



Rendiconti  
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL  
*Memorie di Scienze Fisiche e Naturali*  
118° (2000), Vol. XXIV, pp. 275-284

NADIA VIGNOZZI \*

## **Indicatori atti a quantificare alcuni dei principali aspetti di degradazione del suolo \*\***

### INTRODUZIONE

Una gestione del territorio ed un uso del suolo non sempre corretti hanno determinato preoccupanti fenomeni di degradazione e dove l'impatto delle attività antropiche è stato più pesante e indiscriminato, si sono originati veri e propri disastri ambientali (erosione, desertificazione ecc.)

Questi fenomeni sono quelli che salgono agli onori della cronaca, quelli più tangibili, quelli che purtroppo in molti casi hanno superato la soglia oltre la quale un processo di degradazione diventa irreversibile. È necessario intervenire prima che tali fenomeni occorrano, monitorando opportunamente la "salute del territorio" e nel caso specifico la qualità del suolo.

Per rilevare e tenere sotto controllo le qualità di un suolo è indispensabile individuare degli indicatori atti a quantificare i principali aspetti di degradazione e inoltre conoscere i limiti entro i quali tali fenomeni devono essere mantenuti, dato che non è pensabile praticare una gestione del suolo, o meglio un'agricoltura, sia pure sostenibile, che annulli completamente i processi di degradazione.

Per quanto riguarda gli aspetti fisici, la qualità di un suolo è essenzialmente determinata dalla struttura del suolo stesso; è la struttura, infatti, che determina le più importanti proprietà che regolano, ad esempio, lo sviluppo delle colture, la profondità che le radici possono esplorare, il volume dell'acqua che può essere immagazzinato, i movimenti dell'acqua stessa, dell'aria, degli elementi nutritivi, dei fitofarmaci e della fauna terricola.

Per valutare le qualità fisiche di un suolo e tenerle sotto controllo è necessario,

\* Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze.

\*\* Relazione presentata al Convegno su "Indicatori per la qualità del suolo: prospettive ed applicabilità", Roma, 29 marzo 2000.

quindi, quantificare le modificazioni della struttura del terreno; considerando la struttura come la risultante della combinazione delle particelle (aggregati) con differenti tipi di pori, lo studio e la caratterizzazione completa della porosità e la valutazione della stabilità degli aggregati possono essere scelti come parametri le cui variazioni, insieme o singolarmente, consentono l'individuazione di indicatori atti a quantificare gli aspetti principali di degradazione fisica del suolo.

#### APPROCCIO METODOLOGICO

##### *Porosità*

Lo studio della porosità viene eseguito mediante l'analisi di sezioni sottili preparate da campioni indisturbati di terreno, avvalendosi delle tecniche di analisi di immagine. Con questa metodologia è possibile ottenere numerose informazioni sulla macroporosità (pori  $>50 \mu\text{m}$ ), sia di tipo quantitativo sia di tipo qualitativo, consentendo una visione ed una caratterizzazione completa del sistema dei pori nel suo complesso (Pagliai, 1988).

##### *Stabilità degli aggregati*

Per stabilità degli aggregati si intende la capacità del terreno di resistere a forze esterne disgreganti; queste possono essere pure sollecitazioni meccaniche o azioni di natura complessa esercitate sul terreno dall'acqua. La determinazione della stabilità degli aggregati viene fatta generalmente per mezzo del setacciamento in acqua (wet sieving). Il metodo prescelto è quello a determinazione unica con depurazione dalla sabbia ed oscillazione verticale (Pagliai *et al.*, 1997).

I fenomeni, che di seguito saranno illustrati, sono assunti come indicatori in quanto la loro correlazione con il degrado delle proprietà fisiche del suolo è stata ampiamente dimostrata. La loro presenza, rilevata in determinate aree, indica appunto l'instaurarsi di processi che sono alla base dei problemi più ampi e articolati dell'erosione del suolo.

#### GRADO ATTUALE DI COMPATTAMENTO E SUSCETTIBILITÀ AL COMPATTAMENTO

Il compattamento è uno degli aspetti di degradazione del suolo più preoccupanti, poiché ha riflessi negativi non solo sulla fertilità del suolo – riduce la porosità e interrompe la continuità del sistema dei pori riducendo così il contenuto e la trasmissione dell'acqua, riduce la capacità di penetrazione delle radici, influenza la disponibilità degli elementi nutritivi per le piante –, ma anche sulla qualità dell'ambiente aumentando a dismisura il ruscellamento superficiale e quindi l'erosione del suolo.

Il compattamento del terreno può essere provocato dalla combinazione di forze naturali e da forze di origine antropica legate alle conseguenze delle pratiche colturali. Quest'ultime sono essenzialmente dovute al traffico delle macchine agricole ed hanno un effetto compattante notevolmente superiore alle forze naturali quali l'impatto della pioggia, il rigonfiamento e il crepacciamento, l'accrescimento radicale, anche perché l'ingegneria agraria nell'ultimo trentennio ha prodotto macchine di grandi dimensioni sempre più potenti e pesanti.

La quantificazione del danno prodotto dal traffico di macchine agricole si evidenzia in termini di porosità del terreno (determinata mediante analisi di immagine su sezioni sottili) e di resistenza alla penetrazione mediante penetrometro. I risultati disponibili nella letteratura circa il compattamento provocato dal passaggio delle macchine agricole evidenziano che la porosità totale diminuisce fortemente (3-4 volte) nelle aree compattate. Questo effetto appare ancora più accentuato nel caso di passaggi consecutivi sulla stessa traccia; tuttavia la grossa diminuzione di porosità viene determinata dal primo passaggio, per questo, in certi casi, al fine di ridurre l'area interessata dal compattamento, è preferibile passare con le macchine sempre sulla stessa traccia per le successive operazioni colturali (Fig. 1) (Pagliai, 1999).

La diminuzione di porosità interessa in modo preponderante i pori allungati, che sono i più importanti dal punto di vista agronomico, essendo quelli che determinano la qualità delle condizioni strutturali, e soprattutto ne viene ridotta la loro continuità (Fig. 2).

L'esame microscopico di sezioni sottili preparate da campioni indisturbati pre-

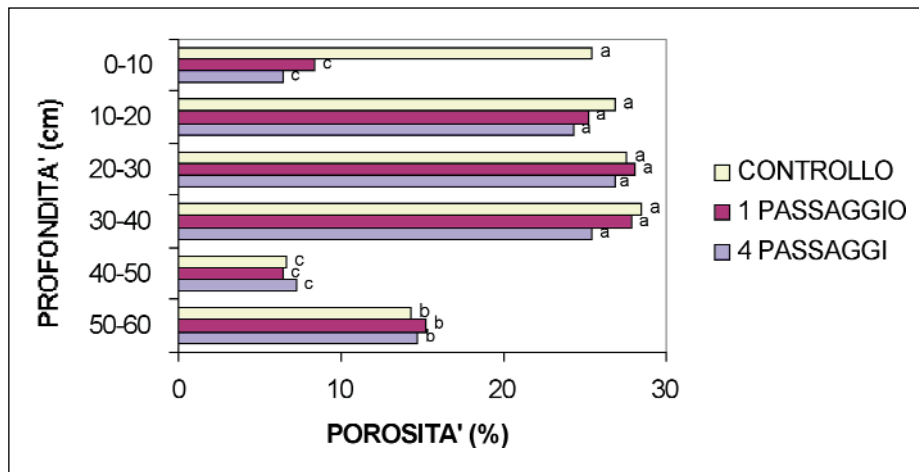
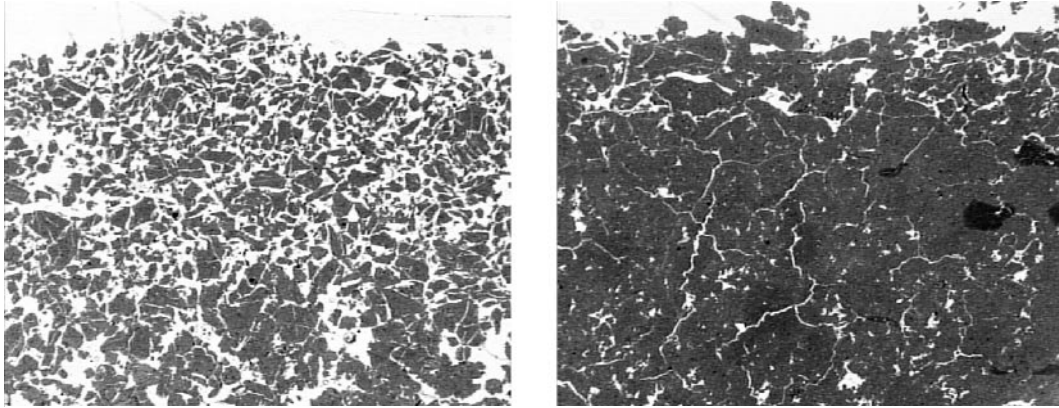


Fig. 1. Effetto del compattamento, causato da uno e quattro passaggi di una trattrice, sulla porosità del suolo espressa come area percentuale occupata dai pori maggiori di 50  $\mu$ m. Media di sei repliche. I valori seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente diversi per  $P \leq 0.05$  impiegando il test di Duncan.



a) Fig. 2. Microfotografie di sezioni sottili verticalmente orientate illustranti un suolo argilloso b)  
a) prima del passaggio delle macchine agricole e b) dopo il transito delle stesse.

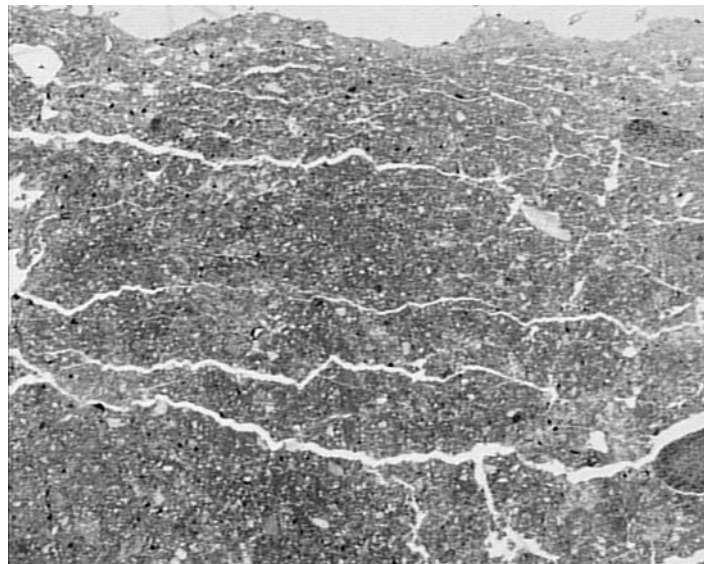


Fig. 3. Microfotografia di sezione sottile verticalmente orientata rappresentante una struttura lamellare, tipica dei suoli compattati.

levati in aree compattate consente di evidenziare come le variazioni di porosità in seguito al compattamento modificano la struttura del terreno. In queste aree, infatti, soprattutto nello strato superficiale (0-5 cm), sottilissimi pori allungati sono generalmente distribuiti parallelamente alla superficie del terreno originando una struttura lamellare caratteristica dei terreni compattati. Quindi anche la piccola quantità di pori allungati, non avendo continuità in senso verticale, è in pratica inutile ai fini dell'infiltrazione dell'acqua (Fig. 3).

La caratterizzazione della porosità consentirà di definire il grado di compattamento del suolo; infatti, con il metodo micromorfometrico un terreno si considera compatto quando i valori di porosità sono inferiori al 10%. Studi sugli effetti del passaggio di trattrici equipaggiate in maniera diversa – con quattro ruote motrici o con cingoli di gomma – sul compattamento di un terreno franco argilloso, hanno dato indicazioni molto interessanti al fine di mantenere questo fenomeno di degradazione al di sopra del limite di porosità del 10% (Fig. 4).

Il compattamento può essere provocato anche da un altro tipo di attività agricola: il pascolamento del bestiame; anche in questo caso è molto importante stabilire attraverso le misure di porosità, il grado di compattamento per definire il carico di bestiame capace di contenere il danno entro i limiti tollerati (Pagliai *et al.*, 1999).

Per quanto riguarda la suscettività al compattamento, lo studio delle variazioni nel tempo della porosità dà un'indicazione della capacità di rigenerazione strutturale del terreno. Esperimenti in proposito hanno dimostrato che in terreni argillosi occorrono tempi lunghi (oltre un anno) per una buona rigenerazione strutturale (Bullock *et al.*, 1985). In determinati tipi di terreni dotati di scarsa capacità di rigenerazione strutturale, quali, appunto, i terreni argillosi sviluppati sui sedimenti argillosi marini del Pliocene (molto diffusi negli ambienti collinari del Centro-Sud), l'effetto negativo del compattamento può protrarsi a lungo nel tempo e molti dei fenomeni erosivi possono trarre origine od accentuarsi proprio in seguito all'eccessivo compattamento del terreno causato dalle diverse attività agricole.

#### STRATI COMPATTI LUNGO IL PROFILO (SUOLA D'ARATURA)

I fenomeni di compattamento legati alla coltivazione intensiva del terreno non sono solo rappresentati dal compattamento superficiale, ma possono anche verificarsi lungo il profilo colturale. Il caso più tipico è rappresentato dalla formazione di uno strato compatto al limite inferiore dell'orizzonte lavorato (suola d'aratura). Tale discontinuità lungo il profilo altera la capacità drenante e può generare ristagni idrici i quali, oltre a creare problemi di asfissia, contribuiscono alla dispersione delle particelle del terreno e quindi alla degradazione della struttura.

I problemi connessi con la presenza di tale strato compatto si sono accentuati proprio in seguito all'eccessiva specializzazione avvenuta in agricoltura come, ad esempio, l'adozione di monosuccessioni con arature profonde. La presenza di tale

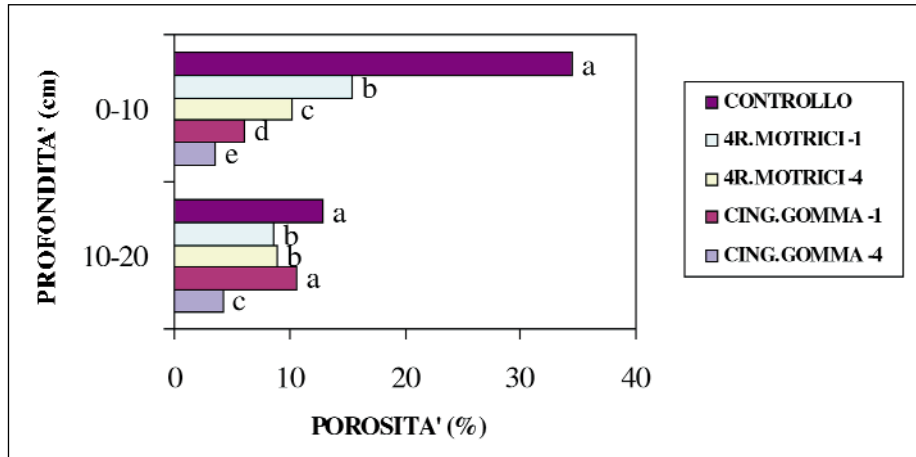


Fig. 4. Effetto del compattamento, causato da due trattrici equipaggiate in modo diverso (4 Ruote Motrici - Cingoli di Gomma), sulla porosità espressa come area percentuale occupata dai pori maggiori di 50  $\mu\text{m}$ . Media di sei repliche. Per ciascuna profondità, i valori seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente diversi per  $P \leq 0.05$  impiegando il test di Duncan.

strato compatto al limite inferiore della coltivazione può assumere uno spessore anche di 10 cm e la porosità, misurata con l'analisi micromorfometrica, scende repentinamente a valori anche inferiori al 5%. È facilmente intuibile che, in terreni a tessitura fine, la presenza di tale strato può creare notevoli problemi di drenaggio e un notevole ostacolo allo sviluppo delle radici in profondità.

Lavorazioni alternative alla tradizionale aratura, quali la discissura con "chisel", si sono rivelate più appropriate per mantenere condizioni favorevoli di porosità ed una sua uniforme distribuzione lungo il profilo colturale.

#### GRADO DI STABILITÀ E PERDITA DI STRUTTURA

La struttura è una proprietà dinamica del terreno, essendo soggetta a processi di genesi e di degradazione. I fattori che influenzano la genesi della struttura sono rappresentati dall'effetto dei cationi, dall'interazione fra le particelle argillose in relazione all'umidità (cicli di essiccamento-inumidimento) e alla temperatura, dall'effetto della sostanza organica (agente principe della stabilizzazione degli aggregati), dalla vegetazione e dai micro e macroorganismi del terreno. I fattori che determinano i processi di degradazione strutturale sono rappresentati principalmente dall'impatto della pioggia, dall'azione disgregante dell'acqua e dalle lavorazioni del terreno, specialmente se intensive, poiché provocano una diminuzione del contenuto di sostanza organica del terreno. La capacità del terreno di resistere all'azione disgregante dell'acqua o di forze esterne è detta stabilità di struttura.

La perdita di tale stabilità porta alla degradazione del terreno, la quale, appunto, trae origine meccanicamente dal collasso delle pareti dei pori in seguito ad alterazioni negative delle proprietà chimiche e fisiche del terreno, prima fra tutte l'impovertimento di sostanza organica. La conseguenza più diretta e immediata di ciò si traduce nell'erosione del suolo, in pratica nell'asportazione, da parte dell'acqua che scorre in superficie, di particelle di terreno. L'erosione del suolo rappresenta il principale aspetto della degradazione ambientale.

Nei terreni tendenzialmente argillosi e limosi, caratterizzati da bassa stabilità strutturale, durante i processi di essiccamento la loro struttura si trasforma in massiva con presenza di crepacciature. Nei successivi eventi piovosi l'infiltrazione dell'acqua avviene solo attraverso le crepacciature e, quando queste si chiudono (nei terreni rigonfiabili), si riduce drasticamente originando lo scorrimento superficiale e quindi l'erosione nei terreni declivi o il ristagno idrico (sommersione) nelle giaciture pianeggianti (Fig. 5).

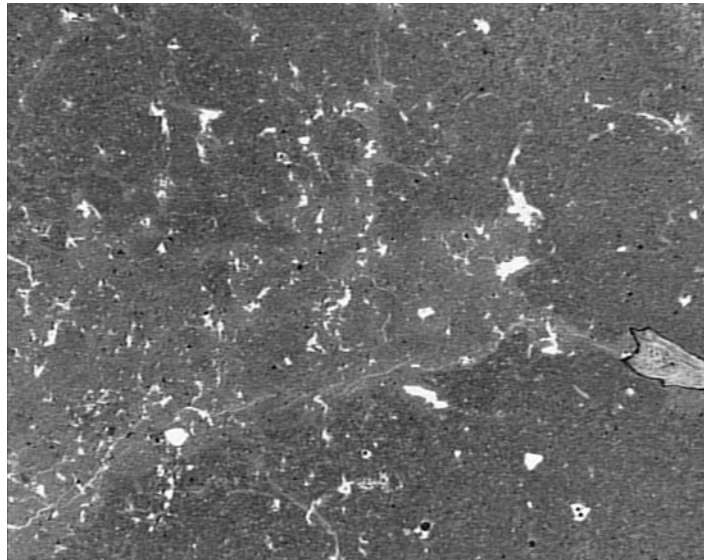


Fig. 5. Microfotografia di sezione sottile verticalmente orientata rappresentante una struttura massiva caratteristica dei suoli destrutturati.

#### CROSTE SUPERFICIALI E SUSCETTIBILITÀ ALLA FORMAZIONE DI CROSTE SUPERFICIALI

Le lavorazioni intensive, oltre all'alterazione del sistema dei pori nel terreno, causano anche una diminuzione del contenuto di sostanza organica la quale si riflette sulla stabilità degli aggregati all'azione disgregante dell'acqua. Infatti, l'azione

battente della pioggia provoca la distruzione meccanica degli aggregati e le particelle disperse, nel successivo processo di essiccamento, si rapprendono dando origine a sottili strati molto fragili e estremamente compatti noti con il nome di croste superficiali. Tali croste sono estremamente dannose poiché interrompono gli scambi gassosi suolo-atmosfera, riducono notevolmente l'infiltrazione dell'acqua, con conseguente aumento dei rischi erosivi ed ostacolano l'emergenza del seme (Fig. 6).

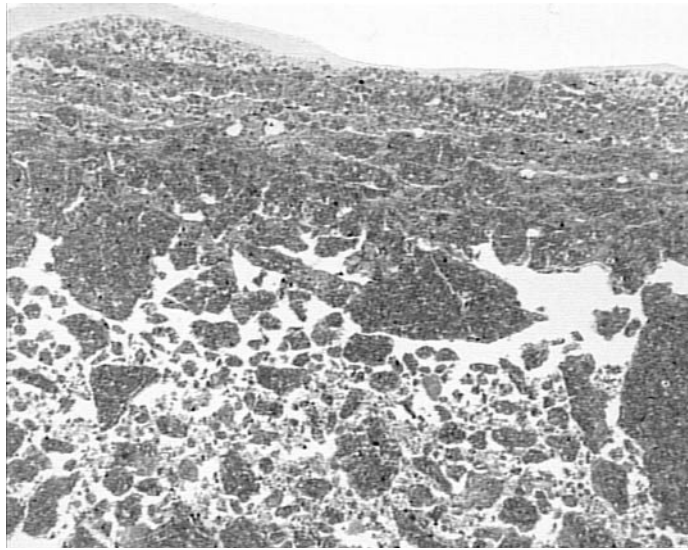


Fig. 6. Microfotografia di sezione sottile verticalmente orientata rappresentante una crosta superficiale.

Generalmente tali croste sono estremamente compatte, ma talvolta possono anche presentare valori elevati di porosità. L'esame microscopico di queste croste rivela che esse sono formate da diversi strati sottili e compatti formati da materiali fini (limo e argilla) intercalati da materiali più grossolani e da pori, i quali possono avere forma sferica (vescicole) perché formati da bolle d'aria rimasta intrappolata nel terreno durante il processo di essiccamento, o possono essere sottilissimi pori allungati orientati parallelamente alla superficie del terreno e senza continuità in senso verticale, quindi praticamente nulli ai fini dell'infiltrazione dell'acqua.

I suoli tendenzialmente limosi intensamente coltivati sono i più suscettibili alla formazione di croste superficiali, le quali si riscontrano anche in terreni franchi, franco-argillosi e franco-sabbiosi. Recenti studi hanno evidenziato, comunque, che la formazione di tali croste può essere prevenuta o attenuata con l'adozione di sistemi di lavorazione del terreno alternativi rispetto, ad esempio, all'aratura profonda tradizionale o con la somministrazione di materiali organici.



#### CREPACCIAMENTO

Il crepacciamento dipende strettamente dal tipo di suolo (tipo di argille: espan-dibili o meno) e dalle condizioni strutturali (stabilità degli aggregati), quindi la sua quantificazione dà ulteriori informazioni circa la struttura del terreno. L'analisi di immagine consente di quantificare la dimensione delle crepe (percentuale di area per unità di superficie, larghezza, ecc.) e, attraverso serie di fotografie di una deter-minata area in pieno campo, è possibile valutarne anche la variazione stagionale.

Queste informazioni non solo costituiscono elementi utili per valutare, ad esempio, la capacità del terreno di autostrutturarsi in seguito all'alternarsi dei cicli di essiccamento-inumidimento, ma consentono, inoltre, di stimare l'infiltrazione dell'acqua attraverso il sistema di crepe (bypass flow) (Bouma, 1984; Van Stiphout *et al.*, 1987). Queste informazioni sono fondamentali per la messa a punto di modelli di stima dell'erosione; gli attuali modelli, infatti, sottostimano questo parametro e ciò ne limita l'applicabilità ai diversi ambienti pedologici.

#### ERODIBILITÀ

L'erodibilità indica la suscettibilità di un suolo ad essere eroso dalla pioggia. Pertanto esso raggruppa e sintetizza quelle caratteristiche del suolo che interve-nono nei diversi processi concorrenti all'asportazione dello stesso. In sintesi tali processi consistono essenzialmente nella rottura meccanica, nel distacco, nel tra-sporto e nella sedimentazione di particelle ed aggregati di suolo. Da ciò emerge che la risposta complessiva di un suolo all'azione delle piogge è definita principalmente attraverso le seguenti caratteristiche del suolo: stabilità degli aggregati al bagna-mento, dispersibilità della frazione fine, resistenza agli sforzi di taglio in superficie, capacità di infiltrazione, propensione al sigillamento (sealing) superficiale ed alla formazione di croste. La determinazione di questi parametri dà, quindi, un'idea del grado di erodibilità del suolo e può fornire elementi utili da inserire nei modelli di previsione dei processi erosivi (Torri e Poesen, 1997), tuttora in grande evoluzione e ben lungi dall'essere generalizzabili ai diversi ambienti pedoclimatici.

#### CONCLUSIONI

Il monitoraggio dei processi di degradazione fisica del suolo descritti per mezzo dei "parametri indicatori" della porosità e della stabilità degli aggregati, seb-bene non fornisca informazioni esaustive sulle qualità fisiche e più in generale sulle condizioni di "salute" di un determinato ambiente, sicuramente dà risposte certe circa lo stato di degradazione o meno di un suolo e, comunque, contribuisce a for-nire, unitamente agli indicatori biologici, chimici, ecc., elementi fondamentali per la corretta gestione e pianificazione del territorio.

*Ringraziamenti*

Si ringrazia il Dott. Marcello Pagliai per gli utili consigli in fase di stesura del testo e di supervisione finale del lavoro.

BIBLIOGRAFIA

- Bouma J. (1984): "Using soil morphology to develop measurement methods and simulation techniques for water movement in heavy clay soils". In: *ISSS Symp. Water Solute Movement Heavy Clay Soils*, ILRI, Wageningen, pp. 298-315, J. Bouma, P.A.C. Raats (Editors).
- Bullock P., Newman A.C.D., Thomasson A.J. (1985): "Porosity aspects of the regeneration of soil structure after compaction". *Soil and Tillage Research*, 5, 325-341.
- Pagliai M. (1988): "Soil porosity aspects". *International Agrophysics*, 4, 215-232.
- Pagliai M. (1998): "Changes of pore system following soil compaction". In: *Experiences with the impact and prevention of subsoil compaction in the European Community*. Proceedings of the first workshop of the Concerted Action "Experiences with the impact of subsoil compaction on soil, crop growth and environment and ways to prevent subsoil compaction", 28-30 May 1998, Wageningen, The Netherlands. Van den Akker J.J.H., Arvidsson J., Horn R. (Editors).
- Pagliai M., Bazzoffi P., Pellegrini S., Vignozzi N., Papini R. (1999): *Soil physics and soil vulnerability in a typical watershed of the hilly area of Central Italy*. Atti del Convegno Internazionale "Vulnerabilità e sensibilità dei suoli", Firenze 18-21 Ottobre 1999 (in corso di stampa).
- Pagliai M., Torri D., Patruno A. (1997): "Stabilità e distribuzione dimensionale degli aggregati". In: *Metodi di analisi fisica del suolo* (M. Pagliai coordinatore). Franco Angeli, Roma.
- Torri D., Poesen J. (1997): "Erodibilità". In: *Metodi di analisi fisica del suolo* (M. Pagliai coordinatore). Franco Angeli, Roma.
- Van Stiphout T.P.J., van Lanen H.A.J., Boersma O.H., Bouma J. (1987): "The effect of bypass flow and internal catchment of rain on the water regime in a clay loam grassland soil". *Journal of Hydrology*, 95, 1-11.