

SOILQUALIMON

Sistema di Monitoraggio della
Qualità dei Suoli di Lombardia



Allegato 1

PRIMA CAMPAGNA DI MONITORAGGIO SOILQUALIMON risultati

*Quaderni della Ricerca
n. 110 - maggio 2010*

UNITÀ DI MONITORAGGIO

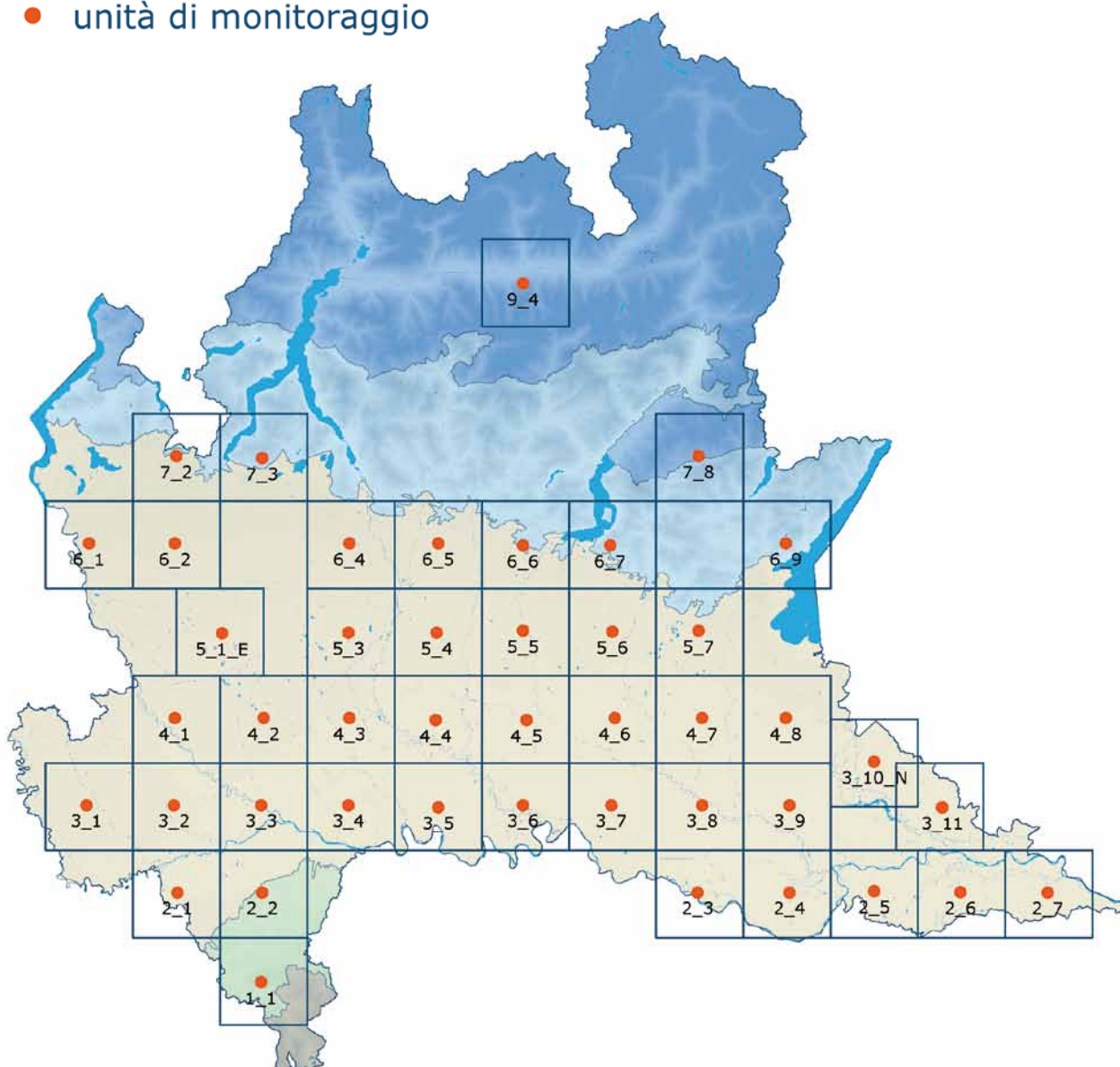
La prima campagna di monitoraggio SOILQUALIMON è stata realizzata nel periodo [febbraio 2008-marzo2009] ed ha riguardato 44 unità di rete (figura 1).

Nella tabella 1 viene data la distribuzione delle unità di monitoraggio selezionate all'interno delle regioni pedologiche regionali, unitamente alla classificazione del sito di monitoraggio e all'utilizzo delle possibili configurazioni di campionamento: "a L" e "a singolo plot" (figura 2).

Il monitoraggio dei suoli è stato preceduto dall'attività di caratterizzazione pedologica, realizzata nel periodo [febbraio 2007-giugno 2008].

- alpi
- prealpi
- pianura
- colline appenniniche
- appennini
- unità di monitoraggio

Figura 1 -
Rete SOILQUALIMON
1ª campagna di monitoraggio.



Regioni pedologiche	unità di monitoraggio		
	n° totale	siti agro-rurali	siti forestali
alpi	2	1	1
prealpi	3	-	3
pianura	37	35	2
colline appenniniche	2	1	1
appennini	-	-	-
n_ totale	44	37	7
percentuale	100%	84%	16%

Tabella 1 - Distribuzione delle unità di monitoraggio.

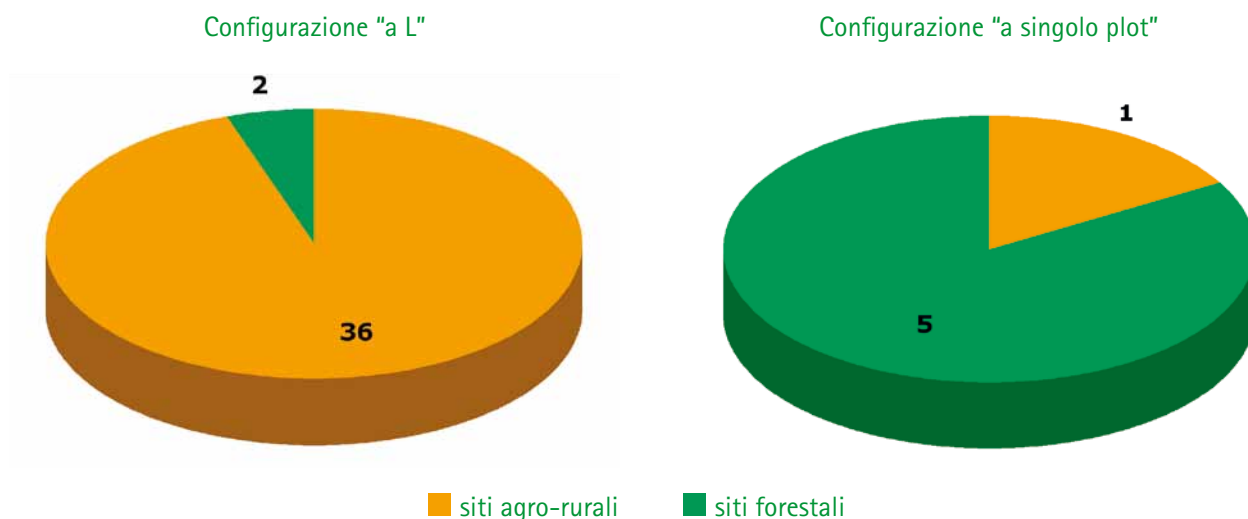


Figura 2 - Configurazione di campionamento nelle unità di monitoraggio.

Il campionamento di suolo minerale ha interessato lo strato superficiale di terreno alle seguenti profondità:

- 0-30 cm nei siti agro-rurali;
- 0-20 cm nei siti forestali.

In quattro siti forestali è stato eseguito, in aggiunta al campionamento di suolo minerale, il campionamento degli orizzonti organici.

In quattro siti agro-rurali è stata verificata la riproducibilità del campionamento.

Per tre unità di rete (2_1, 2_5, 5_6) il monitoraggio è stato effettuato in siti alternativi a quelli pianificati, dove invece era stato realizzato il profilo pedologico; tuttavia dati di cartografia ed analisi aggiuntive di tessitura confermavano la stessa tipologia di suolo. Per quattro unità di rete, (3_2, 4_4, 5_4, 7_2) è stata applicata una

disposizione delle aree diversa da quella prevista secondo la configurazione "a L", a causa della forma e della dimensione della superficie designata ad ospitare il sito di monitoraggio.

In tabella 2 viene visualizzata la classificazione WRB (FAO, 2006) dei suoli derivante dalla caratterizzazione pedologica dei siti di monitoraggio. In pianura e nei siti agro-rurali, si osserva una prevalenza della tipologia di suolo Cambisols, a cui seguono i suoli Luvisols e Calcisols, in accordo con quanto rappresentato dalla carta dei suoli a scala 1: 250.000. I Cambisols sono anche i suoli prevalenti nei siti forestali indagati.

WRB gruppo		n°. unità monitoraggio	%	tipologia sito	
				agro-rurale	forestale
AB	Albeluvisols	2	4,5	2	
AL	Alisols	1	2,3		1
CL	Calcisols	6	13,6	6	
CM	Cambisols	15	34,1	12	3
FL	Fluvisols	5	11,4	4	1
LP	Leptosols	1	2,3		1
LV	Luvisols	8	18,2	8	
RG	Regosols	2	4,5	2	
UM	Umbrisols	2	4,5	1	1
VR	Vertisols	2	4,5	2	

Tabella 2 - Classificazione WRB (FAO, 2006) dei suoli dei siti di monitoraggio.

La tabella 3 mostra la suddivisione delle unità di monitoraggio secondo le classi di capacità d'uso dei suoli (Land Capability Classification - "LCC"). Tale classificazione è finalizzata a valutare le potenzialità produttive della risorsa suolo in particolare per utilizzazioni di tipo agro-silvo-pastorale.

La prevalenza delle unità di monitoraggio situate in pianura presenta - pur con diverse limitazioni nella gestione agronomica - tipologie di suoli adatti all'agricoltura.

classe LCC	descrizione	n°. unità monitoraggio	regione pedologica
1	suoli che presentano pochissimi fattori limitanti il loro uso e che sono quindi utilizzabili per tutte le colture	3	pianura
2	suoli che presentano moderate limitazioni che richiedono una opportuna scelta delle colture e/o moderate pratiche conservative.	19	pianura
3	suoli che presentano severe limitazioni, tali da ridurre la scelta delle colture e da richiedere speciali pratiche conservative	12	pianura
4	suoli che presentano limitazioni molto severe, tali da ridurre drasticamente la scelta delle colture e da richiedere accurate pratiche di coltivazione	2	pianura
5	suoli che pur non mostrando fenomeni di erosione, presentano tuttavia altre limitazioni difficilmente eliminabili tali da restringere l'uso al pascolo o alla forestazione o come habitat naturale	1	pianura
6	Suoli che presentano limitazioni severe, tali da renderli inadatti alla coltivazione e da restringere l'uso, seppur con qualche ostacolo, al pascolo, alla forestazione o come habitat naturale.	2	colline appenniniche
7	Suoli che presentano limitazioni severissime, tali da mostrare difficoltà anche per l'uso silvo pastorale.	2	alpi
		3	prealpi

Tabella 3 - Classi di capacità d'uso dei suoli per le unità di monitoraggio.

INDICATORI DI QUALITÀ DEL SUOLO

L'obiettivo del sistema di monitoraggio SOILQUALIMON, come di ogni rete a maglia fissa, è quello di verificare in modo oggettivo, attraverso la scelta di opportuni indicatori, la variazione delle caratteristiche di base dei suoli e allo stesso tempo di fornire un quadro generale sulla evoluzione a lungo termine della qualità del suolo ad opera di pressioni antropiche, cambiamenti climatici e variazioni di destinazione d'uso (tabella 4).

Indicatori	unità	DPSIR	minaccia
stock di carbonio organico	t/ha	S-I	DSO
fertilità biologica del terreno	classe	S	DB-DSO
contenuto in metalli pesanti	mg/kg	S	CD
fosforo assimilabile	g/kg	S	DB-DSO
rapporto C/N	-	S	DB-DSO
conducibilità elettrica	mS/cm	S	S
pH	-	S	CD

Legenda:

DPSIR - P = Pressione S = Stato I = Impatto R = Risposta

Minacce interessate - DSO = Diminuzione della Sostanza Organica, DB = Diminuzione della Biodiversità,

CD = Contaminazione Diffusa; S = Salinizzazione

Tabella 4 – Elenco indicatori SOILQUALIMON secondo lo schema DPSIR (Driving forces, Pressure, State, Impact, Response) e le principale minacce individuate a livello europeo nei riguardi della risorsa suolo.

I parametri rilevati nella campagna di monitoraggio 2008-2009 sono elencati al paragrafo "Analisi di laboratorio", capitolo "Parametri monitorati", del Protocollo delle attività di monitoraggio.

I dati delle analisi di laboratorio sono riportati nelle schede monografiche elaborate per ogni unità di monitoraggio.

In questa sede vengono approfonditi alcuni aspetti relativi ai seguenti indicatori:

- stock di carbonio organico;
- fertilità biologica del terreno;
- metalli pesanti.

CARBONIO ORGANICO

Il suolo è il comparto ambientale terrestre dove è immagazzinato il più grande quantitativo di carbonio organico; tale stock fa da guida a numerose funzioni ecologiche dei suoli, ad esempio determinandone la fertilità e la capacità di tamponare e inattivare sostanze contaminanti e svolgendo un ruolo decisivo nel controllo della qualità dell'acqua, nella mitigazione dei fenomeni di dissesto idrogeologico e nella regolazione della composizione dei gas atmosferici.

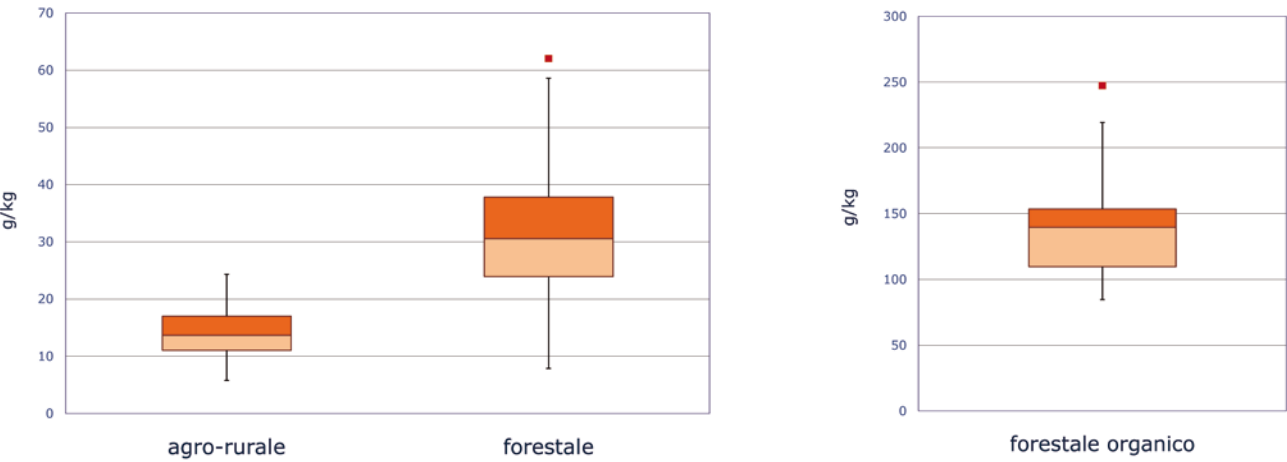
Per tali ragioni il contenuto in carbonio organico è un'importante indicatore della qualità dei suoli; il rischio di un suo declino, per l'effetto combinato dell'azione antropica e dei cambiamenti climatici in atto, è quindi considerato oggi, anche a livello europeo, come una delle principale minacce che affliggono i suoli.

MONITORAGGIO SOILQUALIMON

Per ogni campione di suolo prelevato la determinazione del contenuto di carbonio organico nei suoli è stata eseguita con le seguenti metodiche di analisi:

- Walkley-Black;
- analizzatore elementare;
- Springer-Klee.

In figura 3 viene rappresentata la distribuzione delle concentrazioni di carbonio organico (metodo di analisi Walkley-Black) all'interno dei suoli indagati. I quantitativi maggiori si osservano nei suoli forestali, a causa dei contributi provenienti dagli strati organici superficiali, dove si registrano le concentrazioni più elevate (tabella 5).



	intervallo [1° quartile -mediana]
	intervallo [mediana - 3° quartile]
	intervallo [minimo - massimo] per i siti agro-rurali
	intervallo [mimimo - (3° quartile +1.5 Δq)] per i siti forestali dove Δq =(3°quartile-1°quartile)
	valore massimo superiore a [3 quartile + 1.5 *distanza interquartile]

Figura 3 - Distribuzione delle concentrazioni di carbonio organico nei suoli oggetto del monitoraggio SOILQUALIMON valori in g/kg - metodo di analisi Walkley-Black.

	unità	sito agro-rurale	sito forestale	sito forestale (strati organici)
n°. campioni		121	16	6
valore medio	g/kg	13,99	30,88	144,82
deviazione standard	g/kg	4,22	14,40	56,96
minimo	g/kg	5,78	7,91	84,64
1° quartile	g/kg	11,07	23,96	109,66
3° quartile	g/kg	17,03	37,83	153,50
massimo	g/kg	24,35	62,08	247,30

Tabella 5 – Statistica descrittiva del contenuto di carbonio organico nei suoli oggetto del monitoraggio SOILQUALIMON – metodo di analisi Walkley-Black.

CALCOLO DELLO STOCK DI CARBONIO ORGANICO

Per determinare lo stock di carbonio organico all'interno di ogni sito di monitoraggio si procede nel modo seguente.

1 - calcolo del CO medio (kg/m² o t/ha) riferito alla singola area di campionamento:

$$\overline{CO}_{area} = \sum_{i=1}^{strati} [CO_i \cdot BD_i \cdot h_i \cdot (1 - sk_i)]$$

dove:

BD = densità apparente (g/cm³);

h = spessore degli strati indagati (cm);

CO = contenuto di carbonio organico (g/kg);

sk= contenuto di scheletro (% o dm³/m³).

2 - calcolo dello stock medio unitario di carbonio organico (kg/m² o t/ha) dell'unità di monitoraggio UM in esame (n = numero delle aree di campionamento presenti):

$$\overline{CO}_{UM} = \frac{1}{n} \sum_{area=1}^n (\overline{CO}_{area})$$

Nei calcoli è stato utilizzato il dato di contenuto di carbonio organico determinato con il metodo di analisi Walkley-Black. I valori di stock di carbonio organico così ottenuti sono stati confrontati:

A.con il valore minimo, medio e massimo di stock di carbonio organico delle unità tipologiche di suolo - uts contenute nella cella 18x18 km della rete SOILQUALIMON centrata sull'unità di monitoraggio;

B.con il valore medio di stock di carbonio organico della tipologia di suolo rappresentativa dell'unità di monitoraggio (derivante dall'attività di caratterizzazione pedologica).

C.In entrambi i casi si è fatto riferimento alla carta dello stock di carbonio organico nei primi 30 cm ottenuta dalla carta dei suoli della Lombardia in scala 1:250.000.

Se si rapportano i valori ottenuti nelle singole unità di monitoraggio con i valori medi nelle due situazioni considerate, si osserva come i dati siano maggiormente paragonabili nel caso B (rapporto pari a 0.97) rispetto al caso A (rapporto pari a 0.88). Inoltre per entrambe le situazioni, le differenze di concentrazione sono più piccole nei siti agro-rurali rispetto ai siti forestali. Un caso che spiega questa situazione è fornito dall'unità di monitoraggio 2_3 (sito agro-rurale), dove si registra un valore di stock di CO pari a 2.5 kg/m²; tale dato è inferiore al range [4.2-6.7 kg/m²] dello stock CO calcolato dentro la cella di lato 18 km centrata sull'unità 2_3, ma di poco superiore al valore di 2.2 Kg/m² registrato nell'ambito di ubicazione della relativa unità tipologica di suolo rappresentativa. Per nove siti di monitoraggio, di tipo agro-rurale ubicati in pianura, si registrano stock di CO superiori rispetto alla media; di questi solo il sito dell'unità 3_1 risulta, seppur di poco, superiore al valore massimo dell'intervallo di valori calcolati. All'opposto tre siti di monitoraggio - due di tipo forestale (1_1 e 6_2), l'altro di tipo agro-rurale (3_2) - presentano stock di CO inferiori rispetto ai valori medi ed al valore minimo dell'intervallo di valori calcolati.

Relativamente allo stock di CO in tabella 6 sono riportati i valori calcolati per ogni unità di monitoraggio, unitamente agli intervalli di valori propri delle tipologie di suolo presenti nella cella 18x18 km centrata sull'unità di monitoraggio. Il risultato di tale confronto è visualizzato nella figura 4, dove viene riportata la carta dello stock di CO nei primi 30 cm. estesa all'intero territorio regionale.

Unità di Monitoraggio	tipo sito	profondità prelievo (cm)	stock CO (kg/m ²) UM	A – uts cella 18x18km su UM			B – uts rappresentativa (kg/m ²)
				minimo (kg/m ²)	media (kg/m ²)	massimo (kg/m ²)	
1_1	f	20	3,2	3,9	7,1	33,5	6,8
2_1	a-r	30	5,4	3,2	5,3	9,4	7,0
2_2	a-r	30	3,7	3,2	7,0	33,5	6,4
2_3	a-r	30	2,5	4,2	5,2	6,7	2,2
2_4	a-r	30	4,9	3,3	5,5	7,2	5,1
2_5	a-r	30	5,8	3,2	5,0	7,2	5,1
2_6	a-r	30	5,3	3,2	5,1	7,2	5,1
2_7	a-r	30	4,7	3,2	5,1	5,9	7,2
3_1	a-r	30	6,5	3,0	4,4	6,5	4,7
3_10_N	a-r	30	3,5	3,4	9,5	50,2	5,1
3_11	a-r	30	5,2	3,2	6,3	50,2	5,1
3_2	a-r	30	3,0	3,2	4,8	9,4	3,9
3_3	a-r	30	3,0	2,8	5,0	9,4	7,3
3_4	a-r	30	5,7	2,2	5,9	9,4	7,1
3_5	a-r	30	5,0	2,8	6,0	9,4	1,8
3_6	a-r	30	3,7	3,7	5,1	9,4	4,5
3_7	a-r	30	5,6	3,7	5,2	6,1	5,1
3_8	a-r	30	4,2	2,2	5,2	7,7	6,0
3_9	a-r	30	5,1	2,2	5,7	7,6	6,8
4_1	a-r	30	8,1	3,1	5,3	7,4	9,9
4_2	a-r	30	4,1	2,8	5,3	8,9	4,7
4_3	a-r	30	4,6	2,8	5,5	8,9	6,3
4_4	a-r	30	4,7	3,3	5,3	7,9	4,5
4_5	a-r	30	5,0	3,3	5,2	7,5	4,8
4_6	a-r	30	4,4	3,4	5,5	12,0	4,9
4_7	a-r	30	6,8	2,2	6,7	12,0	6,2
4_8	a-r	30	5,7	3,1	6,2	12,0	9,0
5_1_E	a-r	30	5,0	4,0	5,8	8,9	5,1
5_3	a-r	30	6,0	4,0	5,4	8,9	4,8
5_4	a-r	30	7,1	4,1	5,7	7,1	8,5
5_5	a-r	30	8,5	4,4	6,0	18,8	6,7
5_6	a-r	30	5,1	4,1	5,9	18,8	4,8
5_7	a-r	30	7,0	4,1	7,2	12,0	9,6
6_1	f	20	7,4	4,4	7,7	11,8	7,1
6_2	f	20	4,2	4,4	6,6	8,7	5,6
6_4	a-r	30	5,4	4,4	6,1	10,0	4,4
6_5	a-r	30	7,6	4,1	6,1	11,1	4,1
6_6	a-r	30	4,2	4,1	7,1	15,7	5,2
6_7	f	20	7,0	4,1	7,7	11,1	7,3
6_9	f	20	4,4	3,1	7,8	12,3	9,7
7_2	a-r	30	7,7	3,6	7,5	13,1	7,2
7_3	f	20	5,1	4,4	8,0	15,7	5,1
7_8	a-r	30	6,1	3,4	8,9	16,8	5,9
9_4	f	20	7,9	4,2	8,9	19,2	7,9

tipo sito: a-r = sito agro-rurale, f = sito forestale

Tabella 6 – Stock di carbonio organico nel suolo: confronto tra i valori calcolati in ogni unità di monitoraggio e la carta dello stock di CO nei primi 30 cm (scala 1:250.000).

Stock di Carbonio Organico

valori in kg/m^2

metodo di analisi CO: Walkley-Black

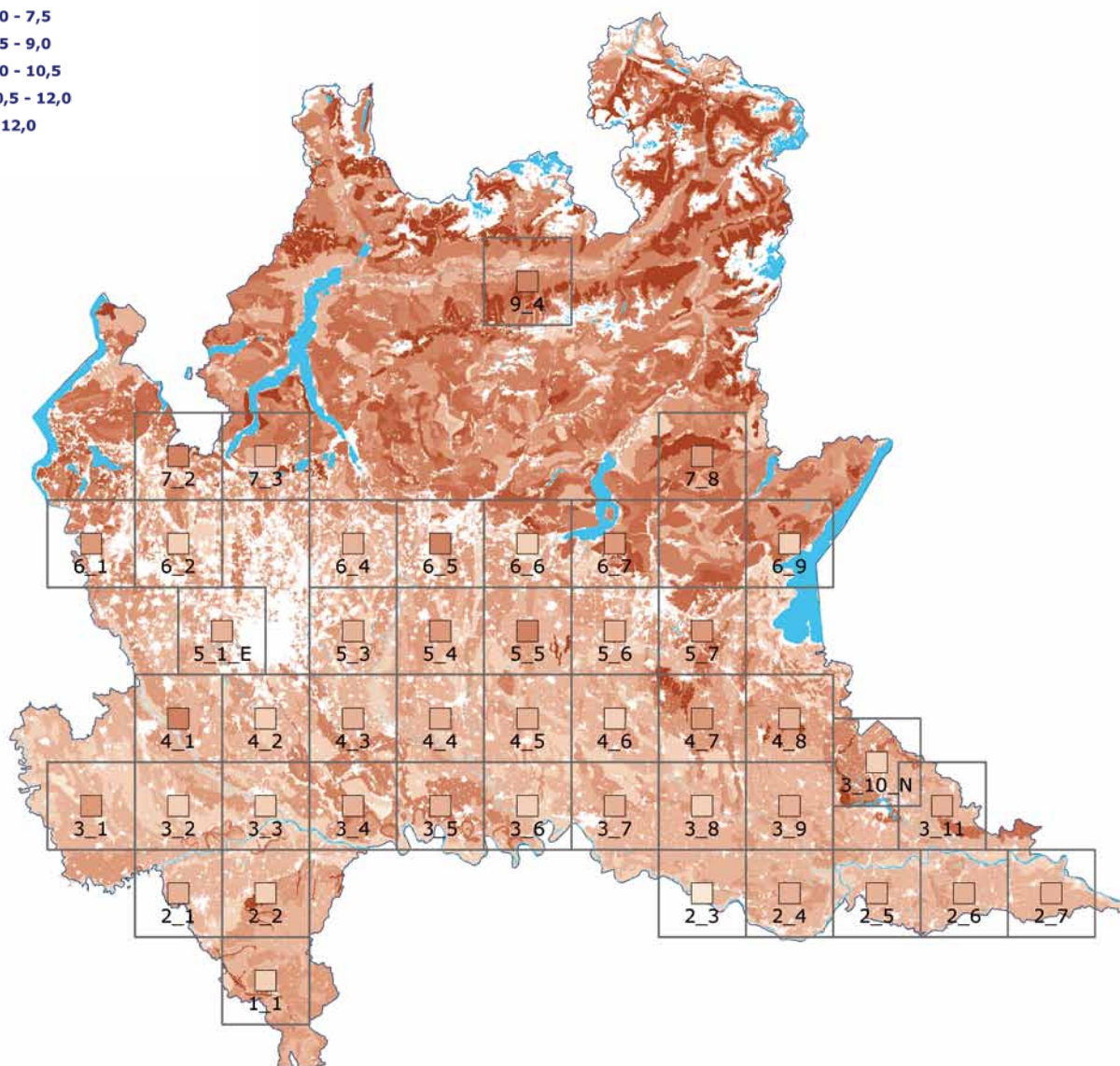
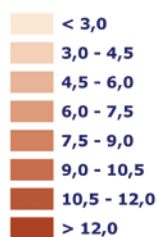


Figura 4 - Stock di carbonio organico nelle unità di monitoraggio: confronto con la carta dello stock di CO nei primi 30 cm (scala 1:250.000).

Un'ulteriore analisi è stata fatta osservando i valori in funzione delle tipologie di suolo, secondo la classificazione WRB). Il grafico di figura 5 riporta il valore medio di stock di CO (kg/m^2) in corrispondenza ai diversi gruppi WRB: dal confronto emerge che la media calcolata nelle unità di monitoraggio risulta inferiore al contenuto medio ottenuto con la carta dei suoli (scala 1:250.000). Il contenuto maggiore di CO è rilevato nei suoli Umbrisols, nei quali la sostanza organica è accumulata in superficie, in quanto tali suoli, proprio come loro carattere distintivo, presentano un orizzonte superficiale ricco di CO. Nel grafico è visualizzato anche il valore di stock di CO ottenuto utilizzando come dato di densità apparente non i valori misurati bensì quelli calcolati mediante pedofunzione (Hollis, 1996), ovvero seguendo la stessa procedura utilizzata per la determinazione dello stock di CO sul territorio regionale a partire dalla carta dei suoli.

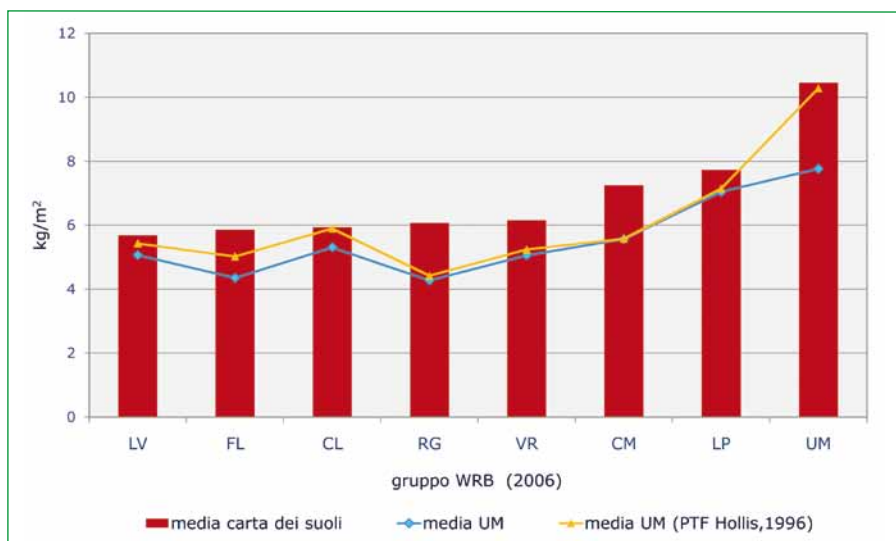


Figura 5 – Distribuzione del valore medio di stock di carbonio organico per tipologia di suolo (gruppo WRB): confronto tra i valori medi derivati dalla carta dei suoli (scala 1:250.000) ed i valori medi rilevati nelle unità di monitoraggio.

VERIFICA DELLA RIPETITIVITÀ

Per le analisi eseguite sul contenuto di carbonio organico nei suoi minerali è stata eseguita la verifica sperimentale della ripetibilità della misura, definita (norma UNI CEI ENV 13005, 2000) come il grado di concordanza (precisione) tra i risultati di successive misurazioni dello stesso misurando effettuate nelle stesse condizioni di misura (condizioni di ripetibilità). Le condizioni di ripetibilità comprendono:

- lo stesso procedimento di misurazione;
- lo stesso osservatore;
- lo stesso strumento di misura utilizzato nelle stesse condizioni;
- lo stesso luogo (laboratorio);
- ripetizione entro un breve periodo di tempo.

Attraverso la ripetibilità è possibile determinare l'incertezza della misura definita (norma UNI CEI ENV 13005 del 2000) come un "parametro, associato al risultato di una misurazione, che caratterizza la dispersione dei valori ragionevolmente attribuibili al misurando". In parallelo va tenuto presente il concetto di riproducibilità, che rappresenta il grado di concordanza ottenuto tra una serie di misure di uno stessa grandezza quando le singole misurazioni sono effettuate cambiando delle condizioni, come ad esempio il metodo di misura.

I metodi analitici interessati a queste verifiche sono (per una descrizione delle metodologie indicate si veda l'allegato A2):

- Walkley-Black;
- analizzatore elementare;
- Springer-Klee.

Tra i campioni di monitoraggio sono stati individuati 18 campioni raggruppati in classi a seconda dei seguenti requisiti:

- contenuto di carbonio organico (dato delle analisi di monitoraggio);
- tessitura (campione sabbioso o argilloso)
- presenza di carbonati di calcio.

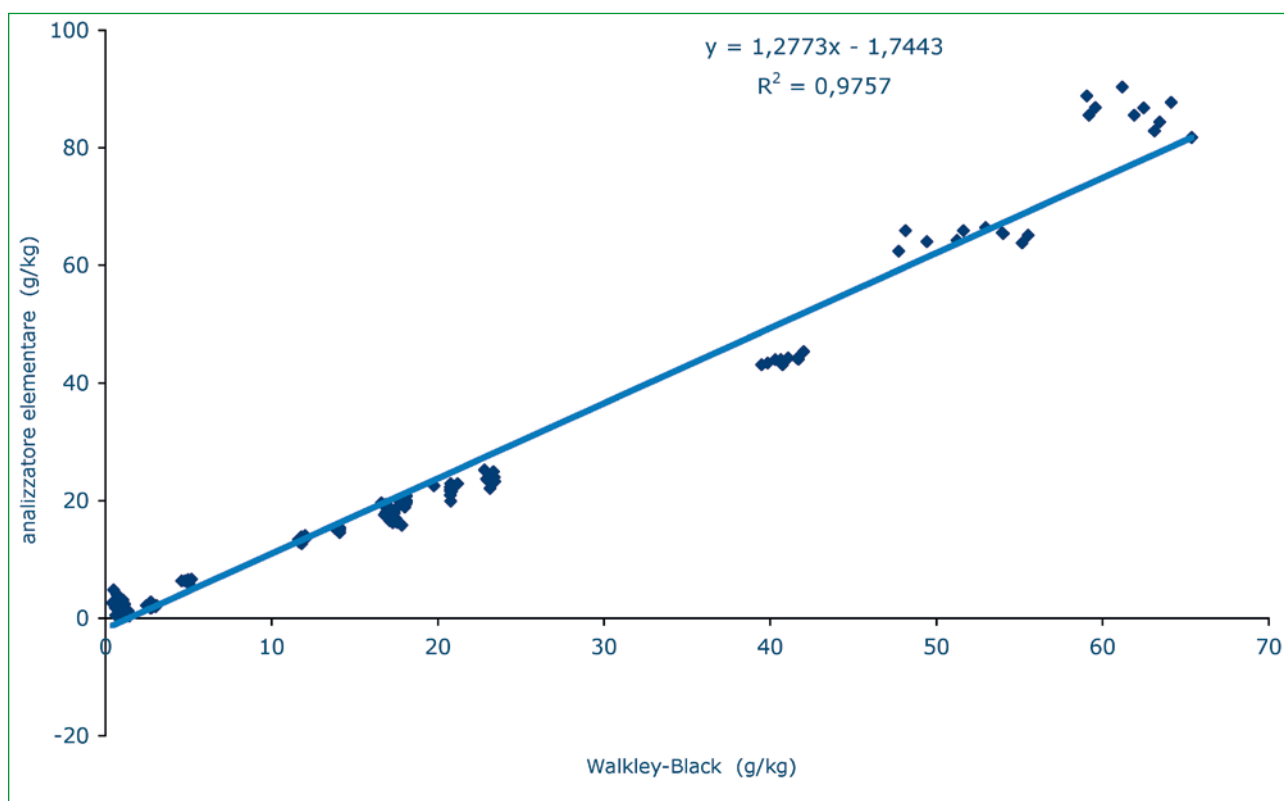
Su ogni campione, per ogni metodologia di analisi, sono state eseguite 10 ripetizioni della misura in condizioni di ripetibilità.

Nella tabella 7 vengono elencati i valori medi di errore standard ed intervallo di variazione (rango) determinati per le classi individuate secondo il dato di contenuto di carbonio organico. Il metodo Walkley-Black è quello per il quale – tranne che per valori di concentrazione molto elevata – il grado di indeterminazione della misura risulta in media minore.

Classi	CO (g/kg) (dato di monitoraggio)	n° campioni	Walkley-Black		analizzatore elementare		Springer- Klee	
			err. st. (g/kg)	rango (g/kg)	err. st. (g/kg)	rango (g/kg)	err. st. (g/kg)	rango (g/kg)
1	< 1	4	0,02	0,23	0,20	1,13	0,20	1,76
2	(1-10]	4	0,04	0,43	0,20	1,35	0,23	2,21
3	(10-20]	4	0,06	0,57	0,15	1,43	0,28	2,80
4	(20-50]	4	0,12	1,24	0,24	2,60	0,37	3,60
5	> 50	2	0,79	7,06	0,61	6,30	0,75	8,07

Tabella 7 – Valori medi di errore standard ed intervallo di variazione del contenuto di carbonio organico nei suoli (orizzonti minerali).

Nella figura 6 viene visualizzata la stima delle differenze quantitative ottenute eseguendo la misura con le tre diverse metodologie nonché il grado di correlazione lineare esistente tra le medesime.



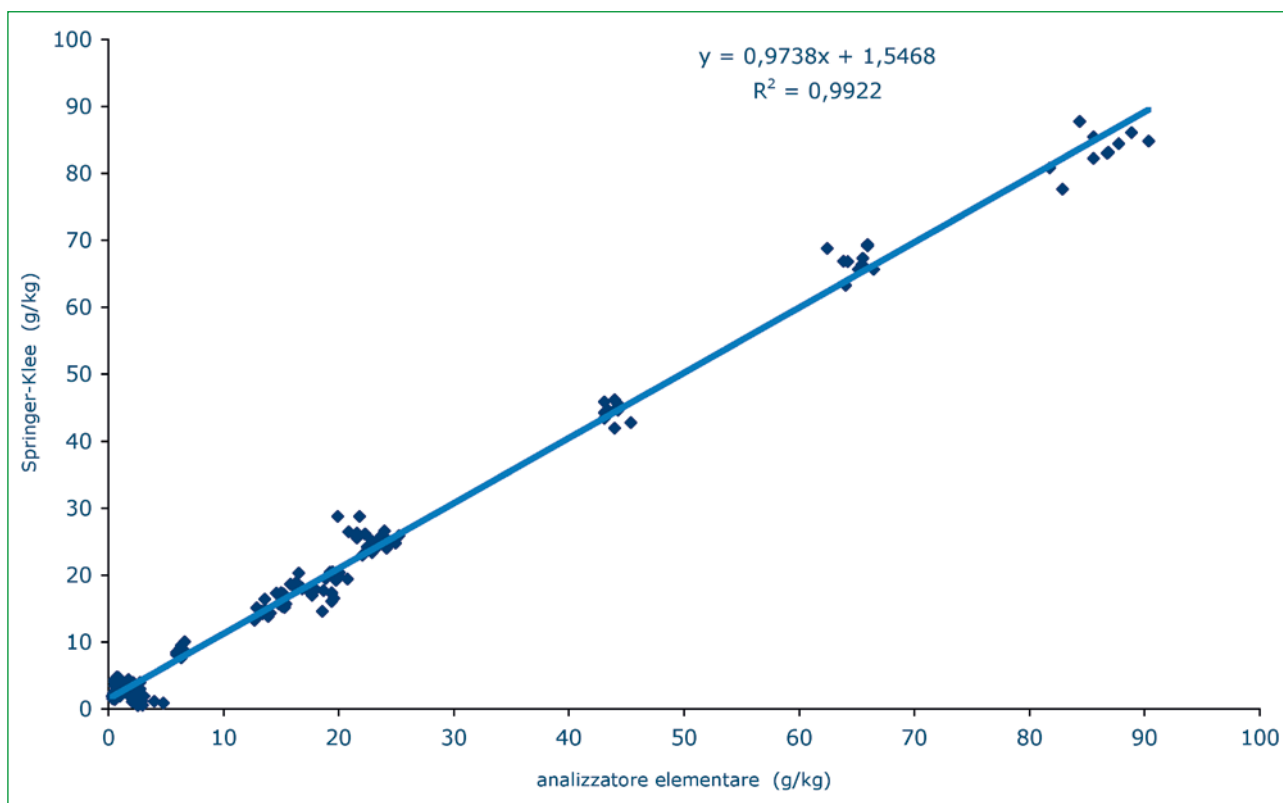
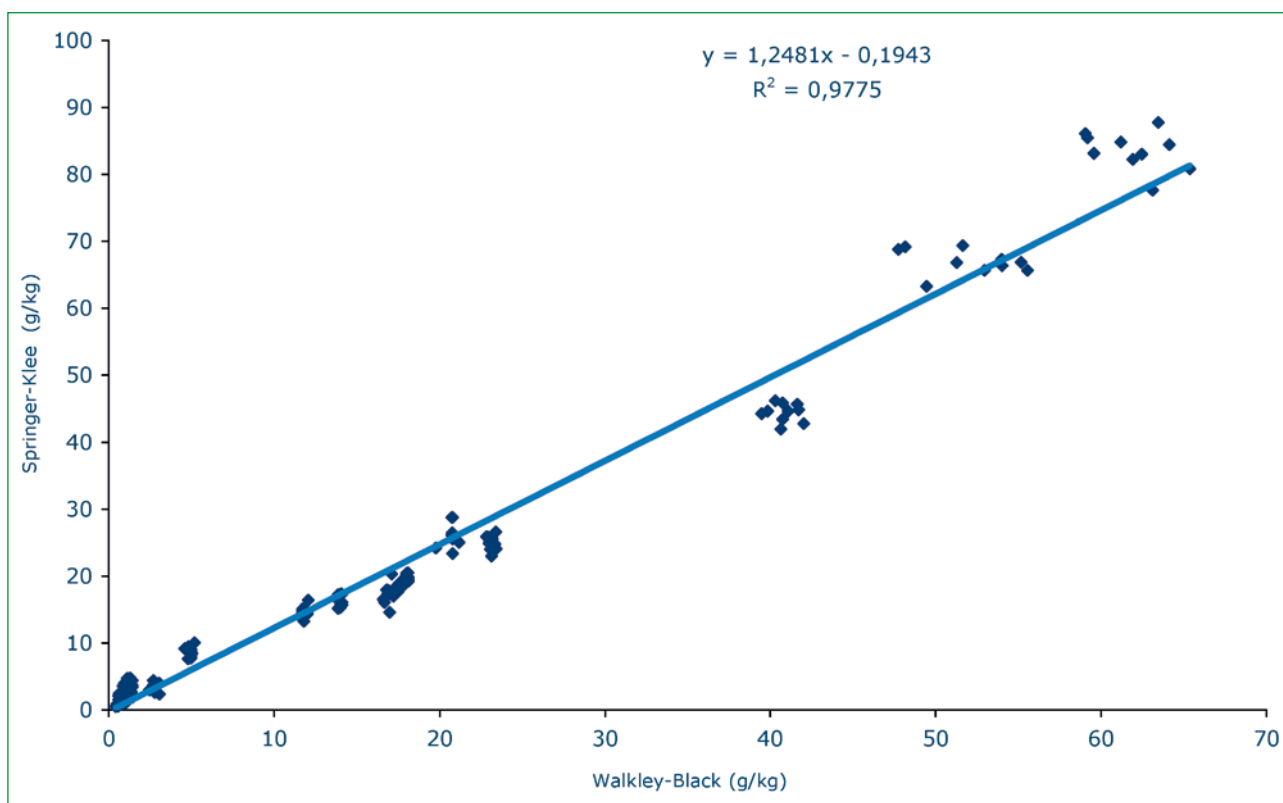


Figura 6 - Correlazioni esistente tra le diverse metodologie di analisi del contenuto di carbonio organico.

INDICE DI FERTILITÀ BIOLOGICA

La componente biologica del suolo (microrganismi, batteri e funghi) ha un ruolo fondamentale nella mineralizzazione degli elementi nutritivi a partire dalla sostanza organica e nel mantenimento della struttura e delle funzioni del suolo. La comunità microbica, in particolare, compie la maggior parte dei processi di decomposizione e detossificazione che avvengono nel suolo e rappresenta di per sé una considerevole riserva di elementi nutritivi disponibili per i vegetali. Di conseguenza, i suoli che hanno una biomassa microbica elevata, non solo hanno una maggiore riserva di elementi nutritivi, ma anche una capacità più elevata di renderli disponibili. I microrganismi presenti nel terreno mantengono la struttura del suolo, migliorandone l'aerazione e lo stato di aggregazione delle particelle solide. Solo di recente sono state messi a punto delle metodiche di laboratorio standardizzate per misurare l'attività biologica di un terreno attraverso la valutazione della biomassa microbica e della sua attività respiratoria.

MONITORAGGIO SOILQUALIMON

È stato applicato un modello interpretativo sviluppato dal CRA - Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante – Roma per stimare lo stato di fertilità biologica del suolo (Benedetti-Pompili, 2006).

Tale modello prevede l'utilizzo dei parametri di sostanza organica (calcolata a partire dal dato di carbonio organico totale ed utilizzando poi il fattore di conversione di Van Bemmelen che si basa sull'assunzione secondo la quale la sostanza organica del suolo contiene circa il 58% di carbonio organico), carbonio della biomassa microbica, respirazione basale e cumulativa, quoziente metabolico e quoziente di mineralizzazione. Ad ogni singolo parametro viene assegnato un punteggio calcolato secondo quanto riportato in Tabella 8.

Parametro	Punteggio				
	1	2	3	4	5
sostanza organica (%)	<1	1-1,5	1,5-2	2-3	>3
C biomassa microb. (ppm)	<100	100-200	200-300	300-400	>400
respirazione basale (ppm)	<5	5-10	10-15	15-20	>20
respirazione cumulata (ppm)	<100	100-250	250-400	400-600	>600
Q metabolico (/h)	>0,4	0,3-0,4	0,2-0,3	0,1-0,2	<0,1
Q mineralizzazione (%)	<1	1-2	2-3	3-4	>4

La somma algebrica dei punteggi ottenuti per ciascun parametro origina una scala di fertilità biologica come quella riportata in Tabella 9.

Classe di fertilità	I	II	III	IV	V
situazione del suolo	stanchezza allarme	stress preallarme	media	buona	alta
punteggio	1-6	7-12	13-18	19-24	25-30

Tabella 9 - Classi di fertilità biologica.

I risultati dell'applicazione del modello ai dati del monitoraggio SOILQUALIMON sono mostrati in tabella 10, mentre in figura 7 viene rappresentata la distribuzione spaziale degli stessi. La prevalenza dei siti agro-rurali - il 76 % - presenta una situazione di fertilità biologica del terreno media. Nella tabella 11 viene data la distribuzione del punteggio medio di fertilità biologica in funzione della classe tessiturale e della reazione del suolo rilevato nel sito di monitoraggio.

Classi di fertilità biologica	situazione del suolo	n°. siti	agro-rurale	forestale
II	stress pre-allarme	3	3	-
III	media	29	28	1
IV	buona	12	6	6

Tabella 10 - Classi di fertilità biologica dei siti di monitoraggio - Metodo di analisi CO: Springler-Klee.

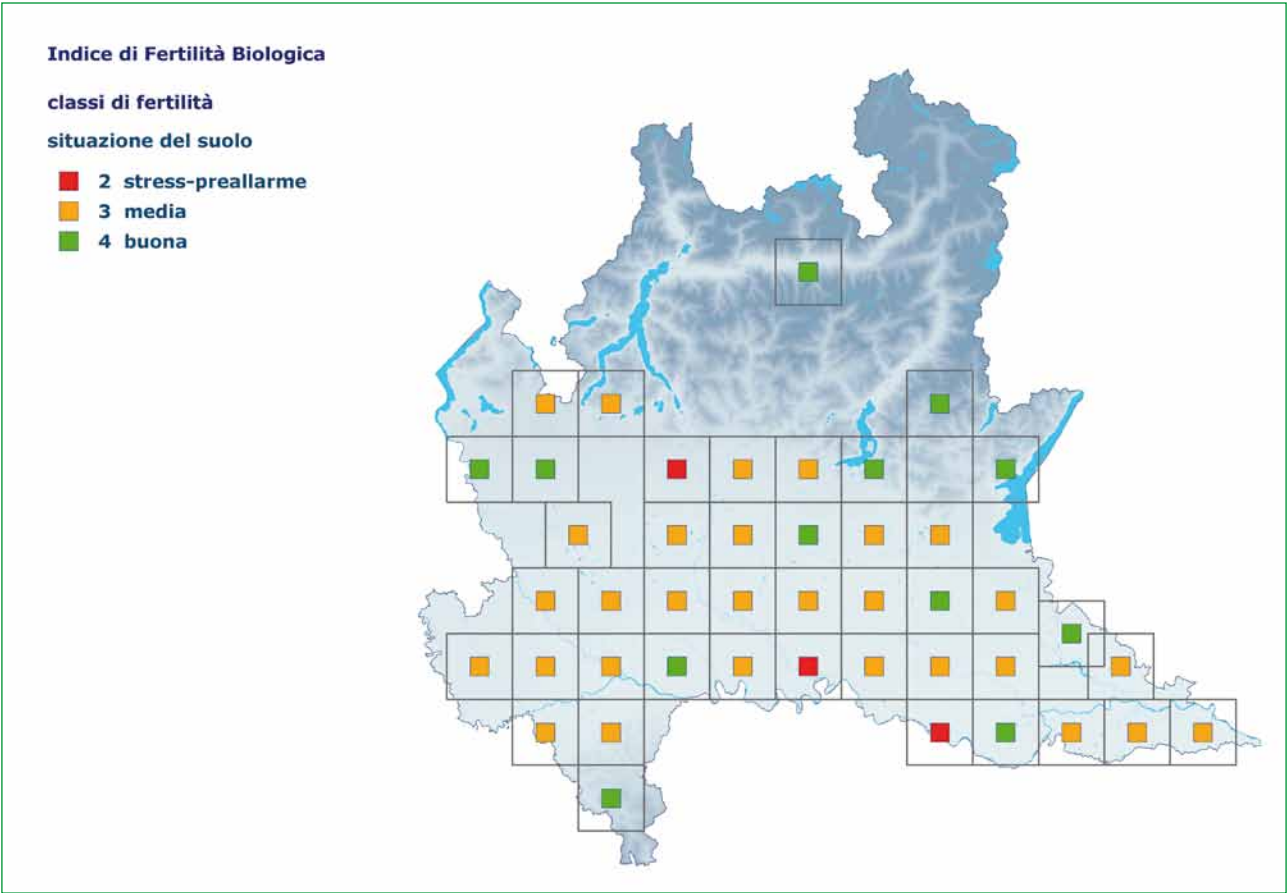


Figura 7- Classi di fertilità biologica calcolate nei siti di monitoraggio.

Classe tessiturale	siti agro-rurali			siti forestali	
	PH<6.5	6.5 < PH < 7.5	PH > 7.5	PH < 6.5	6.5 < PH < 7.5
AL			16 (2)		
F	16 (3)	17 (4)	16 (4)		
FA				23 (1)	24 (1)
FL	14 (4)	15 (3)	18 (3)	17 (1)	
FLA			18 (4)		
FS	15 (3)	16 (4)	17 (1)	21 (4)	
SF	19 (2)				

Tabella 11 - Indice di fertilità biologica: valore medio per tipologia di sito di monitoraggio, classe tessiturale e pH.
Tra parentesi il numero di siti di monitoraggio dentro la classe di distribuzione.

METALLI PESANTI

Il termine metalli pesanti indica elementi inorganici presenti in natura come ioni con singola o doppia carica positiva e aventi un peso atomico elevato (>50 U.M.A.); oltre ai metalli con queste caratteristiche, la terminologia si estende anche a elementi a carattere metalloidico (As, Mo, Se) che hanno comportamento simile. Alcuni di questi elementi, essenziali per la vita di molti organismi viventi, diventano tossici a concentrazioni superiori a soglie variabili da elemento a elemento e da organismo a organismo, concentrazioni relativamente basse rispetto agli altri elementi presenti in natura. Risulta così fondamentale valutare il grado di tossicità della concentrazione di metalli pesanti nel suolo, per superamento di valori di soglia.

Ogni metallo ha un'affinità diversa per i vari costituenti del suolo e quindi si trova distribuito in diverse forme in determinati rapporti a seconda delle proprie caratteristiche chimiche. La capacità della sostanza organica di legare i metalli aumenta soprattutto con la quantità di gruppi funzionali contenenti ossigeno (carbossili, carbonili, ossidrili) e quindi dipende dalla presenza relativa di acidi fulvici rispetto agli acidi umici.

I metalli pesanti possono avere origine naturale, nel substrato pedogenetico come prodotto dell'alterazione delle rocce, oppure antropica, dovuta ad attività industriali, civili o agricole. Ad esempio nei moderni processi tecnologici questi metalli si concentrano nei sottoprodotti di alcuni settori industriali o, anche se in misura minore, nei rifiuti solidi urbani e nei reflui civili; lo smaltimento di questi materiali, per i rischi di tossicità di cui si è detto, è regolamentato a livello nazionale e regionale mediante apposite normative.

La presenza eccessiva di metalli pesanti nel suolo è in grado di influire negativamente sulle attività microbiologiche, sulla qualità delle acque di percolazione, sulla composizione delle soluzioni circolanti, nonché di alterare lo stato nutritivo delle piante, modificandolo sino ad impedire la crescita ed influire sugli utilizzatori primari o secondari.

Nella tabella 12 vengono riportati gli intervalli di concentrazione ed i valori più frequenti nei suoli agrari (Alloway, 1995) unitamente alle concentrazioni critiche (Kabata-Pendias e Pendias, 1992) per i metalli cadmio, rame, nichel, piombo, zinco e manganese.

Elemento	Intervallo (mg/kg)	Valori più comuni (mg/kg)	Soglia critica (mg/kg)
Cu	2-250	20-30	60-125
Mn	20-10000	1000	1500-3000
Zn	10-300	50	70-400
Ni	2-1000	50	100
Pb	2-3000	10-30 (rurale) / 30-100 (urbano)	100-400
Cd	0.01-2.4	0.2-1	3-8

Tabella 12 - Valori di concentrazione media, tipica e critica dei metalli nei suoli.

MONITORAGGIO SOILQUALIMON

I metalli pesanti individuati nell'attività di monitoraggio SOILQUALIMON sono: rame (Cu), manganese (Mn), zinco (Zn), nichel (Ni), piombo (Pb) e cadmio (Cd).

In laboratorio sono stati determinati il tenore totale e la quota biodisponibile.

Applicando la statistica descrittiva ai dati ottenuti dall'analisi chimica, è stato osservato quanto segue:

- relativamente al valore di concentrazione totale Cu, Ni, Pb e Cd presentano una distribuzione dei dati di tipo log-normale, con valori medi più discosti dalla mediana, mentre i dati di Mn e Zn mostrano una distribuzione più vicina a quella normale, circostanza più evidente dopo l'eliminazione di valori di concentrazione molto elevata (outliers);

- ad eccezione del Mn, tutti i metalli pesanti presentano valori outliers molto evidenti, in particolare per il Ni, Zn, Pb e Cd si osservano concentrazioni molto superiori rispetto alla deviazione standard della distribuzione.

Tali considerazioni sono raffigurate nel grafico di figura 8 nel quale sono rappresentate le distribuzioni standardizzate dei metalli, ottenute normalizzando rispetto alla deviazione standard e differenze dei valori di concentrazione dal valor medio della distribuzione. Le distribuzioni standardizzate hanno quindi media uguale a zero e deviazione standard pari ad uno; in questo modo è possibile confrontare parametri di diversa unità di misura oppure, come in questo caso, grandezze dello stesso tipo ma con intervalli di variazione molto differenti. I valori outliers sono definiti come i valori superiori al valore (media + 3 deviazione standard (i valori superiori a 3 nel grafico). In tabella 13 si forniscono i valori medi di concentrazione ottenuti in assenza di valori outliers.

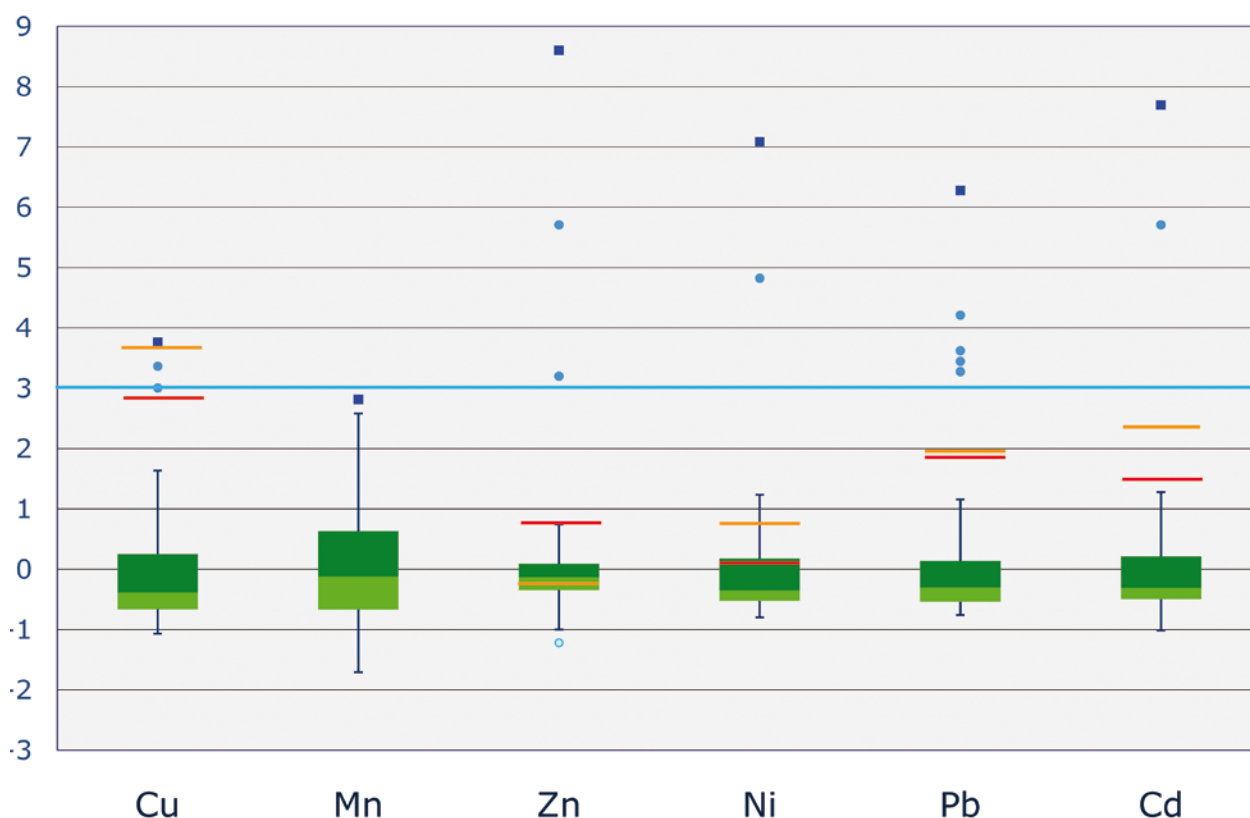


Figura 8 - Campioni di monitoraggio: distribuzione delle concentrazioni dei metalli pesanti

Valori standardizzati rispetto alla media = $(X - X_m) / s$ dove:

. X = valore . X_m = valore medio . s = deviazione standard

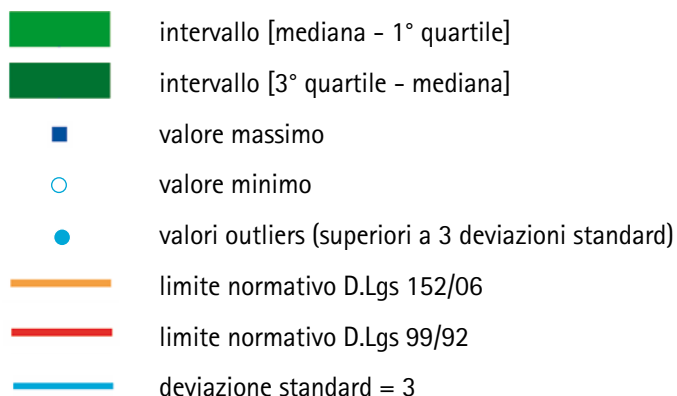
I valori standardizzati hanno media = 0 e deviazione standard = 1

I dati sono rappresentati mediante il diagramma box-plot ossia attraverso un rettangolo, da cui escono due segmenti. Il rettangolo è delimitato dal primo e dal terzo quartile, $q1/4$ e $q3/4$, e diviso al suo interno dalla mediana $q1/2$.

I segmenti sono delimitati:

- dal minimo e dal massimo dei valori, nel caso questi siano rispettivamente inferiori o uguali ai valori $q1/4 - 1.5 \Delta q$ e $q3/4 + 1.5 \Delta q$ dove $\Delta q = (q3/4 - q1/4)$ = distanza interquartile;
- dai valori $q1/4 - 1.5 \Delta q$ e $q3/4 + 1.5 \Delta q$ nel caso opposto; in questo caso il minimo ed il massimo sono rappresentati come punti singoli.

In ogni caso il diagramma rappresenta graficamente i quattro intervalli ugualmente popolati delimitati dai quartili.



	unità	Cu	Mn	Zn	Ni	Pb	Cd
n°. campioni		134	137	134	135	132	135
valore medio	mg/kg	30,82	558,09	165,43	61,99	32,99	0,59
deviazione standard	mg/kg	20,67	308,00	53,96	46,71	18,32	0,33
errore standard	mg/kg	1,79	26,31	4,66	4,02	1,59	0,03

Tabella 13 - Valori medi per le concentrazioni di metalli pesanti ottenuti con l'eliminazione di valori outliers.

Attraverso il grafico di figura 8 è possibile inoltre valutare l'interpretazione delle concentrazioni analitiche dei metalli per confronto con i valori limite previsti dalle seguenti norme:

- decreto legislativo n. 99/1992; recepisce la direttiva comunitaria 86/278/CEE, avente come obiettivo la disciplina dell'utilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura, in modo da evitare effetti nocivi sul suolo, sulla vegetazione e sugli organismi viventi. L'utilizzo dei fanghi di depurazione è consentito solo sui suoli le cui concentrazioni di metalli pesanti non superino i valori limite fissati dalla normativa medesima;
- decreto legislativo n. 152 del 03.04.2006 - Norme in materia ambientale - che definisce le concentrazioni soglia nel suolo e sottosuolo da conseguire nei siti da bonificare in relazione alla specifica destinazione d'uso, individuando due tipologie di utilizzo dei suoli: aree adibite a verde pubblico, privato o residenziale (categoria A) e aree industriali o commerciali (categoria B). L'articolo 241 stabilisce che: "Il regolamento relativo agli interventi di bonifica, ripristino ambientale e messa in sicurezza, d'emergenza, operativa e permanente, delle aree destinate alla produzione agricola e all'allevamento è adottato con Decreto del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio di concerto con i Ministeri delle attività produttive, della salute e delle politiche agricole e forestali." In attesa dell'entrata in vigore di tale regolamento i valori di riferimento delle concentrazioni di soglia da applicare alle aree agricole possono ritenersi quelli più restrittivi della categoria A;

Normativa nazionale		Cu	Mn	Zn	Ni	Pb	Cd
D.Lgs 99/92 (mg/kg)		100	-	300	75	100	1,5
superamenti	n°.	4		6	36	7	5
<i>superamenti</i>	%	3		4	26	5	4
D.Lgs 152/06 uso cat. A - aree verdi (mg/kg)		120	-	150	120	100	2
superamenti	n°.	1		87	18	7	3
<i>superamenti</i>	%	1		64	13	5	2

Tabella 14 - Limiti normativi per le concentrazioni di metalli pesanti e numero di superamenti per i valori analitici del monitoraggio SOILQUALIMON. In evidenza i valori soglia più restrittivi per il tenore totale.

Tra i metalli monitorati, quelli interessati dalla normativa nazionale presentano situazioni di superamento dei limiti di concentrazione (tabella 14 e figura 9). Va segnalata la frequenza più elevata di superamenti da parte del Nichel e dello Zinco. Considerando l'ubicazione delle unità di monitoraggio dove si verificano tali superamenti, si può osservare come per Cu, Cd e Mn si tratti di casi isolati, mentre Pb, Ni e Zn mostrano una più definita distribuzione geografica.

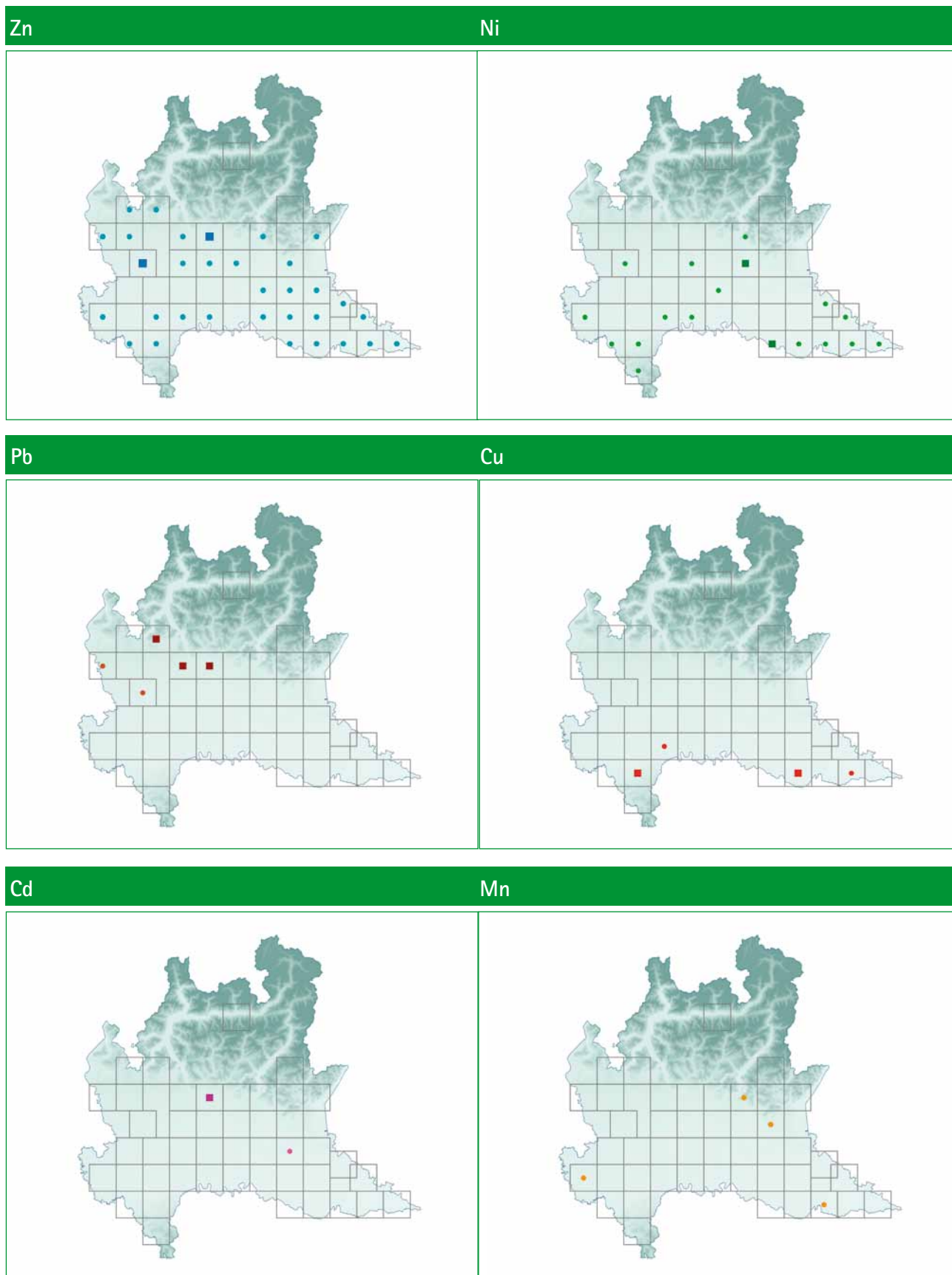


Figura 9 - Unità di monitoraggio che presentano valori superiori ai limiti normativi nazionali definiti in tabella 14. Sono stati considerati i valori più restrittivi tra quelli stabiliti dalle normative considerate. In quadrato i casi di presenza di valori outliers (superiori a $[media + 3 \cdot deviazione\ standard]$). Per il manganese, che non presenta valori outliers, sono stati considerati i valori superiori a $[media + 2 \cdot deviazione\ standard]$.

In generale la quota di metalli presente nel suolo in forma cationica è pH dipendente; i terreni acidi sono quelli in cui si instaurano le condizioni più favorevoli alla presenza dei metalli nelle forme più solubili e disponibili per le piante. È stato osservato come a parità di contenuto totale la quota di metalli biodisponibili nei suoli acidi risulta in media 2.3 volte maggiore di quella dei terreni a pH alcalino (tabella 15).

Tipo terreno		Cu	Mn	Zn	Ni	Pb	Cd
acido	pH < 6,70	13,2	8,9	3,3	1,7	21,2	20,9
alcalino	pH > 7,30	11,1	2,2	2,0	0,8	10,0	7,8

Tabella 15 – Percentuale dei metalli biodisponibile rispetto al tenore totale.

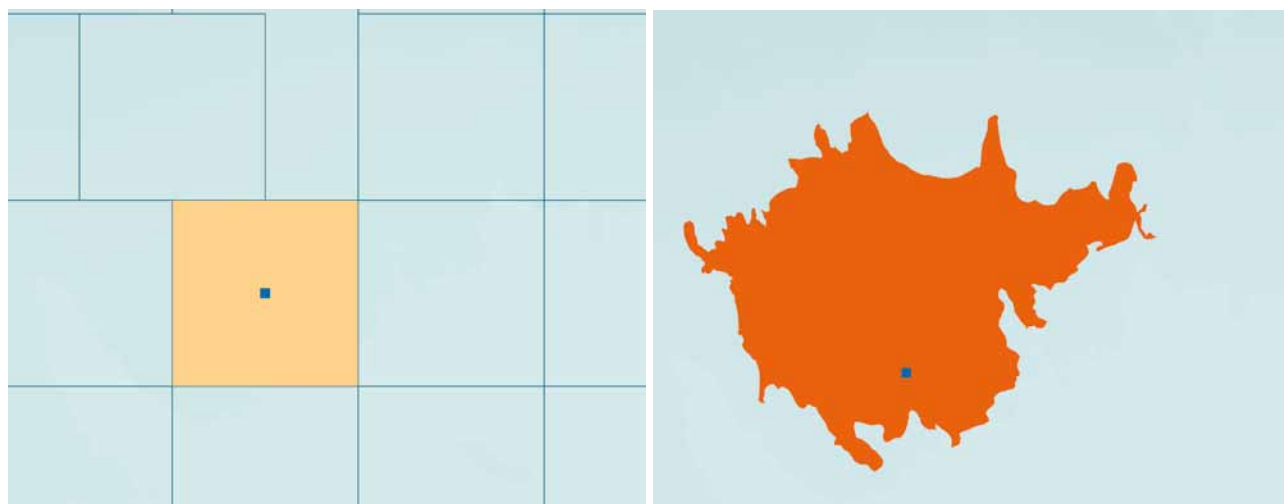
I dati del monitoraggio SOILQUALIMON sui metalli pesanti sono stati confrontati con i dati del progetto RAMET (Analisi del contenuto in rame e altri metalli nei suoli agricoli lombardi – ERSAF, 2007) relativi a campionamenti di suolo (profili pedologici) eseguiti in periodi precedenti sull'intero territorio regionale (d'ora in avanti definite "osservazioni RAMET"). Per ogni unità di monitoraggio il confronto è stato eseguito considerando l'ubicazione delle osservazioni pedologiche in due ambiti geografici (figura 10):

1. cella 18x18 km della rete SOILQUALIMON centrata sull'unità di monitoraggio;
2. delineazione cartografica dei distretti della carta dei pedo-paesaggi (scala 1:250.000), di ubicazione delle unità tipologiche di suolo rappresentative del suolo rilevato nell'unità di monitoraggio.

Le unità di monitoraggio dove questo confronto non è stato possibile per mancanza di osservazioni sono due: 7_8 e 9_4. Nelle unità di monitoraggio si è provveduto ad ottenere i valori medi di concentrazione:

- mediando i valori rilevati nelle tre aree di campionamento della configurazione "a L";
- mediando i valori rilevati alle due profondità per il campionamento secondo la configurazione "a singolo plot" applicata ai siti forestali (0-10 e 10-20 cm).

Per quanto riguarda le osservazioni RAMET, sono stati considerati gli orizzonti superficiali aventi limite superiore inferiore a 30 cm; inoltre per ogni metallo pesante considerato, sono stati esclusi dal confronto i valori outliers risultati superiori al valore [media + 3 deviazioni standard].



1 – Cella 18x18 km della rete SOILQUALIMON centrata sull'unità di monitoraggio

2 – Area di ubicazione della tipologia di suolo rappresentativa dell'unità di monitoraggio (delineazione geometrica della carta dei suoli scala 1:250.000)

Figura 10 – Ambiti geografici utilizzati per il confronto con i dati delle osservazioni RAMET (esempio relativo all'unità di monitoraggio 4_2).

Per ogni metallo pesante si ottiene il grafico seguente (l'esempio si riferisce al confronto tra i dati medi di Mn per ogni unità di monitoraggio con le osservazioni RAMET che ricadono nelle celle 18x18 km della rete SOIL-QUALIMON centrate su ciascuna unità).

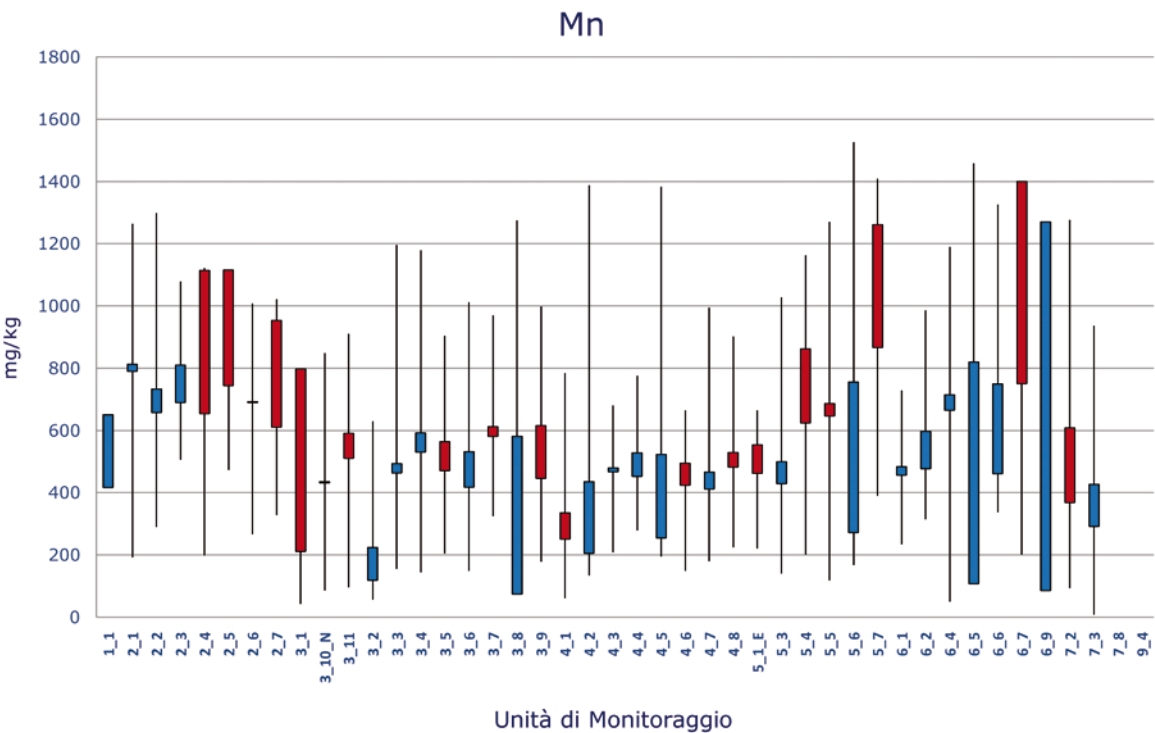


Figura 11 – Esempio di confronto tra i valori medi di concentrazione per singola unità di monitoraggio ed i valori minimi-medio-massimo delle osservazioni RAMET.

I segmenti si estendono dal valore minimo al valore massimo (rango) delle osservazioni RAMET.
 Il rettangolo è delimitato dalla media delle osservazioni RAMET e dalla media dell'unità di monitoraggio.
 Si distinguono due casi:
 - media unità di monitoraggio < media osservazioni storiche (rettangolo blu);
 - media unità di monitoraggio > media osservazioni storiche (rettangolo rosso).

La situazione complessiva relativa ai tutti i metalli è riportata nella tabella 16, mentre la figura 12 ne illustra la distribuzione geografica.

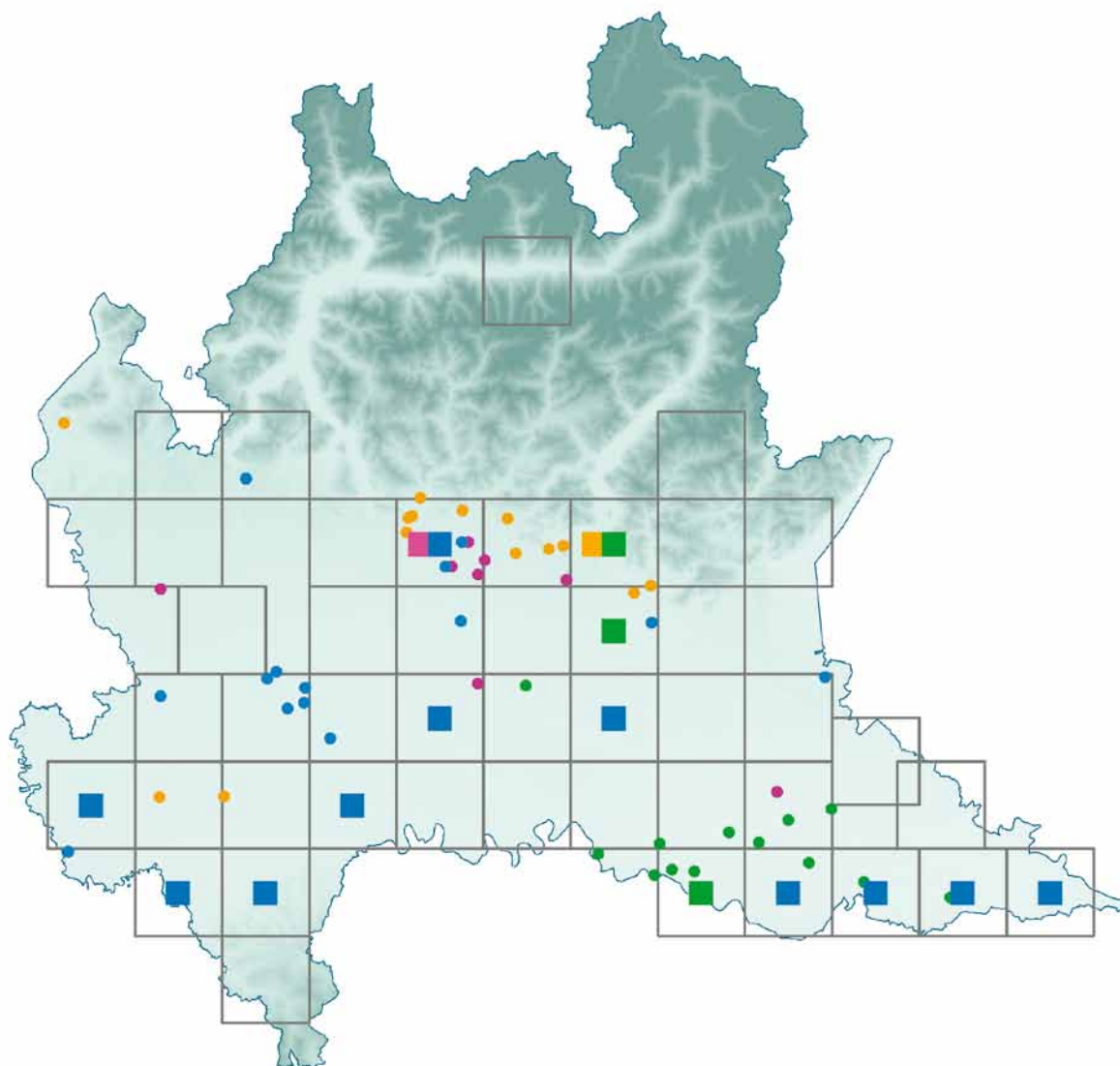
	Cu	Mn	Zn	Ni	Pb
conteggio	13	15	40	32	8

A - unità di monitoraggio con media concentrazione superiore al valore medio delle osservazioni RAMET

	Cu	Mn	Zn	Ni	Pb
conteggio	0	1	11	3	0

B - unità di monit. con media concentrazione superiore all'intervallo di variazione delle osservazioni RAMET

Tabella 16 - Casi di concentrazione elevata di metalli pesanti rispetto alle osservazioni RAMET.



Unità di monitoraggio con valori superiori all'intervallo di variazione delle osservazioni RAMET

■	Zinco	■	Manganese
■	Nichel	■	Cadmio

Outliers osservazioni storiche (valori superiori a 3 deviazioni standard)

●	Zinco	●	Manganese
●	Nichel	●	Cadmio

Figura 12 - Casi di concentrazione elevata di metalli pesanti: confronto monitoraggio SOILQUALIMON e osservazioni RAMET (caso B della tabella 9).