

Giornata di studio:

I dissesti idrogeologici
e il degrado del sistema agrosilvopastorale

Firenze, 23 febbraio 2012

MARCELLO PAGLIAI*

Agricoltura e dissesto pedologico

INTRODUZIONE

Molto spesso e con gli strumenti che sono loro congeniali, i ricercatori della scienza del suolo hanno lamentato la non adeguata attenzione in quasi tutte le sfere della società civile, sociale, politica e amministrativa, verso la conoscenza e la protezione del suolo. Eppure la sua degradazione rappresenta ormai un'emergenza a livello planetario ed è evidente che rappresenta anche una minaccia per la produzione agricola nel lungo termine. In Italia, tale emergenza è tanto più pressante non solo a causa dell'alta variabilità dell'ambiente, ma anche per la presenza di molti tipi di suolo caratterizzati da vulnerabilità senza dubbio più alta rispetto a gli altri Paesi Europei. Proprio quella variabilità che ha contribuito a far guadagnare l'appellativo di "bel paese" all'Italia. Purtroppo negli ultimi decenni il nostro Paese ha subito, con frequenza impressionante e crescente, eventi catastrofici, con numerose alluvioni verificatesi dal Nord al Sud. La maggior parte, anzi la totalità, di questi disastri ambientali sono riconducibili alla mancanza di attenzione al suolo nella gestione degli ecosistemi agrari e forestali. La scomparsa della "coscienza sistematoria" in Italia ha molteplici cause, tra cui i cambiamenti nell'assetto fondiario e sociale delle campagne, ma anche nel tipo di gestione delle politiche agricole locali e assistenza tecnica e scientifica fornita agli agricoltori. Attualmente le maggiori preoccupazioni derivano dalla constatazione che i margini di reddito per gli agricoltori sono diventati molto spesso talmente esigui che nei fatti impediscono l'attuazione di opere di sistemazione idraulica-agraria.

* *Consiglio per la ricerca e la sperimentazione in agricoltura, Centro di ricerca per l'agrobiologia e la pedologia (CRA-ABP), Firenze*

Ma oltre ai disastri ambientali più eclatanti, l'intensificazione della pressione antropica nelle particolari condizioni climatiche mediterranee ha provocato una preoccupante degradazione dei suoli, rendendo tangibile, in molte aree del nostro paese, il rischio di desertificazione. Infatti sono cinque e tutte al Sud le Regioni italiane seriamente interessate al problema della desertificazione, cioè del progressivo inaridimento del terreno con conseguente perdita di fertilità, problema che è una priorità nazionale. Il 21,3% dei suoli del territorio nazionale è a rischio di desertificazione (Costantini et al., 2007) (41,1% nel Centro e Sud Italia). La degradazione del suolo avvenuta negli ultimi 40 anni ha provocato una diminuzione di circa il 30% della capacità di ritenzione idrica dei suoli agricoli, con un relativo accorciamento dei tempi di ritorno degli eventi meteorici in grado di provocare eventi calamitosi. La degradazione del suolo causa anche un deterioramento di altri eco-servizi come la qualità dei prodotti e del paesaggio.

I più importanti processi di degradazione del suolo in Italia sono legati all'erosione, al consumo di suolo (sealing), all'inaridimento e alla salinizzazione.

Nonostante l'aumentata coscienza verso la protezione dell'ambiente e verso lo sviluppo di un'agricoltura sostenibile, ancora rimane molto da fare per arginare la minaccia della degradazione ambientale e della desertificazione.

La degradazione del suolo rappresenta, quindi, 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 possono essere così riassunti:

1. erosione, idrica ed eolica;
2. impoverimento di sostanza organica;
3. contaminazione e inquinamento;
4. consumo di suolo (impermeabilizzazione) in seguito a urbanizzazione e industrializzazione;
5. compattamento e altre forme di degradazione fisica;
6. perdita di produttività e di biodiversità;
7. salinizzazione (e sodicizzazione);
8. frane e smottamenti.

COSTI DELLA DEGRADAZIONE DEL SUOLO IN UE

Non ci sono studi accurati in Europa in cui vengono quantificati in termini

economici i danni prodotti dalla degradazione del suolo (Pagliai, 2008), tuttavia alcune stime indicano le seguenti cifre oltremodo preoccupanti:

- erosione: € 0.7 – 14.0 miliardi;
- impoverimento della sostanza organica: € 3.4 – 5.6 miliardi;
- compattamento: non sono possibili stime;
- salinizzazione: € 158 – 321 miliardi;
- frane: fino a € 1.2 miliardi per evento;
- contaminazione: € 2.4 – 17.3 miliardi;
- impermeabilizzazione: non sono possibili stime;
- perdita di biodiversità: non sono possibili stime.

È ampiamente noto che l'erosione rappresenta il principale aspetto della degradazione del suolo, del quale si comincia a quantificarne il danno anche in termini economici ed è altrettanto noto che la diminuzione della sostanza organica, responsabile della perdita di struttura del terreno, è il risultato dell'intensificazione dei processi produttivi degli ultimi decenni; meno noto, se non del tutto trascurato, è invece l'effetto della compattazione del suolo.

“SOIL THEMATIC STRATEGIES”

Che questi aspetti abbiano assunto contorni preoccupanti è dimostrato dalla recente attenzione della Commissione Europea verso i problemi della protezione del suolo, attraverso l'emanazione, nel 2002, delle Strategie tematiche per la protezione del suolo (“Soil Thematic Strategies”) le quali si propongono i seguenti obiettivi:

- prevenzione dell'erosione del suolo;
- prevenzione del compattamento del suolo;
- prevenzione della contaminazione del suolo;
- incrementare i livelli di sostanza organica nel suolo;
- proteggere la struttura del suolo mediante misure adeguate;
- ridurre le emissioni di gas serra.

NUOVA POLITICA AGRICOLA COMUNITARIA (PAC)

Gli obiettivi delle suddette strategie tematiche per la protezione del suolo sono stati recepiti dal settore agricolo, infatti il 26 giugno del 2003 il Consiglio dei Ministri dell'agricoltura dell'Unione Europea approvò una radicale riforma a carico della Politica Agricola Comune (PAC), destinata a rivoluzio-

nare le modalità di sostegno all'intero settore da parte dell'UE per i prossimi 10 anni. Tra le scelte che dovevano essere effettuate, l'applicazione della "condizionalità" rappresentava senz'altro uno dei segnali politici più importanti, in quanto il sostegno al settore agricolo avviene solo a condizione che questo si dimostri attento alle tematiche ambientali e all'esigenza di difendere il territorio. L'agricoltura tradizionale e intensiva sta, quindi, lasciando il posto a un'agricoltura multifunzionale il cui scopo primario non è più la quantità, ma, semmai, la qualità dei prodotti in un contesto non solo di protezione dell'ambiente ma di valorizzazione dell'ambiente stesso: "agricoltura che produce paesaggio".

La condizionalità rappresenta, infatti, una delle principali novità introdotte a seguito della riforma della PAC. Essa coinvolge tutti gli agricoltori che dal 1° gennaio 2005 intendono beneficiare dei finanziamenti messi a disposizione dell'Unione Europea attraverso la stessa PAC sono tenuti ad assicurare il rispetto di una serie di impegni di corretta gestione agronomica dei terreni, salvaguardia dell'ambiente, salute pubblica e degli animali, benessere animale. La non conformità a tali impegni comporta l'attivazione di un meccanismo di riduzione dell'insieme dei pagamenti diretti a cui ciascun agricoltore avrebbe diritto.

Gli impegni a cui ogni agricoltore deve fare riferimento sono suddivisi in due grandi categorie:

- criteri di gestione obbligatori (CGO), ovvero disposizioni di legge, "Atti", già in vigore e derivanti dall'applicazione nazionale di corrispondenti disposizioni comunitarie;
- buone Condizioni Agronomiche e Ambientali (BCAA), successivamente indicate con "Norme", stabilite a livello nazionale per garantire il raggiungimento di quattro obiettivi prioritari fissati dall'Unione Europea quali:
 1. proteggere il suolo mediante misure idonee;
 2. mantenere i livelli di sostanza organica mediante opportune pratiche;
 3. proteggere la struttura del suolo mediante misure adeguate;
 4. assicurare un livello minimo di mantenimento dell'ecosistema ed evitare il deterioramento degli habitat.

"FRAMEWORK DIRECTIVE FOR SOIL PROTECTION"

Dopo l'emanazione delle Strategie tematiche per la protezione del suolo, la Commissione Europea, a testimonianza della rinnovata attenzione per le problematiche della degradazione del suolo, il 22 Settembre 2006 ha pubblicato

una proposta per una Direttiva Quadro per la Protezione del Suolo (“Framework Directive for Soil Protection”).

In tale direttiva il suolo stesso viene definito una risorsa essenzialmente non rinnovabile e un sistema molto dinamico, che svolge numerose funzioni e fornisce servizi essenziali per le attività umane e la sopravvivenza degli ecosistemi.

Fra le motivazioni e gli obiettivi della proposta viene evidenziato che, dalle informazioni disponibili, negli ultimi decenni, si è registrato un aumento significativo dei processi di degrado dei suoli e ci sono elementi che confermano che, in assenza di interventi, tali processi continueranno ad aumentare. Anche se vari paesi dell’Unione Europea contemplano disposizioni di difesa del suolo, non si dispone, al momento, di una normativa comunitaria specifica in materia. La proposta di questa Direttiva quadro è finalizzata, pertanto, a colmare questa lacuna e a istituire una strategia comune per la protezione e l’utilizzo sostenibile del suolo, basata su una serie di principi quali:

- l’integrazione delle problematiche del suolo in altre politiche;
- la conservazione delle funzioni del suolo nell’ambito di un suo utilizzo sostenibile;
- la prevenzione delle minacce che incombono sul suolo e la mitigazione dei loro effetti;
- il ripristino dei suoli degradati a un livello di funzionalità tale da essere almeno compatibile con l’utilizzo attuale e l’utilizzo futuro approvato di questa risorsa.

A tal fine vengono definiti obiettivi e programmi di misure per:

- la lotta all’erosione, alla diminuzione di sostanza organica, alla compattazione e agli smottamenti;
- la contaminazione del suolo;
- per la sensibilizzazione, comunicazione e scambio di informazioni.

FUNZIONI DEL SUOLO

Il ruolo di una corretta gestione del territorio 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; 2000) il suolo esplica differenti funzioni sia ecologiche che per lo sviluppo sociale ed economico del genere umano.

Le prime possono essere così distinte:

- produzione di biomassa, in particolare nei settori dell'agricoltura e della selvicoltura;
- stoccaggio, filtrazione e trasformazione di nutrienti, sostanze e acqua;
- stoccaggio di carbonio;
- riserva di biodiversità, ad esempio habitat, specie e geni.

Le funzioni socio-economiche possono essere così riassunte:

- ambiente fisico e culturale per le persone e le attività umane;
- fonte di materie prime;
- sede del patrimonio geologico e archeologico.

DEFINIZIONE DI QUALITÀ DEL SUOLO

La qualità del suolo può essere definita, in estrema sintesi, come la capacità di un determinato tipo di suolo a svolgere una desiderata funzione.

Un suolo non è di per sé buono o cattivo, ma un suolo è più o meno adatto a un uso prestabilito e più o meno vulnerabile a certi interventi.

EROSIONE IDRICA

L'erosione del suolo supera di 30 volte il tasso di sostenibilità (erosione tollerabile) (Pimentel et al., 1993). Ci sono pochissimi studi a livello Europeo sulla stima del danno economico causato dall'erosione del suolo. La perdita di suolo degrada, quindi, le terre coltivate fino al limite di renderle improduttive. È stato stimato che nel mondo circa 12 milioni di ettari di terre coltivate sono distrutte e abbandonate ogni anno a causa di pratiche agricole non sostenibili (Lal and Stewart, 1990). In molte regioni questa perdita di terre coltivate è la principale causa della scarsità di cibo e malnutrizione. Oltre a determinare la riduzione della produzione alimentare, l'erosione del suolo crea seri problemi ambientali ed economici. L'uso massiccio di quantità di fertilizzanti, pesticidi, ecc., a causa dell'erosione crea seri problemi di inquinamento con ripercussioni negative sulla salute umana e sugli ambienti naturali e contribuisce a quell'aumento di consumo di energia che rende i sistemi produttivi non sostenibili.

In termini pedologici le varie forme di erosione del suolo possono riassumersi nel modo seguente:

- ruscellamento superficiale o erosione laminare "sheet erosion";

- ruscellamento concentrato o erosione per rigagnoli “rill erosion”;
- burronamento o erosione a fossi “gully erosion”;
- movimenti di massa “mass movements”;
 - frane “landslides”;
 - colate di fango “mudflows”.

Le prime due forme sono essenzialmente legate alle lavorazioni del terreno e alle pratiche agricole che, ovviamente, se si pratica una qualsiasi attività agricola è impossibile annullare questi fenomeni ma si tratta di contenerli entro limiti accettabili, cioè entro i limiti dell'erosione tollerabile, limiti che naturalmente variano in funzione del tipo di suolo e dell'ambiente in genere. Da qui la necessità di praticare un'agricoltura sostenibile, cioè capace di prevenire, fra l'altro, la degradazione del suolo. Purtroppo, molte volte, a causa di pratiche agricole intensive i problemi di degradazione si accentuano e si supera quel limite dell'erosione tollerabile e, in alcuni casi, si arriva a forme di erosione “catastrofiche” quali il burronamento o, addirittura, i movimenti di massa, come vedremo in seguito.

CAMBIAMENTI CLIMATICI

È evidente che anche i cambiamenti climatici possono accentuare o accelerare i processi degradativi. Al di là della varie opinioni e ipotesi sulla natura di tali cambiamenti, sulle quali abbiamo assistito recentemente a un riaccendersi del dibattito attraverso i mass media, un fatto è certo: alcuni di questi cambiamenti sono tangibili e i loro effetti sul suolo sono talvolta eclatanti come, ad esempio, l'aumento documentato della frequenza con cui si verificano eventi piovosi di forte intensità concentrati in un breve periodo con conseguente aumento dei rischi erosivi. Si è verificato cioè un aumento dell'aggressività delle piogge nei confronti della superficie del terreno. Un altro esempio può essere rappresentato dall'aumento della frequenza dei periodi di siccità e della loro lunghezza; aspetto questo che comincia a creare problemi alle nostre foreste (Pagliai, 2009a).

CONSUMO DI SUOLO, IMPERMEABILIZZAZIONE DEL SUOLO (SOIL SEALING)

Il non corretto uso del suolo non è solo legato alle attività agricole ma anche e soprattutto alle attività extra agricole. Al di là delle situazioni eclatanti di palese deturpazione del paesaggio o di opere realizzate senza la minima valu-

tazione di impatto o di rispetto di una pianificazione territoriale è evidente che stiamo assistendo a un preoccupante “consumo di suolo” cioè a una sua impermeabilizzazione (sealing). Ad esempio le aree della superficie del suolo coperte con un materiale impermeabile, sono intorno al 9% dell’area totale in EU e dati, sempre dell’UE, stimano che durante il periodo 1990-2000 le aree impermeabilizzate in EU sono aumentate del 6%. La stessa situazione, se non accentuata, si ripete in Italia dove, senza ombra di dubbio, tale consumo di suolo rientra nelle cause principali di catastrofi e alluvioni. È intuitivo che, in occasione di eventi piovosi eccezionali, in conseguenza, come sopra accennato, dei cambiamenti climatici, la massa d’acqua che trova un ambiente impermeabilizzato non ha la possibilità di drenare e quindi si gonfia formando masse idriche, arricchite dai sedimenti asportati per erosione del suolo, sempre più consistenti che nel loro moto turbolento e impetuoso causano i disastri a cui troppo spesso assistiamo. Si impone, quindi, una pianificazione dell’uso del territorio che, partendo dalla completa conoscenza dei tipi di suolo, tenga conto degli impatti che determinati usi del suolo stesso possono causare sull’ambiente, con particolare attenzione proprio ai processi idrologici e ai rapporti acqua-suolo. Sono numerosi gli esempi in cui la realizzazione di particolari infrastrutture ha sconvolto gli equilibri idrologici di un territorio.

SISTEMAZIONI IDRAULICO-AGRARIE

Il paesaggio agricolo mediterraneo è ancora oggi caratterizzato da versanti modellati dall’uomo mediante una serie di interventi sistematori aventi quale principale finalità la riduzione della lunghezza del versante o la modificazione delle pendenze.

Con la modernizzazione dell’agricoltura si è persa la “coscienza sistematoria”, che collegava la difesa del suolo dal campo ai bacini idrografici, ed è proprio qui una delle chiavi di volta che spiegano l’intensificarsi negli ultimi decenni di eventi catastrofici. Attualmente i margini di reddito per gli agricoltori sono diventati molto spesso talmente esigui che nei fatti impediscono l’attuazione di opere di sistemazione idraulica-agraria. È chiaro che l’agricoltura, nonostante gli incentivi della Nuova PAC finalizzati alla salvaguardia dell’ambiente, da sola e nelle aree più fragili, non può prevenire le catastrofi ambientali. È, quindi, assolutamente necessario operare una pianificazione del territorio che parta dalla conoscenza del suolo, dalla conoscenza dei processi che in esso avvengono e che, soprattutto, sia finalizzata alla prevenzione della degradazione ambientale. Occorre una presa di coscienza che per qual-

siasi intervento sul suolo i risultati si vedono nel lungo termine e, proprio per questo, si impone un drastico cambiamento nella cultura della protezione dell'ambiente. È fondamentale, perciò, disporre di banche dati aggiornate dei vari tipi di suolo al fine di pianificarne una corretta gestione e un utilizzo secondo la specifica vocazione. Per questo è assolutamente necessario educare l'opinione pubblica alle problematiche della conservazione del suolo e persuadere gli agricoltori ad adottare pratiche agricole sostenibili.

Negli ultimi decenni, infatti, nel nostro Paese assistiamo con impressionante frequenza a disastri ambientali di notevole entità. È doveroso sottolineare che nella quasi totalità delle recenti catastrofi, da quelle avvenute in Toscana nel 2011, nel Messinese nel 2009, alla tragedia di Sarno nel 1998, ecc., le frane hanno interessato la copertura pedologica, cioè il suolo, e non la roccia sottostante. È importante rimarcare questa realtà in quanto si è letto anche su stampa autorevole che uno strumento utile per la prevenzione del rischio idrologico sarebbe costituito dal completamento della carta geologica a scala 1: 50.000. La carta geologica, pur strumento certamente indispensabile nella programmazione territoriale, non informa però sulla natura e spessore delle coperture pedologiche, che in questo caso sono stati gli elementi determinanti. È quindi la carta pedologica, assieme a quella geomorfologica, lo strumento più opportuno per la valutazione del rischio di frane in queste aree.

I suoli del messinese, come del resto quelli di Sarno, derivano da una profonda alterazione delle rocce metamorfiche che ha conferito ai suoli proprietà idrologiche specifiche, caratterizzate da una elevatissima capacità di trattenuata idrica. L'accumulo di acqua risulta aumentare notevolmente il peso della copertura pedologica che tende quindi a scivolare a valle. Proprio per questo nei versanti interessati dalle frane erano presenti terrazzamenti agricoli, che dovevano servire a regimare le acque. I terrazzamenti, ormai abbandonati, non sono più in grado di svolgere il loro ruolo regimante, anzi, risultano aggravare il rischio, in quanto aumentano lo spessore della copertura e, dove dissestati, contribuiscono al concentramento dei deflussi. Allo stato di abbandono dei terrazzamenti agricoli si aggiunge la degradazione dei terreni forestali e dei pascoli, per i continui incendi che hanno interessato queste aree negli ultimi anni, provocando la mancanza di una difesa dall'azione erosiva degli eventi meteorici, peraltro ogni anno sempre più aggressivi, a seguito del cambiamento climatico in corso.

Queste catastrofi evidenziano ancora una volta la gravità dei problemi nel nostro Paese; problemi che, fra l'altro, si ribadisce, non si risolvono in tempi brevi e proprio per questo impongono un drastico cambiamento nella cultura della protezione dell'ambiente. Una corretta gestione del territorio si attua



Fig. 1 *Erosione catastrofica in un terreno interessato da livellamenti e scasso per la piantagione di un uliveto*

solo attraverso la completa conoscenza delle sue componenti. Una corretta pianificazione forestale e agricola si attua solo se si conoscono i tipi di suoli e la loro vocazionalità; se si conosce e ci si prepara ad affrontare l'impatto dei cambiamenti climatici che, come già detto, si discute e si teorizza molto su tali cambiamenti ma si sottovaluta gli effetti attuali quali, ad esempio, l'aumento dell'aggressività delle piogge.

Si ribadisce ancora che i disastri su ricordati sono essenzialmente da imputare a un non corretto uso del suolo e che un'efficace protezione dell'ambiente e delle risorse naturali si attua solo attraverso una corretta gestione del suolo

LIVELLAMENTI E SCASSI (MOVIMENTI DI MASSA)

Aspetti molto dannosi di degradazione del suolo specialmente 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 buldozer sono anche usati per rimuovere la vegetazione di vecchie piantagioni al fine di preparare il terreno per i nuovi impianti. Nei bacini Mediterranei i livella-

menti 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 particolari vigneti, sono caratterizzate dalla 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 perdita di oltre 500 tonnellate/ha/anno (Bazzoffi e Chisci, 1999; Bazzoffi, 2007), che si configurano come veri e propri movimenti di massa (fig. 1). Inoltre, i livellamenti e le successive ingenti perdite di suolo causano drastiche modificazioni del paesaggio.

LE PRATICHE AGRICOLE

Al di là dei suddetti aspetti paradossali di degradazione del suolo è da rilevare che anche le tradizionali lavorazioni del terreno possono causare, nel lungo termine, un deterioramento della risorsa suolo. Infatti, 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 a inquinare le acque superficiali.

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, l'adozione della pratica dell'inerbimento nella gestione dei vigneti e delle colture arboree, 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; 2004). La risultante struttura del suolo appare più aperta e più omogenea lungo il profilo, permettendo così una migliore circolazione dell'acqua, come confermato dai più alti valori di conducibilità idraulica misurata nei suoli interessati da lavorazione minima

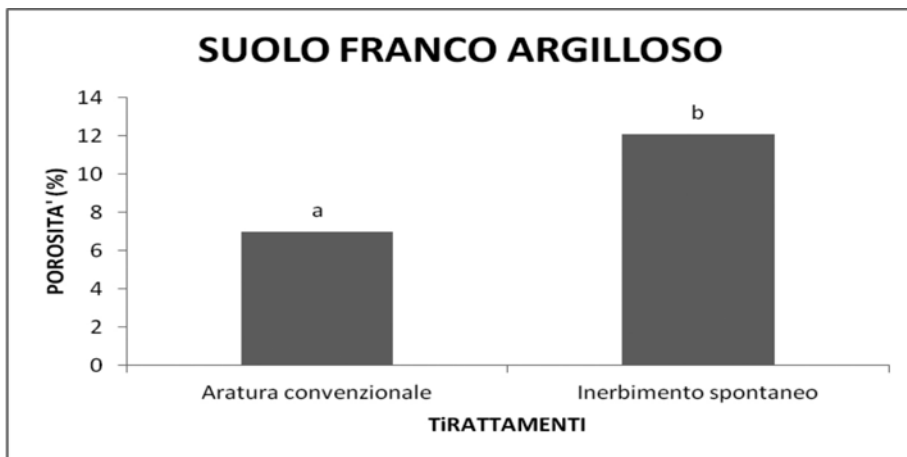


Fig. 2 Effetto di differenti sistemi di gestione del terreno sulla porosità espressa come percentuale dell'area occupata dai pori maggiori di 50 micron per sezioni sottili. I valori differiscono significativamente quando sono seguiti da lettere diverse al livello di $P < 0.05$ impiegando il Test di Duncan

o inerbimento. Le continue lavorazioni profonde causano, inoltre, la diminuzione del contenuto di sostanza organica al 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 (Vignozzi e Pagliai, 1996).

A titolo di esempio la figura 2 illustra come la porosità, formata dai pori maggiori di 50 micron e misurata mediante analisi di immagine su sezioni sottili di suolo (Pagliai, 1983) nell'interfilare di un suolo franco argilloso investito a vigneto e dove venivano confrontate la lavorazione convenzionale (aratura a 30 cm) e l'inerbimento spontaneo, era significativamente più alta nel suolo inerbito. Questo significa che la porosità, indotta dalle lavorazioni effettuate a fine inverno, non era stabile e quindi la struttura del terreno subiva un collassamento, tanto che nel campionamento di fine estate risultava inferiore rispetto al suolo inerbito. La figura 3 evidenzia come la diminuzione di porosità nel suolo lavorato rispetto all'inerbimento era dovuta proprio alla minore proporzione dei pori allungati di trasmissione compresi fra 50 e 500 micron i quali determinano le buone condizioni strutturali. La figura 4 mostra proprio come la struttura sia più omogenea nel suolo inerbito rispetto al lavorato dove si evidenziano fenomeni di compattamento e, soprattutto, assenza di continuità dei pori in senso verticale. Ciò comporta anche una significativa diminuzione della conducibilità idraulica come indica la figura 5.

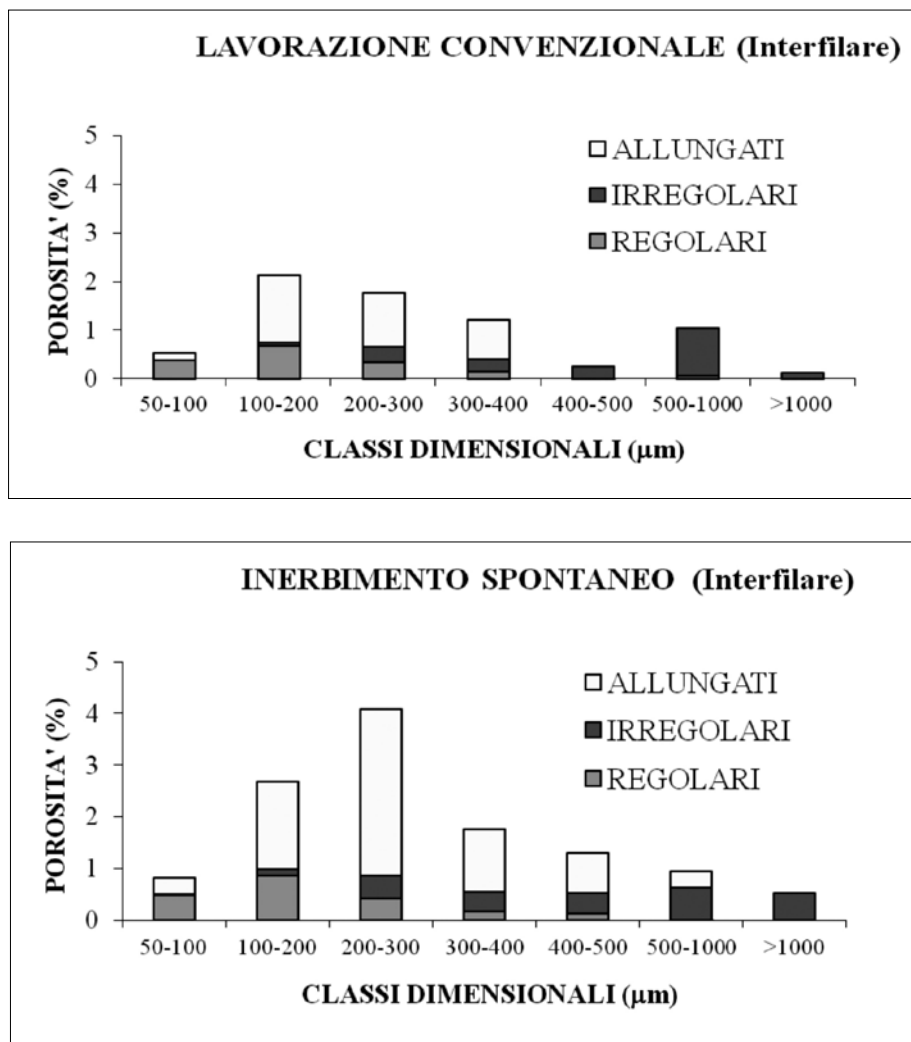


Fig. 3 Distribuzione dimensionale dei pori maggiori di 50 micron nello strato superficiale (0-10 cm) dell'interfilare di un suolo franco argilloso investito a vigneto e interessato da lavorazione convenzionale (aratura a 30 cm) e inerbimento spontaneo

Che le lavorazioni continue causano una degradazione del suolo è testimoniato anche dall'esempio che qui si riporta. Nel gennaio 2010, i mass media della Toscana riportarono e discussero la notizia che negli ultimi anni in Maremma non era stata possibile la semina del grano a causa delle abbondanti piogge nel mese di novembre. Il relativo servizio televisivo ha indugiato nel mostrare la campagna maremmana con i campi praticamente allagati.

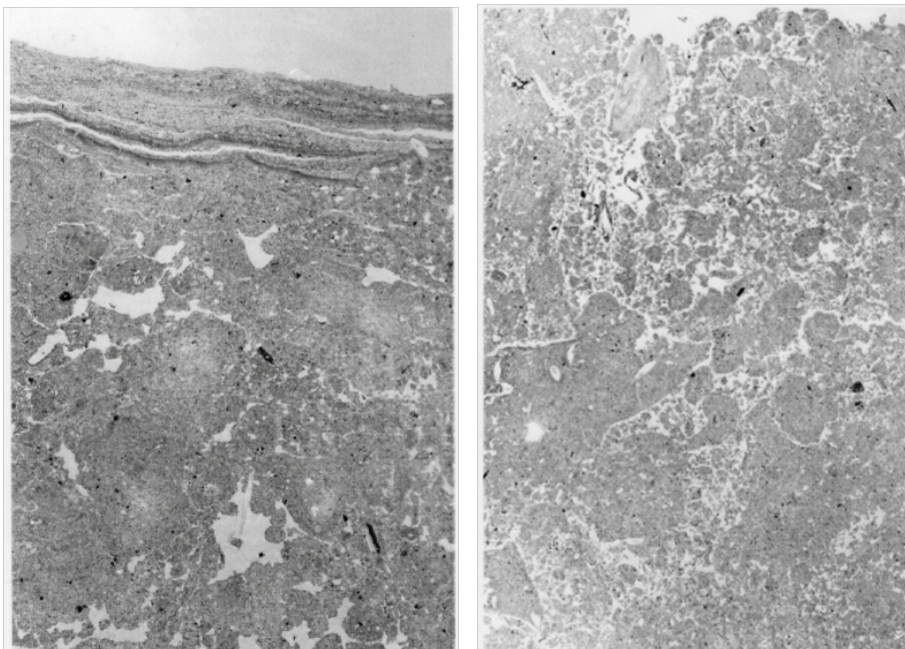


Fig. 4 Macrofotografie di sezioni sottili verticalmente orientate, preparate da campioni indisturbati di suolo prelevati nello strato superficiale (0-5 cm) di terreno a tessitura franco-argillosa interessato da lavorazione convenzionale (sinistra) e da inerbimento spontaneo (destra). Una struttura poliedrica sub-angolare è presente nel suolo inerbito, mentre una struttura più compatta è presente nel suolo lavorato, 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

Sicuramente questo è un fatto contingente dovuto all'andamento climatico, ma sicuramente dipende anche dalla degradazione del suolo, sotto forma di compattamento, dovuta alla continua intensificazione dei processi colturali. Il compattamento del suolo, infatti, non è solo causato dal traffico delle macchine agricole, ma anche dall'azione degli organi lavoranti per le lavorazioni del terreno, come lo strato compatto (suola d'aratura) che si forma al limite inferiore della lavorazione nei terreni interessati da continue arature tradizionali (fig. 6). In Italia questo tipo di compattamento è fortemente sottovalutato, anche se tale strato compatto è largamente diffuso nelle pianure alluvionali coltivate con monoculture ed è responsabile, appunto, delle frequenti sommersioni che si verificano in occasione di piogge intense concentrate in un breve periodo, perché la presenza di detta suola d'aratura interrompe la continuità dei pori, come evidenziato appunto nella figura 6 e, quindi, riduce drasticamente il drenaggio. L'adozione di sistemi di lavorazione del terreno,

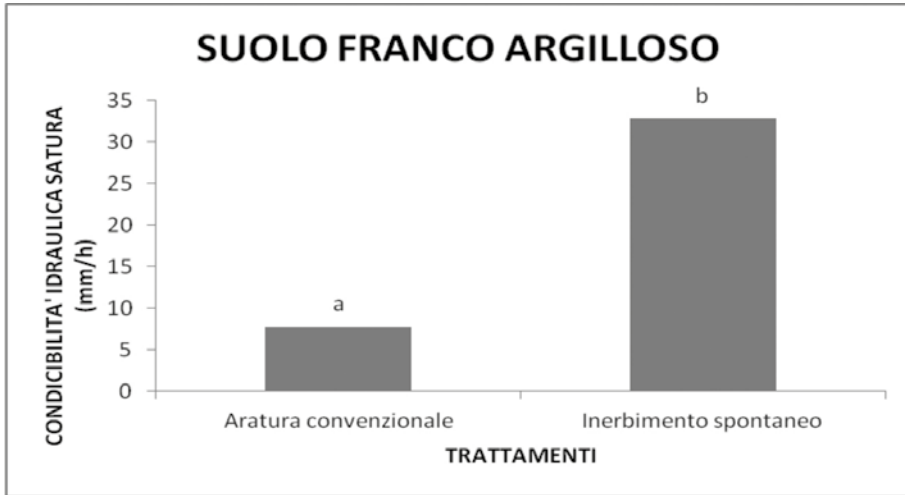


Fig. 5 Effetto di differenti sistemi di gestione del terreno sulla conducibilità idraulica saturata. I valori differiscono significativamente quando sono seguiti da lettere diverse al livello di $P < 0.05$ impiegando il Test di Duncan. Da sottolineare che l'andamento della conducibilità idraulica saturata è correlato positivamente con la quantità di pori allungati di trasmissione riportato nella figura 3 e al loro orientamento come evidenziato nella figura 4

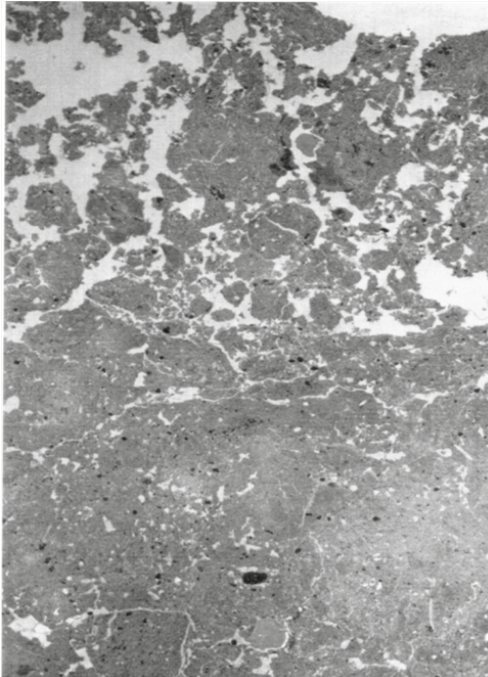


Fig. 6 Macrofotografia di una sezione sottile verticalmente orientata preparata da un campione di suolo prelevato nello strato 40-50 cm, cioè al limite inferiore della lavorazione di un terreno franco argilloso sottoposto ad aratura convenzionale continua. Le parti chiare rappresentano i pori; è evidente la loro discontinuità in senso verticale. Il lato minore misura 3 cm nella realtà

alternativi alle tradizionali arature, quali la discissura sono capaci di ridurre la formazione di questo strato compatto.

Come già sottolineato, il compattamento del suolo, che rappresenta uno dei più importanti fattori responsabili della degradazione ambientale, non si manifesta solo al limite inferiore della coltivazione ma anche alla superficie ed è dovuto essenzialmente al traffico delle macchine agricole, ma anche forze naturali come l'impatto della pioggia. È da sottolineare che negli ultimi decenni, oltre all'uso in agricoltura di macchine agricole sempre più potenti e pesanti, si assiste anche, come già detto, all'incremento dell'aggressività delle piogge dovuta ai cambiamenti climatici. Per questo il compattamento sta diventando uno dei più pericolosi aspetti di degradazione del suolo che, si ribadisce, è sempre dovuta a un non corretto uso del suolo. L'erosione può essere, in molti casi, accentuata dal compattamento del suolo, dalla formazione di croste superficiali e dalle perdite di stabilità strutturale del suolo stesso. Per esempio, il compattamento del suolo è ritenuto il fattore determinante la degradazione di un'area di 33 milioni di ha in Europa (Soane e Ouwkerk, 1995). Circa il 32% dei suoli in Europa sono altamente vulnerabili al compattamento e un altro 18% è moderatamente vulnerabile al compattamento (Fraters, 1996). A causa dell'uso in agricoltura di macchine sempre più potenti e pesanti, il compattamento del suolo è destinato ad aumentare. Giusto per ribadire la necessità di quantificare in termini economici i costi della degradazione del suolo in Europa, che, come detto, non sono affatto noti, si riporta, a titolo di esempio, i risultati di una "Concerted Action on subsoil compaction" nell'ambito di un Progetto UE (Van den Akker et al., 1999), i quali hanno evidenziato che l'uso continuato di una raccoglitrice di barbabietole di 38 tonnellate causa una diminuzione di produzione di 0,5% per anno. Considerando che tali macchine sono usate in almeno 500.000 ha nell'UE la perdita annuale di prodotto ammonta 100.000 kEURO. Il trend della moderna ingegneria agraria fa supporre che l'uso di queste macchine aumenti ancora.

Per quanto riguarda il traffico si evidenzia che i problemi legati alla messa a punto di tipi di pneumatici, pressioni di gonfiaggio, ecc., capaci di ridurre l'effetto compattante sono tutt'altro che risolti. Appare fondamentale quindi valutare l'impatto del traffico sulla struttura del suolo e le misure di porosità possono aiutare a quantificare i processi di degradazione indotti dal compattamento. I risultati di diversi studi hanno evidenziato che il compattamento, sia in suoli agricoli che forestali, non solo riduce drasticamente la porosità ma modifica anche l'arrangiamento del sistema dei pori. Infatti, la proporzione dei pori allungati di trasmissione, utili per i

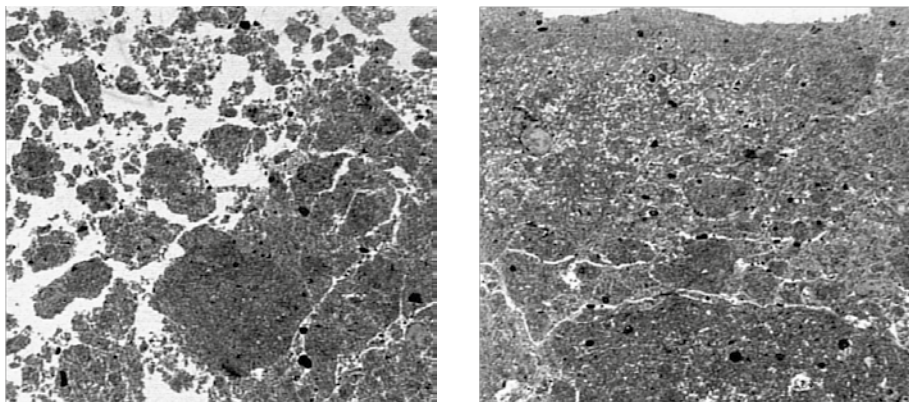


Fig. 7 Macrofotografie di sezioni sottili verticalmente orientate, preparate da campioni indisturbati di suolo prelevati nello strato superficiale (0-5 cm) di terreno a tessitura franco-argillosa non compattato (sinistra) e compattato dal passaggio di macchine agricole (destra). I pori appaiono bianchi. Il lato minore misura 3 cm nella realtà



Fig. 8 Esempio di erosione del suolo insorta in seguito al compattamento causato dal traffico delle macchine agricole

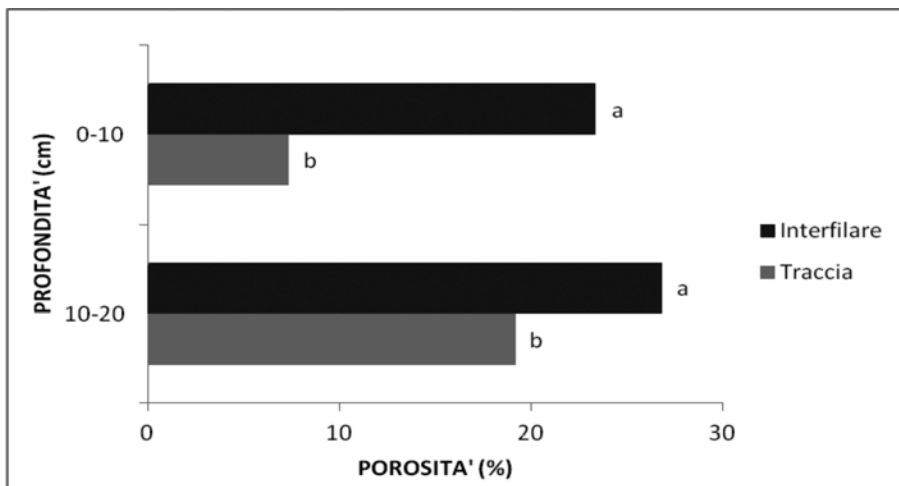


Fig. 9 *Effetto del compattamento, causato dal passaggio di un trattore, sulla porosità di un suolo franco argilloso espressa come percentuale dell'area occupata dai pori maggiori di 50 micron per sezione sottile*

movimenti dell'acqua e la crescita delle radici, subisce una drastica riduzione nei suoli compattati. 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 ancora 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 e con la riduzione della conducibilità idraulica e della crescita delle radici (Pagliai et al., 2000). La diminuzione della porosità e della conseguente riduzione dell'infiltrazione dell'acqua portano a un aumento del ruscellamento superficiale che può causare forti fenomeni erosivi lungo le tracce provocate dal passaggio delle macchine agricole (Pagliai, 2009b), come illustrato nella figura 8. La rigenerazione strutturale dopo il compattamento dipende non solo dal tipo di suolo ma anche dal grado del danno provocato.

Nella figura 9 viene quantificato, a titolo di esempio, il danno prodotto in termini di porosità nelle aree interessate dal passaggio di macchine agricole in un suolo franco argilloso investito a vigneto. Nelle aree compattate la porosità, rappresentata dai pori maggiori di 50 μm di diametro equivalente misurati mediante analisi di immagine su sezioni sottili preparate da campioni indisturbati (Murphy, 1986), scende sotto il valore del 10% indicato come limite per definire un suolo degradato (Pagliai,

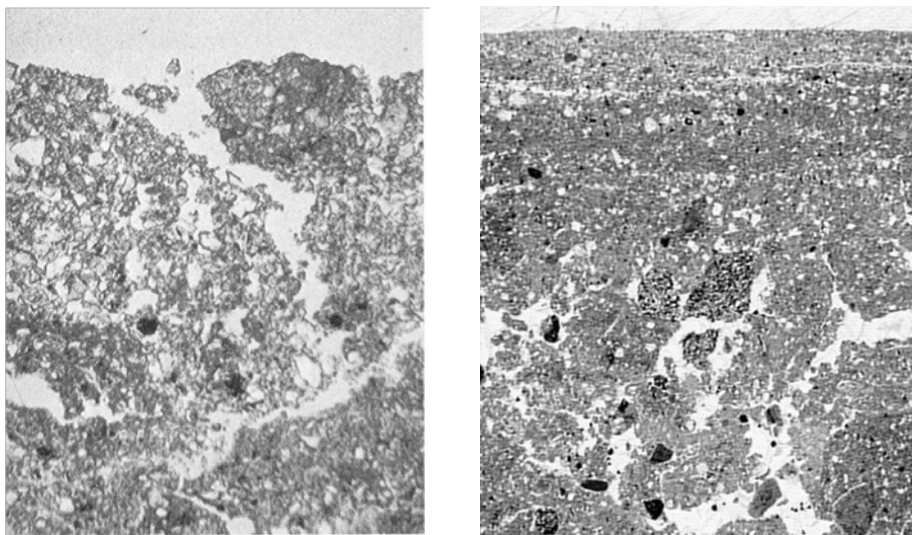


Fig. 10 Sezioni sottili verticalmente orientate dello strato superficiale illustranti la struttura del suolo prima (sinistra) e dopo (destra) un evento piovoso. Il lato minore misura 3 mm nella realtà

1988). Tale diminuzione non si limita solo allo strato superficiale ma interessa anche gli strati sottostanti. Il compattamento, sia in suoli agricoli che forestali, non solo riduce drasticamente la porosità (come riportato nella figura 9) ma modifica anche l'arrangiamento del sistema dei pori. In fatti, la proporzione dei pori allungati di trasmissione, utili per i movimenti dell'acqua e la crescita delle radici (Pagliai et al., 2003), subisce una drastica riduzione nei suoli compattati.

Un altro aspetto del compattamento del suolo è rappresentato, come detto sopra, dalla 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, i quali, in seguito alla diminuzione del contenuto di sostanza organica perdono, come conseguenza, la loro stabilità. Le 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 (fig. 10). 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. Altri tipi di pori rappresentati

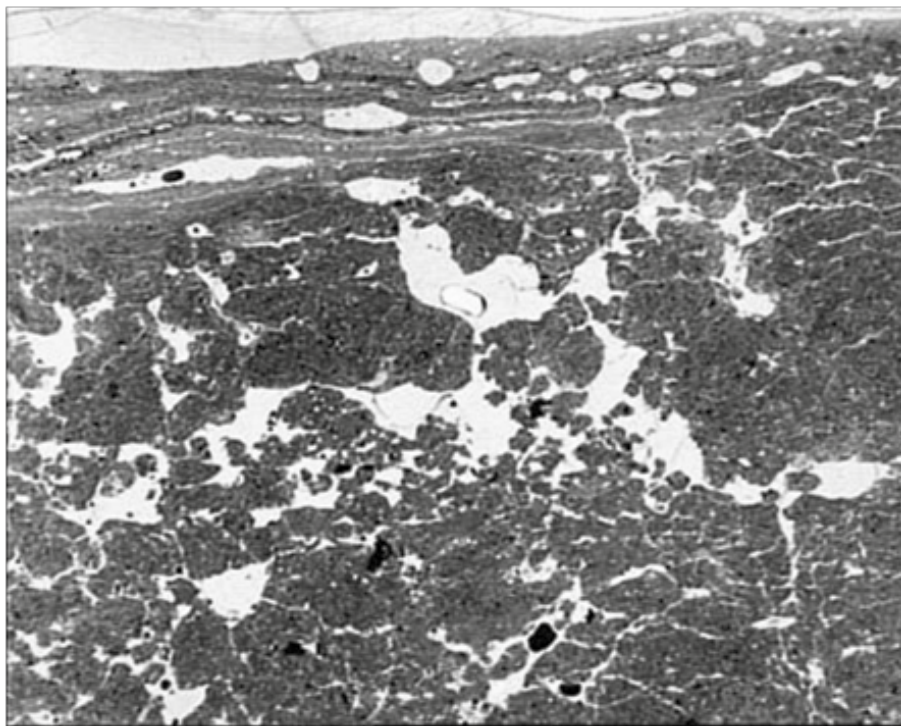


Fig. 11 Macrofotografia di una sezione sottile verticalmente orientata preparata da un campione indisturbato prelevato alla superficie di un terreno franco argilloso interessato da continue lavorazioni convenzionali. Il lato inferiore misura 5 cm nella realtà. È evidente la formazione di una crosta superficiale formata da strati compatti di terreno intercalati da pori sferici isolati nella matrice del terreno e da sottili pori allungati orientati parallelamente alla superficie e non continui in senso verticale tanto da impedire l'infiltrazione dell'acqua, originando così o il ruscellamento superficiale o il ristagno idrico a seconda della giacitura del terreno

in questo strato sono i pori sferici (vescicole) formati da bolle d'aria rimasta intrappolata durante il processo di essiccamento (fig. 11). 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.

Il deterioramento delle proprietà fisiche determina una forte ripercussione negativa sulle proprietà biologiche, provocando innanzi tutto una perdita di funzionalità delle comunità microbiche del suolo e, più in generale, perdita di biodiversità (Fabiani et al., 2009) e di conseguenza di fertilità biologica, provocando quell'inaridimento del suolo tipico delle situazioni degradate.

Proprio nell'ottica delle suddette strategie tematiche Europee per la protezione del suolo, nelle nuove Politiche Agricole Comunitarie sono state introdotte norme completamente rivoluzionarie rispetto al passato ove ampio spazio viene dato alla protezione dell'ambiente. Fra queste nuove norme la ben nota e sopra ricordata "condizionalità" rappresenta una delle principali novità introdotte con lo scopo di assicurare, fra l'altro, il rispetto di una serie di impegni di corretta gestione agronomica dei terreni. Norme quanto mai essenziali se si vuole veramente attuare un'agricoltura sostenibile capace di salvaguardare le risorse naturali, quali il suolo, a beneficio delle future generazioni.

PREVENZIONE DELLA DEGRADAZIONE DEL SUOLO

- La difesa del territorio si attua a partire da una corretta gestione del suolo la quale deve avvenire attraverso una pianificazione che tenga conto in primo luogo delle attitudini dei suoli non solo per le attività agricole e forestali ma anche e soprattutto per quelle extra-agricole. È necessaria quindi la conoscenza del suolo e disporre di banche dati georeferenziate di opportuno dettaglio.
- Adottare pratiche agricole più compatibili con la protezione del suolo.
- Adottare lavorazioni del terreno "più semplificate" rispetto all'aratura profonda tradizionale
- Evitare gli sbancamenti e i livellamenti.
- Ripristinare un adeguato contenuto di sostanza organica nei suoli.
- Utilizzazione di biomasse di rifiuto e scarto.
- Reintroduzione delle tradizionali rotazioni al posto della monocoltura intensiva.

CONCLUSIONI

È fondamentale quindi la completa conoscenza della risorsa suolo, così come

è fondamentale disporre di banche dati aggiornate dei vari tipi di suolo al fine di pianificarne una corretta gestione e un utilizzo secondo la specifica vocazione.

Un'efficace protezione dell'ambiente, delle risorse naturali e un'ottimizzazione delle risorse idriche si attuano solo attraverso una corretta gestione del suolo.

Per questo è assolutamente necessario educare l'opinione pubblica alle problematiche della conservazione del suolo e persuadere gli agricoltori ad adottare quelle pratiche agricole idonee a prevenire la degradazione del suolo.

Il compito dei ricercatori è di dare un contributo in questo senso attraverso la discussione e la divulgazione delle loro esperienze. Si precisa che il corretto uso del suolo, cioè la necessaria armonizzazione dell'uso delle funzioni del suolo stesso 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 quello spazio in un tempo definito. 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. 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.

Queste esperienze possono fornire utili contributi anche per lo sviluppo dei nuovi Regolamenti della Politica Agricola Comunitaria (PAC).

RIASSUNTO

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, nonché per la gestione delle risorse idriche. Quindi, è assolutamente necessario tenere sotto controllo i processi degradativi del suolo.

La vulnerabilità dei suoli Europei ai processi di degradazione è sicuramente alta e purtroppo aumenta considerevolmente nei suoli Italiani a causa della maggiore variabilità ambientale.

Vengono riportati e discussi alcuni dati significativi e preoccupanti che devono far riflettere circa la situazione dei suoli e quindi dell'ambiente, alla luce anche dell'impressionante frequenza con cui si ripetono eventi catastrofici nel nostro Paese, le cui cause principali sono da attribuire a fattori antropici e, in modo particolare, al non corretto uso del suolo.

Vengono, quindi, trattati i maggiori aspetti della degradazione ambientale che sono

riconducibili al suolo (erosione, compattamento, formazione di croste superficiali, perdita di struttura, perdita di sostanza organica, salinizzazione, ecc.) e che sono in gran parte imputabili alle attività antropiche.

È evidente che anche i cambiamenti climatici possono accentuare o accelerare i processi degradativi e quindi determinare la perdita di ritenzione idrica del suolo. Altro fattore che incide fortemente sulla degradazione ambientale è rappresentato da quello che i pedologi chiamano “consumo di suolo”, cioè dall'impermeabilizzazione di superfici di terreno in seguito ad attività extra-agricole.

La prevenzione della degradazione del suolo è essenziale sia per la conservazione e l'uso corretto dell'acqua sia per lo sviluppo di un'agricoltura economicamente e ambientalmente sostenibile.

ABSTRACT

Soil degradation is a major environmental problem worldwide, and there strong evidence that the soil degradation processes present an immediate threat to both biomass and economic yields, as well as a long-term treat to future crop yields. Therefore, it is absolutely necessary that such soil degradation processes must be put under control.

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.

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, very vulnerable to water erosion.

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, pp. 177-184.
 BLUM W.E.H. (1998): *Agriculture in a sustainable environment – a holistic approach*, «International Agrophysics», 12, pp. 13-24.
 BLUM W.E.H. (2000): *Challenge for Soil Science at the Dawn of the 21st Century*. In *Soil*

- 2000: *New Horizons for a New Century*, Australian and New Zealand Second Joint Soils Conference, Volume 1: Plenary Papers (Eds. J.A. Adams and A. K. Metherell), 3-8 December 2000, Lincoln University. New Zealand Society of Soil Science, pp. 35-42, Lincoln, NZ (ISBN 0-86476-131-7).
- COSTANTINI E.A.C., URBANO F., BONATI G., NINO P., FAIS A. (2007): *Atlante nazionale delle aree a rischio di desertificazione*, INEA, Roma, pp. 108.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA) (1999): *Environment in the European Union at the turn of the century*, Copenhagen/Denmark.
- FABIANI A., GAMALERO E., CASTALDINI M., COSSA G.P., MUSSO C., PAGLIAI M., BERTA G. (2009): *Microbiological polyphasic approach for soil health evaluation in an Italian polluted site*, «Science of the Total Environment», 407, pp. 4954-4964.
- 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 p.
- LAL R., STEWART B.A. (1990): *Soil degradation*, Springer-Verlag, New York.
- MURPHY C.P. (1986): *Thin section preparation of soils and sediments*, A B Academic Publishers, Herts, U.K., 149 pp.
- PAGLIAI M. (1983): *Caratterizzazione della porosità del terreno mediante l'analizzatore ottico-elettronico di immagine Quantimet 720*, «Agrochimica», 27, pp. 113-122.
- PAGLIAI M. (1988): *Soil porosity aspects*, «International Agrophysics», 4, pp. 215-232.
- PAGLIAI M. (2008): *Soil degradation and desertification*, «Advances in GeoEcology», 39, pp. 401-412.
- PAGLIAI M. (2009a): *Qualità del suolo per una selvicoltura sostenibile*, Atti del Terzo Congresso Nazionale di Selvicoltura. Taormina (ME), 16-19 ottobre 2008, Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, pp. 454-459.
- PAGLIAI M. (2009b): *Conoscenza, conservazione e uso sostenibile del suolo: aspetti fisici e morfologici*, «Italian Journal of Agronomy / Rivista di Agronomia», 3 suppl., pp. 151-160.
- 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, pp. 119-129.
- PAGLIAI M., PELLEGRINI S., VIGNOZZI N., ROUSSEVA S., GRASSELLI O. (2000): *The quantification of the effect of subsoil compaction on soil porosity and related physical properties under conventional to reduced management practices*, «Advances in GeoEcology», 32, pp. 305-313.
- PAGLIAI M., ROUSSEVA S., VIGNOZZI N., PIOVANELLI C., PELLEGRINI S., MICLAUS N. (1998): *Tillage Impact on Soil Quality. I. Soil Porosity and Related Physical Properties*, «Italian Journal of Agronomy», 2, pp. 11-20.
- PAGLIAI M., VIGNOZZI N. (1998): *Use of manure for soil improvement*, in A. Wallace, R.E. Terry (editors), *Handbook of Soil Conditioners*, Marcel Dekker, Inc., New York, USA, pp. 119-139.
- PAGLIAI M., VIGNOZZI N., PELLEGRINI S. (2004): *Soil structure and the effect of management practices*, «Soil and Tillage Research», 79, pp. 131-143.
- PIMENTEL D., ALLEN J., BEERS A., GUINAND L., HAWKINS A., LINDER R., McLAUGHLIN P., MEER B., MUSONDA D., PERDUE D., POISSON S., SALAZAR R., SIEBER S., STONER K. (1993): *Soil erosion and agricultural productivity*, in Pimentel (editor), *World Soil Erosion and Conservation*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 277-292.

- SOANE B.D., VAN OUWERKER C. (Editors) (1995): *Soil compaction in crop production*, «Developments in Agricultural Engineering», 11, Elsevier, Amsterdam, 662 pp.
- VAN DEN AKKER J.J.H., ARVIDSSON J., HORN R. (1999): *Experiences with the impact and prevention of subsoil compaction in the European Community*, Proc. of the Concerted Action on Subsoil Compaction, 28-30 May 1998, Wageningen, The Netherlands, DLO Winand Staring Centre, Report 168, ISSN 0927-4499, 344 pp.
- VIGNOZZI N., PAGLIAI M. (1996): *La prevenzione della degradazione del suolo attraverso attività agricole a basso impatto ambientale*, «Bollettino della Società Italiana di Scienza del Suolo», 8, pp. 207-219.