



Rendiconti  
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL  
*Memorie di Scienze Fisiche e Naturali*  
118° (2000), Vol. XXIV, pp. 309-319

GILMO VIANELLO\*

## **Il condizionamento della qualità del suolo per fattori ambientali ed antropici\*\***

### IL SUOLO COME “SINTESI” DELL’ECOSISTEMA

Nel richiamare la definizione di suolo come corpo dinamico naturale che costituisce la parte superiore della crosta terrestre, la cui formazione e la cui evoluzione dipendono dall’azione integrata nel tempo dei fattori climatici, geomorfologici e biologici, appare evidente come esso risenta dei diversi processi fisici, chimici e biochimici naturali ed antropici che possono influire in maniera differenziata sulle sue modificazioni e, quindi, su possibili condizioni di degrado o di depauperamento.

Preso infatti come base di indagine circa la condizione attuale dell’ecosistema in relazione soprattutto ai possibili interventi su di esso, il suolo, permettendo di caratterizzare direttamente o indirettamente le differenti tipologie ambientali che hanno portato ad un determinato grado evolutivo, richiede di essere classificato secondo i metodi tassonomici più moderni, localizzato per distribuzione e diffusione sul territorio nazionale, definito in termini dinamici in funzione della sua utilizzazione, valutato in funzione delle sue potenzialità e suscettibilità, protetto in relazione al grado di vulnerabilità.

Di conseguenza il sistema clima-geoidromorfologia-suolo-pianta, a cui va integrata l’azione antropica, va inteso nella sua globalità ed affrontato mediante un idoneo modello “analitico multidisciplinare oggettivo” (fig. 1); la conoscenza complessiva delle tipologie degli ecosistemi rappresenta quindi la procedura essenziale per valutare le caratteristiche del suolo e per la programmazione degli interventi per la sua conservazione (tab. 1).

\* Centro Sperimentale per lo Studio e l’Analisi del Suolo, Università di Bologna.

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

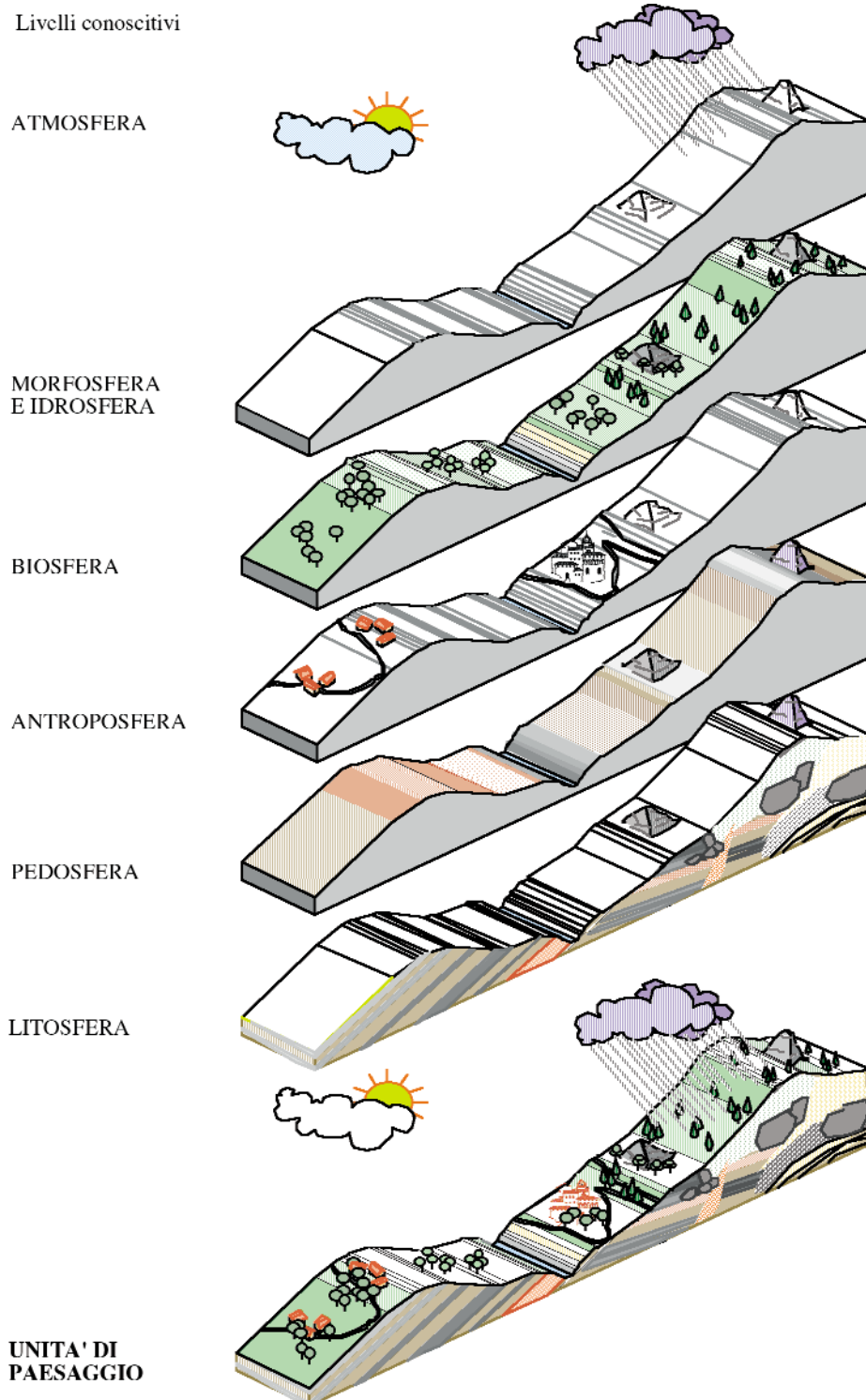


Fig. 1. Il modello “analitico multidisciplinare oggettivo” porta alla scomposizione dell’ecosistema in livelli conoscitivi; il sistema ambientale si presenta pertanto come un “mosaico” complesso che dovrà essere “smontato” con la finalità di conoscere le caratteristiche delle componenti naturali ed antropiche che ne hanno determinato le condizioni attuali.

Tabella 1. Esempi descrittivi di tipologie ambientali come preliminare allo studio del suolo, della sua potenzialità d'uso e degli aspetti specifici di vulnerabilità.

<i>Sistemi</i>	<i>Sottosistemi</i>	<i>Rischi ambientali</i>
<p>CARBONATICI</p> <p>Omogenei per caratteri litologici, si differenziano per le diverse condizioni geomorfologiche, strutturali e climatiche.</p>	<p><i>Conche tettonico-carsiche.</i> In questo sottosistema, diffuso nella Italia centro-appenninica, le acque di precipitazione alimentano la circolazione idrica sotterranea a scapito di quella superficiale limitatissima ed occasionale.</p>	<p>Inquinanti rilasciati o depositi in superficie possono entrare nella circolazione idrica profonda e riemergere poi a considerevoli distanze in sorgenti importanti, destinate ad alimentare acquedotti.</p>
	<p><i>Tavolati carbonatici.</i> Diffusi soprattutto in Puglia e nel Carso mostrano aree differenziate climaticamente (tali da determinare specificità biologiche ed agrocolturali), ma che vengono accomunate dal sistema idrico sotterraneo.</p>	<p>L'afflusso di acque luride od inquinate nel sistema idrico sotterraneo fa sì che parte di esse possa prendere la via diretta dello sversamento in mare.</p>
	<p><i>Rilievi carbonatici.</i> La circolazione idrica superficiale data l'asprezza morfologica e la velocità di scorrimento delle acque provoca una progressiva demolizione fisica del rilievo.</p>	<p>L'aggressività delle acque provoca fenomeni erosivi tali da limitare le valorizzazioni agricole.</p>
<p>ALLUVIO - COLLUVIALI PADANI</p> <p>Suddivisi in alte e basse pianure presentano situazioni molto diverse; l'inter sezione delle due pianure, sviluppate a differenti quote altimetriche, è caratterizzata dalla venuta a giorno delle acque freatiche contenute nella parte profonda dell'alta pianura.</p>	<p><i>Alte pianure.</i> Sottosistemi che bordano il versante padano delle Alpi e parte di quello appenninico, caratterizzati da materiali grossolani estremamente permeabili, con suoli poveri a rapido drenaggio e con biotipi e colture agricole di tipo tendenzialmente xerofilo.</p>	<p>Gli effluenti provenienti da insediamenti urbani ed industriali e dalle pratiche agricole danno luogo a contaminazioni localizzate minime o nulle in superficie, mentre gran parte del carico inquinante interessa le falde freatiche.</p>
	<p><i>Basse pianure.</i> Sottosistemi della parte centrale della Val Padana, costituiti da materiali sottili dove spesso le acque freatiche corrispondono alle superfici topografiche o addirittura affiorano dando origine a biotipi e colture agricole di tipo igrofilo.</p>	<p>Il rilascio di effluenti provenienti da insediamenti urbani ed industriali e dalle pratiche agricole interessa immediatamente le acque superficiali e le falde sub-superficiali con rapida percezione del verificarsi della contaminazione.</p>

#### PROCESSI DI DEGRADO DELLA RISORSA SUOLO PER CAUSE NATURALI ED ANTROPICHE

Il suolo subisce continue modificazioni e trasformazioni sia per cause naturali legate ai fenomeni delle dinamiche esogene ed endogene e di evoluzione pedogenetica sia per cause antropiche che accelerano od innescano processi di degrado degli orizzonti superficiali preposti alla sostenibilità produttiva primaria o alla conservazione degli ambienti naturali.

I processi di depauperamento della risorsa suolo per fattori naturali sono caratterizzati ad esempio da contaminazione da metalli pesanti per cessione da parte di alcuni litotipi, nel corso dei normali processi pedogenetici, da salificazione ed alcalinizzazione (per livelli freatici prossimi alla superficie ed alimentati da acque marine o da fonti idrotermali anomale), da desertificazione o predesertificazione per stress climatici (per periodi di aridità troppo prolungati o regimi meteorici in ogni caso sfavorevoli), dal degrado dei versanti per erosione accentuata (suoli a scarsa aggregazione sottoposti a precipitazioni intense e concentrate nel tempo), da scompensi naturali tra vegetazione ed organismi viventi (ad esempio per l'azione negativa delle conifere sui terreni che non riescono a tamponare la forte acidificazione prodotta dai residui organici da esse prodotti ed accumulati nel sottobosco).

I processi di inquinamento e di depauperamento della risorsa suolo per cause antropiche sono caratterizzati ad esempio da contaminazione da metalli pesanti provenienti dalle attività produttive (industria, artigianato, attività estrattive e minerarie, discariche), da inquinamento chimico derivante dalle strutture di servizio (inceneritori, depuratori, strade), da depauperamento a causa di un irrazionale utilizzo degli effluenti zootecnici (spandimento di liquami zootecnici non stabilizzati in quantità notevolmente superiore alle necessità colturali), da squilibrio qualitativo nella presenza di alcuni elementi della fertilità e non, causata dalla distribuzione irrazionale di fertilizzanti (reintegro di elementi della fertilità in surplus), dall'erosione dell'orizzonte superficiale a più elevata fertilità per irrazionalità delle lavorazioni e delle pratiche agronomiche (arature a rittochino, irrigazioni eccessive, insufficiente regimazione e drenaggio delle acque sui pendii, meccanizzazione spinta nelle zone collinari e montane).

Nella relazione sullo stato dell'ambiente presentato dal Ministero dell'Ambiente nel 1997 è stato evidenziato come il rischio di depauperamento della risorsa suolo possa essere causata da degradazione chimica (per contaminazione da metalli, radioattività, perdita di sostanza organica, salinizzazione, acidificazione, spandimento di reflui organici), da degradazione fisica (per compattazione, indurimento, formazione di croste superficiali), da perdita irreversibile (per urbanizzazione, erosione superficiale o di massa).

#### ALCUNI TIPI DI DEGRADO DELLA STABILITÀ STRUTTURALE DEL SUOLO

Il suolo per le sue caratteristiche intrinseche, costituisce il sistema di autodepurazione più completo a disposizione della natura, ma una volta contaminato rimane

tale per tempi assai lunghi rispetto al comportamento dell'acqua e dell'atmosfera; esso presenta infatti un certo grado di reattività nei confronti di determinati agenti perturbanti (sensibilità) fino ad un limite oltre il quale tende a manifestare forme di degrado in una o più delle sue funzioni chimico-fisiche-biologiche (vulnerabilità).

Le intense trasformazioni subite dagli anni cinquanta ad oggi dai territori rurali in termini di gestione aziendali e di tecniche agronomiche stanno portando ad un progressivo depauperamento della "risorsa suolo", specie laddove le pratiche agricole richiedono da parte dei terreni un maggior contributo in termini di elementi della fertilità. Se nel suolo alle modalità di cessione degli stessi non rispondono adeguate condizioni di restituzione, si vengono a creare in tempi più o meno lunghi squilibri di ordine chimico fisico, tali da modificarne, talvolta radicalmente le condizioni strutturali originarie. Inevitabilmente tali trasformazioni portano ad una progressiva diminuzione della "fertilità naturale" che, oltre a provocare perdite di rese delle colture, può innescare una serie di reazioni in grado di alterare l'ecosistema in maniera sostanziale. Pratiche irrigue non ponderate, concimazioni non adeguate o lavorazioni eccessivamente profonde, possono portare ad una modificazione del pH, ad una diminuzione del contenuto in sostanza organica o ad un aumento del drenaggio interno, ma possono condurre altresì ad altre conseguenze. Infatti il suolo, così alterato nelle sue caratteristiche di base, non è più in grado di svolgere la sua funzione di "filtro biologico" permettendo così ad elementi e composti solubili nocivi di percolare al suo interno con frequente probabilità di contaminazione dei livelli più superficiali di un sempre più fragile sistema idrogeologico. In tabella 2 vengono indicati alcuni tipi di degrado che influiscono sulla stabilità di struttura del suolo.

#### INDAGINI FINALIZZATE ALLA VALUTAZIONE DELLE TRASFORMAZIONI DELLE CARATTERISTICHE DEI SUOLI

Lo studio del suolo finalizzato alla conservazione e alla sostenibilità della fertilità agronomica deve tenere conto di più livelli conoscitivi ciascuno dei quali andrà di volta in volta analizzato con l'intento di individuarne il ruolo ed il peso rivestito.

Al fine di stabilire i diversi gradi di sensibilità del suolo, e cioè della sua tendenza a modificarsi in seguito a perturbazioni esterne, si rende indispensabile la elaborazione di modellistiche che tengano conto da un lato delle dinamiche sopravvenute a carico della sua utilizzazione, dall'altro delle variazioni riscontrate in alcuni indicatori chimico-fisici del suolo.

Dato il considerevole volume di informazioni che di volta in volta deve essere gestito nell'applicazione di tali modellistiche, si rende necessario adottare un idoneo sistema informativo geografico come strumento in grado di associare ad un determinato ambito territoriale, perfettamente georeferenziato, una serie di informazioni raccolte in un archivio di dati; sarà così possibile da un lato individuare in maniera uni-

Tabella 2. Cause che influiscono sulla stabilità strutturale del suolo e conseguenti effetti diretti od indiretti nei riguardi della risorsa.

<i>Tipi di degrado</i>	<i>Cause</i>	<i>Effetti</i>
<i>Azione battente delle gocce di pioggia (splash erosion)</i>	L'energia cinetica delle gocce d'acqua determina la rottura degli aggregati ed il distacco delle particelle elementari che vengono trasportate a distanze non eccessive.	Spostamento di particelle in funzione della pendenza e compattazione del suolo.
<i>Scorrimento laminare delle acque di superficie (sheet erosion)</i>	Quando l'intensità della pioggia supera la capacità di infiltrazione del suolo questa scorre in superficie; per particelle di diametro superiore a 0,5 mm la velocità critica per innescare l'erosione aumenta con l'aumentare del diametro delle particelle stesse.	Erosione laminare con impoverimento di particelle fini, perdita lenta dello strato superficiale più fertile del suolo e arricchimento di scheletro in superficie.
<i>Formazione di croste superficiali</i>	Per valori dell'indice di incrostamento ( $1,5 Z_f + 0,75 Z_c/C + 10.OM$ ) maggiori di 1,6 si verifica una forte propensione al collasso degli aggregati strutturali dello strato superficiale del suolo.	Interferenza alla germinazione in relazione alle condizioni climatiche.
<i>Incremento della salinizzazione</i>	L'apporto di sali per condizioni naturali (es.: acque marine) o dovute all'attività antropica ("salinizzazione secondaria") per irrigazione con acque non idonee in assenza di adeguati sistemi di drenaggio favorisce la deflocculazione delle particelle colloidali con conseguente destabilizzazione della struttura.	Limitata disponibilità idrica per la crescita delle piante per l'aumento della pressione osmotica della soluzione circolante; ostacolo alla germinazione per la formazione di efflorescenze saline.
<i>Diminuzione della capacità di accettazione degli apporti idrici</i>	Scarsa disponibilità di ossigeno e conseguente diminuzione dell'attività biologica nel suolo, limitata permeabilità degli orizzonti del profilo.	Erosione superficiale in relazione all'acclività dei versanti.
<i>Diminuzione della capacità depurativa</i>	Limitato "degrado" di apporti organici (es.: liquami zootecnici, fanghi di depurazione) e scarso adsorbimento di elementi o composti a potenziale azione inquinante.	Infiltrazione di sostanze contaminanti verso i livelli freatici mediante profondi.

Tabella 3. *Schema riassuntivo riferito a possibili indagini finalizzate alla valutazione delle trasformazioni delle caratteristiche dei suoli.*

<i>Tipi di indagine</i>	<i>Metodologia</i>	<i>Parametri di valutazione</i>
Valutazione delle modificazioni dei caratteri chimico-fisici dei suoli	Confronto multitemporale	Uso del suolo - Delineazioni pedologiche - Caratteri chimico-fisici dei suoli
Valutazione della vulnerabilità ambientale all'infiltrazione	Modello parametrico	Surplus idrico - Quantità delle acque di irrigazione - Copertura del suolo - Caratteristiche pedologiche - Permeabilità del sottosuolo - Profondità della falda freatica
Valutazione della distribuzione e della concentrazione dei metalli nei suoli	Monitoraggio per unità e per profili pedologici	Fondo geochimico formazionale - Delineazioni pedologiche - Caratteri chimici dei suoli - Potenziali fonti antropiche inquinanti

voca ambiti territoriali con caratteristiche intrinseche diverse, dall'altro organizzare una banca di informazioni aperta, passibile di un continuo aggiornamento.

Ci si limiterà in questa sede a fornire un sintetico accenno a tre tipi di modellistiche finalizzate a valutare il grado di sensibilità e vulnerabilità del suolo applicate sperimentalmente a differenti ambiti territoriali (tabella 3).

*Modellistica per la valutazione delle modificazioni delle caratteristiche chimico-fisiche dei suoli in funzione delle trasformazioni agro forestali mediante la procedura del confronto multitemporale.*

Le trasformazioni nell'utilizzo del suolo verificatesi nell'ultimo quarantennio possono avere contribuito a modificare più o meno intensamente le caratteristiche pedologiche originarie e di conseguenza ambientali, di un determinato territorio. La modellistica sviluppata in questo contesto analizza da un lato le dinamiche dell'utilizzazione del suolo e dall'altro le trasformazioni riscontrate in alcuni parametri chimico-fisici presi come indicatori del livello di fertilità naturale dello stesso. Come osservabile in figura 2, nella quale viene rappresentato il flusso logico seguito, dati relativi alle dinamiche di uso e alla modificazione dei caratteri chimico-fisici del suolo, nonché alle caratteristiche pedologiche delle aree oggetto di studio, sono posti in relazione attraverso operazioni di sovrapposizione topologica.

*Modellistica per la valutazione della vulnerabilità ambientale.*

Stanno assumendo sempre più importanza gli studi finalizzati alla tutela delle acque e del suolo che, partendo dalla valutazione della vulnerabilità intrinseca del territorio, ne definiscono poi condizioni diverse di vulnerabilità in funzione delle differenti fonti di inquinamento, di tipo prevalentemente antropico, che è possibile rilevare.

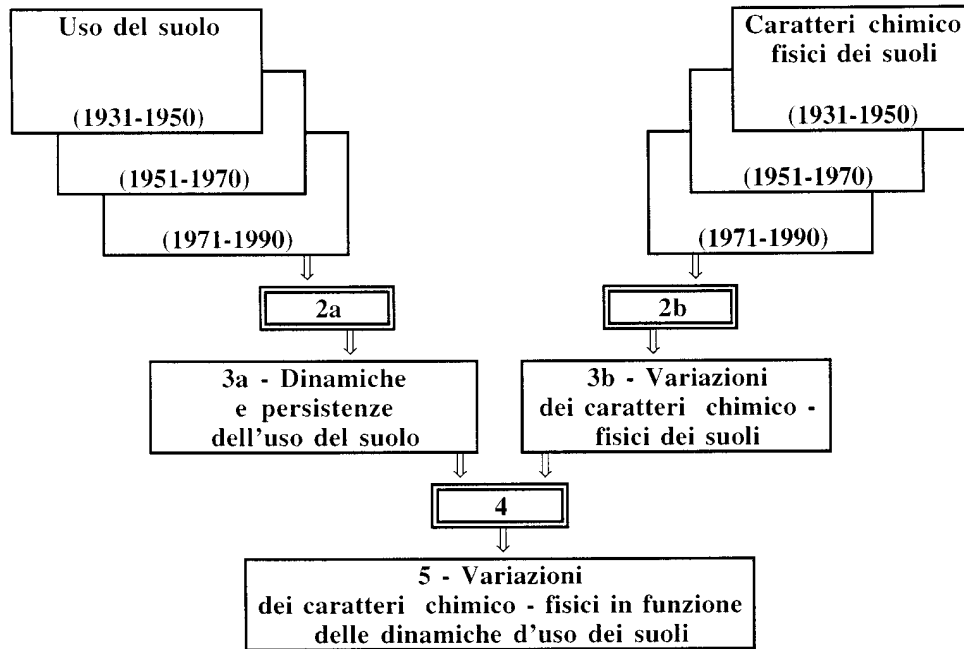


Fig. 2. Schema operativo per la valutazione delle modificazioni chimico-fisiche dei suoli in funzione delle trasformazioni del loro utilizzo e dei caratteri pedologici.

Particolare significato acquistano quindi le metodologie che stimano il possibile trasferimento di un inquinante idroveicolato dalla superficie topografica al tetto dell'acquifero più superficiale e poi da questo a quello più profondo, dal quale vengono captate le acque per uso potabile. Il modello proposto, il cui schema operativo è riportato in figura 3, è di tipo parametrico a punteggio semplice (*rating system*) nel quale:

- vengono definiti a priori una serie di tematismi ambientali che influenzano il fenomeno dell'infiltrazione;
- ad ogni classe considerata per ogni singolo tematismo viene attribuito un valore ponderato di vulnerabilità; tale valore risulta compreso tra 1 e 5, corrispondenti rispettivamente al minimo ed al massimo livello di influenza esercitato sul fenomeno dell'infiltrazione;
- per ogni singolo tematismo il territorio in esame viene cartografato e successivamente riclassificato in aree omogenee dal punto di vista della protezione fornita nei confronti dei fenomeni di infiltrazione, caratterizzate da medesimi valori ponderati di vulnerabilità;
- attraverso l'intersezione delle diverse carte tematiche riclassificate si esegue la sommatoria dei valori ponderati attribuiti alle diverse aree del territorio; la riclassificazione dei valori risultanti consente la valutazione complessiva della vulnerabilità ambientale all'infiltrazione.



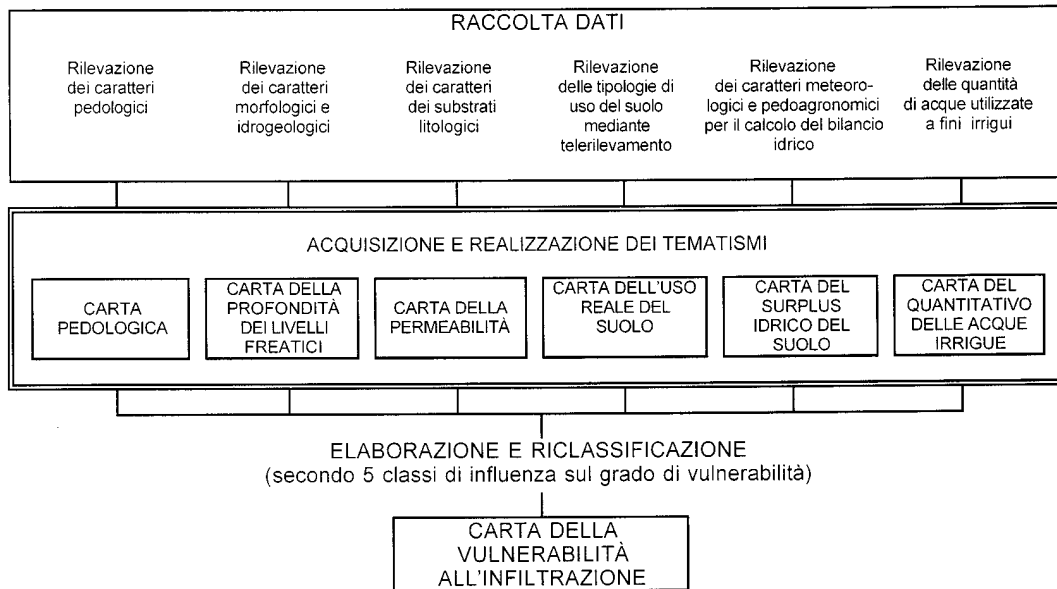


Fig. 3. Schema operativo del modello di vulnerabilità all'infiltrazione.

*Modellistica per la valutazione della distribuzione e della concentrazione dei metalli nei suoli.*

La presenza dei metalli pesanti nel suolo, talvolta con aliquote superiori a quelle ritenute critiche dalle normative italiane e comunitarie in materia, può costituire una delle cause dell'inquinamento del terreno. In relazione a specifici meccanismi di natura chimico-fisica, un progressivo accumulo di metalli può portare ad un crescente rischio di assimilazione da parte delle colture vegetali con conseguente ingresso nelle catene alimentari. Un suolo con anomala presenza di metalli pesanti, a prescindere dalla loro speciazione, mobilità e provenienza, ha scarse possibilità di ridurre la concentrazione, in quanto gran parte dei metalli ha limitate possibilità di traslocazione lungo il profilo o di essere asportati in quantità notevole dalle specie vegetali coltivate; del resto la valutazione della pericolosità dei metalli pesanti nei terreni non può essere ottenuta con la sola determinazione del contenuto totale, in quanto non vi è quasi mai corrispondenza tra questo dato e l'assorbimento degli stessi da parte delle piante e la loro presenza nella soluzione del suolo.

In Italia alcuni tipi litologici presentano componenti mineralogiche ad elevato contenuto in metalli pesanti; l'alterazione di tali rocce porta inevitabilmente o ad un processo di concentrazione di alcuni metalli nel suolo su di esse formati o di trasporto, a causa soprattutto delle acque dilavanti, verso territori talvolta considerevolmente lontani dall'origine; in altri casi, invece, la presenza dei metalli pesanti

è dovuta ad attività antropiche e risulta di conseguenza importante individuare le fonti che hanno provocato la contaminazione dei suoli.

Molti metalli in realtà risultano necessari, anche se in basse concentrazioni, alla vita animale e/o vegetale. Il limite tra essenzialità e tossicità è molto variabile da organismo a organismo e da elemento a elemento; alcuni metalli pesanti, a tutt'oggi, non risultano essere essenziali agli organismi viventi e non si hanno riscontri della loro presenza in reazioni biologiche essenziali (ad es. Cd, Hg, Pb).

Un eccessivo carico di metalli pesanti nei suoli può provocare una serie di inconvenienti quali tossicità nei confronti dei vegetali, accumulo nel suolo agrario con conseguente modificazione della qualità dello stesso, accumulo nei vegetali e

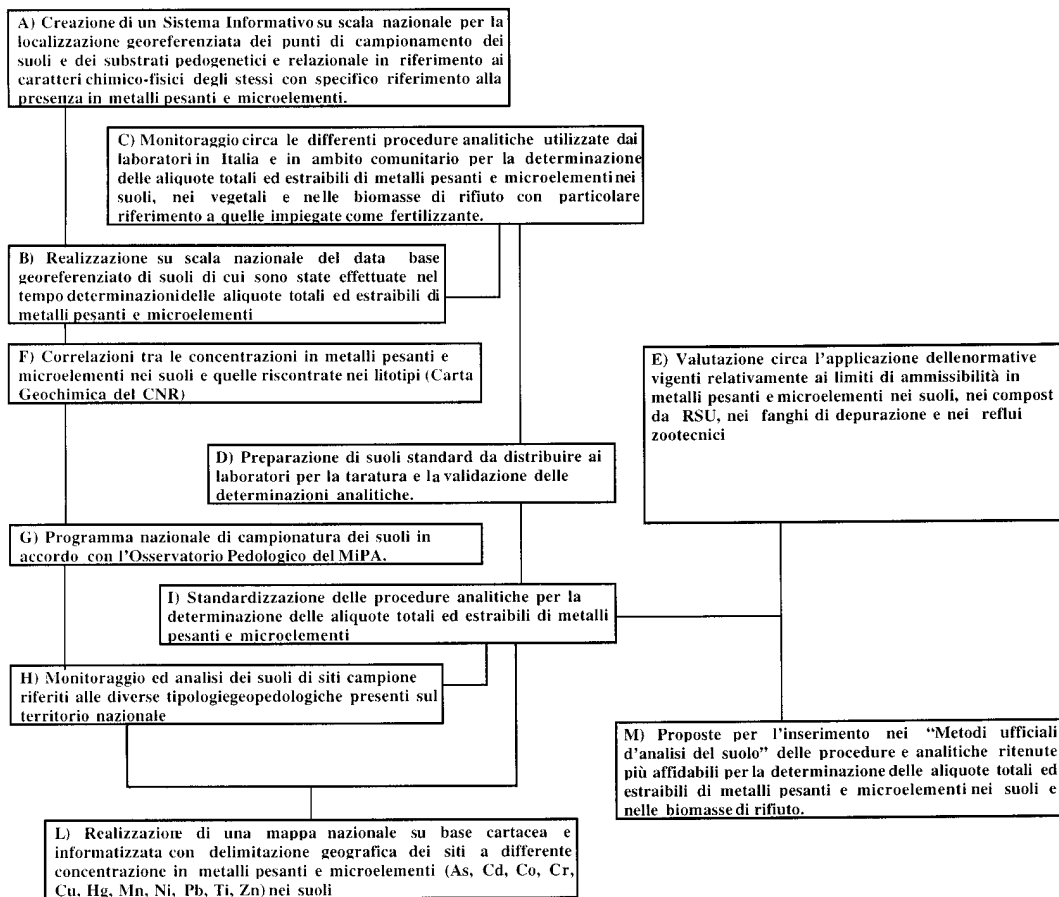


Fig. 4. Schema operativo per un bilancio quali-quantitativo sul contenuto in metalli pesanti e microelementi nei suoli e nelle biomasse di rifiuto a scala nazionale.

conseguente immissione degli stessi nella catena alimentare, possibile inquinamento delle falde e dei corsi d'acqua superficiali.

Risulta pertanto indispensabile avviare un programma di monitoraggio in grado di valutare gli ambienti geografici ed i suoli in essi presenti, in funzione delle concentrazioni di uno o più metalli pesanti, analizzando le cause delle eventuali concentrazioni elevate se di origine naturale o antropica (figura 4).

#### BIBLIOGRAFIA

- Aringhieri R. (1999): "Salinità e struttura del terreno", *Boll. S.I.S.S.*, 48, 305-314.
- Benvegnù F., Brondi A., Mastino G., Polizzano C. (1994): "Metodologie di indagine ed analisi dei caratteri naturalistici del territorio per la conoscenza, la gestione e le attività di risanamento, sviluppo e prevenzione dell'inquinamento dei sistemi ambientali", su *Prima monografia sulla difesa del suolo*, a cura di L. Serva, CNR-Gruppo Naz. Difesa Catastrofi Idrogeol., pp. 9-54, Roma.
- Bertozzi R., Buscaroli A., Gardi C., Sequi P., Vianello G. (1993): "A GIS application to the valuation of the grade of sensibility of soils for their utilization", *Proceedings EGIS'93*, 1:1533, 1016-1025.
- C.E.R.A.S. (1996): "I suoli delle aziende sperimentali", *Ass. Agricoltura, Regione Emilia-Romagna*.
- Ciavatta C., Sequi P., Vianello G. (1991): "An Italian approach to the determination of vulnerable areas", *International Symposium Happing of soil and terrain vulnerability to specified groups of chemical compounds in Europe*, ISRIC, Wageningen.
- Ciavatta C., Govi M., Simoni A., Sequi P. (1993): "Evaluation of heavy metals during stabilization of organic matter in compost produced whit municipal solid wastes", *Biores. Techn.*, 43, 147-153.
- Giordani C., Zanchi C. (1995): *Elementi di conservazione del suolo*, Patron Editore, Bologna.
- Hênin S., Gras R., Monnier G. (1973): *Il profilo colturale*, edizione italiana a cura di E. Zanini, Edagricole, Bologna.
- Sequi P., Vianello G. (a cura di) (1998): *Sensibilità e vulnerabilità del suolo. Metodi e strumenti d'indagine*, P.F. RAISA-CNR e PANDA-MiPA, Collana Sistema Agricolo Italiano, Franco Angeli Editore, Milano.
- Vianello G. (1993): "Il problema della conservazione del suolo nel bacino padano", in *L'impatto delle agro-tecnologie nel bacino del Po*, P.F. RAISA-CNR, Collana Sistema Agricolo Italiano, pp. 123-127, Franco Angeli Editore, Milano.