

# Conoscenza, conservazione e uso sostenibile del suolo: aspetti fisici e morfologici

Marcello Pagliai\*

CRA – Centro di Ricerca per l'Agrobiologia e la Pedologia  
Piazza M. D'Azeglio 30, 50121 Firenze

Società Italiana della Scienze del Suolo

---

## Riassunto

I maggiori aspetti della degradazione ambientale sono riconducibili al suolo (erosione, compattamento, formazione di croste superficiali, perdita di struttura, perdita di sostanza organica, salinizzazione, acidificazione) e sono in gran parte imputabili alle attività antropiche incluso l'agricoltura che, ove ancora attuata con sistemi convenzionali, causa un'eccessiva erosione e fenomeni di degradazione del suolo. Si impone quindi la necessità di porre un controllo e prevenire tale degradazione.

Fra le pratiche agricole che contribuiscono maggiormente alla degradazione del suolo rimangono le lavorazioni del terreno effettuate prevalentemente in maniera convenzionale e l'attuazione ancora diffusa di colture intensive, senza il necessario apporto di sostanza organica. A queste si aggiunge la preparazione del terreno mediante livellamenti e scassi per i nuovi impianti di colture arboree, in particolare vigneti nelle zone collinari, causando così catastrofiche perdite di suolo e di nutrienti, il cui danno in termini economici ed ambientali non viene ancora quantificato. L'impoverimento di sostanza organica ha portato anche ad un forte aumento della formazione di croste superficiali le quali, oltre che interagire negativamente con la crescita delle piante (ostacolo dell'emergenza del seme), riducono drasticamente l'infiltrazione dell'acqua con aumento del ruscellamento superficiale e quindi dei processi erosivi.

Altro aspetto della degradazione del suolo fortemente sottovalutato è rappresentato dal compattamento in seguito all'utilizzo di macchine agricole sempre più potenti e pesanti su terreni ormai impoveriti di sostanza organica e quindi altamente vulnerabili. Il compattamento non è solo causato dal traffico delle macchine agricole ma anche dalla formazione dello strato compatto al limite inferiore della lavorazione del terreno: la così detta "suola d'aratura" la quale sconvolge le proprietà idrologiche del suolo ed è responsabile delle frequenti sommersioni nelle pianure alluvionali, dove predomina la monocoltura, in occasione di violente piogge concentrate in poco tempo, o dei movimenti di massa nelle zone collinari. Sistemi di lavorazioni del terreno alternativi alle tradizionali arature profonde, quali la rippatura, possono attenuare la formazione di detto strato compatto.

La conservazione del suolo si attua, quindi, a partire da una corretta gestione del suolo stesso ed è fondamentale, pertanto, la conoscenza di tale risorsa e disporre di banche dati pedologiche georeferenziate di opportuno dettaglio.

*Parole chiave:* analisi di immagine, degradazione del suolo, sistema dei pori, struttura del suolo.

## Summary

### KNOWLEDGE, CONSERVATION AND SUSTAINABLE USE OF SOIL: PHYSIC AND MORPHOLOGICAL ASPECTS

The main aspects of environmental degradation can be ascribed to soil (erosion, soil compaction, soil crusting, deterioration of soil structure, flooding, losses of organic matter, salinisation, onsite and offsite damages, etc.) following the impact of human activities. Since agricultural conventional production systems have resulted in excessive erosion and soil degradation, there is need to control and fight such degradation.

Scientific results have clearly showed that the agricultural management systems can play an important role in preventing soil degradation provide that appropriate management practices are adopted. Long-term field experiments in different types of soils have shown that alternative tillage systems, like minimum tillage, ripper subsoiling, etc., improve the soil structural quality. The continuous conventional tillage causes a decrease of soil organic matter content that is associated to a decrease of aggregate stability, leading, as a consequence, to the formation of surface crusts, with an increase of runoff and erosion risks.

\* Autore corrispondente: tel.: +39 055 2491255; fax: +39 055-241485. Indirizzo e-mail: marcello.pagliai@entecra.it

Other aspects of very dangerous soil degradation (erosion) in the hilly environments are represented by land levelling and scraping. After levelling, slopes being prepared for plantation (in particularly vineyard) are almost always characterised by the presence of large amounts of incoherent earth materials accumulated with scraper. In this vulnerable condition, a few summer storms can easily cause soil losses exceeding  $500 \text{ Mg ha}^{-1}\text{y}^{-1}$ . Moreover, the land levelling and the following soil loss causes drastic alteration of the landscape and loss of the cultural value of soil. Subsoil compaction is strongly under evaluated, even though the presence of a ploughpan at the lower limit of cultivation is largely widespread in the alluvial soils of the plains cultivated by monoculture and it is responsible of the frequent flooding of such plains in occasion of heavy rains concentrated in a short time (rainstorm), because the presence of this ploughpan strongly reduced drainage. Alternative tillage practices, like ripper subsoiling, are able to avoiding the formation of this compact layer.

The soil conservation can be realised through a correct soil management and, therefore, it is essential to know this resource and to have pedological data bases of appropriate detail.

*Key-words:* image analysis, soil degradation, soil pore system, soil structure.

## Introduzione

La difesa dell'ambiente e, quindi, una gestione sostenibile si attua a partire da un corretto uso del suolo il quale deve avvenire attraverso una pianificazione che tenga conto, in primo luogo, della vocazionalità dei suoli non solo per le attività agricole ma anche per quelle extragricole. Nonostante l'accresciuta sensibilità verso i problemi di protezione dell'ambiente maggiore attenzione deve essere ancora rivolta all'impatto delle attività antropiche sul suolo, dal momento che proprio i 2/3 dei suoli del territorio nazionale sono ormai degradati. Nell'ottica di una agricoltura sostenibile, quindi compatibile con la protezione dell'ambiente, si assiste ancora ad alcune pratiche agricole che meriterebbero di essere evitate o comunque corrette. I sistemi produttivi agricoli hanno inequivocabilmente prodotto eccessivi fenomeni erosivi ed una accelerata degradazione del suolo, per cui è assolutamente necessario controllare e prevenire tale degradazione. C'è quindi la necessità di ottenere una produzione in armonia con la conservazione del suolo e la protezione dell'ambiente. Le pratiche agricole sono sostenibili solo se sono compatibili con le aspettative degli agricoltori e se la loro influenza sull'ambiente è tale che esse possono essere praticate indefinitamente senza conseguenze negative. Dato che la degradazione del suolo in Europa è adesso tenuta in debita considerazione nell'agenda politica, c'è una reale possibilità per la comunità scientifica di proporre le migliori strategie per la protezione del suolo stesso. Scopo di questo lavoro è quello di elencare i principali aspetti di degradazione del suolo e di enfatizzare l'im-

portanza di adottare pratiche agricole idonee per consentire un uso sostenibile del territorio.

## Degradazione del suolo

La degradazione del suolo rappresenta attualmente una delle emergenze planetarie ed è altrettanto evidente che rappresenta una minaccia sia per la biomassa sia per la produzione economica non solo nell'immediato ma soprattutto per la produzione agricola nel lungo termine. Quindi, è assolutamente necessario tenere sotto controllo i processi degradativi del suolo.

I principali aspetti di degradazione del suolo in Europa, indicati come le otto minacce nella "Direttiva quadro per la protezione del suolo" pubblicata il 22 Settembre 2006 dalla Commissione Europea, possono essere così riassunti:

- Erosione, idrica ed eolica.
- Impoverimento di sostanza organica.
- Contaminazione e inquinamento.
- Consumo di suolo (impermeabilizzazione) in seguito a urbanizzazione e industrializzazione.
- Compattamento e altre forme di degradazione fisica (croste superficiali, impermeabilizzazione, ecc.).
- Perdita di produttività e di biodiversità.
- Salinizzazione (e sodicizzazione).
- Frane e smottamenti.

La combinazione di diversi processi di degradazione incluso l'erosione idrica e il deposito di sedimenti, la salinizzazione e la sodicizzazione possono innescare i rischi di desertificazione. La vulnerabilità dei suoli Italiani ai processi degradativi è sicuramente più alta che in

altri paesi Europei data l'alta variabilità delle tipologie dei suoli stessi.

La necessità di ridurre l'impatto ambientale delle attività agricole e il controllo della degradazione strutturale del suolo rappresentano i principali obiettivi delle pratiche agricole e per questo hanno indotto gli agricoltori a considerare la possibilità di adottare pratiche "più semplificate" in alternativa ai tradizionali metodi di lavorazione del suolo. L'abbandono delle tradizionali rotazioni colturali e l'adozione delle monocolture intensive, senza la somministrazione al terreno del letame, hanno causato la forte diminuzione del contenuto di sostanza organica nel suolo con evidenti segni di degradazione a aumento dei fenomeni erosivi, con trasporto di particelle solide e nutrienti che vanno ad inquinare le acque superficiali.

### **Approccio metodologico**

Per valutare l'impatto delle pratiche agricole sul suolo è necessario quantificare le modificazioni della sua struttura. La struttura rappresenta, infatti, una delle più importanti proprietà per lo sviluppo delle colture, proprio perché determina la profondità che le radici possono esplorare, la quantità di acqua che può essere trattenta e i movimenti dell'acqua stessa, dell'aria e della fauna del suolo. Quindi, la qualità del suolo è strettamente correlata alla struttura e molti dei danni ambientali nelle aree intensamente antropizzate quali l'erosione, il compattamento e la desertificazione traggono origine dalla degradazione della struttura del terreno. Per quantificare le alterazioni strutturali in seguito alle attività antropiche, oltre alle misure tradizionali quali la stabilità degli aggregati, la conducibilità idraulica, ecc., la completa caratterizzazione della porosità sta diventando sempre più usata. Infatti, è ampiamente riconosciuto che la porosità è il miglior indicatore delle condizioni strutturali del suolo e la completa caratterizzazione dei pori consente di quantificare la qualità della struttura proprio perché sono la dimensione, la morfologia e la continuità dei pori che determinano i più importanti processi nel suolo stesso. Una completa visione della complessità del sistema poroso nel terreno può essere ottenuta usando la porosimetria a mercurio per quantificare i pori minori di 50  $\mu\text{m}$  di diametro

equivalente all'interno degli aggregati e l'analisi di immagine su sezioni sottili preparate da campioni indisturbati di terreno (Murphy, 1986) per quantificare i pori maggiori di 50  $\mu\text{m}$ , cioè i macropori che determinano il tipo di struttura. Le recenti acquisizioni teoriche e tecnologiche riguardo sia la preparazione dei campioni sia l'analisi di immagine, hanno migliorato i metodi per la quantificazione diretta dei pori. Tali metodi consentono di valutare gli effetti delle pratiche agronomiche, ma anche extra agronomiche, sulla porosità e struttura del suolo e, di conseguenza, individuare quelle più idonee per una gestione sostenibile del territorio.

### **Le pratiche agricole compatibili con la sostenibilità ambientale**

Fra le pratiche agricole che contribuiscono maggiormente alla degradazione del suolo rimangono le lavorazioni del terreno effettuate prevalentemente in maniera convenzionale e l'attuazione ancora diffusa di colture intensive, senza il necessario apporto di sostanza organica.

Esperimenti a lungo termine in differenti tipi di suoli, rappresentativi dei più tipici ambienti pedologici italiani, hanno dimostrato che i sistemi di lavorazione del terreno alternativi alle tradizionali arature profonde, quali la lavorazione minima, la discissura, ecc., migliorano il sistema dei pori aumentando i pori della riserva idrica e i pori di trasmissione, cioè quei pori allungati e continui che consentono i movimenti dell'acqua e la crescita delle radici (Pagliai et al., 1998). La risultante struttura del suolo appare più aperta e più omogenea lungo il profilo, permettendo così una migliore circolazione dell'acqua. Le continue lavorazioni profonde causano, inoltre, la diminuzione del contenuto di sostanza organica (Pagliai e Vignozzi, 1998) alla quale è sempre associata la diminuzione della stabilità degli aggregati, la cui conseguenza è la formazione di croste superficiali con aumento del ruscellamento e quindi dei rischi erosivi (Pagliai et al., 2004).

A questo proposito, attualmente, si dibatte molto circa la gestione del suolo investito a vigneto, visto l'espansione di questa coltura sempre più indirizzata verso una produzione di alta qualità ma anche verso la "produzione di paesaggio", basti pensare proprio alle caratteristi-

che paesaggistiche delle più prestigiose aree viticole italiane. Proprio per conservare e quindi prevenire la degradazione di detto paesaggio e contenere, in primo luogo, i processi di erosione, sono state introdotte pratiche alternative alle tradizionali lavorazioni del terreno, quali l'inerbimento che, in molti casi, si è rivelato importante anche per migliorare la qualità del prodotto.

In esperimenti condotti nell'area del Chianti su un suolo franco limoso argilloso investito a vigneto con una disposizione dei filari lungo la massima pendenza sono stati valutati gli effetti di diverse modalità di gestione del vigneto – 1) lavorazione convenzionale (LC), 2) inerbimento spontaneo (IS), inerbimento controllato con 3) *Trifolium subterraneum* (TR), con 4) *Festuca rubra* + *Lolium perenne* (FL) e con 5) *Bromus catarticum* (BR) – sulle qualità fisiche del suolo legate ai rischi di erosione ed alla protezione dell'ambiente (Pellegrini et al., 2000; Vignozzi et al., 2001). I risultati hanno evidenziato che i valori di porosità erano sempre significativamente più alti nei suoli inerbiti rispetto a quelli lavorati in maniera convenzionale (fig. 1).

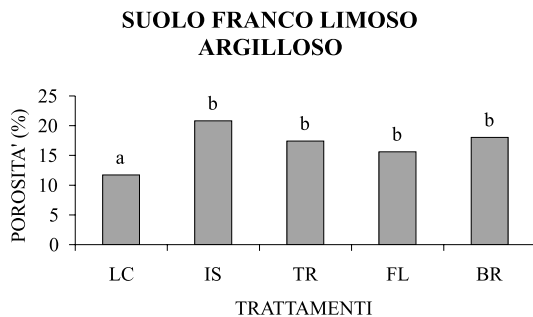


Figura 1. Effetto di differenti sistemi di gestione del suolo sulla porosità, espressa come percentuale dell'area totale occupata dai pori maggiori di 50  $\mu\text{m}$  per sezione sottile nello strato superficiale 0-10 cm (LC, lavorazione convenzionale; IS, inerbimento spontaneo; TR, *Trifolium subterraneum*; FL, *Festuca rubra* + *Lolium perenne*; BR, *Bromus catarticum*). I valori della porosità differiscono significativamente quando sono seguiti da lettere diverse al livello di  $P \leq 0.05$  impiegando il Test di Duncan.

Figure 1. Effects of different soil management systems on soil porosity, expressed as a percentage of total area occupied by pores  $>50 \mu\text{m}$  per thin section, in the surface layer 0-10 cm (LC, conventional tillage; IS, spontaneous grass cover; TR, *Trifolium subterraneum*; FL, *Festuca rubra* + *Lolium perenne*; BR, *Bromus catarticum*). Macroporosity values differ significantly when followed by different letters at  $P \leq 0.05$  employing the Duncan's Multiple Range Test.

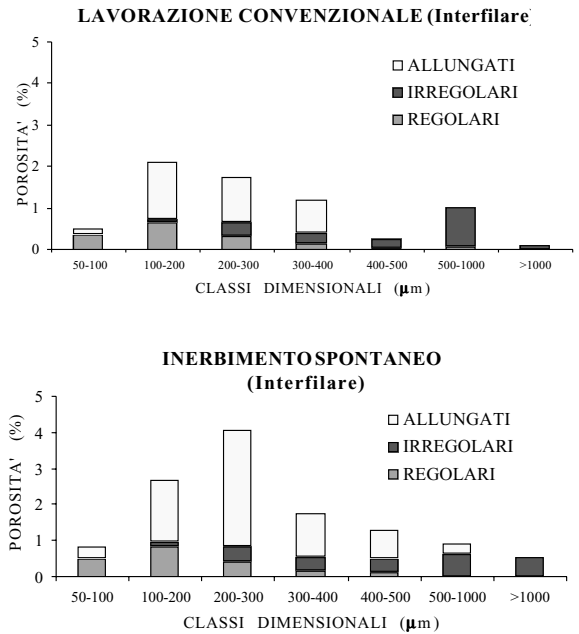


Figura 2. Distribuzione dimensionale dei pori, secondo il diametro equivalente per i pori regolari e irregolari e la larghezza per i pori allungati, nello strato superficiale (0-10 cm) dello stesso suolo della figura 1. È evidente la drastica riduzione dei pori allungati e in particolare di quelli compresi fra 50-500  $\mu\text{m}$  nelle aree interessate dalla lavorazione convenzionale.

Figure 2. Pore size distribution, expressed as equivalent pore diameter, for regular and irregular pores and width for elongated pores in the surface layer (0-10 cm) of the same soil of figure 1. It is evident the strong reduction of elongated pores in the range 50-500  $\mu\text{m}$  in the soil under conventional tillage.

Tale aumento di porosità era dovuto ai pori di tipo allungato nelle classi comprese fra 50 e 500  $\mu\text{m}$  (fig. 2), cioè proprio di quei pori detti di "trasmissione" che, secondo Greenland (1977) ed altri autori (Pagliai e De Nobili, 1993), sono i più importanti per i flussi idrici e lo sviluppo degli apparati radicali. L'aumento di questi pori origina una struttura poliedrica subangolare distribuita omogeneamente lungo il profilo in cui i pori stessi mostrano un'ottima continuità in senso verticale garantendo l'infiltrazione dell'acqua. Al contrario, nei suoli interessati dalla lavorazione convenzionale, la struttura appariva più compatta e, soprattutto, mostrava uno strato compatto in superficie (fig. 3) che induceva una riduzione drastica dell'infiltrazione dell'acqua con conseguente aumento dei rischi erosivi; ciò in conseguenza anche della minore sta-

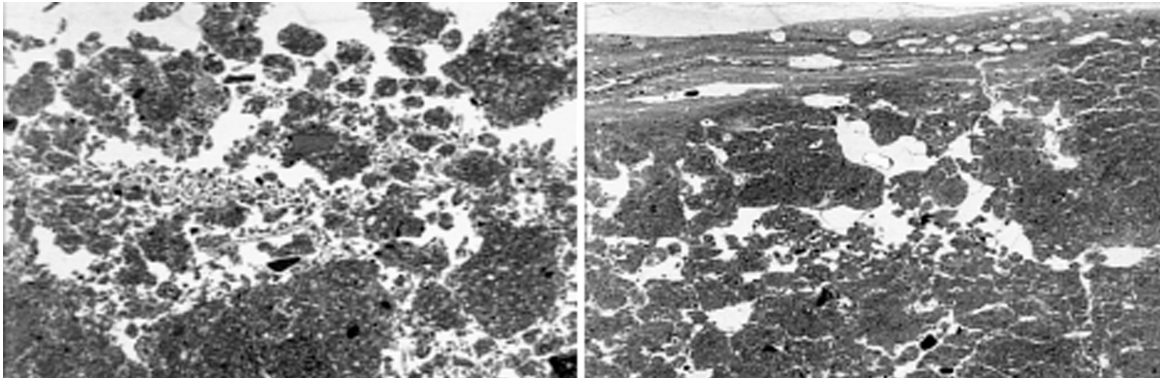


Figura 3. Macrofotografie di sezioni sottili verticalmente orientate, preparate da campioni indisturbati di suolo prelevati nello strato superficiale (0-5 cm) di terreno a tessitura franco limoso argillosa interessato da inerbimento spontaneo (sinistra) e da lavorazione convenzionale (destra). Una struttura poliedrica subangolare è presente nell'inerbimento spontaneo, mentre una struttura più compatta è presente nella lavorazione convenzionale, dove in superficie è evidente una struttura lamellare dovuta alla formazione di una crosta superficiale. I pori appaiono bianchi. Il lato minore misura 3 cm nella realtà.

Figure 3. Macrophotographs of vertically oriented thin sections prepared from undisturbed samples collected in the surface layer of the silty clay loam soil (0-5 cm) under spontaneous grass cover (left) and conventional tillage (right). The presence of a subangular blocky structure can be observed in soil under spontaneous grass cover, while a more compact platy structure is evident in conventional tilled soil due to the presence of a surface crust. Pores appear white. Frame length 3 cm.

bilità degli aggregati nel suolo lavorato rispetto a quello inerbito (fig. 4).

A causa della gestione non sempre corretta del territorio, l'erosione rimane il principale

aspetto della degradazione del suolo e supera mediamente di 30 volte il tasso di sostenibilità (erosione tollerabile) e ci sono pochissimi studi a livello Italiano ma anche Europeo sulla stima del danno economico causato in seguito alla perdita del suolo e alla degradazione morfologica del paesaggio.

Proprio a questo proposito si sottolinea che altri aspetti molto dannosi di degradazione del suolo in ambiente collinare sono rappresentati dall'erosione in seguito ai livellamenti e agli scassi. Il livellamento viene generalmente effettuato in terreni ondulati per migliorare l'efficienza dell'uso delle macchine e dell'irrigazione. I bulldozer sono anche usati per rimuovere la vegetazione di vecchie piantagioni al fine di preparare il terreno per i nuovi impianti. Nei bacini Mediterranei i livellamenti e sbancamenti sono veramente frequenti per ottenere pendici uniformi più facili da coltivare. Inoltre, queste operazioni sono effettuate nel periodo estivo o autunnale, cioè nel periodo in cui sono frequenti i violenti temporali con altissima erosività. Dopo i livellamenti, le pendici preparate per i nuovi impianti, in particolare vigneti, sono caratterizzate dalle presenza di grandi quantità di materiale incoerente accumulato durante le operazioni di rimodellamento. In queste condizioni di alta vulnerabilità, è sufficiente un solo evento di intensa piovosità per causare la per-

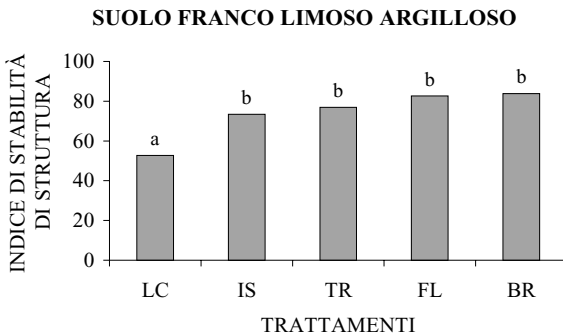


Figura 4. Effetto di differenti sistemi di gestione del suolo sulla stabilità degli aggregati di terreno nello strato superficiale 0-10 cm (LC, lavorazione convenzionale; IS, inerbimento spontaneo; TR, *Trifolium subterraneum*; FL *Festuca rubra* + *Lolium perenne*; BR, *Bromus catarcticum*). I valori dei pori allungati di trasmissione differiscono significativamente quando sono seguiti da lettere diverse al livello di  $P \leq 0.05$  impiegando il Test di Duncan.

Figure 4. Effects of different soil management systems on aggregate stability, in the surface layer 0-10 cm (LC, conventional tillage; IS, spontaneous grass cover; TR, *Trifolium subterraneum*; FL, *Festuca rubra* + *Lolium perenne*; BR, *Bromus catarcticum*). Values differ significantly when followed by different letters at  $P \leq 0.05$  employing the Duncan's Multiple Range Test.

dita di oltre 500 tonnellate/ha/anno di terreno (Bazzoffi e Chisci, 1999; Bazzoffi, 2007). Inoltre, i livellamenti e le successive ingenti perdite di suolo causano drastiche modificazioni del paesaggio.

### Compattamento del terreno

Altro aspetto della degradazione del suolo fortemente sottovalutato è rappresentato dal compattamento in seguito all'utilizzo di macchine agricole sempre più potenti e pesanti su terreni ormai impoveriti di sostanza organica e quindi altamente vulnerabili. Per esempio, il compattamento del suolo è ritenuto il fattore determinante la degradazione di un'area di 33 milioni di ha in Europa (Soane and Van Ouwerkerk, 1995). Circa il 32% dei suoli in Europa sono altamente vulnerabili al compattamento e un altro 18% è moderatamente vulnerabile (Fraters, 1996).

I risultati di diversi studi hanno evidenziato che il compattamento, sia in suoli agricoli che forestali, non solo riduce drasticamente la porosità (fig. 5) ma modifica anche l'arrangiamento del sistema dei pori. Infatti, la proporzione dei pori allungati di trasmissione, utili per i movimenti dell'acqua e la crescita delle radici, subisce una drastica riduzione nei suoli compattati (fig. 6).

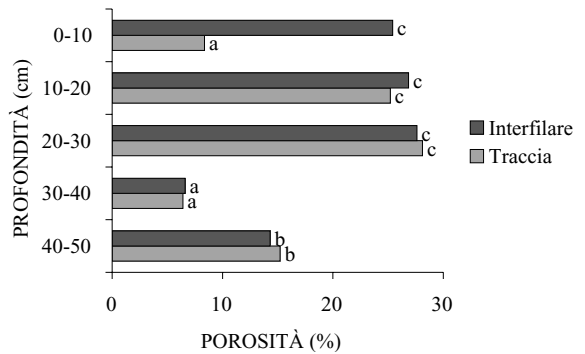
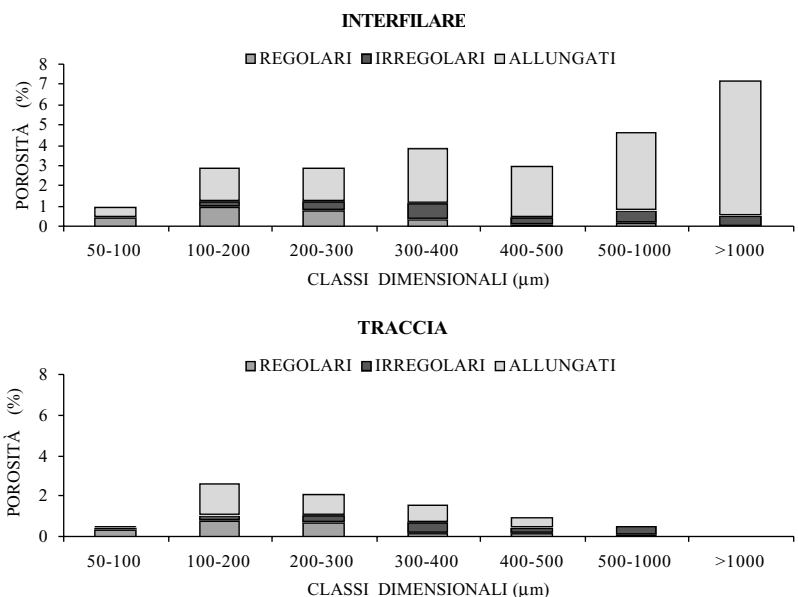


Figura 5. Effetto del compattamento, causato dal passaggio di un trattore, sulla porosità di un suolo franco argilloso espressa come percentuale dell'area occupata dai pori maggiori di 50  $\mu\text{m}$  per sezione sottile. Media di sei ripetizioni. I valori seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al livello del 5% impiegando il Test di Duncan. Da notare la drastica riduzione di porosità (pori > 50  $\mu\text{m}$ ) nello strato superficiale (0-10 cm) delle aree interessate dal passaggio del trattore, con valori di porosità al di sotto del 10%, limite sotto il quale un suolo si considera degradato (Pagliai et al., 2003), ma anche nello strato 30-40 cm cioè al limite inferiore della lavorazione mediante aratura.

Figure 5. Effects of soil compaction, caused by the passes of a tractor, on soil porosity expressed as a percentage of area occupied by pores larger than 50  $\mu\text{m}$  per thin section. Mean of six replications. Values followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level employing Duncan's Multiple Range Test. It can be noticed the strong reduction of porosity (pores > 50  $\mu\text{m}$ ) not only in the areas compacted by the passes of the tractor, with porosity values below 10%, that is the threshold to consider a soil degraded (Pagliai et al., 2003), but also in the 30-40 cm layer due to the formation of a ploughpan at the lower cultivation limit.

Figura 6. Distribuzione dimensionale dei pori, secondo il diametro equivalente per i pori regolari e irregolari e la larghezza per i pori allungati, nello strato superficiale (0-10 cm) di un suolo franco argilloso. È evidente la drastica riduzione dei pori allungati e in particolare di quelli maggiori di 500  $\mu\text{m}$  nelle aree interessate dal passaggio del trattore.

Figure 6. Pore size distribution, expressed as equivalent pore diameter, for regular and irregular pores and width for elongated pores in the surface layer (0-10 cm) of a clay loam soil. It is evident the strong reduction of elongated pores, particularly in the range 50-500  $\mu\text{m}$  in the soil following the passage of the tractor.



Le modificazioni del sistema dei pori si riflettono anche sul tipo di struttura: la struttura lamellare è un indice comune nei suoli degradati dal compattamento (fig. 7). I risultati indicano inoltre che la riduzione di porosità e in particolare dei pori allungati di trasmissione in seguito al compattamento è strettamente correlata con l'aumento della resistenza alla penetrazione, con la riduzione della conducibilità idraulica (fig. 8) e della crescita delle radici (Pagliai et al., 2000; Pagliai et al., 2003; Pellegrini et al., 2000). La diminuzione della porosità e della conseguente riduzione dell'infiltrazione dell'acqua portano ad un aumento del ruscellamento superficiale che può causare forti fenomeni erosivi lungo le tracce provocate dal passaggio delle macchine agricole, come illustrato nella figura 9. La rigenerazione strutturale dopo il compattamento dipende non solo dal tipo di suolo ma anche dal grado del danno provocato.

Il compattamento del suolo non è solo causato, come già sottolineato, dal traffico delle macchine agricole, ma anche dall'azione degli

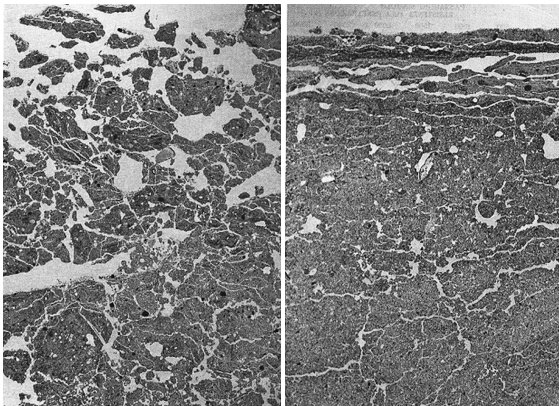


Figura 7. Macrofotografie di sezioni sottili verticalmente orientate preparate da campioni indisturbati di suolo prelevati nello strato superficiale (0-5 cm) delle aree non compattate (sinistra) e delle aree compattate dal passaggio del trattore (destra). Luce parallela: i pori appaiono bianco trasparenti. È evidente la trasformazione della struttura poliedrica subangolare delle aree non compattate in una struttura massiva e lamellare in superficie nelle aree compattate. Il lato minore misura 3 cm nella realtà.

Figure 7. Macrophotographs of vertically oriented thin sections from the surface layer (0-5 cm) of the uncompact (left) and compacted areas (right) of a loam soil. Plain polarized light. Pores appear white. The change of the subangular blocky structure of the uncompact areas into a massive platy structure of the compacted areas is very evident. Frame length 3 cm.

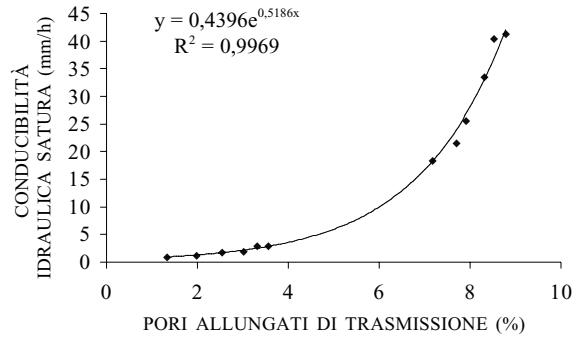


Figura 8. Correlazione esponenziale fra la porosità del suolo formata dai pori allungati maggiori di 50 µm e la conducibilità idraulica saturata nello strato superficiale (0-10 cm) delle aree compattate (pori allungati minori del 4%) e non compattate (pori allungati maggiori del 7%).

Figure 8. Correlation between elongated pores larger than 50 µm, and saturated hydraulic conductivity in the surface layer (0-10 cm) of compacted (elongated pores less than 4%) and uncompact soil (elongated pores greater than 7%).

organi lavoranti per le lavorazioni del terreno e la preparazione del letto di semina, come lo strato compatto (suola d'aratura) che si forma al limite inferiore della lavorazione nei terreni interessati da continue arature convenzionali (fig. 10). In Italia questo tipo di compattamento è fortemente sottovalutato, anche se questo strato compatto è largamente diffuso nelle pianure alluvionali coltivate con monocolture ed è responsabile delle frequenti sommersioni che si verificano in occasione di piogge intense concentrate in un breve periodo, perché la presenza di detta suola d'aratura riduce drasticamen-



Figura 9. Esempio di fenomeni erosivi insorti in seguito al compattamento causato dal traffico delle macchine agricole.

Figure 9. Example of erosion phenomena following soil compaction by traffic of agricultural machines.

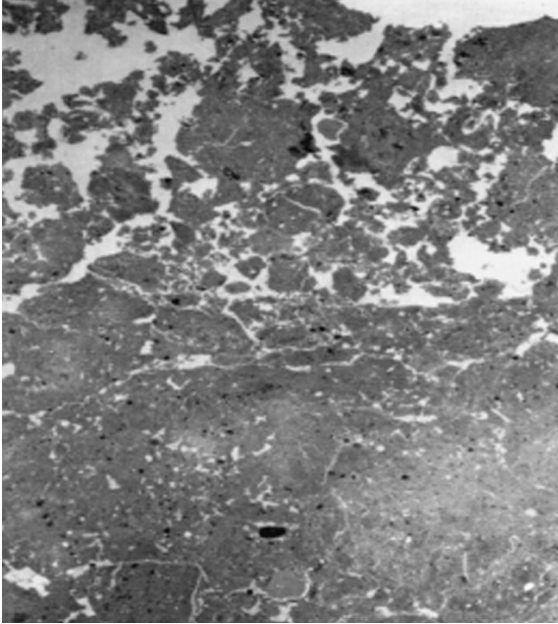


Figura 10. Macrofotografia di una sezione sottile verticalmente orientata preparata da un campione di suolo prelevato nello strato 30-40 cm, cioè al limite inferiore della lavorazione di un terreno franco limoso argilloso sottoposto ad aratura convenzionale continua. La formazione della suola d'aratura è evidente. Il lato minore misura 3 cm nella realtà.

Figure 10. Macrophotograph of a vertically oriented thin section prepared from undisturbed samples collected in the 30-40 cm layer of a silty clay loam soil tilled by continuous conventional ploughing. The lower limit of cultivation (ploughpan) is visible. Frame length 3 cm.

te il drenaggio (fig. 11). Nelle zone collinari si possono verificare dei movimenti di massa che provocano, anche in questo caso, un danno all'assetto morfologico del territorio. L'adozione di sistemi di lavorazione del terreno, alternativi alle tradizionali arature, quali la discissura sono capaci di ridurre la formazione di questo strato compatto

### **Croste superficiali**

La diminuzione del contenuto di sostanza organica porta, come conseguenza, ad una perdita di stabilità degli aggregati e ad un aumento della formazione di croste superficiali, le quali rappresentano anch'esse un pericoloso aspetto di degradazione del suolo e si formano in seguito all'azione battente delle piogge le quali causano la distruzione meccanica degli aggregati. Le



Figura 11. Esempio di fenomeni erosivi insorti non solo in seguito al compattamento causato dal traffico di macchine agricole ma anche nell'interfilare a causa della presenza della suola d'aratura che impedisce il drenaggio.

Figure 11. Example of erosion phenomena following not only the traffic of agricultural machines but also by the presence of a ploughpan that strongly reduces the drainage.

particelle disperse possono essere traslocate dallo scorrimento superficiale delle acque e, nel successivo processo di essiccamento, la loro deposizione causa la formazione di uno strato compatto. Questo strato contiene pochi pori e, generalmente, i sottili strati di particelle solide sono intercalati da pori allungati orientati parallelamente alla superficie del terreno, non continui in senso verticale e quindi nulli ai fini dell'infiltrazione dell'acqua (fig. 3, destra). Altri tipi di pori rappresentati in questo strato sono i pori sferici (vescicole) formati da bolle d'aria rimasta intrappolata durante il processo di essiccamento. La presenza di tali pori, che formano una struttura vescicolare, rappresenta un indicatore di una struttura instabile e transitoria indotta da una bassa stabilità degli aggregati. La presenza di croste superficiali riduce drasticamente l'emergenza del seme, gli scambi gassosi suolo atmosfera e soprattutto l'infiltrazione dell'acqua con conseguente aumento del ruscellamento superficiale. I risultati di prove sperimentali hanno evidenziato che la somministrazione al terreno di materiali organici e la riduzione delle arature convenzionali possono contribuire a ridurre la formazione di croste superficiali (Pagliai e Vignozzi, 1998). Nei terreni intensamente coltivati gli aggregati superficiali sono meno resistenti all'azione battente delle piogge (fig. 12).



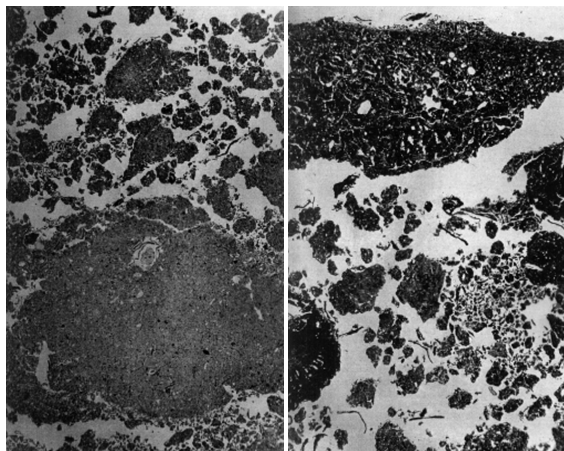


Figura 12. Macrofotografia di una sezione sottile verticalmente orientata preparata da un campione di suolo indisturbato prelevato nello strato superficiale (0-5 cm) di un terreno lavorato una settimana dopo l'aratura e epicuratura (sinistra) e dopo un evento piovoso (40 mm di pioggia) (destra). Una struttura granulare creata dalle lavorazioni è evidente (sinistra) mentre a destra si può notare la formazione di uno strato compatto (crosta superficiale) originato dalla distruzione meccanica degli aggregati in seguito all'azione battente della forte pioggia. Il lato minore misura 3 cm nella realtà.

Figure 12. Macro photograph of a vertically oriented thin section from undisturbed samples of the surface layer (0-5 cm) of conventionally tilled loam soil collected one week after tillage and before any rainfall events (Left) and after the first rainfall event (a rain of 40 mm) (right). A crumbly to granular structure created by the tillage is evident (Left). At the surface a compacted layer originated by the mechanical destruction of the aggregates can be noticed (right). The decrease of soil porosity with respect to the soil beneath this layer is very evident. Picture taken under a macro-epidiascope with plain polarised light (the white areas represent pores). Frame length 3 cm.

## Conclusioni

Riassumendo, il ruolo delle pratiche agricole in un ambiente sostenibile è quello di consentire la multifunzionalità per il benessere dell'umanità. In questo contesto, le funzioni del suolo sia per l'ambiente sia per l'uomo rivestono particolare importanza. Secondo Blum (1998) il suolo esplica almeno sei differenti funzioni per lo sviluppo sociale ed economico del genere umano, le quali possono essere distinte in tre più ecologiche (1 – produzione di biomassa; 2 – esplicazione di funzioni di filtro, di tamponamento e di trasformazione di materiali e sostanze diverse; 3 – habitat biologico e riserva genetica) e le altre tre direttamente legate alle at-

tività antropiche definite come funzioni socio-economiche (4 – base fisica per insediamenti umani, insediamenti produttivi e infrastrutture; 5 – fonte di approvvigionamento di materie prime; 6 – luogo e mezzo di conservazione di giacimenti paleontologici ed archeologici di fondamentale significato culturale). Comunque, la necessaria armonizzazione dell'uso delle sei funzioni del suolo non è una questione scientifica, ma politica: ciò significa che tutta la popolazione che vive in una determinata area o spazio deve decidere quali funzioni del suolo devono essere usate in un determinato tempo e in un determinato spazio. I ricercatori hanno solo il compito di sviluppare scenari e prevedere quali cause e impatti possono accadere quando differenti opzioni sono attuate. Questi scenari possono essere condensati in indicatori, i quali possono aiutare sia i decisori politico-amministrativi sia i popoli viventi in una determinata area a scegliere la giusta opzione.

La prevenzione della degradazione del suolo è essenziale per lo sviluppo di un'agricoltura economicamente e ambientalmente sostenibile. Per esempio, le conoscenze sulla suscettibilità del suolo alla degradazione in particolare al compattamento possono permettere agli ingegneri agrari di progettare macchine agricole con equipaggiamenti capaci di ridurre l'effetto compattante. Purtroppo a tutt'oggi gli studi e le ricerche ignorano o sottovalutano gli aspetti della degradazione del suolo come le croste superficiali e il compattamento stesso e quindi mancano dati sulla quantificazione dell'impatto sulle qualità fisiche del suolo, sulla diminuzione dell'emergenza del seme, sulla riduzione dello sviluppo radicale e sulla produzione. L'aumento dei nutrienti nell'ambiente in seguito alla degradazione del suolo (erosione, compattamento) possono essere dannosi per la salute umana e per la sicurezza alimentare. L'aumento delle conoscenze su questi aspetti migliorerebbe l'analisi degli impatti delle decisioni politiche e delle pratiche agricole sull'ambiente, sulla qualità della produzione e sull'uso delle risorse naturali.

Nel secolo appena iniziato il ruolo del suolo per un ambiente sostenibile sarà sempre più critico rispetto al passato, proprio perché abbiamo raggiunto ormai il punto critico fra l'uso armonico delle differenti funzioni del suolo e i severi problemi ambientali presenti in molte aree. L'uso del suolo avviene quindi in differenti

condizioni ecologiche, tecniche e socio-economiche rispetto al passato. Così non c'è solo un incremento della competizione per lo spazio, come ad esempio, l'aumento dell'urbanizzazione e dell'industrializzazione con tutti i relativi impatti socio-economici e ambientali specialmente in Europa, ma anche un aumento della competizione tra la produzione di biomasse da un lato e la disponibilità di acqua dall'altro lato, incluso i problemi della perdita di biodiversità e dei cambiamenti climatici, quali, ad esempio, l'estinzione di specie a l'aumento dell'emissione dei gas serra nell'atmosfera (Blum, 2000). Quindi, un nuovo concetto di uso e gestione del suolo è necessario al fine di armonizzare le funzioni del suolo stesso per garantire uno sviluppo sostenibile.

Questo approccio olistico verso il ruolo del suolo per un ambiente sostenibile può essere di aiuto al fine di definire gli specifici problemi ecologici, socio-economici e tecnici, permettendo così alla ricerca di sviluppare scenari più comprensibili per lo sviluppo sostenibile in questo secolo appena cominciato. L'uso di indicatori può aiutare in questo contesto proprio perché possono essere uno strumento di facile comprensione e applicazione da chi è chiamato a prendere iniziative idonee per risolvere i problemi, cioè i decisori politico-amministrativi. Gli approcci dell'Agenzia Europea per l'Ambiente quali DSR e DPSIR (EEA, 1999) sembrano essere strumenti capaci di alleviare i problemi del suolo e della sua gestione e di creare condizioni ambientali migliori per il futuro.

In conclusione, la conservazione del suolo si attua, quindi, a partire da una corretta gestione del suolo stesso ed è fondamentale, pertanto, la conoscenza di tale risorsa e disporre di banche dati pedologiche georeferenziate di opportuno dettaglio.

## Bibliografia

Bazzoffi P. 2007. Erosione del suolo e sviluppo rurale. Edagricole, Bologna, 249 pp.

Bazzoffi P., Chisci G. 1999. Tecniche di conservazione del suolo in vigneti e pescheti della collina cesenate. *Rivista di Agronomia*, 3:177-184.

Blum W.E.H. 1998. Agriculture in a sustainable environment – a holistic approach. – *Int. Agrophysics*, 12:13-24.

Blum W.E.H. 2000. Challenge for Soil Science at the Dawn of the 21<sup>st</sup> Century. In: Adams J.A., Metherell A.K. (eds.): *Soil 2000: New Horizons for a New Century*. Australian and New Zealand Second Joint Soils Conference. Volume 1: Plenary Papers, 35-42. 3-8 December 2000, Lincoln University. New Zealand Society of Soil Science, Lincoln, NZ.

European Environment Agency (EEA), 1999: *Environment in the European Union at the turn of the century*. Copenhagen, Denmark.

Fraters B. 1996. Generalized Soil Map of Europe. Aggregation of the FAO-Unesco soil units based on the characteristics determining the vulnerability to degradation processes. National Institute of Public Health and the environment (RIVM), Bilthoven, The Netherlands. RIVM Report no. 481505006. 60 pp.

Greenland D.J. 1977. Soil damage by intensive arable cultivation: temporary or permanent? *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 281:193-208.

Murphy C.P. 1986. *Thin section preparation of soils and sediments*. A B Academic Publishers, Herts, UK, 149 pp.

Pagliai M., De Nobili M. 1993. Relationships between soil porosity, root development and soil enzyme activity in cultivated soils. *Geoderma*, 56:243-256.

Pagliai M., Marsili A., Servadio P., Vignozzi N., Pellegrini S. 2003. Changes in some physical properties of a clay soil in Central Italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of medium power. *Soil Till. Res.*, 73:119-129.

Pagliai M., Pellegrini S., Vignozzi N., Rousseva S., Grasselli O. 2000. The quantification of the effect of sub-soil compaction on soil porosity and related physical properties under conventional to reduced management practices. *Advances in GeoEcology*, 32:305-313.

Pagliai M., Rousseva S., Vignozzi N., Piovaneli C., Pellegrini S., Miclaus N. 1998. Tillage Impact on Soil Quality. I. Soil Porosity and Related Physical Properties. *Italian Journal of Agronomy*, 2:11-20.

Pagliai M., Vignozzi N. 1998. Use of manure for soil improvement. In: Wallace A., Terry R.E. (eds.): *Handbook of Soil Conditioners*, 119-139. Marcel Dekker, Inc., New York, USA.

Pagliai M., Vignozzi N., Pellegrini S. 2004. Soil structure and the effect of management practices. *Soil and Tillage Research*, 79:131-143.

Pellegrini S., Vignozzi N., Pagliai M. 2000. Effects of different management systems on soil structure and compaction of two soils under viticulture. *Agricoltura Mediterranea*, 130:216-222.

Soane B.D., Van Ouwerkerk C. (eds.) 1995. *Soil compaction in crop production*. Developments in Agricultural Engineering, 11. Elsevier, Amsterdam, 662 pp.

Vignozzi N., Pellegrini S., Pagliai M. 2001. Dinamica della struttura in un suolo franco argilloso investito a vigneto e sottoposto a diverse modalità di gestione. *Atti del Convegno SISS "La scienza del suolo in Italia: bilancio di fine secolo"*, 22-25 giugno 1999, Gressoney-Saint Jean, 319-327.