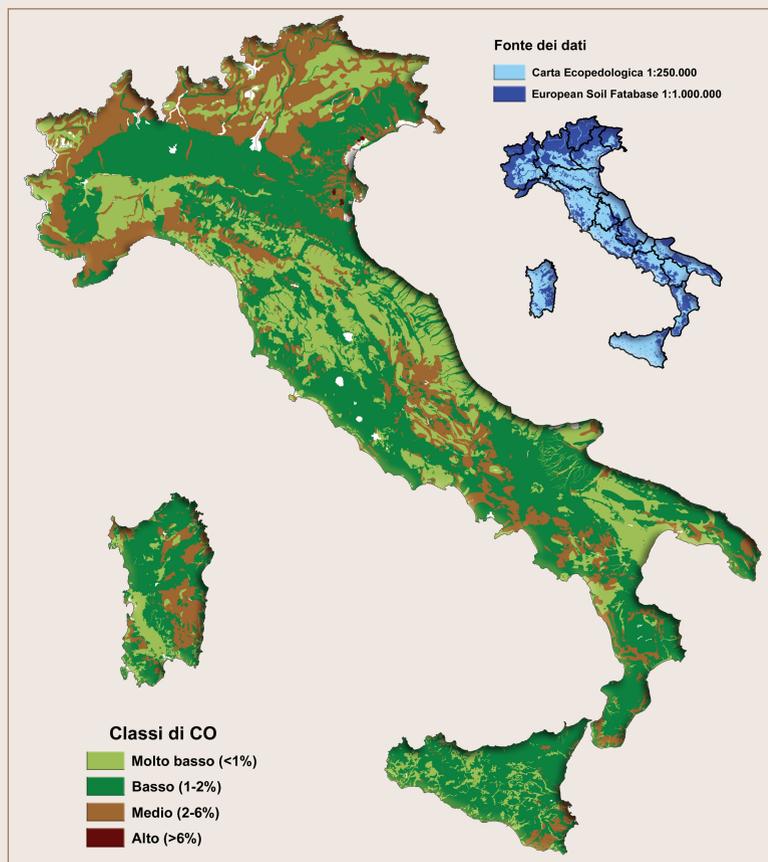


**Fig. 3.4** - Variazione del contenuto in sostanza organica con la lavorazione del terreno. Così si può presentare, tipicamente, la situazione in un terreno a prato-pascolo convertito a mais: 1) situazione preesistente; 2) dopo la prima lavorazione; 3) dopo cinque anni di lavorazione; 4) dopo dieci anni di lavorazione; 5) dopo quindici anni di lavorazione.



**Fig. 3.5** - Stima del carbonio organico (CO) presente nei suoli italiani.

Per trasformare il contenuto di CO misurato nel corrispondente contenuto di SO si ricorre all'equazione:  
 $SO = CO \times 1,724$ .

Sulla base della classificazione adottata la situazione non è rassicurante e allineata alle stime europee: circa l'80% dei suoli italiani ha un tenore di CO minore del 2%, di cui una grossa percentuale ha valori di CO minore dell'1%. Tutto ciò si traduce in una grande percentuale di suoli con valori di SO minori o poco più alti del 2%.

La stima è basata sulle analisi effettuate per la realizzazione della Carta Ecopedologica d'Italia integrate con i dati dell'European Soil Database. Una elaborazione di maggior dettaglio, derivante dall'armonizzazione delle informazioni disponibili presso gli enti che svolgono la funzione di Servizio Pedologico Regionale, è in via di realizzazione nell'ambito del Progetto SIAS (Sviluppo di Indicatori Ambientali sul Suolo), coordinato da APAT.



**Una scarsa dotazione di sostanza organica riduce la fertilità fisica, chimica e biologica impedendo che il suolo svolga correttamente le sue funzioni**

## LA PERDITA DI BIODIVERSITÀ

**P**er biodiversità del suolo, si intende la grandissima varietà di organismi che lo popolano. Il concetto, se guardato dal punto di vista del numero dei viventi coinvolti, è molto più complesso di quanto possa sembrare. All'interno del suolo la densità degli organismi raggiunge spesso valori elevati (Fig. 3.6). Un solo grammo di suolo in buone condizioni può contenere centinaia di milioni di batteri appartenenti ad un numero enorme di specie diverse; in un grammo di suolo arato possono essere presenti fino a 40.000 individui appartenenti al gruppo dei protozoi mentre, nelle praterie, i nematodi possono raggiungere densità pari a 20.000.000 individui/m<sup>3</sup>.

La biodiversità nel suolo, come negli altri ambienti, può essere valutata in vari modi e a diversi livelli: diversità genetica, tassonomica, ecologica e funzionale. In questo contesto l'interesse maggiore si concentra su quest'ultimo aspetto, ossia su quanto sia fondamentale la biodiversità nel suo ruolo di mantenimento delle funzionalità del suolo stesso. Nel capitolo 2 si è visto che, in condizioni naturali, i suoli contengono organismi in grado di degradare agenti inquinanti e quindi di ostacolare la contaminazione chimica.

Tuttavia la funzione protettiva e conservativa del suolo non è infinita e l'idea che il suolo possa essere un contenitore od una barriera perpetua da poter utilizzare liberamente (numerosi sarebbero, purtroppo, gli esempi in cui l'uomo ha abusato di questa funzione) è un'idea a lungo andare perdente. Infatti, una

Batteri e funghi	500-5000kg/ha
Attinomiceti	500-2000kg/ha
Alghe	50-500kg/ha
Micro e meso fauna	500-2000kg/ha
Uomo	100kg/ha



**Fig. 3.6** - Rappresentazione della proporzione esistente tra la biomassa contenuta nel suolo e quella epigea.



**Fig. 3.7** - Esempi di microartropodi viventi nel suolo: a) isopode; b) larva di cicala.

concentrazione eccessiva di inquinanti può avere un effetto negativo su molti degli organismi del suolo sia direttamente, per emigrazione o morte degli individui e delle specie più sensibili, sia indirettamente, a causa dello sviluppo di organismi resistenti e poco specializzati.

In realtà i motivi di perdita di diversità del suolo non sono limitati solo al problema degli inquinanti. Tenendo conto che la maggiore attività degli organismi si riscontra nei primi 10-20 cm di profondità, le pratiche agricole intensive (lavorazione profonda e frequente) hanno un impatto negativo su tutti gli organismi del suolo, creando un habitat sfavorevole.

Anche la compattazione, che generalmente porta ad una riduzione delle dimensioni dei pori più grandi e della loro continuità, riduce l'habitat favorevole per gli organismi edafici. La diminuzione della porosità provoca una diminuzione della quantità di ossigeno circolante, generando modificazioni nelle catene alimentari ed in particolare modificazioni nel tipo e nella distribuzione degli organismi.

Una grave perdita di biodiversità si verifica in tutte le trasformazioni dell'uso del territorio che prevedono la cementificazione e l'impermeabilizzazione del suolo. I mancati apporti di sostanza organica rappresentano un'altra causa di diminuzione della biodiversità; la quantità di carbonio, infatti, rappresenta il principale fattore di crescita per gli organismi edafici e la sua carenza può limitare lo svolgimento delle attività biologiche.

Altri fattori che limitano la presenza di organismi nel suolo sono i seguenti:

1. L'erosione e gli incendi, possono sottrarre sostanza organica e pertanto determinare una notevole diminuzione della diversità.
2. Un incremento in sali o una variazione del pH possono modificare la struttura delle comunità di microrganismi.
3. L'introduzione accidentale o deliberata di specie alloctone può determinare che una di esse trovi condizioni favorevoli per lo sviluppo generando esplosioni demografiche che rafforzano il successo della specie introdotta a spese di quelle autoctone in equilibrio con l'ambiente.

Ancora da studiare, ma da non sottovalutare, sono gli impatti delle colture transgeniche sul suolo; la persistenza dei transgeni nel terreno, anche dopo molti anni dalla coltivazione, può portare a modifiche nella composizione e nel metabolismo della biodiversità edafica.

Non va per ultimo dimenticato che la diversità del suolo è la fonte principale di antagonisti naturali di organismi dannosi e malattie quindi una sua perdita porta alla scomparsa di un arma efficace a supporto dei sistemi produttivi agricoli.



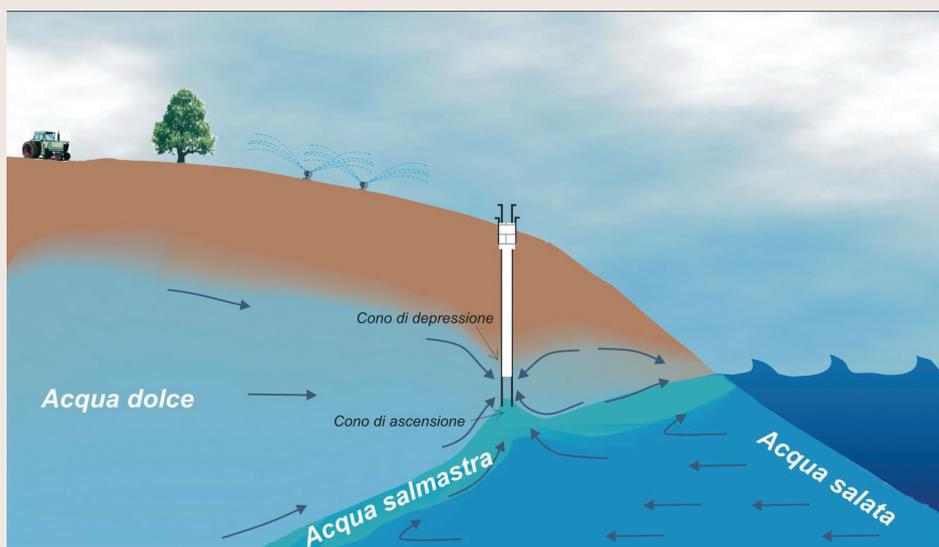
*Come per la specie umana uno dei segreti del suolo è rappresentato dalla biodiversità che esso racchiude*

## LA SALINIZZAZIONE

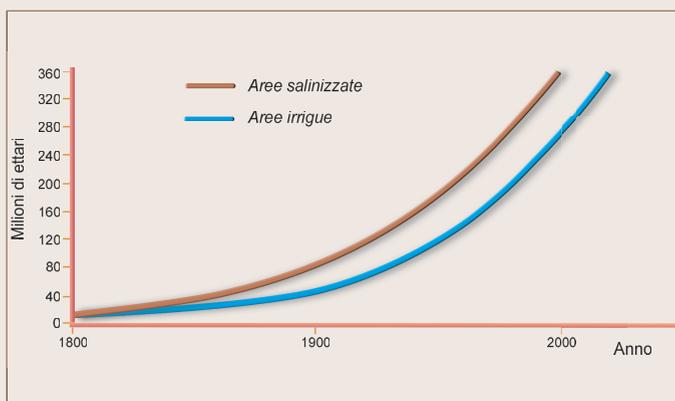
Ogni suolo possiede un naturale contenuto in sali, essenziali per lo sviluppo vegetale, che deriva dagli stessi processi che ne hanno determinato la formazione (salinità primaria). Quando fattori naturali o antropici determinano un accumulo di sali nel suolo fino a un livello tale da compromettere l'attività vegetativa e produttiva delle colture e da determinare anche effetti indesiderati sull'ambiente (vedi box), i suoli vengono definiti "salini". Fra le emergenze ambientali direttamente legate alla salinità del suolo un rilievo particolare va dato ai processi di salinizzazione secondaria anche per quei suoli che, pur non presentando attualmente il problema, potrebbero ragionevolmente salinizzarsi per via del perpetuarsi di alcune attività antropiche. In particolare la salinizzazione secondaria dei suoli a causa dell'irrigazione (Fig. 3.9) rappresenta un problema

destinato ad aggravarsi non solo per la spinta competizione esistente fra città, industria e campagna nell'uso dell'acqua, per il sovrasfruttamento delle falde (Fig. 3.8) e per l'impiego in agricoltura di acque sempre meno idonee (acque saline, acque reflue civili e industriali), ma anche per effetto dei previsti cambiamenti climatici che, incrementando l'aridità, determinerebbero una minore lisciviazione ed un conseguente aumento della salinizzazione. Particolarmente esposte risultano pertanto le aree a clima tendenzialmente caldo-arido.

Per il nostro paese ancora oggi non è disponibile, a livello nazionale, una cartografia di dettaglio che dia conto di caratteristiche e distribuzione dei suoli salini. Solo recentemente una indagine conoscitiva ha evidenziato che le aree maggiormente affette dal problema risultano essere la bassa pianura padano-veneta, le



**Fig. 3.8** - Il sovrasfruttamento delle falde e/o l'immagazzinamento della risorsa idrica a monte provoca l'abbassamento del livello dell'acqua e la conseguente possibilità di intrusione salina nelle aree costiere. Quando i prelievi delle acque mediante pozzi, captazioni, ecc. sono superiori alla ricarica naturale delle falde acquifere, il livello dell'acqua può scendere drasticamente fino a compromettere la riserva idrica.



**Fig. 3.9** - Sviluppo globale, proiettato al 2020, dell'irrigazione e della salinizzazione secondaria dei suoli. Le aree soggette a salinizzazione secondaria sono più estese dei territori irrigui in quanto la salinizzazione secondaria influenza, in genere, una superficie maggiore rispetto a quella irrigua.

### MA QUALI SONO GLI EFFETTI DELLA SALINIZZAZIONE SUL SUOLO?

L'accumulo di sali nel suolo è un fattore fortemente degradante la sua qualità fisica e biologica. Tra gli effetti che si presentano alcuni sono notevolmente negativi:

- l'essiccamento fisiologico o comunque gli squilibri nell'assorbimento degli elementi da parte dei vegetali possono ridurre drasticamente le rese
- la notevole quantità di sodio genera una degradazione della struttura del suolo fino a condizioni di tipo massivo persistenti, con effetti disastrosi sia sugli organismi viventi che sull'incremento dell'erosione.

aree costiere tirreniche ed adriatiche e le isole (Fig. 3.10).

I problemi posti dai suoli salini per il loro miglioramento non sono facilmente risolvibili e, nelle aree irrigue, vengono complicati dalle complesse relazioni acqua-suolo che si instaurano in funzione della natura del suolo, della sua granulometria e struttura, dell'erosione, delle tecniche di coltivazione, dei metodi irrigui, della qualità e delle dinamiche delle acque.

Un metodo unico, sempre valido ed universal-

mente applicabile per il controllo della salinità o dei rischi di potenziale salinizzazione non esiste; di volta in volta si dovrebbe ricorrere alla combinazione di diverse pratiche da integrare fra loro, da scegliere secondo i casi, tenendo sempre presente che le azioni volte alla prevenzione devono avere la priorità sulle azioni di recupero. L'adozione di un particolare metodo dovrebbe essere dettata dalle caratteristiche del suolo, dagli scopi che si vogliono raggiungere e dalla economicità dell'impresa.

**UN ASPETTO POCO CONOSCIUTO...**

*Nella salinizzazione secondaria va considerato anche l'aspetto legato allo spargimento sulla rete viaria di sali in funzione antigelo. Col passare del tempo si ha la tendenza all'accumulo cronico nei suoli circostanti di soluti, in orizzonti posti sempre alla stessa profondità, le cui concentrazioni di sali possono arrivare ad essere anche 2-3 ordini di grandezza superiori rispetto a quelle presenti in origine nel suolo.*



**Fig. 3.10** - Distribuzione dei suoli salini in Italia (in rosso). Si noti la diffusione del fenomeno in Sicilia dove i suoli interessati da salinizzazione coprono circa il 10% del territorio regionale (circa 250.000 ha).



**"La salinizzazione del suolo è uno dei principali processi che contribuiscono alla catastrofe biologica mondiale"**  
**Accademia Nazionale delle Scienze degli Stati Uniti d'America**

## L'EROSIONE IDRICA

**L'**erosione è un fenomeno naturale che consiste nella perdita dello strato più superficiale del terreno, a causa dell'azione dell'acqua piovana o del vento.

Con l'avvento dell'agricoltura moderna e, soprattutto, con l'introduzione di alcune forme spinte di meccanizzazione, il livellamento delle pendici, l'abbandono delle sistemazioni idraulico-agrarie tradizionali e la specializzazione delle colture, l'erosione ha assunto proporzioni preoccupanti specialmente nelle aree di collina con effetti economici rilevanti soprattutto nelle aree con colture di pregio.

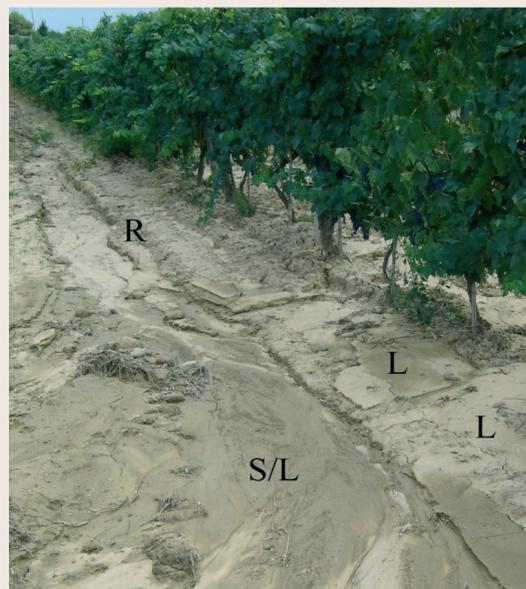
I danni arrecati dall'erosione, che si evidenziano in termini di perdita di suolo, di fertilità, di biodiversità, di modificazione del paesaggio ecc., sono tali da richiedere interventi correttivi che molte volte consentono solo un parziale ripristino delle condizioni ottimali.

L'erosione idrica è distinta in quattro tipologie principali:

- 1) Erosione da azione battente delle gocce di pioggia (*splash erosion*).
- 2) Erosione laminare (*sheet erosion* o *inter-rill erosion*): dovuta all'azione combinata dello *splash* e dello scorrimento superficiale delle acque sotto forma di un velo che non forma rigagnoli evidenti (Fig. 3.11).
- 3) Erosione incanalata: rappresenta la principale forma erosiva nei terreni agrari. La perdita di suolo è da imputare al distacco ed al trasporto delle particelle causato dallo scorrimento dell'acqua nei rigagnoli (*rill erosion*) che sovente si impostano lungo le direzioni di lavoro delle macchine. I rigagnoli possono evolvere in forme erosive più severe (per burroni - *gully erosion*) (Fig. 3.12).
- 4) Erosione di massa (frane): deriva dall'azione combinata delle acque meteoriche e della gravità e, nelle aree agricole, è generalmente legata ad una mancata regimazione delle acque, all'appesantimento del suolo a seguito delle piogge e alla presenza di strati compattati lungo il profilo (suola d'aratura) che possono rappresentare la superficie di scivolamento di volumi, anche notevoli, di suolo (Fig. 3.13).

L'asportazione di suolo dovuta agli attrezzi agricoli (arature, rasature) è denominata "erosione da lavorazione" o *tillage erosion*.

Buona parte del territorio italiano è potenzialmente affetto da rischio di erosione a causa della notevole energia di rilievo e dell'erodibilità dei suoli. L'erosione potenziale diventa attuale quando, ai fattori naturali di rischio (aggressività della pioggia, pendenza ed erodibilità del suolo), si associa un uso del suolo che può esporre in maniera diversa la superficie del suolo all'azione diretta



**Fig. 3.11** - Forme di erosione: L= erosione laminare (o interrill) con formazione di crosta; R= erosione incanalata (per rigagnoli); S= zone di sedimentazione; S/L= zone a dinamica complessa (erosione e/o deposizione, secondo la velocità delle acque).



**Fig. 3.12** - Erosione per burroni (*gully erosion*).



**Fig. 3.13** - Flussi di suolo su strati compattati dall'aratura.

della pioggia battente. Dall'elaborazione dei dati forniti dall'ESB su banca dati CORINE (1992) risulta che circa il 30% dei suoli presentano un rischio di erosione che supera le  $10t * ha^{-1} * anno^{-1}$  (Fig. 3.16). Inoltre il rischio d'erosione è aumentato, negli ultimi decenni, anche a causa dell'aumento dell'aggressività delle piogge, in relazione con il generale mutamento del clima in atto.

Allo scopo di attuare le tecniche agronomiche appropriate per ridurre l'erosione è necessario conoscere i fattori che influenzano l'erosione del suolo e le modalità per stimarla. Esistono molti modelli di stima dell'erosione, la maggior parte dei quali richiede dati relativi al suolo, alla morfologia, al clima, alle piante e alla conduzione agronomica. E' anche vero che i modelli forniscono però un valore di erosione riferito ad una condizione "media". Di conseguenza è necessaria una calibrazione del modello per la singola situazione analizzata.

Per contrastare il fenomeno dell'erosione è necessario attuare una serie di interventi, riassumibili generalmente nelle "buone pratiche agricole". In generale tutte le agrotecniche che determinino un ostacolo alla formazione dei rigagnoli risultano utili.

Nello specifico si ricordano: lavorazioni secondo le curve di livello (che possono far ridurre l'erosione anche del 50% rispetto alle lavorazioni eseguite secondo la massima pendenza, cioè a rittochino), utilizzo di organi lavoranti che non generino superfici compattate nel suolo (suola d'aratura), contrasto dell'eccessivo amminutamento delle zolle per la preparazione dei letti di

semina, riduzione della dimensione degli appezzamenti lungo la massima pendenza, mantenimento e incremento dei terrazzamenti, sistemazioni idraulico-agrarie, drenaggi, inerbimenti, limitazione dei livellamenti. Questi ultimi, effettuati con macchine per il movimento di terra per l'impianto di colture arboree e specializzate determinano il troncamento del profilo del suolo nelle zone di scavo e l'accumulo, nelle zone di riporto, di notevoli masse di materiale incoerente a porosità disorganizzata e facilmente erodibile (Fig. 3.14). In queste condizioni, si possono frequentemente raggiungere tassi di erosione elevatissimi.

Per il settore forestale è indispensabile una conduzione idonea con le opportune pratiche (potature, cimature, cura del sottobosco, ecc.) e tenere conto della vocazionalità pedoclimatica per i nuovi impianti.



**Fig. 3.14** - Asportazione meccanica del suolo (filla-ge erosion). La raspatura è stata effettuata in vista dell'impianto di un vigneto. Si noti sulla destra il suolo originario.



**"L'acqua disfa li monti e riempie le valli  
e vorrebbe ridurre la Terra in perfetta sfericita', s'ella potesse"  
Leonardo da Vinci**

## VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI EROSIONE IDRICA IN ITALIA

L'erosione idrica, soprattutto nelle sue forme più severe, rappresenta una delle principali minacce per la corretta funzionalità del suolo. La rimozione della parte superficiale del suolo, maggiormente ricca in sostanza organica, ne riduce la produttività e può portare, nel caso di suoli poco profondi, ad una perdita irreversibile di terreni coltivabili. La conoscenza di questo fenomeno risulta, quindi, particolarmente utile come strumento decisionale per la pianificazione degli interventi di conservazione del suolo. La valutazione del rischio d'erosione sia essa idrica che eolica viene generalmente realizzata attraverso la modellizzazione del fenomeno oppure con prove sperimentali (parcelle, simulatori di pioggia etc.) realizzate direttamente in campo. Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, in collaborazione con il *Joint Research Centre - Ispra* - della Commissione Europea, ha realizzato a mezzo di un progetto apposito (Progetto Carta Ecopedologica) la Carta del Rischio d'erosione idrica per l'intero territorio Nazionale. Per la realizzazione di tale strato informativo è stata utilizzata l'Equazione Universale di Perdita di Suolo (USLE). La USLE è un modello empirico che fornisce risultati quantitativi. Empirico in quanto derivante da parcelle sperimentali realizzate negli Stati Uniti e dalla definizione matematica dei risultati riscontrati in tali parcelle; quantitativo in quanto fornisce come risultato un rischio d'erosione espresso in termini di tonnellate per ettaro per anno. I parametri presi in considerazione dall'equazione sono:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

A = stima della perdita di suolo per erosione idrica ( $t \cdot ha^{-1} \cdot anno^{-1}$ )

R = erosività delle precipitazioni

K = erodibilità del suolo

L = lunghezza del versante

S = pendenza del versante

C = fattore di copertura del suolo

P = pratiche di controllo dell'erosione

Come fonte dei dati per la definizione dei parametri dell'equazione sono stati utilizzati il *MARS meteorological database* per i dati climatici; il *Soil Geographical Database of Europe* 1:1.000.000 per le informazioni relative alle classi di tessitura dei suoli; il *CORINE Land Cover 1990 database* integrato con immagini NOAA AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) per l'uso del suolo; il *DEM (Digital Elevation Model)* risoluzione 250 m, per la pendenza e la lunghezza dei versanti. La cartografia in formato *grid* relativa al Rischio d'erosione idrica sia potenziale che attuale è stata realizzata con una definizione di 250 m.

I risultati ottenuti con l'applicazione della USLE risultano essere soddisfacenti anche se in alcune aree il rischio d'erosione appare accentuato rispetto a quanto effettivamente riscontrato nella realtà. In secondo luogo la USLE risulta fortemente influenzata dai parametri L e S e, data la risoluzione del DEM alcune aree che possono mostrare erosione in realtà non vengono evidenziate in cartografia.

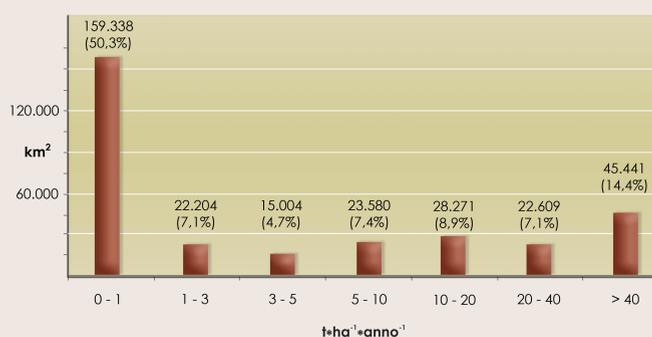


Fig. 3.15 - Distribuzione dei suoli in Italia secondo il rischio di erosione attuale (elab. P. Bazzoffi su dati CLC 90).

Un'ulteriore evoluzione nello studio del rischio d'erosione è stata compiuta con l'applicazione del modello PESERA (*Pan-European Soil Erosion Risk Assessment*). In questo caso il modello applicato è un modello fisicamente basato. I dati di base permangono all'incirca gli stessi presenti nella USLE con alcuni adattamenti soprattutto in riferimento alle componenti idrologiche del suolo e ad altri parametri quali l'indice di incrostamento dei suoli che ha una diretta influenza sul coefficiente di *run-off*. La carta del rischio d'erosione ottenuta con l'applicazione del modello PESERA mostra alcune differenze sostanziali rispetto a quella derivata dall'applicazione della USLE: compaiono aree a rischio d'erosione anche in aree a debole pendenza, per esempio in Pianura Padana, mentre, per contro, si riducono consistentemente le aree a rischio d'erosione in situazioni geomorfologicamente più accidentate.

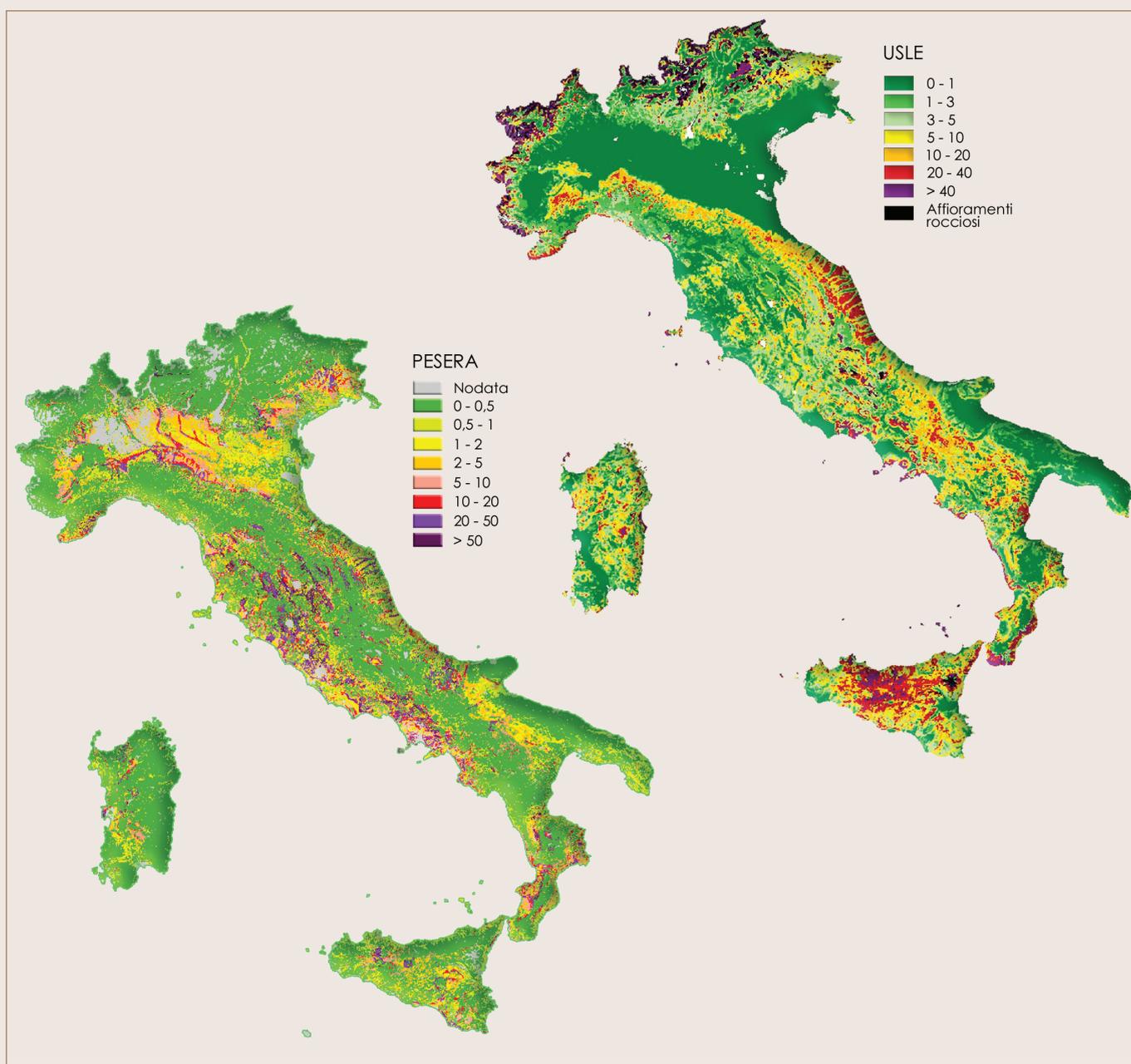
Tuttavia è utile segnalare che, al di là del modello utilizzato, è di fondamentale importanza l'operazione di validazione e calibrazione del modello medesimo, tramite la comparazione con misure dirette dell'erosione. I dati derivanti da misurazioni dirette, utili anche per il monitoraggio del fenomeno nel tempo, sono però, al momento, scarsi e non uniformemente distribuite sul territorio nazionale. Quindi è quanto mai opportuno quanto segnalato dalla Strategia per la protezione del suolo in Europa (COM (2006) 232) sulla necessità di attivazione di una rete di monitoraggio dei suoli a livello Nazionale ed Europeo.

Ulteriori studi sul rischio d'erosione sono in itine-

re a livello Europeo da parte del JRC. Essi sono volti, oltre che ad una miglior parametrizzazione del processo e miglioramento dei modelli, ad un'analisi del rischio d'erosione in stretto collegamento con gli aspetti gestionali del territorio e con le pressioni ambientali, quali il cambiamento climatico, a cui il territorio stesso è sottoposto. Sulla base di questo approccio sono in via di realizzazione una valutazione del trend evolutivo del fenomeno erosivo tramite il confronto tra i dati dell'uso e copertura del suolo del 1990 e del 2000 (CLC 1990 e 2000) ed una proiezione del rischio d'erosione dei suoli in relazione al cambiamento climatico sulla base

degli scenari previsti dall'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*).

La corrispondenza tra le stime derivanti dai modelli è la situazione reale è, comunque, fortemente dipendente dal dettaglio dei dati di base utilizzati, come appare evidente dal confronto con le carte dell'erosione prodotte dalle singole regioni e presentate nel capitolo 4. Sulla base di ciò è in atto un progetto congiunto APAT-Regioni-CRA-JRC finalizzato alla armonizzazione delle informazioni disponibili a livello regionale (Progetto SIAS) che porterà alla costruzione di un elaborato nazionale più accurato rispetto a quelli attualmente disponibili.



**Fig. 3.16** - Carta nazionale della Valutazione del Rischio di erosione idrica del suolo (di tipo laminare e per rigagnoli) ( $t \cdot ha^{-1} \cdot anno^{-1}$ ). A sinistra l'erosione valutata con il modello PESERA, a destra l'erosione valutata con il modello USLE. Pur offrendo interessanti informazioni a scala nazionale queste stime, a causa delle semplificazioni effettuate nella definizione dei parametri ambientali, non possono essere utilizzate per osservazioni puntuali o elaborazioni locali. I due modelli consentono l'applicazione a grande scala utilizzando dati di input di maggior dettaglio che determinano, in diversi casi, risultati anche sostanzialmente diversi dagli elaborati nazionali (vedi cartografie regionali).