Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
Memorie di Scienze Fisiche e Naturali
118° (2000), Vol. XXIV, pp. 331-340

ERMANNO BUSONI *

Indicatori della qualità del suolo o indicatori delle qualità del suolo: un'analisi nell'ottica della Landscape Ecology **

Introduzione

Non mi soffermo sulla parola "suolo", non perché sia del tutto inutile, considerate le più differenti accezioni in uso, ma perché penso che si possa concordare su una definizione quale: '*sistema aperto (pedosfera) le cui caratteristiche, proprietà e attributi derivano dall'alterazione del substrato pedogenetico (qualunque esso sia: roccia, altro suolo, stockpiles, ecc.), sottoposto ad input esterni di energia e materia, e che presenta funzioni di trasformazione, traslocazione e conservazione di massa (tra cui quella biologica) ed energia*'. Il sistema tende ad armonizzarsi con i sistemi al contorno su cui esercita funzioni di feedback.

La qualità del suolo (SQ) è un concetto di recente acquisizione. Se ne inizia a parlare nell'ultimo decennio e appare essere un portato della insostenibilità, su lunghi periodi, di programmi di conservazione e di recupero, basati su metodologie analitiche quali la land evaluation, soil conservation, soil rehabilitation ecc., condotti in tutto il mondo da organizzazioni internazionali e nazionali. Sino a questo momento (fine degli anni '80) concetti quali land qualities (LQs) e soil qualities (SQs) erano ampiamente utilizzati e molti sforzi erano stati condotti per passare da loro valutazioni qualitative , a semi- e, infine, fondamentalmente quantitative. Problemi quali le loro variabilità spazio-temporali furono affrontati in molti simposi e workshops, commissioni furono istituite (vedi pedometrics) e da queste apparve chiaro che era necessario disporre di soil data-base, georeferenziati, equipaggiati con diversi modelli interpretativi e propositivi di diversi scenari a venire. Si ricorda

* CNR-IGES, Firenze.

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

solo il SOTER (World soil and terrain digital database) iniziato dalla ISSS nel 1986, finanziato dalla UNEP, che inglobò anche i dati della carta dei suoli del mondo a scala 1:5M della FAO/UNESCO. La generazione di soil data-base impose la soluzione, tra gli altri, di problemi inerenti la validità dei dati, del trasporto dell'informazione da essi contenuta, e la scelta di congrui modelli di applicazione per la soluzione di specifici problemi. Uno dei primi affrontati fu la degradazione del suolo, soprattutto a causa dell'erosione e dell'inquinamento.

La land evaluation comportò, tra l'altro, la messa a punto di metodologie di valutazione delle qualità del suolo (SQs), basandosi soprattutto su caratteristiche e proprietà che erano importanti quali fattori di stato ed al contorno. Furono create metodologie analitiche delle terre e della loro lettura, utilizzando classificazioni nested (in sistemi, unità e sites o facets) presentanti sempre maggiore intensità di informazione al crescere del dettaglio richiesto dal problema. In queste classificazioni il suolo era una delle varie componenti analizzate, e, come per tutte le altre, le sue caratteristiche qualitative e quantitative partecipavano alla valutazione. I processi (flussi, scambi, alterazioni, trasformazioni, ecc.) da queste sottesi entravano a far parte della valutazione ed erano modellizzati in vario modo. Fin da quello di Klingebiel e Montgomery (1961), i sistemi di classificazione della capacità di uso e di suitability delle terre hanno sempre considerato ed interpretato le caratteristiche dei suoli presenti, insieme ed a fianco di quelle delle terre. La FAO presentò nel 1976 la stesura finale del *Framework for land evaluation*; negli anni seguenti furono compiuti ulteriori passi con la valutazione delle terre senza irrigazione (rainfed), con irrigazione (irrigated), e la costruzione delle zonazioni agro-ecologiche (AEZ). Negli Stati Uniti, il Soil Conservation Service dell'USDA aveva editato il National Soil Handbook che nella parte riguardante l'applicazione dell'informazione del suolo (application of soil information) si basava sull'interpretazione quale predizione del comportamento del suolo per uno specificato uso delle terre, sottoposte a specificate pratiche di gestione.

Fino a questo punto lo scopo principale è sempre stato interpretare le terre ed i suoli in termini specificatamente produttivi, anche se l'uso della "land" prefigura un approccio in qualche modo "olistico", inglobando, tra gli altri, anche riferimenti socio-economici legati alla tipo di utilizzazione delle terre e del suolo (land and soil utilisation types).

Con la Conferenza di Rio il mondo si è reso conto che il problema della produttività si scontrava con quello della "sostenibilità" da parte dell'ambiente degli input energetici imposti dall'uomo nei processi di sfruttamento delle risorse naturali e di produzione. Contemporaneamente la sensazione di non poter proseguire sullo stesso trend era rafforzata dai primi incontrovertibili dati su un processo di dimensione planetaria chiamato "Cambiamento globale", soprattutto legato a variazioni climatiche. Comincia a crescere la coscienza della necessità di un approccio olistico ai problemi inerenti lo studio, l'analisi ed il controllo di processi globali a differenti scale. Ci si rende conto che molti processi che portano al degrado

ambientale devono essere conosciuti più a fondo e di per sé, in modo da poterne prevedere gli sviluppi e gestire scenari di recupero e prevenzione. Nel frattempo si comincia a pensare che per prendere decisioni occorre basarci su qualcosa che in qualche modo indichi come il processo si sviluppa e le sue variazioni. Si mutuano gli "indicatori" dalla socio-economia politica la cui partecipazione all'interno di un approccio olistico al cambiamento globale è oramai considerata da tutti, sia quale una delle cause, che come strumento di analisi e soluzione di problematiche di gestione. Concetti di qualità dell'aria, dell'acqua, di biodiversità, di resilienza ambientale, di impronta ecologica, si affiancano a quello di qualità ambientale e di qualità del suolo. Concetti succedanei, quale quello di salute del suolo (soil health) vengono presentati e poi definitivamente inglobati in quello di qualità.

La qualità del suolo

Il Comitato *ad hoc* sulla Qualità del suolo della SSSA (S-581) (Karlen D.L. *et al.*, 1997) sottolinea, ed in questo mi appare riduttivo, che l'interpretazione del rilevamento pedologico (soil survey) e le sue linee guida non sono la stessa cosa che una valutazione della Qualità del Suolo (SQ), fondamentalmente perché la prima non fa riferimento alla maggior parte delle componenti biologiche del suolo. In secondo luogo suggerisce di far riferimento in questa valutazione alla "intriseca qualità del suolo" (recuperando un aspetto naturalistico, rifacendosi a quella dello "intrinseco valore del suolo" che si basa principalmente sull'analisi delle uniche ed insostituibili caratteristiche delle *risorse del suolo* [Warkentin, 1995]) che sostengono gli ecosistemi naturali, con riguardo alle caratteristiche che soddisfano le richieste degli utilizzatori per la gestione degli ecosistemi agricoli ed urbani.

Il Comitato presenta la definizione di SQ: "La capacità del suolo di funzionare entro i limiti di ecosistemi naturali e gestiti, per sostenere la produttività delle piante ed animale, mantenere o migliorare la qualità dell'acqua e dell'aria, e sostenere la salute e la dimora umana".

Il comitato si pone la domanda a quale scala e come può essere valutata la SQ: risponde dicendo che la valutazione può essere fatta a diverse scale (presenta uno schema) con l'uso di indicatori, assumendo implicitamente che i processi degli ecosistemi devono essere ben conosciuti.

Sorgono due domande: (1) come funziona il suolo; (2) quali indicatori usare nella valutazione.

La risposta alla prima domanda sta nella conoscenza della pedogenesi di un suolo, del suo inserimento in un paesaggio (di cui si conoscano le caratteristiche) e dei processi e dinamiche che avvengono in esso.

Alla seconda domanda risponde usando dei valori di parametri che indicano che un suolo funziona al pieno delle proprie potenzialità in quel dato paesaggio. I parametri divengono quindi "parametri di qualità del suolo" e possono essere fisici, chimici e biologici, e le caratteristiche che essi esprimono intervengono nei processi

di funzionamento del suolo. In vista della funzione del suolo in analisi si deve fare una scelta di quali parametri usare tra i molti che caratterizzano il suolo.

La scelta della funzione (del suolo) deve rispondere al problema e la scelta dei parametri alla scala cui il problema è posto.

Per il comitato rimangono aperte necessità di ricerca di lungo ed ampio termine temporale su: (a) sviluppo di un "approccio sistemico" per integrare le conoscenze di base della scienza del suolo nella soluzione di problematiche inerenti le risorse naturali, e nella valutazione della SQ per rispondere a differenti rischieste sociali; (b) innovativi approcci basati sull'analisi del paesaggio e dei sistemi gestiti (agrosistemi, ecc.) per una ricerca di base che produca un'informazione su baselines quantitative, sia in termini di progetti di ricerca, che di dimostrazione, usando tutte le attualmente disponibili metodologie e strumenti (concettuali, modellistica, data-mining, ecc.).

— *Qualità del suolo (SQ):* la capacità di un suolo a funzionare entro i confini di un ecosistema per sostenere la produttività biologica, mantenere la qualità ambientale e promuovere la salute vegetale ed animale (SSSA Glossario), oppure: La capacità del suolo di funzionare entro i limiti di ecosistemi naturali e gestiti, per sostenere la produttività delle piante ed animale, mantenere o migliorare la qualità dell'acqua e dell'aria, e sostenere la salute e la dimora umana. (Comitato *ad hoc* sulla Qualità del suolo della SSSA [S-581] [Karlen D.L. *et al.*, 1997]).

— *Le qualità del suolo (SQs):* attributi inerenti del suolo che vengono dedotti dalle caratteristiche del suolo o da osservazioni indirette (ad es. compattabilità, erodibilità, fertilità (fisica, chimica, ecc.). (SSSA Glossario). Si considerano come qualità le funzionalità più o meno complesse che esprimono come e quanto le caratteristiche del suolo, singolarmente o sinergicamente, reagiscono ad input esterni, in un dominio spazio-temporale definito da condizioni al contorno proprie, gestionali e/o ambientali.

Le qualità del suolo (SQs)

Si considerano come qualità le funzionalità più o meno complesse che esprimono come e quanto le caratteristiche del suolo, singolarmente o sinergicamente, reagiscono ad input esterni, in un dominio spazio-temporale definito da condizioni al contorno proprie, gestionali e/o ambientali. Ad esempio, la lavorabilità e la percorribilità del suolo sono qualità che vengono espresse tenendo conto sia di caratteristiche ambientali e gestionali, esterne al suolo (clima, pendenza, presenza di rocciosità superficiale, copertura, tipo di macchina od attrezzo, velocità delle lavorazioni, ecc.), che perfettamente intrinseche al suolo (profondità, presenza di scheletro – quantità, distribuzione dimensionale, tipo litologico, stato di alterazione –, massa volumica apparente, stabilità strutturale, limite e/o indice plastico, presenza di orizzonti limitanti i flussi idrici preferenziali, presenza di falde temporanee sospese, ecc.). Nella valutazione delle qualità non viene fatto riferimento alla possibile ridu-

zione di produttività, od altra funzione del suolo, ma bensì alla sua resilienza, ovvero alla capacità del suolo di controbilanciare, trasformando o/ assorbendo, le forze derivate dagli input esterni in modo da mantenere inalterate le proprie funzionalità e quindi le caratteristiche. Nel caso dell'esempio un suolo presenterà una buona lavorabilità se, oltre a presentare delle favorevoli caratteristiche ambientali e di gestione, avrà anche una buona capacità di infiltrazione che permetterà l'espressione in tempi brevi delle proprie caratteristiche fisico-dinamiche al miglior livello, in modo da non subire sia la compattazione che lo sbriciolamento, in ogni caso mantenere la propria struttura, sia in termini di stabiltà che di geometria.

Con la detta definizione, si pone la questione di cosa possa essere considerato un indicatore delle qualità del suolo, ovvero di ciascuna qualità. Ma quante e quali sono le qualità del suolo, ed in cosa differiscono dalle caratteristiche? Bisogna ricordare che nel suolo avvengono molti e svariati processi, fisici, chimici, biologici, ognuno riconoscibile ma non distinguibile in termini di condizioni al contorno e fattori limitanti dai processi concorrenti alla espressione della qualità in analisi.

Indicatori

Per il monitoraggio e la gestione di qualcosa di così complesso come la qualità, bisogna trovare indicatori che rispecchino le funzionalità e di queste siano pronti, efficaci, scientificamente basati, strumenti di controllo. Nasce così la corsa a definire indicatori fisici, chimici, biologici, semplici e complessi, delle differenti funzionalità del suolo e quindi della sua qualità. Ad oggi siamo arrivati a questo punto.

Da sempre sono state analizzate le qualità del suolo (al plurale: soil qualities; ad es. percorribilità, lavorabilità, tendenza formare croste, erodibilità, ecc.) e le valutazioni di capacità d'uso, di limitazione all'uso, ecc. si sono basate ampiamente su di queste, in genere espressioni spaziali e/o tempo-spaziali di caratteristiche del suolo (capacità di ritenuta idrica, permeabilità idrica, ecc.) e su di come esse rispondevano ad input esterni, antropici compresi. Ne sono sorte classificazioni diverse (impossibile ricordarle tutte in questa sede), utilizzate per valutazioni ed analisi di ambienti, sovente per scopi agro-forestali, ma non solo (ingegneristici, ad es. tra cui, in Italia, mi piace ricordare ESPLAN, di Magaldi e Ricciardulli, 1995).

Sugli indicatori della SQ e della LQ (Land Quality) esiste un'ampia letteratura, impossibile da citare in modo esaustivo in questa sede. Una buona lettura è rappresentata da "Soil Quality" di Singer e Ewing (2000).

Sombroek (1997) presenta una serie di concetti, definizioni e principi inerenti le Terre (Lands) intese come nel *Framework for Land Evaluation* (FAO, 1976), le loro funzioni, attributi, caratteristiche proprietà qualità. Le qualità sono considerate un attributo complesso di una Terra (Land) che agisce in modo distinto da quanto fanno altre qualità, nella sua influenza sulla suitability di quella Terra, per uno specifico uso.

In FAO (1995), Sombroek presenta le LQs come correlate ad una serie di qualità ambientali (atmosferiche, copertura vegetale, di superficie, del suolo, del sub-

strato, ecc.). Si nota che tra queste appaiono anche le qualità del suolo (SQs), e tra queste la fertilità e la tossicità fisica, biologica e chimica.

Gli indicatori sono di per sé finalizzati ad un definito scopo. Può succedere che lo stesso indicatore possa essere usato in termini suggestivi del tutto opposti se cambia il problema di riferimento (ad es. la presenza di lombrichi nel suolo, la denitrificazione, la composizione dell'atmosfera del suolo, la stabilità strutturale, la massa volumica apparente, il contenuto di sostanza organica, ecc.).

Pedopaesaggio, qualità del suolo, indicatori

Occorre fare un passo indietro. Per chiarirci le idee bisogna pensare a cosa si intende per suolo e cosa per suoli (al plurale!). Se di "suolo" diamo la definizione precedente, bisogna tenere presente che in natura ci troviamo di fronte a suoli (al plurale!), ciascuno caratterizzato da proprie e distinte espressioni funzionali. La biodiversità non si esprime solo nei molteplici aspetti legati a flora e fauna, ma anche a quelli sottesi dalla pedo-diversità. Questa implica che ogni suolo in un dato pedopaesaggio possa esprimere le proprie funzionalità in stretta interconnessione con l'ambiente che lo racchiude, e che in un certo senso gli è genitore, ma anche con i suoli circostanti. Ne segue che tipi di suolo tassonomicamente affini possono esprimere funzionalità in modo relativamente differente. Questo concetto diviene maggiormente comprensibile se si inquadra nell'ecologia del paesaggio. Come in un ambiente non esiste un solo paesaggio, ma bensì differenti paesaggi riconoscibili in termini di funzionalità, prospettiva, scala, ecc., ognuno caratterizzato gerarchicamente da altrettanti livelli, fino all'ecotopo; così nello stesso ambiente è possibile individuare differenti pedopaesaggi, funzionalmente e gerarchicamente definiti, che presentano differenti qualità del suolo (SQ). Riprendiamo la definizione di SQ: è la capacità di funzionare per (i) sostenere la produttività delle piante ed animale; (ii) mantenere o migliorare la qualità dell'aria e dell'acqua; (iii) supportare la salute e la dimora umana. Se si considerano singolarmente le tre dette funzionalità appaiono facilmente comprensibili ed altrettanto facilmente è possibile creare strategie di monitoraggio e controllo per mezzo di indicatori, criteri e soglie.

— *Indicatori:* sono strumenti analitici che misurano o riflettono lo stato e/o le variazioni delle condizioni funzionali di un sistema. Nel suolo possono controllare caratteristiche e/o processi che vi avvengono;

— *Criteri:* sono regole, protocolli, modelli che permettono la gestione degli indicatori;

— *Soglie:* sono livelli, espressi dagli indicatori, che, quando raggiunti o superati, rivelano che la funzionalità del sistema (suolo) subisce variazioni significative.

Facciamo degli esempi: se si vuole fondare un edificio è bene considerare quelle caratteristiche che in qualche modo possono portare alla riduzione della sua stabilità attraverso la riduzione delle capacità statiche delle fondamenta; ad es. tessi-

tura, mineralogia delle argille, pH, conducibilità elettrica, ritenuta idrica conducibilità idraulica, ecc. In un territorio il pedopaesaggio dovrà essere analizzato e l'espressione della funzionalità "supporto della dimora umana" indicherà la qualità dei diversi suoli. Nel caso del miglioramento della qualità dell'acqua è bene considerare quelle caratteristiche che esprimono la capacità di filtro: ad es. contenuto in S.O. (da cui risalire ai coeff. di ripartizione), la capacità di scambio, la geometria porale in tutte le sue espressioni (dimensionali, continuità, ecc.), le caratteristiche idrauliche, presenza di orizzonti meno permeabili, profondità locale della falda sottosuperficiale, attività microbiologica, ecc. Anche in questo caso il pedopaesaggio fornirà l'espressione della funzionalità ed indicherà la qualità del suolo. Tutto sembra perfetto e percorribile: indicatori semplici e/o complessi ci permettono per mezzo di modelli di controllare e prevedere il rischio che siano raggiunte e superate soglie predefinite. Ma la realtà è molto più complicata. Gli esempi ci dicono che la qualità è relativa ad un problema da risolvere e che quindi esistono tante singole qualità quanti sono i problemi e le differenti combinazioni delle funzionalità che concorrono alla soluzione. Il tutto si complica se consideriamo che il sistema suolo, in quanto aperto, tende ad aumentare la propria entropia. Gli input energetici e massici si inseriscono nel sistema, influenzandolo in base allo stato in cui questo si trova al momento. Ovvero, il destino degli input dipende dallo stato dei processi a loro sensibili. Tutto ciò prosegue fin tanto che il sistema esprime una capacità di resilienza. Le funzionalità del suolo si esprimono tutte insieme nel tempo (sono sincrone) e nello stesso spazio (topologicamente definibili) attraverso processi complessi, discorrenti e concorrenti, con differenti velocità, producendo feedback, positivi e negativi, i cui fattori di stato e condizioni al contorno sovente non sono stabili.

Qualità e resilienza del suolo

Blum e Aguilar Santelises (1994) giustamente affermano che per la comprensione delle funzionalità del suolo bisogna recuperare una prospettiva "paesaggistica". Per questo non possono fare a meno di recuperare il sottosuolo (sedimento e roccia porosa) e l'acqua da esso contenuta. Si prefugura un sistema che non può essere considerato perfettamente suolo, ma che può essere analizzato più completamente nella sua funzionalità, in pratica si spostano le condizioni al contorno del sistema là dove minore può essere la varianza funzionale. Il concetto appare affascinante come approccio, anche se per certi aspetti, soprattutto quelli idrologici (qualità dell'acqua) sembra presupporre un sink che faccia da volano a quanto succede al di sopra. Sulla base di questo concetto vengono riconosciute sei funzioni di cui tre principalmente ecologiche ed altre tre legate all'attività antropica non agricola. Quelle ecologiche sono: produzione di biomassa, azione di filtraggio, tamponamento e trasformazione, e habitat biologico e riserva genica. Queste funzioni sono collegate anche alla produzione agricola. Le tre funzioni legate all'attività antropica non agricola sono: mezzo fisico, fonte di materiale, eredità culturale. Appare chiaro che le sei funzioni presentano una intensa competizione tra i due

gruppi e tra ognuna di esse e le altre cinque. Si può far riferimento qui a quanto precedentemente detto su processi concorrenti e discorrenti. Si riconosce che l'armonizzazione spaziale e temporale tra uso del suolo e delle terre e loro funzionalità è un problema che può essere affrontato solo in termini olistici. Si evidenzia che aspetti quali la resilienza del suolo e la sostenibilità dell'uso possono essere affrontati solo in detta ottica.

— *Resilienza:* abilità di un sistema a tornare al proprio equilibrio dinamico dopo essere stato disturbato, terminato il disturbo. Se si considerano i due tipi di energia operanti nel sistema suolo, *endogena* (quella ereditata dal parent material che soggiace a crescente entropia con la formazione di minerali secondari per alterazione e trasformazione dei minerali primari) ed *esogena* (quella che proviene da fuori il sistema, ad es. dal sole e processi biologici derivati), si può affermare che solo la seconda può agire attivamente in termini di resilenza. Su questa base la resilienza può essere definita come "capacità di un sistema disturbato a ritornare dopo un nuovo disturbo ad un nuovo equilibrio dinamico".

Se nel concetto di SQ si inserisce quello di resilienza, le funzionalità acquisiscono una connotazione ecologica gestita dal paesaggio. Questo diviene riferimento topo-ecologico per la definizione degli input del sistema suolo. A questo punto non si può più parlare di suolo in generale, ma di quel pattern distributivo di suoli all'interno del paesaggio in analisi con tutte le interrelazioni delle capacità funzionali espresse da ciascun tipo di suolo. Ne consegue che la SQ deve essere intesa come le "qualità" (SQs), espressioni delle funzionalità di ciascuno dei diversi suoli e delle loro interrelazioni (catene, topo- cronosequenze, ecc.). Se quanto sopra è accettato, allora l'unità funzionale di pedopaesaggio (SFU, Busoni, 1995, 1997) si presenta come strumento operativo di indagine. L'uso di questa impone l'analisi dei processi sottesi da caratteristiche, fisiche, chimiche, biologiche, dei suoli che la compongono per riconoscerne la risposta unitaria funzionale ad un dato problema. Quest'ultimo aspetto impone la scelta delle caratteristiche dei suoli, e loro modelli (processuali concorrenti e spazio-temporalmente distributivi), da usare tra le tante espresse dalla SFU.

Conclusioni

Possono le caratteristiche scelte essere considerate degli indicatori? Indicatori della SQ? Mi pare evidente che, in un'ottica olistica basata sull'ecologia del paesaggio, sull'analisi della resilienza, di uso della SFU, la risposta sia positiva. Nulla cambia rispetto a quanto si è fatto per la land e soil evaluation; si tratta di rivedere in questa ottica le qualità delle terre (LQs) e del suolo (SQs), cosa già del resto iniziata e foriera di buoni risultati. Per la SQ nascono dubbi, non perché le caratteristiche scelte non possono essere considerate degli indicatori, ma proprio in quanto la definizione di SQ tende ad essere onnicomprensiva e non pare essere supportata

da un vero e proprio scopo. Infatti, se la si valuta, si fa della "land e soil evaluation"; se si finalizza ad un problema, si fa un'analisi di capacità e/o di resilienza dei suoli in un dato ambiente (paesaggio); se si finalizza ad una funzionalità, si analizza una delle tante qualità del suolo (SQs) gia citate. In tutti i casi si ripercorrono strade già conosciute. Occorrono altri indicatori? Non è facile dire. Credo che sia estremamente difficile definire la Qualità del suolo in termini di espressione di un sistema aperto. Il significato appare più legato ad una possibile valutazione economica che ecologica (produzione contro comprensione dei vari aspetti di un sistema). Capisco che un concetto unificante sia affascinante e che trovare indicatori dei vari aspetti di quel concetto possa essere, e lo è, stimolante. Ma temo che lo sforzo si dimostri fuorviante, per le implicazioni sociali che può sottendere (legislative, economiche, ecc.) e che quindi possono divenire delle "pressioni" (se si fa riferimento al modello PSRI – pressioni-stato-risposta-impatto – della OECD, 1993, 1998), se non del tutto inane.

Allo stato delle cose penso sia meglio impegnarsi su una strada che comporti il collegamento tra le varie funzionalità ambientali e del suolo ad aspetti socio-economico-gestionali. Nuovi modelli sono stati presentati da varie organizzazioni internazionali (PSR della FAO-World Bank, 1997; PSRI della OECD, 1998; DPSIR – Driving forces-Pressures-Soil State and functions-Impacts-Responses – e Multi-Function/Multi-impact-approach EEA-ETC/S, 1999) che partendo dalle funzionalità del suolo e dell'ambiente vanno diritti al monitoraggio di qualità ambientali (ecologia del paesaggio) in modo da proteggere, preservare, recuperare senza riduzione di funzionalità. Questi modelli sono olistici, multiscala e orientati al problema da risolvere. Le caratteristiche ambientali, pedologiche incluse, e quelle socio-economiche-gestionali entrano ai vari livelli di applicazione. Il monitoraggio avviene sulla base di indicatori, anch'essi opportunamente scelti e connotanti, integrandoli, gli aspetti predetti. Gli indicatori possono presentarsi come semplici e complessi, puri e spuri, modelli, regole, statistiche, ecc. a seconda del livello di scala e del problema. In ogni caso, nella loro costruzione si adoprano sempre le caratteristiche, parametrizzabili, che fanno da base logica e fisica alle qualità ambientali (LQs) e del suolo (SQs). Ciò appare logica conseguenza delle storie e delle acquisizioni delle due discipline. È innovativo il superamento di neo-paradigmi quali la "qualità del suolo" che sembra essere più un concetto di moda che un vero strumento operativo, seppur siano stati fatti molti tentativi per una quantizzazione per mezzo di SQI (soil quality index), e l'integrazione nel monitoraggio dei due tipi di indicatori.

Riconoscimenti

Il presente lavoro è stato condotto con i finanziamenti e nell'ambito del GNDCI – CNR.

Un particolare riconoscimento è dovuto al Prof. U. Wolf per la fattiva discussione sui contenuti del lavoro.

BIBLIOGRAFIA

Blum W.E.H., Aguilar Santelises A. (1994): "A concept of sustainability and resilience based on soil functions: the role of ISSS in promoting sustainable land use". In Greenland D.J., Szabolcs I. (eds.), *Soil resilience and sustainable land use*. CAB International, Wallingford, UK. pp. 535-542.

Busoni E. (1995): "Brevi appunti per una discussione sull'applicazione della serie nel rilevamento e nella cartografia del suolo". *Atti del Seminario di lavoro "Esperienze sull'uso di serie nei progetti di rilevamento e cartografia dei suoli"*. Reg. Emilia-Romagna – AIP, Bologna, 3 maggio 1995.

Busoni E. (1997): "Holistic approach to hierarchical modelling in soil landscape analysis". *Bollettino SISS*, XLVII (3), 347-366.

EEA-ETC/S (1999): *Proposal for a European Soil Monitoring and Assessment Framework*. Final Version, 4.10.1999 (rapporto ad uso interno).

FAO (1976): *A Framework for Land Evaluation.* Soil Bulletin 32, Roma, p. 72.

FAO (1995): "Sombroek W.G., Sims D. (eds.), *Planning for sustainable use of land resources: towards a new approach*. Land and Water Bulletin 2, Roma.

FAO (1997): *Land quality indicators and their use in sustainable agriculture and rural development*. Land and Water Bulletin 5, Roma, p. 212.

Karlen D.L., Mausbach M.J., Doran J.W., Cline R.G., Harris R.F., Schuman G.E. (1997): "Soil Quality: a concept, definition, and framework for evaluation". *Soil Sci. Soc. Am. J.*, *61*, 4-10.

Klingebiel A.A., Montgomery P.H. (1961): "Land capability classification". *Agric. Handbook*, 210.

Magaldi D., Ricciardulli G.L. (1995): *Valutazione delle attitudini delle unità pedologiche a differenti usi ingegneristici del territorio*. Dip.to di Ingegneria delle strutture, delle acque e del terreno; Univ. dell'Aquila.

OECD. (1993): *Core set of indicators for environmental performace reviews*. A synthesis report by the Group on the State of the Envronment. OECD, Paris, p. 35.

OECD. (1998): *Joint Working Party of the Committtee for Agriculture and the Environment Policy Committee*. Report on the OECD workshop on agri-environmental indicators. York, Sept. 1998, Paris, p. 64.

Richter J. (1987): *The soil as a reactor*. Catena Verlag, Cremling, Germany, p. 192.

Singer M.J., Ewing S. (2000): "Soil Quality". In: Sumner M.E. (ed.), *Handbook of Soil Science*. Section G, Chapter 11. CRC Press, Boca Raton, London.

Sombroek W.G. (1997): "Land resources evaluation and the role of land-related indicators". In: FAO, *Land quality indicators and their use in sustainable agriculture and rural development*. Land and Water Bulletin 5, Roma, p. 212.

Warkentin B.P. (1995): "The changing concept of soil quality". *J. Soil Water Conserv.*, 50, 226-228.