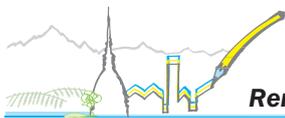


**Monitoraggio ambientale:
dati chimici - agrari e di
contaminazione inorganica e
organica**

Qualità biologica del suolo



Il suolo è una matrice complessa, caratterizzata da una elevata variabilità orizzontale, cioè tra suoli diversi, e verticale, cioè tra i diversi orizzonti di uno stesso suolo, a fronte invece di una variabilità temporale nettamente meno marcata rispetto ad altre matrici, quali l'acqua e l'aria.

Tutto ciò rende sicuramente difficile la creazione di una rete di monitoraggio che, per sua stessa definizione, dovrebbe permettere di seguire nel tempo l'evoluzione qualitativa della matrice monitorata.

Per contro, l'esigenza di poter disporre di dati georeferenziati e affidabili sulla qualità ambientale dei suoli e di poterne seguire la loro evoluzione nel tempo, cioè, in altre parole, l'esigenza di avere una rete di monitoraggio ambientale del suolo, è sempre più pressante per almeno due motivazioni.

La prima è rappresentata dall'esigenza di poter concretamente valutare, sulla base di dati analitici affidabili e aggiornati, il fenomeno della contaminazione diffusa, proveniente cioè dalla collettività indifferenziata, e il fenomeno, spesso chiamato della "contaminazione di prossimità", della diffusione su scala di media rilevanza, soprattutto per via aeriforme, di contaminazione dovuta a particolari e note sorgenti puntuali. L'interesse riguarda sia i contaminanti inorganici, quali i metalli pesanti, molti dei quali peraltro presenti naturalmente nei suoli, sia i contaminanti organici genericamente compresi in quella classe definita POPs (*Persistent organic pollutants*) nella quale rientrano le sottoclassi dei policlorobifenili (PCB), degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e delle diossine e furani (PCDD/PCDF), tutte al centro di una particolare attenzione da parte della più recente normativa ambientale europea (*Regulation (EC) 850/04 of the European Parliament And Of The Council of*

29 April 2004 on persistent organic pollutants and amending Directive 79/117/EC) proprio per la loro pericolosità per la salute umana; vale la pena ricordare, in proposito, anche il programma UNEP "Global Monitoring of Persistent Organic Pollutants" (vedi sito <http://www.chem.unep.ch/pops/>) o la Convenzione di Stoccolma "Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants" entrata in vigore nel maggio 2004 (vedi sito <http://www.pops.int/>).

La seconda motivazione, strettamente collegabile alla precedente, va ricercata nella esigenza di poter disporre di quei valori di "fondo naturale antropizzato" che sono indispensabili per una corretta applicazione della normativa sulle bonifiche, anche alla luce della revisione normativa apportata dal DLgs 152/06 rispetto al DLgs 22/97 e al DM 471/99. Questa esigenza è ancora più evidente nei casi di gestione delle situazioni, già citate, di "contaminazione di prossimità", dove distinguere il confine tra l'area interessata dalla diffusione dell'inquinamento attribuibile ad una fonte puntuale e l'area invece interessata da una contaminazione diffusa attribuibile alla collettività indifferenziata diventa un'operazione spesso molto complessa.

Sulla spinta di queste esigenze, con lo stimolo del lavoro in corso a livello europeo per una nuova strategia tematica per il suolo e con il supporto dei documenti in questi anni prodotti dall'Apat attraverso il Centro Tematico Nazionale Territorio e Suolo (CTN TES), Arpa ha progressivamente creato le basi di una rete regionale di monitoraggio ambientale del suolo basata sulla integrazione di una rete a maglia fissa (18 x 18 km) e una rete per punti rappresentativi, come descritto nel paragrafo seguente.

Indicatore / Indice	DPSIR	Fonte dei dati	Unità di misura	Copertura geografica	Anno di riferimento	Disponibilità dei dati
Metalli pesanti	S	Arpa Piemonte	mg/kg	Regione	2001-2005	+++
Inquinanti organici	S	Arpa Piemonte	mg/kg; ng/kg	Regione	2002-2005	+++
Dati agrochimici	S	Regione Piemonte	%; meq/100 g	Regione	1980-2005	++

16.1 IL MONITORAGGIO AMBIENTALE DEL SUOLO

16.1.1 L'impostazione della rete e la sua evoluzione

Arpa sta lavorando all'impostazione di una rete di monitoraggio seguendo le indicazioni fornite dall'Apat tramite il CTN TES (Apat, 2004), al quale peraltro Arpa Piemonte ha partecipato come coordinatore.

La rete, in parte già realizzata, ma la cui progettazione definitiva è attualmente in corso, è organizzata su due attività parallele con un piano di monitoraggio differenziato in base al diverso fenomeno di degrado che si vuole monitorare e al grado di approfondimento richiesto:

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

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

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

- la conoscenza dell'andamento spaziale di alcune

proprietà generali del suolo importanti per sé (es. sostanza organica) o che possono condizionare il comportamento del suolo nei confronti dei processi di degradazione (tessitura, pH, CSC, ecc.);

- la conoscenza delle concentrazioni nei suoli di alcuni contaminanti che si originano da fonti diffuse;
- la segnalazione di evoluzioni impreviste;
- la costituzione di un archivio di campioni di suolo;

per quanto riguarda alcuni contaminanti principali (metalli pesanti, POP) è possibile determinare il contenuto "naturale" (cioè risultante dai processi pedologici e geologici, escludendo qualsiasi apporto di origine umana) e di quello "usuale" (cioè risultante sia dal contenuto di origine pedo-geochimica sia da fonti diffuse) di tali elementi;

- la verifica dei risultati delle previsioni (ad es. gli effetti dell'applicazione del codice di buona pratica agricola) relative all'impatto su alcune proprietà del suolo e sulla distribuzione spaziale dei contaminanti. Nel caso del monitoraggio per siti di riferimento sulle relazioni pressione-impatto si raggiunge l'obiettivo dell'acquisizione di conoscenze sull'andamento dei fenomeni (erosione, contaminazione diffusa, perdita di biodiversità, compattazione, ecc.) che consentono di prevedere e/o valutare l'evoluzione dei possibili impatti in funzione dell'intensità della pressione (comprensione e modellizzazione dei processi).

La rete a maglia fissa (18 x 18 km) adotta quella costruita con il progetto LUCAS gestito da EUROSTAT nell'ambito del programma CORINE Land Cover; ciascun sito di monitoraggio è già stato individuato, codificato e descritto nelle caratteristiche principali; tale rete fra l'altro è stata costruita per favorire l'integrazione fra i dati raccolti nei diversi stati membri. A partire da questa rete potrebbero essere definite reti coerenti di maggior dettaglio con maglie 9 x 9 km e 4,5 x 4,5 km.

Il monitoraggio dei siti di riferimento prevede l'individuazione di aree rappresentative dei sistemi di coltivazione e gestione del suolo e delle principali tipologie di suolo. Questo tipo di approccio è stato per ora utilizzato soprattutto per l'individuazione dei siti da utilizzare per il monitoraggio dei metalli pesanti.

La rappresentatività dei siti di monitoraggio è stata valutata, assieme all'IPLA, in base a:

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

esposizione agli inquinanti.

In particolare per la tipologia dei suoli si è fatto riferimento:

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

L'evoluzione della rete attuale prevede come obiettivo dei prossimi anni:

- l'infittimento progressivo della maglia fissa di rilevamento della contaminazione organica e inorganica, passando, almeno su alcune aree di pianura, alla maglia 9 x 9 km;
- l'utilizzo di siti rappresentativi anche per lo studio di altri fenomeni di degrado, quali l'erosione, la compattazione, la perdita di sostanza organica.

16.1.2 I dati pedologici e chimico - agrari

In Piemonte tutti i programmi di rilevamento e cartografia dei suoli sono stati coordinati dal Settore Suolo dell'IPLA, Ente Strumentale della Regione Piemonte, che ha anche svolto buona parte delle attività operative.

Una sintesi di queste attività è stata riportata nel Rapporto del 2004, nel capitolo Suolo.

In ogni caso, la maggior parte dei dati disponibili sulla cartografia pedologica viene resa disponibile al pubblico attraverso la messa in linea di una apposita sezione nel sito istituzionale della Regione dedicata alla pedologia regionale alla quale si rimanda per i dettagli (http://www.regione.piemonte.it/agri/suoli_terreni/index.htm).

16.1.3 Elaborazioni statistico-descrittive dalla Banca Dati Regionale dei Terreni Agrari

Simona Menardo¹, Aurelio Del Vecchio², Dario Sacco³, Giancarlo Bourlot⁴

La Banca Dati Regionale dei Terreni Agrari (BDRTA) è stata costituita a partire dal 2000 dal Laboratorio Agrochimico (LAR) del Settore Fitosanitario Regionale; la BDRTA, mediante successive operazioni di validazione, normalizzazione e qualificazione, raccoglie e valorizza i dati che provengono da migliaia di analisi del terreno effettuate negli anni dal LAR per conto di tecnici agricoli, professionisti ed Enti di ricerca piemontesi. Questo database, che consta di circa 30.000 analisi distribuite in un intervallo temporale di 25 anni (dal 1980 al 2005), è oggi consultabile dal pubblico sulle pagine web della Regione Piemonte, accedendo al sito:

<http://www.regione.piemonte.it/agri/ita/agriservice/terreni/atlante/atlante.htm>. I dati della BDRTA appartengono a diversi orizzonti pedologici e sono correlati da informazioni geografiche (sito del prelievo), agronomiche e analitiche, relativamente ai principali parametri fisici e chimici dei terreni agrari.

Il progetto BDRTA 2004 - 2007 e lo studio statistico dei dati disponibili

A partire dal 2004, al fine di valorizzare la BDRTA attraverso una maggiore conoscenza ed elaborazione dei dati in essa contenuti, è stato varato il progetto triennale "Sviluppo e nuove applicazioni della Banca Dati Regionale dei Terreni Agrari (BDRTA)". Uno degli obiettivi fissati per questo progetto è la produzione di una cartografia riportante la zonizzazione dell'areale piemontese per i vari parametri analizzati, basata su un modello di tipo regressivo multivariato; per il raggiungimento di tale scopo, dal database principale è stata effettuata una prima estrazione dei dati interessanti solo l'orizzonte superficiale arato (0-30 cm) e si è quindi creato un database più piccolo contenente 25.853 dati.

All'interno di questo nuovo database sono stati analizzati statisticamente tutti i parametri analitici in esso contenuti, quali le 3 frazioni granulometriche (sabbia, limo e argilla), il pH, la sostanza organica, l'azoto totale, il rapporto carbonio azoto, la capacità di scambio

¹3a s.r.l. - Torino

²Pegaso Servizi Agroambientali - Torino

³Dipartimento di Agronomia, Selvicoltura e Gestione del Territorio - Università di Torino

⁴Settore Fitosanitario - Regione Piemonte

cationico, il magnesio e il potassio scambiabili e il fosforo assimilabile, senza considerare la loro distribuzione spaziale.

Il risultato di tale studio è presentato in tabella 16.1, che mostra un resoconto generale del database e quindi delle principali caratteristiche pedologiche dei suoli piemontesi.

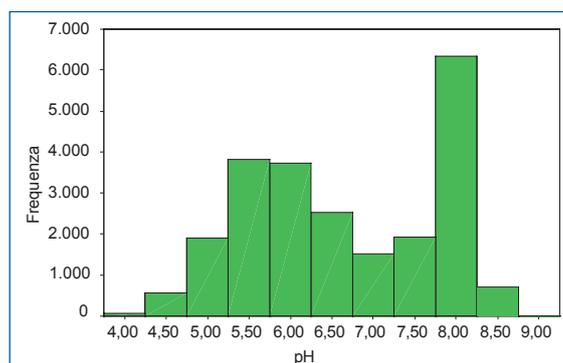
In seguito a questa descrizione generale si è proceduto con l'analisi della distribuzione dei parametri con grafici di frequenza; tali grafici hanno evidenziato per tutti i parametri analitici distribuzioni molto lontane dal concetto statistico di "distribuzione normale" e infatti presentano spesso "code" anche molto allungate. Un caso particolare è inoltre rappresentato dal pH, che presenta una distribuzione ad andamento bimodale (figura 16.1); i due picchi corrispondono principalmente a due aree della nostra regione: l'area risicola del Vercellese, con pH prevalentemente acidi/sub-acidi e l'area collinare viticola dell'Astigiano e dell'Alessandrino con pH alcalini per abbondante presenza di calcare.

Il numero di dati validi varia per ogni parametro analizzato, in quanto le analisi commissionate dai vari utenti del LAR e dei laboratori convenzionati che forniscono i loro dati non prevedono sempre gli stessi parametri.

Per poter impiegare tecniche di geostatistica a partire dai dati della BDRTA, si rende indispensabile riuscire a normalizzare le popolazioni di dati; a tale scopo sono stati effettuati alcuni tentativi di suddividere in gruppi più piccoli, ma più omogenei le popolazioni iniziali, in modo da eliminare le possibili fonti di anomalie dei dati. Si è proceduto con una serie di incroci del database con differenti strati informativi quali:

- Carta in scala 1:50.000 delle Unità Cartografiche dell'Istituto per le Piante da Legno e l'Ambiente (IPLA),

Figura 16.1 - Distribuzione della frequenza del pH nel territorio piemontese



Fonte: Regione Piemonte

- Carta in scala 1:250.000 delle Unità Tipologiche dell'IPLA,
- Carta delle Aree Agronomicamente Omogenee del Dipartimento di Agronomia (AGROSELVITER) di Torino.

BDRTA e Carta delle Unità Cartografiche

Il primo tentativo è stato effettuato incrociando i dati con lo strato informativo della Carta delle Unità Cartografiche IPLA, ma purtroppo anche questa strada si è immediatamente resa impercorribile, in quanto le Unità hanno dimensioni molto ridotte e il numero di analisi che ricadono al loro interno è estremamente esiguo, tale da rendere non attendibile qualunque analisi statistica effettuata all'interno delle stesse; inoltre circa il 70% delle Unità risultano prive di analisi al loro interno.

BDRTA e Unità Tipologiche

Rispetto alle Unità Cartografiche, le Unità Tipologiche dell'IPLA in scala 1:250.000 si sono rivelate molto più fruibili e interessanti per lo studio. Raggruppano al loro interno più Unità Cartografiche e interessano tutto il territorio piemontese: pianura, collina e monta-

Tabella 16.1 - Elaborazioni statistico-descrittive del database - anni 1980 - 2005

	SABBIA	LIMO	ARGILLA	pH	SO	N	C/N	CSC	Mg	K	P
Numero Campioni Validi	16.151	16.151	16.151	24.908	24.958	21.807	21.786	22.747	20.559	22.786	23.856
Unità di Misura	%	%	%		%	%		meq/100g	meq/100g	meq/100g	mg/kg
Media	34,5	46,6	18,9	6,7	2,08	0,121	9,8	14,22	1,19	0,27	29,1
Deviazione standard	17,5	13,0	9,6	1,1	1,04	0,056	1,9	5,92	1,00	0,26	28,6
Minimo	0,1	3,7	0,2	4,0	0,08	0,008	0,6	1,50	0,01	0,01	0,2
Massimo	90,6	90,0	70,0	9,2	15,40	1,000	25,6	41,62	13,57	5,99	467,2

Fonte: Regione Piemonte

gna. Le Unità Tipologiche del Piemonte in totale sono 16, ma sono state considerate solo quelle più estese ricadenti nelle aree di collina e di pianura (alfisuoli, entisuoli e inceptisuoli); la densità all'interno di queste 6 Unità varia tra 0,40 e 0,90 campioni per km².

Le analisi statistico-descrittive effettuate all'interno delle Unità hanno mostrato alcune differenze interessanti e hanno confermato la diversa natura pedogenetica dei suoli, definita dall'IPLA; è però importante non dimenticare che le analisi della BDRTA interessano unicamente l'orizzonte superficiale e non tutto il profilo di suolo, come accade nelle carte IPLA.

La suddivisione dei dati all'interno delle Unità Tipologiche si è rivelato un metodo di discriminazione dei dati pedologici discretamente valido e ha permesso di evidenziare differenze significative soprattutto tra l'area di collina e quella di pianura, relativamente a tutti i parametri analizzati; all'interno di queste due aree invece le medie risultano più omogenee tra loro, tranne che per il pH e il fosforo assimilabile per i quali anche la suddivisione per Unità Tipologiche all'interno dell'area di collina o pianura si è rivelata un buon indice di discriminazione dei dati.

BDRTA e aree agronomicamente omogenee

Il medesimo procedimento è stato eseguito anche all'interno delle Aree Agronomicamente Omogenee (AAO); la descrizione di queste aree e di come sono state ottenute è riportata nel box di approfondimento. La densità di dati all'interno delle AAO è piuttosto

bassa, in quanto questo nuovo strato informativo non ricopre tutto il territorio piemontese, ma solo la parte agricola di pianura e quindi esclude, oltre alla parte montana, anche la parte collinare viticola, riccamente rappresentata dai dati della BDRTA. La suddivisione dei dati per Aree Agronomicamente Omogenee è in realtà stata effettuata all'interno delle Macroaree (figura 16.2), in quanto essendo in numero minore, sono decisamente più gestibili (vedi box). Tale suddivisione mette in risalto le principali differenze che caratterizzano queste aree e che sono principalmente legate alle tecniche colturali impiegate; i parametri maggiormente influenzati dalle tecniche colturali sono la sostanza organica, l'azoto, il pH e il fosforo. Per il pH in realtà questa carta non presenta un buon indice discriminante, in quanto in alcune aree tale parametro continua a presentare un andamento bimodale.

Rispetto alla carta delle Unità Tipologiche, la carta delle AAO ha fornito risultati più interessanti relativamente al test di normalità; infatti i parametri che risultano normalizzati all'interno delle aree sono numericamente maggiori e sono presenti in ogni Macroarea. E' necessario però precisare che rispetto alle Unità Tipologiche i gradi di libertà di ogni Macroarea sono decisamente minori, in alcuni casi sono poche decine e che comunque la significatività nella maggior parte dei casi resta pari a zero.

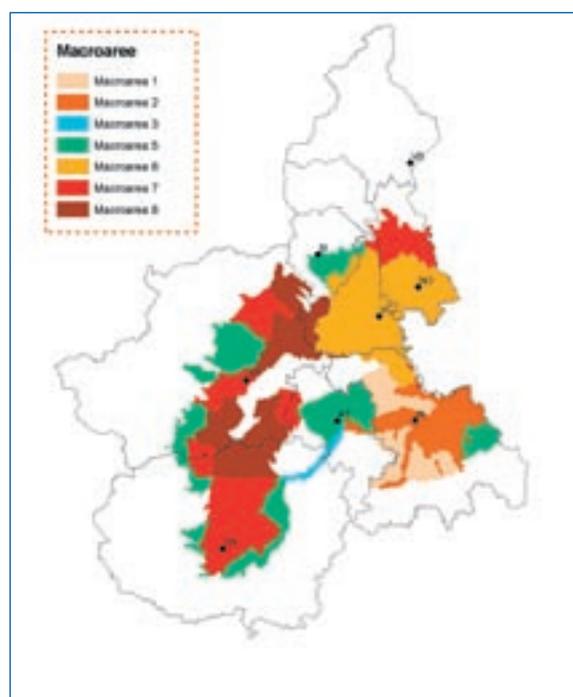
A titolo esemplificativo si riporta un grafico che è stato prodotto incrociando i dati della BDRTA con le Macroaree (figura 16.3) al fine di rilevare l'evoluzione del fosforo assimilabile nei suoli piemontesi prima e dopo l'entrata in vigore delle misure agroambientali previste dal Piano di Sviluppo Rurale 2000-2006.

Le 7 Macroaree possono essere così classificate:

- 1 area collinare di Alessandria,
- 2 area di pianura di Alessandria,
- 3 e 5 aree di collina o di fondovalle,
- 6 area coltivata prevalentemente a riso,
- 7 e 8 area di pianura di Cuneo e Torino.

Come si può vedere dal grafico le aree 1 e 2 in seguito all'entrata in vigore del PSR hanno subito un decremento del quantitativo di fosforo assimilabile presente nel suolo, portando la media da valori superiori a 20 ppm (limite oltre il quale, in base all'azione F1 delle misure agroambientali del PSR, è obbligatorio sospendere le fertilizzazioni fosfatiche) verso valori al di sotto di tale limite. Una netta riduzione del fosforo si riscontra anche nell'area 6, quella a prevalente agricoltura risicola, ma in questo caso, poiché i valori iniziali erano decisamente elevati (media oltre

Figura 16.2 - Rappresentazione cartografica delle Macroaree

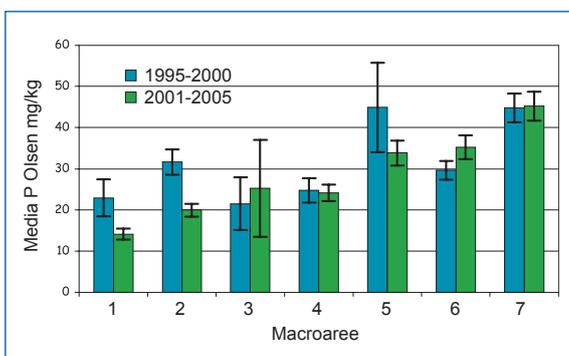


Fonte: Regione Piemonte

40 mg/kg), nonostante il blocco della fertilizzazione i valori di fosforo sono comunque rimasti piuttosto alti. Nelle aree 7 e 8, dove sussistono carichi zootecnici elevati, non si evidenzia tale riduzione, probabilmente a causa della concimazione organica che ha portato addirittura ad un ulteriore incremento, ben evidente nell'area 7 e appena percettibile nell'area 8.

Le aree 3 e 5 non sono state prese in considerazione nel commento al grafico in quanto si tratta di aree in cui non è presente l'agricoltura intensiva; inoltre il numero di dati disponibili per queste due aree è piuttosto scarso e quindi tale da non permettere di trarre conclusioni significative e attendibili.

Figura 16.3 - Evoluzione del contenuto di fosforo assimilabile nel suolo nel quinquennio precedente all'entrata in vigore del PSR e nel quinquennio di attuazione del PSR



Fonte: Regione Piemonte

Il saviglianese: un caso studio

In generale, si ritiene che parte delle debolezze emerse nel confronto statistico tra BDRTA e altre banche dati siano dovute alla scarsità di analisi BDRTA disponibili in numerose aree del Piemonte. Si è deciso dunque di affiancare alle elaborazioni della BDRTA analisi di un caso studio, localizzato su un'area limitata, previo infittimento delle analisi disponibili mediante un'appropriata campagna di campionamenti.

Gli obiettivi del caso studio possono essere schematizzati secondo i seguenti punti:

- incremento del dataset BDRTA attendibile in un'area interessante dal punto di vista agricolo;
- confronto tra dati agrochimici (BDRTA) e informazioni pedologiche offerte dalle carte e dagli atlanti dei suoli IPLA per una reciproca validazione;
- realizzazione di un protocollo di confronto. Tale protocollo di valutazione, per il quale sarà effettuata un'apposita pubblicazione divulgativa, ha l'obiettivo di rendere i tecnici di campo maggiormente in grado di utilizzare in modo efficiente e integrato le informazioni delle analisi del terreno e delle Carte dei Suoli IPLA.

- Elaborazione geostatistica dei dati di analisi del terreno e realizzazione di cartografia tematica di dettaglio per alcuni parametri dell'analisi.

L'area interessata (figura 16.4) è situata nei comuni di Savigliano, Marene, Genola e Monasterolo di Savigliano ed è stata scelta sulla base delle seguenti caratteristiche:

- ha una notevole importanza dal punto di vista agricolo, in quanto si tratta di un significativo areale produttivo cerealicolo, zootecnico e in parte frutticolo;
- è stata interessata da accurati e recenti rilievi pedologici IPLA, condotti per conto della Regione Piemonte e culminati nella realizzazione della Carta dei Suoli 1:50.000; è dunque molto ben conosciuta da un punto di vista pedologico;
- è ben rappresentata nella BDRTA, con una densità di analisi molto maggiore rispetto alla media delle zone di pianura;
- presenta una certa varietà agronomica e una certa variabilità nelle tipologie di suolo presenti; sono inoltre presenti soluzioni di continuità a livello geomorfologico, quali i fiumi Mellea e Grana.

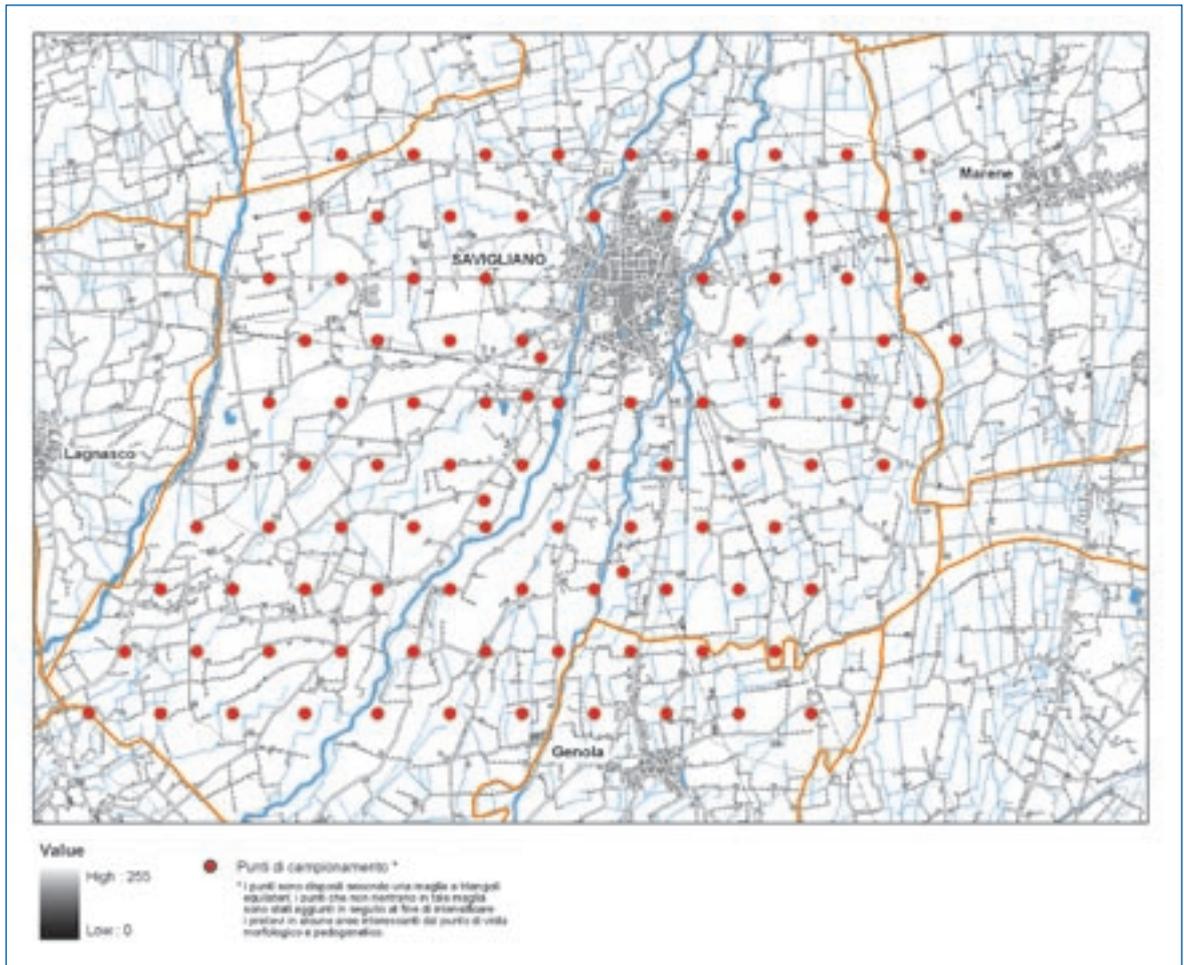
Al fine di incrementare le informazioni agrochimiche disponibili è in corso d'opera nel 2006 una campagna di infittimento delle analisi del terreno, secondo una maglia a triangoli equilateri di lato 1 km, che prevede 100 prelievi di terreno complessivi. La griglia di campionamento è stata elaborata tenendo conto della carta dei suoli ed evitando che alcune tipologie di suolo fossero interessate da un numero troppo esiguo di analisi; allo stesso modo si è posta attenzione che ambedue i versanti di ogni bacino idrografico fossero interessati dai prelievi di suolo.

Il campionamento di terreno interessa il solo *topsoil* e viene effettuato asportando la cotica eventualmente presente e prelevando un campione di circa 800 g ad una profondità di 0-30 cm.

Al momento del campionamento, si dà un primo giudizio sul suolo campionato, mediante le chiavi di riconoscimento e le descrizioni fornite dall'IPLA. Tali classificazioni effettuate in campo si basano principalmente sul colore, sulla presenza di scheletro e sulla tessitura apparente del terreno. Questa fase di classificazione, quando esistono elementi sufficienti, si conclude con l'assegnazione del campione di terreno ad una specifica serie ed eventualmente fase di suolo IPLA.

L'insieme dei dati agrochimici disponibili viene successivamente sottoposto ad una procedura di tipo geostatistico. Il saviglianese è infatti coperto attual-

Figura 16.4 - Maglia di campionamento nell'area studio del saviglianese



Fonte: Regione Piemonte

mente da un doppio campionamento, così schematizzabile:

- dati da analisi del terreno realizzate per la campagna di prelievo del caso studio, posizionate secondo uno schema regolare a triangolo equilatero;
- dati BDRTA, riferiti ad analisi del terreno effettuate negli anni scorsi nella stessa zona per conto di tecnici agricoli e altri operatori del settore, posizionate in modo casuale.

Attraverso il confronto tra i due database sarà possibile verificare se le conclusioni a cui si è giunti con le analisi per il caso studio sono confermate anche negli altri punti di campionamento.

In particolare, l'analisi geostatistica dei dati misurati dovrà dare indicazioni relativamente alla possibilità di prevedere i valori delle differenti proprietà chimiche e fisiche nei punti non misurati, permettendo di ottenere una rappresentazione delle proprietà su tutto il territorio analizzato. Saranno creati due modelli previsionali relativi alle caratteristiche chimico-fisiche

del terreno: nel primo si terrà conto dell'informazione pedologica disponibile, nel secondo si eviterà di considerarla. La differenza fra le prestazioni dei due modelli fornirà un'indicazione sul miglioramento che si ottiene dal punto di vista previsionale nel caso in cui, oltre all'informazione puntuale delle analisi, si abbia a disposizione anche uno strato informativo pedologico diffuso.

Una volta scelto il migliore fra i due modelli di rappresentazione, verrà infine prodotta una cartografia della superficie analizzata, al fine di ottenere una buona descrizione della variabilità dei diversi parametri chimico-fisici nell'area.

box 1 Aree Agronomicamente Omogenee in Piemonte

Monica Bassanino, Dario Sacco, Laura Zavattaro, Carlo Grignani - Università di Torino⁵

La ricerca agro-ambientale viene chiamata in questi anni all'identificazione delle fonti di inquinamento di origine agricola, siano esse diffuse o puntuali. La conoscenza delle pratiche agronomiche di concimazione minerale è quindi uno strumento informativo necessario per la corretta valutazione dell'impatto delle attività agricole sul territorio regionale.

Poiché i dataset ufficiali disponibili non hanno un grado di dettaglio sufficiente, né possono essere georiferiti, si è resa necessaria un'apposita indagine territoriale volta ad acquisire informazioni circa le modalità di concimazione minerale delle principali colture presso agronomi professionisti attivi nelle diverse parti del Piemonte.

Lo studio ha riguardato circa 546.000 ha della Pianura Piemontese. Tale

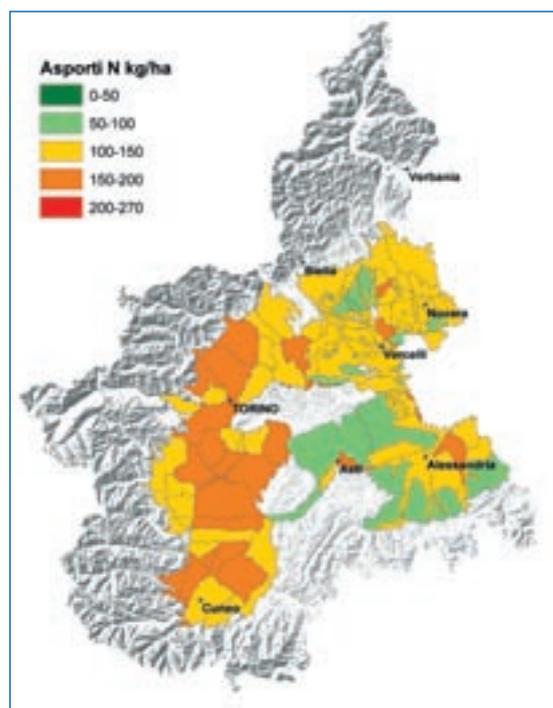
territorio è stato suddiviso in "Aree Agronomicamente Omogenee", di dimensioni variabili da 48 ha a 27.206 ha. I criteri utilizzati per la definizione di tali aree e l'identificazione dei loro confini sono stati:

- il tipo di suolo prevalente o la classe di capacità d'uso dei suoli (IPLA, 1982)
- il riparto colturale medio (ISTAT, Censimento dell'Agricoltura, 2000)
- le tipologie di tecniche colturali adottate dagli agricoltori su ciascuna coltura (indagine territoriale)
- le produzioni colturali medie (indagine territoriale).

Un lavoro più dettagliato è stato svolto nell'areale a riso, dove sono stati presi in considerazione anche i dati relativi al destino delle paglie, all'origine delle acque irrigue e alla tipologia di riso coltivato (Zavattaro *et al.*, 2006). Le aree sono state individuate a livello cartografico utilizzando la cartografia dei fogli di mappa catastale (CSI-Piemonte,

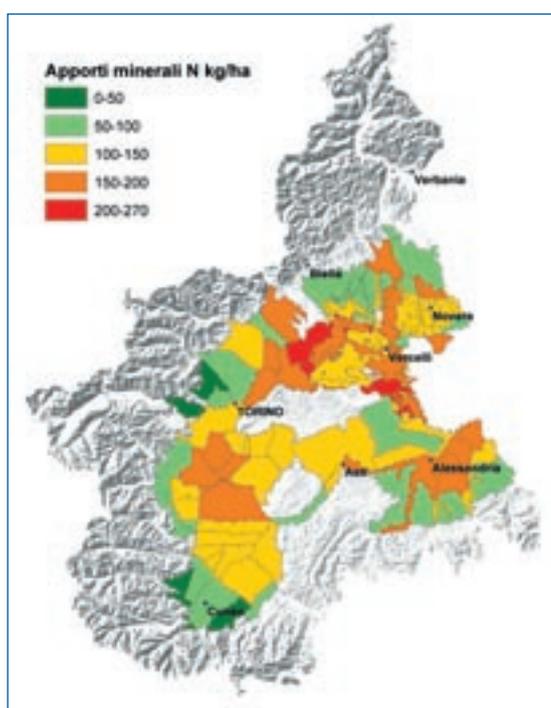
2004); le aree omogenee sono pertanto state approssimate ai confini dei fogli di mappa. A ciascuna area è stato quindi possibile associare le informazioni relative a: SAU, riparto colturale, livello produttivo delle colture, tecniche di concimazione minerale (dose, modalità e tipologia di prodotto) e relativa frequenza di ciascuna tecnica. In totale sono state descritte 23 colture e 1094 tecniche di fertilizzazione. In base al riparto colturale e ad opportuni dati bibliografici di riferimento (Grignani *et al.*, 2003), sono stati quindi calcolati gli apporti delle singole colture (figura a sinistra), mentre in base ai quantitativi di concime minerale distribuito e al tenore dichiarato per ciascun prodotto sono stati calcolati gli apporti minerali alle colture (figura a destra). Infine, l'applicazione della *cluster analysis* ai dati di riparto colturale ha permesso di raggruppare le 125 aree agronomicamente omogenee in 7 macroaree.

Asporti delle colture



Fonte: Regione Piemonte

Apporti di N minerale



Fonte: Regione Piemonte

⁵Dipartimento di Agronomia, Selvicoltura e Gestione del Territorio.

16.1.4 I dati sulla contaminazione inorganica

La valutazione della presenza di contaminanti inorganici nel suolo è generalmente indirizzata verso i metalli pesanti, e in particolare verso quei metalli (Cd, Cr, Ni, Pb, Cu, Zn) più studiati in quanto presenti da molti anni nelle normative ambientali, prima quelle riguardanti l'utilizzo agricolo di fanghi e compost, più recentemente le norme sulla bonifica dei siti inquinati.

I dati derivanti dalla rete di monitoraggio dei suoli piemontesi permettono di effettuare alcune considerazioni non solo sulla presenza di questi metalli, ma anche sull'influenza dell'area metropolitana rispetto ai diversi livelli di contaminazione antropica. E' però anche possibile cominciare ad ipotizzare alcune considerazioni sulla presenza di altri contaminanti inorganici (Sb, As, Be, Co, Hg, Sn, Tl e V), sicuramente meno studiati di quelli precedentemente citati, ma di crescente interesse ambientale, anche a seguito del loro inserimento nella più recente normativa ambientale.

Il contenuto di metalli pesanti: apporto naturale e apporto antropico

La concentrazione dei metalli pesanti nel suolo è funzione sia delle caratteristiche geochimiche sia dell'utilizzo del suolo.

I dati resi disponibili dalla rete di monitoraggio permettono di realizzare un confronto generale con i principali limiti legislativi; la localizzazione spaziale delle risultanze analitiche, non riportata in questo documento per ovvie ragioni di spazio, può poi permettere delle considerazioni, seppure approssimate, sul contributo dell'apporto naturale e dell'apporto antropico al contenuto totale di ogni metallo. Alcuni

approfondimenti in tal senso erano stati riportati nei RSA degli anni passati (dal 2002 al 2005), e possono ritenersi ancora validi.

Le elaborazioni derivanti dall'analisi statistica parametrica riportate nella tabella 5.1, si basano su un numero piuttosto elevato di campioni e permettono il confronto con alcuni limiti dell'attuale normativa ambientale, con particolare riferimento a:

- Limiti stabiliti dal DM 471/99 (e confermati dal DLgs 152/06) per i suoli ad uso residenziale, verde pubblico e privato e per i suoli ad uso commerciale e industriale;
- Limiti stabiliti dalla DCR 1005-4351 della Regione Piemonte, confermata dalla Legge Regionale 42/00, per i suoli bonificati a destinazione agricola;
- Limiti stabiliti dal DLgs 99/92 per i terreni utilizzabili per i fanghi di depurazione urbana.

I campioni si riferiscono a suoli agrari (campionati su due profondità: 0-40 cm e 40-60 cm) e a suoli naturali e seminaturali, cioè prati stabili, pascoli, boschi, aree forestali, incolti (campionati a tre profondità: 0-10 cm; 10-30 cm; 30-60 cm), prelevati principalmente, ma non esclusivamente, su aree di pianura e bassa collina.

I dati fanno riferimento alla concentrazione di metalli estraibili in acqua regia, vale a dire al contenuto normalmente definito come pseudo-totale.

Per tutti i metalli i valori medi riscontrati sono ampiamente inferiori ai limiti normativi utilizzati come riferimenti; nel caso dello zinco addirittura tutti i valori rilevati rientrano nel limite legislativo più restrittivo; una situazione simile si riscontra per il piombo, con qualche superamento per i valori più elevati, e, in misura minore, per il rame, dove i campioni prelevati

Tabella 16.2 - Concentrazione dei metalli pesanti estraibili in acqua regia nei suoli agrari e naturali - anni 2001-2005

		Cd	Cr	Ni	Pb	Cu	Zn
Dati disponibili	n°	741	741	741	741	741	741
Valore massimo	mg/kg	4,00	420,00	360,00	110,00	342,00	150,00
Valore minimo	mg/kg	0,00	9,33	3,40	2,00	3,20	0,00
Media	mg/kg	1,13	103,10	65,61	23,27	36,27	59,59
Mediana	mg/kg	0,90	85,60	48,30	19,50	24,30	55,61
Deviazione standard	mg/kg	0,87	66,10	54,22	14,24	40,04	24,75
25° percentile	mg/kg	0,47	60,58	27,33	14,70	15,50	41,50
50° percentile	mg/kg	0,90	85,60	48,30	19,50	24,30	55,61
75° percentile	mg/kg	1,60	127,25	87,90	27,08	42,00	74,00
90° percentile	mg/kg	2,40	182,70	134,80	39,00	66,00	90,00
Limite DLgs 152/06 residenziale	mg/kg	2,00	150,00	120,00	100,00	120,00	150,00
Limite DLg 152/06 industriale	mg/kg	15,00	800,00	500,00	1000,00	600,00	1500,00
Limite DCR1005-4351 agricolo	mg/kg	5,00	500,00	150,00	375,00	150,00	500,00
Limite DLgs 99/92	mg/kg	1,00	non prev.	75,00	100,00	100,00	300,00

Fonte: Arpa Piemonte.

Tabella 16.3 - Concentrazione dei metalli pesanti assimilabili nei suoli agrari e naturali - anni 2001-2005

		Ni disponibile	Pb disponibile	Cu disponibile	Zn disponibile
Dati disponibili	n°	353	353	353	353
Valore massimo	mg/kg	50,50	60,00	214,00	61,50
Valore minimo	mg/kg	0,08	0,01	0,01	0,10
Media	mg/kg	4,90	8,29	13,49	5,51
Mediana	mg/kg	3,00	6,70	6,10	3,40
Deviazione standard	mg/kg	5,85	7,01	22,62	6,55
25° percentile	mg/kg	1,50	4,10	3,40	2,00
50° percentile	mg/kg	3,00	6,70	6,10	3,40
75° percentile	mg/kg	5,90	10,50	12,50	7,20
90° percentile	mg/kg	10,04	15,64	36,80	11,72
Limite DCR1005-4351 agricolo	mg/kg	30,00	50,00	50,00	150,00
Limite DGR 34-8488 del 06.05.96	mg/kg	30,00	50,00	50,00	150,00

Fonte: Arpa Piemonte

in aree viticole superano con una certa frequenza i limiti normativi.

Diverso è il discorso per il cromo e per il nichel, metalli naturalmente presenti in concentrazioni elevate in molti suoli piemontesi; in questo caso il superamento dei limiti definiti per le bonifiche dei siti ad uso residenziale, verde pubblico e privato è piuttosto frequente, come pure il superamento del limite stabilito per il nichel per l'utilizzo agricolo dei fanghi di depurazione. In merito alle valutazioni sul contenuto naturale e sull'apporto antropico per questi due metalli, si rimanda al RSA del 2003.

Anche il cadmio presenta alcuni superamenti dei limiti normativi e, in questo caso, può essere più forte la componente antropica rispetto a quella naturale.

Ovviamente il confronto con i limiti normativi riportati nella tabella è un puro esercizio teorico, finalizzato ad una prima approssimata valutazione sul livello di presenza ambientale dei diversi metalli, e non può né deve sostituire le più accurate valutazioni da condurre a livello territoriale con il supporto di tutte le informazioni geologiche, litologiche e pedologiche locali.

Inoltre, il contenuto in metalli totali (estraibili in acqua regia) fornisce poche informazioni sulla pericolosità del metallo, che diventa disponibile per le piante solo quando è presente in forme chimiche disponibili per gli apparati radicali.

Per questo motivo, accanto alla valutazione della forma totale è stata determinata, generalmente sui campioni più superficiali, la presenza di metalli in forma disponibile, utilizzando le metodologie ufficiali del Ministero per le Politiche Agricole e Forestali.

I risultati di tali determinazioni sono riportati nella tabella 16.3 per quattro dei metalli più significativi.

I valori sono stati posti a confronto con due limiti legislativi, e precisamente:

- il limite definito dalla DCR della Regione Piemonte n°1005-4351, successivamente confermato dalla

Legge Regionale 42/00, per i suoli bonificati destinati ad uso agricolo;

- il limite previsto dalle norme regionali piemontesi integrative del DLgs 99/92 che riguarda l'uso agricolo dei fanghi di depurazione.

Le analisi effettuate sulle concentrazioni di metalli assimilabili, determinate solamente sullo strato più superficiale dei vari punti di prelievo, evidenziano dei contenuti quasi sempre inferiori ai limiti normativi, con qualche eccezione per il rame.

L'influenza dell'area metropolitana

I suoli urbani differiscono da quelli rurali per il fatto che sono maggiormente influenzati dalle attività antropiche; questa influenza si traduce, generalmente, in una maggiore contaminazione. Questo fenomeno è stato valutato anche per la città di Torino da uno studio (Biasioli *et al.*, 2006) condotto dal DIVAPRA, Chimica Agraria, dell'Università di Torino che ha utilizzato anche parte dei dati riportati nel precedente paragrafo.

I dati sui suoli urbani derivano dal progetto URBSOIL "I suoli urbani come fonte di accumulo e rilascio di inquinanti: verso una metodologia europea comune per la valutazione della loro qualità ambientale come strumento per la gestione sostenibile delle risorse", un progetto europeo coordinato proprio dall'Università di Torino (si veda il Capitolo sull'Ambiente urbano e anche il sito <http://www.urbsoil.unito.it/progetto/progetto.htm>).

Le considerazioni alla base delle valutazioni descritte nello studio tengono conto anche della particolarità dei suoli urbani; le aree urbane, infatti, presentano uno spettro molto ampio di utilizzo del suolo: giardini pubblici e privati, campi da gioco, discariche, aree ex industriali, argini di fiumi e canali, terrapieni delle ferrovie, orti familiari e terreni dedicati all'agricoltura,

che pur essendo spesso localizzati alle periferie, sono sempre sotto l'influenza dell'area urbana. Lo studio della natura dei suoli urbani e il problema del monitoraggio sono d'attualità a causa dell'incremento di contaminazione e delle implicazioni legate alla salvaguardia della salute umana, nonché del nuovo interesse legato alla pianificazione di un ambiente urbano sostenibile.

Il suolo urbano si differenzia dagli altri tipi di suolo perché è più influenzato nella sua composizione dall'azione umana che dagli agenti naturali, come invece avviene negli altri tipi di terreno. Da questo punto di vista i suoli urbani possono essere considerati gli ultimi componenti di un *continuum* caratterizzato da un graduale incremento dell'attività umana, che va dai suoli naturali indisturbati, ai suoli agricoli, per finire con i suoli urbani, dove l'influenza umana è massima e dove le componenti naturali sono spesso scomparse.

Contrariamente ai terreni naturali, che presentano un profilo composto di orizzonti verticali degradanti gradualmente o nettamente, il suolo urbano non ha un profilo, o meglio presenta una grandissima variabilità, sia verticale che orizzontale, proprio perché alla base della sua formazione non ci sono processi pedogenetici, ma stratificazione di detriti, materiali di riporto, edili, resti di scavi di fondamenta. La componente grossolana di diametro superiore a 2 mm, fino a 10 cm circa, è presente in quantità a volte notevole e contribuisce alla caratteristica eterogeneità del suolo urbano. La grande variabilità nei suoli urbani si riscontra non solo in aree a differente destinazione d'uso, ma anche all'interno di un medesimo spazio.

Questo rende, ad esempio, inapplicabile la valutazione del grado di contaminazione attraverso l'applicazione del fattore di arricchimento, generalmente calcolato come rapporto tra il valore riscontrato nello strato superficiale rispetto agli orizzonti inferiori (si veda anche il RSA 2003). Tale indice si basa infatti sulla assunzione che i contaminanti di origine antropica si accumulano principalmente nello strato superficiale, determinandone un arricchimento rispetto agli strati inferiori; questo non è necessariamente vero nei suoli urbani, dove i suoli sono spesso miscelati e dove sono spesso aggiunto nuovi suoli quasi sempre miscelati a materiali di demolizione.

Nello studio è stato perciò utilizzato un approccio diverso, confrontando il livello di contaminanti dei suoli urbani con suoli di origine analoga presenti in aree progressivamente meno influenzate dalla città. La valutazione di questo indice di contaminazione ha

dimostrato una forte influenza della città nel cambiamento di alcune proprietà del suolo, con particolare riferimento all'arricchimento in alcuni metalli pesanti (Pb, Zn e Cu); aumenti più limitati sono stati riscontrati per Ni e Cr, peraltro molto probabilmente dovuti più a fattori naturali che a fenomeni di contaminazione. Il confine tra suoli urbani e suoli rurali è ancora abbastanza netto e il fenomeno di trasporto dei contaminanti è risultato minore del previsto.

Altre importanti differenze sono l'aumento del pH dei suoli urbani, tamponato su valori piuttosto elevati, e la distribuzione delle dimensioni delle particelle, dove prevalgono quelle più grossolane. Entrambi i fenomeni trovano una spiegazione nell'incorporazione nel suolo di materiali estranei, primi tra tutti i residui di demolizione.

Un approfondimento su alcuni contaminanti

Le attività di gestione e implementazione della rete di monitoraggio e gli studi condotti per la Regione sulla contaminazione diffusa hanno permesso di approfondire le conoscenze anche su alcuni metalli pesanti generalmente non ricercati nei suoli ma comunque presenti nelle tabelle del DM 471/99 e del DLgs 152/06.

Alcuni di questi metalli, come il mercurio o l'arsenico, sono già noti per la loro tossicità; altri, come l'antimonio, il berillio, il cobalto, il tallio e il vanadio, sono invece meno conosciuti, ma possono essere comunque presenti nei suoli sia perché provenienti, seppure in piccola quantità, dalla degradazione di alcuni tipi di rocce, sia perché derivanti dalla combustione di combustibili fossili o dalla gestione non corretta dei rifiuti.

Un discorso un po' a parte merita lo stagno, inserito nelle tabelle come elemento ma in realtà da considerare pericoloso solo se presente nella forma di composti organo-stannici.

Al momento sono disponibili i dati di 86 campioni di suolo, tranne che per il berillio (61) e per il mercurio (24). I campioni riguardano i primi due strati di suoli agrari e a verde pubblico; poiché non sono state riscontrate differenze tra lo strato superficiale e quello sottostante, si è proceduto alla elaborazione congiunta di tutti i dati, ponendoli a confronto con i limiti previsti dalla normativa sulle bonifiche sia per i terreni ad uso residenziale e verde pubblico, sia per i terreni ad uso industriale e commerciale. Per i suoli ad uso agricolo, in mancanza di un riferimento nazionale, si sono considerati i limiti della LR 42/00.

Tabella 16.4 - Contenuto di alcuni metalli pesanti in suoli piemontesi - anni 2001-2005

	Unità misura	Antimonio Sb	Arsenico As	Berillio Be	Cobalto Co	Mercurio Hg	Stagno Sn	Tallio Tl	Vanadio V
Dati disponibili	n°	86	86	61	86	24	86	86	86
Mediana	mg/kg	1,50	9,90	1,40	21,00	0,41	8,25	0,50	81,00
Media	mg/kg	1,88	11,54	1,35	20,89	0,55	10,98	0,48	83,40
Deviazione Standard	mg/kg	1,45	5,67	0,38	7,29	0,53	9,80	0,18	20,61
Massimo	mg/kg	9,00	26,00	2,00	40,00	1,70	66,00	1,10	140,00
Minimo	mg/kg	0,60	1,00	0,55	8,10	0,01	0,45	0,10	50,00
10° percentile	mg/kg	0,92	5,50	0,90	11,50	0,03	4,95	0,28	60,50
90° percentile	mg/kg	3,85	20,50	1,80	29,50	1,31	20,00	0,66	105,00
Limite 471/99 residenziale	mg/kg	10	20	2	20	1	1	1	90
Limite 471/99 industriale	mg/kg	30	50	10	250	5	350	10	250
Limite LR 42/00 agricolo	mg/kg	20	30	5	500	10	50	1	200

Fonte: Arpa Piemonte

I valori riscontrati per l'antimonio e per il berillio sono sempre inferiori anche ai limiti più restrittivi, cioè quelli definiti per l'uso residenziale e verde pubblico e privato.

Nel caso dell'arsenico, i valori sono sempre inferiori al limite per i suoli agrari, ma circa il 10% dei campioni supera il valore definito per l'uso residenziale; questa situazione si accentua per il tallio e per il vanadio, dove i limiti definiti dalla norma nazionale per l'uso residenziale vengono spesso superati, anche se non di molto. Questo può far presumere che tali limiti siano piuttosto restrittivi e non siano stati tenuti nella dovuta considerazione i valori di fondo naturale di questi metalli, anche per una notevole carenza di dati in merito alla presenza di questi componenti in suoli non interessati da fenomeni di contaminazione puntuale.

Per il tallio e per il mercurio le medie sono inferiori ai limiti per l'uso residenziale, anche se si verificano degli occasionali superamenti.

Un discorso a parte merita lo stagno per il quale il legislatore nazionale ha previsto il limite di 1 mg/kg per l'uso residenziale; tale limite non trova alcuna giustificazione nella tossicità del metallo, ma è piuttosto da attribuire ad una errata definizione del composto tossico, che doveva essere identificato nei composti organo-stannici e non nella molecola di stagno. Non desta perciò sorpresa, ma neanche preoccupazione, il superamento costante del valore di 1 mg/kg, anche perché la media e la quasi totalità dei valori riscontrati si collocano ben al di sotto del limite della norma regionale.

Nessuno dei valori riscontrati per nessuno degli elementi considerati supera i limiti definiti per l'uso commerciale e industriale.

Proprio in considerazione della carenza di dati pubblicati sul contenuto di questi elementi, si ritiene che

queste informazioni possano tornare utili agli addetti del settore nella gestione delle diverse problematiche ambientali che interessano i suoli.

16.1.5 I dati sulla contaminazione organica

L'importanza della contaminazione organica è già stata fatta rilevare nella introduzione al presente capitolo.

Le diossine, i furani, gli IPA (idrocarburi policiclici aromatici) e i PCB (bifenili policlorurati) sono un gruppo di sostanze chimiche tossiche e persistenti che hanno effetti negativi sulla salute umana. La loro presenza nell'ambiente è determinata dall'emissione in atmosfera da innumerevoli fonti civili, industriali e naturali delle quali è molto difficile stabilire un contributo specifico. La definizione di un inquinamento "di base" dei suoli da parte dei microinquinanti converge con l'esigenza di conoscere l'inquinamento prodotto "da fonti diffuse" e può essere utile per definire quelle azioni a medio e lungo termine di riduzione delle fonti emissive ritenute più significative, così come auspica dalle citate normative europee.

Il contenuto di IPA, PCB e diossine

La disponibilità di dati sui contaminati organici, quali diossine (PCDD e PCDF), policlorobifenili (PCB) e idrocarburi policiclici aromatici (IPA), è ovviamente più limitata, considerando sia la complessità e il costo delle analisi, sia la più recente attenzione ambientale a questi contaminanti.

Il contenuto di diossine e furani, riportato nella tabella 16.5, è sempre al di sotto del limite di legge (il DLgs 152/06 stabilisce il valore di 10 ng/kg per i suoli ad uso residenziale, verde pubblico e privato), anche se i valori massimi per lo strato più superficiale dei

terreni naturali si avvicinano a tale limite. E' importante inoltre rilevare che questi composti, grazie anche alle tecniche analitiche oggi disponibili, sono rilevabili nella pressoché totalità dei campioni esaminati, a conferma di una presenza ormai ubiquitaria di tali sostanze; i valori medi riscontrati sono di circa 1,2 ng/kg per i suoli agrari e di circa 2 ng/kg per i suoli naturali e seminaturali.

La presenza di idrocarburi policiclici aromatici (IPA), riportata nella tabella 16.6 è invece più limitata, e anche i valori massimi rimangono ben lontani dal limite di legge. La sommatoria riportata nella tabella considera i cosiddetti IPA pesanti (pirene, crisene, benzo[b]fluorantene, benzo[k]fluorantene, benzo[a]pirene, indeno[1,2,3-c,d]pirene, dibenzo[a,h]antracene, benzo[g,h,i]perilene). Altre considerazioni sugli IPA sono riportate nel successivo paragrafo.

Anche in questo caso però, è bene evidenziare la presenza diffusa di piccole quantità di questi contaminanti che derivano soprattutto dalla combustione

di prodotti petroliferi di varia natura.

Per i PCB, i cui risultati sono riportati nella tabella 16.7, diversi dei campioni esaminati superano il limite di 0,001 mg/kg stabilito nel DM 471/99 per i suoli da destinare ad uso residenziale e di verde pubblico e privato; tutti i campioni sono però ben al di sotto del nuovo limite indicato nel DLgs 152/06 per lo stesso tipo di suoli, pari a 0,060 mg/kg. La correzione di tale limite, più volte richiesta dal sistema agenziale e dall'Istituto Superiore di Sanità, va a sanare un evidente errore del DM 471/99; è bene ricordare che il limite stabilito per le aree ad uso commerciale e industriale sia dal DM 471/99, sia dal DLgs 152/06, è di 5 mg/kg.

In linea generale, per la maggior parte dei contaminanti organici presi in considerazione, le concentrazioni che si ritrovano nei terreni naturali e seminaturali sono più elevate di quelle che si riscontrano nei terreni arabili; in particolare risultano interessati gli strati

Tabella 16.5 - Presenza di diossine e furani in terreni agrari e in terreni naturali e seminaturali - anni 2000-2005
Statistiche diossine e furani (PCDD e PCDF)

Terreni agrari	Strato superficiale	Strato profondo	
Dati disponibili = 62	(0 - 40 cm) ng/kg	(40 - 60 cm) ng/kg	
Media diossine e furani	1,43	0,90	
Valore massimo	2,68	1,79	
Valore minimo	0,403	0,236	
media su totale campioni	1,24		

Terreni naturali	Strato superficiale	Strato intermedio	Strato profondo
Dati disponibili = 95	(0 - 10 cm) ng/kg	(10 - 30 cm) ng/kg	(30 - 60 cm) ng/kg
Media diossine e furani	3,28	1,36	0,68
Valore massimo	9,04	2,75	1,39
Valore minimo	0,16	0,265	0,253
media su totale campioni	2,03		

Fonte: Arpa Piemonte

Tabella 16.6 - Presenza di idrocarburi policiclici aromatici (IPA) pesanti in terreni agrari e in terreni naturali e seminaturali
Statistiche idrocarburi policiclici aromatici pesanti (IPA pesanti)

Terreni agrari	Strato superficiale	Strato profondo	
Dati disponibili = 39	(0 - 40 cm) mg/kg	(40 - 60 cm) mg/kg	
Media IPA	0,107	0,089	
Valore massimo	0,209	0,105	
Valore minimo	0,02	0,081	

Terreni naturali	Strato superficiale	Strato intermedio	Strato profondo
Dati disponibili = 46	(0 - 10 cm) mg/kg	(10 - 30 cm) mg/kg	(30 - 60 cm) mg/kg
Media IPA	0,208	0,0801	0,065
Valore massimo	0,873	0,316	0,256
Valore minimo	0,011	0,01	0,038

Fonte: Arpa Piemonte

Tabella 16.7 - Presenza di policlorobifenili (PCB) in terreni agrari e in terreni naturali e seminaturali - anni 2002-2005
Statistiche Policlorobifenili (PCB)

Terreni agrari	Strato superficiale	Strato profondo	
Dati disponibili = 62	(0 - 40 cm) mg/kg	(40 - 60 cm) mg/kg	
Media PCB	0,0027	0,0008	
Valore massimo	0,0080	0,005	
Valore minimo	0,0002	0,000013	
media su totale campioni	0,0019		

Terreni naturali	Strato superficiale	Strato intermedio	Strato profondo
Dati disponibili = 95	(0 - 10 cm) mg/kg	(10 - 30 cm) mg/kg	(30 - 60 cm) mg/kg
Media PCB	0,008	0,0015	0,00062
Valore massimo	0,032	0,019	0,0033
Valore minimo	0,00013	0,000053	0,000046
media su totale campioni	0,0072		

Fonte: Arpa Piemonte

superficiali dei terreni naturali e seminaturali, molto ricchi in sostanza organica in grado di complessare i contaminanti e di limitarne la mobilità verticale.

Nei terreni agrari, viceversa, il rimescolamento dovuto alle continue lavorazioni fa sì che le sostanze contaminanti si distribuiscano in modo abbastanza uniforme in tutto lo strato arato, causandone, in un certo senso, una diluizione. Gli strati più profondi, sia dei terreni arati sia di quelli naturali o seminaturali, hanno invece concentrazioni molto più basse, a dimostrazione di una mobilità piuttosto ridotta in senso verticale di questi contaminanti.

Anche questi dati risultano essere di grande utilità nella valutazione di fenomeni di contaminazione puntuale o di "contaminazione di prossimità".

Un approfondimento sugli idrocarburi policiclici aromatici (IPA)

I dati sugli IPA riportati nel precedente paragrafo, come già precisato, fanno riferimento alla sommatoria degli IPA pesanti, così come definiti dal DM 471/99 e dal DLgs 152/06; queste normative, tuttavia, definiscono dei limiti anche per i singoli composti. Esistono inoltre degli altri IPA che non sono compresi nella sommatoria precedentemente citata.

Un esame più dettagliato dei dati analitici disponibili sui campioni analizzati, confermano però come i composti che si ritrovano con una maggiore frequenza e in quantità più consistenti sono proprio alcuni degli IPA pesanti, con particolare riferimento al pirene, al benzo[a]pirene, all'indeno [1,2,3-c,d]pirene, al benzo[b]fluorantene e al benzo [g,h,i]perilene.

Si tratta di composti principalmente derivanti dalla combustione di idrocarburi sia da parte di motori a scoppio, sia da parte di impianti ad uso industriale o per riscaldamento. Per questo motivo non sorprende

che la frequenza con cui si ritrovano questi composti aumenti in vicinanza e all'interno delle aree urbane, ad esempio nei terreni destinati a verde pubblico e privato.

16.1.6 Il monitoraggio di altre forme di degrado

Tutte le forme di degrado citate dalla Comunicazione COM (179) 2002 sulla nuova strategia tematica europea sul suolo riscuotono l'attenzione dall'Arpa (i lavori preparatori dei *Technical Working Groups* -TWGs- europei che hanno supportato la DG Ambiente nella fase di elaborazione della nuova strategia tematica sono disponibili in rete: http://eu soils.jrc.it/ESDB_Archive/Policies/STSWeb/start.htm); per alcune di esse tuttavia non sono al momento disponibili degli aggiornamenti rilevanti rispetto a quanto riportato nei RSA del 2004 e del 2005.

Ciò vale in particolare per:

- erosione (si veda il RSA 2004);
- impermeabilizzazione (si veda il RSA 2005 e il già citato sito http://www.urbsoil.unito.it/suoli_urbani/suoli_urbani.htm);
- perdita di biodiversità e frammentazione (si veda il RSA 2005);
- per il tema degli incendi, trattato negli anni passati in questo capitolo, si faccia invece riferimento al capitolo 19 ecosistemi).

16.2 QUALITA' BIOLOGICA DEI SUOLI IN FUNZIONE DELLA TIPOLOGIA D'USO

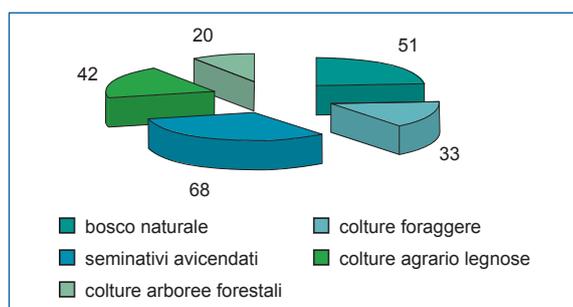
Bona Griselli - Arpa Piemonte

La necessità di prevenire le cause del degrado della risorsa suolo, deve comprendere anche lo studio della componente biotica, ad integrazione delle conoscenze pedologiche e chimiche. La tematica è di notevole rilevanza e la Commissione Europea ha incluso la protezione del suolo tra le priorità del 6° Programma decennale di azione ambientale.

L'indicatore QBSar consente una valutazione della qualità biologica del suolo mediante l'analisi delle comunità di microartropodi. Per la valutazione dell'indice QBSar vengono rilevate le "forme biologiche" presenti, intendendo come tali un insieme di organismi, che hanno in comune modificazioni morfologiche finalizzate all'adattamento alla vita ipogea. Maggiore è la presenza di organismi adattati alla vita edafica, migliore è la qualità del suolo.

Sono stati elaborati i dati derivanti da monitoraggi che Arpa Piemonte ha svolto negli anni 2004-2005 (figura 16.5), adottando il metodo ufficiale di Parisi, 2001.

Figura 16.5 - Ripartizione delle 214 stazioni monitorate in funzione della tipologia di uso del suolo

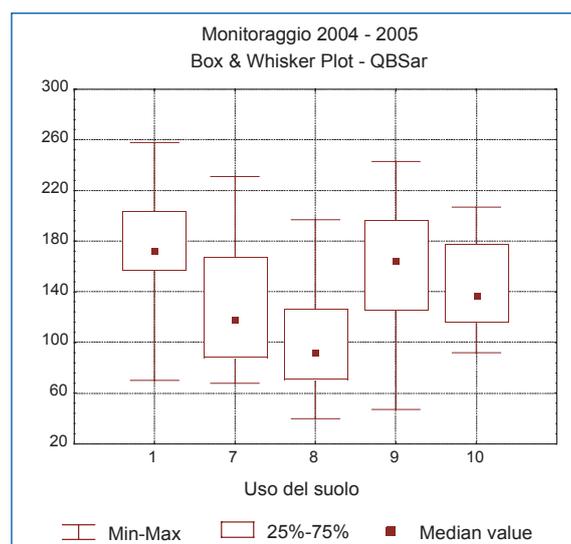


Fonte: Arpa Piemonte

L'uso del suolo, le modalità di gestione dello stesso, unitamente ai parametri ambientali che lo caratterizzano, condizionano profondamente la composizione dei popolamenti edafici e conseguentemente il valore dell'indice QBSar (tabella 16.8, figura 16.6).

Notevoli differenze, si sono infatti rinvenute non solo tra le varie tipologie d'uso del suolo, ma anche nell'ambito della stessa tipologia. I seminativi avvicendati presentano in assoluto i valori medio e minimo più bassi (rispettivamente QBSar 101 e QBSar 40), mentre i boschi naturali i valori medio e massimo più elevati (rispettivamente QBSar 173 e QBSar 258); per quanto riguarda la variabilità dei valori di QBSar all'interno delle varie tipologie, si è evidenziato che i boschi presentano la minor dispersione dei dati (CV 24%) a differenza delle colture foraggere e dei seminativi (CV 38%).

Figura 16.6 - Raggruppamento dei valori QBS-ar in funzione dell'uso del suolo: mediana, min., max., 25%-75% percentile



Fonte: Arpa Piemonte

1: boschi naturali; 7: colture foraggere permanenti; 8: seminativi avvicendati; 9: colture agrario legnose; 10: colture arboree forestali

Tabella 16.8 - Parametri statistici per i valori di QBSar rinvenuti nelle differenti tipologie d'uso del suolo - anni 2004-2005

	Boschi naturali	Colture foraggere	Seminativi avvicendati	Colture agrario legnose	Colture arboree forestali
Totale campioni	51	33	68	42	20
Minimo	70	68	40	47	83
Massimo	258	231	197	243	207
Media	173	128	101	159	129
Mediana	172	118	92	164	119
95° percentile	236	182	175	233	203
10° percentile	123	81	59	90	92
dev. st. (s)	42	48	38	49	37
CV	24%	38%	38%	30%	28%

Fonte: Arpa Piemonte

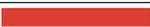
Le colture agrario legnose hanno un valor medio e mediana prossimi a quelle dei boschi; è necessario tenere presente che, nell'ambito delle colture agrario legnose, sono state selezionate un congruo numero di stazioni a gestione biologica (media QBSar 159; mediana QBSar 164).

Le colture arboree forestali e le colture foraggere presentano valori relativi alla media e mediana simili, nonostante le seconde siano caratterizzate da una maggior dispersione.

Partendo quindi dal presupposto che ogni tipologia di uso del suolo, sia dal punto di vista della distribuzione dei valori di QBSar sia della composizione delle comunità, presenta peculiarità che la caratterizzano, emerge la necessità di definire dei criteri che individuano differenti livelli qualitativi. Essi devono consentire l'identificazione, per la specifica tipologia d'uso, delle "condizioni ottimali" di riferimento e permettere una stima dello scostamento da esse.

Dall'analisi dei dati a disposizione, è stato possibile formulare una prima proposta classificativa per i boschi naturali, i seminativi avvicendati e le colture agrario legnose. L'attuale criterio in adozione è generico e applicabile a tutti i suoli; esso individua 7 classi di qualità crescente, passando da 0 a 6.

Sono state proposte delle linee che permettono di individuare per le singole tipologie d'uso 4 classi qualitative.

Classe 4	Qualità eccellente	
Classe 3	Qualità buona	
Classe 2	Qualità sufficiente	
Classe 1	Qualità insufficiente	

Per l'attribuzione della classe di qualità sono stati presi in considerazione sia i valori dell'Indice QBSar sia la presenza di forme biologiche euedafiche (forme altamente adattate alla vita nel suolo) ritenute significative e discriminanti quali: Proturi, Dipluri, Pseudoscorpioni, Diplopodi, Pauropodi, Sinfili, Chilopodi e Coleotteri; è stata applicata la *Indicator Species Analysis* per valutarne la significatività¹.

Si è invece osservato, che le forme euedafiche rappresentate da Acari e Collemboli sono scarsamente discriminanti.

I valori di QBSar, individuati come soglia di passaggio dalla classe 1 (insufficiente) alla 2 (sufficiente) e dalla classe 3 (buona) alla 4 (eccellente), sono stati definiti tenendo in considerazione i valori minimo e massimo riscontrati e la deviazione standard (soglia inferiore: min + dev. st.; soglia superiore max. – dev. st.).

Per le classi intermedie 2 e 3, rispettivamente sufficiente e buona, si è tenuto conto, a seconda della tipologia di uso del suolo, della presenza più o meno consistente di forme euedafiche discriminanti, della presenza di Proturi e di valori "soglia" di QBSar.

Il criterio adottato nell'individuazione di valori "soglia" di QBSar si concilia bene con il rinvenimento o scomparsa, tra una classe e l'altra, dei gruppi euedafici precedentemente elencati.

Boschi naturali (figura 16.8a)

I boschi naturali vengono fatti rientrare nella classe qualitativa 4, che ne individua l'eccellenza quando sono presenti Proturi (IV 40, $p < 0,001$), Pseudoscorpioni (IV 70, $p < 0,001$) e il valore di QBSar è > 210 (valore corrispondente al massimo rinvenuto sottratto della dev. st.). In tale classe sono rientrati il 18% delle stazioni monitorate.

Le condizioni intermedie: Classe 3 (buona) e 2 (sufficiente) vengono definite dalla maggiore o minore presenza di forme euedafiche (diverse da Acari e Collemboli), dalla presenza di Proturi e dai valori di QBSar maggiori o minori di 170.

Della totalità delle stazioni esaminate, solamente l'8% è risultato insufficiente. In queste stazioni non erano presenti forme euedafiche discriminanti oppure si è rinvenuta una sola forma euedafica (rappresentata dai Sinfili), inoltre il QBSar è risultato < 110 (valore che corrisponde al minimo rinvenuto, sommato della dev. st.).

In questa classe qualitativa sono rientrati campioni provenienti da:

1) un bosco riparale caratterizzato da un suolo prevalentemente sabbioso e quindi fisiologicamente xerico, inserito in un contesto di seminativi avvicendati e colture agrario legnose (sono stati effettuati due campionamenti: nel 2004 QBSar 70, nel 2005 è stato riconfermato il livello qualitativo insufficiente, QBSar 86), TO 111 (Comune di Ivrea),

¹La *Indicator Species Analysis* (ISA, Dufrêne e Legendre, 1997) è stata applicata alla matrice dei valori EMI massimali relativi alle varie forme biologiche, rinvenute nelle differenti stazioni e raggruppate secondo le classi qualitative proposte, utilizzando il Software PC-ORD 4.25. È stata confermata la significatività di alcune forme euedafiche nel discriminare i livelli qualitativi proposti. Il test ISA restituisce "valori indicatori" (IV) che possono variare da 0 (indicazione "nulla"), a 100 (indicazione "ottimale"). La significatività statistica del test è stata valutata con il metodo di Monte Carlo.

2) un bosco caratterizzato da un terreno molto drenante e friabile a prevalenza sabbioso-ghiaioso, localizzato a ridosso di una scarpata, TO 119 (Comune di Meugliano),

3) un bosco situato nel Parco della Mandria, localizzato nelle immediate vicinanze di Torino e presumibilmente suscettibile dell'inquinamento diffuso che caratterizza la cintura del capoluogo piemontese TO 116 (Comune di Venaria).

Seminativi avvicendati (figura 16.8b)

Il 29% delle stazioni esaminate sono risultate di qualità insufficiente. In queste stazioni o non erano presenti forme euedafiche discriminanti o si è rinvenuta una sola forma euedafica (rappresentata prevalentemente dai Sinfilii), i valori di QBSar erano < 80.

La maggior parte delle stazioni monitorate (65%) è rientrata nelle condizioni intermedie, Classe 3 (buona) e 2 (sufficiente), definite dalla maggiore o minore presenza di forme euedafiche (Sinfilii IV 62, $p < 0,001$; Dipluri IV 47, $p < 0,001$; Pauropodi IV 37, $p < 0,001$) e da valori di QBSar compresi tra 80 e 160.

In Classe 4 di qualità eccellente sono state incluse solo il 6% delle stazioni monitorate. Tre stazioni (AT19, AT02, AT20, rispettivamente di frumento tenero, mais ed erba medica) erano localizzate in provincia di Asti e una nel Verbano (VB16, colture orticole di pomodori). I campioni provenienti da seminativi avvicendati vengono fatti rientrare in classe 4, quando sono presenti Proturi e il valore di QBSar è > 160; oltre ai Proturi in queste stazioni erano sempre presenti da 2 a 4 forme euedafiche diverse da Acari e Collemboli. La maggioranza delle stazioni esaminate era rappresentata da cereali autunno vernini (QBSar medio 99) valori medi crescenti si sono osservati nelle colture orticole (QBSar medio 124) e negli erbai (QBSar medio 139).

Colture agrario legnose (figura 16.8c)

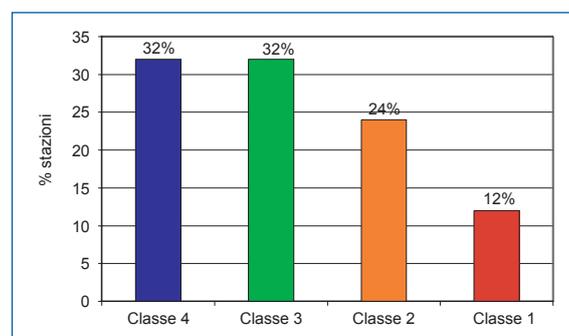
Le colture agrario legnose vengono fatte rientrare nella classe qualitativa 4, che ne individua l'eccellenza, quando sono presenti Proturi (IV 54, $p < 0,002$) e/o Pseudoscorpioni (IV 69, $p < 0,002$) e il valore di QBSar è > 190. In tale classe sono rientrati il 24% delle stazioni monitorate.

Le condizioni intermedie: Classe 3 (buona) e 2 (sufficiente) vengono definite dalla maggiore o minore presenza di forme euedafiche (diverse da Acari e Collemboli), dalla presenza di Proturi e da valori di QBSar compresi tra 100 e 190.

Nel livello qualitativo insufficiente sono rientrate cinque stazioni (12%), che presentavano valori di QBSar < 100. In tre di esse non erano presenti forme euedafiche discriminanti, nelle restanti si sono rinvenuti Sinfilii o Dipluri.

Dei 41 campioni esaminati il 61% era prevalentemente rappresentato da vigneti di cui alcuni biologici. Nell'ambito di questa tipologia colturale si è osservata una notevole variabilità sia nei valori di QBSar (max 243, min. 82) sia nelle classi qualitative rappresentate. Tutti i vigneti biologici sono rientrati nella classi qualitative eccellente o buona.

Figura 16.7 - Vigneti, ripartizione nelle classi di qualità rinvenute nei monitoraggi effettuati - anni 2004-2005



Fonte: Arpa Piemonte

L'analisi dei popolamenti edafici, che caratterizzano le varie tipologie d'uso del suolo, e la definizione di classi qualitative ad esse associate, rappresenta un ulteriore passo avanti per l'impiego dell'indice QBSar in molteplici attività in cui sono coinvolte le Agenzie per l'ambiente: valutazioni di impatto ambientale, caratterizzazione dei siti da bonificare, monitoraggio dell'efficacia di interventi di recupero e rinaturalizzazione ecc...

I criteri proposti con il proseguimento dei monitoraggi potranno essere ulteriormente rivisti e perfezionati.

Fig. 16.8a - Valutazione classi qualitative del suolo mediante l'analisi della mesofauna in boschi naturali

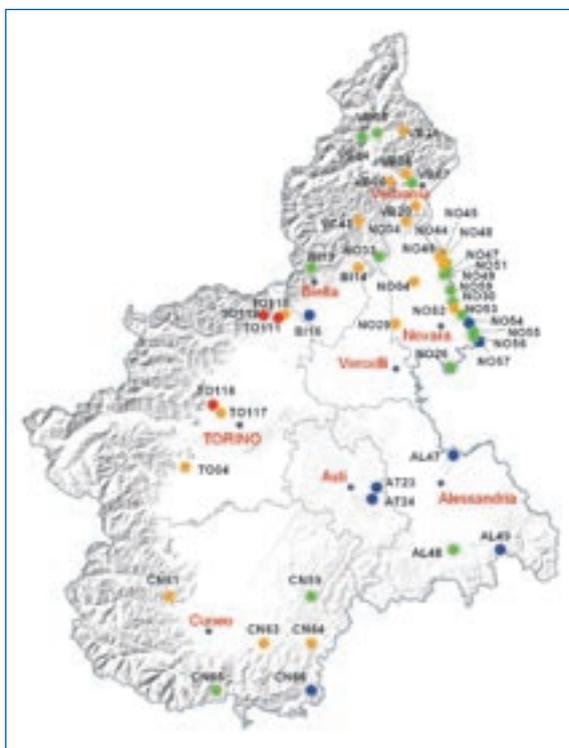


Fig. 16.8b - Valutazione classi qualitative del suolo mediante l'analisi della mesofauna in seminativi avvicendati

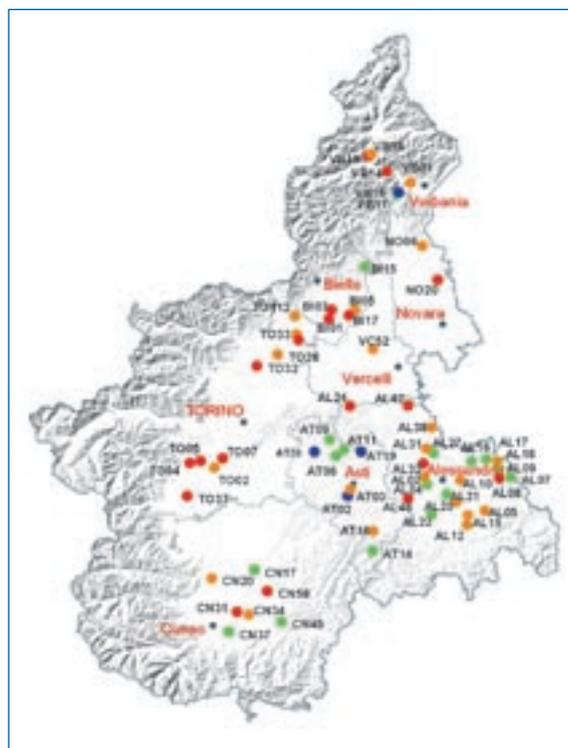
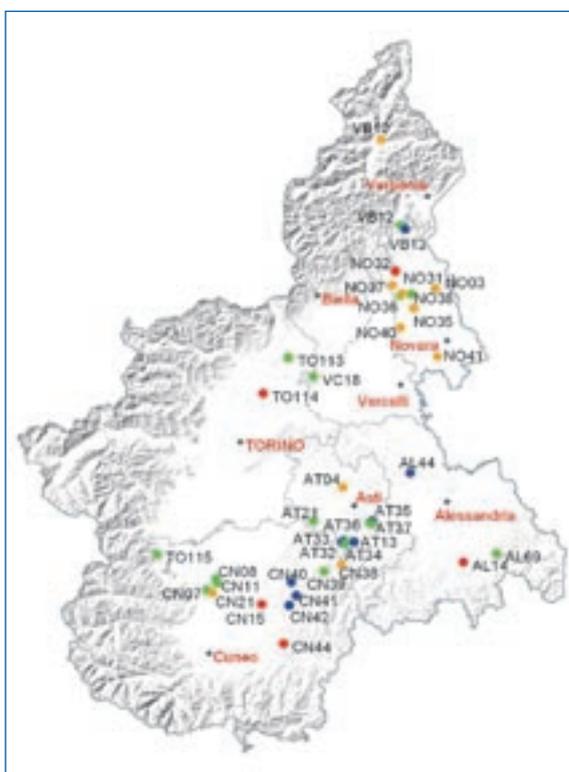


Fig. 16.8c - Valutazione classi qualitative del suolo mediante l'analisi della mesofauna in colture agrario legnose



Classe 4	Qualità eccellente	
Classe 3	Qualità buona	
Classe 2	Qualità sufficiente	
Classe 1	Qualità insufficiente	

• Si può osservare che, relativamente a tutte e tre le tipologie d'uso del suolo considerate, in provincia di Asti prevalgono stazioni di qualità buona/eccellente. Questa evidenza potrebbe far pensare alla presenza di minori pressioni antropiche, e anche ad una gestione meno impattante del territorio. Per contro, nel quadrante Nord/Ovest del Piemonte, in cui sono ricomprese le province di Torino e Biella, relativamente ai seminativi avvicendati (figura 16.8b), si osserva una maggior compromissione della qualità del suolo. Quasi tutte le stazioni indagate sono risultate infatti di qualità sufficiente/insufficiente.

Partecipanti al progetto:

Amprimo G., Bari A., Bertola A., Bielli E., Bosco M., Botta P., Bottino A., Bovone B., Buttiglione B., Calciati M., Cisaro C., Cometto P., Coppo F., Fabietti G., Fantone D., Ferrari S., Fogliati P.L., Gastaldi E., Giordano L., B. Griselli, Leone S.C., Massara M., Morisi A., Mozzone S., Niccoli T., Poletti M., Raffo G.B., Regis F., Rossi A., Tosatto S., Vazzola S.

Responsabile del progetto: Barberis R.

Si ringraziano per il supporto scientifico il Prof. V. Parisi e la Prof. C. Menta.

BIBLIOGRAFIA

APAT, 2004. *Elementi di progettazione della rete nazionale di monitoraggio del suolo a fini ambientali - Versione aggiornata sulla base delle indicazioni contenute nella strategia tematica del suolo dell'Unione Europea*. CTN_TES TES-T-MAN 04/02.

BIASIOLI M., R. BARBERIS E F. AJMONE-MARSAN, 2006. *The influence of a large city on some properties and metals content*. Science of the Total Environment 356 (2006) 154-164.

DUFRENE M. e LEGENDRE P., 1997. *Species assemblages and indicators species: the need for a flexible asymmetrical approach*. Ecological Monographs 67:345-366.

GRIGNANI, C., BASSANINO, M., ZAVATTARO, L., SACCO, D., 2003. *Il bilancio degli elementi nutritivi per la redazione dei piani di concimazione*. Riv. Agronomia, 37, 155-172.

IPLA, 1982. *La capacità d'uso dei suoli del Piemonte*. Edizioni l'Equipe, Torino.

ISTAT, 2000. 5° Censimento Generale dell'Agricoltura.

PARISI V., 2001. *La qualità biologica del suolo. Un metodo basato sui microartropodi*. Acta Naturalia de "L'Ateneo Parmense", 37: nn.3 /4: 97-106.

ZAVATTARO L., ROMANI M., SACCO D., BASSANINO M., GRIGNANI C., 2006. *Fertilization management of paddy fields in Piedmont (NW Italy) and its effect on the soil and water quality*. Paddy Water Env., 4, 61-66.