

A topographic map of the Venetian plain, showing the intricate network of rivers and canals. The map is rendered in a light beige color, with the terrain's elevation indicated by subtle shading and contour lines. The Venetian lagoon and the surrounding plain are clearly visible, with the Adriatic Sea to the east.

Capitolo 3

struttura e applicazioni della banca dati
dei suoli del Veneto

Struttura della banca dati dei suoli

La banca dati dei suoli del Veneto si configura come un sistema informativo geografico che gestisce dati sia alfanumerici che geografici. Tutti i dati raccolti sono archiviati tramite un database relazionale gestito tramite il software MS Access. Esso raccoglie i dati puntuali delle osservazioni pedologiche descritte nei rilevamenti di campagna e i dati riguardanti la descrizione delle unità tipologiche di suolo, delle unità cartografiche e delle singole delineazioni della carta dei suoli in scala 1:250.000 e di carte a maggior dettaglio elaborate precedentemente.

L'archivio delle osservazioni

Le osservazioni totali, attualmente inserite nella banca dati regionale, sono circa 23.500. La maggior parte di esse è rappresentata da osservazioni speditive (trivellate e minipit) mentre circa 3000 sono i profili; l'archivio contiene anche più di 6000 foto di profili e di paesaggi.

Le informazioni archiviate sono organizzate in tabelle i cui campi sono uniti attraverso una chiave primaria univoca. Le tabelle principali sono:

- tabella SITO: raggruppa caratteri dell'ambiente quali l'uso del suolo, la morfometria, gli aspetti superficiali, la profondità della falda, ecc., e caratteri generali del suolo come il drenaggio, la permeabilità, il deflusso superficiale, ecc.;
- tabella CLASSIFICAZIONE: è possibile per ogni osservazione archiviare la classificazione secondo i due sistemi maggiormente in uso a livello internazionale: il World Reference Base

for Soil Resources (FAO, 1998) e la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1998), riportando anche la versione utilizzata, in modo da conservare lo storico (classificazioni sulla base di versioni precedenti all'attuale).

- tabella ORIZZONTI (minerali ed organici): per ogni orizzonte minerale di ogni profilo sono archiviate informazioni raccolte in campagna quali: spessore, colori, struttura, effervescenza all'HCl, figure pedogenetiche, granulometria, ecc. Per gli orizzonti organici, tipici delle osservazioni di montagna, sono raccolti i dati utili alla determinazione della forma di humus (struttura, tipo e quantità di deiezioni presenti, pH di campagna, ecc.);
- tabelle ANALISI: attualmente raccolgono i risultati di circa 6000 analisi di orizzonti campionati, effettuate presso il laboratorio dell'Osservatorio Regionale Suolo. I risultati delle analisi sono suddivisi in una tabella che riporta il set standard delle determinazioni (tessitura, pH in acqua, capacità di scambio cationico, basi di scambio, carbonio organico, carbonati totali e calcare attivo) e in altre che raccolgono le determinazioni di parametri ritenuti utili solo in alcuni casi specifici (metalli pesanti, Al e Fe in ossalato, salinità, ecc.) o le misure di parametri fisici (densità apparente, valori della curva pF, conducibilità idrica saturata, ecc.);
- tabella RICOLLEGAMENTO all'UTS: permette di definire, per ogni osservazione, il riferimento a una o più unità tipologiche di suolo. È la tabella di legame tra l'archivio delle osservazioni e quello delle unità tipologiche di suolo.

Le relazioni tra le tabelle dell'archivio delle osservazioni sono schematizzate nella figura 3.1.

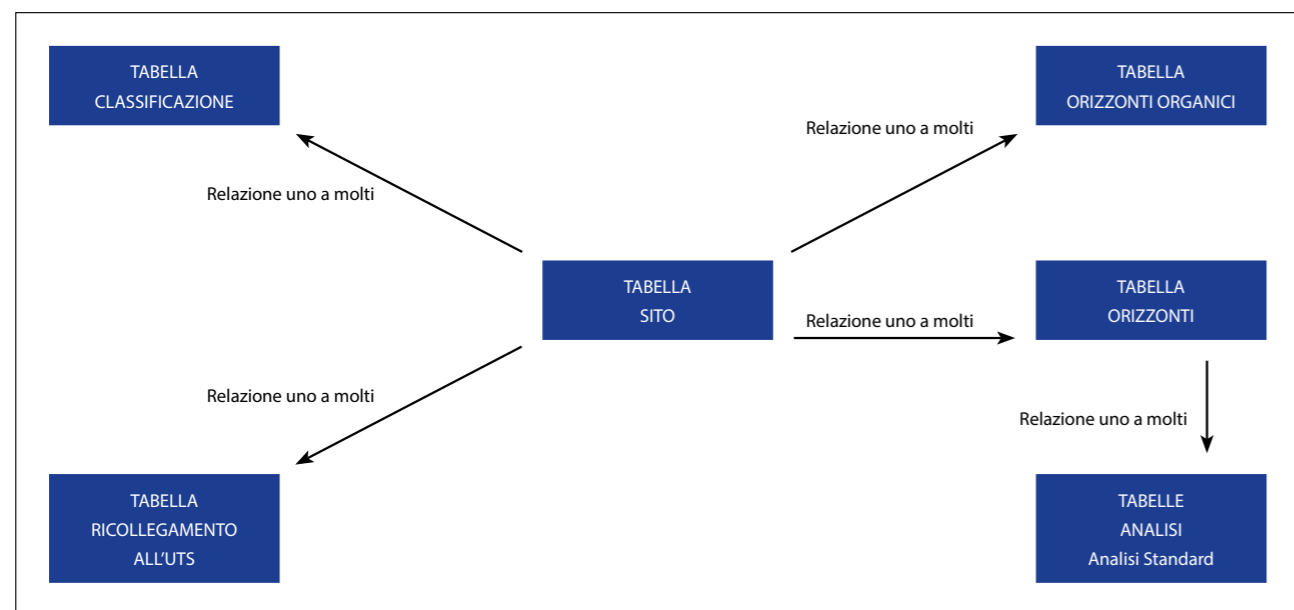


Fig. 3.1: Schema delle relazioni tra le tabelle dell'archivio delle osservazioni.

L'archivio delle unità tipologiche di suolo

Le informazioni sulle unità tipologiche di suolo sono anch'esse organizzate in tabelle nelle quali sono raggruppati elementi relativi all'ambiente, al suolo e ad aspetti funzionali. Le principali tabelle sono:

- tabella AMBIENTE: raccoglie informazioni riguardanti la morfometria (quota, pendenza, esposizione), la morfologia, il materiale parentale, l'uso del suolo prevalente, ecc.;
- tabella SUOLO: è legata con una relazione di tipo "uno a uno" alla tabella AMBIENTE e archivia i valori modali e gli intervalli di variabilità delle principali caratteristiche del suolo (profondità utile alle radici, profondità e tipo di limiti alla radicabilità, profondità della falda, drenaggio, pietrosità e rocciosità superficiali, regime termico e idrico, sequenza degli orizzonti, ecc.). Molti di questi caratteri sono espressi anche in classi.
- tabella CLASSIFICAZIONE: archivia la classificazione in cui ricade l'unità tipologica, secondo i sistemi di classificazione World Reference Base for Soil Resources e Soil Taxonomy, come già visto per gli archivi delle osservazioni.
- tabella ORIZZONTI: raccoglie i valori modali, minimi e massimi e spesso anche il valore della classe, delle caratteristiche dei principali orizzonti dell'unità tipologica di suolo (spessore, colori, tessitura, carbonati totali, reazione, granulometria, ecc.).

Ulteriori tabelle raccolgono le informazioni necessarie alla va-

lutazione di aspetti funzionali quali la capacità protettiva nei confronti delle acque sotterranee, i problemi nutrizionali specifici o la relazione nel paesaggio con altre unità tipologiche di suolo.

L'archivio delle delineazioni e delle unità cartografiche

Gli archivi delle singole delineazioni della carta dei suoli e delle unità cartografiche presentano una struttura analoga. In entrambi i casi infatti, si tratta di poligoni ai quali sono associati dati sulle caratteristiche ambientali generali (superficie, morfometria, uso del suolo, morfologia, geologia, clima, presenza di fenomeni erosivi, ecc.) e sulle unità tipologiche di suolo individuabili in tali ambienti. Ad un'unità cartografica sono ricollegate una o più delineazioni. Per ogni unità cartografica è compilata una tabella (tabella UC_UTS) che elenca le unità tipologiche di suolo presenti al suo interno, ne quantifica la percentuale di copertura e ne descrive la localizzazione e distribuzione (fig. 3.2).

La disponibilità di una banca dati facilita numerose operazioni altrimenti ingestibili a causa della numerosità dei dati o della complicazione dei calcoli. Attraverso sistemi di interrogazioni (query) infatti, è possibile filtrare le informazioni necessarie per determinate valutazioni (es. selezione di tutti i profili riconducibili ad un'unità tipologica di suolo) o calcolare parametri per il suolo nel suo insieme o per singolo orizzonte. Attraverso la compilazione di moduli (in linguaggio di programmazione MS

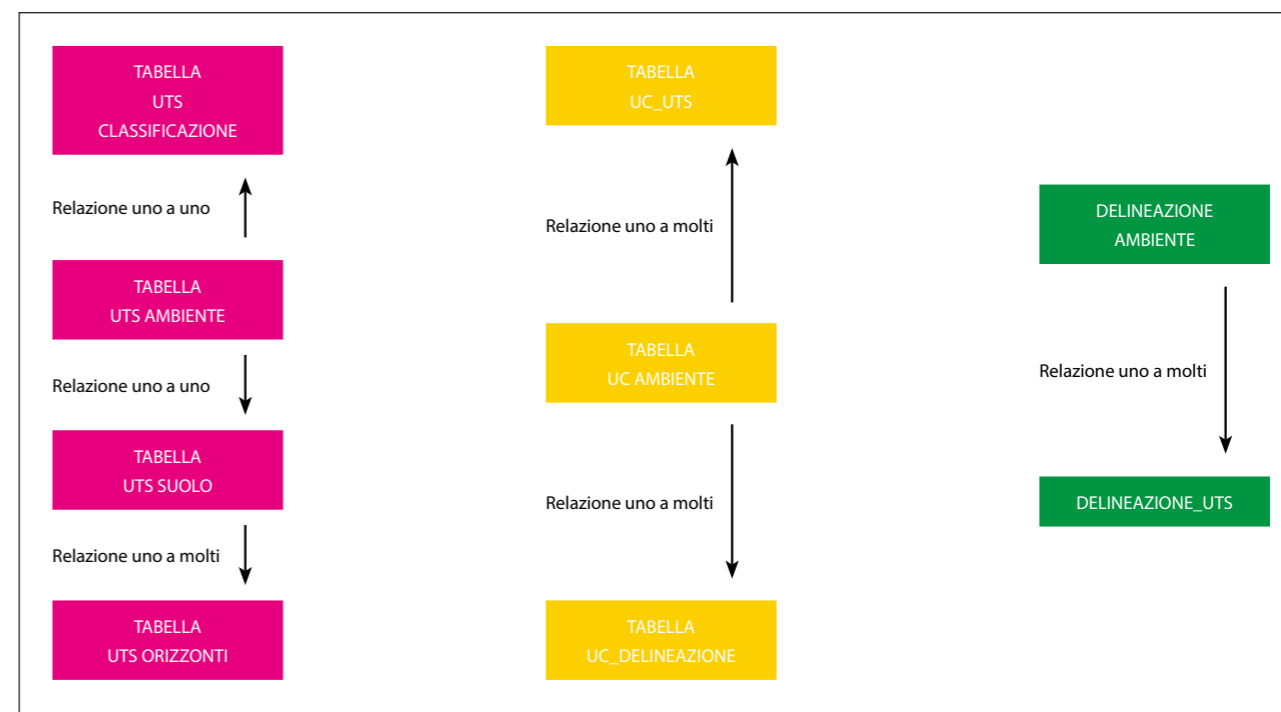


Fig. 3.2: Schema delle relazioni tra le tabelle dell'archivio delle unità tipologiche di suolo (UTS in rosso), delle unità cartografiche (UC in giallo) e delle delineazioni (in verde).

Visual Basic) inoltre, è possibile gestire calcoli più complessi come ad esempio il calcolo dell'AWC (Available Water Capacity) a profondità prefissate, per mezzo di pedofunzioni che utilizzano alcune informazioni estratte dalla tabella orizzonti (tessitura, contenuto di sostanza organica, contenuto in scheletro, ecc.). Attraverso l'uso di moduli è anche possibile ottenere dei report (fig. 3.4) che, attraverso tabelle di decodifica, trasformano i codici inseriti nella banca dati in schede descrittive di profili, unità tipologiche di suolo e unità cartografiche, corredate da analisi di laboratorio e fotografie.

I dati vengono inseriti mediante l'ausilio di maschere (fig 3.3) che, oltre a diminuire la probabilità di errore, rendono più agevole la compilazione dei campi con voci codificate, in quanto utilizzano elenchi "a tendina" che riportano codici e descrizioni corrispondenti.

Gli archivi precedentemente descritti, anche se gestiscono informazioni diverse, sono collegati tra loro tramite relazioni complesse (fig. 3.5) a formare un'unica banca dati regionale che l'Osservatorio Regionale Suolo dell'ARPAV ha il compito di ampliare, aggiornare e gestire.

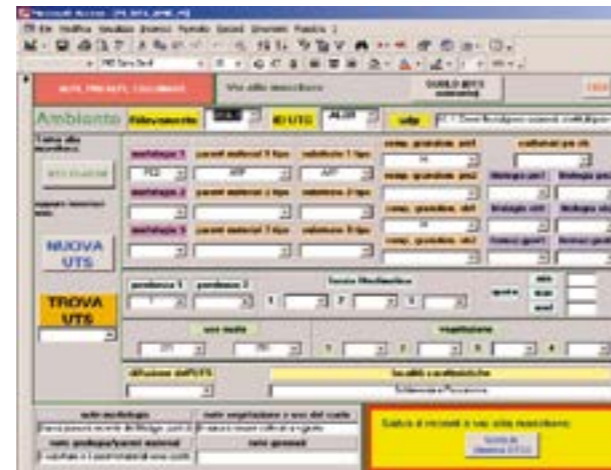


Fig. 3.3: Esempio di maschera di inserimento dati.

Esempi di applicazioni

CAPACITÀ D'USO DEI SUOLI

Per capacità d'uso dei suoli a fini agro-forestali (Land capability classification) si intende la potenzialità del suolo a ospitare e favorire l'accrescimento di piante coltivate e spontanee (Giordano, 1999).

Le unità tipologiche della carta dei suoli del Veneto sono state classificate in funzione di proprietà che ne consentono, con diversi gradi di limitazione, l'utilizzazione in campo agricolo o forestale.



Fig. 3.4: Esempio di report ottenuto dalla decodifica automatica dell'archivio delle osservazioni.

Selezione	Occorre	Selezione	Occorre
01 - EC1	Soletta	Rv0SP0002	Monte B.
Rv0SP0002	Monte B.	Rv0SP0003	Montebell.
Rv0SP0003	Montebell.	Rv0SP0004	Pignolo
Rv0SP0004	Pignolo	Rv0SP0005	Caselle
Rv0SP0005	Caselle	Rv0SP0006	Monte Lomello
Rv0SP0006	Monte Lomello	Rv0SP0007	La Basso
Rv0SP0007	La Basso	Rv0SP0008	La Basso2
Rv0SP0008	La Basso2	Rv0SP0009	Agosti di solo
Rv0SP0009	Agosti di solo	Rv0SP0010	Coste
Rv0SP0010	Coste	Rv0SP0011	Bocco
Rv0SP0011	Bocco	Rv0SP0012	Estor
Rv0SP0012	Estor	Rv0SP0013	Laghetto Lumera
Rv0SP0013	Laghetto Lumera	Rv0SP0014	Boca del Falso
Rv0SP0014	Boca del Falso	Rv0SP0015	Labellato
Rv0SP0015	Labellato	Rv0SP0016	Marer
Rv0SP0016	Marer	Rv0SP0017	Casa Signora
Rv0SP0017	Casa Signora	Rv0SP0018	C. D'Alen
Rv0SP0018	C. D'Alen	Rv0SP0019	Conca Verde
Rv0SP0019	Conca Verde	Rv0SP0020	Castagnoli
Rv0SP0020	Castagnoli	Rv0SP0021	F. Sarnò
Rv0SP0021	F. Sarnò	Rv0SP0022	Valle Fagnole
Rv0SP0022	Valle Fagnole	Rv0SP0023	Emilio
Rv0SP0023	Emilio	Rv0SP0024	Casa Fontanelle
Rv0SP0024	Casa Fontanelle	Rv0SP0025	Al Gorgo

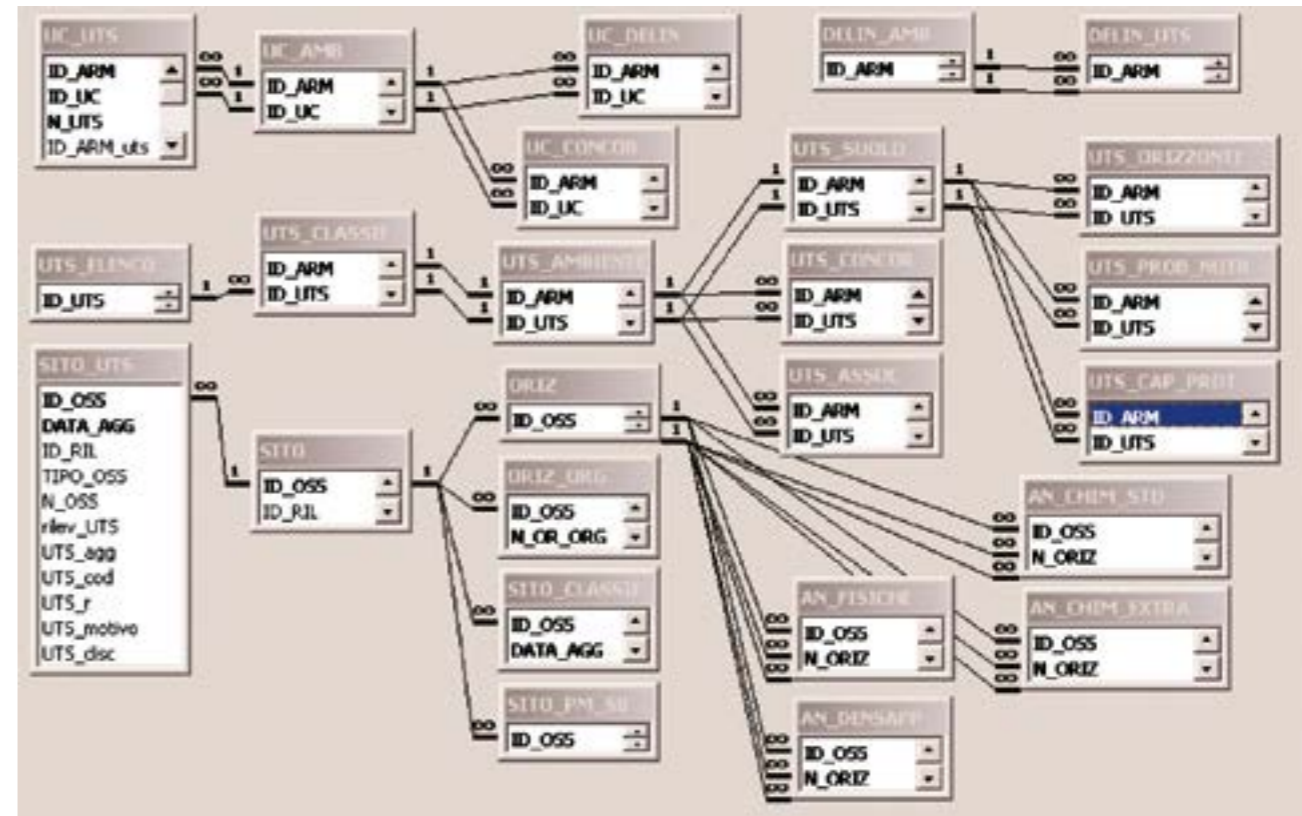


Fig. 3.5: Rappresentazione delle relazioni tra i diversi archivi (osservazioni, unità tipologiche di suolo, unità cartografiche) nella banca dati dei suoli del Veneto.

La potenzialità di utilizzo dei suoli, infatti, è valutata in base a:

- capacità di produrre biomassa;
- possibilità di riferirsi a un largo spettro culturale;
- ridotto rischio di degradazione del suolo.

Il metodo di valutazione della capacità d'uso (Land capability classification) è stato definito nell'ambito di un gruppo di lavoro interregionale (progetto SINA "Carta pedologica in aree a rischio ambientale") e ottenuto dagli schemi in uso nelle regioni coinvolte nel progetto (Emilia Romagna, Piemonte, Lombardia, Veneto e Friuli Venezia Giulia), utilizzando quale riferimento di base la proposta del Soil Conservation Service USDA (Klingebiel e Montgomery, 1961).

Seguendo questa classificazione i suoli vengono attribuiti a otto classi, indicate con i numeri romani da I a VIII, che presentano limitazioni crescenti in funzione delle diverse utilizzazioni. Le classi da I a IV identificano suoli coltivabili, la classe V suoli frequentemente inondata, tipici delle aree golenali, le classi VI e VII suoli adatti solo alla forestazione o al pascolo, l'ultima classe (VIII) suoli con limitazioni tali da escludere ogni utilizzo a scopo produttivo (fig 3.6).

Per l'attribuzione alla classe di capacità d'uso, si considerano 13 caratteri limitanti relativi al suolo, alle condizioni idriche, al rischio di erosione e al clima.

I caratteri del suolo (s) che costituiscono limitazione sono:

- profondità utile alle radici;
- lavorabilità;
- rocciosità;
- pietrosità superficiale;
- fertilità chimica;
- salinità.

Le caratteristiche indicatrici di limitazioni dovute all'eccesso idrico (w) sono:

- drenaggio;
- rischio di inondazione.

I caratteri considerati in relazione al rischio di erosione (e) sono:

- pendenza;
- franosità;
- stima dell'erosione attuale.

Gli aspetti climatici (c) che costituiscono limitazione sono:

- rischio di deficit idrico;
- interferenza climatica.

La classe di capacità d'uso del suolo viene individuata in base al fattore più limitante. All'interno della classe è possibile indicare il tipo di limitazione all'uso agricolo o forestale, con una

CLASSI DI CAPACITÀ D'USO	AMBIENTE NATURALE	FORESTAZIONE	PASCOLO			COLTIVAZIONI AGRICOLE			
			LIMITATO	MODERATO	INTENSO	LIMITATE	MODERATE	INTENSIVE	MOLTO INTENSIVE
I									
II									
III									
IV									
V									
VI									
VII									
VIII									

Fig. 3.6: Struttura concettuale della valutazione dei suoli in base alla loro capacità d'uso (da Giordano, 1999).

o più lettere minuscole, apposte dopo il numero romano (es. VI_{s1c12}) che identificano se la limitazione, la cui intensità ha determinato la classe di appartenenza, è dovuta a proprietà del suolo (s), ad eccesso idrico (w), a rischio di erosione (e) o ad aspetti climatici (c).

La classe I non ha sottoclassi in quanto indica suoli che presentano poche o deboli limitazioni nei riguardi dei principali utilizzi.

La classe di capacità d'uso attribuita ad ogni suolo è indicata sia nella legenda della carta dei suoli (ultima colonna) che nel volume di descrizione delle tipologie di suolo presenti in ambito regionale. Lo schema utilizzato è consultabile nel volume della legenda.

CAPACITÀ PROTETTIVA DEI SUOLI NEI CONFRONTI DELLE ACQUE SOTTERRANEE.

Come è riconosciuto anche a livello normativo dal DLgs 152/99 sulla tutela delle acque, il suolo è in grado di funzionare da filtro naturale dei nutrienti apportati con le concimazioni minerali ed organiche, riducendo le quantità potenzialmente immesse nelle acque. Questa capacità di attenuazione, definita anche "capacità protettiva" del suolo, dipende da caratteristiche del suolo, fattori ambientali (condizioni climatiche e idrologiche)

e fattori antropici (ordinamento colturale e pratiche agronomiche). Le complesse interazioni tra tali fattori sono difficilmente valutabili utilizzando approcci di tipo qualitativo, che non derivino da dati sperimentali relativi ai diversi contesti ambientali.

Nell'ambito della Regione Veneto, questa problematica è stata per la prima volta affrontata in occasione del progetto di valutazione dell'attitudine allo spargimento dei liquami zootecnici nel territorio del bacino scolante in laguna di Venezia (Calzolari et al., 2004); questo progetto prevedeva la realizzazione di una cartografia attraverso la sovrapposizione di due tematismi, la carta di orientamento pedologico allo spargimento dei liquami e la carta di vulnerabilità degli acquiferi, come previsto dalla metodologia definita con DGRV n. 615/1996. L'elabora-

zione della carta di orientamento pedologico allo spargimento dei liquami viene realizzata utilizzando un approccio di tipo qualitativo che considera alcune caratteristiche del suolo e dell'ambiente (drenaggio interno, tessitura, scheletro, presenza di orizzonti organici e di crepacciature, inondabilità, pendenza) che, in diverse combinazioni, fanno sì che i suoli vengano raggruppati in quattro classi di attitudine. Il risultato viene sovrapposto ad una carta della vulnerabilità intrinseca dei corpi idrici sotterranei, definita sulla base della permeabilità e dello spessore dei materiali sovrastanti gli acquiferi, del tipo di circolazione idrica e delle modalità di alimentazione (metodica CNR-SINTACS, Civita e De Maio, 1997); a ciascun poligono ottenuto dalla sovrapposizione dei due tematismi viene assegnata la classe più limitante all'uso dei liquami. Le classi finali corrispondono a diversi carichi massimi di azoto apportabili al suolo con i reflui zootecnici.

Ritenendo questo approccio qualitativo di facile applicazione, ma non sempre idoneo a interpretare l'interazione tra i diversi fattori ambientali (suolo, clima, uso del suolo), sono state messe a punto delle metodologie che, sulla base di misurazioni dirette delle caratteristiche idrologiche, consentono un approccio più oggettivo al problema. Tali metodologie erano state sviluppate precedentemente in un progetto interregionale (progetto SINA

"Carta pedologica in aree a rischio ambientale") coordinato dalla Regione Emilia-Romagna, con la partecipazione delle regioni della pianura padana (Lombardia, Piemonte, Veneto e Friuli Venezia Giulia) ed il coordinamento scientifico del CNR-IRPI di Firenze (Calzolari et al., 2001). Nell'ambito del progetto SINA è stato scelto, tra i più diffusi, un modello per la simulazione del bilancio idrico del suolo, il modello MACRO (Jarvis, 1994), basato sul comportamento funzionale del suolo in un preciso contesto climatico e colturale, e un modello per la simulazione del bilancio dell'azoto (SOIL-N) in grado di lavorare in collegamento con MACRO. Entrambi i modelli sono stati calibrati e validati su lisimetri e parcelle sperimentali, sia presso l'Istituto Sperimentale Agronomico (ISA) di Modena, sia presso il Centro Ricerche Produzioni Animali (CRPA) di Reggio Emilia.

Nel territorio di pianura sono state scelte 27 unità tipologiche di suolo tra le più estese e le più idonee a rappresentare diverse situazioni pedopaesaggistiche e climatiche; di queste, 13 erano già state considerate nell'ambito del bacino scolante in laguna di Venezia (Ragazzi et al., 2004). Per ogni unità è stato descritto in campagna un profilo rappresentativo (fig. 3.7), con particolare attenzione alle caratteristiche legate al comportamento fisico-idrologico (Wolf, 1998) come l'aggregazione delle particelle di suolo (struttura) e i macrovuoti (fessure, vuoti



Fig. 3.7: Particolare di orizzonte con evidenti figure di ossido-riduzione del ferro, dovute al drenaggio interno difficoltoso.



Fig. 3.8: Prelievo di campioni indisturbati con il metodo del cilindretto per la misura di alcune caratteristiche fisiche.

planari, vuoti tubulari e sferici). Sono stati raccolti campioni indisturbati (metodo dei cilindretti, fig. 3.8) per la misura della curva di ritenzione (pF), della conducibilità idrica saturata (Ksat) e della densità apparente. In totale sono state realizzate 205 misure di Ksat e 177 curve pF.

Le misure delle curve di ritenzione, relativamente a 9 punti umidità/tensione, sono state effettuate su campioni indisturbati posti in cassetta Stackman e quindi in piastra di Richards, secondo le correnti metodologie (Klute, 1986); la conducibilità è stata misurata con permeometro a carico costante (Klute e Dirksen, 1986). Sono state infine effettuate 277 misure di densità apparente, sia con il metodo dello scavo (77 misure) che del cilindretto (200 misure), queste ultime ripetute in triplo dove possibile (Blake e Hartge, 1986).

I risultati ottenuti dal rilevamento e dalle misure sono stati utilizzati come dati di input del modello di bilancio idrico MACRO; il modello è stato applicato a 31 diverse condizioni suolo-clima-falda, considerando lo stesso ordinamento colturale (monocoltura di mais) per un periodo di 10 anni (1993-2002); le pratiche colturali sono state considerate standard su tutto il territorio ad eccezione dell'uso dell'irrigazione.

I dati climatici utilizzati (precipitazioni e temperature giornaliere)

si riferiscono alle stazioni della rete ARPAV di Castel Franco Veneto, Zero Branco e Agna, rappresentative dei principali tipi climatici individuati nella pianura veneta.

Per la valutazione della capacità protettiva dei diversi suoli, sono stati utilizzati tra gli output del modello MACRO, i flussi d'acqua in uscita alla base del profilo, espressi come percentuale degli apporti di precipitazioni e irrigazione.

Sono state utilizzate come classi di capacità protettiva del suolo nei confronti delle acque profonde quelle definite nell'ambito del progetto SINA (Calzolari et al., 2001) assumendo, sulla base di simulazioni con il modello SOIL-N, una relazione tra i flussi idrici e quantità di nitrati dilavati. La rispondenza di tali relazioni nei nostri ambienti è stata verificata attraverso l'applicazione del modello SOIL-N a 15 suoli della pianura veneta.

Le classi di capacità protettiva utilizzate sono riassunte nella tabella 3.1.

I suoli a minor capacità protettiva sono risultati quelli dell'alta

Tab. 3.1: Classificazione della capacità protettiva dei suoli in funzione dei flussi relativi di percolazione e delle perdite di azoto nitrico.

CLASSE DI CAPACITÀ PROTETTIVA	Flussi relativi %	Perdite di NO ₃ %
B (bassa)	>40	>20
MB (moderatamente bassa)	29-40	11-20
MA (moderatamente alta)	12-28	5-10
A (alta)	<12	<5

pianura, a tessitura sia grossolana che fine, ma in entrambi i casi ricchi in scheletro e irrigati con elevati volumi d'acqua; per questi suoli si sono riscontrati flussi relativi intorno al 45%. Altamente protettivi (flussi <10%) si sono invece rivelati i suoli di bassa pianura con tessiture limose o argillose, che presentano però elevate perdite per scorrimento superficiale e quindi rischio di inquinamento delle acque superficiali. Valori intermedi sono stati stimati per i suoli di bassa pianura a granulometria grossolana che risultano però fortemente influenzati dagli input di precipitazione e irrigazione.

EROSIONE DEL SUOLO

L'erosione del suolo è il distacco e il trasporto della parte superficiale del suolo per effetto dell'acqua, del vento, del ghiaccio o di altri agenti geologici (Giordano, 1999). Negli ultimi decenni, inoltre, non è più trascurabile l'erosione indotta dall'uomo in quanto può avere tassi di rimozione molto più elevati rispetto all'erosione naturale (erosione accelerata). Questa minaccia di degrado del suolo è stata indicata come prioritaria dalla recente comunicazione della Commissione Europea sulla protezione del suolo (COM 179/2002). Essa raggiunge il suo massimo

livello nelle aree in pendenza, in presenza di suoli limosi e poveri in materiali organici, sottoposti a tecniche di coltivazione poco conservative (fig. 3.9). L'erosione inoltre, può provocare anche l'inquinamento delle acque superficiali, veicolando nutrienti e pesticidi presenti nel suolo stesso; questo aspetto è prevalente in pianura, negli agro-ecosistemi in cui sono scomparse le aree di transizione (siepi, fasce inerbite, alberature) dove il suolo rimane scoperto per buona parte dell'anno nei periodi di maggiore piovosità. L'orientamento moderno della conservazione del suolo considera il concetto di "tolleranza" per la perdita del suolo, definito dal tasso massimo di erosione compatibile, per un determinato suolo, con il mantenimento di produzioni durature nel tempo, in condizioni economicamente accettabili.

Gli approcci utilizzabili per elaborare una stima del rischio di erosione, oltre al "giudizio di esperto" che presuppone un'ap-



Fig. 3.9: Evidenza di perdita di suolo dovuta alle pratiche agricole e alla pendenza.

profondità esperienza e conoscenza del territorio in esame, sono basati sull'applicazione di modelli. Per simulare il processo di erosione, i modelli richiedono una notevole mole di dati di input. Inoltre, è fondamentale che, per rendere verosimile la stima, all'applicazione del modello segua un controllo dei risultati, attraverso il confronto con dati sperimentali.

Con riferimento all'erosione idrica, la complessità del processo viene generalmente analizzata e spiegata utilizzando diverse componenti:

- erosività: è l'abilità potenziale della pioggia a causare erosione; è perciò funzione delle caratteristiche fisiche della pioggia (quantità totale, intensità, velocità e dimensione delle gocce, ecc.);
- erodibilità: è la suscettibilità del suolo ad essere eroso; le proprietà del suolo che contrastano l'erosione sono quelle

che facilitano l'infiltrazione dell'acqua e che ne determinano la stabilità strutturale (Giordano, 1999); per avere trasporto di materiale, infatti, la pioggia deve eccedere la capacità di infiltrazione del suolo;

- topografia: pendenza, lunghezza e forma dei versanti influenzano la velocità di ruscellamento e quindi il rischio di erosione del suolo;
- copertura e uso delle terre: la vegetazione naturale mantiene il suolo coperto tutto l'anno, tramite le foglie e la lettiera, al contrario dell'uso agricolo che lo lascia nudo e quindi esposto agli agenti erosivi per lunghi periodi.

Utilizzando la carta dei suoli in scala 1:250.000 è possibile realizzare una cartografia dell'erosione nel territorio regionale servendosi anche dei dati climatici, morfologici e relativi all'uso del suolo. L'approccio al problema della valutazione dell'erosione nel Veneto può essere quindi schematizzato in diverse fasi:

- studio di dati sperimentali esistenti: il fenomeno dell'erosione superficiale è stato indagato nel Veneto in modo frammentario e incompleto da cui risulta una grave carenza di dati;
- esame e scelta dei modelli previsionali: tutti i principali modelli di valutazione dell'erosione prendono in considerazione le componenti sopra elencate; si differenziano per il peso dato ai diversi fattori, per gli algoritmi utilizzati e per il tipo di ambiente per il quale sono stati sviluppati e tarati; data la carenza di dati sperimentali sul territorio regionale con cui validare i risultati, in una prima fase è opportuno applicare diversi modelli tra i più diffusi a livello europeo, in modo da poter confrontare i risultati delle simulazioni;
- elaborazione dei dati meteo: l'ARPAV (Centro Meteorologico di Teolo) dispone di una rete di rilevamento dei dati di precipitazioni raccolti ad elevata frequenza, la cui elaborazione può essere utilizzata per la stima dell'erosività delle piogge;
- stima dell'erodibilità delle unità tipologiche di suolo: si basa sulle caratteristiche dei suoli estratte dalla banca dati regionale;
- valutazione dell'uso del suolo e dei caratteri morfologici del territorio: caratteristiche ricavabili da carte di uso del suolo (Corine Land Cover), della vegetazione e da modelli digitali del terreno (pendenza, lunghezza del pendio, ecc.);
- estensione cartografica dei risultati: può essere ottenuta attraverso la media ponderata dei valori di erodibilità di ogni unità tipologica di suolo all'interno delle singole unità cartografiche ed eseguendo successive elaborazioni in formato raster per poter incrociare le informazioni dei diversi strati (suolo, clima, copertura del suolo e morfologia) e ottenere le stime di perdita di suolo potenziale (senza considerare

l'effetto della copertura) e reale (considerando il fattore copertura).

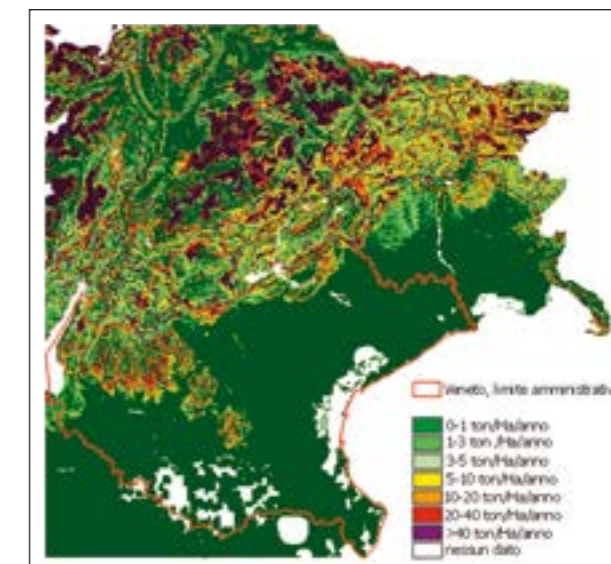


Fig. 3.10: Estrazione dell'area veneta dall'elaborazione del rischio di erosione in Italia secondo il modello USLE, prodotta dall'Ufficio Europeo dei Suoli (da Van der Knijff J.M., et al., 1999).

I modelli più diffusi e sperimentati anche a livello europeo sono: il modello USLE (Van der Knijff et al., 1999), il modello PESERA (Kirby et al., 2004) e il CORINE erosion (EEA, 1995).

I modelli USLE (Universal Soil Loss Equation) e PESERA (Pan-European Soil Erosion Risk Assessment) sono modelli empirici, ossia si basano sull'aggregazione delle variabili determinanti l'erosione, in grado di confermare dati sperimentali.

L'equazione di perdita del suolo USLE (Wischmeier e Smith, 1965 e 1978) è la seguente:

$$\text{Perdita di suolo stimata} = R * K * LS * C * P$$

- Dove
- R: erosività della pioggia
- K: erodibilità del suolo
- LS: fattore lunghezza/pendenza
- C: copertura vegetale
- P: pratiche agricole

Osservando l'area corrispondente al Veneto, nelle applicazioni a tutto il territorio italiano ed europeo del modello USLE (Van der Knijff et al., 1999), sembra esserci una forte relazione tra topografia (pendenza) e rischio d'erosione (fig. 3.10). Questo comporta che le aree a bassa pendenza (pianura e

zone di conoide) risultano prive di rischio d'erosione, aspetto spesso in contrasto con la situazione reale che evidenzia frequenti fenomeni di trasporto solido anche nei corsi d'acqua di pianura a tutti i livelli, soprattutto in corrispondenza di significativi eventi piovosi.

Il set di parametri utilizzati dal modello PESERA prevede:

- dati climatici (temperatura e piovosità), di evapotraspirazione potenziale e bilancio idrico;
- dati pedologici per la valutazione dell'erodibilità dei suoli, rischio di incrostamento e capacità di ritenzione idrica (AWC);
- dati di copertura del suolo;
- dati topografici.

Anche il modello PESERA è stato applicato a tutta l'Europa ed estraendo nuovamente l'area veneta (fig. 3.11) si nota che, rispetto al modello USLE, la correlazione tra rischio d'erosione e topografia (fattori L e S) diviene molto meno stretta. L'utilizzo del bilancio idrico, della capacità di ritenzione idrica (AWC) e dell'indice di incrostamento, inoltre, sposta il rischio anche ad aree di pianura o comunque a zone con pendenze non accentuate. Il peso dato alla copertura del suolo, infine, è tale da ottenere la classe di rischio d'erosione "assente" nelle aree boscate, spesso corrispondenti alle aree montane, in pendenza.

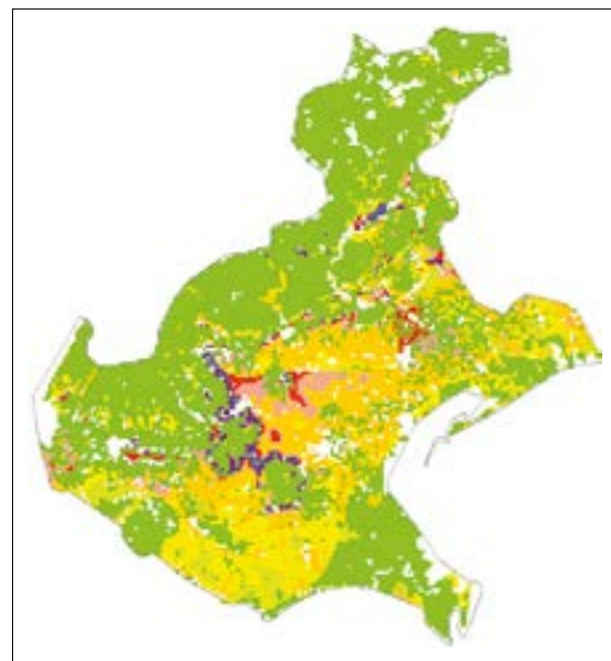


Fig. 3.11: Estrazione dell'area veneta dalla carta dell'erosione in Europa secondo il modello PESERA, prodotta dall'Ufficio Europeo del Suolo (da Kirby M.J. et al., 2004); il verde indica erosione assente o molto bassa, il giallo valori intermedi mentre rosso e viola corrispondono alle aree con perdite di suolo maggiori.

Il modello CORINE infine, è un modello parametrico. Esso prevede la redazione di una serie di carte suddivise in aree omogenee rispetto alle variabili che influenzano l'erosione. La classe di rischio di erosione è ottenuta mediante l'incrocio delle diverse carte. È un modello qualitativo che richiede pochi dati di input, in particolare per i dati climatici, ma che può essere utile per evidenziare le tendenze di massima e fornire risultati facilmente utilizzabili (indicatori ambientali, pianificazione territoriale). Utilizzando una banca dati ben strutturata, inoltre, l'incrocio delle informazioni risulta agevole.

Dalla diversità degli approcci descritti e dei relativi risultati, appare evidente la necessità di approfondire le dinamiche del processo erosivo attraverso attività sperimentali. Maggior attenzione dovrà essere posta in futuro sul controllo dei fenomeni erosivi sul territorio e sulla quantità e qualità dei dati di input.

CONTENUTO DI CARBONIO ORGANICO NEI SUOLI

L'espansione ed intensificazione dell'attività antropica nel secolo scorso, hanno provocato il decremento del contenuto di carbonio organico nel suolo (Sleutel et al., 2003). La diminuzione di sostanza organica è una delle principali "minacce" identificate dalla Comunicazione della Commissione europea (COM 179/2002) "Verso una strategia tematica per la protezione del suolo" e desta particolari preoccupazioni soprattutto nelle zone mediterranee. Questa diminuzione, oltre ad essere connessa al fenomeno della desertificazione, ha anche l'effetto di aumentare le emissioni di CO₂ in atmosfera.

Il carbonio nel suolo è stimato essere tre volte maggiore rispetto a quello immagazzinato nella biomassa del soprassuolo (Eswaran et al., 1993) ed è stato calcolato che a fronte di un quantitativo globale di 41.000 Gt di carbonio terrestre, 550 Gt siano contenute nella vegetazione e ben 1.500 nel suolo (Batjes, 1996). Valori confrontabili sono presentati nello schema dei flussi e depositi negli ecosistemi terrestri di figura 3.12. È evidente quindi quanto il suolo possa svolgere un importante ruolo nelle strategie di mitigazione delle emissioni di gas ad effetto serra, CO₂ in particolare. A questo proposito, il protocollo di Kyoto e i successivi accordi negoziati prevedono la possibilità di impiego di "serbatoi" (sinks) di carbonio come voce negativa e quindi in riduzione del bilancio netto nazionale delle emissioni. Una delle più efficaci strategie consiste nell'aumentare il contenuto di carbonio nei suoli che sono stati impoveriti dalle pratiche agricole, attraverso l'introduzione di pratiche meno intensive (Smith, 2005).

A recepimento della normativa comunitaria, il Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica (CIPE), con

delibera n.123 del 2002 ha approvato le linee guida per le misure nazionali di riduzione delle emissioni di gas serra, mediante interventi nei settori agricolo e forestale. Il piano per il triennio 2004-2006 identifica tra i serbatoi di carbonio oltre alla biomassa epigea, ipogea e alla necromassa, anche la sostanza organica del suolo e della lettiera in accordo con le "Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry" (GPG for LULUCF), elaborate dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) nel 2003.

L'Unione Europea, con programmi di monitoraggio del flusso di carbonio, solo recentemente ha iniziato a considerare le diverse situazioni pedoclimatiche e vegetazionali per una più precisa stima dei processi di accumulo e rilascio di carbonio. In tale contesto risulta di fondamentale importanza la realizzazione di una prima stima a livello regionale del contenuto totale di carbonio organico e della sua diversificazione in funzione dei diversi tipi di suolo, in relazione a diversi scenari di gestione agro-forestale.

La stima del contenuto di carbonio nei suoli presenta numerose difficoltà, in particolare per i suoli di montagna, a causa dell'elevata concentrazione presente e della notevole variabilità. La disponibilità di dati sulla lettiera e sugli orizzonti organici di superficie (humus), sui contenuti in carbonio organico dei diversi orizzonti del suolo e sulla loro densità apparente, consente di formulare delle stime affidabili. Per arrivare alla quantificazione delle riserve di carbonio organico in chiave territoriale, risultano necessarie la messa a punto di criteri interpretativi delle diverse situazioni pedologiche, vegetazionali e climatiche, la conoscenza relativa ai modelli di distribuzione dei suoli nel paesaggio, nonché la verifica dei risultati conseguibili con l'applicazione di metodologie diverse.

La complessità del territorio regionale necessita di un approccio differenziato nella distribuzione del campionamento per l'acquisizione dei dati di base. Negli ambienti di pianura, la notevole disponibilità di dati e la maggior omogeneità dei pedopaesaggi, permette lo sviluppo di approcci diversi per la spazializzazione del dato (es. geostatistica). In montagna è necessario sviluppare una metodologia in grado di integrare le informazioni relative ai suoli, alla vegetazione, all'humus e alla lettiera e una valutazione delle interazioni che intercorrono tra le varie componenti ambientali.

La carta dei suoli del Veneto costituisce uno strumento di base per la valutazione del contenuto di carbonio organico nei suoli, ma è necessaria un'integrazione con dati provenienti da altre fonti, per meglio valutare le interazioni con le altre componenti ambientali. Secondo la GPG for LULUCF, il

contenuto di carbonio organico nel suolo (SOC_{tot}) è ottenuto sommando i contenuti dei singoli orizzonti. Con riferimento all'unità tipologica di suolo (UTS) e al tipo di copertura, il SOC per singolo orizzonte è dato dal prodotto tra il quantitativo ponderale di carbonio e la densità apparente dell'orizzonte, sottraendo il volume occupato dai frammenti grossolani:

$$SOC_{tot} = \sum_{horizon=1}^{horizon=n} [(SOC) * BulkDensity * depth * (1 - frag) * 10] / horizon$$

Dove

SOC_{tot}: concentrazione di carbonio organico nel suolo (C ha⁻¹)

SOC: concentrazione di carbonio organico del singolo orizzonte di una data combinazione di UTS e tipo di copertura [gC (Kg di suolo)⁻¹];

BulkDensity: densità apparente dell'orizzonte (t di suolo m⁻³);

Depth: profondità dell'orizzonte (m);

Frag: percentuale in volume dei frammenti grossolani nell'orizzonte.

La formula evidenzia che i dati desumibili dalla carta dei suoli per il calcolo sono: la distribuzione dei diversi suoli in ambito regionale, necessaria per la spazializzazione dei risultati, il contenuto di carbonio organico e la profondità dei diversi orizzonti, il contenuto in scheletro e la densità apparente. Per l'ambiente di montagna oltre alla stima del carbonio organico stoccato nei suoli è fondamentale considerare anche il carbonio inglobato negli orizzonti organici di superficie (humus) che, secondo recenti studi (Galbraith et al., 2003), può costituire circa il 20% del carbonio totale, in condizioni di regime di temperatura frigido (Soil Survey Staff, 1998) e sotto copertura forestale.

Dato che le unità tipologiche di suolo della carta a scala 1:250.000 sono spesso associate ad una notevole variabilità nell'uso del suolo o nella vegetazione naturale, il dato ottenuto dalla carta pedologica deve essere necessariamente corretto con le informazioni sulla copertura. A questo proposito risulta importante la collaborazione con il Dipartimento Territorio e Sistemi Agro Forestali (Te.S.A.F.) della facoltà di Agraria dell'Università di Padova che sta sviluppando una metodologia per la stima del contenuto di carbonio della biomassa forestale della Regione. Dall'incrocio di questi due strati si può ottenere una stima corretta del contenuto di carbonio organico nel suolo.

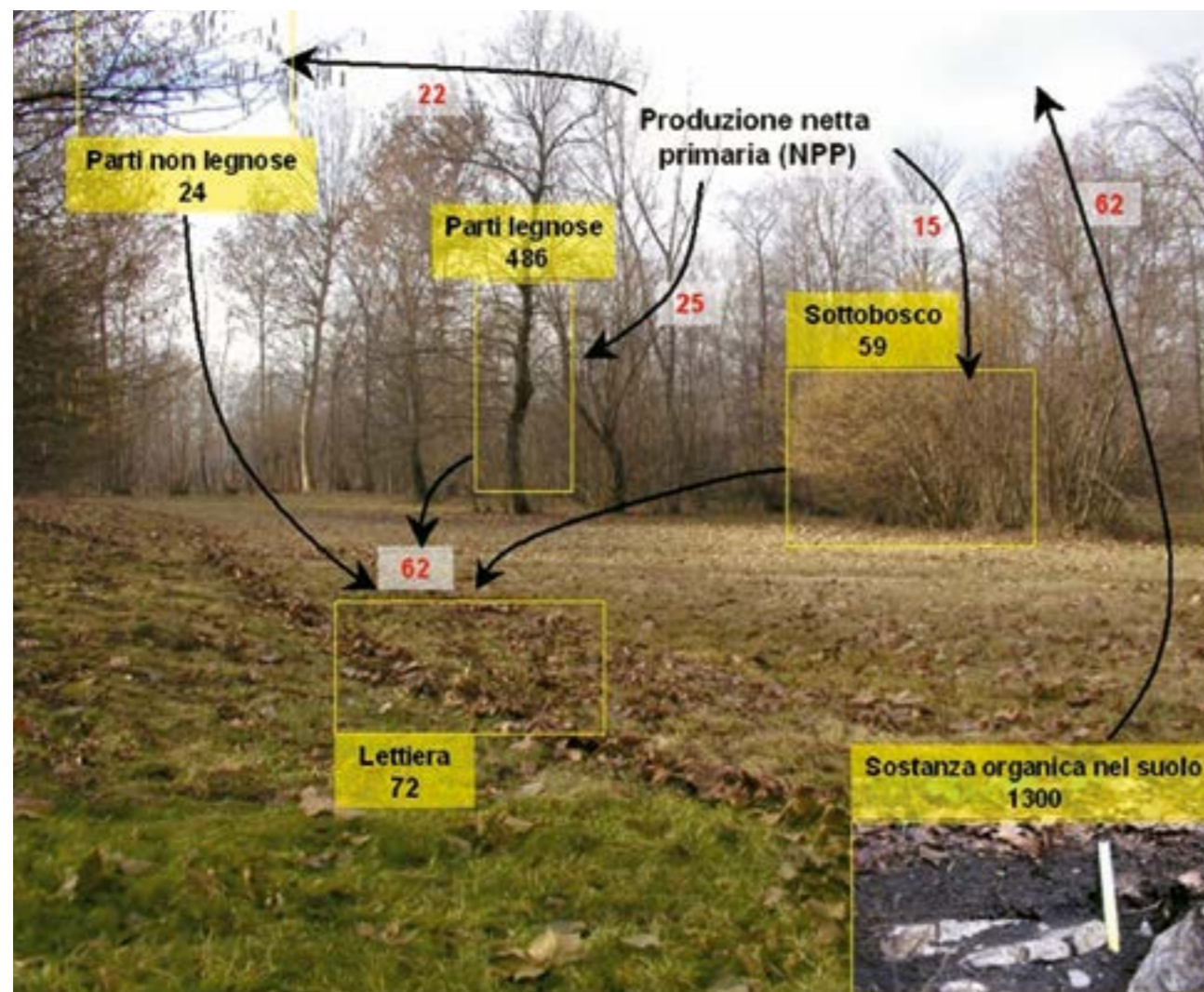


Fig. 3.12: Flussi (valori in rosso) e depositi (valori in nero) globali di carbonio nei vari componenti degli ecosistemi terrestri. I valori sono espressi in Gt di carbonio (1Gt=10¹² Kg), su base annua (da NASA, 2000).

MONITORAGGIO DEI SUOLI

Se la cartografia dei suoli è lo strumento necessario alla conoscenza delle caratteristiche, proprietà e funzioni del suolo, il monitoraggio ha l'obiettivo di seguirne l'evoluzione misurando i cambiamenti nel tempo in funzione dei rischi di degradazione.

Il monitoraggio del suolo in Italia è ancora piuttosto frammentario e riguarda soprattutto iniziative sporadiche legate a circoscritte esigenze di conoscenza locale.

Il Centro Tematico Nazionale Territorio e Suolo dell'APAT (CTN-TES) ha fornito delle indicazioni di base per la realizzazione di una rete di monitoraggio a livello nazionale (APAT, 2004) che dovrebbe avere i seguenti obiettivi:

- conoscenza delle caratteristiche e proprietà dei suoli;
- monitoraggio della presenza nel suolo di particolari sostanze

contaminanti nel breve e lungo periodo ed in situazioni diverse;

- valutazione dei cambiamenti delle caratteristiche e proprietà del suolo come conseguenza della presenza di forme di degrado ed inquinamento;
- supporto ai processi decisionali mediante strumenti di previsione e modellizzazione, basati sui siti della rete.

L'impostazione generale della rete di monitoraggio dipende molto dalla scelta dei siti in cui eseguire le misure, oltre che dai parametri che si intendono determinare.

I criteri per l'individuazione dei siti della rete sono basati sui livelli di conoscenza del suolo e quindi si differenziano fra i siti a maglia fissa ed i siti rappresentativi o di riferimento. Nel primo caso la scelta è relativa al passo e posizionamento

della maglia fissa, svincolata dalla tipologia di suolo presente, mentre nel secondo caso si richiede un esame preliminare di alcuni elementi distintivi del suolo che possono fornire indicazioni sulla rappresentatività dei siti prescelti.

Gli elementi di valutazione della rappresentatività sono:

- la tipologia dei suoli in relazione ai diversi ambienti;
- l'uso del suolo;
- le combinazioni suolo-uso del territorio;
- le diverse forme di degrado del suolo e la diversa esposizione agli inquinanti.

In particolare, per individuare le tipologie di suoli (Giandon et al., 2004) si propone di fare riferimento a:

- comportamento funzionale dei suoli in relazione ai principali processi degradativi e di inquinamento;
- classificazioni tassonomiche quali la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1998) e il World Reference Base for Soil Resources (FAO, 1998) che aiutino a raggruppare suoli simili come risultato dei diversi fattori della pedogenesi;

- relazioni suolo-paesaggio e suolo-clima che condizionano il comportamento del suolo rispetto alle funzioni che svolge.

La rappresentatività dei siti nei confronti delle tipologie di suolo individuate richiede delle semplificazioni in base alla distribuzione e variabilità spaziale, alla possibilità di rappresentare ambienti pedo-paesaggistici e pedo-climatici sottoposti a stress e alla suscettività ai cambiamenti.

In Veneto, con la realizzazione della carta dei suoli, sono state poste le basi per l'organizzazione di una rete di monitoraggio; in particolare è stato sviluppato un progetto di monitoraggio della contaminazione diffusa da metalli pesanti e sono stati individuati dei siti di riferimento per la realizzazione di una rete, per lo studio delle relazioni pressione-impatto delle attività antropiche sui suoli.

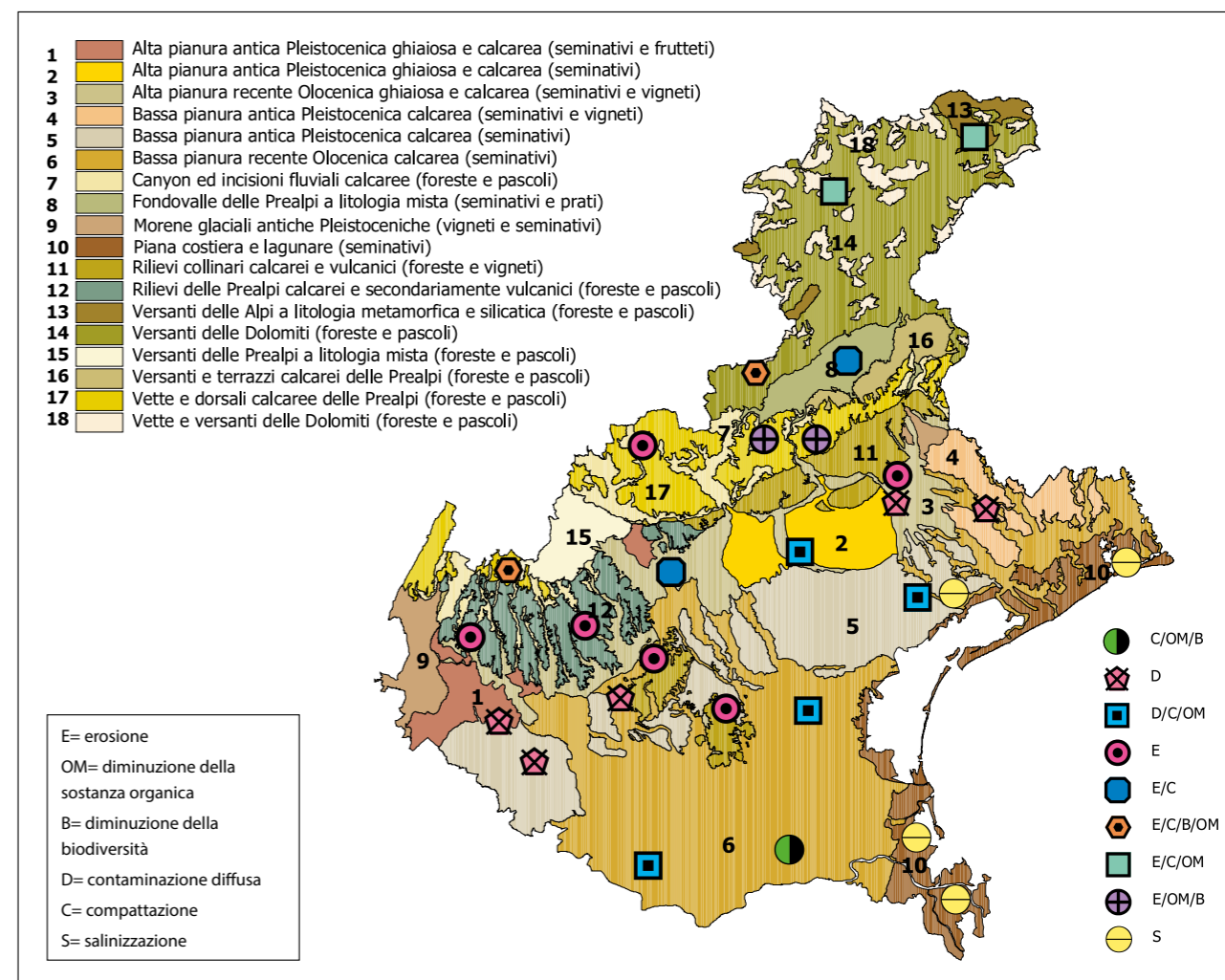


Fig. 3.13: Posizionamento dei siti rappresentativi in funzione della tipologia di suolo e della minaccia da monitorare.

Per la scelta dei siti di riferimento (fig. 3.13) mediante criteri di rappresentatività sono state applicate le indicazioni fornite da APAT (2004).

Le diverse tipologie di suoli sono state individuate a partire dalla carta dei suoli del Veneto alla scala 1:250.000 raggruppando i suoli prima a livello di sistemi e poi a livello di province pedologiche (soil subregions), individuando aree omogenee dal punto di vista pedologico e pedo-climatico. L'uso del suolo è stato determinato utilizzando le classi del Corine Land Cover corrispondenti al terzo livello della legenda; tali classi sono state raggruppate in 7 classi di uso del suolo semplificato, basandosi sulle colture prevalenti nel territorio a cui corrispondono particolari pressioni ambientali, potenziali cause di degrado. In particolare, sono state individuate le seguenti classi: foreste e pascoli, prati, seminativi, seminativi e frutteti, seminativi e prati, seminativi e vigneti, vigneti e boschi.

Dalla combinazione delle principali tipologie di suolo con i sistemi colturali sono state individuate 18 diverse combinazioni suolo-uso suolo, corrispondenti ad altrettante aree, all'interno delle quali sono stati individuati i siti di riferimento e quelli maggiormente rappresentativi (in totale 28 siti), per il monitoraggio delle minacce e dei fattori di pressione sui suoli. Nella scelta dei siti è stata posta particolare attenzione alla presenza, all'interno delle aree individuate, di aziende sperimentali gestite da enti pubblici che contribuirebbero a migliorare la qualità e l'affidabilità dei dati raccolti e della gestione della rete.

Dal 1998, inoltre, parallelamente alla realizzazione delle carte dei suoli a differente dettaglio cartografico, è in corso un'indagine sul contenuto di metalli pesanti. Per un certo numero di profili rappresentativi dei tipi di suolo più diffusi (fig 3.14), sono stati

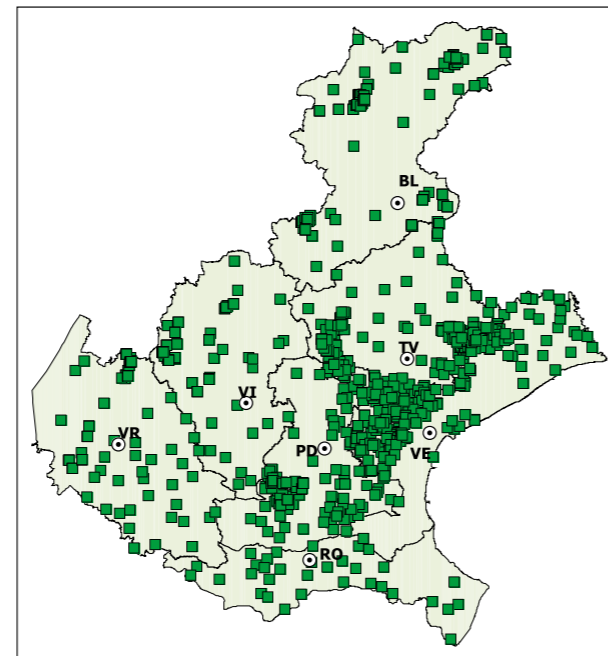


Fig. 3.14: Localizzazione dei punti campionati per la determinazione del contenuto "usuale" e "naturale" di metalli pesanti.

analizzati i contenuti di metalli pesanti (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn) nell'orizzonte superficiale e nell'orizzonte profondo, non interessato dalle pratiche agricole. L'elaborazione statistica e geostatistica dei dati, attualmente in corso, consentirà di determinare il contenuto, come definito dalla ISO/CD19258, di metalli pesanti "naturale" (dovuto alle caratteristiche geochimiche del substrato) e "usuale" (contenuto naturale più quello dovuto a fonti di inquinamento diffuso di origine antropica) permettendone il monitoraggio nel tempo.