



ANPA

Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

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

RTI CTN_SSC 2/2001

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

Renzo BARBERIS, Gabriele FABIETTI Agenzia Regionale Protezione Ambientale - Piemonte
Paolo GIANDON Agenzia Regionale Protezione Ambientale - Veneto
Stefano BRENNA Ente Regionale di Sviluppo Agricolo della Lombardia
Nicola FILIPPI European Soil Bureau, Ispra VA
Paolo SEQUI, Rosa FRANCAVIGLIA, Roberta FARINA Istituto Sperimentale Nutrizione Piante -
Roma

Coordinamento:

Renzo BARBERIS (ARPA Piemonte), **Antonio PUGLIESE** (ANPA – Roma)

Gruppo di lavoro

Gianluca ALESSIO (ARPA Piemonte), Daniela BALLARDINI (ARPA Emilia Romagna), Meri BARBAFIERI (Istituto per la Chimica del Terreno - CNR Pisa), Paolo BAZZOFFI (Istituto Sperimentale Studio Difesa Suolo – Firenze), Danila BEVILACQUA (ARPA Emilia Romagna), Paola BOSCHETTI (ARPA Piemonte), Stefano BRENN (Ente Regionale di Sviluppo Agricolo della Lombardia), Monica CASOTTI (ARPA Toscana), Nicoletta DOTTI (ARPA Liguria), Gabriele FABIETTI (ARPA Piemonte), Roberta FARINA (Istituto Sperimentale Nutrizione Piante – Roma), Nicola FILIPPI (European Soil Bureau Ispra VA), Rosa FRANCAVIGLIA (Istituto Sperimentale Nutrizione Piante – Roma), Paolo GIANDON (ARPA Veneto), Carlo JACOMINI (ANPA – Roma), Monica LAZZARI (ARPA Liguria), Sandro LEONCINI (ARPA Liguria), Luca MONTANARELLA (European Soil Bureau Ispra - VA), Pina NAPPI (ARPA Piemonte), Marcello PAGLIAI (Istituto Sperimentale Studio Difesa Suolo – Firenze), Aldo PANZIA OGLIETTI (ARPA Piemonte), Gianniantonio PETRUZZELLI (Istituto per la Chimica del Terreno - CNR Pisa), Federico REGIS (ARPA Piemonte), Carlo RIGHINI (ARPA Toscana), Carlo ROAGNA (ARPA Piemonte), Licia RUBBI (ARPA Emilia Romagna), Ezio RUSCO (European Soil Bureau Ispra VA), Paolo SEQUI (Istituto Sperimentale Nutrizione Piante – Roma), Eliana TASSI (Istituto per la Chimica del Terreno - CNR Pisa), Silvia TRIVELLATO (ARPA Veneto), Marinella VITO (ARPA Campania).

Responsabile di progetto ANPA
Antonio Pugliese



Responsabile CTN SSC
Renzo Barberis

Informazioni legali

L'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente o le persone che agiscono per conto dell'Agenzia stessa non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo rapporto.

Informazioni aggiuntive sull'argomento sono disponibili nei siti Internet

- <http://www.sinanet.anpa.it>
- <http://www.arpa.piemonte.it/ctn>

Supervisione editoriale a cura di:
ARPA Piemonte

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Stampato in Italia

Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

Dipartimento Stato dell'Ambiente, Controlli e Sistemi Informativi

Via Vitaliano Brancati, 48
00144 Roma

Centro Tematico Nazionale – Suolo e Siti Contaminati

c/o Arpa Piemonte - Sede Centrale

Via della Rocca, 49
10123 Torino

CONTRIBUTI

Coordinamento:

Renzo BARBERIS
Antonio PUGLIESE

ARPA Piemonte
ANPA Roma

Realizzazione:

Renzo BARBERIS - Agenzia Regionale Protezione Ambientale – Piemonte
Stefano BRENNA - Ente Regionale di Sviluppo Agricolo della Lombardia
Gabriele FABIETTI - Agenzia Regionale Protezione Ambientale – Piemonte
Rosa FRANCAVIGLIA - Istituto Sperimentale Nutrizione Piante – Roma
Roberta FARINA - Istituto Sperimentale Nutrizione Piante – Roma
Nicola FILIPPI - European Soil Bureau, Ispra VA
Paolo GIANDON - Agenzia Regionale Protezione Ambientale - Veneto
Paolo SEQUI - Istituto Sperimentale Nutrizione Piante – Roma

PREMESSA

I CENTRI TEMATICI NAZIONALI

I Centri Tematici Nazionali (CTN) rappresentano il principale strumento di supporto operativo all'ANPA per l'espletamento di quelle attività di pertinenza nazionale e di coordinamento generale delle attività di alimentazione della base conoscitiva.

Nell'ambito di un sistema informativo distribuito a rete, come si caratterizza il SINANet assume grande importanza la definizione di regole condivise per la realizzazione ed il funzionamento del sistema a tutti i livelli territoriali. Proprio per questo il compito principale dei CTN è il supporto all'ANPA nella definizione delle regole, che si esplicita nella definizione dei dati ritenuti indispensabili per la conoscenza delle matrici ambientali, nella verifica del funzionamento del sistema di acquisizione e trasmissione di questi dati dal livello locale a quello centrale, nel supporto all'ANPA nella produzione di reporting ambientale integrato e tematico.

I CTN attivati sono sei: Atmosfera, Clima ed Emissioni in aria (ACE), Acque Interne e Marino costiere (AIM), Agenti Fisici (AGF), Conservazione della Natura (CON), Rifiuti (RIF), Suolo e Siti Contaminati (SSC).

Ogni CTN è costituito da un insieme di più soggetti a livello regionale o nazionale in cui vengono individuati:

- Una ARPA Leader, con la quale ANPA stipula una Convenzione;
- Una o più ARPA Coleader
- Altri soggetti (ARPA e Istituzioni Principali di Riferimento).

Gli obiettivi comuni per tutti i CTN sono:

- Rassegna della domanda di informazioni, derivante in particolare da leggi e norme europee e nazionali; è stato creato un metadatabase chiamato ODN (Osservatorio della Domanda di informazione proveniente dalla Normativa) nel quale sono state catalogate tutte le domande, implicite ed esplicite, individuate dai CTN;
- Predisposizione di un set di indicatori e indici utili a rappresentare tale domanda; le diverse centinaia di indicatori complessivamente individuati dai CTN sono stati catalogati in apposite schede contenenti le metainformazioni relative alla descrizione e costruzione di ciascun indicatore; tutte le schede sono raccolte in un database sugli indicatori;
- Definizione di un set più ridotto di indicatori giudicati significativi per rispondere alla domanda di informazione nazionale; ogni CTN ha provveduto ad identificare tale set, costituito da alcune decine di indicatori, seguendo criteri comuni concordati con l'ANPA; per ognuno di questi indicatori sono state compilate delle linee guida o manuali per la loro costruzione;
- Censimento delle fonti dei dati presenti sul territorio, con particolare riferimento a quelle utili per la costruzione degli indicatori significativi; come risultato di tale

- censimento, è stato creato il Catalogo italiano delle fonti dei dati ambientali (FONTI), inteso anche come contributo nazionale al Catalogue of Data Sources (CDS) europeo.
- Identificazione delle carenze informative emerse attraverso il confronto fra la domanda di dati da utilizzare per l'elaborazione degli indicatori significativi e la disponibilità effettiva di dati rilevati attraverso l'analisi delle fonti.

In una fase transitoria e sussidiaria, i CTN stanno anche svolgendo i compiti di reperimento dei dati necessari alla costruzione degli indicatori; in una fase a regime tale compito spetterà ai PFR, mentre i CTN dovranno vigilare sulla correttezza dei flussi dei dati verso l'ANPA.

Un ulteriore compito dei centri tematici è quello di supportare l'ANPA nelle attività di reporting ambientale generale e tematico. Queste attività si sono per ora esplicitate sia in occasione della preparazione dei documenti relativi alla terza ed alla quarta Conferenza Nazionale delle Agenzie ambientali, sia nella redazione di report tematici specifici.

IL CTN “SUOLO E SITI CONTAMINATI”

I soggetti partecipanti al CTN SSC sono:

Leader: ARPA Piemonte

Co-leader: ARPA Liguria

Partecipanti: ARPA Emilia Romagna
ARPA Toscana
ARPA Veneto
ARPA Campania

IPR: Istituto di Chimica del Terreno del CNR di Pisa (CNR_PI);
Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante di Roma (ISNP_RM);
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo di Firenze (ISSDS_FI);
European Soil Bureau – Joint Research Center – ISPRA -VA (ESB_IS);
Dipartimento di Chimica Analitica dell'Università di Torino (DICA_TO);
Dipartimento di Protezione e Valorizzazione Agroalimentare della Facoltà di Agraria dell'Università di Bologna, sede distaccata di Reggio Emilia (DIPROVAL_RE);
Ente di Sviluppo Agricolo della Regione Lombardia (ERSAL_MI);
Istituto Nazionale di Economia Agraria (INEA_RM).

Il Comitato di Gestione del CTN SSC è al momento costituito dai seguenti componenti, in rappresentanza di tutti i soggetti Istituzionali partecipanti:

- dott. Renzo Barberis, responsabile del CTN per l'ARPA Piemonte, struttura leader;
- ing. Antonio Pugliese, responsabile per l'ANPA;
- dott.sa Nicoletta Dotti, referente per l'ARPA Liguria, struttura coleader;

- dott.sa Licia Rubbi, referente per l'ARPA Emilia Romagna, partecipante;
- dott.sa Marinella Vito, referente per l'ARPA Campania, partecipante
- dott. Carlo Righini, referente per l'ARPA Toscana, partecipante;
- dott. Paolo Giandon, referente per l'ARPA Veneto, partecipante;
- dott. Gianniantonio Petruzzelli, referente per la IPR Istituto di Chimica del Terreno del CNR di Pisa;
- prof. Paolo Sequi, referente dell'Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante di Roma;
- dott. Marcello Pagliai, referente dell'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo di Firenze.

Le attività del CTN SSC comprendono l'esame della domanda di conoscenza sul suolo derivante da atti di indirizzo, convenzioni, leggi e norme a livello europeo e nazionale, l'individuazione di indicatori e indici utili a descrivere la matrice suolo, le linee guida per la costruzione di questi indicatori e indici, il censimento delle sorgenti dei dati necessari per la formulazione di indicatori e indici e l'acquisizione dei dati disponibili, la qualificazione e l'integrazione di questi dati; il CTN si occupa inoltre di molte altre attività correlate, legate ad esempio agli standard di qualità ambientale o alle guide tecniche sui metodi di analisi.

Per facilitare l'approccio ad una matrice così complessa come il suolo, pur essendo perfettamente consci dell'unicità della matrice stessa, sono state definite quattro diverse tematiche che vogliono rappresentare quattro aspetti particolari, ampiamente correlati tra loro, del suolo:

- Qualità Dei Suoli (Tema 18) – riguarda la rappresentazione del suolo attraverso le sue caratteristiche intrinseche, che meglio lo caratterizzano come matrice naturale in grado di svolgere le numerose e ben note funzioni;
- Degradazione fisica e biologica del suolo (Tema 19) – considera gli aspetti di degradazione della matrice suolo che, soprattutto nell'ultimo secolo, hanno portato o rischiano di portare ad una perdita di parte del suolo o delle sue funzionalità a causa del verificarsi di fenomeni degradativi o di utilizzo del suolo che possono considerarsi irreversibili, almeno nella scala temporale umana;
- Contaminazione dei suoli da fonti diffuse (Tema 20) – considera quegli aspetti qualitativi del suolo che possono essere progressivamente compromessi da un utilizzo dello stesso, soprattutto da parte dell'uomo, con modalità tali da non rispettare i naturali tempi di riequilibrio, vale a dire tali da compromettere la funzione del suolo come filtro biologico;
- Contaminazione puntuale del suolo e siti contaminati (Tema 21) – considera uno dei fenomeni più preoccupanti degli ultimi decenni, vale a dire il moltiplicarsi di situazioni di forte contaminazione di superfici ben definite di suolo da parte di attività antropiche, con necessità di interventi di bonifica che, spesso, non sono in grado di restituire al suolo la sua piena funzionalità.

Il CTN SSC esplica inoltre diverse attività di supporto all'ANPA sulle tematiche specifiche.

SOMMARIO

| | |
|--|----|
| PREMESSA..... | I |
| I Centri Tematici Nazionali..... | I |
| Il CTN “Suolo e Siti Contaminati” | II |
| SOMMARIO | IV |
| | |
| INTRODUZIONE..... | 1 |
| SCOPO DEL DOCUMENTO | 4 |
| | |
| 1. La problematica del suolo a livello europeo | 7 |
| 1.1 Europe-Wide Soil Monitoring Network (EuroSoilNet)..... | 7 |
| 1.2 Le reti di monitoraggio a livello internazionale..... | 11 |
| 1.3 L'esperienza degli altri paesi europei ed extraeuropei..... | 12 |
| | |
| 2. Elementi di organizzazione della rete nazionale..... | 17 |
| 2.1 Obiettivi della rete..... | 19 |
| 2.2 Criteri di Scelta dei siti..... | 20 |
| 2.3 Classificazione dei siti | 23 |
| 2.4 Intensità dei punti..... | 25 |
| 2.5 Parametri e loro priorità | 27 |
| 2.6 Indicatori..... | 29 |
| 2.7 Modalità di campionamento e di analisi | 33 |
| 2.8 Gestione e rappresentazione dei dati..... | 34 |
| | |
| Allegato 1: Descrizione dei parametri acquisiti dalla rete di monitoraggio | 36 |
| Allegato 2: Elenco degli indicatori sviluppati dalla rete di monitoraggio | 45 |
| Allegato 3: Progetti utili per la rete di monitoraggio | 55 |
| Glossario | 64 |
| Elenco degli acronimi | 67 |

INTRODUZIONE

Il suolo va considerato come una risorsa limitata e non rinnovabile in quanto la sua rigenerazione attraverso l'azione chimica e biologica sulla roccia madre richiede un tempo lunghissimo. I suoli si evolvono, infatti, costantemente sotto l'effetto dei principali fattori della pedogenesi, della morfogenesi e dei fattori antropici (uso del suolo, sfruttamento agricolo, apporti esterni localizzati, ricadute atmosferiche...); alcuni dei fenomeni provocati dall'uomo sono irreversibili, oppure richiedono tempi lunghissimi, o in ogni modo superiori rispetto a quelli che hanno causato il degrado, per ristabilire una situazione simile a quella di partenza.

L'emergenza causata da nuovi problemi ambientali, la cui risoluzione implica il coinvolgimento di diversi fattori economici e sociali, e l'esigenza di ottimizzare il rapporto tra produzione e rispetto dell'ambiente nell'attività agricola, provocano un costante incremento della domanda di informazioni relativa al suolo. Si assiste poi ad una diversificazione di questa domanda che si rivolge ad aspetti spesso poco studiati come ad esempio i metalli pesanti.

Inoltre la domanda di informazione sul suolo non è più limitata a dati qualitativi poco precisi, ma è divenuta sistematica con un livello di precisione crescente che richiede informazioni in grado di descrivere l'evoluzione dinamica delle variabili di stato, simulando e/o prevedendo alcuni scenari come ad esempio l'evoluzione della sostanza organica o gli effetti dell'inquinamento diffuso.

Tutto questo mette in evidenza la necessità di prevedere precocemente le evoluzioni del suolo attraverso lo sviluppo di programmi di monitoraggio (Soil Monitoring) in modo da poter rispondere a diverse questioni relative a:

- come gestire ed utilizzare questo patrimonio;
- come diagnosticare le evoluzioni e le ripercussioni sul suolo determinate dall'attività dell'uomo;
- quali sono le possibili vie per conservare e per ripristinare il suolo.

Il monitoraggio dell'evoluzione del suolo non può prescindere dal concetto di qualità del suolo. Negli ultimi anni sono state effettuate numerose proposte per definire la qualità del suolo che comprendono la produttività, la qualità ambientale e la difesa della salute umana; tutte queste definizioni sono riconducibili a due fondamentali concetti, di cui il primo "la capacità del suolo a funzionare" è legato principalmente alle caratteristiche strutturali del terreno ed il secondo "*fitness for use*" esprime un concetto dinamico ed è correlato all'influenza delle attività umane sul suolo. In effetti, la qualità del suolo è definita da entrambi i concetti e può essere espressa come "la capacità del suolo stesso ad esplicare le sue funzioni ed è strettamente legata all'utilizzazione ed alla gestione antropica".

Pertanto la qualità del suolo consiste nell'insieme delle caratteristiche del suolo che permettono di soddisfare gli utilizzatori, sia che esso sia destinato alla coltivazione, alla protezione delle acque sotterranee, alla costruzione di edifici, al mantenimento di aree

protette, e così via. Un'importante parte di questa definizione è il concetto che la qualità è specifica per ciascun suolo.

In tale contesto:

- Per monitoraggio dei suoli (Soil Monitoring) si intende la determinazione sistematica di variabili del suolo al fine di evidenziare cambiamenti nel tempo (FAO/ECE International Workshop on Harmonisation of Soil Conservation Monitoring Systems - Budapest, 1993);
- Per rete di monitoraggio dei suoli (Soil Monitoring Network) si intende un insieme di siti/aree nei quali sono documentati cambiamenti delle caratteristiche del suolo attraverso analisi periodiche, effettuate con metodologie comuni, di un set di parametri appositamente scelti;
- Per rete nazionale di monitoraggio per il suolo, si intende un sistema di siti di monitoraggio che privilegia la dimensione temporale a quella spaziale, con l'obiettivo di ottenere primi elementi di valutazione delle variazioni che, a scala nazionale e a lungo termine, intervengono nelle proprietà correlabili con la qualità del suolo e quindi con i principali fenomeni di degrado. La progettazione di tale sistema è una necessità impellente a livello nazionale e può essere allo stesso tempo una risposta con forti contenuti propositivi alle richieste provenienti dall'Agenzia Europea per l'Ambiente.

Le principali attività da avviare per la realizzazione della rete italiana di monitoraggio ambientale dei suoli, possono essere riassunte nei seguenti punti:

- L'individuazione di siti che compongono la rete sulla base delle combinazioni tipologia di suolo – uso del suolo, delle pressioni e relativi fenomeni di degrado;
- L'allestimento di siti permanenti di monitoraggio;
- Il monitoraggio di un primo set di parametri “sensibili” (o potenzialmente sensibili) per effetto di impatti antropici;
- L'innesto funzionale sulla rete nazionale di altre eventuali reti di monitoraggio specifiche, locali o tematiche.

I principali obiettivi da raggiungere con la realizzazione della rete italiana di monitoraggio ambientale dei suoli, possono essere riassunti nei seguenti punti:

- Il monitoraggio nel tempo (breve e lungo periodo) e nello spazio dei cambiamenti delle caratteristiche e proprietà del suolo, come conseguenza della presenza di forme di degrado ed inquinamento;
- La valutazione della sensibilità a tali mutamenti;
- La previsione delle evoluzioni future;
- Lo sviluppo e la validazione di modelli calibrati sui siti della rete;
- La diffusione dei risultati ottenuti per indirizzare:
 - scelte rivolte ad un uso sostenibile del suolo;
 - 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.

In questo documento sono stati approfonditi alcuni aspetti ritenuti fondamentali per la progettazione di una rete di monitoraggio dei suoli a scala nazionale, tra i quali:

- Principali tematiche trattate relative al suolo (forme di degrado);
- Criteri di scelta, numero e strutturazione dei siti da monitorare;
- Principali parametri ed indicatori da rilevare;
- Frequenza delle campagne di monitoraggio e metodologie di campionamento e di analisi;
- Modalità di gestione e rappresentazione dei dati.

SCOPO DEL DOCUMENTO

Allo stato attuale, non esiste in Italia una rete di monitoraggio ambientale del suolo a fini ambientali, né esiste una legislazione che preveda specificamente la realizzazione di tale rete; solamente alcuni aspetti qualitativi del suolo rientrano in modo collaterale nelle reti di monitoraggio di altre matrici, come l'aria e l'acqua.

Per contro esiste una forte domanda di flussi di dati territorialmente omogenei e tecnicamente validati che, opportunamente incrociati con altri dati statistici o di altra natura, possono permettere la costruzione ed il periodico aggiornamento di indicatori ed indici ambientali sul suolo, rivolti al mondo conoscitivo e soprattutto ai decisori politici.

Questa domanda è rafforzata dai più recenti documenti prodotti a livelli europeo:

- Il documento congiunto tra UNEP e EEA del 2000 ("Down to earth: soil degradation and sustainable development in Europe" EEA Environmental issue series n° 16) sottolinea come uno dei maggiori problemi dei suoli europei sia la carenza di dati e informazioni rilevanti sul suolo; poiché il suolo ha molti utilizzatori, i dati sono raccolti da differenti organizzazioni per diverse finalità e i dati effettivamente utilizzabili a scopo ambientale dai decisori politici risultano essere pochi e mal distribuiti sul territorio;
- L'Agenzia Ambientale Europea (EEA) propone una rete europea di monitoraggio del suolo ("Proposal for a European soil monitoring and assessment framework" EEA Technical Report 61, maggio 2001) come strumento indispensabile per superare il problema della carenza dei dati;
- Il sesto programma di azione ambientale (6EAP), proposto dalla Commissione al Consiglio e al parlamento Europeo, evidenzia come "poco è stato fatto finora per la protezione dei suoli in termini di rilevamento dati e ricerca" e propone un approccio sistematico che si traduca in "una nuova strategia tematica sul suolo".

I rilievi e le proposte fatte a livello europeo sono pienamente condivisibili a livello nazionale; tale condivisione presuppone l'accettazione dei principi contenuti nei citati documenti come elementi di base anche di un approccio nazionale al problema.

Questo documento contiene una proposta del CTN SSC riguardante gli elementi di base da utilizzare per la progettazione di una rete nazionale di monitoraggio ambientale del suolo che sia in grado di fornire in modo costante e continuativo dati omogenei e validati sulla qualità del suolo e sui rapporti esistenti tra uso del suolo e fattori di pressioni che su di esso gravitano.

Scopo del documento è quello di fornire una comune base di discussione rivolta ai soggetti che fanno parte della rete SINAnet, e a tutti quelli comunque interessati alla valorizzazione del suolo, su come arrivare progressivamente all'organizzazione di una rete nazionale, correlata con la rispettiva rete europea, partendo dalla definizione di una serie di elementi comuni. Tale rete dovrebbe permettere di valorizzare al massimo, e in tempi brevi, le attività che, a livello regionale o locale, sono già state avviate o stanno per essere avviate sul tema.

Il documento è preceduto da una breve panoramica della situazione del monitoraggio a livello europeo e dalla presentazione del documento dell'EEA "*Proposal for a European Soil Monitoring and Assessment Framework*" che costituisce un valido punto di riferimento per la progettazione della rete di monitoraggio dei suoli italiana.

1. LA PROBLEMATICAM DEL SUOLO A LIVELLO EUROPEO

L'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA) ha tra i suoi compiti quello di contribuire al miglioramento dell'ambiente in Europa e di favorire le politiche di sviluppo sostenibile, anche attraverso la messa a disposizione dei politici e del pubblico di informazioni relative allo stato dell'ambiente.

Nel Maggio 2001 l'Agenzia ha pubblicato un importante documento già diffuso come bozza nel novembre 1999, EEA: *Proposal for a European Soil Monitoring and Assessment Framework* (di seguito denominato *EuroSoilNet*) in cui sono rese esplicite le preoccupazioni relative allo stato dei suoli europei, soggetti a perdite e a degradazione delle loro funzioni. Nonostante questo allarme sia universalmente condiviso, la quantificazione, la distribuzione geografica e l'area totale dei suoli a rischio non è ancora conosciuta. Allo stato attuale non esiste un programma di monitoraggio della qualità del suolo a livello europeo, mentre i singoli paesi hanno in larga parte attivato loro programmi di monitoraggio.

Il documento indica le linee guida per la realizzazione della rete di monitoraggio dei suoli europei (Europe Wide Soil Monitoring Network: *EuroSoilNet*) e per l'armonizzazione delle reti già esistenti a questi criteri, per la raccolta e il trattamento dei dati e per la loro pubblicazione in forma di cartografie, di tabelle o di grafici.

Da sottolineare è la situazione dell'Italia, la quale risulta priva di reti o campagne di monitoraggio a livello nazionale relative alla matrice suolo, ad eccezione della Rete nazionale che si inserisce nell'ambito del Reg. UE 1091/94 (UN/ECE ICP-Forests).

1.1 EUROPE-WIDE SOIL MONITORING NETWORK (EUROSOILNET)

La necessità di ottenere dati ambientali il più possibile rappresentativi ed omogenei per garantire una adeguata rappresentazione dello stato dell'ambiente ed il confronto tra i diversi paesi appartenenti alla Comunità Europea, ha indotto l'EEA (Environmental European Agency) a redigere una *proposta di realizzazione di rete di monitoraggio dei suoli europei (EuroSoilNet)*, presentata nel documento precedentemente citato.

Scopo principale di tale rete sarà quello di garantire un afflusso costante di dati ambientali per realizzare periodicamente rapporti specifici sullo stato del suolo, per evidenziare eventuali cambiamenti delle sue principali caratteristiche e per prevedere con un certo anticipo l'instaurarsi di fenomeni di degrado di particolare rilevanza. Il collegamento dei dati forniti dalla rete con modelli appositamente scelti risulta inoltre un ottimo strumento per giungere alla stima di caratteristiche del suolo difficilmente misurabili direttamente a così vasta scala.

I problemi principali affrontati in tale documento sono: quali misurazioni effettuare, dove effettuarle e quali metodologie analitiche utilizzare.

Per semplificare le operazioni di monitoraggio relative ad una matrice così complessa sono state individuate quattro principali forme di degrado del suolo che necessitano differenti

metodologie di approccio e la ricerca di diversi parametri per ottenere informazioni efficaci relative allo stato del suolo ed alla sua evoluzione nel tempo.

Le principali forme di degrado individuate sono:

- Contaminazione diffusa
- Contaminazione puntuale
- Perdita di suolo ed impermeabilizzazione
- Erosione.

Il primo passo da compiere è quello del "*soil assessment*", ovvero della definizione dello stato del suolo e dei cambiamenti delle sue condizioni, basato su indicatori definiti prioritariamente e sulla collezione di dati provenienti da siti di monitoraggio e da altre fonti. Inoltre si dovrebbe pervenire alla previsione delle modificazioni che intervengono sul suolo attraverso la comparazione dei dati inventariati in tempi diversi.

La procedura per la valutazione dello stato del suolo è la seguente:

- identificazione degli indicatori rilevanti e delle priorità;
- calcolo degli indicatori attraverso i dati monitorati o stimati;
- validazione dei risultati raggiunti;
- comparazione con i valori obiettivo, con i valori soglia e con quelli di riferimento (se questi esistono).

Un altro punto molto importante delle linee guida riguarda l'armonizzazione dei dati provenienti dalle reti nazionali (MDIAR, Monitoring, Data and Information gathering, Assessing and Reporting) attraverso una rete messa a disposizione dal Centro Europeo di Riferimento per l'Ambiente. L'aggregazione dei dati può essere fatta a più livelli (locale, regionale, nazionale ed europeo). Per ognuno dei quali devono essere individuate delle adeguate figure di riferimento.

Lo scopo finale è quello di arrivare ad una connessione tra le problematiche del suolo, quelle ambientali in genere e quelle economiche e sociali (dal punto di vista del suolo). In seguito alla determinazione dello stato del suolo verranno identificati i rischi di degradazione (suddivisi in chimica, biologica e fisica) e di inquinamento puntuale e diffuso.

Classificazione dei siti di monitoraggio

La futura rete europea di monitoraggio dei suoli prevede tre categorie di siti:

- **Siti chiave nazionali:** siti presenti in ciascun stato, utilizzati come riferimento di base per il coordinamento del monitoraggio nazionale;
- **Siti di riferimento:** utilizzati per il monitoraggio generale, divisi in gruppi e sottogruppi ad esempio secondo l'uso del suolo, i tipi di suolo, ecc. Questi sono individuati gradualmente in base al modello offerto dai siti chiave nazionali;
- **Siti specialistici:** siti addizionali utilizzati per monitorare temi di interesse locale o regionale, individuati nel momento in cui si evidenziano particolari esigenze di monitoraggio.

Tale sistema permette il massimo scambio di informazioni rilevanti e fornisce un meccanismo per l'estensione dei dati ottenuti ad aree non monitorate.

Metodologie di campionamento e parametri considerati

I campionamenti di suolo sono previsti a due profondità prefissate e per orizzonti genetici. In considerazione del fatto che ogni parametro è contraddistinto da caratteristiche peculiari e che spesso una assenza di variabilità del suo valore non è in grado di escludere a priori l'affermarsi di fenomeni di degrado, ogni valore verrà monitorato ad intervalli di tempo non necessariamente definiti, in base alle diverse possibilità di descrivere un cambiamento ed individuare un determinato trend. In questa fase occorre anche considerare che alcuni problemi del suolo sono statici e cumulativi (es. l'inquinamento da metalli pesanti), altri mobili (es. la stabilità di struttura o la compattazione) infatti anche l'erosione è cumulativa poiché il materiale è perso definitivamente, diverso è il caso della stabilità della struttura che è variabile nel tempo.

Seguendo la metodologia già utilizzata nella rete di monitoraggio ICP-Forests, sono stati individuati due differenti livelli di monitoraggio:

- **Livello 1:** monitoraggio su larga scala di parametri primari che devono essere analizzati per tutti i siti ripetutamente, come pH, carbonio organico o azoto totale;
- **Livello 2:** monitoraggio intensivo di aree campionarie territoriali che devono essere rappresentative di problematiche significative per la loro particolare regione; oltre ai parametri previsti per il livello 1 ce ne sono molti altri come CSC, cationi scambiabili o acidità di scambio.

La definizione di un terzo livello è in discussione per integrare l'analisi dell'ecosistema forestale con l'aspetto particolare degli impatti dell'inquinamento atmosferico.

Sono stati inoltre definiti tre gruppi di parametri, a loro volta suddivisi in famiglie:

- **Minimum Data Set (MDS)** (Tabella 1.1): numero ristretto di parametri da monitorare in tutti i siti;
- **Gruppo di parametri regionale** (Tabella 1.1): parametri da monitorare in alcuni siti in aggiunta al gruppo MDS, secondo particolari esigenze locali o regionali (siti specialistici o di riferimento);
- **Parametri "non site"** (Tabella 1.2): informazioni che possono essere raccolte da fonti diverse dai siti, come dati derivanti da censimenti, telerilevamento, ecc.

Tabella 1.1: Minimum data set e dati regionali

| Minimum data set | |
|--|--------------------------|
| Parametri | Famiglia |
| Quota Pendenza Dati meteorologici Geologia Mineralogia Profondità falda | Caratteristiche del sito |
| Classificazione Profilo del suolo | Tipologia di suolo |
| Macro nutrienti (totali ed assimilabili) | Elementi nutritivi |
| pH, CSC, cationi scambiabili, Carbonio organico Totale | Parametri chimici |
| Densità apparente "bulk density" | Parametri fisici |
| Specie chiave | Parametri biologici |
| Metalli pesanti selezionati ad es. Pb | Contaminazione |

Tabella 1.2: Dati regionali

| Dati regionali | |
|------------------------------|--|
| Parametri | Famiglia |
| Descrittivi Desertificazione | Erosività delle piogge Evapotraspirazione Copertura della vegetazione e biomassa Specie chiave |
| Descrittivi Acidificazione | Deposizione acida (umida e secca) Alluminio mobile pH Caratteristiche chimiche delle acque Specie chiave |
| Descrittivi Salinizzazione | Irrigazione Evapotraspirazione Sviluppo salino e sodico Ritenzione idrica Conducibilità elettrica |
| Eutrofizzazione | Deposizione di N (umida e secca) N disponibile del suolo Caratteristiche chimiche delle acque Specie chiave |

Tabella 1.3: Indicatori "non-site"

| Famiglia | Parametri |
|------------------------|---|
| Terre contaminate | Area totale dei siti contaminati |
| Sviluppo di aree verdi | Totale delle nuove aree verdi (ratio of greenfield / brownfield development) |
| Conservazione | Totale delle aree sottoposte a misure di conservazione |
| Uso del suolo | Area totale in classi di uso del suolo: arata/ a pascolo/ foresta/ residenziale/ industriale ecc. |

1.2 LE RETI DI MONITORAGGIO A LIVELLO INTERNAZIONALE

Come già detto non esistono reti di monitoraggio del suolo estese a tutta la comunità europea. Analisi del suolo sono però previste nei due programmi sotto descritti:

The international Cooperative 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 Cooperative Program on Integrated Monitoring (ICP-IM) Forum of European Geological Survey (FOREGS)

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.

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

1.3 L'ESPERIENZA DEGLI ALTRI PAESI EUROPEI ED EXTRAEUROPEI

Dall'analisi delle principali reti di monitoraggio realizzate in Europa ed in altri paesi sono emersi elementi comuni di seguito descritti, quali ad esempio i parametri normalmente utilizzati per la caratterizzazione e la rappresentazione dei fenomeni correlati al degrado del suolo, le metodologie ed i criteri utilizzati per l'individuazione delle zone da monitorare, le caratteristiche principali delle aree di campionamento e le tecniche di prelievo dei campioni.

Parametri considerati

Nelle reti di monitoraggio dei suoli i parametri presi maggiormente in considerazione sono in genere quelli chimici e fisici utilizzati nella descrizione "classica" del suolo in termini di qualità; tra questi soprattutto la sostanza organica, la tessitura, il carbonio organico, il pH, la capacità di scambio cationico e gli elementi nutritivi del suolo (totali e/o disponibili). Quasi sempre vengono ignorati i parametri biologici (microbiologia, flora e fauna del suolo), nonostante siano altrettanto importanti per la valutazione dell'impatto antropico sulla matrice suolo.

Altri parametri presi in considerazione con una certa frequenza, in quanto correlabili a processi di degrado del suolo e facilmente determinabili, sono la stabilità e la dimensione degli aggregati, la conducibilità idraulica, le proprietà idrologiche del suolo in genere, la resistenza alla penetrazione e la porosità.

Spesso la valutazione del degrado del suolo si risolve in un semplice confronto tra il valore di una proprietà del terreno ed un valore guida di riferimento o un valore soglia (ad esempio quelli stabiliti dall'UE nei confronti dei metalli pesanti per l'utilizzo di fanghi di depurazione in agricoltura).

Nelle maggior parte dei casi viene stabilito in partenza un set minimo di parametri (Minimum Data Set – MDS) in grado di rappresentare al meglio i principali problemi di degrado del suolo, i quali vengono misurati almeno una volta o ad intervalli costanti di tempo (Tabella 1.4). L'eterogeneità dei parametri considerati e della frequenza di campionamento è ancora molto marcata e non permette la comparazione dei risultati tra un paese e l'altro della comunità.

Tabella 1.4: Lista dei principali parametri presi in considerazione dalle SMN europee.

| Indicatori | Parametri |
|------------------------------------|---|
| Caratteristiche del sito | Quota Pendenza Dati meteorologici |
| Tipo di suolo | Classificazione del suolo (United States Department of Agriculture - USDA) Tessitura Granulometria Profondità utile Orizzonti diagnostici |
| Copertura del suolo | Classi di vegetazione Principali forme di uso agricolo |
| Elementi nutritivi | Macronutrienti (totali) Macronutrienti (disponibili) Micronutrienti |
| Sostanza organica | Totale Decomposta |
| Parametri chimici | pH Capacità di scambio cationico (CSC) Tasso di saturazione basica (TSB) Cationi acidi scambiabili Conducibilità elettrica |
| Caratteristiche idrologiche | Curva di ritenzione idrica Capacità d'acqua disponibile (Available Water Capacity - AWC) |
| Struttura del suolo | Compattazione Stabilità degli aggregati Erodibilità Porosità Densità apparente (bulk density) Resistenza al taglio |
| Parametri biologici | Biodiversità Biomassa del suolo Respirazione Adenosin trifosfato (ATP) Rapporto carbonio/azoto (C/N) Fauna del suolo |
| Contaminazione | Metalli pesanti Composti chimico-organici Radionuclidi Altri elementi tossici |
| Gestione del suolo | Es.. fertilizzazioni/concimazioni, lavorazione del suolo, incendi, prodotti chimici, carico animale. |

Aree di campionamento

Alcuni paesi europei presentano reti di monitoraggio con aree di campionamento omogeneamente distribuite su tutto il territorio, soprattutto in considerazione di problemi di acidificazione di suoli forestali, principalmente al Nord Europa, mentre altri prendono in considerazione solo alcuni luoghi caratterizzati da particolari problemi di degrado quali ad esempio erosione o desertificazione.

L'individuazione delle aree di campionamento viene effettuata principalmente utilizzando griglie sistematiche (nella maggior parte dei casi di forma rettangolare o quadrata, ed in alcuni casi esagonale o circolare) oppure considerando la rappresentatività dei siti, quest'ultima valutata in base a criteri quali: tipologia di suolo, utilizzo del suolo, unità geomorfologiche ecc. In particolare le principali tipologie di uso del suolo prese in considerazione sono quelle agricole e forestali.

L'individuazione dei siti attraverso sovrapposizione di griglie regolari su carte risulta la metodologia più valida per assicurare una copertura omogenea e completa dell'intero territorio considerato; in questo caso i campionamenti vengono effettuati in corrispondenza dei nodi di intersezione oppure individuando aree all'interno delle celle nelle quali vengono effettuate analisi cluster.

Le dimensioni delle aree di campionamento variano solitamente in funzione dell'omogeneità del suolo presente, aggirandosi in media intorno ai 100 m². La selezione dei siti e il numero di questi, le modalità e la frequenza di campionamento variano a seconda degli obiettivi che ci si propone.

Campionamento dei suoli

Nella maggior parte dei casi, per evidenziare al meglio l'impatto antropico nei confronti della pedosfera e per garantire l'uniformità dei prelievi, i campioni di suolo sono prelevati a profondità fisse (es. ogni 20 cm), ignorando gli orizzonti pedogenetici; questi ultimi vengono però sempre analizzati almeno una volta in prossimità dell'area di campionamento per ottenere le informazioni necessarie alla successiva interpretazione dei fenomeni osservati.

In alcuni casi, soprattutto quando vengono presi in considerazione solo alcuni parametri come la concentrazione di metalli pesanti o la presenza di radionuclidi, il campionamento riguarda esclusivamente lo strato superficiale di suolo (es 0-20 cm o l'orizzonte organico).

Per assecondare la notevole variabilità spaziale che caratterizza tale matrice, nella maggior parte dei casi è stato osservato che i campioni considerati sono composti da più sottocampioni (da 6 a 100) prelevati da altrettanti profili all'interno dell'area individuata.

La ripetizione dei campionamenti nelle varie reti varia anch'essa notevolmente in funzione dei parametri e dei fenomeni considerati, da più volte in un anno (in particolare per fenomeni fortemente influenzati dalla stagione come ad esempio l'erosione idrica), a cinque-dieci anni fino a venti per le proprietà del suolo più stabili nel tempo come, ad esempio, la tessitura o la mineralogia.

La maggior parte dei programmi di monitoraggio, al fine di garantire la massima omogeneità e qualità dei dati forniti, prevede controlli di intercalibrazione tra laboratori.

2. ELEMENTI DI ORGANIZZAZIONE DELLA RETE NAZIONALE

La situazione del monitoraggio in Italia per quanto riguarda il suolo è ancora piuttosto frammentaria e riguarda solo poche realtà regionali e locali. La progettazione di tale struttura è dunque una necessità impellente, anche in risposta alle richieste provenienti dall'Agenzia Europea per l'Ambiente.

È necessario quindi giungere gradualmente ad una rete capillare ed omogenea in grado di ricavare con periodicità parametri sul suolo, attraverso la collaborazione delle Amministrazioni centrali, regionali, locali e le Istituzioni di ricerca.

La definizione di una rete di monitoraggio dei suoli richiede di effettuare delle scelte rispetto alle seguenti questioni:

- **Tipologia di suolo:** visto il numero elevato di tipi di suoli presenti in Italia, la loro complessità può essere analizzata in termini di distribuzione spaziale, frequenza, capacità a rappresentare ambienti pedopaesaggistici e pedoclimatici sottoposti a stress e suscettività a reagire rapidamente a cambiamenti di altri fattori ambientali;
- **Combinazioni suolo-uso del territorio:** queste devono essere limitate ai sistemi principali, ad esempio suoli urbani e non urbani, suoli rappresentativi dell'agricoltura intensiva, prati stabili, foreste. Una questione più complessa è se i siti di monitoraggio debbano essere rappresentativi di normali usi del territorio o se invece tali siti devono essere conservati con lo stesso costante utilizzo. Il secondo caso potrebbe essere accettabile per la foresta mentre potrebbe diventare atipico in tempi brevi nel caso di terreni coltivati;
- **Variabilità spaziale:** i suoli presentano un'ampia variabilità spaziale, e ciò comporta una notevole difficoltà a rilevare variazioni nel tempo delle diverse caratteristiche anche a causa di "rumori di fondo"; è quindi importante scegliere siti omogenei che possano essere trattati statisticamente, in modo che variazioni spaziali e temporali possano essere distinte;
- **Densità delle osservazioni:** una rete di monitoraggio dei suoli dovrebbe essere robusta, cioè i dati raccolti in siti particolari dovrebbero essere ragionevolmente rappresentativi del sistema che ciascun sito rappresenta; ciò condiziona il numero di siti in particolare se si considera le differenti esigenze in relazione ai principali parametri da monitorare;
- **Il contenimento dei costi** e quindi dell'intensità di campionamento e del numero dei siti;
- **Metodi per la selezione dei siti:** i più spesso considerati sono la maglia regolare o griglia, l'approccio geostatistico, il giudizio di un esperto, una combinazione dei primi due oppure la coincidenza con siti di altre reti.

I principali elementi da definire per l'avviamento ed il corretto funzionamento della rete sono quindi:

- definizione delle responsabilità e dei compiti;
- criteri di scelta, classificazione ed intensità dei siti;
- parametri e loro priorità;
- modalità e frequenza di campionamento (compreso il disegno sperimentale dei siti e l'impostazione delle successive analisi statistiche);

- eventuale uso di sistemi di monitoraggio alternativi al campionamento puntuale per alcuni parametri;
- gestione e analisi dei dati;
- modalità di rappresentazione dei dati (eventuale creazione di mappe, ecc.).

La definizione dei siti di monitoraggio, della metodologia di rilevamento dei dati, delle responsabilità e dei compiti degli Enti che saranno coinvolti in questa attività, ha avuto come punti di riferimento le linee guida del documento EEA 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 ecc.

La struttura organizzativa proposta potrà essere utilizzata anche per l'armonizzazione delle reti regionali o locali già esistenti, su cui potranno essere apportati degli aggiustamenti per arrivare a standard nazionali definiti, in modo da potere poi produrre dati che possano essere di supporto ai diversi livelli politici (locale, regionale, nazionale ed europeo).

2.1 OBIETTIVI DELLA RETE

L'obiettivo generale della rete nazionale di monitoraggio ambientale dei suoli è quello di fornire dati omogenei, comparabili e validati sulle principali caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche dei suoli, utilizzabili con dati statistici e con dati da telerilevamento, per la costruzione di indicatori e indici utili per le attività di reporting ambientale e come supporto ai decisori politici per conoscere, prevenire e correggere i fenomeni di degrado del suolo e per valutare l'efficienza delle politiche ambientali adottate.

In una prima fase la rete avrà un obiettivo essenzialmente conoscitivo rivolto alla costruzione di un quadro generale della situazione; in una fase successiva sulla base delle esperienze acquisite, sarà possibile giungere ad una ridefinizione della rete a fini più specifici in base agli obiettivi prefissati.

Questo obiettivo generale può essere meglio dettagliato in una serie di obiettivi specifici:

- La determinazione delle attuali caratteristiche e proprietà dei suoli monitorati;
- Il monitoraggio nel tempo (breve e lungo periodo) ed in situazioni diverse dei cambiamenti delle caratteristiche e proprietà del suolo, come conseguenza della presenza di forme di degrado ed inquinamento;
- La valutazione della sensibilità a tali mutamenti;
- La previsione delle evoluzioni future;
- Lo sviluppo e la validazione di modelli calibrati sui siti della rete;
- La diffusione dei risultati ottenuti per indirizzare:
 - scelte rivolte ad un uso sostenibile del suolo;
 - 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, che possono anche essere identificate come fasi progressive di avviamento della rete:

- La definizione, nel rispetto degli standard europei, di regole comuni per: scelta e georeferenziazione dei siti, descrizione dei siti e dei suoli, protocolli di campionamento, metodi trattamento e conservazione dei campioni, metodi di analisi, valutazione della qualità delle analisi, gestione dei dati e reporting;
- La identificazione delle tipologie di suoli da monitorare e la loro caratterizzazione pedologica di dettaglio;
- L'allestimento di siti permanenti di monitoraggio;
- Il monitoraggio di un primo set di parametri "sensibili" (o potenzialmente sensibili) per effetto di impatti antropici;
- L'innesto funzionale sulla rete nazionale di altre eventuali reti di monitoraggio specifiche, locali o tematiche.

2.2 CRITERI DI SCELTA DEI SITI

La rete di monitoraggio dei suoli dovrà avere uno sviluppo graduale e, solo dopo la messa a punto e la validazione della metodologia utilizzata, dovrà essere diffusa capillarmente su tutto il territorio nazionale in funzione delle diverse esigenze locali.

La maggior parte delle reti esistenti ricadono in due tipologie:

- Reti con molti siti di monitoraggio scelti in base a criteri oggettivi in cui sono monitorati pochi parametri;
- Reti con pochi siti di monitoraggio ben selezionati e quindi rappresentativi in cui sono monitorati più parametri.

La scelta dei siti attraverso criteri di rappresentatività è stata valutata più adatta per la prima fase di attuazione della rete di monitoraggio, in quanto presenta i seguenti vantaggi:

- Riduzione del numero di siti di monitoraggio da attivare;
- Caratterizzazione esaustiva di situazioni considerate rappresentative a priori;
- Possibilità di monitorare situazioni locali poco estese ma significative dal punto di vista economico ed ambientale;
- Costi non elevati.

Gli inconvenienti sono però numerosi e, come già detto, giustificano tale scelta solo in una prima fase di attuazione della rete:

- Copertura geografica non esaustiva;
- Limitata possibilità di ottenere rappresentazioni cartografiche;
- Soggettività nella scelta dei siti;
- Rischio di perdita di rappresentatività nel tempo dei siti (variazioni di uso del suolo, sistemi di coltura, ricadute atmosferiche).

Una volta avviata la struttura per la scelta delle aree di campionamento sarà possibile utilizzare metodologie più oggettive, quali ad esempio una densità minima dei punti di campionamento, in modo da ottenere i seguenti vantaggi:

- Copertura geografica esaustiva ed omogenea;
- Possibilità di ottenere rappresentazioni cartografiche;
- Campionamento sistematico delle aree oggetto del monitoraggio;
- Possibilità di analisi geografica dei fenomeni;
- Approccio più sistematico che migliora la rappresentatività dei risultati.

L'infittimento dei punti comporta comunque alcuni svantaggi:

- Insufficiente rappresentatività "se sistematico" nei confronti di particolari situazioni limitate nello spazio ma significative dal punto di vista economico e/o ambientale;
- Costi elevati.

La rappresentatività dei luoghi nei quali realizzare i siti di monitoraggio per il suolo dovrà essere valutata prendendo in considerazione diversi aspetti quali le tipologie di suolo in relazione ai diversi ambienti pedopaesaggistici e/o pedoclimatici, l'uso del suolo, le combinazioni suolo-uso del territorio, le diverse forme di degrado del suolo considerate e la diversa esposizione agli inquinanti.

Nella definizione di tipologia di suolo, si fa riferimento:

- Al comportamento funzionale dei suoli in relazione ai principali processi degradativi che potenzialmente possono verificarsi;
- 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, rilievo, roccia madre, tempo);
- Alle relazioni suolo-paesaggio e suolo-clima che condizionano il comportamento del suolo soprattutto rispetto alle funzioni che esso svolge.

Le differenti forme di uso del suolo e combinazioni suolo-uso del territorio possono essere classificate come segue:

- Suoli agricoli con normali forme di gestione del territorio;
- Suoli rappresentativi di particolari forme di agricoltura (intensiva, coltivazione controllata, biologica, etc.);
- Suoli forestali mantenuti costantemente con la stessa tipologia di utilizzo; Prati stabili;
- Suoli urbani.

Lo studio delle combinazioni suolo-uso del territorio potrà essere condotto utilizzando come riferimento per l'uso del suolo il Corine Land Cover.

Per quanto riguarda la rappresentatività dei siti nei confronti delle tipologie di suolo, dovranno essere effettuate semplificazioni in termini di:

- Distribuzione spaziale;
- Variabilità spaziale (privilegiati siti omogenei in modo da minimizzare la variabilità intrinseca);
- Capacità di rappresentare ambienti pedopaesaggistici e pedoclimatici sottoposti a stress;
- Suscettività a reagire rapidamente a cambiamenti di altri fattori ambientali.

La rappresentatività dei singoli siti dovrà essere valutata attraverso la stima delle componenti statistica, geografica e pedologica, intese come di seguito:

- **Rappresentatività statistica nazionale:** valuta quanto i siti individuati in base alle differenti combinazioni tipo di suolo/uso del suolo siano rappresentativi della realtà del territorio italiano;
- **Rappresentatività geografica nazionale:** valuta quanto i siti individuati siano rappresentativi della realtà di una sufficiente superficie di territorio;
- **Rappresentatività pedologica locale:** valuta quanto il sito di monitoraggio sia rappresentativo dei suoli della zona nella quale è ubicato.

Per limitare le spese di avviamento ed allo stesso tempo ottenere informazioni di base importanti, la scelta dei siti deve essere inoltre effettuata in base a considerazioni di ordine pratico quali ad esempio:

- La disponibilità nelle aree ritenute rappresentative di aziende sperimentali che possano ospitare e gestire i siti di monitoraggio;

- L'interazione con altre reti di monitoraggio e progetti sperimentali di ricerca generalmente orientati alla caratterizzazione di processi particolari, riferiti direttamente o indirettamente alla matrice suolo (vedi allegato 3);
- La possibilità di reperimento di dati storici da precedenti studi.

2.3 CLASSIFICAZIONE DEI SITI

Secondo quanto premesso nella prima fase di attuazione della rete la scelta dei siti dovrà riguardare un numero limitato di aree specifiche scelte in modo da rappresentare al meglio le diverse forme di degrado, di uso del territorio e le differenti tipologie di suolo.

Queste aree, in accordo con le indicazioni fornite dal documento dell'*EuroSoilNet*, sono definite **Siti chiave nazionali** e verranno utilizzate come riferimento di base per il coordinamento del monitoraggio nazionale e per la validazione delle metodologie di monitoraggio e di analisi dei dati.

I siti chiave nazionali avranno la funzione di rappresentare le tipologie di suolo maggiormente rappresentative della situazione italiana, in modo anche da tenere in considerazione le principali forme di degrado che in tali situazioni possono verificarsi quali ad esempio:

- Diminuzione della sostanza organica e dell'attività biologica;
- Peggioramento delle proprietà fisiche e compattazione;
- Fenomeni di ruscellamento e di erosione;
- Movimenti di sostanze inquinanti organiche, degradazione dei pesticidi;
- Movimento verso gli acquiferi di fertilizzanti (nitrati, fosfati);
- Accumulo o rilascio dei metalli pesanti;
- Inquinamento da fall-out atmosferico in prossimità di zone urbane e/o industriali.

Ad integrazione dei siti chiave nazionale, dovranno essere poi individuati altri siti, classificabili, sempre in accordo con il documento dell' *EuroSoilNet*, come segue:

- **Siti di riferimento:** utilizzati per un approfondimento del monitoraggio a scala regionale, divisi in gruppi e sottogruppi in base alle tematiche di degrado che rappresentano, individuati gradualmente in base al modello offerto dai siti chiave nazionali e da criteri analoghi a quelli descritti sopra;
- **Siti specialistici:** siti addizionali usati per monitorare situazioni di interesse locale o regionale, individuati per particolari esigenze ad esempio di emergenze ambientali, fenomeni erosivi particolarmente intensi, oppure forme di degrado difficilmente studiabili su larga scala.

In pratica si dovranno costruire gradualmente diversi livelli di approfondimento, creando dapprima una rete base costituita dai siti chiave nazionali, nella quale monitorare alcune proprietà fondamentali e proprietà specifiche che descrivono le forme di degrado ritenute rilevanti per ciascun sito. Per il monitoraggio delle proprietà legate a particolari forme di degrado, potranno essere individuati ulteriori siti specialistici.

Per minimizzare gli inevitabili effetti dovuti all'eterogeneità della matrice suolo, i siti nei quali vengono effettuati i campionamenti devono essere rappresentati da aree discrete, nelle quali la variabilità è determinata preliminarmente. Ciò è fondamentale per assicurare che i cambiamenti riscontrati non siano da attribuire esclusivamente alla variabilità intrinseca del suolo stesso.

Solo in seguito alla realizzazione di una struttura di base organizzata su un numero relativamente basso di siti chiave, di riferimento e specialistici, sarà possibile creare le basi

per l'avvio di una attività di monitoraggio più capillare ed oggettiva, basata ad esempio su una griglia sistematica a maglia regolare ed uniformemente distribuita sul territorio o su un numero sempre maggiore di siti rappresentativi, in grado di soddisfare pienamente gli obiettivi di una rete di monitoraggio dei suoli a scala nazionale.

2.4 INTENSITÀ 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. A riguardo è fin d'ora possibile mettere in evidenza il ruolo fondamentale che ricopre il sistema delle agenzie ambientali (ANPA, ARPA e APPA) nella possibilità di creare e gestire la futura rete di monitoraggio. Le previsioni relative al dimensionamento della rete sono state attuate prendendo come unità amministrativa di riferimento le singole regioni.

In base a quanto affermato si propone la realizzazione di una prima rete di appoggio basata su siti chiave nazionale, limitata ad un numero variabile da 4 a 6 per ogni regione, in modo da raggiungere un numero minimo di siti attivi in tutto il territorio italiano in grado di fornire le prime indicazioni utili dal punto di vista tecnico, scientifico ed organizzativo.

La rete di appoggio andrà integrata nell'arco di un quinquennio con l'attivazione progressiva di siti di riferimento in numero variabile da 10 a 40 per regione (in base alla superficie territoriale, alle diverse situazioni di variabilità riscontrate, alle differenti esigenze locali etc), con l'obiettivo di raggiungere un numero indicativo di 480 siti dislocati su tutto il territorio italiano.

Tale dimensionamento corrisponde ad uno standard di rilevamento di 1 campione ogni 625 kmq, considerata la dimensione minima per ottenere rappresentazioni sufficientemente dettagliate ad ampia scala.

Partendo dal numero totale di campioni da realizzare, è possibile fin d'ora ipotizzare il numero indicativo di siti (inteso come insieme dei siti chiave e dei siti di riferimento) da realizzare per singola regione, mettendo in relazione la superficie di queste ultime con quella totale italiana e considerando la percentuale di territorio effettivamente occupata da suolo (Tabella 2.1). Quest'ultima è stata calcolata attraverso i dati forniti dal Corine Land Cover, sottraendo alla superficie totale di ogni regione le superfici occupate da ghiacciai, nevi permanenti, roccia nuda, spiagge, corpi d'acqua, zone umide e zone artificiali. Tale dimensionamento si dimostra utile in questa prima fase di progettazione, soprattutto per quanto riguarda la quantificazione dei costi di avviamento e di gestione.

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 questi motivi 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 quello specifico processo o fenomeno.

Tabella 2.1 Numero indicativo di siti chiave e siti di riferimento da attivare per ogni regione.

| REGIONE | Siti chiave | Siti di riferimento | TOTALE |
|----------------------------|--------------------|----------------------------|---------------|
| Abruzzo | 2 | 15 | 17 |
| Basilicata | 2 | 14 | 16 |
| Calabria | 3 | 21 | 24 |
| Campania | 3 | 19 | 22 |
| Emilia - Romagna | 4 | 31 | 35 |
| Friuli - Venezia G. | 2 | 11 | 13 |
| Lazio | 3 | 25 | 28 |
| Liguria | 1 | 8 | 9 |
| Lombardia | 4 | 34 | 38 |
| Marche | 2 | 14 | 16 |
| Molise | 1 | 6 | 7 |
| Piemonte | 4 | 37 | 41 |
| Puglia | 3 | 28 | 31 |
| Sardegna | 4 | 35 | 39 |
| Sicilia | 4 | 37 | 41 |
| Toscana | 4 | 33 | 37 |
| Trentino -Alto A. | 3 | 19 | 22 |
| Umbria | 2 | 12 | 14 |
| Valle d'Aosta | 1 | 4 | 5 |
| Veneto | 3 | 26 | 29 |
| | | | |
| Totale | 55 | 429 | 484 |

2.5 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. Nell'allegato 1 viene presentata una descrizione sintetica del loro significato ambientale.

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

- **Livello 1: parametri insensibili e moderatamente sensibili.** I parametri insensibili 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 triennale;
- **Livello 2: parametri sensibili (*qualità dinamiche*).** Sono quelli soggetti a rapide modificazioni a seguito dell'azione dei fattori di rischio. Il monitoraggio in questo caso deve essere deciso 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.

Inoltre i parametri andranno ulteriormente suddivisi in base alla loro rilevanza:

- **Parametri fondamentali:** che devono essere monitorati in tutti i siti, indipendentemente dal tipo di degrado specifico preso in considerazione, in quanto necessari per una caratterizzazione generica del suolo e per descrivere la capacità di questo ad interagire con gli elementi che in esso sono contenuti o vengono distribuiti;
- **Parametri specifici:** parametri da monitorare nei siti regionali per particolari esigenze regionali o locali;
- **Parametri non di sito:** sono quei parametri che non si ricavano dalla rete di monitoraggio direttamente ma provengono da statistiche, da censimenti, da telerilevamento, ecc.

I parametri ritenuti fondamentali per il monitoraggio e la successiva interpretazione delle tematiche di degrado individuate, elencati nella Tabella 2.2, sono stati classificati in base al loro livello di sensibilità, alla rilevanza e alla tematiche a cui possono essere attribuiti.

Tabella 2.2 – Elenco dei parametri selezionati per il monitoraggio

| Parametro | Livello di sensibilità * | Rilevanza | Tematiche SMN |
|--|--------------------------|--------------|--------------------------|
| Tipo di suolo | 1 | fondamentale | Generale |
| Caratteristiche del sito e del profilo | 1 | fondamentale | Generale |
| Caratterizzazione climatica | - | fondamentale | - |
| Caratterizzazione geologica | - | fondamentale | - |
| Caratterizzazione mineralogica | - | fondamentale | - |
| Limitazione d'uso del suolo | - | fondamentale | - |
| Caratterizzazione della falda | - | fondamentale | - |
| Granulometria | 1 | fondamentale | Fisico |
| Tessitura | 1 | fondamentale | Fisico |
| Densità apparente | 1 | fondamentale | Fisico |
| Capacità di campo | 1 | specifico | Fisico |
| Punto di appassimento | 1 | specifico | Fisico |
| Calcare totale e attivo | 1 | fondamentale | Chimico |
| pH | 1 | fondamentale | Chimico |
| Capacità di Scambio Cationico | 1 | fondamentale | Chimico |
| Cationi di scambio (Potassio, calcio, magnesio e sodio scambiabili) | 1 | specifico | Chimico |
| Grado di Saturazione Basica | 1 | specifico | Chimico |
| Carbonio organico | 1 | fondamentale | Chimico-fisico |
| Azoto totale | 1 | fondamentale | Chimico |
| Azoto organico | 1 | specifico | Chimico |
| C/N | 1 | specifico | Chimico-fisico-biologico |
| Fosforo totale | 1 | fondamentale | Chimico |
| Elementi disponibili per le piante | | | |
| Azoto minerale disponibile | 2 | specifico | Chimico |
| Fosforo assimilabile | 2 | specifico | Chimico |
| Elementi potenzialmente tossici (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) | 1 | fondamentale | Chimico |
| Conducibilità elettrica | 2 | specifico | Chimico |
| ESP (Exchangable Sodium Percentage) | 2 | specifico | Chimico |
| Profondità media della falda | 1 | specifico | Generale |
| Caratteristiche chimiche delle acque sotterranee | 2 | specifico | Chimico |
| Caratteristiche chimiche delle acque superficiali | 2 | specifico | Chimico |
| Porosità | 2 | specifico | Fisico |
| Compattamento | 2 | specifico | Fisico |
| Strati compatti lungo il profilo | 2 | specifico | Fisico |
| Croste superficiali | 2 | specifico | Fisico |
| Conducibilità idrica satura | 1 | specifico | Fisico |
| Crepacciamento | 2 | specifico | Fisico |
| Perdita di struttura | 2 | specifico | Fisico |
| Erodibilità (fattore K) | 2 | specifico | Fisico |
| Erosione idrica | 2 | specifico | Fisico |
| Salinizzazione | 2 | specifico | Chimico |
| N potenzialmente mineralizzabile | 2 | specifico | Chimico |
| C e N della biomassa microbica | 2 | specifico | Biologico |
| C biomassa/C org totale | 2 | specifico | Biologico |
| Respirazione/biomassa | 2 | specifico | Biologico |
| Carica microbica | 2 | specifico | Biologico |
| Attività enzimatica | 2 | specifico | Biologico |

*1 parametri insensibili e moderatamente sensibili, 2 parametri sensibili

2.6 INDICATORI

Gli indicatori ci danno la possibilità di misurare, stimare, prevedere o simulare le forze che determinano pressioni sul suolo e l'entità delle pressioni stesse, lo stato del suolo e le sue modificazioni e, infine, gli impatti sul suolo e sulle altre matrici ambientali. La conoscenza di questi fattori consente di fornire indicazioni relative alle scelte di politica e di tecnica produttiva che salvaguardino la risorsa suolo.

Alla valutazione dello stato del suolo per ciascun sito si perviene attraverso i seguenti passaggi:

- validazione dei risultati raggiunti;
- comparazione con valori di riferimento (se questi esistono);
- identificazione degli indicatori rilevanti e delle priorità;
- calcolo degli indicatori attraverso i dati monitorati o stimati.

In questo modo, mediante il monitoraggio condotto nei siti della rete, è possibile ottenere una rappresentazione dello stato del suolo; per mettere questi risultati in relazione con le pressioni che li hanno determinati è necessario provvedere alla raccolta delle informazioni relative alle pressioni presenti nell'area del sito. Dalle relazioni pressioni-stato dovranno emergere gli elementi per orientare eventuali ulteriori sviluppi o indirizzare il monitoraggio.

Il lavoro svolto finora dal CTN SSC ha consentito di pervenire alla identificazione degli indicatori rilevanti e delle priorità (RTI CTN_SSC 1/2000).

Essi sono intimamente e logicamente legati allo schema DPSIR applicato ai suoli, che è un modello del ciclo "Attivazione della Risposta da parte di Determinanti-Pressioni-Stato-Impatti".

Gli elementi del ciclo sono i seguenti:

- **Determinanti:** sono le tendenze delle forze di base, sociali, naturali ed economiche, ad es. popolazione umana, sviluppo territoriale, turismo, agricoltura, trasporti, industria/energia, estrazione di minerali, eventi naturali, cambiamenti climatici, utilizzo della risorsa idrica, stress relativi alle risorse idriche;
- **Pressioni:** attività umane che influiscono direttamente sull'ambiente: emissioni nell'acqua, aria e suolo, espansione urbana (consumo di suolo), costruzione di infrastrutture, deforestazione, incendi boschivi;
- **Stato del suolo:** determinanti e pressioni esplicano una attività che contribuisce a determinare lo stato del suolo, causando talvolta degradazione (contaminazione locale e diffusa, acidificazione, salinizzazione, accumulo di elementi nutritivi, degradazione fisica) e perdita dello stesso (erosione, impermeabilizzazione, frane e smottamenti);
- **Impatto:** l'impatto diretto sul suolo consiste nel cambiamento delle sue funzioni e nella desertificazione; l'impatto indiretto sulle altre matrici riguarda cambiamenti nella distribuzione e dimensione della popolazione, modificazione nell'ambiente biologico (perdita di biodiversità) e nella produttività agricola, cambiamenti climatici e diminuzione della quantità e qualità delle risorse idriche;

- **Risposte:** sono racchiuse in questa categoria tutte le risposte che la società offre per risolvere il problema attraverso delle scelte politiche o innovazioni tecniche per la difesa e razionalizzazione d'uso del suolo e delle altre matrici ambientali che su di esso impattano o che da esso dipendono. Le risposte influenzeranno le determinanti e le pressioni e si ritorna all'inizio del ciclo.

Gli indicatori scelti per la rete di monitoraggio da attivare in Italia sono prevalentemente classificabili come indicatori di stato secondo lo schema DPSIR, e coincidono spesso con i parametri da rilevare. Essi sono stati ulteriormente suddivisi secondo i diversi tipi di degradazione potenziale:

- chimica:
 - alterazione dei parametri chimici fondamentali;
 - inquinamento diffuso di tipo inorganico (es. metalli pesanti);
 - inquinamento diffuso di tipo organico (PCB, IPA ed altre sostanze derivanti dall'inquinamento diffuso);
- fisica (es. erosione idrica, compattamento);
- biologica (es. perdita di biodiversità).

Nell'allegato 2 è riportato l'elenco dettagliato degli indicatori selezionati. Tale elenco non deve essere considerato né esaustivo, né definitivo; la scelta degli indicatori (e degli indici) da costruire e popolare e, ancor di più, le loro modalità di rappresentazione sono correlate alle finalità del documento di reporting ambientale. Accanto dunque ad un gruppo più ristretto di indicatori prioritari di utilizzo molto diffuso a livello nazionale e internazionale, possono essere creati ed utilizzati molti indicatori attualmente non compresi nel citato allegato. Analogamente alcuni degli indicatori oggi giudicati prioritari, potranno essere sostituiti od integrati da nuovi indicatori ritenuti particolarmente interessanti ed utili.

La scelta degli indicatori per la valutazione del suolo in tutte le sue componenti nonché delle pressioni, diffuse o puntuali, che su di esso sono esercitate, deve necessariamente accompagnarsi ad un set di informazioni accessorie in grado di descrivere, nel modo più esauriente possibile, la continua variazione delle proprietà principali del suolo, legando il valore dell'indicatore a precisi riferimenti topografici territoriali (es.: caratteristiche morfologiche, pedologiche, del paesaggio, uso del suolo, ecc.).

Uso e gestione del suolo dovrebbero essere programmate in stretta relazione con le caratteristiche delle varie tipologie pedologiche dei suoli, cioè tenendo conto della vocazionalità di un determinato tipo di suolo a sopportare le attività umane. Quando questa utilizzazione e gestione avviene in modo non corretto e non tenendo conto della reale vocazionalità del suolo, insorgono fenomeni di degradazione.

Gli indicatori che vanno individuati per definire lo stato del suolo devono focalizzarsi su tecniche di indagine ripetitive e speditive, particolarmente orientate alla conoscenza degli aspetti ambientali connessi all'uso del suolo, mentre i dati pedologici sono la base irrinunciabile per una conoscenza generale del suolo.

Indicatori di degradazione chimica

- **Parametri chimici fondamentali:** sono parametri in grado di descrivere la capacità del suolo ad interagire con gli elementi che in esso sono contenuti o che ad esso vengono aggiunti o su di esso distribuiti; fra questi ad esempio il pH, la sostanza organica e la capacità di scambio cationico (CSC) rappresentano i caratteri base la cui variazione può condizionare fortemente il comportamento del suolo e quindi variare in modo consistente la capacità protettiva, filtrante o adsorbente del suolo nei confronti di sostanze potenzialmente inquinanti, sia per il suolo stesso, sia per l'acqua che il suolo contiene. Tali indicatori quindi sono particolarmente importanti per definire il rischio di contaminazione delle acque sotterranee, sicuramente più preziose delle acque superficiali per il loro frequente utilizzo a scopo idropotabile, a opera delle sostanze che al terreno vengono apportate.
- **Inquinamento diffuso di tipo inorganico:** La principale fonte di inquinamento diffuso di tipo inorganico è certamente costituita dai metalli pesanti. In questa categoria di indicatori vengono anche presi in considerazione gli elementi chimici che con maggiore facilità possono venire a contatto con il suolo a seguito delle pratiche di concimazione normalmente eseguite in agricoltura e quindi accumularsi, per il rischio che essi rappresentano per la qualità delle acque profonde e superficiali (N,P).
- **Inquinamento diffuso di tipo organico:** l'attenzione sui possibili inquinanti di tipo organico nei suoli è generalmente indirizzata ai fitofarmaci e ai loro prodotti di degradazione e ad altri composti organici di origine antropica, come i PCB (policlorobifenili), gli IPA (idrocarburi policiclici aromatici) ed altre sostanze derivanti dall'inquinamento diffuso conseguente alla presenza nell'atmosfera di prodotti generalmente derivanti da processi di combustione.

Indicatori di degradazione fisica dei suoli

Le proprietà fisiche del suolo sono essenzialmente legate alla struttura del suolo stesso, la quale è la risultante della combinazione dei differenti tipi di pori con le particelle solide (aggregati). La porosità diventa quindi un indicatore principale delle qualità fisiche dei suoli, perché è proprio la porosità che determina il volume dell'acqua che può essere immagazzinata, i movimenti dell'acqua stessa, dell'aria, degli elementi nutritivi, dei fitofarmaci, della fauna terricola e influenza inoltre la profondità che le radici possono esplorare. Nonostante la loro importanza la struttura e la porosità del suolo rimangono tuttora le meno studiate e le più soggettive proprietà del terreno. Solo recentemente, grazie anche ai nuovi approcci procedurali per la loro quantificazione, sembrano ricevere maggiore attenzione proprio perché i maggiori dissesti ambientali traggono origine dalla degradazione strutturale del suolo.

Indicatori di degradazione biologica

L'attività biologica del suolo è strettamente collegata con le proprietà fisiche del suolo stesso. Con le loro molteplici attività i microrganismi influenzano le caratteristiche del terreno

rendendolo disponibile per la crescita dei vegetali. Infatti la biomassa microbica, stimabile intorno a 10 t/ha per un terreno con buona fertilità, è capace di assicurare il movimento di elementi nutritivi, il turnover della sostanza organica e tutti quegli equilibri biologici necessari affinché il suolo possa svolgere le sue funzioni fondamentali.

Le lavorazioni profonde provocano la distribuzione della sostanza organica del terreno in tutto lo spessore interessato riducendo il livello unico dello strato superficiale ed aumentando la velocità di mineralizzazione della sostanza organica. La distruzione della struttura del suolo per fenomeni di compattamento può invece ridurre o impedire l'apporto di ossigeno per gli organismi aerobici, favorendo quelli anaerobici.

La degradazione biologica del suolo è comunemente associata con la diminuzione della copertura vegetale e del contenuto di sostanza organica; tuttavia altrettanto importanti sono i fenomeni di riduzione dei microrganismi e della microfauna che svolgono un'azione essenziale nel terreno. La degradazione biologica deriva da una non appropriata gestione del suolo, tuttavia le possibili diverse cause non sono state ancora ben definite e le conoscenze in questo ambito sono molto meno approfondite rispetto a quelle sulla degradazione fisica e chimica. L'attività biologica è in ogni caso di primaria importanza nel mantenimento di una elevata qualità del suolo. I microrganismi partecipano a una serie di processi che influenzano la struttura fisica del terreno, sono in grado di decomporre numerose sostanze contaminanti, possono stimolare la crescita dei vegetali, ecc.

Quanto alla fauna del terreno è fondamentale l'azione che essa svolge di miscelazione delle componenti organica e minerale, migliorando le proprietà strutturali, favorendo l'infiltrazione dell'acqua e riducendo i processi erosivi.

2.7 MODALITÀ DI CAMPIONAMENTO E DI ANALISI

Una delle necessità inderogabili e propedeutiche all'avviamento di una rete di monitoraggio è la definizione di protocolli operativi che descrivano procedure comuni per:

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

A questo proposito sarà realizzato un apposito manuale operativo che riporterà una proposta di protocolli operativi e di procedure comuni per le diverse tematiche individuate.

Il manuale potrà essere anche un riferimento per l'integrazione di una rete europea di monitoraggio dei suoli i cui principi generali sono riportati nei documenti dell'EEA già più volte citati. Inoltre, la redazione e l'adozione di questo manuale potranno facilitare, specie nelle prime fasi di attuazione della rete, l'armonizzazione delle reti regionali o locali già esistenti o in via di realizzazione.

Un altro aspetto importante che verrà considerato nel manuale o in altro apposito documento è la scelta di un programma nazionale e/o internazionale di validazione dei dati analitici attraverso un apposito circuito interlaboratorio.

2.8 GESTIONE E RAPPRESENTAZIONE DEI DATI

L'archiviazione dei dati deve essere effettuata attraverso l'utilizzo di un Data Base appositamente sviluppato per garantire la gestione e l'analisi dei parametri rilevati direttamente in campo e di quelli derivati dalle analisi di laboratorio.

Il database dovrà in particolare 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 sulle coordinate geografiche) e le informazioni soggette ad aggiornamento periodico (misure sperimentali), per giungere ad 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 etc...

Particolare attenzione nella progettazione del Data Base dovrà essere rivolta alla possibilità di mettere in relazione i vari parametri immessi ed i risultati di altri progetti volti più nello specifico alla caratterizzazione dei suoli, in particolare 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 tassonomia (Soil Taxonomy, WRB 1998), della geografia e della distribuzione spaziale dei suoli. 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 un problema di non facile risoluzione, che spesso richiede l'ausilio di modelli matematici in grado di analizzare tutte le variabili in gioco e di rispondere alle esigenze conoscitive.

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 ecc..., sono stati sviluppati 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, anche se necessita ancora di approfondite verifiche e di specifiche scelte operative, per la "descrizione" dei fenomeni di degrado rilevati dalla rete di monitoraggio, per la loro spazializzazione ed eventuale "previsione". In una seconda fase di progettazione sarà quindi opportuno procedere alla scelta, sperimentazione e calibrazione di modelli ad integrazione della rete di monitoraggio dei suoli, che si adattino alle esigenze di rappresentazione delle diverse forme di degrado individuate. Risultano a tal fine

particolarmente utili i risultati dell'Osservatorio dei Modelli (SSC-T-RAP-00-52) volto alla ricerca di modelli (e progetti che prevedono l'applicazione di modelli) considerati utili all'elaborazione di dati relativi agli indicatori di degrado del suolo trattati.

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.

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. L'ampia disponibilità di dati e la periodicità nell'acquisizione rendono il telerilevamento da satellite uno strumento consigliabile per la realizzazione e l'aggiornamento di banche dati territoriali su ampia scala come la rete di monitoraggio dei suoli nazionali.

ALLEGATO 1: Descrizione dei parametri acquisiti dalla rete di monitoraggio

La descrizione riguarda la definizione del parametro e il significato che a questo si attribuisce.

| PARAMETRO | DEFINIZIONE E SIGNIFICATO |
|---------------------------------------|--|
| Acqua disponibile | <p>Definizione: quantità di acqua che, potendo essere trattenuta dal terreno, ne è estraibile sino al punto in cui il suo potenziale di matrice diventa tanto basso da non permettere un'ulteriore assunzione da parte delle piante in attività biologica.</p> <p>Significato: è importante nella stima del bilancio idrico, nella predizione della siccità, nella progettazione e gestione di sistemi d'irrigazione, nella protezione delle risorse idriche e nella previsione delle rese agronomiche.</p> |
| Attività enzimatica | <p>Definizione: stima l'attività enzimatica del suolo e la relaziona con le perturbazioni apportate alla biologia e biochimica del suolo come conseguenza di fattori ambientali e/o antropici.</p> <p>Significato: fornisce una valutazione delle reazioni che si svolgono nel suolo attraverso una stima degli enzimi che le catalizzano. Può dare un'indicazione di come varino le attività biologiche nel suolo a seguito di perturbazioni ambientali e antropiche.</p> |
| Azoto totale | <p>Definizione: % in peso dell'azoto totale (organico ed inorganico) contenuto nel terreno;</p> <p>Significato: l'azoto è l'elemento della fertilità dei terreni per eccellenza. Esso si trova nel terreno sotto forma di composti organici e di ioni minerali, che sono in genere quelli maggiormente disponibili per le piante. Esso rappresenta un potenziale inquinante in quanto può essere perso per dilavamento sotto forma di nitrato e per erosione, in funzione delle caratteristiche del suolo.</p> |
| C biomassa/C org totale | <p>Definizione: quantità in peso dei microrganismi presenti nella sostanza organica.</p> <p>Significato: fornisce una indicazione sulla densità microbica nel suolo.</p> |
| C e N della biomassa microbica | <p>Definizione: misura del carbonio e dell'azoto costituenti della biomassa attiva e non attiva del suolo.</p> <p>Significato: C e N della biomassa microbica si rinnovano rapidamente e riflettono i cambiamenti delle pratiche gestionali molto prima che i cambiamenti di C e N nel suolo siano misurabili. Sono tra i principali indicatori della qualità del suolo.</p> |

| PARAMETRO | DEFINIZIONE E SIGNIFICATO |
|---|--|
| C organico | <p>Definizione: % in peso del carbonio contenuto nell'humus e nei residui animali e vegetali in decomposizione presenti nel terreno. La determinazione del C organico consente la valutazione indiretta della sostanza organica del terreno, adottando il fattore di conversione di van Bemmelen ($SO = C \times 1.724$).</p> <p>Significato: la sostanza organica influenza le proprietà chimiche e fisiche dei suoli. In particolare favorisce la formazione di una buona struttura glomerulare, dalla quale dipendono una buona permeabilità e porosità (che influenzano a loro volta il contenuto di acqua disponibile per le piante); inoltre in virtù della sua elevata attività superficiale aumenta la capacità di scambio cationico del suolo ed è importante nel trattenere le molecole dei pesticidi. La sua decomposizione arricchisce il terreno di azoto, fosforo, zolfo ecc.</p> |
| Calcare totale e calcare attivo | <p>Definizione: esprime la percentuale in peso dei diversi carbonati presenti nella terra fine, in parte inattivi a causa delle dimensioni grossolane dei granuli in cui sono contenuti, in parte attivi. La frazione di carbonati caratterizzati da maggiore suddivisione (quindi la frazione argillosa e limosa dei carbonati, principalmente di Ca, Mg, Na) e da più elevata reattività viene chiamata calcare attivo.</p> <p>Significato: il calcio ha influenza sulle proprietà fisiche e meccaniche del suolo, provocando la flocculazione dei costituenti colloidali, favorendo fenomeni di aggregazione strutturale e migliorando la permeabilità; sul pH del suolo, anche regolando la solubilizzazione e insolubilizzazione dei nutrienti; sull'attività biotica, incrementando in particolare la nitrificazione.</p> |
| Capacità di campo | <p>Definizione: quantità d'acqua ritenuta dal suolo ad una tensione pari a 1/3 bar, espressa come percentuale in peso di terreno secco. Essa corrisponde alla quantità d'acqua che un terreno può trattenere contro la forza di gravità e in condizioni di temporaneo equilibrio idrico. In queste condizioni l'acqua occupa solo i micropori mentre i macropori sono liberi per la circolazione dell'aria.</p> <p>Significato: è utilizzata nella stima dell'acqua disponibile.</p> |
| Capacità di scambio cationico totale (CSC) | <p>Definizione: quantità massima di cationi adsorbibili (cationi scambiabili) dai colloidi organici e minerali del suolo.</p> <p>Significato: la CSC misura la capacità del suolo di trattenere i cationi, tra cui i nutrienti delle piante e le sostanze estranee inquinanti, potenzialmente soggette all'adsorbimento superficiale. In linea di massima maggiore è la CSC, maggiore è il potere di adsorbimento ionico da parte del suolo.</p> |

| PARAMETRO | DEFINIZIONE E SIGNIFICATO |
|--|---|
| Caratteristiche chimiche delle acque sotterranee | Definizione: concentrazione degli elementi chimici delle acque sotterranee. Significato: può dare indicazioni relative ad eventuali apporti di inquinanti dal suolo. |
| Caratteristiche chimiche delle acque superficiali | Definizione: concentrazione degli elementi chimici delle acque superficiali. Significato: può dare indicazioni relative ad eventuali apporti di inquinanti dal/nel suolo. |
| Caratteristiche del profilo | Definizione: insieme delle caratteristiche della sezione verticale del suolo che si estende dalla superficie al substrato e in particolare dei diversi orizzonti, dei parametri osservabili e misurabili in campo e in laboratorio. Sono inclusi caratteri quali l'umidità, il colore, la tessitura, la struttura e la consistenza del suolo, caratteri dell'attività biologica, disposizione dei vuoti e delle concentrazioni pedologiche (screziature, cutans, noduli, ecc.) così come le determinazioni analitiche (reazione del suolo, CSC, ecc.) Significato: strumento indispensabile per classificare il suolo e conoscerne il comportamento. |
| Caratteristiche del sito | Definizione: insieme dei parametri climatici (precipitazioni, temperatura, ecc.); parametri morfologici (forma della superficie, gradiente di pendenza, esposizione, ecc.); parametri topografici (quota, ecc.), copertura ed uso del suolo. Significato: consente di identificare alcuni fattori fondamentali della genesi del suolo e delle dinamiche in atto. |
| Carica microbica | Definizione: stima la carica microbica presente nel suolo considerando i principali gruppi (batteri aerobi totali, batteri anaerobi totali ed eumiceti totali, ecc.) che sono rappresentativi della comunità microbica nella sua interezza. Significato: consente di utilizzare la densità delle popolazioni microbiche come un indice di qualità del suolo. |
| Cationi di scambio (K, Ca, Mg, Na) | Definizione: basi principali nel complesso di scambio. Significato: i loro rapporti influenzano i rapporti di assorbimento degli stessi nelle piante (K/Ca, Mg/Ca). |
| Compattamento ("grado" e "susceptibilità") | Definizione: diminuzione della porosità del suolo. Significato: il compattamento determina un peggioramento delle caratteristiche fisiche e meccaniche del suolo. Si può evidenziare in termini di diminuzione della porosità o di resistenza alla penetrazione tramite penetrometro. |

| PARAMETRO | DEFINIZIONE E SIGNIFICATO |
|--|---|
| Conducibilità elettrica | <p>Definizione : conducibilità degli estratti acquosi del suolo portato alla capacità idrica massima. Indica la quantità totale di sali solubili nel suolo e per questa ragione viene anche definita <i>salinità</i>.</p> <p>Significato: i sali neutri, in alte concentrazioni, possono interferire con l'assorbimento di acqua da parte delle piante in quanto provocano un aumento della pressione osmotica nella soluzione circolante; i sali possono anche interferire con la capacità di scambio dei nutrienti provocando così carenze nutrizionali nelle piante.</p> |
| Crepacciamento | <p>Definizione : grado di fessurabilità del suolo.</p> <p>Significato: la dimensione delle crepe e la loro variazione stagionale consentono di valutare la capacità di autostrutturazione del suolo e l'infiltrazione dell'acqua attraverso il sistema di crepe. E' una misura importante per la stima dell'erosione.</p> |
| Croste superficiali e suscettibilità alla loro formazione | <p>Definizione : strato superficiale del suolo, che può andare da qualche millimetro fino a 3 centimetri, che è maggiormente compatto, duro e friabile del materiale immediatamente sottostante. Si valuta in relazione alle caratteristiche fisiche del suolo.</p> <p>Significato: è spesso un segno di degradazione del suolo. Tra gli effetti negativi della formazione della crosta possiamo citare: diminuzione dell'infiltrazione delle piogge; erosione laminare e formazione di crepe; impedimento meccanico alla germinazione dei semi; diminuzione dell'aerazione negli strati sottostanti la crosta, con conseguente mancato sviluppo delle radici; maggiore energia richiesta per le lavorazioni.</p> |
| Densità reale e densità apparente | <p>Definizione : rapporto tra la massa e il volume della parte solida del suolo (densità reale). La densità apparente è il rapporto tra massa del solido e volume totale di un campione di suolo indisturbato, comprende quindi anche il volume occupato da spazi vuoti.</p> <p>Significato: influenza la crescita delle piante e le applicazioni ingegneristiche. E' utilizzata per convertire le misure di peso in quelle di volume. E' un indicatore della possibilità di approfondimento dell'apparato radicale delle piante.</p> |

| PARAMETRO | DEFINIZIONE E SIGNIFICATO |
|---|--|
| Elementi disponibili per le piante (macroelementi) | |
| Azoto disponibile | Definizione: indica l'azoto prontamente disponibile per le piante, sotto forma nitrica ed ammoniacale (solo la frazione solubile non adsorbita). |
| | Significato: considerando la dinamicità dei rapporti tra le varie forme di azoto nel suolo, in funzione di fattori esterni quali ad es. il dilavamento e l'assorbimento da parte dei vegetali, appare una misura poco utile ed aleatoria. |
| Fosforo assimilabile | Definizione: si considerano assimilabili la frazione solubile in acqua e parte del P fissato da Ca, Fe e Al. |
| | Significato: il fosforo è uno degli elementi essenziali per la nutrizione delle piante. Gli apporti di fosforo alle acque, anche attraverso i suoli, sono un fattore chiave nel controllo dello stato trofico dell'acqua, in quanto ad esso viene attribuito il ruolo di fattore limitante. Le perdite dai suoli possono avvenire sia attraverso il particolato perso per erosione sia, seppure in casi limite di altissime concentrazioni di P nei suoli, per lisciviazione. |
| Potassio scambiabile | Definizione: rappresenta la forma disponibile per le piante e viene espressa come meq su 100 g % sulla CSC. Significato: il potassio è uno dei macroelementi della nutrizione delle piante. |
| Erodibilità (fattore K) | Definizione: la suscettibilità di un suolo a perdere particelle attraverso il processo erosivo dovuto alle piogge. Significato: il fattore K viene determinato sperimentalmente; tutti i parametri che influenzano la struttura e le proprietà idrauliche del suolo sono in relazione con l'erodibilità. Il fattore K viene usato per la stima dell'erosione attraverso le equazioni universali di Wischmeyer (USLE e RUSLE). |

| PARAMETRO | DEFINIZIONE E SIGNIFICATO |
|--|--|
| Erosione idrica (rischio di) | <p>Definizione: rischio di perdita di suolo a seguito di fenomeni di trasporto in sospensione dovuta all'azione superficiale delle acque.</p> <p>Significato: l'erosione idrica ha ripercussioni sia sulla qualità del suolo sia su quella delle acque superficiali. Nel suolo viene perso lo strato più superficiale, normalmente ricco di sostanze nutritive e quindi più fertile, con diminuzione anche della capacità di infiltrazione dell'acqua, e conseguente riduzione della potenzialità produttiva. Quando poi il fenomeno viene accelerato da una sconosciuta gestione (si parla allora di <i>erosione accelerata</i>) e le perdite di suolo sono superiori al tasso di formazione del suolo stesso, possono instaurarsi dei fenomeni degradativi di particolare gravità che possono portare anche all'impossibilità dell'esercizio dell'agricoltura o della vita delle piante. Inoltre, le particelle di suolo perse dagli strati più superficiali del terreno sono ricche di elementi nutritivi, in particolare azoto e fosforo, con grave rischio di eutrofizzazione delle acque superficiali.</p> |
| Grado di saturazione basica (GSB) | <p>Definizione: rapporto percentuale tra la somma dei cationi alcalini e alcalino-terrosi (Ca, Mg, Na, K) fissati sul complesso di scambio e la CSC;</p> <p>Significato: Nei suoli neutri e alcalini le basi di scambio Ca, Mg, Na e K occupano l'intera CSC. Nei suoli a pH basso, una parte della CSC è occupata dagli ioni idrogeno e alluminio.</p> |
| Microelementi (Fe, Cu, Zn, Mn, B, Mo) : | <p>Definizione: presenti nel suolo debolmente fissati sul complesso di scambio e legati (chelati o adsorbiti) con la sostanza organica. I primi quattro vengono assorbiti in forma cationica, gli ultimi due in forma anionica.</p> <p>Significato: questi microelementi sono fondamentali per la vita delle piante e si rinvergono nei vegetali in quantità molto modeste. Il fabbisogno delle piante viene generalmente soddisfatto dalla dotazione naturale dei suoli, ma in alcuni casi si possono manifestare carenze più o meno pronunciate. Se questi microelementi vengono assorbiti dalle piante in quantità molto elevate, possono diventare tossici per gli stessi vegetali o per gli anelli successivi della catena alimentare.</p> |

| PARAMETRO | DEFINIZIONE E SIGNIFICATO |
|--|--|
| Metalli pesanti (<i>As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sn, Zn</i>) | <p>Definizione: indica il contenuto di metalli pesanti (densità maggiore di 5g/cm³) o di elementi a carattere metalloidico (As, Mo, Se) che hanno comportamento simile.</p> <p>Significato: alcuni di questi risultano essenziali per la vita di molti organismi viventi (non risultano essenziali Cd e Pb) ma diventano tossici quando le loro concentrazioni superano delle soglie variabili da elemento a elemento e da organismo a organismo. Allorché un metallo pesante potenzialmente tossico viene accumulato da un organismo vivente in concentrazioni superiori alla norma può produrre danni strutturali o inibire attività enzimatiche con conseguente alterazione del metabolismo cellulare. Essi si possono originare dal substrato pedogenetico o per attività antropiche: industrie, attività civili o attività agricole.</p> |
| N potenzialmente mineralizzabile | <p>Definizione: quantità di azoto organico mineralizzabile del suolo.</p> <p>Significato: consente di prevedere o di stimare la quantità di azoto proveniente dai processi biologici di mineralizzazione dell'azoto organico del suolo, valutando la capacità del suolo di fornire N per la crescita delle piante e per il ciclo dei nutrienti. E' un indice di fertilità dei suoli.</p> |
| Perdita di struttura | <p>Definizione: stato di disgregazione del suolo in seguito all'applicazione di forze esterne che possono provocare, qualora siano superiori alle forze coesive degli aggregati, la rottura di porzioni di terreno.</p> <p>Significato: indica la diminuita capacità del suolo di resistere a forze disgreganti di vario genere e la sua maggiore vulnerabilità alla degenerazione fisica e meccanica.</p> |
| Permeabilità | <p>Definizione: capacità del suolo di farsi attraversare dall'acqua e dall'aria. La permeabilità viene normalmente misurata come la velocità di trasmissione dell'acqua in un suolo saturo.</p> <p>Significato: influenza la scelta dei sistemi di irrigazione e drenaggio, delle sistemazioni idrauliche e delle tecniche di conservazione del suolo. Condiziona percolazione, erosione, e in generale i fenomeni di trasporto.</p> |
| pH del suolo | <p>Definizione: espressione numerica della relativa acidità o alcalinità.</p> <p>Significato: il valore del pH fornisce una serie di indicazioni su alcune caratteristiche del suolo, ad esempio sulla saturazione in basi del suolo e sulla disponibilità del fosforo. Influenza la mobilità di microelementi (metalli pesanti), fosforo e azoto e quindi fornisce indicazioni sul rischio di inquinamento del suolo e della falda.</p> |

| PARAMETRO | DEFINIZIONE E SIGNIFICATO |
|--------------------------------------|--|
| Pietrosità superficiale | <p>Definizione : superficie percentuale del terreno occupata da pietre e frammenti rocciosi con diametro superiore a 2 mm.</p> <p>Significato: influenza l'uso e la gestione del suolo, sia per l'agricoltura sia per l'edificabilità (scavi, costruzioni, ecc.).</p> |
| Porosità | <p>Definizione : rapporto tra il volume degli spazi vuoti del suolo (i pori) e il volume complessivo del suolo. (rapporto tra densità apparente e densità reale)</p> <p>Significato: da questa grandezza dipendono i movimenti di acqua e aria all'interno del suolo. E' una caratteristica che può variare nel tempo in seguito ad interventi antropici o ad eventi naturali. Definisce e quantifica le qualità fisiche e meccaniche dei suoli.</p> |
| Punto di appassimento | <p>Definizione : quantità d'acqua, espressa in termini di percentuale su peso secco del terreno, trattenuta dal suolo ad una pressione di 15 bar.</p> <p>Significato: è utilizzata nella stima dell'acqua disponibile.</p> |
| Rapporto carbonio/azoto (C/N) | <p>Definizione : rapporto tra il contenuto % di carbonio organico e azoto totale nel suolo.</p> <p>Significato: fornisce una utile indicazione della tendenza alla mineralizzazione dei residui organici operata dalle comunità edafiche. In particolare saranno maggiormente suscettibili di decomposizione i materiali organici per i quali questo rapporto è minore.</p> |
| Respirazione/biomassa | <p>Definizione : stima la quantità di CO₂ prodotta nella respirazione basale della popolazione microbica per unità di biomassa microbica.</p> <p>Significato: il rapporto permette di mettere in relazione l'attività della biomassa microbica con la sua dimensione e consente di valutare gli effetti dei cambiamenti ambientali sulla biomassa microbica.</p> |
| Rocciosità superficiale | <p>Definizione : superficie percentuale del terreno occupata da affioramenti rocciosi.</p> <p>Significato: vedi pietrosità</p> |
| Salinizzazione | <p>Definizione : aumento della concentrazione di sali tali da alterare le normali proprietà.</p> <p>Significato: un terreno salino è stato alterato negativamente, con degradazione delle proprietà chimiche, fisiche e biologiche, e in taluni casi può favorire la desertificazione. I terreni colpiti da salinizzazione vengono normalmente distinti in tre categorie: salino, sodico, salino-sodico.</p> |

| PARAMETRO | DEFINIZIONE E SIGNIFICATO |
|--|---|
| Scheletro | <p>Definizione: % di frammenti rocciosi e pietre rispetto al volume del suolo. Lo scheletro comprende tutti i materiali rocciosi di diametro superiore a 2 mm. E' importante conoscere anche la forma, dimensione, distribuzione verticale e natura litologica.</p> <p>Significato: condiziona il comportamento fisico-chimico e meccanico del suolo (in particolare riducendo il volume di suolo attivo e influenzando sulla permeabilità del suolo e sulla capacità di adsorbimento degli inquinanti, ecc.).</p> |
| Strati compatti lungo il profilo | <p>Definizione: presenza di strati compatti lungo il profilo.</p> <p>Significato: in genere questi strati sono legati alla coltivazione intensiva del terreno (compattamento dovuto al passaggio delle macchine agricole) o per uso di utensili quali l'aratro (creazione di strati compatti lungo il profilo) (suola d'aratura).</p> |
| Tessitura reale e tessitura apparente | <p>Definizione: proporzione relativa, in peso, delle classi granulometriche con diametro inferiore a 2 mm, vale a dire la composizione percentuale in sabbia, limo e argilla. La tessitura reale si ottiene tramite la dispersione degli aggregati che si costituiscono tra le particelle del terreno, con distruzione della sostanza organica. La tessitura apparente si ottiene senza distruzione della sostanza organica, e quindi vengono considerate come particelle singole anche gli eventuali aggregati resistenti che non si disgregano nelle condizioni operative adottate. Essa è quindi strettamente correlata al tipo di pretrattamento adottato che deve essere sempre indicato.</p> <p>Significato: la tessitura influenza la crescita delle piante e l'edificabilità; ha una forte influenza sul comportamento fisico del suolo, ad es. compressibilità, permeabilità, compattamento. La tessitura influenza anche la crescita delle piante in quanto da essa dipendono l'aerazione, il tasso d'infiltrazione, l'acqua disponibile, la capacità di scambio cationico, la permeabilità, l'erosibilità e la lavorabilità. I cambiamenti di questo parametro in superficie rispetto agli strati profondi sono un indice di come il suolo si è formato; anche l'attività chimica del suolo è fortemente correlata alla presenza dei minerali argillosi: infatti, le argille sono caratterizzate dall'aver una notevole attività superficiale. Così la percentuale di argilla condiziona anche la capacità di adsorbimento di sostanze estranee (inquinanti) sui colloidi del suolo.</p> |
| Tipo di suolo: | <p>Definizione: categoria definita in base alla classificazione (Soil Taxonomy, WRB) e al comportamento funzionale del suolo in relazione ai principali processi degradativi</p> <p>Significato: consente di descrivere in modo sintetico le proprietà del suolo.</p> |

ALLEGATO 2: Elenco degli indicatori sviluppati dalla rete di monitoraggio

| Indicatori e/o indici | Scopo | Unità di misura | DPSIR | Indicatore prioritario |
|--|--|---|--|------------------------|
| pH del suolo | Descrive la concentrazione degli ioni H ⁺ presenti nella soluzione circolante del suolo che condiziona i fenomeni di scambio, ritenzione, accumulo che avvengono nel suolo. | adimensionale | S | SI |
| Capacità di scambio cationico del suolo | Individua la quantità di ioni positivi che possono essere scambiati dal suolo, misura le superfici con carica negativa (argille, sostanze organiche) presenti nel suolo e capaci di trattenere gli ioni con carica positiva presenti nel suolo. Dalla CSC dipende la capacità del suolo a trattenere tutti gli elementi chimici presenti in forma di ioni positivi, in particolare i metalli pesanti. | Cmol/kg s.s., equivalente a meq/100 g s.s | S | SI |
| Tessitura del suolo | Individua la composizione percentuale del suolo nelle diverse classi dimensionali delle particelle elementari che lo costituiscono: essa condiziona i fenomeni di ritenzione ed accumulo, la permeabilità e quindi il drenaggio e le possibilità di percolazione o ruscellamento dell'acqua che arriva al suolo ed i relativi fenomeni di erosione. | % in Argilla, limo e sabbia | S | SI |
| Contenuto in sostanza organica del suolo | La presenza di sostanze organiche nel terreno, intese come composti del carbonio che derivano da processi di trasformazione di componenti di organismi viventi, determina la struttura del suolo e quindi la porosità; essa condiziona quindi i fenomeni di ritenzione ed accumulo, la permeabilità, il drenaggio e le possibilità di percolazione o ruscellamento dell'acqua che arriva al suolo e dei relativi fenomeni di erosione. | % espressa come sostanza organica (=carbonio organico x 1,724) | S | SI |
| Contenuto in P assimilabile e K scambiabile del suolo | Descrive l'accumulo o l'impoverimento del suolo in macronutrienti (P e K) che vengono abitualmente utilizzati nella concimazione delle colture. | mg/kg s.s. di P e K (P2O5=2,29xP, K2O=1,20xK) | S | NO |
| Contenuto in metalli pesanti totali del suolo | Descrive l'accumulo di metalli pesanti nel suolo dovuto alle caratteristiche dei materiali originari o all'utilizzo su suolo di sostanze contenenti metalli pesanti ed utilizzate per la difesa antiparassitaria o per la fertilizzazione. | mg/kg di As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn | S | SI |
| Contenuto in As | Descrive l'accumulo di metalli pesanti nel suolo dovuto alle caratteristiche dei materiali originari o all'utilizzo su suolo di sostanze contenenti metalli pesanti ed utilizzate per la difesa antiparassitaria o per la fertilizzazione. | mg/kg | S | SI |
| Contenuto in Cd | | mg/kg | S | SI |
| Contenuto in Cr | | mg/kg | S | SI |
| Contenuto in Cu | | mg/kg | S | SI |
| Contenuto in Hg | | mg/kg | S | SI |
| Contenuto in Ni | | mg/kg | S | SI |
| Contenuto in Pb | | mg/kg | S | SI |
| Contenuto in Zn | | mg/kg | S | SI |
| Contenuto in metalli pesanti assimilabili del suolo | | Descrive la mobilità, e quindi la disponibilità per l'assorbimento da parte delle piante, di metalli pesanti nel suolo. | mg/kg s.s. di Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn assimilabili | S |

| Indicatori e/o indici | Scopo | Unità di misura | DPSIR | Indicatore prioritario |
|--|--|-------------------------------------|--------------|-------------------------------|
| Contenuto di fitofarmaci nel suolo | Descrive l'accumulo di fitofarmaci nel suolo dovuto all'utilizzo di prodotti antiparassitari per la difesa delle colture contro le piante infestanti ed i parassiti terricoli. | µg/kg | S | NO |
| Bilancio di elementi nutritivi nel suolo (input/output di elementi nutritivi) | Definisce la situazione di deficit o di surplus di elementi nutritivi per unità di superficie coltivata calcolata per differenza tra kg di N, P e K in entrata (apporti meteorici, concimazioni, ecc.) al terreno e kg di N, P e K asportati dalle colture ed allontanati con il raccolto. | kg/ha | S | SI |
| Contenuto di P tot nelle acque superficiali | Descrive in quale misura l'apporto di fosforo dovuto all'attività agricola comporta un arricchimento in fosforo delle acque superficiali a causa dei fenomeni di erosione e trasporto superficiale. | mg/L | I | NO |
| Apporti di N e P a fiumi e mari | Definisce il carico di elementi nutritivi cui è soggetto un corpo idrico recettore. | kg/anno | I | NO |
| Superficie di aree protette | Individua l'estensione delle aree protette esistenti, designate a livello nazionale | % sulla superficie totale nazionale | R | SI |
| Conducibilità elettrica | Descrive il grado di salinità attraverso la misura della conducibilità elettrica del suolo | µS/cm | S | NO |
| Densità di popolazione | Illustra la distribuzione spaziale della popolazione rappresentando il carico antropico gravante sul territorio provinciale | abitanti / km ² | D | SI |
| Urbanizzazione e infrastrutture | Descrive l'incremento totale di superfici occupate da zone urbanizzate, industriali e da infrastrutture, riferite all'anno zero. L'indicatore rappresenta l'occupazione del territorio da urbanizzazione e infrastrutture, che è considerata come la principale forma di perdita irreversibile di suolo. | km ² | D/P | SI |

| Indicatori e/o indici | Scopo | Unità di misura | DPSIR | Indicatore prioritario |
|--|--|--|-------|------------------------|
| Rischio di compattazione in relazione al numero e potenza delle trattrici | Si tratta di un indicatore proxy. Esso infatti deriva la compattazione del suolo dal numero e dalla potenza delle trattrici per 100 ha di superficie lavorabile. Il dato è disponibile per provincia. L'indicatore consente la determinazione del rischio di compattamento del suolo dovuto al passaggio di macchine pesanti sul suolo agrario. Il peso delle macchine è un elemento essenziale che determina la costipazione del terreno. La potenza delle trattrici è correlabile al loro peso e per questo motivo viene presa in considerazione nell'indicatore. Il numero delle trattrici consente di tenere conto della densità di impiego delle macchine sulla superficie. | numero di trattrici e CV | P | SI |
| Perdita di zone umide per bonifica | Indica la perdita in ettari per anno di zone umide in seguito a bonifica. L'indicatore quantifica un importante fattore di cambiamento ed alterazione del suolo sottolineando la perdita di biodiversità ed il cambiamento di funzioni del suolo | ha/anno | P/I | NO |
| Grandi movimenti di terra nelle aree agricole | L'indicatore fornisce l'estensione della superficie che è stata assoggettata al livellamento per la costituzione di nuovi impianti arborei ed erbacei. Esso consente quindi di determinare il degrado della risorsa suolo dovuta al troncamento del profilo e all'allungamento delle pendici. | ha | P | SI |
| Contenuto di sostanza organica umificata | Stima tutto il contenuto di carbonio organico nel suolo proveniente dai composti presenti nella lettiera decomposta e in via di decomposizione, nella biomassa microbica, nei materiali organici solubili e nei materiali organici stabilizzati (humus). Fornisce una valutazione del grado di fertilità e dello stato di degradazione del suolo poiché la sostanza organica accresce la disponibilità di elementi nutritivi, dell'acqua, la capacità di scambio cationico e la ritenzione termica del suolo, contribuisce alla strutturazione, e previene l'erosione per la sua associazione con le argille e ed i sali di cationi bivalenti e trivalenti. | % C umico rispetto al C della sostanza organica estratta in condizioni standardizzate o rispetto al C organico totale. | S | NO |

| Indicatori e/o indici | Scopo | Unità di misura | DPSIR | Indicatore prioritario |
|---|--|--|-------|------------------------|
| N potenzialmente mineralizzabile | Stima la quantità di N organico mineralizzabile nel suolo e comprende: l'azoto della biomassa microbica, l'azoto attivo (composti organici azotati e liberi nella matrice del suolo) e l'azoto stabilizzato (porzione inaccessibile ai microrganismi ed enzimi per interazioni con la matrice del suolo). L'indicatore 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 di elementi nutritivi come un indice di fertilità dei suoli. | quantità (in peso) di N organico per unità di peso secco di suolo per tempo d'incubazione (in giorni), ($\mu\text{g N/g ss x t}$). | S | NO |
| C e N della biomassa microbica | Determina la quantità di C e N costituenti della biomassa microbica attiva e non attiva del suolo. Il C e l'N della biomassa microbica si rinnovano rapidamente e riflettono i cambiamenti delle pratiche gestionali molto prima che i cambiamenti in C e N totali del suolo siano identificabili. La loro determinazione è quindi di notevole importanza come indicatore della qualità del suolo. | quantità (in peso) di C e di N delle cellule microbiche per unità di peso di suolo (mg C/kg suolo), (mg N/kg suolo). | S | NO |
| C biomassa / C organico totale | Stima la quantità (in peso) di microrganismi presenti nella sostanza organica dal punto di vista dell'elemento C per fornire una valutazione della densità microbica nel suolo. | adimensionale | S | NO |
| Respirazione del suolo | Stima l'attività della popolazione microbica del suolo misurando la quantità di CO_2 prodotta nell'ossidazione della sostanza organica (respirazione del suolo). La respirazione del suolo è un indicatore capace di valutare le differenze o i cambiamenti nella popolazione microbica perché dipende dallo stato fisiologico delle cellule microbiche ed è influenzata dall'umidità, temperatura e struttura del suolo. E' inoltre, altamente relazionata con la sostanza organica e influenzata dall'umidità, dalla temperatura e dalla struttura del suolo. | velocità di produzione di CO_2 : $\text{mg CO}_2 / \text{g suolo x ora}$ | S | SI |
| Respirazione / biomassa | Stima la quantità di CO_2 prodotta nella respirazione basale della popolazione microbica per unità di biomassa microbica. Il rapporto permette di relazionare l'attività e la "dimensione" della biomassa microbica per valutare gli effetti del cambiamento ambientale nella popolazione microbica. | velocità di produzione di CO_2 (mg C/ora) in una unità di peso di biomassa (mg C biomassa). | S | NO |

| Indicatori e/o indici | Scopo | Unità di misura | DPSIR | Indicatore prioritario |
|---------------------------------------|---|---|--------------|-------------------------------|
| Carica microbica | Stima la carica microbica presente nel suolo considerando i principali gruppi (batteri aerobi totali, batteri anaerobi totali ed eumiceti totali, ecc.) che sono rappresentativi della comunità microbica nella sua interezza. Valuta la densità della popolazione microbica come indicatore dello status biologico del suolo. | numero di cellule microbiche in 1 g di suolo (peso secco). | S | NO |
| Attività enzimatica | Fornisce una valutazione dell'attività enzimatica del suolo come un indicatore di fertilità in quanto gli enzimi catalizzano numerose reazioni del suolo (decomposizione dei residui organici, del ciclo di elementi nutritivi, formazione della sostanza organica e struttura del suolo). Stima l'attività enzimatica e la relazione con le perturbazioni apportate alla biologia e biochimica del suolo come conseguenza di fattori ambientali e/o antropici. | velocità di produzione del prodotto della reazione enzimatica (mg prodotto/ora) in una quantità standard di suolo (kg). | S | NO |
| Biodiversità | Stima la diversità di specie rappresentative di un determinato suolo e la densità di popolazione di ogni specie dal punto di vista della copertura vegetale e della micro, meso e macrofauna. Quantifica la diversità taxonomica e metabolica del suolo come fattore determinante dei processi di decomposizione e del flusso di C in un ecosistema. | numero / ha | S/I | NO |
| Porosità del suolo | La porosità è fondamentale nel determinare la fertilità fisica del terreno. Dalla porosità, o meglio dalla distribuzione dei pori nel terreno, dipendono infatti, il flusso liquido e l'aerazione del terreno. E' una caratteristica fisica che può variare nel tempo in seguito a modificazioni indotte da interventi antropici o anche eventi naturali. Definisce e quantifica le qualità fisiche e strutturali dei suoli. | % | S | NO |
| Conducibilità idraulica satura | La conducibilità idraulica di un suolo è la misura della sua capacità a trasmettere acqua e dipende dalla geometria dei pori (tessitura e struttura). Definisce e quantifica le proprietà idrologiche dei suoli le quali concorrono anch'esse a determinare le qualità fisiche e strutturali dei suoli stessi. | Cm/d | S | NO |

| Indicatori e/o indici | Scopo | Unità di misura | DPSIR | Indicatore prioritario |
|--|--|--|-------|------------------------|
| Grado di compattamento e suscettibilità al compattamento | Quantifica il danno prodotto dal compattamento il quale si evidenzia in termini di diminuzione di porosità e di resistenza alla penetrazione mediante penetrometro. A titolo di esempio il grado di compattamento si può definire attraverso la misura di porosità con il metodo micromorfometrico: un terreno si considera compatto quando i valori di porosità sono inferiori al 10%. | % (in termini di porosità); kPa (in termini di resistenza alla penetrazione) | S | NO |
| Strati compatti lungo il profilo | L'indicatore definisce i fenomeni di compattamento legati alla coltivazione intensiva del terreno, i quali non sono solo rappresentati dal compattamento superficiale dovuto al passaggio di macchine agricole ma possono verificarsi anche lungo il profilo colturale. Il caso più tipico è rappresentato dalla formazione di uno strato compatto al limite inferiore della lavorazione del terreno (suola d'aratura). Quantifica il danno prodotto dal compattamento negli strati subsuperficiali il quale si evidenzia in termini di diminuzione di porosità e aumento di resistenza alla penetrazione. | % (in termini di porosità); kPa (in termini di resistenza alla penetrazione) | S | NO |
| Croste superficiali e suscettibilità alla loro formazione | Consente di valutare la suscettibilità del suolo a formare croste superficiali in relazione a caratteristiche fisiche del suolo. Permette di determinare, all'interno delle aree agricole i siti maggiormente sensibili. | D50 | S | NO |
| Crepacciamento | Quantifica il grado di fessurabilità del suolo. L'estensione areale e la dimensione delle crepe e le loro variazioni stagionali costituiscono elementi utili per valutare la capacità del terreno di autostrutturarsi in seguito all'alternarsi dei cicli di essiccamento-inumidimento, ma soprattutto consentono di stimare l'infiltrazione dell'acqua attraverso il sistema di crepe (bypass flow). Queste informazioni sono fondamentali per la stima dell'erosione. | % | S | NO |
| Perdita di struttura | Definisce lo stato di disgregazione del suolo in seguito all'applicazione di forze esterne (azione dell'acqua, azioni meccaniche, ecc.) che, nel caso in cui siano più forti delle forze coesive degli aggregati, possono separare porzioni di terreno. Per perdita di struttura si intende quindi la perdita di capacità del terreno di resistere a queste forze disgreganti. Quantifica la stabilità degli aggregati e quindi la stabilità della struttura del suolo. | indice da 0 a 100 | S | NO |
| Erodibilità | Definisce la suscettibilità del suolo all'erosione sulla base di caratteristiche fisiche del suolo. Consente di definire le aree più vulnerabili all'interno di sistemi agricoli complessi (bacini). | t/ha anno | S | SI |

| Indicatori e/o indici | Scopo | Unità di misura | DPSIR | Indicatore prioritario |
|---|--|--|-------|------------------------|
| Rilascio di sedimento da aree agricole | Misura la produzione specifica di sedimento proveniente da aree agricole e che si riversa nella rete idrografica. L'indicatore consente di valutare il contributo del cambiamento delle politiche agricole e degli usi attuali del suolo nell'incrementare o diminuire l'apporto solido in sospensione nelle acque fluviali. Valuta l'aumento o la diminuzione del rischio di danni causati dai sedimenti in occasione di eventi alluvionali e di quello conseguente alla sedimentazione dei fanghi in strutture idrauliche di raccolta delle acque (serbatoi artificiali a scopo plurimo). L'indicatore è di interesse per le Autorità di Bacino. | t/ha* anno | I/P | SI |
| Profondità utile del suolo | Individua aree omogenee per classi di profondità del suolo, quest'ultima definita come distanza tra superficie e la base del profilo che costituisce un ostacolo alla penetrazione delle radici (roccia madre, orizzonte indurito). | cm | S | SI |
| Ritenzione idrica | Valuta la capacità del terreno di trattenere l'acqua in forma più o meno disponibile per le piante. Definisce e quantifica le proprietà idrologiche dei suoli, in particolare l'acqua disponibile per le piante, le quali concorrono anch'esse a determinare le qualità fisiche e strutturali dei suoli stessi. | relazione fra contenuto idrico e potenziale di matrice | S | NO |
| Pendenza del suolo | Individua la media regionale del massimo angolo di pendenza e suddivide il territorio in aree omogenee per classi di pendenza del suolo. | % | S | SI |
| Erosione idrica | Stima il rischio di erosione del suolo dovuta all'azione superficiale dell'acqua in sistemi agricoli complessi (bacini). La conoscenza di questa caratteristica del suolo risulta particolarmente utile come strumento decisionale per la pianificazione degli interventi di conservazione del suolo sulla base di una singola unità di territorio. | t/ha * anno | S | SI |
| Erosione eolica | Stima l'erosione del suolo dovuta all'azione del vento in aree agricole o unità territoriali costituite da porzioni di versante. Il calcolo dell'indice risulta particolarmente utile come strumento decisionale per la pianificazione degli interventi di conservazione del suolo sulla base di una singola unità di territorio. | t/ha * anno | S | SI |
| Salinizzazione | Individua i suoli colpiti dal processo di salinizzazione, definito come aumento della concentrazione di sali (solubili, di sodio di scambio o di entrambi) tale da alterare le normali proprietà chimiche e fisiche. I terreni colpiti da salinizzazione vengono solitamente distinti in tre categorie: salino, sodico, sodico-salino. Il fenomeno in Italia riguarda soprattutto le pianure costiere. | ha | S | NO |

| Indicatori e/o indici | Scopo | Unità di misura | DPSIR | Indicatore prioritario |
|---|---|---------------------------------------|-------|------------------------|
| Superficie totale percorsa da incendi | Valuta l'occorrenza d'incendi come numero e dimensione (superficie boscata e non boscata) percorsa dal fuoco. La lenta e difficile rigenerazione dei danni provocati non solo dalla distruzione della biodiversità (vegetazione e fauna) é aggravata dall'alterazione della proprietà fisiche del terreno, favorendo l'erosione delle acque e del vento. La conoscenza delle cause, delle caratteristiche, della frequenza degli incendi e, dell'estensione dell'area colpita determina l'efficacia delle attività di prevenzione e di repressione degli incendi in generale e distingue l'indicatore come prioritario nella valutazione della degradazione fisica e biologica del suolo. | km ² | I | SI |
| Rischio di desertificazione | Definisce la vulnerabilità e la sensibilità alla desertificazione in base all'individuazione di un indice composito che classifica il territorio secondo una scala di rischio: si individuano così le aree a rischio di desertificazione sul territorio italiano. | Classi di rischio di desertificazione | S | SI |
| Uso del suolo | Quantifica le superfici utilizzate a differenti scopi (urbano, industriale, agricolo, turistico, ricreativo – naturalistico, ecc.) in modo da fornire un quadro generale delle principali attività antropiche e/o economiche presenti sul territorio. | % | D | SI |
| N° e dimensione delle aziende agricole | Rappresenta il cambiamento nel numero e nelle dimensioni delle aziende agricole in classi di superficie agricola media. | numero ed ha | D | SI |
| Superficie totale aziende agricole (ST) | Prende in esame l'utilizzo del suolo agricolo (ST) e fornisce indicazioni sull'andamento e sull'estensione del suolo agrario nel territorio. | ha | D | NO |
| Superficie agricola utilizzabile (SAU) | Fornisce indicazioni sull'andamento dell'uso del suolo effettivamente destinato a scopo agricolo (SAU) nelle aziende agrarie. | ha | D | NO |
| Rapporto SAU/ST | Definisce la parte di suolo delle aziende agrarie effettivamente utilizzata per le colture e fornisce un chiarimento in merito alla destinazione d'uso principale del suolo agrario. | % | D | SI |
| Numero addetti in agricoltura | Individua il numero di persone impegnate in ambito agricolo sul totale della popolazione lavorativa e valuta la variazione nel tempo dell'occupazione in agricoltura. | % | D | NO |
| Reddito degli addetti in agricoltura (UDE = Unità dimensioni economiche) | Prende in esame il reddito delle persone impegnate in campo agricolo e descrive la variazione nel tempo del reddito dell'occupazione in agricoltura. | milioni di lire/pro capite | D | NO |

| Indicatori e/o indici | Scopo | Unità di misura | DPSIR | Indicatore prioritario |
|---|--|--|--------------|-------------------------------|
| Utilizzo di fertilizzanti minerali (N, P, K) | Esprime la variazione nel tempo dei quantitativi degli elementi fertilizzanti N, P, K, utilizzati in agricoltura da dati di fertilizzanti immessi sul mercato o applicati al suolo. | kg/ha | P | SI |
| Giornate di lavoro degli addetti in agricoltura | Considera il numero delle giornate di lavoro delle persone impegnate in campo agricolo, fornendone la variazione nel tempo. | numero / anno | D | NO |
| Fertilizzazione organica | Prende in esame i quantitativi di fanghi civili ed agroindustriali destinati all'uso agricolo: stima l'ammontare di sostanza organica di origine antropica che rientra nel ciclo naturale attraverso il suolo, a seguito del loro reimpiego. | t/ha | P | SI |
| Contenuto metalli pesanti nei fertilizzanti minerali ed organici | Fornisce una valutazione del contenuto di metalli pesanti applicati al terreno tramite i fertilizzanti | mg/kg | P | NO |
| Utilizzo di fitofarmaci (erbicidi, fungicidi, insetticidi) | Esprime il grado di contaminazione del suolo e la tendenza all'uso di fitofarmaci in agricoltura a partire dai dati di vendita di erbicidi, fungicidi, insetticidi ed altri disinfestanti in genere. | t/anno | P | SI |
| Consistenza degli allevamenti zootecnici | Individua la consistenza degli allevamenti e le specie animali maggiormente diffuse. | numero di capi per tipo di animale | P | SI |
| Produzione liquami zootecnici | Individua i quantitativi di liquami zootecnici prodotti dagli allevamenti per valutare il carico di elementi nutritivi proveniente dalla produzione di liquami zootecnici. | t | P | NO |
| Contenuto metalli pesanti nei liquami zootecnici | Individua il livello di metalli pesanti nei liquami zootecnici e ne esprime il conseguente potenziale inquinante per l'uso in agricoltura. | mg/kg | P | NO |
| Aree usate per agricoltura intensiva | Valuta la tendenza, nelle pratiche agricole, all'agricoltura intensiva, che può nel lungo, o nel breve periodo, generare perdita di biodiversità. | % | P | SI |
| Cambio nelle pratiche d'uso agricolo | Descrive la variazione nelle pratiche agricole tradizionali per l'uso del suolo. Valuta il potenziale mantenimento della biodiversità, tramite pratiche d'uso tradizionali del suolo, in opposto alla gestione intensiva. La variazione nelle pratiche agricole tradizionali comportano comporta l'omogeneizzazione dell'uso del suolo e la perdita di habitat e specie diverse. | numero di habitat per azienda agricola | P | SI |

| Indicatori e/o indici | Scopo | Unità di misura | DPSIR | Indicatore prioritario |
|--|---|------------------------|--------------|-------------------------------|
| Aree destinate a set-aside (Reg. CEE 1094/88) | Valuta l'estensione ed i trend delle aree destinate ad incolto. | ha/ST | R | NO |
| Aziende che aderiscono a misure agroambientali (Reg. CEE 2078-2080/92,) | Individua le aziende che aderiscono a misure agroambientali e valuta il trend di estensione delle aziende agrarie che praticano una gestione a basso impatto ambientale. | numero/ha | R | NO |
| Aziende convertite all'agricoltura biologica (Reg. CEE 2092/91) | Individua l'estensione delle aree dove si è convertita la pratica agricola verso tecniche biologiche. Valuta il trend di sviluppo di tecniche di agricoltura biologica. | numero/ha | R | NO |
| Utilizzo di sostanza organica di qualità in agricoltura | Definisce l'impiego, in agricoltura, di sostanza organica di qualità in alternativa a concimazioni sintetiche. Valuta l'entità di reimpiego di sostanza organica di cui sia stata verificata la qualità. | t / ha | R | NO |
| Vendita macchine agricole per localizzazione concimi | Definisce quante macchine agricole di questo tipo vengono immesse sul mercato e quindi utilizzate dalle aziende agricole. Il numero di macchine agricole vendute è correlato al corretto uso di fertilizzanti chimici. | numero / anno | R | NO |
| Vendita macchine agricole per localizzazione erbicidi | Descrive quante macchine agricole di questo tipo vengono immesse sul mercato e quindi utilizzate dalle aziende agricole. Il numero di macchine agricole vendute è correlato al corretto uso di erbicidi. | numero / anno | R | NO |
| Cambiamento di uso del suolo | Quantifica la superficie di territorio convertita ad una destinazione e ad un utilizzo diverso dal precedente. L'indicatore rappresenta il cambiamento di uso del suolo e determina i modelli di sviluppo delle pressioni sul territorio. | km ² / anno | R/I | NO |
| Superfici adibite a coltivazioni a basso impatto ambientale | Prende in esame le aziende e quindi le superfici destinate a colture a basso impatto ambientale. Stima l'andamento temporale e spaziale delle adesioni ai regolamenti CEE che incentivano l'agricoltura a basso impatto ambientale. | ha/ST | R | SI |

ALLEGATO 3: PROGETTI UTILI PER LA RETE DI MONITORAGGIO

La rete di monitoraggio dovrebbe, per quanto possibile, interessare i siti di rilevamento già esistenti, integrandosi con altre attività rivolte direttamente o indirettamente alla matrice suolo (reti di monitoraggio, siti sperimentali etc...) allo scopo di contenere i costi di gestione, aumentare lo scambio di informazioni e permettere l'estrapolazione dei dati ad aree non monitorate.

Di seguito viene proposta una rassegna delle reti di monitoraggio e di progetti che interessano il suolo, considerati utili e coerenti alle finalità ed agli obiettivi della rete di monitoraggio del suolo, che rappresenta lo stato attuale delle nostre conoscenze e che sarà oggetto di progressivo aggiornamento.

Reti di monitoraggio esistenti

Le reti di monitoraggio che potrebbero risultare utili sono la rete di monitoraggio delle acque interne, la rete qualità dell'aria e la rete emissioni in atmosfera:

- **La rete di monitoraggio delle acque interne; presenta cinque tipi di siti:**
 - siti di riferimento: acque naturali (laghi, fiumi, falde);
 - siti di base: per la caratterizzazione di regioni o sistemi per generare dati per l'estrapolazione a simili sistemi non monitorati;
 - siti rappresentativi o di indice: gruppo di siti utilizzati per fornire stime sintetiche di scenari regionali o nazionali; di solito sono selezionati da progetti di monitoraggio a lungo termine per avere il massimo di dati storici disponibili;
 - siti di impatto: per registrare e caratterizzare particolari aspetti degli impatti per l'uomo;
 - siti di flusso: siti in cui i principali fiumi attraversano i confini nazionali o interagiscono con altri corpi d'acqua.

Ci potrebbero essere dei benefici considerevoli a seguito dell'integrazione dei sistemi di monitoraggio del suolo e delle acque. Il concetto di diversi tipi di sito potrebbe essere adattato al suolo (ad eccezione dei siti di flusso). Siti posti fra loro in vicinanza o simili potrebbero essere utilizzati come siti di riferimento e di impatto, nonostante siti ulteriori potrebbero essere necessari per alcuni aspetti del suolo che non sono coperti nella rete delle acque;

- **La rete qualità dell'aria;** i dati dalle reti nazionali sono gestiti in Airbase, a cura dell'ETC/AQ. Inoltre ETC/AQ sta mettendo a punto EuroAirNet, che selezionerà siti urbani e di fondo dalle reti nazionali esistenti. Ci sono 35 parametri nel sistema Airbase, e sono inclusi parametri addizionali su stazioni e reti. Si tratta di un sistema di monitoraggio completo ed articolato che potrà rappresentare una utile fonte di dati da confrontare con i modelli di deposizione in specifiche regioni;
- **La rete emissioni in atmosfera;** le emissioni sono monitorate utilizzando un sistema tipo catasto. Non sono state installate stazioni di monitoraggio per stimare le emissioni dal suolo. Le informazioni sulle emissioni costituiranno una utile fonte per stimare a grandi linee i carichi di deposizione sul suolo.

Progetti specifici che interessano il suolo

Il progetto CON.ECO.FOR

Il primo è il Programma Italiano per il Controllo degli Ecosistemi Forestali (CON.ECO.FOR) che ha attivato i primi 20 siti di monitoraggio in parcelle forestali nel 1995 e per i quali sono disponibili le analisi chimiche e la caratterizzazione pedologica. Di seguito si riporta una breve descrizione generale del Programma.

In seguito all'emanazione del Regolamento (CE) n. 1091/94, è stato avviato dalla DG VI della Commissione Europea, in collaborazione con il Centro di Coordinamento dell'ICP Forests, il Programma Pan Europeo di Monitoraggio Intensivo degli Ecosistemi Forestali.

Ogni Stato è coordinato al proprio interno dal Centro Focale Nazionale (NFC - National Focal Centre) che ha il compito di coordinare i progetti di monitoraggio nazionali e di garantirne e certificarne sia tecnicamente che finanziariamente la realizzazione.

Per l'Italia il NFC è rappresentato dalla Divisione V della Direzione Generale delle Risorse Forestali, Montane ed Idriche del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali, che avvalendosi di personale laureato nei settori tecnici, ed, attraverso le strutture centrali del Corpo Forestale dello Stato, in collaborazione con le Regioni già da tempo attive in questo settore, ha realizzato, a partire dal 1995, un programma basato su di una Rete Nazionale Integrata per il Controllo degli Ecosistemi Forestali (CONECOFOR), costituita attualmente da 27 aree permanenti (inizialmente 20 aree).

Tali aree, distribuite su tutto il territorio nazionale, sono rappresentative delle principali biocenosi forestali (boschi di faggio 9 aree, di cerro 5 aree, di abete rosso 6 aree, di leccio 4 aree, di rovere o farnia 2 aree, di faggio e abete bianco 1 area).

Nelle aree, secondo diversi livelli di intensità, si effettuano indagini scientifiche fondamentali, previste dal Regolamento CE n. 1091/94, volte ad investigare i cambiamenti a livello strutturale e funzionale degli ecosistemi in relazione a possibili fonti di inquinamento o ad altri fattori di perturbazione su larga scala.

Nel 1994 è stata effettuata una prima selezione di 20 aree, esaminando sul terreno circa 40 aree per la maggior parte proposte dalle Amministrazioni Regionali o Provinciali competenti per territorio, secondo i criteri dettati dal Reg. CE n. 1091/94, ed in particolare tenendo conto di priorità fissate a livello nazionale quali: l'appartenenza del sito ad una rete pre-esistente, l'omogeneità ecologica e biocenotica del sito e dell'area vasta circostante, la rappresentatività regionale e nazionale, il livello di accessibilità, l'ubicazione del sito lontano da fonti locali note di inquinamento atmosferico, la proprietà del terreno, il regime di protezione, la disponibilità di personale di supporto locale.

Nel 1998 sono state selezionate ulteriori sei aree, mentre nel 2000 si è aggiunta l'ultima area.

La procedura seguita nel 1995 per installare le 20 aree ha previsto l'individuazione di un'area vasta omogenea, con superficie minima di 100.000 m² (10 ha), la delimitazione all'interno

dell'area vasta di due parcelle (di analisi e di controllo) di 2.500 m² di forma quadrata (50 x 50 m), la localizzazione all'interno dell'area vasta di un sito Open Field, la delimitazione di 25 subaree 10 x 10 m nella parcella di analisi, la localizzazione sul terreno e cartografica dei 5 siti di campionamento del suolo all'interno della parcella di analisi, la localizzazione sul terreno e cartografica dei 5 alberi per specie dominante sui quali effettuare il campionamento delle foglie all'interno della parcella di analisi, l'individuazione degli alberi per il rilevamento dello stato delle chiome all'interno della parcella di analisi, la numerazione sul terreno e cartografia in scala 1:250 di tutti gli alberi della parcella di analisi, il rilievo microtopografico del terreno nella parcella di analisi ed infine la recinzione delle due parcelle.

Per tutte le aree permanenti selezionate sono state scelte zone caratterizzate da un buon livello di omogeneità ambientale presente su di una superficie di almeno 100.000 m² (10 ha), fino a 1.000.000 m² (100 ha) circa (area vasta). All'interno di tale area sono state delimitate due parcelle sperimentali adiacenti e separate, ciascuna con superficie di 2.500 m², quasi sempre di forma quadrata (50 x 50 m). Mentre la parcella di controllo ha l'unica funzione di fornire dati sulla vegetazione, considerata una buona indicatrice dello stato della biocenosi (i dati, rilevati ogni 3 anni, vengono confrontati con quelli rilevati nell'area di analisi, al fine di considerare l'impatto dovuto alle altre ricerche sulla biocenosi oggetto di studio), la parcella di analisi è invece destinata allo svolgimento di quasi tutte le ricerche fondamentali.

Tali indagini comprendono la valutazione dello stato delle chiome degli alberi, le analisi chimiche dei suoli e delle foglie, le analisi delle deposizioni atmosferiche, lo studio degli accrescimenti degli alberi, le indagini meteorologiche e lo studio della vegetazione arborea, arbustiva ed erbacea. Indagini opzionali, ugualmente avviate nelle aree permanenti, sono il telerilevamento e lo studio degli inquinanti atmosferici.

Le ricerche, svolte con frequenza prestabilita e secondo metodologie riportate nei protocolli internazionali, e per alcune ricerche in manuali nazionali, nonché negli specifici Regolamenti CE, sono sotto il controllo e l'indirizzo scientifico di Enti di ricerca di rilevanza nazionale, con i quali la Direzione Generale delle Risorse Forestali, Montane e Idriche (Divisione V) stipula annualmente apposite convenzioni.

Le indagini e le analisi vengono materialmente effettuate nelle singole aree da diversi esperti di Istituti di ricerca nazionali o locali o dalle squadre di campagna composte dal personale del Corpo Forestale dello Stato degli Uffici periferici, nonché dal personale delle Regioni proprietarie dei terreni ove si collocano alcune aree permanenti.

I dati, validati e sottoposti ad un iniziale processo di valutazione, vengono inviati alla fine di ogni anno, secondo i termini e le procedure prestabilite, al Forest Intensive Monitoring Coordinating Institute (FIMCI), organo di supporto della Commissione Europea per la gestione ed elaborazione dei dati, che li immette in una banca dati centrale europea.

Elenco delle aree CONECOFOR

| | |
|-----------|--|
| 01 - ABR1 | Selva Piana (Collelongo - AQ), m 1500 (bosco alto fusto a <i>Fagus sylvatica</i>) |
| 02 - BAS1 | Monte Grosso (Potenza), m 1125 (bosco alto fusto a <i>Quercus cerris</i>) |
| 03 - CAL1 | Piano Limina (Giffone - RC), m 1100 (bosco alto fusto a <i>Fagus sylvatica</i>) |
| 04 - CAM1 | Serra Nuda (Corleto Monforte - SA), m 1175 (bosco alto fusto a <i>Fagus sylvatica</i>) |
| 05 - EMI1 | Carrega (Sala Baganza - PR), m 200 (bosco alto fusto a <i>Quercus petraea</i>) |
| 06 - EMI2 | Brasimone (Camugnano - BO), m 975 (bosco alto fusto a <i>Fagus sylvatica</i>) |
| 07 - FRI1 | Bosco Boscat (Castion di Strada - UD), m 6 (bosco in conversione alto fusto a <i>Carpinus betulus</i> e <i>Quercus robur</i>) |
| 08 - FRI2 | Tarvisio (Tarvisio-UD), m 820 (bosco alto fusto a <i>Picea abies</i>) |
| 09 - LAZ1 | Monte Rufeno (Acquapendente - VT), m 690 (bosco ceduo invecchiato a <i>Quercus cerris</i>) |
| 10 - LOM1 | Val Masino (Val Masino - SO), m 1190 (bosco alto fusto a <i>Picea abies</i>) |
| 11 - MAR1 | Roti (Matelica - MC), m 775 (bosco ceduo invecchiato a <i>Quercus cerris</i>) |
| 12 - PIE1 | Val Sessera (Bioglio - BI), m 1150 (bosco ceduo avviato ad alto fusto a <i>Fagus sylvatica</i>) |
| 13 - PUG1 | Foresta Umbra (Vico del Gargano - FG), m 800 (bosco alto fusto a <i>Fagus sylvatica</i>) |
| 14 - SAR1 | Marganai (Iglesias - CA), m 700 (bosco alto fusto a <i>Quercus ilex</i>) |
| 15 - SIC1 | Ficuzza (Godrano - PA), m 940 (bosco ceduo invecchiato a <i>Quercus cerris</i>) |
| 16 - TOS1 | Colognole (Livorno), m 150 (bosco ceduo invecchiato a <i>Quercus ilex</i>) |
| 17 - TRE1 | Passo Lavazè (Trento), m 1775 (bosco alto fusto a <i>Picea abies</i>) |
| 18 - UMB1 | Pietralunga (Pietralunga - PG), m 725 (bosco ceduo in conversione ad alto fusto a <i>Quercus cerris</i>) |
| 19 - VAL1 | La Thuile (La Thuile - AO), m 1740 (bosco alto fusto a <i>Picea abies</i>) |
| 20 - VEN1 | Pian di Cansiglio (Vittorio Veneto - TV), m 1100 (bosco alto fusto a <i>Fagus sylvatica</i>) |
| 21 - ABR2 | Rosello (Rosello - CH), m 980 (bosco alto fusto a <i>Fagus sylvatica</i>) |
| 22 - LAZ2 | Monte Circeo (S. Felice Circeo - LT), m 190 (bosco ceduo a <i>Quercus ilex</i>) |
| 23 - LOM2 | Giovetto (Borno - BS), m 1150 (bosco alto fusto a <i>Picea abies</i>) |
| 24 - LOM3 | Valsassina (Moggio - LC), m 1250 (bosco alto fusto a <i>Fagus sylvatica</i>) |
| 25 - TOS2 | Cala Violina (Scarlino - GR), m 150 (bosco ceduo in conversione a <i>Quercus ilex</i>) |
| 26 - TOS3 | Vallombrosa (Reggello - FI), m 1170 (bosco alto fusto a <i>Fagus sylvatica</i>) |
| 27 - BOL1 | Renon (Bolzano), m 1740 (bosco alto fusto a <i>Picea abies</i>) |

Area e frequenza di studio

Le indagini sono state effettuate per la prima volta nel 1995 su tutte le aree attivate (20). Ne è prevista la ripetizione (o l'effettuazione per la prima volta) su tutte le aree attivate nel 2005. A partire dal 1999 sono anche effettuate analisi delle soluzioni nei suoli in 2 sole aree sperimentali.

Metodologia

I parametri determinati sono stati finora quelli considerati obbligatori dall'Unione Europea. Un parametro di questi, la soil unit, cioè la classificazione del terreno secondo il sistema FAO, necessita di una particolare menzione, per due ragioni: viene imposto come parametro che definisce il sito, insieme ai parametri geografici, ed è il risultato di una vasta serie di determinazioni. Per gli altri parametri sono stati analizzati i seguenti strati del terreno:

- Strato organico
- 0-10 cm strato minerale
- 10-20 cm strato minerale
- 20-40 cm strato minerale
- 40-80 cm strato minerale

I parametri determinati per lo strato organico sono: pH, Carbonio totale, Azoto totale, Ammontare dello strato organico, Calcare totale (per pH>6), Calcio totale, Magnesio totale, Fosforo totale, Potassio totale.

I parametri determinati per gli strati minerali sono:

pH, Carbonio totale, Azoto totale, Calcare totale, Acidità scambiabile, Saturazione basica, Capacità di scambio cationico.

I metodi usati per la determinazione di tutti i parametri sono quelli indicati dalla Unione Europea, descritti nel Manuale pubblicato dal Programme Coordinating Centre del 1994.

Di seguito si riporta un esempio di scheda relativa alla caratterizzazione pedologica e chimica degli orizzonti

16 - TOS1

Località: Le Sorgenti

| | | |
|--------------------------------|---|-------------------------|
| Quota s.l.m.: 150 m | Pendenza: 16 % | Esposizione: NNE |
| Substrato pedogenetico: gabbro | Morfologia: versante collinare | |
| Rocciosità: assente | Pietrosità: 1 - 3 % | Erosione: forte diffusa |
| Vegetazione: querceto | Classificazione FAO: Eutric CAMBISOLS (146) | |

L'area è posta su un versante collinare a media pendenza (16 %) delle colline metallifere. Tali colline, rappresentando i primi rilievi prossimi alla costa tirrenica, frenano tutte le perturbazioni provenienti da Ovest e quindi l'area risulta interessata da un'elevata piovosità.

Il substrato pedogenetico è composto da roccia intrusiva di tipi gabbrico, caratterizzata da un'abbondante presenza di minerali femici (olivine e pirosseni), particolarmente ricchi di ioni magnesio e ferro e di plagioclasti di tipo anortite-bytownite, ricchi di ioni calcio.

La facilità di alterazione delle superficie dei minerali di alta pressione e temperatura rendono il substrato facilmente erodibile. Questo ha influenzato notevolmente la formazione del suolo che, pur presentandosi con profili A-B-C risulta poco profondo.

Il suolo presenta un orizzonte B di tipo cambico, cioè dove i processi alterativi prevalgono su quelli di illuviazione.

Suolo moderatamente acido, di tessitura equilibrata praticamente saturo in basi con netta prevalenza del Mg sul Ca. La composizione del complesso di scambio deriva dalla abbondanza degli ioni disponibili dall'alterazione del substrato dove prevalgono gli ioni Magnesio su quelli Calcio.

L'orizzonte organico, praticamente inesistente è costituito da materiali emici.

Descrizione profilo

| | | |
|-----------|------------|--|
| O | cm 0.5 - 0 | materiale organico emico, lettiera di foglie molto alterata, riconoscibili solo i frustuli. |
| A | cm 0 - 5 | colore um. bruno scuro (10YR 3/3); tessitura media (F); scheletro assente; struttura granulare fine moderata; pori abbondanti piccoli e medi; radici abbondanti molto fini; effervescenza assente; reazione mediamente acida (pH 5.6); limite inferiore abrupto lineare. |
| B | cm 5 - 25 | colore um. bruno (10YR 4/4); tessitura media (FL); scheletro frequente (10/25 %); struttura poliedrica subangolare fine evidente; pori abbondanti piccoli e medi; radici comuni fini; effervescenza assente; reazione subacida (pH 6.3); screziature scarse piccole poco evidenti colore marrone luminoso (7,5YR 5/6); limite inferiore chiaro ondolato. |
| BC | cm 25 - 40 | colore um. bruno (10YR 4/3); tessitura media (FA); scheletro abbondante (25/50 %); struttura poliedrica subangolare media moderata; pori comuni piccoli; radici scarse medie; effervescenza assente; reazione subacida (pH 6.2); screziature scarse piccole evidenti di colore bruno luminoso (7,5YR 5/6); limite inferiore ondolato per presenza di roccia. |

| Or | pH | Calc % | Granulometria % | | | Tess | Basi di scambio meq/100g | | | | | CSC meq/100g | SB % | SO % | Fe % | Al % |
|-----------|-----|--------|-----------------|------|------|------|--------------------------|-------|------|------|------|--------------|------|-------|------|------|
| | | | S | L | A | | Ca | Mg | Na | K | H | | | | | |
| O | | | | | | | | | | | | | | 68.61 | | |
| A | 5.6 | ass | 31.4 | 45.0 | 23.6 | F | 13.66 | 25.15 | 0.35 | 0.58 | 1.22 | 40.96 | 97.0 | 6.23 | | |
| B | 6.3 | " | 22.3 | 50.8 | 26.9 | FL | 13.18 | 27.47 | 0.35 | 0.55 | 0.34 | 41.89 | 99.2 | 2.38 | 0.34 | 0.02 |
| BC | 6.2 | " | 30.3 | 47.7 | 28.9 | FA | 8.40 | 26.32 | 0.35 | 0.60 | 4.44 | 40.11 | 88.9 | 2.75 | 0.30 | 0.02 |

Il progetto ATLAS

Il progetto ATLAS, promosso nell'ambito delle iniziative dell'Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo, prevede la redazione di un atlante che illustri con esempi pratici alcuni tra i molteplici indicatori esistenti per la definizione della qualità del suolo, scelti tra parametri qualificanti la fertilità fisica, chimica e biologica.

Inizialmente lo studio prevede solo alcuni esempi mirati di indicatori fisici e chimici su suoli italiani a vocazione agraria e forestale, successivamente sarà esteso anche agli indicatori biologici selezionati dal CTN SSC. Gli operatori coinvolti sono l'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo di Firenze (ISSDS FI) e l'Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante di Roma (ISNP RM). Va infine sottolineato che il progetto non si propone di effettuare un monitoraggio nel tempo, pertanto i parametri determinati nelle aree selezionate per lo studio possono costituire il punto zero cui fare riferimento nella rete di monitoraggio nazionale dei suoli.

Per quanto riguarda gli indicatori fisici sono stati considerati:

- porosità (sistema dei pori), mediante la tecnica della micromorfologia, basata sullo studio al microscopio ottico di sezioni sottili di terreno opportunamente preparate e determinazione qualitativa e quantitativa della porosità per mezzo dell'analisi di immagine;
- grado di compattamento e suscettibilità al compattamento;
- croste superficiali e suscettibilità alla loro formazione (limo, stabilità degli aggregati, sostanza organica);
- strati compatti lungo il profilo (suola d'aratura);
- perdita di struttura (effetto di interventi antropici: lavorazioni, sbancamenti, ecc.);
- erodibilità (quantificazione e previsione dei processi erosivi);
- crepacciamento (indice di fessurabilità; relazione crepe - capacità di autostrutturazione).
- per gli indicatori chimici sono stati prescelti i parametri descrittivi della sostanza organica:
 - carbonio organico totale (TOC) %;
 - carbonio organico estraibile (TEC) %;
 - carbonio umico e fulvico (HA+FA) %
 - TEC/TOC;
 - tasso di umificazione (HR) %, dato dal rapporto (HA+FA)/TOC;
 - grado di umificazione (DH) %, rappresentato dal rapporto (HA+FA)/TEC;
 - indice di umificazione (HI) %, espresso dal rapporto $TEC - (HA+FA)/(HA+FA)$.

Si determinano inoltre l'N totale e il rapporto C/N.

Scelta e localizzazione dei siti

I siti sono stati scelti perché qualificanti alcuni ambienti e situazioni gestionali tipiche italiane. L'elenco è il seguente:

- Centro sperimentale ISSDS di Fagna, Mugello, Scarperia (Firenze). Suoli a tessitura franco-argillosa sviluppati su sedimenti lacustri rappresentativi degli ambienti

- collinari Tosco-Romagnoli. Sono presenti esperimenti a lungo termine in cui si confrontano diversi tipi di lavorazioni del terreno e di gestione del suolo;
- Centro sperimentale ISSDS di Vicarello, Volterra (Pisa). Suoli a tessitura argillosa sviluppati su argille marine del pliocene rappresentativi di ambienti collinari del Centro Italia. E' presente un esperimento a lungo termine impostato nel 1970 in cui si confrontano diversi sistemi di gestione del suolo, incluso il terreno incolto;
 - Centro sperimentale ISSDS di San Pastore, loc. Piedifiume (Rieti). Suoli franco-argillosi alluvionali. Esperimenti a lungo termine di differenti sistemi di lavorazione del terreno;
 - Centro sperimentale ISSDS di San Pastore, loc. Casa Bianca (Rieti). Suoli argillosi alluvionali. Esperimenti a lungo termine di differenti sistemi di lavorazione del terreno;
 - Azienda sperimentale Università di Palermo, Pietranera (Agrigento). Vertisuoli rappresentativi dell'entroterra collinare argilloso. Sono stati individuati due profili sottoposti alle stesse pratiche colturali (seminativo) ma differenti per la pendenza (12 e 4 % circa) ed il colore (grigio-oliva e nero);
 - Tenuta Presidenziale di Castelporziano (Roma). Suolo forestale con zone degradate dall'alto carico di fauna selvatica (in prevalenza cinghiali);
 - Tenuta Presidenziale di Castelporziano (Roma). Suolo agrario (prato permanente con aree compattate dal calpestio del bestiame);
 - Caldera del Lago di Vico (Viterbo). Suolo forestale (tipico Andosuolo);
 - Ladera (Siracusa). Suolo forestale;
 - Provincia di Siena. Suoli tendenzialmente argillosi investiti a vigneto e oliveto;
 - Azienda sperimentale dell'Università di Udine. Confronti tra diversi sistemi colturali (rotazioni).

Per quanto riguarda le prime indicazioni sul manuale di monitoraggio per la degradazione biologica, si ritiene necessaria una selezione delle aree tra quelle elencate nei due progetti finanziati dal MiPAF e descritti nelle pagine precedenti (38 siti in totale). Questo principalmente perché i siti del CON.ECO.FOR sono attualmente 27, tutti rappresentativi di realtà forestali, e si collocano ad altitudini comprese tra i 6 e i 1800 m s.l.m.. Un primo criterio di selezione appare quello delle fasce altitudinali e della specie dominante nella biocenosi forestale, a cui si potrebbe aggiungere anche il substrato pedologico.

Un'altra possibilità appare quella di integrare i siti di monitoraggio del Progetto ATLAS, che sono rappresentativi di aree a vocazione agricola e forestale, con alcuni siti del CON.ECO.FOR prescelti in base alle modalità esposte in precedenza.

L'individuazione definitiva delle aree per i siti CON.ECO.FOR dovrà comunque avvenire sicuramente di concerto con il MiPAF e previ accordi tra ANPA e MiPAF (Divisione V della Direzione Generale delle Risorse Forestali, Montane ed Idriche).

Relativamente ai parametri da monitorare, va premesso che esiste una stretta relazione con numerosi parametri di tipo chimico, non classificati quindi come indicatori di degradazione biologica nell'ambito del CTN SSC. E' questo il caso dei parametri descrittivi della sostanza organica previsti nel progetto ATLAS descritto in precedenza. La lista completa dei parametri potrebbe essere pertanto la seguente:

- carbonio organico totale (TOC) %
- carbonio organico estraibile (TEC) %
- carbonio umico e fulvico (HA+FA) %
- TEC/TOC
- tasso di umificazione (HR) %, dato dal rapporto (HA+FA)/TOC
- grado di umificazione (DH) %, rappresentato dal rapporto (HA+FA)/TEC
- indice di umificazione (HI) %, espresso dal rapporto $TEC - (HA+FA)/(HA+FA)$
- azoto potenzialmente mineralizzabile
- carbonio e azoto della biomassa microbica
- C biomassa/TOC
- respirazione del suolo
- respirazione/C biomassa
- carica microbica
- attività enzimatica.

Saranno infine definite le modalità di gestione dei punti di monitoraggio, quelle dei campionamenti e la loro frequenza, i metodi analitici, l'elaborazione e la valutazione dei risultati, la gestione dei dati, avvalendosi anche dei contenuti dei metodi di analisi del suolo curati dalla SISS e finanziati dal MiPAF nell'ambito dell'Osservatorio nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo.

Naturalmente nei siti di monitoraggio della degradazione biologica dovranno essere disponibili tutti i parametri di rilevanza fondamentale elencati nel documento sulla progettazione della rete di monitoraggio nazionale del suolo.

GLOSSARIO

Carattere ambientale: termine generico usato in riferimento a un tematismo dell'ambiente naturale ed antropico (es.: pendenza, quota, esposizione, suoli, litologia, morfologia, vegetazione, uso del suolo, sistemazioni idrauliche, tipo ed intensità degli insediamenti ecc.).

Copertura pedologica (equivalente all'inglese "soil cover"): insieme dei suoli che coprono la superficie terrestre.

Fattori della pedogenesi (detti anche "fattori di stato"): roccia, clima, organismi (incluso l'uomo), morfologia, tempo.

GIS: Geographic Information System (sistema informativo geografico)

Incertezza dell'informazione pedologica: grado di approssimazione nel fornire informazioni reali riguardo il tipo, il numero e la distribuzione di suoli presenti in una delimitazione o unità cartografica, la precisione dei limiti geografici, la confidenza della classificazione tassonomica, l'attribuzione delle qualità, la valutazione delle attitudini e limitazioni d'uso.

Modello di distribuzione dei suoli: descrizione di come variano i suoli a seconda delle variazioni dei fattori di stato. Il pedologo deve essere in grado di riconoscere ed esplicitare le variazioni dei fattori che operano a grande scala da quelle che operano a scala più piccola.

Monitoraggio dei suoli: (Soil Monitoring) si intende la determinazione sistematica di variabili del suolo al fine di evidenziare cambiamenti nel tempo (FAO/ECE International Workshop on Harmonisation of Soil Conservation Monitoring Systems - Budapest, 1993).

Morfologia: tipo, intensità e dinamica degli agenti della morfogenesi.

Pattern: configurazione caratteristica del paesaggio pedologico, percettibile in fotointerpretazione e telerilevamento.

Pedodiversità: termine o indice usato per esprimere la numerosità dei suoli appartenenti a Unità Tipologiche diverse in una delimitazione o in una unità cartografica appartenente ad un determinato livello pedopaesaggistico. Può essere anche riferito all'unità di superficie o ad un contenitore pedogeografico più ampio; l'ambiente mediterraneo, ad esempio, è noto per la sua elevata pedodiversità, in genere molto superiore a quella degli altri paesi europei o del resto del mondo.

Pedon: unità di descrizione e di campionamento in campo del suolo.

Pedopaesaggio (o paesaggio pedologico): termine generico che si applica a qualunque livello gerarchico nella classificazione dei paesaggi pedologici. Indica un tratto di superficie terrestre che ha un certo significato pedologico, cioè raccoglie suoli che hanno in comune una o più caratteristiche, proprietà o processi. E' individuabile da un insieme di condizioni climatiche, litologiche, morfologiche, pedologiche, di uso del suolo e di vegetazione caratteristiche. Può corrispondere al polypedon a scala di dettaglio o di grande dettaglio, quando tutti i fattori

della pedogenesi sono uniformi (al livello di percezione umana in campo), ma al riconoscimento è quasi sempre formato da più polypedon.

Pedosfera: insieme dei suoli presenti in un ambito territoriale in genere di vaste proporzioni, quale quello terrestre (in analogia ad atmosfera, idrosfera, litosfera).

Relazioni pedologiche funzionali: funzionalità di carattere diverso (fisico, chimico, biologico, umano) che legano i suoli all'interno di un pedopaesaggio. Possono variare a seconda della finalità del rilevamento, della scala di indagine e dell'ambiente studiato. In un'area collinare, ad esempio, le relazioni funzionali tra suoli possono essere espresse, alla scala del grande dettaglio, dagli scambi di energia e di materia, in particolare dai flussi idrici e dai processi erosivi. Nello stesso ambiente, a minor dettaglio, le relazioni funzionali tra i suoli di un pedopaesaggio possono essere invece relative alla risposta agronomica delle colture, oppure a problematiche gestionali o di conservazione del suolo simili.

Rete di monitoraggio dei suoli: (Soil Monitoring Network) si intende un insieme di siti/aree nei quali sono documentati cambiamenti delle caratteristiche del suolo attraverso analisi periodiche, effettuate con metodologie comuni, di un set di parametri appositamente scelti.

Rilevamento pedologico di dettaglio: studio della natura e distribuzione dei suoli nel paesaggio tramite rilievo diretto, effettuato soprattutto in campagna.

Rilevamento pedologico di riconoscimento: studio della natura e distribuzione dei suoli nel paesaggio tramite riconoscimento diretto ed indiretto, cioè per mezzo dell'individuazione di relazioni tra i suoli ed altri elementi del paesaggio apprezzabili in fotointerpretazione e telerilevamento (vedi anche pattern).

Soil body: termine inglese specifico utilizzato nel manuale delle procedure del "Georeferenced soil database of Europe" con il seguente significato "una porzione di territorio con limiti geografici conosciuti in modo impreciso. Una entità tridimensionale artificiale ma riconoscibile nel "continuum" dei suoli, descritta unicamente dalla sua classificazione WRB, dai materiali parentali, profondità di uno strato che ostacoli lo sviluppo delle radici e tessitura superficiale dominante". Per definire un soil body è necessario avere almeno due profili descritti ed analizzati.

Soil Monitoring: monitoraggio dei suoli, cioè la determinazione sistematica di variabili del suolo al fine di evidenziare cambiamenti nel tempo (FAO/ECE International Workshop on Harmonisation of Soil Conservation Monitoring Systems - Budapest, 1993).

Soil Monitoring Network: monitoraggio dei suoli, si intende un insieme di siti/aree nei quali sono documentati cambiamenti delle caratteristiche del suolo attraverso analisi periodiche, effettuate con metodologie comuni, di un set di parametri appositamente scelti.

Soilscape: termine inglese specifico utilizzato nel manuale delle procedure del "Georeferenced soil database of Europe" con il seguente significato "una porzione della copertura pedologica che contiene soil body che hanno relazioni funzionali nel presente, o le hanno avute nel passato, e che può essere rappresentata a scala 1:250.000".

Soil region: termine inglese specifico utilizzato nel manuale delle procedure del "Georeferenced soil database of Europe" con il seguente significato "una porzione della copertura pedologica a livello regionale, caratterizzata da un clima e da una associazione di materiali parentali tipici". Corrisponde essenzialmente al significato che viene dato all'italiano "regione pedologica".

Spazializzazione: procedimento con il quale vengono generalizzate arealmente le informazioni puntuali.

Standard di rilevamento: indici che esplicitano l'intensità delle informazioni pedologiche raccolte. Variano a seconda della scala del rilevamento, delle sue finalità e della complessità del territorio. Tra i più comuni vi sono: numero di osservazioni per unità di superficie (ad esempio: n/ha), numero di osservazione per unità tipologica di suolo (n/n), numero di osservazioni per unità cartografica o per poligono (n/n).

Stazione di rilevamento (site): intorno del luogo dove viene realizzata l'osservazione, di dimensione variabile nell'ordine delle decine o alcune centinaia di metri quadri.

Tipologia di suolo: fa riferimento alla sua classificazione tassonomica (Soil Taxonomy, WRB), che tende a raggruppare suoli simili, frutto dei diversi fattori della pedogenesi (clima, organismi vegetali e animali, rilievo, roccia madre, tempo), attraverso l'individuazione degli orizzonti diagnostici. Tali orizzonti sono caratterizzati da proprietà specifiche quali la quantità e natura delle componenti organiche ed argillose, la reazione, la tessitura e l'assetto strutturale..

Unità cartografica: insieme delle delimitazioni aventi la stessa sigla nella legenda della carta.

Unità di paesaggio: termine usato da esperti di varie discipline per indicare una superficie con un certo grado di omogeneità per alcuni caratteri, problematiche o processi alla scala di riferimento. In pedologia viene più spesso utilizzato alle scale di dettaglio e semidettaglio per indicare superfici con un grado di omogeneità nei fattori e processi della pedogenesi per cui è possibile trovare al loro interno suoli simili. Operativamente, si realizzano considerando caratteri ambientali diversi (litologia, uso del suolo, falda freatica, processi erosivi, ecc.) come discriminanti e descrittivi delle unità fisiografiche.

Unità di terre: termine specifico, sta ad indicare un tratto della copertura pedologica funzionale e cartografabile alla scala di 1:50.000 circa, ma non necessariamente delineato. Viene individuata tramite riconoscimento dello specifico arrangiamento e della caratteristica configurazione degli elementi territoriali che la costituiscono.

Unità fisiografica: tratto della superficie terrestre (se si fa riferimento al pianeta Terra) omogeneo per tipo ed intensità del processo geomorfologico dominante alla scala di riferimento.

Variabilità pedologica: termine usato in riferimento alle possibili variazioni di caratteri e proprietà all'interno di una Unità Tipologica di Suolo.

Elenco degli acronimi

| | |
|--------------------|--|
| 6EAP | Il sesto programma di azione ambientale |
| ANPA | Agenzia Nazionale Protezione dell'Ambiente |
| APPA | Agenzia Provinciale Protezione dell'Ambiente |
| ARPA | Agenzia Regionale Protezione dell'Ambiente |
| CLC | Corine Land Cover |
| CON.ECO.FOR | Programma Italiano per il Controllo degli Ecosistemi Forestali |
| CTN | Centro Tematico Nazionale |
| CTN SSC | Centro Tematico Nazionale Suolo e Siti Contaminati |
| DPSIR | Attivazione della Risposta da parte di Determinanti-Pressioni-Stato-Impatti” |
| EAP | Programma di azione ambientale |
| ECE | Economic Commission for Europe |
| EEA | The European Environment Agency |
| ESB | European Soil Bureau |
| ETC | European Topic Center |
| ETC/AQ | European Topic Centre on Air Quality |
| EuroAirNet | European Air Quality monitoring Network |
| EuroSoilNet | Proposal for a European Soil Monitoring and Assessment Framework |
| FAO | Food and Agriculture Organization |
| FIMCI | Forest Intensive Monitoring Coordinating Institute |
| FOREGS | Forum of European Geological Survey |
| GIS | Sistema Informativo Geografico |
| ICP-Forest | The international Co-operative Program on Assessment and Monitoring of Air Effect on Forests (ICP-Forest) (Reg. 1091/94) |

| | |
|---------------------------|---|
| ICP-IM | International Co-operative Program on Integrated Monitoring |
| ISNP | Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante |
| ISSDS | Istituto Sperimentale per lo studio e la Difesa del Suolo |
| MDIAR | Monitoring, Data and Information gathering, Assessing and Reporting |
| MDS | Minimum Data Set |
| MiPAF | Ministero delle Politiche Agricole e Forestali |
| NFC | National Focal Centre |
| RTI_CTN_SSC | Rapporto tecnico interno del Centro tematico Nazionale Suolo e Siti Contaminati |
| SINAnet | Rete Nazionale di Informazione in Campo Ambientale |
| SM | Soil Monitoring |
| SMN | Soil Monitoring Network |
| Soil Taxonomy, WRB | Soil Taxonomy, World Reference Base |
| UNECE | United Nations Economic Commission for Europe |
| UNEP | United Nations Environment Programme in Europe |
| USDA | United States Department of Agriculture |
| WRB | World Reference Base |