Se anche per un solo momento, ci fermassimo a meditare sul nostro passato, ci accorgeremmo che la nostra storia è cadenzata dalla storia del suolo, del suo uso, della sua conservazione e che la nostra esistenza ed il nostro sviluppo sono indissolubilmente legati alla sua esistenza. (Fierotti 1994).

La storia dell'uomo, è una storia di continue scoperte scientifiche e di nuove applicazioni tecnologiche che, in modo, talvolta graduale, tale altro tumultuoso, hanno segnato il passaggio della civiltà, dalle oscure profondità della preistoria, alle avveniristiche conoscenze dell'era industriale e tecnologica.

Questo passaggio però, è stato contrassegnato dal sistematico saccheggio di tutte le risorse naturali, primo fra tutte il suolo, che, a mio parere, rimane la risorsa a maggiore rischio. Esso infatti, pur possedendo una grandissima capacità di reazione agli agenti esterni, presenta un limite invalicabile oltre il quale si innescano irreversibili processi di degradazione delle sue caratteristiche fisico-chimiche-biologiche e delle sue capacità nutritive.

3. L'uomo è il punto culminante di un'evoluzione durata miliardi di anni.

Egli costituisce il centro motore, indispensabile e strategico, di tutti gli avvenimenti che si svolgono sul pianeta Terra. Fra tutti gli esseri viventi si distingue per la capacità che ha di emozionarsi, di creare, di pensare, di ricercare, di progettare il futuro, ma anche di distruggere.

Per questa via, ha trasformato interi ecosistemi naturali in ecosistemi antropici, la cui efficienza ecologica è ancora in gran parte da dimostrare.

Accecato, dalla sua presunta onnipotenza, ritiene di essere l'assoluto padrone di tutto ciò che esiste e quindi, libero di disporre a proprio arbitrio, là dove invece dovrebbe esserne il vigilante custode e curatore per le generazioni future.

E' su questi aspetti che, si scontrano due linee di pensiero, spesso nettamente antitetiche.

Una fa capo "*alla spensierata leggerezza degli ottimisti*" (Cavazza 1991), convinti che lo sviluppo tecnologico, in tempi nemmeno molto lontani, permetterà all'uomo di dominare la natura senza distruggerla.

L'altra, quella dei pessimisti, invece vede, nella civiltà tecnologica il tramite attraverso cui si avvia un perverso processo di degradazione ambientale destinato a sfuggire ad ogni capacità umana di controllo.

Nel mezzo di queste due logiche, ci sta l'uomo comune che, perplesso e confuso, preferisce ignorare, volutamente o no, qualsiasi regola del giuoco e continua a percorrere la strada di sempre, senza alcuna preoccupazione per le conseguenze sull'equilibrio dell'intera biosfera.

Ora ci troviamo di fronte ad un bivio.

Dobbiamo scegliere fra la strada del libero arbitrio, percorsa fino ad ora, o quella che, nel rispetto delle leggi della Natura, conduce verso un mondo fatto a maggiore misura d'uomo e con più alti livelli di qualità della vita per tutti.

Può anche darsi che ciò appartenga solo al regno del mitico sogno di alcuni romantici, ma sono convinto che solo credendo in un futuro in cui sia stato ritrovato il giusto equilibrio nei rapporti fra l'Uomo e la Natura, sarà possibile superare la crisi dei valori che ha provocato l'attuale stato di emergenza.

Certamente *“vivere in questo periodo di transizione non è facile, ma è affascinante per uomini veramente intenzionati e capaci a dare la propria impronta alle cose. Il futuro, benché proceda ancora, per il momento, su binari falsi e pericolosi, comincia di nuovo ogni giorno e con ogni uomo”* (Junk 1963).

4. Guardare al passato è come leggere un libro di memorie scritto da intere generazioni, in cui, anche attraverso la storia del suolo, delle sue potenzialità, della sua fragilità e della sua vulnerabilità, si racconta del continuo divenire delle civiltà che ci hanno preceduto.

Ma a poco serve leggerlo se poi ci si dimentica di ricercare le cause che hanno portato al continuo aumento degli imponenti fenomeni di dissesto e di degradazione che investono parte dei 13 miliardi di ettari di terre emerse, libere da ghiacci (Tab. 1).

Tabella 1. Terre emerse libere da ghiacci

Continente	Superficie 000 ha
Africa	2.963.568
Asia	3.085.414
Australia	849.137
Europa	2.260.320
Nord e centro America	2.137.043
Sud America	1.752.925
Totale mondo	13.048.407

Così si calcola, che delle immense foreste e dei ricchi e verdeggianti pascoli di un tempo oggi ne rimangono sette miliardi di ettari, mentre le aree a qualsiasi titolo desertificate (18% circa) sono ovunque in rapido aumento (Tab. 2).

Tabella 2. Ecosistemi naturali ed antropizzati nel mondo (000 ha)

Ecosistemi	Superficie	%
Foreste	3.861.000	29,6
Coltivabili	3.295.000	25,2
Pascoli*	3.582.000	27,5
Altro **	2.310.000	17,7
Totale	13.048.407	100,0

Dati elaborati da fonti FAO (2000) ed altre.

* Pascoli permanenti naturali e antropici, praterie, steppe pascoli misti a boschi

** Deserti, ghiacciai, rocce affioranti, acque superficiali, aree urbanizzate, infrastrutture permanenti, ecc.

5. Il suolo è il ricordo storico del nostro passato e le sue proprietà sono chiavi essenziali per predire l'evoluzione dell'intero ecosistema naturale e antropico (Singer-Warkentin 1966).

In quanto sistema aperto e dinamico, esso riceve e cede continui flussi di energia e di materiali che attraverso complicati fenomeni di autoregolazione interna e di equilibri con l'ambiente esterno, concorrono a dare forma a nuove strutture e a nuove dinamiche.

Il risultato di questo lungo e complesso processo, è la formazione del variegato e diversificato quadro pedologico mondiale (pedodiversità) che, interagendo con l'intero ambiente bio-floro-faunistico, paesaggistico ed antropico, consente l'equilibrato sviluppo ed evoluzione di ogni forma di vita (biodiversità).

La storia del suolo è la storia di una complessità organizzata che ubbidisce perfettamente al secondo principio della termodinamica essendo il prodotto della disorganizzazione di altri sistemi naturali (p.e. la roccia). Hanno origine così "pedon" che tendono a raggiungere il massimo punto dell'organizzazione in cui esiste equilibrio, anche se instabile, negli scambi di energia e di materia con il sistema esterno.

La rottura di questo equilibrio, comporta la trasformazione dell'organizzazione in caos e l'avvio del sistema suolo verso la completa "entisolizzazione".

E' questo il punto in cui, non esistendo più alcuna logica nella distribuzione degli elementi organici e minerali e nella connessione fra questi e i flussi di energia endogena (Dazzi, Fierotti 2000), il suolo perde ogni capacità di "resilience", ossia la capacità di cui è dotato ogni sistema naturale, di potere ritornare, dopo un disturbo, ad un nuovo equilibrio dinamico, mantenendo le sue integrità funzionali e strutturali (Greenland e Szabolcs, 1994; Seybold *et al.* 1999).

In altre parole, in modo molto immaginifico, si può dire che il suolo muore.

6. A fare inizio dalla seconda metà del secolo scorso, in tutto il mondo è stato registrato un progressivo e generalizzato calo delle superfici coltivate e dei livelli di produttività dei singoli tipi di suolo (Lal e Steward 1995).

La causa determinante del fenomeno va ricercata nell'aumento della popolazione mondiale. Nel breve spazio di un secolo infatti, essa è passata da circa un miliardo e cinquecentomila individui, agli oltre sei miliardi attuali, e, secondo proiezioni molto attendibili, si appresta a raggiungere nel 2050, la cifra record di dodici-quindici miliardi di individui.

Ciò significa che nel prossimo futuro aumenterà il numero delle mega metropoli dove cercheranno rifugio decine di milioni di persone in cerca di cibo e di lavoro. Di converso aumenterà la domanda di derrate alimentari, di energia, di servizi, mentre la pressione esercitata su tutte le risorse naturali, toccherà vertici ritenuti oggi insostenibili. Aumenterà anche il gap esistente fra Paesi sviluppati e Paesi sottosviluppati o, se si vuole, fra Paesi ricchi e Paesi poveri con un'ulteriore e pericolosissima espansione di tutti i fenomeni di degradazione dell'ambiente in cui svolgiamo la nostra quotidiana attività.

7. In realtà la degradazione delle risorse naturali ha avuto inizio con la comparsa dell'uomo sulla terra, ma ha subito una decisa impennata, dopo l'introduzione, in campo agricolo ed extra agricolo, delle moderne tecnologie e delle nuove forme di conduzione del suolo.

I fenomeni della degradazione non sono continui nel tempo, ma possono manifestarsi, ora in forme parossistiche e definite, ora in forme attenuate e continue, ora in momenti di equilibrio compresi fra periodi più o meno lunghi di stabilità (Fierotti, 1988). Tuttavia, una volta iniziati, difficilmente possono essere fermati e senza immediati interventi di prevenzione, fatalmente si arriva ad un generalizzato e preoccupante aumento dei processi di desertificazione.

Dopo la Conferenza sulla Desertificazione delle Nazioni Unite (Nairobi 1977) e la Conferenza sull'Ambiente e sullo Sviluppo di Rio di Janeiro (1992), il tradizionale concetto di desertificazione è stato rivisto ed esteso a quello più ampio, di degrado del territorio conseguente all'azione di vari fattori (UNEP, 1994), quali, i cambiamenti climatici, l'incremento demografico, la deforestazione, la diminuzione della biodiversità e della pedodiversità, l'uso improprio di alcune tecniche agricole, la non corretta gestione delle risorse idriche superficiali e profonde e delle acque di irrigazione.

L'Assemblea Generale delle Nazioni Unite, a sua volta, rifacendosi alle raccomandazioni ed alle indicazioni della Conferenza di Rio, ha istituito un Comitato Intergovernativo incaricato di mettere a punto una Convenzione per il controllo della desertificazione (UNNCCD) a cui aderiscono già oltre 150 Paesi di ogni parte del mondo.

La Convenzione si pone come unico punto di riferimento per lo sviluppo delle strategie e dei mezzi ritenuti più efficaci nella lotta alla desertificazione e contiene quattro allegati che fanno riferimento alle aree a maggiore rischio, l'Africa, l'Asia, l'America Latina e Caraibica, oltre ad alcune aree del Mediterraneo del Nord, quali la Spagna, l'Italia meridionale ed insulare, la Grecia.

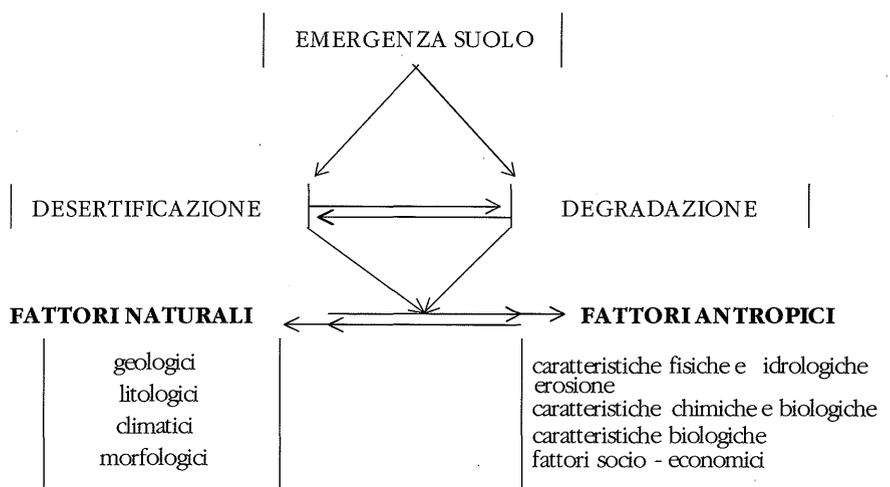


Figura 1. Il suolo come emergenza

8. In termini pedologici, alla desertificazione così intesa, si perviene attraverso un progressivo aumento dei fenomeni di degradazione che provocano riduzione e/o distruzione del potenziale biologico suolo.

I fattori naturali e/o antropici che stanno alla base di questi processi sono numerosi.

Essi differiscono nelle forme e nelle conseguenze e possono manifestarsi separatamente o in contemporanea in un intreccio tanto complicato da rendere difficile capire quale sia il fattore determinante.

Fra i principali fattori naturali si annoverano: la variabilità delle condizioni climatiche; la diversa intensità e durata delle piogge; la differente natura delle coperture litologiche, pedologiche e vegetazionali; le caratteristiche morfologiche del territorio.

Nella gran parte dei casi, quando la natura si sveglia l'uomo non può che rimanere muto ed impotente testimone di eventi in apparenza catastrofici, ma che in realtà, sono la dimostrazione del costante e continuo divenire dell'intero ecosistema terrestre, verso nuovi assetti paesaggistici, faunistici, floristici e pedologici e nuovi sistemi di sviluppo del genere umano.

Scriveva il grande Leonardo da Vinci, nel suo Codice Atlantico che *"li monti sono facti delli corsi de' fiumi, li monti sono disfacti dalle piogge e da li fiumi"*.

Fra i fattori antropici vi sono tutte le attività agricole ed extra agricole e la conseguente continua e giornaliera pressione esercitata sul suolo che ne modifica le caratteristiche morfologiche, fisiche, chimiche e biologiche. Al contrario di quanto avviene per i processi naturali, quelli di origine antropica, si manifestano quasi sempre, in tempi così brevi da non permettere al suolo di consolidarsi nei nuovi assetti raggiunti.

Si calcola che per questa via, dei circa 13 miliardi di ettari di terre emerse, già ben 2 miliardi di ettari sono degradati (GLASOD Global Assessment of Human Induced Degradation 1988). Di essi, il 38% (750 milioni di ettari circa) sono affetti da degradazione lieve; il 46% (910 milioni di ettari circa) da degradazione moderata; il 15% (296 milioni di ettari circa) da degradazione forte; lo 0.5% (9 milioni di ettari circa) da degradazione estrema (Tab. 3).

Tabella 3. Forme e diffusione (ha 10^6) dei processi di degradazione antropica nel mondo*

Lieve	Moderata	Forte	Estrema	Totale
749.2	910.4	295.7	9.3	1964.6
38.1 %	46.3 %	15.1 %	0.5 %	100.0

Fonte : Oldeman e al. 1991 modificato

*Nota:

con il termine lieve si indica una forma di degradazione che in qualche modo comporta una riduzione della produttività del suolo, gli interventi possono essere gestiti a livello aziendale;

con il termine "moderata" una forma di degradazione che riduce, ma di non molto, la produzione, gli interventi superano le possibilità aziendali;

con il termine "forte" una forma di degradazione tanto avanzata da rendere problematico il recupero del suolo se non viene accompagnato da impegnativi lavori di sistemazione agro ingegneristici;

con il termine "estrema" una forma di degradazione tanto avanzata da rendere irrecuperabili i suoli.

A queste cifre bisogna aggiungere altri 21 milioni di ettari circa di ottimi suoli che ogni anno subiscono significativi abbassamenti del naturale potenziale di fertilità e altre centinaia di migliaia di ettari che, sempre ogni anno, raggiungono i massimi livelli di "resilience" (UNEP 1984).

9. La degradazione di origine antropica ha quasi sempre inizio con la scomparsa della copertura vegetale conseguente all'abbandono delle terre o al pascolo intensivo (in particolare nei Paesi in via di sviluppo) o alle improprie pratiche agricole e/o extra agricole o ancora, al taglio e agli incendi delle foreste (Tab. 4).

Nell'ultimo decennio la superficie boscata mondiale è diminuita al ritmo di circa nove milioni di ettari, di cui circa cinque nel solo continente africano, quattro nel continente sud-americano e il rimanente in tutti gli altri. Fa eccezione l'Europa dove invece, si rileva un lieve aumento (Tab. 5).

Per quanto riguarda invece i suoli potenzialmente coltivabili, dei circa tre miliardi di ettari individuati come tali, effettivamente ne sono coltivati circa un miliardo e mezzo, scesi nel 2000, secondo dati FAO, a poco meno di un miliardo di ettari.

Tabella 4. Degradazione antropica nei diversi Paesi del mondo (ha 10⁶) e principali fattori che la determinano

Paese	Deforestazione	Eccessivo pascolo	Pratiche agricole improprie	Totale aree degradate
Africa	67	243	184	494
Asia	298	197	250	745
Sud America	100	68	76	244
Nord e Centro America	18	38	102	158
Europa	84	50	65	199
Australia	12	83	8	103
Totale mondo	579	679	685	1.943

Fonte: Oldeman e alt 1990 modificato

Tabella 5. Distribuzione delle superfici boscate nei Paesi del mondo e variazioni annue registrate durante l'ultimo decennio (000 ha)

Continente	Superficie	Foreste	Pro capite	Scarto annuo	%
Africa	2.963.568	649.904	0.9	-5.264	-0.8
Asia	3.085.414	547.875	0.2	-363	-0.1
Australia	849.137	201.157	6.7	-83	n.s.
Europa	2.260.320	1.039.162	1.4	+863	+0.1
Nord- Centro America	2.137.043	549.306	1.2	-570	-0.1
Totale mondo	13.048.407	3.861.605	0.7	-9.045	-0.2

Fonte: rielaborazione da dati FAO (2000)

Ne deriva che la porzione di suolo coltivato pro capite è di circa 0,12 ettari, ma, se dovesse continuare l'attuale ritmo di crescita della popolazione scenderà a soli 0.09 ettari nel 2025. Di conseguenza l'agricoltura si concentrerà in aree sempre più ristrette con conseguenze assai gravi per lo stato di salute dell'aria e dell'acqua, oltre che del suolo.

In assoluto, il continente con la maggiore superficie di suoli coltivati è l'Asia con 501 milioni di ettari; segue l'Europa con 323 milioni di ettari, il nord e centro America con 465 milioni di ettari e via via tutti gli altri Paesi fino ad arrivare all'Australia con appena 49 milioni di ettari

In termini relativi, il continente con la maggiore percentuale di suoli coltivati rispetto a quelli coltivabili è l'Europa con il 70,2%, mentre il sud America con il 20,8%, è il continente con la quota di suoli coltivati più bassa (Tab. 6).

Tabella 6. Terre potenzialmente coltivabili ed effettivamente coltivate (000 ha)

Continente	Superficie totale	Superficie coltivata	Superficie coltivabile	%
Asia	3.085.414	501.000	802.000	62.5
Europa	2.260.320	323.000	460.000	70.2
Nord e Centro America	2.137.043	274.000	465.000	58.9
Africa	2.963.568	185.000	734.000	25.2
Sud America	1.752.925	142.000	681.000	20.8
Australia	849.137	49.000	153.000	32.1
Totale mondo	13.048.407	1.474.000	3.295.000	44.7

Fonte: dati FAO (1989) rielaborati

10. La degradazione dei suoli di origine antropica, può essere di tre ordini: fisica, chimica e biologica.

La degradazione fisica si manifesta prevalentemente attraverso la compattazione, la sommersione, la subsidenza e l'erosione. I primi tre tipi si riscontrano su un'area di 83 milioni di ettari. La forma più diffusa è la lieve (circa 45 milioni di ettari), seguita dalla moderata (26 milioni di ettari) e dalla forte (12 milioni di ettari) (Tab. 7).

Tabella 7. Forme e diffusione (ha 10⁶) dei principali tipi di degradazione fisica di origine antropica nel mondo

Tipo	Lieve	Moderata	Forte	Estrema	Totale
Compattazione	34.8	22.1	11.3		68.2
Sommersione	6.0	3.7	0.8		10.5
Subsidenza di suoli organici	3.4	1.0	0.2		4.6
Totale	44.2	26.8	12.3		83.3

Fonte: Oldeman *et al.* 1991 modificato

Il Paese maggiormente soggetto a questi tipi di degradazione è l'Europa con circa 36 milioni di ettari, il meno colpito il nord America con appena un milione di ettari (Tab. 8).

Tabella 8. Degradazione fisica di origine antropica nei vari Paesi del mondo

Continente	Degradazione fisica	
	ha 10 ⁶	% del totale
Europa	36	17
Africa	19	4
Asia	12	2
Sud America	8	3
Australia	2	2
Nord America	1	1
Mondo	83	4

Fonte: Oldeman *et al.* 1990 modificato

Per diffusione e per spettacolarità un discorso a parte va fatto per il processo dell'erosione idrica e/o eolica. In ambedue i casi, la conseguenza più appariscente è l'asportazione parziale degli orizzonti superficiali del suolo (suoli tronchi). Nei casi più gravi sono asportati anche quelli profondi fino all'affioramento della nuda roccia. Il materiale asportato viene trascinato verso il mare o verso valle, dove può essere depositato su suoli già esistenti (suoli sepolti).

L'erosione idrica, è il prodotto di numerosi eventi naturali esaltati, nella loro azione, da alcune attività dell'uomo.

Essa coinvolge circa un miliardo di ettari (pari a circa il 55,7% dell'intera superficie mondiale coltivata) con prevalenza (Tab. 9) delle forme lieve e/o moderata (878 milioni di ettari circa). Le forme forte ed estrema (circa 225 milioni di ettari), sono meno diffuse anche se, in particolare nei Paesi in via di sviluppo, sono in continuo e preoccupante aumento.

Tabella 9. Forme e diffusione (ha 10⁶) della degradazione idrica di origine antropica

Tipo	Lieve	Moderata	Forte	Estrema	Totale
Erosione superficiale	301.2	454.5	161.2	3.8	920.7
Erosione profonda	42.2	72.2	56.0	2.8	173.2
Totale	343.4	526.7	217.2	6.6	1093.9

Fonte: Oldeman *et al.* 1991 modificato

L'erosione eolica investe circa 548 milioni di ettari, per la gran parte dei casi nei Paesi della fascia arida. Maggiormente diffuse (Tab.10) sono le forme lieve (270 milioni di ettari circa) e moderata (250 milioni di ettari circa), meno diffuse quelle forte ed estrema (26 milioni di ettari circa).

Tabella 10. Forme e diffusione della degradazione eolica di origine antropica (ha 10⁶)

Tipo	Lieve	Moderata	Forte	Estrema	Totale
Erosione superficiale	230.5	213.5	9.4	0.9	454.2
Deformazione del terreno	38.1	30.0	14.4	-	82.5
Trasporto	-	10.1	0.5	1.0	11.6
Totale	268.6	253.6	24.3	1.9	548.3

Fonte: Oldeman et al. 1991 modificato

La degradazione chimica e biologica non è così spettacolare come quella fisica, ma certamente è più subdola e più prolungata nel tempo.

Fanno parte del fenomeno: il calo dei contenuti della sostanza organica e dell'attività della pedofauna; la modifica dei processi di lisciviazione, di acidificazione, di alcalinizzazione, di salinizzazione, l'aumento di elementi nocivi, la formazione di croste superficiali o profonde e così via.

Questo tipo di degradazione si riscontra su circa 239 milioni di ettari (Tab. 11) con prevalenza delle forme moderata e lieve. E' particolarmente diffuso nelle aree dei Paesi a limitato sviluppo (Tab. 12), dove vi è scarso rifornimento di potassio, alta tossicità da alluminio, bassa capacità di scambio cationica, elevata capacità di fissazione potassica, accentuata carenza di azoto, bassa capacità di ritenzione idrica ed alta aridità pedologica.

Tabella 11. Forme e diffusione (ha 10⁶) della degradazione chimica di origine antropica

Tipo	Lieve	Moderata	Forte	Estrema	Totale
Perdita di nutrienti	52.4	63.1	19.8	-	135.3
Salinizzazione	34.8	20.4	20.3	0.8	76.3
Inquinamento	4.1	17.1	0.5	-	21.8
Acidificazione	1.7	2.7	1.3	-	5.7
Totale	93.0	103.3	41.9	0.8	239.1

Fonte: Oldeman et al. 1991 modificato

Tabella 12. Stima della degradazione chimica di origine antropica nei diversi continenti

Continente	Degradazione chimica	
	ha 10 ⁶	% del totale
Asia	74	10
Sud America	70	29
Africa	61	12
Europa	26	12
Australia	1	1
Nord America	+	+
Mondo	240	

Fonte: Oldeman et al. 1990 modificato

11. Dal momento in cui l'uomo scoprì l'arte di coltivare i suoli, ebbe inizio la sua meravigliosa avventura, nel tempo e nello spazio, che dura ancora oggi e chissà ancora per quanto tempo, è destinata a durare.

L'esercizio agricolo è comunemente ritenuto il maggiore responsabile del degrado del suolo.

In realtà "gli agricoltori hanno difeso l'ambiente, hanno abbellito i paesaggi, hanno protetto le pendici dei monti, reso più vivibili le pianure" (Mancini 1990).

Non solo ma "in vastissime parti di quell'ambiente agreste che rallegra e ristora l'uomo urbano la manutenzione, il lavoro, l'ordine minuzioso, l'armonica gradevolezza del parco, non sono doti della natura, ma opere dell'agricoltore appassionato. Eliminatele e quelle aree, che erano la bellezza e l'orgoglio della nazione, correranno il rischio di deteriorarsi rapidamente" (Ward e Dubos 1972).

In tutti i casi, è certo che senza il ricorso all'uso dei potenti mezzi meccanici, dei concimi minerali, dei pesticidi, degli anticrittogamici e di tutte le nuove tecniche che le scienze agrarie mettono giornalmente a disposizione dell'agricoltore, non sarebbe stato possibile migliorare la qualità e le rese dei prodotti agricoli, né realizzare l'enorme diffusione dell'esercizio irriguo in ogni Paese del mondo.

Tuttavia è fuori ogni dubbio che il loro indiscriminato uso, ha causato e sta causando, violenti e talora irreversibili sconvolgimenti negli assetti naturali del suolo e nel suo potenziale produttivo, tanto da fare stimare in non meno del 17% i suoli agrari (Bongaarts 1994), che hanno già perduto ogni valore agronomico a seguito della loro messa a coltura.

E' certo comunque che, per preservare l'integrità del suolo ed evitare l'ulteriore divaricazione della linea che divide il benessere di un limitato numero di persone dall'indigenza di qualche miliardo di uomini, il vero problema non sta nel quando e nel quanto utilizzare le nuove tecnologie, ma nel come utilizzarle.

12. L'immediata conseguenza della degradazione è l'abbassamento della qualità dei suoli (Tab. 13) che rappresenta la capacità del suolo di interagire con l'intera ecosfera per conservare integre le caratteristiche dell'ambiente, inclusa la salute animale e

vegetale e preservare le proprietà di fertilità naturale (Doran e Parkin 1994),

La Commissione Internazionale Brundtland (1987), per fare rientrare l'attività dell'uomo entro i limiti sopportabili dagli ecosistemi naturali senza violare le leggi scritte nella stessa costituzione del mondo, raccomandò l'adozione di nuovi modelli di sviluppo basati sulle condizioni economiche e culturali delle differenti regioni (Brian, 2000).

Da allora, sono stati messi a punto diversi modelli di sviluppo, fra i quali quello della "agricoltura sostenibile", il cui obiettivo, secondo il "Memorandum di Wageningen", è di assicurare le seguenti quattro condizioni basilari di sostenibilità: sostenibilità ambientale; sostenibilità sociale; sostenibilità economica privata; sostenibilità economica pubblica (Iaconi, 1996).

La corretta applicazione del modello, dovrebbe assicurare nel lungo termine, il riciclo dei residui vegetali e dei rifiuti animali, la messa al bando dei prodotti chimici nocivi, la sincronizzazione con le effettive esigenze richieste dalle colture per il rifornimento al suolo di elementi nutritivi (Brussard -Ferrera -Cerrato 1997).

Inoltre dovrebbe essere in grado di fare aumentare la qualità della vita dei coltivatori e della società nel suo insieme, e, di mantenere integre le risorse di base da cui dipende l'agricoltura (American Society of Agronomy, 1989).

L'uso del condizionale è d'obbligo, visto che non sempre c'è convergenza di idee sulla bontà del modello.

Da alcuni studiosi, infatti, esso è considerato alla stregua di un mero esercizio filosofico, da altri una semplice strategia di conduzione, da altri ancora una linea guida da utilizzare nelle scelte pratiche (Francis e Youngberg, 1997).

Fatta eccezione della definizione di Berry (1984), secondo cui l'agricoltura sostenibile è quella pratica "*che non impoverisce il suolo né la gente*", in tutte le altre definizioni che ho avuto modo di consultare, manca qualsiasi specifico riferimento al suolo.

Tabella 13. Alcune fra le principali limitazioni della qualità dei suoli

Fisiche	Chimiche	Idrologiche	Sociali
Elevati rischi di erosione	Bassa capacità di fissazione di potassio	Bassa capacità di ritenzione idrica	Bassa capacità produttiva
Limitato spessore del profilo	Bassa capacità di scambio cationico	Forte squilibrio idrico	Media capacità produttiva
Difetti di struttura	Elevato rischio di tossicità da alluminio	Bassa permeabilità	Difficoltà nelle lavorazioni
Elevata pietrosità o rocciosità	Forte carenza di elementi nutritivi	Elevati difetti di drenaggio	Insufficiente viabilità
Morfologia	Elevata carenza di sostanza organica	Pericoli di inondazione	Insufficienza di altre strutture
	Elevata salinità		Inquinamenti

Così facendo non si tiene conto che, il suolo è l'unico sistema naturale in grado di fornire tutte le informazioni utili per conoscere in anticipo le sue reazioni alle sollecitazioni esterne.

Personalmente, sono convinto che, fino a quando non saranno superati tutti gli ostacoli che separano l'economia ricca da quella povera, gli effetti positivi dell'applicazione di questo modello, saranno aleatori e nel migliore dei casi limitati.

Ciò per un doppio motivo.

Il primo motivo è che nei Paesi ad economia avanzata, in questi ultimi anni, è prevalso il principio di produrre derrate agricole di elevata qualità piuttosto che di elevata quantità, con interventi non sempre adatti a mantenere integre le naturali funzionalità del suolo.

Il secondo motivo è che per motivi opposti (aumento della popolazione, cattive condizioni sociali ed economiche, mancanza di cibo), nei Paesi a basso sviluppo la richiesta è di produrre di più, destinando all'esercizio agricolo suoli con elevati gradi di fragilità e di vulnerabilità e perciò particolarmente sensibili alla degradazione fisica e chimica.

Nell'un caso e nell'altro, i fenomeni di degradazione diventano sempre più gravi, mentre lo stato di emergenza si avvia pericolosamente verso livelli di altissimo rischio.

In tutti i casi è chiaro che i termini del binomio, produrre meglio e di più e mantenere intatte le potenzialità di fertilità del suolo, sono esattamente antitetici e qualsiasi concetto di sostenibilità è destinato a rimanere una pura utopia se alla sua base non ci sta il rispetto più assoluto delle leggi che governano la genesi e l'evoluzione del suolo.

13. In questi ultimi decenni, a creare lo stato di emergenza pedologica hanno concorso nuove e forse più importanti cause extra agricole.

Fra di esse ne ricorderò solo alcune e non necessariamente fra le più importanti:

- la cementificazione di vaste aree, si calcola che per questa via, ben oltre trecento milioni di ettari dei migliori suoli di pianura in tutto il mondo siano andati definitivamente perduti;

- la scomparsa dei presidi agricoli territoriali che assicuravano, in particolare nelle aree collinari e montani, la stabilità del suolo e l'integrità del territorio;

- lo spopolamento delle campagne seguito all'emigrazione verso le grandi città;

- la dispersione, fatta a qualsiasi titolo, sul suolo di contaminanti minerali e/o organici di origine urbana o industriale (detergenti, schiume, sostanze coloranti, bitume, ecc.);

- l'uso sempre più diffuso di potenti mezzi meccanici che sconvolgono l'assetto naturale dei suoli;

- l'aumento, nei terreni e nelle acque sotterranee, del contenuto di metalli pesanti ad alta tossicità prodotti dalle attività industriali, artigianali e da altre attività produttive (cadmio, cobalto, cromo, nichel, piombo, rame, stagno, ecc.);

- l'uso, sempre più generalizzato, di inquinanti (oli, petroli, uranio impoverito);

- la presenza di elementi radioattivi (stronzio 90) conseguente alle esplosioni nucleari;

- le piogge acide provocate dall'immissione nell'atmosfera di elevati

quantitativi di derivati della combustione industriale (zolfo, azoto, ecc.);

- i disastri industriali e/o atomici (Seveso, Bhopal, Chernobyl, ecc.);
- l'impropria gestione delle risorse idriche superficiali e profonde;
- le operazioni di guerra, in particolare nelle aree in cui i combattimenti sono più aspri e continuativi e si costruiscono centinaia di chilometri di trincee o di rifugi o altre opere militari (Husnija Resulovic 1998);
- la diffusione dei conflitti etnici;
- le operazioni di bonifica di vaste aree dalle mine anti uomo;
- la modifica dei ritmi di emissione di alcuni gas (CO₂, CH₄, N₂O, ecc.) conseguente alla impropria gestione del suolo, i cui riflessi sull'effetto serra e sul buco dell'ozono sono evidenti (Theng, 1991).

14. La natura non è un sistema statico, ma oltremodo dinamico.

Le variazioni nella maggior parte dei casi, avvengono in modo graduale e portano a grandi cambiamenti climatici, a devastanti uragani, a prolungati periodi di siccità, a catastrofici terremoti, al radicale cambiamento dei paesaggi, all'estinzione di numerose specie animali e vegetali.

Non così invece è quando a provocare i disastri ecologici è l'uomo, nel qual caso il problema che dobbiamo porci e che aspetta di essere risolto (sarà mai possibile?), è di sapere fino a che punto è possibile spingere l'alterazione di un sistema naturale senza incidere irreversibilmente sui suoi equilibri bio-ecologici.

Il problema non è cosa da poco, visto che *“una volta che abbiamo sfruttato e distrutto questo Eden non esiste un altro luogo in cui potere traslocare, essendo questo affascinante pianeta, l'unico che abbiamo”*(Durrell 1999).

I tempi in cui i nostri padri identificavano la Terra nella dea Demetra, la “madre” da amare, rispettare e venerare, in quanto forza creativa della natura e sicura fonte di vita, di cibo, di benessere e di sviluppo, appartengono ormai al mito dei ricordi e a nessuno di noi oggi, può venire in

mente di ritornare indietro nel tempo

*quando tu (Terra), non avevi, nei lunghi giorni in tedio,
che il cantico dei venti, i clamori dei mari
e l'argentino murmure del fogliame nell'aria. (Laforgue, 1971)*

A questa visione mistica della Natura dei nostri antichi progenitori, si è contrapposta, con il progresso della civiltà e delle conoscenze nei Paesi ad elevato sviluppo, una visione materialistica e consumistica della vita.

E' possibile che le due filosofie, negli aspetti più esasperati possano essere considerate alla stregua di un'alterazione del pensiero umano.

Non è possibile però nascondersi che, l'imperante scientismo moderno ponendo l'uomo nel ruolo di padrone assoluto di tutte le cose e non di giusto arbitro, minaccia di diventare una vera e propria aberrazione, capace di distruggere definitivamente, i valori etici, sociali, morali, religiosi, considerati fino ad ora la forza trainante dello sviluppo della società.

Tuttavia, se è vero, che in assenza di attività antropiche, spesso gli ecosistemi possiedono la necessaria "resilience" per superare i momenti di crisi generati dalla natura, è anche vero che il ruolo giocato dall'uomo nel mantenimento degli equilibri naturali è essenziale ed insostituibile.

Immaginiamoci cosa potrebbe essere la Terra senza la presenza dell'uomo, un immenso palcoscenico vuoto e muto, dotato di magnifici scenari che nessun pubblico potrebbe mai applaudire ed ammirare.

"L'Universo", scriveva Protagora nel quinto secolo a.C., "è ritmo ed armonia e l'uomo è misura di tutte le cose".

E' questo ritmo e questa armonia che l'uomo è chiamato a rispettare, coniugando lo sviluppo della società con la salvaguardia del suolo, per conservarlo nello stato più integro possibile, alle future generazioni.

Il suolo non è una speculazione dell'intelletto umano, né può essere ricondotto ad un numero o ad una semplice formula matematica, essendo infinite le variabili, in continua ed eterna evoluzione, che governano il processo della sua formazione ed evoluzione.

In termini sociali ed economici la perdita di suolo è la perdita di un capitale ecologico di inestimabile valore sociale e pubblico (Bruce, 1944). Esso infatti, nel contempo è contenitore e reattore di elementi mine-

rali ed organici, depuratore dell'aria e dell'acqua, fattore indispensabile per il mantenimento della copertura vegetale, regolatore del clima, del microclima, delle forme dei paesaggi e risorsa di limitata e difficile ricostituzione.

Nel prossimo futuro la scommessa con la quale ci si dovrà confrontare sarà quella di favorire lo sviluppo della società umana senza alterare la capacità di rigenerazione della biosfera e di ogni singolo ecosistema che la compone, primo fra tutti il suolo.

E necessario vincere questa scommessa e lo possiamo fare, stando ciò nelle capacità dell'intera società e di ogni singolo individuo.

Purtroppo fino ad ora, in tutti i Paesi del mondo, pur spendendo fiumi di parole ed impegnando ingenti risorse finanziarie per la difesa e la conservazione del suolo, i risultati, molto spesso, sono stati poco significativi (Fierotti, 1994).

Per quanto riguarda noi studiosi del suolo, sono convinto che il nostro compito non si può esaurire nella sola ricerca scientifica. Non corre dubbio alcuno che essa dovrà continuare ed essere potenziata, essendo questo il nostro compito primario ed insostituibile, ma collateralmente dobbiamo concorrere a formare nell'animo della gente e dei giovani in particolare, quella "coscienza del suolo" senza la quale è impossibile affrontare e risolvere le complesse problematiche che stanno alla base della "emergenza suolo".

Purtroppo, nello stesso momento in cui in tutto il mondo, si promuovono misure atte ad assicurare la crescita sostenibile e proteggere l'ambiente, in molti Paesi si assiste alla riduzione o alla completa eliminazione dei "Dipartimenti della Scienza del Suolo" (Robert L. Tate III, 2000). Eppure le previsioni, proiettate ai prossimi 75 anni (Greenland 1994), indicano che ci sarà bisogno di un numero sempre crescente di esperti del suolo, per combattere, nei Paesi emergenti, la terribile piaga della fame e per approfondire, nei Paesi ad alta evoluzione, gli studi sui processi pedogenetici nel globale contesto dei cambiamenti climatici, (Yaalon, 1996).

15. Il nostro mondo è una realtà assai strana, in cui si mescolano enormi contraddizioni contrassegnate dalle continue lotte fra il male ed il bene, fra l'ordine ed il disordine, fra la vita e la morte, fra ciò che è e ciò che non è, fra la saggezza e l'ignoranza, fra il credere in qualche cosa ed il credere in nulla.

Il prevalere ora di un sentimento, ora dell'altro, segna profon-

damente, in positivo o in negativo, il confine tra la conservazione dell'intero ecosistema terrestre e la sua completa degradazione.

Nell'era della globalizzazione, dello sfrenato consumismo, della sofisticata tecnologia, dell'emigrazione di intere popolazioni da una regione all'altra, dell'aumento esponenziale della popolazione mondiale, quasi senza accorgercene, stiamo costruendo un nuovo ordine politico, sociale ed economico, purtroppo quasi sempre, a spese delle risorse naturali, convinti forse, che questo è l'inevitabile tributo che bisogna pagare allo sviluppo sociale ed economico dell'intera società umana.

Nel passaggio epocale da un millennio ad un altro, per costruire su basi accettabili questo nuovo ordine è imperativo categorico, pensare globalmente ed agire localmente.

Per quanto riguarda il suolo, pensare globalmente significa essere coscienti che esso è:

- libro di storia, indispensabile fonte di notizie per l'interpretazione dei cambiamenti globali del passato e, perché no, anche di quelli futuri;

- importante mezzo regolatore dell'umidità, avendo la capacità di poterla immagazzinare e al momento giusto, distribuirla all'interno ed all'esterno del mezzo;

- sorgente di gas capace di modificare in positivo o in negativo l'effetto serra.

Agire localmente, significa invece avere maggiore cura del suolo ("soil care"), per selezionarne e perfezionarne l'uso, aumentando e mantenendo le sue potenzialità per uno scopo ben definito e valide per lo sviluppo dell'agricoltura e per la conservazione dell'identità dell'ambiente (Yaalon, 1996).

Noi stiamo vivendo a cavallo di due epoche, per molti aspetti antitetici fra loro.

Oggi più che mai, ritengo che sia arrivato il momento di operare per pervenire al cambiamento globale delle strategie da mettere in atto per il più appropriato uso di tutte le risorse naturali.

Il modo migliore per farlo è quello di pensare per sistemi (Liebhardt, 1990).

Solo così sarà possibile costruire un ideale ed indispensabile

ponte di collegamento fra settori concettualmente diversi fra loro, ma che hanno in comune l'obiettivo della salvaguardia dell'intero sistema terrestre.

In questa visione la Scienza del Suolo, dovrà uscire dall'isolamento scientifico in cui, fatte le debite eccezioni, si è trovata fino ad ora in ogni parte del mondo, per costituire catene di ricerca in grado di procedere ad un'attenta analisi olistica interdisciplinare delle realtà ambientali, a cui potrà e dovrà seguire la ricerca riduttiva di base (Boumal, 1997).

Ne consegue che, pur continuando a ricercare nell'ambito delle Scienze Agrarie (Singer e Warkentin, 1996), dobbiamo allargare lo spettro dei nostri interessi scientifici e professionali a quello delle Scienze Ambientali, dove non solo esiste un grande spazio che attende di essere occupato, ma vi è anche una maggiore possibilità di mettere in atto quell'approccio olistico di cui ho già parlato.

Così facendo, nel prossimo futuro, sarà possibile agli specialisti ed ai professionisti del suolo, proporre, progettare, realizzare, le linee di sviluppo idonee ed indispensabili per la tutela del territorio.

16. Scriveva Antonio Peccei nel 1986 che ciascun "gruppo umano" potrà sperare di trovare ragionevole soddisfazione alle sue aspirazioni solo entro un futuro globale, in cui (Dorst, 1971) *"il grado di civilizzazione non si dovrà misurare solamente nel numero dei kilowatts prodotti dalle sorgenti di energia, ma soprattutto con un gran numero di criteri morali, spirituali e con la saggezza degli uomini che partecipano ad una civilizzazione di cui si vuole assicurare la perennità nel quadro più favorevole del suo sviluppo"*.

In realtà stiamo vivendo nel mondo del computer, di internet, della telematica, delle missioni planetarie, dell'astrofisica, della cibernetica, dell'ingegneria genetica.

Abbiamo debellato molte malattie, abbiamo decifrato il genoma umano, abbiamo esplorato i più intimi segreti dell'infinitamente piccolo e dell'infinitamente grande, ci prepariamo a raggiungere nuovi traguardi che rivoluzioneranno dalla base i nostri usi, i nostri costumi, i nostri valori, lo stesso nostro modo di porci di fronte alla natura.

Di sicuro alcune risorse ritenute oggi indispensabili, saranno sostituite da altre più efficienti e più a buon mercato, saranno create nuove varietà di piante più produttive e più resistenti alle avversità ambientali, sarà migliorata la qualità dei prodotti, saranno messe a punto nuove forme di lotta biologica, saranno migliorate le tecniche delle lavorazioni, dell'irrigazione, della concimazione, l'agricoltore disporrà di servizi telematici che lo guideranno nelle semine, nelle lavorazioni, nei raccolti, nella commercializzazione dei prodotti, si impianteranno foreste lì dove oggi esiste il deserto, saranno messe a coltura nuove terre senza alterarne le naturali caratteristiche.

Sono tutte cose che possiamo fare ed in parte stiamo già facendo, a condizione però di sapere coniugare le indiscutibili esigenze del mantenimento e del potenziamento della qualità della vita, con le altrettanto indiscutibili esigenze di mantenere e potenziare la qualità dell'ambiente e del suolo in particolare.

E' probabile che per la realizzazione di questi postulati l'uomo dovrà cambiare i suoi usi ed i suoi costumi e ricercare nuovi valori.

Ma ciò attiene al futuro.

Nel presente, malgrado il solco della incomprendione e della confusione fra le vecchie e le nuove generazioni si amplifica sempre più, dipende solo da noi e dalla nostra volontà lavorare insieme per costruire una nuova società meglio equilibrata, in cui non debbono più esistere Paesi ricchissimi e Paesi poverissimi ove si muore di fame.

In tutti i casi la conservazione del suolo, non può né deve, essere intesa nel senso restrittivo di un esagerato immobilismo, bensì nell'incontro fra le reali necessità dell'uomo a conquistare nuovi traguardi di civiltà e di progresso e le altrettanto reali esigenze della applicazione delle leggi della Natura che regolano la vita sul nostro pianeta.

In questo senso il limite fra ecosistemi naturali ed ecosistemi antropici diventa labile e poco definito.

Non si tratta quindi, di essere ottimisti o pessimisti, bensì consapevoli di una realtà, in cui, lo stato di nevrosi collettiva che ci vede protagonisti di un'irrazionale corsa verso un mitico ed indefinibile traguardo, ci fa dimenticare che la natura non può essere impunemente sfidata. Altrimenti si creano le condizioni per la repentina comparsa delle terribili catastrofi ecologiche che si verificano con frequenza sempre più ravvicinata.

Le generazioni del dopo guerra sono cresciute nella cultura dell'Io.

Io faccio questo, io faccio quest'altro, io produco, io consumo, dimenticando che esiste anche l'Altro.

E' la cultura che ha diviso in due il mondo e che ha provocato la perdita di identità di intere popolazioni, la definitiva scomparsa di numerose specie vegetali, animali, pedologiche e di alcuni valori che stanno alla base dello sviluppo della civiltà.

Così continuando si corre inesorabilmente, verso l'irreversibile alterazione di tutti gli ecosistemi naturali con riflessi difficilmente quantificabili sulle future generazioni.

Scrivendo Francesco Bacone nel suo libro "Il progresso della scienza", *"la natura stessa mette a disposizione gli strumenti con cui penetrare i suoi segreti e lo studio della natura non solo fornisce dati utili ma rende anche più ricca e più felice l'umanità"* (Forbes, 1960).

Se così è dobbiamo prendere esatta cognizione che è tempo di cambiare rotta per dirigerci verso una nuova era in cui, nel pieno rispetto delle semplici ed evidenti leggi della natura, sarà possibile avere un nuovo approccio, libero e pluralistico, con tutto l'ambiente che ci circonda.

17. L'uomo nel corso della sua millenaria storia, ha inciso profondamente e spesso negativamente sull'assetto naturale delle risorse necessarie alla sua sopravvivenza.

Egli, per raggiungere i suoi obiettivi, ha preferito scegliere sempre la strada più semplice, senza preoccuparsi minimamente delle conseguenze delle sue azioni.

Quelli della mia generazione consegnano alle nuove generazioni, un mondo per molti versi migliore, ma per molti altri versi anche peggiore, di quello ricevuto, se è vero come è vero che oltre un miliardo di uomini vive in un grave stato di indigenza e che la povertà è in continuo aumento anche nei Paesi ricchi e ad elevato sviluppo tecnologico.

Personalmente sono convinto, che per fare riacquistare agli uomini la saggezza di chi ci ha preceduto, è necessario recuperare alcuni valori andati smarriti e trovarne altri, diretti principalmente alla difesa ed alla conservazione della natura.

In questa convinzione, coltivo il sogno che, in un futuro più o meno lontano, sarà possibile vivere in un mondo costruito a maggiore misura d'uomo.

E' un sogno che dovremmo coltivare tutti, perchè, come recita un vecchio detto, quando io sogno è un sogno, ma quando siamo in molti a sognare la stessa cosa, può essere l'inizio della realtà di domani.

Mi chiedo se tutto ciò appartenga al regno di un mito utopistico, o effettivamente possa diventare una meravigliosa realtà.

A questi interrogativi non so dare una risposta, ma so per certo che cambiare il mito in realtà, sta nelle possibilità di Voi giovani.

Lo potete e lo dovete fare.

E' questo l'augurio che vi fa un uomo dai capelli bianchi, nell'anno in cui concluderà la sua vita di Docente, avviandosi inevitabilmente verso il grande traguardo dell'ignoto.

Bibliografia

AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY (1989), Decisions reached on sustainable agriculture, *Agron. News January*.

BRUCE A. C. (1942), The economies of soil conservation, Iowa State Call Press Ames

Cavazza L (1991) Il rischio di desertificazione: problemi di conservazione della fertilità del suolo, *Atti dei Convegni Lincei 90 Accad. Nazion. dei Lincei Roma*

DAZZI C., FIEROTTI G. (2000), El suelo: gestion e impacto ambiental In Press, *VII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo Arequipa Octubre Perú*

COMMISSIONE INTERNAZIONALE INDIPENDENTE SVILUPPO E AMBIENTE BRUNDTLAND (1988), *Il futuro di noi tutti*, Ediz. Bompiani

- DURRELL G. (1999), Il Nuovo Atlante di Gaia, Ediz. Zanichelli
- ESWARAN H., BEINROTH F.H., KIMBLE J., COOK T. (1992), Soil diversity in the Tropics: implication for agricultural development, Myths and science of soils of the tropics Special Publication number 29, SSSA Inc. Madison, Wisconsin, USA
- FAO (1984) Land food and people, Economic and Social Development Series 30 Roma
- FIEROTTI G. (1988) La degradazione del suolo: cause ed effetti, *Accademia Economico-Agraria dei Georgofili Vol. XXXIV serie settima* Firenze
- FIEROTTI G. (1994), Il suolo tra passato e presente, *Società Italiana della Scienza del Suolo Bollettino n° 4 Nuova serie* Palermo
- FORBES R.J. (1960) L'uomo fa il mondo, Ediz. G. Einaudi
- FRANCIS C. A., YOUNGBERG G. (1997), Sustainable agriculture - An overview, Brussaard I Ferrera Cerrato R Soil ecology in sustainable agricultural systems, Lewis Publishers New York
- GREENLAND D. J., SZABOLCS I. (1994) Soil resilience and sustainable land use. CAB Int citati da Fierotti G., Dazzi C., Lombardo V. (1996), Sensibilità dei suoli all'erosione. *Quaderni Agricoltura e Ricerca n. 164*, luglio-agosto, pp. 25-32
- GLASSEM F., JAKEMAN A.J. NIX H. A. (2000), Salinization of land and water resources, Centre for resource and environmental studies, Australian National University Canberra ACT 0200
- HUSNIJA RESULOVIC (1998), Soil resources in Bosnia and Herzegovina, their use in the function of sustainable development. *Accademy of Sciences and Arts of Bosnia and Harzegovina Special Publications Vol. CIX*
- IACOPONI L. (1996), Agricoltura sostenibile: aspetti economici ed istituzionali. *Atti Accademia dei Georgofili Vol. XLII*
- LAL R., STEWARD B. A. (1995) Managing soils for enhancing and sustaining agricultural production, Soil management experimental basis for sustainability and environmental quality, Lewis Publishers London
- LAFORGUE J (1971), Marcia funebre per il Pianeta Terra, *La fiera letteraria da Polemica sull'Apocalisse*, Domenico Porzio Editore
- MANCINI F.(1990), Agricoltura e territorio fra delusioni e speranze, *Annali Accademia di Agricoltura di Torino Vol. 132*
- MITCHELL *et al.* (1950), Citato da Simonson R.W. (1968) Concept of soil, *Advances in Agronomy n 20*
- OLDEMAN L.R., VAN ENGELEN V. W.P., Pulles J.H.M. (1991), The extent of human induced soil degradation: an explanatory note, Wageningen: International Soil Reference and Information Centre (ISRIC)
- OLDEMAN L.R., HAKKELENG R.T.A., SOMBROCK W.G. (1991), World Map of the Status of Human induced soil degradation: an explanatory note. International Soil Reference and Information Centre (ISRIC) Wageningen
- PECCEI A. (1986), *Lezioni per il ventunesimo secolo*, Istit. Poligrafico e Zecca dello Stato Roma
- Robert L. Tate III (2000), An essential discipline for a new millennium, *Soil Science Vol 165 N° 1* January
- SEYBOLD C.A., HERICK J.E., BREIDA J. J. (1999), Soil resilience: a fundamental component of soil quality, *Soil Science Vol. 164 n 4*
- SIMONSON R.W. (1991) Soil Science Goals for the next 75 years. *Soil Science Vol 151 n°1*
- SINGER M. J., WARKENTIN B. P. (1996), Soils in an environmental context: an American perspective Catena 27
- UNEP (1984) General assessment of Progress in the Implementation of the Plan of Action to Combat Desertification Nairobi
- Vernant J.P (1999) L'universo. Gli dei, gli uomini. Ediz. Einaudi
- ZICHICHI A. (1993), *Scienza ed emergenze planetarie* Ed. Rizzoli
- ZICHICHI A (2000), *L'irresistibile fascino del tempo*. Ediz. Il sagggiatore

- YAALON D. H. (1996), Soil science in transition : soil awareness and soil care research strategies, *Soil Science* 161 n 1
- WARD B., DUBOS R. (1972), *Una sola terra*, Ediz. A. Mondadori
- WIENHOLD B.J., POWER J.F., DORAN J.W (2000) ,Agricultural accomplishments and impending concerns, *Soil Science Vol. 165 n. 1* January

UN SECOLO DI SCIENZA DEL SUOLO

Fiorenzo Mancini

Accademia Italiana di Scienze Forestali
Piazza T. A. Edison, 11 - 50133 Firenze

Il tema che mi è stato affidato, stavo per dire imposto, è certamente molto affascinante ma altrettanto difficile. Facile invece il dissenso di chi ascolta o leggerà qualsiasi sia stato il modo di affrontare il problema da parte mia. Unendomi ai vecchi maestri anch'io dirò con loro "*Tamen est laudanda voluntas*".

Procederei citando via via gli anni in cui qualche studioso ha inciso nella storia delle nostre discipline o qualche evento ha avuto particolare significativa influenza.

Dirò poco dei nostri Maestri italiani perché di loro a lungo si disserta nel volume celebrativo del mezzo secolo di vita della nostra Società. Naturalmente mi rendo appieno conto di svolgere una trattazione parziale trascurando figure ed eventi che per tanti di voi hanno grande significato e costituiscono un importante ricordo.

All'inizio del XX secolo la scienza del suolo aveva già al suo attivo grandi successi. I tedeschi con Justus Von Liebig e i suoi allievi avevano già contribuito alla conoscenza delle proprietà chimiche dei suoli e delle modalità della loro fertilizzazione.

La pedogeografia invece era nata nei grandi spazi della Russia e dell'America del Nord dove si stava nel contempo realizzando la cartografia topografica di base. Gli USA avevano da qualche anno un servizio del suolo, il "Bureau of soils", i russi con la nota impostazione geografica conoscevano le grandi zone pedoclimatiche dell'immenso impero euroasiatico zarista. Hilgard aveva già cartografato i suoli del west iniziando quella che oggi si chiamerebbe assistenza tecnica di pedologia. Dokuchaev vent'anni prima aveva proposto la sua classificazione.

Gli anni che precedono la prima grande guerra (1914-1918) dimostrano già che si andavano formando degli importanti legami tra gli studiosi. Due convegni furono tenuti a Budapest e a Stoccolma dei cui rendiconti non ho purtroppo trovato traccia.

Sono tuttavia da segnalare alcuni eventi di rilievo: nel 1905 uscita a Berlino il volume di E. Ramann - "Bodenkunde", ma certo maggior influenza perché permise agli occidentali di penetrare più numerosi nell'affascinante mondo pedologico russo ebbe la pubblicazione in tedesco, lingua

allora ben più diffusa di oggi tra gli studiosi, del libro di K.D. Glinka "Die Typen der Bodenbildung". Va poi citato R. Lang che nel 1915 propose l'assai noto Regenfaktor o fattore pluviometrico.

Tale fattore è di facile uso, basta disporre per una stazione delle medie annue della temperatura e delle precipitazioni. Proprio perché siamo a Erice, su un erto rilievo immerso nel Mediterraneo, desidero ancora una volta sottolineare che si tratta di un accorgimento alquanto rozzo perché non tiene affatto conto della distribuzione dei due elementi climatici considerati. Succede allora che una località degli Stati orientali della Confederazione americana, con inverni molto dolci e soleggiati e stagione vegetativa con piogge quasi continue, ha lo stesso fattore che una stazione mediterranea con piogge autunno invernali e una lunga stagione estiva anche molto arida.

La grande guerra interruppe tutto. Vi furono milioni di morti, più di 600.000 furono i caduti italiani. Nel '17 scoppiò la rivoluzione russa. Finito il conflitto ci vollero anni perché ci fosse una ripresa. La Germania subì una terribile inflazione, i filatelici ricorderanno francobolli da 10 e 20 miliardi di marchi. Una prima conferenza, la terza storicamente, si tenne nel 1922 a Praga.

Un anno molto importante fu il 1924. Vi fu in Roma, la quarta conferenza di pedologia sotto gli auspici dell'Istituto internazionale di agricoltura. Di essa ricorderò due avvenimenti, la fondazione della Società internazionale della scienza del suolo e la presentazione da parte di Gioacchino De Angelis D'Ossat, Presidente della Conferenza della prima carta dei suoli d'Italia. Il De Angelis, già da prima della guerra si era occupato di suoli di varie regioni italiane ed occupò per anni la cattedra di geologia nella facoltà agraria di Perugia, cattedra da poco scomparsa. Nel giugno del 1927 si tenne a Washington il primo Congresso internazionale della scienza del suolo.

E' interessante vedere come a Roma, qualche anno prima, si era organizzata la Società proprio in vista di tale evento. Presidente il Prof. Lipman, americano, gli olandesi già alla ribalta con Hissink, segretario generale. Sei le commissioni con nomi famosi, la fisica con il cecoslovacco Novak, come presidente, la chimica con l'ungherese De Sigmond, autore poco dopo di un sistema generale di classificazione; la batteriologica (sic!) con Stoklasa, la fertilità nientedimeno che con Mitscherlich, la nomenclatura classificazione e cartografia con Fletcher Marbut dal 1910, capo del servizio del suolo statunitense e la sesta ed ultima, presieduta dallo Ginsberger con un nome, a mio parere, modernissimo per quei tempi, siamo nel 1925-1926, "Applications of soil science to agricultural technology".

A Washington il successo fu grande e i nomi dei protagonisti sono ben noti a quelli della mia generazione. Basterà citare Sir John Russel e

Winogradsky, ma anche un italiano che era il consigliere bibliotecario e di cui non so nulla, G.A.R. Borghesani. Nel primo volume degli atti c'è un necrologio del Glinka, mancato pochi mesi dopo il congresso, con una bella fotografia del grande Maestro russo. Interessanti escursioni consentirono utili raffronti tra i suoli europei e quelli americani, dai red yellow podsolic, oggi ultisuoli, degli stati orientali, ai cernosem delle grandi pianure del wheat belt, così simili a quelli ucraini.

Del Congresso russo del 1930 ho trovato poche tracce ma, a detta di Hissink che lo ricorda al Congresso del 1950, ci fu la classica escursione dai boschi misti intorno a Mosca fino alla foresta-steppe, alla steppa dell'Ucraina e al Mar Nero.

Un'opera di grande peso e valore è certo quella uscita in Germania in 10 volumi dal 1929 al 1932 sotto la direzione di E. Blanck, dal titolo "Handbuch der Bodenlehre" (Manuale per lo studio o l'insegnamento del suolo), che sintetizza tutte le conoscenze di allora, appunto, sul terreno.

Il 1935 è un altro anno da ricordare. Intanto si celebra il terzo Congresso della nostra Società in Gran Bretagna, dove Gilbert Robinson ha già pubblicato il suo bel libro "Soils", che è stato un pilastro e di cui sono apparse numerose edizioni.

A Rothamsted, già allora la più famosa stazione sperimentale del mondo, esisteva il Soil Survey of England and Wales.

In Africa orientale George Milne avanza la proposta di un concetto che ha avuto poi largo successo.

Si tratta della "catena" così utile per comprendere cosa avviene in una pendice, studiandone i suoli dalla sommità a metà del pendio, fino alla base del rilievo.

Sono suoli derivanti dal medesimo substrato, sotto lo stesso microclima, ma con consistenti differenze per quanto riguarda il bilancio idrico, l'erosione e il sottostante accumulo, il microclima.

Oggi ogni studioso ha utilizzato tali sequenze di profili e persino una pregevole rivista ha per titolo "Catena".

Nello stesso anno muore in Mancuria F. C. Marbut, autore fra l'altro del testo così ben illustrato sui suoli che appare in quella splendida opera che è l'"Atlas of American Agriculture".

Poco dopo, nel 1937, compare il primo libro di Alvise Comel "Elementi di pedologia climatica", a cui farà seguito nel 1940 "Il terreno agrario".

Nel 1938 appaiono due libri importanti che lasciano una traccia significativa. Il Dipartimento di Agricoltura degli Stati Uniti pubblicava ogni anno uno Year book dedicandolo a un problema. Nel 1938 appunto esce "Soils and men". Un poderoso tomo di 1232 pagine che ognuno dovrebbe studiare a fondo. E' opera che esamina la situazione americana di oltre sessanta anni fa, ma è una trattazione di tale vastità con visioni anche di politica agraria di grande interesse.

In quello stesso anno a Ames nel College of Agriculture dello Iowa, Walter Kubiena, di già Professore alla Bodenkultur di Vienna, insegnava come ospite morfologia del suolo e lì pubblicò il suo libro "Micropedology", che può considerarsi il primo pilastro di una nuova disciplina nel vasto campo della scienza del suolo. Il Kubiena, che già aveva pubblicato vari lavori in tedesco su tali temi, proseguirà per decenni. Io stesso l'ho ascoltato sul terreno in Germania e in Spagna, verso la fine degli anni '50. Illustrava con vivacità, i tedeschi dicevano "temperamentsvoll" i problemi di fronte ai profili in cui aveva infilzato il suo microscopio, la cui base a ferro di cavallo finiva con due punte aguzze.

La micromorfologia ha da tempo centinaia di cultori, alcuni anche in Italia soprattutto per merito di Giovanni A. Ferrari.

Nel novembre 1939, quando in Europa già c'era la guerra esce la bibbia della conservazione del Suolo. Hugh H. Bennett, capo dell'omonimo servizio, pubblica "Soil conservation". Un altro libro, quasi mille pagine, di vastissimo respiro, uscito in tempi in cui l'erosione sia idrica che eolica imperversava in molti Stati della confederazione.

Poi la guerra. Qualcosa esce, ma tutta la letteratura anglosassone la conosceremo noi italiani a fondo solo dopo la fine del conflitto. Un libro però vorrei citare, uscito nel 1941, ad opera di un singolare studioso svizzero, poi americano, il Jenny, autore di "Factors of soil formations".

In Italia, nel terribile 1943, esce "I terreni d'Italia", del Principi, da poco arrivato a Firenze dalla sua Perugia.

E poi venne la guerra, fino al 1945, e la ripresa non fu certo immediata. Le ferite erano profonde, l'odio vivo. La prima manifestazione fu un convegno sui suoli mediterranei ad Algeri e a Montpellier, nel tardo 1947. Il principale evento però è il IV Congresso della ISSS, tenutosi ad Amsterdam nell'estate del 1950. Noi italiani, ex nemici, e poi quasi alleati dal 1943 non avemmo difficoltà ma i tedeschi non furono ammessi se non il quarto giorno, tanto vivo era ancora negli olandesi il ricordo dell'occupazione e delle persecuzioni subite.

La delegazione italiana era guidata da Gino Passerini ma c'era anche il Sen. Michele Gortani, il grande geologo carnico, che fu un deciso sostenitore in Parlamento della necessità di un Istituto per la difesa del suolo. Per Cesare Lippi Boncampi, che aveva a lungo combattuto come ufficiale e per me, che per età non ero andato alle armi, fu la prima entusiasmante esperienza internazionale. Nelle escursioni nacque la mia amicizia profonda con un Maestro Philippe Douchaufur, durata fino alla sua scomparsa non molti mesi orsono. Fra i partecipanti altri grandi, C. Edlmann, Presidente del Congresso, Sir John Russel, Gracatin padre, Kuron, Elgabaly, Albareda, Tavernier, Taylor.

Al nostro ritorno in Patria Passerini ci riunì più volte per vedere di mettere in piedi la sezione italiana della Società internazionale. L'atto notarile di fondazione fu firmato nel 1951. Dei fondatori siamo rimasti in due, Giovanni Picci ed io.

Il successivo Congresso si svolse nel 1954, nel Congo ancora belga, con ben scarsa partecipazione italiana. Ci riunimmo però poco dopo nel 1956 a Parigi, per il VI Congresso, con larghissima partecipazione, vivaci dibattiti, lunghe interessanti escursioni.

Il successivo Congresso si tenne negli Stati Uniti nel 1960, a Madison, nel Wisconsin, dove venne presentata la VII Approssimazione. Cos'era? Gli americani, varato nel 1949 un sistema di classificazione alquanto insoddisfacente, cominciarono a lavorare con i belgi per preparare una nuova, esauriente, tassonomia. Si procedé per approssimazioni successive. Dapprima solo con numeri, senza nomi. Larga fu la loro diffusione, e in molti avanzammo suggerimenti. Furono poi coinvolti glottologi americani e belgi, che come c'era da immaginarsi, si attaccarono al greco e al latino, con buona pace degli asiatici. L'impatto, al primo colpo, fu abbastanza violento, ma Guy Smith, il padre della Soil taxonomy, con René Tavernier, ci disse che i ragazzini delle scuole medie agrarie americane si erano impadroniti del sistema in 15 giorni, se noi non ci fossimo riusciti in un paio di mesi, forse era il caso di pensare alla pensione.

Non si può certo tralasciare cosa avveniva negli anni dal '50 al '70 in Spagna. Spicca una figura quasi ascetica, quella di José Maria Albareda, che alla guida del Consejo de Investigaciones científicas, ospitò numerosi colleghi stranieri, fra cui Kubierna e Franz, e aiutò colleghi e allievi spagnoli quali Gutierrez Rios, Hoyos de Castro, Guerra e Roquero.

In Portogallo scompare presto una grande e aristocratica figura un cui libro di fisica del suolo fu tradotto anche in italiano, Joaquin Botelho da Costa. I portoghesi avevano ancora in quegli anni vaste colonie dove i suoli

furono attentamente studiati. In patria, un agile e pratico servizio del suolo, è diretto da De Carvalho Cardoso che pubblica nel 1965 "Os Solos de Portugal".

I primi anni '60 furono anche in Europa ricchi di risultati. Herbert Franz singolare figura di studioso pedologo e zoologo del suolo pubblica la sua "Feldbodenkunde", utilizzando la larga esperienza anche di biologo alpino e mediterraneo.

Nel 1962 esce il bel libro di E. Muckenhausen, il cattedratico di Bonn, sui suoli tedeschi.

Nel 1965 arriva da Friburgo in Bressgovia l'Atlas zur Bodenkunde di Robert Ganssen, il Maestro di un personaggio noto a tutti voi, Winfried Blum, il nostro Segretario generale.

Intanto era già stato pubblicato uno schema di classificazione francese. Si susseguono a ritmo serrato le edizioni, la prima è del 1960, del "Précis de Pédologie", il chiaro libro di Philippe Douchaufour, che a Nancy è cattedratico in scienze naturali, ma insegna anche all'Ecole Nationale de Eaux ed Forêts e dirige un centro del CNRS.

Non molto si sa dei progressi in Russia, fino a che gli israeliani non cominciano a pubblicare col titolo "Soviet soil science", la traduzione inglese dell'antica e assai nota "Pochvovednie". Spiccano i contributi di Kovda, per i suoli salsi, già alto funzionario dell'UNESCO, e di Zonn, per i terreni forestali.

Intanto il Soil Survey Staff, sempre sotto la guida Guy Smith, presentava miglioramenti della settima approssimazione, il primo è del 1964, e altri successivamente.

Negli anni '60 è stato molto attivo il Comitato per la carta dei suoli d'Italia poi confluito nella 5a Commissione della Società Italiana della Scienza del Suolo. Tale qualificato gruppo di lavoro realizzò la carta dei suoli d'Italia in scala 1:1.000.000 (1966), varie carte regionali (Sardegna, Sicilia) e provinciali (Trento, Belluno) e buoni esempi di cartografia di dettaglio.

La FAO e l'UNESCO avevano nel frattempo portato avanti il grande progetto della carta dei suoli del mondo, in scala 1:5.000.000, con l'aiuto di un folto comitato di studiosi, di tutto il mondo, con il celebre russo Tiurin in testa. Via via uscivano le carte con eccellenti volumi illustrativi.

Nell'ambito di questo progetto, fu preparato uno schema di legenda, via via perfezionato e con una nomenclatura che in parte derivava dalle approssimazioni americane (cambisol), in parte conservava nomi antichi e in una certa misura aveva nomi nuovo (luvisol).

In molte nostre carte si sono date varie definizioni dei suoli e spesso ci sono anche sia la classificazione secondo la Soil taxonomy che quella della legenda FAO-UNESCO.

Nel 1964 ci fu un memorabile Congresso in Romania, la scuola rumena vantava eccellenti studiosi fra cui spicca Nicolau Cernescu, mentre vari chimici agrari avevano cordiali legami con O.T. Rotini, e i suoi amici di "Agrochimica".

Un riconoscimento si deve anche alla FAO, che oltre ad inserire studiosi del suolo, rilevatori ed analisti, nei maggiori progetti nei paesi emergenti dei vari continenti, aveva a Roma un Soil bureau, diretto prima di Luis Bramao, e poi da Rudy Dudal, nella Land and Water Division. Inoltre sono stati molto attivi per parecchi anni dei working parties for soil classification and cartography, uno per l'Europa occidentale, altri per diversi continenti.

Conosco naturalmente meglio quello europeo, di cui ho fatto parte, e che ho addirittura presieduto nel 1963-64, organizzando una riunione a Firenze, seguita da una lunga escursione nell'Italia centrale. Nel 1961 tale gruppo presentò a Sen, allora direttore generale della FAO, la nuova carta dei suoli dell'Europa occidentale.

Nel 1966 vi fu a Madrid un memorabile convegno ispano-portoghese sui suoli mediterranei, con interessanti dibattiti e una lunga escursione conclusasi a Lisbona. Chi vi parla propose l'abolizione della classificazione del termine "mediterraneo", perché riferito al clima e non a caratteristiche e comportamenti dei suoli.

Se torno agli anni dal '60 agli '80, tanti volti di colleghi ed amici stranieri appaiono vivi di fronte a me. Nei potrei citare a decine. Molti incontrati a convegni e congressi sono poi venuti a Firenze a parlare ai miei collaboratori, ai nostri studenti e sono venuti sul terreno con noi.

Non temete, ne citerò solo tre, perché personaggi singolari.

Il primo è Sergej Wild, russo bianco di origine, professore di pedologia forestale nel Wisconsin, uomo di grande cultura e di vasti interessi anche musicali. Belli i suoi libri con interessanti capitoli sull'humus. Da principio non gli piacque l'approssimazione della classificazione americana che definì "soil abomination". Quando poi furono accolti i suoi schemi sull'humus si placò rapidamente.

Norman Taylor è stato per molti anni a capo del servizio del suolo neozelandese. Il suo Paese ha regioni mediterranee ed alpine. La sua simpatia per l'Italia crebbe a mano a mano che la conobbe meglio e preziosi fu-

rono i suoi consigli soprattutto per la denominazione e la definizione di alcune nostre unità cartografiche. Aureo è il suo libretto "Soil survey method".

Il terzo ed ultimo è un simpatico personaggio di origine italiana, uomo di grande cuore, noto a molti di voi e di cui alcuni sono stati addirittura assistenti, come Stefano Lucci. Avrete compreso che parlo di Lindo Bartelli, che nel Soil Survey, raggiunse elevate posizioni con incarichi delicati quali "Regional soil correlator", ad Austin e poi a Washington a capo di un ufficio di "Soil Survey Interpretation" che ha reso grandi servizi e che ha insegnato molto anche a noi sul come utilizzare i dati di campagna e di laboratorio non solo per l'agricoltura e le foreste ma anche per l'ingegneria e in genere per la gestione del territorio.

La Società internazionale ha seguito regolarmente a organizzare i suoi congressi fino a quello di Montpellier a cui avete partecipato in molti. Ricordo vivo ho di quello del 1982 a New Delhi, con una bella escursione oltre Dehra Dun, fino sulle falde dei massicci himalaiani e quello del 1986 ad Amburgo, che mi dette l'opportunità di rivedere con più giovani colleghi suoli e paesaggi già esaminati e discussi trenta anni prima con la vecchia generazione dei "Muchenhausen, Ganssen, Schlichting, Kubiena".

E venne il '75 e apparve in grosso tomo di 754 pagine la "Soil taxonomy", lavoro di decine e decine di specialisti durato oltre venti anni. Credo che molti con me abbiano prima riflettuto sul, e poi apprezzato, il sottotitolo "A basic system of soil classification for making and interpreting soils surveys". Non solo dunque una chiara ampia planetaria visione ma anche uno strumento di grande utilità per la pianificazione territoriale.

Nei venticinque anni da allora molti sono stati gli aggiornamenti, le aggiunte, i miglioramenti via via pubblicati. Molti utili per chi rileva, le chiavi "Keys for soil taxonomy", in volumetto quasi tascabile.

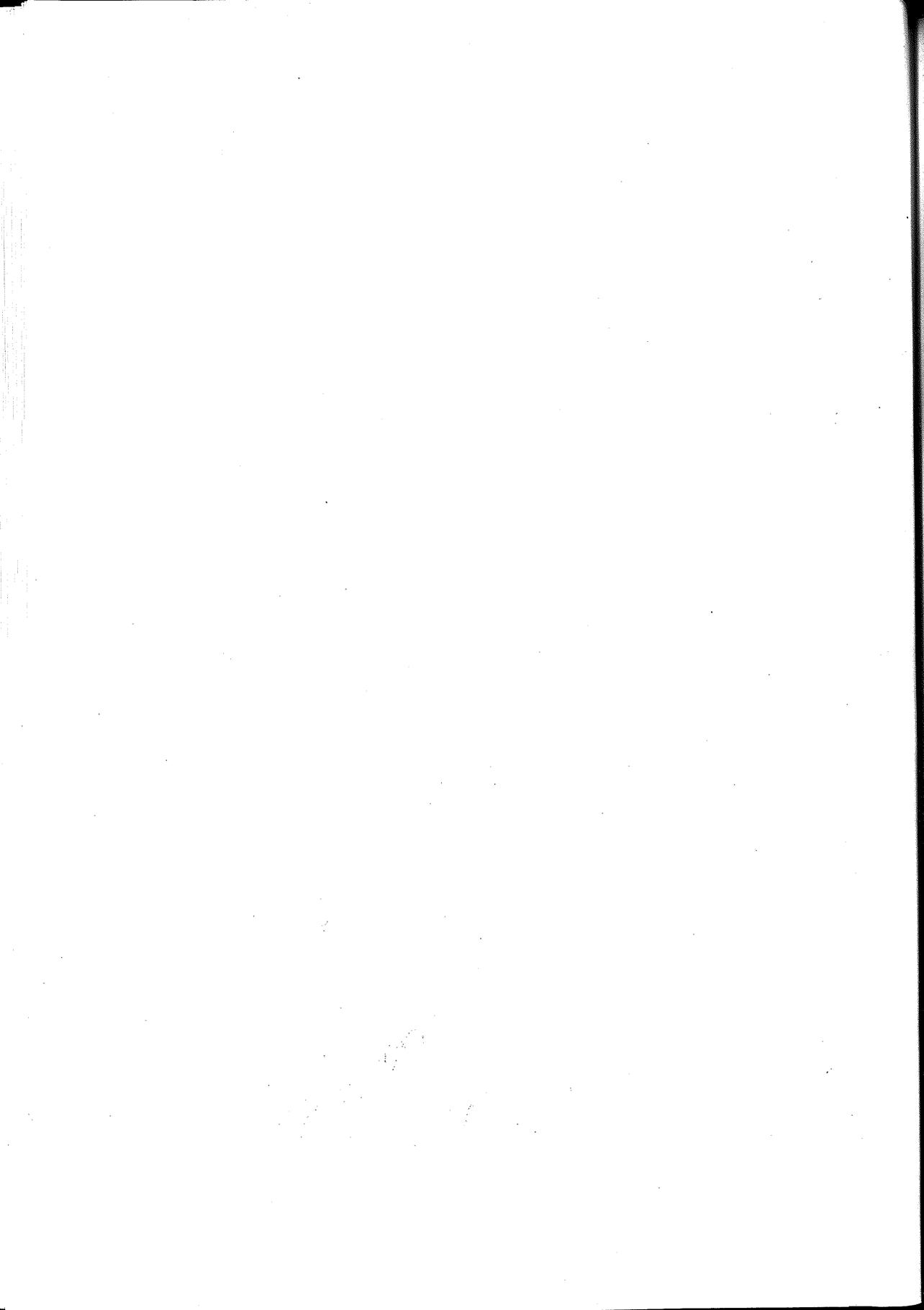
Della Soil taxonomy Celso Giovagnotti, con i suoi collaboratori ha curato una traduzione italiana, mentre ancor prima Giulio Ronchetti aveva illustrato e commentato le diverse approssimazioni.

Siamo arrivati a questi ultimi anni. Li abbiamo vissuti insieme e ognuno ha avuto le proprie vicende ed è passato per esperienze diverse. Ecco perché non ve ne parlo. Da parte mia dirò che ho certamente avuto una carriera fortunata, molto fortunata, conclusasi con la nomina a professore emerito. Colleghi ed amici mi hanno molto generosamente offerto riconoscimenti che ben poco ho meritato come le presidenze onorarie della Società del Suolo e di quella di Pedologia. Per la mia disciplina ho sempre avuto grande rispetto e molto affetto. Ho dato ben poco negli ultimi tempi perché

distratto da altri prestigiosi incarichi come la Presidenza dell'Accademia Italiana di Scienze Forestali e la Vice-Presidenza dell'Accademia dei Georgofili e da un nuovo mestiere, che mi sta dando grandi soddisfazioni e qualche batticuore, quello di nonno.

Mi dispiace che non siamo a Firenze perché avrei potuto farvi vedere, libri, carte, lettere, foto su quanto ho cercato di illustrarvi.

Concludendo voglio dirvi alcune cose che mi stanno molto a cuore. La prima è che mi rendo appieno conto in questo mio dire di aver dato una visione molto parziale, com'era destino. Come avrei potuto parlarvi, di problemi, di vicissitudini che quasi non conosco, che certo non padroneggio. Chi mi vede a parlare di fisica e di biologia del suolo? La seconda cosa è che per fare la nostra professione ci vuole la passione. Il mio Maestro Principi diceva *"bisogna che arda una fiammolina"*. Siate dunque fieri di essere studiosi, docenti, scienziati. Siate però nel contempo orgogliosi come cittadini. La scienza del suolo ha dato e ancor più darà negli anni a venire contributi decisivi per il progresso civile, economico e sociale della nostra Italia, la più bella Patria che da Dio abbiamo avuto in dono.



QUALITÀ DELLE ACQUE E AGRICOLTURA

Paolo Sequi

Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante
Via della Navicella, 2 - 00184 Roma

Premessa

Il suolo è l'epidermide vivente della crosta terrestre; nel suolo, per lo più, hanno origine e conclusione i cicli degli elementi nutritivi. Perché si possano svolgere le sue funzioni il suolo, come ogni corpo vivente, ha bisogno di acqua. L'acqua che ha importanza per i cicli biologici, in larga prevalenza, è quella che viene a contatto con il suolo; il suolo ha un'importanza determinante nell'influenzare la sua qualità.

L'unica attività dell'uomo realmente a contatto con il suolo è quella agricola; non a caso l'agricoltore è stato riconosciuto come lo *steward* delle risorse ambientali (Agenda 21, 1992). Se si hanno a cuore le acque bisogna dotarsi di competenze sul suolo, e, se si vuole operare per garantire un elevato livello di qualità delle acque, è indispensabile sfruttare le potenzialità offerte dell'agricoltura e dalle buone pratiche agricole.

Affermazioni come queste, per semplici e lineari che siano, possono essere prese per sillogismi da taluni, ingannati dalla duplice constatazione che la cattiva qualità di alcune acque si osserva dopo il loro passaggio nel suolo e che la quantità di acqua che transita nel suolo o che vi risiede per qualche tempo è assai piccola rispetto alle grandi masse presenti in altri comparti ambientali. Ad avviso dello scrivente essi errano, e possono rischiare di curare piaghe senza tener conto dell'organismo che le può rimarginare o di restare abbagliati dalle dimensioni di un fenotipo senza avvedersi dei fattori genetici che ne possono influenzare la produzione. E' invece indispensabile cooperare con l'obiettivo comune di concorrere per il conseguimento di una migliore qualità della risorsa acqua. Quello della qualità delle acque e dell'agricoltura è un argomento di una vastità immensa, che non potrà che essere affrontato tentandone una sintesi per quanto possibile concisa.

1. Il suolo ed il ciclo dell'acqua

Le riserve di acqua sul pianeta terra sono stimate attorno a poco meno di un miliardo e mezzo di km^3 (Rossi Pisa, 1991; Cini e Pantani, 1996). Per oltre il 97% si tratta di acque salate e solo per la restante parte (2,9%) di acque dolci.

Le acque sono contenute in tutti i comparti ambientali e in tutti gli organismi viventi; in tutti sono soggette a processi di rinnovo o di ricambio. I tempi di rinnovo sono molto diversi nei vari comparti ambientali, nei quali possono essere stimati con un buon grado di approssimazione con l'eccezione del suolo. Nel suolo infatti, come negli organismi viventi, si registra la presenza di quantità significative di forme di acqua assai differenziate, che presentano proprietà e differenze di comportamento particolarmente accentuate. Si può passare da forme di acqua che vengono rinnovate in tempi lentissimi se non geologici a forme relativamente stabili, parte delle quali viene influenzata direttamente dalla matrice pedologica nelle sue proprietà elettrochimiche; una parte delle acque, infine, soprattutto in climi freddo-umidi, ha tempi di permanenza molto brevi. La distinzione fra questi tipi di acqua è fondamentale non solo per la comprensione della chimica del suolo, ma per le possibili conseguenze operative ai fini di una politica ambientalmente corretta. In ogni caso il suolo rallenta il ritorno delle acque di precipitazione verso i mari e, come si vedrà, contrasta selettivamente anche quello degli ioni e delle varie sostanze presenti nelle acque.

Il motore del ciclo dell'acqua è una frazione relativamente esigua delle risorse idriche: il vapore acqueo. Si può stimare che in un anno sulla terra si formino 500.000 km^3 di vapore acqueo, considerato come volume liquido; in altre parole solo lo 0,033% delle risorse idriche totali passa dallo stato liquido a quello di vapore. Il vapore acqueo si forma su tutte le superfici dei vari comparti ambientali e dei diversi organismi viventi; il più importante processo di produzione è quello di evaporazione dalle superfici degli oceani, ivi inclusi mari ed acque interne, e delle terre emerse. Sulle terre emerse all'evaporazione superficiale si somma la traspirazione da parte dei vegetali; il processo complessivo viene definito evapotraspirazione ed assume un notevole significato nel bilancio delle singole aree considerate. Il vapore acqueo condensa nell'atmosfera e torna poi sulla superficie terrestre con le precipitazioni. Evaporazione e precipitazioni sono per comodità espresse in mm per unità di tempo; esse ovviamente si equivalgono e sono ritenute mediamente dell'ordine di grandezza di 1000 mm all'anno.

Dagli oceani si stima che evaporino annualmente 1200 mm di acqua, ripristinati da 1100 mm di precipitazioni e da 100 mm di apporti fluviali e di acque sotterranee. Dalle terre emerse l'evaporazione media è stimata in circa 470 mm annui; le precipitazioni medie sono stimate in 710 mm all'anno e la quantità eccedente, di 240 mm, è quella che va ad alimentare i fiumi e le acque sotterranee, oltre che, naturalmente, le riserve idriche del suolo.

1.1 L'acqua nel suolo

Le riserve di acqua del suolo (tab. 1) sono state stimate (UNESCO, 1978) pari a 16.500 km³ su tutta la terra: una frazione irrisoria rispetto ai volumi idrici totali (lo 0,0001%) o a quelli delle acque dolci (0,04%), ma consistente rispetto alla maggior parte delle forme di vita vegetale e animale la cui esistenza dipende in misura maggiore o minore da esse (1.120 km³).

La complessità del sistema acqua-suolo è tale da comportare l'uso di una determinata terminologia che descrive lo stato energetico e le condizioni fisiche dell'acqua. La terminologia può non essere familiare a chi non si occupa di chimica agraria o di materie agronomiche in generale.

Tabella 1. Idrosfera terrestre: distribuzione dell'acqua nei vari comparti ambientali. Da stime di autori sovietici (UNESCO, 1978)

Comparti ambientali	Volumi idrici immagazzinati			
	Totali		Acqua dolce	
	Km ³	%	Km ³	%
OCEANI	1.340.000.000	96,4		
GHIACCI				
Calotte glaciali, ghiacci e nevi eterne	24.000.000	1,72	24.000.000	60
ACQUE INTERNE SOTTERRANEE				
Acquiferi	24.000.000	1,72	16.000.000	40
Soluzione del suolo	16.500	0,001	16.500	0,04
ACQUE INTERNE SUPERFICIALI				
Laghi e serbatoi	176.400	0,013	90.000	0,22
Corsi d'acqua	2.120	0,00015	2.120	0,005
ATMOSFERA	13.000	0,001	13.000	0,003
ACQUA BIOLOGICA	1.120	0,0001	1.120	0,003
GLOBO	1.390.000.000		40.000.000*	

* ossia circa il 2,9% dell'acqua del globo

Per semplicità, ricordiamo che il potenziale dell'acqua (si parla di potenziale intendendo la sola energia potenziale, data la ridotta componente cinetica) può variare da punto a punto nel suolo e, in uno stesso punto, con il tempo. Queste variazioni sono il motivo per il quale l'acqua tende

a muoversi da zone con energia potenziale più elevata verso zone con energia potenziale più bassa. Per potenziale totale dell'acqua di un suolo si intende un valore relativo riferito alle condizioni dell'acqua libera diminuite della somma di varie componenti additive le più importanti delle quali sono il potenziale matricale (o di matrice), il potenziale osmotico (di soluto) ed il potenziale gravitazionale.

Queste differenze di energia libera fanno sì che esistano dei punti caratteristici nei rapporti fra acqua e suolo. Oltre alla capacità idrica massima, il valore di umidità per il quale tutti i pori sono saturi di acqua, e il coefficiente igroscopico, che rappresenta la condizione per la quale il suolo non può più perdere acqua a pressione e temperatura ambiente, si individuano una capacità di campo, quando il potenziale gravitazionale è zero, e un punto di appassimento, al quale le radici non riescono più ad estrarre acqua dal suolo. I vari punti caratteristici nei rapporti acqua-suolo sono determinati dalle proprietà dei costituenti pedologici e influenzati da quelle della soluzione del suolo.

La capacità idrica massima di un suolo varia in funzione della sua struttura e della sua tessitura. L'estensione delle superfici è infatti determinante ai fini dell'assorbimento dell'acqua, per cui un suolo argilloso può contenere più acqua di uno limoso che a sua volta ne contiene più di uno sabbioso. Lo sviluppo superficiale di un suolo condiziona nello stesso ordine anche il valore del potenziale gravitazionale e di quello matricale, pur senza proporzionalità diretta. La capacità idrica massima può essere notevolmente influenzata anche dal potenziale di soluto; un aumento di concentrazione salina può determinare sensibili fenomeni di contrazione delle fasi solide. E' bene sottolineare che tutti questi parametri sono estremamente importanti sia ai fini agronomici, sia ai fini ambientali, anche se si tratta di valori spesso variabili ed anche teorici, che rappresentano termini di riferimento più che entità fisiche reali. La conoscenza di quello superato il quale l'acqua non viene trattenuta oltre dal suolo (capacità di campo) consente di condurre correttamente le pratiche irrigue e di evitare somministrazioni di sostanze mobili nel suolo in periodi a rischio.

L'acqua non gravitazionale, quella trattenuta dal suolo, è in gran parte disponibile per l'assorbimento da parte delle piante; si ritiene disponibile l'acqua trattenuta a valori compresi fra la capacità idrica di campo (per convenzione stabiliti a -33 kPa, -1/3 di bar) e il valore del potenziale matricale di -1,5Mpa (15 bar). Sulla disponibilità dell'acqua influisce anche il potenziale di soluto: l'acqua del suolo, o meglio, la soluzione del suolo diviene meno disponibile, oltre che meno ricca di energia, quando la concentrazione salina aumenta. Qualcuno la definisce "soluzione circolante": una qua-

lificazione pittoresca ma ingiustificata, almeno ad avviso di chi scrive. La soluzione del suolo è più che altro eterogenea, diversa da una posizione all'altra. L'influenza delle superfici del suolo, cariche elettropositivamente o il più spesso delle volte elettronegativamente, la separa in diverse zone.

Una delle equazioni più importanti in chimica del suolo è quella che definisce lo spessore del doppio strato in prossimità delle superfici

$$d = \frac{1}{z \eta c_0^{1/2}}$$

dove d è lo spessore dello strato, z la carica del controione (generalmente un catione) che bilancia la carica superficiale (che generalmente è elettronegativa), η la carica dielettrica del mezzo e c_0 la concentrazione della fase liquida all'equilibrio. Prendiamo atto pertanto prima di tutto che la soluzione del suolo è divisa in una zona influenzata dalle superfici ed in una zona esterna al doppio strato, non influenzata dalle superfici. La prima di queste due zone è distinguibile in uno strato molto prossimo alle superfici ed in un secondo strato diffuso, nel quale esiste un gradiente di concentrazione degli ioni. L'equazione dice che lo spessore del doppio strato è inversamente proporzionale alla carica del catione e alla radice quadrata della concentrazione ionica. La distribuzione di uno stesso ione fra i due strati è funzione della sua energia di idratazione: maggiore è l'energia di idratazione, minore è la tendenza del catione ad avvicinarsi alla superficie. L'energia di idratazione dello ione Ca^{2+} è di $373 \text{ kcal mole}^{-1}$ e quella dello ione Na^+ di sole $100 \text{ kcal mole}^{-1}$: lo ione Ca^{2+} tende a stare in prossimità delle superfici ed i suoi legami elettrostatici sono molto più intensi di quelli che forma lo ione Na^+ . Lo ione Ca^{2+} è molto più difficilmente scambiabile dello ione Na^+ .

E, per inciso, le conseguenze non sono solo queste. Lo ione Na^+ tende ad allargare lo spessore del doppio strato, oltre che ad allontanarsi dalla superficie; lo ione Ca^{2+} tende a restringerlo, oltre che a mantenersi nelle prossimità della superficie. Nel primo caso una particella discreta di suolo tende a peptizzare, nel secondo a coagulare. Così la struttura del suolo tende a collassare a causa della presenza di ioni Na^+ e a stabilizzarsi come conseguenza del prevalere di ioni Ca^{2+} nella soluzione.

In conclusione, non esiste una vera soluzione del suolo; si verifica la coesistenza di forme di acqua profondamente diverse fra loro. Questo è il motivo per cui non si può parlare di rinnovo dell'acqua del suolo, ma solo di mutamenti nella soluzione del suolo che comprendono episodi di ricambio.

Questa è l'enorme complessità della soluzione del suolo, costituente un vero e proprio comparto ambientale che può essere considerato la placenta della vita sulla terra.

1.2 Infiltrazione e scorrimento superficiale.

Le quantità di vapore che costituiscono il motore del ciclo dell'acqua devono essere considerate esigue quando vengono riferite alla massa delle risorse idriche presenti sulla terra, ma possono divenire importanti quando sono rapportate alle superfici investite sotto forma di precipitazioni. Considerando una quantità di acqua che torna alla superficie emersa terrestre pari a 710 mm anno, si può facilmente calcolare che ogni anno ogni 1408 km² di superficie terrestre sono investite da un km³ di acque. Il volume delle precipitazioni annue su tutte le terre emerse è stimato in quasi 120.000 km³, una quantità superiore di oltre sette volte quella presente nella soluzione del suolo. In Italia, dove la piovosità media è di 990 mm, si può stimare in più di 300 chilometri cubi di acqua il volume delle precipitazioni che annualmente investono la superficie nazionale.

Trattandosi di valori medi, perfino queste cifre non possono rendere conto compiutamente dell'entità dei fenomeni in gioco. La piovosità in Italia varia molto fra zona e zona, può essere considerata assai limitata in pianura – ivi compresa la pianura padana – e ancor più limitata – in genere – alle basse quote nel meridione, mentre tocca punte molto elevate in determinate zone montane. Si può andare da poche (2-3) centinaia di millimetri annui in alcune zone del Sud ai valori superiori di tre-quattro volte nelle pianure padano-venete fino alle punte di 3-4.000 millimetri sulle vette delle Alpi Apuane (in particolare la Pania), delle Alpi Cozie (il Monviso) e delle Alpi Carniche.

Variazioni tanto elevate possono lasciare intendere che l'impatto delle precipitazioni sul territorio può a sua volta essere molto variabile. Se a questo si aggiunge che i suoli presentano gradi molto diversi di vulnerabilità a seconda delle zone considerate, ci si può aspettare che l'Italia rappresenti fra i paesi mediterranei un caso limite e forse il caso di studio più interessante che si possa affrontare fra quelli dei paesi centro-europei e quelli caratterizzati da climi semi-aridi o aridi, quali quelli africani. L'Istituto Nazionale di Statistica fornisce una stima delle ripartizioni delle acque di precipitazione fra le due destinazioni a livello nazionale: il 49% delle acque si infiltrerebbe nel terreno, mentre il 51% sarebbe invece coinvolto in processi di scorrimento superficiale. La ripartizione fra acque di infiltrazione e acque di scorrimento superficiale viene determinata soprattutto dal regime pluviometrico e dalle caratteristiche del suolo considerato.

Una pioggia intensa favorisce i fenomeni di scorrimento superficiale, mentre una pioggia leggera favorisce i processi di infiltrazione. In una stessa zona, pertanto, si può registrare la prevalenza di processi di scorrimento superficiale di infiltrazione nel terreno a seconda della stagione o del

decorso stagionale delle precipitazioni. Spesso, tuttavia, la piovosità può essere uniformemente ripartita nelle varie stagioni o concentrata in determinati periodi dell'anno in funzione dell'area geografica considerata.

Lo scorrimento superficiale viene favorito rispetto all'infiltrazione quanto maggiore è la pendenza delle superfici considerate, quanto più compatta è la tessitura e precaria la struttura, ossia quanto meno è permeabile il suolo, e quanto più scarsa è la vegetazione, in parte per le interazioni con il suolo e per azione meccanica delle radici, ma anche per la minore intercettazione delle precipitazioni da parte degli apparati fogliari.

Un caso a parte è quello dei suoli argillosi fessurati. Le crepaciature costituiscono in una prima fase una qual sorta di rete drenante che determina valori di infiltrazione misurabili più in termini di portata idraulica che come comuni valori di permeabilità. Quando le crepe si chiudono, la superficie del suolo diviene pressoché impermeabile.

In conclusione è importante conoscere il regime pluviometrico e le caratteristiche del suolo di ogni zona considerata, in quanto determinanti ai fini della ripartizione delle acque di precipitazione fra acque di infiltrazione e acque di scorrimento superficiale.

Le acque di infiltrazione possono determinare un peggioramento della qualità delle acque sotterranee se si verificano fenomeni di percolazione e se nel corso di questi fenomeni esse asportano dal suolo (lisciviano) sostanze indesiderate, o sostanze che presentano una concentrazione ritenuta potenzialmente dannosa, in quanto superiore a quella delle stesse sostanze nelle acque di destinazione. Le acque di infiltrazione possono migliorare la loro qualità durante la permanenza od il passaggio nel suolo quando la loro qualità originaria è deteriore e le sostanze indesiderate in esse presenti vengono metabolizzate o trattenute.

Le acque di scorrimento superficiale possono provocare erosione se è elevata la loro velocità e se lo consentono le caratteristiche dell'area sulla quale defluiscono. Le particelle di suolo erose possono cedere alle acque sostanze indesiderate, così come possono assorbire sostanze inquinanti da acque di qualità scadente, come si vedrà poco oltre.

2. Processi di lisciviazione

Nel loro passaggio attraverso il suolo le acque disciolgono vari elementi e sostanze chimiche. Le acque marine e oceaniche sono salate pro-

prio in virtù della lisciviazione degli elementi dalle terre emerse. I sali disciolti nelle acque marine e oceaniche, se si tiene per buono un contenuto medio di 35 g l^{-1} , possono essere valutati in cinquanta milioni di miliardi di tonnellate. Si badi bene al significato di questa cifra. Se assumiamo i sali di mari e oceani, per semplicità, costituiti da salgemma cristallino puro (peso specifico 2,1), possiamo calcolare che essi potrebbero formare una torre di 65 Km^2 di base (ossi di ben $8,1 \text{ Km}$ di lato) e di un'altezza pari alla distanza dalla terra alla luna. Se consideriamo ora che in tempi geologici il sollevamento dei fondali marini dà origine a colline e montagne cariche di sali, non ci può stupire la constatazione che nella parte della penisola italiana che così si è formata non è difficile trovare acque con un residuo secco molto elevato, fino ai casi estremi della zona meridionale della Sicilia nella quale si riscontra una salinità delle acque dei fiumi che può arrivare a superare quella del mare.

I processi di traslocazione nel suolo sono fortemente differenziati a seconda dell'elemento considerato. L'eterogeneità di composizione della soluzione del suolo fa sì che non solo uno ione meno intensamente trattenuto dalle superfici migri molto più facilmente di uno che forma legami particolarmente intensi con le superfici stesse, ma anche che alcuni ioni, quelli fortemente respinti dalle superfici, possano assumere comportamenti singolari. Si può dimostrare per esempio come in presenza di superfici elettronegative, ossia di quelle più comuni nel suolo, gli ioni nitrato possano migrare più velocemente della stessa acqua.

Un'idea dell'attitudine alla migrazione si può ricavare dal valore del potenziale ionico, ossia dal rapporto fra raggio e carica dei singoli elementi. Se il potenziale ionico è molto elevato, come nel caso dei cationi alcalini e alcalino terrosi oltre che degli alogenuri, gli ioni sono molto solubili, facilmente alterabili e lisciviabili. Gli ioni di potenziale ionico intermedio comprendono soprattutto i metalli di transizione: quando vengono liberati nel corso dei processi di alterazione essi tendono a polarizzare le molecole di acqua loro associate ed a repellere lo ione H^+ , tanto da precipitare come idrossidi insolubili: a causa della loro bassa solubilità tendono ad accumularsi nel suolo. Il gruppo con il potenziale ionico minore è formato da ioni solubili in termini geochimici e perciò lisciviabili. Al confine fra ossianioni solubili e idrossidi insolubili sono borati, fosfati e silicati, alcuni dei quali sono lisciviabili solo nell'ultimo stadio di sviluppo di un suolo.

In realtà la previsione del comportamento di un elemento nel suolo non può essere ricavata solo dal valore del suo potenziale ionico, prescindendo dalla conoscenza del suo comportamento nelle reazioni di ossidoriduzione e più in generale nella chimica del suolo. Per esempio il sodio è trattenuto molto meno del potassio, ed il calcio molto meno del magnesio,

solo perché questi due ioni vengono fissati da alcuni fillosilicati. Se si confrontano solo le forme scambiabili, tuttavia, il calcio viene trattenuto più tenacemente del magnesio.

Può essere utile pertanto riferirsi alle mobilità osservate sperimentalmente nel suolo più che a criteri scientifici che non presentano un vero carattere di onnicomprensività. Le mobilità relative di alcuni importanti elementi sono riportate nella tabella 2 e possono essere considerate valide in un gran numero di situazioni pedologiche. Come si vede, l'acqua può asportare la maggior parte dei cloruri e dei solfati da un substrato pedologico senza intaccare in misura sensibile gli altri elementi. In seguito saranno asportati gli elementi della seconda fase, seguiti dalla silice, dando un residuo ricco di sesquiossidi, contenente i minerali più inerti.

L'elemento meno mobile in senso assoluto nel suolo è considerato il titanio. Poiché il biossido di titanio TiO_2 è un costituente costante delle rocce e quindi dei suoli ed il suo contenuto medio è di circa l'1%, dal contenuto di biossido di titanio di un suolo si può ricavare un indice del grado di alterazione e di lisciviazione. Se un suolo contiene il 3% di TiO_2 , per esempio, si può ragionevolmente desumere che un metro cubo di suolo deriva da tre metri cubi di roccia madre.

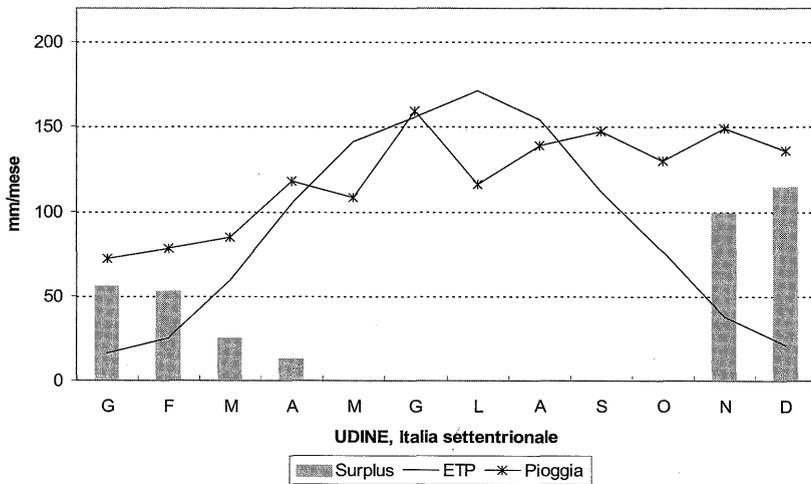
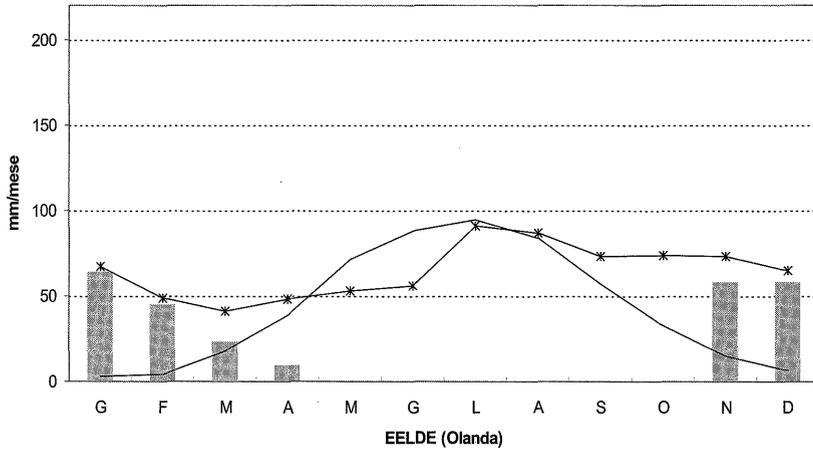
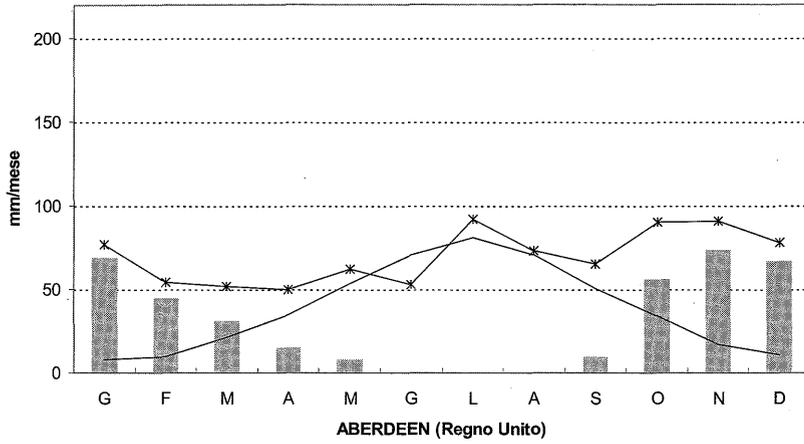
Tabella 2. Mobilità relative di alcuni elementi nel suolo

	Mobilità relativa	Fase di mobilità
Cl^-	100	I
SO_4^{2-}	57	
Ca^{2+}	3,00	II
Na^+	2,40	
Mg^{2+}	1,30	
K^+	1,25	
SiO_2	0,20	III
Fe_2O_3	0,04	IV
Al_2O_3	0,02	
TiO_2	0,00	

2.1 Influenza dei fattori naturali

Influenza del clima. I movimenti dell'acqua nel suolo sono influenzati soprattutto dalle condizioni climatiche della zona considerata (fig. 1).

Nei paesi con clima freddo umido o temperato umido la distribuzione stagionale delle precipitazioni è relativamente regolare nel corso dell'anno e presenta un massimo che si verifica, tipicamente, nel periodo estivo.



■ Surplus — ETP * Pioggia

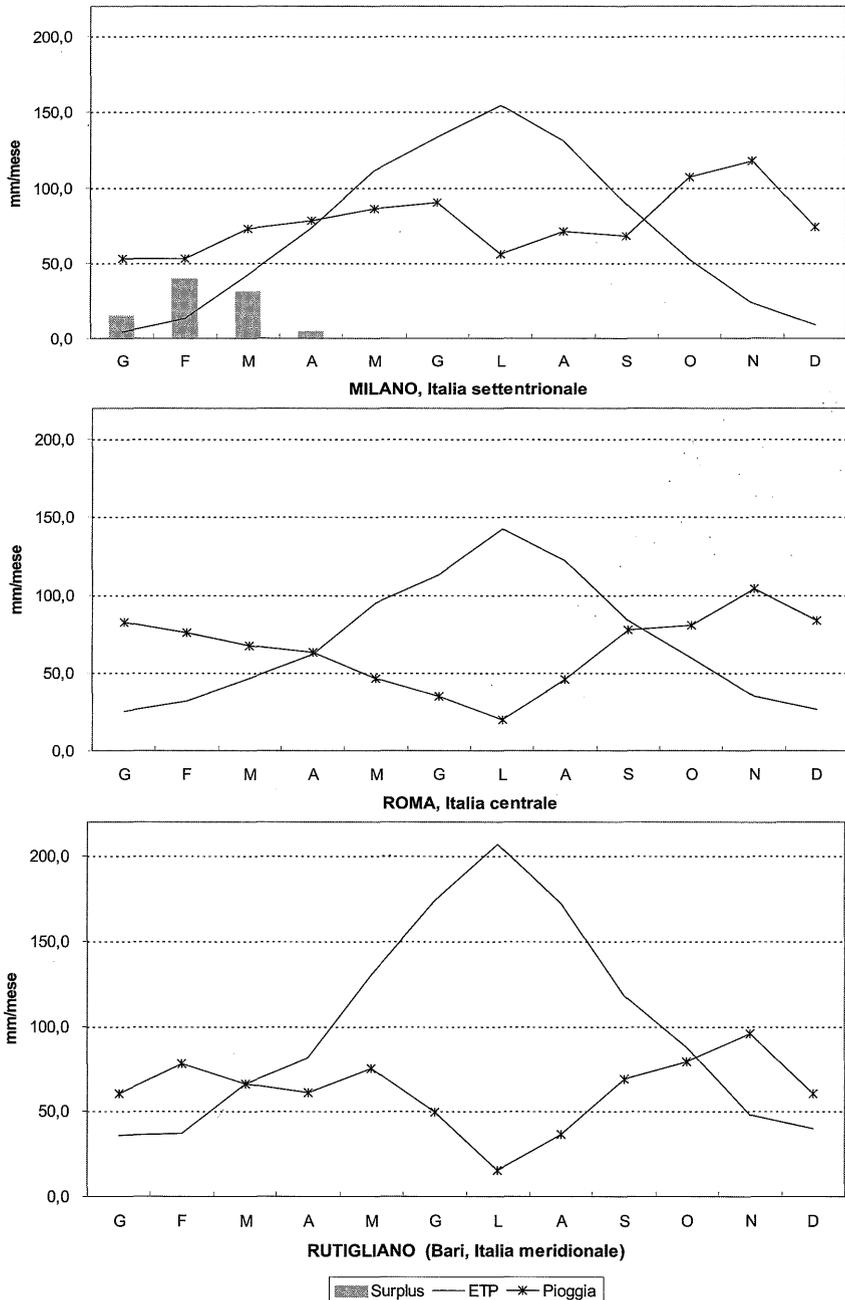


Figura 1. Alcuni tipici andamenti delle precipitazioni e dell'evapotraspirazione. Nei climi umidi, come in Gran Bretagna e in Olanda, almeno in prima approssimazione la differenza fra precipitazioni ed evapotraspirazione potenziale non è lontana dall'acqua lisciviata, mentre in climi comunque più temperati e meno umidi (Udine o Milano) l'evapotraspirazione diviene più intensa e riduce le possibilità di drenaggio a un periodo di tempo limitato, generalmente alla fine dell'inverno. In climi ancora più caldi o semi aridi (Roma o Rutigliano) il drenaggio delle acque può anche non avvenire del tutto.

L'evapotraspirazione, come è noto, varia in funzione della temperatura: la combinazione di questi fenomeni e l'andamento quasi parallelo di precipitazioni e evapotraspirazione fanno sì che l'eccesso di umidità che si ha nel terreno nei mesi meno caldi e che deriva dalla differenza fra acque di precipitazione e acqua evapotraspirata possa essere considerata almeno in prima approssimazione come acqua di drenaggio, ossia come l'acqua destinata a percolare dal suolo alla falda e agli acquiferi sottostanti. E' estremamente corretto considerare l'acqua in eccesso come acqua a rischio per gli acquiferi: i processi di scorrimento superficiale sono gli unici che possono diminuire almeno in parte la quantità di acqua che può essere drenata attraverso il terreno lisciviandone i componenti; la regolarità delle piogge nel tempo minimizza tuttavia la possibilità di scorrimento superficiale delle acque e ne favorisce invece l'infiltrazione nel terreno. E' chiaro che in questi paesi si hanno i maggiori problemi nelle pratiche della fertilizzazione e che l'apporto degli elementi nutritivi deve essere dosato con particolare cura in relazione alle effettive esigenze della vegetazione, affinché non si abbiano processi di migrazione dovuti a fenomeni di lisciviazione. Una simile situazione è quella che si può riscontrare generalmente nell'Europa Settentrionale e Centrale, dove i suoli sono più spesso tendenti anche all'acidità, sciolti e di limitato spessore.

Nell'Europa Meridionale e in Italia in particolare non si hanno mai vere e proprie condizioni di aridità. Nel Sud della nostra penisola, tuttavia, condizioni di semiaridità possono essere la norma. Gli aspetti più salienti di una simile condizione climatica sono opposti rispetto a quelli appena considerati: le precipitazioni sono distribuite irregolarmente nei diversi mesi dell'anno e spesso sono limitate ad uno o due mesi, comunemente da ottobre-novembre a marzo-aprile; in certi anni possono essere quasi irrilevanti. L'evapotraspirazione è esclusivamente potenziale, ben lontana dai valori dell'evapotraspirazione effettiva o reale, e i due parametri sono raramente (o talora mai) coincidenti nel corso dell'anno, mentre divergono completamente nei mesi caldi: nel mese più caldo il primo valore raggiunge il suo massimo ed il secondo il suo minimo. I movimenti dell'acqua nella stagione calda possono avvenire solo dagli orizzonti più bassi verso quelli più alti, mentre nelle stagioni piovose essi possono avvenire anche dall'alto verso il basso, ma per un percorso limitato, per esempio fino a 30-60 cm di profondità. Questa fra l'altro è la ragione della formazione dei cosiddetti orizzonti B_{Ca} o C_{Ca} (i "duripans"), che sono strati nei quali si sono accumulati composti di calcio trascinati verso il basso dalle acque di pioggia fino alla profondità da esse normalmente raggiunta.

In climi semiaridi, nella stagione secca la riserva idrica del terreno scende a valori molto inferiori a quelli del punto di appassimento, os-

sia al livello al quale l'acqua non è più disponibile per le piante. La vegetazione in una prima fase può resistere alla carenza di umidità, riducendo la traspirazione nelle ore più calde mediante la chiusura degli stomi, ma inevitabilmente appassisce e dissecca man mano che la stagione avanza. In queste condizioni climatiche non è possibile alcuna forma di coltivazione erbacea in assenza di irrigazione.

La situazione così diversa ha riflessi anche di natura ambientale. In questo caso infatti non si possono temere inquinamenti degli acquiferi profondi o delle falde superficiali, che non esistono quasi mai; un codice di buone pratiche agronomiche deve (a) mettere in relazione l'entità degli eventuali apporti di acque di irrigazione con la capacità di ritenzione idrica dei suoli e (b) fissare la quantità massima di elementi nutritivi che possono essere somministrati al suolo con i fertilizzanti in funzione della necessità di evitare alle piante stress da eccesso di elementi nutritivi e in particolare da salinità. Questi stress potrebbero apparire di difficile ricorrenza, dato che i suoli dei paesi aridi sono difficilmente acidi e possono anche risultare fortemente argillosi e di notevole spessore, ma bisogna tener presente che i movimenti dell'acqua in questi suoli sono più spesso dal basso verso l'alto, come si è detto sopra, e tendono pertanto a concentrare gli elementi nella parte più alta del profilo, dove la concentrazione delle radici è più elevata.

Nei paesi dell'Europa Meridionale, tuttavia, le aree agricole di pianura sono per la maggior parte in una situazione intermedia fra le due condizioni climatiche che sono state appena descritte e una tale situazione può essere generalizzata alla maggior parte del nostro territorio nazionale. Questo significa che sarà intermedio l'andamento stagionale delle precipitazioni e dell'umidità del suolo. Le precipitazioni totali annue possono essere anche relativamente abbondanti, ma sono sempre distribuite irregolarmente nel corso dell'anno e spesso anche nel corso di ogni singolo mese. Il caso più comune è quello di una stagione fredda caratterizzata da una piovosità più abbondante e più regolare e di una stagione calda e secca interrotta da occasionali precipitazioni temporalesche. Nella stagione calda si possono verificare condizioni di stress per la vegetazione, anche se raramente esse provocano veri appassimenti delle piante. Le condizioni di stress sono facilmente prevenute ed evitate impiegando l'acqua di irrigazione, che fra l'altro è generalmente abbondante in queste aree. Tipicamente il contenuto di acqua presente nel terreno può raggiungere un valore superiore a quello della capacità di campo solo nel corso di uno o due mesi durante tutto l'anno. Come conseguenza il volume di acqua che può essere perso dal terreno nel corso delle stagioni piovose è solo una piccola percentuale di quello apportato dalle precipitazioni: la media in Italia, relativa a tutto il territorio nazionale ivi incluse colline e

montagne, è prossima al 5% e la media relativa alle aree coltivate di pianura, pertanto, è senz'altro molto inferiore soprattutto nella parte centrale delle valli dove i suoli sono solitamente più profondi e meno permeabili.

Il caso più comune per molte zone coltivate di pianura è che in una stagione, solitamente quella fredda, o in qualche periodo della stessa stagione, il comportamento sia simile a quello dell'Europa Centrale e Settentrionale, mentre in un altro periodo o in un'altra stagione si hanno fenomeni di aridità. Il risultato è che, almeno in pianura, i fenomeni di lisciviazione si possono verificare stagionalmente, ammesso che si verifichino, e possono essere pertanto limitati o addirittura evitati se nello stesso periodo si mantiene basso il contenuto di nitrati e di altri elementi nutritivi nella soluzione del suolo. Fenomeni di stress da salinità e da eccesso di elementi nutritivi si verificano più difficilmente nella stagione arida perché sono contrastati dai movimenti di percolazione dell'acqua nel sottosuolo in altri periodi dell'anno. Inoltre nell'Europa del Sud e in tutti i paesi del Mediterraneo la disomogeneità pedologica è massima, dimodoché per valutare la possibilità di somministrare correttamente fertilizzanti al suolo è necessario stabilire uno specifico bilancio ambientale caso per caso.

Ricapitolando, si può osservare come in un clima freddo umido, caratterizzato da un andamento regolare delle precipitazioni nel corso dell'anno, i problemi collegati alla lisciviazione degli elementi nutritivi dal suolo sono concreti; d'altra parte anche l'uso dei fertilizzanti prevede delle somministrazioni "di lusso", e così come i fenomeni di percolazione allontanano parte degli elementi nutritivi, essi lisciviano anche sali e molte sostanze indesiderate apportate dalle acque irrigue, in modo da prevenire ogni loro possibile accumulo. In un clima arido, per contro, l'uso di acque di irrigazione è condizione prioritaria per poter esercitare qualunque forma di agricoltura almeno nella lunga stagione calda, ma i problemi ambientali non sono tanto collegati ad un conseguente deterioramento qualitativo delle acque, quanto a possibili accumuli di sali e altre sostanze indesiderate nel terreno, con la possibile diminuzione o perdita di produttività. In condizioni intermedie, quali sono per lo più quelle dei paesi mediterranei, l'uso dei fertilizzanti può creare problemi intermedi e senza dubbio di più difficile approccio; i fenomeni di lisciviazione sono limitati o assenti e quelli di salinizzazione confinati ad alcuni casi, cosicché tutte le pratiche agronomiche, ed in particolare fertilizzazione ed irrigazione, devono essere esercitate con la massima possibile perizia.

Quelli che sono stati descritti sono tre modelli di bilancio fondamentali, che possono essere presi sicuramente come esempi di situazioni tipiche, ma che devono ancora essere adattati di volta in volta alle situazio-

ni locali. La prima e più importante considerazione riguarda certamente la barriera fisica che può essere esercitata nei confronti dell'infiltrazione delle acque dall'acqua gelata o da orizzonti induriti nel suolo. Nei paesi nordici, per esempio, nel corso della stagione invernale non solo si hanno precipitazioni nevose, che di per sé non si infiltrano immediatamente, ma il terreno è anche gelato e impedisce fino al periodo del disgelo ogni passaggio di umidità nella direzione degli acquiferi sottostanti. Quella fra gennaio e marzo dunque, che è la stagione più pericolosa in molte aree delle pianure mediterranee ai fini della lisciviazione di sostanze indesiderate negli acquiferi sottostanti è invece la stagione più sicura nei paesi nordici e i possibili fenomeni della più intensa infiltrazione e percolazione dell'acqua slittano al periodo successivo al disgelo.

Un altro importante aspetto che deve essere oggetto di attenta considerazione dipende dal particolare regime delle precipitazioni e in particolare della loro intensità. Quando l'intensità è tale da non consentire all'acqua di infiltrarsi, si ha scorrimento superficiale e in altre parole le acque di precipitazione non entrano del tutto in bilancio. Altri aspetti che devono essere considerati, infine, sono quelli dipendenti dalla situazione orografica dell'area territoriale in esame. Nell'Italia settentrionale, per esempio, in alta montagna si possono registrare bilanci di piogge ed evapotraspirazione del tutto particolari e per certi versi simili a quelli nordici. Ciò può provocare un maggiore impatto degli agenti inquinanti atmosferici sulla montagna rispetto alle valli, quando essi sono trascinati a terra dalle acque di pioggia.

La grande varietà delle situazioni possibili esige ovviamente bilanci molto puntuali, che sono specifici per ogni zona e non possono essere generalizzati, ma soprattutto imprime al ciclo dell'acqua nell'intero bacino idrografico caratteristiche imprevedibili per chi ne eseguisse un monitoraggio per punti distinti di campionamento.

Influenza della natura del suolo. La frazione di acqua che può essere persa dal suolo per azione della forza di gravità è quella che supera il valore della capacità di campo (1.3). La capacità di ritenzione idrica varia notevolmente da suolo a suolo, ed è funzione principalmente della granulometria, del contenuto di sostanza organica e, naturalmente, dello spessore del suolo. In linea generale, più fine è la granulometria, maggiore è la ritenzione idrica, con l'eccezione dei suoli nei quali la presenza di argille espandibili determina la formazione di fessurazioni e crepacciature che alterano profondamente equilibri e scambi idrici. La sostanza organica, pur essendo l'unico costituente del suolo che presenta proprietà idrofobiche, contribuisce a trattenere quantità di acqua superiori a quelle trattenute da qualunque altro costituente. In pratica la capacità di ritenzione idrica può variare da valori

molto bassi in suoli sabbiosi (20 mm) a valori dieci volte più elevati (200 mm) e oltre in suoli argillosi di un certo spessore, come quelli che si trovano in aree centrali della pianura padana e che sono in grado di trattenere le acque corrispondenti ad alcuni mesi di precipitazioni.

La lisciviazione può essere significativamente influenzata anche dalla geometria dei pori. La conducibilità idraulica aumenta notevolmente quando aumentano le dimensioni dei pori. Ci sono prove sperimentali, inoltre, che mostrano come i macropori che si formano a seguito di attività biologiche (quali i movimenti dei lombrichi o le canalizzazioni provocate dalla crescita delle radici) hanno funzioni importanti nel determinare flussi preferenziali di acqua e soluti.

I pori a fondo cieco e quelli che comunque determinano la formazione di nicchie anaerobiche possono esercitare un'influenza determinante sulle sostanze che cambiano proprietà in funzione di reazioni di ossidoriduzione, come tutti gli accettori di elettroni. I nitrati, per esempio, possono essere facilmente soggetti a reazioni di denitrificazione. Tutte le proprietà del suolo, in ogni caso, influenzano notevolmente la possibilità di migrazione dei soluti. Una variazione di pH determina notevoli modificazioni delle cariche superficiali pH-dipendenti e conseguentemente della capacità di adsorbimento e scambio. Sempre a proposito di nitrati, che come è noto possono essere considerati gli ioni più mobili nel suolo, è sufficiente la presenza di 1 milliequivalente di cariche positive per cento grammi per determinarne l'adsorbimento in misura pari a 1 t ha^{-1} di $\text{NO}_3\text{-N}$.

Influenza della vegetazione. La presenza di una copertura vegetale ha un ruolo notevole nell'influenzare i processi di lisciviazione.

Il primo aspetto da considerare è l'entità dei processi di traspirazione da parte di ogni singola specie vegetale naturale o coltivata, che provocano il ritorno dell'acqua presente nel suolo o intercettata dalla chioma direttamente nell'atmosfera. Il secondo aspetto è che l'assorbimento selettivo di alcuni elementi da parte delle piante impedisce o contrasta la loro traslocazione nel suolo. E' stato calcolato, per i vari elementi, il numero di volte che possono essere riciclati fra suolo e pianta prima di essere lisciviati nelle acque.

2.2 Influenza dell'agricoltura

L'agricoltura si inserisce nell'influenza dei cicli naturali sulla lisciviazione di sostanze varie con tre meccanismi principali: con l'impiego dei fertilizzanti, con l'uso di fitofarmaci e con gli apporti idrici.

L'uso dei fertilizzanti va distinto nell'apporto di materiali somministrati al suolo per nutrire le piante mediante gli elementi chimici dei quali esse abbisognano e di altre sostanze che hanno lo scopo di correggere alcune anomalie o di aumentare la fertilità chimica. Fino all'avvento della concimazione minerale, i principali fertilizzanti avevano praticamente ambedue le funzioni. Mentre la correzione di anomalie di composizione del suolo ed il miglioramento della fertilità fisica di norma si riflettono favorevolmente anche sui rapporti fra suolo e acque, l'uso dei concimi organici e soprattutto di quelli minerali può ripercuotersi in un aumento delle sostanze liscivate dal suolo alle acque. Questo può avvenire ovviamente in dipendenza in primo luogo dei fattori climatici già considerati precedentemente, oltre che in funzione del tipo di suolo. La buona pratica agricola consente di ridurre o di evitare totalmente queste perdite anche nelle condizioni più sfavorevoli. Se si considera che molti suoli non concimati come quelli forestali possono rilasciare più elementi chimici dei suoli coltivati, si può comprendere anche come negli stessi suoli coltivati si può agire in modo da evitare perdite di elementi che in condizioni naturali potrebbero essere incontrollate, sia attuando pratiche agronomiche mirate a questo scopo (colture intercalari, apporti di elementi chimici nelle fasi più corrette - si ricordi che una somministrazione di azoto inibisce l'azotofissazione naturale, e così via), sia utilizzando strumenti moderni per evitare le perdite di sostanze naturali o di sintesi presenti nel suolo (come i concimi a rilascio controllato e gli inibitori della nitrificazione e dell'ureasi).

L'impiego di fitofarmaci e di erbicidi ha dato luogo a molti episodi di contaminazione delle acque sotterranee che, per la verità, sono stati più reclamizzati dai mezzi di informazione di quanto ci si dovesse aspettare. Se si pensa che la massima concentrazione ammessa per gli erbicidi nelle acque potabili è inferiore anche di molte volte a quella di alcune pericolose sostanze cancerogene indipendentemente dalla pericolosità degli stessi erbicidi, ci si rende conto della non confidenza delle normative in materia. Da un altro punto di vista, comunque, le normative hanno contribuito a rendere più accorti gli agricoltori nell'uso dei presidi sanitari e, forse, all'evoluzione delle nuove generazioni di prodotti chimici. Tecnicamente, le perdite dei principi attivi per lisciviazione possono essere controllate ed evitate alla stessa stregua di quelle degli elementi nutritivi, con la differenza che gli elementi nutritivi somministrati al suolo sono identici a quelli naturali, mentre i principi attivi impiegati in agricoltura sono costituiti principalmente da sostanze di natura xenobiotica. L'uso non corretto delle acque di irrigazione può condurre a perdite per lisciviazione anche imponenti. L'irrigazione deve essere condotta pertanto con un alto grado di professionalità. Su questo argomento si tornerà nel paragrafo 4.2.

3. Processi di erosione

Le acque di precipitazione che danno luogo a scorrimento superficiale possono trascinare particelle di suolo nel loro movimento, provocando processi di erosione. Entro certi limiti i processi di erosione devono essere considerati fisiologici, ma le loro conseguenze sono spesso spettacolari anche nel medio e breve termine. La crescita della superficie dei delta fluviali, l'interramento progressivo degli alvei dei fiumi e di aree lacustri, l'evidente rimodellamento depressivo di monti e colli non sono che alcuni degli aspetti più vistosi dell'incedere dei processi erosivi.

La profondità degli orizzonti superficiali del suolo che può essere interessata dall'erosione viene definita da alcuni autori anglosassoni EDI (effective average depth and run-off-water interaction, profondità media effettiva dell'interazione fra suolo e acqua di scorrimento superficiale). Il valore di EDI è spesso dell'ordine di 2-3 mm, ma può variare sensibilmente in funzione dell'aggregazione del suolo, della pendenza e dell'energia cinetica (intensità e turbolenza) delle gocce d'acqua che colpiscono la superficie.

I processi di erosione sono dannosi, in quanto non solo diminuiscono le riserve di elementi nutritivi del suolo, ma provocano la perdita di parte degli orizzonti superficiali, quelli più fertili. Per questo motivo l'agricoltura deve lottare contro l'erosione, svolgendo una funzione ambientale di interesse prioritario: vale la pena di sottolineare che l'Italia, nel bacino del Mediterraneo, rappresenta il paese con i fenomeni di erosione di gran lunga più accentuati.

Se i processi erosivi sono dannosi per l'agricoltura, non è detto che lo siano per la qualità delle acque nelle quali le particelle erose vengono immesse. Un peggioramento della qualità delle acque si verifica solo se le sostanze chimiche legate alle particelle di suolo, e che pertanto si muovono insieme ad esse, sono legate in maniera labile, tanto da poter essere rilasciate nelle acque. Se le sostanze sono legate tenacemente non si possono verificare conseguenze dannose e si può avere invece il fenomeno opposto già citato, quello cioè che le particelle erose assorbono dalle acque sostanze in esse disciolte, legandole in maniera stabile nei sedimenti. Questo fenomeno può essere facilmente osservato presso qualunque depuratore (Tab. 3).

L'intensità dei processi erosivi nei suoli coltivati dipende sia da fattori naturali, come la giacitura, il tipo di suolo e il clima, che dall'azione dell'uomo, ed in particolare dalle sistemazioni e dagli interventi culturali.

Tabella 3. Fosforo nelle acque e nei sedimenti presso la foce del fiume Marecchia. I sedimenti erano di recente deposito: il dragaggio del letto del fiume viene eseguito ogni 10-15 anni. Da Sequi e coll. (1991)

	Acque		Sedimenti
	Sett. 1990	Nov. 1990	Nov. 1990
	P (ppm)		
Marecchia, prima di Rimini	0,005	0,015	316
Effluenti del depuratore di Rimini (con trattamento terziario per i fosfati)	1,01	2,97	---
Marecchia, 50 m dopo il depuratore	0,84	0,73	480
Marecchia, 300 m dopo il depuratore	0,55	0,54	1240
Marecchia, alla foce	0,27	0,23	328
Mare Adriatico, 200 m dalla costa	0,015	0,012	---

3.1 Influenza dei fattori naturali

Influenza della giacitura. La giacitura, o conformazione topografica della zona considerata, ha un'influenza diretta sul drenaggio dell'acqua per effetto della forma e dell'esposizione della pendice, che contribuiscono anche a determinare il microclima del suolo. La pendenza ed il gradiente che essa assume hanno un'influenza molto importante sul movimento delle acque di precipitazione e, pertanto, sull'erosione. La lunghezza della pendice è altrettanto importante: come ci si può aspettare, maggiore è la lunghezza della pendice maggiore è la quota parte di acqua interessata dallo scorrimento superficiale dato che, a parità di precipitazioni, più è elevato il volume di acqua che si accumula su di essa.

La presenza di una zona pianeggiante, per contro, non solo diminuisce la quantità dell'acqua favorendo di conseguenza l'infiltrazione, ma provoca un rideposito delle particelle di suolo erose. Questo fenomeno si verifica in modo forse ancora più evidente nei corsi d'acqua quando diminuisce la velocità della corrente e non solo a causa della natura pianeggiante della superficie. L'ingresso di un corso d'acqua in un lago, o anche semplicemente l'allargamento dell'alveo, provocano un rallentamento della corrente a conseguenza del quale le particelle erose possono essere depositate; si parla di un "effetto ristagno".

Influenza della natura del suolo. Molte proprietà del suolo influenzano l'infiltrazione, la ritenzione idrica e l'erodibilità. Fra queste proprietà si possono ricordare la composizione chimica, il grado di alterazione, il contenuto di sostanza organica, la composizione granulometrica e le ca-

ratteristiche strutturali. Una struttura buona dal punto di vista agronomico, per esempio, migliora l'infiltrazione dell'acqua, diminuendo i rischi di erosione, e, del resto, favorisce anche la ritenzione idrica, contrastando i processi di lisciviazione. Le particelle di dimensioni più fini hanno un effetto positivo sulla capacità del suolo di trattenere l'umidità, ma la sostanza organica può assorbire e trattenere acqua in misura ancora maggiore, oltre ad essere il costituente del suolo più importante nel determinare la formazione e la stabilizzazione degli aggregati strutturali. Di fatto i suoli con un contenuto elevato di sostanza organica e di particelle di dimensioni molto fini sono considerati i più resistenti all'erosione.

Un discorso completamente a parte può essere quello che riguarda i suoli argillosi fessurati. In questo caso, come si è accennato in precedenza, l'acqua può entrare nelle crepe con una certa velocità e turbolenza e, nei suoli in pendio, può determinare smottamenti ed erosioni di massa prima ancora che le argille rigonfino impedendone il passaggio. Se le masse di argilla si trovano sotto uno strato sabbioso o comunque permeabile, si determina comunque uno scorrimento subsuperficiale che può condurre alla frana dei materiali incoerenti sottostanti. Sono le condizioni tipiche per la formazione dei calanchi.

Influenza del clima. I principali fattori climatici che influenzano l'intensità dell'erosione sono la piovosità, i venti e la temperatura. Le zone della terra più soggette all'erosione idrica sono quelle dove abbondano le precipitazioni e che sono comprese all'incirca fra le latitudini 42° Nord e Sud. Nelle zone temperate al di fuori di questa fascia i rischi di erosione tendono ad essere inferiori rispetto a quelli che si riscontrano ai tropici, poiché la piovosità normalmente è più costante e meglio distribuita nel corso dell'anno. Per di più temperature più elevate favoriscono i processi di degradazione della sostanza organica, rendendo il suolo più suscettibile all'erosione.

Per valutare l'entità dei rischi di erosione in una determinata zona è importante considerare la distribuzione stagionale delle precipitazioni, la quantità di acqua apportata da ciascun evento piovoso, la frequenza degli eventi e la velocità di caduta delle acque di pioggia. La concentrazione di particelle erose e di elementi nutritivi nelle acque perse per scorrimento superficiale varia con gli eventi piovosi; tende ad essere maggiore alla prima precipitazione e a diminuire poi ad ogni precipitazione successiva ravvicinata.

3.2 Influenza dell'agricoltura

L'influenza combinata dei diversi fattori naturali fin qui descritti è modificata dalle pratiche agricole: gli investimenti colturali, la presenza nel ciclo produttivo dell'allevamento animale, le lavorazioni del suolo e gli altri interventi agronomici. Rinviamo al paragrafo successivo per un cenno alle sistemazioni del suolo, che vengono realizzate proprio ai fini della regimazione delle acque e che ai fini della conservazione del suolo assumono un'importanza fondamentale.

L'intensità dei processi erosivi è ridotta al minimo quando il suolo è completamente coperto da vegetazione. Nei prati e nei pascoli le piante crescono tanto fitte che la superficie del suolo è protetta da fenomeni di erosione idrica ed eolica. Un pascolo ben tenuto con scoline e canali di sgrondo inerbiti rappresenta pertanto una delle migliori misure antierosive che possano essere programmate e che sono applicabili in condizioni pedologiche, topografiche e climatiche molto varie.

Nel caso delle colture annuali più importanti bisogna prestare una particolare attenzione ad ottimizzare gli spazi fra le file e le piante lungo la fila nel corso della semina e scegliere le varietà che possono essere coltivate con la maggiore densità per unità di superficie. Se il suolo è suscettibile all'erosione, inoltre, bisogna evitare di disporre le file secondo le linee di massima pendenza, in quanto l'acqua tenderebbe ad essere canalizzata preferenzialmente fra di esse, creando condizioni favorevoli ai rischi di fenomeni erosivi, mentre se le file vengono disposte normalmente alle linee di massima pendenza l'intensità dell'erosione viene ridotta, in quanto esse contrastano la velocità dello scorrimento superficiale, favorendo invece l'infiltrazione nel suolo: un fenomeno accentuato dalla foltezza delle piante.

Per assicurare una protezione antierosiva è importante eseguire correttamente le lavorazioni. Nei casi di pendenza moderata, unitamente ad una successiva disposizione idonea delle colture, se effettuate di traverso possono già garantire una efficace sistemazione dei suoli. Ai fini della conservazione del suolo non è detto che le lavorazioni debbano essere necessariamente ridotte. A questi fini è infatti necessario considerare prioritariamente gli effetti sulla struttura e sulla conservazione del suolo, le quantità di residui colturali disponibili e il loro stato: ossia i fattori utili per il controllo dell'erosione, che influenzano l'efficacia delle lavorazioni nel loro complesso. Con i sistemi convenzionali di lavorazione, riferibili essenzialmente all'aratura seguita dall'epicatura o da una discatura, l'erosione è possibile in molti casi, ma i rischi maggiori si hanno quando la superficie del suolo resta nuda a se-

guito della lavorazione, fino alla semina e all'accestimento delle piante, o comunque ad un buono sviluppo del loro apparato radicale ed aereo.

Le lavorazioni ridotte di qualunque tipo, comunque, appaiono di norma efficaci nel controllo dell'erosione, anche perché favoriscono la conservazione negli strati superficiali del suolo di molti residui colturali. Riducendo l'intensità delle lavorazioni si osserva spesso una diminuzione significativa delle perdite di acqua per scorrimento superficiale e conseguentemente dei fenomeni erosivi. I maggiori vantaggi di una lavorazione ridotta, oltre al risparmio energetico, comprendono certamente una potenziale diminuzione dell'erodibilità del suolo; fra gli svantaggi, oltre alle difficoltà di controllo delle malerbe e delle superiori spese per i trattamenti erbicidi, bisogna ricordare l'aggravamento delle condizioni sfavorevoli di aerazione esistenti nei suoli compatti o poco drenati, nei quali l'ambiente può divenire più facilmente anaerobico. Per di più i residui colturali non vengono facilmente interrati e, rimanendo sulla superficie del suolo, costituiscono di fatto una pacciamatura che rallenta il riscaldamento del suolo in primavera ritardando così la germinazione dei semi e le prime fasi di sviluppo delle piante nei climi temperati; per contro, la pacciamatura diviene un fattore positivo nei climi caldi, poiché riduce le alte temperature che influenzano negativamente la crescita delle piante e contribuisce a mantenere l'umidità del suolo.

Nel caso delle colture arboree è indispensabile valutare le tecniche colturali da adottare, se è possibile con attenzione ancora maggiore rispetto al caso delle colture erbacee. In linea di massima i principi da seguire sono gli stessi, anche se diviene a volte strategico ricorrere ad accorgimenti utili, ma meno spesso importanti per le colture erbacee, come l'impiego di pacciamature o l'inserimento di colture interfilare. Particolarmente critica può rivelarsi la scelta delle colture.

In genere una pianta indigena e presente da sempre nella zona può essere considerata adatta anche per la protezione del suolo. Nel caso di piante introdotte da tempo o di nuova introduzione, bisogna esaminare gli aspetti importanti caso per caso.

Una pianta emblematica della montagna e non indigena, anche se perfettamente acclimatata nel bacino del mediterraneo, è il castagno. Il castagno nel passato anche relativamente recente è stato assai apprezzato per la sua capacità di fornire simultaneamente alimenti e legname. Molte sistemazioni di montagna sono state espressamente realizzate per ospitare i castagni, piante in grado di mantenere le popolazioni della montagna in condizioni quasi di autonomia.

In assenza di cure colturali, soprattutto se lo spessore del terreno, come spesso avviene in montagna, è molto limitato, il castagno può non convivere più con l'ambiente nel quale stato introdotto, e questo per quattro ordini di motivi. In primo luogo le piante diventano troppo alte e meno stabili; ed in secondo luogo la sistemazione del suolo si deteriora progressivamente. La pianta viene poi avvinghiata da rampicanti che la soffocano ed esercitano una forte trazione verso il basso (si possono osservare sviluppi di fusti di edera fino a 10-20 cm di diametro). Da ultimo, la concorrenza delle piante cresciute vicine tende a ridurre l'apparato radicale del castagno e il volume di suolo esplorato dalle radici.

Un castagno diviene così una torre senza fondamenta, con uno o più tiranti che la trainano verso il basso. La sua caduta prima o poi è inevitabile. Ma sotto l'azione di una precipitazione intensa, con il suolo reso più incoerente dall'umidità e su una pendice scoscesa è inevitabile anche che il primo castagno che cade faccia una specie di gioco del domino. Tronchi immensi quasi senza radici amplificano l'effetto della frana nel corso della caduta e l'acqua che li trasporta verso valle aumenta l'effetto devastante, come se contenesse dei siluri. Un cataclisma di questo tipo si è potuto osservare recentemente in Versilia, il 19 giugno 1996.

Come si può facilmente immaginare, comunque, le cure colturali non sono tutto. L'agricoltura deve tener conto della vocazione dei suoli. Un suolo sviluppato su polveri vulcaniche e che può assorbire da tre a cinque volte il proprio peso d'acqua, se è situato su una pendice è certamente ad alto rischio. Anche se la roccia sottostante è calcarea e sana: un olivo riesce ad affondarci le radici, un castagno no. Un ceduo di castagno può essere un flagello; il peso delle ceppaie non è retto agevolmente da un substrato viscido. Sotto l'azione di una precipitazione intensa lo smottamento di qualche ceppaia può provocare una valanga di fango. E' quanto è successo nella più recente catastrofe di Sarno del 5 maggio 1998.

4. Le acque e le attività agricole

L'agricoltura è l'attività che per eccellenza interagisce con le acque; se ne deve difendere se sono in eccesso; se le deve possibilmente procurare se servono per le esigenze colturali. Il breve cenno che si darà, in merito a come l'agricoltura deve proteggere dalle acque se stessa e il territorio sul quale viene esercitata e a come per converso necessita di acqua e ne può e deve fare buon uso, non è destinato agli addetti ai lavori. Esistono intere opere

destinate a questi argomenti. Si ritiene qui utile illustrarne i principi informativi sperando di far cosa gradita a chi ne vuole avere un'idea sommaria.

4.1 La regimazione delle acque.

L'abbicci della difesa del suolo è relativamente semplice: è indispensabile far sgrodare le acque il più rapidamente possibile dai terreni di pianura, mentre è necessario trattenerle il più a lungo possibile nei terreni di montagna. Infatti, quando le acque di precipitazione sono troppo intense rispetto alle caratteristiche dei suoli che le ricevono in pianura, possono allargarsi, provocando fenomeni di asfissia e danni anche irreparabili alla vegetazione, mentre in montagna possono causare erosioni e frane.

Elementare, tutto sommato. Le pratiche agronomiche più collaudate discendono infatti da un'esperienza millenaria dell'uomo a contatto con la natura. Le sistemazioni del terreno, di pianura e di collina, sono la base della difesa del suolo e possono essere considerate dal punto di vista tecnico-scientifico dei gioielli che raccordano il suolo con le acque, o meglio l'uso del suolo con il ciclo dell'acqua. Sono gioielli della tecnica agronomica che intendono assicurare l'integrità del territorio, consolidati da una pratica sperimentale di moltissime generazioni; sicuramente la pratica delle sistemazioni è nata con l'agricoltura ed è pertanto vecchia di millenni.

Le sistemazioni dei terreni di pianura hanno lo scopo di agevolare lo sgrodo delle acque cadute con le precipitazioni più velocemente possibile, in modo da impedire impaludamenti e ristagni di umidità.

In esse gli appezzamenti coltivati sono caratterizzati da baulature più o meno accentuate che sgrondano l'acqua in fossi o scoline. I campi sono collegati da stradine campestri, solitamente inerbite, che fungono talora anche da scoline.

Le dimensioni dell'appezzamento coltivato sono molto variabili. I campi possono essere larghi 40-50 metri e lunghi da 200 a 700-800 metri, come nella sistemazione alla ferrarese, o larghi solo 20-30 metri e lunghi un centinaio, come nella sistemazione alla toscana, ma le superfici coltivate, nella sistemazione a porche sono ridotte anche a una lunghezza inferiore a un metro, e in questo caso i fossi che separano le "porche" possono essere usati anche per irrigarle.

Quando si studiano le sistemazioni ci si accorge che la loro scelta non è casuale, anche se alcune di esse tendono ad essere abbandonate per

l'eccessiva richiesta di lavoro che comporta la loro gestione. La sistemazione alla ferrarese non potrebbe funzionare in Toscana: questione di natura del suolo e di clima. E si capisce che l'arte delle sistemazioni nasce da un'esperienza di molte generazioni.

Le sistemazioni dei terreni in pendio hanno lo scopo di trattenere le acque cadute con le precipitazioni il più a lungo possibile, in modo da lasciarle infiltrare nel suolo e impedirne il rapido deflusso superficiale, che potrebbe causare fenomeni erosivi.

Le sistemazioni dei terreni in pendio assumono aspetti spettacolari. Tutti ricordano le risaie realizzate mediante terrazzamenti nelle montagne dell'Estremo Oriente. Da questo punto di vista l'Italia non è certo da meno rispetto alle altre nazioni. Se si legge come il Marchese Cosimo Ridolfi descrive la realizzazione delle sistemazioni a spina a Meleto in Val d'Elsa da parte del suo fattore Testaferatta si ha l'impressione di trovarsi di fronte alla creazione di un'opera d'arte più che di una fredda opera di regimazione idraulica. Un'opera d'arte che all'inizio del 1880 ha trasformato colline squallide, erose e destinate a pascolo di bassa qualità, in ambienti splendidi, di colture fiorenti.

Le sistemazioni a spina oggi non esistono più e quasi non vengono più citate nei manuali di agronomia: esigono troppo lavoro. Sono sostituite dalle sistemazioni a rittochino, che si eseguono lavorando il terreno secondo le linee di massima pendenza. Spesso le sistemazioni a rittochino non fanno che agevolare i processi erosivi. E agevolare l'erosione, anche se la lavorazione costa meno, significa danneggiare l'ambiente e provocare un danno generazionale, fatti salvi i casi nei quali un leggero processo erosivo può evitare altri più gravi processi franosi.

Le buone sistemazioni, quelle "di traverso", sono invece sempre un investimento per le generazioni future. Ne esistono molti tipi e varianti: a cavalcapoggio, a girapoggio, a serpeggiamento, e così via. Quando le pendenze sono particolarmente elevate si possono realizzare terrazzamenti (le terrazze sono sorrette da argini costituiti da muri a secco o in calce) e ciglionamenti (gli argini sono scarpate inerbite). Quando la pendenza è considerevole, ma disforme, si preferisce il gradonamento: un gradone può essere sorretto da muri o da ciglioni, ma si adatta alle condizioni naturali e si può interrompere anche più volte in brevi spazi per la presenza di speroni rocciosi, macchie, ecc. Alberi isolati su pendici molto scoscese possono essere protetti anche da muretti semicircolari situati a valle della base del tronco o della ceppaia: si parla di lunette.

4.2 L'impiego delle acque per l'irrigazione.

L'impiego delle acque per l'irrigazione è una condizione per poter esercitare l'agricoltura, se non gran parte delle molte forme di agricoltura, nei climi aridi e semi-aridi, ma può essere una condizione per poter realizzare produzioni soddisfacenti in tutti i climi temperati, a partire da quelli mediterranei.

Un uso corretto delle acque di irrigazione deve tener conto delle possibilità oggi offerte dall'avanzamento delle tecnologie e delle conoscenze. Queste possibilità consentono di determinare condizioni di "sostenibilità" dell'irrigazione, intendendosi con la locuzione un po' abusata di sostenibile una forma di irrigazione rispettosa dell'ambiente, delle risorse disponibili e dei fattori economici collegati all'impiego delle acque. Una buona gestione dell'irrigazione evita infatti conseguenze negative sia per l'agricoltura, dato che il costo dell'acqua in Italia è particolarmente elevato, sia per l'ambiente, in quanto evita la lisciviazione di sostanze indesiderate negli acquiferi. Sarà sufficiente ricordare che alla base delle conoscenze necessarie per realizzare una buona gestione dell'irrigazione ci sono la valutazione e il controllo dell'evapotraspirazione ET nel corso del ciclo colturale e la classificazione dei terreni ai fini irrigui.

La metodologia sperimentale che applica i coefficienti colturali K_c è probabilmente quella basata sulla stima del rapporto fra evaporazione nell'ambiente considerato (E) e evapotraspirazione di una determinata coltura (ET_c). Essa offre la possibilità, a partire dalla misura dell'evaporazione che può essere fatta sperimentalmente in luogo, per esempio dalla lettura diretta di un evaporimetro di classe A, di calcolare l'evapotraspirazione della coltura

$$ET_c = E \cdot K_c$$

e perciò il suo fabbisogno d'acqua nel corso dei vari stadi vegetativi. I coefficienti colturali variano sensibilmente in funzione dei fattori pedoclimatici e agronomici durante il ciclo vegetativo. Ai fini di una programmazione razionale delle quantità di acqua da somministrare ad una coltura è indispensabile pertanto studiare attentamente le condizioni climatiche locali (precipitazioni e capacità evaporante dell'atmosfera) nel corso dei vari stadi vegetativi e calibrare, a parità di condizioni pedoclimatiche, i coefficienti colturali forniti dai diversi autori.

La classificazione dei terreni ai fini irrigui, eseguita in base a studi integrati che ne quantificano le proprietà fisiche, chimiche e idrologiche, è di estrema importanza soprattutto in aree pedologicamente non uniformi co-

me quelle che appartengono al territorio nazionale e che sono tipiche di tutti i paesi mediterranei. L'evapotraspirazione non dipende infatti soltanto dalla quantità di acqua ricevuta da una coltura (precipitazioni, irrigazione, apporti di falda, ecc.), ma anche dalle proprietà fisiche del suolo che determinano i movimenti e la distribuzione dell'acqua (tessitura, struttura, permeabilità, risalita capillare, curve di ritenzione idrica, ecc.). Una metodologia molto utilizzata è la "Land classification for irrigation purposes" dello U.S. Bureau for Reclamation, che suddivide i suoli in sei classi di attitudine all'irrigazione. Ha il vantaggio di integrare aspetti tecnici ed economici, classificando i suoli in categorie con caratteristiche omogenee che tengono conto anche delle loro capacità produttive, ossia della possibilità di ottenere un reddito dall'investimento irriguo. E' stata adottata da molti organismi internazionali e in Italia nel 1980 l'Agenzia per la Promozione dello Sviluppo nel Mezzogiorno ha condizionato la concessione degli aiuti per la realizzazione di piani di irrigazione alla presentazione di studi realizzati secondo questa metodologia.

5. L'interazione con altre attività

Se l'agricoltura è l'attività umana che viene esercitata a contatto con il suolo e l'agricoltore è l'unico operatore che veramente agisce sul territorio, bisogna sottolineare che tutte le attività umane sono state collegate a quelle agricole nella storia almeno fino ad epoche recenti. L'esercizio dell'agricoltura è stato il nodo di tutti gli equilibri ambientali perché ha consentito, fin dai primordi delle civiltà stanziali, che tutte le attività umane, a partire dall'alimentazione, fossero sempre abbinatale alle pratiche che consentivano lo smaltimento dei rifiuti. Nelle descrizioni delle tremende epidemie, dai tempi di Pericle a quelli della Milano manzoniana, e degli spaventosi fenomeni di eutrofizzazione avvenuti in passato, come quello descritto in una corrispondenza da Marsiglia del Marchese Petrucci all'Accademia Agraria di Pesaro che risale al 1840, si possono ravvisare spesso casi di cattiva gestione delle acque di fognatura utilizzate per irrigare colture ortive o scaricate direttamente in mare in periodi climaticamente sfavorevoli, ma questo non muta la prevalente sostanza dei rapporti alla in gioco fra le varie attività umane. Bisogna registrare semmai che da quando l'interazione fra l'agricoltura e le altre attività umane si è fatta via via episodica, fino ad essere impedita o comunque ostacolata, sono iniziati i più gravi squilibri ambientali.

La rivoluzione industriale dell'ottocento ha condotto per la prima volta all'affermazione di attività umane non primarie e del tutto svincolate dalla dipendenza delle attività agricole. Fino ad allora solo le attività mi-

nerarie avevano costituito un precedente, ininfluenza ai fini pratici in quanto esercitate di norma in ambienti almeno apparentemente confinati: in comune con le attività industriali avevano solo la destinazione dell'impatto che, quando esisteva, era solo negativo e riguardava il territorio, l'ambiente, l'agricoltura. A metà del XIX Secolo il più grande chimico agrario di tutti i tempi, Justus von Liebig, fondò l'agroindustria preconizzando l'importanza futura e profetizzò l'essenzialità di prevedere il riciclo di ogni residuo e rifiuto. La prima previsione di Liebig è da tempo realtà, la seconda resta un auspicio. Sono realtà anche gli squilibri ambientali connessi alla mancata realizzazione del riciclo. E l'impatto della rivoluzione industriale è passato inosservato fino alla seconda metà del XX Secolo.

L'agricoltura si era inserita obbligatoriamente in tutte le attività umane in quanto tutto ciò che veniva adoperato o utilizzato dall'uomo conteneva elementi che provenivano dal suolo, essendo stati assorbiti dalle piante per loro esigenze nutrizionali, il destino naturale dei quali doveva essere il ritorno al suolo mediante le pratiche della fertilizzazione. Avere impedito questo ritorno al suolo per la contaminazione reale o potenziale dei materiali fertilizzanti o per la necessità di depurare gli scarichi ha rappresentato un'azione dirompente per gli equilibri naturali, in quanto ha spezzato i cicli degli elementi nutritivi.

Di fatto si deve registrare oggi la situazione paradossale che la soluzione principe dei problemi ambientali più gravi ed urgenti, l'adozione di programmi di riciclo e di chiusura di cicli degli elementi nutritivi, viene oggi sempre più allontanata. La specializzazione produttiva tende ad allontanare le attività umane l'una dall'altra e, lungi dall'esigere il contatto obbligato almeno al fine della soluzione dei problemi ambientali che ne emergono, le politiche prevalenti sono quelle che vanno nel senso di codificare e incoraggiare il distacco. I risultati di questa tendenza sono traumatici per la salute delle acque e, paradossalmente, come responsabile prima di molti traumi si indica frequentemente la stessa agricoltura.

5.1 Gli allevamenti zootecnici

L'allevamento zootecnico è stato da sempre parte integrante dell'agricoltura fino a quando, nel secolo XX, si sono affermati i criteri dell'allevamento industriale. La forma estrema e più moderna di questi tipi di allevamenti è quella che viene definita "senza terra", ossia completamente svincolata dall'agricoltura.

Si tratta dell'allevamento intensivo che può essere realizzato mediante approvvigionamento di mangimi provenienti esclusivamente da aziende estranee, e può produrre esclusivamente animali da carne e prodotti di origine animale. Gli animali da carne vengono consegnati alle industrie della macellazione e gli altri prodotti sono generalmente conferiti alle industrie di trasformazione.

La differenza con i rapporti fra agricoltura e zootecnia della tradizione è evidente. Un tempo gli animali consumavano buona parte della produzione aziendale, ossia i foraggi messi a disposizione dalle rotazioni agrarie adottate, e restituivano in aggiunta agli altri prodotti i loro rifiuti-risorsa: l'«oro nero», costituito dal letame e dalle deiezioni liquide e utilizzato per concimare le colture da rinnovo. Oggi questo ciclo ideale non esiste più. Gli allevamenti zootecnici acquistano mangimi, o ingredienti per mangimi, e vendono prodotti fra i quali gli effluenti non compaiono: essi possono rappresentare solo problemi. Molti fra gli stessi agricoltori si sono ormai disabituati all'uso delle deiezioni animali e, quando non le rifiutano per la concimazione dei propri suoli, le accettano di malavoglia. Di più, regolamentazioni e normative tendono ad ostacolarne l'impiego a scopo fertilizzante. Pochi anni or sono si lamentava la circostanza che negli allevamenti animali lo smaltimento degli effluenti rappresentava un problema molto più difficile ed importante di quello dell'alimentazione degli animali. Siamo ora ai casi limite di allevamenti zootecnici costretti a chiudere per difficoltà nella collocazione degli effluenti.

E' doverosa subito una puntualizzazione. L'allevamento animale intensivo, o di tipo industriale, non è di per sé nemico dell'ambiente. Certamente i suoi effetti sono più controllabili di quelli degli allevamenti estensivi, ed in quanto più controllabili essi possono anche essere resi più compatibili con le esigenze ambientali. Necessitano però di competenze e di un impegno professionale che molto spesso sono mancati. In un allevamento estensivo l'animale scarica sul suolo le deiezioni nel corso di tutto l'anno, indipendentemente dalle condizioni pedoclimatiche e dalle esigenze delle colture. Negli allevamenti intensivi gli effluenti possono essere raccolti, migliorati e conservati fino all'epoca ottimale per la somministrazione al suolo.

In un allevamento intensivo la dieta può essere modificata al fine di migliorare l'utilizzazione degli elementi, riducendone così il passaggio nelle deiezioni anche in misura sostanziale. Esistono tecnologie per modificare e migliorare le caratteristiche delle stesse deiezioni, e per conservarle fino al momento nel quale diviene opportuno il loro impiego. Sorprendentemente, almeno da un certo punto di vista, maggiori sono le di-

mensioni dell'allevamento, più agevole è l'adozione di molte moderne tecnologie che migliorano le proprietà agronomiche delle deiezioni.

Si può lamentare piuttosto che non sono stati fatti molti sforzi in tal senso nelle sedi responsabili della programmazione scientifica e tecnologica. Anche nelle Università si dà molta enfasi ai problemi dell'alimentazione e poca o nulla a quelli dell'uso e riciclo delle biomasse di rifiuto. Questa politica non migliora le prospettive della salute delle acque, del suolo e della stessa zootecnia. Si è prodotto un divario di conoscenze e di applicazioni fra le tecnologie di alimentazione degli animali e quelle di riutilizzo delle loro deiezioni che è assolutamente indispensabile colmare. I risultati di una tale linea di tendenza sono catastrofici: l'allevatore che pensa solo a come disfarsi del problema anziché sfruttare le potenzialità delle sue risorse, l'agricoltore che non gradisce assolutamente materiali difficilmente gestibili o per lo meno non facilmente manipolabili e infine l'ambiente che è condannato a deteriorarsi perché quantità notevoli di elementi nutritivi non vengono ricollocati nel loro comparto di provenienza.

5.2 L'agroindustria

L'industria agroalimentare impiega come materie prime prodotti vegetali e animali al fine di ricavarne alimenti. Non solo di norma effluenti e rifiuti solidi agroalimentari sono privi di metalli pesanti e di altre sostanze indesiderate: ai fini della nutrizione animale e vegetale essi sono spesso di valore anche molto superiore agli stessi prodotti principali.

Un tipico esempio si ha in alcune delle industrie che trattano prodotti vegetali, come quella zuccheriera e quella dell'estrazione degli oli. Per lo zuccherificio le proteine sono "non-zucchero" e devono essere eliminate, così come sono scarti per il produttore di olio di semi i pannelli proteici. Diversa è ovviamente la considerazione che si può fare per gli usi in mangimistica e nella fertilizzazione.

Si potrebbe ripetere senza alcuna modifica sostanziale tutto quanto si è detto a proposito di allevamento animale, ivi incluso il fatto che si studiano molto più i processi tecnologici che conducono alla produzione specifica che quelli del riciclo di effluenti e residui, e questo non è corretto. Non è corretto neppure che in nessun corso di laurea di tecnologie alimentari si affrontino problemi del riciclo delle biomasse, della scienza della fertilizzazione organica, del suolo in generale.

Quanto è stato detto a proposito di industria agroalimentare può essere naturalmente esteso all'agroindustria che non produce alimenti, come l'industria del legno o quella conciaria.

5.3 Altre attività industriali

Diverso è il discorso per le attività industriali non collegate alla trasformazione di prodotti organici di origine agricola. Indubbie carenze normative e di controllo, oltre ad eccessi o disinvolture occasionali e non, hanno prodotto fino agli anni '70 danni molto gravi all'ambiente, i più vistosi dei quali hanno riguardato le acque. In quel periodo, morto fin da epoca precedente il lago d'Orta, si potevano osservare danni estremamente gravi estesi praticamente ad ogni zona d'Italia: dai laghi di Mantova al Serchio per le acque interne, fino a zone costiere ben precise della Liguria o della Campania. L'inquinamento delle acque di fognatura della metropoli milanese fu una delle cause della rottura e dell'eliminazione delle marcite, le spettacolari sistemazioni che avevano consentito di attuare quella che era definita la realizzazione dell'indirizzo cerealicolo-zootecnico tecnicamente e ambientalmente più mirabile a livello mondiale.

Le acque sono state salvate ponendo limiti alle concentrazioni di elementi e sostanze ammissibili negli scarichi nei corpi idrici superficiali: per l'Italia la legge 319/79 (legge Merli). L'aver generalizzato indistintamente a tutti gli scarichi l'obbligo della depurazione senza tener conto della necessità della restituzione al suolo degli elementi asportati con i raccolti ha provocato la rottura degli elementi nutritivi e le conseguenze per gli equilibri naturali delle quali si è già parlato.

5.4 Gli insediamenti umani.

Le conseguenze più gravi dei fenomeni di urbanizzazione simultaneamente all'incremento della popolazione per la qualità delle acque sono l'impermeabilizzazione del territorio e l'allontanamento dei rifiuti dal suolo.

L'impermeabilizzazione delle superfici rappresenta uno dei più gravi esempi di forti interferenze al bilancio fra piogge ed evapotraspirazione, se non il più grave. Le opere di urbanizzazione e la realizzazione di infrastrutture portano allo sconvolgimento dei bilanci, in quanto in molti casi la loro conseguenza è quella di riversare su una superficie vicina tutta l'ac-

qua che insiste su una superficie impermeabilizzata adiacente. In tal senso anche l'industrializzazione può essere considerata associata agli insediamenti umani. In campo strettamente agronomico questi aspetti vengono spesso trascurati quando ampie superfici vengono coperte da serre e le superfici vicine, magari di ampiezza molto ridotta, restano destinate a coltura non coperta e ricevono molta più acqua del previsto. Il fenomeno non deve essere trascurato in quei Comuni, specie dell'Italia del Nord, nei quali più del 25% della superficie è stato cementificato.

Sbaglierebbe comunque chi pensasse che i gravi danni ambientali provocati dall'impermeabilizzazione del territorio riguardano solo, o prevalentemente, le grandi aree fortemente industrializzate del nord Italia. Esistono studi approfonditi sull'Italia centrale e insulare che dimostrano che l'impermeabilizzazione delle superfici riguarda tutto il territorio nazionale; uno dei migliori di questi studi, per esempio, riguarda la provincia di Cagliari.

La cattiva gestione del territorio non si manifesta solo in alterazioni dei bilanci idrici, impedendo l'infiltrazione dell'acqua in ampie percentuali dell'area disponibile e aumentando il carico netto sulle acque adiacenti. Oltre alla non omogeneità di distribuzione dell'impatto delle precipitazioni sul territorio, la mancanza di una corretta pianificazione ha fatto sì che molto spesso le impermeabilizzazioni riguardassero le aree più fertili, che al di là di ogni considerazione produttiva erano anche quelle nelle quali i suoli avevano la migliore ritenzione idrica.

La conseguenza generale di questa politica, o se si vuole di questa mancanza di una politica territoriale, è stata l'abbreviamento dei tempi di corrivazione, fenomeno aggravato dall'incuria nel mantenimento delle sistemazioni di collina e di montagna oltre che dal fatto che in montagna le fonti di captazione delle acque per uso potabile sono state spostate sempre più in alto.

Dal punto di vista qualitativo il peggioramento della qualità delle acque provocato dagli insediamenti umani è, se possibile, ancora più sensibile. Ad esso concorrono diversi aspetti dell'uso delle acque e della loro restituzione all'ambiente da parte delle comunità umane.

Il primo è la tendenza a consumi delle risorse idriche sempre più elevati; su scala globale i fabbisogni divengono imponenti, anche se possono apparire ancora relativamente limitati rispetto alle disponibilità totali. In Italia il consumo medio giornaliero per persona ha superato i 250 litri che a livello nazionale equivalgono a più di 5 km³ annui: una quantità che potrebbe sembrare facilmente ottenibile accantonando una piccola parte delle risorse idriche apportate annualmente dalle precipitazioni (300 km³), ma che risulta difficilmente ottenibile in molte aree e che deve soddisfare requisiti di potabilità non sempre facilmente raggiungibili.

Alcuni dei requisiti di potabilità sono cervelotici ed è impossibile assicurarli in alcune aree. Il valore massimo ammissibile di 10 mg/l di potassio nelle acque potabili, per esempio, non ha alcun significato scientifico e non è assolutamente proponibile nelle zone vulcaniche che nel nostro paese abbondano, dove viene superato anche di decine di volte. Fortunatamente l'analisi di routine del potassio nelle acque potabili non viene comunemente eseguita nei laboratori istituzionalmente incaricati dei controlli di qualità.

I requisiti di potabilità stabiliti per le acque destinate al consumo umano hanno ancora meno significato se si pensa che solo una percentuale bassissima di esse viene utilizzata a scopo alimentare. In Italia, in particolare, è massiccio il ricorso alle acque minerali che, anche se può apparire paradossale, non sono considerate potabili e sono soggette a normative molto meno restrittive e a controlli di qualità meno frequenti.

Nella restituzione delle acque da parte degli insediamenti umani dopo il loro impiego, vietato oggi per legge il loro apporto diretto al suolo, esse sono convogliate ai depuratori (quando esistono).

Gli effluenti liquidi che pervengono ai depuratori urbani sono di quattro diversi tipi, mentre idealmente dovrebbero appartenere ad una sola categoria. In primo luogo ci sono le deiezioni umane, solide e liquide, alle quali si aggiungono i rifiuti civili derivanti dalle operazioni domestiche di lavaggio, assai più abbondanti per volume. Terza inevitabile tipologia di effluenti è quella proveniente dalle industrie, anche piccole, e dalle attività artigianali inserite nei tessuti urbani. Infine è necessario annoverare le acque di precipitazione, che praticamente non vengono mai separate in condutture diverse da quelle di fognatura.

Da un punto di vista funzionale solo le deiezioni umane, quelle più ridotte da un punto di vista quantitativo, dovrebbero necessariamente tornare al suolo per garantire la chiusura dei cicli degli elementi nutritivi. La loro separazione dalle altre acque di rifiuto, purtroppo, è rimasta un ricordo (o un auspicio) che risale ad alcuni esempi, noti e purtroppo non recenti, della civiltà umana. Gli altri rifiuti liquidi degli insediamenti umani sono spesso di interesse scarso o nullo ai fini del riciclo, spesso sono i veri rifiuti inquinanti e rappresentano una quantità significativamente più importante nel bilancio generale. Parlare delle acque di precipitazione diviene quasi imbarazzante, in quanto esse sono quantitativamente di ordine di grandezza superiore a quello di tutti gli altri effluenti liquidi e, non potendo essere contenute dai depuratori, determinano la chiusura degli impianti. In altre parole, quando piove, si attua lo scarico delle fogne nei corsi d'acqua o a mare.

Per paradossale che possa sembrare, infine, la depurazione delle deiezioni umane presenti negli effluenti degli insediamenti umani è rivolta solo a combattere pericoli che nei sistemi naturali sono ridotti o inesistenti. La depurazione abbate infatti il contenuto di materiali organici, utili e richiesti dagli organismi del suolo, e di organismi patogeni che, nel suolo, non rappresentano generalmente alcun problema. Fino a quando non sarà possibile far tornare al suolo gli elementi presenti nelle deiezioni umane, solide e liquide, che pervengono al depuratore, il depuratore sarà una iattura per gli equilibri ambientali. Si dice che il suolo è il concorrente naturale delle funzioni dei depuratori, ed è vero, ma non basta; il depuratore può anche surrogare le funzioni del suolo, ma solo fino a quando non costituisce una diversione e una barriera insormontabile alla chiusura dei cicli degli elementi nutritivi.

6. I termini per un bilancio ambientale

Con un'espressione citata all'esordio e che, pur conservando il carattere politico che non le poteva e doveva mancare, assume quasi un significato di poesia, l'Agenda 21 ha definito l'agricoltore lo steward dell'ambiente, diluendo le motivazioni della bella definizione in una serie di paragrafi che costituiscono un intero capitolo del testo complessivo. I motivi veri per i quali l'agricoltore è il custode dell'ambiente sono due.

Il primo motivo è che senza agricoltore non ci può essere difesa del suolo dalle acque. Senza sistemazioni idraulico-agrarie e idraulico-forestali, senza cura delle piante e governo dei boschi, il suolo va incontro a forme di degradazione che possono condurre ad esiti catastrofici. Il suolo non è protetto dalle acque e le popolazioni civili che risiedono nelle aree immediatamente sottostanti dei bacini imbriferi corrono i rischi che le alluvioni comportano.

Il secondo motivo è che senza agricoltore non ci può essere difesa delle acque dall'inquinamento. Se gli elementi nutritivi asportati dal suolo non vi vengono riapportati, essi sono inevitabilmente destinati a collocazioni improprie che conducono direttamente o indirettamente al deterioramento della qualità delle acque. In altre parole, le acque diventano direttamente o indirettamente la destinazione degli elementi minerali presenti nei rifiuti, e l'agricoltura deve rifornirsi degli elementi necessari per la nutrizione vegetale da altre fonti, come cave, miniere, sintesi chimiche da riserve naturali varie come l'atmosfera, innestando un ciclo perverso la cui destinazione nel lungo termine sono ancora le acque. La capacità di autodepurazio-

ne dei corpi idrici resta l'unica vera loro difesa, ma il ciclo perverso resta una spada di Damocle sospesa sopra la loro qualità e può condurre ad effetti traumatici. Occorre definire pertanto i termini per un corretto bilancio ambientale nei rapporti fra agricoltura e acque.

Da un punto di vista restrittivo, che è quello comunque che vede più spesso oggi imputata l'agricoltura, bisogna tener conto soprattutto dei rischi di dilavamento nelle acque sotterranee degli elementi nutritivi e dei prodotti usati per la difesa delle colture. Una equazione che si presta allo scopo è la seguente

$$(P_t - Ss_t) - (CC - As_0) - ET_t = X$$

dove P_t sono le precipitazioni, Ss_t lo scorrimento superficiale e ET_t è l'evapotraspirazione nel periodo di tempo t ; CC è la quantità di acqua trattenuta dal suolo in virtù della capacità di ritenzione idrica (capacità di campo) e As è l'acqua presente come soluzione del suolo al tempo 0. Se il valore di X è superiore a 0, si può avere lisciviazione; se il valore di X è inferiore a 0, si ha un deficit di umidità nel suolo. Quando questo deficit di umidità scende sotto una certa soglia si determina una carenza idrica che può condurre le colture a fenomeni di stress e occorre pertanto intervenire con apporti d'acqua irrigua, se disponibile, che non devono condurre comunque a superare il valore di 0 ricavato applicando la formula nella quale alle acque di precipitazione si aggiungono quelle degli apporti irrigui, al fine di prevenire ogni possibile percolazione dell'acqua in eccesso.

Poiché, come si è visto in precedenza (2.1), clima, suolo, ed anche vegetazione sono determinanti ai fini dell'effettiva possibilità di lisciviazione nelle acque sotterranee della sostanze presenti nel suolo, gli operatori agricoli possono agire in modo da impedire o minimizzare i fenomeni di migrazione. Va tenuto presente che la traslocazione di sostanze chimiche dal suolo alle acque è un fenomeno del tutto naturale. Alcuni anni fa Caporali e coll. (1981), confrontando le perdite di nitrati da una valle forestale con quelle di una valle non lontana dalla prima nella quale prevalevano però le attività agricole, misero in evidenza che il fenomeno era molto più intenso nella prima.

Si possono prefigurare tre situazioni tipiche. Quando il bilancio idrico è favorevole alla lisciviazione nel corso di tutto l'anno, o dell'intera stagione colturale (climi molto freddi), l'agricoltore deve adottare le maggiori cautele in ogni fase della sua attività. Quando la lisciviazione si può verificare nel caso di una sola stagione la situazione è più facile in quanto è

sufficiente prevenire la presenza o l'accumulo di sostanze lisciviabili in quel periodo dell'anno. Quando la lisciviazione non si verifica mai il ricorso all'irrigazione rappresenta una condizione indispensabile per poter esercitare la pratica dell'agricoltura in gran parte dell'anno: il ricorso all'irrigazione può essere ovviamente utile o indispensabile anche nel caso precedente. Va da sé che l'irrigazione deve essere attuata con metodi che impediscono la somministrazione di eccessi d'acqua.

I mezzi a disposizione dell'agricoltore per impedire la lisciviazione sono pratiche ed ordinamenti agronomici. In sintesi, il suolo deve essere coperto da vegetazione nei momenti critici dell'anno e tutte le pratiche agronomiche, ma soprattutto la concimazione, devono essere condotte tenendo conto di questa esigenza. Un mezzo ad hoc per impedire la presenza dei nitrati nelle fasi a rischio è quello di impedire la formazione di nitrati nei periodi precedenti mediante l'uso di inibitori della nitrificazione.

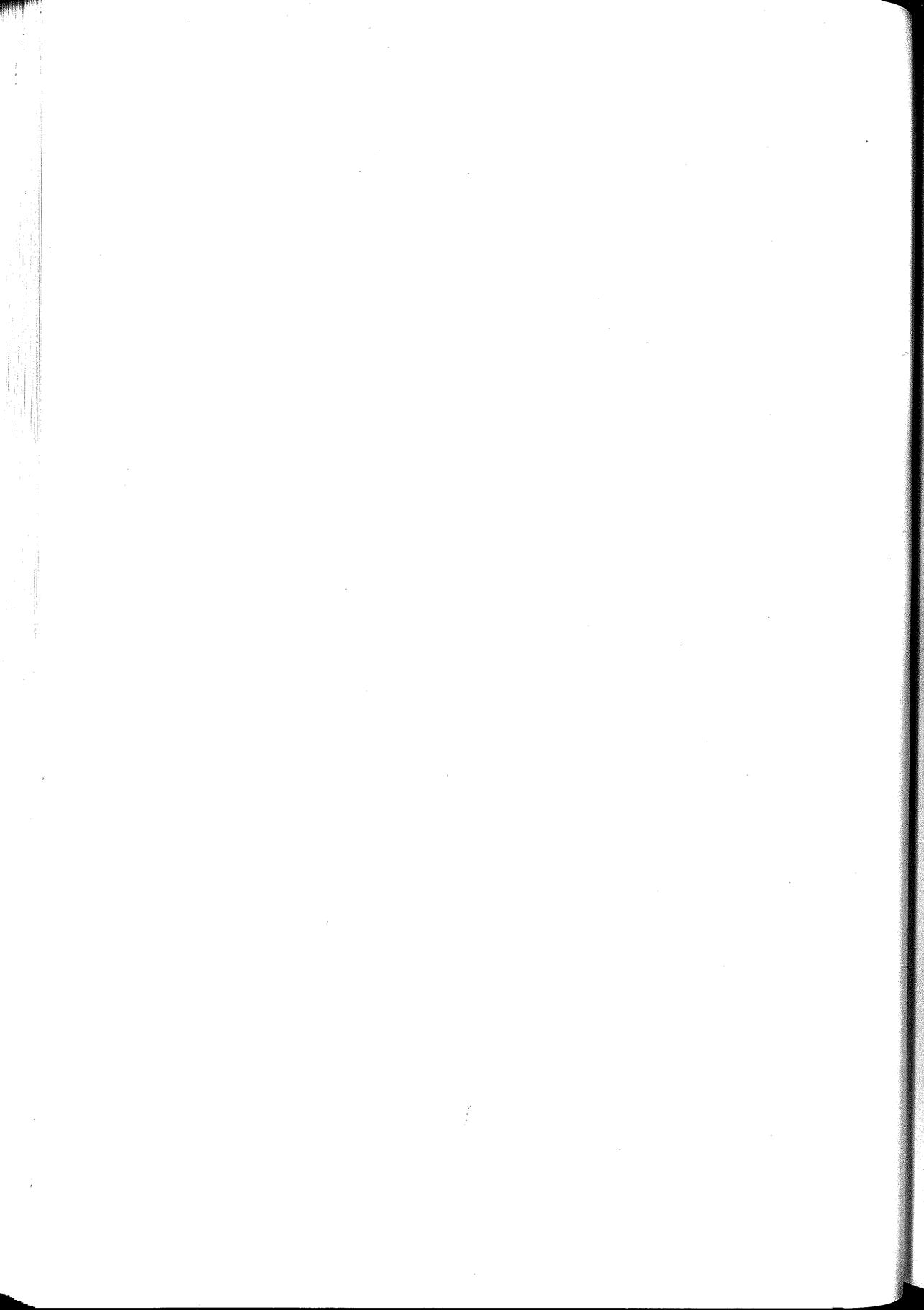
L'agricoltore, anche se più a lungo termine, può modificare lo stesso suolo nella sua composizione e nella sua fertilità, correggendone i difetti e migliorandone le proprietà fisiche, chimiche, biologiche e meccaniche mediante l'uso di ammendanti, condizionatori e correttivi. L'impiego di questi mezzi tecnici, così come quello dei concimi e dei prodotti per la difesa delle colture, richiede più professionalità che in passato.

Ma l'agricoltura, così come può essere una *conditio sine qua non* per la difesa del suolo dalle acque con la cura delle sistemazioni idraulico-agrarie e idraulico-forestali, rappresenta oggi l'unica attività che può consentire al suolo la sua azione di chiusura del ciclo degli elementi nutritivi e di depurazione naturale o, se si vuole, di "filtro" delle acque. Non si tratta tanto allora di esercitare una forma di agricoltura che, con un aggettivo oggi di moda, viene chiamata sostenibile. Si tratta di esercitare l'agricoltura ai fini di realizzare una civiltà sostenibile.

Bibliografia

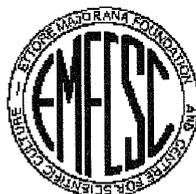
- AGENDA 21 (1992). Strengthening the role of farmers. *The United Nations programme of action from Rio*, 32, 243. United Nations, New York.
- CAPORALI F., NANNIPIERI P. E PEDRAZZINI F. (1981). Nitrogen contents of streams draining an agricultural and a forested watershed in Central Italy. *J. Environ. Qual.*, 10, 72-76.
- CINI R. E PANTANI F. (1997). Qualità delle acque. Gestione di una risorsa vitale: l'acqua. *I Georgofili. Quaderni 1996* - III, pp.27-75.

- ROSSI PISA P. (1991). Idrologia e bilancio dell'azoto. *Quaderno n. 5*, pp.5-32. Federchimica, Assofertilizzanti.
- SEQUI P., coord. (1991). *Chimica del suolo*. Pàtron Ed., Bologna, 627 pp.
- SEQUI P. E INDIATI R. (1997). Minimizing surface and ground-water pollution from fertilizer application. In: D. Rosen et al. (Ed.), *Modern Agriculture and the Environment*, pp.147-158.
- UNESCO (1978). World water balance and water resources on the earth. USSR Committee for the International Hydrological Decade.
- SEQUI P., CIAVATTA C. E VITTORI ANTISARI L. (1991). Phosphate fertilizers and phosphorus loadings to river and seawater. *Agrochimica 35*, 200-211.
-



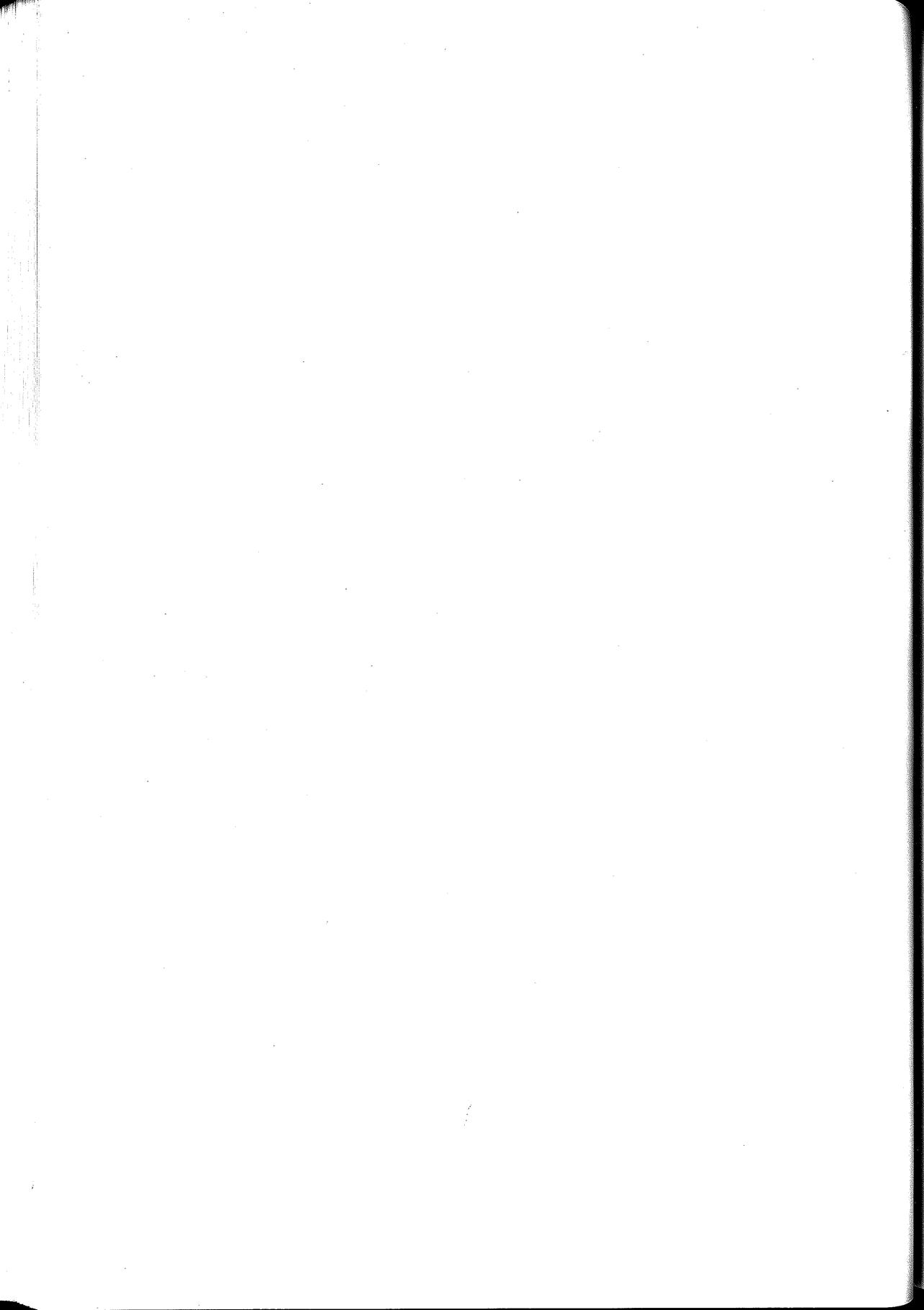


**Società Italiana della
Scienza del Suolo**



**Ettore Majorana Foundation
and Centre for Scientific Culture**

L'emergenza suolo: le basi del problema



SALINITÀ E QUALITÀ DEL SUOLO

Carmelo Dazzi

Dipartimento ACEP, Agronomia, Coltivazioni Erbacee e Pedologia
Viale delle Scienze, - 90128 Palermo

1. Introduzione

L'essenza del pensiero di Empedocle di Agrigento, filosofo pre-socratico del V secolo a.C., è racchiusa nei seguenti versi (Gallavotti, 1975):

*quattro son le radici delle cose:
Zeus splendente, Era avvivatrice,
Aidoneo e Nesti che di lacrime
distilla la sorgente immortale.*

in termini più accessibili, ciò significa che sono quattro gli elementi primordiali della Natura: il fuoco (cioè l'energia), l'aria, il suolo e l'acqua. Gli ultimi tre in particolare, costituiscono la triade delle risorse naturali, dalla cui qualità dipende la vita sulla Terra.

L'aria di buona qualità è quella che ci consente di respirare senza alcun problema; l'acqua di buona qualità è quella che ci rinfresca e disseta; il suolo di buona qualità è.....!

Che cos'è un suolo di buona qualità?! Ma soprattutto, qual è il significato dell'espressione "qualità del suolo"?

Robert Pirsig, nel suo libro-cult "Lo zen e l'arte della manutenzione della motocicletta" (1974), scrive che "il mondo è composto da tre elementi: mente, materia e qualità", sostiene che "la qualità che può essere definita non è la qualità assoluta" e afferma che "il più immediato equivalente intellettuale della qualità pura è la reazione di un organismo al proprio ambiente".

Se definiamo il suolo come un "essere vivente" che nasce, cresce, si sviluppa e può anche morire (Fierotti, 1988), una espressione che ne definisca la qualità deve tenere conto della "reazione dell'organismo suolo all'ambiente" cioè a tutte quelle azioni che possono alterare l'equilibrio dinamico che lo lega ad esso.

Nell'ultimo decennio sono state proposte diverse definizioni di *qualità del suolo* (Tab. 1). La più recente, avanzata dalla Soil Science Society of America (SSSA, 1997), sulla scorta di quanto suggerito da Doran e Parkin (1994) considera la qualità del suolo come *“la capacità del suolo di funzionare entro i limiti dell'ecosistema per sostenere la produttività biologica, mantenere la qualità ambientale e promuovere la salute vegetale e animale”*.

Questa definizione non convince pienamente poiché spiega la qualità del suolo facendo ricorso al concetto di qualità dell'ambiente di cui il suolo, ovviamente, fa parte integrante.

Tabella 1. Tavola sinottica di alcune delle definizioni di qualità del suolo

Autore	Definizione di “Qualità del Suolo”
SSSA, 1987	Attributi intrinseci dei suoli che sono dedotti dalle caratteristiche del suolo o da osservazioni indirette (p. es. compatibilità, erodibilità e fertilità)
Power e Myers, 1989	L'abilità del suolo di sostenere la crescita delle colture che include fattori quali il grado di lavorabilità, l'aggregazione, il contenuto in materia organica, la profondità, la capacità di ritenzione idrica, la velocità di infiltrazione, i cambiamenti del pH, la capacità nutritiva, e così via.
NCR-59, 1991	La capacità di un suolo di funzionare in modo produttivo e sostenibile, mantenendo o incrementando, al contempo, le risorse di base, l'ambiente e la salute delle piante degli animali e dell'uomo.
Larson e Pierce, 1991	La capacità di un suolo di funzionare entro i limiti dell'ecosistema e di interagire positivamente con l'ambiente esterno a quell'ecosistema.
Parr et al., 1992	La capacità di un suolo di produrre colture sane e nutrienti in modo sostenibile, per lungo tempo e di incrementare la salute umana e animale, non deteriorando le risorse naturali di base o danneggiando l'ambiente.
Pierce e Larson, 1993	Adatto per l'uso
Doran e Parkin, 1994 SSSA, 1997	La capacità del suolo di funzionare entro i limiti dell'ecosistema per sostenere la produttività biologica, mantenere la qualità ambientale e promuovere la salute vegetale e animale

2. Le qualità del suolo

La difficoltà di definire in modo compiuto ed univoco la qualità del suolo, dipende dal fatto che, per un ecosistema così complesso e reattivo qual'è il suolo, non esiste un solo concetto di qualità ma, tanti, diversi concetti, che poggiano sulle differenti funzioni del suolo legate alla sua pedodiversità e che dipendono, sostanzialmente, dallo scopo per il quale occorre definirne la qualità. In questo senso, l'assioma di Pirsig sulla impossibilità di definire la qualità assoluta risulta indubbiamente valido e spiega per-

ché i tentativi di realizzare un approccio olistico per definire la qualità del suolo non hanno avuto successo (SSSA, 1994; SSSA, 1996). Questi tentativi sono stati inficiati anche dal fatto che i fattori fisici, chimici, idrologici, biologici, che intervengono nel condizionare la risposta dell'ecosistema suolo alle azioni esterne sono molteplici, interagiscono e, inoltre, variano nel tempo, nello spazio e in intensità.

Maggiore successo hanno avuto, in letteratura, gli studi che, di volta in volta, sono stati condotti per definire un particolare aspetto della qualità dei suoli e che poggiano su di un insieme discreto di indicatori (fisici, chimici, microbici, enzimatici, biologici, ecc.) scelti, caso per caso, per rispondere ai differenti aspetti della qualità del suolo. Nei confronti della salinità, la risposta del suolo e, quindi i suoi attributi di qualità, vanno considerati in relazione all'origine della salinità e, soprattutto, in relazione al tipo di sali presenti.

3. Origine della salinità del suolo.

I sali che, in virtù di fattori litologici, geomorfologici, climatici, idrologici e antropici, si accumulano nel suolo, provengono tutti, in ultima analisi, dai processi di alterazione della roccia. Sinteticamente, si possono distinguere quattro principali cicli di salinizzazione (Kovda et al., 1967; Mashali, 1989), sovente interdipendenti, nei quali un ruolo fondamentale è sempre svolto dall'acqua:

- cicli marini;
- cicli continentali;
- cicli artesiani;
- cicli antropici.

I cicli marini sono da ricondurre all'accumulo dei sali marini nelle aree adiacenti al mare (o ai laghi salini). In particolare nelle zone costiere si può determinare un arricchimento del suolo in sali solubili mediante:

- fenomeni di inondazione per effetto delle maree, con l'ingresso delle acque marine attraverso gli estuari e i fiumi, come accade nel deserto indiano del Raan, al confine fra India e Pakistan;
- fenomeni di intrusione delle acque marine nelle falde sotterranee, come accade in ampi tratti costieri dell'Italia meridionale ed insulare;
- fenomeni di deposizione di aerosol marino, che può essere trasportato dal vento anche per diversi chilometri e quindi depositato con le piog-

ge. Uno studio condotto in un'area costiera della Sicilia occidentale ove sono particolarmente diffuse le Terre Rosse, ha messo in evidenza un accumulo di Na^+ sul complesso di scambio decrescente, all'aumentare della distanza dalla costa, da valori di $16 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$, con ESP (Exchangeable Sodium Percentage) pari a 45, a valori di $4 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$, con ESP pari a 15 (Lupo, 1999).

I cicli continentali sono da ricondurre a processi di mobilitazione, ridistribuzione e accumulo di sali (cloruri, solfati, carbonati e bicarbonato di sodio) presenti in rocce saline sedimentarie. Tali processi sono condizionati dal clima (arido o semiarido), dal regime di umidità del suolo (aridico, xerico o ustico), dal suo drenaggio (insufficiente) e dalla fisiografia del paesaggio (fondovalle o conche con scarsa cadente). Se l'accumulo dei sali avviene in situ, il ciclo continentale è di tipo primario, se avviene a seguito di un trasporto, è di tipo secondario.

I cicli artesiani si verificano in zone di falde tettoniche ove le acque freatiche, risalendo verso la superficie mediante le falde acquifere, attraversano litotipi che le arricchiscono in sali. La successiva evaporazione dell'acqua dà origine a suoli salini come accade nella zona della Lorena (Francia).

I cicli antropici di salinizzazione sono da ricondurre ad una non corretta gestione del territorio da parte dell'uomo (ad esempio: irrigazione con acque improprie o errate tecniche di coltivazione).

Meno importanti, ma non per questo trascurabili, sono i fenomeni conseguenti alle attività vulcaniche, (fumarole ricche di HCl , SO_2 , e H_2S , o sorgenti termali a mineralizzazione clorurata o solfatica), o alle piogge che, nelle zone vicine agli apparati vulcanici attivi, si caricano di solfati e di zolfo.

4. I suoli salini

Tutti i suoli contengono naturalmente una miscela di sali più o meno solubili in acqua, e alcuni di questi sono essenziali per lo sviluppo vegetale (Francois e Maas, 1994). Quando i sali si accumulano nel suolo fino ad un livello tale da compromettere la germinazione dei semi e/o lo sviluppo vegetale e da determinare anche effetti indesiderati sull'ambiente, i suoli vengono definiti "salini" o "affetti da salinità".

Storicamente (Dudley, 1994) i suoli affetti da salinità sono stati distinti in suoli salini, suoli sodici e suoli salino-sodici. Questa distinzione è stata realizzata principalmente in base alla concentrazione totale di sali (misura della conducibilità elettrica) e alla percentuale di sodio sul complesso di

scambio (Tab. 2) ma, non si è considerato il fatto che gli effetti della salinità del suolo dipendono anche dalle altre sue proprietà, dalla dinamica dell'acqua e dalla fisiologia vegetale che, insieme, finiscono per condizionare gli aspetti legati alla qualità del suolo ed in definitiva dell'ambiente.

Si è preferito, quindi, abbandonare tale schema di classificazione, a dire il vero molto semplicistico, in favore di approcci maggiormente orientati verso i problemi della gestione, agricola ed ambientale (Dudley, 1994), anche se, ancora oggi, nella accezione comune, un suolo che contiene una quantità eccessiva di sali, viene genericamente definito "salino" o "affetto da salinità", senza alcun riguardo alla natura specifica dei sali o ai problemi legati alla loro eccessiva presenza.

Tabella 2. Principali parametri di distinzione dei suoli affetti da salinità secondo la classica suddivisione in suoli "salini", "sodici" e "salino-sodici"

Tipi di suolo	CE (dS m ⁻¹)	ESP	pH
Suoli salini	> 4	< 15	8,0 - 8,5
Suoli sodici	< 4	> 15	> 8,5
Suoli salino-sodici	> 4	>15	> 8,5

CE = conducibilità elettrica; ESP = percentuale di sodio di scambio.

Facendo riferimento ai più recenti lavori presenti in letteratura (Driessen e Dudal, 1991; Szabolks, 1996; Sumner e Naidu, 1998; Dazzi, 1999; Fierotti *et al.*, 1999; Sumner, 2000) ma principalmente sulla base della Legenda della Carta dei Suoli del Mondo della FAO (FAO-UNESCO, 1974), così come ampliata nella Revised Legend (FAO-UNESCO, 1988) e, successivamente, nel World Reference Base (IUSS-ISRIC, 1998), nel novero dei suoli salini sono da considerare i Solonchaks, i Solonetz e i Gypsisols ¹.

Va da sé, che i diversi gruppi di suoli salini hanno un'unica proprietà in comune, cioè un elevato contenuto di elettrolita ma, presentano parametri della qualità fisica, chimica, idrologica e biologica sostanzialmente diversi.

4.1. I Solonchaks

I Solonchaks si rinvencono prevalentemente negli ambienti a clima arido e semiarido e costituiscono la gran parte dei suoli "salini" del mondo. La loro salinità è legata ad un accumulo di sali più solubili del gesso che dà origine ad un orizzonte definito "salico" che, nei principali sistemi tassonomici (FAO-UNESCO, 1988; AFES, 1995; IUSS-ISRIC, 1998; USDA-NRSC, 1999) e nei glossari di scienza del suolo (SSSA, 1997), vie-

ne definito facendo ricorso sostanzialmente agli stessi parametri ma, valutati in modo diverso (Tab. 3).

Al di là delle differenze nell'attribuzione dei valori ai parametri che consentono la definizione dell'orizzonte salico, ciò che maggiormente risalta è il fatto che il valore proposto dalla scuola di Riverside (Richards, 1954), della conducibilità elettrica misurata sulla pasta satura superiore a 4 dS m^{-1} , quale limite di separazione fra i suoli salini e i suoli non salini, non viene più considerato.

Tabella 3. Definizioni sintetiche dell'orizzonte salico

Sistema di riferimento	Definizione
Soil Taxonomy USDA-NRSC, 1999	Orizzonte di accumulo di sali più solubili in acqua fredda del gesso; è spesso almeno 15 cm, e ha, per 90 giorni consecutivi, in anni normali, una conducibilità elettrica (EC) dell'estratto saturo almeno di 30 dS m^{-1} ; il prodotto dello spessore in cm per la conducibilità (in dS m^{-1}) deve essere almeno pari a 900.
Rev. Legend FAO-UNESCO 1988 (proprietà saliche)	Conducibilità elettrica dell'estratto saturo nei primi 30 cm $>15 \text{ dS m}^{-1}$ per qualche periodo dell'anno oppure $> 4 \text{ dS m}^{-1}$ se il pH (H_2O 1:1) $> 8,5$.
World Reference Base IUSS-ISRIC, 1998	Orizzonte, di superficie o sottosuperficiale, con un arricchimento secondario in sali prontamente solubili (cioè più solubili del gesso); deve mostrare per tutto il suo spessore: una conducibilità elettrica (EC) dell'estratto saturo maggiore di 15 dS m^{-1} a 25°C in qualche periodo dell'anno, oppure, una EC maggiore di 8 dS m^{-1} a 25°C se il pH (in H_2O) dell'estratto saturo è maggiore di 8,5 (per suoli alcalini ricchi in carbonati) o minore di 3,5 (per suoli acidi ricchi in solfati); almeno l'1% di sali; il prodotto dello spessore in cm per la percentuale di sali almeno pari a 60, e lo spessore deve essere almeno di 15 cm.
Glossary of Soil Science Terms SSSA, 1997	Orizzonte minerale arricchito di sali secondari più solubili in acqua fredda del gesso; è spesso 15 cm o più, contiene almeno 20 g kg^{-1} di sali e il prodotto dello spessore in cm per la quantità dei sali in g kg^{-1} è > 600
Référentiel Pédologique AFES, 1995	Orizzonte caratterizzato da un accumulo marcato di sali più solubili del gesso: se arricchito in cloruri e/o solfati o nitrati, il valore misurato sull'estratto saturo del pH è $< 8,5$ e della EC, in un momento dell'anno, è $\geq 15 \text{ dS m}^{-1}$; se arricchito in carbonati e bicarbonati, il valore misurato sull'estratto saturo del pH è $> 8,5$ e della EC, in un momento dell'anno, è $\geq 8 \text{ dS m}^{-1}$

I suoli con orizzonte salico sono presenti in sei dei dodici Ordini previsti dalla Soil Taxonomy (USDA-NRCS, 1999), in ambienti con clima molto diverso (Tab. 4) e mostrano un profilo del tipo A-C ma, più spesso A-B-C. Sono caratterizzati dalla presenza, in soluzione acquosa, di sali solubili neutri (cloruri, solfati, bicarbonati, carbonati di sodio, di potassio, di magnesio e di calcio), distribuiti lungo tutto il profilo o in superficie, ove formano efflorescenze di colore bianco, chiazze di nero se vi sono sali di magnesio.

Tabella 4. I suoli con orizzonte salico sono presenti in sei Ordini, sui dodici previsti dalla Soil Taxonomy (USDA-NRCS, 1999)

ALFISUOLI	ARIDISUOLI	GELISUOLI
Salidic Natrustalfs	Salids	Salic Anhyturbels
	Salicryids	Salic Aquortels
		Salic Anhyorthels

SEGUE TABELLA 4

INCEPTISUOLI	MOLLISUOLI	VERTISUOLI
Salidic Sulfaquepts	Salidic Calciustolls Salidic Haplustolls	Salaquerts Salitorrerts Salusterts

La presenza relativa di alcuni sali rispetto ad altri, consente di differenziare i Solonchaks in (ISSS Working Group RB, 1998b):

- Solonchaks dominati dal calcio in cui il rapporto $Ca+Mg/Na+K$ è compreso fra 1 e 4 e con un rapporto $Ca/Mg \geq 1$. In questi la struttura rimane stabile anche dopo una azione di desalinizzazione;

- Solonchaks dominati dal sodio in cui il rapporto $Ca+Mg/Na+K$ nella soluzione del suolo è < 1 . Se desalinizzati subiscono una forte alcalizzazione con deterioramento della struttura;

- Solonchaks dominati dal magnesio in cui il rapporto $Ca+Mg/Na+K$ è > 1 , il rapporto Ca/Mg è ≤ 1 e il rapporto $Na/Mg < 1$. Se desalinizzati, l'idrolisi dei sali di magnesio determina una forte alcalizzazione e una certa degradazione della struttura.

Ne consegue che i parametri della qualità fisica, chimica, idrologica e biologica di questi suoli, dipendono non solo dalla quantità di sali presenti ma, anche dal tipo.

In generale, comunque, i Solonchaks allo stato asciutto mostrano una struttura molto evidente e ben espressa ma che può prontamente collassare per effetto delle piogge o delle acque irrigue, soprattutto se, come sottolineato, i sali presenti sono in prevalenza composti del sodio e/o del magnesio. La forte peptizzazione delle argille, può rendere questi suoli virtualmente impermeabili. Nei casi estremi si può arrivare alla formazione di un orizzonte sottosuperficiale, denso e con caratteristiche fisiche oltremodo sfavorevoli (Szabolks, 1989; Driessen e Dudal, 1991).

L'attività della pedofauna viene notevolmente depressa nella gran parte dei Solonchaks e, cessa del tutto, quando la concentrazione salina supera la soglia del 3% (Szabolks, 1994).

Anche la vegetazione viene ovviamente influenzata e, soprattutto ove i contenuti salini sono molto elevati, la eventuale prevalenza di uno ione specifico, nella soluzione del suolo, determina uno scompenso della disponibilità per le piante di altri elementi nutritivi. I maggiori problemi, tuttavia, derivano dalla impossibilità per la pianta di compensare la notevole pressione osmotica che ostacola il rifornimento idrico così che, in pratica, in questi suoli la salinità determina una aridità fisiologica che contribuisce ad abbassarne la qualità.

Solo dopo avere allontanato i sali con una incisiva azione di lisciviazione i Solonchaks possono essere utilizzati per le normali pratiche agricole e possono fornire buone produzioni ma, è chiaro che a seguito di tale azione di bonifica un Solonchaks cessa di essere tale (Driessen e Dudal, 1991).

4.2. I Solonetz

I Solonetz sono presenti in tutte le regioni climatiche del mondo e, anche se sono fortemente alcalini, possono presentare livelli di salinità inferiori ai Solonchaks. Si formano sotto l'azione di sali di sodio capaci di provocare idrolisi alcalina (NaHCO_3 ; Na_2CO_3 ; Na_2SiO_3) e di originare argille sodiche. La loro salinità è legata, infatti, ad un accumulo di sodio sul complesso di scambio in proporzione notevole, con formazione di un orizzonte che, nei principali sistemi tassonomici (FAO-UNESCO, 1988; AFES, 1995; IUSS-ISRIC, 1998; USDA-NRSC, 1999) e nei glossari di scienza del suolo (SSSA, 1997), viene definito facendo ricorso quasi agli stessi parametri, valutati in modo sostanzialmente simile (Tab. 5).

Tabella 5. Definizioni sintetiche dell'orizzonte natrico

Sistema di riferimento	Definizione
Soil Taxonomy USDA-NRSC, 1999	L'orizzonte natrico ha, oltre le proprietà dell'orizzonte argillico: struttura a colonne, o prismi, in alcune parti (generalmente nella parte superiore) che possono rompersi a blocchi; un ESP ≥ 15 , o un SAR ≥ 13 nei suoi primi 40 cm; (magnesio sc. + sodio sc.) > (calcio sc. + acidità sc.) a pH 8,2 in uno o più orizzonti nei suoi primi 40 cm.
Rev. Legend FAO-UNESCO 1988	L'orizzonte natrico ha, oltre le proprietà dell'orizzonte argillico: struttura a colonne, o prismi, in alcune parti dell'orizzonte B; un ESP ≥ 15 nei suoi primi 40 cm; (magnesio sc. + sodio sc.) > (calcio sc. + acidità sc.) a pH 8,2 nei suoi primi 40 cm.
World Reference Base IUSS-ISRIC, 1998	Orizzonte sottosuperficiale corrispondente alla definizione di orizzonte argillico, con struttura prismatica o colonnare; ESP > 15, con (magnesio sc. + sodio sc.) > (calcio sc. + acidità sc.); spessore di almeno un decimo della somma degli orizzonti soprastanti e almeno di 7,5 cm;
Glossary of Soil Science Terms SSSA 1997	Orizzonte minerale corrispondente alla definizione di orizzonte argillico, che mostra struttura prismatica, colonnare, o massiva, e un sotto-orizzonte che ha più del 15 % di saturazione in Na^+ sul complesso di scambio.
Référentiel Pédologique AFES, 1995	Orizzonte caratterizzato da una struttura degradata e compatta determinata da un tenore in sodio di scambio almeno del 15% o anche minore in rapporto alla natura delle argille presenti.

Nel caso dell'orizzonte natrico, esiste in letteratura un generale accordo nel definirlo in base al valore dell'ESP superiore a 15 e della sua caratteristica struttura colonnare che mostra la parte superiore tipicamente arrotondata, come risultato della peptizzazione e distruzione delle argille.

L'effetto del sodio di scambio nell'inibire la macro-aggregazione, dipende dall'indebolimento dei legami (covalenti) fra la frazione organi-

ca e la frazione minerale del suolo e/o dall'incremento delle forze di idratazione che, durante una fase di inumidimento, può causare repulsione delle particelle (Sumner e Naidu, 1999). Tale processo è limitato alla parte superiore dell'orizzonte B poiché le acque di percolazione ristagnano in questo denso strato illuviale, di conseguenza, il profilo dei Solonetz è, in generale, del tipo A-Bn-C (Driessen e Dudal, 1991).

I suoli con orizzonte natrico sono presenti in sette dei dodici Ordini previsti dalla Soil Taxonomy (USDA-NRCS, 1999), in ambienti con clima anche molto diverso (Tab. 6).

Tabella 6. I suoli con orizzonte natrico sono presenti in sette Ordini, sui dodici previsti dalla Soil Taxonomy (USDA-NRCS, 1999)

ALFISUOLI	ARIDISUOLI	ENTISUOLI	GELISUOLI
Natraqualfs	Natrigypsid	Sodic Psammaquents	Natric Argiorhels
Natrustafs	Natridurids	Sodic Endoaquents	
Natrixeralfs	Natrargids	Sodic Xerarents	
Natrudalfs	Natric Argicryids	Sodic Torriarents	
Natric Vermaqualfs	Natric Petroargids	Sodic Hydraquents	
Natric Durixeralfs	Natric Petrocalcids		
Natric Haploxeralfs	Sodic Haplocambids		
Natric Palixeralfs	Sodic Petrocambids		
	Sodic Haplogypsid		
	Sodic Haplocalcids		
	Sodic Aquicambids		
INCEPTISUOLI	MOLLISUOLI	VERTISUOLI	
Sodic Vermaquepts	Natraquolls	Natraquerts	
Sodic Calcixerpts	Natralbolls	Sodic Epiaquerts	
	Natricryolls	Sodic Endoaquerts	
	Natrixerolls	Sodic Haplotorrerts	
	Natrustolls	Sodic Humicryerts	
	Natrudolls	Sodic Haplocryerts	
	Natric Duraquolls	Sodic Durixererts	
	Natric Durustolls	Sodic Salusterts	
		Sodic Gypsiusterts	
		Sodic Haploxererts	
		Sodic Calciusterts	
		Sodic Haplusterts	

La presenza di un orizzonte natrico condiziona fortemente i parametri di qualità dei Solonetz: ostacola la penetrazione delle radici, determina fenomeni di ristagno idrico superficiale, la cui intensità e durata sono funzione diretta del suo contenuto in argilla. Anche l'assorbimento radicale viene influenzato negativamente, poiché l'elevato contenuto di sodio sul complesso di scambio determina uno squilibrio della concentrazione ionica

della soluzione circolante e può anche risultare direttamente dannoso per alcune piante. Si ritiene infatti che le colture cosiddette "sensibili" soffrano direttamente i sintomi di tossicità da sodio mentre alle colture considerate "tolleranti", i problemi deriverebbero dalle sfavorevoli condizioni fisiche dovute alla scarsa strutturalità del suolo, indotta dall'elevato valore dell'ESP.

4.3. I Gypsisols

I Gypsisols si rinvencono con maggiore frequenza negli ambienti a clima arido ma, possono essere presenti anche nelle aree a clima mediterraneo (Dazzi e Monteleone, 2001; Dazzi, 2002). Sebbene mostrino una certa potenzialità agronomica sia per l'agricoltura in asciutto che per quella in irriguo e siano presenti in aree di antica tradizione agricola, studi sui "suoli gessosi" sono poco frequenti anche nella letteratura internazionale (Abrol et. al., 1988; Boyadgiev e Verheye, 1996).

La loro salinità è legata all'accumulo di gesso (solfato di calcio idrato: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), in quantità tale da dare origine ad un orizzonte che, nei principali sistemi tassonomici (FAO-UNESCO, 1988; AFES, 1995; IUSS-ISRIC, 1998; USDA-NRSC, 1999) e nei glossari di scienza del suolo (SSSA, 1997), viene definito "gypsic" (Tab. 7) e che determina il loro inserimento in cinque, dei dodici Ordini previsti dalla Soil Taxonomy (USDA-NRCS, 1999) (Tab. 8).

Tabella 7. Definizioni sintetiche dell'orizzonte gypsic

Sistema di riferimento	Definizione
Soil Taxonomy USDA-NRSC, 1999	Orizzonte illuviale in cui si è accumulato gesso secondario in modo significativo; è spesso almeno 15 cm, non è cementato (→ petrogypsic); ha più del 5 % di gesso con almeno l'1% o più di gesso secondario; il prodotto dello spessore per il contenuto in gesso è di 150 o più.
Rev. Legend FAO-UNESCO 1988	Orizzonte arricchito con solfato di calcio secondario, spesso almeno 15 cm, con almeno il 5% di gesso in più rispetto all'orizzonte C e in cui il prodotto dello spessore (cm) per il contenuto in gesso (%) è di 150 o più.
World Reference Base IUSS-ISRIC, 1998	Orizzonte non cementato, contenente accumuli secondari di gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) in varie forme. Deve avere: il 15% o più di gesso; uno spessore di almeno 15 centimetri.
Glossary of Soil Science Terms SSSA 1997	Orizzonte minerale di arricchimento in CaSO_4 secondario, spesso più di 15 cm, che contiene almeno 50 g Kg^{-1} di gesso in più rispetto all'orizzonte C e in cui il prodotto dello spessore in cm per la quantità di CaSO_4 è eguale o maggiore di 1500 g kg^{-1} .
Référentiel Pédologique AFES, 1995	Orizzonte con tenore in gesso compreso fra il 25 e il 95% (se in superficie) o fra il 15 e il 60% (se in profondità) e contenente cristalli di gesso secondario; struttura massiva; conducibilità $>2 \text{ mS cm}^{-1}$.

Tabella 8. I suoli con orizzonte gypsicico sono presenti in cinque Ordini, sui dodici previsti dalla Soil Taxonomy (USDA-NRCS, 1999)

ARIDISUOLI	GELISUOLI	INCEPTISUOLI	MOLLISUOLI	VERTISUOLI
Gypsid	Gypsic Anhyturbels	Gypsic Calciustepts	Gypsic Calciustolls	Gypsitorrerts
Gypsiargids	Petrogypsic Anhyturbels	Gypsic Haploxerepts		Gypsiusterts
Gypsicryids	Gypsic Anhyorthels	Gypsic Haplustepts		Gypsic Haplusterts
Natrigypsid	Petrogypsic			
Gypsid	Anhyorthels			
Aquisalids				
Gypsid				
Haplosalids				
Petrogypsic				
Petrocryids				
Petrogypsic				
Petroargids				

L'orizzonte "gypsicico", che, *lato sensu* è un orizzonte del suolo con accumulo di solfato di calcio, viene definito facendo ricorso a valori sostanzialmente dissimili dalla FAO-UNESCO (1988) dal SSSA (1997), dall'AFES, 1995, dal WRB (1998) e dall'USDA-NRSC (1999). Al di là di queste differenze che attengono gli aspetti della tassonomia dei suoli, ma che, finiscono col generare perplessità e confusione nei "non addetti ai lavori", rimangono gli aspetti pratico/applicativi legati agli effetti del gesso presente nel suolo.

La presenza di gesso che, anche nelle regioni a clima mediterraneo-caldo, durante la stagione asciutta cristallizza dando origine alle cosiddette "rose del deserto", si riflette sui principali parametri della qualità fisica, chimica ed idrologica del suolo e ne condiziona, talora anche profondamente, le modalità di gestione. Determinando dispersione delle particelle costituenti la terra fine, inficia la procedura standard di determinazione della composizione granulometrica del suolo (Abrol *et. al.*, 1988). Occorre, di conseguenza, effettuare la determinazione della tessitura dopo avere eliminato il gesso presente ma ciò, potrebbe non riflettere più le condizioni di pieno campo. Peraltro, anche la stima della tessitura effettuata in campo mediante il metodo suggerito da Shaw (USDA, 1975), non è esente da imprecisione, per effetto della presenza di cristalli di gesso nella frazione sabbiosa.

Anche la struttura del suolo ne risente (Abrol *et. al.*, 1988). Come è stato osservato, nei suoli argillosi o fortemente tali, limitate quantità di gesso, ben distribuito nella massa terrosa, finiscono per avere un effetto positivo sulla struttura e sulla ritenzione idrica (Herrero Isern, 1991).

L'inverso accade invece quando il gesso supera certi valori critici che, dai dati riportati in letteratura (Abrol et. al., 1988), possono essere fissati intorno al 10%. La presenza di cristalli di gesso, rompendo la continuità della massa del suolo, fa sì che gli aggregati strutturali siano debolmente espressi anche perché, le forze di coesione fra le singole particelle minerali del suolo e le particelle di gesso sono debolissime. Il gesso infatti, ma anche le particelle minerali rivestite con gesso secondario, non presenta attività di scambio; di conseguenza esiste una relazione fra contenuto in gesso e capacità di scambio cationico (CSC), nel senso che all'aumentare del contenuto in gesso diminuisce la CSC.

Le interazioni acqua-suolo costituiscono un importante aspetto della gestione in irriguo dei suoli con gesso. Tipica è una marcata irregolarità della distribuzione del contenuto idrico. Anche l'acqua utile non risulta totalmente disponibile nei suoli con gesso e, in effetti, nelle misure del pF, la presenza di gesso interferisce con la determinazione delle curve di ritenzione idrica, poiché una parte dell'acqua di saturazione viene utilizzata per modificare la forma anidra (CaSO_4) in quella idrata ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

5. Diffusione dei suoli affetti da salinità naturale

Quanto è ampio attualmente il problema rappresentato dalla presenza dei Solonchaks, dei Solonetz e dei Gypsisols, suoli naturalmente salini?

Le diverse stime riportate in letteratura forniscono dati anche molto discordanti, e quasi sempre, sono limitate o ai soli suoli "salini" e "alcalini" oppure riportano dati riferiti a suoli definiti genericamente "affetti da salinità" (Mashali, 1989; Szabolcs 1989; Chhabra, 1996). In qualche caso (Boyadgiev e Verheye, 1996; Driessen e Dudal, 1991) sono riportati dati sulla diffusione areale dei Gypsisols.

Per ciò che concerne i Solonchaks e i Solonetz, una stima (che non tiene ovviamente conto delle differenze quantitative nelle definizioni che nei diversi sistemi tassonomici hanno i rispettivi orizzonti diagnostici), è stata ottenuta (Bui et al., 1998), sulla base dei valori di diffusione areale che emergono dalla versione in CD-ROM della Carta dei Suoli del Mondo (FAO, 1995), che non considera né i Gypsisols né i cosiddetti materiali "gypsiferous". Questi dati (diffusione areale dei Solonchaks, dei Solonetz e dei suoli con fase "saline", e con fase "sodic"), sono riportati nelle Tabelle 9 e 10.

Tabella 9. Area totale di diffusione, in ettari, dei Solonchaks e dei Solonetz (Bui *et al.*, 1998)

Grande Gruppo	Solonchaks	Solonetz	Totale
Orthic	180.906.000	161.445.000	342.351.000
Mollic	9.895.000	37.253.000	47.148.000
Takyrlic	15.267.000	0	15.267.000
Gleyic	45.259.000	11.518.000	56.777.000
TOTALE	251.327.000	210.216.000	461.543.000

Tabella 10. Area totale, in ettari, sottesa dai suoli (Gruppi FAO) con fase "saline" e con fase "sodic" (Bui *et al.*, 1998)

Gruppi FAO	Con fase "saline"	Con fase "sodic"
Fluvisols	16.800.000	2.940.000
Gleysols	26.520.000	1.640.000
Regosols	845.000	165.000
Lithosols	10.805.000	0
Andosols	40.000	0
Vertisols	555.000	5.580.000
Solonchaks	-	4.095.000
Solonetz	9.295.000	-
Yermosols	19.260.000	2.760.000
Xerosols	29.080.000	17.560.000
Kastanozems	16.825.000	77.115.000
Chernozems	1.015.000	7.220.000
Phaeozems	620.000	1.045.000
Cambisols	4.995.000	350.000
Luvissols	80.000.000	13.740.000
Planosols	5.310.000	80.000
Histosols	2.385.000	0
TOTALE	144.430.000	134.290.000

Questi valori, basati sulla composizione completa di ciascuna unità cartografica, conducono ad un significativo incremento nelle stime areali dei Solonchaks (Fig. 1), e quasi ad un raddoppio della stima totale dei Solonetz (Fig. 2) nei confronti di stime precedenti pari a 187 milioni di ettari per i Solonchaks ed a 135 milioni di ettari per i Solonetz (FAO, 1991) ma, sono ben lontane dai dati forniti da Szabolcs (1989) rispettivamente di 351,5 e di 581 milioni di ettari (Tab. 11).

Tabella 11 Distribuzione, in milioni di ettari, dei suoli affetti da salinità (da Szabolcs, 1989).

Continente	Suoli salini	Suoli sodici	Totale
America del nord	6,2	9,6	15,8
America centrale	2,0	--	2,0
America del sud	69,4	59,6	129,0
Africa	53,5	27,0	80,5
Asia del sud	83,3	1,8	85,1
Asia del Nord e centrale	91,6	120,1	211,7
Asia del Sud-Est	20,0	--	20,0
Oceania	17,4	340,0	357,4
Europa	7,8	22,9	30,7
TOTALE	351,5	581,0	932,2



Figura 1 Superfici interessate dalla presenza di Solonchaks. In nero le aree in cui sono prevalenti, in grigio le aree in cui sono associati ad altri suoli (rielaborazione da: FAO, 1995; ISSS Working Group RB, 1998a)

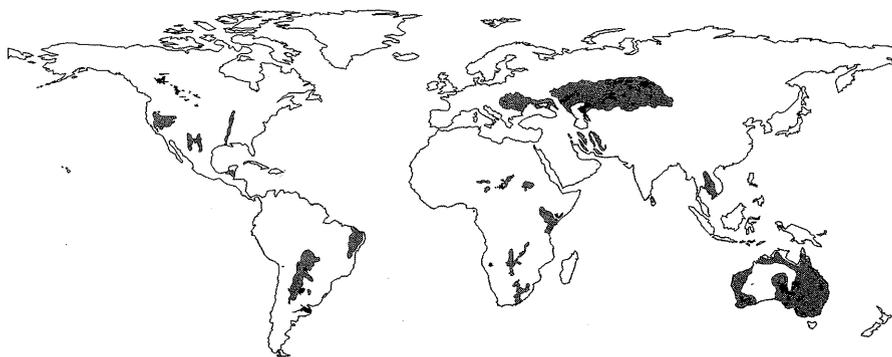


Figura 2 Superfici interessate dalla presenza di Solonetz. In nero le aree in cui sono prevalenti, in grigio le aree in cui sono associati ad altri suoli (rielaborazione da: FAO, 1995; ISSS Working Group RB, 1998a)

Per ciò che concerne i Gypsisols, stime recenti (Boyadgiev e Verheye, 1996), basate anche sul riconoscimento della presenza dell'orizzonte gypico in virtù della sua mutata definizione (USDA- NRCS, 1999), pure in ambienti a pedoclima xerico (Boyadgiev, dati non pubblicati; Dazzi e Monteleone, 2001), fanno ritenere che insistano su di un'area superiore a 100 milioni di ettari risultando prevalentemente concentrati nell'Africa centro-settentrionale, nel Medio Oriente e nell'Asia centro-settentrionale (Fig. 3).



Figura 3. Superfici interessate dalla presenza di Gypsisols. In nero le aree in cui sono prevalenti, in grigio le aree in cui sono associati ad altri suoli (rielaborazione da: Boyadgiev e Verheye, 1996; ISSS Working Group RB, 1998a)

6. La salinizzazione secondaria dei suoli indotta dall'attività antropica

Fra le emergenze ambientali direttamente legate alla salinità del suolo, assumono un rilievo particolare, per via della loro pericolosità, i processi di salinizzazione secondaria dei suoli indotti dall'attività antropica, che hanno una importanza sia scientifica che pratica, che cresce di anno in anno. In quest'ottica occorre tenere conto anche dei suoli potenzialmente salini, cioè dei suoli che non lo sono attualmente, ma che potrebbero ragionevolmente salinizzarsi (o sodicizzarsi) non solo a seguito dello sviluppo dell'irrigazione ma, anche di altre attività antropiche (p.es. deforestazione, sovrappascolamento).

Al momento non vi sono dati disponibili sulla diffusione complessiva dei suoli potenzialmente affetti da salinità ma, si ritiene che l'area da essi coperta sia maggiore di quella occupata dai suoli salini per via pedogenetica (Szabolcs, 1994).

I suoli affetti da salinità secondaria possono essere suddivisi in:

- affetti da salinità secondaria per irrigazione;
- affetti da salinità secondaria per attività antropiche diverse dall'irrigazione.

6.1. Suoli affetti da salinità secondaria a causa dell'irrigazione

I processi di salinizzazione secondaria dei suoli indotti dall'irrigazione non sono nuovi nella storia del mondo. Il declino della civiltà mesopotamica (4-5.000 a.C.) viene attribuito dagli storici, anche alla salinizzazione dei suoli conseguente allo sviluppo della pratica irrigua. Il declino di civiltà più recenti, come quella india della bassa valle del Viru in Perù, o della civiltà Harappa delle pianure dell'Indo, in India e Pakistan o degli Indiani Hohokam della valle del Salt River in Arizona, sono da attribuire anche a processi di salinizzazione secondaria del suolo (Tanji, 1990).

Nonostante le esperienze negative, la salinizzazione delle aree irrigue, e talora anche di quelle circostanti, non diminuisce ma, al contrario, aumenta (Szabolcs, 1994). Secondo stime della FAO non recentissime (1971), ogni anno 10 milioni di ettari di territori irrigui vengono abbandonati a causa degli effetti negativi causati da processi di salinizzazione e/o alcalizzazione secondaria dovuti alla pratica irrigua.

Gli effetti sfavorevoli che si determinano sull'ecosistema suolo, non sono uniformemente distribuiti nelle aree irrigue del mondo: in alcuni Paesi sono relativamente insignificanti, in altri assumono proporzioni inimmaginabili come ad esempio in Pakistan ove su 16 milioni di ettari irrigui, le aree salinizzate ammontano a circa 2,4 milioni di ettari o come in tutte le aree irrigue alluvionali del Perù ove i caratteri di salinizzazione ed alcalizzazione secondaria sono molto pronunciati.

Almeno in 75 Paesi del mondo vi sono gravi problemi di salinizzazione secondaria dei suoli (Goudie, 1990) e nulla fa presagire che nel futuro la situazione migliori. Stime proiettate al 2020 sullo sviluppo dell'irrigazione e della conseguente salinizzazione secondaria (Szabolcs, 1998) indicano non solo che gli andamenti nell'incremento delle aree irrigue e delle aree salinizzate sono quasi paralleli, ma anche, che i territori con salinizzazione secondaria sono più estesi dei territori irrigui. Ciò avviene sia perché nei primi sono compresi pure i territori affetti da vecchi processi di salinizzazione, sia perché la salinizzazione secondaria influenza, in genere, una superficie maggiore rispetto a quella irrigua (Szabolcs, 1998).

Particolarmente soggetti ai problemi della salinizzazione secondaria, sono i suoli dei Paesi che si affacciano sul bacino del Mediterraneo, in particolare laddove il clima è tendenzialmente caldo-arido. In questi ambienti, infatti, il ricorso all'irrigazione consente di ridurre i rischi legati ai deficit di umidità e di stabilizzare le produzioni e, fatto oltremodo positivo, di ampliare la gamma di scelta delle coltivazioni.

Negli ultimi 25 anni le aree irrigue nei Paesi del bacino del Mediterraneo hanno subito un incremento stimato intorno al 20 % (Pla Sentis, 1996). Queste sono di solito localizzate in prossimità di zone ad alta concentrazione urbana ed industriale, ove si consuma gran parte dell'acqua di buona qualità. Ne consegue che, per scopi irrigui, si ricorre ad acque di scarsa qualità (principalmente saline), di reflui urbani o di effluenti industriali. A ciò si aggiunge il sovrasfruttamento delle falde lungo le pianure costiere, che conduce frequentemente ad intrusione nell'acquifero di acque marine ed anche l'eccessivo ricorso a fertilizzanti e pesticidi che, usati in grande quantità nell'agricoltura irrigua, possono contaminare le acque superficiali o di falda impiegate per scopi agricoli (e anche civili).

Questi problemi sono destinati ad aggravarsi per effetto dei cambiamenti climatici globali previsti per il prossimo futuro (Barrow, 1993). Si specula, che nell'Europa mediterranea tali cambiamenti dovrebbero condurre ad un incremento dell'indice di aridità che, influenzando il regime di umidità ed il bilancio salino dei suoli, finirebbero col determinare una minore lisciviazione ed una maggiore salinizzazione, fino a raddoppiare, nei prossimi 40 anni, le aree affette da salinità.

In Italia la situazione non si presenta rosea e ciò è particolarmente vero nelle aree centro-meridionali ed insulari. Anche se nel nostro Paese, ancora oggi non è disponibile una cartografia di dettaglio che dia conto delle caratteristiche e della distribuzione dei suoli salini, una recente indagine conoscitiva (Fierotti, 1999) ha messo in evidenza come questi risultati prevalentemente distribuiti nella bassa padana, in lunghi tratti del litorale tirrenico e adriatico, nella fascia costiera della Puglia, della Basilicata e della Sardegna e in ampi tratti della Sicilia (Fig. 4).

Probabilmente, è in Sicilia che il problema della salinizzazione secondaria dei suoli per irrigazione è maggiormente acuto e ciò è da mettere in relazione non solo alla natura dei suoli presenti ma anche alla qualità delle acque disponibili per l'irrigazione. Uno studio condotto recentemente (Fierotti *et al.*, 1998) allo scopo di monitorare la qualità delle acque di 16 serbatoi artificiali (7 dislocati nella Sicilia occidentale, 5 nella Sicilia centro-meridionale e 4 nella Sicilia orientale) ha permesso di accertare come que-

ste, evidenzino valori più o meno elevati di salinità, anche in un periodo insolitamente piovoso quale quello durante il quale è stata condotta la ricerca (giugno 1995 - giugno 1996).

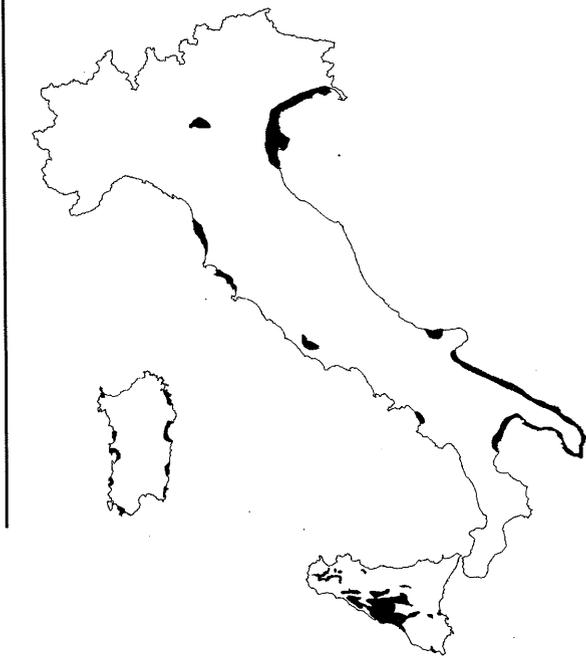


Figura 4. Distribuzione dei suoli "affetti da salinità" in Italia (rielaborazione da: Fierotti, 1999).

Nella Sicilia occidentale, destano preoccupazione le acque dei serbatoi Rubino, Zafferana e Trinità, (in provincia di Trapani), a causa degli elevati valori della conducibilità elettrica (EC) e di sodio (Na^+) e del rapporto di assorbimento corretto (adjRNa). Nella Sicilia centro-meridionale ed orientale, sono le acque dei serbatoi Gorgo e Furore (in provincia di Agrigento) e quelle del Don Sturzo (in provincia di Catania) che destano serie apprensioni per il divenire della qualità dei suoli, soprattutto se posti in relazione agli effetti deleteri del sodio di scambio sulle caratteristiche fisiche del

suolo che, in queste aree, presentano tessitura argillosa e struttura poliedrica o prismatica. Ove predominano le argille smectitiche, infatti, la struttura del suolo mostra gravi problemi di deterioramento già con acque che mostrano valori di adjRNa superiori a 9; laddove prevalgono le illiti e le vermiculiti la struttura si degrada con valori di adjRNa superiori a 16 mentre i suoli caolinici o ricchi in sesquiossidi cominciano a mostrare un deterioramento della struttura per valori di adjRNa superiori a 26. Ne consegue che il processo della sodicizzazione, anche in questi ambienti, è più grave di quello della salinizzazione. Spesso, tuttavia, le due forme di salinità coesistono.

Nei suoli irrigui della Sicilia (Fierotti, 1975) a tessitura franca o tendenzialmente tale, dove la circolazione e il libero drenaggio dell'acqua è più o meno buono, il pericolo di salinizzazione è ridotto e, molto spesso, sono sufficienti le poche piogge invernali per assicurare una buona lisciviazione dei sali in eccesso (Fierotti *et al.*, 1999).

Diverso è il caso dei Vertic Xerofluvents e dei Typic Haploxererts, suoli argillosi e con drenaggio molto lento, che sono di più difficile governo per l'acqua (Wagenet, 1984). Questi suoli, frequenti in tutte le aree irrigue della Sicilia, dovrebbero essere esclusi dall'irrigazione, a maggior ragione se le acque sono di bassa qualità. Tuttavia, in determinati ambienti, come il siciliano, dove buona parte dei suoli delle pianure e della bassa collina interna sono costituiti proprio da questi pedotipi, la loro destinazione all'irrigazione è quasi un fatto inevitabile. Per essi, più che per altri suoli, è necessario tenere conto dei limiti posti dalla bassa permeabilità, dall'elevata capacità di ritenzione idrica, dalla degradabilità della struttura, dal tipo di profilo del suolo, tutti fattori che, singolarmente o in sinergia, creano un ambiente poco idoneo al normale sviluppo delle piante (Bresler, 1981).

Attualmente in Sicilia, circa il 10% della superficie totale, cioè grossomodo 250.000 ettari, è interessata da suoli affetti da salinità (Dazzi e Fierotti, 1994). La loro distribuzione (Fig. 5), è dovuta in parte alla presenza della Serie Gessoso-Solfifera, in parte è indotta dall'irrigazione; i primi sono particolarmente presenti nelle province di Caltanissetta e di Agrigento, cioè nella zona centrale e meridionale dell'isola, gli altri si rinvengono prevalentemente nella fascia costiera meridionale dell'isola, ove la pratica irrigua continuata nel tempo ha determinato e determina, accumulo di sali solubili nel suolo. Sono da segnalare anche suoli affetti da salinità per cause naturali, legate alla presenza di substrati argillosi di origine marina.



Figura 5. Distribuzione dei suoli salini in Sicilia. In nero su substrati gessosi; in grigio su altri substrati o con salinità secondaria per irrigazione (rielaborazione da: Dazzi e Fierotti, 1994)

6.2. Suoli affetti da salinità secondaria a causa di altre attività umane non legate all'irrigazione

Gran parte dei processi di salinizzazione secondaria si sviluppano come risultato di impropri metodi di irrigazione ma, vi sono altre attività umane, meno diffuse e tuttavia altrettanto pericolose, che influenzano questo processo. Certamente non si tratta di azioni deliberate come quella che vide protagonisti i Romani circa 2.100 anni fa, i quali, dopo avere sconfitto i Cartaginesi ne ararono i campi e li cosparsero di sale per sterilirli (Hadas, 1965) ma, di attività, talora sottovalutate, che in alcune aree del mondo rivestono notevole importanza e che possono assumere livelli di pericolosità anche molto elevati.

Sono da citare (Szabolcs, 1998):

- il sovrasfruttamento delle falde (problema questo legato all'irrigazione) che soprattutto nelle aree costiere delle regioni a clima arido o semiarido determina, per protrusione verso l'interno della acque marine, una salinizzazione delle acque dei pozzi che, continuano ad essere impiegate a scopi irrigui, innescando in tal modo un meccanismo perverso di salinizzazione secondaria che nel tempo si autoalimenta;

- il sovrappascolamento, che determina un'alterazione del naturale bilancio e metabolismo dei composti presenti nella vegetazione naturale e nel suolo;

- deforestazione, che determina un mutamento nella dinamica dell'acqua nel paesaggio e, soprattutto negli ambienti a clima arido, può condurre ad un accumulo di sali nel suolo;

- la contaminazione chimica da massiccio impiego di fertilizzanti come è già stato osservato in Giappone.

7. Conclusioni

L'accademia Nazionale delle Scienze degli Stati Uniti d'America considera la salinizzazione del suolo come uno dei principali processi che contribuiscono alla catastrofe biologica mondiale (Francois e Maas, 1994). Questo processo, sia di origine naturale ma, con maggiore frequenza antropica, rappresenta un problema particolarmente acuto ed in continua crescita nelle regioni semiaride del bacino del Mediterraneo ed ha la tendenza ad aumentare sempre di più, in virtù della necessità di ricorrere all'irrigazione (Pla Sentis, 1996).

I problemi posti dai suoli salini per il loro miglioramento e riscatto all'agricoltura, sono quanto mai complessi e, nelle aree irrigue, divengono anche più complicati per il fatto che nelle relazioni acqua-suolo interagiscono due diverse espressioni di qualità: quella relativa all'acqua e quella relativa al suolo, che si influenzano a vicenda. Anche con acque saline, l'irrigazione determina una serie di mutamenti, che coinvolgono ad esempio il pedoclima, i possibili fenomeni erosivi, la struttura, la permeabilità, la possibile formazione di orizzonti diagnostici, e la cui intensità dipende da alcuni importanti parametri pedologici, che esprimono qualità del suolo, primi fra tutti (Fierotti *et al.*, 1999): tessitura, struttura, capacità di ritenzione idrica, condizioni di drenaggio, permeabilità.

Un metodo unico, sempre valido ed universalmente applicabile per il controllo della salinità non esiste. Di volta in volta, occorre ricorrere alla combinazione di diverse pratiche che devono integrarsi fra loro, ed essere scelte secondo i casi, tenendo sempre presente che le azioni volte alla prevenzione dei processi di salinizzazione devono avere la priorità sulle azioni di recupero.

La maggior preferenza ad un particolare metodo sarà dettata dalle caratteristiche del suolo, dagli scopi che si vogliono raggiungere, dalla economicità dell'impresa ma, occorrerà sempre una stretta collaborazione fra le diverse figure coinvolte in questa complessa problematica, anche facendo ricorso all'impiego di modelli di simulazione, oggi ragionevolmente attendibili (Pla Sentis, 1996), non solo per prevenire la salinizzazione e la sodicizzazione del suolo ma, anche per controllare i problemi ad essi associati.

In ogni caso, occorre tenere presente che la salinità rappresenta sostanzialmente un fattore di stress che influenza seriamente i parametri delle qualità dei suoli, e che finisce per influenzare la stessa qualità della vita dell'Uomo se è vero, come è vero, che quanto bassa è la qualità del Suolo, tanto bassa è la qualità della vita dell'Uomo.

Nota

1. In effetti nella Revised Legend della FAO, fra i suoli che mostrano accumulo di sali sono inseriti anche i Calcisols ma questi, non sono comunemente considerati "suoli salini".

Bibliografia

- ABROL I. P., YADOV J.S.P., MASSOUD F.I. (1988). Salt affected soils and their management. *FAO Soils Bulletin* 39.
- AFES (1995). Référentiel Pédologique. INRA Editions Paris
- BARROW E.M. 1993. Scenarios of climate change for the european community. *Eur. J. Agronom.* 2(4), 247-260.

- BOYADGIEV T.E., VERHEYE W.H., (1996). Contribution to an utilitarian classification of gypsiferous soils. *Geoderma*, 74: 321-338
- BRESLER E. (1981). Irrigation and Soil Salinity. In: *Salinity in irrigation and water resources* (Yaron ed). Marcel Dekker Inc.
- BRESLER E., McNEAL B.L., CARTER D.L. (1982). Saline and sodic soils. Principles, Dynamics, Modelling. Springer-Verlag. pp. 236.
- BUI E.N., KROGH L., LAVADO R.S., NACHTERGAELE F.O. TOTH T., FITZPATRICK R.W. (1998). Distribution of sodic soils: the world scene. In Sumner M.E., Naidu R. (eds). *Sodic Soils. Distribution, Properties, Management and Environmental Consequences*. Oxford University Press, pp. 207.
- CHHABRA R. (1996). Soil Salinity and Water Quality. A.A. Balkema, Rotterdam.
- DAZZI C. (1999). Suoli salini e problematiche di gestione. Univ. Palermo. AGS Novembre
- DAZZI C. (2002). Soils with gypsic horizon in mediterranean climate: a case study. Bangkok, 17° WCSS (submitted)
- DAZZI C., FIEROTTI G. (1994). Problems and management of salt-affected soils in Sicily. Proceedings of the *Int. Congress of ESSC on "Problems and management of salt-affected soils in Europe"* - Misopolinos Ed. ESSC
- DAZZI C., MONTELEONE S. (2001). Soils and soil-landform relationships along an elevational transect in a gypsiferous hilly area in central Sicily, Italy. *7th Intern. Meeting of Soils with Mediterranean type of Climate* -september, Valenzano, Bari (submitted).
- DORAN J.W., PARKIN T.B. (1994). Defining and assessing soil quality. in: *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Spec. Pubbl. N.35.
- DRIESSEN P.M., DUDAL R. eds (1991) The major soils of the world. Agricultural University Wageningen; Katholieke Universiteit Leuven pp. 310
- DUDLEY L. (1994). Salinity in the Soil Environment. In Pessaraki (eds) *Handbok of Plant and Crop Stress*. M. Dekker Inc. pp. 697.
- FAO (1971). *Salinity Seminar Baghdad. Irrigation and Drainage Paper n°77* - Rome
- FAO (1991). An explanatory note on the FAO World Soil Resources map at 1:25.000.000 scale. *World Soil Resources n° 66 FAO*, Rome
- FAO 1995. Digital Soil Map of the World and derived properties. Rome
- FAO 1998. World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources report N° 84, Rome.
- FAO-UNESCO (1974). Soil map of the world. Volume I Legend. Unesco-Paris, pp.59
- FAO-UNESCO (1988). Soil map of the world - Revised legend. World Soil Resource 60 Roma.
- FIEROTTI G. (1975). La Sicilia e le sue zone irrigue. *Quaderni di Agronomia*, n°8. Palermo.
- FIEROTTI G. (1988). La degradazione del suolo: cause ed effetti. *Accademia Economico-Agraria dei Georgofili. Vol. XXXIV - Serie settima*. Firenze
- FIEROTTI G. (1999). I suoli di fronte all'irrigazione con acque anomale. Atti del Convegno "Un programma di valorizzazione per il meridione d'Italia". *Boll. Soc. It. Scienza Suolo. N°48* pp. 179-199.
- FIEROTTI G., DAZZI C., TUSA D. (1999). Riflessi dell'irrigazione con acque saline sulla qualità dei suoli. Atti del Convegno "Le acque salmastre come risorsa idrica: limiti e prospettive" Foggia, maggio 1999, pp. 7-22.
- FIEROTTI G., LOMBARDO V., DAZZI C. (1998). Ricerche sulla qualità delle acque per uso irriguo in Sicilia: Nota I, acque di serbatoi. - Atti del Convegno Nazionale "Irrigazione e Ricerca: Progressi nell'uso della risorsa acqua". Bari 1-2 ottobre.
- FRANCOIS L.E., MAAS E.V. (1994). Crop Response and Management on Salt-Affected Soils. In Pessaraki (eds) *Handbok of Plant and Crop Stress*. M. Dekker Inc. pp. 697.
- GALLAVOTTI C. 1975. Empedocle, Poema fisico e lustrale. Verona, citato in: *De Crescenzo L. (1983), Storia della filosofia greca*. Mondadori.
- GOUDIE A.S. (1990). Soil Salinity. Causes and controls in Techniques for Desert Reclamation. Wiley e Sons.

- HADAS M. (1965). Imperial Rome, Time Inc. citato in Miller R.W., Donahue R.L. Soils. An introduction to soils and plant growth. Prentice-Hall pp. 768
- HERRERO ISERN J. (1991). Morfologia y genesis de Suelos sobre yesos. *Monografía INIA n° 77*. Madrid
- ISSS WORKING GROUP RB (1998a). World Reference Base for Soil Resources: Atlas (Deckers, Nachtergaele, Spaargaren Eds) 1st ed. ISSS-ISRIC-FAO. Acco, Leuven
- ISSS WORKING GROUP RB (1998b). World Reference Base for Soil Resources: Introduction (Deckers, Nachtergaele, Spaargaren Eds) 1st ed. ISSS-ISRIC-FAO. Acco, Leuven
- IUSS - ISRIC (1998). World Reference Base for Soil Survey, versione italiana a cura di Costantini E.A.C., Dazzi C. (1999) ISSDS, Firenze pp.98
- KOVDA V.A., VAN DER BERG C., HAGAN R.M. (1967). International source-book on irrigation and drainage of arid lands in relation to salinity and alkalinity. FAO-UNESCO pp. 663
- LARSON W.E., PIERCE F.J. (1991). Conservation and enhancement of soil quality. In *Evaluation for sustainable land management in the developing world. Vol.2* IBSRAM Proc. 12.2 Bangkok.
- LUPO M. (1999). I suoli rossi della piana di Castelluzzo (TP). Genesi, classificazione ed uso dei suoli evoluti sui terrazzi marini dal Pleistocene inf. Pleistocene medio, al Neotirreniano. Tesi di dottorato in Pedologia, XII ciclo. Università di Palermo
- MASHALI A.M. (1989). La salinizzazione e la desertificazione del suolo. *Genio Rurale* N°11:50-62
- NCR-59 (1991). citato da: Doran J.W., Parkin T.B. (1994). Defining and assessing soil quality. in: *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Spec. Pubb. N.35.
- PARR J.F., PAPENDICK R.I., HORNICK S.B., MEYER R.E. (1992). Soil quality: attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. *Am. J. Altern. Agric. N.7*
- PIERCE F.J., LARSON W.E. (1993). Developing criteria to evaluate sustainable land management. In J.M. Kimble (ed) *Proc. 8th Int. Soil Management Workshop: Utilization of Soil Survey Information for Sustainable Land Use*. USDA.SCS.
- PIRSIG R.M. (1974). Lo Zen e l'arte della manutenzione della motocicletta: Adelphi Edizioni, 402 pp.
- PLA SENTIS I. (1996). Soil degradation and desertification in Mediterranean environments. Rubio e Calvo eds. Geofoma Ediciones.
- POWER J.F., MYERS R.J.K. (1989). The maintenance or improvement of farming system in North America and Australia. In J.W.B. Stewart (ed) *Soil quality in semiarid agriculture*. Proc. Int. Conf. Univ. Saskatchewan, Canada.
- RICHARDS L.A. (1954). Diagnosis and Imprivement of Saline and Alkali Soil. *Agriculture Handbook n° 60* - USDA
- SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA (1987). Glossary of soil science terms. SSSA Madison, WI
- SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA (1994). Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. SSSA Spec. Pubb. N.35, Madison USA
- SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA (1996). Methods for Assessing Soil Quality. SSSA Spec. Pubb. N.49, Madison USA
- SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA (1997). Glossary of soil science terms. SSSA Madison, WI
- SUMNER M.E. (2000). Handbook of Soil Science. CRC Press
- SUMNER M.E., NAIDU R. eds (1998). Sodic Soils. Distribution, Properties, Management and Environmental Consequences. Oxford University Press, pp. 207.
- SZABOLCS I. (1989). Salt-affected soils. CRC-Pres, pp. 274.
- SZABOLCS I. (1994). Soils and Salinization. In Pessarakli (eds) *Handbok of Plant and Crop Stress*. M. Dekker Inc. pp. 697.
- SZABOLCS I. (1996). An overview on soil salinity and alkalinity in Europe. Soil salinization and alkalization in Europe. Ed Misopolinos, European Society for Soil Conservation.
- SZABOLCS I. (1998). Concepts, assessment and control of soils affected by salinization. In: Blume, Eger, fleischhauer,

Reij, Steiner (edt) : *Towards Sustainable Land Use* pp. 469-476)

TANJI K.K. 1990. Agricultural Salinity Assessment and Management. *ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice N°91*. New York: American Society of Civil Engineers.

USDA (1975). Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. *Handbook n.436* Washington.

USDA-NRCS (1999). Soil Taxonomy, 2nd Ed. *Agricultural handbook N° 436* Washington D.C.

WAGNET R.S. (1984). Salt and water movement in the soil profile. Soil salinity under irrigation Springer-Verlag New York.

EROSIONE E DESERTIFICAZIONE

Angelo Aru *

Dipartimento di scienze della terra, Università di Cagliari
Via Trentino, 51 - 09127

L'erosione rappresenta il fenomeno più grave di degradazione dei suoli ed è il più diffuso del mondo.

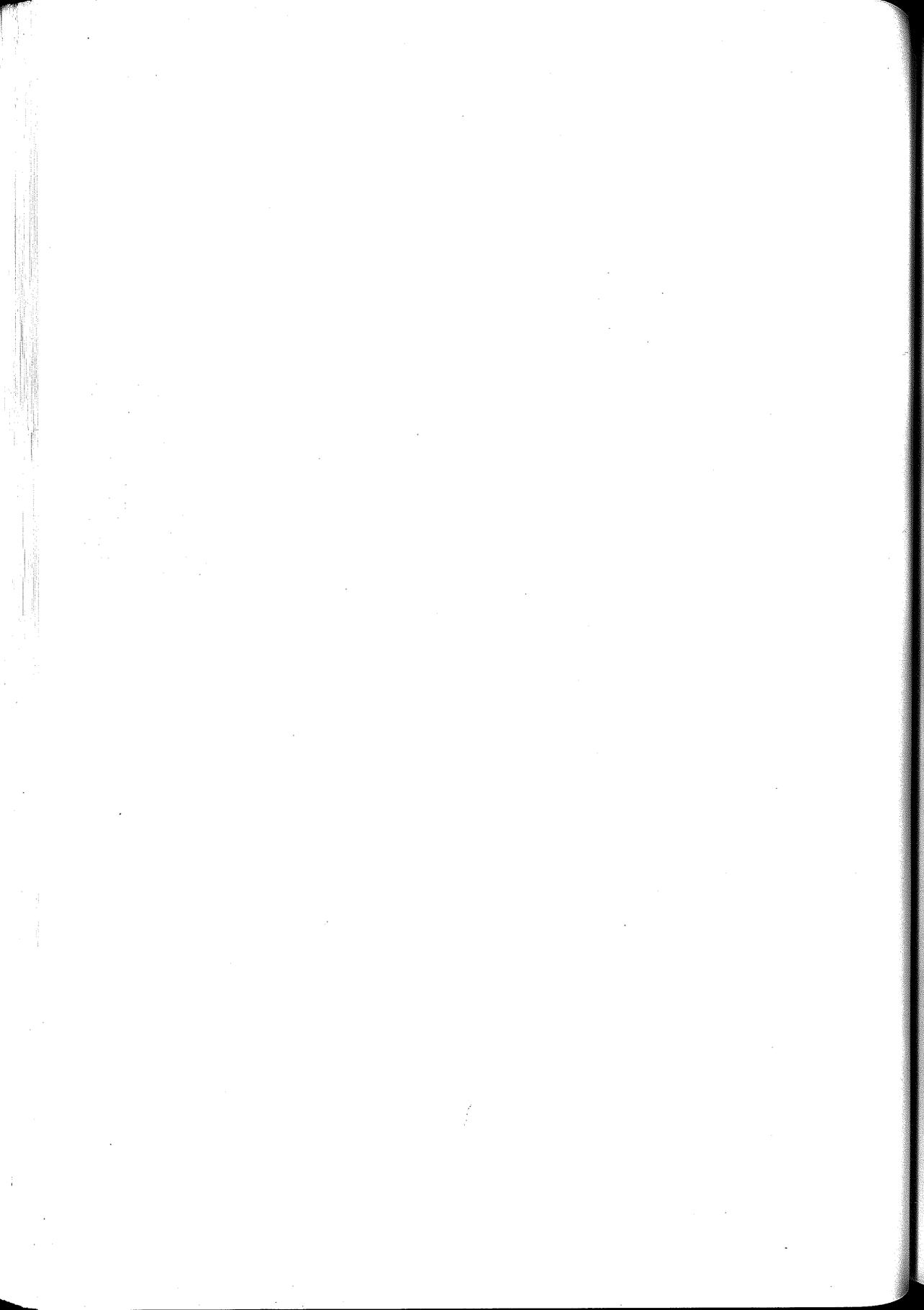
Il progredire nel tempo di questo processo porta alla desertificazione del territorio. Il concetto di desertificazione oggi va riferito ai consumi delle risorse naturali non rinnovabili, se non in tempi molto lunghi.

Tali consumi sono dovuti più all'attività antropica che ai cambiamenti climatici. Nell'ambito del Mediterraneo, soprattutto per le aree più aride, si è verificata negli ultimi quindici anni una riduzione delle precipitazioni, non giustificabile col cambiamento del clima, in quanto dalle serie di dati a disposizione e dalla documentazione esistente, i periodi di maggiore aridità sono frequenti. Ciò che è stato rilevato è la crescita del periodo arido negli ultimi anni e la frequenza di eventi caratterizzati da precipitazioni intense in poche ore. L'effetto dell'erosione di tali piogge è più evidente laddove il territorio è più devastato dall'azione antropica. L'azione è più catastrofica nelle aree incendiate, ove esiste il sovrappascolamento con forte compattazione del suolo, ove l'ecosistema sia stato modificato con l'introduzione di specie esotiche e dove più evidenti sono gli inquinamenti da metalli pesanti.

La desertificazione a causa dell'uomo favorita dall'attività antropica è tanto più grave quanto più è arido il clima.

Saranno riportati alcuni esempi di casi di studio del Mediterraneo e in particolare dell'Italia meridionale e insulare.

Per il lavoro esteso v. pag. 769 e seguenti



EFFETTI DELLE MODIFICAZIONI DELLA VEGETAZIONE FORESTALE E DEGLI INCENDI SUL SUOLO

Guido Sanesi

Dipartimento di Scienza del Suolo e Nutrizione della Pianta
Piazzale delle Cascine, 15 - 50144 Firenze

Gran parte dell'influenza dell'uomo sui suoli forestali, si esplica attraverso interventi sulla vegetazione. A parte eventi molto intensi quali il disboscamento e gli incendi, la percezione che gli interventi sulla vegetazione potessero modificare le proprietà del suolo e la sua evoluzione inizia nel momento in cui si sono cominciate a chiarire le relazioni tra il ciclo degli elementi nell'ecosistema ed i processi pedogenetici.

Negli ultimi vent'anni gli effetti di tutte le attività forestali sul suolo sono state molto indagate con risultati incoraggianti. Gli studi di ecologia forestale hanno messo in evidenza che attività quali il diradamento del bosco, l'asportazione di fascina, di lettiera, ecc. hanno un impatto considerevole sull'evoluzione del suolo.

Tra le conseguenze più conosciute occorre ricordare quelle collegate con il cambio di destinazione d'uso del suolo. Gli effetti drammatici sul suolo della deforestazione e successiva messa a coltura sono tuttora elementi di grande attualità ed anche a causa di altre conseguenze, quali le variazioni climatiche, fanno notizia, cosa che impressiona favorevolmente dato che il suolo è raramente materia d'informazione giornalistica e radiotelevisiva.

Degli effetti del disboscamento e degli incendi su specifiche proprietà del suolo, molto si è studiato e si è scritto ed i risultati sono spesso contrastanti, infatti la foresta ha una notevole capacità di recupero per cui si hanno contemporaneamente esiti negativi e positivi il cui bilancio complessivo sfugge se si esamina un solo fattore. Sono soprattutto gli effetti a livello di ecosistema che verranno considerati in questa nota.

Attuare una selvicoltura sostenibile è uno dei temi di ricerca di attualità. Gli studi sul ciclo degli elementi e sui flussi di materia nei principali ecosistemi forestali, dal programma biologico internazionale (IBP) degli anni '70 in poi, hanno portato nuove conoscenze ed aperto la strada alla ricerca di tecniche di utilizzazione delle foreste con un minimo di impatto ambientale.

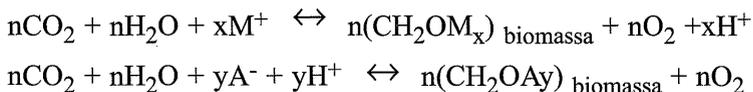
Gli studi sul ciclo degli elementi sviluppati tra gli anni '60 e '70 negli ecosistemi forestali hanno messo in evidenza alcuni aspetti fondamentali delle relazioni piante/suolo:

- la foresta, per quanto riguarda i nutrienti, vive sostanzialmente su se stessa (Tamm 1995, van Breemen 1995);
- l'azoto è accumulato prevalentemente nelle fasi iniziali della successione ecologica (Tamm 1991);
- il ciclo degli elementi ha un notevole impatto sul suolo non solo per gli aspetti nutrizionali ma anche per l'evoluzione, per cui ogni modificazione del ciclo degli elementi influisce sulla pedogenesi;
- la gran parte delle attività forestali intervengono sul ciclo degli elementi e quindi sulla pedogenesi.

Le prime ricerche che hanno messo in evidenza l'influenza dell'uomo sul ciclo degli elementi in foresta e le sue conseguenze sulla vegetazione sono di Ebermeier (1876). Tuttavia i primi dati quantitativi di una certa rilevanza sono stati ottenuti da Bormann e Likens (1967 e 1970) sull'Hubbard brook nelle White mountains in New Hampshire negli Stati Uniti dove un bacino di circa 15,6 ha è stato monitorato a partire dal 1963 misurando le entrate ed uscite di acqua ed elementi. La foresta fu tagliata a taglio raso, il legname lasciato in posto e la rigenerazione repressa con l'applicazione di erbicidi nel Gennaio 1966. Rispetto ad un bacino di analoghe dimensioni lasciato intatto, le variazioni del ciclo dell'acqua e degli elementi furono drammatiche. La portata dell'Hubbard aumentò di 1,4 volte soprattutto in estate. Il bacino lasciato intatto, aveva perdite minime di potassio, calcio e magnesio mentre l'azoto proveniente dall'inquinamento atmosferico era accumulato dall'ecosistema. Nel bacino sottoposto al taglio, per i 4 anni successivi, le perdite di potassio furono 21 volte superiori a quelle del bacino indisturbato, quelle di calcio 10 volte, di magnesio 7 volte, di sodio 3 volte e di azoto 40 volte. Quest'ultimo dato è stato interpretato come il risultato di una accelerata mineralizzazione della materia organica. Il pH delle acque del torrente variò da 5,1 a 4,3 ed anche l'alluminio iniziò a mobilizzarsi.

Le ricerche svolte nell'ambito del Programma Biologico Internazionale sulle foreste portarono all'istituzione di una serie di aree permanenti di monitoraggio nei tipi di vegetazione più diffusi in Europa e negli Stati Uniti. E' attraverso questo monitoraggio continuo che si iniziarono a comprendere le differenze del ciclo degli elementi tra i diversi tipi di ecosistema forestali e la rilevanza sul suolo.

Ulric (1986, 1987) ed i suoi collaboratori sono stati tra i primi a dimostrare che tutto ciò che influiva sul ciclo degli elementi nella foresta e quindi anche l'attività dell'uomo, poteva avere notevoli ripercussioni sui processi pedogenetici. Questa considerazione deriva dal fatto che il ciclo dei nutrienti nell'ecosistema coinvolge sempre protoni e che quindi fasi di acidificazione e di alcalinizzazione possono essere determinate dalla manipolazione della biomassa, d'altra parte le ricerche allora in atto dimostravano che la foresta assimilava più cationi che anioni per cui la produzione di biomassa equivaleva ad un rilascio di H^+ nel suolo. Per mettere in evidenza questo aspetto, Ulric (1987) espresse i processi di produzione/mineralizzazione della materia organica e produzione/consumo di protoni con le seguenti relazioni:



dove M^+ è un generico catione ed A^- un generico anione. Le equazioni esprimono, da sinistra a destra, la produzione di biomassa (stadi progressivi della successione ecologica), da destra a sinistra, la mineralizzazione (stadi regressivi della successione ecologica).

L'equazione dimostra che se tutta la materia organica prodotta è mineralizzata, l'ecosistema raggiunge uno stato stazionario in cui il bilancio di protoni è zero in quanto protoni vengono liberati nelle fasi di produzione di biomassa e consumati nella fase di mineralizzazione.

Le piante assorbono calcio, magnesio, potassio come cationi e solfo e fosforo come anioni, ma azoto può essere assorbito sia come catione (NH_4^+) che come anione (NO_3^-).

L'acidificazione, che era stata rilevata dagli studi sulla soluzione del suolo ed attribuita soprattutto alle immissioni acide dall'atmosfera, fu quindi riesaminata con lo scopo di valutare il contributo degli apporti interni di protoni rispetto a quelli esterni, per lo più dovuti all'inquinamento.

Van Breemen *et al.* (1984) hanno calcolato per 21 aree campionate, corrispondenti anche a suoli diversi, il bilancio di H^+ e l'origine ed il consumo dei protoni. La tabella 1 riporta, da questi autori, il calcolo del bilancio di protoni per il bacino disboscato ad Hubbard Brook e per un bacino limitrofo lasciato intatto per controllo.

Questi dati dimostrano chiaramente come la produzione interna di acidità aumenta considerevolmente a seguito del disboscamento.

Negli anni che seguirono molte ricerche cercarono di quantificare la produzione di acidità conseguente alle varie attività forestali, fu in-

fatti chiaro che non solo il disboscamento totale poteva indurre una maggiore produzione di protoni nel suolo ma anche altre attività quali l'asportazione di lettiera, di frasca, il diradamento e soprattutto la sostituzione di specie a basso potere acidificante con altre a forte potere acidificante.

Tabella 1. Bilancio di protoni in un bacino disboscato e nel relativo controllo ad Hubbard Brook, (podzols, Haplorthods) New Hampshire (van Breemen *et al.* 1984). Valori in kmoli H⁺/ha anno.

	Disboscato	Controllo
Entrate		
Input dall'atmosfera	+1,0	+1,3
Nitrificazione	+11,2	+0,1
Dissociazione degli acidi organici	+0,0	+0,1
Uptake di cationi, eccetto NH ₄ ⁺	+0,8	+1,0
Adsorbimento di cationi sul complesso di scambio	+2,1	+0,1
Σ delle entrate	+15,1	+2,6
Uscite		
Alterazione dei minerali delle rocce	-4,3	-2,2
Mineralizzazione della materia organica (cationi)	-5,9	-0,2
Uptake di anioni, NO ₃ ⁻	-3,1	-0,0
Output di protoni con il drenaggio	-0,6	-0,1
Σ delle uscite	-13,9	-2,5
Rapporto tra apporti esterni ed interni di H ⁺	0,07	1,17

In letteratura sono disponibili molti dati su questo argomento, ma le prime valutazioni erano chiaramente catastrofiche (ad esempio Nillson *et al.* 1982), a causa dell'incerta valutazione delle trasformazioni dell'azoto. Nella tabella 2 sono riportati dati più recenti e più attendibili, di Glatzel (1989) che considera che l'azoto sia assorbito dalle piante in forma ammoniacale e nitrica in rapporti proporzionali alla concentrazione di questi elementi nella soluzione del suolo.

Queste informazioni hanno portato a pensare che la manipolazione della vegetazione forestale da parte dell'uomo sia stata responsabile dell'acidificazione dei suoli forestali ancor più delle precipitazioni acide. In realtà vi sono numerosi documenti storici che dimostrano che la gran parte delle nostre foreste è stata soggetta in passato ad utilizzazioni intense ed a forti asportazioni di biomassa. La raccolta della frasca era una pratica molto comune così come l'asportazione della lettiera per fertilizzare i campi e molte delle fustaie di latifoglie dell'Appennino e delle preAlpi erano utilizzate a ceduo. Tutti gli elementi concordano nel fatto che la gestione forestale da noi era tra le più pericolose per quanto attiene l'acidificazione.

A partire dagli anni '80 queste ricerche sono declinate e la gran parte degli studiosi sembra ritenere che su questo punto si sia ormai detta una parola definitiva, in realtà molti dati provengono dal nord dell'Europa e degli Stati Uniti su suoli acidi nei quali una buona parte dell'azoto è assorbito come catione (NH_4^+) per cui si calcola che una equivalente quantità di protoni sia rilasciata nel suolo. Nelle foreste del sud dell'Europa il problema è sicuramente meno drammatico. Nella gran parte dei nostri suoli forestali (Inceptisuoli) le forme più comuni di humus sono il moder ed mull acido o calcico, la decomposizione della materia organica è rapida e l'azoto è trasformato quasi totalmente in acido nitrico e quindi assorbito dalle piante come nitrato.

Tabella 2. Tassi annuali di acidificazione associati ad operazioni forestali. Da Glatzel (1989). Valori in kmoli H^+ /ha anno. I valori relativi all'asportazione di lettiera ed alla conversione della faggeta a pecceta sono valori picco

Specie	Operazione	Tasso di acidificazione
Faggio	Taglio raso ed asportazione di legno e corteccia	0,1-0,3
Faggio	Ceduazione per legna da ardere a turni brevi	2,0-5,0
Picea	Taglio raso ed asportazione di legno e corteccia	0,2-0,5
Faggio→Picea	Taglio della faggeta e reimpianto di Picea	1,5-4,0
Faggio	Asportazione della lettiera	4,5-5,0

Gli ecosistemi forestali hanno grandi capacità di recupero, l'acidità prodotta nel suolo è in gran parte consumata nell'alterazione dei minerali delle rocce e questi rimettono in circolazione nutrienti.

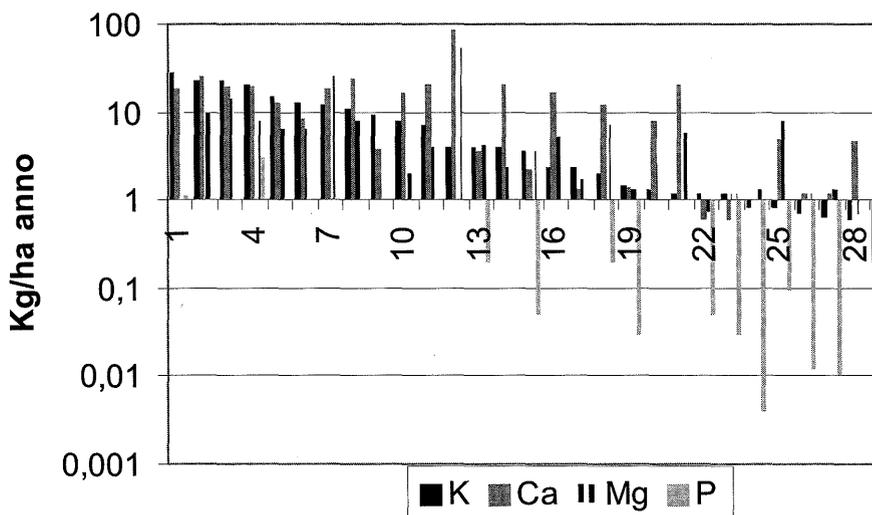


Figura 1. Rilascio di elementi in ecosistemi forestali per alterazione dei minerali. (Rielaborato da Fisher e Binkley 2000)

Misure dell'intensità dell'alterazione delle rocce vengono da dati lisimetrici e bilanci di piccoli bacini. Esse dimostrano (Fig.1) che nella maggior parte dei casi il rilascio di cationi è sufficiente a ristabilire rapidamente una buona riserva, inoltre il diradamento favorisce l'introduzione di azotofissatrici molte delle quali hanno notevoli capacità di restituire azoto al suolo (Fig. 2).

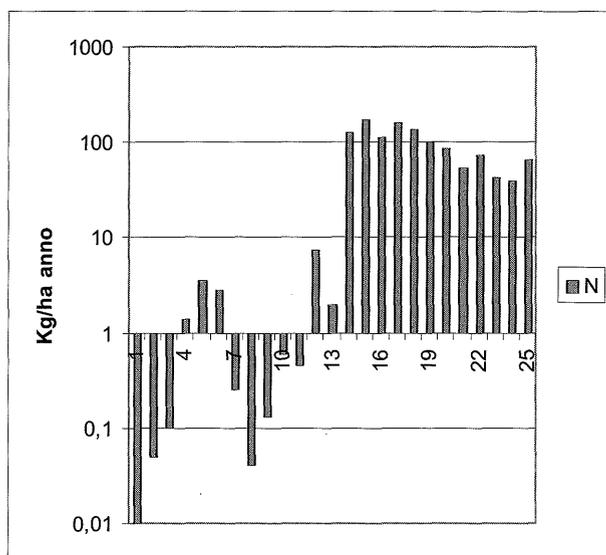


Figura 2. Apporti di azoto a suoli forestali da parte di specie azotofissatrici. I valori molto bassi a sinistra sono dovuti ad azotofissazione non simbiotica, i valori centrali superiori a 100 Kg/ha anno sono dovuti a Leguminose, i valori a destra a specie in simbiosi con Attinomiceti. (Rielaborato da Fisher e Binkley 2000).

Negli ultimi dieci anni, si è anche cercato di trarre delle conclusioni generali sull'influenza delle operazioni forestali sulla materia organica del suolo. E' evidente che ricerche sul bilancio della materia organica nel suolo non possono essere svolte in un periodo di pochi anni per cui si sono tentate delle sintesi a partire da quello che è disponibile in letteratura. I lavori in merito sono molti ma si riferiscono ad ecosistemi differenti, sono stati svolti in ambienti diversi e soprattutto con metodologie differenti. Uno dei principali problemi nella loro interpretazione risiede nel fatto che i campionamenti non sono avvenuti per orizzonti, ma per strati di profondità pre-stabilita per cui lettiera ed orizzonti minerali sono stati mescolati ed è quindi impossibile sapere se le variazioni del contenuto di C siano imputabili alla sola lettiera o altro.

I lavori di sintesi più importanti sono quelli di Mann (1986) e Johnson (1992). I dati si riferiscono a foreste degli Stati Uniti, Europa centro-settentrionale ed a qualche area tropicale per lo più si tratta di fustaie a lungo turno. Le conclusioni che possono trarsi sono le seguenti:

Raccolta di biomassa. Gli effetti più rilevanti riguardano la lettiera e dipendono dalle quantità che sono state asportate o rilasciate.

Se si attua taglio raso con asportazione di tutta la biomassa, negli anni immediatamente successivi si ha una forte diminuzione della lettiera e del carbonio negli orizzonti O, ma la foresta rigenera rapidamente lo strato organico e dopo pochi anni il contenuto globale di C può essere superiore a quello della foresta prima del taglio. Circa il C nel suolo (orizzonti O ed A), questo è poco influenzato (Fig. 3) o si hanno solo piccole variazioni (inferiori al 10%).

Disboscamento e coltivazione del suolo. Gli effetti del disboscamento seguito dalla coltivazione del suolo sono ben documentati in letteratura, le variazioni del contenuto di C oscillano da piccoli incrementi in suoli che avevano bassi contenuti di materia organica a perdite di oltre il 50% (Fig.4).

Preparazione del terreno per nuovi impianti di alberi. Gli effetti dipendono molto dall'intensità e frequenza degli interventi, dove gli interventi comprendono lavorazioni del suolo, erpicature ecc. la riduzione del C può raggiungere il 20-30%.

Riforestazione e successione. A seguito della riforestazione di aree agricole o della successione conseguente a forti disturbi (taglio raso o comunque tagli intensi) della vegetazione forestale, si osserva sempre un aumento del contenuto di C nel suolo. Quanto sia l'aumento negli orizzonti A è impossibile a stabilire. I pochi dati disponibili in letteratura si riferiscono a periodi di osservazione al massimo di 50-60 anni, Fisher e Binkley (2000) che li hanno recentemente elaborati concludono che l'aumento trascurabile o nullo.

Effetti dell'azotofissazione e della fertilizzazione. Nella gran parte delle pubblicazioni disponibili si nota che la presenza di specie azotofissatrici favorisce considerevolmente (+20-50%) l'accumulo di C nel suolo (Fig.5).

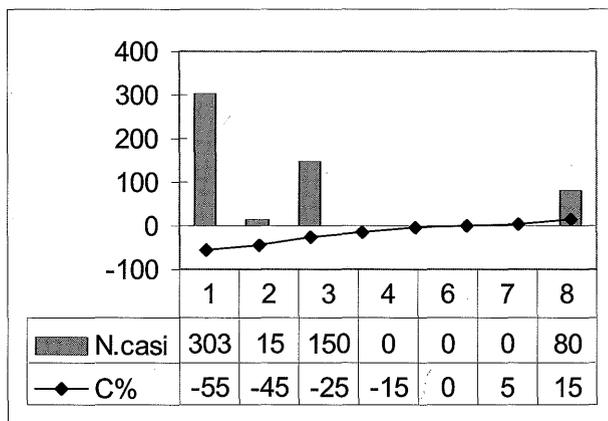


Figura 3. Variazioni percentuali del contenuto di C nel suolo a seguito di operazioni di raccolta di biomassa forestale.

Allo scopo di comprendere se tali aumenti fossero dovuti ad una maggiore produttività di lettiera conseguente alle condizioni di migliore fertilità, Johnson (1992) ha confrontato i dati ottenuti da casi di presenza di specie azotofissatrici e da casi di fertilizzazione. Il risultato ottenuto dimostra che nelle aree in cui erano presenti azotofissatrici si aveva un incremento di C nel suolo molto superiore.

Ricerche più specifiche di altri autori (Cole *et al.* 1995) hanno confermato che in una foresta di ontano (*Alnus rubra Bong*) di 50 anni, il contenuto di C negli orizzonti O e minerali del suolo è del 30% più elevato che in una foresta coetanea di douglasia (*Douglasia menziesii Franco*). Dalle ricerche eseguite sembra che il maggior contenuto di C nel suolo sia imputabile per 1/3 alla maggiore produzione di lettiera e per 2/3 al minor tasso di decomposizione dovuto anche alla acidificazione indotta dalle azotofissatrici.

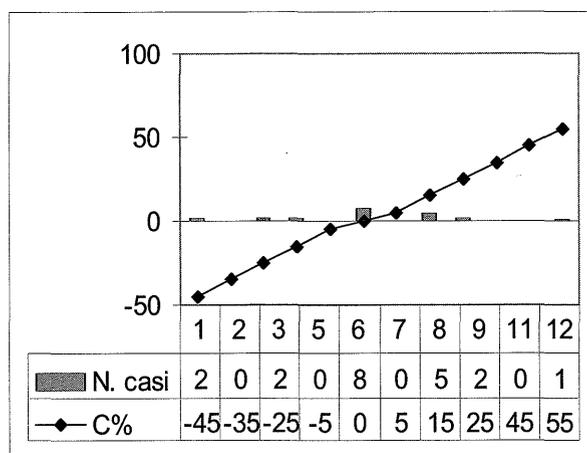
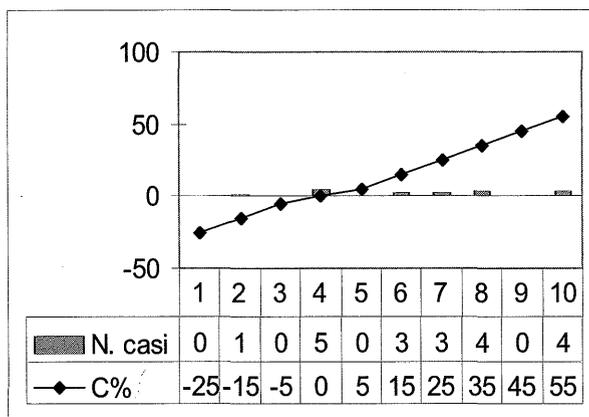


Figura 4.
Variazioni percentuali del contenuto di C in suoli forestali disboscati e coltivati (rielaborato da Johnson 1992)

Figura 5.
Variazioni percentuali del contenuto di C in suoli forestali a seguito della fertilizzazione ed introduzione di specie azotofissatrici (rielaborato da Johnson 1992).



Dai questi dati si può concludere che le modificazioni che inducono maggiori variazioni del contenuto di C nel suolo sono il disboscamento seguito dalla messa a coltura del suolo (-20-50%) e l'introduzione di azotofissatrici (+30-50%) mentre le comuni pratiche colturali non portano modificazioni sostanziali se non intervengono processi erosivi.

Dell'influenza effettiva di questi fatti sui processi di pedogenesi si hanno soprattutto delle ipotesi. E' ampiamente provato che, su suoli acidi, la sostituzione di latifoglie con specie acidificanti (Pini ed Abete rosso soprattutto) porta verso la podzolizzazione. Ad esempio, in Toscana si hanno Podzols nelle pinete di *Pinus pinea* e di *Pinus pinaster* sulle dune più antiche, ormai prive di carbonati, a Migliarino Pisano (Pisa) ed alle Vedute (Montecatini Terme, Lucca) su Ultisuoli. Fasi iniziali di podzolizzazione sono presenti a Vallombrosa (Certini *et al.* 1998) su Inceptisuoli acidi. Studi recenti (Nicolai 1988, Northrup *et al.* 1995) dimostrano che specie ad ampio areale quali alcuni pini, il faggio, le querce, mostrano di avere nelle foglie contenuti crescenti di polifenoli e decrescenti di azoto, passando da situazioni di maggiore a minore fertilità del suolo. Ciò può influire sulla decomposizione della sostanza organica favorendo la podzolizzazione per cui l'asportazione di biomassa, come asportazione di elementi della fertilità dal suolo, può avere egualmente riflessi pedogenetici a lungo termine.

Gli incendi sono spesso ricordati tra le cause di disturbo che possono avere un impatto notevole sulle proprietà del suolo. Essi sono e sono stati tra le cause di perturbazione del suolo più frequenti se si considerano i dati storici ed il fatto che raramente il profilo di un suolo in foresta è privo di carbone. Gli incendi possono essere di varia intensità e quindi agire sul suolo in maniera diversa. Se la biomassa presente è scarsa le temperature rimangono basse ed i danni al suolo sono inferiori, se la biomassa è elevata si ha l'effetto opposto. Esiste una relazione tra la frequenza degli incendi e la quantità di combustibile, incendi frequenti implicano minore quantità di combustibile e quindi danni minori e viceversa. Gli effetti più catastrofici per il suolo si hanno quando è presente una notevole quantità di ramaglia e ciò contrasta con la necessità di lasciare sul suolo la maggiore quantità possibile di foglie e rametti che contenendo molti nutrienti e mantengono elevata la produttività dell'ecosistema. In molti paesi il fuoco è tuttora una pratica selvicolturale ordinaria (fuoco prescritto, prescribed burning) che viene attuata in condizioni di elevata umidità della ramaglia e del suolo allo scopo di danneggiare meno possibile l'ecosistema.

I dati disponibili in letteratura raramente trattano separatamente degli effetti sul suolo e sulla vegetazione per cui isolare gli effetti sul suolo è molto difficile.

Tra gli effetti più importanti dell'incendio ricordiamo (Fisher & Binkley, 2000):

- la perdita di nutrienti;
- le variazioni della disponibilità di nutrienti per le piante;
- l'erosione;
- le variazioni dell'infiltrazione;
- l'influenza sull'attività microbica.

In realtà gli aspetti negativi sono poco dimostrati ed esistono in letteratura dati a favore e contro ciascuna di queste affermazioni.

La perdita di nutrienti a seguito degli incendi si verifica soprattutto dalla combustione della vegetazione. Le perdite dal suolo sono piccole rispetto a queste inoltre il suolo presenta elevati guadagni dalle ceneri che provengono dalla combustione della vegetazione. Raison (1979) riporta che le quantità di ceneri dopo un incendio, variano tra 2 e 15 t/ha e contengono 20-100 kg/ha di azoto, 3-50 kg/ha di fosforo e 40-1600 kg/ha di calcio. Molti suoli presentano un aumento della saturazione in basi e del pH dopo un incendio. A parte un picco iniziale, anche le perdite di azoto sono piccole. Dopo l'incendio, la disponibilità di azoto aumenta. Molto azoto organico è mineralizzato, l'azoto ammoniacale aumenta di un ordine di grandezza o più ed il diradamento della vegetazione favorisce l'introduzione di specie azoto-fissatrici. Anche la disponibilità del fosforo aumenta in alcuni casi dopo l'incendio. In conclusione l'effetto dell'incendio sulla disponibilità di nutrienti nel suolo è ancora poco conosciuto.

L'incendio può provocare diminuzione dell'infiltrazione dell'acqua nel suolo ed erosione. L'infiltrazione dell'acqua può diminuire per costipamento della superficie e formazione di sostanze idrorepellenti. Queste ultime si hanno solo in caso di temperature comprese tra 175 e 200 °C. (De Bano *et al.* 1998), non si formano al di sotto e temperature più elevate determinano la loro combustione. La loro reale incidenza è quindi incerta. Anche l'effetto degli incendi sull'erosione non è ben documentata (Fisher & Binkley 2000).

Conclusioni altrettanto incerte possono trarsi per l'attività microbica. Questa può declinare fortemente dopo un incendio ma la ripresa è rapida. Alcuni lavori dimostrano che l'incendio provoca una variazione della composizione della microflora favorendo lo sviluppo dei batteri a detrimento dei funghi. Questa affermazione potrebbe trovare spiegazioni, soprattutto per humus di tipo mor, nell'aumento di pH del suolo e nella mineralizzazione di humus poco attivi.

Johnson (1992) ha elaborato i dati esistenti in letteratura sull'effetto degli incendi sulla sostanza organica del suolo. Molti dei dati disponibili si riferiscono a casi di fuoco prescritto e quindi ad incendi di non grande intensità. I risultati sono sorprendenti perché dimostrano che la forte ripresa vegetativa dopo l'incendio quasi sempre determina un aumento del C totale del suolo (Fig. 6).

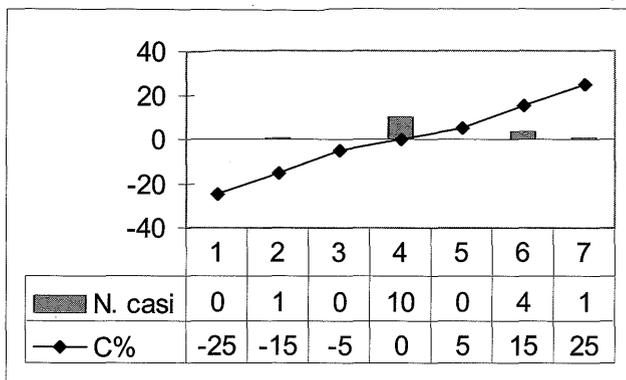


Figura 6.
Variazioni del contenuto di C organico nel suolo a seguito di incendi. La gran parte dei dati si riferisce a fuochi prescritti (rielaborato da Johnson 1992).

Sicuramente i grandi incendi possono distruggere gran parte della lettiera ed anche della materia organica del suolo, ma i pochi eventi documentati non permettono generalizzazioni. E' dimostrato che le temperature, in questi casi, possono raggiungere anche 700°C. alla superficie del suolo degradando a 200°C. a pochi cm di profondità ed a temperature normali a 20-30 cm (Fisher & Binkley 2000).

Come si rileva da questi dati, in casi di fuochi di bassa intensità, non si rilevano variazioni sostanziali del contenuto di materia organica nel suolo o si osserva un aumento.

In conclusione si può sostenere quanto segue:

il trattamento dei boschi ha comunque una influenza sul suolo. Il disboscamento seguito dalla coltivazione o dalla trasformazione in pascolo ha un forte impatto sull'ecosistema sia per la quantità di nutrienti che vengono rimossi che per la successiva mineralizzazione della materia organica che determina forti diminuzioni (-25-50%) del C organico del suolo. Operazioni ripetute come il diradamento, l'asportazione di frasca, lettiera ecc., soprattutto a turni frequenti, hanno effetti considerevoli sul ciclo dei nutrienti in quanto gli alberi ne accumulano la maggior parte nelle fasi giovanili. Su suoli acidi nei quali l'azoto è assorbito soprattutto in forma ammoniacale, la produzione di biomassa si associa ad un rilascio di protoni e le asportazioni frequenti possono acidificare il suolo fino a liberare Al^{3+} tossi-

co per le piante. Gli effetti più catastrofici si hanno nei casi di taglio raso seguito da asportazione totale della biomassa, nella ceduzione e nell'asportazione di lettiera e frasca. L'effetto di queste pratiche sul contenuto di C nel suolo sembra essere complessivamente modesto.

La foresta ha una notevole capacità di ripresa a seguito del taglio raso o del diradamento, discrete quantità di elementi sono mobilizzate dall'alterazione della roccia e la maggiore illuminazione favorisce l'introduzione di specie azotofissatrici che apportano al suolo considerevoli quantità di azoto in pochi anni e favoriscono l'accumulo di sostanza organica.

L'effetto degli incendi sul suolo è molto incerto. Incendi di grande intensità sono rari nello stesso punto ed hanno sicuramente effetti devastanti. Gli incendi frequenti sono di minore intensità ed hanno effetti minori. Essi sono i più documentati. In questi casi le perdite maggiori di nutrienti si hanno nella vegetazione e non nel suolo e le perdite di C sono limitate.

Bibliografia

- BORMANN F. H. & G. E. Likens (1967) Nutrient cycling. *Science*, vol. 155 (3761): 424-429.
- BORMANN F. H. & G. E. Likens (1970) The nutrient cycles of an ecosystem. *Scientific American*, vol. 223 (4): 92-101.
- CERTINI G., UGOLINI F. C., CORTI G. & AGNELLI A. (1998) Early stages of podzolization under Corsican pine (*Pinus nigra* Arn. Subsp. *Laricio*). *Geoderma* vol. 83: 103-125.
- COLE D. W., COMPTON J. E., EDMONDS R. L., HOMANN P. S. & VAN MIEGROET H. (1995) Comparison of carbon accumulation in Douglas fir and Red Alder forests. In McFee W. W. & Kelly J. M. *Carbon forms and functions in forest soils*, pagg.: 527-536.
- DE BANO L. F., NEARY D. G. & ELLIOTT P. F. (1998) Fire's effect on ecosystems. J. Wiley New York.
- EBERMAYER E. (1876) Die gesamte Lehre der Waldstreu mit Rücksicht auf die chemische Static des Waldbaues. Springer, Berlino
- FISHER R. F. & BINKLEY D. (2000) Ecology and management of forest soils, 3rd edition. J. Wiley & son, New York. 489 pag.
- GLATZEL G. (1989) Internal proton generation in forest ecosystems as influenced by historic land use and modern forestry. In Ulric B. (ed.) *International congress on forest decline research: state of knowledge and perspectives. Lecture volum I.* Friedrichshafen am Bodensee, pagg. 335-349.
- JOHNSON D. W. (1992) Effects of forest management on soil carbon storage. *Water, air and soil pollution* 64: 83-120.
- LIKEN G. E., BORMANN F. H., PIERCE R. S., EATON J. S. & JOHNSON N. (1977) Biogeochemistry of a forested ecosystem. Springer verlag, New York.
- MANN L. K. (1986) Changes of soil carbon storage after cultivation. *Soil science* 142: 279-288.
- NICOLAI V. (1988) Phenolic and mineral content of leaves influences decomposition in european forest ecosystems. *Oecologia* 75: 575-579-
- NILSSON S. I., MILLER H. G. & MILLER J.D. (1982) Forest growth as a possible cause of soil and water acidification: an examination of the concept. *Oikos*, vol. 39: 40-49.
- NORTHUP R., DAHLGREN R. & ZU Y. (1995) Polyphenol control of nitrogen release from pine litter. *Nature* 377: 227-229.

- RAISON R. J. (1979) Modification of the soil environment by vegetation fires with particular referen^{ce} to nitrogen transformation: a review. *Plant and soil* 51: 73-108.
- TAMM C. O. (1991) Nitrogen in terrestrial ecosystems. Questions of productivity, vegetation changes and ecosystem stability. *Ecological studies* Vol. 81. Springer verlag, Berlin.
- TAMM C. O. (1995) Toward an understanding of the relations between tree nutrition, nutrient cycling and environment. *Plant and soil* 168-169: 21-27.
- ULRIC B. (1986) Natural and anthropogenic components of soil acidification. *Zeits. für Pflanzenernaehrung und bodenkunde*, vol. 149: 702-717.
- ULRIC B. (1987) Stability, elasticity and resilience of terrestrial ecosystems with respect to matter. In: Schulze E. D. & Zwolfer *Potential and limitations of ecosystem analysis. Ecological studies* vol. 61: Springer. Pagg.: 11-49.
- VAN BREEMEN N. (1995) Nutrient cycling strategies. *Plant and soil* 168-169: 321-326.
- VAN BREEMEN N., DRISCOLL C. T. & MULDER J. (1984) Acidic deposition and internal proton sources in acidification of soil and waters. *Nature*, vol. 307: 599-604.



PROBLEMI DELLA GESTIONE DEL TERRITORIO

Gilmo Vianello

Centro Sperimentale per lo Studio e l'Analisi del Suolo, Università di Bologna
Via Fanin, 40 - 40127 Bologna

Riassunto

Dopo la Conferenza mondiale sullo sviluppo sostenibile, organizzata dall'ONU a Rio de Janeiro nel 1992, molti Enti ai diversi livelli di gestione politico-amministrativa si sono impegnati a predisporre proprie "Agende 21 locali", cioè piani strategici utili a perseguire tale sviluppo nel corso del 21° secolo attraverso un processo di definizione di obiettivi e di azioni nella consapevolezza delle risorse umane e finanziarie disponibili. Su questa linea sono state redatte numerose relazioni sullo stato dell'ambiente che utilizzano indicatori validati dalle maggiori agenzie internazionali. Nel caso dell'Italia è stato preso come riferimento il modello OCSE "Pressione-Stato-Risposta" su cui si basa il lavoro dell'Agenzia Europea per l'Ambiente (AEA) e dell'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (ANPA).

Nella relazione del Ministero dell'Ambiente sullo stato dell'ambiente del 1997 venivano chiaramente evidenziati i rischi di perdita o di degradazione chimica, fisica e biologica della risorsa suolo; in quelle successive redatte da Regioni e Provincie tale rischio appare notevolmente sottovalutato a differenza di altri comparti ambientali quali ad esempio acqua, aria, habitat naturali per i quali vengono proposti numerosi indicatori di risposta. Alla tematica suolo vengono spesso associate condizioni di carattere geologico strutturale che poco hanno a che vedere con le problematiche connesse ai cicli della pedogenesi; nel caso dei suoli agrari gli indicatori di pressione sono rappresentati dall'apporto di fitofarmaci e di concimi e dallo spargimento di liquami zootecnici, e solo in qualche caso si accenna alle cause che hanno portato o portano all'impoverimento della fertilità naturale o a processi di erosione. Nella nuova relazione sullo stato dell'Ambiente coordinata dall'ENEA con il contributo delle esperienze regionali appare evidente come per il suolo non sussistano una programmazione coordinata ed obiettivi prefissati; ne consegue la necessità di sollecitare gli Enti preposti e di sensibilizzare il cittadino affinché la "risorsa suolo" venga adeguatamente considerata per evidenziarne i livelli di vulnerabilità a causa di inopportuni interventi antropici, per razionalizzarne i livelli di produttività e di vocazionalità, per definirne il grado di concentrazione di sostanze contaminanti e, non ultimo, per valutarne le capacità di depurazione nei confronti di sostanze nocive.

Gli Indicatori Ambientali e la collocazione della componente suolo nel sistema nazionale

Nel passato le più importanti agenzie internazionali sentirono l'esigenza di utilizzare una serie di indicatori comuni nel campo delle politiche economiche e sociali con lo scopo di evidenziarne le tendenze e le relazioni e di valutare l'efficacia degli interventi attraverso le relazioni causa-effetto. Su questa linea, ma solo sul finire del secolo scorso, molte organizzazioni internazionali, quali ad esempio le Nazioni Unite, l'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico, l'Agenzia Europea per l'Ambiente, l'Organizzazione Mondiale della Sanità, hanno ritenuto indispensabile mettere a punto una serie di indicatori ambientali in grado da un lato di rappresentare in modo sintetico i problemi indagati e dall'altro di salvaguardare il contenuto informativo dell'analisi in una logica di controllo dinamico ed oggettivo. Punti di riferimento in tal senso rappresentano le linee guida per la raccolta dei dati ambientali del Rapporto Dobris, redatte dall'Agenzia Europea per l'Ambiente nel 1996, il progetto Eurostat sugli indici di pressione ambientale, la Terza Conferenza sulle Città Sostenibili tenutasi ad Hannover nel 2000 sugli indicatori comuni europei. La gran parte delle istituzioni pubbliche italiane che hanno o stanno redigendo la "Relazione sullo stato dell'ambiente" del loro territorio hanno adottato il modello che organizza gli indicatori ambientali e relativi descrittori in tre chiavi di lettura *Pressione - Stato - Risposta* (PSR) derivati dalla sintesi dei cinque livelli informativi *Determinanti/Pressioni/Stato/Impatti/Risorse* (DPSIR) indicati dall'OCSE (Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico) (figura 1) e su cui si basa il lavoro dell'Agenzia Europea per l'Ambiente (AEA) e dell'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (ANPA).

Nella relazione del Ministero dell'Ambiente sullo stato dell'ambiente del 1997 venivano chiaramente evidenziati i rischi di perdita o di degradazione chimica, fisica e biologica della risorsa suolo; in quella più recente dove compaiono le specifiche per ogni situazione regionale se da un lato vengono ribaditi i rischi della precedente relazione, dall'altro si evidenzia il significativo squilibrio degli interessi e dei relativi impegni degli Enti locali nei confronti della risorsa suolo.

Alla tematica suolo vengono spesso associate condizioni di carattere geomorfologico e geologico-strutturale che poco hanno a che vedere con le problematiche connesse ai cicli della pedogenesi e alle interconnessioni con l'ecosistema; la mancanza di una significativa distinzione tra i com-

parti pedologico e geologico è da attribuire in gran parte alla applicazione della legge n. 183 del 18/5/1989 "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo" e successive integrazioni. La legge infatti sotto la categoria "suolo" aggrega sub-categorie che sono risultate poi di guida nella stesura non solo dei piani di difesa del suolo, ma anche di valutazione di impatto ambientale. Era inevitabile che anche le relazioni sullo stato dell'ambiente nazionali, regionali e provinciali seguissero tali indirizzi. Come esempio vengono riportati nelle tabelle 1 e 2 le sintesi degli indicatori ambientali relativi alle componenti aria, acqua, vegetazione, suolo, rifiuti descritti nelle relazioni sullo stato dell'ambiente delle Regioni Emilia Romagna e Toscana; in esse appare evidente da una lato la specificità degli indicatori di pressione/stato, risposta nei riguardi delle risorse acqua ed acqua, dall'altro la genericità nei confronti della componente suolo.

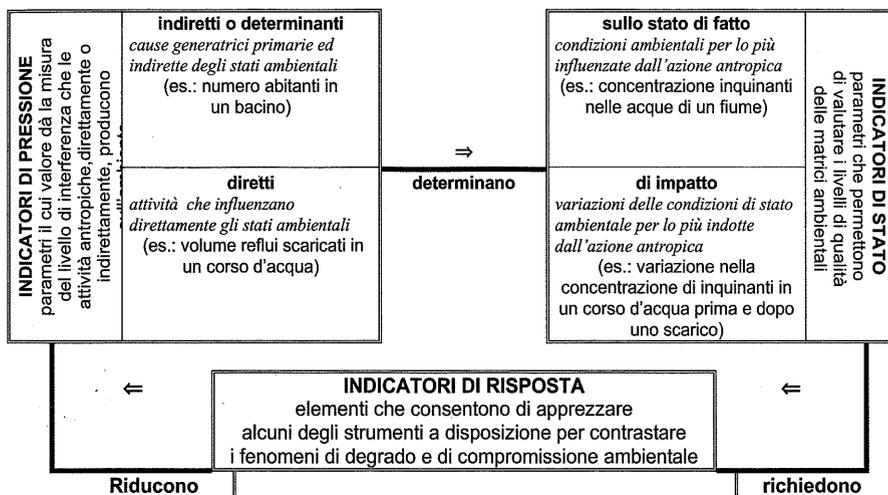


Figura 1. Rappresentazione schematica del modello OCSE che organizza gli indicatori ambientali e relativi descrittori nelle tre principali chiavi di lettura *Pressione-Stato-Risposta*

Indicatori di pressione e di stato nei confronti della risorsa suolo

La peculiare variabilità della situazione pedologica italiana si ripercuote decisamente sulla fertilità dei suoli cioè sulla loro capacità a sostenere le attività agro-silvo-pastorali, per cui si hanno limitazioni al loro utilizzo sensibilmente diverse nelle molteplici aree geografiche.

I fattori limitanti vanno ricercati in alcune caratteristiche esterne ai suoli, quali ad esempio la pendenza e la rocciosità nelle aree montane, o l'aridità, nei comprensori più meridionali oppure in caratteri "interni" dei suoli quali il drenaggio imperfetto e le condizioni "vertiche" dei territori di pianura o il limitato spessore e l'acidità in quelli di montagna.

I rischi di degrado variano inoltre non solo in funzione degli agenti naturali, quali il clima e la morfologia, ma anche per le attività antropiche in relazione sia alle tecniche di produzione delle colture sia delle attività extra-agricole.

Gli indicatori di pressione e di stato sulla risorsa suolo vanno quindi ricercati nei processi di trasformazione della superficie terrestre e di inquinamento e depauperamento dovuti a cause naturali ed antropiche (tabella 3); elenchiamone alcuni decisamente ascrivibili ai comportamenti umani, non dimenticando ovviamente una delle più importanti cause che affligge non solo la produttività dei suoli, ma anche la sopravvivenza e lo sviluppo biologico: l'aridità.

I processi di trasformazione della superficie terrestre per fattori antropici sono per esempio caratterizzati da movimenti di massa per indebolimento della stabilità dei versanti a causa di sbancamenti o di mancanza di copertura arborea; da fenomeni erosivi per scarsità della copertura vegetale, per regimazione disordinata delle acque, per erronee tecniche di lavorazione in ambienti acclivi; da ingressioni o regressioni delle linee di costa per modificazione direzionale delle correnti marine o per diverso apporto della sedimentazione fluviale; da incisione degli alvei fluviali per asporto dei prodotti litoidi di subalveo; da abbassamento delle falde freatiche per emungimenti eccessivi delle acque per scopi idropotabili od industriali.

I processi di inquinamento o di depauperamento della risorsa suolo per cause antropiche sono caratterizzati per esempio da contaminazione da metalli pesanti provenienti dalle attività produttive (industria, artigianato, attività estrattive e minerarie, discariche), da inquinamento chimico derivante dalle strutture di servizio (inceneritori, depuratori, strade), da depauperamento a causa di un irrazionale utilizzo degli effluenti zootecnici (spandimento di liquami zootecnici non stabilizzati in quantità notevolmente superiore alle necessità colturali), da squilibrio quali-quantitativo nella presenza di alcuni elementi della fertilità e non, causato dalla distribuzione irrazionale di fertilizzanti (reintegro di elementi della fertilità in surplus), da erosione dell'orizzonte superficiale a più elevata fertilità per irrazionalità delle lavorazioni e delle pratiche agronomiche (aratura a rittochino, irrigazioni eccessive, insufficiente regimazione e drenaggio delle acque sui pendii, meccanizzazione spinta nelle zone collinari e montane).

Tabella 1. Gli indicatori ambientali relativi al sistema aria-acqua-suolo-pianta nella relazione sullo stato dell'ambiente dell'Emilia Romagna

Componente ambientale	INDICATORI AMBIENTALI		
	di PRESSIONE	di STATO	di RISPOSTA
Sistema ARIA	<p>Eventi eccezionali: - concentrazione delle precipitazioni</p> <p>Acidificazione: - per emissione di solfati e nitrati - concentrazioni in aria di SO₂ e NO₂</p>	<p>- variazioni di temperatura - distribuzione spazio-temporale delle precipitazioni</p> <p>- acidità e concentrazione media annuale di nitrati e solfati nelle deposizioni umide</p>	<p>- reti di monitoraggio</p> <p>- Rete Italiana per lo studio delle DEPosizioni atmosferiche (RIDEP)</p>
	<p>Degrado dell'atmosfera locale: - per emissione di inquinanti - per distribuzione per macrosettore produttivo (inventario Corinair)</p>	<p>- SO₂ ⊗ > 125 µg/m³ (media 24 ore) - PTS ⊗ > 150 µg/m³ (media 24 ore) - Pb ⊗ > 2 µg/m³ (media 24 ore) - NO₂ ⊗ > 200 µg/m³ (media 1 ora) - CO ⊗ > 15 mg/m³ (media 1 ora) - O₃ ⊗ > 180 µg/m³ (media 1ora)</p>	<p>- Reti di monitoraggio della qualità dell'aria</p>
Sistema ACQUA	<p>Consumi: - per prelievi delle acque di superficie e di profondità suddivisi per ciascuno dei settori acquedottistico, industriale, e agro-zootecnico. - per perdite delle reti acquedottistiche e di quelle irrigue; - per uso irrazionale della risorsa nei settori civili, industriali ed agro-zootecnico.</p> <p>Inquinamento: - per sversamento nei corpi idrici superficiali di carichi organici (BOD₅) e di nutrienti (azoto e fosforo)</p>	<p>Quali-quantitativi per le acque di superficie: - idrografia e idrologia - prelievi e consumi - qualità chimiche e biologiche - stato ecologico</p> <p>Quali-quantitativi per le acque sotterranee: - piezometria - qualità delle acque di falda (nitrati, composti organoalogenati) - conducibilità elettrica specifica (SO₄⁻, Cl⁻, ammoniaca, Fe, Mn, As) - classificazioni qualitative e quantitativa dei corpi idrici</p>	<p>- sistemi depurativi - reti di monitoraggio delle acque superficiale e sotterranee</p>
AGRO-ECO Sistema	<p>Depauperamento delle biocenosi: - per incendi dei boschi e delle praterie; - per attività venatoria; - per la distribuzione di fertilizzanti e sostanze antiparassitarie</p>	<p>- classificazione delle superfici agro-silvo-pastorali per destinazione d'uso; - numero e distribuzione delle specie floro-faunistiche tutelate dalla normativa vigente.</p>	<p>- interventi di protezione dagli incendi boschivi - interventi per una agricoltura sostenibile; - investimenti regionali per le aree protette.</p>
Sistema SUOLO	<p>Utilizzo e consumo: - di prodotti fitosanitari e fertilizzanti; - di risorse idriche ed energetiche</p> <p>Stoccaggio e spandimento: - di fanghi di depurazione e di effluenti zootecnici</p>	<p>- caratterizzazione chimico-fisica del suolo (tessitura, pH, Corg., Ntot,...) - uso del suolo (capacità d'uso, vocazionalità culturale) - utilizzazione per spandimento di fanghi di depurazione (definiti riguardo pH, metalli pesanti, C.S.C.)</p>	<p>- superfici adibite a coltivazioni a basso impatto ambientale (agricoltura biologica, set-aside) - tecnologie a basso impatto ambientale per allevamenti zootecnici</p>
	<p>Subsidenza: - per il costipamento dei sedimenti; - per l'estrazione di acqua e gas</p>	<p>- la velocità di abbassamento del suolo; - danni alle infrastrutture idrauliche e ad edifici di importanza storica</p>	<p>- reti per il controllo geometrico del fenomeno; - politiche volte al contenimento dei prelievi</p>
	<p>Rischio e dissesto idrogeologico: - innesco dei movimenti franosi; - alluvionamenti - impermeabilizzazione di estese porzioni del territorio</p>	<p>- indici di franosità formazionale e territoriale; - aree inondate da epoca storica ad oggi - sezioni e tratti critici delle aste fluviali e della rete di bonifica, delle arginature di fiumi e canali, delle difese a mare</p>	<p>- piani di bacino; - interventi di difesa del suolo</p>

Tabella 2. Gli indicatori ambientali relativi al sistema aria-acqua-suolo-pianta nella relazione sullo stato dell'ambiente della Toscana

Componente Ambientale	INDICATORI AMBIENTALI	
	di PRESSIONE	di STATO
Sistema ARIA	Acidificazione: - per emissione di solfati e nitrati	- immessi nell'atmosfera ad alte quote: riduce l'inquinamento locale ma produce effetti di trasferimento a lunghe distanze
	Degrado dell'atmosfera locale: - per emissione di inquinanti - per combustione di fonti energetiche di origine fossile	- ossidi di zolfo (SO _x) - ossidi di azoto (NO _x) - particelle sospese totali (PTS) - monossido di carbonio (CO) - composti organici non metanici (COVNM - es: cloro, fluoro, fosforo, zolfo, metalli, metalloidi) - metano (CH ₄) - anidride carbonica (CO ₂). generate dalla
Sistema ACQUA	Inquinamento: - per rilascio ai corpi idrici di azoto e di fosforo di origine fertilizzante - per rilascio ai corpi idrici di azoto e fosforo di origine zootecnica	Per le acque di superficie: - indice qualità globale (IQG) - COD/TOC/Ossidabilità al permanganato - Azoto ammoniacale - Azoto nitrico - Fosforo totale - Conducibilità - Cloruri - Coliformi totali - Coliformi fecali - Streptococchi fecali - indice biologico esteso (IBE) Per le acque sotterranee: - profilo idrochimico (cloruri, nitrato ammoniacale, ferro manganese)
AGRO - ECO Sistema	Depauperamento biocenosi: - carico di fitofarmaci Incendi boschivi: - abbandono dei boschi cedui con aumento del materiale secco sul terreno; - abbruciamento dei pascoli, delle stoppie e dei materiali da potature	- lettura qualitativa dell'agricoltura mediante indici di valore ecologico di abbandono e di stima delle biomasse; - distribuzione degli incendi a livello provinciale - individuazione delle cause volontarie o involontarie scatenare un incendio boschivo
	Rischio di inquinamento: - per carico di fitofarmaci (EEP suolo) su aree ad agricoltura	- degradazione del suolo (erosione, consumo per urbanizzazione e attività estrattive, inondabilità).

Tabella 3. Alcuni indicatori di pressione e di stato relativi alla risorsa suolo in funzione delle cause dirette e indirette di tipo agricolo ed extragricolo che ne possono modificare i caratteri chimico-fisici e strutturali

		INDICATORI AMBIENTALI	
		di PRESSIONE	di STATO
Cause dirette di tipo extragricolo	che agiscono sui caratteri fisici e strutturali del suolo	Indebolimento della stabilità dei versanti per sbancamenti	Consumo totale di suolo per movimenti di massa e di crollo
		Regimazione disordinata delle acque	Consumo totale o parziale di suolo per erosione superficiale od incanalata
		Depauperamento delle coperture vegetale per incendi o per diboscamenti	Degrado della struttura e impoverimento della componente microbiologica
		Richiesta di superfici da urbanizzare	Consumo totale di suolo per espansione delle superfici residenziali, produttive e di servizio
Cause indirette di tipo extragricolo	che agiscono sui caratteri fisici e strutturali del suolo	Modificazione direzionale delle correnti marine	Arretramento delle linee di costa con ingressione di acque salmastre
		Diminuzione degli apporti sedimentari alle foci fluviali	
		Asporto delle componenti litoidi di subalveo	Incisione degli alvei fluviali ed abbassamento delle falde idriche superficiali
Cause dirette o indirette di tipo agricolo e fisici del suolo	che agiscono sui caratteri chimici e fisici del suolo	Emungimento profondo delle acque per scopi idropotabili, irrigui o industriali	Abbassamento delle falde freatiche ed impoverimento della frangia capillare
		Liberazione in atmosfera di prodotti gassosi (SO ₂ , NO ₂) provenienti dalle attività produttive e dalle strutture di servizio.	Concentrazione di nitrati e solfati nelle deposizioni umide con conseguente acidificazione del suolo
		Liberazione in atmosfera e nelle acque di sostanze nocive provenienti dalle attività produttive e dalle strutture di servizio	Ricaduta o dispersione nel suolo con conseguente contaminazione od inquinamento (es.: da metalli pesanti)
		Distribuzione irrazionale di fertilizzanti	Squilibrio quali - quantitativo per reintegro di alcuni elementi della fertilità in surplus
		Spandimento di liquami zootecnici non stabilizzati in quantità eccessive	Depauperamento del suolo per accelerazione dei fenomeni di lisciviazione interna
		Uso eccessivo di fitofarmaci	Compromissione della funzionalità ecosistemica e rischio per la salute umana e animale
		Irrazionalità delle lavorazioni e delle pratiche agronomiche	Depauperamento dell'orizzonte superficiale a più alta fertilità

Indicatori di risposta e politiche di intervento per la risorsa suolo

Abitabilità e nutrizione sono le funzioni essenziali del suolo (Giardini, 1986). La *funzione di abitabilità* del suolo dipende da una serie complessa di condizioni chimiche e fisiche (struttura, porosità, permeabilità, temperatura, reazione, presenza di sostanze tossiche, ecc.); la *funzione di nutrizione* è condizionata dalla capacità del suolo di mettere disposizione gli elementi nutritivi mediante la presenza di acqua, composti chimici, colloidali e di attività microbica. Dall'interazione tra queste due funzioni e le piante e dalla risposta quali-quantitativa di queste ultime ai fattori vitali dipende la fertilità del terreno e quindi l'attitudine del suolo a produrre.

In tal senso il suolo va considerato come una specifica risorsa di carattere economico e sociale il cui degrado porta alla perdita di questi valori e tale quindi da non dovere essere confuso o associato irrazionalmente alla componente geologica. Una delle politiche prioritarie è quella di evidenziare la incompatibilità tra le sue funzioni: una superficie di suolo ad esempio non può essere usata contemporaneamente come luogo per lo scarico dei rifiuti e come terreno per la produzione agricola. Nella pianificazione territoriale la conoscenza del grado di compatibilità tra le varie funzioni del suolo è di primaria importanza così da richiedere la conoscenza delle sue caratteristiche; per potere gestire e conservare la risorsa "suolo" è indispensabile conoscere la distribuzione spaziale delle sue caratteristiche, onde poter evitare la diminuzione del valore economico, sociale ed ecologico nel breve e nel lungo termine (Ministero dell'Ambiente, 1996). L'inventario dei tipi di suolo e la predisposizione di cartografia pedologica mirano a tale scopo dal momento che solo disponendo di strumenti idonei si possono operare scelte corrette nella pianificazione del territorio, come nel caso della destinazione dei terreni di minor "valore" per produzione agricola ad altre funzioni, ugualmente essenziali, quali lo smaltimento dei rifiuti o l'espansione urbana.

Possedere una buona conoscenza delle caratteristiche fisico chimiche dei suoli nei vari contesti ambientali permette ad esempio di razionalizzare la distribuzione dei fertilizzanti in funzione delle reali carenze e delle condizioni climatiche, di procedere allo spandimento dei liquami zootecnici in funzione delle necessità colturali e dei caratteri strutturali del suolo, di attenuare i fenomeni erosivi attraverso la razionalizzazione delle lavorazioni e delle irrigazioni.

Il suolo nel contesto del sistema informativo territoriale

Perseguire tali scopi significa disporre di un idoneo sistema informativo sia in termini di banca dati che di elaborazione dei vari livelli conoscitivi; a tal fine dovrebbe mirare il SINA (Sistema Informativo Nazionale).

L'organizzazione di un sistema informativo deve venire finalizzato alla identificazione delle possibili procedure di intervento per mitigare gli effetti contraddittori tra sistema agro-silvo-pastorale e sistema urbano-produttivo e per migliorare in termini quali-quantitativi il grado di sostenibilità dei vari comparti produttivi e di salvaguardia delle componenti ambientali tra cui la risorsa suolo.

Come esempio si può accennare ad alcune tematiche nell'ambito delle quali il confronto tra livelli informativi diversi, tra cui la componente suolo, può essere ricondotto all'applicazione di modelli di analisi territoriale tendenti a definire il grado di sensibilità e vulnerabilità delle componenti ambientali: ci si riferisce in questo esempio alle "Dinamiche di trasformazione del territorio in funzione delle differenti attività antropiche", alla "Evoluzione ambientale e al dissesto idrogeologico", alle "Indagini pedologiche e capacità d'uso dei suoli", alla "Sensibilità dei suoli e alla vulnerabilità ambientale".

Le dinamiche di trasformazione del territorio in funzione delle differenti attività antropiche permettono di individuare sul territorio quei fattori, o limiti ambientali, che mantengono una influenza costante nel tempo e che, per tale motivo, costituiscono le basi portanti di uno specifico paesaggio agricolo-forestale montano; tali limiti evidenziano in territori collinari e montani alcuni potenziali rischi di dissesto idrogeologico che hanno consigliato, o imposto, in passato alcune sostanziali limitazioni alla lavorazione del suolo. Lo studio delle trasformazioni territoriali come conseguenza degli atti decisionali operati dall'uomo risulta particolarmente significativo a livello amministrativo comunale; l'indagine compiuta a grande scala permette infatti di individuare con particolare accuratezza i mutamenti intercorsi in uno specifico arco temporale mentre la coincidenza dei limiti delle aree studiate con i limiti amministrativi dei governi di carattere locale consente un aggancio immediato ed una pronta utilizzazione a livello di attività pianificatoria di ambito circoscritto.

Il dissesto idrogeologico e l'erosione del suolo trovano adeguata collocazione nella legge n. 183 del 18 maggio 1989 "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo"; viene infatti stabilito che l'attività conoscitiva debba venire riferita all'intero territorio nazionale secondo metodologie e criteri omogenei riguardanti la raccolta, l'elaborazione e l'archiviazione dei dati con formazione ed aggiornamento della cartografia tematica nell'ambito di un unico sistema informativo cui vanno raccordati quelli regionali; l'analisi circa la evoluzione dei fenomeni esondativi e modificazione delle aste fluviali del Po e dei suoi affluenti ha messo in evidenza in primo luogo la inadeguatezza diffusa delle opere di difesa idrografica principale e minore e le carenze di manutenzione delle opere stesse e degli alvei, in secondo luogo la presenza di abitativi, insediamenti produttivi ed infrastrutture in aree a rischio. L'elevato carico antropico ha accelerato fenomeni che rappresentano di per sé la naturale evoluzione di un territorio geologicamente giovane; si verificano così gravi problemi di instabilità dei versanti di buona parte del territorio montano e collinare; si registrano quasi ovunque preoccupanti fenomeni di erosione del suolo agrario, so-

prattutto in aree abbandonate di recente dall'agricoltura o soggette a metodi di coltivazione irrazionali. E' stato calcolato che nella catena appenninica l'erosione accelerata asporta ogni anno 15.000 mc di suolo per ogni Km², mentre la capacità antierosiva del manto forestale si è ridotta di circa un terzo di quella potenziale.

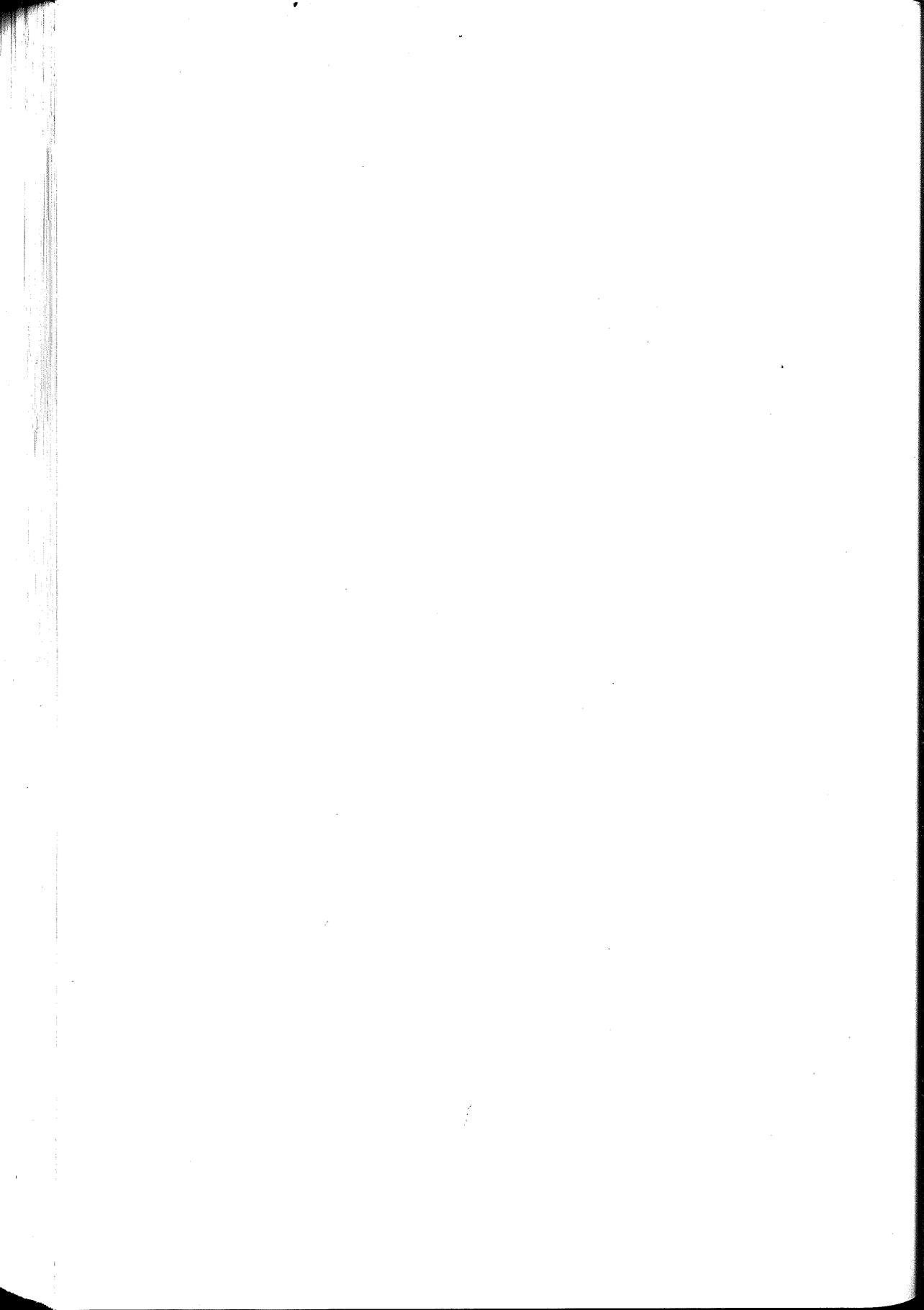
L'applicazione dell'indagine pedologica porta alla suddivisione dell'ecosistema agro-forestale in unità "naturali", che possono divenire *unità di gestione* della risorsa suolo; tra le più significative applicazioni dello strumento pedologico, la valutazione della capacità d'uso dei suoli a fini agro-silvo-pastorali che permettono di raggruppare le unità di territorio in un certo numero di classi ordinate in funzione del valore limitante espresso da proprietà pedologiche (interne al suolo) ed ambientali (esterne al suolo).

La valutazione della sensibilità dei suoli e vulnerabilità ambientale, dal momento che il suolo, sia esso naturale che antropizzato, rappresenta il cardine degli equilibri ambientali e, nel contempo, una risorsa particolarmente vulnerabile al degrado. Le cause che contribuiscono alla sottrazione della *risorsa suolo* sono numerose: dallo sviluppo disordinato delle strutture urbane e produttive, all'erosione intensa delle aree sottoposte a fenomeni di dissesto idrogeologico, dal calo della fertilità naturale dovuto a tecniche di gestione agronomica inadeguate alle differenti condizioni pedoclimatiche, all'inquinamento dovuto sia a fenomeni di contaminazione naturale che a ricaduta per via solida, liquida o gassosa di sostanze a differente grado di tossicità legate alle attività umane.

Bibliografia

- ANPA, (2000). Linee guida per le Agende 21 Locali.
- BAGNARESI U., VIANELLO G. (a cura di) (1995), "Copertura forestale e territorio: contributi metodologici e tecniche di indagine", *Collana Sistema agricolo italiano - P.F. RAISA-CNR*, pp. 299, Franco Angeli Editore.
- BERTOZZI R., BUSCAROLI A., VIANELLO G. (1999), Valutazione del grado di sensibilità e vulnerabilità ambientale in funzione delle attività agricole. *Agricoltura Ricerca*, n. 180/181, 3, pp. 118 - 125 (1999) [ISSN 0392 - 5609]
- BUSCAROLI A., GHERARDI M., VIANELLO G., (2000). Investigations about soils and environmental vulnerability applied to the realization of municipal plan instruments. *Boll. S.I.S.S.*, Vol. n. 49, No. 1-2, pp. 139 - 160 [ISSN 0390-4865].
- EUROPEAN COMMISSION - EUROSTAT, (1999). Towards Environmental Pressure Indicators for the EU.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, (1996). Guidelines for Data Collection for The Dobris + 3 Report. Copenhagen.
- FONDAZIONE LOMBARDIA PER L'AMBIENTE, (1999). Guida Europea all'Agenda 21 Locale.
- MINISTERO DELL'AMBIENTE, (1997). Relazione sullo Stato dell'Ambiente.

- PROVINCIA DI BOLOGNA, (a cura di), (2000). 1 rapporto sullo stato dell'Ambiente nella Provincia di Bologna. Assessorato all'Ambiente, CASMA Tipolito, Bologna.
- PROVINCIA DI MILANO (a cura di), (2000). Relazione sullo Stato dell'Ambiente 2000 sintesi. Arti Grafiche Amilcare Pizzi, Milano.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA, (2000). Relazione sullo stato dell'Ambiente in Emilia Romagna 1999. Assessorato Territorio Pianificazione Ambiente - Arpa, Golinelli Industrie Grafiche, Formigine (MO).
- REGIONE LOMBARDIA, (2000). Relazione sullo Stato dell'Ambiente in Lombardia 1999. Direzione Generale Tutela Ambientale.
- REGIONE TOSCANA, (1998). Rapporto sullo stato dell'Ambiente in Toscana 1997. ARPAT.
- SEQUI P., VIANELLO G. (a cura di) (1998), "Sensibilità e vulnerabilità del suolo: metodi e strumenti d'indagine", P.F. RAISA-CNR e PANDA-MiPA, *Collana Sistema Agricolo Italiano*, FrancoAngeli Editore, Milano
- VIANELLO G., (1999). Sensibilità e vulnerabilità del suolo: la domanda delle autorità ambientali ed il ruolo della pedologia. *Boll. S.I.S.S., n. 48*, pp. 115-120 (1999). [ISSN 0390 - 4865]
- VIANELLO G., (2000). L'apporto della ricerca finalizzata allo studio coordinato e interdisciplinare del suolo. Atti del Seminario Nazionale "Il contributo del centro tematico nazionale suolo e siti contaminati alla conoscenza del suolo", pp. 20a-20h, ANPA - CTN-SSC, Torino.
-



IMPATTO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SUL SUOLO

Paolo Nannipieri

Dipartimento della Scienza del Suolo e Nutrizione della Pianta,
Piazzale delle Cascine, 28 - 50144 Firenze

Il suolo gioca un ruolo essenziale nel tamponare o nel rendere ancora più critico il trend relativo all'aumento di concentrazione nell'atmosfera di alcuni gas (CO_2 , N_2O e CH_4) responsabili del cosiddetto "effetto serra". Infatti, il suolo funziona da "source" e da "sink" per la CO_2 ed il CH_4 . L'aumento di temperatura dell'atmosfera può aumentare la mineralizzazione della sostanza organica del suolo con maggiore produzione di CO_2 e quindi con un ulteriore aumento di temperatura dell'atmosfera; si avrebbe cioè un processo "feedback" positivo. Tuttavia, altri processi possono contrastare la diminuzione del tenore di sostanza organica del suolo in virtù dell'aumento di temperatura. Infatti, l'aumento di concentrazione di CO_2 nell'atmosfera influisce positivamente sulla velocità del processo fotosintetico con una maggiore produzione primaria e quindi con un maggiore apporto di residui organici al suolo. Inoltre, i tessuti vegetali di piante cresciute in ambienti più ricchi di CO_2 presentano rapporti di C/N e lignina/N più elevati, e per questo motivi la loro degradazione è minore di quella di residui della stessa specie cresciuta in atmosfera con un tasso di CO_2 normale.

Benché presente nell'atmosfera in concentrazioni minori della CO_2 , il metano è un gas più pericoloso per la sua capacità di trattenere il calore, che è 58 volte più elevata di quella della CO_2 . Si è stimato che il 15-20% del metano prodotto sulla Terra proviene dai suoli coltivati a riso, una delle colture più diffuse. Tuttavia i suoli, anche quelli sommersi durante la coltivazione del riso, possono funzionare non solo da "source" ma anche da "sink". Vari fattori, principalmente la disponibilità di substrati organici e la presenza di accettori elettronici e di condizioni anaerobiche, possono influenzare la produzione di metano. Il consumo di metano da parte del suolo è dovuto alla sua ossidazione che può essere di tipo biotico od abiotico, con una netta prevalenza dei processi microbici per la presenza nel suolo di batteri metanotrofi.

Gli ossidi di azoto, tra i gas responsabili dell'effetto serra, possono essere prodotti da processi di natura biotica ed abiotica che avvengono nel suolo. Il protossido di azoto è prodotto dai processi di riduzione dissimilatoria del nitrato, che avvengono in condizioni anaerobiche, o durante il processo di nitrificazione, cioè in condizioni aerobiche.

E' possibile con diverse strategie diminuire la velocità dei processi che portano alla produzione di gas responsabili dell'effetto serra. Così nel caso del CH_4 , è possibile diminuire la sua produzione operando con opportune pratiche agricole, quali l'interruzione della sommersione mediante drenaggio, la fertilizzazione con compost e composti a base di solfato e l'aggiunta di inibitori della nitrificazione. Nel caso della produzione di CO_2 si può operare attraverso pratiche agricole, quali la lavorazione ridotta, la scelta del "set-aside" e di tutte quelle operazioni che favoriscono l'aumento del tenore di sostanza organica del suolo.

IL SUOLO IN ITALIA E IN EUROPA

Marcello Pagliai, Edoardo Costantini

Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo
Piazza M. D'Azeglio, 30 - 50121 Firenze

Sebbene le conoscenze di Scienza del Suolo, sia in termini qualitativi sia quantitativi, in Italia abbiano raggiunto un livello assolutamente paritario con gli altri Paesi Europei, come si può evincere anche dall'esame della letteratura internazionale, molto resta ancora da fare in termini di traduzione applicativa di tali conoscenze al fine proprio di conservare e valorizzare la risorsa suolo. La carenza più grave, in Italia, è la mancanza di un Servizio del Suolo. Attualmente, in Europa, il servizio più avanzato è quello della Germania distribuito capillarmente nei vari "Lander". Di notevole tradizione il "Soil Survey" della Gran Bretagna potenziato proprio dopo la sua privatizzazione e alla cui guida c'è uno scienziato di valore quale è Peter Bullock, per non parlare poi, in fatto di tradizione, delle Scuole di Pedologia Francese e Olandese.

In Italia è stato istituito l'Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo presso il Ministero delle Politiche Agricole e Forestali il quale ha dato vita a importanti iniziative, fra cui la Collana dei Metodi di Analisi del Suolo, l'istituzione dei Referenti Regionali per la Pedologia, i Progetti "Metodologie Pedologiche" per la realizzazione della "Carta dei Suoli d'Italia 1:250.000".

L'ambiente pedologico Italiano è certamente più diversificato rispetto sia al Nord Europa, sia agli altri paesi del Mediterraneo. Infatti, mentre in Spagna la geologia è più stabile e in Grecia i suoli non presentano grande evoluzione, in Italia si alternano ambienti estremamente dinamici ad altri stabili ed è proprio questa variabilità che si riflette sul paesaggio. Paesaggio di notevole valore culturale e che è valso all'Italia l'appellativo di "Bel Paese".

Da un punto di vista strettamente pedologico, ad esempio, i suoli vulcanici sono tipici dell'ambiente Italiano così come i suoli argillosi presentano notevoli peculiarità specialmente rispetto ai Paesi del Nord Europa. La rete delle crepacciature di quest'ultimi suoli, oltre a rappresentare un esempio di strutturazione indipendente dalla presenza di "cementi", consente un'elevata infiltrazione dell'acqua in lunghi periodi dell'anno. Questo rende difficile, fra l'altro, l'applicazione di modelli di previsione dell'erosione del suolo.

La vulnerabilità dei suoli italiani ai processi degradativi è certamente più elevata rispetto agli altri Paesi Europei proprio per la variabilità dell'ambiente. La modernizzazione dell'agricoltura tende indubbiamente ad uniformare le agrotecniche, cosa che mal si concilia con la diversità delle condizioni podologiche. Negli ambienti collinari e montani, prevalenti nel nostro Paese, ha notevolmente aumentato, ad esempio, i processi erosivi. Fenomeni di degradazioni sono stati indotti anche in ambienti pianeggianti ove le monoculture e le lavorazioni tradizionali intensive hanno provocato la formazione di strati compatti lungo il profilo (suola d'aratura) sconvolgendo le proprietà idrologiche dei suoli e riducendo il drenaggio, con conseguenti sommersioni in casi di eventi piovosi notevoli e concentrati in breve tempo. Simili conseguenze sono state prodotte, ad esempio, dalle recenti alluvioni francesi in cui i tecnici ed i mezzi di informazione di massa ne hanno palesemente attribuito la causa all'intensificazione dei sistemi produttivi agricoli e proprio alla formazione della suola d'aratura. Altri aspetti di degradazione del suolo riguardano il compattamento e la formazione di croste superficiali in seguito all'impovertimento di sostanza organica dei suoli.

I problemi di degradazione del suolo e dell'ambiente sono, quindi, essenzialmente dovuti ad una non equilibrata pressione antropica, sia agricola sia extragricola. Proprio a quest'ultima si deve il consumo di suolo, con le relative conseguenze, quali l'impermeabilizzazione ("soil sealing").

La suddetta diversificazione dell'ambiente italiano e della vulnerabilità dei suoli infine molto spesso fa risultare non corretta l'applicazione delle Direttive Comunitarie in materia di politiche agricole (PAC).

SUELOS DEL PERU, CON ENFASIS EN SUELOS DE AREQUIPA

Valdemar Medina Hoyos

Universidad Nacional De San Agustin De Arequipa - Perú

1. Ubicacion

El Perú, está ubicado en América del Sur, entre las coordenadas 0°0'48'' a 18°21'03'' de latitud sur y 68°39'27'' a 81°19'35'' de longitud oeste. Asimismo Arequipa se ubica al sur del Perú, se encuentra entre las coordenadas: 14°38'14'' a 17°16'54'' de latitud sur y 70°50'24'' a 75°05'52'' de longitud oeste.

La superficie total del Perú es de 128'521,560 has, siendo el área cultivada de 2'927,000 has, distribuidas en las tres regiones naturales: Costa: 970,000 has., Sierra: 1'517,000 has., Selva: 440,000 has.

2. Potencialidades del País

En nuestro país los suelos se clasifican en base a su condición natural (características: morfológicas, físicas, químicas, biológicas y génesis), mediante el Soil Taxonomy y su correlación con el sistema FAO/UNESCO. Sin embargo desde el punto de vista de la aptitud para la actividad agropecuaria, se ha establecido el sistema de clasificación de tierras por capacidad de uso mayor, según el cual el Perú tiene las siguientes potencialidades: Tierras aptas para cultivos en limpio o anuales (A): 4 902 000 has. que representan el 3.81% de la superficie nacional. Tierras aptas para cultivos permanentes (C): 2 707 000 has. (2.11%). Tierras aptas para pastos o forrajes (P): 17 916 000 has. (13.94%). Tierras aptas para producción forestal (F): 48 696 000 has. (37.89%). Tierras en protección (A): 54 300 5600 has. (42.25%).

Actualmente se cultiva el 2.27% de la Superficie Nacional, sin embargo el potencial es del orden del 5.92%, que constituye la máxima riqueza para la producción de alimentos, hay que resaltar que la producción forestal constituye el potencial más alto que manejado racionalmente contribuirá de manera importante a la Economía Nacional.

Además:

- la costa peruana es un gigantesco invernadero natural, donde el clima es templado todo el año y la precipitación es escasa. Gracias al aislamiento de los valles, la sanidad es factible y fácil de manejar;

- El potencial de cultivos y crianzas para cada región es inmenso, en condiciones de competitividad internacional de acuerdo a las exigencias del libre mercado.

3. Factores del entorno ecológico que condicionan la actividad agrícola

Región	COSTA	SIERRA	SELVA	
			ALTA	BAJA
Factores				
3.1. CLIMA	<ul style="list-style-type: none"> - Moderadamente templado - Temperatura promedio: 16 a 20°C - Precipitación casi nula - Régimen aridic - Toda la agricultura: bajo riego 	<ul style="list-style-type: none"> - Variable según los pisos altitudinales - Temperatura promedio: 12 a 16°C - Precipitación 400-900 mm. - Regímenes: varios - Agricultura: Secano y bajo riego (100.000 has) 	<ul style="list-style-type: none"> - Cálido - Temperatura promedio: 20-24°C - Precipitación 1500-2000 mm. - Régimen: thermic - Agricultura: valles y laderas 	<ul style="list-style-type: none"> - Cálido - húmedo - Temp. promedio: mayor 24°C - Precipitación 2000-4000 mm. - Régimen: Hiperthermic - Agricultura: playas y proximidades a poblados.
3.2. SUELO	<ul style="list-style-type: none"> - Extensas planicies - Suelos poco desarrollados: Entisoles, aridisoles e inceptisoles. - Arenosos - Con fragmentos gruesos - Estructura: sin o en formación - Reacción: neutra o alcalina. - Bajo en N-total y M. Orgánica. - Problemas: drenaje y salinidad. - Preocupación: "Hacer o formar Suelos Agrícolas" 	<ul style="list-style-type: none"> - Topogr. accidentada - Suelos más desarrollados: mollisoles, andosoles, inceptisoles, gleisoles, vertisoles, histosoles y otros. - Textura variable - Pedregocidad alta - Afloramientos rocosos - Reacción: ácidos o neutros - Bajo: N-total y P. - Problemas: Erosión, acidez, mal drenaje y salinidad. - Preocup.: Nuevas técnicas de "conservación del suelo" 	<ul style="list-style-type: none"> - Topografía: accidentada y ondulada - Suelos muy desarrollados: alfisoles, ultisoles, spodosoles y otros. - Arcillosos - Reacción: ácida - Bajo en N-total, P y K. - Problemas: erosión, acidez, mal drenaje y compactación. - Preocupación: "Agricultura intensiva continua" 	

3.3. CULTIVOS	-Gossypium barbadense y - Gossypium hirsutum -Allium cepa y A. sativum -Saccharum officinarum -Oryza sativa -Solanum tuberosum -Citrus aurantium, C. nobilis, -C. sinensis, C. Medica -Zea mays -Asparagus officinalis -Persea americana -Olea europea -Vitis vinifera -Mangifera indica -Pirus malus -Prunus persica -Fragaria vesca -Phaseolus vulgaris, P. lunatus -Otras Hortalizas y forrajes	-Zea mays -Solanum tuberosum y S. goniocalix -Triticum aestivum -Hordeum vulgare - Chenopodium quinoa -Ullucus tuberosus -Oxalis tuberosa -Lepidium meyenii -Vicia faba -Amaranthus caudatus -Allium sativum -Pisum sativum -Lupinus mutabilis -Origanum vulgare -Tropaeolum tuberosum -Otros.	-Coffea arabica -Oryza sativa -Zea mays -Thebroma cacao -Manihot esculenta -Camellia sinensis -Citrus aurantium, -C. nobilis, -C. sinensis, -Phoenix spp. -Ananas comosus -Carica papaya -Otros frutales tropicales -Varios forrajes
3.4. HOMBRE	-Alto nivel educacional. -Favorecido por factores socioeconómicos y políticos. (grandes mercados y buenas vías de comunicación)	-Bajo nivel educacional. -Escasas vías de comunicación	-Bajo nivel educacional. -Escasas vías de comunicacìon

4. Suelos de Arequipa

La UNSA, mediante convenio con el ISRIC de Holanda, realizamos una colección regional de Monolitos de Suelos en los Departamentos de Arequipa, Moquegua, Tacna, Cuzco y Puno, como parte de la Colección Nacional y la colección mundial con sede en Holanda.

4.1 Suelos de la I. Majes

- Geológicamente los suelos de Majes y Siguas constituidos por depósitos fluviales, eólicos y de origen volcánicos recientes, están sobre conglomerados y guijarros de origen aluvial pleistocénico.

- El régimen de humedad es aridic (precipitación menos de 7 mm anuales) y el régimen de temperatura es thermic (18.5°C, la evaporación anual es de 2230 mm).

- Fisiográficamente, es una llanura o planicie costera, ubicada en los flancos occidentales de Arequipa, presenta un ancho aproximado de 45 Km y es atravesado por quebradas de profundidad, ancho y longitud variable.

- Topográficamente, está constituido por áreas planas o ligeramente onduladas, áreas de lomas bajas y colinas, la pendiente es ligeramente inclinada (1 al 2%).

- Por las características de los suelos taxonómicamente corresponden a torrifluvents

4.2 Suelos de la campiña de Arequipa

Existe variación de suelos: unos derivados de materiales volcánicos, otros derivados de materiales aluviales y el sistema de andenes, las características se presentan en el cuadro 1.

4.3. Suelos de valles

Corresponden a materiales aluviales que han dado lugar a suelos altamente productivos, sin embargo con serios problemas de mal drenaje y salinidad, de 26.000 has. bajo riego, el 46% (12,000 has.) tiene estos problemas en diverso grado.

Cuadro 1. Análisis de suelos representativos del Perú

LUGAR Clasificación	Análisis Mecánico					Cambiables										
	CE mS/cm	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura	pH	CaCO ₃ %	MO %	P ppm	K ₂ O kg/ha	CIC	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺ Na ⁺ Al ⁺⁺ Cmol/kg		
Irrigación Majes Torriorthent xeric (FAO/U: eutric regosol)	0.69	92	6	2	Arena Franca	8.2	0.47	0.41	0.6	563	5.4	3.32	1.4	0.4	0.28	0
Characato vitramdept mollic (FAO/U: mollic andosol)	1.31	55	41	4	Fco. Arenoso	7.3	0	2.21	5.9	582	12.2	6.67	5	0.23	0.3	0
El Cural vitramdept typic (FAO/U: ochric andosol)	0.37	84	12	4	Arena franca	7.3	0	0.11	3.2	413	5.6	2.83	1.8	0.71	0.26	0
Puno calciustoll (FAO/U: calcic castanozem)	3.2	56	42	2	Fco. Arenoso	7.6	3.95	3.97	13.4	855	20.4	8.8	10.4	0.5	0.7	0
Yurimaguas argiudult	0.07	20	32	48	Arcilloso	4.8	0	1.48	1.2	169	6	1.26	0.19	0.16	0.19	4.2

5. Erosión de suelos

La erosión entendida como el desprendimiento o transporte físico de los materiales sólidos de la superficie del suelo, es realizado en el Perú por acción del viento especialmente en la Costa y por el agua de lluvia en Sierra y Selva. Se ha estimado que por erosión hídrica anualmente se pierde al Océano Pacífico una cantidad aproximada de suelo de los cincuenta y dos ríos del país, equivalente a la capa arable (20 cm) de 318,000 has.; por otro lado la Cordillera de los Andes aporta 13.5 t de sedimento por segundo al río Amazonas que desemboca en el Océano Atlántico.

5.1. Formas de erosión

En el Perú las formas de erosión hídrica más conocidas son:

- Erosión laminar: es consecuencia de las gotas de lluvia y el flujo superficial que escurre como un manto, de manera imperceptible pero transportando materiales finos y fértiles.

- Erosión en surcos: se debe a las irregularidades del terreno, en las depresiones la concentración del agua de lluvia es mayor, provocando el desprendimiento del suelo.

- Erosión en cárcavas: es un proceso de socavación, donde el agua de lluvia corta el suelo y se ensancha por contracción del flujo de agua.

5.2. Efecto de la erosión

En la campaña agrícola 98 - 99 en la localidad de Yunguyo - Puno, se realizó una investigación para determinar la cantidad de suelo perdido por erosión fluvial a diferentes pendientes para el cultivo de papa, llegándose a establecer las siguientes conclusiones:

- La cantidad de suelo erosionado por el agua de lluvia, en el cultivo de papa fueron de 18.91, 12.95, 8.83 y 4.5 kg/10m²/campaña para pendientes de 12, 8, 4 y 2% respectivamente.

- El nivel de precipitación a partir del cual se inició la erosión hídrica, corresponde a una lámina de agua de 12.6 mm por día con una intensidad de 3.5 mm/hora y una duración de 3.6 horas, registrándose 33 precipita-

ciones que causaron erosión durante la campaña (Noviembre 98 a Mayo 1999).

En Tarapoto - San Martín (Ceja de Selva) se evaluó la erosión en terrenos con 60% de pendiente, llegándose a establecer una pérdida del suelo de 0.3 t/ha, 40 t/ha y 70 t/ha para bosques, cultivo de maíz y cultivo de piña respectivamente.

5.3. Control de la erosión

En el Perú existe una entidad dominada Proyecto Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y conservación de suelos (PRONAMACHCS), dependiente del Ministerio de Agricultura, que apoya una serie de prácticas conservacionistas para el control de la erosión de los suelos.

A. Practicas agronomicas-culturales

- Evitar los surcos en el sentido de la máxima pendiente
- Promover la aradura y el surcado en contorno
- Difundir el uso de barreras vivas
- Promover la fertilización orgánica: compost, estiércol, abono verde, rastrojos, etc.
- Utilizar cultivos de cobertura

B. Practicas forestales y pastizales

Forestales

- Instalación de bosques de producción y protección
- Agroforestería que a la vez actúa como cortina rompeviento
- Protección de riberas con especies forestales

Pastizales

- Semilleros para la siembra de pastos
 - Recuperación de pasturas con especies de buena calidad
 - Silvopasturas para la producción ganadera y forestal integrada
-

C. Practicas mecanico estructurales

C.1. Rehabilitación de andenes

- Existe en nuestro país cerca de 500,000 has de laderas andenadas de los cuales el 75% se encuentran en estado de abandono o semi destruidas. La rehabilitación se inicia separando los materiales de la zona derumbada, se limpia hasta el cimiento mismo del muro, se coloca el relleno y la tierra del subsuelo, se construye el muro siguiendo el mismo nivel de la parte sana, es recomendable que toda la construcción se haga en terreno húmedo a fin de lograr una buena compactación y estabilidad del muro.

C.2. Contrucción de andenes

- Los andenes son estructuras construidas en forma de escaleras con la finalidad de cortar la pendiente de las laderas, transformándolas en plataformas de terreno horizontal, sostenidas por muros de piedra ligeramente inclinados hacia adentro

C.3. Contrucción de terrazas de absorción

- Las terrazas de banco son una serie sucesiva de plataformas (bancos o terraplenes), dispuestas a manera de escalones en las laderas.

- Los terraplenes pueden construirse a nivel o con una ligera inclinación hacia adentro; sus bordes tanto externo como interno, se encuentran a nivel.

C.4. Contrucción de terrazas de formación lenta

- Es recomendable la aplicación de esta práctica en terrenos cuya pendiente sea hasta 30%, para construir estas terrazas se forma en contra de la pendiente del terreno barreras con una pirca de piedras o árboles. Para construir las pircas hacemos primero una zanja de 30 a 40 cm de profundidad, ahí se ponen las primeras piedras como cimiento para que la pirca tenga estabilidad, sobre este se levanta los primeros 50 cm y cada vez que la tierra se llena se levanta más la pirca.

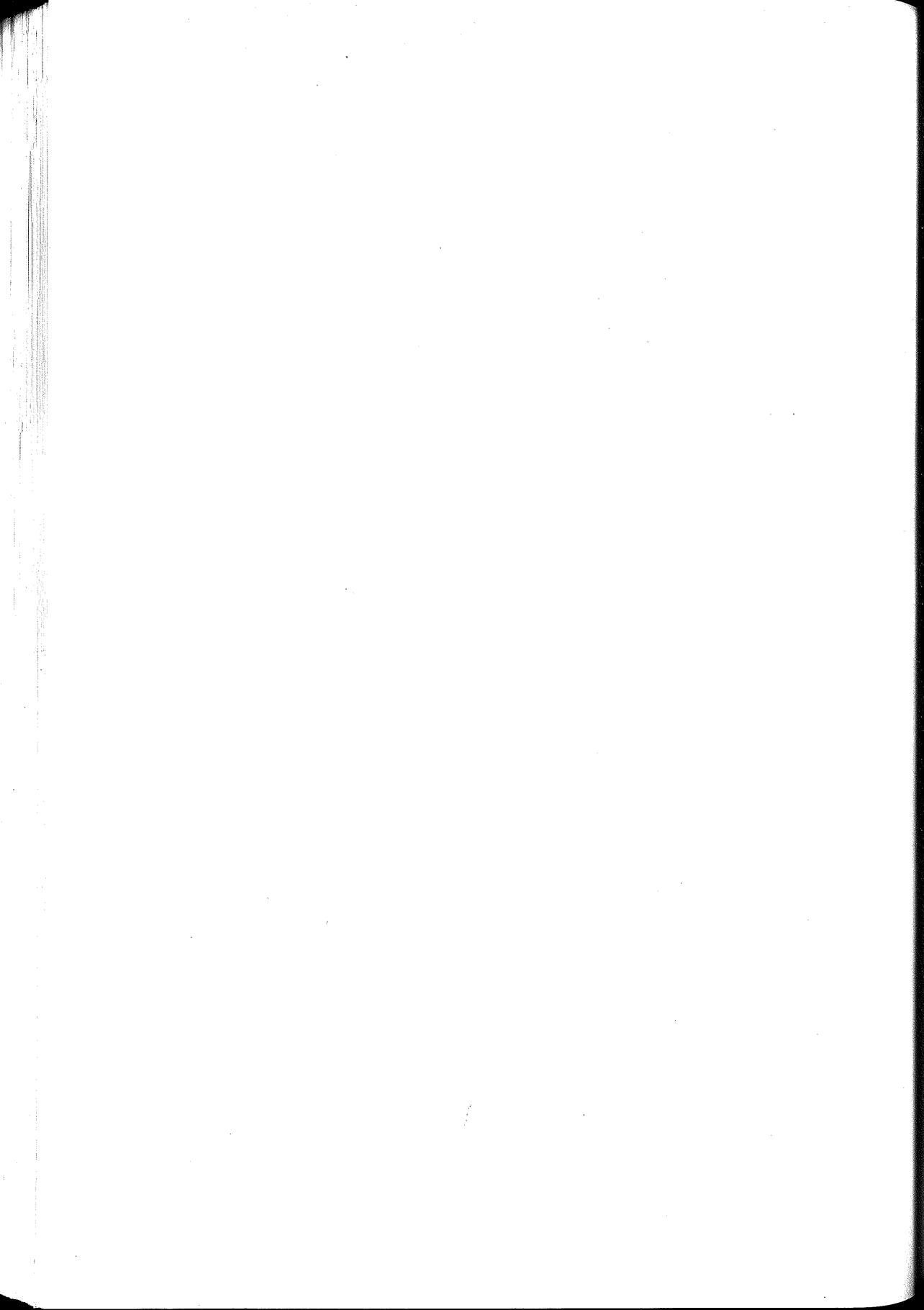
C.5. Contrucción de zanjas de infiltración

- Son pequeños canales de sección rectangular o trapezoidal, generalmente asimétricos; se construyen transversalmente a la máxima pendiente del terreno. El fondo de estos canales debe de estar a nivel salvo que se trate de acequias o canales de desviación, en las que la pendiente recomendable es de 1 a 3 % y su desembocadura debe efectuarse en una zona

protegida a fin de evitar la formación de una gran cárcava.

C.6. - Contrucción de diques para el control de cárcavas

- Cárcava es una zanja causada por la erosión hídrica del suelo; sigue generalmente la máxima pendiente del terreno y constituye un cauce natural en donde se concentra y corre el agua proveniente de las lluvias. El agua que corre por la cárcava arrastra gran cantidad de partículas de suelo, producto de la erosión.





**Società Italiana della Scienza
del Suolo**



**European Cooperation in the field
of Scientific and Technical
Research**

Workshop

COST Action 831/838

***Soil Emergency: Microbial
Biodiversity Conservation***

**Fondazione Ettore Majorana
Erice (Sicilia), 18 maggio 2001**



IL RUOLO DELLE CONVENZIONI INTERNAZIONALI NELLA CONSERVAZIONE DELLA BIODIVERSITÀ

Anna Benedetti

Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante
Via della Navicella, 2 - 0184 Roma

Conferenza di Rio de Janeiro 5 giugno 1992

Il problema del declino della biodiversità, visto in larga parte come il risultato dell'impatto esercitato dalle attività umane sugli ecosistemi naturali, è stato affrontato per la prima volta nella conferenza di Rio de Janeiro del 5 giugno 1992. In tale occasione tutte le delegazioni presenti (oltre 150 stati membri) si sono trovate d'accordo nel ribadire che i beni ed i servizi essenziali del nostro pianeta dipendono dalla diversità e variabilità, delle specie, delle popolazioni e degli ecosistemi. Le risorse biologiche sono la fonte del sostenimento di tutti gli esseri umani pertanto nel protocollo viene sottolineato che ogni Paese ha il diritto assoluto di sfruttare le proprie risorse biologiche nel contesto delle proprie politiche ambientali, come pure il dovere di conservare la propria biodiversità e di utilizzare le risorse biologiche in modo sostenibile. Ai Governi viene affidato il compito, attraverso Piani nazionali (con il sostegno delle organizzazioni intergovernative), di raccogliere, valutare e scambiare sistematicamente informazioni sulla conservazione della diversità biologica e sull'uso sostenibile delle risorse biologiche; inoltre dovrebbero anche realizzare misure atte a rispettare, documentare, proteggere e promuovere una più ampia applicazione delle conoscenze, delle innovazioni e delle pratiche adottate dalle comunità locali ed indigene per la conservazione della biodiversità e l'utilizzo sostenibile delle risorse biologiche.

Il punto cruciale dei negoziati, su cui è stato raggiunto l'accordo, ha riguardato l'obiettivo di realizzare una ripartizione giusta ed equa fra i produttori e gli utilizzatori della risorse biologiche e dei benefici derivanti dall'utilizzazione delle risorse di biodiversità soprattutto a livello di risorse genetiche, la Conferenza di Rio ha quindi messo l'accento sul potenziale contributo delle biotecnologie alla conservazione della biodiversità.

Il testo originale della Convenzione sulla diversità biologica consta di un preambolo e di 42 articoli che impegnano tutti i Paesi firmata-

ri a sviluppare strategie, piani e programmi per la conservazione della biodiversità e per l'uso sostenibile delle risorse.

Gli obiettivi prefissati dalla convenzione sulla diversità biologica (art. 1) sono i seguenti:

la conservazione della diversità biologica l'utilizzazione durevole dei suoi elementi è la ripartizione giusta ed equa dei vantaggi derivanti dallo sfruttamento delle risorse genetiche, mediante, tra l'altro, un accesso adeguato alle risorse genetiche e un trasferimento opportuno delle tecnologie pertinenti, tenendo conto di tutti i diritti su tali risorse e tecnologie, e mediante finanziamenti adeguati.

L'articolo 7 della Convenzione sulla Diversità Biologica (Rio de Janeiro) richiede che i Paesi contraenti "identifichino le componenti della biodiversità importanti per la sua conservazione e il suo uso sostenibile e ne effettuino il monitoraggio, attraverso campionamenti od altre tecniche". Le parti sono inoltre chiamate a "identificare i processi e le categorie di attività che hanno o possono avere impatti negativi significativi sulla conservazione e sull'uso sostenibile della biodiversità, monitorare i loro effetti " e a" detenere ed organizzare i dati derivati dalla conoscenza e dal monitoraggio".

Gli articoli 16, 17 e 18 della Convenzione indicano che le Parti si impegnano anche a promuovere la condivisione, l'accesso e lo scambio delle informazioni relative alla diversità biologica. Per ottemperare ciò, nell'articolo 18 è anche previsto che le Parti sviluppino un meccanismo di "Clearing House" organizzato come rete di nodi nazionali.

Queste attività porteranno all'integrazione dei dati esistenti, alla generazione di nuovi dati e alla loro organizzazione per assicurare che le informazioni che ne derivano siano utili e facilmente accessibili.

L'attuazione della convenzione sulla diversità biologica ha comportato tutta una serie di altri protocolli o accordi tra le parti ad essa connessi come ad esempio il cosiddetto "Protocollo Biosicurezza" anche noto come IV Conferenza delle parti di Bratislava (maggio) dedicato alla definizione delle procedure atte a garantire il trasferimento, la manipolazione e l'utilizzazione in condizioni di sicurezza di ogni organismo geneticamente modificato.

Da segnalare ancora il primo incontro internazionale (giugno 1999) del Subsidiary Body on Scientific Technical and Technology Advice sugli ecosistemi aridi, sul programma globale, sulle specie invasive, ecc.

Definizione di Biodiversità

Schematicamente la diversità biologica (o biodiversità) può essere definita come l'insieme delle specie animali e vegetali, dal loro materiale genetico e dagli ecosistemi di cui esse fanno parte.

La biodiversità ingloba la diversità ecosistemica, della specie e genetica. Essa è in funzione del tempo (evoluzione) e dello spazio (distribuzione geografica).

La diversità ecosistemica definisce il numero e l'abbondanza degli habitat, delle comunità biotiche e degli ecosistemi all'interno dei quali vivono e si evolvono i diversi organismi.

Gli ecosistemi sono costituiti da comunità interdipendenti di specie in rapporto con il loro ambiente fisico. Le dimensioni degli ecosistemi sono variabili: esistono grossi ecosistemi naturali come le praterie, le mangrove, le paludi, le foreste pluviali, ecc., ma anche degli ecosistemi agricoli che presentano una combinazione caratteristica di piante e di animali, anche se la loro esistenza e conservazione è sotto il completo dominio dell'uomo.

La diversità delle specie corrisponde al numero delle specie presenti in una data zona, tenendo conto che il termine specie indica l'insieme degli individui capaci (effettivamente o potenzialmente) di incrociarsi fra loro dando origine a delle discendenze feconde e dove i membri di queste proli si rassomigliano morfologicamente fra loro. Gli individui di una stessa specie possono differenziarsi poco o tanto fra loro ma, all'interno di ogni specie, tutti gli individui mantengono i caratteri peculiari di quella specie. Questa definizione standard non può tuttavia essere applicata a quegli organismi che si riproducono per mezzi non sessuali (per esempio i virus). Naturalmente anche questi organismi rappresentano una parte significativa ed importante del nostro pianeta.

La diversità genetica designa la variazione dei geni e dei genotipi all'interno della specie. Essa corrisponde alla totalità dell'informazione genetica contenuta nei geni di tutti gli animali, i vegetali e microrganismi che popolano la terra.

Le specie si compongono di individui aventi delle caratteristiche ereditarie (genetiche) differenti. Secondo le attuali teorie evuzionistiche, la varietà dei codici genetici permette alle singole specie di evolversi progressivamente e di sopravvivere negli ambienti che si modificano.

Piano nazionale italiano sulla biodiversità

Con la legge 124 del 14 febbraio 1994 pubblicata sulla G.U. del 23/02/94 l'Italia approva le linee strategiche per l'attuazione della convenzione di Rio de Janeiro per la redazione del "piano nazionale sulla biodiversità" partendo da l'inventario e il monitoraggio del patrimonio naturale (genetico e culturale) nazionale.

L'inventario

Consiste nel rilevamento, la sistematizzazione e la mappatura del patrimonio naturale a livello di geni, specie, popolazioni, habitat, biotopi, ecosistemi, paesaggi, definendone le componenti, gli assetti strutturali e i processi funzionali.

L'inventario consente di conoscere lo stato di conservazione della biodiversità attraverso il monitoraggio di parametri chiave e bioindicatori e fornisce inoltre le informazioni di base per la valutazione dei cambiamenti negli ecosistemi, naturali o causati dall'uomo.

I livelli di organizzazione biologica variano nello spazio e nel tempo per quanto concerne la composizione e l'abbondanza relativa delle componenti, le strutture e le dinamiche. L'inventario quindi non potrà essere definitivo, in quanto ci saranno sempre nuove aggiunte, variazioni, scomparsa di entità.

L'uso del termine inventario, sebbene possa sembrare riduttivo rispetto ai contenuti esposti, si è tuttavia consolidato nelle sedi negoziali internazionali concernenti la biodiversità e nelle relative strategie di attuazione e nella specificata ampia accezione sarà utilizzato anche in questo contesto.

Il monitoraggio

Il monitoraggio è sempre orientato; nel caso della biodiversità è finalizzato a permettere la co-noscenza tempestiva delle variazioni.

L'efficacia del monitoraggio dipende dai seguenti fattori:

- individuazione delle scale temporali e spaziali di indagine congrue con le variazioni spazio temporali dei livelli di organizzazione monitorati;

- uso di indicatori appropriati per fornire le informazioni richieste e illustrare le variazioni interessanti;
- uso di metodologie appropriate ed efficienti per lo studio o la gestione del sito in oggetto o di siti analoghi;
- standardizzazione dei criteri di raccolta dei dati e delle analisi statistiche;
- disponibilità e organizzazione dei dati esistenti;
- integrazione di dati biotici con dati abiotici ed antropici in una struttura appropriata;
- esistenza di sistemi di classificazione degli oggetti di studio.

Il *Clearing-House Mechanism* è una rete di diffusione e di comunicazione costituita dalle Parti firmatarie e dai loro Partner. Tale meccanismo ha anche lo scopo di facilitare collaborazioni, tra le quali quelle scientifiche e tecniche, in modo da conseguire gli obiettivi degli articoli della Convenzione sulla Diversità Biologica.

Conoscenza, monitoraggio e conservazione della biodiversità

Conoscenza e monitoraggio sono alla base della conservazione e della gestione del patrimonio biologico: gli inventari forniscono le conoscenze di base ed il monitoraggio misura le variazioni.

La gestione sarà orientata dal monitoraggio per:

- sviluppare strategie, piani e programmi;
- integrare la conservazione e l'uso sostenibile della biodiversità con politiche, piani e programmi;
- effettuare la valutazione dell'impatto ambientale.

Tali attività di conservazione della biodiversità sono spesso basate su informazioni inadeguate per le seguenti ragioni:

- i dati necessari sono incompleti, non aggiornati;
 - i dati sono in un formato non facilmente utilizzabile da chi deve prendere le decisioni;
 - i dati non sono correttamente interpretati.
-

Situazione attuale in Italia

La conoscenza sistematica del patrimonio naturale (biologico e culturale) del Paese è stata riconosciuta quale condizione fondamentale per la politica nazionale riguardante le aree naturali protette dalla legge quadro del settore. La legge individua nella "Carta della Natura" lo strumento di organizzazione delle conoscenze.

La Carta costituisce pertanto il sistema conoscitivo dell'ambiente attraverso il quale le conoscenze disponibili sono acquisite in maniera sistematica ed organizzata e vengono integrate con nuove conoscenze. La Carta si configura quindi come strumento di organizzazione ed integrazione, con caratteristiche evolutive temporali.

Le conoscenze dovranno essere restituite ai diversi fruitori in forma organica ed aggiornata, attraverso uno specifico sistema informativo diffuso nel territorio, collegato ed integrato al nodo italiano del *Clearing-House Mechanism*.

Si tratta di un sistema sia di produzione e diffusione delle informazioni, sia di coordinamento delle informazioni disponibili presso i diversi soggetti, (istituzioni, enti di ricerca, organismi non governativi), sul modello dei *Clearing-House Mechanism* delle Convenzioni Globali (Biodiversità, Desertificazione) o Centri Nazionali di informazione sulla biodiversità individuati nella "Strategia Globale per la Biodiversità" della IUCN ed UNEP.

In estrema sintesi il Piano Nazionale sulla biodiversità dovrebbe consentire:

- la verifica dei programmi nazionali di conservazione degli ecosistemi, degli agroecosistemi e dei paesaggi ecologici ed il loro rafforzamento ed integrazione con i programmi della biodiversità;
 - la verifica dei programmi di conservazione delle specie delle popolazioni e delle risorse genetiche ed il loro potenziamento ed inquadramento nelle politiche di sviluppo sostenibile;
 - l'individuazione delle strategie per l'integrazione delle misure di protezione della biodiversità in tutti i settori dell'attività umana;
 - la definizione di programmi di educazione e sensibilizzazione sui temi della biodiversità;
 - l'identificazione delle misure a livello istituzionale per l'utilizzazione e la verifica periodica delle strategie per la conservazione della biodiversità.
-

Ufficio – Biodiversità, tecnologie innovative e PVS

Tra le diverse iniziative intraprese in Italia per l'attuazione degli impegni sottoscritti con la convenzione di Rio de Janeiro presso il Ministero delle Politiche Agricole e Forestali (Direzione Generale per le Politiche Agroindustriali Nazionali) è stato costituito un apposito ufficio diretto dal Dott. Ferdinando di Maio intitolato "Biodiversità, tecnologie innovative e Paesi in via di sviluppo (PVS)" al fine di curare tutti gli interventi volti alla salvaguardia della biodiversità dei prodotti di interesse agrario e forestale.

Sempre nell'ambito del MiPAF è stato istituito un comitato per l'agricoltura sostenibile presieduto dall'On. Ministro al quale fanno capo dei gruppi di lavoro specifici, tra di essi opera quello sulla "Biodiversità" presieduto dal Prof. Gianni Tamino con il compito di promuovere iniziative sulla conservazione della biodiversità con particolare riferimento agli interessi legati all'agricoltura.

Progetti di ricerca specifici sui microrganismi

Sempre nell'ambito delle iniziative promosse dall'ufficio "Biodiversità tecnologie innovative e PVS" in collaborazione con l'ufficio ricerca e sperimentazione dal 1999 al MiPAF ha finanziato un progetto finalizzato "Collezioni di microrganismi" coordinato dal Prof. Antonio Quaquarelli direttore dell'Istituto Sperimentale per la Patologia Vegetale con l'obiettivo specifico di effettuare un monitoraggio delle collezioni microbiche di interesse agrario e successivamente organizzarne una banca dati nazionale. Parallelamente sono stati attivati altri gruppi per le risorse genetiche vegetali ed animali coordinati rispettivamente dal Prof. Fideghelli e dal Direttore dell'Istituto Sperimentale per la Zootecnia. Infine nell'ambito del Progetto Finalizzato PANDA-Microrganismi opera una UU.OO. coordinata dalla Prof.ssa Manuela Giovannetti sulla individuazione e successiva standardizzazione di tecniche di isolamento e conservazione di microrganismi del suolo *in situ* ed *ex situ*. In particolare nell'ambito di questo progetto si intende effettuare:

- 1) Raccolta di dati e organizzazione di un database nazionale riguardante le collezioni di germoplasma *ex-situ* di microrganismi del suolo

importanti per la nutrizione delle piante e/o in pericolo di estinzione. In particolare potranno essere prese in considerazione le collezioni di: funghi saprotrofi del terreno ad alta efficienza di degradazione della sostanza organica; funghi micorrizici arbuscolari; batteri azotofissatori, sia simbionti radicali delle leguminose che viventi in associazione con radici di cereali; attinomiceti azotofissatori simbionti radicali.

2) Sviluppo di protocolli per la moltiplicazione e conservazione dei suddetti microrganismi in collezioni *ex-situ*, ai fini della estensione della disponibilità delle loro risorse genetiche, per la ricerca e la sperimentazione in agricoltura, e per la produzione di colture microbiche di qualità controllata.

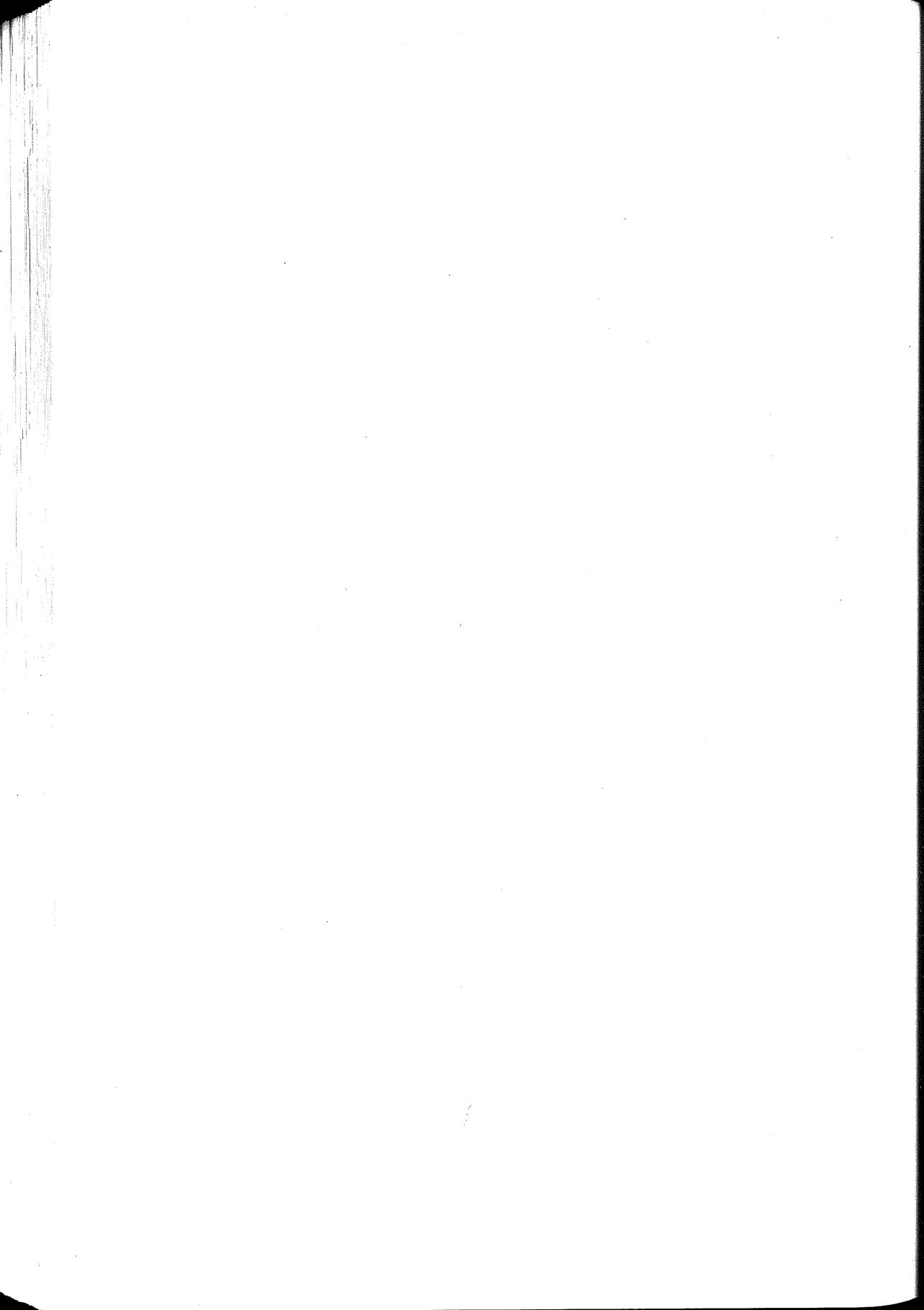
3) Promozione degli studi sulla evoluzione e la diversità genetica di popolazioni 'dei microrganismi suddetti, anche ai fini della valutazione e selezione degli isolati in base a caratteristiche agronomicamente interessanti, come infettività, efficacia, efficienza, abilità di controllo biologico, tolleranza a stress biotici ed abiotici.

Conclusioni

Da questa breve rassegna sulle attività in corso a livello internazionale e nazionale sulla conservazione della biodiversità appare importante sottolineare l'esigenza di ribadire quanto più possibile il ruolo fondamentale dei microrganismi nella conservazione degli ecosistemi siano essi naturali o agricoli. La convenzione di Rio de Janeiro nomina esplicitamente nell'articolo 9 "Conservazione *ex situ*" i microrganismi unitamente a piante ed animali, cosa non sempre presente negli altri documenti. Nello stesso piano italiano si parla genericamente di risorse biologiche e nelle iniziative successivamente intraprese sembra che i microrganismi non siano stati sottaciuti, quanto piuttosto dimenticati.

L'attenzione dedicata dal Ministero delle Politiche Agricole alla biodiversità microbica scaturisce dall'importante presenza tra i suoi Istituti di Ricerca e Sperimentazione Agrarie di gruppi tematici sui microrganismi. Ben 22 diverse istituzioni studiano i microrganismi di interesse agrario che vanno dai lieviti per la vinificazione, ai rizobi simbionti dei foraggi, alla produzione di formaggi tipici, a virus e batteri per la lotta biologica integrata, ecc. È stata altresì avanzata al MiPAF l'esigenza di inserire nei protocolli

sperimentali per la sperimentazione in ambiente confinato di OGM i dovuti controlli sull'impatto sulla biodiversità del suolo attualmente ignorati dalla stessa direttiva 90/220/CEE.



LA BIODIVERSITÀ DEI MICRORGANISMI DEL SUOLO

A. Russo¹, M. Agnolucci¹, M. Nuti¹⁻²

¹ Dipartimento di Chimica e Biotecnologie Agrarie,
Via del Borghetto 80, 56124 - Pisa

² Istituto di Mutagenesi e Differenziamento del CNR, Area della Ricerca
Via Moruzzi 1, 56124 - Pisa

Premessa

Vi sono alcune buone ragioni che giustificano l'aumento di interesse per la biodiversità dei microrganismi del suolo, così come è testimoniato dall'aumento costante delle pubblicazioni su questa tematica nella letteratura scientifica internazionale (Insam, 2001). Queste ragioni sono legate soprattutto alla messa a punto di strumenti legislativi che, a livello europeo, regolano la registrazione e l'uso di prodotti per l'agricoltura biologica. La dir. 2001/36/CE del 16 Maggio 2001 che modifica la precedente dir. 911/414/CEE del Consiglio, relativa all'immissione in commercio dei prodotti fitosanitari, stabilisce infatti che l'allegato 2 della sopracitata 414 sia modificato come segue: "... per le sostanze attive costituite da microrganismi o virus le prove e le analisi intese ad ottenere dati sulle proprietà e/o sulla sicurezza per quanto riguarda aspetti diversi dalla salute umana possono essere svolte da Enti ed Organismi di prova ufficiali o ufficialmente riconosciuti ...". La stessa direttiva 36 modifica la parte B introducendo norme precise per la identificazione e descrizione delle specie e la caratterizzazione del ceppo, informazioni sugli organismi bersaglio e notizie circostanziate sugli effetti su specie diverse dall'organismo bersaglio. Sono richieste altresì notizie precise sulla capacità di diffusione e di colonizzazione, sulla stabilità genetica, sulla produzione di metaboliti, sugli effetti nei confronti dell'ambiente oltre che, ovviamente, i dati tossicologici. La persistenza del microrganismo, la sua tracciabilità, il suo destino nell'ambiente fanno parte integrante delle notizie che ciascun dossier deve riportare ai fini della registrazione del prodotto.

Risulta quindi più chiaro che, dopo la stringente legislazione sugli OGM (dir. 2001/18/Ce che abroga la precedente 90/220/CEE), il legislatore europeo impone una revisione critica di tutte le sostanze che vengono immesse volontariamente nell'ambiente, siano esse destinate all'alimentazione

umana ed animale, oppure alla protezione della salute delle piante. Per esempio le oltre 60.000 molecole di prodotti fitosanitari devono essere riviste alla luce di queste nuove esigenze legislative (ne sono state riviste circa 10.000) e gli effetti ambientali devono essere ora accuratamente descritti, inclusi quelli sui microrganismi del suolo, sulla loro biomassa sulla loro biodiversità.

A fronte delle mutate esigenze normative, disponiamo di un mutato quadro di conoscenze che ci consente di affrontare le domande poste dal legislatore con adeguati approcci metodologici (Sirsi e Nuti, 2002).

Il concetto di biodiversità

La biodiversità microbica è stata sovente interpretata come la ricchezza e la variabilità di individui che afferiscono ai vari taxa. La messa a punto di sempre più rapidi, efficaci e puntuali metodi di indagine ha permesso durante l'ultima decade di allargare questo concetto che oggi include la diversità di individui anche al di sotto dei ranghi di specie e biovar e che può essere definita come la variabilità ereditabile a livello di geni all'interno di una popolazione o specie, la variabilità di specie che compongono in parte o in toto una comunità, e la variabilità di comunità microbiche riferibili ai vari ecosistemi. Sarebbe opportuno comunque, data la natura particolarmente complessa dell'ambiente suolo, definire la biodiversità in senso funzionale sia a livello di singole cellule microbiche che di comunità microbiche nei confronti dell'ambiente circostante.

Numerosi sono i metodi disponibili per valutare la diversità dei microrganismi del suolo (individui o comunità), metodi che includono procedure basate sul DNA oppure non basate sul DNA. Per comodità si riportano in elenco nella Tab.1. Utilizzando alcuni di questi metodi appare oggi che in 1 g di suolo possano essere presenti tra 4.000 e 18.000 genomi equivalenti, il che pone evidentemente il problema di una certa ripetitività di un singolo genoma equivalente quando ad esempio con metodi colturali si possono stimare fino a oltre 10^9 UFC per grammo. E' peraltro possibile che le minime variazioni all'interno di un genoma equivalente esprimano proprio quella variabilità all'interno di una specie o biovar, che non può essere apprezzata con le cinetiche di riassociazione e che deve essere affrontata invece con metodi elettroforetici.

Tabella 1. Metodi più comunemente usati per lo studio della diversità microbica

Metodi	Commenti
VC	<i>Viable and Culturable microbiota</i> (colony forming units) Non rappresentativo della diversità totale (0,1-10% della popolazione totale può essere coltivata); richiede diversi mezzi selettivi
VNC	<i>Viable but Not Culturable status</i> La valutazione è possibile solo in casi selezionati; il rapporto VC/VNC può essere 1/104-105 per Rhizobium
CLPP	<i>Community Level Physiological Profiles</i> Le specie sono identificate sulla base della loro capacità di utilizzare differenti fonti di carbonio
FC	<i>Flow Cytometry</i> Conta dei microrganismi; lavoro intenso
SU	<i>Substrate Utilization</i> Misura della diversità metabolica
ISH	<i>In Situ Hybridization</i> Lavoro intenso, può essere usato per identificare microrganismi metabolicamente attivi
FISH	<i>Fluorescence In Situ Hybridization</i> Permette la identificazione e la quantificazione dirette di specifici e/o generali gruppi tassonomici all'interno dei loro microhabitat naturali
PCR/A	<i>PCR Amplification or Expression Cloning (EC)</i> Diversità funzionale definita
RFLP	<i>Restriction Fragment Length Polymorphism</i> Analisi comparative
SSCP	<i>Single Strand Conformation Polymorphism (fluorescence-based PCR)</i> Utile per analisi comparative
ARDRA	<i>Amplified Ribosomal Dna Restriction Analysis</i> Utile soprattutto per comunità batteriche semplici e per analisi comparative
RAPD	<i>Random Amplified Polymorphic DNA</i> Utile soprattutto per comunità batteriche semplici e per analisi comparative a livello di ceppo
DGGE	<i>PCR-Denaturing Gradient Gel Electrophoresis</i> Utilizzata per identificare mutazioni a livello di singola base in un frammento di DNA
TGGE	<i>Temperature Gradient Gel Electrophoresis</i> Utilizzata per identificare mutazioni a livello di singola base in un frammento di DNA
IGS	<i>Intergenic Spacers 16S-23S rDNA</i> Utile soprattutto per studi di comunità fungine semplici e per analisi comparative
ITS	<i>Internal Transcribed Spacers</i> Utile soprattutto per studi di comunità fungine semplici e per analisi comparative
PFGE	<i>Pulse Field Gel Electrophoresis</i> Utile per separare cromosomi e definire profili di DNA di isolati in coltura
DSB	<i>RNA Dot or Slot Blot</i> Studi di membri metabolicamente attivi all'interno di una comunità

SEGUE TABELLA 1

Metodi	Commenti
GSA	<i>16S rRNA Gene Sequence Analysis</i> Richiesto il clonaggio; consente l'identificazione di membri all'interno di una comunità
HMA	<i>Heteroduplex Mobility Assay</i> Strumento utile per definire le relazioni filogenetiche dei batteri
PNA	<i>Peptide Nucleic Acid-mediated PCR clamping</i> Genera librerie di rDNA da campioni ambientali
RK	<i>DNA-DNA Reassociation Kinetics</i> Consente una visione globale della complessità genetica del campione
RT-PCR	<i>Reverse Trascriptio-PCR</i> Studi di espressione genica
TRF	<i>Terminal Restriction Fragment</i> Utile per analisi comparative
CGC	<i>% GC Content</i> Visione globale della diversità di una comunità; scarsamente rappresentativa
BAC	<i>Bacterial Artificial Chromosome</i> Archivio permanente di informazioni genetiche di campioni ambientali (librerie metagenomiche); informazioni filogenetiche e funzionali di microbi in stato VNC

Il ruolo della biodiversità microbica

Così come l'ambiente può determinare fluttuazioni di biodiversità, la biodiversità microbica può esercitare un effetto complessivo sull'ambiente. Se consideriamo un terreno disturbato, quale ad esempio un terreno sottoposto a pratiche agricole, questo è caratterizzato da un indice di biodiversità minore rispetto ad un ecosistema non disturbato. Ma il perfezionamento delle tecniche di studio permette anche di definire dei casi specifici. Ad esempio delle semplici lavorazioni meccaniche in un ecosistema boschivo fanno sì che in breve tempo i microfunghi *Acaulospora* e *Scutellospora* scompaiano, mentre *Glomus mossae* risulta persistente e poi dominante; infatti quest'ultimo ha una capacità di rigenerazione delle reti miceliali ben superiore ai primi due ed è così che grazie ad un semplice intervento meccanico questa porzione di microbiota fungino-micorrizico assume carattere dominante (Helgason *et al.*, 1998).

Anche l'inoculo di un microrganismo nel suolo, o la batterizzazione dei semi, possono modificare la biodiversità microbica di un terreno coltivato: la batterizzazione dei semi di soia ha introdotto in Italia a partire dal 1990 il simbionte radicale *Bradirhizobium japonicum* che permane ancora oggi a densità compresa tra zero e 10^5 - 10^6 UFC per grammo di suolo a

seconda che la pianta ospite venga ripetutamente coltivata in quel determinato terreno (Nuti *et al.*, 1994). Le fluttuazioni di una popolazione introdotta sembrano comunque contenute all'interno di 10^2 - 10^3 UFC per grammo di terreno, così come indicato da studi che fanno uso di inoculanti microbici geneticamente modificati e pertanto identificabili in maniera non equivocabile (Corich *et al.*, 2001; Resca *et al.*, 2001).

Considerazioni conclusive

Sulla base di un mutato quadro conoscitivo e della possibilità di utilizzare precisi e più potenti mezzi di indagine, ci sembra di poter trarre le seguenti considerazioni conclusive:

- la biodiversità microbica del suolo è maggiore negli ecosistemi non disturbati rispetto a quelli disturbati;
- semplici pratiche agronomiche possono influenzare notevolmente la biodiversità microbica del suolo;
- esistono metodi che ci consentono di apprezzare la biodiversità microbica a livello di comunità, di specie, di singoli individui anche al di sotto del rango tassonomico di specie e biovar;
- l'uso di inoculanti microbici per la batterizzazione del suolo o la concia dei semi ha un impatto sull'assetto della biodiversità microbica, ma nel medio-lungo periodo le popolazioni introdotte rimangono ai livelli delle popolazioni native con un semplice effetto di sommatoria;
- nelle valutazioni di impatto ambientale la stima della biodiversità può essere fatta con una varietà di procedure e metodologie che dipenderà di volta in volta dalle esigenze dell'analisi stessa.

Bibliografia

- CORICH V., GIACOMINI A., VIAN P., CARLOT M., BASAGLIA M., SQUARTINI A., CASELLA S. AND NUTI M. (2001). Aspects of marker/reporter stability and selectivity in soil microbiology. *Microbial Ecology* 41: 333-340
- HELGASON T., DANIELL T.J., HUSBAND R., FITTLER A.H., AND YOUNG J.P.W. (1998). Ploughing up the wood-wide web? *Nature*, 394-431
- INSAM H. (2001). Development in soil microbiology since the mid 1960s. *Geoderma*, 100: 389-402
- NUTI M.P., O'GARA F., BASAGLIA M., BERINGER J. (1993). Biosafety of genetically Modified Soil Microbial Inoculant. Commission of the European DGXII Bridge Programme: European Laboratories without

Walls. Brussels 1993: 1-11.

RESCA R., BASAGLIA M., POGGIOLINI S., VIAN P., BARDIN S., WALSH U.F., BARREIROS C.M.E., O'GARA F., NUTI M.P., CASELLA S. AND PERUCH U. (2001). An integrated approach for the evaluation of biological control of the complex *Polymyxa betae* Beet Necrotic Yellow Vein Virus, by means of seed inoculants. *Plant and Soil* 232 (1-2) : 215-226

SIRSI E. E NUTI M. (2002) Science/legislation interface for microbial inoculants. Proceedings of COST ACTION 830. *Workshop on Microbial Inoculants for Agriculture Environment*, In press.

RAPPORTO DELLA I SESSIONE

Fabio Tittarelli, Stefano Mocali

Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante
Via della Navicella, 2 - 00184 Roma

La sessione Conservazione della Biodiversità Microbica è stata presieduta dal Prof. P. Nannipieri e dalla Prof.ssa L. Gianfreda.

Anna Benedetti ha aperto la sessione con un lavoro introduttivo alle principali problematiche che sono state sviluppate durante il workshop sulla conservazione della biodiversità microbica dei suoli. Ha pertanto cominciato con la descrizione del testo originale e dei principali articoli della Convenzione che si è tenuta a Rio de Janeiro il 5 giugno 1992. L'articolo 1 definisce gli obiettivi generali: la conservazione della diversità biologica, l'uso sostenibile dei suoi elementi e la ripartizione giusta ed equa dei vantaggi derivanti dallo sfruttamento delle risorse genetiche tra Paesi detentori e Paesi consumatori di tali risorse. L'articolo 7 definisce le strategie d'intervento. Gli articoli 16, 17, 18 e 19 stabiliscono il ruolo delle biotecnologie nella conservazione della biodiversità. Successivamente la Dr.ssa Benedetti ha fornito la definizione di "Protocollo di biosicurezza" ed ha mostrato il Piano Nazionale italiano per la biodiversità (Legge 124 del 14 febbraio 1994, G.U. del 23/02/94). Infine la Dr.ssa Benedetti ha presentato due progetti italiani sulla biodiversità microbica: il primo intitolato "Collezione di microrganismi", che prevede come obiettivo il censimento delle differenti collezioni di microrganismi generalmente coinvolti nei cicli biogeochimici degli elementi nutritivi del suolo; il secondo progetto, "Microrganismi per un'agricoltura sostenibile" è suddiviso in 4 diversi sottoprogetti: bioindicatori, biorimediazione, biodiversità e biofertilizzazione.

Il Prof. Nuti ha presentato un lavoro di introduzione alla diversità microbica del suolo. Nel 1997 Wilson ha definito la biodiversità come la diversità degli individui assegnati ai diversi taxa. Ai giorni nostri questa posizione sta cambiando: ci possono essere infatti cellule microbiche appartenenti a singole specie che determinano la diversità all'interno di una popolazione e più popolazioni che determinano la diversità all'interno di una comunità. I microrganismi del suolo possono essere determinati a livello quantitativo, attraverso la tecnica della fumigazione-incubazione ed a livello qualitativo usando tecniche molecolari. Il Prof Nuti ha poi riportato i metodi basati sull'analisi molecolare, sviluppati nell'ultimo decennio, per la determinazione della diversità microbica in ambienti complessi. Tali metodi sono basati sull'analisi del DNA da isolati microbici (che rappresentano solo 0,1-10 % della popolazione microbica totale) oppure da DNA direttamen-

te estratto da matrici ambientali. Successivamente il Prof. Nuti ha descritto alcune cause che possono agire sulla biodiversità come ad esempio ecosistemi disturbati, fenomeni ecologici o genetici e ha suggerito 3 diverse problematiche da approfondire: 1) Può la diversità microbica essere modificata dall'inoculazione?; 2) E' una buona strategia quella industriale del "superbug"?; 3) Siamo pronti ad accettare che la gestione dei suoli agricoli sia diversa da quella di altri ecosistemi?

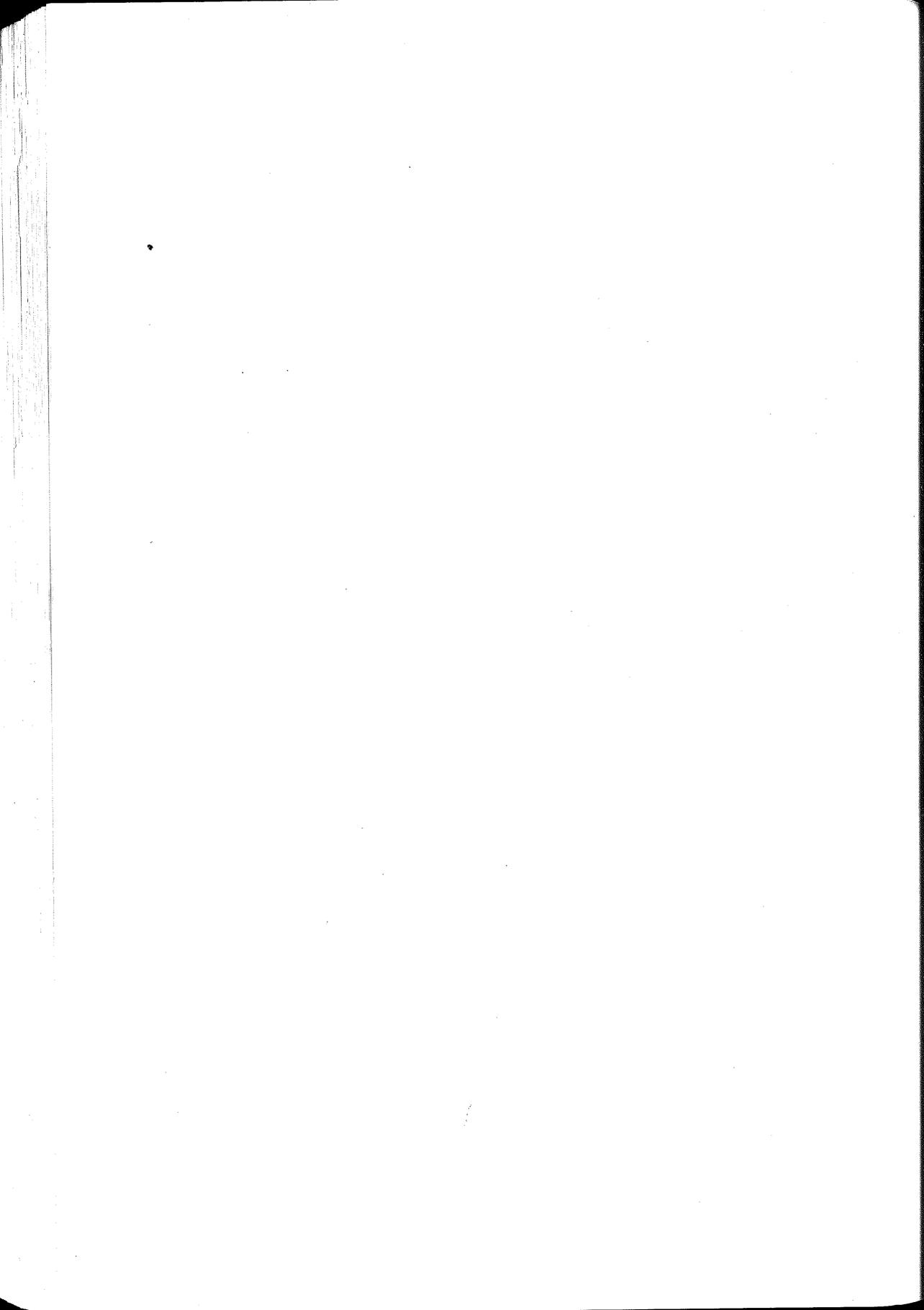
Il Prof. Lynch ha presentato un lavoro sulla biodiversità e la qualità del suolo. L'obiettivo della sua presentazione è stato di dare una risposta alle seguenti questioni: qual è il ruolo della biodiversità nel suolo? Come può essere misurata? Il Prof Lynch ha successivamente individuato i principali criteri per il biomonitoraggio ambientale ed ha fornito le indicazioni su come devono essere interpretati dagli amministratori pubblici e dall'opinione pubblica. In conclusione ha focalizzato la sua attenzione su di una ricerca effettuata negli ultimi anni: l'individuazione degli inquinanti mutageni con un gene reporter, il GFP (Green Fluorescent Protein) costruito come biomarcatore in *Trichoderma* SBW25.

La Prof.ssa Torsvick nella sua presentazione ha descritto le tecniche di biologia molecolare utilizzate per analizzare la diversità microbica a diversi livelli di risoluzione. L'obiettivo principale era di aumentare la conoscenza sul potenziale genetico e funzionale delle comunità microbiche. Sono stati descritti diversi metodi molecolari che offrono un ampio intervallo di risoluzione, spaziando dai geni specifici, o elementi genetici, alle popolazioni, fino alle comunità totali. Uno di questi è basato sul tasso al quale il DNA denaturato a singola elica si riassocia quando la temperatura è setata approssimativamente a 25°C al di sotto del suo punto di fusione. Nel suo lavoro si dimostra come questo punto sia indicativo della complessità del DNA. Infine, sono stati descritti diversi approcci basati sulla tecnica PCR-base, che danno i fingerprinting delle comunità numericamente dominanti (ARDRA, DGGE) e da cui si ottengono bande distinte, le quali possono essere soggette ad analisi filogenetiche sia mediante ibridazione con sonde filogenetiche (FISH) che mediante sequenziamento.

La Dr.ssa Smalla ha presentato un lavoro intitolato "Comunità del suolo e della rizosfera influenzate dalle colture transgeniche". Nel suo lavoro ha individuato 2 principali obiettivi da raggiungere: 1) verificare il trasferimento genico orizzontale dalle piante transgeniche ai batteri; 2) indagare gli effetti delle patate transgeniche in cui è stato modificato il metabolismo dell'amido sulle comunità microbiche. Allo scopo di approfondire questi due punti, la Dr.ssa Smalla ha descritto due progetti in cui sono stati usati approcci diretti (FAME; BIOLOG) ed indiretti (DGGE) per microrganismi

coltivabili e non coltivabili: il primo riguarda gli effetti dell'espressione del lisozima T4 della patata ed il secondo riguarda gli effetti su patata con differenti percorsi metabolici di produzione dell'amido. Nel lavoro si suggerisce che: 1) i metodi applicati sono adatti a individuare cambiamenti nelle comunità microbiche della rizosfera; 2) sebbene solo una piccola porzione della comunità batterica contribuisce al pattern del BIOLOG, le differenze nel potenziale catabolico potrebbe essere sensibilmente e quantitativamente determinato; 3) infine, l'effetto dell'espressione del lisozima T4 sulla composizione della comunità microbica è minore rispetto alle variazioni indotte dall'andamento stagionale o dagli effetti dei siti in pieno campo.

Il Dr. Insam nel suo lavoro ha introdotto il concetto di biodiversità in correlazione all'efficienza microbica. Ha mostrato alcuni indici e metodi di misurazione della biodiversità. E' noto che diversi ecosistemi sono caratterizzati da una diversa microflora, ma diversi parametri possono influire: la diversità delle risorse, lo stress, la diversità di nicchia, i cambiamenti temporali e la predazione. Il Dr. Insam ha messo in evidenza inoltre che una bassa diversità microbica (ed una basso valore di biomassa) sembra legato con un modello agricolo intensivo. In questo lavoro ha inoltre messo in evidenza che la biodiversità e l'efficienza microbica non sono in contraddizione, ma spesso sono strettamente legati e sono molto importanti per una sostenibilità a lungo periodo dei suoli agricoli, indipendentemente dal sistema agricolo adottato.



RAPPORTO DELLA II SESSIONE

Elvira Rea

Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante
Via della Navicella, 2 - 00184 Roma

Nell'ambito del Convegno annuale della Società Italiana della Società del Suolo "L'emergenza suolo" si è tenuto il Workshop delle Azioni Cost 831/838 dal tema "Soil emergency: Microbial Biodiversity Conservation".

La sessione II relativa all'azione Cost 838 è stata coordinata dalla Prof.ssa Silvia Perotto e dal Prof. Giovanni Picci ed è stata oggetto di cinque relazioni ad invito.

La relazione dal titolo "Beneficial rhizospheric microorganisms" è stata tenuta dal Dr. P. Jeffries che ha esposto i principi basilari riguardanti la rizosfera dalle definizioni delle sue diverse frazioni: Ectorizosfera, Endorizosfera, Rizoplan.

Dalla definizione di rizosfera suddivisa in ectorizosfera, costituita dal suolo adiacente la radice; endorizosfera, costituita dalle cellule corticali della radice; il rizoplan, costituito dalla superficie radicale.

Il secondo punto preso in considerazione ha riguardato i meccanismi mediante i quali i microrganismi associati alla rizosfera possono essere di aiuto alla risoluzione di problemi relativi alla emergenza suolo. La degradazione dei suoli, dovuta a deforestazione, ad erosione, inquinamento da metalli pesanti o xenobionti, porta inevitabilmente alla riduzione della componente microbica associata alla rizosfera; la ricostituzione, quindi, della flora microbica è il passo fondamentale per il ripristino delle condizioni di sanità dei suoli.

Il primo passo da affrontare è quello di considerare i diversi tipi di microrganismi normalmente associati alla rizosfera e che intervengono nel ciclo dei nutrienti, assicurare la conservazione della biodiversità microbica e studiare come sfruttare al meglio le potenzialità dei microrganismi.

Le possibilità applicative sono molteplici soprattutto se mirate alla conservazione della diversità microbica. La popolazione dei microrganismi utili (tra gli altri funghi micorrizici vescicolo arbuscolari e rizobi) è influenzata dal tipo di suolo e dal genotipo della pianta, vi è un enorme potenziale di manipolazione al fine di un risanamento dei suoli. Illustra infine un caso di studio Samphire Hoe, un territorio creato da infiltrazione di acqua marina, studio che ha riguardato sia la popolazione micorrizica AMF che i rizobi.

Il Prof. Gianinazzi ha presentato la relazione dal titolo "Contribution of mycorrhizal fungi to soil health". I funghi vescicolo arbuscolari sono componenti essenziali dei microrganismi del suolo, formano una stretta rete di connessione contribuendo all'aggregazione del suolo, interagiscono con altri componenti biologici, modificano la fisiologia delle radici. Un esempio è rappresentato dall'effetto protettivo di funghi AM nel caso di infezione da *Phytophthora fragaria* che si manifesta con una riduzione dei sintomi della malattia a livello della radice e della popolazione patogena a livello del suolo. Presenta uno studio su pomodoro micorrizzato, è necessario che si abbia almeno il 50% di infezione micorrizica per ottenere un effetto sulla produzione. In conclusione si può affermare che i funghi micorrizici vescicolo arbuscolari possono ben prestarsi in un sistema agricolo sostenibile.

J.M. Barea ha illustrato la relazione "Contribution of mycorrhizal fungi to soil fertility".

La fertilità del suolo è influenzata da fattori fisici, chimici e biologici. E' ormai riconosciuto che i funghi micorrizici vescicolo arbuscolari modificano tutte le componenti della fertilità. L'effetto delle AM sulla fertilità chimica è dovuto alla capacità di stimolare l'uptake dei nutrienti, soprattutto fosforo ed azoto.

L'effetto sulla fertilità biologica è dovuto soprattutto all'interazione con batteri utili del suolo.

Gli effetti sulla fertilità fisica sono stati studiati per cinque anni su di un sito sperimentale posto a sud della Spagna, semi-arido e soggetto al processo di desertificazione. E' stato studiato l'effetto della infezione con *Glomus intradicis* sulla sostanza organica, l'accumulo di azoto, aggregazione del suolo e formazione dei propaguli micorrizici. E' innegabile che le micorrize vescicolo arbuscolari hanno un ruolo chiave nella fertilizzazione quindi saranno studiati tutti quei fattori che causano la perdita di questi funghi.

Il Prof. Barea indica, inoltre, alcune proposte come lo studio della biodiversità, la costituzione di una banca dati allo scopo di promuovere l'allargamento del loro campo di applicazione nel mantenimento della qualità del suolo.

Lynch chiede chiarimenti sui dati presentati riguardanti l'uptake di fosforo, se si trattava cioè di esperimenti a breve o a lungo termine. Barea risponde che si trattava di prove condotte in vaso e quindi a breve termine. Precisa inoltre che nello studio quinquennale del sito sono stati anche caratterizzati i funghi endemici che hanno dato risultati migliori.

La Prof.ssa Silvia Perotto ha presentato la relazione dal titolo "Evaluation of genetic and functional diversity of mycorrhizal and root-associated fungi". La combinazione di analisi morfologiche e molecolari è utile per la valutazione della diversità genetica di alcuni funghi micorrizici e dei batteri simbiotici ad essi associati. Gli endobatteri possono essere un valido aiuto per discriminare, ad esempio, *Gigaspora margarita* da *Gigaspora roseae*. Successivamente la Prof.ssa Perotto ha esposto i risultati ottenuti sull'effetto di piante transgeniche sulla micorrizzazione di piante di patata, tabacco e pomodoro. Infine la Prof. Perotto espone i risultati di uno studio riguardante i funghi ericoidi isolati da siti inquinati e non, in relazione alla loro abilità di crescere in presenza di metalli pesanti (Cd, Al, Zn) e di un loro utilizzo in programmi di biorimediazione.

E' seguita ampia discussione ad opera del Prof. Gianinazzi sull'uso di probe per la valutazione della diversità tra isolati.

Il Dr. Turnau espone la relazione dal titolo "Role of mycorrhizal fungi in bioremediation". Sia le ecto che le endo micorrize sono utili per il risanamento di suoli inquinati. Le ectomicorrize per la loro funzione di filtro e la capacità di degradazione dei composti organici. Per quanto riguarda i funghi vescicolo-arbuscolari, per ottimizzare il loro uso per tecniche di risanamento dei suoli è necessario l'isolamento di ceppi da suoli a lungo sottoposti a inquinamento e immetterli successivamente in suoli da disinquinare. Per questo è necessaria la loro caratterizzazione molecolare. I funghi vescicolo-arbuscolari possono essere utilizzati inoltre, per la stima della tossicità di un suolo e per la verifica del successo di una tecnica di risanamento, recentemente è stata dimostrata la presenza di micorrizzazione in piante iperaccumulatrici, specie vegetali normalmente utilizzate in programmi di fitodepurazione.

Al termine delle relazioni il Prof. Gianinazzi apre la discussione invitando i partecipanti a porre domande ai relatori.

Si apre ampia discussione.

Barea auspica una maggiore collaborazione con le tematiche oggetto del convegno che ospita il workshop tra le azioni Cost 831/838. Benedetti auspica che la collaborazione avvenga in un futuro immediato.

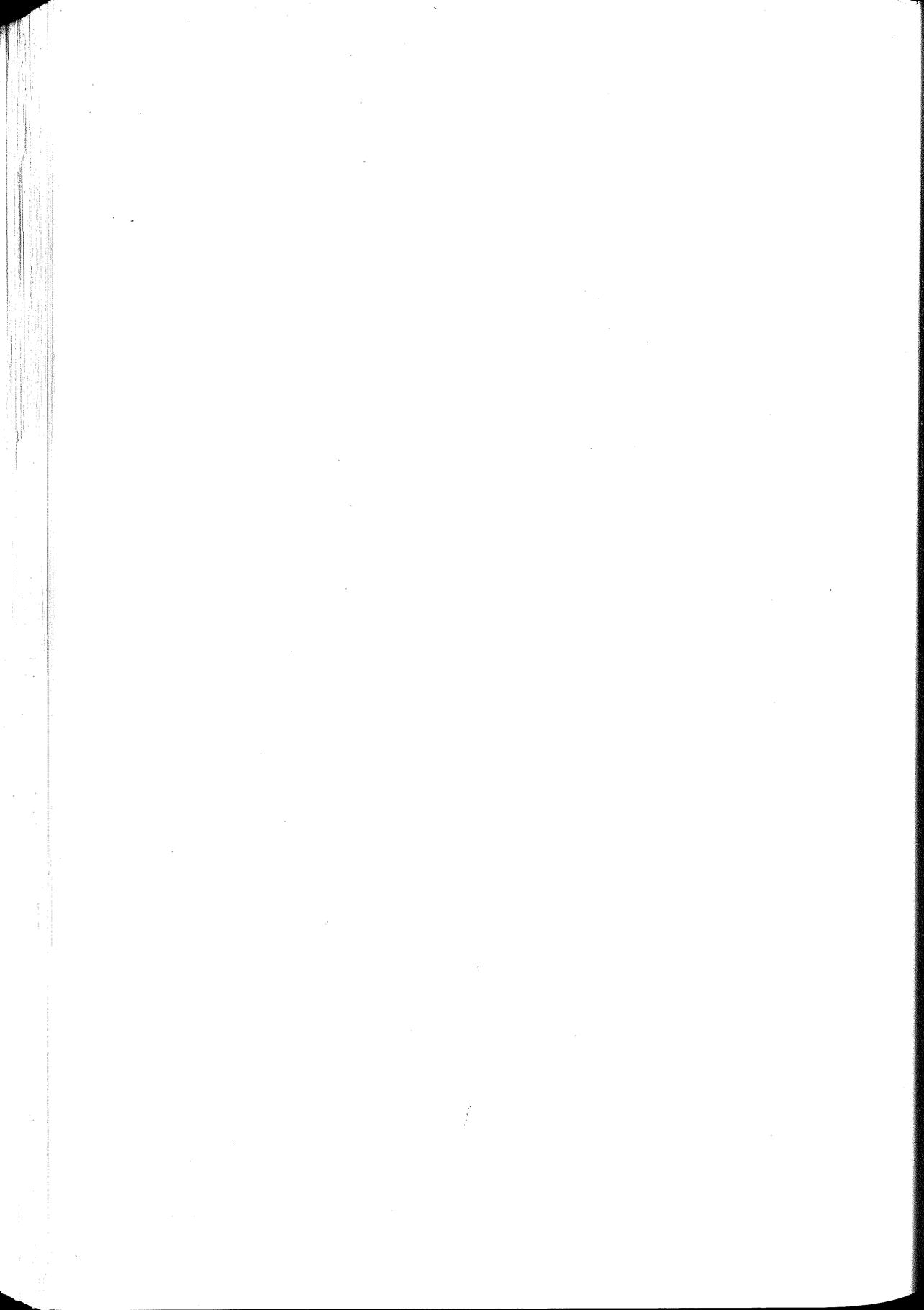
Gianinazzi pone l'accento sul fatto che la biologia è un ottimo parametro per lo studio della qualità del suolo. Per Benedetti è in realtà difficile definire la qualità del suolo, in molte riunioni nel corso degli anni sono stati definiti i diversi parametri, nel passato i microrganismi erano poco

considerati, è stato raggiunto un risultato già ottenendo una giornata di studio sull'argomento nell'ambito del convegno.

Gianinazzi auspica un più stretto rapporto con le istituzioni, Benedetti si dichiara in accordo data l'importanza di queste ultime nella standardizzazione di tecniche volte alla conservazione e al ripristino della qualità dei suoli.

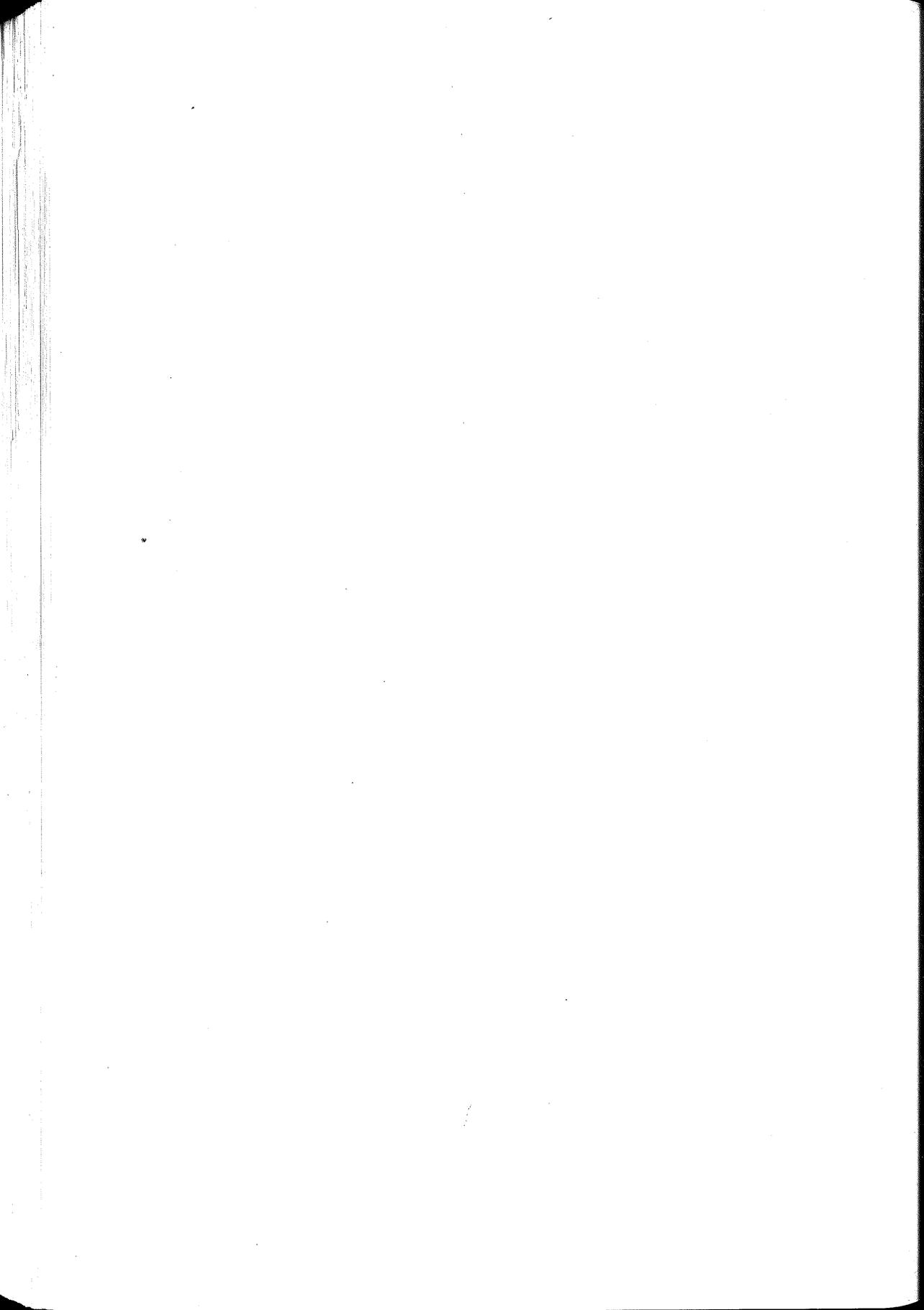


Sessione poster





Commissione I Fisica del suolo



CARATTERIZZAZIONE IDROPEDOLOGICA DI DETTAGLIO DI SUOLI DI RISAIA IN LOMBARDIA

Stefano Brenna ¹, Angelo Basile ², Fabio Terribile ³

¹ Servizio del Suolo, ERSAL Lombardia
Palazzo Canova, MI 2 - 20090 Segrate (MI)

² CNR-Istituto per lo Studio di Problemi Agronomici dell'Irrigazione nel Mezzogiorno
Via Patacca, 85 - 80056 Ercolano (NA)

³ Dipartimento di Scienze del Suolo, della Pianta e dell'Ambiente, Sezione Scienze Chimico-Agrarie
Via Università, 100 - 80055 Portici (NA)

Introduzione

In Lombardia la coltivazione del riso è diffusa nella parte sud-occidentale della pianura a nord del Po (fig.1).

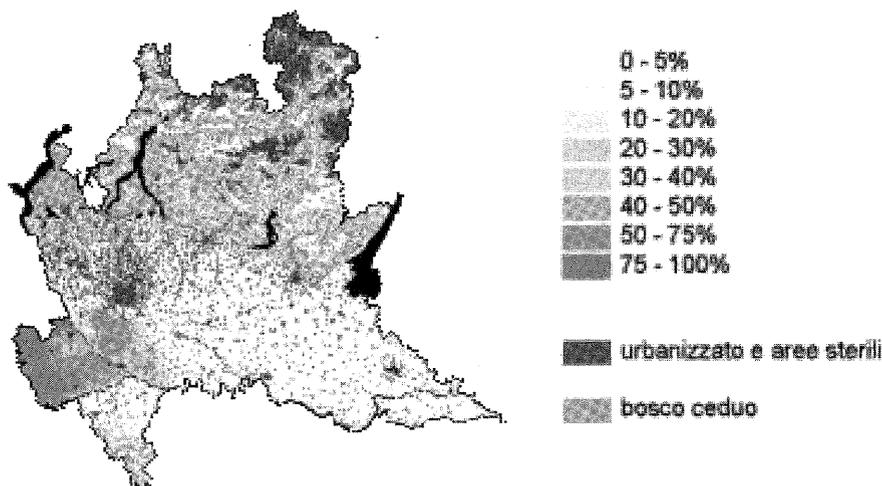


Figura 1. Superfici coltivate a riso in Lombardia

Su queste superfici, in gran parte risalenti al Pleistocene Superiore, i suoli sono evoluti su sedimenti grossolani ad elevata permeabilità e riportano, lungo il profilo, i segni evidenti della particolare gestione agricola a cui sono sottoposti (fig.2).

Infatti, la costipazione artificialmente esercitata nella preparazione delle risaie per contenere e controllare le perdite di acqua determina la comparsa di orizzonti con caratteri "anthraquici" in suoli che sono inte-

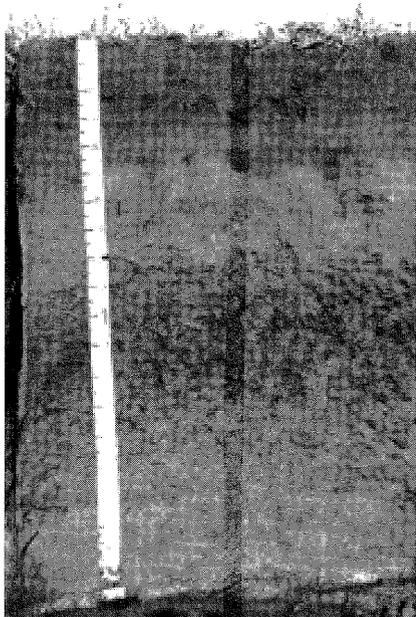


Figura 2. Suolo del livello fondamentale della pianura utilizzato a risaia in Lomellina

ressati nel periodo irriguo da flussi idrici quantitativamente molto rilevanti e da consistenti oscillazioni delle falde.

La fragilità di questi ambienti è inoltre confermata dai fenomeni di contaminazione delle falde da residui di antiparassitari avvenuti nel passato.

Obiettivi della ricerca

Allo scopo di approfondire il comportamento funzionale e di definire in modo più preciso il ruolo che in questo ambiente possono esercitare nel controllare i rischi di vulnerabilità degli acquiferi, ER-SAL e CNR-ISPAIM hanno avviato una specifica ricerca per la caratterizzazione idrologica e pedologica di dettaglio di queste tipologie di suoli.

L'indagine è stata condotta su cinque suoli rappresentativi (fig.3), tutti coltivati a riso da lungo tempo e localizzati sul livello fondamentale della pianura, dove, oltre alla descrizione del profilo pedologico, sono stati prelevati campioni per le analisi chimiche, fisiche e mineralogiche e campioni indisturbati per effettuare analisi micromorfologiche, della struttura (analisi d'immagine bidimensionale e tridimensionale) e delle proprietà idrologiche (ritenzione idrica e conducibilità idraulica).

Il programma di lavoro ha previsto l'effettuazione dell'intero spettro di indagini pedologiche ed idrologiche su un profilo pedologico principale e la realizzazione di una serie più ridotta di indagini di controllo su alcuni orizzonti significativi sotto il profilo funzionale di altri quattro profili riferibili ad altrettante tipologie di suolo coltivate a riso nella Lomellina (provincia di Pavia).

Nel presente lavoro vengono presentati alcuni primi risultati e valutazioni emerse dallo studio.

Suolo principale	
RP1	Aquic Hapludalfs coarse loamy (USDA 1998)
	Epidystri-Endogleyc Luvisols (WRB 1998)
Suoli secondari	
RP2	Aquic Hapludalfs coarse loamy (USDA 1998)
	Epidystric Luvisols (WRB 1998)
RP3	Anthraquic Hapludalfs coarse loamy (USDA 1998)
	Epidystric Luvisols (WRB 1998)
RP4	Typic Udipsamments (USDA 1998)
	Epidystri-Arenic Regosols (WRB 1998)
RP5	Aquic Hapludalfs fine loamy (USDA 1998)
	Haplic Luvisols (WRB 1998)

Figura 3. Suoli oggetto di indagine: classificazione secondo Soil Taxonomy (USDA 1998) e World Reference Base of Soil Resources (FAO-ISSRIC 1998)

Materiali e metodi

Il campionamento è stato effettuato infiggendo lentamente dall'alto in ogni orizzonte cilindri di materiale e dimensioni diversi a seconda delle prove da effettuare in laboratorio.

Relativamente ai metodi adottati per le analisi si riportano di seguito alcune sintetiche indicazioni, differenziate a seconda del tipo di determinazioni.

Analisi micromorfologiche: dopo impregnazione con una resina poliestere (crystic) e una volta solidificate, le rispettive sezioni sottili (delle dimensioni di 5x10 cm e spessore di 30 (m) sono state preparate e descritte secondo le metodologie proposte da FitzPatrick (1984; 1993).

Analisi geochimiche e mineralogiche: su alcuni microsititi rappresentativi individuati e descritti in microscopia ottica sono state effettuate microanalisi: sezioni sottili standard sono state montate su stubs in alluminio, ricoperti con grafite, ed esaminati con un microscopio elettronico a scansione (SEM) Cambridge Stereoscan 250 Mk2, equipaggiato con un analizzatore di raggi X (EDS) Link System 860/2.

Analisi idrologiche: per la determinazione della conducibilità idraulica alla saturazione, K_s , è stato utilizzato il metodo a carico variabile riportato nel manuale dei Metodi di Analisi Fisica del Suolo (Rossi Pisa, 1997); per la determinazione delle proprietà idrauliche nel non saturo i campioni saturi sono stati attrezzati con tre capsule porose inserite lateralmente ad una distanza dalla base di 25, 50 e 75 mm, posti su celle di carico e sottoposti ad un processo di evaporazione con acquisizione in continuo, mediante un sistema automatico VXI gestito da un codice scritto in HP-VEE, dei valori di potenziale e di perdita di peso.

I valori di contenuto d'acqua, mediati per tutto il volume del campione, sono stati quindi messi in relazione ai valori di potenziale, misurati agli stessi tempi e a tre diverse altezze, attraverso una procedura di iterazione per la determinazione dei punti sperimentali della curva di ritenzione.

Per il calcolo della conducibilità si è fatto riferimento alle procedure di calcolo messe a punto nella definizione del metodo del profilo istantaneo (Wendroth *et al.*, 1993).

Analisi di immagine e struttura: le analisi d'immagine eseguite (sia 2D che 3D) utilizzano, in gran parte, algoritmi di morfologia matematica (Serra, 1984; Horgan, 1998) basati su alcuni semplici operatori "raster" quali "erosione" e "dilatazione" applicati alla fase "vuoti". Combinando opportunamente tali operatori si ottengono informazioni sulla rete dei pori quali la distribuzione dimensionale e la connettività descritta mediante le curve di percolazione. La porosità totale è, invece, ottenuta dal semplice rapporto fra numero di pixel (voxel) rappresentanti pori e numero di pixel (voxel) totali dell'immagine esaminata.

Alcuni primi risultati

Tutti i profili analizzati, eccetto il profilo RP5 che presenta caratteristiche fisico-meccaniche diverse (in particolare, un contenuto in limo significativamente più elevato), sono ricchi in sabbia con piccole quantità di argilla, la quale aumenta leggermente in tutti gli orizzonti profondi.

Gli orizzonti pedogenizzati presentano caratteristiche di ritenzione non dissimili fra loro, in particolare nella forma più che nei valori assoluti (fig.4).

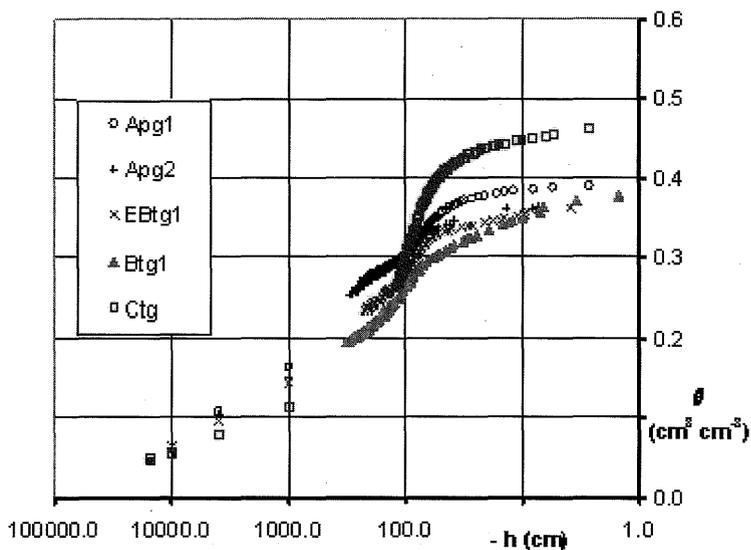


Figura 4. Suolo RP1: curve di ritenzione idrica

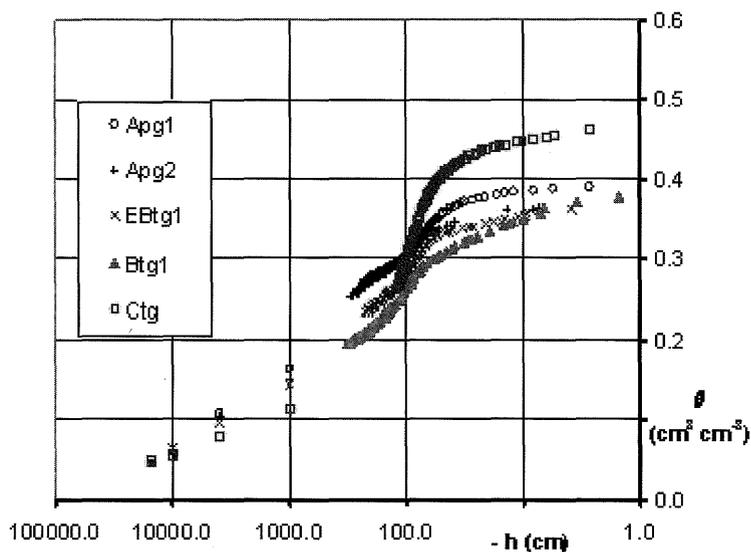


Figura 5. Suolo RP1: curve di conducibilità idraulica

Tale comportamento è ancor più evidente nelle curve di conducibilità (fig.5), dove nel tratto dei valori misurato nel non saturo risulta una certa omogeneità anche nei valori assoluti.

Il compattamento degli orizzonti sottosuperficiali (si tratta in genere di orizzonti Apg2 e in un caso di un orizzonte Btg1) trova conferma nei maggiori valori di densità apparente, nei minori valori di ritenzione e di conducibilità idraulica e nell'analisi della distribuzione dei pori (figg.6 e 7).

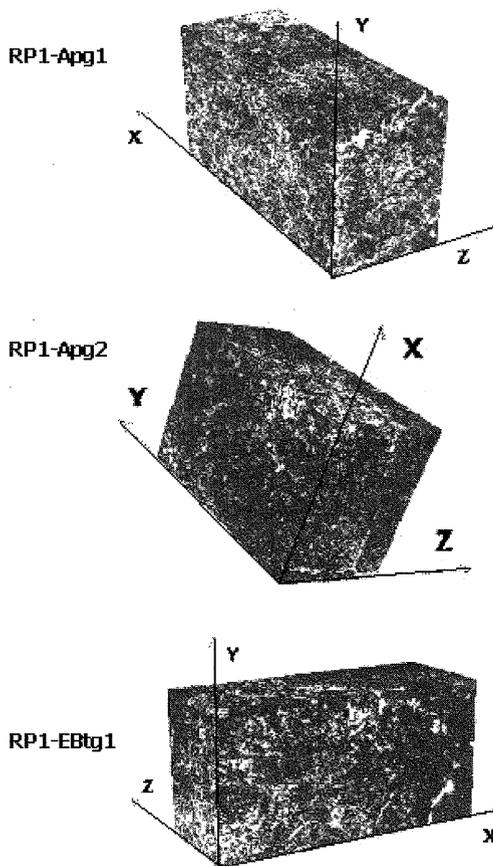


Figura 6. Immagini tridimensionali dei campioni di suolo prelevati negli orizzonti Apg1, Apg2 ed EBtg1 (profilo suolo RP1)

In tutti i suoli, le classi dei pori maggiormente interessate dal compattamento sono risultate essere quelle intorno ai 180-360 μm e i macropori di dimensione superiore ai 1000 μm .

La riduzione della ritenzione idrica e della capacità di trasporto dell'acqua insorgono, in tutti gli orizzonti sottosuperficiali, in genere, a valori abbastanza elevati di potenziale (intorno a - 100 cm) e si notano evidenze vicino alla saturazione di una specifica regione del moto dell'acqua che può essere impegnata da flussi preferenziali.

L'analisi micro-morfologica ha poi evidenziato che consistenti segregazioni e pellicole illuviali di ferro si rinvengono nei suoli maggiormente soggetti ad idromorfia (fig.8).

Le illuviazioni ed i riempimenti di limo, dovuti alle lavorazioni del terreno, sono caratteristiche comuni a tutti i suoli di risaia; tali concentrazioni di limo si rinvengono spesso associate alle radici, inducendo ad ipotizzare che possano svolgere un ruolo nutrizionale (fig.9).

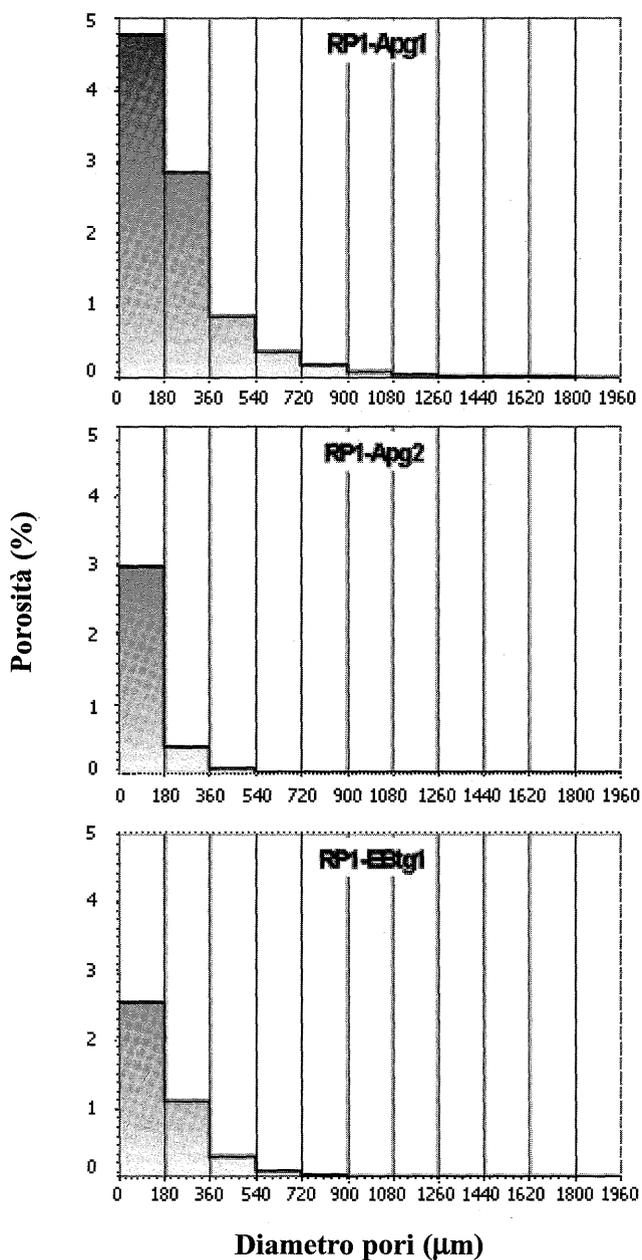


Figura 7. Andamento delle porosità totali nei campioni di suolo prelevati negli orizzonti Apg1, Apg2 ed EBtg1 (profilo suolo RP1)

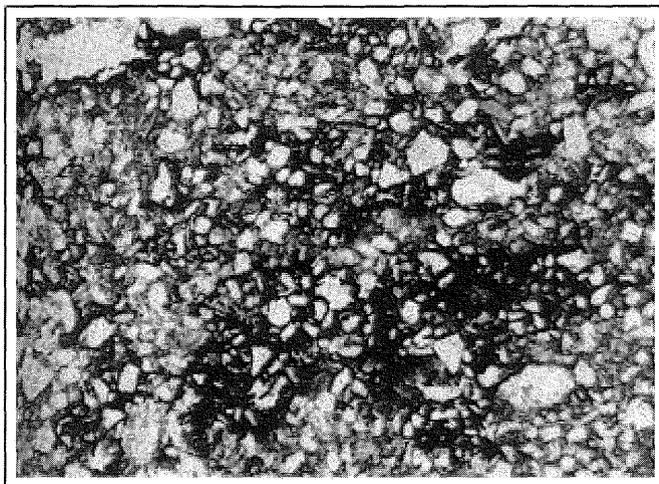


Figura 8. Suolo RP1 - Orizzonte Btg2. Segregazioni di ferro e manganese PPL

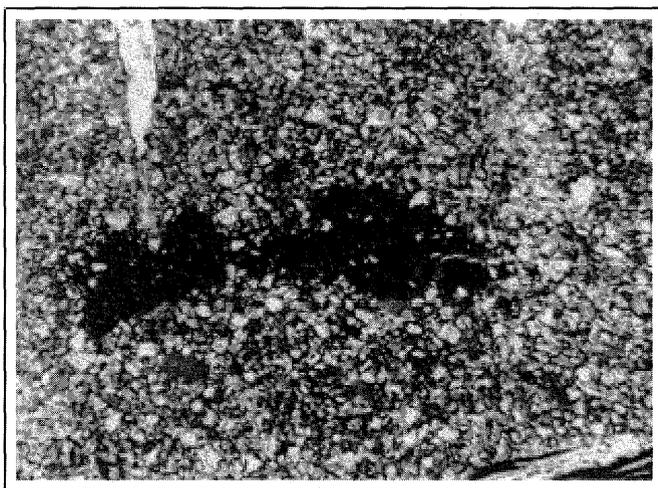
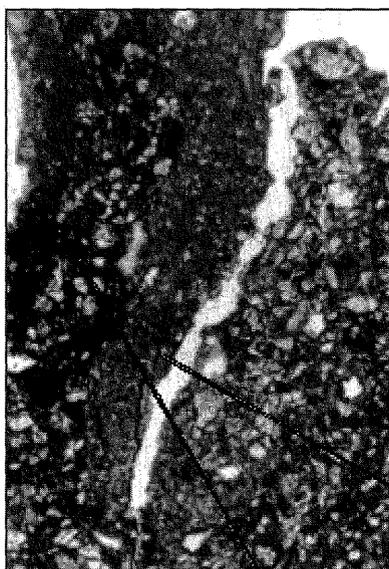


Figura 9. Suolo RP1 - Orizzonte Apg1 - Apg2. Contatto tra radice ed aggregato lamellare di limo illuviale di genesi antropica

E' stata effettuata un'analisi SEM-EDS di alcuni micrositi presenti nelle sezioni sottili (fig.10).

Nel subsoil le aree eluviali, riferibili a linee preferenziali di flussi idrici, presentano alti tenori in Si (64%) e sono invece povere in Fe (7.9%) mentre le aree illuviali sono risultate essere povere in Si (48%) e ricche in Fe (21%). Ciò risulta spiegabile dal particolare regime idrologico dei suoli coltivati a riso .



	matrice illuviale	matrice eluviale	pellicole limo
Na	1.0	1.2	0.5
Mg	0.0	0.7	1.3
Al	8.6	8.3	11.5
Si	47.6	64.2	47.6
P	4.2	4.0	8.2
S	0.4	0.0	0.4
K	8.4	10.1	13.3
Ca	2.9	3.1	1.9
Ti	0.0	1.0	0.5
Mn	0.0	0.4	0.0
Fe	21.2	7.9	15.0
Cu	0.3	0.0	0.0
Zi	0.0	0.0	0.0

Figura 10. Suolo RP1 - Orizzonte Btg1. Analisi goechemica e mineralogica (SEM-EDS)

Considerazioni conclusive

Le indagini effettuate sembrano, in via preliminare, indicare che, da un lato la possibile presenza di vie preferenziali del moto e, dall'altro, la presenza di forti processi di illuviazione, potrebbero giocare un ruolo importante rispetto al trasporto di soluti in genere e di nutritivi, pesticidi, metalli ed inquinanti in particolare, suggerendo l'opportunità di proseguire con ulteriori ricerche nell'approfondimento del comportamento funzionale di queste tipologie pedologiche.

Bibliografia

- FITZPATRICK E.A. (1984) - Micromorphology of Soils. - Chapman & Hall, London, 433 pp.
- FITZPATRICK E.A. (1993) - Soil Microscopy and Micromorphology - Wiley, Chichester, UK, 304 pp.
- HORGAN G.W., Mathematical morphology for analysing soil structure from images. *European journal of soil science* (1998) 49, 161-173.
- MiRAAF (Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari e Forestali) - Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo (1997) - *Metodi ufficiali di analisi fisica del suolo* - Roma.
- ROSSI PISA P. (1997): Conducibilità idraulica del suolo saturo, in *Metodi di Analisi Fisica del Suolo* (Ed. M.Pagliai) - Franco Angeli Editore.
- SERRA J.: Image analysis and mathematical morphology, 2, teoretical adv. Academic Press, London (1988).
- WENDROTH O., e altri: Re-evaluation of the evaporation method for determination of hydraulic functions. in unsaturated soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57:1436-1443.

VARIAZIONI DI ALCUNI PARAMETRI CHIMICO-FISICI DEL SUOLO IN RELAZIONE AL PASSAGGIO DI UNA TRATTRICE CON DIVERSI TIPI DI PNEUMATICI

Pieranna Servadio ¹, Adolfo Marsili ¹, Claudio Beni ²,
Claudia Di Dio ³, Adele Figliolia ²

1 Istituto Sperimentale per la Meccanizzazione Agricola
Via della Pascolare 16 - 00016 Monterotondo (RM)

2 Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante
Via della Navicella, 2 - 000184 Roma

3 Trelleborg Wheel Systems S.p.A.
Via Nazionale Tiburtina, 143 - 00100 Villa Adriana, Tivoli (RM)

Riassunto

In questa memoria è stato analizzato il compattamento di un suolo limo-argilloso in seguito al passaggio di una trattrice equipaggiata con tre diversi tipi di pneumatici radiali denominati A, B e C che sono stati caratterizzati per il tipo di costole, il rapporto di scolpitura ecc.. Tale studio è stato effettuato attraverso il monitoraggio dei cambiamenti delle proprietà fisico-chimiche del suolo e la valutazione delle correlazioni esistenti tra i diversi gruppi di variabili. Per ogni tipo di equipaggiamento propulsivo, su altrettanti appezzamenti di terreno adiacenti, precedentemente arati ed erpicati, sono stati effettuati 1 e 3 passaggi sulla stessa orma per un totale di 6 tesi. In corrispondenza delle orme lasciate dalla trattrice sono stati effettuati i seguenti rilievi chimico-fisici sul suolo: tessitura, pH (in H₂O), carbonio organico totale, sostanza organica, azoto totale, rapporto carbonio/azoto, fosforo assimilabile Olsen, capacità di scambio cationico, umidità, massa volumica apparente, resistenza alla penetrazione, resistenza al taglio e conducibilità idrica.

Dai risultati relativi alle analisi chimiche effettuate emerge che una delle differenze statisticamente significative si è verificata per il contenuto in sostanza organica del suolo relativo al blocco nel quale sono state condotte le prove con il pneumatico A. Tale differenza, tuttavia, non ha comportato effetti significativi sul grado di compattamento del suolo.

Passaggi multipli con la trattrice equipaggiata con i tre diversi tipi di pneumatico hanno indotto effetti molto simili anche sulla resistenza alla penetrazione del suolo soprattutto negli strati intermedi. Confrontando le diverse tesi infatti, le differenze dei valori della resistenza alla penetrazione sono risultate statisticamente significative solo negli strati più superficiali (0-0.05 m) in favore della tesi C dopo un passaggio e della tesi A dopo tre passaggi. Il più basso valore della resistenza al taglio è stato rilevato nella tesi C dopo un passaggio e nella tesi A dopo tre passaggi. Dopo un passaggio della trattrice anche la conduci-

lità idrica è diminuita in maniera significativa ed il valore più elevato è stato trovato per la tesi A. Per tutte le tesi dopo tre passaggi i valori della conducibilità idrica diminuiscono drasticamente e sono prossimi allo zero.

Sono state evidenziate correlazioni altamente significative fra resistenza alla penetrazione e massa volumica apparente e fra resistenza alla penetrazione e conducibilità idrica. Poiché nello strato più superficiale (0-0.10 m), si è avuto il più elevato valore della conducibilità idrica ed il più basso valore della resistenza alla penetrazione per le tesi C e A dopo 1 passaggio, si può dedurre che il tipo di costolatura e l'altezza delle costole del pneumatico possono aver influenzato il compattamento del suolo, specialmente negli strati più superficiali.

1. Introduzione

In precedenti memorie (Marsili e Servadio, 1996; Marsili *et al.*, 1998) sono riportati i risultati di studi sul compattamento di un suolo argilloso dopo il passaggio di trattrici equipaggiate con cingoli in gomma ed in metallo e successivamente altri studi sono stati condotti comparando trattrici con cingoli in gomma e trattrici a 4 ruote motrici. Nella presente indagine ulteriori studi sono stati condotti su di una trattrice a 4 ruote motrici equipaggiata con tre differenti tipi di pneumatici a confronto. Ogni appezzamento di terreno utilizzato è stato caratterizzato attraverso analisi fisico-chimiche del suolo al fine di indagare se il compattamento del suolo è stato significativamente influenzato dalla variabilità spaziale di queste proprietà. Altri studi (Schafer *et al.* 1990; Lowery *et al.*, 1994; Soane *et al.*, 1994a; Soane *et al.*, 1994b; Soane *et al.*, 1995; Alakukku *et al.*, 1995; Lipiec and Stepniewski, 1995) hanno fatto rilevare che il compattamento può comportare un cambiamento nei processi biologici e chimici del suolo, influenzando negativamente la domanda e l'approvvigionamento dei nutrienti per le piante. I vegetali che crescono su di un suolo compattato infatti richiedono maggiori quantità di fertilizzante rispetto a quelli coltivati su di un suolo non compattato per ottenere la stessa produzione. Gli effetti del compattamento inducono una diminuzione della crescita delle radici, della accessibilità ai nutrienti, un aumento della perdita di elementi per dilavamento e, nel caso dell'azoto, rilascio nell'atmosfera, come risultato di una maggiore denitrificazione (Ohu *et al.*, 1986).

In questo studio, sono stati effettuati rilievi sulle variazioni delle qualità funzionali di un suolo limo-argilloso in seguito al passaggio di una trattrice equipaggiata con tre differenti tipi di pneumatici radiali. Questi sono stati caratterizzati per il tipo e l'altezza delle costole, data l'influenza che questi parametri hanno sul compattamento, specialmente negli strati più superficiali del suolo (Way *et al.*, 1995).

I parametri misurati includevano: resistenza alla penetrazione del suolo, massa volumica apparente, resistenza al taglio e conducibilità idrica; tali parametri sono stati misurati dopo aver caratterizzato il suolo attraverso le analisi fisico-chimiche. Sono state inoltre sviluppate correlazioni statistiche fra resistenza alla penetrazione del suolo e massa volumica apparente e fra resistenza alla penetrazione e conducibilità idrica.

2. Materiali e metodi

Le prove in campo sono state condotte usando una trattrice di media potenza (78 kW) avente una massa con zavorre di 5330 kg equipaggiata con tre diversi tipi di pneumatici (tabella 1).

Tabella 1. Principali caratteristiche tecniche dei tre pneumatici usati durante le prove.

Caratteristiche	A	B	C	A	B	C
	Ant.	Ant.	Ant.	Post.	Post.	Post.
Tipo di pneumatico						
Sigla di identificazione	480/70 R28	480/70 R28	480/70 R28	520/70 R38	520/70 R38	520/70 R38
Larghezza di sezione (m)	0.480	0.483	0.484	0.520	0.515	0.519
Rapporto d'aspetto (altezza/larghezza)	0.73	0.74	0.74	0.76	0.76	0.76
Raggio di rotolamento (m)	0.642	0.641	0.641	0.798	0.788	0.782
Diametro esterno (m)	1.420	1.425	1.426	1.763	1.750	1.751
Costole						
Numero	38	36	38	42	42	42
Altezza (m)	0.046	0.040	0.0435	0.051	0.0405	0.049
Larghezza (m)	0.037	0.045	0.040	0.043	0.040	0.040
Angolo (°)	45	45	45	45	45	45
Area di una costola (cm ²)	111	125	108	148	135	122
τ	0.197 ^a	0.209 ^a	0.1893 ^a	0.2159 ^a	0.200 ^a	0.18 ^a
Carico sui 2 pneumatici (kN)	24.30	24.90	24.47	28.70	28.70	28.73
Area di contatto su suolo compatto dei due pneumatici (m ²)	0.41 ^b	0.41 ^b	0.41 ^b	0.55 ^b	0.54 ^b	0.54 ^b
Pressione di contatto teorica sul suolo (kPa)	59.3	60.7	59.7	52.2	53.1	53.2
Pressione di gonfiaggio (kPa)	160	160	160	160	160	160
Shore A (%)	72.7 ^c	69 ^c	70.5 ^c	72.2 ^c	74.5 ^c	68 ^c

a: rapporto di scolpitura; rapporto fra area di una costola x n. di costole ed area della superficie di rotolamento del pneumatico.

b: l'area di contatto convenzionale dei due pneumatici su suolo compatto è stimata come: $Ta = Sp \times 0.3 \times De \times 2$ dove: Sp = Sezione del pneumatico; De = Diametro esterno.

c: (Din 53505 - ASTM D2240)

Con la trattice, sono state effettuate, nel mese di Marzo 2000, prove di compattamento su terreno precedentemente arato alla profondità di 0,40 m ed erpicato alla profondità di 0,20 m, effettuando 1 e 3 passaggi sulla stessa orma lasciata dagli pneumatici per un totale di 6 tesi. Rilievi sono stati effettuati anche nel terreno indisturbato circostante ogni parcella (testimone). Durante i passaggi la velocità di avanzamento era di 0,9 m s⁻¹ per tutti gli pneumatici.

Su campioni di terreno prelevati sono stati determinati i seguenti parametri fisico-chimici: tessitura (metodo del densimetro), pH (in H₂O, per via potenziometrica), carbonio organico totale (%), metodo di Walkley-Black), azoto totale (%), Kjeldahl), sostanza organica e rapporto C/N (calcolati), cationi scambiabili (meq 100g⁻¹ di Ca, Na, Mg e K, utilizzando la spettroscopia per assorbimento atomico previa estrazione in acetato d'ammonio) e capacità di scambio cationico (calcolata come somma dei cationi scambiabili). Le condizioni di campo nelle quali si è operato sono riportate in tabella 2.

Tabella 2. Risultati delle analisi effettuate sulle proprietà fisico-chimiche del suolo (Vertic Cambisol) utilizzato durante le prove.

Parametro (profondità 0-0.20 m)	A	B	C
Tessitura (g kg ⁻¹):			
Sabbia (2000-50 µm)	36 a	36 a	43 b
Limo (50-2 µm)	683 a	712 a	697 a
Argilla (<2 µm)	277 a	273 a	260 a
pH	8 a	8 a	8 a
Carbonio Totale (%)	1.1 a	1.3 b	1.4 b
Sostanza Organica (%)	1.9 a	2.2 b	2.4 b
Azoto totale (%)	0.2 a	0.2 a	0.2 a
C/N	7.1 a	8.1 b	8.7 b
P assimilabile (mg kg ⁻¹)	6.8 a	7.4 a	9.5 a
K scambiabile (mg kg ⁻¹)	324.1 a	229.2 b	262.6 b
K scambiabile (% CSC)	1.5 a	1.1 b	1.2 b
Ca (meq 100g ⁻¹)	51.8 a	49.4 a	52.4 a
Mg (meq 100g ⁻¹)	3.9 a	2.9 a	3.4 a
Na (meq 100g ⁻¹)	0.8 a	0.8 a	0.4 a
K (meq 100g ⁻¹)	0.8 a	0.6 b	0.7 b
CSC (meq 100g ⁻¹)	57.3 a	53.7 a	56.9 a
Umidità (%):			
(a profondità 0 - 0.05 m)	25.6 a	24.9 b	24.3 b
(a profondità 0.05 - 0.10 m)	27.2 a	27.3 a	26.1 b

Il contenuto idrico del terreno è stato misurato da 0 a 0,10 m di profondità immediatamente fuori dalle zone interessate dalle orme delle trattrici.

Il compattamento del terreno è stato quantificato valutandone: la resistenza alla penetrazione del cono, la massa volumica apparente secca, la resistenza al taglio e la conducibilità idrica. Più precisamente:

- la resistenza alla penetrazione del terreno è stata misurata, nei diversi strati, sulle orme lasciate da ogni trattrice dopo 1 e 3 passaggi e su terreno circostante ogni parcella non interessata ai passaggi (testimone), per mezzo di penetrometro elettronico Eijkelkamp con angolo del cono di 60° ed area di base di $0,0001 \text{ m}^2$ spinto nel terreno ad una velocità costante. Per ogni tesi, compreso il testimone, sono stati effettuati 10 rilievi penetrometrici alla profondità di 0-0,05; 0,06-0,10; 0,11-0,15; 0,16-0,20; 0,21-0,25; 0,26-0,30;

- la massa volumica apparente è stata misurata mediante il prelievo di campioni di terreno sulle orme lasciate da ogni trattrice dopo 1 e 3 passaggi, e su terreno circostante ogni parcella non interessata ai passaggi (testimone), usando un carotatore per prelievi di terreno indisturbato con volume di $1 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ da 0,05 a 0,10 m di profondità. I campioni così prelevati sono stati pesati e messi in stufa fino al raggiungimento di un peso costante;

- la resistenza al taglio, parametro indicativo nella misura dell'interazione macchina-suolo (Wong, 1993), è stata misurata sempre sulle orme lasciate dalla trattrice dopo 1 e 3 passaggi e sul testimone dove non è stato effettuato nessun passaggio, per mezzo di un vane shear "Stahlwille Manoskop" avente una barra di torsione da 8 a 32 Nm, un diametro di 70 mm ed una altezza di 30 mm. Per ogni tesi incluso il testimone, sono state effettuate 6 misure da 0 a 0,25 m di profondità in incremento di 25 mm. La resistenza al taglio (τ [N m^{-2}]) è stata calcolata per mezzo della relazione di Terzaghi e Peck (1979);

- la permeabilità del terreno, intesa come velocità di infiltrazione dell'acqua e cioè la capacità del terreno di assorbire una determinata quantità d'acqua in un certo tempo, è stata determinata usando l'infiltrometro a doppio cilindro misurando l'abbassamento in mm dell'acqua nel cilindro interno ad intervalli di tempo determinato fino al suo completo assorbimento dal terreno.

I parametri rilevati e i risultati delle determinazioni analitiche sono state sottoposte al test di correlazione di Pearson e ad analisi della varianza (Anova).

3. Risultati e discussione

3.1. Caratteristiche fisico-chimiche del suolo

Le caratteristiche chimico-fisiche del suolo utilizzato per le prove sono riassunte nella tabella 2.

I risultati relativi alle analisi chimiche effettuate nelle tre parcelle del suolo utilizzato per le prove hanno fatto rilevare che differenze statisticamente significative si sono verificate sia per il contenuto in sostanza organica che per quello idrico relativamente alla parcella dove sono state condotte le prove con il pneumatico A. Queste differenze comunque, non hanno sempre influenzato il diverso grado di compattamento tra le tesi.

In particolare, l'Anova ha fornito differenze significative per gli effetti principali (pneumatico, numero di passaggi) e per l'interazione tra effetti (pneumatico*passaggi), come evidenziato in tabella 3.

Tabella 3. Analisi della varianza del contenuto di sostanza organica per le tre tesi considerate. Test degli effetti

Effetto	Somma quadrati	Gradi di libertà	F calcolato	Significatività
Pneumatico	0.527	2	23.117	0.000
Passaggi	0.274	2	12.006	0.003
Pneumatico*passaggi	0.351	4	7.695	0.006

$R^2 = 0.918$, R^2 corretto = 0.845

Il contenuto in sostanza organica è risultato minore dove sono state condotte le prove con il pneumatico A, sia dopo 1 passaggio che dopo 3 passaggi, rispetto agli pneumatici B e C. Per quanto riguarda il numero di passaggi, si è rilevato che con 1 passaggio si verifica un leggero incremento del contenuto in sostanza organica, per tutti i tipi di pneumatici; tale parametro si riduce invece con i 3 passaggi; ciò non comporta un'alterazione del contenuto stesso rispetto al suolo di controllo nelle tesi B e C, mentre si ha una forte diminuzione nel suolo dove sono state effettuate le prove per la tesi A. Tale effetto negativo potrebbe non essere direttamente associato al comportamento del tipo di pneumatico, anche se, alla luce dei risultati ottenuti, andrebbero indagati meglio gli effetti sul compattamento dovuti al diverso disegno delle costole.

3.2. Resistenza alla penetrazione e massa volumica apparente

I valori medi della resistenza alla penetrazione del terreno (in MPa) alle diverse profondità (0-0,05; 0,06-0,10; 0,11-0,15; 0,16-0,20; 0,21-0,25 e 0,26-0,30 m) sono riportati in Fig. 1, mentre quelli della massa volumica apparente (in Mg m⁻³) per le diverse tesi sono riportati in Fig. 2 in entrambi i casi suddivisi per tipo di pneumatico (A, B e C) e numero di passaggi sulla stessa orma (1 e 3), nonché rilevati su terreno indisturbato circostante ogni parcella e mediati per un testimone. L' Anova Standard test è stato condotto, alla stessa profondità di campionamento, fra i tre pneumatici per lo stesso numero di passaggi e con il testimone e per lo stesso tipo di pneumatico fra i diversi numeri di passaggi. I risultati medi sono seguiti da una lettera. Ogni due medie che mostrano la stessa lettera non differiscono significativamente, livello di significatività ≤ 0.01 (Gomez and Gomez, 1976).

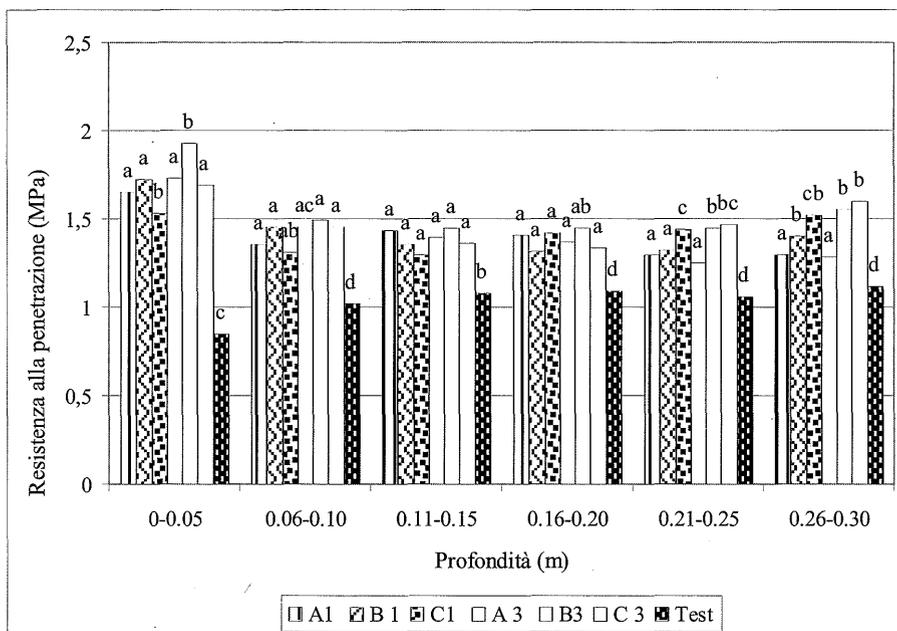


Figura 1. Valori medi della resistenza alla penetrazione offerta dal terreno nei diversi strati da 0 a 0,30 m di profondità rilevati dopo uno (A1, B1 e C1) e tre passaggi (A3, B3 e C3) della trattrice e sul testimone

Dai risultati esposti (Fig. 1) si nota come, per i diversi pneumatici, vi sia un aumento dei valori della resistenza alla penetrazione con l'aumentare del numero dei passaggi sulla stessa orma e questo è in accordo con altri lavori presentati, (Marsili *et al.*, 1992). Esaminando i valori della resi-

stenza alla penetrazione emerge che i passaggi effettuati con la trattoria equipaggiata con i tre diversi tipi di pneumatico hanno indotto effetti molto simili sul suolo soprattutto negli strati intermedi. Tutte le differenze sono comunque risultate statisticamente significative con il testimone. Confrontando i risultati dei diversi pneumatici per lo stesso numero di passaggi, le differenze dei valori della resistenza alla penetrazione sono risultate statisticamente significative nello strato più superficiale (0-0,05 m), in favore della tesi C dopo un passaggio ed in favore delle tesi A e C dopo tre passaggi; nello stesso strato si sono riscontrate differenze statisticamente significative passando da uno a tre passaggi per gli pneumatici B e C. Negli strati da 0,06 m a 0,20 m non si sono riscontrate differenze statisticamente significative fra pneumatici mentre per il pneumatico B si è avuto un incremento significativo della resistenza alla penetrazione passando da uno a tre passaggi nello strato (0,16-0,20 m). Negli strati più profondi (0,21-0,30 m) sono state trovate differenze statisticamente significative a favore degli pneumatici A e B dopo un passaggio e del pneumatico A dopo tre passaggi. Incrementi significativi della resistenza alla penetrazione sono stati riscontrati sempre per il pneumatico B passando da uno a tre passaggi nello strato da 0,21 a 0,25 m di profondità.

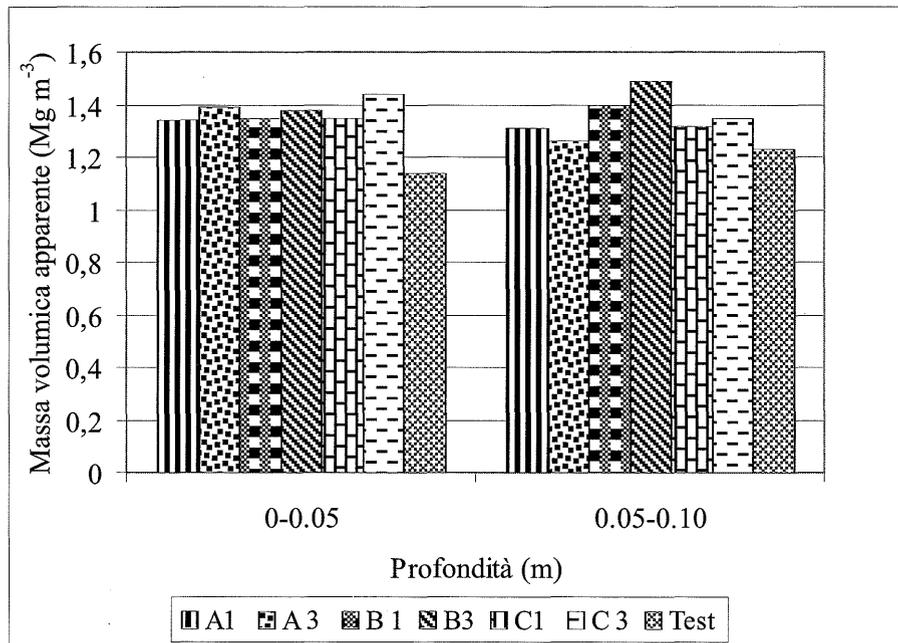


Figura 2. Valori medi della massa volumica apparente nei due strati da 0 a 0,10 m di profondità rilevati dopo uno (A1, B1 e C1) e tre passaggi (A3, B3 e C3) della trattoria e sul testimone

Esaminando i valori della massa volumica apparente (Fig. 2) appare che negli strati più superficiali tutte le differenze sono risultate statisticamente significativa con il testimone e fra la tesi C dopo 3 passaggi e tutte le altre tesi. Nello strato più profondo (0,05-0,10) quasi tutte le differenze sono risultate statisticamente significativa con il testimone meno che quella relativa alla tesi A 3. La differenza fra la tesi B 3 e tutte le altre tesi è risultata staticamente significativa a sfavore della stessa.

Nello strato più superficiale (0-0,05 m) è stata trovata una correlazione significativa ($p < 0.05$) fra resistenza alla penetrazione e massa volumica apparente (Fig. 3).

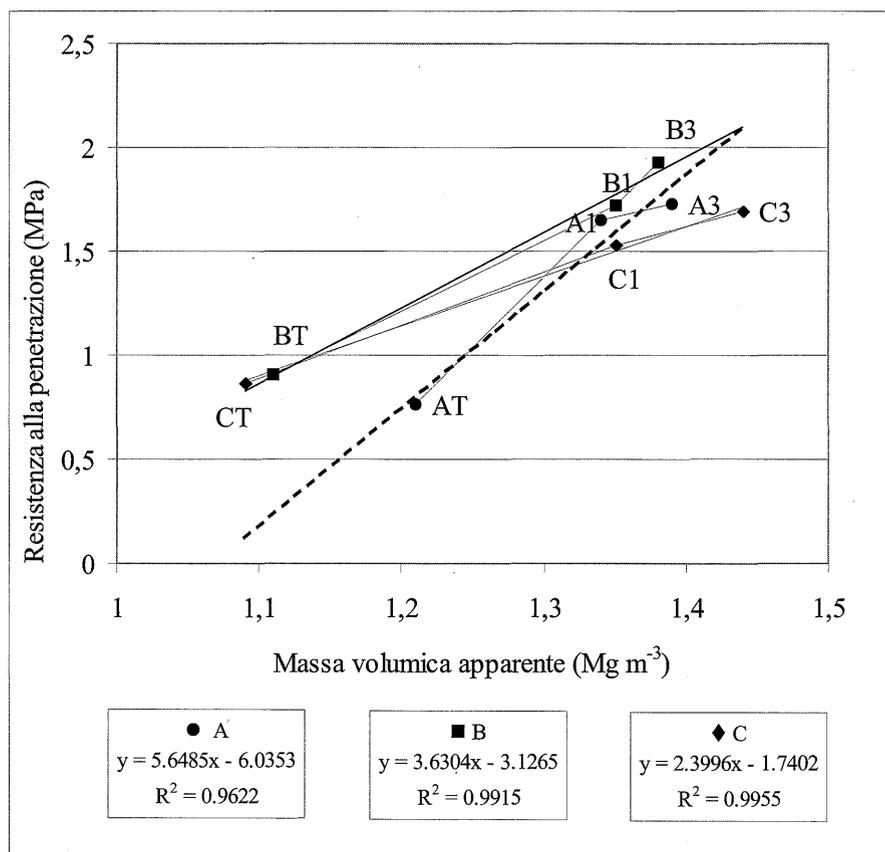


Figura 3. Correlazione fra massa volumica apparente e resistenza alla penetrazione nello strato più superficiale del suolo (0-0.05 m)

3.3. Resistenza al taglio

I risultati della resistenza al taglio, misurata da 0 a 0,25 m di profondità in incremento di 25 mm sono riportati nella figura 4. In accordo con i risultati penetrometrici e della massa volumica apparente, i valori della resistenza al taglio aumentano con l'aumentare del numero dei passaggi sulla stessa orma, e per tutte le tesi, dopo tre passaggi della trattrice si è avuto un incremento dei valori negli strati più superficiali del suolo (0-0,05 m) ad esclusione della C per la quale tale incremento è stato riscontrato nello strato più profondo (0,05-0,10). Dopo un passaggio della trattrice i valori più bassi si sono avuti per la tesi C mentre per la stessa tesi dopo tre passaggi sono emersi i valori più elevati.

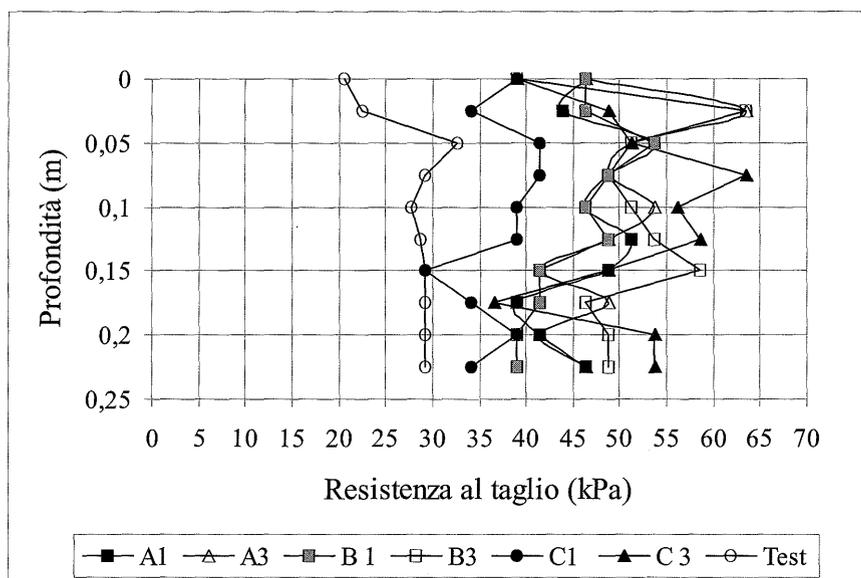


Figura 4. Valori medi della resistenza al taglio nei diversi strati da 0 a 0,25 m di profondità rilevati dopo uno e tre passaggi della trattrice e sul testimone

3.4. Conducibilità idrica

Relativamente alla conducibilità idrica (Fig. 5-7) si è verificata una diminuzione significativa già dopo un passaggio della trattrice, con il valore più elevato per la tesi A. Dopo tre passaggi detta diminuzione è drastica per tutte le tesi, con valori prossimi allo zero. Una buona correlazione è stata riscontrata fra i valori medi della resistenza alla penetrazione offerta dal terreno da 0 a 0,30 m e la conducibilità idrica (Fig. 8).

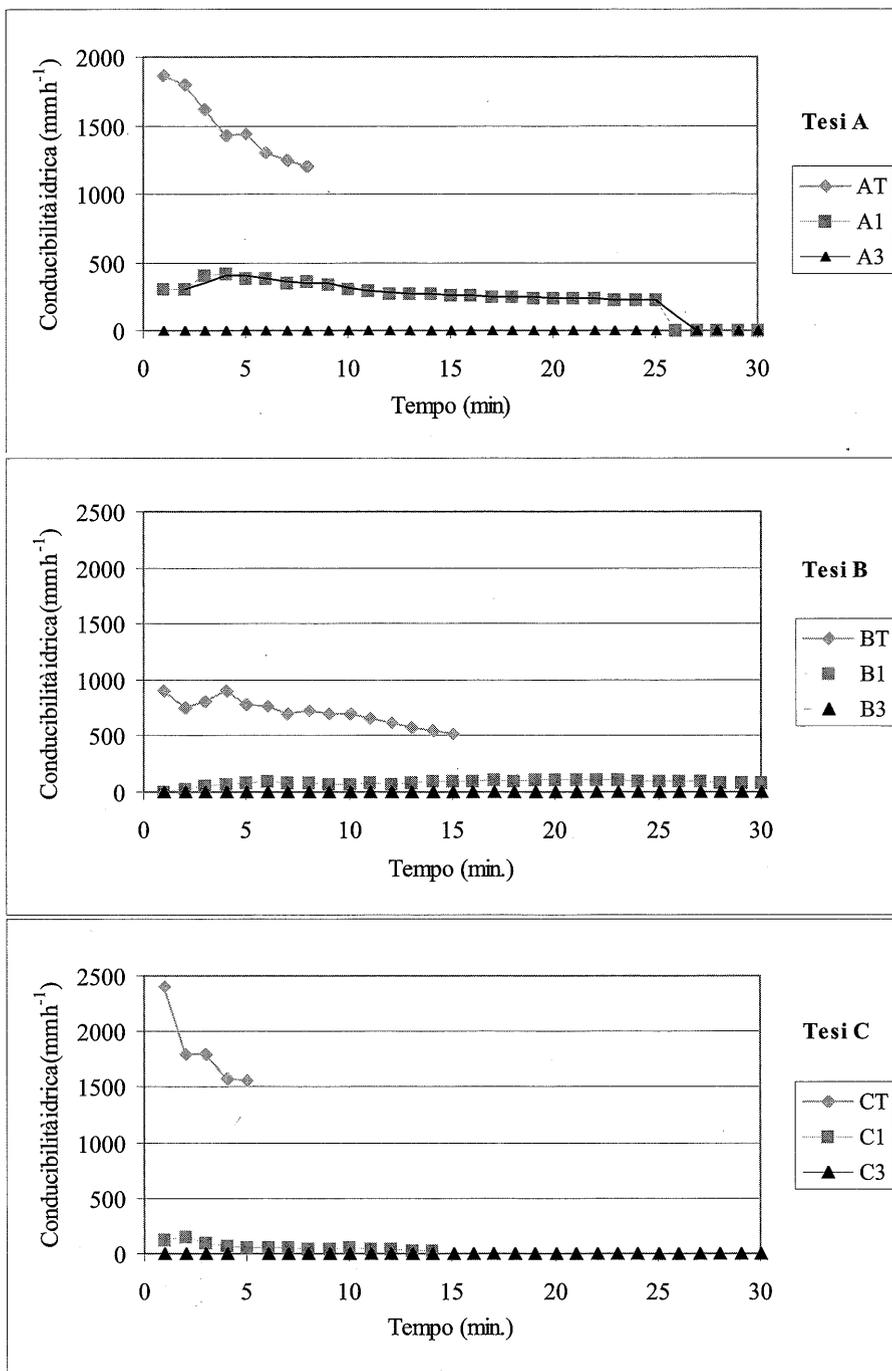


Figure 5, 6 e 7. Velocità di infiltrazione dell'acqua nel terreno in relazione al tempo rilevata dopo uno e tre passaggi della trattore e sul testimone

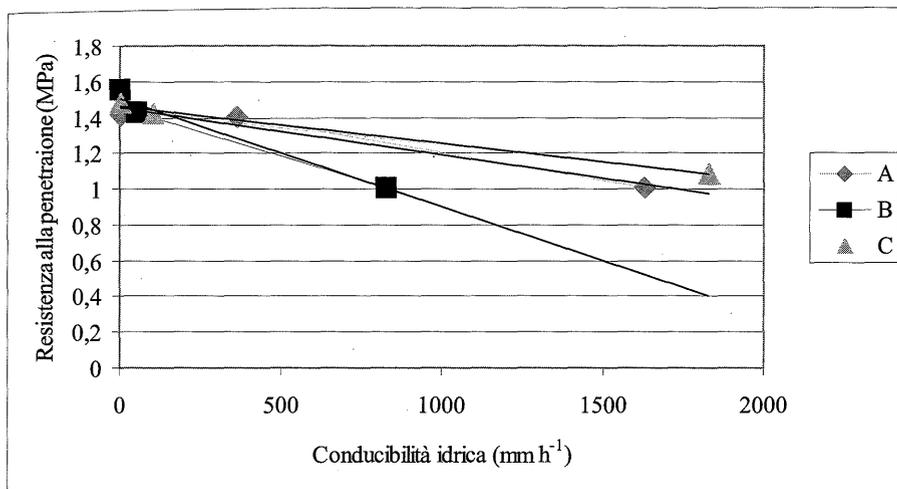


Figura 8. Correlazione fra conducibilità idrica e resistenza alla penetrazione rilevata nello strato da 0 a 0.30 m di profondità dopo il passaggio singolo e multiplo della trattrice

4. Conclusioni

Le caratteristiche chimico-fisiche del suolo utilizzato per le prove hanno fatto rilevare che differenze statisticamente significative si sono verificate sia per il contenuto in sostanza organica che per quello idrico relativamente alla parcella dove sono state condotte le prove con il pneumatico A. Queste differenze comunque, non hanno sempre influenzato il diverso grado di compattamento tra le tesi.

Dalla presente indagine è emerso che, passaggi multipli effettuati con una trattrice equipaggiata con tre differenti tipi di pneumatici radiali a confronto, hanno indotto effetti molto simili sulle variazioni delle qualità funzionali del suolo limo-argilloso in esame soprattutto negli strati intermedi anche se tutte le differenze fra i suddetti parametri ed il test sono invece risultate statisticamente significative con il testimone.

Il comportamento favorevolmente simile riscontrato per le tesi A e C sia dopo uno che tre passaggi, potrebbe essere imputato al maggior numero di costole, con un'area inferiore rispetto al B, presenti su entrambi questi pneumatici anteriori, infatti il maggior rapporto di scolpitura si è avuto per il pneumatico B così come la minore altezza delle costole.

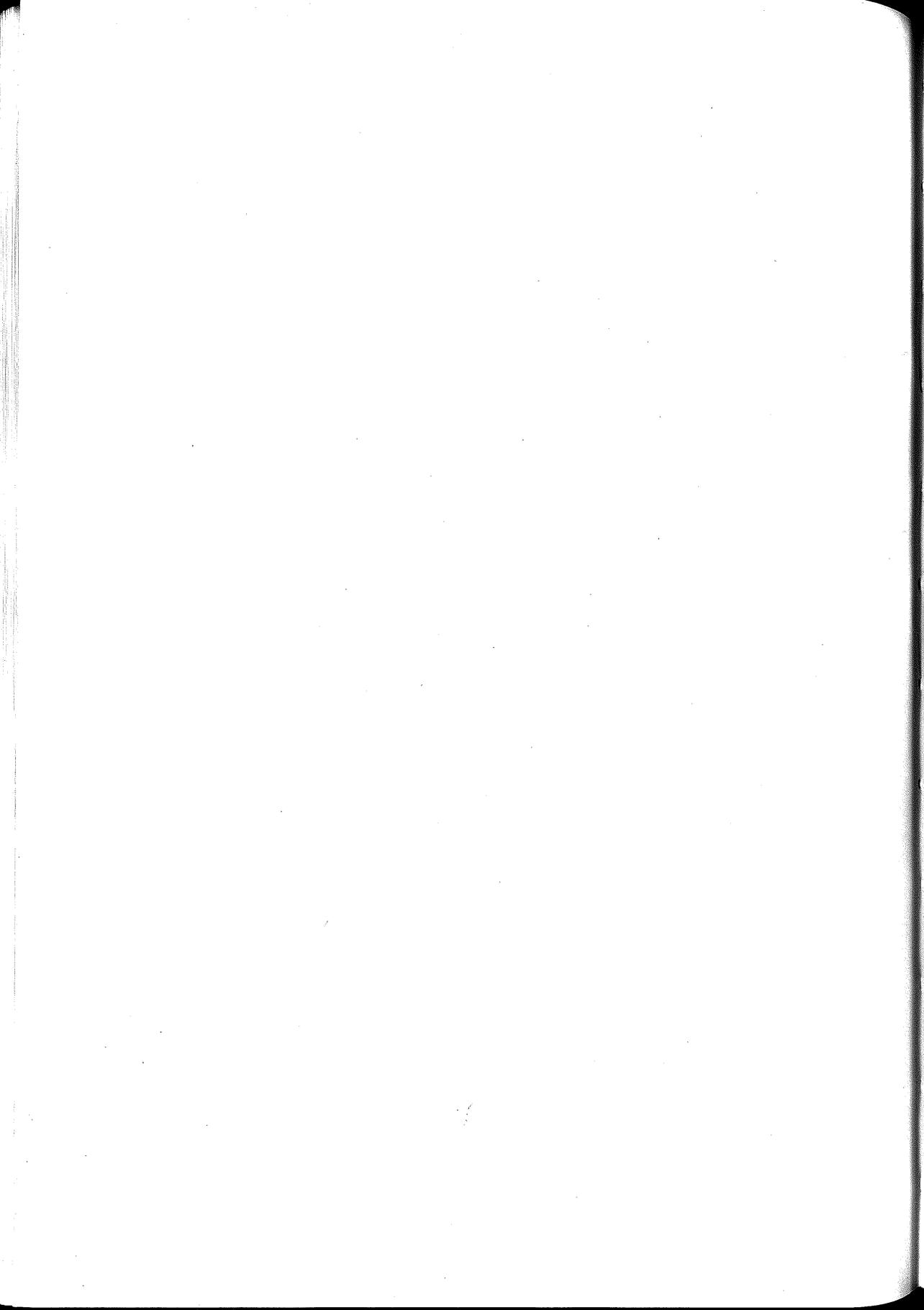
Si può concludere che i sia pur diversi metodi progettuali e costruttivi impiegati per la realizzazione del pneumatico hanno portato a dei risultati positivi e molto vicini fra loro sia pur con lievi vantaggi per le tesi denominate A e C rispetto alla B.

Bibliografia

- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 1988. FAO/Unesco Soil Map of the World, revised legend. World Resources Report 60. Food and Agriculture Organization, Rome, 138 pp.
- GOMEZ K. A., GOMEZ A. A., 1976. Statistical Procedures for Agricultural Research. The International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines, pp. 97-119.
- LOWERY B., SCHULER R.T., 1994. Duration and effects of compaction on soil and plant growth in Wisconsin. *Soil Tillage Res.* 29, 205-210.
- MARSILI A., SERVADIO P., 1992. Prove sul compattamento del terreno agrario con due diversi tipi di pneumatici a confronto. (Tests on agricultural soil compaction with two different types of tyres in comparison). *Rivista di Ingegneria Agraria* 4, 193-199.
- MARSILI A., SERVADIO P., 1996. Compaction effects of rubber or metal-tracked tractor passes on agricultural soils. *Soil Tillage Res.* 37, 37-45.
- MARSILI A., SERVADIO P., PAGLIAI M., VIGNOZZI N., 1998. Changes of some physical properties of a clay soil following passage of rubber- and metal-tracked tractors. *Soil Tillage Res.* 49, 185-199.
- OHU J.O., RAGHAVAN G.S.V., MCKYES E., MEHUYS G., 1986. Shear strength prediction of compacted soil with varying added organic matter contents. *Trans. ASAE* 29, 351-355.
- O'SULLIVAN, M.F., 1992. Uniaxial compaction effects on soil physical properties in relation to soil type and cultivation. *Soil Tillage Res.* 24, 257-269.
- PAGLIAI M., FEBBO P., LA MARCA M., LUCAMONTE G., 1992. Effetti del compattamento provocato da differenti tipi di pneumatici su porosità e struttura del terreno. (Compaction effects caused from different types of tyres on macroporosity and soil structure). *Rivista di Ingegneria Agraria* 3, 168-176.
- SCHAFFER R.L., JOHNSON C.E., 1990. Soil dynamics and cropping systems. *Soil Tillage Res.* 16, 143-152.
- SOANE B.D., VAN OUWERKERK C. (Editors), 1994a. Soil Compaction in Crop Production. *Developments in Agricultural Engineering II*. Elsevier, Amsterdam, 662 pp.
- SOANE B.D., VAN OUWERKERK C., 1994b. Soil compaction problems in world agriculture. In: B.D. Soane and C. Van Ouwerkerk (Editors), Soil Compaction in Crop Production. *Developments in Agricultural Engineering II*. Elsevier, Amsterdam, pp. 1-26.
- SOANE B.D., VAN OUWERKERK C., 1995. Implications of soil compaction in crop production for quality of the environment. *Soil Tillage Res.* 35, 5-22.
- TERZAGHI K., PECK R.B., 1979. Geotecnica. (Geotechnique). Unione tipografico-Editrice Torinese, Torino.
- WAY T.R., BAILEY A.C., RAPER R.L., BURT E.C., 1995. Tire lug height effect on soil stresses and bulk density. *Trans. ASAE* 38, 669-674.
- WONG J.Y., 1993. Theory of ground vehicles. Wiley, New York, NY.

Ringraziamenti

Si ringraziano il p.a. Sandro Montanari dell'ISMA e il p.a. Andrea Marcucci dell'ISNP per avere collaborato rispettivamente all'esecuzione dei rilievi di campo e delle analisi di laboratorio.



*CARATTERIZZAZIONE MORFOLOGICA, CHIMICA E
FISICA DEI SUOLI E QUALITÀ DELLE ACQUE
REFLUE NELLA SPERIMENTAZIONE PER IL
RIUTILIZZO DEI REFLUI IN AGRICOLTURA*

A. Aru ¹, P. Botti ³, R. Corrias ³, M. Ferralis ³, G. Marras ³,

H. W. Muntau ², P. Pin ³, R. Puddu ⁵, P. Spanu ³, S. Vacca ⁴

1 Università degli Studi di Cagliari

2 Istituto dell'Ambiente, C.C.R, Ispra

3 Ente Autonomo del Flumendosa, Cagliari

4 Università degli Studi di Sassari

5 Centro Regionale Agrario Sperimentale, Cagliari

Introduzione

Il poster descrive il quadro analitico applicato per la caratterizzazione fisica e chimica delle acque e dei suoli oggetto della sperimentazione che l'Ente Autonomo del Flumendosa (Regione Autonoma della Sardegna) conduce sul riutilizzo dei reflui civili in agricoltura.

Le prove di irrigazione sono state condotte in laboratorio con le acque prodotte dall'impianto di trattamento di Pimentel, piccolo centro urbano della Provincia di Cagliari, su cinque profili di suolo indisturbato scelti tra quelli più significativi dell'area irrigabile del Campidano (Sardegna meridionale), con l'ausilio di un irrigatore a pioggia, caratterizzando le acque reflue e i suoli prima e dopo la percolazione, dal punto di vista fisico, chimico e microbiologico.

Le analisi sulla matrice acquosa sono state eseguite dal Laboratorio Chimico - Biologico dell'Ente Autonomo del Flumendosa secondo i Metodi analitici per le acque IRSA-CNR (1994) e gli Standard Methods (1995), mentre le determinazioni analitiche dei suoli sono state effettuate seguendo le Metodiche Ufficiali del Ministero delle Politiche Agricole - Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del suolo (2000).

Qualità delle acque utilizzate per la sperimentazione

Le acque utilizzate durante la sperimentazione, prelevate di fresco per ogni ciclo di irrigazione in uscita dal Depuratore di Pimentel dopo clorazione, sono state caratterizzate prima di ogni prova

I parametri chimici e microbiologici analizzati e i risultati della caratterizzazione delle acque utilizzate durante la sperimentazione sono riportati in tabella 1 che mostra i valori medi, con i massimi e i minimi relativi, riferiti a circa un anno di analisi (26 campionamenti effettuati durante la sperimentazione).

In particolare tali acque presentano una conducibilità media intorno a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C dovuta alla presenza consistente di alcuni costituenti maggiori quali sodio, cloruri e solfati le cui concentrazioni si aggirano intorno ai 100 mg/l, ciononostante presentano un valore di SAR (sodium adsorption ratio) abbastanza basso a causa della presenza equilibrata dei costituenti calcio e magnesio in rapporto al tenore di sodio riscontrato.

Si osserva inoltre una concentrazione relativamente bassa del fosforo totale mentre si rileva un elevato tenore di azoto totale (29 mg/l), principalmente sotto forma di azoto ammoniacale, dovuto alla scarsa efficienza di depurazione dell'impianto.

Bisogna inoltre osservare che sono acque a basso tenore di metalli pesanti, a conferma della loro provenienza da scarichi di tipo civile e non di tipo industriale.

Per quanto riguarda i parametri microbiologici le concentrazioni rilevate hanno presentato marcate differenze nei singoli campionamenti in quanto dipendenti dal dosaggio e dall'efficienza del disinfettante.

Tabella 1 Caratterizzazione chimica e microbiologica delle acque di Pimentel

Parametri chimico - fisici e	U.M.	medie	max	min
Microbiologici				
pH		7,54	8,31	7,09
Conducibilità a 25°C	µS/cm	1072	1637	602
N-NH ₄	mg/l	25	45	12
N-NO ₂	mg/l	0,049	0,440	0,003
N-NO ₃	mg/l	0,18	0,52	0,02
N-tot	mg/l	29,0	47,8	15,1
P-tot	mg/l	1,66	4,32	0,48
P-PO ₄	mg/l	1,34	3,78	0,21
Cloruri	mg/l	114	172	67
Solfati	mg/l	94	184	43
Alcalinità	meq/l	4,74	6,55	2,62
COD	mg/l	40	62	26
Sodio	mg/l	91	139	46
Potassio	mg/l	16,2	21,8	11,8
Calcio	mg/l	43	66	31
Magnesio	mg/l	17	23	11
SAR		3,0	3,8	1,8
boro disciolto	µg/l	824	1000	610
TC	mg/l	59	87	31
TOC	mg/l	14	19	8
IC	mg/l	44	69	22
AOX	µg/l	121	398	63
Cromo disciolto	µg/l	1	1	1
Zinco disciolto	µg/l	15	22	7
Cadmio disciolto	µg/l	<1	2	<1
Piombo disciolto	µg/l	<5	<5	<5
Nichel disciolto	µg/l	<5	<5	<5
Rame disciolto	µg/l	<5	10	5
Ferro disciolto	µg/l	70	100	25
Manganese disciolto	µg/l	17	27	5
Alluminio disciolto	µg/l	78	111	21
Arsenico disciolto	µg/l	<10	<10	<10
Coliformi totali	UFC/100ml	926.000	8.000.000	1
Coliformi fecali	UFC/100ml	179.000	1.500.000	ass. in 100 ml
Streptococchi fecali	UFC/100ml	22.000	200.000	ass. in 100 ml
Escherichia coli	UFC/100ml	60.000	600.000	ass. in 100 ml

Caratterizzazione dei suoli

Descrizione dei profili

La descrizione dei profili è avvenuta secondo le indicazioni del manuale della FAO "Guidelines for soil profiles description" (1977) e del "Soil Survey Manual" dell'USDA (anni diversi).

PROFILO 1

Località: Monte Jesu - **Comune:** Sestu - **Provincia:** Cagliari - **Riferimento cartografico:** Tav. I.G.M. 557 sez. IV - "San Sperate"

Substrato: marne arenacee del Miocene - **Morfologia:** pianeggiante - **Topografia:** quota 60 m s.l.m.

Utilizzazione del suolo: agricola - **Vegetazione:** colture ortive - **Pietrosità superficiale:** assente

Orizzonte	Profondità	Descrizione	
Ap	0 - 40 cm	asciutto; bruno (10YR5/4); franco-sabbioso-argilloso; 1-2% di scheletro, arrotondato, dimensioni minute (0,2-5 cm); drenaggio interno normale; aggregazione poliedrica subangolare e angolare, da media a molto grossolana, grado forte; friabile; abbondanti pori, da molto piccoli a grandi (da <1 mm a > 5 mm); radici scarse, di dimensioni piccole, ad andamento verticale, orizzontale ed obliquo; attività biologica media; effervescenza in HCl violenta; limite abrupto lineare.	0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200
Bk1	40 - 100 cm	asciutto; bruno chiaro (10YR6/4); argilloso-sabbioso; scheletro assente; drenaggio interno normale; aggregazione poliedrica angolare, da media a molto grossolana, grado forte; friabile; comuni concrezioni di CaCO ₃ (15%), soffici, a contorno netto e diffuso; abbondanti pori, da molto piccoli a grandi (da <1 mm a >5 mm); radici morte scarse, di dimensioni piccole, ad andamento orizzontale; attività biologica media; effervescenza in HCl violenta; limite chiaro lineare.	
Bk2	100-140 cm	asciutto; bruno chiaro (10YR7/3); franco-sabbioso-argilloso; scheletro assente; drenaggio interno normale; aggregazione poliedrica angolare, da media a molto grossolana, grado moderato; poco duro; abbondanti concrezioni di carbonati (35%), soffici e dure, a contorno netto, dimensioni sino a 2 cm, principio di crostine carbonatiche intorno ai 130 cm; comuni pori, da molto piccoli a medi (da <1 mm a 5 mm); radici morte scarse, piccole ad andamento orizzontale; attività biologica scarsa; effervescenza in HCl violenta; limite abrupto lineare.	
Ck	140-200 cm	asciutto; bruno chiaro (10YR7/4); franco-sabbioso; scheletro assente; drenaggio interno normale; aggregazione poliedrica angolare tendente alla massiva, fine, grado debole; friabile; abbondanti concrezioni di carbonati (50%), soffici, a contorno netto, dimensioni sino a 2 cm; comuni pori, molto piccoli e piccoli (da <1 mm a 1-2mm); radici morte scarse, piccole ad andamento orizzontale; attività biologica scarsa; effervescenza in HCl violenta.	

Questo profilo è relativo ai substrati marnosi e marnoso-arenacei e rappresenta il termine finale di una tipica toposequenza diffusa in tutto il Campidano orientale interessato dai sedimenti miocenici, con suoli ad orizzonti ben differenziati e profondi. Il suolo è stato campionato in un'area di fondovalle a forte vocazione agricola, dove prevalgono colture di pieno campo in regime irriguo (orticole e frutticole).

Nel profilo è visibile un marcato sviluppo di orizzonti d'alterazione e di accumulo di carbonati a partire dai 40 cm (orizzonti Bk e Ck). Alla stessa profondità si registra un notevole incremento della frazione argillosa, a cui si accompagna sempre una significativa quantità di sabbia ed una buona porosità efficace, cosicché il drenaggio interno può ritenersi complessivamente costante sino agli strati più profondi. Solo in condizioni di prolungata siccità l'arricchimento in concrezioni carbonatiche, talora saldate a formare un crostone indurito, determinano una forte riduzione della permeabilità oltre il metro e mezzo di profondità.

Un fattore che limita la capacità produttiva di tale suolo, riducendo la possibilità di scelta colturale, è costituito dall'intrinseca salinità primaria, posseduta in relazione all'elevato contenuto in carbonati.

PROFILO 2

Località: Magangiosa - **Comune:** Sestu - **Provincia:** Cagliari - **Riferimento cartografico:** Tav. I.G.M. 557 sez. IV - "San Sperate"

Substrato: Alluvioni conglomeratiche del Pleistocene in matrice argillosa fortemente cementata

Morfologia: terrazzo alluvionale, forma subpianeggiante - **Topografia:** quota 55 m s.l.m., pendenza < 1%

Utilizzazione del suolo: coltivo abbandonato - **Vegetazione:** erbacea, prevalenza di carlina - **Pietrosità superficiale:** 10%, dimensioni max 10 cm

Orizzonte	Profondità	Descrizione	
Ap	0 - 40 cm	asciutto; bruno giallastro (7,5YR5/4); franco-sabbioso-argilloso; 10% di scheletro, arrotondato e spigoloso, dimensioni minute (0,2-5 cm); drenaggio interno normale; aggregazione poliedrica subangolare, da molto fine a media, grado moderato; poco duro; abbondanti pori, da molto piccoli a grandi (da <1 mm a > 5 mm); radici scarse, di dimensioni piccole, ad andamento verticale; attività biologica scarsa; effervescenza in HCl nulla; limite abrupto lineare.	
Btc	40 - 75/80 cm	asciutto; bruno rossastro (5YR5/4); argilloso; 5% di scheletro, arrotondato, dimensioni minute (0,2-5 cm); drenaggio interno molto lento; aggregazione prismatica, grossolana e molto grossolana, grado forte; estremamente duro per cementazione da Fe e silice; abbondanti (>10%) rivestimenti di argilla con ossidi e idrossidi di Fe e Mn localizzati sugli aggregati e nei pori, colore bruno giallastro scuro (7,5YR4/4); comuni (2-20%) facce di pressione, dimensioni 1 cm ² ; comuni concrezioni di Fe e Mn (7%), dure e a contorno netto, dimensioni 5 mm; pochi pori, da molto piccoli a medi (da <1 mm a 2-5 mm); radici scarse, di dimensioni piccole, ad andamento verticale; effervescenza in HCl nulla; limite abrupto lineare.	
2Btk	75/80-120 cm	asciutto; bruno giallastro (7,5YR5/6); argilloso; 3% di scheletro, arrotondato, dimensioni minute (0,2-5 cm); drenaggio interno molto lento; aggregazione massiva; estremamente duro per cementazione da carbonati; abbondanti (>10%) rivestimenti di argilla con ossidi e idrossidi di Fe e Mn localizzati sugli aggregati e nei pori, colore bruno giallastro scuro (7,5YR4/4); abbondanti (>20%) facce di pressione, dimensioni 5 cm ² ; comuni concrezioni di carbonati (15%), soffici e dure, a contorno netto, dimensioni sino a 10 cm; comuni concrezioni di Fe e Mn (5%), soffici e a contorno diffuso, dimensioni 1 mm; pochi pori, molto piccoli e piccoli (da <1 mm a 1-2 mm); radici assenti; effervescenza in HCl violenta.	
2Btkm	> 120	inizio orizzonte petrocalcico	

Il profilo è stato scavato sulla superficie di un antico terrazzo alluvionale del Rio Mannu, il più importante corso d'acqua dell'area, ai piedi dei rilievi miocenici ad est di Cagliari.

Il substrato pedogenetico è costituito da un conglomerato ad elementi ben elaborati e molto grossolani che testimoniano un'intensa attività erosiva e deposizionale del Rio Mannu nel passato, sotto condizioni di estrema variabilità climatica contraddistinta da lunghi periodi aridi alternati a brevi periodi umidi. I processi pedogenetici che hanno caratterizzato i suoli di quest'area sono costituiti, pertanto, da una forte lisciviazione degli orizzonti superiori e da una redistribuzione più o meno evidente in profondità dei minerali argillosi, favorita dai movimenti ascendenti e discendenti dell'acqua lungo l'intero profilo. Il substrato ricco dei carbonati derivanti dalle formazioni calcaree e calcareo marnose circostanti ha dato origine ad un accumulo secondario di CaCO_3 in forma di noduli e concrezioni, cementati in un crostone continuo e impenetrabile alle radici oltre il metro di profondità (orizzonte 2Btkm). Gli effetti di tali processi sono ben riconoscibili nell'intero profilo sia nelle proprietà fisiche (forte variabilità tessiturale tra l'orizzonte di superficie e quelli profondi, riduzione della permeabilità a partire dall'orizzonte argillico) sia nelle proprietà chimiche (forte desaturazione degli orizzonti argillici).

PROFILO 3

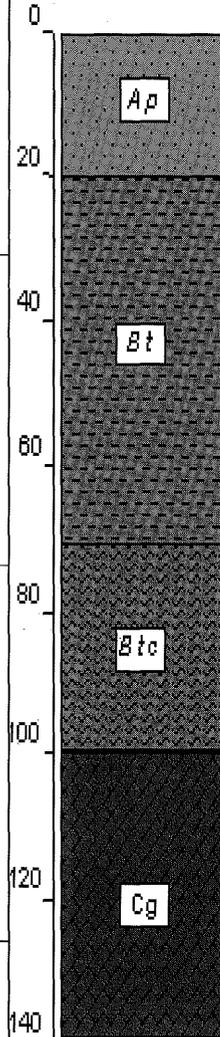
Località: Corte Marroccu - **Comune:** San Sperate - **Provincia:** Cagliari - **Riferimento cartografico:** Tav. I.G.M. 557 sez. IV - "San Sperate"

Substrato: Alluvioni conglomeratiche del Pleistocene in matrice sabbioso-argillosa debolmente cementata

Morfologia: terrazzo alluvionale, forma livellata - **Topografia:** quota 25 m s.l.m.

Utilizzazione del suolo: agricola - **Vegetazione:** colture agrumicole - **Pietrosità superficiale:** 30-35%, dimensioni massime 20 cm

Orizzonte	Profondità	Descrizione
Ap	0 - 20 cm	Umido; bruno giallastro (7,5YR5/4); franco-sabbioso; 20% di scheletro, arrotondato, dimensioni medie e minute (0,2-10 cm); drenaggio interno normale; aggregazione poliedrica subangolare, da fine a grossolana, grado forte; resistente; abbondanti pori, da molto piccoli a grandi (da <1 mm a > 5 mm); radici comuni, di dimensioni piccole, medie e grandi, ad andamento verticale e orizzontale; attività biologica intensa; effervescenza in HCl nulla; limite abrupto lineare.
Bt	20 - 70 cm	Umido; bruno giallastro (7,5YR5/4); franco-sabbioso-argilloso; 7% di scheletro, arrotondato, dimensioni minute (0,2-5 cm); drenaggio interno lento; aggregazione poliedrica angolare, da media a molto grossolana, grado forte; friabile; comuni (1-10%) rivestimenti di argilla con ossidi e idrossidi di Fe e Mn localizzati sugli aggregati e nei pori; comuni concrezioni di Fe e Mn (5%), dure e a contorno netto, dimensioni 3 mm; comuni pori, piccoli e medi (da 1 mm a 5 mm); radici scarse, di dimensioni piccole, ad andamento orizzontale; attività biologica scarsa; effervescenza in HCl nulla; limite abrupto lineare.
Btcg	70-100 cm	Umido; bruno giallastro (7,5YR5/6); franco-sabbioso-argilloso; 40% di scheletro, arrotondato, dimensioni da minute a grossolane (0,2-25 cm); drenaggio interno molto lento; aggregazione poliedrica subangolare tendente alla massiva; friabile; debolmente cementato da ferro; 50% di screziature, contrasto evidente, al 70% di colore rosso giallastro (5YR 5/6) e al 30% di colore bruno grigiastro scuro (7,5YR 4/2); abbondanti (>10%) rivestimenti di argilla con ossidi e idrossidi di Fe e Mn localizzati sugli aggregati e nei pori; abbondanti concrezioni di Fe e Mn (25%), soffici, a contorno netto e diffuso, dimensioni sino a 3 cm; pochi pori, molto piccoli e piccoli (da <1 mm a 1-2 mm); radici assenti; effervescenza in HCl nulla; limite abrupto lineare.
Cg	100 - 140 cm	Umido; 85-90% di scheletro, arrotondato, dimensioni minute e medie (0,2-10 cm); drenaggio interno lento; aggregazione massiva; pochi pori, molto piccoli (<1 mm); radici assenti; effervescenza in HCl nulla.



Questo profilo è stato campionato in corrispondenza di una superficie di terrazzo posta ad una quota inferiore rispetto al P2 e va riferita ad un successivo episodio di colmata del Rio Mannu, ascrivibile al tardo Pleistocene. In questo caso, la principale fonte di alimentazione del deposito alluvionale è costituita dal disfacimento delle litologie metamorfiche e vulcaniche a contorno della fossa campidanese. I processi pedogenetici che hanno agito in questo profilo sono stati influenzati, pertanto, soprattutto dal fattore "substrato", costituito da un conglomerato poligenico grossolano in cui la componente litologica carbonatica risulta del tutto assente, e secondariamente dal fattore climatico. Anche in questo caso, infatti, sono riconoscibili i segni di un'intensa eluviazione meccanica dei materiali più fini dall'orizzonte di superficie ed il loro accumulo al di sotto dell'orizzonte lavorato.

Altro carattere distintivo è la presenza di tipiche figure da ristagno idrico (*pseudogley*) a partire dai 70 cm in poi, derivate da processi di precipitazione e riduzione dei sesquiossidi di Fe ed Al e degli ossidi di Mn (screziature rosso-grigiastre, concrezioni nodulari).

Tali caratteri hanno permesso di riconoscere un regime idrico di tipo *aquico*, caratterizzato da un'accentuata difficoltà di drenaggio interno e dalla presenza, sia nella stagione piovosa che in quella irrigua, di piccole falde sospese in corrispondenza delle maggiori discontinuità tessiturali del profilo.

PROFILO 4

Località: S. Elena - **Comune:** San Sperate - **Provincia:** Cagliari - **Riferimento cartografico:** Tav. I.G.M. 556 sez. I - "Villasor"

Substrato: Alluvioni sabbiose non cementate dell'Olocene - **Morfologia:** terrazzo alluvionale, forma livellata - **Topografia:** quota 25 m s.l.m. -

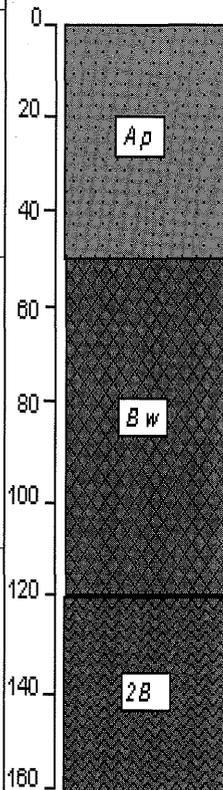
Utilizzazione del suolo: agricolo - **Vegetazione:** colture cerealicole - **Pietrosità superficiale:** 3-5%, dimensioni < 7,5 cm

Orizzonte Profondità Descrizione

Ap 0 - 50 cm Asciutto; bruno (10YR5/4); franco-sabbioso; 5% di scheletro, arrotondato, dimensioni minute (0,2-5 cm); drenaggio interno normale; aggregazione poliedrica subangolare e angolare, da media a grossolana, grado forte; friabile; abbondanti pori, da molto piccoli a grandi (da <1 mm a > 5 mm); radici comuni, di dimensioni piccole e grandi, ad andamento verticale; attività biologica intensa; effervescenza in HCl notevole; limite abrupto lineare.

Bw 50 - 120 cm Asciutto; da bruno (10YR5/4) a bruno scuro (10YR4/6); franco-sabbioso; 15% di scheletro, arrotondato, dimensioni minute e medie (0,2-10 cm); drenaggio interno normale; aggregazione poliedrica subangolare, da fine a media, grado forte; friabile; abbondanti concrezioni carbonatiche (15-20%), soffici, a contorno netto e diffuso, dimensioni 1 mm; abbondanti pori, da molto piccoli a medi (da <1 mm a 5 mm); radici abbondanti, di dimensioni piccole, ad andamento orizzontale; attività biologica media; effervescenza in HCl violenta; limite abrupto lineare.

2Bw 120-160 cm Asciutto; bruno giallastro (7,5YR4/6); franco-sabbioso-argilloso; 3% di scheletro, arrotondato, dimensioni minute (0,2-5 cm); drenaggio interno normale; aggregazione poliedrica subangolare e angolare, da fine a grossolana, grado forte; poco duro; 20% di screziature, contrasto poco evidente, al 50% di colore bruno giallastro (7.5YR 5/8) e al 50% di colore bruno (10YR 5/4), dimensioni 1 mm; abbondanti pori, da molto piccoli a grandi (da <1 mm a >5 mm); radici abbondanti, di dimensioni piccole e ad andamento verticale; effervescenza in HCl nulla.



Questo profilo è rappresentativo dei suoli originatisi da alluvioni incoerenti oloceniche con matrice medio-grossolana (da sabbioso-argillosa a ciottoloso-sabbiosa), diffusi nelle aree pianeggianti del Campidano a prevalente utilizzazione agricola intensiva.

Nel profilo è riconoscibile una sequenza di orizzonti di alterazione in situ (orizzonti cambici), riferibili a differenti episodi di colmata dei due corsi d'acqua che hanno alimentato l'accumulo alluvionale (rio Flumini Mannu e rio Flumineddu). Oltre i 120 cm, infatti, il secondo orizzonte Bw mostra i segni di un'alterazione più spinta sia nel colore dai toni più rossastri (processi di ossidazione del Fe), sia nella presenza di screziature bruno-giallastre, indicative di temporanei ristagni idrici per l'aumento, seppure modesto, della frazione argillosa.

Le caratteristiche fisico-chimiche del suolo sono complessivamente buone: un buon drenaggio interno, una tessitura equilibrata, una buona dotazione in basi ed in sostanza organica rendono tali tipi di suolo adatti a tutti i tipi di utilizzazione agricola, soprattutto in regime irriguo.

PROFILO 5

Località: Rio Foxi - **Comune:** Quartu S. Elena - **Provincia:** Cagliari - **Rifer. cartografico:** Tav. I.G.M. 557 sez. II - "Quartu S. Elena"

Substrato: Alluvioni sabbioso-argillose, non cementate, dell'Olocene - **Morfologia:** terrazzo alluvionale, forma livellata - **Topografia:** quota 20 m s.l.m.

Uso del suolo: agricola - **Vegetazione:** colture cerealicole - **Pietrosità superficiale:** 2-3%, dimensioni < 7,5 cm

Orizzonte	Profondità	Descrizione
Ap	0 - 40 cm	Asciutto; bruno chiaro (10YR6/3); franco; 15% di scheletro, arrotondato, dimensioni minute (0,2-5 cm); drenaggio interno normale; aggregazione poliedrica subangolare, da media a molto grossolana, grado forte; friabile; abbondanti pori, da molto piccoli a grandi (da <1 mm a >5 mm); radici comuni, di dimensioni piccole e grandi, ad andamento verticale; attività biologica intensa; effervescenza in HCl notevole; limite abrupto lineare.
Bw	40 - 80 cm	Asciutto; bruno scuro (10YR4,5/4); franco-argilloso; 10% di scheletro, arrotondato, dimensioni minute (0,2-5 cm); drenaggio interno normale; aggregazione poliedrica subangolare, da fine a media, grado forte; poco duro; comuni concrezioni carbonatiche (5%), soffici, a contorno diffuso, dimensioni <1 mm; abbondanti pori, da molto piccoli a grandi (da <1 mm a >5 mm); radici scarse, di dimensioni piccole, ad andamento verticale; attività biologica intensa; effervescenza in HCl notevole; limite abrupto lineare.
2Bk1	80-120 cm	Asciutto; bruno scuro (10YR4/2); franco-argilloso; 7% di scheletro, arrotondato, dimensioni minute (0,2-5 cm); drenaggio interno normale; aggregazione poliedrica angolare, fine e media, grado forte; poco duro; abbondanti concrezioni carbonatiche (20%), soffici e dure, a contorno netto, dimensioni sino a 3 cm; abbondanti pori, da molto piccoli a grandi (da <1 mm a >5 mm); radici scarse, di dimensioni piccole e ad andamento verticale; attività biologica media; effervescenza in HCl violenta; limite abrupto lineare.
2Bk2	120-140 cm	Asciutto; bruno (10YR5/3); franco-argilloso; 3% di scheletro, arrotondato, dimensioni minute (0,2-5 cm); drenaggio interno lento; aggregazione poliedrica subangolare, fine e media, grado moderato; friabile; 5% di screziature, contrasto poco evidente, colore bruno forte (10YR 5/6), dimensioni 1-2 mm; abbondanti concrezioni carbonatiche (30%), soffici e dure, a contorno netto, dimensioni sino a 5 cm; abbondanti pori, da molto piccoli a grandi (da <1 mm a >5 mm); radici assenti; effervescenza in HCl violenta.

Il diagramma del profilo del suolo mostra quattro orizzonti sovrapposti, ciascuno con un pattern di riempimento unico. L'asse verticale a sinistra indica la profondità in centimetri, con marcature a 0, 20, 40, 60, 80, 100, 120 e 140. I quattro orizzonti sono: Ap (da 0 a 40 cm, pattern a piccoli punti), Bw (da 40 a 80 cm, pattern a linee orizzontali), 2Bk1 (da 80 a 120 cm, pattern a piccoli quadrati) e 2B (da 120 a 140 cm, pattern a linee diagonali). Ogni orizzonte è etichettato con il suo codice al centro del rettangolo corrispondente.

Il profilo P5 è stato campionato in agro di Quartu S. Elena in corrispondenza di uno stretto fondovalle il cui substrato è costituito da alluvioni oloceniche limoso-argillose non cementate. Poiché il bacino di alimentazione del deposito è prevalentemente costituito dalle litologie marnoso-arenacee del Miocene, anche in questo profilo sono evidenti accumuli secondari di carbonati, localizzati soprattutto oltre gli 80 cm di profondità, entro orizzonti ad alterazione più spinta, di probabile derivazione eluviale da più antichi depositi conglomeratici. Il drenaggio interno, valutato in campo attraverso le proprietà descrittive del suolo, subisce infatti un rallentamento oltre il metro di profondità, dove si registra sia una maggiore concentrazione di concrezioni carbonatiche sia un aumento della frazione argillosa.

Nella parte superiore, il suolo è caratterizzato da orizzonti ben strutturati, porosi, con basso contenuto in scheletro e dotati di elevate quantità di elementi.

Come nel caso del profilo P4, questo suolo possiede ottime proprietà per un'utilizzazione agricola intensiva in regime irriguo.

Caratterizzazione fisica e chimica dei profili

Le determinazioni analitiche dei suoli, effettuate per orizzonti, sono state eseguite secondo le "Metodiche Ufficiali del Ministero delle Politiche Agricole - Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del suolo"(2000).

I risultati relativi alla caratterizzazione iniziale, riferiti alla sostanza secca, sono riportati nelle Tabelle 2,3,4, 5 e 6.

Tabella 2. Distribuzione granulometrica

Campione	Profondità (cm)	Sabbia grossa (%) 2.0 - 0.2 mm	Sabbia fine (%) 0.2 - 0.02 mm	Sabbia totale (%)	Limo (%) 0.02 - 0.002 mm	Argilla (%) < 0.002 mm
1/P1	0-40	35,6	29,9	65,5	13,5	21,0
2/P1	40-100	23,3	36,8	60,1	16,5	23,4
3/P1	100-140	34,1	26,5	60,6	18,5	20,9
4/P1	140-200	41,1	37,0	78,1	9,8	12,1
5/P2	0-40	19,1	42,4	61,6	15,7	22,7
6/P2	40-80	11,3	16,0	27,3	22,0	50,7
7/P2	80-120	14,5	18,1	32,6	27,0	40,5
8/P3	0-20	29,1	36,6	65,7	16,1	18,2
9/P3	20-70	26,6	33,7	60,3	13,2	26,5
10/P3	70-100	50,4	11,3	61,7	6,6	31,7
11/P4	0-50	29,1	35,1	64,2	16,5	19,3
12/P4	50-120	28,5	40,5	69,0	14,8	16,2
13/P4	120-160	27,9	39,2	67,1	12,9	20,1
14/P5	0-40	8,0	30,7	38,6	39,3	22,1
15/P5	40-80	9,1	27,4	36,5	28,7	34,8
16/P5	80-120	12,2	27,3	39,5	23,0	37,5
17/P5	120-140	15,0	32,4	47,4	25,1	27,4

Tabella 3

Campione	Profondità (cm)	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	Eh (mV)	Conducibilità 25 °C (mS/cm)
1/P1	0-40	8,1	7,6	369	0,40
2/P1	40-100	8,3	7,7	402	0,43
3/P1	100-140	8,9	7,8	395	0,28
4/P1	140-200	9,0	7,9	380	0,29
5/P2	0-40	8,2	7,4	411	0,28
6/P2	40-80	8,5	6,5	414	0,30
7/P2	80-120	9,1	7,5	390	0,50
8/P3	0-20	7,2	6,8	382	0,25
9/P3	20-70	7,1	6,0	421	0,20
10/P3	70-100	7,1	5,7	481	0,25
11/P4	0-50	8,3	7,6	368	0,17
12/P4	50-120	8,7	7,8	391	0,14
13/P4	120-160	8,0	6,8	435	0,10
14/P5	0-40	8,2	7,4	388	0,43
15/P5	40-80	8,5	7,5	384	0,27
16/P5	80-120	9,0	7,7	369	0,32
17/P5	120-140	9,1	7,8	276	0,30

Tabella 4

Campione	Profondità (cm)	Umidità (%)	C org. (g/kg)	Sost. org. (g/kg)	N-Kjeldhal (g/Kg)	Rapporto C/N	P tot (g/Kg)
1/P1	0-40	1,9	3,6	6,2	1,0	3,6	0,3
2/P1	40-100	2,0	0,9	1,6	0,7	1,3	0,3
3/P1	100-140	1,7	0,7	1,2	1,0	0,7	0,2
4/P1	140-200	1,6	0,5	0,9	0,4	1,2	0,3
5/P2	0-40	1,7	9,4	16,1	0,7	13	0,3
6/P2	40-80	5,3	3,9	6,7	0,5	7,8	0,1
7/P2	80-120	4,5	2,4	4,1	0,3	8,0	0,1
8/P3	0-20	1,0	4,9	8,4	0,5	9,8	0,4
9/P3	20-70	1,7	3,6	6,1	0,6	6,0	0,2
10/P3	70-100	2,7	1,2	2,1	0,3	4,0	0,2
11/P4	0-50	1,8	4,8	8,2	0,5	9,6	0,3
12/P4	50-120	1,5	1,6	2,8	0,2	8,0	0,2
13/P4	120-160	1,7	0,8	1,4	0,2	4,0	0,3
14/P5	0-40	4,3	5,7	9,8	0,9	6,3	0,3
15/P5	40-80	4,5	5,1	8,7	0,5	10	0,2
16/P5	80-120	3,4	3,3	5,7	0,2	16	0,2
17/P5	120-140	2,8	2,1	3,5	0,1	21	0,2

Tabella 5

Campione	Profondità (cm)	CSC (meq/100 g)	Sodio (meq/100 g)	Potassio (meq/100 g)	Calcio (meq/100 g)	Magnesio (meq/100 g)	GSB
1/P1	0-40	16,8	0,3	0,4	14,9	1,2	100%
2/P1	40-100	30,7	0,3	0,1	29,0	1,3	100%
3/P1	100-140	19,7	0,4	0,2	17,3	1,8	100%
4/P1	140-200	16,3	0,4	0,2	13,9	1,8	100%
5/P2	0-40	19,3	0,3	0,5	12,7	1,9	79,8%
6/P2	40-80	38,4	3,9	0,3	18,1	8,3	79,7%
7/P2	80-120	29,9	0,3	0,4	19,1	7,0	89,6%
8/P3	0-20	13,7	0,3	0,6	6,3	1,8	65,7%
9/P3	20-70	17,0	0,3	0,3	7,0	1,9	55,9%
10/P3	70-100	23,0	0,4	0,4	11,0	4,2	69,6%
11/P4	0-50	18,2	0,3	0,3	14,3	1,6	89%
12/P4	50-120	11,6	0,3	0,1	9,3	1,9	100%
13/P4	120-160	17,3	0,3	0,2	8,4	4,9	79,8%
14/P5	0-40	27,8	0,4	1,0	19,2	4,3	89,6%
15/P5	40-80	27,4	0,6	0,9	18,6	6,6	97,4%
16/P5	80-120	24,2	0,9	0,6	16,2	6,5	100%
17/P5	120-140	25,8	0,8	0,5	19,3	5,2	100%

Tabella 6

Campione	Profondità (cm)	Cd (mg/Kg)	Cr (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)	Ni (mg/Kg)	Pb (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)
1/P1	0-40	0,1	7,4	19,3	4,9	58	40
2/P1	40-100	0,1	6,8	23	5,1	32	37
3/P1	100-140	0,1	5,2	14,1	3,6	22	31
4/P1	140-200	0,1	4,6	15,3	4,6	28	29
5/P2	0-40	0,3	15,8	25	8,9	71	59
6/P2	40-80	0,7	24	26	11,5	76	72
7/P2	80-120	0,4	14,8	15,8	7,1	52	50
8/P3	0-20	0,2	9,8	22	7,7	60	43
9/P3	20-70	0,4	11,6	22	8,5	76	51
10/P3	70-100	0,6	13,2	55	10,5	73	62
11/P4	0-50	0,3	8,2	28	8,8	59	48
12/P4	50-120	0,3	8,0	39	7,5	55	46
13/P4	120-160	0,4	10,9	23	9,6	68	58
14/P5	0-40	0,3	10,5	40	9,3	58	50
15/P5	40-80	0,4	12,5	29	9,5	61	51
16/P5	80-120	0,2	7,4	26	6,4	41	36
17/P5	120-140	0,2	7,0	16,5	5,4	35	32

Classificazione dei suoli

Per la classificazione dei suoli si è fatto riferimento sia al sistema di classificazione americano "Soil Taxonomy" (Keys to Soil Taxonomy, U.S.D.A., ed. 1998) sia al sistema "WRB" (World Reference Base, 1999), basato sulla Revised Legend della Carta dei Suoli del Mondo (FAO/UNESCO, 1988).

Classificazione profilo P1:

CALCIC HAPLOXEREPT - U.S.D.A., ed.1998

CALCARIC CAMBISOL - WRB, 1999

Classificazione profilo P2:

PETROCALCIC PALEXERALF - U.S.D.A., ed.1998

PETRIC CALCISOL - WRB, 1999

Classificazione profilo P3:

AQUIC PALEXERALF - U.S.D.A., ed.1998

GLEYIC LUVISOL- WRB, 1999

Classificazione profilo P4:

FLUVENTIC HAPLOXEREPT, fase sabbiosa - U.S.D.A., ed.1998

FLUVIC CAMBISOL- WRB, 1999

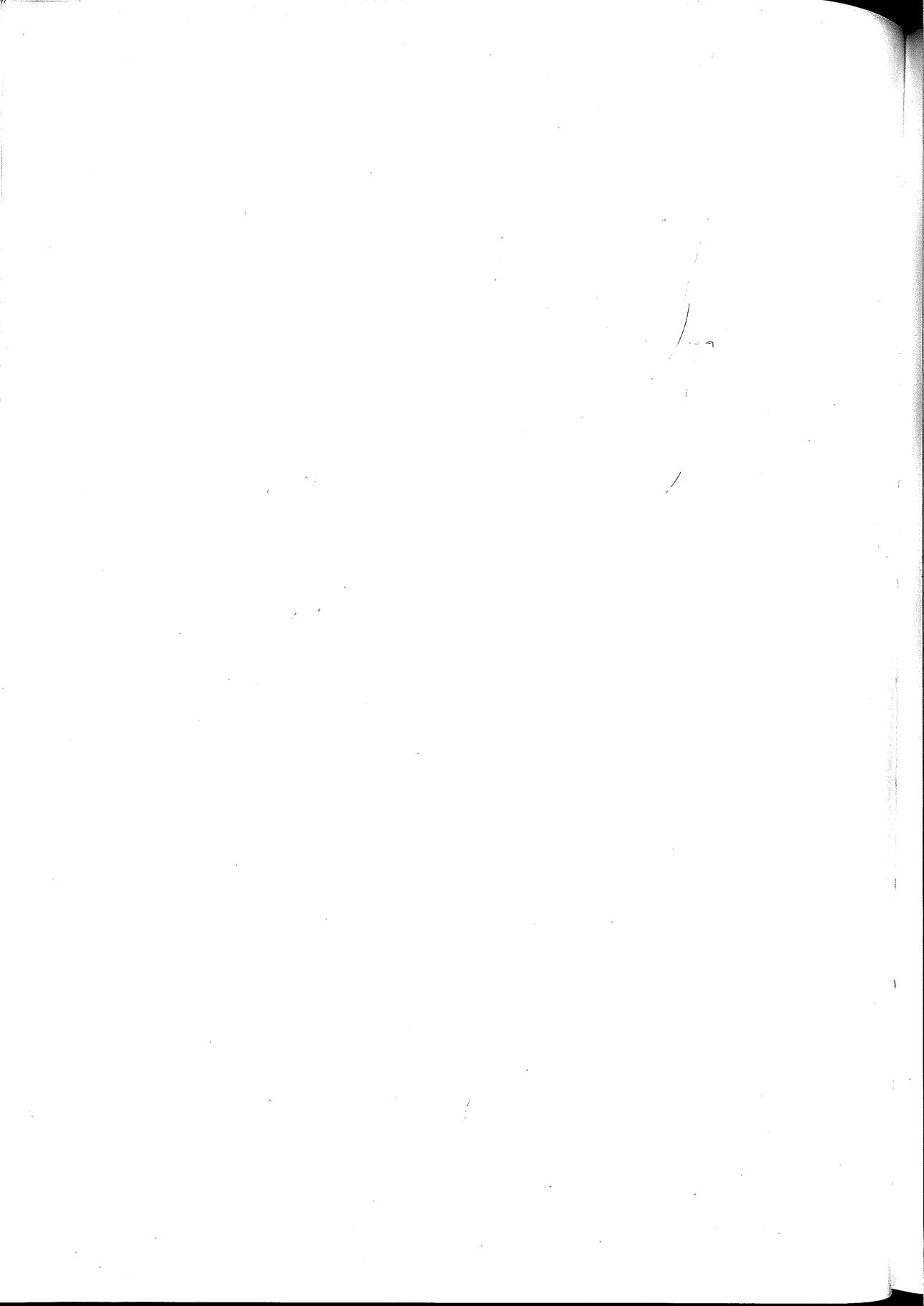
Classificazione profilo P5:

FLUVENTIC HAPLOXEREPT, fase argillosa- U.S.D.A., ed.1998

FLUVIC CAMBISOL - WRB, 1999

Conclusioni

Il presente lavoro descrive esclusivamente la caratterizzazione iniziale delle acque e dei suoli oggetto della sperimentazione, ma il quadro analitico viene applicato in forma estesa anche per la valutazione della qualità delle acque percolate dai profili nelle diverse prove di irrigazione e per la caratterizzazione dei suoli irrigati, allo scopo di valutare le eventuali trasformazioni nel sistema acqua - suolo e quindi quantificare i possibili fenomeni di accumulo e rilascio a carico del suolo.



CONFRONTO TRA DATI PEDOLOGICI E DATI FISICO-CHIMICI DEL TERRENO PER UNA MIGLIORE OPERATIVITÀ NEL CAMPO DELL'ASSISTENZA TECNICA ALL'AGRICOLTURA

Giancarlo Bourlot ¹, Aurelio Del Vecchio ¹,

Paolo F. Martalò ², Mauro Piazzi ²

¹ Laboratorio Agrochimico Regionale
Corso Grosseto, 71/6 - 10147 Torino

² I.P.L.A. S.p.A.
Corso Casale, 476 - 10132 Torino

Nell'ambito della Regione Piemonte, il Laboratorio Agrochimico Regionale (L.A.R.) del Settore Fitosanitario, articolato nelle tre sedi di Torino, Alessandria e Ceva, ha maturato nel corso degli ultimi decenni una notevole esperienza nell'analisi della matrice terreno. Le analisi del terreno, infatti, costituiscono, per numero di campioni ricevuti annualmente e per quantità di determinazioni effettuate, il fulcro dell'attività del Laboratorio; si tratta di oltre duemila analisi svolte ogni anno, per conto di operatori impegnati nell'assistenza tecnica agli agricoltori, di enti di ricerca, di organismi istituzionali e di privati.

Da circa dieci anni i dati delle analisi prodotte dal LAR sono informatizzati in ambiente database e sono disponibili per scopi di studio o di ricerca: nel tempo è però emersa la necessità di poterli consultare in modo più semplice e di poter usufruire anche di elaborazioni ed informazioni aggregate (fig.2).

Per venire incontro a queste esigenze, nel corso del 2000 è stato varato il progetto "Costituzione di una banca dati regionale sui terreni agrari attraverso il confronto e la georeferenziazione di analisi del terreno" (fig.1), proposto e finanziato dalla Regione Piemonte e attuato dal L.A.R. (Laboratorio Agrochimico Regionale - Settore Fitosanitario), dal DiVaPRA - Chimica Agraria (Università di Torino) e dalla SAGEA s.c.a r.l. di Alba.

Il progetto mira alla costituzione di una banca dati che preveda procedure standardizzate di raccolta e validazione dei dati, qualificandosi come utile supporto informativo per gli addetti ai lavori e per il pubblico. A medio termine, infatti, i dati raccolti e le loro elaborazioni saranno resi disponibili al pubblico online, sul sito della Regione Piemonte, una sezione del quale sarà destinata ai suoli sull'esempio di quanto già realizzato da altre Regioni.

Al LAR confluiscono, inoltre, le informazioni relative al rilevamento ed alla cartografia dei suoli in scala 1:50000 (fig.3). Tale attività, organizzata su un programma regionale pluriennale (fig.4), è condotta dal Settore Suolo dell'IPLA (Istituto Piante da Legno e Ambiente), ente strumentale della Regione Piemonte che si occupa dell'acquisizione e della gestione dei dati pedologici, dal rilevamento di campagna alla produzione delle cartografie e delle note illustrative. Grazie alla gestione degli archivi pedologici ed alla conseguente attività di armonizzazione dei dati prodotti in periodi successivi, il Settore Suolo fornisce supporto tecnico in vari progetti regionali, integrando talora le informazioni già disponibili con studi di maggiore dettaglio.

Nel presente lavoro si è voluto sperimentare l'integrazione delle informazioni sul suolo, mettendo a punto una procedura che permetta l'interazione dei dati analitici in possesso del LAR con le informazioni pedologiche (Carte dei suoli, atlanti pedologici) prodotte dall'IPLA.

Per tentare questo confronto è stato necessario individuare un'area di superficie non eccessiva e di notevole interesse agricolo in cui fossero disponibili informazioni pedologiche (Carta dei suoli 1:50000 e relative note illustrative) e un buon numero di analisi del terreno georeferenziate in modo affidabile. Sulla base di questi requisiti la scelta è ricaduta su un'area pianeggiante posta a sud-est di Torino e compresa fra i comuni di Chieri, Riva presso Chieri, Cambiano, Poirino, Santena.

Questa zona, denominata Poirinese, (fig.5) è caratterizzata da un'agricoltura a prevalente indirizzo cerealicolo e da una buona presenza di avicoltura e suinicoltura. Dal punto di vista geomorfologico l'area, denominata in letteratura "Altopiano di Poirino", è costituita da terrazzi antichi a matrice prevalentemente limosa e drenaggio scolante verso Ovest causato da vari fenomeni di sollevamento e basculamento dell'intera unità morfologica.

Presupposto essenziale per operare il confronto è l'incrocio delle informazioni geografiche della Carta dei suoli (Unità Cartografiche e Fasi di suolo secondo la definizione USDA riconosciute sul territorio) con le posizioni delle analisi effettuate dal LAR. Con l'ausilio di un software GIS i due livelli cartografici sono stati sovrapposti e ogni punto LAR è stato assegnato ad una unità cartografica. Consultando poi le note illustrative della Carta dei suoli si sono individuate le Fasi di suolo presenti in ogni unità cartografica ed i rispettivi profili rappresentativi corredati da analisi di riferimento IPLA.

Sulla base di queste informazioni e della posizione dell'analisi rispetto all'unità cartografica è stato possibile procedere ad una prima

assegnazione del punto LAR ad una Fase di suolo. Tale assegnazione, basata su criteri anzitutto geografici, è stata poi verificata confrontando i dati analitici del punto LAR con quelli relativi al profilo rappresentativo individuato con la Carta dei suoli. Questo confronto è stato operato prendendo in considerazione due serie di parametri analitici, come rappresentato nella successiva tabella 1.

Tabella 1. Parametri e loro raggruppamento

Parametri necessari per l'assegnazione variabilità della Fase di suolo	Parametri descrittivi della alla Fase di suolo
Tessitura	Ca, Mg, K scambiabili
pH	Saturazione basica
CSC	

Nel primo gruppo sono stati presi in considerazione i parametri ritenuti caratteristici di una Fase di suolo, per i quali sono state ammesse oscillazioni minime dei valori rispetto al profilo di riferimento suggerito dalla Carta dei suoli. Nel secondo gruppo si sono invece considerati parametri la cui oscillazione ammessa rispetto ai valori del profilo di riferimento è più ampia. Infatti, mentre per i parametri del primo gruppo è assai complicato indurre una variazione sensibile del loro valore, molto più facile è per i parametri descritti nel secondo gruppo.

Un'ulteriore verifica dell'assegnazione del punto analizzato alla Fase di suolo si è resa necessaria per meglio specificare la posizione del punto all'interno dell'unità cartografica riconosciuta sulla Carta dei suoli e spiegare quindi i valori "anomali" di alcune analisi collocate in prossimità dei limiti delle unità cartografiche. Questo criterio di confronto è illustrato dalla tabella 2.

Tabella 2. Qualità dell'assegnazione all'Unità cartografica

1	Il punto è assegnato con certezza all'Unità cartografica
2	Il punto è assegnato all'Unità cartografica, ma la posizione è periferica rispetto al poligono
3	Il punto è attribuibile ad altra Unità cartografica, in genere adiacente
4	Il punto non è confrontabile (serre, errori di georeferenziazione, movimenti terra...)

Per ogni punto analizzato dal LAR sono quindi stati assegnati tre criteri di giudizio: uno per la posizione geografica, uno per la corrispondenza dei valori analitici del primo gruppo riportato in tab. 1, uno per quelli del secondo gruppo; per questi ultimi due giudizi sono stati utilizzati i parametri riportati in tabella 3. Sulla base di questo confronto si è giunti alla assegnazione definitiva dei punti analizzati alla Fase di suolo.

Tabella 3. Congruenza tra analisi LAR ed analisi del profilo rappresentativo

1	I valori rispecchiano completamente il profilo rappresentativo
2	I valori rispecchiano solo in parte il profilo rappresentativo, ma lo scostamento non è tale da far ricadere il punto in una diversa Fase di suolo
3	I valori non rispecchiano il profilo rappresentativo: il suolo si assegna ad una diversa Fase di suolo
4	Il punto non è confrontabile (serre, errori di georeferenziazione, movimenti terra...)

Tabella 4. Risultati del confronto

Superficie area campione (ha)	16585
Punti LAR disponibili	249
Punti LAR perfettamente aderenti al profilo rappresentativo	43
Punti LAR sostanzialmente riconducibili al profilo rappresentativo	136
Punti LAR assegnati a fasi di suolo diverse da quelle attese	13
Punti non rappresentativi (serre, movimenti di terra, errori di georeferenziazione)	57

Come si deduce dai risultati mostrati nella tabella 4, la maggioranza (72%) delle analisi LAR prese in esame è sostanzialmente riconducibile ad un profilo rappresentativo atteso. In alcuni casi (5%) è stato possibile ipotizzare una corrispondenza delle analisi LAR a profili rappresentativi diversi da quelli attesi. Si è potuto, inoltre, osservare una casistica di analisi (23%) da considerare non significative perchè non rappresentative.

Contributi apportati alla conoscenza dei suoli e al miglioramento dell'assistenza tecnica

1. Assistenza tecnica all'agricoltura

- sintesi delle conoscenze regionali sul suolo e promozione di un approccio territoriale, e non puntuale, all'uso di tale risorsa;
- elaborazione di una metodologia regionale ad uso dei tecnici di campo per il confronto di informazioni sul suolo di diversa natura

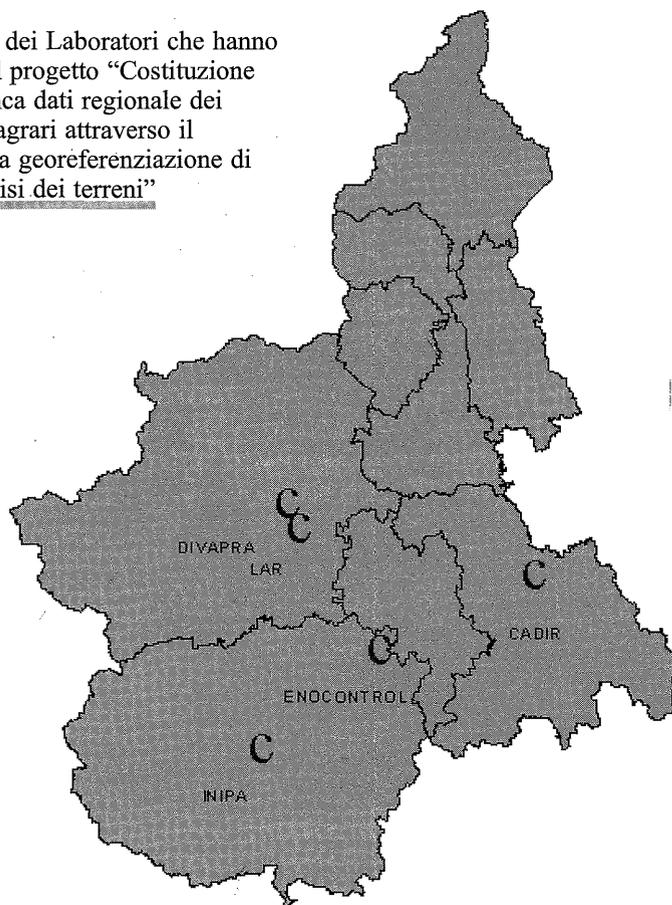
2. Cartografia pedologica regionale

- validazione degli elaborati cartografici;
- supporto nella definizione dei limiti fra unità cartografiche e nella descrizione delle Serie e delle Fasi di suolo

Prospettive

Questa esperienza vuole essere un primo approccio all'organizzazione delle conoscenze sui suoli disponibili in ambito regionale, da estendere ovunque siano disponibili i dati necessari e quando esistano le necessarie risorse finanziarie. L'utilizzo di Internet permetterà, a breve, di avviare la distribuzione ai tecnici dell'informazione pedologica ed agrochimica. Nello stesso tempo una più costante e precisa georeferenziazione delle analisi commissionate dai tecnici di campo al LAR (anche grazie a procedure online) permetterà un sempre più agevole confronto tra le diverse fonti di informazione sul suolo. L'intento è anche quello di diffondere una percezione della pari dignità della informazione sul suolo rispetto al tradizionale "bagaglio culturale" del tecnico agricolo.

Figura 1. Carta dei Laboratori che hanno partecipato al progetto "Costituzione di una banca dati regionale dei terreni agrari attraverso il confronto e la georeferenziazione di analisi dei terreni"



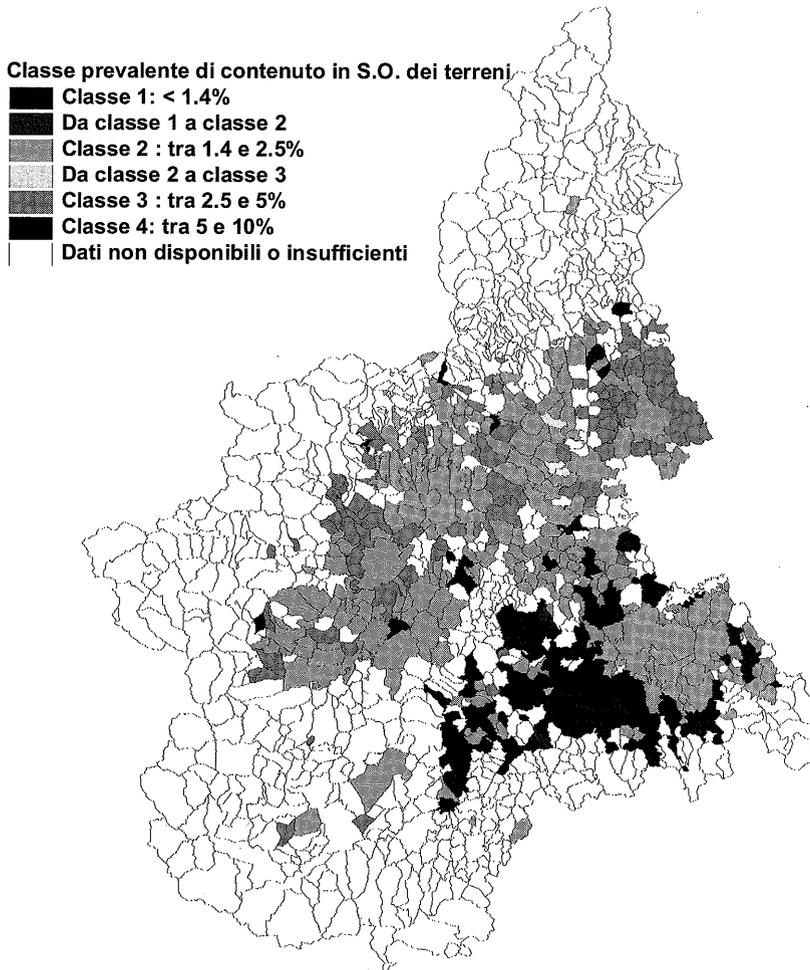
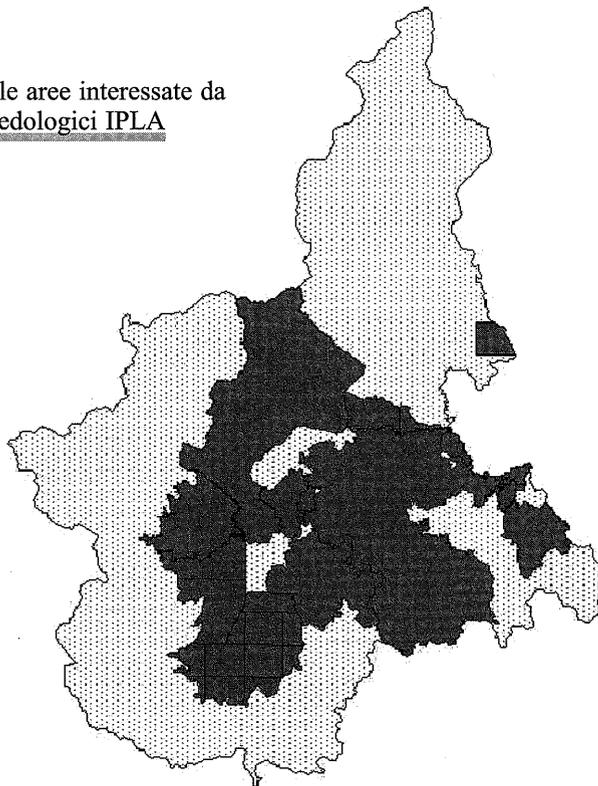


Figura 2. Esempio di elaborazione effettuata sulla base di dati del Laboratorio Agrochimico Regionale

Figura 3. Carta delle aree interessate da rilevamenti pedologici IPLA



Carta dei suoli della pianura piemontese- scala 1:50000

Stato di avanzamento dei lavori al 30/06/2001

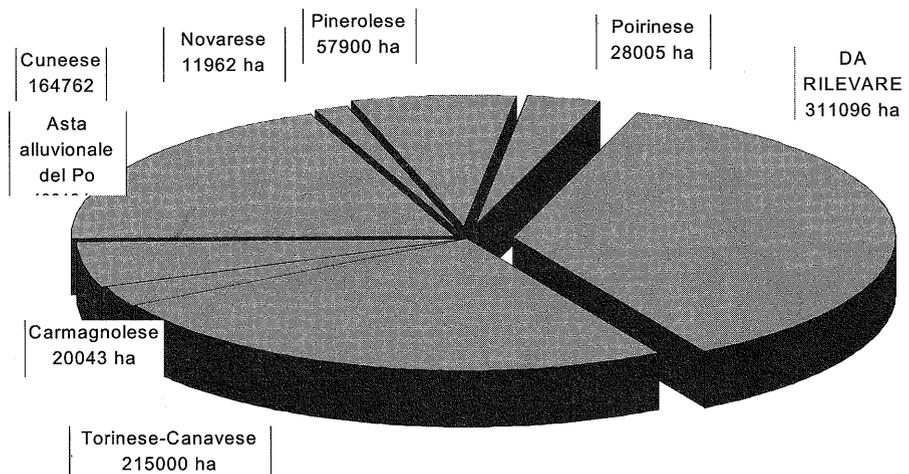


Figura 4. Stato di avanzamento dei lavori della carta dei suoli della pianura piemontese - scala 1:50000

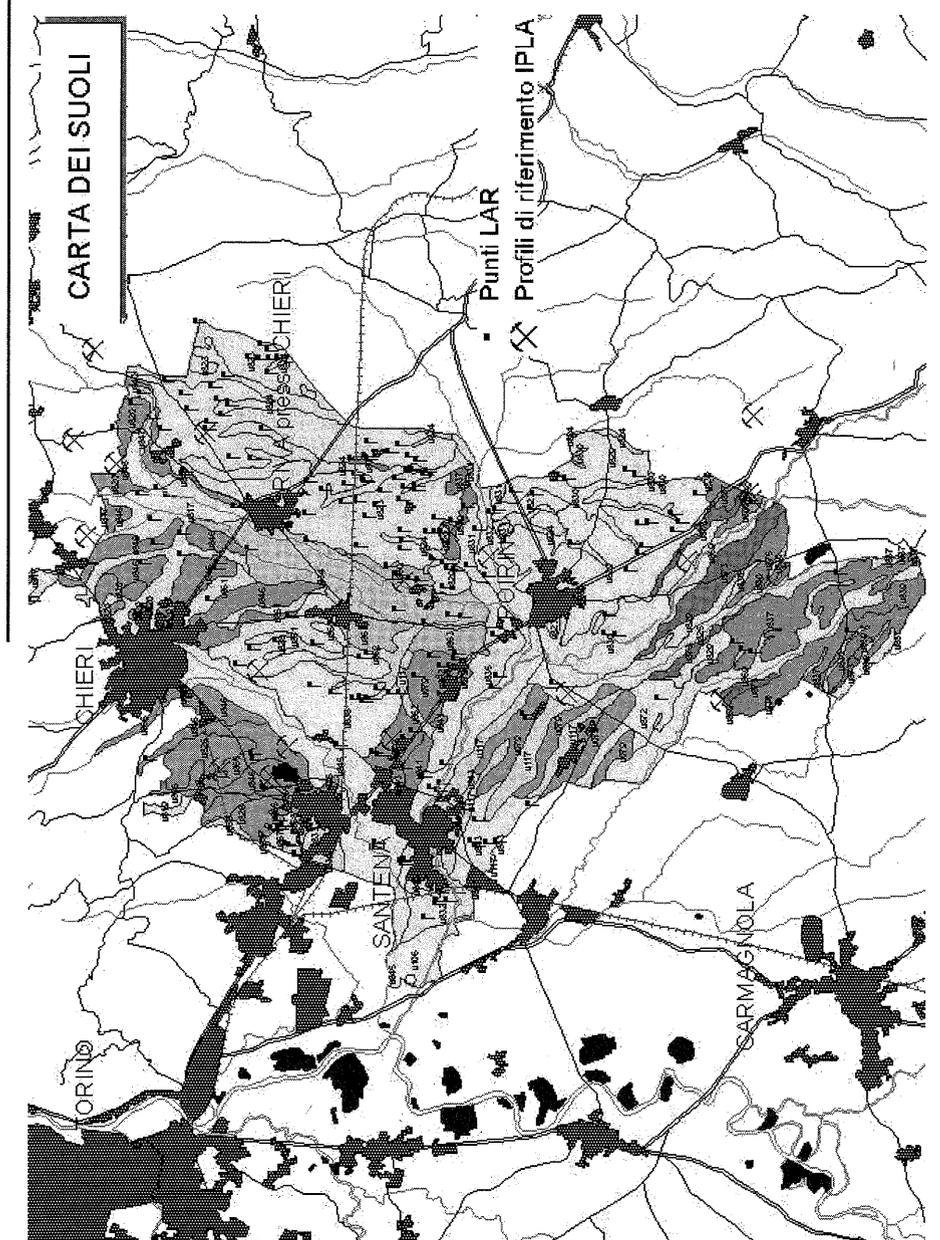


Figura 5. Carta dei suoli del Poirinese, con analisi LAR e profili di riferimento IPLA

INTERPRETAZIONE E PRESENTAZIONE DEI DATI DI PENETROMETRO IN PROVE DI LAVORAZIONE DEL TERRENO

Annamaria Castrignanò, Donato De Giorgio, Francesco Fornaro

Istituto Sperimentale Agronomico
Via C. Ulpiani, 5 - 70125 Bari

Riassunto

L'impedenza meccanica del suolo, misurata con un penetrometro a cono rappresenta una semplice misura empirica, ma le complesse relazioni fra l'impedenza meccanica e altre proprietà del suolo rendono spesso molto difficile la sua interpretazione. La misura essenzialmente puntuale tende ad essere altamente variabile e la sua natura dinamica, legata principalmente al contenuto idrico del suolo, rende il dato estremamente variabile anche nel tempo lungo il profilo esplorato. Si pone pertanto la necessità di impiegare un indice integrato, sufficientemente sensibile agli effetti prodotti sulle caratteristiche meccaniche del suolo dalle diverse modalità di lavorazione.

In questo articolo viene proposto un approccio metodologico nella misura, analisi e presentazione dei dati penetrometrici, raccolti in 3 momenti distinti del ciclo colturale del grano duro in una prova di lavorazioni, in cui furono poste a confronto 4 tipi di lavorazioni. Le misure con il penetrometro furono fatte secondo una griglia regolare 3 x 5 m, fino ad una profondità di 50 cm con incrementi verticali di 3.5 cm. I dati sono stati elaborati secondo le tecniche geostatistiche multivariate, utilizzando "l'indicator cokriging". Al fine di sintetizzare i dati profilometrici, questi sono stati espressi in termini di probabilità di superamento di valori critici di impedenza del suolo per la penetrazione da parte delle radici.

I risultati di tale analisi, espressi sotto forma di mappe probabilistiche, hanno permesso di saggiare localmente l'effetto delle lavorazioni rispetto alla componente casuale della variabilità intrinseca del suolo. Non sono emerse delle chiare indicazioni generali circa i diversi trattamenti, tranne quelle che sconsigliano di adottare il minimum tillage nelle condizioni sperimentali considerate.

Introduzione

Il crescente interesse negli ultimi tempi per le pratiche agricole volte alla conservazione delle risorse naturali, quali suolo e acqua, ha stimo-

lato molto lavoro di ricerca circa gli effetti delle lavorazioni sulle proprietà fisiche del suolo e, quindi, in ultima analisi sulla risposta colturale in condizioni non irrigue. Le pratiche conservative tendono, fra l'altro, a ridurre il numero degli interventi meccanici rispetto allo standard tradizionale, caratterizzato da arature profonde con ribaltamento dello strato lavorato. Gli effetti di un tale tipo di gestione del suolo sono fortemente dipendenti dal tipo di terreno e dalle caratteristiche climatiche del sito, per cui non è possibile stabilire dei criteri che siano universalmente validi.

Mentre numerosi sono gli studi sulla risposta della resa colturale alle diverse modalità di lavorazione in diverse condizioni pedo-climatiche (Rizzo *et al.* 1992, De Giorgio *et al.* 1994, Basso *et al.*, 2000), ancora limitate risultano le informazioni circa gli effetti sulle proprietà fisiche del suolo e come quest'ultime si correlano alla crescita delle piante. Le ragioni di ciò possono essere diverse: le misure di una data proprietà fisica non solo sono generalmente lunghe e dispendiose, ma l'interpretazione dei loro valori è spesso resa difficile dalla loro ampia variabilità sia nello spazio che nel tempo. Inoltre, in alcuni casi, certe variabili fisiche mostrano sensibili scostamenti dalla distribuzione normale, per cui richiedono una opportuna trasformazione che precede l'analisi (Nielsen *et al.*, 1973).

Una delle misure in situ di un fattore edafico del suolo, che permette di dare una sufficiente descrizione qualitativa delle proprietà meccaniche, anche se non è stato sviluppato al punto da stabilire relazioni quantitative con le modifiche introdotte con le lavorazioni, è l'impedenza meccanica del suolo misurata da un penetrometro a cono. Una parte delle difficoltà incontrate nell'interpretare in maniera non ambigua il dato penetrometrico, in rapporto alla crescita delle piante, deriva dal fatto che la resistenza del suolo alla penetrazione è una grandezza essenzialmente dinamica, che dipende da numerose proprietà fisiche e chimiche, oltre che dal contenuto idrico e dalla storia precedente di compattamento (Campbell *et al.*, 1974). Un altro aspetto importante nella difficoltà di interpretazione deriva dal fatto che le caratteristiche del suolo possono variare sensibilmente in funzione della posizione, della profondità e del tipo di trattamento applicato.

Una caratteristica tipica delle scienze del suolo, infine, è la molteplicità dei tipi di dati che contribuiscono alla comprensione di uno stesso fenomeno: i dati infatti si originano da una varietà di fonti relative a differenti attributi, misurati su diversi supporti spaziali e temporali, a differenti scale e con diversi gradi di accuratezza. Una delle maggiori sfide nell'analisi spaziale consiste nell'integrazione di dati di differente formato, intendendo con ciò riferirsi non solamente a differenze nelle unità di misura. Un tipo di informazione potrebbe essere di natura interpretativa, tuttavia critica al-

l'interpretazione del fenomeno in studio, alcuni dati essere di tipo nominale (unità cartografiche, trattamenti), altri numerici (concentrazioni, impedenze), altri essere espressi da intervalli di variazione (classi stechiometriche), altri ancora da distribuzioni di probabilità. Perché una tale integrazione sia valida è necessario definire una metodologia di standardizzazione dei formati e delle unità di misura, che però preservi il contenuto informativo peculiare a ciascun tipo di dato.

Un aspetto importante da tener presente nel processo di codifica delle informazioni è l'obiettivo dell'indagine: il valore di una variabile ausiliaria non è assoluto, ma in rapporto al contributo di informazione rispetto alla variabile primaria. Il linguaggio probabilistico e la metodologia corrispondente sono unici e universali, nel senso che non sono ristretti ad alcun particolare campo di applicazione o tipo di dati. Le probabilità, inoltre, sono adimensionali e nella loro forma cumulata sono standardizzate all'intervallo di variazione $[0,1]$ e rappresentano, pertanto, una codifica comune per dati di tipo diverso.

Una rassegna bibliografica fornisce ben pochi lavori che hanno mostrato differenze statisticamente significative nell'impedenza meccanica per effetto di diversi sistemi di gestione del suolo, mentre noi pensiamo che queste differenze effettivamente esistano. Si pone quindi la necessità di definire una procedura che, in maniera efficiente e non ambigua, sia in grado di rilevare tali differenze, in funzione sia del tipo di trattamento che della posizione. Una tale procedura dovrebbe fornire una base consistente e scientificamente soddisfacente per l'interpretazione chiara del dato penetrometrico in funzione del tipo di lavorazione.

Lo scopo di questo lavoro è essenzialmente quello di proporre una metodologia, tratta dalla geostatistica non-parametrica (indicator co-kriging), che, utilizzando il linguaggio probabilistico, consenta di trattare in un unico algoritmo dati di tipo numerico (penetrometrici) e non (trattamenti), al fine di verificare la significatività delle variazioni locali di impedenza meccanica del suolo, verificatesi nel corso di una stagione culturale.

Materiali e Metodi

Il sito

Nell'ambito di una prova sperimentale avviata nel 1990, sul confronto fra modalità di lavorazione del terreno e livelli di fertilizzazione azotata, nel 2000 è stata effettuata un'indagine sulla resistenza alla penetra-

zione del suolo. La ricerca è stata condotta nell'azienda sperimentale dell'Istituto a Foggia, zona tipica del Tavoliere pugliese, su di un Vertisuolo profondo di origine alluvionale, argilloso-limoso, classificato dall'USDA come Typic Chromoxerert fine, mesico, che in estate presenta numerose crepe ampie in superficie 4-5 cm e che si approfondiscono fino a 50 cm con larghezze di 1-2 cm. Il clima è caratterizzato da estati caldo-aride e da inverni che negli ultimi tempi sono sempre meno freddi e con scarsa piovosità rispetto al passato. Secondo le Carte Bioclimatiche per il Mediterraneo della FAO-UNESCO è classificato "termomediterraneo accentuato". Il campo sperimentale è dotato di una stazione meteorologica che consente di rilevare i principali parametri climatici.

L'annata di prova (Fig. 1) è stata caratterizzata da una piovosità annua (ottobre 99 - settembre 2000) di 377 mm, inferiore di 173 mm rispetto alla media pluriennale dei precedenti 49 anni. Considerando il periodo interessato dalla coltura (novembre - maggio) si raggiunge un totale di 313 mm, di cui la maggior parte concentrata tra novembre-dicembre '99 e marzo-aprile 2000. La temperatura media mensile è stata superiore rispetto alla norma di più di 1 °C con una punta di 3 °C in maggio.

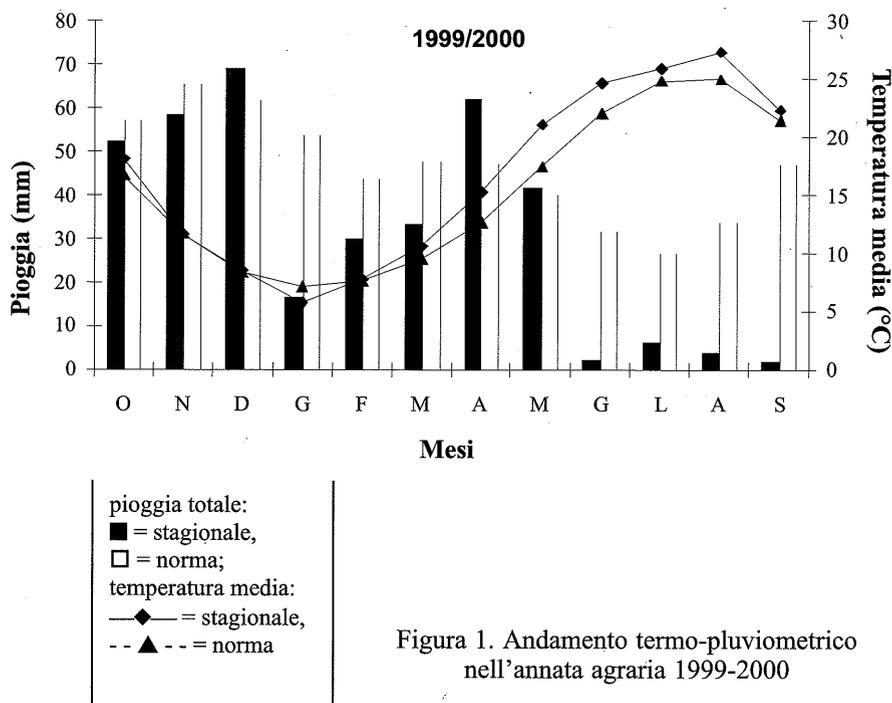


Figura 1. Andamento termo-pluviometrico nell'annata agraria 1999-2000

Le tesi a confronto sono 4 modalità di lavorazione: ordinaria (aratura a 40 cm con bivomere, 1 frangizollatura a 20 cm con aratro a dischi, fresatura a 10 cm) (TR), a due strati (attrezzo combinato - ripuntatore a 60 cm+fresa a 10 cm, fresatura a 10 cm) (SR), superficiale (aratura a 20-25 cm con pentavomere, fresatura a 10 cm) (SU), minima (fresatura a 10 cm) (MI).

Un'area sperimentale 120 x 80 m, coltivata a frumento duro (cv. Simeto) è stata scelta per lo studio, comprendente parcelle di 12 x 75 m sottoposte ai diversi tipi di lavorazione.

Misure in campo

Durante il ciclo colturale, oltre a rilevare i principali parametri bio-agronomici sul frumento, sono state effettuate 3 misure di impedenza meccanica del suolo, il 2 febbraio (inizio accestimento), il 22 marzo (levata) e il 15 aprile (spigatura). Le misurazioni sono state eseguite con un penetrometro di tipo Bush (Findlay, Irvine), con cono di 30° di apertura e un diametro di base di 12.83 mm, secondo gli standard della Società Americana degli Ingegneri Agrari (ASAE, 1993), esplorando il suolo fino ad una profondità di circa 50 cm ad intervalli di 3.5 cm, ai nodi di una griglia approssimativamente quadrata di lato 5 m. La prima misura, essendo risultata la meno accurata a causa di un non perfetto contatto del piatto di base del penetrometro con la superficie irregolare del suolo, è stata eliminata in tutta l'elaborazione successiva.

Contemporaneamente al rilievo del dato penometrico è stato anche misurato il contenuto gravimetrico dell'umidità del suolo, prelevando campioni in posizione centrale nelle singole parcelle a tre profondità (0-20 cm; 20-40 cm; 40-60 cm.).

Approccio a variabile indicatrice

Una delle difficoltà incontrate nel trattare i dati di penetrometro relativi ad un profilo consiste nel definire un unico indice sintetico, capace di rappresentare efficacemente l'informazione acquisita dall'esplorazione dell'intera profondità. La maggior parte dei ricercatori usano il valore mediato lungo il profilo, altri (Cassel *et al.* 1978; Cassel e Nelson, 1979) quello massimo, assumendo che le radici nel penetrare il suolo debbano necessariamente incontrare lo strato di massima impedenza meccanica. Al contra-

rio, Bradford (1980) usava il valor medio e quello minimo, ritenendo che le radici espandendosi seguano le vie di minima impedenza. Un modo alternativo è quello di stimare le probabilità di superamento di uno o più valori critici (Castrignanò *et al.*, in stampa), secondo un approccio a variabile indicatrice (Deutsch e Journel, 1998; Goovaerts, 1997), e scegliendo come valore soglia per il dato penetrometrico l'impedenza di 2 e 2.5 MPa, rispettivamente all'inizio e alla fine del ciclo colturale, in quanto ritenuto limitante per la crescita radicale (Taylor *et al.*, 1966).

Il principale vantaggio nel seguire un approccio probabilistico è la possibilità di tener conto di informazione più propriamente di natura qualitativa (tipo di lavorazione), in aggiunta alle misure della variabile di interesse (impedenza meccanica del suolo). Entrambi i tipi di informazione "hard" (le misure penetrometriche) e "soft" (modalità di lavorazione) vengono codificati nello stesso modo, ovvero come probabilità locali e possono quindi essere trattate insieme, indipendentemente dalla loro origine, in un unico algoritmo mutuato dalla geostatistica multivariata non-parametrica, il co-kriging a variabile indicatrice (Castrignanò *et al.*, 1997; Buttafuoco *et al.*, 2000).

Diamo qui un breve cenno alla metodologia seguita, facendo riferimento all'ampia bibliografia citata per ulteriori approfondimenti teorici.

Si supponga di disporre dei seguenti tipi di informazione nell'area in studio:

- i valori della variabile continua (dato penetrometrico in MPa), $Z^{(1)}$, ad n postazioni \mathbf{u}_α , $z(\mathbf{u}_\alpha)$, $\alpha = 1, 2, \dots, n$;

- il tipo di lavorazione, $y(\mathbf{u})$, in tutte le postazioni n all'interno dell'area e quindi anche nei punti in cui sono state eseguite le misure profilometriche.

I valori z costituiscono l' "hard information", in quanto rappresentano le misure dirette di impedenza meccanica, mentre il tipo di lavorazione è un'informazione indiretta ("soft") sulla variabile z . Sotto l'ipotesi di stazionarietà, ovvero di omogeneità statistica, l'informazione "soft" rappresenta la distribuzione dei valori di Z , condizionalmente ad un determinato tipo di lavorazione. Usando entrambi i tipi di informazione, l'approccio consente di determinare la probabilità che il valore di z in un punto non campionato \mathbf{u}_0 superi una determinata soglia critica z_k . Indicando con F la funzione di probabilità cumulata condizionale all'informazione disponibile sulla variabile z , si ha:

$$F(\mathbf{u}_0; z_k | (n_1 + n_2)) = \text{Prob} \{Z(\mathbf{u}_0) > z_k | (n_1 + n_2)\} \quad [1]$$

ove la notazione $| (n_1 + n_2)$ esprime il condizionamento agli n_1 dati 'hard' e agli n_2 dati 'soft' ricadenti in un intorno di \mathbf{u}_0 . Secondo un tale approccio la probabilità cumulata F viene stimata come il valore atteso di una variabile casuale indicatrice $I(\mathbf{u}_0; z_k)$, data l'informazione n_1+n_2 , ovvero:

$$F(\mathbf{u}_0; z_k | (n_1+n_2)) = E \{I(\mathbf{u}_0; z_k) | (n_1+n_2)\} \quad [2]$$

con

$$I(\mathbf{u}_0; z_k) = \begin{cases} 1 & \text{se } Z(\mathbf{u}_0) > z_k \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases} \quad [3]$$

Secondo il teorema di proiezione di Luenberger (Luenberger, 1969), la stima ai minimi quadrati della variabile indicatrice $I(\mathbf{u}_0; z_k)$ rappresenta anche quella del suo valore atteso condizionale all'informazione disponibile, per cui la funzione di probabilità cumulata $F(\mathbf{u}_0; z_k)$ condizionale a (n_1+n_2) può essere stimata applicando il co-kriging della variabile indicatrice $I(\mathbf{u}_0; z_k)$, previa una trasformazione di entrambi i dati, 'hard' e 'soft', ad una codifica comune.

Codifica dei dati a variabile indicatrice

L'approccio a variabile indicatrice richiede una preliminare codifica dei dati 'hard' e 'soft' in termini di probabilità locale 'a priori', ovvero:

$$\text{Prob} \{Z(\mathbf{u}) > z_k | \text{a tutta l'informazione localmente disponibile in } \mathbf{u}\} [4]$$

Con il termine 'probabilità locale a priori' si vuole intendere che la probabilità espressa dall'equazione [4] si origina dall'informazione 'hard' e 'soft' disponibile nella postazione \mathbf{u} , ma senza tener conto della dipendenza spaziale con altri campioni ricadenti in un suo intorno. Il risultato finale dell'applicazione di questo approccio consiste in un aggiornamento della probabilità locale "a priori" ([4]) in una "a posteriori" ([2]), prendendo in considerazione tutta l'informazione condizionante. In ciascuna postazione l'informazione "a priori" consiste in:

- dati locali hard a variabile indicatrice $i(\mathbf{u}_0; z_k)$, espressi da 0 o 1 secondo la [3];

- dati locali soft $y(\mathbf{u}_0; z_k)$ a variabile indicatrice, variabili nell'intervallo $[0, 1]$.

Questi ultimi sono ottenuti da curve di calibrazione, esprimenti per ciascuna modalità di lavorazione, la proporzione dei valori penetrometrici al di sopra e al di sotto della soglia critica prefissata e ricavate da quelle postazioni in cui entrambi i tipi di informazione sono disponibili.

I dati a variabile indicatrice sia hard che soft, $i(\mathbf{u}_0; z_k)$ e $y(\mathbf{u}_0; z_k)$, vengono quindi trattati insieme con il co-kriging ordinario, al fine di stimare la probabilità per le radici di incontrare uno strato impervio, condizionalmente al tipo di lavorazione applicata. Rispetto al caso univariato del kriging, il co-kriging di due variabili richiede la modellizzazione di due variogrammi diretti e di quello incrociato. Particolare attenzione deve essere quindi posta affinché le corrispondenti matrici di covarianza spaziale del co-kriging siano definite positive, in modo da assicurare l'unicità della soluzione. Ciò può essere facilmente verificato, se si adotta un modello lineare di coregionalizzazione (Goovaerts, 1997), consistente nell'esprimere tutti i variogrammi, diretti e incrociati, in funzione delle stesse strutture spaziali di base, ovvero mediante variogrammi di tipo "nested". Questa ipotesi presuppone che le diverse variabili misurate si originino dagli stessi processi di base e possano quindi essere espresse come combinazioni lineari delle stesse componenti elementari o fattori (Castrignanò *et al.*, 2000a, b). Sebbene piuttosto grossolana, questa assunzione si è tuttavia dimostrata soddisfacente in numerosi casi concreti.

L'estrazione delle componenti principali dalla matrice di covarianza delle due variabili indicatrici per ciascuna struttura spaziale (matrice di coregionalizzazione) consente di esprimere ciascun fattore come combinazione lineare delle due variabili indicatrici, i cui pesi rappresentano quindi una misura della rilevanza che ciascuna di essa ha sulla varianza totale alla scala spaziale considerata.

Per poter applicare l'approccio a variabile indicatrice è stato necessario, per ciascun rilievo, codificare i dati penetrometrici, che costituivano l'hard information, in una variabile binaria secondo la definizione della [3], utilizzando come valore soglia di impedenza meccanica 2 MPa per le prime due date e 2.5 MPa per l'ultima. Si è inoltre considerato un profilo di suolo di spessore variabile durante la stagione colturale, che seguisse abbastanza fedelmente la crescita espansiva delle radici. I valori di profondità utilizzati sono stati 17, 24 e 35 cm, rispettivamente per le tre date, in quanto si è ritenu-

to che contenessero la maggior parte dell'apparato radicale ai diversi stadi fenologici del frumento. Per quanto riguarda la soft information, ovvero le diverse modalità di lavorazione, queste sono state codificate in valori compresi fra 0 e 1, stimando per ciascuna di esse le distribuzioni marginali dell'impedenza meccanica relative all'unico valore soglia prefissato. Si tratta cioè di una sorta di calibrazione della variabile nominale in termini probabilistici, ricavata dalla distribuzione dei dati penetrometrici, divisi in due intervalli dal valore soglia prescelto, all'interno di ciascuna classe di lavorazione.

Per validare il modello geostatistico e la procedura di co-kriging utilizzata si è applicata la cross-validation, che consiste nell'eliminare iterativamente ciascun punto campione alla volta e nel stimarlo dai restanti valori. A ciascun punto campionato viene quindi calcolato l'errore sperimentale, dato dalla differenza fra il valore misurato e quello stimato. Sull'insieme degli n valori di errore si possono calcolare varie statistiche, tra cui l'errore medio, che è indicativo di eventuali distorsioni nella stima e che dovrebbe essere il più vicino possibile a 0 e la varianza standardizzata, ottenuta standardizzando l'errore quadratico medio in ciascuna postazione con la corrispondente varianza di kriging, che dovrebbe essere ragionevolmente prossima a 1.

Tutte le procedure sono state eseguite utilizzando il programma di geostatistica ISATIS (Geovariances, 2000).

Risultati e discussione

In tabella 1 sono riportati i risultati della calibrazione per ciascuna data di misura della variabile soft (lavorazione) rispetto a quella primaria rappresentata dal dato penetrometrico. Appare evidente come al primo rilievo praticamente solo le parcelle trattate con la minima lavorazione presentino valori di impedenza meccanica che possono impedire la crescita espansiva delle radici. Nei due rilievi successivi, al contrario, l'area a rischio si estende sensibilmente, riguardando la maggior parte delle parcelle; soltanto l'aratura superficiale al secondo rilievo e quella tradizionale al terzo conservano più del 40% di parcelle in condizioni potenzialmente non limitanti per lo sviluppo radicale.

Alle variabili indicatrici, primaria e secondaria, si è quindi adattato un modello lineare di coregionalizzazione (tab. 2a, b, c). Per le prime due date non si sono rilevate evidenti anisotropie, per cui il miglior adattamento si è ottenuto con un modello isotropico che prevede due strutture spaziali: un effetto nugget e una struttura sferica con range di 20 m, per il pri-

mo rilievo; due strutture sferiche, una a più corto raggio (9 m) e l'altra con range maggiore (16 m) per la seconda data.

Tabella 1. Probabilità cumulata (F) dei valori di impedenza meccanica superiore a 2 MPa il 2 febbraio e il 22 marzo e 2.5 MPa il 15 aprile in funzione delle modalità di lavorazione

Data ⁽¹⁾	Tipo di lavorazione ⁽²⁾	F
a	MI	0.767
	SC	0.033
	SU	0.017
	TR	0.033
b	MI	0.950
	SC	0.817
	SU	0.550
	TR	0.783
c	MI	0.983
	SC	0.717
	SU	0.100
	TR	0.583

(1) a = 2 febbraio; b = 22 marzo; c = 15 aprile.

(2) MI = Minima lavorazione; SC = Lavorazione a due strati; SU = Aratura superficiale; TR = Lavorazione tradizionale.

sferica direzionale lungo X con range di 40 m; 4) una struttura sferica direzionale lungo Y con range di 50 m.

L'analisi strutturale ha pertanto evidenziato tre tipi di variazione spaziale: 1) una variazione casuale, isotropica, non correlata spazialmente è dovuta essenzialmente ad errori di misura (effetto nugget), espressa nella seconda data dalla struttura spaziale a corto raggio (9 m). Quest'ultima è da ascrivere più propriamente a microvariabilità all'interno delle subunità in cui ciascuna parcella principale è stata suddivisa per sottoporle a un diverso trattamento di concimazione azotata; 2) una variazione isotropica, correlata spazialmente, esprime la dipendenza spaziale all'interno della parcella principale sottoposta allo stesso trattamento e infine 3) una variazione anisotropica a più lungo raggio, che si manifesta solo nella parte finale del ciclo colturale e rispecchia essenzialmente la suddivisione del campo in funzione dei trattamenti.

Semberebbe, quindi, che nella prima fase prevalga la variabilità "intra-parcella", essenzialmente isotropica, e che solo nella parte finale, quando il contenuto idrico del suolo si abbassa sensibilmente, almeno in profondità (tab. 3), assuma rilievo anche la variazione "fra-parcelle", dovuta al

Per il rilievo più tardivo dall'esame dei varigrammi sperimentali, al contrario, si è evidenziata (fig. 2c) per la variabile ausiliaria una chiara anisotropia zonale, con varianza sensibilmente superiore in direzione x, ovvero trasversale a quella di suddivisione delle parcelle sottoposte allo stesso tipo di lavorazione, che risultano molto più allungate in direzione longitudinale. In quest'ultimo caso si è optato pertanto per un modello anisotropico zonale, comprendente le seguenti strutture spaziali: 1)

un effetto nugget; 2) una struttura sferica isotropica di range uguale a 9 m ; 3) una struttura

trattamento (2). Ciò risulta confermato anche dall'analisi, per ciascuna data e struttura spaziale, della matrice di coregionalizzazione (tab. 2a, b, c), comprendente i sill dei corrispondenti variogrammi diretti (diagonale principale) e di quello incrociato (diagonale secondaria). Come è noto, i sill rappresentano i rapporti in peso delle singole variabili sulla variabilità totale.

Tabella 2. Matrice di coregionalizzazione relativa a ciascuna struttura spaziale del modellolineare di coregionalizzazione alle tre date di misura

(a)		
S1: Struttura sferica; range = 20.00 m		
Variabile	i	y
i	0.1650	-0.0507
y	-0.0507	0.0299
S2: Effetto nugget		
Variabile	i	y
i	0.0116	0.0155
y	0.0155	0.0221
(b)		
S1: Struttura sferica; range = 16.00 m		
Variabile	i	y
i	0.0265	0.0126
y	0.0126	0.0283
S2: Struttura sferica; range = 9.00 m		
Variabile	i	y
i	0.1557	0.0647
y	0.0647	0.0317
(c)		
S1: Struttura sferica; range = 9.00 m		
Variabile	i	y
i	0.0012	0.0017
y	0.0017	0.0079
S2: effetto nugget		
Variabile	i	y
i	0.0054	0.0213
y	0.0213	0.0838
S3: Struttura sferica direzionale lungo X; range = 40.00 m		
Variabile	i	y
i	0.0661	0.0483
y	0.0483	0.0380
S4: Struttura sferica direzionale lungo Y; range = 50.00 m		
Variabile	i	y
i	0.0422	0.2015
y	0.0303	0.0472

(a) = 2 febbraio; (b) = 22 marzo; (c) = 15 aprile

Per il primo rilievo, sull'effetto nugget, essendo quest'ultimo essenzialmente dovuto ad errori di misura, pesano approssimativamente in ugual misura quelli che, con termini mutuati dalla analisi della varianza classica o dalla teoria dei modelli misti, potremmo definire "effetto random" (variabile i, ovvero variazione spaziale intrinseca alla parcella) e "effetto fisso" (variabile y, ovvero variazione indotta dal trattamento). Per la struttura correlata spazialmente, invece, predomina la componente della variazione intra-parcella.

Nel secondo rilievo è prevalente l'effetto casuale per la componente a corto raggio, mentre per quella a range maggiore i due effetti, casuale e fisso, sembrano pesare ugualmente.

L'ultimo rilievo si differenzia nettamente da quelli precedenti per un maggior peso della componente della variazione indotta dai trattamenti rispetto a quella intrinseca, per quasi tutte le strutture spaziali.

Questo rapporto relativo fra le due componenti appare ancora più chiaro quando si esamina la struttura dei fattori

per ciascuna componente spaziale (tab. 4a, b, c): dal momento che dei due fattori il primo descrive la maggior parte della varianza totale, come risulta dal rapporto fra i due autovalori, ci si può limitare a prendere unicamente tale fattore in considerazione. Dall'esame della tabella 4 risulta evidente come nel primo rilievo predomini la componente casuale, nel secondo i due effetti pesino approssimativamente in ugual misura, soprattutto per quanto riguarda la componente a più lungo raggio, mentre nella fase finale l'effetto lavorazione controlli soprattutto la variazione longitudinale anisotropica.

Tabella 3. Valori medi e deviazione standard del contenuto di umidità alle diverse profondità e date di rilievo

Profondità (cm)	Data*	Umidità (%)	Dev. Standard
0-20	a	25.61	1.70
	b	30.66	1.64
	c	28.66	1.84
21-40	a	26.55	1.80
	b	26.21	1.84
	c	25.92	2.50
41-60	a	27.17	1.41
	b	24.16	2.03
	c	22.28	2.14

*a = 2 febbraio; b = 22 marzo; c = 15 aprile

Il comportamento relativo delle due componenti di variazione può anche meglio essere messo in evidenza dall'esame dei variogrammi diretti e di quello incrociato alle diverse date di misura (fig. 2). Alla prima data appare chiaro il maggior contributo alla varianza spaziale da parte della componente casuale o della variabilità intrinseca intra-parcella, non ascrivibile a fattori noti, come si deduce dai rapporti fra i sill dei due variogrammi diretti. Il variogramma incrociato rivela, inoltre, una debole interazione fra i due fattori (casuale e fisso), come si ricava dalla sua distanza dalla curva tratteggiata, che rappresenta la condizione di massima correlazione. Alla seconda data non cambia essenzialmente il rapporto relativo fra le due componenti della varianza ascrivibili ai due fattori, ma aumenta la loro correlazione positiva. Nell'ultimo rilievo la situazione si diversifica sensibilmente: diminuisce il peso della componente casuale, mentre aumenta quello della componente deterministica; inoltre mentre la prima è essenzialmente isotropica, la seconda mostra un comportamento differenziato secondo le due direzioni ortogonali del campo, con una maggiore variazione e a più corto raggio lungo X. Il variogramma incrociato mostra anche una accentuazione della correlazione fra i due fattori di variazione, soprattutto per la componente lungo X, il cui grafico in fig.2c è quasi coincidente con la curva di massima correlazione spaziale.

Tabella 4. Matrice dei Fattori per ciascuna struttura spaziale del modello lineare di coregionalizzazione e relativi autovalori per le tre date di misura

(a)		
S1: Struttura sferica; range = 20.00 m		
Variabile	i	y
F1	0.4046	-0.1349
F2	0.0360	0.1080
autovalore 1= 0.1819; autovalore 2= 0.0130		
S2: Effetto nugget		
Variabile	i	y
F1	0.01060	0.1482
F2	0.0182	-0.0130
autovalore 1= 0.0332; autovalore 2= 0.0005		
(b)		
S1: Struttura sferica; range = 16.00 m		
Variabile	i	y
F1	0.1363	0.1463
F2	0.0890	-0.0829
autovalore 1= 0.0400; autovalore 2= 0.0148		
S2: Struttura sferica; range = 9.00 m		
Variabile	i	y
F1	0.3938	0.1681
F2	-0.0250	0.0587
autovalore 1= 0.1833; autovalore 2= 0.0041		
(c)		
S1: Struttura sferica; range = 9.00 m		
Variabile	i	y
F1	0.0209	0.0886
F2	0.0285	-0.0067
autovalore 1= 0.0083; autovalore 2= 0.0009		
S2: effetto nugget		
Variabile	i	y
F1	0.0736	0.2895
F2	0.0000	0.0000
autovalore 1= 0.0892; autovalore 2= 0.0000		
S3: Struttura sferica direzionale lungo X; range = 40.00 m		
Variabile	i	y
F1	0.2558	0.1920
F2	-0.0252	0.0336
autovalore 1= 0.1023; autovalore 2= 0.0018		
S4: Struttura sferica direzionale lungo Y; range = 50.00 m		
Variabile	i	y
F1	0.1857	0.2015
F2	0.0879	-0.0810
autovalore 1= 0.0751; autovalore 2= 0.0143		

(a) = 2 febbraio; (b) = 22 marzo; (c) = 15 aprile

I risultati precedenti concordano nel rivelare che la variabilità spaziale di un suolo sottoposto ad un fattore esterno di modifica delle caratteristiche strutturali intrinseche, in questo caso ad opera dell'uomo con le lavorazioni, può essere essenzialmente scomposta in tre componenti fondamentali: una di origine essenzialmente casuale, non correlata spazialmente, ascrivibile essenzialmente a errori di misura e/o di campionamento (effetto nugget); la seconda, correlata spazialmente, esprimente la dipendenza spaziale all'interno della parcella sottoposta ad ugual trattamento e derivante da proprietà intrinseche del suolo, non attribuibili a una o più cause direttamente esplicitabili (variabile i); la terza, anch'essa correlata spazialmente, legata alla variabilità fra le parcelle indotta da un fattore noto esterno, rappresentato nel nostro caso dalle diverse modalità di lavorazione (variabile y).

I rapporti relativi fra queste diverse componenti, come anche l'insorgenza di eventuali anisotropie zonali, possono variare nel tempo per diversi fattori, quali, per esempio, le mutate condizioni meteorologiche o agronomiche. Nel nostro caso particolare, il progressivo disseccamento idrico del suolo in profondità (tab. 3) produce l'effetto di una accentuazione della differenziazione nelle caratteristiche

meccaniche introdotta con le lavorazioni. L'apporto idrico, migliorando in generale le condizioni di abitabilità delle radici, annulla in parte l'effetto del trattamento, almeno dal punto di vista dell'impedenza meccanica. Chiaramente la lavorazione meccanica produce tutta una serie di modifiche nel sistema suolo-pianta, che solo un approccio multivariato può effettivamente valutare.

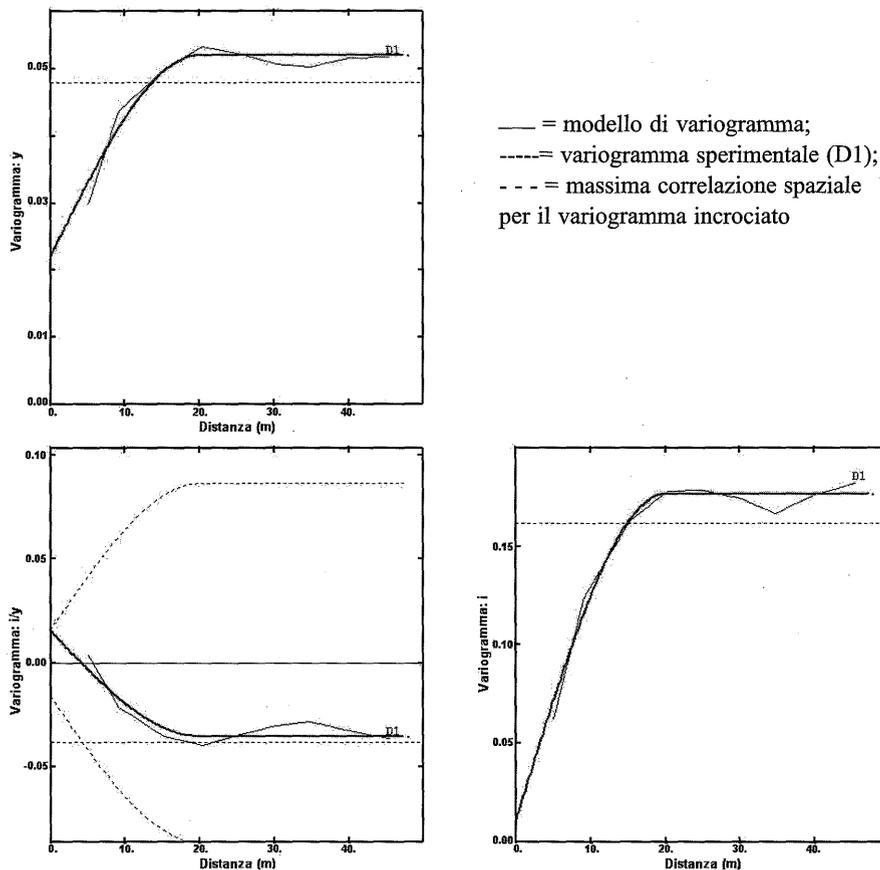


Figura 2a. Variogrammi diretti e incrociati del modello lineare di coregionalizzazione alla data 2 febbraio 2000

Al fine di evidenziare localmente le correlazioni spaziali fra i due effetti, alle due variabili indicatrici è stato applicato il co-kriging ordinario, con cella di griglia 1.2 x 0.8 m, ellisse di ricerca di semiassi 50 e 40 m, allungata in direzione Y, e un minimo di 10 punti nell'intorno di interpolazione. La modellizzazione dei variogrammi, la scelta dell'ellisse di ricerca e del tipo di kriging usato sono state verificate successivamente mediante la

cross-validation. I risultati di tale test, per ciascuna data di rilievo, sono riportati in tabella 5 e possono considerarsi soddisfacenti, in quanto l'errore medio sperimentale e la varianza standardizzata non mostrano sensibili scostamenti da 0 e 1, rispettivamente.

Tabella 5. Risultati del test di cross-validation alle tre date di misura

Data ⁽¹⁾	Errore	Varianza standardizzata
a	-0.00001	1.23
b	0.00375	1.08
c	0.00545	1.12

(1) a = 2 febbraio; b = 22 marzo; c = 15 aprile

In figura 3 sono riportate, per ciascuna data, le mappe colorate della variabile i , esprimenti la probabilità che le radici incontrino nel profilo di suolo esplorato uno strato impervio, potenzialmente limitante il proprio sviluppo. Sovrapposte alle mappe sono anche indicate le posizioni di misura e il tipo di trattamento applicato.

Al momento del primo rilievo, essenzialmente soltanto le parcelle a minima lavorazione mostrano condizioni meccaniche potenzialmente critiche. Alla seconda data, la situazione risulta profondamente modificata, con zone a rischio interessanti la maggior parte del campo e comprendenti parcelle diversamente trattate. La distribuzione di tali aree risulta comunque essenzialmente di tipo casuale, non rispecchiando la suddivisione secondo i trattamenti; anche in questo caso, tuttavia, la quasi totalità di parcelle a minimum tillage presenta valori di impedenza meccanica limitanti. A questa data, prevale la componente casuale della variabilità, non direttamente ascrivibile a cause note e, nel caso specifico, molto probabilmente imputabile alla riduzione del contenuto idrico nel sottosuolo.

Nel rilievo finale la situazione cambia ancora sensibilmente: pur presentando la quasi totalità del campo sottoposto a trattamento valori di probabilità generalmente superiori al 65% di presenza di strati impervi nel profilo esplorato dalle radici, si osserva nell'immagine spaziale corrispondente (fig. 3c) una minore entropia, rivelando l'azione di un fattore deterministico. Le bande di probabilità seguono, infatti, quasi fedelmente la suddivisione longitudinale delle parcelle, evidenziando un ben delineato blocco centrale, con valori elevati di probabilità (> 90%) e comprendente tutte le parcelle a minimum tillage e ad aratura superficiale.

Se si volesse evidenziare un trend temporale nella serie delle tre mappe probabilistiche esaminate, si può affermare che si assiste ad un parziale contenimento della componente casuale della variabilità spaziale rispetto a quella deterministica prodotta dalle lavorazioni, molto probabilmente per effetto della riduzione del contenuto idrico nel sottosuolo. Questi risultati sembrano confermare un effetto "omogenizzante" della variazione per effetto dell'acqua, come del resto è stato già osservato in altri lavori

(Castrignanò e Lopez, 1991, Castrignanò *et al.*, in stampa), ma non ci consentono di esprimere giudizi definitivi fra i vari tipi di trattamento. Possiamo affermare, tuttavia, che la modalità di minima lavorazione, dal punto di vista meccanico, non è da consigliare in climi aridi, con terreni ad alto contenuto argilloso e in condizioni non irrigue.

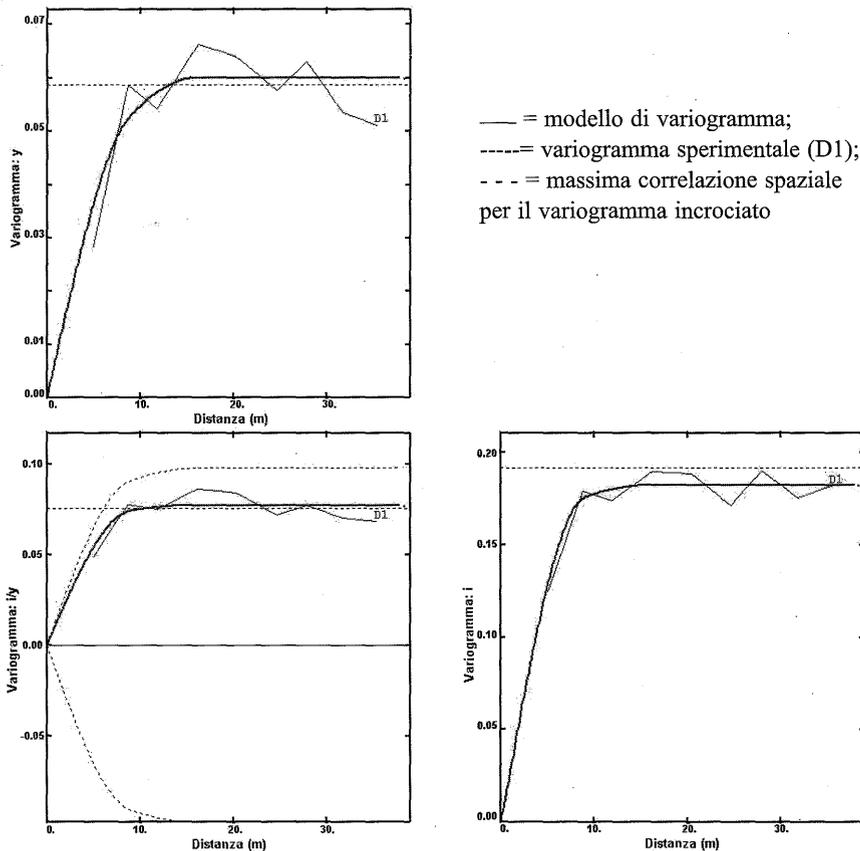


Figura 2b. Variogrammi diretti e incrociati del modello lineare di coregionalizzazione alla data 22 marzo 2000

L'analisi precedente non ha messo in evidenza alcun trattamento di lavorazione particolarmente vantaggioso rispetto agli altri confrontati nelle suddette condizioni sperimentali, essendo risultata sempre elevata la componente casuale della variazione, che preclude ogni affermazione certa di tipo causa-effetto. Ciò è in parte ascrivibile alla particolare natura fortemente dinamica e puntuale del dato penetrometrico, per cui una più completa valutazione dei diversi tipi di lavorazione dovrebbe prendere in considerazione vari fattori fisici e non, quali, principalmente, la mutata capacità idri-

ca del suolo, dal momento che, nelle condizioni sperimentali considerate, l'acqua è risultato il principale fattore limitante anche per la crescita e lo sviluppo delle radici.

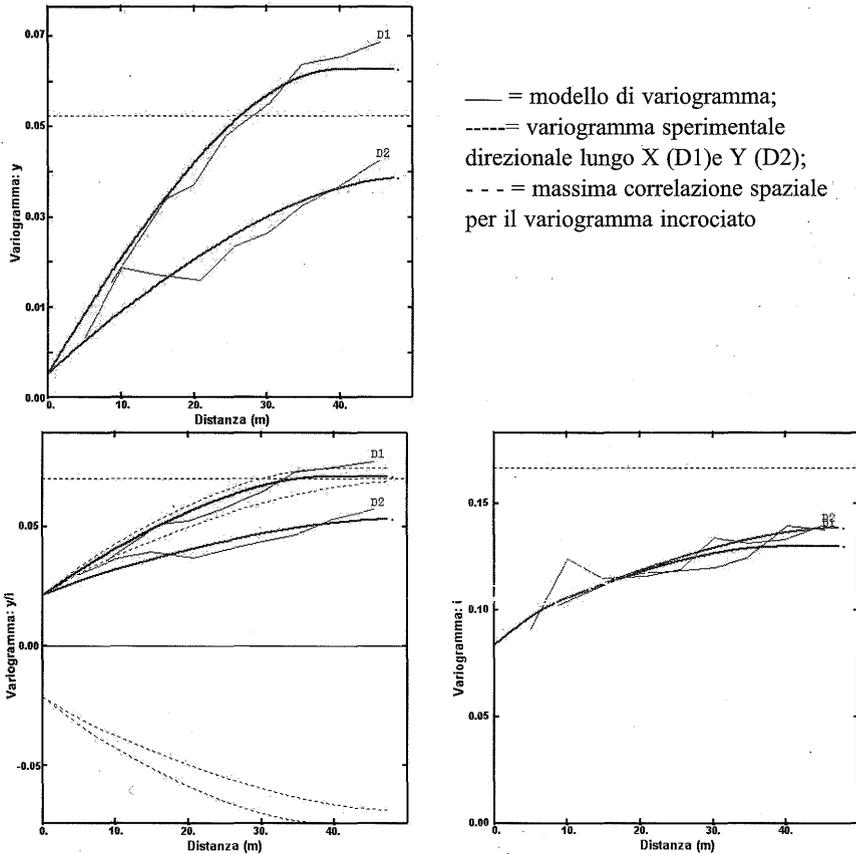


Figura 2c. Variogrammi diretti e incrociato del modello lineare di coregionalizzazione anisotropico alla data 15 aprile 2000

Conclusioni

Le più moderne metodologie della geostatistica non-parametrica sono state applicate ad una serie di profili penetrometrici, campionati secondo una griglia approssimativamente quadrata, al fine di rilevare differenze significative nell'impedenza meccanica del suolo introdotte con le lavorazioni. Le diverse procedure utilizzate hanno permesso di suddividere localmente ed efficacemente le varie componenti della variazione spaziale:

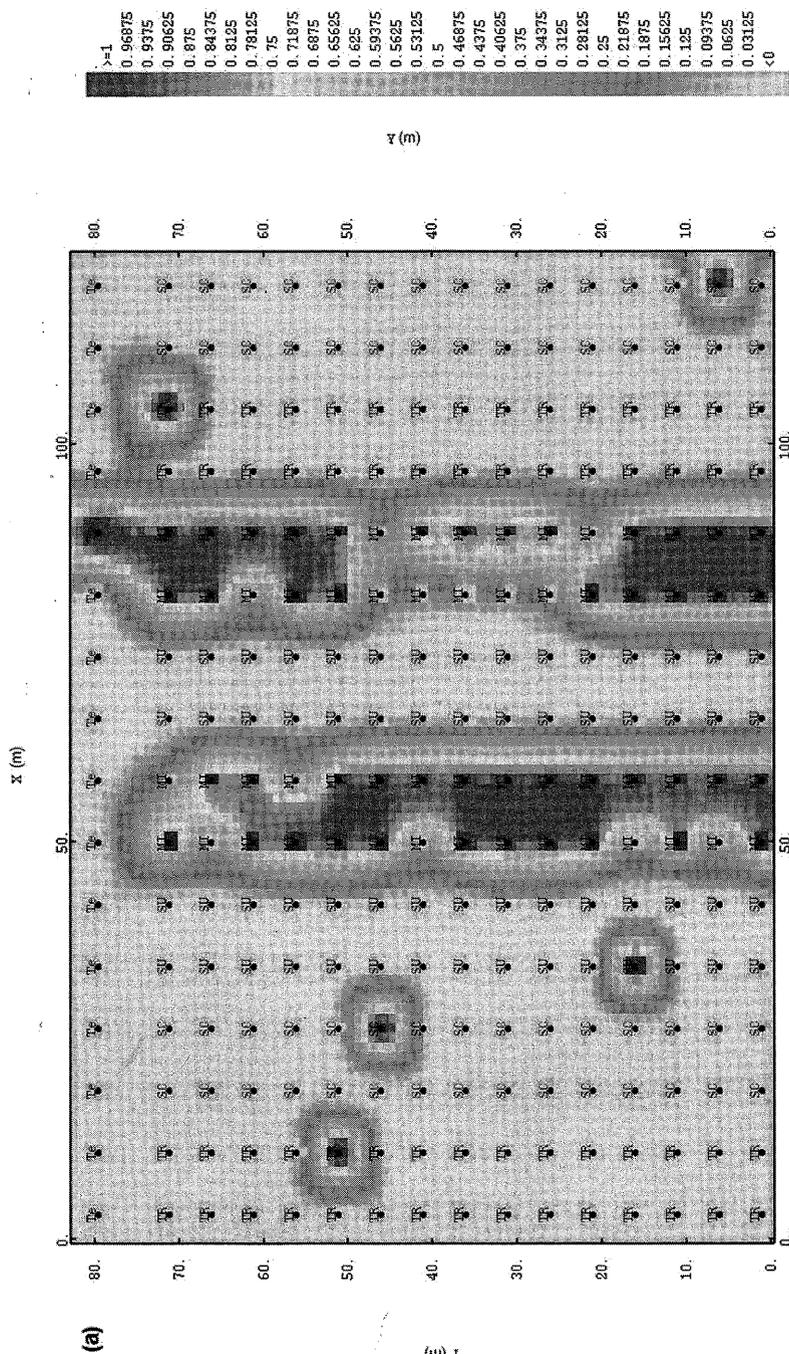
quella dovuta agli errori di misura; quella dipendente dalle caratteristiche strutturali intrinseche del suolo e, infine, quella indotta dalle lavorazioni.

Non sono emerse delle chiare indicazioni di un trattamento particolarmente vantaggioso rispetto agli altri, essendo risultata quasi sempre predominante la componente casuale della variazione. Una spiegazione di ciò può essere la natura estremamente variabile del dato penetrometrico e la sua dipendenza da molteplici altri fattori covarianti, principalmente il contenuto idrico. E' pertanto consigliabile saggiare l'effetto delle lavorazioni impiegando anche altri parametri del suolo più stazionari e applicando la stessa procedura illustrata, che si è dimostrata particolarmente efficace nella trattazione dei dati spazio-temporali.

Note

(1) Con la lettera maiuscola si indica la variabile casuale in generale, mentre con quella minuscola la particolare determinazione sperimentale.

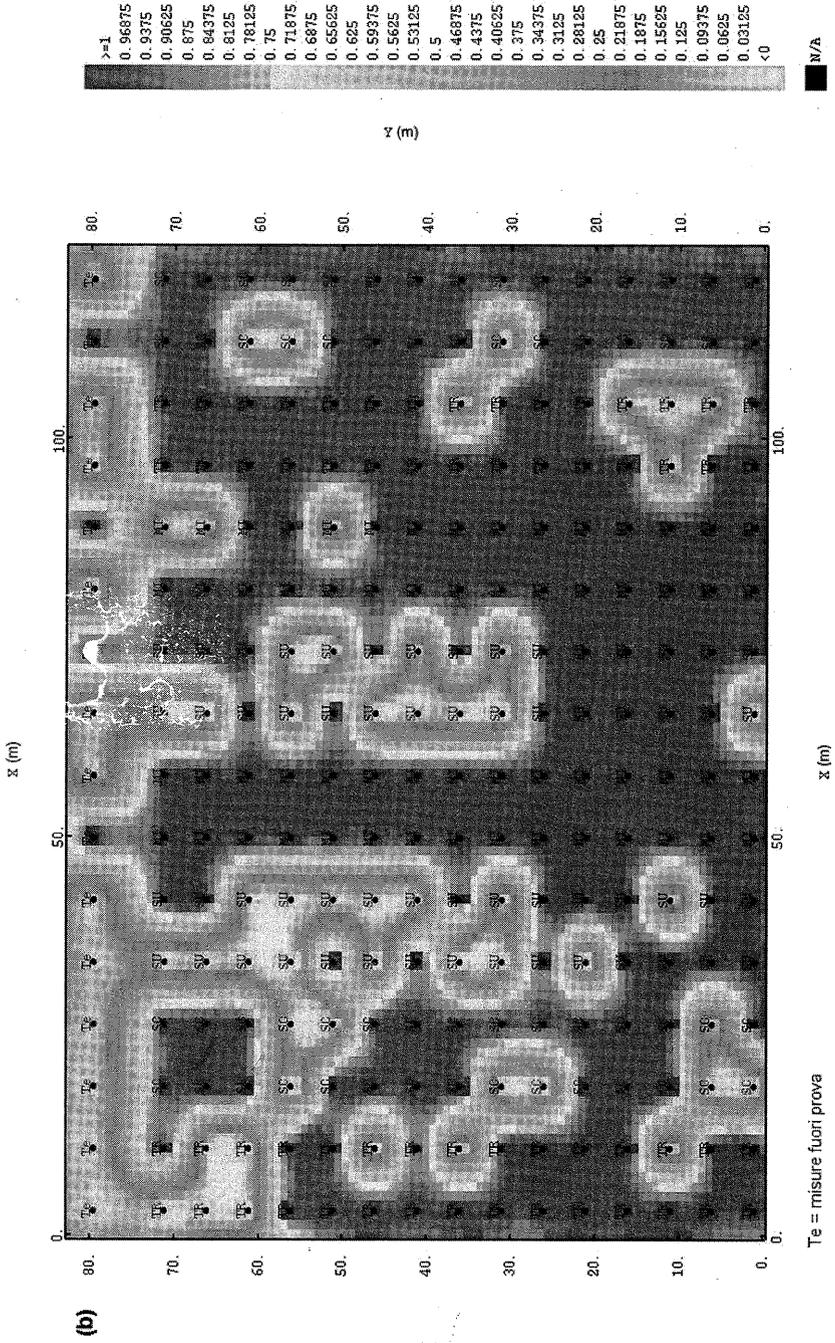
(2) L'apparente innalzamento del contenuto medio di umidità nello strato più superficiale nei due rilievi più tardivi è dovuto alle relative piogge abbondanti di febbraio ed aprile, che però non sono risultate sufficienti ad infiltrarsi in profondità.



- >=1
- 0.96875
- 0.9375
- 0.90625
- 0.875
- 0.84375
- 0.8125
- 0.78125
- 0.75
- 0.71875
- 0.6875
- 0.65625
- 0.625
- 0.59375
- 0.5625
- 0.53125
- 0.5
- 0.46875
- 0.4375
- 0.40625
- 0.375
- 0.34375
- 0.3125
- 0.28125
- 0.25
- 0.21875
- 0.1875
- 0.15625
- 0.125
- 0.09375
- 0.0625
- 0.03125
- <0

M/A

Te = misure fuori prova



Te = misure fuori prova

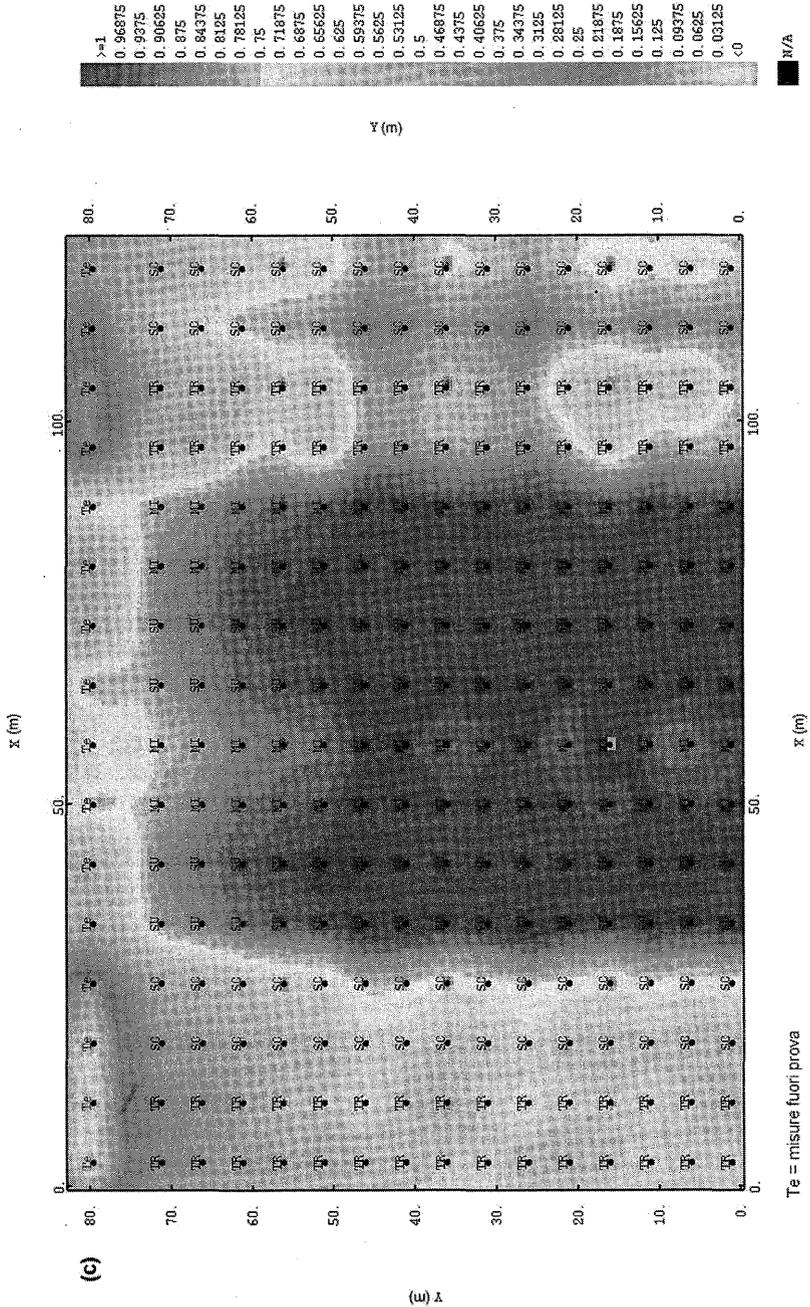


Figura 3. Mappe di probabilità di superamento del valore soglia dell'impedenza meccanica alle 3 date di rilievo (a, b, c) con sovrapposti i punti di campionamento e i relativi trattamenti applicati

Bibliografia

- ASAE Standards, - 1993. Soil Cone Penetrometer.
- BASSO F., DE FRANCHI A. S., PISANTE M., BASSO B. E LANDI G. - 2000. Influenza della modalità di lavorazione del terreno sul processo erosivo e sulla produzione di sistemi colturali nella collina meridionale. *Riv. di Agron.*, 34, 296-305.
- BRADFORD J.M. - 1980. The penetration resistance in a soil with well-defined structural units. *Soil Science Society of America Journal* 44, 601-606.
- BUTTAFUOCO G., CASTRIGNANÒ A. E STELLUTI, M. - 2000. Accounting for Local Uncertainty in Agricultural Management Decision Making, In: "Computer Technology in Agricultural Management and Risk Prevention", Supplemento agli atti dei georgofili (C. Conese e M.A. Falchi, editori), 510-517.
- CAMPBELL R.B., REICOSKY D.C. E DOTY C.W. - 1974. Physical properties and tillage of Paleudults in the Southeastern Coastal Plains. *Journal Soil Water Conservation*, 29, 220-224.
- CASSEL D.K., BOWEN H.D., NELSON L.A. - 1978. An evaluation of mechanical impedance for three tillage treatments on Norfolk sandy loam. *Soil Science Society of America Journal* 42, 116-120.
- CASSEL D.K., NELSON L.A. - 1979. Variability of mechanical impedance in a tilled one-hectare field of Norfolk sandy loam. *Soil Science Society of America Journal* 43, 450-455.
- CASTRIGNANÒ A. E LOPEZ G. - 1991. Variabilità spazio-temporale del SAR lungo il profilo di un suolo argillo-alcalino. In: *Fertilità del Terreno e Biomassa Microbica*, pp. 135-141. Congedo Editore.
- CASTRIGNANÒ A., STELLUTI, M. E DE GIORGIO D. - 1997. How to improve modeling the spatial variation of durum wheat yield by using soil tillage information as "soft" information. Atti della 14^a Conferenza ISTRO su: "Agroecological and Economical Aspects of Soil Tillage". Lublino, Polonia, 27 luglio-4 agosto 1997.
- CASTRIGNANÒ A., GIUGLIARINI L., RISALTI R. E MARTINELLI N. - 2000a. Study of spatial relationships among soil physical-chemical properties using Multivariate Geostatistics. *Geoderma*, 97: 39-60.
- CASTRIGNANÒ A., GOOVAERTS P., LULLI L. E BRAGATO G. - 2000b. A geostatistical approach to estimate probability of occurrence of Tuber melanosporum in relation to some soil properties. *Geoderma*, 98, 95-113.
- CASTRIGNANÒ A., MAIORANA M., E FORNARO F. L'impedenza del suolo: Un utile indicatore della qualità del suolo. Atti del Convegno Nazionale della SISS, Venezia, 12-16 giugno 2000. *Bollettino della Società Italiana della Scienza del Suolo*, 50 numero speciale, p. 41.
- DE GIORGIO D., CASTRIGNANÒ A., RIZZO V. - 1994. A multivariate approach to assess the effects of different tillage systems on biometric parameters and weeds in durum wheat continuous cropping. *Atti della Conferenza Internazionale ISTRO*, 2, 983-989.
- DEUTSCH C.G., JOURNEL A.G. - 1998. *GSLIB - Reference manual and user's guide*, 2a Edizione. Oxford University Press, New York.
- GEOVARIANCES - 2000. *ISATIS*, Software manual, release 3.3. Geovariances Ecole des Mines de Paris, Francia.
- GOOVAERTS P. - 1997. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press.
- LUENBERGER D. - 1969. *Optimization by vector space methods*. John Wiley, N.Y., 1969.
- NIELSEN D.R., BIGGAR J.W. E ERH K.T. - 1973. Spatial variability of field measured soil-water properties. *Hilgardia*, 42, 215-260.
- RIZZO V., DE GIORGIO D., CASTRIGNANÒ A. - 1992. Six years of research on different soil tillage methods and nitrogen fertilizing doses applied to continuous cropping of durum wheat: yield responses. *Atti della Conferenza Internazionale ISTRO, Shortanday, Kazakhstan, 7-9 luglio*, 134-139.
- TAYLOR H.M., ROBERTSON G.M. E PARKER J.J. JR. - 1966. Soil strength-root penetration relations for medium-to-coarse-textured soil materials. *Soil Science*, 102, 18-22.

METODOLOGIA SPERIMENTALE PER IL MONITORAGGIO DEI SUOLI IRRIGATI CON ACQUE REFLUE URBANE

A. Aru ¹, P. Botti ², P. Buscarinu ², A. Coppola ³, R. Corrias ²,
M. Ferralis ², G. Marras ², H. W. Muntau ⁴, E. Murru ²,
P. Pin ², R. Puddu ⁵, F. Salis ², A. Santini ⁶, N. Sechi ⁷,
P. Spanu ², S. Vacca ⁷, A. Viola ¹, L. Volterra ⁸

con la collaborazione di: M. Bacchitta ², L. Barbarossa ²,
C. Borghero ², G. Borghero ², P. Di Fiore ⁶, C. Montis ²,
G. Pichiri ², G. Saiu ², M. Scalas ², S. Zuddas ²

1 Università degli Studi di Cagliari

2 Ente Autonomo del Flumendosa

3 Università degli Studi della Basilicata

4 Commissione Europea C.C.R. Ispra

5 Centro Regionale Agrario Sperimentale

6 Università degli Studi Federico II di Napoli

7 Università degli Studi di Sassari

8 Istituto Superiore di Sanità Roma

Premessa

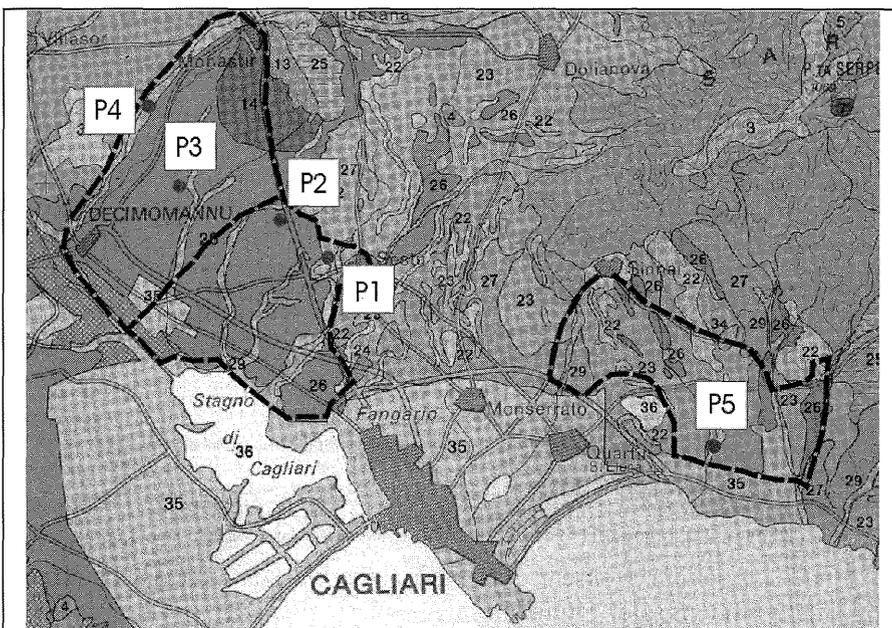
Il lavoro si iscrive in una ricerca multidisciplinare pianificata dall'Ente Autonomo del Flumendosa (Cagliari) finalizzata al reimpiego in agricoltura delle acque reflue urbane nel sud della Sardegna. L'obiettivo è di illustrare le metodologie sperimentali utilizzate per verificare e quantificare gli effetti che le complesse interazioni chimico - fisiche fra il suolo e i costituenti chimici delle acque reflue possono indurre sulle caratteristiche idrauliche (moto dell'acqua e trasporto di soluti) chimiche e sull'attività enzimatica dei suoli in esame.

I suoli dell'area sperimentale

La campagna di rilevamento e di campionamento dei suoli per la sperimentazione si è svolta dal 21 al 25 settembre 1999.

I lavori sul campo sono stati preceduti da diversi sopralluoghi nel basso Campidano, mirati all'individuazione dei siti di campionamento più adatti, soprattutto dal punto di vista della rappresentatività dei suoli da prelevare.

Infatti, allo scopo di poter estendere i risultati a tutti i suoli ricadenti entro i comprensori irrigui che dovrebbero essere serviti in futuro con le acque reflue, sono stati individuati e campionati 5 "profili tipo" sulla base del substrato pedogenetico e della presenza di alcune importanti proprietà fisiche e strutturali che fossero al tempo stesso riferibili alle tipologie pedologiche più diffuse nella Sardegna meridionale (figura 1).



DISTRETTO DI ELMAS:

1. Suoli derivati da sedimenti marnoso arenacei del Miocene
Profilo tipo **P1**
2. Suoli derivati da alluvioni conglomeratiche del Quaternario antico con presenza di orizzonti carbonatici
Profilo tipo **P2**

DISTRETTO DI S. SPERATE:

3. Suoli derivati da alluvioni conglomeratiche del Quaternario antico privi di orizzonti carbonatici
Profilo tipo **P3**
4. Suoli derivati da sedimenti alluvionali del Quaternario recente in fase sabbiosa
Profilo tipo **P4**

DISTRETTO DI QUARTU SANT' ELENA:

5. Suoli derivati da sedimenti alluvionali del Quaternario recente in fase argillosa
Profilo tipo **P5**

Il rilevamento pedologico ha interessato, pertanto, i più importanti distretti irrigui di Cagliari, comprendendo in prevalenza il settore sud-orientale della fossa campidanese (distretti di Elmas e San Sperate) e in minor misura quello orientale (distretto di Quartu S. Elena).

Strumenti e metodi

La sperimentazione è stata condotta su cinque colonne lisimetriche di suolo non rimaneggiato ottenute (figura 2) introducendo un cilindro di PVC perpendicolarmente nel suolo. Durante il campionamento si è avuto cura di evitare la compattazione e la modificazione del campione al fine di non alterarne le proprietà idrauliche caratteristiche.

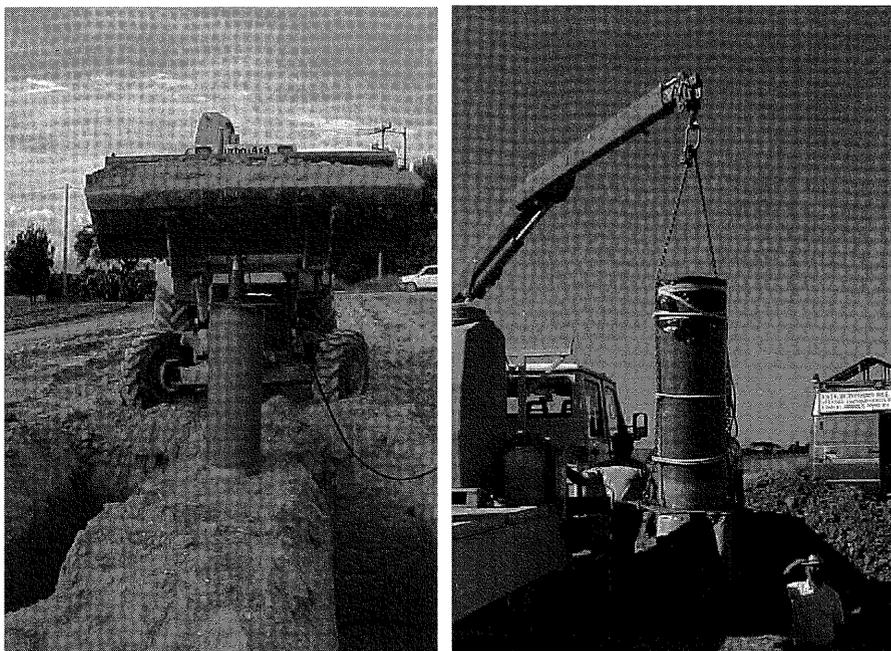


Figura 2

Ciascun lisimetro è costituito da un cilindro in PVC del diametro esterno pari a 40 cm e di altezza pari a 120 cm, alla cui base è posto un disco tagliente in acciaio per agevolare, durante il campionamento, l'infissione del cilindro nel suolo. Una volta campionato, ogni cilindro è stato portato in laboratorio per il montaggio della strumentazione di monitoraggio.

Preliminarmente è stato eliminato il disco tagliente ed il cilindro è stato poggiato su una base di sostegno in acciaio costituita da due camere concentriche di drenaggio. Il letto drenante è stato realizzato utilizzando tre strati di materiale inerte e precisamente, dall'alto verso il basso, 6 cm di ghiaia fine (pezzatura massima 3 cm), 3 cm di sabbia grossolana di cava (pezzatura 1 - 2 mm), 3 cm di farina fossile (granulometria omogenea < 0.045 mm).

La strumentazione di monitoraggio è costituita da sonde TDR (in numero variabile da 5 a 7) per il monitoraggio del contenuto idrico nel suolo attraverso il metodo noto come Riflettometria nel Dominio del Tempo (figura 3); da 4 tensiometri per la misura delle variazioni del potenziale dell'acqua nel suolo al variare del suo contenuto idrico (figura 4) e da 4 estrattori di soluzione utilizzati per prelevare la soluzione circolante nel suolo per le successive analisi chimiche.

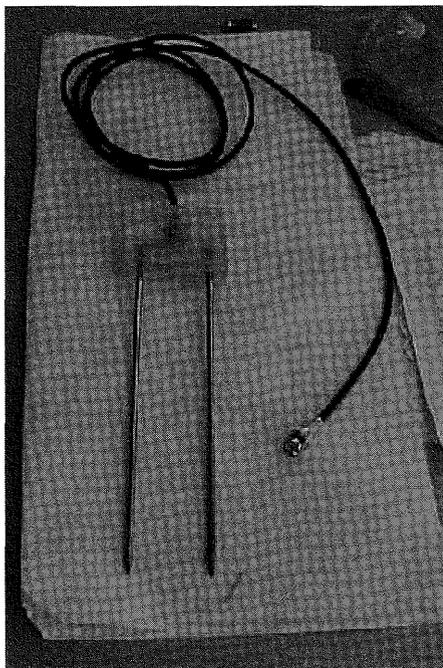


Figura 3

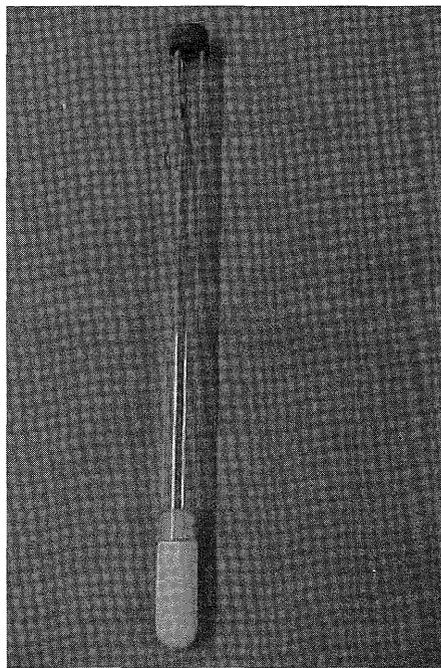


Figura 4

La colonna è stata infine coibentata con lana di roccia e, per rendere più stabile l'insieme è stata protetta utilizzando un controtubo in PVC del diametro esterno pari a 60 cm.

Ciascuna colonna è stata sottoposta, in successione, alle seguenti prove:

Caratterizzazione iniziale mediante infiltrazione per la determinazione delle proprietà idrauliche del suolo. Per la prova è stata utilizzata una soluzione di 0.6 g/l di solfato di calcio;

Esperimenti di moto miscibile con traccianti per determinare le caratteristiche del trasporto dei soluti.

Per la prova è stata impiegata una soluzione concentrata di cloruro di calcio.

Cinque cicli di infiltrazione ed esaurimento con acque reflue. Per la prova è stato impiegato refluo tal quale, non miscelato cioè con acque fresche. Ciascun ciclo è stato intervallato da un ciclo di evaporazione della durata di due settimane.

Prove di infiltrazione e di moto miscibile analoghe a quelle sopra citate per quantificare gli effetti provocati dall'utilizzo dei reflui sul suolo.

Per le prove sulle colonne sono state utilizzate le seguenti apparecchiature:

Irrigatore a pioggia in perspex munito di 60 aghi uniformemente distribuiti (figura 5); l'irrigatore è stato collegato ad una pompa peristaltica in grado di assicurare una intensità di pioggia costante durante le prove.

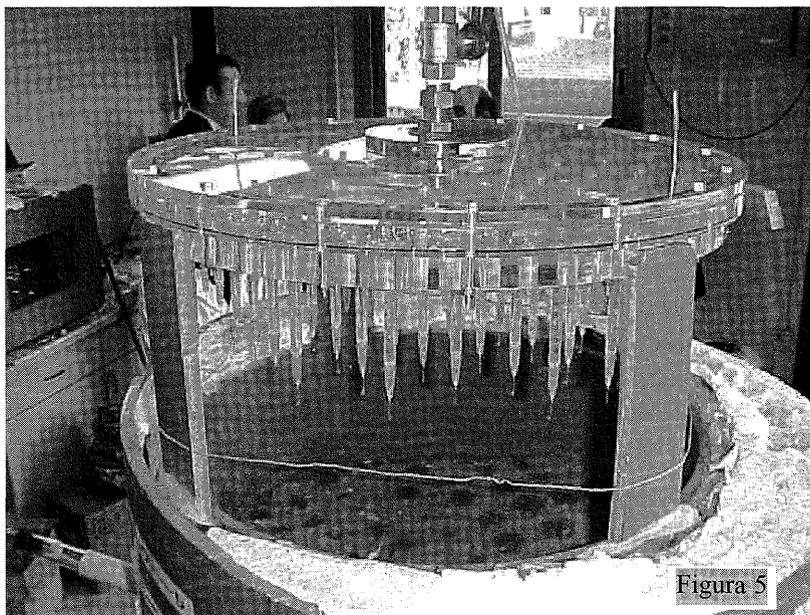


Figura 5

Infiltrometro in perspex collegato ad una boccia Mariotte del volume netto di venti litri.

Riflettometro TDR collegato alle sonde ed ad un P.C. munito di specifico software per l'analisi delle onde. Il software è stato sviluppato dalla Università degli Studi Federico II di Napoli (figura 6).

Misuratore elettronico di tensione, basato su un trasduttore di pressione a semiconduttore al silicio, per la misura del potenziale di matrice.



Figura 6

Nel corso delle prove sono state effettuate continuamente le misurazioni del contenuto d'acqua e dei potenziali di matrice ed è stata inoltre monitorata la dinamica di differenti specie chimiche e microbiologiche mediante campionamento della soluzione circolante e di quella effluente dalla base della colonna (figura 7). Al termine della sperimentazione le

colonne sono state aperte e sono stati prelevati campioni di suolo dai vari orizzonti con la finalità di determinare l'eventuale variazione delle caratteristiche chimiche e dell'attività enzimatica (deidrogenasi - pirolisi gascromatografica).

Conclusioni

I risultati preliminari sin qui ottenuti (si vedano per i dettagli i lavori monografici presentati dagli autori in questa stessa sessione) confermano sia l'efficacia delle metodologie sperimentali utilizzate, sia l'efficienza ed affidabilità delle apparecchiature impiegate. Infatti si è potuto monitorare i processi oggetto di studio con grande dettaglio spazio temporale.

Ciò rappresenta la premessa indispensabile perché i fenomeni possano essere studiati ed interpretati anche in pieno campo e perché si possano applicare, in maniera affidabile, i modelli interpretativi attraverso i quali descrivere i processi con le più diversificate condizioni al contorno del

campo di moto. In tal senso all'attività sperimentale di laboratorio, che finirà approssimativamente alla fine di Giugno 2001, seguirà una sperimentazione in campo mediante l'allestimento e il costante monitoraggio, per almeno cinque anni, di cinque parcelle sperimentali da ubicare nelle zone in cui sono state prelevate le colonne impiegate in laboratorio.

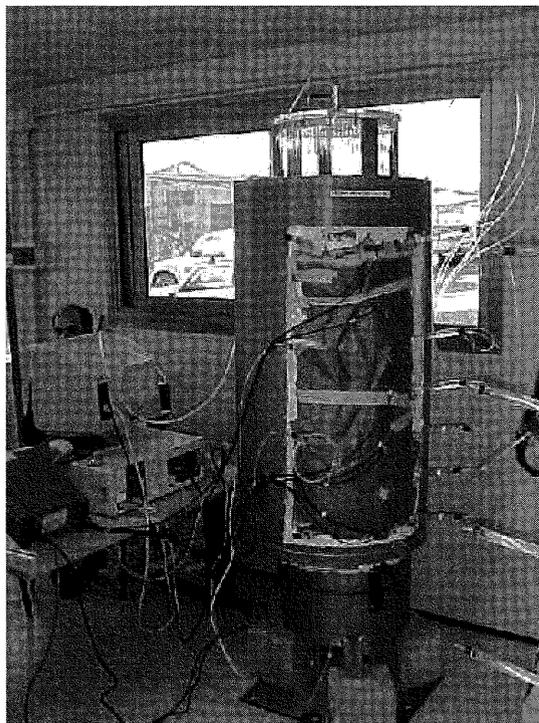
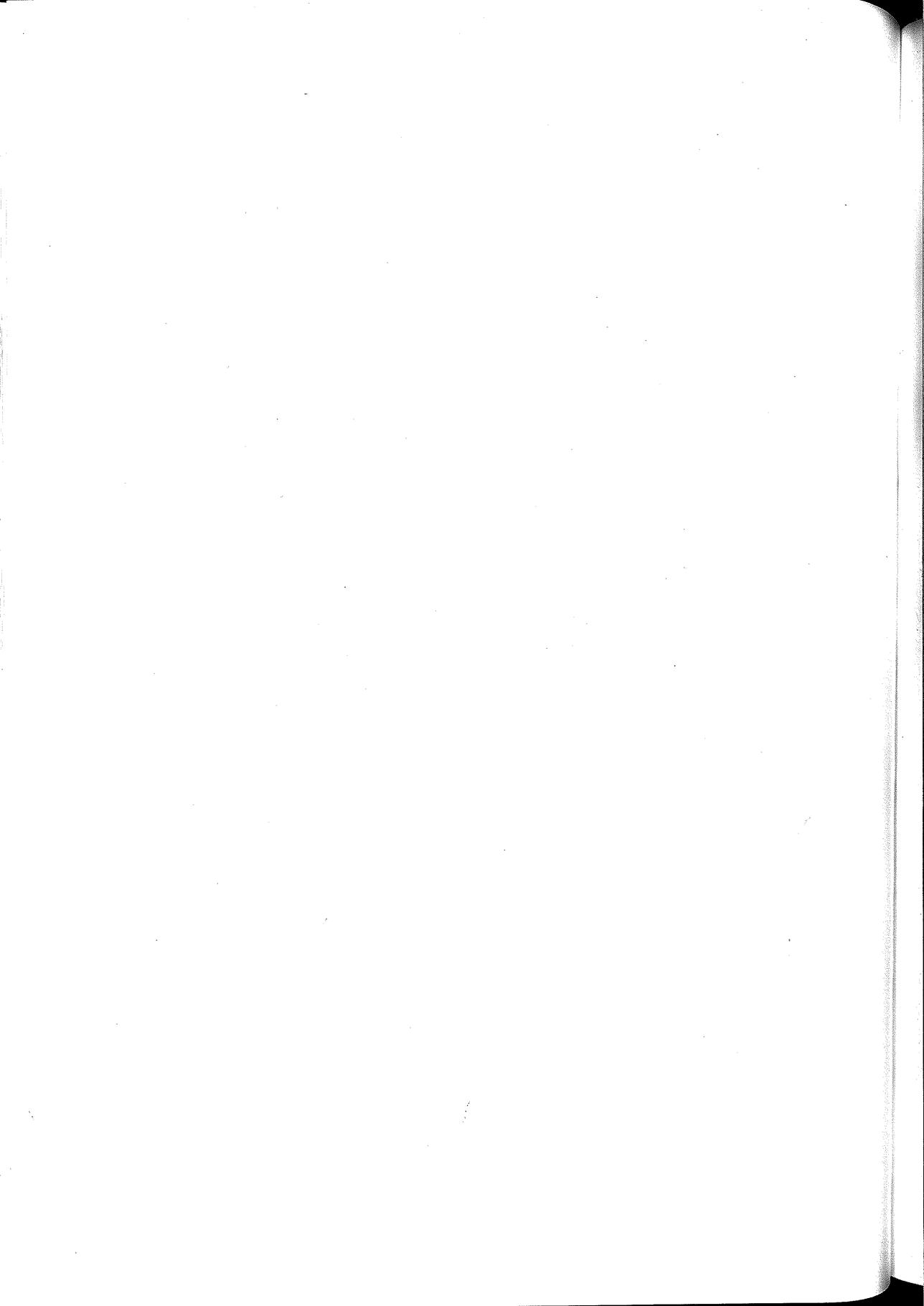


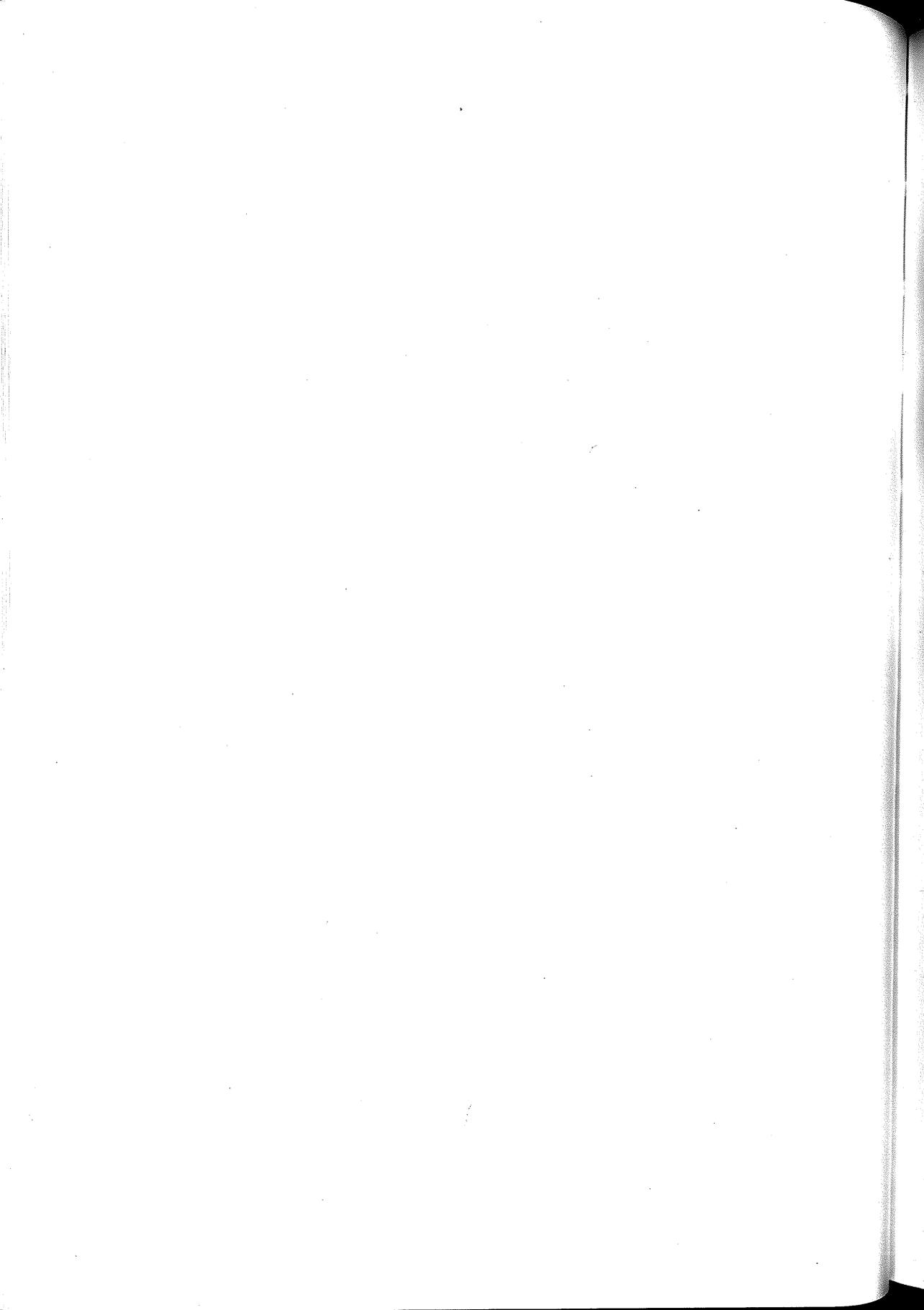
Figura 7





Commissione II

Chimica del suolo



BIORISANAMENTO IN SITU DI SUOLI INQUINATI DA IDROCARBURI CON CICLODESTRINE COME COADIUVANTI PER INCREMENTARE LA BIODISPONIBILITÀ

Laura Bardi ¹, Silvia Steffan ², Mario Marzona ²

¹ Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante
Via Pianezza, 115 - 10151 Torino

² Dipartimento di Chimica Generale ed Organica Applicata
Corso Massimo D'Azeglio 48, - 10125 Torino

Introduzione

Il risanamento dei suoli inquinati può essere ottenuto mediante trattamenti di tipo chimico, fisico o biologico. Negli ultimi anni l'interesse nei confronti dei processi di biorisanamento è andato accrescendosi, per via dei bassi costi che li caratterizzano e della possibilità di conseguire, in alcuni casi, la completa degradazione degli xenobiotici senza alterare le naturali e peculiari caratteristiche fisico-chimiche del sito. In particolare, il biorisanamento *in situ* ha come scopo di depurare i suoli contaminati senza rimuoverli, riducendo, oltre ai costi, i rischi di diffusione dei contaminanti nell'ambiente (1-6).

Uno dei fattori che influenzano in modo determinante l'efficienza dei processi di biodegradazione è la biodisponibilità del contaminante (6-7). Nel caso degli idrocarburi non alogenati, in particolare, la biodegradazione potrebbe condurre alla completa mineralizzazione di questi composti, che tuttavia, essendo idrofobici, passano molto lentamente nella fase acquosa in cui i microrganismi sono attivi. Come conseguenza, la loro metabolizzazione è estremamente lenta, ed il tempo necessario per la degradazione è proporzionale all'idrofobicità (7-8). Inoltre nel suolo queste sostanze possono essere adsorbite dalle frazioni umiche e argillose (7-9). L'uso di surfattanti consente di incrementare l'idrosolubilità dei composti idrofobici, ma numerose sostanze con proprietà surfattanti sono tossiche e scarsamente biocompatibili, e talvolta sono esse stesse considerate inquinanti; (10-13) per questo motivo il loro impiego per il biorisanamento *in situ* non ha avuto finora diffusione. Un altro fattore da tenere in considerazione quando si applicano *in situ* sostanze solubilizzanti è il fatto che l'incremento di idrosolubilità di un composto xenobiotico può accompagnarsi ad un maggior rischio di eluviazione, con conseguente maggior rischio di inquinamento della falda.

Le ciclodestrine sono oligosaccaridi ciclici formati da unità di glucosio (14). Queste molecole hanno la forma di un anello, la cui superficie esterna è idrofilica, mentre la cavità interna, di forma toroidale, ha caratteristiche idrofobiche. Esse sono in grado di formare complessi di inclusione idrosolubili con molecole idrofobiche di dimensioni compatibili con il diametro della cavità interna. In questo modo la solubilità in acqua di numerosi composti viene aumentata dalle ciclodestrine; attraverso il loro dinamico equilibrio di scambio con la molecola ospite, una volta nella fase acquosa questa può dissociarsi dal complesso di inclusione divenendo disponibile per il catabolismo microbico.

Le ciclodestrine sono composti naturali, non tossici ed innocui nei confronti dei microrganismi e degli enzimi liberi (15). Grazie alle loro proprietà, le ciclodestrine possono essere proposte come coadiuvanti per il biorisanamento delle acque e dei suoli inquinati da xenobiotici scarsamente idrosolubili. E' stato precedentemente dimostrato che le ciclodestrine possono migliorare la biodegradabilità del toluene e del fenantrene (16, 17). Presso i nostri laboratori è stata presa in esame la biodegradabilità *in vitro* degli idrocarburi in fase acquosa da parte di microrganismi isolati da un suolo inquinato da petrolio. Le cinetiche di degradazione di idrocarburi alifatici (dodecano, tetracosano) ed aromatici (naftalene, antracene) sono risultate decisamente accelerate dalla presenza di ciclodestrine (18).

Nel presente lavoro è stata presa in esame l'applicabilità delle ciclodestrine come coadiuvanti per incrementare la biodisponibilità degli idrocarburi e migliorare così l'efficienza del biorisanamento *in situ* di suoli inquinati. E' stato preso in esame inizialmente il rischio di incremento dell'inquinamento dell'acqua di falda dovuto alla maggior solubilità in acqua degli idrocarburi. Sono stati analizzati l'adsorbimento e l'eluviazione del dodecano in suoli di differente tessitura e, conseguentemente, con differenti caratteristiche di permeabilità e drenaggio. Sono state quindi prese in esame le cinetiche di biodegradazione del dodecano in suoli di differente tessitura, simulando su scala di laboratorio un sistema di tipo *landfarming*.

Materiali e metodi

Adsorbimento

Sono stati utilizzati tre suoli minerali differenti per la tessitura: un suolo sabbioso (sabbia 97.6 %, limo 1.6 %, argilla 0.8 %), un suolo fran-

co-sabbioso (sabbia 80.4 %, limo 17.8 %, argilla 1.8 %) ed un suolo argilloso (sabbia 3.9 %, limo 60.3 %, argilla 35.8 %). I suoli sono stati essiccati in forno a 120°C per 7 ore. 100 g di ciascun suolo sono stati posti in sospensione in 80 ml di acqua, quindi sono stati aggiunti 67 µl di dodecano. La miscela è stata mantenuta in agitazione per 4 ore a temperatura ambiente, quindi si è raccolta l'acqua gravitazionale, che è stata analizzata per il contenuto residuo in dodecano. Il dodecano ritenuto dal suolo è stato calcolato come differenza fra il quantitativo totale aggiunto ed il quantitativo residuo presente nell'acqua gravitazionale. Il saggio è stato condotto su ciascun suolo, in presenza ed in assenza di 1 % (w/w) di β-ciclodestrina.

Eluviazione

I test di eluviazione sono stati condotti in due colonne di vetro di 3 cm di diametro e 30 cm di altezza, riempite con 280 g di sabbia. Alla superficie delle due colonne sono stati posti 188 µl di dodecano, e ad una delle due colonne è stata aggiunta 1 % (w/w) di β-ciclodestrina. Si sono quindi fatti eluire per gravità attraverso le colonne 850 ml di acqua; l'acqua eluita è stata raccolta ed analizzata per il contenuto in dodecano.

Cinetiche di biodegradazione

700 g di ciascun suolo, preventivamente essiccati in forno a 120°C per 7 ore, sono stati disposti in uno strato di circa 10 cm di spessore in un contenitore aperto impermeabile. Sono quindi stati aggiunti 470 µl di dodecano, 100 ml di coltura microbica di inoculo e 200 ml di terreno minerale di coltura liquido (LMM: 0.8 g/l K_2HPO_4 , 0.2 g/l KH_2PO_4 , 0.05 g/l $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, 0.5 g/l $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.09 g/l $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, 1 g/l $(NH_4)_2SO_4$). Quotidianamente si è proceduto a rimescolare la massa in modo da garantire una adeguata aerazione ed omogeneizzazione, ripristinando con acqua deionizzata sterile la perdita di umidità, così da simulare su scala di laboratorio un sistema tipo *landfarming*. Le prove sono state condotte a temperatura ambiente monitorando giornalmente il decremento del dodecano, confrontando le cinetiche di degradazione in assenza ed in presenza di 1% (w/w) di β-ciclodestrina nei tre differenti suoli (sabbioso, franco-sabbioso ed argilloso).

Inoculo microbico

Colonie singole di microrganismi degradanti gli idrocarburi sono state ottenute da un suolo inquinato da petrolio per dispersione in terreno selettivo agarizzato (LMM addizionato di 4% v/v di dodecano come unica fonte di carbonio) ed incubazione per 5 giorni a 28°C. 54 colonie sono state utilizzate in pool per inoculare una coltura in terreno liquido minerale (LMM) contenente 4% v/v di dodecano come unica fonte di carbonio. La coltura è stata fatta crescere in agitazione per 5 giorni a 28°C, quindi utilizzata come inoculo per le prove di biodegradazione.

Analisi del dodecano

Per i saggi di adsorbimento ed eluviazione, il dodecano è stato estratto ed analizzato come descritto in precedenza (18). Nel caso dei test di biodegradazione, campioni di 15 g di suolo sono stati mescolati con 6 ml di acqua ed estratti per scuotimento con tre successive aliquote per un volume complessivo di 30 ml di toluene. La miscela è stata centrifugata a 4000 rpm per 5 minuti a 4°C, quindi si è separata la fase organica. Ad 1 ml di estratto sono stati aggiunti 100 µl di soluzione standard di 1% w/v di naftalene in toluene. I campioni sono stati analizzati per gascromatografia mediante GC HP 5890 serie II, equipaggiato con rivelatore FID e colonna capillare Cross-Linked Methyl Silicone, 15 m di lunghezza e 0.32 mm di diametro interno, spessore del film 1,0 µm. Le condizioni operative erano le seguenti: temperatura da 100 a 250°C a 20°C/min; pressione 13 psi; volume di iniezione 4 µl.

Risultati e discussione

Saggi di adsorbimento ed eluviazione

La quantità di dodecano ritenuta dal suolo è risultata essere il 97.8% nel suolo sabbioso, il 99.4% nel suolo franco-sabbioso ed il 99.8% nel suolo argilloso (figura 1). Pertanto il dodecano, dopo sole 4 ore di contatto con il suolo, è pressochè scomparso dall'acqua gravitazionale. Il dodecano adsorbito aumentava, passando dalla tessitura sabbiosa a quella argil-

losa, in misura molto limitata: la massima differenza fra suolo sabbioso ed argilloso è risultata del 2%.

La diminuzione della percentuale di idrocarburo adsorbito indotta dall'aggiunta di β -ciclodestrina è stata estremamente ridotta: dallo 0.17% nell'argilla all'1.2% nella sabbia (figura 1). Pertanto la β -ciclodestrina ha incrementato in misura molto bassa la solubilità dell'idrocarburo nell'acqua gravitazionale; questo risultato si è ripetuto in tutti i suoli analizzati, sebbene privi di sostanza organica.

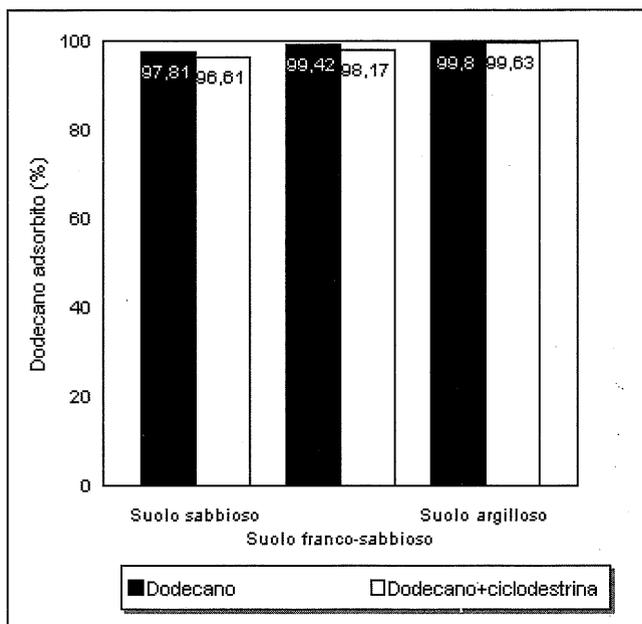


Figura 1. Adsorbimento del dodecano in tre suoli differenti per tessitura in presenza ed in assenza di β -ciclodestrina

I test di eluviazione, condotti eluendo l'idrocarburo con acqua attraverso i campioni di suolo in colonne di vetro, hanno confermato che la β -ciclodestrina non incrementa l'eluviazione del dodecano. In questi saggi, infatti, in cui si è impiegato un volume di acqua corrispondente alla piovosità annua media del territorio italiano, non è stata rilevata presenza dell'idrocarburo nell'acqua eluita. Pertanto il rischio di un maggior inquinamento dell'acqua di falda indotto dall'uso *in situ* di β -ciclodestrina può essere escluso.

Cinetiche di biodegradazione

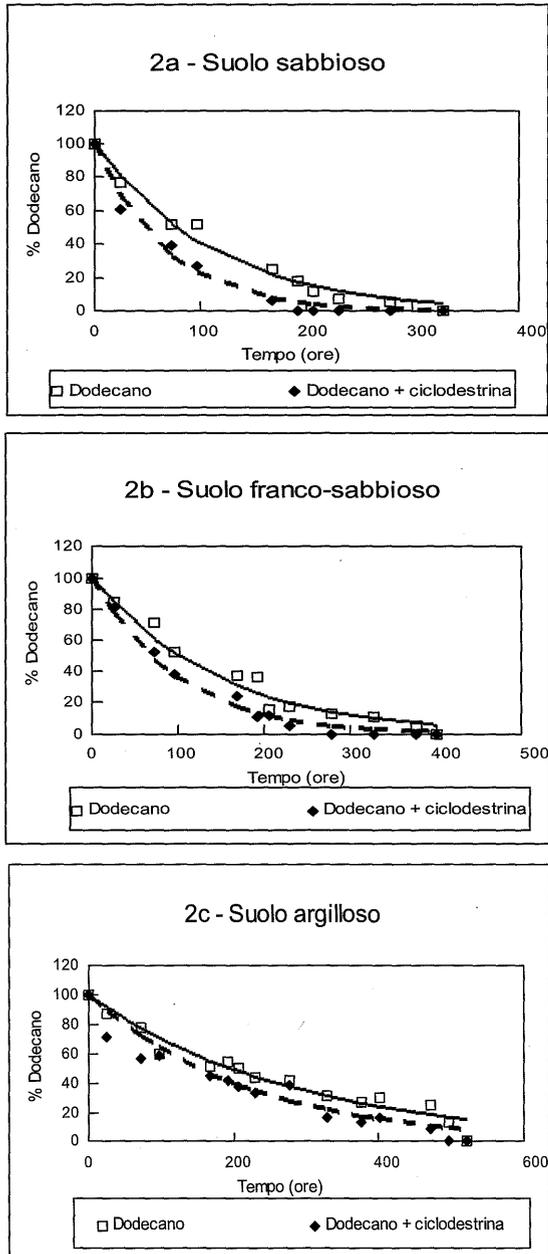


Figura 2. Cinetiche di biodegradazione del dodecano in presenza ed in assenza di β -ciclodestrina in tre suoli differenti per tessitura

Il dodecano è stato interamente degradato nella sabbia in 326 ore, ma il tempo necessario per la degradazione completa si è ridotto a 192 ore quando si è aggiunta β -ciclodestrina (figura 2a). Il tempo di semitrasformazione ($T_{1/2}$), che corrisponde al momento in cui la concentrazione dello xenobiotico diventa la metà di quella iniziale, è stato di 76.9 ore e di 45.4 ore rispettivamente in assenza ed in presenza di β -ciclodestrina (figura 3). Risultati analoghi sono stati ottenuti nel suolo franco-sabbioso: il dodecano è stato interamente degradato in 401 ore in assenza di β -ciclodestrina, mentre 278 ore sono risultate sufficienti quando questo coadiuvante veniva aggiunto (figura 2b); il tempo di semitrasformazione in questo caso variava da 101.7 ore a 67.2 ore rispettivamente (figura 3). Il guadagno di tempo per la degradazione dovuto alla β -ciclodestrina è stato del 40.9% nel suolo sabbioso e del 33.9% in quello franco-sabbioso (tabella 1). E pertanto evidente che nel suolo sabbioso e franco-sabbioso l'aggiunta di β -ciclodestrina

ha indotto una significativa accelerazione delle cinetiche di biodegradazione del dodecano, dovuta alla maggior biodisponibilità dell' idrocarburo che passa in fase acquosa in forma di complesso di inclusione. Il fatto che ad una maggior presenza nella fase acquosa non si accompagni una maggiore eluviazione, come precedentemente esposto, può essere spiegato ipotizzando che i complessi di inclusione si formino prevalentemente nella fase acquosa ritenuta per microporosità dal suolo, dove operano i microrganismi, e non passino nella frazione macroporosa, dove sarebbero più facilmente soggetti all'effetto dell'eluviazione.

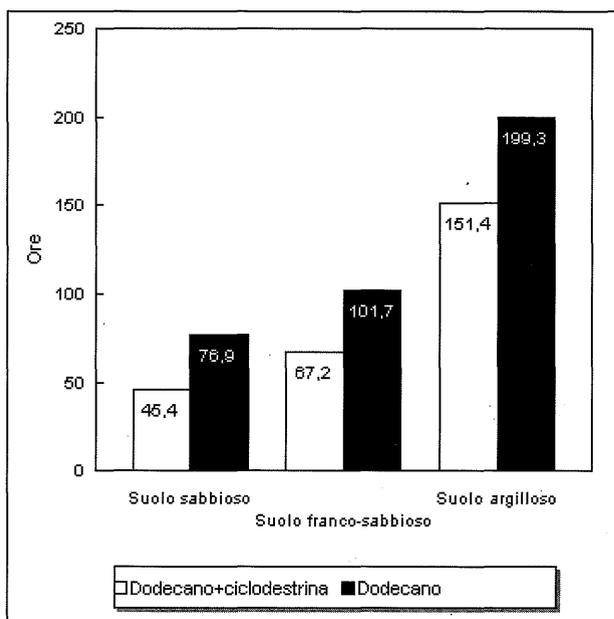


Figura 3. Tempo di semitrasformazione del dodecano in tre suoli differenti per tessitura

L'effetto positivo della β -ciclodestrina è risultato inferiore nell' argilla. Infatti, la degradazione completa del dodecano ha richiesto 521 ore in assenza e 497 ore in presenza di β -ciclodestrina (figura 2c), con un guadagno di tempo per la degradazione del 24.2% (tabella 1). Il tempo di semitrasformazione si è ridotto da 199.3 ore a 151.4 ore rispettivamente (figura 3). Indipendentemente dall'aggiunta di β -ciclodestrina, come atteso, la biodegradazione è stata più lenta nell'argilla rispetto ai suoli a tessitura meno fine; difatti la diffusione dell'ossigeno necessario per il metabolismo cellulare e la diffusione dell'acqua sono rallentati.

In ogni caso, un'aggiunta di β -ciclodestrina ha comunque dato origine ad un miglioramento della biodegradazione del dodecano nel suolo.

Tabella 1. Tempo richiesto per la degradazione in tre suoli differenti per tessitura

	Suolo sabbioso	Suolo franco-sabbioso	Suolo argilloso
Tempo per la degradazione completa in assenza di β -ciclodestrina	76.9 ore	101.7 ore	199.3 ore
Tempo per la degradazione completa in presenza di β -ciclodestrina	45.4 ore	67.2 ore	151.4 ore
Guadagno di tempo per la degradazione dovuto alla β -ciclodestrina	40.9%	33.9%	24.2%

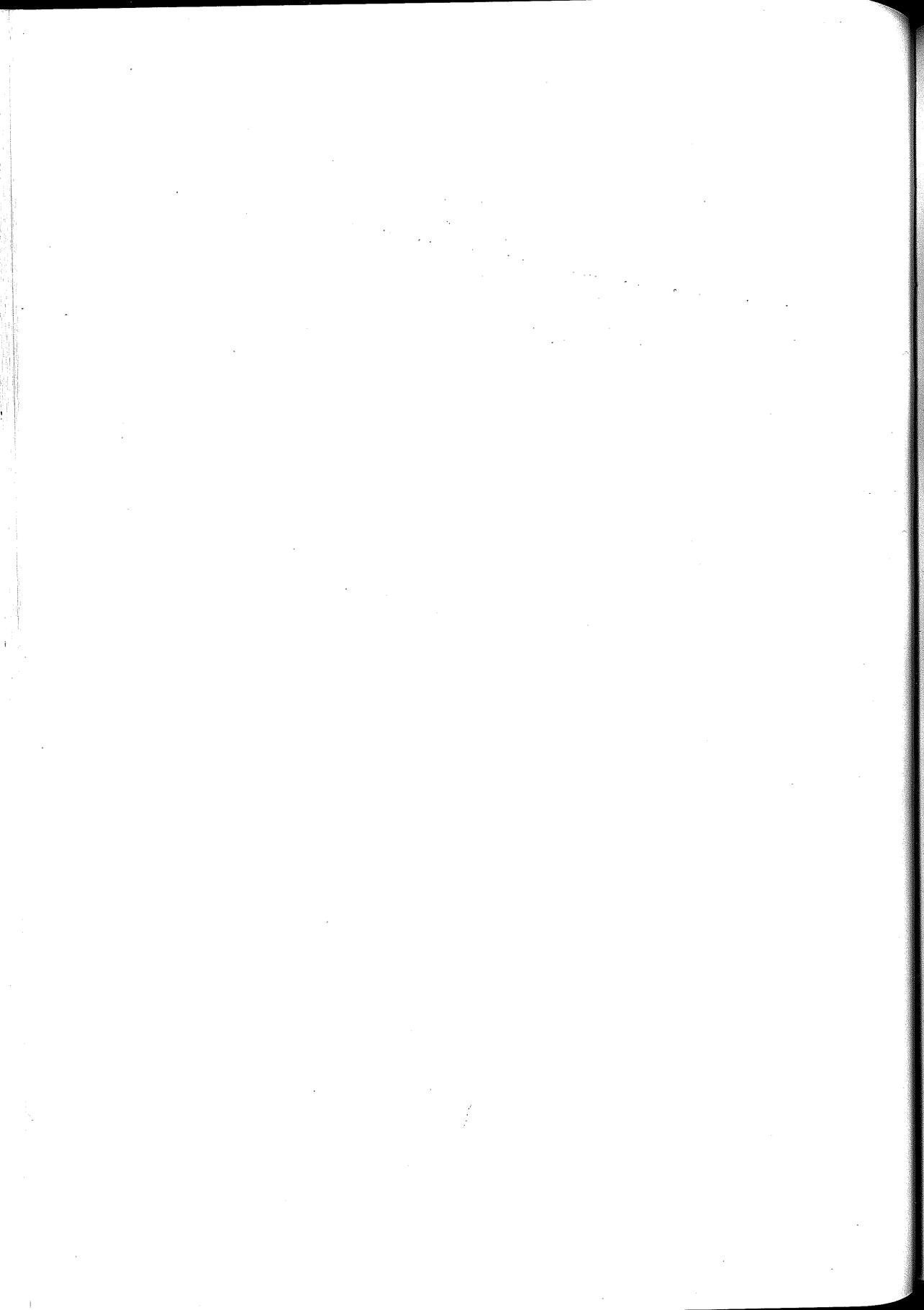
Conclusioni

La β -ciclodestrina usata come coadiuvante per il biorisanamento dei suoli contaminati da idrocarburi migliora la biodisponibilità degli idrocarburi per i microrganismi, e conseguentemente accelera le cinetiche di biodegradazione. L'aggiunta di β -ciclodestrina non incrementa il rischio di percolazione in falda neppure in suoli minerali sabbiosi. Pertanto la β -ciclodestrina è efficace per migliorare i processi di biodegradazione degli idrocarburi nel suolo; questo effetto positivo è influenzato dalla tessitura, ma in ogni caso il guadagno di tempo per la degradazione è sempre significativo.

Bibliografia

1. SEQUI P., FRANCAVIGLIA R. Interaction of soil with organic molecules. In: *Biotechnology for soil remediation. Scientific bases and practical applications*. R. Serra. C.I.P.A. S.r.l., Milan, Italy, 1998, 29-39.
2. HINCEE R.E. In situ bioremediation: practices and challenges. In: *Biotechnology for soil remediation. Scientific bases and practical applications*. R. Serra. C.I.P.A. S.r.l., Milan, Italy, 1998, 17-20.
3. OTTEN A., ALPHENAAR A., PIJLS C., SPUIJ F., DE WIT H. In situ soil remediation. In: *Soil & environment*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1997, 9-12.
4. HOLLIGER, C., GASPARD, S., GLOD, G., HEIJMAN, C., SCHUMACHER, W., SCHWARZENBACH, R.P., VAZQUEZ, F. Contaminated environments in the subsurface and bioremediation: organic contaminants. *FEMS Microbiol. Rev.* 1997, 20 (3-4), 517-523.
5. GUERIN, T.F. Bioremediation of phenols and polycyclic aromatic hydrocarbons in creosote contaminated soil using ex situ landtreatment. *J. Hazard Mater* 1999, 65 (3), 305-315.
6. BOUWER E.J., ZHANG W., WILSON L.P., DURANT N.D. Biotreatment of PAH-contaminated soils/sediments. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1997, 829, 103-117.
7. BRUSSEAU M. L. The impact of physical, chemical and biological factors on biodegradation: implications for in situ bioremediation. In: *Biotechnology for soil remediation. Scientific bases and practical applications*. R. Serra. C.I.P.A. S.r.l., Milan, Italy, 1998, 81-98.

8. DE JONGE H., FREIJER J. I., VERSTRATEN J. M., WESTERVELD J., VAN DER WIELEN F. W. M. Relation between bioavailability and fuel oil hydrocarbon composition in contaminated soils. *Environ. Sci. Technol.* 1997, 31, 771-775.
 9. TABAK, H.H., GOVIND R. Bioavailability and biodegradation kinetics protocol for organic pollutant compounds to achieve environmentally acceptable endpoints during bioremediation. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1997, 829, 36-61.
 10. BARKAY, T., NAVON-VENEZIA S., RON E.Z., ROSENBERG E. Enhancement of solubilization and biodegradation of polyaromatic hydrocarbons by the bioemulsifier alasan. *Appl. Environ. Microbiol.* 1999, 6, 2697-2702.
 11. SEKELSKY A.M., SHREVE G.S. Kinetic model of biosurfactant-enhanced hexadecane biodegradation by *Pseudomonas aeruginosa*. *Biotechnol. Bioeng.* 1999, 63(4), 401-409.
 12. YAKIMOV M.M., GIULIANO L., BRUNI V., SCARFI S., GOLYSHIN P.N. Characterization of antarctic hydrocarbon-degrading bacteria capable of producing bioemulsifier. *New Microbiol.* 1999, 22(3), 249-256.
 13. GRUIZ K., FENYVESI E., KRISTON E., MOLNAR M., HORVATH B. Potential use of cyclodextrins in soil bioremediation. *Journal of Inclusion Phenomena and Molecular Recognition in Chemistry* 1996, 25, 233-236.
 14. SZEJTLI J. Cyclodextrins and their inclusion complexes. In: *Proc First Int Symp on Cyclodextrins*, Akademiai Kiado, Budapest, 30.09- 2.10. 1981, D. Reidel Publishing, Dordrecht, 1982, 95-109.
 15. SZEJTLI J. Cyclodextrin thechnology. *Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherland, 1988*, 1-393.
 16. SCHWARTZ A., AND BAR R. Cyclodextrin-enhanced degradation of toluene and p-toluic acid by *Pseudomonas putida*. *Appl. Environ. Microbiol.* 1995, 61, 2727-2731.
 17. WANG J.M., MARLOWE E.M., MILLER-MAIER R.M., and BRUSSEAU M.L. Cyclodextrin-enhanced biodegradation of phenanthrene. *Environ. Sci. Technol.* 1998, 32, 1907-1912.
 18. BARDI L., MATTEI A., STEFFAN S., MARZONA M. Hydrocarbon degradation by a soil microbial population with β -cyclodextrin as surfactant to enhance bioavailability. *Enzyme and microbial technology, Vol* 27, 2000, 709-713.
-



VALUTAZIONE DELL'EFFICIENZA DI FITOESTRAZIONE DI BRASSICA NAPUS NEI CONFRONTI DI ZINCO E RAME

Gabriella Rossi, Silvia Socciarelli, Bruno Pennelli, Adele Figliolia

Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante
Via della Navicella, 2-4 - 00184 Roma

Introduzione

Negli ultimi anni hanno avuto grande impulso le ricerche condotte sulla fitodecontaminazione come strategia "soft" per il disinquinamento dei suoli (Cunningham S.D. and Lee C.R, 1995). Da alcuni studi (Förstner, 1995) è emerso come nel 70% dei siti contaminati siano coinvolti almeno due metalli, il che comporta la necessità di studiarne tra l'altro la problematica molto complessa dei possibili effetti sinergici o antagonisti. In passato sono state identificate specie vegetali in grado non solo di crescere su suoli caratterizzati da elevate quantità di diversi metalli pesanti, ma anche di accumulare forti concentrazioni di detti inquinanti nella parte aerea (fitoestrazione). Tra queste piante, definite "iperaccumulatrici" da Brooks *et al.* (1977), è da menzionare la *Thlaspi caerulescens*, della quale sono conosciuti ecotipi capaci di tollerare anche 40.000 mg kg⁻¹ di zinco nella frazione epigea (Chaney, 1983). Nonostante le sue proprietà fitoestrattive, l'utilizzazione della *T. caerulescens* è piuttosto limitata a causa della scarsa produzione di biomassa vegetale e della lentezza del ciclo vegetativo. Alcuni autori (Ebbs *et al.*, 1997) hanno riscontrato in altre specie di Brassicacee, la capacità di tollerare ed accumulare alcuni metalli pesanti tra cui zinco e cadmio. Queste piante sono caratterizzate peraltro da una elevata produzione di biomassa vegetale e ciò le rende interessanti per un loro possibile utilizzo in tecniche di fitodecontaminazione. Va precisato che sono ancora pochi gli studi sulla risposta di tali piante in presenza contemporanea di più metalli nel substrato di crescita (Nanda-Kumar *et al.*, 1995; Ebbs and Kochian, 1997; Rossi *et al.*, 2000).

Lo scopo del presente lavoro è stato quello di determinare l'accumulo di zinco e rame in piante di *Brassica napus* (colza) per valutarne l'efficienza nell'asportare detti metalli dal suolo e studiare gli effetti della presenza contemporanea dei due elementi sulla pianta.

Materiali e metodi

La prova è stata allestita in vaso, in ambiente controllato, presso il campo sperimentale Celimontano dell'Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante di Roma. E' stato utilizzato un suolo precedentemente caratterizzato, al quale è stato somministrato compost da RSU arricchito e non con Zn e/o Cu in due dosi: 300 mg kg⁻¹ e 600 mg kg⁻¹ suolo. Le differenti tesi prese in considerazione sono evidenziate nello schema seguente:

Tesi	Trattamento
T	Suolo tal quale
TC	Suolo + compost tal quale
Zn ₃₀₀	Suolo + compost arricchito con 300 mg kg ⁻¹ suolo di zinco.
Zn ₆₀₀	Suolo + compost arricchito con 600 mg kg ⁻¹ suolo di zinco
Cu ₃₀₀	Suolo + compost arricchito con 300 mg kg ⁻¹ suolo di rame
Cu ₆₀₀	Suolo + compost arricchito con 600 mg kg ⁻¹ suolo di rame
Zn ₆₀₀ Cu ₆₀₀	Suolo + compost arricchito contemporaneamente con 600 mg kg ⁻¹ suolo di zinco e 600 mg kg ⁻¹ suolo di rame

Ogni tesi è stata ripetuta in triplo seguendo uno schema a randomizzazione completa. Dopo un mese di stabilizzazione, è stata seminata la *Brassica napus* L. cv. Sponsor e successivamente, dopo cinque settimane, in corrispondenza dello stadio fenologico della levata, sono state prelevate le piante, separandole in radici, fusto e foglie. Le diverse parti vegetali sono state successivamente seccate a 60°C, pesate e macinate. Le concentrazioni dello zinco e del rame sono state determinate a seguito di mineralizzazione in acido nitrico e lettura degli estratti mediante spettrometria al plasma (I.C.P.). I risultati ottenuti sono stati sottoposti ad analisi statistica utilizzando il test delle minime differenze significative (MDS) con un livello di probabilità pari al 95% ($P \leq 0,05$).

Risultati e discussione

Il terreno utilizzato per l'esperienza è caratterizzato da tessitura franco-sabbiosa, pH subalcalino, capacità di scambio cationico media ed un buon contenuto in sostanza organica (tabella 1). E' da rilevare l'elevato contenuto in zinco assimilabile (Zn-DTPA), il cui valore di 37 mg kg⁻¹ è al di sopra dell'intervallo di attenzione proposto dal Gruppo di lavoro "Metalli pesanti" che opera all'interno della Commissione Fertilizzanti per la legge 748/84; la quantità di rame totale (140 mg kg⁻¹) cade all'interno del range di attenzione previsto per questo elemento.

La *B. napus* ha mostrato una diversa capacità di fitoestrazione nei confronti di zinco e rame come è emerso dall'esame dei risultati ottenuti.

Tabella 1. Principali caratteristiche fisico-chimiche del suolo (valori riferiti a peso secco a 105°C)

Parametro	Valore	Unità di misura
Sabbia	638	g kg ⁻¹
Limo	332	g kg ⁻¹
Argilla	30	g kg ⁻¹
Tessitura (USDA)	FS	
pH (1:2,5 in H ₂ O)	7,53	unità di pH
C tot.	28,2	g kg ⁻¹
Sost. Org.	48,5	g kg ⁻¹
P ass. mg kg ⁻¹	72,0	mg kg ⁻¹
N tot.	0,98	g kg ⁻¹
C.S.C.	18,4	meq 100g ⁻¹
Cu tot.	140,25	mg kg ⁻¹
Cu DTPA	12,58	mg kg ⁻¹
Zn tot.	201,2	mg kg ⁻¹
Zn DTPA	37,24	mg kg ⁻¹

Tabella 2. Contenuto in zinco nelle diverse sezioni vegetali di *B. napus*. (mg kg⁻¹ s.s.)

Tesi	Radici	Fusti	Foglie
T	106,47 c	58,55 d	56,08 c
TC	76,75 e	37,82 e	47,00 d
Zn ₃₀₀	79,62 d	63,85 c	92,50 b
Zn ₆₀₀	260,01 a	285,50 a	299,28 a
Zn ₆₀₀ Cu ₆₀₀	144,90 b	78,90 b	11,37 e

Tabella 3. Contenuto in rame nelle diverse sezioni vegetali di *B. napus*. (mg kg⁻¹ s.s.)

Tesi	Radici	Fusti	Foglie
T	56,25 c	7,62 b	10,54 d
TC	44,45 e	6,09 c	15,71 a
Cu ₃₀₀	51,35 d	7,68 b	1,35 c
Cu ₆₀₀	64,80 b	8,89a	12,04 b
Zn ₆₀₀ Cu ₆₀₀	71,30 a	4,83 d	2,15 e

Per quanto riguarda lo zinco (tabella 2), le quantità accumulate dall'intera pianta nelle diverse tesi seguono l'ordine Zn₆₀₀ > Zn₃₀₀ = Zn₆₀₀Cu₆₀₀ > T > TC in un intervallo che varia da 845 a 161 mg kg⁻¹ s.s. Considerando le concentrazioni di zinco nelle differenti sezioni vegetali, si osserva come nella tesi T ed in quella TC, il metallo si distribuisca pressoché in uguale misura tra la parte ipogea e quella epigea.

Nelle piante allevate su suolo contaminato con solo zinco nelle due dosi (Zn₃₀₀; Zn₆₀₀), il metallo si accumula soprattutto nella parte aerea (fusti + foglie) della pianta (66% e 69% rispettivamente) con le quantità maggiori riscontrate nelle foglie. In Zn₆₀₀ si osserva rispetto a Zn₃₀₀ un netto incremento delle concentrazioni in tutte le sezioni vegetali analizzate.

In presenza contemporanea di zinco e rame nel suolo (Zn₆₀₀Cu₆₀₀), la quantità di zinco accumulata dall'intera pianta diminuisce notevolmente differendo in modo significativo da quella riscontrata nella tesi Zn₆₀₀, con le maggiori concentrazioni nelle radici rispetto alla parte aerea, facendo ipotizzare un fenomeno di antagonismo tra i due metalli.

Per quanto riguarda il rame (tabella 3), esso tende ad accumularsi soprattutto a livello radicale in tutte le tesi considerate. In Cu₃₀₀ e

Cu_{600} , le quantità del metallo rilevate nei diversi tessuti vegetali si mantengono piuttosto basse nonostante i livelli di inquinamento del suolo. Nelle piante allevate in presenza contemporanea di zinco e rame ($\text{Zn}_{600}\text{Cu}_{600}$), si osserva una netta diminuzione delle concentrazioni nelle foglie e nei fusti rispetto a tutte le altre tesi. Anche in questo caso quindi si può rilevare una competizione negativa legata alla presenza contemporanea di detti elementi.

Da quanto finora esposto appare quindi come la *B. napus* non abbia difficoltà ad accumulare lo zinco nella parte epigea della pianta, mentre il comportamento nei confronti del rame lascia presupporre l'esistenza di un "effetto barriera" a livello radicale.

Osservando il peso della biomassa vegetale prodotta (figura 1) si evidenzia l'effetto negativo dovuto alla somministrazione combinata di Zn e Cu, la tesi $\text{Zn}_{600}\text{Cu}_{600}$ presenta infatti il peso minore tra tutte le tesi. La produzione più elevata (0,765 g/pianta) è stata riscontrata in Zn_{600} . Nel caso delle piante allevate in presenza di solo Cu (Cu_{300} e Cu_{600}), il quantitativo di biomassa vegetale prodotta è confrontabile nelle due tesi.

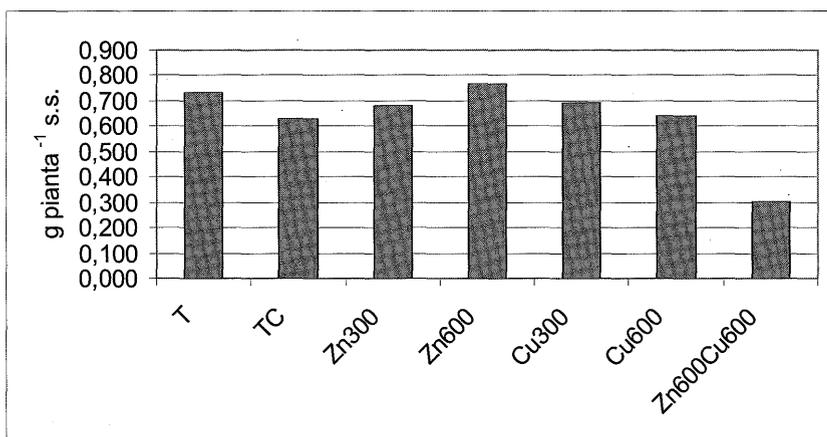
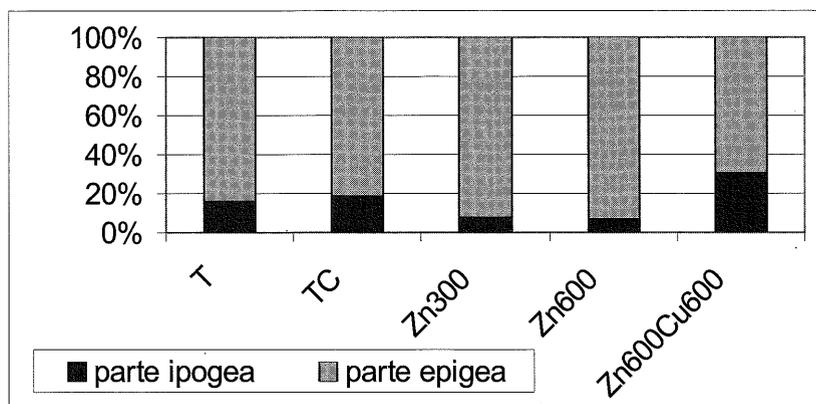


Figura 1. Produzione vegetale della *B. napus* (g pianta⁻¹ s.s.)

Anche l'esame delle quantità di zinco e di rame asportate dalle piante, calcolate tenendo conto della biomassa vegetale prodotta per ogni sezione vegetale, ha confermato una diversa capacità fitoestrattiva della *B. napus* nei confronti dei due metalli. Nel caso dello zinco (tabella 4 e figura 2), in tutte le tesi tranne che in $\text{Zn}_{600}\text{Cu}_{600}$, le maggiori asportazioni sono a carico della parte aerea, con quantità che variano da 25 μg pianta⁻¹ (TC) a 206 μg pianta⁻¹ (Zn_{600}). In $\text{Zn}_{600}\text{Cu}_{600}$, la quantità di zinco asportata dalla pianta è risultata inferiore rispetto a tutte le tesi (15 μg pianta⁻¹).

Tabella 4. Valori delle asportazioni in Zn (mg pianta⁻¹ s.s.).

Tesi	Radici	Fusti	Foglie	Pianta
T	7,45 b	15,67 c	22,25 c	45,37 c
TC	5,76 c	8,59 d	15,55 d	29,90 d
Zn ₃₀₀	5,02 d	17,37 b	35,67 b	58,06 b
Zn ₆₀₀	16,60 a	77,37 a	128,69 a	222,67 a
Zn ₆₀₀ Cu ₆₀₀	4,64 e	8,28 e	1,90 e	14,82 e

Figura 2. Zn-Percentuale di asportazione della porzione ipogea ed epigea della *B. napus*

Nel caso del rame (tabella 5 e figura 3), l'asportazione totale è stata pari a circa 10 μg pianta⁻¹, di cui il 60 % nella parte epigea, senza notevoli differenze tra le diverse tesi. Solo nel caso di inquinamento contemporaneo con zinco (Zn₆₀₀Cu₆₀₀), la quantità di rame asportata è diminuita notevolmente con la quota maggiore rilevata nelle radici.

Tabella 5. Valori delle asportazioni in Cu (mg pianta⁻¹ s.s.).

Tesi	Radici	Fusti	Foglie	Pianta
T	3,94 b	2,04 a	4,18 b	10,16 a
TC	3,33 c	1,38 c	5,20 a	9,91 a
Cu ₃₀₀	3,22 c	1,84 b	4,03 b	9,09 b
Cu ₆₀₀	4,23 a	2,09 a	4,12 b	10,43 a
Zn ₆₀₀ Cu ₆₀₀	2,28 d	0,51 d	0,36 c	3,15 c

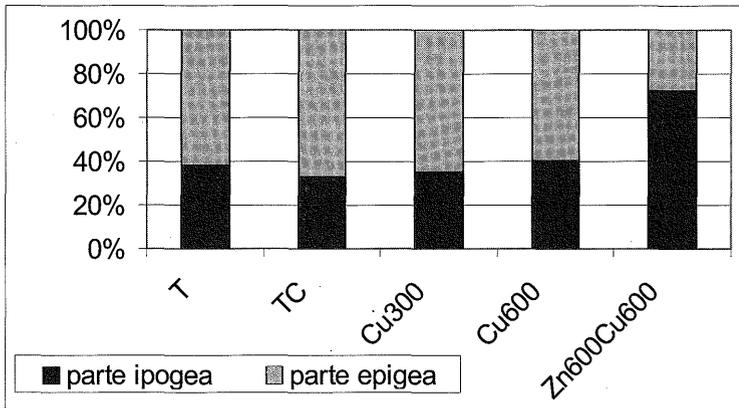


Figura 3. Cu- Percentuale di asportazione della porzione ipogea ed epigea della *B. napus*

Conclusioni

I risultati conseguiti in questo studio indicano che allo stadio fenologico della levata, la *Brassica napus* accumula lo zinco, concentrandolo soprattutto in fusti e foglie.

E' stato osservato un incremento sia delle quantità accumulate che delle asportazioni di zinco, queste ultime calcolate tenendo conto della biomassa vegetale prodotta, all'aumentare delle dosi di inquinamento del suolo. Le quote di metallo asportate dalla parte epigea rappresentano l'80-90% del totale.

Nel caso del rame invece, le maggiori concentrazioni si trovano nelle radici in tutte le tesi ed i diversi livelli di contaminazione non sembrano aver influenzato in modo evidente la capacità di accumulo della *B. napus*; l'asportazione di tale metallo nella parte epigea della pianta è stata molto bassa, senza differenziarsi dalle tesi non inquinate.

La presenza contemporanea di zinco e rame nel suolo ha influenzato negativamente tutti i parametri presi in considerazione. Particolarmente evidente è la riduzione della biomassa vegetale prodotta ed il decremento delle quantità asportate per entrambi i metalli.

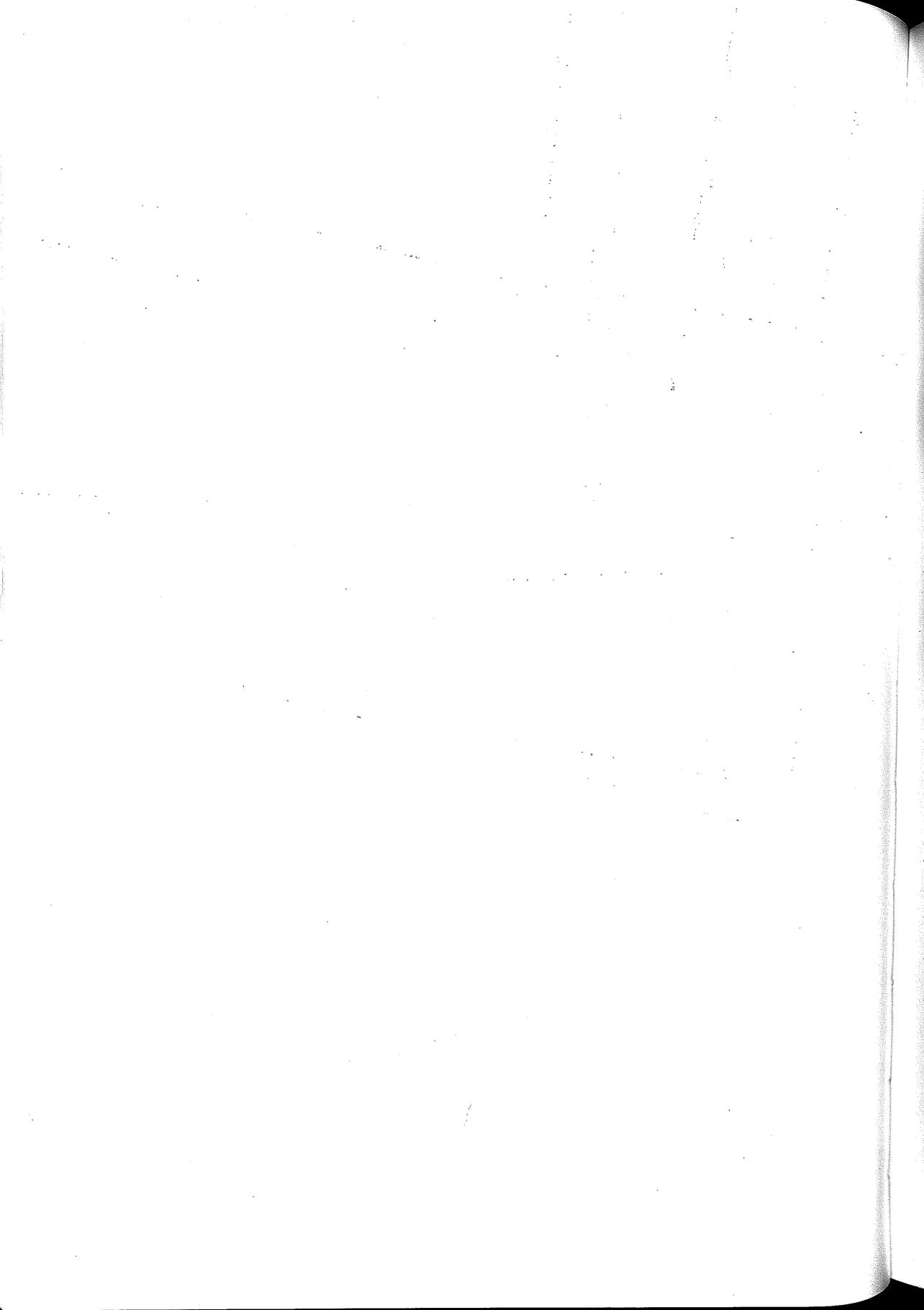
In conclusione la *B. napus* si è mostrata più idonea ad asportare lo zinco dal suolo piuttosto che il rame. Questo limita la sua eventuale utilizzazione in tecniche di fitodecontaminazione in caso di suoli che presentino elevate concentrazioni di rame. E' emersa inoltre la necessità di approfondire gli

studi riguardanti i meccanismi di antagonismo o sinergismo che si possono instaurare nel sistema suolo-pianta in caso di presenza di più metalli nel suolo.

Questi risultati sono da intendersi preliminari in quanto un valutazione globale sulla capacità di fitoestrazione della *B. napus* nei confronti di zinco e rame deve tenere conto dell'intero ciclo colturale. La ricerca sta proseguendo in tal senso.

Bibliografia

- BROOKS R.R., LEE J., REEVES R.D. AND JAFFRE T. (1977). Detection of nickeliferous rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants. *J. Geochem Explor.* 7:49-58
- CHANEY R. L., (1983). Zinc phytotoxicity. In *Zinc in soil and plants* A. D. Robson (ed.) 135-150. Kluwer Academic Publishers, dordrecht, the Netherlands.
- CUNNINGHAM S.D., C.R. LEE (1995). Phytoremediation: plant- based remediation of contaminated soil and sediments. In *Bioremediation: Science and Application. Soil Science Special Publication Number 43.*, 145-156.
- EBBS S.D., M.M. LASAT, D.J. BRADY, J. CORNISH, R. GORDON, AND L.V. KOCHIAN (1997). Phytoextraction of Cadmium and Zinc from a Contaminated Soil. *J. Environ. Qual.* 26: 1424-1430.
- EBBS S.D. AND KOCHIAN L.V. (1997). Toxicity of Zinc and Copper to Brassica Species: Implications for Phytoremediation. *J. Environ. Qual.* 26: 776-781.
- FÖRSTNER U. (1995). Land contamination by metals: Global scope and magnitude of problem., 1-33. In H. E. Allen et al. (ed.). *Metal speciation and contamination of soil.* Lewis Publishers.
- NANDA-KUMAR P.B.A., DUSHENKOV V., MOTTO H. AND RASKIN I. (1995) Phytoextraction: The use of plants to remove heavy metals from soil. *Environ Sci. Technol.* 29 (5): 1232-1238.
- ROSSI G., SOCCIARELLI S. AND FIGLIOLIA A. (2000). Phytoextraction of Cadmium and Zinc by *Brassica napus*: Preliminary Results. *InterCOAST Workshop. Action 831-Action 837-Action 838. Bioremediation*, 135-137.



DISTRIBUZIONE DI METALLI PESANTI IN SUOLI E MUSCHI DELLA SICILIA

Roberto M. Cenci ¹, Pier R. Trincherini ²,

Fabio Leva ¹, Fabio Galanti ¹

Commissione Europea, Istituto dell'Ambiente

1 Unità Suolo e Rifiuti

2 Unità Acqua

21020 Ispra (VA)

Riassunto

L'utilizzo di muschi indigeni e di suoli raccolti nella regione Sicilia, ha permesso di identificare le ricadute al suolo di contaminanti persistenti, la loro origine e la valutazione del rateo di deposizione. Complessivamente in 33 aree rurali venivano raccolti i 3 cm apicali dei caulidi di muschio appartenenti alla specie *Hypnum cupressiforme*, contestualmente nelle medesime aree venivano prelevati i 5 cm superficiali di suolo.

Per tutte le operazioni riguardanti muschi e suoli, dalla raccolta all'analisi finale della concentrazione, sono state utilizzate le metodiche pubblicate dall'Agenzia Nazionale Protezione Ambiente (Cenci, 1999 a).

La dissoluzione dei campioni di muschio e suolo è stata effettuata mediante microonde e la valutazione della concentrazione degli elementi indagati (Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn), è stata eseguita mediante Fluorescenza a Raggi X, Spettrometria di Assorbimento Atomico e Spettrometria di Massa con sorgente a Plasma Induttivo.

Per quanto riguarda i muschi, la distribuzione degli elementi, fatta eccezione per alcune aree è risultata complessivamente monotona.

Il rateo di deposizione per gli elementi indagati è compreso tra 0.06 g hm⁻² anno⁻¹ per il Hg e 55 g hm⁻² anno⁻¹ per lo Zn, tali valori sono in accordo con i tassi di deposizione calcolati utilizzando le precipitazioni secche ed umide.

L'origine delle ricadute al suolo di Cd e Hg, presenta una influenza significativa dovuta alle attività dell'uomo, per i restanti elementi le ricadute sono prevalentemente imputabili a fattori naturali. Per quanto riguarda le concentrazioni riscontrate nei suoli, esse sono risultate sovrapponibili ai valori medi italiani.

Introduzione

L'inquinamento atmosferico può essere considerato come l'insieme di contaminanti organici e inorganici in forma gassosa, liquida e solida che si ripercuotono sulla biosfera e quindi sull'uomo, provocando alterazioni degli equilibri esistenti. Tali contaminanti sono liberati nell'ambiente per lo più come sottoprodotti dell'attività umana, occorre tuttavia ricordare le fonti di origine naturale come le emissioni dei vulcani.

A seguito dell'emissione in atmosfera, gli inquinanti sono soggetti a processi di diffusione, trasporto e deposizione, nonché a trasformazioni chimico-fisiche che possono portare alla formazione di nuove specie inquinanti. Tutti questi prodotti terminano nei suoli innalzando nel tempo le concentrazioni.

E' possibile ottenere informazioni più dettagliate e complete sugli effetti e sullo stato dell'inquinamento, affiancando le analisi chimico-fisiche dirette dell'aria con tests biologici utilizzando suoli e muschi.

Alla fine degli anni '60, ricercatori svedesi utilizzarono i muschi per valutare la deposizione di metalli pesanti in Scandinavia (Rühling e Tyler, 1968). Da allora l'uso di tali organismi per scopi di monitoraggio ambientale si è sistematicamente esteso (Goodman e Roberts, 1971; Little e Martin, 1974; Rasmussen e Johnsen, 1976; Grodzinska, 1982; Nordhorn-Richter e Düll, 1982; Gydesen *et al.*, 1983; Brown, 1984; Wiersma *et al.*, 1987; Puckett, 1988; Markert e Weckert, 1989; Burton, 1990; Byerrum, 1991; Steinnes *et al.* 1992; Cenci e Muntau, 1993; Cenci 1993a; Bargagli *et al.*, 1994; Gerdol *et al.*, 1994; Kuik and Wolterbeek, 1994; Cenci *et al.*, 1995; Steinnes, 1995; Wolterbeek *et al.*, 1995; Berg *et al.*, 1966; Herpin *et al.*, 1996; Market *et al.*, 1996; Berg e Steinnes, 1997; Cenci e Palmieri, 1997; Herpin *et al.*, 1997; Liiv *et al.*, 1997; Berlekamp *et al.*, 1998; Cenci *et al.*, 1998; Rühling and Steinnes, 1998; Cenci, 1999 b; Cenci, 2000; Cenci *et al.*, 2000; Cenci *et al.*, 2001).

Scopo della ricerca

Gli scopi prefissati in questo studio sono stati i seguenti:

- * valutare la concentrazione delle ricadute al suolo di Cd, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn negli ultimi 5 anni, attraverso l'utilizzo di muschi come bioindicatori;
 - * valutare il rateo di deposizione degli elementi indagati;
-

- valutare la distribuzione degli elementi indagati nei suoli;
- valutare, mediante l'abbinamento suolo-muschio, l'origine delle ricadute discriminando tra antropica e naturale.

Fattore di Arricchimento (F.A.)

Il F.A. viene utilizzato per identificare e discriminare la reale origine delle deposizioni presenti nei muschi.

Numerosi autori hanno proposto formule che permettono l'identificazione dell'"effetto suolo" (aumento di concentrazione causato da particelle terrigene che si depositano sulle foglioline di muschio), e tra queste è stata scelta la seguente (Bargagli, 1994):

$$F.A. = \frac{[EI]_{\text{muschio}} / [Al]_{\text{muschio}}}{[EI]_{\text{suolo}} / [Al]_{\text{suolo}}}$$

[EI] = concentrazione dell'elemento

[Al] = concentrazione dell'alluminio

Se il valore del F.A. è superiore a 10, le concentrazioni riscontrate nei muschi possono essere causate da attività antropiche o naturali (attività vulcanica). Un F.A. inferiore a 10 è indice di un coinvolgimento del suolo.

Materiali e metodi

La dislocazione delle stazioni copre ciascuna provincia dell'intero territorio siciliano; per lo svolgimento di tutte le fasi dell'intero progetto, si sono seguite le metodiche relative al biomonitoraggio pubblicate dall'A.N.P.A. (Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente) (Cenci, 1999 a).

Il muschio utilizzato nella ricerca è l'epifita terrestre *Hypnum cupressiforme*. Il campionamento dei 3 cm apicali dei caulidi è stato effettuato nel mese di Gennaio 2000 allestendo 33 stazioni di raccolta. Contestualmente ai muschi si raccoglieva un campione di suolo superficiale di 5 cm di profondità e 10 cm di lato, dopo aver asportato la lettiera. La scel-

ta delle stazioni è stata effettuata in modo che fosse coperta l'intera superficie dell'isola, al fine di ottenere risultati rappresentativi delle ricadute al suolo nella regione. La mineralizzazione acida dei campioni di suolo e muschio è stata effettuata mediante microonde, mentre la quantificazione delle concentrazioni degli elementi è stata eseguita mediante Spettrometria di Assorbimento Atomico.

Discussione dei risultati

Suoli

I valori di concentrazione nei suoli siciliani sono stati principalmente utilizzati per valutare il F.A. Le concentrazioni sono elencate nella tabella 1, e sono confrontate con i valori medi italiani, europei e mondiali. La distribuzione della concentrazione per tutti gli elementi indagati è risultata disomogenea, le differenze geochimiche dei suoli siciliani sono la causa principale. Non devono comunque essere esclusi fenomeni di arricchimento dovuti alle attività dell'uomo come confermato dall'analisi dei muschi.

Nell'insieme i valori non si discostano da quelli italiani, inoltre sono risultati significativamente inferiori ai valori di concentrazione per suoli non contaminati, permettendo quindi qualsiasi uso.

Tabella 1. Confronto valori medi di concentrazione (mg kg^{-1} massa secca) nei suoli siciliani con valori di riferimento italiani, europei e mondiali

	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Media suoli Sicilia	0.34	41	0.04	41	27	79
* Media italiana	0.5	51		46	21	89
*Media europea	0.8	200		27	39	68
*Media mondiale	0.3	20		40	10	50

*Criteri per la valutazione della qualità dei suoli

Muschio

Le concentrazioni nei muschi per gli elementi Cd, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn sono riportate nella tabella 2, tali valori sono confrontati con le concentrazioni medie rilevate in Italia ed in alcune nazioni europee (Rühling and Steinnes, 1998).

Tabella 2. Concentrazione di metalli in tracce (mg kg^{-1} massa secca) rilevata nei campioni di muschio e confronto con i valori di alcune nazioni

	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
minimo	0.04	4.5	0.02	1.8	0.4	25
massimo	0.9	75	0.14	91	42.4	139
media	0.2	14.3	0.06	12.2	7.9	51
*Italia media	0.26	8.9	0.07	1.7	11.1	42.2
*Svizzera media	0.26	4.3		1.2	6.5	30.7
*Francia media	0.3	5.9	0.04	2.2	11	37
*Olanda media	3.74	23.9	0.17	15	14	68.5

*Rühling and Steinnes, 1998

Le ricadute al suolo degli elementi considerati, evidenziano una distribuzione complessivamente disomogenea. Osservando i valori del Fattore di Arricchimento, riportati in tabella 3, appaiono evidenti le influenze dovute alle attività dell'uomo, esse si riscontrano prevalentemente in quelle aree con una presenza industriale importante.

Tabella 3. Valori del Fattore di Arricchimento ottenuti nelle stazioni siciliane

Stazione	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
6	4	1	4	1	2	2
7	2	1	4	1	1	2
8	4	4	<u>12</u>	1	1	3
9	4	2	6	1	2	2
10	5	1	<u>10</u>	1	2	3
11	3	1	6	1	1	1
12	<u>12</u>	2	<u>39</u>	1	4	5
14	<u>10</u>	4	<u>25</u>	<u>11</u>	2	7
16	<u>59</u>	2	<u>98</u>	1	3	10
17	<u>76</u>	6	<u>82</u>	3	0	<u>14</u>
18	<u>80</u>	8	<u>22</u>	2	9	<u>10</u>
19	<u>57</u>	7	<u>54</u>	4	6	<u>21</u>
20	10	3	6	1	2	6
21	<u>412</u>	<u>20</u>	<u>40</u>	4	5	<u>56</u>
23	3	3	10	3	2	8
24	2	1	2	0	0	1
25	<u>26</u>	5	<u>19</u>	1	2	9
26	3	5	<u>12</u>	3	2	<u>12</u>
27	<u>14</u>	4	<u>24</u>	2	2	10
28	5	4	<u>46</u>	2	4	7
29	<u>36</u>	<u>15</u>	<u>165</u>	3	7	<u>21</u>
30	<u>14</u>	7	7	2	7	4
31	<u>11</u>	8	<u>47</u>	2	4	<u>11</u>
32	<u>11</u>	3	<u>27</u>	1	2	7
33	2	2	7	1	2	4
34	2	2	5	4	1	4
35	10	5	<u>12</u>	5	2	10
36	10	3	7	1	2	5

Gli elementi più influenzati dalle attività antropiche sono mercurio, cadmio e zinco, quest'ultimo inoltre presenta valori più elevati se raffrontati con quelli italiani e di numerose nazioni europee.

Per quanto riguarda rame e nichel, i valori sono risultati significativamente più elevati in relazione alla situazione italiana ed europea; eccezione fatta per poche nazioni, dove le concentrazioni sono risultate superiori. Nonostante le concentrazioni per i due elementi nei muschi siano alquanto elevate, le influenze dovute alle attività umane sembrano non influire significativamente.

Una discussione più dettagliata è fatta per Hg e Pb: sono stati scelti questi due elementi per la loro tossicità e per la particolare provenienza; il primo è presente prevalentemente nell'ambiente aeriforme, il secondo ha visto un massiccio utilizzo negli anni passati come additivo nelle benzine.

Mercurio

Le emissioni di mercurio provengono prevalentemente dalla fusione ed estrazione del cinabro, dall'impiego in impianti cloro-alcalini, dalla produzione di vernici, cemento e fungicidi, dalla fabbricazione e dall'utilizzo di apparecchiature a vuoto, dai processi chimici, dall'uso di combustibili fossili e dal trattamento e dallo stoccaggio dei rifiuti.

La figura 1 illustra la distribuzione spaziale delle concentrazioni di Hg; il valore minimo si è avuto nella stazione 20, i più elevati sono stati riscontrati nelle stazioni 17 (0.14 mg kg⁻¹), 24 (0.13 mg kg⁻¹), 16 (0.12 mg kg⁻¹), 29 e 30 (0.11 mg kg⁻¹). Nonostante questi valori siano significativamente superiori alla media italiana (0.07 mg kg⁻¹) e europea (0.08 mg kg⁻¹), la media totale delle stazioni rimane al di sotto avendo un valore di 0.06 mg kg⁻¹, valore simili sono stati riscontrati in Islanda, Lettonia, Norvegia, Svezia ed Ucraina (Rühling and Steinnes, 1998), paesi ad elevata naturalità e tradizionalmente aventi un alto rispetto verso l'ambiente, caratterizzati da un basso tasso d'inquinamento.

In Italia ricerche recenti sui muschi hanno dato lo stesso valore medio nel Parco Nazionale dei Monti Sibillini (Cenci *et al.*, 2001), zona a bassa pressione antropica. Precedenti studi, effettuati su muschi e suoli raccolti nel territorio della provincia di La Spezia (Cenci e Palmieri, 1997), in prossimità di un impianto per la produzione di energia elettrica, hanno evidenziato una situazione differente dall'area oggetto di questo studio con valori di Hg totali compresi fra 0.03 e 0.36 mg kg⁻¹. Un altro elemento di confronto è fornito da

uno studio effettuato nella Provincia di Reggio Emilia: in un'area a bassa pressione antropica i valori sono risultati di poco superiori con una concentrazione media di 0.08 mg kg^{-1} (Cenci *et al.*, 2000); in Friuli Venezia Giulia è stato rilevato un valore medio di 0.22 mg kg^{-1} (Pecchiari *et al.*, 1998).

Osservando la figura 1, appare evidente come le concentrazioni più elevate siano a Nord dell'isola. Per quanto riguarda l'origine del Hg, essa appare imputabile alle attività dell'uomo nel 60% delle stazioni.

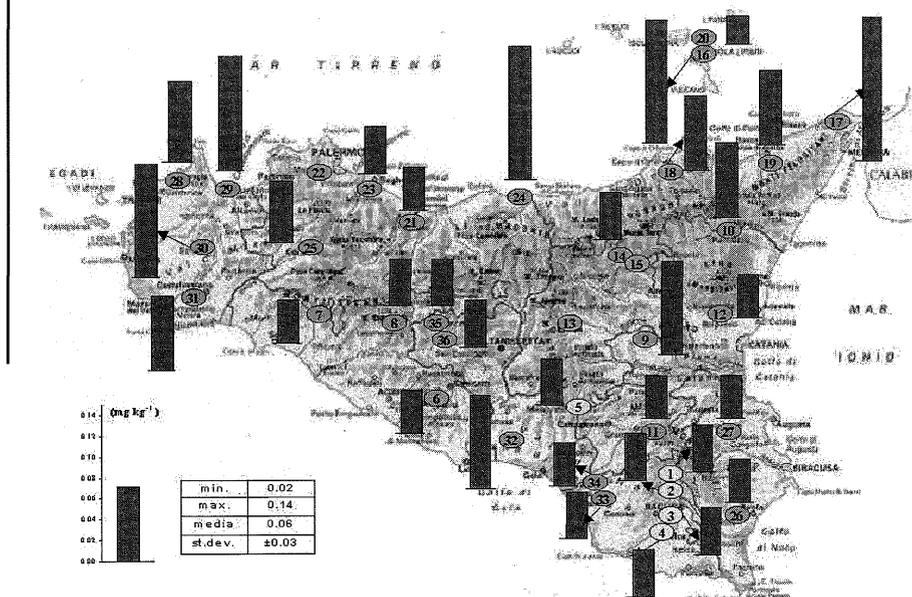


Figura 1. Distribuzione spaziale della concentrazione di Hg nei muschi

Piombo

Il piombo è introdotto nell'ambiente principalmente attraverso emissioni provenienti dalla combustione di carbone, dalle estrazioni del minerale nelle miniere, dalla produzione di ferro e acciaio, dall'incenerimento dei rifiuti e dalla fusione del rame.

Il piombo, nel recente passato, era immesso in grandi quantità nell'ambiente a causa del suo utilizzo come antidetonante nelle benzine per autovetture, ma attualmente è stata osservata una cospicua riduzione delle emissioni nei paesi industrializzati con l'introduzione della "benzina verde", che ha visto il benzene sostituire il piombo.

Nella figura 2 è illustrata la rappresentazione grafica della concentrazione del Pb nelle varie stazioni. Il minimo (0.4 mg kg^{-1}) è stato rilevato nella stazione 17, il massimo (42.4 mg kg^{-1}) nella stazione 30, mentre il valore medio è stato pari a 7.9 mg kg^{-1} . Tale valore rientra perfettamente nella media italiana (11.1 mg kg^{-1}) ed anche in quella europea (9.03 mg kg^{-1}) (Rühling and Steinnes, 1998). Tale valore medio è affine a quello rilevato a Gorizia (7.6 mg kg^{-1}) (Cenci, 2000). Tra le esperienze italiane, si possono notare valori elevati riscontrati a La Spezia (47 mg kg^{-1}), a Ispra (36 mg kg^{-1}), nella provincia di Varese (26 mg kg^{-1}), nei pressi di Bologna (20 mg kg^{-1}), nella provincia di Pistoia (19 mg kg^{-1}) (Cenci *et al.*, 2000). Il valore medio individuato nel Parco Nazionale dei Monti Sibillini (6.2 mg kg^{-1}) è leggermente inferiore, e questo dato è rilevante, in quanto si tratta di una zona a bassa pressione antropica. Si ritiene opportuno segnalare una concentrazione elevata riscontrata in Arcola (La Spezia), 835 mg kg^{-1} , osservata in un'area industriale dove avveniva la lavorazione del piombo.

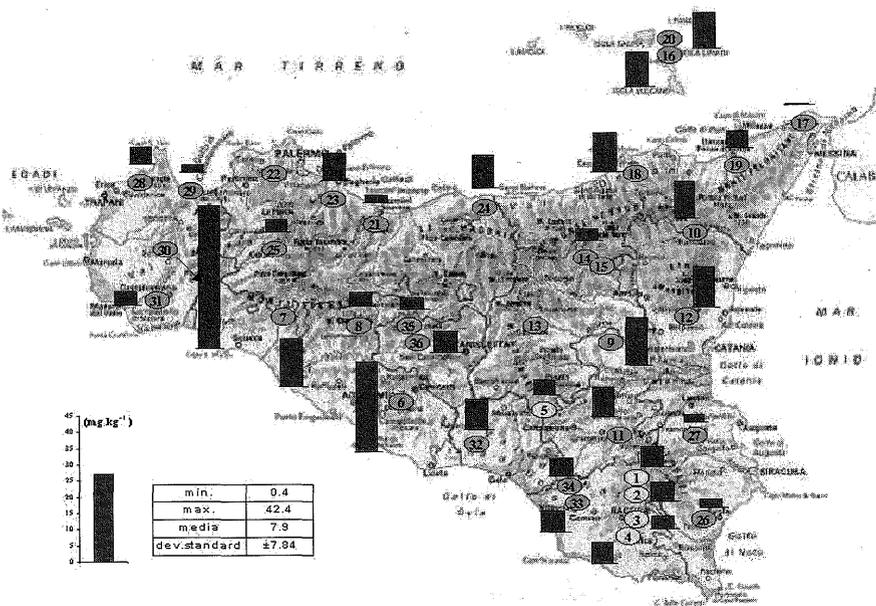


Figura 2. Distribuzione spaziale delle concentrazioni di Pb nei muschi

In Europa sono poche le nazioni che registrano concentrazioni sensibilmente inferiori a quelle riscontrate in questo lavoro: Finlandia (5.69 mg kg^{-1}), isole Far Oer (6.36 mg kg^{-1}), Islanda (0.2 mg kg^{-1}), Norvegia (5.80 mg kg^{-1}), Svezia (6.03 mg kg^{-1}), Ucraina (3.40 mg kg^{-1}), tutti paesi del nord Europa caratterizzati da alta naturalizzazione e bassa pressione antropica; la

nazione che presenta il valore medio più elevato è la Romania con 25.8 mg kg⁻¹ seguita dalla Polonia con 21.5 mg kg⁻¹ (Herpin *et al.*, 1996) e dalla Bulgaria con 18.9 mg kg⁻¹.

Per quanto riguarda il F.A. per l'elemento Pb, è risultato in tutte le stazioni inferiore a 10, si può supporre che l'origine sia da considerarsi prevalentemente crostale, le influenze antropiche non hanno agito in modo significativo nell'innalzare le concentrazioni.

Il quadro generale appare quindi molto confortante circa l'elemento, togliendo i valori di 3-4 stazioni, la distribuzione appare alquanto monotona.

Rateo di deposizione

Per stimare la quantità di metalli realmente depositata al suolo nell'arco di 1 anno, si è utilizzato il Fattore di Efficienza (F.E.). Esso è brevemente introdotto al fine di una più completa comprensione. Il Fattore di Efficienza (F.E.), sta ad indicare la quantità di un elemento e/o composto che viene adsorbito/assorbito da un determinato organismo. Nel caso specifico si tratta di elementi in traccia inorganici; il loro comportamento varia in relazione alle loro caratteristiche intrinseche e alla loro forma presente in atmosfera.

Un esempio esplicativo è fornito dall'elemento Hg; esso si trova in atmosfera prevalentemente in tre forme: vapore di Hg elementare, gas in fase reattiva e mercurio legato al particolato. Il F.E. è calcolato al fine di convertire la concentrazione in mg kg⁻¹ degli elementi accumulati nei muschi, in rateo di deposizione annuo (mg elemento area⁻² anno⁻¹).

Vengono riportati i valori del F.E. espressi in percento che sono stati qui utilizzati al fine di ottenere il rateo di deposizione: Cd (60); Cu (59); Hg (50); Ni (56); Pb (79) e Zn (46). L'accrescimento annuo dei caulidi di muschio è stato stimato in 0.6 cm, esso risulta essere un dato attendibile considerando la latitudine, le temperature medie annuali della regione ed il clima.

La formula utilizzata per calcolare il rateo di deposizione è la seguente:

$$R.D. = \frac{C_{EL}}{(F.E.) \times (T_a) \times (F_R)}$$

C_{EL} (Concentrazione dell'elemento nel muschio mg kg^{-1})

F.E. (Fattore di efficienza per l'elemento)

T_a (Periodo coperto dai caulidi espresso in anni)

F_R (Fattore di Rühling) $[\log_{10}(\text{concentrazione dell'elemento nel muschio}) = 0.59 + 1.0 \log_{10}(\text{deposizione atmosferica})] \cong 4$

Utilizzando i Fattori di Efficienza sopra elencati, i valori del R.D. che si sono ottenuti sono i seguenti: Cd 0.16; Cu 12.1; Hg 0.06; Pb 4.9; Ni 10.9 e Zn 55 g/ha anno. Tali valori sono in accordo con quanto trovato nell'area del mediterraneo, utilizzando deposimetri per la raccolta delle precipitazioni secche e umide (Ryaboshapko, 1999).

Conclusioni

I risultati della ricerca condotta su muschi e suoli della regione Sicilia, hanno confermato come i muschi possano essere impiegati con successo per valutare le ricadute al suolo di contaminanti persistenti quali i metalli pesanti. I muschi si sono rivelati essere buoni "bioaccumulatori" registrando fedelmente le ricadute avvenute nell'arco degli ultimi 5 anni.

L'utilizzo dei bioindicatori associati all'analisi dei suoli, ha permesso di individuare l'origine delle ricadute nella regione Sicilia. Tali ricadute sono risultate essere disomogenee e in parte influenzate dalle attività dell'uomo.

Partendo dai valori "freddi" di concentrazione nei muschi, si sono ottenuti i ratei di deposizione che illustrano bene ciò che accade nella realtà, tali valori sono risultati sovrapponibili a quelli ottenuti con la raccolta delle deposizioni secche e umide.

In definitiva, si può affermare che globalmente la regione Sicilia, è caratterizzata da una buona qualità dell'aria, per quanto riguarda i metalli; sarebbero in ogni caso auspicabili ulteriori ricerche affiancando all'utilizzo dei muschi/suoli, l'utilizzo delle centraline elettroniche di rilevamento.

La chiave di lettura con cui si deve considerare l'utilizzo della bioindicazione tramite i muschi è la seguente: tecnica semplice, rapida ed economica per identificare le aree maggiormente colpite da contaminazione, utile per monitorare sia macro aree, che micro aree, ma non deve essere intesa come una tecnica sostitutiva delle centraline elettroniche di rilevamento.

In conclusione, l'elevata efficienza dei muschi come bioindicatori dell'inquinamento atmosferico, la possibilità di effettuare una densità di campionamento elevata rispetto alle misurazioni dirette, e i costi ridotti rispetto ad altre tecniche, permettono di confermare che l'utilizzo di tali organismi per il monitoraggio dell'inquinamento atmosferico si presenta molto vantaggioso.

Bibliografia

- BARGAGLI R., BATTISTI E., CARDAIOLI E., FORMICHI P. E NELLI L. (1994) La deposizione atmosferica di elementi in tracce in Italia. Prime rivelazioni mediante i muschi. *Inquinamento*, 2, 48-58 pp.
- BERG T., PEDERSEN U. AND STEINNES E. (1996) Environmental indicators for long-range atmospheric transported heavy metals based on national moss surveys, *Environ. Monit. Assess.*, 43, 11-17 pp.
- BERG T. AND STEINNES T. (1997) Recent trends in atmospheric deposition of trace elements in Norway as evident from the 1995 moss survey, *The Science of the Total Environment*, 208, 197-206 pp.
- BERLEKAMP J., HERPIN U., MATTHIES M., LIETH H., MARKERT B., WECKERT V., FRIESE K., WOLTERBEEK B., VERBURG T., ZINNER H. J. AND SIEWERS U. (1998) Geographic classification of heavy metal concentrations in mosses and stream sediments in the Federal Republic of Germany. *Water, Air, and Soil Pollution*, 101, 177-195 pp.
- BYERRUM R. H. (1991). *Metal and Their Compounds in the Environment*. Ed. Merian E., 1289-1297 pp.
- BROWN D. H. (1984) Uptake of mineral elements and their use in pollution monitoring. *Experimental Biology of Bryophytes*, 229-255 pp.
- BURTON M. G. S. (1990) Terrestrial and aquatic bryophytes as monitors of environmental contaminants in urban and industrial habitats. *Bot J Linnean Soc.*, 104, 267-280 pp.
- CENCI R. M. (1993 a) Muschi acquatici quali bioindicatori della contaminazione da elementi in tracce. Istituto della Enciclopedia Italiana fondata da Giovanni Treccani. *Cultura e Scuola*.
- CENCI R. M. E MUNTAU H. (1993) L'utilizzo dei muschi acquatici quali bioindicatori di inquinamento nelle acque da parte di metalli pesanti. *Inquinamento*, 25 (1), 42-48 pp.
- CENCI R. M., PALMIERI F., NERI R., PARACCHINI L. E PAPUCCI C. (1995) Muschi e suoli per il controllo della contaminazione ambientale da metalli, *Convegno "La Città e l'ENEL"*. Comune della Spezia, 93-120 pp.
- CENCI R.M. E PALMIERI F. (1997) La qualità delle acque lotiche e lentiche controllata mediante i muschi. *Atti VIII° Congresso Internazionale. European Communities Biologists Association. Igiene dell'ambiente e territorio*, 2: 399-428 pp.
- CENCI R. M., PALMIERI F., FACCHETTI S., MOUSTY F. AND PANZERI V. (1998) Le deposizioni atmosferiche in una micro area, valutate utilizzando suoli e muschi. *Biologi Italiani*, 28 (10), 20-36 pp.
- CENCI R. M., LEVA F., GERONIMI A., DAPIAGGI M., BERGONZONI M., BARBERO P. & TOUSSAINT N. (2000). Poatica (RE) landfill: heavy metal depositions evaluated using transplanted mosses. *SIDSA 2000 International Symposium on Sanitary a Environmental Engineering*, 3, 199-203 pp.
- CENCI R. M. (1999 a). L'utilizzo di muschi indigeni e trapiantati per valutare in micro e macro aree le ricadute al suolo di elementi in tracce: proposte metodologiche. Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. *Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale. Serie Atti 2/1999*, 241-263 pp.
- CENCI R.M. (1999 b). Le ricadute al suolo di origine antropica valutate utilizzando i muschi. Indagine in micro e macro aree. *La valutazione d'impatto ambientale in Italia*. Editore Franco Angeli, 118-136 pp.
- CENCI R. M. 2000. Utilizzo di bioindicatori in Italia e in Europa: trent'anni di storia. *Seconda Giornata per l'Ambiente della Corte Suprema di Cassazione*, 85-97 pp.
- CENCI R.M., ALEFFI M., LEVA F., TRINCHERINI P., CORACE C., DI NICOLANTONIO S. E ALLEGRI M.C.. (2001). Parco Nazionale dei Monti Sibillini: suoli e muschi indigeni per valutare le ricadute di elementi in tracce. *EUR Report 19750 IT.*, 24 pp.

- GERDOL R., DEGETTO S., MAZZOTTA D. AND VECCHIATI G. (1994) The vertical distribution of the Cs-137 derived from the Chernobyl fall-out in the uppermost Sphagnum layer two peatlands in the southern Alps (Italy). *Water, Air and Soil Pollution*, 75, 93-106 pp.
- GYDESEN H., PILEGARD K., RASMUSSEN L. AND RÜHLING, A. (1983) Moss analysis used as means of suveying the atmospheric heavy metals deposition in Sweden Denmark and Ggreenlandin 1980. *Bulletin SNV PM*, 1670, 1-44 pp.
- GOODMAN G. T. AND ROBERTS T. M. (1971) Plants and soils as indicators of metals in the air. *Nature*, 231, 287-292 pp.
- GRODZINSKA K. (1982) Intern. Workshop, Monitoring of air pollutants by plants – method and problems, *Proc.*, 33 pp.
- HERPIN U., BERLEKAMP J., MARKERT B., WOLTERBECK B., GRODZINSKA K., SIEWERS U., LIETH H. AND WECKERT, V. (1996) The distribution of heavy metals in a transect of the three states of the Netherlands, Germany and Poland determined with the aid of moss monitoring. *The Science of the Total Environment*, 187, 185-198 pp.
- HERPIN U., MARKERT B., WECKERT V., BERLEKAMP J., FRIESEK., SIEWERS U. AND LIETH, W. (1997) Retrospective analysis of heavy metal concentrations at selected locations in the Federal Republic of Germany using moss material from a herbarium. *The Science of the Total Environment* 205, 1-12 pp.
- KUIK P. AND WOLTERBEEK T.H. (1994) Factor analysis of atmospheric trace-element deposition data in the Netherlands obtained by moss monitoring. *Water, Air and Soil Pollution*, 84, 323-346 pp.
- LIIV S., SANDER E. AND EENSAAR A. (1997) Territorial distribution of heavy metals content in Estonian mosses. Methodological investigation. *J. Ecol. Chem.*, 3 (2), 101-110 pp.
- LITTLE P AND MARTIN M.H. (1974) Biological monitoring of heavy metal pollution. *Environmental pollution*, 6, 1-19 pp.
- MARKERT B. AND WECKERT V. (1989) Fluctuations of element concentrations during the growing season of *Polytrichum formosum* (Hedw). *Water, Air and Soil Pollution*, 43, 177-189 pp.
- MARKERT B., HERPIN U., BERIEKAMP J., OCHLMANN J., GRODZINSKA K., MANKOVSKA B., SUCHARA I., SIEWERS U., WECKERT V. AND LIETH H. (1996) A comparison of heavy metal deposition in selected Eastern European countries using the moss monitoring method with special emphasis on the "Black Triangle". *The Science of the Total Environment*, 193, 85-100 pp.
- NORDHORN-RICHTER G. AND DULL R. (1982) Monitoring of air pollutants by plants, 947 pp.
- PECCHIARI M., FRANCHI M. E PISON S. (1998) Gortania. *Atti del museo friulano di storia naturale*, 20, 119-131 pp.
- PUCKETT K. J. (1988) Bryophytes and lichens as monitors of metal deposition. Lichens, *Bryophytes and Air Quality*, 30, 231-267 pp.
- RASMUSSEN L. AND JOHNSEN I. (1976) Uptake of minerals, particularly metals, by epiphytic Hypnum cupressiforme. *Oikos*, 27, 483-487 pp.
- ROSS H. (1990) On the use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) for estimating atmospheric trace metal deposition. *Water, Air and Soil Pollution*, 50, 63-76 pp.
- RYABOSHAPKO A., ILYIN I., GUSEV A., AFINOGENOVA O., BERG T. AND HJELLBREKKE A.G (1999) Monitoring and modelling of lead, cadmium and mercury transboundary transport in the atmosphere of Europe. *Joint report of EMEP Centres: MSC-E and CCC, Meteorological Synthesizing Centre-East, Russia*, 123 pp.
- RÜHLING A. AND TYLER, C. (1968) An ecological approach to the lead problem. *Botaniska Notiser* 122, 248-342 pp.
- RÜHLING A. AND STEINNES E. (1998). Atmospheric Heavy Metal Deposition in Europe 1995-1996, Nord, 67 pp.
- STEINNES E., RAMBAK J. P. AND HANSEN J. E. (1992) Large scale multi-element survey of atmospheric deposition using naturally growing moss as biomonitor. *Chemosphere*, 25, 735-752 pp.
- STEINNES E. (1995). A critical evaluation of the use of naturally growing mosses to monitor the deposition of atmospheric metals, *The Science of the Total Environment*, 160/161, 243-249 pp.
- WIERSMA B. G., HARMON M. E. AND GREENE S. E. (1987) Elemental composition of *Hylocomium splendens* hoh rainforest olympic national park Washington, USA. *Chemosphere*, 16, 2631-2645 pp.
- WOLTERBEEK H. T., KUIK P., VERBURG T. G., HERPIN U., MARKERT B. AND THÖNI L. (1995) Moss interspecies comparisons in trace element concentrations, *Environ. Monit. Assess.*, 35, 263-286 pp.

INFLUENZA DI LEGANTI ORGANICI A BASSO PESO MOLECOLARE SULL' ADSORBIMENTO DI Pb^{2+} SU OSSIDI MISTI DI FERRO ED ALLUMINIO

Mariarosaria Ricciardella, Massimo Pigna, Antonio Violante

Dipartimento di Scienze del Suolo, della Pianta e dell' Ambiente, Sezione Scienze Chimico Agrarie
Università degli Studi di Napoli Federico II
Via Università, 100 - 80055 Portici (Napoli)

Le specie idrolitiche del ferro, dell'alluminio e del manganese cristalline, criptocristalline o non cristalline presenti negli ambienti naturali come fasi separate o fissate sulle superfici di fillosilicati, presentano elevata capacità ad adsorbire anioni e cationi inorganici ed organici, sostanze xenobiotiche e macromolecole, quali enzimi, polisaccaridi e nucleotidi (Goh *et al.*, 1986; Jackson, 1998; Violante *et al.*, 2002).

Composti organici prodotti nella biosfera, in particolare gli acidi umici e fulvici, esercitano ruolo importantissimo nella complessazione di specie idrolitiche del ferro e dell'alluminio nei suoli, nei sedimenti e nelle acque naturali, formando complessi solubili ed insolubili (Tan, 1986). Leganti organici a basso peso molecolare quali acidi organici mono, bi e tricarbossilici, amminoacidi, fenoli, monosaccaridi, e siderofori, sono particolarmente abbondanti negli ambienti naturali dove intensa è l'attività biologica, come negli orizzonti superficiali dei suoli e nella rizosfera (Watteau e Berthelin, 1990; Violante e Gianfreda, 2000). All'interfaccia suolo-radice, in particolare, essi raggiungono concentrazioni relativamente elevate (10^{-5} - 10^{-3} mM), essendo continuamente rilasciati dalle piante, come essudati radicali, e dai microrganismi. Tali sostanze sono di grande importanza nel modificare le reazioni idrolitiche del ferro, dell'alluminio e del manganese, nel ridurre la tossicità nei suoli acidi, nel regolare l'adsorbimento ed il desorbimento di nutrienti e sostanze inquinanti su minerali a carica variabile.

Il ruolo che leganti organici chelanti possono avere sull'adsorbimento di metalli pesanti su minerali a carica variabile non è stato ancora chiarito e molte ricerche hanno dato risultati contrastanti. Inoltre mentre ricerche sull'adsorbimento/desorbimento di ioni di metalli pesanti su/da ossidi di Fe ed Al sono state condotte negli ultimi decenni (Forbes *et al.*, 1976; Goh *et al.*, 1986; McBride, 1989, 1991; Jackson, 1998; Xue and Huang, 1995; Zhou *et al.*, 1999), nessun contributo è noto sulla fissazione di metalli pesanti su ossidi misti Fe-Al. Nei suoli la formazione di ossidi misti Fe-Al potrebbe essere la regola e non l'eccezione (Colombo e Violante, 1996; Cornell e Schwertmann, 1996).

Obiettivo di questo lavoro è stato studiare l'adsorbimento di ioni Pb^{2+} a pH 4.0 in assenza e presenza di concentrazioni crescenti di ioni ossalato o tartrato su ossidi misti Fe-Al caratterizzati da diversa composizione chimica e proprietà di superficie.

Materiali e Metodi

Sono stati utilizzati come substrati adsorbenti sei ossidi misti Fe-Al preparati aggiungendo NaOH 1 M fino a pH 5,5 a soluzioni 0,05 M di $Al(NO_3)_3$ e $Fe(NO_3)_3$ con rapporti molarini iniziali Fe/Al (R) pari a 0, 1, 2, 4, 10 ed ∞ , (indicati successivamente come: R0, R1, R2, R4, R10 e $R\infty$). Tali campioni, invecchiati 7 giorni a 20°C sono stati centrifugati, lavati, dializzati e liofilizzati.

La determinazione dell'area superficiale degli ossidi è stata effettuata secondo la metodica di Quirk (1955).

Tutti gli ossidi sono stati sottoposti ad analisi diffrattometrica ai raggi X utilizzando un diffrattometro Rigaku e sono stati osservati al microscopio elettronico a trasmissione (TEM) e a forza atomica (AFM).

Le prove di adsorbimento di Pb in assenza o presenza di ioni tartrato (TR) o ossalato (OX) sugli ossidi sono state realizzate a pH 4.0 aggiungendo a 10 mg di ciascun campione in 25 ml di KCl 0.02 M quantità costanti di Pb ($50 \mu\text{mol} \text{ g}^{-1}$) e quantità crescenti di acido ossalico o acido tartarico (0, 25, 50, 100, 200 e $300 \mu\text{mol} \text{ g}^{-1}$) in modo da avere rapporti molarini legante organico/Pb pari a 0, 0.5, 1, 2, 4 e 6.

Le sospensioni sono state tenute sotto agitazione per 4 ore ed il pH è stato controllato per tutta la durata dell'esperimento. Le sospensioni finali sono state centrifugate a 10.000 giri per 20 min e nel surnatante è stato determinato il Pb^{2+} per spettrofotometria in assorbimento atomico (spettrofotometro Perkin-Elmer AAnalyst 700). La quantità di metallo adsorbito è stata determinata sottraendo alla quantità inizialmente aggiunta quella determinata nella soluzione all'equilibrio.

Ulteriore indagini sono state effettuate studiando l'influenza della diversa modalità di aggiunta di piombo e di tartrato sugli ossidi. Il tartrato ed il piombo sono stati aggiunti ai campioni ad un rapporto molare iniziale $TR/Pb = 4.0$ ed a pH = 4.0 con modalità diverse come di seguito riportato:

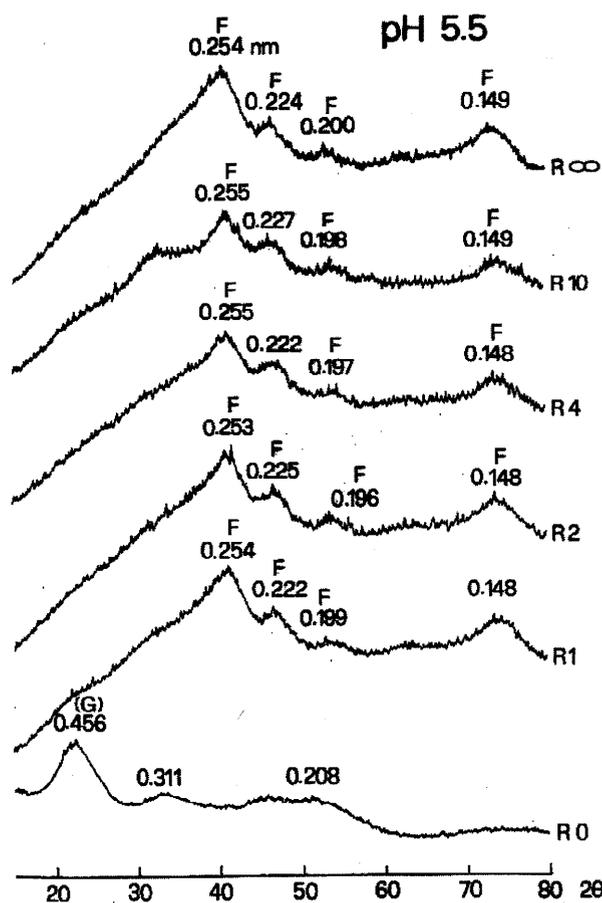
A) il piombo ed il tartrato sono stati aggiunti contemporaneamente agli ossidi (*sistema Pb + TR*);

B) il Pb è stato aggiunto 30 minuti prima del tartrato (*sistema Pb before TR*);

C) il tartrato è stato aggiunto 30 minuti prima del piombo (*sistema TR before Pb*).

E' stato seguito lo stesso procedimento descritto in precedenza per la determinazione del metallo adsorbito.

Risultati e Discussione



Tutti gli ossidi misti di Fe-Al (R1 - R10) e gli ossidi di Fe (R_{∞}) ed Al (R0) invecchiati per 7 giorni a 20 °C hanno mostrato ai raggi X presenza di materiali a scarso ordine cristallino o cripto-cristallini (Figura 1). Il campione R0, in particolare, ha evidenziato presenza di gibbsite microcristallina come appare evidente dai picchi slargati a 0.456 e 0.311 nm. Tutti gli altri campioni hanno mostrato invece presenza di ferridrite caratterizzata dai picchi slargati a circa 0.255, 0.225, 0.200, 0.148 nm.

Osservazioni al microscopio elettronico a trasmissione e a forza atomica hanno permesso di osservare particelle sferoidali di diametro inferiore a 20 nm, spesso costituite da cristalli di di-

Figura 1. Diffratogrammi degli ossidi (R0, R1, R2, R4, R10 ed R_{∞}) invecchiati 7 giorni a 20°C. R indica il rapporto molare iniziale Fe/Al. (G) indica gibbsite a scarso ordine cristallino, F ferridrite

mensioni molto ridotte fortemente aggregati tra loro. Tali particelle hanno mostrato uno spessore variabile da 3.2 a 4.5 nm (dati non mostrati).

Tutti gli ossidi hanno mostrato superficie specifica elevata e compresa tra 198 (R_{∞}) e 285 (R_{10}) m^2/g (Figura 2). E' interessante notare che gli ossidi misti di ferro ed alluminio (R_{1-R10}) sono risultati caratterizzati da superficie specifica simile (275-285 m^2/g) ma superiore a quella degli standard R_0 ed R_{∞} (200-240 m^2/g).

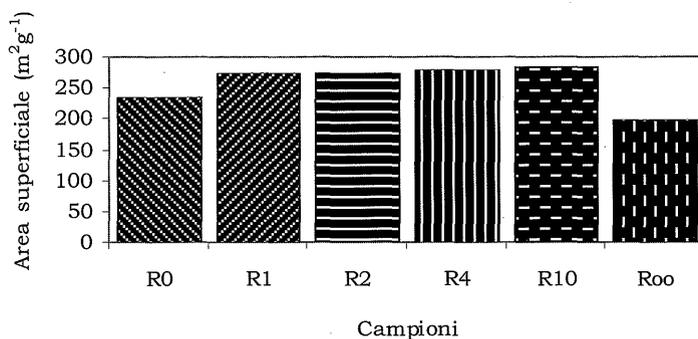


Figura 2. Area superficiale degli ossidi

E' stata studiata l'influenza dell'ossalato e del tartrato sull'adsorbimento del Pb (50 μ mol di Pb aggiunto per g di ossido) a pH 4.0 sugli ossidi di Al (R_0), Fe (R_{∞}) e sugli ossidi misti Fe-Al (R_{1-R10}). Gli esperimenti sono stati condotti aggiungendo quantità crescenti di ciascun legante organico in modo da avere rapporti molari iniziali legante/Pb pari a 0, 0.5, 1, 2, 4 e 6 (Figure 3 e 4).

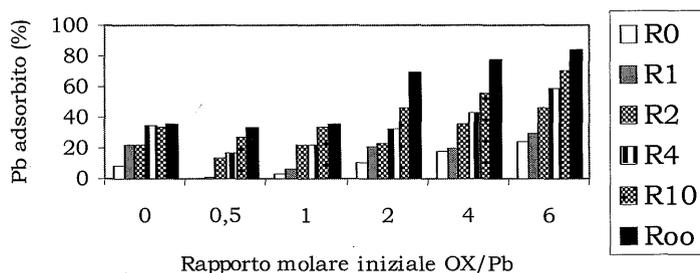


Figura 3. Quantità di Pb adsorbito (%) su ossidi di Al (R_0), Fe (R_{∞}) e ossidi misti Fe-Al (R_{1-R10}) a pH 4.0 in presenza di quantità diverse di ossalato (OX) a rapporto molare iniziale OX/Pb pari a 0, 0.5, 1, 2, 4, 6

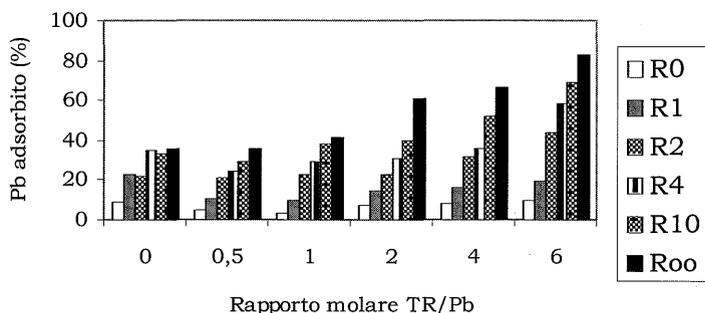


Figura 4. Quantità di Pb adsorbito (%) su ossidi di Al (R0), Fe (R_{∞}) e ossidi misti Fe-Al (R1-R10) a pH 4.0 in presenza di quantità diverse di tartrato (TR) a rapporto molare iniziale TR/Pb pari a 0, 0,5, 1, 2, 4, 6

L'adsorbimento del Pb a pH 4.0 in assenza di leganti organici è variato dal 9 % su R0 al 33.5 -36 % sugli ossidi R4, R10 e R_{∞} . I dati riportati nelle Figure 3 e 4 mostrano chiaramente che la presenza di leganti organici fino a rapporto molare iniziale legante/Pb pari a 6.0 ha facilitato la fissazione del Pb sulle superfici degli ossidi. Di solito maggiore il rapporto legante/Pb maggiore la quantità di metallo adsorbito. Tale incremento è risultato particolarmente elevato per gli ossidi più ricchi in Fe (R4, R10 ed R_{∞}) anche se incrementi significativi si sono riscontrati anche sui campioni R0 ed R2. Tale incremento è verificato sia determinando la quantità di Pb adsorbita come percento della quantità inizialmente aggiunta (Figure 3 e 4) sia come $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ (dati non mostrati). Ciò sta ad indicare che l'adsorbimento del Pb sia in assenza che in presenza di ossalato o tartrato sugli ossidi di Al e di Fe, e sugli ossidi misti Fe-Al è funzione non solo della superficie specifica dei materiali adsorbenti ma anche della natura e composizione chimica degli stessi.

Molti fattori influenzano l'adsorbimento di metalli pesanti (Me) su minerali a carica variabile in presenza di concentrazioni crescenti di leganti organici chelanti (L) (Goldberg *et al.*, 1996; McBride, 1989; Jackson, 1998). Tra i più importanti fattori possiamo considerare:

- 1) variazione della carica di superficie dei minerali a carica variabile per adsorbimento di anioni organici ad alta affinità per le superfici adsorbenti.
- 2) numero di siti disponibili per l'adsorbimento del metallo (Me) dopo aggiunta di leganti organici;
- 3) natura e carica delle specie MeL_x in soluzione;
- 4) affinità dei leganti e dei complessi tra Me e leganti per le superfici degli ossidi;
- 5) costante di stabilità del legante organico L per Me e per l'Al ed il Fe presenti sulle superfici dei minerali a carica variabile.

In questo studio il tartrato e l'ossalato sono stati completamente adsorbiti sulle superfici degli ossidi ed hanno favorito l'adsorbimento di ioni Pb^{2+} abbassando la carica di superficie ed il punto di carica zero (pzc) degli ossidi (Goldberg et al, 1996; Jackson, 1998).

Il Pb forma complessi molto stabili con ossalato e tartrato, come MeL , MeL_2 etc, molti dei quali carichi negativamente ($PbOX_2$, $PbTR$, $PbTR_2$) o non carichi ($PbOX$). Secondo alcuni autori (Davis and Leckie, 1978; McBride, 1991; Xue and Huang, 1995; Goldberg et al., 1996) diversi leganti organici aumentano l'adsorbimento di metalli pesanti formando complessi stabili ternari:

Superficie ossido-Me-legante

La formazione di complessi del Pb con ossalato e tartrato sembra aver favorito la formazione di complessi ternari particolarmente sulle superfici più ricche in ferro.

Influenza della modalità di aggiunta di Pb e tartrato sugli ossidi

L'adsorbimento di ioni Pb^{2+} sugli ossidi è stato influenzato non solo dalla presenza di leganti organici ma anche dalla modalità di aggiunta dei singoli componenti (metallo pesante, legante organico [tartrato] ed ossido).

La Figura 5 mostra le quantità di ioni Pb adsorbite a pH 4.0 sugli ossidi espresse come % della quantità inizialmente aggiunta quando il Pb è stato aggiunto da solo (Pb), quando Pb e tartrato sono stati aggiunti contemporaneamente (sistemi Pb + TR), quando il Pb è stato aggiunto 30 minuti prima del tartrato (sistemi Pb before TR) e quando il tartrato è stato aggiunto 30 minuti dopo (sistemi TR before Pb). Gli esperimenti sono stati condotti a rapporti molari iniziali tartrato/Pb = 4.0.

E' stato confermato che le quantità di Pb più elevate si sono riscontrate di solito sugli ossidi più ricchi in Fe ($R_{\infty} > R_{10} > R_4 > R_2 > R_1 > R_0$) anche variando la modalità di aggiunta di Pb e tartrato. Tuttavia su ogni singolo ossido è stato accertato più elevato adsorbimento del Pb nei sistemi TR before Pb rispetto agli altri e comunque è stato di solito rispettato il seguente ordine:

$$TR \text{ before } Pb > Pb \text{ before } TR > Pb+TR > Pb$$

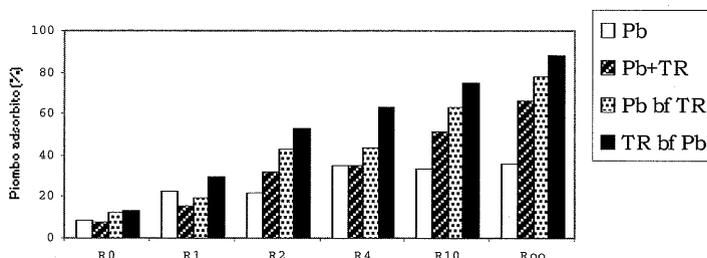


Figura 5. Effetto della modalità di aggiunta di Pb e tartrato (TR) sull'adsorbimento del Pb sugli ossidi di Al (R0), Fe (R_{∞}) e ossidi misti Fe-Al (R1-R10). Il Pb è stato aggiunto da solo (Pb), contemporaneamente al TR (Pb + TR), prima del TR (Pb before TR) e dopo il TR (TR before Pb)

Conclusioni

È stato accertato che ioni Al e Fe possono coprecipitare formando ossidi misti Fe-Al a rapporti molari diversi caratterizzati da diversa natura, composizione chimica, stabilità e reattività. Gli ossidi misti Fe-Al formano dopo tempi relativamente brevi ferridrite a scarso ordine cristallino.

Tutti gli ossidi misti presentano alta reattività nei confronti di ioni Pb soprattutto per l'elevata quantità di materiali caratterizzati da estesa superficie specifica. E' stato accertato che maggiore il contenuto di Fe negli ossidi misti Fe-Al maggiore l'affinità del Pb per le superfici degli ossidi.

In presenza di leganti organici (ossalato o tartrato) l'adsorbimento del Pb è aumentato all'aumentare del rapporto molare legante organico/metallo. La formazione di complessi MeL_x sembra facilitare l'adsorbimento sulle superfici degli ossidi per formazione di complessi ternari ossido-legante organico-metallo.

L'ordine di aggiunta di ioni di Pb e tartrato sui minerali adsorbenti influenza la quantità di metallo pesante adsorbibile. Maggiori quantità di Pb sono risultate fissate quando il tartrato è stato aggiunto prima del Pb che dopo o contemporaneamente al Pb probabilmente per aver abbassato il punto di carica zero del materiale adsorbente.

I risultati ottenuti in questa ricerca mostrano che nell'ambiente suolo e particolarmente nella rizosfera la presenza di biomolecole a basso peso molecolare ha un ruolo fondamentale sulle reazioni di adsorbimento e desorbimento di metalli pesanti sui colloidali inorganici del suolo. Gli ossidi misti Fe-Al che possono facilmente formarsi negli ambienti naturali mostrano una capacità adsorbente particolarmente elevata.

Bibliografia

- COLOMBO C., VIOLANTE A., 1996. Effect of time and temperature on the chemical composition and crystallization of mixed iron and aluminum species. *Clays Clay Miner. 1*: 113-120
- CORNELL R.M., SCHWERTMANN U., 1996. The Iron Oxides: Structure, Properties, Reactions, Occurrences and Uses. VCH, Weinheim.
- DAVIS J. A., LECKIE J. O., 1978. Effect of adsorbed complexing ligands on trace element uptake by hydrous oxides. *Environ. Sci. Technol. 12*: 1309-1315.
- FORBES E. A., POSNER A. M., AND QUIRK J. F., 1976. The specific adsorption of divalent Cd, Co, Cu, Pb, and Zn on goethite. *J. Soil Sci. 27*, 154-166.
- GOH T. B., VIOLANTE A., HUANG P. M., 1986. Influence of tannic acid on retention of copper and zinc by aluminum precipitation products. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50: 820-825.
- GOLDBERG S., DAVIS J.A., HEM J.D., 1996. The surface chemistry of aluminum oxides and hydroxides. In: *The Environmental Chemistry of Aluminum*. (G. Sposito, ed), Second Edition., Lewis Publishers, Boca Raton, FL. (USA), pp 271-331.
- JACKSON T.A., 1998. The biogeochemical and ecological significance of interactions between colloidal minerals and trace elements. In: *Environmental Interactions of Clays*. (A. Parker and J.E. Rae, eds). Springer-Verlag, Berlin, pp. 93-205.
- MCBRIDE M. B., 1989. Reactions controlling heavy metal solubility in soils. *Adv. Soil Sci 10*: 1-56.
- MCBRIDE M. B., 1991. Processes of heavy and transition metal sorption by soil minerals. In: Interactions at the soil colloid-soil solution interface (Bolt G. H., De Boodt M. F., Hayes M. H. B., McBride M. B., De Strooper E. B. A., eds), Kluwer, Dordrecht, pp 149-175.
- QUIRK J. P., 1955. Significance of surface area calculated from water vapour sorption isotherms by use of the B. E. T. equation. *Soil Sci. 80*: 423-430.
- TAN K. H., 1986. Degradation of soil minerals by organic acids. In: *Interactions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes*. (P.M. Huang and M. Schnitzer eds.) Spec. Publ. No. 17. Soil Science Society of America, Madison Wis., pp. 1-27.
- VIOLANTE A., GIANFREDA L., 2000. Role of biomolecules in the formation and reactivity towards nutrients and organics of variable charge minerals and organo-mineral complexes in soil environment, from *Soil Biochemistry* (J.-M Bollag and Stotsky eds) Marcel & Dekker, Chapter 4, pp. 207-270.
- VIOLANTE A., KRISHNAMURTI G.S.R., HUANG P.M., 2002. Impact of organic substances on the formation of metal oxides in soil environments. In: *Interactions between soil particles and microorganisms and their impact on the terrestrial environment* (P.M. Huang et al., eds). John Wiley & Sons Chapter 4 (in stampa).
- WATTEAU F., BERTHELIN, J., 1990. Iron solubilization by mycorrhizal fungi producing siderophores. *Symbiosis 9*: 59-67.
- XUE J., HUANG, P.M., 1995. Zinc adsorption-desorption on short-range ordered iron oxides as influenced by citric acid during its formation. *Geoderma 64*: 343-356.
- ZHOU D., DE CRISTOFARO A., HE J.Z., VIOLANTE A., 1999. Effect of oxalate on adsorption of copper on goethite, bayerite and kaolinite. In : *Clays for our future. Proc. 11th Int Clay Conf.* (Kodama et al. eds), pp. 321-330.

EFFETTO DI MISCELE COMPLESSE DI FENOLI SULL'ATTIVITÀ DETOSSIFICANTE DI UN ENZIMA OSSIDORIDUTTIVO

Filomena Sannino, Liliana Gianfreda

Dipartimento di Scienze del Suolo, della Pianta e dell'Ambiente, Sezione Scienze Chimico Agrarie
Università degli Studi di Napoli Federico II
Via Università, 100 - 80055 Portici (NA)

Introduzione

I fenoli rappresentano alcune delle più comuni sostanze inquinanti ritrovate nell'ambiente. Essi sono generalmente presenti non solo nelle acque di scarico di varie attività industriali, quali la lavorazione del petrolio, la produzione di acciaio, di sostanze plastiche, etc. ma anche nelle acque reflue provenienti dalla produzione dell'olio d'oliva (acque di vegetazione o OMWW) (Davis *et al.*, 1992; Greco *et al.*, 1999). Le acque di vegetazione sono caratterizzate da elevate concentrazioni di monomeri e polimeri fenolici e per il loro potenziale inquinante rappresentano uno dei principali problemi di smaltimento per tutti i paesi del Mediterraneo.

Un sistemi inquinato è di solito caratterizzato dalla presenza di più sostanze inquinanti di diversa natura e complessità. In particolare, nel caso di sistemi inquinati da fenoli quasi sempre più molecole fenoliche, caratterizzate da strutture chimiche e carico inquinante diversi, sono contemporaneamente presenti nel sito inquinato. Tale eterogeneità rende qualunque approccio di decontaminazione più complicato e complesso.

Gli enzimi ossido-riduttivi quali laccasi, perossidasi e tirosinasi, sembrano particolarmente adatti per la trasformazione e la rimozione di sostanze di natura fenolica nelle acque e nei suoli inquinati. In particolare, la capacità delle laccasi di trasformare, attraverso reazioni di accoppiamento ossidativo, i fenoli e i composti aromatici in polimeri ad alto peso molecolare ed insolubili in acqua, rende il processo enzimatico un potenziale mezzo di detossificazione di sistemi naturali inquinati (Atlow *et al.*, 1983; Park *et al.*, 2000).

Numerose evidenze sperimentali hanno dimostrato che l'attività detossificante delle laccasi è strettamente correlata al tipo e alla natura del substrato fenolico e alla eventuale copresenza di più substrati fenolici. Tuttavia, i dati riportati in letteratura, in generale, riguardano sistemi in cui sono presenti, al più, solo due sostanze di natura fenolica (Park *et al.*, 1999).

Scopo del presente lavoro è stato valutare le capacità detossificanti di una laccasi (*Rhus vernificera*) nei confronti di miscele acquose di natura fenolica. Sono state condotte prove simulando in laboratorio condizioni sperimentali volte a riprodurre "in vitro" un sistema modello "acque inquinate", costituito da miscele diverse di quattro substrati fenolici, comunemente ritrovati nei reflui oleari. I substrati fenolici, oggetto di studio, sono stati catecolo, metilcatecolo, *m*-tirosolo e idrossitirosolo, che sono normalmente presenti in concentrazioni elevate nelle suddette acque (Capasso *et al.*, 1995; Capasso *et al.*, 1997).

Materiali e Metodi

L'enzima laccasi (benzenediol: oxygen oxidoreductase, E.C. 1.10.3.2.) utilizzato in questo studio, isolato e purificato dall'albero giapponese *Rhus vernificera*, è una preparazione commerciale fornita dalla casa produttrice SIGMA.

L'attività enzimatica è stata determinata mediante saggio colorimetrico, utilizzando un substrato sintetico, l'acido 2,2'-azinobis(3-etilbenzotiazoline-6-solfonico) (ABTS), che dopo ossidazione genera un radicale catione (ABTS⁺) capace di assorbire alla lunghezza d'onda di 420 nm. Le condizioni standard adottate per la determinazione dell'attività enzimatica sono state: ABTS 3 mM in tampone Na-acetato 0.1 M a pH 3.65, e alla temperatura di 25°C (Bollag *et al.*, 2002, sottoposto per la pubblicazione).

Una Unità di attività laccasica corrisponde alla quantità di enzima richiesto per trasformare una μmole di ABTS min^{-1} a 25°C e a pH 3.65.

I fenoli oggetto di studio sono stati: catecolo (C), metilcatecolo (M), *m*-tirosolo (T) e idrossitirosolo (I) (Figura 1). I substrati fenolici (concentrazione finale = 0.3 mM), da soli o in combinazione di due (miscele binarie), tre (miscele ternarie) o quattro (miscele quaternarie), sono stati incubati a 25°C per 1h in tampone citrato-fosfato 0.1 M pH 5.0, e in presenza di laccasi (3 Unità enzimatiche per mL di soluzione). Per valutare la volatilizzazione e la trasformazione spontanea del substrato, sono stati utilizzati come controlli campioni privi di enzima. Dopo l'incubazione, sono state eseguite analisi sia per valutare la concentrazione di substrato non trasformato, che l'attività enzimatica residua.

Aliquote di 2 ml sono state prelevate sia dai campioni che dai controlli, e sono state aggiunte a 100 μl di acido acetico concentrato, per bloccare la reazione enzimatica. I campioni sono stati poi centrifugati per 15

min a 10.000 giri, usando un'ultracentrifuga Sorvall RC-5B Refrigerated Superspeed Centrifuged, equipaggiata con un Sorvall SA 600 Rotor.

I surnatanti sono stati poi filtrati attraverso filtri da 0.45 μm (Acrodisc LC 13 PVDF), ed analizzati all'HPLC per verificare la concentrazione di fenoli.

L'altra aliquota del campione è stata prelevata, posta in provetta precedentemente refrigerata, ed immediatamente analizzata per determinarne l'attività laccasica residua, usando le condizioni standard prima indicate.

Le molecole fenoliche sono state analizzate all'HPLC in fase inversa, utilizzando uno strumento Shimadzu provvisto di detector UV 280 nm, una colonna Spheri-5 ODS (5 μm , 4.6x220 mm) e una precolonna Spheri-5 RP 300 (7 μm , 4.6x30mm). l'eluizione isocratica è stata eseguita ad un flusso di 1 ml⁻¹ e con una fase mobile composta da acqua e acetonitrile (80:20, v:v).

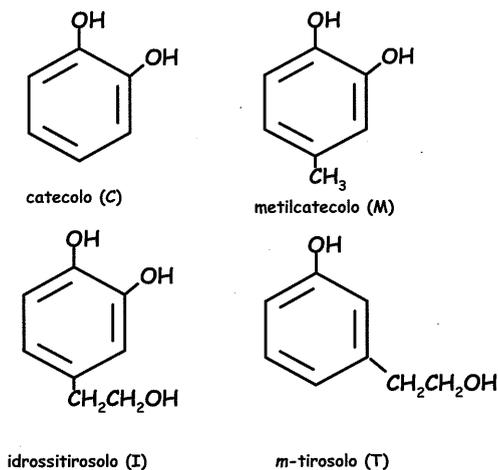


Figura 1. Struttura dei substrati fenolici

natura dei gruppi sostituenti. Ad esempio, la minore trasformazione (5%) è stata registrata con il *m*-tirosolo, che presenta un solo -OH sull'anello aromatico.

Inoltre, sia il tipo di gruppo sostituito, che la sua posizione sull'anello aromatico, sono risultati fattori predominanti nel determinare l'entità dell'ossidazione del composto fenolico. Tra i vari composti, il catecolo è risultato il substrato migliore, per il quale è stato registrato il 58% di rimozione. La presenza di un sostituito metilico (-CH₃) sul catecolo (metilcatecolo) ha determinato una diminuzione nella trasformazione, passando dal 58 al 32% di rimozione.

Risultati e Discussione

I risultati ottenuti hanno mostrato che l'enzima è capace di trasformare tutti e quattro i composti fenolici (Tabella I), confermando così una specificità di substrato ad ampio spettro.

In accordo con i risultati di Shuttleworth e Bollag (1985), l'attività ossidativa dell'enzima è risultata strettamente dipendente sia dal numero dei gruppi OH che dalla posizione e

Dopo l'incubazione, per ogni campione relativo ai dati riportati in tabella, è stata misurata, in condizioni standard, l'attività enzimatica residua.

In corrispondenza di una rimozione misurabile del composto fenolico, sono stati tuttavia misurati elevati livelli di attività enzimatica (Tabella 1).

Infatti, in corrispondenza di un'elevata rimozione % sia del catecolo che dell'idrossitirosolo (58% e 56%, rispettivamente), sono stati registrati livelli di attività enzimatica residua abbastanza alti (78% e 62%, rispettivamente).

Una eccezione a questi risultati è stata osservata quando è stato utilizzato il metilcatecolo. Infatti, in corrispondenza di una bassa % di rimozione (32%), al contrario delle aspettative, è stata registrata una bassa attività enzimatica residua (22%).

Nel caso del *m*-tirosolo, poi, l'enzima ha conservato interamente la sua attività (100%), in corrispondenza, comunque, di una rimozione del composto pari al 5%.

L'insieme di tali risultati indica che, in base alla natura del composto fenolico utilizzato come substrato, sono stati riscontrati valori più bassi o più elevati di attività enzimatica residua.

Prove condotte con altri fenoli, di natura diversa e precursori di molecole umiche, hanno dimostrato, di solito, corrispondenza tra la rimozione del composto fenolico e l'entità della diminuzione dell'attività enzimatica residua della laccasi (Gianfreda et al, 1998; Filazzola et al, 1999). In generale, una complementarità di andamento è stato osservato fra entità della trasformazione del composto fenolico, e decremento dell'attività residua dell'enzima. In altre parole, quanto più elevata era la rimozione del composto fenolico, maggiore risultava l'abbattimento dell'attività enzimatica (Gianfreda et al, 1998; Filazzola et al, 1999).

Tabella 1. Rimozione del catecolo, metilcatecolo, *m*-tirosolo, idrossitirosolo, e attività enzimatica residua

Substrato	Rimozione (%)	Attività enzimatica (%)
Catecolo	58	78
Metilcatecolo	32	22
Tirosolo	5	100
Idrossitirosolo	56	62

La presenza di due o più substrati nella miscela di reazione, ha influenzato in maniera differente la trasformazione dei substrati fenolici. Ad esempio, nella miscela binaria, la trasformazione del catecolo è risultata inibita dalla presenza del metilcatecolo, con un decremento di rimozione dal 58 al 38%, ma è stata fortemente attivata sia dal tirosolo che dall'idrossitirosolo. Infatti, in presenza di ciascuno dei due fenoli, la rimozione del catecolo è risultata pressochè totale. Tuttavia, i risultati ottenuti da prove condotte a concentrazione costante di catecolo (0.3 mM) e a concentrazioni più elevate di tirosolo (0.6 e 0.9 mM) hanno mostrato che all'aumentare della concentrazione di tirosolo, si registrava un crescente effetto di inibizione da parte di quest'ultimo, sia sulla trasformazione del catecolo che sull'attività enzimatica.

Infatti, in presenza della più alta concentrazione di tirosolo (0.9 mM), è stata determinata, rispetto al campione laccasi+catecolo, una inibizione del 64% sulla trasformazione e del 44% sull'attività enzimatica (Figura 2a e 2b).

Quando nella miscela di reazione erano presenti insieme al catecolo, sia il tirosolo che l'idrossitirosolo (C+T+I), è stato registrato un incremento della rimozione % di catecolo (95%, rispetto al 58% da solo), dimostrando così che non vi sono effetti contrastanti tra i due fenoli. (Tabella 2). Al contrario, la presenza del metilcatecolo nella miscela di reazione sembra avere un effetto predominante, in quanto inibisce comunque la rimozione del catecolo, anche in presenza di idrossitirosolo (C+M+I) (56%), ma, soprattutto, in presenza di tirosolo (C+M+T) (16%) (Tabella 2).

Nelle miscele binarie, ternarie e quaternarie i livelli di attività enzimatica residua misurati sono risultati variamente influenzati dalla copresenza di diversi fenoli, con effetti predominanti da parte di alcuni di essi. In particolare, in corrispondenza della rimozione dei substrati fenolici, è stata generalmente registrata una diminuzione dell'attività enzimatica, che è risultata particolarmente significativa in presenza del metilcatecolo.

In particolare, il basso livello di attività (11% di quello iniziale) misurato, ad esempio, nella miscela catecolo + metilcatecolo (C + M), indica che, l'attività dell'enzima viene influenzata, in modo predominante dal metilcatecolo piuttosto che dal catecolo. Infatti, come riportato in tabella I, a fronte di una rimozione del metilcatecolo del 32%, era stato misurato già un valore di attività residua del 22%, che si riduce all'11% quando la trasformazione del metilcatecolo avviene in presenza del catecolo.

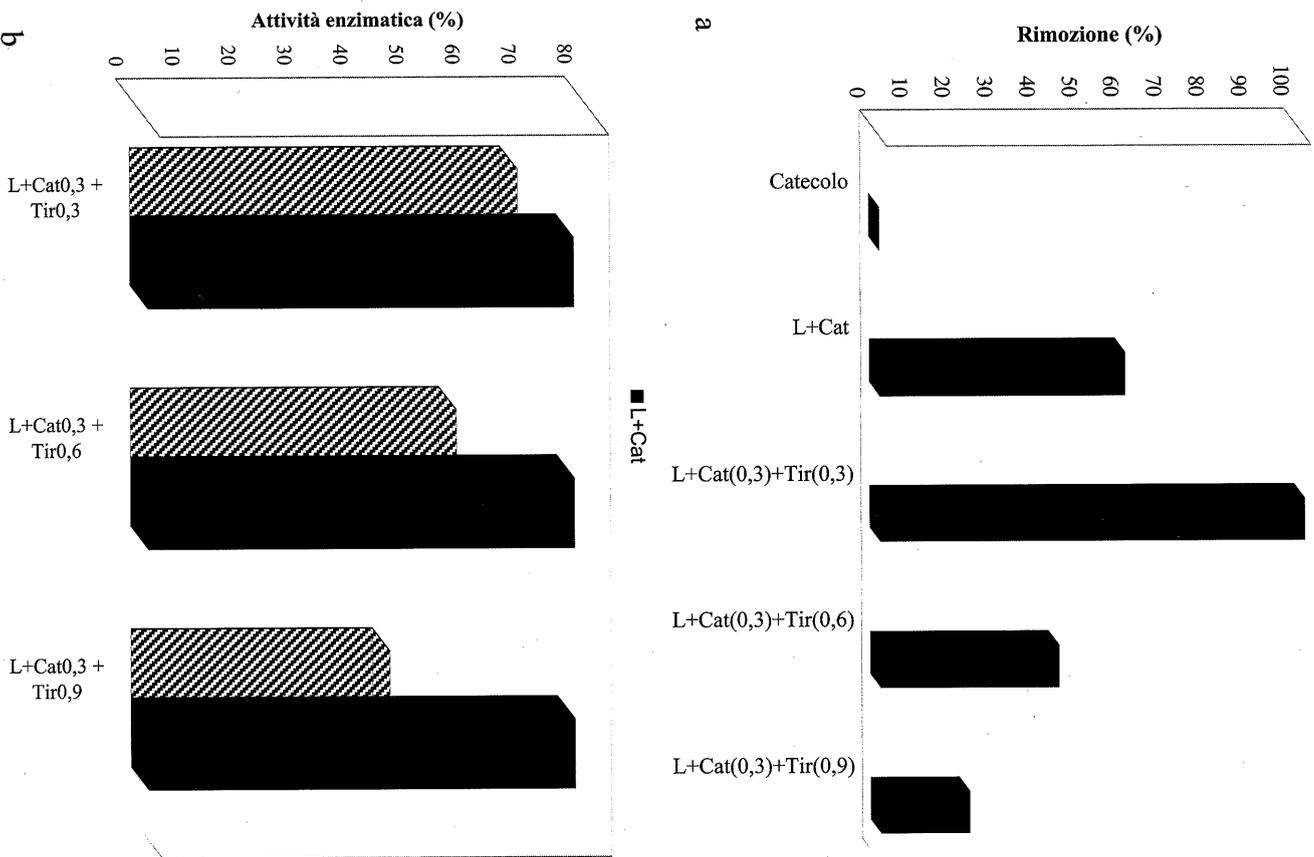


Figura 2. Rimozione (%) del catecolo in presenza di concentrazioni crescenti di *m*-tiroso (a) e attività enzimatica residua (b).

Tabella 2. Rimozione del catecolo in miscela binaria, ternaria e quaternaria e attività enzimatica residua

Substrato	Rimozione (%)	Attività enzimatica (%)
C	58	78
<i>Miscela binaria</i>		
C+M	38	11
C+T	100	66
C+I	99	27
<i>Miscela ternaria</i>		
C+M+T	16	9
C+M+I	56	10
C+T+I	95	29
<i>Miscela quaternaria</i>		
C+M+T+I	63	11

Alcuni autori hanno osservato che la presenza di molecole addizionali nella miscela di reazione influenza in maniera determinante l'efficienza dell'attività laccasica verso substrati fenolici. Fahraeus e Ljunggren (1961) hanno osservato effetti positivi da parte del catecolo sull'attività di una laccasi da *P. versicolor* utilizzando come substrato il *p*-cresolo. Questo comportamento è stato attribuito ad un effetto protettivo del catecolo nei confronti della laccasi, contro l'azione disattivante del *p*-cresolo. Bollag e Liu (1985) hanno osservato che una laccasi da *R. praticola* era incapace di trasformare il 2,4-DCP se utilizzata da sola, mentre riusciva a trasformare tale composto se nella miscela di reazione era presente l'acido siringico. L'insieme di questi risultati consentono quindi di ipotizzare che in presenza di due o più co-substrati si realizzi un effetto sinergico determinando un aumento o una diminuzione della trasformazione ossidativa e svariati effetti anche sull'attività enzimatica.

La generale diminuzione dell'attività laccasica potrebbe essere spiegata ipotizzando che l'enzima possa essere inibito per una influenza diretta da parte dei substrati fenolici o dei prodotti polimerici derivanti dalla reazione.

Un'ulteriore possibilità è che la diminuzione di attività sia attribuibile ai fenomeni di adsorbimento e/o intrappolamento delle molecole di laccasi, sui polimeri di neoformazione, durante il corso della reazione. Man mano che i prodotti polimerici cominciano a formarsi, le molecole enzimatiche possono essere adsorbite nei polimeri o essere intrappolate dentro i flocculati di particelle polimeriche, con una risultante perdita dell'efficienza catalitica (Filazzola *et al.* 1999).

Bibliografia

- ATLOW S.C., BONADONNA-APARO L., ALEXANDER M., KLIBANOV M., 1983. Dephenolization of industrial wastewaters catalyzed by polyphenol oxidase. *Biotechnol. and Bioeng.*, 26: 599-603.
- BOLLAG J.-M., LIU S.-Y., 1985. Copolymerization of halogenated phenols and syringic acid. *Pestic. Biochem. Physiol.*, 23: 261-272.
- BOLLAG J.-M., REGINA C., RAO M.A., GIANFREDA L., 2002. Enzymatic oxidative transformation of chlorophenol mixtures. Sottoposto alla pubblicazione su *J. Environ. Qual.*
- CAPASSO R., EVIDENTE A., SCHIVO L., ORRU G., MARCIALIS M.A., CRISTINZIO G., 1995. Antibacterial polyphenols from olive oil mill waste waters. *J. Appl. Bacteriol.*, 79: 393-398.
- CAPASSO R., 1997. The chemistry, biotechnology and ecotoxicology of the polyphenols naturally occurring in vegetable wastes. *Curr Topics in Phytochem.*, 1: 145-155.
- FAHRAEUS G., LJUNGGREN H., 1961. Substrate specificity of a purified fungal laccase. *Biochim. Biophys. Acta*, 46: 22-32.
- FILAZZOLA M.T., SANNINO F., RAO M.A., GIANFREDA L., 1999. Effect of various pollutants and soil-like constituents on laccase from *Cerrena unicolor*. *J. Environ. Qual.* 28:1929-1938.
- GIANFREDA L., SANNINO F., FILAZZOLA M.T., LEONOWICZ A., 1998. Catalytic behavior and detoxifying ability of a laccase from the fungal strain *Cerrena unicolor*. *J.Mol. Cat. B: Enzymatic* 4:13-23.
- GRECO G. JR., TOSCANO G., CIOFFI M., GIANFREDA L., SANNINO F., 1999. Dephenolisation of olive mill waste-waters by olive husk. *Water Res.* 33: 3046-3050.
- PARK J.-M., DEC J., KIM J.-E., BOLLAG J.-M., 1999. Transformation of chlorinated phenols and anilines in the presence of humic acid. *J. Environ. Qual.* 29: 214-220.
- PARK J.-W., DEC J., KIM J.-E., BOLLAG J.-M., 2000. Transformation of chlorinated phenols and anilines in the presence of humic acid. *J. Environ. Qual.*, 29: 214-220.
- SHUTTLEWORTH K.L., BOLLAG J.-M., 1985. Soluble and immobilized laccase as catalysts for the transformation of substituted phenols. *Enzyme Microb. Technol.*, 8: 171-177.



Commissione III
Biologia del suolo



EFFETTI DI COMPOST DA RSU SULLA QUALITÀ BIOLOGICA DEI SUOLI

Carmine Crecchio, Maddalena Curci, Rosaria Mininni,

Patrizia Ricciuti, Pacifico Ruggiero

Dipartimento di Biologia e Chimica Agroforestale ed Ambientale, Università di Bari
Via Amendola 165/A - 70126 Bari

Riassunto

Una sperimentazione biennale è stata condotta al fine di valutare gli effetti di ammendamento con RSU su alcuni parametri biochimici e sulla diversità genetica, quali indicatori di qualità del suolo. Parcelle sperimentali coltivate e non sono state ammendate con due dosi di compost da RSU e con concimazione azotata (nitrato di ammonio). Variazioni di pH tra le parcelle non erano significativamente correlate con il tipo di ammendante e la presenza di coltura. Suoli ammendati con RSU aumentavano invece in maniera statisticamente rilevante il contenuto in C organico, N totale, nonché le attività deidrogenasica e nitrato riduttasica; si riscontrava inoltre una buona correlazione tra contenuto in C organico ed attività glucosidasi e deidrogenasica. Non si evidenziavano differenze significative raddoppiando le dosi di RSU. Fingerprint del DNA estratto dalle parcelle di suolo, ottenuti mediante due tecniche (DGGE ed ARDRA) entrambe in grado di fornire profili elettroforetici rappresentativi della diversità genetica della comunità microbica, non evidenziavano invece differenze significative tra campioni ammendati e non ammendati. Nell'ambito della sperimentazione a breve termine, ed in funzione della sola componente eubatterica investigata, l'assenza di variazioni tra profili molecolari sembra indicare che l'ammendamento con RSU non altera la struttura della comunità microbica del suolo. I risultati preliminari ottenuti dimostrano che l'uso di RSU in agricoltura può influenzare positivamente alcuni indicatori di qualità del suolo quali attività enzimatiche ed il contenuto in C e N, senza alterare la struttura della popolazione microbica.

Introduzione

Suoli coltivati sono sempre più spesso soggetti a perdita di sostanza organica e nutrienti con conseguente diminuzione di fertilità. Considerato che la qualità di un suolo riveste un ruolo centrale nel determinarne la produttività, pratiche agronomiche finalizzate al mantenimento ed al miglioramento della fertilità in un'ottica di sostenibilità ambientale hanno

suscitato interesse crescente. L'impiego di rifiuti di varia natura, finalizzato all'ammendamento di suoli impoveriti e allo smaltimento di prodotti di scarto, è un tipico esempio di tale strategia.

In particolare, compost da residui solidi urbani (RSU) sono stati frequentemente impiegati come fonti di azoto e carbonio per migliorare la qualità dei suoli con il conseguente vantaggio economico di ridurre i costi per lo smaltimento dei rifiuti. Per contro, la presenza di elevate concentrazioni di metalli pesanti può costituire un reale rischio di tossicità per le colture e quindi per l'intera catena alimentare e può inoltre influenzare negativamente la comunità microbica del suolo responsabile delle principali trasformazioni biologiche del suolo e quindi la sua qualità biologica.

Nel passato differenti approcci sperimentali sono stati impiegati per valutare gli effetti di attività antropiche sulle componenti microbiologiche e biochimiche del suolo, tra cui la determinazione del contenuto in carbonio totale o della biomassa (Brookes, 1995), differenti quozienti metabolici (Anderson e Domsch, 1993), attività enzimatiche (Nannipieri *et al.*, 1990). Più recentemente, sono state sviluppate ed applicate tecniche quali l'analisi degli acidi grassi dei fosfolipidi, la comparazione di profili fisiologici e molecolari della comunità microbica del suolo, al fine di valutare la diversità, la distribuzione ed il comportamento dei microrganismi del suolo quali indicatori sensibili dell'impatto potenziale di attività antropiche e di processi naturali (Doran e Zeiss, 2000; Hill *et al.*, 2000).

Tra i metodi molecolari più usati, vi è la possibilità di ottenere profili di geni codificanti per gli rRNA, rappresentativi della diversità genetica della comunità microbica. Acidi nucleici estratti dal suolo ed amplificati mediante PCR forniscono, infatti, frammenti della stessa lunghezza ma con sequenze nucleotidiche differenti che possono essere separati mediante elettroforesi in gradiente denaturante (DGGE) o gradiente di temperatura (TGGE) (Muyzer *et al.*, 1993; Muyzer e Smalla, 1998). Gli stessi frammenti amplificati possono essere digeriti con enzimi di restrizione e caratterizzati elettroforoticamente (ARDRA) Massol-Deya *et al.*, 1995; Smit *et al.*, 1997).

Obiettivo del presente studio è stato quello di valutare gli effetti sull'attività di alcuni enzimi del suolo e sulla diversità genetica di un compost da RSU, impiegato come ammendante in una sperimentazione biennale, e di contribuire a definire la validità di indici di qualità del suolo nuovi e tradizionali.

Materiali e Metodi

Disegno sperimentale

E' stato condotto un trattamento biennale a blocchi randomizzati con tre repliche su parcelle di un suolo argilloso (argilla 48.3%; limo 33.4%; sabbia 18.3 %) coltivate (PC) in successione di barbabietola da zucchero e grano duro: 12 tonnellate ha^{-1} di compost da RSU corrispondenti a 120 kg N ha^{-1} (PC + RSU1), 24 tonnellate ha^{-1} di compost da RSU corrispondenti a 240 kg N ha^{-1} (PC + RSU2), 120 kg NH_4NO_3 ha^{-1} (PC + N), nessun trattamento ammendante (PC); parcelle non coltivate (PN): 24 tonnellate ha^{-1} di compost da RSU (PN + RSU2), 120 kg NH_4NO_3 ha^{-1} (PN + N), nessun ammendamento (PN).

Il compost, ottenuto attraverso trasformazione aerobia di rifiuti solidi urbani aveva la seguente composizione: N 2.07%; TOC 28.0 g kg^{-1} ; C/N 29.5; Cu 158.0 mg kg^{-1} ; Zn 381.5 mg kg^{-1} ; Mn 163.8 mg kg^{-1} ; Pb 209.5 mg kg^{-1} ; Cr 112.7 mg kg^{-1} ; Ni 22.1 mg kg^{-1} ; Co 20.8 mg kg^{-1} ; Cd 1.95 mg kg^{-1} .

Proprietà biochimiche

Azoto totale, carbonio organico e pH sono stati determinati secondo i metodi ufficiali SISS (1995).

L'attività della β -glucosidasi, espressa come μg paranitrofenolo h^{-1} g^{-1} di suolo è stata determinata in accordo a Eivazi e Tabatabai (1988); la nitrato reductasi (μg $\text{NO}_2\text{-N}$ 24h^{-1} g^{-1} di suolo) secondo Abdelmagid e Tabatabai (1987); la deidrogenasi (μg trifetilformazano 24h^{-1} g^{-1} di suolo) secondo Tabatabai (1982); l'attività dell'ureasi, espressa come mg $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 3h^{-1} g^{-1} di suolo è stata determinata in accordo con Hofmann (1963).

Estrazione e purificazione di DNA da suolo

DNA totale è stato ottenuto modificando una metodica di estrazione diretta (Tsai e Olson, 1991) impiegando lisozima-SDS e tre cicli di congelamento e scongelamento ($-70^\circ\text{C}/+65^\circ\text{C}$) ed un protocollo di purifica-

zione (Smalla *et al.*, 1993) che prevedeva estrazioni fenoliche, precipitazioni con CsCl e acetato di potassio, passaggio su cartucce Wizard Clean-up System (Promega).

Amplificazione (PCR)

Sono stati impiegate tre coppie di primer:

968F-1401R (16S rDNA). Condizioni di amplificazione: 3 min a 95°C; 40 cicli consistenti in 30 sec a 95°C, 20 sec a 54°C, 40 sec a 72°C; 10 min a 72°C. La popolazione di frammenti di ~ 450bp è stata analizzata mediante DGGE.

8F-1513R (16S rDNA). Condizioni di amplificazione: 3 min a 95°C; 10 cicli consistenti in 30 sec a 95°C, 30 sec a 64(54°C (decremento di 1°C ad ogni ciclo), 2 min a 72°C; 30 cicli consistenti in 30 sec a 95°C, 30 sec a 54°C, 2 min a 72°C; 10 min a 72°C. La popolazione di frammenti di ~ 1.5 kb è stata analizzata mediante ARDRA.

pH₂-p23SR01 (16-23S rDNA). Condizioni di amplificazione: 3 min a 95°C; 35 cicli consistenti in 30 sec a 95°C, 30 sec a 55°C, 2 min a 72°C; 10 min a 72°C. La popolazione di frammenti di ~ 1.5 kb è stata analizzata mediante ARDRA. La numerazione dei primer si riferisce alla posizione nei geni 16S e 23S in *E. coli*.

Gel elettroforesi in gradiente denaturante (DGGE)

Gel di poliaccrilamide al 6%, con gradiente denaturante 40% (2.8 M urea 16% v/v formamide) 60% (4.2 M urea 24% formamide), sono stati caricati con 30-50 µl di prodotto amplificato, l'elettroforesi condotta per 16 h a 100 V a 60°C mediante l'apparato sperimentale Bio-Rad Dcode system. Dopo colorazione del gel mediante silver staining (SyBr Green), le immagini sono state acquisite mediante Bio-Rad Gel Doc.

Analisi di restrizione di DNA ribosomale amplificato (ARDRA)

Aliquote di 30-50 µl di prodotto amplificato sono state digerite per 2h a 37°C con 5U di Hpa II. L'analisi elettroforetica è stata condotta me-

dianite gel di agarosio al 2%, per 4h a 150V; la colorazione ed l'acquisizione di immagini come per DGGE.

Analisi statistica

Analisi della varianza (ANOVA ad una e due vie con repliche), comparazioni multiple tra medie mediante test della Minima Differenza Significativa (LSD) e test di Duncan ($P < 0.05$), regressione e coefficienti di correlazione, sono state condotte per determinare le differenze significative tra parametri biochimici, per valutare gli effetti degli ammendamenti e della presenza di coltura, e la relazione tra parametri.

Risultati e discussione

La tabella 1 riporta alcuni parametri biochimici delle parcelle sperimentali. Il C organico, sempre maggiore nelle parcelle coltivate (PC) rispetto a quelle non coltivate (NC), aumentava nelle parcelle ammendate con compost da RSU; non si riscontravano differenze significative tra dose singola e doppia di ammendante. L'incremento in N totale era più evidente quando venivano usate dosi doppie di compost e comunque tale incremento era confrontabile con gli effetti prodotti dalla concimazione minerale. L'analisi statistica indicava che tali differenze erano statisticamente rilevanti.

La tabella 1 riporta anche i valori di alcune attività enzimatiche delle parcelle di suolo. Tali attività erano maggiori nelle parcelle coltivate ed in particolar modo raggiungevano valori massimi in presenza di ammendamento con compost. In particolare l'analisi statistica evidenziava una stretta correlazione tra attività nitrato reductasica e deidrogenasica e trattamento con compost. Non si riscontravano invece differenze significative impiegando dosi singole o doppie di ammendante (dati non mostrati). L'attività deidrogenasica e β -glucosidasica di parcelle ammendate con RSU erano correlate tra loro ($r=0.69^{***}$) e l'attività di entrambe con il contenuto di C organico ($r=0.75^{***}$ e $r=0.64^{**}$, rispettivamente), suggerendo che l'aggiunta di residui organici mineralizzabili influenzava l'attività microbica e la produzione di enzimi extracellulari (Garcia *et al.*, 1998; Albiach *et al.*, 2000). L'attività ureasica, maggiore nelle parcelle ammendate con compost da RSU, non sembrava essere inibita dalla presenza di metalli pesanti presenti nel compost, a differenza di quanto riportato da Garcia-

Gil *et al.*, (2000); concentrazioni di NH_4^+ nelle parcelle ammendate con N minerale, ne provocavano invece una notevole diminuzione di attività catalitica, come già ipotizzato da Konig *et al.* (1966).

Tabella 1. Caratteristiche biochimiche delle parcelle di suolo ed analisi statistica

Parcelle	C organico (g kg ⁻¹)	N totale (g kg ⁻¹)	β -Glucosidasi*	Nitrato Reduttasi*	Deidrogenasi*	Ureasi*
PC + RSU1	12.5 (0.3)	1.43 (0.7)	157 (12.0)	1.2 (37.4)	63 (11.3)	84 (30.6)
PC + RSU2	12.7 (0.2)	1.51 (0.6)	147 (2.6)	1.4 (7.1)	61 (4.2)	74 (21.5)
PC + N	11.0 (0.2)	1.51 (0.6)	133 (9.0)	1.1 (38.3)	55 (7.6)	59 (3.7)
PC	11.6 (0.8)	1.40 (1.3)	121 (6.6)	0.7 (16.1)	50 (8.0)	80 (37.7)
PN + RSU2	10.6 (0.4)	1.44 (0.7)	114 (10.9)	0.8 (10.9)	47 (16.3)	53 (7.5)
PN + N	10.3 (0.6)	1.40 (0.7)	126 (12.7)	0.9 (12.9)	47 (3.3)	54 (9.1)
PN	9.7 (0.9)	1.36 (1.3)	120 (9.1)	0.7 (1.2)	46 (3.3)	47 (4.5)

Tutti i valori sono espressi come medie; i numeri tra parentesi indicano il coefficiente di variabilità (C.V.) di tre repliche

Analisi della varianza

Fonti di variazione	C Organico	N Totale	β -Glucosidasi	Nitrato reduttasi	Deidrogenasi	Ureasi
	<i>Valori di F</i>					
Ammendamenti (A)	537.04 ³	10.75 ²	n.s.	6.41 ¹	n.s.	n.s.
Coltura (C)	2773.68 ³	196.00 ³	5.97 ¹	7.72 ¹	13.05 ²	9.04 ¹
A x C	190.48 ³	55.75 ³	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

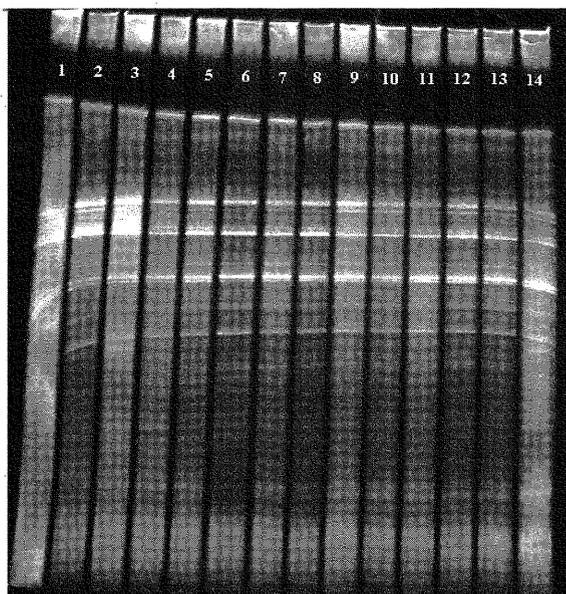
1 P<0.05, 2 P<0.01, 3 P<0.001, n.s.: non significativo

Minima Differenza Significativa

Coltura	C organico	N totale	β -Glucosidasi	Nitrato Reduttasi	Deidrogenasi	Ureasi
Si	11.78 a	1.49 a	134.19 a	1.08 a	55.53 a	71.15 a
No	10.19 b	1.40 b	120.24 b	0.82 b	46.33 b	50.97 b

Le medie presenti in ogni colonna seguite da lettere differenti sono significativamente differenti (P<0.05)

La figura 1 riporta il profilo molecolare ottenuto mediante DGGE di una popolazione di frammenti di (450bp amplificati da 16S rDNA di specie eubatteriche presenti nel suolo da cui è stato estratto il DNA. L'elevato numero di frammenti è direttamente correlato con le differenti specie batteriche presenti nel suolo. Sono evidenti alcune bande molto intense ed altre a minore intensità. Non sembra però vi siano differenze significative nei profili sia in termini di intensità che di presenza/assenza di singole bande lasciando supporre che non vi sono state alterazioni significative nella struttura della comunità microbica del suolo a seguito di ammendamenti con compost da RSU.

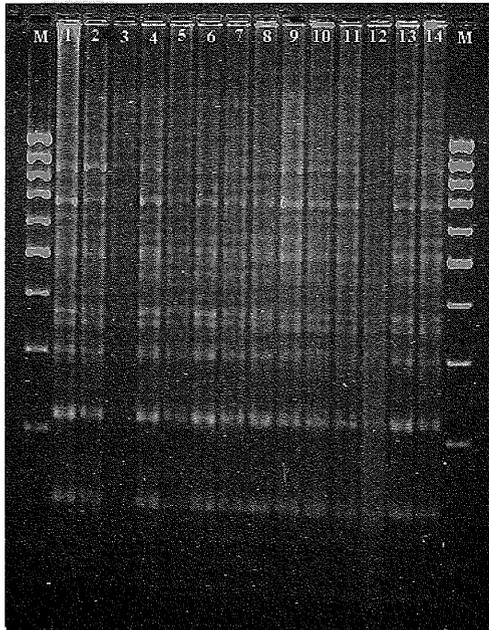


- Linee 1,2: PC+RSU1
 3,4: PC+RSU2
 5,6: PC+N
 7,8: PC
 9,10: PN+RSU2
 11,12: PN+N
 13,14: PN

Figura 1. Profili elettroforetici mediante DGGE di frammenti di ~ 450bp del 16S rDNA

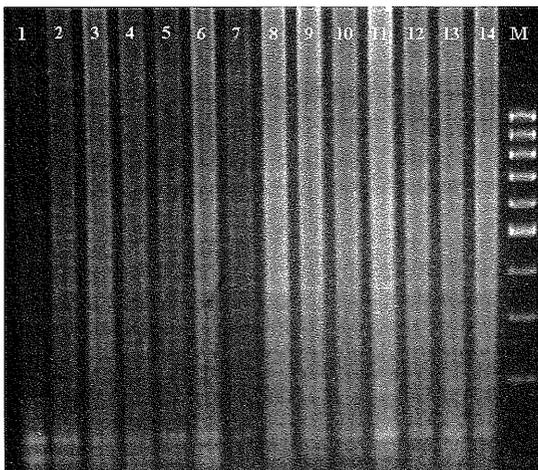
A tali considerazioni si è giunti impiegando un'altra tecnica in grado di fornire profili molecolari rappresentativi delle specie microbiche. La figura 2 riporta infatti la separazione elettroforetica dell'intero 16S rDNA amplificato mediante PCR e digerito con enzima di restrizione Hpa II. Circa 15 frammenti principali di circa 900-100 paia di basi erano evidenziabili praticamente in tutte le parcelle del disegno sperimentale (campioni ammendati con compost da RSU, con N minerale, controlli non ammendati). Piccole differenze soprattutto nell'intensità delle singole bande, casualmente distribuite tra campioni diversi e tra repliche dello stesso campione, potrebbero essere attribuibili ad inconvenienti e problemi insiti in tecniche estremamente sensibili quali DGGE ed ARDRA più che rappresentare alterazioni della popolazione microbica del suolo.

Anche l'analisi molecolare della regione intergenica 16S-23S, ritenuta essere più informativa in quanto meno conservata (non codificando per un prodotto genico), non evidenziava particolari alterazioni strutturali della comunità microbica delle parcelle sperimentali. Le circa 10 bande principali, evidenziate dall'analisi al computer all'interno di profili contenenti numerosissimi frammenti debolmente individuabili dalla colorazione e difficilmente separabili, erano fondamentalmente presenti in tutti i campioni e controlli (figura 3).



Linee 1,2: PC+RSU1
 3,4: PC+RSU2
 5,6: PC+N
 7,8: PC
 9,10: PN+RSU2
 11,12: PN+N
 13,14: PN

Figura 2. Profili elettroforetici mediante ARDRA di frammenti di ~1,5bp del 16S rDNA amplificati e digeriti con Hpa II. M: marcatore di peso molecolare (1000-80bp, MBI Fermentas)



Linee 1,2: PC+RSU1
 3,4: PC+RSU2
 5,6: PC+N
 7,8: PC
 9,10: PN+RSU2
 11,12: PN+N
 13,14: PN

Figura 3. Profili elettroforetici mediante ARDRA di frammenti di ~1,5bp della regione intergenica 16S-23S rDNA amplificati e digeriti con Hpa II. M: marcatore di peso molecolare (1000-80bp, MBI Fermentas)

L'assenza di variazioni tra profili molecolari, sembrerebbe indicare che l'ammendamento con compost da RSU non altera la composizione della comunità microbica del suolo, sebbene l'aumento di alcune attività enzimatiche del suolo attesterebbe una risposta da parte dei microrganismi in termini di attività metaboliche. Un sensibile decremento della diversità microbica è stato peraltro riportato in suoli contaminati da metalli pesanti (Smit *et al.*, 1997; Sandaa *et al.*, 1999). E' evidente che il tempo di esposizione relativamente limitato delle prove in oggetto, nonché differenti concentrazioni dei metalli pesanti ed alcune caratteristiche del suolo, possono essere determinanti. E' altresì possibile che gli effetti del compost possano essere a carico di altre specie microbiche quali funghi ed archeobatteri, non evidenziabili dalla strategia di amplificazione che impiegava primer specifici per specie eubatteriche.

Conclusioni

I dati preliminari in nostro possesso, sembrano indicare che l'ammendamento con compost da RSU può migliorare la qualità del suolo aumentandone il contenuto in sostanza organica e stimolando le attività metaboliche dei microrganismi, senza alterare la struttura della comunità microbica e la sua diversità genetica. Per un impiego su larga scala, è comunque fondamentale monitorare l'influenza di parametri ambientali, di caratteristiche specifiche del suolo, nonché gli effetti a lungo termine su tutte le componenti microbiche.

Bibliografia

- ABDELMAGID HM, TABATABAI MA (1987) Nitrate reductase activity of soils. *Soil Biology & Biochemistry* 19: 421-427
- ALBIACH H, CANET R, POMARES F, INGELMO F (2000) Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil. *Bioresource & Technology* 75: 43-48
- ANDERSON TH, DOMSCH KH (1993) The metabolic quotient q_{CO_2} as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions such as a pH on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology & Biochemistry* 25: 393-395
- BROOKES PC (1995) The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biology & Fertility of Soils* 19: 269-275
- DORAN JV, ZEISS MR (2000) Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology* 15: 3-11
- EIVAZI F, TABATABAI MA (1988) Glucosidases and galactosidases in soils. *Soil Biology & Biochemistry* 20: 601-606
- GARCÍA C, HERNANDEZ T, ALBALADEJO J, CASTILLO V, ROLDAN A (1998) Revegetation in semiarid zones: influence of terracing and organic refuse on microbial activity. *Soil Science Society of America*

Journal 62: 670-676

- GARCÍA-GILL JC, PLAZA C, SOLER-ROVIRA P, POLO A (2000) Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. *Soil Biology & Biochemistry* 32: 1907-1913
- HILL GT, MITKOWSKI NA, ALDRICH-WOLFE L, EMELE LR, JURKONIE DD, FICKE A, MALDONADO-RAMIREZ S, LYNCH ST, NELSON EB (2000) Methods for assessing the composition and diversity of soil microbial communities. *Applied Soil Ecology* 15: 25-36
- HOFMANN E (1963) Urease. In: Hans-Ulrich Bergmeyer (ed) *Methods of enzymatic analysis*. Academic Press, New York, pp 913-916
- KONIG C, KALTVAASER H, SCHIEGEL HG (1966) The formation of urease after use of other nitrogen sources in *Hydrogenomonas*. *Archives Microbiology* 53: 231-241
- MASSOL-DEYA AA, ODELSON DA, HICKEY RF, TIEDJE JM (1995) Bacterial community fingerprints of amplified 16S and 16-23S ribosomal gene sequences and restriction endonuclease analysis (ARDRA) In: Akkermans ADL, van Elsas JD, de Bruijn FJ (eds) *Molecular Microbial Ecology Manual*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1-8
- MUYZER G, SMALLA K (1998) Application of denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) and temperature gradient gel electrophoresis (TGGE) in microbial ecology. *Antonie van Leeuwenhoek* 73: 127-141
- MUYZER G, DE WAAL EC, UITTERLINDEN AG (1993) Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction-amplified genes encoding for 16S rRNA. *Applied Environmental Microbiology* 59: 695-70
- NANNIPIERI P, GRECO S, CECCANTI B (1990) Ecological significance of the biological activity in soil. In: Bollag J-M, Stotzky G (eds) *Soil Biochemistry*, vol 6. Marcel Dekker, New York, pp 293-355
- SANDAA R-A, TORSVIK V, ENGER O, DAAE FL, CASTBERG T, HAHN D (1999) Analysis of bacterial communities in heavy metal-contaminated soils at different levels of resolution. *FEMS Microbiology Ecology* 30: 237-251
- SISS (1995) *Metodi normalizzati di analisi del suolo*. Ed agricole, Bologna
- SMALLA K, CRESSWELL N, MENDOCA-HAGLER LC, WOLTERS A, VAN ELSAS JD (1993) Rapid DNA extraction protocol from soil for polymerase chain reaction-mediated amplification. *Journal of Applied Bacteriology* 74: 78-85
- SMIT E, LEEFLANG P, WERNARS K (1997) Detection of shifts in microbial community structure and diversity in soil caused by copper contamination using amplified ribosomal DNA restriction analysis. *FEMS Microbiology Ecology* 23: 249-261
- TABATABAI MA (1982) Soil enzymes. In : Page AI, Miller RH, Keeney DR (eds) *Methods of soil analysis*. II. Agronomy 9, 2nd edn. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, pp 903-947
- TAI Y-L, OLSON BH (1991) Rapid extraction of DNA from soil and sediments. *Applied Environmental Microbiology* 57: 1070-1074

*PROTOCOLLO DI KYOTO: PRIME VALUTAZIONI A LIVELLO NAZIONALE SUL CONTRIBUTO DI SUOLI AGRARI E FORESTALI ALL'ARRICCHIMENTO DI CO₂ DELL'ATMOSFERA**

Anna Benedetti, Letizia Pompili, Luigi Nisini

Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante
Via della Navicella, 2 - 00184 Roma

1. Introduzione

Prima di entrare nel vivo della trattazione oggetto di questo studio è opportuno dare qualche cenno storico sul protocollo di Kyoto con il quale si è focalizzata l'attenzione sulle emissioni globali di anidride carbonica, la cui concentrazione atmosferica è uno dei principali fattori che regolano la temperatura nella biosfera.

1.1 Cenni storici e stato dell'arte sul protocollo di Kyoto

Alla fine degli anni '70, a Ginevra, si tenne la Prima Conferenza sul Clima, organizzata dalla World Meteorological Organization (WMO), che portò alla stesura di un Programma Mondiale per il Clima, inteso allo studio dei cambiamenti climatici provocati dall'uomo. Successivamente, durante gli anni '80, si tennero in tutto il mondo una serie di conferenze che condussero alla formazione di un organismo per la ricerca delle cause dell'effetto serra, l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change - Gruppo Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici). Il risultato di questi incontri fu un Primo Rapporto sul Clima, utile per iniziare a discutere sulle possibilità di modificare le emissioni di CO₂, prima causa dell'effetto serra (Min. Ambiente, 2000). Nel 1990 a Ginevra ci fu la Seconda Conferenza sul Clima e nel giugno del 1992, a Rio de Janeiro, nel corso del "Vertice della Terra", Conferenza Mondiale sull'Ambiente e lo Sviluppo, è stata approvata la Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici delle Nazioni Unite (UN-FCCC), che divenne operativa in Italia nel 1994.

*Ricerca svolta nell'ambito del progetto finalizzato CLIMAGRI - Cambiamenti Climatici e Agricoltura, finanziato dal Ministero delle Politiche Agricole e Forestali; D.M. 484 e 504/7303/2000 - Pubblicazione n.2.

Nell'aprile del 1995 a Berlino si svolse la prima Conferenza delle Parti durante la quale è stato deciso di elaborare un protocollo, per l'attuazione della Convenzione, allo scopo di definire gli impegni per la riduzione delle emissioni di gas serra da parte di tutti i Paesi aderenti alla Convenzione. Tale protocollo è stato reso ufficiale nella terza Conferenza delle Parti, convocata a Kyoto nel dicembre 1997.

2. La situazione

Nel 1990, anno di riferimento della Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici, le emissioni italiane ammontavano a 442 Mt (milioni di tonnellate) di anidride carbonica, 2,47 Mt di metano e 0,17 Mt di protossido d'azoto.

Le emissioni nazionali di CO₂ sono state il 2,2 % delle emissioni mondiali globali, le emissioni dei tre maggiori gas serra l'1,6 %. Detti valori sono riportati in tabella 2.1.

Tabella 2.1: Emissioni Nazionali, dell'Emissione Europea e mondiali dei tre principali gas serra. (Fonte: Libro bianco del Ministero dell'ambiente, 1997).

GAS SERRA	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	TOTALE (in Mt CO ₂ , eq. 100)
Emissioni nazionali	442	2.5	0.17	548
Emissioni dell'UE- 15	3286	24.7	0.93	4091
Peso dell'Italia su UE- 15 (%)	13.5	10.8	18.7	13.4
Emissioni mondiali	20167	375	17.91	33595
Peso dell'UE- 15 sul totale mondiale (%)	16.3	6.6	5.2	12.2
Peso dell'Italia sul totale mondiale (%)	2.2	0.6	1.0	1.6

Da dati riportati nella Seconda Comunicazione Nazionale per la Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici (Libro Bianco) stilata dal Ministero dell'Ambiente e approvata con delibera CIPE 211/97, risulta che il peso delle emissioni italiane di anidride carbonica è più contenuto rispetto a quello di altri paesi sviluppati a parità di reddito e di popolazione (circa 7 tonn di CO₂ l'anno, contro un valore medio di 9 tonn dell'UE e di 12 tonn dell'OCSE).

Attualmente le emissioni di anidride carbonica sono molto ridotte rispetto ai primi anni settanta, e le emissioni specifiche dei paesi più sviluppati sono molto diverse anche a parità di benessere.

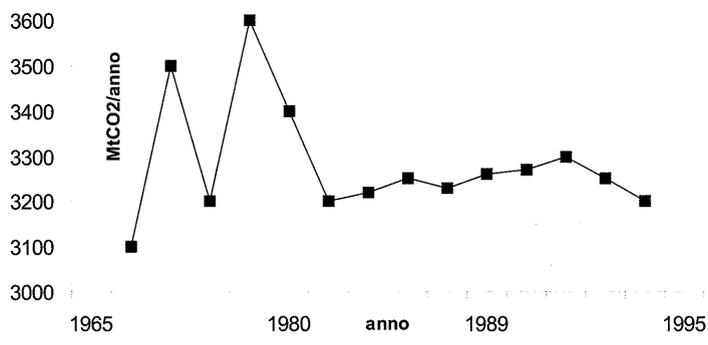
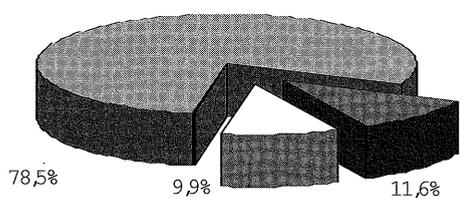


Figura 2.1. Emissioni italiane di CO₂ espresse in milioni di tonnellate per anno. (Fonte: Libro bianco del Ministero dell'ambiente, 1997)



■ settore energetico ■ settore agricoltura e foreste | | altro

Figura 2.2. Rappresentazione percentuale della distribuzione nei diversi settori delle emissioni dei gas serra in Italia

Il settore maggiormente responsabile delle emissioni di gas serra, è quello energetico, 78,5% del totale, di cui il 15% proviene dall'energia utilizzata nel settore civile e agricolo. Il restante 21,5% proviene da settori diversi da quelli energetici: ben l'11,6% è da attribuire al settore agricoltura e foreste.

3. Il protocollo di Kyoto e il settore agricolo

E' opinione diffusa è che le attività agricole contribuiscono ad alimentare il contenuto atmosferico di CO₂, ma la situazione reale è che attualmente non si è in grado di definire esattamente le dimensioni dei flussi di carbonio attraverso le piante, e quindi attraverso il suolo.

Il settore agricolo contribuisce largamente alle emissioni antropogeniche di CH₄ e N₂O, soprattutto a livello nazionale, dove rappresentava-

no rispettivamente il 46% ed il 49% del totale nel 1990 (30% e 38% a livello globale). Ci si riferisce ai dati del 1990 perché anno base del Protocollo di Kyoto e lo stesso IPCC stimava per il 1996 che l'agricoltura avrebbe contribuito al 50% ed al 70% delle emissioni antropogeniche su scala globale, rispettivamente di CH_4 e N_2O , e che sarebbe stata causa di un quinto dell'aumento annuale delle emissioni di gas serra (UN-FCCC, 1997; OECD, 1997).

3.1 Emissioni dall'agricoltura

Si intendono tutte le emissioni di gas serra connesse all'attività agricola, fatta eccezione per le emissioni dovute alla combustione del carburante utilizzato nelle macchine agricole, ed alle emissioni da liquami, comprese rispettivamente nel settore energetico e dei rifiuti. Le emissioni del settore agricolo sono state distinte nella Seconda Comunicazione Nazionale per la Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici, in sei categorie principali:

- fermentazione enterica: produzione di *metano* nel corso della digestione di animali erbivori ruminanti: quella dei non ruminanti è esigua;

- gestione delle deiezioni: *metano* e *protossido di azoto* generati dalla decomposizione delle deiezioni in condizioni anaerobiche o di scarsità di ossigeno;

- coltivazione del riso: la decomposizione anaerobica del materiale organico delle coltivazioni di riso soggette ad inondazione produce *metano*, che si propaga in atmosfera per ebollizione lungo la colonna d'acqua, per diffusione attraverso l'interfaccia acqua/aria e per trasporto attraverso le piante di riso;

- suoli agricoli: le pratiche di irrigazione, le variabili climatiche, la temperatura e l'umidità del suolo influenzano i suoi livelli di emissione ed assorbimento di gas serra, soprattutto CH_4 e N_2O . In queste categorie sono comprese anche le emissioni di protossido d'azoto dovute all'uso di fertilizzanti azotati nella coltivazione del riso. *Non ci sono a tutt'oggi dati ufficiali da cui risultino le emissioni di CO_2 dai suoli;*

- incendi controllati: generalmente questo fenomeno è tipico dei climi tropicali e viene utilizzato per la conversione delle foreste a pascolo o suolo agricolo. Di solito sono fenomeni positivi: controllano la crescita della vegetazione, rimuovono i parassiti e le erbe infestanti, favoriscono i cicli dei nutrienti e stimolano la crescita di nuova vegetazione per il pascolo. Nonostante ciò, determinano emissioni di CH_4 , CO , N_2O e NO_x , nonché

CO₂, che però non viene considerata in quanto si assume che la stessa quantità emessa dall'incendio sia poi riassorbita dalla vegetazione ricsciuta l'anno successivo. In Italia, però, gli incendi sono fenomeni non naturali attribuibili ad azioni antropiche che portano conseguenze gravi (perdita di biomassa vegetale, facilità di dilavamento dei nutrienti, perdita di humus, in sintesi degradazione del substrato terrestre);

- bruciatura dei residui agricoli: anche in questo caso e per lo stesso motivo riportato sopra si considerano soltanto le emissioni *non-CO₂* e comunque se i residui agricoli sono usati come combustibile, devono essere riportati nel settore energetico.

Non avendo a disposizione dati relativi alle emissioni di anidride carbonica dai suoli, si sono sempre limitate le considerazioni sulle emissioni riguardanti il settore agricolo al metano ed al protossido di azoto, per quanto riguarda le sostanze, mentre, per quanto riguarda le fonti, alla fermentazione enterica, alle risaie e alla bruciatura delle biomasse, lasciando nell'ombra la gestione del territorio ed i suoi effetti sul ciclo del carbonio.

Alcuni studiosi segnalano l'esigenza di soffermarsi sul fatto che a causa della continua diminuzione del mantello vegetale terrestre e della continua azione erosiva sul suolo da parte dell'agricoltura si ha sempre più una diminuzione degli assorbimenti di CO₂ ad opera della biomassa vegetale, ed una sempre crescente perdita in humus dai suoli (ben l'1% nel periodo 1978- 1998 – Zucconi, 1999). La conseguenza di tale fenomeno sarebbe un'emissione latente di CO₂, per aumento della velocità di mineralizzazione della sostanza organica, accentuata nei suoli agrari (Tabella 3.1). In effetti si tratta di una fonte di gas serra non contemplata nella stesura del protocollo di Kyoto e che in questo momento focalizza l'attenzione di molti studiosi i quali tendono a stabilire quale sia il peso di tale fenomeno sul totale delle emissioni antropogeniche di anidride carbonica nell'atmosfera, non esistendo attualmente a livello italiano dati sistematici ed organizzati in grado di confermare tali supposizioni.

Tabella 3.1. Stima delle emissioni latenti di CO₂ dalla perdita di humus in confronto all'impegno del CIPE 137/1988. (Fonte: Zucconi, 1999)

	Mt CO ₂
<i>Impegno del CIPE per la riduzione delle emissioni (periodo 1999-2010)</i>	-686
Emissioni totali di CO ₂ dalla perdita di humus nel ventennio 1978-1998 (-1.0% di humus)	+1.120
Emissioni totali di CO ₂ dalla perdita di humus attesa entro il 2010 (-0.3% di humus)	+330

3.2 L'impegno dell'Italia per l'attuazione del protocollo di Kyoto

Gli impegni che l'Italia si è assunta nell'ambito del protocollo di Kyoto, sono stati resi ufficiali dalla Delibera CIPE 137/98. La stessa delibera conferma quanto espresso nell'articolo 2 della Convenzione, ossia: "...contribuire al raggiungimento dell'obiettivo ultimo della Convenzione, ovvero di raggiungere la stabilizzazione delle concentrazioni in atmosfera di gas ad effetto serra ad un livello tale da prevenire interferenze antropogeniche pericolose al sistema climatico; tale livello dovrebbe essere raggiunto in un tempo sufficiente per permettere agli ecosistemi di adattarsi naturalmente ai cambiamenti climatici, in modo da assicurare che la produzione di cibo non sia messa in pericolo ed in modo da permettere allo sviluppo economico di procedere in maniera sostenibile".

In base al suddetto articolo l'Italia ha adottato le "Linee Guida" per la realizzazione di politiche e misure nazionali per la riduzione delle emissioni dei gas serra. Le "Linee Guida", approvate il 19 novembre 1998 dal Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica, individuano come obiettivi entro l'anno 2008 - 2012, la riduzione del 6,5% delle emissioni di CO₂ rispetto a quelle del '90. Le "Linee Guida" prevedono una serie di misure di mitigazione (sei azioni nazionali in tutto), tra cui, interessanti per i nostri scopi, la riduzione delle emissioni nei settori non energetici e l'assorbimento delle emissioni di carbonio dalle foreste. I contenuti e le prospettive delle azioni individuate dalle "Linee Guida" rendono chiaro come il protocollo di Kyoto rappresenti, anche per l'Italia, una possibilità per orientare le scelte del prossimo secolo su uno sviluppo di qualità.

4. Obiettivi del lavoro

Questa ricerca si inquadra nel più ampio progetto denominato "*CLIMAGRI- Cambiamenti Climatici e Agricoltura*", finanziato dal Ministero delle Politiche Agricole e Forestali (MiPAF) e coordinato dal Dott. Domenico Vento, Direttore dell'Ufficio Centrale di Ecologia Agraria di Roma (UCEA). Gli obiettivi principali del progetto, che si svilupperà in un intervallo di tempo di tre anni, tendono a effettuare delle ricerche sulle conseguenze delle variazioni climatiche sull'agricoltura in Italia, tramite acquisizioni di maggiori conoscenze sui cambiamenti climatici, predisposizione di scenari futuri, previsioni meteorologiche per l'agricoltura, impatto dei cambiamenti climatici sull'agricoltura italiana. In particolare l'Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante svilupperà un progetto di ricerca teso ad ottenere una definizione

quantitativa, limitatamente all'ambiente mediterraneo, del ruolo dell'agricoltura sul bilancio globale della CO₂, cosicché possa offrire un contributo nell'intento di costruire uno strumento utile per la pianificazione dell'uso del suolo in funzione anche della sostenibilità ambientale.

Lo scopo del presente lavoro è stato, invece, quello di studiare gli scambi di anidride carbonica tra i microrganismi del suolo e l'atmosfera, analizzando gli indicatori biochimici, generalmente utilizzati per l'analisi della fertilità dei suoli. L'analisi dei dati, suddivisi in base al sito ed alla profondità del prelievo, tende a calcolare un insieme di indicatori statistici di tipo descrittivo (media campionaria e deviazione standard), supportati da misure di correlazione empirica, calcolate relativamente ad alcuni dei parametri rilevati (sostanza organica, misure di respirazione basale e cumulativa). Successivamente i valori di laboratorio sono stati trasformati in dati di pieno campo, ottenuti utilizzando un'opportuna espressione matematica. Le tipologie di suoli utilizzati hanno compreso suoli agrari e suoli forestali.

5. Materiali e Metodi

5.1 Descrizione dei suoli

Il presente studio deriva dalla raccolta e successiva elaborazione statistica di oltre 500 curve respirometriche di suoli sia agrari che forestali, provenienti dalla caratterizzazione routinaria della fertilità biologica dei suoli effettuata in venti anni di ricerche condotte dalla Sezione di Nutrizione Azotata e Microbiologia del Terreno dell'ISNP. Nel presente lavoro saranno descritte circa 160 curve, corrispondenti ad alcune aree del Nord, Centro e Sud d'Italia. Sono state prescelte tipologie di suoli a diversa gestione, di cui tre terreni forestali e due terreni agrari, aventi caratteristiche chimico-fisiche differenziate e provenienti da aree distinte per la situazione geografica. I dati climatici menzionati sono stati tratti da Dal Monte et al. (1995).

(a) Suoli forestali del litorale laziale

L'insieme dei suoli considerati è situato nella Tenuta Presidenziale di Castelporziano, e ricade in un settore del litorale laziale il cui clima è caratterizzato da estati calde, con un periodo di aridità che può protrarsi per circa tre mesi, e da inverni miti. I dati climatici riportati sono relativi alla stazione di Pratica di Mare (29-34 anni di osservazioni) posta a

6 m s.l.m. e prossima all'area di studio. L'area è caratterizzata da precipitazioni generalmente mediocri e ripartite irregolarmente durante il corso dell'anno per un valore medio annuo di 66 mm, e da una temperatura media annua di 15,4 °C. Si tratta di una superficie molto vasta, a copertura variabile, in cui si ritrova una zona a Lecceta (*Quercus ilicis*) matura, poco antropizzata, con zone frammiste di bosco igrofilo costiero mediterraneo; un'area di foresta densa a bosco misto di origine antropica (*Quercetum ilicis*, var. a Farnetto, Cerro, Roverella, Sughera); una zona arida in passato devastata da un incendio, la cui copertura vegetale è a bosco di sughera, in parte ricolonizzato da essenze di macchia alta; un'area di foresta densa non lontana dalla linea di costa coperta da bosco termofilo misto di origine antropica; un'area caratterizzata da un'estrema vicinanza alla linea di costa, con copertura a bosco igrofilo costiero mediterraneo (*Populus alba*) e un suolo di duna con copertura a *Pinus Pinea* (pineta matura) (Benedetti et al., 1995).

(b) Suoli a prato pascolo del litorale laziale

Nella medesima Tenuta si trova un'area, avente caratteristiche differenti, da qualche tempo destinato al pascolo della fauna selvatica (soprattutto da parte di cinghiali). Si tratta di un ampio prato, senza copertura vegetale, poco distante dalla linea di costa. Accanto ad essa c'è una seconda area in cui la frequentazione dei cinghiali è meno assidua e che è stata sottoposta a rimboschimento con *Pinus pinea* e *Populus alba*.

Nel presente lavoro i suoli descritti in precedenza ed identificati con le lettere (a) e (b), sono stati considerati come due diverse tipologie forestali, dunque trattati separatamente. I profili di entrambi sono stati separati negli strati (0-20) cm e (20-40) cm (Benedetti et al., 1995).

(c) Suoli forestali dell'entroterra siciliano

L'area di studio è situata nei monti Sicani, nella Sicilia centro-occidentale, in provincia di Agrigento. Si tratta di una superficie boscata, appartenente al Demanio forestale "Ledera", in provincia di Agrigento, posta ad una quota di 1030 m s.l.m., esposta ad ovest e con pendenza uniforme del 7-8%, rimboschita con Pino d'Aleppo (*Pinus halepensis*) e Cedro dell'Atlante (*Cedrus atlantica*). Il clima, sulla base dei dati della stazione di Prizzi (35-41 anni di osservazioni), molto prossima all'area di studio e posta alla stessa quota, è caratterizzato da una piovosità media annua di 46 mm e da una temperatura media annua di 12,3 °C.

Nel presente lavoro, il profilo dell'area descritta è stata separata negli orizzonti pedologici A, superficiale, di circa (0-10) cm, caratterizza-

to da un accumulo di materiale organico umificato, fortemente legato alla frazione minerale, e B, profondo, di circa (10-30) cm, arricchito di argilla o altri elementi (Dazzi, 1994).

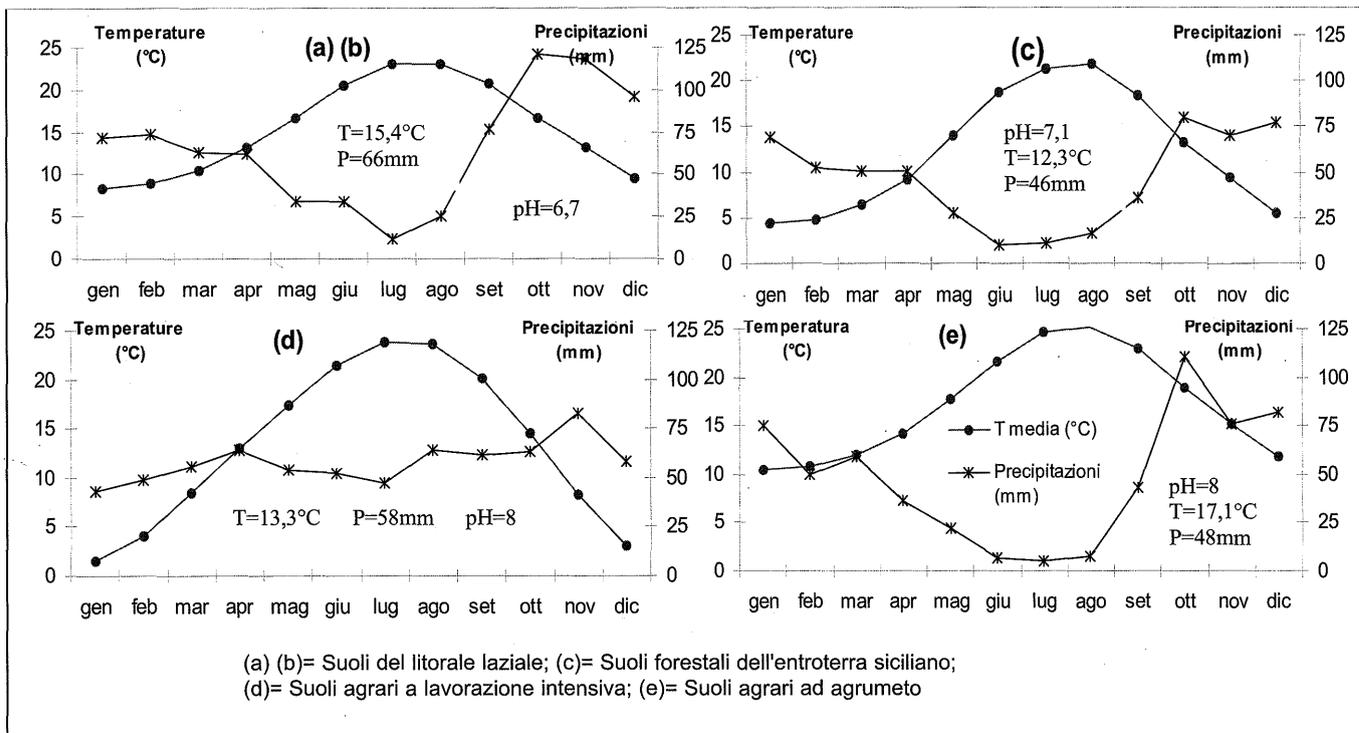
(d) Suoli agrari dell'Emilia Romagna a lavorazione intensiva.

Lo studio è stato condotto presso quattro aziende sperimentali del Centro di Ricerca produzione Vegetale della Regione Emilia Romagna. Le aziende, situate nella provincia di Modena e Reggio Emilia, risultano coltivate ad orticole e cerealicole (barbabietola da zucchero, sorgo da granella, vite mais, patata, lattuga e pomodoro). In base ai dati raccolti dalla stazione meteorologica di Faenza a 35 ms.l.m. (24-26 anni di osservazioni), il clima di questa zona prevede precipitazioni medie annue di 58 mm ed una temperatura media annua di 17,8 °C. I campioni di suolo considerati nel presente lavoro sono stati prelevati ad una profondità di (0-30) cm e trattati come campione unico.

(e) Suoli agrari siciliani ad agrumeto.

Lo studio è stato condotto in area Mediterranea nelle province di Catania e Siracusa. Si tratta di un'ampia superficie non continua, comprensiva di 54 aziende agricole a conduzione biologica e convenzionale, coltivate ad agrumeti (var. Tarocco e Navelina). I dati climatici si riferiscono alla stazione meteorologica di Catania (38-43 anni di osservazioni) a 11 m s.l.m. e prossima all'area di studio. Le precipitazioni raggiungono una media annua di 46 mm e la temperatura media è di 23 °C. Nel presente lavoro è stato considerato un unico strato della profondità di (0-60) cm, in quanto il suolo delle aziende agricole prese in considerazione è stato sottoposto a lavorazione profonda.

I valori medi mensili di temperatura e piovosità, relative alle quattro stazioni meteorologiche considerate, sono rappresentati nei termoidogrammi di figura 5.1. In ognuno dei grafici sono inoltre riportati i valori medi annui di temperatura e piovosità ed il valore medio di pH. La misura di quest'ultimo parametro si è resa necessaria considerando la forte dipendenza di molte attività microbiologiche del terreno da esso. Quasi tutti i batteri sono sensibili a forti variazioni di pH e presentano un range ottimale nel quale svolgono al meglio le loro funzioni biologiche. Importante è la dipendenza da questo parametro della respirazione del suolo, intensa nei terreni neutri o subalcalini, con buona struttura, sciolti e molto aerati, meno marcata in terreni acidi o alcalini, mal drenati o asfittici (Tombesi, 1977; Tate, 1995).



(a) (b)= Suoli del litorale laziale; (c)= Suoli forestali dell'entroterra siciliano;
 (d)= Suoli agrari a lavorazione intensiva; (e)= Suoli agrari ad agrumeto

Figura 5.1. Termoudogrammi rappresentativi delle situazioni climatiche relative alle stazioni meteorologiche prescelte per le quattro tipologie di suoli. Tutti i grafici sono stati realizzati riportando i valori medi mensili su un numero variabile tra 22 e 43 di anni di osservazioni e come valori massimi delle ordinate Temperatura = 25 °C e Piovosità = 125 mm.

Sono stati anche annotati i valori medi annui di temperatura, piovosità e pH (G.U., 1999)

5.2 Descrizione dei metodi di analisi

Per l'analisi delle dinamiche del ciclo del carbonio nei suoli agricoli e forestali sono stati utilizzati metodi per lo studio delle cinetiche di accumulo/mineralizzazione della sostanza organica nel suolo (Riffaldi et al., 1996); in particolare sono state usate misure di evoluzione dell'anidride carbonica in ambiente controllato. Tutti i suoli oggetto di analisi sono stati caratterizzati con parametri chimico-fisici (pH, capacità di ritenzione capillare, carbonio organico totale, azoto totale) e biologici (valori di respirazione iniziale, basale e cumulativa della biomassa microbica espressi come emissione di CO₂). Nel presente lavoro sono state oggetto di analisi esclusivamente i valori relativi alla sostanza organica e alle emissioni di CO₂ da parte dei microrganismi del suolo.

Determinazione del carbonio organico totale

La determinazione del C organico totale (TOC) è stata effettuata utilizzando il metodo di Springer & Klee (1954) che consiste nell'ossidazione della sostanza organica per trattamento, a condizioni definite di temperatura (160°C) e acidità, con quantità note di K₂Cr₂O₇ 2N in largo eccesso. I risultati si ottengono mediante retrotitolazione del bicromato che non ha partecipato alla reazione di ossidazione, con una soluzione di FeSO₄ a titolo noto e sono espressi come % di C per 100 g di suolo secco in stufa a 105°C.

Determinazione della respirazione del terreno

La determinazione della concentrazione di CO₂ prodotta dalla biomassa microbica presente in un campione di suolo viene effettuata per via titrimetrica, modificando il metodo proposto da Isermayer (1952). La biomassa microbica, respirando, produce CO₂ che viene intrappolata da una soluzione di idrossido di sodio a concentrazione nota presente nel contenitore, ove si trasforma in carbonato di sodio. Il dosaggio della CO₂ prodotta viene effettuato tramite precipitazione del carbonato per aggiunta di cloruro di bario 1M (reazione immediata); tutto l'idrossido di sodio che non è entrato nella reazione può essere titolato con acido cloridrico.



e



In particolare, 25 g di suolo secco all'aria viene riportato a condizioni idriche ottimali e messo ad incubare al buio a 30°C in un contenito-

re di vetro a chiusura ermetica in presenza di NaOH a titolo noto e di acqua acidulata sul fondo per prevenire il disseccamento del suolo. A tempi pre-stabiliti (1, 2, 4, 7, 10, 14 giorni) il carbonato formatosi viene precipitato con BaCl_2 1N e la soda in eccesso titolata con HCl a concentrazione nota, usando come indicatore la fenoltaleina. Il valore di CO_2 per ogni campione è ottenuto per differenza con il controllo privo di suolo. I risultati sono espressi come mg di carbonio emessi in forma di CO_2 dalla biomassa microbica del suolo al giorno, per kg di suolo.

6. Risultati e discussione

6.1 I dati di laboratorio

E' stata effettuata un'analisi statistica esplorativa per l'individuazione di possibili dati anomali (outliers). La tecnica utilizzata si basa sulla rappresentazione della distribuzione tramite boxplot ed i dati anomali sono stati vagliati e, nel caso, eliminati dalle analisi successive. Le medie dei valori sperimentali dei tassi di mineralizzazione della sostanza organica ottenuti mediante la metodica proposta da Isermayer (1952) e relativi alle diverse tipologie di suoli considerati, sono riportati in tabella 6.1 come valori basali e cumulativi di respirazione del suolo, riferiti a 14 giorni di incubazione. Sono anche riportati i valori medi relativi al contenuto in sostanza organica, espressi in percento in peso (grammi di sostanza organica in 100 grammi di suolo seccato a 105°C).

Tabella 6.1. Medie dei valori sperimentali relativi a Sostanza Organica, Respirazione cumulativa e Respirazione basale

Tipologia di suolo	Profondità (cm)	Sostanza Organica (%) (1)	Respirazione cumulativa (mg C-CO ₂ /kg suolo) (2)	Respirazione basale (mg C-CO ₂ /kg suolo) (3)
(a)	(0-20)	3,01 ± 1,31	384	15
	(20-40)	1,25 ± 0,65	120	4
(b)	(0-20)	3,09 ± 0,91	317	12
	(20-40)	1,32 ± 0,38	103	3
(c)	(0-10)	13,04 ± 2,98	2120	67
	(10-30)	5,12 ± 0,58	617	16
(d)	(0-30)	1,87 ± 0,57	282	11
(e)	(0-60)	2,06 ± 0,77	486	17

(1)= grammi di sostanza organica su 100 grammi di suolo; (2)= valore cumulativo di mineralizzazione della sostanza organica al 14° giorno di incubazione; (3)= valore di respirazione basale dei microrganismi del suolo al 14° giorno di incubazione

I valori cumulativi di respirazione mostrano che i processi di mineralizzazione della sostanza organica non dipendono dall'ammontare di questa, ma da altri fattori che, al pari, possono influenzare le condizioni in cui si trovano i microrganismi. È sufficiente osservare il campione (d) (0-30), che con un contenuto in s. o. intorno al 2% ha un tasso di mineralizzazione pari a circa la metà rispetto al campione (e) (0-60). È però doveroso tener presente che il suolo (d) è un suolo agrario lavorato a coltivazione intensiva dove la sostanza organica è presente solo grazie alle pratiche di fertilizzazione e quindi non è disponibile come substrato per i microrganismi, i quali si trovano costantemente in condizioni di crescita limitata. Inoltre nel suolo (e) il campionamento è stato effettuato ad una profondità di 60 cm.

Sui tre parametri presentati in tabella è stata calcolata la matrice delle correlazioni semplici, la quale restituisce la misura del grado e del tipo di associazione tra le variabili oggetto di studio. La numerosità delle famiglie di dati a disposizione, per ciascun suolo e strato, è riportata nella seconda colonna della tabella 6.2.

Tabella 6.2. Matrice delle correlazioni semplici calcolate per Sostanza Organica, Respirazione cumulativa e Respirazione basale nelle cinque tipologie di suoli, alle diverse profondità

	Numerosità	I-II	I-III	II-III
(a) (0-20) cm	8	0,50	0,53	0,97
(a) (20-40) cm	7	0,44	0,53	0,78
(b) (0-20) cm	12	0,86	0,90	0,98
(b) (20-40) cm	12	0,33	0,24	0,73
(c) (0-10) cm	19	0,81	0,93	0,86
(c) (10-30) cm	19	0,67	0,73	0,70
(d) (0-30) cm	27	-0,29	-0,04	0,42
(e) (0-60) cm	53	0,31	0,51	0,92

(I) Sostanza Organica; (II) Respirazione basale; (III) Respirazione Cumulativa

6.2 I dati di campo

Come descritto precedentemente, i dati di respirazione ottenuti in laboratorio sono stati trasformati riportandoli alle condizioni di campo (R_c), usando l'equazione (Benedetti, 1985)

$$R_c = C_0 \cdot k \cdot C_u$$

Tale equazione tiene conto dei parametri climatici specifici dei siti prescelti, in quanto in grado di influenzare i processi naturali di minera-

lizzazione. Infatti, C_u (Coefficiente di umidità del suolo) si calcola dai valori di capacità di ritenzione capillare, a loro volta desunti, nel presente lavoro, dalle medie mensili di piovosità ed evapotraspirazione, relativi ad ognuna delle stazioni climatiche e ricavate da un numero variabile di anni di osservazioni; k è la costante cinetica di velocità di reazione, ricavata dall'equazione di Arrhenius della teoria cinetica dei gas, ed è inversamente proporzionale alla temperatura T , espressa in gradi Kelvin. ($k \propto \log_{10} (1/T)$). Già nel 1895, infatti, Arrhenius intuì che le variazioni dei costituenti in tracce dell'atmosfera, avrebbero potuto influenzare la temperatura del pianeta. Usando i dati a lui disponibili, sviluppò una serie di calcoli sugli effetti degli aumenti e decrementi di CO_2 nell'atmosfera sulla temperatura. In base ai valori di k , C_u e partendo dal dato sperimentale mensile di respirazione basale, C_0 (ottenuto moltiplicando x 30 giorni il valore giornaliero di respirazione al 14° giorno), espresso in mg C- CO_2 /kg suolo, si è potuta ricavare, per ognuno dei siti considerati, una tabella, del tipo 6.3, che mostra i valori mensili di mineralizzazione della sostanza organica.

Tabella 6.3. Esempificazione dei parametri utilizzati per il calcolo dei valori di mineralizzazioni per lo strato (0-20) cm del terreno (a). Valori medi

(a) (0-20) cm	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
T (°C)	8,25	9,00	10,55	13,15	16,75	20,50	23,05	23,15	20,75	16,75	13,20	9,40
K (l/mol-t)	0,008	0,009	0,010	0,012	0,016	0,021	0,025	0,025	0,021	0,016	0,012	0,009
C_u	0,70	0,54	0,28	0,20	0,08	0,07	0,02	0,05	0,22	0,53	0,91	1,00
Mineralizzazione (mgC- CO_2 /kgsuolo)	3,12	2,30	1,99	1,25	1,19	0,62	0,64	0,21	0,41	1,30	2,34	2,97

I valori di mineralizzazione della sostanza organica riportati nella tabella 6.3, hanno dunque un andamento variabile durante l'anno, in relazione a temperatura ed umidità. Infatti, k varia in modo inverso alla temperatura perciò un aumento di questo parametro porta ad una diminuzione della velocità dei processi di reazione, che si riflette in questo caso con una riduzione dei tassi di mineralizzazione durante i mesi estivi, rispetto ai mesi invernali. Nel grafico di figura 6.1 si può osservare l'andamento dei processi di mineralizzazione e della temperatura relativamente al suolo (a) (0-20) cm.

Anche la quantità di acqua presente nel suolo, espressa come umidità relativa e rappresentata dal coefficiente di umidità, C_u , ha grande importanza nei processi di mineralizzazione. L'umidità, infatti, può selezionare i microrganismi in quanto influenza la quantità di ossigeno presente nei pori, altro fattore limitante. La tabella 6.4 mostra i tassi medi di mineralizzazione mensili ed annui della sostanza organica nelle diverse tipologie di suolo e alle diverse profondità.

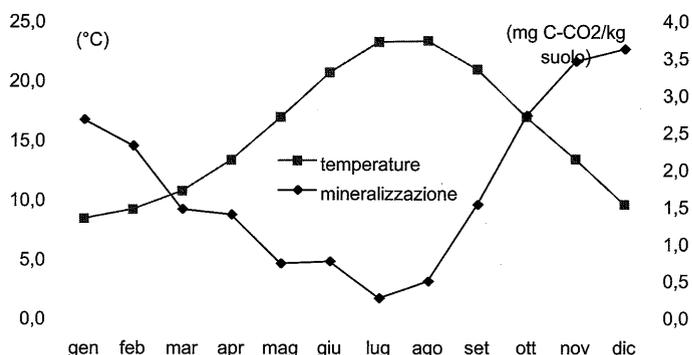


Figura 6.1. Rappresentazione grafica dell'andamento del processo di mineralizzazione della sostanza organica (mg C-CO₂/kg suolo) e della temperatura (°C) per lo strato (0-20) cm del terreno (a)

Tabella 6.4. Valori medi mensili ed annui dei tassi di mineralizzazione della sostanza organica, espressi in mg C-CO₂/kg suolo

Suolo Profondità (cm)	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Annuo
(a) (0-20)	3,1	2,3	2,0	1,3	1,2	0,6	0,6	0,2	0,4	1,3	2,3	3,0	18,33
(20-40)	1,1	0,7	0,5	0,3	0,3	0,1	0,2	0,1	0,2	0,5	1,0	1,2	6,18
(b) (0-20)	2,8	1,8	1,5	0,8	0,7	0,4	0,4	0,2	0,4	1,5	2,5	3,	16,33
(20-40)	0,9	0,6	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,8	1,1	5,31
(c) (0-10)	15,9	11,6	7,2	4,6	4,1	2,1	0,8	0,9	1,7	4,2	10,9	12,2	76,19
(10-30)	4,6	3,4	2,1	1,3	1,2	0,6	0,2	0,3	0,5	1,2	3,2	3,5	22,17
(d) (0-30)	1,3	1,2	1,0	0,8	0,8	0,8	0,6	0,5	0,5	0,5	0,7	1,2	9,79
(e) (0-60)	5,3	4,0	2,2	1,8	1,0	0,6	0,2	0,2	0,3	2,3	5,6	4,5	27,77

7. Conclusioni

Questo studio non fornisce dati assoluti di emissioni nazionali di CO₂ da suoli agrari, ma richiama l'attenzione sull'entità dei valori di mineralizzazione della sostanza organica in suoli agrari e forestali, tenendo conto delle variazioni di alcuni parametri climatici (temperatura e umidità). Le informazioni trattate in questo ambito sono state ricavate da oltre 160 curve respirometriche, di suoli a diversa gestione e provenienti dalla caratterizzazione routinaria della fertilità biologica, effettuata in venti anni di ricerche condotte dalla Sezione di Nutrizione Azotata e Microbiologia del Terreno dell'ISNP. La raccolta di dati, che sarà ancora ampliata per un totale di oltre 500 curve respirometriche, sarà utilizzata nell'ambito del Progetto

Finalizzato “*Climagri - Cambiamenti Climatici ed Agricoltura*” e permetterà di acquisire maggiori conoscenze sul ruolo dell'agricoltura nei processi di mitigazione delle emissioni di gas serra. Tale obiettivo sarà supportato dalla predisposizione di scenari futuri, in grado di descrivere quali potranno essere le trasformazioni che l'attività agricola dovrà subire per orientarsi verso uno sviluppo sostenibile.

Bibliografia

- BENEDETTI A. (1985) Alcune note sulla concimazione azotata nell'ambito del modello della produttività potenziale. Vol. XIII- n° 5.
- BENEDETTI A., ALIANIELLO F., DELL'ORCO S., PINZARI F., TRINCHERA A. (1995) Valutazione dell'impatto di differenti fattori xenobiotici sulla fertilità del suolo. In: *Rapporto annuale Progetto di Monitoraggio Ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano*. pp. 70-85.
- CIPE 137/98, Linee guida per le politiche e misure nazionali di riduzione delle emissioni di gas serra.
- CIPE 211/97, Approvazione delle linee generali della “Seconda Comunicazione Nazionale alla Convenzione sui Cambiamenti Climatici”.
- DAL MONTE G., PERINI L., BRUNETTI A. (1995) Indici Agroclimatici. Quantità attese di precipitazione ed evapotraspirazione potenziale. Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari e Forestali – Ufficio Centrale di Ecologia Agraria.
- DAZZI C. (1994) Pedologia Forestale – *Appunti dalle lezioni*. Facoltà di Agraria – Università di Palermo. pp 26.
- FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE OF UNITED NATION (Kyoto, 1-10 December 1997) Kyoto protocol to the united nations framework convention on climate change.
- GU “*Metodi Ufficiali di Analisi Chimica del Suolo*”, 1999.
- ISERMEYER H. (1952) Eine einfache Methode sur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden. *Z. Pflanzernah Bodenk.* 56: 26-38.
- MINISTERO DELL'AMBIENTE (1997) Seconda Comunicazione Nazionale per la Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici.
- MINISTERO DELL'AMBIENTE in collaborazione con OASIS (2000) Clima e Ozono – Le sfide ambientali del XXI secolo. *OASIS. Supplemento n° 1 al n° 5/00* pp.12, 18-22.
- OECD, Joint Working Party of the Committee for Agriculture and the Environment Policy Committee (22 August 1997) The climate implications of agricultural policy reform.
- RIFFALDI R., SAVIOZZI A., LEVI-MINZI R. (1996) Carbon mineralization kinetics as influenced by soil properties. *Biol. Fertil. Soils.* 22: 293-298.
- SPRINGER U., KLEE J. (1954). Prüfung der Leistungsfähigkeit von einigen wichtigeren Verfahren zur Bestimmung des Kohlenstoffs mittels Chromschwefelsäure sowie Vorschlag einer neuen Schnellmethode. *Z. Pflanzenernähr. Dang. Bodenk.* 64.
- TATE R.L. (1995) Soil Microbiology. John Wiley & Sons, New York, 398 pp.
- TOMBESI L. (1977) Elementi di Scienza del Suolo e di Biologia Vegetale, EDAGRICOLE, 435pp.
- ZUCCONI F. Energia dalle biomasse: progetti e utopie in un mondo in rapida trasformazione (1999). Appunti Dip. Energetica. FAC. DI AGRARIA- UNIV. DI ANCONA.

APPROCCIO ECOSISTEMICO NELLA GESTIONE DEI SUOLI IRRIGATI CON ACQUE REFLUE

B. Ceccanti¹, G. Masciandaro¹, A. Aru², P. Botti³,

R. Corrias³, M. Ferralis³, G. Marras³, P. Spanu³, S. Vacca⁴

1 Istituto per la Chimica del Terreno – C.N.R., Pisa.

2 Università degli Studi di Cagliari.

3 Ente Autonomo del Flumendosa, Cagliari.

4 Università degli Studi di Sassari.

Premessa

Il riciclo delle acque reflue depurate per scopi irrigui è possibile solo se si rispettano i limiti di concentrazione delle sostanze ritenute dannose per la salute e per l'ambiente. A fronte però degli innumerevoli sforzi che si stanno facendo in tutto il mondo per fissare limiti e modalità di riuso, poco si fa per garantire la "salute" del suolo. Fin dai primi anni del secolo scorso, si è pensato a salvaguardare la vita acquatica e a non creare situazioni di rischio per le acque potabili; giusto, però anche il suolo reclama oggi lo stesso livello di attenzione, se non altro perché popolato da innumerevoli organismi animali e microbici che svolgono funzioni fondamentali per la vita del pianeta.

Un approccio corretto, anche se parziale, potrebbe essere quello di approfondire il concetto di suolo come "filtro" chimico-fisico e biologico. E' ovvio che ogni sistema che si adotta o che si adotterà in futuro, dovrà tenere conto, fatte salve le limitazioni di legge relative alla tossicità ambientale e all'igiene, dei sistemi di trattamento già esistenti o possibili in zona, della loro efficienza depurativa, della possibilità di disporre di diverse tipologie di reflui, del supporto dei consorzi di bonifica e delle associazioni degli agricoltori nella gestione della distribuzione e nell'adeguamento delle reti irrigue.

Quindi, i punti fondamentali da considerare sono:

- le proprietà filtranti del terreno;
- il livello di depurazione possibile in funzione dell'uso;
- la vulnerabilità dell'acquifero interessato.

E' implicito che i tre punti sono interconnessi, in quanto le capacità filtranti e depurative del terreno dipendono dal carico di nutrienti ed inquinanti in arrivo (quindi dal grado di depurazione) e la vulnerabilità dei cor-

pi acquiferi dipende dalle caratteristiche del suolo (barriera primaria), dai tempi di ricarica (diluizione degli inquinanti) e dalle capacità autodepurative (stato biologico). Tutto questo ruota attorno al nuovo concetto, molto dibattuto, di indicatori della qualità del suolo e della vulnerabilità dell'acquifero.

Limiti potenziali al riciclo di acque reflue

Gli effetti più marcati per il suolo, derivanti dall'uso di acque reflue consistono in:

- aumento della salinità;
- eccessivo carico di azoto nelle acque di falda;
- aumento della sodicità.

Quali marcatori?

Siamo ancora lontani da scrivere un "international soil quality index", ma vi è un accordo, a livello mondiale, nel considerare come indici della qualità del suolo alcuni parametri biologici (enzimi, ATP, molecole biologiche specifiche), anche se rimangono da fissare limiti e applicazioni.

In particolare, in ambito internazionale, ci sono proposte sempre più frequenti, per l'uso di particolari *indicatori microbiologici*, soprattutto quelli che riflettono lo stato chimico e fisico del suolo. Estrapolando questo concetto si potrebbe arrivare alla scelta di specifici "marcatori" enzimatici che, al contrario delle "conte" microbiche, richiedono minore manualità e minor costi d'analisi. Inoltre, essendo meno sensibili a variazioni stagionali e microambientali, gli enzimi possono essere usati per confrontare diverse situazioni di campo.

Complessi umo-enzimatici

Sono enzimi legati stabilmente alle sostanza umiche e ai colloidi minerali del terreno; sono utili, in quanto "marcano" l'evoluzione della sostanza organica da una forma labile ad una pseudo-stabile (umificata). Costituiscono, insieme ai microrganismi, la parte persistente e rigenerabile del sistema autodepurativo del terreno; per questo sembrano essere molto utili per rilevare effetti a lungo termine delle varie forme d'uso del suolo.

Approccio metodologico

Si propone uno studio sulle proprietà chimico-strutturali e biochimiche della sostanza organica. L'evoluzione della SO in conseguenza dell'apporto di nutrienti con le acque reflue, interessa la vita microbica e di riflesso anche la componente enzimaticamente attiva delle sostanze umiche. La "velocità" con cui il segnale microbiologico si trasmette alle sostanze umiche, una sorta di "scatola nera", è in relazione alle caratteristiche pedologiche e fisico-chimiche del suolo.

La tecnica della Pirolisi-Gas cromatografica (Py-GC)

Mediante la tecnica della pirolisi si possono ottenere informazioni (finger prints) sullo stato di umificazione o di mineralizzazione della sostanza organica "nativa" del suolo, in quanto non alterata da manipolazioni (ad eccezione del prelievo e essiccamento). Un ulteriore approfondimento della ricerca consiste nel sottoporre a Py-GC anche estratti umici purificati e arricchiti nella componente enzimatica. I test enzimatici e gli indici di pirolisi, completano il quadro delle informazioni necessarie a capire lo stato di evoluzione della SO e, quindi, buona parte della funzionalità dell'intero ecosistema suolo.

E' stata proposta una relazione tra *attività* dei complessi umoenzimatici stabili e la *resilienza* del suolo (nucleo stabile dell'humus). Infatti, la frazione umica *strutturale* della sostanza organica presenta anche un'attività *funzionale* (enzimatica), cioè una *riserva* di energia biochimica e di materia capace di preservare e riattivare la funzionalità dell'ecosistema suolo anche in condizioni di massimo stress.

Risultati preliminari

Presso l'Istituto per la Chimica del Terreno del CNR di Pisa, è iniziato lo studio della SO di campioni di terreno prelevati da un profilo di suolo trattato con acque reflue a scopo sperimentale, studio coordinato dall'Ente Flumendosa (Cagliari), di cui si riportano i primi risultati.

Grafico 1

Rapporto AL/AR (alifatici/aromatici)

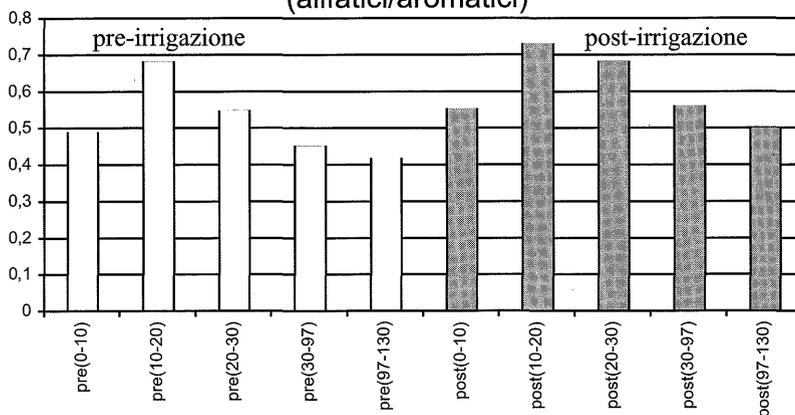


Grafico 2

Indice di mineralizzazione N/O (Furfurolo/Pirrolo)

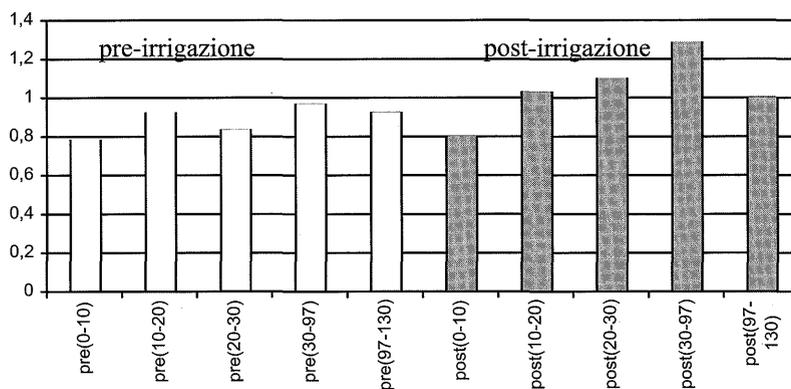


Grafico 3

Indice di umificazione B/E3 (Benzene/Toluene)

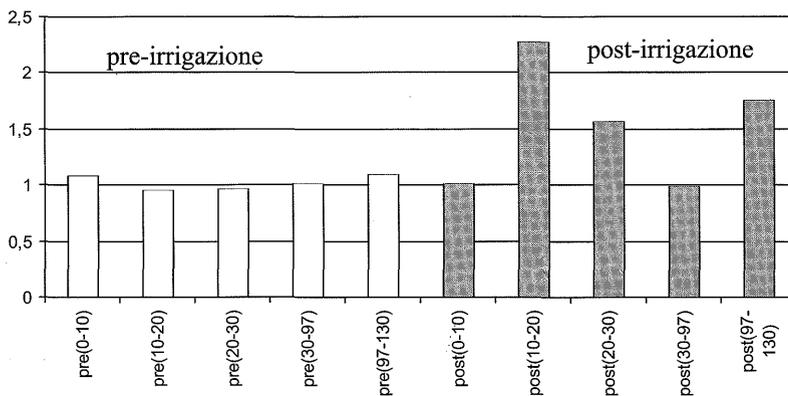


Tabella 1. Abbondanze relative (%) dei frammenti volatili di Py-GC (dati normalizzati)

Campione	E1	K	B	O	E3	N	Y
Pre (0-10)	6,236	11,159	19,980	19,720	18,435	15,499	8,971
Pre (10-20)	8,785	14,474	16,105	18,713	16,782	17,316	7,825
Pre (20-30)	6,488	12,959	16,645	19,148	17,250	16,005	11,505
Pre (30-97)	1,409	10,400	18,789	19,867	18,428	19,320	11,787
Pre (97-130)	0,626	9,819	21,327	20,563	19,373	19,084	9,207
Post (0-10)	8,579	11,673	17,638	19,144	17,397	15,397	10,172
Post (10-20)	2,540	19,082	20,311	19,964	8,916	20,607	8,579
Post (20-30)	1,482	16,887	15,556	20,147	9,898	22,196	13,835
Post (30-97)	1,274	9,597	16,587	19,452	16,831	25,058	11,202
Post (97-130)	1,783	10,284	22,839	21,231	12,977	21,293	9,593

Tabella 2. Indici di similitudine

	Pre (10-20)	Pre (20-30)	Pre (30-97)	Pre (97-130)	Post (0-10)	Post (10-20)	Post (20-30)	Post (30-97)	Post (97-130)
Pre (0-10)	0,911	0,939	0,937	0,948	0,938	0,901	0,855	0,917	0,924
Pre (10-20)		0,943	0,896	0,898	0,946	0,892	0,876	0,903	0,888
Pre (20-30)			0,941	0,920	0,956	0,891	0,896	0,946	0,912
Pre (30-97)				0,971	0,865	0,851	0,896	0,967	0,922
Pre (97-130)					0,831	0,812	0,790	0,868	0,866
Post (0-10)						0,884	0,867	0,930	0,914
Post (10-20)							0,920	0,874	0,911
Post (20-30)								0,916	0,889
Post (30-97)									0,899

Tabella 3. Ammoniaca idrosolubile

Pre-irrigazione	N-NH ₃ (µg/g)	Post-irrigazione	N-NH ₃ (µg/g)
<i>Profondità (cm)</i>		<i>Profondità (cm)</i>	
0-10	2.95	0-10	1.62
10-20	3.75	10-20	1.54
20-30	2.56	20-30	1.45
30-97	2.02	30-97	1.32
97-130	1.73	97-130	1.54

Grafico 4

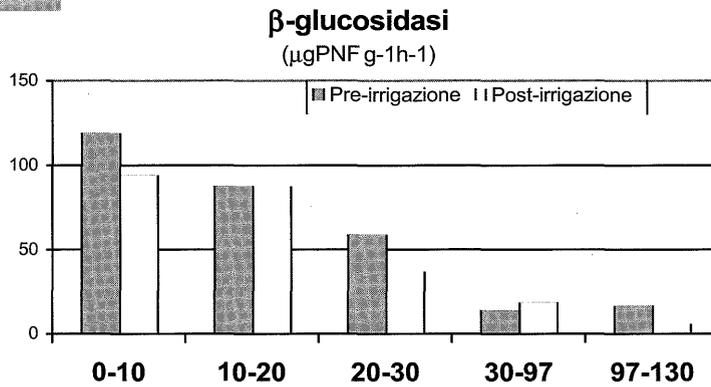


Grafico 5

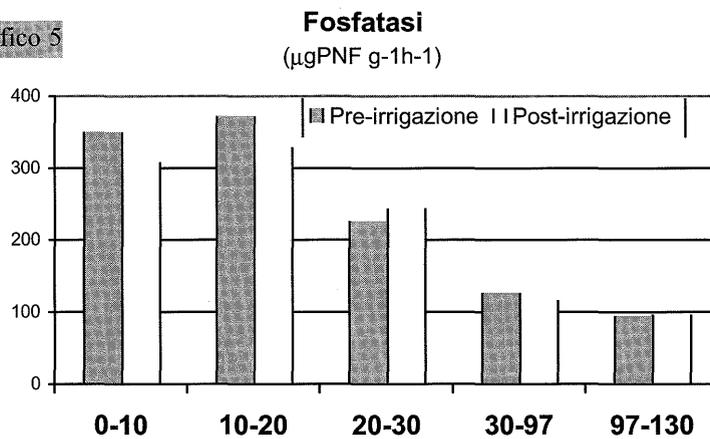
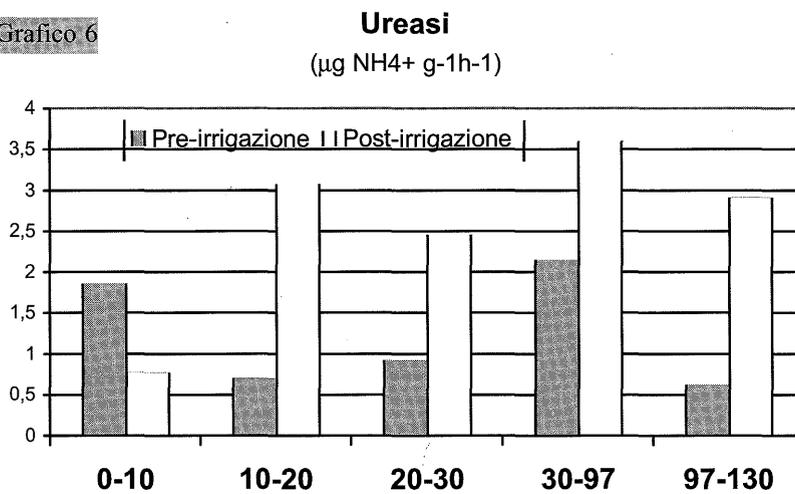


Grafico 6



Commenti

I dati di rilievo dell'indagine preliminare mostrano:

- Indice N/O più alto, mediamente, dopo post-irrigazione, che significa un rallentamento nella mineralizzazione; Il sistema sembra non riuscire a smaltire la sostanza organica in arrivo con il refluo. Infatti, il frammento di pirrolisi N (furfurolo) che deriva prevalentemente da polisaccaridi, è sensibilmente più alto nel sistema post-irrigazione, mentre il frammento E1 (acetonitrile) che deriva da proteine e aminoacidi, e il frammento E3 (toluolo) che deriva da strutture aromatiche con catene alifatiche laterali, sono percentualmente più bassi (escluso l'orizzonte superficiale).

- L'indice di umificazione B/E3, costante nel suolo non irrigato (nei suoli agricoli il valore tipico è attorno ad 1), tende ad aumentare in alcuni spessori del sistema irrigato, che potrebbe indicare l'attivazione di un processo di umificazione in situ.

- Il rapporto fra la parte alifatica e aromatica (Al/AF) sembra non subire importanti cambiamenti, ciò indica che il sistema tende a conservare le caratteristiche biologiche originali.

- Le attività enzimatiche fosfatasi e β -glucosidasi, infatti, non mostrano cambiamenti significativi con i trattamenti, mentre diminuiscono con la profondità del prelievo, andamento tipico riscontrato nei suoli. Solo l'enzima ureasi, che sappiamo essere l'enzima più abbondante nei suoli, mostra valori molto diversi, sia in funzione del trattamento che della profondità. Sembra così che i trattamenti alterino il ciclo dell'azoto.

- Ad alti valori di attività ureasica dovrebbero corrispondere alti valori di ammoniaca (idrolisi dell'urea): lo ione ammonio invece risulta più basso dopo irrigazione (tabella 3). Potrebbe essere stato attivato un processo di nitrificazione.

- I due sistemi, pre- e post-irrigazione, mostrano differenze (indici di similitudine < 0.9), che interessano soprattutto il sistema post-irrigazione.

Note

La bassa concentrazione di C dei campioni ha costretto la Py-GC a lavorare al limite delle sue potenzialità. Si è reso necessario operare una sorta di "concentrazione" del terreno, asportando la sabbia grossa. La perdita di circa il 10-20 % di materiale ha permesso di amplificare le informazioni di tipo strutturale sulla SO: per la nostra esperienza in casi analoghi, si ritiene che tutte le informazioni contenute nei terreni siano rimaste invariate.

L'andamento di questi parametri è da valutare in rapporto ad altri indici marcatori, e una elaborazione statistica dei dati riuscirà a dare un quadro più completo. Le ricerche proseguono per caratterizzare la componente umo-enzimatica e la sua evoluzione nei due sistemi, pre- e post-irrigazione.

GLI STAZZI DEI PASCOLI D'ALTA QUOTA: UN PARTICOLARE CASO DI EUTROFIZZAZIONE DEL SUOLO

Silvia Baccella ¹, Carla Ingoglia ¹, Maddalena Del Gallo ²

¹ Consorzio Parco Scientifico e Tecnologico d'Abruzzo
Via Antica Arischia, 1 - 67100 L'Aquila

² Dipartimento di Biologia di Base ed Applicata
Università degli Studi di L'Aquila - 67010 Coppito (AQ)

Riassunto

Nel presente lavoro vengono valutate le alterazioni chimico-fisiche e microbiologiche del suolo di sei aree di pascolo precedentemente adibite a stazzo (recinzione fissa per il ricovero delle greggi), confrontandole con una zona di pascolo adiacente presa come controllo. Lo studio è stato condotto con lo scopo di verificare la persistenza nel tempo della contaminazione microbiologica e dell'eutrofizzazione del suolo dovuto allo stazionamento delle greggi. Gli stazzi studiati si trovano sui pascoli di Campo Imperatore in zona Fonte Vetica (Castel del Monte - L'Aquila), ad un'altitudine di circa 1550 m s.l.m. Lo stazzo più recente è stato abbandonato dalle greggi da circa 1 mese, mentre gli altri hanno da 1 a 5 anni di età dall'ultima utilizzazione. Per le analisi microbiologiche sono stati considerati come indice di contaminazione i coliformi totali ed i clostridi, essendo questi ultimi tra i più importanti agenti eziologici primari di malattia negli animali da allevamento. Per lo studio chimico-fisico dei campioni di suolo sono state analizzate le caratteristiche qualitative e quantitative della sostanza organica (carbonio totale, estraibile ed umificato), il rapporto carbonio/azoto, la tessitura e l'umidità. I risultati riportati confermano la presenza dei microrganismi patogeni nelle aree adibite a stazzo; tale contaminazione tende ad aumentare nel primo anno, diminuendo successivamente e persistendo ancora a distanza di 5 anni dall'abbandono dello stazzo. Le analisi chimico-fisiche rivelano uno stato di eutrofizzazione delle zone in esame, che viene altresì evidenziato da un'alterazione dell'aspetto paesaggistico, dovuta alla presenza di associazioni vegetali tipiche di suoli ricchi in azoto, rendendo distinguibili dal resto del pascolo anche gli stazzi abbandonati da più anni.

Parole chiave: stazzo, pascoli montani, transumanza, eutrofizzazione del suolo, microrganismi patogeni.

Premessa

L'altipiano di Campo Imperatore, situato nel Parco Nazionale del Gran Sasso Monti della Laga, è stato teatro di attività pastorali che ne hanno caratterizzato il paesaggio. La pastorizia ha costituito il perno dell'economia, della società e della cultura abruzzesi, sin dall'antichità preromana. Fondamento costante di uno sviluppo così prolungato nel tempo è stato lo sfruttamento della complementarietà fra i pascoli montani abruzzesi e le pianure del tavoliere di Puglia: i primi, inagibili nel periodo invernale, raggiungono nell'estate il massimo rigoglio, al contrario le seconde, che in estate si presentano arse e siccitose, offrono condizioni ambientali e climatiche ottimali nei mesi freddi. Lo strumento produttivo di quest'utilizzazione integrata è stato la transumanza: spostamento stagionale di uomini e greggi fra due aree geografiche distinte di pascolo (transumanza orizzontale). Questa pratica ha segnato nel tempo una rete viaria di notevole importanza, i *tratturi*, vie d'erba larghe 111,6 metri; questi, oltre a consentire lo spostamento delle greggi, permettevano agli animali di alimentarsi per l'intera durata del viaggio, tanto da poter essere considerate risorse comuni per il pascolo itinerante. Durante la transumanza, il pastore era costretto a fermarsi più volte, per il ricovero delle pecore approntava quotidianamente lo stazzo: un recinto mobile di rete e pali leggeri per custodire il gregge durante la notte (Latini, 2000).

Benché la pastorizia in Abruzzo abbia origini antichissime, soltanto di recente si osservano fenomeni di eutrofizzazione dei pascoli montani. attualmente la transumanza delle greggi è quasi esclusivamente di tipo verticale (all'interno di uno stesso Comune), il trasferimento degli animali avviene per brevi tratti e gli stazzi assumono la consistenza di ricoveri permanenti nei pascoli d'alta quota. L'abbandono delle antiche pratiche pastorali ha imposto lo stazionamento prolungato delle greggi negli stazzi, che rimangono fissi durante tutta la stagione estiva e in cui le deiezioni animali si accumulano con un forte impatto ambientale. Tale tendenza verso una forma più sedentaria di allevamento ha portato all'utilizzo di recinzioni più pesanti (griglie di ferro) che costituiscono una maggiore protezione nei confronti dei predatori (lupi e cani randagi), ma che ne ostacolano lo spostamento. L'accumulo di sostanza organica sugli stazzi provoca la crescita di una vegetazione di tipo nitrofilo con prevalenza di *Cardus affinis*, *C. crhysacanthus*, *Chenopodium bonus-henricus*, *Cirsium lobelii*, *Rumex nebroides*, *Verbascum longifolium* e *V. mallophorum* (Biondi, 1999). I problemi principali legati a tale fenomeno sono di tipo sanitario, in quanto le lettiere prodotte dalle greggi favoriscono la proliferazione di germi patogeni (es. *Clostridium* sp), e di tipo ambientale, poiché lo stazionamento del gregge in aree circoscritte causa il compatta-

mento e l'erosione del suolo (Pagliai e Grasselli, 1997). Un'altra conseguenza è la graduale riduzione del pascolo utile, in quanto gli stazzi si presentano come aree fortemente eutrofizzate e la vegetazione impiega oltre 10 anni per riacquistare le caratteristiche originarie.

Per verificare la possibilità di interventi di recupero sono stati caratterizzati sei stazzi di diversa stagione di pascolo. Lo studio è stato condotto con lo scopo di valutare la persistenza nel tempo della contaminazione microbica e dell'eutrofizzazione del suolo dovuto allo stazionamento delle greggi.

Materiali e metodi

I campionamenti sono stati eseguiti nell'ottobre del 2000, sugli stazzi dell'ex Azienda Foreste Demaniali dello Stato in località Fonte Vetica, Campo Imperatore (Castel del Monte - L'Aquila). Lo stazzo più recente è stato utilizzato nella stagione estiva del 2000, mentre gli altri hanno da 1 a 5 anni di età dall'ultima utilizzazione. Per ogni sito sono stati campionati in triplo due orizzonti pedologici corrispondenti a 0-6 cm ed a 6-15 cm di profondità. I campioni sono stati seccati all'aria e setacciati a mano (<2 mm).

Le analisi relative alla tessitura apparente ed all'azoto totale sono state eseguite presso il Laboratorio di Analisi Agronomiche dell'Agenzia Regionale per i Servizi di Sviluppo Agricolo della Regione Abruzzo. L'umidità è stata determinata come % in acqua, tramite peso secco.

Il contenuto in carbonio organico totale (TOC) è stato ottenuto secondo il metodo Springer & Klee (1954), come riportato da Sequi e De Nobili (2000). Il carbonio estraibile totale (TEC) ed il carbonio degli acidi umici e fulvici (C_{HA+FA}) sono stati separati e purificati secondo Ciavatta *et al.* (1990).

La determinazione della carica clostridiale è stata eseguita sottoponendo il campione a diluizione e successiva termizzazione (80°C per 10'). Aliquote di opportune diluizioni sono state seminate per inclusione su terreno selettivo Perfringens Agar Base SFP con aggiunta di Egg Yolk Emulsion (PAB) (Manuale Oxoid 2000). Le piastre sono state incubate in anaerobiosi (sistema Anaerogen) a 37°C per 24 ore e successivamente sottoposte a conta delle colonie.

Per la determinazione del numero degli attinobatteri i campioni sono stati essiccati per circa due giorni e termizzati a 45°C per 16 ore. Successivamente aliquote opportunamente diluite sono state seminate su terreno SCA (<http://molbio.umn.edu/asirc/protocol/isolation.html>); le piastre sono state incubate a temperatura ambiente per 5 giorni e sottoposte alla conta delle colonie.

Per il conteggio dei coliformi totali è stato utilizzato come terreno selettivo il Violet Red Bile Agar (Manuale Oxoid 2000).

Risultati e discussione

Alterazioni microbiologiche

I clostridi sono tra i più importanti agenti eziologici primari di malattia negli animali da allevamento. Negli stazzi (nei grafici "stz") è presente una carica sporigena sempre superiore a quella riscontrata nei campioni relativi al pascolo (Fig. 1). Nello stazzo del 1999 la concentrazione dei clostridi raggiunge valori particolarmente elevati; tale risultato indica che le spore dei patogeni, accumulate durante lo stazionamento del gregge e sopravvissute alla stagione invernale, vanno incontro ad una notevole germinazione e proliferazione nella stagione estiva successiva. La contaminazione permane anche negli anni successivi: a 5 anni dall'abbandono (stz1995) i valori tendono ad avvicinarsi a quelli del pascolo di controllo. Si nota che nel pascolo e nello stazzo più vecchio i clostridi presentano una concentrazione maggiore nello strato inferiore (6-15 cm), tale dato è coerente con l'anaerofilia stretta dei microrganismi in questione; negli stazzi più recenti, dove la contaminazione è maggiore, la situazione è opposta.

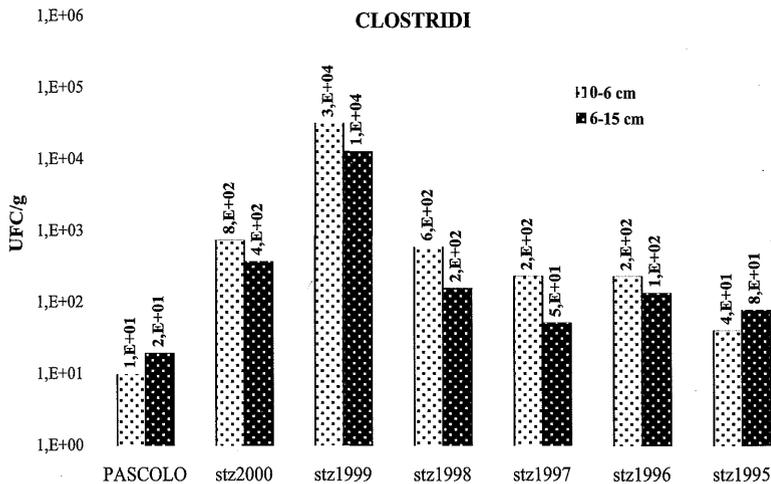


Figura 1. Concentrazione delle spore di clostridi nei 6 stazzi studiati e nel pascolo di controllo. Sono riportati i dati relativi ai due orizzonti 0-6 cm e 6-15 cm

La presenza dei coliformi potrebbe essere assunta anche nello studio dei pascoli come indicatore di fecalizzazione. Infatti, come si nota nella Fig. 2, la contaminazione è presente in tutti i siti campionati, ma non nel pascolo di controllo. La concentrazione maggiore si riscontra nello stazzo abbandonato da 1 mese (stz2000), dove è ancora presente uno strato consistente di feci non degradate.

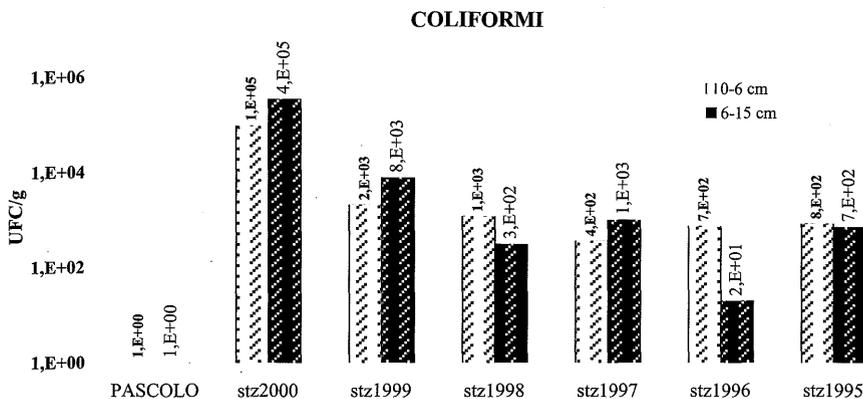


Figura 2. Concentrazione dei coliformi totali nei 6 stazzi studiati e nel pascolo di controllo. Sono riportati i dati relativi ai due orizzonti 0-6 cm e 6-15 cm

Gli attinobatteri (Fig. 3) sono stati considerati come i principali agenti della degradazione aerobica nel suolo. La loro presenza è indice di intensa attività ossidativa, dovuta ad un'alta concentrazione di sostanza organica (SO). La concentrazione delle spore di attinobatteri risulta infatti correlata positivamente con la sostanza organica e soprattutto con la percentuale di azoto totale N_{tot} . Le Fig. 4 e 5 riportano le rette di interpolazione dei punti relativi ai parametri attinobatteri-SO% ed attinobatteri- N_{tot} %; sono stati omessi i valori ottenuti nello stazzo 2000, questi infatti risultano non correlabili in quanto la popolazione batterica deve ancora raggiungere un equilibrio con la sostanza organica deposta di recente (1 mese dall'abbandono dello stazzo da parte del gregge). A conferma di tale dato, lo stazzo 2000 presenta una bassa concentrazione di attinobatteri, la cui crescita è oltremodo ostacolata dall'elevato compattamento del suolo che ne limita il metabolismo aerobico. Negli stazzi del 1999, 1998 e 1997 la carica microbica è particolarmente alta, mentre negli stazzi di 4 e 5 anni si riscontra una situazione analoga a quella del pascolo di controllo.

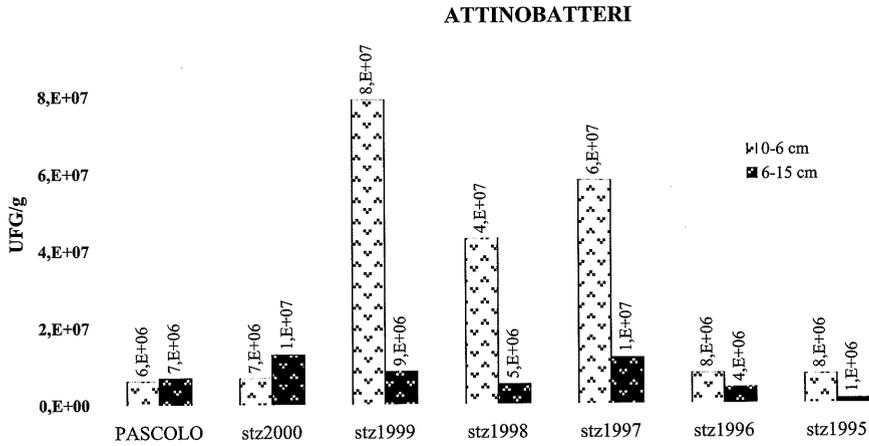


Figura 3. Concentrazione delle spore di attinobatteri nei 6 stazzi studiati e nel pascolo di controllo. Sono riportati i dati relativi ai due orizzonti 0-6 cm e 6-15 cm

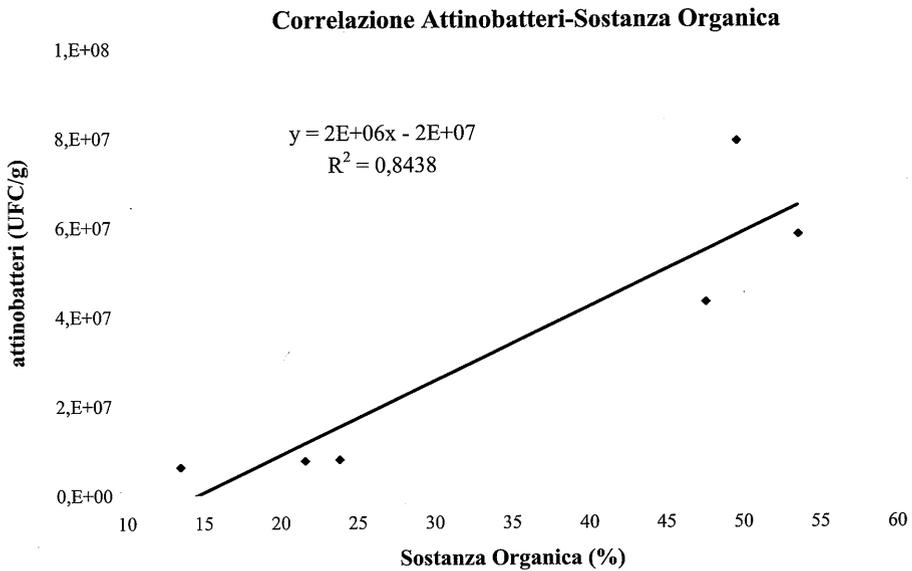


Figura 4. Correlazione tra la concentrazione di spore di attinobatteri e la concentrazione di sostanza organica

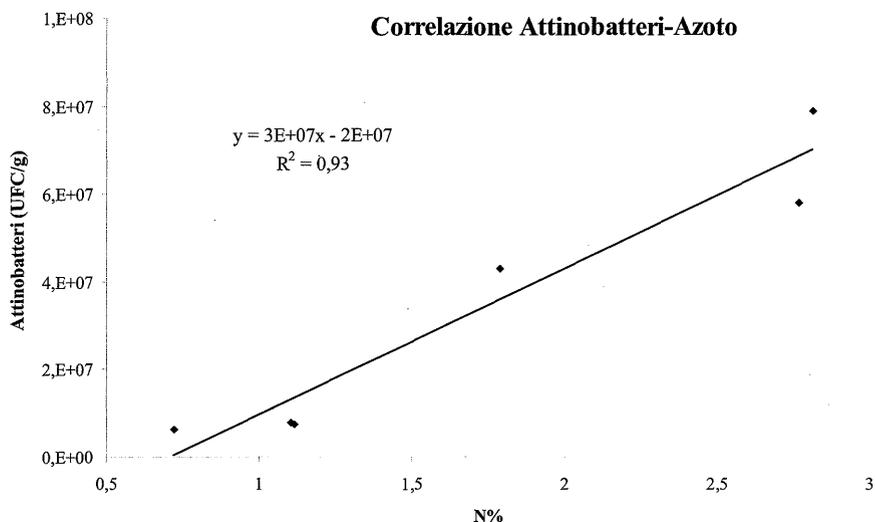


Figura 5. Correlazione tra la concentrazione di spore di attinobatteri e la concentrazione azoto totale

Alterazioni chimico-fisiche

Per lo studio chimico-fisico dei campioni di suolo sono state analizzate le caratteristiche qualitative e quantitative della sostanza organica (carbonio totale, estraibile ed umificato), l'azoto totale, l'umidità e la tessitura apparente.

La sostanza organica si accumula principalmente negli orizzonti pedologici superficiali degli stazzi, nei quali le frazioni di carbonio presentano valori superiori a quelli riscontrati nel pascolo di controllo anche a 5 anni dall'abbandono (stz1995) (Fig. 6 e 7). Lo studio delle caratteristiche degli orizzonti inferiori (6-15 cm) ha messo in evidenza l'assenza di migrazioni significative di sostanza organica dagli orizzonti sovrastanti: il carbonio in eccesso si accumula negli strati superficiali ed i contenuti in sostanza organica degli orizzonti inferiori non sono significativamente diversi da quanto osservato nel pascolo di controllo.

Il rapporto carbonio organico/azoto (C/N) risulta mediamente più elevato negli stazzi recenti rispetto a quello riscontrato nel pascolo di controllo (Fig. 8); tale risultato è influenzato essenzialmente dall'apporto di materiale celluloso, dato dalle deiezioni ovine, che si accumula sull'orizzonte superiore (0-6 cm). I dati relativi all'azoto (N%) indicano, a fronte di un maggior rapporto C/N, una disponibilità più elevata dell'elemento negli strati superficiali degli stazzi (Fig. 9). Una maggiore concentrazione di azoto è all'origine dell'instaurarsi di associazioni vegetali tipicamente nitrofile.

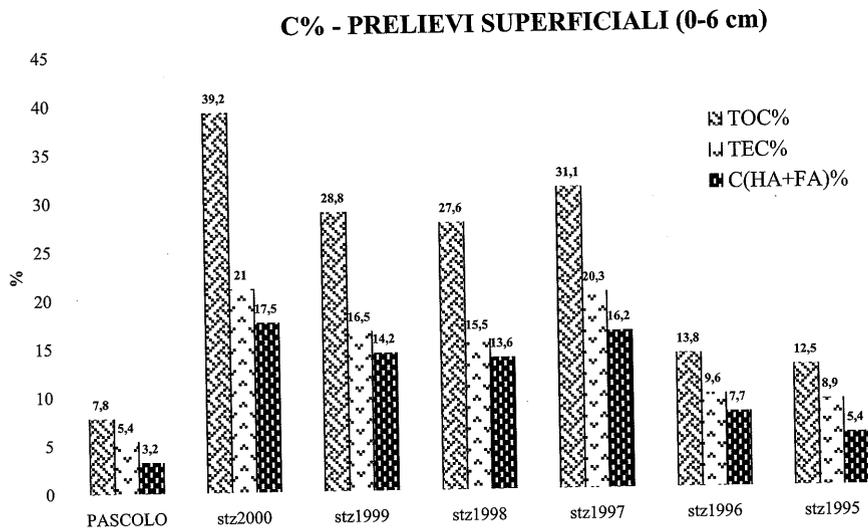


Figura 6. Concentrazione delle frazioni di carbonio organico nell'orizzonte pedologico superiore (0-6 cm) dei 6 stazzi studiati e nel pascolo di controllo

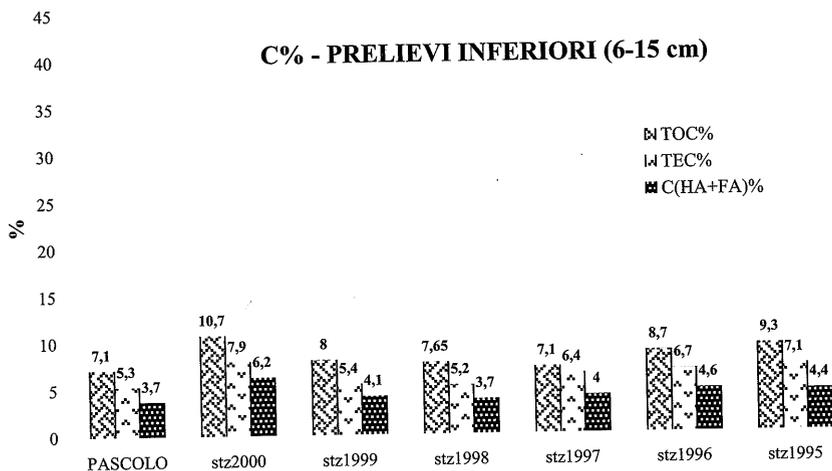


Figura 7. Concentrazione delle frazioni di carbonio organico nell'orizzonte pedologico inferiore (6-15 cm) dei 6 stazzi studiati e nel pascolo di controllo

RAPPORTO CARBONIO-AZOTO

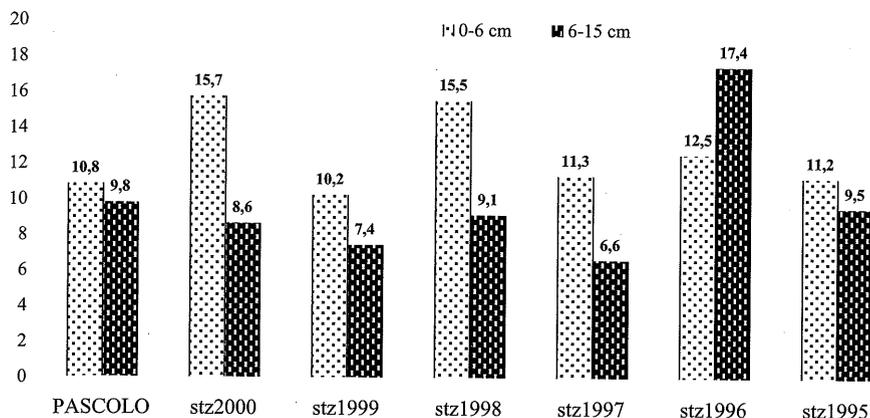


Figura 8. Rapporto carbonio organico totale/azoto totale (C/N) negli orizzonti pedologici superiori (0-6 cm) e inferiori (6-15 cm) dei 6 stazzi studiati e nel pascolo di controllo

AZOTO

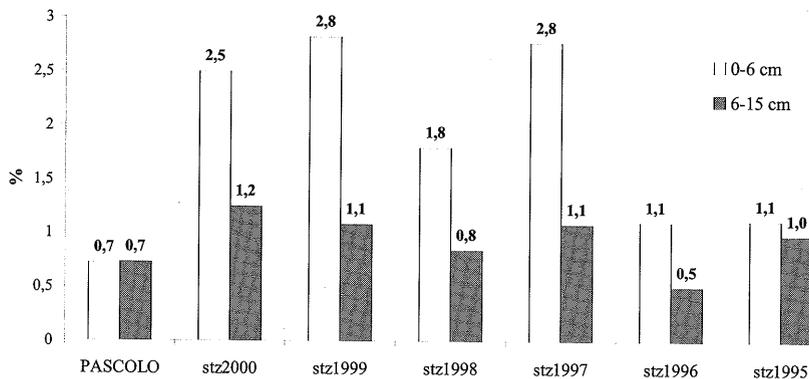


Figura 9. Percentuale di azoto totale (N%) negli orizzonti pedologici superiori (0-6 cm) e inferiori (6-15 cm) dei 6 stazzi studiati e nel pascolo di controllo

In Fig. 10 sono riportati i dati relativi all'umidità. Gli stazzi più recenti presentano una percentuale di acqua elevata, specialmente in superficie (0-6 cm), dove è maggiore l'accumulo di sostanza organica non degradata. Solo nello stazzo di 5 anni (stz1995) sono stati riscontrati gli stessi valori del pascolo di controllo e l'orizzonte inferiore (6-15 cm) presenta un'umidità superiore a quella superficiale.

La sostanza organica, favorendo la formazione di aggregati colloidali, oltre ad interferire sulla capacità di ritenzione idrica del suolo, ha effetti anche sulla tessitura apparente. Infatti nelle Fig. 11 e 12 si osserva che nello strato superficiale degli stazzi aumenta la percentuale di sabbia a discapito del limo; questo risultato è dovuto, più che ad un reale incremento della componente sabbiosa, all'effetto aggregante delle molecole organiche che si manifesta in un aumento delle dimensioni delle particelle di suolo.

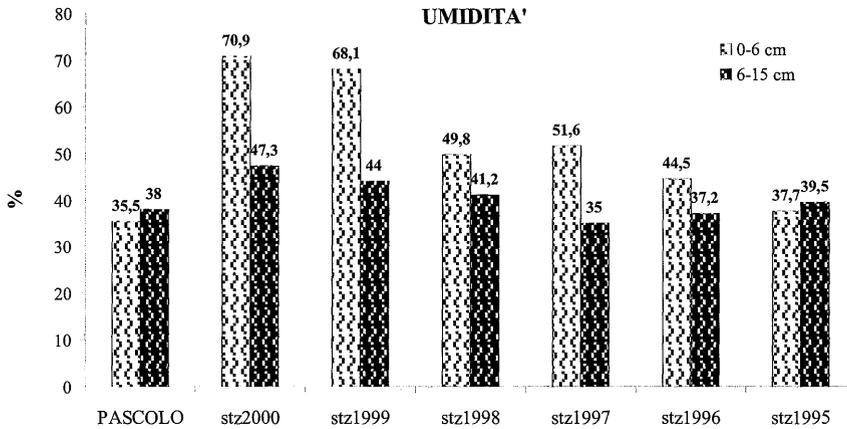


Figura 10. Umidità come percentuale di acqua negli orizzonti pedologici superiori (0-6 cm) e inferiori (6-15 cm) dei 6 stazzi studiati e nel pascolo di controllo

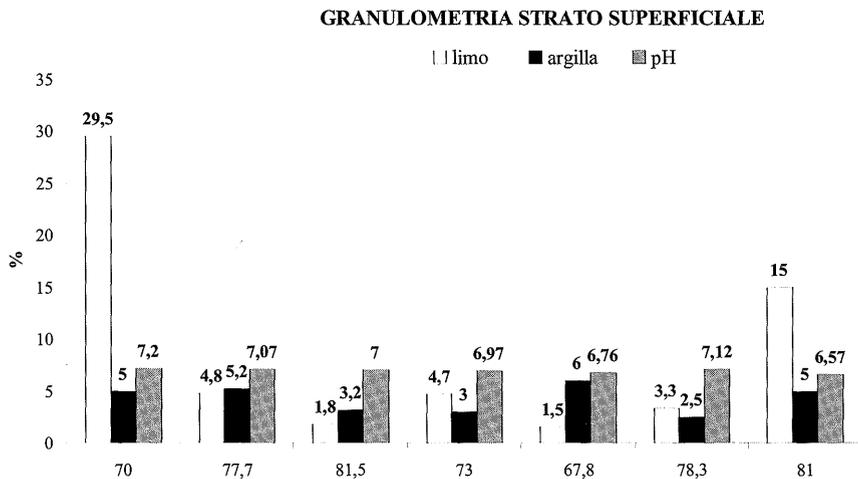


Figura 11. Tessitura apparente nell'orizzonte superiore (0-6 cm) dei 6 stazzi studiati e nel pascolo di controllo

GRANULOMETRIA STRATO PROFONDO

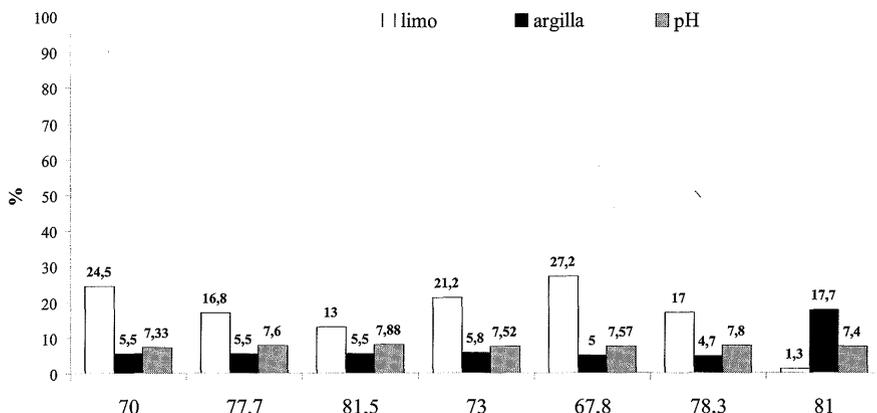


Figura 12. Tessitura apparente nell'orizzonte inferiore (6-15 cm) dei 6 stazzi studiati e nel pascolo di controllo

Conclusioni e prospettive di recupero

Il confronto fra le caratteristiche chimiche e microbiologiche del suolo degli stazzi di diversa annata ed il suolo del pascolo, ha permesso di evidenziare le modifiche apportate dall'accumulo delle deiezioni ovine e dal compattamento causato dal calpestio del bestiame.

Negli stazzi le deiezioni ovine si accumulano nel primo orizzonte pedologico (0-6 cm) mescolandosi con le parti radicali del cotico erbo-so e formando uno strato ricco in carbonio organico. Il materiale organico responsabile dell'eutrofizzazione del suolo nello stazzo è di difficile mineralizzazione, pur ospitando una comunità microbica imponente. Sono diffusamente presenti negli stazzi anche microrganismi patogeni (clostridi e coliformi) e questa contaminazione tende a persistere a distanza di 5 anni dall'abbandono.

Si prospettano due modalità principali di intervento per risolvere od attenuare l'eutrofizzazione degli stazzi: una di tipo preventivo e l'altra di recupero delle zone già contaminate. Per prevenire l'accumulo di sostanza organica sul suolo, la pratica ecologicamente più corretta è lo spostamento periodico delle recinzioni (1-2 mesi); sono in fase di studio da parte del PSTd'A alcuni modelli di recinzioni mobili solide e facilmente trasferibili. Ai fini di un ripristino più rapido delle caratteristiche del pascolo naturale in aree di stazzo degradate, è possibile effettuare alcuni interventi riassumibili in tre tipologie di azione: a) l'eliminazione meccanica dello strato di deie-

zioni; b) una migliore distribuzione lungo il profilo delle deiezioni per mezzo di una fresatura superficiale; c) l'induzione di una mineralizzazione dello strato di deiezioni più veloce per mezzo di inoculi microbici idonei. Nelle prime due tipologie di intervento esiste il rischio di esporre il suolo dello stazzo a fenomeni di erosione. La terza ipotesi appare la più innovativa in quanto è possibile selezionare microrganismi, naturalmente presenti nel suolo (es. *Streptomyces* sp), in grado di degradare la sostanza organica ed inibire la proliferazione dei patogeni, promuovendo la sanitizzazione dei siti contaminati. Il presente studio si pone come un'analisi preliminare per un successivo studio di sostenibilità degli interventi sopra citati.

Bibliografia

- BIONDI E. (a cura di) (1999) Ricerche di geobotanica ed ecologia vegetale di Campo Imperatore. Collana del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga "Le Orme". Vol.1- Braun-Blanquetia 16: 21-32
- CIAVATTA C., GOVI M., VITTORI ANTISARI L., SEQUI P. (1990) Characterization of humified compounds by extraction and fractionation on soild polyvynilpyrrolidone. *J. of Chromatog.* 509: 141-146.
- LATINI M. (a cura di) (2000) Abruzzo, le vie della transumanza. Regione Abruzzo, CARSA Ed.
- ODUM E.P. (1985) Trends expected in stressed ecosystem. *Boscence* 35: 419 422.
- PAGLIAI M., GRASSELLI O. (1997) Valutazione del compattamento di suoli sottoposti a pascolo attraverso indagini micromorfologiche. In: Morselli L. (a cura di) *Rapporto 1997 del Progetto di Monitoraggio Ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano*. Univ. Studi di Bologna/Ministero dell'Ambiente. ENEA (Unità Comunicazione e Informazione) Ed.
- SEQUI P., DE NOBILI M. (2000) Cap.VII - Carbonio Organico. In: P. Violante (Ed.) *Metodi di analisi chimica del suolo*, Collana diretta da P.Sequi Osservatorio Nazionale Pedologico, Ministero delle Politiche Agricole. Franco Angeli Ed.

*ATTINOMICETI AZOTOFISSATORI DEL GENERE
FRANKIA: BIODIVERSITÀ NEI SUOLI NATURALI E
CONSERVAZIONE EX-SITU, IN VISTA DELLE LORO
APPLICAZIONI NEL RIPRISTINO AMBIENTALE
SOSTENIBILE*

Marco Bosco, Erica Lumini, Riccardo Materassi

Dipartimento di Biotecnologie Agrarie, Sezione di Microbiologia
Università degli Studi di Firenze
Piazzale delle Cascine, 24 - 50144 Firenze

Riassunto

Per valutare efficacemente, conservare e sfruttare la biodiversità di *Frankia* nelle applicazioni di ripristino ambientale sostenibile, abbiamo affiancato ai tradizionali approcci colturali, moderni approcci biomolecolari ed una rete telematica internazionale di scambio di informazioni. Mediante valutazione della diversità genomica dei ceppi di *Frankia* di riferimento conservati in coltura pura da 12 collezioni di microrganismi è stata dimostrata l'esistenza di sequenze di DNA specifiche per *Frankia* a livello di genere e l'elevata variabilità dello spaziatore intergenico *nifDK*. È stato stabilito un protocollo rapido di identificazione a livello di specie genomica, basato sull'amplificazione *in vitro* di frammenti specifici dei geni che codificano per l'enzima nitrogenasi (*nifHDK*), poi applicato agli acidi nucleici estratti direttamente dai noduli radicali e dal suolo. Con questo approccio abbiamo semplificato la gestione della collezione di *Frankia* del nostro Dipartimento ed arricchito la banca dati della rete telematica. L'integrazione dei due approcci, biomolecolare e telematico, sta facilitando la valutazione dell'estensione della biodiversità di *Frankia* in alcune stazioni forestali naturali. I dati ottenuti serviranno per identificare e cercare di isolare tutti i ceppi di *Frankia* di una comunità microbica naturale e per formulare inoculi capaci di mantenere la biodiversità di *Frankia* negli impianti di arboricoltura da legno e nel recupero sostenibile della fertilità di suoli degradati da attività minerarie in Toscana e Sardegna. Inoltre, la possibilità di monitorare l'inoculo in campo, mediante amplificazione delle firme molecolari specifiche, permetterà di verificarne l'impatto sulla microflora autoctona.

Introduzione

Gli attinomiceti azotofissatori del suolo appartenenti al genere *Frankia* instaurano simbiosi radicali azotofissatrici con circa 200 specie di an-

giosperme legnose non-leguminose, distribuite in 24 generi di 8 famiglie (1), che arricchiscono il suolo di sostanza organica a basso rapporto carbonio/azoto, con guadagni annuali di azoto fino a 200 kg per ettaro (2). Per questa ragione e per la loro spiccata attitudine pioniera le piante ospiti, dette "attinoriziche", riscuotono un crescente interesse nei sistemi agroforestali sostenibili dei climi temperati, occupando la nicchia ecologica propria delle leguminose arboree ai tropici (2). Esse vengono considerate estremamente efficaci per aumentare la dotazione di azoto e di sostanza organica sia dei suoli poveri che dei suoli degradati dall'erosione o da attività antropiche (3, 4).

Le ricerche su *Frankia*, in Italia, sono iniziate nel 1981 a Firenze, presso l'Istituto di Microbiologia Agraria e Tecnica diretto dal Prof. Gino Florenzano, ed hanno portato in breve tempo all'isolamento del primo ceppo di origine italiana (5). Dal 1989 le ricerche del nostro gruppo si sono estese alle applicazioni forestali ed ambientali delle piante attinoriziche, grazie ad una collaborazione con le Università di Lione (Francia) e Glasgow (Scozia) e con l'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura (ISS) del MiPA. In questo ambito sono state acquisite nuove conoscenze sul comportamento in campo dei ceppi di *Frankia* microsimbionti di *Alnus* ed *Elaeagnus*. Ricerche quinquennali in parcelle sperimentali hanno dimostrato che l'azoto fissato da *Frankia* nei noduli radicali di *Alnus cordata* può rappresentare fino al 76% di quello contenuto nelle foglie di *Quercus robur* cresciuto in consociazione (6) e che l'effetto della consociazione di *Alnus* o *Elaeagnus* con latifoglie di pregio quali *Fraxinus*, *Juglans*, *Quercus*, o *Prunus* migliora, talvolta drammaticamente, lo sviluppo di queste ultime (7).

Il verificarsi di alcuni insuccessi nei primi impianti sperimentali di essenze attinoriziche (8), ha stimolato una serie di ricerche del nostro gruppo sulla moltiplicazione e sull'impiego di inoculi radicali a base di *Frankia* e funghi micorrizici arbuscolari, nella produzione di vivaistica di *Alnus cordata* (9, 10). I risultati ottenuti hanno fatto evolvere le nostre ricerche fino alla più estesa applicazione in Europa di piante inoculate con *Frankia* per il ripristino ambientale: circa 1000 piantine di *Alnus cordata*, inoculate in vivaio con 2 ceppi puri di *Frankia* e due ceppi di *Glomus*, sono state fatte crescere sulle discariche del comprensorio minerario di Santa Barbara (11).

La crescente importanza ecologica ed economica delle quattro specie endemiche del genere *Alnus* ha recentemente incoraggiato programmi di ricerca nazionali volti a identificare ceppi di *Frankia* "elite" da utilizzare su larga scala per l'inoculazione a livello di vivaio. L'impiego di ceppi di *Frankia* selezionati può, infatti, determinare effetti significativi sulla crescita delle piante in vivaio e nei primi anni dopo l'impianto (11) e rappresentare, se si ottiene la persistenza (12) di tali ceppi nei noduli attinorizici

perenni, un importante potenziale per incrementare i livelli di azotofissazione anche dopo diversi anni dall'impianto.

Tuttavia, l'infezione di nuove radici ogni anno da parte dei ceppi di *Frankia* introdotti con le piante inoculate dipende dalla loro abilità a sopravvivere e competere con successo con la popolazione indigena di *Frankia* e di altri microrganismi. Dunque, perchè un programma di inoculazione risulti efficace è auspicabile che i ceppi introdotti siano portatori di una elevata biodiversità.

Le attuali conoscenze sulla biodiversità di *Frankia* sono limitate a circa un centinaio di colture pure disponibili nelle collezioni e già caratterizzate, che rappresentano solo una piccola parte della diversità presente negli habitat naturali. Purtroppo, molte collezioni che mantenevano un gran numero di ceppi, ancora non identificati, né biotecnologicamente caratterizzati sono state chiuse negli ultimi anni, o hanno perso la maggior parte dei loro ceppi. Per evitare questo pericolo, il nostro Dipartimento ha ritenuto necessario affiancare, ai tradizionali approcci colturali, moderni approcci biomolecolari, per valutare la biodiversità di *Frankia* sia nelle colture di laboratorio non ancora identificate, che direttamente negli ambienti naturali. Il fine ultimo era duplice: da una parte si desiderava poter selezionare ceppi di *Frankia* con particolari caratteristiche biotecnologiche, in previsione di un loro impiego come inoculanti e di ottenere conoscenze appropriate per valutare la loro sopravvivenza e competitività una volta introdotti in ambienti naturali o artificiali. Dall'altra parte, si mirava a contenere i costi di mantenimento della collezione di colture pure del nostro Dipartimento, mediante valutazione dell'effettiva biodiversità presente nei ceppi di *Frankia* e conseguente riduzione del loro numero. A questo scopo, abbiamo compilato una banca di profili PCR-RFLP di ceppi di *Frankia* coltivati e non coltivati di provenienza internazionale, raccogliendo (13) e confrontando i dati di altri autori. La banca di dati si è rivelata uno strumento utile ed efficace sia per esaminare la variabilità interspecifica ed intraspecifica dei ceppi di *Frankia* appartenenti a differenti gruppi di specificità per l'ospite e provenienti da diverse collezioni internazionali, che per guidare i futuri isolamenti di *Frankia* verso gruppi genomici non ancora descritti ma già segnalati in ambienti naturali.

Materiali e metodi

I ceppi di *Frankia* utilizzati rappresentano i tre principali gruppi di specificità per l'ospite (*Alnus*, *Elaeagnus*, *Casuarina*) e provengono in parte da 12 collezioni internazionali. Abbiamo analizzato anche il DNA di ceppi non isolati, estratto direttamente da noduli radicali prelevati in natura.

I ceppi di riferimento rappresentano le specie genomiche precedentemente descritte (14, 15, 16). Le colture sono state effettuate in condizioni standard (16) ed il DNA totale è stato isolato e purificato secondo i protocolli descritti in letteratura (17).

Le tecniche molecolari di analisi del DNA da noi utilizzate erano già state applicate con successo sia all'identificazione di ceppi di *Frankia* nodulanti piante attinorizziche in ambienti naturali (18) che all'identificazione di specifiche popolazioni del microsimbionte (19). In particolare, la tecnica PCR-RFLP (20) si era dimostrata particolarmente efficace, perchè permetteva di lavorare con modeste quantità di cellule o direttamente sul DNA estratto dai noduli radicali raccolti in natura (18), grazie all'impiego di sequenze bersaglio specifiche per *Frankia*. Tra queste ultime, è risultato di particolare interesse lo spaziatore intergenico (IGS) tra *nif D* e *nif K* (21) perchè è assente nel genoma delle piante ed è legato alla diversità funzionale di *Frankia*.

Gli spaziatori intergenici *nif DK* di circa cento ceppi di *Frankia* sono stati amplificati mediante i "primer" descritti da Jamann *et al.* (20) e Nalin *et al.* (19). Sia le condizioni di amplificazione del DNA mediante PCR, eseguita con fornello PerkinElmer GeneAmp PCR System 9600 (The Perkin Elmer Co., USA), che l'analisi dei frammenti di restrizione degli ampliconi sono state condotte secondo quanto descritto da Lumini *et al.* (16). Ogni ceppo analizzato è stato attribuito ad un gruppo PCR-RFLP (*nif*-type) per mezzo di analisi UPGMA delle combinazioni di profili di restrizione ottenuti indipendentemente con le seguenti endonucleasi: *AluI*, *CfoI*, *HaeIII*, *MspI*, *NciI*, *NdeII*, *RsaI* e *TaqI*.

Risultati e Discussione

La regione intergenica *nif DK* è stata amplificata con successo da tutti i ceppi di *Frankia* analizzati, producendo un amplicone di taglia leggermente diversa tra ceppi infettivi su *Elaeagnus* o su *Alnus*. Inoltre, sono state evidenziate sensibili differenze anche tra ceppi dello stesso gruppo di infettività. Per esempio, l'amplicone *nif DK* dei ceppi di *Frankia Alnus*-compatibili è risultata sufficientemente variabile per discriminare due ceppi (AVN170 e Ai13) da altri 16 ceppi appartenenti tutti ad una sola specie genomica.

61 ceppi di *Frankia Elaeagnus*-compatibili, compresi i DNA di alcuni noduli di *Colletia* sp. prelevati in Argentina, sono stati raggruppati in 16 tipi PCR-RFLP. Molti dei ceppi non caratterizzati sono stati raggruppati con ceppi di specie genomiche note, suggerendone appartenenza a tali specie.

Combinando i profili di restrizione nifDK con quelli della regione rrs-rrl degli stessi ceppi, le specie genomiche di *Frankia* GS5 e P8, descritte rispettivamente da Fernandez *et al.* (14) e Akimov *et al.* (15) sono risultate sovrapponibili. Un altro importante risultato è stato la separazione della specie *Frankia alni* in tre sottogruppi corrispondenti alle tre specie di *Alnus* da cui i ceppi erano stati originariamente isolati. Infine, abbiamo dimostrato che il ceppo di *Frankia* AcI4, isolato in Italia, appartiene alla specie tipo *Frankia alni*, diffusa negli Stati Uniti e in Europa, mentre altri ceppi italiani appartengono a specie genomiche presenti solo in Europa, o formano specie genomiche nuove, probabilmente endemiche (22).

Il metodo di caratterizzazione PCR-RFLP degli spaziatori intergenici nifDK è risultato un buon mezzo per discriminare l'elevata biodiversità esistente tra i ceppi di *Frankia* analizzati. Tale metodo sembra offrire sia "fingerprint" specifici per ciascun ceppo, sia un mezzo potente per analizzare le caratteristiche genomiche di ceppi non isolati. In particolare, esso ci ha già permesso di confrontare, per mezzo del database costruito sui profili PCR-RFLP di ceppi di *Frankia* coltivati e non coltivati di provenienza internazionale, i ceppi simbiotici attivi nei noduli prelevati da stazioni forestali naturali, come ad esempio quelle di *Alnus viridis* sulle Alpi, o di *Alnus glutinosa* in Toscana e Sardegna. I dati acquisiti ci hanno permesso, inoltre, di selezionare i noduli da cui effettuare l'isolamento di nuove specie di *Frankia* (23) e di verificare i postulati di Koch mediante PCR-RFLP.

Prospettive

Grazie alla banca di profili PCR-RFLP di *Frankia* del nostro Dipartimento è finalmente possibile rivolgere le ricerche italiane sugli attinomiceti azotofissatori del suolo verso lo studio dei fattori che regolano la biodiversità delle loro comunità naturali. La possibilità di valutare la persistenza e la disseminazione di ceppi simbiotici attinorizzici introdotti in sistemi agroforestali dovrebbe facilitare la messa a punto di programmi di inoculazione su larga scala ed offrire interessanti prospettive per il monitoraggio di ceppi di particolare importanza ecologica.

Inoltre, i risultati ed i metodi di questa ricerca potranno essere applicati ad altri modelli naturali o artificiali di interazione pianta-microrganismi-suolo.

Ringraziamenti

Siamo riconoscenti al C.N.R. (Prog. Coordinato ECOMI), al MiPAF (Progetto Panda-Microbiologia) ed all'Università degli Studi di Firenze per i contributi di ricerca concessi.

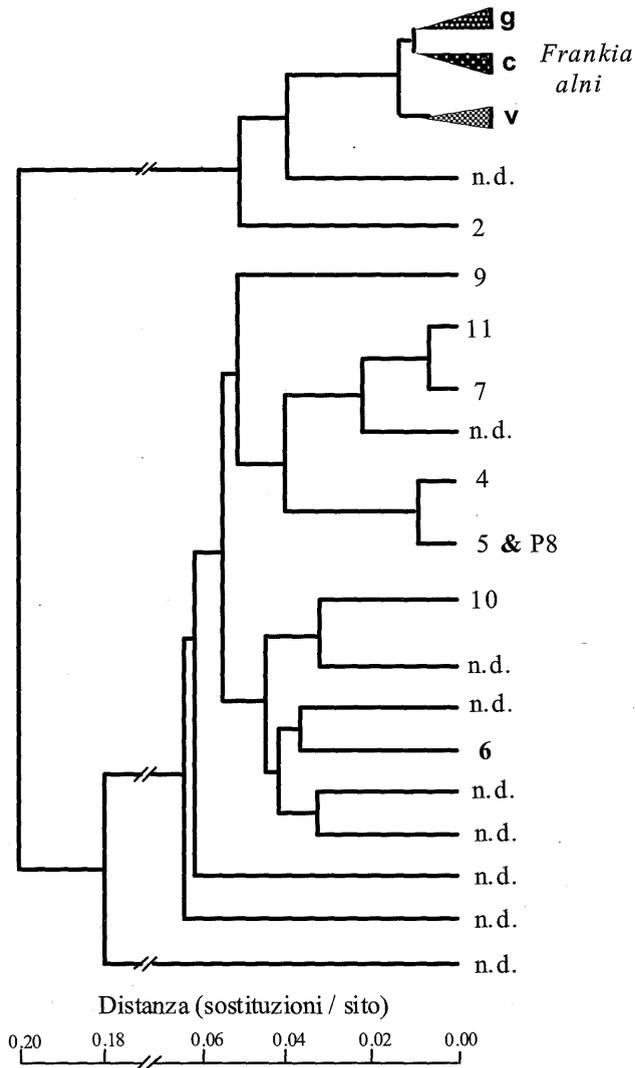


Figura 1. Relazioni filogenetiche tra le specie genomiche di *Frankia* (c, *A. cordata*; g, *A. glutinosa*; v, *A. viridis*; 2-11 e P8, specie genomiche confermate; n.d., specie genomiche non descritte)

Bibliografia

1. BENSON D.R. AND W.B. SILVESTER. 1993. Biology of Frankia strains, actinomycete symbionts of actinorhizal plants. *Microbiological Reviews* 57:293-319.
2. DOMMERGUES Y.R. AND M. BOSCO. 1998. The contribution of N₂-fixing trees to soil productivity and rehabilitation in tropical, subtropical and mediterranean regions, pp. 65-96. In: N.S. Subba Rao and Y.R. Dommergues (ed.), *Microbial interactions in agriculture and forestry*. Oxford and IBH Publishing Co, New Delhi.
3. BOSCO M., E. LUMINI E F. FAVILLI. 1997. Biotecnologia delle simbiosi azotofissatrici *Frankia*-piante attinorriziche. In: "Atti del Convegno AAABiotech 1996" Vol. II, pp. 31-44. Ferrara Fiere, Ferrara.
4. BOSCO M., BURESTI E., MOIROUD A. AND MATERASSI R. 1992. Biomass production improvement and soil reclamation by nitrogen-fixing actinorhizal plants in two disturbed sites. In "Biomass for Energy, Industry and Environment", 6th E.C. Conference. Edited by Grassi G., Collina A., Zibetta H. Elsevier Applied Science, London. pp. 128-132.
5. MARGHERI M.C., M.R. TREDICI E G. FLORENZANO. 1983. Isolamento e coltura dell'endofita del genere *Frankia* da noduli radicali di *Alnus cordata* in Italia. *Annali di Microbiologia ed Enzimologia* 33:137-148.
6. BURESTI E., DOMENACH A.M., BOSCO M. AND MOIROUD A. 1990. Comparison between *Quercus robur* / *Alnus cordata* mixed plantation and *Quercus robur* in monoculture. In "Nitrogen Fixation". Proceedings of the Fifth International Symposium on Nitrogen Fixation with Non-Legumes, Florence, Italy, September 10-14, 1990. Edited by M. Polsinelli, R. Materassi and M. Vincenzini. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 651-652.
7. BOSCO M., BURESTI E., MOIROUD A. AND MATERASSI R. 1992. Biomass production improvement and soil reclamation by nitrogen-fixing actinorhizal plants in two disturbed sites. In "Biomass for Energy, Industry and Environment", 6th E.C. Conference. Edited by Grassi G., Collina A., Zibetta H. Elsevier Applied Science, London. pp. 128-132.
8. BURESTI E. E M. FRATTEGANI. 1994. Impianti misti in arboricoltura da legno. Primi risultati in un impianto di farnia (*Quercus robur* L.) e ontano napoletano (*Alnus cordata* Loisel) *Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura* 23:183-189.
9. LUMINI E., G. PUPPI, R. ISOPI, M. BOSCO, E. BURESTI, F. FAVILLI. 1994. Effect of actinorhizal and mycorrhizal inoculation on Italian alder (*Alnus cordata*) biomass yield in non-fertilized nursery soils. In: *Biomass for Energy and Industry*. D.O. Hall, G. Grassi and H. Scheer eds. Ponte press, pp. 424-429.
10. ISOPI R., E. LUMINI, M. FRATTEGANI, G. PUPPI, M. BOSCO, F. FAVILLI, AND E. BURESTI. 1994. Inoculation of *Alnus cordata* with selected microsymbionts: effect of *Frankia* and *Glomus* spp. on seedling growth and development. *Symbiosis* 17:237-245.
11. LUMINI E., M. BOSCO, G. PUPPI, R. ISOPI, M. FRATTEGANI, E. BURESTI, AND F. FAVILLI. 1994. Field performance of *Alnus cordata* Loisel (Italian alder) inoculated with *Frankia* and VA-mycorrhizal strains in mine-spoil afforestation plots. *Soil Biology and Biochemistry* 26:659-661.
12. ANTONELLI F., M. BOSCO, E. LUMINI AND F. FAVILLI. 1992. Survival of *Frankia* spp. strains introduced in a disturbed soil. In: "Abstracts" of Sixth International Symposium on Microbial Ecology (ISME-6). Barcellona, 6-11 September, p. 160.
13. BOSCO M. 1997. The International *Frankia* Catalog, Third Edition: Call for Contributions. *Physiologia Plantarum* 99: 739.
14. FERNANDEZ M.P., H. MEUGNIER, P.A.D. GRIMONT, AND R. BARDIN. 1989. Deoxyribonucleic acid relatedness among members of the genus *Frankia*. *International Journal of Systematic Bacteriology* 39: 424-429.
15. AKIMOV V.N., AND S. DOBRITSA. 1992. Grouping *Frankia* strains on the basis of DNA relatedness. *Systematic and Applied Microbiology* 15: 372-379.
16. LUMINI E., M. BOSCO, AND M.P. FERNANDEZ. 1996. PCR-RFLP and total DNA homology revealed three re-

- lated genomic species among broad-host-range *Frankia* strains. *FEMS Microbiology Ecology* 21: 303-311.
17. BOSCO M., M.P. FERNANDEZ, P. SIMONET, R. MATERASSI, AND P. NORMAND. 1992. Evidence that some *Frankia* sp. strains are able to cross boundaries between *Alnus* and *Elaeagnus* host specificity groups. *Applied and Environmental Microbiology* 58:1569-1576.
 18. BOSCO, M., E. LUMINI AND P. NORMAND. 1996. PCR-RFLP fingerprinting of unculturable *Dryas drummondii* *Frankia* microsymbiont. *Annali di Microbiologia e di Enzimologia* 46: 115-123
 19. NALIN R., A.M. DOMENACH, AND P. NORMAND. 1995. Molecular structure of the *Frankia* spp. nifD-K intergenic spacer and design of *Frankia* genus compatible primer. *Molecular Ecology* 4: 483-491.
 20. JAMANN S., M.P. FERNANDEZ, AND P. NORMAND. 1993. Typing method for N₂-fixing bacteria based on PCR-RFLP: application to the characterization of *Frankia* strains. *Molecular Ecology* 2: 17-26.
 21. LUMINI, E. and M. BOSCO. 1996. PCR-restriction fragment length polymorphism identification and host range of single-spore isolates of the flexible *Frankia* sp. strain UFI 132715. *Applied and Environmental Microbiology* 62: 3026-3029.
 22. LUMINI E., AND M. BOSCO. 1999. Polymerase Chain Reaction - Restriction Fragment Length Polymorphisms for assessing and increasing biodiversity of *Frankia* culture collections. *Canadian Journal of Botany* 77: 1261-1269.
 23. BOSCO M., AND E. LUMINI. 2001. Screening of microsymbiont biodiversity in *Alnus glutinosa actinorhizae* from Sardinia: a PCR approach to isolating only putative new genomic species of *Frankia*. In: "Abstracts of the 12th International Meeting on Frankia and Actinorhizal Plants", Carry-le-Rouet, France.

HIPPOPHAE RHAMNOIDES: UNA RISORSA AUTOCTONA PER LA CONSERVAZIONE DEI SUOLI E DELLA LORO BIODIVERSITÀ

Marco Antonelli ¹, Anna Lucia Botta ², Maddalena Del Gallo ²

¹ Istituto Sperimentale per la Frutticoltura
Via Fioranello, 52 - 00134 Roma

² Dipartimento di Biologia di Base ed Applicata, Università dell'Aquila
Via Vetoio, loc. Coppito - 67010 Coppito (AQ)

La pianta

Il genere *Hippophae* (fam. *Eleagnaceae*) comprende una decina di specie, ad habitus arboreo od arbustivo, distribuite nell'emisfero settentrionale in un areale molto vasto, dal Baltico alla Siberia e alla Cina, fino ad Alaska, Canada e New Mexico.

Hippophae rhamnoides L. ha una distribuzione molto ampia, estendendosi, con diverse sottospecie, dalle aree costiere della Gran Bretagna, attraverso i paesi baltici e la Russia, fino alla Siberia e alla Cina, dove sono localizzate la maggior parte delle sottospecie, alcune delle quali a rischio di estinzione; a Sud raggiunge l'Europa meridionale, i Balcani, fino alla Turchia ed al Kazakistan.

In Italia è autoctona un'unica sottospecie, la *fluviatilis* V. Soest, distribuita lungo l'arco alpino, soprattutto in Friuli, e lungo l'Appennino fino alla Sicilia (Pignatti, 1982); è possibile trovarla soprattutto in montagna lungo il greto dei fiumi, da cui il nome.

Hippophae rhamnoides prende il nome volgare di *olivello spinoso* (figura 1) a causa delle foglie, che somigliano per la forma lanciolata e per il colore verde della pagina superiore ed argenteo di quella inferiore alle foglie dell'olivo, e delle spine acuminata di cui è fornito il ramo.

Si tratta di una pianta arborea, decidua, ad accrescimento abbastanza rapido, che può raggiungere i 4-5 m di altezza, marcatamente lucivaga. L'albero ha portamento acrotono e possiede una spiccata attitudine pollonifera, che viene esaltata se la pianta è soggetta a potature drastiche. È una specie dioica, con fiori piccoli e quasi invisibili; quelli femminili sono inseriti, in numero variabile da 1 a 4-5, su brevi formazioni legnose (brachiblasti) che si formano l'anno precedente alla fioritura. Il



Figura 1. Esemplare di olivello spinoso di circa 8 anni coltivato a Roma presso l'Istituto Sperimentale per la Frutticoltura

fiore maschile, protetto da due brattee, è costituito da 4 antere, che diffondono il polline ad opera del vento.

La pianta fiorisce a primavera (da marzo a maggio, a seconda della latitudine e dell'altitudine) e matura i propri frutti fra la fine dell'estate e l'inizio dell'autunno, trattenendoli per diversi mesi. Questi sono rappresentati da pseudodrupe (Fiori, 1974) di 6-8 mm di diametro, con un unico seme, di colore variabile dal giallo al rosso aranciato, che diventano succosi a maturazione. *H. rhamnoides* ha pochissimi parassiti naturali, ad eccezione di *Verticillium dahliae* (Piiir, 1996) e di qualche Cicadellide (Tishechkin, 1993) e Psillide (Li, 1997) per cui la si può considerare una pianta immune o quasi da problemi fitosanitari e di conseguenza particolarmente vocata alla coltivazione biologica.

Possibili settori d'impiego

Utilizzo dei frutti per l'industria alimentare, farmaceutica e cosmetica

Le proprietà di *H. rhamnoides* erano già note presso antiche civiltà: nella Grecia classica le foglie della pianta venivano somministrate come curativo e ricostituente ai cavalli, da cui il nome (*hippo* = cavallo e *phaos* = brillare), per l'effetto sul mantello degli animali; in Tibet la pianta è inserita fin dall'ottavo secolo a.C. nella farmacopea tradizionale ed anche in Cina viene utilizzata nella medicina tradizionale da tempo immemorabile.

Negli ultimi cinquanta anni, dapprima nell'ex URSS e in Cina, e in tempi più recenti anche in Europa e Canada, *Hippophae* è stata oggetto di miglioramento genetico, volto all'ottenimento di piante con caratteristiche agronomiche superiori.



Figura 2. Frutti maturi di una selezione di olivello spinoso

L'interesse suscitato da questa pianta risiede nell'altissimo valore nutrizionale e nelle qualità farmaceutico-cosmetiche del frutto (Bernath e Foldesi, 1992; Vengorovskii *et al.*, 1994).

Il frutto (figura 2), infatti, è molto ricco di vitamine, principalmente la C, il cui contenuto varia da circa 30 a 600 mg/100g di peso fresco a seconda dei differenti genotipi e delle aree geografiche (Gatke *et al.*, 1990; Kostyrko, 1990; Zheng e Song, 1992).

Altre vitamine presenti nel frutto sono la A (Neamtu, 1991) e la E. Il contenuto di quest'ultima varia da 10 mg/100g nelle cultivar tedesche (Gatke *et al.*, 1990, l.c.) fino a 160 mg/100g in alcune varietà russe (Kostyrko, 1990); Jiang (1991) riporta l'estrazione della vitamina E anche dall'olio contenuto nella pianta.

Altri componenti del frutto di valore dietetico sono rappresentati da numerosi aminoacidi, essenziali e non, (Mirgaesiev, 1992; Zheng e Song, l.c.) e da vari antiossidanti, fra i quali i carotenoidi (Gatke *et al.*, 1990, l.c.).

Le proprietà medicinali dell'olio del frutto sono citate da diversi autori (Mironov *et al.*, 1990; Panteev *et al.*, 1995; Vengorovskii *et al.*, 1994), che ne riportano l'efficacia nella cura di ustioni, eczemi, allergie e danni da radiazioni, grazie al contenuto di acido palmitoleico, un raro acido grasso presente anche nel sebo della cute, che esercita la propria azione sulla ricostruzione dell'epitelio; assunto per ingestione, avrebbe un'azione contro i disordini intestinali e di stomaco ed addirittura contro certi tipi di cancro (Matthews, 1994).

Anche altre parti della pianta possiedono proprietà medicinali: il polline (Panteev *et al.*, 1995, l.c.) è impiegabile per la preparazione di far-

maci contro dermatiti, ustioni ed eczemi; le foglie, ricche di tannini e di carotenoidi, possiedono proprietà farmacologiche: stomachiche, antitussive e antidiarroiche (Gonchareva e Glushenkova, 1995; Gonchareva e Glushenkova, 1996; Yoshida, 1991).

L'alto valore *nutriceutico* dei frutti rende l'olivello spinoso particolarmente interessante per la produzione di nettari, gelatine e marmellate, oltre che per il suo impiego come ingrediente in alimenti formulati (yogurt, gelati, ecc.) e per la realizzazione di preparati cosmetici, come ad esempio le creme abbronzanti, già oggi in commercio.

Impiego della pianta nel settore forestale quale pianta pioniera per il recupero produttivo di terreni degradati o inquinati, come pianta antierosione e per il contenimento dei suoli soggetti a frane.

L'olivello spinoso è una pianta attinorrizica, cresce, cioè, in simbiosi con attinobatteri appartenenti al genere *Frankia*. La struttura tipica di tale simbiosi è un sistema di radici laterali morfo-fisiologicamente modificate detto *attinorriza* (*actino* = attinomicete e *rhiza* = radice) o nodulo radicale. I noduli attinorrizici sono perenni e hanno struttura *coralloide* (figura 3), cioè sono composti da lobi ramificati, ciascuno dei quali è una radice modificata il cui meristema è iniziato dal periciclo e la cui struttura include un cilindro vascolare, un tessuto corticale e un periderma superficiale (Bosco et al., 1996).



Figura 3. Noduli radicali prelevati da una giovane pianta, cv. Hergo, di origine tedesca

Le vie attraverso le quali *Frankia* infetta le radici sembrano essere determinate dal genere della pianta ospite: sono state infatti descritte due modalità di penetrazione, l'una attraverso i peli radicali (Berry e Torrey, 1983), l'altra attraverso la lamella mediana delle cellule epidermiche (Liu e Berry, 1991). Questa seconda modalità di infezione per via intercellulare è tipica della famiglia delle *Elaeagnaceae*. In

questo caso il microsimbionte *Frankia* si diffonde attraverso lo strato corticale tra gli spazi intercellulari. L'infezione avviene in tessuti corticali maturi, parallelamente alla differenziazione di un primordio di lobo nodulare (Bosco *et al.*, 1996, l.c.).

Allo stato simbiotico, *Frankia* perde ogni contatto con il suolo e dipende per tutti i nutrienti dalla pianta ospite, cui cede l'azoto fissato. Il microsimbionte è infatti capace di ridurre l'N atmosferico ad ammonio che, organicato, viene traslocato nella pianta ospite, rendendola capace di crescere anche in suoli poveri o privi di composti azotati (Bosco *et al.*, 1996, l.c.).

L'olivello spinoso, come tutte le piante attinorizzate, permette quindi un regolare apporto, oltre che di sostanza organica, anche di azoto al suolo. La simbiosi, regolando la fissazione dell'azoto a seconda dei bisogni dell'ecosistema pianta-microrganismi, impedisce la perdita di N per volatilizzazione e lisciviazione e indirettamente favorisce la biodiversificazione della copertura vegetale e del suolo, con notevoli effetti positivi sulla fertilità del terreno.

In generale, le piante attinorizziche possono venire consociate con altre piante di interesse forestale a scopo produttivo: esperienze condotte su essenze forestali da legno evidenziano un notevole incremento dei parametri di crescita (fino al 50-80%) dei partner non azotofissatori rispetto alle monocolture (Buresti e Frattegiani, 1994; 1995; Buresti 1996).

Hippophae rhamnoides è stata utilizzata con successo come azotofissatrice in consociazione con il pioppo da cellulosa, consentendo incrementi di biomassa del 20-30% (Sun *et al.*, 1997).

L'olivello spinoso è una vera e propria pianta pioniera anche in virtù della sua resistenza alla siccità (Tin *et al.*, 1989; Heinze e Liebmann, 1991; Pasca *et al.*, 1996; Zhao *et al.*, 1997) e della sua tolleranza nei confronti di condizioni pedologiche sfavorevoli: è indifferente alla reazione del suolo in uno spettro di pH molto ampio (da 5 a 9) (Schroeder, 1995; Meng *et al.*, 1997), si può adattare a suoli magri o degradati per eccesso di salinità (Ryazanova, 1997), di potassio (Heinze e Liebmann, 1991, l.c.) o per la presenza di inquinanti come Pb, Zn (Pasca *et al.*, 1996, l.c.) o carbone (Barannik *et al.*, 1990).

L'olivello spinoso possiede un apparato radicale molto espanso e pollonifero (figura 4), adatto a colonizzare suoli sabbiosi e detritici, quali le zone riparali di fiumi e torrenti: è stato per questo utilizzato con successo nel controllo dell'erosione superficiale del suolo in Romania (Frangu *et al.*, 1991; Cireas *et al.*, 1994) e nel consolidamento delle dune costiere in Inghilterra (Baker, 1996); in Cina, questa pianta è stata impiegata per il re-



Figura 4. Esempio di una particolare
attitudine pollonifera di un semenzale
di origine danese

cupero di un'area di ben 32.000 km quadrati nel Loess Plateau, caratterizzata da un severo fenomeno di desertificazione. In Cile, un simile progetto per la tutela e il recupero ambientale è stato affidato all'ICRTS (International Center for Research and Training on Seabuckthorn), che costituisce il maggior centro di ricerca su questa specie nel mondo.

In Italia, la scelta di *Hippophae rhamnoides* per la difesa del territorio e il recupero di aree dissestate geologicamente pare perciò auspicabile non solo per le ragioni sopra elencate, ma anche, lo ricordiamo, perché si tratta di una specie autoctona e pressoché scevra da nemici naturali e quindi a basso fabbisogno di cure culturali per il suo insediamento.

Impiego per la valorizzazione del territorio e la riqualificazione paesaggistica

L'olivello spinoso è una specie pregevole anche sotto il profilo estetico e può perciò essere introdotto come pianta ornamentale nei giardini e nei parchi pubblici. Quest'albero possiede infatti un notevole valore ornamentale per la lucentezza della corteccia dei rami più giovani, di colore grigio chiaro, che esalta il tono giallo verde delle gemme alla ripresa vegetativa e, ancor più, alla maturazione dei frutti (figura 5), che formano veri e propri manicotti aranciati attorno ai rami e che hanno la caratteristica di persistere sulla pianta per mesi, a volte fino alle soglie dell'inverno. Questi tratti rendono l'olivello spinoso molto interessante anche come specie atta alla riqualificazione paesaggistica del territorio, contribuendo a migliorare l'aspetto estetico delle aree rurali, problema che finalmente comincia ad essere preso nella considerazione che meriterebbe.



Figura 5. La pianta nel massimo del suo potenziale ornamentale; i frutti rimarranno in pianta per alcuni mesi

Attività in corso

L'Istituto Sperimentale per la Frutticoltura di Roma (ISF) ha promosso un progetto di ricerca in collaborazione con il Dipartimento di Biologia di Base ed Applicata (Dip. BBA) dell'Università dell'Aquila e che coinvolge sia la Regione Lazio sia l'Ispettorato Regionale delle Foreste della Regione Abruzzo, allo scopo di approfondire le conoscenze sulla specie e di verificare la possibilità di valorizzazione dell'olivello sia come specie fruttifera, sia come pianta per impieghi forestali e di tutela del territorio.

Presso l'ISF è stato realizzato un campo per la valutazione del germoplasma, che ospita genotipi sia autoctoni, sia di diverse provenienze geografiche; sono in corso studi sulla propagazione della pianta, sulla microflora associata (Dip. BBA) e sul ruolo da essa svolto, in particolare, nella propagazione.

Sono stati condotti alcuni test preliminari, prelevando noduli da piante vigorose di 6-8 anni, ben sviluppate, preferendo noduli più piccoli, con lobi chiari, più giovani e più attivi dei grossi noduli lignificati. Questi sono stati utilizzati per isolare la microflora azotofissatrice ed è attualmente in corso l'identificazione delle specie ritrovate nei noduli, sulla superficie

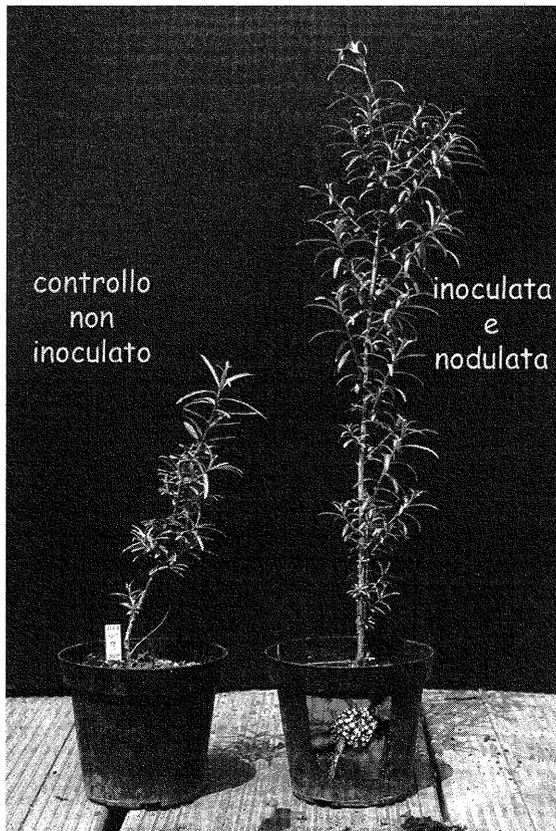


Figura 6. Effetto della nodulazione a seguito dell'inoculo con un omogenato acquoso di noduli radicali sullo sviluppo vegetativo delle talee

esterna e all'interno delle radici e lo studio delle eventuali simbiosi con funghi micorrizogeni. Lo scopo finale del lavoro è quello di mettere a punto degli inoculi misti che permetteranno di sfruttare appieno il potenziale agronomico-produttivo della pianta, esaltando la fertilità del terreno, favorendo una più intensa azotofissazione e anche proteggendo la pianta dai patogeni.

Un omogenato, ottenuto triturando i noduli in mortaio e risospesandoli in acqua, è stato impiegato per inoculare talee di alcune selezioni di *fluviatilis* precedentemente radicate su supporto sterile. Dai primi risultati appare una relazione molto stretta fra lo sviluppo vigoroso della talea radicata e la nodulazione delle radici (figura 6).

Bibliografia

- BAKER R.M., 1996. The future of the invasive shrub, sea buckthorn, (*Hippophae rhamnoides*) on the west coast of Britain. Vegetation management in forestry, amenity and conservation areas: Managing for multiple objectives. 19-20 March 1996, University of York, York, UK. *Aspects of Applied Biology*. No. 44, 461-468
- BARANNIK L.P., SHMONOV A.M., EGOROV V.N., 1990. Afforestation of the terraces of opencast coal mines in the Kuzbass. *Lesnoe-Khozyaistvo*. 1990, No. 4, 32-34.
- BERNATH J. E FOLDESI D., 1992. Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.): a promising new medicinal and food crop. *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants* 1: 1-2, 27-35
- BERRY A.M., TORREY G., 1983. Root hair deformation in the infection process of *Alnus rubra*. *Can. Jour. Bot.* 61: 2863-2876

- BOSCO M., LUMINI E., FAVILLI F., 1996. Biotecnologia delle simbiosi azotofissatrici *Frankia* -piante attinorriziche. *Atti Conv. AAA BIOTEC*, Ferrara, Ottobre 1996, 31-44
- BURESTI E., e FRATTEGIANI M., 1994. Impianti misti in frutticoltura da legno. Primi risultati in un impianto di farnia (*Quercus robur* L.) e ontano napoletani (*Alnus cordata*). *Ann. Ist. Sper. Selv. XXIII*
- BURESTI E., e FRATTEGIANI M., 1995. Impianti misti in frutticoltura da legno. *Sherwood* 3: 11-17
- BURESTI E., 1996. Modelli culturali per il noce da legno. *Sherwood* 15: 27-32
- CIREAS V., DROBOTA G., CIREASA E., DROBOTA M.A., 1994. The use of fruit farming biotechnology for reclamation. *Cercetari Agronomice in Moldova*. 27: 3-4, 275-277.
- FIORI A., 1974. Nuova flora analitica d'Italia. *Edagricole, Bologna*. Vol. I: 381
- FRANGU V., UNTARU E., TRACI C., IVANA S., 1991. Techniques for improving degraded land by planting flowering or fruiting trees and shrubs. 39 pp.
- GATKE R., KLEIN G., WOLF D., 1990. Composition of sea buckthorn and its development during maturation. *Erwerbsobstbau*. 1990, 32: 8, 224-226
- GONCHAROVA N.P., GLUSHENKOVA A.I., 1995. Polar lipids of *Hippophae rhamnoides* leaves. *Chemistry of Natural Compounds*. 1995, publ. 1996, 31: 5, 562-564; Translated from *Khimiya Prirodnykh Soedinenii* (1995) No. 5, 667-670
- GONCHAROVA N.P., GLUSHENKOVA A.I., 1996a. Detection of diol lipids in plants of the Elaeagnaceae family and the properties of their synthetic analogs. *Chemistry of Natural Compounds*. 1996, publ. 1997, 32: 5, 686-688; translated from *Khimiya Prirodnykh Soedinenii* (1996) 32 (5) 697-700
- GONCHAROVA N.P., GLUSHENKOVA A.I., 1996b. Epicuticular and intracellular lipids of *Hippophae rhamnoides* leaves. *Chemistry of Natural Compounds*. 1995, publ. 1996, 31: 6, 665-671; translated from *Khimiya Prirodnykh Soedinenii* (1995) 31 (6) 790-798. Jiang Z.R., 1991. The determination of fat-soluble VE in seabuckthorn oil and its content variance in refined oil. *Chemistry and Industry of Forest Products*. 1991, No. 3, 241-246
- GONCHAROVA N.P., GLUSHENKOVA A.I., 1996c. Lipids of the leaves of two forms of Central Asian sea buckthorn. *Chemistry of Natural Compounds*. 1996, publ. 1997, 32: 4, 585-586; translated from *Khimiya Prirodnykh Soedinenii* (1996) 32 (4) 605-606.
- HEINZE M. e LIEBMANN H., 1991. Field experiments on revegetation of potash spoil heaps in the southern Harz region. *Hercynia* 28: 1, 62-71
- KOSTYRKO D.R., 1990. Introduction of useful food plants into the Donetsk Botanic Garden of the Ukrainian Academy of Sciences (1965-1990). *Introduktsiya i Akklimatizatsiya Rastenii*. No. 14, 31-34
- LI F., 1997. Three new species and one new record of psyllids from Gansu and Ningxia provinces, China (Homoptera: Psylloidea: Psyllidae). *Journal of China Agricultural University* 2: 1, 57-63
- LIU Q. e BERRY A.M., 1991. The infection process and nodule initiation in the *Frankia-Ceanothus americanus* L. *Plant Soil*. 78: 15-22
- MATTEWS V., 1994. The new plantsman. Vol. I, Royal Horticultural Society. Launert E., 1981. *Edible and Medicinal Plants*. Hamlyn
- MENG K.M., YANG X.Q., PAN W.L., YU L., MENG K.M., YANG X.Q., PAN W.L., YU L., 1997. Techniques for afforestation and amelioration of coastal saline-alkaline soils in Liaoning. *Scientia-Silvae-Sinicae*. 1997, 33: 1, 25-33
- MIRGAESIEV M., 1992. Essential amino acids in *Hippophae rhamnoides* L. fruits (Western Pamir). *Rastitel'nye Resursy*. 1992, 28: 3, 75-79
- MIRONOV V.A., GUSEVA DONSKAYA T.N., DUBROVINA YU YU., OSIPOV G.A., SHABANOVA E.A., NIKULI A.A., AMIROV N. S., TRUBITSINA I.G., 1990. Chemical composition and biological activity of extracts from different components of sea buckthorn fruits. *Khimiko armatsevicheskii Zhurnal*. 1990, 23: 11, 1357-1364
- NEAMTU G., STANESCU U., TABACARU C., 1991. Biochemical studies on some natural polyvitamins. *Buletinul-Institutului Agronomic Cluj Napoca. Seria Agricultura*. 44: 1, 7-12

- PANTEEV A.V., SHALKEVICH M.S., SVOBODA K.P. (ed.), Laughlin J.C. (ed.), Brown V.E., 1995. The breeding of male plants of sea-buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) for medicinal use of pollen. International symposium on medicinal and aromatic plants, XXIV international horticultural congress, Kyoto, Japan, 21-27 August 1994. *Acta-Horticulturae. No. 390*, 137-139
- PASCA D., CRISTEA V., CRISAN R., MUNTEAN V., KISS S., DRAGAN-BULARDA M., 1996. Enzymatic potential of a technogenic soil submitted to revegetation with sea-buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.). *Studia Universitatis Babeş Bolyai, Biologia. 1996, 41: 1-2*, 183-193
- PIGNATTI S., 1982. Flora d'Italia. Vol. II: 101. Edagricole, Bologna
- PIIR R., 1996. *Hippophae rhamnoides* L. in Estonia for fruit growing. *Agraarteadus. 1996, 7: 2*, 162-176
- RYAZANOVA O.A., 1997. Sea buckthorn for reclaimed land. *Sadovodstvo i Vinogradarstvo, 2: 8-9*
- SCHROEDER W.R., 1995. Improvement of conservation trees and shrubs. *PFRA Shelterbelt Centre Supp. Rpt. # 95-1: 42*
- SUN L., GUO Y.W., ZHU Z.X., TONG C.R., WANG Z., JIAO R.Z., 1997. A study on nutrient dynamics and the relative increment rate in different types of poplar intercropping. *Forest Research 10: 2*, 164-169
- TIN S. YAU, TARANKV V.I., TIN SAU, 1989. Trial at re-establishing vegetation cover by aerial sowing in China. *Lesnoe-Khozyaistvo, No. 10: 58-59*
- TISHECHKIN D. YU, 1993. Review of *Macropsis* species (Homoptera, Cicadellidae, Macropsinae) feeding on *Hippophae rhamnoides* with description of new species. *Zoologicheskii-Zhurnal. 1993, 72: 2*, 54-60
- VENGOROVSKII A.I., SEDYKH I.M., MIZINA T.Y., PLOTNIKOV M.B., 1994. Hepatoprotective action of juice concentrate from *Hippophae rhamnoides* L. fruits in experimental CCl₄-hepatitis. *Rastitel'nye-Resursy. 1994, 30: 4*, 53-56
- YOSHIDA T., TANAKA K., CHEN X.M., OKUDA T., 1991. Tannins from *Hippophae rhamnoides*. *Phytochemistry. 1991, 30: 2*, 663-666
- ZHAO M.F., GE C., ZHAI Z.Z., 1997. Study on the determination of salt-tolerance index of the main tree species used for afforestation and their ordination in arid areas with secondary salinization. *Forest Research 10: 2*, 194-198
- ZHENG X.W., SONG X.J., 1992. Analysis of the fruit nutrient composition of nine types of sea buckthorn in Liaoning, China. *Northern Fruits of China. No. 3*, 22-24.

EFFETTO DELLA COLONIZZAZIONE DI MICORRIZE V.A. RESISTENTI AL CADMIO SULLO SVILUPPO DI PIANTE DI ORZO (HORDEUM VULGARE CV EXTRA)

Elvira Rea, Monica Tullio, Annalisa Salerno, Fernando Pierandrei

Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante
Via della Navicella, 2 - 00184 Roma.

Introduzione

Il cadmio è tra i metalli pesanti quello che pone più preoccupazione, può essere facilmente assorbito e traslocato nelle piante in quantità che pur se non fitotossiche possono essere nocive alla salute umana ed animale (Sauerbeck, 1982). Durante gli ultimi dieci anni, il contenuto di cadmio negli agrosistemi è aumentato notevolmente, cresce quindi il rischio di una possibile contaminazione delle catene alimentari e di una diminuzione della fertilità del suolo (Babich e Stotzky, 1978; Jackson e Alloway, 1992). Le micorrize Vescicolo-Arbuscolari (V.A.) sono i funghi più diffusi in natura ed hanno instaurato una associazione simbiotica tra le più antiche con le radici della maggior parte delle piante vascolari (si ritiene che forme arcaiche ma molto simili a quelle odierne siano comparse a partire dal Devoniano (Orcutt D.M. e Nilsen E.T., 2000). L'interesse per le V.A. è dovuto soprattutto al fatto che queste colonizzano specie di interesse agronomico ed in generale apportano alle piante ospiti vantaggi tra cui un miglioramento nelle relazioni idriche e nutrizionali, un aumento della tolleranza a stress, della resistenza a patogeni e della produzione di fitormoni. I metalli pesanti risultano avere effetti tossici anche sui microrganismi del suolo e quindi possono influenzare i processi che vi avvengono e che sono da questi mediati, determinando alterazioni negative nella funzionalità del suolo che sono ancora da chiarire (Brookes e Verstraete, 1989; Tyler *et al.*, 1989). Tuttavia è stato dimostrato che molti microrganismi del suolo sono capaci di tollerare estreme esposizioni a metalli pesanti, poco si sa però riguardo ad un potenziale adattamento delle V.A. a questi, anche se dati presenti in letteratura mostrano la resistenza di alcune di esse a vari stress ambientali quali formalina (Hayman, 1970), salinità (Estaun *et al.*, 1992; Juniper, Abbott, 1991) e solfuri (Bajwa, Naz, 1991). Alcuni autori inoltre, hanno mostrato che le micorrize provenienti da suoli inquinati mostrano una maggiore tolleranza alla presenza di cadmio nel suolo (Weissenhorn, Leyval, Berthelin, 1993), mentre per quanto riguarda l'eventuale effetto protettivo del V.A. nei confronti della pianta,

i dati presenti in letteratura risultano contrastanti (El-Kherbawy, Angle, Heggo, Chaney 1989; Weissenhorn, Leyval, 1995). Scopo del presente lavoro è stato quello di valutare se spore, provenienti da un ambiente estremo come quello delle dune sabbiose, da noi selezionate ulteriormente in presenza di cadmio, possano avere sviluppato una maggiore capacità di estrazione dei metalli dal suolo per un utilizzo ai fini di un risanamento.

Materiali e Metodi

La ricerca è stata condotta su piante di orzo (*Hordeum vulgare* cv. extra) allevate su terreni inquinati a diverse concentrazioni di cadmio in presenza di un inoculo di endomicorrize cadmio selezionate in vasi dal diametro di cm 14. I terreni utilizzati erano stati trattati in precedenza con diverse concentrazioni di solfato di cadmio e mantenuti *in situ* per un periodo di circa quattro anni, avevano analoghe caratteristiche fisico-chimiche ed un iniziale patrimonio micorrizico proprio (tab. 1) e sono stati denominati T0, T1, T2. T1 e T2 suoli con contenuti di cadmio di 10 ppm e 100 ppm rispettivamente. Il suolo T0 non conteneva cadmio ed è stato quindi utilizzato come suolo controllo. Da tali terreni sono state isolate le spore endemiche; dalle osservazioni effettuate allo stereoscopio sono state identificate spore appartenenti all'ordine delle Glomales, famiglia delle Glomacee, genere *Glomus* e si è quindi proceduto a moltiplicazione utilizzando come pianta trappola il mais. L'inoculo fungino utilizzato successivamente per inoculare le piante di orzo era costituito da substrato, radici della pianta trappola e spore fungine (circa 150 spore per vaso). Le tesi sono state irrigate con acqua in quantità tale da non costituire un fattore limitante. Tutti i vasi sono stati mantenuti in cella climatica (Temperatura: 20°C; Umidità relativa: 60%; Fotoperiodo: 12 ore di luce/giorno) con ventilazione ed omogeneizzazione automatica dell'aria; la prova ha avuto una durata di 30 giorni.

Sono state allestite 9 tesi, ciascuna ripetuta tre volte, ogni ripetizione era costituita da 30 piante.

1. Terreno T0

T0S0-Inoculo fungino contenente spore provenienti dal terreno T0.

T0S1-Inoculo fungino contenente spore provenienti dal terreno T1.

T0S2-Inoculo fungino contenente spore provenienti dal terreno T2.

2. Terreno T1

T1S0-Inoculo fungino contenente spore provenienti dal terreno T0.

T1S1-Inoculo fungino contenente spore provenienti dal terreno T1.

T1S2-Inoculo fungino contenente spore provenienti dal terreno T2.

3. Terreno T2

T2S0-Inoculo fungino contenente spore provenienti dal terreno T0.

T2S1-Inoculo fungino contenente spore provenienti dal terreno T1.

T2S2-Inoculo fungino contenente spore provenienti dal terreno T2.

Tabella 1. Analisi fisico-chimiche dei suoli utilizzati

	T0	T1	T2
Tessitura	Franco	Franco	Franco
TOC %	1.39 ± 0.005	1.39 ± 0.009	1.33 ± 0.004
Conducibilità (mS)	0.47 ± 0.001	0.46 ± 0.002	0.44 ± 0.004
pH	7.38 ± 0.006	7.35 ± 0.02	7,32 ± 0.02
Cd (mg/kg)	0	10 ± 1.6	100 ± 7.8
Ca (g/kg)	9.54 ± 0.4	8.9 ± 0.2	7.7 ± 0.2
K (g/kg)	10.8 ± 0.2	10.4 ± 0.1	10.6 ± 0.2
Mg (g/kg)	6.5 ± 0.3	6.6 ± 0.3	6.7 ± 0.2
Mn (mg/kg)	409 ± 1.06	392 ± 6.09	414 ± 14.69
P (g/kg)	0.82 ± 0.02	0.84 ± 0.02	0.89 ± 0.03
NO ₃ (mg/kg)	39.1 ± 0.17	39.4 ± 0.1	40.6 ± 0.06
NH ₄ (mg/kg)	21.23 ± 0.12	23.67 ± 1.68	23.67 ± 0.64
N min (mg/kg)	60.33 ± 0.25	63.07 ± 1.65	64.23 ± 0.67
Micorrize (n°spore/10g terreno)	11.5 ± 1.29	9.25 ± 2.06	8 ± 2.71

Analisi sulle piante

Sono state effettuate misure di altezza, peso totale (secco), peso della porzione ipo ed epigea (fresco e secco). Il peso secco è stato rilevato dopo essiccamento dei campioni in stufa a 105 °C. Sono stati rilevati, tramite analisi spettrometrica al plasma (ICP), i contenuti dei macro- microelementi e di cadmio. E' stato inoltre determinato il contenuto totale di clorofilla (Arnon, 1948.).

Analisi sulle V.A

La percentuale di infezione micorrizica nelle radici di orzo è stata valutata, dopo colorazione con blu di metile (Grace C., Strabley D.P., 1991), attraverso il rapporto tra la lunghezza radicale micorrizata (MRL) e quella totale (RL). Le lunghezze sono state determinate con il "gridline intersect method" (Giovannetti, Mosse, 1980).

Sono stati sospesi in acqua 20 g di terreno proveniente dai vasi e dopo decantazione per 5' si è proceduto al setacciamento (luce netta dei setacci 2 mm e 63 μ m). La conta delle spore è stata effettuata con la porzione contenuta nell'ultimo setaccio (63 μ m), usando una capsula Petri (diametro 8.5 cm) nella quale era stata disegnata una griglia con quadrati di 1 cm di lato.

Tutti i risultati ottenuti sono stati sottoposti ad analisi statistica mediante metodo ANOVA ($p < 0,05$).

Risultati

Parametri osservati sulla pianta ospite

I risultati ottenuti hanno messo in evidenza che i diversi inoculi fungini non hanno avuto alcun effetto sulla crescita. Solo a livello del terreno T0, le spore provenienti dai terreni inquinati (S1, S2) hanno provocato un aumento generalizzato dell'altezza della pianta statisticamente significativo (fig. 1).

Per quanto riguarda l'andamento del peso secco dell'intera pianta non sono state riscontrate differenze statisticamente significative in relazione sia alle dosi di cadmio sia al tipo di V.A. utilizzato.

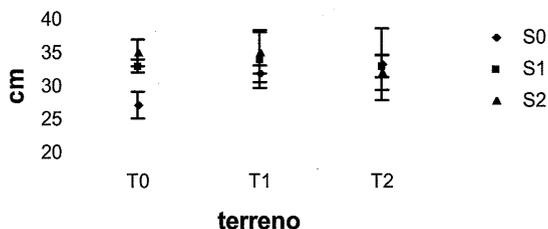


Figura 1. Valori dell'altezza della pianta ospite in relazione alla concentrazione di Cd nel terreno e alla spora utilizzata

L'andamento del peso secco della pianta si modifica solo nelle tesi inoculate con V.A. selezionate sul terreno più inquinato. Infatti solo in questo caso le tesi T0S2 e T1S2 risultano essere diverse in modo statisticamente significativo dalla tesi T2S2 (fig. 2).

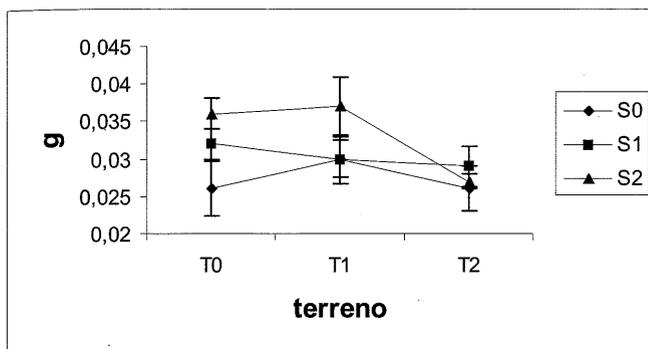


Figura 2. Valori del peso secco totale della pianta ospite in relazione alla concentrazione di Cd nel terreno e alla spora utilizzata

Contenuti di clorofilla totale.

Tabella 2. Contenuti medi di clorofilla totale nella porzione epigea della pianta ospite

Tesi	Contenuto medio di clorofilla totale (mg/g f.w.)
T0S0	225,11 ± 65,8
T1S0	257,10 ± 45,1
T2S0	184,53 ± 21,9
T0S1	232,04 ± 52,5
T1S1	223,98 ± 12,9
T2S1	245,61 ± 33,6
T0S2	211,23 ± 15,7
T1S2	222,43 ± 29,8
T2S2	220,28 ± 29,0

Il cadmio tende, in generale, a provocare una diminuzione del contenuto di clorofilla totale nella porzione epigea della pianta ospite mentre i funghi selezionati sui terreni inquinati ne incrementano il contenuto. Tuttavia le differenze osservate non risultano essere statisticamente significative (Tab. 2).

Contenuti di cadmio nella porzione ipo ed epigea della pianta ospite

Il contenuto medio di cadmio rilevato a livello delle porzioni ipo ed epigea della pianta ospite, aumenta al crescere della sua concentrazione nel suolo con differenze statisticamente significative tra le tesi a confronto; a prescindere dall'inoculo utilizzato. Solo nel caso delle piante alle-

vate con la più alta concentrazione di Cd (T2) l'inoculo S2 ha determinato un assorbimento di cadmio maggiore rispetto a S0 ed S1 (fig.3 e 4), con differenze statisticamente significative. In nessun caso sono state osservate differenze nei contenuti di macro e microelementi (dati non riportati).

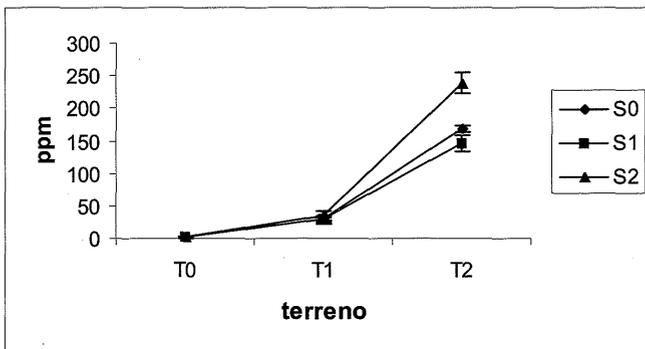


Figura 3. Contenuti medi di cadmio a livello della porzione ipogea in relazione alla sua concentrazione nel terreno e alla spora utilizzata

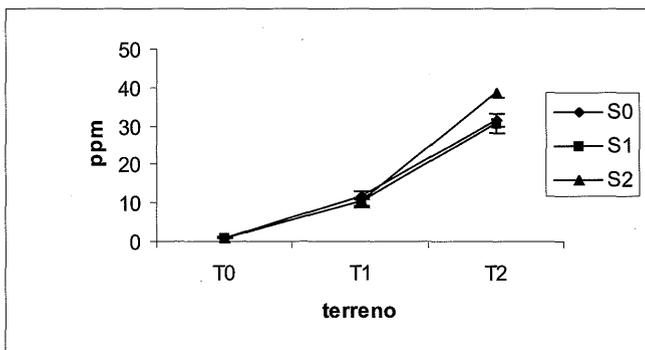


Figura 4. Contenuti medi di cadmio al livello della porzione epigea in relazione alla sua concentrazione nel terreno e alla spora utilizzata

Percentuale di infezione micorrizica

L'entità dell'infezione micorrizica nelle radici di orzo tende, in generale, a diminuire al crescere della concentrazione di cadmio in modo statisticamente significativo. Le V.A. selezionate su terreni inquinati mostrano inoltre avere una maggiore capacità di colonizzazione rispetto alle V.A. selezionate su di un terreno privo di cadmio, tale capacità è più spiccata per le V.A. provenienti dal terreno più inquinato rispetto a quelle provenienti dal terreno meno inquinato (fig. 5).

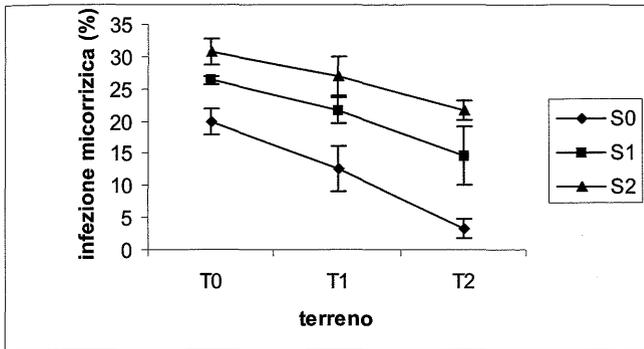


Figura 5. Percentuale di micorizzazione nelle radici della pianta ospite in relazione alla concentrazione di Cd nel terreno e alla spora utilizzata

Numero di spore

L'andamento del numero delle spore presenti rispecchia quello della percentuale di infezione micorrizica. In generale, il numero di spore diminuisce all'incrementare del contenuto di cadmio nel terreno. Le V.A. selezionate sui terreni inquinati riescono tuttavia a produrre un numero maggiore di spore rispetto alle V.A. provenienti da un terreno privo di cadmio. Anche in questo caso le V.A. provenienti dal terreno più inquinato mostrano di essere più resistenti avendo infatti una maggiore capacità riproduttiva rispetto a quelle provenienti dal terreno meno inquinato (fig. 6).

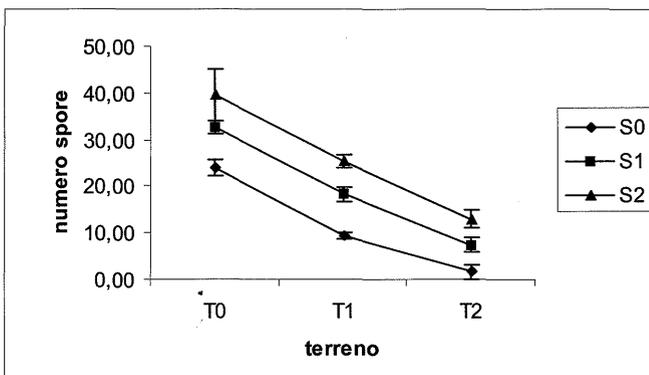


Figura 6. Quantità di spore presenti in 20 g di terreno in relazione alla concentrazione di Cd nel terreno e alla spora utilizzata

Discussione

La percentuale di infezione micorrizica diminuisce in modo considerevole all'aumentare della concentrazione di cadmio (fig.5), andamento analogo presenta il numero delle spore (fig.6). Considerando il comportamento dello stesso inoculo in funzione della concentrazione di cadmio,

relativamente ai due parametri, si può notare che questi ultimi mostrano una sensibilità diversa alla presenza del metallo.

Per quanto riguarda il numero delle spore presenti alla fine della prova si passa da -60% in T1 e -93% in T2 per l'inoculo S0; -44% in T1 e -78% in T2 per S1; -36% in T1 e -67% in T2 per S2. Per quanto riguarda invece la percentuale di micorrizzazione si ha -40% in T1 e -85% in T2 per S0; -19% in T1 e -46% in T2 per S1; -10% in T1 e -30% T2 per S2.

L'inoculo contenente le spore S0 ha quindi risentito in modo notevole della presenza del metallo sia per quanto riguarda il numero delle spore che la percentuale di micorrizzazione rispetto all'inoculo contenente la spora S1 e S2, soprattutto per quanto riguarda la percentuale di micorrizzazione.

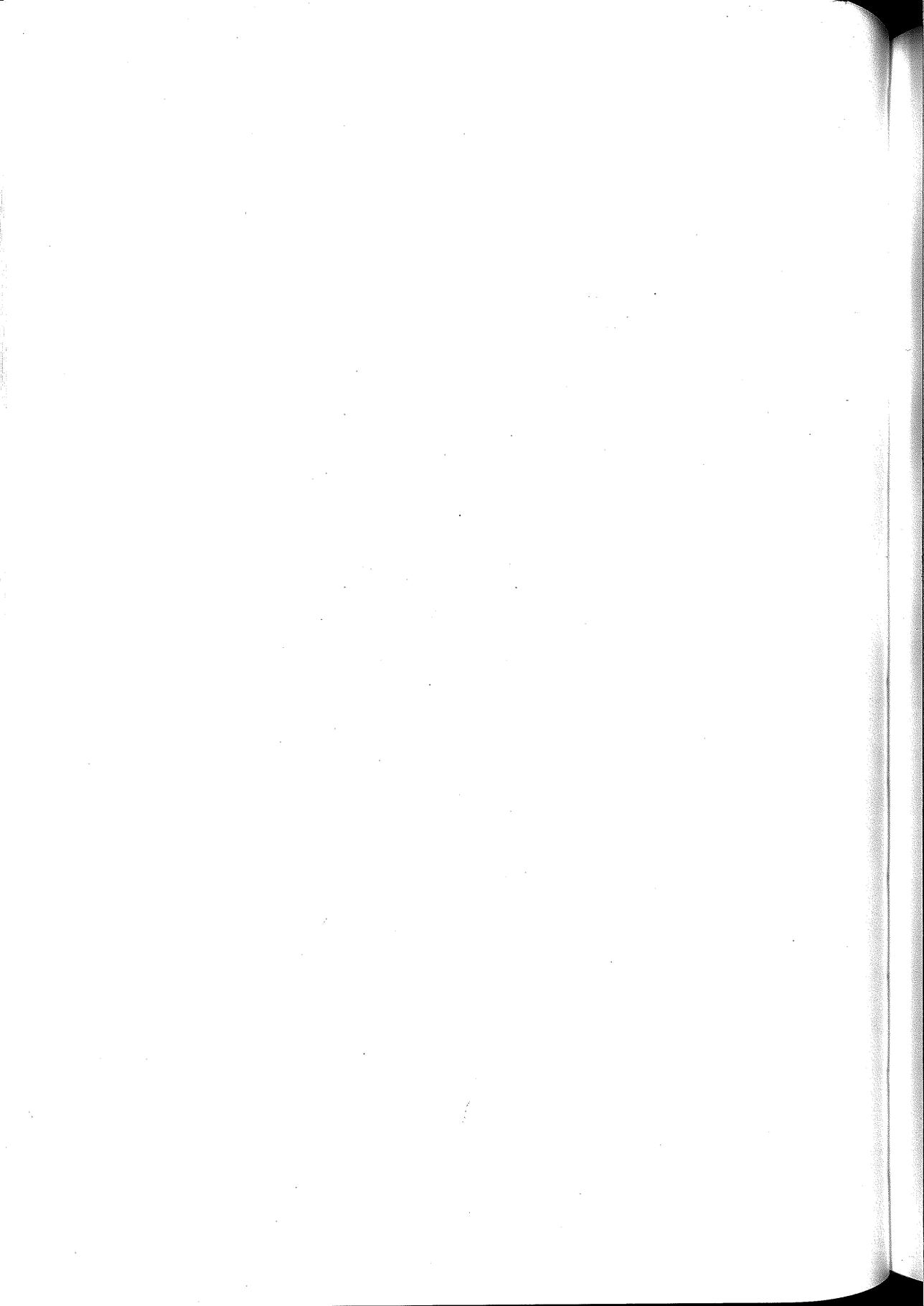
Rispetto al contenuto iniziale di spore micorriziche naturalmente presenti nel suolo utilizzato per la prova, nel terreno T0 si è avuto un aumento del numero delle spore (le spore quindi si sono moltiplicate), mentre nel terreno inquinato, ad ambedue le concentrazioni di cadmio, si è avuto un calo proporzionale alla concentrazione di cadmio, ma comunque minore utilizzando l'inoculo contenente spore S2, provenienti cioè dal terreno più inquinato. Nonostante le differenze riscontrate a livello delle caratteristiche delle micorrize utilizzate, non sono state osservate variazioni, se non modeste, dello sviluppo vegetale. Per quanto riguarda i contenuti di cadmio solo l'inoculo contenente S2 ha provocato un accumulo di metallo sia a livello di radice che della parte aerea.

Va ricordato inoltre che il presente lavoro è stato condotto utilizzando suolo per l'allevamento delle piante e micorrize selezionate risultavano reinoculate, previa moltiplicazione su pianta trappola, sullo stesso terreno di provenienza. Questo allo scopo di mettersi nelle condizioni più naturali possibili e per eliminare il più possibile l'effetto di competizione tra l'inoculo micorrizico che si utilizza e la popolazione endemica: Il fatto di aver utilizzato un terreno con una sua popolazione iniziale di micorrize rispecchia inoltre, una situazione naturale, in quanto le V.A. sono praticamente ubiquitarie.

Nell'insieme i risultati dimostrano una potenzialità di adattamento di ceppi micorrizici anche a elevate concentrazioni di cadmio, ed una maggiore capacità di assorbimento da parte della pianta.

Bibliografia

- ARNON. 1948, *Plant Physiol.*, 24, (1), 58-65.
- BABICH H. E STOTZKY G. 1978. Effects of cadmium on the biota: Influence of environmental factors. *Adv. Appl. Microbiol.*, 23: 55-117
- BAJWA R., NAZ J. Z., 1991. Mycorrhiza in sulphur- rich soils. *Sci. Int. (Lahore)*. Monograph: Contemporary Studies in Mycorrhiza and Biomagnetism., 24- 27.
- BROOKES P.C. E VERSTRAETE W., 1989. The functioning of soil as an ecosystem, in: *Soil Quality Assessment: State of the Art Report on Soil Quality*. Final Report to the Commission of the European Communities, Directorate- General XII, Contract EV4A/0008/NL, prepared by Agricultural University, Wageningen;
- EL-KHERBAWY M., ANGLE J. S., HEGGO A. AND CHANEY R. L., 1989. Soil pH, rhizobia, and vesicular-arbuscular mycorrhizae inoculation effects on growth and heavy metal uptake of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Biol. Fertil. Soil*, 8: 61-65.
- ESTAUN V., CALVET C., CAMPRUBI A., 1992. Effect of salinity and osmotic pressure on the germination and early mycelial growth of two isolates of the vesicular- arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus Mosseae*. Abstract of the 6th International Symposium on Microbial Ecology (ISME- 6), Barcelona, C1- 3- 2, 87c.
- GIOVANNETTI M., MOSSE B., 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytol.*, 71: 287- 295.
- GRACE C., STRIBLEY D.P., 1991. A safer procedure for routine staining of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycol. Res.*, 95 (10): 1160-1162.
- HAYMAN D. S., 1970. Endogone spore numbers in soil and vesicular- arbuscular mycorrhiza in wheat as influenced by season and soil treatment. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 54: 53-63.
- JACKSON A.P. E ALLOWAY B.J., 1992. The transfer of cadmium from agricultural soils to the human food chain. In: *Biogeochemistry of Trace Metals. Advances in Trace Substances Research*, D.C. Adriano (Ed), Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 109-158.
- JUNIPER S., ABBOTT L., 1991. The effect of salinity on spore germination and hyphal extension of some VA mycorrhizal fungi. *Abstracts of the 3rd European Symposium on Mycorrhizas*, Sheffield,
- ORCUTT D.M. E NILSEN E.T., 2000. Mycorrhizae and Plant Stress Physiology. In: *Physiology of Plants under Stress Soil and Biotic Factors*
- SAUERBECK D., 1982. Welche Schwermetallgehalte in Pflanzen dürfen nicht überschritten werden, um Wachstumsbeeinträchtigungen zu vermeiden? *Landwirtsch. Forsch., Sonderheft*, 39: 105-129
- TYLER G., BALSBERG PHALSSON A-M., BENGTSSON G., BAATH E. E TRANVIK L., 1989. Heavy-metal ecology of terrestrial plants, microorganism and invertebrates. *Water Air Soil Pollut.*, 47: 189-215;
- WEISSEHORN I., LEYVAL C., 1995. Root colonization of maize by a Cd- sensitive and a Cd- tolerant *Glomus Mosseae* and cadmium uptake in sand culture. *Plant and Soil*, 175: 233- 238.
- WEISSEHORN I., LEYVAL C., BERTHELIN J., 1993. Cd- tolerant arbuscular mycorrhizal (AM) fungi from heavy-metal polluted soils. *Plant and Soil*, 157: 247- 256.



*MICROORGANISMI ENDOFITI QUALI
BIOFERTILIZZANTI: UNA PROMETTENTE
APPLICAZIONE PER AUMENTARE LA BIODIVERSITÀ
DEGLI AGROECOSISTEMI*

Anna Rita Tiberti, Maddalena Del Gallo

Dipartimento di Biologia di Base ed Applicata, Università dell'Aquila
Via Vetoio, loc. Coppito - 67010 Coppito (AQ)

Negli ultimi 50 anni si sono verificati radicali cambiamenti in agricoltura quali l'introduzione della meccanizzazione, della fertilizzazione e di nuove tecniche culturali tese ad aumentare le rese produttive. Tali tecniche, tuttavia, via via che si approfondivano le conoscenze sull'ecologia degli ecosistemi si sono rivelate sempre più dannose per l'ambiente, infatti, la situazione di attuale degrado biologico nel quale si trovano molte aree ad agricoltura intensiva sembra essere imputabile proprio a queste tecniche (Zucconi, 1993).

L'eccessivo utilizzo dei fertilizzanti sintetici ha effetti estremamente negativi sull'ecosistema: se da un lato le diverse forme azotate causano inquinamento sia a livello locale che globale (Atlas e Bartha, 1993) l'abbandono delle concimazioni organiche in concomitanza con le arature profonde dei terreni agrari incidono sulla popolazione microbica ossidante a spese della sostanza organica e dell'humus. Come conseguenza a lungo termine, si ha una diminuzione della biodiversità a tutti i livelli.

L'introduzione delle monocolture intensive ed estese e l'utilizzo dei diserbanti hanno contribuito a rendere l'ambiente agricolo un ecosistema instabile perché, semplificando al massimo il bioma vegetale, riducono al minimo anche le specie animali e batteriche con il risultato che quelle precedentemente neutralizzate da altre e tamponate da altri organismi divenuti predominanti, prendono il sopravvento diventando patogene, infestanti o parassite.

Una via da percorrere per ristabilire nuovi equilibri nell'ecosistema agricolo è quella di aumentare la biodiversità a vari livelli, quello microbico in particolare. E' possibile, ad esempio, arricchire l'agroecosistema di nuove specie microbiche con l'inoculazione di microrganismi selezionati per particolari proprietà utili alla coltura (Picci, 1994).

Nel presente lavoro è stato utilizzato un pool di microrganismi endofiti (Di Fiore *et al.*, 1995; Hallmann *et al.*, 1997) precedentemente selezionati per alcune caratteristiche interessanti quali: fissazione dell'azoto atmosferico, produzione di sostanze che stimolano la crescita della pianta, antagonismo nei confronti di alcuni patogeni, produzione di siderofori, ecc.

In un precedente lavoro (dati non pubblicati) tali microrganismi erano stati inoculati su alcune cultivar di *Solanum tuberosum* in pieno campo, con risultati estremamente promettenti essendosi dimostrati in grado di colonizzare la pianta con effetti consistenti sulla sua produttività e sulla resistenza agli stress idrici senza apporto di fertilizzanti.

Nel presente lavoro sono stati condotti esperimenti di inoculazione *in vitro* su patata, in condizioni axeniche e sono stati poi valutati alcuni parametri che potessero dare indicazioni sia sulla loro capacità di colonizzazione, sia sulla crescita e sullo sviluppo della pianta.

L'obiettivo finale di questo lavoro è quello di definire un protocollo sperimentale per la produzione di materiale sementiero inoculato il quale, oltre a presentare garanzia di elevata qualità, sia caratterizzato dalla presenza di endoceni batteriche benefiche ed efficienti per capacità di azotofissazione biologica, antagonismo nei confronti di alcuni patogeni, stimolazione della crescita della pianta e trasmissibilità dell'infezione alle generazioni successive.

Materiali e metodi

Microrganismi utilizzati

Azospirillum brasilense Cd (ATCC 29729) isolato dalle radici di *Cynodon dactylon*, è stato fatto crescere in terreno Ok liquido per 48 h a 30°C in agitatore a 120 rpm fino al raggiungimento della fase log, è stato seminato in un mezzo sintetico minimo (Ok) arricchito con malato (Eskew *et al.* 1977.).

Herbaspirillum seropedicae Z67 (ATCC 35893) Isolato dalle radici sterilizzate di *Sorghum bicolor*, è stato fatto crescere in terreno semi-solido senza azoto JNfb, altamente selettivo per questo microrganismo (Baldani *et al.*, 1986).

Gluconoacetobacter diazotrophicus (sin. *Acetobacter diazotrophicus*) Pal5 (ATCC 49037) Isolato dai fusti della canna da zucchero in Alagõas (Brasile) è stato fatto crescere su LGI-P liquido con l'aggiunta di 0,02 g/l di estratto di lievito per 24 h a 28°C in un agitatore a 150 rpm fino al raggiungimento della fase log, è stato mantenuto su piastre di terreno solido PDA (Swings J.).

Burkholderia cepacia PHP7 ora *B. ambifaria* gv. VII. Isolato dalla rizosfera di mais in Francia da P. Hebban, è stato fatto crescere su terreno King-B (KB) per 48 h a 30°C in un agitatore a 150 rpm e mantenute su terreno NA agarizzato (Fiore *et al.*, 2001).

Pianta ospite

Solanum tuberosum cv Desiree. Gentilmente fornite dal dott. Andrea Sonnino, Divisione Biotecnologia e Agricoltura dell'ENEA, Casaccia e F.A.O. La scelta di questa pianta è nata dalla necessità di trovare una rapida soluzione ed una valida alternativa a quelle pratiche agricole che hanno alterato profondamente l'equilibrio dell'agroecosistema presente in alcune aree abruzzesi, nella piana del Fucino in particolare, dove tale coltura è particolarmente estesa.

Coltivazione delle piante.

Le piantine di patata sono state fatte crescere in condizioni axeniche, in provettoni di vetro precedentemente sterilizzati con 10 ml di terreno MS semisolido (Murashige e Skoog, 1962) senza aggiunta di ormoni. Sono state micropropagate considerando l'apice fogliare e il frammento con la radice (presi da piantine sterili micropropagate coltivate in contenitori Magenta con circa 30 ml di terreno MS solido, senza aggiunta di ormoni).

Ai provettoni è stato poi aggiunto 1 ml di inoculo batterico. *Azospirillum* ed *Herbaspirillum* sono stati inoculati ad una concentrazione di 10^5 , mentre *Burkholderia* e *Gluconoacetobacter* ad una concentrazione di 10^3 . Questi ultimi sono stati utilizzati a concentrazioni inferiori perché, utilizzando il saccarosio come fonte di carbonio, tendevano a colonizzare il substrato delle colture vegetali. L'allestimento dei controlli è stato effettuato senza l'inoculo batterico.

Le piante sono state poste in camera di crescita con 16 ore di luce e 8 ore di buio, a temperatura di laboratorio, per circa 15 giorni dopo la micropropagazione.

Inoculazione di ceppi singoli marcati con il gene *gusA*.

Per identificare, sulla e nella pianta, i siti di localizzazione dei singoli batteri, *A. brasilense* e *H. seropedicae* sono stati modificati geneticamente introducendo marcatori genetici che forniscono al ceppo ricevente nuove caratteristiche facilmente rilevabili. Una tecnica riproducibile in laboratorio, utilizzata nel seguente lavoro, si basa sui cosiddetti "geni reporter".

Un "gene reporter" è un gene che codifica per un prodotto di espressione genica facilmente identificabile. Poiché nei vegetali e nei batteri loro associati, l'attività glucuronidasi è generalmente assente, è stato possibile utilizzare come "gene reporter" il gene *gusA*. Tale gene, isolato da *Escherichia coli*, codifica per l'enzima β -glucuronidasi, che catalizza la reazione di idrolisi di numerosi glucuronidi. Se viene fornito come substrato il 5-bromo-4-cloro-3-indol- β -D-glucuronide (X-Gluc), si ha la formazione di un cromoforo blu insolubile in seguito alla scissione della molecola, che può essere individuato con metodi istochimici. Nei ceppi microbici, *Azospirillum brasilense* Cd ed *Herbaspirillum seropedicae* Z67, è stato trasferito, tramite coniugazione, il plasmide pFAJ 31.13 (Tc^r precedentemente costruito mediante la fusione tra il promotore del gene *gusA* di *A. brasilense* e il gene reporter *gusA*) contenente il gene *gusA* (Vande Broek *et al.*, 1993; Jefferson, 1995; Wilson *et al.*, 1995).

Risultati e discussione

Tenendo conto dell'importanza che la biodiversità ha nel mantenimento dell'equilibrio degli ecosistemi naturali, la presente ricerca è stata impostata cercando di far interagire più specie tra di loro per valutare così l'effetto sullo sviluppo di specie vegetali esercitato dai quattro ceppi batterici. I risultati positivi ottenuti precedentemente inoculando gli stessi batteri in *Ipomea batata* (Fabbri *et al.*, 1996), *Sorghum bicolor* (Isopi *et al.*, 1995), *Cicer arietinum* (Del Gallo e Fabbri, 1990), *Zea mais* (Caballero-Mellado *et al.*, 1998) hanno indicato la possibilità di aumentare la biodiversità anche nell'ecosistema pianta. Ma, in particolare, il pool selezionato di batteri ha dimostrato sempre una sinergia e una migliore capacità di colonizzare la pianta ospite rispetto ai singoli ceppi.

I risultati sono riportati nei grafici che seguono. Dalla loro elaborazione sono state osservate differenti modalità di colonizzazione batterica nei diversi trattamenti effettuati.

Gluconoacetobacter diazotrophicus si è rivelato il più abile colonizzatore tra tutti i batteri inoculati: è stato rinvenuto nel fusto a concentrazioni ($10^6 - 10^7$), nelle foglie più basse ($10^5 - 10^6$) e nell'apparato radicale dove invece raggiunge concentrazioni leggermente inferiori ($10^4 - 10^5$). Anche l'*Azospirillum brasilense* che in letteratura è definito un rizobatterio, cioè un batterio che vive specificatamente associato con le radici si è dimostrato un buon colonizzatore anche dell'interno della pianta, raggiungendo concentrazioni di $10^3 - 10^4$ nella radice, 10^5 nel fusto e 10^5 anche nelle foglie.

Herbaspirillum seropedicae, che è in grado di colonizzare radici, fusto, foglie e semi di numerose piante di foraggio, di canna da zucchero e di diverse piante di cereali, nella patata è stato ritrovato alle seguenti concentrazioni: 10^5 - 10^6 per le basse foglie e il fusto e 10^4 nelle radici. L'assenza di questo microrganismo nelle porzioni apicali della pianta sembra contraddire i risultati di Pimentel et al (1991) su Sorgo e di Olivares (comunicazione personale) su riso che dimostrano un'elevata mobilità di questo batterio se coinoculato a livello radicale con spore fungine e la capacità di traslocare via xilema nelle porzioni apicali della pianta.

Per quanto riguarda la *Burkholderia cepacia* è stata anch'essa ritrovata con buone concentrazioni nell'apparato radicale (10^6), nel fusto (10^6) e nelle foglie (10^7). Tali risultati sono in contrasto con risultati ottenuti precedentemente, nei quali il batterio si fermava sempre al livello radicale.

Nel complesso i singoli batteri sono riusciti ciascuno, chi più chi meno, a colonizzare sia l'apparato radicale, sia il basso fusto, sia le basse foglie.

Mentre, considerando i diversi accoppiamenti, possiamo dire, con un po' di sorpresa, che *Burkholderia cepacia* ha dimostrato la migliore capacità di colonizzare la pianta insieme agli altri batteri.

I dati ottenuti nel presente lavoro indicano che i ceppi microbici utilizzati hanno la capacità di colonizzare *Solanum tuberosum*, ma in grado differente a seconda della specie batterica utilizzata. Sono in corso esperimenti di inoculazione con le diverse combinazioni di batteri presi a tre e tutti e quattro assieme, ed è previsto l'utilizzo del fungo micorrizogeno *Glomus mosseae* quale vettore, in particolare dei batteri all'interno della pianta.

Altezze delle piante inoculate con uno e due batteri

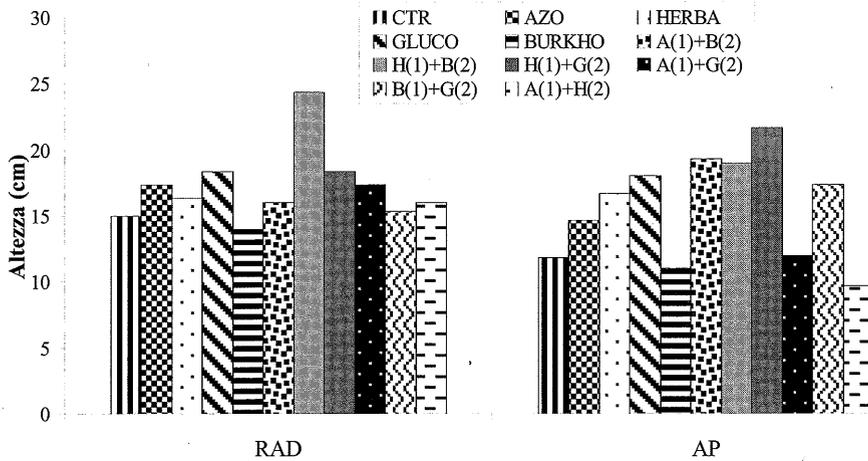


Grafico 1. Altezze delle piante controllo e inoculate con uno e due batteri. (CTR, pianta controllo non inoculata; Azo e A indicano l' *Azospirillum brasilense*; Herba e H indicano l' *Herbaspirillum seropedicae*; Gluco e G indicano il *Gluconoacetobacter diazotrophicus*; Burkho e B indicano la *Burkholderia cepacia*; Rad e Ap indicano rispettivamente i frammenti radicali e l'apice fogliare). Si può notare l'uniformità, in questo parametro, tra i diversi trattamenti; anche se leggermente più significativa risulta l'influenza sull'altezza della pianta dell'inoculazione dell'accoppiamento H(1)+B(2).

Lunghezze delle radici delle piante inoculate con uno e due batteri

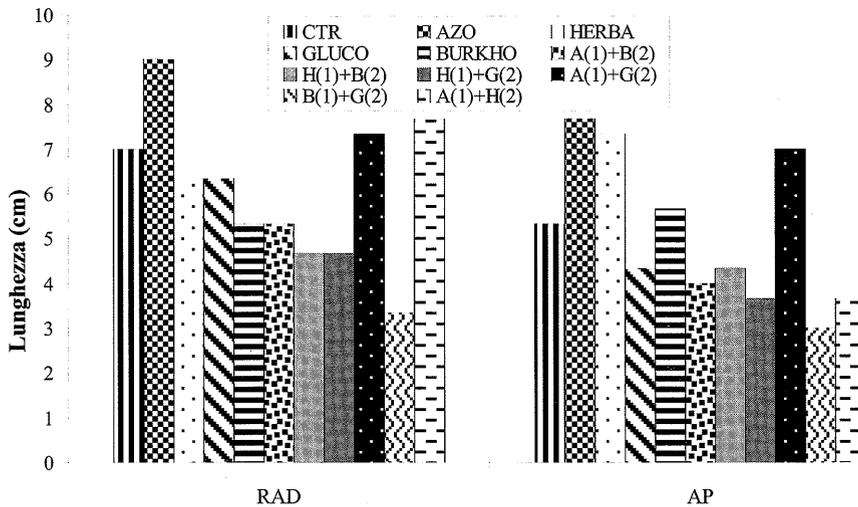


Grafico 2. Lunghezze delle radici delle piante controllo e inoculate con uno e due batteri. (CTR, pianta controllo non inoculata; Azo e A indicano l' *Azospirillum brasilense*; Herba e H indicano l' *Herbaspirillum seropedicae*; Gluco e G indicano il *Gluconoacetobacter diazotrophicus*; Burkho e B indicano la *Burkholderia cepacia*; Rad e Ap indicano rispettivamente i frammenti radicali e l'apice fogliare). È evidente, come è noto in letteratura, l'effetto significativo dell'inoculazione dell' *Azospirillum* sullo sviluppo radicale; anche i diversi trattamenti contenenti questo batterio mostrano un effetto positivo sulla crescita dell'apparato radicale. Nel trattamento B(1)+G(2) si nota un profondo effetto inibitorio

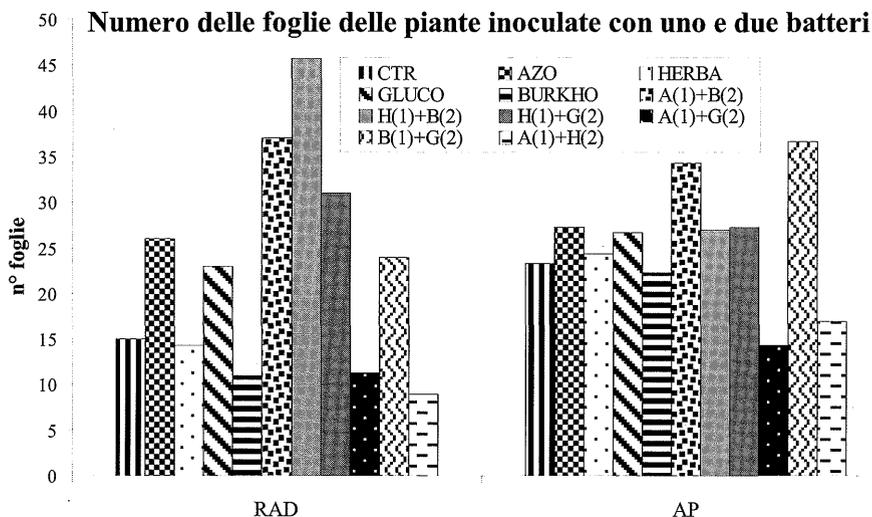


Grafico 3. Numero delle foglie delle piante controllo e inoculate con uno e due batteri. (CTR, pianta controllo non inoculata; Azo e A indicano l' *Azospirillum brasilense*; Herba e H indicano l' *Herbaspirillum seropedicae*; Gluco e G indicano il *Gluconoacetobacter diazotrophicus*; Burkho e B indicano la *Burkholderia cepacia*; Rad e Ap indicano rispettivamente i frammenti radicali e l'apice fogliare). Possiamo, senza dubbio, affermare che nella pianta cresciuta dal frammento radicale l'influenza della maggior parte dei trattamenti è stata positiva sullo sviluppo delle foglie, aumentando così la capacità della pianta di fotosintetizzare

Ramificazioni nelle piante inoculate con uno e due batteri

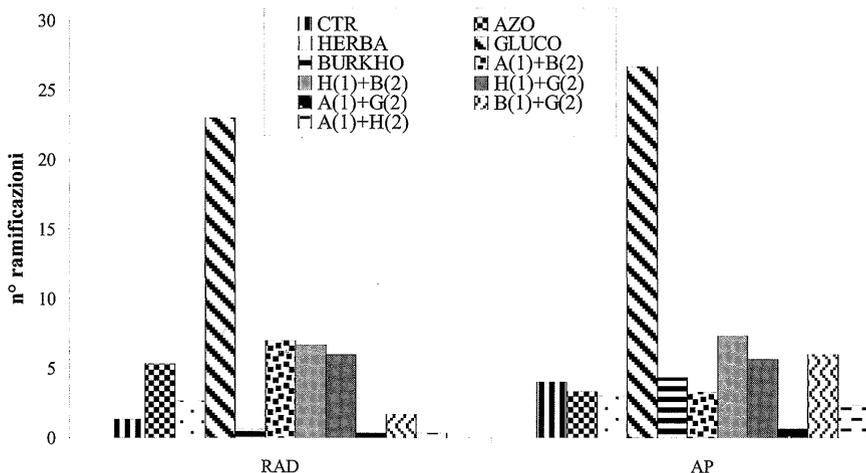


Grafico 4. Ramificazioni del fusto principale delle piante controllo e inoculate con uno e due batteri. (CTR, pianta controllo non inoculata; Azo e A indicano l' *Azospirillum brasilense*; Herba e H indicano l' *Herbaspirillum seropedicae*; Gluco e G indicano il *Gluconoacetobacter diazotrophicus*; Burkho e B indicano la *Burkholderia cepacia*; Rad e Ap indicano rispettivamente i frammenti radicali e l'apice fogliare). È significativamente evidente l'influenza positiva del *Gluconoacetobacter* sullo sviluppo delle ramificazioni della pianta

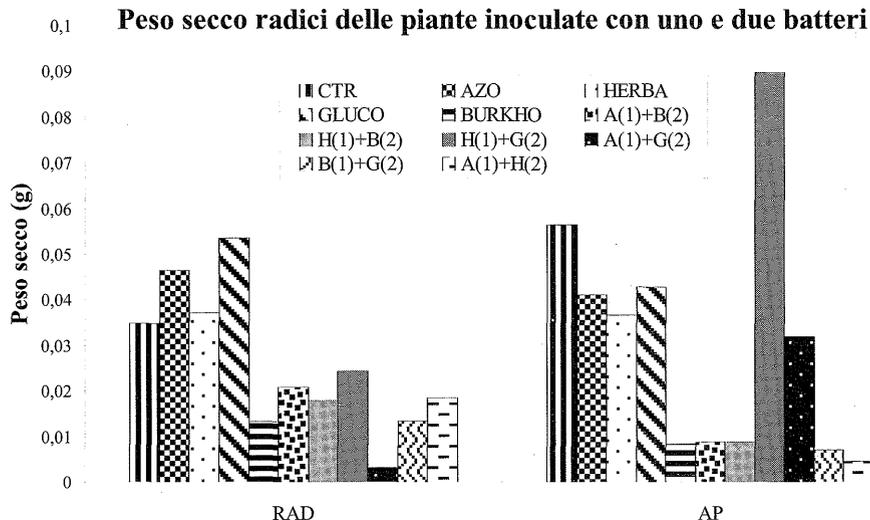


Grafico 5. Peso secco della radice delle piante controllo e inoculate con uno e due batteri. (CTR, pianta controllo non inoculata; Azo e A indicano l' *Azospirillum brasilense*; Herba e H indicano l' *Herbaspirillum seropedicae*; Gluco e G indicano il *Gluconoacetobacter diazotrophicus*; Burkho e B indicano la *Burkholderia cepacia*; Rad e Ap indicano rispettivamente i frammenti radicali e l'apice fogliare). Si può notare che i diversi tipi di batteri inoculati non hanno portato ad un incremento della biomassa vegetale rispetto alla pianta controllo; anche se è visibile un effetto nel trattamento Ap con H(1)+G(2)

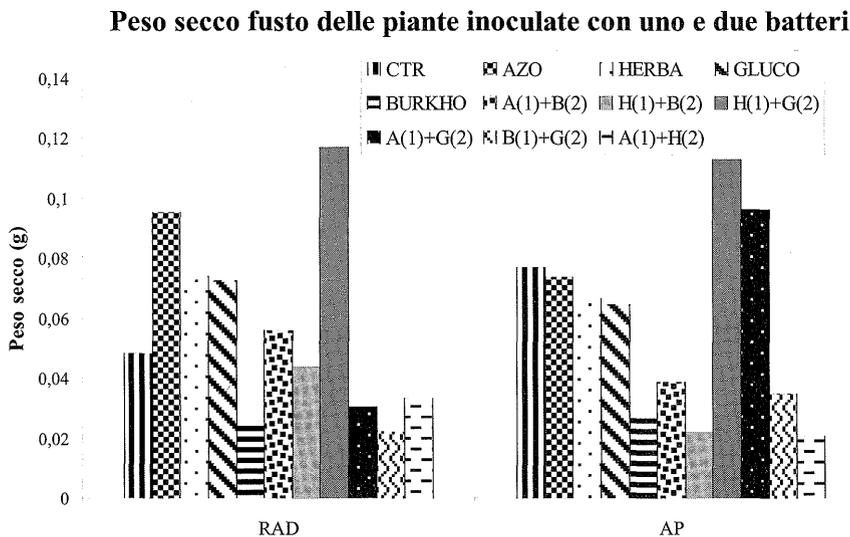


Grafico 6. Peso secco del fusto delle piante controllo e inoculate con uno e due batteri. (CTR, pianta controllo non inoculata; Azo e A indicano l' *Azospirillum brasilense*; Herba e H indicano l' *Herbaspirillum seropedicae*; Gluco e G indicano il *Gluconoacetobacter diazotrophicus*; Burkho e B indicano la *Burkholderia cepacia*; Rad e Ap indicano rispettivamente i frammenti radicali e l'apice fogliare). Rispetto alla pianta controllo, si osserva un effetto sulla biomassa del fusto da parte di *Azospirillum* e della combinazione *Herbaspirillum-Gluconoacetobacter*

Colonizzazione delle radici delle piante inoculate con *Azospirillum* e con i diversi accoppiamenti contenenti questo batterio

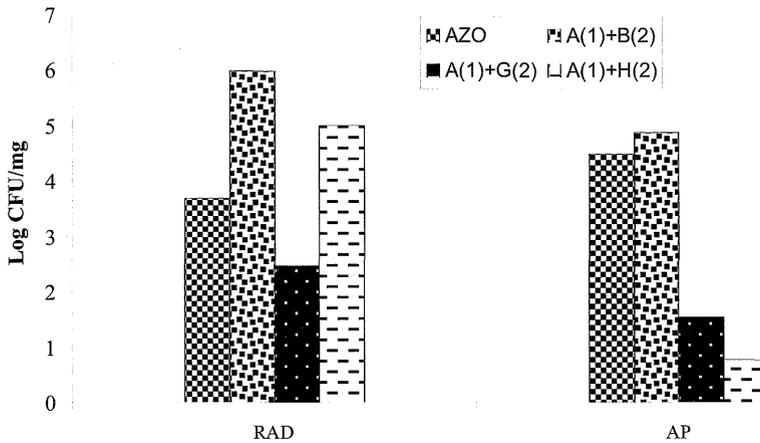


Grafico 7. Colonizzazione delle radici delle piante inoculate con *Azospirillum* e con i diversi accoppiamenti contenenti questo batterio. (CTR, pianta controllo non inoculata; Azo e A indicano l' *Azospirillum brasilense*; Herba e H indicano l' *Herbaspirillum seropedicae*; Gluco e G indicano il *Gluconoacetobacter diazotrophicus*; Burkho e B indicano la *Burkholderia cepacia*; Rad e Ap indicano rispettivamente i frammenti radicali e l'apice fogliare). Vediamo che l'accoppiamento A(1)+H(2) non riesce a colonizzare la pianta come gli altri accoppiamenti. Analizzando anche i grafici successivi si nota che l'accoppiamento *Azospirillum-Herbaspirillum* e l'accoppiamento *Azospirillum-Gluconoacetobacter* non riescono a colonizzare come dovrebbero l'apparato radicale

Colonizzazione delle radici delle piante inoculate con *Herbaspirillum* e con i diversi accoppiamenti contenenti questo batterio

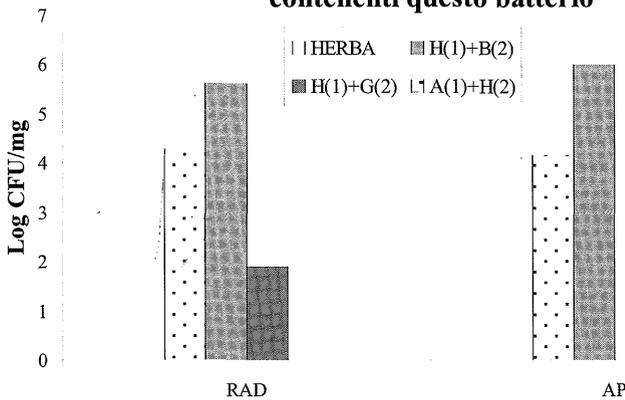


Grafico 8. Colonizzazione delle radici delle piante inoculate con *Herbaspirillum* e con i diversi accoppiamenti contenenti questo batterio. (CTR, pianta controllo non inoculata; Azo e A indicano l' *Azospirillum brasilense*; Herba e H indicano l' *Herbaspirillum seropedicae*; Gluco e G indicano il *Gluconoacetobacter diazotrophicus*; Burkho e B indicano la *Burkholderia cepacia*; Rad e Ap indicano rispettivamente i frammenti radicali e l'apice fogliare). Anche qui, come sopra, vediamo che *Azospirillum-Herbaspirillum* ed *Herbaspirillum-Gluconoacetobacter* non riescono a colonizzare la radice

Colonizzazione delle radici delle piante inoculate con *Gluconoacetobacter* e i diversi accoppiamenti contenenti questo batterio

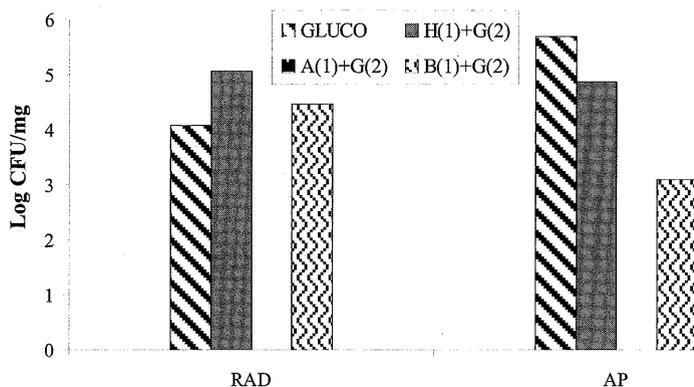


Grafico 9. Colonizzazione delle radici delle piante inoculate con *Gluconoacetobacter* e con i diversi accoppiamenti contenenti questo batterio. (CTR, pianta controllo non inoculata; Azo e A indicano l' *Azospirillum brasilense*; Herba e H indicano l' *Herbaspirillum seropedicae*; Gluco e G indicano il *Gluconoacetobacter diazotrophicus*; Burkho e B indicano la *Burkholderia cepacia*; Rad e Ap indicano rispettivamente i frammenti radicali e l'apice fogliare). Possiamo osservare, anche qui, l'assenza di colonizzazione da parte dell'accoppiamento *Azospirillum-Gluconoacetobacter*

Colonizzazione delle radici delle piante inoculate con *Burkholderia* e con i diversi accoppiamenti contenenti questo batterio

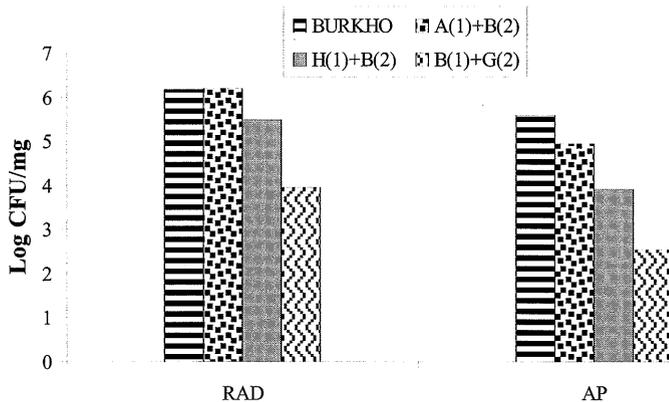


Grafico 10. Colonizzazione delle radici delle piante inoculate con *Burkholderia* e con i diversi accoppiamenti contenenti questo batterio. (CTR, pianta controllo non inoculata; Azo e A indicano l' *Azospirillum brasilense*; Herba e H indicano l' *Herbaspirillum seropedicae*; Gluco e G indicano il *Gluconoacetobacter diazotrophicus*; Burkho e B indicano la *Burkholderia cepacia*; Rad e Ap indicano rispettivamente i frammenti radicali e l'apice fogliare). Cosa sorprendente, rispetto a quanto si legge in letteratura, tutti gli abbinamenti contenenti la *Burkholderia* hanno effetti positivi sulla colonizzazione dell'apparato radicale

Colonizzazione dei fusti delle piante inoculate con *Azospirillum* e con i diversi accoppiamenti contenenti questo batterio

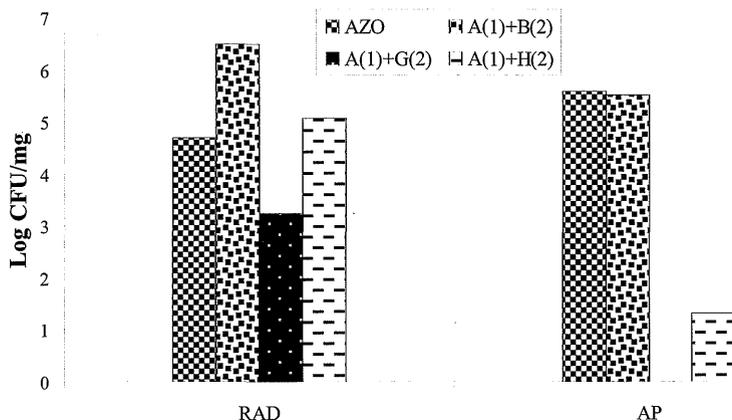


Grafico 11. Colonizzazione dei fusti delle piante inoculate con *Azospirillum* e con i diversi accoppiamenti contenenti questo batterio. (CTR, pianta controllo non inoculata; Azo e A indicano l' *Azospirillum brasilense*; Herba e H indicano l' *Herbaspirillum seropedicae*; Gluco e G indicano il *Gluconoacetobacter diazotrophicus*; Burkho e B indicano la *Burkholderia cepacia*; Rad e Ap indicano rispettivamente i frammenti radicali e l'apice fogliare). Osserviamo, sia in questo grafico che nei tre successivi, l'effetto positivo della *Burkholderia* con qualsiasi altro batterio

Colonizzazione dei fusti delle piante inoculate con *Herbaspirillum* e con i diversi accoppiamenti contenenti questo batterio

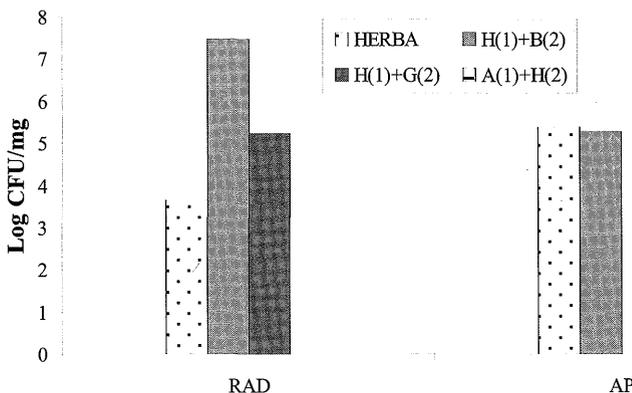


Grafico 12. Colonizzazione dei fusti delle piante inoculate con *Herbaspirillum* e con i diversi accoppiamenti contenenti questo batterio. (CTR, pianta controllo non inoculata; Azo e A indicano l' *Azospirillum brasilense*; Herba e H indicano l' *Herbaspirillum seropedicae*; Gluco e G indicano il *Gluconoacetobacter diazotrophicus*; Burkho e B indicano la *Burkholderia cepacia*; Rad e Ap indicano rispettivamente i frammenti radicali e l'apice fogliare)

**Colonizzazione dei fusti delle piante inoculate con
Gluconoacetobacter e con i diversi accoppiamenti contenenti
questo batterio**

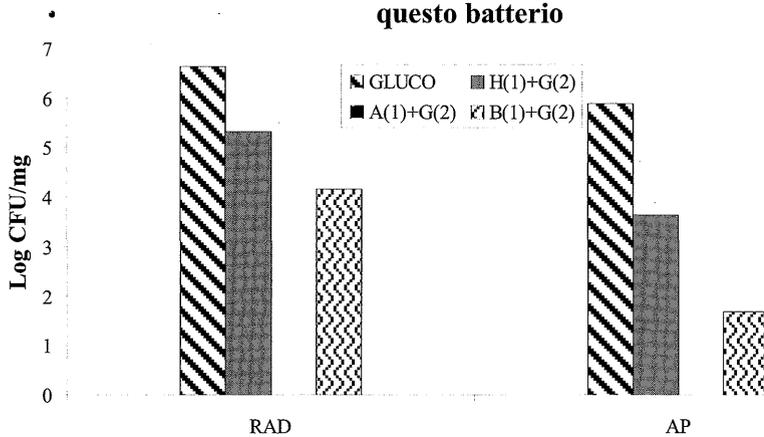


Grafico 13. Colonizzazione dei fusti delle piante inoculate con *Gluconoacetobacter* e con i diversi accoppiamenti contenenti questo batterio. (CTR, pianta controllo non inoculata; Azo e A indicano l' *Azospirillum brasilense*; Herba e H indicano l' *Herbaspirillum seropedicae*; Gluco e G indicano il *Gluconoacetobacter diazotrophicus*; Burkho e B indicano la *Burkholderia cepacia*; Rad e Ap indicano rispettivamente i frammenti radicali e l'apice fogliare)

**Colonizzazione dei fusti delle piante inoculate con *Burkholderia* e
con i diversi accoppiamenti contenenti questo batterio**

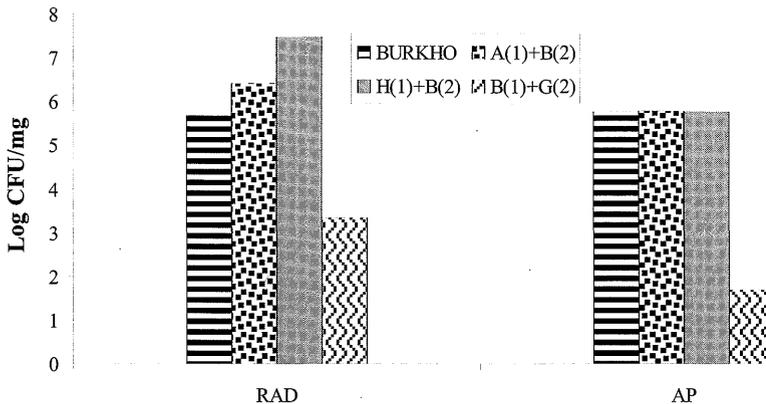


Grafico 14. Colonizzazione dei fusti delle piante inoculate con *Burkholderia* e con i diversi accoppiamenti contenenti questo batterio. (CTR, pianta controllo non inoculata; Azo e A indicano l' *Azospirillum brasilense*; Herba e H indicano l' *Herbaspirillum seropedicae*; Gluco e G indicano il *Gluconoacetobacter diazotrophicus*; Burkho e B indicano la *Burkholderia cepacia*; Rad e Ap indicano rispettivamente i frammenti radicali e l'apice fogliare)

Colonizzazione delle foglie delle piante inoculate con *Azospirillum* e con i diversi accoppiamenti contenenti questo batterio

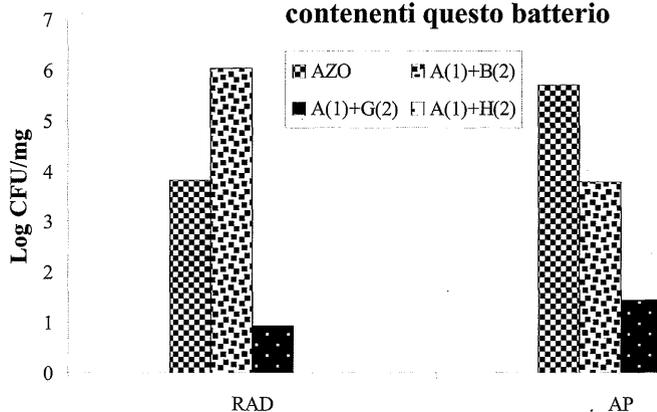


Grafico 15. Colonizzazione delle foglie delle piante inoculate con *Azospirillum* e con i diversi accoppiamenti contenenti questo batterio. (CTR, pianta controllo non inoculata; Azo e A indicano l' *Azospirillum brasilense*; Herba e H indicano l' *Herbaspirillum seropedicae*; Gluco e G indicano il *Gluconoacetobacter diazotrophicus*; Burkho e B indicano la *Burkholderia cepacia*; Rad e Ap indicano rispettivamente i frammenti radicali e l'apice fogliare). Osserviamo, sia in questo grafico che nei tre successivi, l'effetto positivo della *Burkholderia* con qualsiasi altro batterio. Notiamo anche una buona colonizzazione da parte del singolo batterio

Colonizzazione delle foglie delle piante inoculate con *Herbaspirillum* e con i diversi accoppiamenti contenenti questo batterio

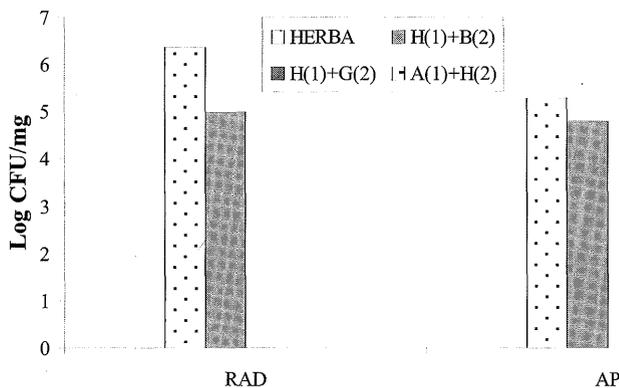


Grafico 16. Colonizzazione delle foglie delle piante inoculate con *Herbaspirillum* e con i diversi accoppiamenti contenenti questo batterio. (CTR, pianta controllo non inoculata; Azo e A indicano l' *Azospirillum brasilense*; Herba e H indicano l' *Herbaspirillum seropedicae*; Gluco e G indicano il *Gluconoacetobacter diazotrophicus*; Burkho e B indicano la *Burkholderia cepacia*; Rad e Ap indicano rispettivamente i frammenti radicali e l'apice fogliare). Notiamo una buona colonizzazione del singolo batterio

Colonizzazione delle foglie delle piante inoculate con *Gluconoacetobacter* e con i diversi accoppiamenti contenenti questo batterio

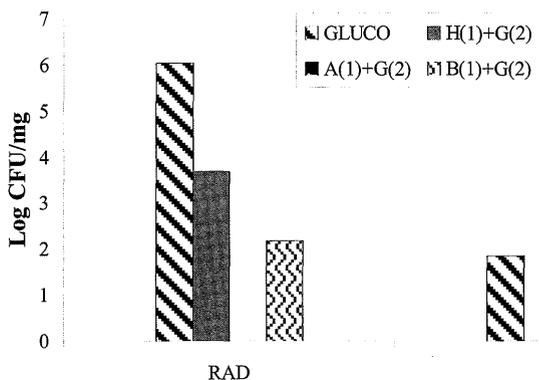


Grafico 17. Colonizzazione delle foglie delle piante inoculate con *Gluconoacetobacter* e con i diversi accoppiamenti contenenti questo batterio. (CTR, pianta controllo non inoculata; Azo e A indicano l' *Azospirillum brasilense*; Herba e H indicano l' *Herbaspirillum seropedicae*; Gluco e G indicano il *Gluconoacetobacter diazotrophicus*; Burkho e B indicano la *Burkholderia cepacia*; Rad e Ap indicano rispettivamente i frammenti radicali e l'apice fogliare). Notiamo una buona colonizzazione del singolo batterio

Colonizzazione delle foglie delle piante inoculate con *Burkholderia* e con i diversi accoppiamenti contenenti questo batterio

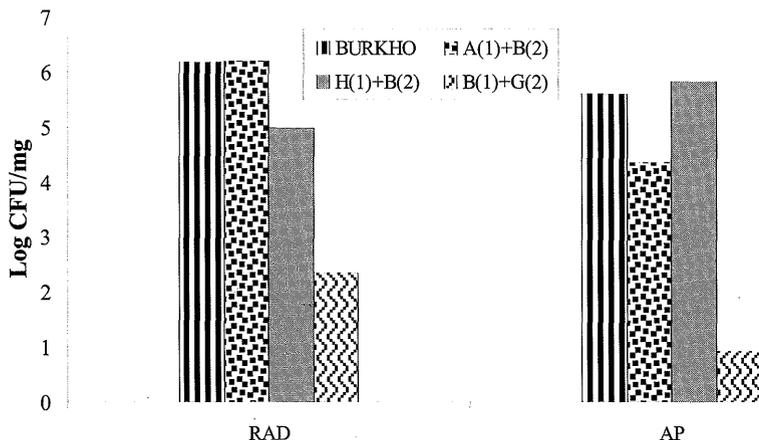


Grafico 18. Colonizzazione delle foglie delle piante inoculate con *Burkholderia* e con i diversi accoppiamenti contenenti questo batterio. (CTR, pianta controllo non inoculata; Azo e A indicano l' *Azospirillum brasilense*; Herba e H indicano l' *Herbaspirillum seropedicae*; Gluco e G indicano il *Gluconoacetobacter diazotrophicus*; Burkho e B indicano la *Burkholderia cepacia*; Rad e Ap indicano rispettivamente i frammenti radicali e l'apice fogliare). Notiamo una buona colonizzazione sia del singolo batterio che insieme agli altri



Figura 1. Un esempio di pianta di patata inoculata in esperimenti di campo con i quattro batteri

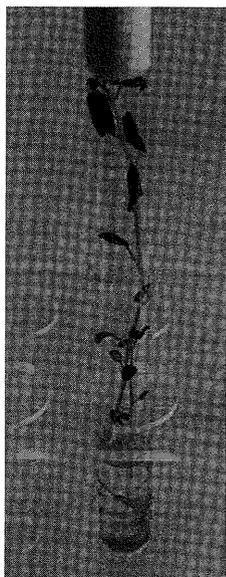


Figura 2. Protettone dove vengono fatte crescere le piante in condizioni axeniche. Esempio di pianta controllo



Figura 3. Particolare di un apparato radicale di una pianta inoculata. Si può notare l'enorme sviluppo della radice, questo è uno degli effetti dell'inoculazione con *Azospirillum brasilense*

Figura 4. Frammento radicale di una pianta inoculata con *Azospirillum brasilense* marcato dopo il saggio istochimico. In blu sono evidenziati i siti di colonizzazione (basso fusto, radici e peli radicali) del batterio

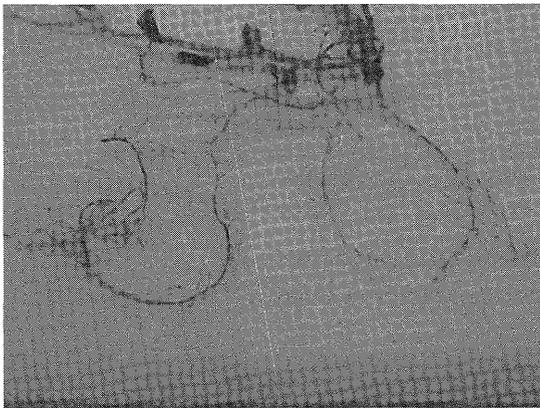
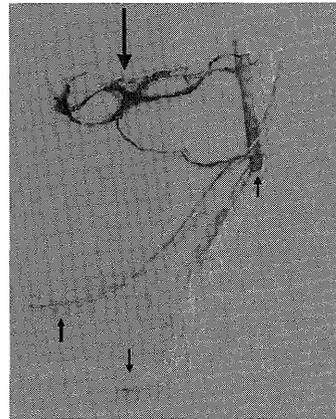
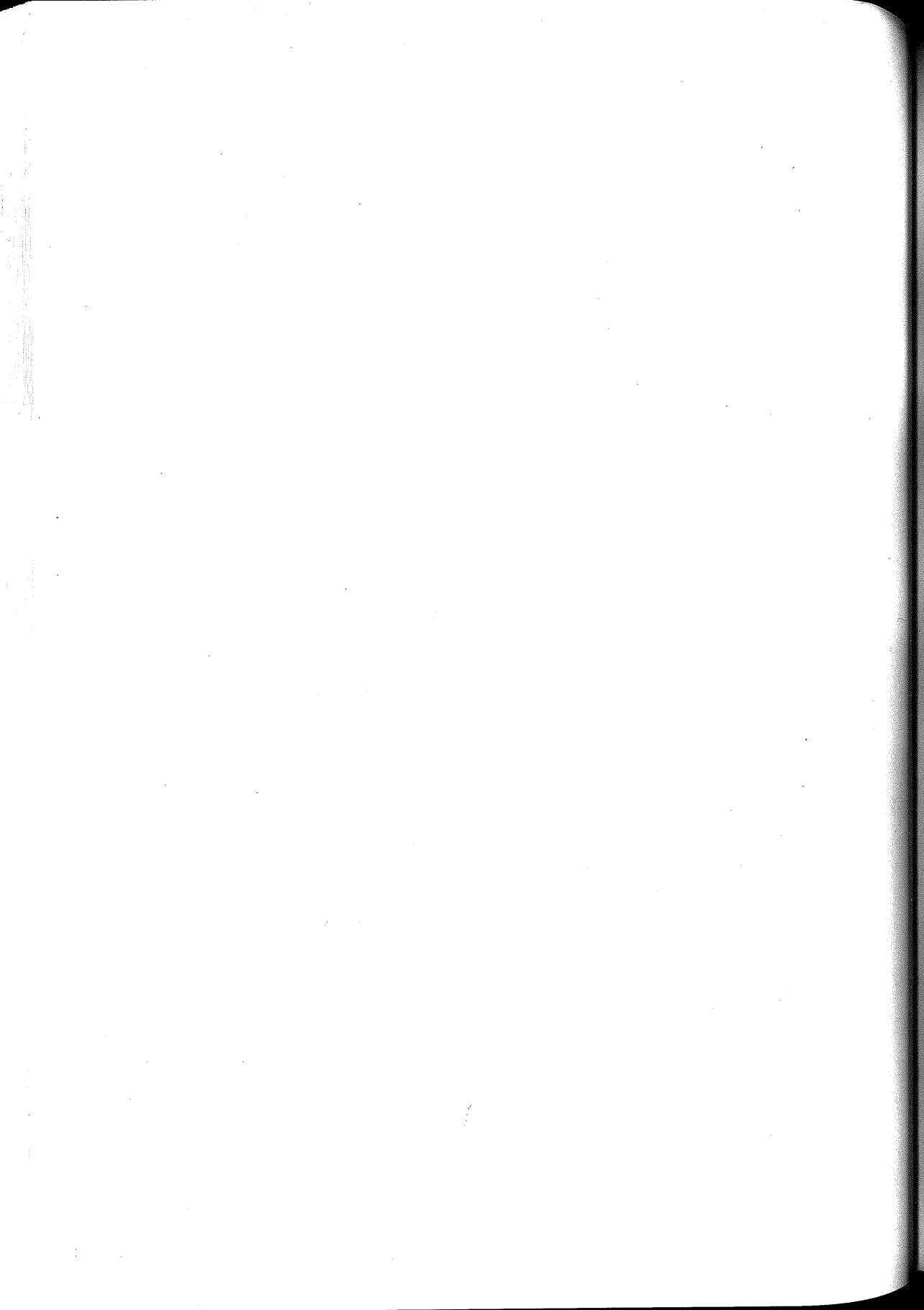


Figura 5. Particolare di un apparato radicale di una pianta inoculata con *Azospirillum brasilense*

Bibliografia

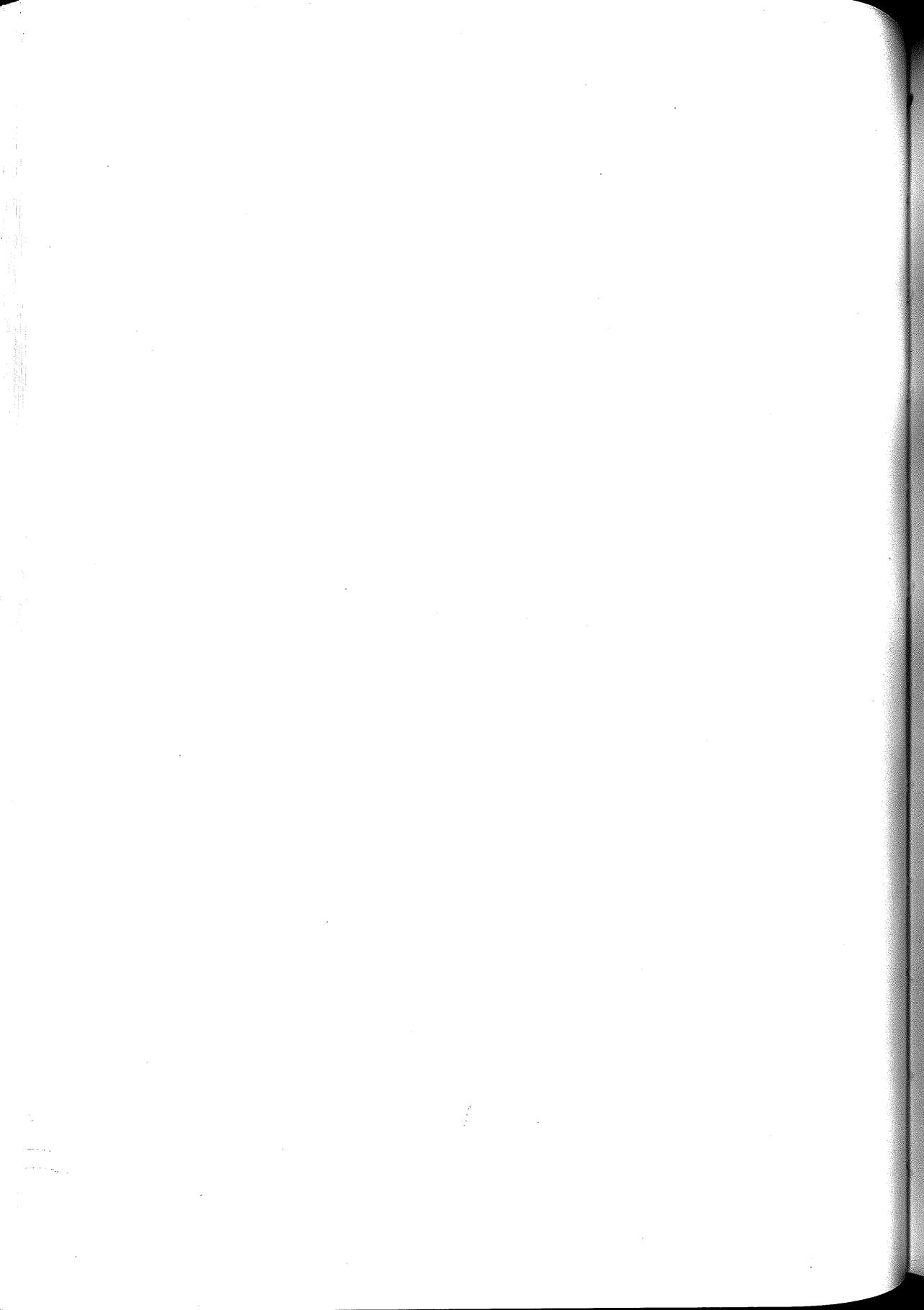
- ATLAS R.M. E R. BARTHA, 1993. In: *Microbial Ecology, Fundamentals and Applications*. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. pp. 383-412
- BALDANI J.I., V.L.D. BALDANI, L. SOLDIN, J. DÖBEREINER, 1986. Characterization of *Herbaspirillum seropedicae* gen. nov., a root-associated nitrogen fixing bacterium. *Int. J. Syst. Bacteriol.*, 36 : 86-93
- BASHAN Y. E G. HOLGUIN, 1997. Azospirillum-plant relationships: environmental and physiological advances (1990-1996). *Can. J. Microbiol.* 43: 103-121
- CABALLERO-MELLADO J., E. MARTINEZ-ROMERO, P. ESTRADA DE LOS SANTOS, L.E. FUENTES-RAMIREZ, 1998. Maize colonization by *Acetobacter diazotrophicus*. In: *Biological Nitrogen Fixation for the 21st Century*, 381-382
- DEL GALLO M., P. FABBRI, 1990. Inoculation of *Azospirillum brasilense* Cd on Chick Pea (*cicer arietinum*). *Symbiosis*, 9: 283-287
- DI FIORE S. E M. DEL GALLO, 1995. Endophytic bacteria: their possibile role in the host plant. In: *Azospirillum VI and Related Microorganism*. A cura di Fendrik I., M. Del Gallo, J. Vanderleyden e M. de Zamaroczy. Nato ASI Serie G: Ecological Sciences Vol. 37, Springer-Verlag pp. 169-188

- DÖBEREINER J., 1992. History and new perspectives of diazotrophs in association with non leguminous plants. *Symbiosis*, 13: 1-13
- ESKEW D.L., D.D. FOCHT AND I.P. TING, 1997. Nitrogen fixation, denitrification and pleomorphic growth in a highly pigmented *Spirillum lipoferum*. *Can. J. Microbiol.*, 34: 582-585
- FABBRI P., F. MARINI, S. DI FIORE, A. SONNINO, M. DEL GALLO. Establishment of an association between nitrogen-fixing endophytic bacteria and *Ipomea batatas*: role of the endosymbiont *Glomus consociatum* in the colonization process. In: *AAA BIOTEC, Atti del convegno, Ferrara, 1996*.
- FIORE A., S. LAEVENS, A. BEVIVINO, C. DALMASTRI, S. TABACCHINI, P. VANDAMME, L. CHIARINI, 2001. *Burkholderia cepacea* complex distribution of genomovars among isolates from the maize rhizosphere in Italy. *Environmental Microbiology*, 3: 1-8
- HALLMANN J., A. QUADT-HALLMANN, W. MAHAFFEE, J. KLOPPER, 1997. Bacterial endophytes in agricultural crops. *Can. J. Microbiol.*, 43: 895-914
- ISOPI R., P. FABBRI, M. DEL GALLO, G. PUPPI, 1995. Dual inoculation of *Sorghum bicolor* (L.) Moench ssp. *bicolor* with Vesicular Arbuscular Mycorrhizas and *Acetobacter diazotrophicus*. *Symbiosis*, 18: 43-55
- JEFFERSON R.A., 1989. The *Gus* Gene Fusion System. A laboratory and Reference Manual. Nuovo CRAI Spa, Ricerca centrale del gruppo SME.
- MURASHIGE T., F.A. SKOOG, 1962. Revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15: 473-497
- OKON Y., 1985. *Azospirillum* as a potential inoculant for agriculture. *Trends in Biotechnology*, 3: 223-228.
- PICCI G., 1994. Microrganismi, ambiente e produttività agraria. Ed agricole, Bologna
- PIMENTEL J.P., F. OLIVARES, R.M. PITARD, S. URQUIAGA, F. ACHIBI E J. DOBEREINER, 1991. Dinitrogen fixation infection on grass leaves by *Pseudomonas rubrisubalbicans* and *Herbaspirillum seropedicae*. *Plant Soil* 137: 61-65.
- SEQUI P. E. M. PAGLIAI, 1983. Conservazione dell'energia in agricoltura. 1° Conferenza Internazionale Energia e Agricoltura, Milano. Stampato a cura dell'ENEA.
- SWINGS J. The genera *Acetobacter* and *Gluconobacter*. The prokaryotes. *A handbook on the biology of bacteria: Ecophysiology, Isolation, Identification, Applications. Vol. 3*, Cap. 111: 2275-2282
- VANDE BROKE A., J. MICHIELS, A. VAN GOOL, J. VANDERLEYDEN, 1993. Spatial-temporal colonization patterns of *Azospirillum brasilense* on the wheat root surface and expression of the beneficial *nifH* gene during association. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 6: 592-600
- WILSON K.J., A. SESSITSH, J.C. CORBO, K.E. GILLER, A. AKKERMANS, R.A. JEFFERSON, 1995. β -Glucuronidase (*Gus*) transposons for the ecological and genetic studies of rhizobia and other Gram-negative bacteria. *Microbiology*, 141: 1691-1705
- ZUCCONI F., 1993. Allelopathies and biological degradation of soils: an introduction to the problem of soil sickness and other soil-borne diseases. *Acta Horticulture* 324: 11-22





Commissione IV
Fertilità del suolo
e
Nutrizione della Pianta



EMISSIONI DI PROTOSSIDO DI AZOTO E ANIDRIDE CARBONICA NELL'ATMOSFERA IN SUOLI AGRARI E FORESTALI

Pier Giacomo Arcara, Camilla Gamba, Carlo Piovanelli

Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo
Piazza Massimo D'Azeglio, 30 - 50121 Firenze

Riassunto

Le indagini sono state svolte in diversi ambienti dell'Italia centro-settentrionale, effettuando rilievi periodici delle emissioni gassose di N_2O e CO_2 nell'atmosfera, con diverse metodiche di incubazione del suolo (campioni disturbati, carote indisturbate e cover-box *in situ*) e analizzando i gas svolti tramite gas-cromatografia TCD e ECD. I suoli di ambiente mediterraneo, con scarso contenuto di sostanza organica e non fertilizzati, danno origine a modeste produzioni di N_2O , sia per emissione diretta che per denitrificazione. La fertilizzazione azotata induce incrementi della denitrificazione e dell'emissione diretta di N_2O diversificati a seconda si tratti di suoli su matrice sabbiosa o argillosa. Le perdite di azoto per denitrificazione si innalzano debolmente con i fertilizzanti organici tradizionali (letame) ma significativamente in presenza di reflui zootecnici, specialmente se somministrati in combinazione con fertilizzanti azotati minerali. La somministrazione di liquami sembra accentuare particolarmente l'emissione di N_2O . Fra i suoli forestali quelli fortemente acidi e ricchi di sostanza organica scarsamente umificata dimostrano una maggior tendenza a presentare elevati valori di emissioni di N_2O .

Anche le emissioni di CO_2 sono in stretta relazione con la tessitura del terreno, poiché in suoli argillo-limosi si rilevano emissioni pari a $40\div 100\text{ Kg ha}^{-1}$ al giorno, con picchi di $180\div 200\text{ Kg}$ in giugno-luglio, mentre in suoli molto più sciolti le emissioni sono più che doppie. La lavorazione del suolo ha grande influenza poiché arature e rippature profonde stimolano la mineralizzazione della sostanza organica, favorendo le emissioni di CO_2 , mentre lavorazioni superficiali sono meno dissipative.

Parole chiave: effetto serra, denitrificazione, emissione N_2O , respirazione.

I. Introduzione

L'evoluzione dell'attività antropica dell'ultimo secolo ha provocato un progressivo incremento delle emissioni gassose nell'atmosfera, che si vanno a sommare con le emissioni naturali provenienti da vegetazione, animali, oceani, vulcani, ecc. Fra questi gas sono presenti i principali responsabili dell'incremento dell'effetto serra che, determinando un eccessivo riscaldamento dell'atmosfera, quantificato nell'ultimo secolo in circa $0,5^{\circ}\text{C}$ (Mullen *et al.* 1999), può portare a complesse variazioni climatiche nell'intero globo. Si calcola che il protossido d'azoto contribuisca a creare l'effetto serra per una quota pari al 4% del totale. Esso è originato essenzialmente dalle combustioni dei materiali fossili e dai processi microbiologici di denitrificazione e nitrificazione dei terreni, sia coltivati che forestali. Recenti stime attribuiscono ai suoli più del 50% delle emissioni globali di protossido d'azoto (Bouwman 1990). Fino a non molti anni fa si riteneva che il protossido di origine tellurica derivasse totalmente, o quasi, dai processi di riduzione anaerobia incompleta dei nitrati, ad opera dei microrganismi denitrificanti; studi relativamente recenti hanno messo in evidenza che, nei suoli agrari sciolti, con pH neutro o subalcalino, buona parte dell' N_2O può derivare dall'ossidazione chemioautotrofica dell'ammonio (Frenay *et al.* 1979, Bremner e Blackmer 1981, Sahrawat e Keeney 1986, Arcara e Gamba 1995). Nei suoli agrari più compatti e in quelli acidi gran parte del protossido si genera da processi di denitrificazione (Tamm 1991), mentre la quota prodotta per nitrificazione è minore (Van Breemen *et al.* 1987, De Boer *et al.* 1991, Martikainen e De Boer 1993). Attualmente si pensa che nella maggioranza dei suoli agrari vi sia una sostanziale equivalenza nelle emissioni di protossido derivante da processi di nitrificazione e denitrificazione e che il processo possa essere spostato, in un senso o nell'altro, soprattutto in base alla forma di azoto contenuta nei fertilizzanti impiegati (Bremner *et al.* 1981, Mosier e Hutchison 1981, Christiansen 1983, Breitembeck e Bremner 1986, Duxbury e McConnaughey 1986). L'attività denitrificante è influenzata da numerosi fattori come il contenuto di sostanza organica del suolo, l'apporto di sostanza organica fresca, il contenuto di nitrati del suolo e la sua temperatura, l'arieggiamento e il contenuto idrico (Ryden e Lund 1980, Terry e Tate 1980, Ryden e Rolston 1983, Arcara *et al.* 1985, Arcara *et al.* 1995).

L'anidride carbonica (CO_2) contribuisce a creare l'effetto serra per circa il 55% del totale; essa è prodotta dal metabolismo di tutti gli esseri viventi e da sorgenti naturali, ma può avere anche origini antropiche, come la combustione del legno e dei materiali fossili. Soprattutto quest'ultima fonte, con la rivoluzione industriale, si è intensificata a tal punto da portare

la concentrazione di CO₂ nell'atmosfera da 280 parti per milione in volume (ppmv) a circa 350 ppmv. A questo innalzamento ha contribuito, per una parte stimata fra il 6 e il 25%, l'approfondimento della lavorazione del terreno, che determina una maggior ossigenazione e mineralizzazione della sostanza organica (Mullen *et al.* 1999).

Negli ultimi decenni si sono notevolmente ampliate le conoscenze a livello planetario circa le origini e le entità delle emissioni gassose, grazie soprattutto ai rilevamenti satellitari e al perfezionamento delle tecniche analitiche. Per quanto concerne l'ambiente mediterraneo, e soprattutto quello italiano, il bagaglio delle informazioni raccolte risulta ancora assai modesto e con questo lavoro si cerca di portare un contributo per ampliare le conoscenze circa le perdite di N₂O e di CO₂ dei suoli, in alcuni ambienti agrari e forestali, in funzione del tipo di lavorazione del terreno e del tipo di fertilizzazione e di vegetazione, nel tentativo di quantificare queste emissioni e di indicare le gestioni del suolo più idonee per contenere queste perdite. I dati riportati si riferiscono a risultati di ricerche ripetute per più anni in diversi ambienti rappresentativi dell'Italia centro-settentrionale ed effettuate con diverse metodologie.

2. Materiali e Metodi

2.1. Caratteristiche e gestione dei suoli

I suoli agrari studiati sono localizzati nella pianura emiliana (Cadriano e S. Prospero), nella collina romagnola (Cesena), in due diversi ambienti della collina toscana, su argille plioceniche (Vicarello) e su terreni sedimentari della Toscana (Fagna). Su suoli forestali dell'Appennino toscoromagnolo (Casentino) sono state considerate diverse coperture vegetali. Le principali caratteristiche fisico-chimiche dei suoli sono riportate in Tab. 1. Sui suoli agrari erano attuate diverse colture, lavorazioni e fertilizzazioni con concimi organici e di sintesi, come riportato in dettaglio nella Tab. 2.

2.2. Rilievi e determinazioni del protossido d'azoto e dell'anidride carbonica

Le emissioni gassose sono state rilevate *in situ* e in laboratorio con diverse metodologie. Per le misure in pieno campo si sono utilizzati *cover box* cilindrici (40 centimetri di diametro e 30 cm di altezza), infissi nel terre-

no delle parcelle per circa 10 centimetri di profondità. Per effettuare l'incubazione questi cilindri vengono chiusi con un coperchio di plexiglass, munito di setto perforabile per il prelievo dei gas. I prelievi gassosi per la determinazione delle emissioni di N_2O e CO_2 sono stati effettuati dopo due ore di incubazione. Per valutare l'attività denitrificante del suolo è stato impiegato il metodo del blocco della riduzione del protossido ad azoto molecolare (Yoshinari e Knoweles 1976) introducendo acetilene (10% v/v) all'interno del *cover box* ed analizzando il protossido emesso dopo due ore di incubazione.

Tabella 1. Localizzazione delle prove e proprietà dei suoli studiati

Ambiente	Tipo di suolo	Caratteristiche fisico-chimiche dei suoli						
		Sab.	Limo	Arg.	pH	C%	N‰	C/N
Pianura Emiliana S. Prospero (Modena)	Xerochrept vertico	15.6	38.9	45.5	8	1.57	1.7	9.2
Pianura Emiliana Cadriano (Bologna)	Udifluent aquico	54	16	30	6.8	0.75	1.8	4.2
Altopiano sedimentario collina toscana (Fagna)	Udifluent tipico	47.6	34.2	16.2	8	1.74	1.6	10.9
Colline toscane su argille plioceniche (Volterra)	Xerorthert vertico	28.5	28	43.5	8.1	0.6	1	6
Colline romagnole su sabbie plioceniche (Cesena)	Udorthert tipico	45	40	15	8.2	0.5	2	2.5
Foreste appenniniche	Abetina Haplumbrept tipico Faggeta				5.1	4.8	2	24
tosco-romagnole (Casentino)	Bosco misto				4.9	7.5	4	18.7
					6.5	8.1	4	20.3

Per le misure *in situ* si sono utilizzate anche carote indisturbate di suolo incubate in cilindri di plexiglass del diametro di 5 centimetri, dotate di tappi e setto perforabile, lasciate in campo per 24 ore, in atmosfera aerobia o in presenza di acetilene. Questi cilindri sono stati impiegati anche per prove di incubazione in laboratorio, per 24 ore a 22°C, con carote indisturbate.

I campioni di gas sono stati conservati a +4°C in *vials* e analizzati tramite gascromatografia con colonna impaccata PoropakQ e rivelatori TC e EC, rispettivamente per la determinazione della CO_2 e del N_2O (Arcara et al. 1995).

Tutti i dati sono stati elaborati statisticamente con test di omogeneità e analisi della varianza e le medie delle tesi confrontate fra di loro per valutare le minime differenze significative.

Tabella 2. Trattamenti nelle varie tesi delle prove agronomiche

Località	Tesi
S. Prospero (MO)	NF - Non fertilizzato
	Ls - 225 Kg ha ⁻¹ di N come liquame suino
	U - 225 Kg ha ⁻¹ di N come urea
	LsU - 225 Kg ha ⁻¹ di N come liquame suino + 225 Kg ha ⁻¹ di N come urea
Cadriano (BO)	NF - Non fertilizzato
	Lb - 6 t ha ⁻¹ di S.S. come liquame bovino
	LbU200 - 6 t ha ⁻¹ di S.S. come liquame bovino + 200 Kg ha ⁻¹ di N come urea
	LbU300 - 6 t ha ⁻¹ di S.S. come liquame bovino + 300 Kg ha ⁻¹ di N come urea
Cadriano (BO)	NF - Non fertilizzato da 18 anni
	L - 400 Q.li ha ⁻¹ di letame bovino
	LU - 400 Q.li ha ⁻¹ di letame bovino + 300 Kg ha ⁻¹ di N come urea
	Lres. - Non fertilizzato da tre anni, in precedenza concimato per 15 anni con 800 Q.li ha ⁻¹ di letame bovino
Cesena (FO)	NF - Non fertilizzato
Vicarello (PI)	SA - 80 Kg ha ⁻¹ di N come solfato ammonico
	NF - Non fertilizzato
	NA - 100 Kg ha ⁻¹ di N come nitrato ammonico
Cesena (FO) (vigneto)	Ls - 400 Kg ha ⁻¹ di N come liquame suino
	Fr - Fresatura - 90 Kg ha ⁻¹ di N come solfato ammonico
	In - Inerbimento - 90 Kg ha ⁻¹ di N come solfato ammonico
	Ds - Diserbo - 90 Kg ha ⁻¹ di N come solfato ammonico
Fagnà (FI)	AP - Aratura profonda a 40 - 45 cm - 300 Kg ha ⁻¹ di N
	AS - Aratura superficiale a 20 - 25 cm - 300 Kg ha ⁻¹ di N
	RP - Rippatura profonda a 45 - 50 cm - 300 Kg ha ⁻¹ di N
	DS - Discatura superficiale a 10 - 15 cm - 300 Kg ha ⁻¹ di N

3. Risultati e Discussione

3.1. Emissione diretta di protossido d'azoto e denitrificazione

Nelle tabelle 3 e 4 sono riportati i valori medi giornalieri di emissioni gassose di N per emissione diretta (N₂O) e per denitrificazione (N₂O+N₂), misurati durante la stagione tardo primaverile ed estiva, in diversi ambienti agronomici e forestali italiani. Si può osservare come, nel complesso, nei diversi ambienti pedologici considerati le emissioni di protossido dai terreni agrari non fertilizzati siano molto contenute e prevalentemente legate a processi microbiologici di denitrificazione. Le prove svolte a S. Prospero e Cadriano, relative a diversi apporti fertilizzanti organici e chimi-

ci, mettono in evidenza come l'aggiunta al terreno di sostanza organica fresca, sotto forma di liquame suino o bovino, incrementi l'emissione diretta di N_2O e la denitrificazione (Gamba et al. 1998; Arcara et al. 1999). Il liquame contiene infatti frazioni organiche facilmente mineralizzabili, quali il carbonio idrosolubile e gli acidi grassi, che stimolano in breve tempo la microflora tellurica (Paul e Beauchamp 1989).

Tabella 3. Perdite di azoto ($gN-N_2O\ ha^{-1}\ d^{-1}$) per emissione diretta di N_2O e per denitrificazione, rilevate *in situ* con impiego di *cover box*, in suoli agrari e forestali con diverse caratteristiche e soggetti a vari trattamenti agronomici

Località	Tesi	Emissione N_2O ($gN-N_2O\ ha^{-1}\ d^{-1}$)	Denitrificazione $N_2O + N_2$ ($gN-N_2O\ ha^{-1}\ d^{-1}$)	Rapporto N_2O/N_2O+N_2
S. Prospero (MO)	NF	4,91	9,28	0,53
	Ls	9,58	17,02	0,56
	U	9,74	17,36	0,56
	LsU	13,87	25,89	0,54
Cadriano (BO)	NF	3,82	16,12	0,23
	Lb	7,64	22,84	0,33
	LbU200	8,05	25,74	0,31
Cadriano (BO)	CsU300	10,36	37,87	0,27
	NF	6,2	13,36	0,46
	Lres.	7,92	15,09	0,52
	L	6,08	11,41	0,60
Fagna (FI)	LU	8,94	16,87	0,53
	AP	7,92		
	RP	8,47		
	AS	12,76		
Camaldoli (AR)	DS	11,98		
	Faggeta	4,13		
Camaldoli (AR)*	Abetina	6,31		
	Faggeta	1,01	4,58	0,22
Camaldoli (AR)*	Abetina	1,53	6,53	0,23
	Bosco misto	2,61	6,05	0,43

*Prove effettuate con incubazioni *in situ* di carote indisturbate.

La somministrazione di letame, come verificato nelle prove effettuate a Cadriano, non sembra avere un effetto così immediato, come quella di liquame, sulla microflora responsabile delle emissioni gassose di azoto, poiché i valori rilevati non si discostano da quelli del terreno non fertilizzato. Sembra invece che l'effetto sia molto più tardivo, come si può osservare nei suoli non trattati da tre anni ma che avevano ricevuto negli anni precedenti dosi elevate di letame ($800\ Q.li\ ha^{-1}$). Questo risultato, già ottenuto in una coltura di frumento nello stesso ambiente da Arcara e al. (1990),

conferma l'importanza del grado di umificazione della sostanza organica del suolo sulla stimolazione dei processi microbiologici.

L'aggiunta di concime chimico, con N in forma ureica, al concime organico, generalmente esalta l'emissione di N_2O , sia per nitrificazione che per denitrificazione. Tuttavia nei terreni di S. Prospero il rapporto N_2O/N_2O+N_2 non subisce modificazioni, mentre a Cadriano la somministrazione di liquame ed urea stimola prevalentemente l'attività denitrificante, con un innalzamento del suddetto rapporto rispetto al terreno non trattato. La somministrazione di liquame bovino ha determinato dei picchi di attività denitrificante circa 3-4 settimane dopo la concimazione, che si esauriscono in breve tempo (Fig. 1), mentre con liquame suino si è riscontrato un picco nei primissimi giorni successivi alla somministrazione ed altri meno intensi nel mese successivo: nel complesso l'attività si attenua in pochi mesi (Fig. 2).

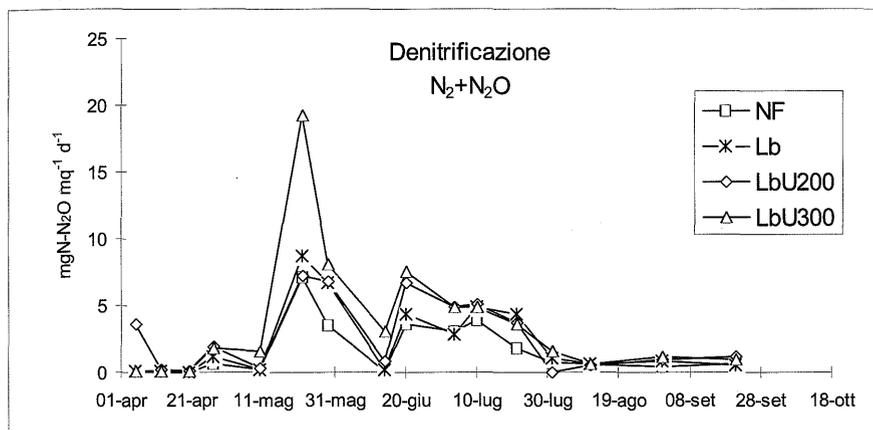


Figura 1. Emissione N_2+N_2O per denitrificazione in suoli agrari sottoposti a diversa fertilizzazione organica (liquami bovini) e minerale, durante la coltura del mais, Cadriano (BO)

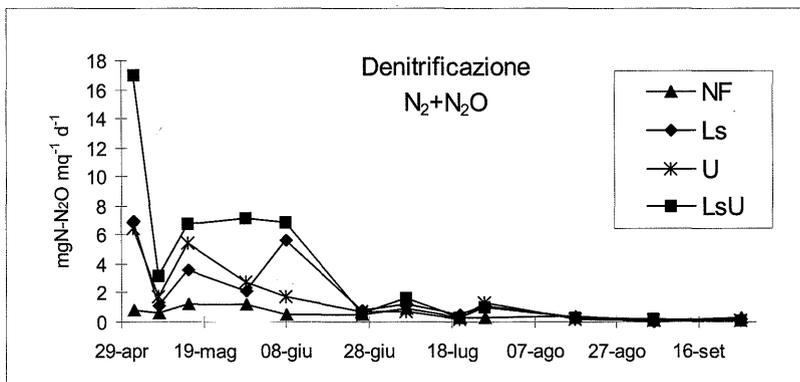


Figura 2. Emissione N_2+N_2O per denitrificazione in suoli agrari sottoposti a diversa fertilizzazione organica (liquami suini) e minerale, durante la coltura del mais, S. Prospero (MO)

Indipendentemente dalla fertilizzazione ricevuta, nel periodo di accrescimento del mais, possono verificarsi aumenti sporadici della denitrificazione e della emissione di N_2O , legati essenzialmente alle piogge e al grado di saturazione del terreno. L'aumento dell'acqua nei pori del terreno riduce infatti la disponibilità di ossigeno, rendendo il sito anossico ed ideale per i processi di denitrificazione (Grundmann e Rolston 1987; Myrold 1988; Ball *et al.* 1999), benché non vi sia sempre una correlazione lineare fra umidità del suolo e denitrificazione batterica (Fireston 1982; Sexston *et al.* 1985; Williams *et al.* 1992). Anche nella nostra prova non si è potuta dimostrare questa relazione, avendo riscontrato una attività più alta alcuni giorni dopo intensi eventi piovosi, a testimonianza della necessità di un certo lasso di tempo per il verificarsi delle suddette condizioni e per l'incremento della popolazione batterica denitrificante (Arcara *et al.* 1999).

L'aumento delle emissioni di N_2O nei suoli argillosi, in seguito alla somministrazione di liquame suino (400 Kg ha^{-1} di N), è stato confermato anche con prove di incubazione di carote indisturbate di terreno, effettuate a Vicarello. In questo suolo la somministrazione di liquame, ancor più della fertilizzazione con nitrato ammonico, stimola prevalentemente l'emissione diretta di N_2O , che raggiunge valori del 58% sulle perdite gassose di N totali. Situazione simile si riscontra nei suoli pliocenici sabbiosi di Cesena dove la fertilizzazione chimica (80 Kg ha^{-1} di N da $(NH_4)_2SO_4$) determina aumenti molto rilevanti delle emissioni, sia per emissioni dirette di protossido che per denitrificazione, anche se, visto l'elevato rapporto N_2O/N_2O+N_2 , si deve rilevare che la denitrificazione presenta una minor incidenza, permanendo un sostanziale equilibrio fra emissioni e denitrificazione (Arcara e Gamba 1995).

Tabella 4. Perdite di azoto ($\mu\text{gN-N}_2\text{O Kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$) per emissione diretta di N_2O e per denitrificazione rilevate, con prove di incubazione di carote indisturbate, in suoli agrari con diverse caratteristiche e soggetti a vari trattamenti agronomici

Località	Tesi	Emissione N_2O ($\mu\text{gN-N}_2\text{O Kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$)	Denitrificazione ($N_2O + N_2$) ($\mu\text{gN-N}_2\text{O Kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$)	Rapporto N_2O / N_2O+N_2
Vicarello (PI)	NF	6.71	33.57	0.20
	NA	49.46	55.00	0.90
	LS	75.05	54.39	1.38
Cesena (FO)	NF	1.59	13.57	0.12
	SA	271.15	431.80	0.63
Cesena (FO) (vigneto)	Fr	208,6	507,50	0,41
	In	24,86	28,54	0,87
	Ds	11,40	24,46	0,46

Sempre a Cesena, su terreni simili ai precedenti, ma con soprasuolo a vigneto, è stata effettuata una prova con diverse tecniche di gestione del suolo durante il periodo vegetativo. Nelle tesi con lavorazione periodica del terreno sono state rilevate perdite di N_2O marcatamente superiori rispetto a quelle delle parcelle inerbite e diserbate, con un rapporto N_2O/N_2O+N_2 di 0,41. I suoli diserbati e, soprattutto, quelli sottoposti ad inerbimento, hanno dato origine a perdite gassose di azoto molto limitate e fundamentalmente legate alla fertilizzazione ricevuta (80 Kg ha^{-1} di N da $(NH_4)_2SO_4$). Queste prove mettono in evidenza che la lavorazione del terreno, intensificando la mineralizzazione della sostanza organica, provoca una maggiore disponibilità di nitrati nel suolo ed una stimolazione della microflora, fattori che da un lato incrementano le perdite di azoto per ruscellamento e percolazione e dall'altro le perdite di N nell'atmosfera. Le ripetute lavorazioni, necessarie per tenere il terreno sgombro da infestanti durante la stagione vegetativa delle viti, causano nel lungo termine una diminuzione della fertilità del suolo (Spallacci *et al.* 1992), mentre con il diserbo chimico e l'inerbimento controllato, si realizza una situazione di minor mobilità dell'azoto nel suolo, che può contrastare gli effetti negativi delle lavorazioni.

L'incidenza della lavorazione del terreno sulle emissioni gassose di azoto è stata confermata da una prova effettuata presso il nostro Centro Sperimentale di Fagna, dove sono state messe a confronto diverse tecniche di lavorazione. Dalla prova è emersa una forte incidenza della profondità di lavorazione sulle emissioni gassose, poiché le lavorazioni superficiali (10-20 cm) provocano maggiori perdite rispetto a quelle profonde di rippatura e maggiormente di aratura (Fig.3). La lavorazione profonda, operando una migliore distribuzione della sostanza organica nel profilo e una maggiore ossigenazione, tende a ridurre le perdite di azoto per volatilizzazione, mentre con la discatura e l'aratura superficiale, negli orizzonti superiori del terreno, si esaltano i processi della microflora (Gamba *et al.*, 2001), che accentuano la nitrificazione e le emissioni di protossido.

Le emissioni nei suoli forestali, nonostante l'assenza di apporti di composti azotati, sono di entità non trascurabile (Groffman e Tiedje 1989; Martikainen e De Boer 1993) per cui anch'essi apportano nell'atmosfera quantità rilevanti di N_2O . Prove *in situ*, mediante *cover box*, effettuate in boschi di abete bianco e faggio ceduo nell'Appennino Tosco-Romagnolo, hanno evidenziato che nel complesso i suoli forestali contribuiscono alle emissioni di N_2O globali con quantità pari a quelle prodotte da suoli agrari non sottoposti a particolari trattamenti. Durante la stagione estiva si è riscontrato un progressivo innalzamento delle emissioni di N_2O . Tale incremento è più rilevante nella foresta di aghifoglie (Fig. 4) e sembra essere legato soprattutto alla tempe-

ratura (Sitaula e Bakken 1993) poiché la foresta di faggio studiata è a quota maggiore, ed in estate la temperatura del terreno è mediamente inferiori di circa $0,8-1^{\circ}\text{C}$ rispetto a quello dell'abetina (Fig 5).

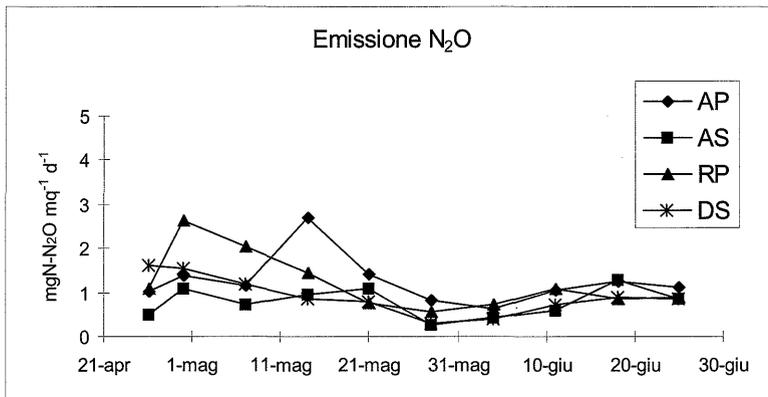


Figura 3. Emissione N₂O in suoli agrari caratterizzati da diverse lavorazioni del terreno, durante la coltura del mais, Fagna (FI)

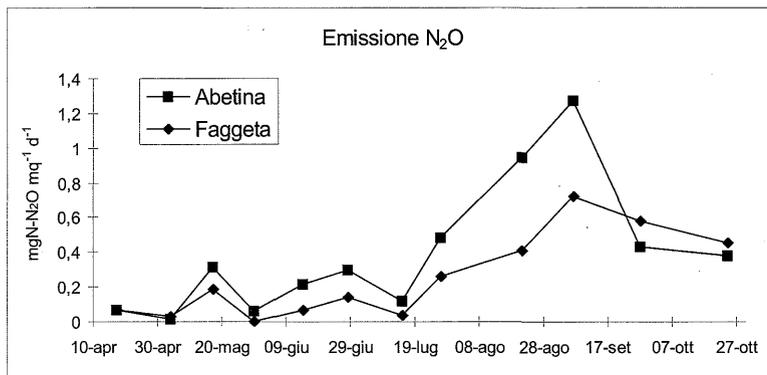


Figura 4. Emissione N₂O in suoli forestali sotto copertura di abete e faggio, Camaldoli (AR)

In prove effettuate con incubazione *in situ*, per 24 ore, di carote indisturbate, sulle medesime parcelle e su un bosco misto, sono state determinate le emissioni dirette di N₂O e la denitrificazione. Quest'ultima è risultata l'attività prevalente rispetto alla nitrificazione, ma con valori molto più bassi in confronto alle emissioni rilevabili su terreni agrari. Da queste prove emerge che il protossido costituisce una porzione notevole delle emissioni globali anche nei suoli forestali, come evidenziato da altri autori (Beese *et al* 1991, Willison e Anderson 1991), essendo circa il 19% delle emissioni complessive di azoto nel bosco di abete e di faggio e il 30% nel bosco misto di latifoglie.

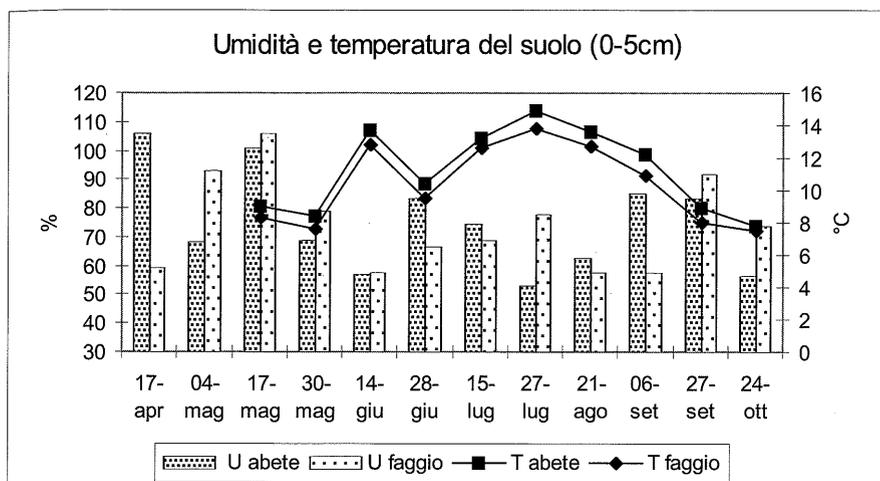


Figura 5. Umidità e temperatura del suolo (0-5 cm) sotto copertura di abete e faggio, al momento delle misure di emissioni gassose, Camaldoli (AR)

3.2. Emissione diretta di anidride carbonica

Tabella 5. Perdite di anidride carbonica ($\text{Kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) per emissione diretta in suoli agrari, con diverse caratteristiche e soggetti a vari trattamenti agronomici, e in suoli forestali con diversa copertura vegetale.

Località	Tesi	Emissione di CO_2 $\text{Kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$
S. Prospero (MO)	NF	35,65
	Ls	74,94
	U	73,88
	LsU	100,9
Cadriano (BO)	NF	97,39
	Lres	97,38
	L	139,8
	LU	110
Fagna (FI)	RP	100,28
	AP	104,70
	AS	108,37
	DS	82,53
Camaldoli (AR)	Abetina	43,74
	Faggeta	34,52

In alcuni siti dove sono state misurate denitrificazione ed emissione di protossido, si sono rilevate contemporaneamente le emissioni di anidride carbonica. Nella Tab. 5 sono riportati i valori medi di emissione giornaliera di CO_2 in suoli agrari, misurati durante il ciclo colturale del mais, e le emissioni in ambienti forestali del Casentino.

Essendo la respirazione del suolo il risultato della decomposizione dei materiali organici operata dai microrganismi e della respirazione delle radici, tutte le variabili colturali o ambientali che possono influenzare questi due fattori determinano variazioni delle emissioni.

Per quanto concerne l'influenza delle concimazioni, osservando i risultati delle prove effettuate a S. Prospero, si rileva che nei terreni non fertilizzati le emissioni sono relativamente modeste. La somministrazione di liquame suino o di urea (225 unità di N ad ettaro) stimola in maniera notevole la respirazione e ancor più questa viene stimolata dalla combinazione dei due fertilizzanti.

Nei terreni più sciolti di Cadriano le emissioni di CO_2 sono molto più rilevanti, a testimonianza di una più intensa mineralizzazione, che si tramuta in una incapacità da parte di questi suoli ad accumulare S.O., il cui contenuto risulta molto più basso che non in quelli di S. Prospero. La somministrazione di letame bovino determina un notevole incremento delle emissioni di CO_2 che si esaurisce abbastanza precocemente nel corso della stagione estiva (Fig. 6). In questa prova si deve osservare che, mentre il letame ha una azione ritardata nel tempo nel determinare aumenti di emissioni di protossido, altrettanto non accade per le emissioni di CO_2 , perché le parcelle che per 15 anni avevano ricevuto notevoli quantità di letame (800 Q.li ha^{-1}), ma non erano più fertilizzate da tre anni, hanno ormai esaurito tutta la loro "forza vecchia" e le emissioni di CO_2 sono equivalenti a quelle che si rilevano nei terreni non fertilizzati.

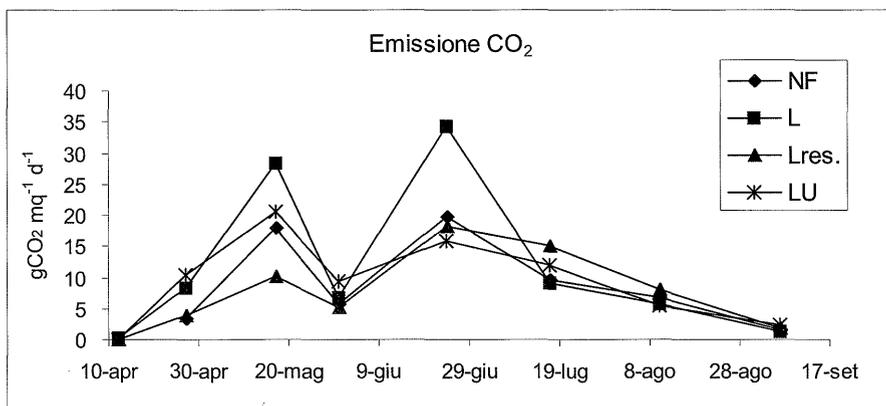


Figura 6. Emissione CO_2 in suoli agrari sottoposti a diversa fertilizzazione, organica e minerale, durante la coltura del mais, Cadriano (BO)

Nei terreni del nostro Centro Sperimentale di Fagna sono stati fatti rilievi di emissioni *in situ* su parcelle con diverse lavorazioni principali, ma tutte con identica concimazione minerale. In linea generale le lavorazioni energiche, indipendentemente dal tipo (aratura a 25 e 45 centimetri, ripertura a 50 cm), presentano emissioni abbastanza rilevanti e sostanzialmen-

te uguali, mentre lavorazioni più conservative, quali la discatura superficiale, hanno emissioni più ridotte perché vi è una mineralizzazione meno intensa che porta ad un accumulo di S.O. negli strati più superficiali (Gamba *et al.*, 2001). Questo concorda con quanto osservato da diversi autori, fra cui Mullen *et al.* (1999), secondo cui le lavorazioni convenzionali determinano un aumento di emissione di CO₂ nell'atmosfera poiché provocano una accelerazione della decomposizione della S.O., favorendo l'ingresso dell'ossigeno nel terreno, mentre lavorazioni conservative, dopo un certo numero di anni, provocano un incremento della S.O., determinando un aumento della fertilità e minor rilascio di CO₂ nell'atmosfera. Osservando l'andamento stagionale delle emissioni (Fig. 7) si nota come normalmente vi siano due picchi in corrispondenza delle concimazioni pre-semina e di quelle in copertura, effettuate durante la sarchiatura. Da metà maggio a metà giugno si nota inoltre un incremento più o meno lineare della respirazione, evidentemente legato all'aumento stagionale della temperatura, fattore quest'ultimo che secondo molti autori (Ball *et al.*, 1999; Sato e Seto, 1999; Mielnick e Dugas, 2000) è la principale causa di incremento dell'emissione di CO₂.

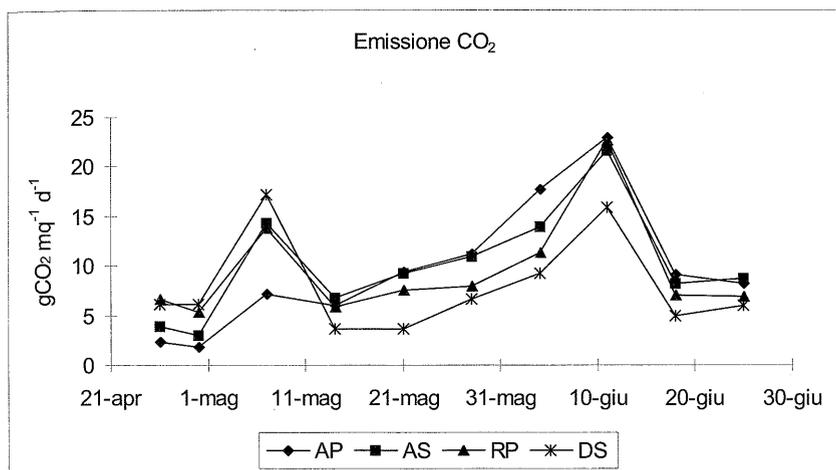


Figura 7. Emissione di CO₂ da suoli agrari caratterizzati da diversa lavorazione del terreno, durante la coltura del mais, Fagna (FI)

Nei suoli forestali le emissioni sono molto più modeste (Fig. 8) che non nei suoli agrari per ragioni molto semplici e intuitive, essenzialmente legate alla minor attività microbiologica globale determinata dalle basse temperature (Rayment e Jarvis 2000; Fang e Moncriff 2001). Un ruolo non indifferente svolgono anche l'assenza di lavorazioni e di concimazioni, che come abbiamo visto in precedenza sono fattori essenziali nel determinare l'incremento di emissioni.

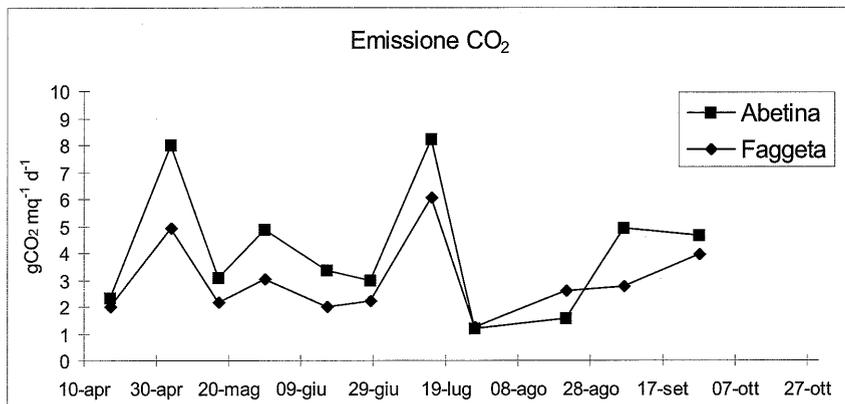


Figura 8. Emissione CO₂ da suoli forestali sotto copertura di abete e faggio, Camaldoli (AR)

4. Conclusioni

La presa di coscienza relativamente recente dei problemi dell'inquinamento atmosferico ha spostato il centro di interesse degli studi sui processi di riduzione dei nitrati verso le emissioni gassose di N₂O.

Le prove da noi effettuate in diversi ambienti mediterranei mostrano come le emissioni di N₂O dal suolo, per denitrificazione e nitrificazione, sono piuttosto modeste, sia in sistemi agricoli che forestali. Le pratiche agronomiche senza dubbio aumentano tali emissioni, che tuttavia non raggiungono mai valori eccessivamente elevati. Le influenze dei trattamenti agronomici sulle emissioni di N₂O e CO₂ sono diverse e dipendenti dalle caratteristiche pedologiche oltre che dai fattori ambientali. Nei suoli argillosi generalmente le emissioni di N₂O aumentano con il grado di saturazione di acqua nei pori, che riduce la disponibilità di ossigeno e favorisce i processi anaerobi di denitrificazione ed un aumento di N₂O per nitrificazione.

Terreni più sciolti o ben aerati da lavorazioni profonde del terreno favoriscono invece processi ossidativi, con aumento della mineralizzazione della sostanza organica ed incremento delle emissioni di CO₂. In queste condizioni le perdite gassose di azoto sono piuttosto modeste e sostanzialmente legate all'apporto di nutrienti azotati.

La fertilizzazione aumenta sensibilmente le emissioni di N₂O, soprattutto quando effettuata con composti organici labili come i liquami. Sia i composti azotati che la sostanza organica facilmente assimilabile sono in-

fatti ritenuti fattori limitanti per le attività microbiche di denitrificazione e nitrificazione, e la loro somministrazione può determinare repentini innalzamenti delle emissioni gassose di N_2O , con valori notevolmente alti ma di breve durata. L'apporto di sostanze organiche più mature, pur provocando un innalzamento della normale attività microbica del suolo con aumenti di emissioni di CO_2 , non ha determinato invece aumenti significativi di quelle di N_2O rispetto ai terreni non trattati.

Interventi di lavorazione superficiale del terreno di discatura e fresatura determinano lievi aumenti delle emissioni diretta di N_2O e di denitrificazione, come conseguenza della maggior disponibilità di nutrienti e sostanza organica in superficie.

La pedosfera ha un ruolo primario nel determinare gli equilibri globali dell'atmosfera e in essa l'agricoltura ricopre un ruolo fondamentale nella quantificazione dei fenomeni collegati ai cambiamenti climatici di sospetta origine antropogenica. Vista la grande influenza dei trattamenti agronomici sulle emissioni gassose responsabili dell'effetto serra nei terreni destinati alla produzione agricola, indirizzando la gestione verso interventi conservativi, sia per quanto riguarda le concimazioni che le lavorazioni, si possono avere minori emissioni gassose nell'atmosfera, con ricadute globali altamente positive per l'intero ambiente.

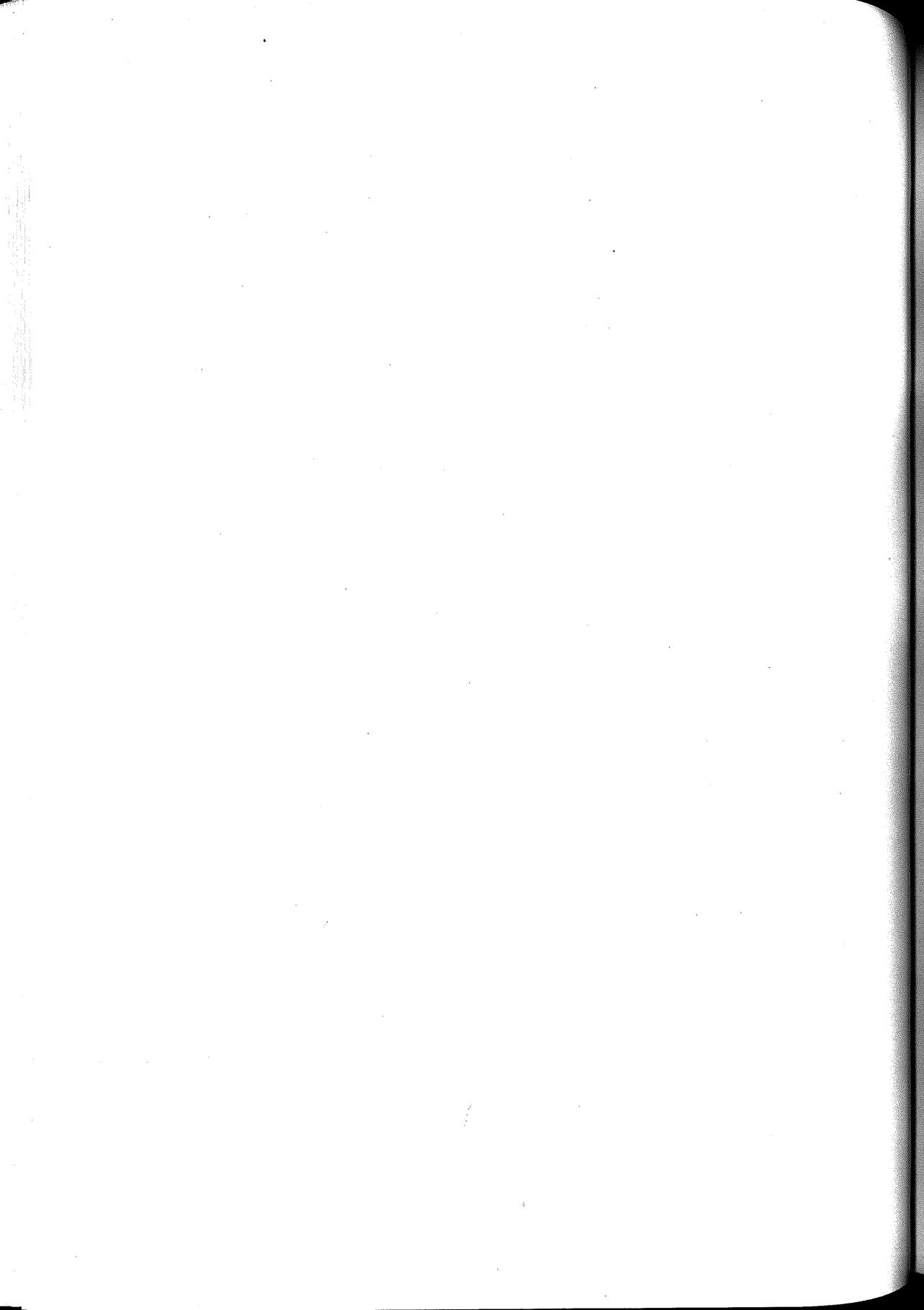
5. Bibliografia

- ARCARA P.G., GISPERT M.A., FRIGNANO F., (1985). Denitrification, organic matter and physico-chemical properties in four italian soils. In: "Current Prospectives in Enviromental Biogeochemistry", G. Giovannozzi & P. Nannipieri eds, CNR-IPRA, Roma, 187-195.
- ARCARA P.G., GREGORI E., MICLAUS N., COMELLINI F., (1990). Denitrificazione e perdite di azoto (N_2O) da suoli coltivati a frumento (*Triticum vulgare* Vill. e *Triticum durum* Desf.) fertilizzati con urea, nitrato amminico e letame. *Riv. di Agron.*, 24:19-27.
- ARCARA P.G., GAMBA C., (1995). Emissioni gassose di azoto (N_2O) in differenti suoli agrari e forestali italiani. *Bollettino S.I.S.S., Nuova Serie*, 5.
- ARCARA P.G., BIDINI D., GAMBA C., (1995). La gascromatografia per la valutazione dell'attività denitrificante e degli acidi grassi volatili in suoli trattati con reflui zootecnici. *Atti Convegno P.A.N.D.A. Sottoprogetto III, Roma C.N.R.* pp: 155-162.
- ARCARA P.G., GAMBA C., BIDINI D., MARCHETTI R., (1999). The effect of urea and pig slurry fertilization on denitrification, direct nitrous oxide emission, volatile fatty acids, water-soluble carbon and anthrone-reactive carbon in maize-cropped soil from the Po plain (Modena, Italy). *Biol. Fertil. Soils*, 29: 270-276.
- BALL B.C., SCOTT A., PARKER J.P., (1999). Field N_2O , CO_2 and CH_4 fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. *Soil Till. Res.*, 53, 29-39.
- BEESE F., BRUMME R., LOFTFIELD N., (1991). Continuous measurements of N_2O and CO_2 release from forest soils. In "Denitrification in forest soils. Ineson P., Kjoller A., Struwe S. (Eds.). Brussels. pp: 33-35.
- BOUWMAN A.F., (1990). Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. In "Soil

and the greenhouse effect", A.F. Bouwman ed., 61-127.

- BREITENBECK G.A., BLACKMER A.M., BREMNER J.M., (1980). Effects of different nitrogen fertilizers on emission of nitrous oxide from soil. *Geophys. Res. Letter*, 7, 85-88.
- BREITENBECK G.A., BREMNER J.M., (1986). Effects of various nitrogen fertilizers on emission of nitrous oxide from soil. *Biol. Fert. Soils*, 2, 195-199.
- BREMNER J.M., BLACKMER A.M., (1981). Terrestrial nitrification as a source of atmospheric nitrous oxide. In "Denitrification, nitrification and atmospheric nitrous oxide". C.C. Delwiche eds, J. Wiley & Sons, New York, 151-170.
- BREMNER J.M., BREITENBECK G.A., BLACKMER A.M., (1981). Effect of anhydrous ammonia fertilization on emission of nitrous oxide from soils. *J. Environ. Qual.*, 10, 77-80.
- CATES R.L. JR., KEENEY D.R., (1987). Nitrous oxide production throughout the year from fertilized and manured maize fields. *J. Environ. Qual.*, 16, 443-447.
- CHRISTIANSEN S., (1983). Nitrous oxide from a soil under permanent grass: seasonal and diurnal fluctuations as influenced by manuring and fertilization. *Soil Biol. Biochem.*, 15, 531-536.
- DE BOER W., KLEIN GUNNEWIEK P.J.A., VEENHUIS M., BOCK E., LAANBROEK H.J., (1991). Nitrification at low pH by aggregated chemolithotrophic bacteria. *Appl. Environ. Microb.*, 57, 3600-3604.
- DUXBURY J.M., MCCONNAUGHEY P.K., (1986). Effect of fertilizer source on denitrification and nitrous oxide emission in a maize-field. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50, 644-688.
- EGGINTON G.M., SMITH K.A., (1986). Nitrous oxide emission from a grassland soil fertilized with slurry and calcium nitrate. *J. Soil Sci.*, 37, 59-67.
- FANG C., MONCRIEFF J.B., (2001). The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. *Soil Biol. Biochem.*, 33, 155-165.
- FIRESTONE M.K., (1982). Biological denitrification. In: *Nitrogen in agriculture Canada soil*. Stevenson (ed) Agronomy 22, American Society of Agronomy, Madison, WI.
- FRENEY J.R., DENMEAD O.T., SIMPSON J.R., (1979). Nitrous oxide emission from soils at low moisture contents. *Soil Biol. Biochem.* 11, 167-173.
- GAMBA C., ARCARA P.G., GIORDANI G., GERMANDI M., (1998). Influence of manure and cow slurry fertilizers on gaseous nitrogen losses (N₂O) in maize cultivated plots on the Po river plain (Bologna, Italy). *Agr. Med.*, 128:157-164.
- GAMBA C., PELLEGRINI S., PIOVANELLI C., VIGNOZZI N., (2001). Modificazioni indotte da diverse lavorazioni su alcune attività biochimiche del suolo e sull'indice penetrometrico in parcelle coltivate a mais continuo. *Atti Convegno S.I.S.S., Venezia 12-16 giugno 2000*, pp 185-202.
- GROFFMAN P.M., TIEDJE J.M., (1989). Denitrification in north temperate forest soils: spatial and temporal patterns at the landscape and seasonal scales. *Soil Biol. Biochem.* 21, 613-620.
- GRUNDMANN G.L., ROLSTON D.E., (1987). A water function approximation to degree of anaerobiosis associated with denitrification. *Soil Sci* 144: 437-441.
- HÉNAULT C., GERMON J.C., (1995). Quantification de la dénitrification et des émissions de protoxyde d'azote (N₂O) par les sols. *Agronomie*, 15, 321-355.
- MARTIKAINEN P.J., DE BOER W., (1993). Nitrous oxide production and nitrification in acid soil from dutch coniferous forest. *Soil Biol. Biochem.* 25, 343-347.
- MIELNICK P.C., DUGAS W.A., (2000). Soil CO₂ flux in a tallgrass prairie. *Soil Biol. Biochem.* 32, 221-228.
- MOSIER A.R., HUTCHINSON G.L., (1981). Nitrous oxide emissions from cropped fields. *J. Environ. Qual.*, 10, 169-173.
- MULLEN R.W., THOMASON W.E., RAUN W.R., (1999). Estimated increase in atmospheric carbon dioxide due to worldwide decrease in soil organic matter. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 30, 1713-1719.
- MYROLD D.D., (1988). Denitrification in ryegrass and winter wheat cropping systems of Western Oregon. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52, 412-416.
- PAUL W., BEAUCHAMP E.G., (1989). Effect of carbon constituents in manure on denitrification in soil. *Can. J. Soil Sci.*, 69, 49-61.

- RAYMENT M.B., JARVIS P.G., (2000). Temporal and spatial variation of soil CO₂ efflux in a Canadian boreal forest. *Soil Biol. Biochem.*, 32,35-45.
- RYDEN J.C., LUND L.J., (1980). Nature and extent of directly measured denitrification losses from some irrigated vegetable crop production units. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44, 505-511.
- RYDEN J.C., ROLSTON D.E., (1983). The measurement of denitrification. In "Gaseous loss of nitrogen from plant-soil systems". J.R. Freney and J.R. Simpson eds. M. Nijhoff, The Hague, 91-132.
- SATO A., SETO M., (1999). Relationship between rate of carbon dioxide evolution, microbial biomass carbon, and amount of dissolved organic carbon as affected by temperature and water content of a forest and an arable soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 30, 2593-2605.
- SEXSTONE A.L., PARKIN T.B., TIEDJE J.M., (1985). Temporal response of soil denitrification rates to rainfall and irrigation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49, 99-103.
- SITUALA B.K., BAKKEN R. (1993). Nitrous oxide release from spruce forest soil: Relationship with nitrification, methane uptake, temperature, moisture and fertilization. *Soil Biol. Biochem.*, 25, 1415-1421.
- SMITH C.J., CHALK P.M., (1980). Gaseous nitrogen evolution during nitrification of ammonia fertilizer and nitrite transformations in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44, 277-282.
- SPALLACCI P., ARCARA P.G., MESSERE D., (1992). Contenuto di nitrati e perdite gassose di azoto (N₂O) in un suolo a vigneto sottoposto a diverse tecniche di coltivazione. *Atti X Convegno Nazionale S.I.C.A.*, 255-263.
- TAMM C.O., (1991). Preface to "Denitrification in forest ecosystems", special issue of *Forest Ecology and Management*, 44,1, 1-3.
- TERRY R.E., TATE R.L., (1980). The effect of nitrate on nitrous oxide reduction in organic soils and sediments. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44, 744-746.
- VAN BREEMEN N., MULDER J., VAN GRINSVEN J.J.M., (1987). Impact of acid atmospheric deposition on woodland soils in the Netherlands. II Nitrogen transformations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51, 1634-1640.
- WILLIAMS E.J., HUTCHINSON G.L., FEHSENFELD F.C., (1992). NO_x and N₂O emissions from soil. *Global Biochem. Cycles*, 6, 351-388.
- WILLISON T.W., ANDERSON J.M., (1991). Denitrification potentials, controls and spatial patterns in a Norway spruce plantation. In "Denitrification in forest soils. Ineson P, Kjoller A., Struwe S. (Eds.). Brussels. pp: 43-47.
- YOSHINARI T., KNOWLES R., (1976). Acetylene inhibition of nitrous oxide reduction by denitrifying bacteria. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 69, 705-710.



CARICO AMBIENTALE DA FITOFARMACI SU TERRENI COLTIVATI A FRAGOLA NEL METAPONTINO

N. Montemurro ¹, G. Lacertosa ², N. Linzalone ²,

F. Grieco ¹, A. Visconti ¹

¹ Istituto Tossine e Micotossine da Parassiti Vegetali, CNR
Viale L. Einaudi, 51 - 70125 Bari

² Metapontum Agrobios
S.S. Jonica 106, km. 448.2 - 75012 Metaponto (MT)

Introduzione

L'agricoltura rappresenta un settore d'attività che produce inevitabilmente una modifica degli ecosistemi naturali con lo scopo di ottenere alimenti, fibre ed altri beni utili all'uomo. La coltivazione di un terreno contrasta, in senso stretto, con una serie di obiettivi di conservazione ambientale, in quanto su questo l'uomo esercita una serie di azioni «disturbatrici» tra le quali si annoverano gli ordinamenti colturali, le lavorazioni, le somministrazioni di elementi fertilizzanti e di fitofarmaci. Poiché l'uso di fitofarmaci nella protezione delle colture è ancora una necessità, risulta di primaria importanza predisporre continui miglioramenti nelle modalità di somministrazione, nella capacità di rispetto dei tempi di carenza, nella ricerca di nuove molecole che, compatibilmente con l'efficacia, mostrino minore pericolosità, anche in riferimento alle problematiche ambientali. A questo proposito, accanto al controllo dei residui sulla derrata, risultano di basilare importanza gli studi sul comportamento dei fitofarmaci nel suolo anche in funzione dei diversi carichi ambientali, al fine anche di orientare le tecniche integrate di difesa. Peraltro, la complessità delle interazioni in gioco relativamente al comportamento dei fitofarmaci nell'ambiente e la difficoltà di controllo dei fattori coinvolti nel determinare il rapporto fitofarmaci-ambiente (dosaggio, persistenza, caratteristiche del terreno, natura del principio attivo, etc.), consiglia di valutare l'impatto da fitofarmaci in termini di "Carico Inquinante Potenziale" (CIP) ovvero della sommatoria dei relativi quantitativi dei fitofarmaci utilizzati annualmente nella suddetta attività agricola che insiste sul territorio indagato (Altissimo *et al.*, 1990; Iovinelli *et al.*, 1993). Pertanto è stato avviato uno studio sulla valutazione della presenza di fitofarmaci nei suoli coltivati a fragola; questa coltura infatti, presentando rilevanti problematiche di gestione fitosanitaria (Branca *et al.* 2000), può determinare un notevole carico ambientale e quindi un accumulo di fitofarmaci nel suolo.

Materiali e metodi

Nel periodo 1996-1998 sono stati analizzati complessivamente 2503 campioni di ortofrutta di cui 299 campioni di fragola (Imbroglini *et al.*, 1999). I prelievi sono stati eseguiti da divulgatori agricoli regionali e da tecnici di associazioni di produttori. I campioni sono stati analizzati mediante metodologie multiresiduo valutando la griglia di fitofarmaci prevista dall'indagine del MiPAF coordinata dall'Istituto per la Patologia Vegetale di Roma (ISPaVe). I dati hanno orientato l'attenzione sulla valutazione dei possibili rischi di contaminazione da parte dei fitofarmaci su uno dei principali comparti ambientali: il suolo (Cagnetti, 1999; Maini *et al.*, 1986). L'area oggetto di indagine è la piana del Metapontino, dove la superficie coltivata a fragola (prevalentemente in tunnel) è pari a circa 700 ettari e rappresenta il 15 % della produzione nazionale (20.000 t/anno). Le azioni intraprese hanno riguardato la compilazione di schede informative e la realizzazione di campagne di monitoraggio dei suoli. L'indagine conoscitiva è stata eseguita compilando una scheda informativa insieme ai tecnici responsabili della conduzione aziendale; tale scheda è stata suddivisa in tre sezioni: informazioni aziendali, descrizione dell'appezzamento e operazioni colturali (date degli interventi e quantità dei singoli principi attivi utilizzati nelle varie fasi). Successivamente, al fine di ottenere direttamente in campo un riscontro di quanto dichiarato, sono stati eseguiti 72 campionamenti di terreni in due periodi del ciclo colturale: alla ripresa vegetativa (54 prelievi, nel periodo novembre 1999 - gennaio 2000) e nel post raccolta (18 prelievi per la valutazione del carico ambientale dovuto a due tipologie di tecniche colturali: integrata e tradizionale, nel periodo luglio 2000). Il prelevamento del campione di terreno da sottoporre all'analisi è stato effettuato asportando da più punti, con una trivella manuale, fino ad una profondità di circa 20 cm, una quantità di terreno del peso medio di 1,5 kg. Su ciascun campione di terreno sono state determinate le principali caratteristiche chimico-fisiche ed un ampio spettro di fitofarmaci potenzialmente presenti (acaricidi, acilalanine, carbammati, dicarbosimmidici, tioftalimmidici, fosforati, piretroidi, triazoli, pirimidine) ed anche alcuni clorurati non più in commercio come il DDT e suoi metaboliti. Dal punto di vista analitico sono state adottate tecniche multiresiduo. La fase preparativa è stata eseguita estraendo i principi attivi mediante omogeneizzazione ad alta velocità di una aliquota rappresentativa di 50 g di campione con 100 ml di acetone e 75 ml di cloruro di metilene. L'estratto seccato su sodio solfato anidro ed evaporato prima della purificazione in gel permeation chromatography (GPC). La determinazione quantitativa è stata effettuata in gascromatografia con rivelatori NPD ed ECD, e in HPLC con rivelatori quali UV, spettrofluorimetro e DAD. La tecnica GC/MS è stata utilizzata per le analisi di confer-

ma. Poiché la degradabilità dei fitofarmaci dipende dalla reazione del terreno e dall'attività catalitica degli ossidi di metalli e della materia organica presente nel suolo, sono state effettuate valutazioni delle caratteristiche chimico-fisiche del terreno utilizzando i metodi analitici riportati sul D.M.11/5/92 - Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo.

Risultati e discussioni

Il Laboratorio Chimico della Metapontum Agrobios, nel triennio 1996-1998, ha effettuato le analisi di residui di fitofarmaci su 2503 campioni di ortofrutta di cui 299 fragole, principalmente all'interno dei programmi di monitoraggio dei residui di fitofarmaci nei prodotti agricoli del MiPAF e di controllo delle produzioni integrate della Regione Basilicata. Sommando le quantità in mg kg^{-1} di residui riscontrati è possibile effettuare un confronto tra la presenza totale di fitofarmaci sul totale dell'ortofrutta e su fragola (Tabella 1). In particolare i dati mostrano come la quantità complessiva di fitofarmaci presenti su fragola (506 mg kg^{-1}) è pari a circa il 50% della quantità totale di principi attivi riscontrati su tutte le colture nel triennio in esame, questo nonostante rappresenti solo il 12% dei campioni. Inoltre raggruppando in classi (insetticidi, acaricidi e fungicidi) i singoli principi attivi e riportando la percentuale del numero di volte in cui sono stati riscontrati in funzione di 4 range di concentrazione ($< 0,5$; $0,05-0,5$; $0,5-1,0$; $> 1,0 \text{ mg kg}^{-1}$), è possibile osservare come i frutti di fragola evidenzino un numero di campioni maggiore alle concentrazioni più alte (Figura 1a) rispetto al resto del contesto ortofrutticolo indagato (Figura 1b). In particolare la percentuale di fungicidi su fragola risulta essere pari al 14,5 e 16,8 % rispettivamente ai range di $0,5-1,0$ e $> 1,0 \text{ mg kg}^{-1}$, rispetto al 3,5 e 2,5 % riscontrati per l'ortofrutta. Per quanto concerne i riscontri ottenuti dalle schede informative è possibile osservare, in Tabella 2, l'apporto di ogni singolo principio attivo distinto per tipologia di difesa e classi di appartenenza. I dati mostrano, per la difesa tradizionale, un apporto considerevole di insetticidi quali acrinatrina, clorpirifos etile, dimetoato (1481 g ha^{-1} , 1852 g ha^{-1} e 637 g ha^{-1} rispettivamente) e di fungicidi quali fosetil alluminio, procimidone, propamocarb e thiram (5590 g ha^{-1} , 1048 g ha^{-1} , 1859 g ha^{-1} , 3424 g ha^{-1} rispettivamente) che incidono considerevolmente sul CIP. Tali dati hanno permesso di estrapolare una stima del CIP "Dichiarato" distinto per tipologia di difesa: tradizionale ed integrata, indicando un apporto totale pari a $169,6 \text{ kg}$ di principi attivi, dei quali $44,8 \text{ kg}$ distribuiti su $9,5 \text{ ha}$ di difesa integrata e $124,8 \text{ kg}$ su $6,44 \text{ ha}$ di difesa tradizionale; riportando i dati in unità di ettaro si ha rispettivamente 4,7

Kg (24%) per l'integrato e 19,4 Kg (76%) per il tradizionale. Le analisi chimico-fisiche, effettuate per permettere valutazioni sulla degradabilità di alcuni principi attivi, hanno evidenziato che le caratteristiche dei terreni coltivati con difesa integrata sono abbastanza simili a quelli coltivati a difesa tradizionale e sono classificabili come argilloso-sabbiosi, con pH leggermente alcalini (7,4) e poveri in sostanza organica (1,2-1,3 %). Il monitoraggio di fitofarmaci nei suoli ha evidenziato la presenza di un numero totale di principi attivi pari a 26 (Tabella 3), dei quali alcuni non ammessi sulla coltura (Imidacloprid, Metomil, Tebuconazolo e Tetradifon) e provenienti probabilmente da trattamenti effettuati in annate precedenti. Inoltre, la presenza di DDT e DDE su alcuni campioni è riconducibile presumibilmente a trattamenti di bonifica eseguiti sull'area oggetto d'indagine negli anni '50, all'epoca paludosa e malarica. In generale si osserva che nel periodo della ripresa vegetativa i residui presentano un valore medio sensibilmente più basso rispetto al post raccolta, e considerando uno spessore di terreno di 20 cm ed una densità apparente di 1200 kg m^{-3} , si possono effettuare delle stime del CIP "Monitorati" che sono rispettivamente di 828 e 3480 g ha^{-1} . Inoltre la valutazione sul tipo di difesa porta nella conduzione tradizionale a 6602 g ha^{-1} e nella situazione integrata a 1363 g ha^{-1} . Una ulteriore considerazione è possibile effettuarla confrontando il numero di principi attivi diversi suddivisi per classe e per difesa (Tabella 4), da cui risulta che indipendentemente dal tipo di indagine, il numero di fitofarmaci è notevolmente superiore nella tipologia di difesa tradizionale rispetto alla difesa integrata.

Conclusioni

Sulla base delle valutazioni effettuate nel presente lavoro sul CIP "Dichiarato" e su quello "Monitorato", è possibile estrapolare i dati all'intero comparto fragolicolo della Basilicata (Tabella 5). In particolare, considerando i dati dichiarati, emerge che se tutte le aziende adottassero una tipologia di difesa tradizionale si avrebbe un CIP annuo pari a circa 13,6 t su una superficie totale investita a fragola in Basilicata di 700 ha. Al contrario, una difesa completamente condotta con metodiche a basso impatto apporterebbe un quantitativo di principi attivi sul comprensorio pari a circa 3,3 t, e quindi una quantità di pesticidi inferiore di ben 4 volte (76%). Tale stima è confermata dal riscontro dei dati analitici, che registrano una diminuzione percentuale, tra le due tipologie di difesa, tendenzialmente simile e cioè pari al 79% (Tabella 5). In conclusione si ritiene che un uso più razionale dei fitofarmaci possa ridurre non solo le problematiche sanitarie dell'alimento fragola, ma anche gli effetti prodotti sull'intero ecosistema.

Tabella 1. Quantità totale di principi attivi (mg kg^{-1}) riscontrati nel triennio 96-98 su tutte le colture oggetto del monitoraggio e su fragola

Classe di fitofarmaci	Quantità riscontrate nel triennio 96-98			
	Ortofrutta (n=2503)		Fragola (n=299)	
	mg kg^{-1}	%	mg kg^{-1}	%
Acaricidi	40	4	20	4
Fungicidi	825	82	474	94
Insetticidi	137	14	11	2
Totale	1001	100	506	100

Figura 1a - fragola

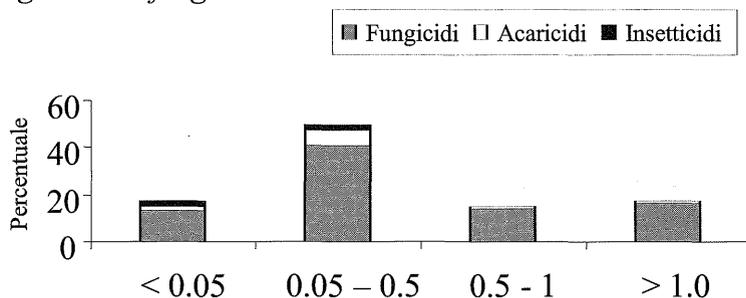


Figura 1b - ortofrutta

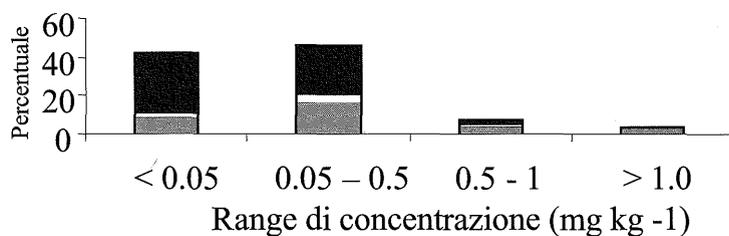


Figura 1. Residui di fitofarmaci totali riscontrati su ortofrutta e fragola nel periodo 1996/98

Tabella 2 Dati riscontrati dalle schede informative: Carico Inquinante Potenziale Dichiarato (CIP "Dichiarato")

Principi attivi	CIP "Dichiarato"			
	Tradizionale	Integrato	Area totale	
	(6,44 ha)	(9,5 ha)	(15,94 ha)	
	g ha ⁻¹	g ha ⁻¹	g ha ⁻¹	
insetticidi	azinfos metile	758	400	545
	chlorpirifos etile	1852	242	893
	lufenuron	148	0	60
	dimetoato	637	0	257
	acrinatrina	1481	0	598
Totale insetticidi	4876	642	2353	
acaricidi	azociclotin	419,3	0,0	169
	clofentezine	352,5	0,0	142
Totale acaricidi	772	0	312	
fungicidi	diclofluamide	466	0	188
	fludioxonil	210	84	135
	fosetil alluminio	5590	1895	3388
	iprodione	466	421	439
	ciprodinil	315	126	203
	miclobutalin	43	0	18
	nuarimol	101	40	65
	penconazolo	214	43	112
	procimidone	1048	211	549
	propamocarb	1859	1095	1403
	pyrimetanil	0	158	94
	thiram	3424	0	1383
	Totale fungicidi	13736	4073	7977
Totale CIP in g ha⁻¹	19384	4715	10641	
Totale grammi per aree (g)	124830	44790	169620	

Tabella 3. Dati analitici riscontrati nell'area oggetto d'indagine: Carico Inquinante Potenziale Monitorato (CIP "Monitorato")

CIP "Monitorato"								
Principi attivi riscontrati	Ripresa vegetativa (n=54)			Post raccolta (n=18)				
	Difesa Tradizionale (6,44 ha)		Difesa Integrata (9,5 ha)		Area totale (15,94 ha)			
	media mg kg ⁻¹	g ha ⁻¹	media mg kg ⁻¹	g ha ⁻¹	media mg kg ⁻¹	g ha ⁻¹	g ha ⁻¹	
insetticidi	azinfos metile	0,039	94	0,11	264	0,34	816	593
	cipermetrina	0,035	84	0,2	480	0,04	96	251
	clorpirifos etile	0,013	31	0,09	216	0,004	10	93
	clorpirifos metile	0,005	12	0,01	24	0	0	10
	DDE	0,007	17	0,011	26	0	0	11
	DDT	0,01	24	0,01	24	0	0	10
	dimetoato	0,024	58	0,02	48	0	0	19
	endosulfan	0,013	31	0,06	144	0,01	24	72
	imidacloprid	0,009	22	0,006	14	0	0	6
	metomil	0,005	12	0,003	7	0	0	3
	parathion etile	0,008	19	0,003	7	0	0	3
	pirazofos	0,006	14	0	0	0,004	10	6
	piridafention	0,008	19	0,01	24	0	0	10
Totale insetticidi		437		1279		955	1086	
acaricidi	clofentezine	0,005	12	0,003	7	0	0	3
	exitiazox	0	0	0,005	12	0	0	5
	fenazaquin	0	0	0,028	67	0	0	27
	tetradifon	0,008	19	0,01	24	0	0	10
Totale acaricidi		31		110		0	45	
fungicidi	ciprodinil	0,006	14	0,081	194	0	0	79
	esaconazolo	0	0	0,25	600	0	0	242
	fludioxonil	0	0	0,096	230	0	0	93
	metalaxil	0,025	60	0,025	60	0	0	24
	miclobutanil	0,02	48	0,26	624	0	0	252
	nuarimol	0	0	0,02	48	0	0	19
	penconazolo	0,016	38	0,54	1296	0,02	48	552
	procimidone	0,033	79	0,74	1776	0,15	360	932
tebuconazolo	0,05	120	0,16	384	0	0	155	
Totale fungicidi		360		5213		408	2349	
Totali residui (mg kg⁻¹)			2,218		0,568		2,786	
Totale CIP in g ha⁻¹		828		6602		1363	3480	
Totale grammi per aree (g)				42517		12949	55466	

Tabella 4. Confronto tra il numero di fitofarmaci Dichiarati e Monitorati

Classi di principi attivi	Fitofarmaci Dichiarati				Fitofarmaci Monitorati			
	Difesa tradizionale		Difesa Integrata		Difesa tradizionale		Difesa Integrata	
	Numero di fitofarmaci diversi dichiarati	%	Numero di fitofarmaci diversi dichiarati	%	Numero di fitofarmaci diversi monitorati	%	Numero di fitofarmaci diversi monitorati	%
fungicidi	12	63,2	9	81,8	9	34,6	2	28,6
insetticidi	5	26,3	2	18,2	12	46,2	5	71,4
acaricidi	2	10,5	0	0,0	4	15,4	0	0,0
Totale	19	100	11	100	26	100	7	100

Tabella 5. Estrapolazione del Carico Inquinante Potenziale all'intero comparto fragolicolo della Basilicata

Tipologia di difesa	Carico Inquinante Potenziale			
	"Dichiarato"		"Monitorato" Post raccolta	
	kg ha ⁻¹	kg 700 ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg 700 ha ⁻¹
Tradizionale	19,4	13.600	6,6	4.620
Integrata	4,7	3.300	1,4	980

Bibliografia

- ALTISSIMO L., MARCOLOGÒ B., PRETTO L., RIGHETTO SILVESTRI R., 1990. Carico inquinante degli acquiferi dell'alto Vicentino. *GNDCI, Pubbl. n.243*, pp 33.
- BRANCA P., LOIA D., 2000. Fragole e fitofarmaci, un binomio imprescindibile. *Industrie Alimentari XXXIX*.
- CIGNETTI A., 1998. Fitofarmaci e ambiente Nota divulgativa - *Quaderno Grifa n. 9 Istituto di Chimica Agraria Università di Torino*.
- MAINI P., COLLINA A., CHIANELLA M., SGATTONI P., 1986. Persistenza di alcuni erbicidi nel terreno: relazioni tra analisi chimiche, biologiche e parametri fisico-chimici in funzione della successione culturale. *Atti delle Giornate Fitopatologiche, 3: 427-438*.
- IMBROGLINI G., CONTE E., LEANDRI A., LUCCHESI S., QUACQUARELLI A., 1999. Monografia - Sintesi dei risultati ottenuti nei cinque anni di attività della Rete Nazionale di Monitoraggio sui Residui di Fitofarmaci nei Prodotti Agricoli 1992-97. Istituto Sperimentale per la Patologia Vegetale di Roma.
- IOVINELLI R., FRASSANITO R., LAURA D., ROTILIO D., 1993. Valutazione del carico inquinante potenziale della bassa val di Sangro e riscontro analitico in falda. *5° Workshop Progetto strategico clima ambiente e territorio nel mezzogiorno*.
- MONTEMURRO N., ACITO E., D'AGROSA G., LACERTOSA G., 1998. Monitoraggio sui residui di fitofarmaci in produzioni agricole integrate in Basilicata. *Atti Giornate Fitopatologiche, 35-40*.

PRATICHE DI FERTILIZZAZIONE ORGANICA DEI SUOLI: EFFICACIA E LIMITI

B. Ceccanti ¹, G. Masciandaro ¹, S. Filidei ¹, C. Macci ¹,

G. Poggio ¹, C. Garcia ²

1 CNR – Istituto per la Chimica del Terreno (ICT)
Area della Ricerca, Via Moruzzi, 1 - 56124 Pisa

2 CSIC – Centro de Edafologia y Biología Aplicada del Segura (CEBAS)
Campus Universitario de Espinardo – 30100 Murcia (SPAGNA)

Premessa

Il miglioramento e la conservazione della qualità del suolo sono esigenze prioritarie per contrastare il sempre più rapido processo di degradazione fisico-strutturale e chimico-biologico dei suoli agrari. Molti dati sono stati riportati sulla degradazione di ecosistemi-suolo su scala globale evidenziando l'impatto dell'attività antropogenica sul suolo. Gli interventi strategici devono essere attuati a livello locale per misurare la capacità del suolo nel sostenere l'impatto delle attività umane in base ad indici non solo economici e produttivi ma anche biologici e di vulnerabilità.

Da queste premesse è chiaro che l'agricoltura futura deve basarsi su pratiche eco-sostenibili che prevedano la conservazione e la rigenerazione dei suoli "stanchi" attraverso la riduzione dell'uso di prodotti chimici, l'espansione dell'agricoltura biologica, il riciclo "razionale" dei residui organici delle lavorazioni agricole ed industriali. Quindi, l'approccio più realistico per preservare le caratteristiche naturali dei suoli e per recuperare suoli degradati, è quello di fornire sostanza organica differenziata per tipologia e grado di maturazione. Pertanto, l'efficacia delle pratiche di fertilizzazione organica è legata alle proprietà del fertilizzante, alle modalità e alla quantità di applicazione, e alle proprietà fisiche e microbiologiche del terreno, in quanto non tutti gli agro-ecosistemi rispondono uniformemente allo stesso tipo di trattamento organico. Ad esempio, la sostanza organica fresca o poco stabilizzata somministrata a terreni localizzati in clima semi-arido e interessati da fenomeni di pre-desertificazione viene "bruciata biologicamente" e in modo relativamente veloce causando accumulo di salinità e di elementi tossici; il fenomeno viene aggravato dall'uso di acqua irrigua di scarsa qualità, generalmente presente in queste regioni. Viceversa, l'aggiunta della stessa tipologia di sostanza organica a terreni umidi, poco drenati, favorisce fenomeni fermentativi, l'acidificazione del terreno, e la produzione di sostanze fitotossiche.

Vengono presentati diversi schemi razionali di fertilizzazione organica che tengono in considerazione la vulnerabilità dell'ecosistema. Vengono, infine, suggeriti opportuni marcatori della qualità del suolo in base alla risposta metabolica e alle modificazioni chimico-strutturale indotte dai diversi trattamenti.

Rigenerazione dei suoli degradati: sistemi applicativi

Aggiunta di sostanza organica fresca

Da tempo la frazione organica fresca dei residui solidi urbani viene utilizzata per la rigenerazione di suoli degradati. La rigenerazione riguarda il miglioramento delle proprietà fisiche del suolo, un aumento del contenuto di nutrienti organici e minerali (Garcia *et al.*, 1992), la stimolazione del metabolismo globale del suolo, in quanto le proprietà biochimiche legate al ciclo dei nutrienti principali (C, N, P), vengono attivate grazie alla maggiore disponibilità dei substrati organici (Garcia *et al.*, 1994). E' stato condotto un esperimento di campo per rigenerare un suolo biologicamente povero situato nella provincia di Murcia (sud-est della Spagna) con sostanza organica fresca (interrata meccanicamente nello strato di terreno corrispondente ai primi 30 cm) di residui solidi urbani. La composizione della sostanza organica era la seguente: sostanza secca 55%, umidità 45%, ceneri 22,4%, sostanza organica 32,6%, pH 6,5, conducibilità elettrica 4,2mS/cm. I trattamenti hanno previsto l'aggiunta di 0 (controllo), 67, 130, 200, 260 ton/ha, che corrispondevano ad un contenuto di sostanza organica del suolo di 0, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0%.

Dopo tre anni, sono stati determinati parametri chimici (C, N totali, NO₃, NH₃, K, P, Carbonio solubile in acqua (WSC), carbonio umico, ecc.) e parametri biochimici (enzimi idrolitici: ureasi, fosfatasi, proteasi, ed attività deidrogenasica). Questi parametri aumentavano con l'aumentare della dose di sostanza organica fino a 200t/ha, mentre si osservava una rapida diminuzione degli stessi alla dose di 260t/ha (figura 1).

L'indice che indica il potenziale metabolismo del suolo (DH-asi/WSC) (Masciandaro *et al.*, 2000a) conferma i dati sopra riportati, ma aggiunge un'ulteriore informazione, suggerendo, cioè, uno sbilanciamento nel metabolismo del suolo a dosi uguali o maggiori a 200t/ha (figura 2) anche dopo tre anni dal trattamento. L'aggiunta di una dose di sostanza organica fino a 130t/ha migliorano la fertilità del suolo, ma il potenziale metabolismo rimane prevalentemente inalterato rispetto al terreno di controllo. Pertanto, i tratta-

menti organici che hanno lo scopo di aumentare la sostanza organica in ecosistemi fragili situati in zone a clima arido o semi-arido, dovrebbero riguardare l'aggiunta di dosi moderate, magari ripetute, di sostanza organica fresca; ciò permetterebbe di sostenere metabolicamente i microrganismi del suolo, evitando l'intossicazione del delicato sistema biologico e la perdita di energia.

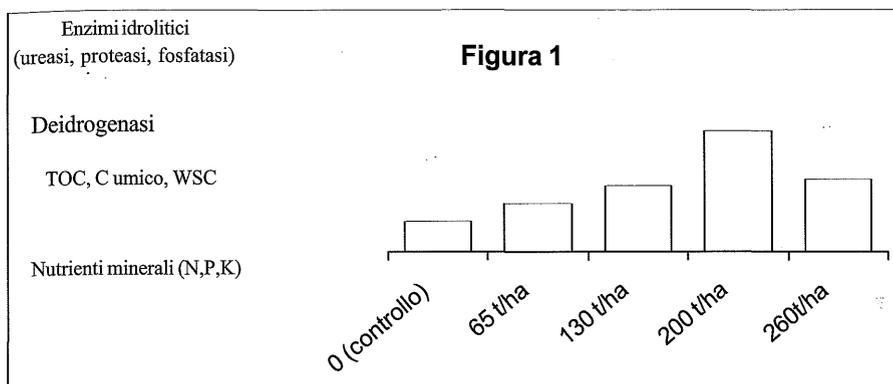


Figura 1. Andamento dei parametri chimici e biochimici (su scala arbitraria) in funzione dell'aumento di sostanza organica fresca aggiunta ad un terreno biologicamente povero

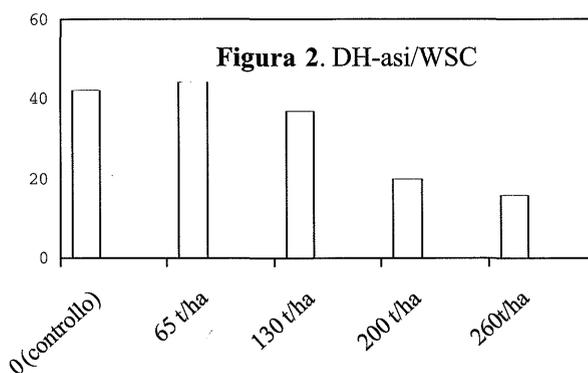


Figura 2. Andamento dell'indice di potenziale metabolismo del suolo (DH-asi/WSC) in funzione dell'aumento di sostanza organica

Fertirrigazione

La fertirrigazione è stata sperimentata come una strategia innovativa per fornire sostanza organica ed acqua agli agro-ecosistemi delle zone a clima semi-arido. La sostanza organica è somministrata in forma solubile, cioè in forma di sostanza umica miscelata con acque reflue civili o miste civili-industriali. Questa strategia ha un riscontro ecologico ed agrono-

mico con rilevanza pratico-applicativa; infatti, la strategia ha lo scopo di irrigare i terreni fornendo contemporaneamente sostanze nutritive minerali contenute nelle acque reflue e sostanza organica stabilizzata in forma di sostanze umiche. Pertanto, il trattamento della fertirrigazione con una miscela *acque reflue-sostanze umiche* garantisce un regolare apporto di nutrienti organici e minerali. Esperimenti di fertirrigazione di un terreno poco fertile prelevato a Matera, hanno determinato un miglioramento delle proprietà chimico-nutrizionali e biochimiche del suolo considerato biologicamente povero. La pratica irrigua proposta è risultata idonea per gli interventi di rigenerazione di suoli degradati situati nelle zone a clima semi-arido evitando l'incremento di salinità dei suoli in seguito alla rapida ed intensa mineralizzazione della sostanza organica, causata dalle elevate temperature (Masciandaro et al., 1997a).

Per l'esperimento sono state utilizzate le seguenti miscele acquose:

D = acqua distillata (*controllo*)

DH = acqua distillata + sostanze umiche

I = acqua parzialmente depurata

IH = acqua parzialmente depurata + sostanze umiche

Le miscele DH e IH contenevano una concentrazione di sostanza umica (estratta da un vermicompost ottenuto da fanghi biologici) pari a 50 µg/ml di C-umico.

Tabella 1. Effetto dei trattamenti di fertirrigazione sui parametri chimici del suolo dopo un mese di incubazione. Per ogni parametro, i valori seguiti dalla stessa lettera non sono statisticamente diversi ($p < 0.05$)

Soluzioni**	EC*	TOC	Ntot	EC	Cl	NO ₃	SO ₄	NH ₄	WSC
	(mS/cm)	(g/Kg)	(g/Kg)	(mS/cm)		(mg/g)			(mg/Kg)
D	0.60 b	4.8 b	0.41 a	0.24 b	19.2 b	6.14 a	44.4 b	0.84 c	305 d
DH	0.52 b	5.4 a	0.51 a	0.25 b	12.7 b	5.19 a	14.4 c	1.10 b	533 a
I	2.30 a	4.2 b	0.49 a	0.38 a	63.3 a	7.30 a	64.3 a	1.40 a	467 b
IH	2.20 a	5.4 a	0.50 a	0.38 a	69.4 a	12.1 b	67.5 a	0.70 d	437 b

* Conducibilità elettrica delle soluzioni prima di essere applicate al suolo

**Trattamenti: (D) acqua distillata; (DH) acqua distillata + sostanza umica; (I) acqua reflua parzialmente depurata; (IH) acqua reflua parzialmente depurata + sostanza umica.

L'uso di acque reflue porta ad un incremento della conducibilità elettrica del terreno trattato e, conseguentemente, della concentrazione di cloruri e solfati. I trattamenti con acque reflue, specialmente in miscela con sostanze umiche causa un incremento della concentrazione di nitrato che rappresenta la forma di azoto più disponibile per le piante, ma che potrebbe co-

stituire un problema ecologico, in quanto raggiungendo i corsi d'acqua per lisciviazione, rappresenta una delle maggiori cause di inquinamento idrico. Il carbonio solubile in acque, che rappresenta il substrato più facilmente accessibile da parte dei microrganismi, aumenta in tutti i trattamenti, ma la miscela acqua reflua sostanza umica sembra sia in grado di contenere il rilascio di una eccessiva quantità di carbonio solubile, probabilmente indicando che il rilascio e l'utilizzo di questa forma di carbonio viene sensibilmente regolata dall'attività delle popolazioni microbiche del suolo.

La risposta del sistema è di tipo biochimico in quanto vengono attivati i cicli del C e dell'N. Gli enzimi, infatti, che sono coinvolti nella degradazione delle strutture organiche complesse (proteine, polifenoli, polisaccaridi), possono essere utilizzati per descrivere la capacità di risposta del sistema. Le attività enzimatiche sono risultate più alte nel sistema IH rispetto agli altri trattamenti ed al controllo D, tranne la β -glucosidasi che sembra non essere influenzata dai trattamenti. Il metabolismo del suolo viene meglio rappresentato dall'indice metabolico riportato in figura 3 che presenta il valore più alto nel trattamento IH; ciò suggerisce che il sistema opera ad un livello di energia biochimica superiore, mantenendo equilibrato il flusso dei nutrienti organici.

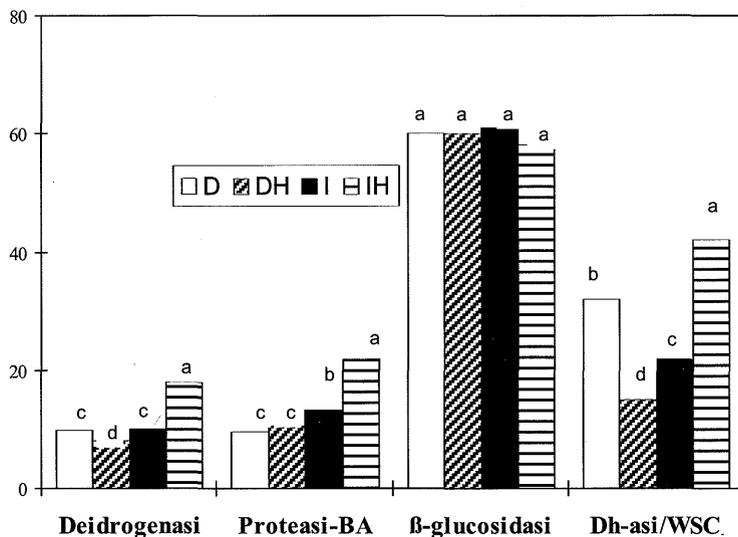


Figura 3. Attività enzimatiche (Deidrogenasi (DH-asi, $\mu\text{g INTF/gh}$), Proteasi-BAA ($\mu\text{mol NH}_3/\text{gh}$), β -glucosidasi ($\mu\text{mol PNP/gh}$) e indice di potenziale metabolismo del suolo (DH-asi/WSC). Valori seguiti dalla stessa lettera non sono statisticamente diversi ($p < 0.05$)

Umificazione *in situ*

L'umificazione *in situ*, ed in particolare, la pratica del vermicompostaggio *in situ* consiste nella stabilizzazione della sostanza organica fresca (es. fanghi biologici) direttamente nel terreno mediante l'azione dei lombrichi (*Eisenia foetida*). Questa pratica ha notevoli vantaggi ecologici, in quanto non è necessario interrare i fanghi per risolvere temporaneamente i problemi legati al loro utilizzo (odori, tossicità, ecc.) perchè i fanghi sono utilizzati come substrato per la nutrizione dei lombrichi e sono trasferiti nel terreno sottostante prevalentemente in forma di casting. Oltre ai vantaggi ecologici, il vermicompostaggio *in situ* presenta anche un riscontro pratico-applicativo per il trattamento e la rigenerazione di ecosistemi collinari fragili ed erosi (Masciandaro *et al.*, 2000).

Il vermicompostaggio *in situ* permette di:

- ridurre le lavorazioni;
- stabilizzare i residui organici freschi mediante l'azione biologica dei lombrichi;
- rifornire i terreni con sostanza organica stabilizzata;
- sintetizzare sostanza umica specifica per il terreno in esame;
- recuperare gli elementi nutritivi contenuti nei residui organici;
- conservare la qualità dell'ecosistema-suolo.

Esperimenti condotti su un suolo limo-sabbioso prelevato in provincia di Pisa (Peccioli) hanno mostrato che dopo la pratica del vermicompostaggio *in situ* il suolo è risultato biologicamente attivo (per l'attività dei microrganismi del fango, del casting e del terreno) e rigenerato nelle sue proprietà chimiche, biochimiche (Tognarini *et al.*, 1994) e fisico-strutturali, come dimostra l'aumento dell'indice metabolico (tabella 2) e delle crepe di piccole e medie dimensioni (Tabella 3).

Tabella 2. Caratteristiche del suolo Peccioli dopo la pratica del vermicompostaggio *in situ* (suolo trattato).

Parametri	Unità di misura	Controllo	Suolo trattato
Conducibilità elettrica	µS/cm	140	430
pH		7.5	7.1
N-NH ₃	µg/g	5.2	6.0
N-tot	%	0.103	0.35
C-tot	%	0.8	4.03
C/N		7.67	
NO ₃	µg /g	19.7	220
SO ₄	µg /g	6.06	160
Deidrogenasi (DH-asi)	µg INTF/g h	8.21	15.8
C solubile in acqua (WSC)	µg/g	353	237
DH-asi/WSC		23.2	66.7

Tabella 3. Crepacciamento superficiale del suolo dopo la pratica del vermicompostaggio *in situ*: area crepacciata totale e crepe appartenenti a tre classi dimensionali. Valori seguiti dalla stessa lettera non sono statisticamente diversi ($p < 0.05$)

	Area crepacciata tot (%)	<500mm (%)	500-1000mm (%)	>1000 μm (%)
Controllo	1.60 b	1.07 b	0.43 b	0.11b
Terreno trattato	20.9 a	15.1 a	5.50 a	0.33 a

Living mulch

Il mulching è una pratica agronomica utilizzata per migliorare l'aerazione e le caratteristiche strutturali dei suoli, per fornire regolarmente i nutrienti principali alle colture, per mantenere a valori costanti la temperatura del terreno, per stimolare l'attività metabolica globale.

In laboratorio sono stati allestiti esperimenti di mulching utilizzando vermicompost stabilizzato e stratificato sulla superficie di un terreno collinare argilloso (Vicarello - Pisa) in presenza di lombrichi (*Eisenia foetida*) e semi vegetali (*Lepidium sativum*). I sistemi sono stati definiti *living mulch*, in quanto dipendono dall'attività di organismi viventi, quali lombrichi e piante. Dopo 4 mesi di trattamento, sono stati determinati alcuni indici di fertilità biochimica, in relazione a parametri fisici e chimico-nutrizionali. La pratica del mulching favorisce il miglioramento delle proprietà fisiche dei suoli, come ha dimostrato l'incremento dell'area superficiale crepacciata costituita prevalentemente da crepe di piccole-medie dimensioni, sede dei principali processi microbiologici e biochimici. La struttura del suolo influenza, infatti, la dinamica di decomposizione della sostanza organica e le attività biochimiche che mediano il rilascio dei nutrienti organici e minerali. Quindi la risposta di un suolo argilloso ai trattamenti *living mulch* dipende dalle interazioni microrganismi-lombrichi e microrganismi-radici vegetali. Tale risposta è di tipo fisico, chimico-nutrizionale e biochimico, in quanto l'attività microbica e i cicli del carbonio e dell'azoto sono strettamente correlati; gli enzimi, le forme di carbonio solubili in acqua, l'indice di nitrificazione, sono stati considerati sensibili indicatori dei processi metabolici in funzione dei cambiamenti biofisici causati dai trattamenti.

Il sistema *living mulch*, non prevedendo lavorazioni ed interrimento del vermicompost, risulta essere un trattamento appropriato per il recupero degli agro-ecosistemi collinari, già interessati da frequenti fenomeni di erosione (Masciandaro *et al.*, 1997b).

Tabella 4. Forme di C e N totali e disponibili (solubili in acqua) e indice di nitrificazione NO_3/NH_4 dopo i trattamenti "living mulch". Valori seguiti dalla stessa lettera non sono statisticamente diversi ($p < 0.05$).

Terreno	Sigle	C-tot g kg ⁻¹	N-tot g kg ⁻¹	C-sol mg kg ⁻¹	N-NH ₄ mg kg ⁻¹	N-NO ₃ mg kg ⁻¹	NO ₃ /NH ₄
Vicarello							
VC+Lombrichi	VL	14,0 b	2,74 b	523 a	4,1 b	350 a	85,4 a
VC+Pianta	VP	14,5 b	2,66 b	446 b	3,0 c	180 b	60,0 b
Terreno di controllo	C	11,7 c	2,10 c	180 c	3,0 c	30,0 d	10,0 c

Tabella 5. Crepacciamento superficiale totale e classi dimensionali delle crepe (area %) del terreno Vicarello dopo i trattamenti living mulch. Valori seguiti dalla stessa lettera non sono statisticamente diversi ($p < 0.05$).

Terreno Vicarello	Sigle	Crepe tot (area %)	< 500 μ (area %)	500-1000 μ (area %)	> 1000 μ (area %)
VC + Lombrichi	VL	17,03 a	6,22 a	10,5 a	0,31 b
VC + Pianta	VP	13,92 b	5,11 a	8,18 b	0,63 b
Controllo	C	14,22b	4,00 b	8,12 b	2,10 a

Esempio: Recupero di suoli di miniera

(Galicia - Spagna)

La pratica del *living mulch* con vermicompost e semi vegetali è stata utilizzata per il recupero di suoli di miniera localizzati nel Nord-Ovest della Spagna (Galicia). Si trattava di suoli di miniera di lignite a cielo aperto, e potevano essere considerati suoli sterili in quanto erano caratterizzati da una ridotta disponibilità di nutrienti, alta instabilità di struttura (che può causare fenomeni di erosione), basso contenuto di sostanza organica, bassa attività microbiologica e biochimica.

La risposta dei terreni in via di rigenerazione è stata seguita per 7 anni, prelevando annualmente il terreno ed analizzando i parametri chimici e biochimici (Gil-Sotres *et al.*, 1994). La risposta biochimica è risultata apprezzabile a partire dal terzo anno; questo era certamente dovuto alla formazione di nuovi orizzonti di suolo che presentava in superficie un uniforme manto vegetale.

Conclusioni

Il trattamento con sostanza organica per conservare la qualità dei suoli e rigenerare suoli degradati, deve considerare la qualità della sostanza organica, la frequenza di applicazione e le caratteristiche chimico-fisiche e biologiche dei terreni interessati. E' necessario pertanto predisporre schemi razionali di concimazione in base alla fragilità dell'ecosistema agrario.

Per i terreni *collinari* a rischio erosivo e franoso sono state sperimentate le pratiche dell'umificazione *in situ* di fanghi biologici freschi, e del "living mulch" con vermicompost, lombrichi e semi vegetali. Entrambe le pratiche hanno migliorato: (i) la struttura fisica del suolo, le attività biologiche, la produttività agronomica.

Per i terreni *costieri* e quelli appartenenti a regioni climatiche aride o semi-aride è preferibile utilizzare la pratica della fertirrigazione con acque reflue e sostanze umiche, oppure l'interramento della frazione organica di residui organici non stabilizzati (ad alta percentuale di umidità). Tali pratiche permettono di fornire acqua e sostanze nutritive ai suoli, evitando l'accumulo di salinità e di elementi tossici in seguito alla rapida mineralizzazione della sostanza organica causata dalle elevate temperature.

Ringraziamenti

Si ringrazia il Sig. Michele Lamarca per aver effettuato le analisi fisico-strutturali dei suoli. Il lavoro è stato parzialmente realizzato nell'ambito dell'accordo bilaterale CNR/CSIC 1999-2000.

Bibliografia

- GARCIA C., HERNANDEZ T. AND COSTA F. (1992). Variation in some chemical parameters and organic matter in soils regenerated by the addition of municipal solid waste. *Environmental Management*, 16, 763-768.
- GARCIA C., HERNANDEZ T., COSTA F. AND CECCANTI B. (1994). Biochemical parameters in soils regenerated by the addition of organic wastes. *Waste Management and Research*, 12, 457-466.
- GIL-SOTRES F., LEIROS M.C., TRASAR-CEPEDA M.C., SAA A. AND GONZALES-SANGREGORIO M.V. (1994). The importance of soil biochemical properties in the reclamation of lignite mining land. In: *Environmental Biochemistry in Practice - I. Wastes and soil management* - (Ceccanti B. and Garcia C., eds.) Area della Ricerca CNR -Pisa- pp. 131-170.
- MASCIANDARO G., CECCANTI B. E GARCIA C. (1997a). Soil agro-ecological management: fertirrigation and vermicompost treatments. *Bioresour. Technol.* (in press).

- MASCIANDARO G., CECCANTI B. E GARCIA C. (1997b). Changes in soil biochemical and cracking properties induced by "living mulch" systems. *Can. J. Soil Sci.*, 77: 579-587.
- MASCIANDARO G., CECCANTI B., RONCHI V. E BAUER C. (2000a). Kinetic parameters of dehydrogenase in the assessment of the response of soil to vermicompost and inorganic fertilisers. *Biology and Fertility of Soils*, 32, 479-483.
- MASCIANDARO G., CECCANTI B. E GARCIA C. (2000b). "in situ" vermicomposting of biological sludges and impacts on soil quality. *Soil Biol. Biochem.*, 32: 1015-1024.
- TOGNARINI M., MACCARI G., GANNI A., MASCIANDARO G., CECCANTI B. E GARCIA C. (1994). Vermicompostaggio "in situ" dei fanghi biologici stratificati sul terreno. *XII Congresso nazionale della Società Italiana di Chimica Agraria (SICA)*, Piacenza 19-21 settembre, pp. 455-460.

EFFETTO DELLA SOMMINISTRAZIONE DI DIVERSI TIPI DI FERTILIZZANTI FOSFATICI SULLO STATUS FOSFORICO DEL SUOLO

Roberto Indiatì, Ulderico Neri, Adele Figliolia, Irene Perucchini

Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante
Via della Navicella, 2-4 - 00184 Roma.

Riassunto

Dopo 90 giorni di equilibratura di due suoli con differenti tipi di fertilizzanti fosfatici (fosfato biammonico-NP, superfosfato-SP, scorie Thomas-ST, rocce fosfatiche-RP, rocce fosfatiche parzialmente acidulate-RPPA, umofosfati-HP), gli incrementi medi di P assimilabile del suolo determinati secondo tre diverse procedure (Olsen, Bray1 e strisce di carta reattiva-Pi), sono stati: 1.8 (RP), 19.0 (ST), 23.4 (RPPA), 38.5 (HP), 41.3 (SP) e 44.6 (NP) mg P kg⁻¹ suolo. La percentuale di P estratto rispetto alla quantità totale di P aggiunto (200 mg P kg⁻¹ suolo), risultava nell'ordine: RP (1%) < ST (10%) < RPPA (12%) < HP (19%) < SP (21%) < NP (22%). La stessa sequenza si verificava per gli incrementi relativi alla concentrazione di P all'equilibrio-EPCo, parametro idoneo a caratterizzare le proprietà di desorbimento dei suoli riflettendo precisamente la scala della solubilità in acqua del P presente nei fertilizzanti presi in esame. Il suolo con la capacità di ritenzione fosfatica più bassa presentava, in genere, i massimi incrementi in P assimilabile ed EPCo e, di conseguenza, il massimo potenziale di impatto ambientale.

Introduzione

Ai fini di una razionale pratica di fertilizzazione fosfatica risulta di primaria importanza la conoscenza della dotazione del fosforo del suolo in forma assimilabile dalle colture, del livello di sufficienza dell'elemento per quella particolare specie produttiva e per quel dato tipo di terreno, nonché delle caratteristiche di rilascio di P proprie del fertilizzante usato. Un forte interesse si è sviluppato recentemente per l'applicazione diretta di rocce fosfatiche al terreno. Esse, infatti, costituiscono il fertilizzante più economico per kg di P applicato e possono risultare relativamente più efficienti, quando usate per colture a ciclo breve in suoli (come quelli sabbiosi) dove il P può essere facilmente lisciviabile (Yeates, 1993), nonché per colture a ciclo più lungo in altri tipi di suolo (Rajan *et al.*, 1994); inoltre, essendo un minerale naturale e ri-

chiedendo una tecnologia di trasformazione minima, esse vengono usate con favore nell'agricoltura biologica. Comunque, la somministrazione di RP tal quale può risultare non soddisfacente, dal momento che non tutti i tipi di suolo e non tutte le realtà colturali sono compatibili con l'uso di tale fertilizzante. Questo, unito alla scarsa conoscenza dei fattori che regolano la solubilità del RP nel suolo stesso e la sua disponibilità per le piante, ha portato alla realizzazione di rocce fosfatice più o meno acidificate, dotate di un più alto contenuto in P solubile e quindi di una migliore efficienza agronomica.

Nuovi tipi di fertilizzanti, come i concimi organo-minerali, sono stati posti in commercio da relativamente breve tempo, con lo scopo dichiarato di salvaguardare, con la loro applicazione, la fertilità naturale del suolo nel rispetto dell'ambiente e di assicurare produzioni vegetali di "qualità". I particolari processi produttivi ed il tipo di sostanze organiche umificate impiegate per la loro preparazione dovrebbero, interagendo con i nutrienti minerali aggiunti, consentire la formazione di complessi umo-minerali e proteggere così gli elementi responsabili della fertilità contro le svariate cause che possono portare ad una perdita di efficienza nutrizionale (insolubilizzazione, lisciviazione, etc.).

Numerosi metodi sono stati messi a punto negli ultimi decenni per valutare la dotazione di P labile del suolo (cioè di quella porzione di P che essendo debolmente legata alla componente minerale ed amorfa del suolo stesso, può essere più prontamente rilasciata e utilizzata dalle colture). E' noto, però, che non tutti i metodi possono essere usati proficuamente per tutti i tipi di suolo. Recentemente sono stati allora proposti "soil tests", quali quelli basati sull'uso di (i) strisce di carta da filtro impregnate con ossidi di ferro-Pi e (ii) membrane di resina a scambio anionico-AEM (Menon *et al.*, 1988; Sagar *et al.*, 1990). Il meccanismo di azione delle strisce di carta impregnata con ossidi ferro si esplica per adsorbimento specifico di P passato in soluzione sulla superficie reattiva della carta, mentre il P viene rimosso dalle resine anioniche per azione di scambio. Contrariamente alle soluzioni estraenti usate nei *soil P tests* convenzionali, le resine e le strisce di carta non reagiscono con il suolo, ma si comportano come un serbatoio (*sink*) che adsorbe e fissa il P che passa in soluzione. In tal modo, il P viene mantenuto nella soluzione stessa a basse concentrazioni, e questo comporta una riduzione della velocità di controeazione (re-adsorbimento di P sul suolo) e, in ultima analisi, l'ulteriore rilascio di P dalle particelle colloidali del suolo.

I *soil P tests* comunque forniscono scarse indicazioni riguardo la capacità potenziale del P del terreno a essere allontanato per trasporto superficiale (ruscellamento o "runoff") o lungo il profilo (lisciviazione o "leaching"), due meccanismi importanti per le implicazioni ambientali di P pre-

sente nel suolo. Metodi integrativi che possono essere proficuamente utilizzati in programmi di gestione del suolo atti a quantificare l'impatto ambientale del P del terreno, includono la determinazione di parametri quali la capacità di ritenzione fosfatica dei suoli e la concentrazione di P all'equilibrio in soluzione (*equilibrium phosphate concentration* o "EPCo") (Gartley e Sims, 1994) comunemente stimati dalle curve isoterme di adsorbimento fosfatico. In particolare, l'EPCo, che corrisponde alla concentrazione di P della soluzione in equilibrio con il terreno alla quale non si ha né adsorbimento né desorbimento di P da parte del suolo, risulta essere un parametro importante nel determinare intensità e direzione degli scambi tra P solubile e P particolato (legato ai colloidi del suolo) che possono aver luogo durante il trasporto di sedimenti in un corso d'acqua (Sharpley e Menzel, 1987), e quindi utile nel predire se suoli o sedimenti posti a contatto con acque di "runoff" o altri corpi d'acqua rilasceranno o assorbiranno P.

Scopo della presente ricerca è stato quello di investigare sugli effetti della somministrazione di P proveniente da fertilizzanti fosfatici di diversa natura (fosfato biammonico, idrosolubile, superfosfato, scorie Thomas, roccia fosfatica, roccia fosfatica parzialmente acidulata, ed un concime organo-minerale) (i) sullo stato nutrizionale fosforico e (ii) sulle caratteristiche di desorbimento di P di due suoli diversi per proprietà chimico-fisiche e capacità di ritenzione fosfatica. Il livello di P assimilabile è stato valutato secondo differenti procedure tradizionali (metodi di Olsen, Bray1) ed un "P-sink method" (Pi), mentre come parametro di desorbimento si è preso in esame la concentrazione di P all'equilibrio (EPCo).

Materiali e Metodi

L'esperienza è stata condotta su due suoli, uno (suolo "35", Fluvisuolo eutrico) prelevato nel Lazio (Fr), e l'altro (suolo "Marani", Cambisuolo calcico) in Emilia-Romagna (Ra). La caratterizzazione chimico-fisica dei suoli (Tabella 1) è stata effettuata sui campioni seccati all'aria e vagliati a 2 mm, secondo le metodiche della Società Italiana della Scienza del Suolo (S.I.S.S. 1985).

Tabella 1. Principali proprietà chimico-fisiche dei suoli in studio

Suolo	pH (H ₂ O)	Sabbia %	Argilla %	C org. %	N tot %	CaCO ₃ tot %	Olsen-P mg kg ⁻¹	P-SI*
35	6.4	35	24	1.30	0.12	0.0	17.2	34.3
Marani	7.8	23	22	1.60	0.12	21.0	16.2	9.4

* Indice di adsorbimento fosfatico

L'indice di adsorbimento fosfatico (*phosphorus sorption index*, "P-SI") è stato calcolato usando il quoziente $X/\log C$, dove X è la quantità di P adsorbito (mg/100 g suolo) in seguito all'aggiunta di 1.5 g P per kg di suolo, e C è la concentrazione di P in soluzione ($\mu\text{mol/L}$). I parametri suddetti sono stati misurati dopo agitazione del suolo (1 g) con una soluzione 0.01M in CaCl_2 (20 mL) per 24 ore.

Tabella 2. Contenuto in P totale e solubilità di P nei vari reagenti (espressa come percentuale rispetto al P totale) per le varie sorgenti di P utilizzate

Fertilizzante*	P totale %	P-H ₂ O %	P-citrato ammon. %	P-ac. citrico %	P-ac. formico %
RP	12.6	0.1	15.8	39.3	57.4
RPPA	10.0	50.5	60.6	61.9	63.1
ST	8.6	0.1	68.5	81.3	76.3
HP	7.1	91.5	99.8	92.4	92.2
SP	8.3	92.1	99.8	100.0	100.0
NP	20.1	100.0	100.0	100.0	100.0

*RP = roccia fosfatica; RPPA = roccia fosfatica parzialmente acidulata; ST = scorie Thomas; HP = humofosfato; SP = superfosfato; NP = fosfato biammonico.

Il P-SI è risultato essere ben correlato con la capacità di ritenzione fosfatica (Mozaffari e Sims, 1994; Indiati e Loj, 1998) per suoli con differenti proprietà chimico-fisiche.

I vari tipi di fertilizzanti fosfatici caratterizzati in Tabella 2 sia per quanto riguarda il contenuto in P totale che per il grado di solubilità del P, sono stati aggiunti ai terreni in modo da apportare la stessa quantità di P (200 mg P per kg di suolo). I terreni così trattati più una prova senza aggiunta di P come controllo (quattro repliche per ogni tesi), sono stati mantenuti per 90 giorni alla capacità di campo, a temperatura ambiente.

Alla fine del periodo di equilibratura suolo-fertilizzanti, sui campioni seccati all'aria e vagliati a 2 mm, è stato determinato il livello di P assimilabile secondo le procedure riportate in Tabella 3, ed il parametro EPCo, dalle curve di adsorbimento fosfatico. Allo scopo, 1 g di suolo in tubo da centrifuga è stato posto ad agitare per 24 ore a 25°C con 20 ml di una soluzione 0.01M in CaCl_2 contenente da 0 a 10 mg P per litro.

Tabella 3. Metodi di estrazione del P assimilabile dei suoli

Metodo	Soluzione estraente	Suolo/sol. (g/ml)	Tempo di estrazione	Bibliografia
Olsen (Ol-P)	0.5M NaHCO_3 , pH=8.5	1:20	30 min	Olsen <i>et al.</i> (1954)
Bray-1 (Br1-P)	0.03N NH_4F + 0.025N HCl	1:10	1 min	Bray e Kurtz (1945)
Pi-P *	0.01M CaCl_2	1:40	16 ore	Menon <i>et al.</i> (1988)

* Strisce di carta impregnata con ossidi di ferro

Dopo centrifugazione e filtrazione è stata determinata la concentrazione di P in soluzione e quindi la quantità di P adsorbito dal suolo, come differenza tra il P aggiunto ed il P rimasto in soluzione. La curva di adsorbimento è stata ottenuta riportando i dati di concentrazione (mg P L^{-1}) in ascissa, e quelli di P adsorbito (mg P kg^{-1}) in ordinata. La concentrazione di P all'equilibrio (EPCo) è data dal valore dell'ascissa corrispondente ad $y=0$. La misura del P presente nelle varie soluzioni è stata effettuata per via colorimetrica con il metodo di Murphy e Riley (Murphy e Riley, 1962). I dati ottenuti sono stati sottoposti ad elaborazione statistica, separatamente per i due terreni in studio. Gli effetti delle tesi sui vari parametri sono stati saggiati ricorrendo all'ANOVA; le medie sono state confrontate ricorrendo al test di Duncan, nel caso del P assimilabile, mentre per l'EPCo si è ricorso al calcolo delle minime differenze significative (MDS).

Risultati e Discussione

I suoli esaminati presentavano caratteristiche ben differenziate soprattutto per quanto riguarda il pH (6.4 per il suolo 35 e 7.8 per il suolo Marani), il contenuto in carbonati totali (assenti nel suolo 35 e pari al 21% nel suolo Marani) e la capacità di ritenzione fosfatica (Tabella 1).

In riferimento a questa, il valore di P-SI = 34.3 per il suolo 35 indicava che il 75% del P aggiunto veniva adsorbito nel corso dell'equilibratura suolo-soluzione di P per 24 ore, mentre tale percentuale scendeva al 21% nel caso del suolo Marani con un valore di P-SI = 9.4.

I dati di P estratto relativi alle varie tesi in studio e alle diverse procedure di estrazione di Tabella 3, ottenuti dopo 90 giorni di equilibratura suolo-differenti sorgenti di P, sono stati riportati in Tabella 4 e Tabelle 5, per i suoli 35 e Marani rispettivamente. Come media per tutti gli estraenti, l'incremento della quantità di P estratto dalle varie tesi rispetto al controllo era, per i suoli analizzati, massimo per le tesi NP e SP e HP. Valori intermedi erano mostrati dalle tesi RPPA e ST, mentre gli incrementi più bassi (e molto spesso non significativi) spettavano alle tesi RP.

In media per tutte le tesi, le quantità di P estratte dalle diverse procedure aumentavano, per il suolo 35, nell'ordine: $\text{Pi-P} < \text{Br1-P} < \text{Ols-P}$, mentre per il suolo Marani si aveva: $\text{Br1-P} < \text{Pi-P} < \text{Ols-P}$. Prendendo l'Olsen come metodo di riferimento (Olsen-P medio per tutte le tesi = 100), i rapporti di P estratto dalle stesse procedure rispetto all'Olsen-P incrementavano nell'ordine: 64:76:100, per suolo 35, e 2:77:100, per il suolo Marani.

Tabella 4. Livelli di P assimilabile (mg P kg^{-1}) relativi al suolo 35, determinati secondo i diversi metodi presi in esame, dopo 90 giorni di equilibratura del terreno con 0 (controllo) e 200 mg P kg^{-1} proveniente dalle differenti sorgenti di P utilizzate

Tesi*	OI-P	Br1-P	Pi-P	Media
controllo	18.3a**	12.8a	8.4a	13.2
NP	58.7f	49.2e	41.4g	49.7
SP	57.7f	45.0d	35.6e	46.1
ST	50.8d	34.2c	29.6d	38.2
RP	20.7b	14.0a	11.4b	15.4
RPPA	43.0c	31.3b	28.3c	34.2
HP	54.0e	43.5d	38.9f	45.5
Media	43.3	32.8	27.7	34.6
(P estratto x 100)/Ols-P	100.0	2.4	76.5	

*Per i simboli, riferirsi alla didascalia della Tabella 2.

**Valori in colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al 5% di probabilità (Test di Duncan).

Tabella 5. Livelli di P assimilabile (mg P kg^{-1}) relativi al suolo Marani, determinati secondo i diversi metodi presi in esame, dopo 90 giorni di equilibratura del terreno con 0 (controllo) e 200 mg P kg^{-1} proveniente dalle differenti sorgenti di P utilizzate

Tesi*	OI-P	Br1-P	Pi-P	Media
Controllo	17.0a**	0.4a	12.8a	10.0
NP	102.0f	3.6c	82.3e	62.6
SP	100.8f	1.0b	77.0d	59.6
ST	38.0c	0.6a	30.5b	23.0
RP	20.6b	0.4a	12.8a	11.3
RPPA	62.7d	0.4a	44.3c	35.8
HP	90.1e	3.6c	70.6c	54.8
Media	61.6	1.5	47.2	36.7
(P estratto x 100)/Ols-P	100.0	75.8	63.9	

*Per i simboli, riferirsi alla didascalia della Tabella 2.

**Valori in colonna seguiti da lettere diverse sono significativamente differenti al 5% di probabilità (Test di Duncan).

Mentre il rapporto Olsen-P/Pi-P si manteneva pressoché invariato nei due suoli (cioè i due metodi erano in grado di estrarre quantità confrontabili, in proporzione, di P), la soluzione di Bray1 nel caso del suolo Marani sottostimava notevolmente la quantità di P assimilabile sia del controllo che delle differenti tesi, mostrandosi non idonea a valutare la dotazione di P labile. Ciò è dovuto al fatto che la soluzione acida componente il reagente di Bray (Tabella 3), caratterizzata da una forza tampone relativamente scarsa, è risultata parzialmente neutralizzata dai carbonati presenti nel terreno stesso, e quindi incapace di solubilizzare quantità significative di P del

suolo. La quantità di P estratto dai due suoli dal reagente di Bray è risultata non correlata con le corrispondenti quantità di P estratto secondo le altre procedure ($r = 0.041-0.134$), mentre queste ultime hanno fornito valori di P estratto altamente correlati tra loro ($r = 0.990$; $p < 0.001$) (Figura 1).

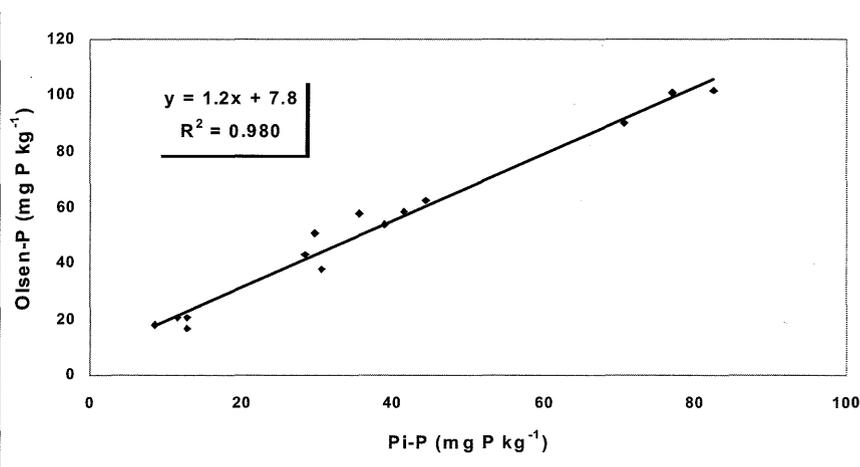


Figura 1. Relazione tra la quantità di P estratto nella procedura di Olsen e in quella basata sulle strisce di carta impregnata con ossidi di ferro (Pi)

In media, la quantità di P estratto dal controllo risultava inferiore per il suolo Marani ($10.0 \text{ mg P kg}^{-1}$) rispetto al suolo 35 ($13.2 \text{ mg P kg}^{-1}$), mentre la situazione opposta si verificava, in genere, per le tesi trattate con i vari tipi di fertilizzanti. Per esempio, come media di tutti gli estraenti usati, la tesi trattata con fosfato idrosolubile (NP) presentava un incremento in P estratto, rispetto al controllo, di circa 37 mg P per kg , nel caso del suolo 35, mentre l'incremento saliva a circa 53 mg P per kg , per il suolo Marani. Questo differente comportamento dei suoli per quanto riguarda la variazione di P estratto in seguito alla somministrazione di P, risulta essere in linea con quanto riportato in altri lavori e da altri autori (Moughli *et al.*, 1993; Cox, 1994; Indiatì e Sharpley, 1997): maggiore la capacità di ritenzione fosfatica di un suolo, minore l'incremento di P estraibile per unità di P applicato.

Solo nel caso della tesi trattata con roccia fosfatica (RP), un incremento medio in P assimilabile rispetto al controllo era inferiore per il suolo Marani ($\Delta P = 1.3 \text{ mg P kg}^{-1}$) rispetto al suolo 35 ($\Delta P = 2.2 \text{ mg P kg}^{-1}$). La minore reattività presentata dal suolo Marani relativamente a questa tesi può essere attribuita al più alto livello di pH del terreno stesso rispetto a quello del suolo 35. È noto, infatti, che suoli caratterizzati da una acidità maggiore presentano, in genere, una più marcata solubilizzazione di P quando il fosfato viene somministrato sotto forma di roccia fosfatica.

L'andamento del parametro scelto (EPCo) per caratterizzare le variazioni delle proprietà di desorbimento di P delle tesi in studio in funzione dell'applicazione dei diversi tipi di fertilizzante fosfatico è mostrato in Figura 2, per i due suoli analizzati. Per quanto riguarda il suolo 35, la concentrazione di P all'equilibrio risultava, per il controllo, pari a 0.029 mg P L⁻¹, il valore più elevato spettava alla tesi ST (0.065 mg P L⁻¹), mentre la tesi RP presentava il valore di 0.043 mg P L⁻¹. L'incremento medio delle varie tesi rispetto al controllo è stato di 0.022 mg P L⁻¹. Molto diverso risultava il comportamento del suolo Marani. Se infatti il controllo e la tesi RP per questo suolo presentavano valori di EPCo simili a quelli riscontrati sulle corrispondenti tesi del suolo 35 (0.012 mg P L⁻¹ per il controllo, e 0.045 mg P L⁻¹ per la tesi RP), per la tesi NP si verificava un incremento del valore di detto parametro (rispetto al controllo) di 0.85 mg P L⁻¹, mentre la variazione media si attestava su un valore di 0.38 mg P L⁻¹. Anche per questo parametro di desorbimento, il terreno caratterizzato da un forte potere tampone per il P (suolo 35) era in grado di limitare l'impatto ambientale derivante dalla somministrazione di dosi notevoli di fertilizzante fosfatico.

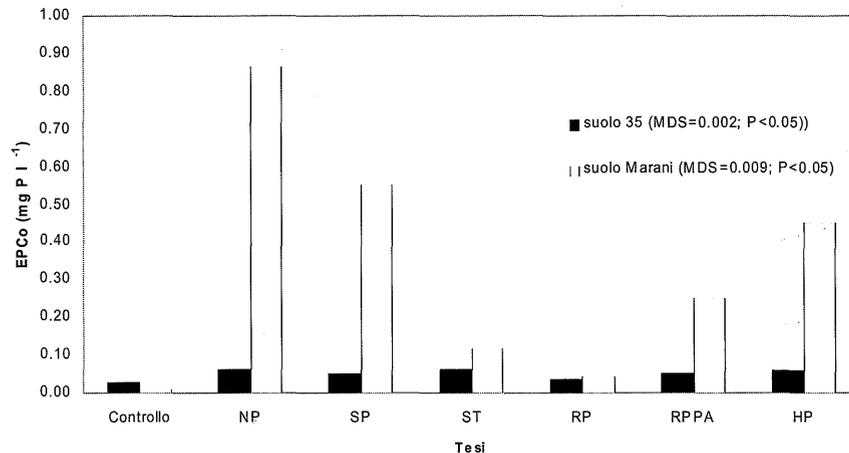


Figura 2. Andamento della concentrazione di P all'equilibrio (EPCo) per le varie tesi prese in considerazione (Per i relativi simboli, riferirsi alla didascalia della Tabella 2).

Conclusioni

Relativamente ai due suoli in studio, le tesi trattate con superfosfato e fosfomati mostravano, un livello di efficienza uguale (il 16% del P somministrato era estraibile per il suolo 35 dalle tesi SP e HP) o confrontabile (il 25 ed il 22% nel caso del suolo Marani, dalle stesse tesi). Le scorie Thomas si dimostravano leggermente più efficienti delle rocce fosfatice parzialmente acidulate nel suolo 35 (13% del P aggiunto estraibile dalla la tesi ST contro l'11% della tesi RPPA), mentre nel suolo Marani si notava un'inversione di tendenza (13% del P estraibile da RPPA contro il 7% di P estratto dalla tesi ST). La roccia fosfatica ha certamente mostrato, specialmente per il suolo Marani, il minore impatto ambientale rispetto a tutti gli altri tipi di fertilizzante, pur non riuscendo ad assicurare un livello di P del suolo sufficiente. È probabile che la somministrazione contemporanea di roccia fosfatica e sostanza organica al terreno possa contribuire a migliorarne l'efficienza agronomica.

Bibliografia

- BACHE B.W., WILLIAMS E.G. 1971. A phosphate sorption index for soils. *J. Soil Sci.*, 22: 289-301.
- BRAY R.H., KURTZ L.T. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.*, 59: 39-45.
- COX F.R. 1994. Predicting increases in extractable phosphorus from fertilizing soils of varying clay content. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58: 1249-1253.
- GARTLEY K.L., SIMS J.T. 1994. Phosphorus soil testing: environmental uses and implications. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 25: 1565-1582.
- INDIATI R., SHARPLEY A.N. 1997. Changes in some soil phosphorus availability parameters as induced by phosphorus addition and soil sorption properties. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 28: 1565-1578.
- INDIATI R., LOJ G. 1998. Use of alternative soil phosphorus test for improving environmental management of soil phosphate. *Agr. Med.*, 128: 298-306.
- KUNISHI H.M., VICKERS J.C. 1980. Adsorption curves and phosphorus requirements of acid soils. *Soil Sci.*, 129:28-35.
- MENON R.G., HAMMOND L.L., SINGH H.A. 1988. Determination of plant available phosphorus by the iron hydroxide-impregnated filter paper (Pi) soil test. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53:110-115.
- MOUGHLI L., WESTFALL D.G., BOUKHIAL A. 1993. Use of adsorption and buffer capacity in soil testing for phosphorus. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 24:1959-1974.
- MOZAFFARI M., SIMS J.T. 1994. Phosphorus availability and sorption in an Atlantic Coastal Plain watershed dominated by animal-based agriculture. *Soil Sci.*, 157: 97-107.
- MURPHY J., RILEY J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural water. *Anal. Chem. Acta*, 27: 31-36.
- OLSEN S.R., COLE C.V., WATANABE F.S., DEAN L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extracting with sodium bicarbonate. USDA Circ. 939. U.S. Gov. Print. Office, Washington D.C.

- RAJAN S.S.S., O'CONNOR M.B., SINCLAIR A.G. 1994. Partially acidulated phosphate rocks: controlled release phosphorus fertilizers for more sustainable agriculture. *Fert. Res.*, 37:69-78.
- S.I.S.S. 1985. Metodi normalizzati di analisi del suolo. Società Italiana della Scienza del Suolo, Edagricole, Bologna, Italy.
- SHARPLEY A.N., MENZEL R.G. 1987. The impact of soil and fertilizer phosphorus on the environment. *Adv. Agron.*, 41:297-324.
- YEATES J.S., CLARKE M.F. 1993. Developing alternatives to phosphate fertilizers of high water solubility. *Fert. Res.*, 36: 141-150.

CARATTERIZZAZIONE DELL'ECOSISTEMA SUOLO DELL'ISOLA DI PIANOSA

B. Pezzarossa ¹, R. Pini ¹, F. Petacco ¹, M. Scatena ¹,

L. P. D'Acqui ², A. Doderò ², C. A. Santi ²,

M. Mazzoncini ³, R. Risaliti ³

¹ Istituto per la Chimica del Terreno ICT-CNR
Località S. Cataldo - 56127 Ghezzano (PI)

² Istituto per la Genesi e l'Ecologia del Suolo IGES-CNR
Piazzale delle Cascine, 15 - 50144 Firenze

³ Centro Interdipartimentale di Ricerche Agroambientali "Enrico Avanzi"
Via Vecchia di Marina, 6 - 56010 San Piero a Grado (PI)

Riassunto

Il presente lavoro, svolto in collaborazione con il Parco Nazionale dell'Arcipelago Toscano nell'ambito del Progetto Strategico NITCAR, si inserisce in una ricerca integrata sul ruolo degli agroecosistemi terrestri nel sequestro di carbonio. A circa quattro anni dal pressoché completo allontanamento della comunità carceraria è possibile individuare nell'isola aree a macchia mediterranea, da considerarsi preservate nel tempo in modo pressoché naturale, ed aree nelle quali l'uso del suolo era legato al pascolo od a coltivazioni più o meno estensive praticate dalla popolazione carceraria. Il suolo dell'isola, sostanzialmente omogeneo nella matrice rocciosa e nell'evoluzione pedologica, presenta pertanto storie agronomiche diverse e dagli effetti ancora perfettamente riconoscibili sulle caratteristiche della vegetazione e del suolo stesso. Ciò rende l'intera isola un vero e proprio laboratorio dove è possibile tentare di valutare globalmente la funzionalità della risorsa suolo, stimare l'impatto dell'attività antropica e, in definitiva, formulare un giudizio sull'evoluzione degli ecosistemi. Allo scopo di caratterizzare l'ecosistema suolo sono state individuate tre aree rappresentative: macchia, ex seminativo ed ex pascolo. All'interno di ciascuna area sono stati effettuati i campionamenti del suolo secondo un sistema di transect. I risultati delle analisi chimiche e fisiche eseguite sui campioni hanno evidenziato come l'intervento antropico abbia influenzato in modo sensibile la fertilità fisica e chimica dei suoli, provocando una riduzione del contenuto di C e di N, mentre i dati delle analisi biologiche hanno dimostrato che questi suoli, abbandonati da diversi anni, sembrano avere una discreta capacità di recupero biochimico. I terreni un tempo destinati a pascolo ed a seminativo, pur mantenendo differenze sostanziali nelle proprietà fisiche e chimiche, hanno infatti raggiunto una significativa somiglianza dal punto di vista biotico. Questo fenomeno indica che, nonostante il diverso degrado del suolo, l'attività biologica si è mantenuta attiva e tende ora ad uniformarsi, evidenziando la grande capacità di recupero dei terreni di Pianosa.

Introduzione

Dal punto di vista geologico, l'Isola di Pianosa costituisce una singolarità all'interno dell'area insulare dell'Arcipelago toscano, in quanto vi affiorano estesamente formazioni neogeniche del Miocene, Pliocene e Quaternario. Questa particolarità favorisce la presenza di acque nel sottosuolo. Litologicamente l'isola risulta costituita da marne con sabbie e conglomerati del Miocene (Formazione di Marina del Marchese, 15-20 m.a.) sormontate, in discordanza, da sabbie e calcari organogeni del Pliocene (Formazione di Pianosa, 1,8-3 m.a.), seguiti da esigui spessori di depositi Quaternari (100 mila anni).

A circa quattro anni dal pressoché completo allontanamento della comunità carceraria, è possibile individuare sull'isola alcune situazioni predominanti per quanto riguarda l'uso del suolo e della vegetazione. Le aree a macchia mediterranea, non soggette a sensibile pressione antropica, sono da considerarsi preservate nel tempo in modo pressoché naturale. Le altre zone dominanti sono quelle nelle quali l'uso del suolo era legato al pascolo od a coltivazioni di tipo più o meno estensivo praticate dalla popolazione carceraria. Ci troviamo, quindi, di fronte a un suolo che, sostanzialmente omogeneo nella sua matrice rocciosa e nell'evoluzione pedogenetica, presenta tuttavia storie agronomiche diverse e dagli effetti ancora perfettamente riconoscibili sulle caratteristiche del suolo stesso e della vegetazione.

L'intera isola si presenta dunque come un vero e proprio laboratorio dove è possibile tentare di valutare globalmente la funzionalità della risorsa suolo, stimare l'impatto dell'attività antropica e, in definitiva, formulare un giudizio sull'evoluzione degli ecosistemi.

Materiali e Metodi

Campionamento

Sono state individuate sull'isola tre aree rappresentative dei tre principali ecosistemi: macchia, ex pascolo ed ex seminativo. All'interno di queste aree sono stati effettuati i campionamenti del suolo secondo un sistema di transect, prelevando cioè sei repliche a distanze regolari e predefinite (5 m) lungo una linea retta. I prelievi sono stati effettuati a due diverse profondità, 0-10 cm e 10-20 cm, ad esclusione dell'area un tempo utilizzata a pascolo in cui, per la profondità del suolo ridotta, il campionamento è stato limitato allo strato più superficiale.

Analisi fisiche e chimiche

Sulla frazione 0-2 mm di terreno seccato all'aria sono stati determinati granulometria, contenuto di C ed N, pH e capacità di scambio cationico (CSC), secondo i metodi standard (SISS, 1985) (Tab. 1, Tab. 2). Il contenuto di zinco (Zn), rame (Cu), piombo (Pb), nichel (Ni) e cadmio (Cd) è stato misurato mediante spettrofotometria ad assorbimento atomico dopo digestione nitrico-perclorica (Tab. 3).

Porosità totale e distribuzione dimensionale dei pori sono state determinate su campioni indisturbati, consistenti in aggregati del peso di circa 1-2 g, con il metodo che utilizza l'intrusione di mercurio, così come descritto da Guidi *et al.* (1985).

La valutazione del crepacciamento è stata condotta in laboratorio mediante l'analisi dell'area totale delle crepe e della loro distribuzione dimensionale. Tale studio è stato effettuato con un analizzatore ottico di immagine (Quantimet 720) su campioni di suolo umettati fino ad ottenere una pasta satura e successivamente essiccati all'aria (Petruzzelli *et al.* 1976).

La profondità del suolo, nelle diverse aree in esame, è stata valutata indirettamente misurando la resistenza alla penetrazione tramite penetrometro a cono (Bradford 1986).

Tabella 1. Caratteristiche granulometriche dei terreni oggetto di studio

		argilla g kg ⁻¹	limo g kg ⁻¹	sabbia g kg ⁻¹	scheletro g kg ⁻¹
Macchia	0-10 cm	136	192	545	287
	10-20 cm	165	189	580	
Ex pascolo	0-10 cm	125	170	667	464
	0-10 cm	126	154	700	538
Ex seminativo	0-10 cm	111	190	680	549
	10-20 cm				

Tabella 2. Alcune proprietà chimiche dei terreni oggetto di studio

		C org tot. mg g ⁻¹	N org tot. mg g ⁻¹	C/N	pH (H ₂ O)	CSC cmol. Kg ⁻¹
Macchia	0-10 cm	53,7	4,3	12,5	7,4	25,4
	10-20 cm	43,9	3,6	12,2	7,6	26,9
Ex pascolo	0-10 cm	33,6	3,0	11,2	7,9	24,4
	0-10 cm	16,2	1,9	8,5	8,1	14,7
Ex seminativo	0-10 cm	17,3	2,2	7,9	8,2	15,8
	10-20 cm					

Tabella 3. Concentrazione di metalli pesanti nei terreni oggetto di studio

		Zn mg kg ⁻¹	Cu mg kg ⁻¹	Ni mg kg ⁻¹	Pb mg kg ⁻¹	Cd mg kg ⁻¹
Macchia	0-10 cm	65,0	19,4	49,4	35,2	0,08
	10-20 cm	-	-	-	-	-
Ex pascolo	0-10 cm	41,9	16,9	45,0	19,4	0,09
Ex seminativo	0-10 cm	34,4	17,5	44,4	30,7	0,08
	10-20 cm	-	-	-	-	-

Analisi biologiche

Sui campioni, setacciati a 2 mm e conservati in cella frigorifera a 4 °C in assenza di luce, è stata effettuata una stima della respirazione del terreno utilizzando il metodo descritto da Isermeyer (1952). Per la determinazione della biomassa microbica è stato utilizzato il metodo della fumigazione-estrazione (Vance *et al.* 1987), misurando la concentrazione di C nelle cellule microbiche (Tab. 4).

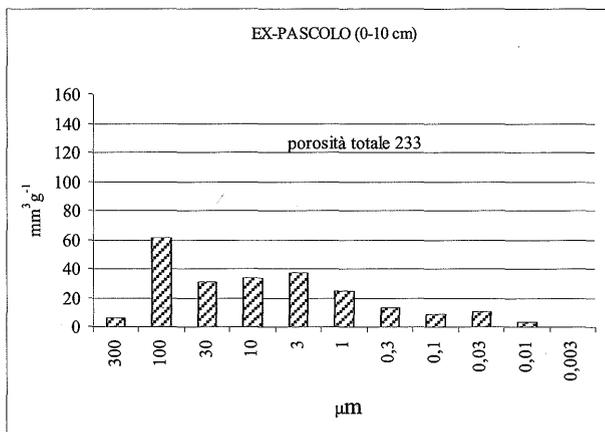
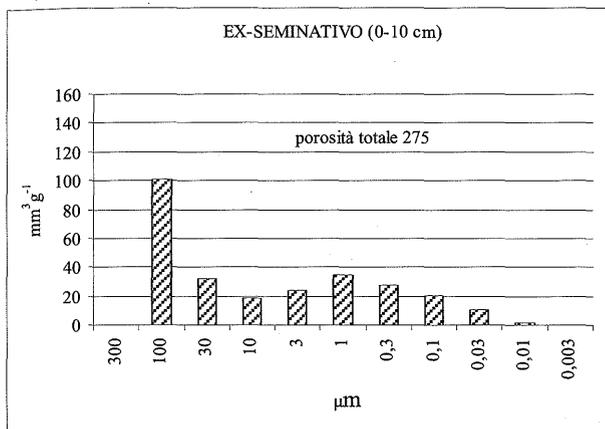
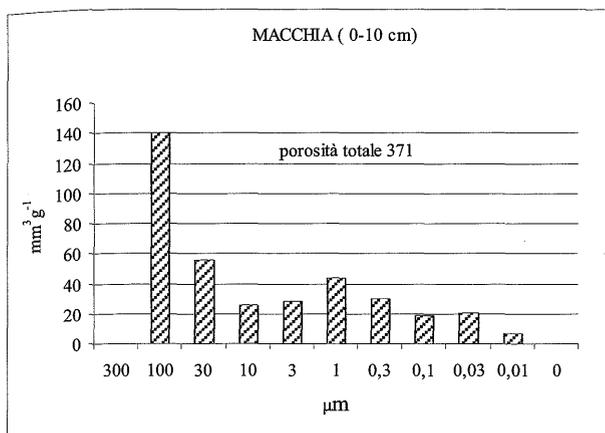
Al fine di valutare le differenze statisticamente significative tra le medie dei trattamenti, i risultati ottenuti sono stati sottoposti ad analisi della varianza (Gomez e Gomez, 1984).

Tabella 4. Misura della biomassa e della respirazione microbica nei terreni oggetto di studio

		C biomassa mg C kg ⁻¹ terr.	CO ₂ mg CO ₂ kg ⁻¹ terr.	CO ₂ mg CO ₂ kg ⁻¹ aria
Macchia	0-10 cm	127,6 a	253,1 a	5200 a
	10-20 cm	111,1 a	233,0 a	-
Ex pascolo	0-10 cm	58,2 b	180,5 b	4966 a
	10-20 cm	-	-	6800 a
Ex seminativo	0-10 cm	70,1 ab	177,5 b	1432 b
	10-20 cm	59,9 b	166,2 a	1866 b

Risultati e discussione

I suoli delle aree rappresentative sono caratterizzati da una forte componente scheletrica e da una tessitura prevalentemente sabbiosa, con una dotazione in limo sufficiente a mantenere un certo grado di strutturazione (Tab. 1). Sono inoltre suoli poco profondi: la profondità media del suolo è risultata infatti 20 cm per i terreni dell'ex pascolo e della macchia e 30 cm per l'ex seminativo.



Per valutare le modificazioni strutturali del terreno è stata effettuata l'analisi della porosità e della distribuzione dimensionale dei pori, mentre per stimare la capacità di riagggregazione del suolo sono stati valutati crepacciamento e distribuzione dimensionale delle crepe.

La caratterizzazione della distribuzione dei pori ha messo in evidenza, come era prevedibile, una certa compattazione dell'orizzonte superficiale del suolo che era stato soggetto al pascolo rispetto a quello della macchia e dell'ex seminativo (Fig. 1). L'ex pascolo è infatti caratterizzato da una ridotta presenza di pori di diametro maggiore di 30 μm, importanti sia per i movimenti dell'acqua che per le attività biologiche (10% in meno rispetto alla macchia ed all'ex seminativo).

Gli studi effettuati hanno evidenziato una diversa distribuzione dimensionale

Figura 1. Distribuzione dimensionale dei pori nei terreni delle crepe nei tre suoli

(Fig. 2); si nota inoltre una maggiore capacità di crepacciamento, e quindi una maggiore capacità aggregativa, nei suoli dell'ex pascolo e della macchia rispetto a quelli dell'ex seminativo (Foto 1, 2, 3). Tale comportamento sarebbe legato al maggior contenuto di sostanza organica presente nei primi due suoli.

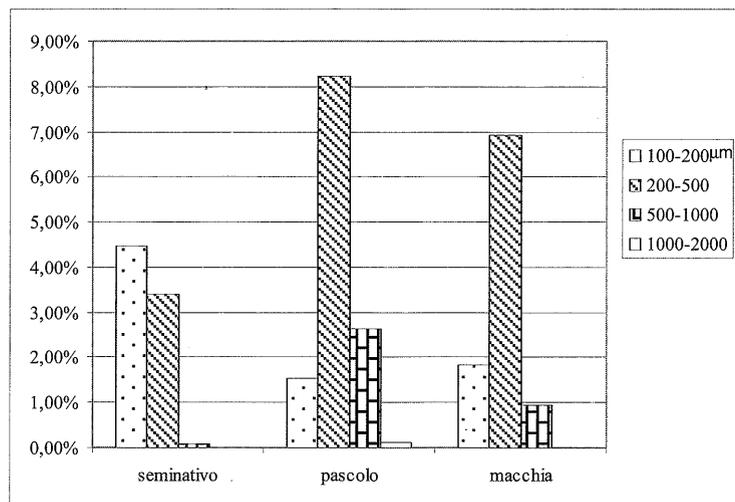


Figura 2. Distribuzione dimensionale delle crepe nei terreni

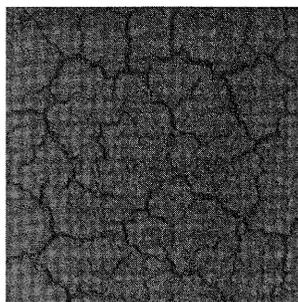


Foto 1. macchia

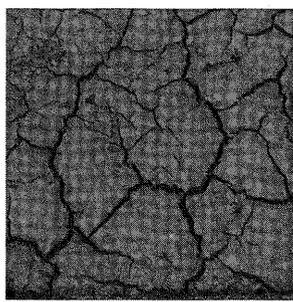


Foto 2. ex seminativo

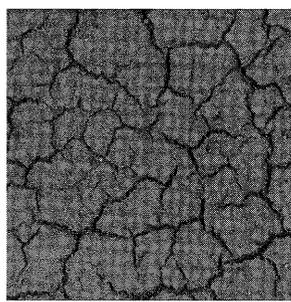


Foto 3. ex pascolo

Da questi risultati si può dedurre l'importante ruolo svolto dalla materia organica in questi terreni, soprattutto nelle sue interazioni con le proprietà strutturali del suolo.

Il contenuto di sostanza organica nei suoli dell'isola è risultato notevolmente influenzato dall'intervento antropico: le analisi del C e dell'N mostrano che, considerando la macchia come probabile condizione naturale, l'utilizzazione del suolo a seminativo ha determinato una riduzione del C di

circa il 70% e dell'N di oltre il 50%, mentre per l'utilizzazione a pascolo tale riduzione è stata inferiore (del 37% per il C e del 30% per l'N).

Si è tentato di valutare anche l'effetto dell'intervento antropico sul contenuto totale di elementi pesanti quali Zn, Cu, Ni, Pb e Cd, che però non ha mostrato variazioni significative nelle tre diverse zone (Tab. 3), se si eccettua una più alta concentrazione di Zn nella macchia, da imputare probabilmente al maggior contenuto di sostanza organica e alla più alta capacità di scambio cationico di questi suoli. I valori trovati rientrano comunque nelle concentrazioni medie tipiche dei terreni toscani. Il proseguimento degli studi prevede l'estensione di queste indagini alle aree circostanti la zona dove sono situati i due inceneritori, che sono stati per molti anni il principale sistema di smaltimento dei rifiuti dell'isola.

I risultati delle analisi di respirazione e biomassa microbica hanno fornito spunti interessanti per la valutazione globale dell'ecosistema suolo dell'isola (Tab. 4). Nello strato più superficiale del terreno la più elevata concentrazione del C della biomassa microbica è stata riscontrata nella macchia, (peraltro caratterizzata da una maggior concentrazione di sostanza organica), mentre i valori rilevati nell'ex pascolo e nell'ex seminativo sono risultati circa la metà (46% e 55% rispettivamente). Un rapporto simile è stato rilevato per lo strato più profondo (10-20 cm) della macchia e dell'ex seminativo.

Il maggiore accumulo di sostanza organica che si verifica nello strato superficiale del terreno indisturbato ha infatti probabilmente generato condizioni più stabili di struttura del suolo, umidità e temperatura, favorendo lo sviluppo della biomassa microbica nella macchia rispetto agli altri due suoli.

Va inoltre sottolineato che i campioni dei suoli provenienti dall'ex pascolo e dall'ex seminativo hanno mostrato concentrazioni di C della biomassa microbica statisticamente confrontabili, pur essendo caratterizzati da contenuti di sostanza organica sensibilmente differenti tra loro.

Nella macchia, alla maggiore presenza di biomassa microbica nel terreno è corrisposta anche una maggiore emissione di CO₂, risultata significativamente superiore (di circa il 40% per lo strato più superficiale) rispetto all'ex pascolo ed all'ex seminativo. La sostanziale confrontabilità dei risultati relativi alla presenza ed all'attività della biomassa microbica dei suoli dell'ex pascolo ed ex seminativo lascia supporre che negli anni trascorsi dall'abbandono di questi suoli si sia avviato un processo di recupero biochimico naturale, che avrebbe condotto i due suoli, nonostante la diversa destinazione d'uso, ad una somiglianza dell'attività biotica.

Conclusioni

La diversa destinazione d'uso dei suoli dell'isola ha condotto, nel lungo periodo, ad una differenziazione delle proprietà fisiche e chimiche degli stessi. A quattro anni dall'abbandono dell'attività agricola i terreni precedentemente destinati a pascolo ed a seminativo hanno raggiunto una significativa somiglianza dal punto di vista biotico, pur mantenendo differenze sostanziali rispetto alla macchia.

Questi risultati preliminari necessitano di conferme e di approfondimenti, ma possono essere comunque letti come indicatori della qualità del suolo e dell'impatto delle attività agricole in un ambiente in cui la pressione antropica è stata esercitata con intensità differenti.

Lo studio delle caratteristiche di questi suoli assumerebbe, inoltre, una importanza fondamentale per quanto riguarda la valutazione della dinamica del C, che è fortemente influenzata dalla capacità di protezione del suolo sulla sostanza organica. Tale dinamica, infatti, riveste un ruolo importante nella regolazione dei fenomeni di scambio del C del suolo con l'atmosfera, con le relative implicazioni nei cambiamenti climatici globali.

Bibliografia

- ALEF K. 1995. Soil respiration. In Alef K. e Nannipieri P. (eds.). *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Academic Press London, 214-219.
- BRADFORD J. M. 1986. In *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. Second edition, A. Klute eds. 463-477.
- GOMEZ, A. K. AND GOMEZ, A. A. 1984. *Statistical procedures for agricultural research*. Second edition. J. Wiley & Sons, New York.
- GUIDI G., POGGIO G., PETRUZZELLI G. 1985. The porosity of soil aggregates from bulk soil and from soil adhering to roots. *Plant and Soil*, 87, 311-314.
- HU S., COLEMAN D.C., CARROLL C.R., HENDRIX P.F., BEARE M.H. 1997. Labile soil carbon pools in subtropical forest and agricultural ecosystems as influenced by management practices and vegetation types. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 65: 69-78.
- ISERMEYER H. 1952. Eine Einfache Methode sur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden. *Z. Pflanzenernah Bodenk* 56: 26-38.
- PETRUZZELLI G., GUIDI G., SEQUI P. 1976. Electro-optical measurement of clay shrinkage. *Clay Minerals*, 11, 81-84
- S.I.S.S., 1985. *Metodi normalizzati di analisi del suolo* pp. 45-46, 65-66. Edagricole, Bologna.
- VANCE E.D., BROOKES P.C., JENKINSON D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.* 19: 703-707.

*RISULTATI SPERIMENTALI DELLO SPANDIMENTO DI ACQUE DI VEGETAZIONE SU UN ENTISUOLO ANTROPICO. PRIMI RISULTATI: EFFETTI SUL CONTENUTO IN SOSTANZA ORGANICA**

Katiuscia Caniglia, Carmelo Dazzi, Riccardo Scalenghe, Delia Tusa

Dipartimento di Agronomia, Coltivazioni Erbacee e Pedologia - ACEP Università di Palermo
Viale delle Scienze, 13 - 90128 Palermo

Riassunto

Il lavoro riporta i primi risultati di una prova intesa a valutare gli effetti dello spandimento di acque di vegetazione, per due anni consecutivi (1999/2000), su un Entisuolo antropico con un contenuto medio in sostanza organica di $5,3 \text{ g kg}^{-1}$. L'area di studio è situata nella fascia costiera centro-meridionale della Sicilia (Sciaccia, AG), caratterizzata climaticamente da elevate temperature e scarse precipitazioni. Per il trattamento sono state impiegate, in parcelle sperimentali appositamente approntate, dosi di refluo crescenti in ragione geometrica ($160, 320$ e $640 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), rispetto a quella consentita per legge ($80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). In particolare è stata studiata l'influenza dello spargimento sul contenuto in sostanza organica del suolo. Dai primi risultati emerge che, in seguito ai tre diversi trattamenti, si ha un incremento in sostanza organica nel suolo, rispetto al testimone, rispettivamente del 22, del 60 e del 78%.

Introduzione

In questi ultimi anni si è aperto un ampio dibattito sul tema del riciclo dei rifiuti prodotti sia da attività del settore primario che industriali. In quest'ambito, notevole importanza riveste il tema della utilizzazione dei reflui derivanti dalle attività agricole, soprattutto per l'elevata valenza ambientale che, potenzialmente, presentano, in quanto il loro spargimento sul suolo evita l'inquinamento dei corpi idrici recettori e permette la valorizzazione del carbonio organico e di elementi fertilizzanti in esse contenute.

* Lavoro svolto nell'ambito del Progetto di Ricerca "Riciclo dei Reflui nel Settore Agroalimentare - Sottoprogetto Reflui Oleari - Programma CNR - MURST; legge 95/95 Ambiente"

Nel settore dell'industria agro-alimentare le acque di vegetazione (A.V.), sono considerate un refluo a tasso inquinante, per la presenza di polifenoli che, anche se facilmente degradabili alla luce ed all'aria, sono capaci di inibire l'attività delle cellulasi e di altri enzimi e l'attività di microrganismi responsabili della degradazione anaerobica delle acque di vegetazione (Alianiello, 1996).

Il problema è molto diffuso, non solo per la notevole quantità di acque di vegetazione che annualmente vengono prodotte ma, anche perché coinvolge numerosi Paesi presenti soprattutto nel bacino del Mediterraneo. Dati recenti (Ager, 1999), fanno ammontare la superficie olivetata dei Paesi del bacino del Mediterraneo, a 8,5 milioni di ettari (contro i 9 milioni di quella mondiale), con una produzione media di acque di vegetazione pari a 20·106 m³. Italia, Spagna e Grecia, sono i Paesi maggiori produttori.

Allo scopo di implementare la legislazione che regola nel nostro Paese lo smaltimento delle acque di vegetazione (attualmente la legge n° 574/96) è stato avviato un progetto di ricerca di respiro nazionale cui contribuiscono numerosi ricercatori con compiti anche molto diversificati. Nell'ambito di questo progetto si colloca il presente lavoro che riporta i primi dati di una sperimentazione condotta in Sicilia, una delle regioni maggiormente interessata al problema. In particolare in questo lavoro si tratta delle conseguenze che, in due anni, lo spandimento di acque di vegetazione ha comportato sul contenuto in sostanza organica di un Entisuolo antropico.

Materiali e metodi

La prova, avviata nel 1998, è stata condotta in un comprensorio a forte vocazione olivicola in prossimità di Sciacca (Fig. 1) in provincia di Agrigento. È stata scelta un'area quasi pianeggiante, posta su un terrazzo di origine marina ove vi sono suoli che hanno subito una lunga pedogenesi, e sono da ascrivere al Sottordine degli Xeralfs (USDA-NRCS, 1999). Tuttavia, nella superficie oggetto della prova, ove è presente un oliveto allevato in forma libera della cultivar "Nocellara del Belice", impiantato da 18 anni con gesto di impianto in quadro di 7,5 metri, tali suoli sono stati così profondamente rimaneggiati durante la fase di impianto della coltura arborea che in essi sono visibili solo alcuni elementi diagnostici dell'originale orizzonte Bt (orizzonte argillico) e pertanto, secondo i dettami della Soil Taxonomy (USDA-NRCS, 1999) sono da classificare come Alfic Xerarents (Tab. 1).

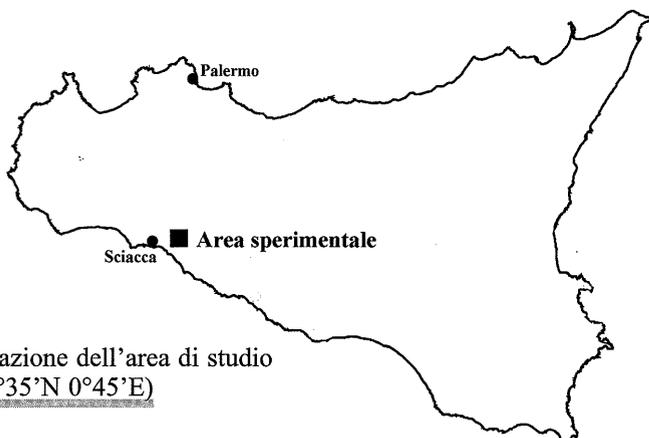


Figura 1. Ubicazione dell'area di studio
(37°35'N 0°45'E)

Tabella 1. Principali caratteristiche descrittive ed analitiche del profilo aperto nell'area di studio

Caratteri descrittivi del profilo			
	Ap ₁	Ap ₂	Ap ₃
Orizzonte	Ap ₁	Ap ₂	Ap ₃
Spessore	0-20 (cm)	20-40 (cm)	40-90+ (cm)
¹ Orizzonte: limite e andamento	ch, ir	ch, ir	ab, ir
Colore asciutto (Munsell)	10YR 3/4	10YR 3/4	10YR 4/2
² Tessitura	f-s	f-s	f-s-a
³ Struttura	pa, gs, mf, f, 1	pa, gs, mf, f, 1	pa, m, 2
⁴ Consistenza	u-mf	u-mf	s-pd
⁵ Drenaggio	n/b	n/b	n/l
Principali dati analitici			
Argilla (g kg ⁻¹)	172,0	155,0	241,0
Limo (g kg ⁻¹)	57,0	58,0	135,0
Sabbia (g kg ⁻¹)	771,0	787,0	624,0
pH H ₂ O (1:2,5)	8,6	8,1	8,4
pH KCl (1:2,5)	7,6	7,3	7,3
CaCO ₃ totale (g kg ⁻¹)	8,0	7,0	34,0
C (g kg ⁻¹)	3,0	4,0	6,0
N (g kg ⁻¹)	0,2	0,4	0,3
C/N	15,0	10,0	20,0
S.O. (g kg ⁻¹)	5,0	6,0	6,0
P ass. (g kg ⁻¹)	35,8	25,3	15,7
C.E. (d Sm ⁻¹)	181,0	385,0	252,0
C.S.C. (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	17,1	17,1	20,8
Na ⁺ scamb. (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	0,4	0,5	1,1
K ⁺ scamb. (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	1,7	0,9	2,4

1. Orizzonte: limite e andamento: ch=chiaro, ab=abrupto, ir=irregolare.
2. Tessitura: f-s= franco-sabbiosa, f-s-a= franco-sabbioso-argillosa.
3. Struttura: gs=granuli singoli, pa=poliedrica angolare; f=fine, m=media, mf= media e fine; 1=debole, 2=moderata.
4. Consistenza: u= umido, mf= molto friabile, s=secco, pd=poco duro.
5. Drenaggio: n=normale, b=buono l=lento.

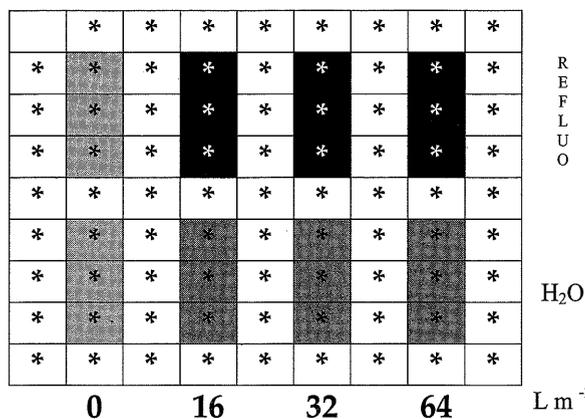


Figura 2. Schema della disposizione delle parcelle.

La superficie è stata suddivisa, secondo lo schema sperimentale, in otto parcelle di 6x21 metri, ciascuna suddivisa in tre sub-parcelle. Lo schema della disposizione è riportato nella Fig. 2. L'asterisco indica una pianta di olivo, in grigio molto scuro sono evidenziate le parcelle ove vengono sparse le acque di vegetazione, in grigio scuro le parcelle ove viene impiegata acqua dolce. In grigio chiaro le parcelle non trattate, e che fungono da testimone.

La ricerca ha previsto il trattamento biennale con dosi diverse di acqua di vegetazione, prelevata da un oleificio privato della zona che adotta il sistema di estrazione a "ciclo continuo".

Le dosi di acqua di vegetazione, pari a 160, 320 e 640 m³ ha⁻¹ sono state distribuite nelle parcelle, ciascuna contenente tre piante di olivo omogenee per stato vegetativo e sviluppo complessivo, nel mese di dicembre 1999 e dicembre 2000, dopo un breve periodo di stoccaggio dei reflui (inferiore a 30 giorni come stabilito dalla legge). Contemporaneamente sono state distribuite le medesime quantità di acqua dolce per isolare l'effetto "refluo", rispetto all'effetto "irrigazione" non solo sulle proprietà del suolo considerate ma, anche, sugli aspetti vegetativi che pure vengono considerati. Alcuni parametri delle stesse sono riportate nella tabella 2.

Tabella 2. Alcuni parametri chimici delle acque impiegate nella prova

Parametri	Acqua di vegetazione	Acqua dolce
pH	4,85	6,45
C.E. (dSm ⁻¹)	39,55	0,75
COD (mgL ⁻¹)	142500,00	18,48
BOD (mgL ⁻¹)	12000,00	9,00
Polifenoli (mgL ⁻¹)	2650,00	12,50

Nonostante la giacitura pianeggiante del campo è stato necessario sia livellare il terreno, al fine di evitare accumuli localizzati soprattutto dell'acqua di vegetazione, sia una sistemazione a rasole per evitare che le stesse debordassero dalle parcelle.

In ciascuna parcella, si è provveduto, nei giorni precedente e successivo allo spargimento e ad intervalli di trenta giorni fino al mese di maggio, al prelievo di campioni di suolo a profondità predefinite (0-5, 5-25 e 25-50 cm). I campioni sono stati analizzati nelle diverse caratteristiche chimiche (MiPAF, 2000). In particolare è stato determinato il contenuto di sostanza organica secondo il metodo Walkley-Black.

Durante il periodo della prova, i dati climatici sono stati rilevati per mezzo di una apposita centralina computerizzata (la cui posizione rispetto alle parcelle è indicata dal quadrato nero nella figura 2) alimentata da un pannello fotovoltaico e dotata di 5 sensori che hanno consentito di acquisire dati di piovosità, di temperatura, di umidità relativa dell'aria e di temperatura del suolo a 20 e 50 cm di profondità. Gli andamenti mensili di tali dati sono riportati nella Tab. 3.

Periodo	Temperatura media dell'aria (°C)	Umidità media dell'aria (%)	Temperatura media del suolo a 20 cm (°C)	Temperatura media del suolo a 50 cm (°C)	Precipitazioni (mm)
1999					
Febbraio	10,9	85	9,4	9,4	0,1
Marzo	13,2	83	12,4	12,5	25,3
Aprile	16,5	76	16,4	15,9	16,2
Maggio	22,9	67	23,9	22,2	0,2
Giugno	26,3	61	27,1	25,3	0,1
Luglio	27,1	68	28,6	27,1	12,4
Agosto	28,8	70	29,2	27,8	18,1
Settembre	25,6	82	25,1	24,9	0,2
Ottobre	21,9	84	21,0	21,4	0,4
Novembre	16,1	91	14,5	16,0	22,4
Dicembre	14,1	92	11,8	13,2	24,9
2000					
Gennaio	12,6	91	10,8	12,3	58,3
Febbraio	11,6	82	9,9	10,4	11,2
Marzo	14,4	85	13,6	13,6	11,8
Aprile	17,8	74	18,0	17,5	29,0
Maggio	21,5	68	21,3	20,3	1,8
Giugno	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
Luglio	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
Agosto	28,8	62	29,7	28,3	0,4

Risultati e conclusioni

I contenuti in sostanza organica determinati prima dell'inizio della sperimentazione sono risultati omogenei in tutta la superficie del campo, e concordano con i dati delle parcelle testimone e con il dato dell'orizzonte di superficie del profilo.

I risultati delle determinazioni analitiche relative alla sostanza organica sono stati riportati nei grafici delle figure 3, 4 e 5. Ogni figura riporta l'andamento della sostanza organica nella parcella testimone, nella parcella irrigata con acqua dolce ed in quella irrigata con acque di vegetazione per ogni volume scelto. Le frecce indicano i due momenti del trattamento.

Dalla Fig. 3 emerge che il trattamento con $160 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ di acqua di vegetazione non ha comportato incrementi molto importanti nel contenuto in sostanza organica rispetto al suolo non trattato. Contenuti più elevati si osservano solo nei primi cinque centimetri (valori superiori a 10 g kg^{-1}). Alla medesima profondità, nell'intervallo di tempo compreso tra l'ultimo campionamento del primo anno di prova (giugno) ed il primo del secondo anno (dicembre), i valori si sono mantenuti costanti nonostante nella stagione estiva si siano registrate elevate temperature causa, generalmente, di una rapida decomposizione della sostanza organica.

Un aumento si è osservato nello stesso intervallo di tempo alla profondità 5-25 cm. Nello strato 25-50 cm, i valori non sono diversi dal testimone, tranne che negli ultimi mesi del biennio di prova in cui si registrano lievi aumenti. Il trattamento del suolo con acqua dolce non ha provocato alcun effetto; infatti, i valori di sostanza organica, alle tre profondità di prelievo, si sono mantenuti entro un range molto limitato, compreso tra 4 e 8 g kg^{-1} e comunque simili al testimone.

In seguito allo spargimento di $320 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ di acqua di vegetazione, gli incrementi del contenuto in sostanza organica nel suolo (Fig. 4) risultano più marcati, sia rispetto al suolo trattato con $160 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ di refluo che al testimone. Un rapido aumento si registra, alle tre profondità, subito dopo il primo spargimento del refluo dove, del secondo anno (dicembre) si osserva una riduzione alle profondità 0-5 cm e 5-25 cm, seguito da un aumento dopo il secondo trattamento. Nessun effetto si evidenzia nel suolo trattato con le medesime soprattutto nei primi centimetri, si sono calcolati valori di 10 g kg^{-1} rispetto a 4 g kg^{-1} iniziali. Nell'intervallo di tempo compreso

tra l'ultimo campionamento relativo al primo anno (giugno) ed il primo quantità di acqua dolce.

Dalla Fig. 5 emerge come lo spargimento di $640 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ di refluo oleario non determina differenze notevoli nei contenuti organici alle profondità 5-25 e 25-50 cm rispetto al testimone. Incrementi notevoli, invece, si osservano nel livello più superficiale. Lo spargimento del refluo, infatti, determina un immediato incremento in sostanza organica fino a raggiungere valori di 13 g kg^{-1} , i quali, poi, si mantengono costanti dal secondo prelievo (gennaio) fino al mese di maggio del '99. Lievi incrementi si osservano durante l'intervallo di tempo compreso tra i due trattamenti nonostante le elevate temperature del periodo estivo, mentre i valori più elevati si raggiungono dopo il secondo spargimento (22 g kg^{-1}), e questi si mantengono sempre al di sopra dei valori iniziali fino alla fine della prova. Nessuna differenza significativa si osserva nel suolo trattato con $640 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ di acqua dolce.

Per concludere si sottolinea come alla fine del biennio di prova il contenuto medio di S.O., riferito alle tre profondità di indagine abbia fatto registrare un incremento rispetto alla parcella-testimone che presenta valori medi di sostanza organica pari a $5,3 \text{ g kg}^{-1}$ (Fig. 6). Precisamente, gli incrementi medi in S.O. nelle parcelle trattate con i tre volumi prescelti di acqua di vegetazione sono risultati pari a $6,5 \text{ g kg}^{-1}$ (con $160 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ di A.V.) a $8,4 \text{ g kg}^{-1}$ (con $320 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ di A.V.), ed a $9,5 \text{ g kg}^{-1}$ (con $640 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ di A.V.) che corrispondono rispettivamente ad incrementi del 22, del 60 e del 78% rispetto al testimone.

I reflui potrebbero essere utilizzati come ammendanti e migliorare la qualità del suolo per il contributo in sostanza organica che riescono ad apportare; quindi potrebbero ridurre i problemi di eremacausi, tipici dell'ambiente mediterraneo, causa di una rapida degradazione della qualità del suolo.

Inoltre, soprattutto nei paesi del bacino del Mediterraneo caratterizzati da un lungo periodo siccitoso, potrebbero costituire una risorsa idrica potenzialmente utilizzabile. Il periodo di produzione dell'olio e quindi dei reflui oleari, però, coincide con quello in cui, generalmente, si verificano le precipitazioni atmosferiche e non è possibile utilizzare i reflui nei mesi successivi alla stagione olearia in quanto il periodo di stoccaggio, per legge, è limitato ad un mese. Il loro apporto idrico potrebbe risultare tuttavia utile per integrare le precipitazioni di stagioni invernali particolarmente siccitose, sempre più frequenti negli ambienti a clima mediterraneo caldo come quello siciliano.

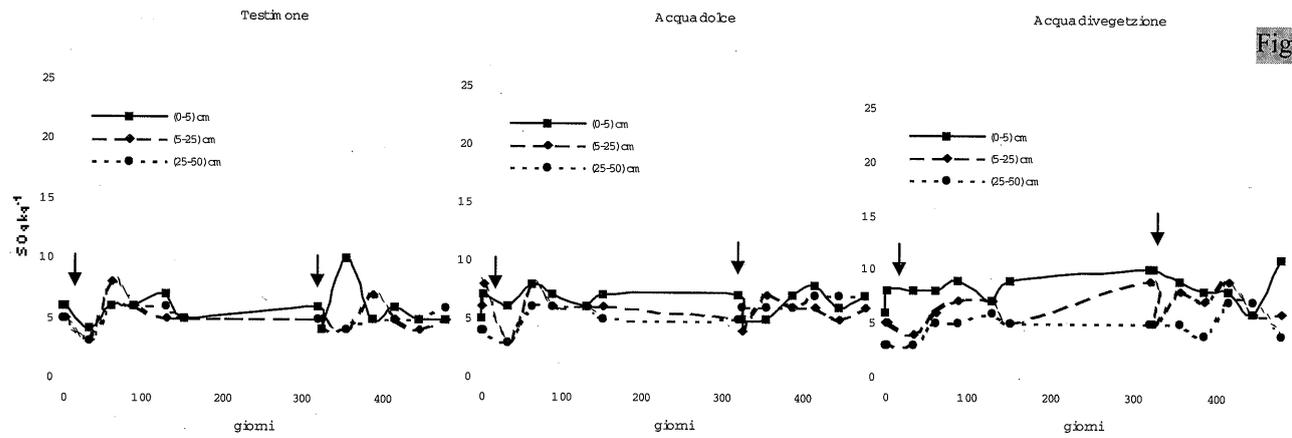


Figura 3.

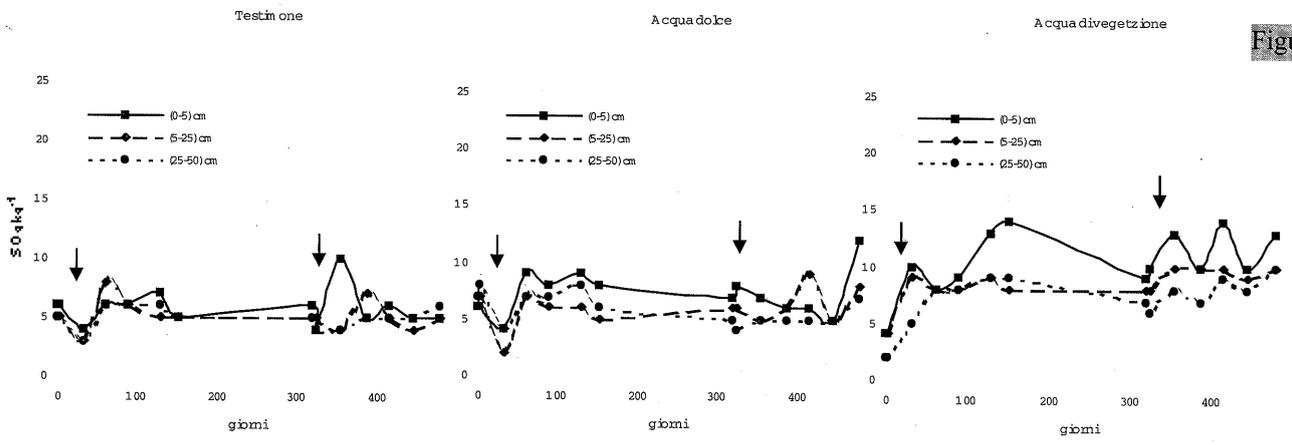


Figura 4.

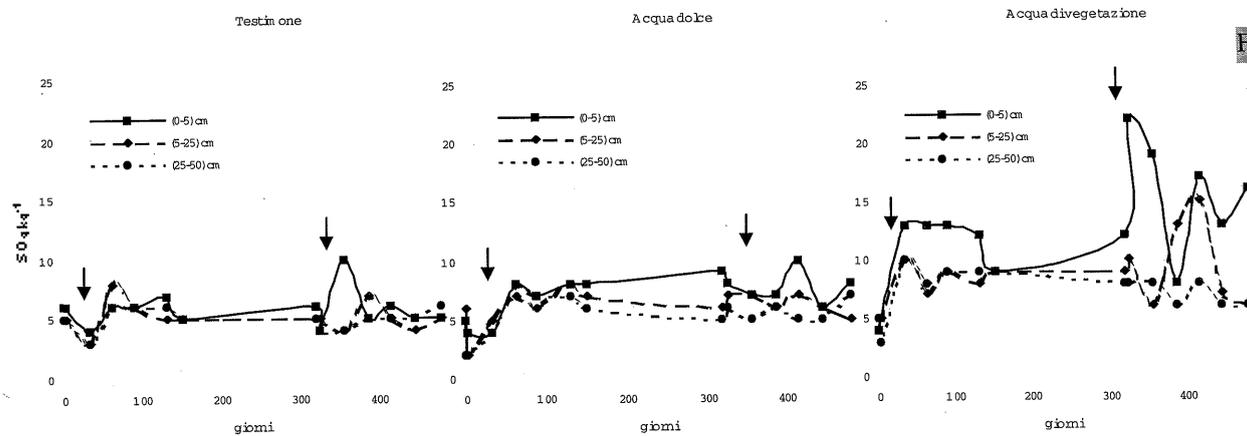


Figura 5.

Figura 3. Sostanza organica nel suolo trattato con 160 m³ ha⁻¹ di acqua di vegetazione.

Figura 4. Sostanza organica nel suolo trattato con 320 m³ ha⁻¹ di acqua di vegetazione.

Figura 5. Sostanza organica nel suolo trattato con 640 m³ ha⁻¹ di acqua di vegetazione.

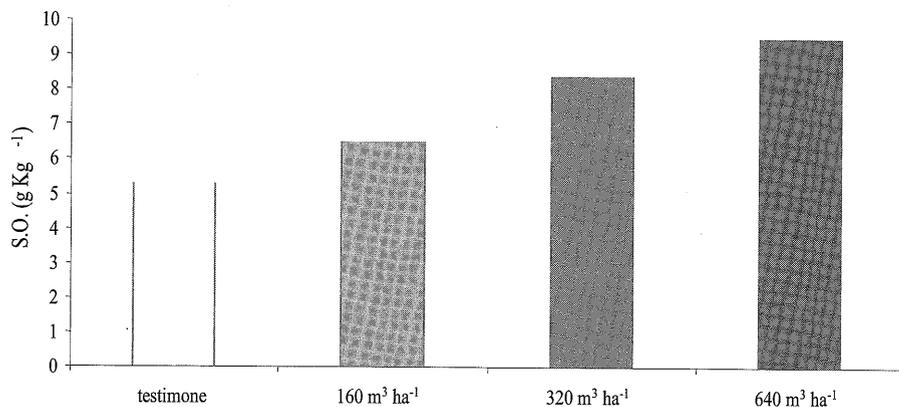


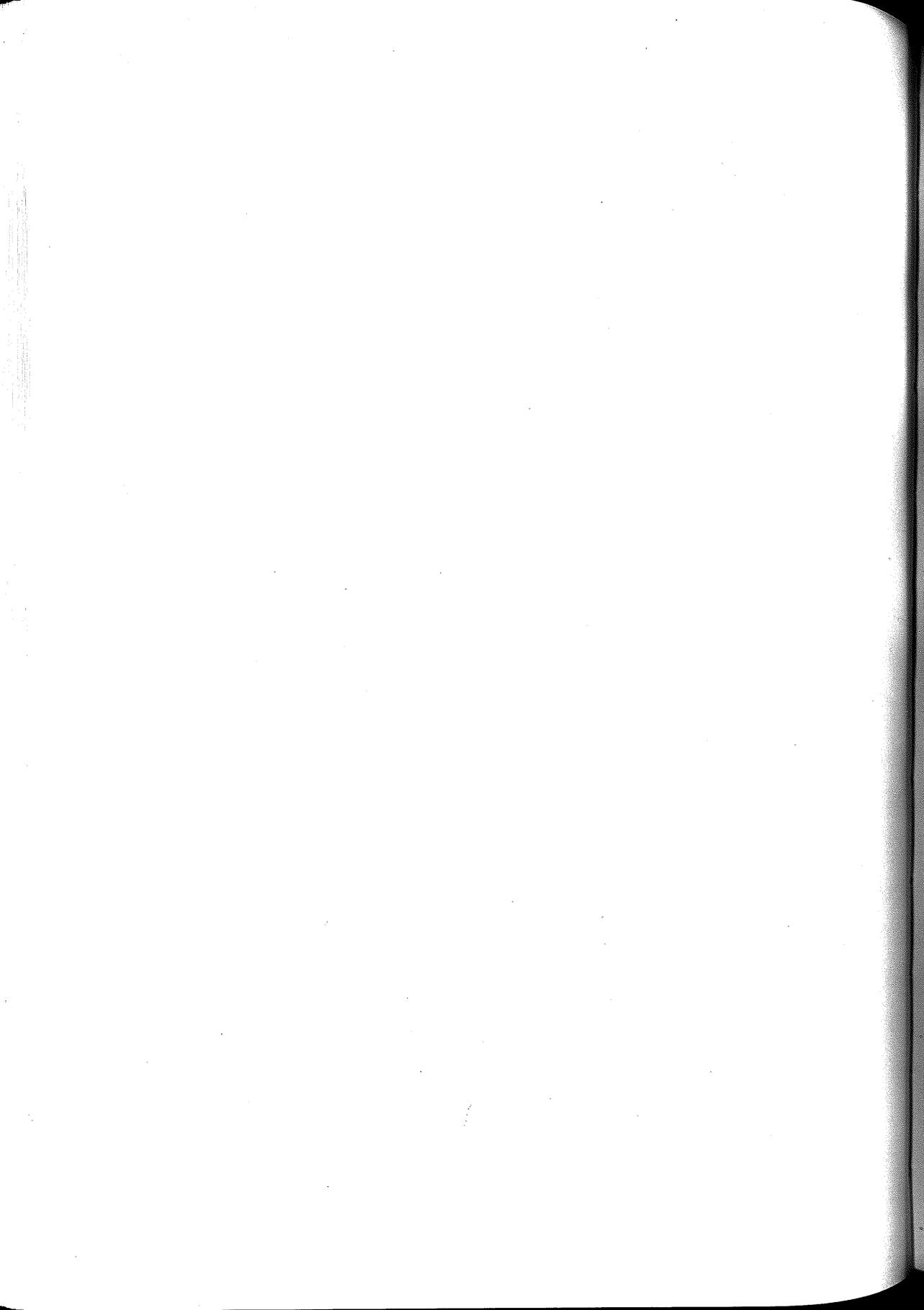
Figura 6. Incrementi medi nello stato 0-50 cm, del contenuto in sostanza organica nelle parcelle trattate con acqua di vegetazione rispetto al testimone.

Bibliografia

- AGER, 1999. Olivicoltura ed olio. Università degli Studi di Napoli, n. 1-2-5.
- ALIANIELLO F., 2001. Effetti della somministrazione di acque reflue di frantoi oleari sulle caratteristiche chimiche e biochimiche del suolo. I sottoprodotti dei frantoi oleari. Curatore F. Alianiello, C. De Simone. Ed. Informatore Agrario.
- MiPAF, 2000. Ministero delle Politiche Agricole e Forestali. Metodi analisi chimica dei suoli. Milano. Ed. Franco Angeli.
- USDA-NRCS, 1999. Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys.



Commissione V
Genesi, classificazione
e
cartografia del suolo



I SUOLI DELLA TAIGA MERIDIONALE NELLA "RISERVA BIOSFERICA STATALE DELLA FORESTA CENTRALE" (RUSSIA)

S. Chersich ¹, M. Freppaz ², S. Solaro ¹, D. Tusa ³, C. Zucca ¹

¹ DISAT Università di Milano-Bicocca
Piazza della Scienza, 1 - 20126 Milano

² DIVAPRA Università di Torino
Via Leonardo da Vinci, 44 - 10095 Grugliasco (TO)

³ Dip. ACEP - Università di Palermo
Viale delle Scienze - 90128 Palermo

Introduzione

La presente relazione cosituisce il resoconto del Corso dal titolo "Suoli e Paesaggi della Taiga meridionale" organizzato dall'Istituto Italo-Russo di Formazione e Ricerche Ecologiche, svoltosi nell'Agosto 2000 presso la "Riserva Biosferica Statale della Foresta Centrale" nella regione di Tver (area di Nelidovo), circa 300 km ad ovest di Mosca. Questa riserva è stata fondata nel 1931 per proteggere uno dei pochi esempi rimasti di ecosistema pressoché incontaminato all'interno della sottozona climatica della Taiga meridionale. Nel 1985 la riserva è stata riconosciuta come facente parte del "International Network of Biosphere Reserves" (UNESCO), associazione che si propone di "proteggere esempi dei maggiori tipi di ecosistema presenti sulla terra per conservarli e permettere la ricerca scientifica. Questi esempi forniscono standards per misurare gli effetti dell'impatto antropico sull'ambiente".

Attualmente la riserva copre una superficie di circa 24000 ha (protezione integrale) ed è circondata da un'area tampone (semi-protetta) per una superficie totale di 42000 ha.

Si trova in una regione molto interessante sia da un punto di vista storico che geografico, nell'area di contatto di tre grandi bacini idrografici: Volga, Dvina e Dnepr (figura 1).

L'obiettivo dello stage sul campo è stato lo studio della distribuzione dei diversi tipi di suolo (e dei diversi processi pedogenetici) nel territorio della riserva e dunque in condizioni naturali pressoché indisturbate.

L'area di studio

Il territorio russo è caratterizzato, da nord a sud, da una successione di fasce fitoclimatiche: la tundra, la taiga, la steppa, la zona semi-desertica ed il deserto. La taiga, in particolare, rappresenta la grande fascia di foreste boreali di aghifoglie che si estende dal Baltico alla Siberia. Viene comunemente divisa in tre sotto-zone (settentrionale, media e meridionale) ciascuna dominata da ecosistemi forestali diversi: a nord prevale quello con pino, abete e larice, mentre a sud, insieme alle conifere, si trovano anche latifoglie, come quercia, betulla o tiglio, con un aumento sensibile della biodiversità. E' in quest'ultima zona che si trova la riserva della "Foresta Centrale".

In questa zona il substrato litologico più profondo è costituito da materiale morenico del Pleistocene (glaciazione Riss, circa 120000 anni fa) di natura abbastanza eterogenea, spesso con alto contenuto di materiale carbonatico. Tali depositi di origine glaciale sono sormontati da sedimenti olocenici con granulometrie sabbiosa e sabbioso-limosa di origini diverse, probabilmente eolica o fluvio-glaciale con uno spessore ridotto, variabile da alcuni centimetri a pochi metri.

Dalla variabilità granulometrica di questa coltre superiore dipende direttamente il drenaggio dei suoli che, a parità di condizioni morfologiche, può risultare più o meno impedito.

La morfologia è in genere pianeggiante o leggermente ondulata; le quote variano da 240 a 300 m s.l.m. Le zone pianeggianti spesso presentano superfici concave dove si ritrovano paludi e torbiere (figura 2) (queste aree coprono una superficie di qualche migliaio di ettari). Le valli sono attraversate da piccoli corsi d'acqua. La permeabilità dei sedimenti soprastanti dipende dalla loro granulometria ma è in genere abbastanza alta (0,1 - 0,5 cm/giorno) rispetto a quella del materiale morenico sottostante (circa 0,01 cm/giorno).

I suoli sono spesso imbevuti di acqua (specie nella stagione primaverile di disgelo ed estiva piovosa) e questo li rende particolarmente plastici: la testimonianza diretta di questo è data dalle costruzioni antropiche (come case e pali della corrente) che, giacendo su una base instabile, seguono i movimenti del terreno, piegandosi ed inclinandosi vistosamente (figura 3).

Il clima può essere classificato come "continentale umido": il valore della temperatura media annua è di 3,8°C, mentre quello delle precipitazioni totali annue è di 707 mm, concentrate in estate; un terzo del totale delle precipitazioni è rappresentato da neviccate. Nella taiga il valore delle preci-

pitazioni supera quello dell'evapotraspirazione potenziale e questa caratteristica influenza, oltre la crescita della vegetazione, anche la pedogenesi: la presenza di un eccesso idrico è una caratteristica ricorrente di questi suoli.

Il clima favorevole permette lo sviluppo di foreste che invece non avviene né più a nord (tundra) a causa delle temperature troppo basse, né più a sud (steppa) per la scarsità di precipitazioni.

Le specie vegetali che costituiscono le biocenosi di questo ambiente sono tipiche delle seguenti associazioni:

1. Picetum sphagnosum (specie caratteristiche: *Picea abies*, *Sphagnum fuscum*, con presenza di *Politricum sp.*, *Linnaea borealis*, *Vaccinium sp.*). Si ritrova prevalentemente in pianura o sulla sommità di rilievi che presentano una certa concavità, con acqua stagnante; queste piante possiedono un sistema radicale che si sviluppa principalmente nello strato organico superiore dove il contenuto idrico è minore.

2. Picetum vacciniosum (specie caratteristiche: *Picea abies*, *Vaccinium myrtillus*). Comune su superfici pianeggianti dove i suoli sono meglio drenati.

3. Picetum oxalidosum (specie caratteristiche: *Picea abies*, *Oxalis acetosella*). Tipico di pendii dolci.

4. Picetum nemorosum (specie caratteristiche: *Picea abies*, *Anemone nemorosa*, *Rubus idaeus*). Riscontrabile in aree dove il drenaggio è molto buono, tipicamente su superfici convesse.

5. Picetum fontile (specie caratteristiche: *Picea abies*, *Phragmites australis*). Caratteristico di aree pianeggianti alla base delle valli lungo torrenti e corsi d'acqua.

L'abete rosso (*Picea abies*) è la specie più frequente di questa zona; tra le latifoglie, la betulla (*Betula pendula*) è quella più largamente presente: è eliofila ed è la prima specie arborea a colonizzare le superfici disboscate; nella foresta climacica di abeti, costituisce spesso lo strato arboreo superiore. Il sorbo (*Sorbus aucuparia*) è presente pressochè ovunque mentre il pioppo (*Populus tremula*) e l'ontano (*Alnus glutinosa*) sono più comuni rispettivamente su suoli ben drenati e lungo i torrenti. Anche l'acero (*Acer platanoides*) e l'olmo (*Ulmus sp.*) sono specie comuni ma più localizzate su suoli ricchi in nutrienti. Il pino (*Pinus silvestris*) si ritrova abbondantemente ai limiti delle torbiere con un ecotipo che si è adattato a condizioni di ristagno idrico, ma è presente anche su materiali sabbiosi più asciutti. In questo ecosistema forestale l'abete rosso spesso colonizza il secondo strato della ca-

nopy dove, tra le specie arbustive, quelle che si ritrovano più comunemente sono la calluna (*Calluna vulgaris*), e il mirtillo (*Vaccinium myrtillus*).

Nell'ambiente della riserva si sono potute ammirare delle piante rare (in Italia rientrano nella lista delle specie protette perché in via di estinzione): la pianta carnivora delle torbiere *Drosera rotundifolia anglica* e nelle vicinanze dei fiumi la *Matteuccia struthiopteris*.

Lineamenti pedologici

I suoli zonali di questa regione sono i suoli podzolici (Stagnic Podzoluvisols o White Podzolic Soils, e Dystric Podzoluvisols o Pale Podzolic Soils): sono tipici della Taiga meridionale in aree pianeggianti o leggermente ondulate dove i movimenti di acqua lungo il profilo sono favoriti. Condizioni locali possono portare alla formazione di altri tipi di suoli.

Ricerche condotte precedentemente nella riserva hanno evidenziato che i fattori principali della pedogenesi a scala locale sono il regime idrologico e il contenuto in carbonati del materiale parentale.

Il regime idrologico (ristagno di acqua nel profilo e flussi gravitativi laterali) è determinato dalla pendenza, dalla posizione lungo il pendio, dalla tessitura del suolo, dalla profondità del materiale morenico meno permeabile; influisce sulla pedogenesi controllando l'espressione dei caratteri di podzolizzazione, regolando la migrazione dei composti lungo il pendio o determinando la formazione di suoli idromorfi. Dove la pendenza è più accentuata si formano suoli bruni acidi (Dystric Cambisols), nelle paludi e nelle torbiere degli Histosols (Peat Soils) e sul fondovalle, in riva a fiumi e a torrenti, dei Mollic Gleysols (Sod-Gley Soils)

Il contenuto in carbonati del materiale parentale morenico è generalmente alto, anche se localmente può abbassarsi in seguito a processi di dilavamento; nel fondovalle la falda freatica sub-superficiale può trasportare verso l'alto ed accumulare i carbonati anche nei sedimenti eolici e fluvio-glaciali soprastanti al substrato morenico. In generale la presenza di carbonati inibisce o rallenta la podzolizzazione.

L'uso antropico del territorio può modificare il paesaggio e la vegetazione: negli ultimi secoli si è assistito ad un decremento demografico nei villaggi ai limiti della riserva e questo ha causato un abbandono delle aree agricole che sono state riforestate. Le precedenti pratiche agricole hanno causato un cambiamento nei profili pedologici naturali: da un lato le ara-

ture, rimescolando gli strati superficiali, hanno causato la formazione di orizzonti lavorati Ap (figura 4); dall'altro le opere di drenaggio artificiale hanno generato cambiamenti nel regime idrologico, aumentando in genere la velocità di percolazione dell'acqua. A questo riguardo il proposito attuale della gestione della riserva è quello di favorire il restaurarsi dei processi pedogenetici naturali nei suoli precedentemente disturbati dall'azione antropica.

Risultati e discussione

Il lavoro di campo è stato condotto principalmente all'interno della riserva stessa, studiando suoli in pianura o su pendii dolci. Solo l'ultima escursione è stata effettuata in un'altra regione (vicino a Toropez) per studiare una diversa catena di suoli in particolari condizioni geomorfologiche (rilievi fluvioglaciali costituiti da sedimenti sabbiosi).

Studiando le associazioni vegetali presenti nell'area e correlandole alla morfologia, si può schematizzare la situazione tramite il transetto nella figura 5. Sul pendio, dove il drenaggio è migliore, prevalgono le associazioni di foresta, mentre, dove la morfologia è pianeggiante, si possono instaurare fenomeni di ristagno idrico e quindi si può avere lo sviluppo di un ambiente di torbiera. Ad ogni associazione vegetale si può fare corrispondere un suolo tipico.

Basandosi su questa zonazione teorica si sono scelti i siti dove fare i profili al fine di confermare la presenza del suolo climax o, in caso contrario, di capire quali fossero le condizioni locali che portano alla formazione di altri tipi di suolo. Nella figura 6 è riportata schematicamente l'ubicazione dei 12 profili all'interno di un ipotetico transetto che attraversa non solo l'area della riserva, ma anche la fascia circostante (interessata dall'attività antropica) e le colline verso Toropez (su depositi fluvioglaciali sabbiosi); nello schema i rapporti altimetrici sono volutamente accentuati.

Durante le osservazioni sul campo sono stati riconosciuti tre principali processi pedogenetici: podzolizzazione, gleificazione e accumulo di materia organica; spesso questi coesistono nello stesso sito oppure uno può prevalere sull'altro in funzione del drenaggio, della forma del pendio e del tipo di materiale parentale. A questi si può sovrapporre l'attività antropica (aratura e coltivazione, con creazione di orizzonti lavorati Ap) e della fauna (ad esempio creazione di aree idromorfe da parte di castori) e i danni causati da eventi climatici intensi (come i crolli di alberi durante tempeste violente).

I primi tre profili (**P1**, **P2**, **P3**) si trovano in posizioni simili lungo il pendio, con valori analoghi di pendenza (1-2°) che garantisce i movimenti verticali e laterali dell'acqua impedendo il ristagno idrico; a prescindere da ciò l'espressione dei caratteri podzolici è molto diversa.

Il **P1** (White Podzolic Soil, figura 7), caratterizzato da tessitura sabbiosa, mostra un orizzonte eluviale E ben espresso (12 cm), marrone chiaro con struttura lamellare. I valori del pH in H₂O compresi tra 4,2 e 5,4 e del pH in KCl tra 3,4 e 4,5 rivelano l'insaturazione del complesso di scambio.

Nel **P3** (Pale Podzolic Soil) i movimenti dell'acqua all'interno del profilo sono rallentati a causa della tessitura più fine (franca); l'orizzonte E è presente ma il colore è più scuro di quello del P1 e questo testimonia un grado minore di eluviazione.

Nel **P2** i sedimenti sottostanti sono ricchi in CaCO₃ e da questo deriva l'alta concentrazione di calcio nella soluzione circolante; il pH più alto dei profili precedenti (4,9-7,5) rallenta la podzolizzazione e permette la crescita di una vegetazione più ricca rispetto al primo profilo con la formazione di una lettiera meno acida (pH 6,1). La concentrazione di calcio favorisce anche l'accumulo di materia organica e lo sviluppo di un orizzonte A spesso (8 cm) e molto ricco di lombrichi. Il processo eluviale è attivo e sono presenti due orizzonti di transizione (AE ed EB).

Il grado di espressione della podzolizzazione può essere influenzato anche da pedoturbazioni, come cadute di alberi che avvengono rimuovendo una porzione di suolo il cui spessore dipende dalla profondità e dall'estensione dell'apparato radicale. Nelle radure così formate il rinnovamento della vegetazione riparte subito con la crescita di esemplari di betulla (specie eliofila) e la successione delle diverse specie colonizzatrici può essere testimoniata anche dalle caratteristiche dei differenti orizzonti organici.

In aree pianeggianti o leggermente concave, come quelle dei profili **P4**, **P7** e **P8**, i processi principali sono il ristagno idrico ed il conseguente accumulo di torba. Lo spessore dello strato di materiale organico dipende da diversi fattori legati sia alla sua natura, sia al tasso di decomposizione, sia alla lunghezza del periodo di accumulo, sia alle condizioni climatiche e microclimatiche, sia alle eventuali situazioni di anossia o di carenza di ossigeno.

La decomposizione e la mineralizzazione possono essere rallentate dalla presenza di sfagni, i quali contengono composti allelopatici, e da un alto contenuto di CaCO₃ che favorisce la proliferazione dei lombrichi i quali decompongono rapidamente la sostanza organica e producono coproliti meno degradabili ad opera della microflora.

La presenza di acqua crea condizioni di scarsità o assenza di ossigeno e quindi l'instaurarsi di un ambiente riducente: in tali ambienti la mineralizzazione viene inibita ed il ferro e l'alluminio vengono mobilizzati ed eluviati verso gli orizzonti sottostanti dove il potenziale redox si rialza: misure effettuate presso il **P4** ed il **P5** mostrano valori superficiali attorno a 200 mV e, a 10 cm di profondità, attorno ai 400 mV.

Confrontando le caratteristiche principali di questi tre Histosol, si osserva che lo spessore dell'orizzonte torboso varia tra 30 cm (**P4**) fino a qualche metro (**P7**).

Nel **P4** la lettiera è pressochè assente in quanto viene decomposta molto rapidamente (i cicli dei nutrienti sono legati ad essa); lo sfagno invece si accumula perchè viene decomposto molto lentamente per la presenza di composti allelopatici.

Il **P7** (Fibric Histosol) si trova ai limiti della torbiera: la presenza costante di acqua inibisce la mineralizzazione della materia organica e lo spessore di torba continua a crescere.

Il **P8** (Eutric Histosol) mostra proprietà particolari: nonostante la sua posizione (su pendio molto dolce) lo strato organico è molto profondo (160 cm). Questa caratteristica sembra collegata alle caratteristiche del sito: ci troviamo nell'area golenale del fiume Meja (il cui letto attuale si trova a qualche decina di metri più ad ovest) ed i sedimenti sottostanti hanno un alto contenuto in CaCO_3 , come rivelato dalle misure del pH (7,6). Queste due caratteristiche permettono la proliferazione di lombrichi che decompongono rapidamente la sostanza organica e producono coproliti meno biodegradabili ad opera della microflora. Alla base di questi tipi di suoli si trova un orizzonte Bg con caratteri gley più o meno espressi.

In aree pianeggianti dove la saturazione idrica non è continua nel corso dell'anno e in zone meglio drenate, per esempio alla base di un pendio, la gleificazione eluviale e la podzolizzazione possono interagire generando dei suoli tipici detti suoli podzolici "bianchi" (**P5**).

Il **P6** si trova su pendio, nel punto dove la pendenza aumenta (versante convesso): questa situazione favorisce il drenaggio laterale generando un regime ossidante che costituisce una sorta di barriera biogeochimica che intrappola il ferro mobilizzato a monte; il suolo non presenta né l'orizzonte E eluviale né la differenziazione del profilo tipica dei podzol (Trofimov e Stroganova, 1991). I processi di ferritizzazione alloctoni sono testimoniati dagli alti contenuti di ferro trovati nel **P6**, sia nella forma cristallina che in quella amorfa (anche ereditato dal materiale parentale).

L'assenza dei caratteri di eluviazione ed illuviazione e la presenza di un orizzonte B1 cambico, permette la classificazione di questo suolo come un Dystric Cambisol (le proprietà distriche sono suggerite dal basso pH (4.1) nell'orizzonte A).

In aree pianeggianti proprio accanto al letto attuale al fiume Meja, si osserva un suolo (**P9**) in cui l'accumulo di torba è minore mentre prevale la componente minerale: questo è dovuto all'apporto periodico di sedimenti fluviali. Per questa ragione il suolo può essere classificato come Eutric Gleysol (le proprietà eutriche sono suggerite dal pH quasi neutro (6,3) dell'orizzonte O); secondo la tassonomia russa, questo suolo viene classificato come Dierno Gleysol.

L'effetto dell'uso del territorio sui suoli è stato studiato analizzando i profili **P10** e **P11**. Entrambi si trovano in aree che nel passato furono coltivate e soggette ad arature. La zona del **P10** è oggi destinata a prato da sfalcio e drenata ancora artificialmente mentre l'area del **P11** è stata abbandonata dall'uomo da un centinaio di anni ed ora sta ritornando ad essere coperta da una foresta naturale.

Questi due suoli si trovano su materiali parentali diversi: sedimenti franchi nel primo caso e sabbiosi nel secondo. Entrambi mostrano un orizzonte A lavorato che include tracce dell'antico E eluviale, ma solo nel **P11** si è formato un nuovo E all'interno del A, forse per la maggiore naturalità della vegetazione soprastante e per il drenaggio più rapido.

Infine, il **P12** mostra caratteri podzolici tipici, con un orizzonte E ben espresso sopra ad un Bhs "spodico". Il CBsc ha un'alta concentrazione di concrezioni di ferro ("iron pan"). L'alto contenuto di ferro illuviale nella parte bassa del profilo (Bhs e CBsc) può essere spiegato solo come la risultanza combinata dell'illuviazione verticale e laterale lungo il pendio. Il profilo si trova infatti al piede di una collina sabbiosa, giusto pochi metri sopra il livello della torbiera: per questa ragione il suolo opera da barriera biogeochimica e accumula il ferro eluviato a monte.

Classificazione

L'area è sede di studi pedologici da parecchi anni ed i suoli presenti sono stati già classificati secondo il sistema russo; l'ultima edizione è la "Soil Map of the Russian Soviet Federative Socialist Republic" (SMR) in scala 1:2.500.000 (Fridland, 1988) e si basa sull'individuazione di orizzonti genetici diagnostici. La legenda della carta ha diversi livelli tassonomici: ti-

po, sottotipo, genere o specie (individuata solo per i suoli podzolici e per i Chernozems) e i nomi spesso sono termini tradizionali e simbolici.

Per interpretare i suoli osservati durante lo stage nella Riserva è stata usata un lavoro (Stolbovoi, 2000) sulla correlazione tra la SMR (1988), la SMW (FAO,1988) e WRB (FAO,1998).

Nel caso specifico le unità che si sono ritrovate, rientrano tra i Podzoluvisols, i Cambisols, gli Histosols ed i Gleysols.

SMR, 1988	FAO, 1988	WRB, 1998
Sod-gley soils	Umbric Gleysol	Gleyc Umbrisols
Meadow-boggy	Mollic Gleysol	Histic Gleysol
Bog-mud	Eutric Gleysol	
Brownzems acid	Dystric Cambisol	Dystric Cambisol
Podzolics	Dystric Podzoluvisol	Albic Albeluvisol
Podzolics with the second bleached horizon (Pale Podzolic Soil)	Dystric Podzoluvisol	Haplic Albeluvisol
Podzolics surfacely gleyc (White Podzolic Soil)	Stagnic Podzoluvisol	Stagnic Albeluvisol
Peat soil	Histosol	Histosol
Peats boggy	Histosol	Fibric Histosol
Peats high moor	Fibric Histosol	

Si è effettuata anche una classificazione speditiva dei profili basandosi sulle indicazioni date sul campo dai docenti del corso, sulle osservazioni di campagna e i dati analitici di pH, e sul confronto tra la classificazione Russa e quella della FAO riportata nel sovracitato documento.

profilo	classificazione russa	classificazione FAO, 1988
1	White Podzolic Soil	Stagnic Podzoluvisol
2	Pale-Yellow Podzolic Soil	Dystric Podzoluvisol
3	Pale-Yellow Podzolic Soil	Dystric Podzoluvisol
4	Peat Soil	Histosol
5	White Podzolic Soil	Stagnic Podzoluvisol
6	Brown Forest Acid Soil	Dystric Cambisol
7	Peat Soil	Fibric Histosol
8	*	Eutric Histosol
9	Dierno Gleysol	Eutric Gleysol
10	*	*
11	White Podzolic Soil **	Stagnic Podzoluvisol **
12	White Podzolic Soil	Stagnic Podzoluvisol

* elementi insufficienti per consentirne la classificazione

** classificazione dubbia

Bibliografia

- MINIAEV N.A., KONECNAIA G.I. (1976). "Flora zentralno-Lesnogo gosudarstvennogo zapovednika" Izdatelstvo "Nauka" Leningrapskoge otdeleniye. Leningrad.
- SOKOLOVA T.A., TROFIMOV S.YA., TOLPESHTA I.I., DRONOVA T.YA., STROGANOVA M.N., SHOBA S.A. (1990). "Clay material in the soils of the State Central Forest Biosphere Reserve as related to its genesis and classification". Vestnik Moskovskogo Universiteta. *Pochvovedenie*, vol. 45, No 4, pp. 13-18.
- STOLBOVOI V. (2000). "Soils of Russia: Correlated with the Revised Legend of the FAO Soil Map of the World and World Reference base for Soil Resources". International Institute for Applied System Analysis, Laxenburg, Austria, pagina web: www.iiasa.ac.at
- TROFIMOV S.YA., SEDOV S.N., TSELISHCHEVA L.K., STROGANOVA M.N. (1989). "Micromorphological diagnosis of pedogenetic processes in soils of interfluves and slopes in southern taiga, subzone of european USSR (with soils of CFSBR as model)". Vestnik Moskovskogo Universiteta. *Pochvovedenie*, vol. 44, No 2, pp. 35-43.
- TROFIMOV S.YA., STROGANOVA M.N. (1991). "Trend in soil formation on drained slopes in virgin biogeocoenoses of the south taiga". Vestnik Moskovskogo Universiteta. *Pochvovedenie*, vol. 46, No 3, pp. 9-16.

Appendice A: schede dei profili

Sono state effettuate dodici osservazioni di campagna scavando profili o trivellando campioni in siti rappresentativi. In campagna i profili di suolo sono stati descritti e in alcuni casi sono stati misurati anche i potenziali ossidoriduttivi a diverse profondità; si sono anche raccolti campioni dei diversi orizzonti per misurare il valore del pH (in H₂O e in KCl) in laboratorio.

Per la descrizione dei colori si sono utilizzate le tavole cromatiche russe.

PROFILO 1

data	3 agosto 2000
ubicazione	Central Forest State Reserve
morfologia	pendenza lieve
materiale parentale	sedimenti sabbiosi eolici o fluvioglaciali giacenti su materiale morenico
drenaggio	buono negli orizzonti superiori; strato meno permeabile alla base
uso del territorio	foresta usata nel passato (fino alla seconda guerra mondiale) per approvvigionamento di legname
vegetazione	<i>Picetum oxalidosum</i> , foresta giovane di abeti; piante di età differenti. Classi di copertura: alberi: 90% (<i>Picea abies</i> , <i>Betula pendula</i>); arbusti: 20-30% (<i>Sorbus aucuparia</i> localizzato in macchie); erbe: 50% (<i>Oxalis acetosella</i>); muschi: 30%

Descrizione del profilo

	profondità	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	colore umido	descrizione
Oi	(6-4 cm)	5.2 *	3.7*	nero	aghi e foglie parzialmente decomposti; lettiera di tipo moder;
Oe	(4-0 cm)	5.2 *	3.7*	nero	aghi e foglie più decomposti;
AE	(0-2 cm)	4.2	3.4	marrone (4/7)	sabbioso; struttura granulare fine debolmente sviluppata;
E	(2-14 cm)	4.9	3.7	marrone chiaro (4/3)	sabbioso; struttura lamellare media debolmente sviluppata;
BE	(14-28 cm)	5.0	4.3	marrone ocrico scuro (4/12)	sabbioso; struttura poliedrica angolare mediamente sviluppata; presenza di screziature grigie attorno alle radici;
B1	(28-48 cm)	5.1	4.5	marrone ocrico scuro (4/12)	sabbioso; struttura poliedrica angolare fortemente sviluppata;
B2	(48-68 cm)	5.4	4.3	marrone ocrico brillante (4/8)	sabbioso; saturo in acqua;
BC	(+68 cm)	5.2	3.8	marrone-arancio (5/10)	saturo in acqua;

* diluizione 1:25

Note: il sistema radicale è presente negli orizzonti superficiali, eccetto che nell'E probabilmente per la minore concentrazione di nutrienti. Le screziature grigie sono concentrate attorno alle radici e questo testimonia l'esistenza di una gleificazione localizzata legata alla mancanza di O₂ consumato dall'attività biologica.

PROFILO 2

data	3 agosto 2000
ubicazione	Central Forest State Reserve
morfologia	pendenza lieve (1-2°)
materiale parentale	materiale morenico con alto contenuto in carbonati
uso del territorio	foresta naturale
vegetazione	foresta matura recentemente disturbata da una tempesta (ci sono molti alberi sradicati e tronchi a terra). Classi di copertura: alberi: 50% (<i>Picea abies</i> , <i>Betula pendula</i> , <i>Acer platanoides</i> , <i>Ulmus sp.</i> , <i>Populus tremula</i>); arbusti: 40% (<i>Sorbus aucuparia</i> , <i>Corylus avellana</i>); erbe: 70% (<i>Equisetum sp.</i> , <i>Hepatica nobilis</i> , <i>Stellaria sp.</i> , <i>Aconitus sp.</i>); muschi: 30%

Descrizione del profilo

	profondità	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	colore umido	descrizione
Oi	(2-0 cm)	6.1 *	4.9*	nero	
A	(0-8 cm)	4.9	3.7	marrone-rossastro molto scuro (5/14)	franco; struttura granulare fine;
AE	(8-16 cm)	5.5	4.1	marrone (4/7)	franco; struttura granulare fine mediamente espressa; presenza di frammenti di carbone;
EB	(16-35 cm)	5.5	4.2		sabbioso-argilloso; struttura poliedrica subangolare;
Bt	(35-90 cm)	7.5	6.3	marrone-ocraceo (4/10)	(trivellato)
Bg	(+90 cm)	7.5	7.3	marrone-ocraceo (4/10)	presenza di screziature grigie e rosse e di piccoli accumuli di Fe e Mn; (trivellato)

* diluizione 1:25

Note: l'umidità aumenta con la profondità e a 35 cm si incontra la falda. La presenza di specie erbacee calciofile (*Hepatica nobilis*) indica alte concentrazioni di Ca che possono essere spiegate con la presenza di carbonati nel materiale parentale. I valori del pH sono in accordo con questa osservazione. L'intensa attività biologica è confermata dalla presenza di numerosi lombrichi. La differenza tra pH in H₂O e pH in KCl nel Bt può essere dovuta alla presenza di argilla illuviale

PROFILO 3

data	4 agosto 2000
ubicazione	Central Forest State Reserve
morfologia	pendenza lieve (1-2°)
materiale parentale	sedimenti limosi su materiale morenico
uso del territorio	foresta naturale
vegetazione	foresta matura (Picea abies, Betula pendula, Sorbus aucuparia, Vaccinium myrtillus, Oxalis acetosella, Dryopteris sp.)

Descrizione del profilo

	profondità	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	colore umido	descrizione
Oi	(4-2 cm)	4.9*	4.2*	nero	lettiera costituita prevalentemente da foglie di betulla e aghi di abete;
Oe	(2-0 cm)			nero	lettiera costituita prevalentemente da foglie di betulla e aghi di abete;
A	(0-4 cm)	4.0	3.4	marrone-rossastro molto scuro (5/14)	franco; struttura granulare media; presenza di mycelium nella parte superiore;
E	(4-25 cm)	4.5	3.7	marrone(4/7)	franco-sabbioso; presenza di uno strato di pietre (ciottoli angolari di granito) in mezzo all'orizzonte;
EB	(25-40 cm)	4.8	4.4	marrone chiaro (4/5)	franco-sabbioso; falda a 35 cm;
Bg	(40-68 cm)	5.7	3.8	marrone-arancione scuro (5/12)	ricco in argilla, prevalentemente ereditata;

* diluizione 1:25

Note: l'orizzonte podzolico è "pallido" a causa del drenaggio non molto buono, alla lettiera meno acida (foglie di betulla), al turnover biologico più rapido e alla frequente caduta di alberi

PROFILO 4

data	5 agosto 2000
ubicazione	Central Forest State Reserve
morfologia	pianura
materiale parentale	materiale morenico
drenaggio	lento
uso del territorio	foresta naturale
vegetazione	foresta matura (<i>Picea abies</i>). Classi di copertura: alberi: 80% (<i>Picea abies</i>); arbusti: 70% (<i>Sorbus aucuparia</i> , <i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>Vaccinium uliginosum</i>); erbe: 10% (<i>Oxalis acetosella</i> , <i>Linnaea borealis</i> , <i>Equisetum sp.</i>); muschi: 100% (<i>Sphagnum fuscum</i> , <i>Politricum sp.</i>)

Descrizione del profilo

	profondità	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	colore umido	descrizione
Oi1	(0-7 cm)	4.4	3.0	marrone-ocraceo scuro (4/12)	
Oi2	(7-14 cm)	4.4	3.0	marrone intenso (4/14)	
Oi3	(14-23 cm)	4.1	3.1	marrone intenso (4/14)	
Oi4	(23-30 cm)	4.1	3.2	marrone intenso (4/14)	
Bg1	(30-50 cm)	5.1	3.9	marrone-ocraceo (4/10)	molto compatto; ricco in argilla; abbastanza asciutto;
Bg2	(+50 cm)				presenza di screziature rosse; molto compatto: trivellato fino a 60 cm di profondità.

Note:

In questo profilo sono stati misurati i potenziali redox a diverse profondità (a 10°C): 10 cm - 200 mV; 15 cm - 400 mV; falda - 30 mV.

Il potenziale più basso a 10 cm è dovuto all'attività microbica maggiore.

Nella lettiera non ci sono tracce di aghi di abete: il tasso di mineralizzazione di foglie ed aghi è da 100 a 1000 volte più veloce che nello strato di sfagni (dove sono presenti composti allelopatici).

Lo spessore dell'orizzonte di torba deriva da un accumulo che dura da 200-300 anni; il livello dell'acqua è alto (5 cm sotto il piano campagna) ma la scorsa primavera è stata molto secca; come risultato di ciò l'orizzonte Bg mostra solo deboli segni di gleificazione (screziature rosse).

PROFILO 5

data	5 agosto 2000
ubicazione	Central Forest State Reserve
morfologia	pendenza molto lieve vicino alla sommità del rilievo
materiale parentale	deposito morenico
uso del territorio	foresta naturale
vegetazione	foresta matura, come nel profilo 4, ma con specie adattate a condizioni di drenaggio più favorevoli (<i>Populus tremula</i>). Classi di copertura: alberi: 80% (<i>Picea abies</i> , <i>Populus tremula</i>); arbusti: 70% (<i>Sorbus aucuparia</i> , <i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>Vaccinium uliginosus</i>); erbe: 10% (<i>Oxalis acetosella</i> , <i>Linnaea borealis</i> , <i>Equisetum sp.</i>); muschi: 100% (<i>Sphagnum fuscum</i> , <i>Politricum sp.</i>)

Descrizione del profilo

	profondità	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	colore umido	descrizione
T	(0-8 cm)	4.1	3.1	nero	
E	(8-20 cm)	4.6	3.7	grigio-giallo (3/6)	franco-limoso; struttura lamellare dovuta a congelamento stagionale; incrostazioni laminari contenenti humus che rivestono le pareti delle fessure principali prodotte dalle oscillazioni laterali degli apparati radicali;
Eg	(20-55 cm)	4.9	4.4	marrone brillante (3/8)	franco-limoso; struttura lamellare;
EB	(55-60 cm)			marrone brillante (3/8)	
Bg	(+60 cm)	5.2	3.8	marrone-ocraceo brillante (4/6)	

Note:

Il potenziale redox è stato misurato a diverse profondità: 5 cm - 470 mV; 10 cm - 492 mV.

E' più alto che nel profilo precedente per le condizioni ambientali più aerobiche (in accordo con il migliore drenaggio).

L'orizzonte E può essere diviso in due sub-orizzonti che hanno contenuto in argilla simile ma colori molto diversi, spiegabile con il differente contenuto in ferro.

PROFILO 6

data	5 agosto 2000
ubicazione	Central Forest State Reserve
morfologia	superficie convessa, pendenza locale 5-10° (lunghezza totale del pendio circa 10 m)
materiale parentale	sedimenti sabbiosi su materiale morenico
uso del territorio	foresta naturale
vegetazione	foresta matura (<i>Picetum nemorosum</i>). Classi di copertura: alberi: 90% (<i>Picea abies</i> , <i>Acer platanoides</i>); arbusti: 5% (<i>Sorbus aucuparia</i> , <i>Rubus idaeus</i>); erbe: 10% (<i>Oxalis acetosella</i>); muschi: 40%

Descrizione del profilo

	profondità	pH (H ₂ O)	colore umido	descrizione
Oi	(2-0 cm)	3.9*	marrone intenso (4/14)	sottile lettiera con frammenti di carbone;
Oa	(0-2 cm)		marrone intenso (4/14)	sottile lettiera con frammenti di carbone;
A	(2-10 cm)	4.1	marrone (4/7)	franco-limoso; struttura granulare; limite ondulato; caratteri locali di eluviazione (lingue pallide);
B1	(10-23 cm)	4.8	marrone-ocraceo (4/10)	struttura poliedrica subangolare; molto umido;
B2	(23-55 cm)	5.3	marrone-arancio (5/10)	struttura poliedrica subangolare; saturazione idrica;
BCg	(55-80 cm)	6.0	marrone-ocraceo brillante (4/6)	franco-sabbioso; argillans marrone-rossastre sulle superfici dei pori; screziature rossastre di ferro;

* diluizione 1:25

Note:

I limiti tra gli orizzonti sono in genere graduali.

Il contenuto di sabbia aumenta con la profondità; il drenaggio è buono.

La differenza del colore tra B1 e B2 può essere spiegata dalle diverse forme di ferro: amorfo nella parte superiore e cristallino sotto. L'alto contenuto in ferro deriva dalla trasformazione in situ e dalla illuviazione alloctona; nell'orizzonte sottostante assume la forma cristallina per l'alterazione e il turnover biologico meno intensi.

PROFILO 7

data	6 agosto 2000
ubicazione	Central Forest State Reserve
morfologia	torbiera pianeggiante
materiale parentale	deposito morenico
uso del territorio	torbiera oligotrofica naturale
vegetazione	torba (<i>Sphagnum fuscum</i>)

Descrizione del profilo

	profondità	pH (H ₂ O)	colore umido	descrizione
Oi	(0-180 cm)	4.4		sfagni
Bg	(+180 cm)	5.0	grigio-marrone (4/11)	caratteri gley

Questa zona umida copre una superficie di circa 4 km² ed esiste da circa 3000 anni; la specie vegetale più diffusa è lo *Sphagnum fuscum* che copre praticamente tutta la superficie, in associazione con altre specie (*Carex sp.*, *Caltha palustris*, *Drosera rotundifolia*, *Drosera anglica*, *Andromeda polifolia*); queste specie si sono adattate ad acque acide (pH misurato = 4,1). Lo spessore dello sfagno morto (torba) aumenta dai confini verso il centro della torbiera, ma non regolarmente perché la superficie sottostante ha una morfologia irregolare. Il livello dell'acqua è aumentato negli ultimi anni provocando la morte di molti esemplari di *Pinus silvestris* che comunque è ancora presente ai confini dove le condizioni di drenaggio sono più favorevoli. Spestandosi verso il centro si ritrovano solo esemplari giovani che possono sopravvivere per il loro apparato radicale superficiale. Effettuando delle trivellate ai confini della torbiera, dove lo strato di sfagni è meno spesso, si è ritrovato lo strato minerale a 180 cm di profondità

PROFILO 8

data	7 agosto 2000
ubicazione	Central Forest State Reserve, sulla sponda sinistra del fiume Meja, vicino al villaggio
morfologia	pendenza molto lieve
materiale parentale	deposito morenico calcareo
uso del territorio	foresta naturale
vegetazione	foresta matura (Picetum fontile) con vegetazione nitrofila (<i>Urtica sp.</i> , <i>Ulmus sp.</i>). Classi di copertura: alberi: 30% (<i>Picea abies</i> , <i>Ulmus glabra</i> , <i>Betula pendula</i>); arbusti: 30% (<i>Sorbus aucuparia</i> , <i>Rubus idaeus</i> , <i>Cornus sanguinea</i>); erbe: 70% (<i>Oxalis acetosella</i> , <i>Urtica dioica</i> , <i>Veronica sp.</i> , <i>Dryopteris sp.</i> , <i>Solanum dulcamara</i> .); muschi: 95% (<i>Politricum sp.</i>)

Descrizione del profilo

	profondità	pH (H ₂ O)	colore umido	descrizione
Oi	(2-0 cm)	6.6*		lettiera costituita da radici e muschi
Oe	(0-160 cm)	7.4 (10 cm) 6.8 (160 cm)		strato costituito da torba pressoché indecomposta senza materiale minerale; concentrazione elevata di lombrichi (150/m ² nei primi 10 cm); falda a 20 cm;
Bg	(+160 cm)	7.6	grigio molto scuro (4/13)	

* diluizione 1:25

Note:

La lettiera è molto sottile perché la sostanza organica viene decomposta molto rapidamente (5-10 volte più velocemente che in altri suoli). I lombrichi sminuzzano la sostanza organica, producendo una decomposizione solo parziale; queste particelle più fini sono abbastanza stabili, in relazione all'attività microbica. In questo modo il materiale organico viene accumulato: lo spessore attuale è il risultato di un accumulo che dura da circa 8000 anni (misure effettuate con ¹⁴C)

PROFILO 9

data	7 agosto 2000
ubicazione	Central Forest State Reserve, sulla sponda sinistra del Meja, a circa 150 cm dall'acqua del fiume
morfologia	deposito morenico calcareo
uso del territorio	foresta naturale
vegetazione	specie ripariali. Classi di copertura: alberi: 1%; arbusti: 5% (<i>Alnus glutinosa</i> , <i>Frangula alnus</i> , <i>Viburnum opulus.</i>); erbe: 100% (<i>Urtica dioica</i> , <i>Phragmites australis</i> , <i>Filipendula ulmaria</i>)

Descrizione del profilo

	profondità	pH (H ₂ O)	colore umido	descrizione
Oi	(0-120 cm)	6.3 (10 cm) 6.7 (120 cm)	marrone molto scuro	alta concentrazione di radici (nei primi 15 cm); falda a 20 cm;
Bg1	(120-170 cm)			caratteri gley; ramoscelli pressoché indecomposti;
Bg2	(+170 cm)	6.6	marrone-nero (4/15)	

Note:

Questo suolo è influenzato da alluvioni periodiche che apportano sedimenti minerali

PROFILO 10

data	8 agosto 2000
ubicazione	fascia esterna alla Central Forest State Reserve
morfologia	pendenza lieve
materiale parentale	deposito morenico
uso del territorio	area precedentemente coltivata (fino a 60 anni fa) e oggi usata come prato da sfalcio
vegetazione	Prato umido. Classi di copertura: alberi e arbusti: 0%; erbe: 100% (<i>Plantago sp.</i> , <i>Trifolium pratensis</i> , <i>Achillea millefolium</i> , <i>Phleum pratensis</i> , <i>Poa sp.</i> , <i>Leontodon sp.</i> , <i>Matricaria matricarioides</i> , <i>Centaurea sp.</i>)

Descrizione del profilo

	profondità	pH (H ₂ O)	colore umido	descrizione
Ap	(0-27 cm)	6.7	marrone giallastro (3/10)	franco; struttura granulare; limite molto netto; lo spessore è dovuto all'aratura profonda effettuata con aratri a cavallo e all'apporto di materiale durante la costruzione della strada;
E	(27-33 cm)	6.6	giallo scuro (3/9)	franco-limoso; struttura poliedrica angolare; la parte superiore è stata disturbata frequentemente da arature;
Ebg	(33-60 cm)	6.4	marrone brillante (3/8)	franco-limoso; argillans;
Bg	(60-76 cm)	5.8	marrone-ocraceo brillante (4/6)	franco-argilloso; struttura poliedrica angolare; molto scheletro; concrezioni di ferro;

Note:

Il profilo è stato osservato lungo una scarpata stradale, in un canale di drenaggio

PROFILO 11

data	8 agosto 2000
ubicazione	Bubonnizy
morfologia	pianeggiante, alla sommità di una collina, vicino all'inizio del versante
materiale parentale	sedimenti fluvio-glaciali sabbiosi
uso del territorio	foresta naturale su area precedentemente coltivata
vegetazione	foresta matura a <i>Pinus silvestris</i> ; quest'area è stata coltivata fino a 100 anni fa; in seguito è stata abbandonata e ricolonizzata da specie naturali (betulla e pino). Sotto agli esemplari maturi di pino crescono molte betulle. Classi di copertura: alberi: 30% (<i>Betula pendula</i> , <i>Pinus silvestris</i> , <i>Picea abies</i> , <i>Quercus robur</i>); arbusti: 20% (<i>Sorbus aucuparia</i> , <i>Vaccinium vitis-idaea</i> , <i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>Juniperus communis</i> , <i>Calluna vulgaris</i>); erbe: 40% (<i>Pteridium aquilinum</i> , <i>Convallaria majalis</i>); muschi: 100%

Descrizione del profilo

	profondità	pH (H ₂ O)	colore umido	descrizione
Oi	(2-0 cm)	3.9*		lettiera con aghi di pino e foglie di betulla, ramoscelli, frammenti di corteccia e muschi;
E	(0-2 cm)	4.8	marrone (4/7)	sabbioso; discontinuo; orizzonte eluviato; molte ife fungine;
A	(2-11 cm)	5.4	marrone-rossastro scuro (5/13)	sabbioso; struttura granulare debole; l'utilizzo antico ha generato colori disomogenei;
Bs	(11-35 cm)	5.7	marrone-arancio scuro (5/6)	sabbioso; struttura poliedrica subangolare debole; molto scheletro;
BC	(35-66 cm)	6.2	marrone-ocraceo (4/10)	sabbia grossolana; struttura incoerente (granuli singoli);
C1	(66-82 cm)			sabbioso; struttura poliedrica angolare; umido;
C2	(+82 cm)			franco-limoso; molto scheletro; screziature arancio-rossastre;

*: diluizione 1:25

Note: L'aratura passata ha miscelato l'orizzonte umico e quello eluviale generando un orizzonte lavorato Ap; il cambiamento di utilizzo e la presenza di una foresta di conifere ha causato il re-inizio dei processi di podzolizzazione e lo sviluppo di un nuovo E biancastro sotto l'Ap

PROFILO 12

data	8 agosto 2000
ubicazione	Bubonnizy
morfologia	pendio (10°), al piede del versante
materiale parentale	sedimenti fluvio-glaciali sabbiosi
uso del territorio	foresta naturale
vegetazione	foresta matura a <i>Pinus silvestris</i> . Classi di copertura: alberi: 70% (<i>Pinus silvestris</i> , <i>Picea abies</i> , <i>Alnus glutinosa</i>); arbusti: 30% (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> , <i>Vaccinium myrtillus</i>); erbe: 10% (<i>Pteridium aquilinum</i> , <i>Convallaria majalis</i> .); muschi: 100% (<i>Politricum sp.</i>)

Descrizione del profilo

	profondità	pH (H ₂ O)	colore umido	descrizione
Oi	(10-0 cm)	3.9*		muschi e aghi;
Oa	(0-2 cm)			materiale organico prevalentemente decomposto;
AE	(2-6 cm)	4.5	grigio-marrone (4/11)	sabbioso; struttura poliedrica subangolare; molte radici (diametro fino a 2 cm);
E	(6-16 cm)	4.7	marrone scuro (4/9)	sabbioso; struttura poliedrica angolare;
EBh	(16-26 cm)	4.7	grigio-marrone (4/11)	sabbioso; struttura poliedrica angolare; scheletro fine;
Bhs	(26-40 cm)	5.1	marrone-rossastro molto scuro (6/12)	sabbioso; struttura poliedrica subangolare meno espressa del EBh; umido; limite graduale;
CBsc	(+40 cm)	5.3	marrone-rossastro molto scuro (6/12)	iron pan; molte concrezioni di ferro; più duro dell'orizzonte soprastante

*: diluizione 1:25

Note: l'accumulo di ferro nell'hard pan è dovuto principalmente alla migrazione da monte del pendio con trasporti di runoff laterale e deposizione alla fine del pendio per processi biogeochimici

Appendice B: figure

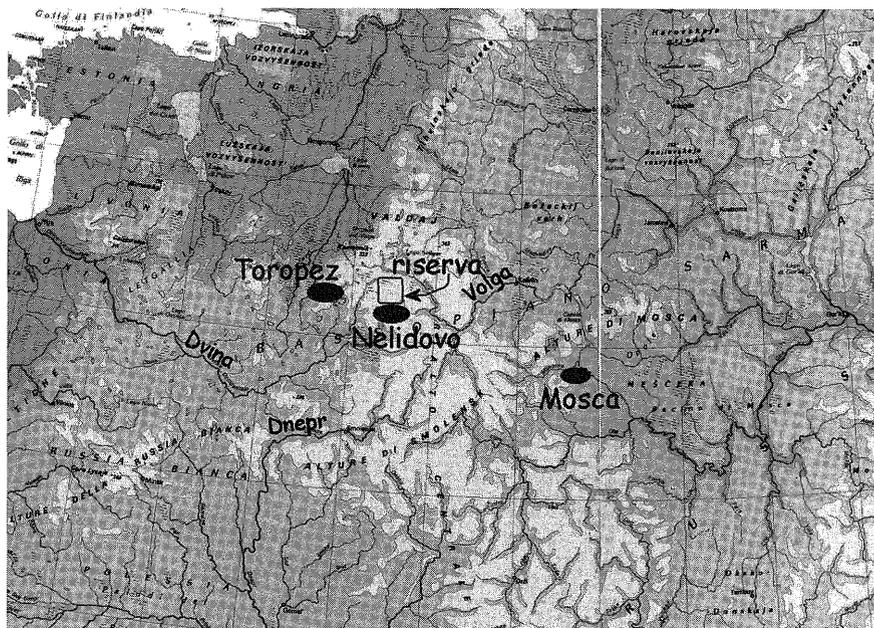


Figura 1. Localizzazione dell'area di studio



Figura 2. Panoramica della parte centrale della torbiera



Figura 4. Profilo 11 con orizzonte superficiale Ap

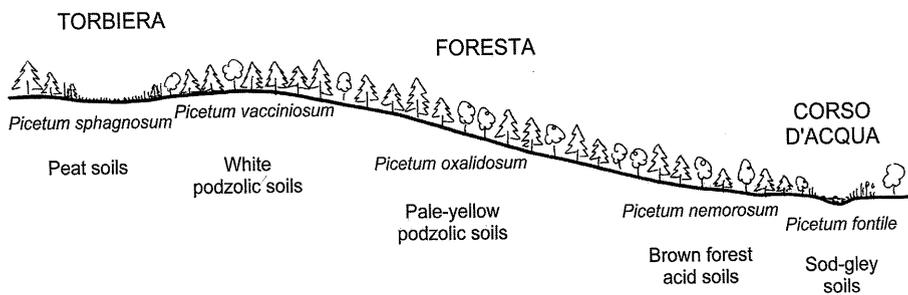


Figura 5. Relazione tra morfologia e associazioni vegetali

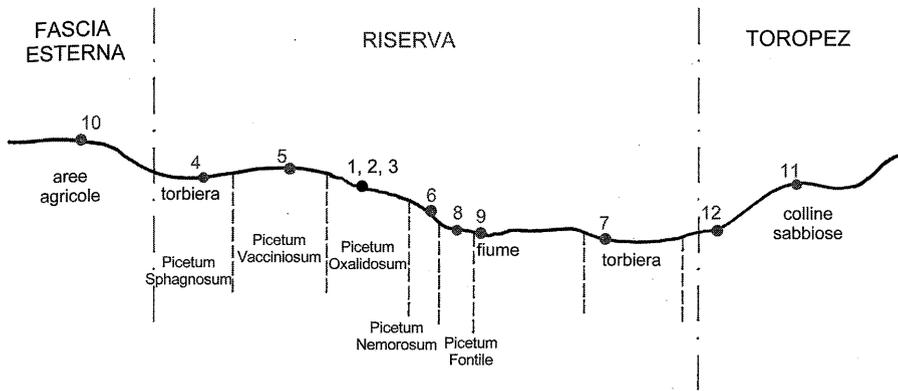
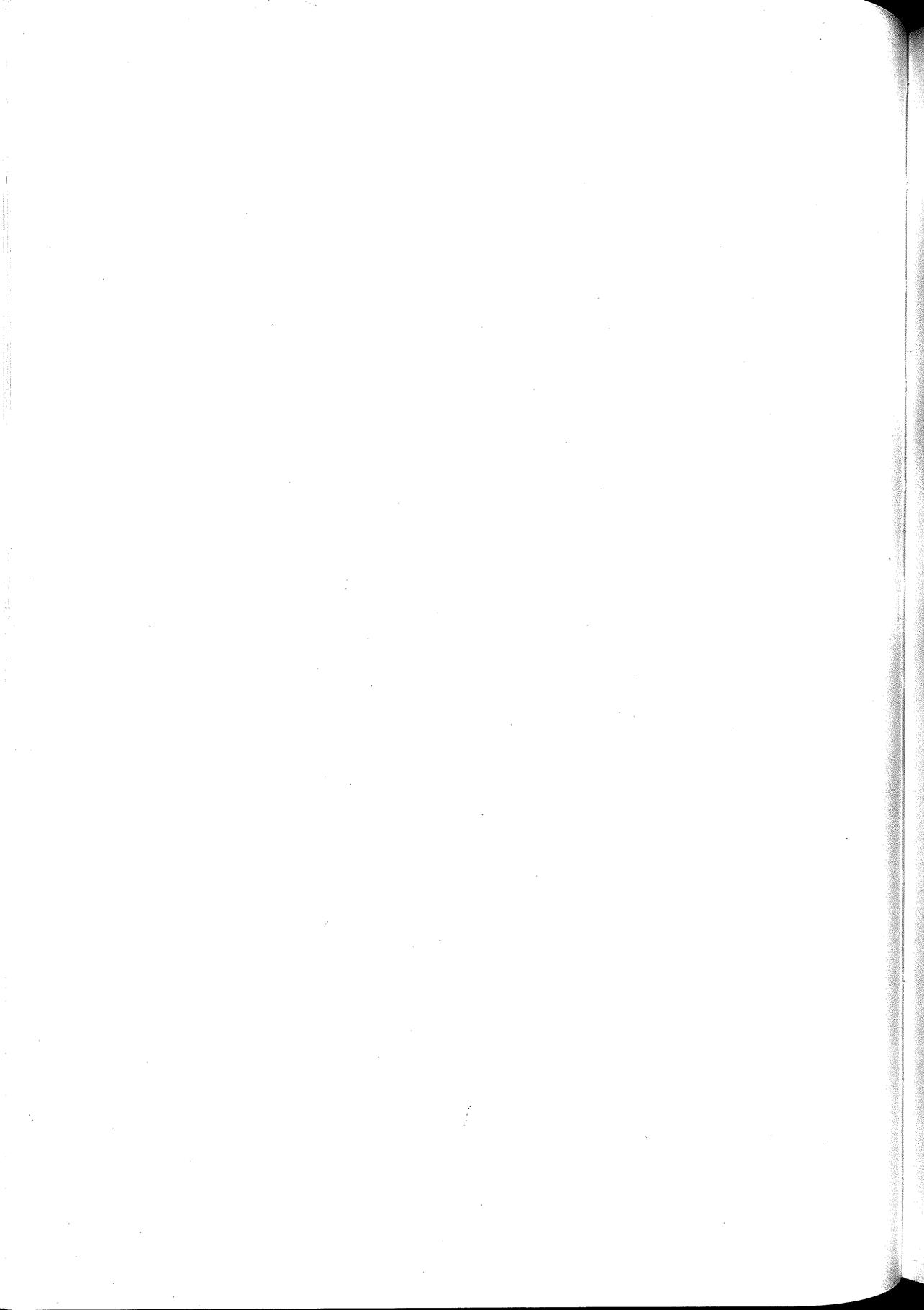


Figura 6. Ubicazione dei profili in relazione alla morfologia



L'INSERIMENTO DELLA CARTA DEI SUOLI DELLA SARDEGNA NELL'EUROPEAN SOIL DATA BASE.

PRIMI RISULTATI

P. Baldaccini, S. Madrau, M.A. De Roma

Dipartimento di Ingegneria del Territorio - Università degli Studi di Sassari - Facoltà di Agraria
Via De Nicola - 07100 Sassari

Riassunto

Gli autori hanno realizzato, nell'ambito del progetto per la Carta Ecopedologica d'Italia, una carta dei suoli della Sardegna alla scala 1:250.000 sulla base del Manuale delle Procedure per il Database Georeferenziate dei suoli europei.

La carta è articolata in Soil Region, Soil subRegion, differenziate sulla base di caratteristiche geologiche, morfologiche e climatiche. Ciascuna Soil Region o Soil subRegion è a sua volta articolata in più Soil Scapes.

Per ciascuna Soil Region, subRegion e Soil Scapes è stata realizzata, sulla base del Manuale delle Procedure, una scheda in formato XLS inseribile nel database pedologico.

Nell'isola sono state riconosciute 7 tra Soil Region e subRegion e 285 Soil Scapes di cui 62 descritti da 1 o più Soil Bodies.

La Carta, in formato MAPINFO e le schede compilate rappresentano solo la fase di implementazione del database pedologico in quanto si prevede in futuro di descrivere, tramite l'acquisizione di ulteriori Soil Bodies tutti i Soil Scapes riconosciuti in Sardegna.

Premessa

La conoscenza del suolo ai fini di una corretta programmazione del territorio sta assumendo un ruolo sempre più fondamentale.

Le attuali politiche comunitarie sottolineano infatti come ai fini di uno sviluppo rurale sostenibile siano necessarie delle raccolte comuni di informazioni georeferenziate sull'ambiente europeo.

Parole chiave: carta pedologica, Europa, Sardegna

Tra quelle di cui maggiormente si è sentita la necessità è un data base pedologico.

I pedologi europei lavorano alla standardizzazione delle metodologie cartografiche e di classificazione dei suoli fin dal 1952, quando fu posto come obiettivo la realizzazione di una carta dei suoli europea prima, della Comunità successivamente.

La Commissione Europea ha da sempre sostenuto questo obiettivo di standardizzazione avviando programmi, per esempio il MARS (*Monitoring Agriculture by Remote Sensing*) del 1987, dove le informazioni pedologiche armonizzate erano fondamentali per la modellizzazione agrometeorologica delle principali colture agrarie.

I diversi programmi della Commissione hanno evidenziato la carenza di dati armonizzati tra i paesi membri, ponendo quindi la necessità di incrementare questo primo data base pedologico.

Nel 1993 gli organi della Commissione hanno indicato il 250.000 quale scala ottimale, ai fini di un collegamento efficace tra i dati del data base della Carta pedologica europea alla scala 1:1.000.000 e quelli degli studi locali a grande scala.

La Commissione ha posto come obiettivo finale la realizzazione dell'EUSIS (*European Soil Information System*), data base pedologico geografico, in grado di permettere sia l'integrazione tra i tre livelli di dettaglio cartografico proposti¹ in modo da fornire *valide informazioni generali a piccola scala, sia di comparare con un alto grado di precisione l'evoluzione dei suoli in ogni parte d'Europa* (ESB., 1999)².

Il raggiungimento di questo obiettivo è stato affidato nel 1996 all'*European Soil Bureau* (ESB).

Gli obiettivi dell'ESB

Obiettivo dell' ESB è la realizzazione di un data base georeferenziato dei suoli europei in grado di armonizzare le informazioni pedologiche ottenibili dalle cartografie attualmente disponibili, con la *necessità di fornire i parametri pedologici necessari, combinati con i dati morfologici, climatici, di vegetazione, litologici, con un dettaglio che sia adatto per la pianificazione regionale e con modalità che assicurino compatibilità e comparabilità delle serie di dati di differenti istituzioni nazionali o regionali* (ESB - Manuale delle Procedure, vedere nota n. 2).

Per raggiungere questo obiettivo l'ESB ha pubblicato il già citato *Manuale delle Procedure* che è finalizzato alla redazione di una struttura computerizzata che renda possibile l'archiviazione di una grande mole di dati pedologici, in modo da permettere il superamento dei rilevamenti tradizionali che hanno nella fase di rappresentazione sulla carta, che comporta la semplificazione delle informazioni, il principale limite.

La scala del data base è il 250.000, ritenuto ottimale per fornire un livello informativo valido a livello regionale. La carta dei suoli della Sardegna di Aru *et al.*, (1992) e della Sicilia di Fierotti *et al.*, (1988), benché realizzate con la cartografia tradizionale rappresentano per l'Italia due validi esempi di questo dettaglio.

Il punto centrale del data base delineato dal Manuale è il *Soil Body*, inteso come il risultato di una serie di fattori: clima, substrato, morfologia, vegetazione. Sono i soil bodies a costituire la chiave del data base. È dalle informazioni ottenute dai soil bodies che deriveranno quelle relative sia alla loro definizione (classificazione), sia delle loro possibilità di uso.

Il Manuale definisce il soil body come una *specifica porzione della copertura pedologica che ha caratteri diagnostici risultanti da processi pedogenetici similari*. I criteri diagnostici sono quelli definiti dal World Reference Base for Soil Resources (WRB)³.

Per garantire una visione ottimale della distribuzione nel territorio dei diversi soil bodies il Manuale introduce due nuovi oggetti: la *Soil Region* e il *Soilscape*.

Il soilscape è lo strato informativo che deve essere utilizzato per individuare e delimitare quelle situazioni areali dove ci sono elevate probabilità di incontrare (o dove è possibile ipotizzarne la presenza), uno o più soil bodies.

Le caratteristiche morfologiche, quali ad esempio la classe di pendenza, la lunghezza dei versanti, ecc., rappresentano gli attributi principali di un soilscape e ne permettono la delimitazione. Altri attributi utilizzabili a questo fine sono di natura geologica, ad esempio il substrato, o si riferiscono all'uso del suolo.

La Soil Region rappresenta, secondo il Manuale, una ampia *area omogenea, per fattori geologici, geomorfologica e climatici, responsabili delle differenziazioni pedologiche*. Le caratteristiche fondamentali per la definizione e delimitazione delle Soil Region sono pertanto rappresentate dal clima e dalle associazioni di materiali parentali.

Nel Manuale, appendice 9, è riportato un primo elenco di 173 Soil Regions.

L'inserimento della Carta dei suoli della Sardegna nel data base europeo

La Sardegna è una delle regioni italiane relativamente più studiate dal punto di vista pedologico. La bibliografia regionale sull'argomento, sia sulla genesi dei suoli che sulla loro cartografia e possibilità d'uso, copre un arco temporale di oltre 40 anni.

Tra i lavori di rilevamento a carattere regionale si ricorda la Carta dei suoli al 250.000 del 1967, quella dei suoli delle aree irrigabili al 100.000 del 1986 e la già citata carta pedologica al 250.000 del 1992. Tutti questi lavori sono stati pubblicati da Aru e collaboratori.

La disponibilità di una carta pedologica regionale recente ad una scala identica a quella del database europeo, basata sul riconoscimento nel territorio di unità di paesaggio o fisiografiche, quindi con un ottica molto simile a quella del Manuale, ha rappresentato un innegabile vantaggio rispetto alle analoghe attività che altri gruppi stanno conducendo nelle diverse regioni italiane.

Benché nella descrizione delle attività si segua un ordine inverso, nella realizzazione del data base la grande quantità di dati cartografici e analitici disponibili, ha permesso di descrivere possibili soil bodies presenti nel territorio regionale. Sulla base di questi sono stati individuate dapprima le possibili soilscapes e successivamente le Soil Regions (metodologia di tipo ascendente).

a. Le Soil Regions

Il Manuale sottolinea come la differenziazione tra le Soil Regions deve basarsi esclusivamente su caratteristiche geologiche, morfologiche e climatiche in grado di esercitare una significativa influenza nella genesi e differenziazione dei suoli.

Il Manuale nelle sue diverse versioni propone degli elenchi di Soil Regions in funzione dei tipi pedologici, dei materiali parentali e delle condizioni climatiche dominanti. Quelle possibili per la Sardegna ricadono, ovviamente, nel gruppo delle Soil Regions con clima mediterraneo.

Non essendo nelle intenzioni degli autori di questi elenchi l'obiettivo di fornire un quadro completo e definitivo delle Soil Regions pre-

senti in Europa, vi è la possibilità, di inserire nuove definizioni. Poiché il Manuale raccomanda di evitare la proliferazione delle Soil Regions, si è reso necessario introdurre un nuovo oggetto, la *Soil sub Region* per meglio definire quelle situazioni che per condizioni morfologiche, di substrato o di clima, possono presentare delle differenze significative, ma comunque non fondamentali, rispetto alla Soil Region definita nel Manuale.

La complessità geologica e morfologica del territorio regionale ha imposto la individuazione di 7 Soil Regions, di cui quattro non previste nel Manuale e 1 Soil subRegions.

L'elenco delle Soil Regions della Sardegna è riportato nella tabella 1.

Tabella 1. Soil Region e Soil subRegion della Sardegna

Codice	Soil Region o Soil subRegion	Substrato
59.2	Cambisols and Leptosols Regions of Sardinia and Corsica	formazioni intrusive paleozoiche acide
59.8	Cambisols and Leptosols Regions of Sardinia	formazioni effusive acide
60.2	Cambisols and Leptosols Regions of Sardinia	formazioni sedimentarie cenozoiche
64.4 *	Fluvisols and Cambisols Regions of Sardinia	formazioni alluvionali e colluviali recenti; depositi eolici recenti
66.4a	Leptosols and Cambisols Regions of Sardinia	formazioni effusive basiche (basalti)
67.8	Cambisols and Leptosols Regions of Sardinia	formazioni metamorfiche paleozoiche non calcaree
70.2	Luvvisols, Cambisols, Gleysols and Fluvisols Regions of Sardinia	formazioni alluvionali, lacustri ed eoliche antiche
71.2	Luvvisols and Leptosols Regions of Sardinia	formazioni sedimentarie paleozoiche mesozoiche

* Nella redazione delle carte e dei data base i depositi eolici recenti sono stati considerati come una Soil subRegion

Per la descrizione delle Soil Regions il Manuale prevede l'utilizzo di un data base.

I campi previsti sono 19 di cui 14 per la descrizione degli aspetti geologici, climatici, morfologici, ecc., per le geometrie: area, perimetro, ecc.⁴

Attualmente lo schema di introduzione dei dati, non è ancora definitivo, per cui si è deciso di riportare i dati in nostro possesso in una scheda in formato XLS (Excel), leggibile dalla quasi totalità dei programmi di data base.

Nella figura 1 è riportata la scheda relativa alla Soil Region 59.2.

SOIL REGION TABLE	
Soil region	59.2
code	59.11.43
sr_nome	Cambisols and Leptosols Regions of Sardinia and Corsica
sr_pmas	acid to intermediate plutonic rocks: granite, granodiorite, diorite and non calcareous metamorphic rocks: phyllite, quartzite; acid to intermediate volcanic rocks: rhyolite, andesite,
sr_matlo	10,6
sr_mathi	19,6
sr_maplo	390
sr_maphi	1495
sr_hipre	Nov - Feb
sr_droug	Jun - Sept
sr_lowt	-----
sr_altmin	0
sr_althi	1792
sr_mlf	level land to steep land (composite landforms)
Soils	Epileptic Leptosols, Endoleptic Leptosols, Eutric Leptosols, Dystric Leptosols, Eutric Cambisols, Dystric Cambisols, Leptic Umbrisols, Eutric Fluvisols, Haplic Luvisols
SOIL REGION GEOMETRIC TABLE - dati non applicabili in quanto costituita da 101 poligoni distinti	
Soil Region area : 6534,905 Km ^q	

Figura 1.

b. Soilscares

Per la individuazione e delimitazione delle Soilscares sono fondamentali, secondo il Manuale, le caratteristiche geologiche, morfologiche e di uso del suolo.

I soilscares devono avere una superficie minima di 6 km^q e possono essere costituiti da uno o più poligoni. Questi sono delle porzioni di territorio di almeno 1,5 km^q e dal punto di vista grafico devono presentare una distanza minima in carta tra due archi di almeno un millimetro.

Nei paragrafi 7.3.4 e 7.4.1 sono indicati e descritti i 31 campi (5 non obbligatori) che costituiscono l'insieme descrittivo delle soilscares stesse.

I campi sono organizzati in cinque gruppi riferiti a:

1. caratteristiche generali del soilscares – 11 campi,
2. fisiografia del soilscares – 7 campi,
3. copertura del suolo nel soilscares – 2 campi,
4. materiali parentali nel soilscares – 6 campi,
5. geometria del soilscares – 5 campi.

La sovrapposizione delle carte geologiche e topografiche ha permesso la delineazione di 736 poligoni a cui devono aggiungersi 14 poligoni relativi alle principali aree urbane ed industriali e 40 poligoni relativi agli invasi naturali e artificiali e alle principali aree umide costiere. Ciascun poligono è contraddistinto da un valore chiave esempio, 59.2SS45 costituito da il codice della Soil Region di appartenenza più un numero progressivo.

Nella tabella 2 successiva sono riepilogati, per ciascuna Soil Region o Soil subRegion i poligoni individuati.

Tabella 2. Poligoni, soilscapes e loro superfici

Soil Region	Poligoni	Soilscapes	Superficie in Km²
59.2	101	40	6534,905
59.8	79	28	2723,939
60.2	85	35	2359,015
64.4	116	46	1468,575
66.4a	37	17	1608,437
67.8	139	50	4608,393
70.2	107	44	2712,191
71.2	72	25	1828,576
TOTALE	736	285	23844,031
Aree urbane e industriali	14		66,384
Aree umide costiere ed invasi	40		193,987
Superficie totale			24.104,402 *

* Questa cifra è superiore a quella ufficiale dell'isola: 24.090 Km². In termini percentuali è pari ad un errore del 0,597% dovuto esclusivamente al livello del dettaglio cartografico

Da questi poligoni è stato possibile ottenere 285 soilscapes⁶ (tabella 2). I soilscapes sono contraddistinti da un codice, esempio 67.8SS23, che richiama il poligono di riferimento per quel soilscape (figura 3).

Si è ritenuto opportuno non perdere tutte le informazioni relative ai singoli poligoni. I loro dati pertanto sono stati inseriti in una scheda riepilogativa simile a quella dei soilscapes. Il riconoscimento tra le schede dei poligoni e quelle dei soilscapes si basa sul fatto che in queste ultime nei campi soilscape ID utente, Soilscape Key, Soilscape chiave è inserito lo stesso valore (vedere figure 2 e 3).

Infine per poter inserire nel GIS, sia l'insieme delle informazioni dei poligoni che dei soilscapes, tutti i dati riportati nelle singole tabelle sono stati riepilogati in due file sempre in formato XLS.

Nel file relativo ai soilscapes sono stati introdotti, oltre al campo relativo al soil body più comune, altri due campi per specificare sia altri soil bodies diffusi nel soilscape, sia soil bodies aventi particolare importanza per quel territorio.

SOILSCAPE DESCRIPTION TABLE							
General		Physiography		Landcover		Parent material	
soilscape Key	59.2SS25	ss_mlf	SH	ss_lu	242	ss_surmat	311
ss_aut	UNISS	ss_resl	R0	ss_veg		ss_surmatst	
ss_ymap	1999	ss_hyps	6			ss_submat	311
ss_date	2/2/00	ss-ddis	2			ss_dmat	0
ss_qual	3	ss_pws	0			ss_submatst	
ss_doms	le dy CM	ss_altlo	50				
soil region (key)	59.2	ss_althi	350				
		ss_slint	130				
		ss_slten	1000				
		ss_ssfr	U0				
		ss_wetn					
						Loiri	
Insieme di dati geometrico							
area (Kmq)	53,24						
perimetro (Km)	55,96						
soil scape ID (arc-info)	11						
soil scape ID utente	59.2SS22						
soil scape (chiave)	59.2SS25						
codice identificativo del poligono							
codice identificativo del Soil Scape, coincide con i SS Key							

Figura 3.

c. Soil bodies

Si sottolineato nelle pagine precedenti come i soil bodies rappresentino i punti chiave del data base pedologico europeo.

Il manuale propone due tipi di soil bodies, uno definito come misurato corrisponde al tipo pedologico reale, quindi effettivamente descritto in campo e analizzato in laboratorio.

Il secondo denominato stimato rappresenta dei soil bodies non georeferenziati da coordinate, la cui descrizione è costituita secondo il Manuale dal *soil body nel suo insieme.... I valori modali proposti possono essere stimati attraverso conoscenze degli esperti o-utilizzando metodi statistici, questi ultimi sono da preferire*⁸.

Per la descrizione dei soil bodies, sia misurati che stimati, il Manuale propone un ulteriore data base, articolato in 74 campi descritti nei paragrafi 7.3.1, 7.3.2, 7.3.3.

I campi sono organizzati nei seguenti tre gruppi:

1. 8 (2 non obbligatori), riferiti a caratteristiche generali dell'area in cui insiste il soil body, per esempio il substrato, le classi di profondità di ostacoli alla penetrazione radicale, il substrato, ecc.;

2. 28 (13 non obbligatori), da utilizzarsi per la descrizione di caratteristiche generali del soil body, ad esempio coordinate, pendenza, altitudine, ecc.;

3. 38 (24 non obbligatori), per la descrizione di ciascun orizzonte⁹.

Oltre a questi, il Manuale prevede l'inserimento per ogni campo relativo ai dati analitici, di altre due voci relativi alla identificazione del laboratorio di analisi e del livello di qualità delle stesse¹⁰.

Anche per i soil bodies è stata predisposta una scheda di archiviazione in formato XLS.

Poiché è evidente che per un lungo periodo di tempo non sarà possibile avere una descrizione sufficientemente esaustiva dei soil bodies presenti nei soilscapes osservati in Sardegna, si è predisposta una prima serie di 234 profili variamente distribuiti nelle diverse Soil Region, tabella 3.

Tabella 3.

Soil Region	Soilscapes Totali	Soilscapes descritte	% sul totale
59.2	40	10	25
59.8	28	3	11
60.2	35	9	26
64.4	46	9	20
66.4	17	6	35
67.8	50	8	16
70.2	44	11	25
71.2	25	6	24

n. b. con il termine soilscapes descritte si intendono quelle dove è stato inserito almeno 1 soil body

Per una migliore comprensione dei rapporti tra questi profili e il paesaggio una loro parte significativa è costituita da toposequenze.

Il nostro obiettivo era quello di individuare:

- i profili più rappresentativi, siano essi o meno all'interno delle toposequenze, che dovranno essere considerati come i soil bodies da inserire nel data base,

- i soilscapes sufficientemente descritti dal punto di vista pedologico¹¹, in modo da poter estendere queste informazioni ad altri soilscapes, simili per condizioni geologiche e morfologiche, che al momento ne risultano prive in toto in parte.

Da questa fase di individuazione è risultato che i soil bodies inseribili nel data base sono 133, Nella tabella 3 inoltre, si evidenzia come a

livello regionale la percentuale di soilscapes, descritta in toto o in parte da soil bodies, è del 22%, con un massimo del 35% per la Soil subRegion 64.4a, ed un minimo dell'11% per la Soil Region 59.8.

Conclusioni

L'inserimento della Carta dei suoli della Sardegna nel data base pedologico europeo non deve essere considerato concluso, poiché l'attività svolta fino ad ora deve essere considerata come una fase di implementazione del data base stesso.

Infatti pur considerando più corretta la delimitazione dei soilscapes da noi proposta rispetto alla Carta del 1992 fino ad oggi disponibile e quindi chiusa o quasi la parte cartografica alla scala 1:250.000, rimane da completare l'inserimento dei soil bodies che verranno via via riconosciuti nel tempo. L'obiettivo di giungere alla auspicata descrizione del 90% dei soil bodies presenti nei soilscapes sardi sarà uno dei compiti che il Dipartimento di Ingegneria del Territorio intende assumere per i prossimi anni.

Vogliamo sottolineare come la metodologia di tipo ascendente da noi utilizzata per la redazione del data base sia la più efficace dal punto di vista operativo nel caso di territori dove sia disponibile un elevato numero di informazioni pedologiche.

L'adozione di questa metodologia di lavoro ha permesso inoltre di evidenziare e di segnalare all'European Soil Bureau, come alcune delle appendici e tabelle proposte nel Manuale fossero incomplete, si veda sia il caso citato delle Soil Regions, sia quello dei materiali parentali, per cui il data base - la cui struttura rimane comunque invariata - dovrà rimanere aperto consentendo l'aggiornamento costante delle voci inseribili nei diversi campi.

Note

1. I livelli sono: 1:1.000.000, il 250.000, e quello dei rilievi locali a grande scala.
2. European Soil Bureau - Database Georeferenziato dei suoli europei. Manuale delle Procedure, vers. 1.1, 1999, ed. italiana a cura del ISSDS, 1999, d'ora in poi definito più semplicemente manuale delle Procedure
3. FAO-ISRIC-IUSS, 1998,
4. Tutte le Soil Regions e Soil subRegions presenti in Sardegna sono formate da più poligoni non accorpati, per cui si è ritenuto opportuno riempire il solo campo relativo all'area complessiva.
5. E' un valore non rigido in quanto può essere necessario mantenere la visibilità di piccoli areali dove

possono essere presenti dei soil bodies particolarmente significativi per quell'ambito territoriale.

6. Si ricorda una volta di più che non esiste una equivalenza diretta tra il poligono e il soilscape. Più poligoni che presentano una relativa uniformità nelle loro caratteristiche geologiche, morfologiche possono concorrere, indipendentemente dalla loro superficie a costituire una singola soilscape. Valgano come esempio i poligoni della sviluppatasi sulle alluvioni antiche presenti in destra del rio Cixerri, che costituiscono il soilscape 70.2SS75.

7. Ad esempio ai bordi degli stagni costieri sono diffusi gli Haplic Fluvisols associati a Gleyic Solonchaks

8. Nel caso specifico della Sardegna, dato l'ampia disponibilità di dati sia di campo che analitici, si è preferito utilizzare solo soil bodies misurati. Per un solo campo, quello relativo alla mineralogia delle argille (sbhe_cm), si è utilizzato un dato derivante da stima di esperto.

9. Tra i campi non obbligatori, oltre a non esservi quelli relativi ad alcuni dati analitici, esempio le basi scambiabili, vi è anche quello relativo al colore dell'orizzonte, dato questo che a nostro giudizio dovrebbe essere sempre presente.

10. Nelle tabelle per l'archiviazione dei soil body da noi predisposta, figura 5a e 5b, queste due voci sono state inserite una sola volta. Rispettare la richiesta del manuale a nostro giudizio comporta un appesantimento sia delle schede cartacee che dei file senza offrire maggiori informazioni.

11. Secondo il Manuale, paragrafo 4.3.2, almeno il 90 % .

Bibliografia

- ARU A. *et al.* 1967. I suoli della Sardegna con allegati cartografici in scala 1:250.000. Studi Sassaresi, Sez. III, *Annali Fac. d'Agraria. vol. XI, fasc. 2*: pp.1-59, Sassari
- ARU A. *et al.* 1986. I suoli delle aree irrigabili della Sardegna. *Regione Autonoma della Sardegna - Piano Generale delle Acque*. Cagliari
- ARU A., BALDACCINI P. *et al.* 1992. Carta dei suoli della Sardegna alla scala 1:250.000. *Regione Autonoma della Sardegna, Assessorato Programmazione, Bilancio e Assetto del Territorio, Dip. Scienze della Terra Univ. Cagliari*, Cagliari
- CARMIGNANI L., BARCA S., OGGIANO G., PERTUSATI P.C., SALVADORI I., 1996. Carta Geologica della Sardegna alla scala 1:200.000. Fogli 1 e 2. *Regione Autonoma della Sardegna, Ass. all'Industria*. Carmignani L. coordinatore. L.A.C., Firenze,
- EUROPEAN SOIL BUREAU, 1999. Database Georeferenziato dei suoli europei. Manuale delle procedure, rel. 1.1. - Joint Research Centre, European Commission, Space Application Institute, Ist. Sper. Studio e Difesa del Suolo, versione italiana,

CONFRONTO TRA LA METODOLOGIA AMERICANA DI ORGANIZZAZIONE DELLE INFORMAZIONI PEDOLOGICHE PER SERIE E QUELLA EUROPEA PER SOIL BODY, IN RELAZIONE AI SUOLI DELLA PROVINCIA DI SIENA

Andrea Lachi, Edoardo A.C. Costantini

Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo
Piazza Massimo D'Azeglio, 30 - 50121 Firenze

Riassunto

La metodologia di organizzazione delle tipologie pedologiche riportata dalla versione italiana del Manuale delle Procedure per il Database Georeferenziato dei Suoli Europei alla scala 1:250.000 (European Soil Bureau, 1999) è diversa da quella tradizionalmente diffusa in Italia, basata sulla Soil Taxonomy.

Scopo di questo lavoro è stato di verificare il possibile parallelismo di significato tassonomico, esposto nel manuale europeo stesso, tra il livello gerarchico "polypedon" della Soil Taxonomy, corrispondente nel nostro caso alla sottounità tipologica di suolo, e il soil body che, assieme al soilcape e alla soil region, risulta essere il mattone fondamentale della metodologia europea.

I suoli sui quali è stato operato il confronto metodologico sono stati quelli del territorio provinciale di Siena, in cui è in atto una sperimentazione volta alla zonazione viticola ed olivicola (Costantini e Sulli, 2000).

Dei suoli in studio esiste un database che raccoglie più di 15 anni di ricerche pedologiche e 1045 osservazioni di campagna organizzate secondo la metodologia americana. Al fine di applicare la metodologia europea, i suoli sono stati anzitutto classificati secondo il World Reference Base Soil Resources (IUSS-ISRIC-FAO-ISSDS, 1999); sono stati poi utilizzati gli altri criteri previsti dal manuale per la creazione dei soil body: il materiale parentale, la tessitura dell'orizzonte superficiale ed il limite di approfondimento radicale.

Utilizzando la metodologia americana erano state caratterizzate 148 sottounità tipologiche di suolo (STS: fasi, varianti e unità aggiuntive di serie), mentre con quella europea sono risultati 102 soil body (circa il 33% in meno). Di tutti i soil body, solo 28 rientrano in una sola sottounità, mentre i rimanenti raggruppano suoli appartenenti a diverse sottounità. In altre parole, non più del 27% dei soil body è comparabile alle sottounità. Inoltre, 26 soil body riuniscono profili appartenenti a più di una unità tipologica di suolo, rendendo ancora più diffi-

cile il possibile parallelismo tra i due sistemi. La causa di questa difformità è da ricercarsi nei diversi attributi utilizzati per la definizione del soil body e delle UTS e STS i quali, nel primo caso, sono fissi e considerano solo alcuni caratteri e proprietà del profilo, mentre nel secondo sono variabili e contemplano più elementi, non solo del profilo, ma anche del paesaggio. In definitiva, il concetto di soil body si differenzia da quelli di unità e sottounità tipologica di suolo perché non individua le relazioni tra suoli e paesaggi; per questo motivo sembra essere un oggetto maggiormente idoneo alla gestione dei dati di un rilevamento pedologico già effettuato, piuttosto che alla organizzazione di quelli provenienti da un nuovo rilevamento.

Introduzione

La pubblicazione della versione italiana del Manuale delle Procedure per il Database Georeferenziato dei Suoli Europei alla scala 1:250.000 (European Soil Bureau, 1999), durante la progettazione della carta pedologica d'Italia alla stessa scala (Costantini, 1999), ha suggerito un confronto tra la metodologia di organizzazione delle informazioni pedologiche tradizionalmente diffusa in Italia, basata sulla Soil Taxonomy, e le nuove metodologie proposte per l'Europa.

Nel manuale ESB l'oggetto principale del rilevamento è costituito dal soil body, descritto come "una porzione di territorio con limiti geografici conosciuti in modo impreciso. Una entità tridimensionale artificiale ma riconoscibile nel continuum dei suoli, descritta unicamente dalla sua classificazione secondo il World Reference Base for Soil Resources, dai materiali parentali, dalla profondità di uno strato che ostacoli lo sviluppo delle radici e dalla tessitura superficiale dominante".

Il soil body è anche l'oggetto principale, nonché la chiave d'ingresso al sistema informativo (Hole, 1978) costituito dal Database Relazionale Georeferenziato Europeo la cui struttura (fig. 1) è composta essenzialmente da tre parti: i) il dataset topologico, costituito da tabelle che descrivono le relazioni spaziali tra soil region, soilscape, soil body e orizzonti; ii) il dataset semantico, costituito da tabelle che descrivono le proprietà di orizzonti, soil body, soilscape, e soil region; iii) il dataset geometrico, costituito da tabelle che descrivono la geometria di soilscape e soil.

Gli oggetti del database, orizzonti, soil body, soilscape e soil region, sono indicati all'interno delle tabelle di tutti e tre i dataset da elementi alfanumerici (ad esempio, il codice del soil body) che definiscono anche le chiavi primarie di collegamento tra le tabelle.

Nel sistema europeo, i soil body non hanno geometria propria, ma vengono individuati all'interno dei soilscape, definiti come "una porzione della copertura pedologica contenente soil body che hanno relazioni funzionali nel presente, o le hanno avute nel passato, e che può essere rappresentato a scala 1:250.000".

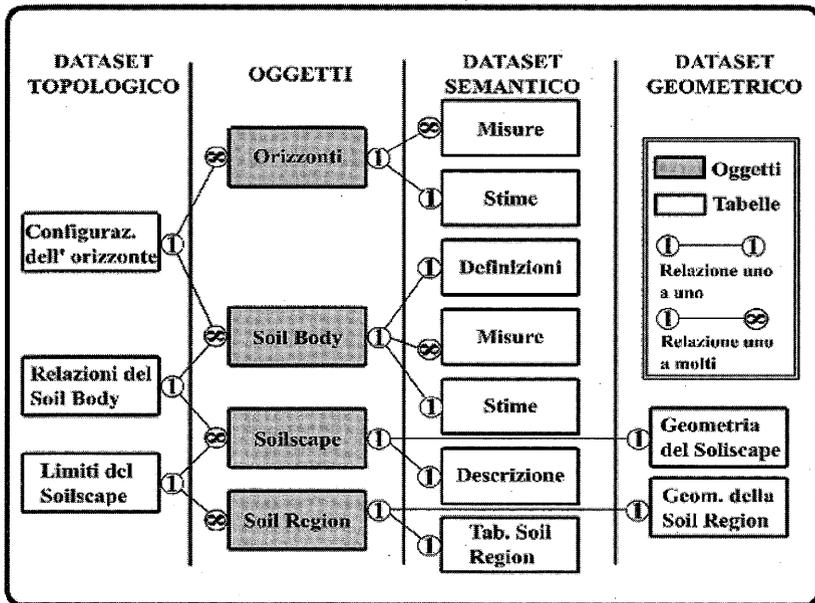


Figura 1. Struttura del database ESB

In questo lavoro si è posta l'attenzione sull'oggetto soil body, che risulta essere il mattone fondamentale della metodologia europea. In particolare, si è cercato di verificarne il possibile parallelismo di significato tassonomico, esposto nel manuale europeo stesso, con il livello gerarchico "polypedon" della Soil Taxonomy (fig. 2), nel nostro caso corrispondente alla sottounità tipologica di suolo (STS: fasi, varianti, unità aggiuntive di serie, come previsto dalla metodologia americana). Lo studio intende valutare la possibilità di sostituire la sottounità tipologica di suolo con i soil body, e di istituire un livello tassonomico intermedio tra il soil body ed il soilscape, che corrisponda alla serie della Soil Taxonomy, cioè all'unità tipologica di suolo. Come riportato nella versione italiana del manuale europeo, ciò troverebbe giustificazione sia tecnica, quale strumento di correlazione con le cartografie e i database italiani esistenti, sia concettuale, essendo un livello gerarchico utile per mettere insieme suoli anche differenti, ma con forti connessioni genetiche e, soprattutto, applicative.

Relazioni proposte dal manuale ESB		Inserimento di un livello tassonomico intermedio tra il soil body ed il soilscape	
SOIL TAXONOMY	ESB	SOIL TAXONOMY	ESB
ORDINE		ORDINE	
SOTTORDINE	SOIL REGION	SOTTORDINE	SOIL REGION
GRANDE GRUPPO		GRANDE GRUPPO	
SOTTOGRUPPO	SOILSCAPE	SOTTOGRUPPO	SOILSCAPE
FAMIGLIA		FAMIGLIA	
SERIE		SERIE	→ SERIE?
POLYPEDON	SOIL BODY	POLYPEDON	SOIL BODY
PEDON		PEDON	

Figura 2.
Gerarchie tassonomiche Soil Taxonomy e manuale ESB

Materiali e metodi

I suoli sui quali è stato operato il confronto metodologico sono stati quelli del territorio provinciale di Siena, in cui è in atto una sperimentazione volta alla zonazione viticola ed olivicola (Costantini e Sulli, 2000). Dei suoli in studio esiste un database che raccoglie più di 15 anni di ricerche pedologiche e 1045 osservazioni di campagna (477 profili, 492 trivellate, 53 osservazioni speditive e 23 minipit /pozzetti) con relative analisi. I dati pedologici erano stati organizzati secondo la metodologia americana e la loro raccolta ed elaborazione era avvenuta applicando il software ISSDS97 (Gardin *et al.*, 1996, 1998). Al fine di applicare la metodologia europea, i suoli sono stati anzitutto classificati secondo il World Reference Base (IUSS-ISRIC-FAO-ISSDS, 1999); sono stati poi applicati gli altri criteri previsti dal manuale per la creazione dei soil body: il materiale parentale (appendice 2 del manuale ESB), la tessitura dell'orizzonte superficiale (appendice 4 del manuale ESB) ed il limite di approfondimento radicale (appendice 3 del manuale ESB).

Risultati e discussione

Dall'esame della tabella riassuntiva (fig. 3) si può apprezzare la differenza numerica tra sottounità e soil body: 148 STS contro 102 soil body. Le STS sono circa il 33% in più rispetto ai soil body, questo essenzialmente per due motivi, il primo è che per definire una STS nella Soil Taxonomy non abbiamo necessariamente bisogno di due osservazioni, come richiede il

manuale ESB, la seconda è che per la definizione dei soil body si devono prendere in considerazione soltanto i profili. Nella base dati utilizzata, i profili erano solo 477 su un totale di 1045 record, vale a dire che il 54 % delle informazioni non sono state utilizzate.

Soil Body	Sottounità	Soil Body	Sottounità	Soil Body	Sottounità	Soil Body	Sottounità
60.4.SB001	ASS1/3	60.4.SB028	LSR1/4	60.4.SB055	CRV1/2/3	60.4.SB082	QUE1 - CRV2
60.4.SB002	ASS4 - VER3	60.4.SB029	MFO1/2/3	60.4.SB056	MON1/2/4	60.4.SB083	STR1 - SGI1
60.4.SB003	ASS2/3	60.4.SB030	MGA1/3/4	60.4.SB057	CRV3 - QUE2	60.4.SB084	CUS1 - STR3
60.4.SB004	BEL1/6	60.4.SB031	MON1	60.4.SB058	CRV3 - QUE1	60.4.SB085	STR1/2
60.4.SB005	BEL2/5	60.4.SB032	MON3	60.4.SB059	RAD1/2	60.4.SB086	VER1
60.4.SB006	BOR1/4/5	60.4.SB033	MON1/2/4	60.4.SB060	RON1	60.4.SB087	VER6 - LSR4
60.4.SB007	BOR2/3	60.4.SB034	MON2/3	60.4.SB061	SBR1/3/4 - LAG1	60.4.SB088	VER1/3/7
60.4.SB008	CAS1/2 - SFC5	60.4.SB035	MVA1	60.4.SB062	SBR1/5	60.4.SB089	VER1/2/5/6
60.4.SB009	CBO1/2/3	60.4.SB036	MVA3	60.4.SB063	SBR2/5	60.4.SB090	VER5
60.4.SB010	CBO1/3 - LAG3	60.4.SB037	ORC1/3	60.4.SB064	CBO1 - SBR4	60.4.SB091	VMG1
60.4.SB011	CEL1/2/4	60.4.SB038	ORC1/2	60.4.SB065	SBR2/5	60.4.SB092	VMG1
60.4.SB012	CEL1	60.4.SB039	PAT1	60.4.SB066	SBR1/2	60.4.SB093	PDC
60.4.SB013	CFO1/2	60.4.SB040	PAT1/2 - PEL1	60.4.SB067	SFC1	60.4.SB094	PDC
60.4.SB014	CFO2	60.4.SB041	PAT1/4 - PEL3	60.4.SB068	SFC2	60.4.SB095	ABB1
60.4.SB015	CGO1/2 - PUC2	60.4.SB042	PEL2/3	60.4.SB069	SFC3	60.4.SB096	ABB2
60.4.SB016	COL1/3	60.4.SB043	PAT1/4	60.4.SB070	SFC4	60.4.SB097	BEL1 - ABB2
60.4.SB017	CSL1/4	60.4.SB044	PIE1/4/5 - STR1/2	60.4.SB071	SFC1/2	60.4.SB098	PEL1/2/3 - PAT1
60.4.SB018	CSL2/3/4	60.4.SB045	PPR2/3	60.4.SB072	SGI1	60.4.SB099	PGO1/2
60.4.SB019	CSL4/5	60.4.SB046	PUC1/2	60.4.SB073	SGI5	60.4.SB100	VAL
60.4.SB020	CUS1 - SGI2 - STR3	60.4.SB047	PUC1/2	60.4.SB074	SGI1/2/3/4/6 - STR2	60.4.SB101	VDC
60.4.SB021	FON1/2/3/4 - LGR1	60.4.SB048	PUC1/2	60.4.SB075	SGI1	60.4.SB102	ORC3 - CRV4
60.4.SB022	LAG1/2	60.4.SB049	PUC1/2	60.4.SB076	SGI2/6 - PIE5		
60.4.SB023	LAG3 - SBR4	60.4.SB050	PUC2/4	60.4.SB077	SQR1/3		
60.4.SB024	LGR1 - BOR5	60.4.SB051	QUE1	60.4.SB078	SQR1/2/3		
60.4.SB025	LSR1/2	60.4.SB052	CRV1/2	60.4.SB079	SQR6		
60.4.SB026	LSR1/3	60.4.SB053	QUE1 CRV1/2/3-ORC1	60.4.SB080	SQR1/3/5 - MON2		
60.4.SB027	LSR1/3	60.4.SB054	NOT1	60.4.SB081	SQR1/5/7		

Figura 3. Relazioni tra soil body e sottounità tipologiche di suolo create secondo la metodologia Soil Taxonomy

In figura 4 è riportata la relazione tra soil body, unità tipologiche di suolo e sottounità: su 102 soil body definiti, 76 cadono all'interno di un'unica UTS, ma solo 28 rientrano in una sola STS, ossia solo il 27 % dei soil body potrebbe sostituire le sottounità tipologiche di suolo. Cosa ancor più importante è che 26 soil body cadono in due UTS diverse (due di questi in 3 UTS) rendendo ancora più complicato trovare relazioni tra soil body, UTS e STS.

I motivi di queste differenze sono da ricercarsi soprattutto in quelle che sono le regole da utilizzare per le determinazioni del soil body. Anzitutto la classificazione secondo il sistema WRB. La classificazione delle osservazioni secondo il WRB non sempre ha dato risultati simili a quelli ottenuti con la Soil Taxonomy, infatti alcune definizioni molto rigide e dirimenti dei due sistemi hanno fatto sì che i profili di una stessa unità o sot-

tunità, tutti classificati in modo analogo secondo la Soil Taxonomy, siano stati invece classificati in modo diverso seguendo il WRB (fig. 5).

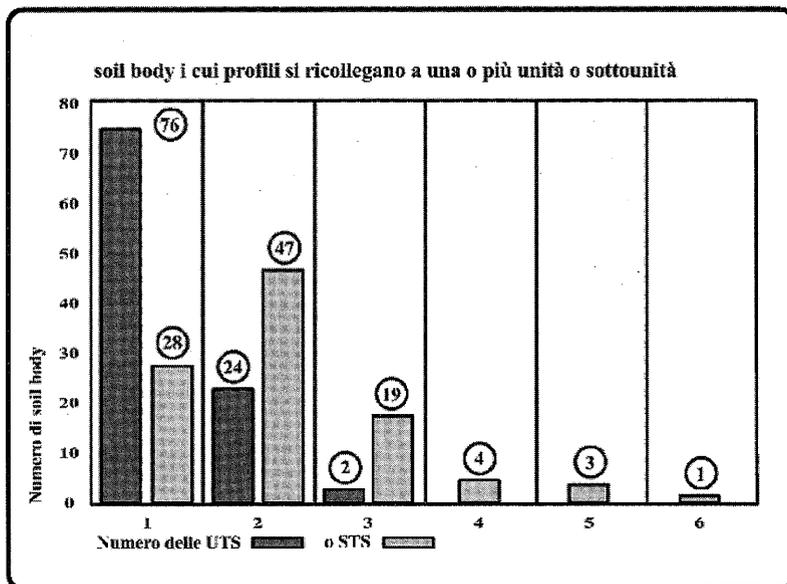


Figura 4. Relazione tra soil body e unità e sottounità tipologiche di suolo

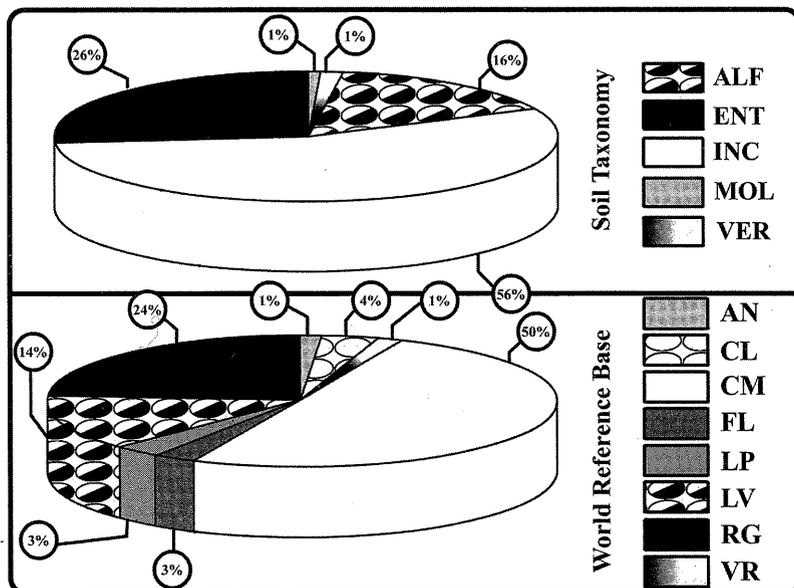


Figura 5. Distribuzione degli ordini della Soil Taxonomy e dei referenziali pedologici WRB

Un altro elemento che ha influito sulle discrepanze che si sono riscontrate nell'applicazione delle due metodologie è costituito dalla tessitura del suolo. Seguendo le indicazioni del sistema americano, la tessitura entra nella definizione delle famiglie (livello gerarchico immediatamente superiore a quello delle serie) come "classe granulometrica", da calcolarsi su di una "sezione di controllo" specifica per ordine di suolo, ma sempre relativa agli orizzonti sottosuperficiali; inoltre può essere considerata nella definizione delle serie per caratterizzare gli orizzonti superficiali, per lo più dei soli suoli coltivati. Nel manuale europeo invece la tessitura entra sempre nella definizione del soil body, considerando in tutti i casi uno spessore di 30 cm.

Un'altra fondamentale differenza è che la fisiografia non è considerata in alcun modo nella definizione dei soil body. Di conseguenza, alcuni profili che si trovavano in distinte UTS o STS, perché il rilevatore li aveva riconosciuti appartenenti a suoli significativamente diversi per morfologia, sono stati invece collocati nello stesso soil body. Un esempio è costituito dal soil body 60.4SB071, il quale raggruppa profili che, pur appartenendo alla stessa serie Sferracavalli (SFC) si trovano entro due diverse sottounità; la fase 1, dei ripiani e sommità pianeggianti e la fase 2, dei versanti e delle scarpate.

Degli ulteriori elementi considerati per la determinazione dei soil body, il materiale parentale e la profondità dello strato che ostacola lo sviluppo delle radici, solo quest'ultimo ha inciso nel causare alcune differenze tra soil body e sottounità, ma in modo meno rilevante.

Da notare, infine, l'alto numero di profili che non hanno trovato una collocazione all'interno dei soil body: su 477 record, 108 (il 23%) non sono stati associati a nessun soil body. Questi profili non associati a soil body non trovano posto nel sistema, questo perché la chiave primaria del profilo è il codice del soil body, per cui profili non facenti parte di alcun soil body non possiedono nessun codice che li identifichi, e non possono essere raccolti nel database europeo.

Conclusioni e proposte

Relativamente ai suoli della provincia di Siena, la difformità risultante tra unità e sottounità tipologiche di suolo da una parte, e soil body dall'altra, indica che i due approcci sono sostanzialmente diversi e non intercambiabili o integrabili. La causa di questa difformità è da ricercarsi soprattutto nei diversi attributi utilizzati per la definizione del soil body e delle UTS e STS i quali, nel primo caso, sono fissi e considerano solo alcuni

caratteri e proprietà del profilo, mentre nel secondo sono variabili e contemplano più elementi, non solo del profilo, ma anche del paesaggio. In effetti, la maggiore differenza tra il concetto di soil body e quelli di UTS e di STS sta proprio nel considerare o no le relazioni tra suoli e paesaggi.

Questo fatto fa ritenere che il soil body sia un oggetto maggiormente idoneo alla gestione dei dati di un rilevamento già effettuato, piuttosto che alla organizzazione di quelli provenienti da un nuovo rilevamento pedologico.

Per chi volesse comunque utilizzare la metodologia europea per l'archiviazione dei dati di un nuovo rilevamento, sembra opportuna l'adozione di un codice che permetta l'inserimento nel database di tutti i profili studiati e non solo di quelli appartenenti a soil body. Immettendo la dicitura NB (no body) nella parte alfanumerica del codice, seguita sempre dal numero progressivo di tre cifre (es.: 001, 002, 003, 004 etc.), è possibile inserire quei suoli che non appartengono a nessun soil body. Il nuovo codice consentirebbe l'identificazione di un nuovo oggetto del database, l'oggetto suolo, inteso come singolo sito di osservazione. Naturalmente il nuovo oggetto dovrà essere definito sia nel dataset semantico che in quello topologico, utilizzando le tabelle già presenti. E' infatti possibile utilizzare la tabella dei dati misurati e di definizione del soil body, la tabella di configurazione dell'orizzonte, e di conseguenza la tabella misure degli orizzonti, per definire in maniera esauriente l'oggetto suolo (fig. 6).

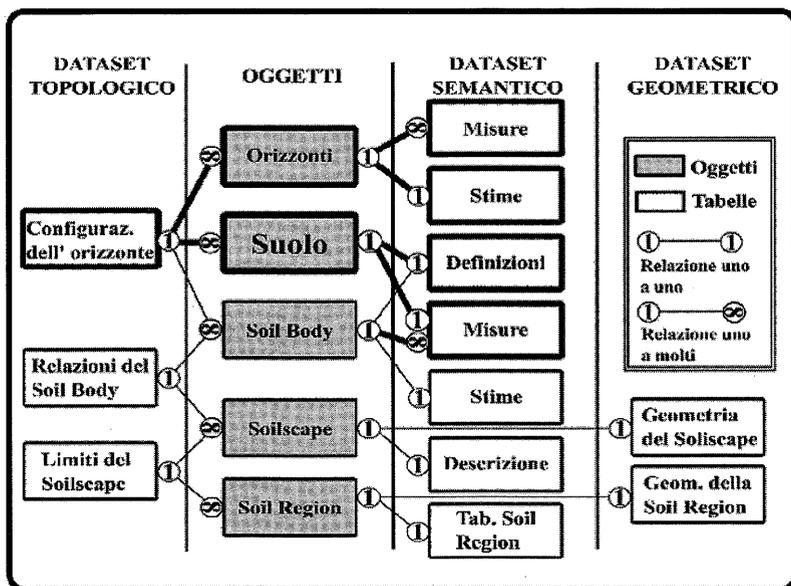
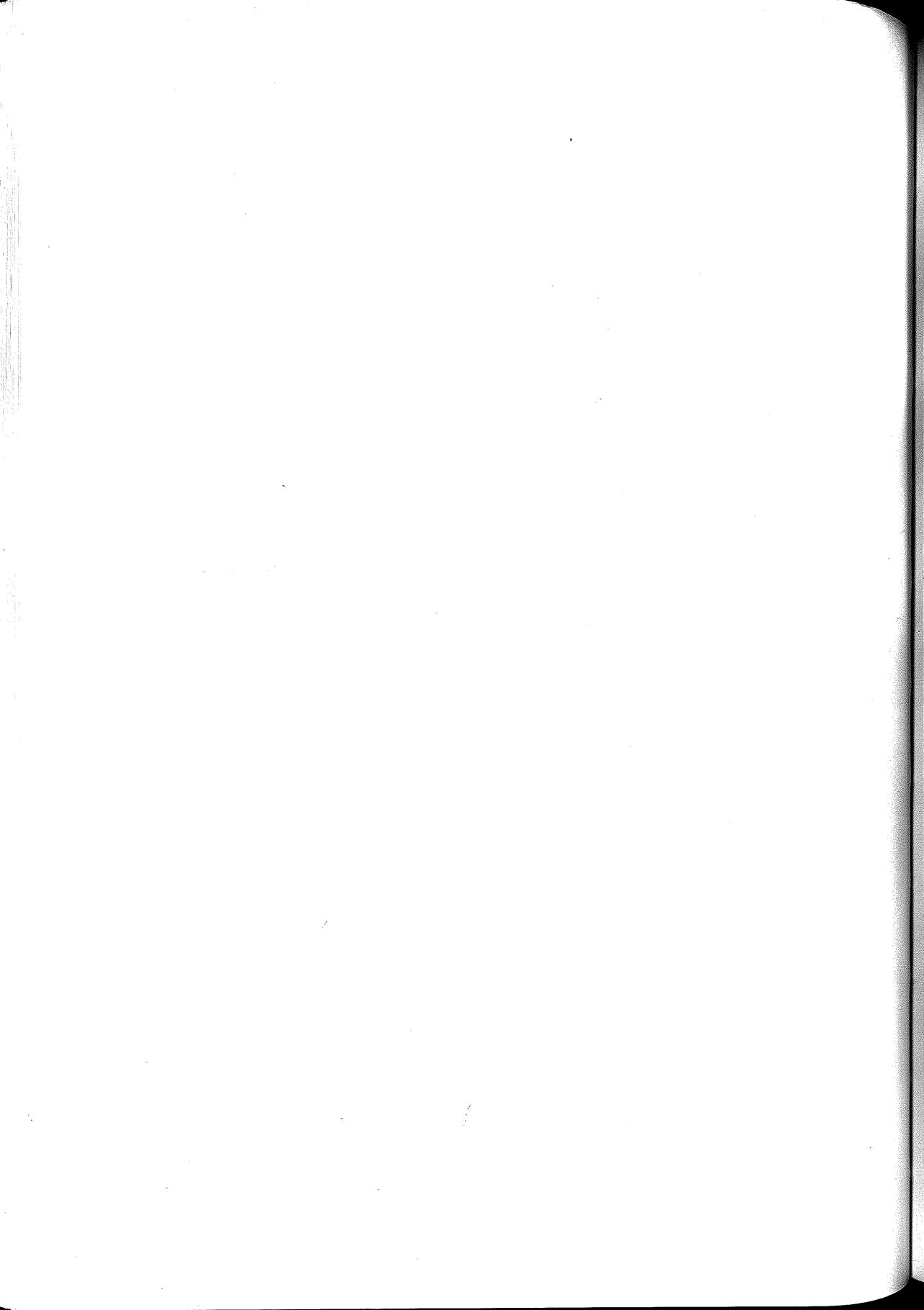


Figura 6. Proposta di modifica alla struttura del database europeo

L'uso dell'oggetto suolo come elemento fondamentale del sistema permetterebbe di mantenere integra la base dati anche nell'ipotesi di una futura ridefinizione dell'oggetto di raggruppamento soil body.

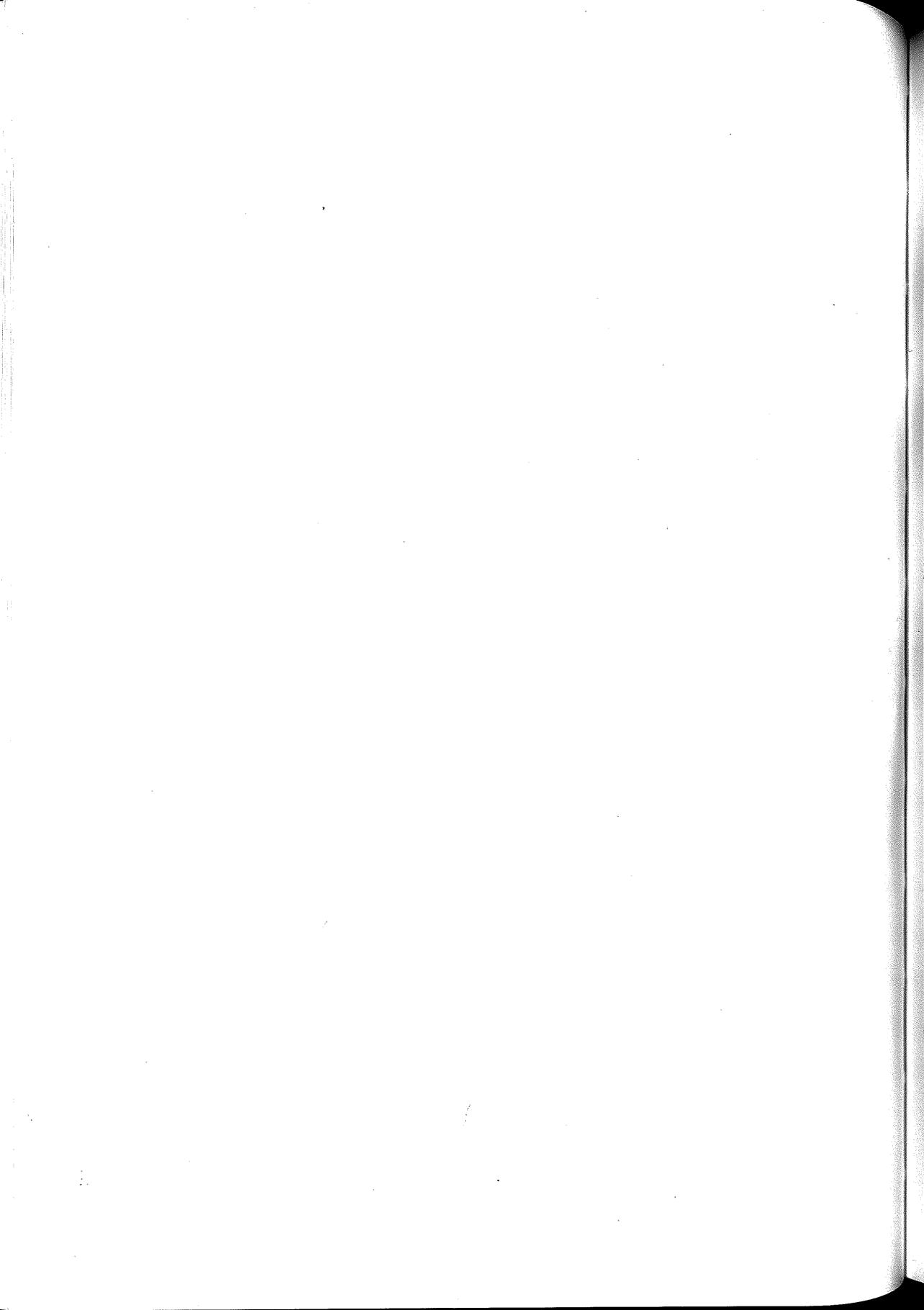
Bibliografia

- COMITATO SCIENTIFICO DELL'EUROPEAN SOIL BUREAU. 1999. Database georeferenziato dei suoli europei. *Manuale delle procedure. Versione 1.1.* Vers. It. a cura di E. A.C. Costantini. JRC, Ispra (VA), pp. 170.
- COSTANTINI E. A. C. 1999. Preparing the soil survey of Italy at scale 1:250,000. *Boll. S.I.S.S.*, 48, p. 655-665.
- COSTANTINI E.A.C., SULLI L. 2000. Land evaluation in areas with high environmental sensitivity and qualitative value of the crops: the viticultural and olive-growing zoning of the Siena province. *Boll. S.I.S.S.*, 49 (1-2), p. 219-234.
- GARDIN L., NAPOLI R., COSTANTINI E.A.C. 1996. Architettura di un database relazionale per un sistema informativo pedologico. *Bollettino della Società Italiana di Scienza del Suolo*, 8, p. 165-182.
- GARDIN L., NAPOLI R., COSTANTINI E.A.C. 1998. L'archiviazione e la gestione dei dati pedologici con il software "ISSDS" ver.2. *Genio Rurale*, 4, 1998, p. 50-56.
- IUSS-ISRIC-FAO-ISSDS. 1999. World Reference Base for Soil Resources. Versione italiana a cura di E.A.C. Costantini e C. Dazzi. ISSDS, Firenze, pp. 98.
- HOLE F.D. 1978. An approach to landscape analysis with emphasis on soils. *Geoderma*, 21, 1-23
- SOIL SURVEY STAFF. 1999. Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd ed. *USDA-NRCS Agric. Handb.* 436. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.





Commissione VI
Tecnologia e conservazione
del suolo



STUDIO DELL'EROSIONE DEI SUOLI DELLA TENUTA DI CASTELPORZIANO. DUE METODI A CONFRONTO. NOTA 1

F.A. Biondi, G. Montecchi, A. Menconi, L. Cavallari,

A. Tinelli, A. Figliolia

Riassunto

Al fine di valutare l'erosione idrica attuale dei suoli della Tenuta Presidenziale di Casterporziano e di individuare le aree a maggiore rischio erosivo sono stati utilizzati i metodi dell'Universal Soil Loss Evaluation (Wischmeier W.H., Smith D.D., 1965) e dell'Analisi Geomorfica Quantitativa (Ciccacci *et al.*, 1980).

Il metodo USLE consente di valutare l'erosione per singole aree indipendentemente dalla presenza di aste di drenaggio mentre il secondo valuta l'erosione in funzione del deflusso torbido unitario medio annuo delle aste fluviali espresso in t/ha.

Nella Tenuta, estesa 6100 ha con piovosità media di 845 mm/anno di tipo bimodale e con diverso reticolo idrografico fra la parte settentrionale e la meridionale, sono state identificate 6 unità geomorfologiche sulle quali si sono formati suoli diversi: Unità delle Alluvioni (*Xerofluvents tipici* e *xerorthents acquici*), Unità delle Vulcaniti (*Haploxererts umici*, *Xerorthents litici* e *Haploxeralf mollici*), Unità della Duna Antica (*Haploxeralfs tipici*, *plintici* e *ultici*), Unità della Duna recente (*Xeropsammets tipici*), Unità dei depositi deltizi (*Xerorthents tipici*, *litici* e *Haploxerepts Umici*) e Unità della Spiaggia Attuale. La spiaggia attuale e parte della Unità della Duna recente, in continua evoluzione e sottoposte a forze diverse da quella dell'acqua meteorica, non sono state studiate.

L'erosione idrica attuale è stata suddivisa in cinque classi (0-6, 12, 24, 48 e > 48 t/ha/anno). I valori dell'erosione, calcolati con i due metodi, sono soddisfacentemente concordi sia nel ripartire le superfici nelle varie classi, che nell'individuare le aree a maggiore erosione.

La quasi totalità del territorio presenta una erosione medio bassa (< 12 t/ha/anno) ricollegabile essenzialmente ai seguenti fattori: geopedologico (diffusa presenza di epipedon sabbioso), morfologico (pendenze molto deboli) e vegetazionale (estesa copertura boschiva)

Valori più elevati di erosione (> 24 t/ha/anno) si rinvenivano all'interno delle Vulcaniti e dei Depositi Deltizi Antichi, quelli più bassi (< 6 t/ha/anno) nelle Sabbie Dunari Antiche e Recenti.

Introduzione

La conoscenza delle caratteristiche del suolo è fondamentale per una sua corretta gestione, in quanto questa consente appropriate scelte di interventi per la conservazione del suolo stesso. Quest'ultima è legata a diversi fattori in equilibrio tra loro e una alterazione di tale equilibrio si riflette sulla evoluzione del suolo o sulla sua stessa esistenza con inevitabili ricadute sia dal punto di vista naturalistico (alterazione degli ecosistemi) che economico (diminuzione della produttività).

Il materiale terroso, che viene asportato in condizioni naturali dall'erosione idrica, è sovente elevato e può aumentare considerevolmente a causa dell'azione antropica. La perdita di suolo nell'area mediterranea è notoriamente alta ed è particolarmente accentuata nei terreni agrari, in quanto il massimo della piovosità coincide con il periodo autunno-inverno, quando i campi sono privi di vegetazione e la terra risulta sminuzzata ad opera delle lavorazioni agrarie. In questa area, a causa dei processi erosivi, la FAO ritiene che circa 3 milioni di ettari di suolo agrario vengano degradati ogni anno e che altri 2 milioni di ettari siano soggetti a processi di desertificazione (Buringh P. 1981).

Al fine di valutare il grado di erosione cui è attualmente soggetto i suoli della Tenuta Presidenziale di Castelporziano e di individuare le aree a maggior rischio, sono stati utilizzati il metodo dell'*Analisi Geomorfica Quantitativa*, la quale considera in maniera indiretta l'erosione come funzione del deflusso torbido unitario medio annuo dei bacini fluviali, e il metodo *Universal Soil Loss Evaluation* (USLE), che consente di valutare l'erosione per singole aree indipendentemente dalla presenza di linee di drenaggio.

Caratteristiche ambientali

Inquadramento morfologico

La Tenuta ha una superficie complessiva di circa 6.100 ettari ed è compresa tra le quote di 85 m e 0 m s.l.m. L'area è divisa in due settori da una linea spartiacque, con andamento prevalente NW-SE e caratteristiche nettamente diverse, quello settentrionale e quello meridionale. Il settore settentrionale ha una superficie di circa 15 Km², è più acclive e presenta una densità di drenaggio pari a 3,06 ; mentre quello meridionale, con una superficie di circa 45 Km², è più esteso, meno acclive e presenta una densità di drenaggio pari a 0,80.

Il territorio della Tenuta, spostandosi da Nord verso Sud, può essere suddiviso in sei unità geomorfologiche: Alluvioni, Depositi deltizi antichi, Vulcaniti, Duna antica, Duna recente e Spiaggia attuale.

- Unità delle Alluvioni: è costituita dal fondovalle del Fosso di Malafede ed è caratterizzata da una morfologia a fondo piatto, dove il corso d'acqua tende a meandricare e nei periodi di piena ad esondare. Dal punto di vista litologico è costituita da sabbie, limi, lenti di argilla e ciottoli prevalentemente di origine vulcanica.

- Unità dei Depositi deltizi antichi: è composta dalle formazioni deltizie alluvionali del Fiume Tevere e dai depositi colluvio-alluvionali delle valli minori. La morfologia si presenta relativamente dolce con versanti poco acclivi e dossi tondeggianti. Dal punto di vista litologico è costituita dalla successione di facies diverse; alla base vi sono banchi di ciottolame con puddinghe fluviali e torrentizie, che si interpongono in alcune zone tra i sedimenti salmastri del Siciliano e la facies argillosa del Calabriano. Seguono ghiaie arrossate di facies fluviale contenenti lenti di tufiti e argille salmastre. Chiudono questa unità i depositi di facies fluvio-lacustre di diatomiti, limi lacustri e palustri, concrezioni e livelli travertinosi, sabbie dunali arrossate ("sabbie salmonate").

- Unità delle Vulcaniti: è formata essenzialmente da tufi ("Tufo pisolitico" e "Pozzolane inferiori"). Questa unità presenta una giacitura a debole pendenza verso Ovest e una morfologia notevolmente articolata con vallecole, piccoli pianori e scarpate.

- Unità della Duna Antica: formata da sabbie di natura eolica. Dal punto di vista litologico sono sabbie rossastre per la presenza di ossidi di ferro derivanti dalla alterazione dei minerali femici. Spesso nell'ambito di questi depositi eolici si rinviene uno strato più o meno profondo, cementato da sesquiossidi di ferro (ortstein). Questa unità mostra una conformazione pressoché pianeggiante, con una pendenza media del 4 % verso Ovest. Nella zona settentrionale di questa unità sono presenti terrazzi morfologici costieri databili al Pleistocene medio, ricoperti dalle sabbie della Duna Antica, che ne attenuano la morfologia originaria.

- Unità della Duna Recente: è formata da dune costiere caratterizzate da ondulazioni con altezze oscillanti tra i 2 ed i 5 m, e aree interdunali, dette "lame", sede di ristagni d'acqua dove sedimentano limi ed argille. Il passaggio dall'unità della Duna antica a quella della Duna recente è evidenziato da una variazione cromatica della sabbia (da rossastra a grigio-chiara) e dalla morfologia: pianeggiante nella prima, ondulata nella seconda. Dal punto di vista litologico è composta da sabbie fini quarzifere, di colore gri-

gio-giallastro, dell'Olocene, che contengono apprezzabili quantità di minerali femici, nonché carbonato di calcio di origine bioclastica (frammenti di gusci di Foraminiferi e Lamellibranchi).

- Unità della Spiaggia Attuale: di ampiezza esigua, infatti non supera i 100 m, comprende la spiaggia in senso stretto ed i primi due cordoni dunali. E' una unità in evoluzione, nella quale si distinguono due zone: una interna soggetta all'azione dei venti, che tende ad essere colonizzata e stabilizzata dalla vegetazione, ed una esterna, verso il mare, soggetta sia all'azione del moto ondoso che al trasporto eolico. Questa unità, per le sue particolari caratteristiche dinamiche, non è stata presa in considerazione in questo studio.

I suoli e la copertura vegetale

La Tenuta, pur avendo una superficie non tanto estesa, presenta una certa diversificazione dei suoli dovuta essenzialmente alla natura dei substrati pedogenetici presenti. Per ogni unità geomorfologica individuata vengono di seguito riassunte le caratteristiche principali dei suoli classificati secondo la Soil Taxonomy (U.S.D.A.).

I suoli dell'Unità delle Alluvioni si sono formati su sedimenti caratterizzati da alternanze di depositi ad andamento lenticolare di sabbie limose e argille, sono suoli giovani profondi appartenenti al grande gruppo dei Fluvent (consociazione di Xerofluvents tipici e Xerorthents acquici).

I suoli dell'Unità delle Vulcaniti presentano uno sviluppo differenziato in funzione del fattore morfologico, per cui alla base dei versanti si trovano principalmente *Inceptisuoli* (Haploxerepts umici), *Entisuoli* (Xerorthents litici) sui versanti più acclivi ed *Alfisuoli* (Haploxeralf mollici) nei pianori sommitali. Questi ultimi sono suoli profondi lisciviati con l'orizzonte A esiguo (0-30 cm) e con l'orizzonte B argillico spesso (30-80 cm).

L'unità geomorfologica della Duna antica presenta suoli che hanno raggiunto uno stadio evolutivo piuttosto avanzato, si tratta di *Alfisuoli* lisciviati (*Haploxeralfs* tipici a luogo *plintici* o *ultici*).

I suoli dell'Unità della Duna Recente sono essenzialmente suoli giovani classificabili nell'ordine degli Entisuoli (Xeropsamments tipici,) prevalentemente a tessitura sabbiosa o franco-sabbiosa, ricchi di CaCO_3 (di origine bioclastica) non ancora lisciviato dall'orizzonte superficiale.

I suoli dell'Unità dei Depositi deltizi sono fortemente condizionati dalla situazione morfologica. Nei fondovali, dove c'è continuamente

apporto di terra, i suoli sono in via di formazione pertanto si rinvergono prevalentemente Entisuoli (Xerorthents tipici), mentre nei versanti per effetto dell'erosione si trovano prevalentemente gli Xerorthents litici. Nei dossi collinari, dove il l'asporto del materiale terroso è notevolmente più basso rispetto alla velocità dei processi pedogenetici, si è riscontrata una certa evoluzione e quindi i suoli sono stati classificati nell'ordine degli Inceptisuoli (Haploxerepts umici).

La copertura vegetale è composta per l'85 % da bosco, per il 10,5 % da prati e pascoli e per il 4,5 % da coltivi. Il bosco planiziale è costituito prevalentemente da querce igrofile caducifoglie: farnia (*Quercus pedunculata*), cerro (*Quercus cerris*), farnetto (*Quercus frainetto*) e copre quasi interamente l'unità della Duna antica. Querce sempreverdi, in forma sia arborea che arbustiva, come la sughera (*Quercus suber*) e il leccio (*Quercus ilex*), che costituiscono gli elementi principali della locale macchia mediterranea, sono presenti nelle zone più aride dell'unità della Duna recente. Diverse aree, nei decenni passati, sono state oggetto di rimboschimento, in particolare sono stati impiantati soprattutto specie sempreverdi come il pino domestico (*Pinus pinea*) e varie specie di eucalipto. I coltivi ed i prati pluriennali sono ubicati in parte sull'Unità delle Alluvioni ed in parte su quella delle Vulcaniti, mentre i pascoli naturali sono presenti sull'unità della Duna antica.

Situazione climatica

Le caratteristiche climatiche della zona di Castelporziano-Capocotta sono state determinate utilizzando i dati termo-pluviometrici relativi al periodo 1992-1997 (tab. 1), registrati dalla stazione meteorologica situata all'interno dell'area stessa.

Tabella 1. Precipitazioni medie espresse in mm

Periodo	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	anno
1992-1997	49,6	60	49,1	76	36	44,4	5,1	40,1	69,3	158,4	141,7	115,0	844,7

Le precipitazioni medie annue (tab. 1) sono poco superiori ai 840 mm e la curva pluviometrica (Graf. 1) presenta un andamento bimodale, con il massimo assoluto di circa 158 mm che cade nel periodo di ottobre, ed il massimo relativo di 76 mm nel mese di aprile; il minimo si registra nel mese di luglio con 5 mm. Le precipitazioni sono concentrate nel semestre autunno-inverno con circa 574 mm contro i circa 270 mm del semestre primavera-estate.

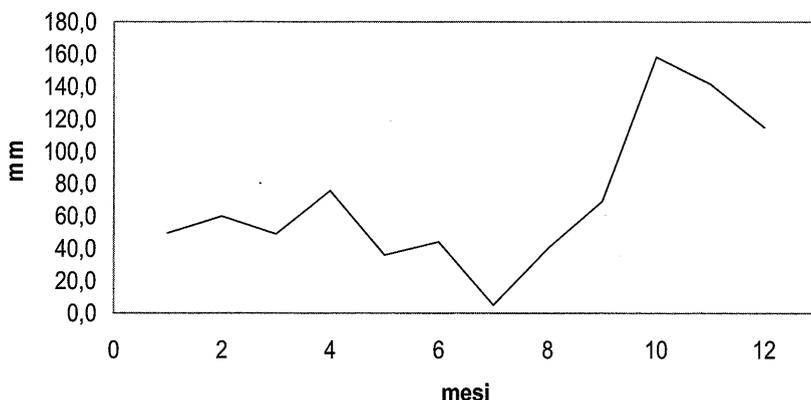


Grafico 1. Curva pluviometrica

Materiali e metodi

Il metodo dell'Analisi Geomorfica Quantitativa

Il metodo dell'Analisi Geomorfica Quantitativa proposto da Ciccacci et al. (1980), per determinare il grado di erosione dei terreni, si basa sul calcolo del "deflusso torbido" unitario medio annuo (T_u), espresso in t/ha, che rappresenta la quantità di materiale trasportato in sospensione per unità di superficie del bacino (degradazione specifica) mediante l'analisi di parametri geomorfici quali: il "Gradiente medio di pendio" delle aste fluviali e la "densità di drenaggio".

Si definisce Gradiente di pendio (J) di un'asta fluviale, il rapporto tra il dislivello dei punti estremi e la lunghezza lineare; il suo valore medio per ogni reticolo idrografico viene assunto in luogo dell'acclività media dei bacini esaminati. Tale parametro risulta direttamente correlato con la velocità, e quindi con l'energia, delle acque fluviali in funzione dei dislivelli e delle lunghezze dei canali in cui scorrono, i quali influenzano direttamente la capacità di trasporto dei corsi d'acqua. La densità di drenaggio (D) è definita come il rapporto tra la sommatoria delle lunghezze delle aste fluviali e l'area del bacino a cui appartengono. Il suo valore è funzione della permeabilità e dell'erodibilità dei terreni affioranti, del regime e dell'intensità delle precipitazioni, nonché delle altre condizioni climatiche. Più precisamente la densità di drenaggio è tanto maggiore quanto minore è la per-

meabilità e quanto maggiore è l'erodibilità delle rocce su cui è impostato il reticolo idrografico. Quindi questa può essere considerata come espressione delle caratteristiche litologiche e del grado di "alterazione" dell'area in esame; inoltre è chiaramente legata alla copertura vegetale. Il suo valore, infine, può essere modificato a seguito delle attività antropiche, anche se in maniera generalmente limitata, in particolare gli effetti sono più evidenti e si vedono prima nei piccoli bacini.

Gli Autori individuano le seguenti equazioni che legano il Trasporto torbido alla Densità di drenaggio (**D**) e al Gradiente medio di pendio (**J**) dei segmenti fluviali:

a) nel caso di bacini con valori della densità di drenaggio uguale o inferiore a 6 ($D \leq 6$):

$$\log Tu = 0,32474 D + 0,00794 J + 1,43206$$

b) per bacini con valori della densità di drenaggio maggiore di 6 ($D > 6$):

$$\log Tu = 2,74540 \log D + 0,00639 J + 1,15548$$

Per meglio esaminare le variazioni della Densità di drenaggio e del Gradiente medio di pendio dei segmenti fluviali nelle diverse parti dell'area in esame, i bacini principali sono stati suddivisi in sottobacini, per ciascuno dei quali sono stati calcolati i valori **D** e **J**.

Per comodità dell'interpretazione dei dati nell'applicare il metodo dell'Analisi Geomorfica Quantitativa, i valori della densità di drenaggio dei vari bacini e sottobacini sono stati ripartiti in due classi. In particolare, nella prima classe ricadono quei bacini in cui la densità di drenaggio assume valori uguali o inferiori a 6 ($D \leq 6$); alla seconda classe appartengono quei bacini caratterizzati da valori piuttosto elevati di densità di drenaggio ($D > 6$). A sua volta la prima classe è stata suddivisa in due sub unità: la 1°A raggruppante tutti quei bacini che presentano valori bassi ($D \leq 3$), e 1°B dove la densità di drenaggio diviene significativa ($3 < D \leq 6$).

Il metodo "Universal Soil Loss Evaluation" (USLE)

Il procedimento dell'Universal Soil Loss Equation (USLE), utilizza l'equazione di Wischmeier e Smith (1965-1978):

$$A = R K L S C P$$

dove **A** rappresenta la quantità media di suolo erosa espressa co-

me tonnellate per ettaro per anno (t/ha/anno), ed **R** è il fattore principale, che rappresenta la capacità erosiva della pioggia espressa come prodotto dell'energia cinetica (**E**) per l'intensità massima nella mezza ora dell'evento piovoso (**I**₃₀); la sommatoria dei prodotti (**E** x **I**₃₀) di tutti gli eventi piovosi verificatisi nell'arco di un anno determina il "valore indice annuo" (**I**_a). Il fattore **K** prende in considerazione le caratteristiche di erodibilità di un suolo ed è definito come la perdita di terra misurata in tonnellate ettaro per unità dell'indice **R**. Gli altri fattori **L**, **S**, **C**, **P** sono coefficienti correttivi del fattore **K**. In particolare i termini **L** ed **S** sono fattori adimensionali che tengono conto della topografia dell'appezzamento di terreno dove viene effettuata la valutazione di perdita di suolo; **L** ne esprime la lunghezza ed **S** la pendenza. Per determinare i valori dei fattori **L** ed **S** è stata redatta una carta delle pendenze, su base cartografica a scala 1:10.000 con equidistanza di 5 metri, dove i valori di pendenza sono stati ripartiti in quattro classi così definite: I classe, valori di pendenza inferiori a 3%; II classe, valori compresi tra 3% e 6%; III classe, valori da > 6% a 10%; IV classe, valori superiori a 10%. Il fattore **C** esprime gli effetti del tipo di vegetazione ("canopy") presente sul terreno, più precisamente indica il rapporto tra la perdita di suolo relativa ad un terreno sul quale compie il suo ciclo biologico una determinata specie vegetale e quella di una parcella sperimentale lavorata e lasciata senza copertura vegetale. Il coefficiente **P** esprime l'influenza delle pratiche agricole antierosive; tale azione viene calcolata mediante il rapporto tra la perdita di suolo che si verifica in un campo in cui siano adottate opportune tecniche di sistemazione e di lavorazione e la perdita di una parcella tipo, con le stesse caratteristiche, nella quale venga eseguita una lavorazione secondo la linea di massima pendenza.

Metodologia classificativa

Per valutare e confrontare l'erosione stimata con i due i metodi sono state distinte 5 classi espresse in tonnellate di terra asportate da una superficie di un ettaro in un anno:

- I classe : erosione inferiore o uguale a 6 (t/ha anno)
- II classe: erosione compresa tra 6 e 12 (t/ha anno)
- III classe: erosione compresa tra 12 e 24 (t/ha anno)
- IV classe: erosione compresa tra 24 e 48 (t/ha anno)
- V classe: erosione superiore a 48 (t/ha anno)

Con l'ausilio della foto-interpretazione (fotografie aeree a scala 1:10.000 del 1994) e della carta delle unità geomorfologiche sono state individuate le "unità cartografiche di paesaggio" dell'area in esame. Queste ultime sono state utilizzate per pianificare il lavoro di campagna e per la scelta delle "aree tipo", dove rilevare i parametri occorrenti ed eseguire le campionature di suolo. Sui terreni prelevati sono state successivamente effettuate analisi chimico-fisiche specifiche.

I rilievi di campagna, relativi alle aree tipo, hanno permesso di ottenere una serie di dati puntuali di erosione. Sovrapponendo a tali dati le carte tematiche relative alla pendenza, idrografia superficiale, suolo e vegetazione, è stato possibile estrapolare i dati dell'erosione da puntuale ad areale.

Sono state escluse, dal presente studio, le zone della duna recente più vicina alla costa e della spiaggia attuale, in quanto la prima è soggetta anche alla erosione eolica e la seconda all'erosione del moto ondoso e delle correnti marine, le quali sono forze non considerate nei due metodi presi in esame; pertanto queste superfici dovranno essere studiate con modelli specifici.

Risultati

Con l'utilizzo delle foto aeree e della verifica diretta mediante sopralluoghi sono stati identificati 10 bacini principali e 35 sottobacini, riportati in tabella 2.

Tabella 2. I bacini idrografici

BACINI PRINCIPALI		SOTTOBACINI
1	Fosso di Trafusina	1a, 1b, 1c, 1d
2	Fosso della Cassa	
3	Fosso della Valle dell'Oro	3a, 3b, 3c, 3d, 3e, 3f, 3g, 3h, 3i
4	Fosso di Grotta Romagnola	4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f, 4g
5	Fosso delle Rogare	
6	Fosso della Santola o del Figurone	
7	Fosso di Valle Carbonara	7a, 7b, 7c, 7d
8	Fosso del Cannucceto	8a, 8b, 8c
9	Fosso Pepparello	9a, 9b, 9c, 9d, 9f
10	Fosso di Ponte rotto	10a, 10b, 10c

Dalla analisi delle pendenze risulta che le acclività maggiori sono presenti nel settore settentrionale della tenuta, dove il reticolo idrografico è impostato sulle vulcaniti e sui depositi deltizi antichi; mentre il settore meridionale, che ha il reticolo idrografico impostato sulle sabbie delle duna antica, si presenta sub-pianeggiante.

Dall'analisi dei dati della densità di drenaggio è stato osservato che i sottobacini appartenenti alla seconda classe ($D > 6$) ricadono interamente nel "settore settentrionale" della tenuta. Il "settore meridionale" è invece caratterizzato da due zone, la prima, più interna, con valori di densità di drenaggio che ricadono nella classe 1°A ($3 < D \leq 6$); mentre la seconda, comprendente la fascia verso il mare, presenta valori piuttosto bassi ($D \leq 3$) e quindi classificata nella 1°B.

I dati ottenuti, con il metodo dell'Analisi Geomorfica, indicano che nella fascia del settore meridionale più vicina alla linea di costa i valori calcolati della quantità media annua di suolo asportata appartengono alla II classe (bacini parziali 5 e 6). Questa osservazione insieme alla presenza di ampie zone a drenaggio scarso o nullo, mette in evidenza che in questa parte della tenuta i processi erosivi hanno entità assai ridotta. Nella fascia più interna del settore meridionale i valori dell'erosione passano da bassi (sottobacini 8a, 8c e 7a) a moderati (sottobacini 8b e 7c), per diventare rilevanti (sottobacino 7b) in corrispondenza dei gradini morfologici. L'aumento medio dell'entità dell'erosione in questo settore è da attribuirsi al fatto che i sottobacini considerati si allontanano dalla zona prossima al punto di chiusura del bacino idrografico a cui appartengono, con conseguente aumento dei valori medi di pendenza e quindi di energia, che si traduce in un aumento di densità di drenaggio. Nel settore settentrionale della tenuta sono state individuate le aree soggette a più intensa erosione (dalla III alla V classe), trattandosi di aree ad elevata pendenze e scarsa vegetazione. Valori alti di erosione (> 24 t/ha anno) sono stati riscontrati esclusivamente in una piccola fascia limitatamente ai suoli delle unità geomorfologiche dei Depositi deltizi antichi e delle Vulcaniti, dove i versanti vallivi sono notevolmente acclivi. In particolare nell'Unità delle vulcaniti sono presenti anche numerose frane per crolli, per erosione alla base, in corrispondenza delle chiusure delle valli.

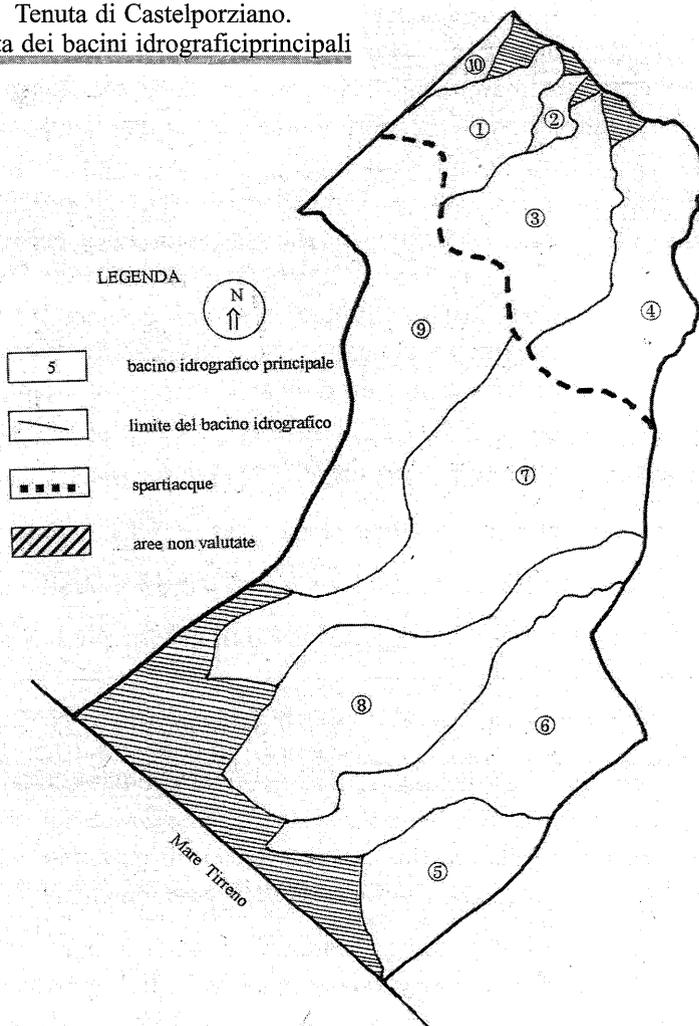
Dal metodo USLE risulta che la fascia del settore meridionale prossima al mare (1°B) è caratterizzata da valori di erosione trascurabili (I), mentre la fascia centrale (1°A) è sede di processi erosivi da bassi (I) ad medi (II), valori più alti (III) si rinvengono in corrispondenza dei gradini morfologici o di zone a prateria. Anche con questo metodo i valori più alti di erosione sono stati riscontrati nel settore settentrionale della tenuta. Valori medio-alti (III classe) sono stati rilevati nelle parti delle vallate prossime al Fosso di Malafede, classi più alte (VI e V) sono state riscontrate nelle parti e sui versanti interni di dette valli.

Nella Tabella 3 sono riportati i dati dell'erosione secondo i due metodi, raffrontati in base alla superficie calcolata per ciascuna classe.

Tabella 3. Superfici ricadenti in ciascuna classe di erosione della tenuta espresse in Km²

Classi di erosione	Metodo dell'Analisi Geomorfica quantitativa	Metodo dell'Universal Soil Loss Evaluation
1°	50,131	43,995
2°	2,516	8,884
3°	4,941	3,371
4°	2,502	3,709
5°	0,95	1,081

Tenuta di Castelporziano.
Carta dei bacini idrografici principali



Conclusioni

Per quanto concerne il metodo dell'analisi geomorfica quantitativa, sono da fare le seguenti osservazioni:

- poiché le equazioni che legano il deflusso torbido medio annuo alla densità di drenaggio e al gradiente medio di pendio dei segmenti fluviali sono ottenute in base a dati relativi ad unità geomorfiche ben definite, quali sono i bacini di drenaggio, la loro applicazione a singole aree può fornire soltanto i valori del **Tu** (deflusso torbido unitario medio annuo) che spetterebbero a bacini di uguale superficie aventi **D** e **J** pari a quelli misurati per ciascun'area. Ammettere che i valori del **Tu** calcolati per singole aree esprimano la reale quantità di materiale trasportato nelle aree stesse, significa ammettere che queste ultime si comportino come unità autonome, tali da non risentire delle influenze delle zone limitrofe. Nella maggior parte dei casi ciò non si verifica, infatti le condizioni del deflusso torbido all'interno di un'area non dipendono esclusivamente dai valori di **D** e di **J** dell'area stessa, ma risentono anche di ciò che avviene nelle aree a monte e a valle. Da tutto ciò si deduce che i valori del trasporto torbido calcolabili per singole aree, in base alle relazioni citate, potrebbero rappresentare solo approssimativamente il contributo teorico di ciascuna area parziale al **Tu** totale del bacino.

- Questo metodo non può dare dati precisi o puntuali, ma può fornire con buona approssimazione l'ordine di grandezza dell'evento.

- È un metodo semplice da applicarsi e richiede poco materiale

In merito al metodo USLE sono state fatte le seguenti osservazioni:

- I dati che si ottengono possono essere ritenuti sufficientemente precisi;

- Difficoltà di reperire i dati di piovosità alla mezz'ora;

- Il limite del metodo risiede nel fatto che tale equazione è applicabile soltanto per il calcolo dell'erosione idrometeorica del singolo versante e pertanto necessita, per un'analisi corretta, di un numero elevato di punti di osservazione, nonché l'utilizzo di altre carte tematiche.

Sono state riscontrate (come affermato dagli autori del metodo dell'Analisi Geomorfica) che le variazioni dell'entità dell'erosione, derivanti dai parametri geomorfici di pendenza e di densità di drenaggio, risultano strettamente legate alle diverse caratteristiche geomeccaniche dei litotipi af-

fioranti nell'area di drenaggio, nonché delle caratteristiche idrogeologiche del bacino considerato. Infatti, in generale, i valori più elevati di erosione si rinvennero in corrispondenza delle unità delle "vulcaniti" e dei "depositi deltizi antichi", quelli più bassi nelle sabbie dunari sia antiche che recenti.

La quasi totalità del territorio studiato presenta valori di erosione medio-bassi (< 12 t/ha anno). Ciò è riconducibile ad una concomitanza di fattori: geopedologico (i suoli hanno prevalentemente un epipedon sabbioso), morfologico (gran parte dell'area presenta deboli pendenze) e vegetazionale (estesa copertura boschiva).

Alla luce di quanto esposto si evince una elevata corrispondenza fra i due metodi nell'individuare le parti della tenuta a diverso grado di erosione. La validità e la precisione del metodo USLE rimangono fuori discussione, infatti è stato qui preso come riferimento per tarare il metodo dell'Analisi Geomorfica quantitativa, ma la semplicità e la rapidità della procedura rendono comunque interessante il metodo dell'Analisi Geomorfica quantitativa.

Bibliografia

- BADALÌ M., BIONDI F.A., GORGA R. E SOCCIARELLI S. (1997) - Tenuta presidenziale di Castelporziano: la fertilità del suolo in ambienti costieri mediterranei. Caratteristiche geologiche. Convegno Annuale S.I.S.S. "La qualità del suolo per un ambiente sostenibile". Escursione pedologica nella tenuta presidenziale di Castelporziano: i suoli di Castelporziano.
- BENEDINI M. E GISOTTI G. (1985) - Il dissesto idrogeologico. Cause, effetti e interventi a difesa del suolo. Ed. NIS La Nuova Italia Scientifica.
- BIONDI F.A., DOWGIALLO G. E DI DIO C. (1997) - Tenuta presidenziale di Castelporziano: la fertilità del suolo in ambienti costieri mediterranei. Caratteristiche pedologiche. Convegno Annuale S.I.S.S. "La qualità del suolo per un ambiente sostenibile". Escursione pedologica nella tenuta presidenziale di Castelporziano: i suoli di Castelporziano.
- BIONDI F.A., DOWGIALLO G., GISOTTI G., FIGLIOLIA A., TINELLI A. (2001) - Memoria illustrativa alla carta dei suoli della Tenuta di Castelporziano.- In corso di pubblicazione
- BURINGH P. (1981) - An assessment of losses and degradation of productive agricultural land in the world. Working group on Soils Policy, F.A.O. Roma.
- CALO' G., SPIZZICO M. E TINELLI R. (1992) - Lineamenti geologici, idrogeologici e climatologici del bacino del torrente "La Canala". *Geologia Tecnica e Ambientale*, 1, pp. 33-64.
- CICCACCI S., FREDI P., E.L. PALMIERI E PUGLIESE F. (1980) - Contributo dell'analisi geomorfica quantitativa alla valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali. *Boll. Soc. Geol. It.*, 99, pp. 455-516.
- CHISCI G., GIORDANO A., INDELICATO S., LI DESTRI NICOSIA O., SFALANGA M. E TORRI D. (1982) - Acquisizioni per la previsione dell'erosione idrica sui versanti. *C.N.R., Progetto finalizzato*

Conservazione del suolo, Atti del Convegno Conclusivo, Roma.

- DEL MONTE M. (1996) - Rapporti tra caratteristiche morfometriche e processi di denudazione nel bacino idrografico del torrente Salandrella (Basilicata). *Geologica Romana*, 32, pp. 151-165.
- WISCHMEIER W. H. & SMITH D. D. (1965) - Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. *Agriculture Handbook No. 282*. Agriculture Research Service US
- WISCHMEIER W. H. & SMITH D. D. (1978) - Predicting Rainfall Erosion Losses. *Agriculture Handbook No. 537*; U.S. Department of Agriculture.

VALUTAZIONE QUALI-QUANTITATIVA DEL CONSUMO DI SUOLO IN FUNZIONE DELLO SVILUPPO DEL SISTEMA INSEDIATIVO NEI TERRITORI PROSSIMI ALL'ASTA DEL FIUME PO

Samantha Lorito, Paolo Rosetti, Gilmo Vianello

CSSAS - Centro Sperimentale per lo Studio e l'Analisi del Suolo - Università di Bologna
Via Fanin, 40 - 40127 Bologna

Riassunto

Nella Pianura Padana un evidente fenomeno di degrado della risorsa suolo è rappresentato dal suo progressivo consumo per urbanizzazione, che ha raggiunto valori medi intorno al 9%; nei comuni ad alta densità abitativa, per lo più collocati lungo l'asse della via Emilia, le superfici impermeabilizzate possono superare il 20% del totale.

Tale trend mostra di non arrestarsi a causa della richiesta di ampie superfici da parte soprattutto del settore terziario.

Il fenomeno richiede un attento controllo, in particolare nei casi in cui i territori interessati ricadano in prossimità dell'asta del fiume Po e dei suoi affluenti maggiori. I suoli di queste zone, variabili sia per condizioni pedogenetiche che micromorfologiche, ospitano infatti attività agronomiche particolarmente esigenti e pur presentando un tipo di utilizzazione agricola ad elevato livello di produttività, in linea con le regioni europee più avanzate nel settore, sono per lo più condizionati dal mantenimento di efficienti reti di regimazione idraulica.

Ne deriva pertanto la necessità di porre a confronto la dinamica di trasformazione dell'uso del suolo, con particolare riferimento al sistema insediativo, con le caratteristiche di qualità dei suoli.

La redazione di supporti cartografici dell'uso del suolo, che siano significativi al fine del confronto, deve prevedere suddivisioni in classi tali da rendere necessario l'utilizzo delle diverse tecniche di fotointerpretazione e telerilevamento per procedere, poi, ad una riclassificazione ponderata del territorio e alla valutazione, in termini qualitativi e quantitativi, del tipo di modificazione o la persistenza nell'uso della risorsa. Lo studio dello sviluppo insediativo nei territori padani prossimi all'asta del fiume Po, ed in particolare di quelli emiliani, viene condotto al livello amministrativo comunale; l'indagine compiuta a grande scala permette infatti di individuare con particolare accuratezza i mutamenti intercorsi in uno specifico arco temporale, mentre la coincidenza dei limiti delle aree studiate con i limiti amministrativi dei governi di carattere locale consente un aggancio immediato e pertanto una pronta utilizzazione a livello di attività pianificatoria di ambito circoscritto, mirata ad un migliore utilizzo e conservazione della risorsa suolo.

Introduzione

Il dilatarsi dei centri urbani, lo sviluppo industriale, artigianale e del settore terziario in genere, l'incremento dimensionale e numerico delle vie di comunicazione sono state alcune delle cause che hanno contribuito, dal dopoguerra ad oggi, ad un consumo sempre crescente di superficie agricola utilizzata, ed in particolare di quella localizzata in aree di pianura caratterizzate dai terreni migliori e dalle attività agricole più redditizie. L'impermeabilizzazione di vaste superfici a scopo edilizio e viario, oltre ad un consumo irreversibile di suolo, riduce progressivamente la capacità di assorbimento del terreno. Questo fenomeno è particolarmente evidente in Pianura Padana, dove l'urbanizzazione ha raggiunto valori medi intorno al 9% e dove, in particolare lungo l'asse della Via Emilia, le superfici impermeabilizzate a livello comunale superano anche il 20% del totale.

Gli ambiti d'indagine

Il presente studio ha preso in considerazione una superficie di circa 650.000 ettari comprendenti i comuni rivieraschi del Po da Melegnano a Ferrara.

Per l'intera area sopracitata è stata valutata la dinamica del sistema insediativo del bacino padano nel periodo tra il 1885 e il 1995. La successiva analisi rivolta all'individuazione del consumo di suolo, in termini quali - quantitativi, si è per ora limitata ad alcuni territori emiliani.

La metodologia applicata

La valutazione in termini qualitativi e quantitativi della tendenza alla trasformazione delle superfici agricole in funzione dello sviluppo del sistema insediativo avviene per fasi successive.

La prima fase prende avvio dalla redazione di mappature multitemporali del territorio realizzate mediante idoneo sistema informativo geografico ed ottenute attraverso la sovrapposizione e la interazione di livelli conoscitivi rilevati alla scala 1:25.000 con le finalità di valutare la dinamica e lo sviluppo del sistema urbano.

La documentazione utilizzata per trarre le informazioni necessarie per la definizione dei livelli precedentemente descritti è rappresentata:

- dalla cartografia topografica alla scala 1:25.000 serie 25V e 25N dell'Istituto Geografico Militare riferita ai periodi 1885/1890, 1933/1969, 1980/1995;

- dalla cartografia tecnica alle scale 1:25.000 e 1:10.000 delle Regioni Emilia-Romagna, Lombardia, Piemonte e Veneto riferita al periodo 1985/1995;

- dalle coperture aeree dell'IGM (volo GAI - 1954/55) e della Compagnia Generale Riprese Aeree di Parma (volo Italia - 1994);

- i perimetri dei confini comunali desunti dalla banca dati dell'Autorità di Bacino del fiume Po.

La seconda fase ha previsto la valutazione pedologica delle aree oggetto di studio avvalendosi delle informazioni reperibili presso la banca dati della Regione Emilia-Romagna (www.gias.net).

Confrontando mediante procedure GIS, la carta delle dinamiche insediative, ottenuta nella prima fase del lavoro, con la carta pedologica risulta possibile valutare il consumo di suolo che l'espansione urbana ha provocato in queste aree. La valutazione della qualità agronomica dei tipi di suolo ha permesso inoltre di valutare in termini qualitativi il consumo di suolo, al fine di migliorare l'utilizzo e la conservazione della risorsa suolo nelle future attività pianificatorie.

La fase iniziale del lavoro ha previsto l'acquisizione manuale, su lucido indeformabile di poliestere, dei perimetri urbani riferiti ai periodi 1885/1890, 1955/1960 e 1990/1995. Tale supporto è stato preventivamente calibrato sulla cornice in scala 1:25.000 di rispettiva appartenenza geografica e messo a registro con la CTR per il periodo 1990/1995 e con la tavoletta IGM (primo impianto) per il periodo 1885/1890. I lucidi così realizzati sono stati acquisiti con scanner HP a piano orizzontale, elaborati, calibrati, georeferenziati e successivamente vettorializzati nel formato *shape* di Arcview.

Gli strati informatici così ottenuti sono stati successivamente assemblati (una tavola in scala 1:50.000 ogni quattro quadranti in scala 1:25.000) per la restituzione a stampa.

La seconda fase dell'indagine ha invece previsto l'estrazione dei dati relativi alla superficie urbanizzata, per ciascuna epoca, per singola superficie comunale e la sovrapposizione dei tematismi così ottenuti dalla documentazione tratta dalla banca dati della regione Emilia Romagna riclassificata secondo la metodologia FAO-UNESCO.

Il database associato alle nuove mappe ottenute per sovrapposizione del tematismo pedologico e del tematismo "dinamica insediativa" ha permesso di calcolare il consumo di suolo per ciascuna tipologia pedologica, in funzione dell'espansione urbana.

Valutazione sul consumo dei suoli in funzione dello sviluppo insediativo: il caso dei comuni di Castel S. Giovanni (PC), Sorbolo (PR) e Bondeno (FE)

Come esempio vengono forniti i risultati relativi a tre comuni oggetto d'indagine, *Castel S. Giovanni* (PC), *Sorbolo* (PR) e *Bondeno* (FE), per ciascuno dei quali sono state ricavate le diverse delimitazioni pedologiche e i corrispondenti caratteri agronomici (tabella 1).

Tabella 1 Tipologia di suoli presenti nei comuni di Castel S. Giovanni (PC), Sorbolo (PR) e Bondeno (FE) suddivisi per delimitazioni pedologiche e qualità agronomiche (dati RER)

Denominazione Delineazione (*)	Classificazioni FAO (1988) - USDA (1992)	Qualità agronomiche
Barco	Chromic Luvisols Typic Paleustalfs	Condizionate dall'elevato contenuto in limo, dall'assenza di calcare e dalla presenza di ghiaia
Borghetto	Calcaric Cambisols Fluventic Ustochrepts	Condizionati dalla presenza di ghiaia che influisce prevalentemente sul loro comportamento fisico idrologico
Calabrina	Haplic Calcisols Vertic Ustochrepts	Condizionati dalla tessitura fine, dalla moderata disponibilità in ossigeno e dall'assenza di calcare
Casa Ponte	Gypsic Vertisols Entic Chromusters	Condizionati dalla tessitura fine, dalla imperfetta disponibilità in ossigeno e dalla salinità in profondità
Castelvetro	Calcaric Cambisols Aquic Ustochrepts	Condizionati dall'elevato contenuto in limo e dalla idromorfia per la vicinanza a corsi d'acqua
Castione Marchesi	Calcic Vertisols Entic Chromusters	Condizionati dalla tessitura fine e dalla moderata disponibilità di ossigeno
Cataldi	Haplic Calcisols Fluventic Ustochrepts	Condizionati dall'elevato contenuto in limo che ne influenza prevalentemente il comportamento idrologico
Cittadella	Ferric Luvisols Aquic Paleustalfs	Condizionati dall'eccesso di limo e dall'assenza di calcare tali da influire sulla infiltrabilità dell'acqua nel suolo
Ghiardo	Haplic Luvisols Aquic Haplustalfs	Condizionati dall'eccesso di limo e dall'assenza di calcare tali da influenzare l'infiltrabilità dell'acqua nel suolo

SEGUE

SEGUE TABELLA 1

Denominazione Delineazione (*)	Classificazioni	Qualità agronomiche
	FAO (1988) - USDA (1992)	
Medicina	Haplic Calcisols Vertic Ustochrepts	Condizionati dall'elevato contenuto in argilla e dalla moderata disponibilità di ossigeno
Monticelli	Haplic Calcisols Fluventic Ustochrepts	Non presentano particolari problemi per la loro tessitura relativamente equilibrata
Mortizza	Calcaric Cambisols Fluventic Ustochrepts	Condizionati dal basso contenuto in argilla e dalla presenza di orizzonti a granulometria grossolana
Risaia del Duca	Eutric Vertisols Entic Chromusters	Condizionati dall'elevato contenuto in argille espandibili e dai conseguenti contrasti idrici stagionali
Rivergaro	Haplic Luvisols Vertic Paleustalfs	Condizionati dalla tessitura fine e dall'assenza di calcare
Ruina	Calcaric Cambisols Aquic Ustochrepts	Condizionati dall'elevato contenuto in limo che ne influenza il comportamento fisico-idrologico
San Giorgio	Haplic Calcisols Fluventic Ustochrepts	Non presentano problemi per la tessitura relativamente equilibrata
Sant'Omobono	Calcaric Cambisols Fluventic Ustochrepts	Condizionati dall'elevato contenuto in limo che ne influenza prevalentemente il comportamento idrologico
Secchia	Calcaric Cambisols Fluventic Ustochrepts	Non presentano problemi per la tessitura relativamente equilibrata
Stradazza	Calcaric Cambisols Fluventic Ustochrepts	Condizionati dall'elevato contenuto in limo che ne influenza il comportamento idrologico
Tegagna	Haplic Calcisols Typic Ustochrepts	Condizionati dall'elevato contenuto in limo che ne influenza il comportamento idrologico
Terzana	Calcic Vertisols Entic Chromusters	Condizionati dalla tessitura fine e dalla moderata disponibilità di ossigeno

(*) dal catalogo regionale dei tipi di suolo della pianura emiliano-romagnola - Regione Emilia-Romagna, Servizio Cartografico - Ufficio Pedologico

Sovrapponendo le cartografie relative all'espansione del sistema insediativo e alla pedologia è stato possibile calcolare quantitativamente e qualitativamente il consumo di suolo per singolo comune analizzato.

Come esempio viene riportato in figura 1 l'elaborato cartografico relativo al Comune di Castel S.Giovanni (PC).

Comune di Castel S.Giovanni (PC)

Castel S. Giovanni è un comune di piccole dimensioni (4.260 ha) situato a nord-ovest della città di Piacenza. La superficie urbanizzata è aumentata notevolmente nel corso dell'ultimo secolo. Nel 1889 essa rappresentava il 2,6% della superficie totale del comune, mentre nel 1990 questo valore ha raggiunto l'8,6% (Tabella 2).

Tabella 2. Consumo di suolo per sviluppo urbano nei comuni di Castel S. Giovanni (PC), Sorbolo (PR) e Bondeno (FE) espresso in ha e in valori percentuali rispetto all'intera superficie comunale.

Comuni	Superficie totale (ha)	Superficie urbanizzata (ha)		
		1889	1955	1990
Castel San Giovanni (PC)	4412	113 (2,55%)	119 (2,7%)	371 (8,6%)
Sorbolo (PR)	3927	46 (1,18%)	82 (2,1%)	329 (8,36%)
Bondeno (FE)	17514	178 (1,01%)	267 (1,52%)	811 (4,54%)

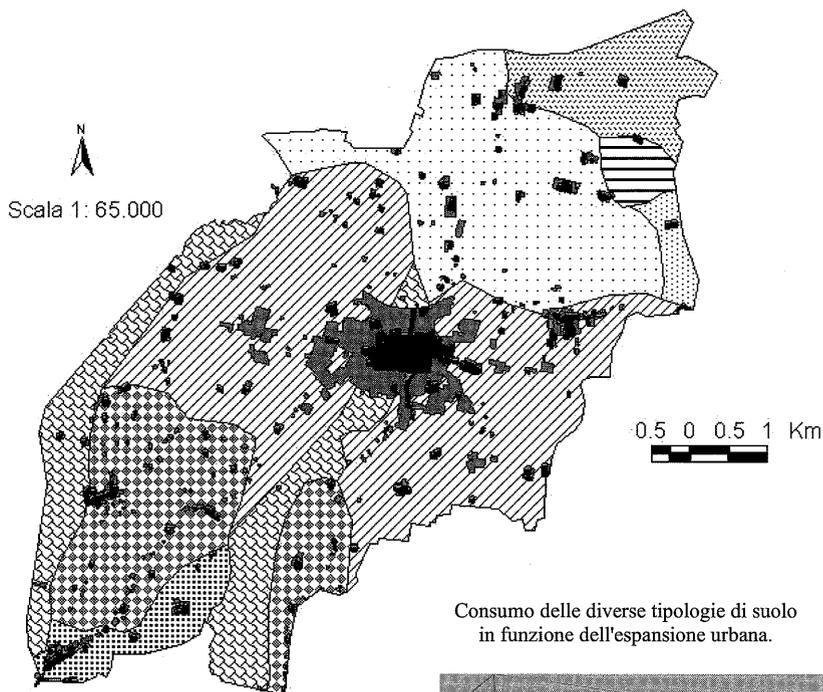
Dal punto di vista pedologico il territorio comunale è caratterizzato da suoli che variano sia in termini tassonomici che di qualità agronomica, raggruppabili, secondo le indicazioni della Regione Emilia-Romagna, nelle seguenti delineazioni pedologiche :

Tabella 3. Quantitativo espresso in ettari delle tipologie di suolo, raggruppate in delineazioni pedologiche, nel comune di Castel S. Giovanni (PC).

Delineazioni pedologiche	Superficie in ettari (ha)
Castelvetro, Mortizza	39.233
Castione Marchesi	267.551
Monticelli	808.637
Risaia Del Duca	68.651
Ghiardo, Barco	370.010
Tegagna, Calabrina	1121.730
Cittadella, Rivergaro	1270.470
Vicobarone, Montalbo, Fontanino	157.486

Le delineazioni pedologiche che vengono maggiormente interessate dall'espansione urbana (Fig.1) possono suddividersi in funzione delle tipologie dei suoli in esse presenti. Un primo gruppo "Barco-Cittadella-Ghiardo-Rivergaro" è caratterizzato da suoli decarbonatati e lisciviati (Alfisuoli) con frequenti livelli ghiaiosi in profondità. Essi ben si prestano dal punto di vista meccanico a sopportare significativi carichi strutturali edilizi; l'espansione urbana ha interessato circa il 20% di questi suoli, pari al 5,6% dell'intera superficie comunale. Il secondo gruppo "Calabrina, Castione Marchesi-Tegagna" è caratterizzato da suoli ad elevato contenuto in argilla (Inceptisuoli vertici o Vertisuoli) che sono soggetti a fenomeni di ristagno idrico in determinati periodi dell'anno. In tal caso l'espansione urbana ha interessato circa il 7% di questi suoli, pari al 2,5% dell'intera superficie comunale. I suoli "Monticelli", che presentano le migliori qualità agronomiche, sono stati risparmiati dallo sviluppo insediativo. E' infatti possibile notare la sola presenza di casolari sparsi il cui numero e la cui relativa estensione non hanno subito significative variazioni nel corso dell'ultimo secolo.

Comune di Castel S. Giovanni (PC)



Consumo delle diverse tipologie di suolo in funzione dell'espansione urbana.

Legenda

	Urbanizzazione al 1839
	Urbanizzazione al 1965
	Urbanizzazione al 1990
Delle aree pedologiche	
	CASTELVETRO, MORTIZZA
	CASTIONE MARCHESI
	CITTADELLA, RIVERGARO
	GHIARDO, BARCO
	MONTECELLI
	RISAJA DEL DUCA
	TEGAGNA, CALABRINA
	VICOBARONE, MONTALBO, FONTANINO

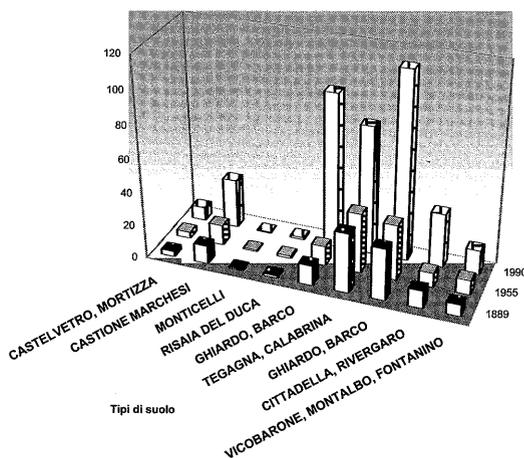


Figura 2. Rappresentazione cartografica del consumo delle diverse tipologie di suolo in funzione dell'espansione urbana nelle diverse epoche storiche considerate, nel Comune di Castel S. Giovanni (PC)

Comune di Sorbolo (PR)

Il comune di Sorbolo è il più piccolo dei tre comuni analizzati (3927 ha) situato in prossimità del fiume Po fra la provincia di Parma e la provincia di Reggio Emilia.

Qui l'espansione urbana ha subito l'incremento percentuale maggiore, rispetto all'intera superficie comunale passando dall'1,18% nel 1889 all'8,36% nel 1990 (vedi Tabella 2). Tale espansione ha interessato principalmente i suoli "Sant'Omobono", dove risulta edificata il 16% della superficie disponibile, pari al 5% dell'intera superficie comunale. I suoli Sant'Omobono presentano qualità agronomiche accettabili (Inceptisuoli fluentici) come risulta dall'analisi dei dati riportati in Tabella 1.

Dal punto di vista pedologico questo territorio risulta meno diversificato del Comune di Castel S. Giovanni, oltre alla delimitazione "S.Omobono" ritroviamo le seguenti tipologie di suolo:

Tabella 4. Quantitativo espresso in ettari delle tipologie di suolo, raggruppate in delimitazioni pedologiche, nel comune di Sorbolo (PR).

Delineazioni pedologiche	Superficie in ettari (ha)
Castelvetro, Mortizza	17.896
Risaia Del Duca	1717.887
Sant'Omobono	1158.206
Medicina, Cataldi	1031.750
Cataldi, San Giorgio, Borghetto	1.154

Nei suoli "Risaia del Duca-Medicina-Cataldi", suoli decisamente ricchi in argille (Vertisuoli ed Inceptisuoli vertici), e tali quindi da modificare le proprie condizioni strutturali in funzione delle condizioni climatiche, l'espansione urbana ha interessato circa il 5 % della superficie pedologica, pari al 3,5% dell'intera superficie comunale.

Comune di Bondeno (FE)

Situato nella parte occidentale della provincia ferrarese Bondeno è il più grande dei comuni esaminati (17514 ha). Come si può osservare in tabella 2 l'incremento percentuale di superficie urbanizzata nel suddetto comune è nettamente inferiore rispetto a quello riscontrato nei comuni precedentemente analizzati. Questo è probabilmente dovuto alla particolare natura del territorio che ha condizionato sia l'espansione che la collocazione del sistema insediativo nelle aree ad idromorfia più limitata. Dal

punto di vista pedologico Bondeno è caratterizzato prevalentemente dai suoli "Risaia del Duca - Case Ponte" caratterizzati da argille espandibili e carenti in ossigeno (Vertisuoli) e dai suoli "Ruina-Stradazza" limosi e con drenaggio interno difficoltoso (Inceptisuoli acquici).

Tabella 5. Quantitativo espresso in ettari delle tipologie di suolo, raggruppate in delineazioni pedologiche, nel comune di Bondeno (FE).

Delineazioni pedologiche	Superficie in ettari (ha)
Risaia Del Duca	1638.000
Ruina, Stradazza	4021.574
Cataldi, San Giorgio	493.634
Terzana, Ruina	1035.774
San'tomobono, Secchia	1672.044
Risaia Del Duca, Case Ponte	8474.694

L'espansione urbana ha interessato circa il 3,5 % della superficie dei suoli ricadenti nella delineazione pedologica "Risaia del Duca - Case Ponte", pari al 2,9% dell'intera superficie comunale, mentre il suolo sottratto alla delineazione "Ruina-Stradazza" è pari all' 8,2% della superficie disponibile, circa il 2% rispetto all'intera superficie comunale.

Conclusioni

Una valutazione quali-quantitativa del consumo di suolo in funzione dello sviluppo insediativo può contribuire ad un utilizzo più razionale e consapevole di tale risorsa.

La metodologia proposta in questo lavoro prevede una prima fase nella quale l'indagine viene condotta a piccola scala, con l'obiettivo di individuare con accuratezza i mutamenti che hanno caratterizzato lo sviluppo insediativo in uno specifico arco temporale. La seconda fase analizza invece il consumo di suolo in termini quali-quantitativi, in funzione dello sviluppo insediativo, al livello di grande scala (ambito comunale). E' proprio la coincidenza tra limiti delle aree di studio e limiti dei governi amministrativi di carattere locale che puo' consentire un aggancio immediato agli strumenti di pianificazione territoriale, con lo scopo di valutare in modo ragionato le diverse modalità di utilizzo della risorsa suolo ed in particolare salvaguardare, per quanto possibile, i suoli più fertili dalle esigenze urbanistiche.

Bibliografia

- AMATUCCI M., BUSCAROLI A., ROSETTI P. (1999). Dinamica fluviale ed insediativa di un tratto del fiume Po (Provincia di Cremona). In *"Informazioni territoriali e rischi ambientali"* Atti 3a Conferenza Nazionale ASITA, Vol. 1, pp. 103-108, Napoli .
- BERTOZZI, A. BUSCAROLI, P. CAVALCOLI, M. PIRAZZOLI, G. VIANELLO, (1993). Dinamiche e persistenza dell'uso del suolo della Provincia di Bologna: l'applicazione di un sistema informativo geografico. *P.F. RAISA-CNR, pubbl. n. 609, Genio Rurale, n. 2*, pp. 11-18.
- R. BERTOZZI R., A. BUSCAROLI A., M. LOCATELLI M., G. VIANELLO G. (1993), Metodologia d'analisi per individuare le dinamiche e le persistenze dell'uso del suolo correlate al differente grado di fragilità ambientale. P.F. RAISA-CNR, su *"L'impatto delle agro-tecnologie nel Bacino del Po"*, cap. 17, pp. 287-296, Franco Angeli Editore.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA (1990). Catalogo regionale dei tipi di suolo della Pianura Emiliano-Romagnola. Servizio Cartografico - Ufficio Pedologico, Bologna.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA, (1994). I suoli dell'Emilia-Romagna. Servizio cartografico, Ufficio Pedologico, Bologna.
- BERTOZZI R., BUSCAROLI A., GARDI C. , SEQUI P., VIANELLO G., (1994). Land planning: GIS application in environmental characterization, in local area. F.P. - P.A.N.D.A., subproject 1 , series 2, paper no. 04, *Int. Conf. on Land and Water res. manag. in the Mediterranean region, Vol. II*, pp. 441-456, Valenzano, Bari .
- GHERARDI M., ROSETTI P., G. VIANELLO G. (1998). Valutazioni relative al consumo e alle trasformazioni dell'uso dei suoli e alle modificazioni chimico-fisiche mediante la procedura del confronto multitemporale. P.F. RAISA-CNR e P.F. PANDA-MiPA, su *"Sensibilità e vulnerabilità del suolo: metodi e strumenti d'indagine"*, cap. 5, pp. 193-212, FrancoAngeli Editore.
- LORITO S., VIANELLO G. (1999). Localizzazione di una stazione ecologica mediante l'utilizzo di un sistema informativo geografico. In *"Informazioni territoriali e rischi ambientali"* Atti 3a Conferenza Nazionale ASITA, Vol. 2, pp. 855-860, Napoli .
- G. VIANELLO G., (1993). Il problema della conservazione del suolo nel bacino padano. P.F. RAISA-CNR, su *"L'impatto delle agro-tecnologie nel Bacino del Po"*, cap. 7, pp. 123-127, Franco Angeli Editore.

MONITORAGGIO DELLE PROPRIETÀ IDRAULICHE NEI SUOLI IRRIGATI CON ACQUE REFLUE URBANE

P. Botti ¹, A. Coppola ², E. Murru ¹, F. Salis ¹,

A. Santini ³, S. Vacca ⁴

1 Ente Autonomo del Flumendosa - Cagliari

2 Università degli Studi della Basilicata

3 Università degli Studi Federico II di Napoli

4 Università degli Studi di Sassari

1. Premessa

Il reimpiego in agricoltura dei reflui urbani richiede che vengano adottati criteri di sicurezza che riducano entro margini accettabili i problemi sanitari ed ambientali connessi. Un aspetto non secondario e per molti versi determinante riguarda gli effetti sulla risorsa suolo del reimpiego a fini irrigui dei reflui urbani. Gli effluenti contengono generalmente alte concentrazioni di solidi sospesi e disciolti, sia organici che inorganici (p.e., cloro, sodio, boro, metalli pesanti) che pervengono alle acque reflue dagli usi domestici ed industriali e che sono solo in parte rimossi durante i trattamenti di depurazione (secondario e terziario), e che possono giungere al suolo con l'irrigazione. Senza un appropriato uso fondato sulla conoscenza dei possibili effetti dannosi sui suoli, tali acque sono da ritenere praticamente di impossibile prolungato uso. Questo lavoro si iscrive in una ricerca multidisciplinare pianificata dall'Ente Autonomo del Flumendosa (Cagliari) finalizzata al reimpiego in agricoltura delle acque reflue urbane nel sud della Sardegna, ed ha l'obiettivo di illustrare le metodologie sperimentali utilizzate per verificare e quantificare gli effetti che le complesse interazioni chimico-fisiche fra il suolo ed i costituenti chimici delle acque reflue possono indurre sulle caratteristiche del moto dell'acqua e del trasporto di soluti nel suolo.

2. Descrizione dell'attività sperimentale

Attraverso un rilevamento pedologico preliminare sono stati individuati cinque "profili tipo" sulla base del substrato pedogenetico e della presenza di alcune importanti proprietà fisiche e strutturali, che fossero al tempo stesso riferibili alle tipologie pedologiche più diffuse nella Sardegna

meridionale. In ciascuno dei cinque profili modali così individuati sono state prelevate in duplicato grandi colonne non rimaneggiate di suolo (120 cm di altezza e 40 cm di diametro), attraverso le quali è stato prelevato l'intero profilo fino al materiale parentale, da sottoporre ad indagini di laboratorio per la valutazione dei potenziali effetti sulle proprietà fisico-idrauliche dei suoli connessi all'uso irriguo delle acque reflue in questione. In corrispondenza di ciascun orizzonte caratteristico del profilo sono inoltre stati prelevati in duplicato campioni non rimaneggiati di suolo utilizzando campionatori cilindrici in acciaio del diametro di 15,0 cm e di altezza pari a 20,0 cm. I campioni sono stati oggetto di caratterizzazioni volte principalmente ad acquisire informazioni aggiuntive utili per la interpretazione delle prove condotte sulle colonne. Gli effetti del trattamento con acque reflue sono stati verificati anche su questi campioni, secondo modalità di prova riconducibili a quelle già adottate per le colonne.

2.1. Prove sulle colonne

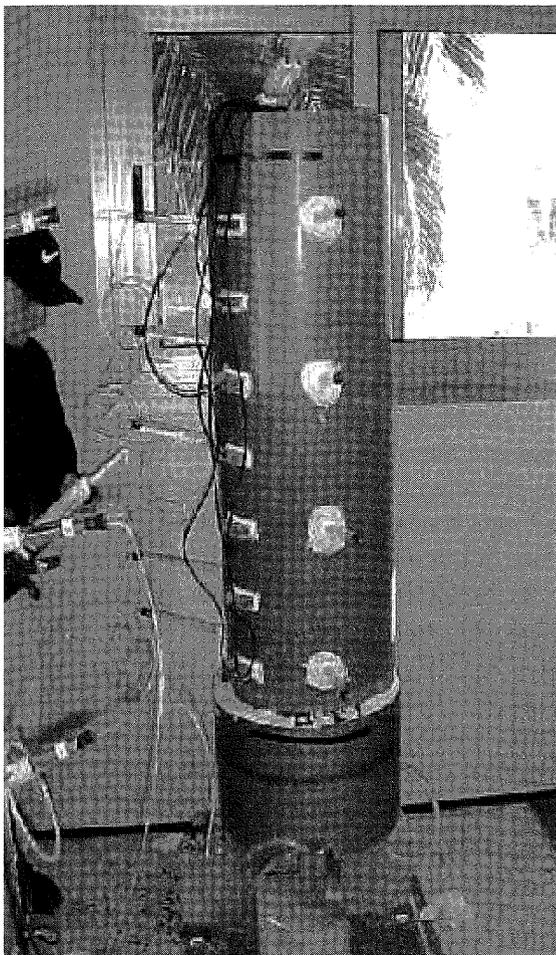
La sperimentazione sulle colonne si è articolata nei seguenti punti:

- prove preliminari di infiltrazione e successivo esaurimento per la determinazione delle proprietà idrauliche (funzioni di ritenzione idrica e di conducibilità idraulica);
- esperimenti di moto miscibile con tracciante per la determinazione delle caratteristiche del trasporto dei soluti (dispersione idrodinamica, coefficiente di ritardo, velocità media di avanzamento del soluto);
- cicli di infiltrazione ed esaurimento con acque reflue;
- prove di infiltrazione ed esaurimento come al punto (1) e di moto miscibile come al punto (2) per la quantificazione degli effetti del trattamento con acque reflue sulle funzioni di ritenzione idrica e di conducibilità idraulica, sulle caratteristiche dispersive e sui tempi di trasferimento dei soluti nel suolo.

Per il rilievo dei profili del contenuto d'acqua e del potenziale di matrice dell'acqua, nonché per il campionamento della soluzione circolante a varie quote, le colonne sono strumentate con sonde TDR, tensiometri ed estrattori di soluzione rispettivamente (figura 1).

2.1.1. Prove di infiltrazione

Per la determinazione delle funzioni di ritenzione idrica e di conducibilità idraulica nei profili di suolo in questione è stato necessario mo-



monitorare le variazioni del contenuto d'acqua e del potenziale di matrice a diverse profondità lungo la colonna che è stata interessata da un processo di infiltrazione indotto alimentando la stessa con intensità di pioggia, o imponendo tensioni note alla superficie, tali da determinare la formazione di una zona satura o prossima alla saturazione in superficie (Santini, 1997; Coppola e Greco, 1997). Alimentando la colonna con un flusso di acqua costante si determina in prossimità della superficie una zona di trasmissione con gradienti del potenziale di pressione h che praticamente si annullano ed il profilo dei contenuti d'acqua avanza verso il basso con un fronte di inumidimento di forma e velocità costanti. Nel caso di profili che possono essere anche marcatamente anisotropici, come nel caso in esame, possono sorgere difficoltà aggiuntive nella interpretazione della dinamica di infiltrazione all'interfaccia fra strati differenti. Per l'alimentazione è stata utilizzata una soluzione di CaSO_4 che ha consentito anche di predisporre la colonna alla successiva prova di avanzamento del tracciante. Il progressivo avanzamento del fronte di inumidimento lungo la colonna è stato seguito effettuando misure periodiche del contenuto d'acqua e del potenziale di matrice dell'acqua avvalendosi di sonde TDR e tensiometri rispettivamente. L'alimentazione è proseguita fino a portare tutto il profilo di suolo in condizioni prossime alla saturazione o, comunque, al raggiungimento delle condizioni di stazionarietà, utili anche per le successive prove di avanzamento del tracciante, che è stato verificato controllando che le misure del contenuto d'acqua e dei potenziali rimanessero costanti nel tempo.

2.1.2. Esperimenti di moto miscibile

Gli esperimenti di moto miscibile prevedono normalmente una fase preliminare di condizionamento determinata alimentando il sistema di moto con una soluzione, frequentemente di CaSO_4 , fino al raggiungimento del regime di moto permanente e di una concentrazione iniziale del tracciante utilizzato, nel caso in esame Cl^- , prossima allo zero (Comegna *et al.*, 1999; Comegna *et al.*, 2000). Nel caso considerato, avendo condotto la prova di infiltrazione con CaSO_4 fino al raggiungimento di una condizione di stabilità delle condizioni di flusso nella colonna, la prova di avanzamento del tracciante ha potuto avere inizio immediatamente, alimentando la colonna con una soluzione di CaCl_2 di concentrazione nota utilizzando la stessa intensità di pioggia o imponendo la stessa tensione alla superficie della colonna; si è poi provveduto al campionamento automatico dell'effluente alla base della colonna per il monitoraggio nel tempo delle relative concentrazioni ioniche. A varie quote lungo la colonna sono stati installati estrattori di soluzione circolante con capsula porosa del tipo utilizzato per i tensiometri. Ad intervalli di tempo predeterminati e variabili in relazione alla permeabilità del mezzo che determina la rapidità del processo di moto, sono stati prelevati campioni di soluzione circolante collegando gli estrattori ad un sistema attraverso il quale viene indotta al loro interno una depressione pari a 0,5-0,8 bar, avvalendosi di una pompa da vuoto manuale. Oltre che con gli estrattori di soluzione, la dinamica del tracciante durante la prova a diverse profondità e nel tempo è stata seguita utilizzando i segnali che si riferiscono alle sonde TDR attraverso cui si può risalire alla conducibilità elettrica del mezzo che può a sua volta essere messa in relazione con la concentrazione del cloro nella soluzione circolante mediante una relazione di calibrazione preliminarmente determinata (Comegna *et al.*, 1999). Con una frequenza di campionamento non inferiore a quella utilizzata per gli estrattori sono state quindi acquisite le forme d'onda TDR alle diverse profondità. Una frequenza di misura prossima a quella utilizzata durante le prove di infiltrazione ha consentito di seguire efficacemente l'avanzamento del fronte del soluto.

Anche nelle prove di avanzamento del tracciante problemi interpretativi possono determinarsi all'arrivo del fronte del soluto all'interfaccia tra strati del profilo.

2.1.3. Cicli di trattamento con acque reflue

Con le condizioni di prova che si riferiscono al trattamento con le acque reflue si intendevano riprodurre artificialmente i regimi idrici che si determinerebbero naturalmente nei suoli a seguito delle intermittenti applicazioni di acque reflue e del successivo esaurimento per evaporazione. Ogni

profilo è stato quindi sottoposto a cinque cicli di irrigazione con acque reflue, reintegrando ogni volta il solo volume perso per effetto del processo di evaporazione indotto alla fine di ciascuna prova di infiltrazione. Ciascun ciclo è stato intervallato da almeno due settimane di evaporazione nel corso delle quali sono stati effettuati rilievi sistematici del contenuto d'acqua e dei potenziali di matrice alle diverse profondità ed è stata inoltre monitorata la dinamica di differenti specie chimiche mediante campionamento della soluzione circolante e di quella effluente dalla base della colonna.

Al fine di verificare le modifiche indotte nelle caratteristiche idrauliche e di trasporto dei suoli, alla fine dei cicli di applicazione del reflu sulle stesse colonne sono state condotte nuovamente le prove di caratterizzazione secondo le modalità già descritte.

2.2 Prove su campioni

2.2.1. Caratterizzazione idraulica

Le indagini sui campioni sono state svolte presso il Laboratorio di Idrologia del suolo del Dipartimento di Ingegneria Agraria dell'Università di Napoli. Tutti i campioni sono stati sottoposti ad indagini preliminari volte alla individuazione di alcuni parametri fisici indispensabili per le successive elaborazioni. In particolare, i campioni sono stati saturati lentamente dal basso ponendoli su dischi perforati in una vasca contenente circa 3 cm d'acqua; il livello dell'acqua è stato progressivamente aumentato fino a raggiungere la sommità del campionatore. La saturazione completa ha richiesto non meno di cinque giorni in relazione alla diversa permeabilità dei campioni. Quindi, si è provveduto alla determinazione del contenuto d'acqua alla saturazione θ_s e della conducibilità idraulica alla saturazione k_s con il metodo a carico variabile (Klute *et al.*, 1986). Come per le colonne, anche sui campioni si è proceduto ad una caratterizzazione idraulica preliminare e successiva al trattamento con i reflui. Per la caratterizzazione è stato utilizzato il metodo dell'evaporazione (Wind, 1968; Tamari *et al.*, 1990; Romano e Santini, 1999) che ha consentito di determinare simultaneamente le funzioni di ritenzione idrica e di conducibilità idraulica sottoponendo i campioni di suolo ad un transitorio di evaporazione.

Quindi i campioni sono stati sottoposti a cinque cicli di infiltrazione-evaporazione con acque reflue avvalendosi di un simulatore di pioggia. Sono quindi stati rideterminati il θ_s ed il k_s ed è stata ripetuta la caratterizzazione idraulica ricorrendo ai metodi appena descritti.

2.2.2. Conducibilità idraulica dopo desalinizzazione con acqua distillata

Sui campioni sono state anche effettuate prove per una quantificazione della eventuale riduzione della conducibilità idraulica alla saturazione e della modificazione di alcuni altri parametri fisici conseguenti all'avvio dei processi di desalinizzazione con acqua distillata immediatamente dopo l'irrigazione con acque reflue. Un problema chiave nella utilizzazione delle acque reflue è infatti, fra gli altri, quello di assicurare una sufficiente permeabilità dei suoli per evitare che essi assumano quei caratteri che denunciano l'involuzione verso la sodicizzazione e l'alcalinomorfia.

Le prove sono state condotte in condizioni di saturazione alimentando con un carico costante di 2 cm la superficie dei campioni, mentre la sezione di base è stata mantenuta alla pressione atmosferica. La saturazione dei campioni di suolo è stata effettuata con acque reflue tal quali, le cui caratteristiche in termini di SAR e di conducibilità elettrica sono state fornite dal laboratorio dell'Ente Flumendosa. I campioni sono stati alimentati a carico costante fino ad avere un volume defluito attraverso il campione pari al doppio del corrispondente poro-volume. Quindi, la soluzione di alimentazione è stata sostituita con acqua distillata, in modo da riprodurre artificialmente l'effetto di un apporto meteorico subito dopo l'irrigazione con acque reflue.

3. Elaborazione dei dati

Sia con riferimento alle prove su colonne che a quelle su campioni, il rilievo contemporaneo del contenuto d'acqua θ e del potenziale h ha consentito di definire agevolmente le curve di ritenzione per ciascuna profondità. Il legame funzionale tra h e θ è stato descritto analiticamente ricorrendo alla formulazione a più parametri proposta da Van Genuchten (1980), la cui rispondenza è stata ampiamente verificata per numerosi suoli e che può essere scritta come segue:

$$\begin{aligned} \theta &= \theta_{r+} (\theta_s - \theta_r) \left[+ |\alpha h|^n \right]^m & h < 0 \\ \theta &= \theta_s & h \geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

in cui α (cm^{-1}), n e m sono parametri di adattamento del modello ai dati sperimentali mentre θ_s e θ_r rappresentano rispettivamente il contenuto d'acqua alla saturazione e quello residuo.

Il legame funzionale fra la conducibilità idraulica k ed il contenuto d'acqua θ è stato descritto ricorrendo al modello di conducibilità idraulica

ca proposto da Mualem. Il modello, basato sulla distribuzione statistica della dimensione dei pori, fornisce generalmente stime ragionevolmente accurate della conducibilità idraulica utilizzando i dati di ritenzione (Van Genuchten e Nielsen, 1985; Luckner *et al.*, 1989; Coppola, 2000), e viene così formulato:

$$k_r(S_e) = S_e^\tau \left[\int_0^{S_e} \frac{1}{h(S_e)} dS_e / \int_0^1 \frac{1}{h(S_e)} dS_e \right]^2 \quad (2)$$

in cui k_r è la conducibilità idraulica relativa, ka/ks , avendo indicato con ka la conducibilità assoluta e con ks quella alla saturazione, e τ è un indice di tortuosità dei pori.

La conoscenza delle relazioni fra la conducibilità idraulica k , il contenuto d'acqua in volume θ , e il valore locale del potenziale di pressione h è indispensabile per la soluzione dell'equazione del moto dell'acqua nel suolo che, per moto unidimensionale verticale e in mezzo poroso supposto isotropo, assume la seguente forma:

$$C(h) \frac{(\partial h)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(k(h) \frac{\partial h}{\partial z} - k(h) \right) \quad (3)$$

in cui t è il tempo, z la coordinata verticale e C è la "capacità capillare", che rappresenta la derivata ($d\theta/dh$) in ogni punto della curva di ritenzione idrica $\theta(h)$.

La dinamica del tracciante lungo le colonne è stata studiata nell'ipotesi di un meccanismo di trasporto del tipo convettivo-dispersivo che viene descritto, nel caso di moto unidimensionale stazionario del tracciante, mediante la classica equazione differenziale convezione-dispersione (CD):

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x} \quad (4)$$

in cui C (ML^{-3}) è la concentrazione della soluzione, $v = q/\theta_s$ (LT^{-1}) è la velocità effettiva della fase liquida, q (LT^{-1}) è la velocità *darciiana*, θ_s il contenuto idrico volumetrico alla saturazione, D (L^2T^{-1}) il coefficiente di dispersione idrodinamica, x (L) è la distanza nella direzione del moto e t (T) è il tempo. Con le appropriate condizioni iniziali e al contorno del campo di moto si ottiene la soluzione seguente alla equazione (4)

$$C^*(x,t) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left[\frac{Rx - vt}{2(DRt)^{1/2}} \right] + \frac{1}{2} \exp \left(\frac{vx}{D} \right) \operatorname{erfc} \left[\frac{Rx - vt}{2(DRt)^{1/2}} \right] \quad (5)$$

L'adattamento della soluzione (9) alle curve sperimentali di eluviazione ottenute con la tecnica TDR, così come descritto al paragrafo 2.1.2. ha consentito di stimare i parametri che in essa compaiono applicando un algoritmo convenzionale di ottimizzazione.

4. Risultati delle prove

4.1 Proprietà idrauliche

A titolo di esempio vengono illustrati i risultati delle prove condotte sul profilo denominato P1. In figura 2 è rappresentata l'evoluzione dei contenuti d'acqua alle diverse profondità misurate con la tecnica TDR dalla quale si può osservare in dettaglio la propagazione del fronte che raggiunge in sequenza le diverse sonde. Naturalmente le caratteristiche di propagazione del fronte sono da mettersi in relazione, fra l'altro, con la stratificazione e, quindi, con le proprietà idrauliche dei singoli orizzonti che costituiscono il profilo. Il differente campo di variazione dei contenuti d'acqua osservato alle diverse profondità è poi da mettersi in relazione con la distribuzione dei contenuti d'acqua all'inizio della prova di infiltrazione che può essere agevolmente osservata nel grafico di figura 3, che riporta l'evoluzione dei profili di contenuto d'acqua a vari tempi durante la prova. Da essa si evince come il contenuto d'acqua alle maggiori profondità fosse già così elevato da consentire solo una variazione contenuta dello stesso. Si osserva inoltre come i profili di umidità acquisiscano spazi sempre più estesi e la zona di trasmissione diventi sempre più pronunciata.

Alla caratterizzazione idrologica del mezzo sono seguiti i cicli di irrigazione con i reflui che le sonde TDR hanno ancora consentito di seguire con estremo dettaglio spazio-temporale.

La caratterizzazione finale (successiva al trattamento con il refluo) è stata condotta ricorrendo alle stesse modalità di alimentazione adottate per la caratterizzazione iniziale. Nelle figure 4 e 5 sono riportati i profili $\theta(t)$ e $\theta(z)$ che si riferiscono alla caratterizzazione finale. Il differente profilo iniziale dei contenuti d'acqua, elevati alle maggiori profondità (40-100 cm) ha indotto una evoluzione quantitativamente differente del fronte di inumidimento lungo il profilo sebbene con caratteri qualitativi confrontabili con quelli della prova iniziale. Una differenza apprezzabile nel valore massimo del contenuto d'acqua raggiunto alla profondità di 10 cm, indica una riduzione della porosità nel primo strato. Nella figure 6 e 7 sono riportate le curve di ritenzione idrica $\theta(h)$ e di conducibilità idraulica $k(\theta)$ che si riferisco-

no alle caratterizzazioni iniziale e finale condotte sulle colonne e da quelle dei campioni prelevati negli orizzonti di suolo corrispondenti. I valori più elevati del contenuto d'acqua alla saturazione ottenuti dalle prove effettuate sui campioni sono plausibilmente riconducibili alla saturazione pressoché completa che si riesce a realizzare in laboratorio.

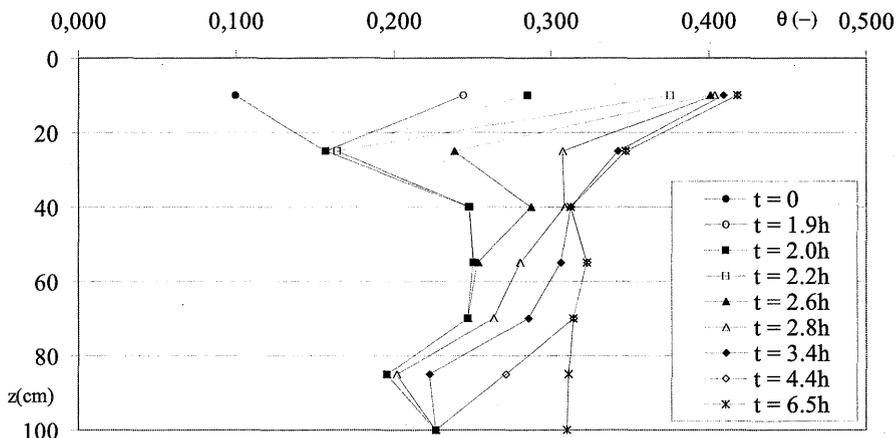


Figura 2. PROFILO P1. Valori di $\theta(z)$ - caratterizzazione iniziale

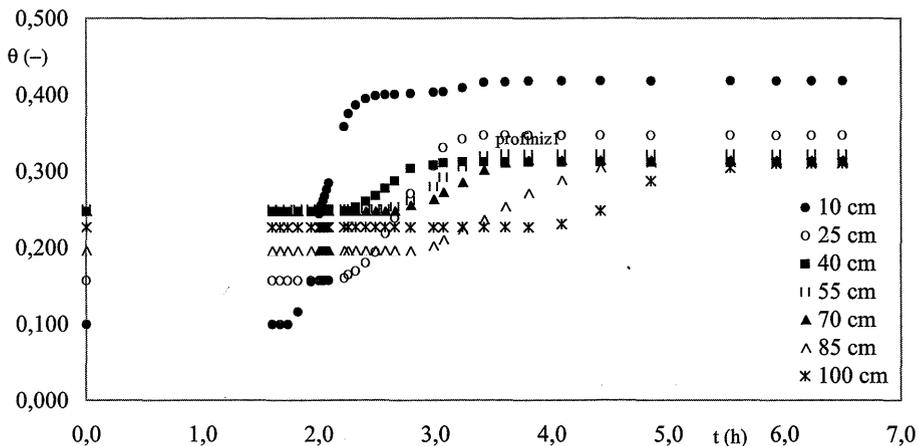


Figura 3. PROFILO P1. Valori di $\theta(t)$ - caratterizzazione iniziale

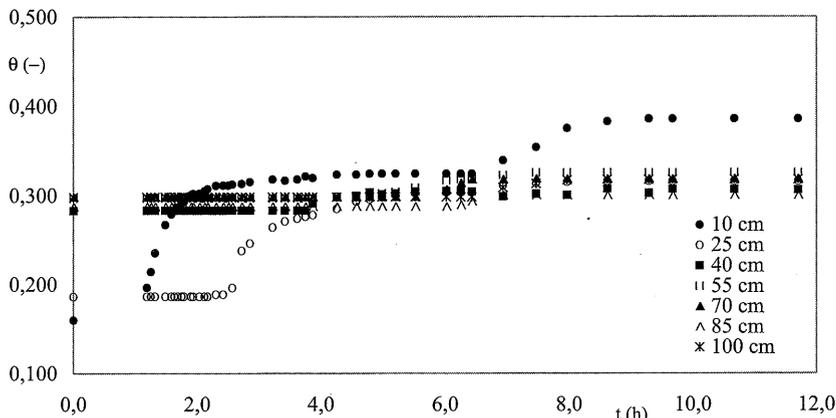


Figura 4. PROFILO P1. Valori di $\theta(t)$ - caratterizzazione finale

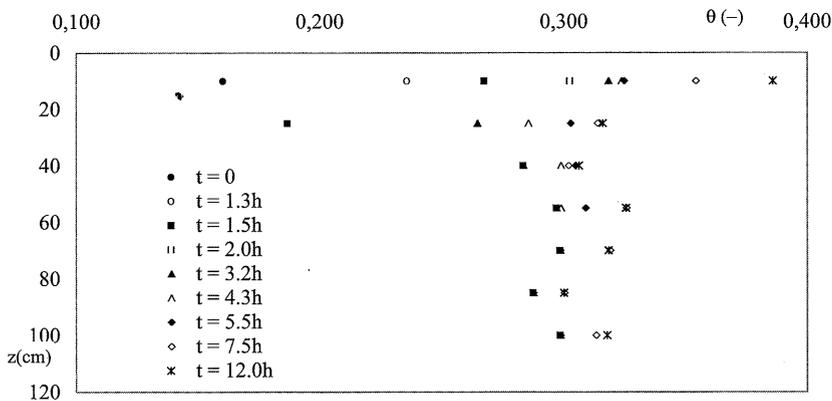


Figura 5. PROFILO P1. Valori di $\theta(z)$ - caratterizzazione finale

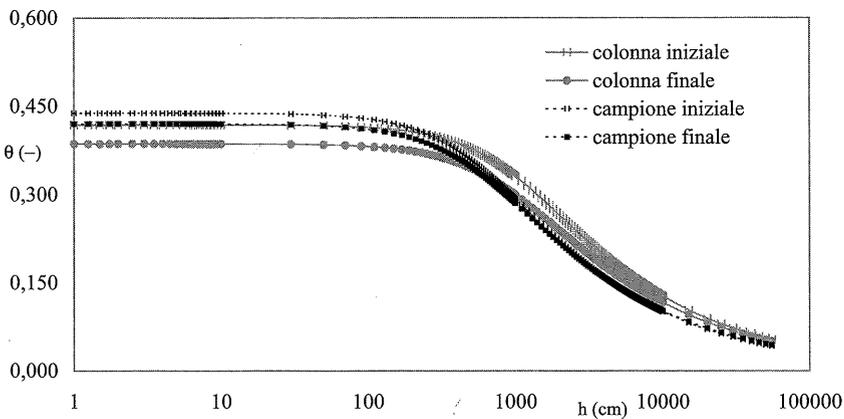


Figura 6. PROFILO P1. Orizzonte Ap - curve di ritenzione idrica

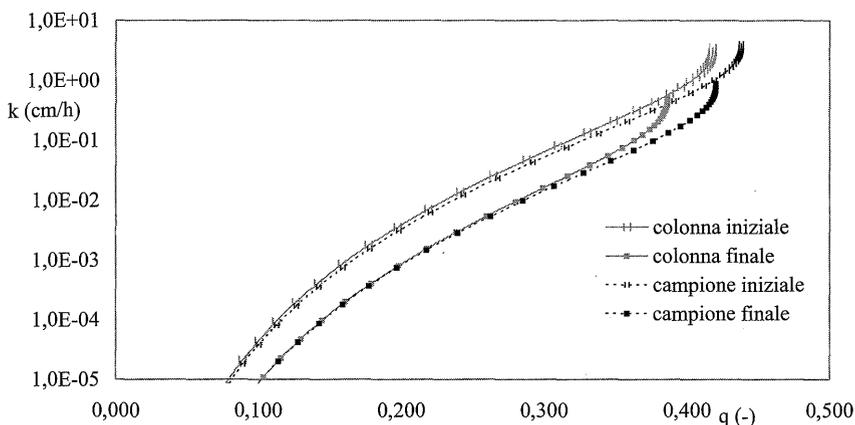


Figura 7. PROFILO P1. Orizzonte Ap - curve di conducibilità idraulica

4.2. Proprietà di trasporto

La dinamica del fronte del soluto è stata monitorata avvalendosi degli estrattori di soluzione e delle sonde TDR. La tecnica TDR consente di misurare le variazioni della componente resistiva dell'impedenza della linea di trasmissione da mettersi in relazione con le variazioni della concentrazione ionica della soluzione del suolo (Comegna *et al.*, 1999; Coppola e Castiglione, 2000). Nelle figure 8 e 9 viene riportato il tracciato dell'impedenza, riferito alle caratterizzazioni iniziale e finale, misurato dalle sonde alle diverse profondità che, come si desume facilmente dal grafico, intercettano in sequenza il fronte del soluto in tempi che dipendono dalle proprietà idrodisperse del mezzo poroso in esame. Nelle figure 10 e 11 sono invece rappresentate le curve di eluviazione del soluto, riferite alle caratterizzazioni iniziale e finale, ottenute dalle impedenze attraverso opportune relazioni di calibrazione (Comegna *et al.*, 1999; Coppola e Castiglione, 2000), assumendo che un processo del tipo convettivo-dispersivo fosse idoneo a descrivere la propagazione e la dispersione del fronte del soluto alle varie quote.

4.3. Conducibilità idraulica dopo desalinizzazione con acqua distillata

Nel grafico di figura 12 viene riportato l'andamento della velocità di infiltrazione nel suolo nel tempo; partendo dal valore iniziale osservato prima della adduzione di acqua distillata si passa a valori progressivamente decrescenti fino ad un valore soglia apprezzabilmente più basso, approssimativamente di un ordine di grandezza.

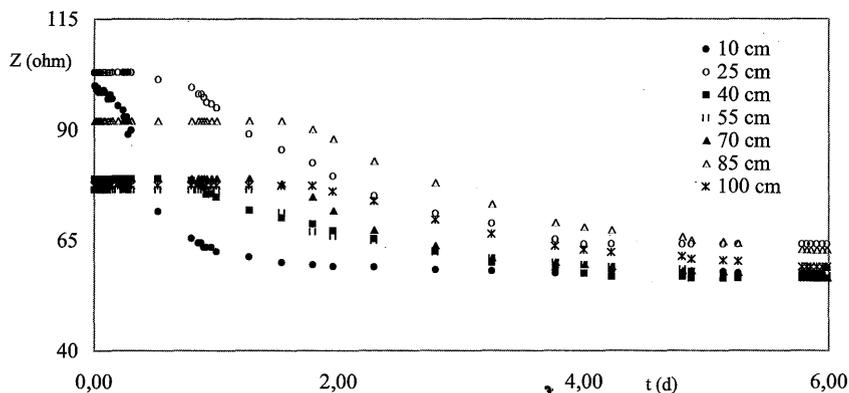


Figura 8. PROFILO P1. Impedenza - caratterizzazione iniziale

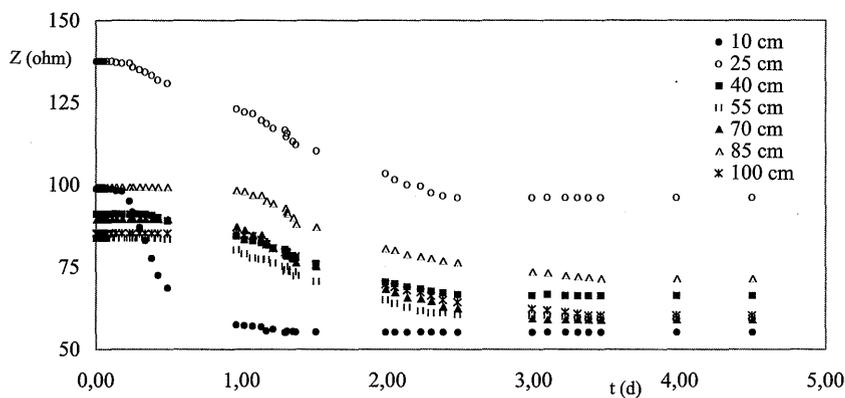


Figura 9. PROFILO P1. Impedenza - caratterizzazione finale

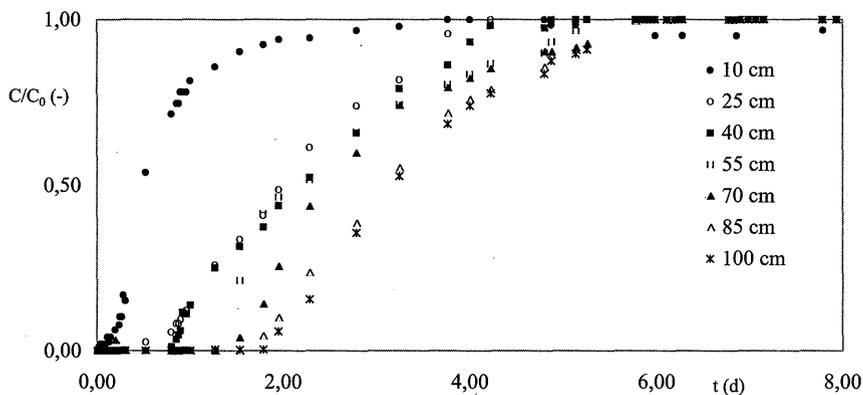


Figura 10. PROFILO P1. Concentrazioni relative - caratterizzazione iniziale

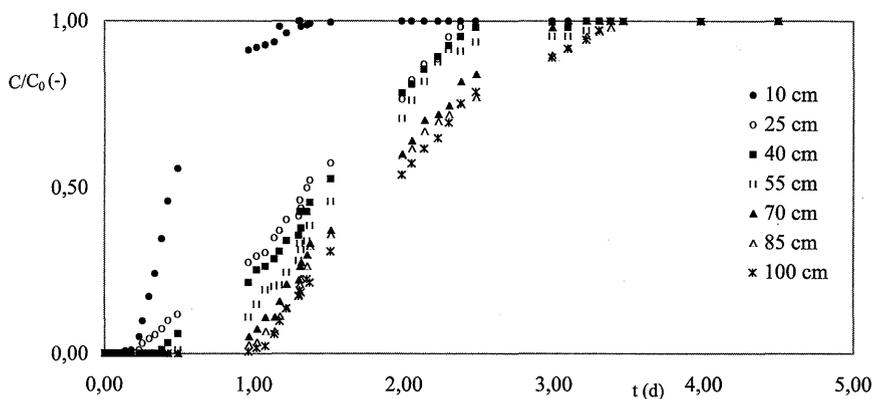


Figura 11. PROFILO P1. Concentrazioni relative - caratterizzazione finale

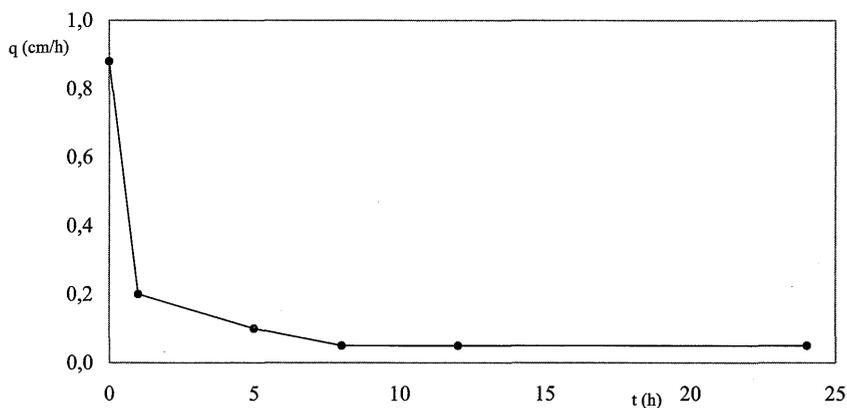


Figura 12. PROFILO P1. Orizzonte Ap - velocità di infiltrazione dopo desalinizzazione

5. Conclusioni e prospettive della sperimentazione

Il trattamento con i reflui determina una diminuzione relativamente contenuta della conducibilità idraulica alla saturazione, accompagnata da una riduzione della porosità ed a meccanismi di modificazione della geometria del sistema poroso in superficie. Il suolo sarebbe particolarmente suscettibile al regime idrico che si stabilisce in superficie ed alle caratteristiche chimiche dell'acqua addotta. La adduzione di acqua distillata o a basso residuo fisso induce comunque una più consistente diminuzione nel tempo della conducibilità, da ricondursi verosimilmente alla applicazione di acque a basso residuo fisso che riduce rapidamente la concentrazione elettrolitica al di sotto del valore di flocculazione con avvio del meccanismo di dispersione e conseguente riduzione della velocità di infiltrazione. Le proprietà

idrauliche del suolo vengono così a dipendere prevalentemente dalle condizioni che si determinano nello strato più superficiale, piuttosto che dal chimismo della restante parte del profilo. Gli apporti di acque reflue alla superficie del suolo si traducono in una elevata concentrazione salina ed in un aumento della percentuale di sodio scambiabile (ESP); con la adduzione di acque a residuo fisso relativamente ridotto, i suoli vengono rapidamente eluviati mentre l'ESP decresce meno rapidamente della concentrazione. Ne risulta un elevato valore di ESP che unitamente alla condizione di bassa concentrazione facilitano la dispersione. Per effetto di tale dispersione, dell'azione meccanica dell'acqua e del processo di essiccamento si assiste in breve alla formazione di croste dense e compatte.

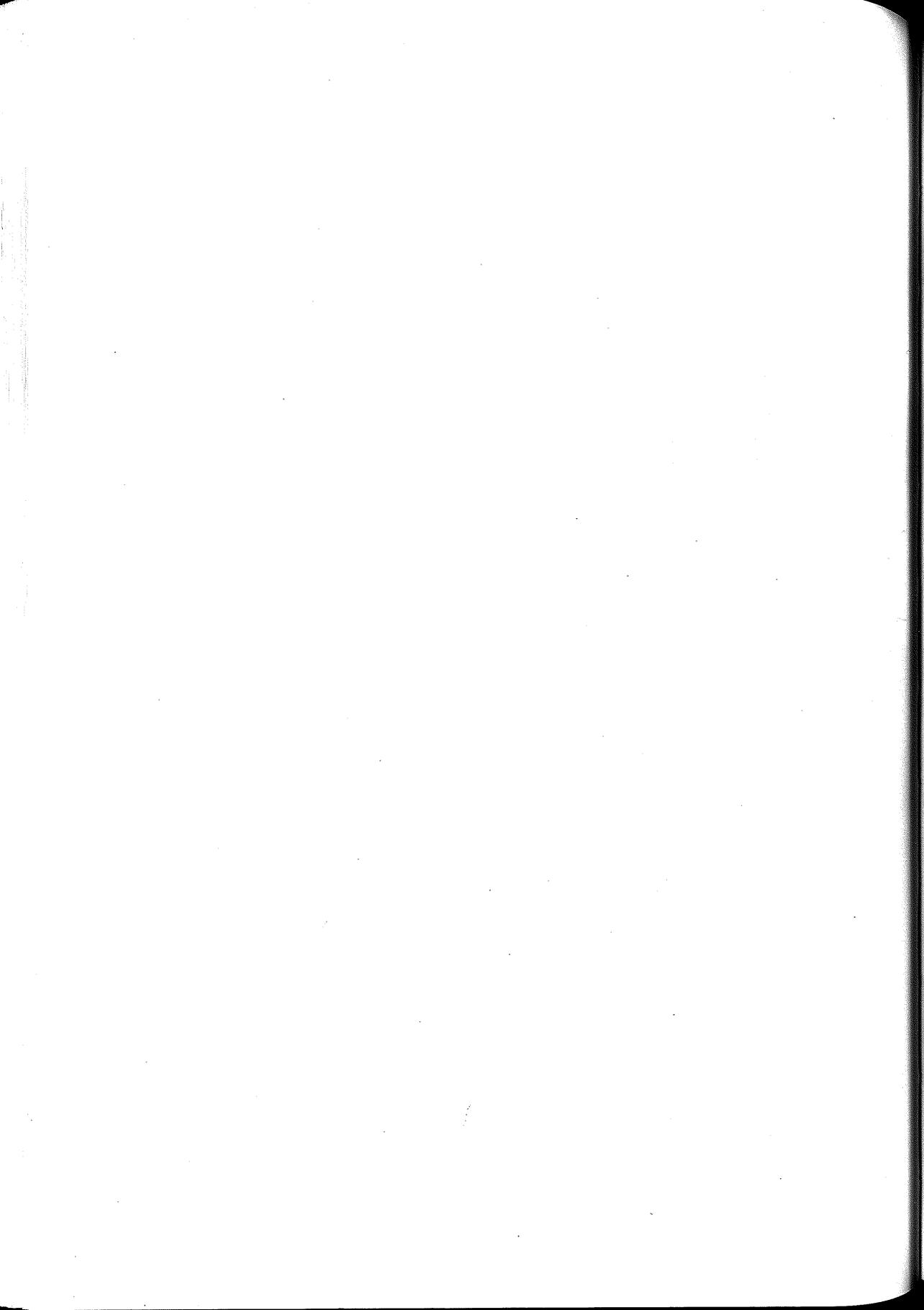
Non sono infrequenti i casi riportati in letteratura che riconducono la eventuale riduzione di conducibilità idraulica alla occlusione parziale di pori attraverso prodotti di origine microbica.

I risultati ottenuti confermano l'efficacia delle apparecchiature e delle metodologie sperimentali e di elaborazione impiegate. Esse hanno consentito di monitorare i processi allo studio con grande dettaglio spazio-temporale.

Ciò rappresenta la premessa indispensabile perché gli stessi processi possano essere studiati ed interpretati in maniera affidabile direttamente in situ, anche ricorrendo a modelli interpretativi attraverso i quali descrivere gli stessi processi nelle più diversificate condizioni di campo. In tal senso, alla attività sperimentale di laboratorio seguirà una sperimentazione in campo mediante l'allestimento ed il costante monitoraggio per almeno cinque anni di cinque parcelle sperimentali da ubicare nelle zone in cui sono state prelevate le colonne impiegate in laboratorio. Si ritiene infatti indispensabile monitorare in continuo e per un periodo di tempo sufficientemente rappresentativo la situazione che verosimilmente si potrà determinare in pieno campo ed in presenza delle colture, a seguito dell'alternarsi degli interventi irrigui con acque reflue, delle piogge e dell'esaurimento per evaporazione e drenaggio. In ciascuna parcella, l'evoluzione dei profili di contenuto d'acqua e dei potenziali di matrice indotta dai processi suddetti, verrà seguita avvalendosi di sonde TDR installate a diverse quote e di una sonda a neutroni. Ciascuna parcella sarà inoltre dotata di un impianto di irrigazione con controllo dei volumi di adacquamento, di una eventuale rete di drenaggio e di una stazione meteorologica per l'acquisizione di tutte le grandezze necessarie per pervenire ad un bilancio idrologico completo. Ovviamente saranno effettuate tutte le determinazioni chimiche e microbiologiche sull'acqua e sul suolo e particolare attenzione verrà dedicata alle analisi direttamente sulla coltura.

Bibliografia

- AA.VV. : "The Application of alternative techniques for the recovery of water from effluents for reuse". Commission of the European Communities, Bruxelles 2000
- AA.VV. : "The eutrophication of the reservoirs in the Flumendosa district (Sardinia - Italy). Territorial, limnological, toxicological, technological and managerial aspects". Commission of the European Communities, Bruxelles 1995
- BOTTI P., FADDA A., SILVANO R., VIRDIS A.: Attività sperimentale dell'Ente Flumendosa nel campo dell'idrometeorologia e del riutilizzo di risorse idriche non convenzionali. Risorse Idriche ed Impatto Ambientale del Drenaggio Urbano. Atti delle giornate di studio in memoria di Carlo Cao (Cagliari, 18-20 novembre 1998)",
- BOTTI P., PILLAI P., SILVANO R.: Complex Hydraulic Systems Management Under Hydrological Uncertainty in atti del seminario internazionale "Siccità: Monitoraggio, Mitigazione, Effetti" Cagliari Villasimius - 21-23 Settembre 2000 (in corso di pubblicazione).
- COMEGNA V., COPPOLA A., E SOMMELLA A., 2001. "Effectiveness of equilibrium and physical non-equilibrium approaches for interpreting solute transport through variously structured soils". *Journal of Contaminant Hydrology*.
- COMEGNA V., COPPOLA A., SOMMELLA A., 1999. Nonreactive solute transport in variously structured soil materials as determined by laboratory-based time domain reflectometry (TDR), *Geoderma*, 92: 167-184.
- COPPOLA A., 2000. Unimodal and Bimodal Descriptions of Hydraulic Properties for Aggregated Soils. *Soil Science Society of America Journal*. 64: 1252-1262.
- COPPOLA A., CASTIGLIONE P., 2000. Impiego della riflettometria nel dominio del tempo (TDR) per la misura del contenuto d'acqua e della conducibilità elettrica nei mezzi porosi. Atti del Convegno.
- COPPOLA A., GRECO R., 1997. Preferential flow through swelling and shrinking clay soil columns. In *Proceedings of the International conference on Water management, salinity and pollution control towards sustainable irrigation in the mediterranean region*. 22-26 settembre 1997. Istituto Agronomico Mediterraneo. Valenzano (Bari). Italia.
- KLUTE, A., AND C. DIRKSEN. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. P 687-734. In *Methods of soil analysis, Part 1, physical and mineralogical methods*. 2nd ed. Agronomy 9 (2). American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.
- MUALEM, Y., 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resour. Res.* 12: 513-522.
- SANTINI A., 1997. Contenuto d'acqua nel suolo. Metodo della riflettometria nel dominio del tempo. In *Metodi di analisi fisica del suolo*. Collana di metodi analitici per l'agricoltura. Ministero delle Politiche Agricole. Osservatorio Nazionale Pedologico e per la qualità del suolo.
- SANTINI A., 1997. Potenziale dell'acqua nel suolo. In *Metodi di analisi fisica del suolo*. Collana di metodi analitici per l'agricoltura. Ministero delle Politiche Agricole. Osservatorio Nazionale Pedologico e per la qualità del suolo.
- VAN GENUCHTEN, M. Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:892-898.



EMERGENZA SUOLO E ANTROPIZZAZIONE DEL TERRITORIO: UN ESEMPIO DI PERDITA DELLA PEDODIVERSITÀ PER ENTISOLIZZAZIONE

Carmelo Dazzi ¹, Salvatore Monteleone ²

¹ Dipartimento di Agronomia, Coltivazioni Erbacee e Pedologia – Università di Palermo

² Dipartimento di Geologia e Geodesia - Università di Palermo.

Riassunto

Le attività che più delle altre minacciano la pedodiversità e che conducono ad una "entisolizzazione" dei suoli sono legate all'agricoltura. Alla base di questo processo si pone l'azione dell'uomo che determina una omogeneizzazione accentuata delle caratteristiche dei suoli e che può, a tutti gli effetti, essere considerata alla stessa stregua dell'erosione genetica che restringe il campo di variabilità degli esseri viventi. Tale problema investe anche l'Italia e in particolare la Sicilia.

Un caso singolare è quello del territorio del comune di Mazzarrone, nella valle del fiume Acate, nel sud-est della Sicilia, ove la pedodiversità è stata ormai quasi completamente annullata. In quest'area, caratterizzata da un clima di tipo mediterraneo, da substrati costituiti da calcareniti, calciruditi organogene e arenarie molto friabili la cui morfologia, guidata dalla presenza di superfici strutturali e/o substrutturali, risulta caratterizzata da ampi pianori, si sono prevalentemente evoluti Typic e Calcixerollic Xerochrepts e Typic, Calcic. e Petrocalcic Haploxeralfs.

In questo territorio l'uva da tavola ha trovato un habitat molto favorevole che, non solo ne ha migliorato le caratteristiche organolettiche e ne ha favorito anche un aumento della produzione. Ciò ha determinato da un lato un incremento dei benefici sociali (nel comune di Mazzarrone quasi non esiste la disoccupazione e il reddito pro-capite è aumentato del 400% nell'arco di 10 anni), dall'altro ha indotto gli agricoltori ad ampliare le superfici destinate alla vite, sconvolgendo completamente l'assetto del territorio e annullando totalmente le caratteristiche distintive dei suoli presenti. Al loro posto oggi vi sono solo Arents ma, sarebbe più corretto definirli Suoli Antropogenici in cui non si nota più alcuna logica organizzazione degli elementi organici e minerali.

Questa pressione abnorme esercitata sull'ecosistema suolo, determina problemi di altra natura: il suolo così violentato si offre indifeso all'erosione. Sotto questi vigneti infatti, ogni anno tonnellate di suolo vengono portate via dal vento o finiscono in mare attraverso ampi solchi d'erosione che, a mano a mano che si formano vengono riempiti con materiale terroso trasportato da altri luoghi ove sono suoli che presentano ancora una propria configurazione.

Premessa

Il concetto di diversità, considerato di ambito precipuo della biosfera, è stato recentemente esteso anche alla pedosfera. Sempre più numerosi sono infatti gli studi che in campo pedologico vengono condotti sulle problematiche legate alla pedodiversità e ciò nella consapevolezza della sempre maggiore influenza che l'Uomo ha sul suolo, e che quasi sempre si risolve in esiti sfavorevoli per la sua naturale evoluzione (Addiscott, 1995; Dazzi, 1995; Ibanez *et al.*, 1995).

Questi studi, hanno messo in evidenza come il fenomeno della perdita della diversità dei suoli sia da ricondurre ad un processo di "entisolizzazione" alla cui base è l'attività dell'Uomo (Fanning e Fanning, 1989; Dazzi, 1995; Dazzi e Monteleone, 1999) che deriva dalle notevoli spinte consumistiche che lo inducono a fruire di un super benessere basato su stili di vita che esercitano una fortissima pressione sull'ecosistema globale (Amundson e Jenny, 1991; Lovelock, 1993; Lal, 1994).

Gli esempi più eclatanti di perdita della pedodiversità per entisolizzazione avvengono durante la costruzione di strade e autostrade, o per seppellire rifiuti di varia origine e natura (Fanning e Fanning, 1989). Tuttavia, vi sono esempi meno appariscenti ma altrettanto pericolosi per la salvaguardia della pedodiversità come ad esempio è il caso degli suoli "creati" dalla conduzione dell'attività agricola su vasta scala.

Nell'ambito di questa problematica si inserisce il presente lavoro che riporta i risultati di uno studio interdisciplinare, finalizzato sia ad evidenziare il ruolo svolto dall'uomo nel ridisegnare un nuovo assetto morfologico, sia a definire, in termini di superficie, il processo di entisolizzazione dovuto allo sviluppo dell'attività agricola su vasta scala che ha interessato il territorio del comune di Mazzarrone a far data dagli anni '70 e che ha condotto, non solo ad una drastica diminuzione della diversità dei suoli presenti ma, ha determinato anche l'insorgere di altri e diversi problemi ambientali.

Materiali e metodi

L'indagine è stata condotta mediante l'uso di riprese aeree effettuate nel 1955 (foto b/n a scala 1:35.000), nel 1966 (foto b/n a scala 1:30.000), nel 1987 (foto a colori a scala 1:10.000) e nel 1997 (foto b/n a scala 1:30.000). Tramite foto interpretazione, è stato evidenziato l'uso del suolo e le variazioni morfologiche, e sono state riconosciute le strutture pre-

senti sul territorio. Lo studio dei suoli, è stato realizzato sulla base di rilevamenti inediti custoditi presso la cartoteca della Cattedra di Pedologia dell'Università di Palermo, realizzati nel 1964 e nel 1984, riveduti ed integrati con diverse escursioni in campo concluse nell'inverno del 2000, ed aggiornati secondo la Soil Taxonomy (USDA-NRCS, 1999).

Per quantificare in termini di tipi pedologici la perdita di suolo, le cartografie di Land Use relative agli anni 1955-1966-1987-1997 (anche quest'ultima aggiornata al 2000) sono state sovrapposte alla Carta dei Suoli. Ci si è avvalsi di una workstation con due processori da 800 MHz corredata di plotter A0, scanner A0 e dei principali programmi di cartografia computerizzata.

L'area di studio

L'area di studio è rappresentata dal territorio del comune di Mazzarrone, un piccolo centro agricolo, sito nella zona sud-est della Sicilia (Fig.1). Il comune di Mazzarrone si costituisce nel 1976, dall'unione di piccoli agglomerati urbani. La superficie è di 3347 ettari, in una zona altimetrica collinare interna che va da 115 m a 335 m s.l.m. Qui si è particolarmente diffusa la coltivazione dell'uva da tavola che ha consentito, fra gli anni 1981 e 1987, un incremento del reddito pro capite di circa il 400% (Lo Verde, 1995). Le aziende presenti nel territorio comunale attualmente sono quasi esclusivamente aziende viticole.

L'analisi della situazione climatica, sulla base dei dati di temperatura e di piovosità relativi al periodo 1965-1994 della stazione di Vittoria (poco a sud di Mazzarrone) mette in evidenza una temperatura media mensile, che raggiunge i valori massimi in Luglio (25.2 °C) e in agosto (25.5 °C), mentre i minimi si verificano in Gennaio (10.3 °C) e Febbraio (10.9 °C). La piovosità media annua è di 452 mm, con massimi in Ottobre e Gennaio (70 e 71 mm rispettivamente) e minimi in giugno e luglio (3 e 2 mm rispettivamente). Il climogramma di Peguy (Fig. 2), consente di definire temperato-arido il clima dell'area di studio (Regione Siciliana, 1998).

Aspetti lito-geo-morfologici

Il territorio del comune di Mazzarrone è caratterizzato da un andamento abbastanza pianeggiante (dislivello massimo di 200 metri), ad eccezione dei versanti prossimi agli impluvi più significativi o in prossimità

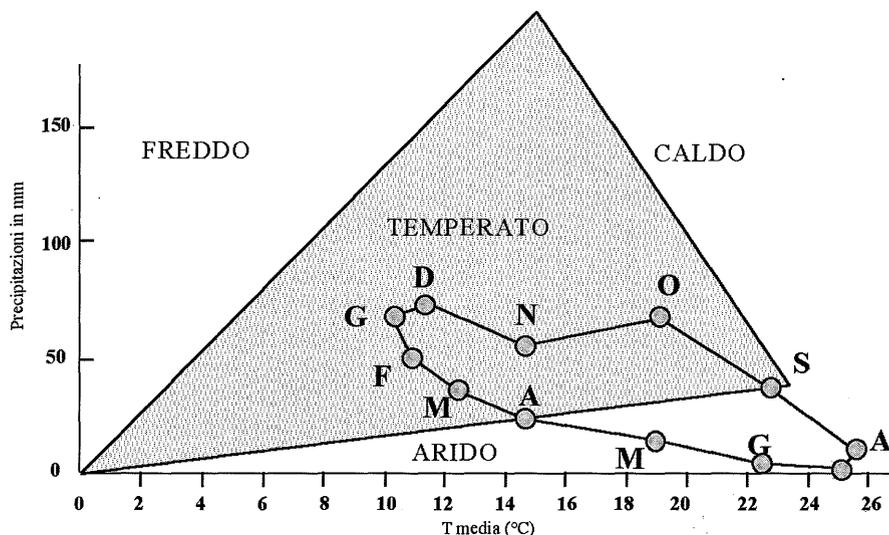


Figura 2. Climogramma di Peguy relativo alla stazione di Vittoria (1965-1994) (Regione Siciliana, 1998).

I terreni affioranti nell'area (Fig. 3), sono di età Pleistocenica ed Olocenica, la cui genesi è sia marina che continentale. Di seguito, anche se brevemente, saranno descritti con riferimento alle loro caratteristiche lito-strutturali e seguendo un percorso rigidamente cronostratigrafico.

Depositi marini:

- argille e argille sabbiose del Pleistocene inferiore che affiorano sia in destra idrografica del fiume Acate che in sinistra del torrente Ficuzza e il cui spessore non supera i 10 metri;

- arenarie più o meno cementate di colore giallastro e fossilifere del Pleistocene inferiore (parte alta) che affiorano lungo i versanti più acclivi che bordano i corsi d'acqua a regime saltuario presenti sia nel settore meridionale che in quello occidentale dell'area di studio e il cui spessore medio è di 20 metri circa;

- sabbie fini quarzose con livelli arenacei ben cementati a luoghi con lenti argillose del Pleistocene inferiore Medio, che occupano un ampio tratto centrale e sud orientale e che mostrano uno spessore complessivo di circa 15 metri;

- sabbie mal cementate con intercalazioni di ghiaie e argille del Pleistocene inf. terminale, spesse 8 metri circa, rilevate nel settore centrale e sud-occidentale del territorio in limitate superfici sub-pianeggianti.

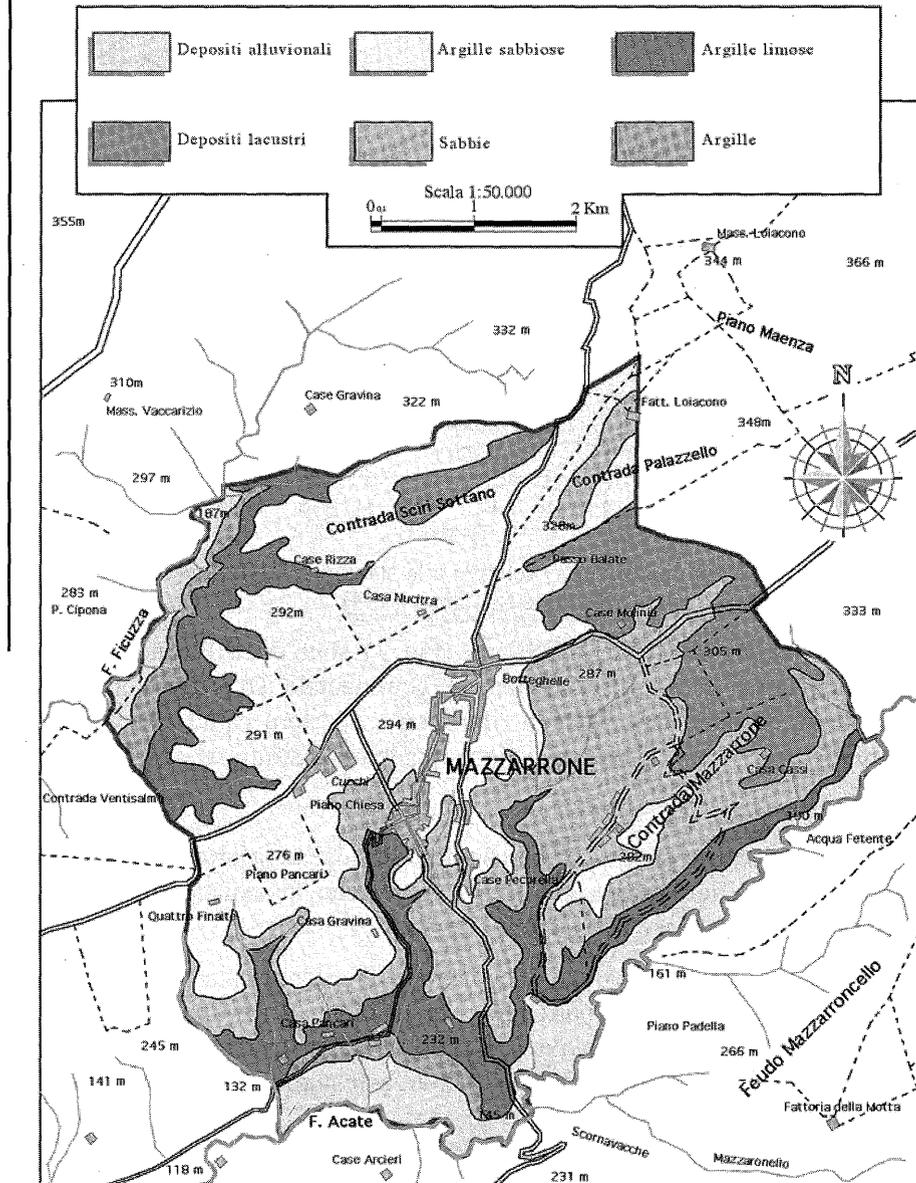


Figura 3. Carta Litologica dell'area di studio.

Depositi continentali:

- lacustri, costituiti rispettivamente da limi argillosi e argille con intercalazioni torbose, spesse non più di 5 metri, presenti a nord-est;
- alluvionali, riscontrabili lungo gli alvei dei corsi d'acqua principali. In particolare, lungo il loro letto di inondazione, è possibile rinvenire

modeste superfici terrazzate con conglomerati ad elementi poligenici ma, anche ghiaie, sabbie e limi.

L'assetto morfologico dell'area studiata, come si evince dalla interpretazione delle foto aeree del 1955 e 1966, rispecchiava fino alla fine degli anni '60, le condizioni geologiche e strutturali delle varie litologie, per cui gli elementi morfologici principali che caratterizzavano il paesaggio erano riconducibili a qualche movimento di massa ed ai processi dovuti all'azione delle acque laminari e/o incanalate. Questi processi, in tutte le loro articolazioni, erano poco accentuati, ed i corsi d'acqua non evidenziavano erosione di fondo. Quest'ultima, era presente solamente nei tratti prossimi ai fiumi principali.

Le aree pianeggianti erano da collegare agli effetti della morfoselezione su strati sub-orizzontali (superfici strutturali) e, con alternanza di litologia a diversa consistenza (Monteleone e Pipitone, 1994). In generale, quindi, si poteva affermare che la dinamica esogena svolgeva il suo normale corso. L'intervento dell'uomo, annullando i "rills" e modificando i "gullyes", ha determinato uno stravolgimento dell'assetto morfologico descritto, oltre ad una notevole erosione di tipo laminare ed eolica, legata anche agli effetti del dissodamento ed ai movimenti di terra. Questi hanno assunto nel tempo una valenza sempre più consistente sia per rendere meno acclive e più lavorabili alcune pendici, ma anche per realizzare dei laghetti collinari, dove invasare le acque della falda idrica ivi presente e sempre più sfruttata, tant'è che il livello freatico, negli ultimi anni, si è abbassato al ritmo di qualche decimetro/anno.

I suoli

Sulla base dei rilevamenti inediti effettuati nel 1964 e nel 1984, dell'analisi delle foto aeree, degli elementi ambientali di quest'area che si pongono come fattori della pedogenesi e, delle caratteristiche di alcune aree prossime al territorio investigato che conservano ancora intatti i caratteri di naturalità, è stata effettuata una ricostruzione della distribuzione originaria dei suoli presenti nell'area studiata (Fig. 4).

Per la loro classificazione è stata utilizzata la Soil Taxonomy (USDA-NRCS, 1999).

Nelle aree più stabili, quelle che dal punto di vista geomorfologico sono formate da arenarie del Pleistocene inferiore e che con buona probabilità, in passato risultavano coperte dal bosco di quercia, i suoli erano costituiti da Calcic, Inceptic, Mollic e Typic Haploxeralfs, cioè suoli media-

mente profondi, con un orizzonte argilloso talora non molto spesso che, in dipendenza delle variazioni legate principalmente alla morfologia e alla copertura vegetale, poggia su di un orizzonte con accumulo di carbonati oppure è sormontato da un orizzonte mollico.

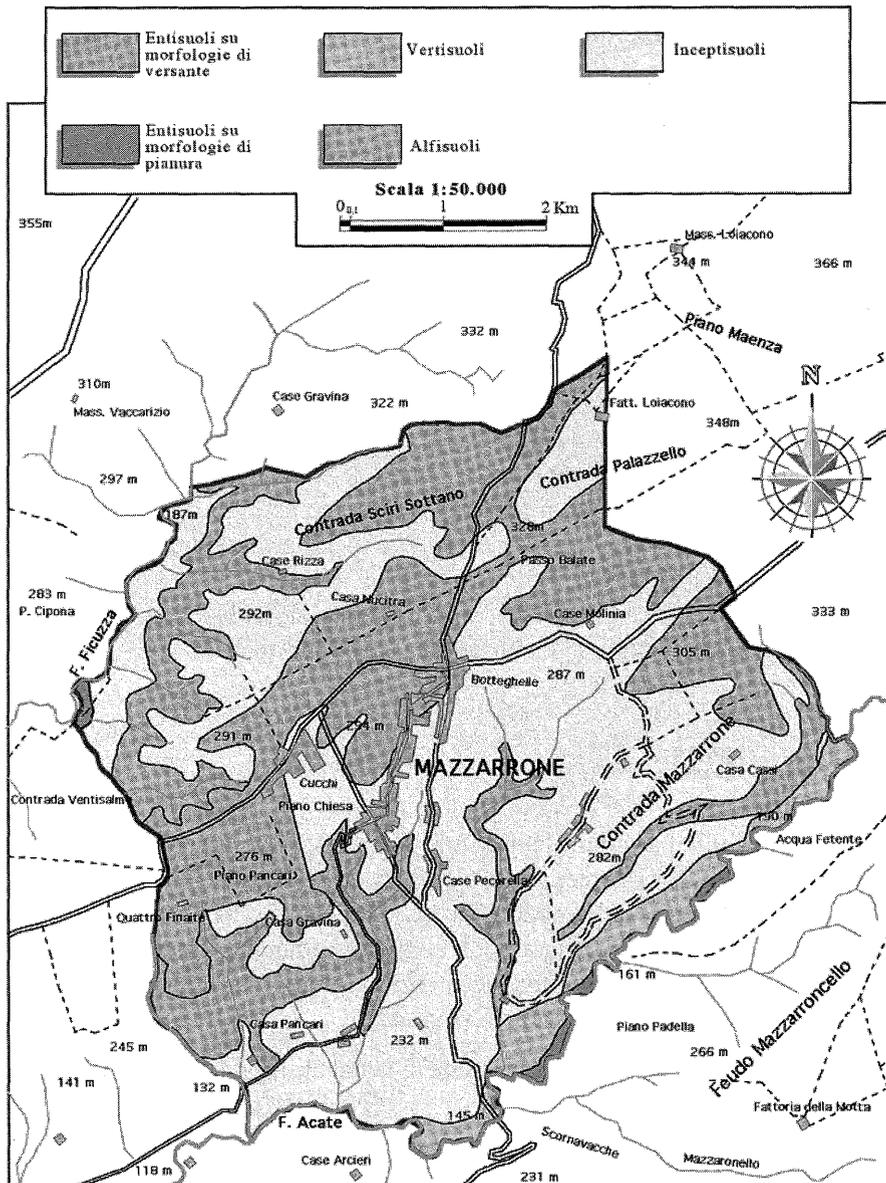


Figura 4. Distribuzione originaria dei suoli presenti nell'area di studio

Le aree a macchia mediterranea e le aree meno stabili, che interessano le superfici a morfologia acclive, in funzione della pendenza e della copertura vegetale, presentavano Calcic, Humic e Typic Haploxerepts, cioè suoli mediamente profondi che, in virtù della differente dinamica dell'acqua legata alla morfologia, presentano un orizzonte cambico oppure calcico, a volte sormontato da un epipedon mollico.

Le aree ancora più acclivi e i fianchi dei valloni erano caratterizzati dalla presenza di Typic Xerorthents, suoli poco profondi e soggetti ad erosione.

Le aree di fondovalle erano interessate dalla presenza di Typic e Vertic Xerofluvents, suoli profondi, le cui caratteristiche dipendono fortemente da quelle del substrato e, con maggiore frequenza, di Typic Haploxererts, suoli molto profondi e con proprietà fisiche, chimiche e idrologiche molto omogenee.

L'intervento dell'uomo nella trasformazione del territorio

Nell'area di Mazzarrone, l'evoluzione del territorio e gli elementi che lo caratterizzano (in particolare il suolo), vanno considerati sulla base di un'analisi complessiva dei fattori condizionanti l'ambiente. Pertanto, dopo avere delineato nei precedenti paragrafi le caratteristiche naturali che lo distinguono, viene qui considerato un altro importante fattore: l'Uomo, agente modificatore del territorio ed artefice del proprio contesto socio-economico.

Dall'analisi della documentazione disponibile e sulla base della Carta della Vegetazione Potenziale d'Italia (Gentile, 1968), è ragionevole supporre che gran parte dell'area del territorio comunale fosse, nel passato, coperta dal bosco di quercia e dalla macchia mediterranea, con presenza prevalente di Leccio, Oleastro, Carrubo, Sughera, Lentisco, Mirto, Ginestra, Cisto. Un lembo residuo di questa vegetazione si trova infatti, immediatamente ad ovest del territorio investigato. Dati statistici risalenti agli anni '60 e le foto aeree, mettono in evidenza come in quegli anni, il "Land Use" fosse indirizzato verso il seminativo e verso la coltivazione dell'olivo.

La viticoltura si diffuse con notevole rapidità negli anni '70. In particolare, l'anno d'oro fu il 1977, quando tutti, oltre a svolgere la propria attività, iniziarono a coltivare l'uva "Italia" che consentiva un notevole utile economico. La diffusione su vasta scala del vigneto si ebbe negli anni '80, periodo in cui avvenne la riconversione colturale di tutta la zona. Si assistette alla nascita di impianti viticoli con una frequenza sempre maggiore e la visibile trasformazione del paesaggio agrario (Lo Verde, 1995). Si procedette

alla riconversione attraverso sbancamenti, livellamenti, scassi. Al seminativo, ai mandorleti, agli oliveti e all'incolto si sostituirono sesti di impianti viticoli. In diversi casi, per migliorare la morfologia, si ricorse a notevoli opere di livellamento, di movimento terra e anche al trasporto di materiale terroso, con notevole investimento di capitali.

Inoltre va sottolineato che al fine di anticipare la maturazione, ma soprattutto per lasciare il frutto sulla pianta ed effettuare la raccolta in prossimità del Natale, i filari di vite vengono coperti, tra la seconda e la terza decade di agosto, con film plastici dello spessore di 2-4 mm e che vengono utilizzati solo per due anni. Sulle piante così coperte si interviene con massicce dosi di anticrittogamici e con trattamenti che, in dipendenza del clima, vengono effettuati anche ogni 2/3 giorni.

Risultati

I risultati dello studio svolto, sono sintetizzati nella figura 5. Emerge che, fino al 1966, gli Alfisuoli (Calcic, Mollic, Inceptic e Typic Haploxeralfs), coprivano una superficie di 800 ettari; gli Inceptisuoli (Calcic, Humic e Typic Haploxerepts) di 1230 ettari; i Vertisuoli (Typic Haploxererts) di 150 ettari; gli Entisuoli su substrati alluvionali (Typic e Vertic Xerofluvents) di 450 ettari; gli Entisuoli su morfologie accidentate (Typic Xerorthents) di 600 ettari.

Negli anni, con l'intervento dell'Uomo per la coltivazione della vite, la situazione cambia totalmente. Compaiono suoli antropogenici, che risultano così profondamente ed intensamente rimaneggiati con potentissimi mezzi meccanici o costruiti con notevole movimento di materiali terrosi che in essi non è più possibile distinguere alcun frammento di orizzonti diagnostici e vengono arricchiti con scheletro calcareo la cui presenza contribuisce a migliorare le caratteristiche organolettiche dell'uva (I. Sottile, com. pers.). Questi "suoli", che non possono essere classificati come Xerarent, proprio perché, in essi, non è possibile trovare frammenti di orizzonti diagnostici (USDA-NRCS, 1999), vengono creati a spese dei suoli migliori presenti nel territorio studiato (Foto 1).

Già nel 1987 (vedi figura 5), coprono un'area di 2560 ettari; non vi sono più Alfisuoli, né Entisuoli su alluvioni; gli Inceptisuoli sono stati quasi completamente trasformati; mentre gli Entisuoli su morfologie di pendio sono notevolmente ridotti. Rimangono immutate le aree di Vertisuoli in virtù delle loro caratteristiche originali dovute al processo di argillopedoturbazione (Fanning e Fanning, 1989).

Nel 2000 si assiste ad un ulteriore incremento dei Suoli antropogenici che raggiungono i 2800 ettari. L'aumento della superficie delle tare nel tempo, è legato allo sviluppo della urbanizzazione e delle infrastrutture (strade, opifici, ecc)

In sintesi, tutte le superfici che non ponevano limiti all'impiego di mezzi meccanici per l'esecuzione di nuovi impianti per la messa a coltura della vite, anche le aree a morfologia tendenzialmente acclive, sono state interessate da un intenso processo di entisolizzazione che ha comportato una notevole diminuzione della pedodiversità.

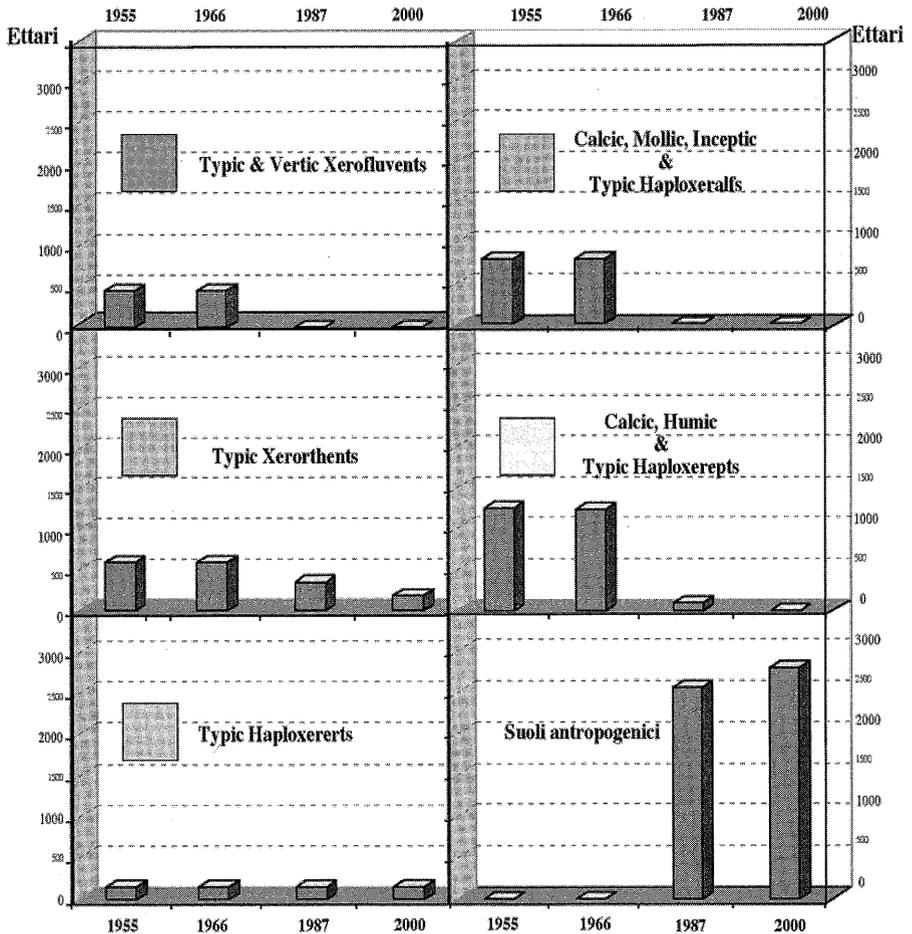


Figura 5. Evoluzione, nel tempo, della superficie occupata dai suoli nell'area di studio (il colore del quadrato a sinistra in ogni settore, richiama il tipo pedologico riportato nella Carta dei Suoli della figura 4).



Foto 1. Esempio di profilo di suolo antropogenico presente nell'area di studio.

Conclusioni

Nell'esempio studiato, circa l'84% del territorio è stato sottoposto ad una fortissima pressione antropica che ha determinato un notevole incremento delle condizioni economiche della popolazione locale e la scomparsa della disoccupazione, nel breve volgere di pochi anni (Lo Verde, 1995).

Questi benefici sociali ed economici sono però stati ottenuti con un notevole stravolgimento del paesaggio pedo-morfologico. Gli agricoltori, nella gran parte dei casi, mirano principalmente ad incrementare il tornaconto economico e, quanto più questo è alto, tanto più violentano le risorse naturali e, in particolare il suolo, non considerando che ogni suolo è dotato di una propria configurazione evolu-

tiva, di una propria "attività" che contribuisce a differenziarlo da ogni altro e che determina quella "pedodiversità" che negli equilibri naturali risulta di fondamentale importanza così come lo è la biodiversità.

Nel territorio di Mazzarrone la pedodiversità è stata nel tempo quasi completamente annullata per entisolizzazione da azione antropica: suoli diversi, su morfologie variabili e con caratteristiche dissimili, (Calcic, Inceptic, Mollic and Typic Haploxeralfs, Calcic, Humic and Typic Haploxerepts, Typic Xerorthents, and Typic Haploxererts) sono stati così profondamente ed intensamente rimaneggiati per essere destinati a vigneto, da non potere più distinguere in essi alcun frammento degli orizzonti originari! Nei suoli così ottenuti non si nota più alcuna logica distribuzione degli elementi organici e minerali ed ogni connessione fra questi, viene completamente perduta. Si originano così suoli ma, sarebbe più corretto parlare di "masse terrose" che rappresentano, secondo il sempre valido assioma di Glinka (1931), dei substrati pedologici. Questa enor-

me pressione antropica esercitata sull'ecosistema suolo, lo offre indifeso all'erosione. Sotto questi vigneti infatti, ogni anno tonnellate di suolo vengono portate via dal vento o finiscono a valle attraverso ampi solchi d'erosione che, a mano a mano che si formano vengono riempiti con materiale terroso trasportato da altri luoghi ove sono suoli che presentano ancora una propria configurazione. E' quanto si verifica, anno dopo anno, già da diversi anni (Foto 2).



Foto 2. Fenomeni di intensa erosione sotto vigneto nell'area di studio

Accanto a questi aspetti si pongono inoltre, quelli derivanti dal notevole impiego della plastica, dei pesticidi e dei fertilizzanti. I film plastici, infatti, che vengono usati per coprire i vigneti, anche se la legge impone il loro riciclo, spesso vengono abbandonati nell'ambiente e poi bruciati e rilasciano composti tossici. Inoltre, per mantenere l'uva sulla pianta per un lungo tempo, si ricorre all'impiego massiccio di pesticidi che permangono per un periodo più o meno lungo, con conseguenze negative per l'ambiente.

E' chiaro che lo sviluppo sociale ed economico dell'Uomo non può essere arrestato ma, deve avvenire sulla base di scelte sinergiche operate da tecnici e politici e devono assolutamente poggiare sul concetto di sviluppo sostenibile.

Bibliografia

- ADDISCOTT T.M. 1995, Entropy and sustainability. *European Journal of Soil Science*, n.46
- AMUNDSON R., JENNY H. (1991), The place of Humans in the state factor theory of Ecosystems and their soils. *Soil Science*, vol.151, n.1
- DAZZI C. 1995, L'erosione genetica dell'ecosistema suolo. Atti del Convegno "Il Ruolo delle Pedologia nella Pianificazione e Gestione del Territorio" Cagliari. pp 197-202

- DAZZI C., MONTELEONE S. (1999), Consequences of human activities on pedodiversity of soils: a case study in a vineyard area in south-east Sicily (Italy). Proceedings of the ESSC International Conference on "Soil conservation in large-scale land use" Bratislava, May 1999, pp. 99-108.
- FANNING D.S., FANNING M.C. (1989), Soil. Morphology, Genesis and Classification. Wiley
- GENTILE S. 1968, Memoria illustrativa della Carta della Vegetazione Naturale Potenziale della Sicilia (1° appross.), Quaderno 40. Ist. Bot. Univ. Lab. Crittog. Pavia.
- GLINKA K.D. (1931), Treatise on Soil Science, 4th ed. Israel Program Sci. Trans. Jerusalem, 1966
- IBANEZ J.J., DE ALBA S., BERMUDEZ F.F. GARCIA-ALVAREZ A. 1995, Pedodiversity: concepts and measures. Catena n.24 215-232
- LAL R. (1994), Sustainable Land use System and Soil Resilience. In Greenland D.J., Szabolcs I. (Eds) *Soil resilience and Sustainable Land Use*. CAB International.
- LO VERDE M.F. (1995), Agricoltura e mutamento sociale. *Analisi di un caso siciliano*. Harmattan Italia.
- LOVELOCK J.E. 1993 – The soil as a model for the Earth. *Geoderma*, n.57 213-215
- MONTELEONE S., PIPITONE G. 1994, Carta Geomorfologica – in Fierotti G. *et al.*: I Suoli del Complesso boscato Mustigarufi (CL) e la loro adattabilità all'Eucaliptus camaldulensis, Ass Agr. For. A FF DD Regione Sicilia, Palermo.
- REGIONE SICILIANA (1998), Climatologia della Sicilia. Ass Agr. For. Regione Sicilia, Palermo.
- USDA-NRCS (1999), Soil Taxonomy, 2nd Ed. Agricultural handbook N° 436 Washington D.C.

IL CONSUMO DI SUOLO PER URBANIZZAZIONE IN SARDEGNA NEGLI ANNI 1954 – 1997. LA PROVINCIA DI SASSARI. PRIMI RISULTATI.

Salvatore Madrau

Dipartimento di Ingegneria del Territorio, Università degli Studi di Sassari, Facoltà di Agraria
Via De Nicola - 07100 Sassari

Riassunto

Il consumo di suolo per urbanizzazione rappresenta una delle principali cause di degrado irreversibile del territorio.

Per stimare questo consumo nel territorio della provincia di Sassari, l'autore ha calcolato l'incremento della superficie occupata dalle principali tipologie di edificazione nel periodo 1954/56 – 1997.

L'aumento osservato, da 3707,57 ha a 15758,78 ha, è solo in parte imputabile alla crescita della popolazione. I valori più significativi di incremento di superficie urbanizzata si registrano infatti oltre che nei due principali centri (Sassari ed Olbia) in quelli di interesse turistico dove una quota elevata di queste abitazioni risulta non occupata per gran parte dell'anno.

Premessa

Il processo di desertificazione è stato definito nel 1991 dall'UNEP come *Land degradation in arid, semiarid and dry subhumid areas resulting mainly for adverse human impact*.

Tra le principali attività umane responsabili del degrado di un territorio il consumo di suolo per urbanizzazione ne rappresenta, a causa della sua irreversibilità¹, una delle più gravi.

Nel Mediterraneo questo fenomeno ha avuto negli ultimi decenni un notevole incremento, sia a causa della espansione dell'urbanizzazione ma anche della realizzazione di impianti e complessi industriali, estensione delle reti viarie, diffusione di insediamenti residenziali nelle aree di interesse turistico.

Parole chiave: consumo di suolo, degrado del territorio, Sardegna

Il consumo del suolo in Sardegna

Anche la Sardegna è interessata da questo processo di degrado. Il Dipartimento di Ingegneria del Territorio, nell'ambito delle attività del Nucleo Ricerca Desertificazione (NRD) - entrambi dell'Università di Sassari - si è posto l'obiettivo di *quantificare* il consumo di suolo, nelle sue diverse componenti, a livello dell'intero territorio regionale.

Per quelle aree dove sono disponibili cartografie pedologiche a scala adeguata si vuole inoltre indicare anche la *qualità* (Land Capability), dei territori occupati per poter determinare la perdita di potenzialità produttiva in ambito regionale.

Nell'isola sono stati già realizzati degli studi sul consumo di suolo per i due centri principali: Cagliari (Aru et al., 1983) e Sassari (Madrau, 1993). Altri due lavori interessano il territorio comunale di Porto Torres (Satta, 1991) e Alghero (d'Angelo et al., 2000).

Nei lavori citati si è considerato come situazione iniziale di riferimento gli anni 1954-58, durante i quali l'IGM realizzò i voli per la redazione delle tavolette della Serie 25/V, che per quasi 40 anni hanno rappresentato l'unica base topografica a piccola-media scala per l'intero territorio regionale.

Il periodo di osservazione è ovviamente in funzione della data di pubblicazione dei diversi studi.

In particolare nel lavoro di Aru e collaboratori il periodo considerato è quello degli anni 1954-1978. La superficie investigata, Cagliari e il suo hinterland², è pari a circa 32480 ha. I dati relativi al consumo del suolo, non disaggregati nelle sue componenti, sono ripartiti nelle diverse unità cartografiche pedologiche.

Nel caso dei comuni di Sassari e Stintino³, il periodo di studio è quello relativo agli anni 1954 - 1989. La superficie interessata è di poco superiore a 606 kmq⁴.

In questo studio i dati relativi al consumo di suolo, oltre ad essere stati ripartiti nelle diverse unità di mappa pedologiche, sono stati disaggregati nelle seguenti componenti:

a. edificato

- città compatta
 - nuclei residenziali (borgate)⁵
 - case sparse di civile abitazione
 - fabbricati rurali e industriali
-

b. infrastrutture

- rete viaria di interesse regionale
- rete viaria di interesse comprensoriale
- rete viaria di interesse locale
- rete ferroviaria

Questa ripartizione ha permesso di evidenziare per le situazioni di maggiore incremento i momenti in cui queste si sono verificate⁶.

Lo schema è che è stato adottato, con alcune modifiche in funzione delle diverse situazioni locali, per lo studio del comune di Porto Torres, (anni 1954 – 1990, superficie 10262 ha) e Alghero (1956 – 1997, 22440 ha), costituirà la base di studio sia in questa nota che in quelle successive.

La valutazione del consumo di suolo nella provincia di Sassari

Nel caso della provincia di Sassari lo studio interessa gli anni dal 1954-58, che rappresentano la situazione iniziale di riferimento, al 1997. In questo anno l'EIMA ha realizzato, per tutto il territorio regionale, una nuova copertura aereofotogrammetrica alla scala 1:10000.

Le immagini di questo volo sono disponibili anche nei formati JPG e DXF. Quest'ultimo è la base delle più carte tecniche regionali.

In questa nota lo studio è limitato alle aree urbane, industriali, a quelle soggette a servitù militari o che sono occupate da cave, discariche e invasi per le riserve idriche.

Le aree urbane e i nuclei residenziali sono stati delimitati mediante *una linea continua circoscritta agli edifici marginali dell'insediamento che presenti carattere di continuità di tessuto insediativo o quanto meno di contiguità tra gli edifici* (Astengo, 1983).

Con la stessa metodologia sono state calcolate anche le altre tipologie precedentemente indicate.

In particolare nel caso di servitù militari, intendendo con questo termine depositi, poligoni e gli stessi aeroporti civili, sono state considerate come tali solo quelle nettamente separate dai nuclei urbani.

Le altre situazioni, interne o periferiche ai centri abitati, sono stati considerati, a causa del loro non facile riconoscimento, come parte integrante di questi.

Infine per gli invasi, data la variabilità della superficie occupata negli anni dagli stessi sia stagionalmente sia in funzione dei diversi prolungati periodi di siccità registrati nel quarantennio in studio, si è ritenuto opportuno considerare la superficie degli specchi d'acqua, così come appare nelle fotografie del 1997, come costante per tutto il periodo in studio.

Il consumo di suolo relativo alle case rurali sparse e alla viabilità è al momento in corso di elaborazione. Dai citati file DXF derivati dalle fotografie aeree, si sta procedendo alla individuazione degli strati relativi ai fabbricati e alle diverse tipologie viarie.

In questo modo verrà notevolmente facilitata la loro misurazione in termini di sviluppo lineare (viabilità) e di superficie occupata, sia come valore totale, sia, limitatamente a quei comuni dove questi dati sono disponibili, nelle diverse unità cartografiche pedologiche⁷.

I risultati della valutazione

Nella tabella 1 successiva sono riepilogati i dati relativi alla urbanizzazione esistente nel periodo di riferimento per i 90 comuni che l'ISTAT attribuisce nel Censimento del 1991 alla provincia di Sassari⁸. A tale data la superficie urbanizzata ammontava a 3707,57 ha pari al 0,49% del territorio provinciale.

A tale data la superficie occupata dai centri urbani e dai nuclei residenziali ammontava a 1677,13 ha, a cui devono aggiungersi 375,70 ha soggetti a servitù militari (aeroporti di Alghero-Fertilia, Olbia-Venafiorita, depositi vari) e 1621,2 ha occupati dagli invasi, per un totale di 3673,53 ha, pari al 0,49% del territorio provinciale. (tabella 2).

I principali nuclei urbani sono quelli del capoluogo, 322,6 ha (20,9% della superficie interessata dai centri), Alghero con 109,00 ha (7,05%) e Olbia (64,10 ha, corrispondenti al 4,1% del totale della tipologia).

Nella tabella 3 i dati relativi ai nuclei urbani sono ripartiti in classi di ampiezza. La classe più numerosa è quella con superfici comprese tra i 5 e i 10 ha in cui ricadono 26 comuni, pari al 28,89% del totale. La superficie attribuita a questa classe è di 177,88 ha.

Tabella 1. Consumo di suolo per urbanizzazione nella provincia di Sassari agli anni 1954 -
1958: superfici dei centri urbani, nuclei residenziali (borgate), servitù militari

n°	ISTAT	Comune	centri urbani	borgate	servitù militari	Totale
1	1	Aggius	5,60	0,50		6,10
2	62	Aglientu	3,95			3,95
3	2	Alà	9,25			9,25
4	3	Alghero	109,00	40,86	334,70	484,56
5	4	Anela	3,50			3,50
6	5	Ardara	2,95			2,95
7	6	Arzachena	12,20			12,20
8	81	Badesi	8,30	1,50		9,80
9	7	Banari	6,97			6,97
10	8	Benetutti	12,05			12,05
11	9	Berchidda	12,70			12,70
12	10	Bessude	4,56			4,56
13	11	Bonnannaro	14,65			14,65
14	12	Bono	22,00			22,00
15	13	Bonorva	21,48	0,50		21,98
16	14	Bortigiadas	2,40	1,20		3,60
17	15	Borutta	3,66			3,66
18	16	Bottida	3,02			3,02
19	17	Buddusò	29,56			29,56
20	18	Bultei	5,50			5,50
21	19	Bulzi	4,50			4,50
22	20	Burgos	3,70			3,70
23	21	Calangianus	20,44			20,44
24	22	Cargeghe	1,75			1,75
25	23	Castelsardo	14,37	0,60		14,97
26	24	Cheremule	2,89			2,89
27	25	Chiaramonti	9,20			9,20
28	26	Codrongianus	8,12			8,12
29	27	Cossoine	6,93			6,93
30	88	Erula	2,10			2,10
31	28	Esporlatu	2,16			2,16
32	29	Florinas	12,35			12,35
33	30	Giave	4,80			4,80
34	83	Golfo Aranci	29,10			29,10
35	31	Illorai	4,35			4,35
36	32	Ittireddu	2,20			2,20
37	33	Ittiri	52,70			52,70
38	34	Laerru	5,20			5,20
39	35	La Maddalena	55,60			55,60
40	84	Loiri Porto San Paolo	2,75			2,75
41	36	Luogosanto	6,70			6,70
42	37	Luras	13,64			13,64
43	38	Mara	8,20			8,20
44	39	Martis	6,15			6,15

SEGUE

SEGUE TABELLA 1

n°	ISTAT	Comune	centri urbani	borgate	servitù militari	Totale
45	40	Monteleone Rocca Doria	0,70			0,70
46	41	Monti	12,01			12,01
47	42	Mores	15,83			15,83
48	43	Muros	1,66			1,66
49	44	Nugheddu San Niccolò	6,01			6,01
50	45	Nule	6,65			6,65
51	46	Nulvi	14,75			14,75
52	47	Olbia	64,10	2,63	41,00	107,73
53	48	Olmedo	8,20			8,20
54	49	Oschiri	26,10			26,10
55	50	Osilo	21,82	2,50		24,32
56	51	Ossi	14,60			14,60
57	52	Ozieri	30,77	6,18		36,95
58	53	Padria	14,60			14,60
59	90	Padru	4,06	5,30		9,36
60	54	Palau	12,40			12,40
61	55	Pattada	11,91	0,80		12,71
62	56	Perfugas	6,01			6,01
63	57	Ploaghe	29,78			29,78
64	58	Portotorres	62,31			62,31
65	59	Pozzomaggiore	40,80			40,80
66	60	Putifigari	4,20			4,20
67	61	Romana	5,30			5,30
68	87	Santa Maria Coghinas	1,50			1,50
69	85	Sant'Antonio di Gallura	6,75			6,75
70	62	Santa Teresa di Gallura	19,00			19,00
71	63	Sassari	322,60	50,70		373,30
72	64	Sedini	12,74			12,74
73	65	Semestene	3,10			3,10
74	67	Sennori	21,06			21,06
75	68	Siligo	7,10			7,10
76	69	Sorso	33,24	4,76		38,00
77	89	Stintino	8,20	1,60		9,80
78	80	Telti	4,35			4,35
79	70	Tempio Pausania	57,21	2,35		59,56
80	86	Tergu	0,60			0,60
81	71	Thiesi	22,20			22,20
82	72	Tissi	8,10			8,10
83	73	Torralba	5,98			5,98
84	74	Trinità d'Agultu	6,90	0,40		7,30
85	75	Tula	4,35			4,35
86	76	Uri	12,00			12,00
87	77	Usini	17,57			17,57
88	79	Valledoria	6,60	0,90		7,50
89	82	Viddalba	5,90			5,90
90	78	Villanova Monteleone	12,57			12,57
		TOTALE	1587,39	123,28	375,7	2086,37

Tabella 2. Consumo di suolo per urbanizzazione nella provincia di Sassari agli anni 1954 - 1958: valori totali e in percentuale sulla superficie provinciale

	superficie ha	% urbanizzato	% superficie provincia
nuclei urbani	1587,39	42,81	0,21
nuclei residenziali	123,28	3,33	0,02
<i>totale</i>	<i>1710,67</i>	<i>46,14</i>	<i>0,23</i>
aree industriali	0	0,00	0,00
<i>totale</i>	<i>0</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>
servitù militari	375,7	10,13	0,05
cave e discariche	n.r	n.r	n.r
invasi	1621,2	43,73	0,22
<i>totale</i>	<i>1996,9</i>		
TOTALE complessivo	3707,57	100	0,49

n.b. non è stato possibile determinare l'estensione delle cave e delle discariche

Tabella 3. Consumo di suolo per urbanizzazione nella provincia di Sassari agli anni 1954 - 1958: classi di ampiezza delle superfici dei centri urbani

Classe di ampiezza ha	comuni	% totale comuni	superficie classe	% sul totale superficie centri urbani
< 1	2	2,22	1,30	0,08
1 - 5	23	25,56	74,40	4,69
5 - 10	26	28,89	177,88	11,21
10 - 20	19	21,11	261,94	16,50
20 - 30	10	11,11	243,54	15,34
30 - 40	2	2,22	64,01	4,03
40 - 50	1	1,11	40,80	2,57
50 - 100	5	5,56	291,92	18,39
100 - 150	1	1,11	109,00	6,87
> 150	1	1,11	322,60	20,32
Totale	90	100,00	1587,39	100,00

La seconda classe, per comuni iscritti, è quella con superfici comprese tra 1 e 5 ha, in cui sono ricadono 23 comuni (25,56% del loro totale), con una superficie di 74,40 ha.

Rimangono da segnalare i due comuni con le minime superfici, Tergu con 0,60 ha che negli anni 1954-56 era una frazione di ben tre comuni: Castelsardo, Osilo, Nulvi e Monteleone Rocca Doria (0,70 ha).

Nel 1997 la superficie destinata all'urbanizzazione - nelle tipologie indicate nelle pagine precedenti - ammonta complessivamente a 15758,76 ha (tabella 4), con un incremento rispetto al valore iniziale del 425%.

Tabella 4. Consumo di suolo per urbanizzazione nella provincia di Sassari al 1997: valori totali e in percentuale sulla superficie provinciale

	superficie ha	% urbanizzato	% superficie provincia
nuclei urbani	6955,84	44,14	0,92
nuclei residenziali	2363,7	15,00	0,31
<i>totale</i>	<i>9319,54</i>	<i>59,14</i>	<i>1,24</i>
aree industriali	2597,68	16,48	0,35
<i>totale</i>	<i>2597,68</i>	<i>16,48</i>	<i>0,35</i>
servitù militari	638,85	4,05	0,08
cave e discariche	662,24	4,20	0,09
invasi	2540,45	16,12	0,34
<i>totale</i>	<i>3841,54</i>		
TOTALE complessivo	15758,76	100	2,10

Di questa superficie 9316,04 ha risultano occupati dai centri urbani (+ 455% rispetto al 1954-58). Alle superfici industriali, non rilevate al momento iniziale quando le officine e le fabbriche erano spesso interne agli abitati, sono stati attribuiti 2597,68 ha. Le servitù militari registrano aumenti minimi raggiungendo i 638,85 ha (+ 70%) dovuti quasi esclusivamente al nuovo aeroporto di Olbia - Costa Smeralda.

Alle nuove dighe del Liscia, Cuga, Monteleone Rocca Doria, nonché ad alcuni minori sono dovuti i 2540, 45 (+56% rispetto al valore degli 1954 - 58) ha occupati dagli invasi al 1997. Anche i dati relativi ai centri urbani nel 1997 sono stati ripartiti in classi di ampiezza, (tabella 5). Questi dati mostrano una significativa crescita in tutti i centri.

Tabella 5. Consumo di suolo per urbanizzazione nella provincia di Sassari al 1997: classi di ampiezza delle superfici dei centri urbani

Classe di ampiezza ha	comuni	% totale comuni	superficie classe	% sul totale superficie centri urbani
< 1	--	--	--	--
1 - 5	--	--	--	--
5 - 10	8	8,89	65,04	0,94
10 - 20	19	21,11	287,03	4,13
20 - 30	11	12,22	280,01	4,03
30 - 40	12	13,33	397,87	5,72
40 - 50	3	3,33	128,8	1,85
50 - 100	22	24,44	1567,84	22,54
100 - 150	8	8,89	961,98	13,83
150 - 500	5	5,56	1228,37	17,66
500 - 1000	1	1,11	964,6	13,87
> 1000	1	1,11	1074,3	15,44
Totale	90	100,00	6955,84	100,00

Il primo dato da evidenziare è la assenza di comuni con superficie urbanizzata inferiore a 5 ha. Gli stessi comuni di Monteleone Rocca Doria e Tergu, che registravano valori inferiori a 1 ha nel 1954-58, hanno raggiunto valori rispettivamente di 5,43 e 12,92 ha.

La classe di ampiezza in cui ricade il maggior numero di comuni è quella dei 50 - 100 ha con 22 comuni (5 nel 1954-58), seguita dalla classe 10 - 20 ha, 19 comuni, valore da considerarsi invariato nel quarantennio in studio anche in termine di superficie, avendosi registrato un aumento di soli 25,04 ha.

I due poli urbani principali sono il capoluogo con 1074,30 ha e Olbia con 964,60 ha. Quest'ultimo supera ampiamente Alghero che nel 1954-58 era il secondo centro della provincia.

Nel periodo considerato in 5 comuni: Ittiri, La Maddalena, Tempio Pausania, Porto Torres, Alghero, è stata superato la soglia dei 150 ha occupati dal centro urbano.

Tabella 6. Comuni con superficie centro urbano compresa tra 150 e 500 ha

Comune	Superficie centro urbano 1954-58	Superficie centro urbano 1997	Incremento in ha	Incremento in %
Ittiri	52,70	164,40	111,70	312,0
La Maddalena	55,60	176,47	120,87	317,4
Tempio Pausania	57,21	240,10	182,89	419,7
Portotorres	62,31	286,60	224,29	460,0
Alghero	109,00	360,80	251,80	331,0

L'analisi di questi dati mostra chiaramente l'esistenza di almeno due livelli di inurbazione della popolazione. Uno, il principale, rappresentato dai due centri di Sassari e Olbia. Uno secondario rappresentato dai 5 centri della classe 150 - 500 ha. Questa situazione è ampiamente giustificata sia dalla grande estensione del territorio provinciale, sia dalla politica tradizionale di diffusione nel territorio di alcuni servizi pubblici essenziali: scuole superiori, ospedali, caserme, tribunali, uffici finanziari dello Stato, che hanno rappresentato e rappresentano tuttora motivi di attrazione per i residenti nei comuni minori.

Una prima considerazione sui dati ottenuti è che la attuale urbanizzazione appare eccessiva rispetto alla popolazione residente⁹. Nel 1954-58 erano infatti disponibili 44,9 mq a residente (popolazione 1961), valore che nel 1997 sale a 204,9 mq (popolazione del 1991), con un incremento in termini percentuali del 356%.

Si rende quindi necessario confrontare i dati relativi alla crescita della popolazione e alla sua distribuzione nelle differenti tipologie di in-

sediamento abitativo, soprattutto nelle borgate o altri nuclei insediativi e quelli della occupazione delle abitazioni al 1997.

I comuni della provincia di Sassari con *nuclei abitati*¹⁰ al 1991 sono 21 pari al 23,3% del totale, tabella 7. Le aree ascrivibili a questa tipologia insediativa ammontano a 2363,7 ha che corrispondono al 15,0% (tabella 4) della superficie complessivamente urbanizzata a questa data.

In quasi tutti i comuni la realizzazione dei nuclei insediativi è successiva agli anni 1954-58. Tranne pochi casi: Aggius, Badesi, Bortigiadas, Ozieri, Osilo e in parte Alghero, Olbia e Sassari, queste strutture hanno una prevalente destinazione turistica.



Figura 1. Centri principali e di maggiore interesse turistico della provincia di Sassari

Il confronto tra i dati delle tabelle 7, 8 e 9, indica chiaramente come siano proprio le situazioni di maggiore interesse turistico quelle dove non esiste alcuna correlazione tra la crescita della popolazione, nell'intervallo degli anni censuari 1961 - 1991 e l'incremento della urbanizzazione.

È nella successiva figura 2 che questa osservazione ha il maggiore numero di significativi riscontri. Il dato più interessante è quello delle *abitazioni non occupate*¹¹ che rappresenta il migliore indice per stimare la quantità di abitazioni effettivamente necessarie alla popolazione residente.

I valori massimi, sia in termini assoluti che in percentuale di abitazioni non occupate al momento della rilevazione censuaria si registra nei centri costieri. Sommando infatti i valori totali dei comuni di Olbia, Alghero e La Maddalena a quelli del secondo gruppo di centri turistici, risultano non occupate 38.313 abitazioni, pari all'82,83% del totale provinciale.

Se si considerano come valori normali le percentuali di abitazioni non occupate dei comuni di Porto Torres (9,59), Ittiri (9,97%) e Sassari (13,49%) negli altri centri siamo in presenza di situazioni, dal 32,69% di Castelsardo all'86,65% di Stintino, che possono essere spiegati solo con la presenza di un numero elevato di abitazioni utilizzate per brevi periodi nell'arco dell'anno.

Delle diverse tipologie insediative considerate dall'ISTAT, le situazioni di minore occupazione si osservano nei nuclei residenziali. I valori massimi si registrano a Stintino e Palau rispettivamente con il 93,49% e 93,32% delle abitazioni dei nuclei residenziali non occupate. Il valore minimo è quello del comune di Porto Torres, il 33,3%. Questa è comunque una situazione limite in quanto si tratta di una sola abitazione non occupata su un totale di 3 ascrivibili a livello comunale a questa tipologia.

Per le case sparse i valori massimi di non occupazione come termini assoluti si registrano nel comune capoluogo, dove risultano disabitate 1989 abitazioni su un totale di 5921. In termini percentuali, se si esclude il caso del comune di Ittiri dove tutte le 5 case sparse risultano occupate, il dato del comune di Sassari è il più basso negli 11 centri elencati nella tabella 9.

Il centro con il maggiore numero in percentuale, di case sparse disabitate è ancora Stintino con 104 abitazioni su un totale di 135 (77,04%).

Tabella 7. Comuni della provincia di Sassari con nuclei residenziali. Superficie occupata, valori in ha e in percentuale dei centri urbani e delle borgate al 1954 - 58 e al 1997

n° Comune	anni 1954 - 1958				anno 1997			
	nucleo urbano	borgate	Totale	% borg. su totale fabbric.	nucleo urbano	borgate	Totale	% borg. su tot. fabbric.
1 Aggius	5,60	0,50	6,10	8,20	24,48	1,50	25,98	5,77
2 Alghero	109,00	40,86	149,86	27,27	360,80	154,14	514,94	29,93
3 Arzachena	12,20	--	12,20	--	139,20	633,30	772,50	81,98
4 Badesi	8,30	1,50	9,80	15,31	34,40	17,60	52,00	33,85
5 Bonorva	21,48	0,50	21,98	2,27	66,30	10,65	76,95	13,84
6 Bortigiadas	2,40	1,20	3,60	33,33	9,95	4,50	14,45	31,14
7 Castelsardo	14,37	0,60	14,97	4,01	62,63	53,73	116,36	46,18
8 La Maddalena	55,60	--	55,60	--	176,47	34,70	211,17	16,43
9 Loiri Porto San Paolo	2,75	--	2,75	--	12,09	123,81	135,90	91,10
10 Olbia	64,10	2,63	66,73	3,94	964,60	253,75	1218,35	20,83
11 Osilo	21,82	2,50	24,32	10,28	35,16	2,50	37,66	6,64
12 Ozieri	30,77	6,18	36,95	16,73	103,00	47,80	150,80	31,70
13 Padru	4,06	5,30	9,36	56,62	29,82	8,58	38,40	22,34
14 Palau	12,40	--	12,40	--	106,10	144,66	250,76	57,69
15 Pattada	11,91	0,80	12,71	6,29	53,35	2,94	56,29	5,22
16 Sassari	322,60	50,70	373,30	13,58	1074,30	211,36	1285,66	16,44
17 Sorso	33,24	4,76	38,00	12,53	148,80	176,32	325,12	54,23
18 Stintino	8,20	1,60	9,80	16,33	9,40	256,97	266,37	96,47
19 Tempio Pausania	57,21	2,35	59,56	3,95	240,10	3,50	243,60	1,44
20 Trinità d'Agultu	6,90	0,40	7,30	5,48	25,70	182,05	207,75	87,63
21 Valledoria	6,60	0,90	7,50	12,00	70,25	39,34	109,59	35,90
TOTALE	811,51	123,28	934,79	13,19	3746,90	2363,70	6110,60	38,68

Tabella 8. Popolazione residente e urbanizzazione nei principali comuni ed in quelli con maggiori incrementi dei nuclei residenziali e delle case sparse (fonte Censimenti popolazioni ISTAT 1961, 1991)

Comuni	1961						1991					
	popolazione			Totale	superfici		centro ¹	popolazione			superfici	
	centro	nuclei	case sparse		superficie centro	superficie nuclei		nuclei ¹	case sparse ¹	Totale ²	superficie centro	superficie nuclei
Sassari ³	80.139	870	9.028	90.037	322,60	50,70	105.518	1.371	13.741	122.339	1.074,30	211,36
Olbia	15.505	443	2.840	18.788	64,10	2,63	36.407	1.309	3.140	40.412	964,60	253,75
Alghero	22.970	708	3.010	26.688	109,00	40,86	35.031	29	3.567	38.929	360,80	154,14
Porto Torres	10.310	444	445	11.199	62,31	--	20.504	2	525	21.268	286,60	--
Tempio Pausania ³	11.188	1.411	1.540	14.139	57,21	2,35	13.310	12	367	13.899	240,10	3,50
La Maddalena	10.567	195	407	11.169	55,60	--	10.247	393	154	12.180	176,47	34,70
Ittiri	8.608	--	9	8.617	52,70	--	9.230	--	27	9.267	164,40	--
Arzachena	2.731	80	1.807	4.618	12,20	--	6.891	681	1.834	9.435	139,20	633,3
Trinità d'Agultu	1.130	496	308	1.934	6,90	0,40	1.660	173	135	1.971	25,70	182,05
Stintino ⁴	n.d	n.d	n.d	n.d	8,20	1,60	986	33	85	1.114	9,40	256,97
Palau	1.391	78	281	1.750	12,40	--	2.562	359	229	3.169	106,10	144,66
Loiri P. S. Paolo ⁵	n.d	n.d	n.d	n.d	2,75	--	1.176	924	161	2.014	12,09	123,81
Castelsardo ³	3.663	395	222	4.280	14,37	0,60	4.922	216	47	5.236	62,63	53,73

1 dati riferiti ai componenti delle famiglie residenti nel comune (tavola 6.2)

2 dati riferiti alle persone residenti nel comune (tavola 3.1)

3 I dati relativi alla popolazione residente nei nuclei e nelle case sparse non possono essere confrontati con quelli del 1997, in quanto alcune frazioni hanno ottenuto l'autonomia amministrativa.

4 dati non noti in quanto nel 1961 era frazione del comune di Sassari

5 dati non noti in quanto nel 1961 era frazione del comune di Tempio Pausania

Tabella 9. Abitazioni totali e occupate nei principali centri e in quelli di maggiore interesse turistico della provincia di Sassari
(fonte Censimento Popolazione ISTAT, (1992))

comuni	Abitazioni							
	occupate	non occupate	totale	% non occupate	occupate nel centro	non occupate nel centro	totale	% non occupate
Sassari	37.709	5.878	43.587	13,49	33.374	3.593	36.967	9,72
Olbia	13.811	10.528	24.339	43,26	12.348	7.616	19.964	38,15
Alghero	12.571	7.644	20.215	37,81	11.561	6.457	18.018	35,84
Porto Torres	6.102	647	6.749	9,59	5.959	520	6.479	8,03
Tempio Pausania	4.576	1.105	5.681	19,45	4.433	861	5.294	16,26
La Maddalena	4.010	2.708	6.718	40,31	3.280	2.028	5.308	38,21
Ittiri	2.837	314	3.151	9,97	2.832	314	3.146	9,98
	81.616	28.824	110.440	26,10	73.787	21.389	95.176	22,47
Arzachena	3.155	7.379	10.534	70,05	2.332	4.643	6.975	66,57
Trinità d'Agultu	659	2.191	2.850	76,88	552	2.073	2.625	78,97
Stintino	395	2.563	2.958	86,65	350	2.258	2.608	86,58
Palau	1.180	3.838	5.018	76,48	949	1.621	2.570	63,07
Loiri Porto S. P.	652	648	1.300	49,85	290	886	1.176	75,34
Castelsardo	1.676	814	2.490	32,69	1.590	731	2.321	31,50
	7.717	17.433	25.150	69,32	6.063	12.212	18.275	66,82
TOTALI CENTRI	89.333	46.257	135.590	34,12	79.850	33.601	113.451	29,62
PROVINCIA	145.114	71.024	216.138	32,86	132.700	50.989	183.689	27,76

SEGUE

SEGUE TABELLA 9

comuni	Abitazioni							
	occupate nei nuclei	non occupate nei nuclei	totale	% non occupate	case sparse occupate	case sparse non occupate	totale	% non occupate
Sassari	403	296	699	42,35	3.932	1.989	5.921	33,59
Olbia	460	2.335	2.795	83,54	1.003	577	1.580	36,52
Alghero	11	58	69	84,06	999	1.129	2.128	53,05
Porto Torres	2	1	3	33,33	141	126	267	47,19
Tempio Pausania	6	39	45	86,67	137	205	342	59,94
La Maddalena	128	543	671	80,92	62	137	199	68,84
Ittiri	--	--	--	--	5	--	5	0,00
	1.010	3.272	4.282	76,41	6.279	4.163	10.442	39,87
Arzachena	232	2.050	2.282	89,83	591	686	1.277	53,72
Trinità d'Agultu	56	50	106	47,17	51	68	119	57,14
Stintino	14	201	215	93,49	31	104	135	77,04
Palau	147	2.055	2.202	93,32	84	162	246	65,85
Loiri Porto S. P.	307	348	655	53,13	51	50	101	49,50
Castelsardo	69	60	129	46,51	17	23	40	57,50
	825	4.764	5.589	85,24	825	1.093	1.918	56,99
TOTALI CENTRI	1.835	8.036	9.871	81,41	7.104	5.256	12.360	42,52
PROVINCIA	3.005	11.247	14.252	78,92	9.409	8.788	18.197	48,29

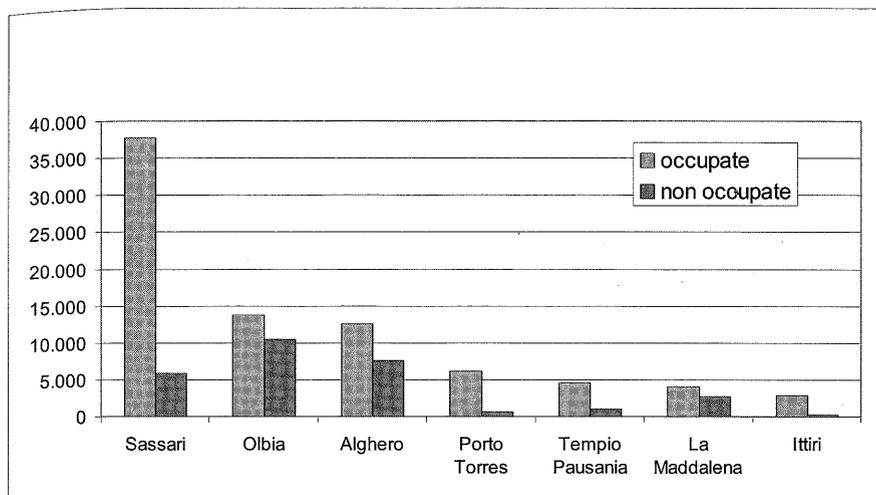


Figura 2. Stato delle abitazioni al 1991

Considerazioni finali

I dati relativi al consumo di suolo per urbanizzazione nel territorio della provincia di Sassari, pur essendo provvisori in quanto ancora in corso di calcolo le superfici occupate dalle case rurali sparse e dai diversi livelli di reti viarie, indicano una situazione che in termini quantitativi, può essere considerata soddisfacente in quanto risulta occupato il 2.1% del territorio provinciale.

Gli stessi dati indicano come una parte significativa dell'incremento registrato tra il 1954-58 e il 1997 sia dovuto alla realizzazione di abitazioni in aree di elevato interesse turistico e con una occupazione generalmente limitata alla stagione estiva.

L'obiettivo immediato di questi studi è la determinazione quantitativa dell'intero consumo nella provincia e soprattutto la sua ripartizione nelle diverse situazioni pedologiche in modo da poter indicare anche la qualità del suolo occupato.

Note

1. Comunemente si ritiene che in un ambiente di tipo mediterraneo siano necessari circa 5000 anni per ottenere un suolo lavorabile con l'aratro.
2. I comuni interessati sono: Cagliari, Assemini, Maracalagonis, Quartu Sant'Elena, Selargius, Sestu, Settimo San Pietro, Sinnai.
3. Il comune di Stintino ha ottenuto l'autonomia amministrativa da quello di Sassari nel 1987.

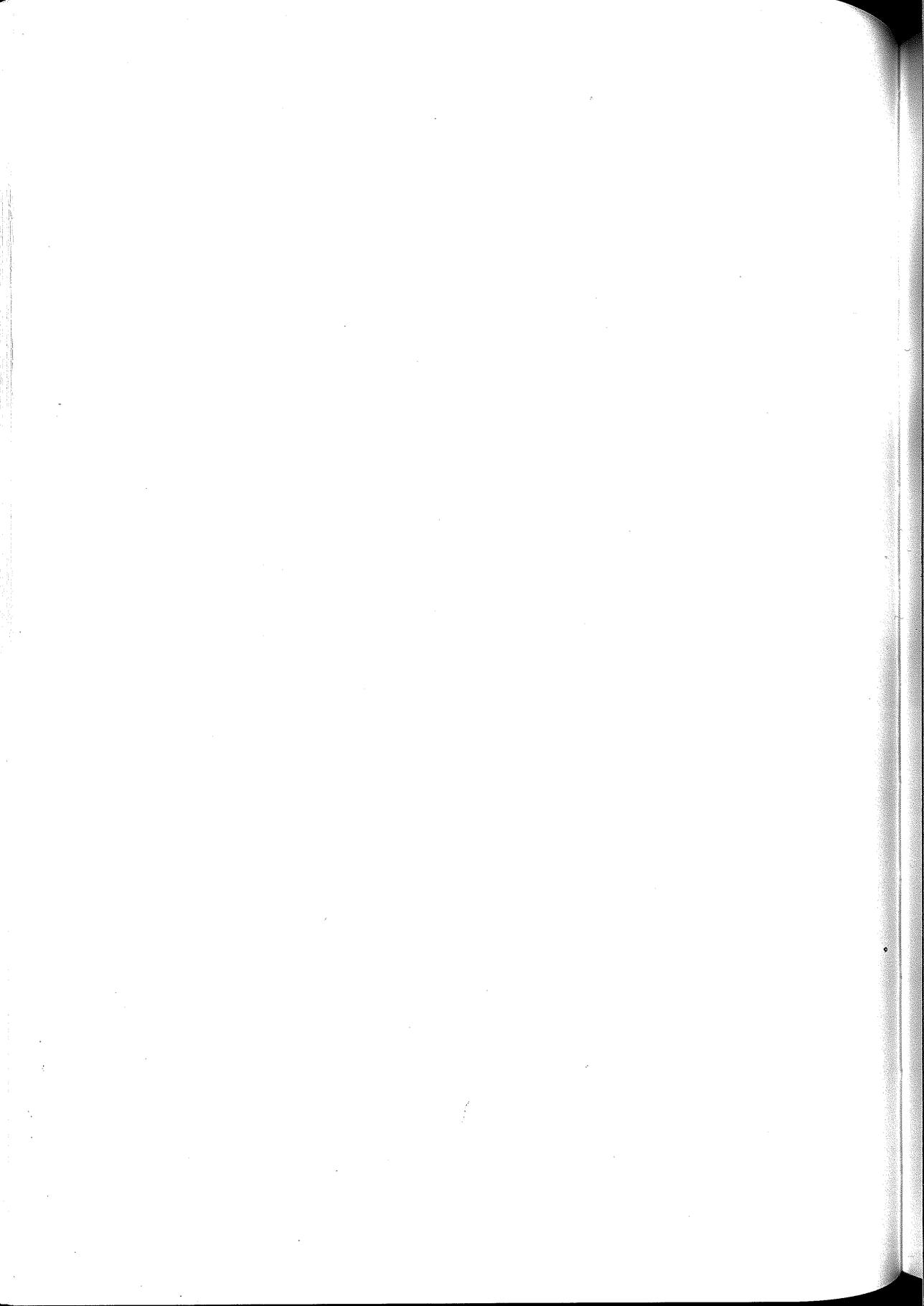
4. Il comune di Sassari ha una estensione di 55357,9 ha, il comune di Stintino 5282,91 ha.
5. In questa tipologia si sono inseriti sia gli *annucleamenti compatti* rappresentati dalle borgate rurali o dalle frazioni, sia quegli insediamenti costituiti da un insieme di fabbricati di civile abitazione che pur non essendo contigui, mostrano di avere uno o più punti comuni di servizi. È il caso tipico di centri residenziali estivi quali Porto Cervo, Costa Paradiso, ecc. In queste situazioni, in mancanza di confini riconoscibili si è considerata quale area urbanizzata quella racchiusa dall'anello più esterno della rete viaria facente capo al centro residenziale stesso.
6. L'analisi ha interessato quattro momenti storici, 1954, 1966, 1977, 1987, per i quali sono disponibili sia cartografie, sia riprese aeree a varia scala. Il 1987 è stato aggiornato al 1989 mediante rilievi in campo.
7. Un'indicazione della complessità di queste determinazioni è offerto dal territorio comunale di Sassari (il 7,4% del territorio provinciale) dove sono stati individuati al 1989 678,5 Km di strade di interesse locale, di cui 338,0 attribuiti alle strade poderali.
8. Per facilitare il confronto tra i dati delle due situazioni temporali si sono considerati come autonomi nel 1954 - 58 anche quei comuni, esempio Erula, Valledoria, Loiri-Porto San Paolo, che l'hanno ottenuta in anni successivi.
9. La popolazione residente nella provincia ammontava a 381.191 individui, 454.904 nel 1991, con un incremento di 77.713 unità (+19,33%)
10. Con il termine nuclei abitati l'ISTAT intende delle località abitate prive del luogo di raccolta (chiesa regolarmente officiata, scuola, stazioni ferroviarie, tranviaria o automobilistica, un ufficio pubblico, rivendita di generi di privativa, o una farmacia, un negozio o simili costituenti la condizione di una forma autonoma di vita sociale a cui possono concorrere anche gli abitanti di centri vicini) che caratterizza il centro abitato con almeno cinque famiglie e con interposte strade, sentieri, spiazzoli, piccoli orti, piccoli incolti e simili, purché l'intervallo tra casa e casa non superi una trentina di metri e sia in ogni modo inferiore a quello intercorrente tra il nucleo stesso e la più vicina delle case manifestamente sparse. (ISTAT, 1992)
11. Le abitazioni non occupate sono, ai fini censuari, quelle non abitate da nessuna persona o che sono abitate da persone temporaneamente presenti che non hanno dimora abituale in quella abitazione ad esempio uno studente universitario fuori sede (ISTAT, 1992)

Bibliografia

- ARU A., BALDACCINI P., MALQUORI A., MELIS R.T., VACCA S., 1983. Il consumo delle terre a causa della espansione urbana del territorio intorno a Cagliari. Istituto di Geologia, Paleontologia e Geografia Fisica dell'Università di Cagliari.
- ASTENGO G., (a cura di), 1982, Rapporto sullo stato dell'urbanizzazione in Italia e sulle politiche urbane e territoriali per gli anni 80'. Stato di avanzamento al novembre 1983. IUAV, Venezia
- D'ANGELO M., ENNE G., MADRAU S., ZUCCA C., 2000, Soil consumption by urbanisation: a case study in northern Sardinia (Italy). *Proceedings of the meeting on Interdependency between agriculture and urbanization: conflicts on sustainable use of soil and water*. Tunis, 3-6 April 2000, in print.
- ISTAT, 1966, 10° *Censimento Generale della Popolazione, 15 ottobre 1961. Vol. III, Dati sommari per comune, Fascicolo 90: provincia di Sassari*, Roma
- ISTAT, 1992, 13° *Censimento Generale della Popolazione e delle Abitazioni, 20 ottobre 1991*. Fascicolo Provinciale Sassari, Roma
- MADRAU S., 1993, La perdita di suolo per urbanizzazione negli anni 1958-1989 nei territori comunali di Sassari e Stintino, (Sardegna nord- occidentale). Studi Sassaesi, sez. III, Annali della Facoltà di Agraria, vol. XXXV (1°), pag. 77 -106, Sassari
- SATTA V., 1991, Il consumo di suolo per urbanizzazione nel territorio del comune di Porto Torres (Sassari). *Tesi di Laurea, Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Sassari*, Anno Accademico 1991-92
- UNEP, 1991, Status of desertification and implementation of the United Nations plan of action to combat desertification, Nairobi



Commissione VII
Mineralogia del suolo



FORME CHIMICHE E MINERALOGICHE DI METALLI PESANTI NEI SUOLI CONTAMINATI DELL'AREA DI STOCCAGGIO DELLE MATERIE PRIME DELL'EX IMPIANTO SIDERURGICO ILVA DI BAGNOLI

P. Adamo, M. Arienzo, M.R. Bianco, P. Violante

Dipartimento di Scienze del Suolo, della Pianta e dell'Ambiente, Sezione Scienze Chimico-Agrarie
Università degli Studi di Napoli Federico II
Via Università, 100 - 80055 Portici (NA)

Riassunto

E' stato determinato il contenuto totale ed è stata definita la distribuzione delle forme chimiche e mineralogiche dei metalli Fe, Al, Cu, Co, Cr, Pb, Zn, Ni e Mn nei diversi orizzonti di uno dei profili più rappresentativi dei suoli contaminati dell'area destinata allo stoccaggio delle materie prime dell'ex stabilimento siderurgico ILVA di Bagnoli. La stratificazione di materiali utilizzati e/o derivati dal processo produttivo ha reso difficile l'identificazione della successione degli orizzonti. Il contenuto totale di Cu, Cr, Pb, Zn e Ni del suolo, ottenuto sommando i valori accertati nelle frazioni con diametro delle particelle > 20 mm, compreso tra 20 e 2 mm e < 2 mm, risultano, in particolare negli orizzonti di superficie, più elevato del valore limite indicato dal Ministero dell'Ambiente (DM 471/99) per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale, ma inferiore al valore limite indicato dallo stesso DM per i siti ad uso commerciale ed industriale.

La speciazione dei metalli pesanti e la valutazione della distribuzione quantitativa delle diverse forme chimiche nelle frazioni con diametro < 2 mm hanno messo in evidenza che gli elementi occlusi in ossidi di manganese o di ferro facilmente riducibili, associati alla sostanza organica e inseriti nella struttura mineralogica di ossidi o silicati, sono presenti in percentuali molto elevate nei diversi orizzonti del profilo preso in esame.

Per la definizione della possibilità di mobilizzazione e di trasferimento in profondità dei metalli pesanti, adsorbiti selettivamente sulle superfici di composti amorfi o associati ad entità cristalline del ferro, la frazione argillosa, separata dai diversi orizzonti è stata trattata in successione con soluzione di ammonio ossalato, con soluzione di sodio ditionito-sodio citrato e, in forno a microonde, con miscela di acidi HNO₃/HF.

Estrema variabilità caratterizza la distribuzione dei metalli pesanti tra le diverse specie chimiche considerate. Negli orizzonti profondi è stata messa in evidenza, nei pori di illuviazione, la presenza di *coatings*. Tale accertamento consente di avanzare l'ipotesi che i metalli pesanti, legati a forme del ferro relativamente inerti da un punto di vista chimico, possano migrare lungo il profilo.

La composizione mineralogica dei campioni della frazione granulometrica sabbia grossa ($\varnothing > 0.2$ mm) è caratterizzata dalla presenza di calcite, di magnetite, di goethite, di ematite, di quarzo e di entità tipiche dei materiali vulcanici; quella della frazione argilla ($\varnothing < 0.2$ μm) da talco, minerali argillosi a 1.4 nm, kaolinite, illite e goethite.

Introduzione

L'inquinamento del suolo da metalli pesanti è di maggiore gravità rispetto a quello dell'atmosfera e delle acque tenuto conto che, rimosse le fonti di contaminazione, la pedosfera, pur possedendo meccanismi chimici, fisici e biologici di autodepurazione, rimane degradata per tempi molto più lunghi (Alloway, 1995).

I suoli dell'area occidentale di Napoli, interessati dall'insediamento dello stabilimento siderurgico dell'ILVA di Bagnoli, oggi in liquidazione, costituiscono esempio tipico d'inquinamento da metalli pesanti.

Lo stabilimento, entrato in produzione nel 1910, si estende per circa 300 ha nella parte occidentale della pianura di Fuorigrotta-Bagnoli. Dopo aver raggiunto alla fine degli anni '60 produzione annua di 2.000.000 di tonnellate di acciaio, nel primo semestre del 1991 l'impianto industriale ha sospeso ogni attività produttiva.

I suoli dell'area dell'ILVA si sono formati da piroclastiti da caduta, in parte rimaneggiate, prodotte dall'attività vulcanica dei Campi Flegrei e tipiche delle conche e della zona costiera ad ovest di Napoli.

L'area è caratterizzata da clima mediterraneo con valori medi annui di 15,4 °C per la temperatura e di 1026,5 mm per la piovosità (Ufficio Idrografico e Mareografico di Napoli, 1960-1995).

Anche se non interessate da costruzioni civili e impianti meccanici, queste formazioni pedologiche hanno subito profonde modificazioni in conseguenza delle molteplici attività legate ai processi produttivi e, in particolare, dall'accumulo di materie prime (minerali ferrosi, fondenti, metalli puri e ferroleghe), di prodotti intermedi di lavorazione e di scorie dell'attività siderurgica. Le caratteristiche morfologiche di questi suoli non trovano pieno riscontro nei sistemi di classificazione tassonomica tradizionali. Tuttavia, di recente, Buondonno *et al.*, (1995, 1998) hanno riportato che, per la scarsa differenziazione pedologica, i suoli dell'ILVA potrebbero essere inclusi solamente nell'ordine degli Entisuoli ed hanno proposto la loro classificazione nel sottogruppo foundric degli Xerorthents.

In letteratura non sono riportati risultati di indagini condotte per l'accertamento del grado di contaminazione da metalli pesanti dei suoli dell'area industriale di Bagnoli. Studi condotti in altri siti interessati dall'attività di industrie siderurgiche riportano solamente le concentrazioni totali dei metalli e le relative distribuzioni spaziali senza fornire adeguate informazioni per la definizione dei rapporti di questi elementi con i minerali del ferro (Kuylaars *et al.*, 2000a ; Kuylaars *et al.*, 2000b).

Deve essere precisato, altresì, che i metalli pesanti sono presenti nel suolo in forme diverse che ne differenziano il comportamento in termini di disponibilità biologica, di tossicità potenziale, di tendenza ad interagire con i costituenti organo-minerali, di mobilità lungo il profilo (Brunner *et al.*, 1986; Broekaert *et al.*, 1990; Allen *et al.*, 1995). Pertanto, per la rigorosa valutazione dell'inquinamento da metalli pesanti è indispensabile identificare e quantificare le forme sotto le quali essi sono presenti nella pedosfera (Allen, 1997).

Questa ricerca è stata finalizzata:

- alla determinazione del contenuto totale di Fe, Al, Cu, Co, Cr, Pb, Zn, Ni e Mn, nei diversi orizzonti di uno dei profili più rappresentativi dei suoli dell'area di stoccaggio delle materie prime dell'ILVA di Bagnoli;

- alla differenziazione e alla valutazione quantitativa delle specie chimiche e mineralogiche che ne caratterizzano la presenza nella frazione con diametro delle particelle $< 2 \mu\text{m}$;

- alla definizione della possibilità di mobilizzazione e di trasferimento in profondità di questi elementi, adsorbiti selettivamente sulle superfici di composti amorfi o associati ad entità cristalline del ferro.

Materiali e metodi

Un profilo, rappresentativo dei suoli dell'area dello stabilimento siderurgico utilizzata per lo stoccaggio dei minerali di ferro, è stato aperto, descritto (Sanesi, 1977) e campionato. I campioni prelevati dai diversi orizzonti sono stati essiccati in stufa a 105 °C per 6 ore o conservati umidi a 4 °C.

La parte dei diversi campioni essiccata in stufa è stata separata, con l'impiego di setacci di acciaio inossidabile, nelle frazioni con diametro delle particelle $> 20 \mu\text{m}$ (frazione A), compreso tra 20 μm e 2 μm (frazione B) e $< 2 \mu\text{m}$ (frazione C) (Leita e Petruzzelli, 2000). Per la determinazione del contenuto di metalli pesanti in questi materiali, il protocollo di analisi

ha previsto il passaggio per setaccio con maglie da 2 mm delle frazioni A e B, preventivamente amminutate in mortaio di agata, e la mineralizzazione dei diversi campioni condotta in forno a microonde Milestone 900 con miscela (5:1) di HNO_3/HF , ad una potenza massima di 600 Watt e per una durata di 24 minuti. Il residuo è stato ripreso con soluzione 0.15 M di HCl.

L'altra parte dei campioni è stata setacciata allo stato umido a 2 mm per la determinazione del:

- contenuto d'umidità;
- pH in H_2O (rapporto suolo:soluzione 1:2,5);
- carbonio organico (metodo Walkely and Black);
- contenuto totale di carbonati (calcimetro di Dietrich-Frueling);
- contenuto (g kg^{-1}) delle frazioni granulometriche: sabbia grossa (\varnothing 2-0.2 mm), sabbia fine (\varnothing 0.2-0.02 mm), limo (\varnothing 0.02-0.002 mm) e argilla ($\varnothing < 2\mu\text{m}$) utilizzando il metodo alla pipetta secondo Andreasen dopo dispersione con ultrasuoni (15 minuti a 20 kHz e 75 W);

- contenuto, nella frazione < 2 mm, delle diverse forme che possono caratterizzare i metalli pesanti (solubili e scambiabili, occlusi in ossidi di manganese o di ferro facilmente riducibili, associati alla sostanza organica, inseriti nella struttura mineralogica di ossidi o silicati), utilizzando la metodologia di estrazione chimica sequenziale in quattro fasi (Ure *et al.*, 1993) che prevede l'impiego in successione delle soluzioni: 0.11 M di acido acetico, 0.1 M di idrossilammina cloridrato, 1 M di ammonio acetato, dopo pretrattamento del campione con H_2O_2 , miscela (1:5) di acido nitrico/acido fluoridrico;

- contenuto, nelle frazioni con $\varnothing < 2$ (m, dei metalli pesanti associati alle fasi di ferro amorfe e cristalline o presenti nella struttura di altri minerali (residuo), per trattamento con soluzione di ammonio ossalato a pH 3 (Schwertmann, 1964), e, in successione, con soluzione di sodio ditionito-sodio citrato (Holmgren, 1967; Violante e Adamo, 2000) e, in forno a microonde, con miscela HNO_3/HF (1:5).

Nelle soluzioni ottenute per mineralizzazione dei campioni di diversa granulometria e in tutti gli estratti, il contenuto di Fe, Al, Cu, Co, Cr, Pb, Zn, Ni e Mn è stato determinato per spettrometria in assorbimento atomico, con l'impiego di apparecchiatura Perkin Elmer AAnalyst 700.

Tutti i risultati sono riferiti ai diversi campioni secchi in stufa a 105 °C.

La composizione mineralogica dei campioni delle frazioni granulometriche sabbia grossa (\varnothing 2-0.2 mm) e argilla (\varnothing < 0.2 μ m), è stata accertata con l'impiego dell'analisi diffrattometrica a raggi-X utilizzando apparecchiatura Rigaku Geigerflex D/MAX IIIC e radiazione Co-k $_{\alpha}$ ferro-filtrata.

Risultati e discussione

Proprietà morfologiche del profilo studiato

Il profilo selezionato, così come gli altri presi in esame all'interno dell'area industriale indicata come Parco Minerali, presenta una morfologia molto complessa conseguente al notevole impatto sul suolo delle attività antropiche (Tabella 1). Fino alla profondità di ~ 70 cm, il profilo risulta caratterizzato dalla stratificazione di materiali utilizzati e/o derivati dal ciclo produttivo (minerali di ferro, carbonati, intermedi di lavorazione e scorie). Negli orizzonti Cm, formati prevalentemente da materiale di risulta, non si notano segni evidenti di pedogenesi ma si accertano fenomeni di cementazione ed elevata variabilità del colore e delle screziature.

L'orizzonte CB1 presenta segni di pedogenesi evidenziati anche dalla presenza di forme di aggregazione poliedrico-subangolari di materiali fini. Nell'orizzonte 2C5, è chiaramente visibile struttura lamellare ben sviluppata. La presenza di coatings nei due orizzonti profondi, in particolare nel 3CBt, formati da materiale di chiara natura piroclastica, tipico delle aree vulcaniche dei Campi Flegrei, costituisce indicazione di processi di migrazione lungo il profilo di componenti della frazione argillosa.

Tabella 1. Descrizione del profilo studiato

Orizzonte	Profondità (cm)	Colore (secco)	Frammenti di materiali industriali	Struttura	Fattore di formazione del suolo	Screziature	Coatings
C1m	0-20	10YR 4/2	Scarsi	Massiva	Antropico	Assenti	Assenti
C2m	20-28	7,5YR 4/4	Scarsi	Massiva	Antropico	Scarse	Assenti
C3m	28-37	5Y 5/3	Scarsi	Massiva	Antropico	Scarse	Assenti
C4m	37-42	7,5YR 5/4	Comuni	Massiva	Antropico	Assenti	Assenti
CB1	42-68	5Y 6/3	Scarsi	Poliedrica Subangolare Massiva	Antropico	Scarse	Assenti
2C5	68-72	7,5YR 4/4	Assenti	Lamellare	Antropico	Scarse	Assenti
3CB2	72-80	5Y 6/3	Assenti	Massiva Incoerente	Naturale	Assenti	(Assenti)
3CBt3	80-120	5Y 6/3	Assenti	Massiva Incoerente	Naturale	Assenti	Scarse

Proprietà chimico-fisiche

Nella tabella 2 sono riportati i risultati delle indagini analitiche condotte per l'accertamento delle caratteristiche chimico-fisiche dei materiali prelevati dai diversi orizzonti del profilo studiato. I valori di pH (H₂O), moderatamente elevati negli orizzonti superficiali, tendono a diminuire in profondità. Il carbonio organico, determinato in quantità sempre molto basse, varia in modo non regolare lungo il profilo e non risulta presente negli orizzonti 3CB2 e 3CBt3. I carbonati, il cui contenuto è pari a 13,81 g kg⁻¹ nell'orizzonte C1m e a 1 g kg⁻¹ nell'orizzonte C2m, sono assenti negli altri orizzonti.

Procedendo verso gli orizzonti più profondi, diminuisce con regolarità la frazione sabbia grossa mentre nell'ultimo strato di piroclastiti si accerta relativamente più elevata presenza di costituenti caratterizzati dalle dimensioni dell'argilla.

Tabella 2. Caratteristiche chimico-fisiche dei materiali prelevati dai diversi orizzonti del profilo studiato

Profondità(cm)	pH (H ₂ O)	C.O	Carbonati	S.G.	S.F	Limo	Argilla
g kg ⁻¹							
0-20	8.54	2.29	13.81	467	359	98	76
20-28	8.35	0.19	1.00	417	278	165	141
28-37	8.45	0.59	-	252	248	379	121
37-42	8.18	2.60	-	265	287	340	108
42-68	8.08	0.83	-	244	400	179	177
68-72	8.00	2.43	-	157	333	329	182
72-80	7.34	-	-	95	531	218	156
80-120	7.62	-	-	31	407	285	278

Contenuto totale dei metalli pesanti.

Nella tabella 3 è riportata la distribuzione percentuale delle particelle con diametro > 20 mm (frazione A), compreso tra 20 e 2 mm (frazione B) e < 2 mm (frazione C) nei materiali prelevati dai diversi orizzonti lungo il profilo.

Particelle con diametro > 20 mm risultano presenti solo negli orizzonti C1m, C2m e C4m in quantità pari, rispettivamente, al 34, 38 e 10 % del materiale prelevato. Si nota tendenza alla diminuzione della frazione B (Ø compreso tra 20 e 2 mm) procedendo verso gli orizzonti più profondi. Con l'eccezione dell'orizzonte C2m, dove questa frazione raggiunge il valore del 52 %, le quantità percentuali restano comprese tra 27 e 41. Si nota lungo il profilo tendenza ad aumento non regolare della frazione C (Ø < 2 mm) che negli orizzonti formati da piroclastiti costituisce il 100 % del campione.

Tabella 3. Distribuzione percentuale delle particelle con diametro > 20 mm (frazione A) compreso tra 20 e 2 mm (frazione B) e < 2 mm (frazione C) nei materiali prelevati dai diversi orizzonti lungo il profilo

Profondità cm	A %	B %	C %
0-20	34	41	25
20-28	38	52	10
28-37		37	63
37-42	10	34	56
42-68		27	73
68-72		31	69
72-80			100
80-120			100

Tabella 4. Contenuto totale (mg kg⁻¹) dei metalli pesanti nelle frazioni granulometriche A, B, C e quantità complessiva nel suolo studiato, definita sommando i valori accertati (A+B+C)

Profondità (cm)	Frazioni	Fe	Al	Cu	Co	Cr	Pb	Zn	Ni	Mn
		mg kg ⁻¹								
0-20	A	85102	2652	206	17	925	34	243	105	2904
	B	87330	698	276	16	402	35	283	48	1394
	C	82750	5775	97	11	368	36	143	69	1275
	A+B+C	255182	9125	579	45	1695	105	670	222	5573
20-28	A	102980	10754	150	20	1098	11	242	203	2166
	B	234520	874	160	63	1082	142	502	676	3484
	C	39800	7540	83	13	216	46	102	68	510
	A+B+C	377300	19168	393	96	2396	199	846	947	6160
28-37	B	109890	16872	347	20	585	90	296	225	1147
	C	51030	51030	89	20	416	33	103	100	1449
	B+C	160920	67902	436	41	1001	123	398	325	2596
	A	4400	3860	164	4	9	41	25	19	69
37-42	B	22440	31858	566	20	50	145	126	107	476
	C	46480	41216	150	45	50	448	196	161	1064
	A+B+C	73320	76934	880	69	109	634	347	288	1609
	B	113670	11907	338	29	57	107	317	29	1242
42-68	C	86140	56283	148	34	277	70	281	95	2190
	B+C	199810	68190	486	63	334	178	598	124	3432
	B	82460	22971	288	19	47	125	223	30	1426
	C	102120	44298	207	32	159	59	222	69	1863
68-72	B+C	184580	67269	495	51	205	184	445	99	3289
	C	44000	95100	18	26	420	6	72	114	2100
	C	44000	95100	18	26	420	6	72	114	2100
	C	41000	117700	19	30	440	13	79	166	2200
80-120	C	41000	117700	19	30	440	13	79	166	2200
	C	41000	117700	19	30	440	13	79	166	2200

Valori limite (mg kg⁻¹) riportati nel DM 471/99 per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (Cu 120, Co 20, Cr 150, Pb 100, Zn 150, Ni 120), per i siti ad uso commerciale ed industriale (Cu 600, Co 250, Cr 800, Pb 1000, Zn 1500, Ni 500).

Differenziazione e valutazione quantitativa delle specie chimiche dei metalli pesanti presenti nelle frazioni con diametro < 2 mm

In figura 1 viene rappresentata graficamente la distribuzione quantitativa, nelle frazioni con diametro <2 mm, dei metalli pesanti solubili e scambiabili, (frazione scambiabile) occlusi in ossidi di manganese o di ferro facilmente riducibili, (frazione riducibile) associati alla sostanza organica (frazione ossidabile) e inseriti nella struttura mineralogica di ossidi o silicati, (frazione residua) determinata utilizzando la metodologia proposta da Ure *et al.*, (1993).

Appare evidente che solo limitate quantità di alcuni metalli risultano presenti in forma solubile o scambiabile. Più precisamente, esprimendo i risultati in percentuale del valore della sommatoria delle diverse concentrazioni accertate con l'impiego dei vari reattivi (Tabella 6), quantità comprese fra 0,37 e 1 % di alluminio, fra 1 e 10 % di rame, fra 4 e 35 % di zinco e fra 1 e 14 % di manganese risultano solubili in soluzione diluita di acido acetico.

La quantità massima di ciascun metallo pesante estraibile con soluzione di idrossilammina cloridrato, si accerta per il ferro (24 %) nell'orizzonte C1m, per il rame (64 %) nell'orizzonte 2C5, per lo zinco (35 %) nell'orizzonte C1m, per il manganese (66 %) nell'orizzonte C4m.

L'ammontare degli elementi considerati che, a diversa profondità lungo il profilo, può trovarsi associato alla sostanza organica varia in quantità percentuale dal 2 (in C4m) al 19 % (C1m e 3CB2) per il ferro, non supera il 17 % (C1m) per l'alluminio, è compreso tra il 2 (2C5) e il 50 % (3CB2 e 3CBt3) per il rame, oscilla dal 37 (CB1) al 52 % (C2m) per il cobalto, raggiunge il 43 % (C3m) e rappresenta il 100 % delle limitatissime quantità (3 e 4 mg/kg, rispettivamente) presenti negli orizzonti più profondi (3CB2 e 3CBt3) per il piombo, si accerta in un range dal 3 (CB1) e 22 % (C2m) per lo zinco, arriva a valori significativi del 12 e del 23 %, rispettivamente per il nichel e per il manganese, solamente nell'orizzonte di superficie (C1m).

Quasi tutti i metalli pesanti che costituiscono parte integrante della struttura mineralogica di ossidi o silicati sono presenti in percentuali molto elevate nei diversi orizzonti del profilo preso in esame, comprese tra il 57 (C1m) e il 91 % (CB1) per il ferro, tra il 74 (C1m) e il 97 % (3CB2) per l'alluminio, tra il 57 (C3m) e il 95 % (C2m) per il piombo tra l'88 (C1m) e il 99 % per il nichel (C3m e 3CBt3), pari, in ogni caso, al 100 % per il cromo. Valori percentualmente inferiori si accertano alle diverse profondità, comprese tra il 12 (2C5) e l'89 % (CB1) per il rame, tra il 23 (C1m) e l'87 % (3CB2) per lo zinco, tra il 28 (2C5) e il 70 % (3CB2) per il manganese.

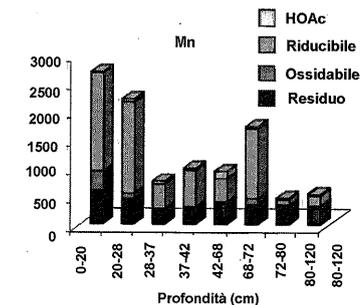
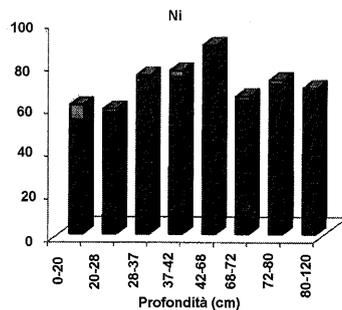
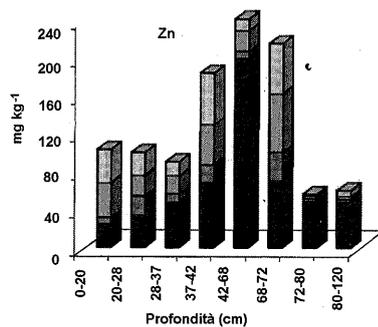
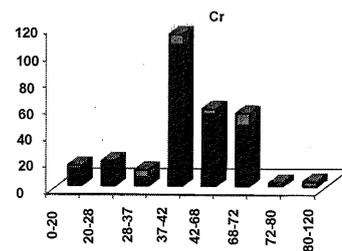
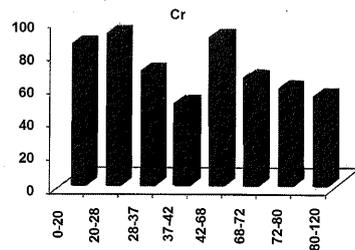
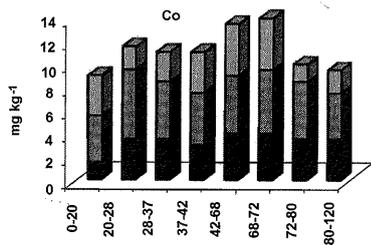
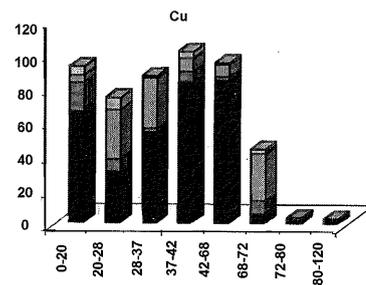
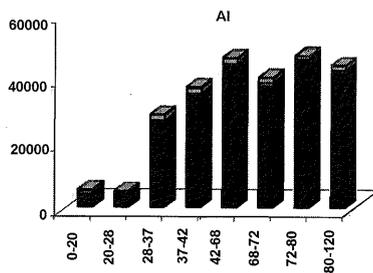
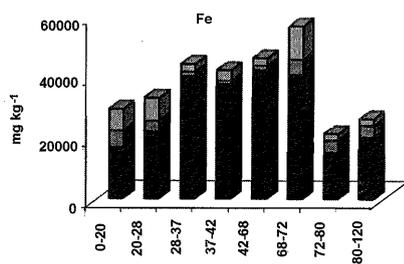


Figura 1. Distribuzione quantitativa nelle frazioni con diametro < 2 mm dei metalli pesanti estratti in successione da soluzioni di acido acetico (frazione HOAc), di idrossilammina cloridrata (frazione riducibile), di ammonio acetato (frazione ossidabile) e di acido nitrico/acido fluoridrico (residuo)

Tabella 6. Percentuali dei metalli pesanti riferite alla sommatoria delle concentrazioni accertate con l'impiego di reattivi diversi

Estrazione in Acido Acetico									
Profondità (cm)	Fe	Al	Cu	Co	Cr	Pb	Zn	Ni	Mn
%									
0-20	-	1	5	-	-	-	35	-	1
20-28	-	1	10	-	-	-	25	-	10
28-37	-	1	1	-	-	-	17	-	7
37-42	-	1	4	-	-	-	30	-	3
42-68	-	0.39	1	-	-	-	5	-	14
68-72	-	0.46	6	-	-	-	25	-	3
72-80	-	0.39	-	-	-	-	4	-	5
80-120	-	0.37	-	-	-	-	11	-	5

Estrazione in Idrossilammina Cloridrato									
Profondità (cm)	Fe	Al	Cu	Co	Cr	Pb	Zn	Ni	Mn
%									
0-20	24	8	5	39	-	-	35	-	22
20-28	23	15	40	17	-	-	21	-	12
28-37	6	6	35	23	-	-	21	-	58
37-42	8	4	8	32	-	-	23	-	66
42-68	6	4	8	33	-	-	9	-	44
68-72	20	4	64	32	-	-	29	-	60
72-80	10	2	50	15	-	-	4	-	21
80-120	8	3	60	21	-	-	5	-	33

Estrazione in H₂O₂ / Ammonio Acetato									
Profondità (cm)	Fe	Al	Cu	Co	Cr	Pb	Zn	Ni	Mn
%									
0-20	19	17	19	44	-	17	7	12	23
20-28	11	8	10	52	-	5	22	3	9
28-37	3	3	3	45	-	43	9	1	5
37-42	2	1	6	41	-	7	10	3	2
42-68	3	1	2	37	-	6	3	2	3
68-72	9	2	19	39	-	17	14	2	9
72-80	19	1	50	50	-	100	5	2	4
80-120	15	1	50	42	-	100	5	1	3

Residuo estratto in HF/HNO₃									
Profondità (cm)	Fe	Al	Cu	Co	Cr	Pb	Zn	Ni	Mn
%									
0-20	57	74	71	17	100	83	23	88	54
20-28	66	75	40	30	100	95	33	97	69
28-37	91	91	61	32	100	57	53	99	31
37-42	89	93	82	27	100	93	37	97	28
42-68	91	95	89	30	100	94	82	98	40
68-72	72	93	12	29	100	83	32	98	28
72-80	71	97	-	35	100	-	87	98	70
80-120	77	95	-	37	100	-	79	99	59

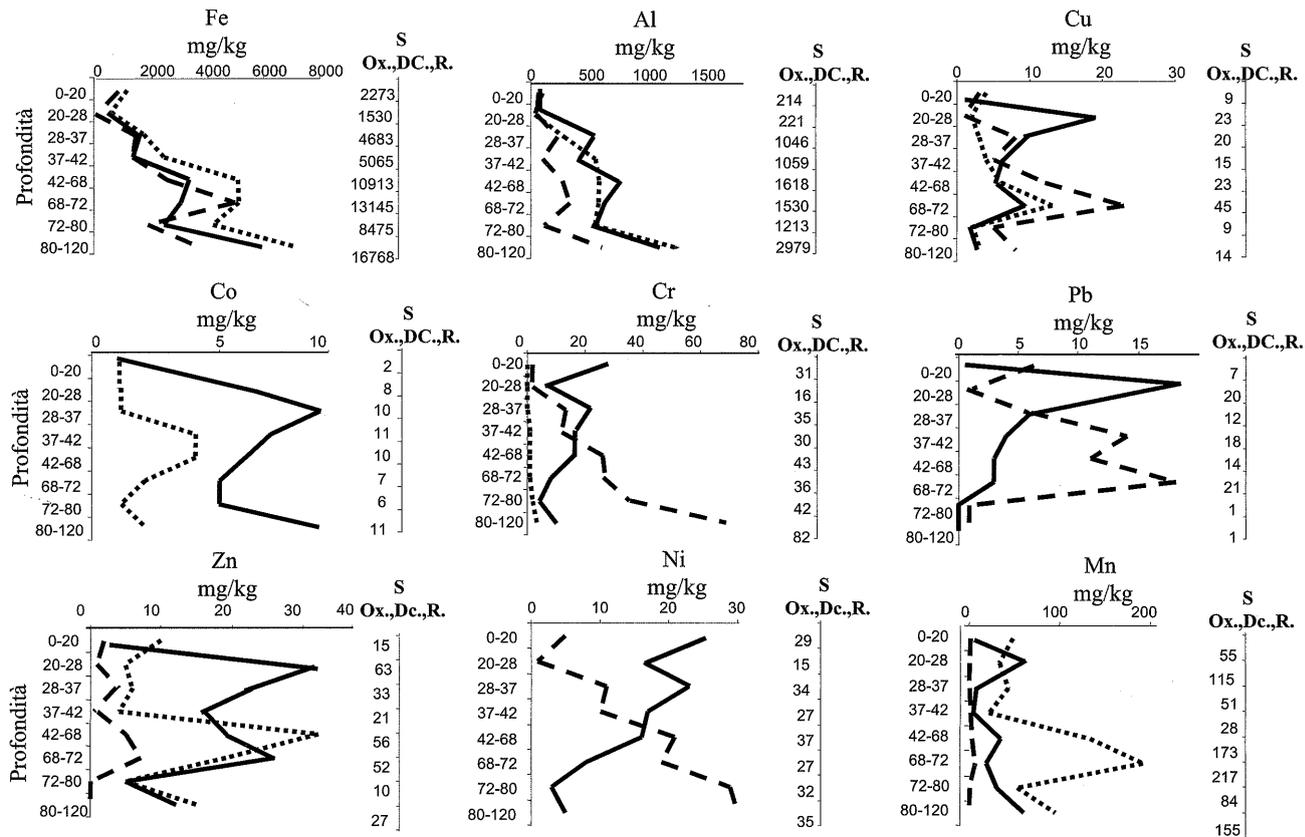


Figura 2. Concentrazione dei metalli pesanti estratti nella frazione argillosa (< 2 mm): Ammonio Ossalato (OX.), Sodio Ditionito-Sodio Citrato (DC), Residuo (R) lungo il profilo

- Ammonio Ossalato (Ox)
- Sodio Ditionito-Sodio Citrato(DC)
- Residuo (R)

Estrazione sequenziale in ammonio ossalato, sodio ditionito-sodio citrato, HNO₃/HF dei metalli pesanti nelle frazioni argillose $\varnothing < 2$ (m)

In figura 2 vengono riportati i valori della sommatoria del contenuto dei metalli pesanti, espresso in mg kg⁻¹ della frazione < 2 mm tenuta a 4 °C, solubilizzati per trattamento del materiale con diametro delle particelle inferiore a 2 (m con soluzione d'ammonio ossalato a pH 3 e, in successione, con soluzione di sodio ditionito-sodio citrato e con miscela (1:5) di HNO₃/HF in forno a microonde.

Quantità diverse dei metalli sono presenti in questa frazione granulometrica.

In particolare, la più elevata quantità di ferro estratta in ammonio ossalato, costituisce indicazione di maggiore presenza, lungo il profilo, di entità amorfe di questo elemento.

I costituenti cristallini del ferro raggiungono il valore più elevato nell'orizzonte 2C5 a struttura lamellare ben sviluppata.

L'alluminio è solubilizzato in ammonio ossalato in quantità abbastanza elevate, in particolare negli orizzonti più profondi caratterizzati dalla presenza di piroclastiti. Limitato contenuto del metallo viene estratto in soluzione di sodio ditionito-sodio citrato. Nel residuo la concentrazione di Al aumenta con la profondità.

Le maggiori quantità di rame si accertano legate alle fasi cristalline del ferro, nell'orizzonte 2C5, e presenti come materiale residuo, nell'orizzonte C2m.

Limitate quantità di cobalto sono legate solamente agli ossidi di ferro amorfi, in particolare negli orizzonti C4m e CB1, ed entrano nella composizione di silicati od ossidi, prevalentemente negli orizzonti C3m e 3CBt3.

Trascurabile è il contenuto di cromo che viene solubilizzato con gli ossidi di ferro a scarso ordine cristallino. Le quantità di questo metallo associate alle fasi cristalline del ferro aumentano con la profondità, mentre, lungo il profilo, tende a valori sempre meno elevati il suo contenuto nel residuo.

Il piombo non risulta adsorbito sulle superfici dei costituenti amorfi del ferro ma appare legato ai costituenti cristallini di questo elemento negli orizzonti C4m e 2C5 ed è presente nel residuo, in particolare nell'orizzonte C2m. Anche il nichel non viene solubilizzato per trattamento con soluzione di ammonio ossalato. Le quantità di questo metallo unite alle en-

tà cristalline del ferro aumentano passando dagli orizzonti di superficie a quelli profondi mentre quelle presenti come silicati o ossidi tendono a diminuire lungo il profilo. Lo zinco si accompagna, in prevalenza, alle fasi amorfe del ferro o è presente nel residuo, raggiungendo la maggiore concentrazione, rispettivamente nell'orizzonte CB1 e C2m e 2C5. Le quantità di manganese estraibili in ammonio ossalato sono molto più elevate rispetto a quelle di Cu, Co, Cr, Pb, Zn e Ni, in particolare nell'orizzonte 2C5. Il contenuto di questo metallo legato alle entità cristalline del ferro non varia lungo il profilo mentre le quantità presenti nel residuo raggiungono i valori più alti negli orizzonti C2m e 3CBt3.

Analisi mineralogica

Nelle figure 3 e 4 sono riportati i diffrattogrammi registrati per le frazioni granulometriche con diametro delle particelle compreso tra 2 e 0.2 mm e < 2.0 μ m, separate dai campioni di suolo prelevati dagli orizzonti del profilo studiato.

La definizione della composizione mineralogica delle due frazioni considerate consente, entro certi limiti, l'identificazione dei materiali utilizzati nell'attività industriale o derivati dal ciclo produttivo della ghisa e dell'acciaio.

I costituenti sabbiosi presenti nell'orizzonte di superficie (C1m) sono caratterizzati dalla presenza di individualità mineralogiche del ferro (goethite, ematite, magnetite), di calcite, utilizzata normalmente come fondente, e di quarzo. Gli stessi minerali, anche se in diverso rapporto reciproco, coesistono, negli orizzonti con mica, feldspati e clinopirosseni potassici, che si accertano di norma nei materiali vulcanici flegrei. Negli orizzonti più profondi (3CB2 e 3CBt3) la sabbia presenta la composizione mineralogica tipica delle vulcaniti.

Nella frazione argilla, insieme alle riflessioni della caolinite, della mica, di un minerale a 1.4 nm, parzialmente espandibile, si notano quelle della goethite. Di interesse risulta l'identificazione di ematite nell'orizzonte e di talco (0.95 nm).

La presenza di questo minerale potrebbe essere riferita all'accumulo di sfaticcio di refrattari resistenti a temperatura elevata e dotati da alto potere isolante. L'intensità degli effetti di diffrazione del talco diminuisce passando dall'orizzonte di superficie (C1m) all'orizzonte C4m, si rafforza nuovamente con la profondità, in particolare nell'orizzonte 2C5.

Conclusioni

Le osservazioni di campo e i risultati delle indagini di laboratorio, condotte su un profilo rappresentativo, indicano che i suoli dell'area Parco Minerali dello stabilimento siderurgico dell'ILVA di Bagnoli:

- sono caratterizzati da morfologia complessa definita dalla stratificazione di materiali utilizzati e/o derivati dal processo produttivo dell'impianto industriale e, conseguentemente, da notevole variabilità delle proprietà fisiche e chimiche

- contengono, negli orizzonti di superficie, quantità totali dei metalli pesanti Cu, Cr, Pb, Zn e Ni inferiori ai valori limite indicati dal Ministero dell'Ambiente (DM 471/99) per i siti ad uso commerciale ed industriale, ma incompatibili con utilizzazioni del suolo per verde pubblico, privato e residenziale

- risultano definiti dalla presenza, in particolare, delle specie chimiche degli elementi considerati, occluse in ossidi di manganese o di ferro facilmente riducibili, associate alla sostanza organica, inserite nella struttura mineralogica di ossidi o silicati

- appaiono interessati da processi di migrazione lungo il profilo di costituenti ($\varnothing < 2 \mu\text{m}$) del ferro amorfo e cristallini, ai quali sono associate quantità significative di metalli diversi, che si depositano negli orizzonti profondi di natura piroclastica con formazione di ben visibili *coatings* di illuviazione.

Bibliografia

- ALLEN H. E. (1997) Importance of speciation of metals in natural waters and soils to risk assessment. *Report of International Workshop on Risk Assessment of Metals and their Inorganic Compounds*, International Council on Metals and the Environment, Ottawa, 141-157.
- ALLEN H. E., HUANG C. P., BAILEY G. W., BOWERS A. R. (1995) Metal speciation and contamination of soil. Lewis Publishers 358 pp.
- ALLOWAY B.J. (1995). Heavy Metals in Soils, Blackie Academic and Professional, London
- ANDRIELLO V., BELLI A., LEPORE D. (1991) Il luogo e la fabbrica. L'impianto siderurgico di bagnoli e l'espansione occidentale di Napoli. Edizioni Graphotronic. Napoli
- BROEKAERT J.A.C., GUCER S., ADAMS F. (1990) Metal Speciation in the Environment. Proc. NATO Adv. Study Inst. Cesme, Turkey, 9-20 October 1989, Springer, Berlin.
- BRUMMER G.W., GERTH J., HERMUS U. (1986) Heavy metal species, mobility and availability in soils. *Z. Pflanzenernahr. Bodenk.* 149: 382-398.
- BUONDONNO C., BUONDONNO A., ERMICE A., MUROLO M., PUGLIANO M.L. CALIGIURI G., PASCALE N.,

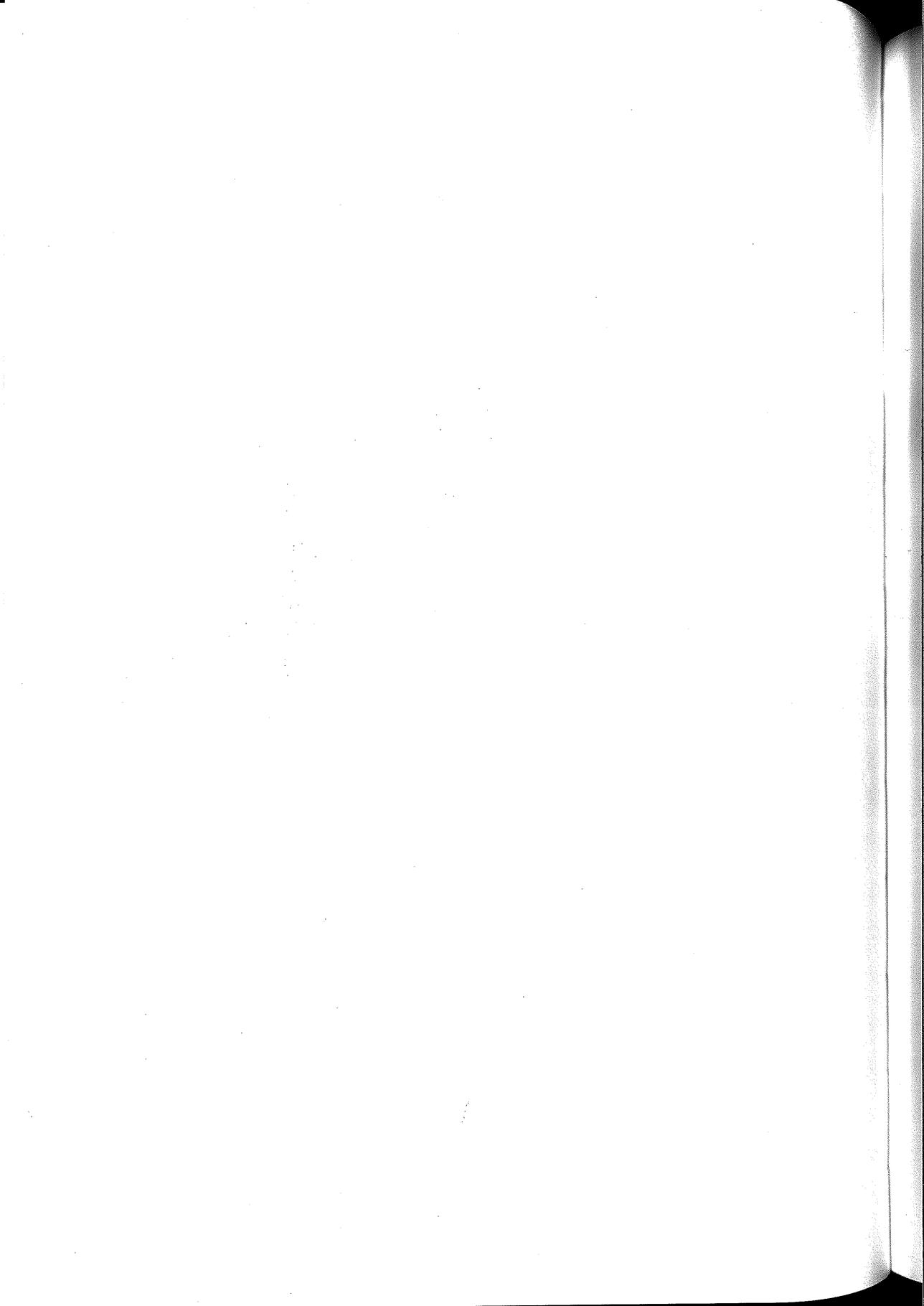
- TIA C. (1995) I suoli delle aree industriali dismesse del golfo di Napoli. Caratteristiche, genesi e classificazione dei suoli dell'acciaiera (ILVA) di Bagnoli. Atti del convegno: *Il ruolo della Pedologia nella pianificazione e gestione del territorio*. Cagliari 06-10 Giugno 1995. 249-260
- BUONDONNO C., ERMICE A., BUONDONNO A., MUROLO M., PUGLIANO M.L. (1998) Human-influenced soils from an iron and steel works in Naples, Italy, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 694-700
- HOLMGREN G. G. S. (1967) A rapid citrate-dithionite extractable iron procedure. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 31: 210-211
- LEITA L., PETRUZZELLI G. (2000) Metalli pesanti. In: *Metodi di analisi chimiche del suolo* (P. Violante, Ed.). Ministero delle Politiche Agricole. Franco Angeli. Milano
- KUYLAARS K., KUYLAARS M., BULGHARDT W. Specific properties and connected analytical problems of soils derived from industrial dust in the surrounding of an ironwork and different foundries. In: Bulghardt W, Dornauf C, editors. *Proc. First Int. Conf. on Soils of Urban, Industrial, Traffic and Mining Areas, 12-18 July 2000*, Essen, Germany, 2000; 863-868
- KUYLAARS K., KUYLAARS M., BULGHARDT W. Investigation of soils as a potential source of contaminated dust in the surrounding of an ironwork and two different foundries. In: Bulghardt W, Dornauf C, editors. *Proc. First Int. Conf. on Soils of Urban, Industrial, Traffic and Mining Areas, 12-18 July 2000*, Essen, Germany, 2000; 863-868
- SANESI G. (1977) Guida alla descrizione del suolo. *CNR Progetto finalizzato: Conservazione del suolo*. Firenze
- SCHWERTMANN, (1964) The differentiation of iron oxide in soils by a photochemical extraction with acid ammonium oxalate. *Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkund* 105: 194-201
- UFFICIO IDROGRAFICO E MAREOGRAFICO DI NAPOLI. (1960-1995) *Annali Idrologici. Bacini con foce al litorale tirrenico dal Garigliano al Busento. Servizi Tecnici Nazionali. Presidenza del Consiglio dei Ministri. Istituto Poligrafico dello Stato, Roma.*
- URE A., QUAVALLIER PH., MUNTAU H., GRIEPINK B. (1993) Speciation of heavy metals in soils and sediments. An account of the improvement and harmonisation of extraction techniques undertaken under the auspices of BCR of the CEC. *Int. J. Environ. Analyt. Chem.* 5: 135-151
- VIOLANTE A., ADAMO P. (2000) Ferro Alluminio e Silicio. In: *Metodi di analisi chimiche del suolo* (P. Violante, Ed.). Ministero delle Politiche Agricole. Franco Angeli. Milano



Commissione VIII

Suolo e ambiente





*REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA DI MONITORAGGIO
PER IL CONTROLLO DEL FENOMENO DI
SALINIZZAZIONE DEI SUOLI: RISULTATI DELLA FASE
CONOSCITIVA NELLA PIANA DI
MURAVERA-VILLAPUTZU (SARDEGNA SUD-ORIENTALE)*

Rita Puddu ¹, Francesco Sanna ¹, Stefania Fanni ¹,
Francesca Fantola ¹, Daniele Manca ¹, Gianni Mereu ¹,
Nicoletta Fadda ², Piergiorgio Lai ², Monica Onano ² *

Centro Regionale Agrario Sperimentale
1 Settore Utilizzazione del Territorio
2 Settore Laboratorio di Analisi chimico-fisiche
Viale Trieste, 111 - 09123 Cagliari

1. Introduzione

La salinizzazione è un processo che investe in maniera sempre più diffusa le regioni che si affacciano nel Mediterraneo e rappresenta una delle maggiori cause di degradazione fisica, chimica e biologica del suolo.

L'incremento delle superfici affette da salinità e l'intensità stessa del fenomeno va ricondotto, in molti casi, alle attività antropiche, soprattutto nelle aree costiere dove gli insediamenti e le opere dell'uomo sono più numerose e agiscono con maggiore impatto.

In Sardegna è difficile dire quale sia a tutt'oggi l'estensione reale delle aree con problemi di salinizzazione, soprattutto se si considera che tale fenomeno sta subendo un incremento in seguito ai prolungati periodi siccitosi degli ultimi decenni.

Il Centro Regionale Agrario Sperimentale ha in corso un progetto di ricerca finalizzato al monitoraggio, in alcune aree campione della Sardegna, del fenomeno di salinizzazione dei suoli indotto dall'irrigazione con acque non idonee.

* Il primo autore ha coordinato il lavoro e curato l'interpretazione dei dati, il secondo autore ha curato gli aspetti cartografici ed informatici. Tutti gli autori afferenti al settore "Utilizzazione del Territorio" hanno contribuito in egual misura al rilevamento pedologico, alla classificazione dei suoli ed alla stesura del testo. Agli autori afferenti al settore "Laboratorio ed analisi chimico-fisiche" si deve l'esecuzione e l'elaborazione delle analisi chimico-fisiche dei suoli.

Uno studio preliminare è stato avviato nella piana di Muravera-Villaputzu (Sardegna sud-orientale) con l'obiettivo specifico di realizzare un inventario delle condizioni pedo-ambientali attuali per conoscere le proporzioni, l'estensione e la distribuzione della salinizzazione dei suoli prima di intraprendere un piano pluriennale di osservazione e controllo dell'evoluzione temporale del fenomeno.

I risultati ottenuti hanno permesso di pianificare la futura campagna di monitoraggio attraverso una scelta razionale dei siti più idonei alle finalità della ricerca.

2. Quadro ambientale di riferimento

L'area oggetto di studio costituisce la piana di esondazione terminale del fiume Flumendosa che sfocia in questo tratto costiero, dopo un percorso di 127 Km prevalentemente sviluppato in area montana, con un delta a canali intrecciati, in parte relitti di un più antico e diversificato sistema di foci.

La superficie interessata dallo studio occupa circa 1250 ha ed è delimitata dai centri abitati di Muravera e di Villaputzu e dalla linea costiera orientale.

Storicamente questo tratto di piana ha sempre avuto un elevato interesse agricolo per la presenza di colture tipiche e specializzate, rappresentate in particolare dalle agrumicole e dalle ortive a pieno campo, date le ottime condizioni pedo-climatiche.

Nel corso dell'ultimo sessantennio si è assistito ad un graduale peggioramento qualitativo dei suoli e delle falde idriche sotterranee in seguito a fenomeni di intrusione di acque saline, che hanno causato una considerevole riduzione e, in alcuni casi, il totale abbandono di superfici agricole utili.

E' noto che la salinità del terreno, oltre certi limiti, ha un'influenza negativa sullo sviluppo delle colture agrarie, in misura crescente all'aumentare della sua concentrazione (1). Le agrumicole, in particolare, rivelano una tolleranza medio-bassa alla salinità, con una progressiva diminuzione della produzione all'aumentare della ECe secondo le stime percentuali esposte in Tabella 1. (12)

I presupposti della ricerca in corso nascono, pertanto, anche dalla necessità di stabilire in che modo i processi di salinizzazione stiano influenzando le attività agricole di questo territorio e di intravedere le possibili prospettive di recupero delle superfici non totalmente compromesse.

Tabella 1. Diminuzione % del prodotto al variare della Ece per le colture agrumicole (12)

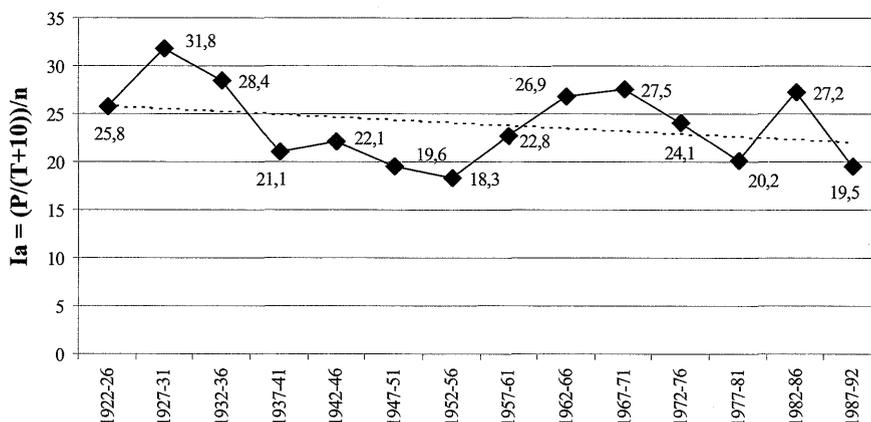
ECe mS/cm a 25°C	Diminuzione produzione
1,7	0%
2,3	10%
3,2	25%
4,8	50%

3. Inquadramento climatico, geologico e idrogeologico

Per la caratterizzazione climatica dell'area in esame sono state considerate le medie storiche del periodo 1922-1992 della stazione termopluviografica di Muravera.

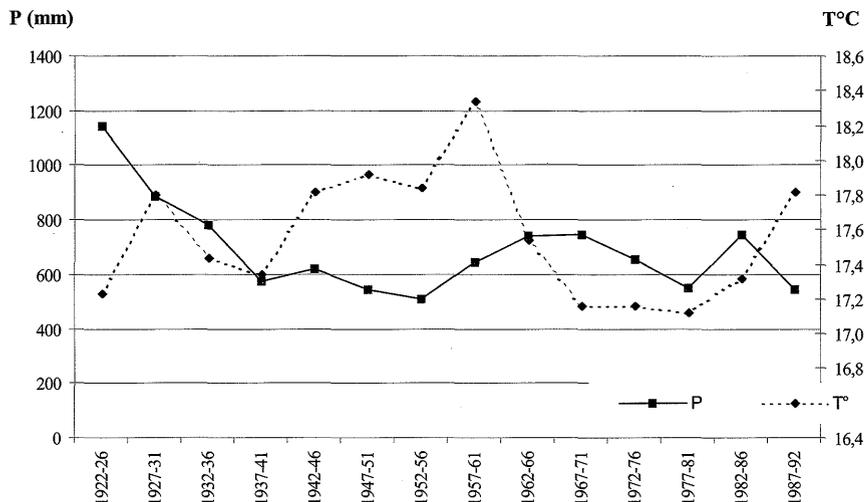
I dati sono stati elaborati considerando le medie quinquennali degli indici di aridità secondo la formula di De Martonne (grafico 1).

Grafico 1. Tendenza dell'indice di aridità nel settantennio 1922-1992



Il clima di Muravera appartiene alla categoria “temperato-caldo” per quasi tutto il periodo considerato (indice compreso tra 20 e 30), ad eccezione del decennio 1947-56 che appartiene alla “sub-tropicale” (indice compreso tra 15 e 20). Tuttavia, dall'esame della linea di tendenza, si nota una progressiva diminuzione dei valori fino all'ultimo quinquennio che si attesta nuovamente sul “sub-tropicale”, confermando la tendenza progressiva all'aumento dell'aridità sia per una effettiva diminuzione della piovosità che per un aumento della temperature medie annue (grafico 2).

Grafico 2. Medie termo-pluviometriche nel settantennio 1922-1992



Da un punto di vista geologico, l'area rilevata è totalmente occupata da coperture alluvionali di età olocenica, prevalentemente costituite da sedimenti sabbiosi, limosi e argillosi, disposti in successioni eteropiche proprie degli ambienti deposizionali e deltizi. Tali depositi poggiano su un basamento cristallino-metamorfico di età paleozoica che circonda la piana, raccordandosi ad essa con depositi detritici pedemontani del Quaternario antico.

Sotto il profilo idrogeologico, la potente coltre alluvionale è sede di un acquifero multifalda il cui livello freatico più superficiale, fortemente produttivo, oscilla tra i -6 e i -1,5 m di quota dal p.c., con un'escurione media stagionale valutata in 3,10 m circa. (3)

4. Radici storiche del problema

L'insorgere dei fenomeni di salinizzazione in quest'area va ricondotto ai lavori di bonifica e di riordino idraulico eseguiti a partire dagli anni '30 nel tratto vallivo del Flumendosa, consistenti nell'innalzamento di arginature in golena e nella riduzione delle sezioni del corso d'acqua principale e dei suoi affluenti. Gli effetti negativi di tali opere furono denunciati già nel 1947 dal Prof. Paolo Montaldo dell'Istituto Geologico dell'Università di Cagliari (9) che, riscontrando un considerevole abbassamento della falda freatica superficiale, intravedeva i primi segni di un diffuso processo di salinizzazione dei terreni e delle acque.

Dopo la realizzazione delle opere, infatti, si presentarono immediatamente due ordini di problemi fondamentali:

1. i consistenti volumi d'acqua di piena del fiume, un tempo liberi di spagliare in superficie, furono costretti a defluire rapidamente a mare, annullando l'effetto costante di alimentazione idrica della piezometrica per moto *ab descensum* delle acque;

2. conseguentemente alla mancanza di rifornimento idrico per percolazione, le superfici dei terreni, un tempo periodicamente imbibite e liscivate, furono gradualmente interessate da fenomeni di risalienza di acque saline per capillarità dal livello statico del mare, soprattutto nella fascia prossima alla costa dove il flusso di acque marine non trovava più un efficace contrasto di battente della falda dolce sotterranea.

Dopo quasi sessant'anni l'aggravarsi dei fenomeni di salinizzazione risulta da una serie di interventi antropici concatenati e successivi a queste prime sistemazioni idrauliche. Tra queste ricordiamo:

- un massiccio incremento della pratica irrigua per eduazione da pozzi. Nell'area rilevata questi sono stati stimati in numero di 212 sulla base di un conteggio effettuato sull'ultima cartografia C.T.R. in scala 1:10.000, ma si ritiene che tale valore sia di molto inferiore rispetto ai pozzi effettivamente realizzati.

- la costruzione di sbarramenti artificiali nel bacino montano del Flumendosa per scopi idroelettrici, irrigui e idropotabili, che hanno drasticamente ridotto le portate del fiume;

- la realizzazione di pozzi per l'approvvigionamento idropotabile dei numerosissimi insediamenti turistici sorti lungo la costa nell'ultimo trentennio;

- l'apertura delle antiche foci per l'attività della peschiera di S. Giovanni, poco più a sud dell'area studiata, con il conseguente collegamento tra il mare e le acque dolci.

Tutte queste opere sono state riconosciute come causa determinante del progressivo avanzamento del fronte salino dal mare verso l'interno della piana, giunto, secondo stime recenti sulle acque dei pozzi irrigui, a circa 2 km dalla linea di costa.

Un ultimo fattore, non meno importante ma che aggrava tutte le cause succitate, è rappresentato dalla naturale carenza idrica della regione per scarsa piovosità e, particolarmente in quest'area, dal susseguirsi delle annate siccitose che hanno influenzato i processi pedogenetici verso l'accumu-

lo di sali solubili nelle parti più superficiali del suolo e la formazione di orizzonti salini sia superficiali che profondi.

5. Materiali e metodi

Poiché la conoscenza delle condizioni attuali in cui si trovano i suoli costituisce il punto di partenza su cui si baserà il futuro piano di monitoraggio, il programma dei rilievi sul campo ha previsto un fitto campionamento dei suoli, secondo uno schema a maglie rigide, finalizzato alla misura dei parametri di salinità ed alla realizzazione di cartografia tematica sulla quale impostare le attività di monitoraggio.

La scala d'osservazione utilizzata è la 1:10.000. Secondo gli standard di rilevamento della FAO e le indicazioni di altri autori (11), l'uso di tale scala prevede un numero minimo di osservazioni pari a 16 ogni 100 Ha. A tale scopo il territorio è stato discretizzato in celle di 250x250 m entro le quali sono stati individuati 198 siti per il campionamento, sia mediante l'apertura di profili pedologici che di saggi con trivella a mano. Le modalità dei prelievi, effettuati tra i mesi di settembre e novembre 2000, sono state le seguenti:

1. Esecuzione di trivellate a due diverse profondità (0-40 cm e 40-80 cm) in 188 siti di campionamento.

Sui campioni relativi ai primi 40 cm sono state realizzate le analisi dei parametri ECe, ESP, SAR, pH e cationi di scambio allo scopo di ottenere una base conoscitiva immediata dello strato superficiale. Gli stessi parametri saranno analizzati, in una seconda fase, su una selezione di campioni profondi relativi alle sole aree su cui si effettuerà il monitoraggio.

2. Descrizione di profili pedologici completi in 10 siti di campionamento.

Il rilevamento dei profili è stato effettuato con campionamento libero e con la finalità di confrontare situazioni differenti per caratteri geo-ambientali e di utilizzo. Sui campioni prelevati dai profili sono state eseguite le analisi di laboratorio complete, allo scopo di mettere in relazione la presenza di accumuli di sali con i caratteri fisico-chimici dei diversi suoli descritti.

Tutte le analisi di laboratorio sono state eseguite secondo gli standard metodologici della SISS (13). I dati analitici sono stati archiviati e organizzati in fogli elettronici per consentirne un'agevole interrogazione ed il collegamento ai 198 punti di campionamento, preventivamente georeferenziati (figura 1).

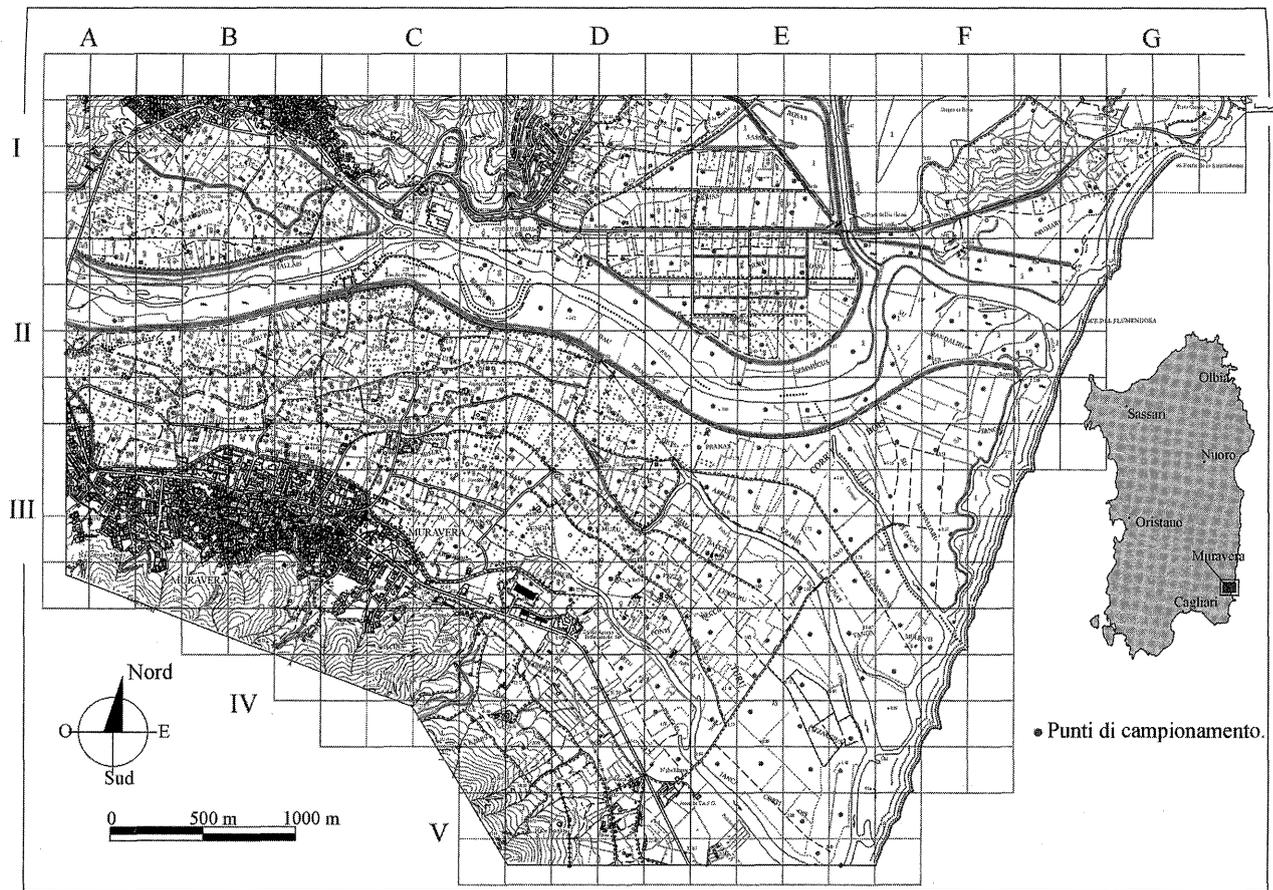


Figura 1
 inquadramento
 geografico
 dell'area
 Muravera-
 Villaputzu

• Punti di campionamento.

6. Discussione dei risultati

Il consistente set di dati ottenuti dall'indagine ha fornito la base di conoscenze da cui trarre gli elementi di approfondimento per la futura fase di monitoraggio, che verrà effettuato secondo il presupposto di finalizzare il controllo solo a poche aree circoscritte, ma rappresentative dei processi in atto.

I principali strumenti interpretativi utilizzati per pianificare il monitoraggio sono costituiti dalle cartografie tematiche ottenute mediante l'elaborazione con il software SURFER, con cui è stato possibile rappresentare le variazioni spaziali dei parametri ECe, ESP e SAR nello strato superficiale dei suoli (0-40 cm).

Il metodo geostatistico usato è quello del Kriging, consistente nella stima delle variabili considerate in punti non campionati attraverso una combinazione lineare dei valori realmente misurati. Con l'interpolazione dei dati, la distribuzione dei parametri risulta sotto forma di isolinee, che rappresentano la probabilità di superare o di non eccedere una determinata soglia critica e consentono di circoscrivere aree caratterizzate da un apprezzabile grado di omogeneità.

In realtà, poiché non esiste una sola stima ottimale, a meno che non si conosca il valore "vero" (4), si è scelto il metodo del Kriging in quanto la corrispondente definizione delle aree omogenee ha risposto, con sufficiente soddisfazione, all'esigenza degli autori di individuare quelle zone di territorio che necessitano di un opportuno monitoraggio e/o di un ulteriore campionamento.

Attraverso l'analisi delle carte di "iso-conducibilità" ed "iso-sodicità" così ottenute ed il confronto dei dati originali con i dati bibliografici reperiti, sono state effettuate le prime interpretazioni e valutazioni di seguito discusse.

6.1. Stato della salinità ed analisi delle cause

Dall'analisi della carta di "isoconducibilità" emerge che gran parte della piana alluvionale recente è interessata da valori elevati di salinità dei suoli con ECe dello strato superficiale variabili entro un vasto range, il cui valore massimo è di 70.6 mS/cm. I picchi si riscontrano in corrispondenza di antichi depositi costieri palustri, dove l'alto tenore in sali è dovuto unicamente all'oscillazione della falda salmastra, nei mesi invernali, sino alla superficie (figura 2).

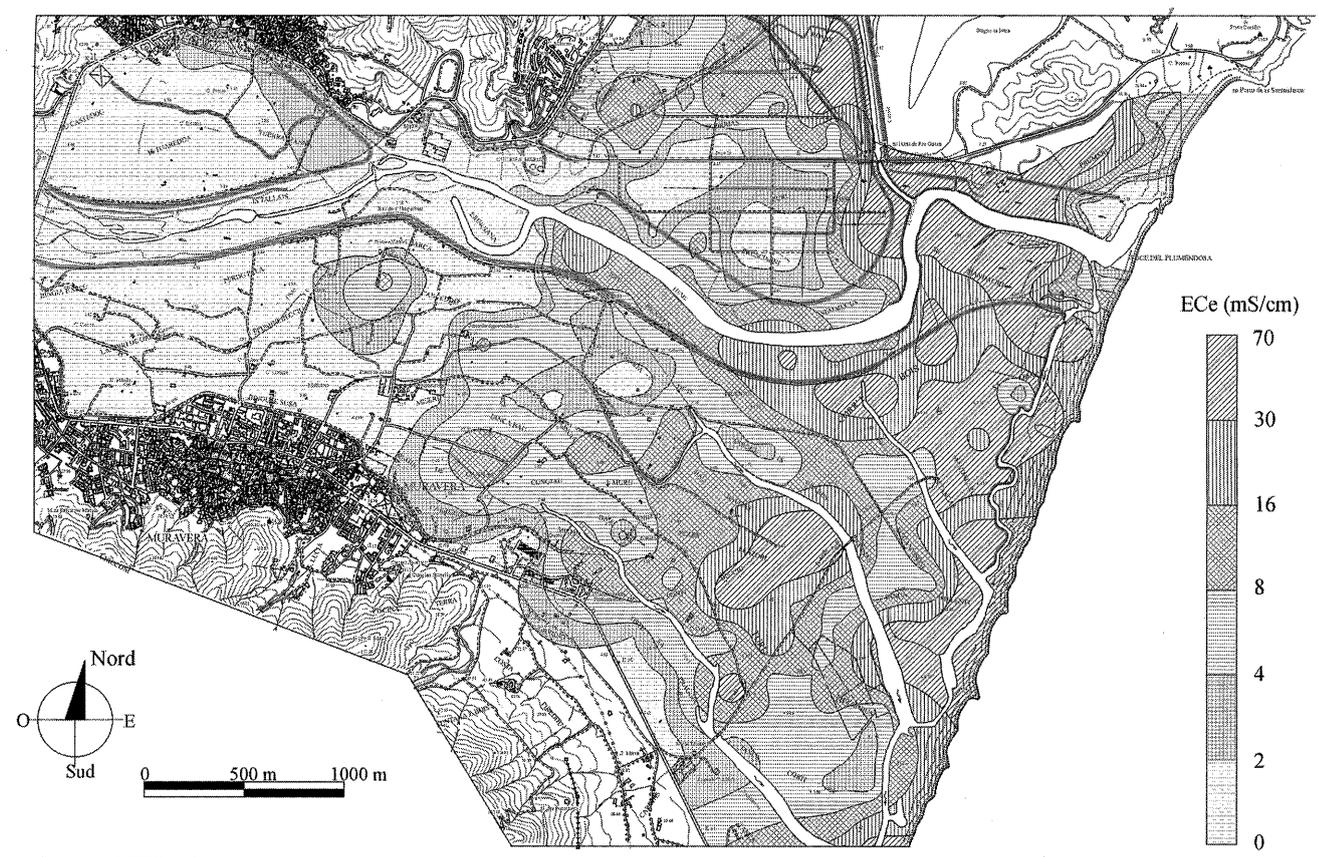


Figura 2. Iso-conducibilità nei primi 40 cm di suolo nell'area Muravera-Villaputu

Da uno studio idrogeologico effettuato dal Dipartimento di Ingegneria del Territorio di Cagliari nel luglio 1999 (5), si rileva che il livello della falda superficiale varia da 1,0 a 2,5 m dal p.c. entro una fascia di 2 km dalla linea di costa; tale falda risulta fortemente salina, come dimostrano le analisi eseguite sulle acque di circa cento pozzi della piana ($EC_w \text{ max} = 28,66 \text{ mS/cm}$). Si può ritenere, pertanto, che i valori elevati di EC_e , riscontrati in questa porzione della piana, siano dovuti prevalentemente agli apporti delle acque di falda ricche in sali di origine marina ($NaCl$) e che i suoli siano dotati di una salinità *naturale* ascrivibile a processi di deposizione ed accumulo per l'oscillazione stagionale della falda e per l'elevata evapotraspirazione dei mesi caldi.

Questa ipotesi è confermata anche dalla carta di "iso-sodicità" (figura 3) in cui è evidente che i valori più elevati di ESP si concentrano lungo una soglia parallela alla costa a circa 2 km da questa, indicando un'elevata saturazione di ioni Na^+ nel complesso di scambio. Oltre i 2 km dalla costa, il grado di alcalinizzazione diminuisce gradualmente man mano che ci si allontana dal mare, e i valori dell'ESP, così come quelli del SAR si attestano al di sotto dei valori limite definiti dall'U.S. Salinity Laboratory Staff (15), per i suoli sodici e salino-sodici ($SAR < 13$ ed $ESP < 15$).

I valori di EC_e , al contrario, risultano > 4 in tutta la porzione centrale della piana, dimostrando l'esistenza di una salinizzazione dei suoli diffusa anche nelle zone interne, dove si rinviene la maggiore concentrazione di frutteti e di pozzi irrigui. Poiché in questa porzione della piana il livello medio della piezometrica è di 3,5 - 4 m, è presumibile che gli elevati valori di EC_e nei primi 40 cm siano qui dovuti non tanto ad una risalita superficiale della falda, ma indotti più probabilmente dall'irrigazione con acque ricche in sali emunte dai pozzi.

Solamente in località Prosciumini-Muru e Fossu, in sinistra del Flumendosa, esiste una rete irrigua consortile che distribuisce le acque captate direttamente dal fiume, in prossimità del centro abitato di Villaputzu. Anche le acque distribuite in rete presentano scarsa qualità in alcuni periodi dell'anno.

In Tabella 2 sono riportate le analisi eseguite sulle acque della rete consortile relative al mese di settembre 2000. I dati dimostrano la non idoneità di tali acque per gli usi irrigui, oltre a rivelare un'evidente compromissione della falda di superficie nel punto di captazione.

Si deduce, dunque, l'esistenza di acque salmastre anche all'interno del fiume, la cui causa principale, come precedentemente accennato, va ricercata nell'apertura delle antiche foci per l'attività della peschiera di S. Giovanni.

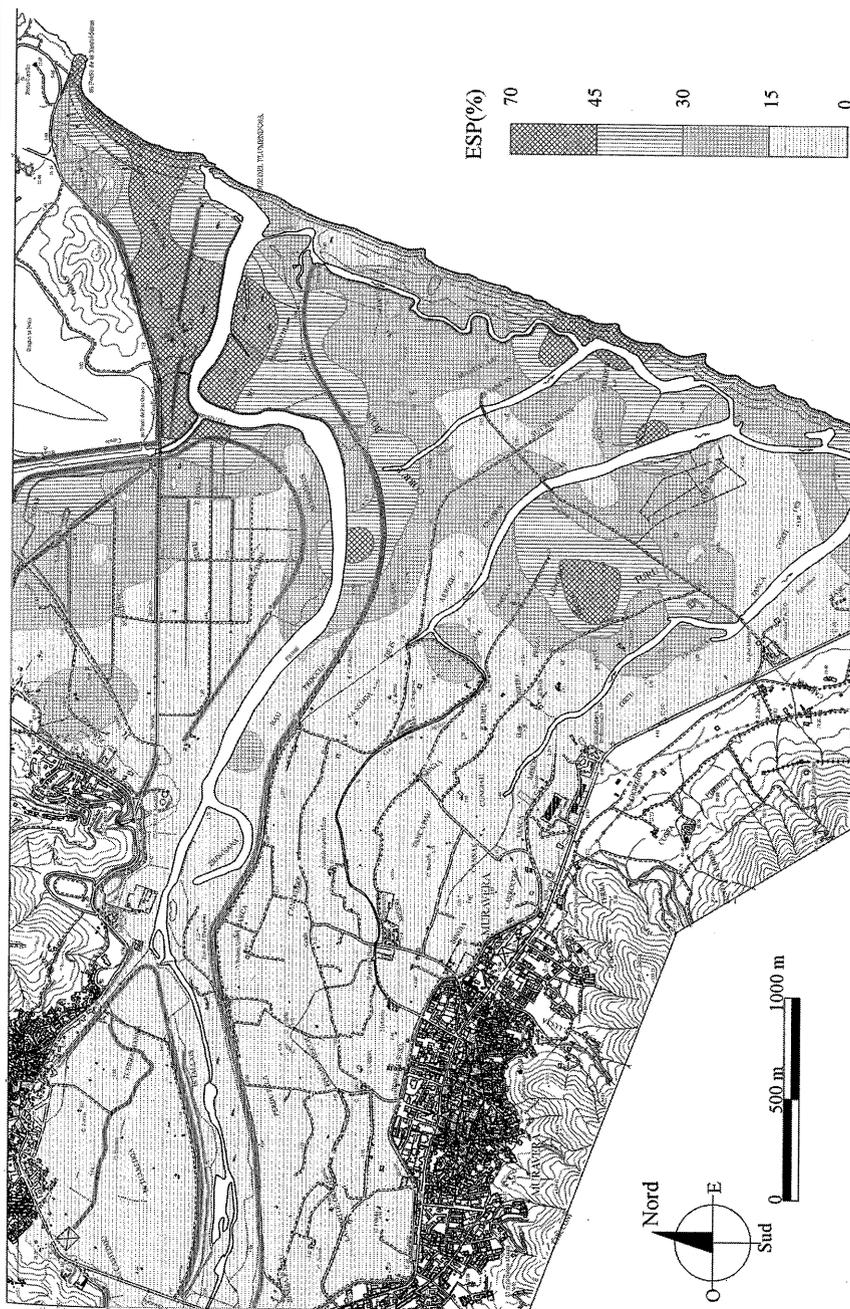


Figura 3. Iso-sodicità nei primi 40 cm di suolo nell'area Muravera-Villaputzu

Quanto sinora esposto avvalorata la tesi di partenza della ricerca in corso, che assume la pratica irrigua con acque non idonee, siano esse di pozzo o consortili, quale una delle principali cause responsabili della progressiva salinizzazione delle superfici agricole.

Tabella 2. analisi delle acque prelevate dalla rete di distribuzione consortile nel settembre 2000

pH	ECe (mS/cm)	Salinità tot. gr/l	Cationi (mg/l)				Cationi tot. (me/l)
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	
7,3	5,30	3,39	115	125	26,6	843	53,36

Anioni					Anioni B tot.(me/l)	Durezza tot. (°F)	SAR	Classe U.S.D.A.	
Cl ⁻ (me/l)	SO ₄ ²⁻ (me/l)	CO ₃ ²⁻ (me/l)	HCO ₃ ⁻ (me/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)					
43	5,16	0	3,6	3,22	51,81	0,40	80,13	12,95	C5S2

6.2. I suoli rilevati

I 10 profili pedologici descritti sono stati ubicati secondo un criterio arbitrario rispondente non tanto ad esigenze dettate dai classici rilevamenti fisiografici quanto alla rilevazione di eventuali comportamenti anomali dei suoli dell'area, sui quali è insistito sino a tempi recenti, od insiste tuttora, un uso agricolo intensivo. Ciò allo scopo di cogliere al meglio gli eventuali legami esistenti tra l'avanzare dei processi di salinizzazione e la gestione agricola degli stessi. Pertanto, nelle attuali aree di impaludamento prossime alla costa, prive di qualsiasi interesse agricolo, non sono stati eseguiti profili pedologici completi ma solo campionamenti con trivellata.

Complessivamente si può affermare che i suoli della piana alluvionale recente presentano una spiccata omogeneità dei caratteri fisico-strutturali, essendo per la maggior parte caratterizzati da un medesimo substrato alluvionale sabbioso-limoso e dalla presenza di sequenze più o meno sviluppate di orizzonti a media alterazione (orizzonti Bw).

Tutti i 10 profili rilevati sono caratterizzati da una variazione tessiturale tra le classi franche, franco-limose, franco-sabbiose e sabbioso-franche. Le principali differenze sono state rilevate nei caratteri chimici, con particolare riferimento al complesso di scambio ed ai parametri di salinità dell'estratto acquoso che decretano sostanziali differenze anche a livello tassonomico.

La Tabella 3 riporta una sintesi dei dati chimici relativi alla salinità dei 10 profili e mette in evidenza i principali elementi diagnostici che hanno portato alle classificazioni proposte. Esiste una certa gamma di suoli a vario grado di salinità, con una generale diminuzione dei valori dei parametri riportati man mano che si procede nelle aree interne.

Per i primi tre profili è stata riconosciuta l'appartenenza all'ordine degli *Aridosuoli*, testimoniata dal rilevamento dei caratteri diagnostici dell'*orizzonte natrico* intensamente espressi (struttura prismatica o poliedrica angolare con presenza di materiali eluviali, valori di ESP SAR e pH elevati, incremento di argilla secondo i rapporti richiesti).

La presenza di *Aridosuoli* fu già riscontrata da Aru (1963) in uno studio sui suoli salini nella bassa valle del Flumendosa (2), in corrispondenza di tutte le superfici limitrofe alle foci e con livello di falda variabile da 40 a 100 cm. A distanza di 38 anni si osserva, in base alle elaborazioni cartografiche esposte, che la *salificazione* degli orizzonti superficiali tende ad interessare anche zone più interne e con falda più profonda. Infatti, nella carta di iso-conducibilità tutte le aree che mostrano valori di $E_{Ce} > 30$ sono caratterizzate dalla presenza di un orizzonte salico, essendo soddisfatti anche gli altri requisiti richiesti dalla *Soil Taxonomy* (spessore orizzonte > 15 cm; $E_{Ce} \times$ profondità > 900). (14)

La condizione di un regime di umidità di tipo *aridico* è al momento soddisfatta solo in alcuni anni dell'ultimo quindicennio, come illustra l'analisi effettuata sulla base dei dati climatici disponibili. Il Diagramma 1, riferito ad uno degli anni più siccitosi, indica, infatti, il verificarsi di un periodo di totale secchezza dei suoli tra i mesi di luglio e gennaio, durante il quale tutte le condizioni pedogenetiche sono risultate favorevoli alla formazione degli *Aridosuoli*. (10)

Altre considerazioni sono state effettuate sul tipo di utilizzazione e di gestione avvenuta sinora su questi suoli. Dall'analisi è emerso che alcune di queste aree erano interessate, sino ad un recente passato, da colture in irriguo, mentre attualmente presentano seminativi in asciutto o vegetazione erbacea spontanea (profili 1, 2 e 3).

A questo stadio dell'indagine è possibile affermare che l'abbandono dei frutteti, in molti casi, è stato determinato dal progressivo peggioramento delle acque irrigue per un'accertata salinizzazione della falda freatica ma, allo stesso tempo, l'abbandono delle pratiche irrigue ha portato ad una progressiva aridizzazione di tutte quelle aree in cui l'irrigazione costituiva comunque un pur debole contrasto all'avanzare dei processi di salificazione.

Tabella 3
Sintesi dei
dati analitici
dei profili
pedologici

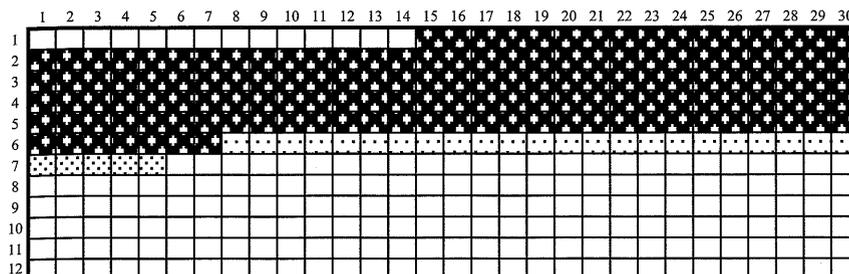
PROFILO	1			2				3				4					5		
orizzonti	Ap	Bn1	Bn2	Ap	Bn1	Bn2	C	Ap	Bn1	Bn2	C	Ap1	Ap2	Bw1	Bw2	Bw3	Ap	B/C	
Profondità (cm)	0-50	50-90	90-140	0-30	30-50	50-70	>70	0-30	30-65	65-120	120-160	0-30	30-45	45-80	80-120	120-160	0-20	20-100	
ECe (mS/cm)	2.26	5.51	6.80	12.5	12.9	12.2	15.2	1.77	3.90	7.54	2.33	3.77	2.18	0.94	1.04	1.48	0.1	0.09	
pH in H ₂ O	8.57	9.26	9.30	8.25	8.60	8.56	8.35	8.56	9.07	9.24	8.93	8.13	8.29	8.96	9.31	9.49	6.2	6.4	
SAR	8.39	36.48	37.48	17.19	21.89	22.28	21.34	7.61	24.55	36.58	15.65	3.17	2.98	5.63	7.59	12.60	5.7	9.7	
ESP (%)	14.67	44.67	37.79	16.08	27.32	30.83	40.43	10.31	11.91	9.11	41.03	7.53	6.91	7.79	13.15	16.07	5.31	9.78	
SALINITA' (g/Kg)	0.43	1.10	1.37	2.05	1.97	2.02	2.22	0.41	0.84	1.43	0.52	0.66	0.34	0.15	0.23	n.d.	n.d.	n.d.	
distanza dalla costa (m)	1250			1750				1650				1950					2700		
Elementi diagnostici	<ul style="list-style-type: none"> nei primi 40 cm: pH > 8.2 e (Mg²⁺+Na⁺) > Ca²⁺ + acidità di scambio presenza di materiali eluviali negli orizzonti profondi orizzonte natrico 			<ul style="list-style-type: none"> nei primi 40 cm: ESP > 15 e SAR > 13 presenza di materiali eluviali negli orizzonti profondi orizzonte natrico 				<ul style="list-style-type: none"> nei primi 40 cm: SAR > 13 presenza di materiali eluviali negli orizzonti profondi orizzonte natrico 				<ul style="list-style-type: none"> presenza di materiali fluvici diminuzione irregolare del Carbonio organico con la profondità 					<ul style="list-style-type: none"> presenza tra 20 e 100 cm di frammenti di un orizzonte B privo di una organizzazione ben distinguibile 		
Classificazione	USDA (1998) SODIC XERIC HAPLOCAMBID		WRB (1999) HAPLIC SOLONETZ	USDA (1998) HAPLIC HAPLOCAMBID		WRB (1999) HAPLIC SOLONETZ		USDA (1998) SODIC XERIC HAPLOCAMBID		WRB (1999) HAPLIC SOLONETZ		USDA (1998) FLUVENTIC HAPLOXEREPT		WRB (1999) FLUVIC CAMBISOL			USDA (1998) HAPLIC XERARENT		WRB (1999) ARIC REGOSOL

PROFILO	6			7					8				9				10				
Orizzonti	Ap	Bw1	Bw2	Ap1	Ap2	Bw1	Bw2	C	Ap	Bw1	Bw2	BC	Ap	C/B	2BA	3B	Ap	Bw1	Bw2	Bw3	C
Profondità (cm)	0-40	40-95	95-140	0-30	30-50	50-100	100-140	>140	0-30	30-70	70-120	>120	0-35	35-80	80-120	120-160	0-20	20-60	60-90	90-140	140-160
ECe (mS/cm)	8.32	5.5	5.69	7.92	4.47	4.04	3.65	3.88	2.34	2.70	2.83	1.27	1.07	0.38	0.45	0.70	10.4	7.82	6.18	4.84	4.81
PH in H ₂ O	8.5	9.4	9.2	8.20	8.37	8.38	8.59	8.92	8.46	8.80	8.99	8.64	8.25	8.48	8.54	8.53	7.53	7.98	8.14	8.32	8.39
SAR	14.89	27.97	29.84	6.75	5.29	5.15	7.20	16.70	5.09	9.29	10.0	5.73	2.59	2.02	3.71	3.63	5.27	6.50	6.55	7.49	6.45
ESP (%)	12.4	19.3	22.9	14.2	6.56	7.08	12.88	25.25	6.36	12.14	14.57	6.87	7.24	7.56	6.28	4.91	8.01	11.83	9.29	14.48	10.32
SALINITA' (g/Kg)	1.84	1.16	1.24	1.63	0.87	0.79	0.63	0.73	0.51	0.57	0.59	0.27	0.16	0.06	0.07	0.13	2.02	1.44	0.96	0.68	0.64
distanza dalla costa (m)	2500			1450					4750				4800				3450				
Elementi diagnostici	<ul style="list-style-type: none"> condizioni <i>aquiche</i> (o proprietà <i>gleyiche</i>) entro 100 cm dalla superficie del suolo Carbonio organico > 0.2% a 125 cm ESP > 15% e SAR > 13 entro 50 cm dalla superficie del suolo 			<ul style="list-style-type: none"> presenza di materiali <i>fluvici</i> Carbonio organico > 0.2% a 125 cm ESP > 6% entro 50 cm dalla superficie del suolo 					<ul style="list-style-type: none"> condizioni <i>aquiche</i> (o proprietà <i>gleyiche</i>) entro 100 cm dalla superficie del suolo presenza di materiali <i>fluvici</i> diminuzione irregolare del Carbonio organico con la profondità ESP > 6% entro 50 cm dalla superficie del suolo 				<ul style="list-style-type: none"> assenza di sviluppo apprezzabile di orizzonti pedologici tessitura sabbioso-franca 				<ul style="list-style-type: none"> presenza di materiali <i>fluvici</i> Carbonio organico > 0.2% a 125 cm ESP > 6% entro 50 cm dalla superficie del suolo 				
Classificazione	USDA (1998) FLUVAQUENTIC ENDOQUEPT		WRB (1999) FLUVI- GLEYIC (SODIC) CAMBISOL	USDA (1998) FLUVENTIC HAPLOXEREPT		WRB (1999) FLUVIC HYPOSODIC CAMBISOL			USDA (1998) AQUIC HAPLOXEREPT		WRB (1999) FLUVI- GLEYIC (HYPOSODIC) CAMBISOL		USDA (1998) TYPIC XEROPSAM MENT		WRB (1999) PROTIC ARENOSOL		USDA (1998) FLUVENTIC HAPLOXEREPT		WRB (1999) FLUVIC HYPOSODIC CAMBISOL		

Diagramma 1. da: Newhall Soil Moisture Simulation Model (1972)

ANNO 1987

P = 292 mm T = 18°C EP = 76,22 mm



□ asciutto ■ umido ▤ intermedio

A riprova di quanto appena detto si possono evidenziare le differenze rilevate tra i due profili limitrofi P3 e P7, entrambi riconducibili ad una medesima unità cartografica per l'omogeneità dei caratteri fisiografici, ma a differente conduzione agricola. Il P3 è stato eseguito in un pascolo naturale, mentre il P7 all'interno di un agrumeto attualmente irrigato con le acque della rete consortile. In quest'ultimo caso si può rilevare l'effetto lisciviante delle acque sui sali sino a 140 cm di profondità, sebbene i valori di sodio scambiabile siano ugualmente allarmanti poiché, per quanto detto precedentemente, anche le acque della rete costituiscono periodicamente un'ulteriore fonte di apporto di sali.

Riconoscere quale sia la causa o l'effetto della tendenza all'aridizzazione di tale area meriterà sicuramente ulteriori approfondimenti, anche di tipo socio-economico, nelle fasi di ricerca che seguiranno.

In tutti gli altri profili pedologici descritti i valori dei parametri di salinità risultano generalmente contenuti, ma in alcuni di essi viene dimostrata una tendenza all'accumulo di sali sin dagli orizzonti superficiali (P6, P10) o comunque alla profondità di radicazione (P4, P8).

7. Conclusioni

Lo studio effettuato rappresenta uno screening sullo stato di salinizzazione dei suoli della piana di Muravera-Villaputzu ed ha avuto lo scopo di fornire gli elementi utili a circoscrivere le aree in cui verrà avviato un programma di monitoraggio per l'approfondimento delle problematiche con-

nesse a tale fenomeno e per una razionale pianificazione della ricerca stessa.

Gli elementi fondamentali emersi sono i seguenti:

- È stato constatato che molte superfici, una volta interessate da un uso agricolo specializzato ed intensivo, sono attualmente in stato di abbandono o mostrano segni di sofferenza delle piante e di degradazione del suolo.

- Le analisi effettuate su 198 campioni di suolo, relativi allo strato 0-40 cm, e distribuiti nell'intera area secondo uno schema di rilevamento a maglie rigide, dimostrano come esista una salinizzazione diffusa dei suoli anche in zone lontane alcuni chilometri dalla costa, dove minore è l'influenza della falda salmastra superficiale.

- Si ipotizza che la presenza di alti contenuti in sali, nelle aree agricole interne, sia da ricondurre all'irrigazione con acque scarsamente idonee provenienti da pozzi irrigui, per il 90% dell'area agricola, e dalla rete idrica consortile per il restante 10%.

- La tendenza all'aridità del clima dovuta, negli ultimi decenni, ad una diminuzione degli apporti pluviometrici sta provocando un'evoluzione dei processi pedogenetici verso tipologie aridiche.

A conclusione dell'indagine preliminare perciò si pianifica la fase di monitoraggio come segue:

1. I siti di monitoraggio interesseranno principalmente 4 aree, localizzate in figura 4:

Aree entro i 2 Km dalla costa:

Area 1: loc. Muru e Fossu (P3 e P7): presenza di fenomeni di aridizzazione di suoli destinati ad uso agricolo intensivo e irrigati con acque provenienti da rete consortile.

Area 2: loc. Ponti Becciu (P1 e P2): presenza di fenomeni di aridizzazione in aree interessate da colture agrumicole irrigate con acqua di pozzo e che manifestano segni di sofferenza delle piante

Aree oltre i 2 Km dalla costa:

Area 3: loc. Canceddu (P10): frutteti irrigati con acque di falda probabilmente contaminate da acque salmastre, con manifestazioni lievi di sofferenza delle piante e salinità diffusa nei suoli

Area 4: loc. Landiri de Orroli (P9): frutteti irrigati con acque di falda dove non sono stati rilevati problemi di salinità dei suoli e delle acque. Area rappresentativa di condizioni ambientali non alterate da confrontare con le aree compromesse.



Figura 4. Ubicazione siti di monitoraggio nell'area di Muravera-Villaputzu

2. In tali siti saranno messi a confronto diversi tipi di conduzione (colture irrigue con acque consortili e acque di falda) e modalità di irrigazione (a goccia, per sommersione, etc.).

3. Il monitoraggio, previsto in quattro anni, sarà effettuato su parcelle sperimentali di dimensioni pari a 2 ha, opportunamente attrezzate per il rilievo periodico dei parametri di salinità dei suoli e delle acque irrigue. Saranno effettuati, inoltre, rilievi freaticometrici e condotte misure specifiche per la determinazione dei regimi di umidità dei suoli interessati.

I risultati sinora ottenuti, pur non essendo esaustivi delle complesse problematiche relative alla salinizzazione dei suoli, costituiscono una valida base conoscitiva dello stato pedo-ambientale attuale della piana di Muravera-Villaputzu, nonché un ricco archivio di dati da cui scaturiranno le future fasi di monitoraggio e di proposte progettuali per la mitigazione del fenomeno.

Lo studio pedologico effettuato rappresenta, al momento, un importante contributo analitico del fenomeno riferito ad una limitata porzione del territorio isolano, ma rientra anche in un più ampio quadro di studi ed indagini sulle forme di degradazione e desertificazione degli ambienti mediterranei.

L'analisi di problemi rappresentativi di area vasta, quale quello della salinizzazione, comporta un approccio metodologico integrato, in cui tutte le componenti ambientali, sociali ed economiche sono messe a confronto. Pertanto è auspicabile che il presente studio preliminare costituisca un punto di partenza per analoghi progetti anche in collaborazione con altri paesi mediterranei ed in collegamento con altre Istituzioni scientifiche.

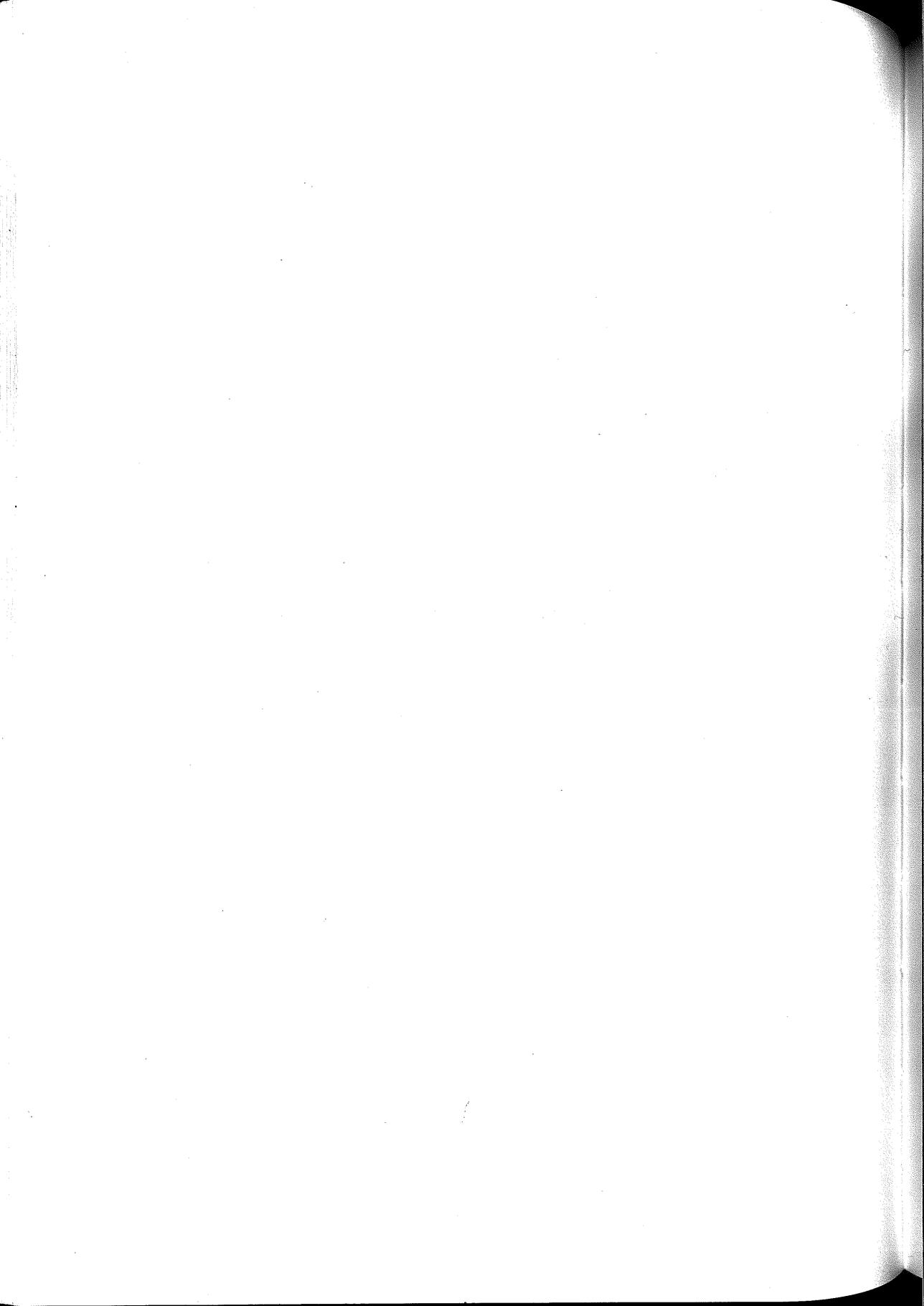
Ringraziamenti

Si ringrazia il centro zonale ERSAT di Muravera e in particolare l'agrotecnico Antonio Chines per la collaborazione fornita al CRAS nella scelta delle aziende agricole in cui sono stati eseguiti i campionamenti.

Bibliografia

1. ARINGHERI R., 1999, I sali nel terreno, Collana tecnico-scientifica INAPA, quaderno n. 7, 70 pp., CNR Pisa
2. ARU A. 1963, Nota illustrativa alla carta pedologica della bassa valle del Flumendosa, con particolare riferimento ai suoli salini. Muravera-Villaputzu (Cagliari), pubblicazione del Centro Regionale Agrario Sperimentale, Cagliari, 41 pp.

3. ATZORI S., 1989, Studio idrogeologico della piana di Muravera, alla foce del Flumendosa (Sardegna sud-orientale), tesi di laurea inedita, Università di Cagliari A.A. 1988-1989
4. CASTRIGNANÒ A., MARTINELLI N., 2000, L'applicazione della geostatistica non parametrica alle scienze ambientali, *Bollettino della Società Italiana della Scienza del Suolo*, vol. 49, n. 3, 435-452
5. ENTE AUTONOMO DEL FLUMENDOSA, 1999, Realizzazione e controllo di una rete di monitoraggio della falda costiera del Flumendosa per la determinazione del fenomeno dell'intrusione marina, Allegato A2.2 A "Schede di rilevamento pozzi acquifero freatico superficiale", a cura del Dipartimento di Ingegneria del Territorio, Sezione di Geologia Applicata & Geofisica, Università degli Studi di Cagliari
6. F.A.O., 1984, Prognosis of salinity and alkalinity, *FAO Soil Bulletin* n. 31
7. F.A.O., 1998, World Reference Base For Soil Resources, versione italiana a cura di Costantini E. e Dazzi C, Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo (1999)
8. F.A.O., 1999, Soil salinity assessment, *FAO Irrigation and Drainage Paper* n. 57
9. MONTALDO P., 1947 I fattori geoidrologici nella Bonifica del Basso Flumendosa (Sarrabus) e di Bidda Maggiore (Sa Picocca) - Sardegna Sud orientale, *L'Agricoltura Sarda - bollettino mensile di propaganda agraria*, *Annata XXIV, N. 1*, 195-233
10. NEWHALL F., 1972, Calculation of Soil Moisture Regimes From Climatic Record, Rev. 4 Mimeographed, Soil Conservation Service, USDA, Washington, D.C.
11. RASIO R., VIANELLO G., 1995 Classificazione e cartografia del suolo, Ed. Clueb, Bologna
12. ROMANO E., MECELLA G., 1982 Guida pratica per il rilevamento delle caratteristiche pedoagronomiche dei terreni, Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante, Roma
13. S.I.S.S., 1985 Metodi normalizzati di analisi del suolo - Edagricole, Bologna
14. SOIL SURVEY STAFF, 1998, Keys to Soil Taxonomy, Eighth Edition, United States Department of Agriculture, Washington, D.C.
15. U.S. SALINITY LABORATORY STAFF, 1954, Diagnosis and Improvement of saline and alkali soils, *USDA Handbook 60*, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.



*MONITORAGGIO DEL CADMIO IN DIFFERENTI
COMPARTI AMBIENTALI ITALIANI.
NOTA I: RISULTATI PRELIMINARI*

Paolo Sequi, Luigi Nisini, Alessandra Trinchera, Anna Benedetti

Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante
Via della Navicella, 2 - 00184 Roma

Introduzione

E' ben noto che lo studio di un bilancio di massa del Cd rappresenta uno strumento chiave al fine della corretta comprensione del comportamento di tale contaminante nell'ambiente, soprattutto in relazione alla possibilità di produrre modelli previsionali in grado di informare sui rischi ambientali a breve ed a lungo termine (Jackson e Alloway, 1992). Ciò potrebbe permettere di definire il cosiddetto «*risk assessment*» e conseguentemente proporre una adeguata regolamentazione degli input da Cd di differente origine (da fertilizzanti, attività antropiche, deposizioni umide e secche, ecc.) (Roberts, 1998). Il problema del Cd diverrà infatti sempre più critico in futuro; basti pensare infatti che la produzione mondiale di Cadmio è più che decuplicata nel corso degli ultimi cinquant'anni. A ciò si deve aggiungere che nel terreno il bilancio del Cadmio, così come quelli degli altri metalli pesanti, risulta sempre positivo, ossia gli apporti superano sempre le perdite (Anderson e Christensen, 1988).

A tal proposito, l'Ispettorato Centrale Repressione Frodi (I.C.R.F.) del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali, nel giugno 2000 ha dato incarico all'Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante (I.S.N.P.) di effettuare una campagna di monitoraggio del Cadmio nei diversi comparti ambientali, al fine di fornire alla Commissione Europea (DG III) informazioni utili alla definizione del limite del suddetto elemento nei fertilizzanti.

Il monitoraggio è stato condotto, a livello nazionale, consultando le diverse istituzioni potenzialmente detentrici di tali informazioni. E' stata altresì condotta un'accurata indagine bibliografica a carattere nazionale. L'obiettivo di tale indagine è stato quello di evidenziare la maggior parte dei gruppi di ricerca che sul territorio nazionale si occupano della materia.

E' stato infine realizzato un "Caso-Studio" sui fertilizzanti, promosso in accordo con l'Ispettorato Centrale Repressione Frodi, relativamente al contenuto medio in Cadmio nei fertilizzanti CEE ed a distribuzione nazionale.

Materiali e metodi

Cd nei comparti ambientali - A fine di costituire una banca-dati relativa al contenuto in Cadmio nei diversi comparti ambientali italiani, sono stati individuati i nominativi di circa 200 Istituzioni, tutte successivamente contattate, come riportato nella Tabella 1.

Tabella 1. Istituzioni contattate per il monitoraggio del Cd nei differenti comparti ambientali italiani

Istituzioni contattate (~ 200):

Assessorati all'Agricoltura delle Regioni
 Assessorati alla Sanità delle Regioni
 Assessorati all'Ambiente delle Regioni
 ARPA - Agenzie Regionali di Protezione Ambiente
 ARPA - Agenzie Provinciali di Protezione Ambiente
 ANPA - Agenzia Nazionale di Protezione Ambiente
 Componenti G.d.L. "Metalli pesanti" - Commiss.Fertilizzanti
 Componenti G.d.L. "Suoli e Siti Contaminati" - S.I.S.S.
 Dipartimenti Universitari
 Istituti IRSA
 ENEA
 Ispettorato Centrale Repressione Frodi
 Assofertilizzanti
 Altri

L'Istituto ha inviato, entro il 30 giugno 2000, circa 200 richieste ai suddetti Enti, ed in circa tre mesi di attività di raccolta dati sono state classificate 44 fonti che hanno risposto positivamente alla richiesta loro pervenuta (corrispondenti a circa il 15% rispetto al totale).

Relativamente alle fonti mancanti, non si è stati in grado di appurare se queste siano effettivamente mancanti oppure se non sia stata correttamente contattata l'Istituzione competente, malgrado nella formalizzazione delle richieste, inoltrata per via ufficiale, sia stata sottolineata l'importanza di conoscere anche tale informazione.

I dati pervenuti sono stati catalogati in schede progressive. Di seguito si riporta un esempio di scheda, relativa alla regione Veneto, recante la fonte, la tipologia ed il numero dei dati forniti, nonché la tecnica analitica utilizzata ed i relativi commenti.

Tabella 2. Esempio di scheda relativa ai rilevamenti sul Cadmio fornita dalla regione Veneto. ARPAV (Dipartimento Provinciale di Treviso)

Tipologia dato	n. dati	Metodo analitico	Commenti
Dati sul contenuto di cadmio in diverse matrici ambientali (1999-luglio 2000).	7888	Spettroscopia ad Assorbimento Atomico - Fornetto di grafite	
Articolo scientifico allegato "La presenza di metalli pesanti nei fertilizzanti di più comune impiego" da "L'Igiene Moderna (1995): 103, 247-256"	60	Spettroscopia ad Assorbimento Atomico	Vi è incluso un valore medio sulla concentrazione di Cadmio nel terreno per la provincia di Treviso

Caso-studio "fertilizzanti" - Relativamente al caso-studio sui fertilizzanti, la Commissione "Fertilizzanti" ha prodotto un data-base inerente il contenuto in metalli pesanti nei principali fertilizzanti minerali, organici, organo-minerali ed ammendanti, aggiornata al 1992.

Al fine di ampliare ed aggiornare tali informazioni, è stato contattato l'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT) di Roma, che ha fornito una serie di dati inerenti il contenuto in Cadmio nei fertilizzanti e la loro relativa distribuzione in Italia al 1997. Infine, sono state elaborate le informazioni provenienti dall'Ispettorato Centrale Repressione Frodi, che ha organizzato un monitoraggio del contenuto in Cd nei fertilizzanti per il periodo 1998-1999. Le determinazioni del contenuto in Cd nei fertilizzanti sono state effettuate secondo i metodi analitici proposti in seno al Gruppo di Lavoro della DG III - Fertilizzanti della U.E.

Una ulteriore elaborazione statistica è stata effettuata calcolando il coefficiente di correlazione tra il contenuto medio in fosforo (P) ed il tenore di Cd nelle differenti tipologie di concimi, al fine di verificare l'influenza della presenza di matrici fosfatice nel contenuto in Cadmio.

Risultati e discussione

Il Cd nei comparti ambientali - Da un'analisi complessiva dei dati raccolti (circa 38.000), si evince che le Regioni del Nord Italia (in riferimento all'anno 2000) sono coperte da una rete di monitoraggio, le Regioni del Centro Italia possiedono il rilevamento solo per alcuni comparti e talvolta in maniera puntuale, mentre nel caso del Sud Italia ed Isole non si dispone di sufficienti informazioni, fatta eccezione di pochi siti monitorati per scopi

di ricerca scientifica. Nella Figura 1 si mostra la distribuzione media dei dati rilevati su tutto il territorio nazionale.

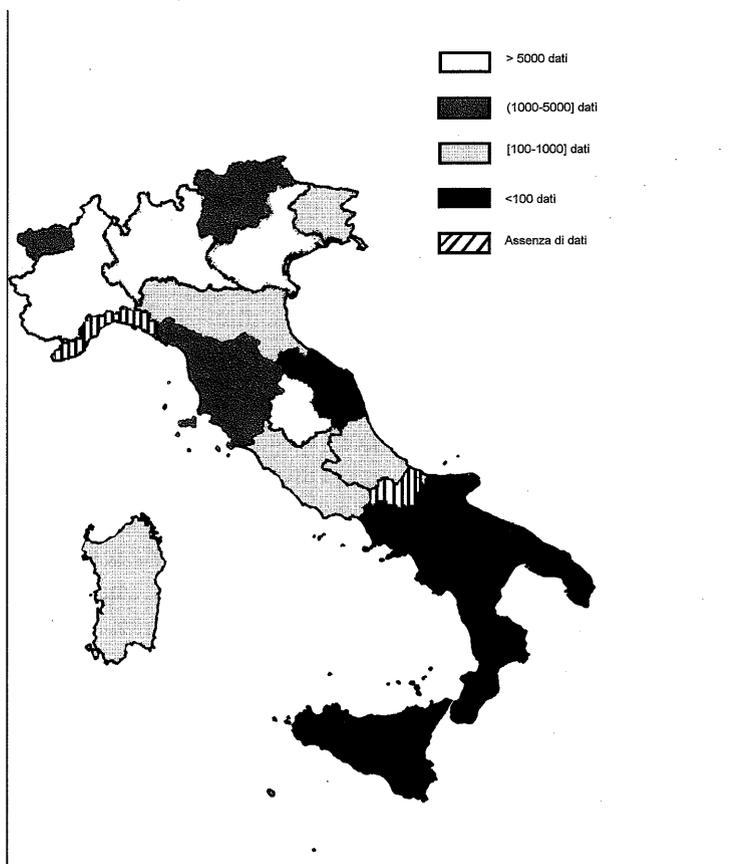


Figura 1. Classificazione delle Regioni italiane rispetto al numero totale di dati disponibili

Nell'ambito dei diversi comparti ambientali acqua, aria e suolo, quest'ultimo è quello in relazione al quale si dispone di minori informazioni. Il monitoraggio ha evidenziato che i dati sul suolo derivano fondamentalmente dalle Istituzioni di ricerca e solo raramente vengono raccolti dalle autorità locali (questo è accaduto, ad esempio, nel caso del Veneto, Friuli Venezia-Giulia e Trentino Alto-Adige), al contrario del comparto acqua, prevalentemente monitorato da parte di queste ultime.

I dati relativi al comparto atmosfera provengono sia da monitoraggio che da attività di ricerca scientifica. Praticamente assenti i dati inerenti l'aspetto epidemiologico, mentre sono disponibili informazioni relative al contenuto di Cadmio nelle matrici alimentari.

Relativamente al suolo, sono stati considerati separatamente i terreni agrari, "potenzialmente" sottoposti a contaminazione da fertilizzanti di origine fosfatica, ed altri terreni a differente destinazione d'uso, quali quelli forestali, a pascolo o particolarmente sensibili come le aree adibite a discarica. Di seguito si riportano i dati di contenuto medio in Cd, nonché le relative deviazioni standard e la numerosità campionaria, nei suoli di differente tipologia (Tabelle 3 e 4).

Tabella 3. Contenuti medi in Cd nella matrice "Suolo" (terreni agrari).

Regione	Matrice suolo (agrari)		N. campionaria
	Cd totale (assimilabile)(mg/ kg suolo)		
	Valore Medio	Deviazione Standard	
Piemonte	0,22	0,15	250
Veneto	0,51	0,33	597
<i>Veneto</i>	<i>0,08</i>	<i>0,10</i>	<i>597</i>
Trentino Alto-Adige (area industriale)	1,81	2,02	11
Marche	(0,10-0,40)		n.p.
Abruzzo	1,39	1,03	392
<i>Abruzzo</i>	<i>0,03</i>	<i>0,04</i>	<i>392</i>
Lazio	1,31	0,72	110
<i>Lazio</i>	<i>0,20</i>	<i>0,06</i>	<i>110</i>
Sardegna (area industriale)	1,80	1,20	19
Calabria,Basilicata, Sicilia	0,18	0,20	88
<i>Sicilia</i>	<i>0,63</i>	<i>0,74</i>	<i>52</i>

Tabella 4. Contenuti medi in Cd nella matrice "Suolo"
(terreni a differente destinazione d'uso).

Regione	Matrice suolo (altro)		N. campionaria
	Cd totale (assimilabile)(mg/ kg suolo)		
	Valore Medio	Deviazione Standard	
Friuli Venezia Giulia (forestale)	2,00	1,40	111
Emilia-Romagna (fanghi)	29,60	0,06	8
Umbria (discariche RSU- Terreno+sedimenti s.s.)	1,30	0,79	55
Lazio(forestale)	0,45	0,34	28
Lazio(pascolo)	0,61	0,77	12

Le informazioni ottenute, sebbene siano relative prevalentemente a realtà del Nord-Italia, consentono una prima valutazione sul reale livello di "rischio Cadmio" in Italia. Se pure bisogna sottolineare che i dati a

disposizione non possono e non debbono essere considerati esaustivi, in quanto specchio di una realtà territoriale solo parziale, è tuttavia possibile mettere in evidenza che, ad esempio, relativamente al contenuto in Cadmio nei suoli agrari, forestali od a pascolo fin qui monitorati, il livello medio nazionale rilevato risulta davvero esiguo ($\sim 0,5$ mg/kg). Situazioni particolari, come nel caso dei terreni agrari della Provincia di Cagliari (Sardegna), per i quali il contenuto medio in Cd risulta maggiore (1,8 mg/kg), sono senz'altro dovuti a specifiche fonti di inquinamento o soprattutto di composizione anomala (i terreni agrari considerati sono situati in aree limitrofe a zone fortemente industrializzate o addirittura in aree sub-minerarie).

In riferimento ai dati inerenti il contenuto medio in Cadmio nelle acque (superficiali, potabili e di falda), oltre a presentare una numerosità campionaria senz'altro maggiore rispetto al comparto suolo, essi sembrano attualmente confermare un limitato "rischio Cadmio", come si evince dalle Tabelle 5 e 6.

Tabella 5. Contenuti medi in Cd nella matrice "Acque" (superficiali)

Regione	Matrice acque: superficiali		N. campionaria
	Cd (mg/l)		
	Valore Medio	Deviazione Standard	
Valle D'Aosta	0,0009	0,0012	2144
Piemonte	0,0006	0,0004	245
Lombardia	0,00004	0,0001	8464
Veneto	0,0880	0,0270	1156
Trentino Alto-Adige	0,0009	0,0001	27
Marche (Ascoli Piceno)	0,0005 (min=0,0001; max=0,005)		165
Marche (Macerata)	(0,00002-0,0005)		n.p.
Umbria	<0,0005 (sup dei valori medi)		5253
Lazio	0,0003	0,0004	131

Tabella 6. Contenuti medi in Cd nella matrice "Acque" (potabili e di falda)

Regione	Matrice acque: potabili e di falda		N. campionaria
	Cd (mg/l)		
	Valore Medio	Deviazione Standard	
Piemonte	0,0005	0,0005	444
Trentino Alto-Adige	<0,002 (estremo superiore)		23
Toscana	<0,1 (valore mediano)		2965
Umbria	<0,0005 (estremo superiore)		1140
Piemonte	0,0027	0,0056	58
Veneto	0,00068	0,00056	505

I valori ottenuti relativamente alle acque superficiali attestano come vi sia un rischio Cd da lisciviazione nelle falde assai limitato, dal momento che i valori medi riscontrati sono davvero esigui, praticamente per tutti i rilievi effettuati. E' probabile che le caratteristiche pedologiche dei suoli italiani, oltre al limitato apporto di piogge acide, possano effettivamente limitare il rischio di inquinamento da Cadmio nei differenti comparti ambientali considerati.

Nel caso dei rilievi effettuati relativamente al comparto atmosfera, va rimarcato il fatto che tali dati si riferiscono unicamente alle regioni della Toscana e dell'Emilia-Romagna, con una numerosità campionaria piuttosto bassa. Nella Tabella 7 vengono riportati i valori medi di Cd nelle deposizioni secche ed umide.

Tabella 7. Contenuti medi in Cd nella matrice "Atmosfera"
(deposizioni secche ed umide)

Regione	Deposizioni atmosferiche		N. campionaria
	Cd: deposizioni umide e secche <i>Valore Medio</i>	<i>Deviazione Standard</i>	
Emilia-Romagna (mg/L)	0,00006	0,00011	61
Toscana (mg/m ²)	0,034	0,039	48
Toscana (mg/m ²)	0,021	0,015	43

Anche in questo caso, i valori rilevati sono estremamente contenuti, sebbene non possano essere considerati esaustivi vista la estrema esiguità delle fonti di informazione.

Caso-studio "fertilizzanti" – A seguito delle informazioni raccolte da differenti fonti, è stata effettuata una elaborazione statistica atta a porre in rilievo eventuali differenze tra i fertilizzanti CEE ed i fertilizzanti a distribuzione esclusivamente nazionale, suddivisi secondo le norme di legge (748/84). Malgrado tale elaborazione riguardi un numero di campioni limitato (409), tuttavia essa rende conto del fatto che, almeno per i concimi considerati in tale studio, quelli prodotti e distribuiti sul mercato nazionale hanno tenori medi in Cadmio minori rispetto alle corrispondenti tipologie di concimi CEE. I dati ottenuti sono presentati in Tabella 8.

Nell'intento di confermare la correlazione tra la presenza di matrici fosfatice nei fertilizzanti ed il relativo contenuto in Cadmio sono stati calcolati, per ciascuna tipologia di concime, i coefficienti di correlazione tra i principali componenti minerali (N, P e K) ed il corrispondente tenore in Cd. I risultati ottenuti sono riassunti nella Tabella 9.

Tabella 8. Valori medi in Cd nei fertilizzanti CEE e nazionali (n = 409)

		Media	Sd
Tipo di prodotto		Cd (mg/Kg)	
CEE	NPK	5,79	5,23
CEE	NP	19,21	14,91
CEE	PK	6,42	6,31
CEE	K	1,5	1,41
CEE	N	0,86	0,89
CEE	P	17,93	11,82
Nazionali	NPK	3,81	4,36
Nazionali	N+P+K	6,22	5,15
Nazionali	Organici	1,17	1,01
Nazionali	Organo-minerali	9,46	15,1

Tabella 9. Coefficienti di correlazione tra contenuto medio in Cd e corrispondente contenuto in P

Prodotto	Coeff. di correlazione tra Cd e P
Minerale Composto NPK (CEE)	0,37
Minerale Composto NP (CEE)	0,58
Minerale semplice P (CEE)	0,78
Minerale Composto NPK (nazionale)	0,20
Organo-minerale (nazionale)	0,28

Come è possibile notare, sussiste certamente una correlazione diretta tra la presenza di fosfato ed il tenore in Cadmio (nei concimi minerali fosfatici CEE, tale correlazione risulta essere 0,78), anche se vale la pena sottolineare come tale correlazione risulti sostanzialmente minore nel caso dei corrispondenti concimi a distribuzione nazionale. Tale elemento, riconducibile probabilmente alla diversa provenienza delle matrici fosfatiche utilizzate per la produzione di detti fertilizzanti, giustifica l'apparente limitato livello di "rischio Cadmio" inerente l'uso dei fertilizzanti minerali prodotti in Italia.

Conclusioni

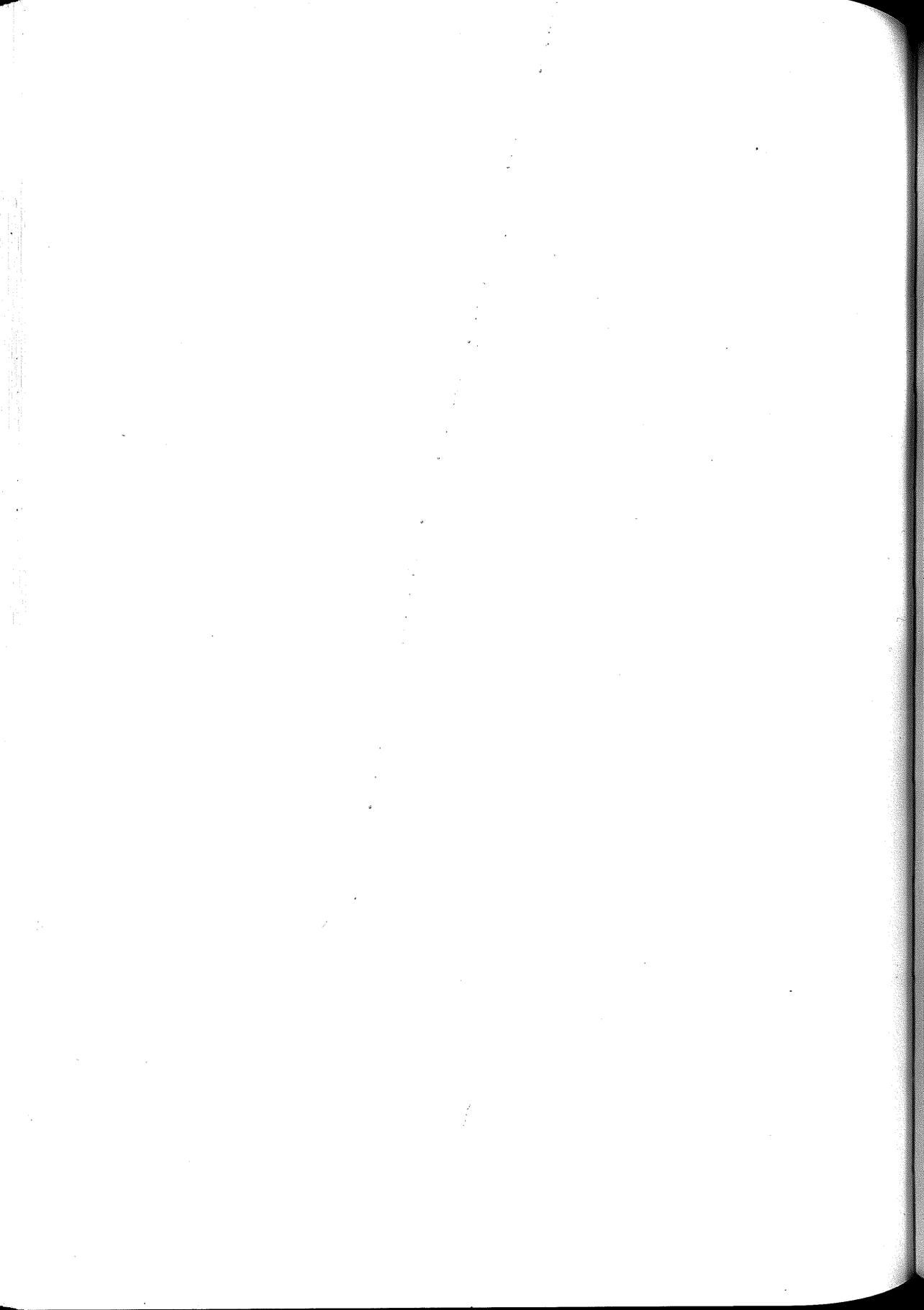
Il presente lavoro si propone come una base di partenza per ulteriori elaborazioni, realizzabili esclusivamente mediante l'ausilio e la disponibilità degli Enti e delle Autorità locali a fornire ulteriori dati inerenti tale problematica, in modo tale da completare il data-base già parzialmente organizzato.

A seguito di un opportuno perfezionamento delle informazioni fin qui ottenute ed elaborate esclusivamente a livello territoriale regionale,

potrebbe essere possibile l'applicazione a livello nazionale delle equazioni proposte in sede europea dalla DG III (Rapporto ERM), al fine della definizione quantitativa del reale «*risk assessment*» per il Cadmio nel nostro Paese.

Bibliografia

- ANDERSON, P.R. E CHRISTENSEN, T.H. (1988). Distribution coefficients of Cd, Co, Ni and Zn in soils. *J. Soil Sci.*, 39: 15-22.
- JACKSON, A.P. E ALLOWAY, B. (1992). Transfer of cadmium from soils to the human food chain. In: *Biochemistry of Trace Metals*. Ed. Adriano D C, Lewis Publishers, Boca Raton.
- ROBERTS, M. (1998). Heavy metals and world regulations. *World Fertiliser Conference, 13-15 Settembre 1998*, San Francisco (USA).
-



INDAGINE PRELIMINARE SULL'EVOLUZIONE DEI SUOLI IN AMBIENTI DI RECENTE BONIFICA (DELTA DEL PO – VALLI FERRARESI)

Alessandro Buscaroli, Massimo Gherardi, Gilmo Vianello

CSSAS - Centro Sperimentale per lo Studio e l'Analisi del Suolo, Università di Bologna
Via fanin, 40, - 40127 Bologna

Riassunto

Scopo finale della presente indagine è quello di verificare l'evoluzione dei suoli che si sono sviluppati in un ambiente di recente bonifica, costituito dalle Valli ferraresi e dal delta del fiume Po. L'interesse di tale indagine risiede nel fatto che, potendo localizzare e datare con precisione il momento degli interventi di bonifica, risulta possibile valutare temporalmente l'avvio dei processi pedogenetici, o quanto meno un momento significativo nella genesi di tali suoli.

Disponendo per la medesima zona di una serie di banche dati pedologiche georeferenziate risalenti agli anni '30-'60, è possibile impostare un confronto diacronico con i dati relativi alle campagne realizzate dal servizio pedologico regionale a partire dagli anni '80.

La verifica dei trend evolutivi dei suoli è realizzata sulla base dell'analisi di alcuni parametri chimico-fisici degli stessi, disponibili per entrambe le epoche, con i quali, pur tenendo conto delle differenti metodologie analitiche adottate, è possibile procedere ad un confronto.

La lettura dei dati è realizzata nel quadro di una attenta ricostruzione morfologica del territorio, ottenuta mediante elaborazione altimetrica di dettaglio, che rappresenta un fondamentale strumento di supporto nella interpretazione dei caratteri ambientali rilevati.

L'attività antropica costituisce un importante fattore della pedogenesi. L'interpretazione dei risultati deve pertanto tenere conto delle dinamiche di utilizzo della risorsa suolo degli ultimi cinquant'anni, al fine di verificare la relazione esistente tra uso del suolo ed effetti determinati sullo stesso.

In questa fase preliminare dello studio si è proceduto all'inserimento, in un adeguato sistema informativo geografico, dei dati micromorfologici, di uso del suolo e delle banche dati pedologiche disponibili.

Allo stato attuale è possibile ipotizzare l'idoneità dell'impiego del dato storico nella revisione della cartografia pedologica esistente, ed eventualmente, nella pianificazione di campagne pedologiche di maggior dettaglio. Risulta infatti possibile procedere all'individuazione spaziale di determinate tipologie di suoli all'interno di delimitazioni pedologiche che si presentano come consociazioni o complessi di suoli, con scarso grado di fiducia nel modello distributivo.

Introduzione

La zona indagata nel presente studio corrisponde alla parte più orientale del territorio provinciale di Ferrara, interessando i comuni di Codigoro, Comacchio, Lagosanto e Mesola per una superficie complessiva di circa 57236 ettari (figura 1).

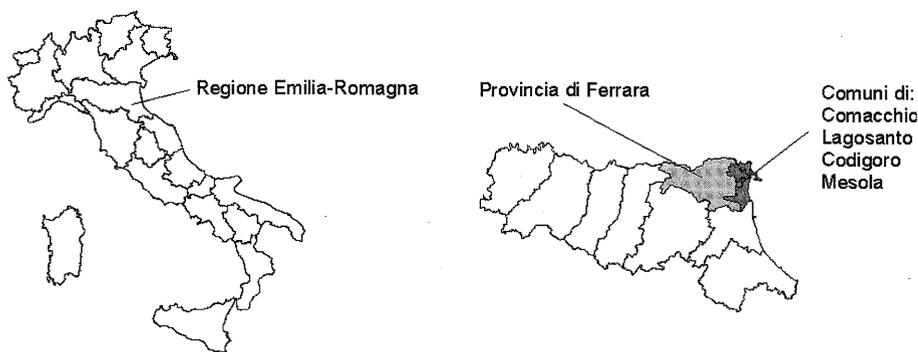


Figura 1. Localizzazione area d'indagine.

Anche se attualmente il corso del fiume Po si snoda nella parte settentrionale dell'area, da un punto di vista geologico la zona indagata ricade nel "delta padano". Nell'Olocene infatti tutta l'area compresa tra il ravennate a sud, e le città di Chioggia a nord, era interessata dalla presenza di foci del Po (Bondesan *et al.*, 1995). In tale fascia sono evidenti le tracce di successive strutture deltizie del Po, che hanno contribuito alla progradazione della pianura verso est. Ad esempio, un primo delta di età romanica, è individuabile a sud della città di Comacchio ed uno, di età medievale, si evidenzia ad est della città di Codigoro, oltre a quello attuale denominato moderno.

Queste strutture hanno preso origine da divagazioni naturali del corso d'acqua che, nel corso dei secoli, esaurito un ramo, ne attivava uno nuovo per scaricare le acque a mare (es.: rotte di Ficarolo). Anche l'intervento antropico ha determinato cambiamenti sostanziali nella struttura deltizia, modificando artificialmente il percorso fluviale a seconda delle necessità contingenti (es.: Taglio di Ponte Viro). Come conseguenza della complessa evoluzione subita, tale ambiente manifesta caratteri di estrema fragilità per una serie di motivi.

Innanzitutto sono da registrare fenomeni di subsidenza legati sia a processi di assestamento naturale, caratteristici di ambienti di piana al-

luvionale, ma anche legati all'attività antropica. Infatti sia l'estrazione di acque metanifere dal sottosuolo che gli interventi di bonifica che, prosciugando i terreni ne hanno anche determinato l'ossidazione degli strati torbosi, hanno portato ad un notevole abbassamento del livello di campagna, stimato fino a punte di 200 mm/anno.

Il territorio indagato giace, per larga parte, ad una quota inferiore al livello medio del mare. L'attuale assetto territoriale è reso possibile dalla presenza di una rete idrografica rigida ed artificiale, che vede i fiumi scorrere ad una quota superiore al piano di campagna, costretti all'interno di imponenti argini contenitivi. Le acque meteoriche che cadono sui territori circostanti vengono raccolte nei punti più depressi, per poi essere immesse, mediante impianti di sollevamento, nella rete scolante a mare. Il drenaggio risulta così quasi completamente artificiale ed estremamente fragile, legato com'è al funzionamento di un numero notevole di idrovore. L'aumento dell'emungimento di acque dolci dal sottosuolo, sia per esigenze di vita che per far fronte alle necessità delle colture, ha inoltre favorito l'ingresso delle acque salmastre e la salinizzazione di livelli di falda.

Sotto il profilo geologico la zona ricade, nella sua porzione orientale, nella "piana di sabbia e fronte deltizia"; si evidenziano alternanze di sabbie medie e fini nelle porzioni più rilevate, costituite da depositi di cordone litorale e dune eoliche; limi, sabbie, sabbie fini con intercalazioni di livelli torbosi, corrispondenti alle porzioni meno rilevate, derivanti da depositi di palude salmastra. Nella zona interna dell'area sono presenti depositi di "piana deltizia" costituiti da sabbie medio fini e derivanti da depositi di canale distributore e di argine. Inoltre nella porzione più orientale si rinvencono argille limose e sabbie finissime intercalate a livelli torbosi caratteristici di zone deposizionali di baia interdistributrice.

Dal punto di vista pedologico la situazione risente, come è ovvio attendersi, della diversa origine dei substrati. Anche in questo caso è possibile individuare due zone; una orientale, di origine marina, dove si rinvencono suoli generalmente poco evoluti, calcarei, a tessitura da sabbiosa fine a franca, con profilo A-C (Calcaric Arenosols, Haplic Arenosols, Calcaric Phaeozems). La zona centrale e quella occidentale evidenziano la presenza di suoli di origine fluviale, franchi argillosi limosi, con sostanza organica miscelata alla frazione minerale, da moderatamente acidi a neutri (Thionic Fluvisols) oppure altri suoli a tessitura argilloso limosa, con manifestazione di fenomeni vertici, calcarei, da neutri a moderatamente alcalini (Vertic Cambisols, Calcaric Fluvisols). La carta pedologica dell'area, rielaborata a partire dalla carta dei suoli regionale alla scala 1:25000, adottando la classificazione FAO 1988, viene mostrata in figura 2.

Carta dei Suoli

Legenda (classificazione FAO)

-  Calcaric Arenosols
 -  Calcaric Arenosols / Haplic Arenosols
 -  Calcaric Arenosols / Calcaric Cambisols
 -  Calcaric Arenosols / Calcaric Fluvisols
 -  Calcaric Arenosols / Calcaric Cambisols / Haplic Cambisols
 -  Calcaric Arenosols / Calcaric Cambisols / Gleyic Cambisols
 -  Calcaric Arenosols / Calcaric Cambisols / Calcaric Phaeozem
 -  Calcaric Arenosols / Calcaric Fluvisols / Calcaric Phaeozem
 -  Calcaric Arenosols / Calcaric Phaeozem
 -  Calcaric Arenosols / Calcaric Phaeozem / Vertic Cambisols
 -  Haplic Arenosols / Calcaric Fluvisols / Thionic Histosols
 -  Haplic Arenosols / Calcaric Histosols / Thionic Histosols
 -  Calcaric Cambisols / Gleyic Cambisols
 -  Calcaric Fluvisols / Haplic Calcisols
 -  Calcaric Fluvisols / Haplic Calcisols / Vertic Cambisols
 -  Calcaric Fluvisols / Thionic Fluvisols / Vertic Cambisols
 -  Thionic Fluvisols / Vertic Cambisols
-  Corpi d'acqua

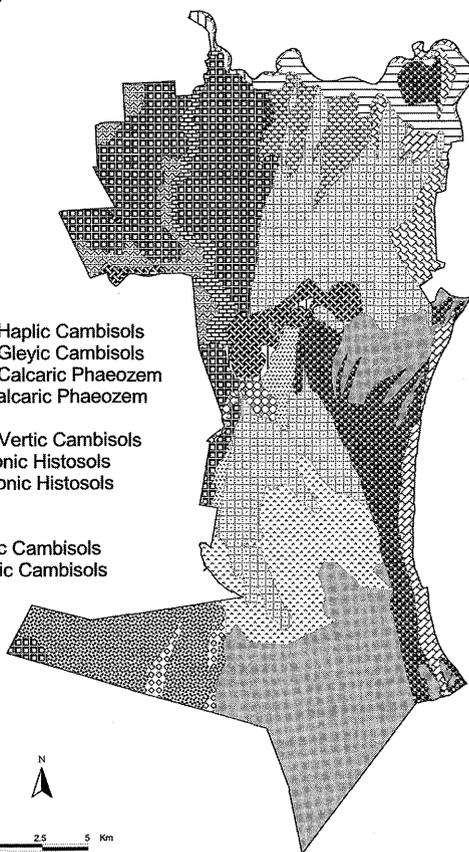


Figura 2. Carta pedologica
(Classificazione FAO 1988)

L'indagine tiene conto della disponibilità di studi sui caratteri chimico-fisici dei suoli realizzati nell'arco del ventesimo secolo e tali quindi da permettere confronti con le determinazioni degli ultimi decenni realizzate dalla Regione Emilia-Romagna.

Si può ritenere che alcuni caratteri dei suoli siano poco modificabili (es.: tessiture o fortemente sabbiose o eccessivamente argillose) o comunque tali da conservare alcuni aspetti originari nel tempo (es.: condizioni histiche) che ne permettono il riconoscimento.

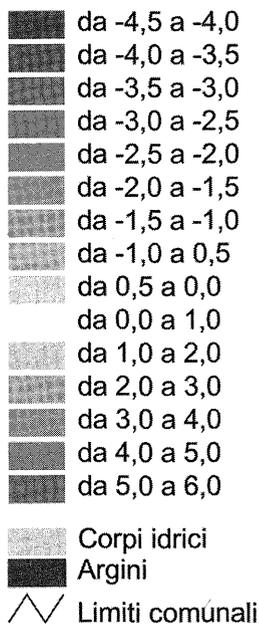
Aree che all'inizio del 1900 erano ancora sommerse, tipiche di ambienti palustri, presentano oggi suoli che hanno un'età di formazione inferiore ai 100 anni e pertanto la disponibilità di dati chimico-fisici riferiti ad epoche diverse, pur tenendo conto delle differenti metodologie analitiche, può evidenziare il grado evolutivo che questi suoli hanno raggiunto in tale arco temporale.

Materiali e metodi

Micromorfologia

Per la ricostruzione dei caratteri micromorfologici del territorio sono stati utilizzati i punti quotati delle carte tecniche delle Regioni Emilia-Romagna e Veneto che, una volta interpolati, hanno consentito il tracciamento delle curve di livello con equidistanza di 0.50 m. L'inserimento del dato altimetrico nel sistema informativo è avvenuto mediante digitalizzazione e l'elaborazione del modello tridimensionale del terreno ha permesso di evidenziare aree poste al di sopra e al di sotto del livello del mare, microrilievi delle antiche strutture fluviali (dossi) o marine (dune costiere) e aree depresse corrispondenti a zone palustri e vallive bonificate nel tempo (figura 3).

Legenda (m.s.l.m.m.)



740000

770000



Figura 3. Carta del microrilievo (scala d'acquisizione 1:10.000)



Uso del suolo storico

Per la ricostruzione dell'uso del suolo storico è stata utilizzata la cartografia di primo impianto dell'IGM; l'interpretazione del tematismo ha permesso di evidenziare la situazione alla fine del secolo XIX°. In questa fase è risultata particolarmente importante la delimitazione di aree emerse e sommerse in riferimento alla bonifica e l'evidenziazione di siti con maggiore probabilità di persistenza delle caratteristiche di idromorfia dei suoli.

Caratteristiche chimico-fisiche

Per la zona d'indagine si sono resi disponibili i dati storici relativi a due diverse campagne pedologiche, in aggiunta ai dati relativi alla caratterizzazione dei suoli contenuta nei documenti della carta dei suoli della Regione Emilia-Romagna e collegati (www.gias.net).

I primi dati disponibili risalgono alla campagna pedologica condotta nel 1937 per caratterizzare i suoli della provincia di Ferrara (Ferrari *et al.*, 1937). Ad una serie di supporti cartacei, sui quali è possibile localizzare i punti di prelievo è associata una tabella che riporta, per ognuno di questi, una serie di dati chimico-fisici. Quelli utilizzati nel corso dello studio fanno riferimento a 371 punti di campionamento.

Un'ulteriore fonte di dati è rappresentata dalla campagna pedologica realizzata nei medesimi ambiti dalla A.N.B. (Associazione Nazionale Bieticoltori) nell'arco temporale compreso tra il 1954 ed il 1961 (A.N.B., 1961).

Anche in questo caso ai supporti cartacei alla scala 1:25000, riportanti la localizzazione dei siti di campionamento, è associata una serie di tabulati con annotazioni sulle principali caratteristiche chimico-fisiche rilevate. I dati utilizzati sono da riferirsi in questo caso a 1134 punti di campionamento.

In totale, 1505 punti di campionamento sono stati memorizzati su supporto magnetico (figura 4) e per ognuno di essi si è provveduto ad implementare il database georelazionale.

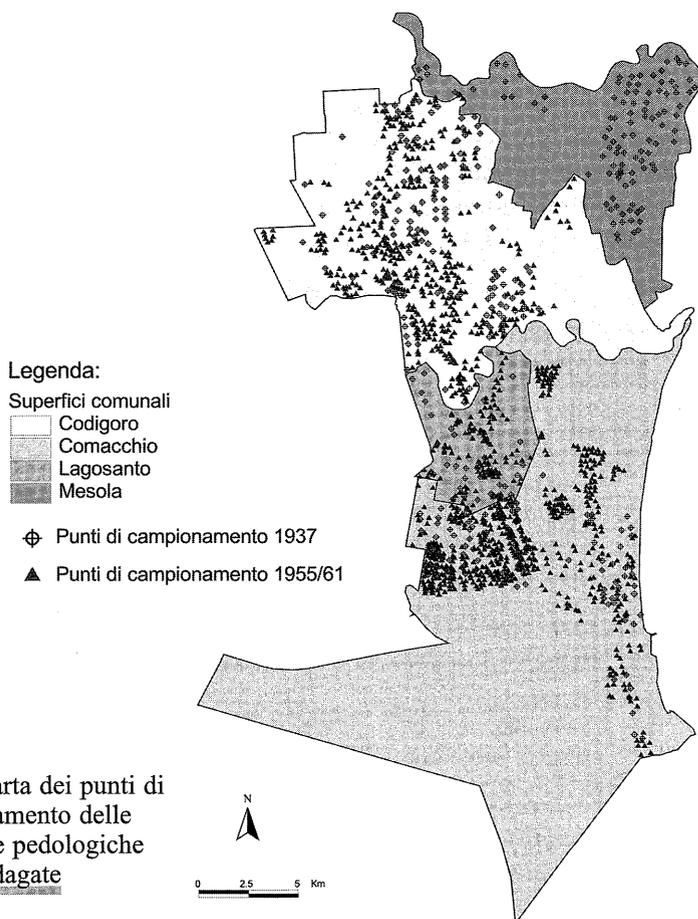


Figura 4. Carta dei punti di campionamento delle campagne pedologiche indagate

Altro termine di confronto è rappresentato dalla cartografia dei suoli della Regione Emilia-Romagna (R.E.R., 1994). Realizzata ed aggiornata a partire dal 1990, essa individua per l'intero territorio regionale diverse delimitazioni pedologiche, ne elenca i suoli contenuti e ne descrive le caratteristiche (www.gias.net). Tale livello informativo è stato acquisito con le modalità viste sopra, con l'unica differenza che in tal caso gli elementi cartografati fanno riferimento a primitive geometriche di natura poligonale anziché puntuale.

In fase di elaborazione si è ritenuto opportuno unire tra loro le coperture puntuali relative alla campagna 1937 e a quella realizzata negli anni '60. Il motivo principale alla base di tale scelta risiede nel fatto che le due coperture interessano porzioni territoriali sostanzialmente difformi e di conseguenza la loro unione garantisce una rappresentazione del dato più omogenea ed uniforme.

Quest'ultima operazione presuppone l'unione (link) dei database delle coperture e impone quindi, ai fini dell'indagine, una loro omogeneizzazione.

I metodi di determinazione analitica adottati nelle due epoche a volte non coincidono. Di conseguenza non è possibile realizzare una corrispondenza rigorosa tra le due serie di dati. Nel caso della tessitura ci si deve poi confrontare con l'adozione di classi tessiturali disomogenee, difficilmente correlabili tra loro.

Nella tabella 1 vengono riportati i metodi analitici utilizzati nelle campagne pedologiche in oggetto.

Tabella 1. Metodi analitici impiegati nelle campagne pedologiche del 1937 e del '60

Parametro	Metodologia di determinazione analitica	
	Campagna 1937	Campagna 1960
pH	Reazione colorimetrica	Potenziometrica con pHmetro
S.O.	Combustione per via umida con acido cromico	Metodo Lotti (ossidazione con bicromato di potassio) Metodo Istcherecow (ossidazione con permanganato di potassio)
N	Metodo non specificato	Metodo Kjeldahl
CaCO ₃	Apparecchio di Dietrich e Fruhling	Calcimetro De Astis
Tessitura	Metodo Boujoucos	Metodo Gattorta Metodo Boujoucos

Al riguardo della tessitura la distinzione delle diverse granulometrie adottata nelle campagne pedologiche utilizzate viene fatta come riportato in tabella 2.

Tabella 2. Classi granulometriche individuate nelle campagne pedologiche 1937 e '60

Campagna 1937		Campagna '60	
Classe tessiturale	Dimensione (mm)	Classe tessiturale	Dimensione (mm)
Sabbia grossa	1 - 0.2	Sabbia grossa	1 - 0.06
Sabbia mezzana	0.2 - 0.1	Sabbia media	
Sabbia fine e limo	0.1 - 0.02	Materiale argilliforme	0.06 - 0.002
Argilla	< 0.02	Argilla colloidale	< 0.002

Come è possibile notare, gli intervalli granulometrici considerati differiscono sostanzialmente tra loro e rendono impossibile il confronto tra le due campagne attraverso l'esame di medesime classi tessiturali. I limiti adottati mal si correlano inoltre con le classi granulometriche individuate sia dal Sistema Internazionale che dall'U.S.D.A.

Per tale motivo, nell'analisi dei dati, ci si è limitati all'individuazione di due sole classi tessiturali, quella sabbiosa da un lato e quella limoso argillosa dall'altro. Il limite di demarcazione è posto a 0.02 mm per la campagna 1937 e 0.06 mm per la campagna degli anni '60.

Si rammenta che lo studio pone la propria attenzione più sul dato globale, indicatore di una caratterizzazione generale, piuttosto che sulla manifestazione puntuale del parametro sottoposto a valutazione e confronto.

Una volta costituito il database complessivo è risultato possibile procedere alla sua interrogazione al fine di evidenziare ambiti territoriali in cui vi fosse una concentrazione significativa dei dati rilevati.

A tal fine sono stati adottati particolari valori di selezione su ogni parametro.

Per esempio, per quanto riguarda la tessitura, si sono individuati i punti che presentavano un tenore in sabbia maggiore del 70% ed altri che rispondevano ad un contenuto in materiali fini maggiore del 60%.

Al riguardo della sostanza organica si è adottato il limite di selezione del 20%, in grado di evidenziare il carattere di "histicità" del suolo.

Per quanto concerne il pH sono state considerate tre classi, individuando nell'intervallo 6.7-7.3 i suoli neutri, a valori inferiori i suoli a carattere acido, mentre a valori superiori i suoli a carattere alcalino.

Analogo discorso vale per il contenuto in carbonati, dove si sono impostate tre classi; non calcareo (<0.5%), scarsamente, moderatamente calcareo (0.5-5%), calcareo (>5%).

Sistema informativo geografico

La gestione di un rilevante numero di informazioni territoriali ha reso necessario disporre di un appropriato contesto organizzativo e dell'impiego di un sistema informativo in grado di permettere procedure di correlazione e di intersezione dei diversi livelli tematici utilizzati. AutoCAD di AutoDesk per la digitalizzazione georeferenziata dei punti di prelievo ed ArcView di Esri per l'elaborazione complessiva dei dati hanno rappresentato il pacchetto dei software utilizzato.

Risultati e discussione

Fin dall'inizio, come conseguenza dei criteri di selezione imposti per i diversi parametri, si sono evidenziate ricorrenze significative che corrispondevano a particolari concentrazioni di punti in ambiti circoscritti. In particolare si sono riscontrate le combinazioni ricorrenti riportate in tabella 3.

Tabella 3. Matrice di correlazione tra i caratteri chimico fisici dei suoli e combinazioni ricorrenti

Carbonati CaCO ₃ %	Sostanza organica > 20 %	Sabbia > 70%	Argilla + limo > 60 %	Reazione del suolo (pH)
< 0,5	*			< 6,7 6,7 - 7,3 > 7,3
0,5 - 5		*		< 6,7 6,7 - 7,3 > 7,3
> 5		*	*	< 6,7 6,7 - 7,3 > 7,3

Si è cercato di individuare come tali aggregati di punti si ponessero in rapporto a quanto proposto dalla cartografia dei suoli della Regione Emilia-Romagna nel tentativo di mettere a confronto le rispettive determinazioni analitiche.

Nella forma di rappresentazione adottata dalla Regione, la distribuzione spaziale dei principali tipi di suolo è illustrata mediante delinea- zioni e cioè singoli poligoni che presentano, per la maggior parte della loro superficie, i suoli indicati in una apposita legenda. Le singole delinea- zioni quindi sono costituite da più tipologie di suolo che si rinven- gono aggregate in diverse forme: consociazioni, complessi, associazioni, gruppi di suoli non associati e gruppi indifferenziati.

Dell'area di indagine sono state individuate ed indagate quattro delinea- zioni (233, 284, 286, 1054), caratterizzate da un grado di fiducia del modello distributivo dei suoli molto basso o moderato e sulle quali ricade- vano un numero di punti significativo.

L'elenco e la descrizione dei suoli tipo ricadenti all'interno del- le delinea- zioni è riportato in tabella 4.

Tabella 4. Descrizione dei suoli tipo ricadenti all'interno delle delineazioni considerate

<i>Delineazione e grado di fiducia del modello</i>		<i>Ambienti</i>	<i>Suoli presenti e descrizione dei caratteri chimico - fisici</i>	<i>Classificazione FAO (1988)</i>
N. 286 Mesola	moderato	Zone di interduna e di palude bonificata, più o meno influenzate da processi fluviali	BTT1 - BOSCHETTO , franchi, da scarsamente a moderatamente calcarei, da neutri a debolmente alcalini	Calcaric Phaeozems
		Aree dei cordoni dunali in prevalenza spianati artificialmente	CER1 - CERBA , sabbiosi fini, moderatamente calcarei, da neutri a moderatamente alcalini	Calcaric Arenosols
		Aree in corrispondenza dei cordoni dunali più o meno spianati	CER2 - CERBA , sabbiosi fini franchi, moderatamente calcarei, neutri o moderatamente alcalini	Calcaric Arenosols
N. 1054 Codigoro	moderato	Aree depresse fra i canali	FOR1 - FORCELLO , argillosi limosi, moderatamente o molto calcarei, moderatamente alcalini	Vertic Cambisols
		Canali secondari e ventagli di rotta	LF11 - LA FIORANA , franchi limosi, molto calcarei, moderatamente alcalini	Calcaric Fluvisols
		Tratti distali dei canali principali	SRE1 - STRADA REALE , franchi limosi, molto calcarei, moderatamente alcalini	Haplic Calcisols
N. 284 Codigoro	moderato	Depositi di canale distributore e/o di marea e di ambiente deltizio	CDS2 - CANALE DEL SOLE , franchi argillosi limosi, molto calcarei, neutri o moderatamente alcalini	Calcaric Fluvisols
		Vicinanza dei canali, sia di marea che del ramo del Po di Goro	FOR1 - FORCELLO , argillosi limosi, da moderatamente a molto calcarei, moderatamente alcalini	Vertic Cambisols
		Aree maggiormente depresse	JOL2 - JOLANDA , franchi argillosi limosi, con sostanza organica miscelata alla frazione minerale, non calcarei, moderatamente acidi	Thionic Fluvisols
N. 233 Comacchio	molto basso	Zone di interduna e di palude costiera	BTT1 - BOSCHETTO , franchi, da scarsamente a moderatamente calcarei, da neutri a debolmente alcalini	Calcaric Phaeozems
		Parti centrali dei canali distributori e/o di marea	CDS1 - CANALE DEL SOLE , franchi limosi, molto calcarei, debolmente o fortemente alcalini	Calcaric Fluvisols
		Depositi di canale distributore e/o di marea e di ambiente deltizio	CDS2 - CANALE DEL SOLE , franchi argillosi limosi, molto calcarei, neutri o moderatamente alcalini	Calcaric Fluvisols
		Aree più rilevate e spianate dei cordoni dunali	CER1 - CERBA , sabbiosi fini, moderatamente calcarei, neutri o moderatamente alcalini	Calcaric Arenosols
		Aree in corrispondenza dei cordoni dunali più o meno spianati	CER2 - CERBA , sabbiosi fini franchi, moderatamente calcarei, neutri o moderatamente alcalini	Calcaric Arenosols

Relativamente ai punti disponibili all'interno delle stesse, sono state elaborate le informazioni chimico-fisiche utilizzando la matrice di tabella 3. Ciò ha permesso l'individuazione di tre principali tipologie di suolo, ciascuna delle quali con caratteri salienti, riscontrabili nell'elenco dei suoli descritti all'interno di ogni delineazione. I suoli che è possibile riconoscere sono: CER1-CERBA, ad elevato contenuto in sabbia, moderatamente calcareo ed alcalino; FOR1-FORCELLO, ad elevato contenuto in argilla e limo, molto calcareo e moderatamente alcalino; JOL2-JOLANDA, ad elevato contenuto in sostanza organica miscelata alla componente minerale, non calcarei e moderatamente acidi.

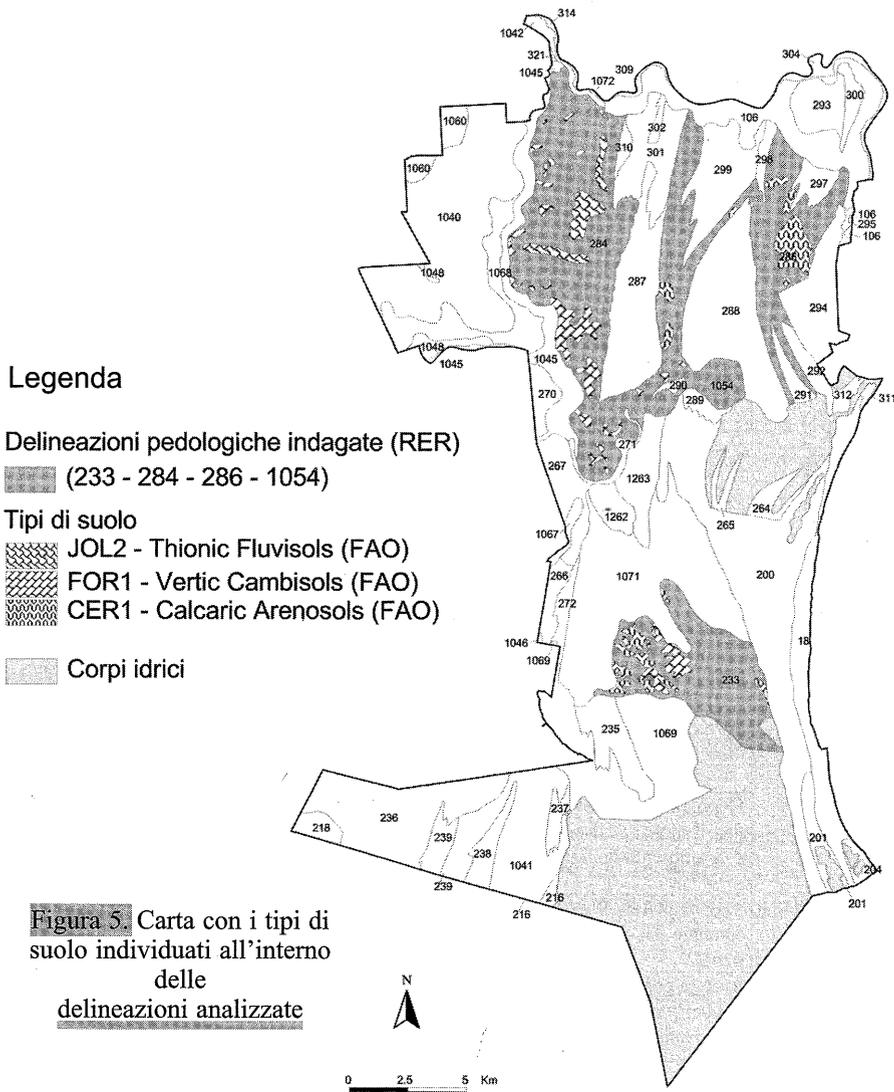


Figura 5. Carta con i tipi di suolo individuati all'interno delle delineazioni analizzate

A livello cartografico si è proceduto, all'interno dei limiti riportati sulla cartografia regionale per ogni delineazione, alla demarcazione di unità di mappa di maggior dettaglio. Nel corso di tale operazione si è provveduto ad interpretare costantemente il modello altimetrico realizzato, in maniera da considerare anche l'aspetto morfologico nel tracciamento dei nuovi limiti.

La carta con riportati i limiti delle tipologie di suolo individuate all'interno delle delineazioni indagate, è riportato in figura 5.

Conclusioni

In questa fase preliminare del lavoro si è potuto constatare come la presenza di rilievi eseguiti in epoche passate possa ancora risultare utile nella realizzazione di studi in campo pedologico. In particolare, sulla base delle informazioni emerse, risulta possibile addivenire ad una migliore interpretazione e delimitazione delle differenti tipologie di suolo presenti all'interno di ambiti già definiti.

Tale indagine intende quindi contribuire all'azione svolta dal Servizio dei Suoli della Regione Emilia-Romagna che ha provveduto ad una prima stesura delle delineazioni alla scala 1:25.000 basandosi su informazioni di carattere fotointerpretativo e prendendo come riferimento profili tipo caratterizzanti tali unità cartografiche. E' possibile quindi procedere alla validazione delle delineazioni pedologiche mediante una più precisa localizzazione delle tipologie dei suoli che le caratterizzano, contribuendo al rafforzamento delle diagnosi di campo (trivellate, profili) e di laboratorio.

L'eventuale ulteriore disponibilità di informazioni puntuali relativamente alle conoscenze più attuali dei suoli permetterà di impostare procedure di correlazione e di intersezione dei diversi livelli tematici qui utilizzati, nel tentativo di fornire una preliminare valutazione circa i trend evolutivi delle caratteristiche dei suoli.

In parallelo, lo studio delle dinamiche d'uso del suolo, permetterà di verificare se a determinate tipologie di cambiamento nella gestione del territorio possano o meno correlarsi particolari manifestazioni a carico delle caratteristiche dei suoli.

Appare comunque doveroso segnalare il fatto che la diversità spesso riscontrata nelle metodologie d'analisi delle caratteristiche pedologiche non giova ad una rigorosa realizzazione dello studio. Impostando l'analisi in maniera accorta risulta comunque possibile ricavare utili indicazioni.

Una modellistica di analisi come quella adottata nel presente studio necessita dell'implementazione e dell'integrazione di una considerevole mole di dati territoriali e trova nel Sistema Informativo Geografico uno strumento in grado di manifestare la propria efficacia ed insostituibilità nelle fasi di acquisizione, gestione ed analisi delle informazioni raccolte.

Lavoro eseguito nell'ambito Piano CIPE - Potenziamento delle reti di ricerca legge 488/92 del MURST - Cluster 22 - Progetto n. 10 - "Modello integrato di monitoraggio su differenti realtà territoriali collegate ad un sistema informativo geografico" (responsabile: Prof. Gilmo Vianello)

Bibliografia

- A.N.B. (Associazione Nazionale Bieticoltori) (1961). Raccolta dati chimico-fisici.
- BONDESAN M., FAVERO V., VIGNALS M.J. (1995). New evidence on the evolution of the Po - delta coastal plain during the Holocene. *Quaternary International*, 29/30, pp. 105-110.
- BUSCAROLI A., GHERARDI M., VIANELLO G. (2000). Investigations about soils and environmental vulnerability applied to the realization of municipal plan instruments. *Bollettino SISS*, Vol. 49 (1-2): pp. 139-160.
- F.A.O. - U.N.E.S.C.O. (1974). Soil map of the world 1:5 000 000. Volume I. Legend. UNESCO, Paris.
- F.A.O. (1998). Soil map of the world 1:5 000 000. Revised Legend. Rome.
- FERRARI C., FIANO E., SANDRI G. (1937). I terreni della provincia di Ferrara. *Ann. Sper. Agraria*, XXVIII.
- GHERARDI M., ROSETTI P., VIANELLO G. (1998). Valutazioni relative al consumo e alle trasformazioni dell'uso dei suoli e alle loro modificazioni chimico-fisiche mediante la procedura del confronto multitemporale. In "Sensibilità e vulnerabilità del suolo: metodi e strumenti d'indagine", P.F. RAISA-CNR e PANDA-MiPAF, pp. 193-212, FrancoAngeli Editore, Milano.
- ISSS-ISRIC-FAO. (1994). World Reference Base for Soil Resources. Draft. Wageningen/Rome.
- ISSS-ISRIC-FAO. (1998). World Reference Base for Soil Resources. Report No. 84. Wageningen/Rome.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA (1975). Carta pedologica: prima raccolta ed analisi dei dati chimico-fisici dei suoli della provincia di Ferrara. In "Metodologia di base per la formazione dei piani comprensoriali", MB T.ped/1.1.6, Bologna.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA (1990). Catalogo regionale dei tipi di suolo della Pianura Emiliano-Romagnola. Servizio Cartografico - Ufficio Pedologico, Bologna.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA (1994). I suoli dell'Emilia-Romagna. Servizio cartografico - Ufficio Pedologico, Bologna.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA (1999). Carta geologica di pianura dell'Emilia-Romagna. Servizio Sistemi Informativi Geografici - Ufficio Geologico, Bologna.
- SOIL SURVEY STAFF (1996). Keys to Soil Taxonomy. Seven edition. United States Department of Agriculture, Washinton D. C.

L'EMERGENZA SUOLO NELLE PIANURE ALLUVIONALI DEL VERSANTE MERIDIONALE DELLA SICILIA

Salvatore Raimondi, Antonino Indorante

Dipartimento di Agronomia, Coltivazioni Erbacee e Pedologia (ACEP)

Viale delle Scienze - 90128 Palermo

Riassunto

I suoli delle aree pianeggianti alluvionali a drenaggio impedito della fascia costiera meridionale della Sicilia, durante i primi decenni del secolo appena trascorso sono stati bonificati e resi produttivi e salubri. Le limitazioni all'uso agricolo del suolo naturale erano rappresentate dal drenaggio e dalla presenza di salinità clorurata e solfatica apportata con le acque di deflusso superficiale provenienti dalle formazioni della serie gessoso solfifera presente nelle aree interne. La ricerca, mettendo a confronto due suoli, rispettivamente a drenaggio libero ed impedito, evidenzia come il surplus dei suoli di quest'area riesce a controllare la salinità, tanto che i suoli a drenaggio libero non presentano problemi di salinità nella parte alta del profilo, mentre vi permane una moderata salinità in profondità. Col tempo i suoli bonificati hanno prodotto molto reddito ed alcuni sono stati inseriti in progetti di trasformazione irrigua ed irrigati. Negli ultimi decenni a causa di una mancata manutenzione delle affossature (in qualche caso riempite da materiale terroso eroso in collina) e con la costruzione di alcune opere ingegneristiche (strade, quartieri urbani), che impediscono il libero deflusso delle acque, questi suoli tendono a riacquistare velocemente le caratteristiche che avevano, con un abbassamento della loro potenzialità agronomica. Il processo di lisciviazione è impedito, quindi si osserva un arricchimento in sali attraverso le acque che ricevono. L'intervento dell'uomo, attraverso la manutenzione dei canali ed il loro ripristino in corrispondenza di alcuni manufatti, è improrogabile se non si vuole perdere per sempre la loro fertilità.

Introduzione

Le aree di pianura siciliane del versante meridionale si distinguono, in relazione all'origine dei substrati, in alluvionali e calcarenitiche marine. Fra quelle alluvionali si ricordano la vallata del Belice, la piana di Licata e quella di Gela rispettivamente legati ai fiumi Belice, Salso e Gela. Altre piccole pianure risultano distribuite nel territorio ed hanno un'importanza limitata per la loro scarsa estensione (Arena, Sosio, Platani,

Grancifone, Palma, Acate). Nell'ambito del primo gruppo l'estensione della pianura non è proporzionale al bacino idrografico, in quanto la pianura più estesa è quella di Gela e non quella di Licata, del bacino del fiume Salso. Questo è giustificato dal fatto che lungo la linea immaginaria Catania-Gela c'è una faglia (detta di Gela) ove c'è stato uno sprofondamento (graben) delle formazioni della serie gessoso solfifera preesistenti (Di Grande e Muzzicato, 1986). Le acque di deflusso superficiale con i loro depositi durante le piene modellano le vallate creando aree più o meno chiuse in cui le acque si accumulano. Tale ostacolo al libero deflusso può essere creato anche dall'azione delle acque del mare con il contributo del vento (dune). Le aree acquitrinose permanenti impediscono l'esercizio dell'attività agricola, in quanto ostacolano tutte le operazioni colturali. Però, è anche vero che proprio in queste aree si riscontrano suoli molto profondi, a giacitura pianeggiante, a granulometria generalmente ben gradata, e con una mineralogia mista. Queste caratteristiche permettono la formazione di falde idriche sottosuperficiali ben alimentate, un'ampia scelta colturale, una facile gestione del suolo e costi di produzione fra i più bassi. Il drenaggio impedito costituisce una pesante limitazione all'uso agricolo. Queste aree acquitrinose nel passato erano anche malsane per la presenza delle zanzare portatrici della malaria. L'uomo, al fine di utilizzare questi suoli a scopi produttivi e per risanare tali aree, ha realizzato le bonifiche agrarie che hanno migliorato le condizioni idrologiche del suolo ed il tenore di vita delle popolazioni residenti.

In Sicilia, un'opera pregevole è stata svolta dai Consorzi di Bonifica sotto la guida dell'Istituto V. E. III per il Bonificamento della Sicilia, costituito nel 1925 e trasformato successivamente in Ente di Sviluppo Agricolo (Fierotti, 1992). L'opera dell'Ente è continuata anche per altre vie come l'assistenza tecnica per gli agricoltori e la trasformazione dell'agricoltura di alcuni comprensori da asciutta in irriguo. Le pianure costiere attualmente sono gestite quasi tutte in irriguo. La nuova agricoltura ha un alto livello produttivo ed i prodotti raggiungono i mercati del nord Italia e del centro Europa.

Oggi, questa opera rischia di essere vanificata per una carenza di manutenzione delle strutture (canali e scoline) e per un'errata realizzazione di alcune opere di urbanizzazione come le strade.

Scopo di questo lavoro è quello di descrivere il processo attualmente in atto che da un lato determina una perdita di fertilità di alcuni suoli delle pianure costiere, proprio dove intensa è stata nel passato l'opera di bonifica, e dall'altro produce l'insorgenza del rischio alluvione che può provocare ingenti danni alle colture, alle strutture produttive e di servizio esistenti, e può mettere in pericolo l'incolumità delle popolazioni (Gela, Licata). Un altro scopo è quello di stimare l'area di diffusione del processo.

Metodologia

Durante alcune escursioni realizzate nella fascia costiera meridionale sia per la Carta dei Suoli della Sicilia (Fierotti e coll., 1988), sia per lo Studio dei Suoli sui substrati della serie gessoso solfifera (Raimondi, 1998) sono state effettuate numerose osservazioni e profili. Queste aree sono state rilevate anche in coincidenza di eventi calamitosi, come le alluvioni, verificatisi durante gli ultimi quindici anni. Inoltre, in questo momento sono in corso delle osservazioni per definire l'andamento della salinità in alcuni suoli di tale fascia. Durante le ultime escursioni (primavera 2001) sono state effettuate delle osservazioni sull'attività vegetativa delle piante erbacee e specificatamente sul frumento, in quanto si presentava assente in ampie aree ricoperte di acqua, nonostante che fosse stato seminato durante l'autunno. Da questo è scaturita un'indagine sulla rete drenante che non riesce ad intercettare e smaltire le acque in eccesso rispetto alla capacità di trattenuta dei suoli. Da un'analisi è scaturito che il processo in atto è molto più grave di quello apparente in quanto sono coinvolti suoli degli ambienti caldo aridi, con acque di deflusso aventi una carica salina notevole. Pertanto sono stati presi in considerazione due suoli rappresentativi di una toposequenza rispettivamente caratterizzati da una identica quota sul livello del mare (circa 10 m) in cui uno riceve ancora le acque di deflusso superficiale dei valloni (aree depresse a drenaggio imperfetto) e l'altro da tanti anni non riceve più tali acque di deflusso e quella meteorica in più rispetto alla capacità di trattenuta del suolo, esce da esso liberamente (a drenaggio libero). Dal loro confronto si evince il processo pedologico in atto a carico della salinità e la sua influenza sulla potenzialità agronomica. Inoltre, attraverso una serie di escursioni di pieno campo è stata cartografata e planimetrata l'area interessata da questo processo.

L'ambiente

Per la caratterizzazione climatica dell'area in esame si considerano i dati riportati nel lavoro "Il clima ed il pedoclima dei suoli siciliani durante il trentaduenno 1951-1982" di S. Raimondi ed altre elaborazioni più recenti. Dal primo si evince che la temperatura media annua in tutta la fascia costiera è superiore a 17 °C e le precipitazioni non superano i 500 mm nelle piane di Gela e Licata, mentre nella valle del Belice sono al di sotto dei 600 mm annui. Dati più recenti (Raimondi, 2001) riportano per la stazione di Gela la temperatura media annua di 19.5 °C, mentre a Licata si passa a

18.1 e quest'ultimo valore si ripete nel tratto terminale della vallata del fiume Belice. La piovosità a Gela si ferma a 351 mm, 430 mm a Licata e di poco inferiore ai 500 mm nella parte terminale della vallata del Belice. Secondo la classificazione climatica di Thornthwaite (1957) l'area rientra nel tipo semiarido terzo mesotermico (DB3'). Il pedoclima a Gela e Licata è caratterizzato dal regime termico marittimo ($19 \leq T^{\circ}\text{C} < 22$) e dal regime di umidità xerico torrico a contatto con l'aridico; mentre nella valle del Belice è termico marittimo intermedio xerico torrico per 25 mm di ritenzione idrica del suolo e xerico per 50, 100, 200 e 300 mm.

A contatto con queste aree pianeggianti, nell'entroterra (Di Grande e Muzzicato, 1986; Catalano, 1986) l'area è delimitata da una serie di rilievi poco elevati generalmente inferiore ai 600 m s.l.m., in cui sono molto diffusi gli affioramenti della serie gessoso solfifera. Nell'ambito di quest'ultima si riscontrano diverse litologie e precisamente: Tripoli (diatomiti più o meno ricchi in carbonati); Calcare di base (carbonato di calcio e di magnesio), talvolta solfifero; Gesso laminare (balatino, si rompe a balate), massivo (alabastrino), selenitico (spicchiolino) e detritico; Halite o salgemma (NaCl) e Kainite ($\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$); Argille del Tortoniano variamente intercalate ai precedenti.

L'uso del suolo prevalente è il seminativo irriguo in cui dominano il carciofeto a Gela, le colture protette nella piana di Licata, il vigneto per uva da vino nella valle del Belice. Dove le condizioni edafiche migliorano, è presente l'agrumeto (vallate del Sosio e del Verdura). Accanto all'uso agricolo troviamo altre attività: aree costruite per civile abitazione (Gela e Licata); attività industriali e commerciali (Gela); una rete viaria consistente che garantisce i collegamenti fra i centri abitati costieri.

Risultati

I suoli dell'area considerata sono quelli rappresentati dai profili Gela 11 (Raimondi, 1998) e Foce Belice 4, rispettivamente a drenaggio imperfetto il primo e libero il secondo.

I suoli del profilo Gela 11 sono a profilo Az-Bng-C. L'origine di questi suoli è legata alle acque salate che scendono dai rilievi della Serie gessoso solfifera dell'entroterra collinare e alla risalita capillare, per le temperature elevate dell'aria che richiamano l'acqua dal mare.

Infatti l'altimetria di queste zone oscilla da pochi metri a circa 10 m s.l.m. L'area assume un aspetto diverso con l'alternarsi delle stagioni.

Durante l'inverno, i suoli sono acquitrinosi e melmosi, mentre durante l'estate formano in superficie una crosta costituita in prevalenza di cloruri e la falda, mediamente, scende a 50 cm dal piano di campagna. La crosta è bianca (10YR 8/2), molto porosa, vescicolare e multistratificata. Il suolo è costituito da due orizzonti aventi granulometria differenziata. Generalmente, l'A è bruno giallastro (10YR 5/6) asciutto, ed umido bruno (10YR 4/3); mentre il Bng è bruno grigiastro molto scuro (2,5Y 3/2) nella zona della frangia capillare e nero (5Y 2,5/2) nello strato permanentemente saturo. Risultano da profondi a molto profondi; porosi in superficie ed asfittici in profondità. La tessitura è franco sabbiosa nell'orizzonte superficiale e limoso argillosa in quello sottostante. Lo scheletro è assente. L'aggregazione è poliedrica subangolare molto debole in superficie e diventa melmosa in profondità. Sono fortemente alcalini in superficie e passano a moderatamente alcalini in profondità; sono ben dotati in calcare. Hanno dotazione molto buona in sostanza organica, da media a scarsa in azoto e un rapporto C/N elevato. Talvolta sono presenti strati superficiali ricchi in sostanza organica. Il drenaggio interno, normale in superficie, diventa impedito in profondità. La conducibilità elettrica dell'estratto 1:1 e 1:5 risulta elevatissima in tutto il profilo (rispettivamente sempre superiore a 10 mS cm^{-1} il primo e sempre superiore a 5 mS cm^{-1} il secondo). La salinità è dovuta prevalentemente alla presenza di cloruro di sodio, mentre i solfati ed i carbonati sono inferiori. La percentuale di gesso determinata in stufa (Vieillefon, 1978) risulta più alta nella crosta ed in profondità. La vegetazione è costituita dall'associazione *Salicornietum* in cui sono presenti la salicornia (*Arthrocnemum fruticosum*) e la sueda (*Suaeda fruticosa*). La genesi di questi suoli è condizionata dal sodio, dai sali, da uno strato profondo impermeabile, e dal clima secco, che dà origine ad un accumulo superficiale. Durante il periodo caldo l'acqua evapora, si forma la crosta, che fessura (piccole fessure); dalle fessure fuoriescono i sali che si accumulano sulla crosta, e successivamente vengono sparsi sulla superficie e all'interno delle fessure dal vento. La superficie da bianca passa a bruno giallastro. Con l'inumidimento autunno-vernino si ha lisciviazione di sali, di argilla ed humus saturati in sodio che si accumulano in profondità (abbassando la permeabilità) e risalita del livello dell'acqua di falda. Nello strato saturo d'acqua si ha la riduzione dei solfati in solfuri, specie di ferro che conferiscono alla massa terrosa il colore nero. Anche gli ossidi di ferro vengono ridotti e determinano una tinta grigio bluastra. Il Bng non ha reazione alcalina per la presenza della falda salata.

Secondo la Soil Taxonomy (1999) sono degli Aquic Natrargid, franco-grossolani su fine, misti, termici marittimi (temperatura media del suolo compresa fra 19 e 22 °C) su depositi alluvionali recenti, serie Gela.

Per la classificazione Francese (Duchaufour, 1977) sono "Suoli salini e alcalini"; nella Carta dei Suoli della Sicilia sono stati inseriti come fase salina dei Typic Xerofluvents e come Suoli alluvionali (Solonetz - solonchak dei Russi).

Per commentare i suoli sulle superfici pianeggianti e ben drenate che non ricevono più le acque dai siti altimetricamente più elevati si considera il profilo Foce Belice 4, in quanto ricade nell'area più piovosa. Le acque che scorrono nei valloni adiacenti hanno una consistente carica salina (dati in corso di elaborazione). Essi sono dei Vertisuoli che in inverno non arrivano a chiudere completamente le crepacciature (Raimondi, 1995). Rientrano nel sottordine Torrerts, cioè fra i Vertisuoli dei climi aridi. Essi si riscontrano nella fascia costiera meridionale dell'isola, che da Trapani arriva a Pachino e risalendo interessa la maggior parte della piana di Catania.

I Torrerts risultano caratterizzati da: profilo del tipo Ap-Bss-C; crepacciature che rimangono aperte per quasi tutto l'anno, quando il suolo rimane incolto; substrato a tessitura fine, spesso alluvionale; giacitura pianeggiante. I suoli del profilo Foce Belice 4 risultano a tessitura argillosa con un tasso di argilla che oscilla dal 48% in superficie al 59 % in profondità. Hanno struttura poliedrica subangolare ed angolare in superficie che passa ad angolare e prismatica in profondità. Hanno facce di scivolamento abbondanti in profondità. La reazione lungo il profilo oscilla da moderatamente alcalina (pH 8,1) a fortemente alcalina (pH 8,6), a moderatamente alcalina (pH 8,3); sono ben dotati in calcare. La salinità è trascurabile in superficie ($EC_e < 1,5 \text{ mS kg}^{-1}$), mentre in profondità passa a moderata (EC_e varia fra 2-3,5 mS kg^{-1}). Il contenuto in cloruro di sodio oscilla dallo 0,3 a 0,9 g kg^{-1} . La dotazione in sostanza organica è buona. Il rapporto carbonio azoto è ottimale. Il colore varia dall'oliva pallido (5Y 6/3) asciutto, all'oliva (5Y 4/3). L'altimetria è di 11 m sul livello del mare circa. Le crepacciature osservate durante l'inverno risultano sia allungate che a "cratere" e conservano tale aspetto durante il periodo estivo.

Secondo la Soil Taxonomy sono dei Chromic Haplotorrerts, fine, misti, termici marittimi (temperatura media del suolo compresa fra 19 e 22 °C) su depositi alluvionali recenti, serie Belice.

Per la classificazione Francese (Duchaufour 1977) sono "Vertisuoli"; nella Carta dei Suoli della Sicilia l'area in cui ricadono è stata inserita come Suoli alluvionali con inclusioni di Vertisuoli in cui è presente una fase salina.

Nella fascia costiera quindi se viene garantito il drenaggio, il processo a carico dei sali più solubili è il loro allontanamento dal suolo (li-

sciviazione), in funzione del surplus idrico del suolo. Quest'ultimo aumenta passando dal settore sud orientale della Sicilia a quello sud occidentale. L'allontanamento procede dall'alto verso il basso, tanto che i suoli del profilo Foce Belice 4 presentano ancora una certa salinità, che può interferire con l'attività vegetativa delle piante, soltanto in profondità. Infatti, il surplus dei suoli delle aree pianeggianti e ben drenate riesce a controllare la salinità del suolo e costituisce un buon indicatore di qualità dei suoli negli ambienti aridi e semiaridi (Raimondi, 2000).

La maggior parte delle aree a drenaggio impedito della fascia meridionale della Sicilia sono state bonificate mediante un sistema di fossi e scoline. Alcune di queste opere sono state costruite in cemento armato. Dopo l'allontanamento dell'acqua i suoli sono stati coltivati e durante tutti questi anni hanno perso una parte dei sali solubili per lisciviazione). Molte aree sono state inserite in progetti di trasformazione da asciutto in irriguo ed attualmente è presente una consistente rete idrica consortile. In altre aree gli agricoltori utilizzano l'acqua del fiume per l'irrigazione (piana di Licata).

Nell'ultimo decennio sono state costruite alcune strade, strutture al servizio del complesso industriale di Gela e interi quartieri delle città di Gela e Licata. Queste strutture attualmente interferiscono con l'efficienza della rete drenante. Durante l'inverno ed in concomitanza di eventi piovosi consistenti, molte aree di questi territori diventano degli acquitrini. Inoltre in alcune zone, le opere di manutenzione della rete drenante sono trascurate ed in questo momento lungo i canali crescono piante o addirittura sono stati interrati dal materiale terroso eroso nei suoli del sistema collinare interno. Le opere di drenaggio non garantiscono più l'allontanamento dell'acqua, anzi, bloccando il deflusso favoriscono il processo di accumulo dei sali solubili (arricchimento).

Le colture del carciofo e del frumento subiscono dei danni nelle aree in cui l'acqua di falda interessa la zona esplorata dall'apparato radicale o dove raggiunge la superficie e vi permane per un periodo più o meno lungo. In questi territori si registra una doppia limitazione o il periodo secco del suolo lungo (Raimondi *et al.*, 1997) o un'eccessiva presenza di acqua. La vite, generalmente su questi suoli ha un ciclo biologico e produttivo più breve (10-12 anni) ed in alcune aree registra casi di moria. La presenza dell'acqua rende anche più freddi questi terreni e le piante ritardano la chiusura del ciclo produttivo.

Dalla stima delle aree interessate da questo processo è emerso che la superficie ammonta a non meno di 6000 ettari.

Conclusioni

Nelle pianure alluvionali a drenaggio imperfetto, evolvono suoli salini ed alcalini come, quelli della serie Gela. La salinità è più elevata negli orizzonti superficiali ed è di natura prevalentemente clorurata e solfatica (la solubilità del cloruro di sodio è pari a 264 g/l). Nella crosta superficiale c'è anche una discreta presenza di fosfato. Sono asstrutturati, con un'elevata presenza di sodio sul complesso di scambio. L'E.S.P. (percentuale di sodio scambiabile) è molto alto. Nell'orizzonte superficiale è mediamente del 26%, mentre sale a circa il 30% in profondità. La falda durante l'inverno è superficiale e permette soltanto la vegetazione costituita da piante alofite.

I suoli a drenaggio libero, come quelli del profilo Foce Belice 4, invece tendono a perdere i sali solubili.

In conclusione si può affermare che nelle aree bonificate della fascia costiera meridionale della Sicilia con il passare del tempo, se si garantisce il deflusso delle acque in eccesso, il processo pedogenetico che si instaura è indirizzato ad una diminuzione della salinità (lisciviazione). I suoli delle aree pianeggianti a drenaggio libero con le loro caratteristiche ne sono una testimonianza.

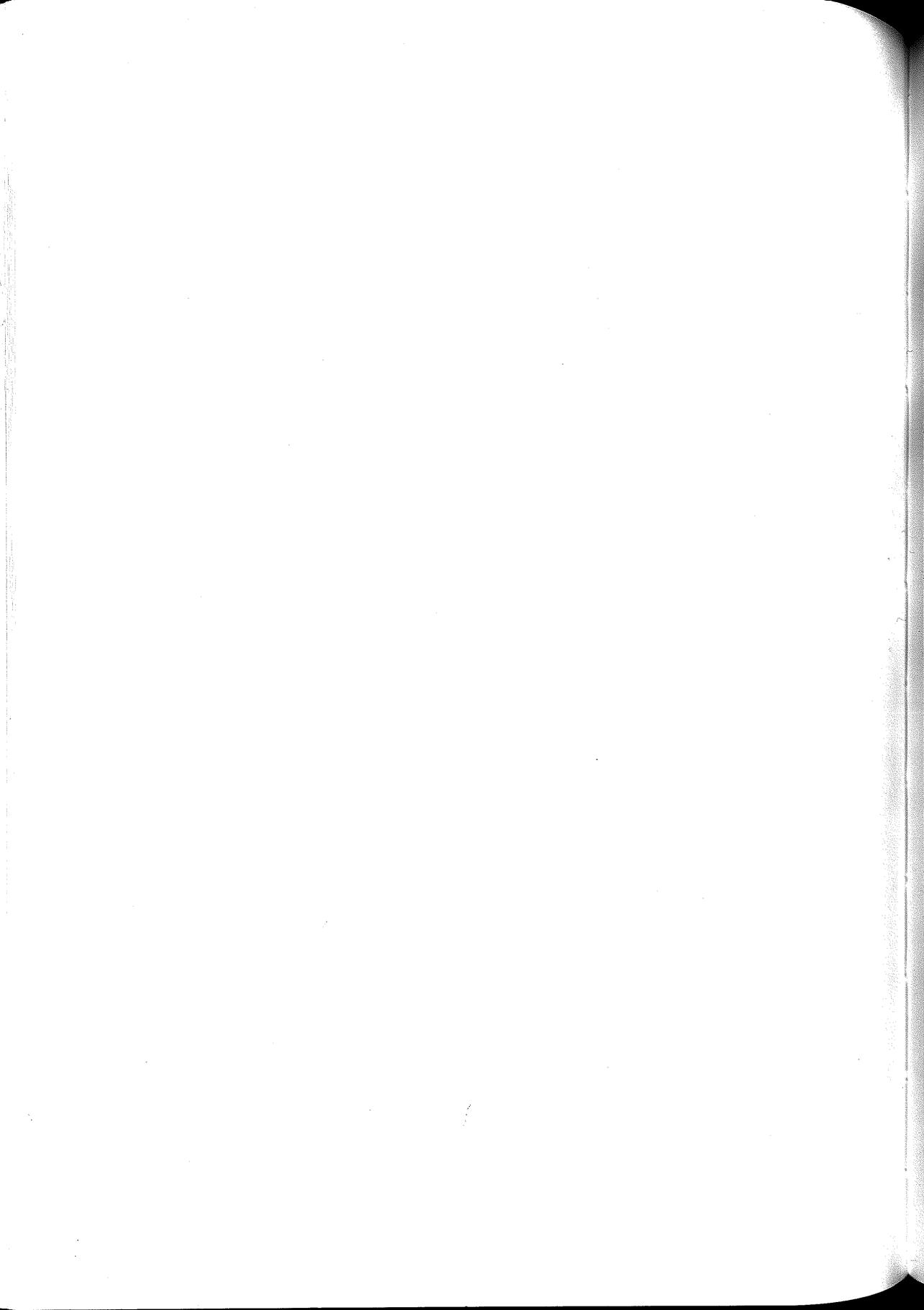
Il surplus del bilancio idrico dei suoli nelle aree aride e semiaride costituisce un fattore di primaria importanza per il controllo della salinità pedologica e costituisce una qualità dei suoli (Raimondi, 2000). Se lo smaltimento delle acque è impedito i sali si accumulano (arricchimento). Tale accumulo diventa consistente velocemente nelle aree che ricevono acque provenienti dai substrati della serie gessoso solfifera come le piane di Gela, di Licata e del tratto terminale della vallata del fiume Belice. Nelle aree bonificate in cui le opere di drenaggio risultano non funzionali, i suoli sono vulnerabili. Essi rischiano di ritornare brevemente nelle identiche condizioni di partenza, con impaludamento e salinizzazione. Quest'ultimo processo, in questi territori, è velocissimo, mentre lento è stato quello di lisciviazione. Durante gli eventi piovosi più intensi e di breve durata, il rischio alluvione è alto ed è in pericolo l'incolumità di alcuni centri abitati, in quanto possono essere invase dalle acque di deflusso superficiale.

Pertanto, è urgente l'intervento degli Enti di competenza per rendere efficiente la rete drenante e per realizzare canali funzionali sotto le strade. La superficie a rischio è consistente (6.000 ettari) e un'eventuale alluvione potrebbe incidere negativamente sulla economia della zona interessata.

In questi ultimi anni, gli agricoltori per mantenere il livello produttivo dei suoli hanno apportato materiale terroso a tessitura tendenzialmente franco sabbiosa o più fine, per innalzare il piano di campagna con ottimi risultati produttivi.

Bibliografia

- CATALANO R. (1986). Le evaporiti messiniane. Loro ruolo nell'evoluzione geologica della Sicilia. Atti Simposio Internazionale sul carsimo nelle Evaporiti. Il carsimo nelle evaporiti in Sicilia. Le Grotte d'Italia, 4, Bologna, pp. 109-122.
- Di GRANDE A., MUZZICATO C. (1986). Il Neogene "alloctono" (falda di Gela) ed il Pleistocene dei dintorni di monte della Guardia (Gela). *Accademia Gioenia*, Catania, pp. 131-152.
- FIEROTTI G. E COLL. (1988). Carta dei suoli della Sicilia. *Assessorato Territorio Ambiente Regione Sicilia*.
- FIEROTTI M. (1992). 60 anni di Agricoltura in Sicilia. L'ESA fra passato e futuro. *Sviluppo Agricolo anno XXVI*. 11-12 Novembre-Dicembre.
- RAIMONDI S. (1993). Il clima ed il pedoclima dei suoli siciliani durante il trentaduenno 1951-1982. *Quaderni di Agronomia 13*. Istituto di Agronomia Generale e Coltivazioni Erbacee di Palermo, Italia, pp. 24-51.
- RAIMONDI S. (1995). I Torrerts siciliani: caratteristiche morfologiche e distribuzione geografica. *Atti del XII convegno SICA*. Patron editore, Bologna, pp. 127-136.
- RAIMONDI S., POMA I, FREANDA A. S. (1997). Il pedoclima come fattore di sensibilità ambientale: esempio di metodologia applicata all'agro di Sparacia-Cammarata (AG). *Rivista di Agronomia XXXI*, n. 3, pp. 726-733.
- RAIMONDI S. (1998). Gli Aridisuoli siciliani: caratteristiche morfologiche e distribuzione geografica. *Atti del XVI convegno SICA*. SBR edizioni, Bologna, pp. 131-138.
- RAIMONDI S. (2000). La valutazione del surplus come qualità dei suoli negli ambienti aridi e semiaridi: esempio nell'agro di Gela (CL). *Atti del convegno "Indicatori per la qualità del suolo, prospettive ed applicazioni"*. Organizzato da: Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL e dalla Società Italiana della Scienza del Suolo. Roma 29 marzo, pp. 381-388.
- RAIMONDI S. (2001). L'influenza del clima nelle aree irrigue siciliane. Dipartimento di Agronomia, *Coltivazioni Erbacee e Pedologia*, Palermo, pp. 18.
- SOIL SURVEY STAFF (1999). Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Second Edition. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. *Agriculture Handbook N. 436*, pp. 869.
- THORNTHWAITE C. W., MATHER J. R. (1957). Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Climatology*, X,3. Centerton N.Y. USA, pp. 85.
- VIEILLEFON J. 1978. Contribution à lamélioration de l'étude analytique des sols gypseux. *Cahier ORSTOM, Série pédologie, XVII*, n. 3, pp. 195-223.



L'EMERGENZA SUOLO SULLE SCIARE (FORMAZIONE CALCARENITICA PLEISTOCENICA) IN AGRO DI MARSALA E MAZARA DEL VALLO (TP)

Salvatore Raimondi, Antonino Indorante, Vincenzo Paladino

Dipartimento di Agronomia, Coltivazioni Erbacee e Pedologia (ACEP)
Viale delle Scienze - 90128 Palermo

Riassunto

I marsalesi ed i mazaresi rappresentano due comunità fra le più attive nel settore primario delle colture intensive (serre, colture ortive di pieno campo, frutteti e vigneti ad uva da vino, vivaismo). L'agricoltura è molto redditizia per l'ubicazione geografica del territorio particolarmente favorevole, per i suoli ad alta potenzialità agronomica e per l'elevata disponibilità di acqua per l'irrigazione. L'insufficiente disponibilità di suoli agricoli, in relazione alla popolazione attiva, rappresenta una grande limitazione per lo sviluppo rurale. Pertanto, al fine di aumentare la disponibilità di suoli da coltivare, hanno indirizzato la loro attenzione verso la "creazione del suolo", ottenuta attraverso la trasformazione delle sciare. Con questo termine si indicano territori aridi in cui domina la roccia affiorante calcarenitica. I suoli presenti sono classificati come: i più sottili Lithic Xerorthents, sono i più diffusi; mentre quelli più profondi hanno una distribuzione oasistica e si inseriscono fra i Lithic Rhodoxeralfs, presenti nelle doline. L'uso agricolo da sempre è il pascolo. Nella seconda metà del secolo scorso sono state aperte numerose cave per l'estrazione di concii di tufo per l'attività edilizia. I suoli antropici derivati sono caratterizzati da una granulometria grossolana, da un basso contenuto in sostanza organica, da una bassa capacità a trattenere acqua utile per le piante, da un'elevata dotazione in calcare attivo che determina clorosi ferrica, da un'erosione interna notevole per la macroporosità, da un'elevata suscettività all'erosione eolica, da un'elevata richiesta di mezzi tecnici come concime, sostanza organica, acqua per l'irrigazione e chelati. Questi suoli, molto sensibili, richiedono una gestione agronomica oculata, in quanto possono facilmente perdere la loro potenzialità agronomica e queste superfici rischiano di ritornare nelle condizioni precedenti la trasformazione. Inoltre, il ricorso massiccio ai fertilizzanti ed ai fitofarmaci nell'attività agricola e l'uso incontrollato delle cave come discarica per i rifiuti solidi urbani, possono determinare l'inquinamento delle falde idriche, la cui acqua è utilizzata per fini irrigui e potabile.

La superficie trasformata ammonta a circa 4.308 ha, su una superficie totale considerata di circa 9.445 ha. Le cave coprono un'area di 718 ha, di cui quelle attualmente attive interessano un'estensione di circa 100 ha. Il recupero delle cave di concii di tufo all'attività agricola, mediante l'apporto di materiale terroso potrebbe, da un lato diminuire i rischi

ambientali di inquinamento delle falde e dall'altro determinare un abbassamento della pressione antropica indirizzata alla trasformazione delle sciare ancora integre e si potrebbero conservare delle aree per il recupero della vegetazione naturale, in cui oltre alla palma nana (*Chamaerops humilis L.*), si annoverava anche la quercia spinosa (*Quercus calliprinos*).

Premessa

Il suolo costituisce una risorsa di enorme valore per l'uomo in quanto è la sede delle piante agrarie e forestali e pertanto la sua conservazione rappresenta un obbligo di primaria importanza. A partire dal dopoguerra fino ad oggi, in conseguenza dello sviluppo economico verificatosi, molti suoli sono stati trasformati per usi extragricoli in seguito soprattutto all'espansione urbanistica, industriale, commerciale, all'attività estrattiva, allo stoccaggio dei rifiuti solidi urbani, alle reti viarie, elettriche e idriche (Aru et al., 1983; Fierotti, 1988; Raimondi et al., 1995). "Questa espansione ha interessato principalmente i suoli di più alto valore agricolo provocando, spesso, perdite notevoli (per erosione, dissesti, rottura di equilibri naturali) generalmente espresse come: danni ingenti alle attività economiche, tragedie umane e morte di suoli (desertificazione)" (Raimondi, 1995). Tutto questo ha avuto come conseguenza la migrazione di operatori agricoli verso i comuni limitrofi, la spinta verso l'uso di suoli a bassa potenzialità agronomica, mediante il terrazzamento di vaste aree (ad esempio i terrazzamenti dei versanti montani adiacenti la conca d'oro di Palermo), o il miglioramento di territori con roccia affiorante: In quest'ultimo caso, sono stati utilizzati potenti mezzi meccanici (ripper), con i quali veniva rotta la roccia, successivamente triturrata con martelli meccanici (frangipietre) e mescolata con il poco suolo presente. Il risultato era un substrato adatto a colture ad alto reddito come ortive, agrumeti e vigneti in coltura anticipata che riuscivano a garantire redditi tali da compensare le ingenti somme necessarie ad effettuare queste trasformazioni.

Un esempio territoriale in cui quest'ultimo processo è stato molto spinto, è quello di Marsala e Mazara del Vallo (Trapani), dove la presenza di una popolazione molto attiva dedita tradizionalmente alla coltivazione della vite e delle ortive unitamente a condizioni climatiche e pedoclimatiche favorevoli e alla presenza di una notevole falda idrica, ha portato alla messa a coltura di nuovi territori sulle caratteristiche formazioni di roccia affiorante calcarenitica dette "sciare" (dall'arabo "terre aride"). Altri esempi di "creazione del suolo" si hanno nel nisseño (Raimondi, 1999) nel ragusano, nel siracusano e nel catanese.

Lo scopo del presente lavoro è quello di quantizzare l'area delle sciare interessata dalla trasformazione, di illustrare i risultati in termini di nuovi suoli ottenuti da tale attività, di indicare i rischi ambientali conseguenti da questo nuovo uso del territorio, in assenza di una tecnica agronomica ecocompatibile, ed infine di suggerire una migliore utilizzazione di alcuni territori per diminuire la pressione indirizzata alla richiesta di nuovi suoli da coltivare.

L'ambiente

I territori comunali di Marsala e Mazara del Vallo risultano estesi 24.164 ha il primo e 27.590 ha il secondo. Ricadono nella fascia costiera sud occidentale della Sicilia. L'area oggetto di studio comprende quella zona in cui si ha la più estesa formazione di sciare ed è delimitata ad ovest dalla strada statale N. 115 Marsala - Salemi e ad est dal fiume Mazaro. A nord ed a sud è delimitata da due vaste aree pianeggianti, da sempre utilizzate per le colture agricole, poste rispettivamente a 35 e a 140 m s.l.m. circa. Essa ha una superficie di 9.445 ha ed una morfologia caratterizzata generalmente da un leggero pendio e da una esposizione a sud, sud-ovest. Soltanto in alcuni tratti il pendio diventa più forte, mentre in altri punti si ha un'interruzione con spianate e doline ad andamento ovest-est, ovest-sud est.

Il clima (Raimondi e Lupo, 1998) è caratterizzato da una temperatura media annua di poco superiore ai 18 °C e da una piovosità inferiore ai 500 mm, secondo Thornthwaite è semiarido terzo mesotermico (DB₃).

Il pedoclima è caratterizzato dal regime di temperatura termico marittimo ($19 \leq$ Temperatura media annua del suolo (°C) < 22) e dal regime di umidità intermedio xerico torrico per AWC del suolo di 25 e 50 mm, mentre è xerico per i valori più alti.

Secondo la Carta dei Suoli della Sicilia (Fierotti e coll., 1988), l'area ricade nell'associazione 2: Rock outcrop, Lithic Xerorthents, Lithic Rhodoxeralfs. Le sciare sono delle formazioni tufaceo-calcaree costituite principalmente da roccia affiorante alternata ad aree con un sottile strato di suolo. Questo, può diventare più consistente in presenza di fratture o concavità (doline) che permettono l'accumulo di materiale terroso dal tipico colore rossastro, senza però essere mai sufficientemente profondo ed esteso per la coltivazione. Questi suoli da sempre sono incolti e l'unica forma di utilizzazione è quella di sfruttare il magro pascolo che si ottiene nel periodo vernino-primaverile per l'alimentazione di ovini e caprini. La vegetazione naturale sulle sciare secondo il Pecora (1974) tende ad assumere l'aspetto del-

la gariga mediterranea, ovvero di una forma di steppa dominata da arbusti e cespugli xerofili fra i quali è molto diffusa una graminacea molto resistente: la stipa (*Stipa tenacissima* L.). Una pianta caratteristica dei paesaggi brulli delle sciare è senz'altro la palma nana (*Chamaerops humilis* L.), la cui presenza, rilevabile facilmente anche da un occhio inesperto, rappresenta un indice dell'integrità del territorio. Un'altra arbustiva tipica è il capperone (*Capparis spinosa* L.), inoltre troviamo il timo (*Thimus vulgaris* L.), la ferula (*Ferula ferulago* L.) e numerose altre specie.

Dal punto di vista litologico secondo Trevisan e Tongiorgi (1976) le sciare sono delle rocce sedimentarie di ambiente marino in cui il carbonato di calcio (CaCO_3) è il componente principale (95 % ed oltre). La loro formazione si fa risalire al quaternario superiore e precisamente alla serie Emiliano II – Siciliano (Bommarito et al., 1988). Da tali Autori viene definita calcarenite fossilifera variamente cementata, con lenti sabbioso argillose o più comunemente "Calcarenite di Marsala". L'origine marina delle sciare è resa evidente dalla presenza in esse di fossili di fauna marina. Il crostone superficiale, formatosi verosimilmente dopo che il mare si è ritirato, è dovuto ad una rideposizione del carbonato di calcio solubilizzato dalle acque circolanti. Tale crostone in alcuni casi è molto spesso, mentre in altri casi si riscontra una semplice crosta a contatto con la calcarenite. La grana è di tipo oolitico cioè ad uova di pesce, per cui questi calcari presentano in genere una notevole porosità ed una buona permeabilità. Ma si riscontrano anche dei banchi con strati a grana molto più fine e più compatta con bassissima permeabilità. Il loro peso specifico pertanto è assai variabile, da 1,3 fino a 1,9.

La presenza di un crostone calcareo profondamente fessurato permette l'infiltrazione delle acque piovane senza quasi creare fenomeni di scorrimento superficiale, tant'è che manca una idrografia superficiale. L'acqua percola facilmente attraverso i grossi pori del banco tufaceo permeabile, fin quando non incontra uno strato impermeabile, posto ad una profondità compresa fra gli 8 e i 60 m, di argille tortoniane che vanno a costituire il letto della falda.

La trasformazione delle sciare, iniziata durante i primi anni settanta, avviene con una tecnica che qui è brevemente descritta nelle sue fasi principali. La prima fase, consiste nella rottura della roccia mediante due passaggi perpendicolari di un ripper trainato da trattrici di grossa potenza (300 – 400 Cv) capaci di arrivare ad una profondità di 100-120 cm, le grosse pietre vengono poi tolte con il passaggio di una pala caricatrice a fondo grigliato e sono generalmente sistemate ai limiti dell'appezzamento per delimitare i confini di proprietà. In una fase successiva le pietre minute rimaste vengono triturate mediante due passaggi di un frangipietre trainato da un

trattore, intercalati da un'aratura per riportare in superficie altre pietre. In questa maniera si ottiene un suolo antropico costituito da materiale calcareo mescolato alla massa terrosa del suolo presente al momento dell'intervento. Il suolo viene poi ammendato con sostanza organica costituita per lo più da vinacce esauste di distilleria.

Nell'area di studio, la presenza di una falda a profondità non rilevante dotata di acque di buona qualità ed il clima favorevole hanno permesso lo sviluppo di un'agricoltura molto redditizia. Accanto alla coltivazione della vite da vino, che costituisce da sempre la coltura più diffusa nella zona, si è avuto lo sviluppo di colture intensive rappresentate da ortive, floricole ed ornamentali in coltura protetta e dall'attività vivaistica ed agrumicola. Come conseguenza di questa florida attività si è avuto un notevole sviluppo dell'industria di trasformazione, rappresentata principalmente da cantine e da distillerie, e di commercializzazione dei prodotti agricoli.

In quest'area un'altra attività molto sviluppata è quella estrattiva di concii di tufo per l'attività edilizia. Essa ha avuto uno stimolo notevole in seguito alla rapida urbanizzazione registratasi a partire dall'inizio degli anni cinquanta. Dalle numerose cave che si sono aperte sulle sciare molto attive anche oggi, vengono ricavati concii di tufo utilizzati in tutta la Sicilia occidentale. Molte di queste cave, sparse sulle sciare, oggi sono state abbandonate, mentre quelle ancora attive si trovano per lo più in territorio di Marsala nella zona di Santo Padre delle Perriere. Le zone a cava sono caratterizzate dalla presenza di ampi scavi, profondi anche 40 - 60 m, con attorno delle aree di deposito del materiale di scarto. Le cave abbandonate vengono spesso utilizzate come discariche abusive per i rifiuti solidi urbani, mentre in pochi casi vengono recuperate utilizzandole per l'impianto di agrumeti, vigneti o, in quelle più umide, per la produzione di funghi.

Un altro settore economico molto sviluppato è quello della pesca, soprattutto a Mazara del Vallo che è il primo porto in Italia per la produzione ittica di altura con 400.000 tonnellate di pesce annuo e 5.000 addetti.

Materiali e metodi

Al fine di quantizzare la superficie trasformata è stato effettuato uno studio sull'uso del suolo nell'anno 1968, utilizzando la fotointerpretazione. Nell'aprile del 2001 mediante rilevamento in situ, sono state quantizzate le superfici messe a coltura dopo la trasformazione e quelle occupate dalle cave. La base cartografica utilizzata è a scala 1:25.000. Contemporaneamente è

stata impostata un'indagine bibliografica sui suoli ottenuti dalla trasformazione delle sciare ed è stato preso in considerazione uno studio svolto precedentemente in questa zona (Lombardo e Raimondi, 1991). I suoli antropici studiati possono essere suddivisi in due gruppi: uno comprendente quelli derivati dalla triturazione della calcarenite più o meno cementata e mescolata a pochissima terra rossa, biancastri in superficie, poco colorati in profondità ed a tessitura nettamente sabbiosa; il secondo costituito da substrati brunastri e rossastri sia in superficie sia in profondità, con una frazione argillosa attorno al 10 % e derivanti dalla mescolanza di una massa terrosa rossastra con il materiale proveniente dalla triturazione della calcarenite.

Risultati

Dall'attività di ricerca è stata elaborata una carta tematica sull'uso attuale del territorio, in cui si rileva che la superficie trasformata da sciare a suolo agricolo nell'intervallo considerato ammonta a 4.308 ha su una superficie di 9.445 ha investigati, con una incidenza percentuale del 45,6 %. La superficie invece ancora a sciare ammonta a 3.675 ha (39,9 % della superficie investigata). I seminativi e gli arboreti preesistenti ammontano a 744 ha (7,9 % della superficie totale). La superficie a sciare è formata da un paesaggio, costituito da roccia affiorante in cui qua e là, dove vi sono delle piccole concavità, è possibile l'accumulo di un sottile strato di materiale terroso che dà origine ad un suolo classificato come Lithic Xerorthents. In questi suoli si sviluppa una vegetazione xerofila. Dove, invece, il substrato calcareo crea delle depressioni profonde (doline) si ha un processo di accumulo che dà origine ai Lithic Rhodoxeralfs.

I Lithic Xerorthents che si riscontrano sono caratterizzati dalla presenza di un solo orizzonte superficiale del tipo A, con tessitura franca, reazione neutra, modesta capacità di ritenzione idrica, scarsa dotazione in calcare totale e attivo; ottima risulta invece la dotazione di azoto totale e di sostanza organica, mentre sono poveri di anidride fosforica totale e assimilabile e di potassio assimilabile.

I Lithic Rhodoxeralfs rispetto ai precedenti hanno un profilo profondo dai 60 ai 100 cm e vi si distinguono almeno due orizzonti in cui la tessitura ha un contenuto in argilla intorno al 45 % nell'orizzonte A che passa all'85 % nel Bt. La capacità di campo (Cc) ed il punto di appassimento (Pa) mettono in evidenza una modesta capacità di ritenzione dell'acqua, mentre la reazione è sub-alcalina in acqua e passa a neutra in KCl; la dotazione di calcare totale ed attivo risulta media nei primi due orizzonti e di-

venta scarsa nel terzo. L'analisi dell'azoto totale e della sostanza organica mettono in risalto una certa povertà di queste due componenti nei primi orizzonti che diventa ancora più accentuata in quello più profondo. Questo tipo di suolo risulta molto povero di anidride fosforica totale e scarsamente dotato in anidride fosforica assimilabile, nonché poverissimo di ossido di potassio assimilabile. La Terra Rossa evolve alla stessa maniera nelle doline di accumulo, nelle fratture della roccia calcarea ed al di sotto del crostone calcareo da cui viene riportata in superficie con il dissodamento. Litosuoli e Terre rosse, mescolandosi in varia misura con il calcare finemente macinato, danno origine ai due tipi di substrati descritti.

I suoli antropici che si ottengono dalle sciare possono essere distinti in due gruppi principali in funzione del loro colore, del rapporto calcarenite-terra rossa e della percentuale di argilla in essi presente. Uno comprende i suoli ottenuti dalla triturazione della calcarenite mescolata a pochissima terra rossa. Questi sono caratterizzati da una colorazione biancastra sia in superficie che in profondità, in cui la percentuale di sabbia, costituita da calcare finemente macinato rappresenta quasi il 100 %, sono totalmente privi di struttura, molto porosi e a drenaggio rapido.

I suoli del secondo gruppo sono di colore bruno rossastro, sia in superficie che in profondità, con una frazione argillosa attorno al 10 %, sono leggermente strutturati, meno porosi, specialmente in profondità e con drenaggio più lento.

Per lo studio di questi suoli sono stati presi in considerazione 12 profili. La campionatura è stata effettuata distinguendo tre strati: uno superficiale, mediamente profondo 20 cm, continuamente rimaneggiato dalle lavorazioni; uno intermedio, da 20 a 50 cm circa di profondità, a struttura più grossolana, che rappresentava lo strato di accumulo delle particelle fini colloidali, in taluni casi meno poroso; infine uno profondo, che arrivava mediamente a 70 cm (90 cm in alcuni casi), costituito in prevalenza da materiale scheletrico molto grossolano, proveniente dalla frantumazione della roccia tufacea.

Nello strato superficiale i valori dell'argilla, sono oscillati, da un massimo di 26,7 % ad un minimo di 0 % con una media generale di 8,3 % ed una deviazione standard (Ds) di 7,5; il limo è variato da un massimo del 18,1 % ad un minimo di 0,1 %; mentre per la sabbia sono stati riscontrati valori fra 99,9 % e il 59,8 %. Soltanto un profilo, pertanto, poteva definirsi franco-argilloso-sabbioso, mentre tutti gli altri andavano dal sabbioso al sabbioso-franco o al franco-sabbioso. I valori dell'umidità a pF 2,5 sono oscillati da un massimo di 21,9 % ad un minimo di 3,1 % con una media di 8,8 % ed una Ds di 5,8; mentre a pF 4,2 detti valori andavano da un massimo di 12,5 % ad

un minimo di 1,9 %, con una media di 4,6 % ed una Ds di 3,2. Il calcare totale presentava un campo di variazione compreso fra un massimo di 89,99 % ed un minimo di 37,3 %, mentre per il calcare attivo si aveva un massimo di 15,25% ed un minimo di 10,12 % con valore medio di 12,6 % e Ds di 1,5. Per la sostanza organica, sono stati riscontrati valori massimi di 3,62 % e minimi di 0,26 % con una media di 1,3 % e una Ds di 0,9. Per quanto riguarda i tre principali elementi della fertilità l'azoto totale presentava valori massimi di 4,37 ‰, e minimi di 0,11 ‰; la P_2O_5 totale, valori massimi di 1,12 ‰ e minimi di 0,20 ‰. La P_2O_5 assimilabile, oscillava da un massimo di 105 ppm ad un minimo di 23 ppm con una media di 71,8 ppm e Ds di 26,1. Per il K_2O assimilabile, espresso in mg/100 g di terra, sono stati riscontrati valori massimi di 15,71 e minimi di 0,13 con una media di 3,6 e Ds di 5,2.

Lo strato intermedio presentava uno spessore mediamente compreso fra 22 e 52 cm, le tre frazioni granulometriche della tessitura erano simili a quelle dello strato superficiale, lo stesso può dirsi per quanto riguarda i valori dell'umidità a pF 2,5 e 4,2 ed i valori del calcare totale ed attivo. La sostanza organica, invece mostrava una leggera flessione rispetto ai valori riscontrati nello strato superficiale. Per quanto attiene l'azoto totale, il fosforo ed il potassio, la dotazione dei primi due restava pressoché costante, rispetto a quello superficiale, il potassio subiva invece una flessione piuttosto accentuata passando dal valore medio di mg 3,6/100 g a quello di mg 1,83/100 g nello strato intermedio.

Dei 12 profili presi in esame soltanto per sei di essi si è potuto mettere in evidenza un terzo strato, con profondità media da 40 a 70 cm. In questo, delle tre frazioni della tessitura si è riscontrato un certo aumento delle due componenti più fini, argilla e limo, a danno della sabbia che da una media di 83,7 % del primo strato e di 78,5 % del secondo strato è passata a 71,8 % nel terzo. Differenze degne di rilievo non sono state riscontrate per i due valori di pF e per i due valori del calcare. Estremamente scarse sono risultate le dotazioni dei tre maggiori elementi della fertilità: N, P_2O_5 e K_2O .

Il pH è risultato in tutti e tre gli strati, sempre su valori di subalcalinità ed in qualche caso di neutralità, come sempre molto bassi sono risultati i valori del rapporto C/N e della conducibilità elettrica (E.C.).

Anche la capacità di scambio cationico (C.S.C.) ha fornito valori sempre molto bassi (circa meq 8-10/100 g).

L'aspetto negativo che l'esame dei risultati mette in risalto è rappresentato dall'incoerenza di questi substrati, alcuni dei quali contengono quasi il 100 % di sabbia costituita da carbonato di calcio polverizzato e dalla conseguente scarsissima capacità di ritenzione idrica. Infatti, considerando i

spreco di acqua nella pratica irrigua. Inoltre sono molto suscettibili all'erosione idrica interna ed a quella eolica. Durante le giornate in cui soffia lo scirocco le particelle terrose vengono sollevate, creando polveroni che diminuiscono la visibilità e impediscono la raccolta della fragola in quanto i frutti accumulano polvere, provocandone un deprezzamento. A lungo andare in assenza di un'attenta gestione si potrebbe arrivare ad una diminuzione dello spessore del suolo "creato" e ritornare al paesaggio delle sciare. Il vento inoltre battendo i frutti degli agrumi fra di loro e sui rami provoca danni ed una diminuzione della redditività economica. In questi suoli è necessaria una gestione oculata con somministrazione di sostanza organica che nella zona, data la quasi assenza di allevamenti, è costituita principalmente dalle vinacce ottenute dalla lavorazione delle uve. Attualmente per la notevole richiesta c'è un fiorente mercato. La sostanza organica anche se somministrata in quantità massiccia modifica minimamente la dotazione umica dei substrati perché sono favoriti i processi di mineralizzazione.

Altra via per apportare sostanza organica è il sovescio. Infine la carenza naturale di elementi minerali e la coltivazione di tipo intensivo portano ad un uso massiccio di fertilizzanti e fitofarmaci, che data la natura sciolta della massa terrosa, vengono dilavati facilmente creando il rischio di inquinamento della falda freatica.

L'eccessivo emungimento dell'acqua di falda tende ad abbassare il livello e ad aumentare il contenuto in sali solubili, problema già presente nella zona in prossimità del mare.

Un altro pericolo di inquinamento dell'ambiente delle sciare è costituito dall'utilizzazione selvaggia delle cave di conci di tufo abbandonate come discariche di rifiuti che possono inquinare la falda rendendo pericolosa l'utilizzazione dell'acqua, attualmente destinata anche per fini potabili.

In conclusione, la trasformazione delle sciare può essere considerato un processo positivo solo se alla base c'è un intervento di programmazione territoriale che permetta una più attenta gestione ecocompatibile di questi suoli. Fra gli interventi di tecnica agronomica auspicabili si annoverano:

- la creazione di frangiventi (attualmente vi sono esempi molto funzionali di cipressi e di canne);
- la sistemazione delle aree in pendio con ciclionamenti e terrazzamenti;
- la somministrazione di ammendanti organici per migliorare la resistenza all'erosione idrica interna ed eolica, e per aumentare la capacità di ritenzione idrica;

- la diminuzione delle somministrazioni di composti chimici di sintesi mediante lo sviluppo di pratiche agricole sostenibili per l'ambiente;

- un maggiore controllo del territorio per evitare l'utilizzo abusivo come discarica delle cave;

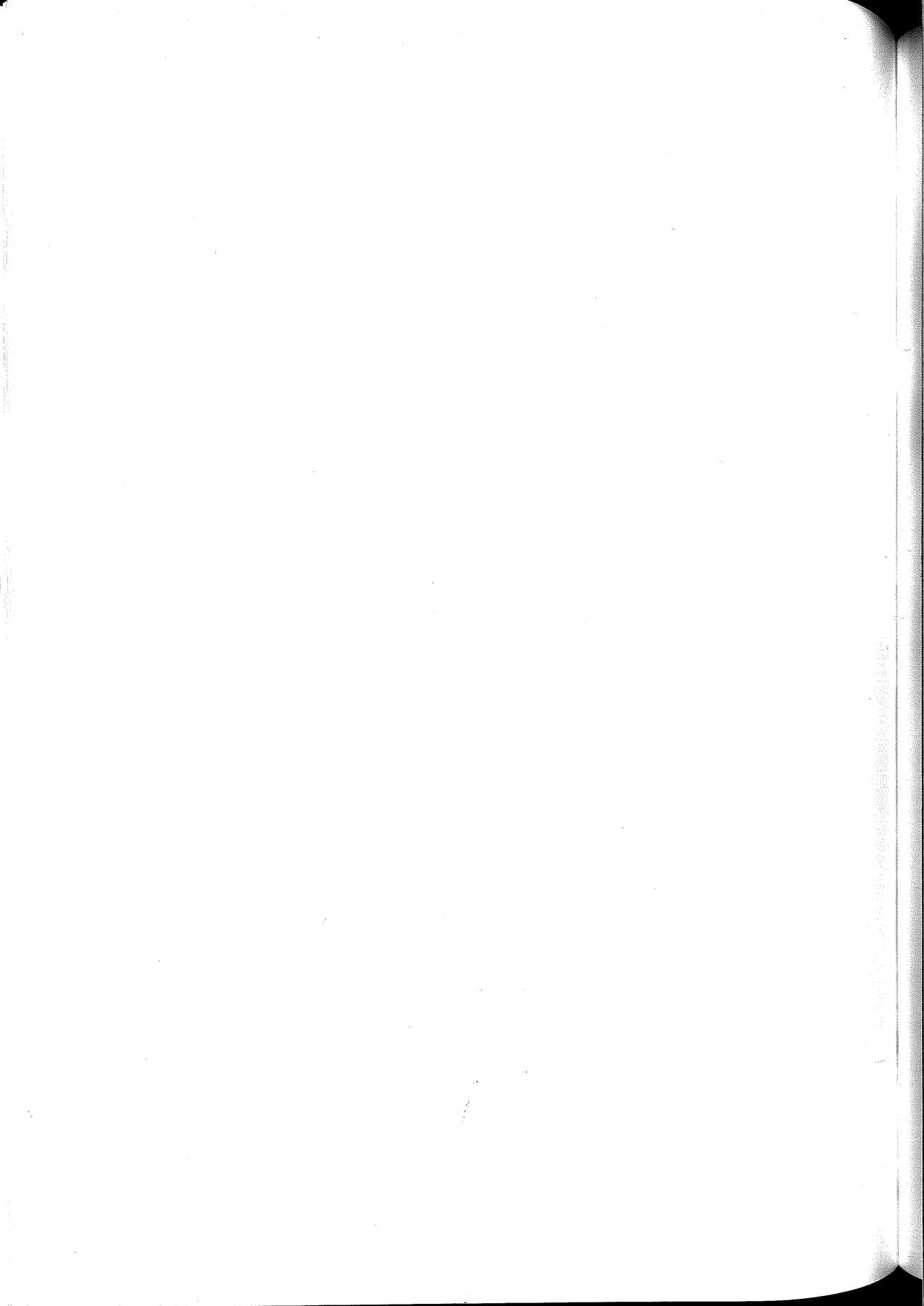
- il recupero delle cave per fini agricoli. Tutte le cave, mediante apporto di materiale terroso, possono essere utilizzate per l'attività agricola. Il recupero di 600 ha di cave per fini agricoli potrebbe far diminuire la richiesta di altri suoli.

- l'uso a tappeto di vinacce per una migliore conservazione del suolo contro l'erosione eolica.

- Infine è auspicabile la preservazione di alcune aree delle sciere per il ripristino della formazione vegetale naturale ascrivibile al *Chamaeropo-Quercetum calliprini* (quercia spinosa) attraverso la piantumazione della quercia spinosa, in quanto la palma nana è già molto diffusa.

Bibliografia

- ARU A., BALDACCINI P., MALQUORI A., MELIS R. T., VACCA S. (1983). Il consumo delle terre a causa della espansione urbana del territorio intorno a Cagliari. Istituto di Geologia, Paleontologia e Geografia Fisica, Cagliari.
- BOMMARITO S., D'ANGELO U., VERNUCCIO S. (1988). Carta geologica Marsala (F° 256, II NE) – Paolini (F° 257, III NO). Dipartimento di Geologia e Geodesia dell'Università di Palermo.
- FIEROTTI G. (1988). La degradazione del suolo: cause ed effetti. *Accademia Economico-Agraria dei Georgofili. Vol. XXXIV* - Serie settima, Firenze.
- FIEROTTI G. E COLL. (1988). Carta dei Suoli della Sicilia (a scala 1:250.000). Regione Sicilia. Assessorato Territorio e Ambiente. Palermo.
- LOMBARDO V., RAIMONDI S. (1991). Valore agronomico di substrati colturali ottenuti dalla trasformazione delle sciere. *Informatore Agrario n. 26*.
- PECORA A. (1974), La Sicilia. Edizioni Utet. Torino.
- RAIMONDI S. (1995). L'Espansione urbanistica nel comune di Villabate (PA). *Atti del Convegno "Il ruolo della Pedologia nella Pianificazione e Gestione del Territorio"*. Cagliari 6-10-giugno 1995.
- RAIMONDI S., FIEROTTI G., DAZZI C. (1995). Consumo del suolo e modificazioni indotte dall'urbanizzazione nella fascia costiera orientale di Palermo. *Atti del Convegno "Il ruolo della Pedologia nella Pianificazione e Gestione del Territorio"*. Cagliari 6-10-giugno 1995.
- RAIMONDI S., LUPO M. (1988). Il clima ed il pedoclima dei suoli della Sicilia occidentale. *Sicilia Foreste anno V, N. 19/20*. Palermo, pp. 59-64.
- RAIMONDI S., SARNO M. (1999). L'attitudine dei principali suoli del territorio di Canicatti (AG) alla produzione dell'uva "Italia". *Atti del convegno "Suoli e Colture in Ambiente Mediterraneo"*. Palermo 15 - 18 settembre 1999, organizzato dall'Assessorato Agricoltura e Foreste della Regione Sicilia. Palermo, pp. 54 - 61.
- TREVISAN L., TONGIORGI E. (1976). La terra. Edizioni Utet. Torino.



LA GESTIONE DELLA RISORSA SUOLO NELLE CALAMITÀ NATURALI: L'ESEMPIO DI MONTEVAGO (AG)

Carmelo Dazzi ¹, Giuseppe Lo Papa ¹,

Salvatore Monteleone ², Salvatore Raimondi ¹

¹ Dipartimento di Agronomia, Coltivazioni Erbacee e Pedologia

² Dipartimento di Geologia e Geodesia

Viale della Scienze, 13 - 90128 Palermo

Riassunto

Gli autori riferiscono sul consumo del suolo verificatosi nel comune di Montevago (AG), Sicilia Occidentale, dal 1955 al marzo 2001, in seguito al processo di urbanizzazione che ha registrato una notevole spinta per la ricostruzione del centro abitato distrutto in seguito al violento sisma del 1968 che interessò la Valle del Fiume Belice. A fronte di una superficie comunale di 3.256 ettari, fino alla data di indagine, 136,2 ettari (pari al 4,2%) sono stati definitivamente sottratti all'agricoltura, i 2/3 di questi solo in seguito alla ricostruzione del nuovo centro abitato.

Attraverso indagini geolitologiche e pedologiche condotte anche con l'ausilio di un sistema informativo geografico, è stato rilevato che l'area di nuovo insediamento non migliora le aspettative legate ad un diminuito pericolo sismico e che la perdita di suolo è avvenuta esclusivamente a discapito di suoli di buona potenzialità agronomica, classificati come Typic Haploxeralfs e Typic Rhodoxeralfs, (perdita pari al 32,5% dell'estensione dell'unità cartografica riportante queste tipologie di suoli).

Sulla base dei dati pedologici sono stati applicati due sistemi di Land Evaluation per quantificare in termini di valore agronomico, la perdita della risorsa suolo.

1. Premessa

Fra le emergenze ambientali che hanno caratterizzato l'ultimo scorcio del secolo appena trascorso, quelle legate al suolo ed in particolare al suo consumo per urbanizzazione, ha assunto un rilievo del tutto particolare. Nessun segnale, al momento, lascia presagire una inversione di tendenza.

Particolarmente interessati sono stati e continuano ad essere i Paesi a più alto tasso di sviluppo ove, i suoli che vengono cementificati e sottratti per sempre alle loro funzioni biotiche, sono quasi sempre quelli che si rinvergono nelle fertili pianure alluvionali e costiere, come è già stato messo in evidenza anche nel nostro Paese (Raimondi et al 1995; Dazzi et al., 1997; Dazzi, 1998).

Un caso del tutto particolare di perdita della risorsa suolo legata allo sviluppo dell'urbanizzazione, è quello che ha interessato il comune di Montevago (AG) e, segnatamente l'area su cui sorge e si è sviluppato il nuovo centro abitato, in particolare dopo il terremoto che ha colpito la valle del Belice, nella Sicilia occidentale, nella notte fra il 14 e il 15 gennaio 1968.

Montevago, infatti, insieme ad altri tre centri urbani ricadenti nella provincia di Trapani, è stato dichiarato a totale trasferimento e la ricostruzione, oggi ormai completata, è stata realizzata sull'area agricola posta nelle immediate vicinanze del vecchio centro.

Con questo studio si vuole:

- evidenziare come la scelta di ricostruire in un'area diversa da quella del vecchio centro urbano sia ininfluente (per identiche condizioni litostratigrafiche) nei confronti della risposta sismica;
- quantificare, in termini di superficie, la perdita della risorsa suolo conseguente alla ricostruzione;
- valutare tale perdita in termini di potenzialità agronomica.

2. L'area di studio

2.1 Ubicazione, caratteri climatici ed uso del territorio

Montevago (3.136 residenti secondo i dati ISTAT del 2000) è situato in corrispondenza dell'estremo lembo di Nord-Ovest della provincia di Agrigento (Fig. 1). Presenta una superficie di 3.256 ettari ed un clima tipicamente mediterraneo con precipitazioni medie annuali pari a 660 mm prevalentemente distribuite nel periodo autunno-vernino e temperature medie annue pari a 17 °C. L'agricoltura si basa sul seminativo, sul vigneto, l'olivo e, in questi ultimi anni sulla coltivazione del ficodindia.

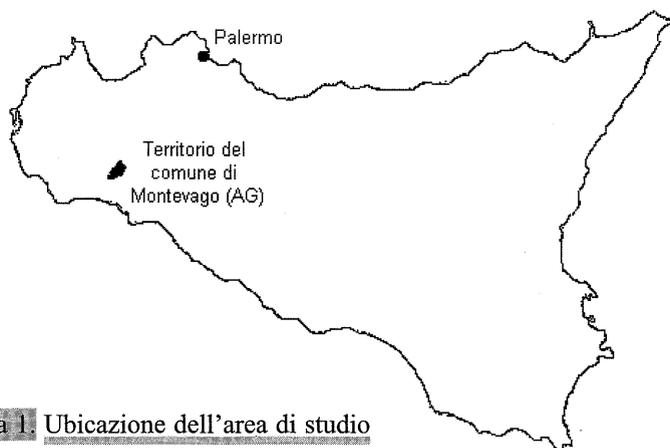


Figura 1. Ubicazione dell'area di studio

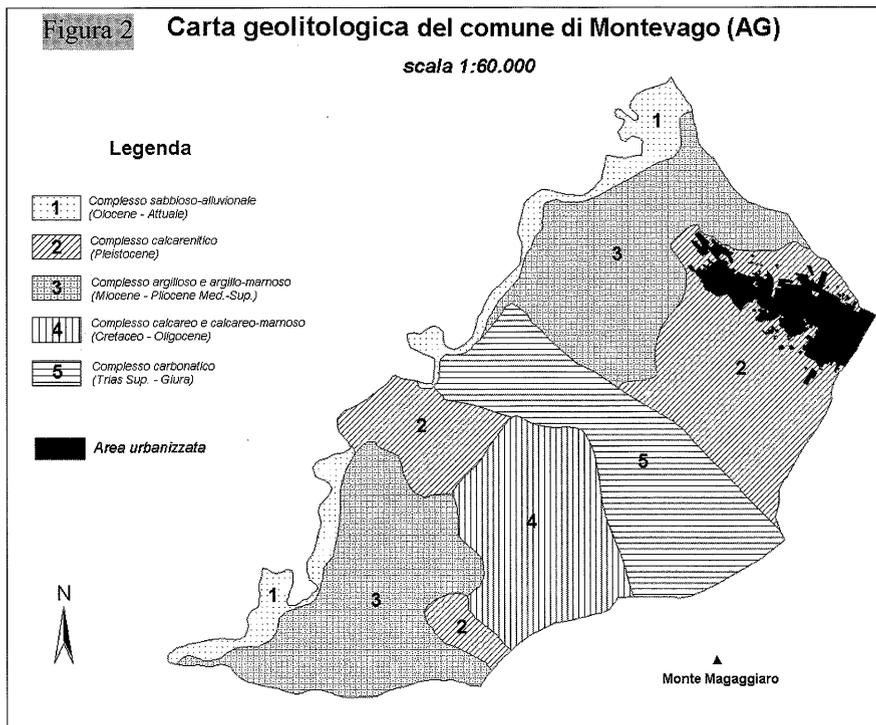
2.2 Gli aspetti geomorfologici

Dal punto di vista geolitologico (Fig. 2) il territorio risulta costituito, in sequenza stratigrafica, da depositi carbonatici, clastico-carbonatici, argillo-marnosi e/o sabbiosi e calcarenitici; l'età dell'intera successione è compresa tra il Trias Sup. e il Pleistocene (Monteleone, 1989).

Gli affioramenti più antichi (Trias Sup. – Giura) sono stati riscontrati nell'area di Monte Magaggiaro dove i carbonati hanno spessore alquanto consistente e possono superare i 3000 metri (dato riscontrato attraverso trivellazioni). Ad Ovest e a Sud del citato toponimo è possibile rinvenire dei calcari marnosi, a liste e noduli di selce (scaglia), il cui spessore è dell'ordine di qualche decina di metri. L'età è riferibile all'intervallo Cretaceo-Oligocene. I depositi terrigeni sono di natura argillosa, argillo-marnosa e calcarenitica. Le argille mioceniche affiorano a SO di Monte Magaggiaro, mentre le argille marnose del Pliocene Med.-Sup., che sottostanno alle calcareniti, sono copiosamente presenti sui versanti orientale e occidentale fino a raggiungere il corso del Fiume Belice, lo spessore medio di questa formazione si aggira sui 400 metri.

La parte sommitale dei versanti è occupata dalle calcareniti a stratificazione piano parallela, con interstrati argillo-sabbiosi, che costituiscono il pianoro su cui è stato realizzato il nuovo centro urbano di Montevago. Lo spessore di questi depositi è compreso tra i 50 e i 70 metri, mentre l'età è riferibile al Pleistocene. Infine vanno segnalati i depositi alluvionali, principalmente sabbie e limi, presenti lungo l'asse del Fiume Belice per una estensione diversificata e compatibile con le caratteristiche del letto di inondazione.

L'assetto morfologico del territorio, alla luce delle caratteristiche dei vari litotipi affioranti, è alquanto articolato: si passa da andamenti collinari, presenti nel settore di SO, a superfici subpianeggianti e pianeggianti sia nei dintorni del Monte Magaggiaro che degli affioramenti calcarenitici pleistocenici (superfici sub-strutturali e strutturali). L'andamento tabulare di quest'ultimo litotipo è da mettere in relazione a due aspetti che si intrecciano e per certi versi si sommano. Il primo è legato alla genesi, si tratta infatti di una superficie di spianamento quaternaria (terrazzo marino); il secondo è da collegare al controllo morfoselettivo esercitato dagli agenti esogeni su strati orizzontali a differente grado di cementazione (superficie strutturale).



2.3 Gli aspetti pedologici

I suoli presenti nei territori del comune di Montevago (Fig 3), secondo uno studio inedito (Dazzi e Monteleone, 1993) rivisto ed aggiornato nei primi mesi dello scorso anno con alcune escursioni in campo, mostrano una certa variabilità ed afferiscono agli ordini degli Inceptisuoli, degli Entisuoli ed Alfisuoli. Questi sono stati cartografati in 10 unità pedologiche omogenee che vengono di seguito elencate nelle loro caratteristiche principali.

Unità A - Suoli su morfologia montana, con pendenze da moderate ad elevate; a profilo A-R; poco profondi; a tessitura franca; ad aggregazione poliedrica subangolare; neutri; alcalinei; ben dotati in azoto, in fosforo e potassio assimilabili; a drenaggio normale. I suoli sono frammisti a roccia affiorante.

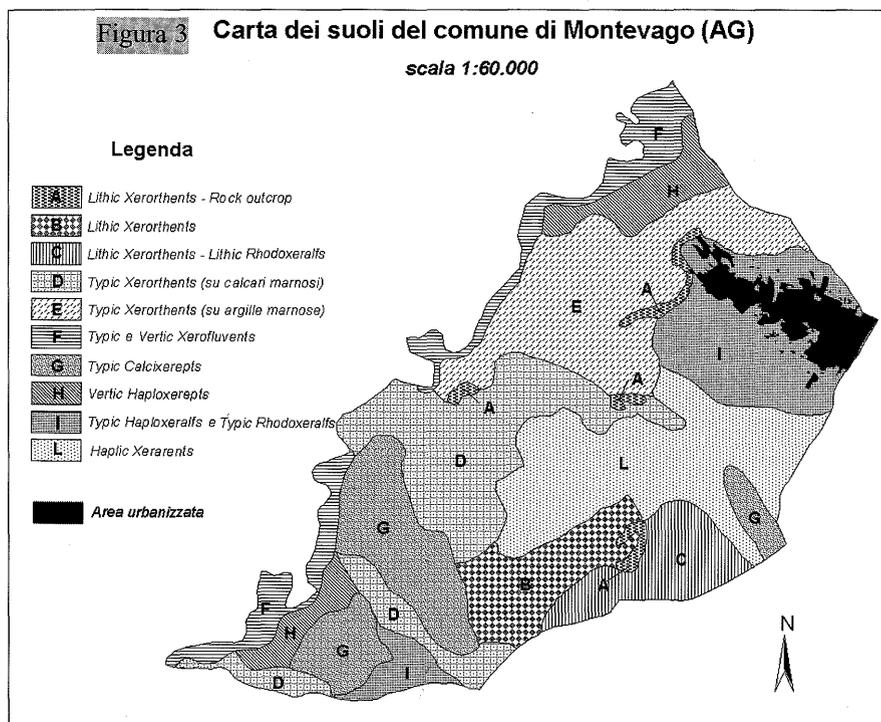
CLASSIFICA: Lithic Xerorthents – Rock outcrop

Unità B - Suoli su morfologia montana, con pendenze da moderate ad elevate; a profilo A-R; poco profondi; a tessitura franco-sabbioso-argillosa, talora argillosa; ad aggregazione poliedrica subangolare; subalcalini; calcarei; mediamente dotati in azoto, scarsamente dotati in fosforo assimilabile, ben dotati in potassio assimilabile; a drenaggio normale.

CLASSIFICA: Lithic Xerorthents

Unità C - Suoli su morfologia pianeggiante; a profilo A-R; poco profondi; a tessitura franco-sabbiosa; ad aggregazione poliedrica angolare; neutri; alcalinei; ben dotati in azoto e in fosforo assimilabile, scarsamente dotati in potassio assimilabile; a drenaggio da normale a lento.

CLASSIFICA: Lithic Xerorthents – Lithic Rhodoxeralfs



Unità D - Suoli su morfologia collinare, con pendenze da moderate ad elevate; a profilo Ap-C; da poco a mediamente profondi; a tessitura franco-argillosa, talora argillosa; ad aggregazione poliedrica subangolare; sub-alcalini; da ipocalcarei a calcarei; mediamente dotati in azoto, scarsamente dotati in fosforo e potassio assimilabili; a drenaggio da normale a lento.

CLASSIFICA: Typic Xerorthents (su calcari marnosi)

Unità E - Suoli su morfologia collinare, con pendenze moderate; a profilo Ap-C; da poco a mediamente profondi; a tessitura franco-sabbiosa o franco-sabbioso-argillosa; ad aggregazione poliedrica subangolare ed angolare; sub-alcalini; da ipocalcarei a calcarei; scarsamente dotati in azoto, in fosforo e potassio assimilabili; a drenaggio normale.

CLASSIFICA: Typic Xerorthents (su argille marnose)

Unità F - Suoli su morfologia pianeggiante e/o subpianeggiante; a profilo Ap-C; profondi; a tessitura da franco-sabbioso-argillosa ad argillosa (in quest'ultimo caso compaiono evidenti caratteri vertici); ad aggregazione poliedrica subangolare ed angolare tendente a prismatica in profondità; sub-alcalini; calcarei o percalcarei; da scarsamente a mediamente dotati in elementi nutritivi, talora ricchi in potassio assimilabile; a drenaggio da normale a lento in profondità.

CLASSIFICA: Typic e Vertic Xerofluvents

Unità G - Suoli su morfologia collinare; con pendenze da moderate ad elevate; a profilo Ap-Bk-C; mediamente profondi o profondi; a tessitura da argillosa a franco-sabbioso-argillosa; ad aggregazione poliedrica angolare tendente a prismatica in profondità; sub-alcalini; calcarei o percalcarei; poveri in azoto, da poveri a mediamente dotati in fosforo e potassio assimilabili; a drenaggio da normale a lento.

CLASSIFICA: Typic Calcixerepts

Unità H - Suoli su morfologia collinare, con pendenze da moderate ad elevate; a profilo Ap-Bw-C; profondi; a tessitura da argillosa in superficie a franco-argillosa o argilloso-sabbiosa in profondità; ad aggregazione poliedrica subangolare tendente a prismatica in profondità; sub-alcalini; calcarei; da scarsamente a mediamente dotati in elementi nutritivi; a drenaggio da normale a lento. Caratterizzati, nel periodo estivo, da profonde crepacciature.

CLASSIFICA: Vertic Haploxerepts

Unità I - Suoli su morfologia collinare, con pendenze da moderate ad elevate; a profilo Ap-Bt-C; profondi; a tessitura argillosa; ad aggregazione poliedrica subangolare ed angolare tendente a prismatica in profon-

dità; sub-alcalini; calcarei; mediamente dotati o ricchi in azoto e potassio, poveri in fosforo; a drenaggio da normale a lento.

CLASSIFICA: Typic Haploxeralfs e Typic Rhodoxeralfs

Unità L - Suoli su morfologia piana e/o collinare, con pendenze prevalentemente da lievi a moderate; a profilo Ap-C; mediamente profondi; a tessitura sabbioso-franca o franco-sabbiosa; ad aggregazione poliedrica subangolare ed angolare; neutri; da alcalarei a calcarei; poveri o mediamente dotati in elementi nutritivi; a drenaggio normale.

CLASSIFICA: Haplic Xerarents

2.4 L'evento sismico

Il territorio del Belice, prima dell'evento sismico del 1968, si presentava come un'area tipica dell'entroterra siciliano, caratterizzata da progressiva diminuzione della popolazione (dovuta alla emigrazione), occupazione prevalentemente indirizzata verso l'agricoltura ed infine presenza di un terziario costituito essenzialmente dal pubblico impiego.

Nella notte fra il 14 e il 15 gennaio 1968 tutto il territorio del Belice fu interessato da un violento terremoto. La scossa più forte raggiunse una magnitudo di 6,5 e fu particolarmente distruttiva, soprattutto per i comuni di Gibellina, Poggioreale, Salaparuta e Montevago, centri che, nel tempo e con varie vicissitudini, sono stati ricostruiti in altri siti (Monteleone e Pipitone, 1989).

Per quanto concerne Montevago, per la ricostruzione è stata utilizzata un'area che, come evidenziato nei paragrafi 2.2 e 2.3, presenta caratteristiche lito-strutturali e geomorfologiche (e anche pedologiche) assolutamente identiche a quelle dell'area sulla quale sorgeva il centro abitato distrutto dal terremoto. Di conseguenza, la risposta sismica nei confronti di un eventuale evento, sarebbe identica e la scelta della popolazione di trasferire il centro abitato per "sfuggire" al terremoto, effettuata con referendum, trova giustificazione solo nella breve distanza dai vecchi "affetti".

Questi sono stati gli unici elementi di valutazione per i cittadini residenti, chiamati ad esprimersi sulla scelta della nuova area da urbanizzare ma, nessun dato tecnico-scientifico è stato considerato a supporto della sua bontà rispetto ad altre. La ricostruzione infatti, avrebbe potuto interessare l'area distrutta dal sisma salvaguardando dalla cementificazione diversi ettari di buoni suoli.

3. Il consumo di suolo

3.1 Materiali e metodi

L'indagine è stata condotta mediante l'uso di varie riprese aeree, custodite presso l'Archivio Aerofotografico della Regione Siciliana. I dati da esse desunti sono stati aggiornati al marzo 2001 con diversi rilevamenti in campo. Le date e le caratteristiche descrittive delle riprese aeree sono riassunte nella tabella 1.

Tabella 1. Caratteristiche descrittive principali delle riprese aeree utilizzate per la fotointerpretazione

DATA	VOLO	TIPO
4 luglio 1955	Volo I.G.M.	Pancromatico
21 giugno 1968	Volo I.G.M.	Pancromatico
4 giugno 1987	Volo A.T.A. Reg. Siciliana	Colore
18 ottobre 1997	Volo A.T.A. Reg. Siciliana	Pancromatico

Attraverso fotointerpretazione sono state censite e cartografate tutte le costruzioni civili e quelle rurali prossime al centro urbano e, mediante il confronto delle cartografie realizzate per ogni periodo di osservazione è stata realizzata una "*Cronocarta dello sviluppo urbano*" allo scopo di quantificare, in termini di superficie, il consumo di suolo verificatosi nel periodo che va dal 1955 fino al marzo 2001. I dati derivati per fotointerpretazione sono stati riportati su una carta topografica a grande scala (1:5.000).

La visione stereoscopica dei fotogrammi realizzati nel giugno 1968, ovvero sei mesi dopo l'evento sismico, quando ancora la ricostruzione non era ancora stata avviata, ha permesso di distinguere i ruderi delle vecchie abitazioni dalle aree cementificate su cui sono state allestite le abitazioni temporanee di emergenza per la popolazione, questo ha consentito di fissare il momento della catastrofe come data di osservazione, permettendo di distinguere in maniera netta un periodo di consumo di suolo "pre-sisma" da un periodo "post-sisma".

La cronocarta dello sviluppo urbano è stata acquisita in formato digitale vettoriale, georeferenziata e gestita attraverso un sistema informativo geografico costituito da una stazione di lavoro in ambiente Windows e corredata dai software cartografici Terranova ShArc 3.1 e ArcView 3.2 e da periferiche professionali di acquisizione ottica (scanner A0) e stampa (plotter A0). Stessa procedura è stata effettuata per l'acquisizione dei dati pedologici derivanti dalla cartografia pedologica.

Infine per la quantificazione della perdita di suolo in termini di tipi pedologici la cronocarta dello sviluppo urbano è stata sovrapposta alla car-

ta pedologica. Per definire con maggiore precisione le caratteristiche dei suoli soggetti al consumo per urbanizzazione è stato aperto un profilo del quale nella tabella 2 si riportano le principali caratteristiche descrittive ed analitiche.

Tabella 2. Principali caratteristiche descrittive ed analitiche del profilo di suolo rappresentativo dell'area consumata per urbanizzazione

Caratteri descrittivi di campagna				
Orizzonte	Ap	Ad	AB	Bt
cm	0-15	15-25	25-42/45	42/45-65
Limite orizz.	ch, od	ch, od	gr, od	-
Colore Munsell (umido)	5YR 3/4	5YR 3/4	5YR 4/6	2.5YR 3/6
Colore Munsell (asciutto)	5YR 4/4	5YR 4/4	5YR 5/6	2.5YR 4/6
Struttura ¹	gr, ps, f, m, 3	ma	ma	pr, m, g, 3
Consistenza ²	uf, d	uf, ed	uf, ed	uf, ed
Clay-skins ³	-	-	1, fa	2, po
Attività radicale ⁴	m, f	s, f	s, f	s, f
Drenaggio ⁵	n/l	n/l	1	1
Caratteri analitici di laboratorio				
Argilla (g·kg ⁻¹)	209	213	292	392
Limo (g·kg ⁻¹)	111	110	133	127
Sabbia (g·kg ⁻¹)	680	677	575	481
pF 2.5	20.89	20.61	20.39	24.02
pF 4.2	9.65	9.43	9.21	12.20
A.W.C. Cumul. (mm)	22	36	48	79
pH H ₂ O (1:2.5)	7.8	7.9	7.9	7.7
pH KCl (1:2.5)	6.9	6.9	6.7	6.7
CaCO ₃ totale (g·kg ⁻¹)	10	16	12	10
CaCO ₃ attivo (g·kg ⁻¹)	8	9	7	8
C (g·kg ⁻¹)	13	11	7	4
N (g·kg ⁻¹)	0.6	0.4	0.3	0.5
C/N	22	28	23	8
S.O. (g·kg ⁻¹)	22	20	12	7
C.E. (dS m ⁻¹)	0.46	0.41	0.25	0.21
C.S.C. (cmol (+)·kg ⁻¹)	17.0	17.2	17.69	23.2
Basi di scambio (cmol (+)·kg ⁻¹)				
Na ⁺	0.07	0.09	0.12	0.23
K ⁺	0.33	0.23	0.24	0.29
Ca ⁺⁺	14.41	15.09	15.39	17.92
Mg ⁺⁺	2.04	1.79	1.85	2.23
Somma Basi di scambio (cmol (+)·kg ⁻¹)	16.85	17.20	17.60	20.67
Tasso di saturazione (%)	99	100	100	89
P ₂ O ₅ ass. (mg·kg ⁻¹)	0.015	0.011	0.016	0.011

1: Struttura: gr=grumosa, ps=poliedrica subangolare, pr=prismatica, ma=massiva, f=fine, m=media, g=grossolana, l=debole, 2=moderata, 3=forte; 2: Consistenza: uf=umido friabile, d=duro, pd=poco duro; 3: Clay-skins: 1=scarsi, 2=comuni, fa=sulla faccia degli aggregati, po=nei pori; 4: Attività radicale: s=scarsa, m=media, f=radici fini; 5: Drenaggio: n=normale, l=lento

3.2 Risultati

L'intersezione della cronocarta dello sviluppo urbano con la carta dei suoli evidenzia che il consumo di suolo è avvenuto unicamente a spese dell'unità cartografica denominata "Unità I" (Fig. 2), all'interno della quale sono stati identificati tipi pedologici classificati come *Typic Haploxeralfs* e *Typic Rhodoxeralfs* (USDA-NRCS, 1999).

Nel dettaglio, come mostrano la figura 4 e la tabella 3, dall'analisi cartografico-temporale risulta che l'area occupata dalle costruzioni alla data del luglio 1955 occupava una superficie di 27,3 ettari (pari al 6,5% dell'unità cartografica interessata). Da allora fino all'evento sismico si è avuto un incremento dell'area urbanizzata pari a 17,9 ettari lungo l'asse NO-SE del centro abitato. Nei cinque mesi successivi all'evento sismico si è avuta una sottrazione di suolo coltivabile di un ulteriore 4% (17 ettari) per cementificazione delle aree destinate alle abitazioni temporanee di soccorso alla popolazione colpita dal sisma ("villaggi").

Tabella 3. Andamento del consumo di suolo per i periodi di osservazione considerati. I dati sono riferiti all'estensione dell'unità cartografica "I" (419,3 ettari)

	Data di osservazione	Area urbanizzata		Consumo suolo		Suolo Coltivabile	
		(in ha)	(in %)	(in ha)	(in %)	(in ha)	(in %)
"Pre-sisma"	04-lug-55	27,3	6,5	27,3	6,5	392	93,5
	15-gen-68	45,2	10,8	17,9	4,3	374,1	89,2
"Post-sisma"	21-giu-68	62,2	14,8	17	4,1	357,1	85,2
	04-giu-87	134,3	32,0	72,1	17,2	285	68,0
	18-mar-01	136,2	32,5	1,9	0,5	283,1	67,5
TOTALE				136,2	32,5		

Il processo di ricostruzione del nuovo centro abitato, che ha previsto il suo trasferimento nell'area immediatamente a SO dei ruderi della vecchia Montevago, ha comportato fino alla data del giugno 1987 un ulteriore consumo di suolo coltivabile pari al 32% dell'unità cartografica interessata (72,1 ettari). Nel periodo compreso tra il giugno 1987 e il marzo 2001 il consumo di suolo è stato relativamente contenuto (con un incremento dello 0,5%, pari a 1,9 ettari) sebbene il processo di ricostruzione non fosse ancora giunto a termine, questo perché la superficie urbanizzata si è estesa nelle aree dei "villaggi" temporanei precedentemente cementificate e oggi individuate come aree di futura espansione. Il recupero di tali aree lascia prevedere che in un prossimo futuro la costruzione di nuove abitazioni urbane e/o strutture ci-

vili non debba comportare preoccupanti incrementi nel consumo di suolo.

In definitiva la perdita totale di suolo, che coincide con l'area urbanizzata all'ultima data di osservazione, risulta pari al 32,5% (136,2 ettari). Prima dell'evento sismico questo valore era al 10,8%, pressappoco un terzo dell'attuale.

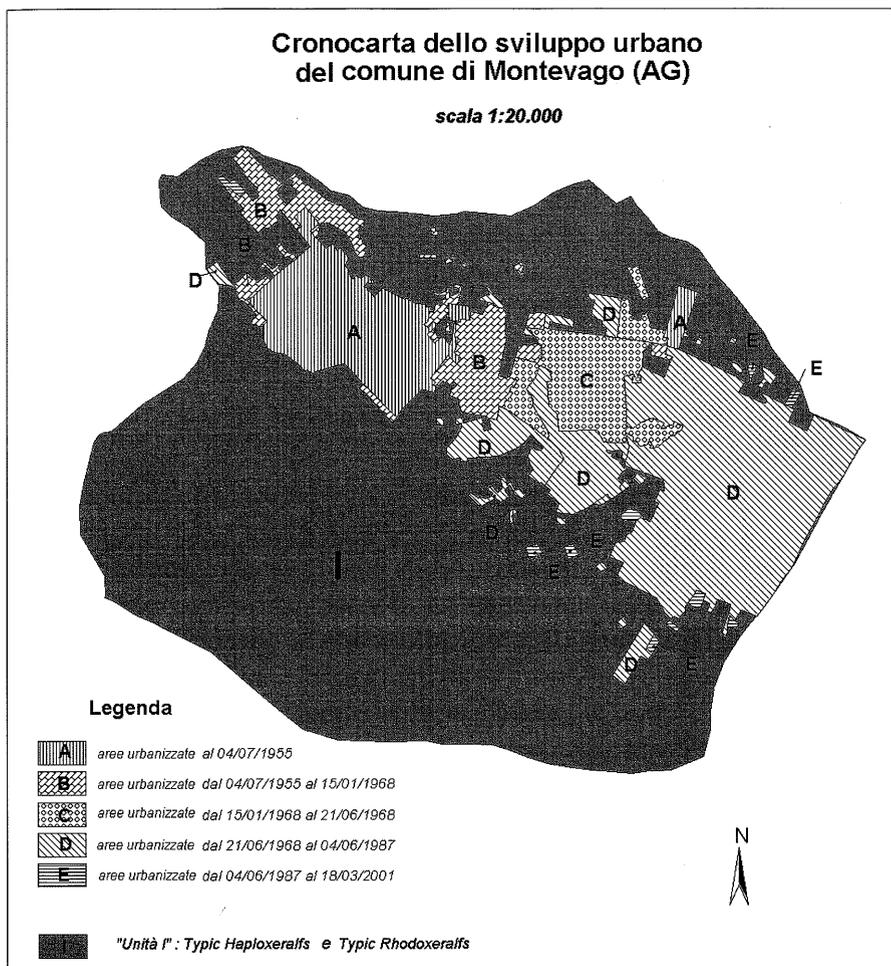


Figura 4. Riproduzione, in scala 1:20.000, della cronocarta dello sviluppo urbano del territorio del comune di Montevago

La figura 5, inoltre, mette in evidenza l'andamento temporale dell'indice di urbanizzazione come rapporto percentuale tra l'area urbanizzata e l'area comunale totale.

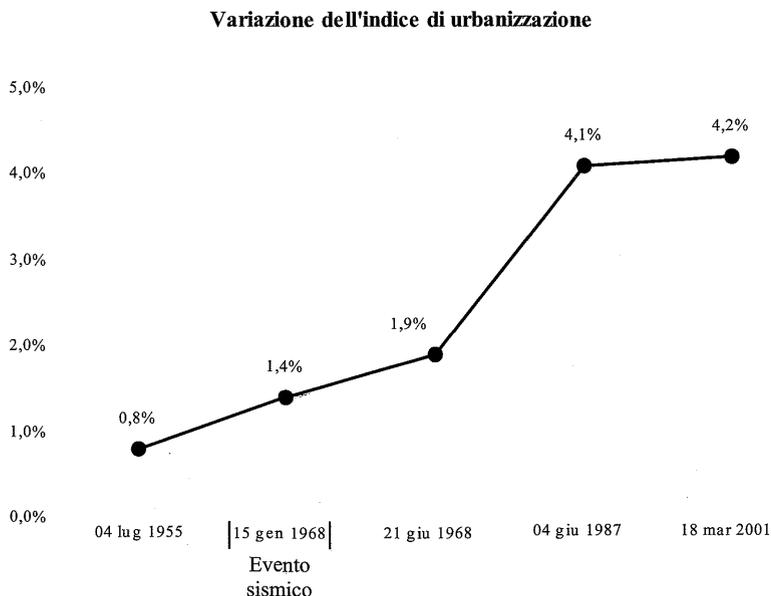


Figura 5. Andamento nel tempo dell'indice percentuale di urbanizzazione. I dati sono riferiti all'estensione del territorio comunale di Montevago (3.256 ettari)

Tuttavia, tale indice, sia riferito all'estensione della tipologia di suolo urbanizzato (Unità cartografica "I") che all'intera superficie comunale, fornisce solo indicazioni quantitative ma non dà alcuna informazione circa la "qualità" della risorsa consumata (es. il valore agronomico, o quello naturalistico, o quello economico, ecc.). Allo scopo di ottenere una valutazione qualitativa su base agronomica della tipologia di suolo urbanizzato, sono stati applicati due sistemi di Land Evaluation ampiamente noti in letteratura: il sistema della "Potenzialità dei Suoli" (FAO, 1974; Ronchetti, 1966) e il "Land Classification System for Irrigation" (FAO, 1979) che definiscono rispettivamente un indice generale di potenzialità agronomica e l'attitudine dei suoli alla trasformazione in irriguo.

Nel caso in esame emerge che (tabella 4) i 136,2 ettari di suoli che sono stati consumati presentano limitazioni poco importanti e che possono essere coltivati senza danno con qualche leggero intervento di miglioramento: per tali motivi rientrano nella classe di potenzialità agronomica "buona". Al contempo gli stessi risultano moderatamente adatti alla trasformazione irrigua anche se, come evince dalla tabella 5, dove sono riportate le valutazioni relative alle tipologie di suoli presenti nel comune di Montevago, i Typic Haploxeralfs e Typic Rhodoxeralfs presentano leggere limitazioni legate alla tessitura moderatamente fine (franco-argillosa).

Tabella 4. Valutazione della potenzialità agronomica dei suoli del comune di Montevago secondo il sistema della "Potenzialità dei Suoli"

Parametro	Lithic Xerorthents e Lithic Rhodoxeralfs	Typic Xerorthents (su calcari marnosi)	Typic Xerorthents (su argille marnose)	Typic e Vertic Xerofluvents	Typic Calcixerpts	Vertic Haploxerpts	Typic Haploxeralfs e Typic Rhodoxeralfs	Haplic Xerarents
Profondità	30 %	85 %	85 %	100 %	100 %	100 %	95 %	60 %
Tessitura	90 %	80 %	80 %	80 %	90 %	80 %	90 %	80 %
Struttura	90 %	90 %	90 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Drenaggio	85 %	85 %	85 %	85 %	85 %	85 %	85 %	100 %
Sost. org.	95 %	95 %	95 %	95 %	95 %	95 %	85 %	100 %
Riserve min.	95 %	90 %	90 %	95 %	90 %	95 %	90 %	95 %
Cap. scambio	95 %	95 %	95 %	95 %	95 %	95 %	95 %	95 %
Sat. Basi	100 %	95 %	95 %	100 %	95 %	100 %	100 %	100 %
Indice di potenz.	18 %	40 %	40 %	58 %	59 %	58 %	53 %	43 %
Classe Potenz.	5a	3a	3a	3a	2a	2a	2a	3a

Tabella 5. Valutazione della idoneità all'agricoltura irrigua dei suoli del comune di Montevago.

Suolo	Lithic Xerorthents e Lithic Rhodoxeralfs	Typic Xerorthents (su calcari marnosi)	Typic Xerorthents (su argille marnose)	Typic e Vertic Xerofluvents	Typic Calcixerpts	Vertic Haploxerpts	Typic Haploxeralfs e Typic Rhodoxeralfs	Haplic Xerarents
Valutazione	6st-bzxgr	6st-higr	6st-higr	2sd-mw	3sd-haw	4sd-hw	2s-m	2s-ly

Indicazioni supplementari:

b= suoli poco profondi su substrato relativamente impermeabile

z= suoli poco profondi su substrati estremamente calcarei

l=tessitura moderatamente grossolana (franco - sabbiosa)

m= tessitura moderatamente fine (franco - limosa, franco - argillosa)

h= tessitura molto fine (argillosa)

i= scarsa infiltrazione

x= pietrosità

y= scarsa fertilità

a= salinità e alcalinità

g= pendenza

r= rocciosità

w= fabbisogno di drenaggio sotterraneo - falda

Conclusioni

In questo lavoro si è voluto mettere ancora una volta in evidenza come la gestione delle risorse ed in particolare del suolo, debba poggiare su concrete basi di conoscenza tecnica-scientifica e non sulle emozioni di un momento. Ciò è particolarmente vero quando si tratta di gestire le risorse in una situazione di emergenza o di calamità naturale.

Nell'esempio considerato la scelta di ricostruire trasferendo il centro abitato di Montevago a ridosso dello stesso, comprensibilissima per quel momento, con il senno di poi non trova alcuna giustificazione. Sulla base di una attenta valutazione delle diverse componenti che in questi casi occorre considerare, si sarebbe potuto ricostruire negli stessi luoghi distrutti, risparmiando dalla cementificazione, non solo 136,2 ettari di suolo di buona qualità agronomica ma, si sarebbe anche salvaguardato il tessuto socio-culturale dei residenti che sarebbero rimasti là, dove erano le loro radici.

Ringraziamenti

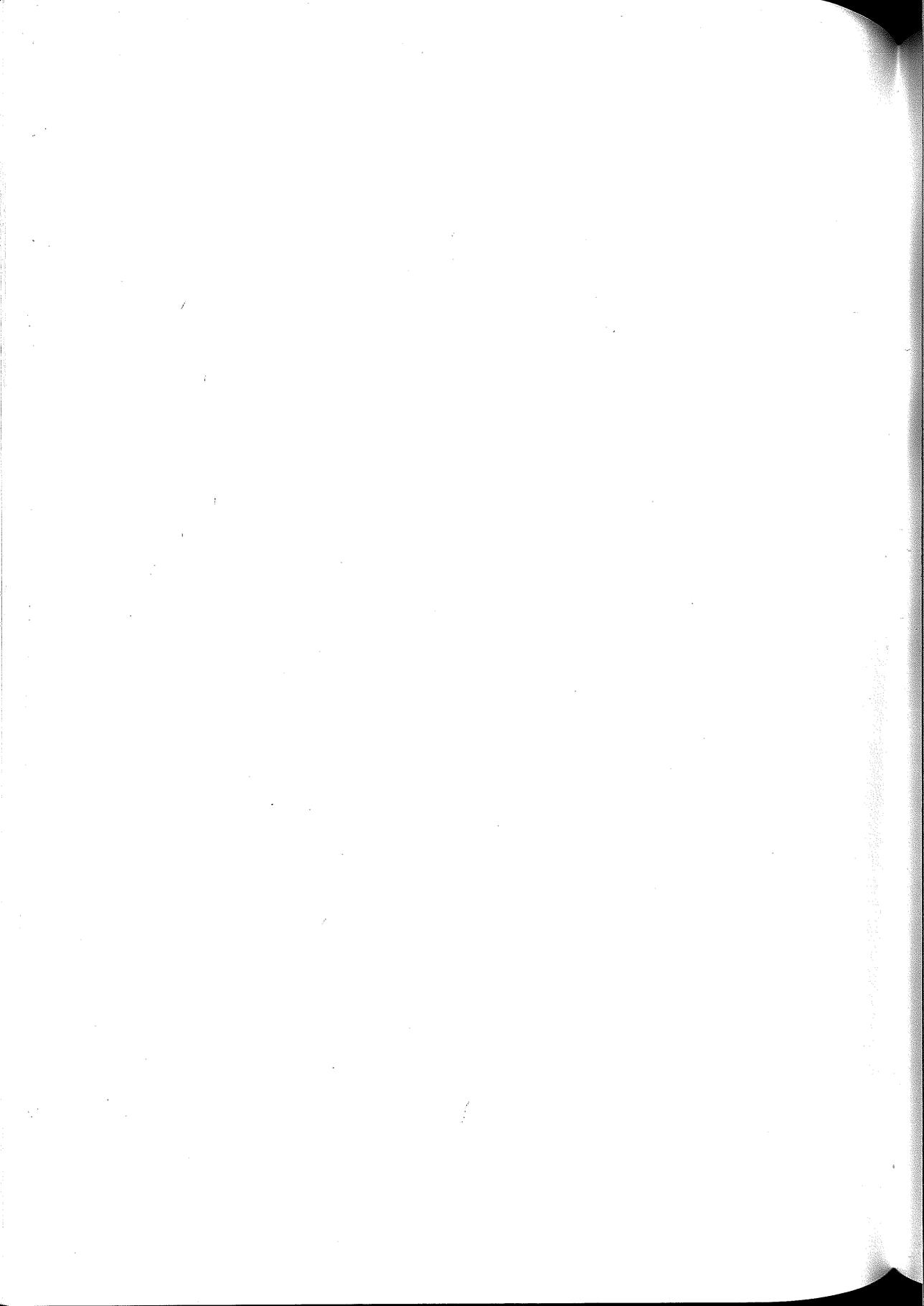
Gli autori desiderano ringraziare il Prof. Giovanni Fierotti per la lettura critica del manoscritto e gli utili suggerimenti e i dott. A. Indorante, V. A. Laudicina, R. Scalenghe, D. Tusa, per la collaborazione nella fase di campagna.

Bibliografia

- DAZZI C. (1998) – Soil degradation in southern Italy. COST Action 622, Soil Resources of European Volcanic System. – Iceland, 5-10 July. pp. 113-126.
- DAZZI C., MONTELEONE S. (1993) – Geologia e pedologia dei territori di S. Margherita Belice e Montevago (AG): indagine conoscitiva finalizzata alla coltura del ficodindia. Inedito.
- DAZZI C., RAIMONDI S., LUPO M., TUSA D. (1997) - Il consumo di suolo dovuto all'urbanizzazione: l'esempio di una pianura alluvionale costiera (Palermo).- *Atti della 1a Conferenza Nazionale delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni territoriali e Ambientali "Le Immagini e le Informazioni Territoriali"* Parma 30 settembre - 3 ottobre, pp. 348-357.
- FAO (1974) – Approaches to Land Classification. *FAO Soil Bulletin n° 22*, Rome.
- FAO (1979) – Soil survey investigation for irrigation. *FAO Soil Bulletin n° 42*, Rome.
- MONTELEONE S. (1989) – Il ruolo degli enti locali nella gestione delle risorse idriche: studio idrogeologico delle calcareniti di Montevago. *Atti del Convegno "Sicilia e Terzo Mondo. Risorse idriche e difesa del suolo". Quaderni del Sud, n°1* Palermo.
- MONTELEONE S., PIPITONE G. (1989) – Considerazioni sul terremoto della Valle del Belice del 1968. GNGFG – CNR.
- RAIMONDI S., DAZZI C., FIEROTTI G. (1995) - Consumo di suolo e modificazioni indotte dall'urbanizzazione nella fascia costiera orientale di Palermo. *Atti del Convegno Nazionale SISS "Il Ruolo della Pedologia nella Pianificazione e Gestione del Territorio"*. Cagliari, giugno 1995 pp. 211-221.
- RONCHETTI G. (1966). Sui criteri per determinare la potenzialità dei suoli. *L'Italia Forestale e Montana*, n° 5.
- USDA, NRCS, Soil Survey Staff. (1999) – Soil Taxonomy, second edition. Washington, DC 20402.



Presentazione del numero d'oro del
Bollettino SISS
per la celebrazione del Cinquantenario
e
approvazione di una risoluzione
sull'Emergenza Suolo



IL BOLLETTINO D'ORO

Anna Benedetti

Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante
Via della Navicella, 2 - 00184 Roma

Confesso, l'idea del Bollettino d'oro è venuta a me dalla combinazione di due diversi eventi. Il primo riguarda un volume pubblicato dall'Accademia delle Scienze sulla vita e le opere del Prof. Gian Battista Marini Bettolo, Presidente dell'Accademia delle Scienze per molti anni, ma anche illustre scienziato. Avevo conosciuto personalmente il Prof. Marini in quanto docente di chimica analitica presso l'università di Roma. Tra l'altro avevo avuto modo di apprezzarne oltre al suo lato professionale anche quello umano poiché come collega di corso avevo avuto suo nipote che spesso mi raccontava di lui. Nel volume ritrovai molte esperienze vissute e mi piacque moltissimo l'idea che a rendergli omaggio fossero stati i suoi diretti collaboratori. Trapelava da queste pagine umanità, affetto, stima, ammirazione.

Il secondo evento fu invece il ritrovamento da parte di Rosa Francaviglia del verbale dell'atto costitutivo della Società Italiana della Scienza del Suolo firmato da:

Ernesto Alinari	Claudio Antoniani	Ettore Bottini
Ottaviano Bottini	Ugo Buli	Alfonso Draghetti
Antonio Fabris	Carlo Ferrari	Giuseppe Gattorta
Giovanni Haussmann	Cesare Lippi Boncampi	Alberto Malquori
Fiorenzo Mancini	Luigi Marimpietri	Valentino Morani
Francesco Carlo Palazzo	Gino Passerini	Giovanni Petrosini
Ugo Pratolongo	Paolo Principi	Enrico Romano
Orfeo Turno Rotini	Giovanni Sandri	Luigi Vodret

Ben quattro di loro venivano dal nostro Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante. Romano lo avevo conosciuto personalmente, gli altri era come se li conoscessi per quanto ne avevo sentito parlare dai colleghi più anziani. Bene, perché non rendere omaggio ai "nostri grandi" come era stato fatto per il Prof. Marini Bettolo, dall'Accademia delle Scienze e quale migliore occasione della celebrazione del cinquantenario della SISS.

Con Rosa Francaviglia abbiamo presentato l'idea di un Bollettino d'oro al nostro Presidente che l'ha subito fatta sua proponendola al Consiglio Direttivo. Con molto entusiasmo è stato accolto da tutti gli "allievi" l'invito a scrivere dei propri maestri ed il numero è stato così realizzato.

In esso sono contenute le biografie di:

Maestro	Allievo
Claudio Antoniani	Linda Gondelberg Federico
Gian Pietro Ballatore	Giovanni Fierotti
Alvise Comel	Andrea Vitturi
Tomaso Eschena	Carlo Gessa
Gino Florenzano	Riccardo Materassi
	Franco Favilli
Alberto Malquori	Paolo Fusi
	Gabriele Ristori
Luigi Marimpietri	Corrado Nigro
Valentino Morani	Corrado Nigro
Gino Passerini	Marcello Pagliai
Ugo Pratolongo	Paolo Sequi
Paolo Principi	Fiorenzo Mancini
Enrico Romano	Girolamo Mecella
Orfeo Turno Rotini	Paolo Sequi
Onorato Verona	Giovanni Picci

Al di là dell'affetto che trapela da ogni singola biografia ritengo fondamentale ed educativo, soprattutto per i giovani soci (ma anche per i non soci, ma comunque addetti ai lavori) che non si renda vana la memoria di chi ha speso una intera vita per l'affermazione della Scienza del Suolo.

Si tende a dimenticare troppo spesso e come ricordato dal Presidente nelle pagine introduttive a questo numero d'oro il suolo non di rado viene trascurato, noi siamo attualmente eredi del patrimonio costruito dai nostri predecessori, a noi il compito di trasferirlo ai più giovani.

L'attuale struttura sociale impostata su mezzi di comunicazione di massa non ci viene molto in aiuto, sembra un paradosso, ma l'avvento dei nuovi mezzi di comunicazione ci porta ad abbandonare il passato. Recentemente in un convegno Paolo Nannipieri affermava che i giovani non studiano più i caposaldi della nostra scienza, ma che si limitano a sapere tutto sull'accaduto negli ultimi tre anni, navigando su Internet, grazie all'ausilio dei current contents, si riesce a fare un'indagine bibliografica capillare degli ultimi tre anni, ma purtroppo il progresso è obsoleto. Così il rischio di perdere la memoria scientifica è altissimo, ma è anche altissimo il rischio di ripercorrere strade già battute ed incorrere in errori e problemi già risolti.

Ho curato personalmente una piccola inchiesta dedicata alla conoscenza dei nostri "grandi" proponendo ad un campione rappresentativo di attuali studiosi del suolo (soci e non soci) un questionario nel quale veniva richiesto di rispondere alle seguenti domande rispetto ai protagonisti del numero d'oro:

non lo conosco
ne ho sentito parlare
conosco la sua opera
ho studiato i suoi lavori

è emerso che al di sopra dei 45 anni la totalità delle risposte era compresa tra conosco la sua opera, ho studiato i suoi lavori; fino ai 35 anni la risposta più frequente è stata non lo conosco; tra i 35 ed i 45 anni la risposta è stata mista tra ne ho sentito parlare e non lo conosco, mentre limitatamente al solo campo di interesse conosco la sua opera, indipendentemente dall'appartenenza o meno alla SISS. Queste risposte mi hanno certamente fatto riflettere, ma dovrebbero far riflettere tutti noi. Se noi conosciamo i pionieri italiani della Scienza del Suolo ed i giovani ricercatori e gli studenti probabilmente la colpa è proprio nostra perché non sappiamo muovere in loro quella curiosità che in noi è stata mossa dai nostri maestri, oppure dobbiamo andare a ricercare altre cause, e probabilmente questa corsa sfrenata alla "novità" porta a perdere le nostre radici. Tutto ciò è estremamente pericoloso in quanto è dalla conoscenza e dall'informazione che deriva anche la convinzione dell'importanza di una disciplina piuttosto che una altra.

Umberto Galimberti filosofo ed opinionista contemporaneo, a proposito della comunicazione di massa ed in particolare di Internet scrive:

*Radio, televisione, personal computer, Cd-Rom, ci plasmano qualunque sia lo scopo per cui li impieghiamo; per diversi che siano gli scopi a cui tendono, hanno in comune il fatto che noi **non** vi prendiamo parte, ma ne consumiamo soltanto le informazioni. Questa condizione, che vale per la televisione, vale, anche se non sembra, per l'Internet, dove il "consumo in comune" del mezzo non equivale ad una "reale esperienza in comune". Ciò che nell'Internet si scambia, quando non è una somma spropositata di banalità, è pur sempre una realtà **personale** che non diventa mai una realtà **condivisa**. Lo scambio ha un andamento solipsistico. Ciò trasforma il nostro modo di fare esperienza. Non più il viandante che esplora il mondo, ma il mondo che si offre al sedentario che è estraneo al mondo proprio perché non lo percorre, e al limite neppure lo abita. Il mondo può diventare illeggibile per overdose di informazioni e l'uomo perdere il bene più prezioso che è la capacità di fare esperienza.*

Tutto questo apre interrogativi molto ampi, è certo comunque che stiamo perdendo la nostra biodiversità uniformandoci anche nel linguaggio, nella scrittura, nella comunicazione all'essenzialità della macchina.

Quanto sono affascinanti quelle lettere scritte di proprio pugno rispetto ad un freddo messaggio e-mail. Già dalla busta dalla grafia si riconosce l'autore della lettera e, senza andare così lontano da ricordare gli appunti sull'uomo di Vitruvio scritti da Leonardo da Vinci da destra verso sinistra leggibili solo con l'ausilio di uno specchio, basta pensare alla lettera di Emil Roux a Winogradsky quando nel 1922 lo invitava a dirigere presso l'Istituto Pasteur di Parigi il primo laboratorio al mondo di microbiologia del suolo, oppure tutte le belle parole di saggezza e scienza incise sui muri della scuola Ettore Majorana e riprese da appunti appartenuti a Fermi, Eistein, Majorana, ecc.

Per finire voglio fare un po' di poesia, Ugo Foscolo per amor di patria scriveva:

"A egregie cose il forte animo accendono l'urne de' forti, o Pindemonte; e bella e santa fanno al peregrin la terra che la ricetta....."

Noi per amore della scienza rendiamo viva l'opera di chi ci ha preceduto perché ha ancora tanto da dirci nella speranza che tra cinquant'anni qualcuno senta il desiderio di scrivere qualcosa su di noi.

Institut Pasteur

25, RUE DUTOT

(XV^e Arrondⁱ)

PARIS. le 23 Février 1922.

TELEPHONE | SAKS 08-27
| — 14-14

Cher Monsieur Winogradsky,

Nous collègues et moi nous vous serons reconnaissants de venir vous établir à l'Institut Pasteur; vous y apporterez votre illustration scientifique et vous pourrez y poursuivre, sans aucune préoccupation d'enseignement, vos belles recherches. Nous serons fiers de compter après Metchnikoff, Winogradsky parmi les nôtres. Vous serez pour nous les maîtres en ce qui concerne la bactériologie du sol. Malgré les difficultés de l'heure présente, nous vous installerons dans un laboratoire et dans une situation digne de l'ans.

J'espère que vous pourrez bientôt m'écrire que vous acceptez et je vous prie de croire à mes sentiments les plus dévoués.

Et Roux.

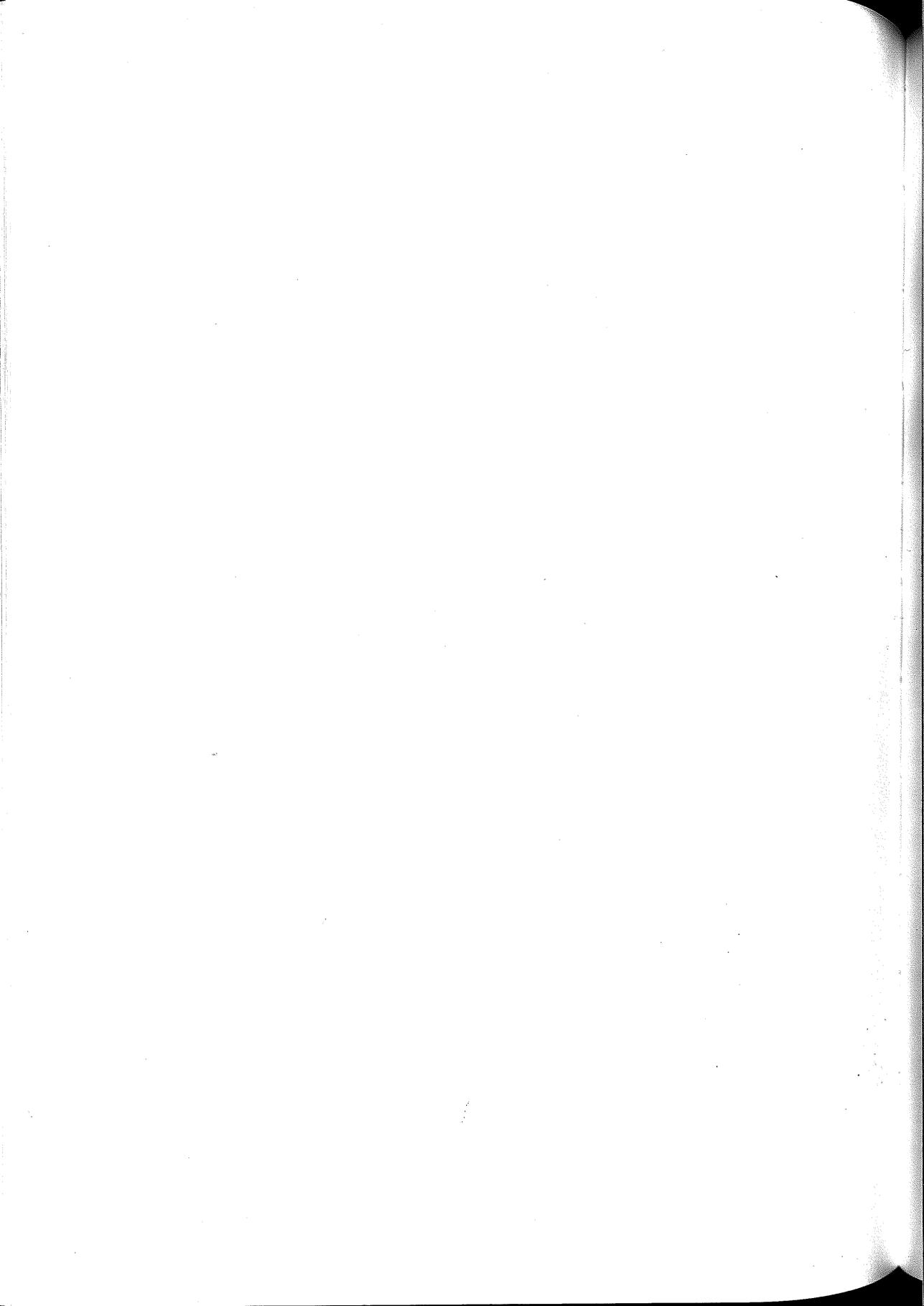
Monsieur Winogradsk, No Subject

To: Monsieur Winogradsky
From: Emil Roux <emilroux@pasteur.par.fr>
Subject:
Cc:
Bcc:
Attached:

Cher Monsieur Winogradsky,
nos collègues et moi nous vous serons reconnaissants de venir vous établir à l'Institut Pasteur; vous y apporterez votre illustration scientifique et vous pourrez y poursuivre, sans aucune préoccupation d'enseignement, vos belles recherches. Nous serons fiers de après, Winogradsky parmi les nôtres. Vous seriez dans nous le maître en ce qui concerne la bactériologie du sol. Malgré les difficultés de l'heure présente, nous vous installerons dans un laboratoire et dans une situation digne de vous. J'espère que vous pourrez bientôt m'écrire que vous acceptez et je vous prie de croire à mes sentiments les plus distingués.

Emil Roux

Printed for Emil Roux <emilroux@pasteur.par.fr>



RISOLUZIONE

Gli oltre 150 Scienziati provenienti da numerosi Paesi Europei, riuniti dal 16 al 22 maggio 2001 presso la Advanced School for the Study of the Agronomical Problems of the Mediterranean Regions "G.P. Ballatore" dell'International Centre for Scientific Culture "Ettore Majorana" di Erice per fare il punto sullo stato del suolo nel Mondo,

sentite

le relazioni presentate durante i lavori,

ascoltati

i numerosi interventi seguiti alla Tavola Rotonda sul ruolo svolto dalla Società Italiana della Scienza del Suolo nei rapporti tra Scienza e Realtà Sociali,

constatato che

1. il livello di degradazione dei suoli ha già raggiunto, in alcune parti del mondo, limiti che non devono assolutamente essere superati,

2. la dotazione di suolo pro-capite si abbassa di continuo, tanto da fare prevedere che entro non molti anni passerà dagli attuali 0,25 ettari a 0,15 ettari,

3. la popolazione mondiale cresce a ritmi molto sostenuti, concentrandosi per il 90% circa nei Paesi in via di sviluppo,

4. lo stato di inquinamento e di degradazione del suolo nei Paesi ad alto sviluppo è in continuo aumento,

5. lo stato di "Emergenza" non può essere fermato senza prendere idonei provvedimenti,

6. la Ricerca Scientifica manca di adeguati finanziamenti;

preso atto che

1. mancano i dovuti collegamenti fra i risultati della Ricerca e le sue applicazioni sul territorio,

2. il suolo, in quanto entità vivente, viene sistematicamente dimenticato dagli organi ufficiali dei Governi Nazionali, oltre che dai mass-media;

esprimono

la più viva soddisfazione per l'attenzione ed il ruolo che il Centre for Scientific Culture "Ettore Majorana" di Erice, presieduto dal Prof.

Antonino Zichichi, riserva al problema del suolo, diventato una vera e propria "Emergenza Planetaria"

sottolineano che

1. il suolo è il nodo degli equilibri ambientali che assicurano la continuità della vita sulla Terra e la salute del territorio,

2. il suolo è una risorsa limitata da difendere e conservare per le generazioni future;

auspicano

una maggior attenzione al "problema suolo" anche attraverso la costituzione di un "Tribunale" che curi continui e necessari collegamenti fra Scienza e Realtà Sociali

approvano

all'unanimità e seduta stante di affidare alla Società Italiana della Scienza del Suolo il compito di portare il problema dell'"Emergenza suolo", con ogni iniziativa ritenuta utile, all'attenzione dei Governi di tutto il Mondo, delle Autorità preposte alla tutela ambientale e delle risorse naturali, delle Scuole di qualsiasi livello e grado, e degli Istituti di Ricerca di ogni Paese, perché venga acquisita da tutti una "Coscienza del suolo" in grado di fermare, o almeno rallentare, i fenomeni sempre più incombenti di Degradazione e di Desertificazione

impegnano i Governi

1. a mantenere e ricostituire la biodiversità e la pedodiversità che condizionano tutto il sistema vivente e quindi la qualità della vita,

2. a favorire politiche territoriali e in particolare agro-forestali dirette a sviluppare gli effetti di immagazzinamento del carbonio nel suolo che da solo, in molti casi, può contrastare le emissioni derivanti dalla combustione dei fossili e quindi l'*effetto serra*,

3. a favorire la chiusura dei cicli degli elementi nutritivi nel suolo e quindi a riutilizzare tutti i rifiuti in modo naturale evitando nei limiti del possibile le collocazioni improprie, quali per esempio le discariche e l'incenerimento,

4. a tenere nel dovuto conto che la qualità del suolo condiziona la qualità dell'aria, delle acque e della vita dell'uomo.

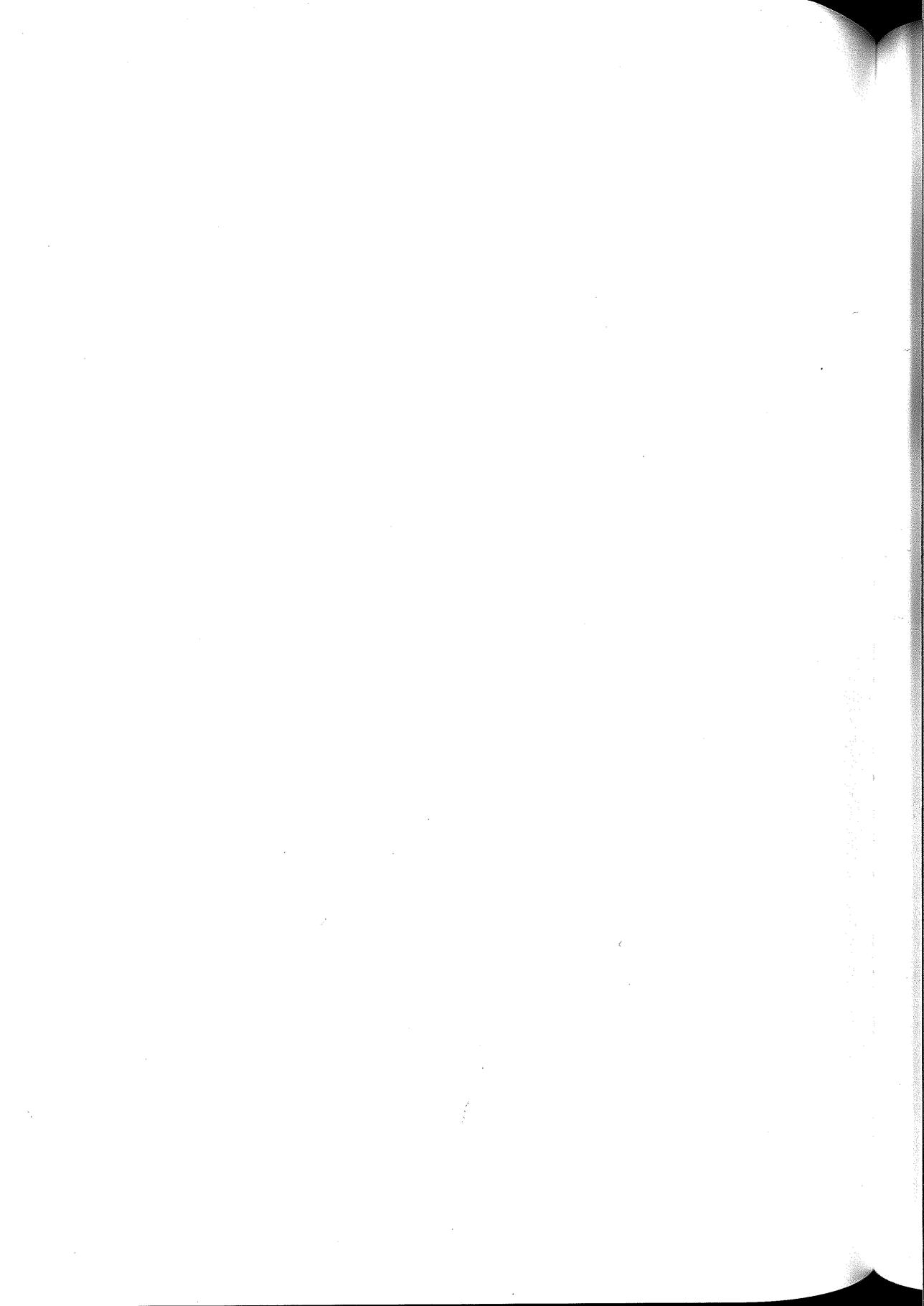


Suoli e paesaggi della Sicilia Occidentale: problematiche ambientali

Guida all'escursione

a cura di

A. Bambina, K. Caniglia, G. Funari, A. Indorante, V.A. Laudicina,
G. Lo Papa, D. Tusa



PRESENTAZIONE

Questa guida dedicata ad illustrare le due giornate di escursioni del Convegno, esce dagli schemi classici, per proiettarsi verso una realtà generata dalla follia della natura e degli uomini. Dove, infatti, si svolgeva la vita di ogni giorno, all'improvviso, in una notte di autentica tregenda, si sono scatenate le forze della natura, lasciandosi dietro una interminabile catena di tragedie e di lutti. L'iniziale stato di incredulità degli uomini, con il passare del tempo si è trasformata in assurda rassegnazione con gravi conseguenze nell'intero ecosistema locale, ancora oggi non sanate.

La ricostruzione, a distanza di tanti anni ancora non del tutto completata, l'assurdo consumo di ottimi suoli, la violenza perpetrata nei confronti del paesaggio naturale, gli inutili archi di trionfo, le orribili opere di cementificazione contrabbandate come vere e proprie opere d'arte, la ricostruzione dove forse sarebbe stato meglio non farla, sono tutte testimonianze della follia e della incoscienza degli uomini che, nella loro presunta onnipotenza, hanno creduto di potere fare anche quello che sarebbe stato opportuno non fare.

Forse, nello scrivere queste parole, mi sono lasciato trascinare dalla delusione o dall'amore e dall'attaccamento a questa mia Terra siciliana, troppo spesso così vituperata e violentata dai suoi stessi figli, a voi rimane il compito di giudicare con animo sicuramente meno passionale del mio.

La seconda giornata avrà inizio con la visita alle Cave di Cusa per me motivo di sconvolgimento ogni volta che ho la ventura di venirle a vedere.

Siediti sotto quell'albero d'ulivo che pare faccia da guardia alle Cave, e immergiti nell'assurdo silenzio del luogo, interrotto di tanto in tanto dal canto degli uccelli o di una solitaria cicala. Vedrai apparire pian piano innanzi a Te, una turba vociante di operai (o di schiavi?), ognuno con i propri problemi, con i propri pensieri, con la necessità di dovere provvedere giorno dopo giorno al sostentamento di se stesso e a quello dei familiari.

Di quante sofferenze, passioni, amori, delusioni, dolori, speranze, saranno stati muti testimoni le Cave che oggi veniamo ad ammirare ?

Poi improvvisamente su di esse cala il silenzio più assoluto che ci ricorda una storia, forse da noi troppo enfaticizzata, ma che ha lasciato indelebile testimonianza della sua presenza, nei magnifici templi di Selinunte, a cui fanno da contraltare le meraviglie ai tramonti di fuoco che si riverberano, in un trionfo di colori, nelle calme acque delle saline di Mozia.

Tutto questo Vi abbiamo voluto offrire nelle due giornate di escursione.

Ci siamo riusciti?

Non lo so, ma esse sono state preparate con la passione e l'entusiasmo di Carmelo Dazzi, Salvatore Monteleone e Salvatore Raimondi affiancati dalla instancabile opera di Katuscia Caniglia, Gaetano Furnari, Antonino Indorante, Vito Armando Laudicina, Vito Lombardo, Giuseppe Lo Papa, Riccardo Scalenghe e Delia Tusa a cui va il mio più vivo e caloroso ringraziamento.

Un affettuoso e particolare grazie sento di dovere rivolgere a Sebastiano Tusa, illustre Archeologo di fama internazionale, che ha sacrificato una sua giornata domenicale, per farci rivivere, come Lui solo sa fare, un'importante pagina di storia scritta dai nostri Padri.

Giovanni Fierotti

Programma

Sabato 19 maggio 2001

MONTEVAGO stop 1

POGGIOREALE RUDERI stop 2

GIBELLINA RUDERI stop 3

FOCE DEL BELICE stop 4

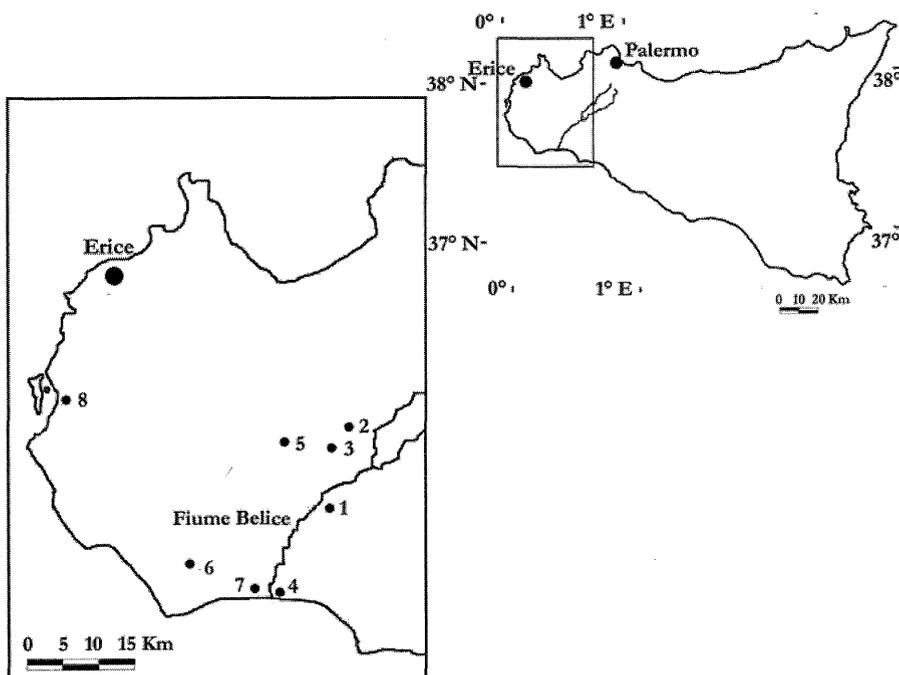
GIBELLINA NUOVA stop 5

Domenica 20 maggio 2001

CAVE DI CUSA stop 6

SELINUNTE stop 7

SALINE DI TRAPANI stop 8



Gli stop previsti nelle due giornate di escursione nella Valle del Belice e nell'area costiera del trapanese.

La Sicilia

1. La Sicilia (25.701,37 km²) è la più estesa regione italiana nonché la più grande fra le isole del Mediterraneo; dista dall'imbocco del Canale di Suez circa 1.850 km, dal Canale di Gibilterra circa 1.650 km, dalla costa africana 140 km e dalla penisola circa 3,4 km. Le coste siciliane hanno uno sviluppo di 1.039 km lungo le quali si trova accentrata la gran parte dei 5,2 milioni di abitanti.

È caratterizzata da un clima mediterraneo con lungo periodo di siccità primaverile-estivo (20-25% del totale delle piogge annue) e periodo autunnale ed invernale durante il quale cade il rimanente 75-80%. La piovosità media annua (Fig. 1) varia da 500 mm per le zone di pianura, a 800-1.500 mm per le quote più elevate. Le temperature medie annuali (Fig. 2) oscillano da 16-20°C per le zone costiere e di pianura, a 12-16°C per le zone collinari e sub-montane, fino a 8-12°C per le parti più alte dei rilievi ed inferiori ad 8°C nella parte sommitale dell'Etna.

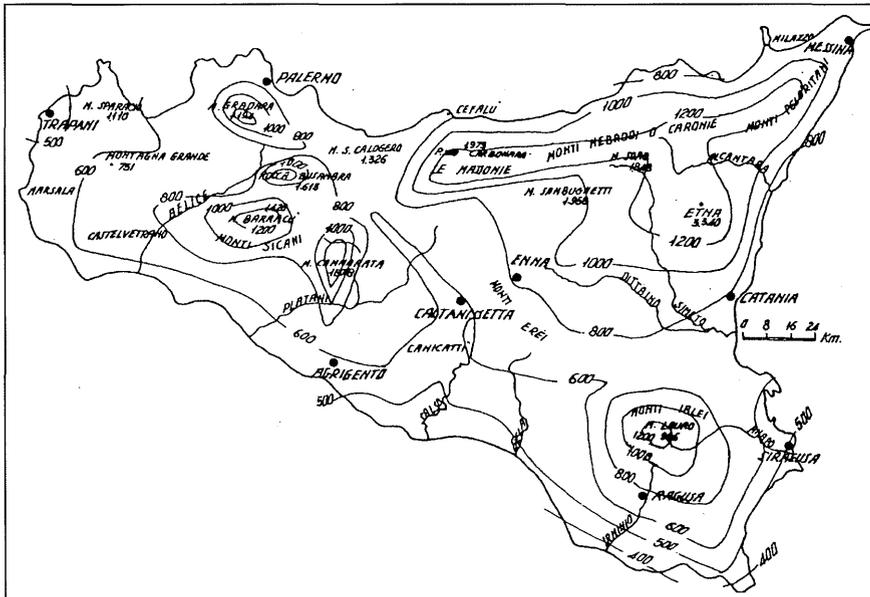


Figura 1. Distribuzione della piovosità media annua (mm)

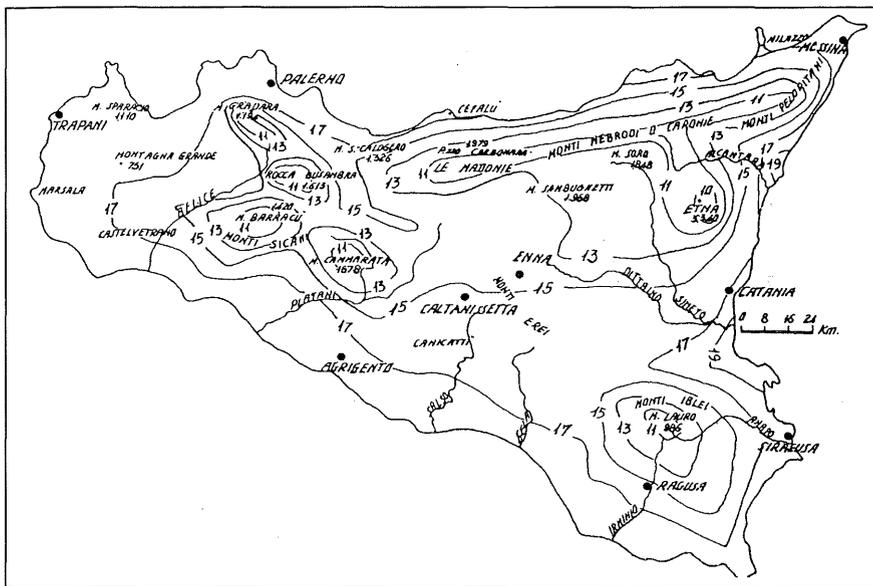


Figura 2. Distribuzione della temperatura media dell'aria (°C)

L'altitudine media in Sicilia è di 411 m s.l.m. Attenendosi alla definizione di pianura, collina e montagna dell'ISTAT (rispettivamente 0-300 m, 300 - 700 m, > 700 m compresi altopiani e valli), la pianura interessa 364.093 ha (14,2% dell'intera superficie), la collina 1.577.950 ha (61,4%) e la montagna 628.617 ha (24,4%). Il sistema montano è costituito: dai monti Peloritani, Nebrodi e Madonie che si sviluppano lungo la fascia costiera settentrionale compresa tra la città di Messina e Palermo, dai monti dell'interno: Sicani, Erei, Iblei e dall'Etna, il monte più alto della Sicilia. Per quanto riguarda la giacitura, il 28% della superficie presenta una pendenza inferiore al 5%; il 40% dal 5% al 20%; il 24% dal 20% al 40% e l'8% superiore al 40%; si intuisce come nelle formazioni litologiche più facilmente aggredibili dall'acqua è presente una diffusa erosione superficiale che talora diventa profonda fino a trasformarsi in veri e propri fenomeni calanchivi.

Le formazioni geologiche più antiche (Paleozoico) in Sicilia affiorano nel messinese ove costituiscono l'ossatura principale dei monti Peloritani. Al Mesozoico sono invece da attribuire le formazioni calcaree e dolomitiche che affiorano sulle Caronie e che costituiscono quasi per intero le Madonie, i monti di Palermo e Trapani e i Sicani. Il Terziario oltre alle argille scagliose brune, è rappresentato dalle arenarie quarzose che costituiscono l'ossatura principale dei monti Caronie o Nebrodi. Particolare impor-

tanza assumono anche le colline dell'entroterra siciliano costituite da argille mioceniche. Ed è sempre al Miocene che vanno riferite le formazioni calcaree dell'Altopiano Ibleo e della Serie Gessoso-Solfifera, più diffuse in provincia di Caltanissetta, Agrigento e Trapani. Il Quaternario interessa la pianura ed è rappresentato da depositi alluvionali recenti. Lungo le fasce costiere settentrionali e sud-occidentali, esso è rappresentato da calcareniti e biocalcareniti, a luoghi con intercalazioni marnoso-arenacee, che ospitano un'estesa falda freatica di modesta potenzialità, mentre nella piana di Catania ed in quella di Gela, la cui natura è prevalentemente argillosa, le manifestazioni sorgentizie sono alquanto modeste.

2. Il panorama pedologico insulare, costituisce una policroma tavolozza assai interessante per l'estrema varietà di suoli che coprono tutta la vasta gamma che va dai tipi meno evoluti a quelli più evoluti. Infatti, dei dodici Ordini previsti dalla Soil Taxonomy, in Sicilia ne sono presenti sei e precisamente: Entisuoli, Inceptisuoli, Alfisuoli, Vertisuoli, Mollisuoli, Andisuoli. Non sono da escludere gli Aridosuoli. Sui maggiori rilievi siciliani, si sono differenziati i Lithic Xerorthents pressoché improduttivi, che si accompagnano ai Typic e/o Lithic Dystrocherepts ed ai Typic e/o Mollic e/o Ultic Haploxeralfs. Inoltre, oasisticamente sulle formazioni calcaree dei principali sistemi montuosi si possono trovare i Typic e/o Lithic Rhodoxeralfs ed i Typic Calcixererepts. La collina argillosa dell'entroterra è caratterizzata da una catena di suoli che, a partire dalle quote più elevate è costituita dai Typic Xerorthents, la cui potenzialità è molto bassa. Alle quote mediane dove le pendenze si addolciscono, si trovano i Typic e i Vertic Haploxererepts e i Typic Calcixererepts, secondo anello della catena, con una potenzialità agronomica variabile, rispettivamente, da buona a medio-bassa. Alle quote inferiori e su pendici ancora più lievi, troviamo il terzo ed ultimo anello della catena costituito dai Typic Haploxererepts e/o Calcixererepts, la cui potenzialità agronomica nei confronti delle colture cerealicole e foraggere è notevole. L'ambiente collinare della Serie Gessoso-solfifera è costituito essenzialmente dagli stessi tipi pedologici ma, l'accumulo di gesso può essere tale da determinare la formazione di un orizzonte "gypsico". Nelle valli interne e nelle ampie pianure costiere sono presenti i Typic Xerofluvents, le cui caratteristiche fisico-chimiche differiscono da luogo a luogo potendo variare entro limiti abbastanza ampi; possiamo così riscontrare i Calcic, i Vertic e gli Aquic Xerofluvents. Il quadro pedologico isolano si completa con i suoli che si sono evoluti sulle basse piattaforme calcaree dell'entroterra costiero che caratterizzano la Sicilia occidentale e sud-occidentale e presentano una copertura pedologica di Lithic e/o Typic Rhodoxeralfs, frammisti ai quali troviamo i Typic e/o Lithic Haploxeralfs dai quali differiscono per il colore più bruno. Scarsissima incidenza, infine, hanno le formazioni sabbiose

(Xeropsamments) della Sicilia occidentale, i Typic Psammaquents della Sicilia orientale ed i paleosuoli tra i quali il più diffuso è il Fuciligno (Vertic Ultic Palexeralf) presente sulle formazioni arenacee glauconitiche e su altre formazioni similari.

3. Secondo la classificazione fitoclimatica di Pavari, la Sicilia ricade, dalla costa fino a 300-500 m s.l.m., nella zona del Lauretum sottozona calda e fino a 800 m s.l.m. nella zona del Lauretum sottozona fredda. Il castagno insieme alla roverella è la specie che caratterizza la zona del Castanetum in cui si distingue la sottozona calda compresa tra 600 e 900 m s.l.m. e la sottozona fredda fino a 1.500 m s.l.m.. La fascia altimetrica compresa tra 1.300 e 1.500 m s.l.m. ricade nella zona del Fagetum caratterizzata dal faggio e sull'etna dal pino laricio. La superficie boscata totale è di 283.080 ettari (indice di boscosità dell'11%). La provincia con la maggiore superficie boscata è Messina, mentre Ragusa con 7.574 ettari di bosco è la provincia meno boscata. Il bosco puro di latifoglie è costituito prevalentemente dal cerro (*Quercus cerris* L.) presente sui Peloritani e Nebrodi, in provincia di Messina, e nel comprensorio etneo, in provincia di Catania, e dall'*Eucalyptus* sp. distribuito nelle rimanenti provincie. I boschi puri di conifere sono costituiti dal pino domestico (*Pinus pinea* L.) e dal pino marittimo (*P. pinaster* Aiton) diffusi nella provincia di Messina e dal pino laricio dell'Etna (*P. laricio* Poir.). I boschi misti sono costituiti da latifoglie e principalmente dall'eucalitto che è il genere più diffuso (15.500 ha). L'Oleo-Ceratonion è la fascia climax della foresta sempreverde mediterranea che si ritrova nelle aree più basse e nei litorali; l'olivastro (*Olea europea* L. var. *sylvestris*), il carrubo (*Ceratonia siliqua* L.), l'assenzio arboreo (*Artemisia arborescens* L.) e dalla palma nana (*Chamaerops humilis* L.) sono le specie che caratterizzano tale orizzonte. Nelle zone più siccitose e dove l'abbandono culturale ed il carico di bestiame sono intensi prevalgono le praterie xeriche a lino delle fate annuali (*Stipa tortilis* Desf.) considerate come lo stadio estremo ed irreversibile di degradazione. Caratteristiche sono, anche, le formazioni a cisti, rosmarini ed erica. La fisionomia della vegetazione è quella della bassa boscaglia in cui gli alberi raramente superano i tre metri d'altezza ed in cui si distinguono arbusti sclerofilli, il lentisco (*Pistacia lentiscus* L.), l'euforbia (*Euphorbia characias* L.) ed il timo (*Tymus capitatus* (L.) Hoff. e Link).

4. Secondo i dati della Regione Siciliana (2000), la superficie totale investita a colture agrarie è pari al 69,1% dell'intero territorio ripartiti fra seminativi, prati permanenti, pascoli e coltivazioni permanenti. La maggior parte della superficie investita a seminativo è occupata dal grano duro. Agrumeti e carrubeti sono le colture permanenti specializzate maggior-

mente presenti nella pianura e nella bassa collina insieme al pistacchio ed al mandorlo mentre la vite è la coltura che trova la sua massima estensione nell'area dell'Oleo-Ceratonion ma riesce a spingersi, insieme all'olivo, fino all'area del Quercion pubescenti-petraeae. Lungo le aree costiere del palermitano e del trapanese sono diffusi l'arancio, il limone ed il mandarino; queste colture si ritrovano pure sui suoli terrazzati delle fiumare del messinese, lungo la costa tirrenica e nella piana di Catania.

Valle del Belice

1. Il Belice è uno dei maggiori fiumi della Sicilia. Noto dall'antichità con il nome di Hypsas risulta dall'unione di due corsi d'acqua: il Belice destro e il Belice sinistro. Il primo (km 55) si origina dal versante sud dei monti di Palermo, presso il Pizzo Magazzino e il Pizzo Pelavet, a sud-ovest di Piana dei Greci (PA); il secondo (km 57), che nasce come fiume di Frattina, si origina dalle pendici di Rocca Busambra, a nord di Corleone (PA). I due corsi d'acqua confluiscono per formare il fiume Belice, a circa 25 km in linea d'aria dalla costa meridionale della Sicilia, precisamente poco a nord di Cozzo Malacarne, fra il centro abitato di Salaparuta e Rocca d'Entella, la sua foce si trova ad est di Marinella di Selinunte (TP).

La "Valle del Belice" si estende in direzione NE-SW occupando una superficie di 96.400 ha da Monreale e Piana degli Albanesi, alle porte di Palermo, fino alla foce del fiume Belice in territorio di Castelvetro (TP), interessando le tre province della Sicilia Occidentale: Palermo, Agrigento e Trapani. Il bacino, per la sua ampiezza, mostra diverse componenti ambientali che lo rendono parecchio rappresentativo dell'intero territorio siciliano. In esso è possibile distinguere nettamente tre tipologie morfologiche: la montagna, che caratterizza tutte le aree altimetricamente più elevate e che fanno da corona al bacino prevalentemente nel tratto nord-est; la collina, che occupa ampi tratti nella zona centrale del bacino; la vallata che, in particolare dopo la confluenza dei due corsi di origine, diviene ampia e spaziosa permettendo al fiume di scorrere con ampi e tortuosi meandri fino alla foce.

Sul piano storico la regione mostra caratteri di univocità e omogeneità che hanno origini assai remote, risalenti alla primitiva stanzialità di popolazioni sicane che tra il II e il I sec a.C. costruiscono stabili villaggi nelle aree collinari. Significative le influenze delle comunità degli Elimi e dei Fenici. Dopo la fondazione di Selinunte, nel 650 a.C., la città greca assume un ruolo egemonico sui territori circostanti e, entrata in conflitto con Segesta, viene distrutta da Annibale nel 409 a.C. In età romana e bizantina viene fa-

vorita l'estensione dei latifondi e le coltivazioni cerealicole, durante il dominio degli Arabi invece gli insediamenti urbani (sec. IX); il fiume diventa in questo periodo principale via di comunicazione territoriale e di collegamento con la costa tirrenica, e lungo il suo corso si sviluppano numerosi castelli e casali. Nei secoli successivi, dopo la conquista normanna, si consolida la struttura feudale e la valle del Belice passa in mano alla nuova aristocrazia terriera. L'instabilità politica e una precaria sicurezza incrementano i luoghi fortificati, e le campagne si spopolano determinando un progressivo impoverimento delle risorse sociali ed economiche del territorio. Tra il XVI e il XVII sec. al fine di un rilancio delle produzioni agricole, la classe baronale, attraverso l'esercizio dello "jus populandi", rinnova le strutture insediative della valle e vi fonda i centri di Campobello di Mazara, Menfi, S. Margherita, Montevago, Poggioreale, S. Ninfa, Camporeale.

2. Sotto l'aspetto geologico, nei settori più settentrionali della valle (aree di testata), le successioni carbonatiche *imeresi*, che coprono le aree di spartiacque costituendo i rilievi di quota maggiore, vengono gradatamente sostituite in affioramento dalle sequenze quarzarenitiche ed argillomarnose o argillo-sabbiosoconglomeratiche, che occupano i settori più meridionali e che, per la maggior erodibilità, conferiscono un assetto morfologico più dolce favorendo anche lo sviluppo di piane alluvionali che occupano i corsi medi dei due rami fluviali. Il settore mediobasso del bacino mostra una successione geologica ove le rocce più antiche sono costituite da sequenze di calcari, calcari marnosi e marne calcaree, di età Trias sup. Oligocene, che costituiscono i rilievi di M. Maranfusa (476 m), situato in sinistra idrografica del Belice destro, in prossimità dell'abitato di Roccamena, e di M. Magaggiaro (399 m) posto in sinistra idrografica a circa 10 km di distanza dalla foce. Seguono argille, argille marnose e conglomerati appartenenti alla "formazione *Terravecchia*" (Tortoniano sup. - Messiniano inf.) che affiorano estesamente lungo i versanti sia in destra che in sinistra idrografica occupando prevalentemente le aree di fondovalle. I depositi evaporitici, costituiti da successioni di gessi selenitici e gessareniti laminate con intercalazioni di livelli calcareniticoargillosi, appartenenti all'Unità Evaporitica Superiore (Messiniano), affiorano a cavallo della confluenza dei due rami (destro e sinistro), originando una dorsale orientata NNWSSE. Alle successioni evaporitiche seguono in trasgressione marne calcaree a Globigerine ("*Trubi*") del Pliocene inferiore. A sud dell'abitato di Poggioreale affiora una potente successione di terreni argillosi, argillomarnosi ed arenacei ("*fm. Marnosoarenacea del Belice*") databili al Pliocene medio sup. Le calcareniti bioclastiche del Pleistocene sono i terreni più recenti presenti nell'area considerata; affiorano nella parte alta dei versanti e talora costituiscono gli interfluvi con i bacini limitrofi. L'andamento morfologico è caratterizzato dalla presenza dell'ampia valle del

Fiume Belice i cui versanti sono costituiti da terreni a comportamento litotecnico differente ed assumono un assetto ripido e scosceso soprattutto a Sud della S.S. 188 nel tratto fra Partanna e Montevago. Le condizioni di stabilità dei versanti, nonostante le mediocri caratteristiche meccaniche dei terreni a comportamento plastico, sono generalmente buone tranne alcuni tratti più elevati dove sono presenti movimenti di massa tipo "scorrimenti rotazionali" che interessano le argille marnose plioceniche coinvolgendo, nel loro movimento, anche i depositi calcarenitici soprastanti. Dal punto di vista tettonico l'area è interessata da diverse linee di dislocazione con andamento NE-SW, ed in subordine EW, legate alla fase tettonica plioleistocenica. La faglia principale, con direzione NE-SW, è quella sulla quale si è impostato l'asse idrografico del F.me Belice. Sullo stesso allineamento sono presenti anche alcune sorgenti termali ($T=37^{\circ}\text{C}$).

3. La piovosità media annua (periodo di osservazione 1965 - 1994) è di 686 mm, con temperatura media annua di 17°C ed escursione termica di 16°C . Tuttavia, durante i mesi di Luglio ed Agosto non sono infrequenti valori termometrici massimi di $37-38^{\circ}\text{C}$ ed oltre con escursioni giornaliere anche di $20-21^{\circ}\text{C}$. La valle, pur presentando un periodo di 4 mesi secchi, è attraversata da correnti che la rendono particolarmente fresca in estate e che limitano l'evapotraspirazione. Sono queste particolari manifestazioni climatiche che imprimono alla zona caratteristiche peculiari dal punto di vista agronomico.

4. L'agricoltura della Valle, potendo contare su una piovosità autunno-vernina sufficientemente elevata, su suoli con ottima capacità di invaso, che consentono di tesaurizzare al massimo le risorse idriche naturali, è particolarmente sviluppata. Nell'ultimo trentennio la zona si è arricchita di una miriade di laghetti collinari e di serbatoi a corona che vengono riempiti per sollevamento delle fluenze invernali dei torrenti per essere poi utilizzate per l'irrigazione di colture erbacee, arboree o arbustive, principalmente della vite ad uva da vino. L'agricoltura più ricca si riscontra però lungo la parte terminale del corso del Belice dove vengono utilizzate le ricche fluenze estive del fiume per alimentare un impianto di irrigazione consortile, in territorio di Castelvetro (TP).

Prima del catastrofico terremoto del 1968 gli ordinamenti culturali della Valle del Belice erano di tipo cerealicolo-zootecnico, basati cioè sulla coltivazione del grano duro avvicendato con le leguminose e sugli allevamenti bovini allo stato brado; la viabilità era assai carente e rendeva le comunicazioni alquanto difficili. Dopo il terremoto, con lo scopo di risollevarne l'economia di queste popolazioni così duramente colpite dal sisma venne attuata una politica agricola basata sulla elargizione, direttamente all'a-

gricoltore, di contributi a fondo perduto e di prestiti a basso tasso di interesse per incentivare gli impianti arborei, principalmente della vite ad uva da vino, per la costruzione di serbatoi a corona per uso irriguo, per la realizzazione di impianti di irrigazione, da un lato, e per la creazione di grossi impianti cooperativi di vinificazione (Cantine Sociali) che avrebbero dovuto pure occuparsi della commercializzazione del prodotto.

L'economia della Valle del Belice oggi è basata sull'esercizio dell'agricoltura attorno a cui si sviluppano attività terziarie molto avanzate. Circa 49.320 ettari di superficie (52%) risultano occupati da seminativi, principalmente grano duro in avvicendamento con leguminose da granella e da foraggio, con il carciofo, con qualche coltura a ciclo primaverile-estivo come il melone ovvero con qualche erbaio estivo, 21.925 ha (23%) sono investiti a vigneto ad uva da vino, 4.100 ha (4,3%) ad olivo da olio, 3.675 ha (3,8%) a coltura promiscua vite-olivo, 1.330 ha (1,4%) a seminativo arborato, mentre gli agrumi, appena 62 ha, stanno facendo la loro prima apparizione negli ordinamenti colturali dell'agro di Castelvetro. Per il resto si tratta di pascoli, boschi, incolti ed improduttivi, mentre le aree urbanizzate occupano una superficie di 1.060 ha ed i corpi idrici (laghi artificiali Piana degli Albanesi e Garcia) 510 ha. La pastorizia è basata principalmente sull'allevamento della pecora "Valle del Belice", una razza autoctona particolarmente adatta alla produzione di latte e di carne, e su qualche raro allevamento bovino.

Il fiore all'occhiello di quest'area oggi è rappresentato dai vini, fra i più rinomati di Sicilia, che hanno ricevuto e ricevono riconoscimenti nazionali ed internazionali, specialmente da quando si è incominciato a sostituire le vecchie varietà autoctone con le varietà provenienti dal Nord Italia e dalla Francia che, portate in questi ambienti pedoclimatici, acquistano notevole precocità, mentre vengono esaltate e migliorate le loro caratteristiche organolettiche.

5. Nel territorio del bacino la pedogenesi risulta profondamente influenzata dalle differenti formazioni litologiche da cui i suoli hanno ereditato gran parte dei loro caratteri e dalle condizioni climatiche, caratterizzate da alidore estivo, accompagnato da accentuata aridità che si contrappone alle abbondanti precipitazioni e alle miti temperature invernali. Accanto a questi, si pone l'azione dell'uomo che nei secoli ha sottoposto i suoli ad una intensa coltivazione alterandone talora, anche profondamente, le caratteristiche naturali.

I Lithic Xerorthents sono presenti sulle principali emergenze montuose del bacino del Belice, anche se talora compaiono in pianura. Le morfologie sulle quali prevalentemente si rinvengono sono quindi le montane, con pendii accidentati e aspri. È qui che predomina la roccia affioran-

te (rock outcrop) mentre, laddove la morfologia si addolcisce, compaiono i Lithic Xerorthents, il cui concetto centrale è rappresentato da un suolo ai primissimi stadi di sviluppo, che evolve su roccia dura ed avente caratteri fisico-chimici che risultano fortemente condizionati dalle caratteristiche del substrato sul quale evolve. Per i Typic Xerorthents il concetto centrale è fissato su suoli giovani, ai primi stadi di sviluppo ma, al contrario dei primi, questi evolvono su rocce tenere o su substrati sciolti. Si rinvengono prevalentemente su morfologie collinari con pendici variamente inclinate e mostrano un profilo di tipo A-C e, nei casi in cui sono sottoposti a coltura Ap-C. Lo spessore va da pochi centimetri di profondità (10-15 cm) fino a 30-40 cm laddove l'erosione è molto bassa. Essendo dei suoli giovani, le proprietà fisico-chimico-idrologiche risultano fortemente condizionate dal substrato sul quale evolvono.

I Typic Xerofluvents e i Vertic Xerofluvents sono presenti in tutti i fondivalle, ovvero lungo il corso del fiume Belice e dei suoi affluenti. Essi mostrano un profilo di tipo Ap-C, talora di notevole spessore che trae origine da depositi alluvionali di vario tipo. Gran parte delle loro caratteristiche, quali ad esempio la tessitura, il grado di alterazione e di evoluzione, risultano fortemente condizionate dalla composizione mineralogica e dalle dimensioni degli elementi che costituiscono le alluvioni stesse. Così la tessitura può variare dal sabbioso molto permeabile al sabbioso argilloso semipermeabile, all'argilloso compatto impermeabile e, quando la tessitura passa all'argilloso, non è infrequente il caso che i suoli alluvionali presentino caratteri vertici.

Nei Typic Haploxererts, diffusi prevalentemente nella parte Nord-Orientale della valle, il profilo è del tipo A-C o meglio Ap-C, di notevole uniformità e spessore e non di rado raggiunge i due metri. Sono sempre suoli di elevata potenzialità agronomica e manifestano una spiccata fertilità che li fa classificare fra i migliori terreni agrari ad indirizzo cerealicolo. I Typic Haploxerepts e i Typic Calcixerepts sono i suoli più diffusi su tutta la valle. Sono abbastanza profondi e possono anche raggiungere e superare i 100 cm.

Le loro caratteristiche generali sono date da un profilo di tipo Ap-Bw-C, con l'orizzonte A di colore bruno scuro, relativamente spesso, che passa in modo molto graduale ad un orizzonte B di alterazione. La prima parte del suolo è normalmente decarbonatata e la reazione è tendenzialmente neutra o sub-alcalina. Sono suoli poveri in sostanza organica, con valori da medi a bassi di capacità di scambio e conducibilità bassa o molto bassa. La dotazione in elementi della fertilità risulta scarsa per l'azoto e per il fosforo totale, variabile da scarsa a buona per fosforo e potassio assimilabili. Il drenaggio, normale negli orizzonti superficiali, diviene lento in quelli più profondi. I Vertic Haploxerepts, anch'essi abbondantemente diffusi su

tutta l'estensione della valle, sono suoli a profilo Ap-Bw-C, con un solum di 60-80 cm, di colore variabile dal grigio chiaro al grigio scuro con varie sfumature intermedie. Presentano una buona struttura poliedrica, che passa a prismatica, da moderata a forte, nell'orizzonte B. Costituiscono uno degli elementi centrali della "catena" di suoli che caratterizza l'entroterra collinare argilloso siciliano. Laddove il substrato è costituito da gessi o comunque da elementi riferibili alla serie gessoso-solfifera, evolvono i Gypsic Haploxerepts, che risultano sostanzialmente simili ai predetti ma il cui valore agronomico rimane fortemente inficiato dalla presenza talora anche eccessiva di sali solubili rappresentati principalmente dai solfati. Questi ultimi si rinvencono esclusivamente nella parte centrale della valle in corrispondenza della confluenza del Belice Destro e del Belice Sinistro.

I Typic Haploxeralfs evolvono su morfologie collinari, con pendenze da moderate ad elevate. Il substrato è costituito prevalentemente da argille marnose o da argille varicolori. La profondità è sempre elevata e presentano un profilo del tipo Ap-Bt-C, con scheletro da assente ad elevato. La tessitura è sempre argillosa, mentre l'aggregazione, poliedrica in superficie, passa a prismatica grossolana in profondità. La reazione è alcalina e limitatamente sub-alcalina; il contenuto di calcare sia totale, che attivo risulta elevato. La sostanza organica è ben rappresentata e diminuisce con la profondità. Il complesso di scambio risulta saturo, il drenaggio lento, mentre il contenuto in elementi della fertilità è medio ad eccezione del potassio assimilabile che risulta sempre elevato. Questi suoli presentano poche limitazioni; la loro destinazione è diretta verso la cerealicoltura o la foraggicoltura e nei casi più favorevoli anche verso la viticoltura.

Si rinvencono principalmente a Sud del centro abitato di Montevago e tra i centri abitati di Corleone e Piana degli Albanesi. Gli Aquic Haploxeralfs sono suoli a profilo A-Btg-C molto profondi (cm 90 e oltre); hanno aggregazione prismatica molto evidente nell'orizzonte B, con screziature giallo-olivastre che indicano la presenza di fenomeni di idromorfia. Sono suoli poco rappresentati ma sparsi un po' ovunque. La limitazione maggiore di questi suoli è legata alla presenza dell'orizzonte argillico che limita notevolmente il drenaggio, con fenomeni di idromorfia.

I Calcic Haploxeralfs, localizzati quasi esclusivamente tra i centri abitati di Corleone e Campofiorito, sono caratterizzati da un orizzonte argillico arricchito in calcare. La profondità è sempre elevata e raramente scende al di sotto dei 60 cm. Il profilo è di tipo A-Bt-Bk-C, di colore grigio bruno, più o meno scuro in superficie e bruno oliva in profondità. I Mollic Haploxeralfs si rinvencono su morfologie accidentate con pendii da moderati a molto ripidi. Sono localizzati a Sud del centro abitato di

Contessa Entellina e a Nord-Est del centro abitato di Corleone. L'utilizzazione prevalente è il bosco, con leccio, sughera, frassino, roverella, limitatamente è presente il pascolo. Le principali limitazioni di questi suoli sono legate alla difettosa permeabilità degli orizzonti argillosi più profondi. La destinazione è quella forestale e, limitatamente ad alcune superfici, quella pascolativa. I Vertic Haploxeralfs, poco diffusi e localizzati principalmente nella parte centrale della valle, evolvono su morfologie collinari, con pendenze da lievi a moderate, talora elevate; hanno profilo di tipo Ap-Bt-C, da profondo a molto profondo.

I Vertic Ultic Palexeralfs, esclusivamente localizzati ad Est del centro abitato di Corleone sono caratterizzati dalla presenza di un orizzonte argillico con un complesso di scambio insaturo e dalla presenza di crepacciature mediamente larghe e abbastanza profonde. Si tratta di suoli profondi, a profilo Ap-Btg-C, di colore bruno, più o meno chiaro in superficie e rosso giallastro nell'orizzonte argillico, con screziature di colore rosso.

I Lithic Rhodoxeralfs spesso sono troncati a causa dell'erosione o per effetto di fattori antropici, di conseguenza la potenza di questi suoli è piuttosto limitata e si attesta mediamente intorno ai 40-45 cm. La reazione è prevalentemente neutra e i principali elementi nutritivi quasi sempre scarseggiano, con la sola eccezione delle terre rosse da antica data coltivate ad ortaggi ed agrumi, che pertanto hanno potuto beneficiare di laute concimazioni organico-minerali.

Sono suoli dall'elevata aridità pedologica che, accompagnata alla relativa profondità, determina una fertilità agronomica piuttosto bassa che comunque si esalta in presenza dell'acqua di irrigazione. Questi suoli si rinvengono esclusivamente nella zona collinare in corrispondenza del tratto terminale del fiume Belice. I Petrocalcic Palexeralfs, che occupano una ristretta superficie a Sud del centro abitato di Partanna, poggiano su di un crostone calcareo talora rotto in seguito a lavori di scasso. La tessitura è franco-sabbioso-argillosa o franco-sabbiosa. La struttura, poliedrica sub-angolare nell'orizzonte superiore passa a prismatica nell'orizzonte B. La reazione è sub-alcaina. Risultano quasi sempre deficienti dei principali elementi nutritivi e di materia organica.

Gli Haplic Xerarents derivano da profonde opere di scasso e di sistemazione delle superfici talora con notevole movimento di terra. Il materiale terroso, misto ad elementi del tenero substrato tufaceo, rimescolati insieme, danno origine ad un "suolo" (nel senso che, adeguatamente gestito, può sostenere un consorzio vegetale) in cui non è distinguibile al-

cuna disposizione di orizzonti, eccezion fatta per l'orizzonte di superficie (orizzonte Ap) continuamente lavorato in seguito alle normali operazioni agronomiche. Essi sono localizzati esclusivamente a Sud dei centri abitati di Montevago e Partanna.

6. Sulla base del prodotto RK dell'Equazione Universale di Perdita di Suolo è stata calcolata l'erosione potenziale dei suoli (Fig. 3). A tale scopo sono state definite le caratteristiche utili per calcolare il valore del fattore K (fattore erodibilità) e quindi è stata condotta un'analisi finalizzata al calcolo del fattore R (fattore erosività). Infine è stato ottenuto il valore del prodotto RK, tramutato in una Carta dell'Erosione Potenziale.

In condizioni morfologiche accidentate e su litotipi duri, dove si formano suoli molto giovani (Lithic Xerorthents) a profilo poco differenziato, i valori di erodibilità (fattore K) variabili fra 0,179 e 0,348. Sulla serie gessoso-solfifera, i suoli, caratterizzati da un largo contenuto di sali solubili che influiscono negativamente sullo stato strutturale e su quello della fertilità, presentano un valore medio di K pari a 0,166. Sui substrati della collina argillosa mio-pliocenica è presente una "catena di suoli" costituita da: Typic Xerorthents, nelle condizioni più acclivi; da Vertic Haploxerepts e Typic Calcixerepts, nelle condizioni più dolci del versante medio collinare e da Typic e/o Vertic Xerofluvents, Typic Haploxerepts, nelle condizioni più pianeggianti. Nella catena, particolare attenzione meritano i Typic Xerorthents i cui valori medi di K oscillano fra 0,235 e 0,292.

La stabilità strutturale di questi suoli è molto bassa, pertanto sono particolarmente esposti ai processi erosivi superficiali che ben presto interessano il substrato generando smottamenti, frane e calanchi che sono l'espressione più evidente del dissesto e della instabilità dei sistemi collinari tipicamente argillosi. Tali fenomeni, seppure con intensità notevolmente ridotta, possono interessare i suoli a morfologia più dolce (Vertic Xerochrepts e Typic Calcixerepts) il cui valore di K oscilla fra 0,210 e 0,317.

Nelle aree più pianeggianti o nei fondivalle, il valore di K per i Typic e/o Vertic Xerofluvents è di 0,208 e per i Typic Haploxerepts di 0,255. Su altri substrati, compaiono suoli di antica pedogenesi (Haploxeralfs) che in dipendenza dei diversi sottogruppi presenti, fanno registrare valori medi di K variabili fra 0,195 e 0,283. Infine nella zona sud del bacino sono presenti, accanto a suoli antropici caratterizzati da una grande variabilità che si riflette anche sui valori dell'erodibilità ($K = 0,128 - 0,407$), altri suoli di antica pedogenesi, i Petrocalcic Palexeralfs che presentano il più basso valore medio di K (0,109) registrato nell'ambito del bacino.

VALLE DEL BELICE

Carta dell'Erosione Potenziale

LEGENDA

CLASSE	RK (t/ha/anno)	CLASSIFICAZIONE
1	< 4,0	da nulla a molto debole
2	da 4,0 a 8,0	da molto debole a leggera
3	da 8,1 a 12,5	da leggera a moderata
4	da 12,6 a 16,0	da moderata a intensa
5	da 16,1 a 20,0	da intensa a elevata
6	> 20,0	da elevata a severa
Corpi idrici		
Aree urbanizzate		

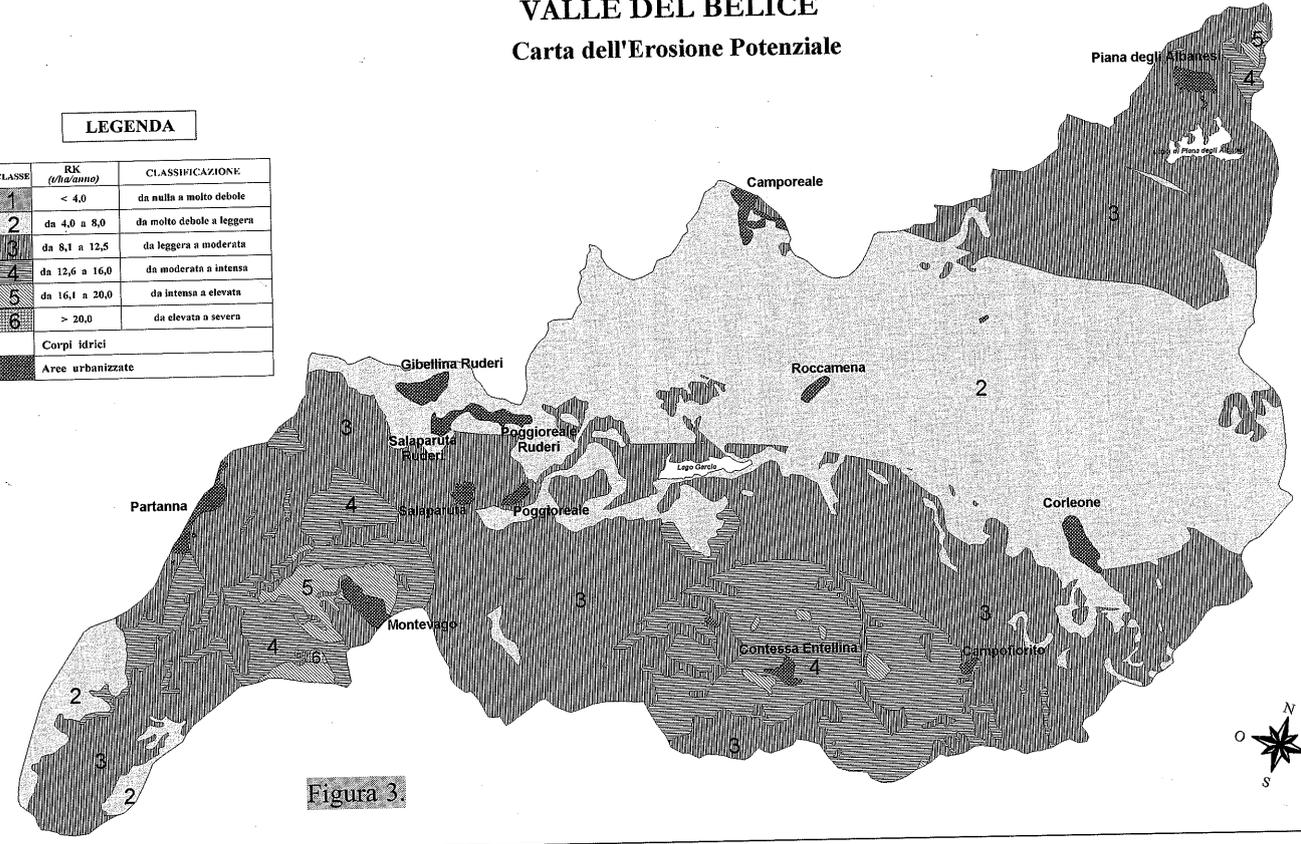


Figura 3.

Il terremoto della Valle del Belice

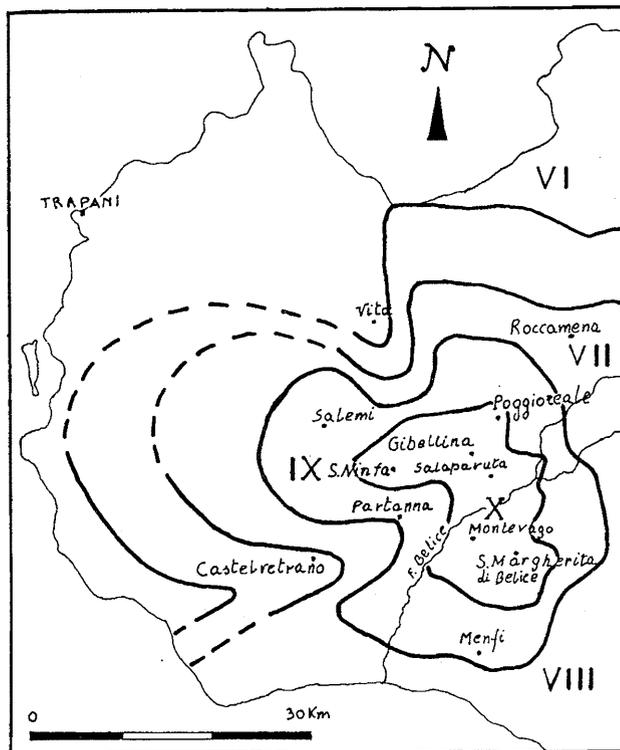


Figura 4. Carta delle isosiste (modificata da Monteleone e Pipitone, 1989)

1. La Sicilia rappresenta, tra le regioni italiane, quella maggiormente esposta a catastrofi naturali di natura geodinamica: terremoti ed eruzioni vulcaniche. Per menzionarne solo alcune, basti ricordare i terremoti della Val di Noto (1693; circa 60.000 vittime) e quello di Messina (1908; circa 80.000 vittime) che hanno colpito la parte orientale dell'isola, o le eruzioni dell'Etna del 1669 e del 1928 che hanno devastato vasti tratti del territorio posto alle pendici del vulcano, in un settore dove oggi si sviluppa una estesa area metropolitana. Il

settore maggiormente colpito in passato, e al tempo stesso maggiormente indiziato di un possibile ripetersi di calamità sismiche, è rappresentato dalla fascia orientale della Sicilia, dal Basso Tirreno al Canale di Sicilia. La vivace dinamica regionale che contraddistingue questo settore e che si esprime attraverso il frequente manifestarsi di terremoti, trova un'ulteriore testimonianza nella presenza di vulcani attivi quali l'Etna, Vulcano e Stromboli.

Il 15 gennaio 1968 la Valle del Belice è stata interessata da una violenta scossa sismica (magnitudo 6.5, nell'area mesosismica gli effetti sono stati valutati pari al X grado MCS) cui ha fatto seguito una serie di scosse, meno violente, ma egualmente disastrose, che provocarono circa 400 morti e danni notevolissimi soprattutto nei Comuni di Gibellina, Salaparuta e Poggioreale in provincia di Trapani, e di Montevago in provincia di Agrigento (Fig. 4).

Danni meno gravi hanno subito altri 11 centri abitati (in particolare S. Margherita Belice, 80% delle case distrutte, Santa Ninfa, 70%, e Salemi, 25%) che, a differenza dei primi quattro, totalmente distrutti e trasferiti in altri siti, sono stati sostanzialmente ricostruiti sulla stessa area o ampliati in zone limitrofe ai "vecchi centri". L'area interessata dal terremoto del 1968 si sviluppa in massima parte nel bacino idrografico del Fiume Belice ed, in misura minore, in quello del Fiume Modione. Notevoli variazioni si sono registrate nel regime delle acque sotterranee; infatti in seguito al sisma si è avuta la scomparsa della sorgente termale S. Vincenzo (Roccamena) mentre altre scaturigini si sono manifestate nelle vicinanze delle polle termali segestane (Castellammare del Golfo). Variazioni delle portate e del chimismo si sono registrate in altre sorgenti sia calde che fredde.

Il territorio del Belice non era ritenuto a rischio sismico da alcun documento ufficiale, nè a questa carenza suppliva la memoria storica. Solo successivamente agli eventi del gennaio 1968 una ricerca sulla storia sismica della zona e delle aree limitrofe, ha portato a definirne la sismicità. Infatti nel 1593 il centro abitato di Corleone è stato interessato da un sisma di notevole intensità. Nel 1724 e nel 1740 scosse sismiche furono avvertite nella zona di Sciacca e sempre nella stessa zona e nelle aree di Menfi e di Sambuca di Sicilia si sono avuti terremoti nel 1816 e nel 1817. Nel 1845 ancora Corleone fu interessata da un lieve terremoto, mentre il 19 maggio 1891 furono avvertite scosse sismiche nei centri di Salemi, Calatafimi, Vita e Gibellina.

Dal punto di vista socioeconomico il territorio del Belice, prima dell'evento sismico del 1968, si presentava come un'area tipica dell'entroterra siciliano, caratterizzata da progressiva diminuzione della popolazione (dovuta alla emigrazione), occupazione prevalentemente indirizzata verso l'agricoltura ed infine presenza di un terziario costituito essenzialmente dal pubblico impiego. La prima legge in favore delle popolazioni del Belice è la 241 del 18/3/1968 dove, in parallelo alla ricostruzione degli edifici, viene evidenziato l'aspetto dello sviluppo economico e sociale della valle, prevedendo ben 7000 posti di lavoro (centro metallurgico, complesso per la lavorazione dell'alluminio).

Montevago (AG) 393 m s.l.m.: STOP 1

Il comune conta 3.283 abitanti e ha una superficie di 3.246 ettari per una densità abitativa di 101 abitanti per km². Il nome deriva dall'arabo *Mazil-Sindi* (Casale di Sindi). Nel 1392 venne chiamato Misilindino e venne concesso al signore Antonio Moncada Montecateno, già conte di

Adernò. Successivamente il paese fu governato da diversi signori feudali sino al 1636, anno in cui pervenne a don Francesco Scirotta, giudice della Magna Curia Regia di Palermo. Nel tempo il centro conobbe il dominio dei signori Gravina e dei duchi di San Michele.

Tra la fine degli anni 60 e l'inizio degli anni 70 si assiste all'unica vera "rivoluzione" socioeconomica del territorio dovuta alla radicale trasformazione dell'attività agricola che dalla cerealicoltura (soprattutto grano duro) passa alla viticoltura, con la costituzione di diverse cooperative di produttori (cantine sociali). Ciò ha determinato nuove condizioni economiche favorendo il rientro degli emigrati e creando le premesse per l'avvio del processo di ricostruzione (Monteleone e Pipitone, 1989). L'uso del suolo attuale prevalente è il vigneto (uva da vino), al quale fanno da corollario l'oliveto e sporadicamente i seminativi (grano). L'uva prodotta viene conferita nelle vicine cantine sociali «La Vite», oggi «Corbera», (260 mila quintali di uva conferita) e «Sicilia» (30 mila quintali di uva), hanno contribuito, con il loro gettito, ad accelerare il ritmo della ricostruzione.

A seguito del terremoto, Montevago fu subito dichiarata a trasferimento totale e, per la ricostruzione, venne scelta la zona compresa fra le contrade Tarda, Aquilella, Piana e Mastragostino, ad un chilometro circa dalla vecchia Montevago distrutta, verso S. Margherita Belice. Espropriati i terreni, la ricostruzione vera e propria cominciò nove anni dopo.

Il processo di ricostruzione del nuovo centro abitato, ha comportato fino ad oggi un consumo di suolo coltivabile di 91 ettari (pari ai 2/3 dell'area urbanizzata totale). La perdita di suolo è avvenuta esclusivamente a discapito di suoli di buona potenzialità agronomica, classificati come Typic Haploxeralfs e Typic Rhodoxeralfs, (perdita pari al 32,5% dell'estensione dell'unità cartografica riportante queste tipologie di suoli).

Tabella 1. Andamento del consumo del suolo in seguito al processo di ricostruzione del comune di Montevago. I dati sono riferiti all'estensione dell'unità cartografica riportante le tipologie di suolo sopra indicate

	Data di osservazione	Area urbanizzata		Consumo suolo		Suolo Coltivabile	
		(in ha)	(in %)	(in ha)	(in %)	(in ha)	(in %)
"Pre-sisma"	04-lug-55	27,3	6,5	27,3	6,5	392	93,5
	15-gen-68	45,2	10,8	17,9	4,3	374,1	89,2
"Post-sisma"	21-giu-68	62,2	14,8	17	4,1	357,1	85,2
	04-giu-87	134,3	32,0	72,1	17,2	285	68,0
	18-mar-01	136,2	32,5	1,9	0,5	283,1	67,5
TOTALE				136,2	32,5		

Per illustrare, durante l'escursione, le caratteristiche dei suoli soggetti al consumo per urbanizzazione è stato appositamente aperto un profilo del quale di seguito si riportano le principali caratteristiche descrittive ed analitiche.

Descrizione della stazione

LOCALITÀ: Contrada Caparrina (Montevago).

DESIGNAZIONE DEL PUNTO: 33SUB21367398.

QUOTA: circa 375 m s.l.m..

MORFOLOGIA: terrazzo, origine marina.

ESPOSIZIONE: ovest.

PENDENZA: 0,5% circa.

ROCCIOSITÀ: assente.

PIETROSITÀ: assente.

DRENAGGIO ESTERNO: moderatamente drenato.

SUBSTRATO: calcarenite pleistoceniche.

ACCUMULI: durante i periodi piovosi si verifica accumulo di materiale terroso eroso dalle superfici altimetricamente più elevate posti a monte in direzione sud-ovest.

USO DEL SUOLO: seminativo abbandonato.

VEGETAZIONE: dominanza di graminacee con frammiste leguminose.

Descrizione del profilo

Orizzonte Ap: 0-15 cm. Colore bruno rossastro scuro (5YR 3/4) umido, bruno rossastro (5YR 4/4) asciutto; scheletro assente; tessitura franco sabbioso argillosa; aggregazione di tipo grumosa e poliedrica sub-angolare, fine e media, forte; consistenza allo stato umido friabile ed allo stato secco duro; facce di pressione e di scivolamento assenti; reazione debolmente alcalina; effervescenza assente; molto poroso con piccole fessure; drenaggio da normale a lento; attività radicale notevole con presenza di lombrichi; limite chiaro con andamento ondulato.

Orizzonte Ad: 15-25 cm. Colore bruno rossastro scuro (5YR 3/4) umido, bruno rossastro (5YR 4/4) asciutto; scheletro assente; tessitura franco sabbioso argillosa; aggregazione massiva; consistenza allo stato umido friabile e allo stato secco estremamente duro; reazione debolmente alcalina; effervescenza assente; poroso; drenaggio da normale a lento; attività radicale scarsa; limite chiaro con andamento ondulato.

Orizzonte AB: 25-42/45 cm. Colore composto: una parte, più compattata, di colore umido rosso giallastro (5YR 4/6) e asciutto (5YR 5/6) ed una parte di colore rosso scuro (2,5YR 3/6) umido e rosso (2,5YR 4/6) asciutto; scheletro assente; tessitura franco sabbioso argillosa; aggregazione massiva; consistenza allo stato umido friabile e allo stato secco estremamente duro; facce di pressione grandi; reazione debolmente alcalina; effervescenza assente; poroso; presenza di rivestimenti di argilla sulla faccia degli aggregati, scarsi; drenaggio lento; attività radicale presente; limite graduale ad andamento ondulato.

Orizzonte Bt: 42/45-65 cm. Colore rosso scuro (2,5YR 3/6) umido, rosso (2,5YR 4/6) asciutto; scheletro assente; tessitura argillosa; aggregazione prismatica media e grossolana, forte; consistenza allo stato umido friabile e allo stato secco estremamente duro; facce di pressione comuni e di scivolamento assenti; reazione debolmente alcalina; effervescenza assente; poroso; presenza di rivestimenti di argilla sulla faccia degli aggregati e nei pori, comuni; drenaggio lento; attività radicale presente.

Orizzonte R: >65 cm. Calcarenite con presenza di una sottile crosta calcarea nella zona di contatto con l'orizzonte Bt. I primi centimetri della calcarenite, in corrispondenza dello strato in via di alterazione, si trovano dei vuoti riempiti di materiale terroso della stessa natura del Bt.

Classificazione:

Soil Taxonomy: Typic Rhodoxeralf

WRB: Rhodic Luvisol

DATI ANALITICI

Orizzonte (cm)	A			S	pF		A.W.C. cumul. mm
	g kg ⁻¹				2.5	4.2	
Ap (0-15)	209	111	680	20.89	9.65	22	
Ad (15-25)	213	110	677	20.61	9.43	36	
AB (25-42/45)	292	133	575	20.39	9.21	48	
Bt (42/45-65)	392	127	481	24.02	12.20	79	

Orizzonte (cm)	pH (1:2.5)		CaCO ₃		C	N	C/N
	H ₂ O	KCl	totale	attivo			
Ap (0-15)	7.8	6.9	10	8	13	0.6	22
Ad (15-25)	7.9	6.9	16	9	11	0.4	28
AB (25-42/45)	7.9	6.7	12	7	7	0.3	23
Bt (42/45-65)	7.7	6.7	10	8	4	0.5	8

SEGUE

SEGUE

Orizzonte (cm)	CEe ds m ⁻¹	C.S.C. cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	Basi di scambio				Tasso di saturazione %
			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	
Ap (0-15)	0.46	17.0	0.07	0.33	14.41	2.04	99
Ad (15-25)	0.41	17.2	0.09	0.23	15.09	1.79	100
AB (25-42/45)	0.25	17.6	0.12	0.24	15.39	1.85	100
Bt (42/45-65)	0.21	23.2	0.23	0.29	17.92	2.23	89

Il suolo ha il profilo del tipo A-Bt-R, mediamente profondo (> 60 cm); di colore bruno rossastro scuro (5YR 3/4) in superficie e rosso scuro (2.5YR 3/6) in profondità; la tessitura da franco sabbioso argillosa passa a sabbioso argillosa scendendo in profondità. Lo scheletro generalmente assente, soltanto in alcuni livelli non continui compare ed è di natura calcarea. I carbonati risultano molto scarsi, intorno ad 1 g kg⁻¹ ed è quasi tutto attivo; soltanto in prossimità dei livelli con scheletro tende ad aumentare. Le acque di deflusso provenienti dal versante tendono ad aumentarne il contenuto. La reazione è debolmente alcalina nel sottorizzonte superficiale e passa a moderatamente alcalina negli altri sottorizzonti ed orizzonti.

L'aratura in passato ha interessato i primi 40 cm, mentre nell'ultimo periodo le erpicature e fresature hanno disturbato solamente i primi 15 cm. Questa gestione ha determinato la compattazione dello strato sottostante e la massa terrosa posta fra i 15 ed i 40 cm è stata suddivisa in due sottorizzonti (Ad e AB). Conseguentemente, la struttura si presenta grumosa e poliedrica subangolare in superficie e passa a massiva nello strato compattato (Ad), in cui la massa terrosa è separata in blocchi, da piccole fessure. In profondità diventa prismatica e poliedrica angolare, grossolana. La dotazione in sostanza organica è sufficiente nei primi 25 cm, mentre è scarsa nella restante parte del profilo. Il rapporto C/N è alto a causa della scarsa presenza di azoto. La salinità è bassissima. La capacità di scambio cationico è media e passa ad elevata in profondità. Il tasso di saturazione in basi è molto alto ed oscilla dal 100% nella parte alta del profilo all'89% in quello profondo. La dotazione in elementi della fertilità è la seguente: povero in azoto, scarsamente dotato in fosforo assimilabile e ben dotato in potassio scambiabile.

Poggioreale Ruderì (TP) 393 m s.l.m.: STOP 2

Il comune conta 1.809 abitanti e ha una superficie di 3.752 ettari per una densità abitativa di 48 abitanti per km². Popolato sin dall'antichità (sul vicino Monte Castellazzo sono stato rinvenuti insediamenti indi-

geni del IV sec. a.C.) ed identificato come centro elimo, deriva il suo nome dal latino medievale *Podium regale* (Poggio degno di un re). Poggioreale nasce come centro agricolo, fondato da Francesco Morso nel 1642.

Dopo il terremoto del 1968, il nuovo centro è stato ricostruito in Contrada Mandria di Mezzo. Il nuovo insediamento sorge intorno alla Piazza Elimo, una struttura che ricalca schemi classici progettata dall'architetto Paolo Portoghesi, come di Portoghesi è la nuova piscina comunale. È invece dell'architetto Purini la cappella del Santo Patrono Antonio da Padova.

Oggi *Five Dock e Drummoyne*, in Australia, contano il doppio degli abitanti di Poggioreale, e sono interamente abitate da Poggiorealesi.

L'uso del suolo è rappresentato, quasi esclusivamente, dal vigneto ad uva da vino; sporadicamente si trova l'oliveto. Si segnalano la produzione di grano, olive, meloni, ortaggi, uva da tavola e da mosto. Sono presenti anche allevamenti di bovini e ovini.

I suoli riscontrabili intorno al vecchio centro sono dei Vertic e/o Typic Haploxerepts e Typic Xerorthents, tutti con fase erosa prevalente, la quale è assente man mano ci si sposta più a sud dove sorge la nuova città. A nord-est e ad ovest sempre del vecchio centro troviamo, invece, dei Typic Xerorthents e aree con roccia affiorante.

Gibellina Ruderi (TP) 250 m s.l.m.: STOP 3

Il comune conta 4.882 abitanti e ha una superficie di 4.501 ettari per una densità abitativa di 108 abitanti per km².

Gibellina, dall'arabo *Gebel* (monte), si sviluppò nel medioevo come villaggio agricolo attorno al castello edificato nel XIV secolo da Manfredi Chiamonte. Nel gennaio del 1968, il Comune è stato interamente distrutto dal terremoto e la nuova Gibellina è stata ricostruita a 18 km dal precedente insediamento.

Esponenti del mondo della cultura (§) hanno contribuito a creare la nuova identità di Gibellina Nuova, così come sulle rovine dell'antica cittadina (Ruderi di Gibellina), Alberto Burri ha ideato il Cretto, scenario artificiale per la memorizzazione del passato e per l'isolamento dell'evento catastrofico, dove vengono rappresentate ogni anno le Orestiadi (rappresentazioni teatrali, musicali, pittura e scultura).

La Nuova Gibellina è stata costruita come una sorta di museo permanente di sculture disseminate per le vie ed edifici che divenissero loro stessi opere d'arte. Si accede al paese attraversando l'imponente scultura della Stella di Consagra, uno dei nuovi simboli della nuova città.

L'uso del suolo, quasi esclusivamente, è il vigneto ad uva da vino. Nelle zone dove i suoli hanno una maggiore pendenza, sono più sottili e meno fertili, il vigneto cede il posto al pascolo e al seminativo. Inoltre, a Sud, è presente una vasta area di rimboschimento.

I tipi pedologici prevalenti, nell'area più prossima ai Ruderì, sono essenzialmente due: Typic Xerorthents e Typic Haploxerepts. Invece, scendendo più a valle, a sud del vecchio centro, i suoli presentano caratteristiche vertiche per cui sono ascrivibili ai Vertic Haploxerepts con presenza nelle aree di maggiore pendenza di una fase erosa.

Foce del Belice (riserva naturale): STOP 4

Zona di Protezione Speciale (ai sensi delle direttive nn. 92/43/CEE e 79/409/CEE) ITA010011 *Sistema dunale Capo Granitola, Portopalo e Foce del Belice*.

Istituita nel 1984, la Riserva Naturale copre una estensione territoriale di circa 130 ettari denominata zona A (riserva) alla quale si aggiungono altri 140 ettari, classificati come zona B (area della prereserva). La riserva si estende lungo le coste per 5 chilometri circa, tra Marinella di Selinunte e il promontorio di Porto Palo, mentre all'interno è delimitata dalla linea ferroviaria Castelvetro-Sciacca, sospesa già da anni.

La riserva è stata istituita, soprattutto, per favorire la conservazione e la ricostituzione delle formazioni dunali, della flora e della fauna tipiche degli ambienti sabbiosi. Essa comprende ambienti diversi: le dune, la foce del fiume con la tipica vegetazione palustre e, nella parte più interna, la macchia mediterranea sempreverde.

Flora

Ravastrello Marittimo (*Cakile maritima* Scop.), Calcatreppola (*Eringium maritimum* L.), Giglio marino (*Pancreatium maritimum* L.), Santolina (*Santolina chamaecyparissus* L.), Erba medica marina (*Medicago*

marina L.), Tamarice (*Tamarix gallica* L.), Scilla marittima (*Urginea maritima* (L.) Baker.), Papavero cornuto (*Glaucium flavum* Crantz.), Giunco pungente (*Juncus acutus* L.), Cannuccia di palude (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), Lisca maggiore (*Typha latifolia* L.), Lentisco (*Pistacia lentiscus* L.), Asparago spinoso (*Asparagus acutifolius* L.), Carrubo (*Ceratonia siliqua* L.) e Palma nana (*Chamaerops humilis* L.).

Fauna

Geotrupe marginato (*Geotrupes marginatus*), Biscia dal Collare (*Natrix natrix*), Tartaruga marina (*Caretta caretta*), Zigolo giallo (*Emberiza citrinella*), Fratino (*Charadrius alexandrinus*), Gallinella d'acqua (*Gallinella chloropus*), Beccamoscino (*Cisticola juncidis*), Cannaiola (*Acrocephalus scirpaceus*) Ghiandaia marina (*Coracias garrulus*), Averla capirossa (*Lanius senator*).

La tartaruga marina

La tartaruga marina (*Caretta caretta*), rettile che appartiene alla famiglia dei Chelonidi, vive nel Mediterraneo ed in misura minore lungo le coste dell'Oceano Atlantico.

La *Caretta* adulta non supera, in genere, i 120 centimetri di lunghezza ed i 180 chilogrammi di peso. La vita di questa specie si svolge in mare, ad eccezione del momento della deposizione delle uova; infatti raggiunta la maturità sessuale, dopo l'accoppiamento, che avviene sempre in mare, solo le femmine si portano, ad ogni periodo riproduttivo (23 anni), sulla terra ferma per deporre le uova. La nidificazione e la deposizione delle uova avviene di regola di notte nei mesi di giugno e luglio, eccezionalmente si protrae anche in agosto.

La femmina si porta sulla spiaggia prescelta strisciando sul ventre e spingendosi avanti con le pinne anteriori, si inoltra sino a 1550 metri oltre la battigia e scava con le natatoie posteriori una buca, profonda sino a 75 centimetri e larga sino a 30 centimetri, dove depone in poco tempo da 60 a 200 uova.

Queste, di colore bianco e di circa 3 centimetri di diametro, vengono ricoperte dalla tartaruga con la sabbia, al fine di nascondere l'ubicazione del nido, e schiudono dopo circa due mesi.

Le traccie lasciate dalla tartaruga sulla sabbia formano un disegno asimmetrico dovuto al movimento delle pinne anteriori usate alternativamente; tali tracce sono poco meno di un metro. Le femmine depongono le uova nella stessa spiaggia dove esse sono nate, anche se per fare ciò debbono nuotare per moltissime miglia.

Gli etologi attribuiscono un ruolo fondamentale, per il riconoscimento del luogo, all'olfatto della tartaruga.

Nonostante la Caretta sia una specie protetta, numerosi esemplari continuano ad essere catturati, più o meno accidentalmente, nei nostri mari. La vocazione della spiaggia della riserva alla ovodeposizione della Caretta è uno degli elementi di maggior pregio di questo biotopo che va adeguatamente rispettato limitando al massimo i fattori di disturbo provocati dalla pressione antropica.

Cave di Cusa: STOP 6

Sorgono a circa 3 km dalla località di Campobello di Mazara. Attive dal 600 a.C. fino al 409 a.C. Il suo nome deriva da *campus belli* perchè proprio nel suo territorio si svolse la battaglia finale della disputa tra Segesta e Selinunte. Colonia greca costituita in particolare da agricoltori ha, nel suo territorio, le Cave di Cusa da cui i selinuntini tirarono fuori la roccia in blocchi di 5-6 m³ per edificare i loro templi. Si tratta delle cave di calcareniti (tufo) da cui si estraeva il materiale per la costruzione dei templi di Selinunte. Sono costituite da un grosso banco di calcarenite, lungo circa 2 km, con un andamento est-ovest, parallelo alla linea di costa.

Grazie alla documentazione archeologica è stato possibile ricostruire le varie operazioni di cava: secondo le varie necessità, veniva praticata sul piano orizzontale del banco una trincea circolare, ampia lo spazio necessario (circa 50 cm) per consentire allo scalpellino poi di procedere fino alla quota necessaria. Venivano quindi inseriti cunei sul piano inferiore, e veniva provocato il distacco del blocco. Successivamente, con l'aiuto di leve, il blocco veniva sollevato e, rotolando, trasportato nel luogo in cui veniva realizzata una prima sbazzatura. Alla fine si procedeva con il trasporto che avveniva generalmente con carri trainati da buoi.

I rocchi di colonna presenti hanno le identiche dimensioni di quelli del tempio G di Selinunte (Ø 3,50 m, lunghezza 2-4 m), rimasto incompleto e senza dubbio erano destinate ad esso.

Selinunte: STOP 7

Fondata nel 628 a. C. dai coloni greci di Megara Iblea, Selinunte fu distrutta dai cartaginesi nel 409 a. C. Il grande parco archeologico (Fig. 5) è diviso in tre distinti gruppi: quello orientale è occupato dai tempi più grandiosi; quello centrale comprende la città con l'acropoli e i resti di numerosi templi; quello occidentale, destinato a funzioni funerarie e sacre, il santuario di *Malophoros*, forse stazione dei cortei funebri diretti alla necropoli di Manicalunga. Selinunte è al centro del più grande parco archeologico del Mediterraneo, colonne e rovine di colossali templi greci sono i resti della città, sita presso la foce del fiume dove cresce ancora il prezioso selvatino (*Selinon*) che diede il nome al corso d'acqua ed alla città.

Il Tempio "C" di architettura templare dorica esistente, risalente alla prima metà del VI sec. a.C.

Il Tempio "E", possedeva alcune metope figurate che ne ornavano la sua parte frontale.

Il Tempio "D", costruito intorno alla metà del VI sec. a.C. a poca distanza del Tempio "C", si trova nella Acropoli.

Sulla collina orientale sorgono altri due Templi "F" e "G", quest'ultimo è uno dei più grandi dell'antichità classica.

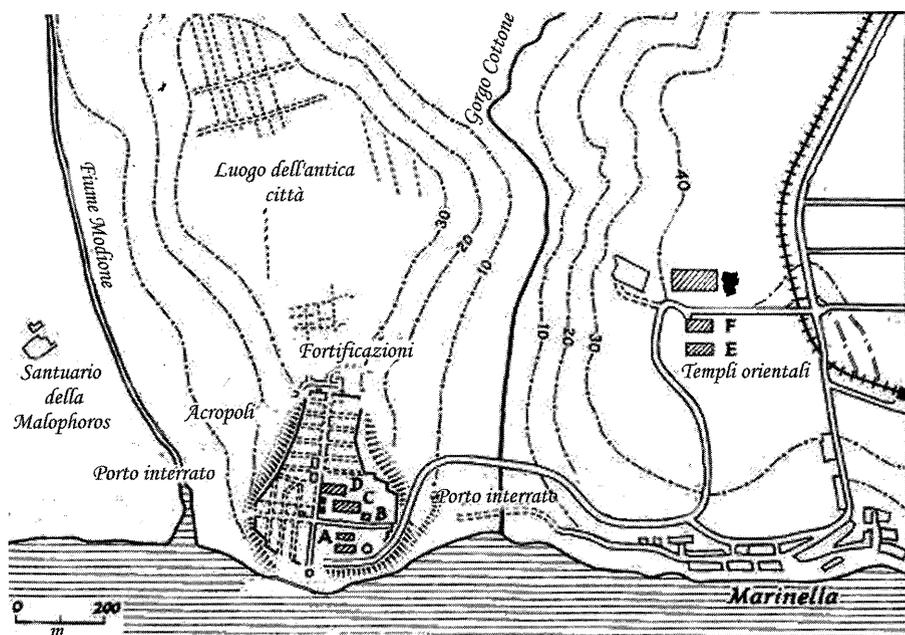


Figura 5. Il parco archeologico di Selinunte.

Saline di Trapani (riserva naturale): STOP 8

Sito di Importanza Comunitaria (ai sensi delle direttive nn. 92/43/CEE e 79/409/CEE) ITA010007 *Saline di Trapani*.

La zona di mare di circa 15 km², compresa tra punta S. Teodoro, a Nord e punta Palermo, a Sud, comprende l'isola di *Mothya*, fondata alla fine dell'VIII sec. a.C. Il primo centro della colonizzazione fenicia in Sicilia, l'isola di S. Maria, l'isolotto della *Schola* e l'isola Grande che delimita la laguna dove si trovano anche le saline. La vicinanza delle colonie greche fu spesso causa di guerre che infine provocarono la distruzione di Mozia ad opera di Dionisio di Siracusa nel 397 a.C.

Caratteristiche del trapanese sono le Saline e la coltivazione del sale che hanno originato la "Via del Sale" con i mulini, cinque dei quali recentemente restaurati e i cumuli di sale ricoperti di tegole di terracotta ed il Museo del Sale a Nubia nel territorio di Paceco. Il tutto ha originato le Riserve delle Saline di Trapani e Paceco e dello Stagnone di Marsala.

Le saline

Ettore ed Infersa, le due saline poste nella zona di prereserva, sono costituite da vari ordini di vasche con una propria e specifica funzione, collegate da chiuse e canali. La vasca di prima entrata, chiamata "fridda", è in contatto diretto col mare ed alimenta l'intera salina. Il suo livello è quello medio marino, a metà tra l'alta e la bassa marea. I mulini a vento, oggi affiancati da piccoli motori, sollevano l'acqua dalla "fridda", dove, dal momento in cui entra a quando ne esce ha quasi raddoppiato la sua concentrazione (dai 3° a 6° della scala Beaumé), e la immettono nei "vasi coltivo", il secondo ordine di vasche, le più alte rispetto al livello del mare. Dai vasi coltivo l'acqua comincia la discesa, per pendenza, attraverso le vasche evaporanti o "caure", sempre meno profonde, dove essa acquista temperatura e densità salina, e perde carbonati e solfati. Il ciclo, iniziatosi ad aprile, giunge a compimento alla fine di maggio, quando la prima acqua satura viene immessa nelle vasche salanti o "casedde" precipitano i cristalli di cloruro di sodio. Per tutto il mese di giugno, fino ai primi di luglio, il curatolo rabocca l'acqua evaporata dalle vasche salanti ("a sirvuta") con nuova acqua. Ogni due vasche salanti quattro evaporanti, l'ultima delle quali è la "sintina", tutte e sei di dimensioni confrontabili. È l'unità minima fondamentale della salina, alimentata da un "vaso coltivo" di superficie uguale o multipla, a se-

conda delle unità che esso alimenta. Una sola "fridda" in generale, alimenta tutti i vasi coltivo. Un rapporto tra le superfici ottimale prevede: 20% "fridda", 40% "vasi", ~ 25% "caure", > 15% "causedde".

All'inizio del mese di luglio, quando la crosta ha raggiunto in media gli otto centimetri di spessore, si inizia il primo raccolto dell'anno, il più abbondante. Una dopo l'altra le "casedde" vengono portate in secco, i salinari frantumano la crosta di sale, lo raccolgono in piccoli cumuli ben allineati ("munzedda") e, a mano, lo trasportano fino al bordo delle vasche, sui nastri trasportatori che formano, sull'argine, i grandi cumuli trapezoidali da 100120tons che si potranno vedere per tutto l'anno, fino al momento della vendita. Nelle moderne saline meccanizzate (a Trapani coprono oltre la metà dei mille ettari globali), si effettua invece un solo raccolto annuale durante il mese di settembre, dopo aver utilizzato tutto il potere evaporante del sole estivo e avendo accumulato una crosta di circa quindici centimetri, che sarebbe troppo spessa, dura e quindi faticosa da frantumare e raccogliere a mano.

All'approssimarsi dell'inverno, quando i venti si dispongono da nord verso sud, i salinai, con un rituale anche questo immutato, si preparano a coprire i cumuli con tegole di cotto locale, in grado di proteggere il prodotto dalle piogge invernali, ma anche di lasciarlo "respirare" e quindi asciugare perdendo l'umidità residua. I mulini, realizzati quasi unicamente in legno per preservarli dall'aggressione dell'ambiente salino, servono per sollevare l'acqua o per macinare il sale.

Dalle saline trapanesi escono ogni anno 10.000 tonnellate di sale (Provincia regionale di Trapani, 1998).

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare i Proff. Giovanni Fierotti, Carmelo Dazzi, Vito Lombardo, Salvatore Monteleone, Salvatore Raimondi e il Dott. Riccardo Scalenghe per gli utili suggerimenti ricevuti per la stesura di questa guida.

Bibliografia

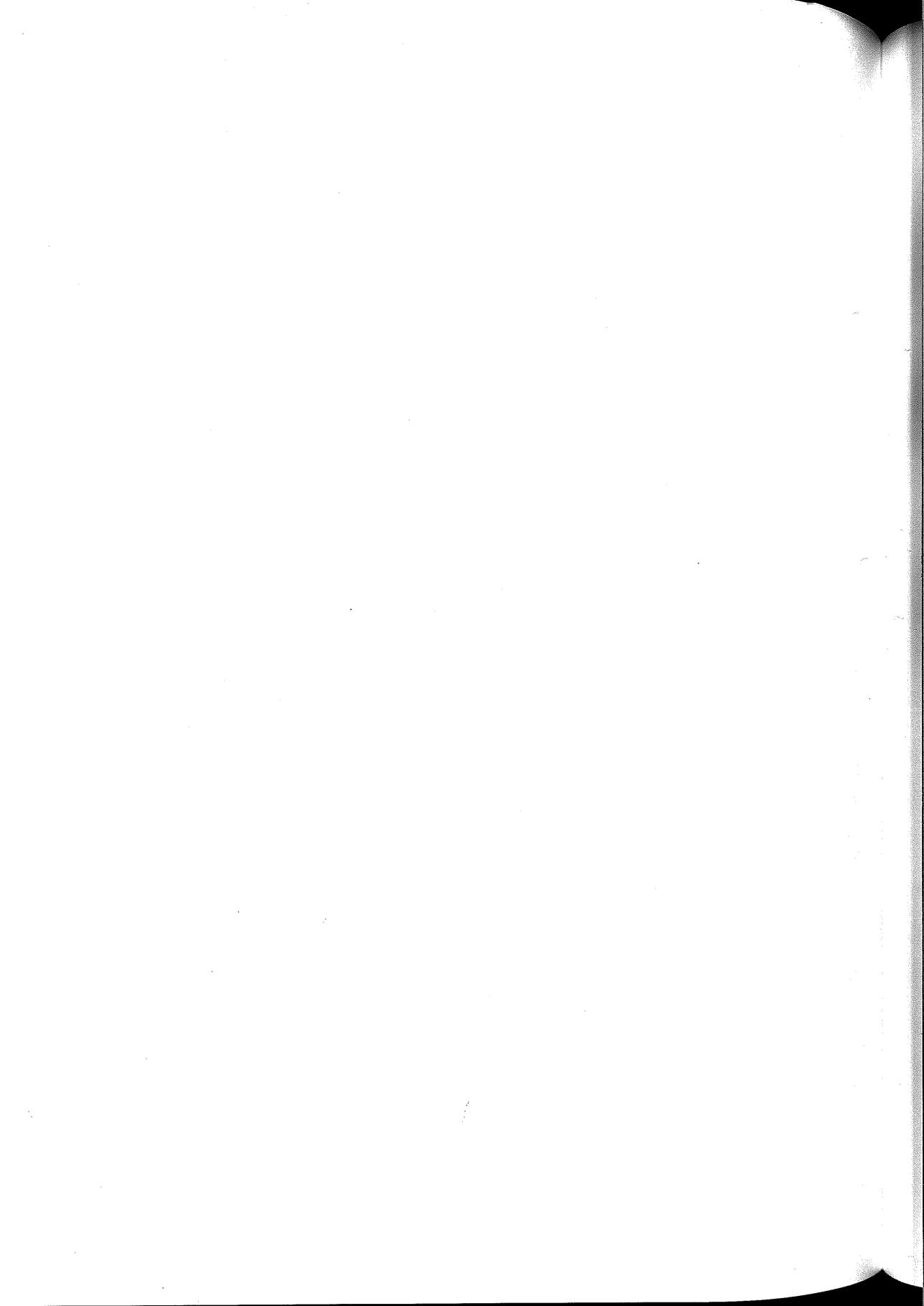
- AGNESI V., CONTI L., COSTANTINO D., PIPITONE G. (1984) Valle del Belice: il territorio e la dinamica delle sue trasformazioni ambientali. *Atti II Cong. Naz. ASS.I.R.C.CO*, 919, Ferrara.
- AGNESI V., MONTELEONE S. (1990). Aspetti geologici e geomorfologici dei siti archeologici di C.na Calia e Rocca d'Entella. *Atti Cong. Naz. Dagli scavi di Montevago e di Rocca d'Entella un contributo di conoscenze per la storia dei Musulmani della Valle del Belice dal X al XIII secolo*. 95-104, 27-

28/10/1990, Montevago (AG).

- BOSI C., CAVALLO R., FRANCAVIGLIA V. (1973) Aspetti geologici e geologicotecnici del terremoto della Valle del Belice del 1968. *Mem. Soc. Geol. It., XII*, 81-130, Roma.
- FIEROTTI, G., 1997. I suoli della Sicilia. Ed. Flaccovio.
- FIEROTTI G., DAZZI C., RAIMONDI S., 1988. Carta dei suoli della Sicilia. Regione Siciliana, Assessorato Territorio ed Ambiente.
- REGIONE SICILIANA (2000). Rapporto Sicilia 2000. Assessorato Regionale Bilancio e Finanze – Ufficio di statistica regionale.
- MANNOCCHI A., SABA L. (1981) Mutamenti sociali ed economici nel Belice postterremoto. Atti Conf. Inter. *Zone Sismiche dell'area Mediterranea*, 345-356, Matera.
- MONTELEONE S., PIPITONE G. (1989). Considerazioni sul terremoto della Valle del Belice. In: Agnesi V., Macaluso T. e Ulzega A. (eds.) Guida alle escursioni, Gruppo Nazionale Geografia Fisica e Geomorfologia CNR. 77-82, Palermo.
- PROVINCIA REGIONALE DI TRAPANI (1998) Fra terra e mare. Assessorato Tutela Ambiente e Territorio. Servizio gestione Riserve Naturali. 45-48, Trapani.
- RAIMONDI S. (1993). Il clima ed il pedoclima dei suoli siciliani durante il trentaduenno 1951-1982. *Quaderni di Agronomia n. 13*. Palermo, 1993. pp 24-51.
- RUGGIERI G., TORRE F. (1973) Geologia delle zone investite dal terremoto del Belice. 1) La tavoletta Gibellina. *Riv. Min. Sic.*, a. XXIV, 139-141, 27-48, Palermo.



Contributi dei soci



CONSIDERAZIONI DI TIPO TASSONOMICO SU UN GRUPPO DI SMECTITI DIOTTAEDRICHE

Francesco Rondelli

Dipartimento di Scienze Agro-Ambientali e della Produzione Vegetale,
Sezione di Pedologia, Facoltà di Agraria, Università di Perugia

Borgo XX Giugno 74, 06100 Perugia, Italia.

Riassunto

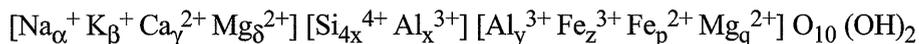
Si propone la lettura della struttura tassonomica di un gruppo di minerali argillosi effettuata mediante un approccio statistico di tipo multifattoriale. Otto variabili cristallografiche sono state osservate su un gruppo di 120 campioni di smectiti diottaedriche. Mediante una analisi multifattoriale classificativa si sono individuati cinque sottogruppi omogenei di campioni. Successivamente, mediante una analisi di scaling multidimensionale pesato è stato possibile individuare quattro caratteri complessi sufficienti a descrivere l'insieme dei 120 campioni. La stessa analisi di scaling ha permesso di individuare le differenze descrittive esistenti tra i cinque sottogruppi di campioni. Una particolare tecnica di tassonomia numerica, già sperimentata in studi sulla evoluzione di caratteri è stata utilizzata per costruire il cladogramma relativo ai cinque sottogruppi di campioni. Con questo grafico è possibile osservare la struttura tassonomica complessiva di tutti i 120 campioni di smectiti. E' inoltre possibile leggere gli stati tassonomici attribuibili a ciascuno dei cinque sottogruppi di campioni reali e di mostrare l'esistenza di tre ipotetici stati tassonomici che li precedono nella classificazione.

Parole chiave: Minerali argillosi, Pedologia, Tassonomia mineralogica, Smectiti, WMDS,

Simbologia: FA-mode-Q': Analisi Fattoriale eseguita in tecnica-Q'; FA-mode-R: Analisi Fattoriale eseguita in tecnica-R; DDPD: Distanza tra Differenze di Peso sulle Dimensioni; DPD: Differenza di Peso sulle Dimensioni; PCA: Analisi dei Componenti Principali; PD: Peso sulla Dimensione; UDPD: Unità di Differenza di Peso sulle Dimensioni; UPD: Unità di Peso sulle Dimensioni; WMDS: analisi di scaling multidimensionale pesato;

Introduzione

A minerali argillosi di tipo smectitico si può attribuire la seguente formula cristallografica generale (Tardy e Fritz, 1981):



(interstrato) : (strato tetraedrico: IV): (strato ottaedrico: VI)

dove le possibili sostituzioni negli strati tetraedrico ed ottaedrico creano difetti di carica che vengono compensati dall'inserimento di ioni nell'interstrato. I bilanci di carica nello strato ottaedrico (O), nello strato tetraedrico (T) e nell'interstrato (I) sono allora: $O = 6 - (3y + 3z + 2p + 2q)$; $T = x$; $I = (T + O) = (\alpha + \beta + 2\gamma + 2\delta)$.

Una descrizione cristallografica di questi minerali può essere fatta mediante la supposizione dell'esistenza di possibili soluzioni solide tra gli stessi. Alcune serie di minerali a cui è attribuibile una struttura cristallografica simile possono essere le seguenti:

a) Serie: Talco-Pirofillite, ove la posizione ottaedrica può essere occupata da $\text{Al}/\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}/\text{Mg}$. I suoi termini estremi sono:

Talco (triot.)	Si ₄	Mg ₃	O ₁₀ (OH) ₂
Minnesotaite	Si ₄	Fe ₃	O ₁₀ (OH) ₂
F3+ - Pirofillite	Si ₄	Fe ₂	O ₁₀ (OH) ₂
Pirofillite (diot.)	Si ₄	Al ₂	O ₁₀ (OH) ₂

b) Serie: Flogopite - Muscovite, ove è presente una sostituzione nello strato tetraedrico. I suoi termini estremi sono:

Flogopite	(Na, K, Ca _{0,5} , Mg _{0,5})	Si ₃ Al	Mg ₃	O ₁₀ (OH) ₂
Annite	(Na, K, Ca _{0,5} , Mg _{0,5})	Si ₃ Al	Fe ₃	O ₁₀ (OH) ₂
Fe ³⁺ - Muscovite	(Na, K, Ca _{0,5} , Mg _{0,5})	Si ₃ Al	Fe ₂	O ₁₀ (OH) ₂
Muscovite	(Na, K, Ca _{0,5} , Mg _{0,5})	Si ₃ Al	Al ₂	O ₁₀ (OH) ₂

c) Serie: Mg - Celadonite - Al - Celadonite, ove è presente una sostituzione nello strato ottaedrico. I suoi termini estremi sono:

Mg - Celadonite	(Na, K, Ca _{0,5} , Mg _{0,5})	Si ₄	Mg _{2,5}	O ₁₀ (OH) ₂
Fe ²⁺ - Celadonite	(Na, K, Ca _{0,5} , Mg _{0,5})	Si ₄	Fe _{2,5}	O ₁₀ (OH) ₂
Fe ³⁺ - Celadonite	(Na, K, Ca _{0,5} , Mg _{0,5})	Si ₄	Fe _{1.666}	O ₁₀ (OH) ₂
Al - Celadonite	(Na, K, Ca _{0,5} , Mg _{0,5})	Si ₄	Al _{1.666}	O ₁₀ (OH) ₂

Esistono poi possibilità di miscela tra i termini precedentemente elencati e quindi una infinità di possibili termini intermedi quali ad esempio:

Montmorillonite	(Na, K, Ca _{0,5} , Mg _{0,5})	Si ₄	Al _{1,5}	Mg _{0,5}	O ₁₀ (OH) ₂
Beidellite	(Na, K, Ca _{0,5} , Mg _{0,5})	Si _{3,5}	Al _{0,5}	Al ₂	O ₁₀ (OH) ₂
Nantronite	(Na, K, Ca _{0,5} , Mg _{0,5})	Si _{3,5}	Al _{0,5}	Fe ³⁺ ₂	O ₁₀ (OH) ₂

ma i rapporti stechiometrici in ciascuna formula possono variare anche ampiamente per specifici campioni mineralogici.

Le indagini su un sistema così complesso risultano essere estremamente ardue a causa delle molte variabili in gioco. Oltre alle possibili sostituzioni che si possono avere nello strato ottaedrico ed in quello tetraedrico (la variabilità è, sia sul tipo di ione che opera la sostituzione, che sull'entità della sostituzione), una alta molteplicità di ioni può essere presente negli interstrati per compensare la deficienza di carica provocata dalle sostituzioni.

Il problema della classificazione d'insiemi di minerali di questo tipo mediante l'osservazione di caratteri cristallografici risulta essere, allora, particolarmente arduo a causa dell'elevato numero di variabili in gioco. Per classificare occorre individuare sottogruppi di campioni che siano omogenei al loro interno per un determinato numero di caratteri e sufficientemente diversi tra loro per gli stessi caratteri. Questo, che è praticamente un problema di tassonomia numerica, se basato su stime e considerazioni di solo ordine cristallografico conduce in genere a limitati risultati. L'analisi multifattoriale, prescindendo dai vincoli imposti dalle leggi cristallografiche permette un diverso approccio al problema.

In questo lavoro si propone un approccio statistico al problema. Alcune tecniche d'analisi multifattoriale possono essere applicate al problema e possono condurre a buoni risultati. L'analisi statistica multivariata analizza, contemporaneamente, gli andamenti di molte variabili riuscendo ad avere una visione complessiva completa di un gruppo non omogeneo di campioni. Riesce a distinguere le diversità descrittive esistenti in base alla variabilità dei singoli caratteri osservati e ad individuare sottogruppi omogenei di campioni definendone le caratteristiche.

Materiali e metodi

I dati analitici utilizzati per questo studio sono riportati in Tabella 1. Essi riportano la composizione dello strato ottaedrico di un gruppo di 120 smectiti e sono stati tratti da Brigatti e Poppi (1980) a cui si rimanda per l'identificazione dei singoli campioni mineralogici.

Tabella 1. Dati cristallografici (in base: $O_{20}(OH)_4$) relativi alle 120 smectiti diottaedriche utilizzate per questa indagine

Campione (*)	Grappolo (**)	Sottogruppo	Al (VI)	Fe tot. (VI)	Mg (VI)	Al (IV)	X ¹⁺ tot.	X ¹⁺ % (IV)	(Mg+Fe)/Al (VI)	biv./triv (VI)
1-W	1	A	3,06	0,42	0,52	0,32	0,85	38,00	0,31	0,15
2-W	1	A	3,04	0,34	0,67	0,24	0,80	30,00	0,33	0,21
3-W	1	A	3,11	0,42	0,47	0,31	0,78	40,00	0,29	0,13
4-W	1	A	3,11	0,36	0,57	0,20	0,70	29,00	0,30	0,17
5-W	1	A	3,06	0,32	0,65	0,18	0,75	24,00	0,32	0,20
6-W	3	C	3,10	0,56	0,36	0,34	0,66	51,00	0,30	0,10
7-W	1	A	2,99	0,50	0,48	0,18	0,77	23,00	0,33	0,14
8-W	1	A	3,02	0,41	0,55	0,25	0,84	30,00	0,32	0,16
9-W	1	A	3,07	0,42	0,58	0,35	0,76	46,00	0,33	0,18
10-W	1	A	3,17	0,40	0,48	0,39	0,73	54,00	0,28	0,14
11-W	1	A	3,13	0,40	0,50	0,31	0,72	42,00	0,29	0,15
12-W	1	A	3,33	0,15	0,54	0,21	0,72	29,00	0,21	0,16
13-W	1	A	3,13	0,45	0,42	0,25	0,72	35,00	0,28	0,12
14-W	1	A	3,15	0,35	0,55	0,24	0,67	36,00	0,29	0,18
15-W	1	A	2,98	0,49	0,47	0,18	0,81	22,00	0,33	0,14
16-W	1	A	3,10	0,50	0,38	0,16	0,66	24,00	0,29	0,12
17-W	3	C	3,12	0,56	0,40	0,48	0,68	71,00	0,31	0,12
18-W	3	C	3,12	0,60	0,28	0,40	0,68	59,00	0,28	0,08
19-W	3	C	3,12	0,58	0,28	0,32	0,60	53,00	0,31	0,08
20-W	1	A	3,06	0,40	0,60	0,18	0,64	28,00	0,33	0,19
21-W	1	A	3,14	0,34	0,52	0,12	0,64	19,00	0,27	0,15
22-W	1	A	3,10	0,32	0,58	0,17	0,60	28,00	0,29	0,18
23-W	1	A	3,06	0,36	0,61	0,20	0,82	22,00	0,32	0,18
24-W	1	A	3,08	0,40	0,56	0,20	0,84	24,00	0,31	0,15
25-W	1	A	3,10	0,22	0,70	0,24	0,84	25,00	0,30	0,18
26-W	1	A	3,12	0,30	0,58	0,04	0,80	5,00	0,28	0,20
27-W	1	A	3,14	0,30	0,57	0,06	0,78	8,00	0,28	0,20
28-W	1	A	3,14	0,33	0,56	0,09	0,81	11,00	0,28	0,15
29-W	1	A	3,09	0,34	0,60	0,10	0,77	11,00	0,31	0,17
30-W	1	A	3,06	0,42	0,56	0,18	0,80	23,00	0,32	0,18
31-C	2	B	2,95	0,29	0,76	0,21	0,97	22,00	0,36	0,25
32-C	2	B	2,84	0,35	0,85	0,22	0,96	23,00	0,42	0,27
33-C	2	B	2,81	0,49	0,79	0,40	0,96	41,00	0,46	0,24
34-C	2	B	2,89	0,17	0,94	0,00	0,91	0,00	0,39	0,31
35-C	2	B	2,87	0,27	0,86	0,16	1,02	16,00	0,40	0,28
36-C	1	A	2,85	0,48	0,67	0,14	0,85	16,00	0,41	0,21
37-C	1	A	2,90	0,42	0,65	0,20	0,93	22,00	0,37	0,20
38-C	1	A	2,92	0,47	0,54	0,15	0,97	15,00	0,35	0,17
39-C	2	B	2,96	0,22	0,82	0,15	0,96	16,00	0,35	0,27
40-C	1	A	2,86	0,48	0,66	0,23	0,89	26,00	0,40	0,21

SEGUE TABELLA 1

Campione (*)	Grappolo (**)	Sottogruppo	Al (VI)	Fe tot. (VI)	Mg (VI)	Al (IV)	X ¹⁺ tot.	X ¹⁺ % (IV)	(Mg+Fe)/Al (VI)	biv./triv (VI)
41-C	1	A	3,00	0,37	0,63	0,20	0,83	24,00	0,33	0,19
42-C	2	B	2,94	0,32	0,72	0,26	1,08	24,00	0,36	0,24
43-C	1	A	2,86	0,40	0,78	0,20	0,86	23,00	0,41	0,24
44-C	2	B	3,02	0,20	0,86	0,30	0,92	33,00	0,35	0,27
45-C	2	B	3,00	0,29	0,61	0,18	1,13	16,00	0,30	0,20
46-C	1	A	2,96	0,36	0,64	0,16	0,84	19,00	0,34	0,19
47-C	2	B	2,95	0,20	0,90	0,08	0,97	8,00	0,37	0,25
48-C	2	B	2,92	0,32	0,78	0,20	1,04	19,00	0,38	0,22
49-O	2	B	2,76	0,18	1,08	0,18	1,20	15,00	0,47	0,37
50-O	2	B	2,78	0,20	1,10	0,28	1,18	24,00	0,47	0,39
51-O	2	B	2,68	0,22	1,16	0,32	1,26	25,00	0,52	0,42
52-O	2	B	2,81	0,20	0,99	0,07	1,11	7,00	0,42	0,34
53-O	2	B	2,96	0,11	1,20	0,05	1,18	4,00	0,49	0,43
54-O	2	B	2,96	0,10	1,31	0,22	1,19	18,00	0,53	0,47
55-O	2	B	2,78	0,19	1,03	0,50	1,15	5,00	0,44	0,36
56-O	2	B	2,76	0,17	1,07	0,70	1,16	6,00	0,45	0,37
57-O	2	B	2,87	0,20	0,93	0,14	1,16	12,00	0,36	0,32
58-O	2	B	2,81	0,29	0,90	0,14	1,04	13,00	0,42	0,30
59-O	2	B	2,91	0,14	0,95	0,00	0,98	0,00	0,38	0,32
60-O	2	B	2,86	0,02	1,16	0,30	1,34	23,00	0,41	0,40
61-O	3	C	2,66	0,48	0,86	0,46	1,32	35,00	0,50	0,28
62-T	1	A	3,28	0,10	0,72	0,24	0,66	37,00	0,25	0,21
63-T	1	A	3,36	0,18	0,46	0,12	0,60	20,00	0,19	0,14
64-T	2	B	3,16	0,10	0,74	0,28	1,02	28,00	0,27	0,23
65-T	2	B	3,12	0,14	0,84	0,46	1,08	43,00	0,31	0,29
66-T	1	A	3,34	0,00	0,76	0,04	0,50	8,00	0,23	0,23
67-T	2	B	3,15	0,01	0,85	0,20	1,04	19,00	0,27	0,27
68-T	2	B	3,22	0,04	0,74	0,22	1,05	21,00	0,24	0,24
69-T	3	C	3,28	0,10	0,62	0,44	1,06	41,00	0,22	0,18
70-T	2	B	3,24	0,01	0,74	0,27	0,99	27,00	0,23	0,23
71-T	3	C	3,46	0,03	0,51	0,36	0,90	40,00	0,16	0,15
72-T	3	C	3,49	0,02	0,49	0,51	0,99	51,00	0,15	0,14
73-T	1	A	3,20	0,05	0,75	0,14	0,93	15,00	0,25	0,23
74-T	1	A	3,46	0,00	0,54	0,10	0,64	15,00	0,16	0,16
75-T	1	A	3,40	0,02	0,58	0,06	0,64	10,00	0,18	0,17
76-T	1	A	3,36	0,04	0,60	0,06	0,66	9,00	0,19	0,18
77-T	1	A	3,18	0,31	0,53	0,26	0,80	32,00	0,26	0,16
78-B	4	D	3,96	0,04	0,02	1,04	0,92	99,00	0,29	0,01
79-B	4	D	3,93	0,09	0,04	1,08	0,96	99,00	0,03	0,01
80-B	3	C	2,80	0,99	0,15	0,82	1,18	70,00	0,41	0,04

SEGUE TABELLA 1

Campione (*)	Grappolo (**)	Sottogruppo	Al (VI)	Fe tot. (VI)	Mg (VI)	Al (IV)	X ¹⁺ tot.	X ¹⁺ % (IV)	(Mg+Fe)/Al (VI)	biv./triv (VI)
81-B	3	C	2,56	0,94	0,47	0,72	1,19	61,00	0,55	0,13
82-B	3	C	2,93	0,65	0,42	0,85	1,28	66,00	0,37	0,12
83-B	3	C	2,60	0,67	0,76	0,75	1,35	56,00	0,55	0,23
84-B	3	C	3,69	0,04	0,27	0,71	0,98	72,00	0,09	0,07
85-B	4	D	4,07	0,05	0,00	1,39	1,03	100,00	0,00	0,00
86-B	3	C	3,40	0,29	0,30	0,99	1,33	74,00	0,17	0,09
87-B	4	D	4,00	0,00	0,00	1,32	1,32	100,00	0,00	0,00
88-B	3	C	2,68	0,78	0,56	0,54	1,04	52,00	0,50	0,16
89-B	3	C	3,70	0,04	0,40	0,70	0,68	99,00	0,12	0,11
90-B	3	C	3,33	0,33	0,34	0,58	0,92	63,00	0,20	0,09
91-B	3	C	3,26	0,22	0,50	0,50	1,06	47,00	0,22	0,14
92-B	3	C	3,10	0,52	0,34	0,62	1,09	57,00	0,28	0,09
93-B	3	C	2,88	0,70	0,36	0,76	1,30	59,00	0,37	0,10
94-B	3	C	3,42	0,14	0,40	0,56	1,03	55,00	0,16	0,11
95-B	3	C	3,62	0,08	0,28	0,76	1,08	70,00	0,10	0,08
96-B	3	C	3,50	0,16	0,28	0,68	1,14	60,00	0,13	0,08
97-B	3	C	3,40	0,24	0,34	0,58	1,00	58,00	0,17	0,09
98-B	3	C	3,52	0,10	0,32	0,70	1,22	57,00	0,12	0,09
99-B	3	C	2,90	0,70	0,52	0,48	0,68	71,00	0,42	0,16
100-B	3	C	3,32	0,38	0,42	0,60	0,68	88,00	0,24	0,12
101-B	3	C	3,34	0,38	0,36	0,50	0,66	76,00	0,22	0,11
102-B	3	C	2,76	0,71	0,59	0,81	1,36	59,00	0,47	0,22
103-B	3	C	2,98	0,47	0,38	0,43	0,90	47,00	0,29	0,11
104-B	3	C	2,89	0,46	0,65	0,58	1,20	48,00	0,37	0,19
105-B	3	C	3,02	0,40	0,58	0,54	1,15	47,00	0,32	0,19
106-NIM	3	C	2,21	1,25	0,49	0,25	0,98	25,00	0,79	0,18
107-NIM	1	A	2,83	0,56	0,61	0,26	0,96	27,00	0,41	0,19
108-NIM	2	B	2,51	0,77	0,78	0,15	0,79	19,00	0,62	0,25
109-NIM	3	C	2,42	0,62	1,06	0,38	1,14	33,00	0,70	0,35
110-NIM	3	C	2,28	0,92	0,98	0,70	1,16	60,00	0,83	0,32
111-NIM	2	B	2,73	0,64	0,68	0,34	1,14	30,00	0,49	0,26
112-NIM	2	B	2,26	1,18	0,58	0,30	1,10	27,00	0,78	0,28
113-NIM	3	C	2,00	1,60	0,40	0,44	1,06	41,00	1,00	0,18
114-NIM	2	B	2,40	0,93	0,79	0,27	0,81	33,00	0,72	0,27
115-NIB	5	E	0,13	3,82	0,04	0,97	1,04	93,00	29,69	0,01
116-NIB	5	E	0,11	3,71	0,16	0,83	1,05	79,00	35,18	0,04
117-NIB	5	E	0,19	3,74	0,07	0,95	1,02	93,00	20,05	0,02
118-NIB	5	E	0,38	2,75	0,72	0,33	1,52	22,00	9,13	0,23
119-NIB	5	E	0,52	3,19	0,22	0,57	1,00	57,00	6,56	0,06
120-NIB	5	E	0,05	3,40	0,55	0,00	0,55	0,00	79,00	0,16

(*): identificazione del campione in Brigatti e Poppi, 1980. (W = Wyoming, T = Tatatilla, O = Otay, C = Chamber, NIM = Non-Ideale-Montmorillonite, N = Nontronite, B = Beidellite, NIB = Non-Ideale-Beidellite).

(**): identificazione del grappolo naturale ottenuto mediante l'analisi classificativa (vedi testo)

In particolare si tratta di sette gruppi di sialliti diottaedriche identificati con i nomi: Wyoming (W), Tatatilla (T), Otay (O), Chamber (C), Non-Ideale-Montmorillonite (NIM), Nontronite (N), Beidellite (B) e Non-Ideale-Beidellite (NIB), (vedi tab., 1^a colonna). Per ciascun campione mineralogico sono riportate le otto variabili cristallografiche (variabili osservate): Al (VI), Fe_{tot} (VI), Mg (VI), Al (IV), X¹⁺_{tot}, X¹⁺_% (IV), (Mg + Fe) / Al (VI) e (Mg + Fe²⁺) / (Al + Fe³⁺) (VI).

La prima fase dell'individuazione della struttura tassonomica relativa ad un gruppo di campioni, consiste nell'individuare sottogruppi di campioni che siano omogenei al loro interno per determinati caratteri e sufficientemente diversi tra loro per gli stessi caratteri.

A questo scopo una analisi fattoriale eseguita in tecnica Q' (FA mode-Q') (Cattell, 1952)¹, utilizzando il metodo del legame completo e la distanza euclidea quadratica, ha permesso di individuare cinque sottogruppi di campioni sufficientemente omogenei per l'insieme delle otto variabili cristallografiche osservate. Il grappolo d'appartenenza di ciascun campione è riportato in tabella 1, 2^a colonna.

La seconda fase della individuazione della struttura tassonomica consiste nell'ottenere una descrizione (somma pesata di caratteri) per ciascuno dei cinque sottogruppi di campioni già individuati con l'analisi classificativa. Allora, una analisi di scaling multidimensionale pesato (WMDS)², utilizzando il metodo della differenza euclidea per distanze singole, è stata utilizzata per individuare i differenti pesi descrittivi assunti dalle otto variabili osservate (denominate qui "stimoli") nella descrizione delle tipologie cristallografiche medie relative a ciascuno dei cinque gruppi di campioni precedentemente individuati (qui denominati "soggetti").

E' questa un tipo di analisi esplorativa in cui i dati fondamentali (le matrici di dissimilitudine tra gli stimoli, una per ogni soggetto) sono dissomiglianze, cioè dati simili a distanze, che esprimono gradi di diversità, ed ha lo scopo di identificare e modellare la struttura e le dimensioni di un insieme di caratteri tramite valori di dissimilarità tra gli stessi caratteri. La struttura degli stimoli conduce ad identificare quattro "Dimensioni", cioè quattro caratteri descrittivi complessi, non osservati ma calcolati, che concorrono a definire il carattere complessivo dei cinque soggetti in esame.

Il modello fattoriale della analisi di scaling effettuata è riportato in tabella 2.

Tabella 2 Modello fattoriale di Scaling Pesato (WMDS):
Spazio degli Stimoli e Spazio dei Soggetti

a) - Modello di scalig a quattro Dimensioni: S-stress < 0,001.

b) - Stress e RSQ nelle distanze:

<i>matrice</i>	<i>Stress</i>	<i>RSQ</i>	<i>matrice</i>	<i>Stress</i>	<i>RSQ</i>
1	0,073	0,97	4	0,077	0,678
2	0,093	0,976	5	0,119	0,932
3	0,106	0,913			

Stress medio: = 0,095; RSQ medio: = 0,949

c) - Spazio degli Stimoli: peso degli stimoli sulle Dimensioni

<i>stimolo:</i>	<i>Dimensioni:</i>			
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Al (VI)	-1,371	-0,662	-0,853	0,067
Fe _{tot.} (VI)	-0,739	-0,269	1,669	-1,645
Mg (VI)	1,226	1,467	0,464	-0,612
Al (IV)	0,651	-1,921	0,007	1,423
X ¹⁺ _{tot.}	0,404	-0,516	0,465	1,557
X ¹⁺ % (IV)	1,326	1,339	0,643	-0,638
(Mg+Fe)/Al (VI)	-1,296	-1,298	-0,579	0,068
(Mg+Fe ²⁺)/(Al+Fe ³⁺)	-0,202	0,864	-1,817	-0,221

d) - Spazio dei Soggetti: peso dei soggetti sulle dimensioni

<i>weirdness:</i>	<i>Dimensioni:</i>				
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	
Soggetto A	0,83	0,174	0,188	0,950	0,006
Soggetto B	0,88	0,266	0,940	0,025	0,000
Soggetto C	0,51	0,767	0,378	0,424	0,000
Soggetto D	0,98	0,987	0,032	0,009	0,000
Soggetto E	0,93	0,073	0,029	0,103	0,956
media aritmetica:	0,450	0,310	0,300	0,300	0,190
peso globale medio:	0,334	0,213	0,219	0,219	0,183

Una lettura, eseguita in tecnica-R (FA mode-R) (Cattell, 1952)³ di ciascuna Dimensione (vedi tab. 2, punto c) ha permesso di identificare il carattere descrittivo da essa espresso. Le quattro Dimensioni, in quanto coordinate, definiscono un iper-spazio in cui sono dispersi gli otto stimoli, detto quindi: "spazio degli stimoli". Lo stesso modello di scaling permette di individuare inoltre una specifica posizionatura di ciascuno dei cinque soggetti all'interno dello spazio degli stimoli definendo così uno "spazio dei soggetti" (vedi tab. 2, punto d)), basato sulla distanza euclidea pesata, ancora individuato dalle medesime coordinate che definivano lo spazio degli stimoli. In questo spazio dei soggetti le posizioni dei soggetti definiscono otto vettori aventi origine nell'o-

rigine delle coordinate dello spazio. La distanza angolare tra ciascun vettore e ciascuna coordinata dello spazio è inversamente proporzionale al peso che ciascuna Dimensione ha nella definizione del singolo soggetto. Il modulo di ciascun vettore indica la bontà dell'adattamento del modello lineare al singolo soggetto. Nello spazio dei soggetti è quindi possibile leggere l'importanza descrittiva assunta da ciascuna Dimensione nella definizione di ciascun soggetto. Si giunge cioè alla descrizione di ognuno dei cinque soggetti mediante i caratteri complessi espressi da ciascuna Dimensione.

La terza fase della individuazione della struttura tassonomica consiste nell'individuare una gerarchia classificativa tra le descrizioni dei cinque sottogruppi di campioni. Allora è stata adottata una particolare procedura analitica di tassonomia numerica già sperimentata in ambito biologico e paleontologico in studi sulla evoluzione di caratteri⁴. Si è proceduto ad effettuare una particolare codificazione delle coordinate di ciascun soggetto nello spazio dei soggetti in modo tale che esse potessero esprimere "una distanza tra soggetti", cioè una diversità nella descrizione dei singoli soggetti (i quattro sottogruppi di campioni individuati con l'analisi classificativa) ed in questo modo fungere da indici tassonomici. Un cladogramma è poi servito ad evidenziare gli stati tassonomici attribuibili a ciascun soggetto, contribuendo a comprendere la descrizione di ciascuno di essi.

Discussione

Una analisi di scaling multidimensionale pesato è stata utilizzata per porre a confronto le caratteristiche cristallochimiche di ciascuno dei cinque sottogruppi di campioni già individuati mediante l'analisi classificativa.

Nella tabella 2 è riportato il modello di scaling adottato. Modello a quattro dimensioni, definito dopo 12 iterazioni da uno s-stress di 0,001. (s-Stress è il decremento dell'indice di Stress dovuto all'ultima iterazione; lo Stress è un indice che misura la cattiva qualità dell'adattamento ai dati del modello lineare, ha valore compreso tra 0 ed 1, il valore 0 indica adattamento perfetto, il valore 1 indica completa mancanza di adattamento).

Il confronto tra i cinque sottogruppi di campioni (vedi tab. 2 punto b) è stato realizzato sulle relative cinque matrici di dissimilitudine tra le variabili osservate (Sneath e Sokal, 1969) (indicate come: matrice n. 1, 2, ..., 5). Gli indici RSQ, (RSQ è un indice che misura la bontà dell'adattamento ai dati di un modello lineare, ha valore compreso tra 0 ed 1, i valori

piccoli indicano che il modello non si adatta bene ai dati), per le cinque matrici di dissimilitudine indicano un valore molto buono per le matrici n. 1, 2, 3 e 5 ed un valore accettabile per la matrice n. 4.

Al punto c) della stessa tabella è rappresentato lo spazio degli stimoli. Sono riportati i pesi con cui le otto variabili osservate contribuiscono alla definizione delle quattro dimensioni.

Dalla loro lettura in tecnica-R si può dedurre che:

- La Dimensione n. 1, (poi indicata: Dim. 1), che possiamo etichettare come: "Componente di doppia sostituzione ottaedrica e tetraedrica", è nettamente dominata da $X^{1+}_{\%}(IV)$, (peso: 1, 33), e da Mg (VI), (peso: 1, 23), ed in maniera subordinata da Al (VI), (peso: 0, 65), e da $X^{1+}_{tot.}$ (peso: 0, 40). Il significato della Dimensione è allora: alta sostituzione con magnesio nello strato ottaedrico associata a una forte sostituzione con alluminio nello strato tetraedrico.

- La Dimensione n. 2, (Dim. 2), che possiamo etichettare come: "Componente di prevalente sostituzione ottaedrica con magnesio", è dominata da Mg (VI), (peso: 1, 47), e da $X^{1+}_{\%}(IV)$, (peso: 1, 34), ed in maniera subordinata dal rapporto: $(Mg + Fe^{2+}) / (Al + Fe^{3+})$, (peso: 0, 86). Il significato della Dimensione è: Alta sostituzione con magnesio e con ferro nello strato ottaedrico associata ad una ridotta sostituzione con alluminio nello strato tetraedrico.

- La Dimensione n. 3, (Dim. 3), che possiamo etichettare come: "Componente di prevalente sostituzione ottaedrica con ferro", è dominata dal $Fe_{tot.}$ (VI), (peso: 1,67) ed in maniera subordinata da $X^{1+}_{\%}(IV)$, (peso: 0, 64), da $X^{1+}_{tot.}$, (peso: 0,46), e da Mg (VI), (peso: 0,46). Il significato della Dimensione è: Alta sostituzione con ferro nello strato ottaedrico associata ad una ridotta sostituzione con Al nello strato tetraedrico.

- La Dimensione n. 4, (Dim. 4), che possiamo etichettare come: "Componente di quasi esclusiva sostituzione tetraedrica" è dominato da $X^{1+}_{tot.}$, (peso: 1,56), e da Al (IV), (peso: 1,42). Il significato della Dimensione è quindi: Sostituzione con alluminio nello strato tetraedrico.

Allora questi quattro significati cristallografici (o caratteri descrittivi), ciascuno espressione di una Dimensione, definiscono cumulativamente l'insieme dei 120 campioni mineralogici di Tabella 1.

Nella Tabella 2 al punto d) viene riportato lo spazio dei soggetti. Si tratta sempre di uno spazio a quattro dimensioni, praticamente lo stesso spazio degli Stimoli, in cui sono ora dispersi, non gli otto stimoli, ma i cinque soggetti. L'analisi di scaling multidimensionale pesato permette di in-

serire in questo spazio dei soggetti, cinque punti che rappresentano le cinque matrici di dissimilitudine poste a confronto, cioè i cinque sottogruppi di campioni già individuati dall'analisi classificativa. Essi sono denominate "soggetti" e indicate poi con: "Sog. A", "Sog. B", "Sog. C", "Sog. D" e "Sog. E". Allora in questo spazio dei soggetti, le quattro Dimensioni pesano l'importanza descrittiva rivestita da ciascuna di esse nella descrizione di ciascun soggetto. Si leggono così in questo spazio le differenze descrittive tra i soggetti. Nella stessa tabella, per ciascun soggetto, viene riportato il "Peso sulla Dimensione" (PD) che a ciascuna di esse viene attribuito. Ad esempio: +0,174, +0,188, +0,950, sono i pesi descrittivi con cui Dim. 1, Dim. 2, Dim. 3, concorrono alla descrizione del soggetto "A".

Si può osservare che il Sog. A è dominato dalla Dim. 3 ed il Sog. B dalla Dim. 2. Per la descrizione del sog. C è dominante la Dim. 1 ma risultano importanti anche Dim. 3 e Dim. 2. Il Sog. D è nettamente dominato da Dim. 1 ed il Sog. E da Dim. 4. La Dim. 4 risulta essere specifica per il solo Sog. E. Vengono inoltre riportate le importanze descrittive globali medie, (espresse in %), relative a ciascuna Dimensione.

In tabella è inoltre riportato l'indice di Weirdness relativo a ciascun soggetto. (Il Weirdness è un indice di atipicità che misura quanto la descrizione di un soggetto si discosta dalla descrizione media di tutti i soggetti in analisi; varia tra 0, per un soggetto del tutto tipico, ad 1 per un soggetto del tutto atipico). I valori di questo indice sono tutti piuttosto alti ad esclusione che per il Sog. C. Ciò indica che i soggetti: "A", "B", "D", ed "E" risultano piuttosto atipici, cioè diversi rispetto ai valori medi relativi alla descrizione globale e quindi che ciascuno gruppo di campioni ad essi associati, denota una caratterizzazione cristallografica piuttosto netta e particolare.

Una particolare codificazione dei pesi su ciascuna dimensione è stata successivamente eseguita allo scopo di giungere a quantizzare l'importanza descrittiva assunta da ciascuna Dimensione nella descrizione di ogni soggetto.

Nella tabella 3 punto a), sono riportati per ciascuno dei cinque soggetti, i pesi descrittivi calcolati per ciascuna delle quattro Dimensioni (pesi già riportati in Tab. 2 punto d) opportunamente codificati (per ciascuna Dimensione i pesi sono stati moltiplicati per 10 e sottratti della loro media). Questi dati indicano scarti di peso, cioè "Differenze di Peso sulle Dimensioni" (DPD) osservate per ciascun soggetto.

La codificazione ha individuato un nuovo sistema cartesiano di riferimento nello spazio dei soggetti con origine in prossimità del punto di peso globale medio fra tutti i soggetti. Le coordinate del nuovo sistema so-

no espresse in "Unità di Differenza di Peso sulle Dimensioni" (UDPD). La codificazione ha cioè trasformato i Pesì sulle Dimensioni (PD), espressi in Unità di Peso sulle Dimensioni (UPD), in "distanze", cioè in Differenze di Peso sulle Dimensioni (DPD). A causa della codificazione dei pesi originali la UDPD equivale a circa 1/10 della UPD. Queste DPD definiscono e quantizzano il contributo che ciascuna Dimensione ha nella definizione di ciascun soggetto. Definiscono cioè lo stato tassonomico di ciascun soggetto all'interno dello spazio dei soggetti.

Successivamente sono state applicate particolari tecniche analitiche già usate in paleontologia per studi di evoluzione di caratteri (Sneath, 1973) che hanno portato a disegnare il cladogramma dei cinque soggetti. Nella tabella 3 punto b, è riportata la matrice simmetrica delle distanze tra i DPD di ciascun soggetto, determinate mediante il criterio City-block (distanza Manhattan). Esse esprimono: "Distanze tra Differenze di Peso nelle Dimensioni" (DDPD). Dalla lettura di questa matrice di distanze si osserva

che la distanza maggiore (DDPD = 24) individua il Sog. E e il Sog. C.

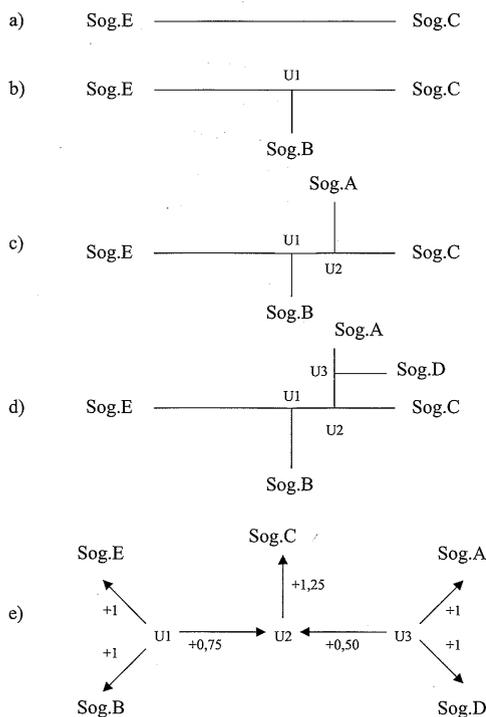


Figura 1. Fasi successive di costruzione del cladogramma per i Soggetti: A, B, C, D e E

In figura 1 al punto a) è schematizzato questo stato. Ancora, dalla matrice delle DDPD si osserva che la distanza successivamente minore (DDPD = 22) individua il Sog. E e il Sog. B. In fig. n. 1 al punto b) è allora riportato questo nuovo stato ove si individua un elemento di congiunzione, "U1", che funge da cerniera tra i soggetti: Sog. A, Sog.C e Sog. B. Lo stato tassonomico da attribuire ad U1 resta definito dalla mediana (sulle quattro Dimensioni) tra gli stati dei tre soggetti icernierati. Lo stato relativo alla cerniera U1 viene allora aggiunto nella tabella dei DPD e calcolati i DDPD tra U1 e i cinque soggetti. La distanza (DDPD = 24) tra il Sog. E ed il Sog. C si

scinde nelle distanze $DDPD = 16$ e $DDPD = 8$ ad opera della cerniera U1. La $DDPD$ tra U1 e Sog. B è calcolata come: $((DDPD \text{ "Sog. E - Sog. B"}) + (DDPD \text{ "Sog. C - Sog. B"})) - DDPD \text{ "Sog. C - Sog. E"} / 2$. Restano a conferma verificate le distanze tra Sog. E e Sog. C: $(|16| + |8| = 24)$, tra Sog. E e Sog. B: $(|16| + |6| = 22)$ e tra Sog. B e Sog. C $(|6| - |8| = 14)$.

La distanza successivamente inferiore è: $DDPD = 21$ che lega il Sog. E con il Sog. A. Ciò comporta la individuazione della nuova cerniera "U2" (fig. 1 punto c). L'inserimento successivo del Sog. D individua la cerniera: "U3" (fig. 1 punto d). Dal reticolo di fig. 1 punto d) e le matrici delle DPD e delle DDPD è possibile identificare gli stati tassonomici e le reciproche distanze tra i cinque soggetti e tra questi e le tre cerniere individuate. L'insieme delle DPD lette su ciascuna delle quattro Dimensione rappresenta lo stato tassonomico di un soggetto o di una cerniera. Ad esempio: lo stato tassonomico del Sog. C è espresso dai quattro DPD: "3, 1, 1, -2" e del Sog. E da: "-4, -3, -2, 8". La differenza di stato nel passaggio da Sog. E a Sog. C è: "7, 4, 3, -10" ed è evidente che $|+7|$ e $|+4|$ sono le relative differenze di stato sulle Dim. 1 e Dim. 2. Allora nel passaggio da Sog. E a Sog. C il carattere descrittivo espresso dalla Dim. 1 si incrementa di 7 UPD, il carattere espresso dalla Dim. 2 si incrementa di 4 UPD, il carattere espresso da Dim. 3 si incrementa di 3 UPD ed il carattere espresso dalla Dim. 4 si decrementa di 10 UPD. E' così possibile leggere le variazioni di stato tra soggetti e tra soggetti e cerniere, su ciascuna Dimensione. Variazioni di stato tassonomico comportano variazioni nel peso descrittivo di una o più Dimensione e quindi evidenziano una diversificazione caratteriale tra soggetti.

Una orientata disposizione della concatenazione dei cinque soggetti e delle tre cerniere di Fig. 1 punto d) è riportata nel successivo punto e). Essa costituisce un reticolo a otto nodi che rappresenta le relazioni tassonomiche esistenti tra i cinque soggetti reali, cioè i cinque insiemi di campioni mineralogici selezionati dalla iniziale analisi classificativa e tre ipotetici soggetti cerniera, non reali ma calcolati e quindi "ipotetici".

L'analisi del reticolo⁵, operata mediante la teoria dei grafi, permette di leggere la gerarchia relazionale esistente tra tutti gli otto soggetti individuati. Il reticolo riportato in Figura 1 punto d) è un grafo di tipo diretto pesato (Wasserman e Faust, 1994) in cui le direzioni dei legami tra i nodi sono determinate dall'incremento medio, sulle quattro Dimensione, dello stato tassonomico nel passaggio tra due nodi consecutivi. (I rispettivi valori numerici sono riportati nel grafico ed i vettori indicano la direzione di legame). Ad esempio, per il passaggio da U2 a Sog. C si ha: $(\text{"3, 1, 1, -2"} - \text{"-2, 1, 1, -2"}) = \text{"5, 0, 0, 0"}$ da cui, mediando tra i singoli stati si ha: $(5 + 0 + 0 + 0) / 4 = 1,25$. Si osserva che incrementi (mediati) di stato tas-

sonomico si hanno nei passaggi: a) da U1 a Sog. B, a Sog. E e a U2; b) da U3 a Sog. A, a Sog. D e a U2 e c) da U2 a Sog. C. Allora il "grado di out-degree" (numero di percorsi che divergono da uno specifico nodo (Capecchi, 1965; Chiesi, 2000)) è pari a 3 per U1 e U3 e pari a 1 per U2 e per tutti gli altri soggetti. I soggetti U1 e U3 presentano, quindi, il più alto (ed uguale) grado relazionale tra tutti gli otto nodi.

Allora questi due soggetti ipotetici (U1, U3), o meglio i loro stati tassonomici, devono essere assunti come elementi di prima discriminazione all'interno del sistema classificativo complessivo.

Cioè l'evoluzione nella diversificazione tra i caratteri dei singoli sottogruppi ha origine con la prima "ancestrale" divisione di caratteri evidenziata dai due ipotetici soggetti U1 e U3. (Il termine di "ancestrale", deve essere inteso non come: precedente nel tempo, ma come: fase primitiva nella evoluzione del rapporto tassonomico tra i cinque soggetti reali osservati). Successivamente, a partire da questa prima biforcazione, rami tassonomici secondari portano a tutti e cinque i soggetti reali.

La differenza tassonomica riscontrata tra gli ipotetici soggetti U1 e U3 costituisce una primitiva ancestrale separazione di caratteri alla quale seguirà poi una più selettiva differenziazione. Un confronto tra gli stati di U1: ("2,-1,-2,-2") e di U3: ("2,-1,1,-2") conduce ad osservare che i pesi sulle Dimensioni n. 1 e n. 2 sono identici, la Dim. 2 si decrementa di 2 UDPD e la Dim. 3 si incrementa di 3 UDPD nel passaggio da U1 a U3. Allora la differenza descrittiva tra i soggetti U1 e U3 è marcata dalle due variazioni di peso rilevate nelle Dimensioni n. 2 e n. 3 (vedi: Tab., puntoc). Ciò significa che la prima biforcazione tassonomica prevede per il soggetto giunzione U3 un decremento di una unità DPD del carattere espresso dalla Dim. 2: "Alta sostituzione con magnesio e con ferro nello strato ottaedrico, ecc." e per il soggetto giunzione U1 un decremento di due unità DPD del carattere espresso dalla Dim. 3: "Alta sostituzione con ferro nello strato ottaedrico, ecc."

Il soggetto giunzione U2 è successivamente, il nodo reticolare di maggior importanza relazionale. Il soggetto U2 ha uno stato tassonomico: ("2,-1,1,-2") compreso tra quelli di U1 e U3. La Dim. 2 incrementa di 2 UDPD nel passaggio da U3 a U2 e la Dim3 incrementa di 3 UDPD nel passaggio da U1 a U2. La caratterizzazione del soggetto U2 è ancora definita dalle sole Dimensioni n. 2 e n. 3; incremento di 2UDPD sul carattere espresso dalla Dim. 2 e incremento di 3 UDPD sul carattere espresso dalla Dim. 2.

Nella Figura 2 è riportato il cladogramma relativo al complesso dei cinque soggetti reali e delle tre giunzioni ipotetiche con le variazioni di stato tassonomico tra loro osservate.

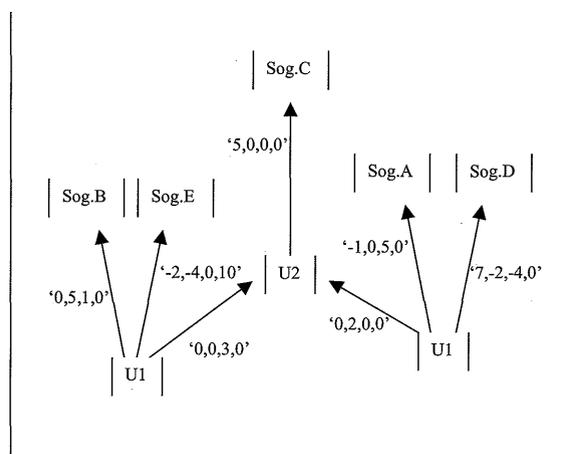


Figura 2. Cladogramma relativo ai cinque Soggetti reali e ai tre Soggetti ipotetici (giunzioni)

Esso mostra la struttura gerarchica assunta dai quattro caratteri descrittivi, espressioni delle quattro Dimensioni, nella definizione di ciascun soggetto.

Conclusioni

Nella tabella 4 sono riportati i caratteri cristallografici medi di ciascuno dei cinque sottogruppi di campioni individuati mediante l'analisi classificativa multifattoriale.

Tabella 4. Dati cristallografici medi relativi ai cinque sottogruppi di smectiti diottaedriche individuati mediante l'analisi classificativa

Sottogruppo (*)	Al (VI)	Fe _{tot.} (VI)	Mg (VI)	Al (IV)
sottogruppo A	3,10 (+/-0,15)	0,33 (+/-0,14)	0,58 (+/-0,08)	0,18 (+/-0,08)
sottogruppo B	2,87 (+/-0,21)	0,28 (+/-0,26)	0,89 (+/-0,17)	0,23 (+/-0,14)
sottogruppo C	3,05 (+/-0,42)	0,49 (+/-0,36)	0,46 (+/-0,19)	0,57 (+/-0,16)
sottogruppo D	3,99 (+/-0,06)	0,04 (+/-0,03)	0,01 (+/-0,01)	1,20 (+/-0,17)
sottogruppo E	0,23 (+/-0,18)	3,43 (+/-0,41)	0,29 (+/-0,27)	0,60 (+/-0,38)
Sottogruppo (*)	X ¹⁺ _{tot}	X ¹⁺ _% (IV)	(Mg+Fe)/Al (VI)	biv./triv. (VI)
sottogruppo A	0,76 (+/-0,10)	24,38 (+/-10,86)	0,29 (+/-0,05)	0,17 (+/-0,02)
sottogruppo B	1,05 (+/-0,12)	19,28 (+/-10,80)	0,41 (+/-0,12)	0,30 (+/-0,06)
sottogruppo C	1,02 (+/-0,22)	57,55 (+/-14,99)	0,34 (+/-0,21)	0,14 (+/-0,06)
sottogruppo D	1,05 (+/-0,18)	99,50 (+/-0,57)	0,08 (+/-0,14)	0,01 (+/-0,01)
sottogruppo E	1,03 (+/-0,30)	57,33 (+/-38,85)	29,93 (+/-26,50)	0,08 (+/-0,08)

(*): identificazione del gruppo naturale mediante l'analisi classificativa (vedi testo)

Nella Tabella 5 è riportata, per ciascun gruppo di smectiti identificate da Brigatti e Poppi (1981) mediante considerazioni di tipo mineralogico, la rispettiva ripartizione tra i cinque sottogruppi tassonomici ottenuta con questo lavoro.

Tabella 5. Attribuzione dei 120 campioni di smectiti diottaedriche ai cinque sottogruppi individuati con l'analisi classificativa multifattoriale

Analisi classificativa multifattoriale											
*	n. totale campioni	Sottogruppo A		Sottogruppo B		Sottogruppo C		Sottogruppo D		Sottogruppo E	
		n.	(%)								
Wyoming	30	26	87	0		4	13	0		0	
Chambers	18	7	39	11	61	0		0		0	
Otay	13	0		12	92	1	8	0		0	
Tatatilla	16	8	50	5	31	3	19	0		0	
Beidellite	28	0		0		24	86	4	14	0	
N.I.Mont.	9	1	11	4	44	4	44	0		0	
N.I.Beidel.	6	0		0		0		0		6	100

(*) = identificazione dei campioni secondo Brigatti e Poppi, (1980).

Ad esempio, di tutti i campioni smectitici identificati: "Wyoming", 26 campioni (87% del totale) si raccolgono nel sottogruppo A, e quindi sono in massima parte descritti dal carattere espresso dalla Dimensione n. 3 e soltanto n. 4 campioni (13% del totale) si raccolgono nel sottogruppo C e sono quindi descritti massimamente dal carattere espresso dalla Dimensione n. 1 (peso sulla Dim. 1 = 0,77) ed in parte anche dai caratteri espressi dalla Dimensione n. 3 (peso sulla Dim. 3 = 0,42) e da quelli espressi dalla Dimensione n. 2 (peso sulla Dim. 2 = 0,38) e nessun peso descrittivo viene attribuito alla Dimensione n. 4 (vedi Tab. 2, punto d). Osservazioni simili possono essere condotte per i campioni identificati: "Chambers", "Otay", "Tatatilla", "Beidellite", "Non-Ideale-Montmorillonite" e "Non-Ideale-Beidellite".

Sempre nella Tabella 5 è possibile leggere la composizione numerica di ciascun sottogruppo. Ad esempio, il sottogruppo A comprende 26 campioni di "Wyoming", 7 campioni di "Chambers", 8 campioni di "Tatatilla" e un campione di "Non-Ideale-Montmorillonite". Tutti questi 42 campioni sono definiti, quasi totalmente, dal carattere espresso dalla Dimensione n. 3 (vedi Tab. 2, punto d). Considerazioni simili possono essere fatte per gli altri sottogruppi.

Al sottogruppo D afferisce soltanto il 14% dei campioni: "Beidellite" e al sottogruppo E afferiscono i soli sei campioni di "Non-Ideale-Beidellite", (100% del totale). Il carattere espresso dalla Dimensione

n. 4 risulta essere specifico ed unico per la descrizione del gruppo di smectiti identificate come "Non-Ideale-Beidellite". Allora, esatta concordanza si osserva per il gruppo di "Non-Ideale-Beidellite"; per questi campioni la tassonomia ottenuta (allocazione nel sottogruppo E) coincide perfettamente con la classificazione mineralogica. Una concordanza molto buona si ottiene per i campioni "Otay", con il 92% di essi che afferiscono al sottogruppo B. Concordanze di poco inferiori si sono ottenute per i campioni "Wyoming" (87% afferiscono al sottogruppo A) e per i campioni "Beidellite", (86% di essi afferiscono al sottogruppo C). Una minore concordanza si osserva per i campioni "Chambers", "Tatatilla" e "Non-Ideale-Montmorillonite".

Per le smectiti "Wyoming", "Otay" e "Beidellite" soltanto una piccola percentuale dei rispettivi campioni ricadono in un solo sottogruppo tassonomico diverso da quello di maggiore molteplicità, (rispettivamente i sottogruppi A, B e C). Per le smectiti "Chambers", "Tatatilla" e "Non-Ideale-Beidellite" la tassonomia ottenuta evidenzia una confrontabile dispersione in più sottogruppi, denunciando la presenza di campioni con ampia variabilità nei caratteri cristallografici.

Da quanto osservato è evidente che uno studio tassonomico condotto con metodi di analisi statistica multifattoriale, che cioè analizzano e confrontano tra loro, contemporaneamente, tutte le variabili cristallografiche osservate, conduce ad una più selettiva discriminazione fra i campioni e permette di mettere in evidenza caratteri classificativi non osservabili con una semplice lettura cristallografica delle variabili osservate.

Note

1. L'analisi multifattoriale applicata ad una tabella rettangolare di dati ("V" variabili osservate su di un set di "N" campioni) permette di valutare contemporaneamente i profili di tutte le V variabili su tutto il set di campioni. Essa comprende più tecniche analitiche che possono essere utilizzate per scopi diversi. L'analisi fattoriale eseguita in tecnica-Q' (FA mode-Q') è una analisi classificativa che permette di individuare sottogruppi di campioni omogenei per molti caratteri in ciascun campione osservati. E' comunemente conosciuta come Analisi dei Grappoli. Sneath e Sokal (1973) forniscono ampie informazioni sul suo uso e su i diversi risultati a cui può giungere. Cattell (1952) ne definisce l'algoritmo matematico e Wishart (1969) ne descrive le possibilità di analisi.

2. Lo scaling multidimensionale pesato (WMDS) è una tecnica analitica che permette di confrontare due o più tabelle di dati analitici in ciascuna delle quali uno stesso numero di caratteri è osservato in un sottogruppo di campioni. Ogni tabella di dati è riferita a uno specifico set di campioni. Due o più "Dimensioni" (cioè caratteri descrittivi complessi) definiscono, come coordinate, lo iper-spazio che comprende tutti i set di campioni posti a confronto. La tecnica costruisce ciascuna Dimensione come una combinazione lineare di tutti i caratteri osservati. Questi caratteri (che sono le "V" variabili registrate in ciascuna tabella di dati) prendono il nome di "Stimoli". In pratica il confronto viene eseguito, non sui dati originali ma sulle relative matrici di dissimilitudine tra caratteri (Gower, 1971; Carmichael et al., 1965). Descrizioni del metodo sono riportate in Sokal e Rohlf (1969) e Sneath e Sokal, (1973).

3. L'analisi fattoriale eseguita in tecnica-R (FA mode-R) è una particolare versione dell'Analisi dei Componenti

Principali (PCA). E' quindi una analisi di tipo ordinativo che permette di leggere la struttura gerarchica assunta dagli "stimoli" nella composizione di ciascuna Dimensione. (Ciascuna Dimensione è espressa come combinazione lineare di tutti gli otto stimoli ed Tab.n.2 punto c) sono riportati i rispettivi coefficienti di correlazione. Ad esempio per la Dimensione n.1 vale: Dim. 1 = -1,371 Al(VI) -0,739 Fe_{tot}(VI) + 1,226 Mg(VI)+...ecc.). La tecnica analitica è ampiamente illustrata in Sneath e Sokal,1973.

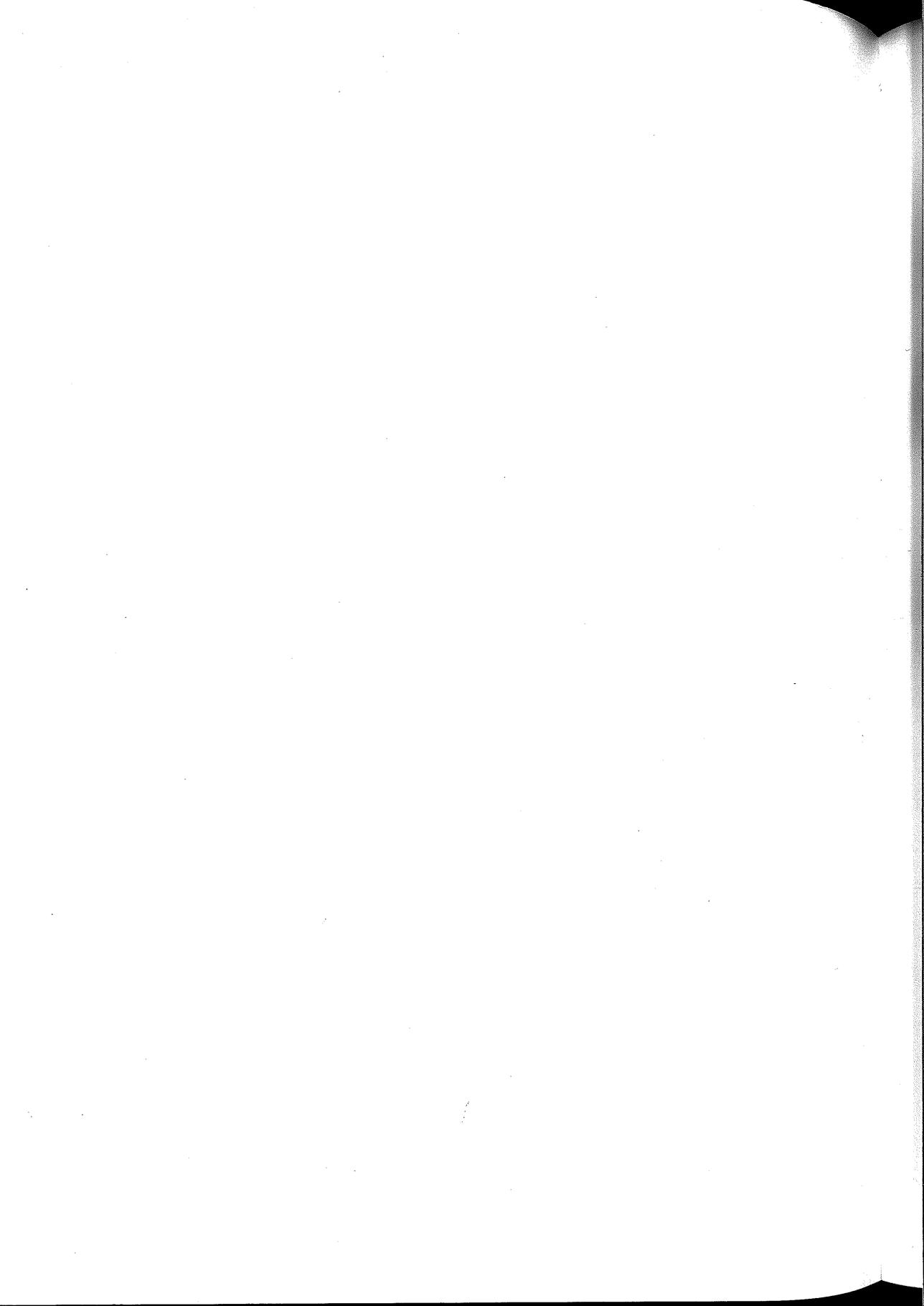
4. Maslin (1952) e Buzzati-Traverso (1959) e successivamente Heywood e McNeill (1964), Edwards e Cavalli-Sforza (1964) e Camin (1965) hanno proposto una metodologia per la misura ed il controllo della evoluzione di caratteri morfologici di alcune specie animali mediante lo studio dei loro fossili. In Sneath e Sokal (1973-pag.325 e seg.) è riportata in dettaglio detta procedura.

5. L'analisi dei reticoli (Network Analysis) (Borgatti, 1992,1999; Capecchi,1965; Chiesi,2000) è un insieme di metodologie per il trattamento ed il controllo delle ipotesi relative a dati di tipo relazionale. Si è sviluppata ed è molto utilizzata come molte altre tecniche di analisi statistica, nell'ambito delle scienze sociali. Essa permette mediante la teoria dei grafi (Wasserman e Faust,1994), che costituisce lo strumento intellettuale dell'analisi, di analizzare un reticolo, sia esso di tipo semplice che di tipo diretto (Chiesi,2000)e mediante il calcolo di opportuni indici (Wilson,1972), di individuare una gerarchia, cioè una importanza relativa di tipo relazionale, esistente tra tutti i nodi che compongono il reticolo. In questo lavoro si segue la terminologia anglosassone utilizzata da Wilson (1972) e Wasserman e Faust (1994). Una ampia descrizione dell'analisi dei reticoli è riportata in Chiesi (2000) insieme ad una specifica bibliografia.

Bibliografia

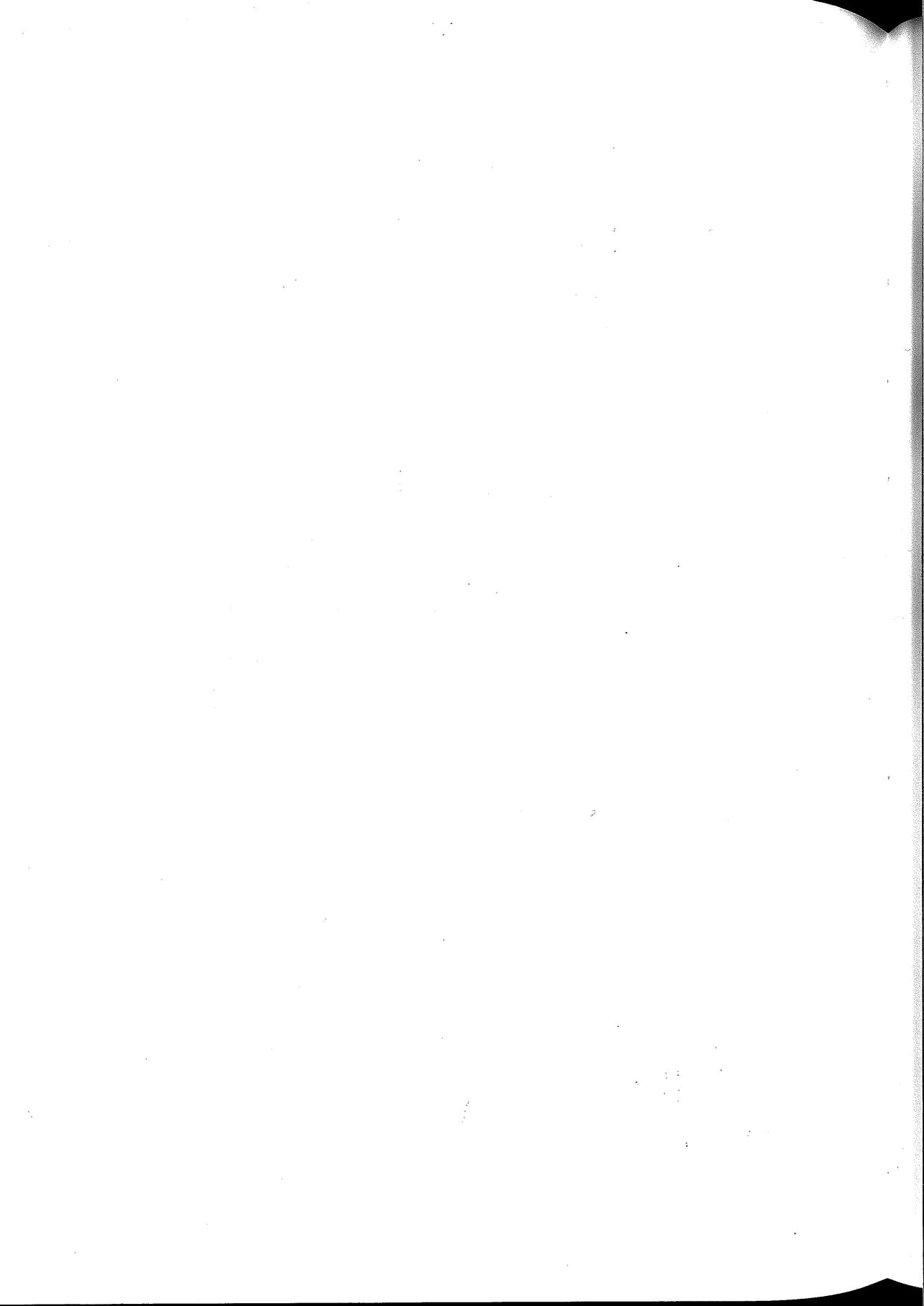
- BORGOTTI S.P., M. G. EVERETT, L. C. FREEMAN , 1992. UNICET 5.0: Network Analysis Software. *Connections*, 15, 12-15.
- BORGOTTI S.P., M. G. EVERETT, L. C. FREEMAN, 1999. UNICET 5.0: for Windows, User's Guide. Natick, MA, Analytic Technologie, U.S.A.
- BRIGATTI M. F., L. POPPI 1981. A mathematical model to distinguish the members of the dioctahedral smectite series. *Clay Minerals* , 16, 81-89.
- BUZZATI-TRAVERSO A. A., 1959. Quantitative traits, and polygenic systems in evolution. Coil-Spring Harbor Symp. Quant. Biol. , 24, 41-46.
- CAMIN J. H., R. R. SOKAL, 1965. A method for deducing branching sequences in phylogeny evolution, 19, 311-326.
- CAPECCHI V., 1965. Analisi della struttura latente e analisi dei fattori. *Quaderni di sociologia*, 14, 33-68.
- CARMICHAEL J. W., JULIUS R. S., P. M. D. MARTIN, 1965. Relative similarities in one dimension. *Nature*, 208, 544-547.
- CATTELL R. B., 1952. Factor Analysis. Harper, New York, 462 pp.
- CATTELL R. B., 1966. Handbook of multivariate experimental Psychology. Rand McNally, Chicago, 959 pp.
- CHIESI A. M., 2000. L'analisi dei reticoli. Franco Angeli Ed., Milano, Italia.
- COMREY A. L., 1973. A first course in factor analysis. Academic press., New York.
- EDWARDS A. W. F., L. L. CAVALLI-SFORZA, 1964. Reconstruction of evolutionary trees. In V. H. Heywood and J. McNeill ed., Phenetic and Phylogenetic Classification, pp 67-76. Syst. Ass. Pub, 6, 144 pp.
- GILMOUR J. S. L., S. M. WALTER, 1963. Philosophy and classification, in W. B. Turrill ed., *Vistas in Botany*, 4, 1-22.
- GITTINS R., 1968. Trend-surface analysis of ecological data. *J. Ecol.*, 56, 845-869.
- GOWER J. C., 1971. A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics*, 27, 857-871.
- HARMAN H. H. 1967. Modern Factor Analysis. 2 ed. University of Chicago Press. Chicago 474 pp.
- HEYWOOD V. H. AND J. McNEILL, 1964. Phenetic and Phylogenetic Classification. Syst. Ass. Pub, 6, 144 pp.
- MASLIN T. P.,1952. Morphological criteria of phyletic relationships. *Systematic Zool.*, 1, 49-70.
- PROCTOR J. R., 1966. Some processes of numerical taxonomy in terms of distance. *Sistematic Zool.*, 15, 131-140.

- SOKAL R. R., F. J. ROHLF, 1969. Biometry, the principles and practice of statistics in biological research. W. H. Freeman and Company, San Francisco, 776 pp.
- S.P.S.S., 1998. Professional Statistics. SPSS for Windows; Release 6. 0.
- SNEATH P. H. A., R. R. SOKAL, 1973. Numerical Taxonomy. Freeman and Company Press. S. Francisco.
- TALKINGTON L. 1967. A method of scaling for a mixed set of discrete and continuous variables. *Systematic Zool.*, 16, 149-152.
- TARDY Y., B. FRITZ., 1981. An ideal solid solution model for calculating solubility of clay minerals. *Clay Minerals*, 16, 361-373.
- VAN DE GEER J. P., 1971. Introduction to Multivariate Analysis for the Social Sciences. W. H. Freeman and Company, S. Francisco.
- WASSERMAN S. K., K. FAUST, 1994. Social Network Analysis: Methods and Applications. Cambridge Univ. Pres., Cambridge.
- WILSON R. J., 1972. Introduction to Graph Theory. Longman, London.
- WISHART D., 1969. Numerical classification method for deriving natural classes. *Nature*, 221, 97-98.





I soci informano



ATTIVITÀ DEL COMITATO PER L'EDUCAZIONE E LA DIVULGAZIONE DELLA SCIENZA DEL SUOLO

Maria Teresa Dell'Abate (Coordinatore)

Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante
Via della Navicella, 2 - 00184 Roma

A distanza di due anni dalla sua costituzione in seno alla Società Italiana della Scienza del Suolo, il Comitato per l'Educazione e la Divulgazione conta oggi sull'attività di circa 60 persone di cui almeno 20 esterne alla SISS. Nonostante l'iniziativa sia stata pubblicizzata in più occasioni, sia fra i soci che in altri contesti, le persone che hanno aderito inviando alla Segreteria il modulo compilato sono circa trenta. Molti fra i partecipanti sono infatti stati contattati direttamente dalla Segreteria in quanto inseriti in contesti di rilievo per l'attività del Comitato (scuole materne, elementari, medie inferiori e superiori, enti pubblici e privati).

Il Comitato lo scorso anno ha inviato documenti informativi sulle proprie finalità ed attività al Ministero della Pubblica Istruzione ed ai Provveditorati. Alcuni di questi hanno provveduto a divulgare presso gli Istituti le proposte nei possibili percorsi formativi per l'Educazione Ambientale. I soci di Roma hanno contattato alcune scuole della Provincia (scuole materne, elementari e medie inferiori), per coinvolgerle in lezioni sperimentali sulla scienza del suolo. Ne sono già state svolte alcune con successo e gli insegnanti, che proseguiranno l'attività autonomamente, hanno chiesto che le esperienze di laboratorio e le lezioni presentate vengano raccolte in un manuale.

Presso l'Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante, nell'ambito della X Settimana delle Diffusione della Cultura Scientifica, organizzata dal MURST e dal MUSIS (aprile 2000), e' stata allestita una mostra didattica dal titolo "*Il suolo che vive*", indirizzata principalmente agli studenti medi. Nel corso della mostra sono stati consegnati ai ragazzi due questionari, uno mirato a conoscere il livello di interesse destato dalla nostra iniziativa, e l'altro il grado di conoscenza generale delle tematiche relative al suolo: l'esame delle risposte ottenute è stato un utile spunto di riflessione sull'opportunità di dedicare un po' del nostro tempo ad attività di divulgazione a diversi livelli. La partecipazione ad iniziative di questo tipo, ad esempio, può costituire un utile punto di partenza per la divulgazione della Scienza del Suolo. Produrre proposte, progetti e materiale informativo con il quale proporsi ai diversi interlocutori è, a nostro avviso, la principale occupazione del Comitato, così come divulgare le esperienze realizzate.

Lo scorso anno, il 18 febbraio 2000, si è svolto a Roma un incontro organizzativo del Comitato SISS per l'Educazione e la Divulgazione della Scienza del Suolo presso la biblioteca dell'Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante di Roma. Nel corso dell'incontro, al quale hanno partecipato 21 persone, sono stati costituiti alcuni gruppi di lavoro e sono state illustrate le attività nelle quali il Comitato intende impegnarsi nei prossimi mesi. Sono inoltre state prese in esame alcune delle iniziative che hanno coinvolto gli studenti di una scuola materna e di alcune scuole medie di Roma. Dall'incontro è emerso che la diffusione e la promozione delle iniziative potrà avvenire sia attraverso il Bollettino SISS che per mezzo di uno spazio nel sito WEB della Società od in un sito dedicato. La Dott.ssa E. Rea assieme alla Dr.ssa P. Scandella nell'ambito del Gruppo di Lavoro "Rapporti con i media" hanno inoltre suggerito di portare il Comitato ad un pubblico più vasto utilizzando spazi in programmi sull'educazione sia radiofonici che televisivi. Fra le attività programmate dal Comitato di sicuro interesse sono: 1) la raccolta delle tesi di laurea, dottorato, perfezionamento e specializzazione sulla Scienza del Suolo, da realizzarsi grazie ad una rete di referenti universitari individuati in ogni regione italiana dallo stesso Prof. Paolo Sequi; 2) la costituzione di un gruppo di lavoro per la stesura di uno o più progetti finalizzati da proporre al Murst ed al Ministero dell'Ambiente per la promozione della divulgazione della scienza del suolo nelle scuole (referenti SISS del gruppo sono il Prof. Gilmo Vianello ed il Prof. Buondonno); 3) la realizzazione di supporti interattivi per le scuole, di manuali con schede informative e la pubblicazione di uno o più glossari sulla terminologia nel campo delle Scienze del Suolo da adattare ad un pubblico anche di non-tecnici (referenti SISS per queste attività: Dr.ssa Anna Benedetti, Dr. Andrea Costantini); la realizzazione di proposte formative nel campo della scienza del suolo da portare all'attenzione di presidi e docenti delle scuole materne, elementari e medie (referente SISS: Dr.ssa Maria Teresa Dell'Abate); l'attività di revisione dei testi e dei materiali informativi nel campo della divulgazione della Scienza del Suolo da effettuarsi per mezzo di segnalazione delle eventuali imprecisioni al Presidente della Società (Prof. Paolo Sequi). In occasione dell'incontro è stato redatto un verbale, che è disponibile presso la segreteria del Comitato.

Nel corso del Convegno SISS dello scorso anno, a Venezia, il Prof. Rolando Calandra ha illustrato con due poster la sua attività presso alcune scuole elementari di Perugia.

Il Dr. Romano Rasio ci ha informato che nel Comune di Cerbusco s/N è in via di esecuzione un progetto per attrezzare in un parco pubblico una "trincea pedologica", che illustri "come è fatto il suolo". Il progetto è stato elaborato da architetti paesaggisti e prevede che la trincea sia

profonda 2 metri ed estesa parecchi metri, così da consentire un accesso graduale al fondo del profilo.

Il prof. Gilmo Vianello continua la sua intensa attività nell'ambito del progetto "Territorio senza confini", in collaborazione con la Regione Emilia-Romagna.

Altre iniziative di cui il Comitato è a conoscenza riguardano l'esperienza di Coazze (Torino), curata da E. Zanini e F. Petrella, l'attività divulgativa dell'ERSAL (Regione Lombardia) che ha prodotto video e libri di testo sul suolo, e quella della Regione Campania sull'educazione alimentare. Riguardo quest'ultima iniziativa, la Dr.ssa Anna Benedetti ha partecipato lo scorso anno ad un incontro con docenti e funzionari della regione Campania ove ha presentato il Comitato.

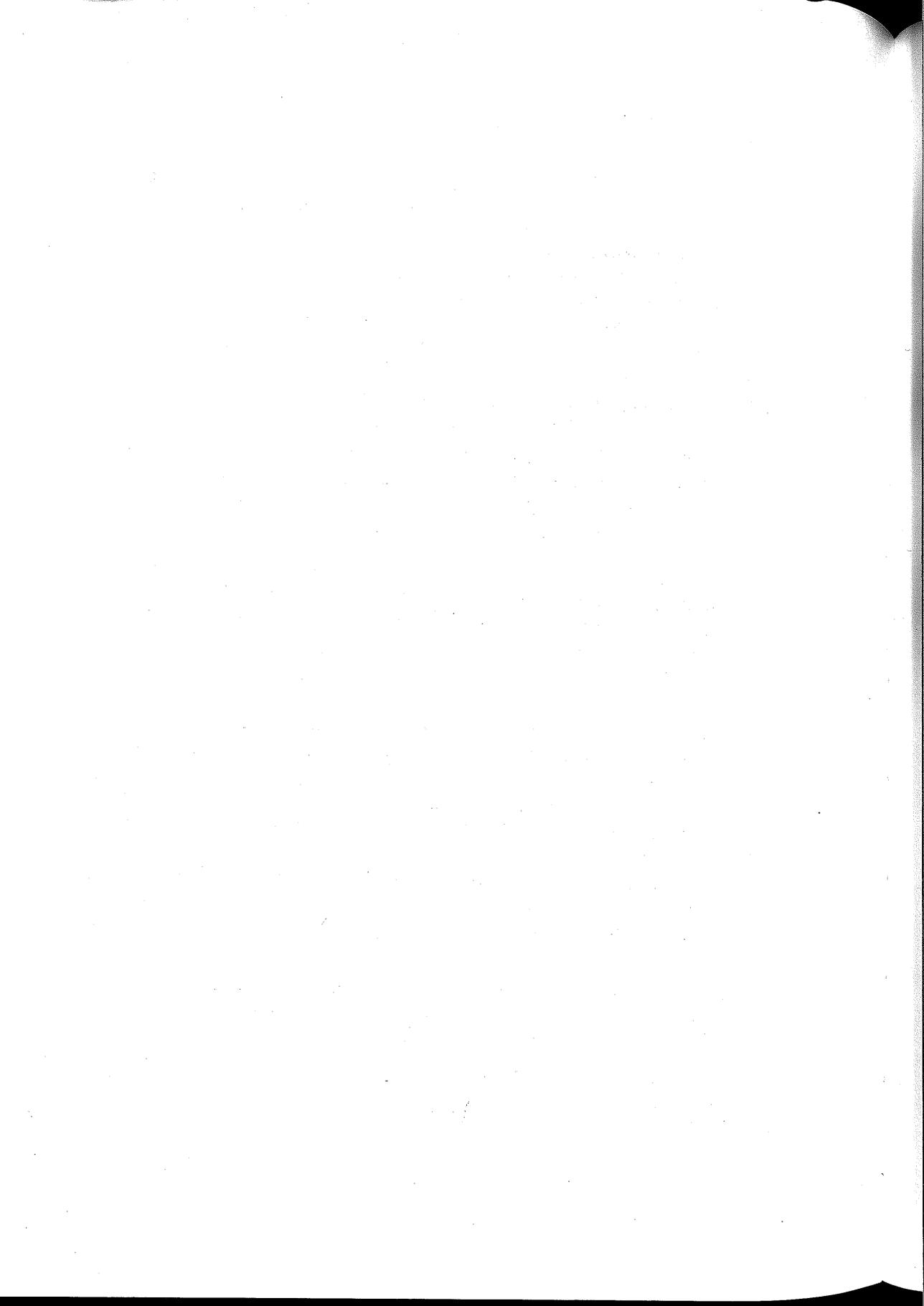
Infine si ricorda che recentemente è stato stilato un protocollo d'intesa tra il Ministero della pubblica istruzione ed il Ministero per le politiche agricole e forestali al fine di promuovere attività di formazione e stages degli allievi degli Istituti tecnici e professionali presso gli istituti ex IRSA.

Lo scorso settembre 2001 si è tenuta una riunione dello Standing Committee on Education in Soil Science, organismo della IUSS coordinato dalla Prof. Mirelle Dosso: a tale riunione ha partecipato la Dr.ssa Costanza Calzolari, già precedentemente membro del gruppo di lavoro, che ha presentato le iniziative svolte in Italia. In allegato vi è una sintesi degli argomenti trattati durante la riunione.

Nel prossimo 17° Congresso mondiale della IUSS (Bangkok, 14-21 August 2002), il Simposio 56 "Soil education and public awareness" avrà come temi principali: (1) le strategie pedagogiche (come insegnare sia a studenti che a docenti); (2) programmi d'insegnamento di base (3-10/11 anni), medio e secondario (12- 18/19 anni); (3) esperienze educative e lavori sul campo che illustrino i punti precedenti. Ricordando quanto interessante e stimolante fu la mostra allestita a Montpellier nel 1998, da cui prese il via la proposta di istituzione del Comitato italiano, sarebbe utile e proficua la presentazione di lavori e la partecipazione al simposio da parte dei colleghi che saranno presenti a Bangkok.

Quanti sono interessati alle attività del Comitato possono aderire; suggerimenti e proposte concrete sono attesi e graditi prima della prossima riunione del Comitato (data da concordare).

Erice, 16-22 maggio 2001



*COMITATO SULL'EDUCAZIONE IN SCIENZA DEL
SUOLO (CES) DELLA SOCIETÀ INTERNAZIONALE:
RIUNIONE DI OSNABRUECK, GERMANIA,
SETTEMBRE 2000*

Costanza Calzolari

CNR - Centro Studi Genesi ed Ecologia del Suolo
Piazzale delle Cascine, 15 - 500144 Firenze

Nell'ambito dell' International Union of Soil Science è attivo dal 1990 lo Standing Committee on Education in Soil Science (CES), coordinato dalla prof.ssa Mireille Dosso, del CNEARC di Montpellier, Francia.

Scopo del comitato è quello di "incrementare la consapevolezza del suolo per l'intera umanità", promuovendo l'educazione nel campo della Scienza del Suolo presso tutti i potenziali fruitori del suolo. Le iniziative sono quindi rivolte in particolare verso non specialisti del suolo, cultori di materie scientifiche, insegnanti delle scuole, giovani.

Dal momento della sua costituzione durante il Congresso della Società Internazionale tenutosi a Kyoto, nel 1990, il Comitato si è riunito in diverse occasioni ed ha tenuto una mostra durante l'ultimo Congresso di Montpellier, nel 1998.

Nell'ambito dell'Esposizione Universale di Hannover 2000, ad Osnabrueck, non lontano da Hannover, è stata allestita una importante sezione relativa al suolo, "Faszination Boden" (il fascino del suolo), con numerose mostre, convegni e allestimenti.

Approfittando di questa occasione il Comitato si è riunito ad Osnabrueck dal 10 al 14 settembre del 2000. Alla riunione hanno partecipato 10 persone provenienti dalla Algeria, Australia, Belgio, Francia, Olanda, Spagna e Italia.

Durante i giorni passati ad Osnabrueck il gruppo del CES ha visitato i diversi allestimenti previsti dall'Esposizione ed una mostra temporanea, "Abenteuer Boden" (avventura suolo), dedicata alla divulgazione delle discipline legate al suolo. Sia le mostre temporanee che gli allestimenti permanenti erano di estremo interesse e fornivano una visione del suolo completa, scientificamente rigorosa e nello stesso tempo accattivante. In particolare l'allestimento della mostra "Abenteuer Boden" ha coinvolto, oltre agli specialisti nel settore, le scuole di Osnabrueck, dalla materna alle superiori, che, con strumenti adeguati al percorso formativo, hanno affrontato diversi

argomenti, quali le proprietà fisiche del suolo, la vita nel suolo, il ciclo della sostanza organica, ecc.

Durante la riunione del CES sono stati affrontati i seguenti punti:

- Nell'ambito della riforma della Società Internazionale di Scienza del Suolo (ISSS), in Unione Internazionale Scienza del Suolo (IUSS), è stata riservata una grande importanza all'educazione nella scienza del suolo, decidendo la trasformazione dello Standing Committee on Education in Soil Science in una Commissione da titolo "Soil Education and Public Awareness". Questo conferma l'importanza che viene attribuita a questo tema, che riguarda l'educazione e la pubblica consapevolezza sul suolo. Il CES ha stabilito di supportare la candidatura della Prof.ssa Dosso, per assicurare la continuità delle iniziative.

- E' stato presentato da parte dei partecipanti un inventario delle attività, di interesse del CES, svolte nei diversi paesi. Questo inventario mostra l'esistenza di molte ed interessanti iniziative, fra le quali figurava con merito anche l'Italia, ma sono stati segnalati alcuni problemi fra i quali: una certa dispersione delle azioni; una generale assenza di supporto da parte degli organismi governativi; e una certa visione "in negativo" di molti degli aspetti presenti nel materiale didattico esistente. In particolare quest'ultimo punto è stato sottolineato dal Prof. Dudal, dell'Università di Lovanio, che ha fatto notare come spesso si pensi al suolo in termini di degradazione, erosione, inquinamento, e molto meno in termini più positivi di sostentamento delle attività produttive, di preservazione di biodiversità, di contenitore di memoria storica.

- Sono state illustrate le future attività del CES, in relazione in particolare al prossimo Congresso Internazionale di Bangkok, del 2002, nell'ambito del quale verrà organizzato un simposio su "Educazione e consapevolezza pubblica sul suolo". Il simposio verterà su come parlare di suolo, in una visione globale ed interdisciplinare.

- E' stata sottolineata l'importanza della diffusione della conoscenza del suolo anche attraverso internet. A questo proposito il dr Bos, dell'ISRIC di Wageningen, ha preparato e reso disponibile un elenco di siti Web legati all'educazione scientifica in generale ed in particolare alla scienza del suolo. Alcuni di questi siti sono di estremo interesse e possono fornire spunti a quanti vogliono cimentarsi con i temi della divulgazione. La raccolta è ora disponibile all'indirizzo Web:

<http://www.inra.fr/Internet/Hebergement/afes/edu/SoilEduc.PDF>

*LA SCIENZA DEL SUOLO VA A SCUOLA.
IL GIOCO DELLA TERRA: TRE ANNI DI ESPERIENZE
NELLA SCUOLA DELL'INFANZIA*

Maria Teresa Dell'Abate ¹, Emilia Iannone ², Paolo Cellammare ²

¹ Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante
Via della Navicella, 2 - 00184 Roma

² Istituto Comprensivo Colonna
Via di Capocroce - 00030 Colonna (Roma)

*“Parrebbe, di primo acchito,
che non ci debba essere
punto di contatto tra attività
espressiva, creativa ed
esperienza scientifica.*

C'è invece un rapporto stretto.”

Bruno Ciari, I modi dell'insegnare

*“Nelle nostre scuole, generalmente
parlando, si ride troppo poco.
L'idea che l'educazione della mente
debba essere una cosa tetra è la più
difficile da combattere.”*

Gianni Rodari, Il favoloso Gianni

Il gioco come metodologia ed il suolo come laboratorio didattico

Il gioco rappresenta senza dubbio lo stile educativo per eccellenza della scuola dell'infanzia. Non tanto, o non solo, il momento ludico o il gioco fine a se stesso, che pure hanno un'importanza centrale in quantità e qualità all'interno del tempo scuola nella fascia 3-5 anni, in termini di energia, progettualità, fantasia, cooperazione e rappresentazione simbolica. Parliamo, invece, del gioco come strumento del conoscere, come mezzo per la trasformazione del vissuto in competenze, come attività per lo sviluppo dei saperi, come metodologia infine dell'apprendimento per i bambini, un apprendimento vissuto come ricerca aperta e come continua trasformazione.

La metodologia del gioco, infatti, consente e promuove un atteggiamento di curiosità vivace da canalizzare in attività di esplorazione, scoperta, soluzione di problemi e prima sistemizzazione delle conoscenze; sul piano didattico ciò ha consentito negli ultimi anni anche a bambini piccoli di avvicinarsi a *materie difficili*, come arti visive o scienza, proprio tramite un habitus di **ricerca-gioco**.

Al centro del progetto educativo della scuola dell'infanzia – così come delineato dagli Orientamenti educativi del 1991 – c'è un bambino che esplora gli alfabeti del vivere, del pensare, del comunicare, del riflettere insieme, dell'esprimersi e del rappresentare tramite i diversi linguaggi della cultura.

E' grazie a questa metodologia aperta – del gioco appunto – che dopo anni di lavoro in questa direzione l'Istituto Comprensivo Colonna ha incontrato l'Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante, la Galleria Borghese, l'Accademia di Santa Cecilia con *Il Gioco della Terra*, con *Il Gioco delle Immagini*, e con *Musica, Maestro!* Non esistono cose difficili o impossibili che i bambini non siano in grado di fare. Vanno certo esperite nella maniera adeguata, e gli allievi avranno il piacere di fruire ed utilizzare codici e linguaggi differenti. Anche a **mescolare gli alfabeti**, come la pittura e la scienza.

D'altra parte, più di mezzo secolo fa Paul Klee ricordava che “anche in arte vi è spazio sufficiente per la ricerca esatta”. Nel corso della sua attività pedagogica nell'ambito della “Formlehre” (l'insegnamento della forma), all'interno del suo corso obbligatorio nell'insegnamento elementare al Bauhaus di Weimar-Dessau, Paul Klee considerava le piante ed il loro sviluppo come esempi di propagazione. Pensava al terreno come forza attiva: il complesso di rapporti tra humus, seme, nutrizione e radicamento dà origine alla forma.

Da un lato dunque la metodologia del gioco ci ha consentito di evidenziare, nel nostro piccolo, la contraddittorietà solo apparente delle caratteristiche dell'epistemologia con quelle di altre aree conoscitive ed espressive. Dall'altro ci ha permesso di sperimentare un'interazione di campi molto promettente, legando il lavoro sul suolo a quello sull'arte, svolto in collaborazione con la sezione didattica della Galleria Borghese di Roma, attraverso un concreto riscontro ed esplorazione dei paesaggi di alcune opere presenti nelle collezioni del Museo. Smontando e rimontando le immagini delle opere dei grandi artisti, prima Caravaggio e poi gli artisti di oggi che hanno lavorato sulle tematiche del Merisi, i bambini non hanno solo scoperto i colori ma la luce, individuando il primo piano ed il campo lungo. Con l'uso delle tecniche più svariate hanno scomposto e ricostruito i contesti pittorici, evidenziando i particolari e ricollocandoli nelle situazioni originarie. Gli elementi delle osservazioni del "laboratorio sul suolo" sono stati ritrovati, ora macchie ora selve o foreste, nei quadri di Dosso Dossi e Gerolamo Savoldo, di Domenichino e Lanfranco. Ed i frutti del campo della nonna di un'alunna hanno riempito i volti di Giuseppe Arcimboldo.

Non solo. Giocare con l'acqua, con l'aria, con la terra ha voluto dire anche provare a costruire un piccolo laboratorio con semplici colture ed esperimenti guidati, per esempio sulla diversa permeabilità dei terreni all'acqua, con l'annessa documentazione fotografica e le verbalizzazioni degli allievi. E mai come in questo caso la metodologia dell'indagine ha consentito e si è sviluppata per il tramite del gioco delle ipotesi: scoperta cioè dei rapporti tra uomo e ambienti con un primo approccio agli aspetti scientifici della realtà ambientale. La terra e l'acqua sono il suolo che vive e gli allievi ne hanno fatto mappe, come di isole del tesoro.

L'acquisizione della consapevolezza della "risorsa" suolo a partire dalla scuola d'infanzia si integra con le esigenze esplorative dei bambini, con la necessità di conoscere mediante la sperimentazione e la manipolazione diretta dei materiali (acqua, sassi, sabbia, terra, ecc.), con la scoperta delle risorse rinnovabili (il ciclo del seme, il ciclo dell'acqua, il ciclo del carbonio, ecc.), con la collocazione spazio-temporale di se stessi nel paesaggio. E' a quest'età che si forma il gusto estetico dei bambini: cosa c'è di più bello ed elementare dell'accostamento di forme e colori (e odori e suoni) nei paesaggi e suoli tipici d'Italia, paesaggi che verranno introiettati e ci accompagneranno per la vita?

Le esperienze didattiche realizzate in tre anni di attività, che andiamo ad illustrare, sono state improntate sul concetto di suolo come risorsa

per l'uomo, come organismo vivente, con l'obiettivo di contribuire ad educare futuri cittadini consapevoli che le risorse vanno utilizzate e non dissipate, e che il suolo è una di queste. La metodologia didattica è stata quella del gioco (*Il gioco dei rifiuti, La caccia ai tesori del bosco, ecc.*) ed il suolo è stato un formidabile laboratorio didattico in cui osservare, sperimentare, manipolare, un laboratorio sempre nuovo, mai uguale a se stesso.

Il gioco della terra, nome complessivo che abbiamo voluto dare al progetto ora al suo terzo anno di attività, ha rappresentato per gli ideatori – insegnanti e specialisti – il punto di confluenza di esperienze diverse ma straordinariamente (e forse inconsapevolmente) complementari.

Anno scolastico 1998-1999: "Da Rifiuto a Risorsa: un esperimento di compostaggio"

Obiettivi del laboratorio erano la valorizzazione del suolo in quanto risorsa fondamentale, al pari dell'aria e dell'acqua, ed il riciclo degli elementi nutritivi. A questo scopo è stato allestito un piccolo cumulo di compostaggio, per evidenziare come i rifiuti possano trasformarsi in risorsa attraverso il riciclo degli elementi nutritivi. Il lavoro si è articolato in più unità didattiche: (1) Manipoliamo alcuni tipi di materiali: sabbie, ciottoli, pietre; (2) Esploriamo i tipi di terre del giardino; (3) Caccia ai tesori del bosco (uscita esplorativa); (4) Frughiamo nel secchio dell'immondizia; (5) Piccoli esperimenti in classe; (6) Allestiamo un piccolo cumulo di compostaggio.

Ai bambini sono stati messi a disposizione diversi tipi di materiali, quali sabbie di colori e granulometria diversi, ciottoli, rocce (un'arenaria marnosa, un calcare ed un granito), humus di bosco, una terra rossa contenente noduli di bauxite e calcare, ecc. Dopo aver fatto delle prove di durezza incidendo con un cacciavite e spaccato le rocce in frammenti più piccoli con un martello (gli insegnanti, naturalmente!), aver fatto manipolare liberamente tali materiali sono state raccolte e verbalizzate le osservazioni dei bambini relative alla consistenza, alla lavorabilità, alla presenza di fessurazioni nelle rocce, ai diversi colori ed avanzate anche delle ipotesi esplicative. A quest'attività in classe è seguita un'uscita esplorativa nel giardino della scuola: per quanto poco interessante possa apparire un giardino urbano alquanto degradato, l'attività di ricerca, scavo, separazione tra materiali riportati ed il suolo è una vera avventura. E che differenza con i materiali raccolti nel corso della successiva uscita in bosco! Ad esempio rifiuti vegetali a di-

verso grado di decomposizione, proprio come quelli raccolti da terrazzi e giardini domestici, puntualmente destinati al secchio dell'immondizia. E poi la catalogazione dei rifiuti domestici. Queste attività sono state propedeutiche all'allestimento di un piccolo cumulo di compostaggio, realizzato in primavera: è stata utilizzata la sabbiera del giardino, con un telo di plastica sul fondo, sistemata in un angolo soleggiato del giardino. I materiali sono stati forniti in parte dagli stessi bambini (ciascuno dei quali ha portato da casa il suo sacchetto con resti di frutta, verdura e gusci d'uova), in parte da alcuni genitori che hanno fornito gli sfalci d'erba di giardino; infine hanno contribuito l'attiguo supermercato con i resti ortofrutticoli ed il falegname con sacchi di segatura e trucioli. Preparato il calendario dei rivoltamenti, i bambini hanno registrato su un "giornalino" (che a dispetto del nome è sempre un cartellone di dimensioni non trascurabili) ogni osservazione sul colore, odore, umidità, aggiunta di acqua, diminuzione di volume, sviluppo di calore, presenza o meno di materiali *sicuramente* messi all'inizio ("Sono proprio sicuro che c'era una mela intera!", "Ci sarà ancora il pacchetto di fazzolettini di carta che ho messo?", ecc.). Alla fine il prodotto finale non sarà stato di ottima qualità, ma ciascun bambino ha portato a casa il suo sacchetto (è fondamentale per bambini di quest'età poter concretizzare il proprio lavoro con un manufatto), non dopo averlo osservato e confrontato con i materiali esaminati all'inizio del laboratorio.

Anno scolastico 1999-2000: Lavoro sul territorio

"Pian della Fontana"

Nel secondo anno si è avuta la disponibilità di uno spazio specifico, una zona di fontanile e l'adiacente area di protezione della falda, di cui, grazie anche alla collaborazione di diverse ma confluenti realtà territoriali, sono stati evidenziati il percorso storico, le funzioni particolari e le attività ad esso connesse, le costanti ambientali e le variabili stagionali. Obiettivi del laboratorio erano l'introduzione alle tematiche ambientali mediante la scoperta dei rapporti che l'uomo instaura con l'ambiente, ovvero la relazione tra fattori antropici e naturali. Il lavoro si è articolato in tre uscite esplorative e sul lavoro di laboratorio, in classe.

La 1^a uscita esplorativa è stata dedicata alla presa di possesso dell'area, con l'osservazione e descrizione morfologica dei principali fattori del paesaggio. In classe è stato poi fatto un lavoro di ricostruzione storica su

diversi livelli: storia del fontanile, ricostruzione del percorso dell'acqua, raccolta dei ricordi dei "nonni" del paese, riflessioni sugli usi e sulla gestione del territorio e dell'acqua, nel presente e nel passato. In particolare, i bambini hanno lavorato (riproducendola) sulla carta topografica fornita dall'ufficio tecnico comunale, ove erano indicate le condotte dell'acqua. Un momento fondamentale è stato il coinvolgimento del "Centro Anziani" del paese, con il loro contributo di "memoria storica" recente sugli usi e disponibilità di acqua: il fontanile, tuttora funzionante, era adibito a lavatoio pubblico. A questo proposito, c'è da segnalare che nel corso del 2001 è stata realizzata un'opera di restauro e recupero funzionale dell'area, che se da un lato ha restituito alla comunità il fontanile alle sue (potenziali) funzioni di servizio sociale, dall'altro ha cancellato un ricchissimo microhabitat di zona umida, colonizzato da muschi, epatiche, lenticchie d'acqua, felci, ecc.

La 2^a uscita esplorativa è stata mirata all'identificazione dei confini, alla collocazione dell'area nello spazio urbano, all'uso della bussola. E' stata effettuata una conta degli alberi, realizzata una documentazione fotografica, raccolti campioni di muschi e suolo. Le attività di laboratorio hanno riguardato la manipolazione del materiale raccolto e la rielaborazione delle informazioni. I bambini hanno realizzato delle mappe che hanno poi confrontato con la carta planimetrica, precedentemente riprodotta, fornita dal Comune; hanno fatto uno studio osservativo e la coloritura delle tavole botaniche relative ai campioni raccolti, che hanno poi riprodotto in un grande libro a lucidi. Infine sono state effettuate delle prove di germinazione in vaso e rappresentati graficamente in sequenze gli stadi di crescita di leguminose e graminacee.

La 3^a uscita esplorativa è stata dedicata al riconoscimento e alla raccolta di campioni di piante in fase di fioritura, di muschi, epatiche e licheni, nonché di piante acquatiche (lenticchia d'acqua) dal fontanile, le stesse piante di cui i bambini avevano studiato (colorandole e riproducendole) le tavole botaniche. In campo sono state fatte osservazioni sul diverso grado di inerbimento dell'area di studio rispetto ad una vigna adiacente, sull'effetto delle lavorazioni del terreno, è stato osservato il diverso tenore di umidità del terreno in relazione con la distanza dalla fonte d'acqua. In laboratorio è stata svolta l'attività di identificazione e classificazione delle piante raccolte e preparazione degli erbari; infine sono stati realizzati manufatti, quali calchi di felci su pasta di sale. Traendo spunto dalla presenza di processonarie sui pini prospicienti l'area di studio, sono stati forniti cenni su lombrico ed autoecologia della specie e sul ciclo vitale della processonaria.

Anno scolastico 2000-2001: Il gioco della terra, alimentazione e bisogni energetici

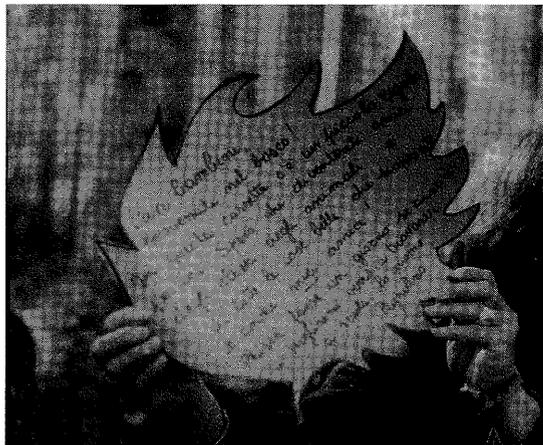
Il lavoro è stato svolto in collegamento con il Laboratorio didattico della Galleria Borghese, sul tema *Componente alimentare ed elementi naturalistici di Giuseppe Arcimboldo*. Mediante la metodologia del gioco si è sperimentata una interazione di campi molto promettente: partendo dall'analisi e dall'identificazione degli elementi vegetali nelle opere di Arcimboldo si è cercato di individuarne la localizzazione (suolo), la provenienza (ciclo del seme), la destinazione (catena alimentare) cercando poi concreto riscontro di tali elementi nell'esplorazione dei paesaggi di alcune opere presenti nelle collezioni del Museo. L'obiettivo era di giungere all'individuazione della connessione tra elementi naturali e l'uomo e ad introdurre il concetto di risorsa, mediante la relazione tra suolo e prodotti della terra. Infine, sono stati ricercati gli aspetti simbolici in relazione all'espressione artistica.

La struttura del lavoro si è articolata, al solito, alternando le uscite esplorative all'attività di laboratorio in classe. Le uscite sono state duplicate, da un lato quelle presso la Galleria Borghese, che afferivano al Laboratorio sull'arte, dall'altro quelle sul territorio. In particolare sono state prese in considerazione tre situazioni (frutteto, orto e bosco) dove sono state effettuate uscite esplorative in diversi momenti stagionali; sono stati ricercati gli elementi comuni (suolo, acqua, energia luminosa), raccolti materiali di suolo e vegetali ed effettuati esperimenti di manipolazione in classe. Le uscite esplorative sono state documentate sia fotograficamente, che graficamente attraverso gli elaborati degli allievi. Ad esse sono sempre seguite attività pratiche di laboratorio, che hanno riguardato prove di permeabilità all'acqua dei diversi tipi di terreni raccolti nelle uscite, prove di germinazione in vaso e, naturalmente, allestimento di cartelloni riassuntivi delle diverse attività in cui sono state raccolte le osservazioni dei bambini insieme alle fotografie, agli elaborati grafici e le ricostruzioni di alcune opere realizzate con i bambini stessi ed i frutti provenienti dal campo di un'allieva.

Ringraziamenti

Si desiderano ringraziare tutti coloro che hanno permesso la riuscita del Gioco della Terra: in modo particolare tutti gli insegnanti della scuola dell'infanzia dell'Istituto Comprensivo Colonna, Patrizia Sabatini, Francesca Olivari,

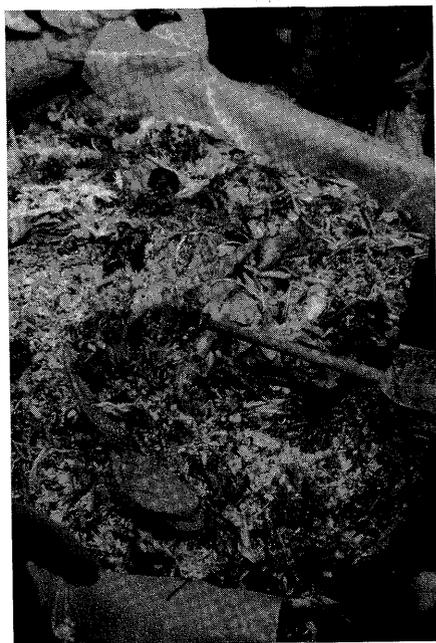
Simona Argentini, Mirella Iallonardi, Cristina Nanni, Floriana Compagnoni, i genitori ed i "nonni" per la collaborazione, Maria Marchionni dell'Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante per l'attività relativa al riconoscimento e classificazione delle specie vegetali, e soprattutto tutti i bambini che con il loro entusiasmo ci hanno ricordato che anche gli aspetti più ovvi e acquisiti della realtà scientifica possono essere riscoperti.



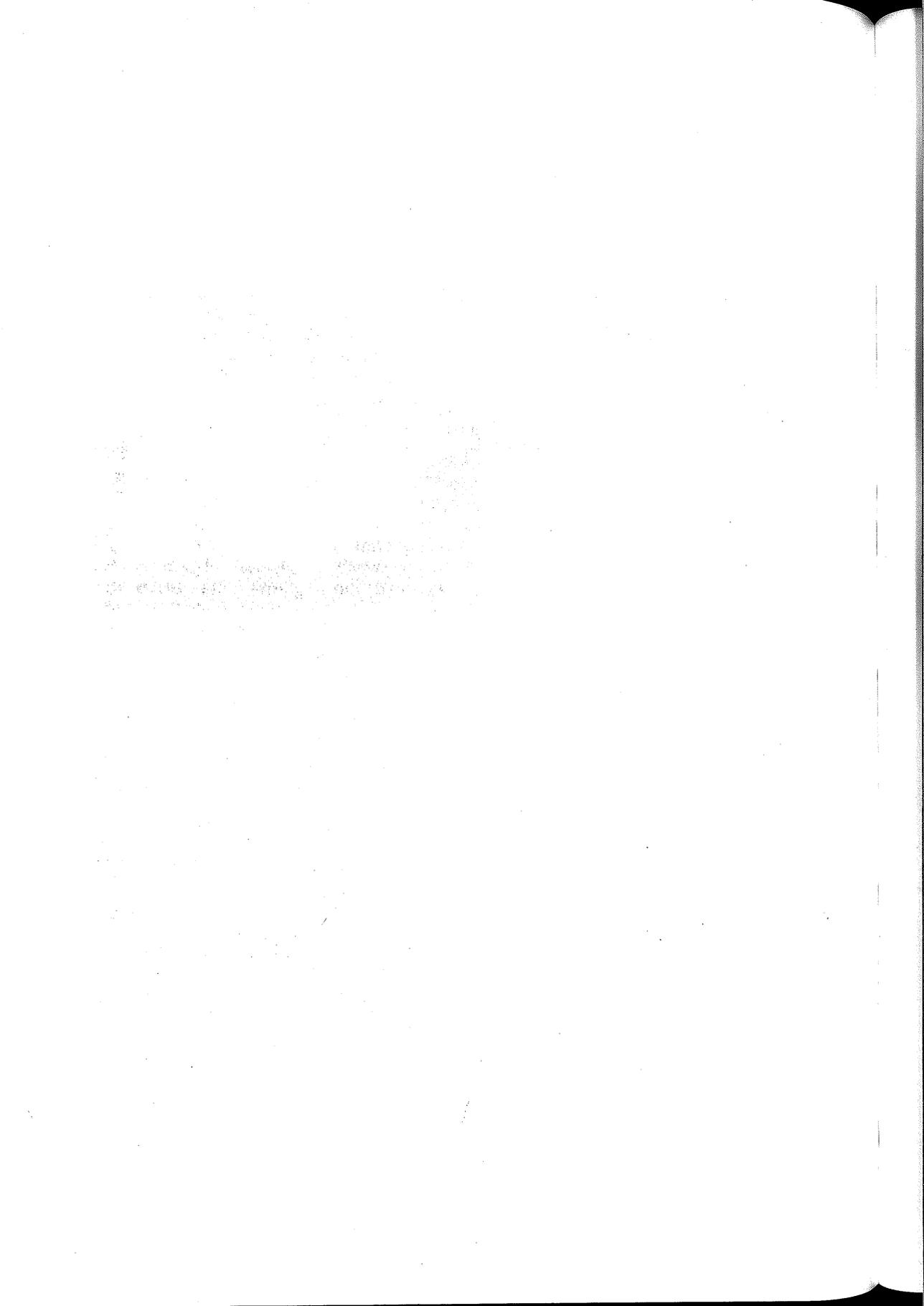
La caccia ai tesori del bosco



Il percorso per il bosco



Il gioco dei rifiuti:
un esperimento di compostaggio



EROSIONE E DESERTIFICAZIONE

Angelo Aru

Dipartimento di Scienze della Terra
Via Trentino, 51 - 09127 Cagliari

Riassunto

L'erosione rappresenta il fenomeno più grave di degradazione dei suoli ed è il più diffuso nel mondo. Il progredire nel tempo di questo processo porta alla desertificazione del territorio. Il concetto di desertificazione oggi va riferito ai consumi delle risorse naturali non rinnovabili, se non in tempi molto lunghi.

Tali consumi sono dovuti più alla attività antropica che ai cambiamenti climatici. Nell'ambito del mediterraneo, soprattutto per le aree più aride, si è verificato negli ultimi quindici anni una diminuzione delle precipitazioni, non giustificabile col cambiamento del clima, in quanto dalle serie dei dati a disposizione, e dalla documentazione esistente, i periodi di maggiore aridità sono frequenti. Ciò che è stato rilevato è la crescita del periodo arido negli ultimi anni e la frequenza di eventi caratterizzati da precipitazione intense in poche ore. L'effetto sull'erosione di tali piogge è più evidente laddove il territorio è più devastato dall'azione antropica. Tale azione è più catastrofica nelle aree incendiate, ove esiste il sovrappascolamento con forte compattazione del suolo, o dove l'ecosistema è stato modificato con l'introduzione di specie esotiche, o dove più evidenti sono gli inquinamenti da metalli pesanti.

La desertificazione a causa dell'uomo, favorita dalla attività antropica, è tanto più grave quanto più è arido il clima. Si riportano alcuni esempi di casi di studio del Mediterraneo e in particolare per l'Italia meridionale e insulare.

Premessa

La degradazione ambientale e successiva desertificazione rappresenta il più grave problema per l'umanità e soprattutto per le generazioni future. In passato sono state quasi sempre sottostimate le conseguenze di questi due processi, mentre negli ultimi anni il problema è stato messo in evidenza a tutti i livelli ed in tutte le parti del mondo. Sono state infatti fatte e firmate convenzioni per la lotta alla siccità ed alla desertificazione, proprio per il fatto che l'argomento è sentito da tutti e non soltanto da un limitato gruppo di scienziati. Il problema più grave riguarda gli ecosistemi più fragili e le aree a clima più arido, anche in ambienti mediterranei.

Chi scrive, seguendo gli insegnamenti del maestro Gino Passerini (uno dei fondatori della Società Italiana della Scienza del Suolo) e del prof. Fiorenzo Mancini, per oltre quaranta anni ha svolto una parte della propria attività in studi sull'erosione prima e sulla desertificazione poi.

Fu proprio col Progetto Finalizzato "Conservazione del Suolo" del Consiglio Nazionale delle Ricerche e col Progetto MEDALUS dell'Unione Europea che si posero le basi per uno studio e valutazione di cause ed effetti della desertificazione. Con quest'ultimo termine, per quanto riguarda il Mediterraneo, si intende, almeno nei nostri progetti di studio, il consumo di risorse non rinnovabili, se non in tempi molto lunghi. In questo quadro le risorse naturali più soggette a degrado sono i suoli, le acque e la vegetazione.

La desertificazione, soprattutto in Italia, è pertanto una conseguenza dell'impatto dell'attività umana nel territorio, assai evidente soprattutto negli anni successivi alla seconda guerra mondiale. La riduzione della risorsa suolo continua in tutto il mondo, proprio nel momento in cui si verifica un incremento costante delle popolazioni, che del suolo sono dipendenti.

Brevi cenni storici degli studi sull'erosione in Italia

La necessità di difendere il suolo dall'erosione in Italia è molto remota. Già gli antichi Romani applicavano delle sistemazioni idrauliche per regolare il deflusso delle acque e per limitare gli eccessi nel suolo. A Cambridge, in Inghilterra, nell'istituto per il drenaggio sono esposti esemplari di dreni artificiali sotterranei inventati proprio dai Romani. In alcune regioni, quali la Toscana e l'Emilia, si riscontrano esempi di grande valore nelle sistemazioni idrauliche delle colline argillose, come dimostrano i vari studi di illustri agronomi appartenenti alle più antiche famiglie nobili, famosi studiosi delle Facoltà di Agraria di Firenze e Bologna, e quelli effettuati nell'Istituto per lo Studio e la Difesa del Suolo di Firenze. Non mancano gli esempi di sistemazioni idrauliche per la difesa delle colline sabbiose, come quella realizzata da Padre Landeschi all'inizio dell'800 nel comune di San Miniato in provincia di Pisa.

Il problema del trasporto solido pertanto ha interessato molte regioni italiane, soprattutto dove il fenomeno assume aspetti più spettacolari e catastrofici. Tutte le esperienze di studio, di Gino Passerini prima e di numerosi agronomi di diversi enti poi, hanno analizzato principalmente l'erosione delle argille e dei suoli da queste derivanti .

Nell'ambito del progetto finalizzato "Conservazione del Suolo" accanto a queste formazioni sono state prese in considerazione tante altre tipologie litologiche poco alterabili, nelle varie morfologie e con suoli assai diversi. Infatti con questo progetto vengono effettuate prove a tutto campo in varie morfologie su suoli derivanti da substrati litoidi sotto diverse condizioni di gestione.

Viene quindi messo in evidenza l'erosione non spettacolare e quindi subdola, ossia quella dove il bilancio è sempre negativo tra trasporto del suolo e pedogenesi. In effetti la quantità di materiale trasportato in questi casi è assai modesto in senso assoluto, mentre risulta assai grave in senso relativo.

Sotto questo aspetto l'erosione che si riscontra in Sardegna, in molte parti del Portogallo, della Spagna, della Grecia, etc., assume valori più catastrofici che sulle argille del Pliocene o sulle arenarie e calcareniti del Miocene e del Quaternario. In questa ottica il Progetto MEDALUS ha svolto delle ricerche e sperimentazioni di notevole importanza per la comprensione del fenomeno, anche in funzione del tipo di gestione.

L'exasperazione di questi processi crea il deserto, in qualsiasi ambiente climatico del mondo. La letteratura dei paesi del Mediterraneo è assai ricca di informazioni, più che sufficienti per impostare piani e progetti per la lotta alla desertificazione, anche nel nostro paese.

Dal 1992, nella conferenza mondiale tenutasi a Rio de Janeiro, è stata varata la "Convenzione per la Lotta alla Desertificazione ed alla Siccità", accettata e ratificata dalla maggior parte dei paesi del Mondo. In questa convenzione fra le regioni a rischio vi è anche il Mediterraneo settentrionale, dove quasi tutte le nazioni presentano problemi considerevoli e spesso non risolvibili.

La Agenzia Europea per l'Ambiente (AEA) raccoglie le informazioni di tutti i paesi dell'Unione Europea, e la tabella sottostante mette chiaramente in evidenza che nella mitigazione del degrado sono stati fatti scarsi progressi, nonostante la lotta all'erosione sia considerata prioritaria.

Problemi ambientali fondamentali	Stato di avanzamento delle politiche	Progressi nella qualità dell'ambiente
Cambiamenti climatici	**	***
Distruzione dell'ozono stratosferico	*	***
Acidificazione	*	**
Ozono troposferico	**	***
Sostanze chimiche	**	**
Rifiuti	***	***
Biodiversità	**	***
Acque interne	**	**
Ambiente marino e costiero	**	***
Degrado del suolo	***	***
Ambiente urbano	**	**
Rischi tecnologici e naturali	*	*

legenda

- | | |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| * | Sono stati compiuti progressi positivi nell'attuazione delle misure o miglioramento della situazione ambientale. |
| ** | Sono stati compiuti alcuni progressi nell'attuazione delle misure, ancora insufficienti, ad affrontare a fondo il problema (anche della copertura geografica); la situazione ambientale è rimasta sostanzialmente invariata. La stessa valutazione può anche indicare sviluppi incerti o variabili nei diversi settori. |
| *** | Sono stati compiuti scarsi progressi nell'attuazione delle misure o vi è stata una evoluzione negativa della situazione ambientale; la stessa valutazione può anche indicare un persistente impatto ambientale negativo o lo stato di degrado dell'ambiente. |

tratta da "L'ambiente in Europa: seconda valutazione" agenzia Europea dell'Ambiente, Copenaghen, 1998)

Concetto di degradazione e desertificazione

Su questi due termini si è creata spesso una notevole confusione, per cui è opportuno fare un chiarimento.

La degradazione indica un cambiamento del paesaggio, come ad esempio erosione dei suoli a seguito dell'intervento antropico, con formazione di nuovi ambienti, che possono però essere riportati alle condizioni originarie o simili. Pertanto risulta di enorme importanza conoscere l'impatto dell'attività umana, o meglio la relazione tra questa e l'ambiente. Ricostituire l'equilibrio dovrebbe essere possibile, anche se con difficoltà ed in tempi non sempre brevi.

La desertificazione, invece, è un fenomeno irreversibile di distruzione di risorse naturali a causa dell'impatto dell'attività umana. La scomparsa totale del suolo e l'impossibilità di una rigenerazione costituisce un fenomeno di desertificazione. Anche la distruzione di determinati ecosistemi a causa dell'espansione urbana rappresenta un aspetto della desertificazione.

Degradazione e desertificazione, almeno in ambienti mediterranei, sono i fenomeni più appariscenti causati dall'uomo nella gestione delle risorse naturali.

Il clima

Il clima rappresenta il fattore importante, nelle aree soggette a forte degrado, per il processo di desertificazione; esso è talmente determinante quanto più negative o catastrofiche risultano le azioni antropiche.

Poiché in premessa è stato detto che avremo preso in considerazione il settore più arido del Mediterraneo, la Sardegna rappresenta l'esempio più evidente per capire alcuni dei processi di desertificazione. Esamineremo esclusivamente gli ultimi anni relativamente alla stazione di Cagliari.

Se si considera l'indice xerotermico di Bagnoul e Gausson, in cui un mese è secco quando le sue precipitazioni sono inferiori al doppio della temperatura, il diagramma è il seguente:

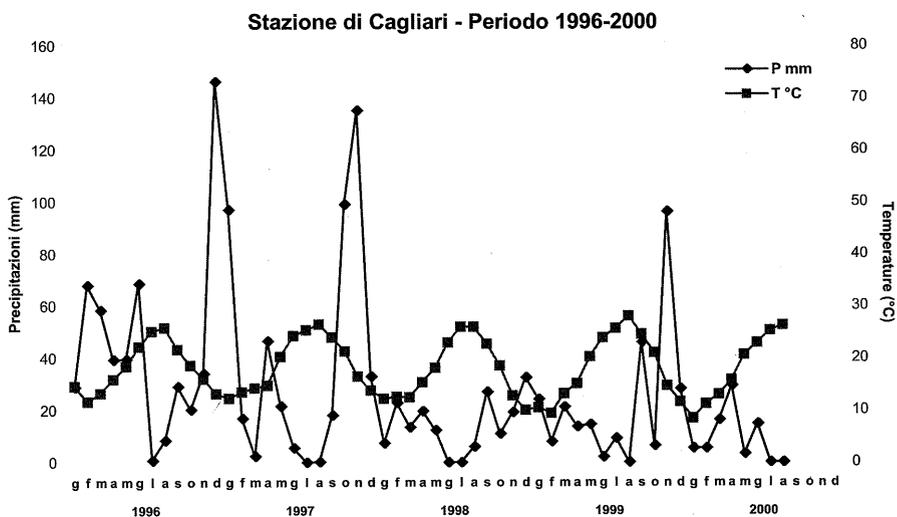


Figura 1

Nel 1996 il periodo arido inizia in giugno e finisce in novembre, ossia della durata di cinque mesi circa, in cui il suolo rimane secco, la pedogenesi si ferma, le piante non assorbono più acqua dal suolo. Una precipitazione da 20 a 30 mm da settembre ad ottobre rappresenta un fatto importante per la sopravvivenza della vegetazione naturale.

Se si considera il 1998 secondo l'indice xerotermico il periodo arido dura quasi tutto l'anno, con una piovosità totale di 171 mm, contro una media di 500 circa.

Anche il 1999 presenta dati di estremo interesse con un periodo arido da gennaio a settembre e con una piovosità nei primi otto mesi di appena 134 mm.

Esaminando il diagramma complessivo del 1996 con quello del 2000, si nota come nei mesi autunnali si verificano precipitazioni di alta intensità e di scarsa durata.

Alla stazione del Rio Santa Lucia, pochi chilometri distante dalla città di Cagliari, il 12 di novembre 1999 si ha avuto una precipitazione di mm 599,8 in 24 ore, e di 572,8 in 9 ore.

Rio S. Lucia: piena del 12-13 novembre 1999

	P (mm)	inizio		fine		intervallo
24 h	599,8	19.00.00	12-nov-99	19.00.00	13-nov-99	24.00.00
12 h	581,2	19.00.00	12-nov-99	7.00.00	13-nov-99	12.00.00
6 h	493,0	20.37.05	12-nov-99	2.37.03	13-nov-99	5.59.58
3 h	332,4	20.31.07	12-nov-99	23.31.03	12-nov-99	2.59.56
1 h	133,4	20.41.29	12-nov-99	21.41.27	12-nov-99	0.59.58
30'	73,0	21.19.02	12-nov-99	21.48.54	12-nov-99	0.29.52
15'	44,6	21.25.56	12-nov-99	21.40.48	12-nov-99	0.14.52
10'	32,8	21.29.35	12-nov-99	21.39.33	12-nov-99	0.09.58
5'	19,0	20.44.19	12-nov-99	20.49.15	12-nov-99	0.04.56
9h	572,8	19.25.00	12-nov-99	4.25.00	13-nov-99	9.00.00

L'erosione è stata particolarmente grave nei bacini in cui l'ecosistema è fortemente alterato, con trasporto solido elevatissimo. In quell'area avevamo dei misuratori, per stabilire in automatico i deflussi e soprattutto il trasporto solido, ma tutte le attrezzature sono andate distrutte.

Tutte le stazioni della Sardegna Meridionale presentano diagrammi simili, anche se le quantità totali sono diverse, come ad esempio nella località Is Olias, i cui dati sono riportati nella tabella e nei diagrammi seguenti:

durata (min.)

entità (mm)

Precipitazioni del 12 novembre 1999 ad Is Olias - Cagliari

entità totale nelle 24 ore	302.0	
caratteristiche degli eventi piovosi	durata (min.)	entità (mm)
	35	17.6
	50	40.2
	180*	273.2
*: comprende i primi 40 minuti del giorno 13		
i 60 minuti più piovosi	intervallo	entità (mm)
	dalle 22.05 alle 23.05	133.8

Precipitazioni ad Is Olias: totali giornalieri dall'11 al 17 Novembre 1999

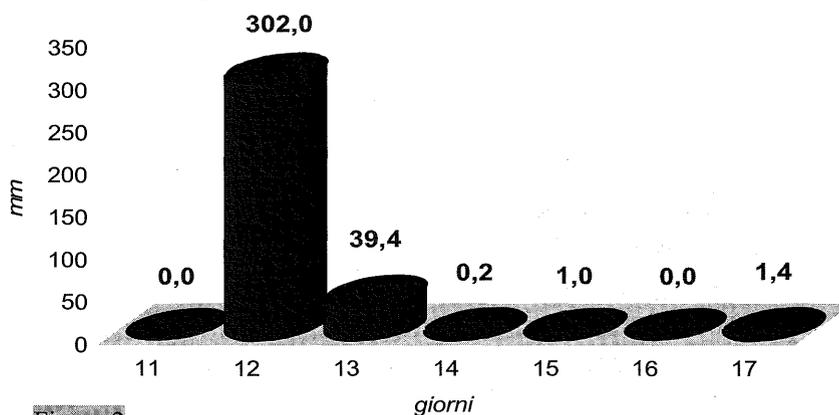


Figura 2

Precipitazioni ogni 5 minuti in 24 ore (dalle 1.10 del 12 nov. alle 1.10 del 13 nov.)

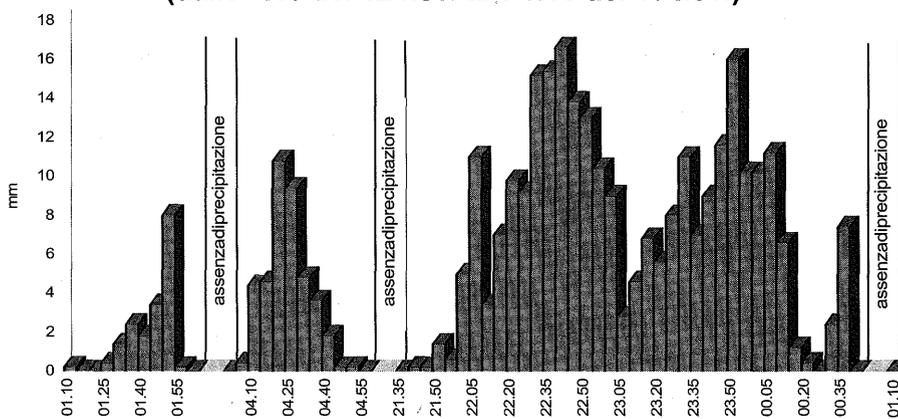
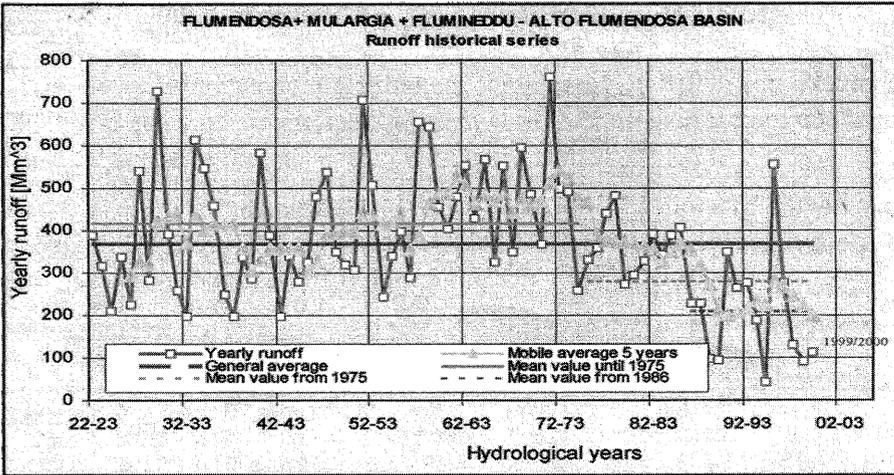


Figura 3

I problemi maggiori si sono verificati nelle aree più antropizzate, sia a monte che a valle nei bacini idrografici. Il tipo di land-use influisce fortemente sui deflussi e sul trasporto solido come vedremo successivamente dalle ricerche di Andrea Vacca ed altri nell'ambito del Progetto MEDALUS.

Utilizzando tutte le informazioni a disposizione possiamo oggi per il Mediterraneo parlare di cambiamento climatico?

Alcune considerazioni ad esempio riguardo ai deflussi nel più grande sistema idraulico della Sardegna, ossia il Flumendosa, da cui sono stati presi i seguenti elaborati:



Middle Flumendosa yearly historical series

Figura 4

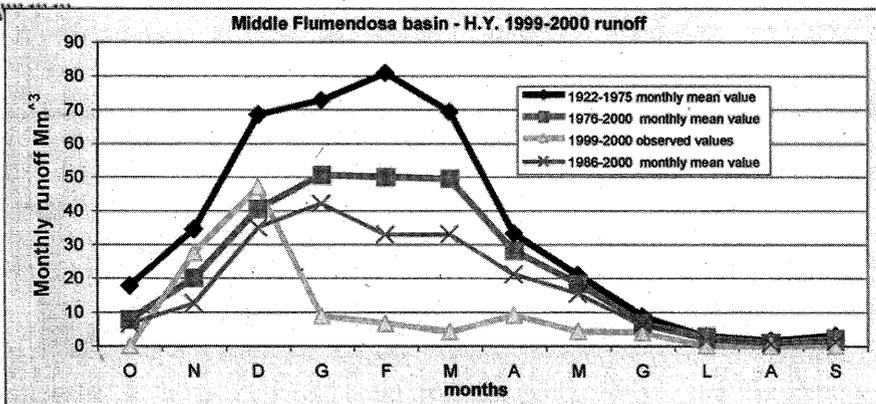


Figura 5

Il deflusso medio, misurato nelle serie storiche, presenta un valore di 380 Mm³. Negli anni 1972/73-2000 c'è una flessione sino a 280 Mm³, mentre dall'85 al 1999/2000 si registra un valore che si attesta su valori di poco superiori a 200 Mm³, ed infine nel 1993 il deflusso ha raggiunto valori inferiori a 50 Mm³, mentre nel 2000/01 siamo risaliti a valori sino ad oggi superiori a 200 Mm³.

Il bilancio idrologico nel bacino del medio Flumendosa, nella figura sottostante, presenta in modo evidente la flessione tra apporti e deflussi e le perdite idrologiche, misurate in mm a partire dal 1975 sino al 2000.

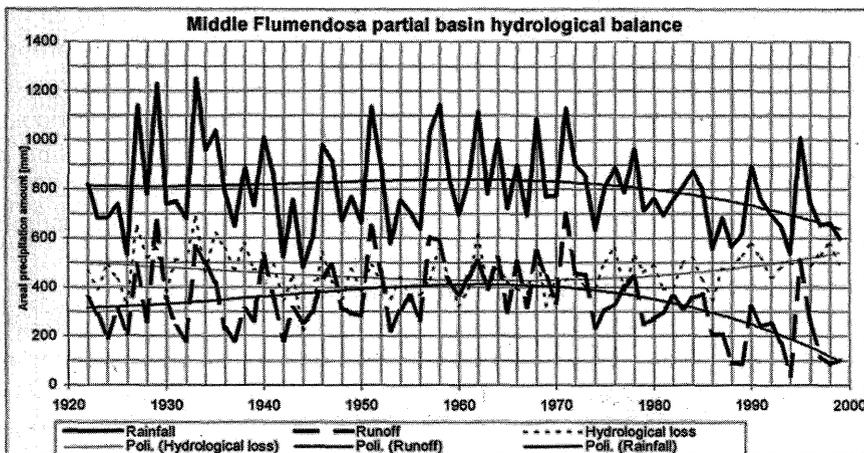


Figura 6

Questo tipo di tendenza è simile in tutti i bacini idrografici della Sardegna, soprattutto nella parte centro-meridionale.

A livello generale nel Mediterraneo le considerazioni di J. Corte Real, R. Sorani e M. Carta, pubblicate in sintesi nell'Atlas of Mediterranean Environments (1998 - eds. P. Mairotta, J. Thornes and N. Geeson) portano alle medesime deduzioni, con allungamento dell'aridità soprattutto nella primavera, in particolare nel Portogallo meridionale e in Grecia.

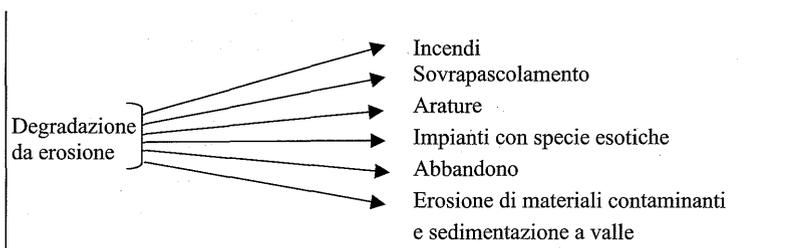
L'erosione in funzione del tipo di Land-use

L'erosione, in ambiente mediterraneo, se si escludono le formazioni argillose, deriva in modo più o meno evidente dagli interventi antropici, di cui si elencano quelli più significativi.

L'incendio rappresenta un intervento assai diffuso sin dall'antichità, e viene effettuato per creare nuove superfici per il pascolo o per le col-

tivazioni. Già nel progetto "Conservazione del suolo" Giovannini ed altri dimostrano come nelle superfici sottoposte ad incendio, anche senza compattezza del suolo, si verifica un maggiore scorrimento superficiale delle acque meteoriche.

In molte regioni del Mediterraneo gli incendi si ripetono con una certa periodicità, ossia ogni qualvolta si riforma la macchia. E' noto infatti che la copertura totale delle piante, arbustive ed arboree, impedisce lo sviluppo della flora, essenziale per il bestiame al pascolo, per cui l'incendio diventa l'intervento a costo più basso per gli allevamenti estensivi. In esperienze eseguite nel Gerrei, in Sardegna, (Aru, Camarda, 1983) dopo un certo numero di incendi il suolo scompare totalmente creando un vero e proprio deserto, ed anche la composizione floristica subisce una ulteriore degradazione. Laddove dopo l'incendio non si pratica il pascolamento e si ricostituisce di conseguenza la macchia, l'erosione decresce regolarmente sino ad annullarsi. Le esperienze effettuate nell'ambito del Progetto MEDALUS in Sardegna, Grecia, Spagna e Portogallo, hanno portato ai medesimi risultati.



Il sovrapascolamento, diffuso in tutte le aree mediterranee, soprattutto con carichi di peso vivo per ettaro spesso superiore alle produzioni dei pascoli. Il calpestio continuo, soprattutto su suoli talora saturi d'acqua, determina una elevata compattazione dello strato più superficiale, con riduzione della porosità e della permeabilità. Poiché il clima mediterraneo è caratterizzato da piogge intense dopo il periodo arido più o meno lungo, l'erosione determina l'asportazione del suolo sino all'affioramento del substrato.

L'aratura delle superfici ad elevata pendenza determina ugualmente erosioni catastrofiche, ossia con asportazioni dell'intero orizzonte sottoposto a lavorazione. Tali processi sono favoriti dalla prevalente effettuazione della pratica detta "a ritocchino", che prevede l'effettuazione dell'aratura proprio nel senso della inclinazione, creando quindi vie preferenziali di scorrimento delle acque di ruscellamento, aumentandone la velocità di deflusso e la energia di trasporto delle particelle di suolo.

Piantagioni di specie esotiche. Diffuse in tutte le aree del Mediterraneo, compreso Portogallo e Marocco, sono costituite soprattutto da

Pinus radiata e da *Eucalyptus* sp. Poiché la finalità degli impianti era prevalentemente la rapida produzione di materiale legnoso per l'industria cartaria, e secondariamente il recupero di aree senza copertura vegetale, il loro uso è stato favorito dalla definizione di specie "a rapido accrescimento". Purtroppo la scelta pianificatoria non ha tenuto in considerazione che l'elevata produttività è funzione delle condizioni ecologiche del territorio, che devono essere idonee ai caratteri ed alle necessità del tipo vegetale. Nella maggior parte dei casi si è proceduto con l'impianto senza un preventivo studio della suscettività d'uso dei suoli, che deve essere definita con accurate indagini di land-evaluation.

Nelle aree con clima mediterraneo i rimboschimenti con specie esotiche hanno prevalentemente dato risultati negativi. Data la ridotta velocità di accrescimento delle piante, si sono dimostrati economicamente poco remunerativi. Inoltre studi scientifici condotti in tutto il bacino del Mediterraneo hanno dimostrato che la loro presenza favorisce e determina intensi fenomeni di degrado, quali la diminuzione del contenuto di sostanza organica negli orizzonti superficiali del suolo, la riduzione della biodiversità e i fenomeni di erosione diffusa ed incanalata.

La figura sottostante sintetizza i risultati di una ricerca sperimentale sull'erosione in tre tipologie di land-use, svolta per sette anni consecutivi in un'area campione del sud-Sardegna all'interno del Progetto MEDALUS. I dati misurati nei suoli con copertura ad *Eucalyptus* sono notevolmente maggiori rispetto alle aree a vegetazione naturale arbustiva ed erbacea, dimostrando la scarsa efficacia nella protezione del suolo da parte della specie esotica.

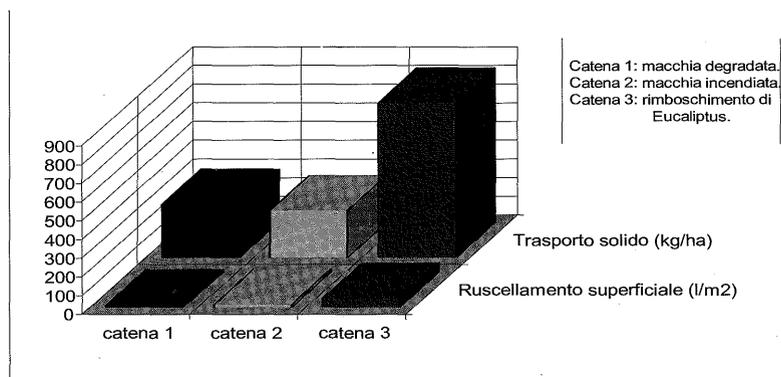


Figura 7

Indagini condotte in Alentejo (Portogallo) hanno portato a risultati simili, confermando la scarsa validità della forestazione con queste specie (M. Roxo, 1997). Anche altri paesi, ad esempio il Sud Africa, hanno pubblicato dei libri sugli effetti negativi delle specie invasive, soprattutto per quelle arboree in monocoltura sulle superfici collinari e montane.

Erosione di materiali contaminanti nelle aree minerarie

L'attività mineraria viene spesso effettuata senza una adeguata gestione delle discariche e degli impianti di stoccaggio. In seguito all'abbandono dei siti estrattivi, ed in funzione delle precipitazioni autunnali ad alta intensità del clima Mediterraneo, si determinano ingenti fenomeni erosivi, con trasporto solido ed in soluzione di metalli che vanno a sedimentarsi nelle piane alluvionali recenti, nei laghi artificiali, nelle lagune naturali, con conseguenze gravi anche sulle falde freatiche.

In Sardegna vi sono diversi importanti esempi di area contaminata. Nella valle del Rio Sitzzerri, inquinata a più riprese dai materiali provenienti dalla miniera di Montevecchio sin dal 1936, sono presenti Vertisuoli formati su sedimenti alluvionali provenienti da bacini di alimentazione caratterizzati da marne, arenarie calcaree ed andesiti. Questi tipi di suoli sono fra i più fertili dell'isola, che purtroppo la contaminazione ha reso praticamente sterili e privi di qualsiasi altro tipo di interesse agricolo. Il livello di degrado è così spinto che si può parlare di desertificazione da attività antropica.

Un altro esempio è quello della miniera abbandonata di Genna Luas, da cui si estraeva solfuro di ferro (pirite) associata anche ad altri metalli, dove è stata esaminata l'enorme influenza dei solfuri sulla chimica dei suoli e sulla solubilità dei metalli. La formazione di solfati determina un forte abbassamento della reazione con conseguente incremento della frazione solubile dei metalli. Questi contaminanti vengono presi in carico dalle acque di deflusso invernali che, non regimate da una idonea opera bonificatoria, finiscono nel fiume Cixerri, nel lago artificiale di Genna e' Abis e nella laguna di Santa Gilla a Cagliari, depositandosi lungo tutto il percorso.

L'erosione e la desertificazione in ambienti aridi.

L'impatto dell'attività antropica sulla degradazione e sulla desertificazione è tanto più catastrofico quanto più arido è il territorio. E' evidente che le zone a clima arido sono più sensibili ed a maggiore rischio di erosione e desertificazione. Osservando alcuni paesi africani, quali il Ciad, la Somalia, la parte occidentale del Sud-Africa, ecc, si nota che la degradazione e la desertificazione sono in stretta relazione con l'intensità di antropizzazione. L'eccessivo carico di bestiame, il taglio della boscaglia per legname da ardere e per farne carbone, determinano un incremento dell'erosione sia idrica che eolica, a cui segue inesorabilmente il deserto.

Istituzioni quali la F.A.O. hanno scritto e pubblicato innumerevoli

studi su questi problemi, per cui si può affermare che questi fenomeni sono ormai conosciuti. Ora bisogna realizzare i progetti per la mitigazione e per la riduzione dei fenomeni che sono alla base della desertificazione nel mondo.

Società e desertificazione

L'impatto dell'attività umana sulle risorse è pertanto determinante sulla erosione e quindi sulla desertificazione, intesa prima come consumo di risorse ed in alcuni casi come cambiamento climatico. Il paesaggio sotto l'influenza antropica è soggetto a continue modificazioni in tutte le sue componenti. Il suolo e la vegetazione sono le due unità più soggette a mutamenti data la loro sensibilità all'influenza di fattori esterni.

La nuova archeologia, per esempio, utilizza la scienza del suolo, soprattutto nell'ambito della pedologia e della chimica per conoscere meglio l'evoluzione o l'involuzione del paesaggio ed il rapporto tra tipologia delle risorse e tipo di società, a partire dal periodo preistorico e protostorico. E' proprio grazie a questi studi che è stato possibile ricostruire il processo di degradazione e desertificazione nei periodi preistorici e storici.

Diversi anni fa con i colleghi P. Baldaccini e S. Vacca, nell'ambito della stesura di un piano di sviluppo socioeconomico della comunità montana n°8 "Macomer" in Sardegna, si era notata una corrispondenza quasi perfetta tra tipologia pedologica e paleoinsediamenti (nuraghi). Da un esame più accurato l'ubicazione dei nuraghi era per lo più concentrato in una fascia altitudinale tra i 400 ed i 600 m, con presenza ovunque di sorgenti perenni. Le forme sono per lo più pianeggianti, in quanto trattasi di colate basaltiche del Pliocene. I suoli su questi substrati presentano per lo più caratteri andici, più evidenti via via che sia sale di quota.

Trattasi pertanto di suoli ad altissima fertilità, buona permeabilità, assenti i fenomeni di ristagno se non in parti determinate e ben delimitate. A causa della presenza di una elevata percentuale di sostanza organica e di argille amorfe (allofane) questi suoli risultano meno aridi rispetto agli altri suoli.

Analisi sulla flora hanno messo in evidenza il maggiore valore nutritivo rispetto ai pascoli su altre tipologie pedologiche. Ancora oggi, sono i pascoli più ricercati dai pastori. Il limite netto tra basalti ed altre formazioni vulcaniche acide (trachiti, rioliti) o altri substrati acidi (graniti, arenarie) segna il limite della paleoantropizzazione. In queste superfici si riscontrano vastissime aree con sole rocce affioranti alternanti a suoli in continua erosione, accanto a superfici piccole ancora ben conservate a testimonianza della presenza, in passato, di un ambiente più in equilibrio e ben più evoluto sotto tutti gli aspetti.

L'intensità di utilizzazione pertanto è stata determinante nel predisporre i suoli ad una erosione più o meno intensa, con fenomeni di vera e propria desertificazione su vasta area, data la scarsa capacità di alterazione delle rocce per una nuova pedogenesi.

Se nei tempi remoti per gran parte delle aree mediterranee la degradazione e la desertificazione è stata limitata ai primi insediamenti, successivamente questi si sono estesi in superfici più ampie.

Non mancano le testimonianze della antica Grecia sulla percezione della desertificazione, e la raccomandazione agli ateniesi per impedire il degrado derivato dall'uso irrazionale. Nell'antica Roma sono numerosi gli scrittori che dettano regole sul buon governo della terra. E' noto quale importanza assumesse per i romani la conoscenza dei suoli e delle forme per i nuovi insediamenti sia di carattere civile che militare. Queste testimonianze sono fondamentali perché dimostrano che esisteva sin da tempi molto lontani la percezione della fragilità dell'ecosistema suolo-pianta, anche se con diversi aspetti, in funzione del clima. Se il problema è stato presente e continuo nel passato, è ancora più evidente negli ultimi due secoli, e soprattutto dopo l'ultimo conflitto mondiale. Tutte le società, in qualsiasi ambiente, hanno sovrastimato le risorse, o non hanno considerato (o voluto considerare) l'impatto delle attività umane sulla degradazione e successiva desertificazione, sia nei confronti dell'erosione che della desertificazione in generale. Dovunque si assiste ad una espansione urbana senza studi di impatto, aperture di strade e ferrovie, disboscamenti e rimboschimenti monoculturali, ecc.

Il dopoguerra è stato, e lo è tuttora, un periodo terrificante per l'instaurarsi di processi di erosione e desertificazione e per la scarsa sensibilità per la ricerca di soluzioni razionali per l'uso del suolo. Nell'attuale società sono sempre più frequenti dei dissesti ambientali, tra cui l'erosione e la sedimentazione giocano un ruolo fondamentale nell'intero assetto territoriale. Sempre più frequenti sono gli eventi considerati eccezionali, ma che in realtà non lo sono. Tutto deriva da una errata gestione sia dei terreni a monte nei bacini che in quelli a valle. Le pianure alluvionali sono spesso soggette ad inondazioni, con acque e materiali spesso inquinanti, e vengono destinate ad impianti industriali di ogni tipo, con gravi conseguenze di contaminazione, in alcuni casi in maniera irreversibile. Talvolta le acque vengono accumulate in sbarramenti, ma la loro qualità è tale che non consente che poche utilizzazioni.

Conclusioni

Il quadro tracciato non può che essere indicativo e sintetico, data la disponibilità di tempo concessa. Poiché il tema del congresso è l'emergenza suolo è opportuno fare alcune considerazioni ed ipotesi per il futuro.

Innanzitutto le relazioni tra popolazioni e natura, con particolare riferimento al suolo. Via via che queste relazioni si attenuano, ne consegue necessariamente la degradazione e la desertificazione. La mancanza della coscienza dell'impatto sui suoli con vari interventi, l'abbandono continuo di vaste aree, non può che avviare conseguenze gravi sulla desertificazione.

L'esempio dell'abbandono della mezzadria in Italia, quello dell'abbandono delle aree agricole terrazzate in Grecia, Nord Africa, Spagna, ecc., l'introduzione di macchine operatrici di grosse dimensioni, del sovrappascolamento con ovini e caprini, determina una continua ed inesorabile desertificazione. Spesso le opere di urbanizzazione (es. strade, villaggi, ecc.) possono rappresentare dei veri e propri nemici della stabilità delle terre.

Si può dire pertanto che esista una crisi ambientale? Certamente questo stato di crisi esiste, in quanto la società è incapace di affrontarla e risolverla. Questa crisi assume una particolare gravità in questo momento, data la conoscenza dei fenomeni e la presa di coscienza delle popolazioni, almeno nell'ambito dei paesi del Mediterraneo.

In questi ultimi cinquant'anni il degrado e la desertificazione sono aumentati fortemente per cause diverse. Non sembra comunque a tutt'oggi che vi sia una seria e proficua pianificazione per combattere i fenomeni che portano alla desertificazione. Tutta la pianificazione a livello nazionale e comunale dovrebbe contenere gli elementi per realizzare una progettazione in cui siano garantiti gli interventi compatibili con la stabilità del territorio. In Italia, nell'ambito di quanto previsto dalla L.183/89, il Comitato Nazionale della Difesa del Suolo ha lavorato affinché almeno la pianificazione a livello di bacino idrografico garantisca la stabilità dei versanti e diminuisca i pericoli nelle aree a rischio di inondazione e di erosione. Il Piano di Bacino è un "piano sovraordinato" le cui soluzioni sarebbero dovute essere recepite nei Piani Urbanistici Comunali. Purtroppo il Comitato è stato soppresso, le competenze sono state trasferite dal Ministero dei Lavori Pubblici al Ministero dell'Ambiente. Di difesa del suolo e di Piano di Bacino non se ne parla più.

Secondo la Convenzione per Combattere la Desertificazione (C.C.D.) anche l'Italia deve fare il suo Piano Nazionale per la Lotta alla Desertificazione. Il comitato proposto ed operativo, è composto esclusivamente da funzionari dei vari Ministeri. Non fanno parte operativa le Università o Istituti che fanno, o hanno fatto, ricerche in questo campo. Qualche volta con comunicazione per lettera chiedono che venga messo a disposizione il materiale esistente, ma mai di partecipare attivamente alla stesura del Piano. Nel Maggio del 2000, la S.I.S.S. ha tenuto a Roma un convegno sui rapporti tra suolo, paesaggio ed urbanizzazione. I risultati sono stati ottimi, e chi scrive spera che si continui in questa strada per poter arrivare alla stesura di precise direttive per la lotta alla degradazione e desertificazione.

ISTRUZIONI PER GLI AUTORI

Informazioni generali

I manoscritti devono essere inviati alla redazione su floppy disk da 3,5» o altro supporto magnetico, e su carta di buona qualità (2 copie), di formato comune (A4 o lettera). Si prega di usare programmi di *word processor* operanti in ambiente DOS-Windows (Microsoft Word 6.0 o successivi).

Usare la font *Times New Roman* 11 punti, con spaziatura singola tra linee, ed evitare formattazioni di paragrafo (spaziature, rientri di riga, allineamenti, interlinee, giustificazione, ecc.), sillabazioni forzate, note a piè di pagina (raccoglierle a fine capitolo). Dove necessario, possono usarsi termini in corsivo, sottolineati, in grassetto.

Le Tabelle, in archivi di foglio elettronico (Excel, Word) devono essere più semplici possibile, senza bordi o filetti, righe superflue o altra formattazione (p.e. invii all'interno della cella). Diagrammi, figure, immagini, rigorosamente in **toni di grigio**, devono essere riportati su *files* distinti dal testo, usando i più comuni programmi di grafica. Nelle copie su carta, stampare tutti i *files* grafici alla fine del testo con una stampante ad alta risoluzione. Usando fogli elettronici per i grafici, inviare anche il *file* contenente il grafico e i dati originali. Per le dimensioni di tabelle e figure tenere presente che le dimensioni massime della gabbia di impaginazione sono 19 cm in verticale e 12 cm in orizzontale.

Riferimenti bibliografici

Usare il formato degli esempi seguenti:

... come ha detto Sequi (1998)

... sappiamo che l'agricoltura non inquina (Sequi, 1998)

... effetto dei metalli pesanti sull'attività microbica del suolo (Leita *et al.*, 1995; Wardle e Ghani, 1995).

Le referenze devono essere in ordine alfabetico. Nel caso di più citazioni di autore/i, seguire l'ordine cronologico e aggiungere una lettera a fianco (p.e. 1998a) per più citazioni nello stesso anno. La lista dei riferimenti bibliografici deve essere come segue:

SEQUI P., FRANCAVIGLIA R., ILARDI F., 1998. Titolo del lavoro. *Bollettino SISS*, 46: 54-58.

FRANCAVIGLIA R., 1998. Titolo del capitolo. In: *Titolo del libro* (P. Sequi ed.), Patron Editore, Bologna, pp. 410-500.

FRANCAVIGLIA R., 1998. *Titolo del libro*, Laterza, Bari, 580 pp.

L'emergenza suolo nelle pianure alluvionali del versante meridionale della Sicilia - S. Raimondi, A. Indorante S. Raimondi, A. Indorante, V. Paladino	651 661
La gestione della risorsa suolo nelle calamità naturali: l'esempio di Montevago (AG) - C. Dazzi, G. Lo Papa, S. Monteleone, S. Raimondi	673
Presentazione del numero d'oro del Bollettino SISS e approvazione di una risoluzione sull'Emergenza Suolo	
Il Bollettino d'oro - A. Benedetti	689
Risoluzione	695
Guida all'escursione	
Suoli e paesaggi della Sicilia Occidentale: problematiche ambientali - a cura di A. Bambina, K. Caniglia, G. Funari, A. Indorante, V.A. Laudicina, G. Lo Papa, D. Tusa; presentazione di G. Fierotti	699
Contributi dei soci	
Considerazioni di tipo tassonomico su un gruppo di smectiti diottaedriche - F. Rondelli	731
I soci informano	
Attività del Comitato per l'Educazione e la Divulgazione della Scienza del Suolo - M.T. Dell'Abate	753
Comitato sull'Educazione in Scienza del Suolo (CES) della Società Internazionale: riunione di Osnabrueck, Germania, settembre 2000 - C. Calzolari	757
La scienza del suolo va a scuola. Il Gioco della Terra: tre anni di esperienze nella Scuola dell'Infanzia - M.T. Dell'Abate, E. Iannone, P. Cellammare	759
Erosione e desertificazione - A. Aru	769
Istruzioni per gli autori	784

EDIZIONE A CURA DEL COMITATO ISNP

Via della Navicella, 2/4 - 00184 Roma
Tel. 06-7005413, Fax 06-7005711

Registrato presso il Tribunale di Roma
il 07/04/1998 al n. 00138/98

PERIODICO TRIMESTRALE

ISSN - 0390-4865

Direttore Responsabile

Prof. Paolo Sequi

Direttore Editoriale

Dr.ssa Rosa Francaviglia

Direttore Grafica e Impaginazione

Eleonora Lombardi

Segretario di Redazione

Sig. Filippo Ilardi

Stampa

Delta Grafica s.r.l. - Via G. Pastore, 9
06012 Città di Castello (PG)
Finito di stampare nell'aprile 2002

Comitato di Redazione

Prof. Paolo Sequi

Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piantе
Via della Navicella, 2/4 - 00184 Roma
tel. 06 7005413 - fax 06 7005711 - e-mail psequi@isnp.it

Dr.ssa Rosa Francaviglia

Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piantе
Via della Navicella, 2/4 - 00184 Roma
tel. 06 7005299 - fax 06 7005711 - e-mail r.francaviglia@isnp.it

Prof. Pietro Violante

Dipartimento di Scienze Chimico-Agrarie, Università di Napoli
Via dell'Università, 100 - 80085 Portici (NA)
tel. 081 7885206 - fax 081 7755130 - e-mail pieviola@unina.it

Prof. Angelo Aru

Dipartimento di Scienza della Terra, Università di Cagliari
Via Trentino, 51 - 09100 Cagliari
tel. 070 6757748 - fax 070 282236 - e-mail arua@vaxcal.unica.it

Prof. Paolo Nannipieri

Dipartimento di Scienza del Suolo e Nutrizione della Piantа
Università di Firenze, P.le delle Cascine, 15 - 50144 Firenze
tel. 055 32881 - fax 055 333273 - e-mail nannip@cscs.fi.cnr.it

Presidenza e Segreteria: Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piantе
Via della Navicella, 2/4 - 00184 Roma
Tel. 06-7005413, Fax 06-7005711
e-mail: psequi@isnp.it; r.francaviglia@isnp.it

Sito: <http://www.siss.isnp.it>

Il *Bollettino SISS* ha ottenuto il contributo del Ministero per i Beni e le Attività Culturali - Divisione Editoria - per le pubblicazioni di elevato valore culturale.

NON POSSIAMO MANGIARCI LA TERRA

IL.S.A. produce CONCIMI ORGANICI, CONCIMI ORGANOMINERALI e MICROELEMENTI COMPLESSATI con AMMINOACIDI in grado di nutrire, curare e biostimolare tutte le colture: prodotti EVOLUTI, EFFICIENTI e CONVENIENTI, frutto di ricerche e sperimentazioni continue, in grado di garantire un'alta efficienza salvaguardando nel contempo la conservazione dell'ambiente e la sicurezza dell'operatore. IL.S.A. produce per gli agricoltori che coltivano oggi con la consapevolezza che, "su questa Terra" dovranno coltivare anche i loro figli.



BIOPROTEINE E FERTILIZZANTI

36071 ARZIGNANO (VI)
Tel. 0444/452020 r.a. - Fax 0444/671596

E-Mail: ilsa@ilsapa.it - <http://www.ilsapa.it>