



APAT

Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici

**ELEMENTI DI PROGETTAZIONE DELLA RETE NAZIONALE
DI MONITORAGGIO DEL SUOLO A FINI AMBIENTALI**

**VERSIONE AGGIORNATA SULLA BASE DELLE INDICAZIONI
CONTENUTE NELLA STRATEGIA TEMATICA DEL SUOLO
DELL'UNIONE EUROPEA**

OTTOBRE 2004

CTN_TES 2003 – TES-T-MAN-03-02

AUTORI:

Paolo GIANDON, Roberta CAPPELLIN (ARPA Veneto)

Renzo BARBERIS (ARPA Piemonte)

Paolo BAZZOFFI (Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo – Firenze)

Rosa FRANCAVIGLIA (Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante – Roma)

HANNO COLLABORATO:

Daniela BALLARDINI, Danila BEVILACQUA, Antonio NASSISI, Francesco VITALI (ARPA Emilia Romagna), Gabriele FABIETTI (ARPA Piemonte), Carlo RIGHINI (ARPA Toscana), Ialina VINCI (ARPA Veneto), Gianantonio PETRUZZELLI, Francesca BREZZEL (CNR Istituto per la Chimica del Terreno - Pisa), Anna BENEDETTI, Alessandra TRINCHERA (Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante – Roma), Giuseppe CARNEVALI, Andrea GIAPPONESI, Marina GUERMANDI, Giampaolo SARNO, Paola TAROCCO (Regione Emilia Romagna)

INDICE

1.	I RIFERIMENTI PER UN PROGETTO DI RETE NAZIONALE DI MONITORAGGIO DEL SUOLO A FINI AMBIENTALI	5
1.1	<i>VERSO UNA STRATEGIA TEMATICA PER IL SUOLO DELL'UNIONE EUROPEA</i>	5
1.2	<i>ALCUNE SIGNIFICATIVE INDICAZIONI DAL GRUPPO DI LAVORO EUROPEO SUL MONITORAGGIO DEL SUOLO</i>	6
1.3	<i>PRIME ESPERIENZE NAZIONALI DI CARTOGRAFIA DEI SUOLI E DI RETE NAZIONALE DI MONITORAGGIO DEI SUOLI</i>	7
1.4	<i>I DOCUMENTI DEL CTN_SSC SULLA RETE NAZIONALE DI MONITORAGGIO DEL SUOLO</i>	8
2.	LE MINACCE PER IL SUOLO E GLI OBIETTIVI DELLA RETE	10
2.1	<i>LE MINACCE PER IL SUOLO INDIVIDUATE DALLA COMMISSIONE EUROPEA</i>	10
2.2	<i>I LIVELLI DI CONOSCENZA DEL SUOLO E DELLE RELATIVE MINACCE</i>	10
2.3	<i>OBIETTIVI DELLA RETE</i>	11
2.4	<i>UNA RETE INTEGRATA</i>	12
2.5	<i>VARIABILITÀ DEI SUOLI, MINACCE E TIPOLOGIA DEI SITI DELLA RETE</i>	12
2.6	<i>FATTORE DI SCALA: IMPORTANZA DI RAPPRESENTARE I PROCESSI E LE MINACCE ALLE DIFFERENTI SCALE TEMPORALI E SPAZIALI</i>	13
2.7	<i>STRATIFICAZIONE DEI PUNTI DELLA RETE</i>	13
3.	STRUTTURA DELLA RETE NAZIONALE DI MONITORAGGIO DEL SUOLO	15
3.1	<i>CRITERI PER L'INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DI PRELIEVO</i>	15
3.2	<i>LIVELLO 1: LA RETE DI MONITORAGGIO A MAGLIA FISSA</i>	16
3.3	<i>LIVELLO 2: RETE DI MONITORAGGIO PER SITI RAPPRESENTATIVI</i>	17
3.4	<i>DENSITÀ DEI PUNTI</i>	19
3.5	<i>PARAMETRI E LORO PRIORITÀ</i>	20
4.1	<i>PERDITA DI SOSTANZA ORGANICA E DI BIODIVERSITÀ</i>	23
4.1.1	<i>Inquadramento generale della minaccia</i>	23
4.1.2	<i>Parametri da monitorare</i>	23
4.2	<i>CONTAMINAZIONE</i>	26
4.2.1	<i>Inquadramento generale della minaccia</i>	26
4.2.2	<i>Parametri da monitorare</i>	27
4.3	<i>EROSIONE E COMPATTAMENTO</i>	28
4.3.1	<i>Inquadramento generale della minaccia</i>	28
4.3.2	<i>Parametri da monitorare</i>	29
4.4	<i>CEMENTIFICAZIONE</i>	31
4.4.1	<i>Inquadramento generale della minaccia</i>	31

4.5	<i>SALINIZZAZIONE E SODICIZZAZIONE</i>	32
4.5.1	<i>Inquadramento generale della minaccia</i>	32
4.5.2	<i>Parametri da monitorare</i>	32
4.6	<i>ALLUVIONI E FRANE</i>	32
4.6.1	<i>Inquadramento generale della minaccia</i>	32
5.	METODOLOGIE PER IL CAMPIONAMENTO E L'ANALISI	33
5.1	<i>METODOLOGIE PER IL CAMPIONAMENTO</i>	33
5.1.1	<i>Campionamento nei punti della maglia fissa</i>	33
5.1.2	<i>Campionamento nei siti di riferimento</i>	34
5.1.3	<i>Requisiti particolari per i fenomeni di degradazione fisica</i>	34
5.1.4	<i>Requisiti particolari per i fenomeni di degradazione biologica</i>	35
f5.1.5	<i>Requisiti particolari per il campionamento in aree urbane</i>	36
5.1.6	<i>Metodi di campionamento</i>	37
5.2	<i>METODOLOGIE DI ANALISI</i>	39
5.2.1	<i>Caratterizzazione dei parametri generali descrittivi</i>	39
5.2.2	<i>Requisiti generali per i laboratori d'analisi</i>	39
5.2.3	<i>Metodi di analisi dei parametri</i>	39
6.	GESTIONE DELLE INFORMAZIONI	54
6.1	<i>INTEGRAZIONE CON LE ALTRE RETI DI MONITORAGGIO</i>	54
6.2	<i>DATI DEL MONITORAGGIO A TERRA</i>	55
6.3	<i>DATI DEL TELERILEVAMENTO</i>	56
6.4	<i>ELABORAZIONE DEI DATI E REPORTING</i>	57
	BIBLIOGRAFIA	60
	ELENCO ALLEGATI	65

1. I RIFERIMENTI PER UN PROGETTO DI RETE NAZIONALE DI MONITORAGGIO DEL SUOLO A FINI AMBIENTALI

1.1 VERSO UNA STRATEGIA TEMATICA PER IL SUOLO DELL'UNIONE EUROPEA

La situazione del monitoraggio in Italia per quanto riguarda il suolo è ancora piuttosto frammentaria e riguarda solo iniziative sporadiche legate a circoscritte esigenze di conoscenza di poche realtà regionali e locali. La progettazione di tale attività è dunque una necessità impellente, anche in risposta alle richieste provenienti dalla Commissione Europea.

Molto importante in tal senso risulta essere la Comunicazione della Commissione “Verso una strategia tematica per la protezione del suolo” COM(2002) 179 del 16 aprile 2002. In tale documento si affrontano le principali problematiche dei suoli europei e si tracciano alcune linee strategiche di riferimento per tutta la comunità europea nei prossimi anni. Tra tali linee assume particolare rilievo il “monitoraggio delle minacce per il suolo”, in merito al quale la Comunicazione afferma:

“Le azioni da realizzare nel prossimo futuro per assicurare la protezione del suolo si basano su informazioni esistenti che sono però incomplete. Per la protezione a lungo termine del suolo sarà necessario assicurare lo sviluppo di una base di informazioni, sistemi di monitoraggio e indicatori più completa per determinare le condizioni prevalenti del suolo e valutare l'impatto delle diverse politiche e pratiche.

Le specifiche del sistema comunitario di informazione e monitoraggio relativo alle minacce per il suolo saranno esaminate in un'apposita proposta legislativa con la finalità di assicurare la realizzazione, nelle zone rilevanti, di misurazioni armonizzate e coerenti, sulle minacce identificate e l'accessibilità dei risultati o di sistemi di preallarme ai responsabili politici. Saranno soprattutto controllate le sostanze che possono trasferirsi dal suolo alla catena alimentare o che comportano altre potenziali ripercussioni sulla salute.

Nei limiti del possibile, il sistema di monitoraggio deve essere basato su sistemi informativi, database e know-how esistenti. Si terrà inoltre conto del principio dell'efficienza sul piano dei costi. È necessario progettare i sistemi di monitoraggio in maniera tale da assicurare l'integrazione dei dati in programmi di monitoraggio e reporting di più ampio respiro ed a più livelli, come ad esempio l'iniziativa INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe) della Commissione.

Il processo di consultazione deve essere concluso in tempo per consentire la presentazione di una proposta ufficiale entro la fine del primo semestre 2004. Nel 2002 la Commissione deciderà in che modo sostituire il regolamento (CE) n. 3528/86 del Consiglio relativo alla protezione delle foreste nella Comunità contro l'inquinamento atmosferico in modo da contribuire in maniera più completa al monitoraggio del suolo in generale, e in particolare alla soluzione di problemi locali relativi all'ambiente.

Oltre a un monitoraggio di base delle condizioni del suolo in tutta Europa, il testo legislativo deve prevedere la flessibilità necessaria ad affrontare minacce e processi di degrado maggiormente rilevanti a livello locale e i fattori che li provocano. Tali minacce comprendono i problemi di contaminazione dovuti a industrie o trasporti particolari di dimensione locale ma di rilevanza comunitaria. In questo modo, il monitoraggio oltre a proteggere il suolo, servirà anche come

indicatore dell'efficacia di altre politiche di protezione e come strumento per il loro miglioramento ove necessario."

Viene affermata l'importanza di giungere gradualmente, in tutti gli stati, ad una rete capillare ed omogenea in grado di rilevare con periodicità parametri del suolo, attraverso la collaborazione delle Amministrazioni centrali, regionali, locali e le Istituzioni di ricerca.

Anche a questo scopo e per l'elaborazione di una Strategia Tematica del Suolo condivisa da tutti gli stati membri oltre che dalla comunità scientifica e da tutte le parti interessate, la Commissione ha avviato all'inizio del 2003 un percorso di approfondimento delle principali problematiche evidenziate dalla COM 179/02; sono stati costituiti tre gruppi di lavoro sulle tre principali minacce di degradazione del suolo, contaminazione, erosione e diminuzione della sostanza organica, e due gruppi su tematiche trasversali, il monitoraggio e la ricerca.

I gruppi hanno elaborato dei rapporti che sono stati sottoposti alla valutazione delle parti interessate che hanno espresso commenti ed osservazioni prima della loro stesura definitiva avvenuta nel maggio 2004.

In particolare il gruppo di lavoro sul monitoraggio è stato suddiviso in tre sottogruppi che si occupano dei seguenti temi:

1. rassegna dei sistemi di monitoraggio esistenti;
2. parametri della rete di monitoraggio;
3. variabilità del suolo.

1.2 ALCUNE SIGNIFICATIVE INDICAZIONI DAL GRUPPO DI LAVORO EUROPEO SUL MONITORAGGIO DEL SUOLO

Un esame dettagliato dei sistemi di monitoraggio, osservazione, gestione per mezzo di GIS e cartografia esistenti negli stati membri e in quelli in fase di accesso, ha permesso di giungere ad una esaustiva conoscenza dei sistemi informativi sul suolo esistenti in Europa.

L'adozione generalizzata della tecnologia GIS e la creazione di databases di dati georeferenziati sul suolo hanno consentito la messa a punto di nuovi tipi di valutazione da cui sono ricavabili informazioni molto più rilevanti per i decisori rispetto alle carte dei suoli disponibili fino a qualche anno fa.

Utilizzando tali databases con opportune elaborazioni si possono infatti derivare informazioni sul rischio di erosione, sul contenuto in sostanza organica, sulla contaminazione diffusa, sulla compattazione, sulla salinizzazione, a seconda delle caratteristiche misurate.

La disponibilità di tali databases è una pre-condizione necessaria per la messa a punto di un sistema di monitoraggio del suolo. E' quindi necessaria anche per l'Italia la realizzazione di una base dati comune sui suoli a livello nazionale, coerente con quella che sarà creata a livello europeo; tale base dati nazionale sul suolo dovrà necessariamente utilizzare le informazioni della carta dei suoli in scala 1:250.000 realizzata dalle regioni e si dovrà creare per mezzo di un processo di coordinamento e collegamento delle strutture regionali che hanno la gestione di tali informazioni.

A livello europeo alcuni tentativi in questo senso sono stati fatti dalla Commissione con la predisposizione di un manuale del database georeferenziato dei suoli d'Europa in scala 1:250.000.

Sono veramente pochi gli esempi in Europa di sistemi di monitoraggio del suolo pienamente operativi. Molti dei sistemi realizzati dagli stati membri si limitano ad una osservazione eseguita ad un tempo stabilito e non possono quindi essere considerati come sistemi pienamente operativi.

Dalle poche esperienze in cui le misurazioni nei punti della rete sono state ripetute in tempi diversi emergono alcune considerazioni:

1. Il suolo è un mezzo alquanto stabile, con cambiamenti rilevabili solo ad intervalli temporali piuttosto ampi (più di 10 anni, a seconda del parametro considerato).
2. La variabilità nello spazio è spesso maggiore della variabilità nel tempo e ciò rende la georeferenziazione delle misure effettuate un requisito necessario.
3. La creazione di un archivio ordinato di campioni di suolo rende più facile il confronto dei risultati ottenuti in tempi diversi.
4. La variabilità nel campionamento e nella determinazione dei parametri è spesso maggiore della loro variabilità nel tempo, rendendo necessaria una rigorosa standardizzazione dei metodi e l'applicazione di procedure di controllo e garanzia della qualità (QA/QC).
5. I parametri misurati nei sistemi di monitoraggio esistenti sono fortemente condizionati dalla disponibilità di metodi di analisi, con una notevole prevalenza di misure legate alla contaminazione dei suoli (soprattutto inquinanti inorganici) con solo poche informazioni sulle altre principali minacce ai suoli d'Europa.
6. C'è una forte necessità di ricerca per lo sviluppo di metodi per la misura delle minacce quali diminuzione di biodiversità, degradazione fisica, esondazioni e frane, cementificazione.
7. L'accesso all'informazione prodotta con la rete di monitoraggio è soggetta a diverse limitazioni legali negli stati membri, con notevoli implicazioni per la proprietà intellettuale e la riservatezza dei dati georeferenziati.

Dalle considerazioni esposte derivano alcune raccomandazioni del gruppo di lavoro europeo:

1. Creare un database ampio e condiviso a livello di Unione Europea sul suolo che contenga parametri generali e specifici per ciascuna minaccia, come individuate dalla COM 179/02.
2. Selezionare un set minimo di parametri comuni da monitorare all'interno dei sistemi di monitoraggio del suolo esistenti negli stati membri.
3. Promuovere l'adozione di metodi e procedure standardizzate per le misurazioni dei parametri selezionati.
4. Organizzare con regolarità iniziative di controllo qualità e garanzia della qualità, compresi anche confronti interlaboratorio, siti di confronto, ecc.
5. Instaurare una procedura di reporting periodico (ogni 5 anni) per i parametri selezionati dagli stati membri per la Commissione Europea.

Dall'esigenza di avviare una rete di monitoraggio del suolo italiana dovrebbe scaturire una forte richiesta da parte del Sistema Agenziale nei confronti dell'UNI per il rapido recepimento delle norme ISO e CEN relative all'analisi del suolo in modo da superare le differenze ancora esistenti tra i metodi italiani e quelli utilizzati negli altri paesi d'Europa.

1.3 PRIME ESPERIENZE NAZIONALI DI CARTOGRAFIA DEI SUOLI E DI RETE NAZIONALE DI MONITORAGGIO DEI SUOLI

L'informazione sui suoli viene gestita da varie istituzioni in Italia; la maggior parte è distribuita all'interno delle regioni o degli enti di emanazione regionale.

Poche regioni hanno sviluppato un approccio coerente e sistematico per la raccolta ed archiviazione dei dati relativi al suolo.

I motivi principali per la raccolta di informazioni sul suolo sono spesso diversi; raramente fanno riferimento alla necessità di protezione del suolo, più spesso riguardano obiettivi legati alle produzioni agricole; la Carta dei suoli d'Italia in scala 1:250.000, ad esempio, è stata finanziata nell'ambito del programma interregionale "Agricoltura e Qualità".

Più recentemente, soprattutto con il citato progetto della Carta dei suoli d'Italia, ci sono stati alcuni tentativi per un approccio unitario e coerente alla cartografia dei suoli sia a livello nazionale che a livello europeo in particolare con la pubblicazione del Manuale per un database europeo dei suoli in scala 1:250.000.

Un primo livello di armonizzazione è stato raggiunto con il database dei suoli d'Europa in scala 1:1.000.000 realizzato e gestito dall'European Soil Bureau, che per l'Italia è stato rivisto e condiviso dalle regioni.

Sempre a livello europeo con decisione del Consiglio n. 3258/86 sulla protezione delle foreste dall'inquinamento atmosferico è stata avviata la rete di monitoraggio dei suoli forestali (ICP Forest) sulla base di una maglia fissa di 16 x 16 km, che interessa 31 paesi europei e costituisce l'unica esperienza di monitoraggio dei suoli realizzata a livello europeo.

1.4 I DOCUMENTI DEL CTN_SSC SULLA RETE NAZIONALE DI MONITORAGGIO DEL SUOLO

Nel documento RTI CTN_SSC 2/2001 "Elementi di progettazione della rete nazionale di monitoraggio del suolo a fini ambientali" pubblicato dall'ANPA nel dicembre 2001, erano stati definiti i principali elementi necessari per l'avviamento ed il corretto funzionamento della rete, utilizzando come punto di riferimento le linee guida del documento EEA (European Soil Monitoring and Assessment Framework – Technical Report 67/2001) per una rete di monitoraggio europea, le reti di monitoraggio già attivate negli altri Paesi (Europa, Stati Uniti e Canada) e le reti di monitoraggio internazionali. In particolare nella pubblicazione del CTN sono contenute indicazioni sui seguenti elementi:

- criteri di scelta, classificazione ed intensità dei siti;
- parametri e loro priorità;
- modalità e frequenza di campionamento;
- eventuale uso di sistemi di monitoraggio alternativi al campionamento puntuale per alcuni parametri;
- cenni sulla gestione e analisi dei dati;
- cenni sulla modalità di interpretazione e rappresentazione dei dati.

Gli elementi forniti dal documento RTI CTN_SSC 2/2001 sono ancora un utile riferimento da considerare come un primo stadio evolutivo nel processo di definizione della rete.

Le linee guida definite con il documento RTI CTN_SSC 1/2002 forniscono indicazioni più precise per la predisposizione e l'avvio della rete di monitoraggio, attraverso una serie di protocolli operativi differenziati in base ai diversi fenomeni di degrado del suolo per ciascuno dei quali sono previste particolari procedure per l'individuazione, il prelievo e l'analisi dei campioni, l'elaborazione e l'interpretazione dei risultati, etc. In particolare sono state proposte alcune metodologie riguardanti:

- la selezione, gestione, georeferenziazione e descrizione dei siti di monitoraggio e dei suoli;
- la descrizione dei tempi e delle modalità di campionamento, trasporto, conservazione e preparazione dei campioni per le analisi;
- la scelta delle metodiche analitiche e dei criteri di valutazione della qualità delle analisi;
- la definizione delle modalità di validazione ed elaborazione statistica dei dati;
- la definizione delle caratteristiche dei database, specie in termini di accessibilità e compatibilità dei dati.

Questa prima revisione del documento RTI CTN_SSC 2/2001 "Elementi di progettazione della rete nazionale di monitoraggio del suolo a fini ambientali" e del successivo RTI CTN_SSC 1/2002

“Linee guida per un manuale di organizzazione e gestione della rete” tiene conto delle indicazioni fornite dai gruppi di lavoro europei nel tentativo di consolidare alcuni elementi fondamentali della futura rete e di aggiornare alcuni aspetti considerando l’aggiornamento tecnologico intervenuto.

2. LE MINACCE PER IL SUOLO E GLI OBIETTIVI DELLA RETE

2.1 LE MINACCE PER IL SUOLO INDIVIDUATE DALLA COMMISSIONE EUROPEA

Il sistema informativo dei suoli e la rete di monitoraggio che lo alimenta dovrà essere focalizzato sul reperimento di informazioni significative per il decisore politico riguardo alle principali minacce per il suolo in Europa. La COM 179/02 ha identificato otto minacce principali: erosione, diminuzione della sostanza organica, contaminazione, cementificazione (cioè la copertura del suolo per mezzo di infrastrutture o edifici), compattazione, diminuzione della biodiversità, salinizzazione e rischi idrogeologici (alluvioni e frane).

Tutte queste minacce necessitano di essere monitorate in modo integrato e pertanto la futura rete di monitoraggio deve essere multi-scopo per poter fornire dati in misura eguale per ciascuna di esse con le modalità rese possibili dalla tecnologia disponibile.

In certi casi, ad esempio per la biodiversità del suolo, dovranno essere fatti sforzi notevoli nel campo della ricerca per mettere a punto e validare procedure affidabili per la sua quantificazione e correlazione alle minacce per le funzioni svolte dal suolo.

Inizialmente la priorità dovrà essere data all'erosione, alla diminuzione della sostanza organica e alla contaminazione che sono state individuate come aspetti strategici per la protezione del suolo in Europa.

2.2 I LIVELLI DI CONOSCENZA DEL SUOLO E DELLE RELATIVE MINACCE

Ciascuna minaccia necessita di particolari tecniche e sistemi di monitoraggio o di osservazione che vanno dal telerilevamento, al prelievo ed analisi di campioni con criteri di tipo statistico, alla raccolta di dati e informazioni sulle attività che esercitano pressioni sul suolo (abitazioni, infrastrutture, agricoltura, industria, ecc.), fino alle indagini sperimentali in siti di riferimento.

Per questo si deve tener conto del fatto che una completa conoscenza ambientale del suolo deve considerare, oltre ai dati statistici che descrivono le principali fonti di pressione, almeno quattro livelli informativi:

- le informazioni di base sui suoli contenute nelle carte dei suoli, che costituiscono sempre un elemento chiave per la scelta dei siti di monitoraggio e per l'interpretazione dei risultati, oltre che per la loro estensione al territorio;
- le informazioni relative all'uso del suolo ricavabili mediante telerilevamento, possibilmente integrato con rilievi a terra per meglio descrivere le pressioni sul suolo esercitate dai diversi tipi di uso;
- una rete di monitoraggio degli inquinanti inorganici ed organici o di eventuali caratteristiche di facile misura (es.: carbonio organico, CSC, pH) configurata sulla base di una maglia rigida; in alternativa però utili informazioni, per una prima fase conoscitiva, possono derivare dall'analisi dei campioni di suolo prelevati in corrispondenza dei profili descritti nel corso della realizzazione di carte dei suoli, la cui rappresentatività è da valutare in relazione ad ogni singolo parametro;

- una rete di monitoraggio delle relazioni pressione-impatto composta da alcuni siti di riferimento allestiti in modo da raccogliere il maggior numero di informazioni possibili sui fenomeni di degrado nei principali tipi di suolo in relazione alle più diffuse modalità di gestione sulla base di priorità stabilite da tecnici e decisori (degrado fisico e biologico).

Ciascuno di questi elementi va considerato come livello distinto in fase di realizzazione, salvo poi mettere in relazione i risultati per l'interpretazione dei fenomeni di degrado del suolo e l'acquisizione di maggiori informazioni riguardo alle minacce.

Va sottolineato e ribadito con chiarezza che il primo livello di conoscenza è rappresentato dalla carta dei suoli; laddove non sia ancora disponibile una carta dei suoli dovrà essere attivata una rete a maglia rigida prevedendo che nei punti della rete in cui viene eseguito il prelievo dei campioni, vengano aperti e descritti dei profili pedologici che consentano di mettere comunque in relazione il risultato relativo al processo di degradazione per cui la rete è stata costituita con il tipo di suolo.

Anche nel caso in cui la cartografia dei suoli in scala 1:250.000 sia già disponibile potrebbe essere giustificata la scelta di eseguire un profilo in ogni punto della maglia rigida ove non siano utilizzabili i profili realizzati per la produzione della cartografia. La densità ottimale della rete potrebbe essere stimata con un'analisi di rappresentatività delle principali combinazioni fra tipo di suolo e uso del suolo/pressioni, in modo che le occorrenze non rappresentate dalla rete siano quelle ritenute non significative a livello regionale; da un punto di vista economico, da parte di alcune regioni si ritiene che allo stato attuale questo possa essere sostenibile al massimo per una maglia con un ordine di grandezza pari a circa 16x16 km o a 18x18 km.

2.3 OBIETTIVI DELLA RETE

Sulla base di quanto sopra evidenziato i principali obiettivi della rete di monitoraggio del suolo sono:

- la conoscenza delle attuali caratteristiche e proprietà dei suoli;
- il monitoraggio nel tempo (breve e lungo periodo) delle caratteristiche e proprietà del suolo, come conseguenza della presenza di forme di degrado ed inquinamento (minacce);
- la previsione delle evoluzioni future;
- lo sviluppo e la validazione di modelli per la comprensione e previsione dei fenomeni di degrado (minacce), calibrati sui siti della rete ed estensibili nell'ambito di situazioni omogenee;
- la diffusione dei risultati ottenuti per indirizzare:
 - scelte rivolte ad un uso sostenibile del suolo e del territorio;
 - politiche di intervento direttamente o indirettamente collegate al degrado e alla contaminazione del suolo;
 - valutazione della efficacia delle azioni di conservazione e protezione del suolo;
 - valutazione dello stato dell'ambiente in generale.

La realizzazione degli obiettivi sopra indicati passa attraverso una serie di azioni, congruenti con i livelli di conoscenza dei suoli sopra specificati, che possono anche essere identificate come fasi progressive di avviamento della rete:

- l'identificazione delle tipologie di suolo presenti in un territorio con relativa caratterizzazione pedologica di dettaglio;
- la conoscenza, mediante tecniche di telerilevamento, dell'uso del suolo e delle sue variazioni nel tempo;

- la definizione, in linea con le indicazioni fornite a livello europeo, di regole comuni per la scelta e georeferenziazione dei siti, la descrizione dei siti e dei suoli, i protocolli di campionamento, i metodi di trattamento e conservazione dei campioni, i metodi di analisi, la garanzia della qualità dei risultati, la gestione dei dati e reporting;
- il monitoraggio di un primo set di parametri per le minacce individuate come prioritarie;
- l'allestimento di siti permanenti di monitoraggio in cui seguire le dinamiche di specifici fenomeni di degrado mediante campionamento sistematico (maglia rigida) o ragionato (siti rappresentativi);
- l'innesto funzionale sulla rete nazionale di altre eventuali reti di monitoraggio specifiche, locali o tematiche.

2.4 UNA RETE INTEGRATA

La rete di monitoraggio del suolo dovrà necessariamente svilupparsi tenendo conto dell'esigenza di soddisfare le richieste di conoscenza che vengono espresse ai vari livelli e della limitatezza di risorse che, nella fase di avvio sarà destinata al monitoraggio del suolo.

Non si riuscirà probabilmente ad avviare l'attività di monitoraggio del suolo con gli stessi tempi e modalità in tutte le regioni italiane; esperienze già avviate in Italia per altri settori hanno evidenziato situazioni molto diversificate nel territorio nazionale di cui è necessario tener conto per programmare una rete realistica ed attuabile.

Quindi i principali aspetti che dovranno essere considerati per una rete nazionale di monitoraggio del suolo a fini ambientali sono i seguenti:

- la congruità e compatibilità tra le attività di monitoraggio avviate a livello locale e regionale ed i criteri stabiliti per una integrazione delle reti regionali in una rete nazionale;
- la continuità dei risultati del monitoraggio tra le diverse regioni, per evitare che i confini amministrativi diventino limiti tecnici alla possibilità di condivisione ed integrazione dei dati;
- la complementarità tra i diversi fenomeni di degradazione (minacce) considerati nel monitoraggio del suolo (contaminazione, erosione, diminuzione della sostanza organica, ecc.);
- la possibilità di interazione con i risultati di altre reti di monitoraggio per la comprensione di fenomeni ambientali che interessano più risorse (suolo, acqua, aria, natura);
- l'integrazione tra l'approccio tipologico, che deriva da una elaborazione delle informazioni del suolo che tiene conto di un inquadramento spaziale delle tipologie di suolo individuate con la cartografia dei suoli, e l'approccio geostatistico che invece si basa sull'elaborazione dei dati con metodi statistici.

2.5 VARIABILITÀ DEI SUOLI, MINACCE E TIPOLOGIA DEI SITI DELLA RETE

Monitorare il suolo è alquanto diverso dal monitoraggio di aria e acqua. La variabilità spaziale dei suoli è molto elevata e richiede un approccio specifico che tiene in considerazione questo particolare aspetto.

I suoli in Italia, e ancor più se si considera l'intero territorio europeo, sono particolarmente diversi, con tipi di suolo molto differenti nelle varie aree climatiche; è perciò necessario sviluppare una specifica metodologia che consideri tale variabilità.

L'informazione disponibile per descrivere la variabilità spaziale dei suoli è contenuta nella cartografia dei suoli e nel database relativo che può fornire gli elementi per un'analisi preliminare della rappresentatività del sistema di monitoraggio che si vuole adottare, sia a maglia fissa che per siti di riferimento.

Per ciascuna delle minacce indicate per i suoli europei è richiesto un particolare approccio per il monitoraggio. Mentre alcune di esse possono richiedere un monitoraggio sistematico con una rete a maglia fissa estesa a tutto il territorio (es.: diminuzione di sostanza organica, contaminazione diffusa), altre minacce necessitano di un approccio più mirato, che tiene conto del fatto che non tutte sono presenti su tutto il territorio in modo significativo ma prevalentemente in aree circoscritte (es.: contaminazione locale, erosione, compattazione, salinizzazione, cementificazione, esondazioni e frane).

La futura rete di monitoraggio dei suoli europea dovrà essere basata sulle reti già esistenti e quindi è indispensabile un'approfondita analisi di rappresentatività dei siti sulla base del tipo di suolo e sul suo uso; una ulteriore analisi dovrà essere fatta sulla loro rappresentatività rispetto a ciascuna minaccia indicata dalla COM 179/02.

In modo analogo anche la rete nazionale si dovrà costituire come integrazione di reti regionali per cui dovrà essere garantita a livello nazionale una completa analisi di rappresentatività dei siti che sono proposti dalle regioni.

2.6 FATTORE DI SCALA: IMPORTANZA DI RAPPRESENTARE I PROCESSI E LE MINACCE ALLE DIFFERENTI SCALE TEMPORALI E SPAZIALI

Alcune variabili (ad esempio l'erosione del suolo) assumono significati diversi secondo la scala geografica alla quale vengono monitorizzate e rappresentate.

La comprensione del modo nel quale i processi variano al variare della scala sia geografica (dalla parcella, al versante, al bacino idrografico, alla regione ecc) sia temporale (dal singolo evento, al poliennale) è importante al fine della rappresentazione delle minacce e del significato che esse assumono per il decisore politico.

Le minacce fortemente sensibili ai fattori di scala spazio-temporali, qualora vengano quantificate tramite modelli di estrapolazione, a scale diverse da quelle della rete di monitoraggio, devono essere rappresentate in modo tale da rendere comprensibile se l'*upscaling* o il *downscaling* derivi da modelli sufficientemente testati a tale fine.

2.7 STRATIFICAZIONE DEI PUNTI DELLA RETE

Solo alcune delle otto minacce per i suoli europei indicate dalla COM 179/02 richiedono un monitoraggio sistematico su tutto il territorio nazionale. Diverse di esse come ad esempio la salinizzazione, l'esondabilità, la franosità, la compattazione, l'erosione, la cementificazione, la contaminazione locale sono presenti in particolari aree in funzione di peculiari caratteristiche del territorio.

Per queste minacce una strategia di campionamento di tipo stratificato, utilizzando le informazioni disponibili sulle specifiche minacce, può consentire il posizionamento dei siti nelle aree più sensibili, oppure di utilizzare i punti della rete a maglia fissa che cadono nelle aree sensibili per una estensione delle misure anche ai parametri importanti per valutare le specifiche minacce.

Per esempio una carta del rischio di erosione del suolo può essere uno strumento importante per identificare le aree prioritarie in cui la minaccia è più presente e quindi si devono posizionare i siti in cui si misurano i parametri definiti per l'erosione. Lo stesso vale per la carta dei suoli a rischio di salinizzazione, o di esondazione, o di frana, o, ancora, per la suscettibilità dei suoli alla compattazione.

3. STRUTTURA DELLA RETE NAZIONALE DI MONITORAGGIO DEL SUOLO

3.1 CRITERI PER L'INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DI PRELIEVO

L'individuazione del numero, della posizione e dell'organizzazione dei siti in cui effettuare le misure per costruire gli indicatori relativi alle minacce rappresenta un punto critico nella predisposizione della rete.

La rete dovrebbe essere organizzata su due attività parallele con un piano di monitoraggio differenziato in base al diverso fenomeno di degrado (minacce) che si vuole monitorare e al grado di approfondimento richiesto:

- 1) monitoraggio sistematico, su tutto il territorio prescelto, di alcuni parametri fondamentali di semplice determinazione. In questo caso il sistema si configura come una rete a maglia fissa, per verificare in modo oggettivo la variazione di caratteristiche di base quali il pH, il carbonio organico, con il quale si può misurare la diminuzione della sostanza organica, la capacità di scambio cationico, e il grado di contaminazione causato da deposizioni atmosferiche o utilizzo di concimi e/o ammendanti che possono accumularsi nel suolo. I risultati di questo monitoraggio possono consentire anche la definizione del livello di fondo ("background level") per i diversi elementi chimici, inorganici e organici, necessario per poter effettuare una corretta valutazione dei valori rilevati in situazioni di sospetta contaminazione del suolo;
- 2) individuazione di aree rappresentative in cui eseguire un monitoraggio intensivo e permanente anche di parametri di più complessa determinazione, che completa e si integra con la rete a maglia fissa. In questo caso la struttura della rete è costituita da un insieme di siti uniformemente distribuiti sulla superficie da monitorare ma selezionati in base alla loro rappresentatività. Tale sistema è l'unico che permetta l'acquisizione di conoscenze approfondite sulle dinamiche dei fenomeni di degrado e la definizione di modelli previsionali e di valutazione del possibile impatto in funzione dell'intensità della pressione.

Il monitoraggio a due livelli risponde ai diversi obiettivi che ci si pone con l'attivazione della rete di monitoraggio:

- nel caso del monitoraggio mediante la rete a maglia fissa è possibile ottenere:

- la conoscenza dell'andamento spaziale di alcune proprietà generali del suolo importanti per sé (es.: sostanza organica) o che possono condizionare il comportamento del suolo nei confronti dei processi di degradazione (tessitura, pH, C.S.C., ecc.);
- la conoscenza delle concentrazioni nei suoli di alcuni contaminanti che si originano da fonti diffuse;
- la segnalazione di evoluzioni impreviste;
- la costituzione di un archivio di campioni di suolo;
- per quanto riguarda alcuni contaminanti principali (metalli pesanti, POP) è possibile determinare il contenuto "naturale" (cioè risultante dai processi pedologici e geologici, escludendo qualsiasi apporto di origine umana) e di quello "usuale" (cioè risultante sia dal contenuto di origine pedo-geochimica, sia da fonti diffuse) di tali elementi;
- la verifica dei risultati delle previsioni (ad es. gli effetti dall'applicazione del codice di buona pratica agricola) relative all'impatto su alcune proprietà del suolo e sulla distribuzione spaziale dei contaminanti.

- nel caso del monitoraggio per siti di riferimento sulle relazioni pressioni-impatto si raggiunge l'obiettivo dell'acquisizione di conoscenze sull'andamento dei fenomeni (erosione, contaminazione diffusa, perdita di biodiversità, compattazione, ecc.) che consentono di prevedere e/o valutare l'evoluzione dei possibili impatti in funzione dell'intensità della pressione (comprensione e modellizzazione dei processi).

In una prima fase la scelta dei siti di riferimento riguarderà un numero limitato di aree in cui testare e verificare l'adeguatezza delle metodologie di monitoraggio.

3.2 LIVELLO 1: LA RETE DI MONITORAGGIO A MAGLIA FISSA

L'adozione di una rete di monitoraggio con punti di campionamento omogeneamente distribuiti permette di acquisire, in modo oggettivo e indipendente da criteri predefiniti, elementi conoscitivi sullo stato dei suoli in riferimento a probabili processi di degradazione riconducibili a fenomeni di inquinamento diffuso dei suoli (es. inquinamento da metalli pesanti).

La risoluzione spaziale richiesta per la rete, cioè la distanza tra i punti adiacenti (passo) della rete, è funzione del tipo di caratteristiche da monitorare oltre che del dettaglio con cui deve essere fornita l'informazione prodotta; dovrà essere inoltre ricercato un compromesso tra la necessità di avere informazioni dettagliate con i costi necessari alla raccolta di tali informazioni.

A livello europeo vengono indicate come ottimali reti di risoluzione pari a 16 x 16 o 18 x 18 km che corrispondono ad una scala 1:1.000.000, la stessa per la quale è disponibile una carta dei suoli; una verifica condotta dall'European Soil Bureau ha evidenziato che la densità di punti ottenibile con queste reti consente di avere almeno un punto per ogni principale tipologia di suoli descritta dalla carta dei suoli in scala 1:1.000.000. È probabile quindi che una rete 8 x 8 o 9 x 9 km corrisponda ad una scala 1:500.000, mentre una rete 4 x 4 o 4,5 x 4,5 km corrisponda ad una scala 1:250.000.

La scelta delle risoluzioni 16 x 16 o, in alternativa, 18 x 18 km è legata all'esistenza di iniziative di monitoraggio a livello europeo che utilizzano già queste densità.

La prima (16 x 16 km) è utilizzata dalla rete europea dell'ICP-Forest, gestita per l'Italia dal Servizio CONECOFOR-CFS del Ministero per le Politiche Agricole e Forestali (M.I.P.A.F.).

Per quanto riguarda la montagna i siti della rete di monitoraggio possono avere una densità minore perché minori sono le pressioni che comportano l'accumulo di composti inquinanti, e quindi potrebbero coincidere con quelli dell'ICP-Forest (16 x 16 km).

In realtà l'attuale maglia italiana del progetto ICP Forest non è coerente con la rete transnazionale europea di 16 x 16 km; in Italia essa è stata disposta su una rete 15x18 km per coincidere con il precedente programma "Indagine sul deperimento delle foreste", basato su una maglia di 3 km di lato.

La seconda (18 x 18 km) è stata costruita con il progetto LUCAS gestito da EUROSTAT nell'ambito del programma CORINE Land Cover; ciascun sito di monitoraggio è già stato individuato, codificato e descritto nelle caratteristiche principali; tale rete fra l'altro è stata costruita per favorire l'integrazione fra i dati raccolti nei diversi stati membri. Una sperimentazione per verificare l'utilizzabilità della rete LUCAS per il monitoraggio ambientale dei suoli è stata già

condotta da parte dell'ARPA Piemonte. A partire da questa rete potrebbero essere definite reti coerenti di maggior dettaglio con maglie 9 x 9 km e 4,5 x 4,5 km.

3.3 LIVELLO 2: RETE DI MONITORAGGIO PER SITI RAPPRESENTATIVI

Il monitoraggio di particolari fenomeni di degrado (es. erosione, perdita di biodiversità, compattazione, fenomeni di contaminazione diffusa quali percolazione dei nitrati in eccesso e accumulo di fitofarmaci, ecc) necessita di sistemi di indagine intensivi ed a costi elevati; per questo è necessario circoscriverne la realizzazione in ambiti controllati (es. aziende sperimentali) e rappresentativi di un'area più vasta, in riferimento al comportamento funzionale del suolo nei confronti del fenomeno studiato.

Questi siti di riferimento dovrebbero essere utilizzati per un approfondimento del monitoraggio a scala regionale, divisi in gruppi e sottogruppi in base alle tematiche di degrado che rappresentano, fra cui le principali riconducibili alle minacce indicate dal documento della Commissione Europea sono:

- diminuzione della sostanza organica e perdita di biodiversità;
- fenomeni di ruscellamento e di erosione;
- peggioramento delle proprietà fisiche e compattazione;
- fenomeni di contaminazione diffusa quali:
 - trasporto e degradazione di sostanze inquinanti organiche, compresi i pesticidi;
 - movimento verso gli acquiferi di fertilizzanti (nitrati);
 - accumulo o rilascio dei metalli pesanti;
 - inquinamento da fall-out atmosferico in prossimità di zone urbane e/o industriali.

Il monitoraggio dei siti di riferimento prevede l'individuazione di aree rappresentative dei sistemi di coltivazione e gestione del suolo e delle principali tipologie di suolo.

Proprio allo scopo di garantire che la scelta di tali siti risponda a criteri omogenei a livello europeo è previsto che venga condotta una analisi di rappresentatività dei siti di monitoraggio segnalati dagli stati membri; analogamente per la rete nazionale tale analisi di rappresentatività sui siti proposti dalle regioni dovrà essere condotta da una struttura di riferimento nazionale, in modo che possa essere proposto lo spostamento o l'aggiunta di alcuni siti per migliorarne la rappresentatività nei confronti dei fenomeni da monitorare.

La rappresentatività dei siti di monitoraggio è valutata in base a:

- tipologia di suoli in relazione ai diversi ambienti pedopaesaggistici e/o climatici;
- uso del suolo (*Corine Land Cover*);
- combinazioni suolo-uso del territorio;
- diverse forme di degrado del suolo e diversa esposizione agli inquinanti.

In particolare per la tipologia dei suoli si fa riferimento:

- al comportamento funzionale dei suoli in relazione ai principali processi degradativi e di inquinamento;
- alla classificazione tassonomica (*Soil Taxonomy, World Reference Base*), cercando di raggruppare suoli simili, come risultato dei diversi fattori della pedogenesi (clima, organismi vegetali e animali, morfologia, roccia madre, tempo);
- alle relazioni suolo-paesaggio e suolo-clima che condizionano il comportamento del suolo soprattutto rispetto alle funzioni che esso svolge.

La rappresentatività dei siti nei confronti delle tipologie di suolo richiede semplificazioni in termini di distribuzione e variabilità spaziale, capacità di rappresentare ambienti pedopaesaggistici e pedoclimatici sottoposti a stress, suscettività ai cambiamenti.

Nell'individuazione delle combinazioni tipo di suolo-uso del suolo dovranno essere considerati solo i sistemi di coltivazione più diffusi, verificando che essi corrispondano a tecniche di fertilizzazione e gestione del suolo relativamente omogenee. Tali sistemi e tecniche dovranno poi essere mantenute anche durante il periodo di monitoraggio in modo che questo possa evidenziare i loro effetti sulle caratteristiche del suolo; per questo motivo sarebbe opportuno che tali siti fossero posizionati all'interno di aziende sperimentali gestite da enti pubblici (Regione, Istituti Agrari, Università, ...), che possono garantire sia una elevata qualità e affidabilità dei risultati ottenuti, sia la reperibilità di informazioni sulle pratiche agricole applicate.

A titolo di esempio si riporta in allegato 1 un esempio di individuazione di siti rappresentativi secondo i criteri sopra esposti per la regione Veneto.

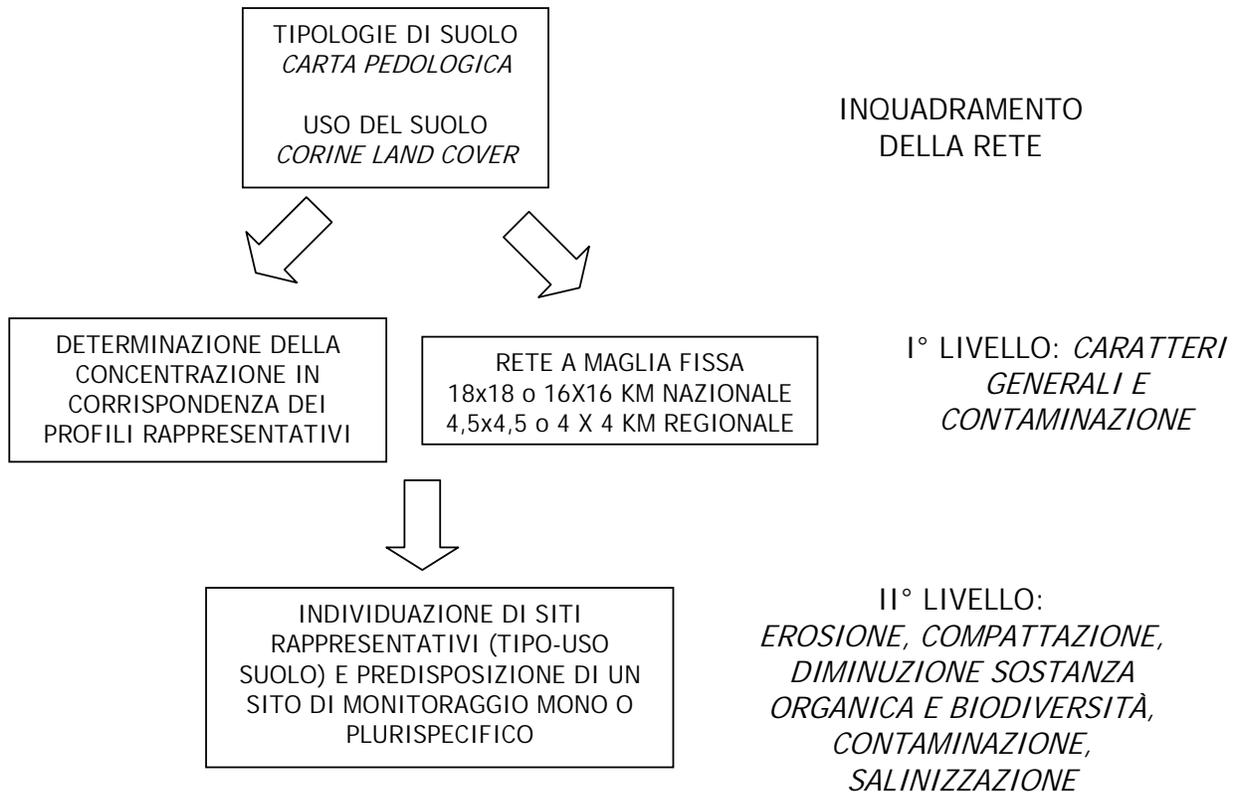
In allegato 2 si riporta in sintesi la procedura con cui è stata valutata la rappresentatività dei suoli delle aziende sperimentali della Regione Emilia Romagna in riferimento a quelli presenti nel territorio regionale.

Allo scopo di aggiungere ulteriori elementi di conoscenza ciascuna regione potrà inserire tra i siti prescelti alcuni in cui sono praticate tecniche a maggior impatto ambientale:

- per l'apporto di metalli pesanti: l'utilizzo di fanghi di depurazione, la distribuzione di effluenti di allevamento, l'utilizzo di ammendante compostato o di biostabilizzato nei limiti previsti dalle normative;
- per il rilascio di azoto per percolazione e/o ruscellamento: tipo di colture, di concimazione, di lavorazioni e gestione del suolo, di irrigazione;
- per l'apporto di composti organici: trattamenti antiparassitari e/o apporto di fanghi di depurazione o altri residui organici;
- per l'erosione e la compattazione: il tipo di colture, di lavorazioni, la sistemazione e gestione del suolo, ecc;
- per la diminuzione della sostanza organica e della biodiversità: il tipo di colture, la gestione del suolo, la fertilizzazione, l'utilizzo di antiparassitari, ecc.

L'individuazione dei siti rappresentativi, la loro gestione e l'archiviazione dei dati dovrebbero essere concordati con i tecnici regionali che gestiscono la Carta dei Suoli alla scala 1 : 250.000 in modo da creare un collegamento tra il data base contenente i dati relativi alle caratteristiche fondamentali dei suoli e quello con i dati relativi agli inquinanti e alle altre caratteristiche collegate raccolti secondo le procedure del monitoraggio.

Figura 1: Schema proposto per lo sviluppo graduale della rete di monitoraggio attraverso successivi livelli di approfondimento



3.4 DENSITÀ DEI PUNTI

Uno degli aspetti fondamentali della progettazione e della manutenzione dei siti di monitoraggio è la ripartizione precisa e definita dei compiti che ciascun ente, agenzia, ufficio, ecc. dovrà svolgere, in modo da poter dimensionare in maniera adeguata all'ente che gestirà la rete la rete di monitoraggio anche in rapporto alle capacità organizzative del gestore. A riguardo è fin d'ora possibile mettere in evidenza il ruolo fondamentale che ricopre il sistema delle agenzie ambientali (APAT, ARPA e APPA) nella possibilità di creare e gestire la futura rete di monitoraggio. Le previsioni relative al dimensionamento della rete sono state elaborate prendendo come unità amministrativa di riferimento le singole regioni.

In base a quanto presentato nei precedenti punti risulta evidente la necessità di non ingabbiare in una struttura rigida la rete di monitoraggio ma di lasciare la possibilità alle regioni di avviare le iniziative di monitoraggio che ritengono più adeguate alla conoscenza dei fenomeni ritenuti prioritari per la particolare situazione che le caratterizza; in questo modo, in relazione alle attività in corso, agli specifici interessi di approfondimento, alle risorse disponibili, ciascuna regione può avviare una o più delle quattro fasi sopra schematizzate, e cioè:

- lavorare prioritariamente per la costruzione delle conoscenze di base relative alla carta pedologica e di uso del suolo;

- attivare l'analisi dei contaminanti in corrispondenza dei profili considerati rappresentativi delle principali tipologie di suolo, qualora i campioni prelevati siano disponibili; la scelta della densità dei profili prescelti sarà funzione della variabilità dei suoli e del grado di conoscenza desiderato ma dovrà comunque essere almeno pari ad un profilo ogni 250 km²;
- attivare il monitoraggio a maglia rigida a partire da una maglia 16 x 16 km (o 18 x 18 km se sarà ritenuta più adeguata in prospettiva "europea" la rete LUCAS) per andare ad intensificazioni successive (8 x 8 km o 9 x 9 km, 4 x 4 km o 4,5 x 4,5 km, ecc.) sulla base di considerazioni di opportunità e necessità conoscitive;
- attivare il monitoraggio di specifici fenomeni di degrado individuando dei siti di riferimento in numero di circa uno ogni 1.000 km² sulla base dei criteri di rappresentatività sopra descritti.

Si deve comunque tener conto dei costi necessari all'allestimento delle stazioni di monitoraggio in relazione ai tipi di parametri o fenomeni che si intende misurare. Ad esempio il monitoraggio di processi di percolazione delle acque e degli elementi nutritivi richiede, oltre ad elevate frequenze di intervento ed un consistente numero di campioni da analizzare, l'installazione di attrezzature specifiche. Per questo in fase di progettazione della rete deve essere operata una scelta di contenimento dei siti di monitoraggio solo in alcuni punti, giudicati più significativi per quel specifico processo o fenomeno.

3.5 PARAMETRI E LORO PRIORITÀ

La funzione principale della rete di monitoraggio è la misurazione dei parametri che serviranno per il calcolo degli indicatori. E' necessario dunque definire in anticipo quali sono i parametri che meglio descrivono lo stato del suolo e i cambiamenti che i loro valori subiscono nel tempo, in funzione delle pressioni.

I parametri da monitorare sono suddivisi in base al loro livello di specificità:

- **parametri generali:** devono essere monitorati in tutti i siti, indipendentemente dal tipo di degrado specifico preso in considerazione, in quanto necessari per una caratterizzazione generale del suolo e per descrivere la capacità di questo ad interagire con gli elementi che in esso sono contenuti o vengono distribuiti; quelli indicati come generali dal gruppo di lavoro europeo sono:
 - descrizione del profilo del suolo secondo un Sistema Internazionale concordato;
 - classificazione del suolo secondo un Sistema Internazionale concordato;
 - materiale parentale secondo un Sistema concordato;
 - piano di campionamento per una robusta configurazione del sito a lungo termine;
 - caratteristiche del sito, come pendenza, aspetto, uso e gestione del suolo storica e attuale;
 - profondità di campionamento (per orizzonti, per profondità fisse o entrambe);
 - densità apparente;
 - tessitura;
 - pH (in acqua e in soluzione salina);
 - carbonio organico;
 - azoto totale;
 - capacità di scambio cationico;
 - capacità di ritenzione idrica e curva di ritenzione (punto di appassimento, capacità di campo e saturazione);
 - conducibilità idraulica (laterale e verticale);
 - profondità della falda;

Le caratteristiche idrauliche non dovranno essere rilevate diffusamente su tutti i punti della rete a maglia fissa ma solo in alcuni siti predefiniti per il monitoraggio di specifiche minacce.

- **parametri specifici:** parametri da monitorare per particolari fenomeni di degrado in quanto mettono in evidenza peculiari caratteristiche fisiche, chimiche o biologiche; quelli indicati per le principali minacce dal gruppo di lavoro europeo sono:
 - diminuzione della sostanza organica: carbonio organico totale, azoto totale e rapporto C/N (parametri di interesse generale);
 - erosione: copertura vegetale, stabilità degli aggregati, conducibilità idraulica, densità apparente;
 - contaminazione diffusa: concentrazione dei metalli totali come frazione estraibile con acqua regia, in particolare arsenico, cadmio, cromo, rame, mercurio, nichel, piombo, fosforo, selenio, zinco e radionuclidi cesio 137 e stronzio 90; viene segnalata anche l'importanza di misurare forme estraibili con una soluzione salina che sono indicatrici della bio-disponibilità degli elementi, in particolare per acidità, alluminio, cadmio, calcio, rame, fluoruri, piombo, magnesio, nichel, fosforo e potassio; infine sono indicati alcuni inquinanti organici ormai ubiquitari: composti alogenati, alchilbenzeni lineari solfonati, di-etil-ftalati, nonil-fenoli e nonil-fenoli-etossilati, IPA, PCB e diossine (PCDD e PCDF);
 - salinizzazione: conducibilità elettrica dell'estratto acquoso, sodicità (reazione alla fenoltaleina) qualità dell'acqua irrigua, cationi solubili (Na, K, Ca, Mg) per determinare il SAR o cationi scambiabili in estratto saturo, impedenza del suolo con TDR;
 - contaminazione puntuale: non è possibile specificare i parametri, anche se spesso potrebbero comprendere molti di quelli sopra elencati, perché la richiesta dipende esclusivamente dalla situazione di ciascun sito.

Per le altre minacce, in particolare perdita di biodiversità e compattazione, sono stati individuati alcuni parametri di possibile interesse (tabella 1)

I parametri, sulla base delle indicazioni provenienti dal documento dell'EEA *EuroSoilNet*, sono distinti in due livelli:

- **livello 1: parametri insensibili e moderatamente sensibili:** sono quei parametri da determinare all'inizio del periodo di osservazione e che non subiscono modificazioni significative per un gran numero di anni (*qualità intrinseche*), mentre i parametri moderatamente sensibili subiscono lente modificazioni che possono essere monitorate con frequenze di campionamento più che quinquennale;
- **livello 2: parametri sensibili (*qualità dinamiche*):** sono quelli soggetti a rapide modificazioni a seguito dell'azione dei fattori di rischio. La frequenza di campionamento e misura in questo caso deve essere decisa in base alla dinamica del fenomeno e a considerazioni relative alla velocità con cui questo influenza le modificazioni del parametro considerato.

Tale caratteristica dei parametri va definita rispetto a situazioni di equilibrio e non in presenza di modificazioni sostanziali del sito.

Tutti i parametri potenzialmente interessanti per l'inserimento in un sistema di monitoraggio allo scopo di acquisire elementi utili per l'interpretazione delle tematiche di degrado individuate, sono elencati nella Tabella 1, e sono classificati in base al loro livello di sensibilità, alla rilevanza e alla tematiche a cui possono essere attribuiti. In questa fase si è ritenuto di mantenere sia i parametri segnalati a livello europeo come probabili requisiti basilari della rete europea e nazionale di monitoraggio del suolo, sia altri parametri aggiuntivi che sono stati indicati dagli esperti del CTN_TES.

Parametro	Specificità	Livello di sensibilità*	Principali minacce interessate	Livello della rete
Tipo di suolo	generale	basso	T	1
Caratteristiche del sito e del profilo	generale	basso	T	1
Caratterizzazione climatica	generale	-	T	1
Caratterizzazione geologica	generale	-	T	1
Materiale parentale	generale	-	T	1
Limitazione d'uso del suolo	generale	-	T	1
Caratterizzazione della falda	generale	-	CD-CL	2
Granulometria	generale	basso	DSO-CD-E-DB-C	1
Calcare totale	generale	basso	DSO-E-C	1
Carbonio organico	generale	alto	DSO-CD-E-DB-C	1
pH	generale	basso	DSO-DB-CD	1
Capacità di Scambio Cationico	generale	basso	CD	1
Azoto totale	generale	basso	DSO-CD	2
Azoto organico	DSO	basso	DSO-DB	2
C/N	generale	basso	DSO-CD-DB	2
Cationi di scambio (Potassio, calcio, magnesio e sodio scambiabili)	CD	basso	CD	2
Grado di Saturazione Basica	CD	basso	CD	2
Fosforo totale	CD	basso	CD	2
Elementi disponibili per le piante				
Azoto minerale disponibile	CD	alto	CD	2
Fosforo assimilabile	CD	alto	CD	2
Metalli pesanti potenzialmente tossici (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn)	CD	basso	CD-CL	1
Inquinanti organici (diossine, IPA, PCB)	CD	alto	CD-CL	2
Conducibilità elettrica	S	alto	S-DSO	1-2
ESP (Exchangable Sodium Percentage)	S	alto	S-DSO	1-2
Densità apparente	generale	basso	E-C	1
Ritenzione idrica (C.C., P.A.)	generale	basso	E-C	2
Porosità	C	alto	E-C	2
Compattamento	C	alto	E-C	2
Strati compatti lungo il profilo	C	alto	E-C	2
Croste superficiali	C	alto	E-C	
Perdita di struttura	E	alto	E-C	2
Erosione e rischio di erosione	E	alto	E-C	2
N potenzialmente mineralizzabile	DB	alto	DSO-DB	2
C e N della biomassa microbica	DB	alto	DSO-DB	2
C biomassa/C org totale	DB	alto	DSO-DB	2
Respirazione	DB	alto	DSO-DB	2
Respirazione/biomassa	DB	alto	DSO-DB	2
Carica microbica	DB	alto	DSO-DB	2
Diversità mesofauna	DB	alto	DSO-DB-C-S	2
Attività enzimatica	DB	alto	DSO-DB	2

* Significato delle sigle: T=tutte le minacce, DSO=Diminuzione della Sostanza Organica, DB Diminuzione della Biodiversità, CD=Contaminazione Diffusa; CL=Contaminazione Locale, E=Erosione; C=Compattazione, S=Salinizzazione

Tabella 1 – Elenco dei parametri selezionati per il monitoraggio

4. LE MINACCE PER LA PROTEZIONE DEL SUOLO

La COM 179/02 ha identificato otto minacce principali per il suolo che corrispondono ad altrettanti processi di degradazione:

1. erosione,
2. diminuzione della sostanza organica,
3. contaminazione,
4. cementificazione (cioè la copertura del suolo per mezzo di infrastrutture o edifici),
5. compattazione,
6. diminuzione della biodiversità,
7. salinizzazione
8. rischi idrogeologici (alluvioni e frane).

Per ciascuna di esse sono stati individuati specifici parametri che possono fornire utili indicazioni per la conoscenza dei fenomeni di degradazione e l'individuazione di pressioni, impatti e possibili risposte per la protezione del suolo.

Sono state raggruppate le minacce che si possono ricondurre a fenomeni che presentano una certa analogia, in particolare diminuzione di sostanza organica con diminuzione della biodiversità ed erosione con compattazione.

4.1 PERDITA DI SOSTANZA ORGANICA E DI BIODIVERSITÀ

4.1.1 *Inquadramento generale della minaccia*

La sostanza organica è sia un costituente fondamentale del suolo (anche se minore per quantità), sia la principale sorgente di nutrienti ed energia per gli organismi viventi; il ruolo della sostanza organica è inscindibile dalla funzionalità biologica e dalla biodiversità del suolo (microrganismi e mesofauna).

La sostanza organica ha origine e composizione complesse; essa comprende sia gli organismi viventi sia i vari composti organici presenti nel suolo con caratteristiche chimiche alquanto diverse tra loro che derivano dalla loro degradazione.

La dinamica della sostanza organica nel suolo è un fenomeno alquanto complesso che dipende dalla presenza di ossigeno e può dare origine a prodotti di mineralizzazione diversi.

Il suo ruolo nel determinare le proprietà del suolo è multiplo, sugli aspetti fisici (struttura, aggregati, porosità, ecc.), chimici (complesso di scambio, formazione di chelati, potere tampone, fonte di nutrienti) e biologici (fonte di nutrienti ed energia per gli organismi viventi).

Nel passato l'apporto di sostanza organica era una pratica fondamentale per garantire la conservazione della fertilità del suolo; un'agricoltura sostenibile deve avere fra i suoi principi fondamentali l'attenzione alla gestione della sostanza organica.

Ma il ruolo principale della sostanza organica è proprio la funzione ambientale che svolge nei confronti delle acque, dell'aria e degli ecosistemi: influenza la dinamica dell'acqua nel suolo e la capacità del suolo a contrastare i fenomeni di rilascio, è il centro del ciclo del carbonio che regola l'accumulo nel suolo o l'emissione nell'aria del carbonio sotto forma di CO₂.

4.1.2 *Parametri da monitorare*

Carbonio organico (generale)

La componente organica è quella che ha le maggiori capacità di interazione con tutte le sostanze presenti nel suolo e influenza fortemente il tipo e l'intensità delle trasformazioni che avvengono nel suolo, oltre a determinarne le capacità di filtro e tampone. Rappresenta il dato quantitativo di base

per la conoscenza del livello di sostanza organica presente in un suolo; nonostante non sia in grado di fornire nessuna indicazione sul tipo di sostanze organiche, la sua concentrazione rappresenta il totale delle sostanze organiche presenti nel suolo. Può subire notevoli variazioni in funzione dell'uso e della gestione agraria del suolo.

Azoto totale e rapporto C/N (generale)

Misura le forme organica e ammoniacale (azoto Kjeldahl) oppure tutte le forme azotate (analizzatore CHN) presenti nel suolo. Poiché l'azoto nel suolo è per il 95-98% organico, c'è un rapporto abbastanza costante tra il carbonio e l'azoto del suolo; variazioni in più o in meno di tale rapporto rispetto al valore di riferimento (10) indicano particolari dinamiche nella mineralizzazione della sostanza organica. Nell'azoto totale sono comprese sia le forme immobilizzate dell'azoto, cioè quelle che fanno parte della sostanza organica ma che in qualche misura possono rendersi disponibili a seguito di mineralizzazione, sia le forme mobili (solo l'ammoniacale nel caso di azoto Kjeldahl, ammoniacale, nitrica e nitrosa nel caso dell'azoto misurato con analizzatore) cioè quelle suscettibili di allontanamento per percolazione o ruscellamento.

Azoto organico e minerale

Determinando l'azoto in forma ammoniacale, nitrica e nitrosa (forme minerali) e detraendole dalla concentrazione di azoto totale si ottiene l'azoto in forma organica; dai rapporti tra le diverse forme è possibile ricavare utili indicazioni sulla dinamica di trasformazione dell'azoto.

Azoto potenzialmente mineralizzabile

Stima la conversione dell'azoto organico nelle forme minerali disponibili quali NH_4^+ e NO_3^- che si verifica attraverso una serie di trasformazioni biochimiche mediate dai microrganismi del suolo ed è pertanto influenzata da tutti i fattori (umidità, temperatura, pH, ecc.) che normalmente agiscono sull'attività microbica del suolo.

Il parametro cerca di prevedere o stimare la quantità di azoto proveniente dai processi biologici di mineralizzazione dell'azoto organico del suolo, valutando la capacità del suolo nel rifornimento di N per la crescita delle piante e per il ciclo dei nutrienti; è una determinazione indispensabile ai fini di una corretta valutazione del turnover della sostanza organica sia endogena che apportata oltre che un mezzo diagnostico per accertare eventuali perturbazioni del ciclo dell'azoto.

C e N della biomassa microbica

Questi parametri indicano la quantità di questi elementi presenti nei microrganismi del suolo. La loro determinazione ha un elevato potenziale come indicatore della qualità del suolo in quanto il carbonio e l'azoto della biomassa microbica si rinnovano rapidamente e riflettono i cambiamenti indotti dalle pratiche gestionali del suolo molto prima che sia possibile identificare i cambiamenti in carbonio e in azoto totali. È stato rilevato, ad esempio, che nei siti inquinati o perturbati si riscontrano valori del rapporto C/N della biomassa microbica piuttosto elevati. Tale elemento può essere spiegato in quanto diversi fattori di tossicità (quali ad esempio i metalli pesanti) possono indurre forti cambiamenti nella comunità microbica, favorendo la prevalenza di comunità fungine a scapito di quelle batteriche. Poiché il rapporto C/N della biomassa fungina risulta essere tra 4 e 15, contro un valore di 3-5 per i batteri, tale parametro può in taluni casi essere considerato quale efficace bioindicatore ambientale (Fliessbach e Reber, 1991).

C biomassa/C organico totale

Il rapporto viene utilizzato in quanto controllo interno della comunità microbica del terreno, utile quindi a definirne lo stato di equilibrio nei confronti della sostanza organica in esso presente (Anderson e Domsh, 1989; Brookes, 1995). Tale rapporto dovrebbe rimanere costante in un ecosistema stabile. Qualsiasi deviazione da questo valore costante sta ad indicare un aumento od

una diminuzione della quantità di biomassa microbica rispetto alla sostanza organica totale del terreno. I valori ritenuti normali dovrebbero oscillare tra 1 e 4 (Jenkinson e Ladd, 1981).

Respirazione

La respirazione del terreno stima l'attività metabolica della popolazione microbica del suolo, la quale è legata alla quantità di CO₂ prodotta per ossidazione della sostanza organica (respirazione del terreno). La respirazione del suolo è un indicatore capace di valutare le differenze o i cambiamenti nella popolazione microbica di un terreno, dipendendo dallo stato fisiologico delle cellule microbiche ed essendo influenzata dall'umidità, dalla temperatura e dalla struttura del suolo.

Respirazione/biomassa

Stima la quantità di CO₂ prodotta nella respirazione basale della popolazione microbica per unità di biomassa microbica. Il rapporto, noto anche come quoziente metabolico qCO₂, permette di relazionare l'attività e la dimensione della biomassa microbica, per valutare gli effetti di possibili cambiamenti ambientali sulla popolazione microbica.

Carica microbica

Questo parametro è una misura quantitativa della biodiversità microbica. Si considera il numero di microrganismi, appartenenti ad un gruppo fisio-tassonomico generale (batteri filamentosi e non, lieviti, microfunghi, protozoi) oppure ad uno specifico gruppo fisiologico o funzionale (es. batteri aerobi ed anaerobi), presenti in una quantità unitaria di suolo (normalmente in un grammo di peso secco).

Qualità del suolo

Il grado di stabilità di un ecosistema è determinato in funzione della ricchezza di taxa di organismi presenti; pertanto più specie sono presenti in un dato ecosistema, maggiore è la sua stabilità.

Gli indici utilizzati per valutare la qualità del suolo sono quelli basati sugli invertebrati come bioindicatori ed in particolare per i nematodi il *Maturity Index (MI)*; per gli artropodi appartenenti alla meso e macrofauna l'*indice di qualità del suolo (IQ)* e il *QBS-ar* che descrive la funzionalità delle popolazioni di microartropodi e il livello di biodiversità delle aree analizzate.

Le metodologie utilizzate per l'applicazione di tali indici sono quelle derivate dalla letteratura e dall'esperienza non esistendo ancora una norma ufficiale che regolamenti il metodo.

In particolare per il *Maturity Index (MI)* ad ogni famiglia nematologica viene assegnato un valore ecologico che varia da 1 (per famiglie tipiche di suoli inquinati) a 5 (per famiglie tipiche di suoli non contaminati); il valore medio del punteggio ricavato sulla base della frequenza di ciascun gruppo rappresenta il valore dell'indice per quel ambiente.

L'indice *IQ* è in grado di individuare possibili alterazioni dell'equilibrio biodinamico dello strato superficiale dei suoli dovute alla presenza di sostanze tossiche; è dato dalla somma dei rapporti tra le diversità (intesa come numero complessivo di Unità Sistematiche) del campione rispetto al controllo e quello dell'abbondanza (inteso come numero totale di individui raccolti) del campione rispetto al controllo.

Il *QBS-ar* è un indice che analizza e valuta la struttura della comunità dei microartropodi; ad ogni forma biologica viene attribuito un indice Ecomorfologico (EMI), la somma degli EMI dei gruppi presenti fornisce il valore dell'indice.

Attività enzimatica

E' un valido indicatore di qualità del suolo in quanto gli enzimi catalizzano numerose reazioni (decomposizione dei residui organici, ciclo dei nutrienti, formazione della sostanza organica). Inoltre il loro livello varia in risposta alle variazioni indotte dai fattori naturali ed antropici

(Gianfreda e Bollag, 1996). Dick (1994) ha stilato la seguente lista degli enzimi più studiati in relazione ai cicli degli elementi nutritivi:

- carbonio: amilasi, cellulasi, lipasi, glucosidasi ed invertasi;
- azoto: proteasi, amidasi, ureasi e deaminasi;
- fosforo: fosfatasi;
- zolfo: arilsolfatasi.

4.2 CONTAMINAZIONE

4.2.1 *Inquadramento generale della minaccia*

La contaminazione del suolo si distingue in diffusa o locale sulla base dell'origine e degli effetti dei processi di inquinamento; la prima è causata dall'immissione nell'ambiente di quantità significative di prodotti chimici organici e inorganici, provenienti da attività industriali, civili e agricole; tale contaminazione può essere ad esempio originata dalla distribuzione sul suolo di sostanze, contenenti inquinanti in misura più o meno significativa, utilizzate nell'ambito delle pratiche agricole oppure dal traffico veicolare o ancora dal trasporto in atmosfera e successiva deposizione al suolo.

Esso si differenzia dall'inquinamento di tipo puntuale in cui la contaminazione è concentrata in un'area circoscritta per motivi legati alla produzione industriale o ad attività di smaltimento di rifiuti di origine industriale, come nel caso dei siti contaminati.

I principali processi di contaminazione diffusa del suolo, e talvolta conseguentemente delle acque superficiali e sotterranee che giacciono al di sotto di esso, possono essere raggruppati, sulla base delle pressioni che li determinano, nel seguente modo:

- distribuzione di concimi minerali sul suolo per l'apporto di nutrienti, principalmente azoto, fosforo e potassio per supportare lo sviluppo ottimale delle coltivazioni agrarie; tale apporto può causare:
 - un eccesso di azoto che può essere trasportato dall'acqua in profondità verso le acque sotterranee o in superficie verso le acque superficiali,
 - un eccesso di fosforo che principalmente può essere trasportato dall'acqua verso i corpi idrici superficiali o si accumula nei suoli e può creare una situazione di squilibrio nutrizionale,
 - un eccesso di potassio che si accumula nei suoli e può creare una situazione di squilibrio nutrizionale,
 - accumulo di metalli pesanti qualora questi siano contenuti in quantità significative nei prodotti distribuiti;
- distribuzione di compost, fanghi di depurazione, liquami zootecnici e altri ammendanti organici, con i quali possono verificarsi apporti significativi di metalli pesanti che in particolari condizioni possono anche essere dilavati e trasportati in falda, oppure assorbiti dalle coltivazioni ed entrare nella catena alimentare. Meno frequente, ma non meno pericolosa, è la presenza di idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e policlorobifenili (PCB), che possono essere contenuti in piccole quantità nei fanghi di depurazione o altri residui organici soprattutto di origine industriale; la loro pericolosità è dovuta alle caratteristiche di cancerogenicità anche alle basse dosi;
- distribuzione di antiparassitari per la difesa delle coltivazioni e conseguente accumulo di sostanze biocide di diversa natura che in particolari situazioni possono spostarsi nelle falde acquifere; per molti parassiti il progresso tecnologico ha portato alla sintesi di sostanze attive a dosi molto basse e con buone caratteristiche di biodegradabilità, ma ancora in diversi casi gli agricoltori ricorrono all'uso di sostanze persistenti;

- deposizioni atmosferiche derivanti dal traffico veicolare, responsabile soprattutto dell'immissione sul suolo di Pb, Cd e benzene, e da emissioni industriali.

4.2.2 Parametri da monitorare

Granulometria (generale)

Fornisce indicazioni sulla reattività della frazione minerale che compone il terreno, essendo la componente argillosa molto più capace di interagire con l'acqua e con tutti gli elementi chimici, minerali ed organici, presenti nel terreno.

Calcare totale (generale)

Rappresenta la quantità di carbonati presenti nel terreno; maggiore è il valore del calcare è più il suolo acquisisce caratteristiche di inerzia rispetto a tutti i processi di trasformazione che in esso avvengono.

pH (generale)

Indica la concentrazione di ioni H^+ nel suolo e quindi lo stato di carica delle superfici della componente solida; esso influenza quindi il tipo di reazioni chimiche che avvengono nel suolo.

Capacità di scambio cationico (generale)

Descrive l'entità delle superfici della componente solida del suolo sulle quali possono avvenire fenomeni di scambio fra cationi; dipende dal contenuto di colloidi (argille e sostanze organiche).

Cationi di scambio (potassio, magnesio, calcio e sodio scambiabili) e Grado di Saturazione in Basi (GSB)

Fornisce la concentrazione dei cationi scambiabili presenti nel suolo; il rapporto percentuale tra la somma delle basi scambiabili (esprese in $cmol_{(+)}$ · kg^{-1}) e la C.S.C. (espressa in $cmol_{(+)}$ · kg^{-1}) fornisce il Grado di Saturazione in Basi che nei suoli alcalini è generalmente pari a 100, mentre nei suoli acidi assume valori inferiori a 100 in funzione del grado di dilavamento dei cationi.

Fosforo totale

È la concentrazione di fosforo contenuto nei composti organici e minerali del suolo; è costituito per la maggior parte di fosforo organico o fosfati insolubili; solo una piccola parte del fosforo è nella soluzione circolante.

Azoto minerale

L'azoto minerale è la somma delle forme nitrica e ammoniacale dell'azoto presenti nel terreno. Le concentrazioni di tali forme sono molto variabili nel clima mediterraneo e quindi è importante eseguire il prelievo in condizioni standardizzate. Rappresenta l'azoto mobile e suscettibile di allontanamento dal suolo per percolazione o ruscellamento.

Fosforo assimilabile

È un indicatore del fosforo presente nel suolo in forma solubile e quindi disponibile per le piante e più mobile anche rispetto a processi di dilavamento.

Metalli totali

È la concentrazione dei principali metalli pesanti (arsenico, cadmio, cromo, mercurio, nichel, piombo, rame e zinco) presenti nel suolo nella forma definita come pseudo-totale; infatti l'estrazione con acqua regia permette di solubilizzare quasi tutti i composti contenenti tali metalli ad esclusione di alcuni reticoli cristallini che possono essere disgregati solo mediante attacco con acido

fluoridrico. Tale forma è costituita solo in piccola parte da metalli in soluzione che possono essere scambiati con altri cationi del suolo o possono essere assorbiti dalle piante, mentre per lo più è composta dagli elementi presenti come composti insolubili.

Metalli assimilabili

È la concentrazione dei metalli pesanti con carica positiva (cadmio, cromo, nichel, piombo, rame e zinco) presenti nel suolo nella forma definita appunto come assimilabile; infatti l'estrazione con DTPA o EDTA permette di determinare solo gli elementi solubili in grado di formare un legame con acidi organici deboli, simili per caratteristiche agli essudati radicali e quindi facilmente assorbibili dalle piante.

Inquinanti organici

In questa categoria rientrano numerosi composti molto diversi fra loro per composizione chimica che per la loro diffusione e relativa tossicità possono comportare dei rischi per il funzionamento degli ecosistemi e la salute degli organismi viventi. I composti che maggiormente sono stati considerati ed indagati sono quelli definiti come POP (Persistent Organic Pollutants) dall'UNEP, e, fra questi, IPA, PCB e diossine, per le quali l'Unione Europea si è dotata di una specifica strategia comunitaria (COM (2001) 593).

4.3 EROSIONE E COMPATTAMENTO

4.3.1 Inquadramento generale della minaccia

Nei suoli si possono riconoscere strati sovrapposti, detti orizzonti, costituenti il "profilo". L'orizzonte superficiale è generalmente più ricco dei sottostanti in sostanza organica e, oltre ad essere sede di intensi processi di alterazione e trasformazione, è quello maggiormente esposto alla degradazione causata dagli afflussi idrometeorici e dall'impatto delle attività agricole.

Dopo anni di non corretto uso del suolo, i danni arrecati possono essere di tale di entità da essere fortemente evidenti in termini di perdita dell'elemento suolo (affioramento di strati profondi indesiderati), di fertilità (calo di produzione), di modificazione del paesaggio (impantanamenti, modificazioni morfologiche), di biodiversità (diminuzione delle specie appartenenti alla microflora e alla fauna tellurica) ecc. e tali da richiedere interventi correttivi che molte volte consentono solo un parziale ripristino delle condizioni ottimali.

L'agricoltura intensiva, sviluppatasi nel dopoguerra, ha determinato un notevole impatto negativo sulle qualità e le funzioni ecologiche del suolo contribuendo a generare effetti negativi sull'aria, sulla biodiversità, sul paesaggio, sulla salute umana, sull'inquinamento dell'acqua e sul dissesto idrogeologico.

Tra i fattori di pressione riguardanti il suolo, le lavorazioni profonde, realizzate per aumentare il franco di coltivazione e migliorare la capacità di immagazzinamento dell'acqua, hanno determinato effetti indesiderati sul suolo, resi ancor più evidenti dalla contemporanea e sempre maggiore riduzione degli apporti di letame.

Alcuni strumenti di lavorazione (come l'aratro a versoio e le frese) creano strati compatti lungo il profilo (suola di aratura e suola di fresatura) che causano ristagno idrico e, nei terreni collinari, movimenti di massa, quali frane smottamenti e flussi di suolo. Oltre a ciò, le lavorazioni determinano lo spostamento laterale del suolo con tassi di traslocazione (*tillage erosion*) che danno origine a forti mutamenti morfologici superficiali. La traslocazione laterale del suolo determina una ridistribuzione in campo del materiale assai diversa da quella causata dall'erosione idrometeorica, con perdita di suolo sulle convessità (dove invece l'erosione idrometeorica è minima) e forti

accumuli nelle concavità ove, al contrario, l'erosione idrometeorica è elevata per la concentrazione del deflusso (De Jong et al., 1983; Quine e Walling, 1993).

Anche il livellamento del suolo, effettuato in preparazione all'impianto di colture specializzate, soprattutto arboree, genera notevoli tassi di traslocazione laterale del suolo. Questa pratica demolitiva genera troncamenti del profilo nelle zone di scavo, mentre nelle zone di riporto determina accumuli di notevoli masse di materiale incoerente a porosità disorganizzata e facilmente erodibile. In queste condizioni, e per alcuni anni a seguire, è frequente che si verifichino tassi di erosione catastrofici, che possono superare le $500 \text{ t ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$. L'estendersi delle superfici interessate dai livellamenti ha reso sempre più evidenti le discontinuità morfologiche di pendio e non è difficile osservare, nella collina italiana, la presenza di piani inclinati uniformi, che contrastano con la morfologia naturale circostante e che hanno determinato una modificazione profonda del paesaggio rurale.

Un altro fattore di degradazione del suolo è la monosuccessione delle colture che, oltre a determinare la riduzione della sostanza organica, ha determinato la drastica diminuzione della resistenza degli aggregati, con formazione di croste superficiali, aumento del rischio di erosione e diminuzione dei tempi di corrivazione dei deflussi. Al contrario nei suoli ad uso forestale, negli incolti ove si è affermata la vegetazione spontanea, negli inerbimenti e nelle conduzioni agricole ove sono presenti le foraggere, si osserva un fitto reticolo di radici che avvolge e permea gli aggregati determinando una notevole stabilità strutturale.

4.3.2 Parametri da monitorare

Granulometria, frazionamento delle sabbie e scheletro

Questi caratteri fisici del suolo vengono utilizzati per il calcolo dell'erosione del suolo oltre che come indicatori di per sé validi per il monitoraggio della qualità fisica del suolo.

La granulometria sulla terra fine ($<2 \text{ mm}$) è utilizzabile per la valutazione del rischio di erosione e di compattamento. La composizione granulometrica determinata sull'intero campione di suolo consente di determinare la variazione dello scheletro e di valutare l'eventuale arricchimento del suolo in materiali inerti, a causa dell'erosione selettiva idrometeorica.

Densità apparente (generale)

Fornisce il rapporto fra massa e volume nella situazione di campo mediante misura su un campione indisturbato; è indicatore del grado di compattazione del suolo.

Ritenzione idrica (C.C., P.A.) (generale)

La determinazione del contenuto ponderale d'acqua nel suolo, ai potenziali matriciali $-0,033 \text{ MPa}$ (Capacità di Campo, C.C.) e $-1,5 \text{ MPa}$ (Punto di Appassimento, P.A.) consente, per differenza fra questi due valori, la determinazione della capacità di ritenzione idrica.

Differenti usi del suolo possono far variare il valore di acqua disponibile. Pertanto il monitoraggio di questo indicatore appare importante nella valutazione globale della degradazione fisica del suolo.

Porosità

È ampiamente riconosciuto che la porosità è l'indicatore principale delle condizioni strutturali e quindi delle qualità fisiche del suolo. Infatti sono proprio la morfologia, la dimensione, la continuità e l'arrangiamento dei pori nel terreno che determinano il contenuto e i movimenti dell'acqua e dell'aria, la crescita delle radici, ecc.

Grado di compattamento e suscettibilità al compattamento

Il compattamento viene ritenuto, specialmente a livello internazionale, una delle principali cause di degradazione del suolo ed è dovuto essenzialmente alle attività antropiche. Ad esempio,

l'utilizzazione in agricoltura di macchine sempre più potenti e pesanti, dove i problemi di equipaggiamenti atti ad attenuare il compattamento stesso sono tutt'altro che risolti, è sicuramente una causa di grande rilievo. Occorre quindi quantificare l'entità del compattamento e soprattutto conoscere il limite entro cui gli effetti devono essere mantenuti proprio per contribuire ad individuare i rimedi atti a contenerlo. Il danno viene valutato in termini di porosità e soprattutto di alterazione del sistema dei pori in relazione anche agli effetti negativi sull'infiltrazione dell'acqua. Nelle zone collinari del Paese, caratterizzate da pendenze che superano il 5-10%, la compattazione del suolo può determinare l'accelerazione dell'erosione, soprattutto se le tracce di compressione lasciate dalle ruote o dai cingoli delle macchine agricole si presentano lungo la massima pendenza. In modo particolare nei vigneti e frutteti a rittochino, ove si formano tracce di compattazione obbligate negli interfilari, l'erosione del suolo può determinare la formazione di profondi solchi, con danno anche all'operatività delle macchine.

Strati compatti lungo il profilo

L'avvento della monocoltura, con lavorazioni del terreno profonde e continue anno dopo anno, ha prodotto uno strato compatto e impermeabile, detto suola d'aratura, al limite inferiore della coltivazione. Tale strato interrompe la continuità dei pori e quindi il drenaggio. Le frequenti sommersioni delle pianure alluvionali in casi di piogge intense e concentrate in un breve periodo sono il risultato della presenza di questo strato compatto.

Croste superficiali e suscettibilità alla loro formazione

L'impoverimento di sostanza organica e quindi la perdita di stabilità degli aggregati, soprattutto nei suoli tendenzialmente limosi, porta ad un notevole incremento nella formazione di croste superficiali che riducono drasticamente l'infiltrazione dell'acqua e aumentano il ruscellamento superficiale. La caratterizzazione della porosità e soprattutto la continuità dei pori in senso verticale consente di stimare l'entità della riduzione dell'infiltrazione dell'acqua. La formazione di superfici sigillanti (impermeabilizzazione del suolo) sta diventando un altro aspetto importante di degradazione ambientale.

Perdita di struttura

Gli interventi antropici quali le lavorazioni intensive, gli sbancamenti, ecc., provocano una drastica riduzione della sostanza organica e quindi della stabilità degli aggregati con formazione di strutture massive caratterizzate da perdita di porosità e soprattutto continuità dei pori con riflessi negativi sui movimenti dell'acqua.

Erosione e rischio di erosione

L'erosione può essere classificata in diversi modi, secondo l'agente che la provoca e secondo l'intensità Tabella 2 (Zachar, 1982 con lievi modificazioni introdotte da Bazzoffi com.pers.)

CLASSIFICAZIONE DELL' EROSIONE DEL SUOLO			
Classificazione dell'erosione secondo i fattori che la generano	Classificazione dell'erosione causata dalla pioggia secondo le forme	Classificazione dell'erosione idrica laminare e per rigagnoli, secondo l'intensità in t ha ⁻¹ anno ⁻¹	
1.Erosione causata dall'acqua	1 Erosione superficiale	< 1	Insignificante
1.1 erosione dovuta alla pioggia	1.1 Erosione laminare	1 – 5	Debole (tollerabile)
1.2 erosione di sponda nei corsi d'acqua	1.2 Erosione per rigagnoli	5 – 20	Moderata
1.3 erosione lacustre	1.3 erosione per burroni	20 – 100	Severa
1.4 erosione marina	1.4 erosione calanchiva	100 – 300	Molto severa
2. Erosione causata dai ghiacciai	2 Erosione sotterranea	>300	Catastrofica
3 Erosione causata dalla neve	2.1 Erosione a tunnel	N.B. Questa classificazione, derivata da Zachar (1982) deve essere considerata con estrema cautela soprattutto per le classi fra 0 e 20 t ha ⁻¹ anno ⁻¹ . Lo spessore di suolo, la velocità della sua formazione, gli effetti a distanza dell'erosione ed altri fattori specifici del sito concorreranno a determinare le soglie più opportune di tollerabilità.	
4 Erosione causata dal vento			
5 Erosione di massa			
6 erosione causata da organismi			
6.1 da organismi vegetali			
6.2 da organismi animali			
6.3 dall'uomo			

Tabella 2 - Classificazione dell'erosione del suolo

4.4 CEMENTIFICAZIONE

4.4.1 Inquadramento generale della minaccia

La cementificazione del suolo, traduzione del termine inglese “sealing” che letteralmente significa “sigillatura” più simile al termine italiano “impermeabilizzazione”, è la forma più visibile di appropriazione del suolo da parte dell'uomo. Uno dei ruoli principali della futura pianificazione dell'uso del suolo riguarda proprio la definizione di modelli di buona pratica d'uso del suolo in relazione alle sue caratteristiche e funzioni.

Il consumo di suolo avviene con la cementificazione e l'escavazione, fenomeni che interessano principalmente le aree di pianura e costiere; spesso forti pressioni dovute a fattori sociali e di sviluppo economico condizionano la possibilità di limitare il consumo di suolo entro termini di sostenibilità.

Il monitoraggio di questa minaccia necessita della definizione di una metodologia per definire la superficie interessata dal consumo di suolo (aree urbanizzate, cave, ecc.) e di una sua applicazione mediante gli strumenti del telerilevamento.

4.5 SALINIZZAZIONE E SODICIZZAZIONE

4.5.1 Inquadramento generale della minaccia

L'eccesso di sali nel suolo determina una elevata pressione osmotica della soluzione circolante che provoca uno sviluppo stentato delle colture, specialmente in condizioni di siccità; a tale effetto può aggiungersi anche la possibile tossicità di alcuni ioni, soprattutto cloro, boro e sodio. Quando l'eccesso di sali è dovuto in buona parte ad una elevata concentrazione di sodio allora si ha anche un effetto di deterioramento della struttura del suolo per effetto della deflocculazione delle argille, con conseguente impermeabilità, asfissia, forte fessurazione.

Tali fenomeni si manifestano principalmente in prossimità delle zone costiere o in aree in cui vi è risalita di acque salmastre o saline, e può essere adeguatamente contrastato solo in presenza di abbondanza di acqua irrigua ed adeguate tecniche colturali e di correzione; le condizioni climatiche sono comunque determinanti nell'evoluzione del fenomeno.

4.5.2 Parametri da monitorare

Conducibilità elettrica

È una misura indiretta della concentrazione di sali presenti nel suolo; dal suo valore è possibile diagnosticare eventuali caratteristiche di salinità del suolo.

ESP (Exchangable Sodium Percentage)

È la misura del rapporto tra sodio scambiabile e CSC ed indica in quale percentuale il complesso di scambio è occupato dallo ione sodio; è pertanto un indicatore delle caratteristiche di sodicità del suolo.

4.6 ALLUVIONI E FRANE

4.6.1 Inquadramento generale della minaccia

I fenomeni alluvionali in Europa sono in sensibile aumento negli ultimi anni sia a causa dei cambiamenti climatici in corso sia per effetto della riduzione della capacità del territorio a trattenere le acque meteoriche, dovuta da un lato all'aumento delle superfici impermeabilizzate e dall'altro al compattamento dei suoli agrari ed alla eliminazione delle aree di espansione dei corsi d'acqua che consentivano lo sfogo dei fenomeni di piena.

Le frane rappresentano un problema storico in alcune aree a causa delle caratteristiche geologiche, che talvolta è stato intensificato per effetto dell'abbandono da parte dell'uomo e conseguente perdita degli effetti benefici della regimazione delle acque e della cura degli spazi rurali; il monitoraggio di tali fenomeni è particolarmente importante per programmare correttamente gli interventi necessari a mitigare il rischio di franosità.

5. METODOLOGIE PER IL CAMPIONAMENTO E L'ANALISI

5.1 METODOLOGIE PER IL CAMPIONAMENTO

5.1.1 *Campionamento nei punti della maglia fissa*

Per punto di campionamento si considera una porzione di terreno, da alcuni metri quadrati fino a circa un ettaro, da cui viene prelevato un campione per ciascun strato o orizzonte di interesse.

I punti di prelievo sono posizionati utilizzando una griglia regolare; l'intervallo tra i punti della griglia dipende dal dettaglio con cui si desidera conoscere il parametro oggetto del monitoraggio. Può essere utilizzata una griglia quadrata, con celle di varia misura a seconda della scala di studio; ad esempio una maglia 16 x 16 km può essere usata su base nazionale, mentre una 8 x 8 km o 4 x 4 km è più adatta a livello regionale. Analogamente ad una maglia 18 x 18 km su base nazionale corrisponde una 9 x 9 km o 4,5 x 4,5 km a livello regionale.

Il punto di prelievo dovrebbe coincidere perfettamente con i punti della griglia; qualora però in tale punto sia impossibile eseguire il prelievo a causa della presenza di edifici, strade, laghi o fiumi, siti contaminati, ecc., può essere scelto un altro punto nelle vicinanze utilizzando sempre la stessa procedura; ad esempio può essere consentito uno spostamento dal punto della griglia ad una distanza predefinita, o suoi multipli, prima in direzione nord, poi est, poi sud ed infine ovest.

I campioni devono essere presi da orizzonti o profondità predefinite; se gli strati superficiali sono contaminati da fonti diffuse allora, per sostanze contaminanti poco mobili (es. metalli pesanti) gli strati profondi, in particolare quelli sotto i 40 cm, sono generalmente incontaminati e le concentrazioni misurate possono essere considerate il contenuto naturale.

I valori "naturali" e "usuali" cioè dovuti alle normali pratiche agricole dei contaminanti variano con la profondità del suolo in funzione dei processi pedogenetici, della profondità delle lavorazioni e del tipo e fonte della contaminazione. Il campionamento può essere eseguito sulla base di profondità fisse prestabilite (ad es. 0-20 cm, 20-40 cm, 40-80 cm) oppure in corrispondenza di predefiniti tipi di orizzonte. La prima soluzione è la più semplice perché non ha bisogno dell'identificazione del tipo di orizzonte, ma fornisce una misura meno precisa del livello naturale perché non permette di controllare la variabilità dovuta alla differenziazione degli orizzonti e alla profondità di aratura.

Poiché la contaminazione di origine antropica interessa principalmente lo strato superficiale, la concentrazione che viene misurata in tale strato o orizzonte può essere considerata come contenuto "usuale" per le sostanze che possono essere arrivate al suolo per effetto di attività dell'uomo.

La concentrazione di tali sostanze negli strati o orizzonti sottostanti da una stima del loro contenuto pedo-geochimico naturale.

Tale approccio non è corretto nei casi in cui la contaminazione sia portata dagli strati profondi, ad esempio per effetto di una contaminazione delle acque sotterranee.

Nel caso dei metalli pesanti se non si osservano fenomeni di accumulo in profondità i campionamenti successivi ai primi 5 anni possono riguardare solo lo strato superficiale. In caso contrario sarà necessario un controllo accurato e costante non solo del suolo ma anche delle eventuali falde.

Per avere sempre dei valori di fondo naturali di un determinato suolo e poter stabilire dei valori di riferimento adeguati per le diverse situazioni, è opportuno misurare i diversi parametri anche in un'area "naturale" se posizionata in prossimità del sito di monitoraggio.

Questo però è possibile solo se esiste nelle vicinanze un'area indisturbata, cioè non coltivata quale potrebbe essere ad esempio un parco naturale o un giardino "storico". Queste aree possono essere monitorate in parallelo con minor frequenza (1 volta ogni 5 anni) e avere una superficie meno estesa.

Si riporta, nell'allegato 5, un esempio di procedura applicato per la determinazione del contenuto in metalli pesanti.

5.1.2 Campionamento nei siti di riferimento

Le modalità di prelievo, in questo caso, sono stabilite in funzione del tipo di monitoraggio (pressioni-impatti) per il quale il sito è stato programmato. E' sempre necessario registrare e georeferenziare di volta in volta i punti di campionamento sulla mappa del sito di monitoraggio.

Anche riguardo alla profondità di campionamento, rimanendo comunque valide le considerazioni espresse per il campionamento nei siti della maglia fissa, la scelta di quante e quali profondità considerare fa parte del piano di indagine e varia in funzione del fenomeno indagato e delle tecniche di coltivazione adottate.

Per il prelievo può essere sufficiente una trivella o una sonda. Per ottenere le informazioni necessarie all'interpretazione dei fenomeni osservati è utile eseguire le analisi anche considerando gli orizzonti pedogenetici di un profilo di suolo eseguito in prossimità dell'area di campionamento.

Lo schema del sito sarà funzione del tipo di fenomeno che si decide di indagare, delle risorse disponibili e del livello di approfondimento richiesto; non è possibile infatti predefinire uno schema tipo vista la varietà di problematiche che potrebbe essere necessario monitorare.

L'area di monitoraggio deve essere sottoposta alle tecniche di coltivazione definite nel protocollo stabilito in fase di progettazione della rete in funzione delle pressioni e relativi effetti che si desidera monitorare.

Ciascuna parcella in cui l'area risulta suddivisa potrebbe:

- essere gestita come tutte le altre aree qualora si intenda monitorare un impatto dovuto ad un fattore di pressione esterno (deposizioni atmosferiche, traffico veicolare, ecc.);
- essere gestita in modo diverso dalle altre per una delle tecniche di gestione considerate, qualora si voglia monitorare l'effetto di tale tecnica su un particolare impatto; in questo caso l'area del sito sarà organizzata in tesi replicate similmente a quanto viene generalmente fatto per le prove sperimentali.

5.1.3 Requisiti particolari per i fenomeni di degradazione fisica

I criteri per l'individuazione dei punti di prelievo, all'interno di ciascun sito di monitoraggio, sono i seguenti:

Parametro	Criterio di priorità primario	Criterio di priorità secondario
Rischio di erosione idrica	Pendenza superiore a 10%	Differenti usi del suolo
Porosità	Scelta di almeno due zone: con e senza traffico veicolare agricolo	-Almeno due usi del suolo, fra cui l'incolto ed un uso intensivo. -Almeno due profondità di prelievo sul profilo.
Grado di compattamento e suscettibilità a compattamento	Scelta di almeno due zone: con e senza traffico veicolare agricolo all'interno di una zona arativa (sulle tracce lasciate dalle ruote o dai cingoli e fuori traccia).	-10 punti su traccia della ruota o cingolo e 10 punti su zona non affetta da compattazione. -Almeno tre profondità di prelievo sul profilo (una nello strato arato, una all'interfaccia fra lo strato arato e la zona non arata ed una nella zona non arata sottostante l'aratura)
Strati compatti lungo il profilo	Scelta di almeno due zone: con e senza traffico veicolare agricolo	-10 punti su traccia della ruota o cingolo e 10 punti su zona non

	all'interno di una zona arativa (sulle tracce lasciate dalle ruote o dai cingoli e fuori traccia).	affetta da compattazione. -Almeno tre profondità di prelievo sul profilo (una nello strato arato, una all'interfaccia fra lo strato arato e la zona non arata ed una nella zona non arata sottostante l'aratura)
Croste superficiali e suscettibilità alla loro formazione	Scelta di almeno due zone: – Su terreno arato e fresato, lasciato nudo con diserbo chimico – con uso estensivo (silvo-pastorale, organic farming, set-aside).	Individuazione di almeno tre zone lungo la pendice o il campo.
Perdita di struttura	Scelta di almeno due zone: – con uso intensivo (colture a righe) – con uso estensivo (silvo-pastorale, organic farming, set-aside).	Individuazione di almeno tre zone lungo la pendice o il campo.
Ritenzione idrica	Scelta della zona secondo la carta dei suoli (una zona per ciascuna classe tessiturale USDA)	-2 zone ad uso intensivo -2 zone ad uso estensivo

5.1.4 Requisiti particolari per i fenomeni di degradazione biologica

Uno degli ostacoli principali alla diffusione dei metodi di analisi microbiologiche e biochimiche del suolo riguarda l'individuazione dei siti in cui eseguire il monitoraggio, resa difficile dall'elevata variabilità spaziale dei parametri anche in ambiti territoriali molto ristretti a causa della particolare dinamica dell'attività dei microorganismi stessi, che ne impedisce lo studio sistematico su larga scala. Tenendo conto della complessità delle determinazioni, il monitoraggio della degradazione biologica deve costituire un approfondimento di studio in siti selezionati in base alla loro rappresentatività, integrandosi con altre determinazioni di tipo specialistico. La loro individuazione puntuale potrà essere concordata anche con i tecnici regionali che hanno realizzato la Carta dei Suoli alla scala 1:250.000, che potranno indicare le diverse forme di degrado dei suoli nei propri ambiti regionali, dopo averne valutato la rappresentatività in termini di tipologia ed uso del suolo.

Il requisito principale del monitoraggio dei parametri biologici del suolo è l'adozione di una procedura standardizzata in ogni sua parte, dal campionamento alla conservazione ed al pretrattamento dei campioni, dalla procedura analitica fino all'interpretazione e alla presentazione dei risultati. Considerata l'elevata variabilità dei parametri biologici del suolo nelle condizioni di campo, uno standard procedurale consente di superare anche questo problema. Di seguito si riporta una sintesi della metodologia consigliata, rimandando per gli approfondimenti ai Metodi Ufficiali di Analisi Microbiologica del Suolo (Metodo I.1, Supplemento Ordinario della Gazzetta Ufficiale n. 179 del 1 agosto 2001).

Il prelevamento dei campioni deve avvenire ad epoche fisse, possibilmente in periodi poco influenzati dalle pratiche agricole (arature, fertilizzazioni, ecc.). La fine dell'autunno o l'inizio della primavera potrebbero essere due esempi.

Per quanto riguarda la profondità di campionamento, considerato che l'attività biologica si concentra di norma nello strato superficiale del terreno, il prelievo deve interessare i primi 40 cm, separando gli strati 0-20 cm e 20-40 cm oppure gli strati 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm.

La struttura del sito di monitoraggio può ricalcare quella descritta per i siti di riferimento, prelevando un campione per ogni parcella, ottenuto miscelando 5 sottocampioni. È implicito che le dimensioni del sito di monitoraggio dovranno tenere conto della variabilità spaziale che ci si può

attendere in relazione alle tipologie di suolo presenti. Una variabilità elevata richiede infatti una risoluzione spaziale altrettanto elevata e, di conseguenza, una dimensione minore del sito di monitoraggio, anche per contenere i costi di prelievo e di analisi dei campioni di terreno.

La variabilità spaziale dei parametri dovrà essere valutata con tecniche geostatistiche e si dovrà procedere alla georeferenziazione dei punti di prelievo.

Per quanto riguarda la frequenza di monitoraggio si dovrà considerare l'entità dei fenomeni in atto in grado di influenzare i parametri biologici del suolo. In assenza di eventi perturbativi improvvisi, si ritiene sufficiente un prelievo ogni 5 anni, dopo una fase iniziale con prelievi possibilmente annuali per definire i valori di fondo.

Le modalità di pretrattamento e conservazione dei campioni sono tuttora oggetto di dibattito nell'ambito della comunità scientifica internazionale. Alcuni consigliano infatti il congelamento dei campioni a -20°C fino al momento delle analisi, con successivo essiccamento all'aria. Alcune esperienze hanno dimostrato l'efficacia dell'essiccamento all'aria del terreno che, prima delle analisi, deve essere vagliato a 2 mm e riportato in condizioni di temperatura ed umidità prefissate e lasciato stabilizzare per 10 giorni in termostato.

In particolare l'esame dei dati di respirazione del terreno ottenuti con questa procedura sono stati dello stesso ordine di grandezza di quelli ottenuti con il terreno fresco e riportato alla capacità di campo. Il basso coefficiente di variazione dei dati ottenuti con il terreno secco nei vari campionamenti indica che le determinazioni non hanno risentito dell'effetto stagionale, rendendo l'analisi della CO₂ ripetibile nel tempo.

Diverso è il caso delle attività enzimatiche che non hanno mostrato buone correlazioni tra campione secco e fresco, per cui in questo caso è consigliabile lavorare sul campione fresco riportato alla capacità di campo.

f5.1.5 Requisiti particolari per il campionamento in aree urbane

L'eterogeneità spaziale caratteristica dei suoli urbani comporta una notevole difficoltà nell'individuazione dei siti, che possono essere di dimensioni molto ridotte, e dei punti di prelievo per interpretare le variazioni nel tempo dei parametri considerati.

E' quindi importante svolgere un'indagine conoscitiva preliminare di tutta l'area urbana, e in seguito alla scelta dei siti, svolgere sopralluoghi in campo, effettuare un'attenta analisi di valutazione del sito e della sua rappresentatività, e valutare in campo quali e quanti saranno i punti di prelievo necessari.

Il numero di siti da campionare deve essere rappresentativo delle varie tipologie di suolo e delle varie criticità. Per una questione di contenimento di costi, l'intensità di campionamento (e quindi del numero di siti) deve essere il risultato di un'analisi ragionata.

La selezione "a griglia" è realizzabile solo sui siti di maggior dimensioni, come i parchi pubblici, mentre in altre aree più piccole o più irregolari è necessario in ogni caso stabilire il campionamento basandosi su criteri ragionati. Per stabilire la profondità di campionamento è necessario effettuare un taglio del "profilo"; in linea di massima si possono considerare gli strati 0-10 e 10-30 cm; sono quelli più interessati dall'azione antropica. Nel caso in cui ci siano degli strati impenetrabili a profondità elevata si stabilirà di volta in volta se aumentare la profondità di campionamento.

Il numero di campionamenti dipenderà necessariamente dal contesto in cui si colloca il sito, in linea di massima è necessario un campionamento per ogni area omogenea e, in caso di aree di grandi dimensioni, almeno un campionamento ai vertici o ai nodi di una griglia di 50 m di lato. Eventualmente dopo le prime analisi di laboratorio, ove ritenuto necessario, si potrà procedere ad un infittimento.

5.1.6 Metodi di campionamento

I metodi di campionamento del suolo da utilizzare nell'ambito delle attività della rete di monitoraggio sono i Metodi Ufficiali di analisi del terreno approvati con D.M. 13/09/1999:

Metodo Ufficiale di Analisi Chimica del suolo SISS n. I.1: Modalità di prelevamento di campioni di suolo da sottoporre ad analisi

Il metodo prevede una serie di prelevamenti elementari in una zona presunta omogenea, ad una profondità predeterminata, per costruire uno o più campioni per il laboratorio, rappresentativi del livello medio e/o della variabilità delle caratteristiche che si intendono esaminare.

Nei siti rappresentativi, chiave e di riferimento, può essere eseguito un campionamento sistematico, utilizzando cioè un reticolo di dimensioni opportune e prelevando, con una sonda o trivella, diversi campioni all'interno delle unità ottenute (I.1.7. Numero e ripartizione dei campioni elementari – I.1.7.1.2. Campionamento sistematico). Tali siti dovranno essere caratterizzati pedologicamente attraverso la descrizione (cfr. ad esempio cap. VI - Descrizione degli orizzonti e del profilo del suolo, *Pedologia*, di A. Giordano) e le analisi di almeno un profilo di suolo in prossimità dell'area. La descrizione deve essere effettuata da un pedologo esperto. Nella rete di monitoraggio a maglia fissa si eseguiranno invece dei prelevamenti elementari con una sonda o una trivella a profondità (I.1.9 Esecuzione del prelevamento elementare).

Metodo Ufficiale di Analisi Chimica del suolo SISS n. I.2: Modalità di prelevamento di campioni di suolo forestale da sottoporre ad analisi

Descrive le modalità per l'esecuzione del prelevamento di campioni di suolo forestale, in una zona presunta omogenea, da sottoporre ad analisi per la valutazione dei componenti della fertilità o dell'inquinamento.

Anche in questo caso i siti rappresentativi, chiave e di riferimento dovranno essere caratterizzati pedologicamente attraverso la descrizione (cfr. ad esempio cap. VI - Descrizione degli orizzonti e del profilo del suolo, *Pedologia*, di A. Giordano) e le analisi di almeno un profilo di suolo posto in prossimità dell'area. Particolare attenzione deve essere rivolta al fatto che molte caratteristiche dei suoli forestali oltre a variare con le stagioni (in dipendenza, ad esempio, della velocità di trasformazione dei materiali organici che arrivano in superficie), con le essenze forestali (in relazione alla natura della lettiera e agli interventi selvicolturali) o a seguito di particolari eventi (smottamenti, sommersioni), presentano elevata variabilità spaziale sia in senso verticale che in senso orizzontale.

A livello europeo, le indicazioni comuni ai diversi gruppi di lavoro sul monitoraggio del suolo pongono come prioritaria l'esigenza di adozione di comuni standard per quanto riguarda la raccolta di dati sul suolo. Tale esigenza si riferisce ad ogni fase del monitoraggio che va dalla raccolta di dati esistenti, al prelievo di campioni di suolo, alla loro analisi in laboratorio, all'elaborazione finale, così da pervenire ad un'armonizzazione quanto più elevata dei dati raccolti.

Da più parti viene raccomandato l'utilizzo di metodi ISO e CEN per le diverse fasi del monitoraggio.

Per quanto si riferisce al campionamento dei suoli, le seguenti norme ISO riportano i criteri di campionamento relativi ai suoli:

ISO/DIS 10381-1: Soil Quality – Sampling Part 1: Guidance on the design of sampling programmes. 1995

Indica i principi generali che devono essere applicati:

nella progettazione dei programmi di monitoraggio per la caratterizzazione e controllo della qualità dei suoli;
nell'identificazione delle sorgenti ed effetti della contaminazione dei suoli;
nelle procedure richieste per il posizionamento dei punti di campionamento o dei punti sui quali installare gli strumenti per le indagini in situ che comprendono analisi statistiche;
nelle procedure per la determinazione della quantità di campione da prelevare, per la conservazione e il trasporto per prevenirne il deterioramento;
fornisce informazioni relativamente ad attrezzature, equipaggiamenti e tecniche utilizzabili per campionamenti di suolo in condizioni particolari, quando cioè non è possibile effettuare un prelievo corretto
presenta una serie di attrezzature utili al prelievo di campioni disturbati ed indisturbati a diverse profondità per la valutazione della qualità agronomica;
presenta una serie di attrezzature utili al prelievo di campioni prelevati per valutare il grado di contaminazione del suolo;
fa riferimento ad alcuni aspetti del campionamento di acqua di falda e gas come parte integrante del campionamento del suolo;
non è applicabile al campionamento in roccia;
non riguarda tecniche di raccolta di informazioni sul suolo che non prevedano il campionamento come ad esempio tecniche geofisiche.

Altre norme ISO in cui si possono trovare utili indicazioni per l'esecuzione del campionamento del suolo sono le seguenti:

ISO/DIS 10381-2: Soil Quality – Sampling Part 2: Guidance on sampling techniques. 1995

ISO/DIS 10381-3: Soil Quality – Sampling Part 3: Guidance on safety. 1995

ISO/DIS 10381-4: Soil Quality – Sampling Part 4: Guidance on the procedure for the investigation of natural, near natural and cultivated sites. 1995

ISO/DIS 10381-5: Soil Quality – Sampling Part 5: Guidance on the procedure for the investigation of urban and industrial sites on soil contamination. 2000

ISO/DIS 11074-2: Soil Quality – Vocabulary – Part 2: Terms and definitions relating to sampling. 1997

ISO/DIS 19258: Soil Quality - Guidance on the determination of background values. 2002

5.2 METODOLOGIE DI ANALISI

5.2.1 Caratterizzazione dei parametri generali descrittivi

I parametri generali descrivono le proprietà del suolo o le componenti del sistema del quale il suolo è parte integrante e vengono definiti e/o misurati al fine di inquadrare meglio l'ambiente in cui sono svolte le attività di monitoraggio.

I parametri generali di base sono quindi necessari, sono informazioni da acquisire in modo obbligatorio, in quanto identificano le caratteristiche del suolo e del sito di monitoraggio.

I parametri generali di tipo descrittivo di cui deve essere prevista la caratterizzazione sono:

- classificazione del suolo
- caratteristiche del sito
- caratteristiche del profilo
- caratterizzazione climatica
- caratterizzazione geologica e materiale parentale
- uso del suolo e limitazioni d'uso del suolo
- caratterizzazione della falda

La descrizione dei parametri generali deve essere fatta in accordo ai sistemi di riferimento internazionali che prevedono la descrizione e classificazione delle componenti che influenzano l'evoluzione del suolo (materiale parentale, clima, uso del suolo); i documenti di riferimento per l'ambito europeo sono i documenti ISO elaborati nell'ambito del TC 190 Soil Quality, in particolare la norma ISO 11259 "Soil quality – Simplified soil description" e il Manuale delle Procedure del Database Georeferenziato dei Suoli Europei (1999) dell'European Soil Bureau Network

5.2.2 Requisiti generali per i laboratori d'analisi

I laboratori che eseguono le analisi nell'ambito della rete di monitoraggio dovranno dimostrare la conformità alla norma ISO/IEC 17025 "Criteri generali per la competenza dei laboratori di prova e taratura" sulla base di quanto previsto dalla norma UNI EN 45002 e 45003 .

5.2.3 Metodi di analisi dei parametri

GRANULOMETRIA

Metodo Ufficiale di Analisi Chimica del suolo SISS n. II.5: Determinazione della granulometria per setacciatura ad umido e sedimentazione (metodo della pipetta)

La determinazione si basa sul prelievo della sospensione di particelle con diametro inferiore a 2 mm a diverse altezze ed a tempi prestabiliti, utilizzando per la definizione della classe granulometrica il Sistema di riferimento Internazionale USDA.

pH

Metodo Ufficiale di Analisi Chimica del suolo SISS n. III.1: Determinazione del grado di reazione (pH)

Il pH è determinato per via potenziometrica, dopo taratura del sistema di misura, su sospensioni di:

- suolo-acqua (i valori ottenuti non rispecchiano fedelmente il valore del pH in campo, ma sono indicativi del grado di reazione del sistema);
- suolo-soluzione di sali neutri (KCl o CaCl₂) (i valori ottenuti sono maggiormente correlati al grado di saturazione e alla natura del complesso di scambio);

CAPACITÀ DI SCAMBIO CATIONICO

Metodo Ufficiale di Analisi Chimica del suolo SISS n. XIII.2: Determinazione della capacità di scambio cationico con bario cloruro e trietanolammina

Il campione di suolo viene monosaturato con bario per ripetuti trattamenti con soluzione di bario cloruro a pH = 8.2. Successivamente, al campione Ba-saturato viene aggiunta più volte una quantità definita di una soluzione a titolo noto di magnesio solfato. La reazione porta alla formazione di bario solfato insolubile e, quindi, allo scambio completo Ba/Mg. L'eccesso di magnesio in soluzione viene determinato per titolazione complessometrica. Calcolata la quantità di magnesio adsorbito, che corrisponde alla quantità di bario scambiato, si determina il valore della capacità di scambio cationico.

CARBONIO ORGANICO

Metodo Ufficiale di Analisi Chimica del suolo SISS n. VII.3: Determinazione del carbonio organico (Metodo Walkley-Black)

Il carbonio organico viene ossidato ad anidride carbonica, in condizioni standardizzate, con soluzione di potassio bicromato in presenza di acido solforico. L'eccesso di bicromato residuo viene titolato con soluzione di solfato ferroso.

AZOTO TOTALE

Metodo Ufficiale di Analisi Chimica del suolo SISS n. XIV.1: Determinazione dell'azoto totale con analizzatore elementare

Prevede completa e istantanea ossidazione del campione per "flash combustion" con conseguente conversione di tutte le sostanze organiche e inorganiche in prodotti gassosi. I gas di combustione vengono fatti passare, in corrente di elio, su opportuni catalizzatori, per completare il processo di ossidazione, e, quindi, su strato di rame, per ridurre gli ossidi di azoto ad azoto molecolare (N₂). Successivamente, la miscela gassosa viene separata per gascromatografia e l'N₂ viene rilevato da un detector a conducibilità termica.

Metodo Ufficiale di Analisi Chimica del suolo SISS n. XIV.2: Mineralizzazione Kjeldahl all'idrogeno perossido

Il metodo si basa sull'ossidazione del campione in acido solforico concentrato (metodologia Kjeldahl). Per rendere completa la trasformazione dell'azoto organico in azoto minerale, si utilizza come ulteriore ossidante perossido di idrogeno.

Metodo Ufficiale di Analisi Chimica del suolo SISS o n. XIV.3: Determinazione dell'azoto totale per distillazione secondo Kjeldahl

Il metodo si applica alla soluzione ottenuta con il metodo XIV.2. L'azoto ammoniacale viene distillato in ambiente alcalino e assorbito in soluzione a titolo noto di acido solforico. L'eccesso di acido solforico viene titolato con soluzione a titolo noto di sodio idrossido.

CALCARE TOTALE

Metodo Ufficiale di Analisi Chimica del suolo SISS n. V.1: Determinazione del "calcare totale"

Determinazione gas-volumetrica della CO₂ che si svolge trattando un campione di terra fine con acido cloridrico.

CATIONI DI SCAMBIO (POTASSIO, MAGNESIO, CALCIO E SODIO SCAMBIABILI)

Metodo Ufficiale di Analisi Chimica del suolo SISS n. XIII.4: Determinazione delle basi di scambio (calcio, magnesio, potassio e sodio) con ammonio acetato

Il contenuto degli ioni calcio, magnesio, potassio e sodio, rimossi dai siti di scambio con soluzione di ammonio acetato a pH = 7, viene determinato per spettrofotometria in assorbimento atomico con atomizzazione a fiamma (FAAS). Il metodo è applicabile ai suoli caratterizzati da valore di pH (in H₂O) inferiore a 7.

Metodo Ufficiale di Analisi Chimica del suolo SISS n. XIII.5: Determinazione delle basi di scambio (calcio, magnesio, potassio e sodio) con bario cloruro e trietanolammina

Il contenuto degli ioni calcio, magnesio, potassio e sodio, rimossi dai siti di scambio con soluzione di bario cloruro a pH = 8,2, viene determinato per spettrofotometria in assorbimento atomico con atomizzazione a fiamma (FAAS). Il metodo può essere utilizzato per tutti i suoli.

GRADO DI SATURAZIONE BASICA

Il grado di saturazione basica è dato dal rapporto percentuale tra la somma delle basi scambiabili (esprese in $\text{cmol}_{(+)}$ · kg^{-1}) e la C.S.C. (espressa in $\text{cmol}_{(+)}$ · kg^{-1})

FOSFORO TOTALE

Metodo Ufficiale di Analisi Chimica del suolo SISS n. XV.1: Determinazione del fosforo totale

Il campione viene trattato con acido solforico, perossido di idrogeno e acido fluoridrico. Il contenuto di fosforo è determinato per spettrofotometria con il metodo all'acido ascorbico.

AZOTO MINERALE

Metodo Ufficiale di Analisi Chimica del suolo SISS n. XIV.4: Estrazione dell'azoto minerale con soluzione di potassio cloruro.

Metodi Ufficiali di Analisi Chimica del suolo SISS n. XIV.6: Determinazione dell'azoto minerale per distillazione; n. XIV.7: Determinazione degli ioni ammonio con l'impiego di elettrodo specifico; n. XIV.8: Determinazione degli ioni nitrato con l'impiego di elettrodo specifico; n. XIV.9: Determinazione degli ioni nitrato per cromatografia ionica; n. XIV.10: Determinazione dell'azoto ammoniacale per colorimetria a flusso continuo (Diffusione gassosa); n. XIV.11: Determinazione dell'azoto ammoniacale per colorimetria a flusso continuo (Reazione di Berthelot); n. XIV.12: Determinazione dell'azoto nitrico e nitroso per colorimetria a flusso continuo (Reazione di Griess-Ilosvay)

L'azoto minerale è la somma delle forme nitrica e ammoniacale dell'azoto presenti nel terreno.

FOSFORO ASSIMILABILE

Metodo Ufficiale di Analisi Chimica del suolo SISS n. XV.3: Determinazione del fosforo assimilabile (Metodo Olsen)

Il suolo viene trattato con bicarbonato di calcio. La presenza nella soluzione estraente di ioni carbonato e ossidrilici abbassa l'attività di Ca²⁺ e di Al³⁺ con conseguente incremento della solubilità del fosforo.

Il contenuto di fosforo è determinato per spettrofotometria con il metodo all'acido ascorbico.

METALLI TOTALI

Metodo Ufficiale di Analisi Chimica del suolo SISS n. XI.1: Determinazione del contenuto di cadmio, cromo, rame, nichel, piombo, zinco estraibili in acqua regia

Prevede la solubilizzazione del metallo pesante in soluzione nitro-cloridrica a caldo (acqua regia). Il campione di suolo, pretrattato con perossido di idrogeno, è mineralizzato con acqua regia. La digestione del campione può essere condotta alternativamente su piastra riscaldante (a riflusso), o in forno a microonde.

Il contenuto dei metalli può essere determinato per spettrofotometria in assorbimento atomico con atomizzazione a fiamma (FAAS) o elettrotermica (GFAAS).

Metodo ISO 11047: Determinazione del contenuto di cadmio, cromo, rame, nichel, piombo, zinco estraibili in acqua regia - metodo di spettroscopia per assorbimento atomico a fiamma o elettrotermica

Prevede un attacco in acqua regia e la determinazione con l'uso delle tecniche di spettroscopia per assorbimento atomico utilizzando atomizzazione a fiamma aria-acetilene (FAAS), o elettrotermica (GFAAS).

La quantificazione del contenuto totale (*real total* come definito dagli anglosassoni in contrapposizione alla forma *so called -total* determinabile con i metodi sopra riportati) di metalli pesanti è possibile solo distruggendo la matrice silicea che ingloba parte dei metalli contenuti nel suolo. Il procedimento prevede l'uso di tecniche di fusione con litio metaborato o sodio carbonato o l'utilizzo di metodi che comportano la distruzione della sostanza organica con vari agenti ossidanti e la successiva solubilizzazione dei silicati con acido fluoridrico.

Non si ritiene comunque che tale determinazione sia di qualche utilità per la rete di monitoraggio.

METALLI ASSIMILABILI

Metodo Ufficiale di Analisi Chimica del suolo SISS n. XII.1: Indice di disponibilità di cadmio, nichel, piombo, rame, zinco in suoli non acidi

Prevede l'estrazione dei metalli da suoli non acidi con una soluzione di acido dietilentriamminopentacetico (DTPA)/calcio cloruro/ trietanolamina a pH = 7,3 (metodo Lindsay-Norwell).

La misura viene eseguita per spettrofotometria in assorbimento atomico con atomizzazione a fiamma (FAAS) o elettrotermica (GFAAS).

Metodo Ufficiale di Analisi Chimica del suolo SISS n. XII.2: Indice di disponibilità di cadmio, nichel, piombo, rame, zinco in suoli acidi

Prevede l'estrazione dei metalli da suoli acidi con una soluzione di acido etilendiamminotetracetico (EDTA)/ ammonio acetato a pH = 4,65 (metodo Lakanen-Erviö)

La misura viene eseguita per spettrofotometria in assorbimento atomico con atomizzazione a fiamma (FAAS) o elettrotermica (GFAAS).

ARSENICO TOTALE

Metodi EPA:

- 7060A: mediante assorbimento atomico con fornetto
- 7061A: mediante assorbimento atomico e formazione di idruro
- 7062A: mediante assorbimento atomico e riduzione con boroidruro

MERCURIO TOTALE

Metodo EPA 7471

Prevede un attacco del campione con acqua regia a 95°C, 2 minuti, seguito, dopo raffreddamento, da un trattamento con permanganato di potassio a 95°C, 30 minuti, e, dopo raffreddamento, addizione di una soluzione di cloruro di sodio e solfato di idrossilamina per rimuovere l'eccesso di permanganato. La determinazione avviene mediante tecnica di assorbimento atomico a vapori freddi (EPA 7471A).

INQUINANTI ORGANICI

Vari metodi ISO o EPA, tra i quali:

- *Metodo ISO/TR 11046: Soil quality – Determination of mineral oil content – Method by IR spectrometry and GC method;*

- Metodo ISO 16703: Soil quality – Determination of mineral oil content – GC method;
- Metodo ISO 10382: Soil quality – Determination of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls – GC method;
- Metodo ISO 13877: Soil quality – Determination of polynuclear aromatic hydrocarbons Method using HPLC.

ESP (Exchangable Sodium Percentage)

L'ESP è dato dal rapporto % tra il sodio (*Metodo Ufficiale di Analisi Chimica del suolo SISS n. XIII.4: Determinazione delle basi di scambio (calcio, magnesio, potassio e sodio) con ammonio acetato*) e la C.S.C. (*Metodo Ufficiale di Analisi Chimica del suolo SISS n. XIII.2: Determinazione della capacità di scambio cationico con bario cloruro e trietanolammina*).

CONDUCIBILITÀ ELETTRICA DEL SUOLO

Metodo Ufficiale di Analisi Chimica del suolo SISS n. IV.1: Determinazione della conduttività elettrica

Il metodo consiste nella determinazione diretta (strumentale) della conduttività elettrica in estratti acquosi del suolo. Possono essere utilizzati estratti: a saturazione (pasta satura), a rapporto acqua/ suolo 5:1 (estratto acquoso 5:1), a rapporto acqua/ suolo 2:1 (estratto acquoso 2:1).

DENSITÀ APPARENTE

Metodo Ufficiale di Analisi Fisica del suolo SISS n. II.1.3.1: Determinazione della densità apparente. Metodo del carotaggio

Prevede il prelievo di campioni di suolo per mezzo di carotatori di volume noto che possono essere gestiti sia manualmente che assistiti da un sistema idraulico. La densità apparente viene calcolata una volta essiccato il campione in stufa e pesato.

RITENZIONE IDRICA

Metodo Ufficiale di Analisi Fisica del suolo SISS n. VIII.3: Ritenzione idrica

Il processo analitico prevede l'imposizione di una pressione esterna su un campione di suolo indisturbato, preventivamente inumidito a saturazione, fino a che non si sia verificata una situazione di equilibrio; a questo punto si determina il contenuto idrico che rappresenta un potenziale di matrice uguale alla pressione imposta, cambiato di segno.

POROSITÀ

Metodo Ufficiale di Analisi Fisica del suolo SISS n. IV.1: Porosità e n. IV.2 Distribuzione dimensionale dei pori ed altre loro caratteristiche geometriche

La determinazione della porosità totale del suolo si può effettuare indirettamente attraverso il calcolo dalla densità apparente e da quella reale del terreno o direttamente utilizzando il picnometro a spazio d'aria.

La distribuzione dimensionale dei pori può essere determinata mediante la porosimetria a mercurio (pori < 50 µm diametro equivalente) e l'analisi di immagine su sezioni sottili preparate da campioni indisturbati di terreno attraverso le tecniche della micromorfologia del terreno (pori > 50 µm) (Murphy, 1986; Pagliai, 1988).

COMPATTAMENTO E STRATI COMPATTI LUNGO IL PROFILO

Per diagnosticare la presenza di strati compatti lungo il profilo l'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo ha proposto i seguenti criteri:

Caratteristiche diagnostiche rivelatrici di compattazione	
Porosità totale dello strato %	da 5% a 10%
Porosità dello strato soprastante o sottostante (purché avente composizione granulometrica simile)	10% in più rispetto allo strato da diagnosticare
Ristagno idrico	presente
Tipo di porosità	suborizzontale non connessa
Uso di aratro a vomere	si

Il danno viene valutato in termini di porosità e soprattutto di alterazione del sistema dei pori in relazione anche agli effetti negativi sull'infiltrazione dell'acqua.

In prima approssimazione l'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo definisce una scala di suscettibilità al compattamento, in relazione agli usi del suolo, fra 0 ed 1, ove 0 rappresenta il rischio minimo e 1 il rischio massimo, come segue.

Grado di compattamento	Porosità totale %
Suolo molto compatto	<5%
Suolo compatto	5-10%
Suolo moderatamente poroso	10-25%
Suolo poroso	25-40%
Suolo altamente poroso	>40%

L'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo propone una scala di rischio crescente da 0 a 1 ove vengono classificati i vari usi del suolo in relazione al rischio di compattamento, come segue:

Uso del suolo	Rischio di compattamento
Colture erbacee con lavorazioni del suolo che prevedono l'aratura con aratro a versoio e/o la fresatura.	1
Colture erbacee con lavorazioni del suolo che non prevedono l'aratura con aratro a versoio e/o la fresatura	0.3
Arboree non inerbite con lavorazione del suolo	1
Frutteti Vigneti Oliveti inerbiti da >2 anni	0.4
Pascolo > 1,5 UBA/ha	1
Pascolo 1,2-1,4 UBA/ha	0.8
Pascolo 1-1,1 UBA/ha	0.7
Pascolo 0,5- 1 UBA/ha	0.6
Pascolo <0,5 UBA/ha	0.5
Incolto e foraggere senza pascolamento presenti da > 2 anni.	0
Siepi, boschetti ed altri interventi di copertura permanente del suolo assistiti con operazioni meccaniche che prevedono l'uso di trattrici	0.2
Incolto e foraggere senza pascolamento. presenti da 1 a 2 anni	0.1
Semina su sodo o inerbimento	0.5

La presenza di strati compatti lungo il profilo, valutata attraverso le misure di massa volumica apparente e attraverso lo sforzo penetrometrico, viene evidenziata attraverso il confronto statistico della serie di dati rilevati lungo il profilo del suolo. Il raggiungimento della significatività statistica delle differenze consentirà di apprezzare le variazioni di questi parametri.

La misura indiretta della compattazione del suolo può essere effettuata con penetrometro registratore soprattutto al fine di rilevare strati compatti lungo il profilo. Per la descrizione metodologica si rimanda alle procedure standard dell'*American Society of Agricultural Engineers* (ASAE - 1982).

CROSTE SUPERFICIALI

Possono essere individuate mediante la caratterizzazione della porosità e soprattutto della continuità dei pori in senso verticale che consente di stimare l'entità della riduzione dell'infiltrazione dell'acqua. La metodologia di indagine dovrà seguire il metodo micromorfologico che prevede il prelievo di un campione indisturbato superficiale (0-6 cm) dopo la preparazione del letto di semina, nel periodo successivo ad una pioggia intensa, nel periodo di emergenza delle plantule e dopo il disseccamento naturale del suolo.

PERDITA DI STRUTTURA

Metodo Ufficiale di Analisi Fisica del suolo SISS n. V.1: Stabilità e distribuzione dimensionale degli aggregati

La determinazione della stabilità degli aggregati viene fatta generalmente per mezzo del setacciamento ad acqua (wet sieving). Possono essere utilizzati due apparecchi, il setaccio a rotazione alternata oppure il setaccio ad oscillazione verticale. La distribuzione dimensionale degli aggregati viene determinata sia in acqua che a secco.

EROSIONE E RISCHIO DI EROSIONE

Misura diretta dell'Erosione del suolo

La misura diretta è finalizzata alla determinazione dell'erosione reale (attuale) in relazione ad uno standard univoco, che consenta la creazione di un database nazionale.

Secondo la scala e le finalità si riassumono in tabella 3 (Bazzoffi, 2002) i metodi di rilievo dell'erosione, evidenziando la precisione ottenibile nella misura sia del trasporto solido sia del deflusso.

Nel presente manuale si descrivono solo i metodi per la quantificazione dell'erosione idrica e dell'erosione per traslocazione del suolo.

Quantificazione a scala di campo

Nel sito individuato si dovrà disporre di una stazione meteorologica completa e si dovranno allestire almeno 6 parcelle sperimentali (m 22 x10, con il lato più lungo la massima pendenza), di cui 2 parcelle (testimone) con lavorazione del suolo in direzione della pendenza, senza aggiunta di sostanza organica per tre anni e tenute libere da vegetazione. Due parcelle (con lavorazione del suolo uguale ai testimoni) saranno coltivate a grano in monosuccessione, ed altre due parcelle saranno coltivate a prato stabile. Il confronto fra i due usi del suolo e testimone consentirà di ottenere il trend di erosione in relazione alla massima condizione di vulnerabilità del suolo (terreno nudo) rispetto alla massima condizione di protezione del suolo (prato stabile) ed a quella intermedia di copertura del suolo a grano.

La tesi di controllo consentirà anche la determinazione dell'erodibilità del suolo (che potrà essere determinata anche attraverso simulazione di pioggia).

L'erosione relativa ad altri usi del suolo verrà ricavata utilizzando fattori di conversione reperibili in letteratura.

L'erosione del suolo ed i deflussi (espressi in t/ha/anno (p)) saranno monitorizzati attraverso una stazione di misura Fagna-type (Bazzoffi P., 1993 - Fagna-type Hydrological unit for runoff measurement and sampling on experimental plots. Soil Technology, vol 6 pp. 251-259).

SCALA	METODO	USO	PRECISIONE		
			Volume di deflusso	Idrogramma di deflusso	Erosione
Laboratorio	Rainfall simulator, box, flumes	Studio dei parametri e dei processi	alta	alta	alta
Microparcella	Microparcelle confinata 1-2 m ² con o senza simulazione di pioggia	Studio dei parametri e dei processi	alta	alta	alta
Pieno campo	Chiodi infissi nel suolo	Prima approssimazione	nessuna	nessuna	scarsa
	Osservazione di markers naturali o artificiali del livello del suolo antecedente all'erosione (pietre dipinte, radici, pali infissi nel suolo)	Prima approssimazione della misura dell'erosione. Localizzazione dell'erosione e dell'erosione da lavorazione	nessuna	nessuna	scarsa
	Cabalette raccogliatrici Gerlach	Prima approssimazione della misura dell'erosione.	media	nessuna	media
	Profilografi ad aghi e a laser	Monitorizzazione precisa della rugosità del suolo, forma e sezione dei rigagnoli.	nessuna	nessuna	media
	Rilievo diacronico di sezioni profilografiche e comparazione delle modificazioni morfologiche	Monitoraggio del volume dei rigagnoli.	nessuna	nessuna	media
Versante	Parcelle rappresentative dei processi erosivi con campionatori del deflusso e dell'erosione (ruote Coshocton , ripartitori multi-slot,))	Valutazione dell'influenza delle variazioni d'uso del suolo sull'erosione. Test della validità della ultiscalarità spazio temporale de modelli previsionali	media	media	media
	Parcelle rappresentative dei processi erosivi con campionatori elettronici del deflusso e dell'erosione (Unità Fagna Type)	Valutazione dell'influenza delle variazioni d'uso del suolo sull'erosione. Test della validità della ultiscalarità spazio temporale de modelli revisionali. Studio dei processi attraverso l'analisi dell'idrogramma di deflusso.	alta	alta	media
	Simulaori di pioggia su parcelle.	Studio dei parametri e dei processi.	alta	alta	alta
	Rilievi di bilancio di Cs137	Valutazione indiretta dell'erosione e dell'erosione da lavorazione(tillage erosion)	nessuna	nessuna	bassa
Burroni	Rilievo della diminuzione di livello del solo con metodi topografici di precisione e GPS	Monitorizzazione del collassamento del suolo e del cambiamento morfologico	nessuna	nessuna	media
	Analisi diacronica dei modelli digitali del suolo	Analisi a scala regionale dell'influenza di livellamenti, frane ed altri movimenti di massa.	nessuna	nessuna	media
Bacino idrografico	Misura e campionamento dei deflussi attraverso stazioni torbiometriche alla chiusura di microbacini	Misura diretta del flusso di sedimenti e calibrazione dei modelli.	media-alta	media-alta	scarsa
	Analisi diacronica di modelli digitali del suolo ricavati da fotoregistrazione di foto aeree a bassa quota	Misura dell'erosione da lavorazioni, dell'evoluzione di burroni e dei calanchi.	nessuna	nessuna	media
	Rilievo dei sedimenti accumulatisi nei laghi artificiali in un determinato lasso di tempo	Misura diretta dell'erosione netta bacinale media annua	nessuna	nessuna	alta

Tabella 3 – Metodi di rilievo dell'erosione

L'erosività della pioggia verrà determinata seguendo la metodologia proposta da Wischmeier e Smith (1978). Il software per la digitalizzazione di pluviogrammi di pluviografi a bascula tipo SIAP è disponibile gratuitamente presso l'ISSDS.

Quantificazione dell'erosione con metodi morfometrici

Quando l'evento erosivo non è misurabile attraverso le stazioni parcellari di misura e campionamento dei deflussi (a causa del notevole deflusso e trasporto solito, tali da superare le

condizioni strumentali di collaudo, oppure quando non si possa disporre di attrezzature fisse) si può ricorrere alla misura diretta dei volumi di suolo asportati tramite metodi morfometrici.

Per eventi che determinino lo sviluppo di rigagnoli, l'erosione può essere stimata per mezzo del rilievo, con profilografi ad aghi (Bazzoffi e Chisci, 1995) o con profilografi a laser, del volume di scavo nei rigagnoli, unitamente al rilievo della massa volumica del suolo.

Dopo aver scelto un numero rappresentativo di rigagnoli si determina con il profilografo, su un numero adeguato di sezioni lungo il rigagnolo (in direzione da valle verso monte), l'area di scavo (figura 2). La misura media dell'area delle sezioni di scavo viene moltiplicata per la misura media della lunghezza delle incisioni (rilevate con foto aerea o con rilievo celerimetrico) . Per una trattazione più dettagliata dei rilievi si rimanda a Bazzoffi et al. (1989).

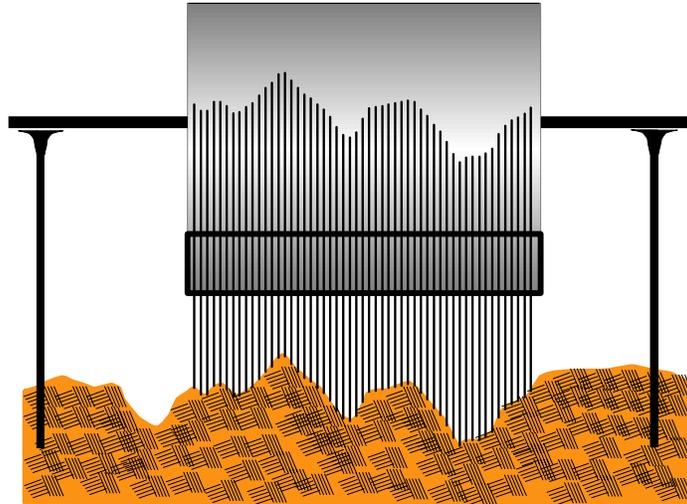


Figura 2 Schema di profilografo ad aghi per la determinazione della sezione dei rigagnoli (Bazzoffi com.pers.)

Misura del rischio di erosione (USLE) a scala di campo.

Oltre all'effettuazione delle misure attuali di erosione si dovrà determinare il rischio di erosione utilizzando il modello USLE (Wischmeier e Smith, 1978) (vedasi al riguardo l'Allegato 4 al presente documento). Ciò permetterà la definizione della differenza fra rischio potenziale ed attuale. Sul sito individuato si dovrà eliminare la vegetazione al fine di scoprire la superficie del suolo. Con un badile si dovrà effettuare il campionamento del suolo, che dovrà avvenire nello strato superficiale (0-10 cm). Il campione viene quindi etichettato, conservato, trasportato e manipolato secondo la classica metodica di laboratorio (*Metodi di analisi fisica del suolo, 1997*) al fine della determinazione della granulometria e della sostanza organica (*Metodi di analisi chimica del suolo, 2000*).

La determinazione della classe di drenaggio viene ricavata dalla descrizione pedologica del profilo. La misura delle pendenze e delle lunghezze dovrà essere effettuata tramite rilievo celerimetrico con maglia non superiore a m 10 x 10. Il calcolo della lunghezza e della pendenza dovrà essere effettuato tramite software che applichi l'algoritmo di interpolazione per triangoli o *kriging*.

Allo stato attuale il miglior modo di calcolare il rischio di erosione consiste nell'applicazione del noto modello deterministico parametrico U.S.L.E. (Equazione Universale per le Perdite di suolo di Wischmeier e Smith, 1978).

Quantificazione dell'erosione a scala di bacino idrografico.

In Italia esistono 555 grandi dighe di cui 494 in esercizio (con capacità maggiore a 1.000.000 m³ o di altezza maggiore di 15 metri) per una capacità totale di invaso circa 10.854 10⁶ m³. Invece, i serbatoi invasi di piccola e media cubatura sono più di 8800 (tab. 1) con una capacità totale di invaso di circa 300 10⁶ m³.

I numerosi laghetti collinari, costruiti soprattutto negli anni che vanno dal 1960 al 1970, sono importanti per la loro polifunzionalità e per la dislocazione strategica sul territorio. Cioè in quelle zone ove l'acqua non è facilmente reperibile e l'adduzione da grandi invasi sarebbe troppo costosa.

La funzione originaria di riserva idrica per il sostegno della produzione agricola in collina, che ha giustificato la loro costruzione, è oggi in secondo ordine d'importanza rispetto a quella di altre funzioni, fra le quali prevalgono: la difesa antincendio, gli aspetti ricreativi e paesaggistici, l'incremento della biodiversità e l'eventuale regimazione delle piene in ambito locale.

La presenza di un così elevato numero di piccoli invasi consente la monitorizzazione dell'erosione a scala di bacino. Infatti i sedimenti che vi rimangono intrappolati rappresentano il prodotto finale dei processi di erosione e rideposizione che avvengono nel bacino idrografico tributario.

<i>Regioni</i>	n. totale da telerilevamento.	Grandi invasi
Abruzzo	631	15
Basilicata	146	16
Calabria	111	26
Campania	150	16
Emilia Romagna	1058	26
Friuli Venezia Giulia	26	11
Lazio	266	21
Liguria	27	15
Lombardia	122	75
Marche	754	17
Molise	114	8
Piemonte	606	58
Puglia	60	8
Sardegna	392	56
Sicilia	1664	51
Toscana	1741	58
Trentino Alto Adige	49	36
Umbria	843	13
Valle d'Aosta	23	11
Veneto	60	18
n. totale	8843	555

Evidentemente, ai fini del monitoraggio dell'erosione in ambito agricolo, dovranno essere scelti quei sistemi bacino-serbatoio nei quali i processi erosivi sono da attribuirsi principalmente all'erosione causata dai diversi usi agricoli del suolo. Se invece interessa monitorare le altre componenti che causano la produzione di sedimenti (quali le frane e altri movimenti di massa) occorrerà scegliere bacini idrografici sottesi da laghi ove tale fenomeni siano preponderanti e l'agricoltura sia trascurabile.

La valutazione diretta dell'erosione attraverso il rilievo dei depositi sedimentari lacustri consente anche la validazione dei modelli e la loro calibrazione, al fine della determinazione dei fattori di scala spazio-temporali.

Il metodo da seguire per la valutazione dell'erosione media annua bacinale, attraverso il computo dei sedimenti nei laghi, è stato messo a punto da Bazzoffi) presso l'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo di Firenze (Bazzoffi, 1984,; Bazzoffi et al 1995; Bazzoffi, 2000).

Il metodo consiste nell'utilizzo di un profilatore sonar di sotto-fondale, per la determinazione dello spessore dei sedimenti, e del rilievo GPS in modalità differenziale RTK per la georeferenziazione dei punti di rilievo.

Una volta acquisite le coordinate dei punti e i valori di spessore sedimentario, viene effettuata l'interpolazione automatica, che consente il calcolo dei volumi e la rappresentazione grafica della localizzazione dei sedimenti nell'invaso. Nella figura 1 sono riportate schematicamente le fasi del rilievo.

Negli studi condotti dall'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, l'equazione di Lara e Pemberton è quella che ha fornito le stime più realistiche della massa volumica dei sedimenti dei laghetti collinari al fine di ricavare il peso dei sedimenti a partire dal loro volume (Bazzoffi et al. 1995). Essa si presenta come segue:

$$Y = 16,02 \cdot (W_a \cdot P_a + W_l \cdot P_l + W_s \cdot P_s) \quad (1)$$

ove: $Y = g/cm^3$; P_a , P_l , P_s = percentuali, rispettivamente, di argilla, limo e sabbia (USDA, 1975) nel trasporto solido; W_a = Coefficiente per la frazione argilliforme, che assume rispettivamente i valori di: 26; 35; 40; 60 per: 1) sedimenti sempre sommersi; 2) sedimenti talvolta scoperti; 3) sedimenti normalmente scoperti; 4) sedimenti d'alveo fluviale; W_l = Coefficiente per la frazione limosa, che assume (analogamente al coefficiente W_c) i valori: 70; 71; 73; 73; W_s = Coefficiente per la sabbia, con valore pari a 97 per tutti i tipi di sedimento.

Per ottenere l'erosione media annua bacinale occorrerà dividere il peso dei sedimenti sia per gli anni intercorsi dalla costruzione della diga sia per gli ettari di bacino imbrifero.

Selezionando piccoli sistemi bacino-serbatoio mono-colturali è infine possibile monitorare, attraverso misure ripetute negli anni (analisi diacronica), il trend di erosione per singola coltura.

Quantificazione dell'erosione di massa, della traslocazione del suolo indotta da lavorazioni e dei grandi movimenti di terra indotti dai livellamenti del suolo

L'erosione di massa è misurabile con metodi di analisi morfometrica diacronica che permettano di valutare i volumi di suolo asportati o accumulati nel tempo.

La metodologia qui proposta (Bazzoffi, 2000) si basa sulla comparazione di modelli digitali del terreno (DTM) del medesimo territorio ricavati o con fotorestituzione di foto aeree a bassa quota o da rilievi celerimetrici di precisione. La metodologia di comparazione dei modelli digitali del terreno è universalmente nota. Le novità metodologiche introdotte consistono: 1) nella iperdeterminazione dei punti topografici per il piazzamento e l'appoggio dei modelli stereoscopici 2) nell'uso di parametri d'acquisizione dei punti (vettore min/max e angolo) che normalmente sono usati per rilievi alla scala 1:1000 e inferiori; 3) nell'esecuzione di tre repliche di fotorestituzione per ciascun anno. La metodologia è stata testata in maniera rigorosa attraverso differenti test statistici e viene presentata come innovativa al fine della definizione di un "indicatore di stato" di tillage erosion direttamente utilizzabile per la monitoraggio dello stato dell'ambiente (Bazzoffi, 2000). Ai fini della valutazione dell'effetto della tillage erosion si dovranno scegliere aree campione, sensibili ad una delle diverse forme di movimento di di massa, sulle quali ripetere le riprese aerofotogrammetriche con un intervallo di tempo non inferiore a 5 anni. Utilizzando fotogrammi in scala 1:2000, ottenibili con camera aerofotogrammetrica di 300 mm di focale ad un'altezza media di volo di 500 m dalla superficie del suolo, la precisione del rilievo fotogrammetrico è di circa ± 5 cm. Pertanto il metodo consente di apprezzare con sufficiente attendibilità movimenti di massa superiori a tale valore.

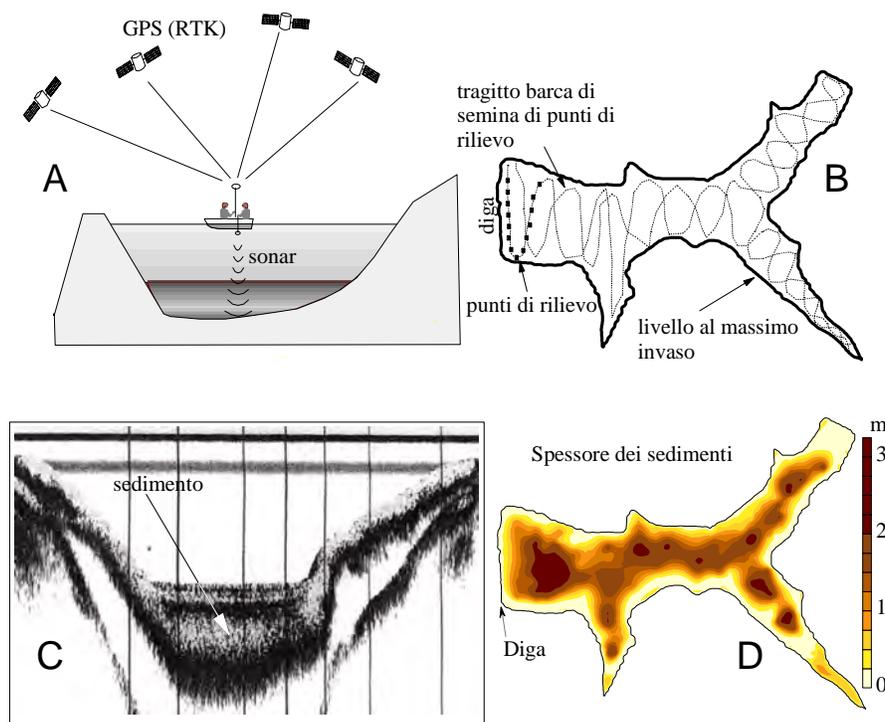


Figura 3. Valutazione dell'erosione a scala bacinale tramite il monitoraggio della sedimentazione negli invasi artificiali. (A) rilievo sedimentometrico con sonar e GPS differenziale in procedura RTK; (B) esempio di semina di punti di rilievo in un invaso artificiale; (C) traccia sonar rilevata con profilatore di sotto-fondale che evidenzia lo spessore dei sedimenti, (D) Distribuzione dei sedimenti attraverso tecniche di interpolazione dei dati sedimentometrici.

AZOTO POTENZIALMENTE MINERALIZZABILE

I metodi di analisi di cui attualmente si dispone sono di tipo *chimico* e *biochimico*: i primi, più rapidi e meno influenzati dalle procedure di conservazione del campione, risultano spesso poco precisi ed i risultati sono di difficile interpretazione. I metodi biochimici richiedono tempi di incubazione molto lunghi e su di essi incidono il periodo e le modalità di campionamento. L'unità di misura è quantità (in peso) di N per unità di peso secco di suolo per tempo d'incubazione (in giorni), ($\mu\text{g N/g}_{\text{ss}} \times \text{t}$).

I *metodi chimici* sono basati sulla estrazione delle diverse forme minerali dell'azoto con opportuni estraenti (Bremner, 1965b) o sulla determinazione dell'ammonio rilasciato per ossidazione della sostanza organica del terreno.

In particolare, i metodi che prevedono l'estrazione della frazione minerale azotata del suolo con soluzione di KCl o CaCl_2 sono riportati quali Metodi Ufficiali di analisi chimica del suolo (Metodi XIV.4 e XIV.5). Essi informano sulla attuale concentrazione di azoto minerale, "fotografando" il sistema, senza tuttavia dare riscontro della disponibilità dell'azoto mineralizzabile derivante dalla frazione organica. Un ulteriore metodo analitico (*Metodi Ufficiali di Analisi Biochimica del Suolo II.2.2*) è quello che prevede il trattamento del terreno con permanganato di potassio in ambiente acido od alcalino (Bremner, 1965a), che permette la completa ossidazione della sostanza organica e quindi il rilascio dell'azoto organico in forma minerale. Malgrado quest'ultimo metodo permetta di individuare un indice di disponibilità di azoto, legato alla frazione organica potenzialmente

mineralizzabile, tuttavia esso fornisce un'informazione che non tiene conto del ruolo della biomassa microbica del suolo, svincolando l'attività mineralizzante dalla specifica fertilità biologica. Nei test chimici, infatti, il parametro "tempo" viene ad essere trascurato, in quanto la mineralizzazione della frazione organica avviene in condizioni ossidanti estremamente drastiche, che ben poco hanno a che vedere con la reale situazione di campo.

Nei *metodi biochimici*, viene utilizzata una procedura che prevede l'incubazione del terreno, in condizioni controllate di temperatura ed umidità per un periodo di tempo variabile da una a molte settimane, che permette di ricreare in laboratorio le condizioni "potenziali" di campo. Fra questi metodi, il più noto per la sua peculiare adattabilità nella definizione della fertilità biologica del suolo è quello di Stanford e Smith (1972), parzialmente modificato da Benedetti e Sebastiani (1996) ed attualmente riportato nei *Metodi Ufficiali di Analisi Biochimica del Suolo (Metodo II.2.5.)*. Esso consiste nella preparazione di una miscela di terreno e sabbia di quarzo, che viene incubata in condizioni di umidità e di temperatura controllate. L'azoto minerale rilasciato nel tempo viene rimosso per lisciviazione mediante trattamento con soluzione salina di solfato di calcio (simulando così l'asportazione da parte delle colture) e quindi determinato ad intervalli di tempo prefissati per la durata di circa 30 settimane. Tale metodo, essendo dinamico, permette non solo di misurare le diverse frazioni di azoto mineralizzato nel tempo, ma anche di definire una cinetica di mineralizzazione dell'azoto organico, quantificando l'azoto organico mineralizzabile nel tempo nelle condizioni ambientali ottimali per l'attività microbica del suolo.

C E N DELLA BIOMASSA MICROBICA

In anni recenti sono stati messi a punto metodi analitici che consentono di stimare l'incremento di carbonio organico e di azoto solubile della biomassa microbica, dovuto alla morte dei microrganismi dopo la sterilizzazione con cloroformio. Il metodo più utilizzato per la determinazione del C della biomassa microbica è quello noto come CFE (*Chloroform Fumigation Extraction* - Vance *et al.*, 1987; Jenkinson e Ladd, 1981), valido anche per la determinazione dell'azoto della biomassa microbica; il metodo è riportato anche in ISO 14240-2 "Soil quality - Determination of soil microbial biomass - Part 2: Fumigation-extraction method", nonché nei *Metodi Ufficiali di Analisi Biochimica del Suolo (Metodi I.1., I.1.3. e I.1.4.)*. I valori sono espressi in µg di carbonio (C) o di azoto (N) per g di suolo, riferito a peso secco a 105 °C (Anderson e Domsh, 1978). Prima della fumigazione il terreno viene condizionato per 10 giorni a 30 °C, al 100 % della capacità di campo.

Un altro metodo disponibile per la determinazione del carbonio della biomassa microbica è il SIR (*Substrate Induced Respiration*), proposto da Anderson e Domsh (1978), pubblicato anch'esso nei *Metodi Ufficiali di Analisi Biochimica del Suolo (Metodo III.3.)*. Il metodo consente di determinare la quantità di CO₂ emessa dal suolo dopo l'aggiunta di una quantità ottimale di glucosio. L'aumento iniziale di respirazione SIR è proporzionale alla biomassa microbica totale. Conseguentemente, tale aliquota di CO₂ viene trasformata in carbonio della biomassa mediante successiva calibrazione con il carbonio della biomassa determinato con il metodo CFI (*Chloroform Fumigation Incubation*) proposto da Jenkinson e Powlson (1976).

RAPPORTO C BIOMASSA/C ORGANICO TOTALE

Il rapporto viene utilizzato in quanto *controllo interno* della comunità microbica del terreno, utile quindi a definirne lo stato di equilibrio nei confronti della sostanza organica in esso presente (Anderson e Domsh, 1989; Brookes, 1995). Tale rapporto dovrebbe rimanere costante in un ecosistema stabile. Qualsiasi deviazione da questo valore costante sta ad indicare un aumento od una diminuzione della quantità di biomassa microbica rispetto alla sostanza organica totale del terreno. I valori ritenuti normali dovrebbero oscillare tra 1 e 4 (Jenkinson e Ladd, 1981). Pertanto un terreno in cui il rapporto è minore di 1 si trova sicuramente in una fase di stress o di forte inquinamento, risultando in esso estremamente ridotta la biomassa microbica attiva. Va tuttavia

sottolineato che, dal confronto tra siti inquinati o perturbati rispetto a situazioni di controllo, il rapporto può assumere valori più elevati nei siti disturbati. Ciò può essere spiegato con il fatto che, in situazioni di stress, la biomassa microbica del suolo diviene particolarmente attiva e la sostanza organica viene degradata più rapidamente (Brookes, 1995). Tutto ciò, a lungo termine, può comportare un depauperamento delle riserve organiche non sostenibile.

RESPIRAZIONE

Si determina utilizzando il metodo descritto da Isermeyer (1952) su campioni di terreno secco all'aria preincubati a 30 °C ed al 100 % della capacità di campo. I dati si esprimono in $\mu\text{g C-CO}_2$ per g di peso secco e sono relativi a quattro settimane di incubazione. Le misure si effettuano in corrispondenza ai giorni 1, 2, 4, 7, 10, 14, 17, 21 e 28.

La respirazione basale si ricava dal valore di C-CO₂ sviluppato in corrispondenza del 28° giorno di misura, o quale media delle ultime determinazioni laddove la quantità di C-CO₂ sviluppata si attesti su un valore pressoché costante.

Dalla velocità di respirazione, che esprime la quantità di CO₂ emessa in un tempo t , si ricavano le curve di respirazione che consentono di mettere in relazione la respirazione microbica alla decomposizione della sostanza organica. Tale metodo è riportato nei *Metodi Ufficiali di Analisi Biochimica del Suolo (Metodo II.1.)*. Un metodo per la respirazione è riportato in ISO 16072 “Laboratory methods for determination of microbial soil respiration”.

RAPPORTO RESPIRAZIONE/BIOMASSA

Stima la quantità di CO₂ prodotta nella respirazione basale della popolazione microbica per unità di biomassa microbica. Il rapporto, noto anche come quoziente metabolico $q\text{CO}_2$, permette di relazionare l'attività e la dimensione della biomassa microbica, per valutare gli effetti di possibili cambiamenti ambientali sulla popolazione microbica. L'unità di misura è mg C-CO_2 basale/ mg C biomassa per kg di suolo per ora (Anderson e Domsch, 1990; 1993).

Un valore basso del $q\text{CO}_2$ indica che l'utilizzazione di energia avviene in modo efficiente, lasciando supporre una maggiore stabilità dell'ecosistema (Insam e Haselwandter, 1989). Normalmente lo stress causato da un abbassamento di pH o da una carenza nutritiva darebbe luogo ad un $q\text{CO}_2$ elevato, cui corrisponde un basso valore di biomassa microbica, rispetto ad una situazione non stressata. Analogamente, il $q\text{CO}_2$ aumenta a seguito di perturbazioni improvvise sull'ecosistema, come le lavorazioni o le letamazioni, ma in questo caso si riscontra anche un aumento della biomassa microbica (Wardle e Ghani, 1995). Il $q\text{CO}_2$ è quindi un parametro indispensabile nel monitoraggio: un suo aumento nel tempo deve costituire un importante campanello di allarme (Brookes e Mc Grath, 1984; Brookes *et al.*, 1986).

CARICA MICROBICA

Metodo Ufficiale di Analisi Microbiologica del suolo SISS n. II.1: Valutazione delle cariche microbiche e gruppi generici e n. II.2 Procedimento generale per le conte per via colturale

I metodi per la determinazione della carica microbica sono essenzialmente di due tipi:

- diretti (per via microscopica): in un volume esattamente misurato di una sospensione in liquido del suolo possono venir contate direttamente, previo opportuno ingrandimento, le cellule microbiche presenti. Rapportando il numero riscontrato al volume osservato ed alla diluizione effettuata si ottiene la carica (Bloem *et al.*, 1995);
- indiretti (su substrati colturali): la presenza di cellule microbiche vitali viene evidenziata dalla crescita in opportuno terreno colturale (soluzione acquosa dei nutrienti necessari, eventualmente gelificata mediante aggiunta di agar). Su suolo agarizzato ogni cellula microscopica si moltiplica in modo localizzato arrivando a formare una massa visibile ad occhio nudo, che costituisce una colonia. In terreno colturale liquido si può rilevare la crescita, generalmente dispersa, osservando secondo i casi l'intorbidimento del liquido

dovuto alle cellule in sospensione, oppure la produzione di particolari sostanze, evidenziabili mediante reattivi, o la produzione di gas che vengono raccolti.

Le conte dirette possono, almeno in linea teorica, permettere di contare realmente tutti i microrganismi, indipendentemente dal tipo e dalla possibilità di poterli coltivare; esistono infatti numerosi microrganismi vitali ma non coltivabili, *viable but non culturable* = VBNC (Kell et al., 1998). Con tale tecnica gruppi particolari possono essere distinti generalmente solo su base morfologica, e non fisiologico/funzionale, a meno di ricorrere a tecniche complesse.

Le conte colturali viceversa non possono permettere di raggruppare al di là di un certo limite i microrganismi. Infatti, date le loro diverse esigenze nutritive, non esiste un solo terreno ed una condizione colturale adatta indistintamente a tutti i tipi di microrganismi. Si dovranno quindi conteggiare distintamente, ad esempio, batteri aerobi, batteri anaerobi, eumiceti (funghi filamentosi o muffe, nonché lieviti), ecc. Esiste tuttavia la possibilità di differenziare i vari gruppi fisiologici.

L'inconveniente delle conte dirette applicate ad un sistema complesso quale il suolo risiede nella difficoltà di distinguere visivamente le cellule microbiche nella loro varietà di forme da altre particelle, nonché le cellule vive da quelle morte (che non contribuiscono all'attività biologica). Sono state in realtà messe a punto delle "colorazioni vitali", quale quella con arancio di acridina, che permettono entro certi limiti tale distinzione. Vengono contate le cellule microbiche che presentano una particolare colorazione presenti sui filtri attraverso con cui si è filtrata la sospensione del campione.

L'inconveniente più grave delle cosiddette colorazioni vitali è che in realtà non sono in grado di distinguere con sicurezza fra le cellule realmente vitali e quelle morte (Jones & Simon, 1975). Il dato che se ne ricava può comunque essere utilizzato per confronto fra suoli, senza pretendere di darne un significato assoluto. Si ritiene pertanto, anche alla luce di quanto sopra esposto, di considerare tali metodi al di fuori degli scopi applicativi del presente manuale e si rimanda per ulteriori informazioni a testi più specialistici (Karl, 1986; Bloem et al., 1995).

ATTIVITÀ ENZIMATICA DEL SUOLO

La metodologia analitica (Alef e Nannipieri, 1995) riportata nei *Metodi Ufficiali di Analisi Biochimica del Suolo (Metodi IV.1, IV.2., IV.3., IV.4., IV.5.)*, prevede l'incubazione di una data quantità di terreno fresco in un'appropriata soluzione nutritiva tamponata a 30 °C per un'ora. Dopo l'incubazione, si blocca la reazione enzimatica e si determinano i prodotti di reazione nel supernatante. L'unità di misura è la velocità di produzione del prodotto della reazione enzimatica (mg prodotto/ora) in una quantità standard di suolo (kg).

6. GESTIONE DELLE INFORMAZIONI

6.1 INTEGRAZIONE CON LE ALTRE RETI DI MONITORAGGIO

L'integrazione della rete di monitoraggio del suolo a fini ambientali con le altre reti di monitoraggio esistenti è un punto di fondamentale importanza per un utilizzo sinergico dei dati ottenuti, per una loro più corretta interpretazione e per una maggiore capacità di rappresentazione e di reporting. Non esistono reti di monitoraggio del suolo estese a tutta la comunità europea. Analisi del suolo sono però previste nei programmi di seguito descritti.

The international Co-operative Program on Assessment and Monitoring of Air Effect on Forests (ICP-Forest) (Reg. 1091/94)

Il progetto prevede la realizzazione di un programma di monitoraggio dell'ecosistema forestale diviso in due livelli in base al diverso grado di approfondimento delle analisi effettuate: un primo livello che prevede un monitoraggio su larga scala di parametri fondamentali e un secondo livello con monitoraggio intensivo e permanente su aree selezionate.

Per i suoli del primo livello, sono state effettuate analisi di base per i seguenti parametri: capacità di scambio cationico, saturazione basica, pH, contenuto in vari elementi.

Per i suoli del livello 2 le analisi sono molto più approfondite e prevedono analisi chimiche e pedologiche.

International Co-operative Program on Integrated Monitoring (ICP-IM)

Questo programma ha tra i suoi obiettivi principali:

- il monitoraggio dello stato dell'ecosistema per giungere ad una previsione a lungo termine del suo stato futuro;
- lo sviluppo e la validazione di modelli utili per la gestione ambientale a livello regionale in grado di simulare gli effetti a lungo termine causati dalle emissioni di inquinanti;
- l'attivazione di campagne di biomonitoraggio per rilevare i cambiamenti dell'ambiente naturale e per valutare gli effetti degli inquinanti dell'aria e dei cambiamenti climatici.

Di questo programma fa parte il sottoprogramma SC (Soil Chemistry): esso prevede la valutazione degli effetti dell'inquinamento transfrontaliero considerando le deposizioni di azoto e zolfo in relazione all'acidificazione e di azoto in relazione alla eutrofizzazione, le deposizioni dei metalli pesanti e gli effetti ecotossicologici sullo stato dei suoli.

Forges Geochemical Baseline Program (FGBP) del Forum of European Geological Survey (FOREGS)

Tra i principali scopi del programma vi è la creazione del Global Terrestrial Network (GTN) contenente analisi di acqua, suolo, sedimenti e humus prelevati su una griglia con maglia 160x160 km con lo scopo finale di realizzare un atlante geochimica d'Europa.

Land Use Land Cover Annual Survey (LUCAS)

Questo programma non è direttamente correlato con analisi del suolo, ma utile perchè può fornire importanti informazioni su alcune proprietà e caratteristiche dei suoli.

Iniziato nel 2001, prevede la raccolta di dati sull'uso, la copertura del suolo e sulla presenza di fattori legati all'erosione del suolo a scala europea in siti predefiniti su una maglia 18x18 km con cadenza annuale, quando il progetto sarà pienamente operativo.

Per maggiori informazioni su questi programmi si rimanda alle pubblicazioni relative dell'Unione Europea e al "Censimento delle reti di monitoraggio del suolo in Europa" (ANPA, RTI, CTN_SSC 2/2000).

E' importante valutare le correlazioni con le reti di monitoraggio esistenti a livello nazionale per le seguenti matrici:

- acque superficiali – rete nazionale sulla qualità delle acque superficiali; il D. Lgs. 152/99 prevede che per i corsi d'acqua superficiali venga monitorata la qualità chimica, biologica ed ecologica, esprimendo poi in un indice sintetico (SACA – Stato Ambientale dei Corsi d'Acqua) la qualità globale;
- acque sotterranee – rete nazionale sulla qualità delle acque sotterranee; il D. Lgs. 152/99 prevede che venga monitorato lo stato quantitativo e qualitativo delle acque sotterranee, esprimendo poi in un indice sintetico (SAAS – Stato Ambientale delle Acque Sotterranee) la qualità globale;
- atmosfera – inventari locali di emissioni in atmosfera, realizzati secondo i criteri previsti dal DM 20/5/91 in attuazione del DPR 203/88, secondo la metodologia europea CORINAIR;
- atmosfera – rete nazionale delle stazioni selezionate della qualità dell'aria; la rete è stata realizzata secondo le indicazioni della Direttiva CEE 96/62 e delle successive norme applicative;
- atmosfera – rete dei carichi critici di acidità totale; rete EMEP 50 x 50 km;
- atmosfera – rete dei carichi critici di azoto nutriente e delle eccedenze; rete EMEP 50 x 50 km.

Non è certo difficile comprendere l'importanza di correlare, ad esempio, l'acidità dei suoli o il loro bilancio in azoto con i carichi critici dovuti alla diffusione atmosferica di alcuni contaminanti, così come si comprende facilmente l'importanza di valutare la concentrazione nel suolo di metalli pesanti o di prodotti fitosanitari unitamente alle loro concentrazioni nelle acque sotterranee.

6.2 DATI DEL MONITORAGGIO A TERRA

I dati derivati dal monitoraggio a terra andranno integrati in una banca dati per la quale sarà necessario definire la struttura, i soggetti coinvolti nelle differenti fasi di acquisizione, aggiornamento ed estrapolazione dei dati e uno schema di metadati da utilizzare come informazioni sui dati ma anche come possibile strumento di ricerca.

Tale banca dati dovrà rapportarsi con le banche dati e i sistemi informativi territoriali esistenti o in fase di sviluppo a livello regionale.

Per la costruzione di una banca dati è necessario definire un sistema di regole necessarie affinché i dati vengano catalogati in maniera standard ed omogenea e possano diventare facilmente disponibili e utilizzabili. Quindi la definizione e la standardizzazione delle regole è un presupposto per l'organizzazione dei sistemi con cui sono classificati e codificati i dati di interesse. Le informazioni devono essere organizzate e strutturate in modo che non rappresentino una conoscenza episodica ed emergenziale, ma sistematica e continua, capace di dare una rappresentazione della realtà consistente e covariante con i cambiamenti che in essa si manifestano.

L'efficienza di una banca dati si misura dalla sua completezza, omogeneità, chiarezza, facilità di consultazione e possibilità di un facile e veloce aggiornamento. I campi che ne costituiscono la struttura devono essere definiti in maniera univoca, in modo da evitare ripetizioni d'informazioni, che creerebbero un appesantimento della struttura ed una minore gestibilità dei dati. Particolare attenzione, inoltre, va posta nel definire i campi in modo da avere un campo per ogni informazione (dato) significativa. Una buona struttura permetterà di effettuare ricerche, analisi ed estrazioni in modo efficiente e funzionale.

I dati che andranno a popolare la banca dati possono essere suddivisi in due categorie principali:

- *Dati diretti*: che derivano da misure dirette e dei quali quindi è possibile sapere le informazioni che riguardano lo strumento utilizzato per effettuare le misure, il protocollo operativo seguito e la precisione con cui il dato è stato ricavato.
- *Dati indiretti*: sono costituiti da tutte quelle informazioni che sono tratte da banche dati o da documenti esistenti, dalla rete Internet e da altre fonti. Questi dati possono, per ovvie ragioni, non risultare omogenei tra di loro e di conseguenza sarà necessario individuare, in base ai criteri di cui si parlerà in seguito, dei campi o delle interfacce che permettano di convertirli in opportune codifiche, unità di misura, scale, ecc.

Al fine di verificare l'affidabilità del dato è necessario che tutte le informazioni siano accompagnate da un documento che ne indichi la provenienza, la data di creazione e la persona e l'ente responsabile della gestione delle informazioni richieste. È necessario inoltre, che sia specificata la data in cui il dato è stato raccolto e archiviato e i differenti passaggi che hanno permesso il suo inserimento in banca dati.

E' molto importante curare l'aspetto della qualità del dato (precisione, affidabilità, provenienza, rappresentatività, fondatezza scientifica, disponibilità,...) e perciò risulta importantissimo il concetto di *metadata*, inteso come informazione che intende descrivere i dati ad un livello di astrazione maggiore rispetto alla rappresentazione in sé del dato. Occorre dunque predisporre delle schede *metadata* per i diversi tipi di dati previsti (descrittivi, cartografici, analitici).

Per la realizzazione dei *metadata* è opportuno fare riferimento agli standard europei e alle metodiche consigliate a livello europeo ad esempio dalla norma CEN/TC 287.

Una volta individuati gli elementi che popoleranno la banca dati si dovranno stabilire quali sono le tabelle necessarie per contenere tali dati. Di conseguenza bisogna analizzare i dati in modo da aggregare le informazioni in base alla loro tipologia e alla loro quantità; da ciò nasce l'esigenza di creare più tipi di tabelle.

Per una corretta gestione del database sarà inoltre necessario che i dati contenuti nelle varie tabelle possano essere estrapolati per consentire un'analisi più dettagliata del problema che si vuole considerare. Per questa ragione all'interno della struttura dovrà essere possibile creare delle interrogazioni che consentano di prelevare i dati da tabelle differenti e aggregarli in un'altra.

Per ragioni di sicurezza dei dati è utile individuare dei gruppi utenti aventi livelli differenti di accesso alla banca dati. Questi ultimi sono strettamente legati agli utenti/gruppi e alle relative password; i livelli, gli utenti e le password sono definite a loro volta da un amministratore del database che quindi ha le funzioni di gestore della banca dati.

Occorre prestare attenzione sia nell'inserimento delle informazioni anagrafiche/territoriali, utilizzando codici ISTAT, coordinate e unità di misura univocamente definite, sia all'informatizzazione dei dati analitici, che devono essere complete delle caratteristiche di qualità della metodica e quindi del dato.

Bisognerà inoltre curare l'aspetto di scambio dei dati tra più utenti, creando banche dati con software di facile reperibilità e gestione che prevedano una facile possibilità di interazione e compatibilità con altri software.

6.3 DATI DEL TELERILEVAMENTO

Il miglioramento delle tecnologie disponibili e la parallela diminuzione dei costi di acquisizione di immagini aeree e satellitari può rendere molto interessante la relazione tra il monitoraggio ambientale del suolo, il *land cover* e il *remote sensing*, sia come possibile integrazione dei parametri monitorati, sia come ulteriore possibilità di rappresentazione delle informazioni ottenute dal monitoraggio in modo più correlato alla gestione complessiva del territorio.

Per il rilevamento e lo studio di alcuni parametri attribuibili a particolari forme di degrado del suolo che interessano superfici di dimensioni molto ampie quali ad esempio l'erosione idrica, è auspicabile fin d'ora ipotizzare l'eventuale uso di sistemi di monitoraggio alternativi al

campionamento puntuale, come ad esempio immagini fotografiche e/o telerilevate, in grado di restituire risultati a grande scala. Le immagini telerilevate da satellite rappresentano lo strumento più innovativo di conoscenza del territorio per l'analisi e il monitoraggio di fenomeni naturali ed antropici e permettono inoltre di seguire l'evoluzione nel tempo dei fenomeni investigati tramite l'analisi di immagini riprese in epoche diverse.

I più recenti documenti europei sulla costruzione di indicatori ambientali sulla qualità del suolo e del territorio fanno, ad esempio, un ampio utilizzo della copertura del suolo (*land cover*) e dell'uso del suolo (*land use*). Si pensi, ad esempio, agli indicatori sulla superficie impermeabilizzata (*sealing*), sulla frammentazione del territorio e delle foreste, sulla erosione del suolo e delle coste. E' perciò evidente che un uso integrato delle informazioni che arrivano dal monitoraggio diretto di alcune caratteristiche del suolo deve prevedere la correlazione con i dati da telerilevamento e con i dati statistici, per fornire una più ampia rappresentatività dei dati stessi.

6.4 ELABORAZIONE DEI DATI E REPORTING

Come sopra riportato il database deve essere in grado di archiviare e gestire i dati relativi alla georeferenziazione dei siti campionati (data-base con campo chiave sul codice di riferimento o su altro campo definito in modo univoco) e le informazioni soggette ad aggiornamento periodico (misure sperimentali), per giungere a una efficace valutazione dei principali cambiamenti chimici, fisici e chimico-fisici avvenuti nel tempo.

E' inoltre necessario che i punti di campionamento siano descritti attraverso schede monografiche che definiscano accuratamente l'ambiente nei suoi vari aspetti quali topografia, morfologia, geologia, vegetazione, uso del suolo, litologia (parent material), substrato ecc... Come cartografia di riferimento per la localizzazione dei punti di rilevamento devono essere utilizzate le carte tecniche regionali, possibilmente alla scala 1:10.000 e comunque non inferiori a 1:25.000. Deve inoltre essere precisato il sistema di riferimento adottato per la georeferenziazione (UTM32, Gauss-Boaga, o altro), in modo da permettere il passaggio da un sistema di coordinate all'altro.

Particolare attenzione nella progettazione del database deve essere rivolta alla possibilità di mettere in relazione i vari parametri inseriti ed i risultati di altri progetti volti più nello specifico alla caratterizzazione dei suoli, come il progetto Carta dei Suoli d'Italia alla scala 1:250.000; questo permetterà di giungere più facilmente ad una valutazione geografica dei fenomeni di degrado individuati. Tale pratica infatti non può prescindere da una adeguata conoscenza della classificazione (*Soil Taxonomy*, FAO UNESCO 1990, WRB 1998), della geografia e della distribuzione spaziale dei suoli (*Soil Region*, *Soil Scape*, *Soil Body/UC*). Ad esempio, in funzione del materiale dal quale il suolo deriva (vari tipi di rocce, alcune delle quali più ricche in metalli pesanti di altre), e dei fenomeni di pedogenesi che esso ha subito nel tempo, esisterà sempre un certo livello di presenza di metalli pesanti indipendente dall'azione antropica che andrà preso in considerazione nel momento dell'interpretazione e della spazializzazione dei risultati.

La descrizione e la spazializzazione, quest'ultima intesa come realizzazione di mappe, dei fenomeni fisici e chimici di degrado del suolo (es. l'evoluzione della concentrazione nel suolo delle sostanze inquinanti) rappresentano infatti un problema di non facile risoluzione, che spesso richiede l'ausilio di modelli di precisione in grado di analizzare tutte le variabili in gioco e di rispondere alle esigenze.

A seconda del tipo di informazioni che si vogliono evidenziare esistono vari metodi di rappresentazioni che possono essere distinti in:

- rappresentazioni grafico-statistiche;

– rappresentazioni cartografiche.

Le rappresentazioni grafico-statistiche consistono nel creare diagrammi (istogrammi, torte, linee) che descrivono la quantità di informazioni a disposizione o la distribuzione percentuale delle informazioni derivate dai dati o altre elaborazioni eseguite a partire dai dati a disposizione.

La cartografia si propone invece come scopo la rappresentazione dell'ubicazione e della distribuzione geografica delle informazioni dedotte dai dati ai fini del successivo utilizzo della carta come elemento conoscitivo o come strumento di lavoro.

Nelle rappresentazioni cartografiche gli oggetti territoriali sono definiti con l'utilizzo di due componenti di diversa natura: una componente geometrica e una descrittiva. La prima informa sulla localizzazione, sulla forma e sulle dimensioni dell'oggetto territoriale rappresentato sulla carta, mentre la seconda fornisce la descrizione dell'oggetto facendo uso di accorgimenti grafici (quali il tratto, il colore, la campitura, la simbologia, i testi ecc.) che aggiungono delle informazioni sull'elemento descritto.

La visualizzazione sintetica degli accorgimenti sopra descritti viene rappresentata nella carta attraverso la legenda che costituisce uno strumento fondamentale e necessario per l'interpretazione degli elementi descritti nella mappa tematica.

Al fine di risolvere problemi di interpretazioni specifiche relative a temi quali descrizione ed interpretazione dei dati sperimentali, controllo e previsione della qualità del suolo, identificazione delle sorgenti inquinanti e delle aree soggette a maggiore degrado sono stati sviluppati anche numerosi modelli che si differenziano sia per l'approccio teorico al problema, sia per il grado di approssimazione con il quale sono trattati i vari fenomeni di degrado.

L'approccio modellistico nel campo del controllo della qualità e del degrado del suolo, rimane uno strumento indispensabile per la "descrizione" dei fenomeni di degrado rilevati dalla rete di monitoraggio, per la loro spazializzazione ed eventuale "previsione".

Di fondamentale importanza per la gestione dei risultati della rete sarà quindi la digitalizzazione delle informazioni ottenute sfruttando le potenzialità di sintesi di un Sistema Informativo Geografico (G.I.S.), in grado di gestire e visualizzare dati su supporto informatico. L'utilizzo di tale strumento consente di visualizzare i risultati ottenuti integrandoli eventualmente con altre informazioni (ad esempio la copertura del suolo o i risultati di altre reti di monitoraggio), valide ai fini di una migliore valutazione dello stato del suolo e del suo grado di vulnerabilità.

I dati validati ed elaborati e le rappresentazioni cartografiche che ne derivano, anche attraverso le integrazioni con i dati statistici e da telerilevamento, devono consentire un adeguato reporting sullo stato ambientale del suolo a diversi livelli territoriali (provinciale, regionale, nazionale, europeo) e a differenti gradi di approfondimento e di integrazione; sarà inoltre possibile dall'integrazione dei dati disponibili provenienti dalle diverse fonti elaborare indicatori ambientali secondo il modello DPSIR.

Ricordata ancora l'importanza della verifica della qualità dei dati, si possono sinteticamente elencare le possibili tipologie di reporting:

- un reporting sintetico, semplice e di facile e libero accesso, come quello generalmente utilizzato nelle relazioni sullo stato dell'ambiente a diversi livelli territoriali; questo reporting deve utilizzare indicatori sintetici, di chiara interpretazione, e deve essere reso disponibile al pubblico anche attraverso siti web;
- un reporting tri-dimensionale, dove la terza dimensione è la profondità del suolo; la costruzione di questo reporting presuppone una adeguata conoscenza dei profili del suolo, tipico della pedologia, che permette una più corretta interpretazione dei dati analitici ritrovati negli orizzonti superficiali o delle informazioni derivate da telerilevamento; questo livello di reporting prevede anche l'integrazione con le altre reti di monitoraggio, con particolare riferimento a quella delle acque; è un livello di reporting più impegnativo e più approfondito, che può essere previsto solo a scadenze temporali più lunghe, sia come prima versione, sia come successivi aggiornamenti;

- un reporting quadri-dimensionale, dove alle tre dimensioni spaziali si aggiunge il tempo; oltre alle considerazioni fatte al punto precedente, tutte qui richiamabili, occorre considerare che molti parametri del suolo variano molto lentamente, e dunque il monitoraggio prevede scale temporali piuttosto ampie (3-10 anni); questo tipo di reporting può essere dunque previsto solo dopo diversi anni dall'entrata a regime della rete di monitoraggio;
- un reporting settoriale, fatto rispetto ad alcuni settori economici (agricoltura, turismo, trasporti, ...) o a specifiche problematiche del suolo (siti contaminati, metalli pesanti, erosione, ...); a sua volta questo reporting può essere di tipo sintetico, tri-dimensionale o quadri-dimensionale, in funzione dei dati disponibili.

Per tutte queste attività di reporting, è indispensabile costruire degli indicatori nel rispetto dello schema DPSIR e delle linee operative definite a livello europeo (EEA ed ETC_TE) e nazionale (APAT e CTN).

Come evidenziato anche nella direttiva europea 2003/4/EC è necessario inoltre definire un sistema di accesso ai dati da parte del pubblico.

BIBLIOGRAFIA

- Alef K., Nannipieri P. 1995, *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press, pp. 576.
- Anderson J.P.E., Domsch K.H. 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil. *Soil Biol. Biochem.* 10: 215-221.
- Anderson J.P.E., Domsch K.H. 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biol. Biochem.* 21: 471-479.
- Anderson J.P.E., Domsch K.H. 1990. Application of eco-physiological quotients (qCO_2 and qD) on microbial biomass from soils of different cropping histories. *Soil Biol. Biochem.* 10: 251-255
- Anderson J.P.E., Domsch K.H. 1993. The metabolic quotient for CO_2 (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 25: 393-395.
- ANPA/ARPA Piemonte "Il monitoraggio del suolo in Europa e le basi per il monitoraggio nazionale" - Il contributo del Centro Tematico Nazionale Suolo e Siti Contaminati alla conoscenza del suolo, Atti del seminario. Torino, 10/2000.
- ANPA – CTN_SSC “Sviluppo di indicatori per il suolo e i siti contaminati” - ANPA - Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente RTI CTN_SSC 1/2000 Roma.
- ANPA – CTN_SSC “Indicatori e Indici ecotossicologici e biologici applicati al suolo” - ANPA - Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente RTI CTN_SSC 3/2000 Roma.
- ANPA – CTN_SSC "Censimento delle reti di monitoraggio sul suolo in Europa" - Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. RTI CTN_SSC 2/2000. Roma, 12/2000.
- ANPA – CTN_SSC “Elementi di progettazione della rete nazionale di monitoraggio del suolo a fini ambientali” - ANPA - Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. RTI CTN_SSC 2/2001. Roma, 11/2001.
- ANPA – CTN_SSC “Utilizzo di indicatori ecotossicologici e biologici” - Guida tecnica su metodi di analisi per il suolo e i siti contaminati - ANPA - Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente RTI CTN_SSC 2/2002 Roma, 04/2003
- ANPA – CTN_SSC “Atlante degli indicatori del suolo” - ANPA - Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. RTI CTN_SSC 3/2001. Roma, 12/2001.
- ARPA VENETO – Osservatorio Regionale Suolo (2004) “Manuale per la descrizione del suolo”
- ARPA VENETO – Osservatorio Regionale Suolo (2004) “Manuale per la descrizione delle unità tipologiche di suolo”
- ASAE (American Society of Agricultural Engineers), 1982. Soil penetrometer, Agr. Eng. Yearbook, ASAE Standard, ASAE S313.1, ASAE, St. Joseph, MI.
- Bazzoffi P.-1984. Erosione sui versanti e conseguente sedimentazione in piccoli serbatoi artificiali .Nota III: Validazione di alcuni modelli di previsione dell'erosione (USLE, GAVRILOVIC, PSIAC) per mezzo del confronto fra i valori stimati e quelli effettivamente misurati attraverso la sedimentazione negli invasi. *Annali dell'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo-Firenze* vol.XV pp.149-188.
- Bazzoffi P.,Mbagwu J.S.C., 1986. A structural stability ranking of some soils from north central Italy by the water stability index and sixteen other indices. *Annali Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo.Firenze* vol XVII, pp.89-98.

- Bazzoffi P., Chisci G., Missere D. 1989. Influenza delle opere di livellamento e scasso sull'erosione del suolo nella collina cesenate. *Rivista di Agronomia* anno XXIII-n.3 pp.213-221.
- P. Bazzoffi, S. Pellegrini, S. Vacca. 1995 Analisi e valutazione del processo di eutrofizzazione delle acque del sistema Flumendosa-Campidano nota IV: aspetti relativi all'erosione ed alla sedimentazione negli invasi Flumendosa E Mulargia. Convegno SISS 6-10 Giugno 1995: Il ruolo della pedologia nella pianificazione del territorio Cagliari.pag. 57-67.
- Bazzoffi P., Pellegrini S., Chisci G., Papini R., Scagnozzi A. 1997. Erosione e deflussi a scala parcellare e di bacino in suoli argillosi a diversa utilizzazione nella val d'Era. *Agricoltura Ricerca*, n. 170 pp. 5-20.
- Bazzoffi P. Chisci G.; 1999. Tecniche di conservazione del suolo in vigneti e pescheti della collina cesenate. *Rivista di Agronomia*, (3):177-184.
- Bazzoffi P., Pellegrini S., Chisci G., Rocchini A., 1999. Variazioni indotte sui deflussi e sull'erosione da differenti usi agricoli del suolo. In: *La difesa dalle alluvioni – Convegno scientifico in occasione del trentennale dell'alluvione di Firenze*, CNR Ed., Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, Pubblicazione n. 1963, a cura di Falciai M.e Preti F., pp. 427-437.
- Bazzoffi. P. Metodologia di rilievo di un indicatore di tillage erosion basato sull'aero-fotogrammetria di precisione. *Atti Conv. Naz. Scienza del Suolo*. Venezia 12-16 giugno 2000 ed. Carlo Bini. pp239-249.
- Bazzoffi P. 2000. Interrimento dei laghi collinari: modelli di previsione e metodologia di misura diretta. *Atti dell'Accademia dei Georgofili* anno 1999. Vol. XLVI pp125-152.
- Bazzoffi. P. 2000. Metodologia di rilievo di un indicatore di tillage erosion basato sull'aero-fotogrammetria di precisione. *Atti Conv. Naz. Scienza del Suolo*. ed. Carlo Bini. p. 239-249.
- Bazzoffi P., 2002. Impact of human activities on soil loss, Direct and indirect evaluation. "Sustainable Soil Management for Environmental Protection: A soil Physical Approach. Reiskirchen:Catena Verlag. *Advances in Geoecology*; 35. (Pagliai M. and Jones R. eds.) pp. 429-442.
- Bazzoffi P. 2002. Integrated Photogrammetric-celerimetric analysis to detect soil translocation due to land leveling. 12° Conferenza Internazionale sulla Conservazione del Suolo: "Sustainable Utilization of Global Soil and Water Resources", ISCO. Pechino 26-31 Maggio 2002 (in stampa).
- Bazzoffi P (2002): Un indicatore di Tillage Erosion basato sull'aerofotogrammetria di precisione. Convegno Società Italiana di Scienza del Suolo - Venezia 12-16 giugno 2000.
- Benedetti A., Rossi G., Dell'Abate M.T., Canali S. 1992. Influenza dell'essiccazione all'aria del terreno sulla misura della respirazione e delle attività deidrogenasiche ed ureasiche. *Atti del X Convegno Nazionale della Società Italiana di Chimica Agraria*, Roma, 209-216.
- Benedetti A., Sebastiani G. 1996. Determination of potentially mineralizable nitrogen in agricultural soils. *Biol. Fert. Soil* 21: 114-120.
- Bloem J., Bolhuis P.R., Veninga M.R., Wieringa J. (1995), Microscopic methods for counting bacteria and fungi in soil. In: *Methods of Applied Soil Microbiology and Biochemistry* (K. Alef and P. Nannipieri, Eds.), Academic Press, London, pp. 162-173.
- Blum W.E.H. 1990. The challenge of soil protection in Europe. *Environmental Conservation* 17. In: *World Resources Institute, 1991. Accounts Overdue. Natural Resource Depreciation in Costa Rica*. Oxford University Press. Oxford, New York.
- Blum W.E.H. 1998. Soil degradation caused by industrialization and urbanization. In: Blume H.P., H. Eger, E. Fleischhauer, A. Hebel, C. Reij, K.G. Steiner (Eds.): *Towards Sustainable Land Use*, Vol. I, 755-766, *Advances in Geoecology* 31, Catena Verlag, Reiskirchen.

- Bremner J.M. (1965a) Nitrogen availability indexes. In Black C.A. Evans D.D., White J.L., Ensminger L.L., Clark f.E. (Eds.) *Met.ods of Soil Analysis*. American Society of agronomy, Crop Science Society of America, Madison, 1324-1345.
- Bremner J.M. (1965b) Inorganic forms of nitrogen. In Black C.A. Evans D.D., White J.L., Ensminger L.L., Clark f.E. (Eds.) *Met.ods of Soil Analysis*. American Society of agronomy, Crop Science Society of America, Madison, 1179-1237.
- Bretzel F., Lubrano L., Petruzzelli G. a) *-La qualità del suolo in ambiente urbano, studio preliminare nella città di Pisa*. "Qualità del suolo". pp 82-88 Milano 1997
- Bretzel F., Lubrano L., Petruzzelli G. b) *-Problemi di inquinamento del suolo nella progettazione del verde urbano*. Congresso Verde Urbano e Didattica, La Spezia, maggio 1997, in corso di stampa sulla rivista Acer.
- Bretzel F., Lubrano L., Petruzzelli G. c) *-Heavy metals in soils and plants in the city of Pisa*. II International Conference on Element Cycling in the Environment, Varsavia ottobre 1997
- Bretzel F., Lubrano L., Petruzzelli G. d) *-La qualità del suolo in ambiente urbano*. III Congresso Nazionale di Chimica Ambientale, pp. 142-143 , Gallipoli 1997
- British Geological Survey Soil Sampling: a BSG guide 1998
- Brookes P.C., Heijnen C.E., Mcgrath S.P., Vance E.D. 1986. Soil microbial biomass estimates in soils contaminated with metals. *Soil Biol. Biochem.* 18, 383-388.
- Brookes P.C., Mcgrath S.P. 1984. Effects of heavy metal toxicity on the size of the soil microbial community. *Journal of Soil Science.* 35, 314-346.
- Brookes P.C. 1993. The potential of microbiological properties as indicators in soil pollution monitoring. In: Schulin R., Desales A., Webster R. & von Steiger B. (eds.) *Soil monitoring: early detection and surveying of soil contamination and degradation*. Birkhäuser, Basel, pp. 229-254.
- Brookes P.C. 1995. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biol. Fertil. Soils* 19: 269-279.
- Bullock P. and Gregory P.J. *Soils in the Urban Environment*. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1991.
- Chisci G., Bazzoffi P., Mbagwu J.S.C. 1989-Comparison of aggregate stability indices for soil classification and assessment of soil management practices. *Soil Thecnology*. vol.2. June 1989, pp 113-133.
- Craul P.J. *Urban Soil in Landscape Design*. John Wiley & Sons, USA 1992
- De Jong. E., Begg. C.BM., Kachanoski. Rg. -1983. Estimates of soil erosion and deposition for some Saskatchewan soils. *Can. J. Soil Sci.* 63. 607-617.
- Dick R.P. 1994. Soil enzyme activities as integrative indicators of soil health. In: Pankhurst, C.E., Doube B.M., Gupta V.V.S.R. (eds.) *Biological indicators of soil health*. CAB International, Wallingford, pp. 121-156.
- Domsch K.H., Beck Th., Anderson J.P.E., Sodestrom B., Parkinson D., Trolldenier G. (1979). A comparison of methods for soil microbial population and biomass studies. *Z. Pflanzenernaher, Bodenkd.* 142:520-533.
- European Environmental Agency 1999. Environment in the European Union at the turn of the century. Chapter 3.6, Soil degradation, pp. 183-202.
- European Environmental Agency "Proposal for a European soil monitoring and assessment framework" - Technical Report 61, 5/2001
- EUROSTAT "Technical Document n° 4 Lucas Land Use / Cover Area Frame Statistical Survey" - 4/2002

- FAO/ECE "International Workshop on Harmonisation of Soil Conservation Monitoring Systems – Budapest" - 1993;
- Fliessbach A., Reber H. (1991). Auswirkungen einer langjährigen Zufuhr von Klarschlamm auf Bodenmikroorganismen und ihre Leistungen. *Ber Ökolog Forschung (Julig)* 6:327-358.
- Gianfreda L., Bollag J.M. 1996. Influence of natural and anthropogenic factors on enzyme activities in soil. In: Stosky G., Bollag J.M. (eds.) *Soil Biochemistry*, Vol. 9, Marcel Dekker, New York, pp. 123-194.
- Insam H., Haselwander K. 1989. Metabolic quotient of the soil microflora in relation to plant succession. *Oecologia* 79:174-178.
- Isermeyer H. 1952. Eine einfache methode sur bestimmung der bodenatmung und der karbonate im boden. *Z. Pflanzenernah Bodenk.* 56: 26-38.
- Jenkinson D.S., Ladd J.N. 1981. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: Paul E.A., Ladd J.N. (eds.) *Soil biochemistry*, Vol. 5, Marcel Dekker, New York, pp. 415-471.
- Jenkinson D.S., Powlson D.S. 1976. The effects of biocidal treatments on methabolismm in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.* 8: 209-213.
- Jones J.G., Simon B.M. (1975), An investigation of errors in direct counts of aquatic bacteria by epifluorescence microscopy, with reference to a new method of dyeing membrane filters. *Journal of Applied Bacteriology*, 39, 317-329.
- Karl D.M. (1986), Determination of in situ microbial biomass, viability, metabolism, and growth. In: *Bacteria in Nature*, Vol. 2 (J.S. Poindexter and E.R. Leadbetter, Eds.), Plenum Press, New York, pp. 85-176.
- Kell D.B., Kaprelyants A.S., Weichart D.H., Harwood C.R., Barer M.R. (1998), Viability and activity in readily culturable bacteria: a review and discussion of the practical issues. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 73, 169-187.
- Marsili A., Servadio P., Pagliai M. e Vignozzi N. 1998. Changes of some physical properties of a clay soil following the passage of rubber and metal tracked tractors. *Soil and Tillage Research*, 1331: 1-15.
- Miedema R., Pape Th., Van de Wall G.J., 1974. A method to impregnate wet soil samples, producing high quality thin sections. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 22: 37-39.
- Ministero per le Politiche Agricole e Forestali. D.M. 23 febbraio 2004. Approvazione dei metodi ufficiali di analisi biochimica del suolo. *Gazzetta Ufficiale n. 61 del 13 marzo 2004, Supplemento Ordinario n. 42.*
- Murphy C.P., 1986. Thin section preparation of soils and sediments. A B Academic Publishers, Herts. pp. 149.
- Pagliai M., 1988. Soil porosity aspects. *International Agrophysics*, 4, 215-232.
- Pagliai, M., La Marca, M. and Lucamante, G. 1983. Micromorphometric and micromorphological investigations of a clay loam soil in viticulture under zero and conventional tillage. *Journal of Soil Science*, 34: 391-403.
- Pagliai, M., La Marca, M., Lucamante, G. and Genovese, L. 1984. Effects of zero and conventional tillage on the length and irregularity of elongated pores in a clay loam soil under viticulture. *Soil and Tillage Research*, 4: 433-444.
- Pinzari F., Trinchera A., Benedetti A., Sequi P. 1999. Use of biochemical indexes in the Mediterranean environment: comparison among soils under different forest vegetation, *Journal of Microbiological Methods* 36:21-28.
- Quine T.A., Walling D.E. 1993. Use of Caesium-137 measurements to investigate relationships between erosion rates and topography. In Thomas D.S.G.- Allison R.J. (eds.), *Landscape sensitivity*. Wiley, Chichester pp.31-48.
- Servadio P., Marsili A., Pagliai M., Pellegrini S., Vignozzi N. 2001. Effects on some clay soil qualities following the passage of rubber-tracked and wheeled tractors in central Italy. *Soil and Tillage Research*, 61: 143-155.

- S.I.L.P.A. (1999): Dall'analisi del terreno al consiglio di concimazione. ASSAM Regione Marche
- SISS "Metodi di analisi microbiologica del suolo" - Ministero per le Politiche Agricole, Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo, Collana di metodi analitici per l'agricoltura, 2003
- SISS "Metodi di analisi chimica del suolo" - Ministero per le Politiche Agricole, Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo, Collana di metodi analitici per l'agricoltura, 2000
- SISS "Metodi di analisi fisica del suolo" - Ministero per le Politiche Agricole, Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo, Collana di metodi analitici per l'agricoltura, 1997
- Stanford G., Smith S.J. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36: 465-472.
- Stenberg B. 1999. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. *Acta Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci.* 49: 1-24.
- Stotzky G., Goos R.D., Timonin M.I. 1962. Microbial changes occurring in soil as a result of storage. *Plant and Soil*, 16: 1-18.
- Trincherà A., Pinzari F., Benedetti A., Sequi P. 1999. Use of biochemical indexes and changes in organic matter dynamics in a Mediterranean environment: a comparison of soils under arable and set-aside management. *Organic Geochemistry* 30: 453-459.
- Trincherà A., Pinzari F., Benedetti A. 2001. Should we be able to define soil quality before "restoring" it? Use of soil quality indicators in Mediterranean ecosystems. *Minerva Biotecnologica* 13: 13-18.
- Turkelboom F., Poesen J., Oheler L., Ongprasert S. 1999. Reassessment of tillage erosion rates by manual tillage on steep slopes in northern Thailand. *Soil and Tillage Research*, 51, 245-259.
- UNEP e EEA "Down to earth: soil degradation and sustainable development in Europe" - EEA Environmental issue series n° 16, 2000
- Van Bavel, C.H.M., 1949. Mean weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 14 (1), 20-23.
- Vance E.D., Brookes P.C., Jenkinson D.S. 1987. An extraction method for measuring microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.* 19: 703-707.
- Wardle D.A., Ghani A. 1995. A critique of the microbial metabolic quotient qCO_2 as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. *Soil Biol. Biochem.* 27: 1601-1610.
- Wischmeier w. h., Smith d. d. 1978 - Predicting rainfall erosion losses. Guide to conservation planning. USDA Handbook n. 537, Washington, D.C.

ELENCO ALLEGATI

- ALLEGATO 1*** SCELTA DEI SITI PER UNA RETE NAZIONALE DI MONITORAGGIO AMBIENTALE DEI SUOLI: L'ESEMPIO DEL VENETO
- ALLEGATO 2*** UBICAZIONE DELLE STAZIONI DELLE RETI DI MONITORAGGIO DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA
- ALLEGATO 3*** MONITORAGGIO DEI SUOLI URBANI
- ALLEGATO 4*** PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEL SUOLO E LORO SIGNIFICATO
- ALLEGATO 5*** CTN-TES PROGRAMMA PER IL PRELIEVO E L'ANALISI DEL SUOLO PER IL MONITORAGGIO DEL CONTENUTO DI METALLI PESANTI : DESCRIZIONE DEL SITO DI PRELIEVO E CAMPIONAMENTO