



# Bollettino

della Società Italiana della Scienza del Suolo

Anno XLVII (1998)

No. 3

Lit. 25.000

## Atti del Convegno Annuale S.I.S.S. La Qualità del Suolo per un Ambiente Sostenibile

Roma Giugno 1997

### V Commissione - Genesi, Classificazione e Cartografia del Suolo - presidente S. Vacca

<i>Conoscere i suoli per produrre qualità</i>	307	G. Aramini et Al
<i>La qualità del suolo per un ambiente sostenibile: il caso Sardegna</i>	311	A. Aru et Al
<i>Distribuzione di metalli pesanti in profili di suoli forestali della Sicilia: implicazioni pedogenetiche e qualità del suolo</i>	335	A. Bellanca et Al
<i>Holistic approach to hierarchical modelling in soil landscape analysis</i>	347	E. Busoni
<i>L'uso di una procedura geostatistica multivariata per la stima della qualità del suolo</i>	365	A. Castrignanò et Al
<i>Una definizione della qualità dei suoli forestali in rapporto alla pedofauna</i>	381	C. Dazzi et Al
<i>Risultati metodologici e operativi del progetto cartografia pedologica nelle Unità Operative Territoriali delle regioni meridionali: innovazioni e prospettive</i>	393	R. Napoli et Al
<i>La qualità del suolo in relazione ad un uso agricolo sostenibile del territorio. Un esempio di applicazione alla tartuficoltura</i>	409	R. Raglione et Al
<i>Attività vegetativa delle piante erbacee e pedoclima nella Sicilia centro-occidentale durante il 1996</i>	425	S. Raimondi
<i>I suoli del bacino-parco fluviale del sile (TV) e relazioni con la vegetazione</i>	443	R. Scazzola et Al
<i>Cartografia di suoli salino e salino-sodici nella Piana dell'Albegna (GR): definizione della varianza locale di krigaggio in presenza di distribuzioni asimmetriche ed effetto proporzionale</i>	455	F. Ungaro
<i>I suoli della porzione settentrionale del territorio di Arborea (Sardegna centro-occidentale) e valutazione della loro attitudine allo spandimento di reflui zootecnici provenienti da allevamenti bovini da latte</i>	473	A. Vacca
<i>Il "Servizio del Suolo" della Provincia di Cremona</i>	485	R. Zanoni

### VI Commissione - Tecnologia del Suolo - presidente D. Torri

<i>Variazioni di rugosità superficiale del suolo in relazione a cicli ripetuti di umettamento-essiccamento</i>	505	R. Marchetti et Al
--	-----	--------------------

### I Soci informano

<i>La normalizzazione dei metodi di analisi fisica del suolo</i>	515	M. Pagliai
<i>Tecnologie per i difesi e la conservazione delle risorse in ambiente montano e collinare</i>	517	
<i>Suoli tra vulcanismo e antropizzazione</i>	518	P. Sequi

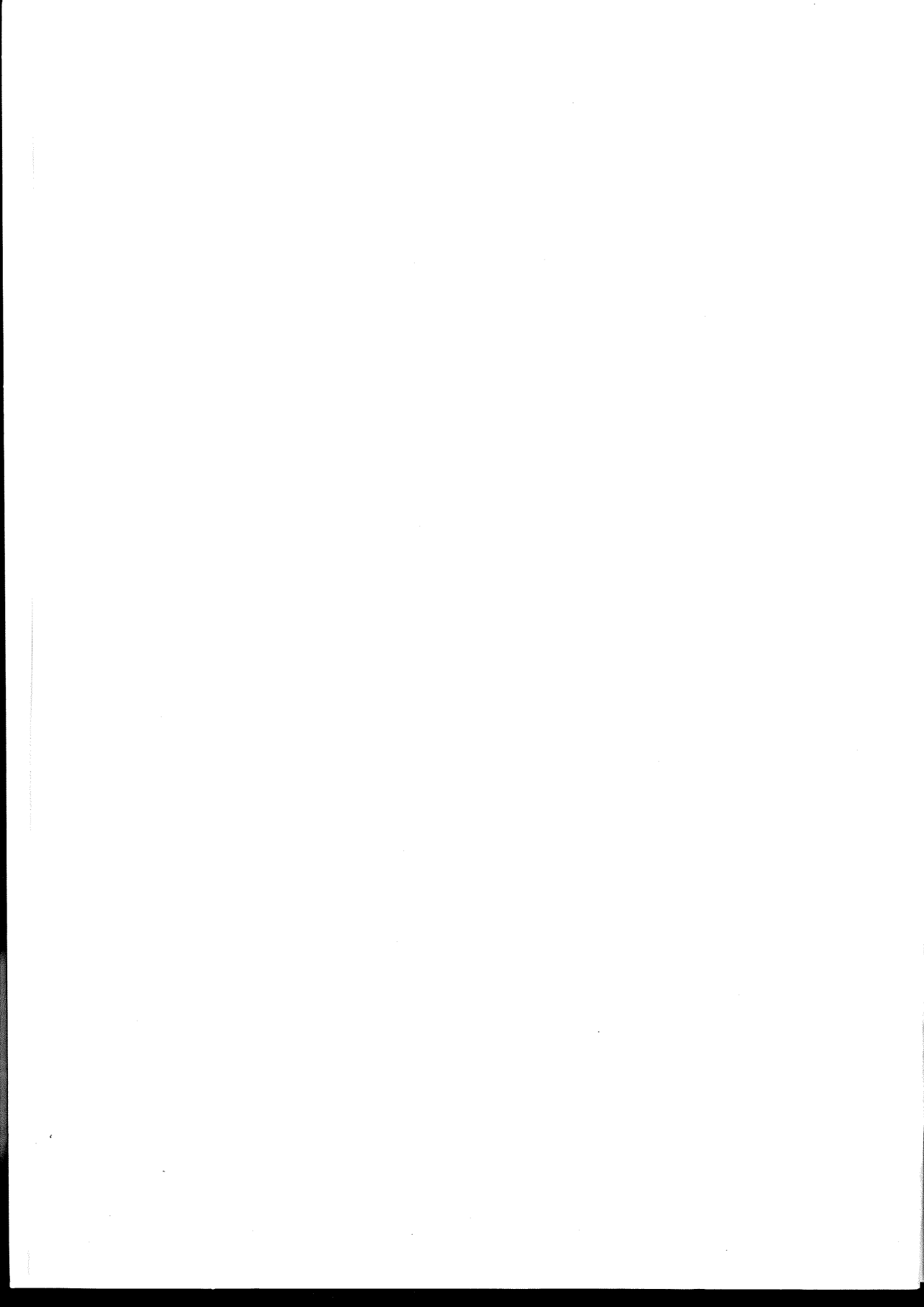


V COMMISSIONE

# Genesi, Classificazione e Cartografia del Suolo

Presidente S. Vacca

DAZZI



## CONOSCERE I SUOLI PER PRODURRE QUALITÀ

di G. Aramini, C. Colloca, A.M. Corea, R. Paone

L'attività pedologica dell'ARSSA (Agenzia Regionale per lo Sviluppo e per i Servizi in Agricoltura), in Calabria, nasce con un programma regionale all'interno dei Servizi di Sviluppo Agricolo, che pone quale obiettivo primario lo studio dei suoli delle aree di maggiore interesse agricolo alla scala di semidettaglio, nella convinzione che la conoscenza profonda ed articolata della risorsa suolo ne permette una più adeguata utilizzazione in termini agronomici, consente una razionale formulazione dei piani di settore e conseguentemente una corretta gestione del territorio.

Dal punto di vista agronomico la scelta delle colture, dei portinnesti, la predisposizione dei piani di fertilizzazione, la corretta gestione della risorsa acqua, le tecniche di lavorazione, la difesa dall'erosione devono essere effettuate sulla base delle indicazioni che provengono da uno studio di base dei suoli che ne mette in risalto le potenzialità ed i limiti.

Nell'intento di fornire concreti strumenti di supporto alle scelte del settore primario sono state già realizzate:

carta dei suoli della Media valle del Crati  
(1:50.000);

carta dei suoli della Piana di S. Eufemia Lamezia  
(1:50.000);

carta dei suoli della fascia costiera Capo Vaticano-Vibo Marina (1:25.000) e le carte di attitudine alla coltivazione della cipolla rossa di Tropea precoce e tardiva;

Nelle suddette aree l'acquisizione e la divulgazione delle informazioni sulle caratteristiche chimico-fisiche dei suoli consente l'introduzione di modelli innovativi di conduzione aziendale e di gestione del territorio mirati all'uso sostenibile delle risorse e alla qualificazione delle produzioni.

Nello specifico, nella Media Valle del Crati, la conoscenza dei suoli consente concretamente di perseguire gli obiettivi sintetizzati di seguito:

### 1) breve periodo

a) incremento della superficie servita da assistenza tecnica (pubblica e privata) con conseguente miglioramento delle tecniche agronomiche;

b) riduzione degli apporti di potassio di almeno il 40% rispetto a quelli attuali. Considerando che attualmente vengono utilizzate 150 - 200 unità di potassio/ha, ne deriva, oltre che importanti riflessi ambientali, una ricaduta annua in termini economici di circa 100.000 £/ha (Tabella 1).

Tab. 1

Quadro riassuntivo delle dotazioni in fosforo, potassio e sostanza organica *del topsoil*

FOSFORO ASSIMILABILE		POTASSIO SCAMBIABILE		SOSTANZA ORGANICA	
ppm		ppm		%	
Valore	Errore	Valore	Errore	Valore	Errore
medio	standard	medio	standard	medio	standard
<b>INTERA AREA</b> (N° CAMPIONI ANALIZZATI 148)					
2,2	± 0,5	237	± 42,5	1,16	± 0,21
<b>PIANURA</b> (N° CAMPIONI ANALIZZATI 70)					
3,1	± 0,7	215	± 37,2	1,28	± 0,37
<b>COLLINA</b> (N° CAMPIONI ANALIZZATI 78)					
1,7	± 0,3	304,4	± 46,4	1,08	± 0,23

## 2) medio e lungo periodo

a) sono stati individuati circa 1300 ha suscettibili di intensificazione colturale che potrebbero essere interessati dall'espansione di colture frutticole;

b) nell'ambiente di pianura sono state evidenziate alcune aree, complessivamente 1400 ha, con forti limitazioni. Ciò eviterà notevoli investimenti (impianti arborei) che l'ambiente pianeggiante, ad una prima analisi, avrebbe suggerito;

c) miglioramento della fertilità con incremento del contenuto in sostanza organica dei suoli negli ambienti collinari, attraverso l'adozione di tecniche preservative di volta in volta indicate sulla base delle problematiche specifiche.

La carta dei suoli della piana di Lamezia Terme fornisce le informazioni necessarie alla razionalizzazione delle tecniche agronomiche relative ad importanti comparti produttivi (agrumicolo, viticolo, olivicolo). In particolare, per ciò che riguarda il comparto viticolo, trattandosi di un comprensorio D.O.C., lo studio dei suoli ha posto le basi per un più complesso progetto di "zonazione viticola". L'obiettivo globale dell'iniziativa mira alla elevazione della qualità dei prodotti enologici attraverso gli approfondimenti relativi alle interazioni tra vitigno (genotipo) ed ambiente fisico (suolo, clima). Ciò in coerenza, tra l'altro, con quanto previsto dall'attuale normativa sulle Denominazioni di Origine (Legge n.164/92) che offre nuovi strumenti per migliorare l'immagine dei prodotti derivanti da "sottozone" particolarmente vocate.

La carta dei suoli della fascia costiera Capo Vaticano - Vibo Marina comprende gran parte dell'areale di produzione della "cipolla rossa di Tropea". Si tratta di un prodotto tipico calabrese, con pregevoli caratteristiche organolettiche (tenerezza, croccantezza, dolcezza) che ha riscontrato il consenso dei mercati nazionali ed esteri (ammonta a circa 20 miliardi di lire il prodotto esportato ogni anno).

Le informazioni acquisite con lo studio dei suoli, elaborate con l'ausilio di un Sistema Informativo Geografico (Arc/Info), hanno consentito di effettuare delle valutazioni attitudinali riferite ad usi specifici (attitudine alla coltivazione della cipolla rossa in coltura "precoce" e "tardiva"). Ciò costituisce la base per conoscere le potenzialità produttive dell'area sia in ter-

mini qualitativi che quantitativi e pianificare con cognizione di causa gli interventi tecnici e normativi mirati alla valorizzazione del prodotto (Tabella 2).

**Tabella 2**

Estensione in ettari delle diverse classi di attitudine alla coltivazione della cipolla rossa di Tropea

	COLTURA PRECOCE	COLTURA TARDIVA
	ha	ha
<b>Molto adatti</b>	<b>1058</b>	<b>1283</b>
<b>Moderatamente adatti</b>	<b>1322</b>	<b>2425</b>
<b>Poco adatti</b>	<b>1341</b>	<b>14</b>
<b>Non adatti</b>	<b>3026</b>	<b>3026</b>

La caratterizzazione dei suoli oltre all'ottimizzazione delle tecniche di fertilizzazione, di lavorazione, e di irrigazione, ha creato il presupposto essenziale per la richiesta di riconoscimento di un marchio di qualità su base geografica (Indicazione Geografica Protetta. Reg. CEE 2081/92).

### **Bibliografia**

- ARSSA (Agenzia Regionale per lo Sviluppo e per i Servizi in Agricoltura) Regione Calabria (1995) Carta dei suoli della fascia costiera Capo Vaticano-Vibo Marina.
- ARSSA (Agenzia Regionale per lo Sviluppo e per i Servizi in Agricoltura) Regione Calabria (1996) Carta dei suoli della Media Valle del Crati.
- ARSSA (Agenzia Regionale per lo Sviluppo e per i Servizi in Agricoltura) Regione Calabria (1996) Carta dei suoli della Piana di S.Eufemia Lamezia.

## LA QUALITÀ DEL SUOLO PER UN AMBIENTE SOSTENIBILE: IL CASO SARDEGNA

Angelo Aru <sup>a</sup>, Paolo Baldaccini <sup>b</sup>, M. Antonietta Dessena <sup>c</sup>,  
Francesca Fantola <sup>d</sup>, M. Rita Lai <sup>e</sup>, Stefano Loddo <sup>f</sup>,  
Salvatore Madrau <sup>b</sup>, Rita Puddu <sup>f</sup>, Gianluca Serra <sup>f</sup>,  
Daniele Tomasi <sup>f</sup>, Andrea Vacca <sup>e</sup>, S. Vacca <sup>c</sup>.

a) Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Cagliari

b) Dipartimento di Ingegneria del Territorio - Università di Sassari

c) Ente Autonomo del Fumendosa - Cagliari

d) Geologo libero professionista - Cagliari

e) E.R.S.A.T. - Cagliari

f) Collaboratore esterno "Medalus III" - Università di Cagliari

### Il suolo

I suoli della Sardegna sono estremamente vari come genesi, caratteristiche, proprietà e distribuzione areale. La notevole varietà litologica e i diversi processi morfologici succedutisi nel tempo, inseriti nel complesso quadro strutturale dell'Isola dominato dalla suddivisione in horst del basamento caledoniano-ercinico e dalla presenza della grande fossa tettonica sardo-campidanese, hanno frammentato il territorio isolano in numerose regioni morfologiche con diverse caratteristiche.

Il paesaggio sulle dolomie e sui calcari dolomitici è prevalentemente occupato da roccia affiorante con suoli limitati a modeste aree ed assume prevalente interesse paesaggistico e forestale.

Il paesaggio sulle rocce metamorfiche è notevolmente diversificato nelle forme e nella vegetazione. Su arenarie e scisti arenacei si riscontrano Xerorthents litici e tipici, Xerochrepts litici e tipici, e Palixeralfs nelle aree a maggior copertura vegetale e dove sono presenti ampie fasce di depositi di versante.

Sulle rocce intrusive, occupanti una notevole superficie della regione, sono presenti forme aspre in cui prevalgono gli Xerorthents e, sotto foresta, gli Xerochrepts, e aree ad acclività minori per l'arenizzazione dei graniti in cui prevalgono Palixeralfs e Haploxeralfs.

Il paesaggio sulle vulcaniti è caratterizzato da litotipi diversi, varianti nelle forme e nel grado di acidità. Sugli altipiani con rocce basiche sono prevalenti gli Xerorthents tipici e gli Xerochrepts tipici e litici, sui basalti e sui tufi a quote più elevate i suoli possono presentare caratteri andici.



Sui rilievi andesitici è prevalente la roccia affiorante mentre alla base è possibile rinvenire Vertisuoli.

Sulle rocce mioceniche sono tipiche le sequenze di suoli in "catena", con la successione Entisuoli- Inceptisuoli-Vertisuoli caratteristica delle litologie marnoso-arenacee ove le forme sono dolci e arrotondate, mentre sulle formazioni carbonatiche a morfologia più movimentata è riscontrabile la successione Entisuoli litici-Inceptisuoli calcici-Inceptisuoli tipici.

Nelle aree pleistoceniche, caratterizzate da alluvioni, glaciai, coluvi etc, pianeggianti o leggermente ondulate, i suoli hanno un grado di evoluzione maggiore e si riscontrano Palexeralfs ultici e Ultisuoli nelle forme più antiche, Palexeralfs tipici in quelle intermedie ed Haploxeralfs sui sedimenti più recenti.

L'Olocene è presente in modesta estensione in forma di alluvioni di vario tipo, con suoli appartenenti ai Xerochrepts, Xerofluvents e Xererts e, nelle aree idromorfe, Aquents e Salorthids.

### Tipologia d'uso e qualità dei prodotti

Angelo Aru, Paolo Baldaccini

La qualità e quantità dei prodotti risulta ugualmente dipendente, a parità di interventi e di condizioni climatiche, dal suolo.

Tralasciando l'ovvia necessità di utilizzare acque idonee all'irrigazione (prive o con basso contenuto in sali ed inquinanti), è indispensabile una corretta gestione dell'intervento irriguo in funzione non solo dell'andamento climatico ma anche delle caratteristiche idrologiche del suolo (dosi di acqua irrigua, necessità di drenaggio, etc.) al fine di ottenere prodotti di qualità senza perdite eccessive di acqua e di elementi nutritivi. Questo aspetto, spesso trascurato, ha determinato successi e fallimenti in diverse aree agricole del Paese.

È opportuno pertanto sviluppare, negli ambiti di produzioni tipiche, la conoscenza e i rapporti tra suoli e qualità, con particolare riferimento al comparto ortofrutticolo, alle colture industriali, cereali, vini, oli, legname per usi definiti etc.

La conoscenza dei suoli e dell'ambiente e la loro delimitazione può portare alla individuazione di prodotti D.O.C, con incremento di valore aggiunto di forte interesse economico.

Saranno pertanto necessari rilevamenti pedologici di notevole dettaglio al fine di correlare nel modo migliore le esigenze delle colture di pregio (ortive, frutticole, etc.) con la qualità del suolo.

La qualità dei prodotti, legata strettamente ai rapporti suolo-colture, è poi influenzata in modo determinante dall'uso dell'acqua irrigua. Esempi significativi in Sardegna si hanno per i vini: la Vernaccia di Oristano raggiunge la migliore qualità sugli Xerofluvents tipici delle aree alluvionali recenti del Tirso, caratterizzati da una elevata eterogeneità di minerali alterabili provenienti da differenti litotipi, assenza di carbonati, elevata capacità di scambio cationico, saturi in basi, ben dotati di macro e microelementi, tessitura franca, ben drenati, falda relativamente poco profonda. A parità di gestione, su altri suoli la qualità è decisamente inferiore. La Malvasia di Bosa, il Nasco di Cagliari ed altri vini da dessert di alto pregio trovano l'ambiente ideale sui suoli poco evoluti (generalmente Typic o Lithic Xerorthents, Typic o Lithic Xerochrepts) derivati dalle formazioni calcaree e calcareo-marnose del Miocene. Il Cannonau, antico e noto vino della Sardegna, assume caratteri molto diversi in funzione dell'ambiente pedoclimatico, raggiungendo però la migliore qualità nei Typic Xerorthents e Xerochrepts derivati da rocce intrusive (graniti).

La elevata qualità della produzione foraggera e dei pascoli sui suoli con caratteri andici formati sui basalti della Sardegna centro-orientale (altipiani di Abbasanta, Macomer, Sindia, etc.) era conosciuta sin dal periodo nuragico. Infatti in queste aree, ed in altre simili sotto l'aspetto pedologico, si riscontra la maggiore concentrazione di paleoinsediamenti. Tale fatto trova giustificazione non soltanto per l'aspetto ambientale generale (posizione geografica, elevato numero di sorgenti, etc.) ma anche per la qualità eccellente dei prodotti dei pascoli. La composizione floristica e l'analisi delle varie specie ha evidenziato che tali pascoli hanno un valore nutritivo superiore a molte altre zone dell'Isola. La floricoltura ugualmente risente, sotto l'aspetto quali-quantitativo, dell'ambiente pedoclimatico dell'Isola. I migliori frutteti si riscontrano su suoli ben drenati (Fluvents, Haploxeralfs, Xerochrepts su alluvioni, calcari arenacei permeabili, etc.). In particolare l'agrumicoltura viene realizzata su superfici limitate, ma strettamente connesse alla granulometria, permeabilità e fertilità del suolo (Muravera, Villacidro, etc.) ove è stato richiesto il marchio D.O.C.

Anche nel campo forestale è notorio che la sughereta trova il suo ambiente ideale su suoli fortemente lisciviati a matrice acida, o su suoli derivati da graniti o rocce metamorfiche (Palexeralfs ultici, Xerochrepts e Xerorthents districi). Sono in corso di studio i rapporti tra il tipo di suolo e la qualità mercantile del sughero.

---

Poiché oggi uno dei problemi dell'agricoltura è la "qualità", risulta indispensabile una approfondita conoscenza dei suoli e della loro dislocazione nello spazio per potere effettuare la delimitazione delle aree dei prodotti D.O.C. Un tale lavoro sarà determinante per l'economia della azienda nell'ambito dello sviluppo sostenibile e compatibile dell'intera Isola.

## **Processi di degrado a carico dei suoli**

### Erosione

Rita Puddu, Daniele Tomasi, Andrea Vacca

Lo studio sperimentale dei processi erosivi viene effettuato dal 1992 in un'area della Sardegna meridionale rappresentativa di contesti ambientali presenti in tutta l'Isola.

In tre versanti soggetti a differente uso (macchia degradata, macchia incendiata, rimboschimento ad Eucaliptus), ed in cui è stato impedito il pascolo, sono state predisposte una stazione meteorologica e tre catene, per complessive 18 parcelle, per la raccolta di dati climatici, di ruscellamento e di trasporto solido.

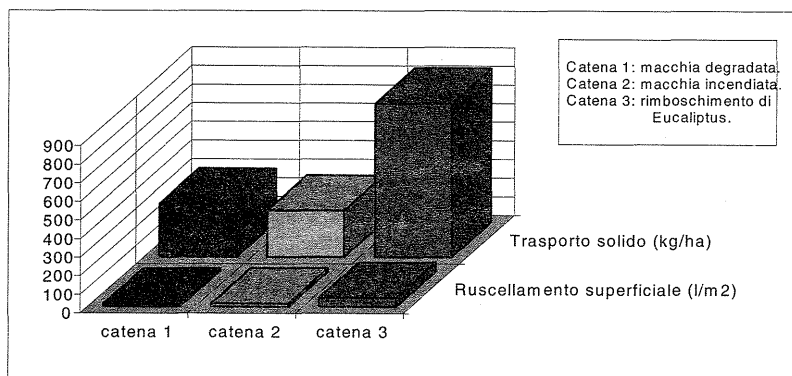
I valori di erosione risultanti, pur posizionandosi al di sotto dei limiti ammissibili individuati in letteratura, appaiono elevati in rapporto alle situazioni ambientali studiate, dove la velocità di alterazione dei substrati e di formazione del suolo è estremamente bassa.

I dati di erosione misurati nell'area con copertura ad Eucalyptus (figura 1), notevolmente maggiori rispetto alle aree a vegetazione naturale arbustiva ed erbacea, dimostrano la scarsa efficacia nella protezione del suolo da parte di questa specie, evidenziata dalla presenza di fenomeni di erosione lineare, di riduzione della biodiversità e di diminuzione del contenuto di sostanza organica negli orizzonti superficiali del suolo.

Inoltre, data la ridotta velocità di accrescimento delle piante, tali rimboschimenti si sono dimostrati economicamente poco remunerativi.

Figura 1

Dati sull'erosione rilevati dal 1992 al 1996



## Incendi

Stefano Loddo, Gianluca Serra

Molto spesso, particolarmente nelle aree marginali, il fuoco è usato come una pratica agronomica per il decespugliamento e per l'incremento delle aree a pascolo. Ma la continua effettuazione di queste pratiche e del sovrapascolamento sulle medesime superfici è fonte di degrado fino alla scomparsa del suolo.

La superficie totale delle aree a pascolo in Sardegna (valutata in 1.500.000 Ha) deve essere ridotta di oltre il 50% se si considerano le aree desertificate dagli incendi e dall'erosione.

Le aree più desertificate vanno a carico dei substrati difficilmente alterabili quali quarziti, graniti e dolomie sulle quali è impossibile una ricostituzione, se non in tempi eccessivamente lunghi.

La Tabella 1 illustra chiaramente come le aree a pascolo siano quelle maggiormente percorse dagli incendi, a dimostrazione degli effetti del sovrapascolamento.

Tabella 1

Statistica generale degli incendi recenti in Sardegna  
(da Assessorato Difesa Ambiente - Regione Autonoma della Sardegna)

ANNO	NUMERO DI INCENDI	SUPERFICI (Ha)			
		Boschi	Pascoli	Altro	Totale
1984	2.155	1.563	n.d.	n.d.	17.327
1985	4.895	9.121	45.227	2.635	56.983
1986	3.282	4.229	31.035	6.133	41.397
1987	3.809	7.607	27.141	1.001	35.749
1988	3.239	9.433	40.417	3.925	53.775
1989	1.770	6.883	18.006	1.125	26.014
1990	2.911	6.309	26.823	939	34.071
1991	4.382	5.462	37.859	5.572	48.893
1992	4.937	5.775	25.686	1.711	33.172
1993	4.558	24.378	50.162	4.678	79.218
1994	3.857	17.064	48.208	5.907	71.176

## Cave

Maria Rita Lai, Rita Puddu

L'estrazione di materiali inerti viene effettuata anche sulle alluvioni recenti con suoli ad elevata fertilità. Lo studio effettuato nella piana alluvionale del Rio Santa Lucia ha evidenziato come siano interessati soprattutto i suoli appartenenti alle prime quattro classi di capacità d'uso, ovvero quelli che possiedono la maggiore potenzialità agricola. Con l'effettuazione di questa attività estrattiva si perdono irreversibilmente suoli poco diffusi nell'Isola e ad alto valore produttivo.

Tabella 2

Consumo dei suoli dovuto all'attività estrattiva di cava nella piana alluvionale del Rio Santa Lucia (modificata da Puddu e Lai, 1995).

CLASSI DI CAPACITÀ D'USO	CONSUMO PARZIALE PER CIASCUNA UNITÀ			
	Ha	% relativa	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> Ha <sup>-1</sup>
VII - VI	8,40	3,24	25.200	3.000
III - IV	2,60	1,01	19.500	7.500
I - II	248,00	95,75	1.860.000	7.500

### Inquinamento da metalli pesanti

Angelo Aru, Stefano Loddo, Rita Puddu

Il problema dei metalli pesanti quali inquinanti dei suoli e delle acque è stato esaminato a livello quantitativo e qualitativo in tre aree a differente grado di contaminazione.

In queste aree l'attività mineraria è cessata da diversi anni con relativo abbandono della gestione e salvaguardia delle discariche dei fanghi di flottazione, con gravi conseguenze sulla loro stabilità, sui problemi di erosione accelerata, e sul trasporto dei fanghi con sedimentazione nei corsi d'acqua, nelle aree alluvionali recenti, nelle dighe e nei mari. I suoli interessati, precedentemente con elevata capacità d'uso, sono stati irrimediabilmente contaminati. Negli orizzonti superficiali si rilevano elevati valori di Pb, e significative quantità di Zn, Mn e Cd.

#### Tabella 3

Valori di metalli pesanti in alcuni profili di suolo

ELEMENTI	QUANTITÀ TOTALI (ppm)	QUANTITÀ ESTRAIBILI (ppm)
Pb	2000 ÷ 7625	0.09 ÷ 10
Zn	4000 ÷ 9425	26 ÷ 61
Mn	3500	
Cd		40 ÷ 70

### Sovrautilizzazione delle falde e salinizzazione dei suoli

Angelo Aru, Maria Rita Lai

La mancanza di una corretta gestione nella utilizzazione delle acque di falda, eccessivamente emunte, sta portando ad un continuo incremento della contaminazione, come d'altronde già avvenuto in altre varie parti del Golfo di Cagliari, della bassa valle del Flumendosa e di altre piane costiere. Gli studi effettuati nella piana del Rio Santa Lucia hanno evidenziato che per il momento la salinizzazione assume valori più importanti nelle aree limitrofe alle coste ed alle lagune, con valori massimi di 9,29 g/l.

## Urbanizzazione

Maria Antonietta Dessena, Stefano Loddo, Rita Puddu

L'urbanizzazione in termini di consumi diretti dei suoli è stata oggetto di numerosi studi in Sardegna negli ultimi 15 anni. Con lo studio sull'espansione urbana nell'hinterland di Cagliari, realizzato nel 1982, nell'ambito del Progetto Finalizzato-CNR "Conservazione del suolo", si gettavano le basi per ulteriori contributi sulle trasformazioni dell'uso e gestione del territorio in Sardegna dall'epoca storica all'attuale. Infatti, da tale lavoro risultò che il maggior consumo di suoli è a carico di quelli più fertili (tabella 4).

### Tabella 4

Consumo di aree agricole in seguito all'espansione urbana ed industriale nell'hinterland di Cagliari (da Aru et al., 1983).

CLASSI DI CAPACITÀ D'USO	CONSUMO PERCENTUALE DAL 1954 AL 1977
I	37,19 %
II	23,07 %
III	52,06 %
IV	6,62 %
VIII	35,12 %

Con il progetto MEDALUS si è avviata una fase di approfondimento di tali problematiche che ha evidenziato come l'urbanizzazione nelle aree costiere sia stata caratterizzata da criteri pianificatori inorganici e scoordinati; infatti, negli ultimi trent'anni si è assistito ad una crescita spontanea dell'edificato con gravi conseguenze sulle risorse suolo e acqua.

## Sovrapascolamento

Paolo Baldaccini, Gianluca Serra

Il sovrapascolamento è una delle maggiori fonti di degrado e di desertificazione nelle aree semiaride del Mediterraneo. Questa situazione interessa in modo particolare la Sardegna a causa della sua antica tradizione zootecnica.

Gli impatti maggiori dovuti al sovraccarico di bestiame sono:

- defoliazione e distruzione delle piante
- rimozione delle sostanze nutrienti
- impatto meccanico sui suoli e conseguente compattazione degli orizzonti superficiali
- variazione dell'intero ciclo idrologico del suolo

Le ricerche condotte in Sardegna hanno riguardato prevalentemente: a) la definizione di una relazione diretta tra sistema agro-pastorale e degrado del territorio; b) la valutazione degli effetti del pascolo sulla compattazione del suolo.

Il problema potrebbe essere risolto attraverso l'ottimizzazione delle risorse foraggere ed una attenta programmazione della attività zootecnica.

### Suoli forestali attuali

Gianluca Serra

Le osservazioni effettuate nel 1995-96 sui suoli forestali del settore montano del bacino del Rio S.Lucia hanno messo in evidenza ovunque delle alterazioni di natura ed intensità differenti, più evidenti soprattutto nelle zone in cui la foresta originaria risulta degradata o scomparsa per azione diretta e indiretta dell'uomo.

La degradazione dal bosco di leccio originario a quello attuale è da intendere soprattutto come trasformazione dell'altofusto in ceduo. È lecito pensare che le aperture provocate con i tagli pregressi abbiano permesso l'instaurarsi di processi negativi (mineralizzazione accelerata della s.o., distruzione dei complessi umoargillosi) amplificati ulteriormente dalle elevate pendenze dei versanti. Anche in quei luoghi che attualmente presentano una fitta copertura vegetale sono infatti osservabili i segni di un'erosione diffusa, principalmente riconducibili ad uno scarso spessore degli orizzonti organici (per lo più di neoformazione), e ad una sopraelevazione del colletto delle piante e delle ceppaie.

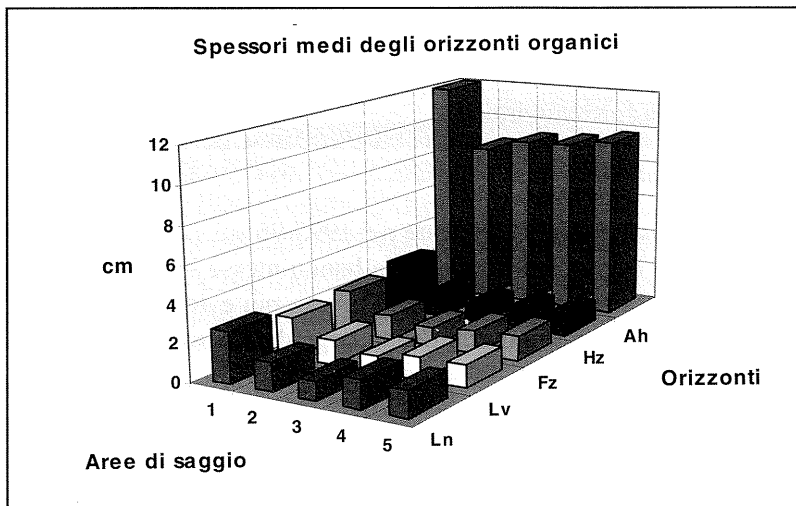
L'eliminazione completa del soprassuolo arboreo originario, operata soprattutto a valle sia con i tagli che con l'incendio, ha determinato cambiamenti rilevanti nella composizione floristica e nella fisionomia della vegetazione, riconducibile a macchie termoxerofile, con evidenti influenze sulla pedogenesi.



Il pascolo, prevalentemente ovino e caprino, apporta sia danni di tipo indiretto, con la riduzione della rinnovazione, sia di tipo diretto per la formazione di sentieri e la conseguente compattazione del suolo, riduzione della permeabilità, alterazione qualitativa della lettiera e quindi rallentamento o impedimento (localizzato) dei processi di umogenesi.

Sulla base del grado di copertura attuale, della composizione specifica e dell'azione antropica, sono state individuate 5 aree di saggio di 400m<sup>2</sup> in cui sono stati eseguiti rilievi dendrometrici, pedologici, e transects per lo studio degli orizzonti organici (classificati sec. Green et al.1993).

Nel seguente istogramma si riportano gli spessori medi degli orizzonti organici e dell'orizzonte A misurati nei vari transect.



L'area di saggio n.1, rappresentata da un ceduo denso e scarsamente percorribile, presenta degli orizzonti organici continui, non disturbati e relativamente spessi.

Viceversa le condizioni più alterate si hanno sotto il ceduo in conversione (area n.3) e sotto la sughereta (area n.5) dove l'azione antropica e il passaggio di animali domestici e selvatici sono stati più intensi. Evidenti segni di alterazione si hanno anche nell'area n.4, interessata da recenti tagli (sfolli e "ripuliture") in cui è stato completamente asportato il sottobosco. In una posizione intermedia si pone l'area n.2 caratterizzata tuttavia da un andamento assai discontinuo degli orizzonti, interrotti da frequenti sentieri dovuti al passaggio di bestiame.

<b>AREA DI SAGGIO</b>	<b>N° 1 Ceduo composto di leccio a densità colma</b>	<b>N° 2 Fustaia disetanea di sughera su ceduo di leccio matricinato</b>	<b>N° 3 Ceduo invecchiato di leccio in conversione all'altofusto</b>	<b>N° 4 Fustaia disetanea di leccio sottoposta a tagli recenti (1995)</b>	<b>N° 5 Fustaia pura disetanea di sughera</b>
<b>QUOTA</b>	625 m	250 m	290 m	485 m	250 m
<b>PENDENZA</b>	70 %	70 %	30 %	30 %	15 %
<b>COPERTURA tot</b>	98 %	90 %	90 %	70 %	85 %
<b>N° PIANTE/ha</b>	6.100	5.250	1.000	1.350	775
<b>AREA bas/ha</b>	27 m <sup>2</sup>	24,5 m <sup>2</sup>	13,8 m <sup>2</sup>	33,1 m <sup>2</sup>	38,9 m <sup>2</sup>
<b>SUOLO</b>	Dystric Xerochrept	Typic Xerorthent	Typic Xerochrept	Lithic Xerumbrept	Dystric Xerorthent
<b>HUMUS</b>	Mullmoders	Mullmoders	Mullmoders Lignomoders	Mullmoders Leptomoders	Mullmoders Leptomoders

### Sugherete

Angelo Aru, Rita Puddu, Gianluca Serra

I boschi a prevalenza di *Quercus suber* sono stati da tempo modificati nel loro assetto vegetazionale allo scopo di permettere, unitamente all'utilizzazione del sughero, sia le pratiche agronomiche che il pascolamento, con conseguente involuzione di questi ecosistemi particolarmente vulnerabili soprattutto per ciò che riguarda il fattore suolo.

Sono state da tempo messe in evidenza le principali cause di squilibrio delle sugherete sarde e, con particolare riferimento agli aspetti pedologici e vegetazionali, l'influenza del fattore antropico è risultata preponderante in tutte le tipologie di soprassuoli a quercia da sughero (squilibri dovuti a incendi boschivi, sovrapascolamento, pratiche agronomiche, talora aggravati da attacchi di defogliatori e marciumi radicali).

In Sardegna le cause di mortalità della sughera sono da attribuire soprattutto agli incendi, spesso legati alla contrapposizione tra pascolo e bosco, ma anche alle pratiche agricole intensive sotto le sugherete, ed occasionalmente ad annate particolarmente siccitose.

Gli elementi fondamentali del degrado dei suoli nelle sugherete sono la riduzione della biodiversità, la riduzione o assenza di rinnovazione naturale e la perdita di sostanza organica umificata e delle funzioni che essa svolge nell'ambito della stabilità del suolo e dei versanti, sia in termini di trattenuta dell'acqua che di regimazione dei deflussi.

## Gestione dei suoli e attività compatibili

### Aree irrigue

Paolo Baldaccini

In Sardegna, come in tutte le regioni aride, semiaride o comunque caratterizzate da un'accentuato deficit idrico, l'agricoltura, ed in particolare quella intensiva, ha necessità di apporti artificiali di acqua a sostegno delle colture.

Nell'Isola, in funzione della sua posizione geografica, delle caratteristiche morfologiche e pedologiche ed a causa della variabilità climatica, si richiedono interventi irrigui spesso limitati non solo al periodo estivo ma talvolta indispensabili anche in altre stagioni.

Ciò significa che l'agricoltura intensiva e di qualità è strettamente legata alla possibilità di reperire ed utilizzare acqua per l'irrigazione.

Risulta pertanto di primaria importanza, anche in relazione al costo sempre più elevato delle opere e della gestione dell'irrigazione, la necessità di ottenere la massima efficienza nell'uso delle due risorse fondamentali: acqua e suolo, tenendo presente che si tratta di risorse assai sensibili ai processi di degrado e con disponibilità sempre più ridotta.

Non vanno inoltre dimenticati i problemi di ordine sociale, economico ed ambientale che sono collegati e conseguenti allo sviluppo irriguo di un determinato territorio.

In termini "moderni" si parlerebbe di valutare la idoneità di un territorio per una "agricoltura irrigua sostenibile".

Al fine di razionalizzare l'uso e dare una base scientifica alla pianificazione delle risorse idriche, la Regione Autonoma della Sardegna ha predisposto sin dal 1984 un "Piano delle Acque" (Studio per la pianificazione delle risorse idriche in Sardegna). In tale Piano, oltre alle indagini relative alla determinazione delle risorse idriche superficiali e profonde ed alla individuazione dei fabbisogni per usi civili, industriali ed irrigui ed alla stesura di un piano di massima per l'utilizzazione idrica di tutta la Regione, era previsto anche uno studio della idoneità dei suoli alla irrigazione concretizzati nella preparazione di uno "Studio dei suoli delle aree irrigabili della Sardegna", pubblicato nel 1986.

La scelta delle aree irrigabili fu effettuata in funzione di diversi fattori di ordine morfologico, pedologico e agronomico, in conformità alle metodologie proposte dal Bureau of Reclamation e dalla F.A.O, opportu-

namente adattate al territorio ed all'ambiente della Sardegna. Tale indagine ha portato ad una classificazione obiettiva della suscettività all'irrigazione delle varie porzioni di territorio interessate basata prevalentemente sulle caratteristiche del suolo inteso nella sua definizione più ampia.

Le superfici dell'Isola ritenute irrigabili (circa 425.000 Ha) riguardano aree di intervento compatibili con la scala del Piano Acque, scala che esclude la ricerca e l'individuazione di schemi minori che non possano essere inclusi nei programmi di grossi complessi irrigui. In tali superfici sono state distinte diverse classi di irrigabilità in funzione della maggiore o minore idoneità del territorio a ricevere l'acqua irrigua, stabilendo così una priorità nell'uso delle risorse e mettendo in evidenza quali sono le aree a maggiore attitudine alla irrigazione e cioè quelle ove più elevato è il rendimento degli investimenti.

Ciò si traduce, in effetti, in una determinazione della "sostenibilità" della agricoltura irrigua intesa sia come corretto e razionale uso del suolo sia come ottimizzazione dell'uso dell'acqua irrigua (risparmio di acqua).

Le "aree irrigabili minori" della Sardegna non comprese nel Piano Acque, soprattutto per la loro modesta superficie, hanno una rilevante importanza socioeconomica in tutta l'Isola non solo perché possono efficacemente risolvere i deficit produttivi di piccoli ambiti territoriali e di zone marginale e depresse, modificando gli schemi produttivi nei settori agricolo e zootecnico, ma anche perché l'uso dell'acqua irrigua (reperita in loco sia da modeste opere di invaso, da sorgenti, da pozzi, sia da fonti alternative) in tali zone permette di ottenere prodotti di qualità o tipizzati (ortofrutta, floricoltura, vivaismo etc.).

In questo contesto, e tenendo presenti gli aspetti geografici e socioeconomici della Sardegna, occorre considerare anche la possibilità di difesa ambientale (antincendio) e di valorizzazione paesaggistica che la presenza di punti di raccolta e di approvvigionamento idrico e di "aree verdi" sparse nel territorio, possono rappresentare. Anche per le "aree minori" occorrerà comunque individuare le varie classi di irrigabilità attraverso un idoneo studio dei suoli, preliminare indispensabile per la scelta degli investimenti. Esempi recenti di tali studi sono offerti dai territori delle Comunità Montane 3-4 (Gallura e Riviera di Gallura) e Comunità Montane 9-11-12 (Nuoro, Barbagia-Mandrolisai, Lanusei).

Nel rapporto qualità del suolo-agricoltura irrigua sostenibile, va poi considerata la necessità di attivare e procedere a studi pedologici di controllo. Infatti l'esercizio prolungato della irrigazione modifica, spesso in mo-

do drastico, la normale attività dei processi pedogenetici, accelerando la velocità ed intensità dell'alterazione dei minerali e della sostanza organica, favorendo lo spostamento dei materiali all'interno del profilo, variando il regime idrico dei suoli e modificando spesso considerevolmente le loro caratteristiche e proprietà.

In Sardegna ancora non sono stati effettuati studi di questo tipo ma la loro necessità ed urgenza è messa in evidenza da alcuni esempi significativi come la salinizzazione di alcuni suoli nelle zone costiere (Cagliari-tano, Muravera), da fenomeni di idromorfia accentuata sui Palexeralfs irrigati nella Piana di Ottana, dall'inizio di formazione di orizzonti calcici nei distretti irrigui ove si hanno substrati carbonatici (Xerochepts su marne ed arenarie marnose della Trexenta e Marmilla).

### Urbanizzazione

Francesca Fantola, Maria Rita Lai

L'espansione dei grandi centri urbani della Sardegna ha causato, negli ultimi decenni, un'irreversibile perdita di estese superfici coltivabili, che nell'Isola rappresentano una modesta percentuale. Per tale motivo il loro consumo o degrado irreversibile è una grave perdita di risorse che andrebbe limitata attraverso una pianificazione. Tale pianificazione deve essere finalizzata sia alla creazione di un'economia sostenibile, che ad assicurare la conservazione delle risorse.

Negli ultimi anni, sono stati elaborati dei metodi di indagine che valutano le risorse naturali nell'ambito del processo di pianificazione territoriale, per territori d'estensione regionale, provinciale e comunale. In particolare su alcuni territori comunali si sta applicando, con esiti generalmente positivi, una metodologia di analisi del territorio periurbano e agricolo, che ha lo scopo di condurre ad una progettazione ragionata delle utilizzazioni e degli interventi nell'ambito della pianificazione urbanistica comunale.

Gli esempi più significativi sono rappresentati da Quartu Sant'Elena e da Assemini, comuni dell'hinterland di Cagliari, che possiedono un territorio di vasta estensione (rispettivamente ca. 97 kmq e 117 kmq), con caratteri fisici estremamente variabili, ricchi di valenze ambientali e con vaste aree ad elevata attitudine agricola, in parte compromesse dall'urbanizzazione spontanea.

---

Il metodo di indagine è articolato nelle seguenti fasi:

- rilevamento geologico e morfologico ed elaborazione della Carta Geomorfologica;
- rilevamento pedologico ed elaborazione della Carta dei Suoli, e relativa classificazione del territorio in base alla capacità d'uso;
- rilevamento dello stato d'uso del territorio e redazione della Carta dell'Uso del Suolo e della Copertura Vegetale;
- applicazione della Land Suitability Evaluation al fine di valutare il grado di attitudine dei suoli ai diversi usi proponibili (agricolo, zootecnico, insediativo residenziale, industriale e commerciale, ricreativo);
- zonizzazione delle aree agricole e formulazione delle proposte di intervento, tra le quali la definizione del lotto minimo entro cui è possibile l'edificazione nell'agro per usi abitativi.

In particolare nel territorio di Quartu Sant'Elena l'analisi dello stato attuale ha comportato uno studio di dettaglio, limitatamente alla Zona Agricola, finalizzato alla valutazione della compromissione dei suoli, indotta da processi insediativi, non pianificati, realizzati negli ultimi vent'anni.

È stata così effettuata una zonizzazione dell'area agricola, in funzione del grado di compromissione e delle potenzialità agricole dei suoli. Sono stati definiti tre gradi di consumo e di compromissione del territorio [Schibuola, 1991].

1 - Aree soggette al consumo diretto: aree adibite ad usi extra-agricoli (lotti edificati, strade, depositi, attività commerciali, cave ed impianti di lavorazione dei materiali estratti, ecc.). Tali aree sono state considerate come totalmente compromesse.

2a - Aree soggette al consumo indiretto: aree adibite in passato ad uso agricolo, che risultano attualmente incolte e intercluse o limitrofe al tessuto edificato: sono pertanto mediamente compromesse. Queste aree dovrebbero essere destinate alla realizzazione di servizi pubblici, aree verdi, e talvolta ad una agricoltura part-time.

2b - Aree soggette al consumo indiretto, ma con una elevata valenza agricola: sono rappresentate da superfici abbastanza vaste inserite nel

tessuto urbanizzato, le cui dimensioni e l'alto grado di polverizzazione fondiaria difficilmente consentono lo sviluppo di un'agricoltura economicamente sostenibile. Si può prevedere l'incentivazione al riordino in appezzamenti che abbiano un significato economico (eventualmente come agricoltura part-time) conservando, anche all'interno del tessuto urbano diffuso, gli aspetti del paesaggio tipici della campagna quartese.

**3 - Aree agricole:** rappresentate da tutte quelle aree in cui permane una destinazione agricola ed un utilizzo colturale più o meno intenso, anche se in parte compromesso da un elevato grado di polverizzazione, confermato anche dagli ultimi dati statistici (Censimento Generale dell'Agricoltura, 1990).

Come si può osservare dalla lettura dei dati riportati nella seguente tabella, quasi la metà della superficie agricola è stata compromessa dalle attività di urbanizzazione.

<b>GRADI DI COMPROMISSIONE</b>	<b>SUPERFICIE (mq)</b>	<b>PERCENTUALE</b>
1 - Aree soggette al consumo diretto	3.378.335	19%
2a - Aree soggette al consumo indiretto	1.395.413	8%
2b - Aree soggette al consumo indiretto, ma con una elevata valenza agricola	2.710.251	15%
3 - Aree agricole	9.120.539	51%
Discariche abusive	121.893	1%
Cave	1.060.875	6%
<b>Totale</b>	<b>17.787.306</b>	<b>100%</b>

L'impatto esercitato dall'urbanizzazione sullo spazio agricolo non è limitato alla sottrazione di suoli coltivabili, ma comporta anche molte modifiche dei caratteri fisico-chimici, con conseguente perdita o riduzione delle proprietà intrinseche con conseguente perdita di fertilità. Un effetto fortemente negativo è rappresentato dalla contaminazione delle acque di falda, ad opera dei sali e dei metalli di varia origine.

Nel corso dell'indagine sono stati esaminati tutti i fenomeni di degradazione, le cause e gli effetti. Sulla base dei risultati sono state proposte misure di mitigazione che comportano sia l'intervento pubblico che privato.

Nell'ambito della zonizzazione urbanistico-territoriale, prevista per la redazione dei Piani Urbanistici Comunali (L. R. 45/89), l'analisi della compromissione dei suoli agricoli, collegata alla valutazione attitudinale dei suoli, è stata fondamentale per la suddivisione del territorio agricolo in

sottozone, nelle quali si prevedono differenti tipologie di interventi e di destinazione d'uso futuro (es. "Parco agricolo produttivo", "Area dell'agricoltura part-time", etc.).

Di particolare importanza è l'inserimento nelle Norme di Attuazione del P.U.C. delle stesse indicazioni dettate dalle analisi e indagini fin qui descritte, che mirano alla conservazione del patrimonio naturale ancora esistente, attraverso la conoscenza delle risorse naturali e la loro gestione oculata.

Si ritiene pertanto che i Piani Urbanistici Comunali rappresentino uno strumento fondamentale di gestione territoriale, in un contesto di salvaguardia e valorizzazione del patrimonio naturale e produttivo e di lotta alla degradazione e alla desertificazione dell'ambiente naturale. Infatti la responsabilità della salvaguardia coinvolge le responsabilità a tutti i livelli.

### Gestione pascoli

Salvatore Madrau

Il pascolo rappresenta la destinazione d'uso più comune per i suoli della Sardegna. Essa infatti interessa una superficie di 789.499 ha pari al 33,14% del territorio regionale.

Su questa superficie grava un carico di 3.131.467 capi ovini, 286.831 bovini, 228.275 caprini, a cui devono aggiungersi equini, suini, bufalini.

L'applicazione delle metodologie di valutazione della attitudine d'uso (Land Capability) alla Carta dei Suoli della Sardegna indica che solo il 19,31% della superficie regionale si presta ad un uso agricolo intensivo (classi I-IV), mentre risulta in parte adatto ad un uso estensivo il 65,86% del territorio isolano.

Data l'importanza della superficie comunque destinabile a questo uso le due Università dell'Isola e l'ERSAT, l'Ente agricolo strumentale della Regione sarda, hanno iniziato nel 1989 uno studio finalizzato alla realizzazione di una metodologia di valutazione della suscettività del territorio regionale al miglioramento pascoli, basata sullo studio delle caratteristiche fisiche del territorio in grado di esercitare una significativa influenza sul miglioramento pascoli e non più sul solo classico giudizio di convenienza economica, giudizio che tra l'altro risultava quasi sempre positivo.

Questa metodologia, nota come "Miglioramento ed Utilizzo dei



Pascoli”, rispecchia, nella sua impostazione e nella articolazione dei livelli di valutazione, il “Framework for Land Evaluation” e il successivo “Guidelines: land evaluation for extensive grazing” redatti dalla F.A.O.

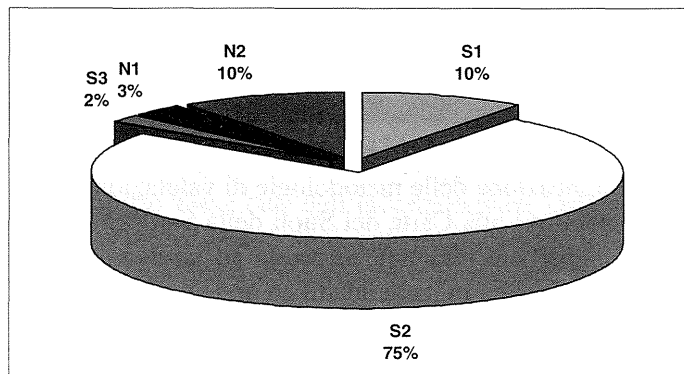
Data la particolare complessità delle caratteristiche geologiche e morfologiche del territorio sardo, gli autori del sistema hanno ritenuto opportuno predisporre degli schemi di valutazione differenti per ciascuna delle unità di paesaggio riconosciute nell’Isola.

Tali schemi sono tra loro differenziati sia nelle caratteristiche del territorio considerate ai fini della valutazione della suscettività, sia nell’ampiezza dei valori che le diverse caratteristiche possono assumere nelle classi previste dal sistema.

Nella figura seguente è riportato un esempio dell’applicazione di questa metodologia al comune di Sindia (NU) nella Sardegna centrale, dove per la quasi totalità della superficie comunale, il substrato è costituito da basalti pliocenici.

Figura 3

Attitudine al miglioramento pascoli: percentuali di superficie nelle diverse classi di attitudine per il comune di Sindia (NU)



Nonostante che questi schemi siano stati fatti oggetto di diverse applicazioni nella realtà regionale devono essere considerati ancora provvisori, sia a livello regionale, in quanto necessitano di una migliore definizione dei valori assunti nelle singole classi per alcune caratteristiche, es. quelle climatiche per le quali non esiste un adeguato numero di stazioni di rilevamento, sia a livello locale o aziendale in quanto al momento non esiste un livello sufficientemente dettagliato di informazioni sulle caratteristiche

climatiche, pedologiche, agronomiche, ecc. dei pascoli.

Una ulteriore fase nella realizzazione di uno schema di valutazione definitivo è rappresentata dagli studi del progetto MEDALUS 3 della CEE.

Tra gli obiettivi dei Nuclei di Ricerca sulla Desertificazione delle Università di Cagliari e Sassari vi è quello di predisporre un sistema esperto che, nell'ambito di un GIS, integri le informazioni sulle caratteristiche pedologiche, climatiche, agronomiche ed economiche dei pascoli sardi, in modo da realizzare una valutazione non statica ma flessibile nel tempo che tenga conto delle variazioni positive e negative del territorio, e soprattutto delle condizioni di mercato che possono modificare il limite tra le possibilità di miglioramento pascoli e la non convenienza per questa destinazione d'uso.

Al momento è in corso di verifica, nel comune di Orosei (Nu), uno schema parametrico che, permettendo di attribuire un peso ad ogni caratteristica del territorio, faciliti al massimo, sia nel tempo che nello spazio, la flessibilità applicativa del sistema obiettivo richiesto dalla CEE ai due NRD della Sardegna.

### Rimboschimenti con specie esotiche

Gianluca Serra

Il soddisfacimento del fabbisogno regionale di legname è da decenni uno degli obiettivi della Regione sarda e grossi sforzi finanziari sono stati eseguiti per la forestazione industriale con specie esotiche.

Gli impianti a rapido accrescimento sono rappresentati dagli eucalitteti e dalle pinete di pino radiato ma i risultati ottenuti sono stati spesso deludenti in termini di produzione legnosa o vanificati dalla prematura distruzione per incendio dei soprassuoli.

Gravi conseguenze sono da rilevare per ciò che riguarda la conservazione dei suoli utilizzati con tali impianti dovute all'impatto della meccanizzazione delle operazioni di rimboschimento (decespugliamenti e lavorazioni del terreno) e delle successive cure colturali.

In comune di Siliqua (CA) è presente un vasto impianto ad eucalitto, attualmente oggetto di studio, eseguito su terreni in pendio, ricchi di scheletro, poco permeabili in cui la produzione di massa legnosa è minima e non ripaga il danno ambientale procurato (processi erosivi, alterazione della copertura vegetale preesistente, riduzione della diversità biologica). Analo-

ghe evidenze, in particolare per ciò che riguarda i fenomeni erosivi, sono state riscontrate nell'area di studio di Is Olias (Capoterra, CA) nell'ambito del Progetto Medalus.

Si osserva tuttavia un lieve calo dell'uso di specie esotiche negli impianti artificiali più recenti, in particolare quelli finanziati dall'U.E. (reg.2080/89) a favore di specie autoctone. Anche in questo caso l'assenza di accurate valutazioni attitudinali dei terreni può facilmente condurre ad insuccessi.

## **Conservazione e miglioramento delle caratteristiche**

### **La pianificazione territoriale e gli studi pedologici**

Angelo Aru

Sui suoli si svolgono gran parte delle attività umane: agricoltura, forestazione, urbanizzazione, trasporti etc. L'intensità di utilizzazione porta, nella maggioranza dei casi ad una degradazione del suolo, talvolta alla desertificazione. Pertanto è necessario procedere alla conservazione del suolo attraverso una gestione che ne garantisca la tutela, procedendo ad una pianificazione territoriale in cui la conoscenza dei suoli svolga un ruolo fondamentale.

La pianificazione deve essere effettuata a scala regionale e a scala comunale, con lo scopo di migliorare lo sviluppo sostenibile e contestualmente migliorare la conservazione e la tutela delle risorse non rinnovabili.

In questo contesto la tipologia pedologica gioca un ruolo fondamentale sulla destinazione delle aree agricole, forestali, commerciali, urbane, industriali e di servizio. Il piano urbanistico comunale deve quindi assumere la valenza di piano di sviluppo socioeconomico correlato al piano di sviluppo a scala regionale.

In questo quadro lo sviluppo e l'assetto territoriale sono strettamente legati essendo dipendenti dalla conoscenza, dalla pianificazione e dalla gestione delle risorse ed, in particolare modo del suolo, acqua e vegetazione.

A scala regionale in Sardegna è stata realizzata la cartografia pedologica per la valutazione della suscettività alla irrigazione come strumento di base per il Piano Generale delle Acque.

---

La delimitazione delle aree irrigabili, a diverso grado di suscettività, è stata assunta dal governo regionale come documento di pianificazione e di progettazione di tutti gli interventi che riguardano l'irrigazione.

Questo fatto ha consentito non soltanto l'applicazione di regole certe nella destinazione degli investimenti, ma anche di ridurre o eliminare gli investimenti pubblici in aree poco suscettibili per casi definiti.

La cartografia pedologica e relativa interpretazione viene richiesta ed utilizzata nella pianificazione a livello provinciale per i piani territoriali di coordinamento, i piani di sviluppo socioeconomici delle comunità montane, i piani generali di bonifica.

L'utilizzazione della cartografia ha consentito una economia nella progettazione ed attuazione di interventi su vasta scala ed una razionalità maggiore a livello aziendale.

La cartografia viene utilizzata a livello comunale per l'adeguamento dei Piani Urbanistici Comunali e dei Piani Territoriali Paesistici. Trattasi di nuove esperienze che andranno applicate a tutti i comuni della Sardegna.

Con l'uso della carta pedologica vengono individuate le classi di suscettività per tutte le colture e nelle differenti tipologie pedologiche e definito il "lotto minimo per l'edilizia residenziale nell'agro". In questo contesto la carta dei suoli rappresenta lo strumento urbanistico fondamentale per la normativa edilizia nell'agro.

In particolare la gestione agricola e forestale dipendono strettamente dalle caratteristiche dei suoli, spesso assai differenti nelle singole tipologie. I caratteri permanenti quali struttura, tessitura, capacità di ritenuta d'acqua, tipologia di minerali argillosi, capacità di scambio e saturazione in basi, contenuto in elementi nutritivi, sono spesso, insieme al clima, fattori determinanti sulle scelte di indirizzo, sulle tecnologie di intervento e sulla gestione. Sistemazione idraulico-agrarie e forestali, sistemi di irrigazione, bonifiche idrauliche, concimazioni, correttivi e lavorazioni devono necessariamente essere differenziati in funzione dei differenti suoli.

## Applicazioni di Land Evaluation in Sardegna

Sergio Vacca, Maria Antonietta Dessena

Con i primi studi pedologici, avviati a partire dagli inizi degli anni '60, vengono realizzate le prime applicazioni in campo agricolo, particolarmente nella classificazione delle terre per scelta delle aree da destinare alla trasformazione irrigua, ma anche per il riordino fondiario.

Viene pubblicato nel 1965 il lavoro "I suoli della Sardegna Meridionale", in cui compare la *Carta dei limiti d'uso dei suoli*, che rappresenta "una delle utilizzazioni o interpretazioni della Carta pedologica e che sta ad indicare gli ostacoli naturali che condizionano l'uso razionale dei terreni sia attraverso l'agricoltura che la selvicoltura".

Nel 1967 viene quindi pubblicato "I suoli della Sardegna", in cui gli Autori chiariscono che la *Carta dei limiti* allegata costituisce "l'estensione a tutta la Sardegna dei concetti che formarono la base di partenza per la realizzazione di un simile documento nella Sardegna Meridionale".

Il quadro metodologico, sistematizzato nei due documenti pubblicati, ha costituito in quegli anni la *guideline* dell'attività dei due gruppi di lavoro che operavano nel campo degli studi di Pedologia Applicata: l'Ufficio Studi Agropedologici dell'Ente Autonomo del Flumendosa, diretto da Paolo Baldaccini, che si occupava prevalentemente di indagini finalizzate all'utilizzazione irrigua delle terre, e la Sezione di Pedologia del Centro Regionale Agrario Sperimentale, diretta da Angelo Aru, che si occupava di sperimentazione agraria.

Lo sforzo maggiore viene, tuttavia, fatto tra gli anni '70 e '80, quando, sia attraverso la rivisitazione dei precedenti rilevamenti di gran dettaglio della Sardegna centro-meridionale, sia attraverso nuovi studi ai livelli di semidettaglio e riconoscimento sul resto dell'Isola, viene realizzato l'inventario della risorsa "suoli irrigabili", nell'ambito del Piano Generale della Risorse Idriche della Sardegna.

Vengono qui applicate in modo sistematico le procedure di valutazione messe a punto dall'U.S. Bureau of Reclamation, ponendo alla base dell'interpretazione il "Land", secondo l'interpretazione estensiva del concetto data da Dent e Young.

Numerosissimi lavori, gran parte dei quali inediti, riguardano negli stessi anni la valutazione delle terre per la pianificazione urbanistica e di settore; viene messa a punto una metodologia, basata sull'applicazione delle procedure di Land Capability per la valutazione del consumo delle ter-

re come effetto dell'espansione urbanistica ; ma lo stesso metodo viene anche adottato per valutare in termini previsionali l'impatto ambientale dei piani urbanistici.

La stessa procedura di L.C. viene adottata nella nuova *Carta dei Suoli della Sardegna*, in scala 1 :250.000, per la valutazione della capacità d'uso delle terre ai fini della pianificazione a scala regionale.

Più di recente, la pianificazione urbanistica e la pianificazione ambientale hanno richiesto anche in Sardegna importanti contributi della Scienza del Suolo, per la zonizzazione del territorio ai fini di uno sviluppo sostenibile.

Si annoverano in questo settore numerosi lavori, editi e non, per la pianificazione paesistica, per i piani dei parchi del Gennargentu e dei Sette Fratelli, ma anche per i Piani Urbanistici Comunali di numerose città e centri minori della Sardegna, nei quali il territorio viene analizzato e classificato ricorrendo alle diverse procedure di Land Evaluation.

Un considerevole apporto è stato, infine, dato agli studi sulla degradazione delle risorse del territorio attraverso alcune ricerche, che hanno riguardato l'analisi dello stato del territorio come causa del decadimento qualitativo delle acque, e l'analisi del fenomeno di desertificazione nell'ambito del progetto U.E. "MEDALUS".

### **Bibliografia**

- AA.VV. (1986), *Suoli delle aree irrigabili della Sardegna*, Piano Generale delle Acque, R.A.S.
- ARU A., (1984) - "Aspects of Desertification in Sardinia, Italy". Desertification in Europe. Procs. of the Information Symposium in the EEC Programme on Climatology, Eds. R. Fantechi, N.S. Margaris, Mitilene, pp. 194-198
- ARU A., (1995). "Il ruolo della pedologia nella pianificazione e nella progettazione con particolare riferimento alla Sardegna". Paper presented at the Congress of the Società Italiana del Suolo, Il ruolo della pedologia nella pianificazione e nella gestione del territorio, Cagliari 6-10 June (in press).
- ARU A., BALDACCINI P., VACCA A. (1982), *Nota illustrativa alla Carta dei Suoli della Sardegna*, Dip. Scienze della Terra, Univ. Cagliari, Centro Reg. Program., Ass. Program. Bil. Ass. Territorio, Regione Autonoma Sardegna, 83 pp.
- ARU A., MADEDDU, B., KAHNAMOEL, A. (1995). "Soil contamination by heavy metals from mines". Procs. Conference on Land Use and Soil Degradation - MEDALUS in Sardinia, Eds. G. Enne, G. Pulina, A. Aru, Sassari, pp.265-283.
- ARU, A., BALDACCINI, P., MALQUORI, A., MELIS, R.T., VACCA, S., (1983) - "Il consumo delle terre a causa dell'espansione urbana del territorio intorno a Cagliari". Prog. Finalizz. Conservazione del Suolo, Sottoprogramma. Dinamica dei versanti, n. 94, C.N.R.
- ARU, A., G. BRUNDU, I. CAMARDA, A. KAHNAMOEL, B. MADEDDU, M. ROXO, R. PUDDU, V. SATTA, A. VACCA (1994) - "Assessment and management criteria of desertification in selected Mediterranean areas", Working Paper No. 31, Presented at the 3rd MEDALUS II Group Meeting and Scientific Conference, Athens 19-24 May 1994, 20p.

- FANTOLA F and LAI M.R. (1994). "Il contributo della Geopedologia nella pianificazione territoriale: Il piano urbanistico del Comune di Quartu S. Elena (Sardegna meridionale)". 8th National Congress of the Association of Geologists, 21-23 January 1994, Rome.
- KLIENGEBIEL E MONTGOMERY (1966), *Land Capability Classification*, Soil Conservation Service, U.S.D.A. Handbook n°210, Washington D.C.
- LAI M.R., LODDO S., PUDDU R., ARU A., & BALDACCINI P (1994), *Il Rilevamento Geologico e Pedoambientale del Bacino del Rio Santa Lucia* in Atti del convegno: "Il MEDALUS in Sardegna" Sassari.
- LAL.M.R., LODDO S., PUDDU R. & SERRA G. (1995), *Lo Studio Geopedologico nella Pianificazione degli Interventi di Difesa del Suolo e di Mitigazione della Desertificazione*. Salvaguardia della risorsa pedologica nel quadro della legge n. 183/89. Il bacino del Rio S. Lucia di Capoterra. In Atti del congresso della Società Italiana di Scienza del Suolo: "Il Ruolo della Pedologia nella Pianificazione e Gestione del Territorio" Cagliari.
- PREVITALI, F., (1996) "Soil Degradation Processes and Land Use in North - Western Sardinia (Italy)" Procs. of the International Conference on Land Degradation, Adana, Turkey, 10-14 June, 1996, (in press).
- PUDDU R., LAI M.R. (1995) - "Quarrying activities in the Rio S. Lucia catchment basin (southern Sardinia, Italy)". Procs. Conference on Land Use and Soil Degradation - MEDALUS in Sardinia, Eds. G. Enne, G. Pulina, A. Aru, Sassari, pp. 129-139
- PUDDU R., TOMASI D., VACCA A. (1995) *Erosione ed uso del suolo. Indicazioni per la gestione e la pianificazione del territorio. Un esempio nella Sardegna sud-occidentale*. in atti del convegno "Il ruolo della pedologia nella pianificazione e gestione del territorio", Cagliari, 77-86.
- PUDDU, R., TOMASI, D, VACCA, A., (1995). - "Erosion in areas afforested with Eucalyptus: A case study in southern Sardinia (Italy)". Procs. Conference on Erosion and Land Degradation in the Mediterranean: the Impacts of Agriculture, Forestry and Tourism, Aveiro, (Portugal), pp.289-299.
- REGIONE AUTONOMA SARDEGNA (1991). - "Piano per la difesa contro gli incendi nei boschi e elle campagna". RAS, Cagliari.
- SANFILIPPO, E. (1987) - "I boschi. Una risorsa fondamentale oggetto di forti antagonismi", From: Boggio, F., R. Pracchi, A. Asole (ed.), Atlante Economico della Sardegna, Ed. Universitarie JACA, Banca Popolare di Sassari, Milano: 153-181.
- SANFILIPPO, E. (1987) - "I boschi. Una risorsa fondamentale oggetto di forti antagonismi", In: Boggio, F., R. Pracchi, A. Asole (ed.), Atlante Economico della Sardegna, Ed. Universitarie JACA, Banca Popolare di Sassari, Milano: 153-181.
- SOIL SURVEY STAFF (1992), *Keys to Soil Taxonomy*, 5th edition. SMSS technical monograph No. 19., Blacksburg Virginia., Pocahontas Press Inc., 556 pp.
- TRASTU S., USAI D., ARU A., CAMARDA I., BALDACCINI P., (1995) "Prime considerazioni sulla degradazione delle aree sughericole in sardegna (Prog. PANDA)" - Paper presented at the Congress of the Società Italiana della Scienza del Suolo, Il ruolo della pedologia nella pianificazione e gestione del territorio, Cagliari (in press).
- TREACHER, T.T., (1994) "Constraints on small ruminant production in the arid areas in the south and east of the Mediterranean basin" Procs. of the 45th. Annual Meeting of the European Association for Animal Production, Edinburgh, UK, 5-8 September
- VACCA A., PUDDU R., USAI D., TOMASI D., (1993) - "Experimental plots at Is Olias (Rio S. Lucia catchment area). Some data and result of Medalus I and Medalus II (first year)". Medalus Working Paper No. 6
- VACCA A., PUDDU R., USAI D., TOMASI D., (1995) - "Erosion measurements in the three areas of the Rio S. Lucia catchment with different land uses". Procs. Conference on Land Use and Soil Degradation - MEDALUS in Sardinia, Eds. G. Enne, G. Pulina, A. Aru, Sassari, pp. 115-127
- WORLD BANK (1996) "Desertification: Implementing the Convention. A World Bank View" Land, Water and Natural Habitats Division, Environment Department, The World Bank, Washington, D.C., USA, 2nd Edition.
- ZANCHI, C. (1993). "Aspetti dell'erosione dei suoli nei diversi ambienti del bacino del Mediterraneo, in montagna ed in collina", Procs. Conference "La difesa del suolo in ambiente mediterraneo", Eds. ERSAT, pp. 57-69

## *DISTRIBUZIONE DI METALLI PESANTI IN PROFILI DI SUOLI FORESTALI DELLA SICILIA: IMPLICAZIONI PEDOGENETICHE E QUALITÀ DEL SUOLO*

A. Bellanca<sup>a</sup> - C. Dazzi<sup>b</sup> - R. Neri<sup>a</sup> - B. Palumbo<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Istituto di Mineralogia, Petrografia e Geochimica - Università di Palermo

<sup>b</sup> Istituto di Agronomia Generale - Università di Palermo

### **Riassunto**

La capacità di ritenzione del suolo nei confronti di molti contaminanti assume un significato ambientale notevole se si considerano gli accumuli degli stessi fino a tenori critici o tossici.

In particolare, lo studio delle componenti del suolo così come dei contenuti totali di metalli pesanti, assieme alla definizione dell'affinità degli stessi per le differenti componenti pedologiche, risulta utile per risalire ai fattori che regolano il comportamento dei metalli pesanti nel suolo e nei processi di interazione tra pedosfera, biosfera e idrosfera.

Uno studio preliminare di tipo pedologico-geochimico-mineralogico è stato condotto su alcuni suoli forestali della Sicilia per evidenziarne il contenuto e la speciazione di Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn.

A tal fine, sono stati presi in considerazione due profili di suoli forestali fra i più diffusi sulle litologie carbonatiche dei monti Sicani (Sicilia centro-occidentale), afferenti entrambi all'Ordine dei Mollisuoli: un Typic Haploxeroll ed un Lithic Haploxeroll.

Le concentrazioni medie di metalli pesanti misurate sono, rispettivamente: Cd 1,8 ppm, Cr 70 ppm, Cu 42 ppm, Mn 1497 ppm, Ni 62 ppm, Pb 30 ppm e Zn 146 ppm.

L'influenza dei processi pedologici che portano alla liberazione del ferro e alla progressiva formazione di idrossidi e ossidi viene riconosciuta significativa nel determinare i contenuti di metalli pesanti trovati nei profili di suolo in esame.



Un ruolo importante nella ritenzione dei metalli pesanti in questi suoli è individuato anche nella componente organica che determina una diversa speciazione dei metalli pesanti all'interno dei profili, con un arricchimento in forme verosimilmente connesse a complessi humus-metallo nell'orizzonte mollico di superficie. Alla luce dei dati ottenuti tramite una procedura di estrazione chimica sequenziale il Pb, in particolare, sembra mostrare la più alta affinità per la componente organica di questi suoli, riflessa in un arricchimento superficiale dell'elemento. Una quantità non trascurabile di Cd (pari a 0,5 ppm), trovata in forma "facilmente estraibile", è ritenuta significativa in termini di biodisponibilità del metallo.

### **Premessa**

Negli ultimi anni un interesse sempre crescente è stato rivolto allo studio dei metalli pesanti nel suolo per la comprensione dei fattori che ne regolano il trasporto e la biodisponibilità.

La presenza di terreni contaminati e le problematiche connesse all'identificazione e al risanamento di questi hanno richiamato l'attenzione verso la necessità di una definizione dei tenori e del comportamento dei metalli pesanti nel sistema suolo. Quest'ultimo aspetto è fortemente influenzato dalla forma chimica con cui i metalli sono presenti nel terreno, ossia dalla loro speciazione: le caratteristiche chimico-fisiche specifiche dell'elemento ne determinano infatti la mobilità e la biodisponibilità molto più che il semplice contenuto totale.

Uno studio preliminare di tipo pedologico e geochimico-mineralogico è stato condotto su alcuni suoli forestali della Sicilia al fine di evidenziarne i contenuti di metalli pesanti e la loro speciazione, in relazione all'evoluzione pedologica del suolo.

### **Area di studio**

L'area di studio è rappresentata dal demanio forestale Ledera, sui monti Sicani, nella Sicilia centro-occidentale. Per la sua costituzione, che risale al finire degli anni '50, sono state utilizzate specie tipiche del Lauretum sottozona fredda, fascia entro cui, secondo la classificazione fitoclimatica del Pavari, si colloca il bosco Ledera. Fra le conifere maggiore impiego hanno avuto il *Pinus halepensis* Miller., il *Pinus pinea* L., il *Cupressus sem-*

---

*pervirens* L., il *Cupressus arizonica* Greene., il *Cedrus atlantica* Carr., il *Pinus nigra* Arnold.; fra le latifoglie, alle quote più elevate, sono state maggiormente utilizzate: *Fraxinus ornus* L. e, in subordinate, *Acer pseudoplatanus* L., *Celtis australis* L. e *Ulmus campestris* L.; alle quote più basse *Quercus pubescens* L. e *Quercus ilex* Willd. Attualmente il bosco si avvia a maturità con gran parte delle specie a suo tempo impiegate.

Il paesaggio, che si eleva dai 612 ai 1346 metri s.l.m., presenta gli aspetti tipici della montagna calcarea siciliana ed è caratterizzato da terreni di età compresa fra il Trias superiore e il Miocene che, in ordine cronostratigrafico, sono costituiti da: calcari con selce e calcari dolomitici; calcari marnosi (Scaglia); breccie e megabreccie; argille marnose.

I tipi pedologici individuati (Dazzi et al. 1996) afferiscono a cinque Ordini di suolo e la loro distribuzione è strettamente legata alla variabilità morfologica del paesaggio. Dove i versanti si presentano erti e quasi privi di vegetazione il suolo è molto superficiale e ai primi stadi di sviluppo (Entisuoli), mentre laddove la morfologia tende ad addolcirsi, sia pure di poco, e il bosco assume un livello di copertura medio-alto, sono presenti suoli con un grado di evoluzione maggiore che afferiscono all'Ordine degli Inceptisuoli. Parecchio diffusi sono pure i Mollisuoli, comuni nelle aree in cui la particolare copertura arborea nonché il contesto morfologico hanno favorito la formazione di un epipedon mollico. In alcune situazioni lito-morfologiche particolari, e comunque oasisticamente, si rinvennero suoli afferenti all'Ordine dei Vertisuoli e degli Alfisuoli.

Il clima, presenta una piovosità media di poco inferiore agli 800 mm distribuiti in 85 giorni piovosi e una temperatura media annua di 13,4°C.

### **Materiali e metodi**

Per gli scopi del presente lavoro, sono stati considerati due profili di suoli forestali, fra i più diffusi sulle litologie carbonatiche dei monti Sicani, afferenti entrambi all'ordine dei Mollisuoli e classificati come Typic Haploxeroll e Lithic Haploxeroll (Tabelle 1-2).

Su questi, oltre alla determinazione dei principali dati analitici di carattere pedologico (MiRAAF, 1994), è stata effettuata l'analisi mineralogica tramite diffrazione a raggi X (XRD) e l'analisi dei metalli pesanti per spettrofotometria in assorbimento atomico con fornetto a grafite, previa dissoluzione acida dei campioni in bombe di teflon con forno a microonde.

Tabella 1

## Descrizione e dati analitici del Typic Haploxeroll

**Descrizione della Stazione**

Designazione del punto: 33S UB 7234 6316. Quota: 950 m s.l.m. Morfologia: montagna (detrito di falda). Esposizione: sud-ovest. Pendenza: moderatamente ripido. Pietrosita': 50%. Rocciosita': molto roccioso (80%). Erosione: assente. Substrato: detrito di falda, calcare. Drenaggio esterno: poco drenato. Uso del suolo: bosco. Vegetazione: Pino d'Aleppo, Cipresso comune con presenza nel sottobosco di Ampelodesma, Pungitopo, Asparago e Leccio da rinnovazione naturale.

**Descrizione del Profilo**

- Orizzonte L: 0-8 cm. Lettieria costituita da rametti, strobili ed aghi di Pino, Ampelodesma, residui di conchiglie di lumache.
- Orizzonte F+H: 8-10 cm. Sostanza organica in avanzata fase di alterazione per azione fungina. Moder micogenico.
- Orizzonte A: 10-15 cm. Poco umido. Colore bruno scuro (7.5YR 3/2). Scheletro intorno al 20%, medio e minuto, spigoloso. Aggregazione grumosa, fine e molto fine. Consistenza allo stato umido friabile. Molto poroso. Attività radicale ed animale intensa. Effervescenza all'HCl assente. Drenaggio normale. Limite abrupto ad andamento lineare.
- Orizzonte Bw: 15-60 cm. Poco umido. Colore bruno (7.5YR 4/4). Scheletro intorno al 40%, grossolano, medio e minuto, spigoloso. Aggregazione poliedrica subangolare, fine e media, moderata. Consistenza allo stato umido friabile. Poco poroso. Attività radicale moderata. Effervescenza all'HCl assente. Drenaggio normale. Limite chiaro ad andamento lineare.
- Orizzonte B & R: 60-100 cm. Poco umido. Colore bruno (7.5YR 4/4). Scheletro intorno al 90%, fine, medio e grossolano, spigoloso. Aggregazione poliedrica angolare, fine e media, debole. Consistenza allo stato umido friabile. Poco poroso. Effervescenza all'HCl assente. Drenaggio tendenzialmente lento. Limite sconosciuto.
- Orizzonte R: detrito di falda, calcare di piattaforma.

**Dati analitici**

Orizzonte:	A	Bw	B&R
Limite superiore:	10	15	60
Limite inferiore:	15	60	100
Argilla %:	21	32	27
Limo%:	22	22	39
Sabbia%:	57	46	34
pH H <sub>2</sub> O:	7,2	7,8	7,8
C org. %:	3,2	2,8	1,8
S.O. %:	5,5	4,8	3,1
C.S.C. me%:	25	30	26

**Classifica: Typic Haploxeroll**

Tabella 2

## Descrizione e dati analitici del Lithic Haploxeroll

**Descrizione della Stazione**

Designazione del punto: 33S UB 7161 6345. Quota: 975 m s.l.m. Morfologia: di origine gravitativa, montagna. Esposizione: nord. Pendenza: ripido (40%). Pietrosita': eccessiva (30%). Rocciosita': roccioso (15%). Erosione: assente. Substrato: calcare dolomitico (detrito di falda). Drenaggio esterno: poco drenato. Uso del suolo: bosco. Vegetazione: bosco misto di Pino domestico, Cipresso e Roverella con presenza nel sottobosco di Leccio, Frassino. Abbondante strato muscinale.

**Descrizione del Profilo**

- Orizzonte L: 0-5 cm. Lettieria costituita da rametti, pinoli e aghi di Pino, foglie di Frassino e Quercia, galbule di Cipresso.
- Orizzonte F+H: 5-10 cm. Sostanza organica in avanzata fase di alterazione per azione di miceli fungini.
- Orizzonte A1: 10-35 cm. Poco umido. Colore bruno rossastro scuro (5YR 2/2). Scheletro intorno al 40%, grossolano, medio e minuto, spigoloso. Aggregazione grumosa, poliedrica subangolare, fine e media. Consistenza allo stato umido friabile. Poroso. Attività radicale ed animale molto intensa. Effervescenza all'HCl assente. Drenaggio normale. Limite graduale ad andamento lineare.
- Orizzonte A2: 35-50+ cm. Poco umido. Colore bruno rossastro scuro (7.5YR 2/2). Scheletro intorno al 60%, grossolano, medio e minuto, spigoloso. Aggregazione grumosa, poliedrica sub-angolare, fine e media, forte. Consistenza allo stato umido friabile. Poco poroso. Attività radicale ed animale poco intensa. Effervescenza all'HCl assente. Drenaggio normale. Limite sconosciuto.
- Orizzonte R: >50 cm. Calcare dolomitico.

**Dati analitici**

	A1	A2
Orizzonte	A1	A2
Lilite superiore	10	35
Limite inferiore	35	50+
Argilla %	16	25
Limo %	23	34
Sabbia %	61	41
pH H2O	7,7	7,5
C org. %	3,1	3,0
S.O. %	5,2	5,2
C.S.C. me%	38	32

**Classifica: Lithic Haploxeroll**

Gli orizzonti A e B&R del Typic Haploxeroll sono stati sottoposti ad una procedura di estrazione chimica sequenziale (SEP) seguendo il metodo descritto in Ure et al. (1993). Le diverse frazioni ottenute sono state analizzate tramite ICP-AES. Nonostante alcune limitazioni, la procedura SEP risulta un metodo efficace per stabilire le ripartizioni dei metalli pesanti nel suolo e le loro associazioni (Tabella 3), soprattutto se la procedura viene associata alla conoscenza delle componenti pedologiche e mineralogiche. Oltre a dare un'idea sulle affinità metallo-componenti del suolo, la SEP può fornire utili indicazioni sulla reattività chimica di un elemento in relazione ai cambiamenti di pH ed Eh e all'aumento della concentrazione dei complessanti organici, variazioni che risultano assai frequenti in ambiente di suolo e nella rizosfera.

Tabella 3

Procedura di estrazione chimica sequenziale secondo Ure et al. (1993)

REAGENTI	FRAZIONI ESTRATTE	PROBABILI COMPONENTI
(DEFINIZIONE OPERATIVA) ESTRATTE		
Step 1 0.11 M OAc	Facilmente estraibile	Fasi scambiabili e carbonati
Step 2 0.11 M NH <sub>2</sub> OH HCl (pH 2)	Riducibile	Ossidi di ferro e manganese
Step 3 Attacco H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> +NH <sub>4</sub> OAc	Ossidabile	Sostanza organica e solfuri
Step 4 HF/HNO <sub>3</sub>	Residuale	Minerali silicatici

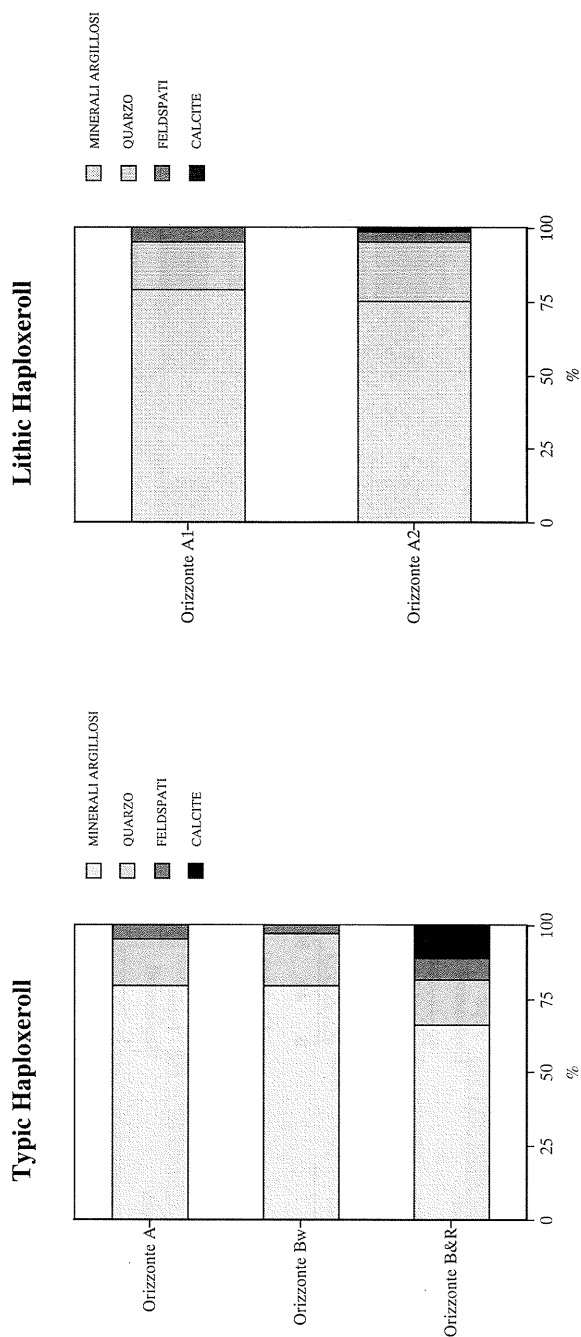
## Risultati

La suite di minerali argillosi è caratterizzata dalla presenza di strati misti smectite/clorite, illite e caolinite, cui si associano minori quantità di quarzo e feldspati. La calcite è presente solo negli orizzonti B&R e A2, rispettivamente, del Typic Haploxeroll e del Lithic Haploxeroll (Figura 1). La goethite è presente come fase predominante tra gli ossidi-idrossidi di ferro.

Le concentrazioni di metalli pesanti, medie dei due profili, sono: Cd 1,8 ppm, Cr 70 ppm, Cu 42 ppm, Mn 1497 ppm, Ni 62 ppm, Pb 30 ppm e Zn 146 ppm. Tali valori rientrano nel range delle concentrazioni dei suoli italiani riportato da Bini et al. (1988). In relazione a questi dati il Cd risulta con concentrazioni relativamente più elevate.

Il contenuto di metalli pesanti non mostra differenziazioni lungo i profili (Figura 2) in accordo con una moderata evoluzione degli stessi.

**Figura 1**  
 Composizione mineralogica del Typic Haploxeroll e del Lithic Haploxeroll



Fa eccezione un arricchimento di Pb nell'orizzonte A del Typic Haploxeroll. L'elemento, che raggiunge in superficie circa i 40 ppm, si accumula frequentemente nella parte alta dei profili di suolo, sia per la scarsa mobilità

Figura 2

Distribuzione di Cd, Cr, Cu, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mn, Ni, Pb e Zn nel Typic Haploxeroll e nel Lithic Haploxeroll

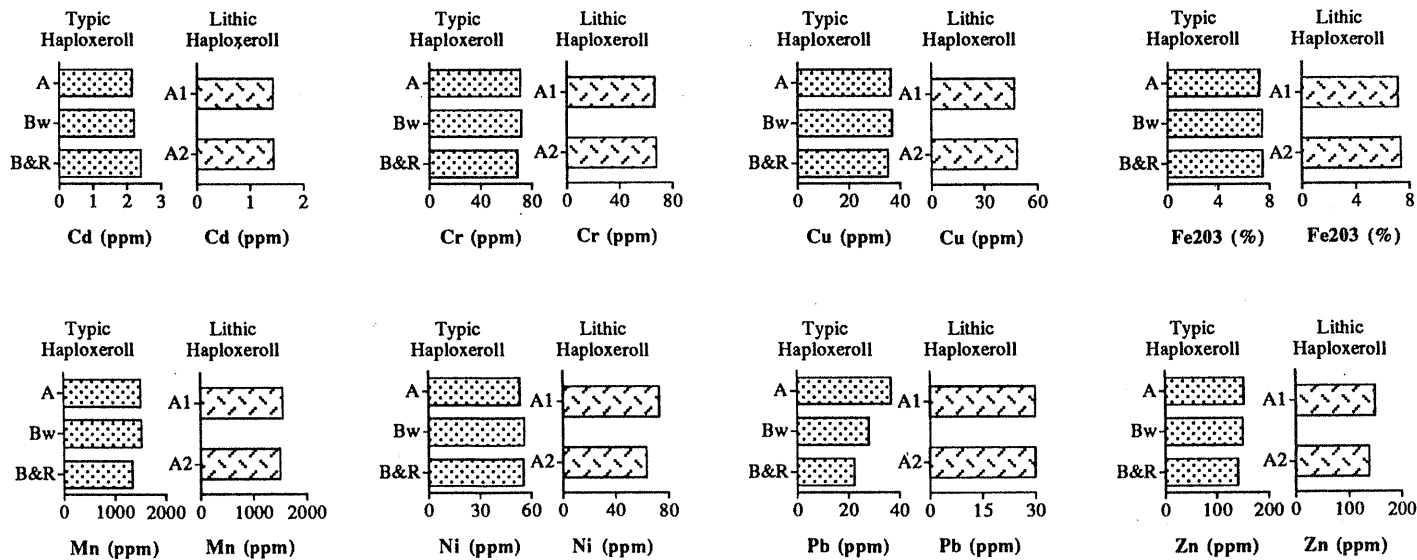
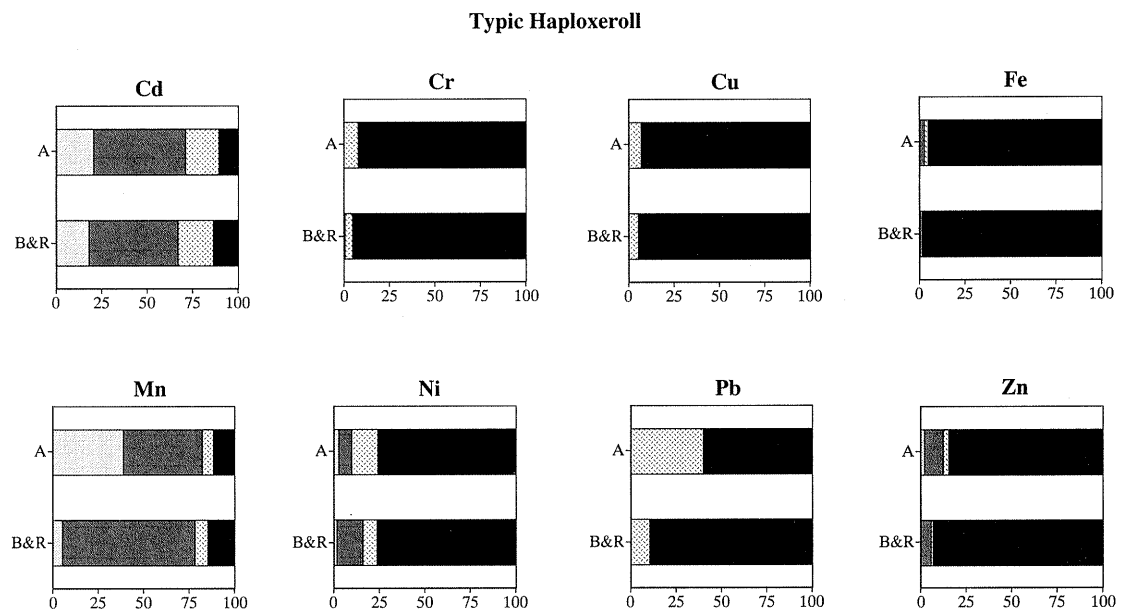


Figura 3 Distribuzione di Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn nelle frazioni estratte secondo la procedura di Ure et al. (1993) nel Typic Haploxeroll e nel Lithic Haploxeroll



□ Frazione "facilmente estraibile" (%) ■ Frazione "riducibile" (%) ▨ Frazione "ossidabile" (%) ■ Frazione "residuale" (%)



(nell'eventualità di un input esterno) sia per la capacità di legarsi alla sostanza organica (Alloway, 1990).

Alla luce dei dati ottenuti tramite la procedura di estrazione chimica sequenziale (Figura 3) è possibile evidenziare un ruolo importante della sostanza organica nella distribuzione di certi elementi attraverso il profilo, con una maggiore ripartizione in forme verosimilmente connesse alla formazione di complessi humus-metallo (frazione "ossidabile") nell'orizzonte mollico di superficie.

Una quantità non trascurabile di Cd (pari a 0,5 ppm) è trovata in forma "facilmente estraibile". Tale tenore è rilevante considerando che a tale frazione spesso corrisponde il contenuto biodisponibile di un elemento.

Oltre il 50% dei contenuti totali di Cd e di Mn sono inoltre presenti nelle prime due frazioni estratte sequenzialmente, rispettivamente la frazione "facilmente estraibile" e quella "riducibile". Queste rappresentano le forme a più alta "susceptività" chimica dell'elemento, in quanto la loro stabilità risulta funzione rispettivamente del pH e dell'Eh, parametri soggetti spesso a variazioni periodiche in ambito pedologico.

### **Conclusioni**

Lo studio condotto su alcuni profili afferenti all'ordine dei Molisuoli ha permesso di definire le concentrazioni naturali di metalli pesanti nei loro diversi orizzonti in relazione all'evoluzione pedologica. Tali valori risultano di gran lunga arricchiti rispetto a quelli delle sottostanti rocce carbonatiche così come altrove trovato da Bini et al. (1984; 1986). I processi pedogenici che portano alla brunificazione del profilo e alla sua decarbonatazione si ritengono significativi nel determinare le concentrazioni misurate. A questi fattori viene inoltre associato il ruolo importante della componente organica del suolo nella ritenzione dei metalli; il Pb, in particolare, appare legato in modo significativo alla sostanza organica presente con contenuti più che discreti (rispettivamente, il 5,5% nel Typic Haploxeroll e il 5,2% nel Lithic Haploxeroll) nell'orizzonte di superficie di tipo mollico.

Data l'elevata tossicità del Cd, appare meritevole di un approfondimento la sua forte affinità verso forme geochimicamente assai mobili, ciò anche in relazione alla notevole variabilità nel suolo dei parametri da cui dipende la stabilità delle forme stesse.

I dati ottenuti sollevano la questione sull'utilizzazione di criteri

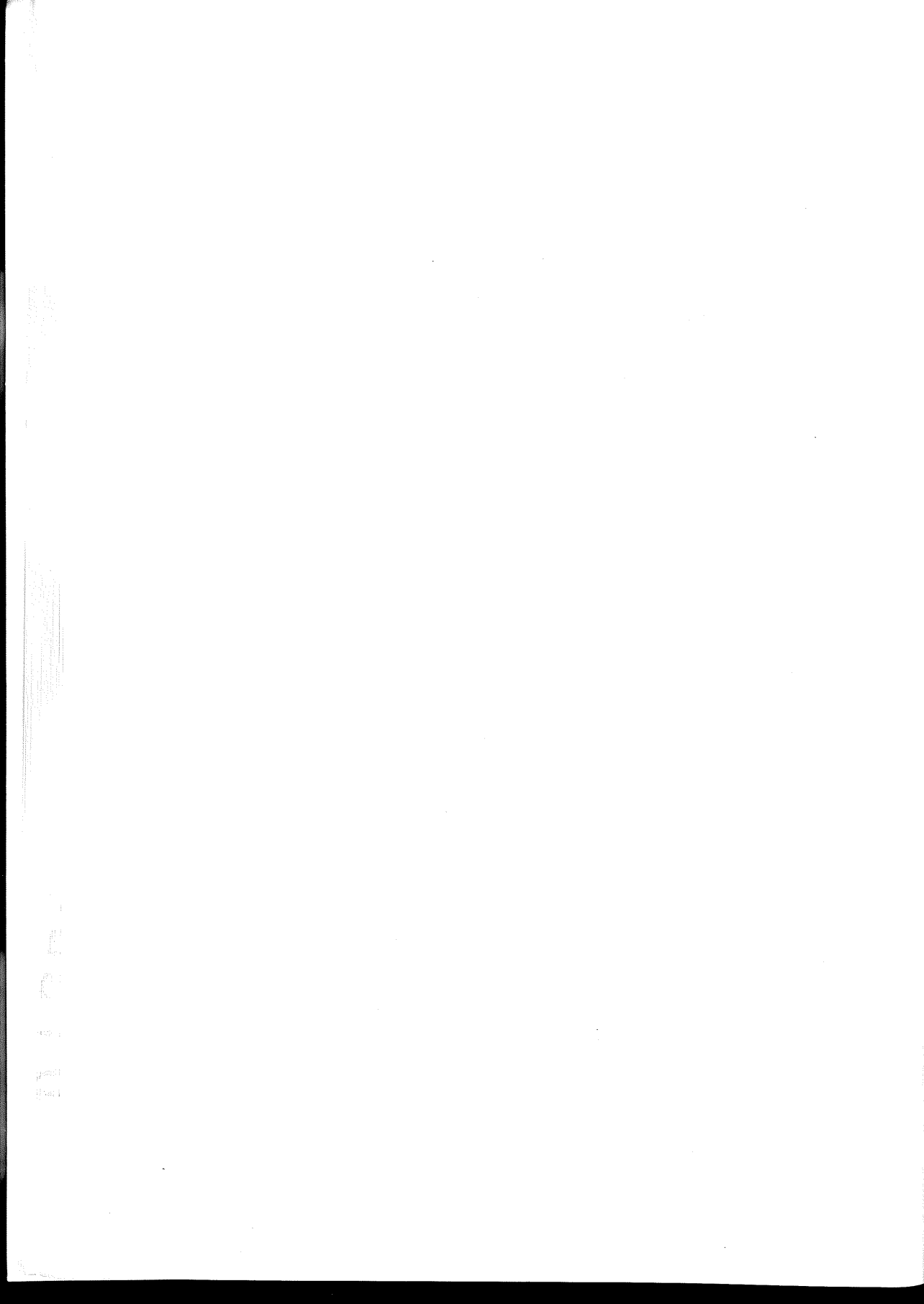
numerici standard o valori guida generici per la valutazione della qualità dei suoli e sull'importanza di conoscere i tenori di background dei metalli pesanti. Infatti, secondo i vigenti criteri numerici, nei Paesi in cui esiste una normativa al riguardo, la maggior parte dei campioni in esame risulterebbe "contaminata" in Cd (criterio di qualità: per il Cd di 0.5 ppm in Canada; 0.6 ppm in Germania; 0.8 ppm in Olanda; Visser, 1995). La presenza di tenori di fondo variabili da luogo a luogo rende dunque necessario disporre di criteri di valutazione idonei a distinguere suoli contaminati da terreni "naturalmente" ricchi di una data sostanza.

### **Ringraziamenti**

Desideriamo esprimere la nostra gratitudine al Dr. Marcello Lupo per la collaborazione. La ricerca è stata sostenuta con fondi C.N.R. (N.95.00294.CT05 e N.95.03394.CT06).

### **Bibliografia**

- ALLOWAY, B.J. (1990) Heavy metals in soils. Blackie and Son. Glasgow.
- BINI, C., FERRETTI, O., GHIARA, E., GRAGNANI, R. (1984) Distribuzione e circolazione degli elementi in traccia nei suoli. Suoli della Puglia. Rend. SIMP, 39 (1), 281-296.
- BINI, C., FERRETTI, O., ORLANDI, C., TORCINI, S. (1986) Distribuzione e circolazione degli elementi in traccia nei suoli. Una sequenza altimetrica di suoli su rocce carbonatiche del M.te Terminillo (Rieti). Rend. SIMP, 41 (2), 297-309.
- BINI, C., DALL'AGLIO, M., FERRETTI, O., GRAGNANI, R. (1988) Background levels of microelements in soils of Italy. Environ. Geoch. Health, 10 (2), 63-69.
- DAZZI C., DI PISA A., LA MELA VECA D., VACANTE G. (1996) Caratteristiche e distribuzione dei suoli forestali del bosco ledera sui monti Sicani (Sicilia occidentale). Atti del Convegno Nazionale SISS "Contributi della Scienza del Suolo allo Studio e alla Difesa dei Territori montani e collinari". Milano.
- MiRAAF (1994) Metodi Ufficiali di Analisi dei Suoli. Roma.
- URE, A.M., QUEVAUVILLER, PH., MUNTAU, H.E., GRIEPINK, B. (1993) Speciation of heavy metals in soils and sediments, an account of the improvement and harmonization of extraction techniques undertaken under the auspices of the BCR of the Commission of the European Communities. *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 51, 135-151.
- VISSER, W.J.F. (1995) Il criterio della concentrazione limite: approcci internazionali a confronto. In: Siti contaminati. C.I.P.A. ed., 105-139.



## *HOLISTIC APPROACH TO HIERARCHICAL MODELLING IN SOIL LANDSCAPE ANALYSIS*

Ermanno Busoni

Landscape ecology appears as one of the most capable discipline treating with the analysis of man-soil-landscape interrelationships and by which we can try to understand and model spatial-temporal changes of soil ecological trends and their distribution pattern. The holistic approach enables the researcher to distinguish different focus levels, each answering to a problem to be solved, which is to be considered the main driving force in landscape ecology interpretations. First the "Holon" (Koestler, 1969) concept has to be defined: it is a "whole" made out of smaller parts and, at the same time, a part of some greater whole. This double nature pushes the holon in its nature to control and keep together its own parts and at the same time to support its higher level on which it depends for control. The hierarchical control is kept by constraints imposed to the lower levels and can be seen as sills, boundary conditions, limits, expression of functionalities. The holon, being a part of a larger whole, enable us to see it in a "hierarchical scale" made up by different spatio-temporal levels, each being composed by different holons. These concepts take to the superior concept of Hierarchy as a theory and mean of system analysis.

Landscape ecology (Forman and Godron, 1986; Naveh and Lieberman, 1994) is well known in its elements: matrix, patches and corridors, each with mutual interrelationships and its own heterogeneity and functions. Scale (spatial and/or temporal) can be used to distinguish different levels in the landscape ecological hierarchical analysis.

Soil distribution in the landscape (soilscape) has the same elements of the landscape: pattern, soil types, interrelationships between soils, each with its own heterogeneity and functions. Scale is, in this case too, essential to distinguish between different levels of analysis. The holistic unit, in this case, can be called ecotope. The ecotope functions can be regarded as soilscape

---

functionality, that is as the expression of interrelated functions (physical, chemical, biological) in time and space. Their areal distribution can be said soil functional unit (SFU) whose use can be substituted to soil series (Busoni, 1995).

Soil functions can be modelled, as many mechanical and dynamical processes in soil are well known. Spatial and temporal scale are yet to be analysed in detail, as well as the transfer ability of several now applied tools (geostatistics, temporal analysis, clustering and so on). The holon concept accepted, then from it derives that these analysis require different models for every different level. This means that only a limited information can be transferred from the lower level, with greater detail, to the higher; and in this case great attention must be paid in inferring heterogeneity to the upper level. In the opposite case the roughness of data can mislead information to the lower level. From the higher level only constraints to the lower can be considered. Pedotransfer functions (PTF) are being used widely; their ability are strictly linked to their origin, that is the model on which they were built up. This fact constrains the user to apply them only in similar models, that is only on similar hierarchical levels. There are no pedotransfer functions able to transfer information between different levels. PTF are to be seen as intimately linked to ecotope functions.

On these basis, according to problem we face, landscape and soil sustainability, global changes, biodiversity conservation, etc. are all problems we are to solve on a multilevel approach, as they can be seen and analysed at different scale levels, always taking into account the constraints imposed by the inter-level relationships.

The author ends showing the path of how the holistic approach can be applied in soil pollution prevention and risk evaluation, and how at different scale (level) the problem requires different models of analysis.

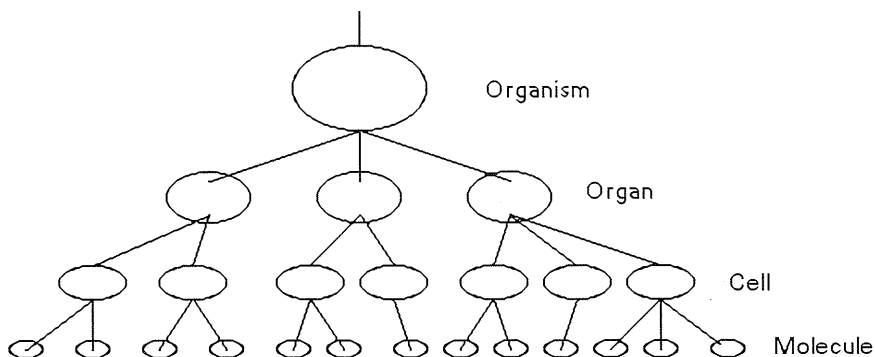
## **Introduction**

### **Holarchy and Holon**

For a better understanding of the reasoning to come, it is important to give some definitions of the concepts that will be used in this paper.

Holarchy (or Holoarchy) means a hierarchically organized structure of various types of issues, beings, entities, etc. Holarchy is a word coined as a combination between the Greek word 'holos' meaning whole and the word 'hierarchy'. Here is an example of a Holarchy, taken from biology:

---



It is a structure of units or entities called Holons. Each Holon could be regarded as either a whole or as a part depending on how one looks at it. A Holon will look as a whole to those parts beneath it in the hierarchy, but it will look as a part to the wholes above it.

This dualism is a key concept in this universe. Just about anything you would choose to study could be regarded as either an independent whole or as a part of something bigger. The higher we go in the holarchy the more freedom and the more overall range of activity can be observed.

A Holon is a node in a Holarchy

Each holon can not be fully explained by or predicted by a study of its parts.

Def.: "Holon": it is a "whole" made out of smaller parts and, at the same time, a part of some greater whole. This double nature pushes the holon in its nature to control and keep together its own parts and at the same time to support its higher level on which it depends on for control.

The hierarchical control is kept by constrains imposed to the lower levels and can be seen as sills, boundary conditions, limits, expression of functionalities.

The holon, being a part of a larger whole, anable us to see it in a hierarchical scale made up by different spatio-temporal levels, each being composed by different holons. These concepts take to the superior concept of Hierarchy as a theory and mean of system analysis.

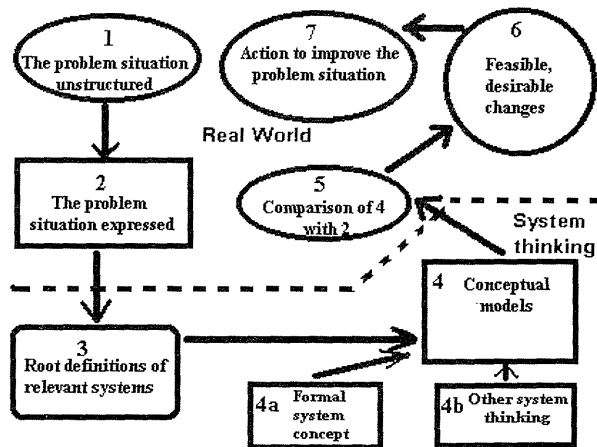
### Facing a problem

Whenever someone faces a problem, he has to see it as a system, no matter how complex it is. At his disposal, there are several instruments: fancy, reason, knowledge, base data, etc.: everyone of us can add many other ones! In every case, he has to get the larger picture as possible of the problem and create a model fitting his own aims: the problem resolution. System and model are the main, angular stones, basis of reasoning: in the following Fig 1 there is an example approach of the virtuous circle, a thinkable approach, to the problem solution.

At point 3 one has to define the root of relevant system, that is all those definitions that may be able to recognize, to contour, to deal with the system (the problem). At this stage one has also to define the level at which the problem has to be solved, its state factors, its functions, its characteristics, its constrains, at the chosen level. At point 4, using either point 4a or 4b, one has to conceptualize the chosen model, or models. The comparison between the problem situation expressed and the model makes it possible to structure the feasible, desirable changes (point 6) from which the action to improve or to solve the problem situation derives.

Figure 1

Example of thinkable approach to the solution of a problem. Passes from the "real world" to the "system thinking", and viceversa, are expressed by the arrows linking the numbers.



The passage from the real world to the system thinking is natural for the humankind: different approaches derive from different cultural structures of the thinking.

When one sees the problem and acknowledges its linkages to, or that it is immersed into, a greater one, then he approaches and uses the hierarchical system thinking. As one can see from Fig. 1 the system thinking approach can be considered as a holistic one. The holistic approach enables the researcher to distinguish different focus levels, each answering to a problem to be solved, which is to be considered the main driving force in landscape ecology interpretations.

### **Landscape Ecology**

The holistic approach can be used in the landscape ecological analysis. Landscape ecology evolved in central Europe as a result of the holistic approach adopted by geographers, ecologists, landscape planners, designers, and managers in their attempt to bridge the gap between natural, agricultural, human and urban systems. The discipline of landscape ecology is not merely a spatial ramification of population, community and ecosystem ecology for the study of the ecology of landscapes, but also an innovative, dynamic and integrative field of environmental study and action in its own right, dealing with landscapes as tangible ordered wholes of natural and human systems at different scales and dimensions.

According to R.T.T. Forman e M. Godron (1986) landscape ecology is the "study of the structure, function, and change in a heterogeneous land area comprised of interacting ecosystem types, and the application and use of these principles to formulate and solve problems". Hence the concepts of structure, function, and change are integral to the study of landscape ecology.

Z. Naveh and A. Lieberman (1994) state: "Landscape ecology is a young branch of modern ecology that deals with the interrelationship between man and his landscapes (open and built-up system).

Landscape ecology is a relatively new scientific discipline which merges tenets from geography and ecology. Rather than treating humans as distinct from an ecosystem, it examines how humans can interact with the environment to build a sustainable future. Whereas the ecology of the "past" was concerned with individuals, populations, communities, or ecosystems, landscape ecology goes beyond the study of the ecosystem to the unit

---

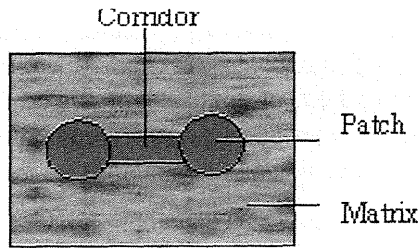


of landscapes. A birds-eye view of nearly any landscape will show what an integral part of the landscape humans have become, and hence landscape ecology treats humans as an integral part of the system.

Some highlights on the discipline must be presented in order to understand how the holistic approach can be applied to its intrinsic nature.

### Components of the Landscape

If one seeks to discover the mechanisms of function and change on a landscape scale, he must first delineate and define the components of landscape structure. Describing the components of landscape structure is an integral part of landscape ecology. Patches, corridors, and matrix (background) comprise the three major components of landscape structure. The principles that emerge from them, explain and illustrate the different configurations of those components (heterogeneity). Boundaries (ecotones) between landscape elements play an important role in landscape structure.



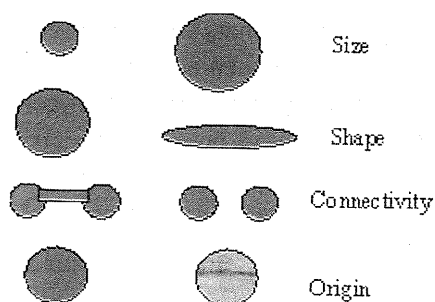
Landscape Componentets

### Patches

Patches are nonlinear geographic areas that can be differentiated from the "background" matrix. Patches are essential components of landscape structure, and their characteristics play a large role in determining landscape functions. Patches differ in size, shape, origin, connectivity, and boundary characteristics. Patch characteristics play an important role in determining the flow of energy, organisms, and abiotic factors throughout the landscape. Structure influences patch function. Edges (boundaries) usually differ in structural characteristics from the patch interior due to environmental factors. Increasing the juxtaposition of various patches on the land-

scape (i.e. heterogeneity) increases the potential for species coexistence (both edge and interior species).

The influence of structure on function involves patch shape. The shape of a patch may determine the ability of interior species to persist within them. Interior species often need a minimum area of interior habitat to persist within a patch. Thus, patches with a low interior to edge ratio may not be sufficient for interior species. This concept has important implications for nature preservation designs and activities.



Patch Characteristics

### Corridors

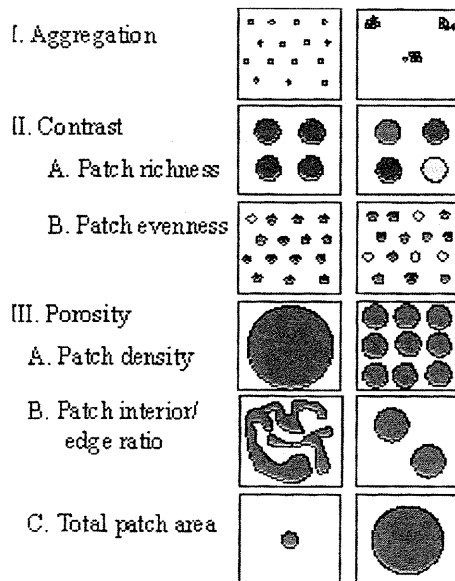
Corridors are elongated landscape “patches” that connect other patches together. Three types of corridors can be defined, line, strip, and stream. Line and strip corridors differ primarily in width, the latter being widest. Stream corridors vary in width, but by definition border a watercourse. As human activities continue to fragment natural landscapes, corridors may play an increasingly important role in the preservation of biotic diversity.

### Matrix

Patches and corridors are embedded in a matrix, which is usually the most extensive and connected landscape element (ecotopes) present. The matrix typically plays the dominant role in the functioning of the landscape. Although the definition of matrix appears straightforward, determining what is the matrix in a landscape is often complicated. For example, the most extensive landscape element does not necessarily play the dominant role in landscape function.

## Landscape Heterogeneity

The configuration of patches, corridors, and matrix determines landscape heterogeneity. If we consider corridors a type of patch, heterogeneity is, in this case, the spatial variation in the distribution and abundance of patches on the landscape. This variation can occur in a number of ways. Varying aggregation, contrast, and porosity changes the heterogeneity of the landscape. Aggregation is the degree to which patches are clumped together. Contrast may be defined as diversity of patches; thus, contrast consists of both patch richness (number of patches) and evenness (lack of dominance of one patch type). Contrast has also been used to describe the degree of difference between ecosystem types (eg. difference between grassland versus forest). Porosity is the third element of heterogeneity. It is comprised of three components, patch density (number of patches per unit area), patch interior/edge ratio, and total patch area (in a given total area of landscape).



Components of Heterogeneity

Measures of heterogeneity must consider both the vertical structure of landscapes (chorology) and the horizontal structure (topology) of the landscape. The degree of landscape heterogeneity plays a crucial role in determining the biotic and abiotic functions of landscapes.

### Structure and Function

Structure and function are inextricably linked in nature. In landscapes high patch convolution results in a high amount of surface area for the potential exchange of species, energy, and materials. Patch convolution in natural landscapes are the result of underlying geomorphological patterns, structure begetting and affecting function.

### Nutrient Redistribution

Nutrients flow between landscape elements via biotic or abiotic vectors. Disturbance is a vector which has a major impact on the rate of nutrient redistribution.

Mineral nutrients are typically found within the soil in terrestrial landscapes, but can be dissolved in the hydric system. In a normal "state of affairs", nutrients should stay within a landscape element via an ecosystem's regulatory mechanisms (Forman and Godron 1986). Yet if a landslide or a flood occurs, the nutrients are moved by the force of gravity to new areas, and often to new landscape elements. As disturbance intensity increases, there is a greater likelihood that nutrients will be moved to new landscape elements. The nutrient redistribution principle represents a specific example of how processes (function) affect landscape patterns (structure).

### Energy Flow

As patch convolution increases, the perimeter-to-interior ratio increases, creating more surface area for the flows of species, energy, and materials. Consequently, flows of energy and biomass across boundaries separating the patches, corridors, and matrix of a landscape increase with increasing landscape heterogeneity.

### Scale

One of the most striking phenomena in landscape ecology is the emergence of new properties at different spatial and temporal scales. Scale

---

principle states: "Different patterns and processes emerge at different spatial and temporal scales".

Landscapes can be described hierarchically, with different domains of scale having characteristic patterns and processes. High levels in the hierarchy are characterized by low resolution, external control, long-term stability, and long temporal scales, whereas low levels are typified by intrinsic control, high resolution, short temporal scales, and measurement replicability (Allen and Starr, 1982; Wiens, 1989; Haber, 1990).

Climate is an example of a top hierarchical process, and climate-controlled vegetational zones could be considered a top-level pattern. In general, climate is stable and predictable for given geographical region. There are only a few biomes, and only one biosphere in which to measure climate, and thus the potential for replicability is low. Changes in climate do occur, but over relatively long time periods. On the other hand, decomposition could be considered a bottom domain process. Decomposition is intrinsically controlled because the relative abundance of organic matter and detritivores depends on population dynamics, or rates of birth and death of organisms within a given community. These changes occur on a fairly short temporal scale, at least compared to climate or other top-level processes. Replicability, in this case, is high because decomposition can be measured repeatedly in the same place and in many different ecosystems.

Middle hierarchical levels have characteristics somewhere in between the top and bottom domains. Because of differences in the domains of scale, it is essential that researchers address scale in their studies.

### Human Influence

Landscape ecology accepts humans as an intrinsic part of ecological systems: humans inevitably change landscapes as their influence increases. Moderate human influence usually increases heterogeneity, while human-dominated landscapes usually have reduced heterogeneity compared to the same landscapes before intense human influence.

Natural landscapes are typically characterized by gradients rather than sharp boundaries. As humans become more dominant in a region, habitat fragmentation increases the amount of edge, and the number of different patch types. Human edges are often linear and abrupt, a concept known as geometri-zation. Subsistence agriculture is an example of moderate human influence that could increase a landscape's heterogeneity. If forest patches are interspersed

---

with small agricultural fields, habitations, and roads, heterogeneity has increased. However, if humans continue to develop this area, heterogeneity may again be reduced as the area becomes a homogeneous urban landscape.

In Landscape Ecology the conceptual and operative base unit is given by the Ecotope.

### **The Concept of Ecotope**

An ecotope is a patch that we can definitively delineate from its surroundings. Ecotopes are the fundamental unit of study in landscape ecology, primarily because they can be defined, categorized, mapped, and studied.

Why study ecotopes rather than ecosystems? Ecosystems are inherently vague with regard to boundaries. An ecosystem consists of all the biotic and abiotic factors in a given area, and all the interactions among them. Thus an ecosystem has no location, other than an arbitrary one assigned by the researcher. Bounding an ecotope does not imply that exchanges do not occur between the patch and its exterior environment. The potentiality for mapping ecotopes is a great advantage of studying them: this enables scientists to use tools such as geographic information systems (GIS) as a tool for land use planning and to enhance our understanding of geological and ecological system dynamics.

Thus, by delineating ecotopes within the landscape, we create conditions ideal for further study of landscape function and change.

Several ways to classify ecotopes may be adopted. Classifying ecotopes according to visual boundaries is perhaps the easiest way. Visual classification is inherently based on a human perspective. However, visual delineation can be very useful for studies of geology, geography, and landscape architecture.

A second classification scheme involves defining ecotopes based on abiotic factors of the landscape, such as hydrologic patterns, and distributed models of soilscape. Often these coincide with vegetation or other structural landscape patterns.

Finally, one can delineate ecotopes based on the question of interest. In this case, one should employ the method which best answers the question, whether visual, abiotic, or organism based. In reality, this method should be employed in all cases, since it allows for each of the other methods. Once we have delineated ecotopes based on the question of interest, we can then study their characteristics.

---

### **The Importance of Scale**

The delineation of ecotopes depends on the scale at which we view the landscape. Scale, in this context, means the degree of resolution perceived. Ecotopes delineations and characteristics (heterogeneity, functions, etc.) change as scale changes. What can be considered a single ecotope at a lower detail level (small scale), can be seen as subdivided into several different more precisely defined ecotopes when a larger scale is adopted (greater detail level).

The ecotope subdivision and classification are visual ones, although based on assumptions matching the problem. Altering the scale affects the patterns and processes we can detect. From an airplane, we classify ecotopes according to visual clues. This scale-dependency of phenomena has crucial implications: if we fail to see a pattern or process, yet are studying it at the wrong scale, we may misinterpret our results.

The incapacity to read a structural model of the landscape, or the study of a process at an inadequate scale leads to the misunderstanding of the reality with a misleading interpretation of its characteristics and processes defining its functions. That is why, to answer to the problems, one has firstly to define ecotopes at the chosen scale then to analyze their structure and functions by using interpretative, adequate to the scale, models. The utility of ecotopes is great, due to their tangibility. Delineating ecotope boundaries based on non-arbitrary criteria provides a consistent way to study function and change of landscapes.

In conclusion, ecotopes exist at a variety of spatial scales on the landscape.

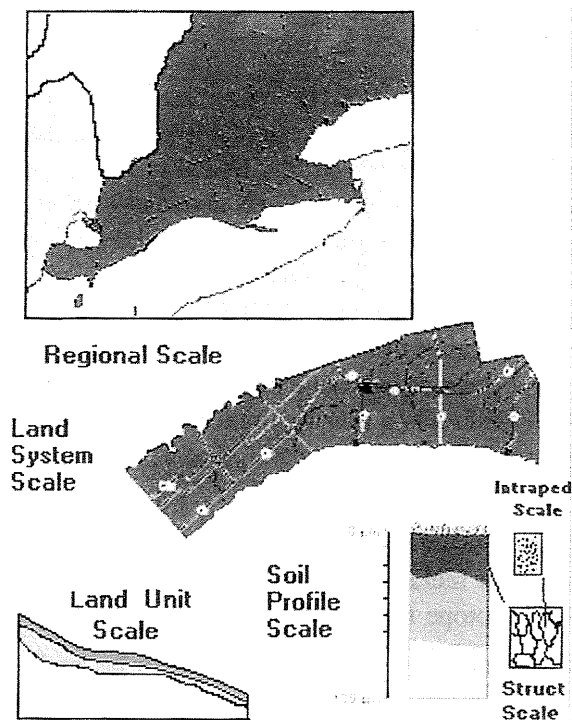
### **Soil distribution in the landscape (soilscape)**

When one analyses the soil distribution in a landscape finds that it presents, and can be found to have, the same elements of the landscape:

- pattern,
  - soil types,
  - interrelationships between soils, each with its own heterogeneity and functions.
-

Figure 2

Different levels on scale basis (holistic unit).



Scale is, in this case too, essential to distinguish between different levels of analysis. Fig 2 gives an example of how some different levels (degree of detail) can be found on scale basis.

If we refer to the soil types interrelationships, then the holistic unit can be called ecotope, given the intimate parallelism between landscape and soil distribution pattern and function.

### The soilscape functions

Soilscape functionality, can be regarded as the expression of interrelated soil functions (physical, chemical, biological) in time and space in a given ecotope.



Its recognized areal distribution can be said soil functional unit (SFU) whose use can be substituted to that of the soil Series (Busoni, 1995); its position in a holarchy defines a holon. The holon functions are expressed by the Soil functions that can be modelled, as many mechanical and dynamical processes in soil are well known.

Pedotransfer functions (PTF) are functions, models, linking and interrelating simple soil characteristics to the functions of soils. They are widely being used; their ability are strictly linked to their origin, that is to the model on which they were built up. Fig 3 gives an idea of how at different levels, one can face several combinations of models. The plane of the *i*-level may be subdivided into domains: Functional-Mechanicistic and Qualitative-Quantitative; each domain has its own PTF that only on the axis can be applied. As the model leaves the axis, it loses some of the characteristics of its origine axis and gains some characteristic of the nearby one. This means that the original PTF loses a certain amount of information, becoming a spurious model, not gaining operativity.

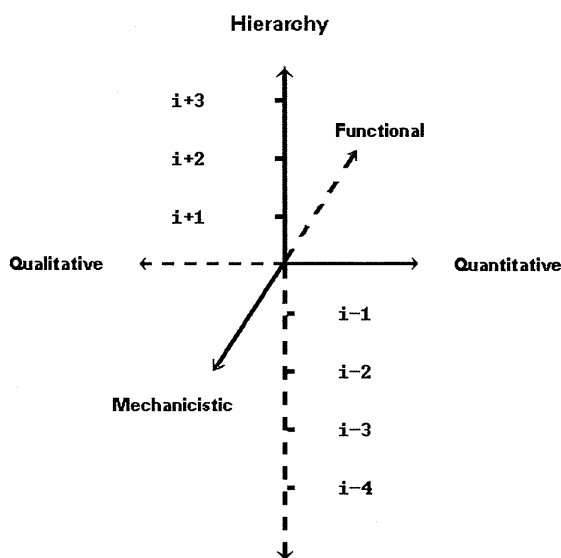
There are no PTF able to transfer information between different *i*- levels. This fact constrains the user to apply them only in similar models, that is only on similar hierarchical levels and axis. PTF are to be seen as intimately linked to ecotope functions.

Spatial and temporal scale are yet to be analysed in detail, as well as the transfer ability of several now applied tools (geostatistics, temporal analysis, clustering and so on).

The holon concept accepted, then from it derives that these analysis require different models for every different *i*- level. This means that only limited information can be transferred from the lower level, with greater detail, to the higher; and in this case great attention must be paid in inferring heterogeneity to the upper level. In the opposite case the roughness of data can mislead information to the lower lever. From the higher level only constraints to the lower one can be considered.

Figure 3

## Hierarchical model classification.

**An example of the holistic approach to a problem**

Soil and water pollution are at present considered as two of the main problems human has to face and to solve in most of the countries in order to preserve and rehabilitate the environment. The two problems are strictly linked. Soil pollution influences water and vice versa.

The problem can be approached at several levels. To be short, in this context, only three well recognizable levels will be delt with,; the regional, the local and the site one. At each of the said levels the problem presents different characteristics that can be considered and that impose different base choices of management.

At the regional level the magnitude of the problem can be recognized; means and costs of interventions foreseen and frame rules approved. This means that only a general frame is depitched. No specific enterprise is put forwards, only a strategy is defined. The task pertains to governments or national agencies.

At the local level the regional strategy begins to be fitted to the specific local expression of the characteristics of the problem. Environmental analysis are carried on to delineate different landscapes and their exposition to pollutants. Relationships between landscapes are analysed. Pollution sources and effects are recognized and their typology described to distinguish how and to what extent the landscapes are subjected to pollution. Information details are still low, but enabling a first very simple model for matching the problem. At this level the environment can be analysed to obtain information on geological, hydrological, climatic, pedological, vegetational characteristics and different land managements. A statistical analysis of pollutants use and misuse can be carried on. The task pertains to regional governments and agencies with supports given by research centres, universities, extensionists, farmer organizations, industries, etc. all working on the item in the frames of regional and local rules.

At the site level every information used at the local level must be extremely detailed in order to allow the choice of correct and finalized means of intervention. The task mainly pertains to the farmer under the supervision of extensionists who can suggest the best management practices (BMP), on case basis.

If we consider the presented system, we can recognize a holarchy, holons being at every level given by each operating staff, rules and every environmental characteristics. Throught the holarchy, constrains are given by frame rules and environmental vision of the problem, so that the higher level controls the lower ones.

If we consider the soils and waters and their relationships with pollutants, at the regional level we can only have a broad description of the soils and waters types distribution patterns, their pollution level and the main characteristics of present pollutants (chemical active substance family). At the local level, soils and waters are considered in their ecological systems; soils, waters and pollutants characteristics and ecological functions in the landscape systems are to be searched for. If possible ecotopes are to be delineated on problem basis. Soilscape functional units are to be found at the site level. Used pollutants characteristics knowledge is important at this level. On this basis only, one can face the problem. At the site level, pollution quality and quantity levels and soil water, climate and management interrelationships should be considered. The SFU should be analysed on soil distribution pattern in relation with the surface and subsurface hydrology, geomorphological dynamics of the site and cultural system. Soil physical, hydraulic chemical, microbiological characteristics together with used pollutants characteristics (solubility, persistence, adsorbibility, degradation meta-

bolites, etc.), quantity per unit area and means and time schedule of application, management practices are to be known. The adoption of BMP implies also the monitoring of microclimate expressions. Extensionists should give the farmers scenarios of site rehabilitation based on the opportunity of matching the market with technical, fiscal and financial aids.

As we have seen the given problem can be matched taking into account a hierarchical holistic approach. By using the definition at every level of the characteristics of the system, landscape ecology can help supporting policy makers, stakeholders, industrial firms, researchers, advisors, extensionists and farmers with reference rehabilitation models to be followed. Constraints from the higher to the lower levels can be recognised on landscape ecological basis and frame rules of intervention at every level be adopted. The overall land rehabilitation is constructed by a bottom-up type process, starting with the adoption of best management practices at the lower level.

### **Conclusions**

On holarchical basis, as exposed, accordingly with the problem we face, landscape and soil sustainability, global changes, biodiversity conservation, etc. are all problems we are to solve on a multilevel approach, as they can be seen and analysed at different scale levels, always taking into account the constraints imposed by the inter-level relationships. This approach implies that most of our models, through system thinking, are to be changed and their applicability defined. Different acting is expected. A long way of study, experimentation, verification is still in front of everyone engaged in rehabilitating and developing a better world to be left as heritage to our to come generations. This is a huge and tremendous task, but it is worth coping with it.

### **Literature Cited**

- ALLEN, T. F. H. AND T. X. STARR. 1982. *Hierarchy: Perspectives for Ecological Complexity*. University of Chicago Press, Chicago.
- BUSONI E. (1995) Brevi appunti per una discussione sull'applicazione della serie nel rilevamento e nella cartografia del suolo. Atti del Seminario di lavoro "Esperienze sull'uso delle serie nei progetti di rilevamento e cartografia dei suoli"; Regione Emilia-Romagna - A.I.P. (Associazione Italiana Pedologi); Bologna, 3 maggio 1995.
- FORMAN, R.T.T., AND M. GODRON. 1986. *Landscape Ecology*. John Wiley and Sons, New York. 619 pp.

- HABER, W. 1990. Using landscape ecology in planning and management. In *Changing Landscapes: An Ecological Perspective* (I. S. Zonneveld and R. T. T. Forman, eds.), pp. 217-232. Springer-Verlag, New York.
- KOESTLER, A. 1969. Beyond atomism and holism - The concept of holon. In: A Koestler and J. R. Smithies (Eds.), *Beyond Reductionism: New perspectives in Life Sciences*. Hutchinson of London, pp. 192-216.
- NAVEH, Z AND LIEBERMAN, A., 1994 "Landscape Ecology: Theory and Application", Springer-Verlag
-

## *L'USO DI UNA PROCEDURA GEOSTATISTICA MULTIVARIATA PER LA STIMA DELLA QUALITÀ DEL SUOLO*

Annamaria Castrignanò e Luisa Giglio

### **Riassunto**

La qualità del suolo è uno dei fattori più importanti per il sostentamento dell'intera biosfera e di essa si possono dare differenti definizioni in base, per esempio, alla produttività, alla sostenibilità o ai probabili effetti sulla salute umana. Ai fini di una valutazione quantitativa, è necessario misurare spazialmente specifici indicatori della qualità dei suoli. Questi ultimi sono generalmente delle proprietà analitiche del suolo opportunamente scelte, ma possono anche includere fattori più strettamente legati all'economia o alla politica. Poiché la stima della qualità del suolo è un processo piuttosto complesso, i singoli indicatori sono stati integrati in una forma multivariata, usando una particolare procedura della geostatistica non parametrica, il kriging multivariato a variabile indicatrice (MVIK).

L'approccio è stato applicato ai dati relativi a 184 profili pedologici, campionati in un'area di circa 150000 ha, comprendente parte delle Murge nordoccidentali baresi e una piccola e stretta fascia contigua della Lucania a oriente del Vulture. I parametri presi in esame hanno riguardato: la profondità dello strato arabile, la pendenza, il contenuto in azoto totale e in fosforo assimilabile.

Sono state quindi prodotte mappe tematiche dell'indice integrato, che hanno permesso di individuare aree con elevata probabilità di rischio di degrado della qualità del suolo. La metodologia proposta ha fornito inoltre mappe di probabilità relative ai singoli parametri in studio, consentendo pertanto di individuare quei fattori principalmente responsabili per le zone di bassa qualità e di programmare eventuali azioni finalizzate al miglioramento del territorio.

---

## **Introduzione**

In questi ultimi anni è cresciuta, anche nei confronti dell'opinione pubblica, la consapevolezza dell'importanza della qualità del suolo per un'agricoltura sostenibile, che concili l'esigenza di una redditività economicamente soddisfacente con quella fondamentale del rispetto dell'ambiente. Tuttavia, la maggior parte degli sforzi in tal senso sono stati rivolti, essenzialmente, alla definizione della qualità in termini piuttosto generici, facenti riferimento alla capacità di un suolo di fornire la pianta dei principi nutritivi indispensabili (produttività), di resistere all'erosione, di creare un ambiente idoneo allo sviluppo della microflora e microfauna tellurica o di opporsi in genere ai processi di degrado. Un progresso in tal senso è rappresentato dalla individuazione di quei parametri fisici, chimici e biologici, ritenuti più influenti a caratterizzare la qualità di un suolo. Mancano, a tutt'oggi, esempi di rilievo, miranti a definire una metodologia in grado di integrare più indicatori qualitativi specifici in un unico indice globale. Il problema in realtà si presenta alquanto complesso, poiché ogni tecnica finalizzata alla stima di una caratteristica integrale, quale la qualità del suolo, dovrebbe tener conto dell'informazione proveniente da tutti gli indicatori critici prescelti. In altre parole, dati diversi dovrebbero venir combinati in modo tale che ciascun fattore riceva il suo giusto peso (Rodale Institute, 1991). A complicare maggiormente il tutto, è la necessità della regionalizzazione di un tale indice, in modo da renderne possibile l'applicazione anche ad unità paesaggistiche differenti. Mentre è possibile dare una definizione generale di un indicatore globale della qualità del suolo, la scelta dei parametri rilevanti e dei loro corrispondenti pesi varierà molto verosimilmente in funzione della regione geografica e/o del sistema colturale. Pertanto, si riterrà indispensabile una sorta di calibrazione della metodologia proposta, che tenga conto anche della variabilità locale e dell'errore di misura.

Si vuole qui descrivere un semplice approccio in grado di integrare un numero praticamente illimitato di indicatori della qualità del suolo. Il metodo consiste in un processo multiplo di trasformazione a variabile indicatrice (MVIT, "multiple-variable indicator transform"), proposto per la prima volta da Smith et al., 1993, che permette la conversione dei dati misurati in un unico valore sintetico, secondo criteri ben definiti. Quest'ultimi, sviluppati indipendentemente per ciascun indicatore, rappresentano dei valori ritenuti critici perchè un suolo possa definirsi di buona qualità; ovviamente essi possono variare su base regionale. È possibile, inoltre, assegnare dei punteggi a un tale indice, per una stima quantitativa della qualità, relativamente ad una data scala spaziale. A causa, tuttavia, dell'incertezza (errore) insita in ogni

processo di stima, può essere più opportuno esprimere la qualità di un suolo, anziché in termini assoluti, come probabilità che certi criteri qualitativi siano o meno incontrati. Per determinare tale probabilità, si è utilizzato un approccio tratto dalla geostatistica non parametrica, chiamato "kriging a variabile indicatrice" (IK), che utilizza dati trasformati secondo una convenzione binaria. Con tale procedura di interpolazione sono state quindi prodotte mappe di probabilità, che permettono di individuare facilmente aree di alta o bassa qualità del suolo. Poiché il metodo cerca di integrare più variabili, è stato applicato il kriging a variabile indicatrice multiplo (MVIK); urge, tuttavia, sottolineare che esso non definisce la qualità del suolo, ma semplicemente integra più criteri scelti per rappresentare un suolo di buona qualità.

## **Materiali e Metodi**

### **Principi generali di geostatistica**

La geostatistica rappresenta un campo della statistica applicata finalizzata alla individuazione, stima e simulazione delle strutture spaziali di qualsiasi genere di dati, dai parametri del suolo (Warrick et al., 1986; Castrignanò et al., 1988) ai fenomeni ecologici (Rossi et al., 1992) e alle rese colturali di prove in campo (Van Meirvenne et al., 1990; Castrignanò et al., 1994). Lo studio geostatistico inizia con l'analisi classica univariata o bivariata, per passare poi alla "variografia" descrittiva o diagnostica, un processo quest'ultimo in cui il grado di similarità fra coppie di osservazioni viene calcolato in funzione della loro distanza di separazione (semivariogramma). Nel caso in cui sia presente, la dipendenza spaziale può venir modellata e quindi usata nella fase successiva di interpolazione, nota come kriging, per ottenere dai valori misurati la stima in punti non campionati. Un dettagliato sviluppo della teoria può essere trovato in Journel e Huijbregts (1978) e Isaaks e Srivastava (1989).

### **Kriging a variabile indicatrice**

Il kriging a variabile indicatrice (IK) è una forma non parametrica del più noto kriging ordinario (Isaaks e Srivastava, 1989), che ha il vantaggio di essere particolarmente robusto agli effetti dei valori estremi che possono influenzare sensibilmente il variogramma, e pertanto ben si presta ad analizzare distribuzioni fortemente asimmetriche.



Il metodo si basa su di una semplice trasformazione binaria, in cui ogni dato è convertito in un indice, preliminarmente ad ogni successiva fase di variografia o di kriging. Secondo tale convenzione, i dati vengono quindi codificati in 0 o 1, a seconda che siano al di sopra o al di sotto di un valore soglia; quest'ultimo è del tutto arbitrario e dipende dall'obiettivo specifico dello studio.

Il risultato di questa trasformazione sarà quindi un nuovo data set, formato solamente da 0 e 1, da cui si calcola il semivariogramma della variabile indicatrice. Dopo averne adattato uno dei modelli matematici autorizzati, è possibile, tramite il kriging, stimare la variabile indicatrice in punti non campionati, i cui valori varieranno nell'intervallo  $[0, 1]$ . In realtà questi numeri corrispondono alla probabilità che i valori calcolati del parametro originariamente in studio siano più grandi o più piccoli di una ben definita soglia critica (Journel, 1988); in altre parole, il valore atteso in un punto non campionato, derivato dai dati codificati, è equivalente alla distribuzione (probabilità) cumulata della variabile di partenza. L'utilità della trasformazione binaria deriva dal fatto che le stime di kriging della variabile indicatrice rappresentano una misura dell'incertezza (errore) che il valore del parametro in studio sia inferiore alla soglia critica prescelta.

Poiché l'interesse di questo studio in particolare è l'individuazione di eventuali aree a rischio per la qualità del suolo, si è preferito indicare con 1 l'evenienza in cui il criterio di qualità specifico per il dato parametro non è soddisfatto. Come preciseremo meglio in seguito, tale evenienza può verificarsi in alcuni casi se il parametro supera il valore soglia (presenza di inquinanti, elevata pendenza), in altri se cade al di sotto (concentrazione dei nutrienti, profondità del suolo arabile). Le stime calcolate rappresentano quindi la probabilità della presenza di almeno un fattore limitante che può pregiudicare, talora anche seriamente, la qualità del suolo.

Nel caso di attributi ritenuti rilevanti per la valutazione della qualità di un suolo, il nuovo approccio di kriging a variabile indicatrice consente di analizzare le caratteristiche spaziali di determinati criteri fisici, chimici o biologici e fornisce la probabilità che i suddetti criteri possano non venir soddisfatti.

Se l'applicazione dell'IK ad un singolo parametro può rivelarsi particolarmente utile in studi ambientali, in quanto permette di circoscrivere aree in cui possono verificarsi carenze o eccessi pericolosi, è solo l'estensione di tale approccio al caso multivariato, in modo da integrare l'informazione proveniente da più variabili, che può dimostrarsi un metodo valido per valutare la qualità del suolo. Il MVIK rappresenta appunto una tale estensione, come verrà di seguito descritto.

### Kriging multiplo a variabile indicatrice

Come accennato precedentemente il MVIK è una semplice estensione del kriging a variabile indicatrice, allo scopo di integrare più indicatori in un unico nuovo indice che può venir analizzato singolarmente e quindi utilizzato in un processo di stima.

Tutta la metodologia proposta si basa sul seguente principio: un suolo è definito di buona qualità se e solo se tutti i parametri scelti soddisfano a determinati criteri. La prima operazione da effettuarsi per il MVIT consiste nella scelta dei parametri ritenuti più influenti nella definizione della qualità del suolo di una data regione e delle loro rispettive soglie critiche. Quest'ultime possono venir fissate arbitrariamente in base a limitazioni d'ordine fisico, biologico o legislativo.

Si passerà quindi, per singola variabile e a ciascuna locazione, ad una codificazione dei dati originari in 0 (criterio incontrato) o 1 (criterio non soddisfatto). Per ciascun parametro del suolo si considererà quindi una nuova variabile indicatrice, assumente come valori solo 0 o 1, a cui si adatterà un modello matematico di semivariogramma fra quelli autorizzati (lineare, sferico, esponenziale, gaussiano, potenziale); tale trasformazione è preliminare ad ogni successiva elaborazione.

Un'ulteriore operazione, tuttavia, è necessaria per valutare la qualità del suolo che tenga conto di tutti i parametri prescelti. In un'analisi multivariata, perchè un suolo sia definito "buono", soddisfacente cioè a tutti i criteri e corrispondente al valore 0 nel nuovo indice integrato, è necessario (e sufficiente) che tutti gli altri indici individuali siano anch'essi codificati come 0. Se almeno uno dei singoli fattori non incontra il corrispondente criterio, l'indice integrato verrà codificato con 1.

Gli indicatori individuali e quello combinato possono quindi venir stimati in punti non campionati usando il kriging ordinario e i risultati rappresentati mediante mappe agli isovalori.

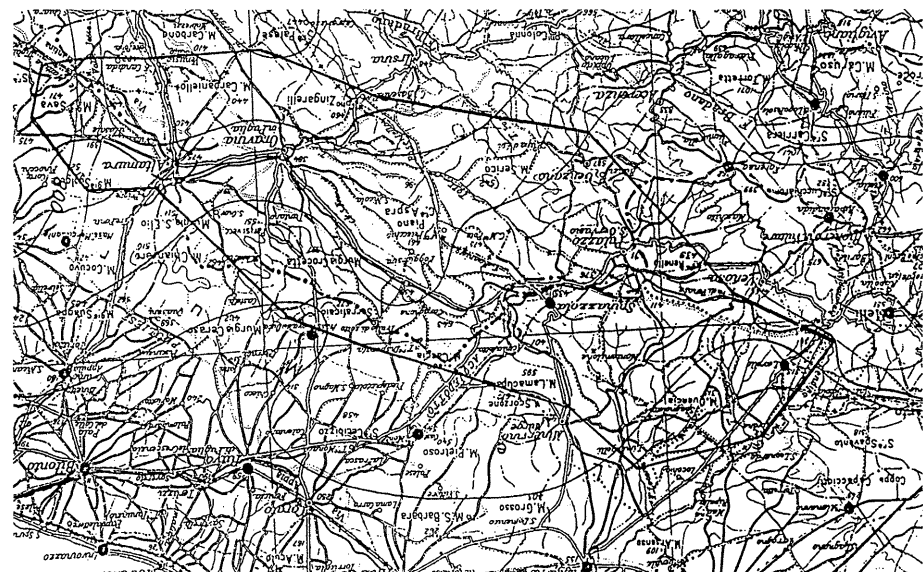
### **Caso in studio**

Per illustrare il metodo MVIK, presentiamo a titolo di esempio un data set contenente 4 parametri del suolo per ciascuna delle 184 locazioni disposte secondo uno schema casuale su di una superficie comprendente parte delle Murge nordoccidentali ed una piccola e stretta fascia ad essa con-

---

Figura 1

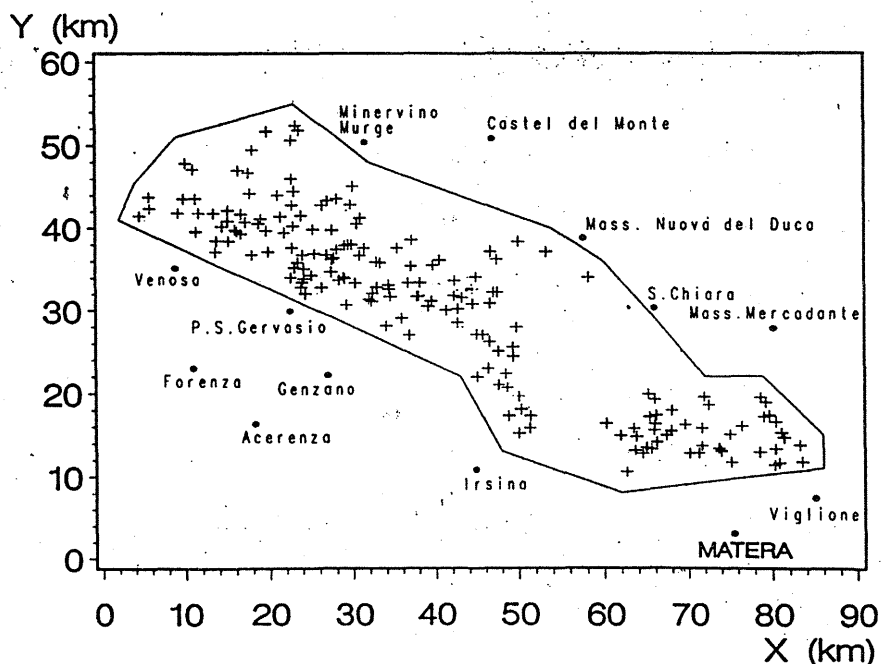
## Localizzazione geografica dell'area in studio



tigua della limitrofa zona lucana a oriente del Vulture (figura 1). Il territorio preso in esame ha grosso modo la forma di un parallelepipedo irregolare il cui asse maggiore, con direzione NO-SE, va dai primi terrazzi alluvionali del bacino dell'Ofanto tra Minervino Murge e Lavello sino ai contrafforti murgesi tra Altamura e Santeramo di Puglia. Su questa regione, anche se di estensione limitata rispetto a quella dell'intera regione pugliese, si possono riconoscere diversi ambienti geomorfologici che sono rappresentativi anche di altre aree della regione stessa. Dal tavolato strutturale delle Murge, nella sua parte più elevata, i cui substrati calcarei sono notevolmente influenzati da fenomeni carsici, si passa, scendendo di quota, ad un'area collinare dai rilievi più o meno dolci e dai substrati più diversi, che vanno dalle argille alle sabbie incoerenti e alle calcareniti plio-pleistoceniche. Nella parte mediana e parallelamente ai pochi corsi d'acqua sono presenti i terrazzi del Quaternario antico con prevalenza di conglomerati e ciottolati e i suoli prevalentemente argillosi delle alluvioni recenti e in atto del torrente Basentello.

Su quest'area sono stati campionati ed analizzati i 184 profili di suolo, di cui sono state determinate le caratteristiche topografiche, morfologiche, fisiche, idrauliche e chimiche dei loro principali orizzonti diagnostici. In questa nota, tuttavia, si sono considerati solamente 4 parametri ritenuti più significativi a caratterizzare la qualità del suolo della particolare area in esa-

**Figura 2**  
Schema di campionamento



me: la pendenza, la profondità del suolo erodibile, il contenuto in azoto totale (N) (%), metodo Kieldhal) e in fosforo assimilabile (P) (ppm, metodo Olsen) dello strato superiore.

I valori soglia prescelti sono stati, rispettivamente: 15% per la pendenza; 50 cm per la profondità; 1% per l'azoto e 15 ppm per il fosforo. I dati relativi ai profili campionati sono stati georeferenziati in coordinate geografiche e in seguito trasformate in coordinate piane secondo il sistema Gauss-Boaga (Iozzi e Paracchini, 1993).

### **Illustrazione del metodo e discussione**

In figura 2 è riportato lo schema di campionamento dei 184 profili di suolo analizzati, che risulta essere di tipo casuale con densità di prelievo non sempre uniforme su tutta l'area in studio. L'osservazione si è svolta, infatti, solo nei luoghi più rappresentativi e caratteristici di una superficie

di circa 150000 ha, intensificandola laddove vi era una maggiore variabilità dei pedotipi e diradandola nelle aree che, durante la ricognizione in campagna, risultavano più omogenee nei loro caratteri morfologici e pedogenetici.

In tabella 1 è riportata la statistica di base dei 4 parametri del suolo. La distribuzione di base di ciascun parametro mette chiaramente in evidenza l'elevata variabilità dell'area in esame, soprattutto per quanto riguarda la pendenza e il contenuto in fosforo assimilabile. L'analisi statistica classica, non utilizzando la georeferenziazione dei campioni come informazione di base, non consente di individuare e, quindi, di circoscrivere aree a particolare rischio di degrado ambientale e produttivo.

Tabella 1

Statistica di base dei parametri del suolo

Variabile	media	minimo	massimo	d.s.	CV
pendenza (%)	4.64	0	30.00	6.64	143.06
profondità (cm)	65.74	10.00	360.00	34.14	51.93
N (%)	1.36	0.12	4.89	0.70	52.02
P (ppm)	46.72	0	611.00	73.12	156.50

Per calcolare la variografia dei dati in esame, si è utilizzata la funzione di semivariogramma per ciascun indice individuale e per quello integrato. È necessario sottolineare che, solo per mantenere la semplicità dell'esempio esplicativo proposto, si è deciso di analizzare i dati senza considerare l'influenza della direzione (semivariogramma omnidirezionale).

La figura 3 (a, b, c e d) mostra i semivariogrammi sperimentali dei dati trasformati di ciascuno dei 4 parametri del suolo. Allo scopo di utilizzare queste relazioni funzionali per la stima dei valori in punti non campionati (kriging), è stato necessario adattare un modello matematico ai punti sperimentali. Le linee continue, sempre in figura 3, rappresentano il miglior adattamento, secondo il criterio dei minimi quadrati, usando un modello di tipo sferico (Sph), che soddisfa la condizione di semipositività delle varianze (Isaaks e Srivastava, 1989).

Appare evidente come tali indici risultino assai poco strutturati, con la componente casuale (nugget) della varianza spaziale confrontabile e talora anche superiore a quella relativa alla dipendenza spaziale. La ragione di ciò è da ascrivere, essenzialmente, alla estrema eterogeneità dell'ambiente e, in parte, all'incertezza nella determinazione sperimentale di alcune variabili, quali la pendenza.

Per poter applicare il MVIK, è stato necessario applicare la variografia all'indice integrato, precedentemente definito, ed adattare ad esso un modello, che è risultato di tipo sferico (figura 3e). In questo caso è ancora più evidente la mancanza di una chiara struttura spaziale per l'indicatore combinato, con una componente casuale circa l'80% della varianza campionaria totale. Questo risultato era in parte prevedibile, in quanto tale indice dovrebbe comprendere i campi di variazione di tutte le variabili analizzate.

Le equazioni matematiche rappresentanti i modelli, sia degli indici individuali che di quello integrato (figura 3), sono state utilizzate nella fase successiva di kriging.

Per sviluppare stime della qualità del suolo in postazioni non campionate sono state usate due procedure di kriging, implementate nella libreria dei programmi software di geostatistica GSLIB (Deutsch e Journel, 1992): per le variabili del suolo è stato usato il kriging a variabile indicatrice (IK), mentre per l'indice integrato il kriging ordinario puntuale (OK). In entrambi i casi i valori sono stati calcolati secondo una griglia rettangolare, di unità elementare 1.64x1.54 Km, per un totale di 2600 punti. Per la stima si sono utilizzati i valori di tutti i campioni ricadenti all'interno di un'area di ricerca di raggio 50 Km e il modello di semivariogramma scelto.

Come già accennato precedentemente, preliminare ad ogni processo di interpolazione è la definizione della variabile indicatrice (I) che, normalmente, è posta uguale ad 1, se il valore del parametro originario è inferiore alla soglia critica. Tuttavia, nel caso della pendenza è risultato più conveniente, per le ragioni già esposte, definire la variabile indicatrice uguale ad 1 nel caso di superamento del valore critico. Il variogramma ( $\gamma$ ), comunque, non risulta interessato da questa trasformazione, avendosi  $\gamma_i = \gamma_j$  con  $J=1-I$  (Deutsch e Journel, 1992). I valori dell'indicatore pendenza, stimati con il kriging, sono stati, quindi, sostituiti dai loro complementari rispetto all'unità, per ottenere la probabilità di superamento del valore critico.

Un modo efficace per rappresentare le stime di kriging è quello di produrre mappe agli isovalori. In figura 4 (a, b, c, d ed e) sono riportate tali mappe per i singoli parametri individuali e per quello integrato: le prime quattro indicano la probabilità che il suolo in una data locazione non soddisfi al criterio soglia prescelto per il particolare parametro in esame, mentre quella relativa all'indicatore integrato mostra la probabilità che almeno uno dei 4 criteri non sia incontrato.

L'aspetto più utile della tecnica del MVIK è quello che un qualsiasi numero di parametri può essere valutato in un'unica mappa. Il fallimento nell'incontrare i criteri di uno o più parametri risulta in aree di bassa

Figura 3 (a, b, c)

Variogramma sperimentale (punto) della variabile indicatrice della pendenza (a), della profondità (b), di N (c), di P (e) e dell'indice integrato (e), con i corrispondenti modelli sferici adottati (linea continua)

$$\begin{aligned} \text{Sph} &= [1.5 (h/a) - 0.5 (h/a)^3] \text{ se } h \leq a \\ &= 1 \text{ se } h > a \\ \text{con } h &= \text{distanza e } a = \text{range} \end{aligned}$$

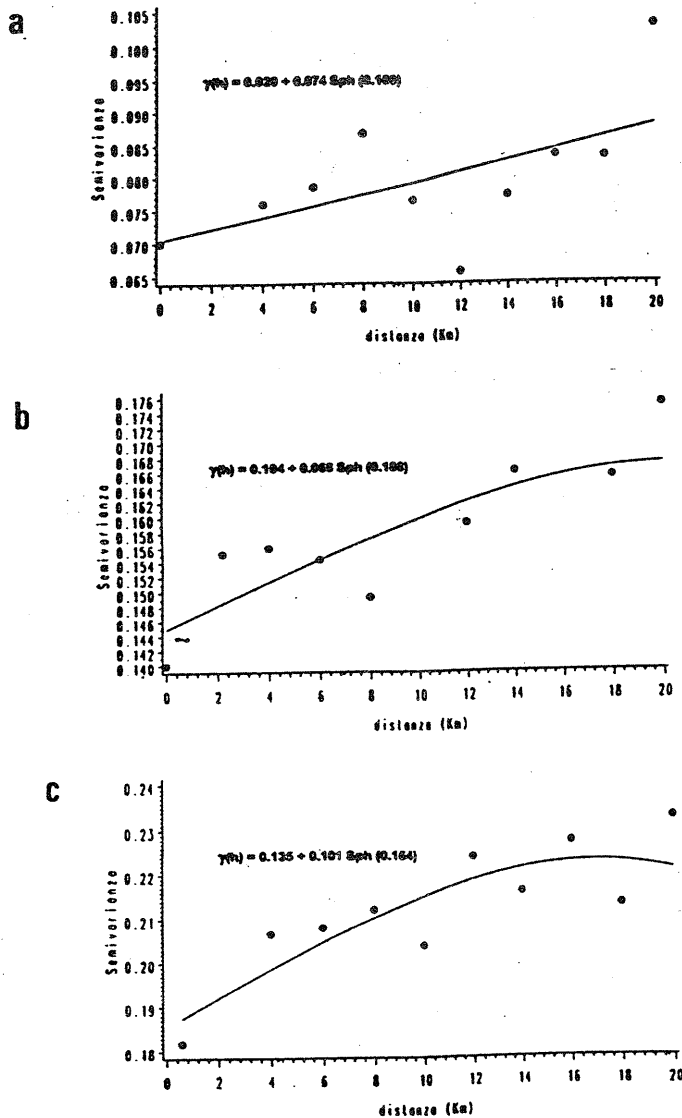
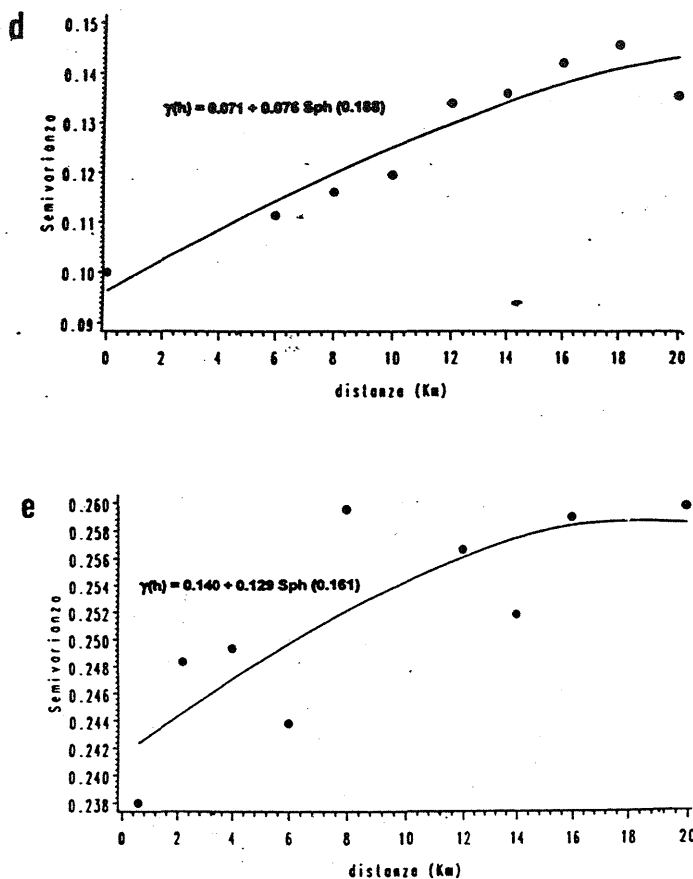


Figura 3 (d, e)



qualità del suolo nella mappa dell'indice integrato (figura 4e). Queste sono localizzate nelle due metà, superiore e inferiore, rispetto all'asse NO-SE dell'area in esame, con alcune zone circoscritte in cui la probabilità diviene anche molto alta (70-80%). Tale mappa, tuttavia, non ci dà alcuna informazione su quale o quali parametri siano responsabili del degrado della qualità del suolo. Per conoscere ciò, è necessario analizzare separatamente le mappe relative a ciascun parametro del suolo.

Quella relativa alla pendenza (figura 4a) mostra un'ampia area in cui il valore si mantiene certamente al di sotto del 15%. Spostandosi verso sud aumenta la variabilità, con un'area ristretta nella parte centrale meridionale in cui la probabilità assume valori compresi fra il 40 e il 60%. Queste zone potenzialmente a rischio corrispondono, quelle più a nord ad aree



collinari, che si originano ai margini degli altopiani di origine strutturale, dove i materiali originari sono soggetti a lente, ma continue forme di erosione che ne limitano lo sviluppo pedogenetico, mentre quelle più a sud a suoli localizzati in genere su formazioni argillose o argillo-marnose delle colline plioceniche, sui cui versanti scoscesi la forte erosione idrica in atto asporta continuamente gli strati superiori del *solum*.

Nella mappa relativa alla profondità (figura 4b), la dorsale NO-SE suddivide l'area in studio in due parti: quella superiore a maggior rischio, comprendente aree con probabilità superiori al 50% che la profondità utile sia inferiore a 50 cm. Queste aree corrispondono, per la maggior parte, alle superfici più elevate del territorio interessato, quasi esclusivamente sui calcarei cretacei del Tavolato strutturale delle Murge e i suoli, poggianti direttamente sul banco roccioso compatto e per il carattere prevalentemente carsico delle superfici, presentano caratteristiche di spessore molto variabili, anche entro brevi distanze.

Per quanto riguarda l'N (figura 4c), le aree a maggior rischio sono localizzate lungo la dorsale NO-SE, con probabilità anche superiori al 50%. Esse corrispondono a nord a suoli molto superficiali, talora con roccia affiorante, e a sud ai versanti scoscesi delle colline plioceniche, dove l'erosione asporta continuamente gli strati superficiali più fertili. Quest'ultimi suoli necessitano quindi di forti concimazioni azotate, distribuite nel tempo, con aggiunta, eventualmente, di Ca, Mg e K, per evitare possibili squilibri fra i cationi nutrienti.

Per il P (figura 4e) la situazione è in parte invertita, riscontrando le zone a maggior rischio di carenza fosfatica ai margini laterali (NO e SO) dell'asse NO-SE e in una ristretta area centrale. Al contrario, le aree più ricche di P e, quindi, con probabilità di carenza molto bassa o nulla, si concentrano in una vasta zona a sud, corrispondente a suoli pianeggianti, molto profondi, argillosi e con marcati caratteri vertici. Un'altra area ben dotata in P si estende nella parte mediana centrale, corrispondente a suoli limosi, poco profondi e talora a pendenze moderatamente ripide.

L'analisi delle mappe degli indicatori individuali suggerisce molte interessanti conclusioni applicabili ad una gestione razionale del territorio che ne salvaguardi la qualità del suolo. Mentre la ridotta profondità del suolo, unitamente all'elevata pietrosità e talora anche alla rocciosità presenti, rappresentano il fattore limitante principale nella parte nord dell'area, appare chiaro come nessuna singola proprietà è universalmente limitante la qualità del suolo nelle aree restanti. Poiché le zone con elevata probabilità di carenze o di N o di P generalmente non coincidono, è possibile intervenire

Figura 4 (a, b, c)

Mappe di probabilità per la variabile pendenza (a), profondità (b), N (c), P (d) e dell'indice integrato (e)

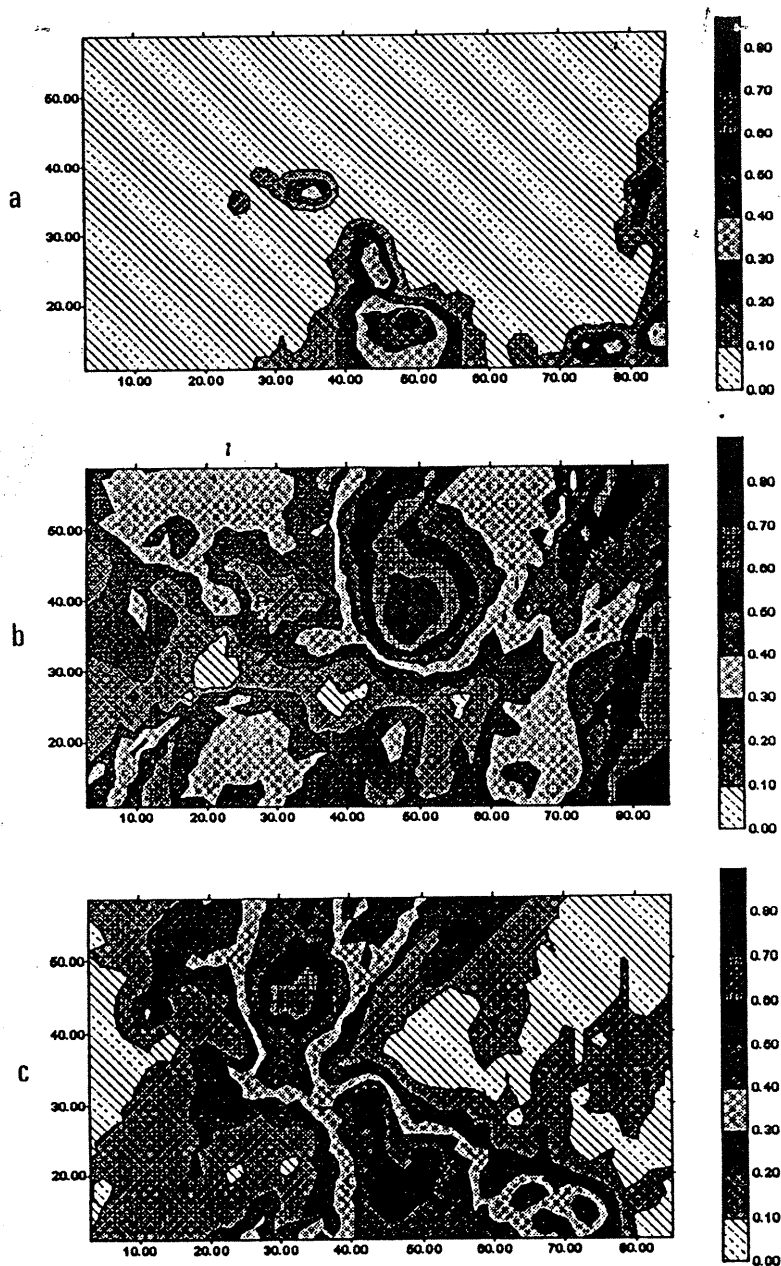
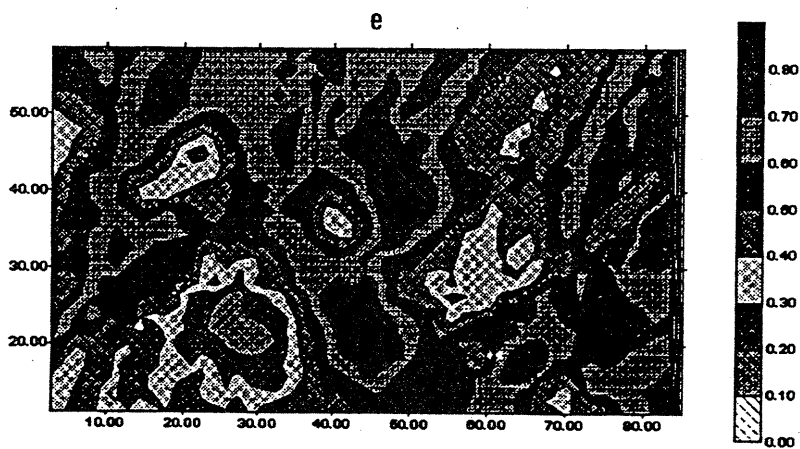
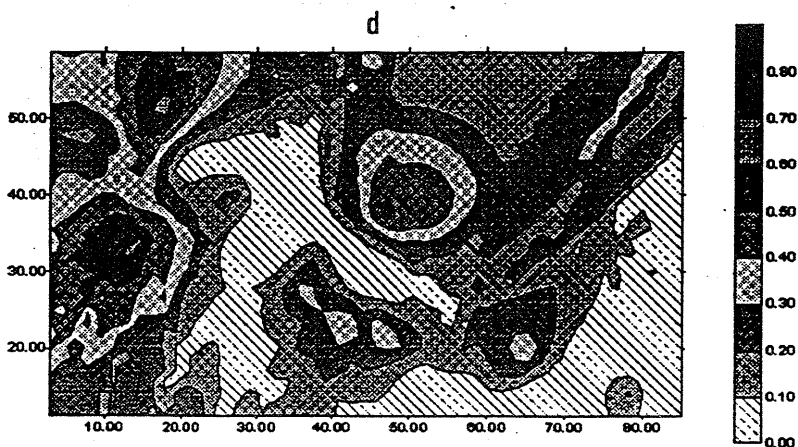


Figura 4 (d, e)

Mappe di probabilità per la variabile pendenza (a), profondità (b), N (c), P (d) e dell'indice integrato (e)



localmente con concimazioni distinte azotate o fosfatiche. Per quanto riguarda le aree a rischio nelle parti più elevate del Tavolato delle Murge, la presenza di pietrosità abbondante, la scarsa profondità del suolo arabile e l'estrema variabilità spaziale sembrano sconsigliare l'uso agricolo. Una destinazione più razionale potrebbe essere, piuttosto, quella a parco naturale, conservando intatta la bellezza suggestiva e peculiare del paesaggio.

## Conclusioni

Viene proposto un metodo multivariato di stima della qualità del suolo, che può essere applicato sia a piccola che a grande scala e che risulta estremamente flessibile, potendo integrare un numero, praticamente illimitato, di parametri di qualsiasi natura. Tali stime sono fornite in termini di probabilità che un determinato criterio non sia incontrato, con conseguente rischio di degrado per la qualità del suolo.

Un notevole vantaggio consiste nel poter identificare, attraverso l'uso di questo metodo, aree di bassa qualità o a rischio, pianificando dei programmi di recupero, la cui efficacia potrebbe venir valutata sulla base della stima dell'indice integrato.

L'approccio proposto, tuttavia, necessita di ulteriori perfezionamenti, in quanto occorrerebbe attribuire dei pesi opportuni ad ogni fattore limitante individuato. Questa rappresenta la fase più delicata e difficile, in quanto legata al particolare ambiente e perchè i fattori raramente agiscono indipendentemente, ma più frequentemente sinergicamente fra loro. L'indice integrato, anziché essere espresso da 0 (assenza di qualsiasi fattore limitante) o 1 (presenza di almeno un fattore limitante), dovrebbe poter assumere valori entro l'intervallo  $[0, 1]$ , secondo una logica fuzzy, che attribuisce dei coefficienti opportuni alle limitazioni individuate.

Resta pur sempre un primo tentativo di stima quantitativa della qualità del suolo, premessa indispensabile per una valutazione più obiettiva del rischio di impatto ambientale o dell'efficacia di qualsiasi programma di gestione o pianificazione del territorio.

## Bibliografia

- CASTRIGNANÒ, A., LOPEZ, G., 1988. La variabilità spaziale delle proprietà del suolo e la sua applicazione nelle ricerche agronomiche. Atti del Convegno SISS su: "Giornate di studio sull'analisi del suolo", Verona, 19-21 settembre 1988.
- CASTRIGNANÒ, A., DE GIORGIO, D., STELLUTI, M. E RIZZO, V., 1994. A geostatistical approach to characterize spatial variability of yield in a durum wheat submitted to four tillage treatments. Atti della XIII Conferenza Internazionale dell'ISTRO. Aalborg, Danimarca, 24-29 luglio 1994:997-1003.
- DEUTSCH, C.V. E JOURNAL, A.G., 1992. GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide. Oxford University press, New York.
- IOZZI, F. E PARACCHINI, M.L., 1993. Georeferenziazione dei dati cartografici nei sistemi "Geografico", "Gauss-Boaga" e "UTM". Genio Rurale, 1: 72-78.
- ISAAKS, E.H. E SRIVASTAVA, R.M., 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press, New York.

- JOURNEL, A.G., 1988. Non-parametric geostatistics for risk and additional sampling assessment. In: "Principles of environmental sampling". Am. Chem. Soc., Washington, DC. L. Keith (ed.): 45-72.
- JOURNEL, A.G. E HUIJBREGTS, C.J., 1978. Mining geostatistics. Academic Press, Londra.
- Rodale Institute, 1991. International conference on the assessment and monitoring of soil quality. Rodale Inst., Emmaus, PA.
- ROSSI, R.E., MULLA, D.J., JOURNEL, A.G. E FRANZ, E.H., 1992. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial independence. *Ecol. Monogr.*, 62: 277-314.
- SMITH, J.L., HALVORSON, J.J. E PAPENDICK, R.I., 1993. Using Multiple-Variable Indicator Kriging for evaluating Soil Quality. *Soil Sci. Am. J.*, 57: 743-749.
- VAN MEIRVENNE, M., HOFMAN, G. E DEMYTTENAERE, P., 1990. Spatial variability of N fertilizer application and wheat yield. *Fert. Res.*, 23: 15-23.
- WARRICK, A.W., MEYERS, D.E. E NIELSEN, D.R., 1986. Geostatistical methods applied to soil science. In: "Methods of soil analysis. Part 1," ed. Agron. Monogr. 9. ASA e SSSA, Madison, WI. A. Klute (ed.): 53-82.

## UNA DEFINIZIONE DELLA QUALITÀ DEI SUOLI FORESTALI IN RAPPORTO ALLA PEDOFAUNA

C. Dazzi<sup>1</sup>, D. La Mela Veca<sup>2</sup>, B. Massa<sup>3</sup>, G. Vacante<sup>2</sup>

Facoltà di Agraria - Università di Palermo

### **Riassunto**

In un'area test dei monti Sicani (Sicilia occidentale), omogenea per caratteri geo-morfo-litologici, climatici e pedologici, è stata condotta una indagine volta a verificare le differenze sviluppatesi nell'arco di 40 anni nella pedofauna presente nello stesso tipo pedologico ma sotto diversa copertura forestale costituita da un rimboschimento di Pino d'Aleppo (*Pinus halepensis* Miller) e Cedro dell'Atlante (*Cedrus atlantica* (Endl) Carrière).

In dieci siti di studio appositamente scelti per ogni specie forestale, è stata determinata in luglio, novembre e febbraio la pedofauna sia sugli orizzonti del "forest floor" che in quelli del suolo minerale; la determinazione si è limitata al livello tassonomico di Ordine.

La pedofauna in luglio è risultata più scarsa nell'orizzonte organico e maggiormente concentrata negli orizzonti A e B, mentre in novembre e febbraio, nei suoli sottesi al Pino, si è verificato il contrario.

Sebbene non siano risultate differenze statisticamente significative tra il numero di Ordini rappresentati nei due rimboschimenti, gli orizzonti sottesi al Pino d'Aleppo sono risultati numericamente più ricchi di individui rispetto agli omologhi orizzonti sottesi al Cedro dell'Atlante.

Il contributo prevalente alla ricchezza numerica della pedofauna è dato dagli Acari Oribatida e dagli Insecta Collembola, entrambi detritivori. Diversamente da quanto noto, non sono emerse differenze significative tra i valori della diversità degli orizzonti nell'ambito dello stesso tipo pedologico; tuttavia negli orizzonti minerali dei suoli sottesi al Pino, in luglio, si è verificata una esplosione demografica dei Collemboli, causa di un abbassamento dei valori della diversità tassonomica.

---

### Premessa

La pedofauna, pur rivestendo una notevole influenza sui processi della pedogenesi e svolgendo un ruolo di primaria importanza sulle principali proprietà funzionali del suolo, raramente è stata utilizzata come elemento-chiave per una definizione della qualità del suolo (Legakis, 1994).

Ciò, come sottolineano Linden & al. (1994), è verosimilmente da imputare al fatto che l'utilità della pedofauna come indicatore della qualità del suolo, è "funzione" della stessa definizione di "qualità del suolo" che, a sua volta dipende dalle differenti funzioni, biologiche e abiologiche, svolte dal suolo. Se si considera la funzione biologica di massima promozione della attività vegetale, animale e microbiotica, l'utilità di impiego della pedofauna come elemento diagnostico della qualità del suolo diviene massima. E ciò sia in termini di abbondanza che di diversità della pedofauna.

In genere si ritiene che, sebbene l'abbondanza di invertebrati sia maggiore nel suolo rispetto alla lettiera, la diversità è generalmente maggiore nella lettiera rispetto al suolo e va diminuendo progressivamente a mano a mano che si scende in profondità. La diversità specifica inoltre mostra maggiori fluttuazioni stagionali nella lettiera rispetto al suolo (Lions, 1972). Acari, Collemboli ed altri Artropodi rappresentanti la mesofauna sono in genere utilizzati come bioindicatori, in quanto forniscono importanti informazioni sull'influenza delle attività antropiche negli agroecosistemi e negli ecosistemi forestali (Koehler 1992; Casarini & Camerini 1993). Lombrichi, termiti, formiche, alcune larve di insetti ed altri organismi viventi nel suolo (in gran parte Artropodi) sono numerosi e diffusi ed hanno la capacità di rimuovere il suolo per cercare nutrimento e per tutte le loro altre attività; in tal modo essi modificano la struttura del suolo, la porosità e quindi l'aereazione, l'infiltrazione dell'acqua ed il drenaggio. L'attività degli organismi endopedonici ha importanti conseguenze sulla decomposizione della materia organica, sul ciclo dei nutrienti, sulla ritenzione ed incorporazione dei detriti vegetali, sul controllo del dilavamento superficiale e dell'erosione (Lee, 1991; Coleman & al. 1993). Le formazioni di conifere, come ad esempio quelle costituite da *Pinus halepensis*, possono ospitare una fauna del suolo costituita da meno specie rispetto alle formazioni a sclerofille (Marcuzzi, 1968), ma è possibile anche il contrario. Bigot & Bodot (1972) hanno mostrato che a causa dell'interdipendenza degli invertebrati viventi nelle chio-me, nella lettiera, sotto le pietre e nel suolo, non si può parlare di quattro differenti comunità, ma di una sola, caratteristica della specie di pianta dominante. La variazione spaziale è accentuata dalla variazione stagionale che causa micromigrazioni significative da un microhabitat ad un altro.

Anche se in questi ultimi anni è stata prodotta una discreta letteratura scientifica finalizzata allo studio delle possibilità di impiego degli organismi viventi nel suolo come indicatori degli effetti dell'impatto antropico sugli ecosistemi, ancora poco noti risultano gli aspetti ecologici della pedofauna negli ecosistemi mediterranei. L'elevata diversità delle specie di invertebrati del suolo in tali ecosistemi, infatti, pone il problema di un loro dettagliato studio, e soprattutto della loro determinazione a livello di specie che è resa quasi impossibile dall'insufficiente numero di specialisti sistematici disponibili e dall'elevato costo (in termini di tempo) per condurre tali studi. E' certamente questo un valido motivo per cui, studi sulla pedofauna in cui la classificazione sia stata effettuata a livello di specie non esistono, o sono molto rari, ed è pertanto necessario limitarsi ad un'identificazione dei taxa a livelli sistematici più elevati.

In questo lavoro sono stati considerati non solo alcuni Ordini selezionati, ma la complessiva mesofauna, volendo soprattutto raccogliere dati, anche di carattere metodologico, sul significato della diversità biologica e della ricchezza quantitativa della stessa come indicatrice della qualità del suolo in relazione sia all'epoca di campionamento che agli orizzonti dei suoli forestali investigati.

### **L'area di studio**

L'area di studio ricade sui monti Sicani, nella Sicilia centro-occidentale. Qui gli interventi di rimboschimento, inseriti nella attività di difesa e conservazione del suolo per la sistemazione idraulico forestale dei bacini montani dei principali corsi d'acqua siciliani, hanno avuto inizio a partire dal 1944, sono proseguiti fino a circa la metà degli anni '60, e con sporadiche azioni, fino ai giorni nostri. La tecnica seguita nei lavori di rimboschimento è stata quella della sistemazione dei terreni a gradoni, ritenuta la migliore per consentire l'insediamento della vegetazione forestale in terreni soggetti a un forte degrado quali un tempo erano le aree oggi forestate.

Per i rimboschimenti sono state utilizzate specie tipiche di questa fascia fitoclimatica (Lauretum Sottozona fredda e, in minor misura, Castanetum Sottozona calda). Fra le conifere maggiore impiego hanno avuto Pino d'Aleppo, Pino domestico, Cipresso dell'Arizona, Cedro dell'Atlante, Pino nero di Villetta Barrea; tra le latifoglie, più utilizzate sono state l'Orniello e, in misura limitata Acero montano, Bagolaro e Olmo campestre, alle quote più elevate, e Roverella e Leccio alle più basse.

---



Entro il demanio forestale Ledera (esteso 1.428 ettari e sito a est del comune di Bivona - AG), è stata considerata una superficie, posta ad una quota di 1030 m.s.m., esposta ad ovest e con pendenza pressoché uniforme del 7-8%, rimboschita con Pino d'Aleppo (*Pinus halepensis* Miller) e Cedro dell'Atlante (*Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière). Sulla base dei dati della stazione di Piano del Leone (38 anni:1955-1988), molto prossima all'area di studio e posta alla stessa quota, il clima presenta caratteri di mediterraneità: la piovosità media annua è di 800 mm in 85 giorni piovosi e la temperatura media annua è di 13,5 °C. I suoli (v. Tab. I per la descrizione del profilo tipo), sono stati classificati come Lithic Haploxerolls (Dazzi & al., 1996), sono ben drenati anche in virtù delle fratture che caratterizzano il substrato costituito da calcari dolomitici del Trias-superiore/Lias-inferiore e presentano uno storage variabile intorno a 50 mm che contribuisce a determinare un regime udometrico xerico e un regime termometrico mesico.

### Tabella I

#### Descrizione del profilo-tipo

#### **DESCRIZIONE DELLA STAZIONE:**

Località: Contrada La Donna - Demanio Ledera del comune di S. Stefano Quisquina (AG).

Designazione del punto: 33S UB 7104 6436. Quota: 1025 m s.l.m.

Morfologia: montana. Esposizione: Sud. Pendenza del versante: 7-8%.

Pietrosità: comune. Rocciosità: scarsa. Erosione: assente.

Substrato: calcare dolomitico.

Uso del Suolo: bosco. Vegetazione: Pino d'Aleppo.

#### **DESCRIZIONE DEL PROFILO:**

Orizzonte Lv : 6-3 cm. Aghi, strobili e rametti di Pino; umido; appiattito non-compatto; legnoso; radici assenti; nessun organismo osservato.

Orizzonte Fm: 3-0 cm. Umido; feltroso-compatto; aghiforme; abbondante micelio bianco; radici assenti; nessun organismo osservato.

Orizzonte Ah: 0-8 cm - Poco umido. Scheletro intorno al 10 %, grossolano, medio e minuto, spigoloso. Aggregazione grumosa, da fine a media; forte. Resistente allo stato umido. Poroso. Effervescenza all'HCl assente. Drenaggio normale. Passaggio graduale con andamento lineare.

Orizzonte Bw: 8-25/30 cm - Poco umido. Scheletro intorno al 15 %, grossolano, medio e minuto, spigoloso. Aggregazione poliedrica angolare e talora sub-angolare, media e fine; forte. Friabile allo stato umido. Poroso. Effervescenza all'HCl assente. Drenaggio normale. Passaggio abrupto con andamento irregolare

Orizzonte R : > 30 cm. Calcare dolomitico.

Classifica : Lithic Haploxeroll.

## **Materiali e Metodi**

L'area interessata dallo studio mostra caratteri identici in quanto a substrato, suolo, pendenza, quota, esposizione. È di forma rettangolare, ampia circa 5.000 mq con lato maggiore di circa 200 metri ad andamento est-ovest. Risulta divisa, da un sentiero che sale in direzione Sud-Nord, in due sotto-unità, di pari misura, che sono state rimboschite a fila, nell'inverno del 1956, con Pino d'Aleppo, nella sotto-unità di destra e con Cedro dell'Atlante, nella sotto-unità di sinistra. Le superfici investigate, coincidenti con le unità di campionamento, sono state considerate come unità selvicolturali piuttosto che come elementi di un classico schema sperimentale, poichè non sono separate da barriere artificiali per annullare l'influenza di una unità sull'altra. Per ogni specie arborea, in due file omologhe, sono stati aperti dieci profili di suolo, al disotto della chioma di piante comparabili in quanto ad età, stato fitosanitario, vigore, altezza, diametro del tronco e ad una distanza da questo sempre eguale (100 centimetri dalla base del tronco al profilo), in modo da annullare eventuali differenze nelle caratteristiche del suolo indotte dallo "steamflow" (Pritchett & Fisher, 1985).

Nei mesi di luglio e novembre 1996 e febbraio 1997, nei diversi orizzonti di ogni profilo sono stati effettuati 3 campionamenti, avendo cura di prelevare campioni pari a 500 cc in volume mediante un campionatore metallico di forma quadrata. I campioni di ogni orizzonte sono stati poi posti per una settimana in un estrattore del tipo Tullgren Funnels da 12 sets che crea un gradiente di temperatura di circa 14° C, in grado di stimolare il movimento verso il basso degli Invertebrati che, attraversando una maglia di 5 mm, finiscono per cadere, scivolando entro un imbuto, in provette con alcool. In tal modo viene estratta dai campioni la mesofauna entro i 5 millimetri (Van Der Drift, 1951). Il materiale prelevato è stato successivamente analizzato e determinato al microscopio binoculare.

L'analisi statistica delle differenze dei dati della pedofauna è stata condotta mediante il test di Wilcoxon per dati appaiati. È stato inoltre calcolato l'indice di diversità di Shannon a livello tassonomico di Ordine.

## Risultati

L'andamento della ricchezza complessiva della mesofauna, è piuttosto differente nei suoli messi a confronto. Nei suoli sotto Pino, si osserva infatti un notevolissimo numero di invertebrati nel mese di luglio. I valori medi del numero di individui per campione è variato da 33 a 194 nei suoli sottesi al Cedro e da 30 a 928 nei suoli sottesi al Pino (Tabella 2). Fra i valori medi riscontrati in ciascun orizzonte, tranne due soli casi, non sono risultate differenze significative. È tuttavia interessante osservare (Figura 1) che nei suoli sotto Pino la mesofauna in luglio è stata maggiormente concentrata negli orizzonti A e B, mentre in novembre e marzo si è spostata prevalentemente nell'orizzonte organico; nei suoli sotto Cedro in luglio non si evince una grande differenza nei valori medi tra orizzonte organico e orizzonti A e B ma, in novembre e febbraio si osserva una prevalenza di individui nell'orizzonte organico, così come accade nei suoli sottesi al Pino.

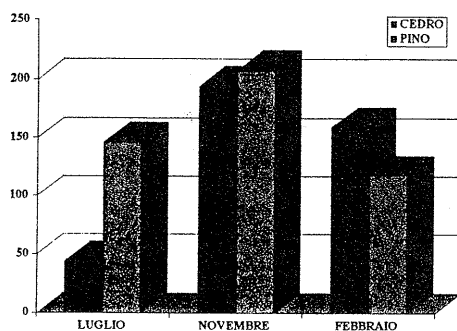
Tabella 2

Valori della mesofauna sotto Cedro e sotto Pino, del test di Wilcoxon e dei relativi gradi di libertà e significatività, nonché dell'indice di Shannon negli orizzonti dei suoli sottesi dalle due specie considerate

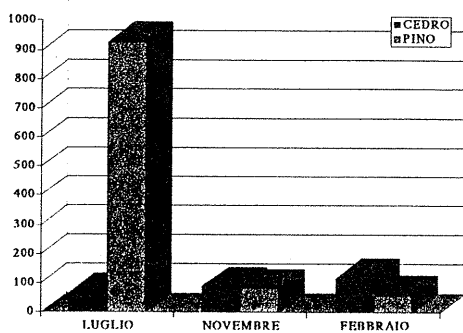
ORIZZONTE Mese	ORIZZONTE O			ORIZZONTE A			ORIZZONTE B		
	Lug.	Nov.	Feb.	Lug.	Nov.	Feb.	Lug.	Nov.	Feb.
N° medio (Cedro)	44	194	159	67	90	119	33	49	44
N° medio (Pino)	146	207	117	928	82	60	987	52	30
W	108	38	50	42	31	73	104	38	47
n	16	19	16	19	15	15	17	15	13
P	NS	<0,02	NS	<0,02	NS	NS	NS	NS	NS
H' Cedro	0,609	0,547	0,486	0,755	0,641	0,776	0,702	0,582	0,776
H' Pino	0,512	0,588	0,607	0,137	0,694	0,677	0,122	0,537	0,699

Figura 1

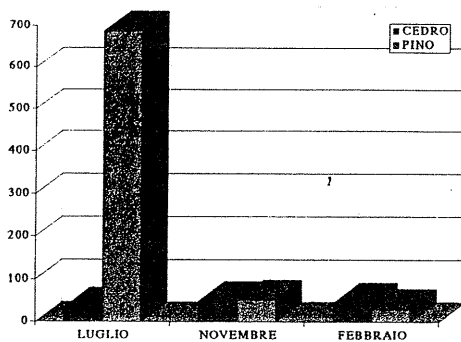
Andamento della mesofauna totale negli orizzonti dei suoli  
sotto Cedro e sotto Pino



Orizz. O



Orizz. A



Orizz. B

Nelle Figure 2 e 3 sono riportati i valori medi della mesofauna complessiva a confronto con quelli appartenenti ai gruppi tassonomici (Acari e Collemboli) che contribuiscono maggiormente all'andamento delle curve. Acari e Collemboli rappresentano percentuali variabili tra il 54% e l'81% della mesofauna complessiva sotto Cedro e tra il 66% e il 98% sotto Pino.

Mentre esiste una certa coincidenza quantitativa nell'andamento fenologico della mesofauna nell'orizzonte organico sotteso alle due specie considerate (con il picco in novembre), le curve dell'andamento della mesofauna negli orizzonti minerali risultano profondamente differenti. Tale differenza è causata soprattutto dall'esplosione demografica in luglio dei Collemboli, piccolissimi insetti detritivori, molto vulnerabili all'aridità e che quindi devono andare alla ricerca delle zone più umide e fresche del suolo, effettuando in tal modo spostamenti verticali entro il profilo.

La maggiore presenza di detritivori nell'orizzonte A sotto la pigna confermerebbe l'esistenza di una maggiore disponibilità di sostanza organica, come già indicato da precedenti studi (Dazzi, 1996), ed in modo particolare suggerirebbe che tale disponibilità è concentrata nella stagione estiva.

Per quanto concerne il valore di diversità di Shannon a livello dei taxa trattati (Tabella 2), pur con i limiti interpretativi di un indice calcolato su valori riferiti ad Ordini (che possono comprendere molte o poche specie) e non alle singole specie, il risultato che emerge è un andamento della diversità tassonomica piuttosto costante dall'orizzonte organico fino all'orizzonte B; tuttavia, nel confronto tra suolo sotto Pino e suolo sotto Cedro, emerge ancora più chiaramente che in generale non sembra esistano differenze apprezzabili, tranne che nel mese di luglio, quando, a causa dell'enorme prevalenza dei Collemboli (comunque riferibile a due o tre specie), il valore di diversità negli orizzonti A e B dei suoli sotto Pino si abbassa grandemente rispetto all'analogo valore dei suoli sotto Cedro.

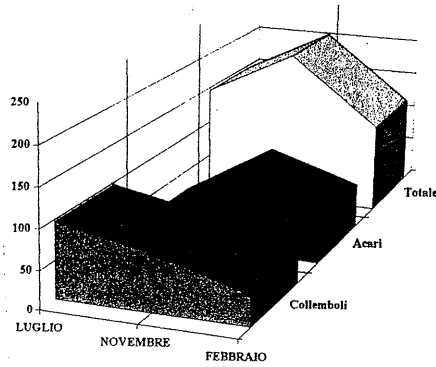
### **Considerazioni conclusive**

I risultati che emergono da questa indagine, insieme a quelli derivanti da un precedente studio (Dazzi, 1996), consentono di riaffermare il ruolo di primo piano svolto dalla vegetazione nel condizionare le caratteristiche biotiche e abiotiche dei suoli sottesi e in definitiva la loro qualità.

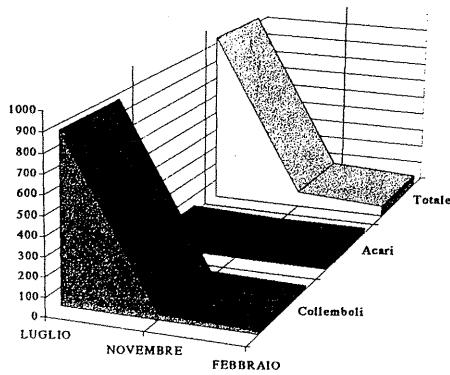
In particolare si determinano forme di humus tassonomicamente diverse, riferibili al gruppo Hemimor sotto copertura di Pino d'Aleppo e Mormoder sotto copertura di Cedro dell'Atlante.

Figura 2

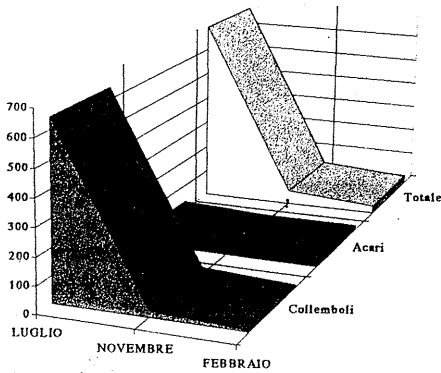
Curve dei valori medi della mesofauna complessiva a confronto con quelle di Acari e Collemboli nei diversi orizzonti dei suoli sottesi al Pino



Orizz. O



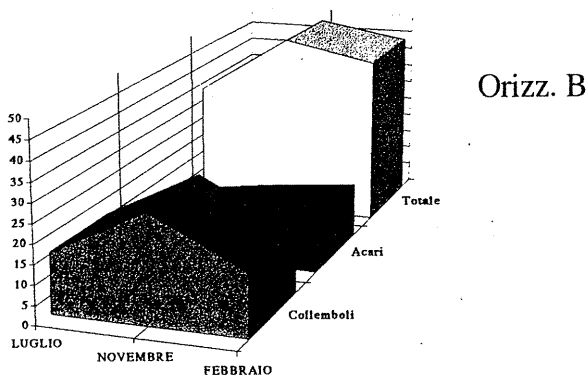
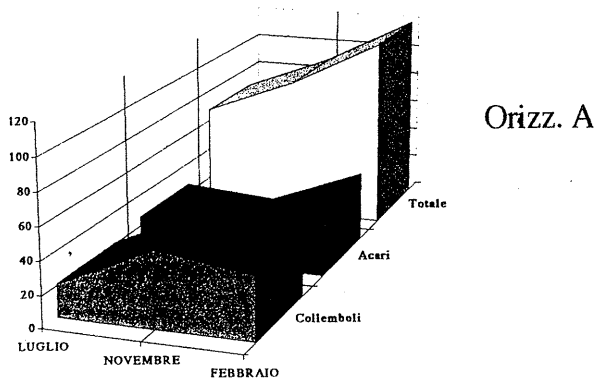
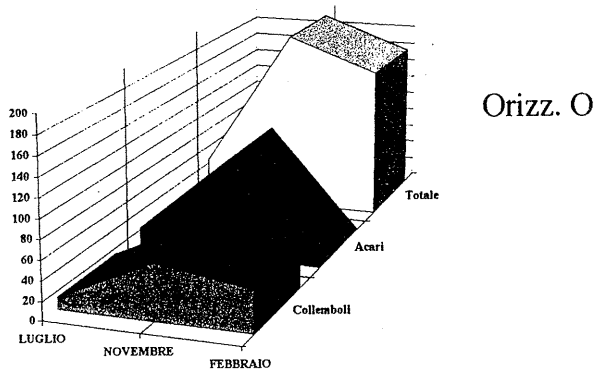
Orizz. A



Orizz. B

Figura 3

Curve dei valori medi della mesofauna complessiva a confronto con quelle di Acari e Collemboli nei diversi orizzonti dei suoli sottesi al Cedro



Per quanto riguarda la mesofauna esiste una certa relazione con i dati pedologici. Ad esempio, la maggiore dotazione di sostanza organica nell'orizzonte A sotto Pino può essere la ragione dell'elevata quantità di invertebrati detritivori nel mese di luglio, quando peraltro, essi sono costretti ad allontanarsi dai primi centimetri costituenti la lettiera.

Occorre inoltre aggiungere che l'orizzonte A sotto il Pino si presenta con una struttura grumosa media, di grado forte, mentre nell'omonimo orizzonte sotto il Cedro è poco consistente, piccola e moderata. A queste caratteristiche corrisponde una diversa distribuzione della mesofauna investigata sia come abbondanza che come diversità e che mostra di essere in relazione non solo con la tipologia di humus ma anche con i caratteri fisici del suolo e segnatamente con la struttura. Verosimilmente, infatti, la struttura qualitativamente migliore evidenziata nei suoli sottesi al Pino può ragionevolmente essere imputata anche all'azione della mesofauna che, nel periodo più caldo migra nel suolo dall'orizzonte organico agli orizzonti minerali, alla ricerca di condizioni migliori.

Dal punto di vista metodologico questa ricerca sottolinea la necessità di effettuare campionamenti della fauna del suolo non limitandosi solo all'orizzonte organico ma comprendendo anche gli orizzonti minerali. Sulla base della nostra esperienza potrebbero essere attendibili anche analisi pedofaunistiche limitate ai due soli Taxa degli Acari e dei Collembola.

Per concludere si vuole inoltre sottolineare come i risultati di queste indagini possano avere una notevole valenza sul piano pratico e applicativo, soprattutto per gli ambienti a clima mediterraneo caldo quali quello di studio, ove occorre porre parecchia oculatezza nella scelta delle specie per i rimboschimenti. Nel nostro caso, anche se le specie forestali prese in considerazione non risultano essere le migliori per il particolare ambiente dei monti Sicani, occorre considerare il ruolo positivo svolto sul suolo dal *Pinus halepensis* rispetto al *Cedrus atlantica*.

### **Bibliografia**

- BIGOT L., BODOT P. (1972) - Contribution à l'étude biocoenotique de la garrigue à *Quercus coccifera*. II. Composition biotique du peuplement des invertébrés. Vie Milieu, 23.
- CASARINI P. & CAMERINI G., 1993. Biological indicators of agricultural influence on poplar groves, vineyards, and sugar beets. Pp. 123-131 in: Paoletti M.G., Foissner W. & Coleman D. (eds), Soil biota, nutrient cycling and farming systems. Lewis Publ.



- COLEMAN D.C., HENDRIX P.F., BEARE M.H., CHENG W.X. & CROSSLEY D.A.JR., 1993. Microbial and faunal interactions as they affect soil organic matter dynamics in subtropical agroecosystems. Pp. 1-14 in: Paoletti M.G., Foissner W. & Coleman D. (eds), Soil biota, nutrient cycling and farming systems. Lewis Publ.
- DAZZI C. (1996) - Tassonomia del "forest floor" e caratteristiche di fertilità di suoli forestali sotto Pino d'Aleppo (*Pinus Halepensis* Miller) e Cedro dell'Atlante (*Cedrus Atlantica* (Endl) Carriere) nei monti Sicani. Atti del Convegno SISS "La scienza del suolo per la difesa dei territori collinari e montani" Milano - Bollettino SISS n°8 dicembre
- DAZZI C., DI PISA A., LA MELA VECA S., VACANTE G. (1996) - Caratteristiche e distribuzione dei suoli forestali del bosco Ledera sui monti Sicani (Sicilia occidentale). Atti del Convegno SISS "La scienza del suolo per la difesa dei territori collinari e montani" Milano - Bollettino SISS n°8 dicembre
- DI CASTRI F. & VITALI-DI CASTRI V., 1981. Soil fauna of mediterranean climate regions. Pp. 445-478 in: Di Castri F., Goodall D.W. & Specht R.L. (eds.), Mediterranean-type shrublands. *Elsevier*, Amsterdam.
- DI CASTRI F., 1973. Soil animals in latitudinal and topographical gradients of mediterranean ecosystems. Pp. 171-190 in: Di Castri F. & Mooney H.A. (eds.), Mediterranean-type Ecosystems. Origin and structure. *Springer Verlag*, Berlin.
- GREEN R.N., TROWBRIDGE R.L., KLINKA K. (1993) - Towards a Taxonomic Classification of humus Forms. Supplement to Forest Science, Vol. 39, N°1
- KOEHLER H.H., 1992. The use of soil mesofauna for the judgement of chemical impact on ecosystems. Pp. 193-205 in: Paoletti M.G., Foissner W. & Coleman D. (eds), Soil biota, nutrient cycling and farming systems. Lewis Publ.
- LEE K. E., 1991. The diversity of soil organisms. Pp. 73-87 in: Hawksworth D.L. (ed.), The biodiversity of microorganisms and invertebrates: its role in sustainable agriculture. *Cab International*, Wallingford.
- LEGAKIS A., 1994. Community structure and species richness in the Mediterranean-type soil fauna. Pp. 37-45 in: Arianoutsou M. & Groves R.H., Plant-animal interactions in Mediterranean-type ecosystems. *Kluwer Acad. Publ.*, Netherlands.
- LINDEN D.R., HENDRIX P.F., COLEMAN D.C., VAN VLIET P. (1994) - Faunal indicators of soil quality. - Defining soil quality for a sustainable environment - SSSA Special Pub. n.35
- LIONS J.C., 1972. Application du concept de la diversité spécifique à la dynamique de trois populations d'Oribates (Acariens) de la forêt de Ste Baume (Var). 2 pt.: variabilité temporelle selon les différents niveaux prospectés. *Ecol. Médit.*, 3: 85-104.
- MAJER J.D. & GREENSLADE P., 1988. Soil and litter invertebrates. Pp. 197-226 in: Specht R.L. (ed.), Mediterranean-type ecosystems, a data source book. Kluwer, Dordrecht.
- MARCUZZI G. (1978) - Osservazioni ecologiche sulla fauna del suolo di alcune regioni forestali italiane. - Ann. Cen. Econ. Mont. - Venezia n.8
- PRITCHETT W.L., FISHER R.F., (1985) - Properties and management of forest soils. Wiley & Sons
- VAN DER DRIFT J. (1951) - Analysis of the animal community in a beech forest floor. - *Tijdschr. Ent.*, 94

# *RISULTATI METODOLOGICI E OPERATIVI DEL PROGETTO CARTOGRAFIA PEDOLOGICA NELLE UNITÀ OPERATIVE TERRITORIALI DELLE REGIONI MERIDIONALI: INNOVAZIONI E PROSPETTIVE*

R. Napoli <sup>a</sup>, L. Gardin <sup>a</sup>, E.A.C. Costantini <sup>a</sup>, A. Fais <sup>b</sup>

a) Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

b) Istituto Nazionale di Economia Agraria, Roma

## **Introduzione**

Il progetto finanziato dall'Unione Europea e dal Ministero per le Politiche Agricole "Sviluppo della divulgazione agricola e delle attività connesse" (Reg. 2052/88, obiettivo 1 - misura 4) ha consentito di mettere a punto un programma di cartografia pedologica che ha attivamente coinvolto tutti i Servizi di Sviluppo Agricolo del meridione d'Italia, nelle figure dei divulgatori agricoli specializzati in pedologia.

Una delle principali finalità del progetto cartografia pedologica nelle Unità Operative Territoriali delle regioni meridionali è stata quella di uniformare le metodologie e gli standard di rilevamento e di rappresentazione cartografica, rendendo più agevole il confronto con esperienze realizzate da altre istituzioni e la redazione di cartografie di sintesi a livello interregionale.

L'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo ha svolto il ruolo di coordinamento metodologico del lavoro dei Servizi di Sviluppo Agricolo (SSA), introducendo alcuni aspetti innovativi in merito alla acquisizione e gestione dei dati pedologici.

È noto infatti che l'approccio pedologico allo studio del territorio è caratterizzato dall'essere multidisciplinare, dall'utilizzare cioè conoscenze di molte discipline (geologiche, agronomiche, forestali, naturalistiche, ingegneristiche, chimico-agrarie, ecc.) e transdisciplinare, essendo utile per una più corretta e completa conoscenza delle problematiche, soprattutto applicative, in ognuna delle diverse discipline menzionate. Per tale motivo, durante un rilevamento dei suoli si acquisisce e si elabora una notevole quantità di informazioni, di cui solo una parte viene poi utilizzata per la redazione delle carte dei suoli e derivate, nonché delle note illustrative. L'imposta-

zione tradizionale del rilevamento pedologico comporta quindi una grande profusione di uomini e mezzi, con un beneficio di ritorno che può essere notevolmente incrementato.

Il sistema informativo per la gestione dei dati pedologici realizzato nell'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo è sorto proprio per cercare di ridurre e migliorare qualitativamente l'impegno per l'acquisizione dei dati e di ottimizzare la conservazione e la gestione delle informazioni territoriali.

La nuova impostazione del rilevamento pedologico, come è stata elaborata dal progetto, non è più finalizzata principalmente alla produzione di carte dei suoli e derivate, bensì alla creazione di un sistema informativo del suolo dal quale poter ricavare in ogni momento tutte le informazioni territoriali desiderate in termini numerici, logici e cartografici.

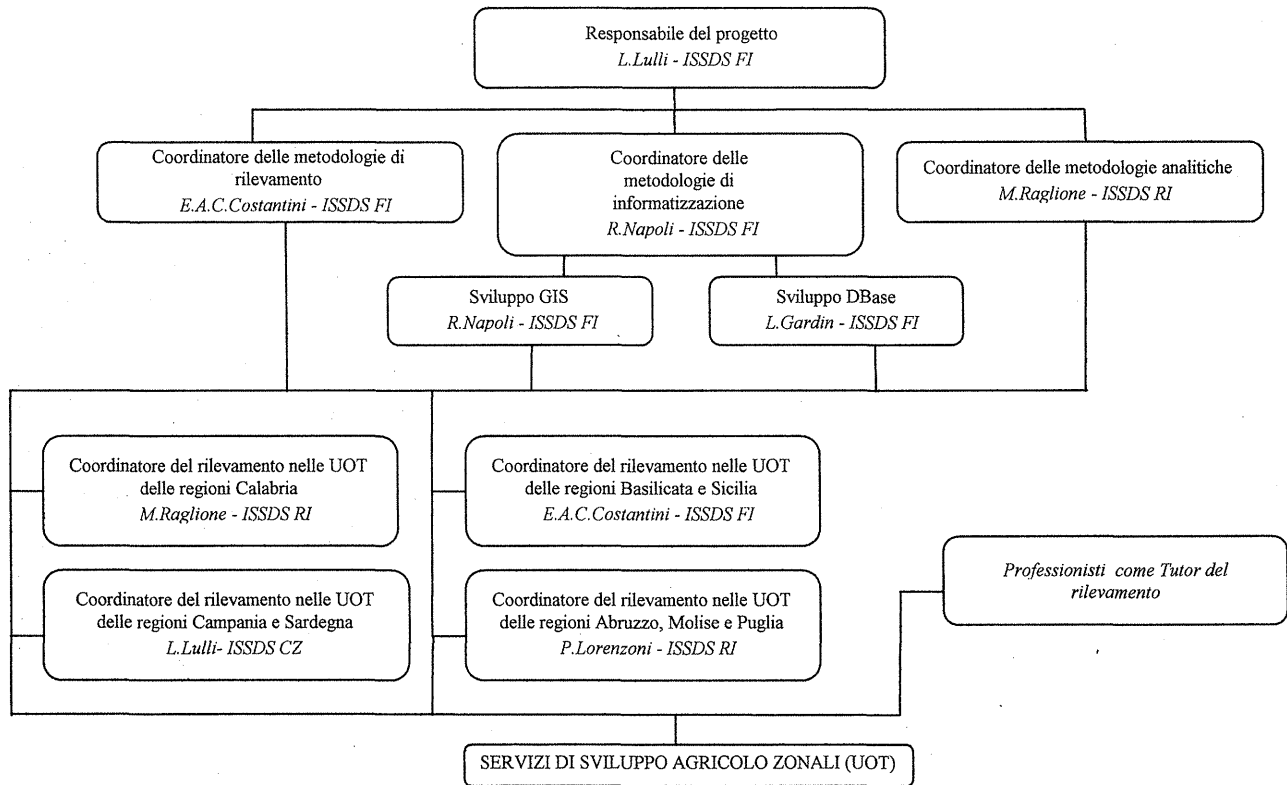
Un sistema aperto a nuove immissioni di dati, che consente sempre nuove elaborazioni ed è compatibile con i vari sistemi informativi territoriali messi a punto da altri settori delle amministrazioni pubbliche per finalità diverse (gestione agrotecnica delle colture, programmazione territoriale, urbanistica, etc.).

### **Materiali e metodi**

L'organizzazione del progetto si è esplicitata in varie Unità Operative anche all'interno delle strutture dell'ISSDS (figura 1), a seconda delle varie competenze, dal livello dirigenziale, al settore informatico e metodologico, fino al controllo della qualità dei rilevamenti e della corretta applicazione dei metodi in campagna.

I modelli realizzati ed i metodi sono stati messi a punto su un'area pilota di circa 20.000 ha, scelta dall'ISSDS come propria unità operativa territoriale, situata nella Toscana centrale (Alta Val D'Elsa). Tale area, già conosciuta per la distribuzione delle tipologie di suolo (Costantini et alii, 1985) e sede di studi applicativi attitudinali per diverse colture sulla base delle fasi di serie riconosciute (Costantini, 1987) è stata utilizzata per costruire il primo prototipo informatico, per eseguire la calibrazione sui modelli GIS e database pedologico, ed infine per realizzare il modello conclusivo con una precisa struttura di banche dati, sia alfanumeriche che geografiche. Tale modello è stato applicato su 13 aree sperimentali (figura 2), sotto il controllo delle Unità Operative Territoriali dei SSA, scelte in base all'interesse produttivo nei confronti di colture di pregio a livello locale, sia arboree che erbacee.

---



Schema organizzativo del progetto con particolare riferimento allo staff tecnico ISSDS

Figura 1

### Metodologie di rilevamento

Le finalità del progetto hanno influenzato in maniera sostanziale le metodologie di rilevamento previste.

Ogni area da rilevare è stata scelta nell'ambito dei comprensori agricoli individuati come strategici a livello regionale. Le sue dimensioni sono state commisurate in funzione dell'ottenimento di informazioni rappresentative per il comprensorio in studio, ma tenendo conto delle reali possibilità operative di ogni gruppo di lavoro.

La scala di rilevamento è stata stabilita considerando che l'obiettivo primario del progetto era la produzione di una cartografia pedologica di base per la successiva valutazione dell'attitudine delle terre alle specifiche colture-guida del comprensorio, da realizzarsi nell'ambito dei servizi di divulgazione. Per tale motivo è stata individuata nel 1:25.000, con rapporto cartografico in scala 1:50.000. Al di là della scala, il livello di intensità di indagine è stato quello che consentisse l'individuazione di tipologie pedologiche a livello di serie (Soil Conservation Service, 1975). La classificazione dei suoli è stata effettuata seguendo le indicazioni della Soil Taxonomy (Soil Conservation Service, 1994).

Poiché tra le finalità del progetto vi era l'utilizzazione di strumenti informatici per la memorizzazione e la restituzione cartografica dei dati, si è predisposto uno specifico manuale di rilevamento con relativa scheda di campagna, in cui sono state definite le modalità di descrizione dei principali caratteri e qualità dei suoli e stabilite le codifiche da usare (fig.3).

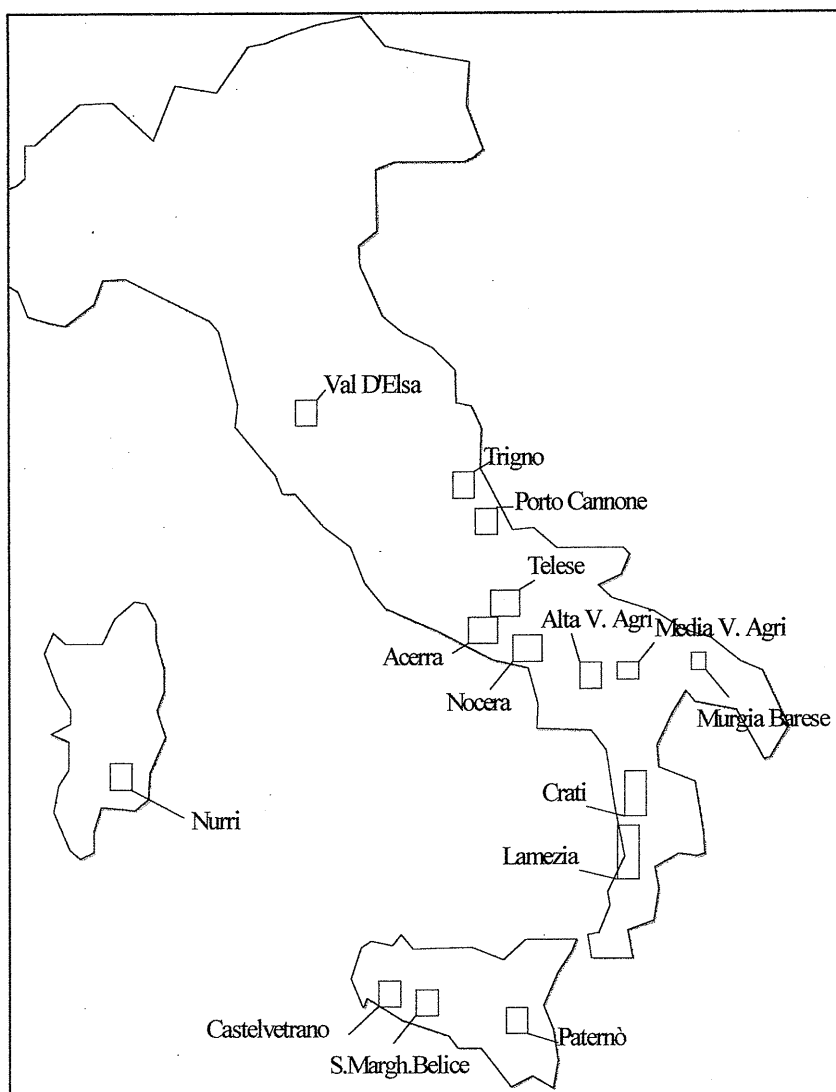
Nel manuale sono stati brevemente spiegati alcuni concetti pedologici, relativamente ai codici anagrafici dell'osservazione (tipo, numero, coordinate, classificazione...), alle caratteristiche della stazione (litologia, morfologia, uso del suolo, pietrosità...), alle caratteristiche degli orizzonti del suolo (colore, struttura, porosità...), ed alla stima delle principali qualità del suolo (drenaggio, permeabilità, AWC, ...). I riferimenti sull'argomento adottati provengono sia da fonti: internazionali (Soil Conservation Service, 1993; FAO-UNESCO, 1990) che nazionali (Sanesi, 1977; Regione Emilia-Romagna, 1993; Ente Regionale Sviluppo Agricolo Lombardia, 1994; Costantini et alii, 1991).

Un'importante caratteristica del manuale è quella di far compilare le voci quantitative mediante la stima numerica diretta del carattere osservato anziché attribuire un range di valori (classi), cosa che si è ritenuto essere di maggiore efficacia nella gestione dei dati. Inoltre, per i caratteri de-

scrittivi per i quali vi può essere un diverso grado di conoscenza da parte dei pedologi (poichè caratteri affini ad altre discipline come la botanica, la geologia, la geomorfologia) si è optato per una codifica "a cascata" ovvero per codici a più numeri che, pur mantenendo la coerenza dell'informazione, possano essere attribuiti da diversi livelli di conoscenze.

Figura 2

Localizzazione delle aree pilota





### Metodologia informatica (GIS & Database)

La metodologia informatica è stata sviluppata utilizzando sia un software geografico (Cartha for Windows 3.0), con cui è stata gestita anche la parte relativa alle immagini ortofotografiche e topografiche, che un database relazionale applicativo Microsoft (Access 2.0). La strutturazione di banche dati personalizzate ha consentito di ottenere un sistema informativo integrato costituito da una serie di banche dati sia alfanumeriche che geografiche legate da una serie di relazioni ed organizzate secondo una precisa gerarchia (figura 4). L'obiettivo finale è stato quello di ottenere un contenuto informativo pedologico di tipo puntuale ed areale che consenta una rappresentazione geografica (nel GIS), oppure solo delle informazioni alfanumeriche (nel database pedologico semantico). Inoltre la struttura prevede di raccogliere informazioni topografiche organizzate in strati informativi accessori nel GIS, nonché di immagini raster (topografiche e fotografiche), utili ad integrare l'informazione sui suoli. La gestione del sistema consente di poter interrogare e visualizzare i dati secondo una serie di criteri territoriali e produrre rappresentazioni di base (carte pedologiche), tematiche (carte derivate) e report descrittivi con risultati alfanumerici (tabelle di risposta), da utilizzare in altre applicazioni per produzione di note illustrative, grafici, elaborazioni statistiche, etc.

### Il database pedologico semantico

Le informazioni derivanti dal rilevamento pedologico sono state organizzate a livello di database, in due archivi gestiti entrambi dal software ISSDS: l'archivio delle osservazioni e l'archivio delle tipologie pedologiche.

Per *osservazioni* si intendono i profili, le trivellate, i pozzetti ed ogni altra osservazione anche speditiva (limitata per esempio solo ad alcuni caratteri) che viene eseguita in campagna.

Per *tipologie pedologiche* si intendono i tipi di suolo che vengono creati del rilevatore: l'archivio è organizzato in base a due livelli gerarchici: l'Unità pedologica (caratteri pedologici generali) e la Sottounità pedologica (caratteri e qualità del suolo di tipo applicativo), che possono corrispondere alla serie e fase di serie (Gardin, Costantini, Napoli, 1996).

La scelta di Access come ambiente per lo sviluppo del database ISSDS è stata fatta per la grande versatilità del prodotto, per la sua larga diffusione commerciale e per la sua facilità di uso.



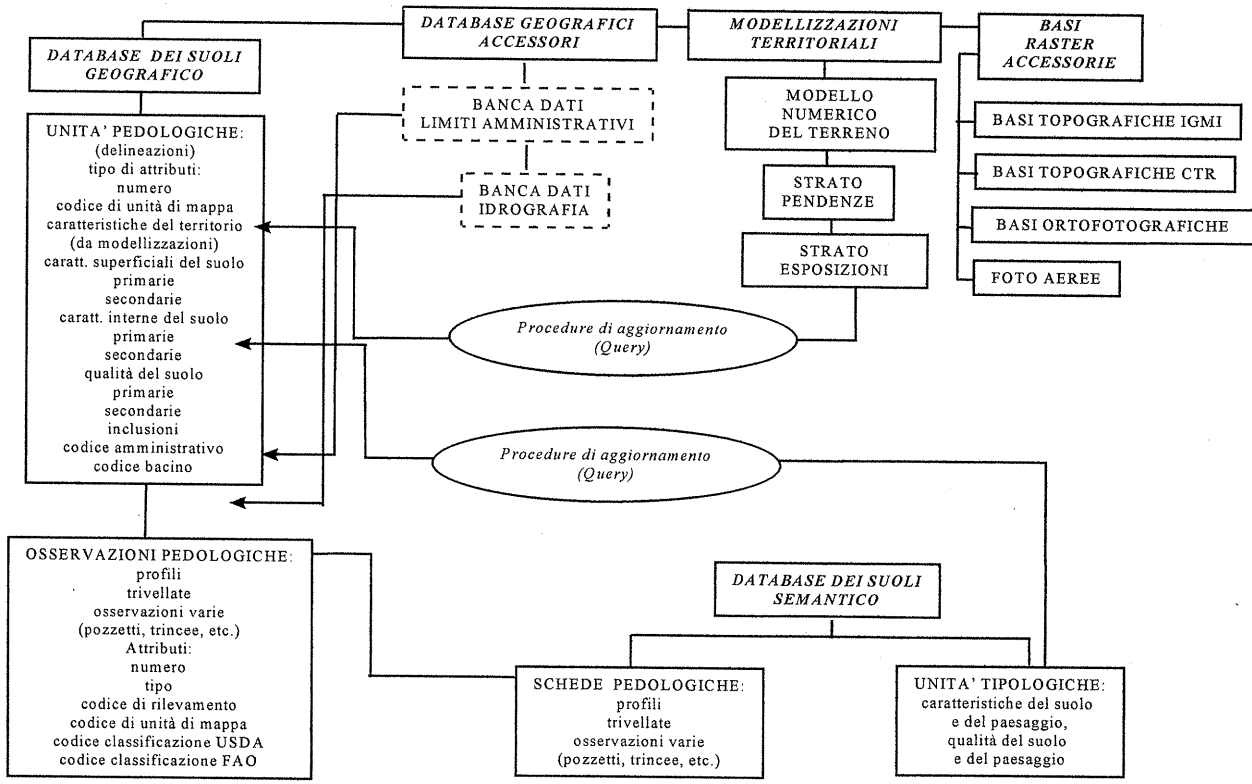
### Il database pedologico geografico

La struttura geografica realizzata con il software GIS cartografico si basa su tipi areali (delineazioni) e tipi puntuali (i vari tipi di osservazioni pedologiche), con attributi diversi a seconda della loro funzione. La *delineazione* (oggetto costituito da un poligono singolo), racchiude tutti gli attributi territoriali, suolo compreso (dominante e secondario). Parte di questi attributi territoriali vengono ereditati automaticamente tramite una precisa funzione del GIS come valori medi nei rispettivi campi, in particolare quelli derivanti dall'analisi del modello numerico del terreno, vale a dire quota, pendenza e esposizione. Il tipo contiene inoltre un profilo di riferimento, per visualizzare delle caratteristiche pedologiche puntuali. Infine sono contenute informazioni relative al livello gestionale - applicativo, necessarie per stimare le caratteristiche e le qualità del suolo, per due livelli guida (top e sub soil), per la valutazione della capacità d'uso e delle specifiche attitudini.

Per il tipo *profili* (oggetto puntuale) sono invece previsti pochi attributi, tra cui un campo foto che rimanda ad un file di visualizzazione interno al GIS con possibilità di inserire fino ad 8 immagini e altrettanti testi, ed un campo note che rimanda ad un documento con associata una descrizione di tipo tradizionale.

Infine, i tipi *trivellate e osservazioni* contengono solo gli attributi numerici progressivi, i codici di rilevamento e un campo note libero dove inserire le informazioni caratterizzanti pedologicamente il sito.

Le procedure di data entry sulle varie tipologie di oggetti geografici sopradescritte utilizzano le informazioni provenienti dal database semantico (sotto Access). La metodica proposta utilizza una serie di operazioni semi-automatiche (query di aggiornamento) che scaricano i dati dalle tabelle del database a quelle del GIS. Tale procedimento consente, tramite il legame suolo-unità tipologica-unità cartografica, di dare rappresentazione geografica alle caratteristiche funzionali e qualità dei suoli.



Struttura del sistema informativo realizzato per il progetto UOT, in tratteggio le banche dati in fase di realizzazione

Figura 4

## **Risultati e discussione**

### **Risultati tecnici**

I risultati tecnici del progetto hanno visto il completamento dei rilievi pedologici in tutte le aree, seppure con diverse modalità di partecipazione dei gruppi, di scala di indagine e di intensità delle osservazioni (tabella 1).

I divulgatori hanno dimostrato la capacità di sapersi confrontare con rilevamenti di dettaglio e semi-dettaglio, attraverso i quali approfondire le proprie conoscenze e completare, la propria formazione culturale.

È stato possibile inoltre fare una valutazione generale sul raggiungimento degli obiettivi del progetto (tabella 2). Emerge chiaramente che l'obiettivo raggiunto con maggiore difficoltà sia stato quello di introdurre le metodologie informatiche, dovuto alla impossibilità di assimilare in pochi mesi concetti e tecniche che spesso hanno bisogno di tempi più lunghi e di applicazione continua, nonché di assorbire le nuove metodiche di codificazione dati in fase di rilevamento. In definitiva, il completamento del progetto ha evidenziato per tutti i SSA, la formazione di un *primo embrione di servizio pedologico regionale*, che pur non essendo tra gli obiettivi dichiarati del progetto, rappresenta un risultato estremamente importante nella gestione della risorsa suolo a livello locale.

## **Conclusioni e prospettive future**

### **L'approccio bottom-up e l'analisi costi benefici**

La diffusione di applicazioni GIS in agricoltura è data dalla capacità di utilizzare tale tecnologia per costituire dei sistemi di supporto alle decisioni su specifiche problematiche locali e regionali, e quindi più vicini all'effettiva domanda di servizi, che trovino applicazione immediata a sostegno delle azioni di assistenza tecnica e che permettano scelte tecniche diversificate e più consapevoli da parte degli agricoltori. In tal modo si riesce ad avere un'immediata visibilità dei benefici.

Dalla presente esperienza deriva un nuovo approccio metodologico e organizzativo per le applicazioni GIS in agricoltura, fino ad ora utilizzate prevalentemente a fini statistici e di pianificazione e programmazione regionale. In particolare si può affermare che i GIS sviluppati con approccio bottom-up su scala locale, possono trovare valida applicazione nel-

Regione e area di indagine	Abruzzo (1) *	Basilicata (2) *	Basilicata (2) *	Campania (3) *	Molise (1) *	Puglia (1) *	Sardegna (1) *	Sicilia (3) *	Toscana (1) *	Totali o medie
	Trigno	Alto *	Alto *	Nocera *	Porto Cannone	Murgia barese	Nurri	Paternò * Belice *	Alta Val D'Elsa	
		Medio Agri	Medio Agri	Telese *				Castelv.		
				Acerra						
Superficie rilevata (ha)	9.000	14.000	14.000	60.000	9.000	4.000	2.000	15.000	18.000	170.000
Scala del rilevamento	1:25.000	1:25.000	1:25.000	1:25.000	1:25.000	1:25.000	1:10.000	1:25.000	1:25.000	1:25.000
Scala di restituzione della carta pedologica definitiva	1:50.000	1:50.000	1:50.000	1:50.000	1:50.000	1:50.000	1:25.000	1:50.000	1:50.000	1:50.000
Classificazione dei suoli utilizzata	Soil Taxonom y 1994	Soil Taxonom y 1994	Soil Taxonom y 1994	Soil Taxonom y 1994	Soil Taxonom y 1994	Soil Taxonom y 1994	Soil Taxonom y 1994	Soil Taxonom y 1994	Soil Taxonom y 1994	Soil Taxonom y 1994
Colture di interesse o particolari esigenze legate alla gestione agricola	Pesco	Frutteti Olivo	Frutteti Olivo	Ortive Frutteti	Ortive	Ciliegio	Irrigazione	Arancio Olivo Fico d'India	Vite Olivo Frumento	
Divulgatori pedologi interessati	2	1	1	4	2	1	4	5	-	24
Altri rilevatori	-	2	2	6	-	-	-	-	-	8
Trivellate e osservazioni speditive effettuate	630	640	640	1.350	200	300	n.d.	450	1300	5.550
Densità (ha /n)	14	22	22	44	45	13	n.d.	33	14	30
Profili effettuati	47	150	150	240	40	20	60	70	211	965
Densità (ha /n)	191	93	93	250	225	200	33	214	85	176

Riepilogo dei risultati del progetto relativamente alle aree sperimentali rilevate

Tabella 1

la costituzione di sistemi integrati di supporto alle decisioni in agricoltura. Tale approccio, ripercorrendo in piccola scala ed a bassi costi tutte le fasi del processo di produzione di un SIT, consente di attivare in tempi brevi supporti adatti alle specifiche necessità locali, e quindi più vicini all'effettiva domanda di servizi. In particolare l'approccio bottom-up ha consentito:

uno sviluppo totalmente interno al sistema dei SSA, a contatto con le problematiche locali;

di rendere immediatamente visibili i benefici economici (che è probabilmente il principale fattore che influenza l'adozione della tecnologia GIS in settori specialistici), ambientali e sociali, e quindi di svolgere un'opera di sensibilizzazione sull'efficacia delle applicazioni GIS in agricoltura;

di creare una cultura sulle applicazioni GIS, potenziando la formazione del personale addetto.

**Tabella 2**

Valutazione del raggiungimento degli obiettivi nel progetto di cartografia pedologica relativamente alle varie U.O.T. delle regioni meridionali coinvolte al giugno 1997

Regione	Abruzzo	Basilicata	Calabria	Campania	Molise	Puglia	Sardegna	Sicilia
<b>OBIETTIVI</b>								
Completamento della formazione dei divulgatori	si	si	si	no	si	si	parziale	si
Produzione dei modelli cartografici	si	si	si	si	si	si	parziale	si
Correlazione metodologica	si	si	parziale	parziale	si	si	parziale	si
<b>Introduzione delle tecniche informatiche:</b>								
Alfanumeriche	parziale	si	parziale	no	parziale	parziale	parziale	parziale
Geografiche	no	parziale	si	no	no	si	parziale	parziale
Pubblicazione dei risultati	no	no	si	no	si	no	no	no
Creazione di un embrione di nucleo pedologico regionale	si	parziale	si	parziale	si	parziale	parziale	si

Una dettagliata analisi costi-benefici è una componente critica nel ciclo di vita dei sistemi informativi geografici. Le applicazioni GIS comportano investimenti cospicui e complessi e per la materializzazione di benefici tangibili possono passare molti anni.

Nel presente caso sono stati definiti il "pay back period" (tempo richiesto affinché i benefici netti coprano il valore totale degli investimenti) e il "ROI - Return On Investment" (rappresenta il rapporto tra benefici netti e totale degli investimenti, cioè quanto rende il capitale, nel nostro caso dopo il primo anno di funzionamento del sistema). I costi sono stati calcolati per le cinque regioni di cui si disponevano i dati completi. Mentre il valore dei benefici è stato calcolato solo per la Calabria (unica regione dove è stato possibile identificare e quantificare i benefici attesi). Per poterli comparare, sono stati entrambi riportati ad un valore unitario ad ettaro.

I costi sono stati suddivisi in base a criteri funzionali, alle rendicontazioni finanziarie dei SSA, alla necessità di compararli con i dati presenti in letteratura (tabella 3).

**Tabella 3**

Costi GIS (.000 Lit) per ciascun componente (con relativo peso percentuale, rapportato a quello medio a livello mondiale) e regione

Regione	Abruzzo	Calabria	Molise	Sardegna	Sicilia	%
Gestione dati	57.638	51.926	27.373	32.500	13.734	21 (20)
Personale	25.500	105.775	29.068	51.750	22.500	27 (26)
Hardware	11.420	25.336	19.349	35.000	43.173	15 (24)
Software	8.741	39.748	9.000	16.000	31.985	12 (9)
Formazione, metodologia, gestione del sistema, coordinamento e controllo	13.200	55.200	12.960	21.840	7.200	13 (21)
Spese generali	8.000	63.495	7.417	13.500	12.230	12
Costi totali	124.499	341.480	105.167	170.590	130.822	
Area cartografata (ha)	9.000	37.556	8.910	15.000	5.000	
Costi Lit/ha (7/8)	13,833	9,093	11,803	11,373	26,164	100 (100)

Come si vede i costi sono contenuti (in media, di poco superiori alle 10.000 £/ha) ed in linea con quelli sostenuti per lo sviluppo di analoghe iniziative condotte a livello centrale. Anche la loro distribuzione percentuale rispecchia le tendenze a livello mondiale (in particolare, del merca-

to USA) e mette in evidenza il peso della raccolta e gestione dati e del personale sul totale degli investimenti.

Sono stati identificati 5 benefici attesi nella regione Calabria, di cui solo per i primi quattro si è riuscito a stimarne il valore (tabella 4). Tre di questi sono realizzabili sin dal primo anno e sono stati classificati come benefici di breve periodo (BBP). Il costo non sostenuto per i divulgatori in più necessari a far fronte all'aumento di produttività dovuto al GIS (30 %) è stato classificato come beneficio di lungo termine (BLT), ma non è stato possibile confrontarlo al totale degli investimenti. Infine non è stato possibile quantificare il valore del beneficio dovuto all'aumento atteso di superficie investita a produzioni tipiche e di qualità (+ 1300 ha).

Tabella 4

Benefici annuali quantificabili in Calabria (Lit/ha)

<b>BBP (Benefici a Breve Periodo)</b>	
Riduzione dei costi di fertilizzazione	9.319,5
Riduzione dei costi di lavorazione terreni	14.378,5
Altri costi non sostenuti	1.065
<b>Totale</b>	<b>24.663</b>
<b>BLT (Benefici a Lungo Termine)</b>	
Costi non sostenuti per aumento di area servita dai SSA	3.994

Nell'analisi costi-benefici, i benefici netti annuali sono stati calcolati sottraendo al totale dei BBP annuali il totale dei costi annuali per la gestione e diffusione dei dati (benefici netti = 24.663 - 1.000 = 23.663 Lit/ha). Tale valore è stato poi comparato con il totale degli investimenti. Dall'analisi, effettuata solo per il primo anno, è risultato un ROI (ritorno degli investimenti) estremamente vantaggioso (1,6) ed un Pay back period estremamente ridotto (4,6 mesi) (tabella 5).

Tabella 5

Analisi costi-benefici (Lit/ha) di applicazione GIS ai servizi di sviluppo agricolo della Calabria

<b>Totale investimenti:</b>	<b>9.093</b>
<b>Benefici netti:</b>	<b>23.663</b>
<b>ROI:</b>	<b>1,6</b>
<b>Pay back period:</b>	<b>4,6 mesi</b>

Con ciò si dimostra che le applicazioni GIS a livello locale per i SSA e con un approccio bottom-up sono un investimento possibile e conveniente, particolarmente nelle regioni del Sud, che ancora non hanno sviluppato propri sistemi informativi e archivi cartografici in formato numerico. Infatti hanno costi contenuti e, conseguentemente, richiedono benefici e tempi minimi per riassorbire gli investimenti, oltre che un elevato rapporto costi-benefici. La visibilità di questi benefici potrebbe essere nel futuro la chiave di volta per i SSA per recuperare i costi marginali dovuti al mantenimento ed all'implementazione del sistema e alle richieste degli agricoltori.

### Prospettive future

Attualmente possono essere individuate, per il settore della ricerca, alcune prospettive di estremo interesse di collegamento ad altri progetti in corso, sviluppati presso la sezione genesi, classificazione e cartografia dell'ISSDS, che ha raccolto tutti i dati pedologici e geografici afferenti dalle varie UOT. Si tratta di alcuni progetti nazionali, quali il Progetto PAN-DA - Sottoprogetto 1 "Sensibilità delle aree", ricerca "Definizione dei regimi pedoclimatici italiani", con l'estensione ai suoli dell'intero territorio nazionale dei risultati sperimentali provenienti dalla validazione dei modelli pedoclimatici; il progetto MONCAPRI, attraverso una correlazione tra suoli e paesaggi delle aree UOT con le informazioni tipologiche e cartografiche raccolte dal progetto. Infine i progetti europei, in collaborazione con il EUROPEAN SOIL BUREAU del Joint Research Center di ISPRA, tramite la correlazione e trasferimento delle informazioni pedologiche nei Database Europei (1:1.000.000, 1:250.000, e Soil Profile Analytical Database).

### Bibliografia

- COSTANTINI E.A.C., LULLI L., CATONE I., PINZAUTI S. (1985) - Serie e fasi di suolo sui depositi pliocenici marini del territorio di S.Gimignano (Siena). Indagine preliminare per la definizione delle aree idonee alla produzione di Vernaccia D.O.C.G. - Ann. Ist. Sper. Studio e Difesa Suolo.
- COSTANTINI E.A.C. (1987) - Cartografia tematica per la valutazione del territorio nell'ambito dei sistemi produttivi. Bacini dei torrenti Vergaia e Borratello: area rappresentativa dell'ambiente di produzione del vino Vernaccia di San Gimignano (Siena). - Ann. Ist. Sper. Studio e Difesa Suolo.
- COSTANTINI E.A.C., FAVI E., LULLI L., RODOLFI G. (1991) - I suoli in campagna. In CREMASCHI M. e RODOLFI G. - Il suolo - ed. Nuova Italia Scientifica.
- ENTE REGIONALE SVILUPPO AGRICOLO LOMBARDIA (1994) - Guida alla compilazione delle schede di campionamento.



- FAIS, A.; BONATI, G. (1997) - Cost-benefit analysis on GIS applications for agricultural local extension services - Proceedings of the 1st European Conference For Information Technology in Agriculture - Copenhagen (DK).
- FAIS, A. et al. (1996) - GIS applications to extension services: an experience in Calabria - Proceedings of ICCTA '96 (Wageningen, NL).
- GARDIN L., NAPOLI R., COSTANTINI E.A.C.(in stampa) - Architettura di un database relazionale per un sistema informativo pedologico. - Atti del XXI Convegno Nazionale SISS - Milano, giugno 1996.
- GARDIN L., COSTANTINI E.A.C., NAPOLI R., GREGORI E., PRIMAVERA F.(1995). - Guida al rilevamento dei suoli - Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Progetto UE-Mi.P.A. "Sviluppo della divulgazione agricola e delle attività connesse" (Reg.2052/88, obiettivo 1 - misura 4).
- GARDIN L., NAPOLI R., COSTANTINI E.A.C.(1996) - ISSDS Database osservazioni e unità pedologiche - Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo. Progetto UE-Mi.P.A. "Sviluppo della divulgazione agricola e delle attività connesse" (Reg.2052/88, obiettivo 1 - misura 4).
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA (1993). Manuale per il rilevamento e la descrizione dei suoli.
- SANESI G. (1977) - Guida alla descrizione del suolo - C.N.R. Progetto finalizzato "Conservazione del suolo" n. 11
- SOIL SURVEY STAFF SCS USDA (1994) - Keys to Soil Taxonomy (sixth edition, 1994)
- SOIL CONSERVATION SERVICE USDA (1993) - Soil Survey Manual

### Note

R. Napoli <sup>1</sup>, L. Gardin <sup>2</sup>, E.A.C. Costantini <sup>3</sup>, A. Fais <sup>4</sup>

- 1) Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze; responsabile del settore informatico per le metodologie GIS nel progetto UOT, ha curato la realizzazione del testo, delle elaborazioni geografiche ed analitiche con la collaborazione degli altri autori.
- 2) Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze; responsabile del settore informatico per le metodologie del database pedologico nel progetto UOT; ha curato la realizzazione del testo, delle elaborazioni grafiche ed analitiche con la collaborazione degli altri autori
- 3) Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze; responsabile del settore per le metodologie di rilevamento e di correlazione delle tipologie di suolo nel progetto UOT; ha curato la realizzazione del testo e delle elaborazioni grafiche ed analitiche con la collaborazione degli altri autori
- 4) Istituto Nazionale di Economia Agraria, Roma; ha curato la realizzazione del testo e delle tabelle relative all'analisi socio-economica del progetto.

## LA QUALITÀ DEL SUOLO IN RELAZIONE AD UN USO AGRICOLO SOSTENIBILE DEL TERRITORIO. UN ESEMPIO DI APPLICAZIONE ALLA TARTUFICOLTURA

Raglione Marcello, De Simone Claudio, Lorenzoni Paolo

Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo. Sezione di Conservazione del Suolo  
Via Casette 1, C.P. 117 - 02100 Rieti.

### Riassunto

Le opere di forestazione produttiva applicate alla tartuficoltura rientrano nel quadro generale di un'agricoltura compatibile. Per esse valgono, quindi, gli stessi principi che trovano, o almeno dovrebbero trovare, applicazione in un'agricoltura sempre più attenta alla qualità del suolo, intesa, quest'ultima, non solo come conservazione della risorsa, ma, anche, come serie di parametri da considerare per una sua migliore utilizzazione. Da essa dipendono, infatti, le possibilità di sviluppo delle singole specie di tartufo, indipendentemente da quella utilizzata nella micorizzazione del simbiote.

In tale tematica sono stati studiati e messi a confronto i suoli di sviluppo di due specie di tartufo (*Tuber melanosporum* Vitt. e *Tuber brumale* Vitt.) rinvenuti in un impianto artificiale allestito con piante portatrici di micorrize di una sola specie (*Tuber melanosporum* Vitt.). Nel caso specifico, comunque in generale molto frequente in analoghe coltivazioni dell'Italia Centrale, la presenza di diverse caratteristiche pedologiche all'interno dell'area di impianto ha fatto sì che una specie non voluta si sia sostituita a quella desiderata. Sia dalle osservazioni effettuate in campagna, che dalle risultanze delle analisi fisico-chimiche condotte in laboratorio, emerge come i parametri rilevati siano significativamente diversi nelle due situazioni. *In situ* si denota una marcata differenziazione nei due suoli per quanto riguarda la strutturazione, il drenaggio, lo spessore degli orizzonti organico-minerali, con costante favorevolezza di condizioni nelle aree di rinvenimento del tartufo nero pregiato. Dalle indagini di laboratorio risaltano scostamenti evidenti in quei parametri (composizione granulometrica, reazione, contenuto in carbonato di calcio, in carbonio organico ed in manganese assimilabile, ecc.)

che in precedenti lavori degli A.A. sono stati riconosciuti come tra i più qualificanti per l'abitabilità del *Tuber melanosporum* Vitt.

La diversa qualità dei suoli rinvenuti è stata, inoltre, confermata da un'elaborazione statistica dei parametri rilevati, che, utilizzando come base i dati analitici ottenuti in oltre cento siti tartufigeni delle specie più comuni, ha collocato diversamente le due realtà, posizionando correttamente ciascuna di esse nel proprio gruppo di appartenenza.

### **Premessa**

Il concetto di agricoltura compatibile (*sustainable agriculture*) può essere riassunto brevemente nella capacità dell'azienda agricola di produrre per tempi indefiniti, in un quadro internazionale caratterizzato dall'aumento insostenibile dei costi di produzione, da un calo vertiginoso dei prezzi dei prodotti agricoli, dall'esigenza di assicurare migliori condizioni igienico-sanitarie per gli operatori ed i consumatori, nonché di garantire la conservazione delle risorse. A tale scopo alla riduzione degli imput colturali (fertilizzanti, fitofarmaci, consumi energetici per le singole operazioni) va associata l'adozione di tutte quelle tecniche agronomiche e di quelle colture che concorrono al mantenimento della risorsa suolo, garantendo la redditività per gli operatori agricoli anche attraverso l'adozione del concetto di "qualità del suolo".

In tale quadro generale ben si inserisce la tartuficoltura sia come fonte integrativa di reddito, che come tipo di coltivazione a bassissima richiesta di operazioni colturali, e nella quale determinanti sono le caratteristiche intrinseche dei suoli investiti.

Tra le numerose problematiche che investono le opere di forestazione produttiva per la realizzazione di tartufaie artificiali non è certo di scarsa importanza il fatto che, generalmente, solo una minima parte delle piante entra in produzione e che, spesso, ciò avviene con specie diverse da quella utilizzata nella micorrizzazione del simbionte. È ben noto, infatti, che, anche dopo un certo numero di anni, in taluni impianti non venga rinvenuto alcun carpoforo o che in talaltri ne vengano cavati di minor pregio rispetto a quello desiderato. Ciò, oltre ad una notevole perdita economica, comporta anche l'innescò di una lunga serie di polemiche e di accuse reciproche tra i vivaisti ed i proprietari degli impianti, nonché perplessità tra gli esperti. In precedenti note gli A.A. hanno già apportato loro contributi in materia (Raglione et Alii, 1992; De Simone et Alii, 1993; Lorenzoni et Alii, 1995) evidenziando l'importanza determinante del tipo di suolo nello sviluppo del Tar-

tufo nero pregiato (*Tuber melanosporum* Vitt.) e segnalando una serie di caratteristiche fisico-chimiche e di figure pedologiche, il cui rilievo è indispensabile per la riuscita degli investimenti.

Con la presente si intende viepiù rafforzare quanto precedentemente affermato circa la necessità dello studio del suolo prima dell'esecuzione degli impianti e della scelta delle specie micorriziche, attraverso lo studio comparativo di due suoli facenti parte dello stesso ambiente fisico e climatico, ma sede di sviluppo di carpofori diversi.

### **L'ambiente**

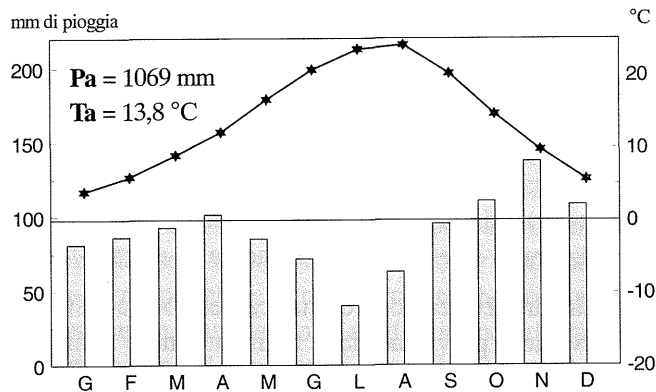
La località in cui sono stati eseguiti i rilievi è sita poco a sud dell'abitato di Scheggino (PG), in destra idrografica del fiume Nera, identificabile in un piccolo cono di deiezione originato da un affluente del suddetto fiume. Le rocce affioranti nel bacino imbrifero di tale corso d'acqua (Servizio Geologico d'Italia, 1968) sono costituite essenzialmente da calcari marnosi (scaglia rossa) e da marne (scaglia cinerea). La quota media è di 280 m. s.l.m., l'esposizione S-O e la pendenza media di circa 10°.

La caratterizzazione climatica della zona è stata eseguita utilizzando le osservazioni pluviometriche registrate in 45 anni presso la stazione di Scheggino nel periodo che va dal 1921 al 1980, e quelle termometriche rilevate a Foligno, Spoleto e Norcia, le stazioni più vicine all'area di indagine (Ministero LL.PP, 1921÷1980), ed elaborate secondo una regressione lineare. I valori medi mensili ed annuali di piovosità e di temperatura così ottenuti sono riportati in Fig.1. Dalla stessa emerge come la piovosità raggiunga, nel periodo considerato, una media annuale di 1069 mm. e sia contraddistinta da un massimo principale in autunno, nei mesi di novembre e di ottobre, e da uno secondario primaverile in aprile. Per quanto attiene le temperature medie, il mese più caldo risulta essere agosto con 24,1 °C, quello più freddo gennaio con 3,9 °C, mentre la media annuale raggiunge i 13,8 °C. In base a tali caratteristiche la classificazione climatica generale che ne deriva è, secondo il sistema proposto da Köppen (1936), di tipo Cfsa: temperato moderatamente umido, con estate relativamente asciutta e piuttosto calda. Più in particolare, ed introducendo anche il fattore evapotraspirazione (Thornthwaite & Mather, 1957), si ottiene una formula climatica di tipo B<sub>1</sub> B<sub>2</sub>'sb<sub>3</sub>', che identifica un clima umido, secondo mesotermico, con moderata deficienza idrica in estate, con una concentrazione estiva dell'efficienza termica pari a 52,5.

L'area è sede di una tartufaia artificiale a base di *Quercus pubescens* micorrizate con *Tuber melanosporum* Vitt., la cui realizzazione risale ai primi anni '80 ed attiva da alcuni anni. Dal punto di vista produttivo essa si differenzia chiaramente in due zone: una, nettamente la più estesa, in cui si rinvencono carpofori di *Tuber melanosporum* e l'altra, limitata alla parte terminale destra della forma morfologica, nella quale vengono raccolti solo esemplari di *Tuber brumale*.

**Figura 1**

Valori medi mensili ed annuali di temperatura e di piovosità riferiti all'area in esame



## Materiali e Metodi

L'indagine eseguita è consistita in due fasi, una prima di campagna ed una successiva di laboratorio.

In campo sono stati effettuati rilievi sulle caratteristiche fisiche della tartufaia studiata, individuati due diversi ambienti pedo-morfologici e le loro relazioni con le due specie di carpofori che si rinvencono nell'impianto. Sono stati, inoltre, descritti (Sanesi G., 1977) e campionati i profili tipo rappresentativi delle diverse condizioni ambientali (Profilo 201 in pannello di *Tuber melanosporum* e profilo 401 in prossimità di una roverella con produzione di *Tuber brumale*).

In laboratorio sono state eseguite, sui campioni di suolo prelevati e seguendo i Metodi Ufficiali di Analisi Chimica del Suolo (Mi.R.A.A.F.,

1992), analisi fisico-chimiche per la caratterizzazione e la classificazione dei due pedons descritti. In particolare: l'analisi granulometrica è stata condotta con il metodo della sedimentazione e setacciatura ad umido per le sabbie; la capacità di acqua disponibile (A.W.C.) è stata determinata con le piastre di Richards; le valutazioni del Calcare totale con il calcimetro di Dietrich-Fruehling, del contenuto in Carbonio organico con il metodo Walkley e Black, della C.S.C. con cloruro di bario (a pH 8,1); la dotazione in meso e microelementi assimilabili è stata determinata tramite spettrofotometria ad assorbimento atomico (Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn) e fotometria a fiamma (Na e K) dopo estrazione con ammonio acetato a pH 7 per le basi di scambio, e con una soluzione ammonio acetato + EDTA tamponata a pH 4,65 per i microelementi.

Sulla scorta di quanto riportato in precedenti note (Raglione et Alii; De Simone et Alii; Lorenzoni et Alii, oo.cc.), alcuni dei parametri fisici e chimici rilevati sono stati utilizzati in un'analisi discriminante a tre livelli di classificazione (tartufo nero pregiato, tartufo scorzone, altri tartufi), condotta con l'ausilio di una banca dati costituita in base a precedenti rilievi effettuati su alcune decine di tartufoie naturali. Per la scelta delle variabili da utilizzare tra tutte quelle rilevate, è stato seguito un metodo "stepwise", dal quale sono emerse come le più significative, ma anche sufficienti a separare i diversi ambienti pedologici, il  $pH_{KCl}$ , il logaritmo del contenuto in Mn assimilabile ed il tenore in Carbonio organico.

## I suoli

La descrizione di campagna dei suoli tipo e le risultanze delle relative analisi condotte in laboratorio sono riportate in Appendice 1 e 2. Dal confronto delle due schede emerge chiaramente una netta differenziazione tra i due ambienti pedologici, sia per quanto attiene le caratteristiche rilevate in campo, che per quelle emerse dalle analisi di laboratorio.

Il suolo, rilevato come profilo 201 e rappresentativo dei siti di sviluppo del *Tuber melanosporum*, è caratterizzato, in tutti gli orizzonti ( $A_1$ ,  $A_2$ ,  $B_w$ ) e per tutta la profondità raggiunta dallo scavo (60 cm.), da una strutturazione tendenzialmente di tipo granulare e grumoso, dalla presenza di abbondante scheletro calcareo, da una elevata porosità e da un drenaggio interno rapido.

Il suolo identificato come profilo 401 è, invece, riconducibile alle situazioni in cui si ha presenza di *Tuber brumale*. Esso è chiaramente visibile in due nel senso della profondità: ad un primo orizzonte A, poco

profondo e molto simile a quelli rinvenuti nel precedente suolo, ma molto più plastico e con rapida scomparsa delle strutturazioni alla pressione, si succedono due sottorizonti cambici con aggregazioni poliedriche evidenti nel superiore e poco sviluppate in quello più profondo, plastiche, con porosità scarsa e drenaggio interno moderato.

Anche dalle analisi di laboratorio emerge una chiara differenziazione di caratteri nei due pedons. Franco-sabbioso per tutta la profondità il 201 ed argilloso il 401; con un contenuto in carbonato di calcio notevolmente maggiore ed una reazione più alcalina, anche se di poco, il primo; con valori notevolmente più alti di Mn assimilabile, e significativamente di Zn, Cu assimilabili, Carbonio totale ed acidità estraibile il secondo.

La Capacità di ritenuta idrica (A.W.C.) è risultata modesta in ambedue i suoli a causa della presenza di rilevante quantità di scheletro che riduce notevolmente la percentuale di terra fine: essa ha assunto valori di 29 mm nel profilo 201 e di 47 mm nel 401.

Il pedoclima determinato con il metodo del Billaux (1978), indica per ambedue i suoli un regime di umidità nettamente xerico, con 102 e 114 giorni consecutivi di secchezza estiva rispettivamente per il profilo 401 e per il 201. Utilizzando, invece, il "Newhall Simulation System" (Cornell University, 1991) si ottiene un regime di umidità di tipo ustico (temperato ustico umido) per il suolo con tartufo nero pregiato e di tipo udico (temperato udico secco) per quello di produzione del tartufo brumale. Questa seconda metodologia di stima è, senz'altro, da ritenere la più corretta, pur avendo i due suoli una limitata capacità di ritenuta idrica, sia per l'immediatezza del sito studiato allo stretto fondovalle del fiume Nera, che per le non trascurabili piovosità medie dei mesi estivi. A ciò si aggiunga, data la forma morfologica del sito studiato, la non remota possibilità di un rifornimento idrico sottosuperficiale proveniente dalla parte alta dell'asta torrentizia matrice del cono di deiezione.

Per quanto riguarda il regime di temperatura, esso si colloca nella parte superiore del mesico, quasi al limite con il termico.

In base alle osservazioni di campagna, ai risultati delle indagini di laboratorio ed alle indicazioni del "Soil Survey Staff" (U.S.D.A. 1992), i due suoli (profili 201 e 401) sono stati classificati rispettivamente come appartenenti agli *Udifluventic Ustochrepts* ed ai *Rendollic Eutrochrepts*.

## Discussione dei risultati

Per l'esperienza maturata in precedenti lavori e basata nel rilievo di alcune decine di tartufaie naturali, il profilo identificato come 201 presenta, nell'osservazione di campagna, caratteristiche fisiche tipiche dei suoli di produzione del tartufo nero pregiato e tali da creare un ambiente di crescita ben aerato, ben drenato e mai completamente secco (Callot G., Jaillard B., 1996). La strutturazione in assoluto dominante è di tipo granulare e grumoso, sono assenti figure pedologiche che indichino anche una minima o temporanea difficoltà di drenaggio, è presente una notevole quantità di scheletro calcareo sia in superficie che nel profilo, tale da garantire un rifornimento continuo di carbonato di calcio e da impedire la compressione delle strutture (Pardini T. et Alii, 1993). Altra importantissima azione che viene esercitata dalla pressoché continua copertura superficiale di scheletro, e riconducibile a quella della pacciamatura, è di rallentare la perdita di umidità per evaporazione. Tutto il suolo, e l'orizzonte  $B_w$  in particolare, mostra caratteristiche di porosità e di drenaggio riconducibili a quelle dell'orizzonte  $B_{bio}$  di Callot e Jaillard (o.c.), la cui presenza è stata riconosciuta dagli stessi come indispensabile per la produzione di ascocarpi di *Tuber melanosporum*.

Nel profilo 401 si denota, invece, con la profondità ed a partire dall'orizzonte più superficiale, un deterioramento delle qualità fisiche. Ciò si manifesta con una progressiva riduzione del grado di aggregazione, fino alla quasi completa scomparsa finale della strutturazione, e con una forte riduzione della porosità e del drenaggio interno. Il suolo si presenta, inoltre, plastico in tutti gli orizzonti, con facile collasso delle strutture granulari e grumose alla compressione. Queste caratteristiche influiscono negativamente sia sull'areazione del suolo, che sullo smaltimento delle acque. Loro conseguenza finale è costituita da un eccesso, anche se temporaneo, di umidità nelle porzioni superficiali del suolo, tale da inibire lo sviluppo del tartufo nero pregiato, e da un limitato rifornimento idrico per risalita capillare nel periodo estivo.

Dalle risultanze delle analisi fisico-chimiche condotte nei due suoli sono di immediato rilievo soprattutto le loro diverse composizione granulometrica e reazione in KCl, nonché i contenuti in Carbonio organico, Calcare totale ed in Mn assimilabile. Per quanto riguarda i valori granulometrici e del contenuto in Calcare, più volte è stata osservata la loro estrema variabilità (Bencivenga et Al., 1988; Poitou, 1988; Raglione et Al., o.c.), e, quindi, la loro non indicità nei suoli del *Tuber melanosporum*. Già nel 1992, invece, gli Autori (Raglione et Al., o.c.) avevano riconosciuto l'importanza



della determinazione del  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  quale uno dei possibili indicatori di idoneità dei suoli al tartufo nero pregiato, segnalando il valore di 7,2 come limite inferiore di abitabilità. Tale osservazione trova coerenza nei due profili esaminati, ove detto parametro si attesta su valori sempre superiori al citato limite negli orizzonti del p. 201, e sempre inferiori, anche se di poco, in quelli del p. 401. Anche per quanto riguarda il contenuto in Mn assimilabile i due suoli si ben differenziano, con valori marcatamente più alti in quello con presenza di *Tuber brumale*. Ciò in accordo con quanto riferito da De Simone et Al. (o.c.) in merito al diverso tenore del suddetto elemento nei suoli del tartufo nero pregiato rispetto a quello rinvenibile nei suoli delle altre specie. I differenti contenuti in Carbonio organico, fino ad oggi non ritenuti significativi per la loro alta variabilità, nel caso specifico si sono dimostrati essere influenti nella separazione dei due ambienti pedologici studiati, come dimostra la selezione da parte della procedura "stepwise" di tale parametro nell'analisi discriminante condotta.

Una conferma della differente qualità dei due suoli viene dall'inserimento dei risultati dell'indagine chimico-fisica nell'insieme delle informazioni acquisite nel corso di precedenti rilievi ed applicando ad essa un'analisi discriminante a tre livelli di classificazione (tartufo nero pregiato, tartufo scorzone, altri tartufi). Tale elaborazione, la cui versione grafica è riportata in Figura 2, pur non tenendo conto nella fase attuale delle osservazioni condotte in campagna, ha permesso di ben diversificare i due pedons, collocandoli correttamente nei rispettivi gruppi di appartenenza.

Gruppo 1:      tartufo nero pregiato;

Gruppo 2:      tartufo scorzone;

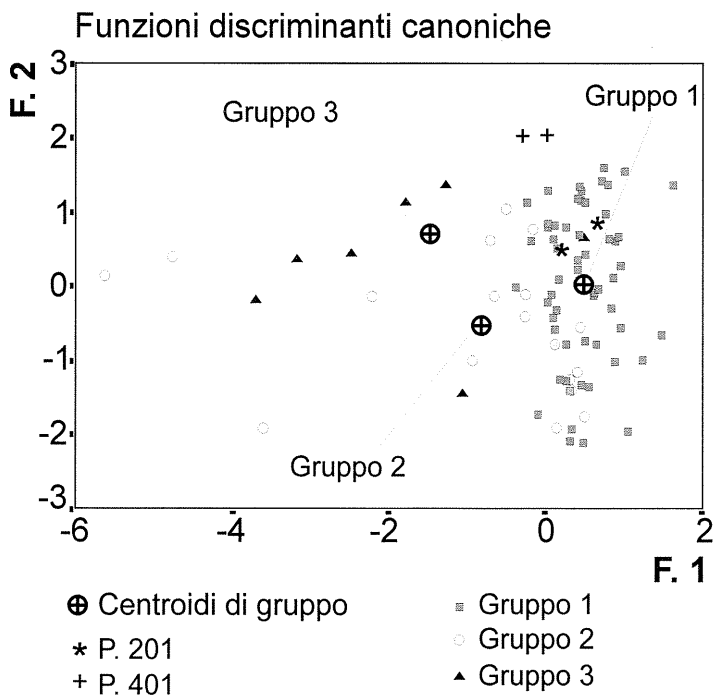
Gruppo 3:      altri tartufi.

Infatti, i primi orizzonti ( $A_1$  ed  $A_2$ ) del profilo 201, identificati nella figura con un asterisco, sono stati classificati e collocati in pieno dominio del gruppo 1 (tartufo nero pregiato), in estrema vicinanza al centroide di gruppo. Gli orizzonti A e  $B_{w1}$  del profilo 401 (simbolo a croce) sono stati classificati come gruppo 3 (altri tartufi) e posizionati esternamente alle aree dei gruppi 1 e 2 (tartufo nero pregiato e tartufo scorzone).

È da sottolineare che tra le tre variabili utilizzate ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$ , Mn ass. e C org.), emerse come detto dalla selezione con il procedimento "stepwise", ben due ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$  e Mn ass.) erano già state segnalate dagli Autori come indicative della qualità dei suoli ai fini della produzione di tartufo nero pregiato.

Figura 2

Grafico a dispersione di gruppo visualizzante i risultati dell'analisi discriminante a tre livelli di classificazione



### Conclusioni

L'indagine intrapresa ha mostrato, ancora una volta, che la qualità del suolo, intesa come insieme di caratteristiche necessarie per il supporto e lo sviluppo di una specifica coltura, può essere definita solo attraverso un esame approfondito del profilo pedologico. A tal fine lo studio non può ritenersi esaustivo se in fase di valutazione non viene tenuto conto della globalità delle informazioni raccolte sia in campo che in laboratorio, o se si privilegiano a priori le une rispetto alle altre. Nel caso specifico, infatti, la disamina delle sole osservazioni di campagna o dei soli risultati analitici, pur differenziandosi ciascuno di essi nei due profili, non sarebbe stata sufficiente a spiegare la diversa qualità dei due suoli. Infine, l'estensione a scopi ap-

plicativi delle osservazioni effettuate nella caratterizzazione degli ambienti pedologici, cioè la definizione in senso assoluto della qualità di un suolo per l'impianto di una specifica tartufaia, non può prescindere dalla parametrizzazione anche delle caratteristiche rilevate in campo, onde consentire una loro utilizzazione in modelli statistici.

### **Bibliografia**

- BENCIVENGA M., CALANDRA R. & GRANETTI B. (1988) - Ricerche sui terreni e flora delle tartufaie naturali di *Tuber melanosporum* Vitt. dell'Italia centrale. Atti de " II Convegno Internazionale sul Tartufo ", Spoleto.
- BILLAUX P. (1978) - Estimation du " regime hidrique " des sols au moyen des données climatiques. Cahiers O.R.S.T.O.M., Serie Pédologie, Vol. XVI n:3.
- CALLOT G., JAILLARD B. (1996) - Incidence des caractéristiques structurales du sous-sol sur l'entrée en production de *Tuber melanosporum* et d'autres champignons mycorrhiziens. Agronomie, 16.
- DE SIMONE C., LORENZONI P., RAGLIONE M. (1993) - Il manganese nei suoli di produzione di *Tuber melanosporum* e di *Tuber aestivum*. " STUDI SASSARESI ", Sez.III - Annali della Facoltà di Agraria dell'Università di Sassari, vol.XXXV.
- KÖPPEN W. - Das geographische System der Klimate. Nel vol. di Köppen W., Geiger R., Handbuch der Klimatologie, Bd, Teil C, Berlino, 1936.
- LORENZONI P., DE SIMONE C., RAGLIONE M. (1995) - Valutazione di alcuni parametri pedologici nella caratterizzazione dei suoli idonei alla produzione di Tartufo nero pregiato. AGRICOLTURA RICERCA, n. 160,ott./nov./dic..
- MINISTERO DELL' AGRICOLTURA E DELLE FORESTE - Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo. Supplemento ordinario alla GAZZETTA UFFICIALE, serie generale, n. 121, 1992.
- MINISTERO LL.PP. (1921÷1980) - Annali del Servizio Idrografico.
- PANINI T., LULLI L., BRAGATO G., PAGLIAI M., PRIMAVERA F. (1993) - Suoli e Siti del *Tuber melanosporum* Vitt. sulla Scaglia rossa di Volperino (PG). MONTI E BOSCHI, n. 2.
- POITOU N. (1988) - Les sols truffiers français. Atti de " II Convegno Internazionale sul Tartufo ", Spoleto.
- RAGLIONE M., LORENZONI P., DE SIMONE C., MONACO R., ANGIUS A. (1992) - Osservazioni sulle caratteristiche pedologiche di alcuni siti di Tartufo nero pregiato (*Tuber melanosporum*) in provincia di Rieti. Convegno Internazionale sul Tartufo, L'Aquila 5-8 marzo 1992. "MICOLOGIA e Vegetazione MEDITERRANEA", vol. VII.
- SANESI G., et Alii (1977) - Guida alla descrizione del suolo. C.N.R. Firenze.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1968) - F. 131 (Foligno) della Carta Geologica d'Italia. Roma.
- THORNTHWAITE C. W., MATHER J.R. (1957) - Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance, Centreton.
- U.S.D.A. (1992) - Keys to Soil Taxonomy, SMSS Technical Monograph n.19., V Ed.. Pocahontas Press, Inc. Blacksburg, Virginia.

## Appendice 1

### PROFILO N° 201

<b>CLASSIFICAZIONE:</b>	Soil Taxonomy: Udifluventic Ustochrept
<b>LOCALIZZAZIONE:</b>	Comune di Scheggino, circa 500 m a sud dell'abitato, lungo la Valnerina. Foglio 131 (Foligno) della Carta Topografica d'Italia - 0° 28' 23" Long. E ; 42° 42' 32" Lat. N.
<b>FISIOGRAFIA:</b>	conoide; esposizione S.O.
<b>QUOTA:</b>	280 m s.l.m
<b>PENDENZA:</b>	10°
<b>DRENAGGIO:</b>	buono
<b>EROSIONE:</b>	idrica moderata, eolica assente
<b>ROCCIOSITÀ</b>	assente
<b>PIETROSITÀ:</b>	eccessiva (90%)
<b>USO DEL SUOLO:</b>	tartufaia artificiale con <i>Quercus</i> <i>pubescens</i>
<b>SUBSTRATO PEDOGENETICO:</b>	detriti di conoide con elementi litici polidiametrici, subangolari, in prevalenza di scaglia rossa
<b>PIOVOSITÀ MEDIA ANNUA:</b>	1069 mm
<b>TEMPERATURA MEDIA ANNUA:</b>	13,8 °C
<b>A.W.C. TOTALE</b>	29 mm
<b>REGIME DI UMIDITÀ DEL SUOLO:</b>	ustico
<b>REGIME DI TEMPERATURA DEL SUOLO:</b>	mesico

**A1**  
**0-15 cm**

limite inferiore netto, lineare; umido; tra bruno grigiastro scuro e bruno grigiastro molto scuro (10 YR 3,5/2); franco-sabbioso; scheletro abbondante (60%), polidiametrico, calcareo, subarrotondato; struttura granulare e grumosa fine, evidente; friabile; non plastico; molto poroso; drenaggio interno rapido; radici erbacee comuni, fini e molto fini, in tutte le direzioni; attività biologica non evidente; molto calcareo.

**A2**  
**15-38 cm**

limite inferiore netto, lineare; umido; bruno grigiastro scuro (10 YR 4/2); franco-sabbioso; scheletro abbondante (40%), polidiametrico, calcareo, subarrotondato; struttura granulare e grumosa fine, evidente, tendente alla poliedrica subangolare fine, poco sviluppata; friabile; poco plastico; molto poroso; drenaggio interno rapido; radici da molto fini a medie, scarse, in tutte le direzioni; attività biologica non evidente; molto calcareo.

**Bw**  
**38-60+**  
**cm**

limite inferiore sconosciuto; umido; bruno (7,5 YR 6/3); franco-sabbioso; scheletro eccessivo (90%), polidiametrico, calcareo, subarrotondato; struttura granulare e grumosa fine, poco evidente per scarsità di terra fine rispetto allo scheletro; friabile; poco plastico; molto poroso; drenaggio interno rapido; radici fini e molto fini, scarse, in tutte le direzioni; attività biologica non evidente; molto calcareo.

**DATI ANALITICI      PROFILO N° 201      Località: Scheggino (PG)**

Orizzonte	A1	A2	Bw
Profondità (cm)	0-15	15-38	38-60+
<b>Tessitura (%)</b>			
sabbia totale	59,5	59,5	76,5
limo totale	24,0	25,5	14,5
argilla	16,5	15,0	9,0
A.W.C. (mm)	7,9	18,3	2,7
pH (H <sub>2</sub> O)	7,55	7,63	7,62
pH (KCl)	7,23	7,39	7,53
CaCO <sub>3</sub> totale (%)	67,5	72,0	79,6
C (%)	1,28	1,22	2,11
S.O. (%)	2,20	2,09	3,64
<b>Basi di scambio (cmol(+)kg<sup>-1</sup>)</b>			
Ca + Mg <sup>(1)</sup>	15,9	10,3	3,4
Na	1,49	1,63	1,33
K	0,90	0,61	0,23
Acidità estraibile (BaCl <sub>2</sub> ) (cmol(+)kg <sup>-1</sup> )	1,9	0,6	0,01
C.S.C. <sup>(2)</sup> (cmol(+)kg <sup>-1</sup> )	20,2	13,1	5,0
S.Basi (%)	90	96	99
Fe ass. (mg kg <sup>-1</sup> )	256	256	276
Mn ass. (mg kg <sup>-1</sup> )	412	365	349
Zn ass. (mg kg <sup>-1</sup> )	14,1	14,3	7,2
Cu ass. (mg kg <sup>-1</sup> )	13,4	16,3	8,3

(1) Ca + Mg = C.S.C. - (Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup> + H<sup>+</sup>)

(2) estrazione con BaCl<sub>2</sub>; valore coincidente con la somma dei cationi.

## Appendice 2

### PROFILO N° 401

<b>CLASSIFICAZIONE:</b>	Soil Taxonomy: Rendollic Eutrochrept
<b>LOCALIZZAZIONE:</b>	Comune di Scheggino, circa 500 m a sud dell'abitato, lungo la Valnerina. Foglio 131 (Foligno) della Carta Topografica d'Italia - 0° 28' 23" Long. E ; 42° 42' 32" Lat. N.
<b>FISIOGRAFIA:</b>	conoide; esposizione S.O.
<b>QUOTA:</b>	m 280 s.l.m
<b>PENDENZA:</b>	10°
<b>DRENAGGIO:</b>	buono
<b>EROSIONE:</b>	idrica moderata, eolica assente
<b>ROCCIOSITÀ</b>	assente
<b>PIETROSITÀ:</b>	elevata (15%)
<b>USO DEL SUOLO:</b>	tartufaia artificiale con <i>Quercus pubescens</i>
<b>SUBSTRATO PEDOGENETICO:</b>	detriti di conoide con elementi litici polidiametrici, subangolari, in prevalenza di scaglia rossa
<b>PIOVOSITÀ MEDIA ANNUA:</b>	1069 mm
<b>TEMPERATURA MEDIA ANNUA:</b>	13,8 °C
<b>A.W.C. TOTALE</b>	47 mm
<b>REGIME DI UMIDITÀ DEL SUOLO:</b>	udico
<b>REGIME DI TEMPERATURA DEL SUOLO:</b>	mesico

**A**  
**0-10 cm**

limite inferiore chiaro, lineare; umido; bruno-gri-giastro scuro (10YR 4/2); argilloso; scheletro frequente (25%), polidiametrico, calcareo e siliceo, da spigoloso a subarrotondato; struttura granulare e grumosa fine, ben sviluppata; friabile; plastico (la struttura scompare alla compressione); pori abbondanti; drenaggio interno buono; radici comuni, erbacee, fini e molto fini, in tutte le direzioni; attività biologica non evidente; molto calcareo

**Bw1**  
**10-32 cm**

limite inferiore chiaro, lineare; umido: tra bruno e bruno scuro (7,5 YR 4/2); argilloso; scheletro abbondante (50%), polidiametrico, calcareo, da spigoloso a subarrotondato; struttura poliedrica subangolare fine, tendente all'angolare, evidente, che si raggruppa in poliedri medi poco evidenti; da moderatamente a scarsamente resistente; plastico; pori scarsi da fini a molto fini; drenaggio interno moderato; radici comuni, medie, prevalentemente orizzontali; attività biologica non evidente; molto calcareo

**Bw2**  
**32-60+**  
**cm**

limite inferiore sconosciuto; umido; tra bruno e bruno scuro (7,5 YR 4/3); argilloso; scheletro abbondante (60%), polidiametrico, calcareo, da spigoloso a subarrotondato; struttura poliedrica subangolare media, poco evidente (l'orizzonte si presenta molto più massivo e compatto del precedente; in prossimità delle radici e dello scheletro presenta un miglioramento della struttura con comparsa di poliedri subangolari fini, evidenti); moderatamente resistente; plastico; pori scarsi molto piccoli; drenaggio interno moderato; radici scarse, da medie a grandi; attività biologica non evidente; calcareo.



**DATI ANALITICI      PROFILO N° 401      Località: Scheggino (PG)**

Orizzonte	A	Bw1	Bw2
Profondità (cm)	0-10	10-32	32-60+
<b>Tessitura (%)</b>			
sabbia totale	26,5	26,0	22,0
limo totale	32,5	29,5	24,0
argilla	41,0	44,5	54,0
A.W.C. (mm)	15,7	17,5	13,7
pH (H <sub>2</sub> O)	7,48	7,46	8,19
pH (KCl)	7,10	7,06	7,06
CaCO <sub>3</sub> totale (%)	27,7	24,6	22,3
C (%)	3,51	2,93	1,18
S.O. (%)	6,05	5,05	2,04
<b>Basi di scambio (cmol(+)kg<sup>-1</sup>)</b>			
Ca + Mg <sup>(1)</sup>	20,0	16,7	16,4
Na	1,55	1,47	1,90
K	1,50	0,76	0,95
Acidità estraibile (BaCl <sub>2</sub> ) (cmol(+)kg <sup>-1</sup> )	4,4	3,8	4,4
C.S.C. <sup>(2)</sup> (cmol(+)kg <sup>-1</sup> )	27,5	22,7	23,7
S.Basi (%)	84	83	81
Fe ass. (mg kg <sup>-1</sup> )	217	245	205
Mn ass. (mg kg <sup>-1</sup> )	771	704	652
Zn ass. (mg kg <sup>-1</sup> )	21,6	16,3	16,0
Cu ass. (mg kg <sup>-1</sup> )	21,5	28,0	21,6

(1) Ca + Mg = C.S.C. - (Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup> + H<sup>+</sup>)

(2) estrazione con BaCl<sub>2</sub>; valore coincidente con la somma dei cationi.

# *ATTIVITÀ VEGETATIVA DELLE PIANTE ERBACEE E PEDOCLIMA NELLA SICILIA CENTRO-OCCIDENTALE DURANTE IL 1996*

S. Raimondi

Istituto di Agronomia generale e Coltivazioni erbacee, Università di Palermo.

## **Riassunto**

Attraverso le osservazioni di campagna effettuate durante il periodo autunnale dell'anno 1996 sull'attività vegetativa del frumento, della sulla e della flora pabulare dei pascoli nella Sicilia centro-occidentale, il regime idrico annuale del suolo è stato valutato, secondo la Soil Taxonomy dell'USDA, come ustico. Dopo aver caratterizzato l'andamento climatico e pedoclimatico dell'anno 1996, tramite i dati termopluviometrici vengono proposti alcuni indicatori del regime idrico ustico, che permettono di individuare gli anni a decorso ustico in una serie storica di dati termopluviometrici di qualsiasi stazione siciliana.

## **Introduzione**

Dal 1991 in Sicilia vengono rilevati dati sulle condizioni di umidità e di temperatura del suolo (pedoclima).

Durante una delle escursioni di campagna, effettuata nella Sicilia centro occidentale e specificatamente nella seconda metà del mese di ottobre 1996, veniva osservata l'attività vegetativa della flora pabulare nei pascoli naturali, della sulla (nei sulleti di secondo anno) e del frumento, in quei campi lasciati incolti che nell'annata agraria precedente sono stati utilizzati a tale coltura.

Le osservazioni successive hanno permesso di registrare, per il periodo autunnale, quanto segue:

---

- I pascoli di montagna hanno avuto una notevole attività vegetativa che è diminuita a dicembre; nei pascoli della fascia costiera si è registrato un inizio dell'attività vegetativa ritardata, ma è continuata anche durante il mese di dicembre; la fascia collinare ha manifestato caratteristiche intermedie.

- I seminativi lasciati incolti hanno mostrato uno sviluppo notevole della flora sia in montagna che in collina, mentre nella fascia costiera è stato scarso e lento.

- I sulleti in collina ed in montagna hanno iniziato l'attività vegetativa a settembre. Ai primi di novembre in montagna subivano un notevole rallentamento, mentre in collina continuavano la loro attività. Nella fascia costiera meridionale l'inizio dell'attività vegetativa si è verificato in ritardo ed in qualche caso si è reso necessario effettuare diverse irrigazioni.

A metà novembre in collina le piante di frumento emettevano la spiga e la sulla fioriva. Successivamente il frumento a maturazione latteo-cerosa veniva utilizzato dagli uccelli e le piantine subito dopo morivano, mentre la sulla in parte veniva utilizzata per il pascolo oppure sfalciata.

Durante il 1996 l'attività vegetativa del frumento e della sulla nell'ambiente collinare è stata caratterizzata da due cicli completi di fioritura. La prima è avvenuta normalmente in primavera, mentre la seconda, nella stagione autunnale. Ciò è da considerare un fatto eccezionale, perché la normale attività vegetativa in Sicilia è caratterizzata dalla fioritura primaverile e da un'attività vegetativa autunnale con il seguente decorso:

- Fascia costiera meridionale con forte aridità estiva ed inizio dell'attività vegetativa in autunno inoltrato. Sono le stesse piante che vanno a fiorire nella primavera successiva;

- Area collinare e montana con aridità estiva decrescente e stesso andamento della stasi vegetativa estiva. L'attività vegetativa inizia dopo la pausa con i primi acquazzoni estivi, durante l'autunno ha uno sviluppo lento per degli stress determinati dal deficit idrico. Sono le stesse piante che in primavera vanno a fiore.

---

- Area montana con suoli molto profondi e ricchi in humus, attività vegetativa primaverile-estiva, con stasi estiva molto breve o assente. Con gli acquazzoni estivi riparte la nuova vegetazione e dopo un breve sviluppo si arresta, per le basse temperature e, talvolta, per la copertura nevosa.

I regimi pedoclimatici corrispondenti sono: xerico-torrico/termico; xerico/termico e xerico/mesico; udico/mesico.

Durante l'anno 1996 i processi pedogenetici sono cambiati d'intensità e la risposta produttiva delle colture erbacee e della flora dei pascoli è stata nettamente superiore. Un andamento di questo tipo è correlato ad una maggiore piovosità autunnale.

Secondo la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1997) i territori delle regioni subumide o semiaride caratterizzati da una piovosità distribuita prevalentemente durante la primavera e l'autunno hanno regime idrico ustico. Il periodo invernale nelle zone subumide e più umide siciliane (Raimondi, 1993a) presenta temperature basse e decrescenti, che limitano i processi pedogenetici e l'attività vegetativa (Raimondi et al., 1996). In Sicilia gli anni con piovosità autunnale maggiore del normale dovrebbero essere inseriti nel regime idrico ustico, per una loro migliore caratterizzazione. Secondo Billaux (Billaux, 1978) nelle medie latitudini, dove la temperatura media annua del suolo è inferiore a 22 °C e la differenza fra la temperatura estiva ed invernale è più di 5 °C, l'ustico si ha quando, per sei anni su dieci, si verificano le seguenti condizioni:

1. la sezione di controllo dell'umidità è umida ovunque per più di 45 giorni consecutivi, durante i 4 mesi successivi al solstizio invernale;
2. la sezione di controllo dell'umidità è asciutta ovunque per meno di 45 giorni consecutivi durante i quattro mesi successivi al solstizio estivo;
3. la sezione di controllo dell'umidità rimane asciutta per un numero di giorni cumulativi pari a metà o meno della durata del periodo in cui la temperatura è superiore a 5 °C.
4. la durata dell'insieme costituito dal periodo secco ovunque e dal periodo secco in certe parti deve essere superiore o uguale a 90 giorni.

I regimi idrico e termico dei suoli sono due importanti qualità del

territorio e determinano l'attitudine per qualsiasi utilizzazione agricola e forestale, perché condizionano la crescita e la produttività delle piante. La definizione del pedoclima di un territorio può contribuire alla scelta di un sistema colturale specifico, mirato alla conservazione del suolo e alla salvaguardia dell'ambiente (Sequi, 1994), ma proiettato verso la mondializzazione del mercato.

Il pedoclima, come detto, oltre a regolare la vita delle piante, indirizza tutti i processi pedogenetici. La classificazione migliore dei suoli, secondo la Soil Taxonomy, è quella che **armonizza** i caratteri del suolo e la sua attitudine nei confronti delle piante.

Nella presente ricerca l'attività vegetativa è stata messa in relazione agli andamenti della temperatura e dell'umidità del suolo, strettamente dipendenti dal clima. Lo scopo è quello di caratterizzarne il decorso pedoclimatico, di verificare se i modelli che hanno dato i migliori risultati in Sicilia (Costantini et al., in corso di stampa) mettono in evidenza il regime idrico ustico, e di stabilire degli **indicatori** che permettano di definire meglio il pedoclima degli ambienti climatici di transizione come è il bacino del Mediterraneo, in modo da poter individuare, in una serie storica, gli anni con andamento termopluviometrico simile.

## **Materiali e metodi**

La metodologia adottata è questa:

**Delimitazione in campo della distribuzione delle aree in cui si è avuta la fioritura della sulla e la spigatura del frumento (aree a regime idrico ustico secondo la vegetazione);**

**Raccolta dei dati di 46 stazioni termopluviometriche ricadenti nella Sicilia centro occidentale;**

**Esecuzione dei bilanci idrici del suolo, considerando la capacità di ritenzione idrica di 25, 50, 100, 200 e 300 mm;**

**Classificazione del clima secondo i concetti di C. W. Thornthwaite;**

**Determinazione e valutazione dell'andamento della temperatura e dell'umidità del suolo secondo i dettami della Soil Taxonomy e della rappresentazione grafica di Billaux per i suoli delle medie latitudini.**

**Determinazione dell'evapotraspirazione reale primaverile e autunnale;**

---

Tentativo di correlazione del regime idrico ustico, secondo la vegetazione, all'evapotraspirazione reale primaverile ed autunnale, alla percentuale della loro somma sul totale annuale ed all'evapotraspirazione reale del mese di settembre (indicatori).

Elaborazione di una serie di carte tematiche a piccola scala che mostrano la distribuzione degli elementi climatici e pedoclimatici nella Sicilia occidentale, mediante interpolazione grafica;

Confronto cartografico fra il limite di campagna dell'area caratterizzata dal regime idrico ustico con, da un lato gli altri regimi definiti con la rappresentazione grafica di Billaux, considerando una AWC di 100 mm, e dall'altro con i seguenti valori dell'evapotraspirazione reale: incidenza percentuale della somma primaverile ed autunnale sul totale annuale, e con quella del mese di settembre.

Per definire il regime idrico è stato adottato il modello di Billaux perché negli ambienti dell'Italia meridionale, rispetto a quello di Newhall (Newhall, 1972) fornisce i risultati migliori (Raimondi, 1993b). Infine, è stato applicato il modello EPIC, che in Sicilia ha dato gli stessi risultati di quello di Billaux (Costantini et al., in corso di stampa), per verificare la valutazione del regime idrico per l'anno 1996. I dati termopluviometrici utilizzati sono quelli della stazione Sparacia (AG), tipica della collina interna siciliana.

## **Risultati e discussione**

La figura 1 mostra la distribuzione della temperatura media annua dell'aria durante il 1996 che oscilla da un po' meno di 8 °C sulle Madonie a più di 18 °C nella fascia costiera agrigentina e nissena, con piccole aree nel palermitano e una nel trapanese. La figura 2 mette in evidenza la valutazione dell'andamento della temperatura media del suolo, interpretata secondo le classi del regime di temperatura riportate dalla Soil Taxonomy. Il territorio considerato si inserisce prevalentemente nel regime di temperatura termico, mentre i monti Sicani, le Madonie ed i monti del palermitano rientrano nel mesico, eccetto le cime più alte delle Madonie che si inseriscono nel frigido. La figura 3 mostra la distribuzione della piovosità totale annua (mm). Le fasce costiere, meridionale e settentrionale, presentano l'isoieta 600 mm, mentre sulle cime più alte dei Sicani e delle Madonie è presente la 1200 mm.

Per quanto riguarda i tipi climatici (figura 4), sono risultati presenti quasi tutti i climi previsti dalla classificazione di Thornthwaite, esclu-



Figura 3

Distribuzione della piovosità media annua (mm)

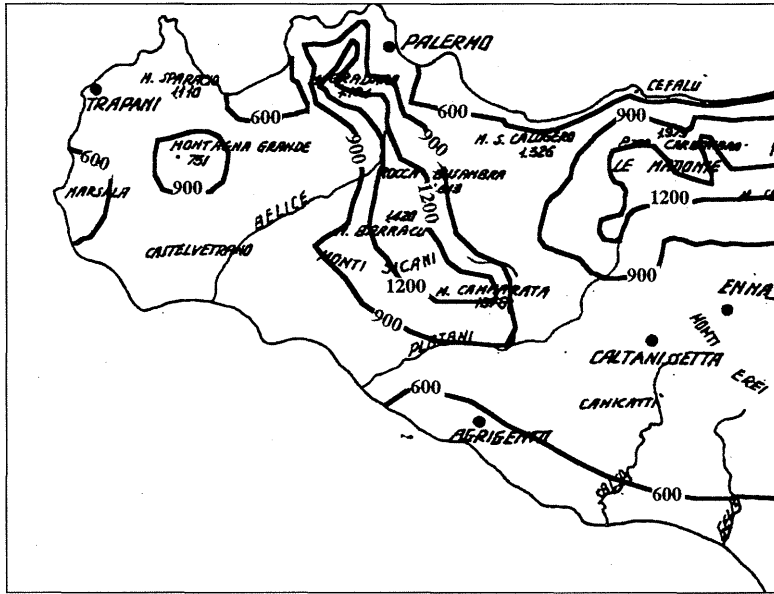
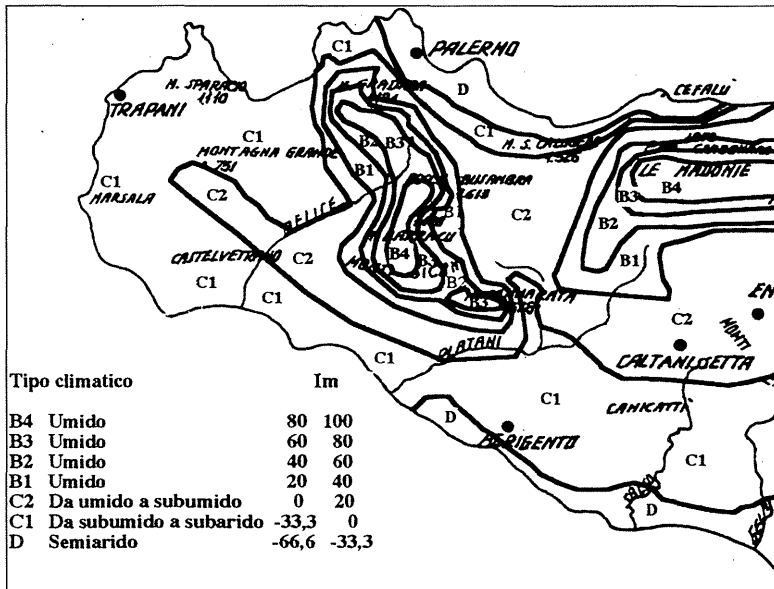


Figura 4

Distribuzione dei tipi climatici secondo C.W. Thornthwaite





so l'Arido ed il Perumido. Fra i tipi climatici del gruppo degli aridici ( $Im < 0$ ) sono presenti il Semiarido (D) e quello da Subumido a Subarido (C1). Il tipo Semiarido si riscontra nella fascia costiera meridionale e settentrionale. Nel gruppo dei climi Umidi ( $Im > 0$ ), il più esteso è quello da Umido a Subumido (C2). Sui rilievi montani, il grado di umidità del clima aumenta con l'altimetria. In base all'efficienza termica (evapotraspirazione potenziale) sono state individuate quattro varietà climatiche (figura 5) comprese fra il Primo Mesotermico (PE = 712-570 mm) ed il Quarto Mesotermico (PE = 1440-997 mm). Le varietà climatiche più diffuse sono il Terzo ed il Secondo Mesotermico.

Nelle figure 6, 7, 8, 9 e 10 vengono riportate le distribuzioni dei regimi idrici dei suoli per i seguenti valori di capacità di ritenzione idrica ipotizzati: 25, 50, 100, 200 e 300 mm. Nel primo caso (figura 6) risulta dominante il regime intermedio xerico torrico, seguito dallo xerico: l'udico è presente soltanto sulla sommità delle Madonie. Per i valori di AWC più alti (figure 7, 8, 9, 10), il regime xerico risulta dominante seguito dall'intermedio xerico torrico per 50 e 100 mm; mentre per 200 e 300 mm al secondo posto si inserisce l'udico (diffuso in montagna ed in collina). La figura 11 mostra la distribuzione della somma dell'evapotraspirazione reale dei tre mesi primaverili, che oscilla da poco meno di 125 mm a poco più di 150 mm. La figura 12 evidenzia la distribuzione della somma dell'evapotraspirazione reale dei tre mesi autunnali. Dalle figg. 11 e 12 si evince che nella fascia costiera meridionale e settentrionale si è registrata l'evapotraspirazione reale con la stessa intensità durante il periodo primaverile ed autunnale, mentre il territorio delimitato dalla curva 150 mm di evapotraspirazione reale è stato molto più ampio durante il periodo autunnale, includendo la montagna, la collina e parte della fascia costiera occidentale. In questi ultimi territori, quindi, l'evapotraspirazione reale autunnale è stata più alta di quella primaverile. La figura 13 riporta la distribuzione dell'evapotraspirazione reale del mese di settembre. Da essa si rileva un'oscillazione da meno di 20 mm nella fascia costiera agrigentina e nissena a più di 40 mm nell'area collinare e montana e nella fascia costiera Trapani-Marsala. Infine nella figura 14 si mettono a confronto il limite di campagna dell'area a regime idrico ustico (secondo la vegetazione), le curve dell'evapotraspirazione reale del mese di settembre e della percentuale, sul totale annuo, della somma dell'evapotraspirazione reale primaverile ed autunnale, assieme ai limiti dei regimi idrici, secondo Billaux, per i suoli aventi 100 mm di AWC.

Figura 5  
Distribuzione della varietà climatica

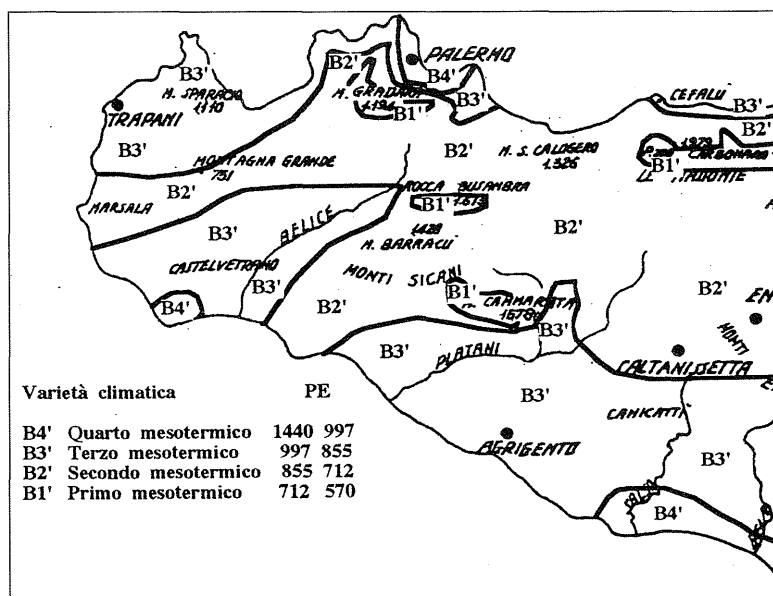


Figura 6  
Distribuzione dei regimi idrici dei suoli. AWC = 25 mm

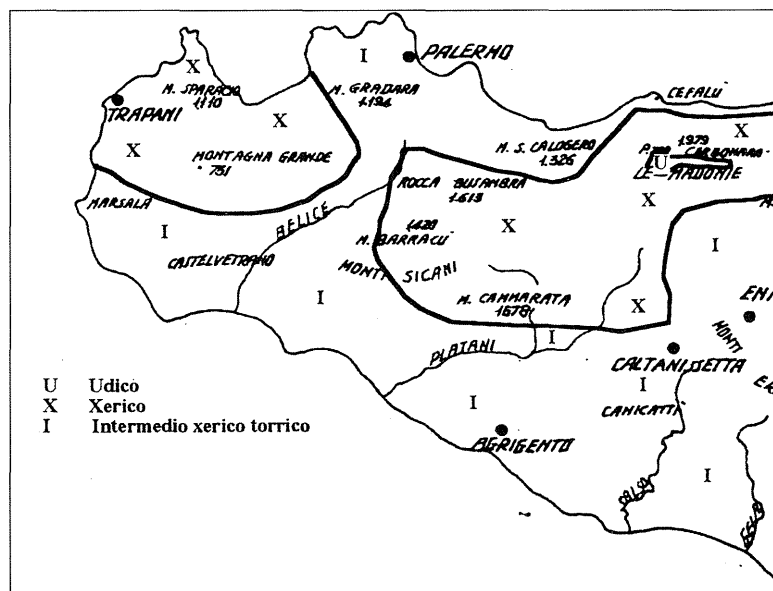


Figura 7

Distribuzione dei regimi idrici dei suoli. AWC = 50 mm

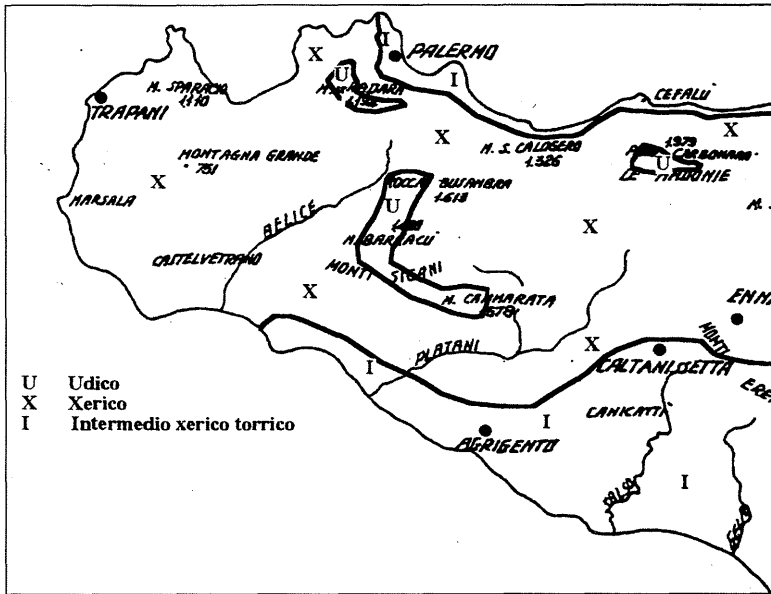


Figura 8

Distribuzione dei regimi idrici dei suoli. AWC = 100 mm

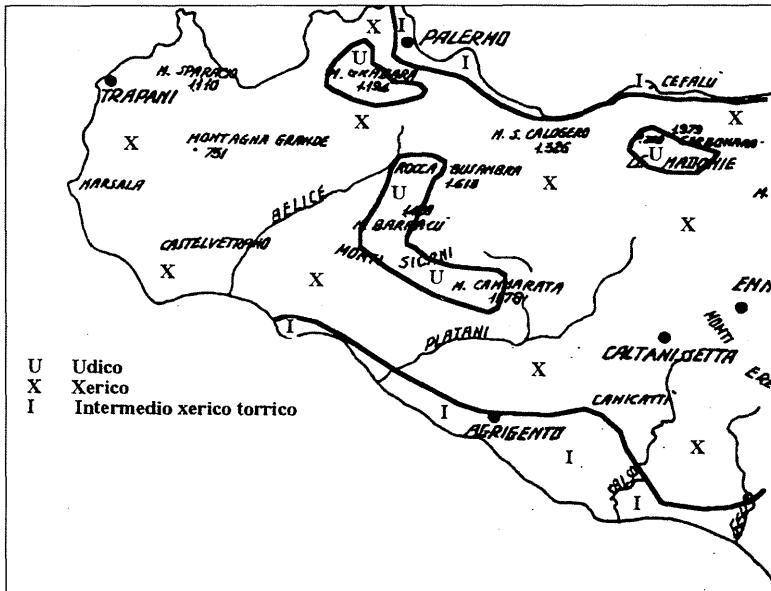


Figura 9

Distribuzione dei regimi idrici dei suoli. AWC = 200 mm

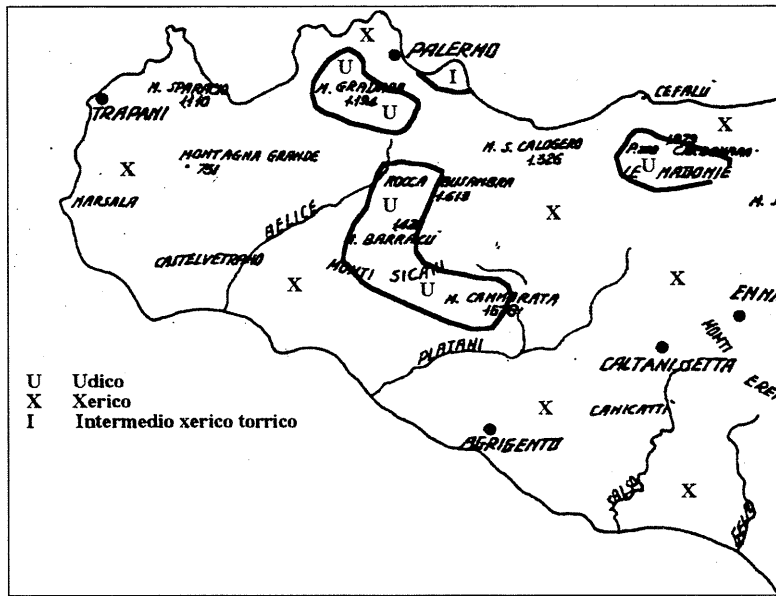


Figura 10

Distribuzione dei regimi idrici dei suoli. AWC = 300 mm

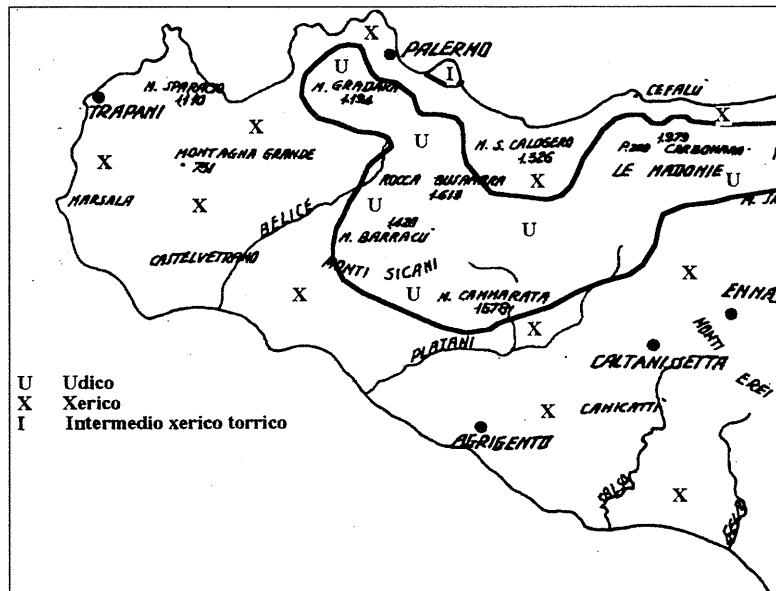


Figura 11

Distribuzione dell'evapotraspirazione reale durante la stagione primaverile (mm)

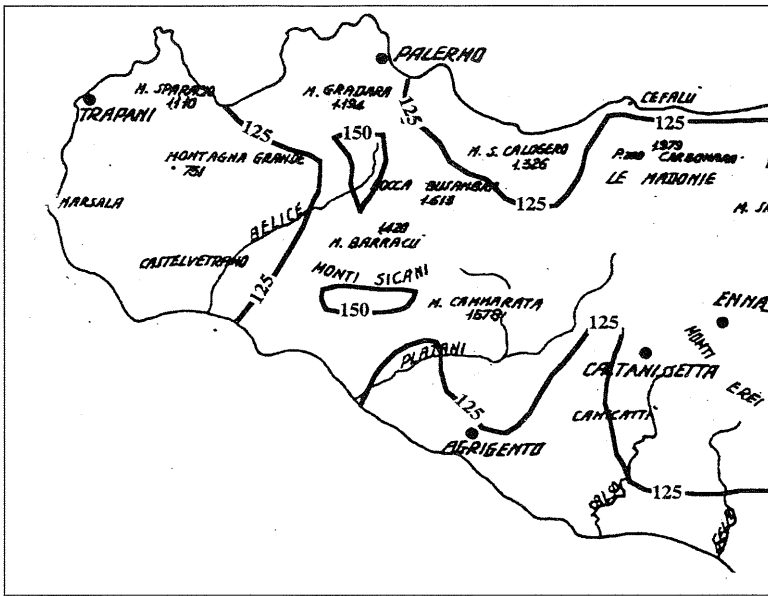


Figura 12

Distribuzione dell'evapotraspirazione reale durante la stagione autunnale (mm)

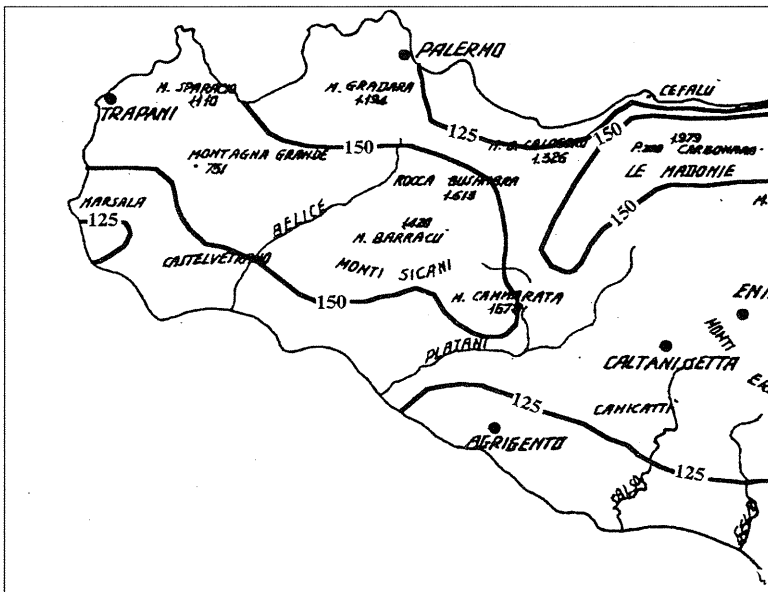


Figura 13

Distribuzione dell'evapotraspirazione reale durante il mese di settembre (mm)

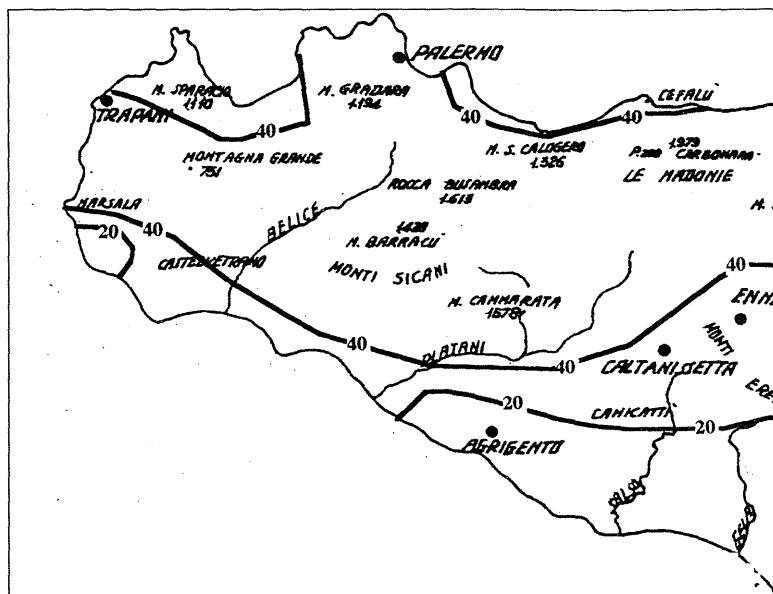
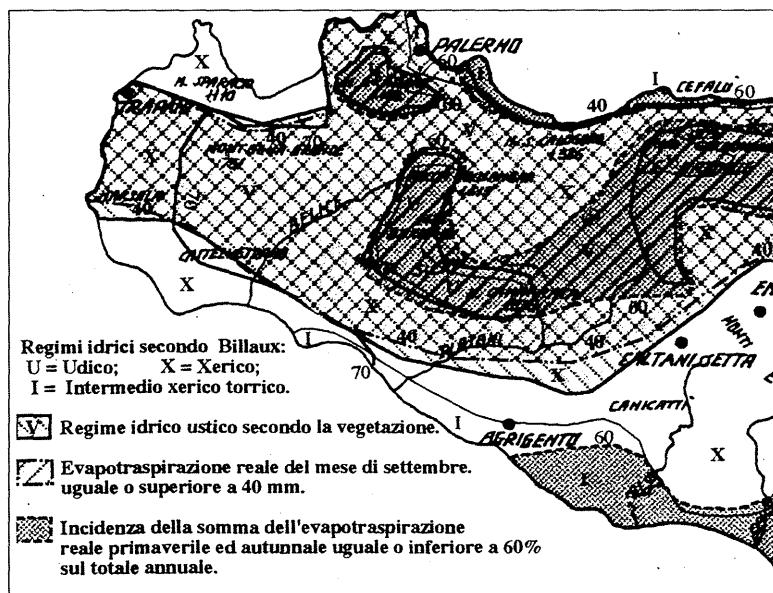


Figura 14

Distribuzione del regime idrico ustico e rapporto con gli indicatori (v. testo)



## Conclusioni

I dati termopluviometrici del 1996 mettono in risalto un territorio collinare con una stagione autunnale caratterizzata, come sempre, da temperature sufficientemente elevate per l'attività fotosintetica, ma eccezionalmente piovosa, che ha meglio soddisfatto la richiesta di acqua per l'attività vegetativa.

I cerealicoltori dell'Istituto di Agronomia di Palermo sono concordi nell'affermare che durante il periodo autunnale un ruolo notevole è stato svolto dall'acqua residua immagazzinata dal suolo, negli strati più profondi, durante le piogge primaverili.

I modelli di Billaux ed EPIC, così come sono concepiti non mettono in evidenza questa particolare distribuzione, perché entrambi fanno riferimento alla sezione di controllo dell'umidità e quindi da entrambi scaturisce un regime idrico xerico. Il regime idrico xerico, così come è definito dalla Soil Taxonomy rappresenta una classe molto ampia che include ambienti anche molto diversi (insieme di ambienti). Nel 1991 per caratterizzare meglio la fascia costiera meridionale, più calda ed arida della Sicilia, Raimondi (Raimondi, 1991) ha proposto il regime idrico intermedio xerico torrico. Anche in questo momento, classificando il territorio siciliano in cui si è avuta la fioritura della sulla e la spigatura del frumento a regime idrico xerico non si riesce a caratterizzarlo bene. La definizione del regime idrico dell'anno 1996 come **ustico** riesce a distinguerlo meglio.

A tal fine si propone una metodologia che permette di mettere in evidenza l'area del regime idrico ustico nella Sicilia occidentale, nell'ambito di quella a regime xerico definita secondo le condizioni di umidità della sezione di controllo di Billaux. Secondo questa metodologia **il regime idrico ustico si verifica quando l'evapotraspirazione reale autunnale è uguale o quasi a quella primaverile, è superiore a 125 mm ed i due periodi sono separati da un riduzione estiva**. La sua distribuzione geografica (figura 14), mediamente è così definita:

**Nel versante settentrionale il limite inferiore coincide con la media delle curve 40 mm di evapotraspirazione di settembre e incidenza del 60% della somma dell'evapotraspirazione reale primaverile ed autunnale sul totale annuale; mentre, il limite altimetrico superiore è la media fra il limite dell'udico di Billaux e la curva 60% dell'incidenza percentuale sul totale annuo della somma dell'evapotraspirazione reale autunnale e primaverile (l'area dell'ustico ha una somma dell'evapotraspirazione primaverile ed autunnale con una incidenza superiore al 60 % sul totale annuale).**

Nel versante occidentale il limite altimetrico inferiore è la curva media fra le curve 40 mm di evapotraspirazione di settembre e la curva 70% della somma dell'evapotraspirazione reale primaverile ed autunnale delle stazioni termopluviometriche costiere; il limite altimetrico superiore è identico a quello descritto per il versante settentrionale.

Nel versante meridionale il limite altimetrico inferiore è la curva media fra le curve 60% della somma dell'evapotraspirazione reale primaverile ed autunnale sul totale annuale e la curva 40 mm dell'evapotraspirazione reale di settembre; il limite superiore è identico agli altri.

Il limite inferiore nel versante settentrionale e meridionale coincide, orientativamente, anche con quello che separa lo xerico dall'intermedio xerico torrico (lo scostamento presente in provincia di Caltanissetta è da attribuire ad una carenza di stazioni di rilevamento). Questa caratteristica è in armonia con la terza condizione descritta, nella definizione dell'ustico, dal Billaux (periodo con  $T > 5$  °C). Le differenze fra i diversi versanti sono da imputare all'altimetria che determina l'esposizione e ne influenza tutti gli eventi atmosferici e biotici. Anche la prima condizione e la quarta sono state soddisfatte, mentre la seconda che riguarda il periodo asciutto estivo inferiore a 45 giorni non si è verificata secondo il bilancio idrico. Però, considerando la presenza dell'acqua immagazzinata negli strati inferiori del suolo e la sua influenza sulla sezione di controllo dell'umidità, anche questa condizione è stata soddisfatta.

Da una indagine effettuata in campagna è emerso che, la ripetitività di questo andamento è di 1-2 volte ogni 10 anni, mentre risulta con più frequenza in alcune vallate interne. Questo decorso termopluviometrico in Sicilia deve essere interpretato come un picco di elevata piovosità autunnale nell'ambito della variabilità climatica stagionale dell'ambiente mediterraneo. Per l'ambiente collinare di Sparacia l'EPIC, simulando il lungo periodo, mette in evidenza il regime idrico ustico con un'incidenza del 2% (Constantini et al., in corso di stampa).

Questo contributo di conoscenze sul pedoclima dei suoli siciliani, assieme all'uso del regime idrico intermedio xerico torrico per la fascia costiera meridionale, porta a pensare ad un superamento del regime xerico, ed all'uso dell'ustico per i pedoclimi di transizione fra l'aridico e l'udico, così come è stato proposto dall'ICOMMOTR (ICOMMOTR, 1991).

I territori a regime idrico ustico, sotto climi subumidi o semiaridi hanno un'attitudine superiore per le piante erbacee a ciclo autunno-vernino-primaverile (cereali, sulla, veccia) e per la flora pabulare dei pascoli na-



turali, rispetto ai regimi adiacenti (xerico e udico). È stata stimata, ad esempio, la produzione di biomassa della sulla quasi doppia rispetto ai regimi adiacenti. In questi ambienti, caratterizzati da un andamento dell'attività vegetativa con due picchi annui (primaverile ed autunnale), come detto, sono separati da una stasi vegetativa estiva per aridità e da una stasi o da un rallentamento notevole invernale per le basse temperature. Durante queste annate anche la gestione agronomica deve essere adeguata al decorso. Per raggiungere questo obiettivo è necessario utilizzare l'erbaio entro novembre o dicembre ed in ogni caso prima della fioritura, per poi effettuare il secondo sfalcio in aprile-maggio. Se la prima utilizzazione è ritardata si rischia la lignificazione del fusto e contemporaneamente una diminuzione dell'appetibilità e della capacità ricacciante delle piante. Se si sceglie di non utilizzare l'erbaio in autunno si va incontro a danni notevoli da freddo durante l'inverno e al deprezzamento del fieno, perché diventa molto grossolano e lignificato. In questi casi conviene mandare a seme il sulleto.

Sotto l'aspetto pedogenetico i Vertisuoli dell'area a regime idrico ustico hanno aperto e chiuso più volte le crepacciature durante il periodo primaverile estivo autunnale. Nell'ambiente udico il periodo di apertura delle crepacciature è stato piuttosto breve e si è avuto durante l'estate; mentre nei territori a regime intermedio xerico torrico è stato notevolmente più lungo ed ha interessato, in alcune aree, tutto l'anno. In Sicilia queste annate a decorso ustico hanno un'importanza notevole per la gestione delle aree irrigue, soprattutto per la fascia altimetrica più bassa. Infatti, negli ambienti a clima da subumido a semiarido in cui in Sicilia dominano i substrati della serie gessoso-solfifera, le acque di irrigazione hanno una certa carica salina (sia dei pozzi che degli invasi), durante queste annate si verifica la lisciviazione dei sali che si accumulano nel suolo durante le annate più siccitose.

### **Ringraziamenti**

Desidero ringraziare gli Assessorati Agricoltura e Foreste (Gruppo IV Sezione allo Sviluppo) e LL.PP. (Sezione Autonoma del Genio Civile per il Servizio idrografico) della Regione Sicilia per aver fornito i dati termopluviometrici delle stazioni analizzate.

---

## Bibliografia

- BILLAUX P (1978). Estimation du "regime hidrique" des sols au moyen des données climatiques. La méthode graphique: son utilisation dans le cadre de la Taxonomie Americaine des sols. ORSTOM, ser. Pedol. Vol. XVI, n 3, France, pp 317-338.
- COSTANTINI E.A.C., NAPOLI R., PERINI L., CALI' A., CASTELLI I., RAIMONDI S., LORENZONI P. (in corso di stampa). Individuazione dei principali regimi pedoclimatici italiani: risultanze sperimentali e confronto con le regioni climatiche europee.
- ICOMMOTR (International Committee on soil Moisture and Temperature Regimes) (1991). Circular Letter 2, National Soil Survey Center, Soil Conservation Service, USDA, Lincoln, Nebraska, USA.
- NEWHALL F. (1972). Calculation of Soil Moisture Regimes from Climatic Record. Rev. 4 Mimeographed, Soil Conservation Service, USDA, Washington DC.
- RAIMONDI S. (1991). L'impiego dei dati termopluviometrici in Pedologia: il pedoclima dei suoli siciliani durante il trentennio 1921-1950. In: Atti del convegno "Agrometeorologia e Telerilevamento". Agronica, Palermo, Italia, pp. 76-92.
- RAIMONDI S. (1993a). 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. (1993b). Valutazione del pedoclima secondo il modello di simulazione di Newhall in tre stazioni siciliane. Quaderni di Agronomia 13. Istituto di Agronomia generale e Coltivazione erbacee di Palermo, Italia, pp. 148-155.
- RAIMONDI S., POMA I. FREANDA A. S. (1996). Il pedoclima come fattore di sensibilità ambientale: esempio di meteorologia applicata all'agro di Sparacia - Cammarata (AG). Convegno annuale della S.I.A.. Su "Innovazioni nella ricerca per nuovi orizzonti della scienza agronomica". Perugia 3-6 giugno 1996, Italia.
- SEQUI P. (1994). Il progetto finalizzato Produzione Agricola Nella Difesa dell'Ambiente (PANDA). Agricoltura e Ricerca, n 154, Roma, Italia, pp. 151-192.
- SOIL SURVEY STAFF, (1975). Soil Taxonomy: A basic system for making and interpreting soil surveys. USDA Handbook 436, Washington, USA.
- SOIL SURVEY STAFF (1997). Soil Taxonomy. Seventh Edition. United States Department of Agriculture. Washington: 544.
- 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.



## *I SUOLI DEL BACINO-PARCO FLUVIALE DEL SILE (TV) E RELAZIONI CON LA VEGETAZIONE*

Roberto Scazzola <sup>a</sup>, Claudio Bini <sup>a</sup>, Ialina Vinci <sup>b</sup>

a) Dipartimento di Scienze Ambientali, Università di Venezia

b) CIPA-At della Conf. Italiana Agricoltori, Treviso

### **Introduzione**

Vengono presentati i risultati di uno studio pedo-ambientale condotto nel bacino del fiume Sile, a monte di Treviso. Questo fiume prende origine da un insieme di risorgive in un'area situata ai confini fra le province di Padova Treviso, a quote comprese tra 20 e 30 m s.l.m.

L'area oggetto di studio si sviluppa su una superficie di circa 1260 ha, ed è posta nella zona di transizione fra l'alta pianura (formata da sedimenti grossolani del Piave) e la bassa pianura (formata da alluvioni fini della Brenta), interessata dal fenomeno della risorgenza della acque di falda (Mozzi, 1991).

La zona presenta caratteristiche ambientali di pregio, comuni a tutto il settore delle aree di risorgiva della pianura padana orientale (Sburlino e Ghirelli, 1994; Sburlino et al., 1995, 1996). Vi si riscontrano, infatti, aspetti floristico-vegetazionali peculiari di questo settore geografico: zone umide con fitocenosi endemiche (Ghirelli et al., 1995), specie vegetali rare, ricca avifauna nidificante e di passo.

Caratteristica comune delle acque di risorgiva padane è, oltre alla limpidezza, di avere temperature pressoché costanti nel corso dell'anno e variazioni di portata modeste. Per quanto riguarda i valori termici, essi presentano una media intorno ai 12-13°C, con minimi in febbraio-aprile (~10°C) e massimi in ottobre-novembre (~16°C). Un'altra caratteristica di queste acque è di avere pH generalmente compresi tra 7 ed 8; ciò fa sì che i suoli torbosi (una tipologia sempre presente in queste aree) presentino reazione da neutra a debolmente alcalina. Si tratta di suoli tendenzialmente oli-

gotrofici, in cui agli scarsi processi di umificazione della sostanza organica si aggiunge un continuo asporto di nutrienti da parte delle acque circolanti.

La zona, per le segnalate emergenze ambientali, è stata inserita dalla Regione Veneto fra le aree del settore planiziale da destinare a Parco. Con la Legge Regionale 8/91 viene istituito il Parco Regionale del fiume Sile, le cui finalità; tra l'altro, sono: "*La protezione del suolo, del sottosuolo, della flora, della fauna...*" (Zanetti, 1992).

Il presente lavoro ha lo scopo di delineare, attraverso l'esame della distribuzione dei suoli nel paesaggio e delle relazioni con il comparto biotico, le diverse possibilità di uso del suolo nell'area del Parco, fornendo uno strumento importante per la salvaguardia dell'ambiente e per una gestione sostenibile delle risorse.

### **L'ambiente**

La vegetazione attuale nell'area esaminata appare profondamente modificata rispetto a quella presente agli inizi del secolo, a causa dei pesanti interventi antropici succedutisi nel tempo.

Il paesaggio ovunque dominante è quello agrario, improntato alla monocultura, soprattutto mais, soia e pioppo ibrido (Giardini, 1996). Le necessità della meccanizzazione agricola hanno comportato la quasi completa scomparsa delle alberature perimetrali che, fino agli inizi degli anni '60, contribuivano notevolmente a limitare la monotonia del paesaggio. Quasi del tutto scomparsi risultano anche i diversi tipi di prato stabile (prati irrigui, molinieti, brometi) che un tempo costituivano un elemento importante del paesaggio, come pure gli ultimi lembi di bosco planiziale (Marchiori e Sburlino, 1996).

La vegetazione *nemorale* è costituita soprattutto da boscaglie ripariali, in cui prevale il salice (*Salix alba* L.). Le formazioni arboree più evolute, quali quelle ad ontano (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertner) e quercia (*Quercus robur* L.), sono praticamente assenti, mentre è evidente la massiccia presenza della robinia (*Robinia pseudacacia* L.).

Le *siepi* rappresentano un importante elemento vegetazionale e paesaggistico. Queste formazioni vegetali, in cui predominano *Cornus*, *Viburnum*, *Rhamnus*, *Prunus*, *Crateagus* ma sono presenti anche salici, olmi, platanì e robinie avevano, fino a trenta-quaranta anni fa, una grande diffusione nel paesaggio agrario, raggiungendo alte densità, pari a 200-250 m/ha. Negli

ultimi decenni la crescente meccanizzazione ed il minore interesse per i prodotti tipici della siepe (legna da ardere, paleria, legname da opera, ecc.) hanno portato ad una radicale semplificazione di questa particolare formazione vegetale. Recentemente l'interesse verso questa componente ambientale si è riacceso, anche grazie al riconoscimento delle funzioni positive che è in grado di svolgere: creazione di habitat favorevoli allo sviluppo della fauna, azione di fitodepurazione, protezione delle sponde fluviali, effetto frangivento.

Gli *scheneti* ed i *moliniati* (questi ultimi considerati come una fase evolutiva di prosciugamento dei primi) sono praterie che si sviluppano sui suoli torbosi (**istosuoli**) neutro-alcalini, o su suoli minerali con epipedon organico spesso e subalcalino, come i **mollisuoli**. Tali cenosi necessitano, per la loro salvaguardia, di un attento controllo del livello freatico, in costante abbassamento per l'emungimento a scopi irrigui, e (in particolare i moliniati) dello sfalcio periodico: l'interruzione di questa pratica determina un accumulo di lettiera, con l'innescare di fenomeni di soffocamento ed autoconcimazione, il cui effetto finale è una riduzione complessiva della biodiversità a favore dell'entità dominante, con conseguente banalizzazione del paesaggio vegetale.

### **Materiali e metodi**

A seguito di una fotointerpretazione preliminare (volo regionale a colori del 1990, scala 1:13000), è stato eseguito un rilevamento sistematico mirato alla realizzazione di una cartografia pedologica di dettaglio (scala 1:10000). A tale scopo sono state eseguite oltre 400 osservazioni (trivellate, mini-pit e profili), con una densità media (comprese le aree urbanizzate e gli specchi d'acqua) pari ad una osservazione per 3 ha. La carta dei suoli è stata realizzata attraverso l'elaborazione del raster informatico della C.T.R. 1:10.000, utilizzando il GIS standard della Regione Veneto, Apic Dos for Windows. I suoli sono stati classificati secondo la Soil Taxonomy (1994) e la legenda FAO-Unesco (1994).

## **Risultati**

### **Carta dei suoli**

L'esame della distribuzione dei suoli nel paesaggio ha consentito di delineare 11 unità cartografiche (Tabella 1), ripartite tra 4 ordini (**Alfisuoli**, **Inceptisuoli**, **Mollisuoli**, **Istosuoli**). Una quinta categoria è stata cartografata con il solo sistema FAO-Unesco: si tratta degli **Anthrosols**, una tipologia sempre più frequente nelle aree a forte sviluppo antropico.

Di particolare rilievo la presenza di **Istosuoli**, ultimi lembi relictivi di torbiera bassa, e di **Alfisuoli**, corrispondenti ad un paleoalveo sabbioso rilevato del fiume Brenta. Gli **Inceptisuoli** rappresentano il tipo pedologico più comune, pur con rilevanti differenziazioni al loro interno, caratterizzando sette unità cartografiche.

Inoltre si segnala l'interessante sequenza di suoli che si ritrova lungo la direttrice N-S: da Nord gli Inceptisuoli su substrato grossolano (conoide del Piave con cappello di alterazione arrossato ("ferretto" - Comel, 1972; ESAV, 1996), quindi i suoli a drenaggio rallentato (a regime aquico), per giungere nella bassura di risorgiva ove si trovano i terreni organici (Istosuoli e Mollisuoli) che seguono fedelmente il corso del Sile precedente alle bonifiche, quindi più a Sud ritroviamo gli Inceptisuoli a regime aquico ed a tessitura fine (su sedimenti argilloso-limosi della Brenta), per concludere con suoli a drenaggio più rapido, nell'estremità meridionale dell'area esaminata.

Non essendo possibile riprodurre la carta in questa memoria, si riporta qui di seguito (Tabella 1) la legenda originale della carta stessa, che rimane disponibile per la consultazione presso gli autori

Tabella 1

## Legenda carta dei suoli

AM- BIENTE	UNITÀ DI PAESAGGIO	U. C.	DESCRIZIONE DEI SUOLI	CLASSIFICA- ZIONE SOIL TAXONOMY 1994, FAO UNESCO 1994
Propag- gimi dell' Al- ta Pia- nura	Area di transi- zione fra le al- luvioni ghiaio- se con cappel- lo di alterazio- ne superficiale (ferretto) e la bassura di ri- sorgiva	FRA	Serie Franchetto. Suoli a pro- filo A B <sub>w</sub> C, profondi, limi- tati dal substrato ghiaioso, tessitura media, da neutri a subalcalini, da non calcarei a molto scarsamente calcarei, scheletro scarso, saturazione da alta a molto alta, drenag- gio mediocre.	Dystric Eutro- chrepts, fine loamy, mixed, mesic Dystric Cam- bisols
Bassa pianura	Aree morfolo- gicamente de- presse ed a granulometria fine dove lo smaltimento delle acque ri- sulta difficil- toso	PAL3	Serie Palù. Suoli a profilo A B <sub>w</sub> C, moderatamente profon- di, limitati dalla falda, tessitu- ra da moderatamente fine in superficie a media in profon- dità, da neutri a subalcalini, molto scarsamente calcarei, scheletro assente, saturazione molto alta, drenaggio lento	Aeric Endoa- quepts, fine loamy, mixed, mesic  Eutric Gley- sols
		MUN	Serie Munaron. Suoli a pro- filo A B <sub>w</sub> C, profondi, limitati da substrato a tessitura mode- ratamente fine o dalla falda, tessitura da media in superfi- cie a moderatamente fine in profondità, neutri, molto scarsamente calcarei, schele- tro assente, saturazione molto alta, drenaggio lento	Fluvaquentic Eutrochrepts, fine loamy, mixed, mesic  Gleyic Cambi- sols



AM- BIENTE	UNITÀ DI PAESAGGIO	U. C.	DESCRIZIONE DEI SUOLI	CLASSIFICA- ZIONE SOIL TAXONOMY 1994, FAO UNESCO 1994
		<b>AND</b>	Serie Andezzato. Suoli a profilo A B <sub>w</sub> C, moderatamente profondi, limitati dalla falda, tessitura da moderatamente fine in superficie (franco argillosa - argillosa) a media in profondità (franco argillosa - franco limosa), presenza di crepacciature e selfmulching, subalcalini, scarsamente calcarei, scheletro assente, saturazione molto alta, drenaggio molto lento	Vertic Endoaquepts, clayey, mixed, mesic  Eutric Gleysols
Bassa pianura	Aree di transizione tra le zone più rilevate e quelle più depresse	<b>CSR</b>	Serie Casera. Suoli a profilo A B <sub>w</sub> B <sub>k</sub> C, profondi, tessitura moderatamente fine, presenza di crepacciature e selfmulching, alcalini, moderatamente calcarei; scheletro scarso, saturazione molto alta, drenaggio lento	Vertic Eutrochrepts, fine loamy, mixed, mesic  Verti-Haplic Calcisols
		<b>TRE2</b>	Serie Trebaseleghe. Suoli a profilo A B <sub>w</sub> B <sub>k</sub> C, moderatamente profondi, limitati dalla presenza di concrezioni di carbonato di calcio (caranto), tessitura media, alcalini, da scarsamente calcarei in superficie a calcarei in profondità, scheletro assente, saturazione molto alta, drenaggio mediocre	Oxiaquic Eutrochrepts, fine loamy, mixed, mesic  Haplic Calcisols
		<b>CRB</b>	Serie Corbetta. Suoli torbosi a profilo O <sub>A</sub> O <sub>E</sub> C, moderatamente profondi, limitati dalla falda, subacidi, saturazione media, drenaggio molto lento o impedito a causa del substrato moderatamente fine	Typic Medisaprists, euic  Terric Histsols

AM- BIENTE	UNITÀ DI PAESAGGIO	U. C.	DESCRIZIONE DEI SUOLI	CLASSIFICA- ZIONE SOIL TAXONOMY 1994, FAO UNESCO 1994
Bassa pianura	Dossi poco rilevati cor- rispondenti ad antichi percorsi flu- viali	VLZ	Serie Vallazze. Suoli a profilo A B <sub>w</sub> C, profondi, tessitura da mo- deratamente grossolana in super- ficie a media in profondità, neu- tri, non calcarei; scheletro scarso, irregolare diminuzione del con- tento di carbonio organico fra i 25 cm e i 125 cm di profondità, saturazione bassa in superficie molto alta in profondità, drenag- gio da buono a mediocre	Dystric Flu- ventic Eutro- chrepts, coarse loamy, mixed, mesic  Dystric Cam- bisols
		MEN2	Serie MEN1. Suoli a profilo A B <sub>t</sub> C, profondi, tessitura moderata- mente grossolana, neutri, molto scarsamente calcarei; scheletro scarso, saturazione molto alta, drenaggio buono	Typic Haplu- dalfs, coarse loamy, mixed, mesic Haplic Luvi- sols
		F	Suoli di origine antropica da sot- tili a moderatamente profondi, tessitura da media a moderata- mente grossolana, con presenza frequente di scheletro di origine diversa (laterizi, plastiche, scarti di lavorazione, ecc.), drenaggio da lento a mediocre. Sono deri- vati da operazioni di bonifica e sistemazione di aree depresse o ex-cave	Urbic Anthro- sols
		P	Zone umide e paludose (località Le Pinelle ed Oasi di S.Cristina). Suoli prevalentemente organici, con saturazione idrica permanen- te e drenaggio impedito. Sono caratterizzati da estese coperture di canneto, con rare macchie bo- schive nei punti più rilevati.	
		U	Aree urbanizzate e/o industriali, specchi d' acqua (centri abitati, impianti di piscicoltura)	

### Cartografia derivata

Allo scopo di rendere immediatamente accessibili (Rasio e Vianello, 1990) le informazioni contenute nella carta dei suoli, attraverso la parametrizzazione dei caratteri distributivi dei suoli sono state elaborate una carta della capacità d'uso dei suoli ed una carta della capacità protettiva dei suoli per le acque di falda.

### Carta della Capacità d'uso (Tabella 2)

Utilizzando un sistema di classificazione basato su limitazioni crescenti (profondità, scheletro, drenaggio, tessitura, fertilità, rischio di inondazione) sono state identificate tre classi (II, III, IV) di capacità decrescente per l'uso agricolo ed una classe (VIII) con preclusione dell'uso agro-silvo-pastorale.

Nella Tabella 2 è riportata la legenda della carta della capacità d'uso dei suoli, disponibile per la consultazione presso gli autori.

Tabella 2

Legenda della carta della capacità d'uso dei suoli

Classe	Sotto-classe	U. C.	Tipo limitazione	Unità pedologica
<b>II</b> Suoli con alcune limitazioni che riducono la scelta delle colture oppure richiedono moderate pratiche di conservazione	s	1	Limitazioni dovute alla fertilità ridotta determinata da valori di C.S.C. < 10 meq e TSB < 50%	VLZ MEN2
	w	2	Limitazioni dovute al drenaggio mediocre	FRA
<b>III</b> Suoli con severe limitazioni che riducono la scelta delle colture e/o richiedono particolari pratiche di conservazione	sw	3	Limitazioni dovute al drenaggio lento e per presenza nello strato arato di una frazione limosa+argillosa > 65%	MUN CSR
	s	4	Limitazioni dovute a moderata profondità e per presenza nello strato arato di una frazione limosa+argillosa > 65%	TRE2
	sw	5	Limitazioni dovute a drenaggio lento e moderata profondità	PAL3
<b>IV</b> Suoli con limitazioni molto forti che restringono la scelta delle colture e/o richiedono una gestione molto accurata	sw	6	Limitazioni dovute al drenaggio lento e per presenza nello strato arato di una frazione argillosa > 35%	AND
	w	7	Limitazioni dovute a drenaggio molto lento	SOR3
	sw	8	Limitazioni dovute a drenaggio molto lento e scheletro >35%	F
<b>VIII</b> Suoli con limitazioni che precludono il loro uso a fini agro-silvo-pastorali e limitano l'uso a praticoltura o mantenimento dell'habitat naturale	w	9	Limitazioni dovute a drenaggio molto lento e alla presenza prossima alla superficie della falda	CRB

Carta della capacità protettiva per le acque di falda (Tabella 3)

Attraverso la verifica di alcuni parametri (altezza falda, permeabilità, CSC, pH, tessitura) è stata valutata la capacità del suolo di rallentare e/o bloccare eventuali inquinanti idrosolubili, derivanti dalle normali pratiche agricole intensive o da attività diverse.

I suoli sono stati suddivisi in tre classi di capacità protettiva decrescente, come riportato nella Tabella 3. Anche in questo caso la carta originale è disponibile presso gli autori.

Tabella 3

Legenda della carta della capacità protettiva dei suoli per le acque di falda

Classe	U. C.	Tipo limitazione	Unità pedologica
Capacità protettiva dei suoli elevata	1	Limitazioni dovute a permeabilità fra bassa e moderata	CSR FRA
Capacità protettiva dei suoli media	2	Limitazioni dovute alla presenza della falda fra i 50-100 cm con bassa permeabilità	MUN AND
		Limitazioni dovute a permeabilità moderata	TRE2
		Limitazioni dovute a granulometria franco grossolana e CSC < 10 meq	VLZ
Capacità protettiva dei suoli bassa	3	Limitazioni dovute a presenza della falda entro 50 cm dalla superficie	CRB F P
		Limitazioni dovute a permeabilità bassa e CSC compresa fra 5-10 meq/100g	MEN2
		Limitazioni dovute a permeabilità moderata e falda < 100 cm	SOR3 PAL3

## **Conclusioni**

La carta dei suoli del Parco del Sile e la cartografia derivata, consentendo la classificazione del territorio in aree omogenee per problematiche ed attitudini produttive, possono diventare uno strumento particolarmente valido per la pianificazione del territorio. Infatti le informazioni ivi contenute consentono di armonizzare la protezione ed il ripristino della complessità ambientale con la promozione e lo sviluppo delle attività economiche e produttive. Sono state identificate le emergenze ambientali più significative ed i suoli che meglio si prestano ad usi agricoli anche intensivi e quelli che, a causa delle forti limitazioni, dovrebbero essere destinati a praticoltura o mantenimento dell' habitat naturale, come i suoli torbosi.

Nonostante la Regione Veneto, nel 1991, abbia istituito il Parco Regionale del Fiume Sile, l'attuale gestione non appare ottimale, forse anche in considerazione del fatto che il Piano Ambientale non è a tutt'oggi ancora stato approvato.

Le cenosi vegetali naturali risentono dell'abbandono o del mutamento delle tradizionali pratiche colturali, oltre che del generale abbassamento della falda, cui contribuiscono anche gli incontrollati emungimenti ad opera di privati. Recentemente infatti vaste superfici, in precedenza condotte a prato meso-igrofilo, sono state convertite in colture annuali. Tale fatto è particolarmente grave per quelle aree comprese in zone la cui destinazione sarebbe, secondo il Piano Ambientale, a Riserva Naturale.

Il lavoro si conclude con una proposta di fruizione didattico-ricreativa che, attraverso l'evidenziazione delle emergenze ambientali e paesaggistiche, fornisce gli elementi per una corretta gestione del Parco.

## **Proposta di itinerario didattico-ricreativo nel parco**

**1 - Centro Informativo:** creazione di una struttura ricettiva, una porta didattico-naturalistica che possa rappresentare un punto di riferimento per la zona delle sorgenti del Sile.

**2 - torbiera bassa e suoli organici:** costituiscono un microambiente con rara flora e fitocenosi endemiche quali scheneti e moliniati; sono minacciati dalle pratiche agricole intensive e dall'abbassamento del livello freatico; in particolare per i moliniati occorre mantenere la pratica dello sfalcio periodico.

---

**3 - polle di risorgiva:** necessitano di un costante controllo e manutenzione a causa del naturale processo di interrimento.

**4 - campi chiusi e bonifiche settecentesche:** evitare nelle semine dei prati stabili l'utilizzo di sementi commerciali, onde prevenire fenomeni di inquinamento genetico; conservare alberature e siepi per le loro funzioni ambientali.

**5 - ex-cave di argilla:** sviluppo di un percorso guidato per birdwatching; possibilità di allevamento di ittiofauna;

**6 - oasi di S. Cristina e aree paludose:** conservazione della natura; tutela della avifauna nidificante e di passo;

**7 - Villa Corner:** elemento architettonico di notevole rilevanza, posto al margine dell'area-parco; attrezzata come posto di ristoro, può costituire un richiamo per i visitatori.

### **Bibliografia**

- COMEL A., 1972. *Il terreno*. Edagricole, Bologna.
- ESAV, 1996. *I suoli di Piombino Dese e Trebaseleghe*. Multigraf, Spinea (VE).
- FAO - Unesco, 1994. *Soil Map of The World. Revised Legend*. Unesco, Paris.
- GHIRELLI L., MARCUCCI R., SBURLINO G., 1995. *Osservazioni sulla distribuzione di Euphrasia marchesettii Wettst. e sulla sua posizione sintassonomica*. Fitosociologia 29:59-65.
- GIARDINI L., 1996. *Piano Ambientale del Fiume Sile. Settore agronomico vegetazionale*. Veneto Progetti, Padova.
- MARCHIORI S. E SBURLINO G., 1996. *Present Vegetation of the Venetian Plain*. Allionia, 34: 117-132.
- MOZZI P., A:A: 1990-1991. *Geomorfologia dell'area delle sorgenti del Sile e sue relazioni con le prime fasi del popolamento umano*. Tesi inedita, Università di Padova.
- RASIO R. E VIANELLO G., 1990. *Cartografia pedologica nella pianificazione e gestione del territorio*. Franco Angeli Milano.
- SBURLINO G. E GHIRELLI L., 1994. *Le cenosi a Schoenus nigricans del Caricion davallianae Klika 1934 nella Pianura padana orientale (Veneto-Friuli)*. Studia geobotanica. Vol. 14: 63-68.
- SBURLINO G., BRACCO S., BUFFA G., ANDREIS C., 1995. *I prati a Molinia caerulea (L.) Moench della Pianura padana: sintassonomia, sincrologia, sinecologia*. Fitosociologia 29: 67-87.
- SBURLINO G., BRACCO S., BUFFA G., GHIRELLI L., 1996. *Rapporti dinamici e spaziali nella vegetazione legata alle torbiere basse neutro-alcaline delle risorgive della Pianura padana orientale (Italia settentrionale)*. Fitodinamica. XXIV: 285-293.
- SOIL SURVEY STAFF - USDA, 1994. *Keys to Soil Taxonomy*. 6th edition. USDA, Soil Conservation Service.
- ZANETTI M., 1992. *Il Parco del Sile: paesaggio e natura del silenzioso fiume verde*. Edizioni grafiche Vianello, Ponzano (TV).

**CARTOGRAFIA DI SUOLI SALINO E SALINO-SODICI  
NELLA PIANA DELL'ALBEGNA (GR):  
DEFINIZIONE DELLA VARIANZA LOCALE DI  
KRIGAGGIO IN PRESENZA DI DISTRIBUZIONI  
ASIMMETRICHE ED EFFETTO PROPORZIONALE**

Fabrizio Ungaro

CNR-IGES, Istituto per la Genesi e l'Ecologia del Suolo  
P.le delle Cascine 15, 50144, Firenze

**Riassunto**

L'analisi spaziale esplorativa dei dati relativi ai suoli della Piana dell'Albegna (GR), soggetti ad intensi processi di salinizzazione ed alcalinizzazione, ha messo in evidenza l'esistenza di un forte effetto proporzionale (*eteroscedasticità*) per i valori di elettroconducibilità e sodio di scambio, mentre tale effetto non è stato osservato per i dati relativi al pH. Per la definizione di intervalli di confidenza per i valori stimati è stata adottata una procedura che, attraverso regressioni tra medie e deviazioni standard locali derivate dall'analisi spaziale esplorativa su finestre mobili e l'utilizzo di semivariogrammi standardizzati consente di riscaldare la varianza di krigaggio ad una stima della effettiva varianza locale.

Tale procedura ha portato a stime affette da un errore mediamente assai inferiore a quello globale, anche se in particolari situazioni locali l'intervallo di confidenza assume limiti così ampi da rendere poco affidabile il valore stimato. Questa tuttavia è una prima valida e fondamentale indicazione delle aree che occorrerebbe campionare ulteriormente, con un grado di intensità che può essere espresso in funzione del livello di accuratezza desiderato.

**Introduzione**

La crescente vulnerabilità dei suoli in ambiente costiero, enfatizzata da pratiche agronomiche o più in generale da politiche di gestione del territorio non sostenibili in termini di impatto ambientale, è oggi una realtà che impone l'adozione di misure atte a prevenire, dove possibile, o

---



ad arginare i processi di degradazione in atto. Questi sono tipicamente il risultato di complesse e dinamiche interazioni a più livelli tra le componenti dell'ecosistema e si manifestano nel suolo in forme diverse. Gli indicatori chimico-fisici più significativi dei processi in atto sono quelli relativi alla degradazione della struttura, alla riduzione della capacità di infiltrazione e alla salinizzazione (European Commission, DG XII 1992). In un contesto globale aggravato da un bilancio idrologico sempre più negativo, sono proprio questi ultimi che si vanno manifestando con sempre maggiore frequenza.

In diversi comprensori irrigui toscani situati in prossimità delle coste i problemi di approvvigionamento idrico che ormai da anni si ripresentano sistematicamente più gravi nei mesi estivi, hanno portato ad un crescente sfruttamento delle falde idriche profonde determinandone, in un lasso di tempo relativamente breve, la salinizzazione. Questo fenomeno interessa estesamente tutto il litorale toscano: la Valle dell'Albegna, la Pianura di Grosseto, la Val di Cornia e la Bassa Val di Cecina.

Appare evidente come una conoscenza quanto più precisa e completa dell'attuale stato di degrado dei suoli interessati da questi processi rappresenti l'indispensabile punto di partenza per l'ottimizzazione degli interventi, del loro livello di intensità e della loro distribuzione sul territorio.

La definizione di intervalli di confidenza localmente validi per stime effettuate in punti non campionati rappresenta uno dei momenti cruciali nel monitoraggio di aree a rischio ambientale. Per la derivazione di tali intervalli nella pratica geostatistica è utilizzata la deviazione standard di krigaggio  $\sigma_K^2$ , che però è una statistica globale il cui valore dipende in modo critico dal modello di variogramma adottato. Nella scienza del suolo non è raro imbattersi in anomalie locali caratterizzate da valori estremamente alti o estremamente bassi, all'interno di aree estese più uniformi e quindi l'esistenza di fluttuazione locali nel *pattern* di variabilità spaziale deve essere verificata in una fase preliminare dell'analisi spaziale. Esiste tipicamente una qualche struttura nei valori estremi (Isaaks & Srivastava, 1989), e le popolazioni con questa caratteristica, al contrario di quelle normalmente distribuite, sono dette possedere un basso grado di entropia in termini di livello di informazione contenuta in un sistema. Questa è una caratteristica molto frequente nei dati pedologici, geologici ed ambientali in generale.

Se i dati mostrano un effetto proporzionale con anomalie locali nella variabilità (eteroscedasticità), il *sill* del variogramma non può più essere considerato una stima robusta della varianza globale e gli errori livello

locale, di maggiore interesse per la pianificazione di pratiche di gestione sostenibili, mostrano spesso distribuzioni fortemente asimmetriche, non rilevabili con le procedure di analisi ordinarie.

## **Materiali e metodi**

### L'area di studio: campionamento ed analisi

L'area di studio (Lat. 42°30', Long. 1°21') è caratterizzata da una temperatura media annua elevata (15°C), estati calde (23.5°C la media di luglio e agosto) ed inverni miti (7.3°C la media di gennaio). Caratteristica rilevante del clima dell'area è la scarsità di precipitazioni specialmente nel periodo estivo. Il tipo climatico nella maggior parte degli anni è subumido asciutto (Typic Xeric), semiarido (Dry Xeric) negli anni meno piovosi, e subumido (Wet Tempudic) in pochissimi casi. Il deficit idrico estivo può raggiungere valori molto elevati, fino a 230 mm, con valori medi di 180-200 mm. Il regime di temperatura del suolo è termico, quello di umidità xerico.

Gran parte dell'area rilevata è interessata da suoli sviluppatasi sui depositi alluvionali dell'Albegna; superfici minori interessano invece antichi terrazzi alluvionali ed il sistema dunale e retrodunale costiero. Le alluvioni da fini a medie delle pianure recenti sono interessate da suoli profondi o moderatamente profondi, a profilo Ap-C poco sviluppato, calcarei e con tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana. Si tratta di suoli classificati come Calcaric Fluvisol, Calcaric Cambisol (Van Berghen et al., 1991). I suoli sulle alluvioni fini delle pianure antiche mostrano tutti caratteristiche vertiche più o meno pronunciate così come quelli formati sulle alluvioni fini delle pianure recenti su depositi lagunari. Si tratta di suoli calcarei, a profilo Ap-Bw-C o Ap-Bg-C, con tessitura da moderatamente fine in superficie a fine in profondità, classificati come Vertic Cambisol, Eutric Vertisol e Calcaric Vertisol. I suoli sviluppati sui terrazzi alluvionali sono molto evoluti e profondi: Chromic Luvisol sui depositi a tessitura da media a grossolana e Haplic, Calcic e Vertic Luvisol sui depositi a tessitura da media a medio-fine. Maggiore eterogeneità caratterizza i suoli del sistema costiero: suoli piuttosto evoluti, spesso con profilo a sequenza Ap-Bt-C, con tessitura da franco-argillosa-sabbiosa a sabbiosa sono presenti sulle sabbie eoliche profonde e sulle sabbie eoliche sottili su depositi lagunari del terrazzo marino superiore, mentre tessiture da moderatamente fini a fini caratterizzano invece i suoli formati sui depositi lagunari sia recenti che antichi dei terrazzi marini inferiore e superiore. Questi ultimi sono stati classificati

come Calcic ed Eutric Vertisol con frequenti fasi saline e salino-sodiche, in possibile associazione con Vertic e Calcic Luvisol.

Accanto ad unità "costituzionalmente saline" per motivi chiaramente legati alla loro genesi, l'area rilevata è interessata da suoli che presentano una notevole suscettibilità a fenomeni di degrado legati a processi di salinizzazione in atto o comunque potenziali. Nell'ultimo decennio tali processi si sono notevolmente aggravati a causa delle sostanziali modifiche occorse negli ordinamenti produttivi della zona che hanno determinato un non razionale e affatto sostenibile uso della pratica irrigua con conseguente degrado delle risorse idriche e dei suoli. La presenza di flora alofita e subalofita non limitata alla sola zona costiera, ma diffusa notevolmente verso l'interno della piana, indica chiaramente l'esistenza di processi di salinizzazione in atto e non più solo in una fase che si può ritenere iniziale.

Ai fini della definizione di intervalli di confidenza robusti per le grandezze stimate, è stato adottato un disegno di campionamento casuale stratificando all'interno delle unità cartografiche della carta pedologica 1:25.000. Poiché lo studio è mirato a più variabili, è stato adottato un criterio proporzionale per definire la consistenza numerica di ciascun strato, con numero di osservazioni per unità cartografica proporzionale alla sua superficie all'interno dell'area rilevata. Questa è di circa 60 Km<sup>2</sup>, con un totale di 225 osservazioni. Il numero di osservazioni corrisponde a quello comunemente indicato nella letteratura come sufficiente per ottenere misure di continuità spaziale 'robuste' (Webster 1985, MacBratney & Webster 1983, Webster & Oliver 1990, Webster & Oliver 1992, Burgess et al. 1981). I campioni sono stati prelevati a due diverse profondità, tra 20 e 30 cm e tra 80 e 90 cm, in modo da poter rilevare eventuali differenze nell'entità dei processi di salinizzazione a due livelli. Tutti i punti di prelievo sono stati georeferenziati sui fogli C.T.R. 1: 5.000; il sistema di coordinate di riferimento è quello nazionale Gauss-Boaga.

Su tutti i campioni (450) è stata determinata l'elettroconducibilità dell'estratto 1:5 ed il pH in acqua; su un numero minore di campioni (225) è stato determinato tramite spettroscopia in a.a. il contenuto in Ca, Na e Mg e da questi sono stati calcolati il S.A.R. e l'E.S.P. da S.A.R.. Le procedure analitiche seguite sono quelle adottate dall'ISRIC (Van Reeuwijk 1992). Per stimare i valori di elettroconducibilità in pasta satura a partire da quelli misurati sull'estratto 1:5, sono stati adottati coefficienti moltiplicativi differenziati (Slavich & Petterson 1993) in funzione delle classi tessiturali riportate per ciascuna unità cartografica nella memoria illustrativa della carta pedologica (Van Berghen et al., modif. 1992).

Su tutti i dati sono state calcolate le statistiche descrittive (tabella 1). Tutte le variabili, ad eccezione del pH, mostrano distribuzioni notevolmente disperse ed asimmetriche, assai lontane dalla normalità e caratterizzate da valori elevati di deviazione standard, skewness e kurtosis, e con coefficienti di variazione piuttosto alti che superano il 100% nel caso dell'elettroconducibilità. Si rilevano subito differenze di una certa entità per i valori alle due profondità, sempre con l'eccezione del pH, che non mostra variazioni significative.

**Tabella 1**

Statistiche descrittive per le variabili analizzate

Variabile	Media	Min.	Max.	C.V.%	Dev. Std.	Skew.	Kurt.
E.C.1:5, 30 cm	292.81	22.70	2610	137.3	402.18	3.75	15.4
E.C.1:5, 80 cm	495.75	27.20	3880	148.9	738.41	2.55	6.41
E.C.e*, 30 cm	2021.13	195.2	16704	113.2	2694.01	3.15	10.96
E.C.e*, 80 cm	3706.16	264	24832	126.3	4700.50	2.35	5.51
E.S.P.*, 30 cm	9.93	0.88	45.45	80.17	7.96	1.78	3.88
E.S.P., 80 cm	12.10	1.11	47.91	81.65	9.88	1.63	2.45
pH, 30 cm	7.90	5.73	10.93	12.9	1.00	0.44	0.52
pH, 80 cm	7.90	5.87	11.43	12.9	1.02	0.96	1.27

### Analisi geostatistica lineare della struttura spaziale dei dati e definizione degli intervalli di confidenza locali

L'analisi geostatistica si è articolata nelle seguenti fasi:

- 1) analisi spaziale esplorativa tramite statistiche su finestre mobili;
- 2) riconoscimento e selezione del grado  $k$  della funzione aleatoria (RF);
- 3) riconoscimento e selezione del modello di funzione di autocorrelazione spaziale della funzione aleatoria;

4) variografia sperimentale: misure di continuità spaziale, robustezza degli stimatori e analisi di eventuali anisotropie;

5) validazione dei modelli individuati (test kriging) e scelta dei modelli;

6) krigaggio di stima (ordinary block kriging, OK) ed edizione di carte di isovalori.

L'analisi spaziale dei dati è stata effettuata utilizzando i seguenti software geostatistici : Vario-win (Pannatier, 1993), FAI-pack (Bruno & Rapsa, 1993), GEO-EAS 1.2.1 (E.P.A., 1990).

Generalmente l'intervallo di confidenza del 95 % per la stima di un generico punto  $x_0$  viene definito come  $z^*(x_0) \pm 2 \sigma_K^*$ , dove  $z^*$  è il valore stimato tramite OK nel punto  $x_0$  e  $\sigma_K^*$  la deviazione standard di krigaggio:

$$z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i),$$

$$\sigma_K^{2*} = 2 \sum_{i=1}^N \lambda_i \gamma(x_0, x_i) - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i, x_j) - 2\mu \left( \sum_{i=1}^N \lambda_i - 1 \right)$$

dove  $\gamma$  è la semivarianza,  $\lambda_i$  i pesi ottenuti dalla soluzione del sistema di krigaggio e  $\mu$  il fattore di Lagrange introdotto per minimizzare  $\sigma_K^{2*}$ .

L'utilizzazione di questo indice di confidenza della stima è limitata dal fatto che non consente di definire in modo univoco l'ampiezza relativa di errori specifici a scala locale. L'uso di  $\sigma_K^{2*}$  per la definizione degli intervalli di confidenza richiede che siano considerate eventuali fluttuazioni nella variabilità locale. In questi casi l'incertezza insita in un valore stimato è legata ai valori dei dati che vengono impiegati nella combinazione lineare di stima, mentre l'algoritmo di krigaggio tiene conto delle relazioni geometriche tra i dati ma non dei loro valori per l'attribuzione dei pesi  $\lambda_i$ . Ne deriva che l'uso di  $\sigma_K^{2*}$  per la definizione di intervalli di confidenza normali (nel senso della normalità attesa nella distribuzione degli errori) richiede che il *sill* del variogramma fornisca una stima accurata della varianza globale, in grado di descrivere anche la struttura della continuità spaziale a scala locale. Una delle ragioni delle possibile incongruenze tra la varianza d'errore effettiva e quella stimata con un modello di RF risiede proprio nel fatto che il *sill* del variogramma può non essere una buona stima della varianza globale, e sebbene l'ampiezza del modello di variogramma non influenzi le stime,

influenza invece la varianza di stima. Nelle zone in cui si riscontrano i valori estremi, che sono poi le più importanti, le distribuzioni degli errori sono spesso asimmetriche, con segno di skewness variabile da area ad area: l'assunzione di normalità è quanto mai discutibile, e anche se si assume che i gli errori siano normalmente distribuiti, occorre allora prevedere la varianza di questa distribuzione.

L'approccio più semplice a questo problema (Isaaks & Srivastava 1989) consiste nell'assumere che la forma del variogramma sia la medesima ovunque, ma che la sua ampiezza possa cambiare da zona a zona. Questa assunzione, più che sulla realtà, è basata sul fatto che permette di usare un singolo  $\gamma^*(h)$  e di riscalarlo la varianza d'errore in accordo con una qualche nostra stima della varianza locale. È possibile definire e modellare  $\gamma_{R}^*(h)$ , un variogramma relativo con *sill* pari a 1, la cui forma descriva la struttura della continuità spaziale. Come il variogramma tradizionale questo  $\gamma_{R}^*(h)$  può essere utilizzato per ottenere una covarianza relativa che può essere utilizzata nel sistema di OK. Se questo modello è usato per calcolare  $\sigma_{K}^2$ , allora il risultato è una varianza che è relativa alla varianza locale. Per predire la varianza effettiva degli errori locali, dobbiamo riscalarlo questo valore relativo ad una qualche stima della varianza locale  $\sigma_{loc}^*$ <sup>2</sup>:

$$\sigma_{K}^{2*} = \sigma_{loc}^{*2} \left[ 2 \sum_{i=1}^N \lambda_i \gamma_R(x_0, x_i) - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \lambda_i \lambda_j \gamma_R(x_i, x_j) \right]$$

Il metodo usato per stimare la varianza locale dipende largamente dai fattori che influenzano la variabilità. Questo è il motivo per cui le statistiche su vicinaggi mobili sono spesso una parte importante dell'analisi spaziale esplorativa dei dati. La conoscenza dei fattori che influenzano la variabilità locale permette una definizione più affidabile della varianza. Se questa può essere messa in relazione con altri parametri, questi possono essere usati successivamente per predire un appropriato aggiustamento di scala del  $\gamma_{R}^*(h)$ . Tipicamente la varianza locale è legata alla media locale: uno *scatter-plot* delle medie locali contro le varianze locali rivelerà se questa relazione esiste e fornirà anche un'equazione che consente di predire la varianza locale dalla media.

La procedura seguita per l'aggiustamento degli intervalli di stima locali può essere quindi così riassunta:

- 1) esame delle statistiche calcolate su finestre mobili;
- 2) costruzione di *scatter-plot* medie locali vs. varianze locali

per l'individuazione di regressioni significative del tipo  $\sigma = a + bm$ , con  $\sigma$  e  $m$  la deviazione standard e la media rispettivamente;

3) calcolo dei  $\gamma^*_{R}(h)$  con *sill* pari ad 1, dividendo  $\gamma^*(h)$  per il valore del *sill* del modello;

4) stima delle  $\sigma_k$  locali tramite OK con  $\gamma^*_{R}(h)$ ;

5) stima delle medie locali tramite OK con  $\gamma^*(h)$ ;

6) calcolo delle  $\sigma$  locali utilizzando l'equazione ottenuta in 1) e le medie locali stimate in 5);

7) calcolo delle  $\sigma_k$  locali corrette moltiplicando i valori di  $\sigma_k$  locali stimati in 4) per le  $\sigma$  locali ottenute in 6);

8) calcolo degli intervalli di confidenza locali  $\pm 2 \sigma^*_{loc}$  95 %

### Risultati e discussione

Tanto per il calcolo delle statistiche a livello locale quanto per l'individuazione del grado  $k$  della RF sono stati adottati vicinaggi mobili di forma quadrata di 2100 m di lato con sovrapposizione parziale del 50%. L'esistenza di un forte effetto proporzionale è rilevata per i valori di elettroconducibilità, sia per i valori misurati sull' 1:5 che per quelli stimati in estratto, e per i valori di E.S.P. Per queste variabili i coefficienti di correlazione tra medie e deviazione standard sono altamente significativi sia a 30 che ad 80 cm di profondità (tabella 2).

Tabella 2

Coefficienti di correlazione tra valori medi e deviazione standard calcolati su finestre mobili

E.C.1:5	E.C.1:5	E.C.e*	E.C.e*	E.S.P.	E.S.P.	pH	pH
30cm	80cm	30cm	80cm	30 cm	80 cm	30 cm	80 cm
0.794	0.895	0.794	0.895	0.789	0.717	-0.05	0.096

Da questo comportamento si distingue chiaramente il pH per il quale non viene evidenziata alcuna correlazione tra valori medi e deviazione standard e di conseguenza nessun effetto proporzionale. Questo fa ritenere che per il pH il procedimento di stima possa portare a risultati localmente più affidabili che non nel caso dell'E.C. e dell'E.S.P., e di ciò bisogna te-

ner conto alla fine del procedimento di stima per il calcolo degli intervalli di confidenza locali.

Le caratteristiche strutturali della funzione  $\gamma(h)$  mostrano per tutte le variabili un andamento più o meno comune, con una deriva evidente oltre una certa distanza, rappresentata dall'improvviso andamento parabolico del variogramma. La funzione mostra tuttavia un chiaro dominio di stazionarietà all'interno del quale la struttura spaziale della ReV è soggetta a modellizzazione in termini variografici. Per tutte le variabili sono stati calcolati quindi i variogrammi omnidirezionali adottando un lag di 700 m e limitando lo spazio di lavoro al dominio di stazionarietà definibile di volta in volta per le diverse variabili. Essendo le osservazioni non distribuite su una maglia regolare, la tolleranza sulla distanza è stata scelta pari alla metà del lag (350 m). Gli andamenti della funzione  $\gamma(h)$  lungo diverse direzioni sono state analizzate per rilevare la presenza di eventuali anisotropie geometriche e/o zonali (figura 1). A 30 cm di profondità la direzione di massima continuità è orientata a 132-135° rispetto ad un ipotetico asse est-ovest, grossomodo parallelo alla linea di costa, mentre a 80 cm di profondità la direzione di prevalente anisotropia è intorno a 0°, con un andamento più o meno parallelo all'ultimo tratto del corso dell'Albegna e coincidente quindi con l'orientamento prevalente dei depositi alluvionali fini del fiume. Questi fattori sono stati presi in considerazione nel calcolo e nella modellizzazione dei semivariogrammi direzionali (tabella 3). Per rendere immediatamente leggibili le caratteristiche della struttura spaziale delle variabili considerate, sono stati calcolati i variogrammi relativi, i cui parametri sono standardizzati ai valori del *sill* del modello. In questo modo risulta subito evidente in termini percentuali la quota di variabilità strutturata e di variabilità non risolvibile alla scala di studio (tabella 3).

In tutti i casi sono state utilizzate combinazioni lineari di modelli di tipo sferico con valori di *range* e di *sill* differenti e discontinuità all'origine:

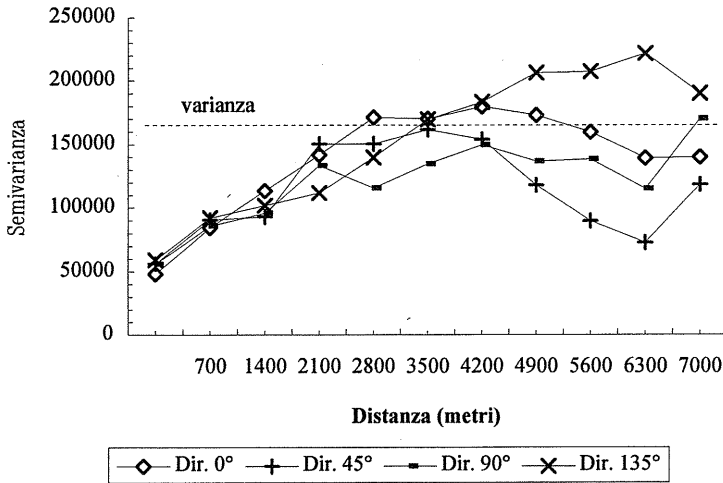
$$\gamma^{(h)} = C_0 + C_1 \left[ 1.5 \frac{h}{a} - 0.5 \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right]$$

dove  $C_0$ ,  $C_1$  e  $a$  sono rispettivamente il *nugget*, il *sill* ed il *range* del modello. Questo fatto, molto comune nella descrizione spaziale di variabili pedologiche (Burrough 1983a e b, Burgess & Webster 1980a, McBratney & Webster 1981, McBratney & al. 1982, McBratney & Webster 1986,



Figura 1

Elettroconducibilità 1 : 5,30 cm: semivariogrammi direzionali sperimentali



Russo & Bresler 1982, Webster & Nortcliff 1984, Webster 1985) indica l'esistenza di fattori che operano a scale diverse nel determinare la struttura spaziale delle ReV in questione. Per l'E.S.P, l'elettroconducibilità ed il pH si può ragionevolmente supporre che le componenti a 135°, che sono quelle che nella maggior parte dei casi presentano i maggiori valori di *range*, siano dovute alla maggiore altezza e continuità della falda salina di origine marina nella direzione parallela alla costa e quindi responsabile di un alto grado di connessione dei valori estremi lungo questa direttrice. Le componenti con *range* minori a 0° e 90° sono invece interpretabili in termini di caratteristiche del substrato litologico tali da favorire l'instaurarsi di dinamiche differenziate in intensità e distribuzione in suoli con una diversa storia genetica e ad una scala spaziale minore che riflette la loro continuità sul territorio.

Tabella 3

Parametri dei semivariogrammi modello per le proprietà del suolo

Variabile	Tipo	<i>Nugget</i>	<i>Sill</i>	<i>Nugget</i>	<i>Sill</i>	Max	Direzione
	$\gamma$ (h)	$C_0$	$C_1$	$C_{0rel}$	$C_{1rel}$	<i>range</i>	e tipo di
						(Km)	anis.
E.C.1:5, 30cm	Sph	48000	76800	0.270	0.433	3545	90° G
	Sph		38400		0.216	7005	135°G +Z
	Sph		14400		0.081	3469	0°Z
E.C.1:5, 80cm	Sph	283500	243000	0.507	0.435	3766	0° G
	Sph		32400		0.058	7006	135°G +Z
E.C.e*, 30cm	Sph	2.5 e +06	3.6 e +06	0.312	0.450	5694	90°G
	Sph		1.9 e +06		0.238	7005	135°G +Z
E.C.e*, 80cm	Sph	1.216 e+07	9.6 e+06	0.559	0.441	4130	0° G
E.S.P., 30 cm	Sph	33.5	96.3	0.176	0.507	8357	135°G
	Sph		27.1		0.142	4699	90°Z
	Sph		35.6		0.187	7772	45°Z
E.S.P., 80 cm	Sph	43.5	144.7	0.159	0.526	6068	135°G
	Sph		86.8		0.315	8036	45°G +Z
pH, 30 cm	Sph	0.507	0.356	0.467	0.328	4048	135°G
	Sph		0.223		0.205	3360	90°Z
pH, 80 cm	Sph	0.478	0.434	0.456	0.414	3862	135°G
	Sph		0.135		0.130	3150	90°Z

I modelli sono tutti caratterizzati dalla presenza di anisotropie talvolta molto accentuate, con componenti geometriche prevalenti accompagnate però da componenti zonali non trascurabili. Queste componenti sono presenti o nella stessa direzione di anisotropia geometrica, come nel caso dell'E.C., sia a 30 che a 80 cm, o nelle direzioni di minore continuità come nel caso del pH. Nel caso dell'elettroconducibilità i diversi valori di *nugget* e *sill* alle due profondità possono essere considerati come un particolare tipo di anisotropia zonale, che si rileva considerando anche la terza dimensione dello spazio.

I modelli testati sono stati quindi utilizzati per stimare i valori incogniti ai nodi di un *grid* tramite krigaggio ordinario su blocchi. Come supporto della stima sono stati scelti blocchi di 350 x 350 metri, discretizzati in 16 punti (4x4), con un vicinaggio di ricerca ellittico con i semiassi maggiore e minore di rispettivamente 1500 e 1000 m, orientato nella direzione di

massima anisotropia. Il numero minimo di osservazioni ritenuto per la stima del blocco è stato scelto pari ad 8, il massimo pari a 16; il criterio di distanza adottato per la ricerca dei punti è quello variografico.

In caso di correlazioni significative tra medie e deviazioni standard locali, le rette di regressione sono state utilizzate per calcolare le deviazioni standard locali utilizzando i valori medi ottenuti da OK con i  $\gamma_R^*(h)$  riportati in tabella 3. Le regressioni significative individuate sono del tipo  $\sigma = a + bm$ , con  $\sigma$  e  $m$  la deviazione standard e la media rispettivamente; i valori dei parametri  $a$  e  $b$ , ed i coefficienti di correlazione sono riportati nella tabella 4.

Tabella 4

Parametri per le regressioni medie locali vs. deviazioni standard locali

Variable	intercetta all'origine $a$	coefficiente angolare $b$	coefficiente di correlazione $r$
E.C. 1:5, 30 cm	43.134	0.7882	0.794
E.C. 1:5, 80 cm	14.239	0.9257	0.895
E.C.e*, 30 cm	- 195.6	0.8238	0.794
E.C.e*, 80 cm	- 107.7	0.8227	0.895
E.S.P., 30 cm	0.5957	0.4150	0.789
E.S.P., 80 cm	0.7888	0.4446	0.717

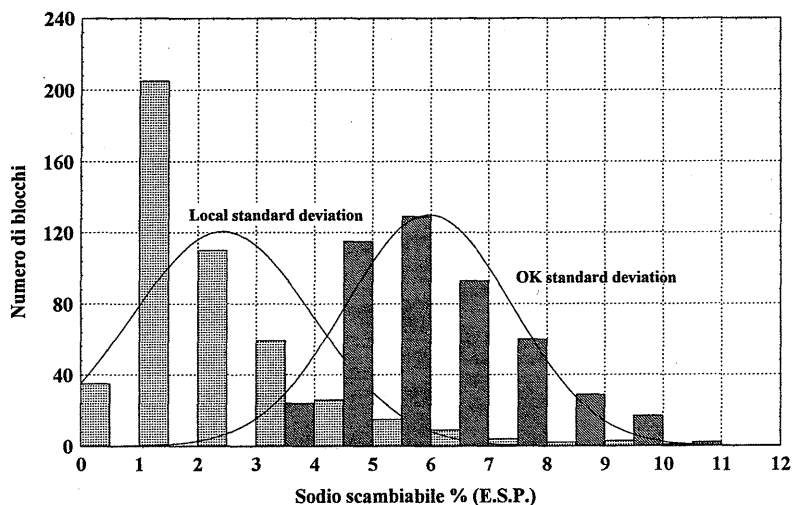
I valori di  $\sigma$  locale così stimati sono stati utilizzati per correggere i valori di  $\sigma_{ok}$  di ciascun blocco oggetto di stima tramite OK. In questo modo sono state ottenute delle deviazioni standard di krigaggio aggiustate alla variabilità locale che consentono, come già detto, la costruzione di intervalli di confidenza realistici e significativi a livello locale per i valori stimati. Nella tabella 5 sono riportate le statistiche descrittive per i valori delle deviazioni standard di krigaggio e delle deviazioni standard locali per ciascuna variabile, ad eccezione del pH per il quale si riportano solo le statistiche per le deviazioni standard di krigaggio ritenute, solo in questo caso sufficientemente valide anche a livello locale.

Il significato dei dati riportati nella tabella può essere immediatamente compreso osservando gli istogrammi sequenziali delle distribuzioni dei due valori di deviazione standard riportati in figura 2 per l'E.S.P. a 80 cm.

Le distribuzioni per le deviazioni standard corrette alla variabilità locale sono tutte notevolmente più disperse, più asimmetriche (valori di

Figura 2

Dispersione dell'errore di stima per E.S.P., 80 cm: istogrammi delle frequenze per deviazione standard da OK e deviazione standard riscalata alla variabilità locale



skewness maggiori) e più leptocurtiche (valori di kurtosis maggiori) rispetto a quelle delle deviazioni standard di krigaggio non corrette. Inoltre mostrano tutte valori medi, di mediana e di quartili notevolmente inferiori, mentre in tutti i casi, tranne che per l'E.S.P. ad entrambe le profondità, i valori massimi sono maggiori e quelli minimi inferiori.

Per la rappresentazione cartografica della varianza di stima è stata adottata una rappresentazione di tipo raster (figura 3 e 4) poiché una rappresentazione dei valori riferita ai singoli blocchi stimati rende più immediato il confronto tra le deviazioni standard di krigaggio globali e quelle riscalate alla variabilità locale. Le prime, non prendendo in considerazione i valori dei dati, riflettono un errore che è frutto della particolare geometria dell'informazione ossia delle posizioni relative delle osservazioni rispetto ai blocchi da stimare e della loro densità sull'area rilevata interessata dall'elisse di ricerca.

Figura 3

Deviazione standard di krigaggio ordinario per l'elettroconducibilità stimata su pasta satura (microS/cm), 80 cm

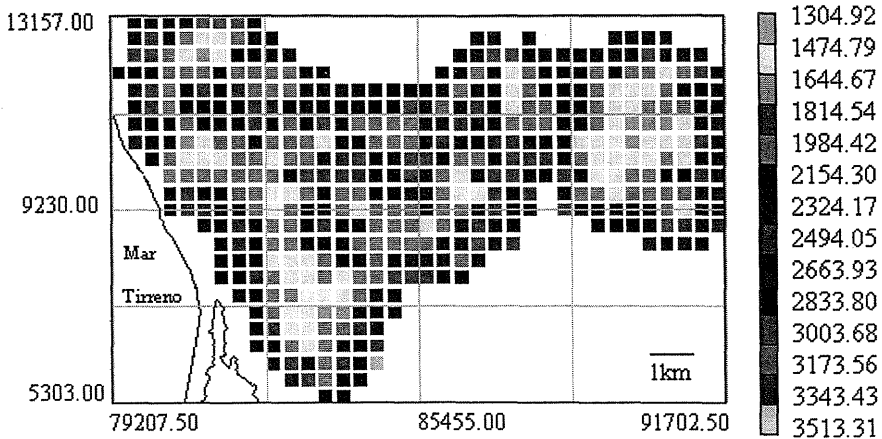


Figura 4

Deviazione standard locale per l'elettroconducibilità stimata su pasta satura (microS/cm), 80 cm

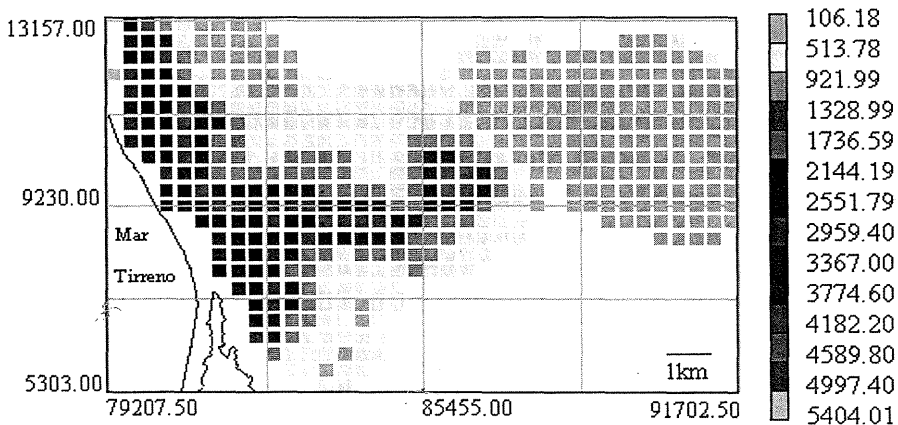


Tabella 5

Statistiche descrittive per le deviazioni standard di krigaggio e locali da OK su blocchi 350 x 350

Statistiche	E.C.	E.C.	E.C.e*	E.C.e*	E.S.P.	E.S.P.	pH	pH
per $\sigma_{ok}$ e $\sigma_{kl}$	30 cm	80 cm	30 cm	80 cm	30cm	80 cm	30 cm	80 cm
Media $\sigma_{ok}$	178.48	344.83	1057.90	1961.54	5.73	5.96	0.57	0.57
Media $\sigma_{kl}$	40.70	173.21	489.65	982.22	2.06	2.42	-	-
Dev. std. $\sigma_{ok}$	45.70	70.33	237.32	362.98	1.46	1.43	0.13	0.14
Dev. std. $\sigma_{kl}$	52.82	180.94	1884.86	888.86	1.40	1.55	-	-
Skewness $\sigma_{ok}$	1.63	1.35	1.65	1.00	0.78	0.66	1.12	1.22
Skewness $\sigma_{kl}$	4.29	2.16	2.77	1.92	2.11	2.01	-	-
Kurtosis $\sigma_{ok}$	3.73	3.10	4.04	3.07	0.47	0.01	1.67	2.03
Kurtosis $\sigma_{kl}$	22.39	5.55	9.14	4.43	5.94	5.20	-	-
25% quart. $\sigma_{ok}$	148.72	300.16	905.58	1731.98	4.59	4.83	0.48	0.47
25% quart. $\sigma_{kl}$	18.15	55.98	228.90	351.70	1.13	1.37	-	-
Mediana $\sigma_{ok}$	168.66	329.99	1004.61	1873.02	5.57	5.81	0.55	0.54
Mediana $\sigma_{kl}$	26.40	94.60	335.00	666.08	1.67	1.96	-	-
75% quart. $\sigma_{ok}$	193.87	375.62	1141.12	2103.56	6.59	6.82	0.63	0.63
75% quart. $\sigma_{kl}$	38.43	228.45	512.02	1293.56	2.59	3.00	-	-
Minimo $\sigma_{ok}$	100	100	667.98	100	3.06	3.27	0.32	0.28
Minimo $\sigma_{kl}$	5.29	20.07	48.30	100	0.48	0.68	-	-
Massimo $\sigma_{ok}$	410.22	688.17	2372.52	3513.31	11.03	10.80	1.12	1.19
Massimo $\sigma_{kl}$	449.97	1150.00	3510.49	5405.01	9.58	10.29	-	-
Range $\sigma_{ok}$	310.22	588.17	1704.53	3414.31	7.96	7.52	0.8	0.9
Range $\sigma_{kl}$	444.67	1129.93	3462.19	5305.01	9.09	9.6	-	-

### Conclusioni

La procedura seguita per la correzione degli errori globali al fine di ottenere intervalli di confidenza significativi a livello locale ha portato a stime affette da un errore mediamente assai inferiore a quello globale, anche se in particolari situazioni locali l'intervallo di confidenza assume limiti così ampi da rendere poco affidabile il valore stimato. Questa tuttavia è una prima valida e fondamentale indicazione delle aree che occorrerebbe campionare ulteriormente, con un grado di intensità che può essere espresso

Tabella 5

Statistiche descrittive per le deviazioni standard di krigaggio e locali da OK su blocchi 350 x 350

Statistiche	E.C.	E.C.	E.C.e*	E.C.e*	E.S.P.	E.S.P.	pH	pH
per $\sigma_{ok}$ e $\sigma_{kl}$	30 cm	80 cm	30 cm	80 cm	30cm	80 cm	30 cm	80 cm
Media $\sigma_{ok}$	178.48	344.83	1057.90	1961.54	5.73	5.96	0.57	0.57
Media $\sigma_{kl}$	40.70	173.21	489.65	982.22	2.06	2.42	-	-
Dev. std. $\sigma_{ok}$	45.70	70.33	237.32	362.98	1.46	1.43	0.13	0.14
Dev. std. $\sigma_{kl}$	52.82	180.94	1884.86	888.86	1.40	1.55	-	-
Skewness $\sigma_{ok}$	1.63	1.35	1.65	1.00	0.78	0.66	1.12	1.22
Skewness $\sigma_{kl}$	4.29	2.16	2.77	1.92	2.11	2.01	-	-
Kurtosis $\sigma_{ok}$	3.73	3.10	4.04	3.07	0.47	0.01	1.67	2.03
Kurtosis $\sigma_{kl}$	22.39	5.55	9.14	4.43	5.94	5.20	-	-
25% quart. $\sigma_{ok}$	148.72	300.16	905.58	1731.98	4.59	4.83	0.48	0.47
25% quart. $\sigma_{kl}$	18.15	55.98	228.90	351.70	1.13	1.37	-	-
Mediana $\sigma_{ok}$	168.66	329.99	1004.61	1873.02	5.57	5.81	0.55	0.54
Mediana $\sigma_{kl}$	26.40	94.60	335.00	666.08	1.67	1.96	-	-
75% quart. $\sigma_{ok}$	193.87	375.62	1141.12	2103.56	6.59	6.82	0.63	0.63
75% quart. $\sigma_{kl}$	38.43	228.45	512.02	1293.56	2.59	3.00	-	-
Minimo $\sigma_{ok}$	100	100	667.98	100	3.06	3.27	0.32	0.28
Minimo $\sigma_{kl}$	5.29	20.07	48.30	100	0.48	0.68	-	-
Massimo $\sigma_{ok}$	410.22	688.17	2372.52	3513.31	11.03	10.80	1.12	1.19
Massimo $\sigma_{kl}$	449.97	1150.00	3510.49	5405.01	9.58	10.29	-	-
Range $\sigma_{ok}$	310.22	588.17	1704.53	3414.31	7.96	7.52	0.8	0.9
Range $\sigma_{kl}$	444.67	1129.93	3462.19	5305.01	9.09	9.6	-	-

### Conclusioni

La procedura seguita per la correzione degli errori globali al fine di ottenere intervalli di confidenza significativi a livello locale ha portato a stime affette da un errore mediamente assai inferiore a quello globale, anche se in particolari situazioni locali l'intervallo di confidenza assume limiti così ampi da rendere poco affidabile il valore stimato. Questa tuttavia è una prima valida e fondamentale indicazione delle aree che occorrerebbe campionare ulteriormente, con un grado di intensità che può essere espresso

in funzione del livello di accuratezza desiderato.

Le deviazioni standard di krigaggio globali hanno valori più alti per la varianza di stima prevalentemente lungo i limiti dell'area rilevata, lì dove l'informazione disponibile è ovviamente minore e nelle aree dove il numero di osservazioni per unità di superficie è inferiore, come lungo l'alveo dell'Albegna e in altre zone non accessibili. Completamente diversa è invece la distribuzione della varianza di krigaggio riscalata alla variabilità locale, che assume valori massimi in corrispondenza delle aree dove le osservazioni assumono i valori più elevati e dove l'eterogeneità è maggiore, cioè in corrispondenza di passaggi più o meno abrupti tra zone relativamente più omogenee. Poiché questa varianza tiene anche conto della geometria dell'informazione disponibile, valori elevati sono presenti anche lungo i limiti dell'area rilevata. Le stime risultano quindi più affidabili in corrispondenza di aree omogenee e caratterizzate da valori non elevati, come i terrazzi più antichi o i depositi eolici più grossolani. Sono invece affette da un errore sistematicamente maggiore a livello locale le stime relative ai blocchi situati in zone più eterogenee e a valori decisamente elevati, come i depositi lagunari e i depositi alluvionali fini. Questo fatto rappresenta un limitazione non indifferente in una eventuale ricaduta pratica dell'informazione così prodotta. Per questo motivo è necessario considerare classi di stimatori geostatistici più robusti di quelli considerati (es. stimatori non lineari e disgiuntivi) che siano in grado di catturare partendo dai medesimi set di dati maggiori dettagli della struttura spaziale delle ReV esaminate e che soprattutto evidenzino in maniera più accurata possibile il grado di connessione esistente tra i valori estremi.

### **Bibliografia**

- BRUNO R. & RASPA G. 1994. La Pratica della Geostatistica Lineare: il Trattamento dei Dati Spaziali. Guerini Studio Ed. Milano.
- BURGESS, T.M. & WEBSTER, R. 1980a. Optimal interpolation & isarithmic mapping of soil properties: 1. The semi-variogram & punctual kriging. *Journal of Soil Science*, **31**, 315-331.
- BURGESS, T.M. & WEBSTER, R. 1981. Optimal interpolation & isarithmic mapping of soil properties: 4. Sampling strategy. *Journal of Soil Science*, **32**, 643-659.
- BURROUGH, P.A. 1983a. Multiscale sources of spatial variation in soil. I. The application of fractal concepts to nested levels of soil variation. *Journal of Soil Science*, **34**, 577-597.
- EUROPEAN COMMISSION, Directorate-General XII Science, Research and Development, 1992. *Desertification and land degradation in the European Mediterranean*. Report EUR 14850 EN.
- ISAAKS, E.H. & SRIVASTAVA, R.M. 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York, 561 pp.



- MCBRATNEY, A.B. & WEBSTER R., 1981. Spatial dependence and classification of the soil along a transect in north-east Scotland. *Geoderma*, **26**, 63-82.
- MCBRATNEY, A.B. & WEBSTER, R. 1983. How many observations are needed for regional estimation of soil properties? *Soil Science*, **135**, 3, 177-183.
- MCBRATNEY, A.B. & WEBSTER R., 1986. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. *Journal of Soil Science*, **37**, 617-639.
- MCBRATNEY, A.B. , WEBSTER R., MCLAREN, R.G. & SPIERS R.G. 1982. Regional variation of extractable copper and cobalt un the topsoil of south-east Scotland. *Agronomie*, **2**, 969-982.
- PANNATIER, Y. 1993. MS-Windows programs for exploratory variography and variogram modelling in 2D. *Proceedings of the International Workshop on Statistics of Spatial Process*, September 27-30 1993, Bari, Italy.
- RUSSO, D. & BRESLER E. 1982. Soil hydraulic properties as a stochastic process. II. Errors of estimates in a heterogeneous field. *Soil Science Society of America Journal*, **45**, 699-704.
- SLAVICH, P.G. & PETTERSON, G.H. 1993. Estimating the electrical conductivity of saturated paste extracts from 1:5 soil : water suspensions and texture. *Austalian Journal of Soil Research*, **31**, 73-81.
- VAN BERGHEN, J.W., MEIJVOGEL, T. & WINDMEIJER, P.N. 1991. *La Valle dell'Albegna pedologia e Valutazione del Territorio*. Giunta regionale Toscana, Marsilio Editori, 153 pp.
- VAN REEUWIJK (Ed.), 1992. *Procedures for Soil Analysis*. Technical paper 9, International Soil Reference and Information Centre, Wageningen, The Netherlands.
- WEBSTER, R. 1985. Quantitative Spatial Analysis of Soil in the Field. *Advances in Soil Science*, **3**, 2-70. Springer-Verlag, New York.
- WEBSTER, R. & NORTCLIFF, S. 1984. Improved estimation of micronutrients in hectare plots of the Sonning series. *Journal of Soil Science*, **35**, 667-672.
- WEBSTER, R. & OLIVER, M.A. 1990. *Statistical Methods in Soil & Land Resources Survey*, Oxford University Press.
- WEBSTER, R. & OLIVER, M.A. 1992. Sample adequately to estimate variograms of soil properties. *Journal of Soil Science*, **43**



*I SUOLI DELLA PORZIONE SETTENTRIONALE  
DEL TERRITORIO DI ARBOREA (SARDEGNA CENTRO-  
OCCIDENTALE) E VALUTAZIONE DELLA LORO  
ATTITUDINE ALLO SPANDIMENTO DI REFLUI  
ZOOTECNICI PROVENIENTI DA ALLEVAMENTI BOVINI  
DA LATTE*

Andrea Vacca

Dipartimento di Scienze Chimico-Agrarie, Facoltà di Agraria,  
Università degli Studi di Napoli "Federico II" - Via Università 100, 80055 Portici (NA)

**Riassunto**

Il presente studio è stato effettuato nella porzione settentrionale del territorio di Arborea (Sardegna centro-occidentale) al fine di caratterizzare i suoli e di valutarne l'attitudine allo spandimento di reflui zootecnici provenienti da allevamenti bovini da latte. I risultati conseguiti consentono di orientare i tecnici in relazione al tematismo preso in esame, ma l'applicazione a livello aziendale, nonostante il grado di dettaglio adottato (scala di rilevamento 1:5.000), deve essere integrata con indagini puntuali a causa della elevata variabilità laterale dei suoli presenti nell'area.

**Introduzione**

Uno dei problemi principali legati allo spandimento dei reflui provenienti da allevamenti bovini è costituito dal rischio di dilavamento dei nitrati per ruscellamento superficiale o ad opera delle acque percolanti nel suolo. Tale fenomeno si verifica in corrispondenza di apporti idrici eccessivi con due conseguenze principali: da una parte l'allontanamento dei nitrati in profondità rappresenta per le colture agrarie una perdita immediata di sostanza nutriente, dall'altra il verificarsi del dilavamento costituisce anche un rischio ambientale. Infatti i nitrati dilavati e sottratti alle colture possono raggiungere la falda o i corpi idrici superficiali, contribuendo al generale degrado delle acque.

Il Centro Zonale ERSAT (Ente Regionale di Sviluppo ed Assistenza Tecnica in Agricoltura) di Arborea ha avviato di recente una serie di

---

iniziative relative al delicato problema della gestione ed utilizzazione agromica delle deiezioni zootecniche derivate da allevamenti bovini da latte, data l'elevata concentrazione di allevamenti intensivi presente nel comprensorio. Nel quadro delle attività è stata richiesta al Servizio Riforma Agropastorale della sede di Cagliari un'indagine pedologica che consentisse, attraverso uno studio accurato dei suoli, di valutarne l'attitudine allo spandimento dei reflui zootecnici.

### **Area di indagine**

L'indagine è stata effettuata su un'area campione (Fig.1) di circa 320 ha, rappresentativa della porzione settentrionale del territorio di Arborea, racchiusa tra la strada 30 e lo stagno di S'Ena Arrubia a nord, il canale delle acque medie ad est, la strada 26 a sud, e la fascia dunare costiera ad ovest.

La temperatura media annua è di poco inferiore ai 17° C e la media annuale delle precipitazioni è di 673 mm (Sezione Autonoma per il Servizio Idrografico della Sardegna). La stagione più piovosa è l'autunno, la più asciutta l'estate. L'evapotraspirazione potenziale annua, calcolata con la formula di Thornthwaite-Mather, è di circa 853 mm. Il tipo climatico è subumido secco, a forte eccedenza idrica in inverno, varietà climatica secondo mesotermico, con concentrazione estiva dell'efficienza termica superiore all'88% (Thornthwaite & Mather, 1957).

**Figura 1**

Localizzazione dell'area



La gran parte del territorio in esame è occupata da sabbie di probabile origine eolica e di età Wurmiana (Pleistocene), ricoprenti delle alluvioni sabbiose quarzose (Melis, 1975-76; Di Gregorio, 1976; Fiori, 1976-77). Al Flandriano (Olocene) è da attribuire la formazione dei numerosi stagni e paludi presenti in passato nel territorio, e successivamente prosciugati dall'intervento antropico. Si presentano attualmente da argillosi a sabbiosi, talora con crostoni calcarei sia continui che discontinui.

La morfologia attuale è pianeggiante, con un'altitudine compresa tra un massimo di 8.8 m ed un minimo di 0.2 m s.l.m., ed è di origine antropica. La zona era infatti occupata, prima della bonifica cominciata negli anni trenta, da una fascia dunare sabbiosa con andamento altimetrico difforme, con frequenza di dossi orientati nella direzione dei due venti dominanti opposti: il maestrale e lo scirocco (Morani, 1957). Entro la fascia dunare, nelle bassure a fondo argilloso impermeabile, si aprivano alcuni stagni e paludi. Una carta topografica in scala 1:10.000 precedente la bonifica ne riporta ben 42.

Gran parte dell'area è destinata alle colture finalizzate all'alimentazione del bestiame allevato, con una successione di loglio e mais. Frequente è anche la medica. Le aziende con dimensione ridotta si occupano prevalentemente di orticoltura. Rari sono gli agrumeti ed i vigneti. Il territorio è servito da irrigazione pubblica. Il comparto zootecnico è rappresentato da allevamenti bovini da latte. Un censimento effettuato dai tecnici ERSAT di Arborea ha rilevato nell'area in esame la presenza di circa 1.800 capi bovini, per un totale di circa 8.000 quintali di peso vivo ed una produzione di circa 32.000 m<sup>3</sup> l'anno di liquame.

### **Materiali e metodi**

Il rilevamento pedologico è stato effettuato secondo le metodologie ormai standardizzate seguite sia a livello nazionale che internazionale. La finalizzazione dell'indagine ha imposto un dettaglio di lavoro adatto ad una applicazione dei risultati a livello aziendale. Il rilevamento è stato pertanto effettuato con un dettaglio tale da permettere la realizzazione di una carta dei suoli in scala 1:5.000. Nella fase preliminare, vista la morfologia pianeggiante dell'area e le profonde trasformazioni antropiche causate dagli interventi di bonifica, sono state di fondamentale importanza le interviste dirette agli operatori agricoli, che hanno fornito utili indicazioni sulla distribuzione areale dei suoli e sugli interventi antropici succedutisi nel tempo. La densità delle osservazioni è stata di una per ettaro. Sono stati infatti aperti,

descritti, in accordo col "Guidelines for soil profile description" (FAO-ISRIC, 1990), e campionati 47 profili rappresentativi, mentre la delimitazione delle aree pedologicamente omogenee è stata effettuata con una campagna di 270 trivellate, con trivella a mano di tipo Edelman. I campioni di suolo prelevati ed analizzati sono stati 97. Le analisi di laboratorio sono state eseguite dal C.R.A.S. (Centro Regionale Agrario Sperimentale) secondo le metodologie riportate dal D.M. 11 maggio 1992 "Approvazione dei Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo". I suoli sono stati classificati secondo le "Keys to Soil Taxonomy" (Soil Survey Staff, 1994), al livello tassonomico della famiglia. Tramite l'applicazione di uno schema di riferimento elaborato sulla base delle caratteristiche dei suoli ed in relazione al rischio di inquinamento per le acque, dalla carta pedologica è stata derivata la carta dell'attitudine allo spandimento dei reflui, in scala 1:10.000.

### **I suoli**

Nell'area sono state delimitate 33 unità cartografiche. Per ogni unità cartografica sono stati indicati il tipo e la definizione tassonomica e l'ambito geomorfologico; sono state citate le caratteristiche morfologiche della superficie e l'eventuale presenza di ristagni idrici e falde superficiali, e sono state descritte le più importanti caratteristiche fisiche e chimiche dei suoli principali e delle eventuali inclusioni. In questa nota si è limitato l'approfondimento alle tipologie pedologiche più diffuse, evidenziando la loro distribuzione e le relazioni con la situazione morfologica precedente gli interventi di bonifica attraverso lo studio di due transect rappresentativi (Fig. 2), situati nella porzione centro-orientale (transect 1) ed in quella occidentale (transect 2) dell'area in esame.

#### **Transect 1**

**Unità cartografica 1.** L'unità coincide con le vecchie aree dunari esistenti prima degli interventi di bonifica e presenta una associazione di Arenic Haploxeralfs (qui proposti) e di Arenic Palexeralfs della famiglia franca, mista, termica. I suoli presentano un profilo del tipo Ap-(E)-Bt-C, sono molto profondi, con tessitura da sabbiosa a sabbioso franca negli orizzonti superficiali, da franco sabbiosa a franco sabbioso argillosa nel Bt (il cui limite superiore è compreso tra 50 e 99 cm di profondità) e da sabbiosa ad argillosa nel C. La reazione è da molto fortemente acida a moderatamente al-

calina negli orizzonti superficiali e da moderatamente acida a fortemente alcalina nel Bt; la saturazione in basi è da molto bassa a media negli orizzonti superficiali e da media ad alta nel Bt; la permeabilità è elevata negli orizzonti superficiali, da moderatamente alta a moderatamente bassa nel Bt e da elevata a bassa nel C.

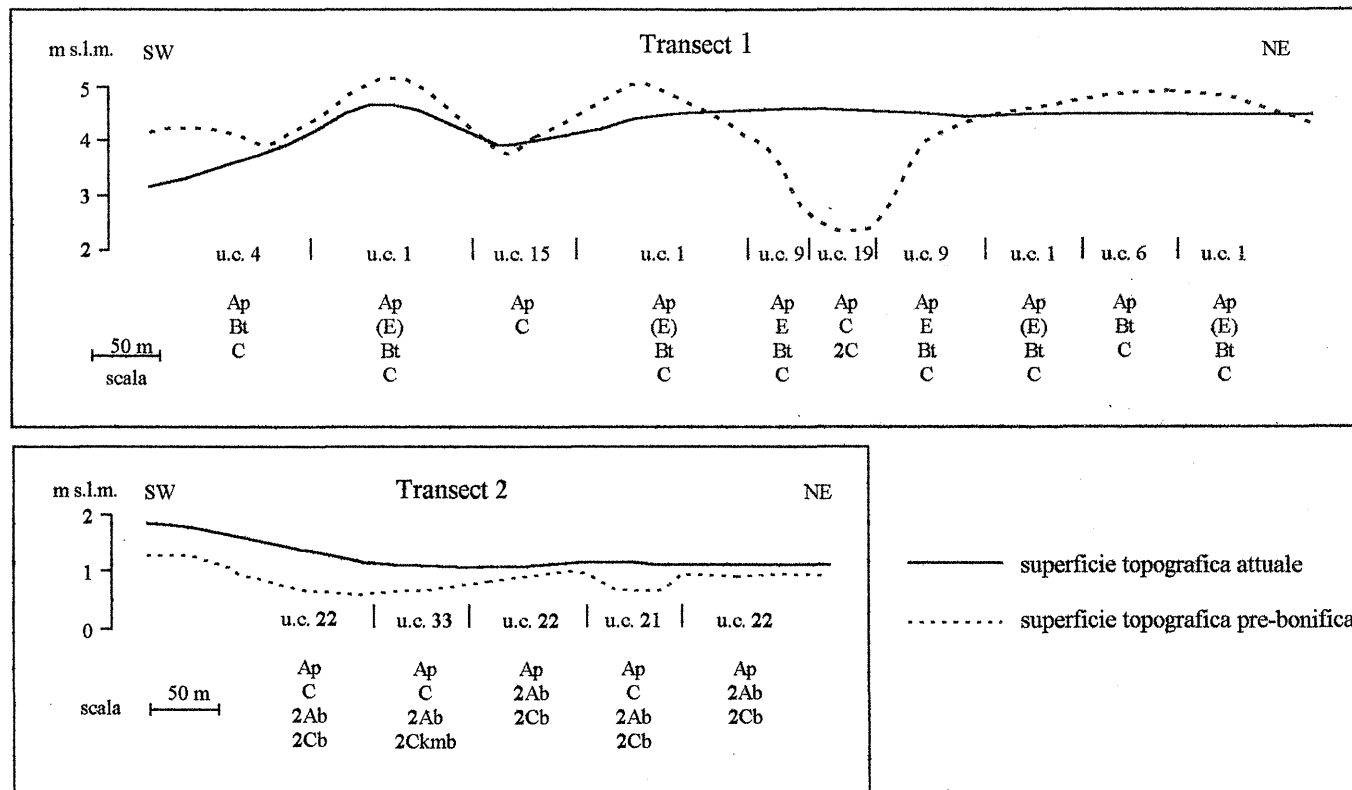
**Unità cartografica 4.** L'unità è limitata alle vecchie sommità dunari che hanno subito le più intense asportazioni di suolo durante i lavori di bonifica e presenta una associazione di Typic Haploxeralfs e Typic Paleixeralfs delle famiglie franca-fine, mista, termica e franco-scheletrica, mista, termica. In questa unità l'orizzonte Bt è venuto in superficie a causa delle profonde escavazioni e l'attuale orizzonte Ap non è altro che parte del Bt lavorato. I suoli presentano un profilo del tipo Ap-Bt-C, sono molto profondi, con tessitura da franco sabbiosa a franco sabbioso argillosa nell'orizzonte superficiale e nel Bt e da sabbioso franca a franco sabbioso argillosa nel C. La reazione è da debolmente acida a neutra nell'orizzonte superficiale e debolmente alcalina nel Bt; la saturazione in basi è da media ad alta sia nell'orizzonte superficiale che nel Bt; la permeabilità è da moderatamente alta a moderatamente bassa sia nell'orizzonte superficiale che nel Bt e da elevata a moderatamente bassa nel C.

**Unità cartografica 6.** L'unità è limitata alle vecchie sommità dunari che hanno subito asportazioni di suolo un po' meno intense rispetto all'unità cartografica 4 e presenta una associazione di Typic Haploxeralfs e di Typic Paleixeralfs delle famiglie franca-fine, mista, termica e franca-grossolana, mista, termica. In questa unità il limite superiore dell'orizzonte Bt è compreso tra 31 e 49 cm di profondità. I suoli presentano un profilo del tipo Ap-Bt-C, sono molto profondi, con tessitura da sabbiosa a sabbioso franca nell'orizzonte superficiale, da franco sabbiosa a franco sabbioso argillosa nel Bt e da sabbioso franca a franco sabbiosa nel C. La reazione è neutra nell'orizzonte superficiale e debolmente alcalina nel Bt; la saturazione in basi è media nell'orizzonte superficiale e da media ad alta nel Bt; la permeabilità è elevata nell'orizzonte superficiale, da moderatamente alta a moderatamente bassa nel Bt e da elevata a moderatamente alta nel C.

**Unità cartografica 9.** L'unità è limitata ai vecchi versanti dunari localizzati nelle incisioni più profonde, successivamente ricoperte durante i lavori di bonifica, e presenta una associazione di Grossarenic Haploxeralfs e di Grossarenic Paleixeralfs (entrambi qui proposti) della famiglia franca, mista, termica. In questa unità il limite superiore dell'orizzonte Bt è situato a profondità di 100 cm o più. I suoli presentano un profilo del tipo Ap-E-Bt-C, sono molto profondi, con tessitura sabbiosa negli orizzonti superficiali, da franco sabbiosa a franco sabbioso argillosa nel Bt e da sabbiosa a franco sab-

Figura 2

Transect rappresentativi dell'area in studio con indicazione delle unità cartografiche e dei profili tipo





biosa nel C. La reazione è da molto fortemente acida a neutra negli orizzonti superficiali e debolmente acida nel Bt; la saturazione in basi è da molto bassa a media negli orizzonti superficiali e da bassa a media nel Bt; la permeabilità è elevata negli orizzonti superficiali, da moderatamente alta a moderatamente bassa nel Bt e da elevata a moderatamente alta nel C.

**Unità cartografica 15.** Talvolta in corrispondenza delle vecchie aree depresse non coincidenti con gli ex stagni interdunari è presente una consociazione di Xeric Quartzsammets della famiglia termica, rivestita. Il substrato pedogenetico è costituito da sabbie ed i suoli presentano un profilo del tipo A-C, sono molto profondi, con tessitura da sabbiosa a sabbioso franca lungo tutto il profilo, generalmente non calcarei e con permeabilità elevata lungo tutto il profilo.

Sono anche state individuate delle aree, non presenti nel transect in studio, in situazioni morfologiche analoghe e con suoli simili a quelli dell'unità cartografica 15, ma con presenza di una falda superficiale che satura i suoli in uno o più strati entro 100 cm di profondità. In queste aree è presente una consociazione di Oxyaquic Quartzsammets della famiglia termica, rivestita (unità cartografica 18).

**Unità cartografica 19.** In corrispondenza delle vecchie aree depresse coincidenti con gli ex stagni interdunari, ricoperte durante gli interventi di bonifica, è presente una consociazione di Xeric Quartzsammets della famiglia termica, rivestita, formati su un substrato pedogenetico costituito da sabbie, con spessore di almeno 100 cm, ricoprenti sedimenti franco sabbiosi, franco sabbioso argillosi, franco argillosi, argilloso sabbiosi ed argillosi. I suoli presentano un profilo del tipo Ap-C-2C, sono molto profondi, con tessitura da sabbiosa a sabbioso franca negli orizzonti Ap e C e da franco sabbiosa ad argillosa nell'orizzonte 2C, e con permeabilità elevata negli orizzonti Ap e C e da moderatamente alta a bassa nell'orizzonte 2C.

Così come per l'unità cartografica precedente, in alcune aree è presente una falda superficiale che satura i suoli in uno o più strati entro 100 cm di profondità. Tali aree sono state cartografate separatamente (unità cartografica 20) e presentano una consociazione di Oxyaquic Quartzsammets della famiglia termica, rivestita.

### Transect 2

Unità cartografica 21. Il substrato pedogenetico è costituito da sabbie ricoprenti suoli od orizzonti formati su sedimenti franco sabbiosi, franco sabbioso argillosi, argilloso limosi ed argillosi. Tali sedimenti sono presenti a partire da profondità comprese tra 45 e 95 cm. In queste aree è presente un complesso di Typic Xerorthents della famiglie (a) sabbiosa, mista, non acida, termica, (b) sabbiosa su argillosa, mista, non acida, termica, (c) franca grossolana, mista, non acida, termica, (d) franca grossolana, mista (calcareo), termica e (e) franca grossolana su argillosa, mista, non acida, termica. I suoli presentano generalmente un profilo del tipo Ap-C-2Ab-2Cb, sono molto profondi, con tessitura da sabbiosa a franco sabbiosa negli orizzonti Ap e C e da franco sabbiosa ad argillosa nel 2Ab e nel 2Cb, talvolta calcarei, con permeabilità da elevata a moderatamente alta negli orizzonti Ap e C e da moderatamente alta a bassa nel 2Ab e nel 2Cb.

Unità cartografica 22. I suoli appartenenti a questa unità differiscono dai suoli dell'unità cartografica 21 principalmente per la presenza di una falda superficiale che satura i suoli in uno o più strati entro 150 cm di profondità, per un mese o più all'anno in almeno sei anni su dieci. In funzione dello spessore del materiale riportato sulla superficie morfologica precedente gli interventi di bonifica, i suoli hanno un profilo del tipo Ap-2Ab-2Cb o del tipo Ap-C-2Ab-2Cb, con tessitura da sabbiosa a franco sabbiosa nell'orizzonte Ap, da sabbiosa a sabbioso franca nel C, da sabbiosa ad argilloso sabbiosa nel 2Ab, da sabbiosa ad argillosa nel 2Cb, sono talvolta calcarei, e presentano una permeabilità da elevata a moderatamente alta nell'orizzonte Ap, elevata nel C e da elevata a bassa nel 2Ab e nel 2Cb. I suoli di questa unità cartografica costituiscono una associazione di Oxyaquic Xerorthents delle famiglie (a) franca grossolana, mista, non acida, termica, (b) franca grossolana, mista (calcareo), termica, (c) sabbiosa su argillosa, mista, non acida, termica, (d) franca grossolana, mista, non acida, termica e (e) sabbiosa, silicea, termica.

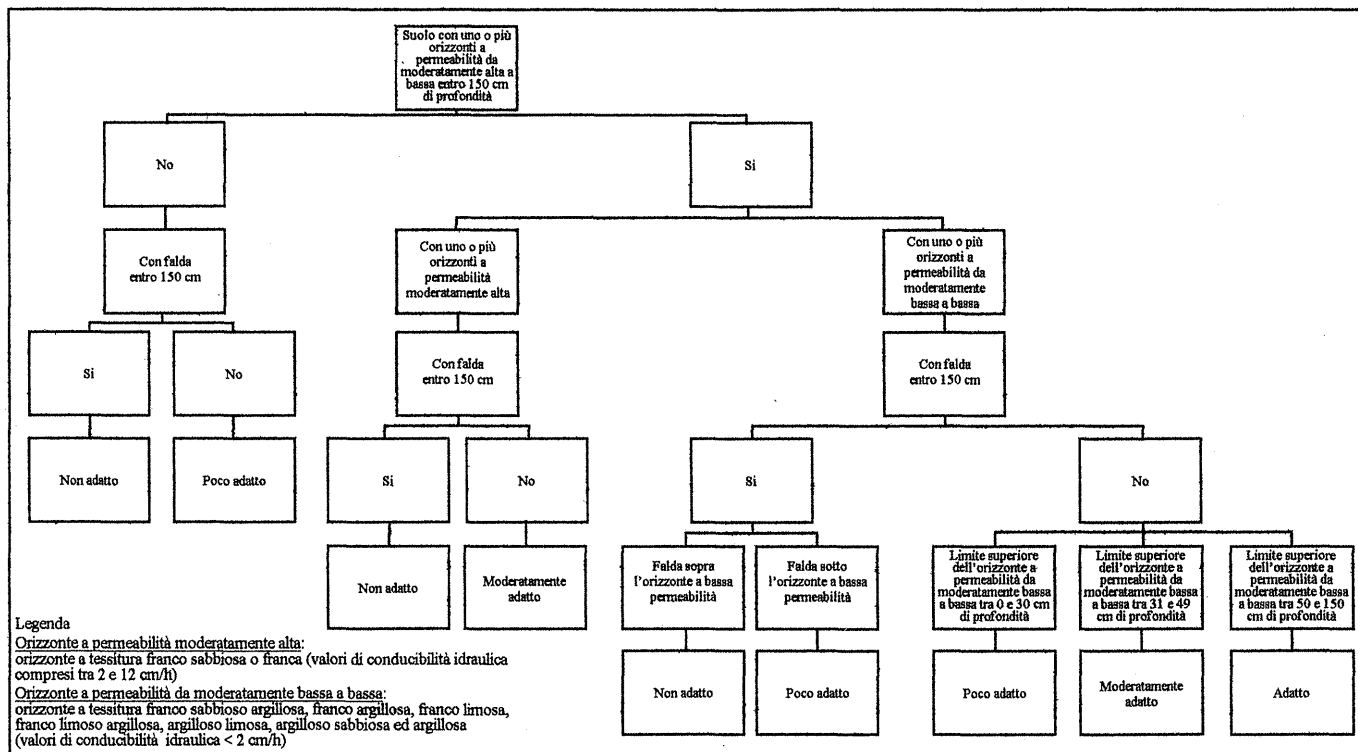
Unità cartografica 33. Il substrato pedogenetico è costituito da sabbie ricoprenti depositi di stagno ed i suoli appartengono ad una associazione di Petrocalcic Xerochrepts della famiglia franca grossolana, mista, termica e sono caratterizzati dalla presenza di un crostone carbonatico cementato e continuo, con limite superiore a 90 cm di profondità, e dalla presenza di una falda superficiale. I suoli hanno un profilo rappresentativo del tipo Ap-C-2Ab-2Ckmb, sono moderatamente profondi, con tessitura sabbioso franca negli orizzonti Ap e C e franco sabbiosa nel 2Ab, non calcarei negli orizzonti Ap e C, calcarei nel 2Ab e nel 2Ckmb costituito da un crosto-

ne carbonatico cementato e continuo, con reazione moderatamente alcalina negli orizzonti Ap, C e 2Ab, saturazione in basi media nell'orizzonte Ap e alta nel 2Ab, con permeabilità elevata negli orizzonti Ap e C, moderatamente alta nel 2Ab e bassa nel 2Ckmb.

### **La valutazione dell'attitudine dei suoli allo spandimento dei reflui**

Le analisi del liquame, effettuate su campioni prelevati in alcune delle aziende presenti nell'area in esame, hanno rivelato come il principale fattore limitante lo spandimento fosse il contenuto in azoto (azoto totale compreso tra 200 e 370 g/q.le e azoto ammoniacale compreso tra 100 e 185 g/q.le). Sulla base di questi risultati e in considerazione della morfologia pianeggiante dell'area, e quindi dell'assenza di ruscellamento superficiale, e dell'elevata variabilità pedologica laterale, è stato elaborato uno schema di riferimento (Figura 3), in chiave dicotomica, la cui applicazione consentisse una valutazione della attitudine dei suoli allo spandimento di reflui zootecnici provenienti da allevamenti bovini da latte. Tale schema di riferimento prende in considerazione un solo carattere pedologico interno (l'eventuale presenza di uno o più orizzonti a permeabilità da moderatamente alta a bassa entro 150 cm di profondità) e la presenza di falda superficiale (entro 150 cm di profondità). Quando è presente almeno un orizzonte a permeabilità da moderatamente bassa a bassa, in assenza di falda superficiale, l'attitudine del suolo allo spandimento è determinata dalla profondità del limite superiore di tale orizzonte. Infatti orizzonti con permeabilità da moderatamente bassa a bassa in posizione superficiale determinano problemi di ristagno, con effetti evidentemente negativi, mentre la presenza di tali orizzonti a profondità di 50 cm o più ha l'effetto positivo di rallentare i fenomeni di percolazione, costituendo un filtro che protegge le eventuali falde sottostanti. Quando questi orizzonti sono assenti, e quindi la percolazione è più veloce, l'attitudine allo spandimento è bassa in assenza di falda superficiale e nulla nel caso in cui la falda superficiale sia presente.

**Figura 3** Schema per la valutazione dell'attitudine dei suoli allo spandimento di reflui zootecnici provenienti da allevamenti bovini da latte (a cura di G. Frau, A. Manca, S. Pallanza, A. Vacca)



## Discussione

Il rilevamento pedologico ha evidenziato la stretta correlazione esistente tra i suoli e l'originaria morfologia dell'area. Nel settore centro-orientale (transect 1) i suoli presentano generalmente un orizzonte argillico. Tale orizzonte era originariamente situato ad una profondità costante, e si interrompeva solo in corrispondenza dei bassi morfologici interdunari. La sua formazione testimonia una stabilità nel tempo del campo dunare. In effetti le testimonianze storiche sull'area (Morani, 1957) riportano la descrizione di una copertura vegetale tipo "macchia bassa", che ricopriva interamente le dune. Nel settore occidentale (transect 2) i suoli presentano invece un basso grado di sviluppo, sia quelli formatisi sulla coltre recente che quelli sepolti.

Nonostante la densità delle osservazioni (una per ettaro) la elevata variabilità laterale dei suoli ha quasi sempre impedito la delineazione di unità cartografiche costituite da consociazioni. Sono state pertanto cartografate delle associazioni, rinvenute per lo più nel settore centro-orientale (transect 1), o dei complessi, per lo più nel settore occidentale (transect 2). A causa di tale variabilità laterale e del fatto che i corpi aziendali siano stati delimitati seguendo una maglia con direzioni nord-sud e est-ovest, che ha intersecato trasversalmente l'andamento dell'originario campo dunare, le singole proprietà presentano spesso all'interno di ciascun campo una molteplicità di situazioni pedologiche. Questa condizione influisce negativamente sulla gestione dei suoli, anche per quanto concerne lo spandimento dei reflui che, in uno stesso campo, andrebbe effettuato con differenti modalità di tempi e volumi. Lo schema per la valutazione dell'attitudine dei suoli allo spandimento dei reflui, qui proposto, tiene conto anche di queste difficoltà, ed è stato articolato in maniera tale da poter essere utilizzato con una certa facilità dai tecnici preposti alla realizzazione dei piani di spandimento. Si tratta evidentemente di una prima approssimazione, suscettibile di futuri miglioramenti, che rappresenta comunque, in Sardegna, una innovazione metodologica. Dall'applicazione dello schema all'area rilevata risulta che la maggior parte dei suoli sono da considerarsi adatti, seppure con gradi diversi, allo spandimento dei reflui. In particolare, per quanto concerne le unità cartografiche illustrate in questo lavoro, la 1, la 6, la 9, la 19 e la 21 presentano suoli da moderatamente adatti ad adatti allo spandimento, la 4 presenta suoli da poco adatti a moderatamente adatti, la 15 e la 33 presentano suoli poco adatti, e la 22 presenta suoli da non adatti a poco adatti.

## Conclusioni

Lo studio realizzato per valutare l'attitudine dei suoli allo spandimento di reflui provenienti da allevamenti bovini da latte nella porzione settentrionale del territorio di Arborea (Sardegna centro-occidentale), costituisce un primo tentativo di applicazione in Sardegna di metodologie atte a diminuire i rischi derivanti da tale pratica agronomica. Le caratteristiche pedologiche dell'area, strettamente legate alla situazione geomorfologica ed agli interventi di bonifica cominciati negli anni trenta, sovente non hanno consentito di delimitare aree pedologicamente omogenee, nonostante l'elevata densità delle osservazioni. (una per ettaro). Conseguentemente anche la valutazione dell'attitudine allo spandimento spesso non ha consentito di inquadrare i suoli caratterizzanti le unità cartografiche in un'unica classe attitudinale. Il lavoro realizzato fornisce comunque una base conoscitiva e metodologica di partenza per i tecnici preposti alla realizzazione dei piani di spandimento, che dovranno integrare, a livello aziendale, i dati già disponibili con più dettagliate osservazioni.

## Bibliografia

- DI GREGORIO, F. (1976). *Studio geomorfologico del Golfo di Oristano*. Boll. Soc. Sarda Sc. Nat., anno X, vol. XVI: 113-122.
- FAO-ISRIC (1990). *Guidelines for soil profile description*. Third edition, Rome, 70 p.
- FIORI, S. (1976-77). *Aspetti pedologici del territorio di Arborea*. Ist. Geol. Paleont. e Geogr. Fis., Corso di Laurea in Scienze Geologiche, Fac. Sci. Mat. Fis. e Nat., Univ. degli Studi di Cagliari. Tesi di Laurea inedita, 119 p.
- MELIS, R.T. (1975-76). *Rapporti tra geologia, geomorfologia e geopedologia nel Campidano di Terralba ed Arborea*. Ist. Geol. Paleont. e Geogr. Fis., Corso di Laurea in Scienze Geologiche, Fac. Sci. Mat. Fis. e Nat., Univ. degli Studi di Cagliari. Tesi di Laurea inedita, 119 p., 3 tab., 33 profili.
- MINISTERO DELL'AGRICOLTURA E DELLE FORESTE (1992). *Approvazione dei "Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo"*. D.M. 11 maggio 1992, Suppl. ord. n. 79 alla G.U. n. 121 del 25 maggio 1992, 87 p.
- MORANI, V. (1957). *La bonifica di Arborea di Sardegna e i suoi problemi agronomici*. Gallizzi, Sassari, 75 p.
- SEZIONE AUTONOMA PER IL SERVIZIO IDROGRAFICO DELLA SARDEGNA - Ass. LL.PP. della R.A.S. *Annali Idrologici*. Istituto Poligrafico dello Stato, Roma.
- SOIL SURVEY STAFF (1994). *Keys to Soil Taxonomy*, Sixth Edition. Blacksburg, Virginia: Pocahontas Press, Inc., 524 p.
- THORNTHWAITE, C.W. & J.R. MATHER (1957). *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance*. Centerton.

## *IL "SERVIZIO DEL SUOLO" DELLA PROVINCIA DI CREMONA*

Roberto Zanoni

### **Introduzione**

L'attuale sfida, imposta dalla nuova politica agricola comunitaria, di conciliare le esigenze di valorizzazione produttiva del territorio con quelle di salvaguardia delle risorse naturali, richiede la disponibilità di adeguati strumenti di analisi e di conoscenza degli agroecosistemi e delle dinamiche al loro interno. Tra i fattori della produzione agricola, il suolo riveste un ruolo centrale, in quanto da un lato, attraverso la sua fertilità, influenza il risultato produttivo delle colture e la stessa possibilità di coltivazione, dall'altro controlla, attraverso l'insieme delle sue proprietà, il rischio di degradazione delle acque superficiali e profonde.

Nel territorio cremonese le principali problematiche di gestione agricola dei suoli concernono la conservazione della fertilità, in relazione all'elevata intensità delle utilizzazioni, e la corretta applicazione dei materiali organici residuati da altre attività produttive (in particolare dei reflui di origine zootecnica).

Il progetto Carta Pedologica, che l'Ente Regionale di Sviluppo Agricolo della Lombardia (ERSAL) e la Provincia conducono sul territorio cremonese, consente di descrivere i caratteri principali dei suoli presenti in ambito provinciale e di definire, alla scala di semidettaglio, la loro distribuzione ed estensione geografica. Tali informazioni di base hanno però un carattere generale e non sono sufficienti, da sole, a fornire risposte adeguate alle problematiche di gestione a livello aziendale.

Occorrono evidentemente altri strumenti, in grado di supportare con maggiore efficacia i tecnici impegnati nelle attività di assistenza alle

---

aziende. In particolare a tal fine si rende necessario:

- promuovere la sensibilizzazione e la conoscenza dei tecnici in materia di rilevamenti e descrizione dei suoli e di interpretazione dei risultati;
- produrre degli elaborati con taglio applicativo, direttamente utilizzabili nelle attività di assistenza alle aziende, a partire dalle informazioni contenute nei documenti di base, eventualmente integrate con apposite fasi di acquisizione di dati.

Queste attività trovano riscontro in un costituendo Servizio Provinciale per il Suolo, cofinanziato dalla Regione Lombardia nell'ambito della legge regionale sui servizi di sviluppo in agricoltura (L.R. 47/86), mediante il quale sono resi disponibili per l'utenza (enti pubblici, tecnici, enti privati, agricoltori) dati e notizie implementati in un sistema informativo provinciale.

Per rispondere alle finalità sopra esposte, nel programma di lavoro avviato nel 1995 dall'Assessorato all'Agricoltura della Provincia di Cremona sono state svolte le seguenti attività:

1. realizzazione di due cicli di incontri di formazione ed aggiornamento, incentrati sulla illustrazione dei principali elementi per l'inquadramento delle caratteristiche pedologiche del territorio cremonese, rivolti il primo a tecnici operanti nei servizi di assistenza, a liberi professionisti e docenti, il secondo a studenti dell'Istituto Tecnico Agrario "Stanga" di Cremona. L'obiettivo principale è coinciso con il tentativo di fornire ai partecipanti un supporto, anche operativo, nell'interpretazione dei dati acquisiti in azienda e nella formulazione di consigli per l'ottimizzazione della gestione dei suoli, sotto il profilo produttivo e della salvaguardia ambientale. Il ciclo di incontri ha inoltre costituito un'occasione di confronto tra agronomi e pedologi in sede di riconoscimento dei principali caratteri che condizionano il comportamento agronomico dei suoli;

2. caratterizzazione pedoagronomica di alcune aziende agricole di riferimento del territorio cremonese e realizzazione di un documento descrittivo, per la diffusione delle informazioni nell'ambito delle attività di assistenza tecnica in agricoltura;

3. definizione di un prototipo di scheda illustrativa per le principali unità tipologiche di suolo presenti nel territorio cremonese, attraverso la sintesi delle informazioni riportate nelle carte di semidettaglio già realizzate, integrate da dati agronomici e inerenti la fertilità dei suoli. L'obiettivo



è costituire un catalogo provinciale che contenga informazioni sui suoli di carattere sia generale che applicativo, utilizzabili operativamente a livello locale, con particolare riferimento a:

- valutazioni sul comportamento agronomico dei suoli, per gli aspetti chimici, fisico-meccanici e fisico-idrologici;
- individuazione delle agrotecniche (fertilizzazione, sistemazione e coltivazione, irrigazione, metodologie di utilizzo di reflui zootecnici e di biomasse) e delle scelte colturali più idonee, in base al comportamento dei suoli;

4. elaborazione di un documento divulgativo, di cui è prossima la stampa, relativo alle schede pedoagronomiche de "I suoli della valle del Po", nell'ambito del progetto "Catalogo dei suoli cremonese".

Si intende di seguito illustrare il progetto "Catalogo dei suoli cremonesi", con particolare riferimento alle finalità ed alla metodologia adottata, specificando che i contenuti tecnici derivano dalle elaborazioni del dott. Giambattista Merigo (agronomo) e del dott. Nicola Laruccia (pedologo, I.Ter s.c.r.l.).

## **Il catalogo dei suoli cremonesi**

### **Finalità**

Il "Catalogo dei suoli cremonesi" è costituito da schede monografiche relative a tipologie di suolo significativamente diffuse nel territorio provinciale.

Ogni scheda descrive i caratteri generali e il comportamento agronomico del suolo a cui si riferisce e riporta, inoltre, alcune considerazioni utili per la corretta gestione ai fini della valorizzazione produttiva e della salvaguardia ambientale.

Il progetto nasce dalla volontà della Provincia di fornire un supporto applicativo a quanti operano sul territorio e, in particolare, a:

- tecnici impegnati nell'assistenza alle aziende agricole; a questi il "Catalogo" presenta dati, informazioni e spunti di riflessione utilizzabili per una

migliore gestione del suolo, inteso sia come fattore della produzione vegetale, sia come componente importante dell'agroecosistema;

- enti preposti alla pianificazione del territorio, a cui offre una visione territoriale delle potenzialità e limitazioni agronomiche dei suoli e dei rischi ambientali connessi ad un loro uso non corretto, in particolare per quanto riguarda il rischio di inquinamento delle acque superficiali e profonde con sostanze contenute in materiali (fanghi di depurazione, liquami, ecc.) di cui sempre più il suolo diviene il recettore preferenziale.

La base conoscitiva principale su cui è realizzato il "Catalogo dei suoli cremonesi" è costituita dalle carte dei suoli in scala 1:50.000 e delle relative note illustrative, frutto delle indagini pedologiche effettuate dall'ERSAL, nell'ambito del progetto "Carta Pedologica". Il "Catalogo" si pone l'obiettivo di diffondere in chiave divulgativa le informazioni presenti in questi documenti, semplificandone e traducendone il linguaggio specialistico in termini e concetti che siano recepibili da una larga fascia di fruitori e tentando, al tempo stesso, di costruire una base di discussione comune tra pedologi, agronomi ed altri esperti delle scienze del territorio.

Dalle carte dei suoli in scala 1:50.000 e dalle relative note illustrative sono state ricavate le informazioni di carattere generale sui suoli (localizzazione, distribuzione, aspetti pedogenetici e principali caratteri funzionali). Su questa base sono state realizzate, nell'ambito del presente progetto, ulteriori indagini miranti ad approfondire le conoscenze e a migliorare le interpretazioni sul comportamento agronomico dei suoli.

#### Contenuti delle schede

Ogni scheda monografica si riferisce ad una tipologia di suolo che deriva dalla sintesi di più unità della carta dei suoli in scala 1:50.000 dell'ERSAL. Le schede si compongono di due sezioni.

Nella prima sezione vengono riportate alcune informazioni di carattere generale, organizzate nelle seguenti voci:

**1. descrizione introduttiva:** illustra alcuni aspetti geografici (collocazione e distribuzione, posizione occupata nel paesaggio in relazione

---

agli aspetti morfologici), il tipo di uso più frequente e i principali caratteri chimico-fisici, riferiti al suolo nel suo insieme (profondità, drenaggio) o ai suoi orizzonti (tessitura, reazione, contenuto in carbonati e saturazione);

**2. caratteri per il riconoscimento locale:** indica i caratteri utilizzabili in campo per l'individuazione del suolo. In genere tali caratteri sono rilevabili attraverso semplici test (stima della tessitura, effervescenza all'H-Cl, osservazione del colore);

**3. classificazione, secondo il sistema più diffuso a livello internazionale (Soil Taxonomy);**

**4. profilo di riferimento:** riporta la descrizione e la foto di un profilo rappresentativo della tipologia di suolo, scelto all'interno dell'archivio profili dell'ERSAL.

Nella seconda sezione vengono riportate le informazioni di interesse più specificamente agronomico, organizzate nelle seguenti voci:

**1. qualità agronomiche:** costituisce l'inventario di base delle conoscenze sul comportamento agronomico del suolo. Illustra i caratteri funzionali e le interpretazioni sul comportamento agronomico ed agroambientale del suolo. Alcuni esempi di qualità sono: la lavorabilità, il rischio di incrostamento, l'attitudine allo spandimento dei fanghi;

**2. caratteristiche chimico-fisiche dello strato superficiale:** riporta elaborazioni statistiche elementari (distribuzione per classi di frequenza) relative ad analisi chimico-fisiche di campioni superficiali di suolo (provenienti da attività di assistenza alle aziende), ricadenti nell'unità;

**3. considerazioni generali per la conduzione agronomica, ai fini della valorizzazione produttiva e della salvaguardia ambientale:** sono evidenziati sinteticamente gli aspetti salienti della gestione del suolo;

**4. agrotecniche suggerite:** vengono consigliate alcune agrotecniche relative alle sistemazioni, alle lavorazioni, alla fertilizzazione, all'irrigazione e alla scelta delle colture;

**5. attitudine all'arboricoltura da legno:** riporta le principali limitazioni alla crescita delle specie forestali adatte all'arboricoltura da legno.

Nell'insieme, queste informazioni forniscono un quadro esauritivo sulle limitazioni e attitudini del suolo a fornire produzioni agricole e forestali, compatibilmente con la salvaguardia dell'ambiente.

## Metodologia

La metodologia di lavoro adottata per la realizzazione del "Catalogo dei suoli cremonesi" è riassunta nel seguente schema:

1. acquisizione e sintesi delle informazioni contenute nelle carte dei suoli del progetto "Carta Pedologica" in scala 1:50.000 dell'ERSAL e nelle note illustrative;

2. individuazione delle tipologie e descrizione dei loro caratteri generali e pedologici (prima sezione della scheda). Realizzazione della carta allegata al "Catalogo";

3. acquisizione ed elaborazione dei dati analitici relativi allo strato superficiale disponibili presso i Servizi di sviluppo agricolo, le Associazioni agricole di categoria e il Consorzio Agrario Provinciale;

4. indagini in campo, con interviste agli agricoltori e ai tecnici operanti nell'assistenza alle aziende;

5. stesura definitiva del "Catalogo".

A titolo esemplificativo viene di seguito portata l'illustrazione di una scheda relativa ad una tipologia di suolo presente nel costituendo "Catalogo".

Per motivi di sintesi sono state omesse le seguenti parti:

- localizzazione cartografica;
- fotografia del profilo di riferimento;
- glossario dei termini utilizzati per la descrizione dei suoli.

## Suoli "Valli"

### Descrizione introduttiva

I suoli "Valli" sono collocati nella porzione estrema sudorientale della provincia di Cremona ed in particolare nei comuni di Casalmaggiore e di Rivarolo del Re ed Uniti, occupano aree della piana alluvionale dei fiumi Po e Oglio con substrato a tessitura fine, talvolta tendenzialmente grossolana in profondità, a morfologia lievemente ondulata o piatta, talvolta depressa o marcatamente depressa e con smaltimento delle acque superficiali difficoltoso.

Questi suoli sono comunemente sistemati con baulature e fossi di scolo profondi generalmente 200-250 cm.

L'uso del suolo è a seminativo od orticole. Prevale la coltivazione di cereali (mais, frumento), cucurbitacee e colture industriali. È sporadicamente presente la vite.

Le principali tipologie aziendali presenti su questi suoli sono: l'azienda cerealicolo-zootecnica (generalmente con bovini da latte, o suini, con o senza colture industriali); l'azienda cerealicola (con o senza colture industriali); la piccola azienda orticola a conduzione familiare; l'azienda mista cerealicolo-zootecnica-viticola, o cerealicolo-viticola.

Questi suoli sono tipicamente profondi o molto profondi, a drenaggio mediocre o lento e hanno saturazione in basi alta e capacità di scambio cationico alta o molto alta.

L'orizzonte superficiale (Ap, da 0 a 50 cm) ha tessitura da fine a moderatamente fine, raramente media, è da non a scarsamente calcareo e da neutro a subalcalino, di colore bruno grigiastro molto scuro o bruno oliva.

L'orizzonte profondo (Bw, da 50 a 90 cm) ha tessitura da fine a moderatamente fine, è da non a scarsamente calcareo, talvolta moderatamente calcareo o calcareo, e da neutro ad alcalino, di colore bruno grigiastro scuro o bruno oliva, con screziature grigie e brunastre.

Il substrato (C, da 90 cm) ha tessitura da fine a moderatamente fine, talvolta media o moderatamente grossolana, è da non a scarsamente calcareo, talvolta da calcareo a molto calcareo, e da neutro ad alcalino, di colore bruno oliva, con screziature grigie e brunastre.

Questi suoli presentano crepacciature nel periodo secco, legate ai cicli di rigonfiamento e contrazione delle argille, e possono presentare falda tra 100 e 130 cm di profondità.

#### Caratteri per il riconoscimento locale

I suoli della tipologia "Valli" sono riconoscibili in campagna per i seguenti caratteri:

- orizzonte superficiale di colore bruno grigiastro molto scuro o bruno oliva;
  - ampie fessurazioni nel periodo secco che possono approfondirsi anche oltre l'orizzonte superficiale;
-

- tessitura tipicamente fine o moderatamente fine (contenuto di argilla sempre >35%);
- effervescenza assente o debole nell'orizzonte superficiale;
- presenza di screziature grigie e brunastre subito sotto l'orizzonte lavorato che aumentano in profondità.

### Classificazione

Secondo la Soil Taxonomy (Keys 1992), tipicamente questi suoli rientrano nei *Vertic Entrochrepts fine, montmorillonitic, mesic*; quando i caratteri legati ai cicli di espansione e contrazione delle argille sono maggiormente espressi, essi sono classificabili negli *Aquic Hapluderts fine, montmorillonitic, mesic* (Keys 1992); viceversa, quando i caratteri legati alla dinamica delle argille sono meno evidenti, nei *Fluvaquentic Entrochrepts fine, montmorillonitic, mesic*.

In questi suoli i processi pedogenetici non hanno raggiunto livelli elevati di aggressione del substrato; essi sono caratterizzati dalla presenza di un orizzonte ochrico, di un orizzonte cambico, spesso con presenza di figure pedogenetiche legate alla dinamicità delle argille, talvolta di orizzonte ad accumulo secondario di carbonato di calcio. Essi hanno un regime di temperatura mesico, elevato contenuto di argille espandibili, in particolare nella frazione smectitica.

Alla tipologia dei suoli "Valli" sono riconducibili le seguenti unità della Carta dei suoli in scala 1:50.000 dell'ERSAL: ASS1, CIM1, CIM2, GON1, GON2, MIT1 e, marginalmente, DEN1 e BAG1.

### Profilo di riferimento

Sigla profilo: catalogo ERSAL, C.T.R. E8a3 - osservazione n. 1

Località: Valbassa (comune di Casalmaggiore)

Morfologia: lievemente depressa

Quota (s. l. m.): 19.2 m

Litologia: depositi alluvionali non calcarei fini

Aspetti superficiali: grandi fessurazioni

Uso del suolo: cereali

Drenaggio: lento

Profondità della falda: 160 cm (estiva)

Ap 0-50 cm; secco, di colore bruno grigiastro molto scuro (2,5Y3/2); frammenti poliedrici angolari grossolani fortemente sviluppati; scarsi pori fini; tessitura argillosa; comuni radici fini; poche fessure medie; limite inferiore abrupto lineare.

Bw 50-90 cm; umido, di colore bruno grigiastro scuro (2,5Y4/2); struttura prismatica grossolana moderatamente sviluppata; scarsi pori fini; tessitura argillosa; comuni radici fini; comuni screziature piccole bruno giallastre (10YR5/6) e grigie (10YR6/1); poche concrezioni soffici carbonatiche grandi; pochi noduli ferromanganesiferi piccoli; poche fessure medie; facce di pressione; limite inferiore graduale ondulato.

Cg1 90-130 cm; umido, di colore bruno oliva (2,5Y5/4), struttura poliedrica angolare debolmente sviluppata; scarsi pori fini; tessitura argillosa; abbondanti screziature medie bruno giallastre (10YR5/6); poche concrezioni carbonatiche medie; pochi noduli ferromanganesiferi piccoli; poche fessure sottili; facce di pressione; limite inferiore abrupto lineare.

Cg2 130-160 cm; umido, di colore bruno oliva (2,5Y4/4), struttura poliedrica subangolare debolmente sviluppata; tessitura franco sabbiosa; limite inferiore sconosciuto.

Tabella

ANALISI/PROFONDITÀ	0-50 CM	50-90 CM	
<b>SABBIA</b>			
	2000-200 $\mu$	1.50	
	200-100 $\mu$	2.30	1.60
	100- 50 $\mu$	14.59	11.10
<b>totale</b>	<b>(2000-50<math>\mu</math>)</b>	<b>18.30</b>	<b>13.50</b>
<b>LIMO</b>			
	50-20 $\mu$	3.50	4.90
	20-2 $\mu$	27.90	31.40
<b>totale (50-2<math>\mu</math>)</b>	<b>31.40</b>	<b>36.30</b>	
ARGILLA (<2 $\mu$ )	50.40	50.30	
pH (in H <sub>2</sub> O)	7.50	8.00	
CaCO <sub>3</sub> tot (%)	n. d.	n. d.	
C organico (%)	1.90	0.74	
Ca (meq/100g)	24.44	24.00	
Mg (meq/100g)	6.76	8.09	
K (meq/100g)	0.72	0.43	
Na (meq/100g)	0.25	0.23	
C.S.C. (meq/100g)	36.40	34.40	
T.S.B. (%)	88.00	95.00	

### Qualità agronomiche

La profondità utile è da elevata a molto elevata: non ci sono limitazioni all'approfondimento radicale entro 100-150 cm.

Il rischio di incrostamento è assente: l'elevato contenuto in argilla contribuisce alla formazione di una stabile struttura di superficie, in grado di resistere all'azione disgregante delle piogge battenti.

Il calcare attivo è probabilmente (non sono disponibili determinazioni analitiche) assente o basso.

La capacità di scambio cationico è da alta a molto alta.

La resistenza meccanica alle lavorazioni è da moderata a forte: per le lavorazioni principali sono richieste macchine di notevole potenza.

Il tempo di attesa è lungo: sono necessari 8-10 giorni di attesa



prima di poter effettuare le lavorazioni, in seguito a piogge saturanti.

La percorribilità è discreta, a causa del moderato rischio di sprofondamento e perdita di trazione.

La disponibilità di ossigeno è da moderata ad imperfetta.

La permeabilità è da moderatamente bassa a bassa a causa dell'elevato contenuto di argilla.

La capacità in acqua disponibile è alta.

Il rischio di inondazione è assente.

La capacità di accettazione delle piogge è da moderata a molto bassa in funzione del drenaggio.

La capacità depurativa è molto alta.

Attitudine allo spandimento dei reflui zootecnici: suoli da adatti a moderatamente adatti in funzione della profondità della falda.

Attitudine allo spandimento dei fanghi di depurazione urbana: suoli da adatti a moderatamente adatti in funzione della profondità della falda e del drenaggio.

La capacità protettiva nei confronti delle acque profonde è elevata.

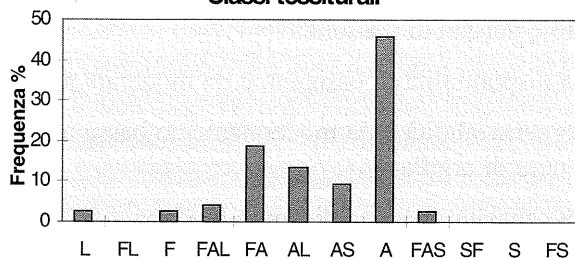
La capacità protettiva nei confronti delle acque superficiali è bassa a causa della scarsa permeabilità.

Capacità d'uso: questi suoli possono appartenere alle classi II w (drenaggio mediocre), II ws (tessitura superficiale argillosa e drenaggio mediocre), III w (drenaggio lento).

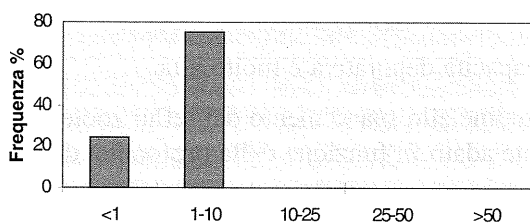
### Caratteristiche chimico-fisiche dello strato superficiale

Entro le Unità Cartografiche dei suoi "Valli" sono stati analizzati 74 campioni superficiali di suolo, con una media di 1 campione ogni 75 ha circa. Il campionamento è distribuito in maniera omogenea. 62 campioni sono riferibili ai suoli "Valli"; i rimanenti 12 sono attribuibili ad impurità cartografiche che si differenziano dai suoli "Valli" essenzialmente per la tessitura più grossolana. Nei grafici seguenti viene illustrata l'elaborazione relativa a tutti i campioni ricadenti nell'unità dei suoli "Valli". La numerosità delle singole determinazioni non è costante. In particolare la determinazione relativa alla C.S.C. è stata effettuata solo su un numero ridotto di campioni.

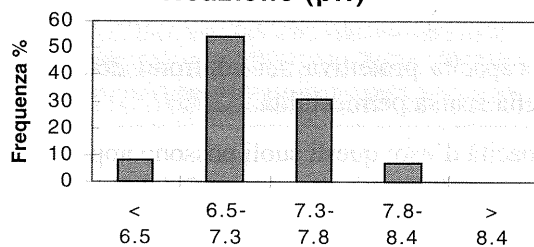
### Classi tessiturali



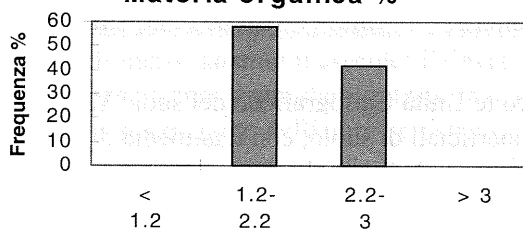
### Carbonati totali %



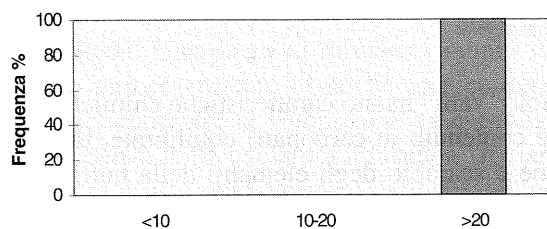
### Reazione (pH)



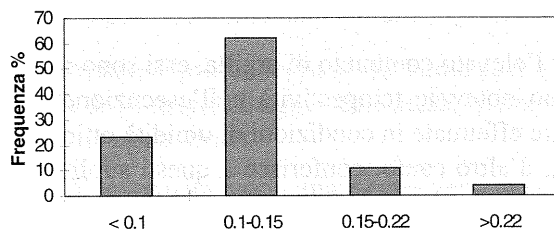
### Materia organica %



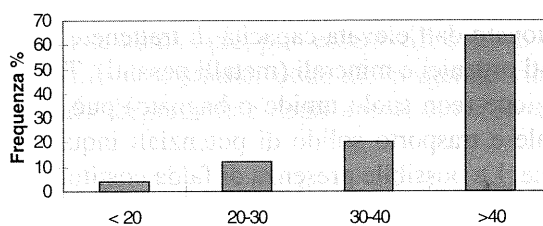
C.S.C. (meq/100g)



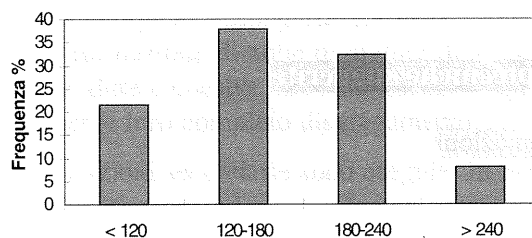
N totale %



P ass. Olsen (ppm P)



K scamb. (ppm K)



## Considerazioni generali per la conduzione agronomica, ai fini della valorizzazione produttiva e della salvaguardia ambientale

I suoli "Valli" hanno caratteristiche chimiche (pH, C.S.C., saturazione in basi e contenuto in carbonati) equilibrate, tali da favorire i processi di ritenzione e scambio degli elementi della nutrizione; essi non presentano eccessi di sali, di sodio o di altre sostanze potenzialmente dannose alle piante.

Le difficoltà di drenaggio rendono necessaria l'adozione di una efficiente rete scolante per l'allontanamento delle acque in eccesso.

Per l'elevato contenuto di argilla, essi sono molto adesivi e plastici e richiedono notevole tempestività nell'esecuzione delle lavorazioni, che devono essere effettuate in condizioni di umidità ottimali. L'elevato contenuto di argilla, d'altro canto, conferisce a questi suoli una buona fertilità naturale e una notevole capacità di ritenzione idrica. Se ben lavorati e sistemati, essi mostrano buone attitudini produttive nei confronti delle principali colture erbacee.

Dal punto di vista agroambientale, il comportamento dei suoli "Valli" è condizionato dall'elevata capacità di trattenere e/o degradare i potenziali inquinanti organici e minerali (metalli pesanti). Tuttavia, la bassa velocità di infiltrazione (con suolo umido o bagnato) può determinare scorrimento superficiale e trasporto solido di potenziali inquinanti verso i corpi idrici di superficie. La possibile presenza di falda costituisce un fattore di rischio nei confronti dell'inquinamento delle acque profonde, in particolare nella stagione secca, durante la quale, in presenza di crepacciature, l'acqua può infiltrarsi rapidamente in profondità.

## **Agrotecniche suggerite**

### Sistemazioni

Una corretta regimazione delle acque in eccesso è necessaria per garantire livelli di produttività soddisfacenti.

Il problema idrologico principale di questi suoli è il difficile sgrondo delle acque, legato alla bassa permeabilità ed alla risalita della falda, soprattutto nei mesi più piovosi.

---

Le soluzioni comunemente adottate sono rappresentate da interventi di sistemazione idraulica, quali baulature e fossi di scolo profondi. Tuttavia anche l'uso dell'aratro talpa potrebbe risultare efficace nell'abbassare il livello della falda. L'impiego di discissori muniti di obice richiede condizioni del suolo particolarmente plastiche, per consentire all'obice di modellare le pareti del cunicolo; la lavorazione va eseguita nel senso della linea di massima pendenza della baulatura e facendo sfociare i cunicoli nelle scoline o nei fossi di scolo, per favorire il deflusso dell'acqua.

### Lavorazioni

Le lavorazioni profonde possono aumentare la infiltrabilità e quindi la possibilità di immagazzinaggio dell'acqua meteorica senza incorrere in fenomeni di ristagno idrico.

Il tipo di lavorazione principale comunemente più adottata è l'aratura, eseguita in genere in estate o in autunno, a 40-50 cm di profondità, con anticipo sulla semina di un periodo di tempo variabile tra un minimo di 2 mesi (coltura primaverile estiva seguita da coltura autunno primaverile), ed un massimo di 6-7 mesi (successione di 2 colture con medesimo ciclo vegetativo); nel primo caso, comunque, può essere difficoltoso ottenere un letto di semina con condizioni strutturali ottimali, in quanto viene a mancare il contributo dell'azione disgregatrice degli agenti atmosferici, in particolare del gelo.

Il momento ottimale per l'esecuzione delle lavorazioni si incontra in condizioni tendenzialmente coesive del suolo (bassi livelli di umidità). L'ottenimento di buone condizioni strutturali è agevolato dall'azione di disgregazione degli agenti atmosferici, in un congruo periodo di tempo tra la lavorazione principale e quella secondaria. La lavorazione del suolo non in tempera provoca la formazione di zolle di aratura di grandi dimensioni che divengono compatte, dure e coesive allo stato secco; in questo caso sono richiesti molti mesi per il loro completo disgregamento.

Le lavorazioni secondarie sono eseguite in 2-3 interventi: 1 o 2 passaggi con erpice coltivatore e 1 passaggio con erpice rotante; l'intervallo tra un passaggio ed il successivo è di almeno 30-40 giorni.

Questi suoli possono avvantaggiarsi di ripuntature profonde (70-80 cm). Tuttavia questo tipo di lavorazione richiede, a causa dell'elevata resistenza meccanica di questi suoli, notevoli potenze e provoca forti sollecitazioni sulla trattrice. Si raccomandano comunque ripuntatori dotati di ancore a

profilo rettilineo, regolati in modo che il rapporto tra profondità e distanza tra le ancore sia compreso tra 0,6 (in combinazione con l'aratura tradizionale) e 1 (in combinazione con l'aratura superficiale). La velocità di avanzamento deve essere dell'ordine dei 5-6 km/h. È molto importante che il suolo sia tendenzialmente asciutto in tutto lo strato interessato dalla lavorazione.

Nell'ottica della riduzione dell'intensità delle lavorazioni, per questi suoli è adatta la lavorazione a due strati, da effettuarsi preferibilmente con araripuntatore, che attua il rovesciamento dello strato più superficiale (25-30 cm) e la fessurazione in profondità (fino a 50 cm). Per colture meno esigenti in quanto a preparazione del terreno possono essere adottate tecniche di lavorazione ridotta (aratura a 25-30 cm).

### Fertilizzazione

Non si riscontrano particolari limitazioni nella scelta dei concimi, che può quindi essere effettuata secondo il criterio del minimo costo dell'unità fertilizzante.

La difficile percorribilità di questi terreni in condizioni umide pone problemi nel frazionamento dei concimi (N in particolare), che dovranno essere distribuiti in uno o comunque pochi interventi. P e K possono convenientemente essere distribuiti in un'unica soluzione: in presemina, o nel caso del P, anche in localizzazione alla semina.

Dall'elaborazione dei dati analitici disponibili per i campioni ricadenti nell'unità dei suoli "Valli" possono trarsi le seguenti considerazioni di massima:

- azoto: i valori di azoto totale si collocano prevalentemente nella classe di dotazione normale (62% dei casi); tuttavia a causa della non precisa corrispondenza tra i valori di N totale nel terreno e la risposta produttiva delle colture, gli apporti di azoto andranno commisurati alle asportazioni delle colture attuate;
- fosforo: l'84% dei campioni ha dotazione elevata o molto elevata in fosforo assimilabile, il 12% ha dotazione normale ed il rimanente 4% ha dotazione povera; in assenza di analisi del suolo si suggerisce di omettere apporti di questo elemento o, al massi-

profilo rettilineo, regolati in modo che il rapporto tra profondità e distanza tra le ancore sia compreso tra 0,6 (in combinazione con l'aratura tradizionale) e 1 (in combinazione con l'aratura superficiale). La velocità di avanzamento deve essere dell'ordine dei 5-6 km/h. È molto importante che il suolo sia tendenzialmente asciutto in tutto lo strato interessato dalla lavorazione.

Nell'ottica della riduzione dell'intensità delle lavorazioni, per questi suoli è adatta la lavorazione a due strati, da effettuarsi preferibilmente con araripuntatore, che attua il rovesciamento dello strato più superficiale (25-30 cm) e la fessurazione in profondità (fino a 50 cm). Per colture meno esigenti in quanto a preparazione del terreno possono essere adottate tecniche di lavorazione ridotta (aratura a 25-30 cm).

### Fertilizzazione

Non si riscontrano particolari limitazioni nella scelta dei concimi, che può quindi essere effettuata secondo il criterio del minimo costo dell'unità fertilizzante.

La difficile percorribilità di questi terreni in condizioni umide pone problemi nel frazionamento dei concimi (N in particolare), che dovranno essere distribuiti in uno o comunque pochi interventi. P e K possono convenientemente essere distribuiti in un'unica soluzione: in presemina, o nel caso del P, anche in localizzazione alla semina.

Dall'elaborazione dei dati analitici disponibili per i campioni ricadenti nell'unità dei suoli "Valli" possono trarsi le seguenti considerazioni di massima:

- azoto: i valori di azoto totale si collocano prevalentemente nella classe di dotazione normale (62% dei casi); tuttavia a causa della non precisa corrispondenza tra i valori di N totale nel terreno e la risposta produttiva delle colture, gli apporti di azoto andranno commisurati alle asportazioni delle colture attuate;
- fosforo: l'84% dei campioni ha dotazione elevata o molto elevata in fosforo assimilabile, il 12% ha dotazione normale ed il rimanente 4% ha dotazione povera; in assenza di analisi del suolo si suggerisce di omettere apporti di questo elemento o, al massi-

mo, di restituire quanto asportato dalla coltura;

- potassio: i suoli dell'unità Valli si caratterizzano per l'elevata variabilità del contenuto in K scambiabile, anche se le classi più rappresentate sono quelle a dotazione normale (38%) ed elevata (32%); in assenza di analisi del suolo si consigliano apporti di potassio pari almeno alle asportazioni della coltura attuata e comunque non superiori ad 1,5 volte le stesse.

Sono consigliati apporti di materiali organici, specie ad elevato coefficiente isoumico. Sono da evitare interramenti di paglia in condizioni di scarsa aerazione, in quanto le situazioni di carenza di ossigeno, frequenti nelle stagioni umide, possono rallentare i processi di mineralizzazione della sostanza organica.

Nell'utilizzazione agronomica delle deiezioni zootecniche è opportuno distinguere tra liquami e letame. I primi vanno distribuiti in presemina, su colture a ciclo primaverile-estivo; mais, sorgo e girasole si avvantaggiano anche di distribuzioni in copertura; su cereali a ciclo autunno-primaverile i liquami vanno preferenzialmente distribuiti in copertura (meglio se alla levata); su erba medica il periodo ottimale è la primavera dell'ultimo anno. Il letame va apportato, su questi suoli, in dosi consistenti, con notevole anticipo rispetto alla semina. Su questi suoli va evitata la distribuzione di liquami e di fanghi in condizioni di umidità elevata, a causa della bassa infiltrabilità e dell'elevato rischio di scorrimento superficiale. A causa della bassa capacità protettiva di questi suoli nei confronti delle acque superficiali, è particolarmente importante incorporare rapidamente i liquami nel terreno.

### Irrigazione

I suoli Valli, a causa della bassa permeabilità e della frequente baulatura, mal si adattano all'irrigazione per scorrimento; il metodo irriguo più diffuso è quello per aspersione.

Sono sconsigliati turni irrigui molto lunghi, per evitare la formazione di crepaccature profonde, attraverso le quali potrebbero verificarsi consistenti perdite d'acqua per evaporazione e/o percolazione in profondità. Risulta pertanto opportuna l'adozione di turni irrigui ravvicinati, dell'ordine dei 15-18 giorni e di volumi di adacquamento relativamente ridotti, a partire da contenuti di umidità del suolo intorno al 40-50% dell'acqua disponibile.

---



### Scelta delle colture

Non sussistono limitazioni significative alla crescita delle principali colture erbacee (mais, sorgo, girasole, cereali autunno-vernini, erba medica), eccetto che per la barbabietola ed il pomodoro, i quali possono trovare da moderate a severe limitazioni alla crescita a causa della tessitura e del drenaggio.

Non è in genere possibile effettuare il secondo raccolto a causa della difficoltà di preparazione del letto di semina in seguito a lavorazioni principali effettuate in primavera.

Le colture arboree sono sfavorite, in particolare per la tessitura fine, la dinamicità del suolo, gli eccessi di umidità nei periodi più piovosi.

La vite, pur soffrendo delle medesime limitazioni, è storicamente diffusa in queste zone, allevata soprattutto in coltura promiscua e nei piccoli appezzamenti a conduzione familiare. L'orientamento preferenziale dei filari è quello parallelo alle linee di massima pendenza delle baulature.

### Attitudine all'arboricoltura da legno

I suoli della tipologia "Valli" sono poco adatti all'arboricoltura da legno a causa dell'elevato contenuto d'argilla e del drenaggio lento.

Il contenuto di argilla determina la formazione di crepacciature che possono danneggiare le radici delle piante .

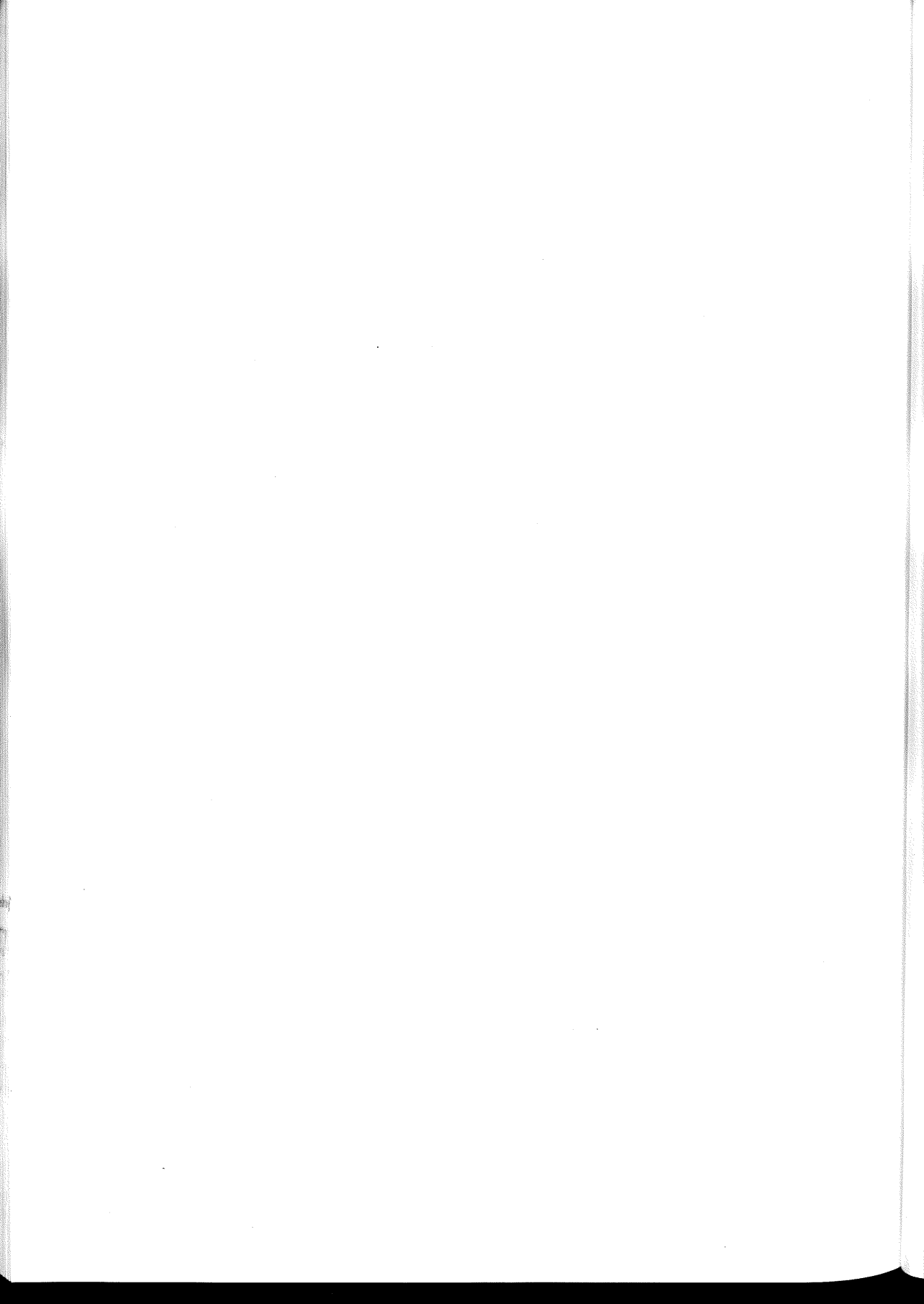
A causa del drenaggio lento si verificano stati di sofferenza per la maggior parte delle piante mesofitiche che possono divenire permanenti nei casi in cui le singole piante non riescano a riprendersi in tempo utile. Inoltre i ristagni idrici possono facilitare l'insorgere di pericolose patologie dell'apparato radicale.



VI COMMISSIONE

# Tecnologia del Suolo

Presidente D. Torri



## *VARIAZIONI DI RUGOSITÀ SUPERFICIALE DEL SUOLO IN RELAZIONE A CICLI RIPETUTI DI UMETTAMENTO- ESSICCAMENTO*

R. Marchetti <sup>a</sup>, P. Spallacci <sup>a</sup>, D. Torri <sup>b</sup>, M. Donatelli <sup>a</sup>,

a) Istituto Sperimentale Agronomico, Sezione Modena

b) Istituto Genesi ed Ecologia del Suolo, CNR, Firenze

La rugosità della superficie del suolo, intesa come insieme di micro-rilievi e micro-vallecole che la caratterizzano, riveste un ruolo molto importante in numerosi processi. In particolare essa determina la resistenza opposta al ruscellamento; le linee di concentrazione del ruscellamento superficiale; gran parte della distribuzione delle aree di sigillamento strutturali e deposizionali; la capacità di invaso superficiale del suolo, e quindi la quantità totale di acqua che si infiltra nel suolo e diviene disponibile alle piante (Burwell e Larson, 1969; Magunda et al., 1997). È quindi evidente che erosione e ruscellamento, sia a macro- che a meso-scala, sono influenzate dalla rugosità.

Le caratteristiche della configurazione superficiale del suolo sono attualmente oggetto di studio, dal punto di vista metodologico, attraverso due approcci: da un lato si vuole ottenere la ricostruzione statistica di una superficie da pochi dati (Huang e Bradford, 1990, 1992; Chadeuf et al. 1989); dall'altro si vuole individuare un indice che rappresenti questa proprietà del suolo in modo sintetico (Onstad, 1984; Linden e van Doren, 1986; Zobeck e Onstad, 1987; Bertuzzi et al., 1990). Entrambi gli approcci sono poi rivolti a permettere la stima di grandezze quali la resistenza opposta al ruscellamento (Gilley e Finkner, 1991; Mwendera e Feyen, 1992) e la capacità di immagazzinamento superficiale d'acqua (Onstad, 1984; Mwendera e Feyen, 1992). Per le relazioni fino ad ora evidenziate tra rugosità di superficie da un lato e ruscellamento, erosione, infiltrazione e capacità d'invaso, dall'altro, la rugosità è stata segnalata come possibile indicatore fisico di qualità del suolo (Karlen e Stott, 1994).

Le lavorazioni hanno sempre avuto, tra gli obiettivi principali, quello di aumentare la capacità di immagazzinamento idrico del suolo. Tutta-

via la superficie del suolo, così come modellata dalle lavorazioni, si modifica progressivamente per effetto della pioggia e delle fluttuazioni di temperatura e umidità. Conseguentemente si modifica la riserva idrica e, indirettamente, la produttività delle colture, in quanto influenzata da questa riserva. La possibilità di stimare le variazioni di rugosità consente anche di stimare le variazioni di immagazzinamento superficiale e, in ultima analisi, offre la possibilità di migliorare la simulazione del flusso idrico nei modelli idrologici.

Mentre l'effetto delle lavorazioni sulla rugosità superficiale del suolo è stato esaminato da numerosi autori (Allmaras et al., 1967; Onstad, 1984; Romkens e Wang, 1986) sono attualmente limitate le informazioni sulle variazioni di rugosità dopo le lavorazioni, indotte dalla pioggia (Zobeck e Onstad, 1987; Mwendera e Feyen, 1994) e dalle variazioni di umidità del suolo (Rudolph et al., 1997). Nel tentativo di contribuire ad aumentare la comprensione della dinamica della rugosità, in questo lavoro si è indagato l'effetto delle precipitazioni e dell'evaporazione sulle variazioni di rugosità di zolle formatesi con la lavorazione.

### **Materiali e metodi**

Il campionamento è stato fatto presso l'azienda sperimentale dell'I.S.A., a San Prospero (Modena). Il suolo è un Vertic Ustochrept argilloso limoso. Nei primi 0.6 m di profilo ha in media 43% di argilla e 48% di limo; 1.2% di C organico; massa volumica:  $1.35 \text{ Mg m}^{-3}$ ; contenuto d'acqua a capacità di campo:  $0.45 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ .

Zolle di diametro variabile da 20 a 30 cm sono state raccolte nel settembre 1994 al momento della loro formazione, all'aratura, da un appezzamento che precedentemente aveva ospitato barbabietola. La profondità di aratura era di 35 cm. Le zolle sono state scelte con criterio di rappresentatività delle dimensioni. Esse sono state poste in casse di plastica a pareti forate e chiuse sul fondo, di 37 x 57 cm di lato e 30 cm di altezza, in numero di 1 o 2 zolle per cassa a seconda delle dimensioni, in modo che non ci fossero fenomeni di compressione della zolla sulle pareti della cassa. Una unità campione era rappresentata dalle zolle di una cassa. Le casse sono state chiuse in sacchi di plastica e conservate a temperatura media di  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) fino al momento dell'uso, nell'inverno successivo. Il peso medio di un campione al tempo 0 era di 37.8 kg ( $n=28$ ; CV:11.9%).

Il simulatore di pioggia era del tipo a pioggia continua, dotato di 4 ugelli a 6 m di altezza. L'intensità media di pioggia nei 10 eventi è sta-

ta pari a  $39 \text{ mm h}^{-1}$ . Questo valore di intensità di pioggia è quello consentito dalle caratteristiche costruttive del dispositivo, messo a punto da Panini et al. (1993). La quantità di pioggia per evento era di 97 mm; l'indice di uniformità dell'82% (valori medi di 10 simulazioni, 20 misure per simulazione). Il tempo di pioggia (150 min) è stato scelto nell'intento di ottenere variazioni di scabrezza rilevabili in tempi accettabili. L'acqua era prelevata dall'acquedotto locale.

Sono stati condotti 3 esperimenti, che si sono differenziati per l'entità dell'evaporazione, ottenuta mediante essiccamento delle zolle; e per il numero di cicli di essiccamento-umettamento (Tabella 1).

L'umidità iniziale media delle zolle era di 24.3% (su peso t.s.;  $CV = 14\%$ ,  $n=28$ ) e non differiva significativamente nei tre esperimenti. L'essiccamento è stato condotto in camera riscaldata, alla temperatura media di  $27.8 \text{ }^\circ\text{C}$ . Questa temperatura è compatibile con quelle che possono essere raggiunte alla superficie del terreno lavorato, in estate. La durata dell'essiccamento è stata di 5-7 gg nel primo e nel secondo esperimento (trattamenti *D1* e *D2*); di 48 e 24 ore nel terzo esperimento (trattamenti *D3* e *D4*). Le perdite di umidità tra due eventi piovosi nei campioni, sia essiccati, sia lasciati umidi, sono state determinate, a partire da peso e umidità iniziali dei campioni, sulla base del calo in peso delle zolle:

$$\text{perdita di umidità (\%, su peso t.s.)} = (W_b - W_a)/DWt_0 * 100,$$

dove:  $W_b$ , peso al tempo  $t_0$  o dopo la pioggia;  $W_a$ , peso a fine essiccamento (o prima della pioggia successiva);  $DWt_0$ , peso secco al tempo  $t_0$ , corretto per le perdite di suolo stimate. La perdita media di umidità tra due piogge (in percentuale del peso secco del terreno) è stata del 19.1% (dev.st.: 2.33) nel trattamento *D1*; del 17.9% (dev.st.: 2.19) in *D2*; del 10.0% (dev.st.: 1.31) e del 5.6% (dev.st.: 1.25) in *D3* e *D4*, rispettivamente. Le cassette contenenti le zolle non sottoposte a essiccamento erano riposte nei sacchi di plastica il giorno dopo l'evento piovoso ed estratte il giorno dell'evento successivo. Per queste zolle ( $W$ ) la perdita media di umidità è stata dell'1.0% (dev.st.: 0.70) per tutti e tre gli esperimenti.

Tabella 1

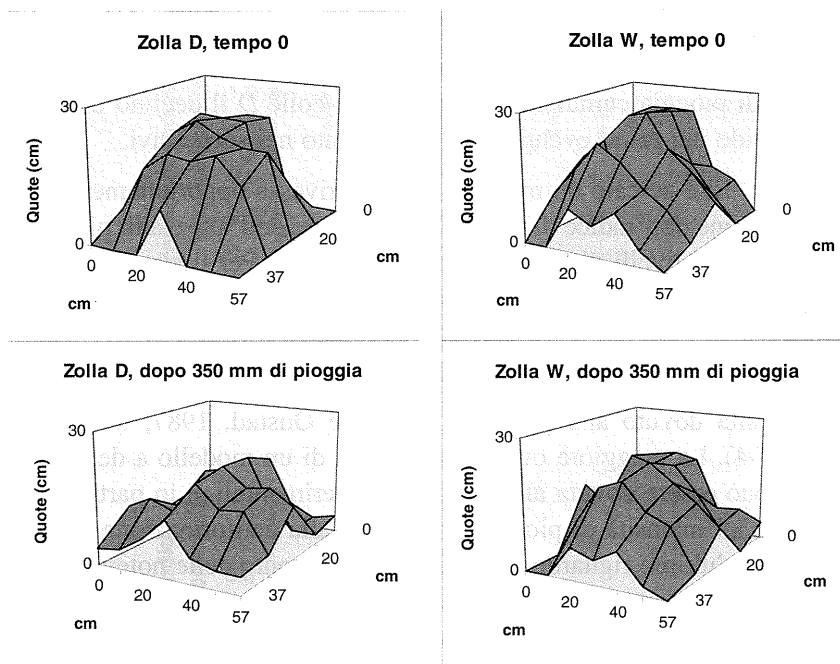
Caratteristiche dei tre esperimenti

	Numero di cicli di essiccamento-umettamento	Quantità cumulata di pioggia (mm)
<b>Esp. 1 (Simulazioni n.ro 1-4)</b>		348
W	0	
D1	4	
<b>Esp. 2 (simulazioni n.ro 2-9)</b>		761
W	0	
D2	8	
<b>Esp. 3 (Simulazioni n.ro 5-10)</b>		614
W	0	
D3	6	
D4	6	

La rugosità è stata misurata inizialmente e 24 ore dopo ogni evento piovoso. Il dispositivo di misura era costituito da una grata metallica che si adattava esattamente al bordo superiore delle casse contenenti le zolle. Ogni punto di intersezione tra le maglie della grata costituiva un punto di misura della quota, ovvero della distanza dal piano della grata alla superficie della zolla. Le quote erano misurate 35 volte in una griglia a maglie di 10 cm di lato, essendo stato verificato (per 52 serie di misure effettuate su 16 campioni in 2-4 tempi successivi) che l'infittimento delle maglie della griglia, con 59 misure di quota per maglie di 7 cm di lato, non portava a differenze significative nel valore della deviazione standard. Le misure erano prese manualmente con un'asta metallica graduata in mm, tenendo costanti ad ogni lettura i riferimenti alle coordinate del piano perpendicolare alle misure. Esse quindi tornavano a ripetersi sempre rispetto agli stessi punti della superficie delle zolle.

Figura 1

Conformazione delle zolle all'inizio dell'esperimento e dopo 350 mm di pioggia (distribuiti in 4 eventi piovosi), per un campione che non aveva subito essiccamento tra due eventi piovosi successivi (W, campione n.ro 28, esp.2) e uno che aveva perso mediamente il 18% di umidità tra una pioggia e l'altra (D, campione n.ro 18, esp.2). Ogni nodo della griglia corrisponde a una misura.



La figura 1 mostra, a titolo di esempio, il livello di risoluzione consentito dalla procedura seguita per misurare l'indice di rugosità.

La deviazione standard delle quote è stata assunta come indice di rugosità,  $\sigma_R$ . Il  $\sigma_R$  medio, al tempo  $t_0$ , era pari a 7.32 cm ( $n=28$ ,  $CV=15.6\%$ ). La variazione di  $\sigma_R$ ,  $\Delta\sigma_R$ , in relazione all'altezza di pioggia cumulata, è stata calcolata come segue:

$$\text{variazione dell' indice di rugosità, } \Delta\sigma_R = \sigma_{Rn} / \sigma_{Rt0}$$

dove:  $\sigma_{Rn}$ , deviazione standard delle quote dopo l'n-esimo evento piovoso;  $\sigma_{Rt0}$ , deviazione standard delle quote al tempo  $t_0$ .



## Risultati e discussione

La relazione tra variazione media di  $\sigma_R$  ottenuta nei tre esperimenti e altezza di pioggia cumulata, per campioni che avevano o non avevano subito il trattamento di essiccamento, è descritta in figura 2. L'essiccamento ha accelerato il declino di  $\sigma_R$  prodotto dalle precipitazioni. Infatti, dopo 350 mm di pioggia,  $\Delta\Sigma_R$  era pari a circa l'80% del valore iniziale, nel caso dei campioni *W*; al 60%, in quelli *D*. L'effetto dell'intensità di essiccamento sulla variazione di rugosità poteva essere rilevato solo dopo una certa altezza di pioggia cumulata. Nel caso delle zolle *D* il declino di rugosità era più rapido nei primi eventi piovosi, più lento nei successivi.

Si è cercato un modello che descrivesse opportunamente il tasso di variazione dell'indice di rugosità in funzione dell'altezza di pioggia cumulata, per vari livelli di essiccamento (Tabella 2). Per il sistema in esame il modello III è parso il più idoneo a descrivere l'andamento del declino di rugosità.

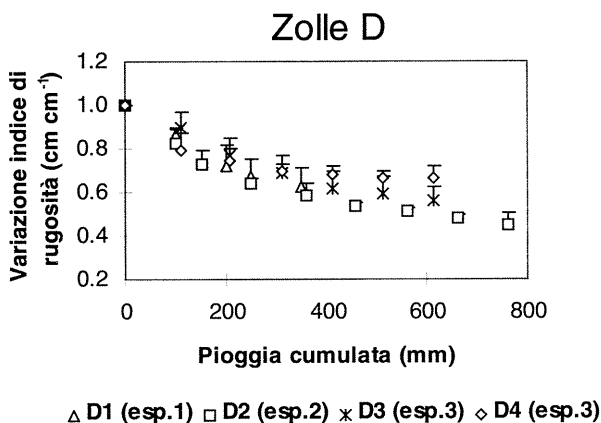
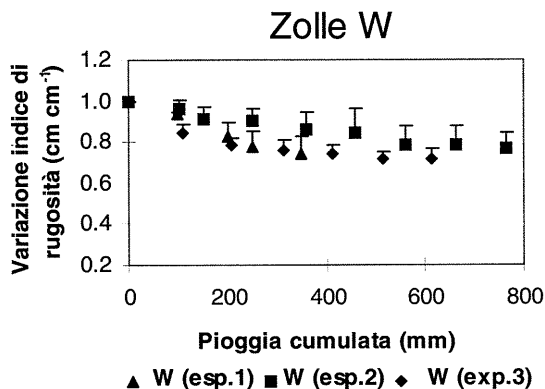
Altri modelli sono stati proposti per descrivere il decadimento della rugosità dovuto alla pioggia (Zobeck e Onstad, 1987; Mwendera e Feyen, 1994). La maggiore o minore idoneità di un modello a descrivere il processo può essere dovuta alle condizioni sperimentali, e in particolare alla durata e all'intensità di pioggia adottate, e alla conformazione della matrice. A quest'ultimo riguardo è opportuno tener conto delle notevoli dimensioni delle zolle usate per le prove. Anche se questo tipo di rugosità, non direzionale, è stato riferito come random (Romkens e Wang, 1986), è necessario includere nella variazione dell'indice di rugosità anche una componente legata alla subsidenza della zolla.

Un altro fattore che potrebbe influire sulla forma delle curve di decadimento della rugosità è il tipo di suolo. Suoli vertici, come quello di prova, possono andar soggetti a rigonfiamento e contrazione, in relazione alle variazioni di umidità. Le variazioni di volume si accompagnano a variazioni di porosità e, tipicamente, alla formazione di crepe, che potrebbero accelerare, aumentando la superficie erodibile, la disgregazione della zolla sotto l'azione battente della pioggia.

I risultati ottenuti hanno confermato l'importanza dell'evaporazione, in associazione con la piovosità, per le variazioni temporali di rugosità del suolo lavorato. Assumendo, per la stima della capacità di immagazzinamento superficiale del suolo ( $DS$ , cm) la relazione proposta da Mwendera e Feyen (1992):

Figura 2

Variazione dell'indice di rugosità per altezze crescenti di pioggia in zolle tenute sempre umide (W) o che abbiano subito livelli diversi di essiccamento (D1: perdita media di umidità del 19%; D2: del 18%; D3: del 10%; D4: del 6%). Le barre verticali rappresentano la deviazione standard



$$DS = 0.294\sigma_R + 0.036\sigma_R^2 - 0.012\sigma_R SL,$$

dove  $SL$  è la pendenza (%); posti:  $\sigma_{R10} = \sigma_{Rmax} = 7.5$  cm e  $SL = 1\%$ , applicando i coefficienti di regressione ottenuti per le tesi W e D2 (Esp. 2) del modello III in Tab.2 (per W:  $a=0.693$ ,  $b=2.28$ ,  $c=0.00051$ ; per D2:  $a=0.538$ ,  $b=4.06$ ,  $c=-0.00413$ ) è possibile concludere che, per un'altezza di pioggia cumulata pari a 350 mm, la riduzione del volume di immagaz-

zinamento superficiale sarà del 17 %, nel caso di suolo non soggetto a perdite di umidità; e del 44 %, per un suolo che le abbia subite. Ci si aspetta quindi che, nella misura in cui evaporazione e piovosità influenzano la rugosità di superficie, esse modifichino anche nel tempo l'infiltrabilità, il ruscellamento e la capacità di invaso superficiale di un suolo.

**Tabella 2**

Valori di  $R^2$  ottenuti per modelli diversi:

modello I, lineare,  $\Delta\sigma_R = a + b \text{ SumP}$ ;

modello II, esponenziale,  $\Delta\sigma_R = a e^{-c \text{ SumP}}$ ;

modello III, esponenziale con forzatura asintoto,  $\sigma_R = a \sigma_{R\max} e^{-c \text{ SumP}} + b$ .

SumP: altezza pioggia cumulata (mm);  $\sigma_{R\max}$ : valore massimo assunto da  $\sigma_R$

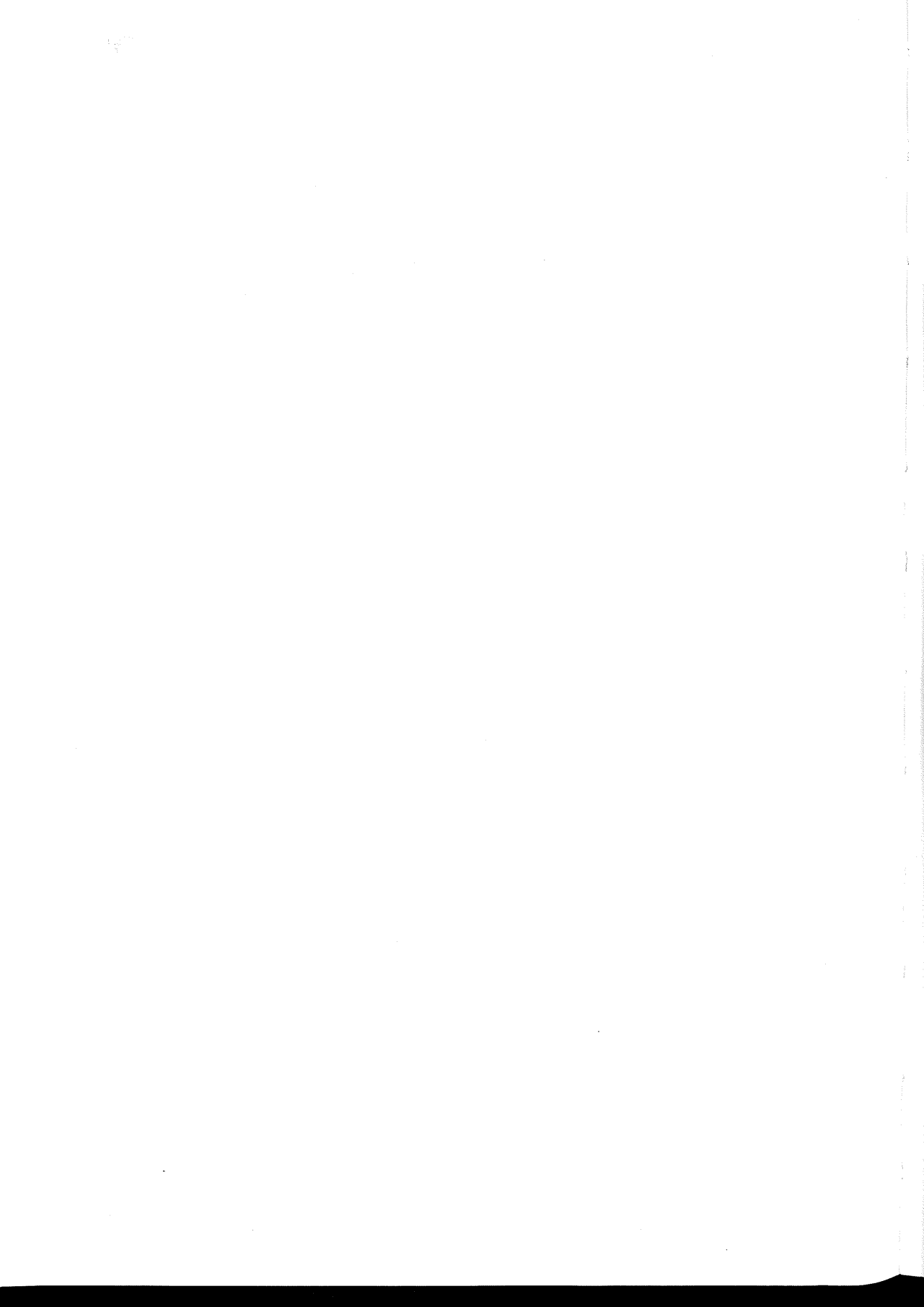
Trattamento	N.ro osserv.	$R^2$		
		Modello I	Modello II	Modello III
<b><u>Esp. 1</u></b>				
Zolle W	19	0.76	0.76	0.84
Zolle D1	20	0.76	0.73	0.92
<b><u>Esp. 2</u></b>				
Zolle W	26	0.77	0.77	0.90
Zolle D2	26	0.82	0.89	0.94
<b><u>Esp. 3</u></b>				
Zolle W	28	0.71	0.72	0.85
Zolle D3	28	0.83	0.82	0.84
Zolle D4	28	0.65	0.67	0.92

### **Ringraziamenti**

Ringraziamo vivamente Romano Ghelfi, dell'ISA, e Mauro del Sette, dell'IGES-CNR, per l'assistenza tecnica fornita nello svolgimento del lavoro.

## **Bibliografia**

- ALLMARAS, R.R., BURWELL, R.E., E HOLT, R.F. (1967) Plow-layer porosity and surface roughness from tillage as affected by initial porosity and soil moisture at tillage time. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 31, 550-556;
- BERTUZZI, P., RAUWS, G. E COURAULT, D. (1990) Testing roughness indices to estimate soil surface roughness changes due to simulated rainfall. *Soil Tillage Research*, 17, 87-99.
- BURWELL, R.E. E LARSON, W.E. (1969) Infiltration as influenced by tillage-induced random roughness and pore space. *Soil Sci. soc. Amer. Proc.*, 33, 449-452;
- CHADOEUF, J., MONESTIEZ, P., BERTUZZI, P. E STENGEL, P. (1989) Parameter estimation in a boolean model of rough surface. Application to soil surfaces. In: Kalisnik, M. & Leder O. (eds.), *Proceedings of the 5th European Congress for stereology, Freiburg im Breisgau, 3-8 Sept. 1989, Acta Stereol.*, 2, 635-640;
- GILLEY, J.E. E FINKNER, S.C. (1991) Hydraulic roughness coefficient as affected by random roughness. *Trans. Am. Soc. Agric. Engrs.* 34, 897-903;
- HUANG, C. E BRADFORD, J.M. (1990) Depressional storage for Markov-Gaussian surfaces. *Water Res. Resources*, 26(9), 2235-2242.
- HUANG, C. E BRADFORD, J.M. (1992) Application of a laser scanner to quantify soil microtopography. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56, 14-21.
- KARLEN, D.L. E STOTT, D.E. (1994) A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran, J.W. et al. (eds), *Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Spec. Pub. 35, Madison, WI, USA;*
- LINDEN D.R., E VAN DOREN D.M. (1986) Parameters for characterizing tillage-induced soil surface roughness. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50, 1560-1565;
- MAGUNDA, M.K., LARSON, W.E., LINDEN, D.R. E NATER, E.A. (1997) Changes in microrelief and their effects on infiltration and erosion during simulated rainfall. *Soil Technol.*, 10, 57-67;
- MWENDERA, E.J. E FEYEN, J. (1992) Estimation of depression storage and Manning's resistance coefficient from random roughness measurements. *Geoderma* 52, 235-250;
- MWENDERA, E.J. E FEYEN, J. (1994) Effect of tillage and rainfall on soil surface roughness and properties. *Soil Technol.*, 7, 93-103;
- ONSTAD, C.A. (1984) Depressional storage on tilled soil surfaces. *Trans. ASAE*, 27, 729-732.
- PANINI T., SALVADOR SANCHIS M.P. E TORRI D. (1993) Un simulatore di pioggia utilizzabile in ambienti a morfologia diversificata. *Quaderni della Scienza del Suolo*, V, 47-58, CNR, Firenze;
- RUDOLPH, A., HELMING, K E DIESTEL, H. (1997) Effect of antecedent soil water content and rainfall regime on microrelief changes. *Soil Technol*, 10, 69-81;
- RÖMKENS, M.J.M. E WANG, J.Y. (1986) Effect of tillage on surface roughness. *Trans. ASAE*, 29(2), 429-433;
- ZOBECK, T.M. E ONSTAD, C.A. (1987) Tillage and rainfall effects on random roughness. A review. *Soil Tillage Res.* 9, 1-20.



## *LA NORMALIZZAZIONE DEI METODI DI ANALISI FISICA DEL SUOLO*

Marcello Pagliai

Giornata di Studio su "La normalizzazione dei metodi di analisi fisica del suolo" tenutasi Giovedì 2 Aprile 1998 all'Accademia dei Georgofili di Firenze in collaborazione con la Società Italiana di Scienza del Suolo.

Nella visione di un'agricoltura compatibile con la protezione delle risorse ambientali, fra cui in primo luogo il suolo, è necessario quantificare quei parametri che ne determinano la qualità e quindi anche il suo possibile deterioramento, proprio nell'ottica di una gestione territoriale capace di prevenire la degradazione ambientale. Inoltre, determinate attività quali, ad esempio, l'utilizzazione agronomica di biomasse di rifiuto e di scarto di vario genere o la scelta dei sistemi di lavorazione, necessitano della completa conoscenza dell'ambiente pedologico in cui si opera e quindi devono essere regolamentate anche in base ai parametri fisici del suolo (tessitura, conducibilità idraulica, velocità di infiltrazione, ecc.). La problematica dei metodi di analisi fisica del suolo è molto complessa, soprattutto perché gli studi su particolari proprietà fisiche del terreno contemplano un largo numero di metodi analitici spesso usati in maniera diversa. La struttura del terreno, ad esempio, è impossibile definirla attraverso criteri univoci o con un unico tipo di determinazione per tutti i tipi di suoli. In questo contesto molti ricercatori focalizzano le loro analisi su ciò che considerano rilevante per il loro scopo scientifico, mettendo a punto misure analitiche specifiche per precise finalità in determinati progetti di ricerca. Da qui la necessità di una standardizzazione dei metodi proprio per una maggiore possibilità di confronto dei risultati delle ricerche sviluppate nei vari laboratori. Tale esigenza è molto sentita anche a livello internazionale, e di fatto le organizzazioni di normalizzazione dei metodi di analisi (ISO, UNI, ecc.) si stanno sempre più occupando anche dei metodi per le analisi fisiche del suolo, fino ad oggi relativamente trascurati. La necessità di un lavoro di standardizzazione, unito alla possibilità di uniformazione nella misura di determinati parametri, ha costituito lo scopo principale della giornata di studio del 2 Aprile, la quale, sotto la presidenza del Prof. Fiorenzo Mancini, è iniziata con una relazione del Prof. Paolo Sequi che ha illustrato le attività dell'Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo del Ministero per le Politiche Agricole e quindi il programma di realizzazione della collana dei metodi di analisi del suolo di cui il primo volume

è quello dei metodi di analisi fisica del suolo, coordinato dal Dr. Marcello Pagliai e edito dalla Casa Editrice Franco Angeli. A questo proposito, il Prof. Luigi Cavazza ha tenuto una relazione sull'esigenza di uniformazione e diffusione dei metodi di analisi fisica del suolo, che ha evidenziato le difficoltà di una disciplina, la fisica del suolo, che in Italia non ha trovato quella dignità accademica che ha in altri Paesi Europei e negli Stati Uniti e quindi viene affrontata, in maniera autodidattica, da studiosi provenienti da discipline diverse (agronomia, idraulica, chimica agraria) con approcci quindi differenti e non sempre coordinati. È seguita poi una tavola rotonda su esperienze e problematiche nei diversi campi di applicazione delle analisi fisiche del suolo, a cui hanno partecipato il Dr. Marcello Pagliai, la Dr.ssa Anna Maria Castrignanò, il Dr. Ermanno Busoni, il Prof. Adriano Guarnieri e la Prof.ssa Paola Rossi. Sono stati trattati, nell'ordine, argomenti inerenti la struttura del suolo e le relazioni fra sistema dei pori e flussi idrici, i problemi della variabilità spaziale, la scalarizzazione dell'informazione, le proprietà meccaniche dei suoli e i problemi inerenti le misure di falda. E' seguita un'ampia discussione in cui, fra l'altro, si sono chiariti validità ed uso di misure di specifici parametri. Nel pomeriggio i lavori sono ripresi con una relazione del Prof. Alessandro Santini Sui nuovi orizzonti nella quantificazione delle proprietà idrologiche del suolo evidenziando le relazioni fra potenziale dell'acqua e conducibilità idraulica nel suolo non saturo. Quindi il Dr. Edoardo Costantini ha parlato delle proprietà fisiche nella definizione delle qualità dei suoli illustrando un caso di studio sulla relazione fra qualità del suolo e qualità dei vini. Il Dr. Dino Torri e il Dr. Paolo Bazzoffi hanno tenuto una relazione inerente i parametri fisici correlati all'erosione del suolo evidenziando la complessità della definizione di un parametro quale l'erosibilità del suolo. Infine il Dr. Roberto Pini ha illustrato l'uso di tecniche a raggi laser per la determinazione della rugosità superficiale del suolo. È seguita, quindi, un'ampia e vivace discussione. Al termine dei lavori le conclusioni sono state tratte dal Dr. Marcello Pagliai, il quale in primo luogo ha sottolineato il successo della manifestazione che ha visto, per un argomento così specialistico, la partecipazione di oltre 130 studiosi provenienti anche da discipline diverse quali l'agronomia, la chimica agraria, l'idraulica agraria e folta era anche la rappresentanza di ingegneri agrari. Ciò testimonia l'importanza e l'attualità di tale argomento e questo dovrebbe essere il primo di una serie di incontri, volti sia a migliorare il testo del manuale, visto che è stato voluto nella veste "a schede" proprio per una facilità di miglioramento e di aggiornamento, sia a costituire gruppi di lavoro interdisciplinari per affinare non solo le metodologie tecniche ma anche la loro interpretazione ed il loro uso nella modellizzazione di determinati processi, proprio per tentare di superare quelle incongruenze di studi settoriali cui il Prof. Cavazza faceva riferimento nella sua relazione introduttiva.

---

## WORKSHOP SISS-SICA

Il 23 aprile 1998 si è svolto a Potenza presso l'Università degli Studi della Basilicata il workshop SISS-SICA "Tecnologie per la difesa e la conservazione delle risorse in ambiente montano e collinare", organizzato dal Dipartimento di Valorizzazione e Protezione delle Risorse Agroforestali dell'Università di Torino e dal Dipartimento di Produzione Vegetale di Potenza.

Nel corso del workshop sono stati illustrati le problematiche riguardanti la formazione di soggetti destinati a svolgere ruoli di alta professionalità tecnica e/o di decisori nella programmazione, protezione e management degli ecosistemi montani e marginali. Sono intervenuti i proff. S. A. Bufo e V. Leone (Prospettive didattiche e tecnologiche per la tutela dell'ambiente montano e collinare); il prof. P.L. Genevini (Impiego di resine a scambio per la stima del declino forestale in Valtellina); il prof. E. Zanini (Nuovi metodi di valutazione della vulnerabilità dei suoli all'erosione: l'esempio del Bacino Camastra - PZ); il prof. P. Kowalik della Facoltà di Ingegneria Ambientale del Politecnico di Danzica, Polonia (Constructed wetland techniques for phytoremediation of waste water in mountain ecosystems). Il workshop è stato concluso da una tavola rotonda sul tema "Conservazione della risorsa suolo negli ambienti mediterranei" cui sono intervenuti i proff. J. Torrent (Dipartimento di Scienza e Risorse Agricole e Forestali, Università di Cordova, Spagna), A. Violante e V. Boero ed i dott. M. Mansour (Istituto di Chimica Ambientale, Norimberga, Germania) e S. Dumontet, nonché esponenti del mondo imprenditoriale lucano. La tavola rotonda ha avuto come moderatore il prof. Paolo Sequi.

---



## *SUOLI TRA VULCANISMO E ANTROPIZZAZIONE*

Paolo Sequi

L'Assemblea della Società Italiana della Scienza del Suolo, riunita a Napoli, nel giugno 1998, in occasione del convegno annuale dedicato al tema: "Suoli tra vulcanismo e antropizzazione", ha ampiamente discusso, fra l'altro, gli ultimi tragici avvenimenti verificatisi in Campania, i quali hanno confermato che gran parte dei processi di degradazione del territorio derivano da una non corretta gestione del suolo.

Ribadendo che il suolo è una risorsa indispensabile per la vita sul pianeta, ma scarsamente rinnovabile, la Società ha constatato che la massa dei sedimenti che hanno investito gli insediamenti di Sarno, Quindici e zone limitrofe è derivata principalmente dall'instabilità del suolo, capace di ospitare la vegetazione e sede dell'attività agricolo-forestale, ma anche soggetto di manufatti.

Considerato che avvenimenti simili si sono già verificati in altre Regioni e che molte aree nel Paese si trovano in tale situazione, evidenziando che una corretta gestione del suolo è quanto mai urgente, la Società denuncia che fino ad ora la cultura del suolo è sempre stata sistematicamente trascurata o sottostimata.

La Società Italiana della Scienza del Suolo, che aggrega competenze di ordine pedologico, chimico, fisico, biologico e tecnologico, invita i Ministeri e le Amministrazioni Regionali competenti a coinvolgere sempre nella pianificazione e gestione del territorio anche gli esperti di suolo.

---

**BOLLETTINO  
DELLA SOCIETÀ ITALIANA  
DELLA SCIENZA DEL SUOLO**

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

**Segretario di Redazione**  
Sig. Filippo Ilardi

**Comitato di Redazione**

**Prof. Paolo Sequi**  
Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante  
Via della Navicella, 2 - 4, 00184 Roma  
tel. 06 7005413 - fax 06 7005711 - e-mail  
psequi@uni.net

**Dr. Pier Giacomo Arcara**  
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del  
Suolo  
Piazza D'Azeglio, 30, 50121 Firenze  
tel. 055 2491227 - fax 055 241485 - e-mail  
arcara@dada.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 delle Terra, Università di  
Cagliari  
Via Trentino, 51, 09100 Cagliari  
tel. 070 2006239 - fax 070 282236 - e-mail  
aru@vaxcal.unica.it

**Prof. Paolo Nannipieri**  
Dipartimento di Scienza del Suolo e Nutrizione  
della Pianta  
Università di Firenze, P.le delle Cascine, 15, 50144  
Firenze  
tel. 055 32881 - fax 055 333273 - e-mail  
nannip@cscs.fi.cnr.it

Presidenza: Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante  
Via della Navicella, 2/4 - 00184 Roma  
Tel. 06-7005413, Fax 06-7005711, e-mail: psequi@uni.net

Segreteria: Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo  
Piazza M. D'Azeglio, 30 - 50121 Firenze  
Tel. 055-2491227, Fax 055-241485, e-mail: arcara@dada.it

Sito: <http://www.inea.it/isnp/siss/siss.htm>

Delta

Grafica e impaginazione: *S.Federici & G.Gregò design*, Roma

Finito di stampare dalla Delta Grafica di Città di Castello (PG) nell'ottobre 1998

# DALLA NATURA...PER LA NATURA

AGROFERTILE è un prodotto naturale di origine vegetale, derivato dai processi fermentativi del melasso di barbabietola da zucchero, che può essere convenientemente impiegato anche per le colture biologiche rientrando tra i **prodotti per la concimazione e l'ammendamento del terreno** consentiti dal regolamento CEE numero 2092 del 24/6/1991 relativo ai metodi di produzione biologica di prodotti agricoli.



## AGROFERTILE

CONCIME LIQUIDO DI ORIGINE ORGANICA

**SIG**  
ITALIA

S.V.G. Italia - Via A. Majani, 2 - 40122 Bologna - Tel. 051/277044-46 - Fax 051/277070

DAZZI

# NON POSSIAMO MANGIARCI LA TERRA



I.L.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. I.L.S.A. produce per gli agricoltori che coltivano oggi con la consapevolezza che, "su questa Terra", dovranno coltivare anche i loro figli.



**ALTA TECNOLOGIA PER  
L'AGRICOLTURA SPECIALIZZATA**

36071 ARZIGNANO (VI)  
Tel. 0444/452020 r.a. - Fax 0444/671596  
Email: [ilsa@keycomm.it](mailto:ilsa@keycomm.it)