

Prot. _____

Torino,

SC22 - DIPARTIMENTO TEMATICO GEOLOGIA E DISSESTO
Struttura Semplice MONITORAGGI E STUDI GEOLOGICI
Nucleo operativo BONIFICHE E SUOLO

ANALISI AMBIENTALE SULLA CONTAMINAZIONE DIFFUSA (SUOLO E ACQUE SOTTERRANEE) DEL TERRITORIO REGIONALE PER LA DEFINIZIONE DI VALORI DI FONDO PER DIVERSE CATEGORIE DI INQUINANTI.

IMPLEMENTAZIONE DELLA RETE DI MONITORAGGIO AMBIENTALE DEL SUOLO PER LA VALUTAZIONE DELLA CONTAMINAZIONE DA FONTI DIFFUSE E LA DETERMINAZIONE DEI VALORI DI FONDO.

Relazione finale

Redazione e verifica	Funzione: Coll. Tecn. Prof. SC 22.05 Nome: Dr. Gabriele Fabietti	Data:02/10/2014	Firma:
Approvazione	Funzione: Dirigente Responsabile SC 22.05 Nome: Dr. Piero Rossanigo	Data:02/10/2014	Firma:

Responsabile procedimento:

Indice

Indice	3
Introduzione	5
La contaminazione diffusa dei suoli	7
Materiali e metodi	8
Campioni elaborati	8
Campionamento dei suoli.....	9
Analisi dei campioni	10
Trattamento preliminare dei dati.....	10
Elaborazione dei dati per aree omogenee di concentrazione	11
Indici di contaminazione.....	16
L'indice di arricchimento superficiale	16
Il fattore di arricchimento superficiale.....	16
Calcolo dei valori di fondo.....	18
Risultati	20
Metalli pesanti e metalloidi.....	20
Arsenico	23
Valutazione di presenza, origine ed intensità della contaminazione diffusa	23
Elaborazione dei dati per aree omogenee	28
Berillio	38
Valutazione di presenza, origine ed intensità della contaminazione diffusa	38
Elaborazione dei dati per aree omogenee	43
Cobalto	49
Valutazione di presenza, origine ed intensità della contaminazione diffusa	49
Elaborazione dei dati per aree omogenee	58
Cromo.....	67
Valutazione di presenza, origine ed intensità della contaminazione diffusa	67
Elaborazione dei dati per aree omogenee	78
Rame	92
Valutazione di presenza, origine ed intensità della contaminazione diffusa	92
Elaborazione dei dati per aree omogenee	97
Nichel	104
Valutazione di presenza, origine ed intensità della contaminazione diffusa	104
Elaborazione dei dati per aree omogenee	115
Piombo	127
Valutazione di presenza, origine ed intensità della contaminazione diffusa	127
Elaborazione dei dati per aree omogenee	132
Antimonio	140
Valutazione di presenza, origine ed intensità della contaminazione diffusa	140
Elaborazione dei dati per aree omogenee	145

Vanadio	152
Valutazione di presenza, origine ed intensità della contaminazione diffusa	152
Elaborazione dei dati per aree omogenee	157
Zinco	165
Valutazione di presenza, origine ed intensità della contaminazione diffusa	165
Elaborazione dei dati per aree omogenee	170
Contaminanti organici	179
Policlorobifenili	180
Elaborazione dei dati per aree omogenee	182
Diossine e furani	190
Elaborazione dei dati per aree omogenee	190
Raccomandazioni relative all'utilizzo dei dati.....	198
Utilizzo dei dati della rete nell'ambito del D.M. 10 agosto 2012 n. 161	199
Pubblicazioni correlate	200

Introduzione

Arpa Piemonte realizza un sistema di monitoraggio dei suoli del territorio piemontese, progettato per fornire dati omogenei e validati relativi ai principali contaminanti, da utilizzare come supporto scientifico di riferimento in attività correlate alla valutazione della qualità del suolo e all'applicazione delle normative che riguardano la contaminazione ambientale.

Il monitoraggio dei suoli è effettuato in stazioni di monitoraggio distribuite su tutto il territorio regionale, in corrispondenza dei vertici di una maglia sistematica ampliata con livelli successivi di approfondimento.

I dati della rete sistematica sono integrati con analisi di stazioni di monitoraggio rappresentative, realizzate in zone caratterizzate da problemi specifici di contaminazione diffusa del suolo.

Il campionamento dei suoli è effettuato a profondità fisse e per ogni campione prelevato sono analizzati più di 70 contaminanti tra metalli pesanti, idrocarburi policiclici aromatici (IPA) policlorobifenili (PCB), diossine (PCDD) e furani (PCDF) per i quali sono fissati valori limite dal D.Lgs. 152/06, oltre a metalli pesanti non normati e terre rare.

Il lavoro di seguito presentato si inserisce nell'ambito delle attività del progetto "Analisi ambientale sulla contaminazione diffusa (suolo e acque sotterranee) del territorio regionale per la definizione di valori di fondo per diverse categorie di inquinanti".

In particolare lo studio ha avuto come obiettivo principale valutare, attraverso l'utilizzo dei dati delle Rete di monitoraggio ambientale dei suoli, la presenza, l'origine e l'intensità delle principali forme di contaminazione diffusa dei suoli del territorio piemontese, e determinare i valori di fondo di contaminanti per i quali sono previsti valori limite dal D.Lgs. 152/06.

Il consistente numero di campioni fornito dalla rete ha permesso di ottenere, attraverso l'utilizzo di modelli predittivi geostatistici, stime attendibili della distribuzione spaziale dei singoli contaminanti a scala regionale.

Per i singoli contaminanti, sono state effettuate valutazioni relative alla presenza, origine, intensità della contaminazione diffusa, attraverso l'utilizzo combinato di elaborazioni statistiche, geostatistiche e calcolo di specifici indici di arricchimento.

Tramite opportune semplificazioni dei risultati ottenuti dai modelli previsionali, sono state delimitate sul territorio aree omogenee di concentrazione, classificate in base alla probabilità di superamento dei limiti di legge.

Per ogni area omogenea di concentrazione sono stati calcolati i principali parametri statistici di riferimento ed i valori di fondo.

I valori di fondo del suolo sono stati determinati in base agli standard internazionali stabiliti dalla normativa ISO 19258/2005 "Soil quality - Guidance on the determination of background values".

Dall'analisi dei risultati è emersa la capacità dello schema di campionamento adottato di caratterizzare in maniera efficace la distribuzione della concentrazione dei metalli a scala di dettaglio regionale.

I risultati dello studio hanno permesso di individuare per i singoli contaminanti la presenza di aree critiche che presentano elevate concentrazioni di metalli pesanti associate ad alte probabilità (>50%) di superamento dei limiti di legge.

In base ai risultati ottenuti è stato possibile individuare due gruppi principali di contaminanti che presentano criticità nei suoli del territorio piemontese.

Un primo gruppo è rappresentato da metalli pesanti e metalloidi (Cromo, Nichel, Cobalto, Arsenico, Vanadio e Berillio) che presentano aree critiche la cui origine è da attribuire in prevalenza alla composizione chimica del materiale di partenza da cui il suolo ha avuto origine.

Questi contaminanti, per i quali è stato determinato il valore di fondo naturale attraverso l'elaborazione dei campioni di suolo profondi, presentano aree critiche di dimensioni elevate con differenze minime tra la concentrazione degli orizzonti superficiali e quelli profondi e valori degli

indici di arricchimento molto bassi ad indicare nel loro insieme assenza di fenomeni rilevanti di contaminazione diffusa di origine antropica.

Un secondo gruppo di contaminanti è composto da metalli pesanti (Piombo, Rame, Zinco, Antimonio, Stagno) con aree critiche la cui origine è da attribuire in parte alla composizione chimica del materiale di partenza da cui il suolo ha avuto origine ed in parte a fenomeni più o meno intensi di deposizione superficiale derivante da contaminazione diffusa di origine antropica.

Questi contaminanti, per i quali è stato determinato il valore di fondo naturale - antropico attraverso l'elaborazione dei campioni di suolo superficiali, presentano aree critiche molto frammentate e di dimensioni ridotte, con differenze elevate tra la concentrazione degli orizzonti superficiali e quelli profondi ed indici di arricchimento elevati ad indicare nel loro insieme presenza di fenomeni rilevanti di contaminazione diffusa di origine antropica.

I risultati dello studio hanno inoltre permesso di individuare aree omogenee di concentrazione ed aree critiche per le quali i parametri statistici ed i valori di fondo calcolati non possono essere considerati statisticamente significativi, a causa del ridotto numero di campioni, dell'elevata variabilità statistica e/o della distribuzione asimmetrica, irregolare e discontinua dei campioni.

Per queste aree è auspicabile un infittimento dei campionamenti su maglia sistematica, dimensionato in base ai risultati delle mappe di previsione dell'errore standard che hanno individuato zone differenziate per qualità di predizione ed aree sottocampionate.

I risultati ottenuti da questo studio colmano una storica carenza di dati e documentazione scientifica, relativa alla caratterizzazione e quantificazione della contaminazione dei suoli del territorio piemontese.

In particolare i dati forniti rappresentano un fondamentale supporto scientifico di riferimento per tutte le attività correlate alla valutazione della qualità del suolo e dell'ambiente in genere, alla pianificazione territoriale su ampia scala e all'applicazione delle normative che riguardano la contaminazione del suolo, quali ad esempio il D.Lgs. 152/06 ed il D.M. 10 agosto 2012 n. 161, che necessitano di informazioni base relative alla contaminazione diffusa del suolo ed ai valori di fondo a scala regionale.

Le basi teoriche utilizzate per le elaborazioni ed interpretazioni dei risultati di questo studio sono il risultato di numerose esperienze maturate da Arpa Piemonte nell'ambito delle attività della Rete di monitoraggio ambientale dei suoli del Piemonte, sintetizzabili nelle pubblicazioni scientifiche elencate nel paragrafo "pubblicazioni correlate".

La contaminazione diffusa dei suoli

Il suolo è una risorsa limitata e non rinnovabile, indispensabile per la vita sulla terra, in quanto svolge molteplici funzioni per l'ecosistema e per l'uomo, prima tra tutte la produzione di alimenti.

Il suolo può essere contaminato da fonti puntuali, che agiscono su una superficie limitata e sono attribuibili ad un soggetto giuridico chiaramente individuabile, o da fonti diffuse, che agiscono su ampie superfici e sono attribuibili alla società indifferenziata.

La contaminazione del suolo da fonti diffuse, considerata dall'unione europea una delle principali forme di degrado ambientale, è causata prevalentemente dall'immissione nell'ambiente di quantità massive di prodotti chimici organici e inorganici che si depositano al suolo rimanendo per lunghi periodi di tempo prima di essere degradati o trasportati dall'acqua. In particolare è associabile alle deposizioni atmosferiche derivanti da emissioni dell'industria, traffico veicolare, impianti di produzione energetica, impianti di trattamento dei rifiuti etc.. e, seppure in misura minore, alla dispersione in agricoltura di fitofarmaci, fertilizzanti, liquami zootecnici e fanghi di depurazione.

La contaminazione diffusa del suolo è un fenomeno meno evidente ed eclatante rispetto a quella dell'acqua o dell'aria, ma non per questo meno grave per le conseguenze che può indurre sulla qualità dell'ambiente, sulla salute dell'uomo e sull'economia.

Inoltre la presenza contemporanea di più contaminanti al suolo può determinare effetti di interazione ed amplificare il loro effetto negativo.

Le attività industriali, il traffico automobilistico, gli impianti di produzione energetica e di trattamento dei rifiuti, il riscaldamento domestico e tante altre attività umane, immettono nell'atmosfera inquinanti che si depositano al suolo e permangono per lunghi periodi prima di essere degradati o trasportati dall'acqua.

L'utilizzo prolungato in agricoltura di concimi, antiparassitari, liquami zootecnici e fanghi di depurazione delle acque determina inoltre un accumulo progressivo nel suolo di metalli pesanti e altre sostanze nocive che con il tempo possono raggiungere concentrazioni rilevanti.

I contaminanti presenti nel suolo possono essere pericolosi anche in concentrazioni molto basse sia per l'ambiente sia per la salute umana; in caso di presenza contemporanea di più contaminanti al suolo può inoltre determinare effetti di interazione ed amplificare il loro effetto negativo.

Comprendere e quantificare i principali fenomeni che determinano la contaminazione diffusa del suolo risulta di notevole importanza per attività legate alla pianificazione territoriale su ampia scala, alla valutazione della qualità del suolo, all'applicazione della normativa sulla contaminazione del suolo ed alla risoluzione di problemi specifici di contaminazione che si riscontrano su ampie superfici di territorio.

L'analisi della contaminazione diffusa del suolo è spesso complessa e richiede valutazioni articolate che prendano in considerazione aspetti quali:

- le molteplici vie attraverso le quali i contaminanti entrano nel sistema suolo
- l'elevato numero di contaminanti organici ed inorganici coinvolti che, interagendo, amplificano il loro effetto negativo
- l'eventuale compresenza di forme di contaminazione puntuale
- la presenza di forme di contaminazione naturale attribuibile alla natura geochimica del substrato geologico dal quale il suolo ha avuto origine
- l'interazione dei contaminanti con il suolo
- la variabilità spaziale del suolo
- la variabilità verticale del suolo
- i diversi usi del suolo

Materiali e metodi

Campioni elaborati

Il monitoraggio dei suoli è effettuato in corrispondenza di stazioni di monitoraggio distribuite su tutto il territorio regionale, in corrispondenza dei vertici di una maglia sistemica ampliata con livelli successivi di approfondimento.

Allo stato attuale sono stati campionati e analizzati i suoli di 373 stazioni su maglia sistemica 9x9 km, realizzata su tutto il territorio piemontese, e 3x3 o 1,5x1,5 km realizzate in aree caratterizzate da problemi rilevanti di contaminazione diffusa del suolo (Figura 1 - I).

I dati della rete sistemica sono integrati con analisi di stazioni di monitoraggio rappresentative (attualmente 328 - Figura 1 - II), realizzate in porzioni di territorio caratterizzate da problemi specifici di contaminazione diffusa del suolo e per le quali viene analizzato un set ridotto di dati.

Il numero di stazioni elaborate per i singoli contaminanti varia in funzione dei criteri stabiliti nel paragrafo relativo al trattamento preliminare dei campioni e nel paragrafo relativo al calcolo dei valori di fondo.

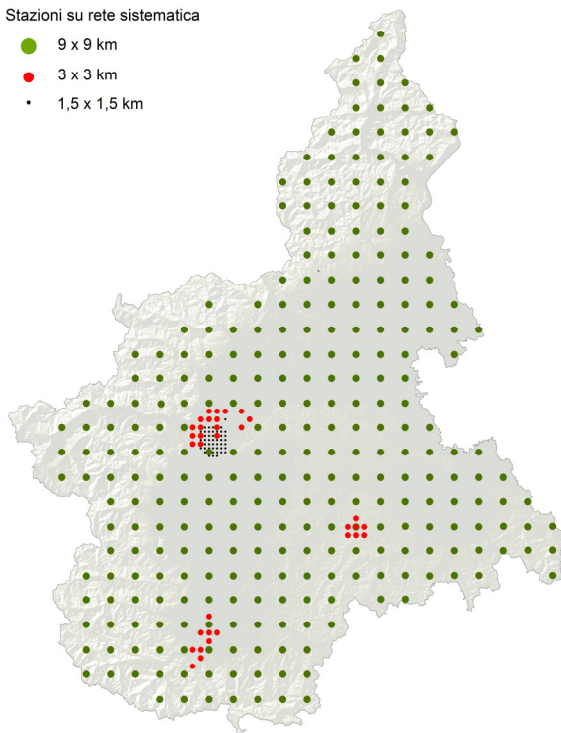
Figura 1

Ubicazione delle stazioni della Rete di monitoraggio ambientale dei suoli del Piemonte.

I - Stazioni di monitoraggio realizzate su rete sistemica al 31/12/2013. *II* - Stazioni di monitoraggio rappresentative utilizzate ad integrazione dei dati forniti dalla rete sistemica.

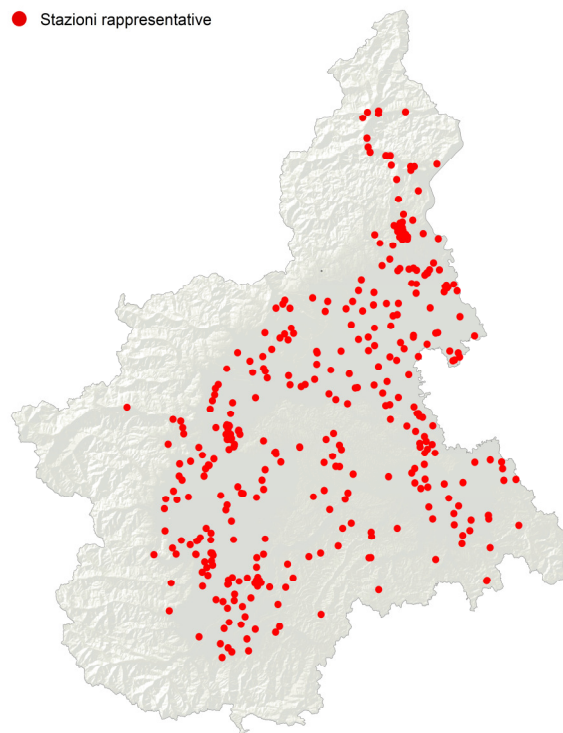
I Rete sistemica 9x9 km

- Stazioni su rete sistemica
- 9 x 9 km
 - 3 x 3 km
 - 1,5 x 1,5 km



II Stazioni rappresentative

- Stazioni rappresentative



Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati al 31/12/2013).

Campionamento dei suoli

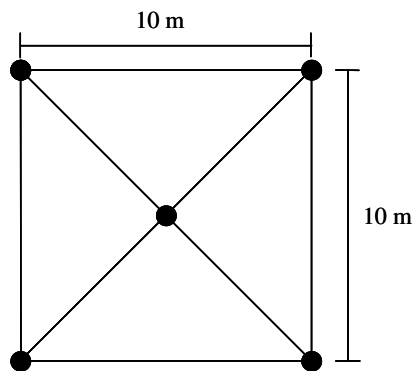
I campioni di suolo sono prelevati a profondità fisse A e B in base all'uso del suolo:

- per i suoli agricoli periodicamente lavorati la profondità di campionamento A corrisponde all'orizzonte arato (A_p) e B al campionamento effettuato a 20 cm dal limite inferiore di A_p (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**);
- per i suoli naturali (bosco, prato – pascolo) e/o indisturbati (incolto) il campione A corrisponde alla profondità 0-10 cm, mentre il campione B è effettuato a profondità compresa tra i 30 ed i 60 cm. Nel campionamento viene scartato lo strato superficiale (orizzonte O) rappresentato da sostanza organica indecomposta e/o parzialmente decomposta e privo di componente minerale (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

In corrispondenza della stazione di monitoraggio viene identificata un'area di campionamento di circa 100 m^2 ($10 \times 10 \text{ m}$ – Figura 2) all'interno della quale vengono prelevati sottocampioni in numero variabile da tre (su una ipotetica diagonale) a cinque (ai vertici ed al centro del poligono) in base alle condizioni di omogeneità pedologica riscontrate. I sottocampioni prelevati per ogni profondità vengono poi omogeneizzati in campo in un'unica aliquota.

Figura 2

Schema di campionamento utilizzato per il prelievo dei sottocampioni in numero variabile da tre (su una ipotetica diagonale) a cinque (ai vertici ed al centro del poligono) in base alle condizioni di omogeneità pedologica riscontrate.



- prelievo di sottocampioni

Analisi dei campioni

Per ogni campione sono analizzati contaminanti per i quali sono fissati valori limite dal D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale:

- **metalli pesanti e metalloidi** (Antimonio - Sb, Arsenico - As, Berillio - Be, Cadmio - Cd, Cobalto - Co, Cromo - Cr, Mercurio - Hg, Nichel - Ni, Piombo - Pb, Rame - Cu, Selenio - Se, Stagno - Sn, Tallio - Tl, Vanadio - V e Zinco - Zn). Estrazione in *aqua regia* e analisi con ICP-MS (Agilent, 7500CE).
- **idrocarburi policiclici aromatici** (IPA - 16 composti). Estrazione attraverso ASE 200 Accelerated Solvent Extractor (Dionex, Sunnyvale, CA, USA). con diclorometano.
- **diossine e furani** (PCDD/DF - 17 congeneri). Estrazione attraverso ASE 200 Accelerated Solvent Extractor (Dionex, Sunnyvale, CA, USA) con toluene.
- **poli-clorobifenili** (PCB - 30 congeneri). Estrazione attraverso ASE 200 Accelerated Solvent Extractor (Dionex, Sunnyvale, CA, USA) con toluene.

Vengono inoltre analizzati:

- **lantanoidei o “terre rare”** non normati dal D.Lgs. 152/06, ma di notevole interesse per la valutazione della contaminazione diffusa del suolo: (Cerio - Ce, Disprosio - Dy, Erblio - Er, Europio - Eu, Gadolinio - Gd, Olmio - Ho, Lantanio - La, Neodimio - Nd, Praseodimio - Pr, Samario - Sm, Tullio - Tm, Ittrio - Y, e Itterbio - Yb). Estrazione in *aqua regia* e analisi con ICP-MS (Agilent, 7500CE).
- **composti inorganici non normati** dal D.Lgs. 152/06 ma necessari per l'interpretazione di numerosi fenomeni contaminazione. Estrazione in *aqua regia* e analisi con ICP-MS (Agilent, 7500CE).

Le determinazioni analitiche in laboratorio condotte sull'aliquota di granulometria inferiore a 2 mm. La concentrazione del campione si riferisce alla totalità dei materiali secchi della sola frazione inferiore a 2 mm senza includere la frazione di scheletro 2 cm - 2 mm.

Trattamento preliminare dei dati

I dati al disotto del limite di rilevabilità dello strumento di analisi sono inclusi nelle elaborazioni statistiche utilizzando il metodo medium-bound, che si basa sull'assunto che mediamente i dati non rilevabili abbiano un valore pari a metà del limite di rilevabilità ($NR \cong LR/2$).

Non vengono elaborati gli inquinanti per i quali la percentuale di campioni al disotto del limite di rilevabilità è superiore al 60%.

Vengono inoltre esclusi dalle elaborazioni i valori outliers che si discostano dalla mediana oltre 3 volte la distanza interquartile:

$> Q3 + 3 \times IQR$

dove $Q3$ è il terzo quartile e IQR è il range o distanza interquartile tra il primo quartile ($Q1$) ed il terzo quartile ($Q3$).

Al fine di evitare di includere nelle elaborazioni statistiche campioni caratterizzati da forme di inquinamento del suolo eccessive ed imputabili prevalentemente a forme di contaminazione puntuale, vengono esclusi dalle elaborazioni i profili con indice di arricchimento superficiale superiore a 3.

Elaborazione dei dati per aree omogenee di concentrazione

Il consistente numero di campioni fornito dalla rete di monitoraggio permette di ottenere, attraverso l'utilizzo di modelli predittivi geostatistici, rappresentazioni spaziali attendibili a scala regionale della concentrazione dei contaminanti analizzati.

Tramite opportune semplificazioni dei risultati ottenuti dai modelli previsionali, sono delimitate sul territorio aree omogenee di concentrazione dei contaminanti ed aree critiche che presentano probabilità elevate (>50%) di superamento dei limiti di legge stabiliti dal *D.Lgs. 152/06* per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (*Allegato 5 - Tabella 1 - colonna A*) (Figura 3- I).

La rappresentatività statistica delle popolazioni di dati appartenenti alle singole aree omogenee di concentrazione è verificata attraverso confronto tra popolazioni con test statistici (t-test per campioni indipendenti) e metodi grafici (curve della densità di distribuzione, Box plot, Curve di distribuzione cumulata di frequenza) (Figura 3 – II, III, IV).

In corrispondenza delle aree omogenee di concentrazione individuate, sono effettuate valutazioni relative alla presenza, origine, intensità della contaminazione diffusa, attraverso l'analisi e l'interpretazione dei parametri statistici relativi alle diverse profondità di campionamento ed il calcolo di specifici indici di arricchimento (vedi paragrafo successivo).

L'utilizzo della statistica multivariata (correlazioni di pearson, principal component analysis, cluster analysis) permette di verificare ipotesi relative all'origine prevalente (naturale o naturale-antropica) del contaminante nel suolo, attraverso l'individuazione di correlazioni statisticamente significative tra coppie e/o gruppi di contaminanti attribuibili ad origine comune.

Le aree omogenee di concentrazione di tutti i contaminanti sono classificate in base alle probabilità crescenti di superamento del limite di legge stabiliti dal *D.Lgs. 152/06* per i suoli ad uso verde pubblico, privato e residenziale (*Allegato 5 - Tabella 1 - colonna A*), con lettere che vanno dalla "a" alla "e", come illustrato in tabella (Tabella 1).

Le probabilità di superamento dei limi di legge variano da valori inferiori al 5% per la classe "a", con soglia outliers inferiore al limite di legge, a valori superiori al 75 % per la classe "e", che presenta valori superiori al limite di legge già in corrispondenza del 25° percentile.

Per la rappresentazione sintetica della distribuzione della popolazione di dati, dei percentili, dei valori outliers e di parametri statistici quali media e mediana, sono utilizzati i box plot (Figura 4) , grafici formati da scatole (boxes), baffi (whiskers) e outliers.

I boxes o scatole rappresentano il valore interquartile ($IQR = Q3 - Q1$) dato dall'intervallo tra il primo quartile ($Q1$) ed il terzo quartile ($Q3$).

Le linee verticali che si allungano dai bordi della scatola, dette baffi o whiskers, rappresentano il range di valori con esclusione degli outliers.

La linea continua all'interno del box indica la mediana, valore che in un insieme ordinato di dati occupa la posizione centrale.

I pallini vuoti rappresentano gli outliers, definiti come valori hot-spot con concentrazioni anomale rispetto alla popolazione campionaria, che si discostano dalla mediana oltre una volta e mezza la distanza interquartile ($> Q3 + 1,5 \times IQR$).

Il primo ed il terzo quartile corrispondono rispettivamente alle mediane della prima e della seconda metà dei dati ordinati. Il 25% dei dati è minore o uguale al primo quartile, il 75% dei dati è minore o uguali al terzo quartile.

L'intervallo $Q3 - Q1$, definito range o valore interquartile (*IQR*), è interpretato come indice di dispersione, per valutare quanto i valori si allontanino da un valore centrale (mediana – $Q2$). In questo intervallo ricade il 50% dei valori della popolazione di dati considerata.

Lo scarto interquartile risulta molto efficace nello studio e nella valutazione della distribuzione degli inquinanti del suolo perché non è influenzata da osservazioni anomale o estreme (statistica

robusta), ed è particolarmente adatta ad esprimere la variabilità di distribuzioni asimmetriche, tipiche dei contaminanti da inquinamento diffuso.

Per ogni contaminante vengono inoltre forniti parametri statistici e grafici relativi alle singole aree omogenee di concentrazione:

- Tabelle con parametri di statistica descrittiva (media, mediana, deviazione standard – dev st, coefficiente di variazione – CV, valori minimi - min, valori massimi - max, 25° - 50° - 75° - 90° e 95° percentile, soglia outliers, valori di fondo, numero e percentuale di campioni che superano i limiti di legge;
- Box plot della concentrazione in mg/kg per aree omogenee di concentrazione e confronto con i limiti di legge (linea orizzontale rossa) (Figura 4);
- Curve di densità della distribuzione e istogrammi della densità di distribuzione che forniscono informazioni relative alla densità di distribuzione rispettivamente per i singoli valori di concentrazione e per classi di concentrazioni (Figura 5);
- Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili (Figura 6), confrontate con il valore di fondo (linea tratteggiata nera) ed il limite di legge (linea continua rossa), che forniscono informazioni relative alla distribuzione dei campioni in termini probabilistici.

Tabella 1

Classificazione delle aree omogenee di concentrazione in base alle probabilità di superamento dei limiti di legge

	Probabilità di superamento dei limiti di legge	Limite di legge
a	<5%	> Soglia outliers
b	5%-25 %	75° perc – Soglia outliers
c	25%-50%	50°perc – 75° perc
d	50%-75%	25°perc – 50° perc
e	>75%	< 25° perc

Tabella 2

Statistica descrittiva, percentili, valori di fondo ⁽¹⁾, confronto con i limiti di legge (120 mg/kg) ⁽²⁾ e conteggio di campioni analizzati del Nichel (Ni) nei suoli ⁽³⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione.

Aree omogenee		Ni_a1	Ni_a2	Ni_b1	Ni_b2	Ni_c1	Ni_c2	Ni_d1	Ni_e1
Media	mg/kg	33	34	61	61	115	112	217	435
Mediana	mg/kg	27	32	54	55	100	80	136	140
Dev. St	mg/kg	38	17	28	30	79	95	250	819
CV	-	1,1	0,5	0,5	0,5	0,7	0,8	1,2	1,9
Min	mg/kg	4	4	8	15	19	23	30	89
Max	mg/kg	350	96	120	155	600	500	1600	3500
25° percentile (Q1)	mg/kg	15	21	39	44	73	60	92	120
50° percentile	mg/kg	27	32	54	55	100	80	136	140
75° percentile (Q3)	mg/kg	40	44	82	69	136	124	225	280
90° percentile	mg/kg	51	56	110	98	170	237	364	708
95° percentile	mg/kg	57	64	111	120	182	264	502	1371
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	77	79	147	108	230	219	424	520
Numero outliers	n	5	2	0	4	3	5	3	4
Valore di fondo ⁽¹⁾	mg/kg	48	55	110	86	160	132 ⁽⁴⁾	344	262 ⁽⁴⁾
Campioni	n	143	142	77	49	85	34	47	17
> Limite di legge ⁽²⁾	n	3	0	0	2	31	9	29	12
	%	2	0	0	4	36	26	62	71

⁽¹⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽²⁾ Limiti di legge D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽³⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

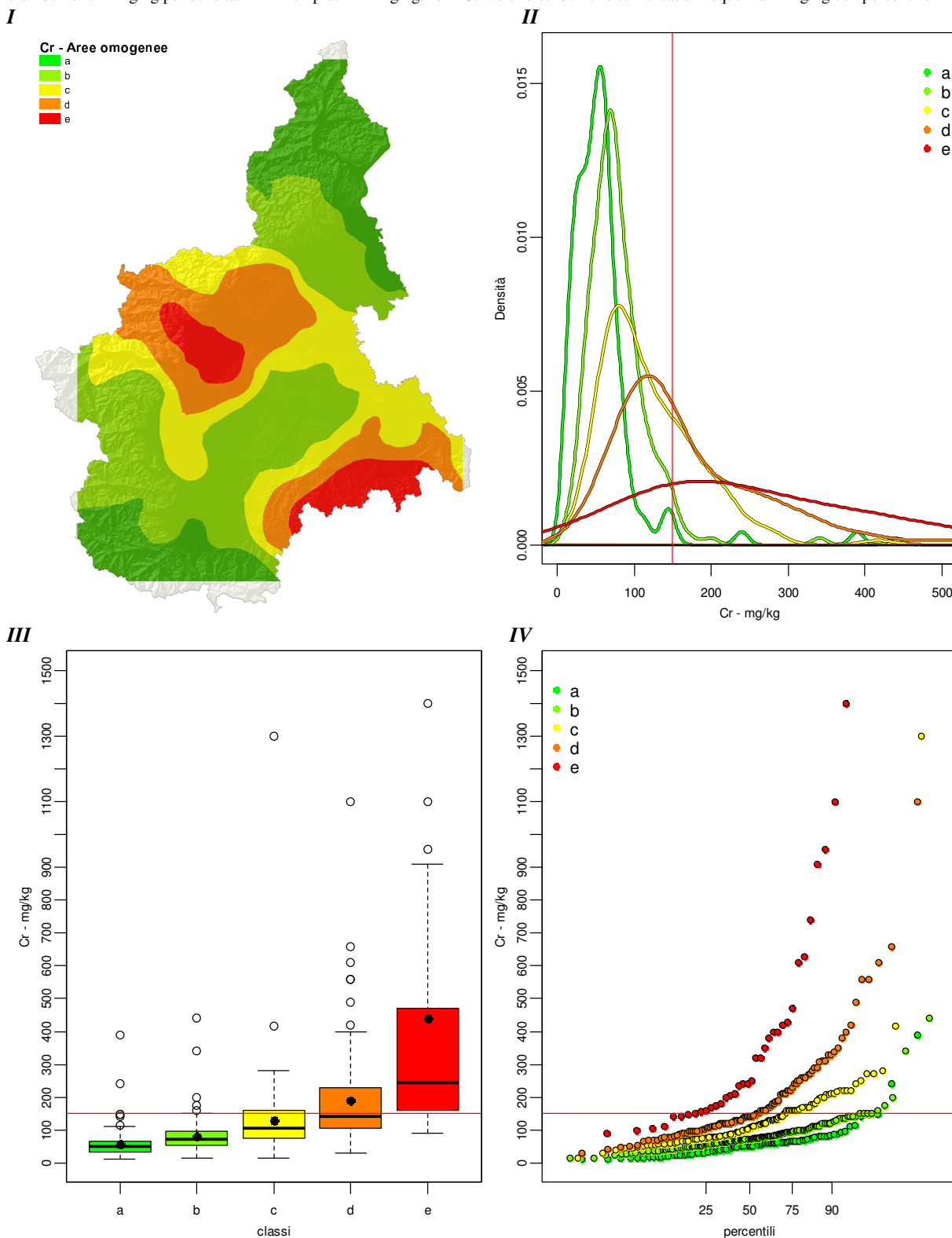
⁽⁴⁾ Numero di dati insufficiente per una corretta definizione dei valori di fondo. Occorre un ulteriore infittimento dei campionamenti. ⁽⁵⁾ =Q3+1,5*IQR, IQR=Q3-Q1.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 3

Elaborazione dei dati del Cromo (Cr)⁽¹⁾ per aree omogenee di concentrazione (a, b, c, d, e) e confronto con i limiti di legge⁽²⁾ (linee rosse).

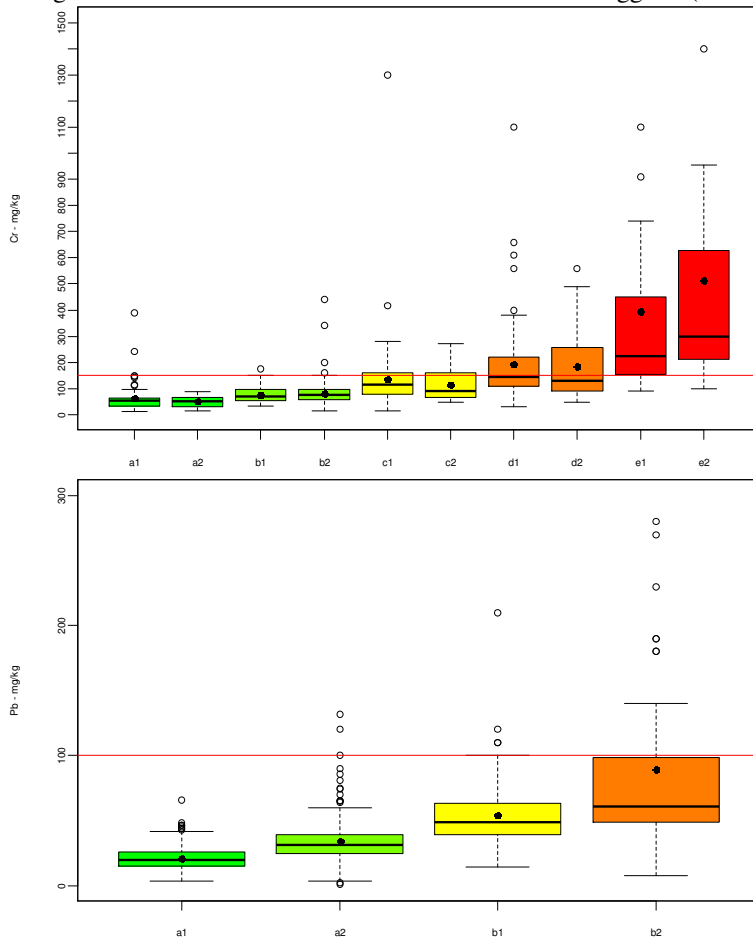
I - Aree omogenee di concentrazione (a, b, c) ed aree critiche (d, e) con probabilità elevate di superamento dei limiti di legge⁽²⁾. *II* - Curve di distribuzione in mg/kg per densità. *III* - Box plot⁽³⁾ in mg/kg. *IV* - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in mg/kg con percentili.



⁽¹⁾ Elaborazione degli orizzonti B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽³⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (>Q3±1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 4

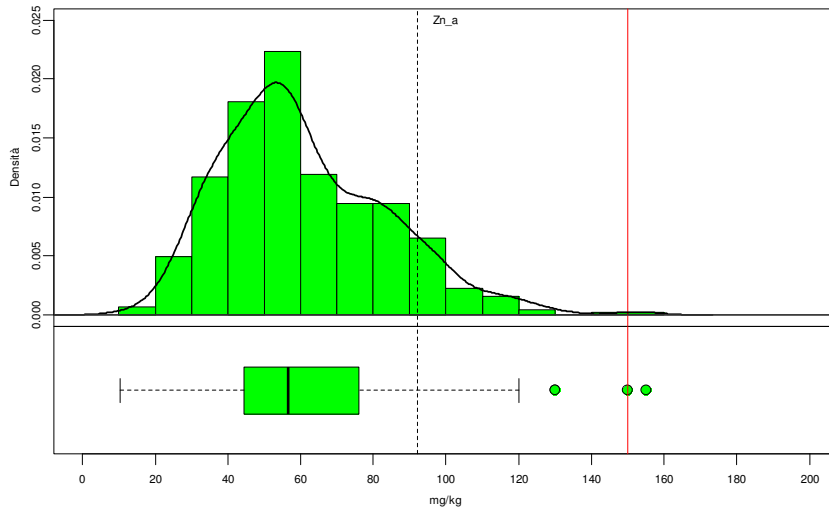
Box plot⁽¹⁾ della concentrazione di Cromo (Cr) e Piombo (Pb) in mg/kg nei suoli del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione e confronto con i limiti di legge⁽³⁾ (linea orizzontale rossa).



⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ($>Q3+1,5*IQR$), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽²⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli) ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 5

Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ della concentrazione di Zinco⁽¹⁾ in mg/kg per l'area omogenea di concentrazione Zn_{a1}, e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

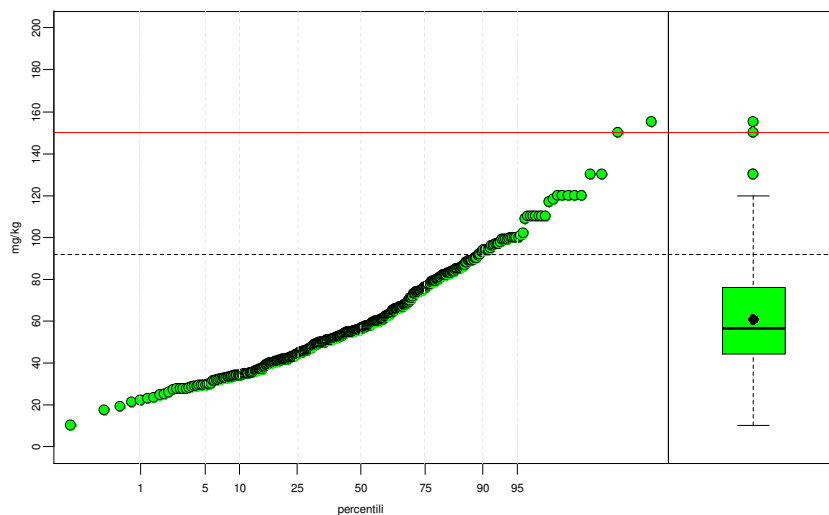


⁽¹⁾ Elaborazione degli orizzonti A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 6

Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾ della concentrazione di Zinco⁽¹⁾ in mg/kg per l'area omogenea di concentrazione Zn_{a1}, e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).



⁽¹⁾ Elaborazione degli orizzonti A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Indici di contaminazione

La presenza e l'intensità di fenomeni di contaminazione da deposizione superficiale è stata quantificata attraverso appositi indici di contaminazione, che mettono in relazione le concentrazioni del contaminante rilevate alle diverse profondità di campionamento, basandosi sull'ipotesi che i contaminanti presenti nell'atmosfera si accumulano negli orizzonti superficiali dei suoli.

Per questo studio sono stati utilizzati per le singole stazioni di monitoraggio l'indice di arricchimento superficiale ed il fattore di arricchimento superficiale.

L'indice di arricchimento superficiale

L'indice di arricchimento superficiale permette di valutare la presenza e definire l'intensità di deposizione al suolo di un contaminante antropico attribuibile a fenomeni di deposizione superficiale, attraverso la quantificazione del rapporto tra concentrazione dell'orizzonte superficiale A e di quello profondo B.

Un indice di arricchimento superficiale < 1 indica una maggiore concentrazione dell'inquinante considerato in profondità, al contrario un indice di arricchimento superficiale > 1 , indica una concentrazione superiore in superficie attribuibile in prevalenza a fenomeni di deposizione superficiale da contaminazione antropica.

In particolare valori compresi tra 1.3 e 1.5 indicano presenza di contaminazione superficiale moderata, mentre valori superiori a 1.5 indicano presenza di contaminazione elevata.

Il fattore di arricchimento superficiale

Il fattore di arricchimento superficiale di un contaminante viene determinato attraverso la normalizzazione della sua concentrazione nell'orizzonte superficiale rispetto alla concentrazione di un elemento di riferimento. Per elemento di riferimento si intende un metallo particolarmente stabile nel suolo, caratterizzato cioè da assenza di mobilità verticale lungo il profilo e/o di fenomeni di degradazione superficiale, e per il quale viene verificata l'assenza di fenomeni di contaminazione antropica per tutte le stazioni di monitoraggio considerate. Tipici elementi di riferimento utilizzati in letteratura scientifica internazionale sono alluminio – Al, vanadio – V e stronzio – Sr.

Il fattore di arricchimento superficiale viene calcolato attraverso la formula:

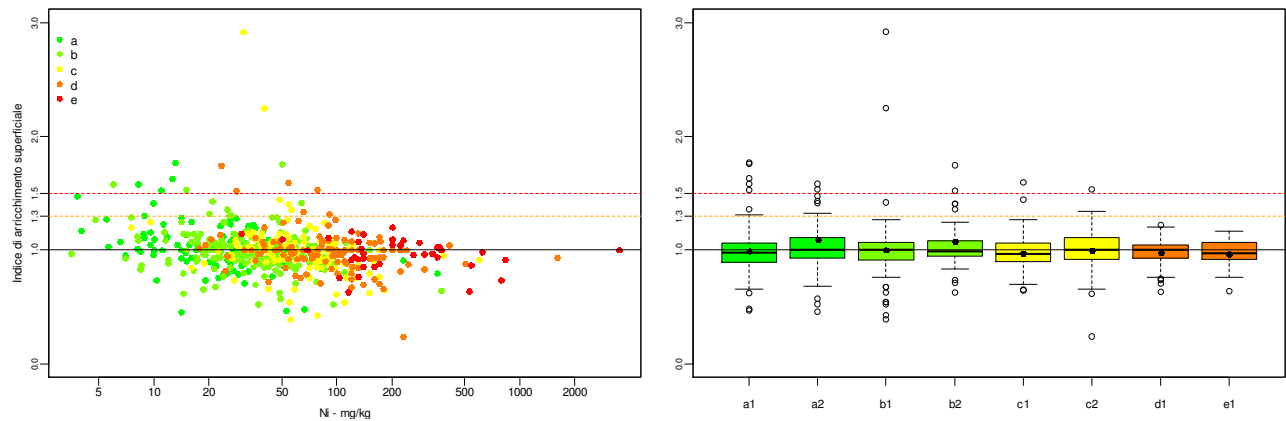
$$fA = \frac{\frac{X}{RE}}{\frac{X_{vf}}{RE_{vf}}}$$

dove X e RE sono rispettivamente il contenuto in mg/kg del contaminante considerato e dell'elemento di riferimento analizzato nell'orizzonte superficiale di ogni sito di monitoraggio; mentre X_{vf} e RE_{vf} sono i valori di fondo del contaminante considerato (Tabella 3, 4, 5) e dell'elemento di riferimento.

Valori di $fA > 1$ suggeriscono un arricchimento superficiale dell'elemento. In particolare $fA < 2$ indica un arricchimento superficiale basso, $fA = 2-6$ indica arricchimento superficiale moderato mentre un $fA > 6$ è attribuibile a presenza di arricchimento elevato.

Figura 7

Scatterplot (I) e Box plot (II) ⁽¹⁾ dell'indice di arricchimento superficiale ⁽²⁾ di Cromo (Cr) nei suoli del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione (a, b, c, d, e), e confronto con i limiti relativi a contaminazione diffusa moderata (linea orizzontale arancio – 1.3) ed elevata (linea orizzontale rossa – 1.5).

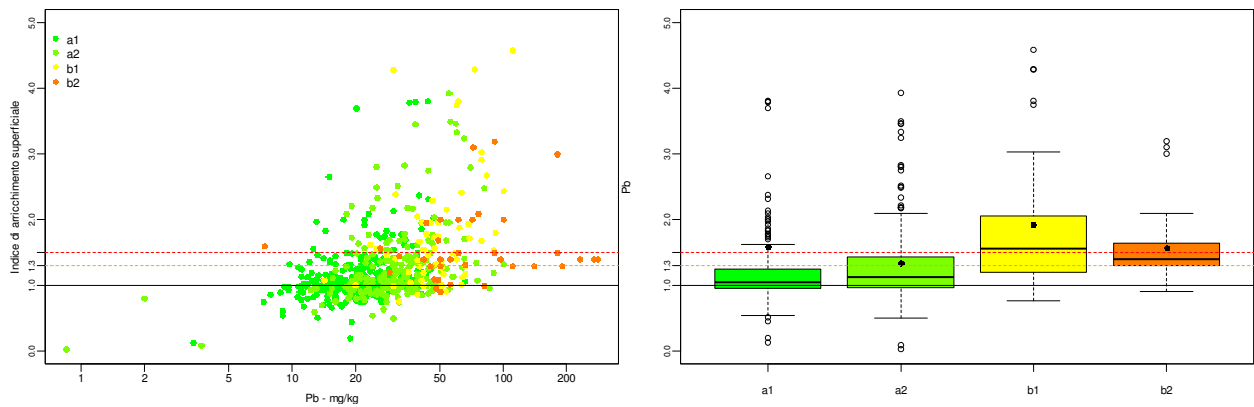


⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (>Q3±1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 8

Scatterplot (I) e Box plot (II) ⁽¹⁾ dell'indice di arricchimento superficiale ⁽²⁾ del Piombo (Pb) nei suoli del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione (a, b, c, d, e), e confronto con i limiti relativi a contaminazione diffusa moderata (linea orizzontale arancio – 1.3) ed elevata (linea orizzontale rossa – 1.5).



⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (>Q3±1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Calcolo dei valori di fondo

I valori di fondo sono calcolati per aree omogenee di concentrazione in base agli standard internazionali stabiliti dalla normativa ISO 19258/2005 “Soil quality - Guidance on the determination of background values”.

La normativa ISO 19258/2005 prevede la determinazione di due diverse tipologie di valore di fondo:

- “*contenuto di fondo di natura pedogeochimica o naturale del suolo*”: concentrazione di elementi generata dai fattori caratteristici della pedogenesi, quali ad esempio la composizione ed alterazione della roccia madre.
- “*contenuto di background o fondo naturale-antropico*”: concentrazione di un elemento riferito ad un tipo di suolo, localizzato in un’area o regione definita, che scaturisce dalla sommatoria delle concentrazioni apportate da sorgenti naturali e diffuse non naturali, quali ad esempio la deposizione atmosferica e le pratiche agronomiche.

Per i contaminanti la cui presenza nei suoli piemontesi è attribuibile in prevalenza a fonti di inquinamento puntuale o diffuso (deposizioni atmosferiche, distribuzione di fertilizzanti e pesticidi) è stato determinato il “*fondo naturale-antropico*” attraverso l’elaborazione delle concentrazioni degli orizzonti superficiali A (0-10 cm per i suoli naturali e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

Per i contaminanti la cui origine nei suoli piemontesi è principalmente attribuibile al substrato litologico, è stato determinato il “*fondo naturale del suolo*” attraverso l’elaborazione delle concentrazioni degli orizzonti profondi B (20 cm al disotto del limite inferiore dell’orizzonte Ap e 30 – 60 cm per i suoli naturali).

La norma raccomanda l’utilizzo dei 10°, 25°, 50°, 75° e 90° percentili per rappresentare in maniera corretta la distribuzione delle concentrazioni.

La distribuzione dei dati che meglio approssima il campione (normale, log-normale, gamma, non parametrica) è valutata attraverso test statistici di Shapiro - Wilk e Anderson – Darling e metodi grafici (istogrammi di frequenza, curve cumulative di frequenza e box plot) e.

I valori di fondo per le aree omogenee di concentrazione sono considerati validi se rappresentati da un numero minimo di campioni stabilito prevalentemente in base alla distribuzione della popolazione.

Per popolazioni di dati con distribuzione normale è raccomandato l’utilizzo minimo di 30 campioni di suolo.

La distribuzione dei contaminanti organici ed inorganici nei suoli superficiali risulta però nella maggior parte dei casi non normale o log-normale con asimmetria positiva a causa della presenza di forme più o meno marcate di contaminazione diffusa o dalla elevata variabilità del suolo che nel caso di questo studio è accentuata dal monitoraggio effettuato a grande scala di dettaglio.

In caso di distribuzione non normale dei campioni, il numero minimo è stimato in base al numero di campioni, comunque sempre superiore a 30, sufficiente ad ottenere una curva di distribuzione di frequenza (Quantile plot, Percentile Plot) omogenea, uniforme e continua dei valori log trasformati.

Il valore di fondo dell’area omogenea di concentrazione individuata è attribuito al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali – *outliers*.

Gli outliers identificano campioni hot-spot che presentano concentrazioni anomale rispetto alla popolazione campionaria.

Sono individuati come outliers i valori $\geq Q3 + 1,5(Q3 - Q1)$ dove Q3 è il terzo quartile (corrispondente al 75° percentile), Q1 è il primo quartile (corrispondente al 25° percentile).

Al fine di evitare di includere campioni potenzialmente contaminati nel calcolo del valore di fondo, sono inoltre esclusi dalle elaborazioni i profili con fattore di arricchimento superficiale superiore a 3.

In base a quanto raccomandato a livello internazionale e nazionale (Direttiva Quadro 2000/60/CE, ISS 04/15/04, World Health Organization etc...) i dati al disotto del limite di rilevabilità dello strumento di analisi sono stati inclusi nelle elaborazioni statistiche utilizzando il metodo medium-bound, che attribuisce ai dati non rilevabili un valore pari a metà del limite di rilevabilità ($NR=LR/2$).

Risultati

Metalli pesanti e metalloidi

I risultati dei modelli previsionali geostatistici hanno permesso di individuare sul territorio piemontese per i singoli contaminanti aree omogenee e aree critiche che presentano elevate concentrazioni di metalli pesanti associate ad alte probabilità (>50%) di superamento dei limiti di legge.

I risultati relativi alla valutazione della presenza, origine ed intensità della contaminazione diffusa per aree omogenee di concentrazione, hanno permesso di individuare due principali gruppi di contaminanti.

Un primo gruppo è rappresentato da metalli pesanti e metalloidi quali Cromo, Nichel, Cobalto, Arsenico, Berillio e Vanadio (Figura 9), che presentano sul territorio piemontese aree critiche con livelli di concentrazione elevati e alte probabilità di superamento dei limiti di legge (>50%), attribuibili in prevalenza alla composizione chimica del materiale di partenza da cui il suolo ha avuto origine.

Questi contaminanti presentano aree omogenee di concentrazione di dimensioni elevate, differenze minime tra la concentrazione degli orizzonti superficiali e quelli profondi, indici di arricchimento prossimi all'unità con valori costanti all'aumentare della concentrazione e valori outliers con indici di arricchimento bassi ad indicare nel loro insieme assenza di fenomeni rilevanti di contaminazione diffusa di origine antropica.

Per questi contaminanti, le elaborazioni statistiche ed il calcolo dei valori di fondo (*contenuto di fondo naturale del suolo o di natura pedogeochimica*), sono stati effettuati utilizzando i campioni degli orizzonti B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

Un secondo gruppo di contaminanti è rappresentato da metalli pesanti quali Piombo, Rame, Zinco, Stagno e Antimonio (Figura 10), che presentano sul territorio piemontese aree critiche con livelli di concentrazione elevati e alte probabilità di superamento dei limiti di legge (>50%), attribuibili in parte alla composizione chimica del materiale di partenza da cui il suolo ha avuto origine (*natura pedogeochimica*) ed in parte a fenomeni più o meno intensi di deposizione superficiale derivante da contaminazione diffusa di origine antropica.

Questi contaminanti presentano aree omogenee di concentrazione di ampie dimensioni caratterizzate da bassi livelli di concentrazione ed aree di dimensioni ridotte caratterizzate da concentrazioni più elevate, con medie e valori di fondo comunque al disotto dei limiti di legge.

In queste aree sono riscontrate differenze significative tra la concentrazione degli orizzonti superficiali e quelli profondi, indici di arricchimento superiori all'unità con valori crescenti all'aumentare della concentrazione e valori outliers con indici di arricchimento elevati ad indicare nel loro insieme presenza di fenomeni di contaminazione diffusa di origine antropica.

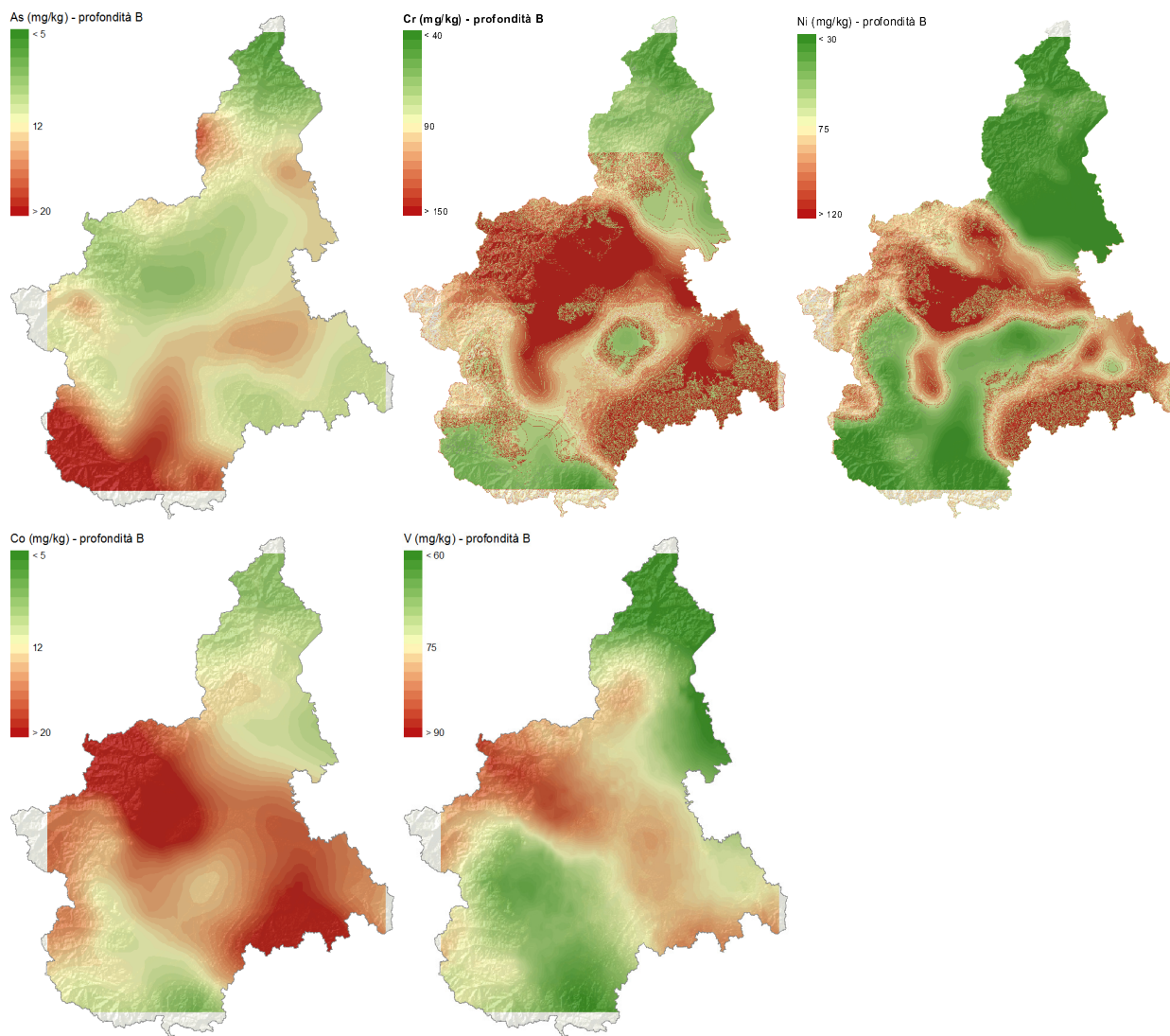
Per i contaminanti soggetti a fenomeni più o meno intensi di deposizione superficiale derivante da contaminazione diffusa di origine antropica, le elaborazioni statistiche ed il calcolo dei valori di fondo (*contenuto di fondo di naturale - antropico*), sono stati effettuati utilizzando i campioni degli orizzonti A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli arati).

I risultati dello studio hanno inoltre permesso di individuare aree omogenee di concentrazione ed aree critiche per le quali i parametri statistici ed i valori di fondo calcolati non possono essere considerati statisticamente significativi, a causa del ridotto numero di campioni, dell'elevata variabilità statistica e/o della distribuzione asimmetrica, irregolare e discontinua dei campioni.

Per queste aree è auspicabile un infittimento dei campionamenti su maglia sistematica, dimensionato in base ai risultati delle mappe di previsione dell'errore standard che hanno individuato zone differenziate per qualità di predizione ed aree sottocampionate.

Figura 9

Spazializzazione della concentrazione di metalli pesanti⁽¹⁾ nei suoli ⁽²⁾ del territorio piemontese, che presentano aree critiche attribuibili in prevalenza alla composizione chimica del substrato geologico.

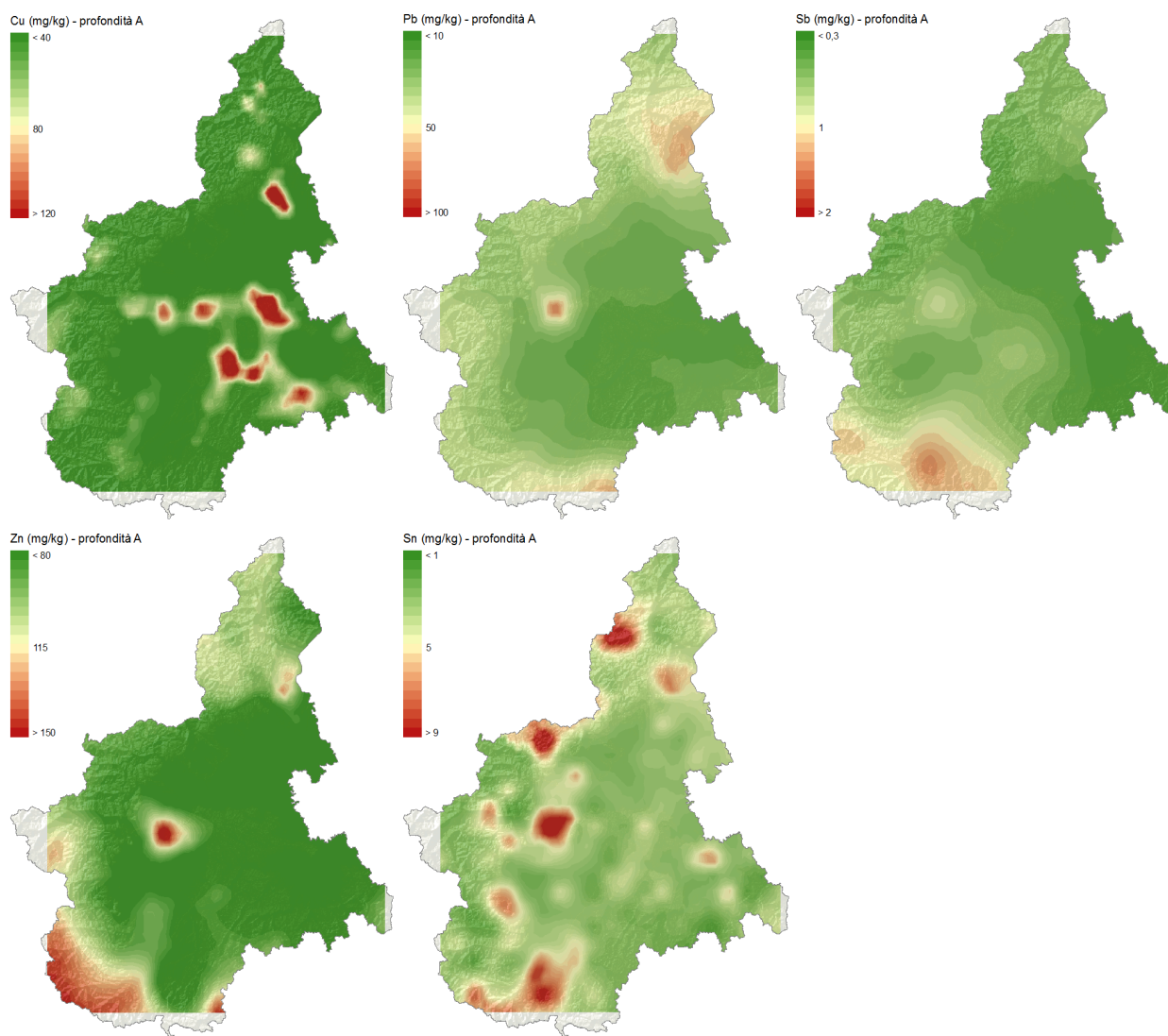


⁽¹⁾ Arsenico (As), Cromo (Cr), Nichel (Ni), Cobalto (Co) e Vanadio (V). ⁽²⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al di sotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 10

Spazializzazione della concentrazione di metalli pesanti⁽¹⁾ nei suoli⁽²⁾ del territorio piemontese, che presentano aree critiche con elevate concentrazioni attribuibili in parte alla composizione chimica del materiale di partenza da cui il suolo ha avuto origine (*natura pedogeochimica*) ed in parte a fenomeni più o meno intensi di deposizione superficiale derivante da contaminazione diffusa di origine antropica.



⁽¹⁾ Rame (Cu), Piombo (Pb), Antimonio (Sb), Stagno (Sn), e Zinco (Zn). ⁽²⁾ Elaborazione dei campioni di suolo A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Arsenico

Valutazione di presenza, origine ed intensità della contaminazione diffusa

Per le elaborazioni del Arsenico di seguito proposte sono stati utilizzati i dati relativi ad un totale di 328 stazioni di monitoraggio, uniformemente distribuite in tutto il territorio piemontese su maglia sistematica (9x9 km e 3x3 km) (Figura 11 – I).

Il consistente numero di stazioni di monitoraggio analizzate permette di ottenere, attraverso l'utilizzo di modelli predittivi geostatistici, rappresentazioni spaziali della concentrazione di Arsenico attendibili ad una scala di dettaglio indicativa pari a 1:250.000.

L'interpretazione congiunta dei risultati relativi alla stima della concentrazione in mg/kg dell'Arsenico (Figura 11 - II) e della stima delle probabilità percentuale di superamento dei limiti di legge (Figura 11 - III) ha permesso l'individuazione di aree omogenee di concentrazione su tutto il territorio piemontese (Figura 11 - IV), di dimensioni significative rispetto alla densità di campionamento ed alla scala di rappresentazione.

La rappresentatività statistica delle popolazioni di dati appartenenti alle singole aree omogenee di concentrazione è stata verificata attraverso confronto con test statistici (t-test per campioni indipendenti) e metodi di confronto grafici (curve della densità di distribuzione, Box plot, Curve di distribuzione cumulata di frequenza).

Le valutazioni relative a presenza, origine e intensità della contaminazione sono state effettuate attraverso l'utilizzo combinato di elaborazioni statistiche, geostatistiche e calcolo di specifici indici di arricchimento.

I risultati dei modelli predittivi geostatistici (Figura 11- III, Figura 12) mostrano per l'Arsenico la presenza di aree omogenee di concentrazione molto ampie con distribuzione spaziale della concentrazione simile sia in corrispondenza degli orizzonti superficiali (profondità A) e che di quelli profondi (profondità B).

La bassa variabilità verticale riscontrata tra concentrazione degli orizzonti superficiali e quella di quelli più profondi indica per l'Arsenico assenza di fenomeni rilevanti di deposizione superficiale da contaminazione diffusa per tutte le aree omogenee di concentrazione individuate e per le aree critiche.

La distribuzione dei valori degli indici di arricchimento superficiale, prossima all'unità per tutte le classi (Figura 14 - II) e con valori che diminuiscono all'aumentare della concentrazione del contaminante (Figura 14 – I e III), esclude la presenza di correlazioni a grande scala di dettaglio tra concentrazioni elevate e forme di contaminazione antropica.

Inoltre i campioni che presentano deposizione superficiale di Arsenico di intensità moderata (indice di arricchimento >1.3) ed elevata (indice di arricchimento >1.5) non presentano distribuzioni spaziali omogenee e/o correlazioni con la distribuzione spaziale delle classi omogenee (Figura 13).

I superamenti delle soglie di arricchimento sono quindi riconducibili in prevalenza a forme di contaminazione puntuale o a fenomeni di contaminazione diffusa a scala ridotta rispetto a quella rappresentata.

Il numero di valori outliers della concentrazione in mg/kg, che identificano campioni hot-spot con concentrazioni anomale rispetto alla popolazione campionaria, è molto ridotto in tutte le aree omogenee di concentrazione individuate.

La presenza di valori prossimi all'unità dei coefficienti di arricchimento, riscontrata in corrispondenza dei valori outliers della concentrazione, conferma l'assenza di correlazioni statisticamente significative tra concentrazioni elevate e forme di contaminazione puntuale e/o diffusa.

La bassa variabilità verticale riscontrata tra concentrazione degli orizzonti superficiali e profondi, la presenza di valori prossimi all'unità degli indici di arricchimento riscontrata in corrispondenza

delle aree critiche e dei valori outliers di concentrazione, e la distribuzione spaziale non omogenea degli indici di arricchimento, avvalorano nel loro insieme l'ipotesi relativa alla prevalente origine naturale dell'Arsenico, da attribuire a caratteristiche naturali del terreno e/o del substrato minerale dal quale si è originato ed evoluto.

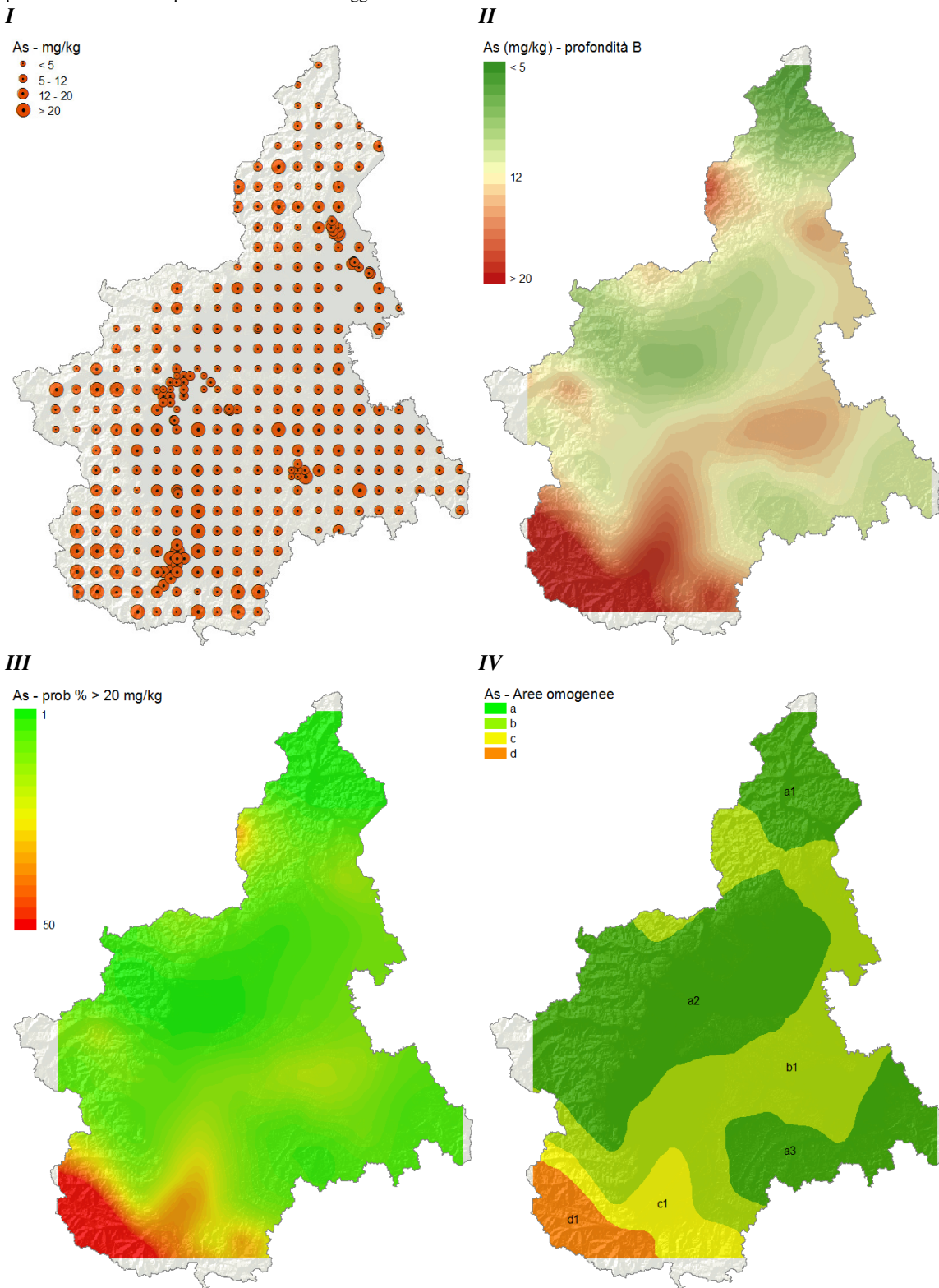
In particolare, le elevate concentrazioni riscontrate nelle aree del Cuneese (As_c1, As_d1), sono prevalentemente riferibili alla presenza di materiale parentale naturalmente ricco di Arsenico, che influenza i suoli che evolvono su di esse e/o sui depositi alluvionali dei corpi idrici che li attraversano.

Le ipotesi relative alla prevalente origine naturale dell'Arsenico derivano dall'analisi di una popolazione di dati statisticamente significativa a grande scala di dettaglio, non è quindi possibile escludere a priori la presenza di casi isolati di superamento dei limiti di legge e/o valori di fondo proposti, riconducibili a contaminazione puntuale di origine antropica.

Figura 11

Spazializzazione della concentrazione dell'Arsenico (As) nei suoli ⁽¹⁾ del territorio piemontese ed individuazione di aree omogenee di concentrazione. **I** – Stazioni di monitoraggio per classi di concentrazione in mg/kg. **II** – Stima della concentrazione in mg/kg.

III – Stima delle probabilità (%) di superamento dei limiti di legge⁽²⁾. **IV** – Aree omogenee di concentrazione (a, b, c) ed aree critiche (d) con probabilità elevate di superamento dei limiti di legge⁽²⁾.



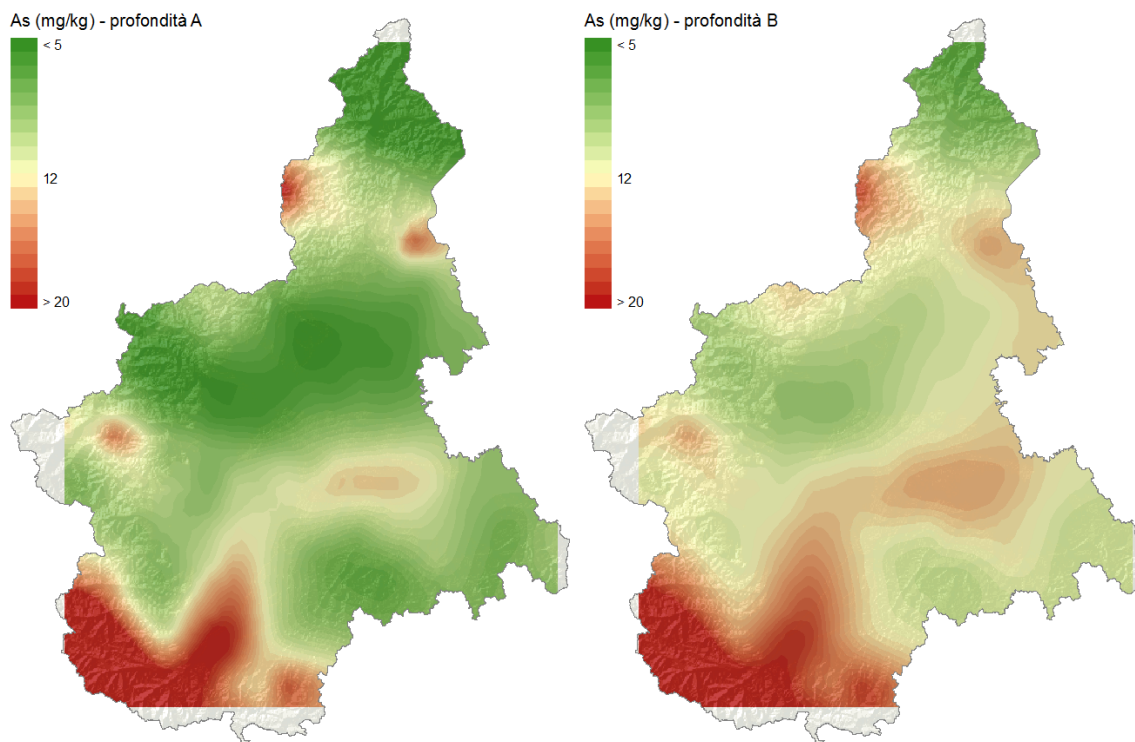
⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli.

⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 12

Distribuzione spaziale della concentrazione di Arsenico (As) nei suoli del territorio piemontese per profondità di campionamento A e B ⁽¹⁾.

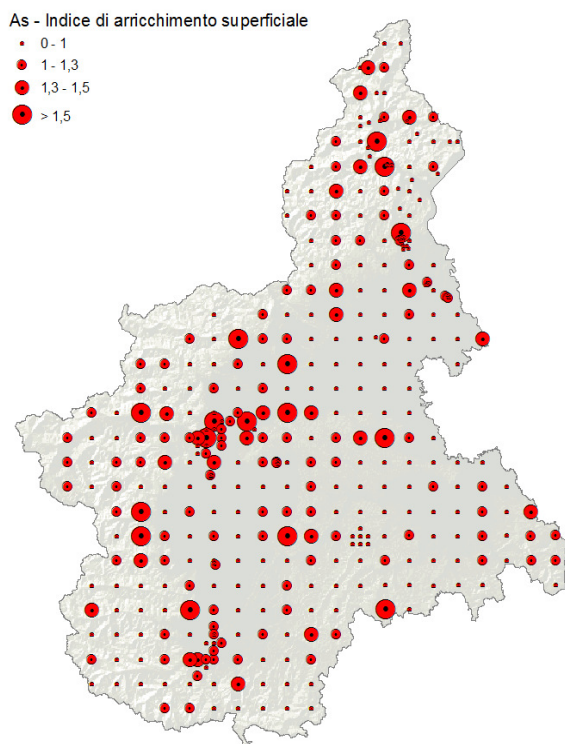


⁽¹⁾ Profondità A: 0-10 cm per suoli naturali e/o indisturbati e orizzonte Ap per suoli arati . Profondità B: 30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 13

Indice di arricchimento superficiale dell'Arsenico (As) per classi di deposizione superficiale ⁽¹⁾ nelle stazioni della Rete di monitoraggio ambientale dei suoli del Piemonte.



⁽¹⁾ Indice di arricchimento superficiale: < 0 - deposizione assente, da 1 a 1,3 - deposizione molto ridotta, da 1,3 a 1,5 - deposizione moderata, >1,5 - deposizione elevata.

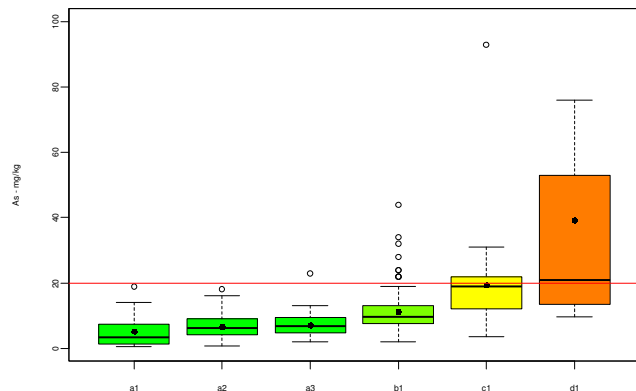
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 14

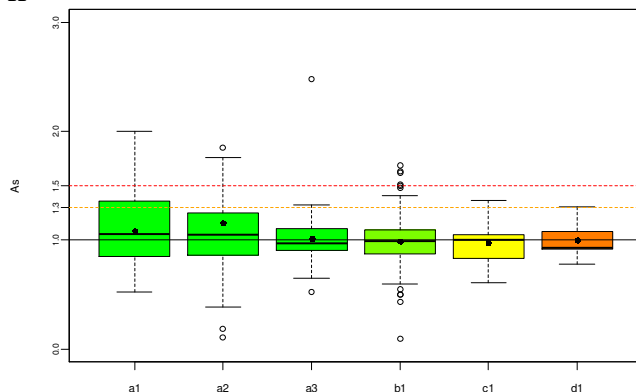
Confronto tra concentrazioni in mg/kg e indice di arricchimento superficiale dell'Arsenico (As) per classi omogenee di concentrazione nei suoli del territorio piemontese.

I - Box plot ⁽¹⁾ della concentrazione in mg/kg e limiti di legge ⁽²⁾ (linea orizzontale rossa). **II** - Box plot dell'indice di arricchimento superficiale e soglia relativa a contaminazione diffusa moderata (1,3 - linea orizzontale arancio) ed elevata (1,5 - linea orizzontale rossa). **III** - Scatterplot dell'indice di arricchimento superficiale e soglia relativa a contaminazione diffusa moderata (1,3 - linea orizzontale arancio) ed elevata (1,5 - linea orizzontale rossa).

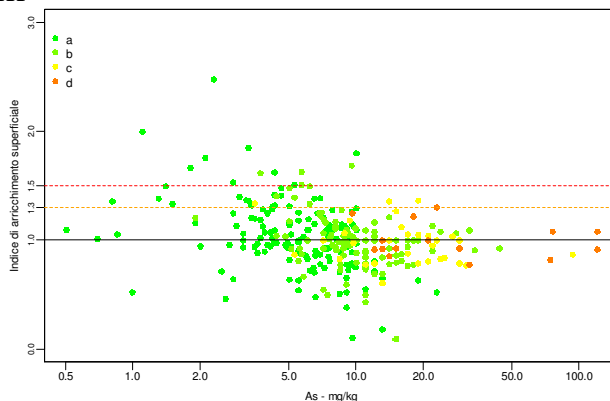
I



II



III



⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ($> Q3+1,5 \cdot IQR$), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Elaborazione dei dati per aree omogenee

Per l'Arsenico, la cui origine è attribuibile in prevalenza alla composizione chimica del materiale di partenza da cui il suolo ha avuto origine, le elaborazioni statistiche ed il calcolo dei valori di fondo (*contenuto di fondo di natura pedogeochimica o naturale del suolo*), sono stati effettuati utilizzando i campioni degli orizzonti B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

Al fine di evitare l'inclusione di campioni potenzialmente contaminati sono stati esclusi dalle elaborazioni campioni con valore del fattore di arricchimento superficiale superiore a 1,5, ed i valori outliers ($\geq Q3 + 3[Q3 - Q1]$) per i quali è stato verificato un evidente scostamento dalla direzione individuata dalle curve di distribuzione analizzate (densità della distribuzione, distribuzione cumulata di frequenza in percentili).

I valori di fondo sono stati calcolati in base a quanto stabilito dalla "Soil quality - Guidance on the determination of background values", descritta in dettaglio nel capitolo precedente.

La distribuzione dei dati che meglio approssima il campione (normale, log-normale, gamma, non parametrica) è stata valutata attraverso metodi grafici (istogrammi di frequenza, curve cumulative di frequenza e box plot) e test statistici (Shapiro - Wilk e Anderson - Darling).

In Figura 15 sono rappresentate le aree omogenee di concentrazione del Arsenico (As) per le quali vengono forniti parametri di statistica descrittiva di riferimento e i valori di fondo.

In Figura 16 sono rappresentati i box plot della concentrazione di Arsenico in mg/kg per aree omogenee di concentrazione, messi a confronto con i limite di legge (linea orizzontale rossa).

In Tabella 4 sono riportati, per aree omogenee di concentrazione, parametri di statistica descrittiva (media, mediana, deviazione standard - dev st, coefficiente di variazione - CV, valori minimi - min, valori massimi - max, 25° - 50° - 75° - 90° e 95° percentile, soglia outliers), valori di fondo, numero e percentuale di campioni che superano i limiti di legge. In rosso sono indicati i valori medi, mediani e percentili che superano il limite di legge.

Per ogni area omogenea di concentrazione sono inoltre rappresentati (da Figura 17 a Figura 22) l'istogramma della densità di distribuzione per classi di concentrazione, la curva di densità della distribuzione e la curva di distribuzione cumulata di frequenza in percentili, confrontati con il valore di fondo (linea tratteggiata nera) ed il limite di legge (linea continua rossa).

Dall'analisi delle elaborazioni spaziali e dei parametri statistici è possibile osservare una buona variabilità spaziale del contenuto di Arsenico nei suoli del territorio piemontese, con presenza di aree omogenee di superficie molto ampia, ben delimitate tra di loro e caratterizzate da concentrazioni e distribuzioni con differenze statisticamente significative.

Le aree omogenee di concentrazione sono state classificate dalla lettera "a" alla "d" (Tabella 18), in base alle probabilità crescenti di superamento del limite di 20 mg/kg, stabilito per l'Arsenico dal D.Lgs. 152/06 per i suoli ad uso verde pubblico, privato e residenziale (*Allegato 5 - Tabella 1 - colonna A*).

Le probabilità di superamento dei limi di legge variano da valori inferiori al 5% per la classe "a", con soglia outliers inferiore al limite di legge, a valori superiori al 50 % per la classe "d".

Le concentrazioni medie variano da valori minimi di 5 mg/kg per l'area omogenea di concentrazione As_a1, a valori massimi di 39 mg/kg per l'area As_d1.

La variabilità del dato, evidenziata dalla deviazione standard, dal coefficiente di variazione e dall'intervallo interquartile aumenta notevolmente in funzione dell'aumento della concentrazione media e mediana delle aree. L'aumento della variabilità è spiegabile in parte dalla diminuzione progressiva del numero di campioni analizzati, che a sua volta è legato alla superficie dell'area, ed in parte dalla presenza discontinua del materiale parentale (substrato geologico) con elevato contenuto di Arsenico.

Il numero di valori outliers con concentrazioni anomale rispetto alla popolazione campionaria, risulta molto ridotto in tutte le aree omogenee di concentrazione individuate.

I valori outliers ed i campioni con maggiore concentrazione delle aree As_a1, As_a2, As_a3 e As_b1, sono associati a coefficienti di arricchimento elevati, riconducibili a lievi forme di contaminazione puntuale.

I valori di fondo risultano leggermente inferiori al limite di legge per le aree As_a1, As_a2 e As_a3 (10 mg/kg) e As_b1 (18 mg/kg).

Le aree As_c1 e As_d1 presentano invece valori di fondo superiori al limite di legge (20 mg/kg) rispettivamente di 27 mg/kg e di 66 mg/kg.

I parametri statistici ed i valori di fondo calcolati per le aree omogenee di concentrazione As_a1, As_a2, As_a3 e As_b1 possono essere considerati attendibili e statisticamente significativi in quanto rappresentati da un numero elevato di campioni che presentano bassa variabilità del dato, se rapportata alla densità di campionamento, e distribuzioni della popolazione simmetriche, uniformi e continue.

Le aree omogenee di concentrazione As_c1 e As_d1, sono rappresentate da un numero basso di campioni, dovuto alle dimensioni relativamente ridotte delle aree, da una elevata variabilità (coefficiente di variazione, deviazione standard, intervallo interquartile) e da una distribuzione dei campioni asimmetrica (positiva - destra), irregolare e discontinua. I valori di fondo calcolati non possono quindi essere considerati statisticamente significativi e devono essere utilizzati unicamente a titolo indicativo.

Si sottolinea che è possibile utilizzare i dati elaborati della rete di monitoraggio dei suoli come studio pregresso per dimostrare che eventuali superamenti dei limiti di legge sono dovuti a caratteristiche naturali del terreno, esclusivamente per siti che ricadono nelle aree critiche As_c1 e As_d1, caratterizzati da valori di fondo ampiamente superiori ai limiti di legge.

In base a quanto sopra affermato l'ottenimento di dati significativi per le aree As_c1 e As_d1, è invece vincolato ad un ulteriore infittimento dei campionamenti su maglia sistematica, dimensionato in base ai risultati delle mappe di previsione dell'errore standard che individuano zone differenziate per qualità di predizione ed aree sottocampionate.

Le ipotesi relative alla prevalente origine naturale del Arsenico derivano dall'analisi di una popolazione di dati statisticamente significativa a grande scala di dettaglio; nelle aree critiche non è quindi possibile escludere a priori la presenza di casi di superamento dei limiti di legge e/o valori di fondo proposti, riconducibili a contaminazione puntuale di origine antropica.

Occorre inoltre considerare che le elevate concentrazioni riscontrate nelle aree critiche As_c1 e As_d1, caratterizzate da valori medi e valori di fondo superiori ai limiti di legge, possono "mascherare" forme di contaminazione da deposizione superficiale di Arsenico anche di intensità rilevante.

L'ottenimento di dati rappresentativi a scala di dettaglio comunale e/o locale, è sempre vincolato ad un ulteriore approfondimento con monitoraggio di maggiore dettaglio (vedi paragrafo - Raccomandazioni relative all'utilizzo dei dati).

Tabella 3Classificazione delle aree omogenee di concentrazione in base alle probabilità di superamento dei limiti di legge ⁽¹⁾

	Probabilità di superamento dei limiti di legge	Limite di legge
a	<5%	> Soglia outliers
b	5%-25 %	75° perc – Soglia outliers
c	25%-50%	50° perc – 75° perc
d	50%-75%	25° perc – 50° perc

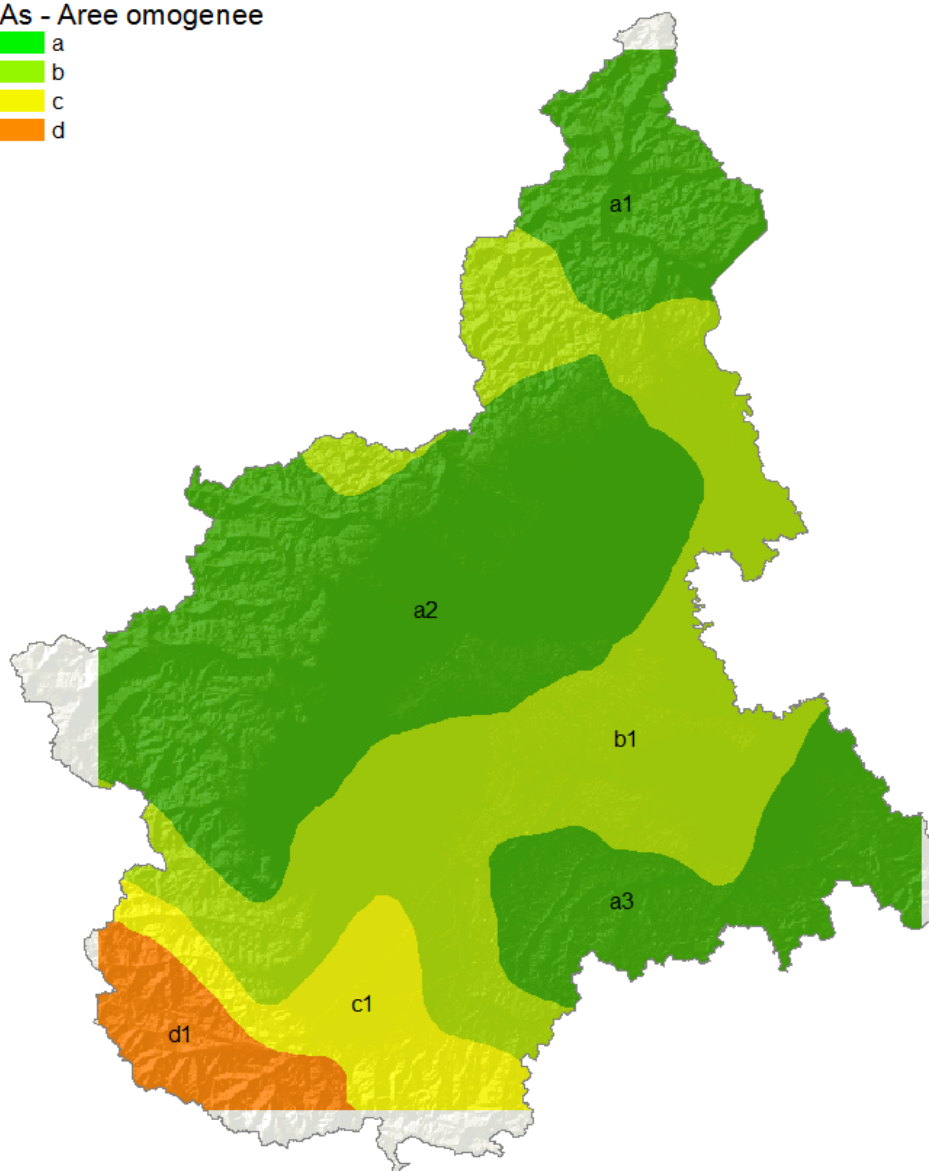
⁽¹⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 15

Aree omogenee di concentrazione (a1, a2, a3, b1, b2, c1) ed aree critiche con probabilità elevate di superamento dei limiti di legge (d1) ⁽¹⁾ per le quali sono stati elaborati i parametri statistici e calcolati i valori di fondo dell'Arsenico nei suoli ⁽²⁾ del territorio piemontese.

As - Aree omogenee

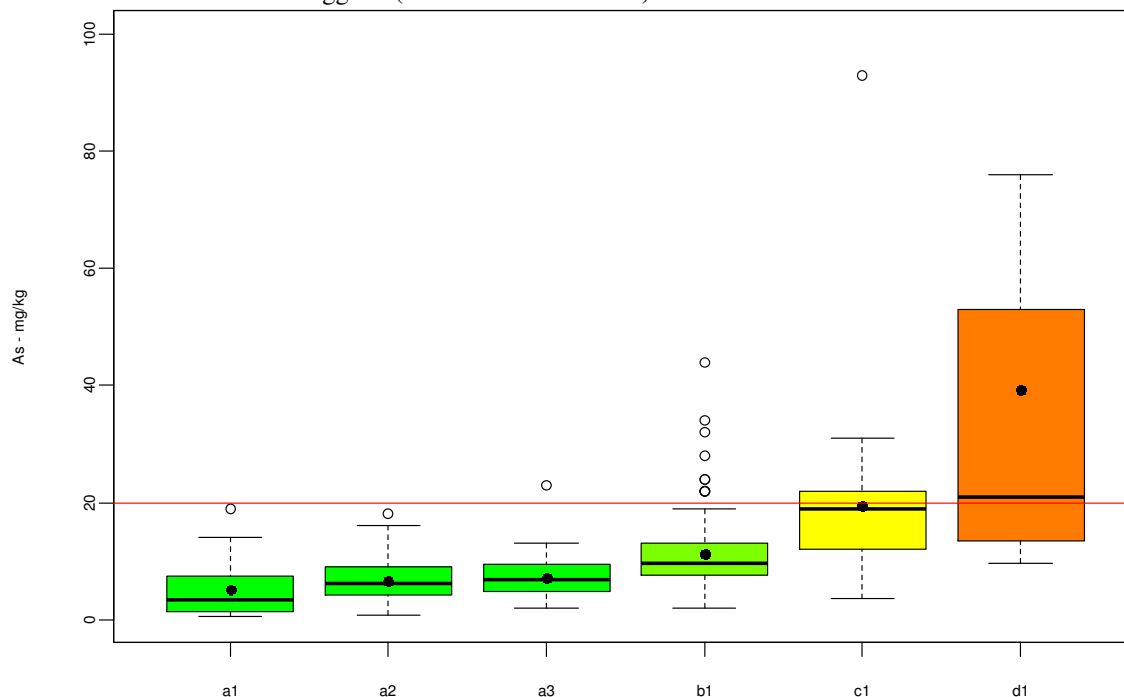
- a
- b
- c
- d



⁽¹⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale ⁽²⁾ Elaborazione degli orizzonti B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 16

Box plot ⁽¹⁾ della concentrazione di Arsenico (As) in mg/kg nei suoli ⁽²⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione e confronto con i limiti di legge ⁽³⁾ (linea orizzontale rossa).



⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (>Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽²⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli) ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Tabella 4

Statistica descrittiva, percentili, valori di fondo ⁽¹⁾, confronto con i limiti di legge (20 mg/kg) ⁽²⁾ e conteggio di campioni analizzati dell'Arsenico (As) nei suoli ⁽³⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione.

Aree omogenee		As_a1	As_a2	As_a3	As_b1	As_c1	As_d1
Media	mg/kg	5	7	7	11	20	39
Mediana	mg/kg	3	6	7	10	19	21
Dev. St	mg/kg	5	3	4	6	15	39
CV	-	0,9	0,5	0,5	0,6	0,8	1,0
Min	mg/kg	1	1	2	2	4	10
Max	mg/kg	19	18	23	44	93	120
25° percentile (Q1)	mg/kg	2	4	5	8	12	14
50° percentile	mg/kg	3	6	7	10	19	21
75° percentile (Q3)	mg/kg	7	9	10	13	22	53
90° percentile	mg/kg	11	11	10	17	29	102
95° percentile	mg/kg	14	13	11	22	30	120
Soglia outliers \geq ⁽⁵⁾	mg/kg	16	16	17	21	37	112
Numero outliers	n	1	1	1	9	1	2
Valore di fondo ⁽¹⁾	mg/kg	10	10	10	15	27 ⁽⁴⁾	66 ⁽⁴⁾
Campioni	n	22	104	37	117	33	15
> Limite di legge ⁽²⁾	n	0	0	1	9	13	8
	%	0	0	3	8	39	53

⁽¹⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽²⁾ Limiti di legge D.Lgs. 152/06 per per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽³⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽⁴⁾ Numero di dati insufficiente per una corretta definizione dei valori di fondo. Occorre un ulteriore infittimento dei campionamenti. ⁽⁵⁾ =Q3+1,5*IQR, IQR=Q3-Q1.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

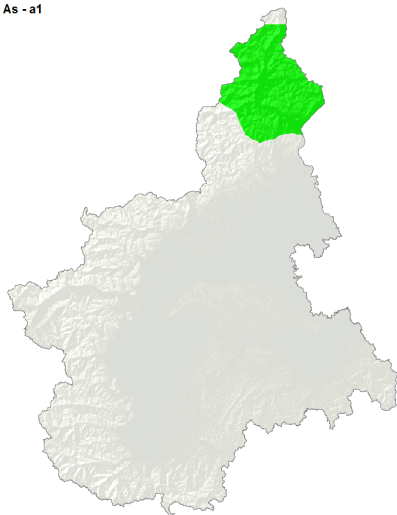
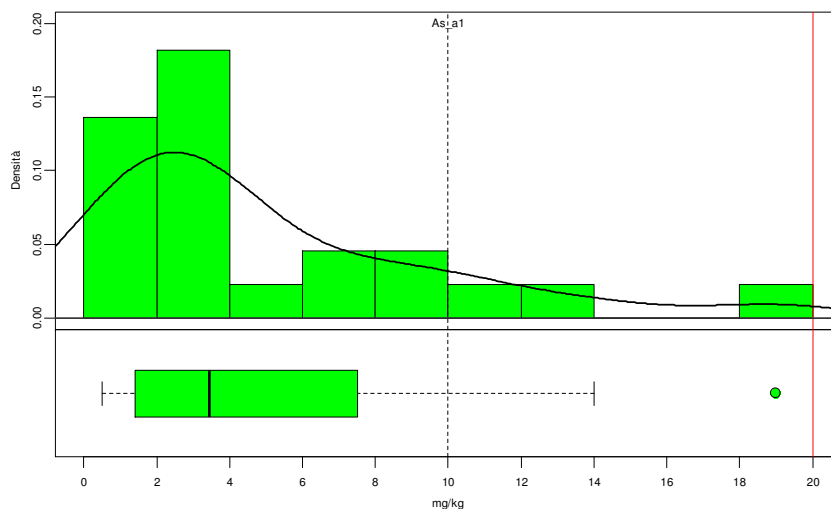
Figura 17

Parametri statistici del Arsenico (As) ⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione As_a1 e confronto con valori di fondo ⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge ⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot ⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot ⁽⁴⁾.

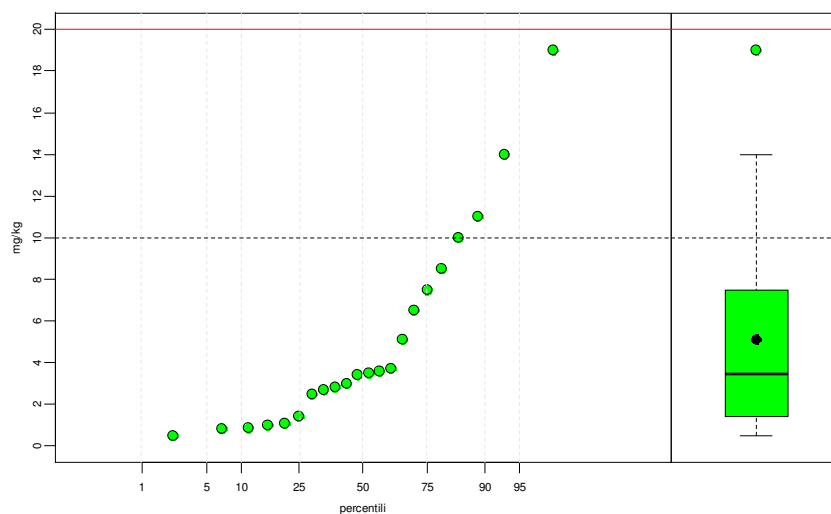
I

As - a1

**II****III**

Aree omogenee

	mg/kg	As_a1
Media	5	
Mediana	3	
Dev. St	5	
CV	0,9	
Min	1	
Max	19	
25° percentile (Q1)	2	
50° percentile	3	
75° percentile (Q3)	7	
90° percentile	11	
95° percentile	14	
Soglia outliers ⁽⁵⁾	16	
Numero outliers	1	
Valore di fondo ⁽²⁾	10	
Campioni	n	
> Limite di legge ⁽³⁾	n	22
	%	0

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

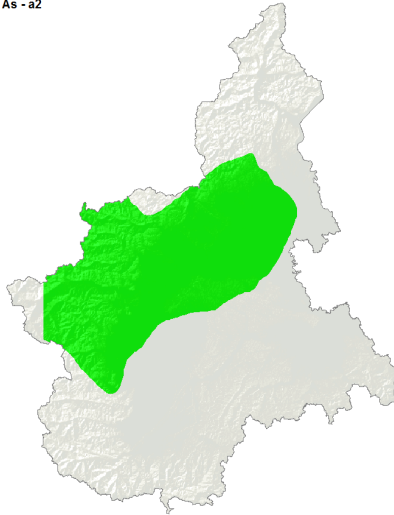
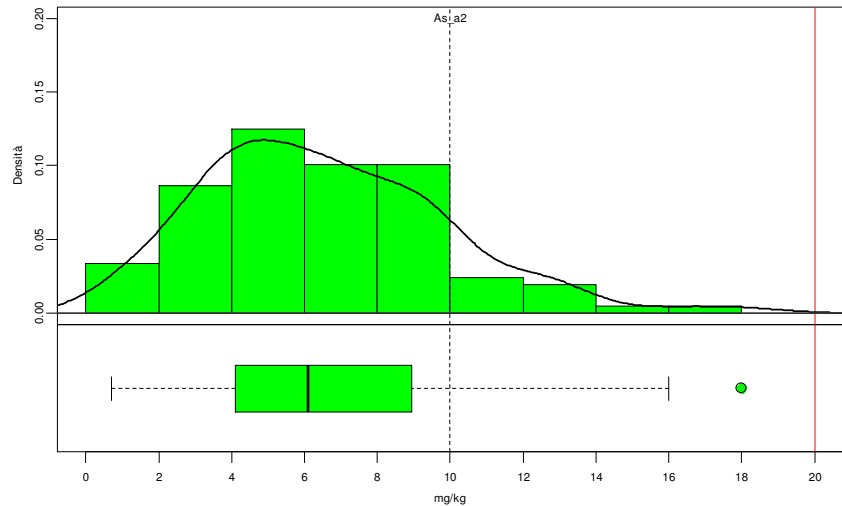
Figura 18

Parametri statistici del Arsenico (As) ⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione As_a2 e confronto con valori di fondo ⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge ⁽³⁾ (linea continua rossa).

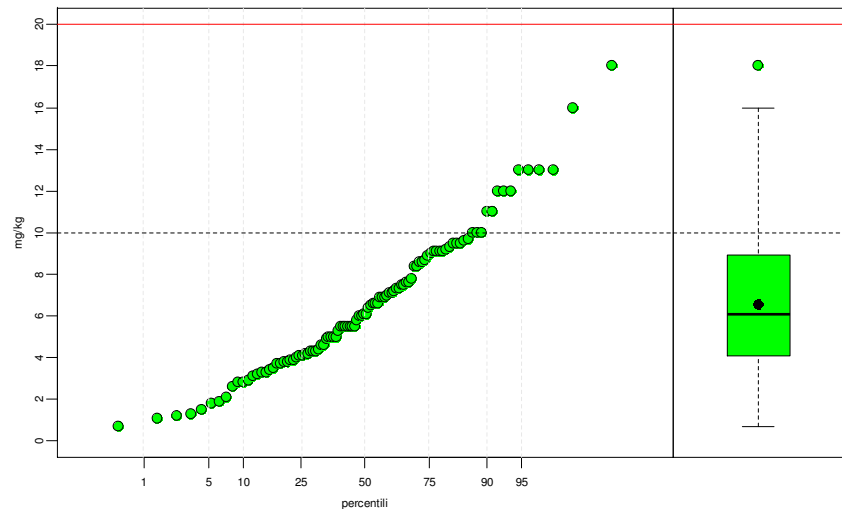
I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot ⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot ⁽⁴⁾.

I

As - a2

**II****III**

Aree omogenee		As_a2
Media	mg/kg	7
Mediana	mg/kg	6
Dev. St	mg/kg	3
CV	-	0,5
Min	mg/kg	1
Max	mg/kg	18
25° percentile (Q1)	mg/kg	4
50° percentile	mg/kg	6
75° percentile (Q3)	mg/kg	9
90° percentile	mg/kg	11
95° percentile	mg/kg	13
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	16
Numero outliers	n	1
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	10
Campioni	n	104
> Limite di legge ⁽³⁾	%	0

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

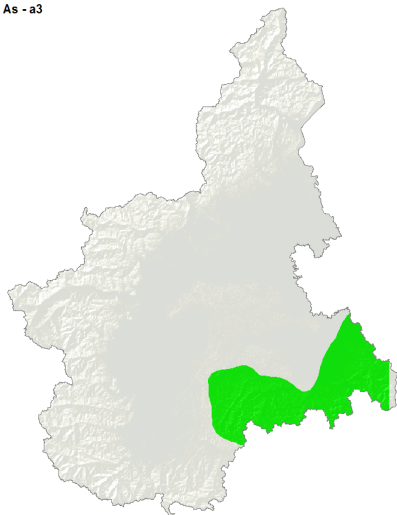
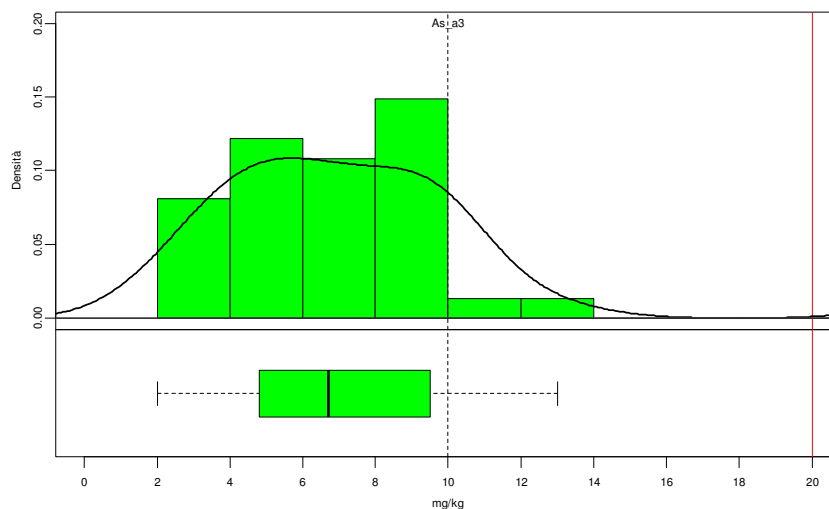
Figura 19

Parametri statistici del Arsenico (As) ⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione As_a3 e confronto con valori di fondo ⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge ⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot ⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot ⁽⁴⁾.

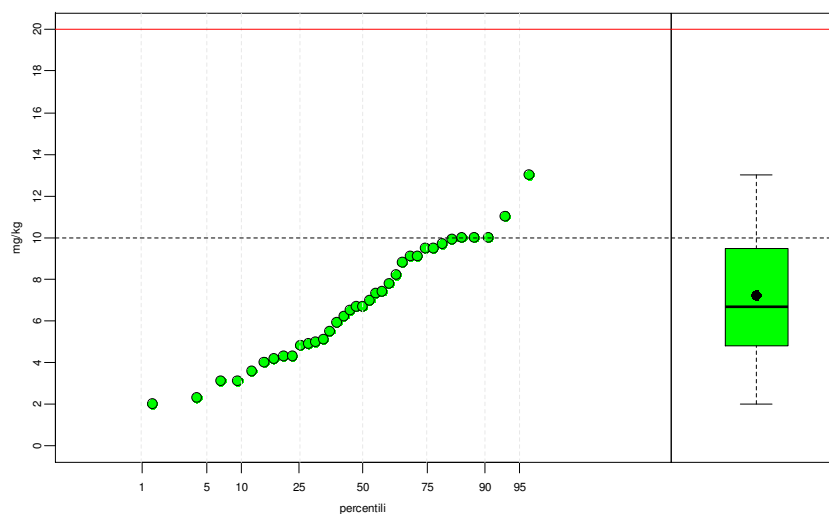
I

As - a3

**II****III**

Aree omogenee

	mg/kg	As_a3
Media	7	
Mediana	7	
Dev. St	4	
CV	0,5	
Min	2	
Max	23	
25° percentile (Q1)	5	
50° percentile	7	
75° percentile (Q3)	10	
90° percentile	10	
95° percentile	11	
Soglia outliers ⁽⁵⁾	17	
Numero outliers	1	
Valore di fondo ⁽²⁾	10	
Campioni	n	37
> Limite di legge ⁽³⁾	n	1
	%	1

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

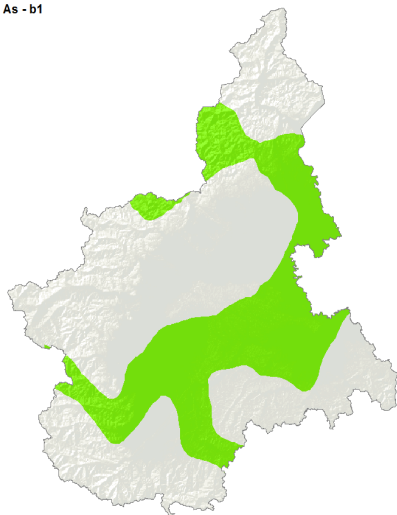
Figura 20

Parametri statistici del Arsenico (As) ⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione As_b1 e confronto con valori di fondo ⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge ⁽³⁾ (linea continua rossa).

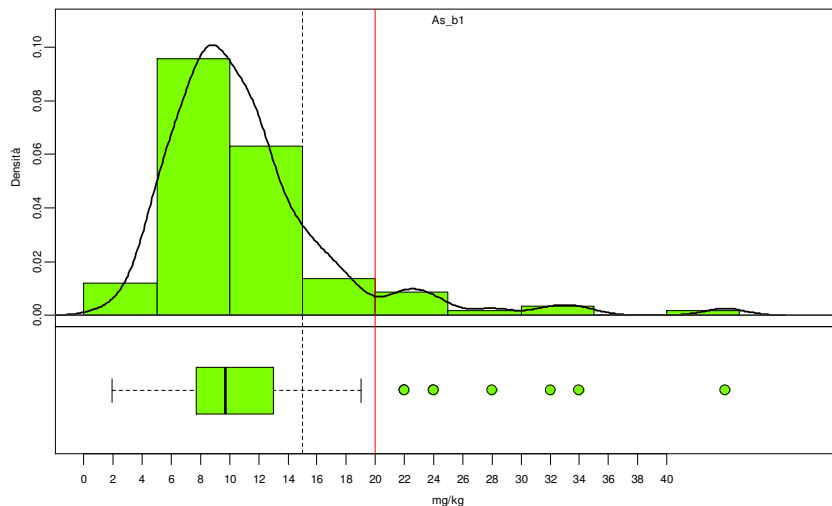
I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot ⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot ⁽⁴⁾.

I

As - b1



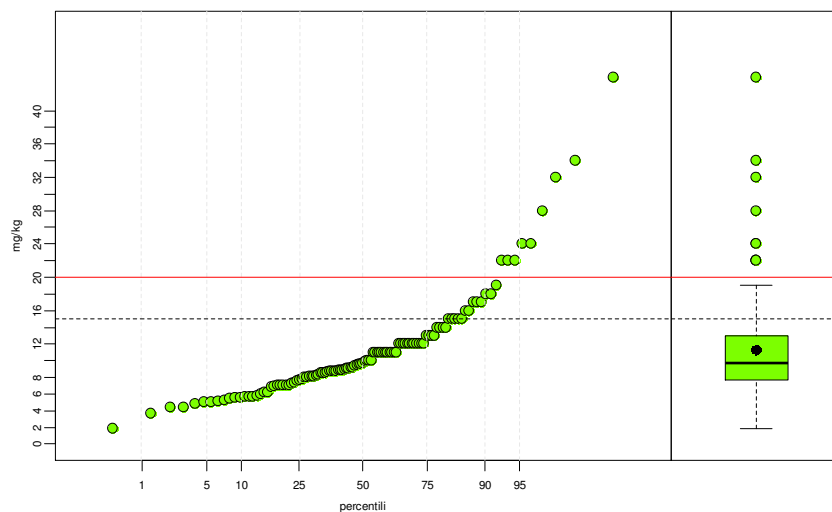
II



III

Aree omogenee		As_b1
Media	mg/kg	11
Mediana	mg/kg	10
Dev. St	mg/kg	6
CV	-	0,6
Min	mg/kg	2
Max	mg/kg	44
25° percentile (Q1)	mg/kg	8
50° percentile	mg/kg	10
75° percentile (Q3)	mg/kg	13
90° percentile	mg/kg	17
95° percentile	mg/kg	22
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	21
Numero outliers	n	9
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	15
Campioni	n	117
> Limite di legge ⁽³⁾	n	9
	%	9

IV



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

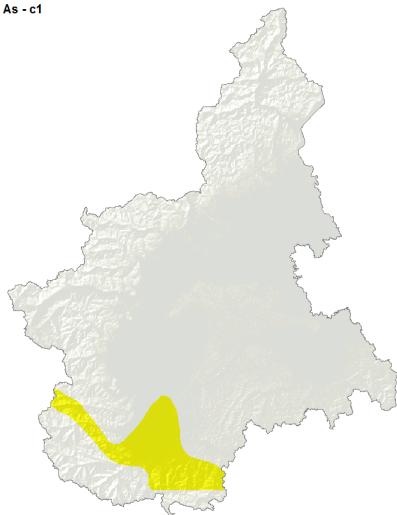
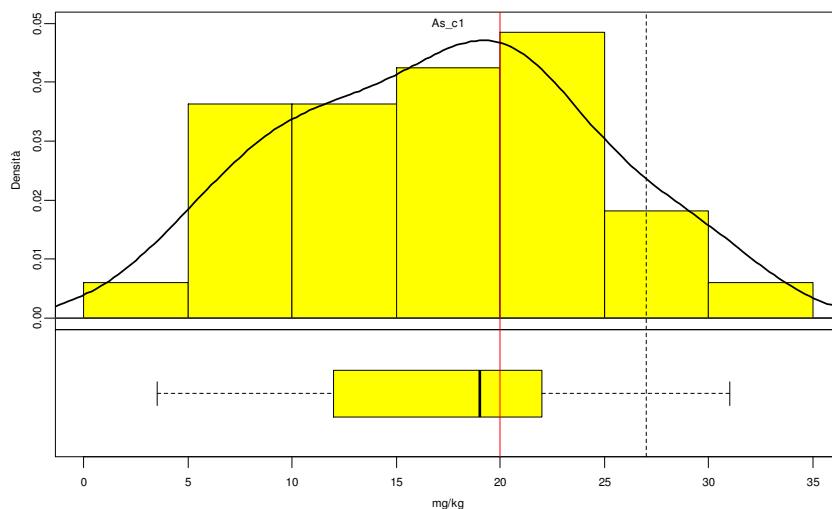
Figura 21

Parametri statistici del Arsenico (As) ⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione As_c1 e confronto con valori di fondo ⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge ⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot ⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot ⁽⁴⁾.

I

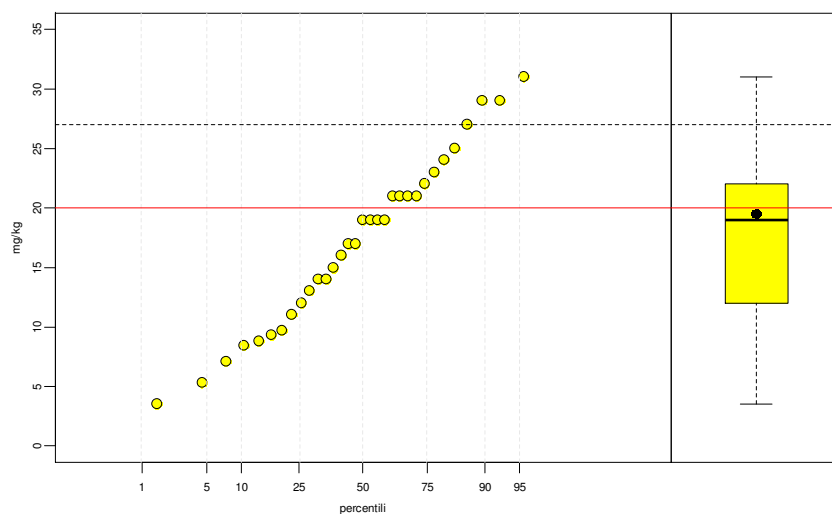
As - c1

**II****III**

Aree omogenee

As_c1

Media	mg/kg	20
Mediana	mg/kg	19
Dev. St	mg/kg	15
CV	-	0,8
Min	mg/kg	4
Max	mg/kg	93
25° percentile (Q1)	mg/kg	12
50° percentile	mg/kg	19
75° percentile (Q3)	mg/kg	22
90° percentile	mg/kg	29
95° percentile	mg/kg	30
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	37
Numero outliers	n	1
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	27 ⁽⁴⁾
Campioni	n	
> Limite di legge ⁽³⁾	n	33
	%	13

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

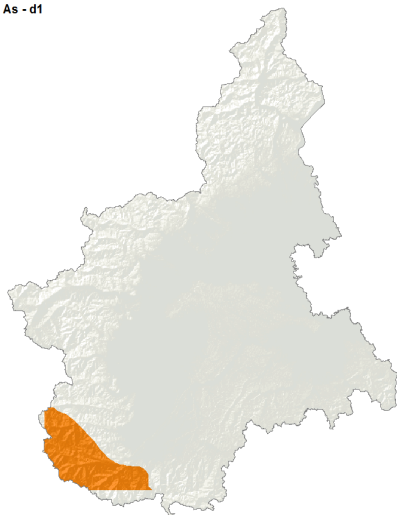
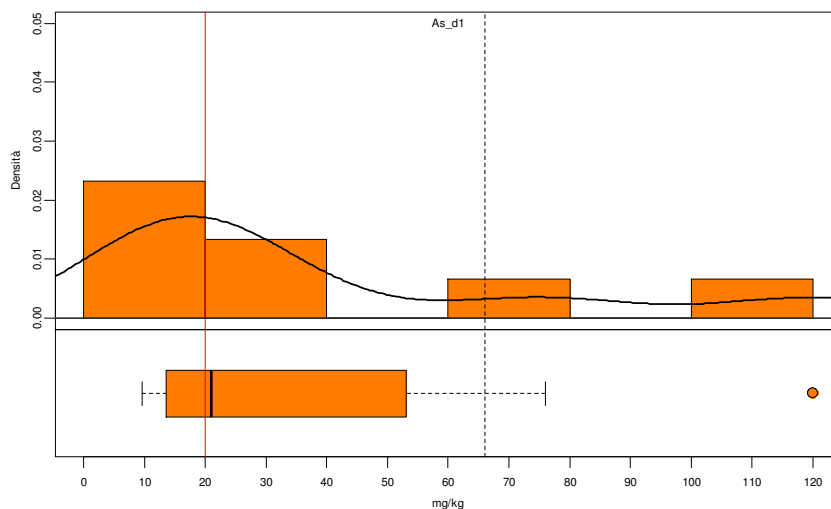
Figura 22

Parametri statistici del Arsenico (As) ⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione As_d1 e confronto con valori di fondo ⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge ⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot ⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot ⁽⁴⁾.

I

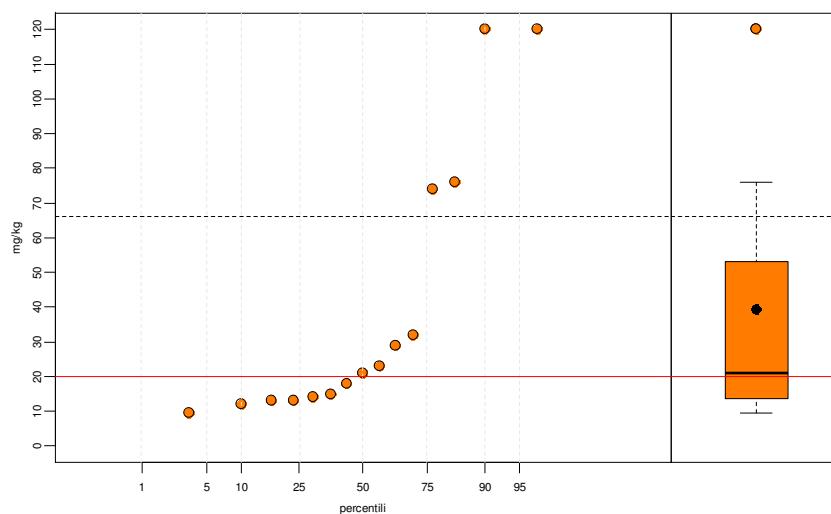
As - d1

**II****III**

Aree omogenee

As_d1

Media	mg/kg	39
Mediana	mg/kg	21
Dev. St	mg/kg	39
CV	-	1,0
Min	mg/kg	10
Max	mg/kg	120
25° percentile (Q1)	mg/kg	14
50° percentile	mg/kg	21
75° percentile (Q3)	mg/kg	53
90° percentile	mg/kg	102
95° percentile	mg/kg	120
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	112
Numero outliers	n	2
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	66 ⁽⁴⁾
Campioni	n	15
> Limite di legge ⁽³⁾	n	8
	%	8

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Berillio

Valutazione di presenza, origine ed intensità della contaminazione diffusa

Per le elaborazioni del Berillio (Be) di seguito proposte sono stati utilizzati i dati relativi ad un totale di 345 stazioni di monitoraggio, uniformemente distribuite in tutto il territorio piemontese su maglia sistematica (9x9 km e 3x3 km) (Figura 23 – I).

Il consistente numero di stazioni di monitoraggio analizzate permette di ottenere, attraverso l'utilizzo di modelli predittivi geostatistici, rappresentazioni spaziali della concentrazione attendibili ad una scala di dettaglio indicativa pari a 1:250.000.

L'interpretazione congiunta dei risultati relativi alla stima della concentrazione in mg/kg (Figura 23- II) e della stima delle probabilità percentuale di superamento dei limiti di legge (Figura 23- III) ha permesso l'individuazione di aree omogenee di concentrazione su tutto il territorio piemontese (Figura 23 - IV), di dimensioni significative rispetto alla densità di campionamento ed alla scala di rappresentazione..

La rappresentatività statistica delle popolazioni di dati appartenenti alle singole aree omogenee di concentrazione è stata verificata attraverso confronto con test statistici (t-test per campioni indipendenti) e metodi di confronto grafici (curve della densità di distribuzione, Box plot, Curve di distribuzione cumulata di frequenza).

Tutte le aree omogenee di concentrazione presentano probabilità di superamento del limite di 2 mg/kg, stabilito dal D.Lgs. 152/06 per i suoli ad uso verde pubblico, privato e residenziale (*Allegato 5 - Tabella 1 - colonna A*), comprese tra il 5 ed il 25 %.

Le valutazioni relative a presenza, origine e intensità della contaminazione sono state effettuate attraverso l'utilizzo combinato di elaborazioni statistiche, geostatistiche e calcolo di specifici indici di arricchimento.

I risultati dei modelli predittivi geostatistici (Figura 23- III, Figura 24) mostrano per il Berillio la presenza di ampie superfici caratterizzate da concentrazioni basse e probabilità poco elevate di superamento dei limiti di legge.

I risultati dei modelli predittivi geostatistici mostrano la presenza di aree omogenee di concentrazione molto ampie con distribuzione spaziale della concentrazione simile sia in corrispondenza degli orizzonti superficiali (profondità A) che di quelli profondi (profondità B).

La bassa variabilità verticale riscontrata tra concentrazione degli orizzonti superficiali e quella di quelli più profondi indica per il Berillio assenza di fenomeni rilevanti di deposizione superficiale da contaminazione diffusa per tutte le aree omogenee di concentrazione individuate.

La distribuzione degli indici di arricchimento superficiale riscontrata nelle aree omogenee Be_b1 e Be_b2, con valori medi e mediani prossimi all'unità (Figura 26 - II) e concentrazioni abbondantemente al disotto dei limiti di legge, esclude ipotesi relative alla presenza di correlazioni a grande scala di dettaglio tra concentrazioni elevate e forme di contaminazione antropica diffusa.

L'area omogenea Be_b3 presenta valori degli indici di arricchimento superficiale e delle concentrazioni leggermente più elevati, da attribuire a presenza di contaminazione antropica diffusa di lieve entità e non associata a concentrazioni elevate.

Inoltre i campioni che presentano deposizione superficiale di intensità moderata (indice di arricchimento >1.3) ed elevata (indice di arricchimento >1.5) non presentano distribuzioni spaziali omogenee e/o correlazioni con la distribuzione spaziale delle classi omogenee (

Figura 25).

I superamenti osservati relativi alle soglie di arricchimento sono quindi riconducibili a forme di contaminazione puntuale o a fenomeni di contaminazione diffusa a scala ridotta rispetto a quella rilevata.

Il numero di valori outliers della concentrazione in mg/kg, che identificano campioni hot-spot con concentrazioni anomale rispetto alla popolazione campionaria, è molto ridotto in tutte le aree omogenee di concentrazione individuate.

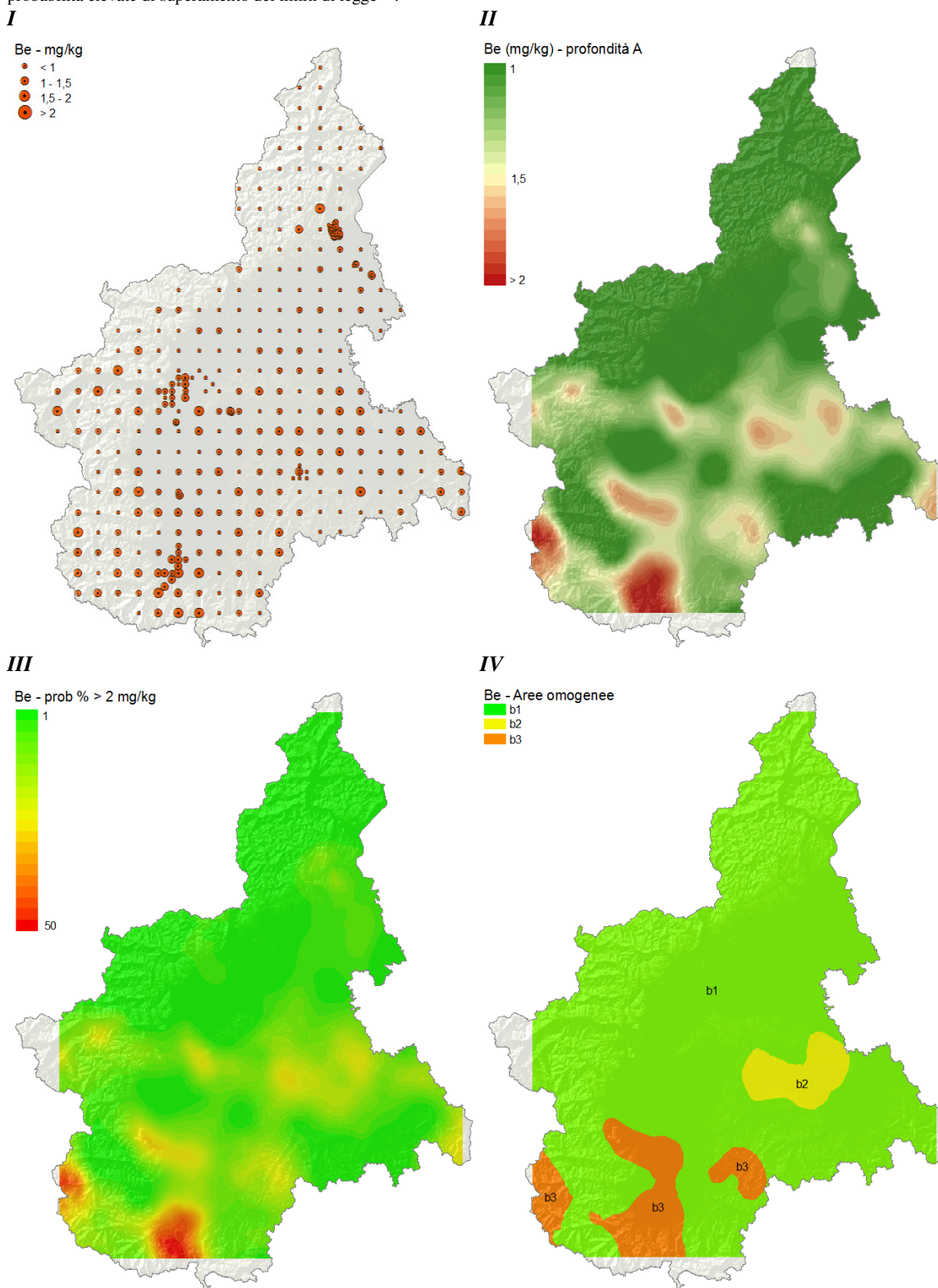
La presenza di valori prossimi all'unità dei coefficienti di arricchimento riscontrata in corrispondenza dei valori outliers di concentrazione, conferma l'assenza di correlazioni statisticamente significative tra concentrazioni elevate e forme di contaminazione puntuale.

La bassa variabilità verticale riscontrata tra concentrazione degli orizzonti superficiali e profondi, la presenza di valori medi e mediani prossimi all'unità degli indici di arricchimento con distribuzione spaziale non omogenea e non correlata alla distribuzione delle aree omogenee, avvalorano nel loro insieme l'ipotesi relativa alla prevalente origine naturale del Berillio, da attribuire a livelli di concentrazione del substrato litologico parentale dal quale si è evoluto.

Le ipotesi relative alla prevalente origine naturale del Berillio derivano dall'analisi di una popolazione di dati statisticamente significativa a grande scala di dettaglio, non è quindi possibile escludere a priori la presenza di casi isolati di superamento dei limiti di legge e/o valori di fondo proposti, riconducibili a contaminazione puntuale di origine antropica.

Figura 23

Spazializzazione della concentrazione di Berillio (Be) nei suoli ⁽¹⁾ del territorio piemontese ed individuazione di aree omogenee di concentrazione. **I** – Stazioni di monitoraggio per classi di concentrazione in mg/kg. **II** – Stima della concentrazione in mg/kg. **III** – Stima delle probabilità (%) di superamento dei limiti di legge⁽²⁾. **IV** – Aree omogenee di concentrazione (a, b, c) ed aree critiche (d, e) con probabilità elevate di superamento dei limiti di legge⁽²⁾.



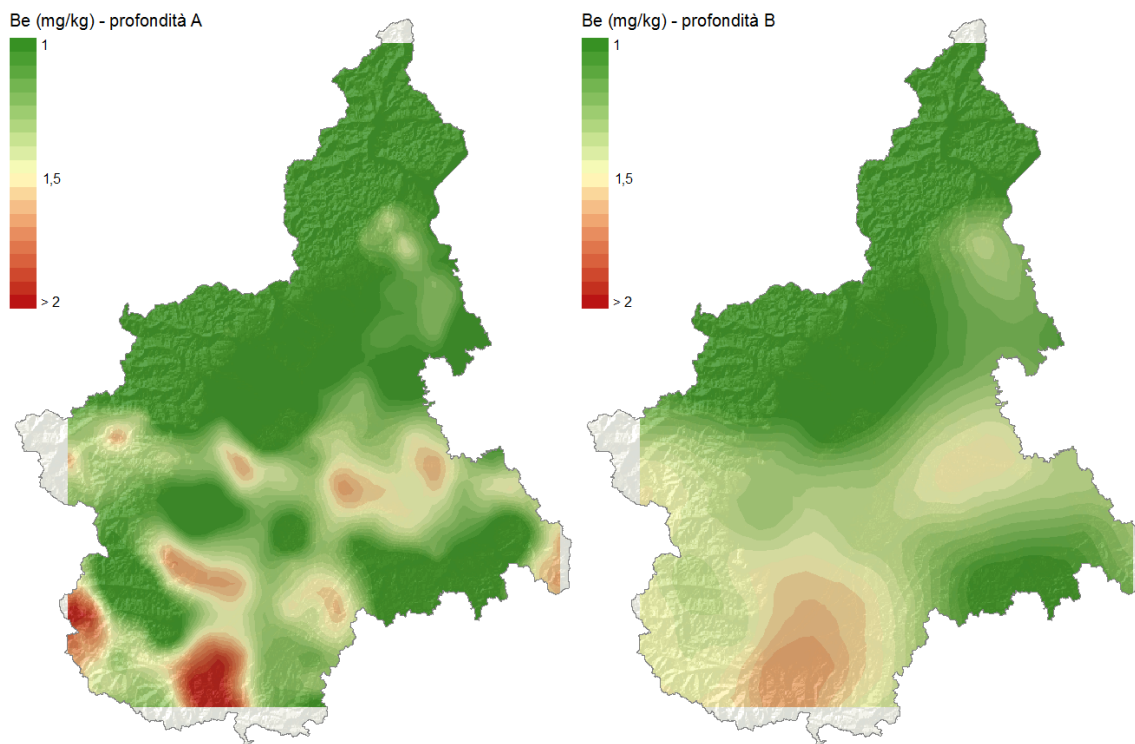
⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 24

Distribuzione spaziale della concentrazione di Berillio (Be) nei suoli del territorio piemontese per profondità di campionamento A e B ⁽¹⁾.

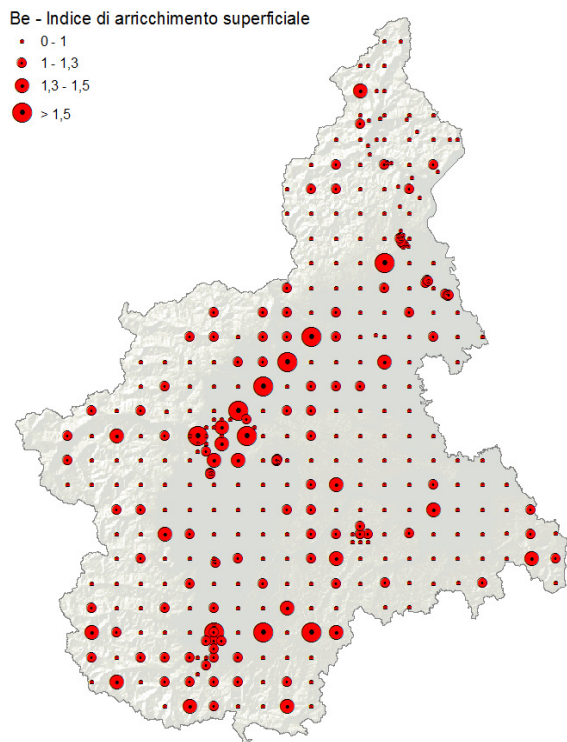


⁽¹⁾ Profondità A: 0-10 cm per suoli naturali e/o indisturbati e orizzonte Ap per suoli arati . Profondità B: 30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 25

Indice di arricchimento superficiale del Berillio (Be) per classi di deposizione superficiale ⁽¹⁾ nelle stazioni della Rete di monitoraggio ambientale dei suoli del Piemonte.



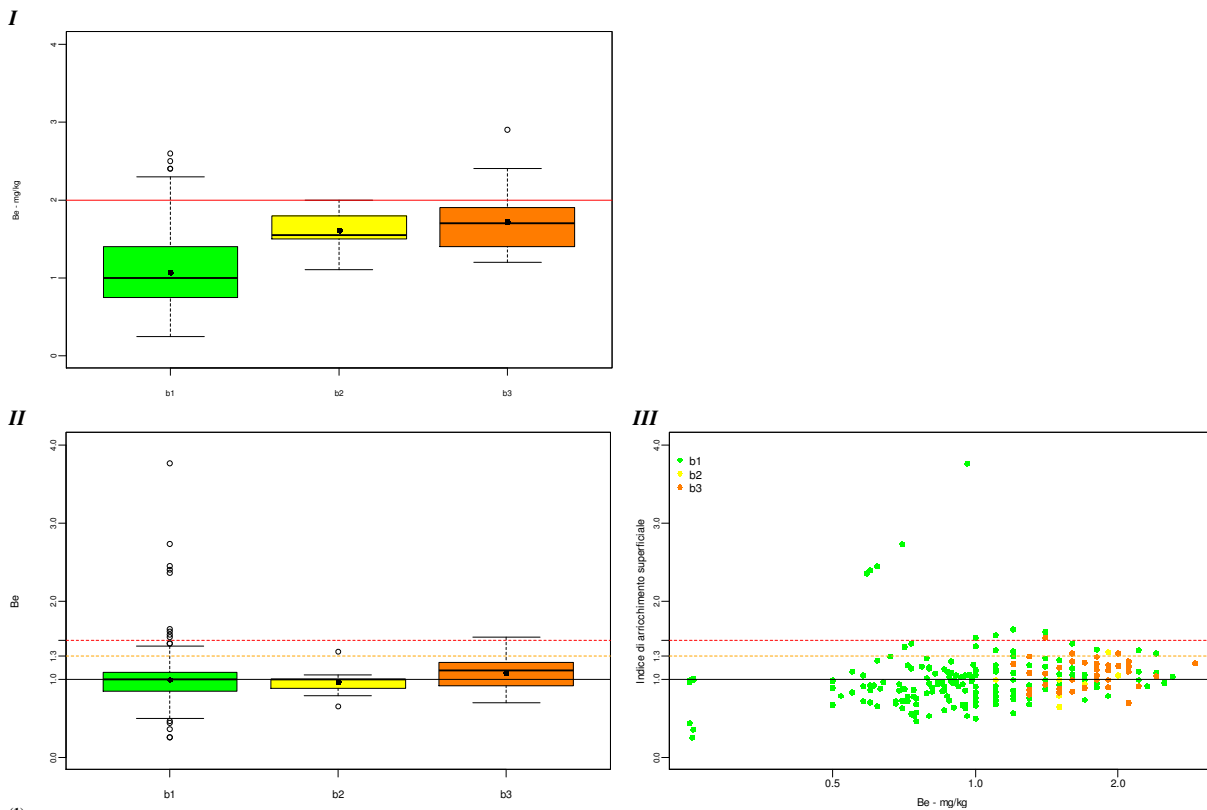
⁽¹⁾ Indice di arricchimento superficiale: < 0 - deposizione assente, da 1 a 1,3 - deposizione molto ridotta, da 1,3 a 1,5 - deposizione moderata, >1,5 - deposizione elevata.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 26

Confronto tra concentrazioni in mg/kg e indice di arricchimento superficiale del Berillio (Be) per classi omogenee di concentrazione nei suoli del territorio piemontese.

I - Box plot ⁽¹⁾ della concentrazione in mg/kg e limiti di legge ⁽²⁾ (linea orizzontale rossa). **II** - Box plot dell'indice di arricchimento superficiale e soglia relativa a contaminazione diffusa moderata (1,3 - linea orizzontale arancio) ed elevata (1,5 - linea orizzontale rossa). **III** - Scatterplot dell'indice di arricchimento superficiale e soglia relativa a contaminazione diffusa moderata (1,3 - linea orizzontale arancio) ed elevata (1,5 - linea orizzontale rossa).



⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ($> Q3+1,5*IQR$), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Elaborazione dei dati per aree omogenee

Per il Berillio, la cui origine è attribuibile in prevalenza alla composizione chimica del materiale di partenza da cui il suolo ha avuto origine, le elaborazioni statistiche ed il calcolo dei valori di fondo (*contenuto di fondo di natura pedogeochimica o naturale del suolo*), sono stati effettuati utilizzando i campioni degli orizzonti B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

Al fine di evitare l'inclusione di campioni potenzialmente contaminati sono stati esclusi dalle elaborazioni campioni con valore del fattore di arricchimento superficiale superiore a 1,5, ed i valori outliers ($\geq Q3 + 3[Q3 - Q1]$) per i quali è stato verificato un evidente scostamento dalla direzione individuata dalle curve di distribuzione analizzate (densità della distribuzione, distribuzione cumulata di frequenza in percentili).

I valori di fondo sono stati calcolati in base a quanto stabilito dalla "Soil quality - Guidance on the determination of background values", descritta in dettaglio nel capitolo precedente.

La distribuzione dei dati che meglio approssima il campione (normale, log-normale, gamma, non parametrica) è stata valutata attraverso metodi grafici (istogrammi di frequenza, curve cumulative di frequenza e box plot) e test statistici (Shapiro - Wilk e Anderson - Darling).

In Figura 27 sono rappresentate le tre aree omogenee di concentrazione del Berillio (Be) per le quali vengono forniti parametri di statistica descrittiva di riferimento e calcolati i valori di fondo.

In Figura 28 sono rappresentati i box plot della concentrazione di Berillio in mg/kg per aree omogenee di concentrazione, messi a confronto con i limite di legge (linea orizzontale rossa).

In Tabella 5 sono riportati, per aree omogenee di concentrazione, parametri di statistica descrittiva (media, mediana, deviazione standard - dev st, coefficiente di variazione - CV, valori minimi - min, valori massimi - max, 25° - 50° - 75° - 90° e 95° percentile, soglia outliers), valori di fondo, numero e percentuale di campioni che superano i limiti di legge. In rosso sono indicati i valori medi, mediani e percentili che superano il limite di legge.

Per ogni area omogenea di concentrazione sono inoltre rappresentati (da Figura 29 a Figura 31) l'istogramma della densità di distribuzione per classi di concentrazione, la curva di densità della distribuzione e la curva di distribuzione cumulata di frequenza in percentili, confrontati con il valore di fondo (linea tratteggiata nera) ed il limite di legge (linea continua rossa).

Dall'analisi delle elaborazioni spaziali e dei parametri statistici è possibile osservare una variabilità spaziale ridotta del contenuto di Berillio nella maggior parte del territorio piemontese, con presenza di un'area omogenea di concentrazione (Be_b1) di superficie molto ampia e ben delimitata nello spazio, e aree omogenee frammentate di dimensioni ridotte.

Le concentrazioni medie variano da valori minimi di 1 mg/kg per l'area omogenea di concentrazione Be_b1, a valori massimi di 1,73 mg/kg per l'area Be_b3.

La variabilità del dato, evidenziata dalla deviazione standard, dal coefficiente di variazione e dall'intervallo interquartile è ridotta per tutte le aree omogenee di concentrazione individuate. Per tutte le aree inoltre il numero di valori outliers con concentrazioni anomale rispetto alla popolazione campionaria è molto ridotto.

I valori di fondo risultano inferiori al limite di legge per le aree Be_b1 (1,61 mg/kg) e Be_b2 (1,91 mg/kg), e leggermente superiori per l'area Be_b3 (2,1 mg/kg).

I parametri statistici ed i valori di fondo calcolati per l'area omogenea Be_b1 possono essere considerati attendibili e statisticamente significativi in quanto rappresentati da un numero elevato di campioni caratterizzato da bassa variabilità del dato, se rapportata alla densità di campionamento, e/o distribuzioni della popolazione simmetriche, uniformi e continue.

Per le aree Be_b2 e Be_b3 il numero di dati elaborati risulta basso a causa della superficie ridotta; nonostante questo i dati possono essere considerati attendibili in quanto caratterizzati da bassa variabilità del dato e distribuzioni della popolazione simmetriche, uniformi e continue.

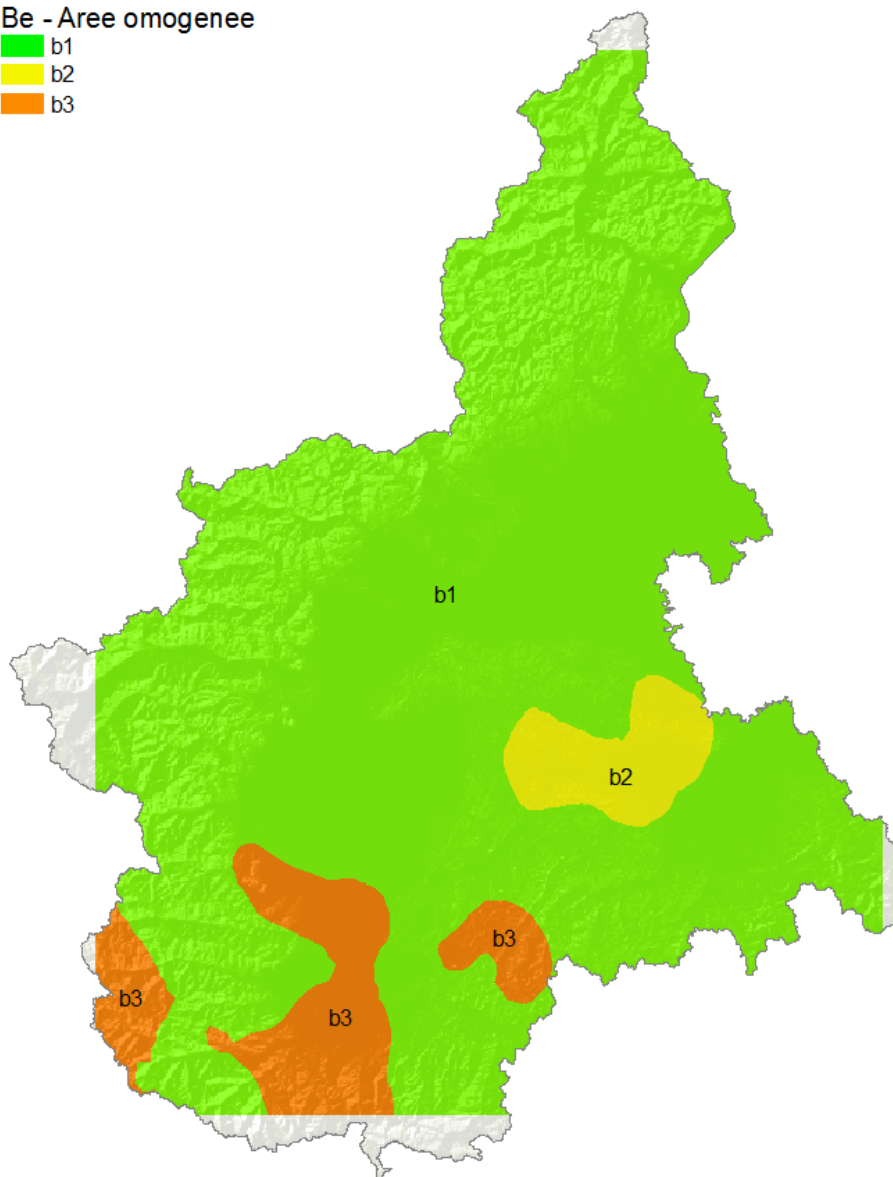
L'ottenimento di dati rappresentativi a scala di dettaglio comunale e/o locale, è sempre vincolato ad un ulteriore approfondimento con monitoraggio di maggiore dettaglio (vedi paragrafo - Raccomandazioni relative all'utilizzo dei dati).

Figura 27

Aree omogenee di concentrazione (a1, a2, b1, b2) per le quali sono stati elaborati i parametri statistici e calcolati i valori di fondo della concentrazione del Berillio (Be) nei suoli ⁽¹⁾ del territorio piemontese.

Be - Aree omogenee

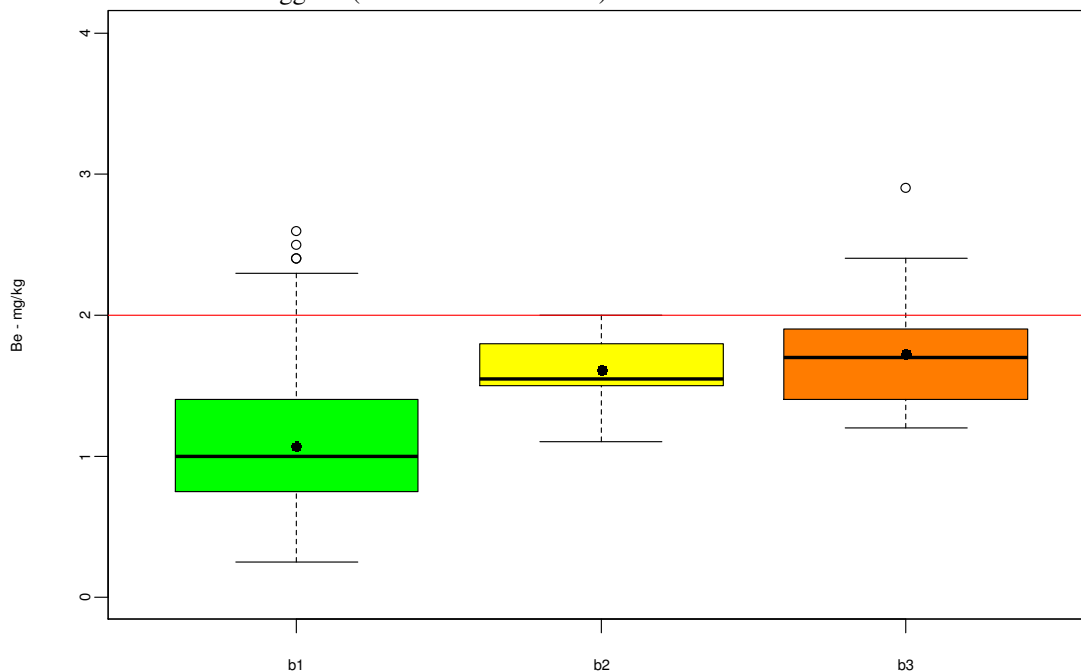
- b1
- b2
- b3



⁽¹⁾ Elaborazione degli orizzonti B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 28

Box plot⁽¹⁾ della concentrazione di Berillio (Be) in mg/kg nei suoli ⁽²⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione e confronto con i limiti di legge ⁽³⁾ (linea orizzontale rossa).



⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ($>Q3+1,5*IQR$), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽²⁾ Elaborazione degli orizzonti B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Tabella 5

Statistica descrittiva, percentili, valori di fondo ⁽¹⁾, confronto con i limiti di legge (2 mg/kg) ⁽²⁾ e conteggio di campioni analizzati del Berillio (Be) nei suoli ⁽³⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione.

Aree omogenee		Be_b1	Be_b2	Be_b3
Media	mg/kg	1,07	1,61	1,73
Mediana	mg/kg	1,00	1,55	1,70
Dev. St	mg/kg	0,45	0,26	0,35
CV	-	0,4	0,2	0,2
Min	mg/kg	0,25	1,10	1,20
Max	mg/kg	2,60	2,00	2,90
25° percentile (Q1)	mg/kg	0,75	1,50	1,43
50° percentile	mg/kg	1,00	1,55	1,70
75° percentile (Q3)	mg/kg	1,40	1,78	1,90
90° percentile	mg/kg	1,60	1,91	2,10
95° percentile	mg/kg	1,80	1,96	2,20
Soglia outliers \geq ⁽⁵⁾	mg/kg	2,38	2,19	2,61
Outliers	n	4	0	1
Valore di fondo ⁽¹⁾	mg/kg	1,60	1,91	2,10
Campioni	n	293	10	42
> Limite di legge ⁽¹⁾	n	0	0	0
	%	0	0	0

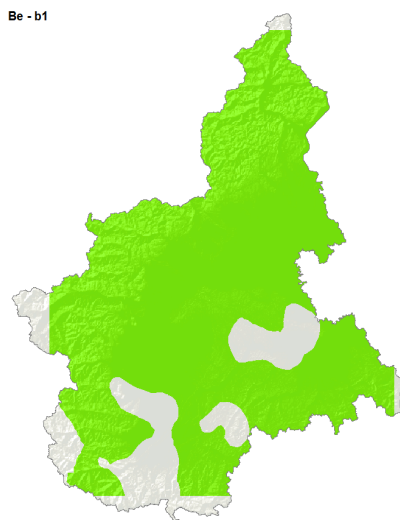
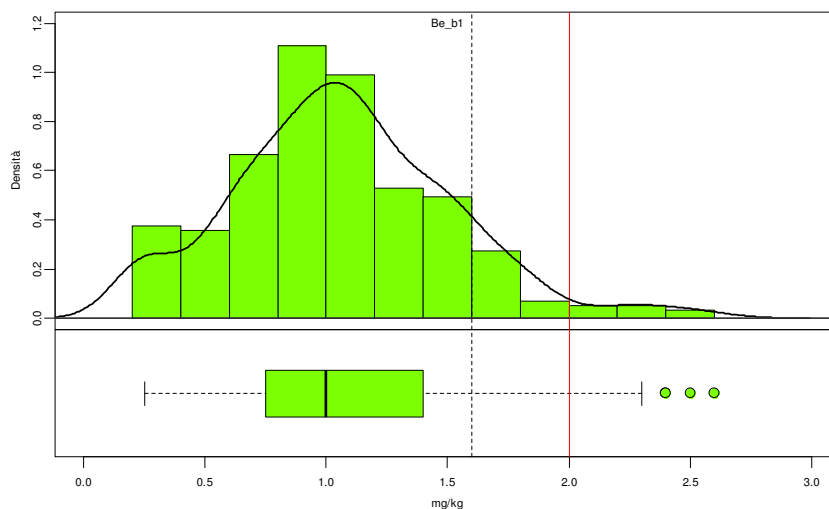
⁽¹⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽²⁾ Limiti di legge D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽³⁾ Elaborazione degli orizzonti B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽⁴⁾ Numero di dati insufficiente per una corretta definizione dei valori di fondo. Occorre un ulteriore infittimento dei campionamenti. ⁽⁵⁾ $=Q3+1,5*IQR$, $IQR=Q3-Q1$.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

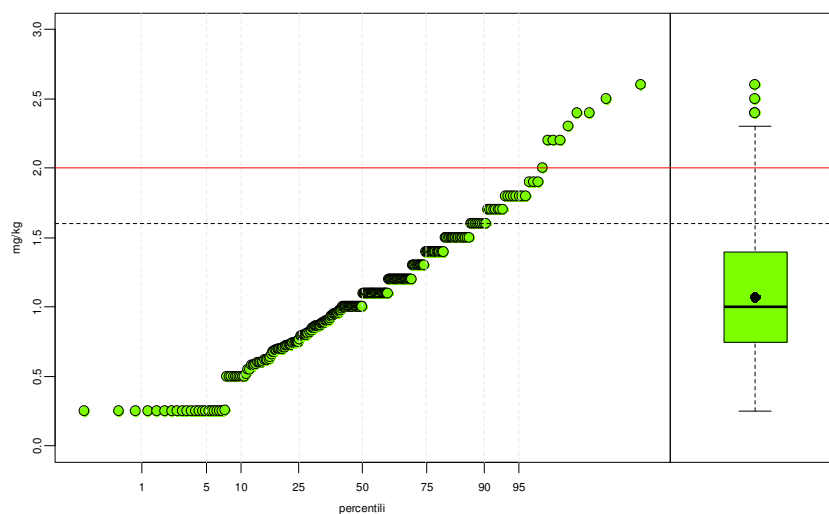
Figura 29

Parametri statistici del Berillio (Be)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Be_b1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** – Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** – Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I**II****III**

Aree omogenee		Be_b1
Media	mg/kg	1,07
Mediana	mg/kg	1,00
Dev. St	mg/kg	0,45
CV	-	0,4
Min	mg/kg	0,25
Max	mg/kg	2,60
25° percentile (Q1)	mg/kg	0,75
50° percentile	mg/kg	1,00
75° percentile (Q3)	mg/kg	1,40
90° percentile	mg/kg	1,60
95° percentile	mg/kg	1,80
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	2,38
Numero outliers	n	4
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	1,60
Campioni	n	293
> Limite di legge ⁽³⁾	n	0
	%	0

IV

⁽¹⁾ Elaborazione degli orizzonti B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

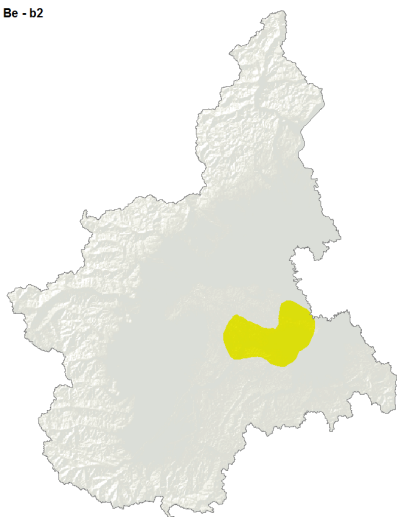
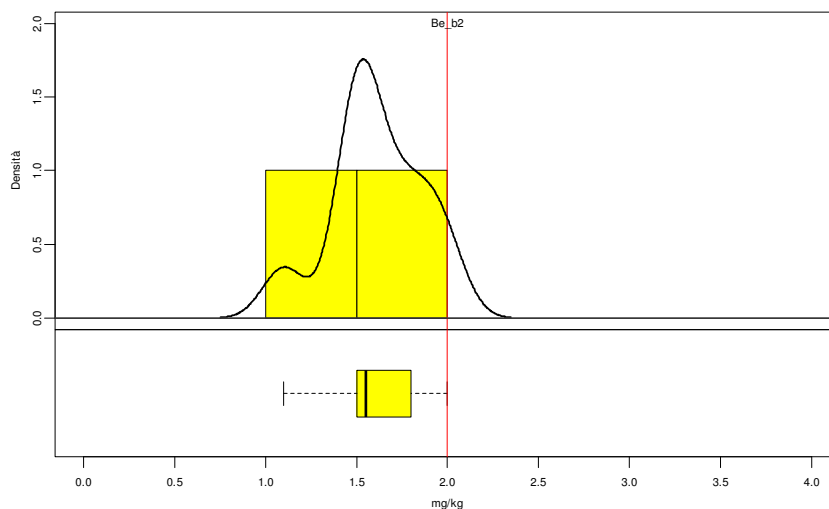
Figura 30

Parametri statistici del Berillio (Be)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Be_b2 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I

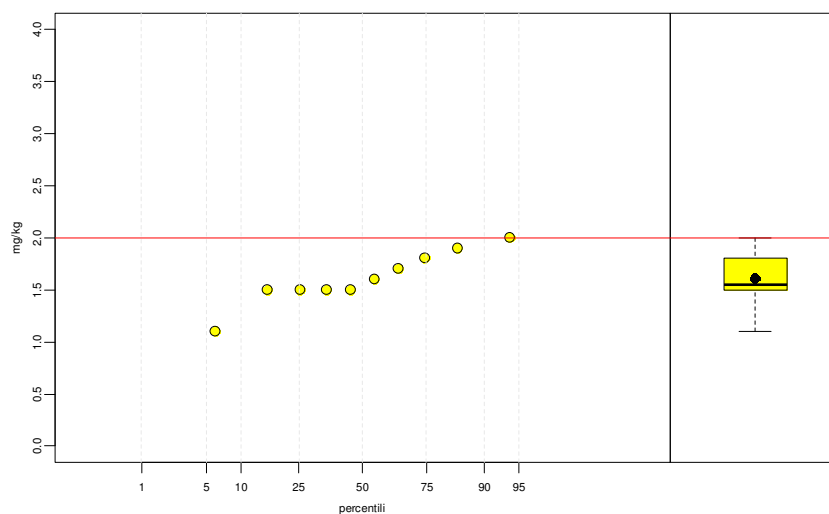
Be - b2

**II****III**

Aree omogenee

Be_b2

Media	mg/kg	1,61
Mediana	mg/kg	1,55
Dev. St	mg/kg	0,26
CV	-	0,2
Min	mg/kg	1,10
Max	mg/kg	2,00
25° percentile (Q1)	mg/kg	1,50
50° percentile	mg/kg	1,55
75° percentile (Q3)	mg/kg	1,78
90° percentile	mg/kg	1,91
95° percentile	mg/kg	1,96
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	2,19
Numero outliers	n	0
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	1,91
Campioni	n	10
> Limite di legge ⁽³⁾	n	0
	%	0

IV

⁽¹⁾ Elaborazione degli orizzonti B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

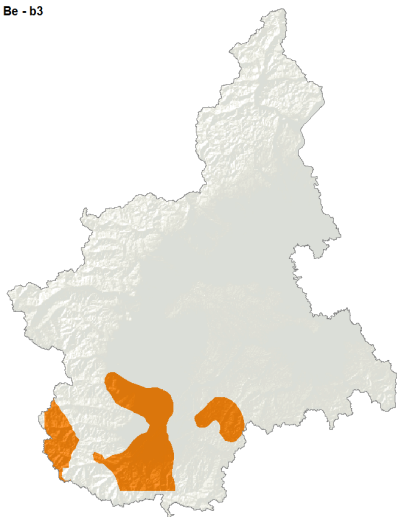
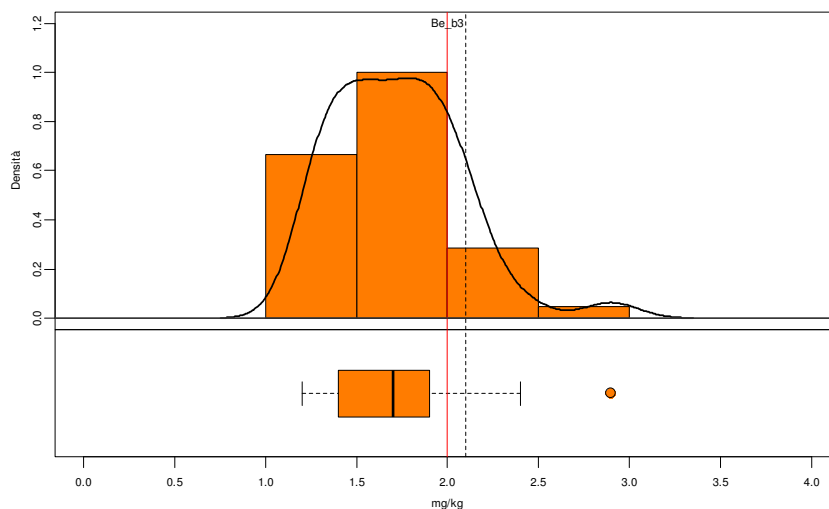
Figura 31

Parametri statistici del Berillio (Be)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Be_b3 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** – Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** – Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I

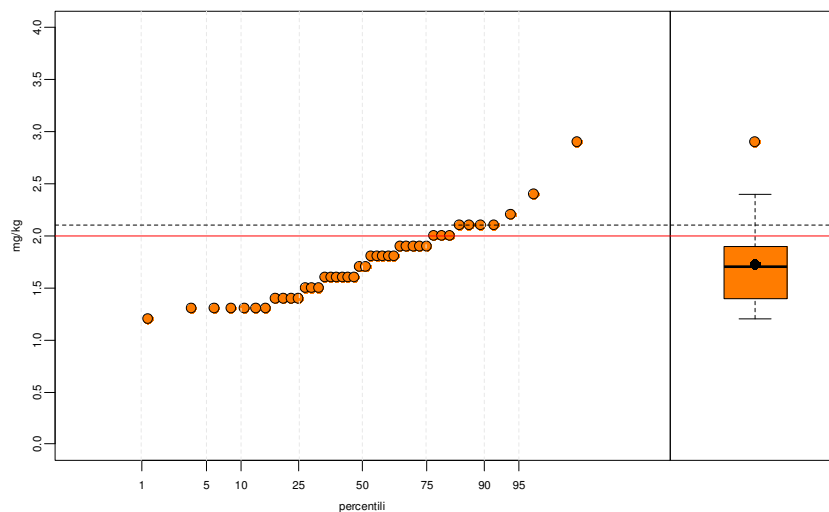
Be - b3

**II****III**

Aree omogenee

Be_b3

Media	mg/kg	1,73
Mediana	mg/kg	1,70
Dev. St	mg/kg	0,35
CV	-	0,2
Min	mg/kg	1,20
Max	mg/kg	2,90
25° percentile (Q1)	mg/kg	1,43
50° percentile	mg/kg	1,70
75° percentile (Q3)	mg/kg	1,90
90° percentile	mg/kg	2,10
95° percentile	mg/kg	2,20
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	2,61
Numero outliers	n	1
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	2,10
Campioni	n	42
> Limite di legge ⁽³⁾	n	0
	%	0

IV

⁽¹⁾ Elaborazione degli orizzonti B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Cobalto

Valutazione di presenza, origine ed intensità della contaminazione diffusa

Per le elaborazioni del Cobalto di seguito proposte sono stati utilizzati i dati relativi ad un totale di 345 stazioni di monitoraggio, uniformemente distribuite in tutto il territorio piemontese su maglia sistematica (9x9 km e 3x3 km) (Figura 32 – I).

Il consistente numero di stazioni di monitoraggio analizzate permette di ottenere, attraverso l'utilizzo di modelli predittivi geostatistici, rappresentazioni spaziali della concentrazione di Cobalto attendibili ad una scala di dettaglio indicativa pari a 1:250.000.

L'interpretazione congiunta dei risultati relativi alla stima della concentrazione in mg/kg del Cobalto (Figura 32 - II) e della stima delle probabilità percentuale di superamento dei limiti di legge (Figura 32 - III) ha permesso l'individuazione di aree omogenee di concentrazione su tutto il territorio piemontese (Figura 32 - IV), di dimensioni significative rispetto alla densità di campionamento ed alla scala di rappresentazione.

La rappresentatività statistica delle popolazioni di dati appartenenti alle singole aree omogenee di concentrazione è stata verificata attraverso confronto con test statistici (t-test per campioni indipendenti) e metodi di confronto grafici (curve della densità di distribuzione, Box plot, Curve di distribuzione cumulata di frequenza).

Le valutazioni relative a presenza, origine, e intensità della contaminazione sono state effettuate attraverso l'utilizzo combinato di elaborazioni statistiche, geostatistiche e calcolo di specifici indici di arricchimento.

Dall'analisi della distribuzione spaziale emerge la presenza di aree omogenee di concentrazione ben delimitate con superfici critiche che interessano ampie superfici di territorio, caratterizzate da concentrazioni molto elevate ed alte probabilità di superamento di limiti di legge sia in corrispondenza degli orizzonti superficiali (profondità A) e che di quelli profondi (B).

La bassa variabilità verticale riscontrata tra concentrazione degli orizzonti superficiali (A) e quella di quelli più profondi (B) (Figura 33) indica per il Cobalto assenza di fenomeni rilevanti di deposizione superficiale da contaminazione diffusa per tutte le aree omogenee di concentrazione individuate e per le aree critiche.

Le distribuzioni dei valori degli indici di arricchimento superficiale risultano per tutte le classi prossimi all'unità, con valori stabili all'aumentare della concentrazione del contaminante (Figura 35), a conferma dell'assenza di fenomeni rilevanti di contaminazione diffusa.

Le stazioni di monitoraggio che presentano deposizione superficiale di Cobalto (Figura 34) di intensità moderata (indice di arricchimento >1.3) ed elevata (indice di arricchimento >1.5) non presentano distribuzioni spaziali omogenee e/o correlazioni con la distribuzione spaziale delle classi omogenee di concentrazione. I superamenti delle soglie di arricchimento sono quindi riconducibili a forme di contaminazione puntuale o a contaminazione diffusa a scala ridotta rispetto a quella rappresentata.

Il numero di valori outliers della concentrazione in mg/kg, che identificano campioni hot-spot con concentrazioni anomale rispetto alla popolazione campionaria, è molto ridotto in tutte le aree omogenee di concentrazione individuate. La presenza di valori prossimi all'unità dei coefficienti di arricchimento riscontrata in corrispondenza dei valori outliers, esclude ipotesi relative alla presenza di correlazioni statisticamente significative tra concentrazioni elevate e forme di contaminazione puntuale.

Le distribuzioni spaziali della concentrazione in mg/kg (Figura 33) e delle probabilità di superamento dei limiti di legge (Figura 36) del Cobalto risultano molto simili a quelle di Nichel e Cromo.

L'elevato livello di correlazione tra Cromo, Nichel e Cobalto, evidenziato dai risultati dall'indice di Pearson e dai grafici a dispersione, rappresentati per i dati accorpati (Figura 37) e per singole classi sostengono l'ipotesi relativa alla loro prevalente origine comune.

I risultati della principal component analysis, che individua la componente 1 rappresentata da Cromo, Nichel e Cobalto con variabilità spiegata del 32,48 % (Figura 38, Tabella 7), evidenziano la presenza di chiare interazioni tra i tre metalli e supportano l'ipotesi relativa alla loro origine comune.

La spazializzazione degli autovalori della matrice di covarianza della componente 1 (Figura 39 - I), ottenuta dalla principal component analysis, permette inoltre di avere precise indicazioni relative alla distribuzione nello spazio della variabilità delle correlazioni esistenti tra Cromo, Nichel e Cobalto. In particolare è possibile osservare come la struttura spaziale degli autovalori risulta molto simile a quella della concentrazione dei singoli metalli (Figura 39 - II, III, IV).

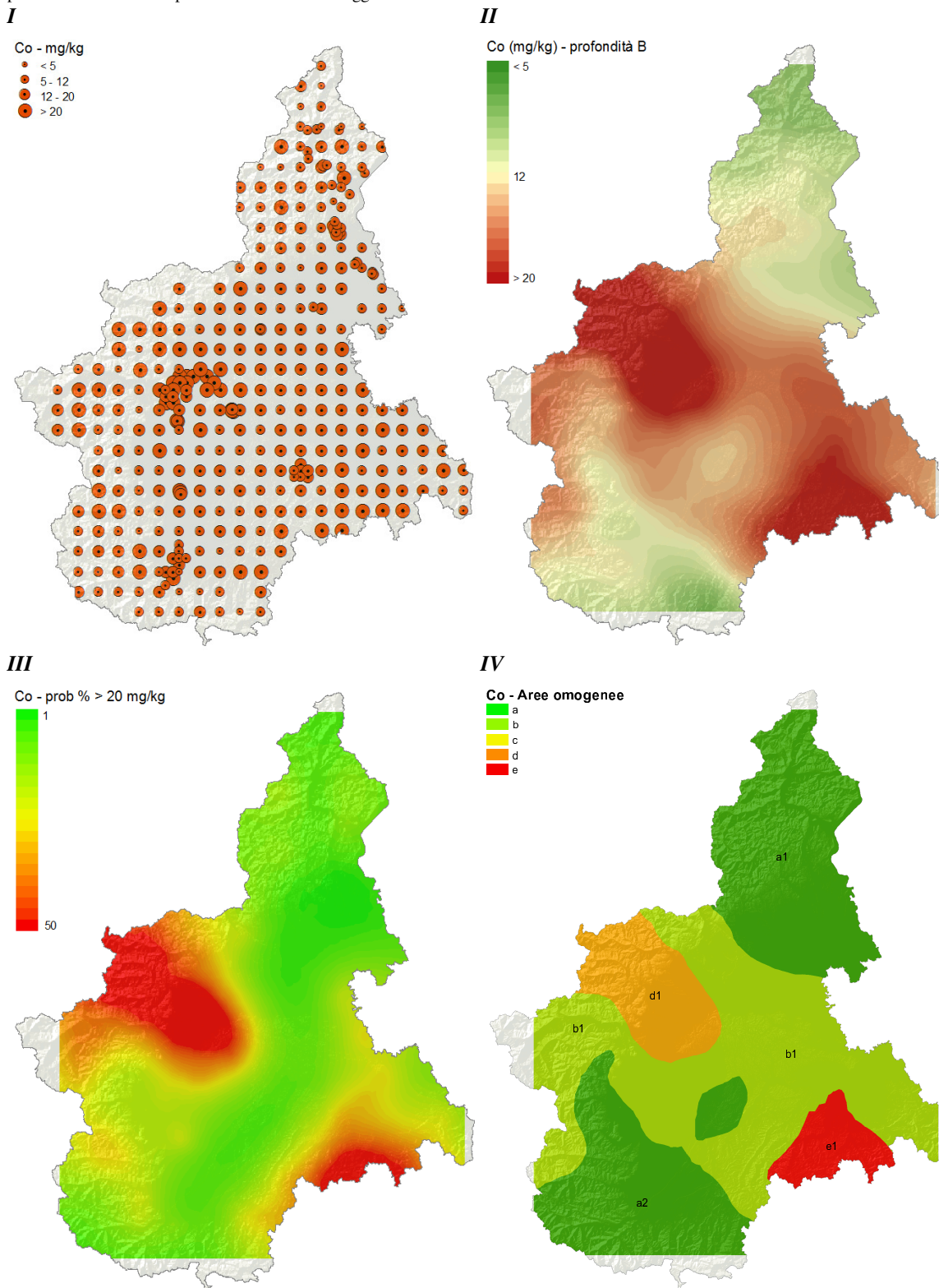
L'assenza di fenomeni rilevanti di deposizione superficiale da contaminazione diffusa anche in corrispondenza delle aree critiche, la distribuzione spaziale simile delle concentrazioni e delle correlazioni e l'elevato livello di correlazione tra Cromo, Nichel e Cobalto, riscontrato in tutte le aree omogenee, avvalorano nel loro insieme l'ipotesi relativa alla prevalente origine naturale del Cobalto, da attribuire a caratteristiche naturali del terreno e/o del substrato minerale sul quale si è evoluto.

Le ipotesi relative alla prevalente origine naturale del Cobalto derivano dall'analisi di una popolazione di dati statisticamente significativa a grande scala di dettaglio, non è quindi possibile escludere a priori la presenza di casi isolati di superamento dei limiti di legge e/o valori di fondo proposti, riconducibili a contaminazione puntuale di origine antropica.

In particolare, le elevate concentrazioni riscontrate nelle aree del Torinese-Canavese ed dell'Alessandrino, sono prevalentemente riferibili alla presenza di affioramenti di rocce ultramafiche (peridotiti serpentinitiche e serpentiniti), presenti in prossimità dell'arco alpino (Figura 39- I) e naturalmente ricche di Cromo, Nichel e Cobalto (Tabella 6), che determinano una notevole influenza sui suoli che evolvono su di esse e/o sui depositi alluvionali dei corpi idrici che li attraversano.

Figura 32

Spazializzazione della concentrazione di Cobalto (Co) nei suoli ⁽¹⁾ del territorio piemontese ed individuazione di aree omogenee di concentrazione. **I** – Stazioni di monitoraggio per classi di concentrazione in mg/kg. **II** – Stima della concentrazione in mg/kg. **III** – Stima delle probabilità (%) di superamento dei limiti di legge⁽²⁾. **IV** – Aree omogenee di concentrazione (a, b, c) ed aree critiche (d, e) con probabilità elevate di superamento dei limiti di legge⁽²⁾.



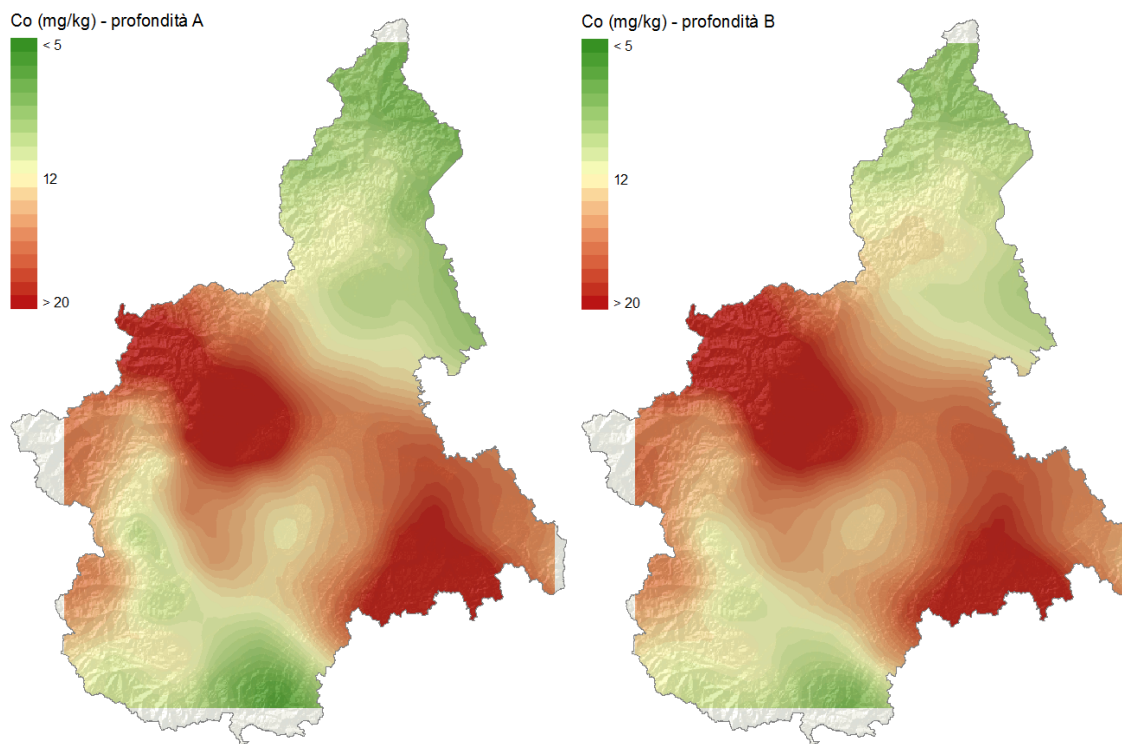
⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli.

⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 33

Distribuzione spaziale della concentrazione di Cobalto (Co) nei suoli del territorio piemontese per profondità di campionamento A e B ⁽¹⁾.

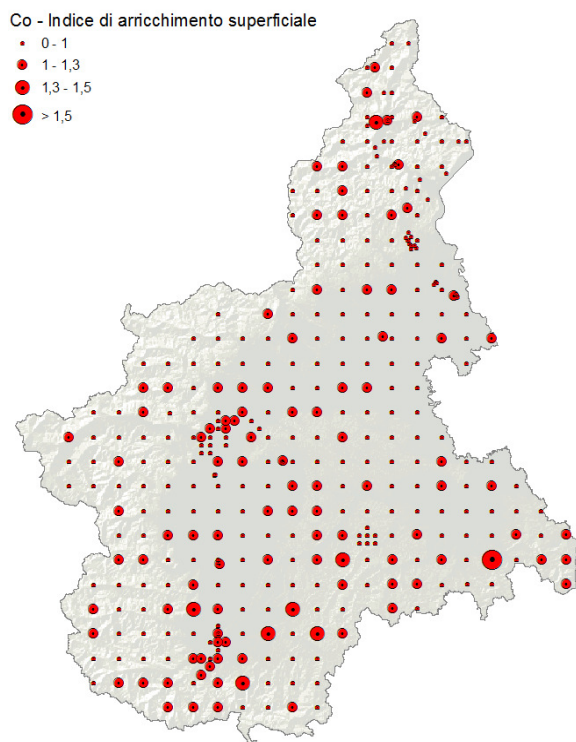


⁽¹⁾ Profondità A: 0-10 cm per suoli naturali e/o indisturbati e orizzonte Ap per suoli arati . Profondità B: 30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 34

Indice di arricchimento superficiale del Cobalto per classi di deposizione ⁽¹⁾ nelle stazioni della Rete di monitoraggio ambientale dei suoli del Piemonte.



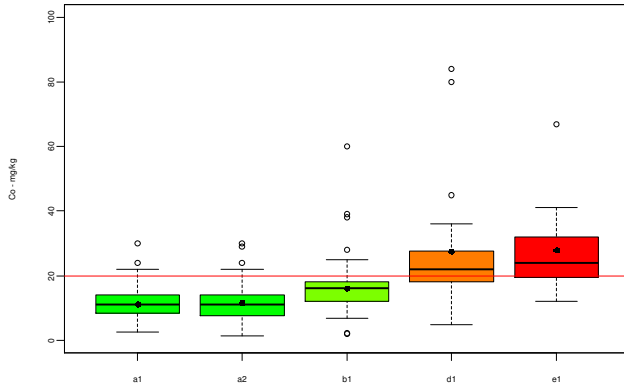
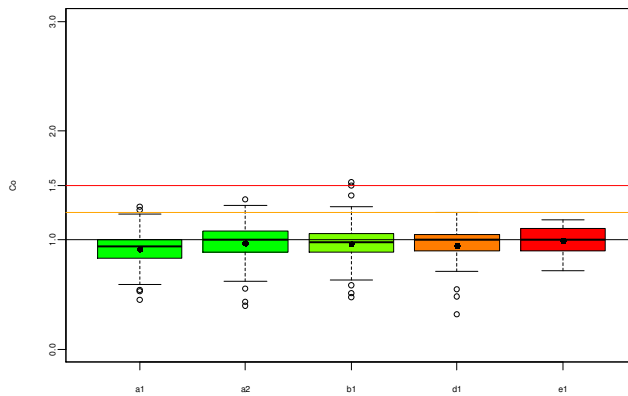
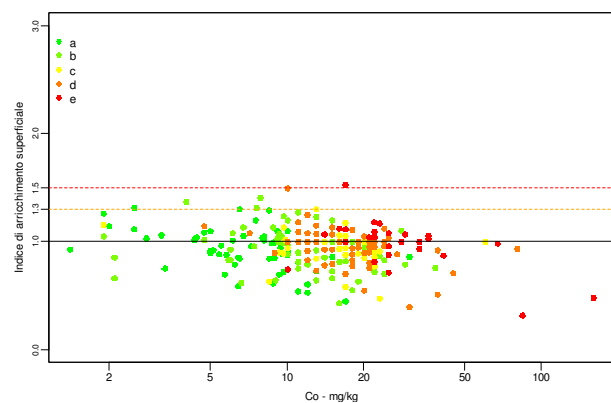
⁽¹⁾ Indice di arricchimento superficiale: < 0 - deposizione assente, da 1 a 1,3 - deposizione molto ridotta, da 1,3 a 1,5 - deposizione moderata, >1,5 - deposizione elevata.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 35

Confronto tra concentrazioni in mg/kg e indice di arricchimento superficiale del Cobalto per classi omogenee di concentrazione nei suoli del territorio piemontese.

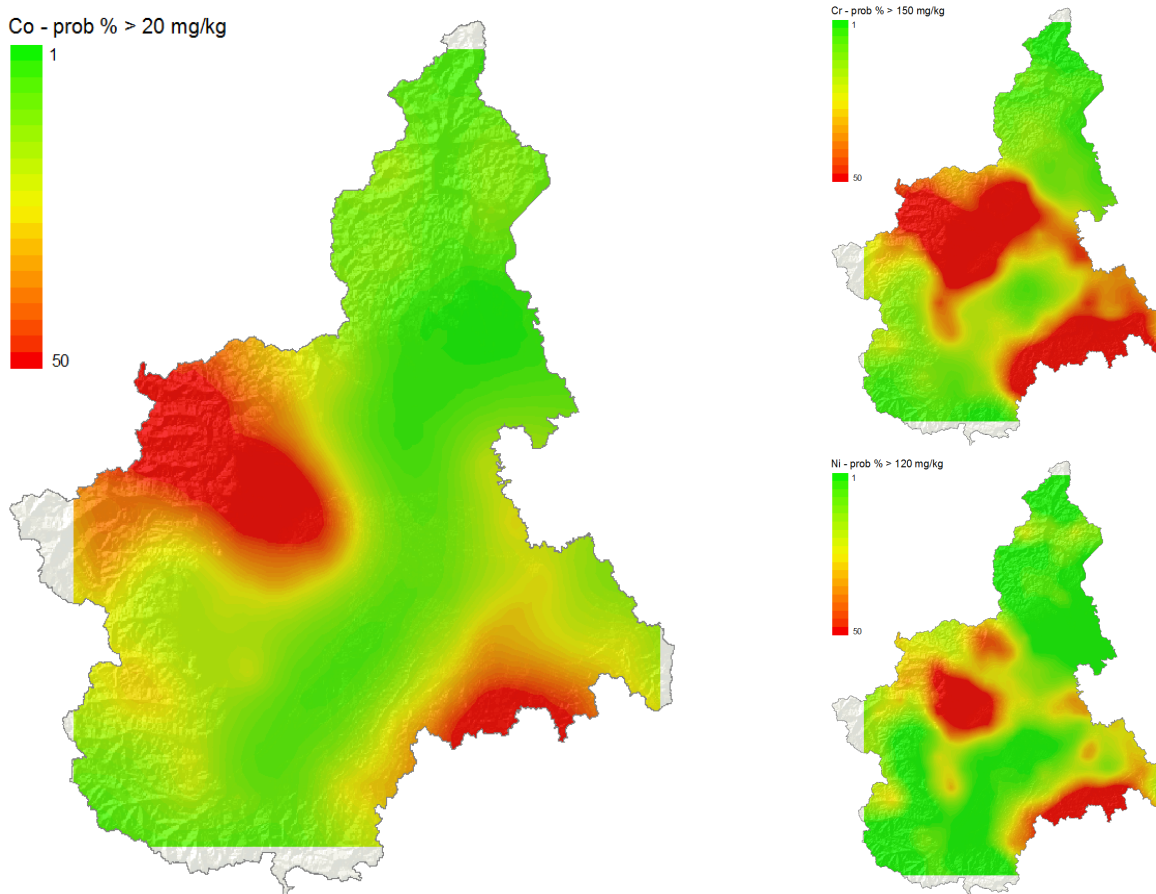
I - Box plot ⁽¹⁾ della concentrazione in mg/kg e limiti di legge ⁽²⁾ (linea orizzontale rossa). **II** - Box plot dell'indice di arricchimento superficiale e soglia relativa a contaminazione diffusa moderata (1,3 - linea orizzontale arancio) ed elevata (1,5 - linea orizzontale rossa). **III** - Scatterplot dell'indice di arricchimento superficiale e soglia relativa a contaminazione diffusa moderata (1,3 - linea orizzontale arancio) ed elevata (1,5 - linea orizzontale rossa).

I**II****III**

⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ($> Q3+1,5*IQR$), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 36

Stima delle probabilità (%) di superamento dei limiti di legge⁽²⁾ ottenuta attraverso modelli predittivi geostatistici (probability kriging) per il Cobalto (Co) e comparazione con i risultati di Cromo (Cr) e Nichel (Ni).

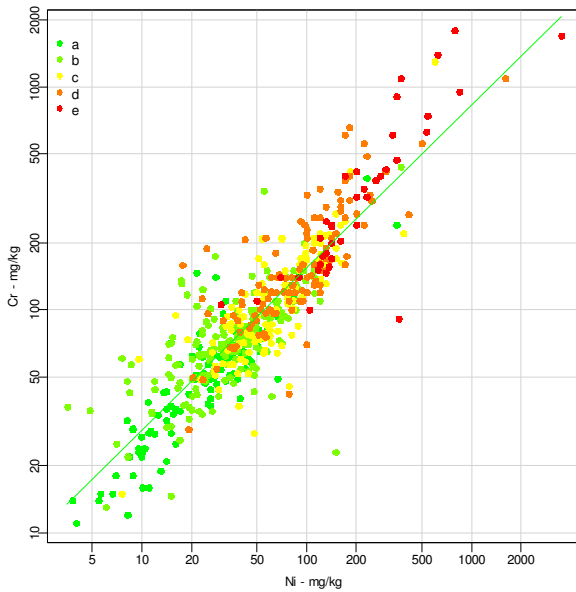
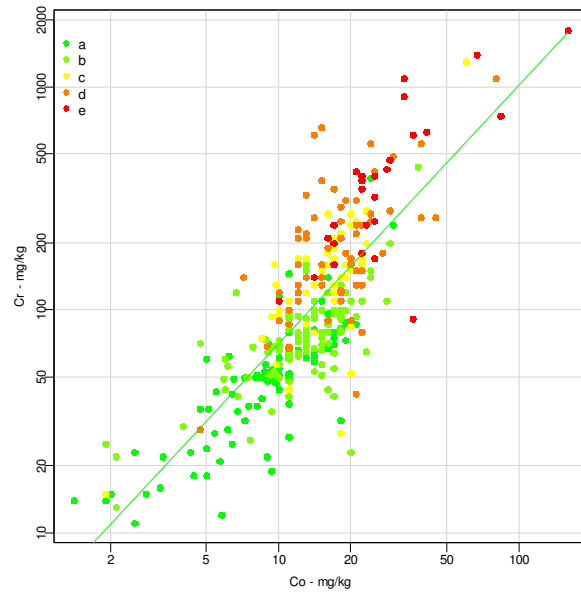
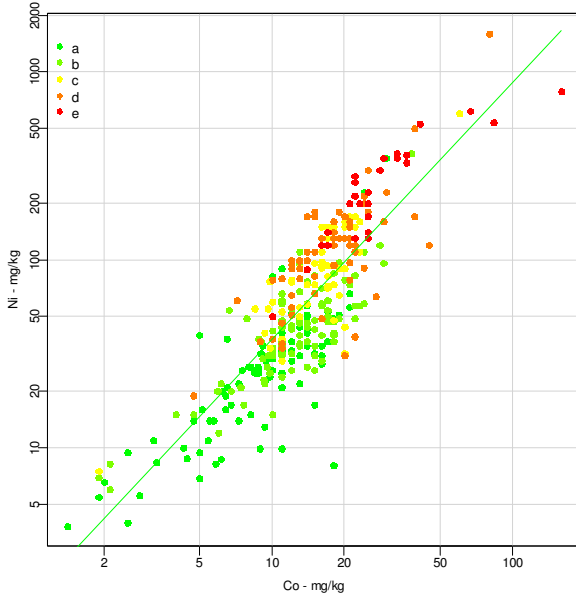


Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 37

Matrice di correlazione in mg/kg ⁽¹⁾ per classi omogenee di concentrazione (a, b, c, d, e) del Cromo.

I - Cromo (Cr) vs Nichel (Ni), **II** - Cromo (Cr) vs Cobalto (Co) e **III** - Nichel (Ni) vs Cobalto (Co).

I**II****III**

⁽¹⁾ Le Concentrazioni degli assi sono espresse in scala logaritmica.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Tabella 6

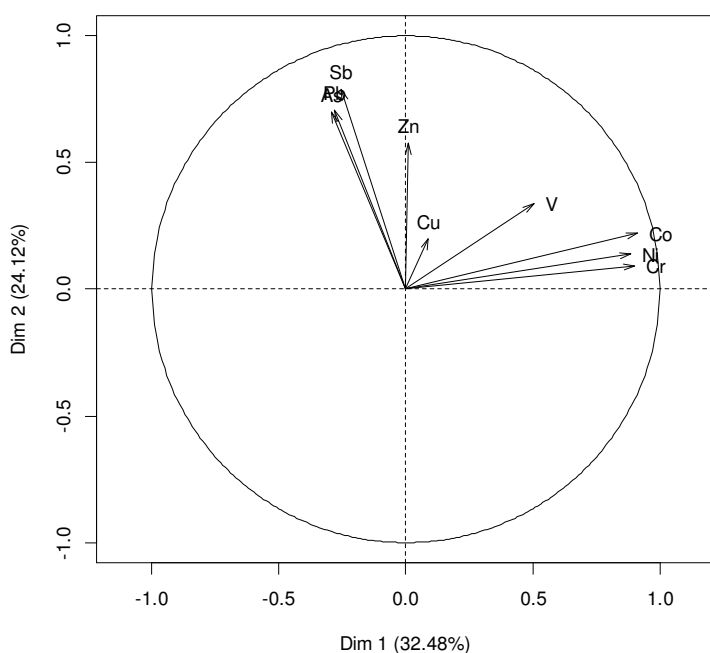
Contenuto naturale medio in mg/kg di Cromo (Cr), Nichel (Ni) e Cobalto (Co) in diversi tipi di rocce.

	Cr	Ni	Co
Peridotiti serpentinitiche e serpentiniti	2980	2000	110
Basalti	185	145	47
Argilliti	100	60	20
Argilliti oceaniche	90	230	74
Arenarie	35	9	0,3
Calcari	11	20	0,1
Carbonati di mare profondo	11	30	7
Graniti	10	10	4

Fonte: De Vivo et al., 2004; Alloway,1995

Figura 38

Proiezione delle componenti della Principal component analysis effettuata per Sb, As, Be, Co, Cr, Ni, Pb, Cu, V, e Zn. Dim 1 (Cr, Ni, Co – 32,48% di variabilità spiegata) e Dim 2 (Sb, As, Pb – 24,12% di variabilità spiegata).

Variables factor map (PCA)

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Tabella 7

Strutture dei fattori di regionalizzazione della Principal component analysis effettuata per Sb, As, Be, Co, Cr, Ni, Pb, Cu, V, e Zn.

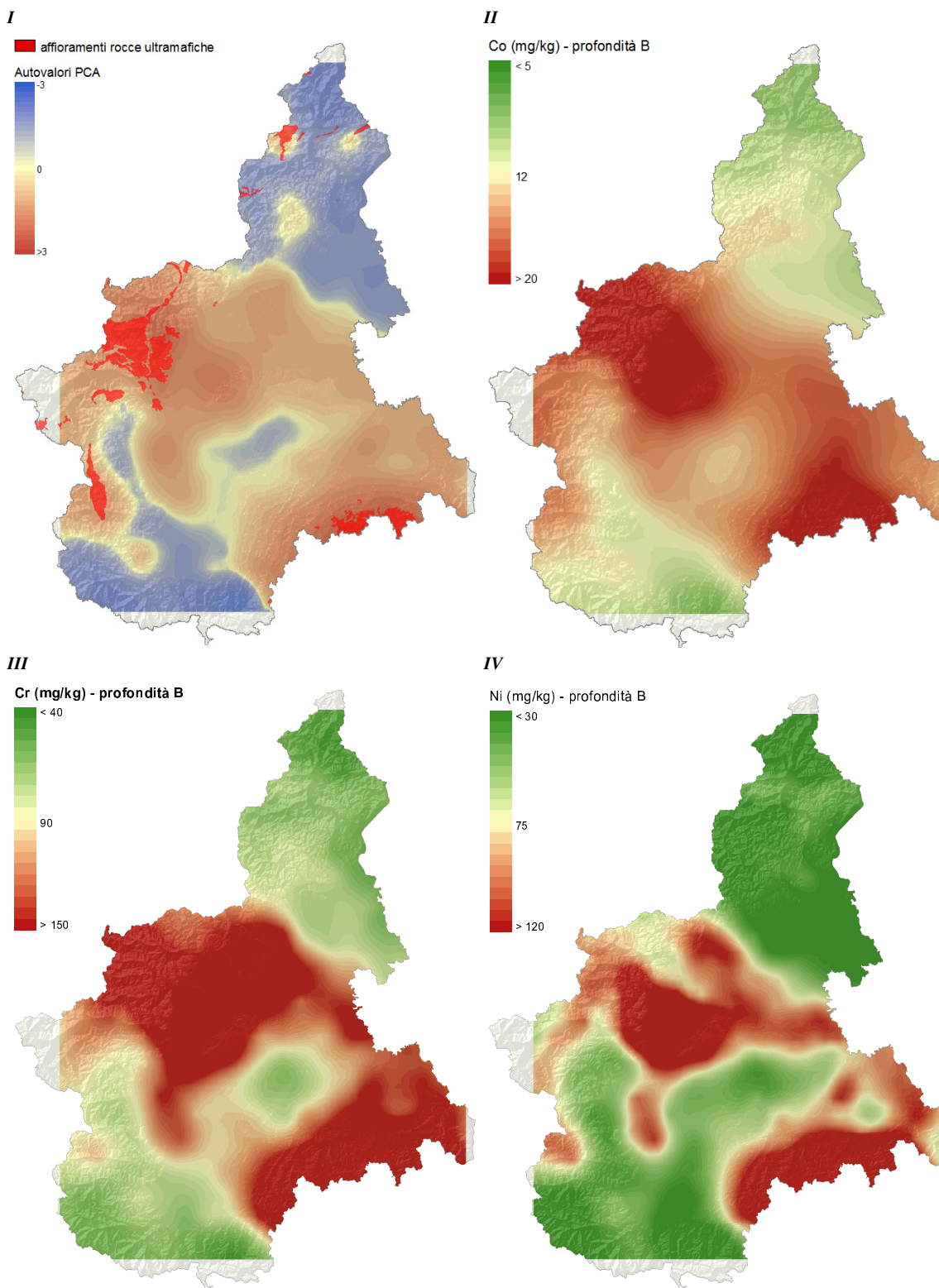
	Dim 1	Dim 2
Sb	-0,25	0,79
As	-0,29	0,70
Co	0,91	0,22
Cr	0,90	0,09
Ni	0,89	0,14
Pb	-0,28	0,70
Cu	0,09	0,20
V	0,50	0,34
Zn	0,01	0,58
Ratio	32,48%	24,12%
Cumul	32,48%	56,60%

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 39

Principal component analysis e confronto con la distribuzione delle concentrazioni di Cromo (Cr), Nichel (Ni) e Cobalto (Co) nei suoli ⁽¹⁾ del territorio piemontese.

I – Spazializzazione degli **autovalori** della matrice di covarianza derivata dalla componente 1 (Cr, Ni, Co) ed affioramenti di rocce ultramafiche. **II** – Stima della concentrazione in mg/kg del Cromo (Cr) ⁽¹⁾. **III** – Stima della concentrazione in mg/kg del Nichel (Ni) ⁽¹⁾. **IV** – Stima della concentrazione in mg/kg del Cobalto (Co) ⁽¹⁾.



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Elaborazione dei dati per aree omogenee

Per il Cobalto, la cui origine è attribuibile in prevalenza alla composizione chimica del materiale di partenza da cui il suolo ha avuto origine, le elaborazioni statistiche ed il calcolo dei valori di fondo (*contenuto di fondo di natura pedogeochimica o naturale del suolo*), sono stati effettuati utilizzando i campioni degli orizzonti B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

Al fine di evitare l'inclusione di campioni potenzialmente contaminati sono stati esclusi dalle elaborazioni campioni con valore del fattore di arricchimento superficiale superiore a 1,5, ed i valori outliers ($\geq Q3 + 3[Q3 - Q1]$) per i quali è stato verificato un evidente scostamento dalla direzione individuata dalle curve di distribuzione analizzate (densità della distribuzione, distribuzione cumulata di frequenza in percentili).

I valori di fondo sono stati calcolati in base a quanto stabilito dalla "Soil quality - Guidance on the determination of background values", descritta in dettaglio nel capitolo precedente.

La distribuzione dei dati che meglio approssima il campione (normale, log-normale, gamma, non parametrica) è stata valutata attraverso metodi grafici (istogrammi di frequenza, curve cumulative di frequenza e box plot) e test statistici (Shapiro - Wilk e Anderson - Darling).

In Figura 40 sono rappresentate le aree omogenee di concentrazione del Cobalto (Co) per le quali vengono forniti parametri di statistica descrittiva di riferimento e calcolati i valori di fondo.

In Figura 41 sono rappresentati i box plot della concentrazione di Cobalto (Co) in mg/kg per aree omogenee di concentrazione, messi a confronto con i limite di legge (linea orizzontale rossa).

In Tabella 9 sono riportati, per aree omogenee di concentrazione, parametri di statistica descrittiva (media, mediana, deviazione standard - dev st, coefficiente di variazione - CV, valori minimi - min, valori massimi - max, 25° - 50° - 75° - 90° e 95° percentile, soglia outliers), valori di fondo, numero e percentuale di campioni che superano i limiti di legge. In rosso sono indicati i valori medi, mediani e percentili che superano il limite di legge.

Per ogni area omogenea di concentrazione sono inoltre rappresentati (da Figura 42 a Figura 46) l'istogramma della densità di distribuzione per classi di concentrazione, la curva di densità della distribuzione e la curva di distribuzione cumulata di frequenza in percentili, confrontati con il valore di fondo (linea tratteggiata nera) ed il limite di legge (linea continua rossa).

I modelli previsionali evidenziano una chiara variabilità spaziale del contenuto di Cobalto nei suoli del territorio piemontese, con presenza di aree omogenee di superficie molto ampia, ben delimitate limitate tra di loro e caratterizzate da concentrazioni e distribuzione dei dati con differenze statistiche significative.

Le aree omogenee di concentrazione sono state classificate dalla lettera "a" alla "e" (Tabella 8), in base alle probabilità crescenti di superamento del limite di legge di 20 mg/kg, stabilito dal D.Lgs. 152/06 per i suoli ad uso verde pubblico, privato e residenziale (*Allegato 5 - Tabella 1 - colonna A*). Le probabilità di superamento dei limi di legge variano da valori inferiori al 5% per la classe "a", con soglia outliers inferiore al limite di legge, a valori superiori al 75 % per la classe "e", che presenta valori superiori al limite di legge già in corrispondenza del 25° percentile.

Le concentrazioni medie variano da valori minimi di 11 mg/kg per l'area omogenea di concentrazione Co_a1, a valori massimi di 24 mg/kg per l'area Co_e1.

La variabilità del dato, evidenziata dalla deviazione standard, dal coefficiente di variazione e dall'intervallo interquartile, aumenta notevolmente in funzione dell'aumento della concentrazione media e mediana delle aree. Tale aumento è spiegabile in parte dalla diminuzione progressiva del numero di campioni analizzati, che a sua volta è legato alla superficie dell'area, ed in parte dalla presenza discontinua del materiale parentale (substrato geologico) con elevato contenuto di Cobalto. Come dimostrato nel paragrafo precedente, la presenza sul territorio piemontese di aree critiche caratterizzate da concentrazioni elevate di Cobalto e da alte probabilità di superamento dei limiti di

legge, è prevalentemente legata alla presenza di affioramenti di rocce ultramafiche (peridotiti serpentinitiche e serpentiniti) naturalmente ricche di Cromo, Nichel e Cobalto.

Il numero di valori outliers con concentrazioni anomale rispetto alla popolazione campionaria, risulta molto ridotto in tutte le aree omogenee di concentrazione individuate.

Per le aree Co_d1 e Co_e1, che presentano concentrazioni elevate legate alla presenza di affioramenti di rocce ultramafiche, i valori prossimi all'unità dei coefficienti di arricchimento in corrispondenza degli outliers, escludono ipotesi relative alla presenza di correlazioni statisticamente significative tra concentrazioni elevate e forme di contaminazione puntuale.

I valori outliers delle aree a minore concentrazione, Co_a1, Co_a2 e Co_b1, sono associati a coefficienti di arricchimento più elevati, riconducibili a lievi forme di contaminazione puntuale.

I valori di fondo risultano leggermente inferiori al limite di legge per le aree Co_a1 (17 mg/kg) e Co_a2 (18 mg/kg).

Le aree Co_b1, Co_d1 e Co_e1, influenzate dalla presenza di rocce ultramafiche, presentano invece valori di fondo superiori al limite di 20 mg/kg con variazioni da un minimo di 21 mg/kg (Co_b1) ad un massimo di 39 mg/kg (Co_e1).

I parametri statistici ed i valori di fondo calcolati per le aree omogenee di concentrazione Co_a1, Co_a2 e Co_b1 possono essere considerati attendibili e statisticamente significativi in quanto sono rappresentati da un numero sufficiente di campioni, bassa variabilità del dato, se rapportata alla densità di campionamento, e distribuzioni della popolazione simmetriche, uniformi e continue.

Le aree omogenee di concentrazione Co_d1 e Co_e1, sono rappresentate da un numero basso di campioni, dovuto alle dimensioni relativamente ridotte delle aree, da una elevata variabilità (coefficiente di variazione, deviazione standard, intervallo interquartile) e da una distribuzione dei campioni asimmetrica (positiva - destra), irregolare e discontinua. I valori di fondo calcolati non possono quindi essere considerati statisticamente significativi e devono essere utilizzati unicamente a titolo indicativo.

L'ottenimento di dati attendibili per queste aree è vincolato ad un infittimento dei campionamenti su maglia sistematica 4,5 x 4,5 km o 3 x 3 km, dimensionato in base ai risultati delle mappe di previsione dell'errore standard che individuano zone differenziate per qualità di predizione ed aree sottocampionate.

Si sottolinea che è possibile utilizzare i dati elaborati della rete di monitoraggio dei suoli come studio pregresso per dimostrare che eventuali superamenti dei limiti di legge sono dovuti a caratteristiche naturali del terreno, esclusivamente per siti che ricadono nelle aree critiche Co_d1 e Co_e1, caratterizzati da valori di fondo ampiamente superiori ai limiti di legge.

Le ipotesi relative alla prevalente origine naturale del Cobalto derivano dall'analisi di una popolazione di dati statisticamente significativa a grande scala di dettaglio; nelle aree critiche non è quindi possibile escludere a priori la presenza di casi di superamento dei limiti di legge e/o valori di fondo proposti, riconducibili a contaminazione puntuale di origine antropica.

Occorre inoltre considerare che le elevate concentrazioni riscontrate nelle aree critiche Co_d1 e Co_e1, caratterizzate da valori medi molto elevati e valori di fondo anche 2 volte superiori ai limiti di legge, possono "mascherare" forme di contaminazione da deposizione superficiale di Cobalto anche di intensità rilevante.

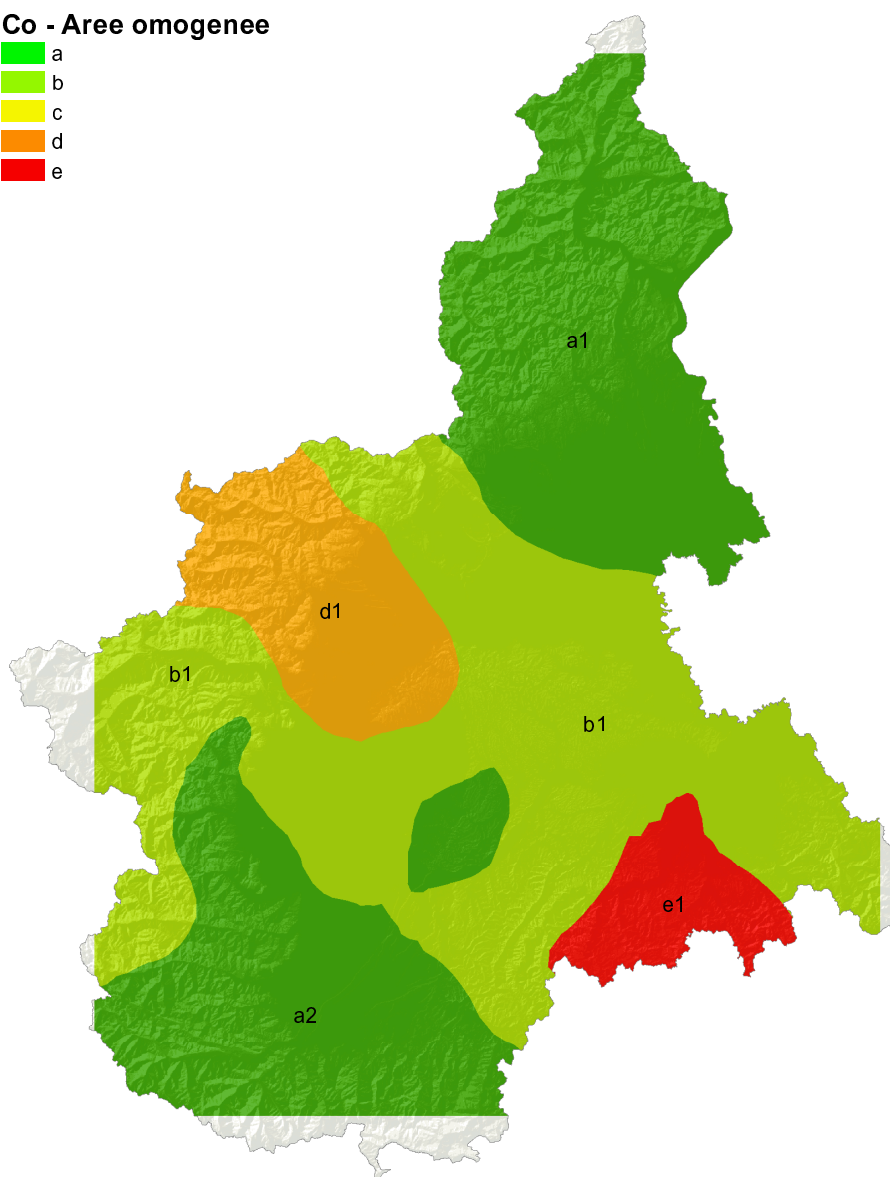
Per i motivi sopra elencati, l'ottenimento di dati rappresentativi a scala di dettaglio comunale e/o locale, è sempre vincolato ad un ulteriore approfondimento con monitoraggio di maggiore dettaglio e ad una eventuale speciazione dei metalli per valutare la biodisponibilità e l'effettiva tossicità del contaminante (vedi paragrafo - Raccomandazioni relative all'utilizzo dei dati).

Tabella 8Classificazione delle aree omogenee di concentrazione in base alle probabilità di superamento dei limiti di legge ⁽¹⁾

	Probabilità di superamento dei limiti di legge	Limite di legge
a	<5%	> Soglia outliers
b	5%-25 %	75° perc – Soglia outliers
c	25%-50%	50°perc – 75° perc
d	50%-75%	25°perc – 50° perc
e	>75%	< 25° perc

⁽¹⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale**Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).****Figura 40**Aree omogenee di concentrazione (a1, a2, b1) ed aree critiche con probabilità elevate di superamento dei limiti di legge (d1, e1) ⁽¹⁾ per le quali sono stati elaborati i parametri statistici e calcolati i valori di fondo del Cobalto nei suoli ⁽²⁾ del territorio piemontese.**Co - Aree omogenee**

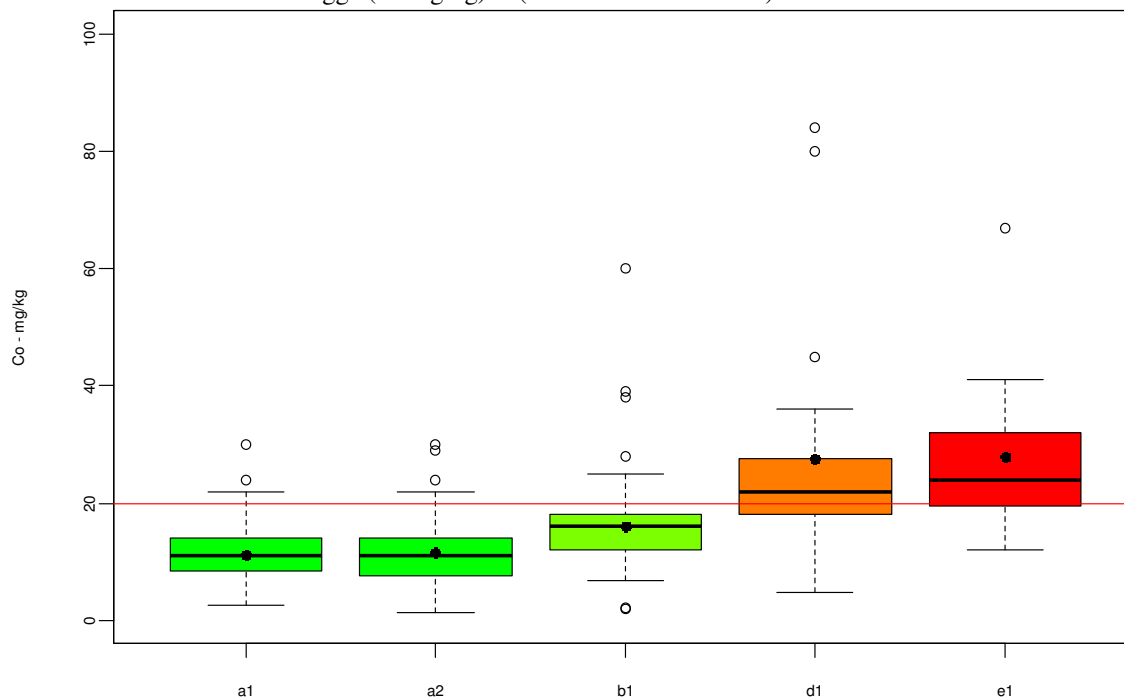
- a
- b
- c
- d
- e

⁽¹⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽²⁾ Elaborazione degli orizzonti B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 41

Box plot ⁽¹⁾ della concentrazione di Cobalto (Co) in mg/kg nei suoli ⁽²⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione e confronto con i limiti di legge (20 mg/kg) ⁽³⁾ (linea orizzontale rossa).



⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (>Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽²⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli) ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Tabella 9

Statistica descrittiva, percentili, valori di fondo ⁽¹⁾, confronto con i limiti di legge ⁽²⁾ e conteggio di campioni analizzati del Cobalto (Co) nei suoli ⁽³⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione.

Aree omogenee		Co_a1	Co_a2	Co_b1	Co_d1	Co_e1
Media	mg/kg	11	12	16	28	28
Mediana	mg/kg	11	11	16	22	24
Dev. St	mg/kg	5	6	7	26	16
CV	-	0,4	0,5	0,4	0,9	0,6
Min	mg/kg	3	1	2	5	12
Max	mg/kg	30	30	60	160	67
25° percentile (Q1)	mg/kg	9	8	12	18	20
50° percentile	mg/kg	11	11	16	22	24
75° percentile (Q3)	mg/kg	14	14	18	28	32
90° percentile	mg/kg	18	18	22	36	41
95° percentile	mg/kg	19	21	24	76	54
Soglia outliers \geq ⁽⁵⁾	mg/kg	22	24	27	42	51
Numero outliers	n	2	2	4	4	1
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	17	18	21	30 ⁽⁴⁾	39 ⁽⁴⁾
Campioni	n	89	72	130	43	11
> Limite di legge ⁽³⁾	n	4	6	23	25	8
	%	4	8	18	58	73

⁽¹⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽²⁾ Limiti di legge D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽³⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

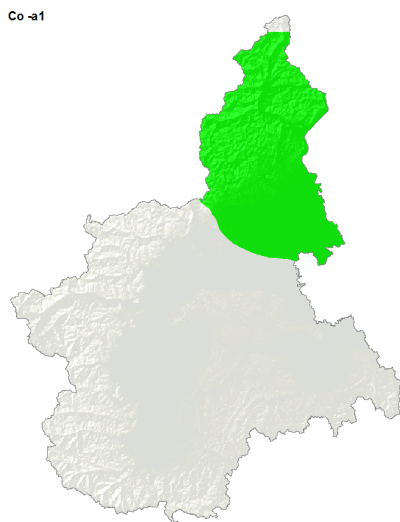
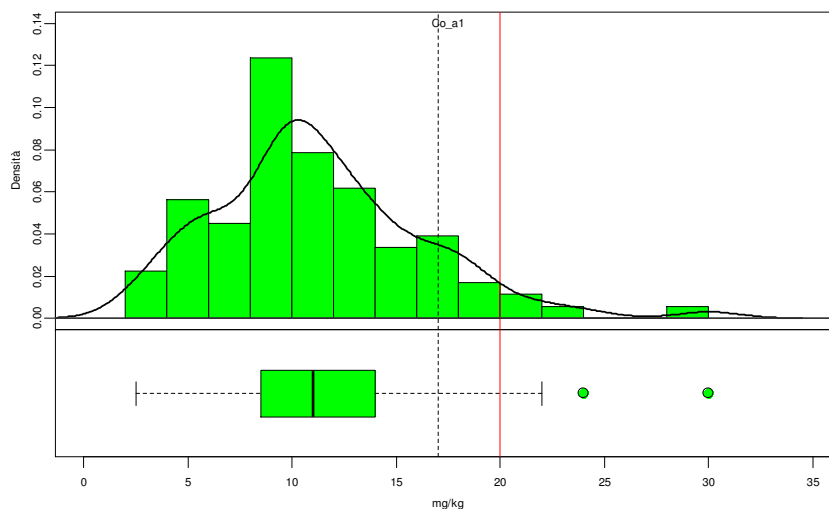
⁽⁴⁾ Numero di dati insufficiente per una corretta definizione dei valori di fondo. Occorre un ulteriore infittimento dei campionamenti. ⁽⁵⁾ =Q3+1,5*IQR, IQR=Q3-Q1.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

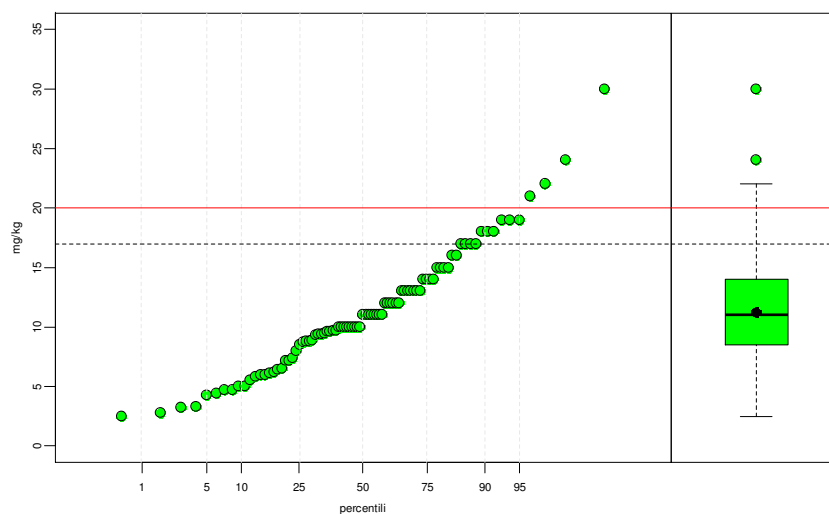
Figura 42

Parametri statistici del Cobalto (Co)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Co_a1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I**II****III**

Aree omogenee		Co_a1
Media	mg/kg	11
Mediana	mg/kg	11
Dev. St	mg/kg	5
CV	-	0,4
Min	mg/kg	3
Max	mg/kg	30
25° percentile (Q1)	mg/kg	9
50° percentile	mg/kg	11
75° percentile (Q3)	mg/kg	14
90° percentile	mg/kg	18
95° percentile	mg/kg	19
Soglia outliers ≥ ⁽⁵⁾	mg/kg	22
Numero outliers	n	2
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	17
Campioni	n	89
> Limite di legge ⁽³⁾	n	4
	%	4

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

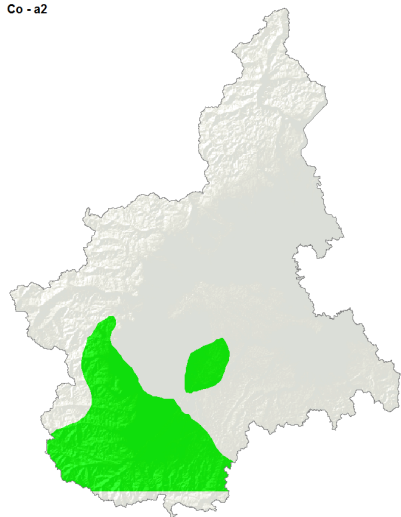
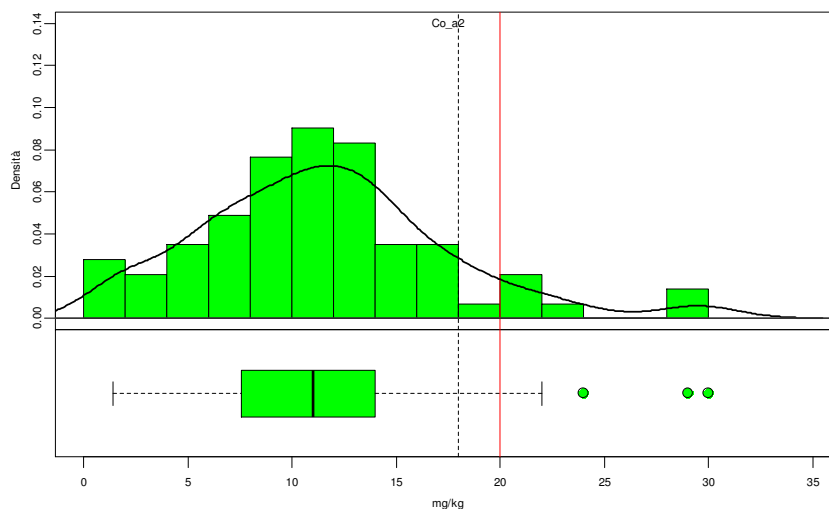
Figura 43

Parametri statistici del Cobalto (Co)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Co_a2 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** – Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** – Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I

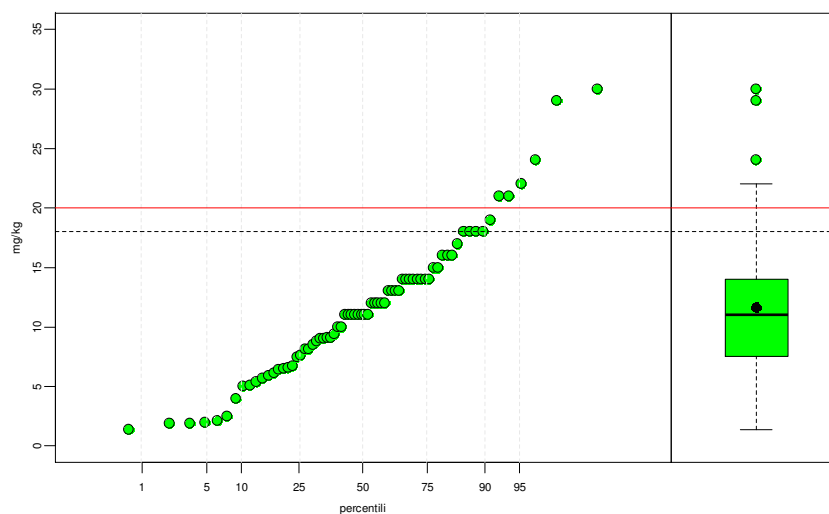
Co - a2

**II****III**

Aree omogenee

Co_a2

Media	mg/kg	12
Mediana	mg/kg	11
Dev. St	mg/kg	6
CV	-	0,5
Min	mg/kg	1
Max	mg/kg	30
25° percentile (Q1)	mg/kg	8
50° percentile	mg/kg	11
75° percentile (Q3)	mg/kg	14
90° percentile	mg/kg	18
95° percentile	mg/kg	21
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	24
Numero outliers	n	2
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	18
Campioni	n	72
> Limite di legge ⁽³⁾	n	6
	%	8

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

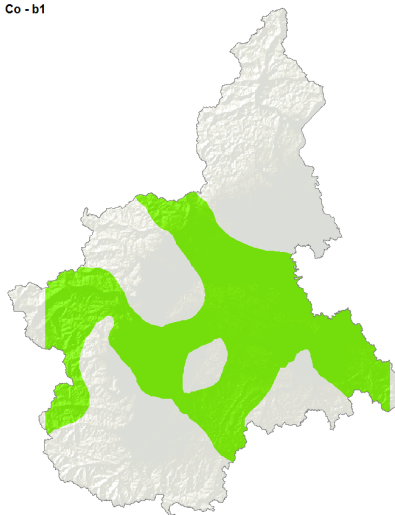
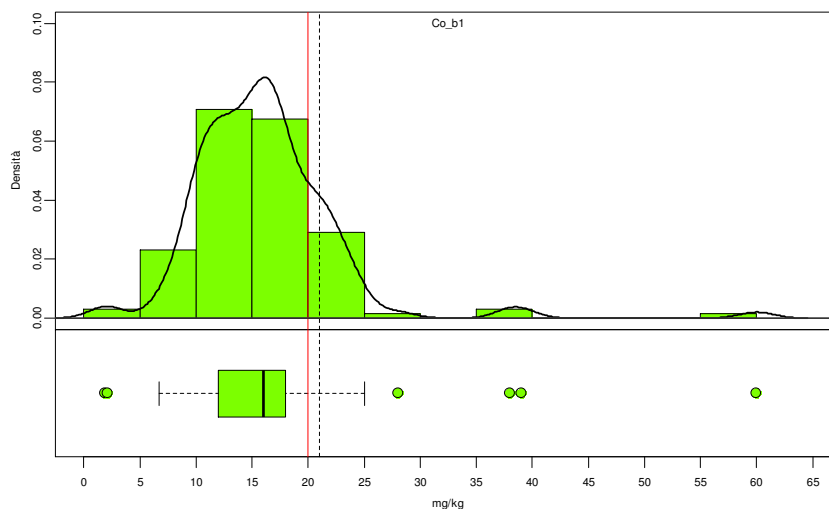
Figura 44

Parametri statistici del Cobalto (Co)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Co_b1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** – Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** – Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

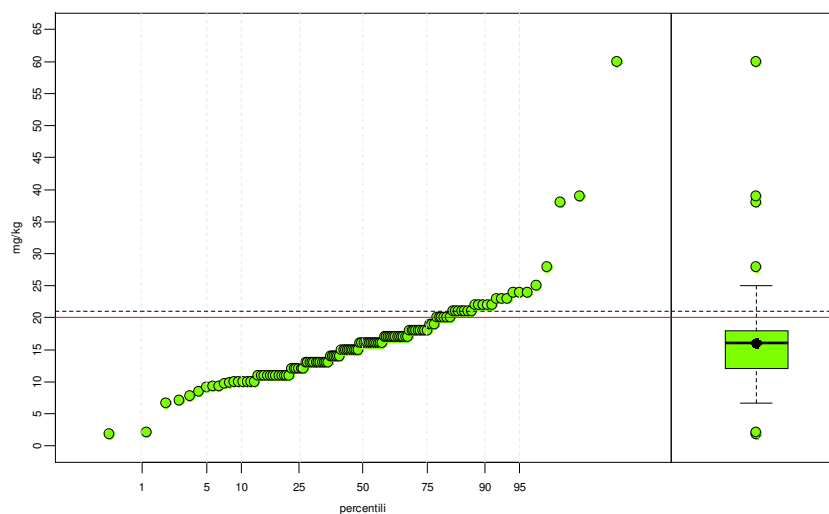
I

Co - b1

**II****III**

Aree omogenee

	mg/kg	Co_b1
Media	mg/kg	16
Mediana	mg/kg	16
Dev. St	mg/kg	7
CV	-	0,4
Min	mg/kg	2
Max	mg/kg	60
25° percentile (Q1)	mg/kg	12
50° percentile	mg/kg	16
75° percentile (Q3)	mg/kg	18
90° percentile	mg/kg	22
95° percentile	mg/kg	24
Soglia outliers \geq ⁽⁵⁾	mg/kg	27
Numero outliers	n	4
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	21
Campioni	n	130
> Limite di legge ⁽³⁾	n	23
	%	18

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ($> Q3+1,5*IQR$), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = $Q3+1,5*IQR$ dove $IQR=(Q3-Q1)$.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

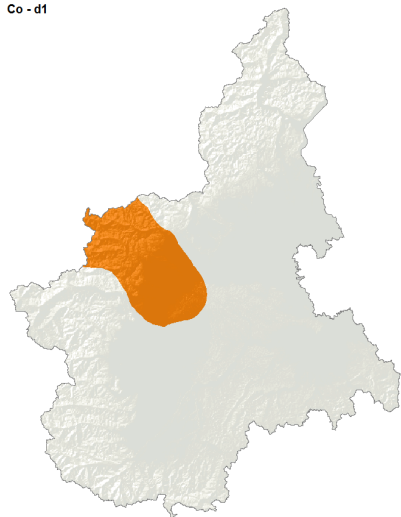
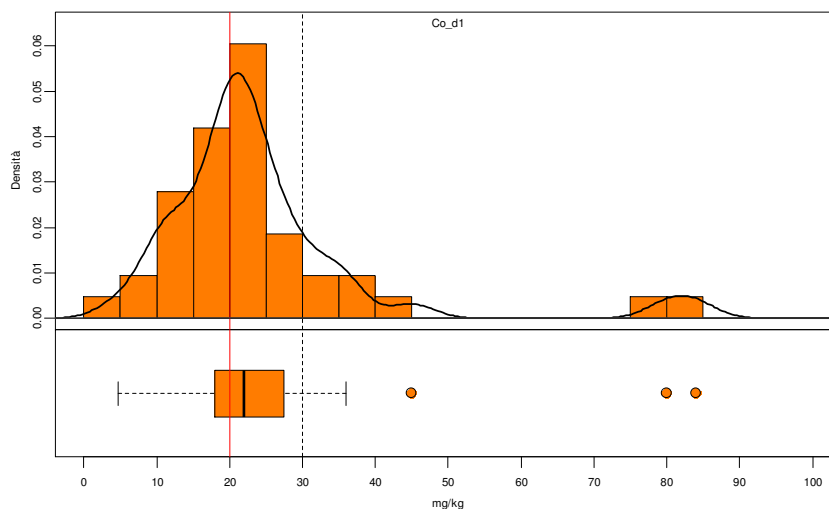
Figura 45

Parametri statistici del Cobalto (Co)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Co_d1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

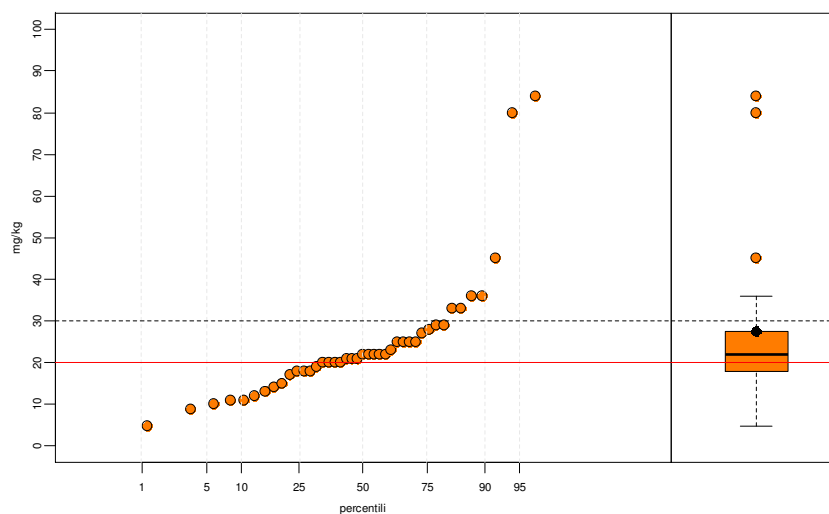
I

Co - d1

**II****III**

Aree omogenee

	mg/kg	Co_d1
Media	mg/kg	28
Mediana	mg/kg	22
Dev. St	mg/kg	26
CV	-	0,9
Min	mg/kg	5
Max	mg/kg	160
25° percentile (Q1)	mg/kg	18
50° percentile	mg/kg	22
75° percentile (Q3)	mg/kg	28
90° percentile	mg/kg	36
95° percentile	mg/kg	76
Soglia outliers \geq ⁽⁵⁾	mg/kg	42
Numero outliers	n	4
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	30 ⁽⁴⁾
Campioni	n	43
> Limite di legge ⁽³⁾	n	25
	%	58

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

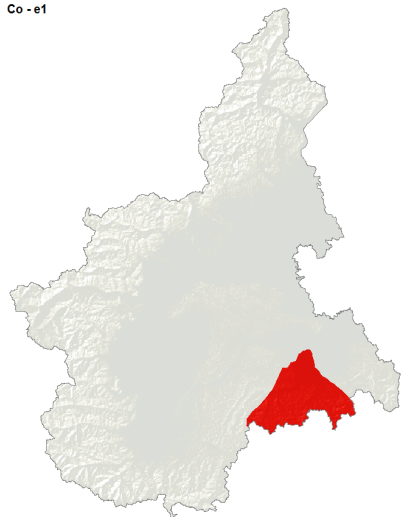
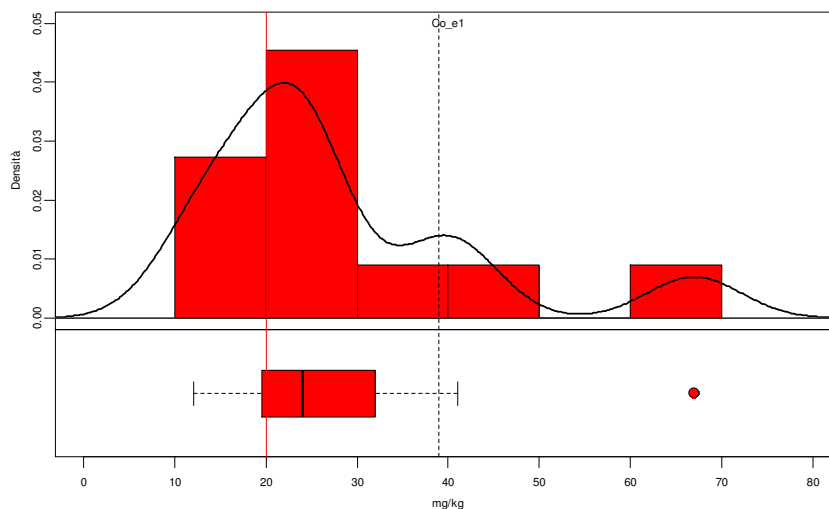
Figura 46

Parametri statistici del Cobalto (Co)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Co_e1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** – Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** – Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I

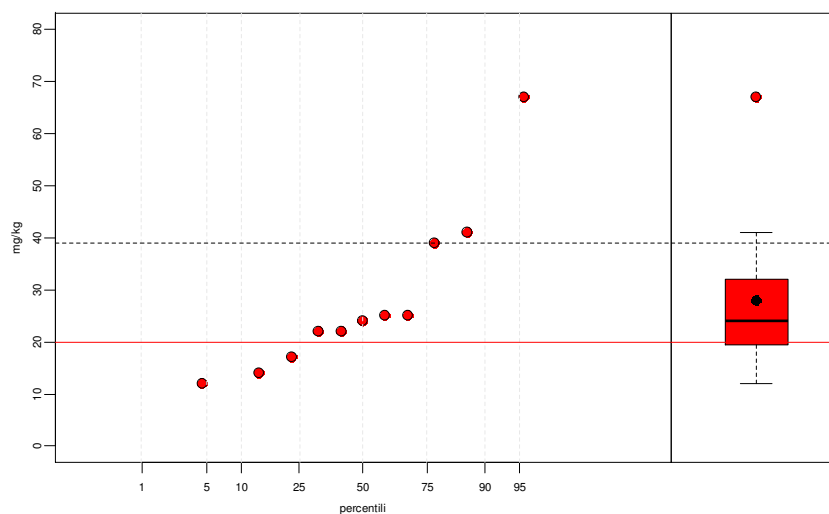
Co - e1

**II****III**

Aree omogenee

Co_e1

Media	mg/kg	28
Mediana	mg/kg	24
Dev. St	mg/kg	16
CV	-	0,6
Min	mg/kg	12
Max	mg/kg	67
25° percentile (Q1)	mg/kg	20
50° percentile	mg/kg	24
75° percentile (Q3)	mg/kg	32
90° percentile	mg/kg	41
95° percentile	mg/kg	54
Soglia outliers \geq ⁽⁵⁾	mg/kg	51
Numero outliers	n	1
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	39 ⁽⁴⁾
Campioni	n	11
> Limite di legge ⁽³⁾	n	8
	%	73

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Cromo

Valutazione di presenza, origine ed intensità della contaminazione diffusa

Per le elaborazioni del Cromo di seguito proposte sono stati utilizzati i dati relativi ad un totale di 594 stazioni di monitoraggio, delle quali 323 uniformemente distribuite in tutto il territorio piemontese su maglia sistematica (9x9 km e 3x3 km), e 271 stazioni realizzate nell'ambito di altri progetti realizzati da Arpa, campionate ed analizzate con le stesse procedure. (Figura 47 – I).

Il consistente numero di stazioni di monitoraggio analizzate permette di ottenere, attraverso l'utilizzo di modelli predittivi geostatistici, rappresentazioni spaziali della concentrazione di Cromo attendibili ad una scala di dettaglio indicativa pari a 1:200.000.

L'interpretazione congiunta dei risultati relativi alla stima della concentrazione in mg/kg del Cromo (Figura 47 - II) e della stima delle probabilità percentuale di superamento dei limiti di legge (Figura 47 - III) ha permesso l'individuazione di aree omogenee di concentrazione su tutto il territorio piemontese (Figura 47 - IV), di dimensioni significative rispetto alla densità di campionamento ed alla scala di rappresentazione.

La rappresentatività statistica delle popolazioni di dati appartenenti alle singole aree omogenee di concentrazione è stata verificata attraverso confronto con test statistici (t-test per campioni indipendenti) e metodi di confronto grafici (curve della densità di distribuzione, Box plot, Curve di distribuzione cumulata di frequenza - Figura 48).

Le valutazioni relative a presenza, origine, e intensità della contaminazione sono state effettuate attraverso l'utilizzo combinato di elaborazioni statistiche, geostatistiche e calcolo di specifici indici di arricchimento.

Dall'analisi della distribuzione spaziale emerge la presenza di aree omogenee di concentrazione ben delimitate con superfici critiche che interessano ampie superfici di territorio, caratterizzate da concentrazioni molto elevate ed alte probabilità di superamento di limiti di legge sia in corrispondenza degli orizzonti superficiali (profondità A) e che di quelli profondi (B).

La bassa variabilità verticale riscontrata in tutte le aree omogenee di concentrazione individuate tra concentrazione degli orizzonti superficiali (A) e quella di quelli più profondi (B) (Figura 49), indica assenza di fenomeni rilevanti di deposizione superficiale da contaminazione diffusa.

Le distribuzioni dei valori degli indici di arricchimento superficiale risultano per tutte le classi prossimi all'unità, con valori stabili all'aumentare della concentrazione del contaminante (Figura 51 – I e Figura 51 – II), a conferma dell'assenza di fenomeni rilevanti di contaminazione diffusa.

Le stazioni di monitoraggio che presentano deposizione superficiale di Cromo (Figura 50) di intensità moderata (indice di arricchimento >1.3) ed elevata (indice di arricchimento >1.5) non presentano distribuzioni spaziali omogenee e/o correlazioni con la distribuzione spaziale delle classi omogenee di concentrazione.

I superamenti delle soglie di arricchimento sono quindi riconducibili a forme di contaminazione puntuale o a contaminazione diffusa a scala ridotta rispetto a quella rappresentata.

Il numero di valori outliers della concentrazione in mg/kg, che identificano campioni hot-spot con concentrazioni anomale rispetto alla popolazione campionaria, è molto ridotto in tutte le aree omogenee di concentrazione individuate.

La presenza di valori prossimi all'unità dei coefficienti di arricchimento riscontrata in corrispondenza dei valori outliers della concentrazione, esclude ipotesi relative alla presenza di correlazioni statisticamente significative tra concentrazioni elevate e forme di contaminazione puntuale.

I risultati dei modelli predittivi geostatistici mostrano per il Cromo struttura e distribuzione spaziale della concentrazione in mg/kg e delle probabilità di superamento dei limiti di legge (Figura 52), molto simile a quella di Nichel e Cobalto (Figura 49).

L'elevato livello di correlazione tra Cromo, Nichel e Cobalto, evidenziato dai risultati dall'indice di Pearson e dai grafici a dispersione (Figura 54 - Figura 55) confermano l'ipotesi relativa alla loro origine comune.

I risultati della principal component analysis, che individua la componente 1 rappresentata da Cr, Ni e Co con variabilità spiegata del 32,48 % (Figura 56, Tabella 11), evidenziano la presenza di chiare interazioni tra i tre metalli e supportano l'ipotesi relativa alla loro origine comune.

La spazializzazione degli autovalori della matrice di covarianza della componente 1 (Figura 57-I), ottenuta dalla principal component analysis, permette inoltre di avere precise indicazioni relative alla distribuzione nello spazio della variabilità delle correlazioni esistenti tra i tre elementi. In particolare è possibile osservare come la struttura spaziale degli autovalori risulta molto simile a quelle della concentrazione (Figura 57 - II, III, IV).

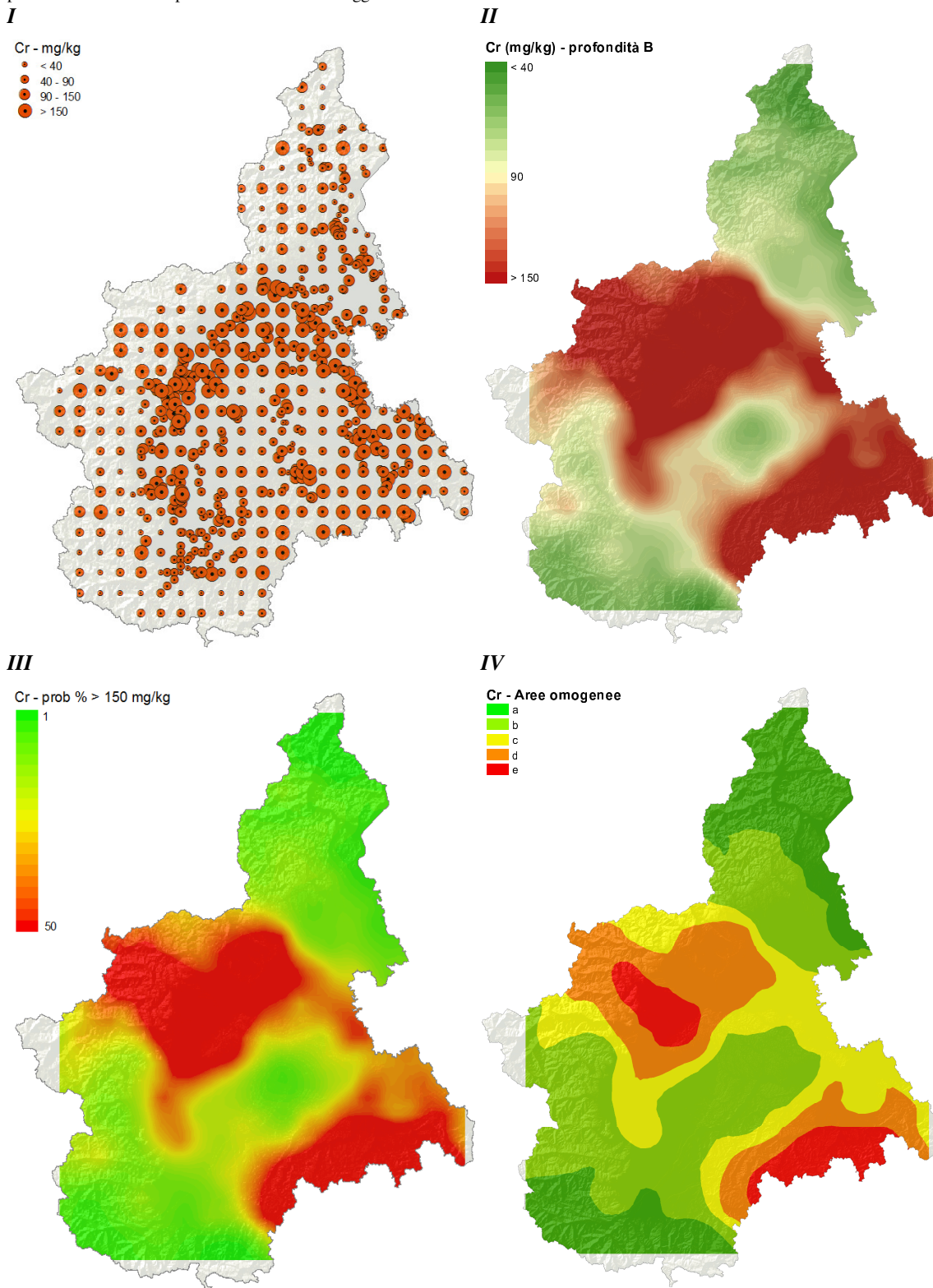
L'elevato livello di correlazione tra Cromo, Nichel e Cobalto, riscontrato in tutte le aree omogenee, l'assenza di fenomeni rilevanti di deposizione superficiale da contaminazione diffusa anche in corrispondenza delle aree critiche, la distribuzione spaziale simile delle concentrazioni e delle correlazioni, avvalorano nel loro insieme l'ipotesi relativa alla prevalente origine naturale del Cromo, da attribuire a caratteristiche naturali del terreno e/o del substrato minerale sul quale si è evoluto.

In particolare, le elevate concentrazioni riscontrate nelle aree del Torinese-Canavese ed arco alpino dell'Alessandrino, sono prevalentemente riferibili alla presenza di affioramenti di rocce ultramafiche (peridotiti serpentinitiche e serpentiniti), presenti in prossimità dell'arco alpino (Figura 57 - I) e naturalmente ricche di Cromo (Tabella 10), che determinano una notevole influenza sui suoli che evolvono su di esse e/o sui depositi alluvionali dei corpi idrici che li attraversano.

Le ipotesi relative alla prevalente origine naturale del Cromo derivano dall'analisi di una popolazione di dati statisticamente significativa a grande scala di dettaglio, non è quindi possibile escludere a priori la presenza di casi isolati di superamento dei limiti di legge e/o valori di fondo proposti, riconducibili a contaminazione puntuale di origine antropica.

Figura 47

Spazializzazione della concentrazione di Cromo (Cr) nei suoli ⁽¹⁾ del territorio piemontese ed individuazione di aree omogenee di concentrazione. **I** – Stazioni di monitoraggio per classi di concentrazione in mg/kg. **II** – Stima della concentrazione in mg/kg. **III** – Stima delle probabilità (%) di superamento dei limiti di legge⁽²⁾. **IV** – Aree omogenee di concentrazione (a, b, c) ed aree critiche (d, e) con probabilità elevate di superamento dei limiti di legge ⁽²⁾.



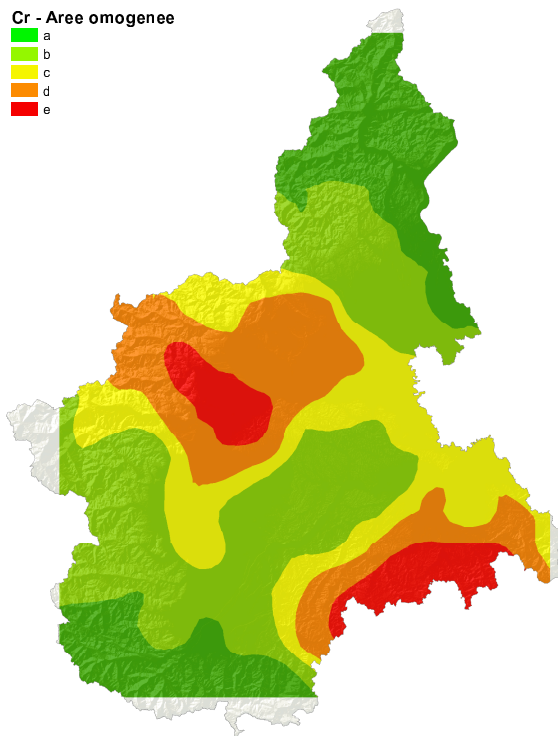
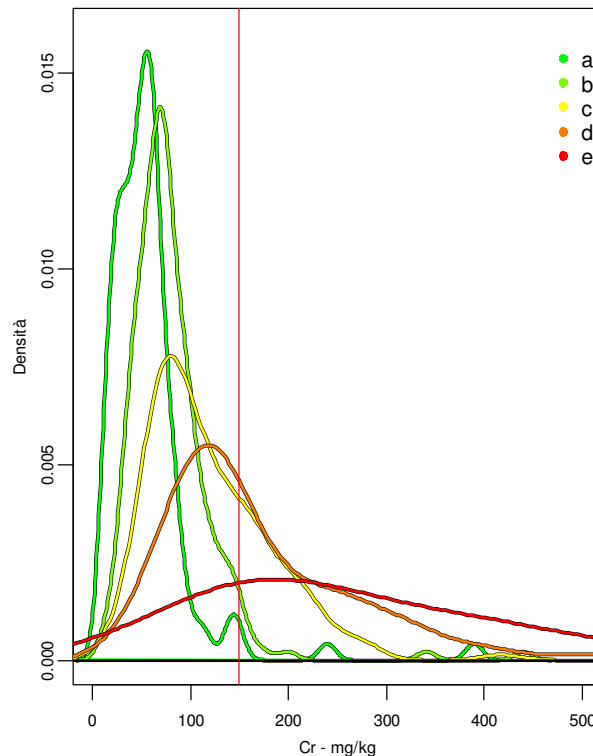
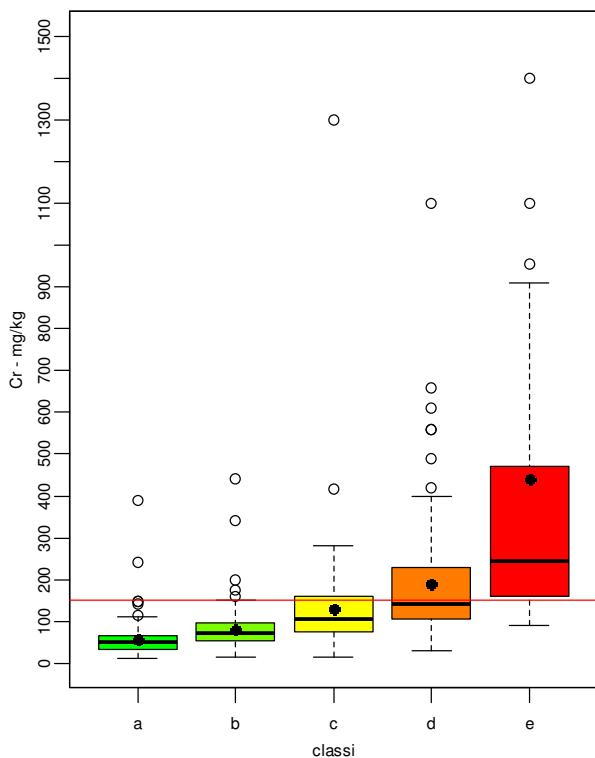
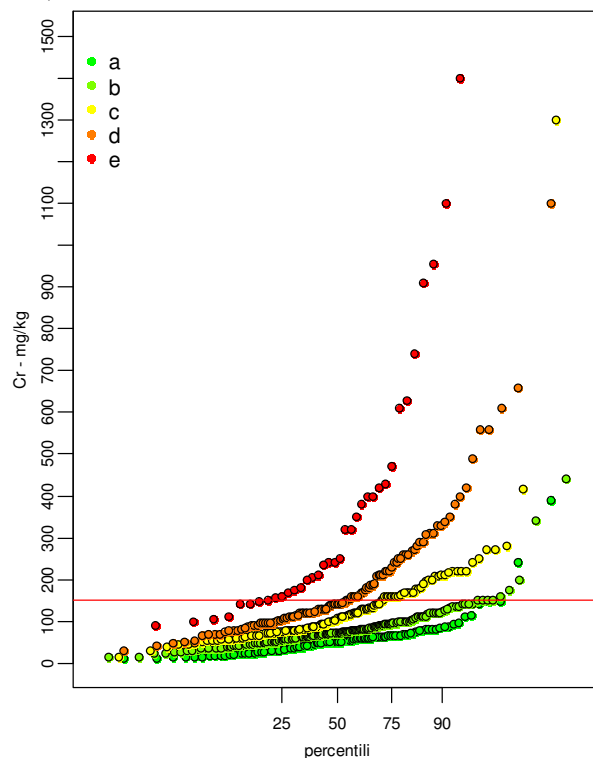
⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli.

⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 48

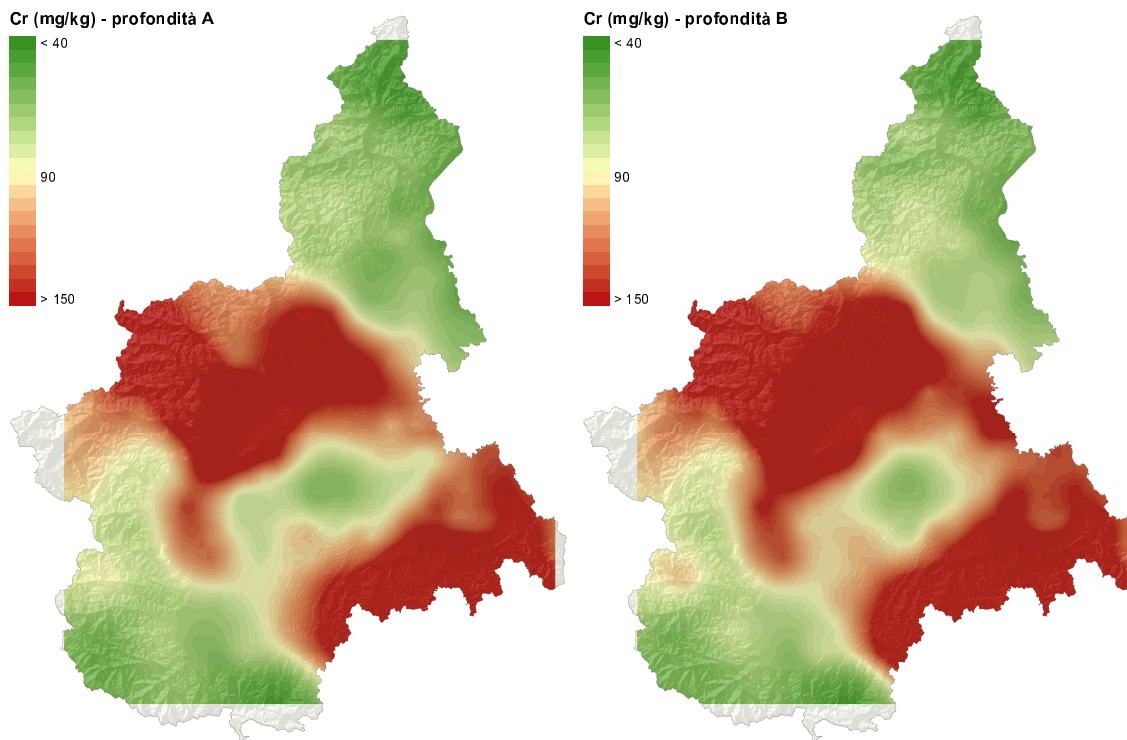
Elaborazione dei dati del Cromo (Cr)⁽¹⁾ per aree omogenee di concentrazione e confronto con i limiti di legge⁽²⁾ (linee rosse). **I** - Aree omogenee di concentrazione (a, b, c) ed aree critiche (d, e) con probabilità elevate di superamento dei limiti di legge⁽²⁾. **II** - Curve di distribuzione in mg/kg per densità. **III** - Box plot⁽³⁾ in mg/kg. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in mg/kg con percentili.

I**II****III****IV**

⁽¹⁾ Elaborazione degli orizzonti B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽³⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ($>Q3 \pm 1,5 * IQR$), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 49

Distribuzione spaziale della concentrazione di Cromo (Cr) e Nichel (Ni) nei suoli del territorio piemontese per profondità di campionamento A e B ⁽¹⁾.

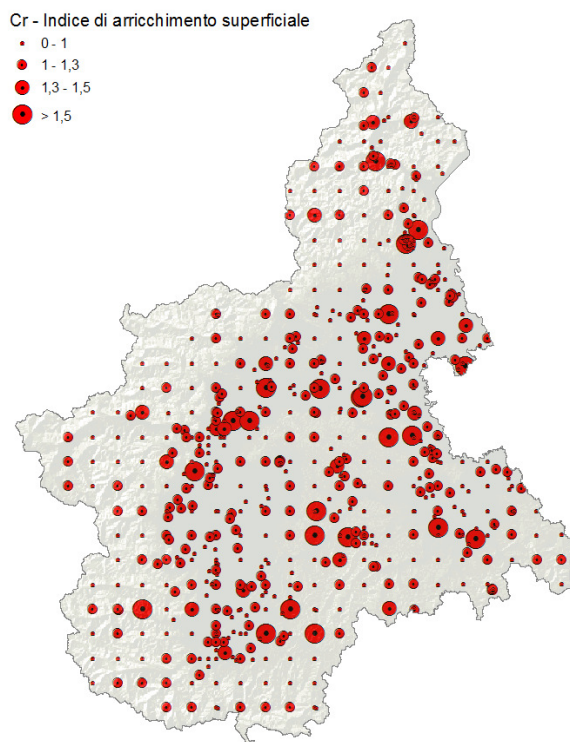


⁽¹⁾ Profondità A: 0-10 cm per suoli naturali e/o indisturbati e orizzonte Ap per suoli arati . Profondità B: 30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 50

Indice di arricchimento superficiale di Cromo (Cr) per classi di deposizione ⁽¹⁾ nelle stazioni della Rete di monitoraggio ambientale dei suoli del Piemonte.



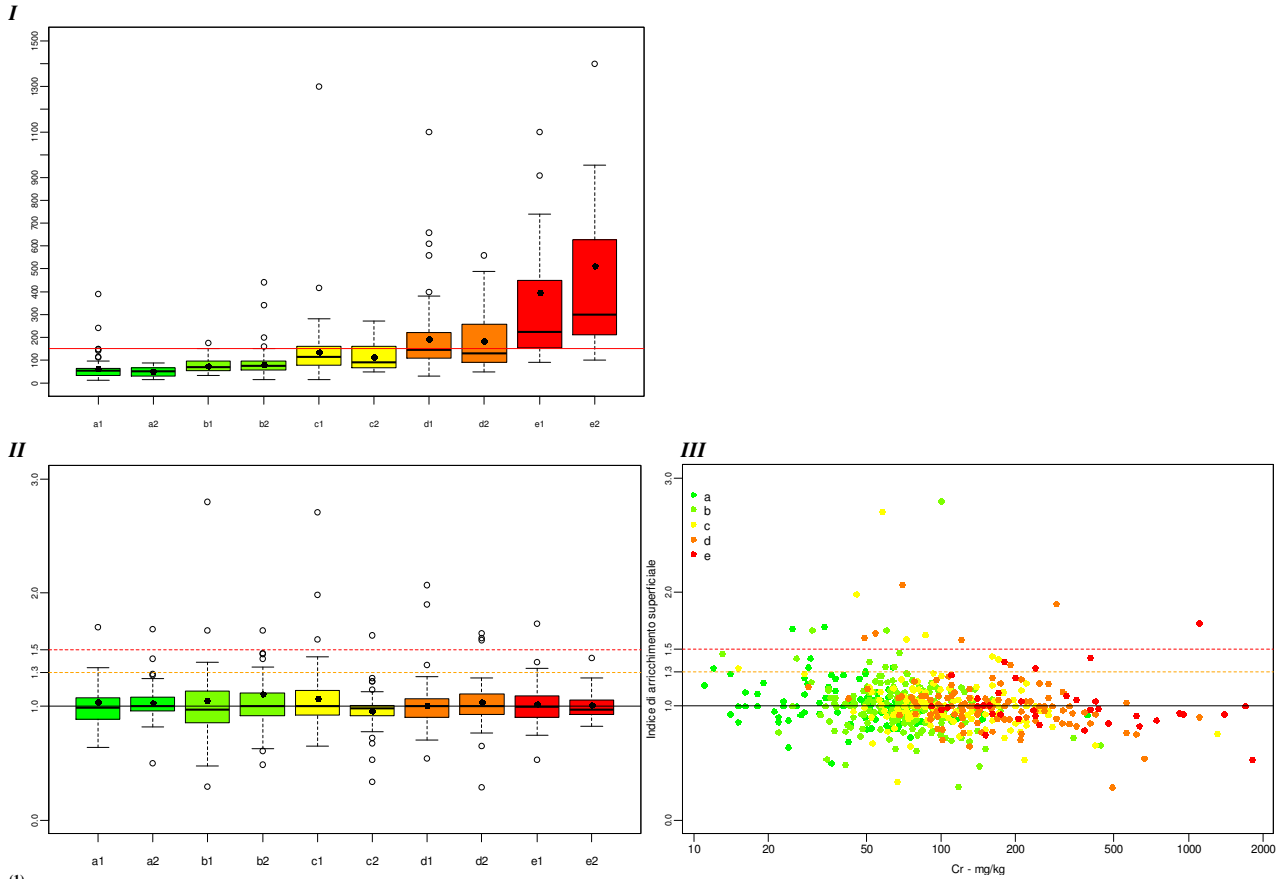
⁽¹⁾ Indice di arricchimento superficiale: < 0 - deposizione assente, da 1 a 1,3 - deposizione molto ridotta, da 1,3 a 1,5 - deposizione moderata, >1.5 - deposizione elevata.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 51

Confronto tra concentrazioni in mg/kg e indice di arricchimento superficiale del Cromo per classi omogenee di concentrazione nei suoli del territorio piemontese.

I - Box plot ⁽¹⁾ della concentrazione in mg/kg e limiti di legge ⁽²⁾ (linea orizzontale rossa). **II** - Box plot dell'indice di arricchimento superficiale e soglia relativa a contaminazione diffusa moderata (1,3 - linea orizzontale arancio) ed elevata (1,5 - linea orizzontale rossa). **III** - Scatterplot dell'indice di arricchimento superficiale e soglia relativa a contaminazione diffusa moderata (1,3 - linea orizzontale arancio) ed elevata (1,5 - linea orizzontale rossa).

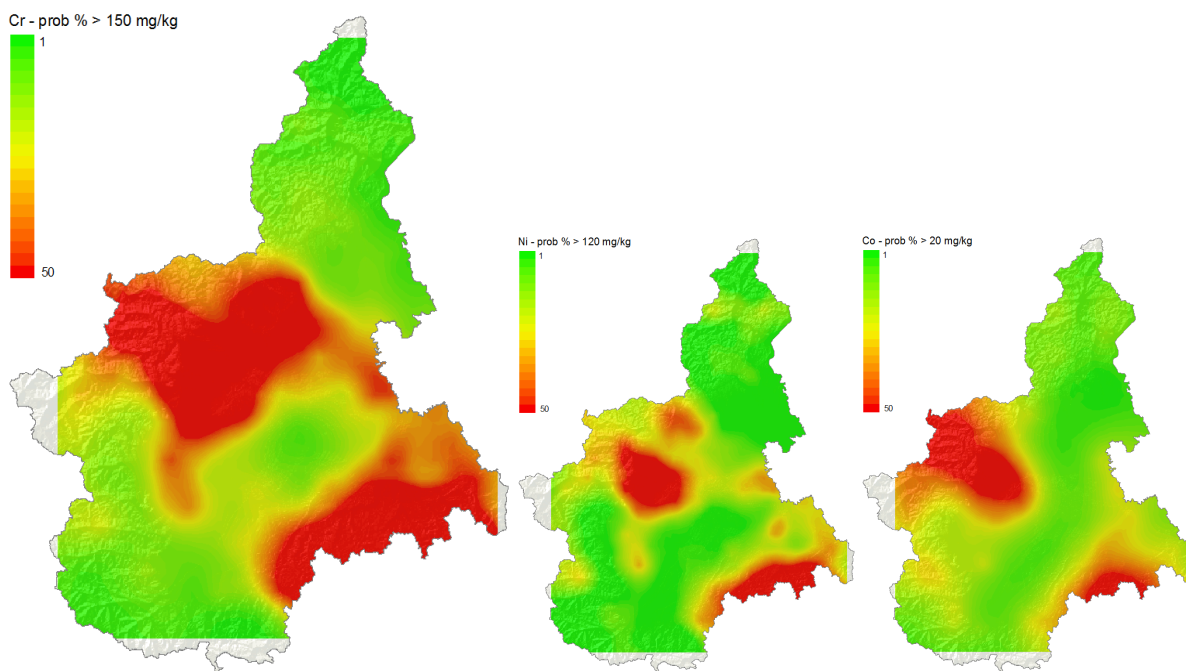


⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ($> Q3+1,5*IQR$), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 52

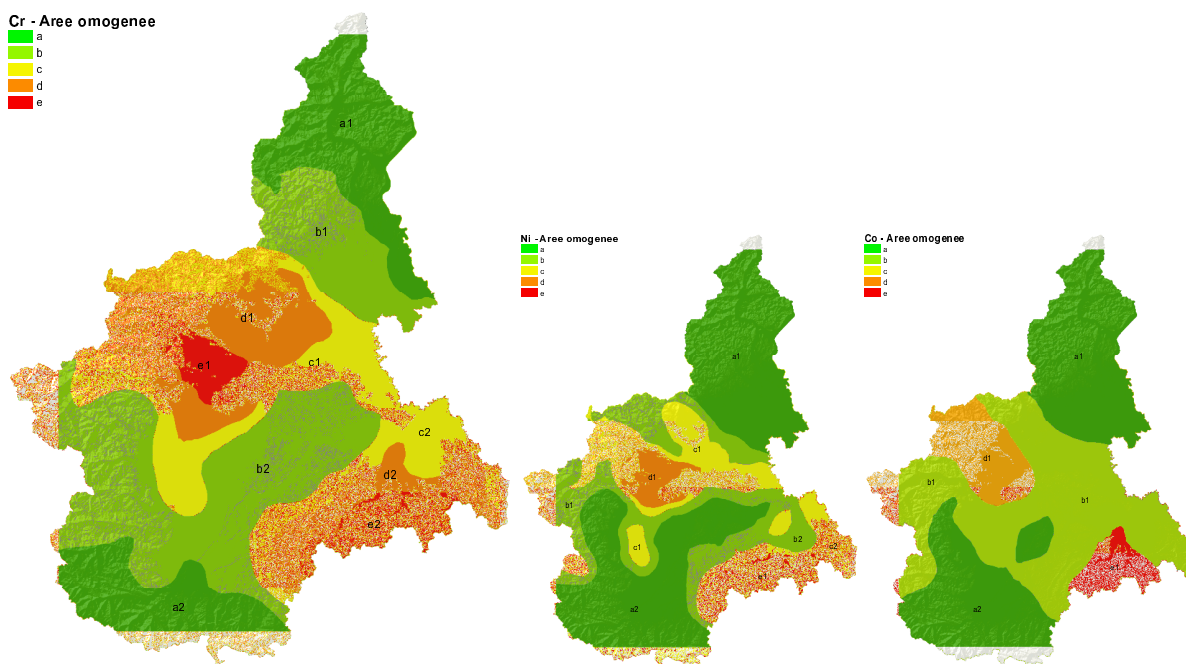
Stima delle probabilità (%) di superamento dei limiti di legge⁽²⁾ ottenuta attraverso modelli predittivi geostatistici (probability kriging) per il Cromo (Cr) e comparazione con i risultati di Nichel (Ni) e Cobalto (Co).



Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 53

Aree omogenee di concentrazione per le quali sono stati elaborati i parametri statistici e calcolati i valori di fondo del Cromo e comparazione con i risultati di Nichel (Ni) e Cobalto (Co).



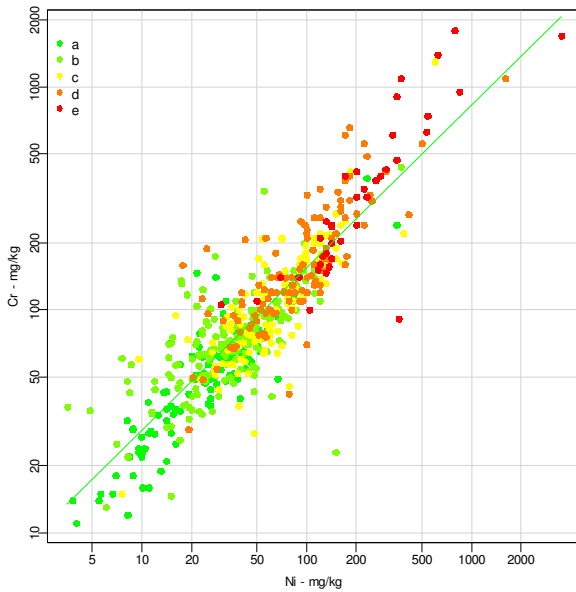
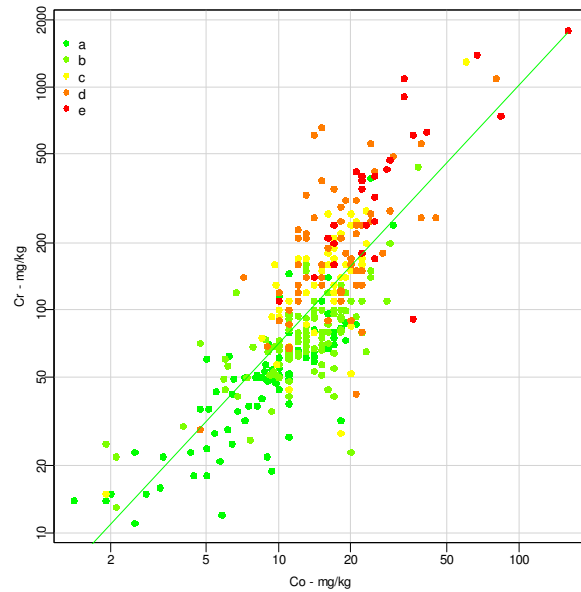
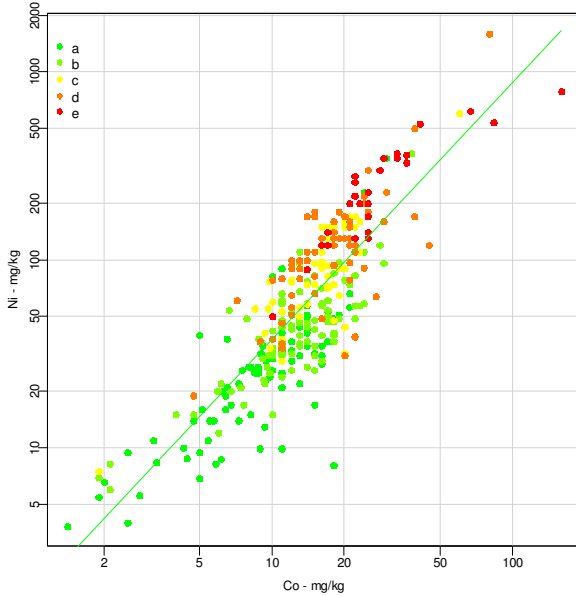
⁽¹⁾ Le classi a,b e c individuano aree con probabilità crescente di superamento dei limiti di legge. Le classi d1,d2,e1 ed e2 individuano aree critiche con probabilità elevate di superamento dei limiti di legge. ⁽²⁾ Elaborazione degli orizzonti B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 54

Matrice di correlazione in mg/kg ⁽¹⁾ per classi omogenee di concentrazione (a, b, c, d, e) del Cromo.

I - Cromo (Cr) vs Nichel (Ni), **II** - Cromo (Cr) vs Cobalto (Co) e **III** - Nichel (Ni) vs Cobalto (Co).

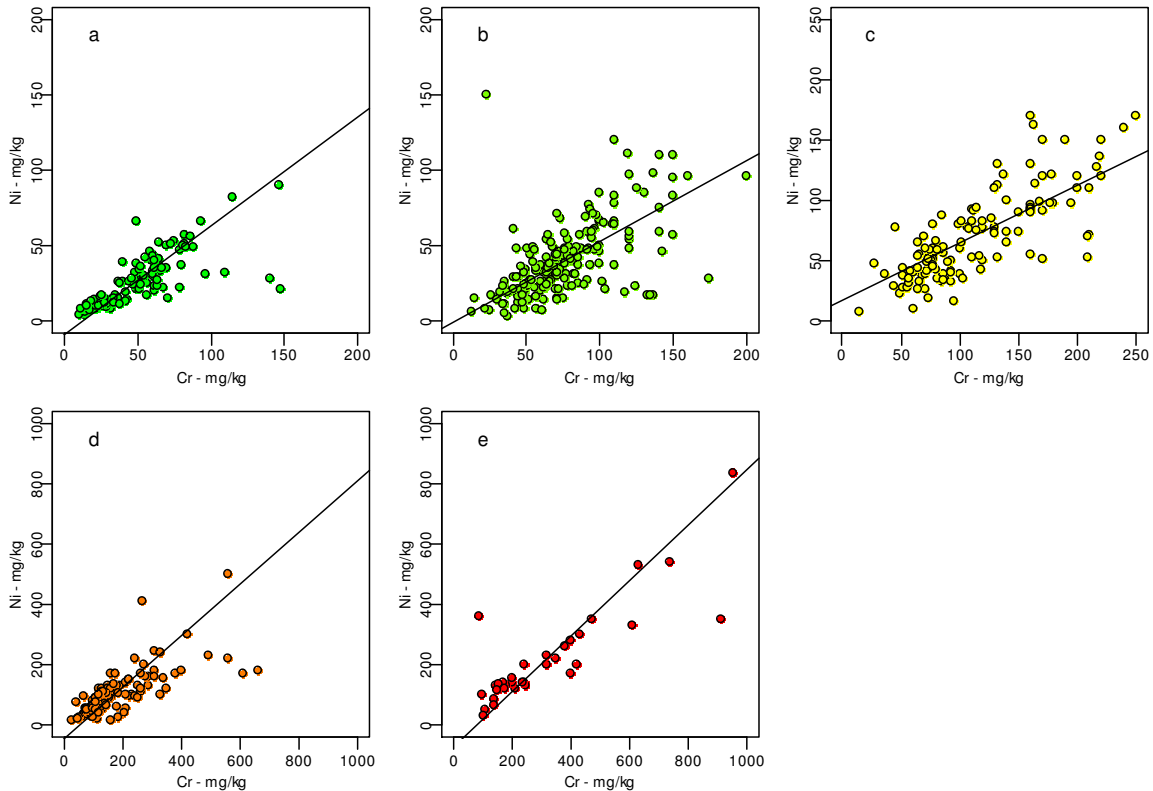
I**II****III**

⁽¹⁾ Le Concentrazioni degli assi sono espresse in scala logaritmica.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 55

Matrice di correlazione in mg/kg ⁽¹⁾ tra Cromo (Cr) e Nichel (Ni) per classi omogenee di concentrazione (a, b, c, d, e) del Cromo.



Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Tabella 10

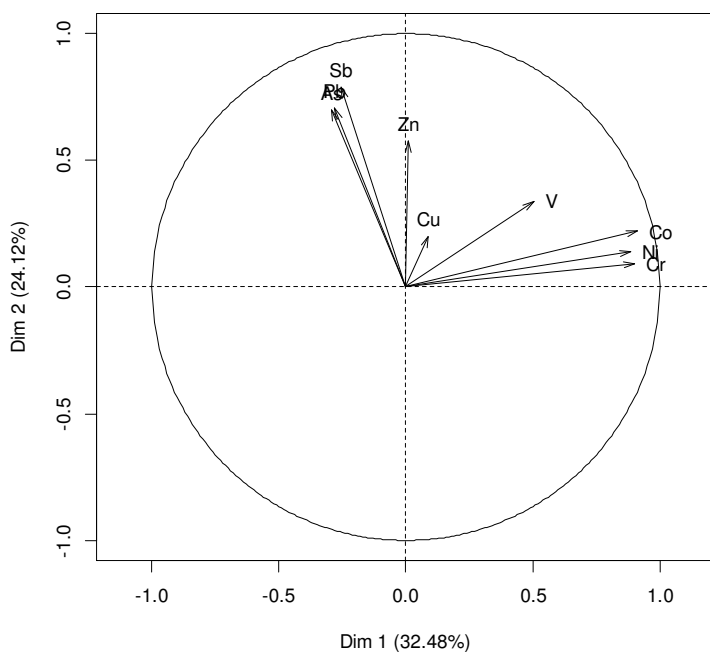
Contenuto naturale medio in mg/kg di Cromo (Cr), Nichel (Ni) e Cobalto (Co) in diversi tipi di rocce.

	Cr	Ni	Co
Peridotiti serpentinitiche e serpentiniti	2980	2000	110
Basalti	185	145	47
Argilliti	100	60	20
Argilliti oceaniche	90	230	74
Arenarie	35	9	0,3
Calcari	11	20	0,1
Carbonati di mare profondo	11	30	7
Graniti	10	10	4

Fonte: De Vivo et al., 2004; Alloway, 1995

Figura 56

Proiezione delle componenti della Principal component analysis effettuata per Sb, As, Be, Co, Cr, Ni, Pb, Cu, V, e Zn. Dim 1 (Cr, Ni, Co – 32,48% di variabilità spiegata) e Dim 2 (Sb, As, Pb – 24,12% di variabilità spiegata).

Variables factor map (PCA)

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Tabella 11

Strutture dei fattori di regionalizzazione della Principal component analysis effettuata per Sb, As, Be, Co, Cr, Ni, Pb, Cu, V, e Zn.

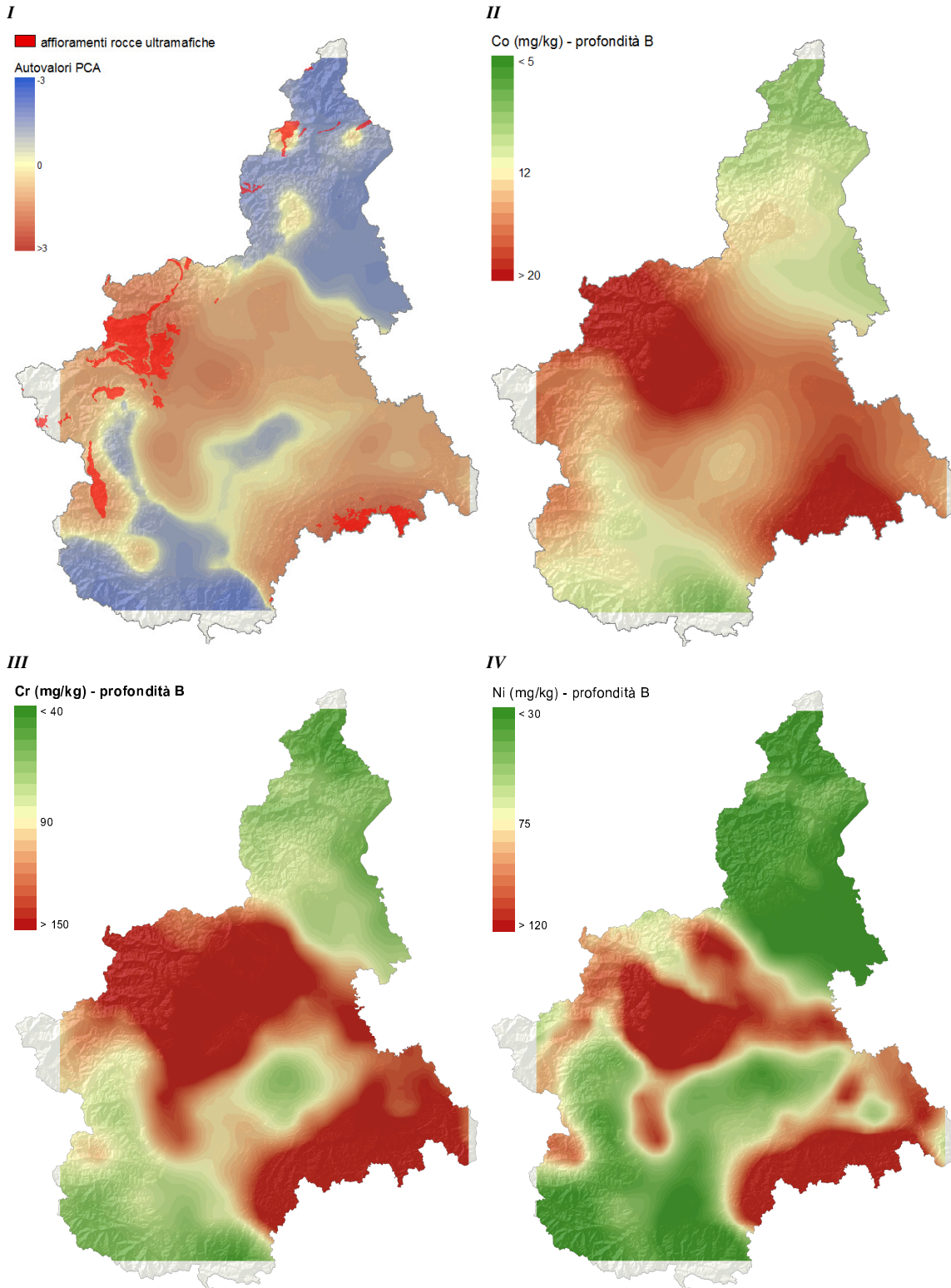
	Dim 1	Dim 2
Sb	-0,25	0,79
As	-0,29	0,70
Co	0,91	0,22
Cr	0,90	0,09
Ni	0,89	0,14
Pb	-0,28	0,70
Cu	0,09	0,20
V	0,50	0,34
Zn	0,01	0,58
Ratio	32,48%	24,12%
Cumul	32,48%	56,60%

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 57

Principal component analysis e confronto con la distribuzione delle concentrazioni di Cromo (Cr), Nichel (Ni) e Cobalto (Co) nei suoli ⁽¹⁾ del territorio piemontese.

I – Spazializzazione degli **autovalori** della matrice di covarianza derivata dalla componente 1 (Cr, Ni, Co) ed affioramenti di rocce ultramafiche. **II** – Stima della concentrazione in mg/kg del Cromo (Cr) ⁽¹⁾. **III** – Stima della concentrazione in mg/kg del Nichel (Ni) ⁽¹⁾. **IV** – Stima della concentrazione in mg/kg del Cobalto (Co) ⁽¹⁾.



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al di sotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Elaborazione dei dati per aree omogenee

Per il Cromo, la cui origine è attribuibile in prevalenza alla composizione chimica del materiale di partenza da cui il suolo ha avuto origine, le elaborazioni statistiche ed il calcolo dei valori di fondo (*contenuto di fondo di natura pedogeochimica o naturale del suolo*), sono stati effettuati utilizzando i campioni degli orizzonti B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

Al fine di evitare l'inclusione di campioni potenzialmente contaminati sono stati esclusi dalle elaborazioni campioni con valore del fattore di arricchimento superficiale superiore a 1,5, ed i valori outliers ($\geq Q3 + 3[Q3 - Q1]$) per i quali è stato verificato un evidente scostamento dalla direzione individuata dalle curve di distribuzione analizzate (densità della distribuzione, distribuzione cumulata di frequenza in percentili).

I valori di fondo sono stati calcolati in base a quanto stabilito dalla "Soil quality - Guidance on the determination of background values", descritta in dettaglio nel capitolo precedente.

La distribuzione dei dati che meglio approssima il campione (normale, log-normale, gamma, non parametrica) è stata valutata attraverso metodi grafici (istogrammi di frequenza, curve cumulative di frequenza e box plot) e test statistici (Shapiro - Wilk e Anderson - Darling).

In Figura 58 sono rappresentate le aree omogenee di concentrazione del Cromo (Cr) per le quali vengono forniti parametri di statistica descrittiva di riferimento e calcolati i valori di fondo.

In Figura 59 sono rappresentati i box plot della concentrazione di Cromo in mg/kg per aree omogenee di concentrazione, messi a confronto con i limite di legge (linea orizzontale rossa).

In Tabella 13 sono riportati, per aree omogenee di concentrazione, parametri di statistica descrittiva (media, mediana, deviazione standard - dev st, coefficiente di variazione - CV, valori minimi - min, valori massimi - max, 25° - 50° - 75° - 90° e 95° percentile, soglia outliers), valori di fondo, numero e percentuale di campioni che superano i limiti di legge. In rosso sono indicati i valori medi, mediani e percentili che superano il limite di legge.

Per ogni area omogenea di concentrazione sono inoltre rappresentati (da Figura 60 a Figura 69) l'istogramma della densità di distribuzione per classi di concentrazione, la curva di densità della distribuzione e la curva di distribuzione cumulata di frequenza in percentili, confrontati con il valore di fondo (linea tratteggiata nera) ed il limite di legge (linea continua rossa).

Dall'analisi delle elaborazioni spaziali e dei parametri statistici è possibile osservare una notevole variabilità spaziale del contenuto di Cromo nei suoli del territorio piemontese, con presenza di aree omogenee di ampia superficie, ben delimitate limitate tra di loro e caratterizzate da concentrazioni e distribuzioni dei dati molto diverse.

Le aree omogenee di concentrazione sono state classificate dalla lettera "a" alla "e" (Tabella 12), in base alle probabilità crescenti di superamento del limite di legge di 150 mg/kg, stabilito dal D.Lgs. 152/06 per i suoli ad uso verde pubblico, privato e residenziale (*Allegato 5 - Tabella 1 - colonna A*). Le probabilità di superamento dei limi di legge variano da valori inferiori al 5% per la classe "a", con soglia outliers inferiore al limite di legge, a valori superiori al 75 % per la classe "e", che presenta valori superiori al limite di legge già in corrispondenza del 25° percentile.

Le concentrazioni medie variano da valori minimi di 49 mg/kg per l'area omogenea di concentrazione Cr_a2, a valori massimi di 512 mg/kg per l'area Cr_e2.

La variabilità del dato, evidenziata dalla deviazione standard, dal coefficiente di variazione e dall'intervallo interquartile aumenta notevolmente in funzione dell'aumento della concentrazione media e mediana delle aree. L'aumento della variabilità è spiegabile in parte dalla diminuzione progressiva del numero di campioni analizzati, che a sua volta è legato alla superficie dell'area, ed in parte dalla presenza discontinua del materiale parentale (substrato geologico) con elevato contenuto di Cromo.

Come ampiamente dimostrato nel capitolo precedente, la presenza sul territorio piemontese di aree critiche caratterizzate da concentrazioni molto elevate di Cromo e da alte probabilità di superamento dei limiti di legge, è prevalentemente legata alla presenza di affioramenti di rocce ultramafiche (peridotiti serpentinitiche e serpentiniti) naturalmente ricche di Cr, Ni e Co.

Il numero di valori outliers con concentrazioni anomale rispetto alla popolazione campionaria, risulta molto ridotto in tutte le aree omogenee di concentrazione individuate.

Per le aree Cr_c1, Cr_c2, Cr_d1, Cr_d2, Cr_e1 e Cr_e2, che presentano concentrazioni elevate legate alla presenza di affioramenti di rocce ultramafiche, i valori prossimi all'unità dei coefficienti di arricchimento in corrispondenza degli outliers, escludono ipotesi relative alla presenza di correlazioni statisticamente significative tra concentrazioni elevate e forme di contaminazione puntuale.

I valori outliers delle aree a minore concentrazione, Cr_a2, Cr_b1, Cr_b2, Cr_c1, Cr_c2 e Cr_d1, sono invece associati a coefficienti di arricchimento con valori elevati, ad indicare presenza di lievi forme di contaminazione puntuale.

I valori di fondo risultano ampiamente inferiori al limite di legge per le aree Cr_a1, Cr_a2, Cr_b1 e Cr_b2.

Le aree Cr_c1, Cr_c2, Cr_d1, Cr_d2, Cr_e1 e Cr_e2, influenzate dalla presenza di rocce ultramafiche, presentano invece valori di fondo molto elevati e superiori al limite di 150 mg/kg con variazioni da un minimo di 197 mg/kg (Cr_c2) ad un massimo di 607 mg/kg (Cr_e2).

I parametri statistici ed i valori di fondo calcolati per le aree omogenee di concentrazione Cr_a1, Cr_a2, Cr_b1, Cr_b2, Cr_c1, Cr_c2 e Cr_d1 possono essere considerati attendibili e statisticamente significativi in quanto sono rappresentati da un numero sufficiente di campioni, bassa variabilità del dato, se rapportata alla densità di campionamento, e distribuzioni della popolazione uniformi e continue.

Le aree omogenee di concentrazione Cr_d2, Cr_e1 e Cr_e2, sono rappresentate da un numero basso di campioni, dovuto alle dimensioni relativamente ridotte delle aree, da una elevata variabilità (coefficiente di variazione, deviazione standard, intervallo interquartile) e da una distribuzione dei campioni asimmetrica (positiva - destra), irregolare e discontinua. I valori di fondo calcolati non possono quindi essere considerati statisticamente significativi e devono essere utilizzati unicamente a titolo indicativo.

Per queste aree è previsto un infittimento dei campionamenti su maglia sistemica 4,5 x 4,5 km o 3 x 3 km in base ai risultati delle mappe di previsione dell'errore standard che individuano zone differenziate per qualità di predizione ed aree sottocampionate.

Si sottolinea che è possibile utilizzare i dati elaborati della rete di monitoraggio dei suoli come studio pregresso per dimostrare che eventuali superamenti dei limiti di legge sono dovuti a caratteristiche naturali del terreno, esclusivamente per siti che ricadono nelle aree critiche Cr_d1, Cr_d2, Cr_e1 e Cr_e2, caratterizzati da valori di fondo ampiamente superiori ai limiti di legge.

Le ipotesi relative alla prevalente origine naturale del Cromo derivano dall'analisi di una popolazione di dati statisticamente significativa a grande scala di dettaglio; nelle aree critiche non è quindi possibile escludere a priori la presenza di casi di superamento dei limiti di legge e/o valori di fondo proposti, riconducibili a contaminazione puntuale di origine antropica.

Occorre inoltre considerare che le elevate concentrazioni riscontrate nelle aree critiche Cr_d1, Cr_d2, Cr_e1 e Cr_e2, caratterizzate da valori medi molto elevati e valori di fondo anche 3-4 volte superiori ai limiti di legge, possono "mascherare" forme di contaminazione da deposizione superficiale di Cromo anche di intensità rilevante.

Per i motivi sopra elencati, l'ottenimento di dati rappresentativi a scala di dettaglio comunale e/o locale, è sempre vincolato ad un ulteriore approfondimento con monitoraggio di maggiore dettaglio e ad una eventuale speciazione dei metalli per valutare la biodisponibilità e l'effettiva tossicità del contaminante (vedi paragrafo - Raccomandazioni relative all'utilizzo dei dati).

Tabella 12Classificazione delle aree omogenee di concentrazione in base alle probabilità di superamento dei limiti di legge ⁽¹⁾

	Probabilità di superamento dei limiti di legge	Limite di legge
a	<5%	> Soglia outliers
b	5%-25 %	75° perc – Soglia outliers
c	25%-50%	50°perc – 75° perc
d	50%-75%	25°perc – 50° perc
e	>75%	< 25° perc

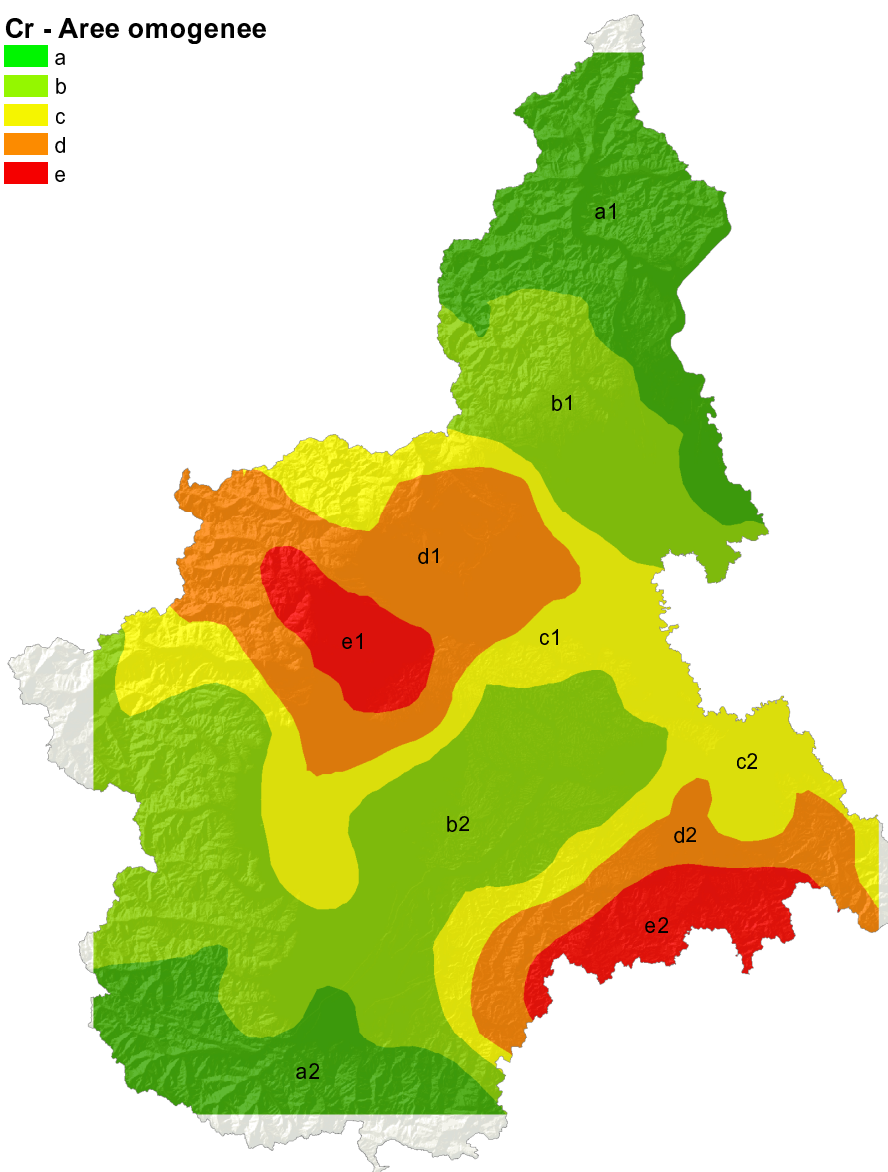
⁽¹⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 58

Aree omogenee di concentrazione (a1, a2, b1, b2, c1, c2) ed aree critiche con probabilità elevate di superamento dei limiti di legge (d1, d2, e1, e2) ⁽¹⁾ per le quali sono stati elaborati i parametri statistici e calcolati i valori di fondo del Cromo nei suoli ⁽²⁾ del territorio piemontese.

Cr - Aree omogenee

- a
- b
- c
- d
- e

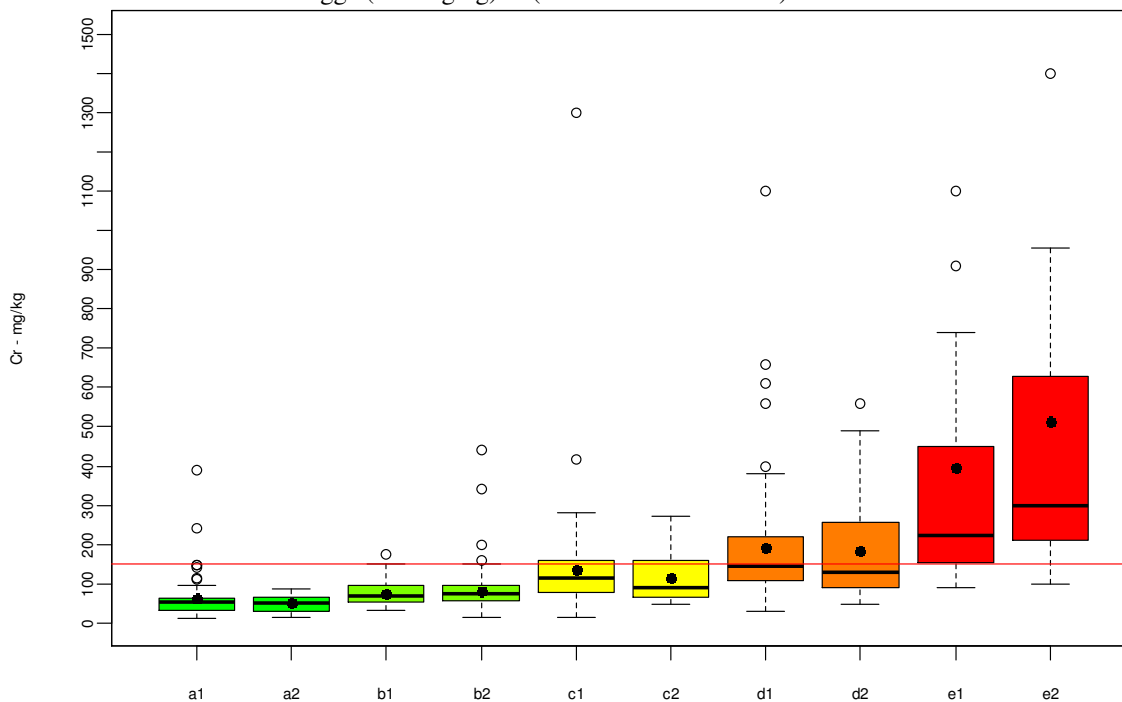


⁽¹⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽²⁾ Elaborazione degli orizzonti B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 59

Box plot⁽¹⁾ della concentrazione di Cromo (Cr) in mg/kg nei suoli ⁽²⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione e confronto con i limiti di legge (150 mg/kg) ⁽³⁾ (linea orizzontale rossa).



⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (>Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽²⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al di sotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli) ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Tabella 13

Statistica descrittiva, percentili, valori di fondo ⁽¹⁾, confronto con i limiti di legge (150 mg/kg) ⁽²⁾ e conteggio di campioni analizzati del Cromo (Cr) nei suoli ⁽³⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione.

Aree omogenee		Cr_a1	Cr_a2	Cr_b1	Cr_b2	Cr_c1	Cr_c2	Cr_d1	Cr_d2	Cr_e1	Cr_e2
Media	mg/kg	61	49	76	81	137	113	191	183	397	515
Mediana	mg/kg	52	49	69	75	113	90	145	130	222	300
Dev. St	mg/kg	54	22	32	50	139	58	152	136	400	494
CV	-	0,9	0,4	0,4	0,6	1,0	0,5	0,8	0,7	1,0	1,0
Min	mg/kg	11	14	33	13	15	49	29	49	91	100
Max	mg/kg	390	86	174	440	1300	270	1100	560	1800	1700
25° percentile (Q1)	mg/kg	34	29	53	56	77	66	107	93	155	217
50° percentile	mg/kg	52	49	69	75	113	90	145	130	222	300
75° percentile (Q3)	mg/kg	64	65	95	95	160	160	220	253	440	573
90° percentile	mg/kg	97	81	126	120	210	197	310	363	859	1267
95° percentile	mg/kg	143	82	137	141	237	219	396	466	1072	1505
Soglia outliers \geq ⁽⁵⁾	mg/kg	108	118	156	153	284	301	390	491	868	1107
Numero outliers	n	7	0	1	4	2	0	5	1	3	2
Valore di fondo ⁽¹⁾	mg/kg	72	81	100	115	209	197	271	334 ⁽⁴⁾	470 ⁽⁴⁾	607 ⁽⁴⁾
Campioni	n	70	41	59	139	90	44	85	28	24	14
> Limite di legge ⁽²⁾	n	2	0	1	4	26	12	40	10	19	12
	%	3	0	2	3	29	27	47	36	79	86

⁽¹⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽²⁾ Limiti di legge D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽³⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al di sotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽⁴⁾ Numero di dati insufficiente per una corretta definizione dei valori di fondo. Occorre un ulteriore infittimento dei campionamenti. ⁽⁵⁾ =Q3+1,5*IQR, IQR=Q3-Q1.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

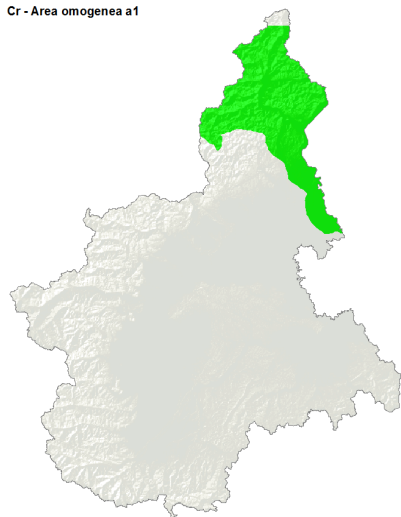
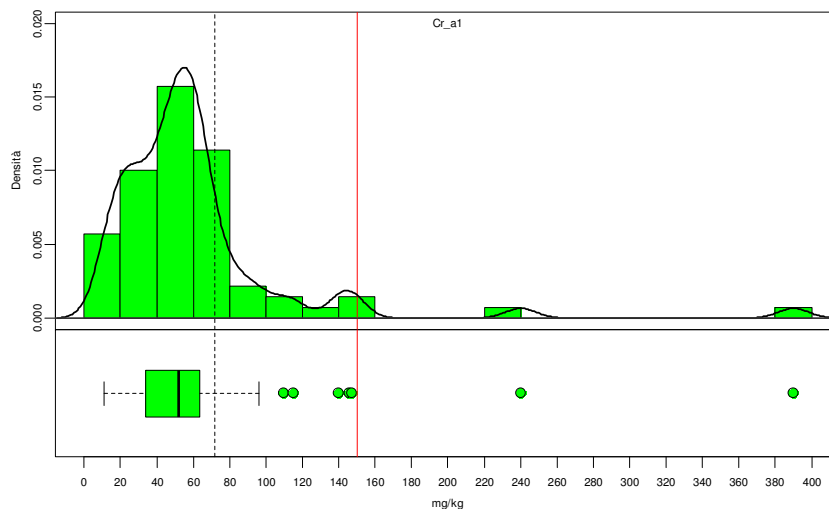
Figura 60

Parametri statistici del Cromo (Cr)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Cr_a1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

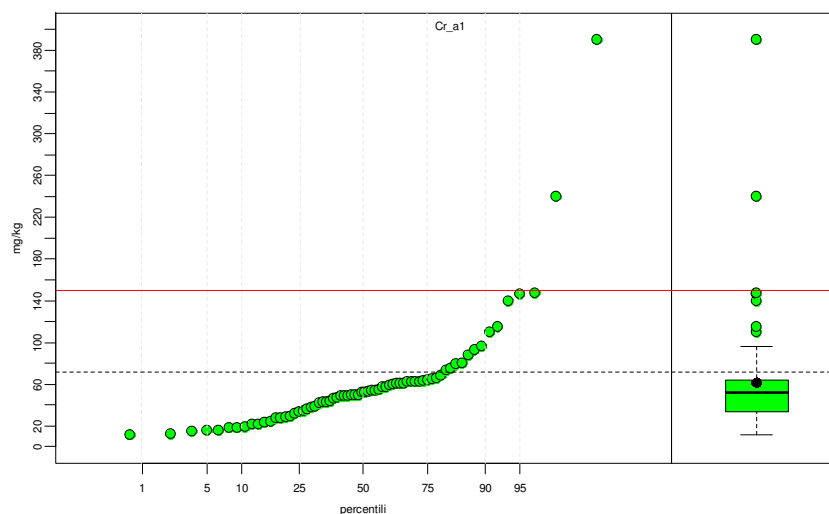
I

Cr - Area omogenea a1

**II****III**

Aree omogenee

	mg/kg	Cr_a1
Media	61	
Mediana	52	
Dev. St	54	
CV	0,9	
Min	11	
Max	390	
25° percentile (Q1)	34	
50° percentile	52	
75° percentile (Q3)	64	
90° percentile	97	
95° percentile	143	
Soglia outliers \geq ⁽⁵⁾	108	
Numero outliers	n	7
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	72
Campioni	n	70
> Limite di legge ⁽³⁾	n	2
	%	3

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.

⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ($> Q3+1,5*IQR$), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = $Q3+1,5*IQR$ dove $IQR=(Q3-Q1)$.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

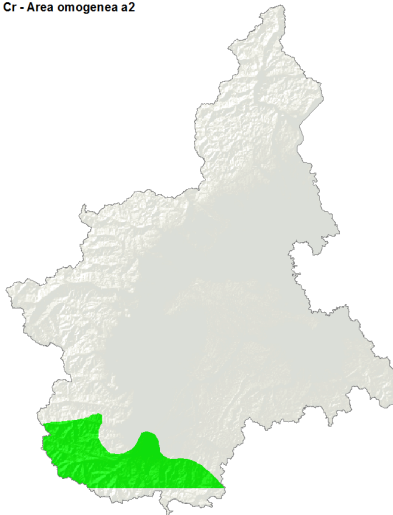
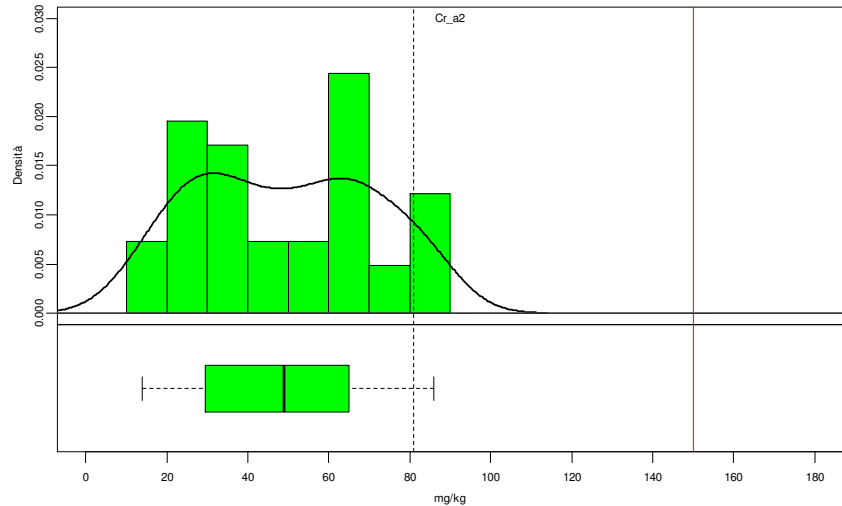
Figura 61

Parametri statistici del Cromo (Cr)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Cr_a2 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

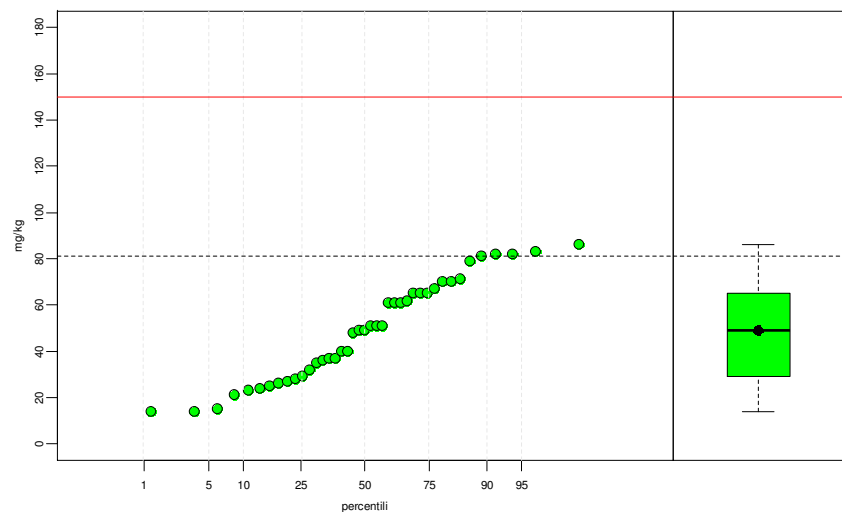
I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I

Cr - Area omogenea a2

**II****III**

Aree omogenee		Cr_a2
Media	mg/kg	49
Mediana	mg/kg	49
Dev. St	mg/kg	22
CV	-	0,4
Min	mg/kg	14
Max	mg/kg	86
25° percentile (Q1)	mg/kg	29
50° percentile	mg/kg	49
75° percentile (Q3)	mg/kg	65
90° percentile	mg/kg	81
95° percentile	mg/kg	82
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	118
Numero outliers	n	0
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	81
Campioni	n	41
> Limite di legge ⁽³⁾	n	0
	%	0

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

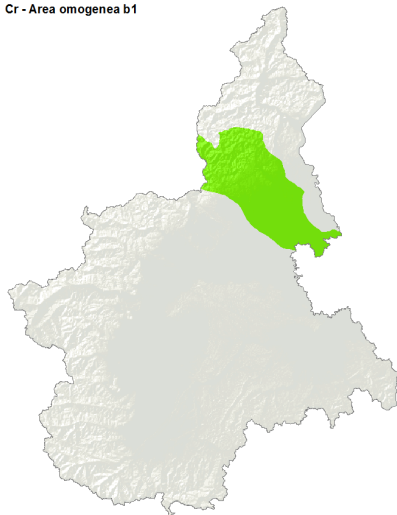
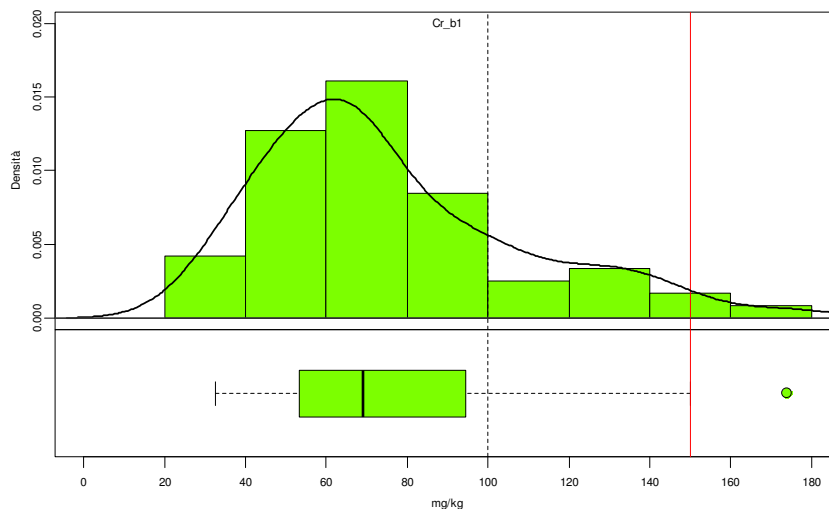
Figura 62

Parametri statistici del Cromo (Cr)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Cr_b1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** – Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** – Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

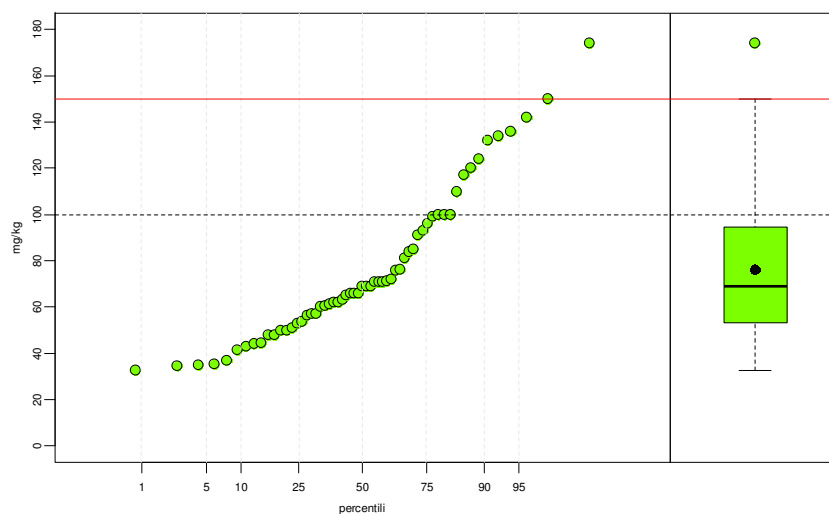
I

Cr - Area omogenea b1

**II****III**

Aree omogenee

	mg/kg	Cr_b1
Media	mg/kg	76
Mediana	mg/kg	69
Dev. St	mg/kg	32
CV	-	0,4
Min	mg/kg	33
Max	mg/kg	174
25° percentile (Q1)	mg/kg	53
50° percentile	mg/kg	69
75° percentile (Q3)	mg/kg	95
90° percentile	mg/kg	126
95° percentile	mg/kg	137
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	156
Numero outliers	n	1
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	100
Campioni	n	59
> Limite di legge ⁽³⁾	n	1
	%	2

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

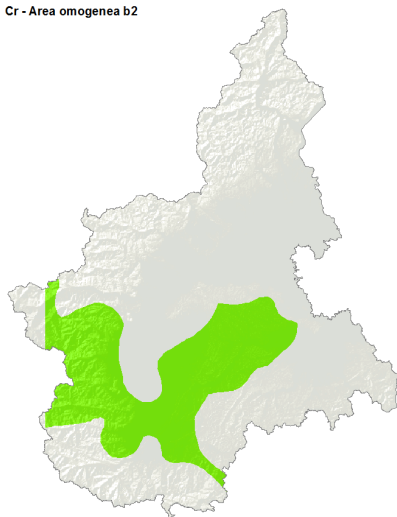
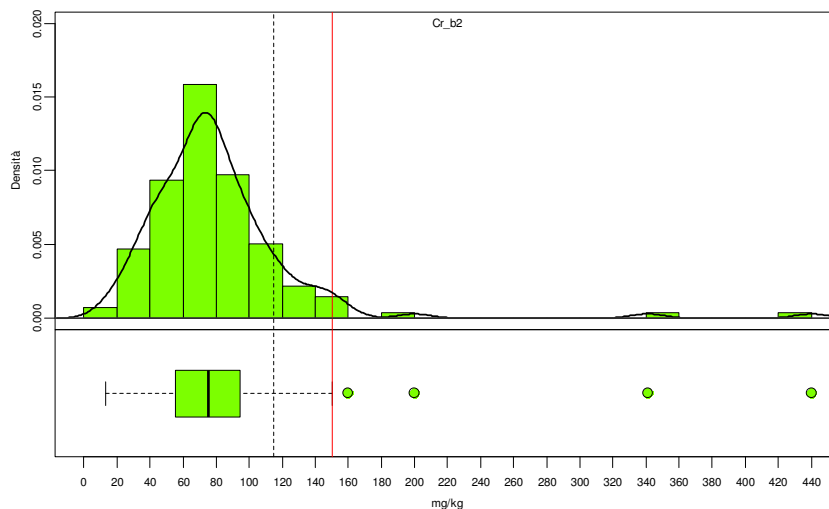
Figura 63

Parametri statistici del Cromo (Cr)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Cr_b2 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

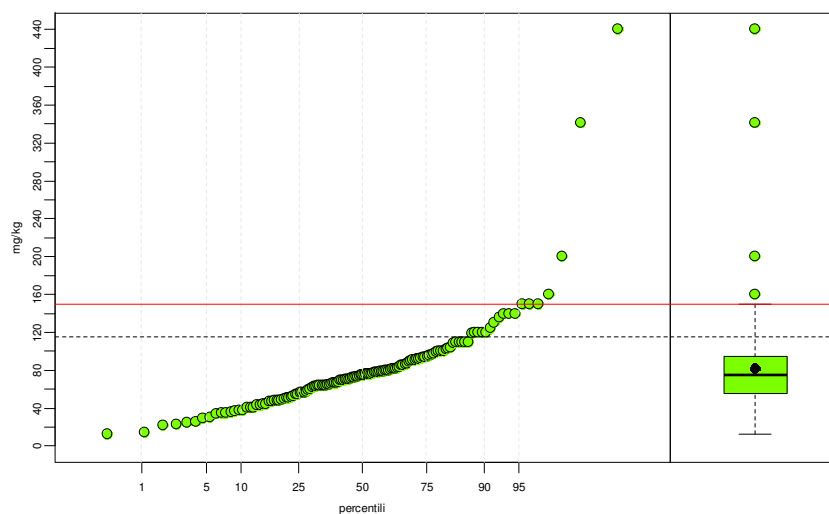
I

Cr - Area omogenea b2

**II****III**

Aree omogenee

	mg/kg	Cr_b2
Media	81	
Mediana	75	
Dev. St	50	
CV	0,6	
Min	13	
Max	440	
25° percentile (Q1)	56	
50° percentile	75	
75° percentile (Q3)	95	
90° percentile	120	
95° percentile	141	
Soglia outliers ⁽⁵⁾	153	
Numero outliers	n	4
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	115
Campioni	n	139
> Limite di legge ⁽³⁾	n	4
	%	3

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

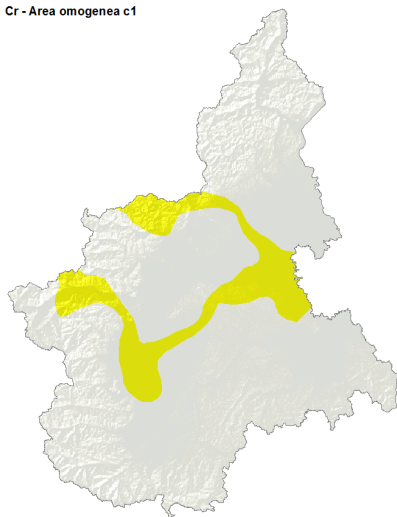
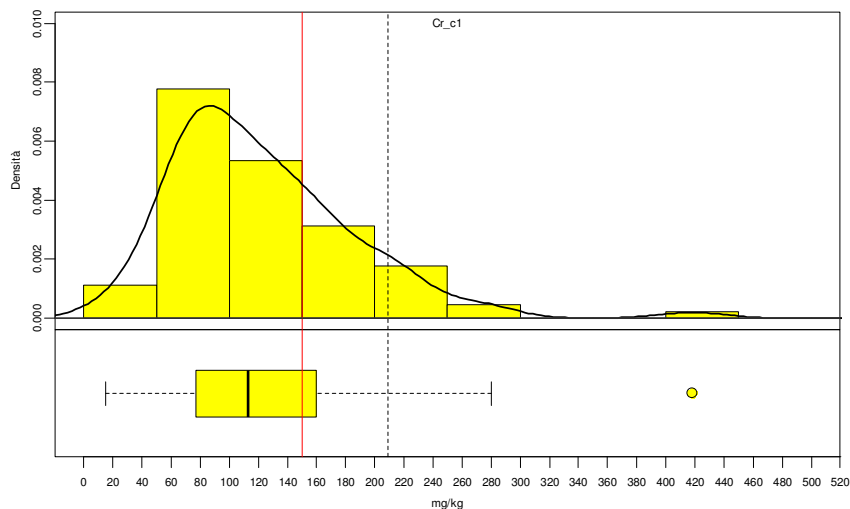
Figura 64

Parametri statistici del Cromo (Cr)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Cr_c1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

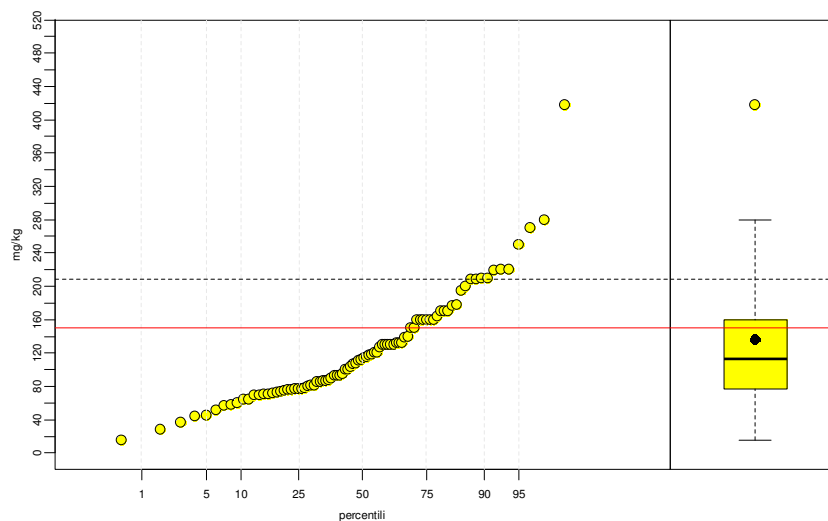
I

Cr - Area omogenea c1

**II****III**

Aree omogenee

	mg/kg	Cr_c1
Media	mg/kg	137
Mediana	mg/kg	113
Dev. St	mg/kg	139
CV	-	1,0
Min	mg/kg	15
Max	mg/kg	1300
25° percentile (Q1)	mg/kg	77
50° percentile	mg/kg	113
75° percentile (Q3)	mg/kg	160
90° percentile	mg/kg	210
95° percentile	mg/kg	237
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	284
Numero outliers	n	2
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	209
Campioni	n	90
> Limite di legge ⁽³⁾	n	26
	%	29

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

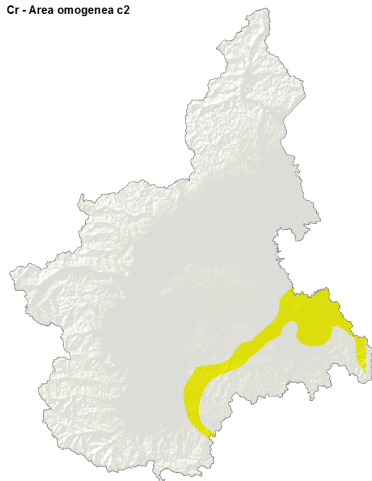
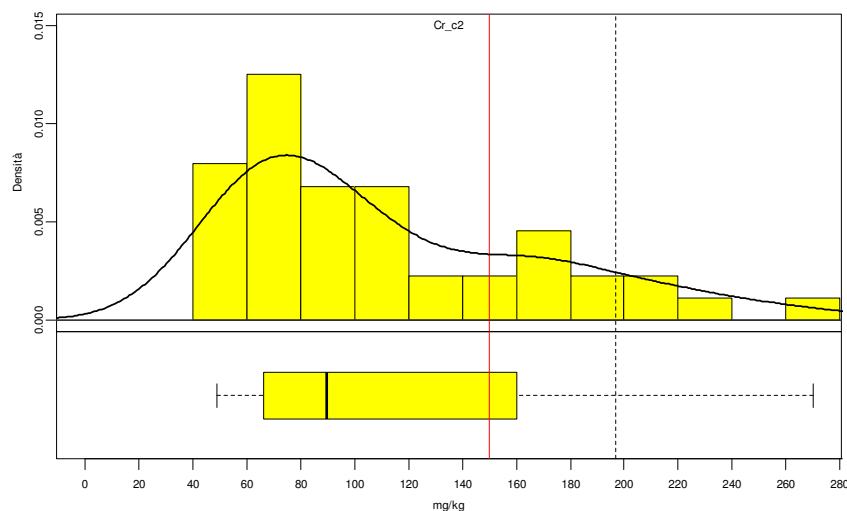
Figura 65

Parametri statistici del Cromo (Cr)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Cr_c2 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

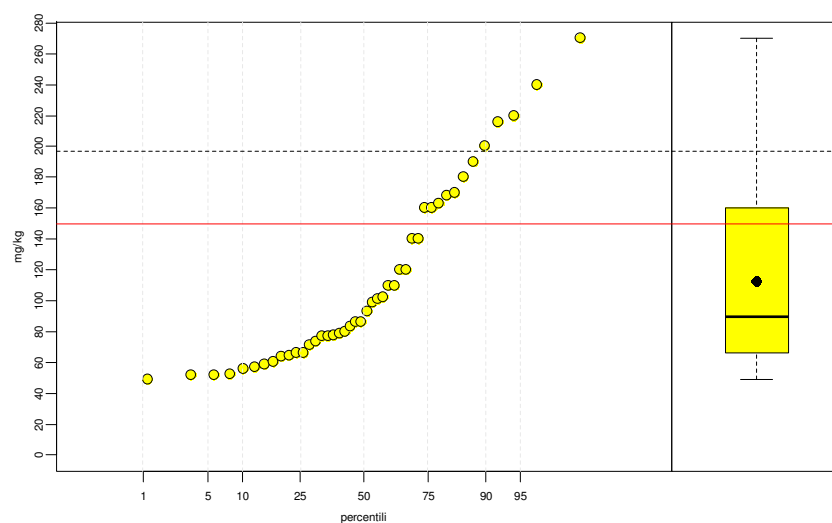
I

Cr - Area omogenea c2

**II****III**

Aree omogenee

	mg/kg	
Media	mg/kg	113
Mediana	mg/kg	90
Dev. St	mg/kg	58
CV	-	0,5
Min	mg/kg	49
Max	mg/kg	270
25° percentile (Q1)	mg/kg	66
50° percentile	mg/kg	90
75° percentile (Q3)	mg/kg	160
90° percentile	mg/kg	197
95° percentile	mg/kg	219
Soglia outliers ≥⁽⁵⁾	mg/kg	301
Numero outliers	n	0
Valore di fondo⁽²⁾	mg/kg	197
Campioni	n	44
> Limite di legge⁽³⁾	n	12
	%	27

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

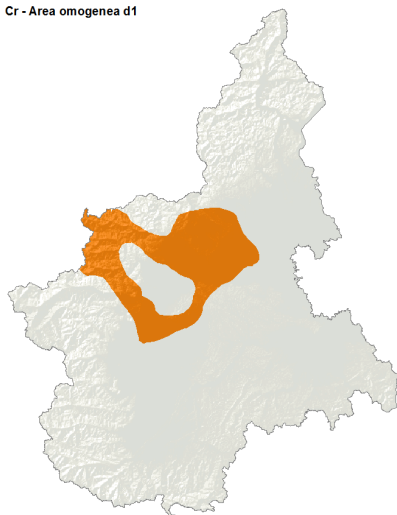
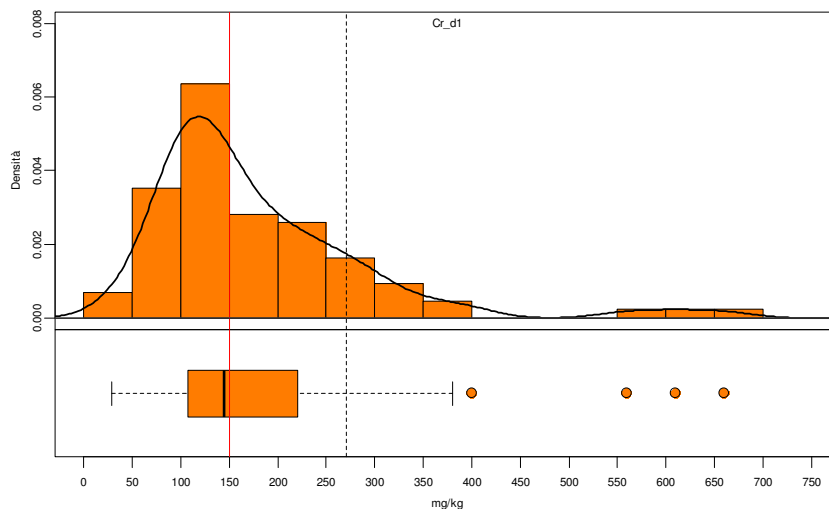
Figura 66

Parametri statistici del Cromo (Cr)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Cr_d1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** – Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** – Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

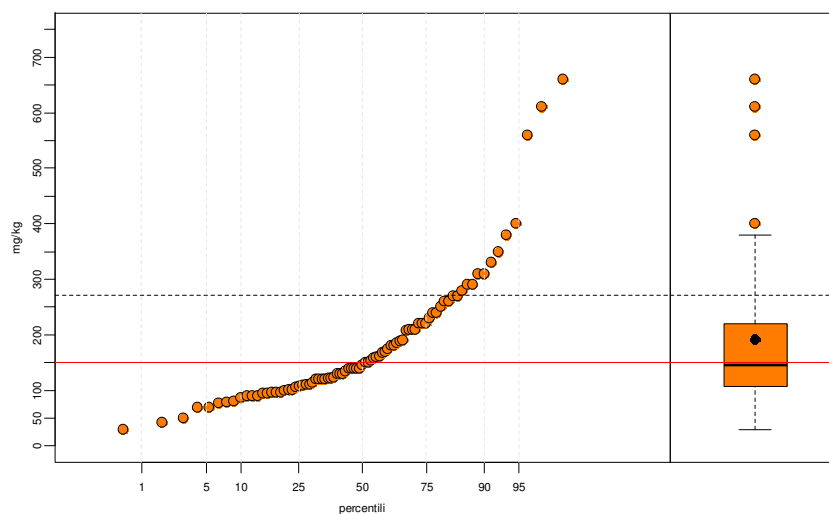
I

Cr - Area omogenea d1

**II****III**

Aree omogenee

	mg/kg	Cr_d1
Media	mg/kg	191
Mediana	mg/kg	145
Dev. St	mg/kg	152
CV	-	0,8
Min	mg/kg	29
Max	mg/kg	1100
25° percentile (Q1)	mg/kg	107
50° percentile	mg/kg	145
75° percentile (Q3)	mg/kg	220
90° percentile	mg/kg	310
95° percentile	mg/kg	396
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	390
Numero outliers	n	5
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	271
Campioni	n	85
> Limite di legge ⁽³⁾	n	40
	%	47

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

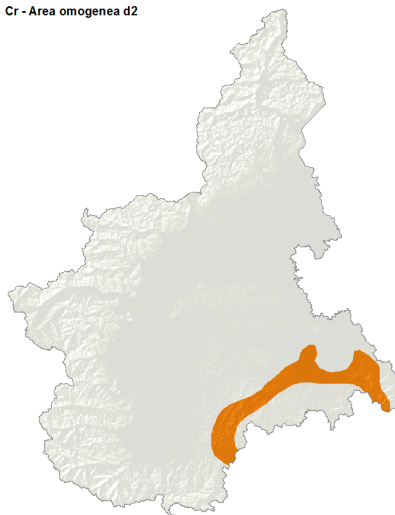
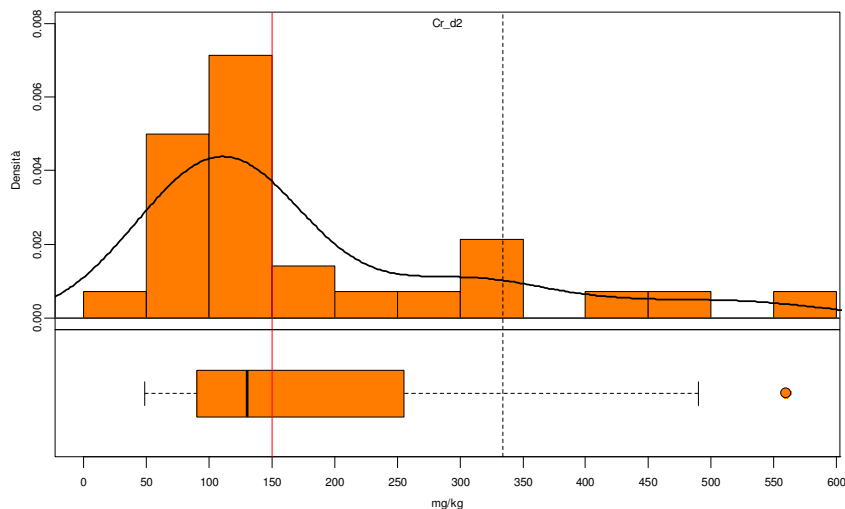
Figura 67

Parametri statistici del Cromo (Cr)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Cr_d2 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

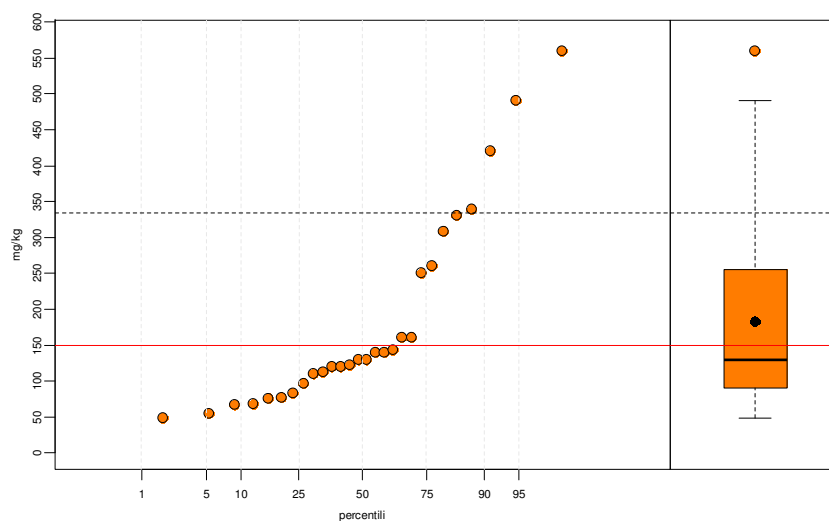
I

Cr - Area omogenea d2

**II****III**

Aree omogenee

	mg/kg	Cr_d2
Media	mg/kg	183
Mediana	mg/kg	130
Dev. St	mg/kg	136
CV	-	0,7
Min	mg/kg	49
Max	mg/kg	560
25° percentile (Q1)	mg/kg	93
50° percentile	mg/kg	130
75° percentile (Q3)	mg/kg	253
90° percentile	mg/kg	363
95° percentile	mg/kg	466
Soglia outliers \geq ⁽⁵⁾	mg/kg	491
Numero outliers	n	1
Valore di fondo	mg/kg	334 ⁽⁴⁾
Campioni	n	28
> Limite di legge	n	10
	%	36

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

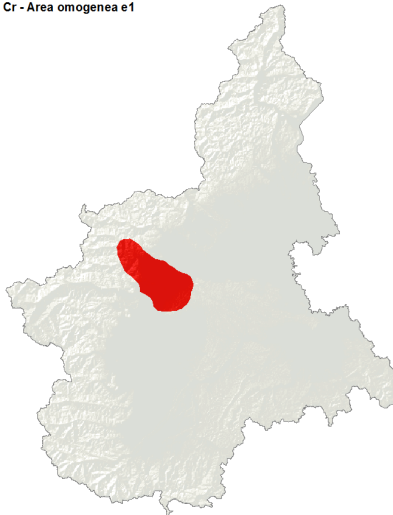
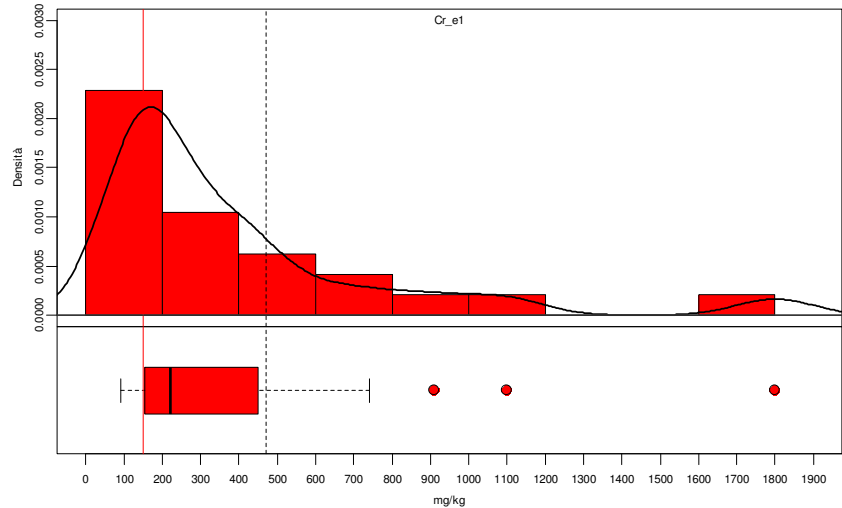
Figura 68

Parametri statistici del Cromo (Cr)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Cr_e1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

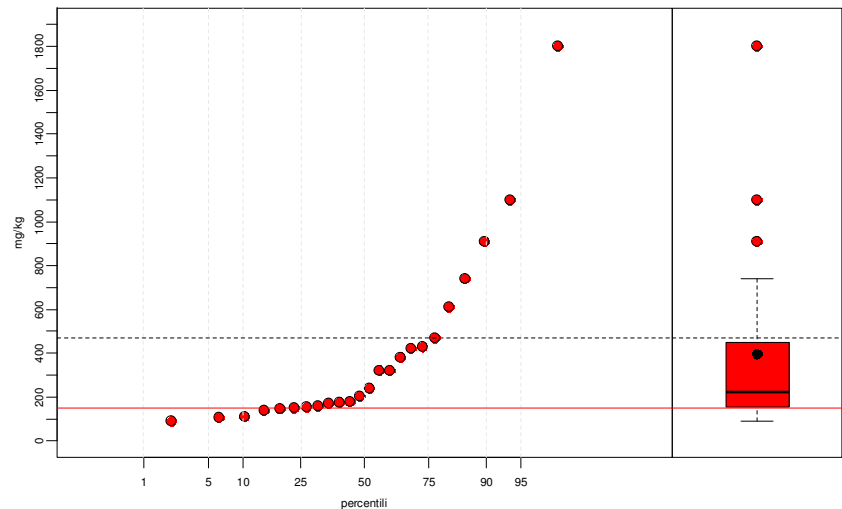
I - Delimitazione dell'area. **II** - Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I

Cr - Area omogenea e1

**II****III**

Aree omogenee		Cr_e1
Media	mg/kg	397
Mediana	mg/kg	222
Dev. St	mg/kg	400
CV	-	1,0
Min	mg/kg	91
Max	mg/kg	1800
25° percentile (Q1)	mg/kg	155
50° percentile	mg/kg	222
75° percentile (Q3)	mg/kg	440
90° percentile	mg/kg	859
95° percentile	mg/kg	1072
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	868
Numero outliers	n	3
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	470 ⁽⁴⁾
Campioni	n	24
> Limite di legge ⁽³⁾	n	19
	%	79

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

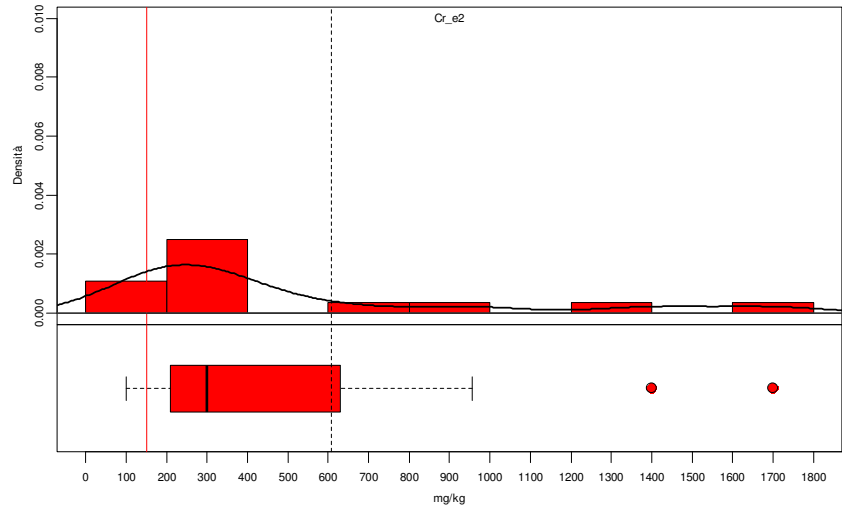
Figura 69

Parametri statistici del Cromo (Cr)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Cr_e2 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

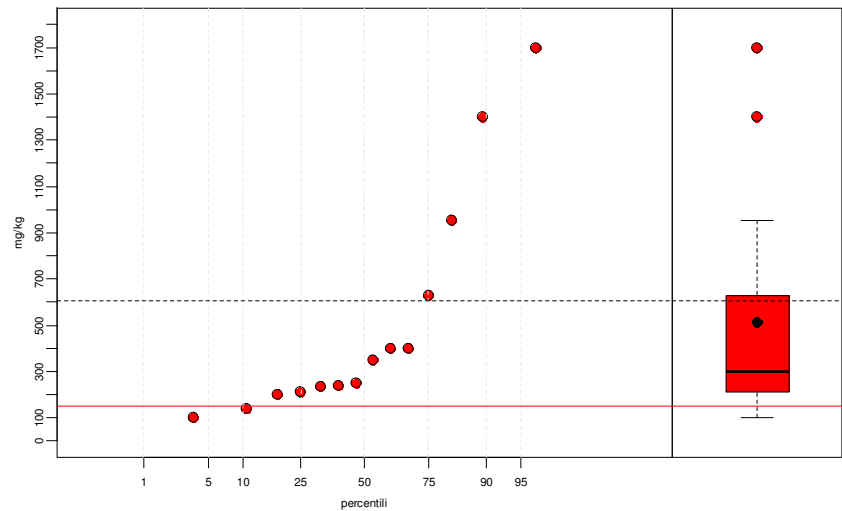
I

Cr - Area omogenea e2

**II****III**

Aree omogenee

	mg/kg	Cr_e2
Media	mg/kg	515
Mediana	mg/kg	300
Dev. St	mg/kg	494
CV	-	1,0
Min	mg/kg	100
Max	mg/kg	1700
25° percentile (Q1)	mg/kg	217
50° percentile	mg/kg	300
75° percentile (Q3)	mg/kg	573
90° percentile	mg/kg	1267
95° percentile	mg/kg	1505
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	1107
Numero outliers	n	2
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	607 ⁽⁴⁾
Campioni	n	14
> Limite di legge ⁽³⁾	n	12
	%	86

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Rame

Valutazione di presenza, origine ed intensità della contaminazione diffusa

Per le elaborazioni del Rame di seguito proposte sono stati utilizzati i dati relativi ad un totale di 708 stazioni di monitoraggio, delle quali 323 uniformemente distribuite in tutto il territorio piemontese su maglia sistematica (9x9 km e 3x3 km), e 385 stazioni realizzate nell'ambito di altri progetti realizzati da Arpa, campionate ed analizzate con le stesse procedure. (Figura 70 – I).

Il consistente numero di stazioni di monitoraggio analizzate permette di ottenere, attraverso l'utilizzo di modelli predittivi geostatistici, rappresentazioni spaziali della concentrazione di Rame attendibili ad una scala di dettaglio indicativa pari a 1:150.000.

L'interpretazione congiunta dei risultati relativi alla stima della concentrazione in mg/kg del Rame (Figura 70 - II) e della stima delle probabilità percentuale di superamento dei limiti di legge (Figura 70 - III) ha permesso l'individuazione di aree omogenee di concentrazione su tutto il territorio piemontese (Figura 70 - IV), di dimensioni significative rispetto alla densità di campionamento ed alla scala di rappresentazione.

La rappresentatività statistica delle popolazioni di dati appartenenti alle singole aree omogenee di concentrazione è stata verificata attraverso confronto con test statistici (t-test per campioni indipendenti) e metodi di confronto grafici (curve della densità di distribuzione, Box plot, Curve di distribuzione cumulata di frequenza).

Le valutazioni relative a presenza, origine, e intensità della contaminazione sono state effettuate attraverso l'utilizzo combinato di elaborazioni statistiche, geostatistiche e calcolo di specifici indici di arricchimento.

I risultati dei modelli predittivi geostatistici (Figura 71 - III) mostrano la presenza di differenze poco marcate tra la concentrazione degli orizzonti superficiali (profondità A) e quella degli orizzonti profondi (profondità B) per la maggior parte della superficie del territorio piemontese.

I valori dell'indice di arricchimento superficiale tendono in genere ad aumentare all'aumentare della concentrazione del contaminante (Figura 73 – I e III), ad indicare la presenza di correlazioni a grande scala di dettaglio tra concentrazioni elevate e forme di contaminazione antropica.

I campioni caratterizzati da deposizione superficiale di Rame di intensità moderata (indice di arricchimento >1.3) ed elevata (indice di arricchimento >1.5) presentano distribuzioni spaziali omogenee e correlate con la distribuzione delle aree omogenee (Figura 72).

In corrispondenza di aree fortemente urbanizzate e/o industrializzate (Cu_b) e di aree caratterizzate da presenza elevata di colture viticole (Cu_c) si osserva la presenza di concentrazioni più elevate e più alte probabilità di superamento di limiti di legge. In queste aree, l'elevata variabilità verticale riscontrata tra concentrazione degli orizzonti superficiali (A) e quella di quelli più profondi (B) indica presenza di fenomeni rilevanti di deposizione superficiale di origine antropica.

L'area omogenea di concentrazione Cu_a presenta valori medi e mediani degli indici di arricchimento superficiale prossimi all'unità, ad indicare assenza di fenomeni rilevanti di deposizione superficiale di Rame.

L'area omogenea di concentrazione Cu_c presenta invece una consistente presenza di contaminazione diffusa da deposizione superficiale (Figura 73 - II), con valori mediani degli indici di arricchimento del Rame superiori alla soglia 1,3 (contaminazione diffusa moderata) e valori medi superiori alla soglia 1,5 (contaminazione diffusa elevata).

Per le aree Cu_a e Cu_b, il numero di valori outliers della concentrazione in mg/kg è elevato.

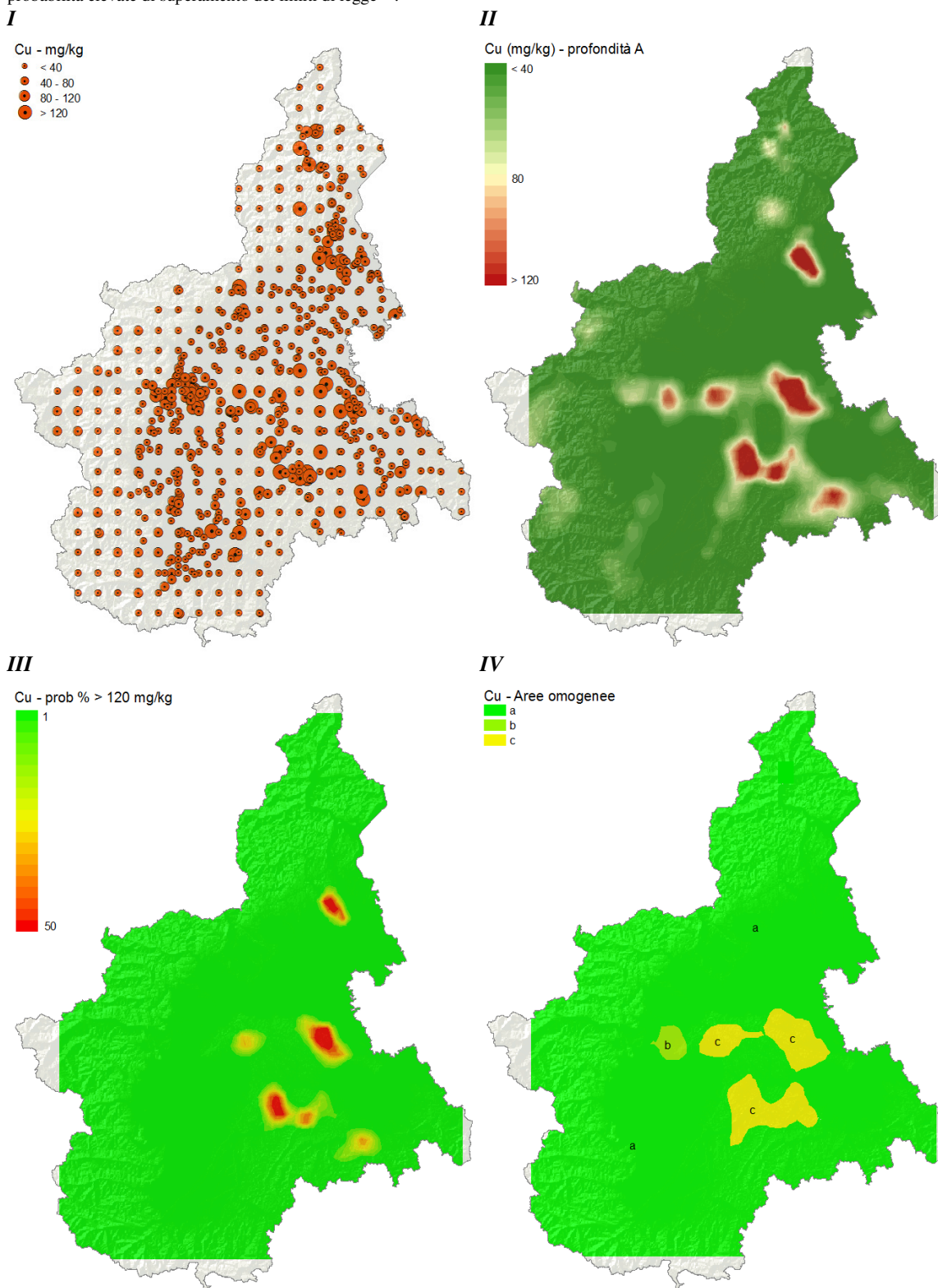
La presenza di coefficienti di arricchimento ampiamente superiori all'unità in corrispondenza dei valori outliers della concentrazione, evidenzia la presenza di forme di deposizione superficiale da attribuire a contaminazione puntuale e/o contaminazione diffusa che interessa superfici ridotte non rilevabili alla scala di rappresentazione.

In base a quanto osservato l'origine del Rame nei suoli del territorio piemontese è attribuibile in parte alla composizione chimica del materiale di partenza da cui il suolo ha avuto origine ed in parte a fenomeni più o meno intensi di deposizione superficiale derivante da contaminazione diffusa di origine antropica.

Figura 70

Spazializzazione della concentrazione di Rame (Cu) nei suoli ⁽¹⁾ del territorio piemontese ed individuazione di aree omogenee di concentrazione. **I** – Stazioni di monitoraggio per classi di concentrazione in mg/kg. **II** – Stima della concentrazione in mg/kg.

III – Stima delle probabilità (%) di superamento dei limiti di legge⁽²⁾. **IV** – Aree omogenee di concentrazione (a, b, c) ed aree critiche (d, e) con probabilità elevate di superamento dei limiti di legge⁽²⁾.



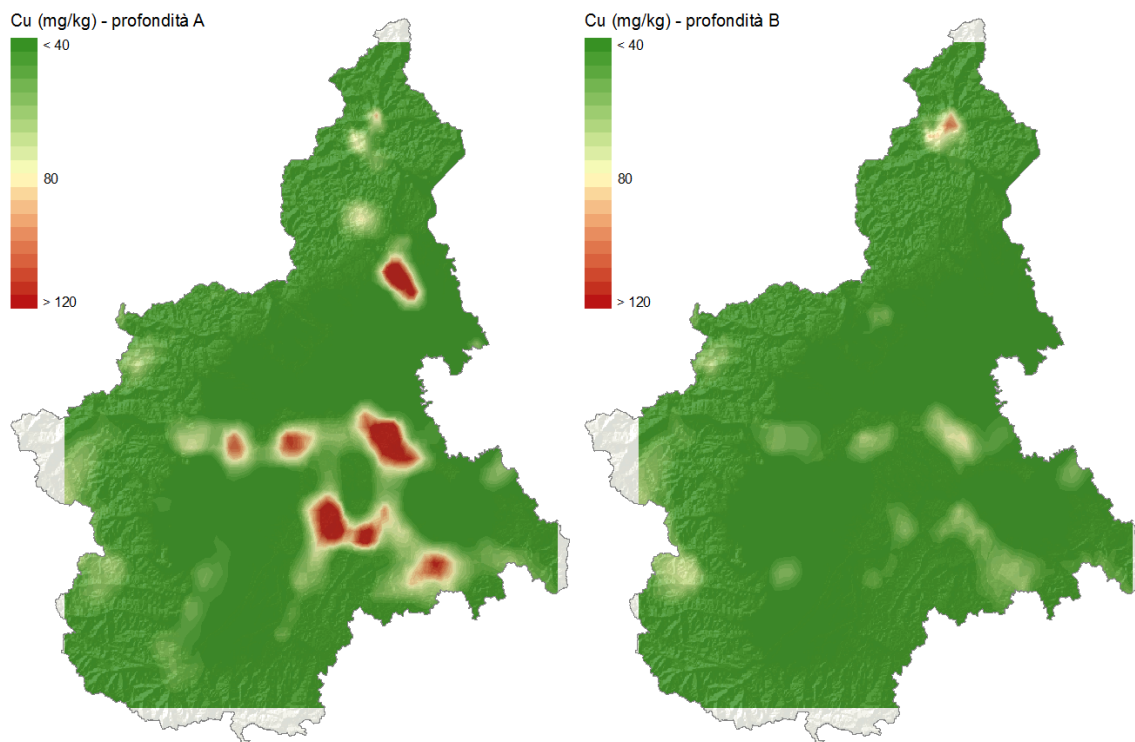
⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 71

Distribuzione spaziale della concentrazione di Cromo (Cr) e Nichel (Ni) nei suoli del territorio piemontese per profondità di campionamento A e B ⁽¹⁾.

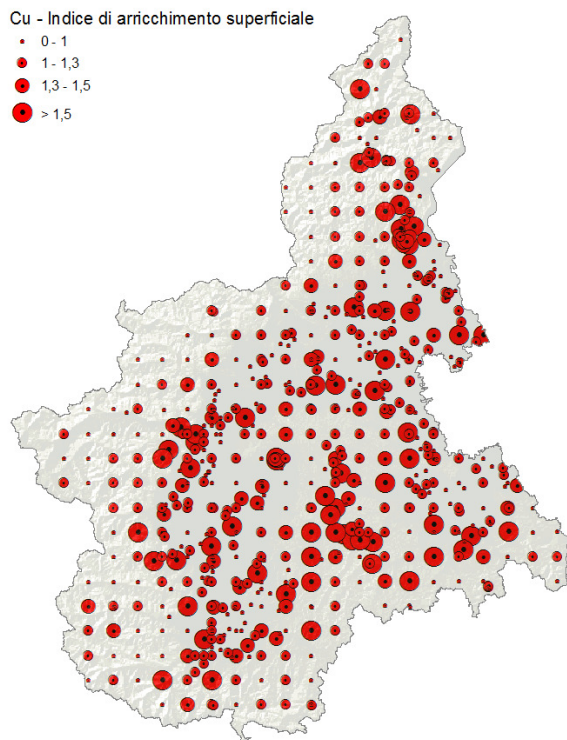


⁽¹⁾ Profondità A: 0-10 cm per suoli naturali e/o indisturbati e orizzonte Ap per suoli arati . Profondità B: 30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 72

Indice di arricchimento superficiale del Rame (Cu) per classi di deposizione superficiale ⁽¹⁾ nelle stazioni della Rete di monitoraggio ambientale dei suoli del Piemonte.



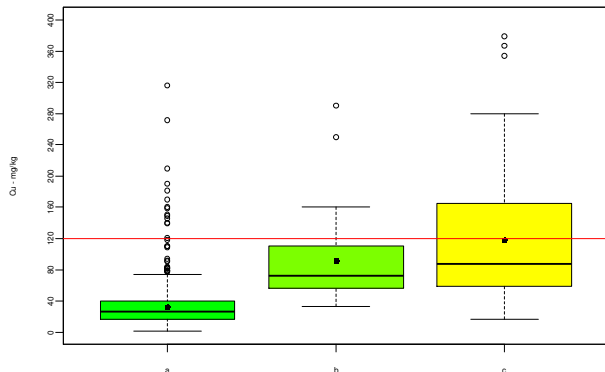
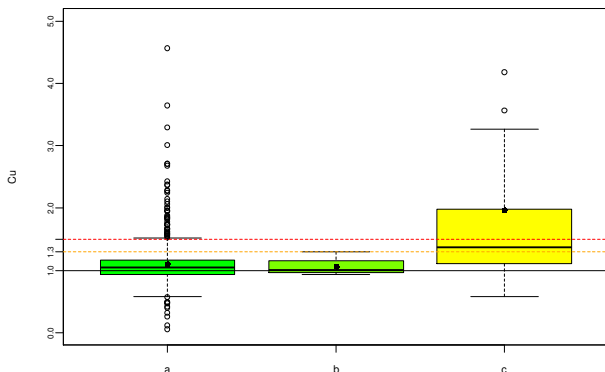
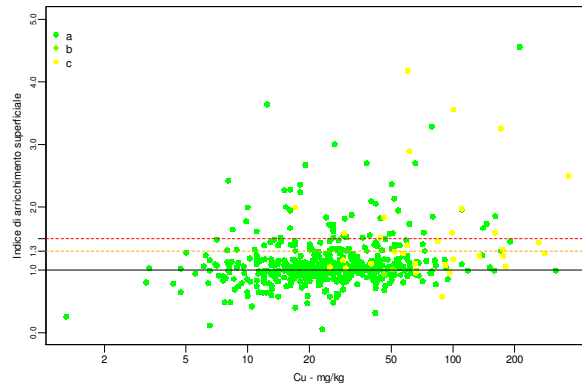
⁽¹⁾ Indice di arricchimento superficiale: < 0 - deposizione assente, da 1 a 1,3 - deposizione molto ridotta, da 1,3 a 1,5 - deposizione moderata, >1,5 - deposizione elevata.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 73

Confronto tra concentrazioni in mg/kg e indice di arricchimento superficiale del Rame (Cu) per classi omogenee di concentrazione nei suoli del territorio piemontese.

I - Box plot ⁽¹⁾ della concentrazione in mg/kg e limiti di legge ⁽²⁾ (linea orizzontale rossa). **II** - Box plot dell'indice di arricchimento superficiale e soglia relativa a contaminazione diffusa moderata (1,3 - linea orizzontale arancio) ed elevata (1,5 - linea orizzontale rossa). **III** - Scatterplot dell'indice di arricchimento superficiale e soglia relativa a contaminazione diffusa moderata (1,3 - linea orizzontale arancio) ed elevata (1,5 - linea orizzontale rossa).

I**II****III**

⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ($> Q3+1,5*IQR$), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Elaborazione dei dati per aree omogenee

Per il Rame, la cui origine è attribuibile in parte alla composizione chimica del materiale di partenza da cui il suolo ha avuto origine ed in parte a fenomeni più o meno intensi di deposizione superficiale derivante da contaminazione diffusa di origine antropica, le elaborazioni statistiche ed il calcolo dei valori di fondo (*contenuto di fondo di naturale - antropico*), sono stati effettuati utilizzando i campioni degli orizzonti A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli arati).

Al fine di evitare l'inclusione di campioni potenzialmente contaminati sono stati esclusi dalle elaborazioni campioni con valore del fattore di arricchimento superficiale superiore a 3.

Sono inoltre stati esclusi i valori outliers ($\geq Q3 + 3[Q3 - Q1]$) delle singole aree omogenee di concentrazione per i quali è stato verificato un evidente scostamento dalla direzione individuata dalle curve di distribuzione analizzate (densità della distribuzione, distribuzione cumulata di frequenza in percentili).

I valori di fondo sono stati calcolati in base a quanto stabilito dalla "Soil quality - Guidance on the determination of background values", descritta in dettaglio nel capitolo precedente.

La distribuzione dei dati che meglio approssima il campione (normale, log-normale, gamma, non parametrica) è stata valutata attraverso metodi grafici (istogrammi di frequenza, curve cumulative di frequenza e box plot) e test statistici (Shapiro - Wilk e Anderson - Darling).

In Figura 74 sono rappresentate le aree omogenee di concentrazione del Rame (Cu) per le quali vengono forniti parametri di statistica descrittiva di riferimento e calcolati i valori di fondo.

In Figura 75 sono rappresentati i box plot della concentrazione del Rame in mg/kg per aree omogenee di concentrazione, messi a confronto con i limite di legge (linea orizzontale rossa).

In Tabella 15 sono riportati, per aree omogenee di concentrazione, parametri di statistica descrittiva (media, mediana, deviazione standard - dev st, coefficiente di variazione - CV, valori minimi - min, valori massimi - max, 25° - 50° - 75° - 90° e 95° percentile, soglia outliers), valori di fondo, numero e percentuale di campioni che superano i limiti di legge. In rosso sono indicati i valori medi, mediani e percentili che superano il limite di legge.

Per ogni area omogenea di concentrazione sono inoltre rappresentati (da Figura 76 a Figura 78) l'istogramma della densità di distribuzione per classi di concentrazione, la curva di densità della distribuzione e la curva di distribuzione cumulata di frequenza in percentili, confrontati con il valore di fondo (linea tratteggiata nera) ed il limite di legge (linea continua rossa).

Dall'analisi delle elaborazioni spaziali e dei parametri statistici è possibile osservare una variabilità spaziale ridotta del contenuto di Rame nei suoli del territorio piemontese, con presenza di una area omogenea di concentrazione molto ampia (Cu_a), alternate ad aree di superfici più ridotte e ben delimitate, caratterizzate da concentrazioni elevate (Cu_b e Cu_c).

L'area Cu_b corrisponde all'area urbana (parchi e giardini) e periurbana della città di Torino, mentre l'area Cu_c corrisponde ad aree sparse nell'astigiano ed alessandrino, caratterizzate da presenza abbondante di colture viticole.

In tutte le aree omogenee di concentrazione individuate si riscontrano basse probabilità (sempre inferiori al 50%) di superamento dei limiti di legge.

Le aree omogenee di concentrazione sono state classificate con le lettere "a", "b" e "c" (Tabella 14), in base alle probabilità di superamento del limite di legge per il Rame di 120 mg/kg, stabilito dal D.Lgs. 152/06 per i suoli ad uso verde pubblico, privato e residenziale (*Allegato 5 - Tabella 1 - colonna A*).

Le probabilità di superamento dei limi di legge sono inferiori al 5% per la classe "a", con soglia outliers inferiore al limite di legge, tra il 5 e 25 % per la classe "b" e tra il 25 e 50% per la classe "c".

Le concentrazioni medie variano da valori minimi di 33 mg/kg per l'area omogenea di concentrazione Cu_a, a valori massimi di 119 mg/kg per l'area Cu_c.

La variabilità del dato, evidenziata dalla deviazione standard, dal coefficiente di variazione e dall'intervallo interquartile aumenta notevolmente in funzione dell'aumento della concentrazione media e mediana delle aree omogenee di concentrazione. L'aumento della variabilità è spiegabile in parte dalla diminuzione progressiva del numero di campioni analizzati, che a sua volta è legato alla superficie dell'area, ed in parte dalla presenza discontinua di forme di contaminazione diffusa che agiscono su superfici ridotte e quindi non rilevabili alla scala di rappresentazione.

Il numero di valori outliers con concentrazioni anomale rispetto alla popolazione campionaria risulta particolarmente elevato nell'area omogenea di concentrazione Cu_a, mentre è ridotto o quasi assente nelle aree a maggiore concentrazione Cu_b e Cu_c.

In corrispondenza dei valori outliers di tutte le aree omogenee di concentrazione, i valori dei coefficienti di arricchimento risultano superiori alla soglia di contaminazione elevata (>1,5) ad indicare presenza di correlazioni significative tra concentrazioni elevate e forme di contaminazione diffusa.

Nonostante la presenza evidente di contaminazione diffusa, i valori di fondo dell'area Cu_a risultano ampiamente inferiori al limite di legge per le aree (49 mg/kg).

I valori di fondo delle aree Cu_b (130 mg/kg) e Cu_c (183 mg/kg) sono invece superiori ai limiti di legge.

I parametri statistici ed i valori di fondo calcolati per l'area omogenea di concentrazione Cu_a, possono essere considerati attendibili e statisticamente significativi a grande scala di dettaglio, in quanto sono rappresentati da un elevato numero di campioni caratterizzati da bassa variabilità del dato, se rapportata alla densità di campionamento, e da distribuzione simmetrica, uniforme e continua.

Le aree omogenee di concentrazione Cu_b e Cu_c, sono rappresentate da un numero di campioni analizzati basso, ma sufficiente rispetto alla dimensione relativamente ridotta delle superfici interessate. La popolazione di dati è inoltre caratterizzata da una distribuzione dei campioni asimmetrica (positiva - destra), irregolare e discontinua con una elevata variabilità (coefficiente di variazione, deviazione standard, intervallo interquartile).

L'ottenimento di parametri statistici di riferimento e valori di fondo statisticamente significativi per le aree Cu_b e Cu_c è vincolato ad un infittimento dei campionamenti in base ai risultati delle mappe di previsione dell'errore standard che individuano zone differenziate per qualità di predizione ed aree sottocampionate.

Per l'area Cu_c è possibile utilizzare i parametri statistici ed i valori di fondo forniti come studio pregresso al fine di dimostrare che eventuali superamenti dei limiti di legge sono attribuibili a valore di fondo naturale-antropico.

L'ottenimento di dati rappresentativi a scala di dettaglio comunale e/o locale, è sempre vincolato ad un ulteriore approfondimento con monitoraggio di maggiore dettaglio (vedi paragrafo - Raccomandazioni relative all'utilizzo dei dati).

Tabella 14Classificazione delle aree omogenee di concentrazione in base alle probabilità di superamento dei limiti di legge ⁽¹⁾

	Probabilità di superamento dei limiti di legge	Limite di legge
a	<5%	> Soglia outliers
b	5%-25 %	75° perc – Soglia outliers
c	25%-50%	50°perc – 75° perc

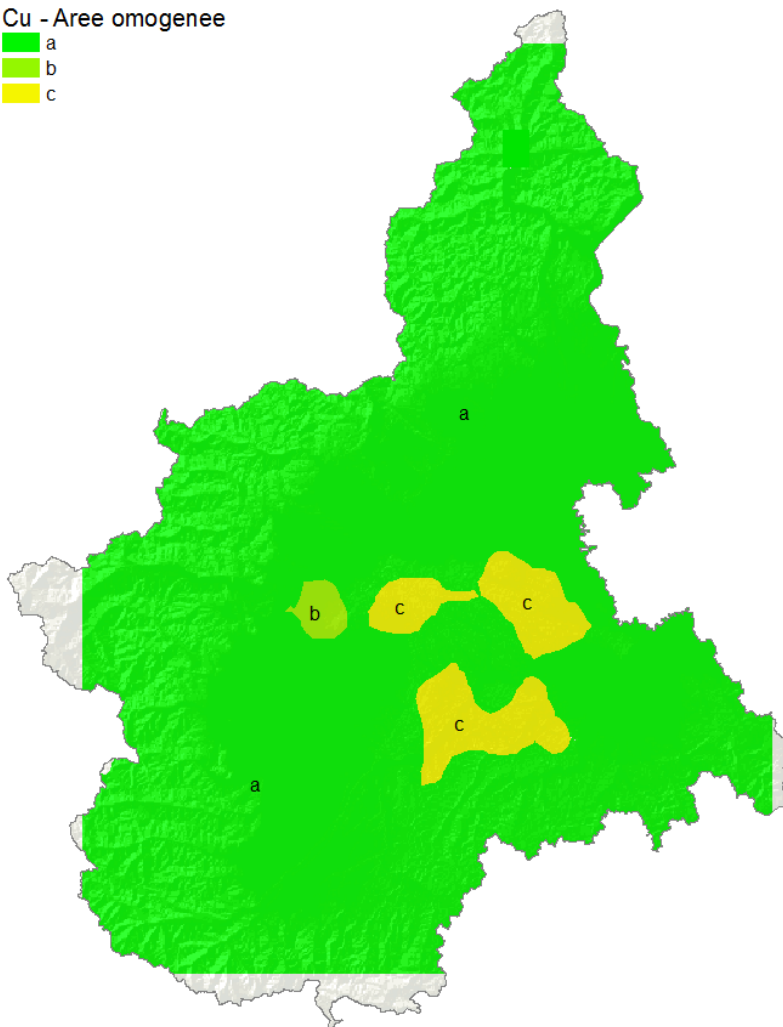
⁽¹⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 74

Aree omogenee di concentrazione (a, b, c) per le quali sono stati elaborati i parametri statistici e calcolati i valori di fondo della concentrazione di Rame (Cu) nei suoli ⁽¹⁾ del territorio piemontese.

Cu - Aree omogenee

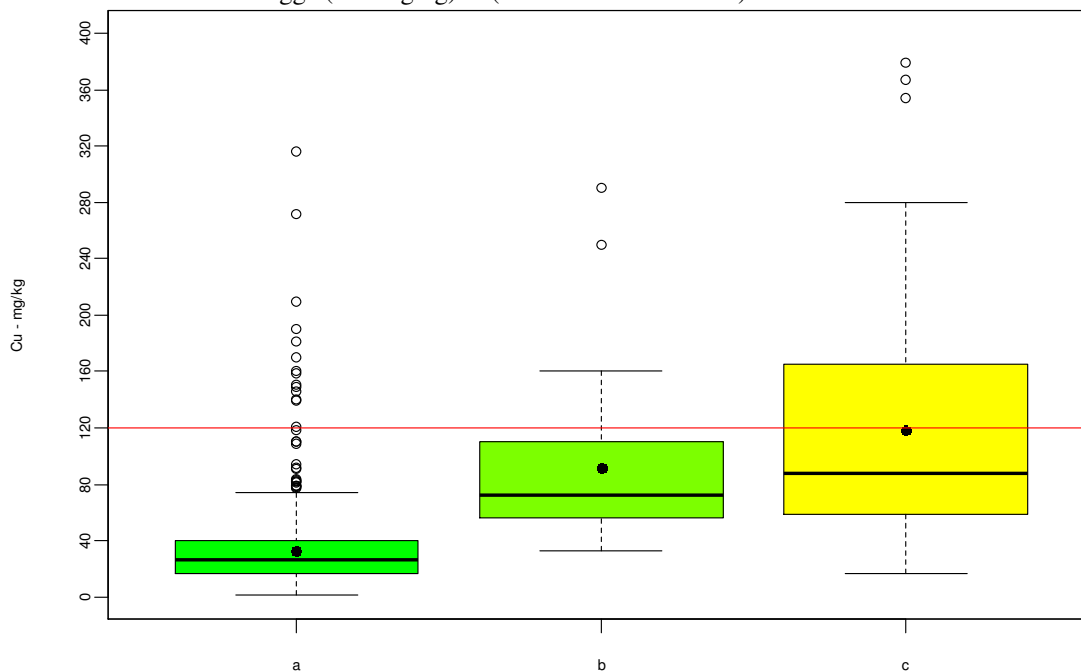
- a
- b
- c



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni superficiali A (10 – 30 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 75

Box plot⁽¹⁾ della concentrazione di Rame (Cu) in mg/kg nei suoli⁽²⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione e confronto con i limiti di legge (120 mg/kg)⁽³⁾ (linea orizzontale rossa).



⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (>Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽²⁾ Elaborazione dei campioni di suolo A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli) ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Tabella 15

Statistica descrittiva, percentili, valori di fondo⁽¹⁾, confronto con i limiti di legge (120 mg/kg)⁽²⁾ e conteggio di campioni analizzati dello Rame (Cu) nei suoli⁽³⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione.

Aree omogenee		Cu_a	Cu_b	Cu_c
Media	mg/kg	33	92	119
Mediana	mg/kg	26	72	88
Dev. St	mg/kg	29	58	94
CV	-	1	1	1
Min	mg/kg	1	33	17
Max	mg/kg	316	290	379
25° percentile (Q1)	mg/kg	17	56	58
50° percentile	mg/kg	26	72	88
75° percentile (Q3)	mg/kg	40	110	165
90° percentile	mg/kg	55	160	255
95° percentile	mg/kg	73	205	347
Soglia outliers \geq⁽⁵⁾	mg/kg	75	191	325
Outliers	n	31	2	3
Valore di fondo⁽¹⁾	mg/kg	49	130	183
Campioni	n	634	31	43
> Limite di legge⁽¹⁾	n	14	6	15
	%	2	19	35

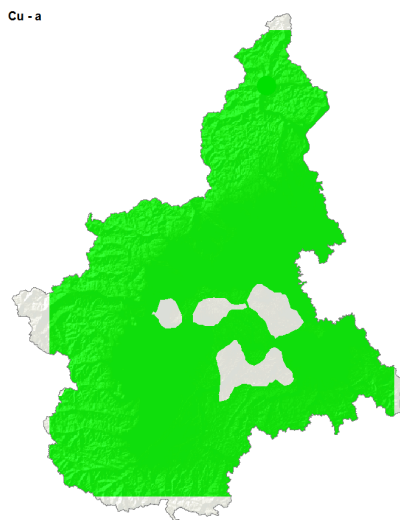
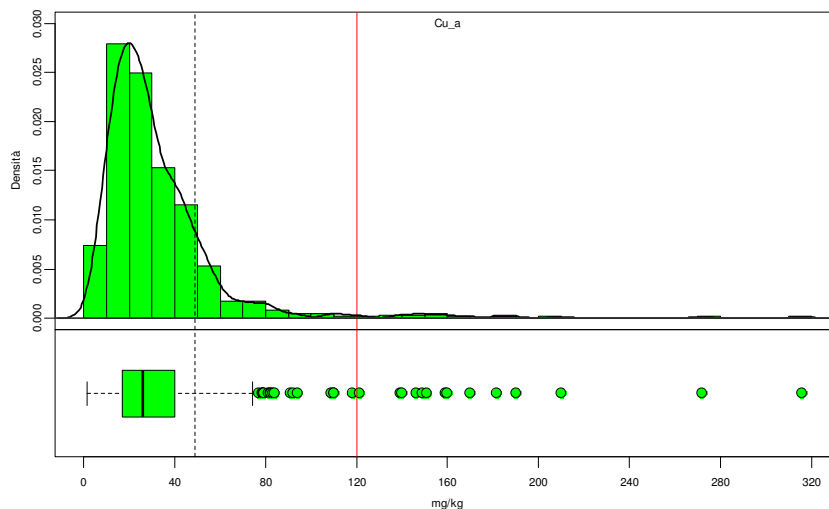
⁽¹⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽²⁾ Limiti di legge D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽³⁾ Elaborazione dei campioni superficiali di suolo A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽⁴⁾ Numero di dati insufficiente per una corretta definizione dei valori di fondo. Occorre un ulteriore infittimento dei campionamenti. ⁽⁵⁾ =Q3+1,5*IQR, IQR=Q3-Q1.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

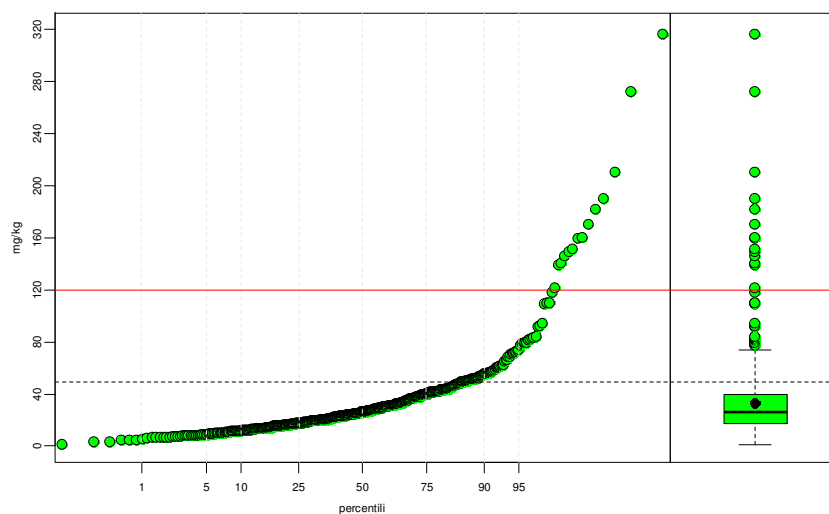
Figura 76

Parametri statistici del Rame (Cu)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Cu_a1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** – Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** – Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I**II****III**

Aree omogenee		Cu_a
Media	mg/kg	33
Mediana	mg/kg	26
Dev. St	mg/kg	29
CV	-	1
Min	mg/kg	1
Max	mg/kg	316
25° percentile (Q1)	mg/kg	17
50° percentile	mg/kg	26
75° percentile (Q3)	mg/kg	40
90° percentile	mg/kg	55
95° percentile	mg/kg	73
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	75
Numero outliers	n	31
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	49
Campioni	n	634
> Limite di legge ⁽³⁾	n	14
	%	2

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni superficiali A (10 – 30 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

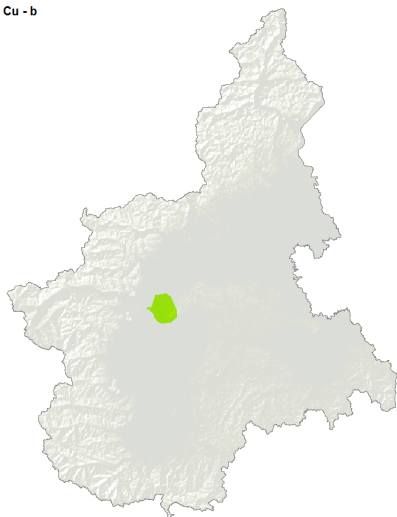
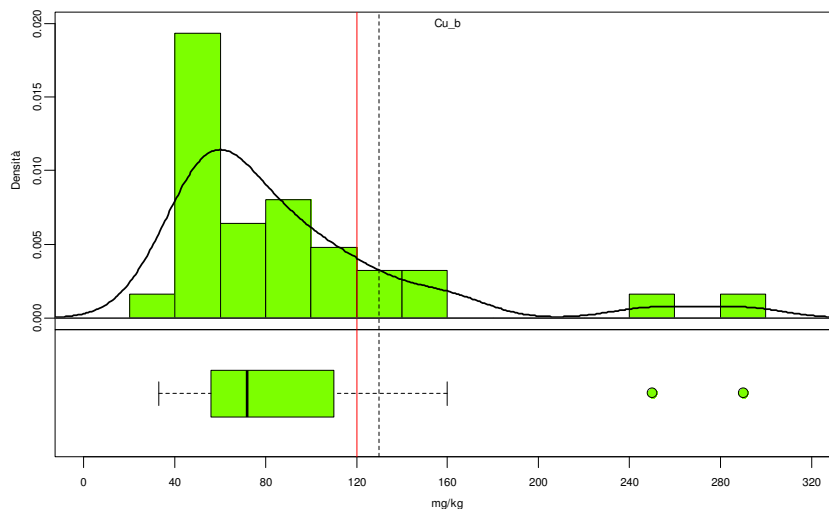
Figura 77

Parametri statistici del Rame (Cu)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Cu_b1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

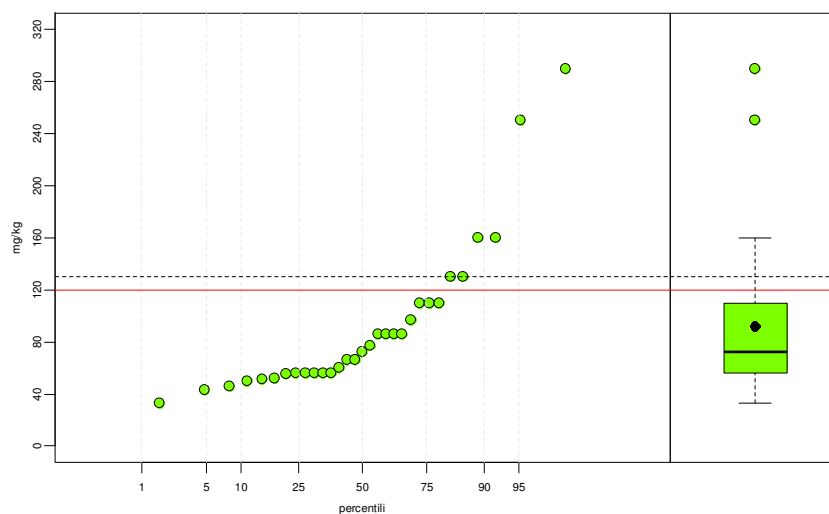
I

Cu - b

**II****III**

Aree omogenee

	mg/kg	Cu_b
Media	mg/kg	92
Mediana	mg/kg	72
Dev. St	mg/kg	58
CV	-	1
Min	mg/kg	33
Max	mg/kg	290
25° percentile (Q1)	mg/kg	56
50° percentile	mg/kg	72
75° percentile (Q3)	mg/kg	110
90° percentile	mg/kg	160
95° percentile	mg/kg	205
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	191
Numero outliers	n	2
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	130
Campioni	n	31
> Limite di legge ⁽³⁾	n	6
	%	19

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni superficiali A (10 – 30 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

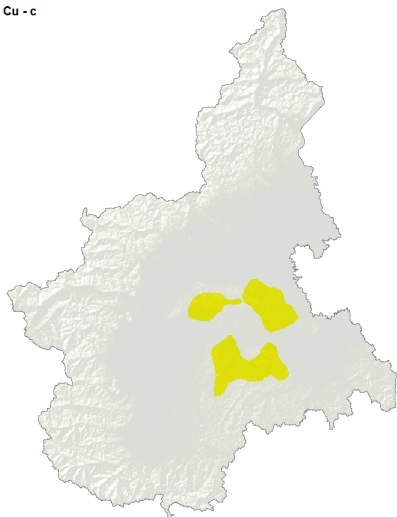
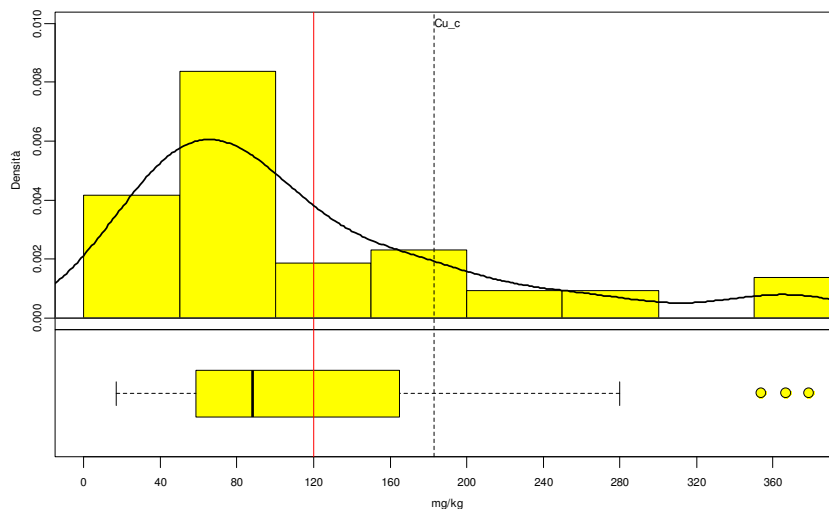
Figura 78

Parametri statistici del Rame (Cu)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Cu_c1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

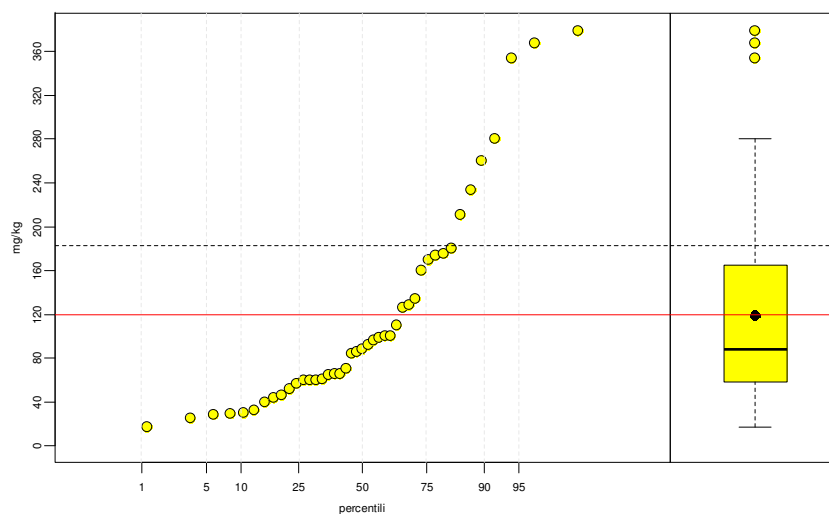
I

Cu - c

**II****III**

Aree omogenee

	mg/kg	Cu_c
Media	119	
Mediana	88	
Dev. St	94	
CV	1	
Min	17	
Max	379	
25° percentile (Q1)	58	
50° percentile	88	
75° percentile (Q3)	165	
90° percentile	255	
95° percentile	347	
Soglia outliers ⁽⁵⁾	325	
Numero outliers	3	
Valore di fondo ⁽²⁾	183	
Campioni	43	
> Limite di legge ⁽³⁾	15	
	%	35

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni superficiali A (10 – 30 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Nichel

Valutazione di presenza, origine ed intensità della contaminazione diffusa

Per le elaborazioni del Nichel di seguito proposte, sono stati utilizzati i dati relativi ad un totale di 594 stazioni di monitoraggio, delle quali 323 uniformemente distribuite in tutto il territorio piemontese su maglia sistematica (9x9 km e 3x3 km), e 271 stazioni realizzate nell'ambito di altri progetti realizzati da Arpa, campionate ed analizzate con le stesse procedure. (Figura 79 – I).

Il consistente numero di stazioni di monitoraggio analizzate permette di ottenere, attraverso l'utilizzo di modelli predittivi geostatistici, rappresentazioni spaziali della concentrazione di Nichel attendibili ad una scala di dettaglio indicativa pari a 1:200.000.

L'interpretazione congiunta dei risultati relativi alla stima della concentrazione in mg/kg del Nichel (Figura 79 - II) e della stima delle probabilità percentuale di superamento dei limiti di legge (Figura 79 - III) ha permesso l'individuazione di aree omogenee di concentrazione su tutto il territorio piemontese (Figura 79- IV), di dimensioni significative rispetto alla densità di campionamento ed alla scala di rappresentazione.

La rappresentatività statistica delle popolazioni di dati appartenenti alle singole aree omogenee di concentrazione è stata verificata attraverso confronto con test statistici (t-test per campioni indipendenti) e metodi di confronto grafici (curve della densità di distribuzione, Box plot, Curve di distribuzione cumulata di frequenza).

Le valutazioni relative a presenza, origine, e intensità della contaminazione sono state effettuate attraverso l'utilizzo combinato di elaborazioni statistiche, geostatistiche e calcolo di specifici indici di arricchimento.

Dall'analisi della distribuzione spaziale emerge la presenza di aree omogenee di concentrazione ben delimitate con aree critiche che interessano ampie superfici di territorio, caratterizzate da concentrazioni molto elevate ed alte probabilità di superamento di limiti di legge sia in corrispondenza degli orizzonti superficiali (profondità A) e che di quelli profondi (B).

La bassa variabilità verticale riscontrata tra concentrazione degli orizzonti superficiali (A) e quella di quelli più profondi (B) (Figura 80) in tutte le aree omogenee di concentrazione individuate, indica assenza di fenomeni rilevanti di deposizione superficiale di origine antropica.

Le distribuzioni dei valori degli indici di arricchimento superficiale risultano per tutte le classi prossimi all'unità, con valori stabili all'aumentare della concentrazione del contaminante (Figura 82), a conferma dell'assenza di fenomeni rilevanti di contaminazione diffusa.

Le stazioni di monitoraggio che presentano deposizione superficiale di Nichel (Figura 81) di intensità moderata (indice di arricchimento >1.3) ed elevata (indice di arricchimento >1.5) non presentano distribuzioni spaziali omogenee e/o correlazioni con la distribuzione spaziale delle classi omogenee. I superamenti delle soglie di arricchimento sono quindi riconducibili a forme di contaminazione puntuale o a contaminazione diffusa a scala ridotta rispetto a quella rappresentata.

Il numero di valori outliers della concentrazione in mg/kg, che identificano campioni hot-spot con concentrazioni anomale rispetto alla popolazione campionaria, è molto ridotto in tutte le aree omogenee di concentrazione individuate.

La presenza di valori prossimi all'unità dei coefficienti di arricchimento riscontrata in corrispondenza dei valori outliers, esclude ipotesi relative alla presenza di correlazioni statisticamente significative tra concentrazioni elevate e forme di contaminazione puntuale.

Le distribuzioni spaziali della concentrazione in mg/kg (Figura 87) e delle probabilità di superamento dei limiti di legge (Figura 83) del Nichel risultano molto simili a quelle di Cromo e Cobalto.

L'elevato livello di correlazione tra Cromo, Nichel e Cobalto, evidenziato dai risultati dall'indice di Pearson e dai grafici a dispersione, rappresentati per i dati accorpati (

Figura 84) e per singole classi (Figura 85) sostengono l'ipotesi relativa alla loro prevalente origine comune.

I risultati della principal component analysis, che individua la componente 1 rappresentata da Cromo, Nichel e Cobalto con variabilità spiegata del 32,48 % (Figura 86, Tabella 17), evidenziano la presenza di interazioni tra i tre metalli e supportano l'ipotesi relativa alla loro origine comune.

La spazializzazione degli autovalori della matrice di covarianza della componente 1 (Figura 87 - I), ottenuta dalla principal component analysis, permette inoltre di avere precise indicazioni relative alla distribuzione nello spazio della variabilità delle correlazioni esistenti tra i tre elementi. In particolare è possibile osservare come la struttura spaziale degli autovalori risulta molto simile a quelle della concentrazione (Figura 87 - II, III, IV).

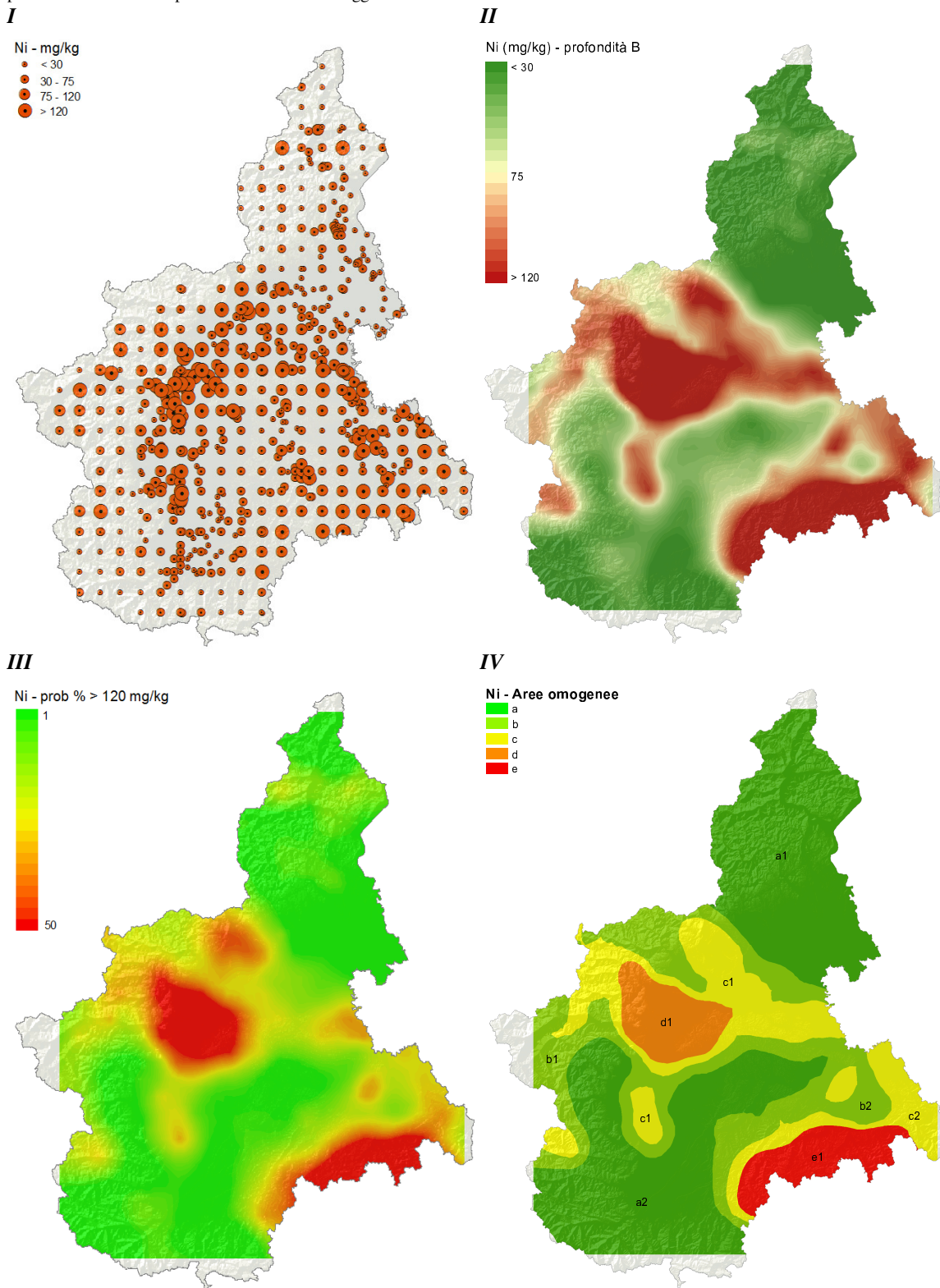
L'assenza di fenomeni rilevanti di deposizione superficiale da contaminazione diffusa anche in corrispondenza delle aree critiche, la distribuzione spaziale simile delle concentrazioni e delle correlazioni e l'elevato livello di correlazione tra Cromo, Nichel e Cobalto, riscontrato in tutte le aree omogenee, avvalorano nel loro insieme l'ipotesi relativa alla prevalente origine naturale del Nichel, da attribuire a caratteristiche naturali del terreno e/o del substrato minerale sul quale si è evoluto.

In particolare, le elevate concentrazioni riscontrate nelle aree del Torinese-Canavese ed dell'Alessandrino, sono prevalentemente riferibili alla presenza di affioramenti di rocce ultramafiche (peridotiti serpentinitiche e serpentiniti), presenti in prossimità dell'arco alpino (Figura 57 - I) e naturalmente ricche di Cromo, Nichel e Cobalto (Tabella 16), che determinano una notevole influenza sui suoli che evolvono su di esse e/o sui depositi alluvionali dei corpi idrici che li attraversano.

Le ipotesi relative alla prevalente origine naturale del Nichel derivano dall'analisi di una popolazione di dati statisticamente significativa a grande scala di dettaglio, non è quindi possibile escludere a priori la presenza di casi isolati di superamento dei limiti di legge e/o valori di fondo proposti, riconducibili a contaminazione puntuale di origine antropica.

Figura 79

Spazializzazione della concentrazione di Nichel (Ni) nei suoli ⁽¹⁾ del territorio piemontese ed individuazione di aree omogenee di concentrazione. **I** – Stazioni di monitoraggio per classi di concentrazione in mg/kg. **II** – Stima della concentrazione in mg/kg. **III** – Stima delle probabilità (%) di superamento dei limiti di legge⁽²⁾. **IV** – Aree omogenee di concentrazione (a, b, c) ed aree critiche (d, e) con probabilità elevate di superamento dei limiti di legge⁽²⁾.



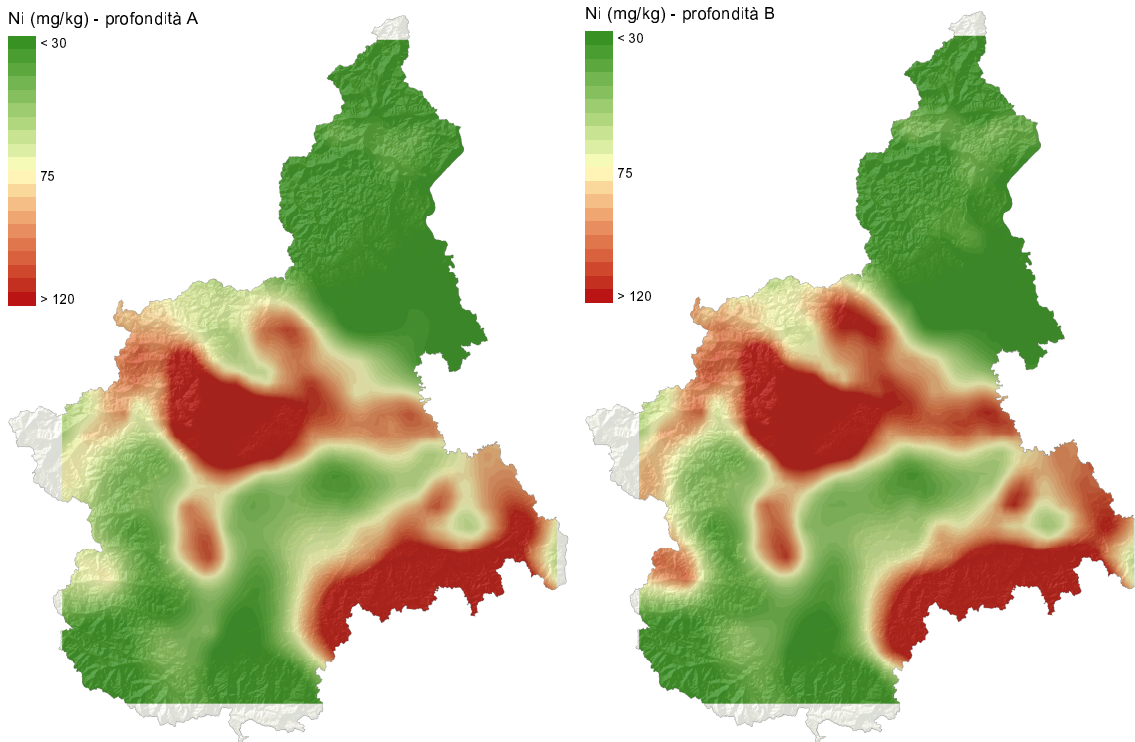
⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli.

⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 80

Distribuzione spaziale della concentrazione di Nichel (Ni) nei suoli del territorio piemontese per profondità di campionamento A e B ⁽¹⁾.

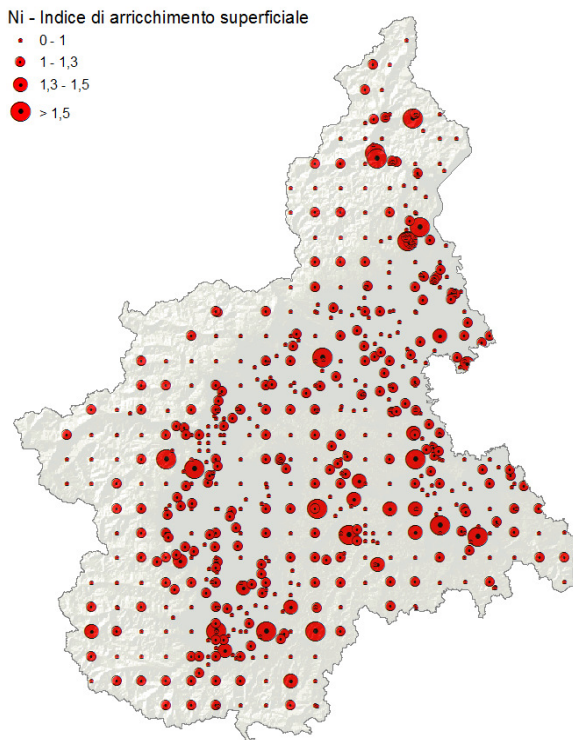


⁽¹⁾ Profondità A: 0-10 cm per suoli naturali e/o indisturbati e orizzonte Ap per suoli arati . Profondità B: 30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 81

Indice di arricchimento superficiale di Nichel (Ni) per classi di deposizione ⁽¹⁾ nelle stazioni della Rete di monitoraggio ambientale dei suoli del Piemonte.



⁽¹⁾ Indice di arricchimento superficiale: < 0 - deposizione assente, da 1 a 1,3 - deposizione molto ridotta, da 1,3 a 1,5 - deposizione moderata, >1,5 - deposizione elevata.

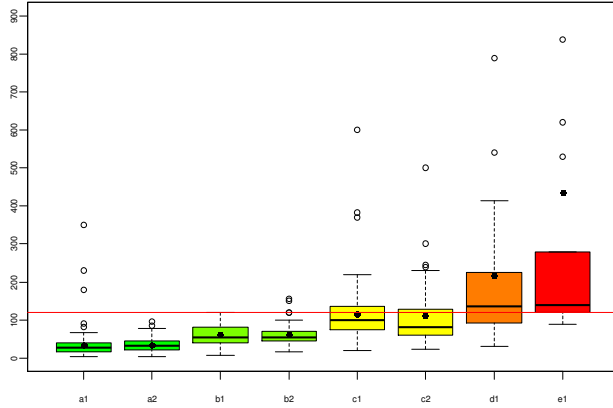
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 82

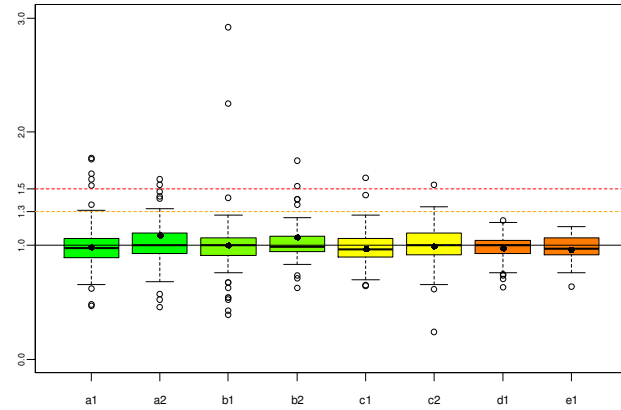
Confronto tra concentrazioni in mg/kg e indice di arricchimento superficiale del Nichel per classi omogenee di concentrazione nei suoli del territorio piemontese.

I - Box plot ⁽¹⁾ della concentrazione in mg/kg e limiti di legge ⁽²⁾ (linea orizzontale rossa). **II** - Box plot dell'indice di arricchimento superficiale e soglia relativa a contaminazione diffusa moderata (1,3 - linea orizzontale arancio) ed elevata (1,5 - linea orizzontale rossa). **III** - Scatterplot dell'indice di arricchimento superficiale e soglia relativa a contaminazione diffusa moderata (1,3 - linea orizzontale arancio) ed elevata (1,5 - linea orizzontale rossa).

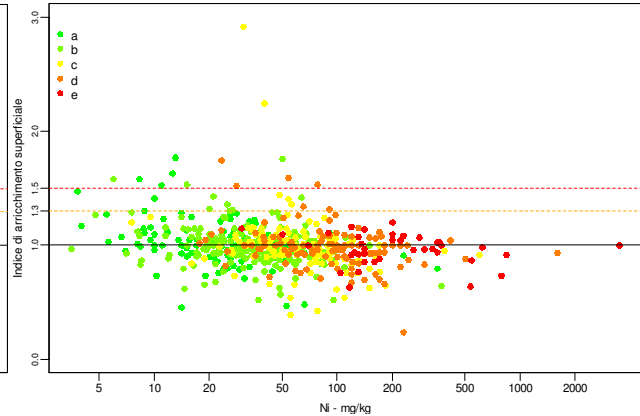
I



II



III

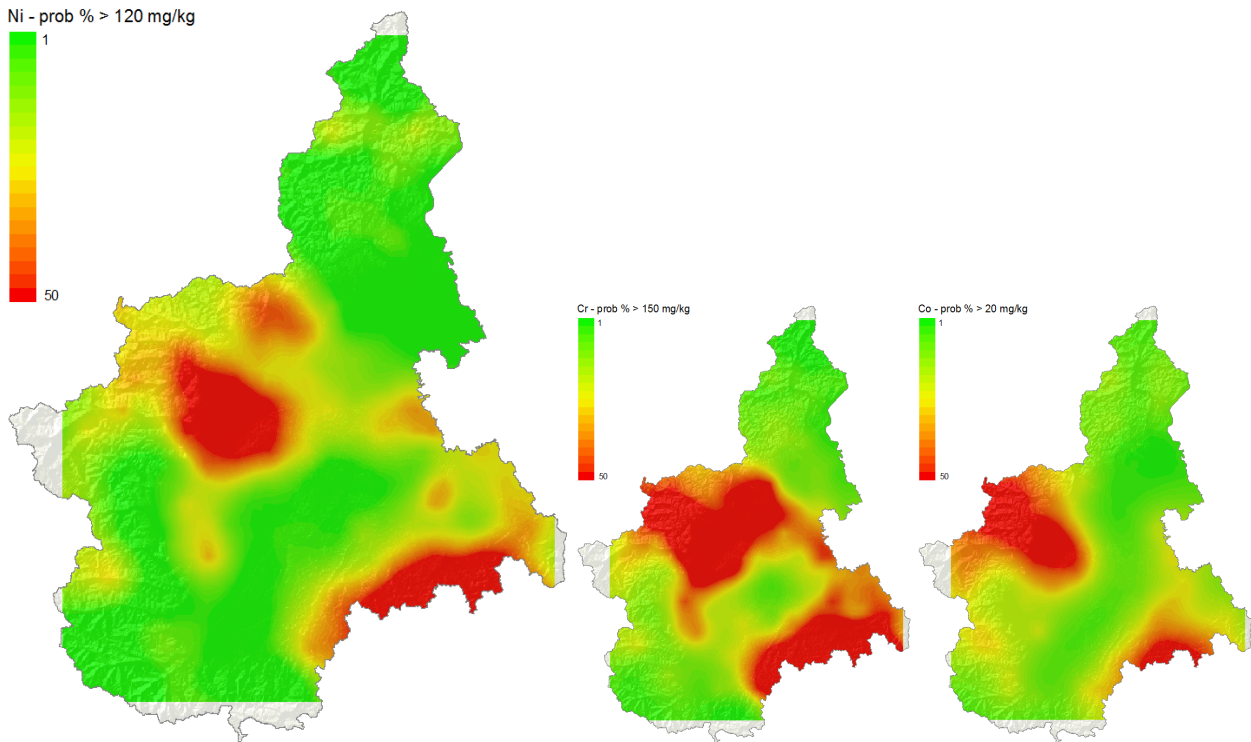


⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ($> Q3+1,5*IQR$), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 83

Stima delle probabilità (%) di superamento dei limiti di legge⁽²⁾ ottenuta attraverso modelli predittivi geostatistici (probability kriging) per il Nichel (Ni) e comparazione con i risultati di Cromo (Cr) e Cobalto (Co).

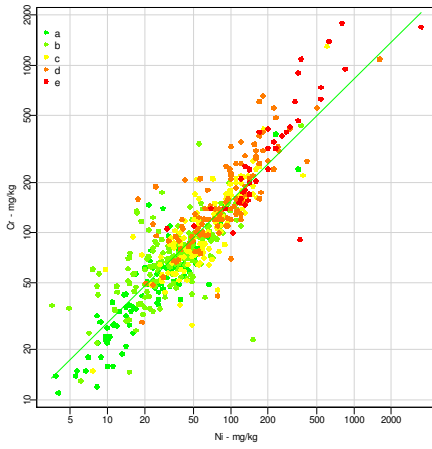


Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

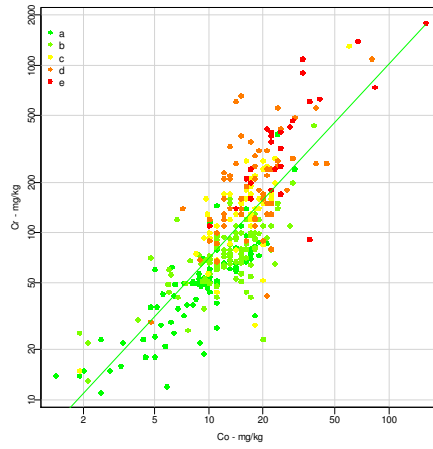
Figura 84

Matrice di correlazione in mg/kg ⁽¹⁾ per classi omogenee di concentrazione (a, b, c, d,e) del Cromo.
I - Cromo (Cr) vs Nichel (Ni), **II** - Cromo (Cr) vs Cobalto (Co) e **III** - Nichel (Ni) vs Cobalto (Co).

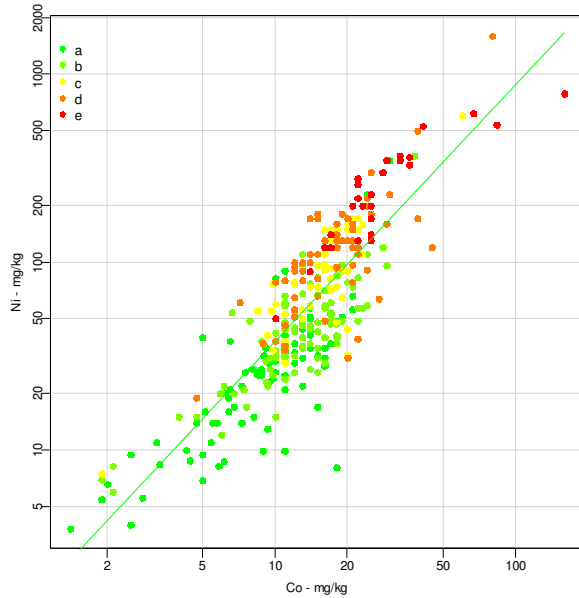
I



II



III

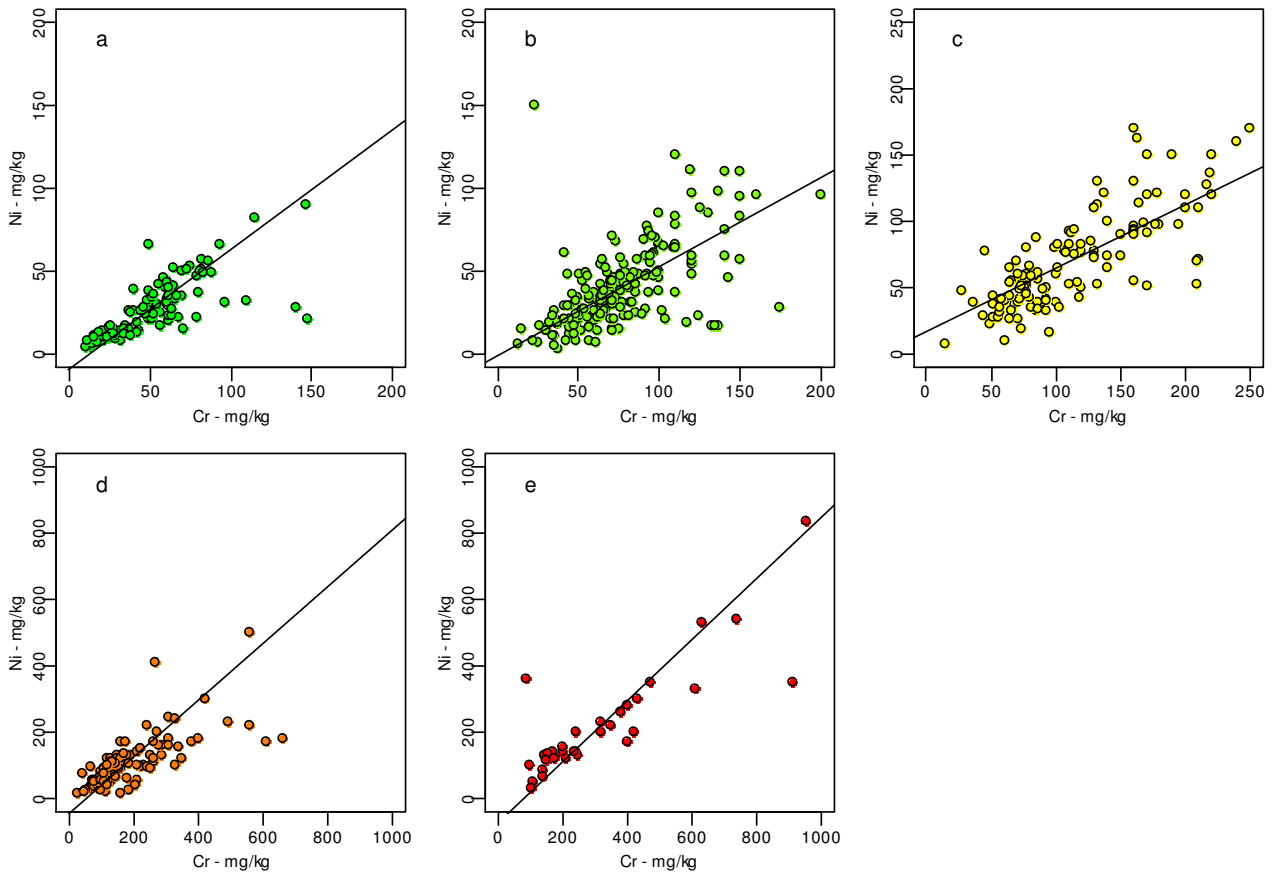


⁽¹⁾ Le Concentrazioni degli assi sono espresse in scala logaritmica.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 85

Matrice di correlazione in mg/kg⁽¹⁾ tra Cromo (Cr) e Nichel (Ni) per classi omogenee di concentrazione (a, b, c, d,e) del Cromo.



Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Tabella 16

Contenuto naturale medio in mg/kg di Cromo (Cr), Nichel (Ni) e Cobalto (Co) in diversi tipi di rocce.

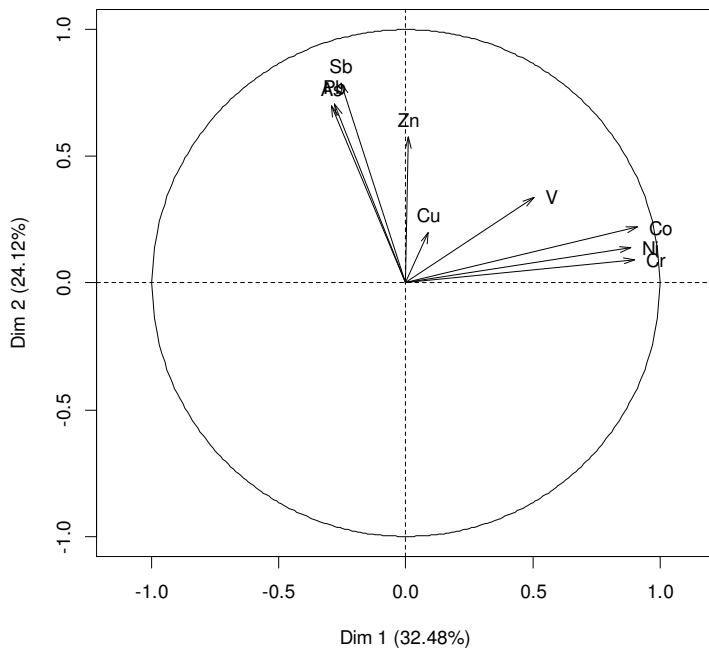
	Cr	Ni	Co
Peridotiti serpentinitiche e serpentiniti	2980	2000	110
Basalti	185	145	47
Argilliti	100	60	20
Argilliti oceaniche	90	230	74
Arenarie	35	9	0,3
Calcari	11	20	0,1
Carbonati di mare profondo	11	30	7
Graniti	10	10	4

Fonte: De Vivo et al., 2004; Alloway,1995

Figura 86

Proiezione delle componenti della Principal component analysis effettuata per Sb, As, Be, Co, Cr, Ni, Pb, Cu, V, e Zn. Dim 1 (Cr, Ni, Co – 32,48% di variabilità spiegata) e Dim 2 (Sb, As, Pb – 24,12% di variabilità spiegata).

Variables factor map (PCA)



Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Tabella 17

Strutture dei fattori di regionalizzazione della Principal component analysis effettuata per Sb, As, Be, Co, Cr, Ni, Pb, Cu, V, e Zn.

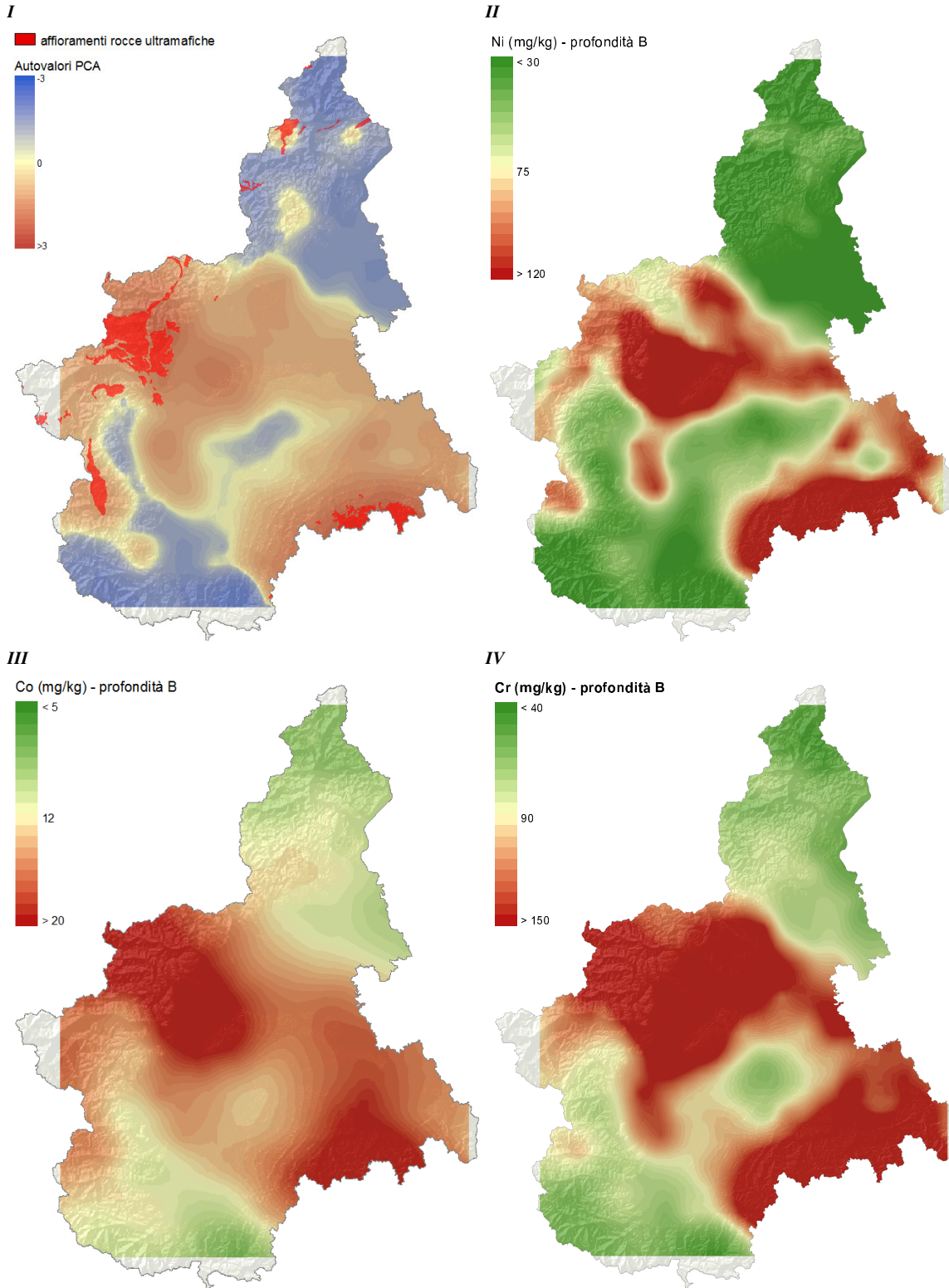
	Dim 1	Dim 2
Sb	-0,25	0,79
As	-0,29	0,70
Co	0,91	0,22
Cr	0,90	0,09
Ni	0,89	0,14
Pb	-0,28	0,70
Cu	0,09	0,20
V	0,50	0,34
Zn	0,01	0,58
Ratio	32,48%	24,12%
Cumul	32,48%	56,60%

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 87

Principal component analysis e confronto con la distribuzione delle concentrazioni di Cromo (Cr), Nichel (Ni) e Cobalto (Co) nei suoli ⁽¹⁾ del territorio piemontese.

I – Spazializzazione degli **autovalori** della matrice di covarianza derivata dalla componente 1 (Cr, Ni, Co) ed affioramenti di rocce ultramafiche. *II* – Stima della concentrazione in mg/kg del Cromo (Cr) ⁽¹⁾. *III* – Stima della concentrazione in mg/kg del Nichel (Ni) ⁽¹⁾. *IV* – Stima della concentrazione in mg/kg del Cobalto (Co) ⁽¹⁾.



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Elaborazione dei dati per aree omogenee

Per il Nichel, la cui origine è attribuibile in prevalenza alla composizione chimica del materiale di partenza da cui il suolo ha avuto origine, le elaborazioni statistiche ed il calcolo dei valori di fondo (*contenuto di fondo di natura pedogeochimica o naturale del suolo*), sono stati effettuati utilizzando i campioni degli orizzonti B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

Al fine di evitare l'inclusione di campioni potenzialmente contaminati sono stati esclusi dalle elaborazioni campioni con valore del fattore di arricchimento superficiale superiore a 1,5, ed i valori outliers ($\geq Q3 + 3[Q3 - Q1]$) per i quali è stato verificato un evidente scostamento dalla direzione individuata dalle curve di distribuzione analizzate (densità della distribuzione, distribuzione cumulata di frequenza in percentili).

I valori di fondo sono stati calcolati in base a quanto stabilito dalla "Soil quality - Guidance on the determination of background values", descritta in dettaglio nel capitolo precedente.

La distribuzione dei dati che meglio approssima il campione (normale, log-normale, gamma, non parametrica) è stata valutata attraverso metodi grafici (istogrammi di frequenza, curve cumulative di frequenza e box plot) e test statistici (Shapiro - Wilk e Anderson - Darling).

In Figura 88 sono rappresentate le aree omogenee di concentrazione del Nichel (Ni) per le quali vengono forniti parametri di statistica descrittiva di riferimento e calcolati i valori di fondo.

In Figura 90

sono rappresentati i box plot della concentrazione di Nichel in mg/kg per aree omogenee di concentrazione, messi a confronto con i limite di legge (linea orizzontale rossa).

In Tabella 19 sono riportati, per aree omogenee di concentrazione, parametri di statistica descrittiva (media, mediana, deviazione standard - dev st, coefficiente di variazione - CV, valori minimi - min, valori massimi - max, 25° - 50° - 75° - 90° e 95° percentile, soglia outliers), valori di fondo, numero e percentuale di campioni che superano i limiti di legge. In rosso sono indicati i valori medi, mediani e percentili che superano il limite di legge.

Per ogni area omogenea di concentrazione sono inoltre rappresentati (da Figura 90 a Figura 97) l'istogramma della densità di distribuzione per classi di concentrazione, la curva di densità della distribuzione e la curva di distribuzione cumulata di frequenza in percentili, confrontati con il valore di fondo (linea tratteggiata nera) ed il limite di legge (linea continua rossa).

Dall'analisi delle elaborazioni spaziali e dei parametri statistici è possibile osservare una notevole variabilità spaziale del contenuto di Nichel nei suoli del territorio piemontese, con presenza di aree omogenee di ampia superficie, ben delimitate limitate tra di loro e caratterizzate da concentrazioni e distribuzioni dei dati molto diverse.

Le aree omogenee di concentrazione sono state classificate dalla lettera "a" alla "e" (Tabella 18), in base alle probabilità crescenti di superamento del limite di legge di 120 mg/kg, stabilito dal D.Lgs. 152/06 per i suoli ad uso verde pubblico, privato e residenziale (*Allegato 5 - Tabella 1 - colonna A*). Le probabilità di superamento dei limi di legge variano da valori inferiori al 5% per la classe "a", con soglia outliers inferiore al limite di legge, a valori superiori al 75 % per la classe "e", che presenta valori superiori al limite di legge già in corrispondenza del 25° percentile.

Le concentrazioni medie variano da valori minimi di 27 mg/kg per l'area omogenea di concentrazione Ni_a1, a valori massimi di 140 mg/kg per l'area Ni_e1.

La variabilità del dato, evidenziata dalla deviazione standard, dal coefficiente di variazione e dall'intervallo interquartile aumenta notevolmente in funzione dell'aumento della concentrazione media e mediana delle aree. L'aumento della variabilità è spiegabile in parte dalla diminuzione progressiva del numero di campioni analizzati, che a sua volta è legato alla superficie dell'area, ed in parte dalla presenza discontinua del materiale parentale (substrato geologico) con elevato contenuto di Nichel.

Come ampiamente dimostrato nel capitolo precedente, la presenza sul territorio piemontese di aree critiche caratterizzate da concentrazioni molto elevate di Nichel e da alte probabilità di superamento dei limiti di legge, è prevalentemente legata alla presenza di affioramenti di rocce ultramafiche (peridotiti serpentinitiche e serpentiniti) naturalmente ricche di Cromo, Nichel e Cobalto.

Il numero di valori outliers con concentrazioni anomale rispetto alla popolazione campionaria, risulta molto ridotto in tutte le aree omogenee di concentrazione individuate.

Per le aree Ni_c1, Ni_c2, Ni_d1 e Ni_e1, che presentano concentrazioni elevate legate alla presenza di affioramenti di rocce ultramafiche, i valori prossimi all'unità dei coefficienti di arricchimento in corrispondenza degli outliers, escludono ipotesi relative alla presenza di correlazioni statisticamente significative tra concentrazioni elevate e forme di contaminazione puntuale.

I valori outliers delle aree a minore concentrazione, Ni_a1, Ni_a2, Ni_b1 e Ni_b2, sono invece associati a coefficienti di arricchimento con leggermente più elevati riconducibili a lievi forme di contaminazione puntuale.

I valori di fondo risultano ampiamente inferiori al limite di legge per le aree Ni_a1, Ni_a2, Ni_b1 e Ni_b2.

Le aree Ni_c1, Ni_c2, Ni_d1 e Ni_e1, influenzate dalla presenza di rocce ultramafiche, presentano invece valori di fondo molto elevati e superiori al limite di 120 mg/kg con variazioni da un minimo di 115 mg/kg (Ni_c1) ad un massimo di 435 mg/kg (Ni_e1).

I parametri statistici ed i valori di fondo calcolati per le aree omogenee di concentrazione Cr_a1, Ni_a1, Ni_a2, Ni_b1, Ni_c1 e Ni_d1 possono essere considerati attendibili e statisticamente significativi in quanto sono rappresentati da un numero sufficiente di campioni, bassa variabilità del dato, se rapportata alla densità di campionamento, e distribuzioni della popolazione uniformi e continue.

Le aree omogenee di concentrazione Ni_c2 e Ni_e1, sono rappresentate da un numero basso di campioni, dovuto alle dimensioni relativamente ridotte delle aree, da una elevata variabilità (coefficiente di variazione, deviazione standard, intervallo interquartile) e da una distribuzione dei campioni asimmetrica (positiva - destra), irregolare e discontinua. I valori di fondo calcolati non possono quindi essere considerati statisticamente significativi e devono essere utilizzati unicamente a titolo indicativo.

Per queste aree è previsto un infittimento dei campionamenti su maglia sistematica 4,5 x 4,5 km o 3 x 3 km in base ai risultati delle mappe di previsione dell'errore standard che individuano zone differenziate per qualità di predizione ed aree sottocampionate.

Si sottolinea che è possibile utilizzare i dati elaborati della rete di monitoraggio dei suoli come studio pregresso per dimostrare che eventuali superamenti dei limiti di legge sono dovuti a caratteristiche naturali del terreno, esclusivamente per siti che ricadono nelle aree critiche Ni_c1, Ni_c2, Ni_d1 e Ni_e1, caratterizzati da valori di fondo ampiamente superiori ai limiti di legge.

Le ipotesi relative alla prevalente origine naturale del Nichel derivano dall'analisi di una popolazione di dati statisticamente significativa a grande scala di dettaglio; nelle aree critiche non è quindi possibile escludere a priori la presenza di casi di superamento dei limiti di legge e/o valori di fondo proposti, riconducibili a contaminazione puntuale di origine antropica.

Occorre inoltre considerare che le elevate concentrazioni riscontrate nelle aree critiche Ni_c1, Ni_c2, Ni_d1 e Ni_e1, caratterizzate da valori medi molto elevati e valori di fondo anche 2 volte superiori ai limiti di legge, possono "mascherare" forme di contaminazione da deposizione superficiale di Nichel anche di intensità rilevante.

Per i motivi sopra elencati, l'ottenimento di dati rappresentativi a scala di dettaglio comunale e/o locale, è sempre vincolato ad un ulteriore approfondimento con monitoraggio di maggiore dettaglio e ad una eventuale speciazione dei metalli per valutare la biodisponibilità e l'effettiva tossicità del contaminante (vedi paragrafo - Raccomandazioni relative all'utilizzo dei dati).

Tabella 18

Classificazione delle aree omogenee di concentrazione in base alle probabilità di superamento dei limiti di legge ⁽¹⁾

	Probabilità di superamento dei limiti di legge	Limite di legge
a	<5%	> Soglia outliers
b	5%-25 %	75° perc – Soglia outliers
c	25%-50%	50°perc – 75° perc
d	50%-75%	25°perc – 50° perc
e	>75%	< 25° perc

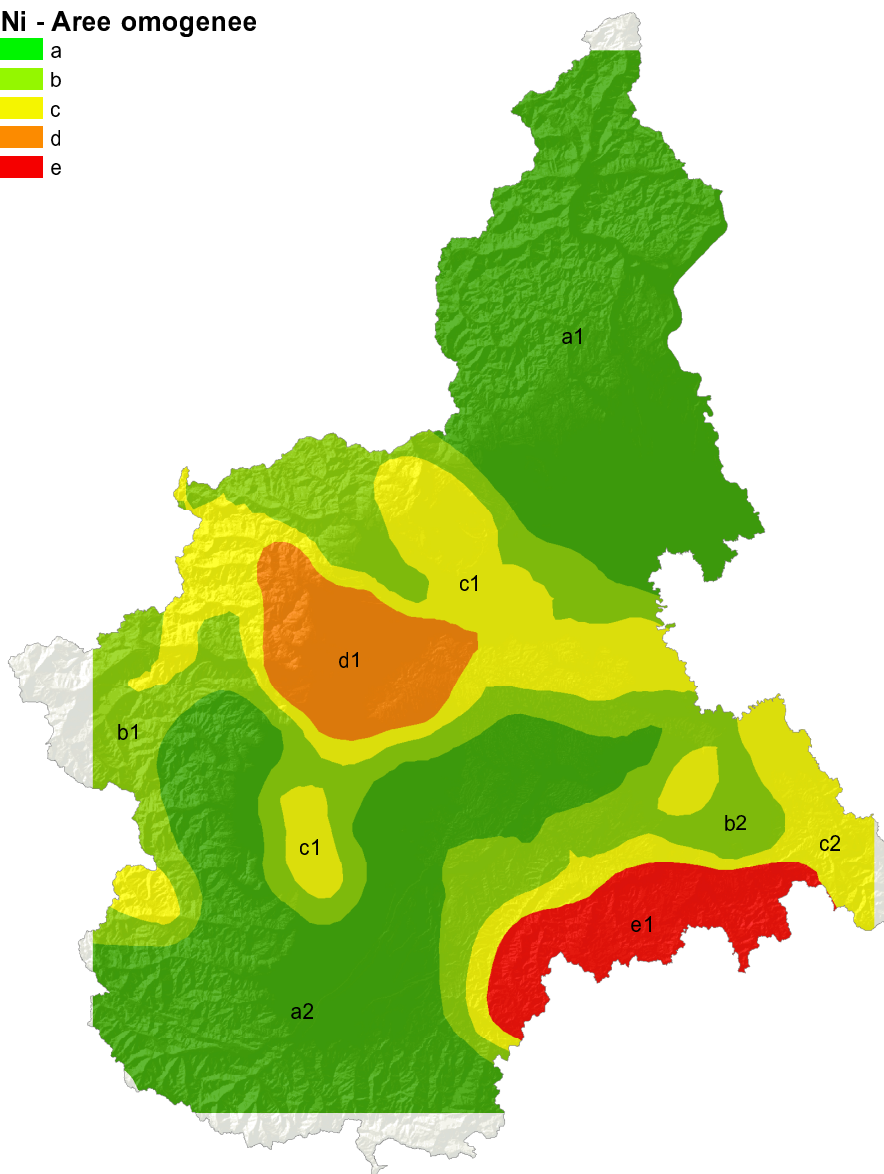
⁽¹⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 88

Aree omogenee di concentrazione (a1, a2, b1, b2, c1, c2) ed aree critiche con probabilità elevate di superamento dei limiti di legge (d1, e1) ⁽¹⁾ per le quali sono stati elaborati i parametri statistici e calcolati i valori di fondo del Nichel nei suoli ⁽²⁾ del territorio piemontese.

Ni - Aree omogenee

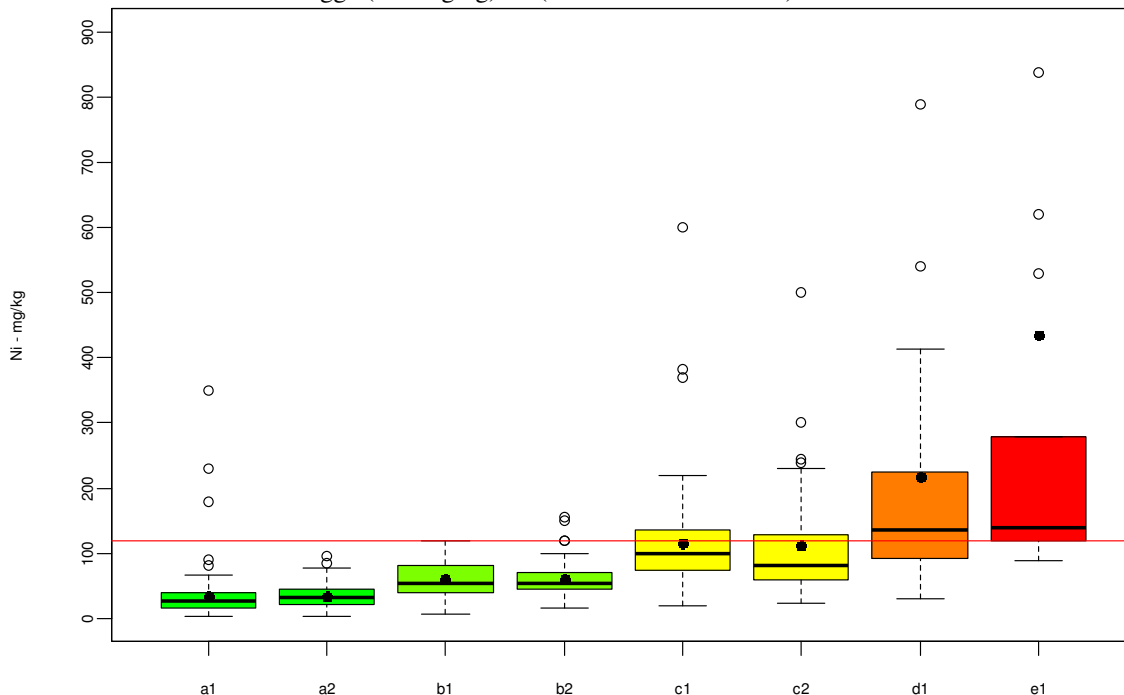
- a
- b
- c
- d
- e



⁽¹⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽²⁾ Elaborazione degli orizzonti B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 89

Box plot ⁽¹⁾ della concentrazione di Nichel (Ni) in mg/kg nei suoli ⁽²⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione e confronto con i limiti di legge (120 mg/kg) ⁽³⁾ (linea orizzontale rossa).



⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (>Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽²⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli) ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Tabella 19

Statistica descrittiva, percentili, valori di fondo ⁽¹⁾, confronto con i limiti di legge (120 mg/kg) ⁽²⁾ e conteggio di campioni analizzati del Nichel (Ni) nei suoli ⁽³⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione.

Aree omogenee		Ni_a1	Ni_a2	Ni_b1	Ni_b2	Ni_c1	Ni_c2	Ni_d1	Ni_e1
Media	mg/kg	33	34	61	61	115	112	217	435
Mediana	mg/kg	27	32	54	55	100	80	136	140
Dev. St	mg/kg	38	17	28	30	79	95	250	819
CV	-	1,1	0,5	0,5	0,5	0,7	0,8	1,2	1,9
Min	mg/kg	4	4	8	15	19	23	30	89
Max	mg/kg	350	96	120	155	600	500	1600	3500
25° percentile (Q1)	mg/kg	15	21	39	44	73	60	92	120
50° percentile	mg/kg	27	32	54	55	100	80	136	140
75° percentile (Q3)	mg/kg	40	44	82	69	136	124	225	280
90° percentile	mg/kg	51	56	110	98	170	237	364	708
95° percentile	mg/kg	57	64	111	120	182	264	502	1371
Soglia outliers \geq ⁽⁵⁾	mg/kg	77	79	147	108	230	219	424	520
Numero outliers	n	5	2	0	4	3	5	3	4
Valore di fondo ⁽¹⁾	mg/kg	48	55	110	86	160	132 ⁽⁴⁾	344	262 ⁽⁴⁾
Campioni	n	143	142	77	49	85	34	47	17
> Limite di legge ⁽²⁾	n	3	0	0	2	31	9	29	12
	%	2	0	0	4	36	26	62	71

⁽¹⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽²⁾ Limiti di legge D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽³⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽⁴⁾ Numero di dati insufficiente per una corretta definizione dei valori di fondo. Occorre un ulteriore infittimento dei campionamenti. ⁽⁵⁾ =Q3+1,5*IQR, IQR=Q3-Q1.

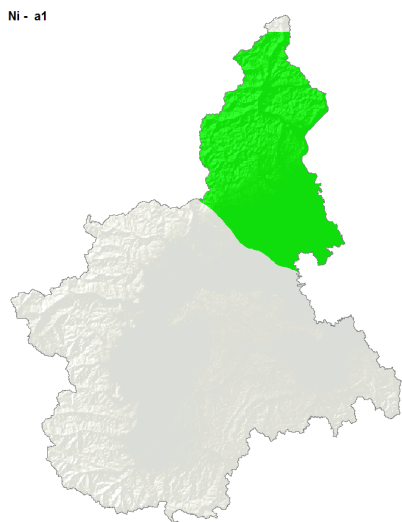
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 90

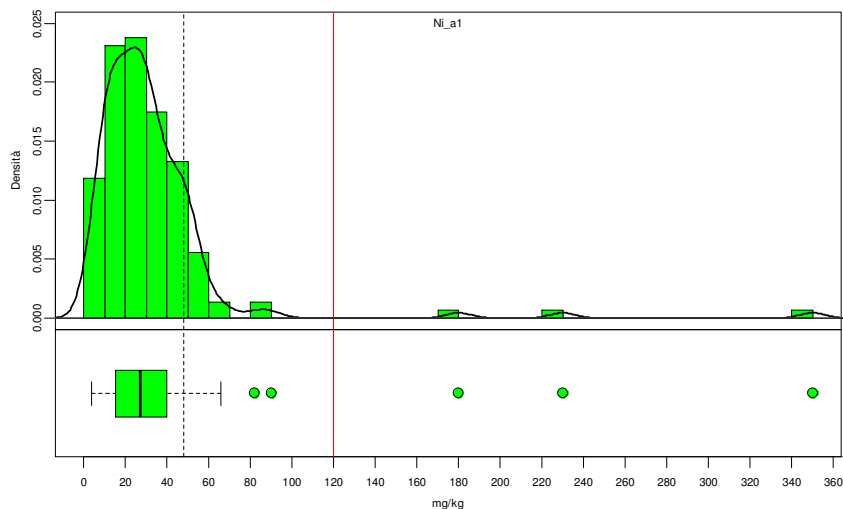
Parametri statistici del Nichel (Ni)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Ni_a1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I



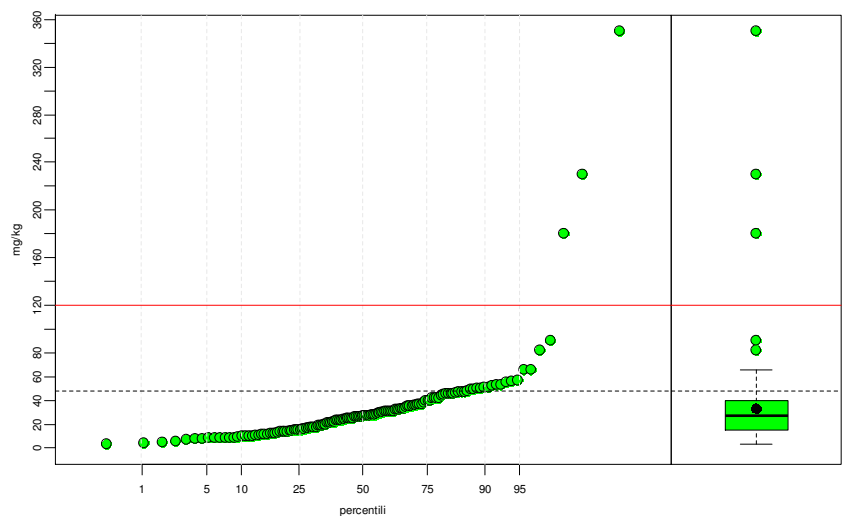
II



III

Aree omogenee		Ni_a1
Media	mg/kg	33
Mediana	mg/kg	27
Dev. St	mg/kg	38
CV	-	1,1
Min	mg/kg	4
Max	mg/kg	350
25° percentile (Q1)	mg/kg	15
50° percentile	mg/kg	27
75° percentile (Q3)	mg/kg	40
90° percentile	mg/kg	51
95° percentile	mg/kg	57
Soglia outliers ≥ ⁽⁵⁾	mg/kg	77
Numero outliers	n	5
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	48
Campioni	n	143
> Limite di legge ⁽³⁾	n	3
	%	2

IV



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

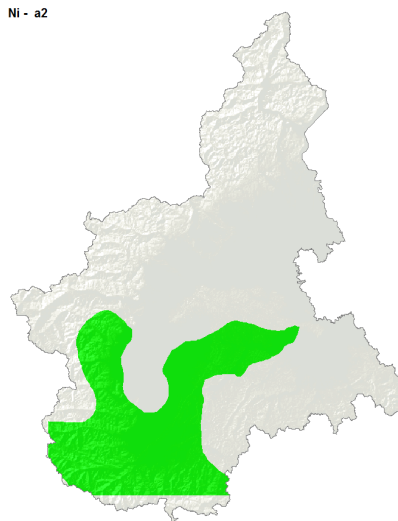
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 91

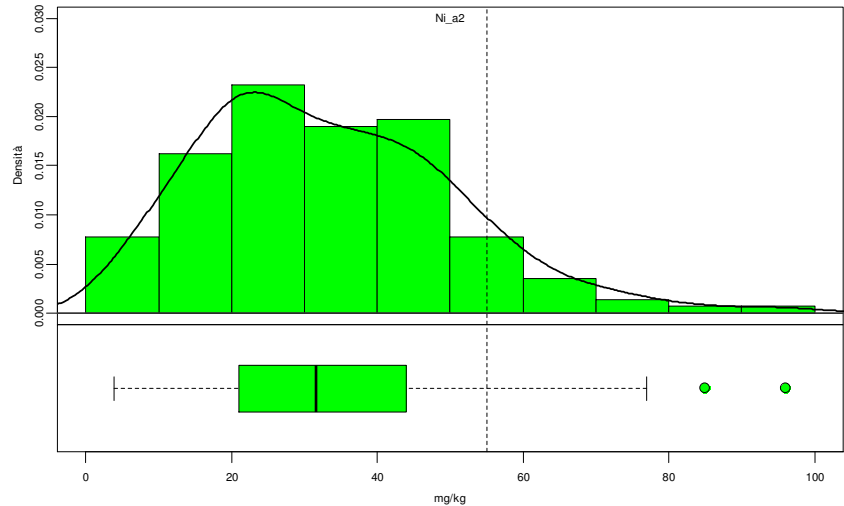
Parametri statistici del Nichel (Ni)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Ni_a2 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I



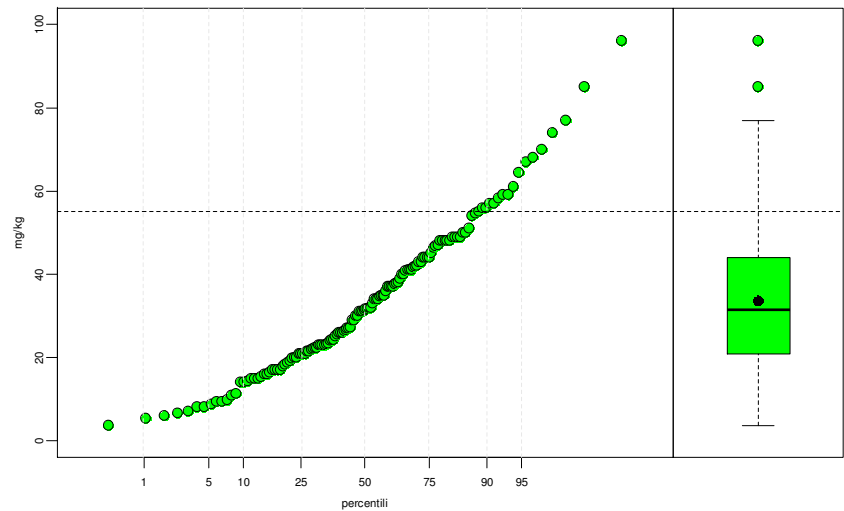
II



III

Aree omogenee		Ni_a2
Media	mg/kg	34
Mediana	mg/kg	32
Dev. St	mg/kg	17
CV	-	0,5
Min	mg/kg	4
Max	mg/kg	96
25° percentile (Q1)	mg/kg	21
50° percentile	mg/kg	32
75° percentile (Q3)	mg/kg	44
90° percentile	mg/kg	56
95° percentile	mg/kg	64
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	79
Numero outliers	n	2
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	55
Campioni	n	142
> Limite di legge ⁽³⁾	n	0
	%	0

IV



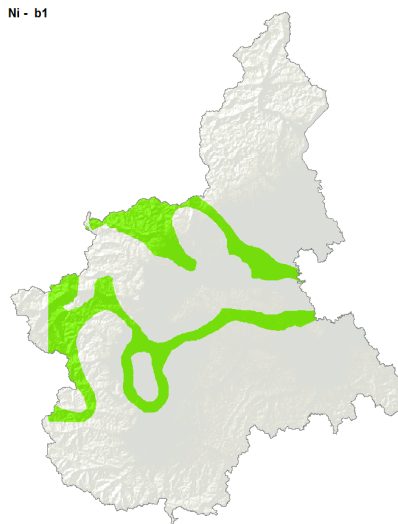
⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).
⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 92

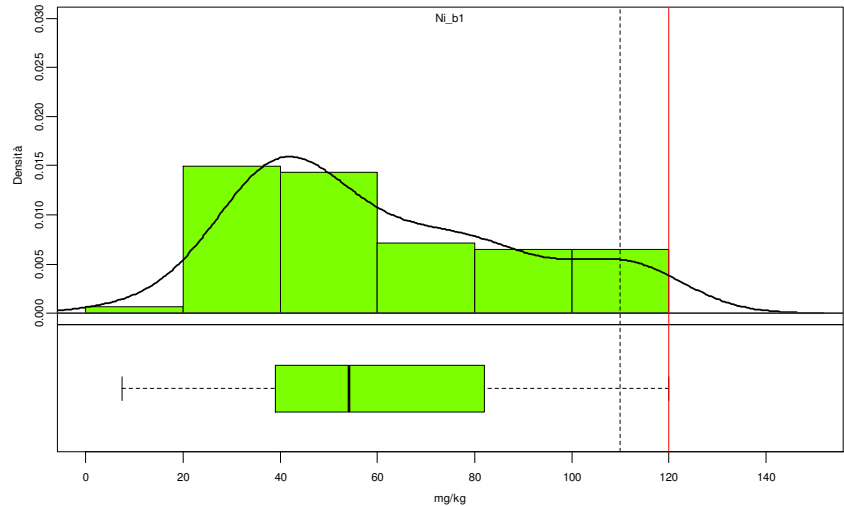
Parametri statistici del Nichel (Ni)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Ni_b1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I



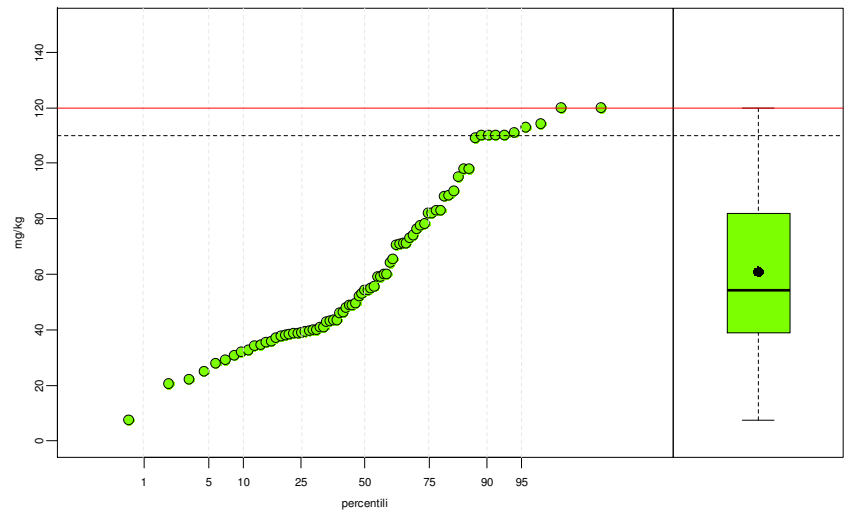
II



III

Aree omogenee		Ni_b1
Media	mg/kg	61
Mediana	mg/kg	54
Dev. St	mg/kg	28
CV	-	0,5
Min	mg/kg	8
Max	mg/kg	120
25° percentile (Q1)	mg/kg	39
50° percentile	mg/kg	54
75° percentile (Q3)	mg/kg	82
90° percentile	mg/kg	110
95° percentile	mg/kg	111
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	147
Numero outliers	n	0
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	110
Campioni	n	77
> Limite di legge ⁽³⁾	n	0
	%	0

IV



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).
⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

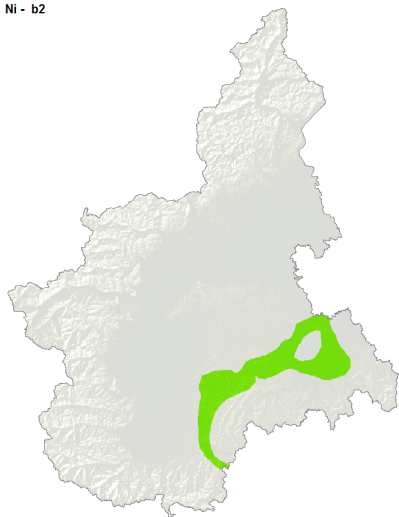
Figura 93

Parametri statistici del Nichel (Ni)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Ni_b2 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

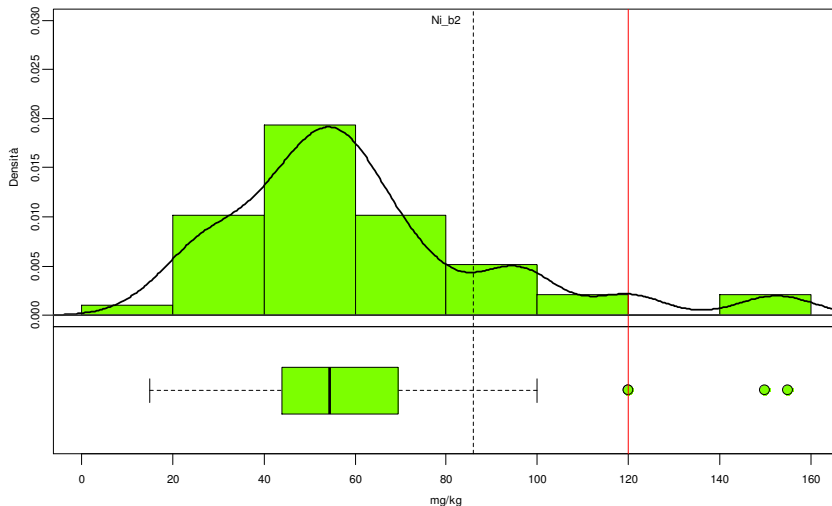
I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I

Ni - b2



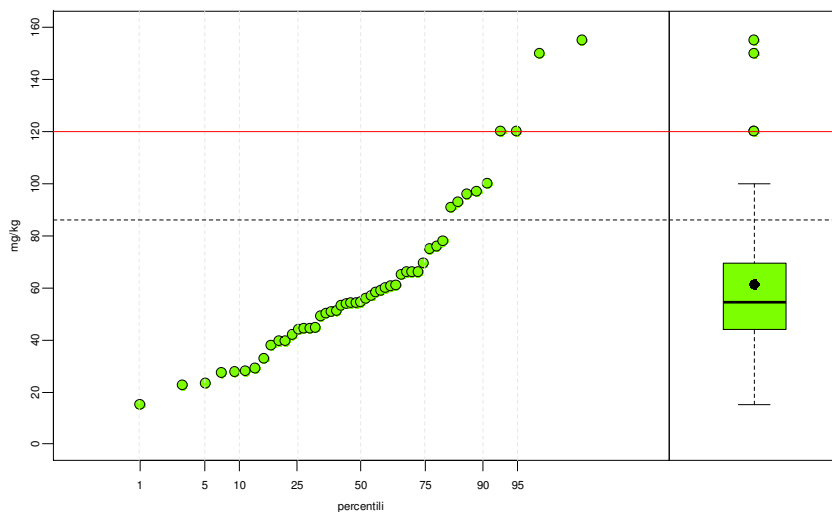
II



III

Aree omogenee		Ni_b2
Media	mg/kg	61
Mediana	mg/kg	55
Dev. St	mg/kg	30
CV	-	0,5
Min	mg/kg	15
Max	mg/kg	155
25° percentile (Q1)	mg/kg	44
50° percentile	mg/kg	55
75° percentile (Q3)	mg/kg	69
90° percentile	mg/kg	98
95° percentile	mg/kg	120
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	108
Numero outliers	n	4
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	86
Campioni	n	49
> Limite di legge ⁽³⁾	n	2
	%	4

IV



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

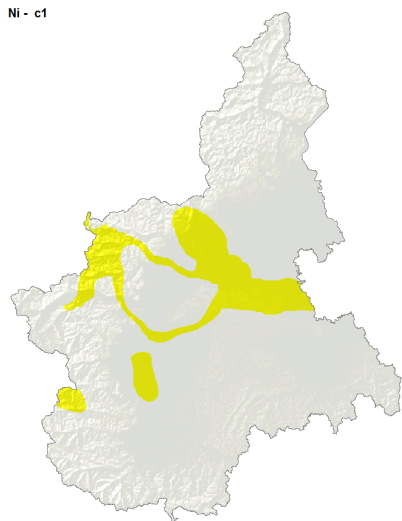
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 94

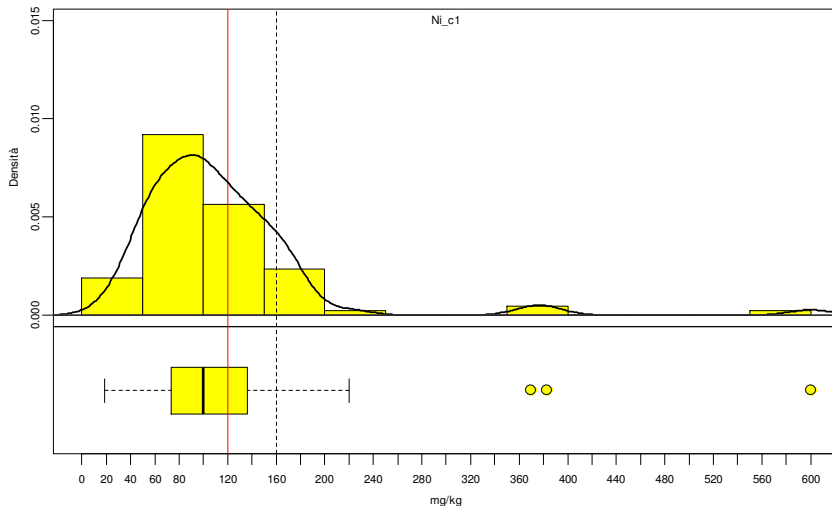
Parametri statistici del Nichel (Ni)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Ni_c1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I



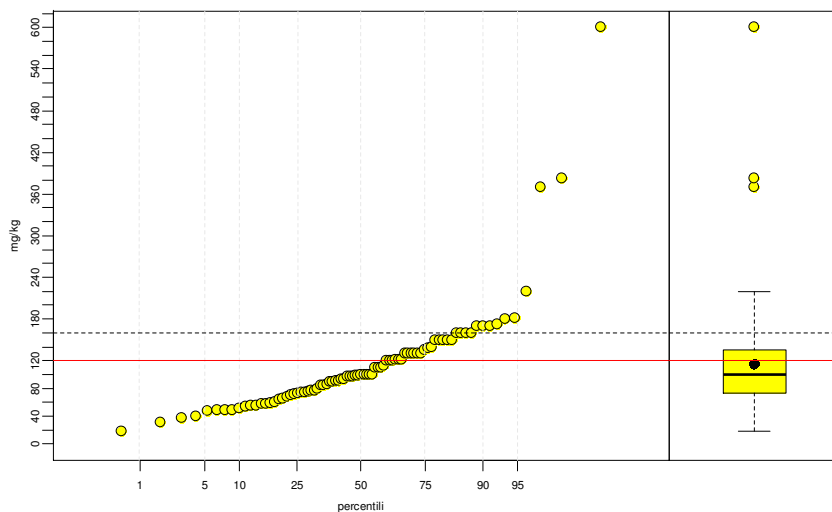
II



III

Aree omogenee		Ni_c1
Media	mg/kg	115
Mediana	mg/kg	100
Dev. St	mg/kg	79
CV	-	0,7
Min	mg/kg	19
Max	mg/kg	600
25° percentile (Q1)	mg/kg	73
50° percentile	mg/kg	100
75° percentile (Q3)	mg/kg	136
90° percentile	mg/kg	170
95° percentile	mg/kg	182
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	230
Numero outliers	n	3
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	160
Campioni	n	85
> Limite di legge ⁽³⁾	n	31
	%	36

IV



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).
⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

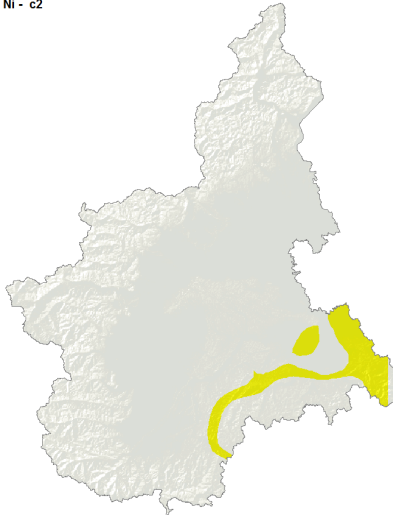
Figura 95

Parametri statistici del Nichel (Ni)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Ni_c2 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

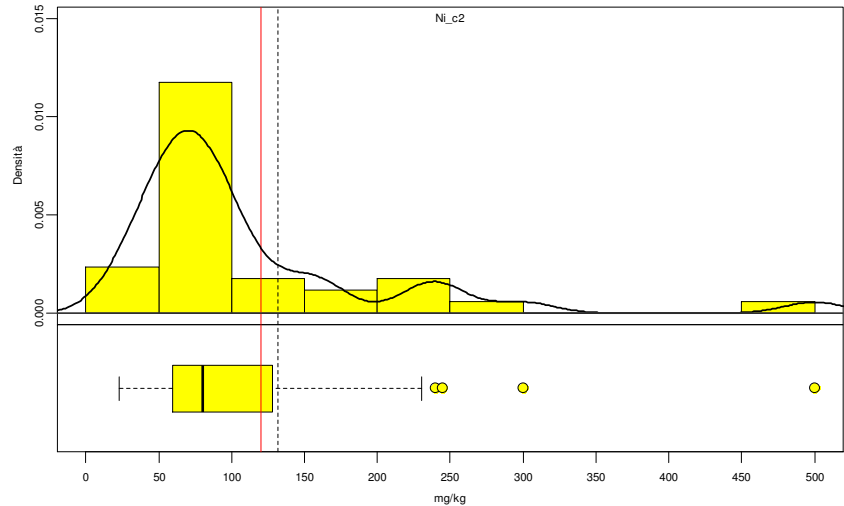
I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I

Ni - c2



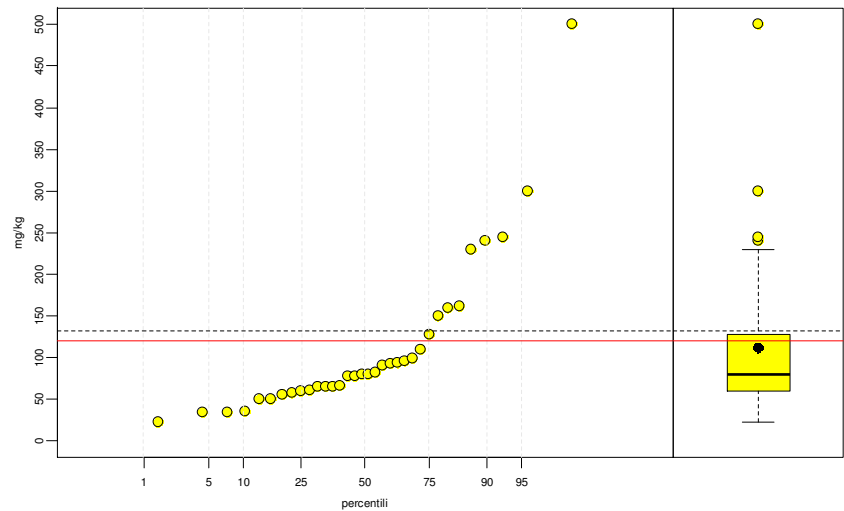
II



III

Aree omogenee		Ni_c2
Media	mg/kg	112
Mediana	mg/kg	80
Dev. St	mg/kg	95
CV	-	0,8
Min	mg/kg	23
Max	mg/kg	500
25° percentile (Q1)	mg/kg	60
50° percentile	mg/kg	80
75° percentile (Q3)	mg/kg	124
90° percentile	mg/kg	237
95° percentile	mg/kg	264
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	219
Numero outliers	n	5
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	132 ⁽⁴⁾
Campioni	n	34
> Limite di legge ⁽³⁾	n	9
	%	26

IV



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

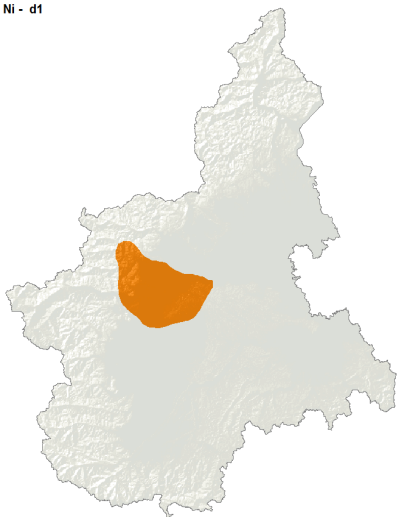
Figura 96

Parametri statistici del Nichel (Ni)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Ni_d1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

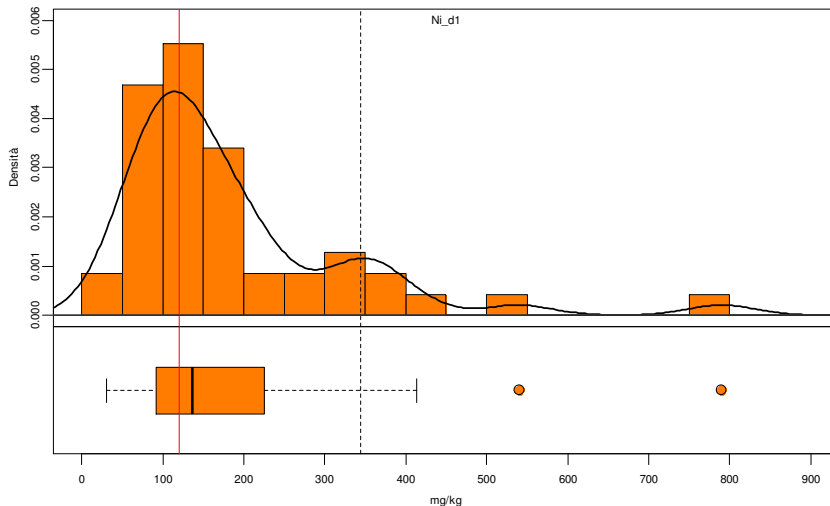
I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I

Ni - d1



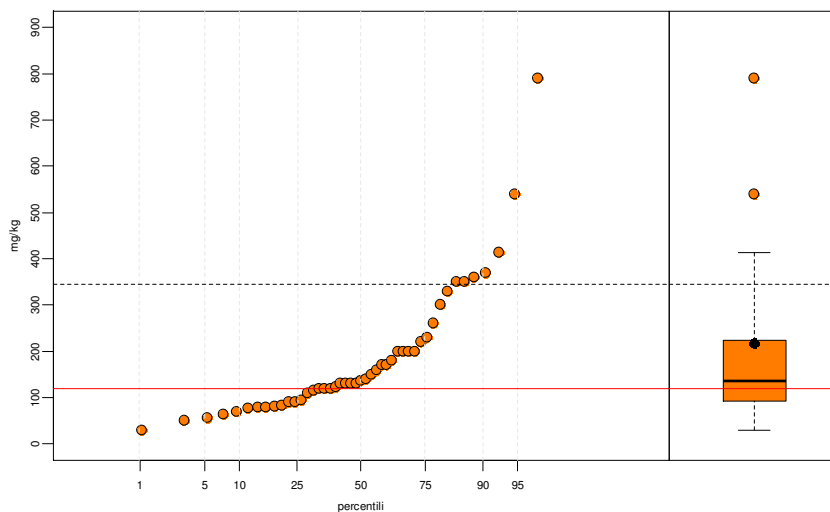
II



III

Aree omogenee		Ni_d1
Media	mg/kg	217
Mediana	mg/kg	136
Dev. St	mg/kg	250
CV	-	1,2
Min	mg/kg	30
Max	mg/kg	1600
25° percentile (Q1)	mg/kg	92
50° percentile	mg/kg	136
75° percentile (Q3)	mg/kg	225
90° percentile	mg/kg	364
95° percentile	mg/kg	502
Soglia outliers ≥ ⁽⁵⁾	mg/kg	424
Numero outliers	n	3
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	344
Campioni	n	47
> Limite di legge ⁽³⁾	n	29
	%	62

IV



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).
⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06.
⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.
⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers.
⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 97

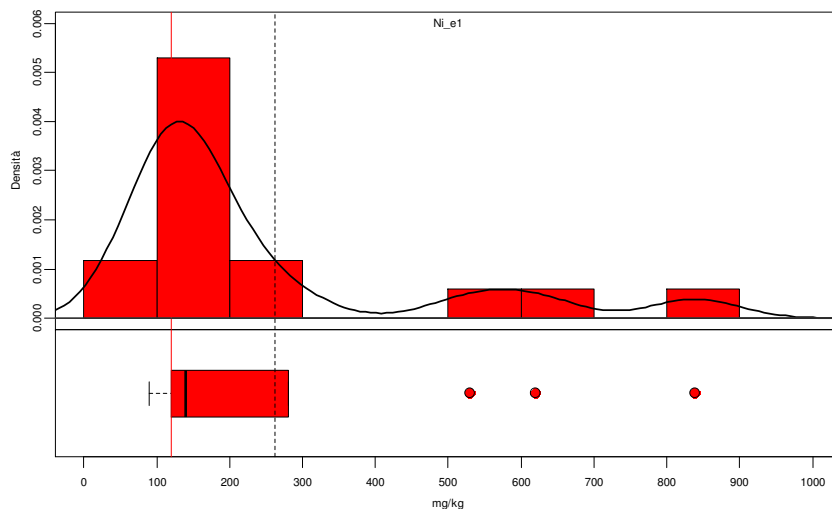
Parametri statistici del Nichel (Ni)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Ni_e1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I



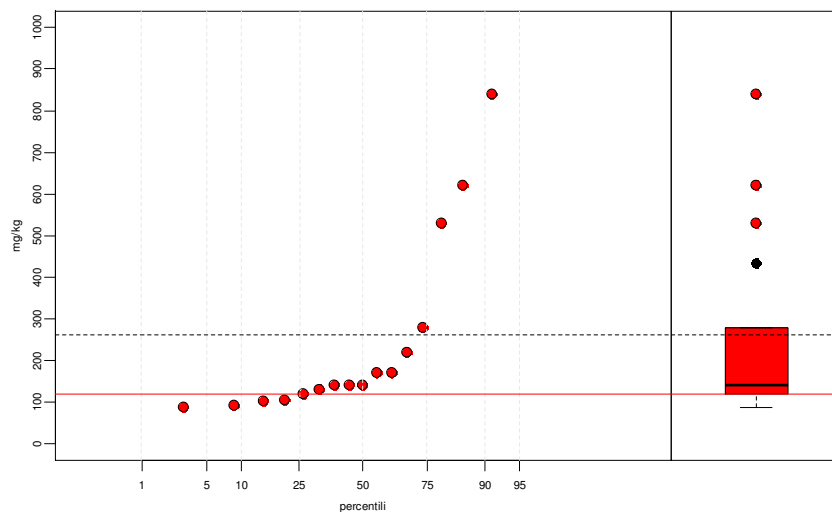
II



III

Aree omogenee		Ni_e1
Media	mg/kg	435
Mediana	mg/kg	140
Dev. St	mg/kg	819
CV	-	1,9
Min	mg/kg	89
Max	mg/kg	3500
25° percentile (Q1)	mg/kg	120
50° percentile	mg/kg	140
75° percentile (Q3)	mg/kg	280
90° percentile	mg/kg	708
95° percentile	mg/kg	1371
Soglia outliers ≥ ⁽⁵⁾	mg/kg	520
Numero outliers	n	4
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	262 ⁽⁴⁾
Campioni	n	17
> Limite di legge ⁽³⁾	n	12
	%	71

IV



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Piombo

Valutazione di presenza, origine ed intensità della contaminazione diffusa

Per le elaborazioni del Piombo di seguito proposte sono stati utilizzati i dati relativi ad un totale di 712 stazioni di monitoraggio, delle quali 323 uniformemente distribuite in tutto il territorio piemontese su maglia sistematica (9x9 km e 3x3 km), e 389 stazioni realizzate nell'ambito di altri progetti realizzati da Arpa, campionate ed analizzate con le stesse procedure. (Figura 98– I).

Il consistente numero di stazioni di monitoraggio analizzate permette di ottenere, attraverso l'utilizzo di modelli predittivi geostatistici, rappresentazioni spaziali della concentrazione di Piombo attendibili ad una scala di dettaglio indicativa pari a 1:150.000.

L'interpretazione congiunta dei risultati relativi alla stima della concentrazione in mg/kg del Piombo (Figura 98 - II) e della stima delle probabilità percentuale di superamento dei limiti di legge (Figura 98 - III) ha permesso l'individuazione di aree omogenee di concentrazione su tutto il territorio piemontese (Figura 98 - IV), di dimensioni significative rispetto alla densità di campionamento ed alla scala di rappresentazione.

La rappresentatività statistica delle popolazioni di dati appartenenti alle singole aree omogenee di concentrazione è stata verificata attraverso confronto con test statistici (t-test per campioni indipendenti) e metodi di confronto grafici (curve della densità di distribuzione, Box plot, Curve di distribuzione cumulata di frequenza).

Le valutazioni relative a presenza, origine, e intensità della contaminazione sono state effettuate attraverso l'utilizzo combinato di elaborazioni statistiche, geostatistiche e calcolo di specifici indici di arricchimento.

I risultati dei modelli predittivi geostatistici (Figura 99) mostrano per il Piombo la presenza di differenze marcate tra la concentrazione degli orizzonti superficiali e quelli profondi, con superfici caratterizzate da concentrazioni elevate ed alte probabilità di superamento di limiti di legge in corrispondenza degli orizzonti superficiali (profondità A), situate prevalentemente in corrispondenza dei principali assembramenti urbani e industriali.

L'elevata variabilità verticale riscontrata tra concentrazione degli orizzonti superficiali (A) e quella di quelli più profondi (B) indica per il Piombo presenza di fenomeni rilevanti di deposizione superficiale da contaminazione diffusa.

In tutte le aree omogenee di concentrazione individuate si riscontra presenza di contaminazione diffusa da deposizione superficiale (Figura 101 - II), con valori medi degli indici di arricchimento superficiale superiori a 1,3 (contaminazione diffusa moderata) per le aree Pb_a1 e Pb_a2 e valori medi superiori a 1,5 (contaminazione diffusa elevata) per le aree Pb_b1 e Pb_b2.

I valori dell'indice di arricchimento superficiale tendono ad aumentare all'aumentare della concentrazione del contaminante (Figura 101 – I e III), ad indicare la presenza di correlazioni a grande scala di dettaglio tra concentrazioni elevate e forme di contaminazione antropica.

Inoltre i campioni caratterizzati da deposizione superficiale di Piombo di intensità moderata (indice di arricchimento >1.3) ed elevata (indice di arricchimento >1.5) presentano distribuzioni spaziali omogenee e correlate con la distribuzione delle aree omogenee (Figura 100).

Il numero di valori outliers della concentrazione in mg/kg, che identificano campioni hot-spot con concentrazioni anomale rispetto alla popolazione campionaria, è elevato in tutte le aree omogenee individuate.

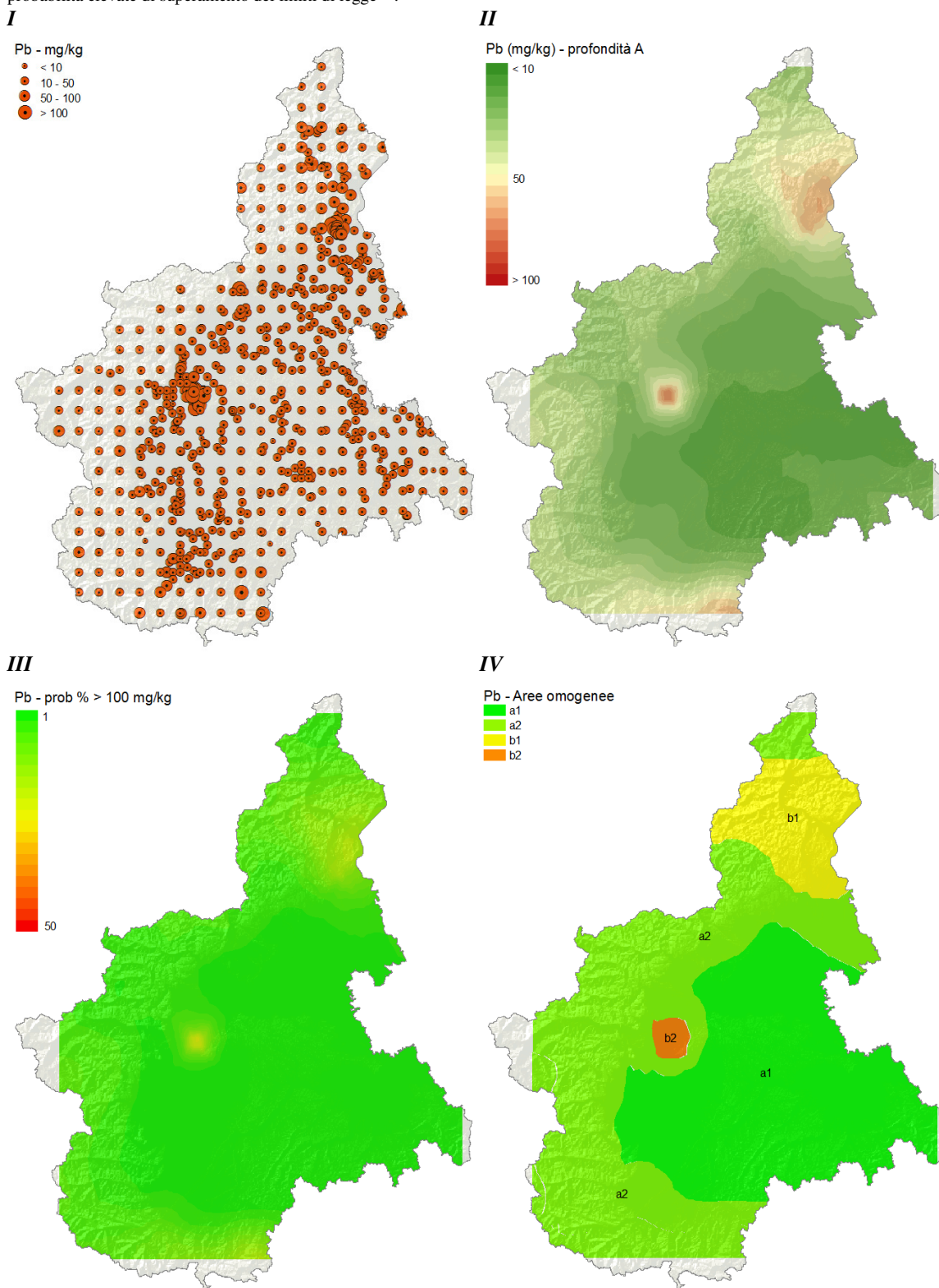
La presenza di valori ampiamente superiori all'unità dei coefficienti di arricchimento riscontrata in corrispondenza dei valori outliers della concentrazione, conferma le ipotesi relative alla presenza di correlazioni significative tra concentrazioni elevate e forme di contaminazione.

Si osserva inoltre la presenza di elevate concentrazioni e alti valori degli indici di arricchimento superficiale in corrispondenza delle aree maggiormente urbanizzate ed industrializzate.

L'elevata variabilità verticale, la distribuzione ed i valori elevati degli indici di arricchimento riscontrati in corrispondenza di tutte le aree omogenee, indicano la presenza sul territorio piemontese di fenomeni di deposizione superficiale da Piombo derivante da contaminazione diffusa di origine antropica.

Figura 98

Spazializzazione della concentrazione di Piombo (Pb) nei suoli ⁽¹⁾ del territorio piemontese ed individuazione di aree omogenee di concentrazione. **I** – Stazioni di monitoraggio per classi di concentrazione in mg/kg. **II** – Stima della concentrazione in mg/kg. **III** – Stima delle probabilità (%) di superamento dei limiti di legge⁽²⁾. **IV** – Aree omogenee di concentrazione (a, b, c) ed aree critiche (d, e) con probabilità elevate di superamento dei limiti di legge⁽²⁾.



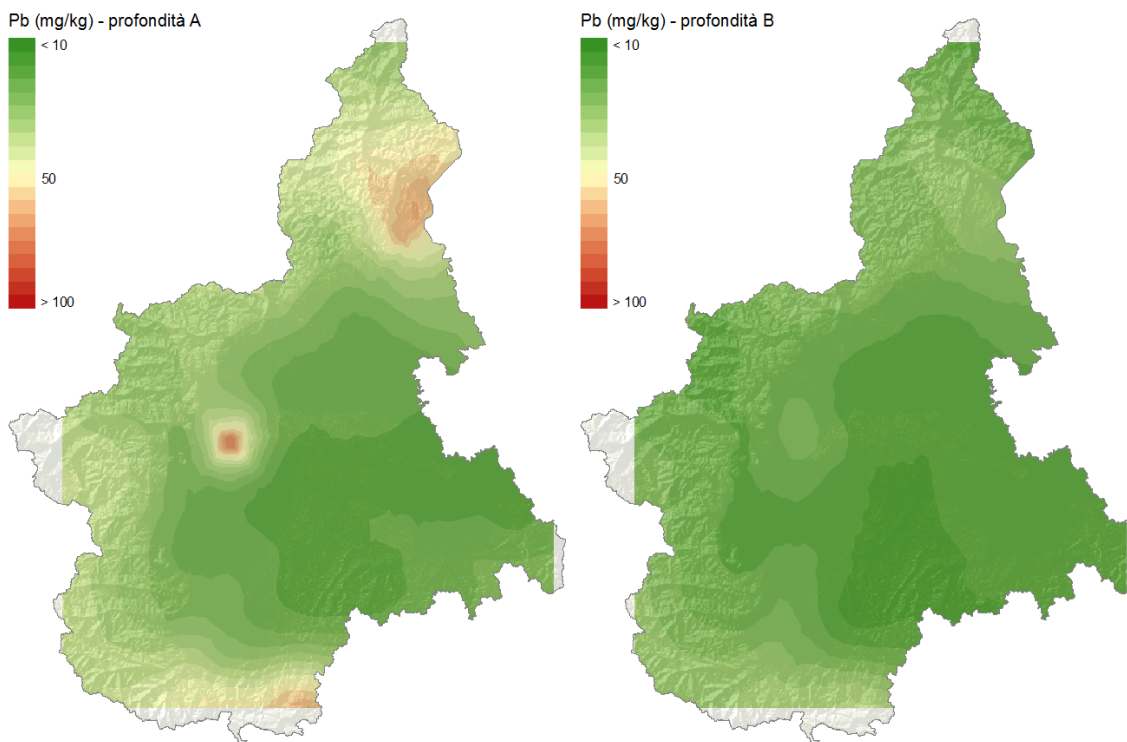
⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 99

Distribuzione spaziale della concentrazione di Piombo (Pb) nei suoli del territorio piemontese per profondità di campionamento A e B ⁽¹⁾.

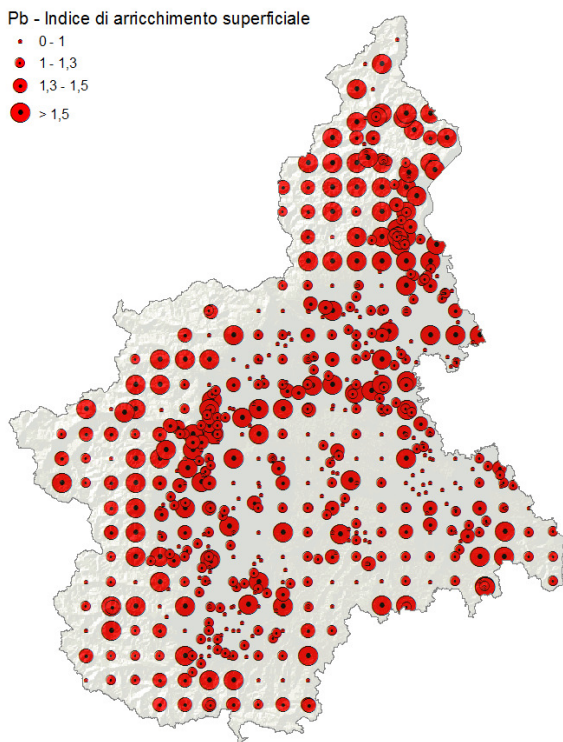


⁽¹⁾ Profondità A: 0-10 cm per suoli naturali e/o indisturbati e orizzonte Ap per suoli arati . Profondità B: 30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 100

Indice di arricchimento superficiale del Piombo (Pb) per classi di deposizione superficiale ⁽¹⁾ nelle stazioni della Rete di monitoraggio ambientale dei suoli del Piemonte.



⁽¹⁾ Indice di arricchimento superficiale: < 0 - deposizione assente, da 1 a 1,3 - deposizione molto ridotta, da 1,3 a 1,5 - deposizione moderata, >1.5 - deposizione elevata.

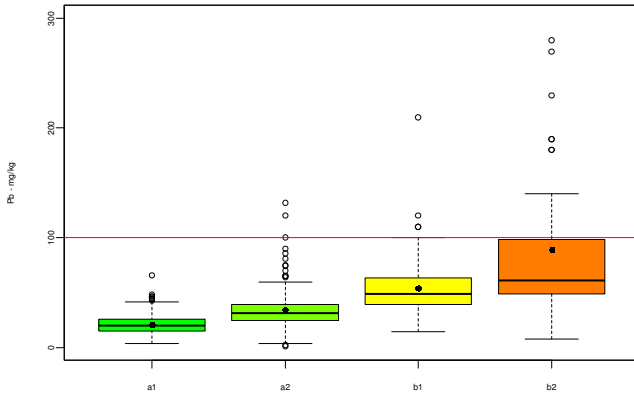
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 101

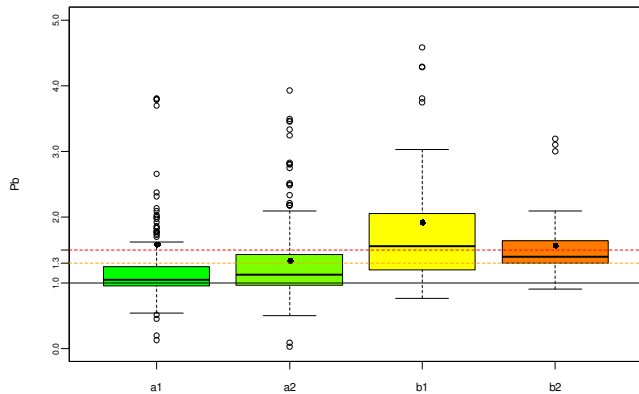
Confronto tra concentrazioni in mg/kg e indice di arricchimento superficiale del Piombo (Pb) per classi omogenee di concentrazione nei suoli del territorio piemontese.

I - Box plot ⁽¹⁾ della concentrazione in mg/kg e limiti di legge ⁽²⁾ (linea orizzontale rossa). **II** - Box plot dell'indice di arricchimento superficiale e soglia relativa a contaminazione diffusa moderata (1,3 - linea orizzontale arancio) ed elevata (1,5 - linea orizzontale rossa). **III** - Scatterplot dell'indice di arricchimento superficiale e soglia relativa a contaminazione diffusa moderata (1,3 - linea orizzontale arancio) ed elevata (1,5 - linea orizzontale rossa).

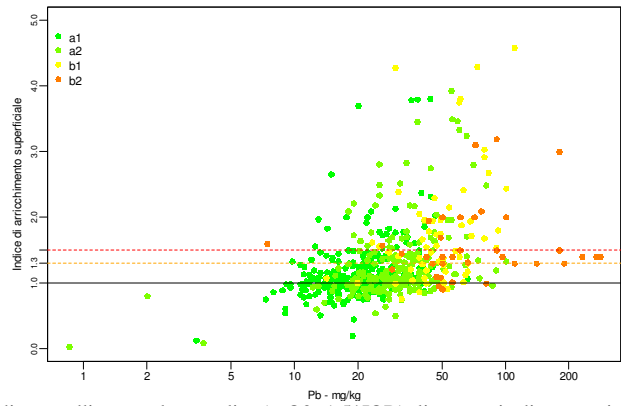
I



II



III



⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ($> Q3+1,5 \cdot IQR$), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Elaborazione dei dati per aree omogenee

Per il Piombo, la cui origine è attribuibile in parte alla composizione chimica del materiale di partenza da cui il suolo ha avuto origine ed in parte a fenomeni più o meno intensi di deposizione superficiale derivante da contaminazione diffusa di origine antropica, le elaborazioni statistiche ed il calcolo dei valori di fondo (*contenuto di fondo di naturale - antropico*), sono stati effettuati utilizzando i campioni degli orizzonti A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli arati).

Al fine di evitare l'inclusione di campioni potenzialmente contaminati sono stati esclusi dalle elaborazioni campioni con valore del fattore di arricchimento superficiale superiore a 3.

Sono inoltre stati esclusi i valori outliers ($\geq Q3 + 3[Q3 - Q1]$) delle singole aree omogenee di concentrazione per i quali è stato verificato un evidente scostamento dalla direzione individuata dalle curve di distribuzione analizzate (densità della distribuzione, distribuzione cumulata di frequenza in percentili).

I valori di fondo sono stati calcolati in base a quanto stabilito dalla "Soil quality - Guidance on the determination of background values", descritta in dettaglio nel capitolo precedente.

La distribuzione dei dati che meglio approssima il campione (normale, log-normale, gamma, non parametrica) è stata valutata attraverso metodi grafici (istogrammi di frequenza, curve cumulative di frequenza e box plot) e test statistici (Shapiro - Wilk e Anderson - Darling).

In Figura 102 sono rappresentate le aree omogenee di concentrazione del Piombo (Pb) per le quali vengono forniti parametri di statistica descrittiva di riferimento e calcolati i valori di fondo.

In Figura 103 sono rappresentati i box plot della concentrazione del Piombo in mg/kg per aree omogenee di concentrazione, messi a confronto con i limite di legge (linea orizzontale rossa).

In Tabella 21 sono riportati, per aree omogenee di concentrazione, parametri di statistica descrittiva (media, mediana, deviazione standard - dev st, coefficiente di variazione - CV, valori minimi - min, valori massimi - max, 25° - 50° - 75° - 90° e 95° percentile, soglia outliers), valori di fondo, numero e percentuale di campioni che superano i limiti di legge. In rosso sono indicati i valori medi, mediani e percentili che superano il limite di legge.

Per ogni area omogenea di concentrazione sono inoltre rappresentati (da Figura 104 a Figura 107) l'istogramma della densità di distribuzione per classi di concentrazione, la curva di densità della distribuzione e la curva di distribuzione cumulata di frequenza in percentili, confrontati con il valore di fondo (linea tratteggiata nera) ed il limite di legge (linea continua rossa).

Dall'analisi delle elaborazioni spaziali e dei parametri statistici è possibile osservare una buona variabilità spaziale del contenuto di Piombo nei suoli del territorio piemontese, con presenza di aree omogenee di concentrazione molto ampie (Pb_a1, Pb_a2), alternate ad aree di superfici più ridotte e ben delimitate, caratterizzate da concentrazioni molto più elevate (Pb_b1 e Pb_b2) con valori medi e mediani comunque ampiamente al disotto dei limiti di legge.

In tutte le aree omogenee di concentrazione individuate si riscontrano valori medi, mediani e interquartili sempre al disotto dei limiti di legge, con basse probabilità (sempre inferiori al 50%) di superamento dei limiti di legge.

Le aree omogenee di concentrazione sono state classificate con le lettere "a" e "b" (Tabella 20), in base alle probabilità di superamento del limite di legge per il Piombo di 100 mg/kg, stabilito dal D.Lgs. 152/06 per i suoli ad uso verde pubblico, privato e residenziale (*Allegato 5 - Tabella 1 - colonna A*).

Le probabilità di superamento dei limi di legge sono inferiori al 5% per la classe "a", con soglia outliers inferiore al limite di legge, e tra il 5 e 25 % per la classe "b".

Le concentrazioni medie variano da valori minimi di 21 mg/kg per l'area omogenea di concentrazione Pb_a1, a valori massimi di 89 mg/kg per l'area Pb_b2.

La variabilità del dato, evidenziata dalla deviazione standard, dal coefficiente di variazione e dall'intervallo interquartile aumenta notevolmente in funzione dell'aumento della concentrazione

media e mediana delle aree omogenee di concentrazione. L'aumento della variabilità è spiegabile in parte dalla diminuzione progressiva del numero di campioni analizzati, che a sua volta è legato alla superficie dell'area, ed in parte dalla presenza discontinua di forme di contaminazione diffusa tipica delle zone fortemente urbanizzate e/o industrializzate.

Il numero di valori outliers con concentrazioni anomale rispetto alla popolazione campionaria, risulta elevato in tutte le aree omogenee di concentrazione individuate.

In corrispondenza dei valori outliers di tutte le aree omogenee di concentrazione, i valori dei coefficienti di arricchimento risultano superiori alla soglia di contaminazione elevata ($>1,5$) ad indicare presenza di correlazioni significative tra concentrazioni elevate e forme di contaminazione diffusa.

Nonostante la presenza evidente di contaminazione diffusa, i valori di fondo risultano ampiamente inferiori al limite di legge per le aree Pb_a1 (30 mg/kg), Pb_a2 (46 mg/kg) e Pb_a3 (76 mg/kg).

Per l'area Pb_b2 che corrisponde all'area urbana (parchi e giardini) e periurbana della città di Torino i valori di fondo (96 mg/kg) sono invece prossimi al limite di legge.

I parametri statistici ed i valori di fondo calcolati per le aree omogenee di concentrazione Pb_a1, Pb_a2 e Pb_b1 possono essere considerati attendibili e statisticamente significativi a grande scala di dettaglio, in quanto sono rappresentati da un elevato numero di campioni caratterizzati da bassa variabilità del dato, se rapportata alla densità di campionamento, e da distribuzioni simmetriche, uniformi e continue.

L'area omogenee di concentrazione Pb_b2 è rappresentata da un numero di campioni analizzati basso, ma sufficiente rispetto alla dimensione relativamente ridotta della superficie interessata. La popolazione di dati è inoltre caratterizzata da una distribuzione dei campioni asimmetrica (positiva - destra), irregolare e discontinua con una elevata variabilità (coefficiente di variazione, deviazione standard, intervallo interquartile), tipica delle zone fortemente industrializzate e urbanizzate. Nel complesso i parametri statistici ed i valori di fondo calcolati per questa area possono essere considerati attendibili alla scala di dettaglio rappresentata.

Per l'ottenimento di parametri statistici di riferimento e valori di fondo statisticamente significativi per l'area Pb_b2 è però opportuno un infittimento dei campionamenti in base ai risultati delle mappe di previsione dell'errore standard che individuano zone differenziate per qualità di predizione ed aree sottocampionate.

In base alle considerazioni sopra effettuate non è possibile utilizzare per le aree omogenee di concentrazione individuate, i parametri statistici forniti come studio pregresso al fine di dimostrare che eventuali superamenti dei limiti di legge dovuti a valore di fondo naturale-antropico.

L'ottenimento di dati rappresentativi a scala di dettaglio comunale e/o locale, è sempre vincolato ad un ulteriore approfondimento con monitoraggio di maggiore dettaglio (vedi paragrafo - Raccomandazioni relative all'utilizzo dei dati).

Tabella 20

Classificazione delle aree omogenee di concentrazione in base alle probabilità di superamento dei limiti di legge ⁽¹⁾

	Probabilità di superamento dei limiti di legge	Limite di legge
a1	<5%	> Soglia outliers
a2	<5%	> Soglia outliers
b1	5%-25 %	75° perc – Soglia outliers
b2	5%-25 %	75° perc – Soglia outliers

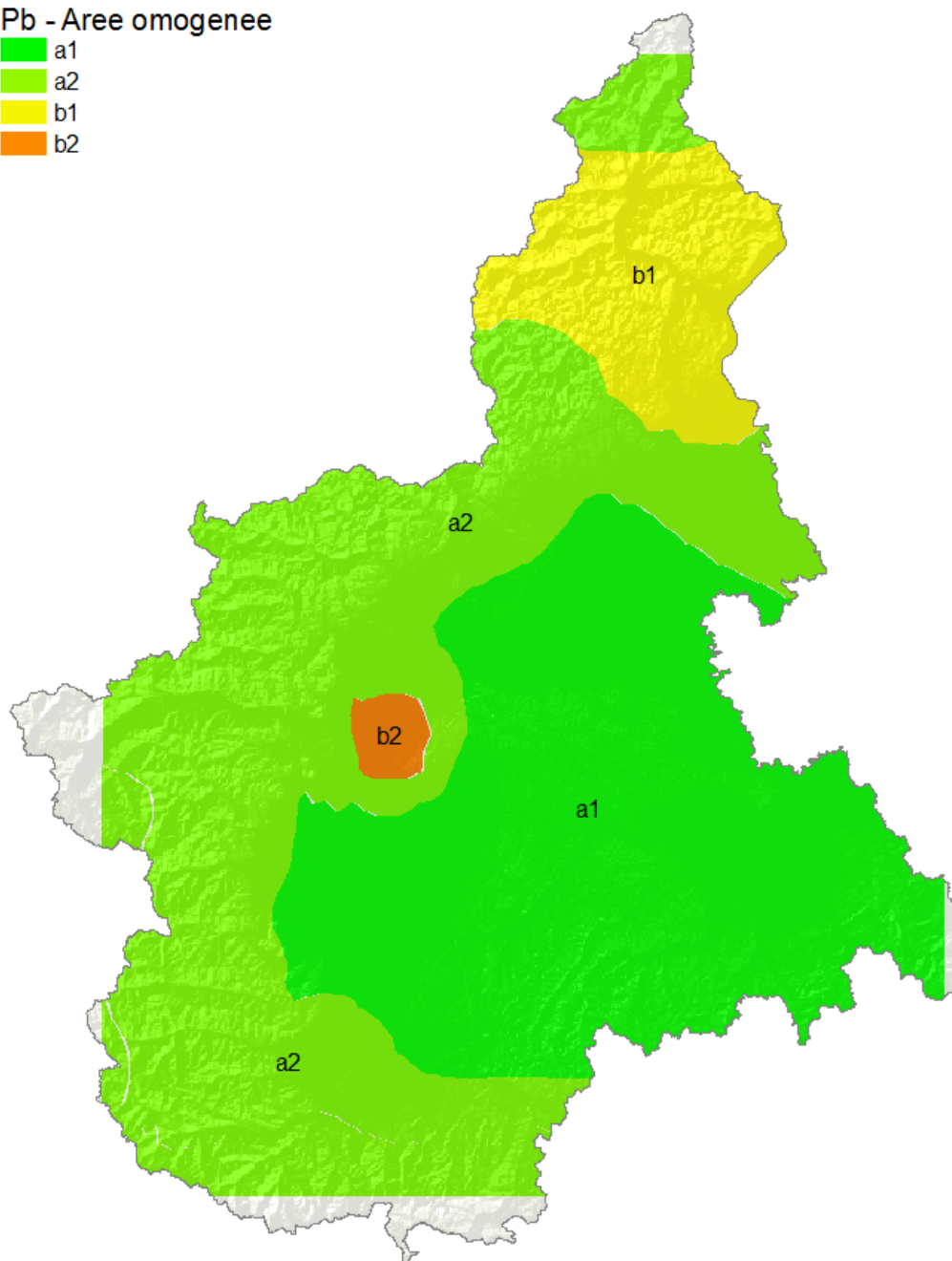
⁽¹⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 102

Aree omogenee di concentrazione (a1, a2, b1, b2) per le quali sono stati elaborati i parametri statistici e calcolati i valori di fondo della concentrazione di Piombo nei suoli ⁽¹⁾ del territorio piemontese.

Pb - Aree omogenee

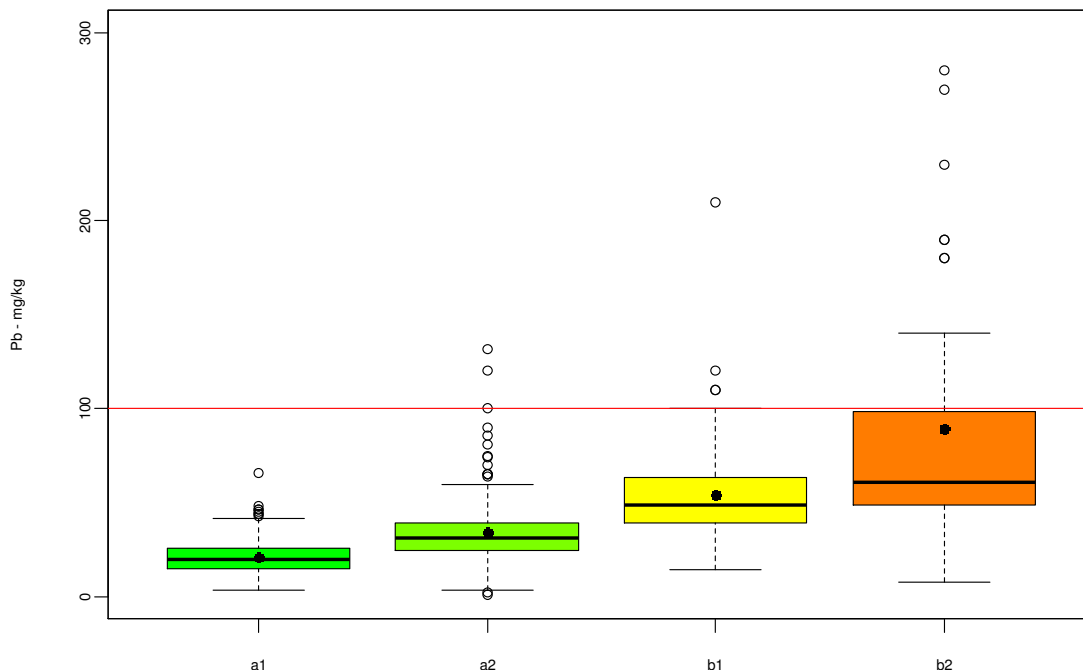
- a1
- a2
- b1
- b2



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni superficiali A (10 – 30 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 103

Box plot⁽¹⁾ della concentrazione di Piombo (Pb) in mg/kg nei suoli ⁽²⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione e confronto con i limiti di legge (100 mg/kg) ⁽³⁾ (linea orizzontale rossa).



⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (>Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽²⁾ Elaborazione dei campioni di suolo A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli) ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Tabella 21

Statistica descrittiva, percentili, valori di fondo ⁽¹⁾, confronto con i limiti di legge (100 mg/kg) ⁽²⁾ e conteggio di campioni analizzati del Piombo (Pb) nei suoli ⁽³⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione.

Aree omogenee		Pb_a1	Pb_a2	Pb_b1	Pb_b2
Media	mg/kg	21	34	54	89
Mediana	mg/kg	20	31	49	61
Dev. St	mg/kg	9	17	27	67
CV	-	0,4	0,5	0,5	0,8
Min	mg/kg	3	1	14	7
Max	mg/kg	66	132	210	280
25° percentile (Q1)	mg/kg	15	25	39	49
50° percentile	mg/kg	20	31	49	61
75° percentile (Q3)	mg/kg	26	39	64	99
90° percentile	mg/kg	33	54	82	190
95° percentile	mg/kg	39	62	99	234
Soglia outliers \geq ⁽⁵⁾	mg/kg	43	61	100	173
Outliers	n	8	13	4	7
Valore di fondo ⁽¹⁾	mg/kg	30	46	76	96
Campioni	n	338	252	83	39
> Limite di legge ⁽¹⁾	n	0	2	4	9
	%	0	1	5	23

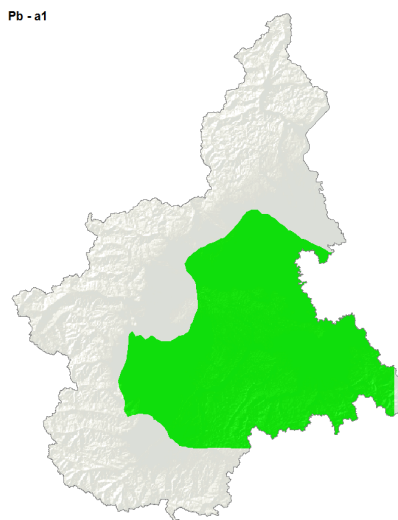
⁽¹⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽²⁾ Limiti di legge D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽³⁾ Elaborazione dei campioni superficiali di suolo A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽⁴⁾ Numero di dati insufficiente per una corretta definizione dei valori di fondo. Occorre un ulteriore infittimento dei campionamenti. ⁽⁵⁾ $=Q3+1,5*IQR$, $IQR=Q3-Q1$.
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 104

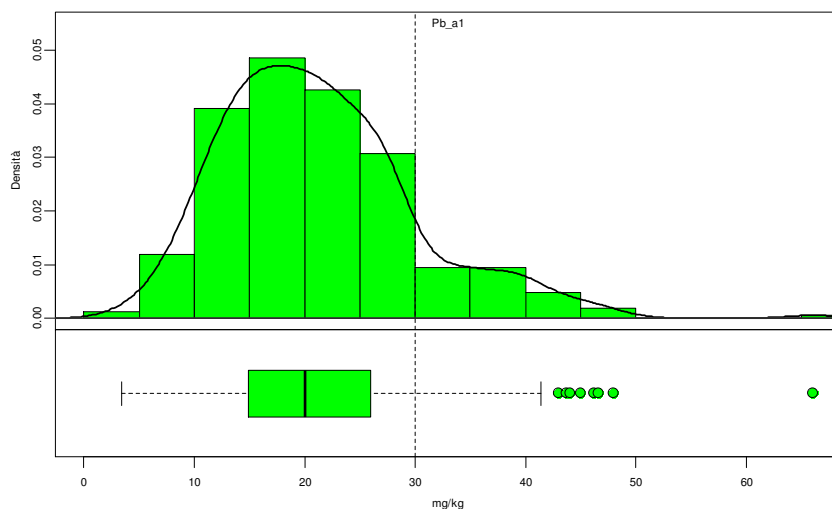
Parametri statistici del Piombo (Pb)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Pb_a1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I



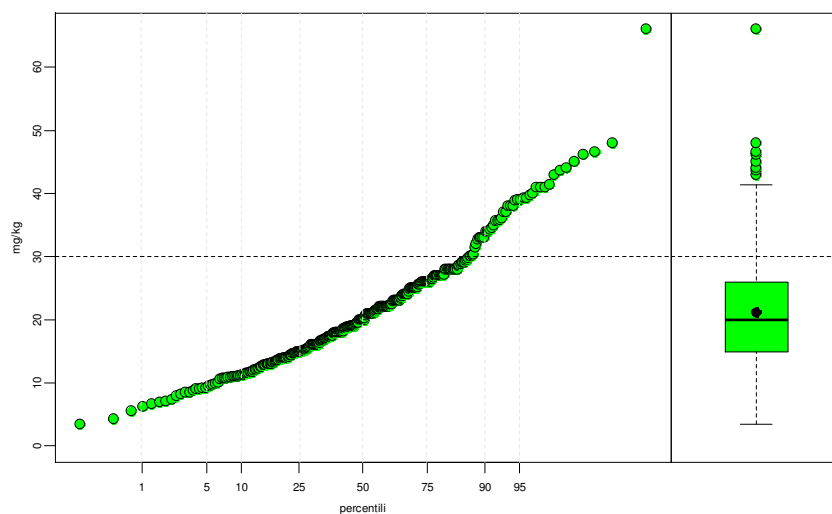
II



III

Aree omogenee		Pb_a1
Media	mg/kg	21
Mediana	mg/kg	20
Dev. St	mg/kg	9
CV	-	0
Min	mg/kg	3
Max	mg/kg	66
25° percentile (Q1)	mg/kg	15
50° percentile	mg/kg	20
75° percentile (Q3)	mg/kg	26
90° percentile	mg/kg	33
95° percentile	mg/kg	39
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	43
Numero outliers	n	8
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	30
Campioni	n	338
> Limite di legge ⁽³⁾	n	0
	%	0

IV



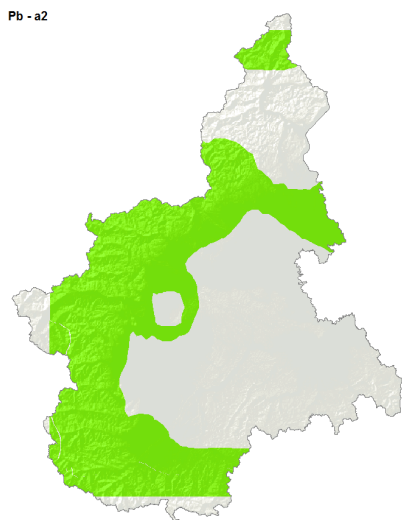
⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni superficiali A (10 – 30 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 105

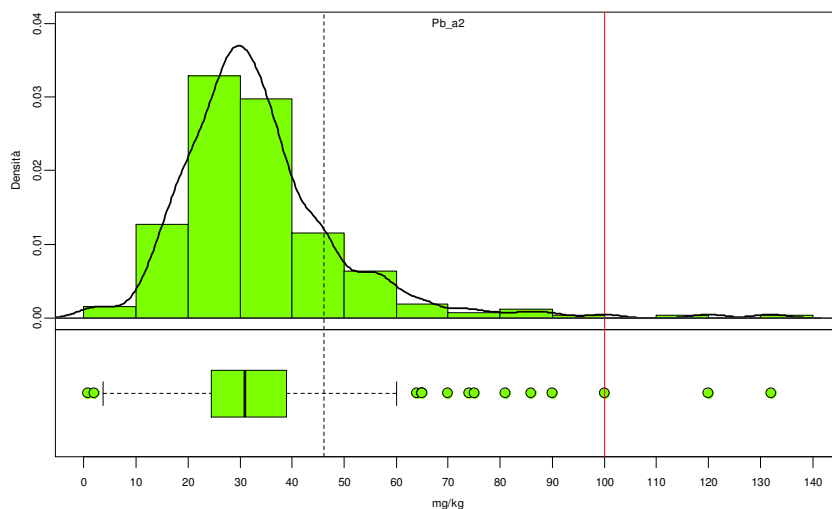
Parametri statistici del Piombo (Pb)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Pb_a2 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I



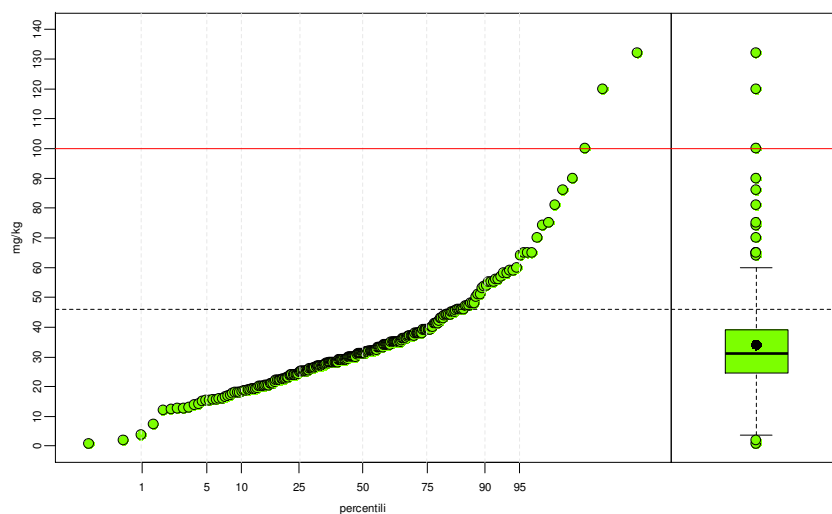
II



III

Aree omogenee		Pb_a2
Media	mg/kg	34
Mediana	mg/kg	31
Dev. St	mg/kg	17
CV	-	0
Min	mg/kg	1
Max	mg/kg	132
25° percentile (Q1)	mg/kg	25
50° percentile	mg/kg	31
75° percentile (Q3)	mg/kg	39
90° percentile	mg/kg	54
95° percentile	mg/kg	62
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	61
Numero outliers	n	13
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	46
Campioni	n	252
> Limite di legge ⁽³⁾	n	2
	%	1

IV



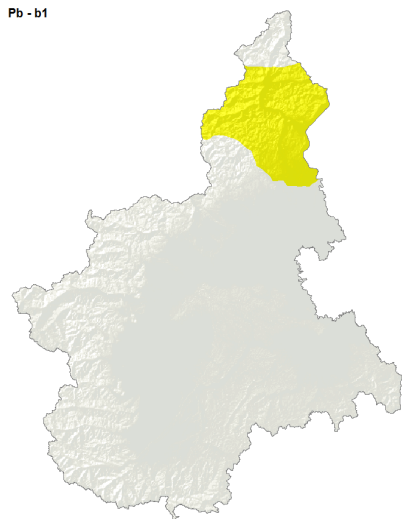
⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni superficiali A (10 – 30 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 106

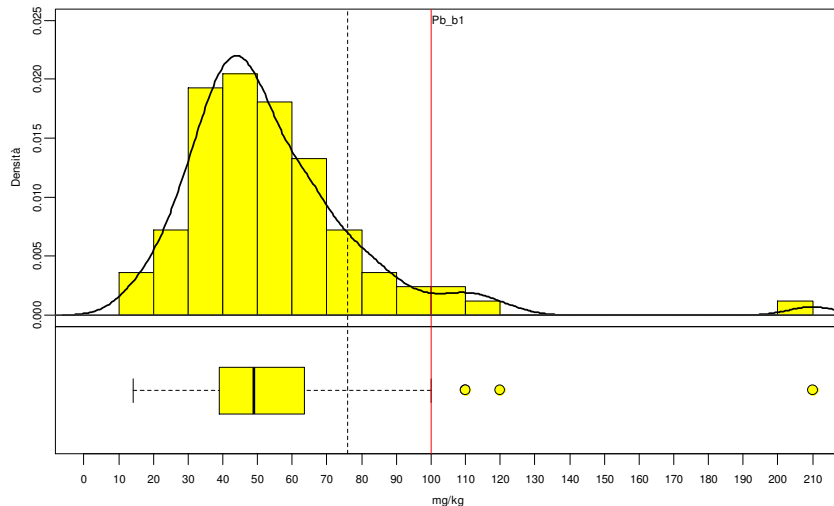
Parametri statistici del Piombo (Pb)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Pb_b1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I



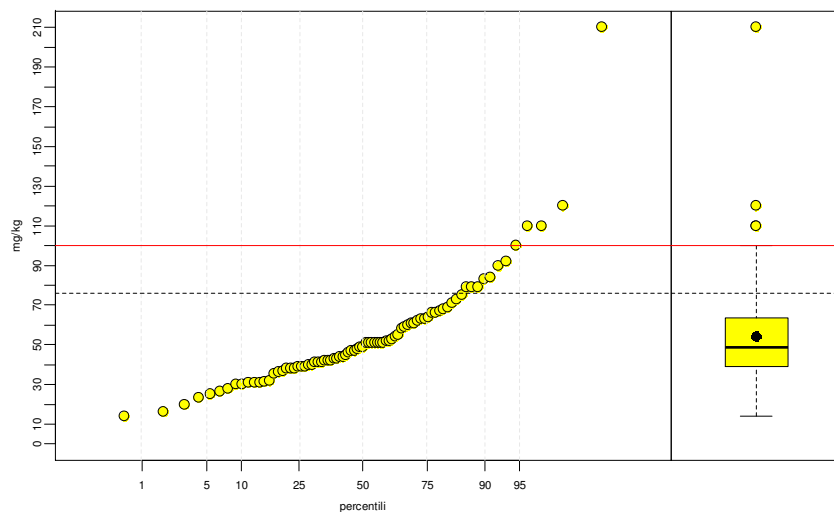
II



III

Aree omogenee		Pb_b1
Media	mg/kg	54
Mediana	mg/kg	49
Dev. St	mg/kg	27
CV	-	1
Min	mg/kg	14
Max	mg/kg	210
25° percentile (Q1)	mg/kg	39
50° percentile	mg/kg	49
75° percentile (Q3)	mg/kg	64
90° percentile	mg/kg	82
95° percentile	mg/kg	99
Soglia outliers ≥ ⁽⁵⁾	mg/kg	100
Numero outliers	n	4
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	76
Campioni	n	83
> Limite di legge ⁽³⁾	n	4
	%	5

IV



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni superficiali A (10 – 30 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

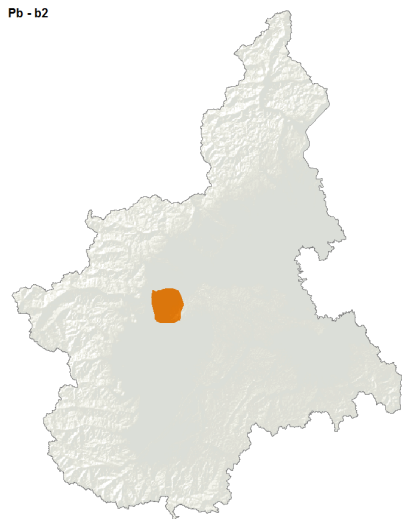
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 107

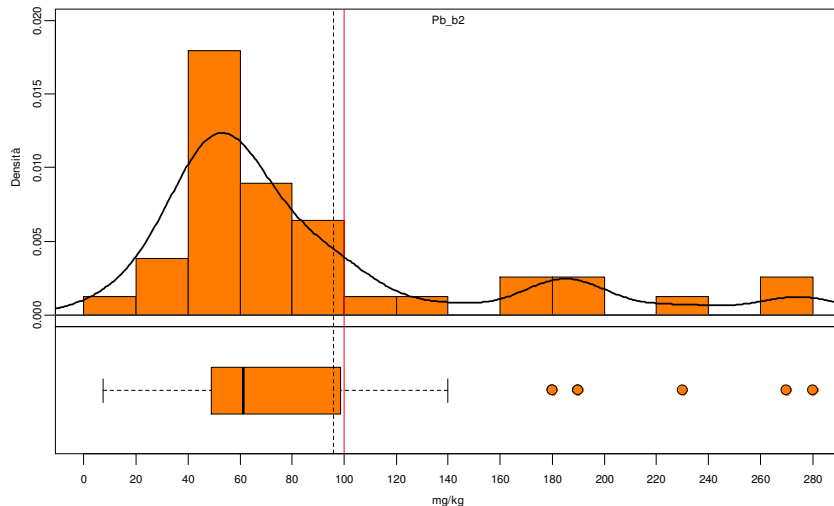
Parametri statistici del Piombo (Pb)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Pb_b2 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I



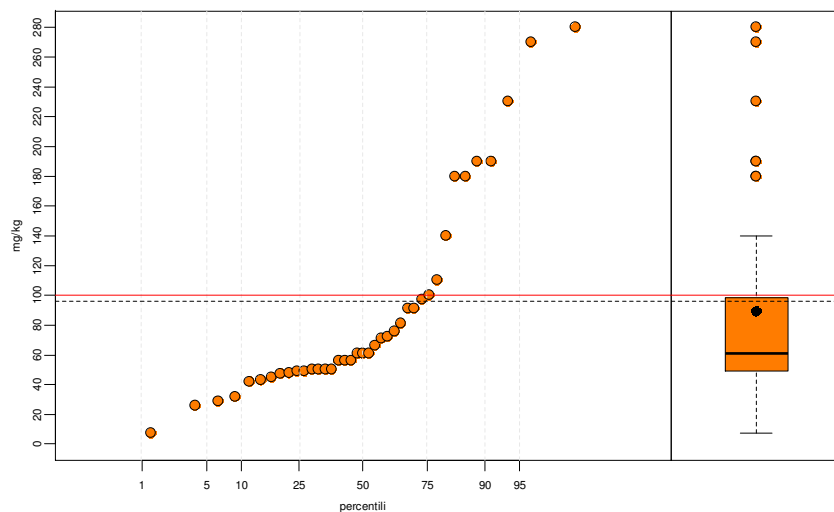
II



III

Aree omogenee		Pb_b2
Media	mg/kg	89
Mediana	mg/kg	61
Dev. St	mg/kg	67
CV	-	1
Min	mg/kg	7
Max	mg/kg	280
25° percentile (Q1)	mg/kg	49
50° percentile	mg/kg	61
75° percentile (Q3)	mg/kg	99
90° percentile	mg/kg	190
95° percentile	mg/kg	234
Soglia outliers ≥ ⁽⁵⁾	mg/kg	173
Numero outliers	n	7
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	96
Campioni	n	39
> Limite di legge ⁽³⁾	n	9
	%	23

IV



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni superficiali A (10 – 30 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Antimonio

Valutazione di presenza, origine ed intensità della contaminazione diffusa

Per le elaborazioni dell'Antimonio (Sb) di seguito proposte sono stati utilizzati i dati relativi ad un totale di 344 stazioni di monitoraggio, uniformemente distribuite in tutto il territorio piemontese su maglia sistematica (9x9 km e 3x3 km) (Figura 108 – I).

Il consistente numero di stazioni di monitoraggio analizzate permette di ottenere, attraverso l'utilizzo di modelli predittivi geostatistici, rappresentazioni spaziali della concentrazione dello Stagno attendibili ad una scala di dettaglio indicativa pari a 1:250.000.

L'interpretazione congiunta dei risultati relativi alla stima della concentrazione in mg/kg dello Stagno (Figura 108 - II) e della stima delle probabilità percentuale di superamento dei limiti di legge (Figura 108 - III) ha permesso l'individuazione di aree omogenee di concentrazione su tutto il territorio piemontese (Figura 108 - IV), di dimensioni significative rispetto alla densità di campionamento ed alla scala di rappresentazione.

La rappresentatività statistica delle popolazioni di dati appartenenti alle singole aree omogenee di concentrazione è stata verificata attraverso confronto con test statistici (t-test per campioni indipendenti) e metodi di confronto grafici (curve della densità di distribuzione, Box plot, Curve di distribuzione cumulata di frequenza).

Le valutazioni relative a presenza, origine, e intensità della contaminazione sono state effettuate attraverso l'utilizzo combinato di elaborazioni statistiche, geostatistiche e calcolo di specifici indici di arricchimento.

I risultati dei modelli predittivi geostatistici (Figura 109 - III) mostrano la presenza di differenze poco marcate tra la concentrazione degli orizzonti superficiali (profondità A) e quella degli orizzonti profondi (profondità B) per la maggior parte della superficie del territorio piemontese.

L'area Sb_a1, che interessa la maggior parte del territorio piemontese, presenta distribuzione degli indici di arricchimento superficiale con valori medi, mediani ed interquartili prossimi all'unità (Figura 111 - II) ad indicare assenza di fenomeni di contaminazione diffusa a grande scala di dettaglio.

I valori outliers dell'indice di arricchimento superficiale, molto numerosi e in gran parte superiori al valore soglia di 1,5 (deposizione elevata), sono associati a concentrazioni molto basse ed ampiamente al di sotto dei limiti di legge, ad indicare presenza abbondante di forme di contaminazione puntuale e/o diffusa su scala di dettaglio inferiore rispetto a quella rappresentata non riconducibile però a situazioni di criticità.

Le aree Sb_a2 e Sb_a3, che interessano superfici ridotte di territorio, presentano distribuzione degli indici di arricchimento superficiale con valori medi ed interquartili leggermente superiori alla soglia 1,3 ad indicare presenza di fenomeni di contaminazione diffusa a grande scala di dettaglio di moderata entità.

In queste aree i valori outliers della concentrazione in mg/kg, che identificano campioni hot-spot con concentrazioni anomale rispetto alla popolazione campionaria, sono di numero ridotto e non sono associati a superamento dei limiti di legge.

I valori dell'indice di arricchimento superficiale tendono in genere ad aumentare all'aumentare della concentrazione del contaminante (Figura 111 – I e III), ad indicare la presenza di correlazioni a grande scala di dettaglio tra concentrazioni elevate e forme di contaminazione antropica.

Inoltre i campioni caratterizzati da deposizione superficiale di intensità moderata (indice di arricchimento >1.3) ed elevata (indice di arricchimento >1.5) presentano distribuzioni spaziali correlate con la distribuzione delle aree omogenee individuate (Figura 110).

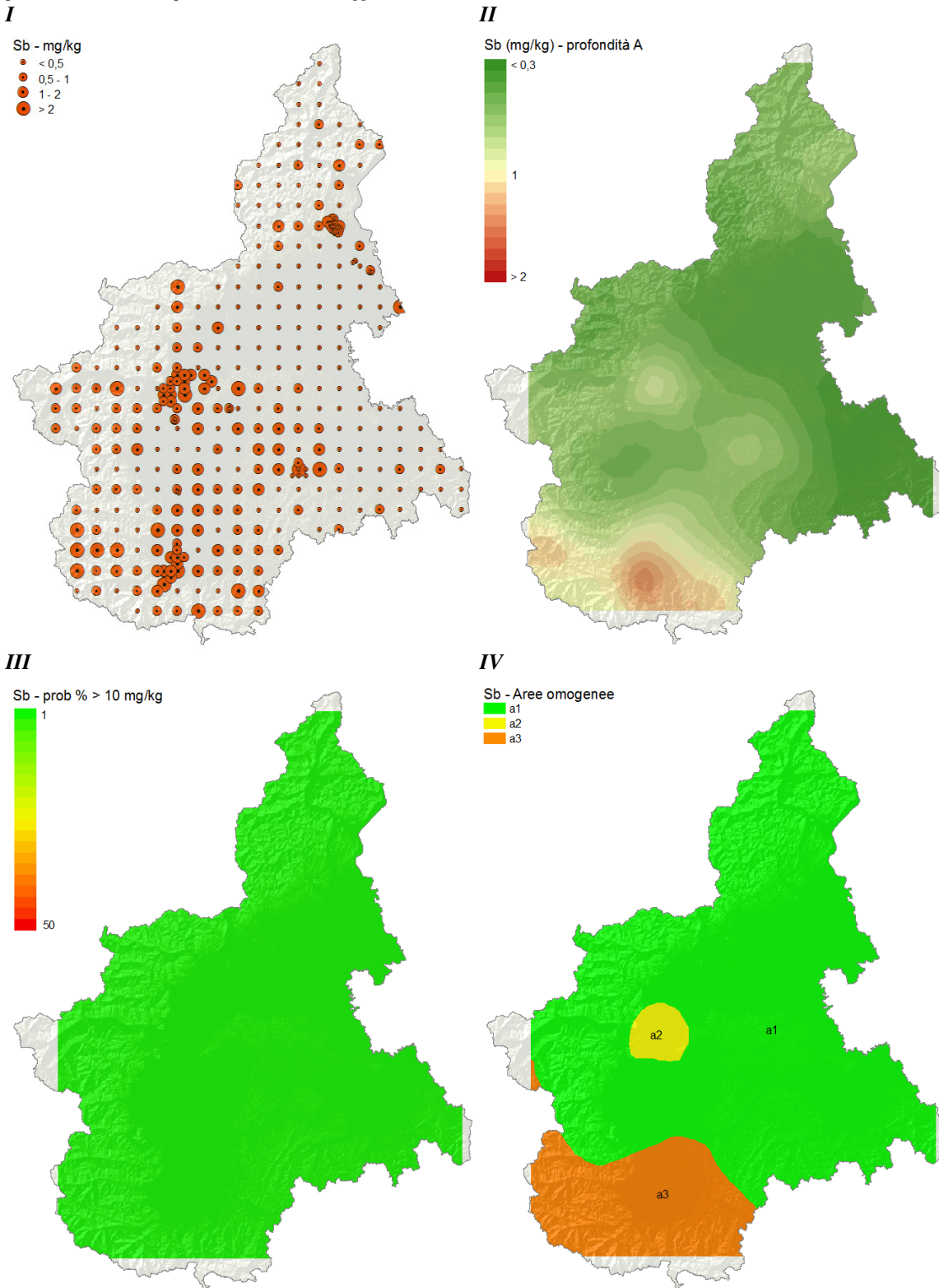
In base a quanto osservato l'origine dell'Antimonio nei suoli del territorio piemontese è attribuibile in parte alla composizione chimica del materiale di partenza da cui il suolo ha avuto origine ed in

parte a fenomeni più o meno intensi di deposizione superficiale derivante da contaminazione diffusa di origine antropica.

Figura 108

Spazializzazione della concentrazione di Antimonio (Sb) nei suoli ⁽¹⁾ del territorio piemontese ed individuazione di aree omogenee di concentrazione. **I** – Stazioni di monitoraggio per classi di concentrazione in mg/kg. **II** – Stima della concentrazione in mg/kg.

III – Stima delle probabilità (%) di superamento dei limiti di legge⁽²⁾. **IV** – Aree omogenee di concentrazione (a, b, c) ed aree critiche (d, e) con probabilità elevate di superamento dei limiti di legge⁽²⁾.



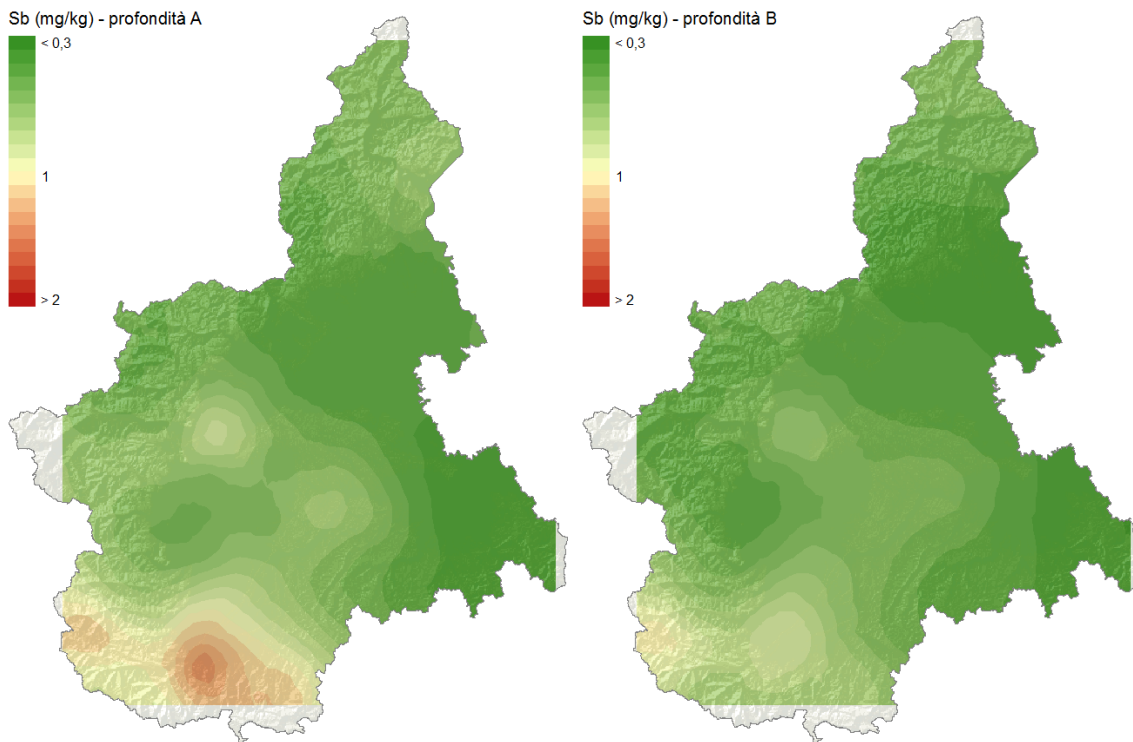
⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 109

Distribuzione spaziale della concentrazione di Antimonio (Sb) nei suoli del territorio piemontese per profondità di campionamento A e B ⁽¹⁾.

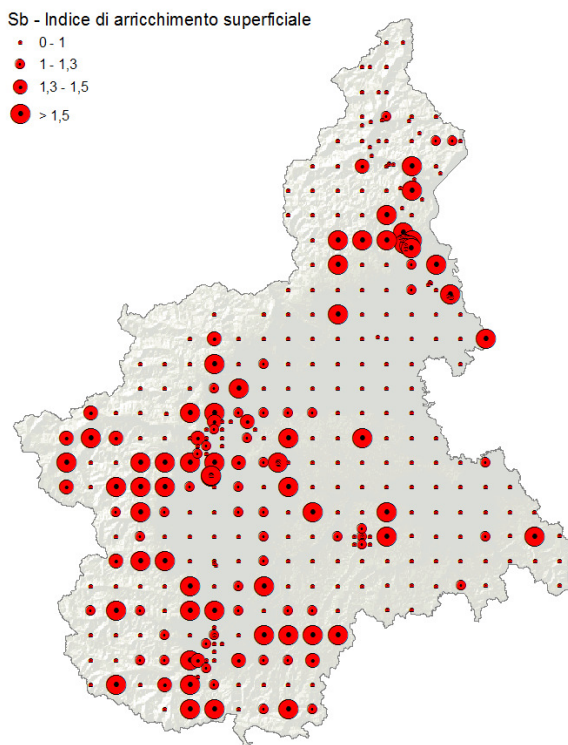


⁽¹⁾ Profondità A: 0-10 cm per suoli naturali e/o indisturbati e orizzonte Ap per suoli arati . Profondità B: 30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 110

Indice di arricchimento superficiale dell'Arsenico (As) per classi di deposizione superficiale ⁽¹⁾ nelle stazioni della Rete di monitoraggio ambientale dei suoli del Piemonte.



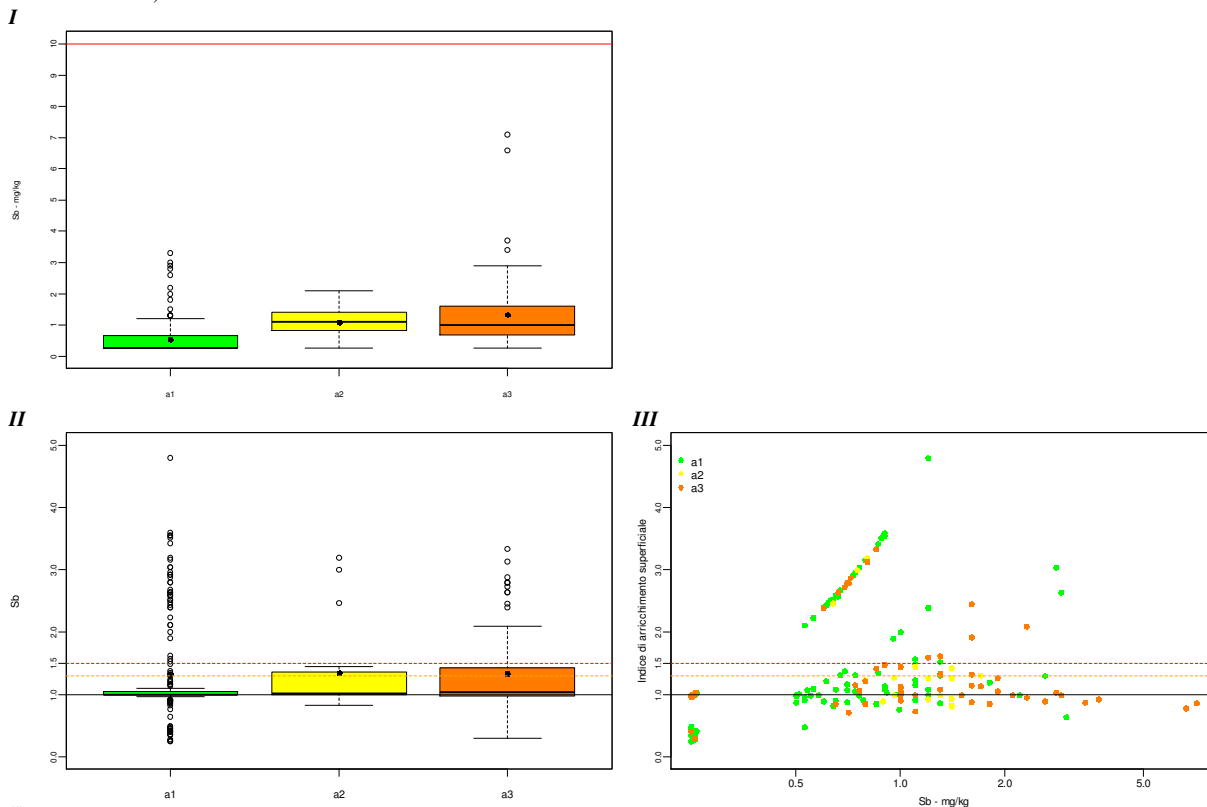
⁽¹⁾ Indice di arricchimento superficiale: < 0 - deposizione assente, da 1 a 1,3 - deposizione molto ridotta, da 1,3 a 1,5 - deposizione moderata, >1.5 - deposizione elevata.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 111

Confronto tra concentrazioni in mg/kg e indice di arricchimento superficiale dell'Antimonio (Sb) per classi omogenee di concentrazione nei suoli del territorio piemontese.

I - Box plot ⁽¹⁾ della concentrazione in mg/kg e limiti di legge ⁽²⁾ (linea orizzontale rossa). **II** - Box plot dell'indice di arricchimento superficiale e soglia relativa a contaminazione diffusa moderata (1,3 - linea orizzontale arancio) ed elevata (1,5 - linea orizzontale rossa). **III** - Scatterplot dell'indice di arricchimento superficiale e soglia relativa a contaminazione diffusa moderata (1,3 - linea orizzontale arancio) ed elevata (1,5 - linea orizzontale rossa).



⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ($> Q3+1,5*IQR$), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Elaborazione dei dati per aree omogenee

Per l'Antimonio, la cui origine è attribuibile in parte alla composizione chimica del materiale di partenza da cui il suolo ha avuto origine ed in parte a fenomeni più o meno intensi di deposizione superficiale derivante da contaminazione diffusa di origine antropica, le elaborazioni statistiche ed il calcolo dei valori di fondo (*contenuto di fondo di naturale - antropico*), sono stati effettuati utilizzando i campioni degli orizzonti A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli arati).

Al fine di evitare l'inclusione di campioni potenzialmente contaminati sono stati esclusi dalle elaborazioni campioni con valore del fattore di arricchimento superficiale superiore a 3.

Sono inoltre stati esclusi i valori outliers ($\geq Q3 + 3[Q3 - Q1]$) delle singole aree omogenee di concentrazione per i quali è stato verificato un evidente scostamento dalla direzione individuata dalle curve di distribuzione analizzate (densità della distribuzione, distribuzione cumulata di frequenza in percentili).

I valori di fondo sono stati calcolati in base a quanto stabilito dalla "Soil quality - Guidance on the determination of background values", descritta in dettaglio nel capitolo precedente.

La distribuzione dei dati che meglio approssima il campione (normale, log-normale, gamma, non parametrica) è stata valutata attraverso metodi grafici (istogrammi di frequenza, curve cumulative di frequenza e box plot) e test statistici (Shapiro - Wilk e Anderson - Darling).

In Figura 112 sono rappresentate le aree omogenee di concentrazione per le quali vengono forniti parametri di statistica descrittiva di riferimento e calcolati i valori di fondo.

In Figura 113 sono rappresentati i box plot della concentrazione dell' Antimonio in mg/kg per aree omogenee di concentrazione, messi a confronto con i limite di legge (linea orizzontale rossa).

In Tabella 22 sono riportati, per aree omogenee di concentrazione, parametri di statistica descrittiva (media, mediana, deviazione standard - dev st, coefficiente di variazione - CV, valori minimi - min, valori massimi - max, 25° - 50° - 75° - 90° e 95° percentile, soglia outliers), valori di fondo, numero e percentuale di campioni che superano i limiti di legge. In rosso sono indicati i valori medi, mediani e percentili che superano il limite di legge.

Per ogni area omogenea di concentrazione sono inoltre rappresentati (da Figura 114 a Figura 116) l'istogramma della densità di distribuzione per classi di concentrazione, la curva di densità della distribuzione e la curva di distribuzione cumulata di frequenza in percentili, confrontati con il valore di fondo (linea tratteggiata nera) ed il limite di legge (linea continua rossa).

Dall'analisi delle elaborazioni spaziali e dei parametri statistici è possibile osservare una variabilità spaziale ridotta del contenuto di Antimonio nei suoli del territorio piemontese, con presenza di una area omogenea di concentrazione molto ampia (Sb_a1), alternate ad aree di superfici più ridotte e ben delimitate, caratterizzate da concentrazioni più elevate (Sb_a2 e Sb_a3).

Tutte le aree omogenee di concentrazione sono state classificate con la lettera "a" in quanto presentano probabilità inferiori al 5% di superamento del limite di 10 mg/kg, stabilito dal D.Lgs. 152/06 per i suoli ad uso verde pubblico, privato e residenziale (*Allegato 5 - Tabella 1 - colonna A*). Le concentrazioni medie variano da valori minimi di 0,54 mg/kg per l'area omogenea di concentrazione Sb_a1, a valori massimi di 1,33 mg/kg per l'area Sb_a3.

La variabilità del dato, evidenziata dalla deviazione standard, dal coefficiente di variazione e dall'intervallo interquartile aumenta in funzione dell'aumento della concentrazione media e mediana delle aree omogenee di concentrazione. L'aumento della variabilità è spiegabile in parte dalla diminuzione progressiva del numero di campioni analizzati, che a sua volta è legato alla superficie dell'area, ed in parte dalla presenza discontinua di forme di contaminazione diffusa che agiscono su superfici ridotte rispetto alla scala di rappresentazione.

I valori di fondo delle aree Cu_b (130 mg/kg) e Cu_c (183 mg/kg) sono invece superiori ai limiti di legge.

I parametri statistici ed i valori di fondo calcolati per l' area omogenea di concentrazione Sb_a1, possono essere considerati attendibili e statisticamente significativi a grande scala di dettaglio, in quanto sono rappresentati da un elevato numero di campioni caratterizzati da bassa variabilità del dato, se rapportata alla densità di campionamento, e da distribuzione simmetrica, uniforme e continua.

Per le aree Sb_a2 e Sb_a3 il numero di dati elaborati risulta basso a causa della superficie ridotta; nonostante questo i dati possono essere considerati attendibili in quanto caratterizzati da bassa variabilità del dato e distribuzioni della popolazione simmetriche, uniformi e continue.

Dati i valori medi, mediani e interquartili sempre inferiori ai limiti di legge per tutte le aree omogenee individuate, non è possibile utilizzare i parametri statistici come studio pregresso per dimostrare che eventuali superamenti dei limiti di legge sono riconducibili a valore di fondo naturale-antropico.

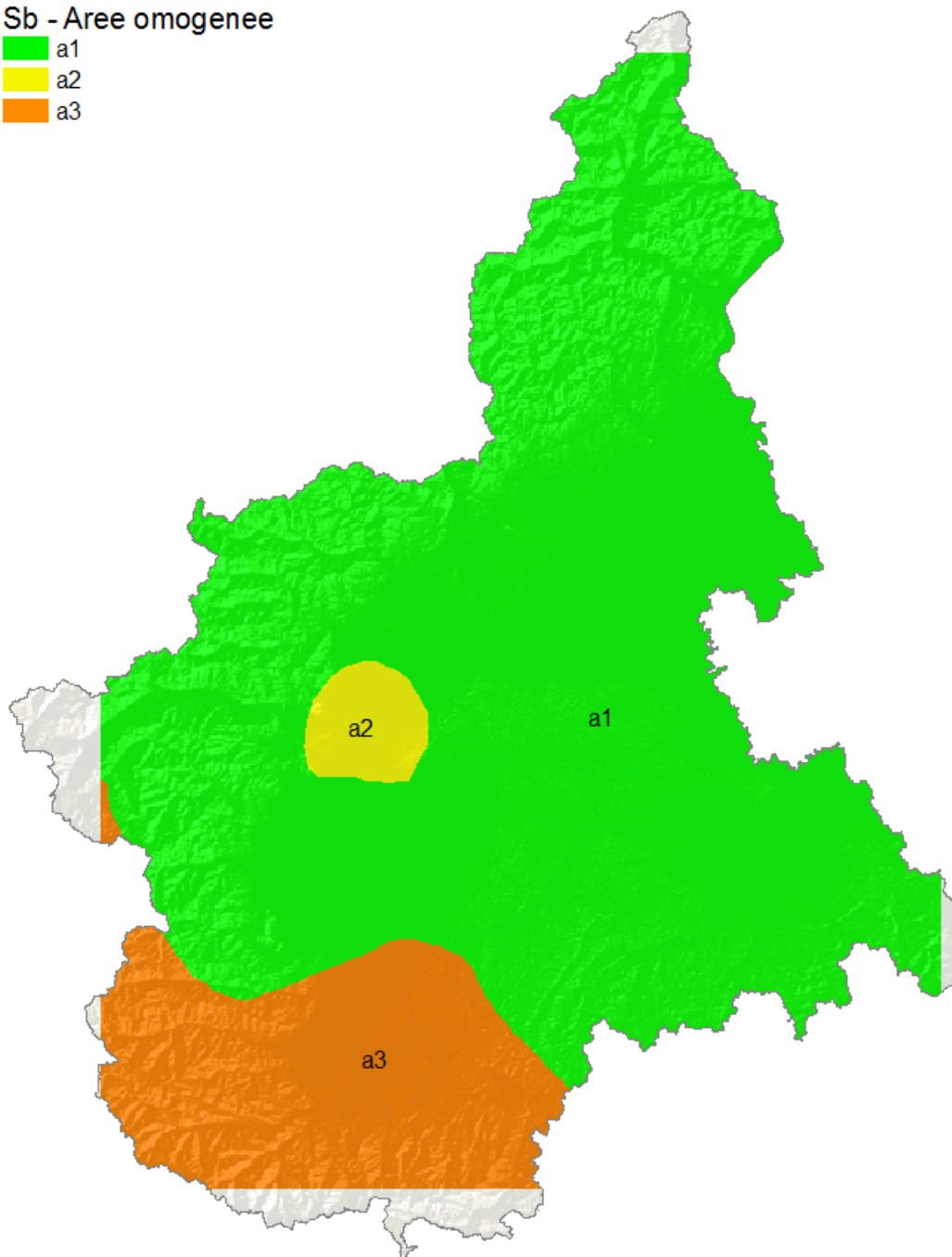
L'ottenimento di dati rappresentativi a scala di dettaglio comunale e/o locale, è sempre vincolato ad un ulteriore approfondimento con monitoraggio di maggiore dettaglio (vedi paragrafo - Raccomandazioni relative all'utilizzo dei dati).

Figura 112

Aree omogenee di concentrazione (a1, a2, b1, b2) per le quali sono stati elaborati i parametri statistici e calcolati i valori di fondo della concentrazione dell'Antimonio (Sb) nei suoli ⁽¹⁾ del territorio piemontese.

Sb - Aree omogenee

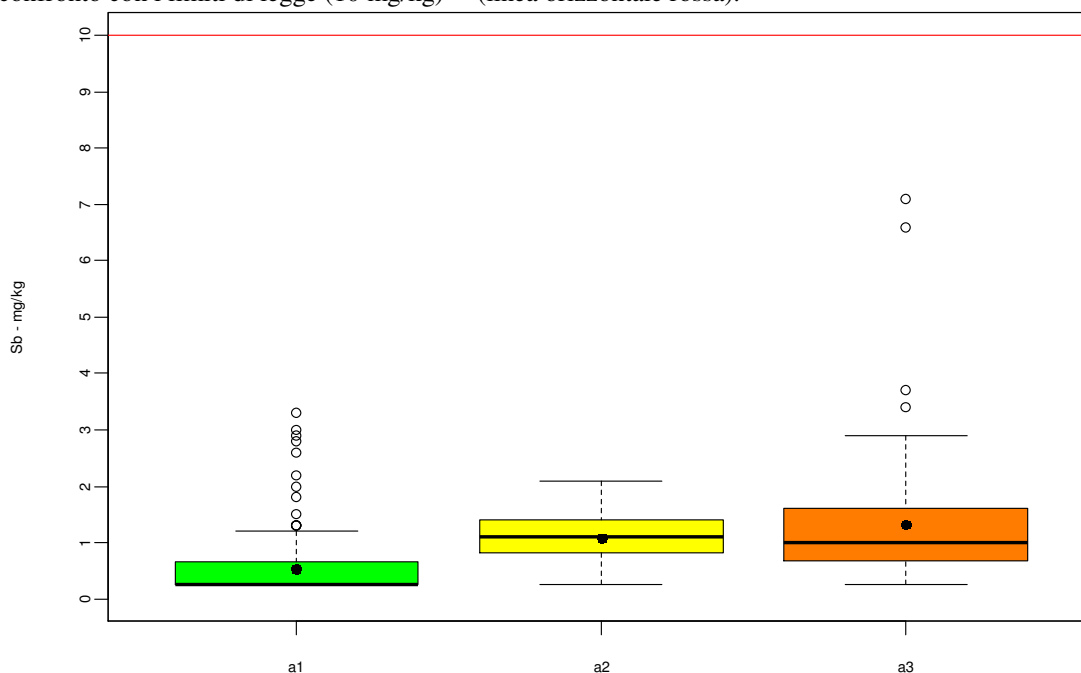
- a1
- a2
- a3



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni superficiali A (10 – 30 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 113

Box plot⁽¹⁾ della concentrazione di Antimonio (Sb) in mg/kg nei suoli⁽²⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione e confronto con i limiti di legge (10 mg/kg)⁽³⁾ (linea orizzontale rossa).



⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ($>Q3+1,5*IQR$), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽²⁾ Elaborazione dei campioni di suolo A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli) ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Tabella 22

Statistica descrittiva, percentili, valori di fondo⁽¹⁾, confronto con i limiti di legge (10 mg/kg)⁽²⁾ e conteggio di campioni analizzati dell'Antimonio (Sb) nei suoli⁽³⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione.

Aree omogenee		Sb_a1	Sb_a2	Sb_a3
Media	mg/kg	0,54	1,09	1,33
Mediana	mg/kg	0,26	1,10	1,00
Dev. St	mg/kg	0,47	0,43	1,28
CV	-	0,9	0,4	1,0
Min	mg/kg	0,25	0,25	0,25
Max	mg/kg	3,30	2,10	7,10
25° percentile (Q1)	mg/kg	0,25	0,83	0,68
50° percentile	mg/kg	0,26	1,10	1,00
75° percentile (Q3)	mg/kg	0,66	1,40	1,60
90° percentile	mg/kg	1,00	1,48	2,54
95° percentile	mg/kg	1,22	1,68	3,35
Soglia outliers \geq⁽⁵⁾	mg/kg	1,28	2,26	2,99
Outliers	n	13	0	4
Valore di fondo⁽¹⁾	mg/kg	0,87	1,48	1,90
Campioni	n	258	23	63
> Limite di legge⁽¹⁾	n	0	0	0
	%	0	0	0

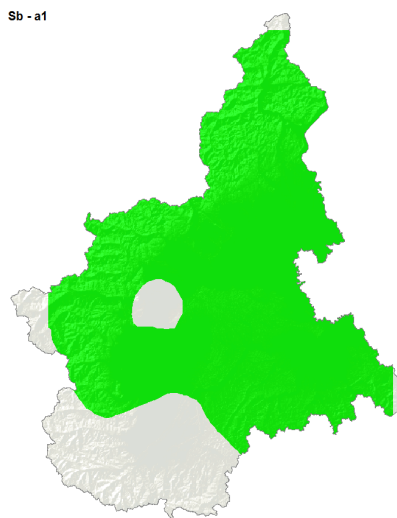
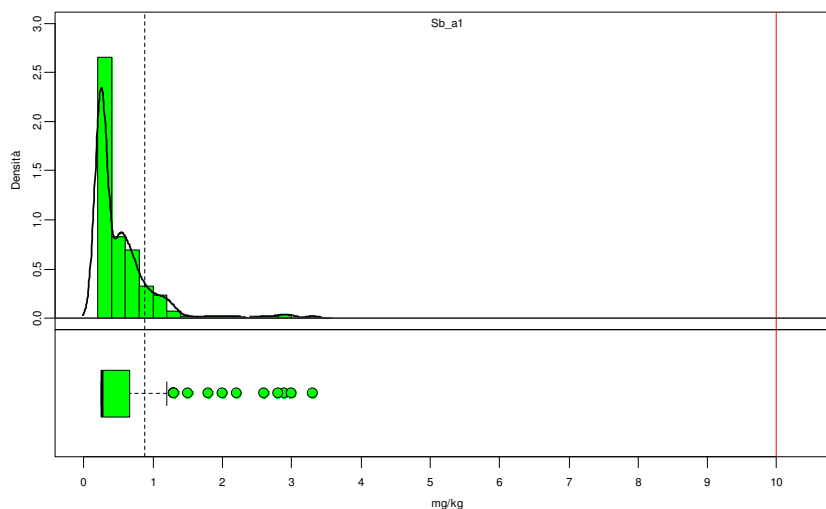
⁽¹⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽²⁾ Limiti di legge D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽³⁾ Elaborazione dei campioni superficiali di suolo A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽⁴⁾ Numero di dati insufficiente per una corretta definizione dei valori di fondo. Occorre un ulteriore infittimento dei campionamenti. ⁽⁵⁾ $=Q3+1,5*IQR$, $IQR=Q3-Q1$.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

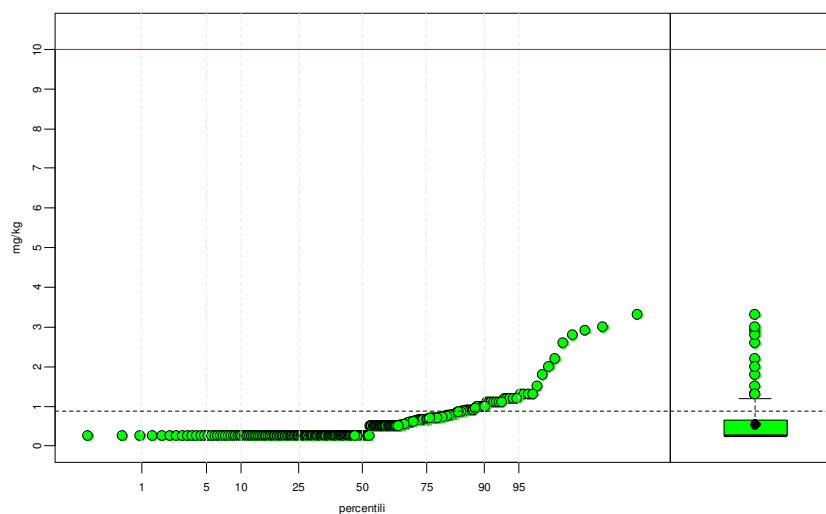
Figura 114

Parametri statistici del Antimonio (Sb)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Sb_a1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I**II****III**

Aree omogenee		Sb_a1
Media	mg/kg	0,54
Mediana	mg/kg	0,26
Dev. St	mg/kg	0,47
CV	-	0,9
Min	mg/kg	0,25
Max	mg/kg	3,30
25° percentile (Q1)	mg/kg	0,25
50° percentile	mg/kg	0,26
75° percentile (Q3)	mg/kg	0,66
90° percentile	mg/kg	1,00
95° percentile	mg/kg	1,22
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	1,28
Numero outliers	n	13
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	0,87
Campioni	n	258
> Limite di legge ⁽³⁾	n	0
	%	0

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni superficiali A (10 – 30 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

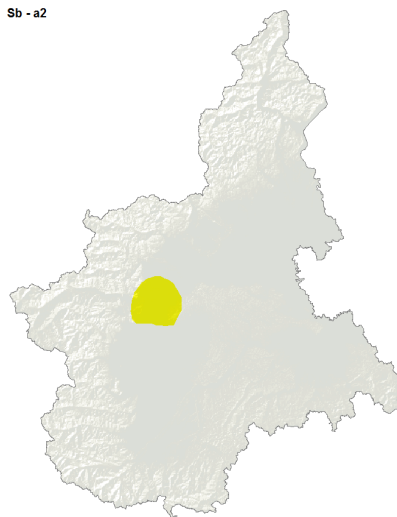
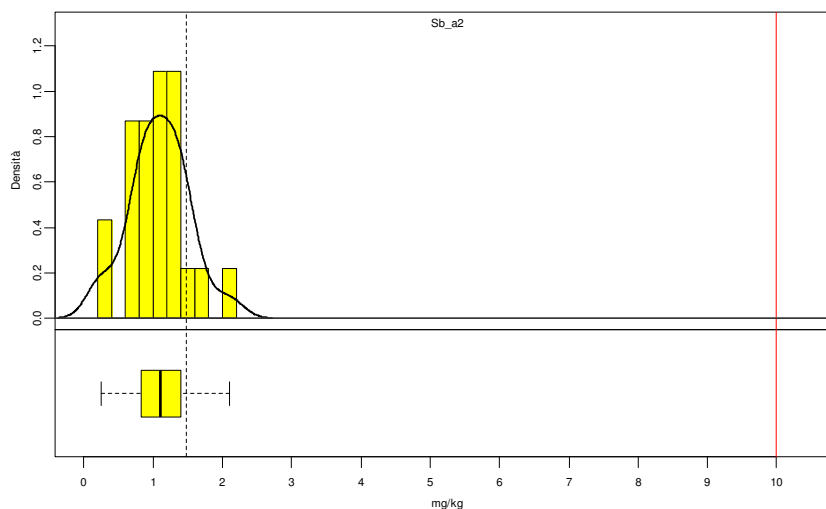
Figura 115

Parametri statistici del Antimonio (Sb)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Sb_a2 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I

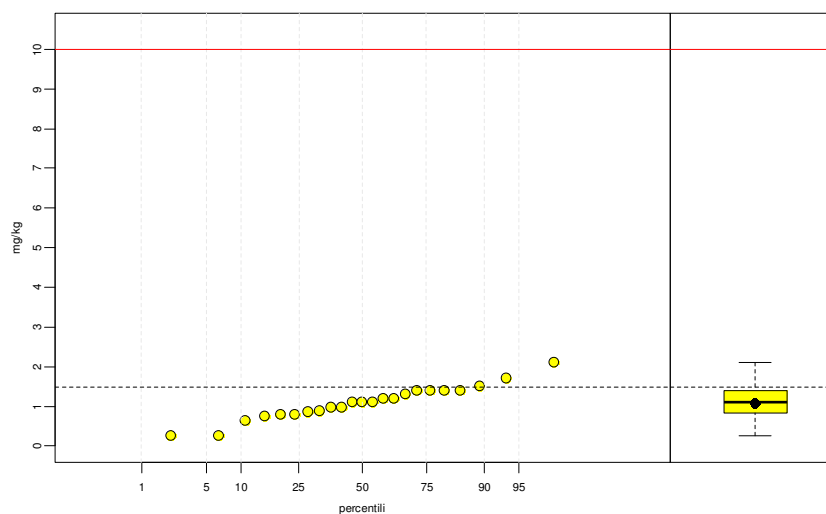
Sb - a2

**II****III**

Aree omogenee

Sb_a2

Media	mg/kg	1,09
Mediana	mg/kg	1,10
Dev. St	mg/kg	0,43
CV	-	0,4
Min	mg/kg	0,25
Max	mg/kg	2,10
25° percentile (Q1)	mg/kg	0,83
50° percentile	mg/kg	1,10
75° percentile (Q3)	mg/kg	1,40
90° percentile	mg/kg	1,48
95° percentile	mg/kg	1,68
Soglia outliers \geq ⁽⁵⁾	mg/kg	2,26
Numero outliers	n	0
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	1,48
Campioni	n	23
> Limite di legge ⁽³⁾	n	0
	%	0

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni superficiali A (10 – 30 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ($> Q3+1,5*IQR$), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = $Q3+1,5*IQR$ dove $IQR=(Q3-Q1)$.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

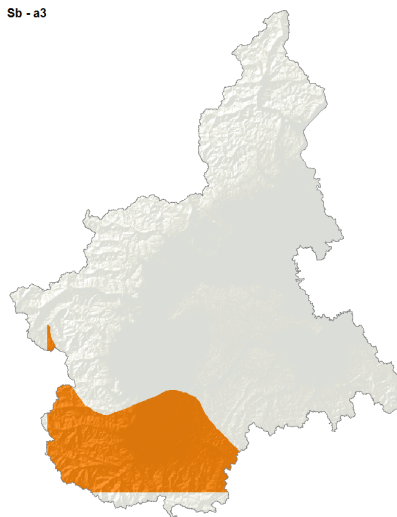
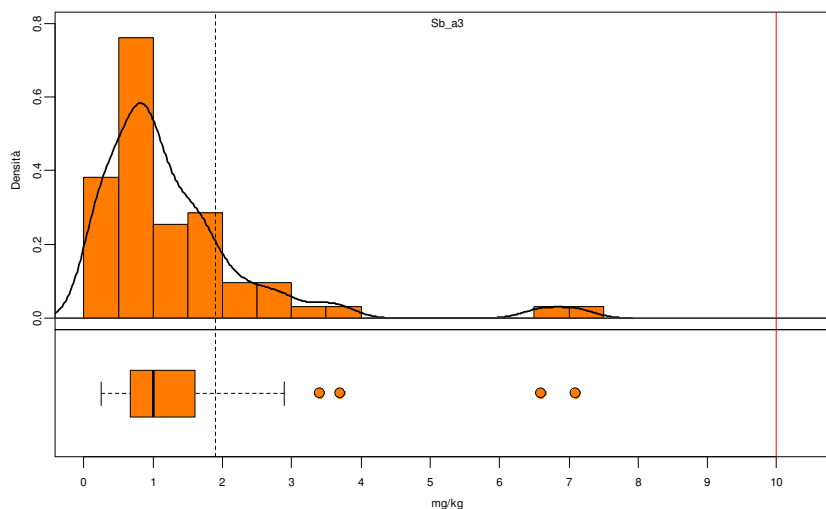
Figura 116

Parametri statistici del Antimonio (Sb)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Sb_a3 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I

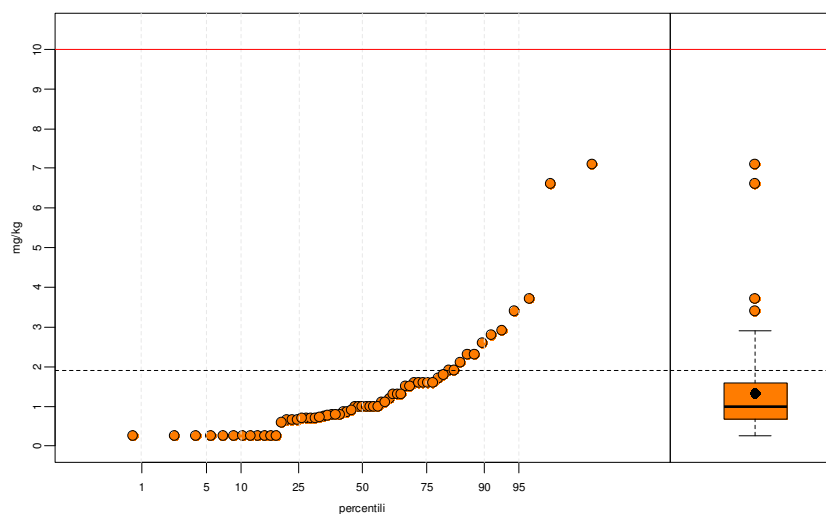
Sb - a3

**II****III**

Aree omogenee

Sb_a3

Media	mg/kg	1,33
Mediana	mg/kg	1,00
Dev. St	mg/kg	1,28
CV	-	1,0
Min	mg/kg	0,25
Max	mg/kg	7,10
25° percentile (Q1)	mg/kg	0,68
50° percentile	mg/kg	1,00
75° percentile (Q3)	mg/kg	1,60
90° percentile	mg/kg	2,54
95° percentile	mg/kg	3,35
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	2,99
Numero outliers	n	4
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	1,90
Campioni	n	63
> Limite di legge ⁽³⁾	n	0
	%	0

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni superficiali A (10 – 30 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Vanadio

Valutazione di presenza, origine ed intensità della contaminazione diffusa

Per le elaborazioni del Vanadio di seguito proposte sono stati utilizzati i dati relativi ad un totale di 330 stazioni di monitoraggio, uniformemente distribuite in tutto il territorio piemontese su maglia sistematica (9x9 km e 3x3 km) (Figura 117 – I).

Il consistente numero di stazioni di monitoraggio analizzate permette di ottenere, attraverso l'utilizzo di modelli predittivi geostatistici, rappresentazioni spaziali della concentrazione di Vanadio attendibili ad una scala di dettaglio indicativa pari a 1:250.000.

L'interpretazione congiunta dei risultati relativi alla stima della concentrazione in mg/kg del Vanadio (Figura 117 - II) e della stima delle probabilità percentuale di superamento dei limiti di legge (Figura 117 - III) ha permesso l'individuazione di aree omogenee di concentrazione su tutto il territorio piemontese (Figura 117 - IV), di dimensioni significative rispetto alla densità di campionamento ed alla scala di rappresentazione.

La rappresentatività statistica delle popolazioni di dati appartenenti alle singole aree omogenee di concentrazione è stata verificata attraverso confronto con test statistici (t-test per campioni indipendenti) e metodi di confronto grafici (curve della densità di distribuzione, Box plot, Curve di distribuzione cumulata di frequenza).

Le valutazioni relative a presenza, origine, e intensità della contaminazione sono state effettuate attraverso l'utilizzo combinato di elaborazioni statistiche, geostatistiche e calcolo di specifici indici di arricchimento.

Dall'analisi della distribuzione spaziale emerge la presenza di aree omogenee di concentrazione ben delimitate con superfici critiche che interessano ampie superfici di territorio, caratterizzate da probabilità di superamento di limiti di legge abbastanza elevate sia in corrispondenza degli orizzonti superficiali (profondità A) e che di quelli profondi (B).

La bassa variabilità verticale riscontrata tra concentrazione degli orizzonti superficiali (A) e quella di quelli più profondi (B) (Figura 118) in tutte le aree omogenee di concentrazione individuate, indica assenza di fenomeni rilevanti di deposizione superficiale da contaminazione diffusa.

La distribuzione dei valori degli indici di arricchimento superficiale, prossima all'unità per tutte le classi (Figura 120 - II) e con valori che rimangono costanti all'aumentare della concentrazione del contaminante (Figura 120 - I e III), esclude ipotesi relative alla presenza di correlazioni a grande scala tra concentrazioni elevate e forme di contaminazione antropica.

Inoltre il ridotto numero di campioni che presentano deposizione superficiale di intensità moderata (indice di arricchimento >1.3) ed elevata (indice di arricchimento >1.5) non presentano distribuzioni spaziali omogenee e/o correlazioni con la distribuzione spaziale delle classi omogenee (Figura 119).

I superamenti delle soglie di arricchimento sono quindi riconducibili a forme di contaminazione puntuale o a fenomeni di contaminazione diffusa a scala ridotta rispetto a quella rappresentata.

Il numero di valori outliers della concentrazione in mg/kg, che identificano campioni hot-spot con concentrazioni anomale rispetto alla popolazione campionaria, è molto ridotto o assente in tutte le aree omogenee di concentrazione individuate.

La presenza di valori prossimi all'unità dei coefficienti di arricchimento riscontrata in corrispondenza dei valori outliers, esclude ipotesi relative alla presenza di correlazioni statisticamente significative tra concentrazioni elevate e forme di contaminazione puntuale.

La bassa variabilità verticale riscontrata tra concentrazione degli orizzonti superficiali e profondi, la presenza di valori prossimi all'unità degli indici di arricchimento riscontrata in corrispondenza delle aree critiche e dei valori outliers di concentrazione, e la distribuzione spaziale non omogenea degli indici di arricchimento, avvalorano nel loro insieme l'ipotesi relativa alla prevalente origine

naturale di Arsenico, da attribuire a caratteristiche naturali del terreno e/o del substrato minerale sul quale si è evoluto.

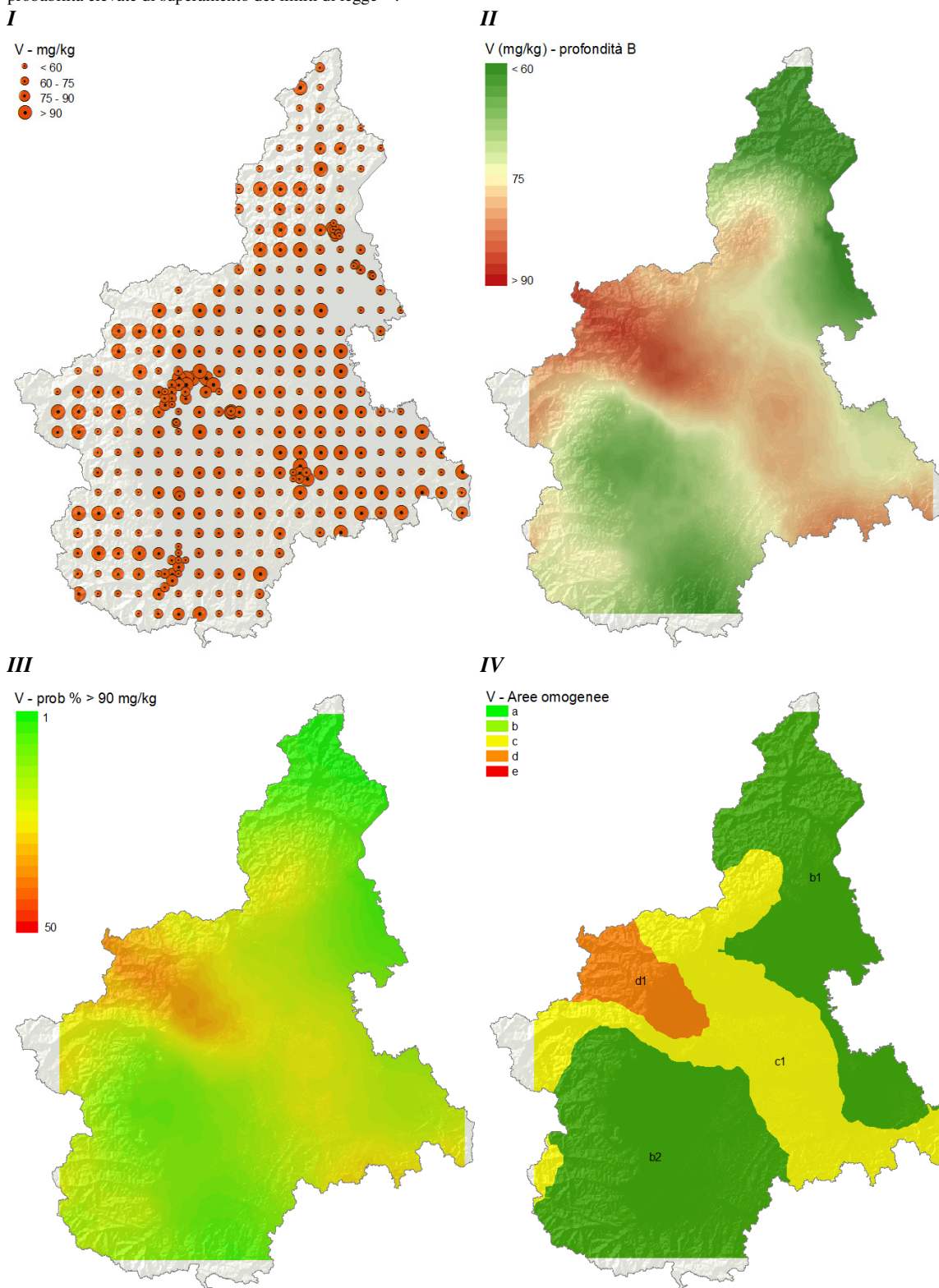
In particolare, le elevate concentrazioni riscontrate nell'area omogenea di concentrazione V_d1, sono prevalentemente riferibili alla presenza di materiale parentale naturalmente ricco di Vanadio, che influenza i suoli che evolvono su di esse e/o sui depositi alluvionali dei corpi idrici che li attraversano.

Le ipotesi relative alla prevalente origine naturale del Vanadio derivano dall'analisi di una popolazione di dati statisticamente significativa a grande scala di dettaglio, non è quindi possibile escludere a priori la presenza di casi isolati di superamento dei limiti di legge e/o valori di fondo proposti, riconducibili a contaminazione puntuale di origine antropica.

Figura 117

Spazializzazione della concentrazione di Vanadio (V) nei suoli ⁽¹⁾ del territorio piemontese ed individuazione di aree omogenee di concentrazione. **I** – Stazioni di monitoraggio per classi di concentrazione in mg/kg. **II** – Stima della concentrazione in mg/kg.

III – Stima delle probabilità (%) di superamento dei limiti di legge⁽²⁾. **IV** – Aree omogenee di concentrazione (a, b, c) ed aree critiche (d, e) con probabilità elevate di superamento dei limiti di legge⁽²⁾.



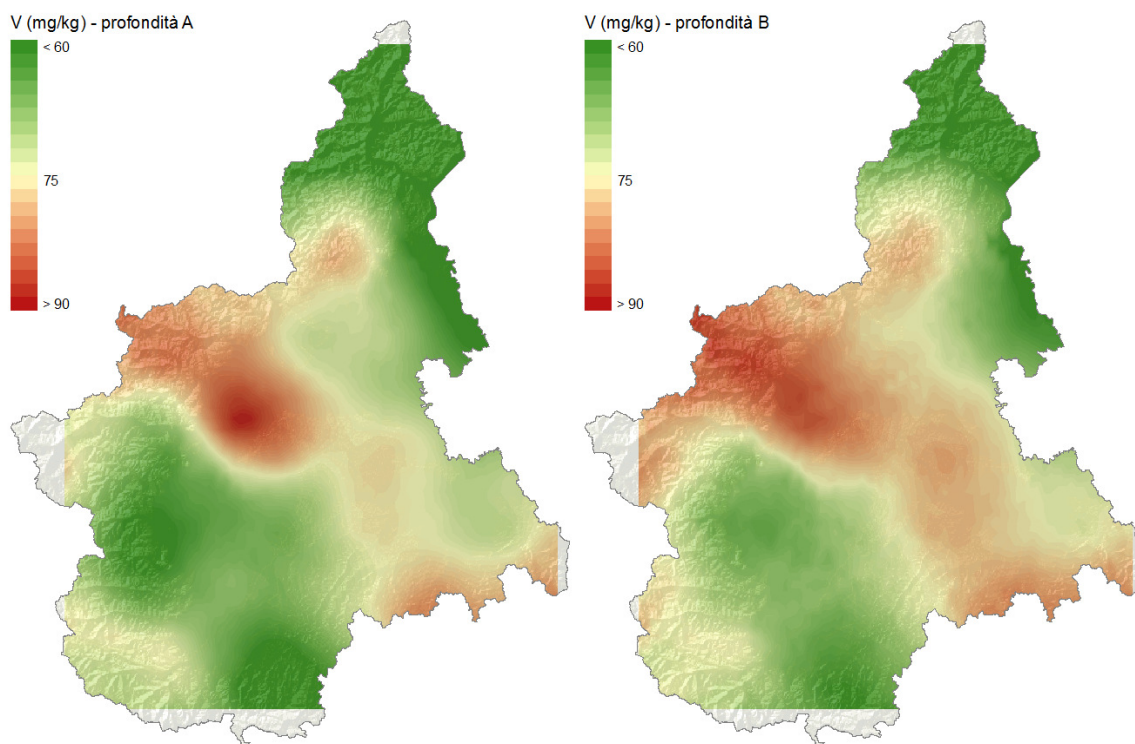
⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli.

⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 118

Distribuzione spaziale della concentrazione di Vanadio (V) nei suoli del territorio piemontese per profondità di campionamento A e B ⁽¹⁾.

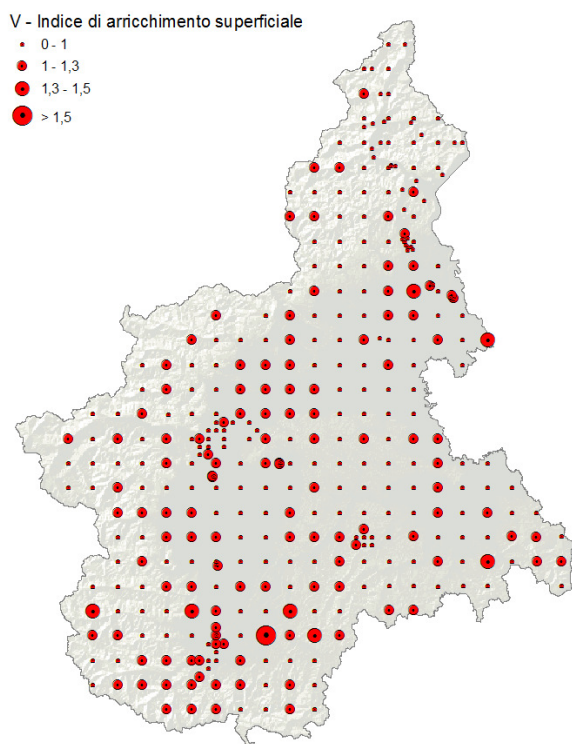


⁽¹⁾ Profondità A: 0-10 cm per suoli naturali e/o indisturbati e orizzonte Ap per suoli arati . Profondità B: 30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 119

Indice di arricchimento superficiale del Vanadio (V) per classi di deposizione superficiale ⁽¹⁾ nelle stazioni della Rete di monitoraggio ambientale dei suoli del Piemonte.



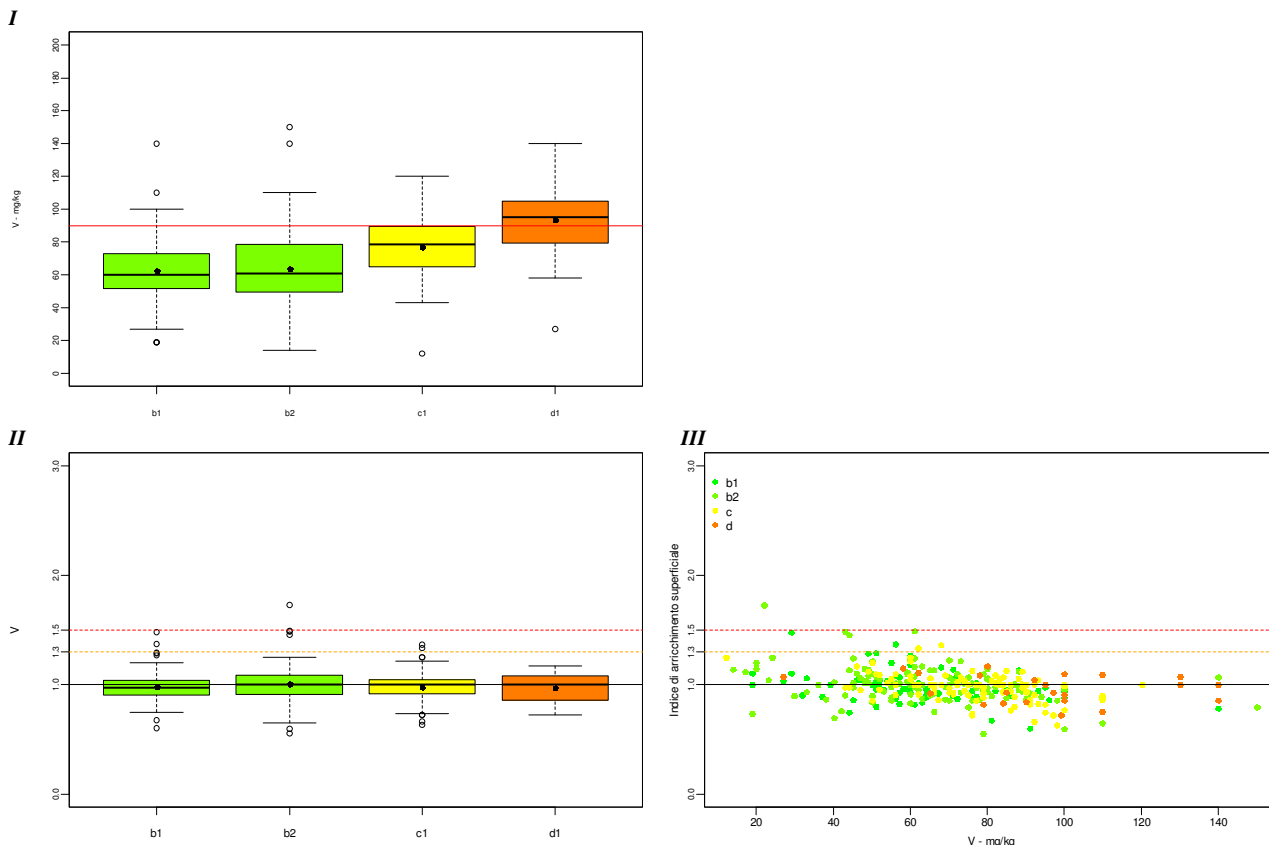
⁽¹⁾ Indice di arricchimento superficiale: < 0 - deposizione assente, da 1 a 1,3 - deposizione molto ridotta, da 1,3 a 1,5 - deposizione moderata, >1,5 - deposizione elevata.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 120

Confronto tra concentrazioni in mg/kg e indice di arricchimento superficiale del Vanadio (V) per classi omogenee di concentrazione nei suoli del territorio piemontese.

I - Box plot ⁽¹⁾ della concentrazione in mg/kg e limiti di legge ⁽²⁾ (linea orizzontale rossa). **II** - Box plot dell'indice di arricchimento superficiale e soglia relativa a contaminazione diffusa moderata (1,3 - linea orizzontale arancio) ed elevata (1,5 - linea orizzontale rossa). **III** - Scatterplot dell'indice di arricchimento superficiale e soglia relativa a contaminazione diffusa moderata (1,3 - linea orizzontale arancio) ed elevata (1,5 - linea orizzontale rossa).



⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ($> Q3+1,5*IQR$), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Elaborazione dei dati per aree omogenee

Per il Vanadio, la cui origine è attribuibile in prevalenza alla composizione chimica del materiale di partenza da cui il suolo ha avuto origine, le elaborazioni statistiche ed il calcolo dei valori di fondo (*contenuto di fondo di natura pedogeochimica o naturale del suolo*), sono stati effettuati utilizzando i campioni degli orizzonti B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

Al fine di evitare l'inclusione di campioni potenzialmente contaminati sono stati esclusi dalle elaborazioni campioni con valore del fattore di arricchimento superficiale superiore a 1,5, ed i valori outliers ($\geq Q3 + 3[Q3 - Q1]$) per i quali è stato verificato un evidente scostamento dalla direzione individuata dalle curve di distribuzione analizzate (densità della distribuzione, distribuzione cumulata di frequenza in percentili).

I valori di fondo sono stati calcolati in base a quanto stabilito dalla "Soil quality - Guidance on the determination of background values", descritta in dettaglio nel capitolo precedente.

La distribuzione dei dati che meglio approssima il campione (normale, log-normale, gamma, non parametrica) è stata valutata attraverso metodi grafici (istogrammi di frequenza, curve cumulative di frequenza e box plot) e test statistici (Shapiro - Wilk e Anderson - Darling).

In Figura 121 sono rappresentate le aree omogenee di concentrazione del Vanadio (V) per le quali vengono forniti parametri di statistica descrittiva di riferimento e calcolati i valori di fondo.

In Figura 122 sono rappresentati i box plot della concentrazione di Vanadio in mg/kg per aree omogenee di concentrazione, messi a confronto con i limite di legge (linea orizzontale rossa).

In Tabella 24 sono riportati, per aree omogenee di concentrazione, parametri di statistica descrittiva (media, mediana, deviazione standard - dev st, coefficiente di variazione - CV, valori minimi - min, valori massimi - max, 25° - 50° - 75° - 90° e 95° percentile, soglia outliers), valori di fondo, numero e percentuale di campioni che superano i limiti di legge. In rosso sono indicati i valori medi, mediani e percentili che superano il limite di legge.

Per ogni area omogenea di concentrazione sono inoltre rappresentati (da Figura 122 a Figura 126) l'istogramma della densità di distribuzione per classi di concentrazione, la curva di densità della distribuzione e la curva di distribuzione cumulata di frequenza in percentili, confrontati con il valore di fondo (linea tratteggiata nera) ed il limite di legge (linea continua rossa).

Dall'analisi delle elaborazioni spaziali e dei parametri statistici è possibile osservare una buona variabilità spaziale del contenuto di Vanadio nei suoli del territorio piemontese, con presenza di aree omogenee di superficie molto ampia, ben delimitate limitate tra di loro e caratterizzate da concentrazioni e distribuzioni con differenze statisticamente significative.

Le aree omogenee di concentrazione sono state classificate dalla lettera "b" alla "d" (Tabella 23), in base alle probabilità crescenti di superamento del limite di legge di 90 mg/kg, stabilito per il Vanadio dal D.Lgs. 152/06 per i suoli ad uso verde pubblico, privato e residenziale (*Allegato 5 - Tabella 1 - colonna A*).

Le probabilità di superamento dei limi di legge variano da valori inferiori al 5% per la classe "a", con soglia outliers inferiore al limite di legge, a valori superiori al 50 % per la classe "d".

Le concentrazioni medie variano da valori minimi di 62 mg/kg per l'area omogenea di concentrazione V_a1, a valori massimi di 94 mg/kg per l'area V_d1.

La variabilità del dato, evidenziata dalla deviazione standard, dal coefficiente di variazione e dall'intervallo interquartile risulta costante all'aumentare della concentrazione media e mediana delle aree.

Il numero di valori outliers con concentrazioni anomale rispetto alla popolazione campionaria, risulta molto ridotto o assente in tutte le aree omogenee di concentrazione individuate.

Per l'area V_d1, i valori prossimi all'unità dei coefficienti di arricchimento riscontrati in corrispondenza degli outliers e dei campioni con maggiore concentrazione, escludono ipotesi

relative alla presenza di correlazioni statisticamente significative tra concentrazioni elevate e forme di contaminazione puntuale.

I valori outliers ed i campioni con maggiore concentrazione delle aree V_b1, V_b2 e V_c1, sono associati a coefficienti di arricchimento leggermente più elevati, riconducibili a lievi forme di contaminazione puntuale.

I valori di fondo risultano leggermente inferiori al limite di legge per le aree V_b1 (86 mg/kg) e V_b2 (87 mg/kg).

Le aree V_c1 e V_d1, presentano invece valori di fondo superiori al limite di legge rispettivamente di 98 mg/kg e di 130 mg/kg.

I parametri statistici ed i valori di fondo calcolati per le aree omogenee di concentrazione V_b1, V_b2 e V_c1 possono essere considerati attendibili e statisticamente significativi in quanto sono caratterizzati da bassa variabilità del dato, se rapportata alla densità di campionamento, distribuzioni della popolazione simmetriche, uniformi e continue ed un numero elevato di campioni.

L'area omogenea di concentrazione V_d1, presenta un numero basso di campioni, dovuto alle dimensioni relativamente ridotte dell'area. I valori di fondo calcolati non possono quindi essere considerati statisticamente significativi e devono essere utilizzati unicamente a titolo indicativo.

Per questa area è previsto un infittimento dei campionamenti su maglia sistemica 4,5 x 4,5 km o 3 x 3 km in base ai risultati delle mappe di previsione dell'errore standard che individuano zone differenziate per qualità di predizione ed aree sottocampionate.

Si sottolinea che è possibile utilizzare i dati elaborati della rete di monitoraggio dei suoli come studio pregresso per dimostrare che eventuali superamenti dei limiti di legge sono dovuti a caratteristiche naturali del terreno, esclusivamente per siti che ricadono nell'area critica V_d1, caratterizzata da valori di fondo ampiamente superiore al limite di legge.

Le ipotesi relative alla prevalente origine naturale del Vanadio derivano dall'analisi di una popolazione di dati statisticamente significativa a grande scala di dettaglio; nelle aree critiche non è quindi possibile escludere a priori la presenza di casi di superamento dei limiti di legge e/o valori di fondo proposti, riconducibili a contaminazione puntuale di origine antropica.

Occorre inoltre considerare che le elevate concentrazioni riscontrate nelle area critica V_d1, caratterizzate da valori medi e valori di fondo superiori ai limiti di legge, possono "mascherare" forme di contaminazione da deposizione superficiale di Vanadio anche di intensità rilevante.

Per i motivi sopra elencati, l'ottenimento di dati rappresentativi a scala di dettaglio comunale e/o locale, è sempre vincolato ad un ulteriore approfondimento con monitoraggio di maggiore dettaglio (vedi paragrafo - Raccomandazioni relative all'utilizzo dei dati).

Tabella 23Classificazione delle aree omogenee di concentrazione in base alle probabilità di superamento dei limiti di legge ⁽¹⁾

	Probabilità di superamento dei limiti di legge	Limite di legge
b	5%-25 %	75° perc – Soglia outliers
c	25%-50%	50°perc – 75° perc
d	50%-75%	25°perc – 50° perc

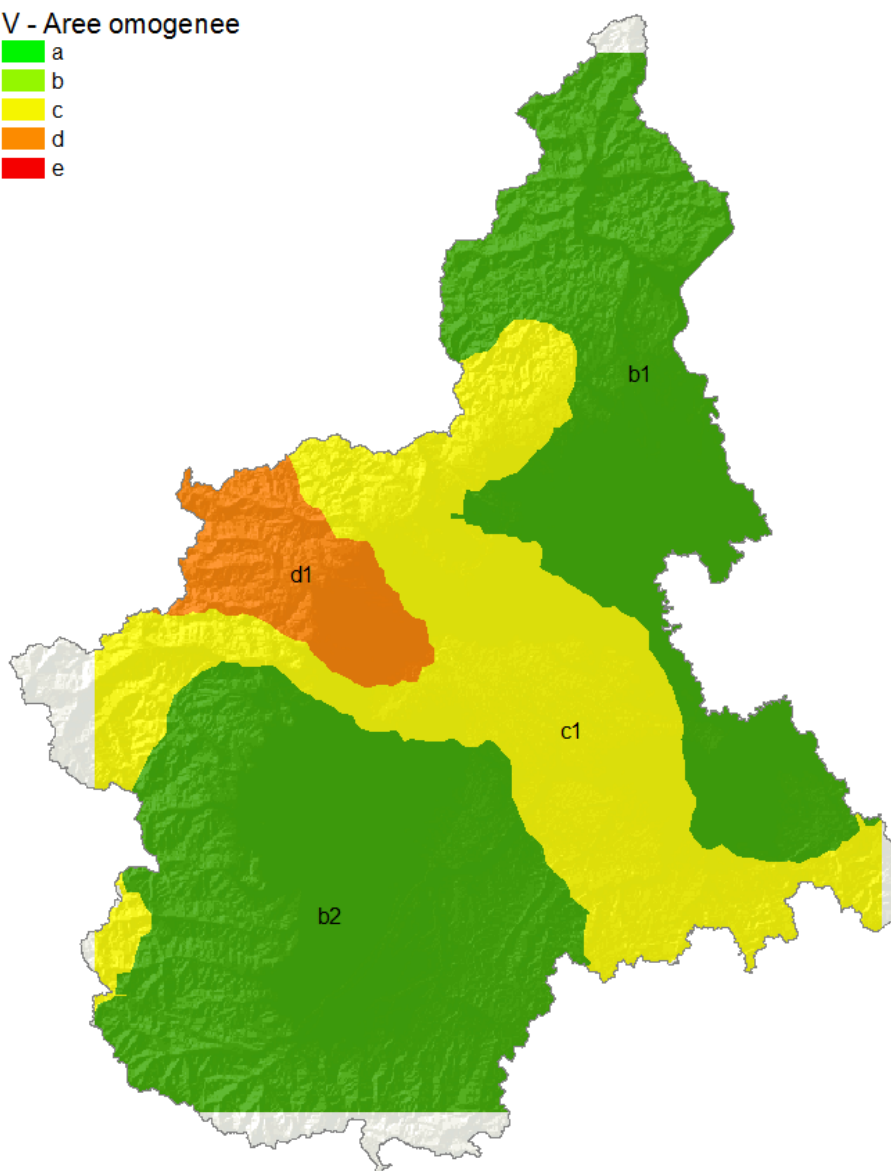
⁽¹⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 121

Aree omogenee di concentrazione (b1, b2, c1) ed aree critiche con probabilità elevate di superamento dei limiti di legge (d1) ⁽¹⁾ per le quali sono stati elaborati i parametri statistici e calcolati i valori di fondo del Vanadio nei suoli ⁽²⁾ del territorio piemontese.

V - Aree omogenee

- a
- b
- c
- d
- e

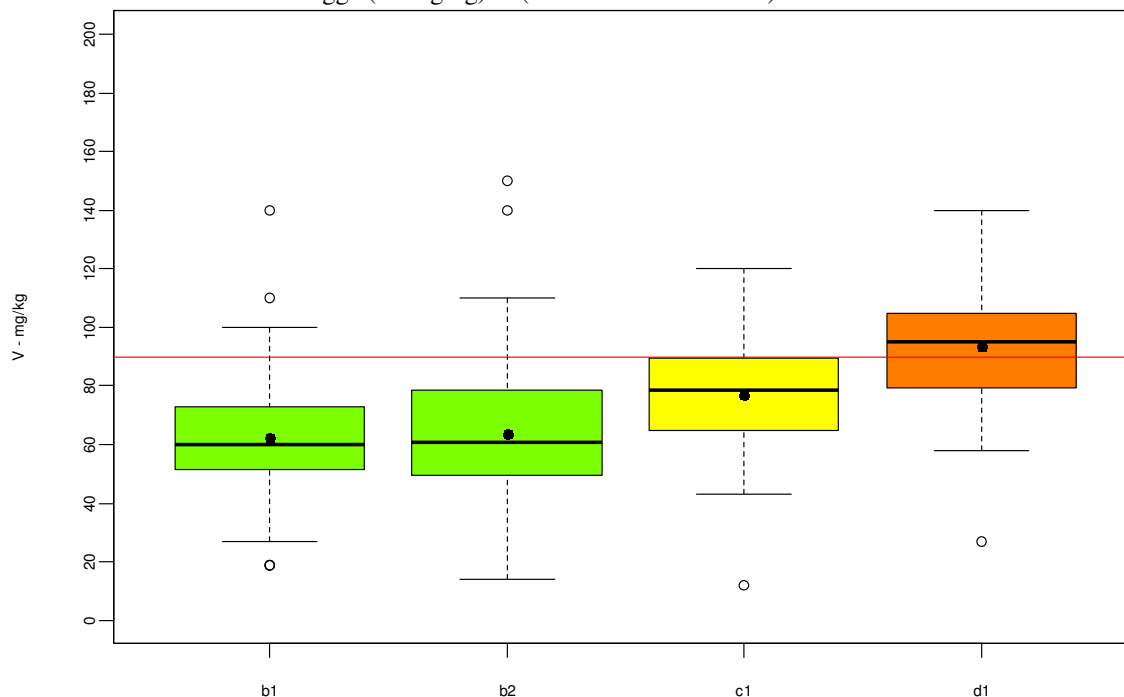


⁽¹⁾ Le classi a,b e c individuano aree con probabilità crescente di superamento dei limiti di legge. Le classi d1,d2,e1 ed e2 individuano aree critiche con probabilità elevate di superamento dei limiti di legge. ⁽²⁾ Elaborazione degli orizzonti B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 122

Box plot ⁽¹⁾ della concentrazione di Vanadio (V) in mg/kg nei suoli ⁽²⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione e confronto con i limiti di legge (90 mg/kg) ⁽³⁾ (linea orizzontale rossa).



⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (>Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽²⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli) ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Tabella 24

Statistica descrittiva, percentili, valori di fondo ⁽¹⁾, confronto con i limiti di legge (90 mg/kg) ⁽²⁾ e conteggio di campioni analizzati del Vanadio (V) nei suoli ⁽³⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione.

Aree omogenee		V_b1	V_b2	V_c1	V_d1
Media	mg/kg	62	63	77	94
Mediana	mg/kg	60	61	79	95
Dev. St	mg/kg	21	22	19	27
CV	-	0,3	0,3	0,2	0,3
Min	mg/kg	19	14	12	27
Max	mg/kg	140	150	120	140
25° percentile (Q1)	mg/kg	52	50	65	80
50° percentile	mg/kg	60	61	79	95
75° percentile (Q3)	mg/kg	73	79	89	105
90° percentile	mg/kg	88	88	98	130
95° percentile	mg/kg	96	94	110	139
Soglia outliers \geq ⁽⁵⁾	mg/kg	104	122	126	143
Numero outliers	n	2	2	0	0
Valore di fondo ⁽¹⁾	mg/kg	86	87	98	130 ⁽⁴⁾
Campioni	n	84	123	100	23
> Limite di legge ⁽²⁾	n	8	8	21	13
	%	10	7	21	57

⁽¹⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽²⁾ Limiti di legge D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽³⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽⁴⁾ Numero di dati insufficiente per una corretta definizione dei valori di fondo. Occorre un ulteriore infittimento dei campionamenti. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = $Q3+1,5*IQR$ dove $IQR=(Q3-Q1)$, $IQR=Q3-Q1$.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

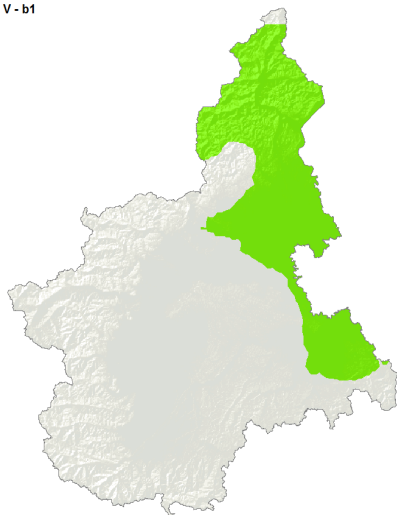
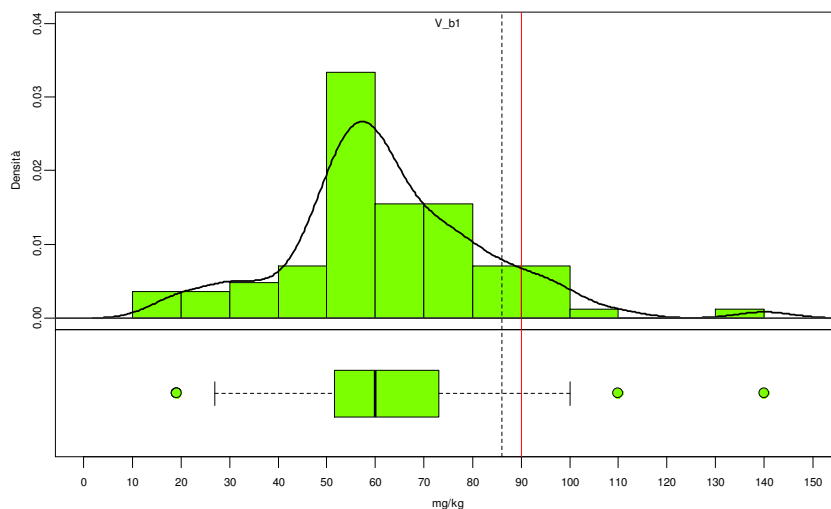
Figura 123

Parametri statistici del Vanadio (V)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione V_b1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** – Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** – Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

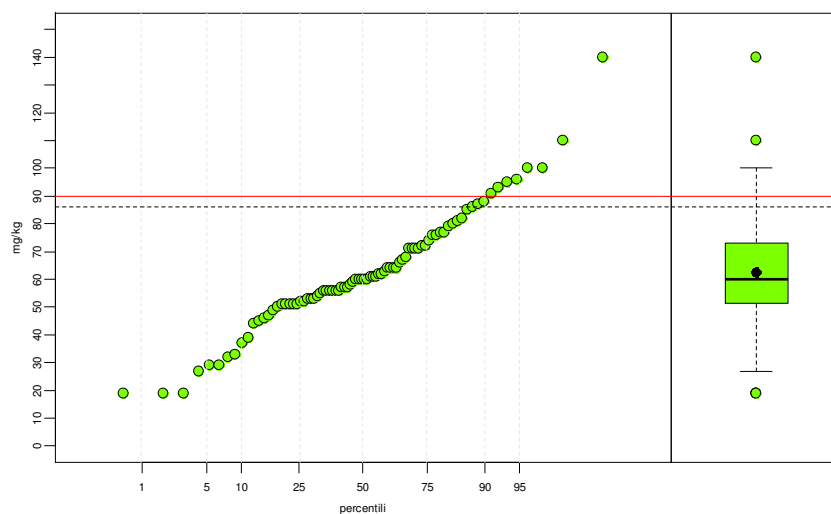
I

V - b1

**II****III**

Aree omogenee

	mg/kg	V_b1
Media	62	
Mediana	60	
Dev. St	21	
CV	0,3	
Min	19	
Max	140	
25° percentile (Q1)	52	
50° percentile	60	
75° percentile (Q3)	73	
90° percentile	88	
95° percentile	96	
Soglia outliers ⁽⁵⁾	104	
Numero outliers	n	2
Valore di fondo ⁽²⁾	86	
Campioni	n	84
> Limite di legge ⁽³⁾	n	8
	%	8

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

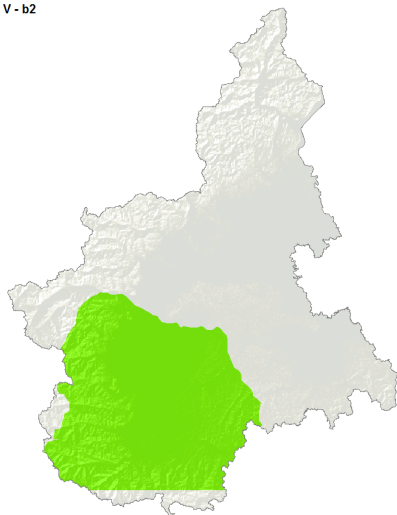
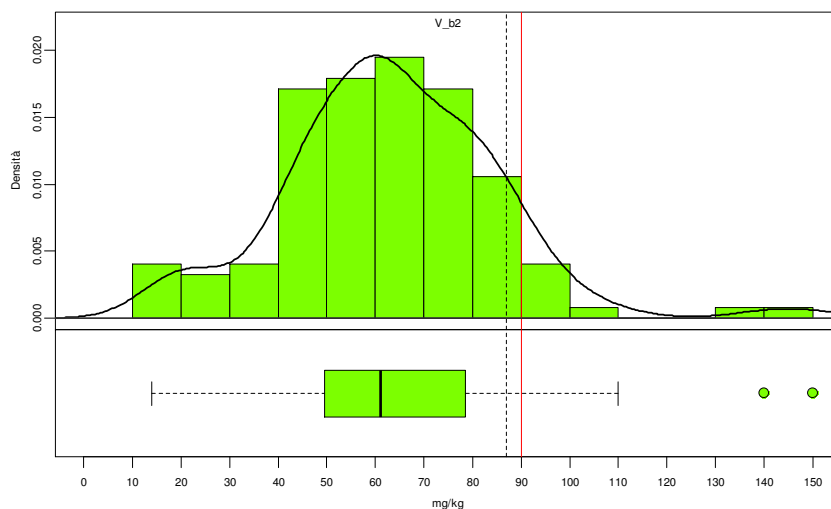
Figura 124

Parametri statistici del Vanadio (V)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione V_b2 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

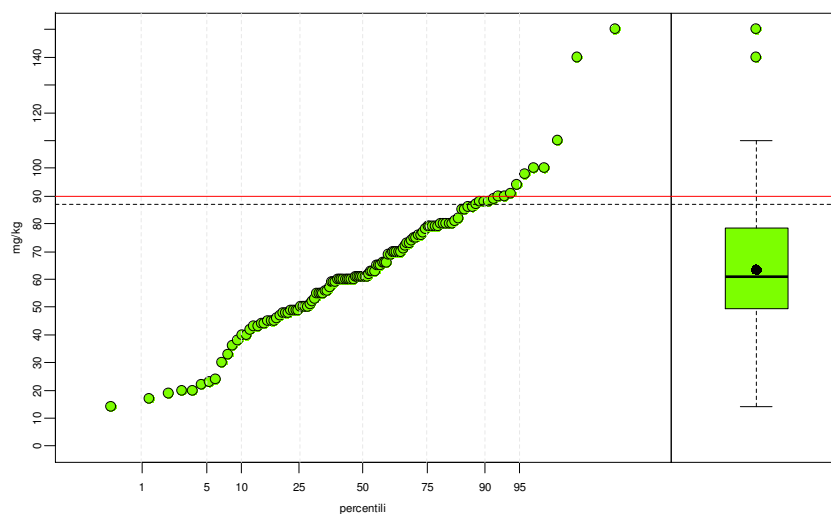
I

V - b2

**II****III**

Aree omogenee

	mg/kg	V_b2
Media	mg/kg	63
Mediana	mg/kg	61
Dev. St	mg/kg	22
CV	-	0,3
Min	mg/kg	14
Max	mg/kg	150
25° percentile (Q1)	mg/kg	50
50° percentile	mg/kg	61
75° percentile (Q3)	mg/kg	79
90° percentile	mg/kg	88
95° percentile	mg/kg	94
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	122
Numero outliers	n	2
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	87
Campioni	n	
> Limite di legge ⁽³⁾	n	123
	%	8

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

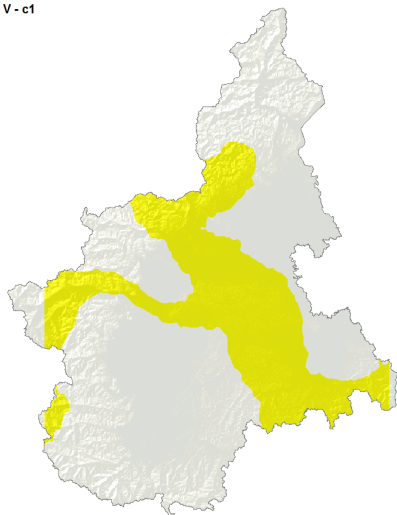
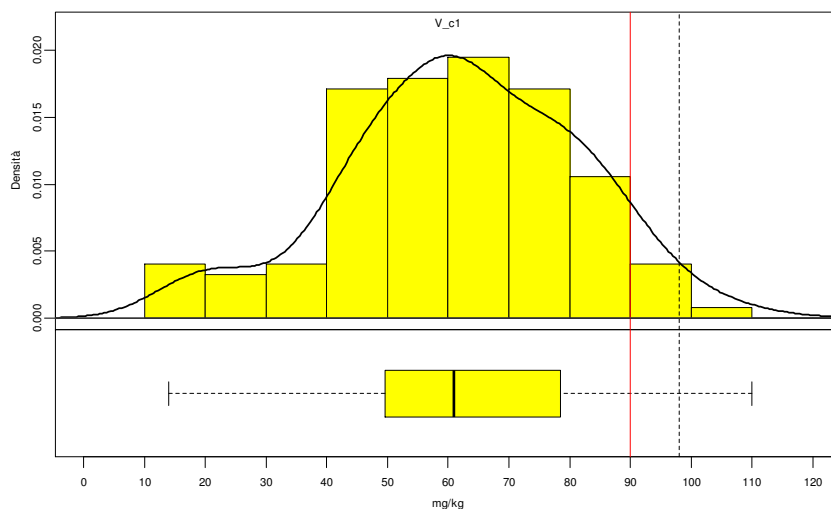
Figura 125

Parametri statistici del Vanadio (V)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione V_c1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** – Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** – Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

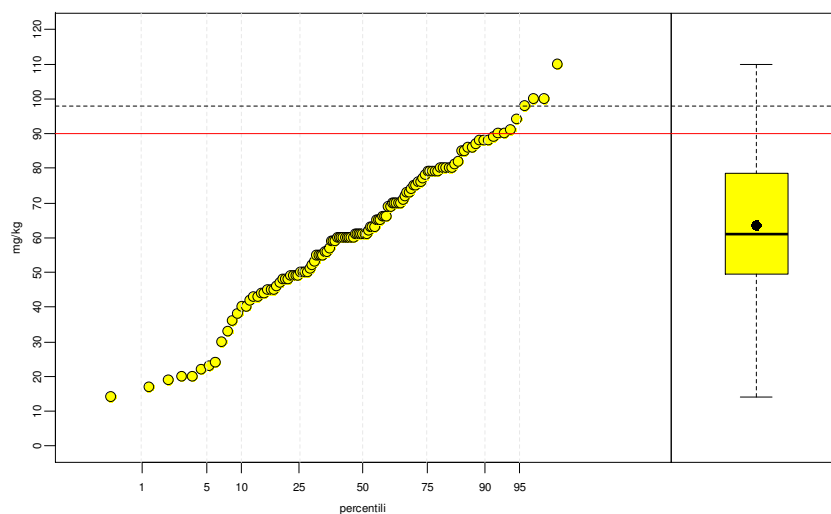
I

V - c1

**II****III**

Aree omogenee

	mg/kg	V_c1
Media	77	77
Mediana	79	79
Dev. St	19	19
CV	-	0,2
Min	12	12
Max	120	120
25° percentile (Q1)	65	65
50° percentile	79	79
75° percentile (Q3)	89	89
90° percentile	98	98
95° percentile	110	110
Soglia outliers ⁽⁵⁾	126	126
Numero outliers	n	0
Valore di fondo ⁽²⁾	98	98
Campioni	n	100
> Limite di legge ⁽³⁾	n	21
	%	21

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

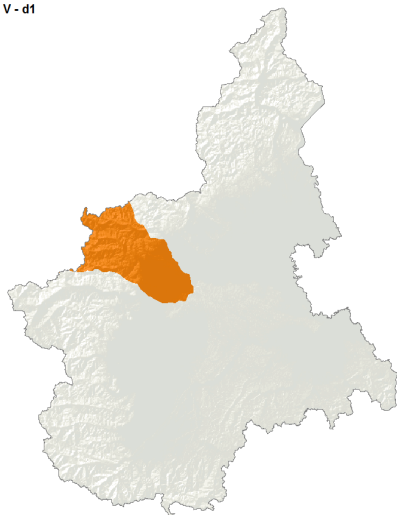
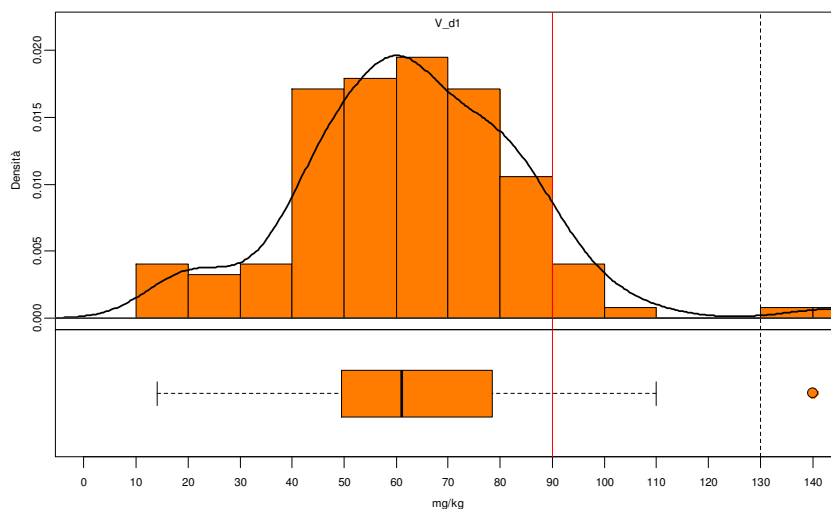
Figura 126

Parametri statistici del Vanadio (V)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione V_d1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** – Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** – Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

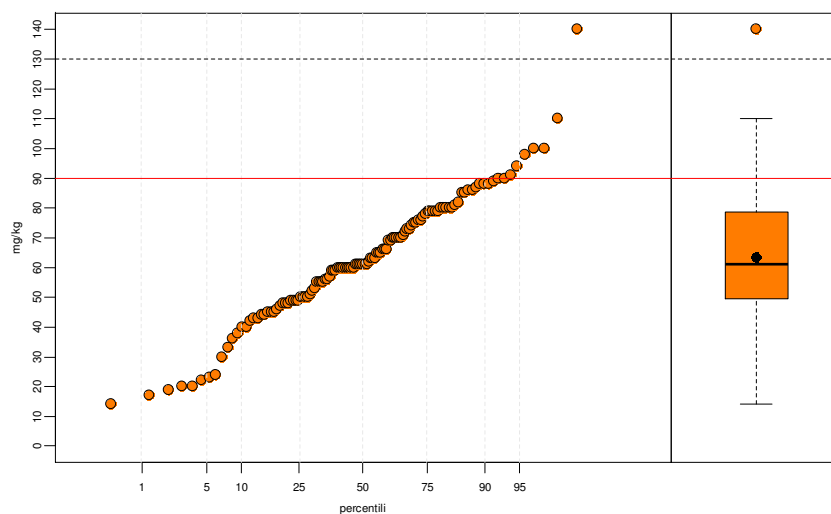
I

V - d1

**II****III**

Aree omogenee

	mg/kg	V_d1
Media	94	94
Mediana	95	95
Dev. St	27	27
CV	0,3	0,3
Min	27	27
Max	140	140
25° percentile (Q1)	80	80
50° percentile	95	95
75° percentile (Q3)	105	105
90° percentile	130	130
95° percentile	139	139
Soglia outliers ⁽⁵⁾	143	143
Numero outliers	n	0
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	130 ⁽⁴⁾
Campioni	n	23
> Limite di legge ⁽³⁾	n	23
	%	13

IV

⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo B (30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Zinco

Valutazione di presenza, origine ed intensità della contaminazione diffusa

Per le elaborazioni dello Zinco di seguito proposte sono stati utilizzati i dati relativi ad un totale di 715 stazioni di monitoraggio, delle quali 323 uniformemente distribuite in tutto il territorio piemontese su maglia sistematica (9x9 km e 3x3 km), e 392 stazioni realizzate nell'ambito di altri progetti realizzati da Arpa, campionate ed analizzate con le stesse procedure. (Figura 127 – I).

Il consistente numero di stazioni di monitoraggio analizzate permette di ottenere, attraverso l'utilizzo di modelli predittivi geostatistici, rappresentazioni spaziali della concentrazione dello Zinco attendibili ad una scala di dettaglio indicativa pari a 1:150.000.

L'interpretazione congiunta dei risultati relativi alla stima della concentrazione in mg/kg dello Zinco (Figura 127 - II) e della stima delle probabilità percentuale di superamento dei limiti di legge (Figura 127 - III) ha permesso l'individuazione di aree omogenee di concentrazione su tutto il territorio piemontese (Figura 127 - IV), di dimensioni significative rispetto alla densità di campionamento ed alla scala di rappresentazione.

La rappresentatività statistica delle popolazioni di dati appartenenti alle singole aree omogenee di concentrazione è stata verificata attraverso confronto con test statistici (t-test per campioni indipendenti) e metodi di confronto grafici (curve della densità di distribuzione, Box plot, Curve di distribuzione cumulata di frequenza).

Le valutazioni relative a presenza, origine, e intensità della contaminazione sono state effettuate attraverso l'utilizzo combinato di elaborazioni statistiche, geostatistiche e calcolo di specifici indici di arricchimento.

I risultati dei modelli predittivi geostatistici (Figura 128 - III, Figura 12) mostrano la presenza di differenze poco marcate tra la concentrazione degli orizzonti superficiali (profondità A) e quella degli orizzonti profondi (profondità B) su ampie porzioni del territorio piemontese, ad indicare assenza di fenomeni rilevanti di contaminazione diffusa.

Le aree omogenee di concentrazione Zn_a1 e Zn_b1, caratterizzate concentrazioni medie e mediane molto basse ed ampiamente al disotto dei limiti di legge, presentano valori medi e mediani degli indici di arricchimento superficiale prossimi all'unità, a conferma dell'assenza di fenomeni rilevanti di deposizione superficiale da contaminazione diffusa.

In queste aree il numero elevato di outliers relativi agli indici di arricchimento superiori alla soglia 1,5 (deposizione superficiale elevata) associate a basse concentrazioni, è riconducibile a presenza di forme di contaminazione di lieve entità, da imputare a fonti puntuali e/o diffuse che agiscono su superfici ridotte non individuabili alla scala di dettaglio rilevata.

Per le aree omogenee di concentrazione Zn_c1 e Zn_b2, situate in aree fortemente urbanizzate e industrializzate, si osserva invece la presenza di concentrazioni medie e mediane più elevate, associate a probabilità più alte di superamento di limiti di legge.

In queste aree, l'elevata variabilità verticale riscontrata tra concentrazione degli orizzonti superficiali (A) e quella di quelli più profondi (B) indica per lo Zinco presenza di fenomeni rilevanti di deposizione superficiale da contaminazione diffusa.

In particolare l'area omogenea di concentrazione Zn_c1, che corrisponde alla zona urbana (parchi e giardini) e periurbana della città di Torino, presenta valori medi e mediani superiori ai limiti di legge ed un numero elevato di campioni con indici di arricchimento ampiamente superiori alla soglia 1,5.

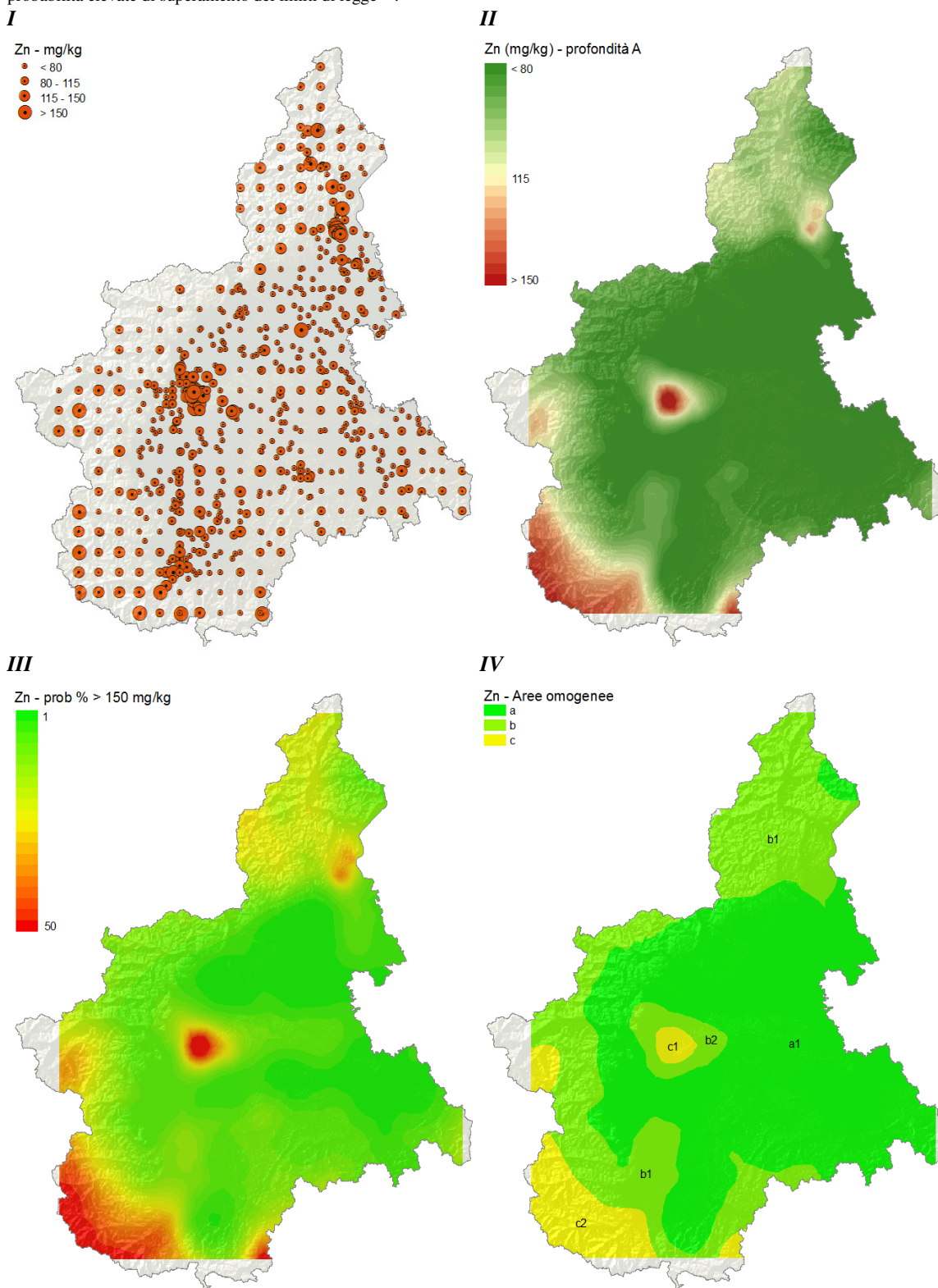
I valori dell'indice di arricchimento superficiale tendono in genere ad aumentare all'aumentare della concentrazione del contaminante (Figura 130 – I e III), ad indicare la presenza di correlazioni a grande scala di dettaglio tra concentrazioni crescenti e forme di contaminazione antropica.

I campioni caratterizzati da deposizione superficiale di Rame di intensità moderata (indice di arricchimento >1.3) ed elevata (indice di arricchimento >1.5) presentano inoltre distribuzioni spaziali omogenee e correlate con la distribuzione delle aree omogenee (Figura 13).

In base a quanto osservato l'origine dello Zinco nei suoli del territorio piemontese è attribuibile in parte alla composizione chimica del materiale di partenza da cui il suolo ha avuto origine ed in parte a fenomeni più o meno intensi di deposizione superficiale derivante da contaminazione diffusa di origine antropica.

Figura 127

Spazializzazione della concentrazione di Zinco (Zn) nei suoli ⁽¹⁾ del territorio piemontese ed individuazione di aree omogenee di concentrazione. **I** – Stazioni di monitoraggio per classi di concentrazione in mg/kg. **II** – Stima della concentrazione in mg/kg. **III** – Stima delle probabilità (%) di superamento dei limiti di legge⁽²⁾. **IV** – Aree omogenee di concentrazione (a, b, c) ed aree critiche (d, e) con probabilità elevate di superamento dei limiti di legge⁽²⁾.



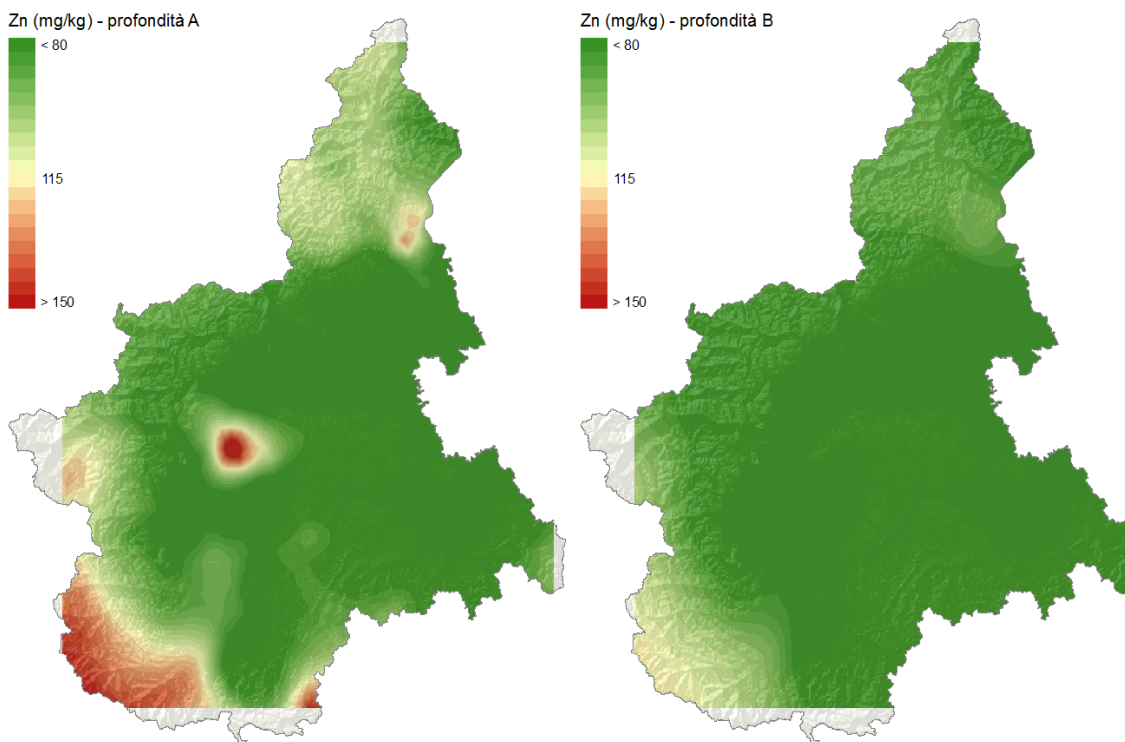
⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli.

⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 128

Distribuzione spaziale della concentrazione di Zinco (Zn) nei suoli del territorio piemontese per profondità di campionamento A e B ⁽¹⁾.

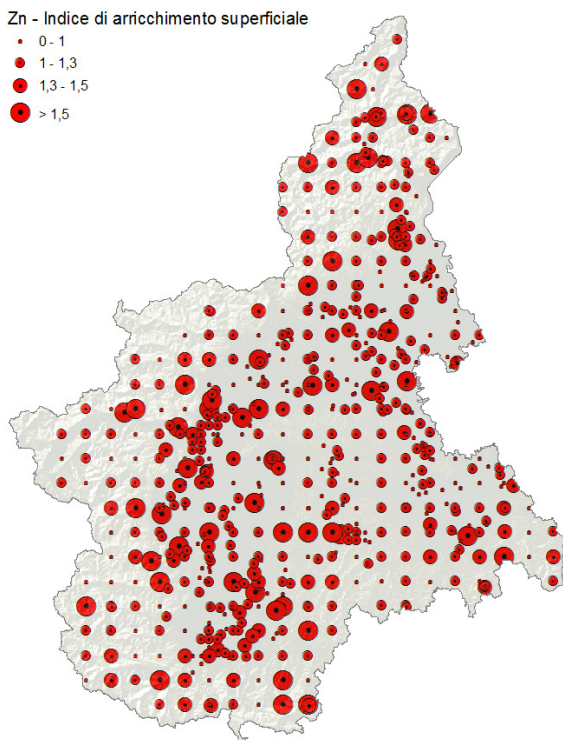


⁽¹⁾ Profondità A: 0-10 cm per suoli naturali e/o indisturbati e orizzonte Ap per suoli arati . Profondità B: 30 - 60 cm per i suoli naturali o indisturbati e 20 cm al disotto dell'orizzonte arato Ap per i suoli agricoli

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 129

Indice di arricchimento superficiale dello Zinco (Zn) per classi di deposizione superficiale ⁽¹⁾ nelle stazioni della Rete di monitoraggio ambientale dei suoli del Piemonte.



⁽¹⁾ Indice di arricchimento superficiale: < 0 - deposizione assente, da 1 a 1,3 – deposizione molto ridotta, da 1,3 a 1,5 - deposizione moderata, >1.5 - deposizione elevata.

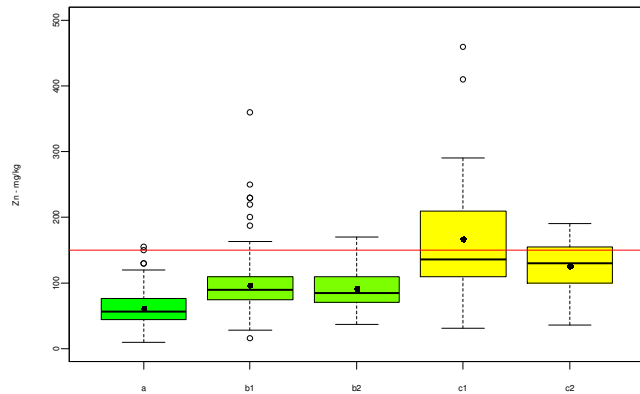
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 130

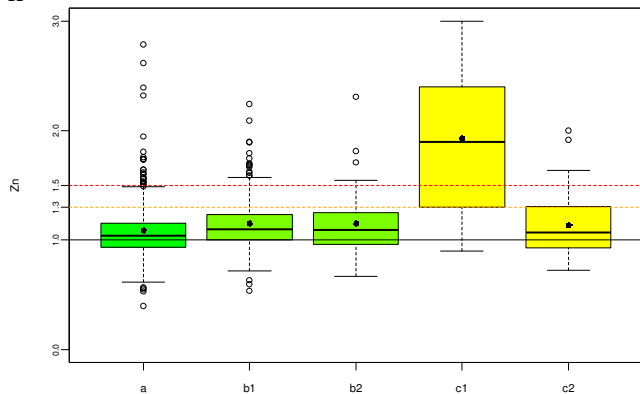
Confronto tra concentrazioni in mg/kg e indice di arricchimento superficiale dello Zinco (Zn) per classi omogenee di concentrazione nei suoli del territorio piemontese.

I - Box plot ⁽¹⁾ della concentrazione in mg/kg e limiti di legge ⁽²⁾ (linea orizzontale rossa). **II** - Box plot dell'indice di arricchimento superficiale e soglia relativa a contaminazione diffusa moderata (1,3 - linea orizzontale arancio) ed elevata (1,5 - linea orizzontale rossa). **III** - Scatterplot dell'indice di arricchimento superficiale e soglia relativa a contaminazione diffusa moderata (1,3 - linea orizzontale arancio) ed elevata (1,5 - linea orizzontale rossa).

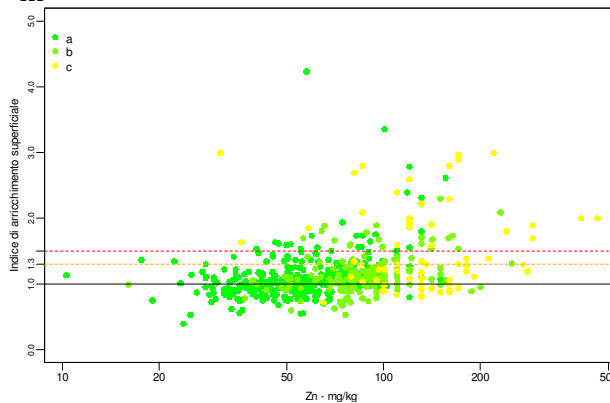
I



II



III



⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ($> Q3+1,5*IQR$), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Elaborazione dei dati per aree omogenee

Per lo Zinco, la cui origine è attribuibile in parte alla composizione chimica del materiale di partenza da cui il suolo ha avuto origine ed in parte a fenomeni più o meno intensi di deposizione superficiale derivante da contaminazione diffusa di origine antropica, le elaborazioni statistiche ed il calcolo dei valori di fondo (*contenuto di fondo di naturale - antropico*), sono stati effettuati utilizzando i campioni degli orizzonti A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli arati).

Al fine di evitare l'inclusione di campioni potenzialmente contaminati sono stati esclusi dalle elaborazioni campioni con valore del fattore di arricchimento superficiale superiore a 3.

Sono inoltre stati esclusi i valori outliers ($\geq Q3 + 3[Q3 - Q1]$) delle singole aree omogenee di concentrazione per i quali è stato verificato un evidente scostamento dalla direzione individuata dalle curve di distribuzione analizzate (densità della distribuzione, distribuzione cumulata di frequenza in percentili).

I valori di fondo sono stati calcolati in base a quanto stabilito dalla "Soil quality - Guidance on the determination of background values", descritta in dettaglio nel capitolo precedente.

La distribuzione dei dati che meglio approssima il campione (normale, log-normale, gamma, non parametrica) è stata valutata attraverso metodi grafici (istogrammi di frequenza, curve cumulative di frequenza e box plot) e test statistici (Shapiro - Wilk e Anderson - Darling).

In Figura 131 sono rappresentate le aree omogenee di concentrazione dello Zinco (Zn) per le quali vengono forniti parametri di statistica descrittiva di riferimento e calcolati i valori di fondo.

In Figura 132 sono rappresentati i box plot della concentrazione dello Zinco in mg/kg per aree omogenee di concentrazione, messi a confronto con i limite di legge (linea orizzontale rossa).

In Tabella 26 sono riportati, per aree omogenee di concentrazione, parametri di statistica descrittiva (media, mediana, deviazione standard - dev st, coefficiente di variazione - CV, valori minimi - min, valori massimi - max, 25° - 50° - 75° - 90° e 95° percentile, soglia outliers), valori di fondo, numero e percentuale di campioni che superano i limiti di legge. In rosso sono indicati i valori medi, mediani e percentili che superano il limite di legge.

Per ogni area omogenea di concentrazione sono inoltre rappresentati (da Figura 133 a Figura 137) l'istogramma della densità di distribuzione per classi di concentrazione, la curva di densità della distribuzione e la curva di distribuzione cumulata di frequenza in percentili, confrontati con il valore di fondo (linea tratteggiata nera) ed il limite di legge (linea continua rossa).

Dall'analisi delle elaborazioni geostatistiche è possibile osservare una variabilità spaziale ridotta del contenuto di Zinco nei suoli del territorio piemontese, con presenza di aree omogenee di concentrazione molto ampie (Zn_a1, Zn_b1) con basse concentrazioni medie e mediane, alternate ad aree di superfici più ridotte e ben delimitate, caratterizzate da concentrazioni più elevate (Zn_c1 e Zn_c2).

Le aree omogenee di concentrazione sono state classificate con le lettere "a", "b" e "c" (Tabella 25), in base alle probabilità di superamento del limite di legge per lo Zinco di 150 mg/kg, stabilito dal D.Lgs. 152/06 per i suoli ad uso verde pubblico, privato e residenziale (*Allegato 5 - Tabella 1 - colonna A*).

Le probabilità di superamento dei limiti di legge sono inferiori al 5% per la classe "a", con soglia outliers inferiore al limite di legge, tra il 5 e 25 % per la classe "b" e tra il 25 e 50% per la classe "c".

Le concentrazioni medie variano da valori minimi di 61 mg/kg per l'area omogenea di concentrazione Zn_a1, a valori massimi di 167 mg/kg per l'area Zn_c1.

La variabilità del dato, evidenziata dalla deviazione standard, dal coefficiente di variazione e dall'intervallo interquartile risulta costante e ridotta in tutte le aree omogenee individuate ad eccezione Zn_c1, che interessa la zona urbana (parchi e giardini) e periurbana della città di Torino.

L'elevata variabilità del dato dell'area Zn_c1 è spiegabile in parte dalla diminuzione progressiva del numero di campioni analizzati, che a sua volta è legato alla superficie dell'area, ed in parte dalla presenza discontinua di forme di contaminazione diffusa che agiscono su superfici ridotte rispetto alla scala di rappresentazione, tipica nei suoli degli ambienti fortemente urbanizzati ed industrializzati.

In corrispondenza dei valori outliers di tutte le aree omogenee di concentrazione, i coefficienti di arricchimento risultano superiori alla soglia di contaminazione elevata (>1,3) ad indicare presenza di correlazioni significative tra concentrazioni elevate e forme di contaminazione antropica.

I valori di fondo delle aree Zn_a1 (92 mg/kg) e Zn_b1 (121 mg/kg) risultano ampiamente inferiori al limite di legge.

I valori di fondo delle aree Zn_c1 e Zn_c2 sono invece superiori ai limiti di legge con valori rispettivi di 270 e 170 mg/kg.

I parametri statistici ed i valori di fondo calcolati per l'area omogenea di concentrazione Zn_a1 e Zn_b1, possono essere considerati attendibili e statisticamente significativi a grande scala di dettaglio, in quanto sono rappresentati da un elevato numero di campioni caratterizzati da bassa variabilità del dato, se rapportata alla densità di campionamento, e da distribuzione simmetrica, uniforme e continua.

Le aree omogenee di concentrazione Zn_b2, Zn_c1 e Zn_c2 sono rappresentate da un numero di campioni analizzati basso, ma sufficiente rispetto alla dimensione relativamente ridotta delle superfici interessate. La popolazione di dati è caratterizzata da una distribuzione dei campioni asimmetrica (positiva - destra), irregolare e discontinua con una elevata variabilità (coefficiente di variazione, deviazione standard, intervallo interquartile).

Per l'ottenimento di parametri statistici di riferimento e valori di fondo statisticamente significativi per le aree Zn_b2, Zn_c1 e Zn_c2 è però opportuno un infittimento dei campionamenti in base ai risultati delle mappe di previsione dell'errore standard che individuano zone differenziate per qualità di predizione ed aree sottocampionate.

Per le aree Zn_c1 e Zn_c2 è possibile utilizzare i parametri statistici ed i valori di fondo forniti come studio pregresso al fine di dimostrare che eventuali superamenti dei limiti di legge sono attribuibili a valore di fondo naturale-antropico.

L'ottenimento di dati rappresentativi a scala di dettaglio comunale e/o locale, è sempre vincolato ad un ulteriore approfondimento con monitoraggio di maggiore dettaglio (vedi paragrafo - Raccomandazioni relative all'utilizzo dei dati).

Tabella 25Classificazione delle aree omogenee di concentrazione in base alle probabilità di superamento dei limiti di legge ⁽¹⁾

	Probabilità di superamento dei limiti di legge	Limite di legge
a	<5%	> Soglia outliers
b	5%-25 %	75° perc – Soglia outliers
c	25%-50%	50°perc – 75° perc

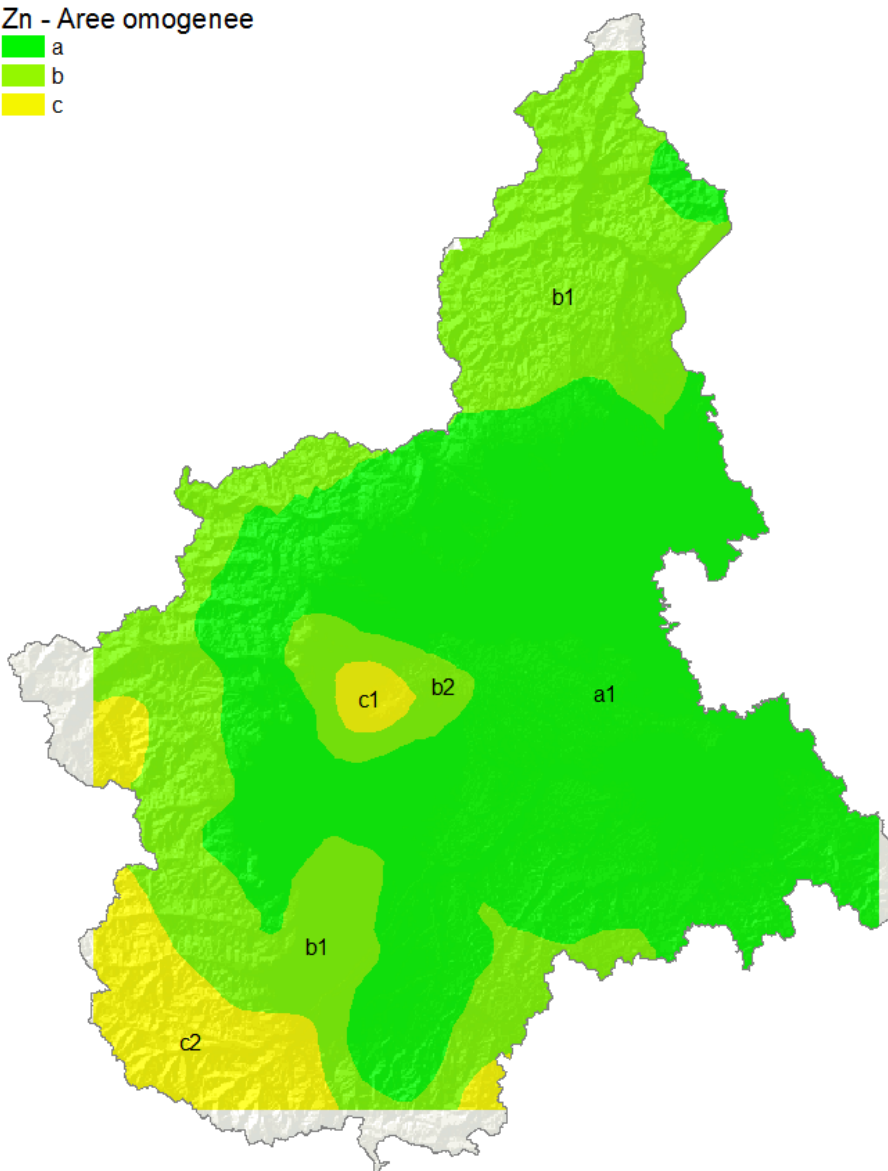
⁽¹⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 131

Aree omogenee di concentrazione (a1, b1, c1, c2) per le quali sono stati elaborati i parametri statistici e calcolati i valori di fondo della concentrazione dello Zinco nei suoli ⁽¹⁾ del territorio piemontese.

Zn - Aree omogenee

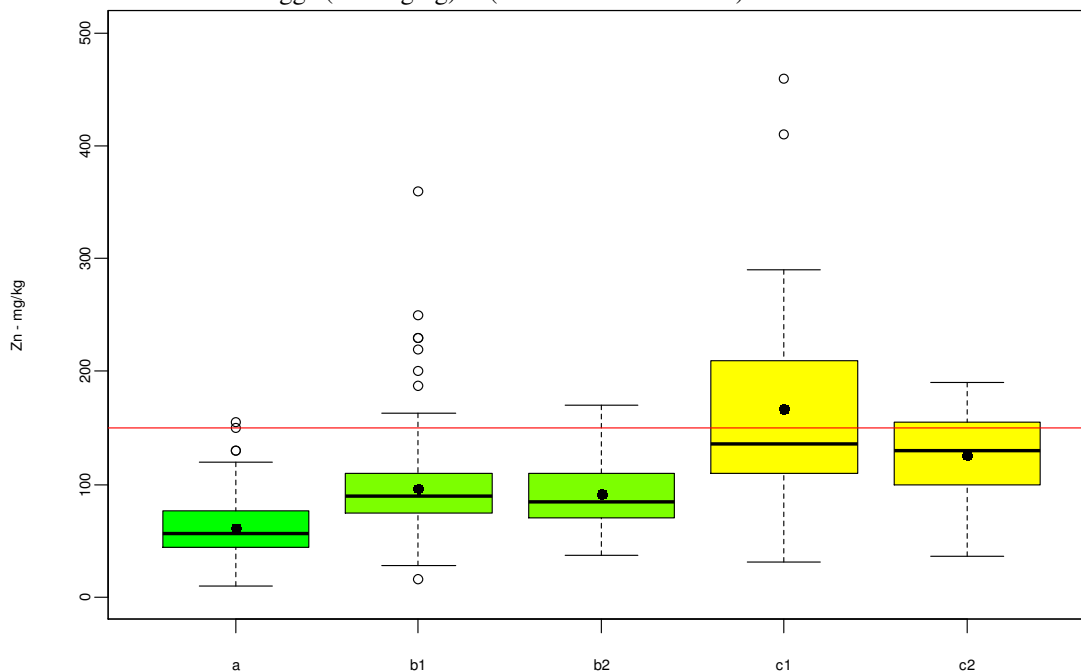
- a
- b
- c



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni superficiali A (10 – 30 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 132

Box plot⁽¹⁾ della concentrazione di Zinco (Zn) in mg/kg nei suoli ⁽²⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione e confronto con i limiti di legge (150 mg/kg) ⁽³⁾ (linea orizzontale rossa).



⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (>Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽²⁾ Elaborazione dei campioni di suolo A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli) ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Tabella 26

Statistica descrittiva, percentili, valori di fondo ⁽¹⁾, confronto con i limiti di legge (150 mg/kg) ⁽²⁾ e conteggio di campioni analizzati dello Zinco (Zn) nei suoli ⁽³⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione.

Aree omogenee		Zn_a1	Zn_b1	Zn_b2	Zn_c1	Zn_c2
Media	mg/kg	61	97	91	167	126
Mediana	mg/kg	57	90	85	136	130
Dev. St	mg/kg	23	41	34	96	36
CV	-	0,4	0,4	0,4	0,6	0,3
Min	mg/kg	10	16	37	31	36
Max	mg/kg	155	360	170	460	190
25° percentile (Q1)	mg/kg	44	74	71	110	100
50° percentile	mg/kg	57	90	85	136	130
75° percentile (Q3)	mg/kg	76	110	110	210	155
90° percentile	mg/kg	93	140	150	288	170
95° percentile	mg/kg	100	157	150	338	180
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	123	164	169	360	238
Outliers	n	4	7	1	2	0
Valore di fondo ⁽¹⁾	mg/kg	92	121	142	270	170
Campioni	n	443	172	36	33	31
> Limite di legge ⁽¹⁾	n	1	11	1	15	8
	%	0	6	3	45	26

⁽¹⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽²⁾ Limiti di legge D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽³⁾ Elaborazione dei campioni superficiali di suolo A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽⁴⁾ Numero di dati insufficiente per una corretta definizione dei valori di fondo. Occorre un ulteriore infittimento dei campionamenti. ⁽⁵⁾ =Q3+1,5*IQR, IQR=Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

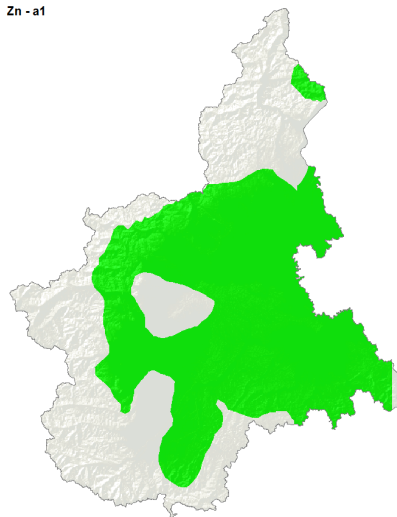
Figura 133

Parametri statistici del Zinco (Zn)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Zn_a1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

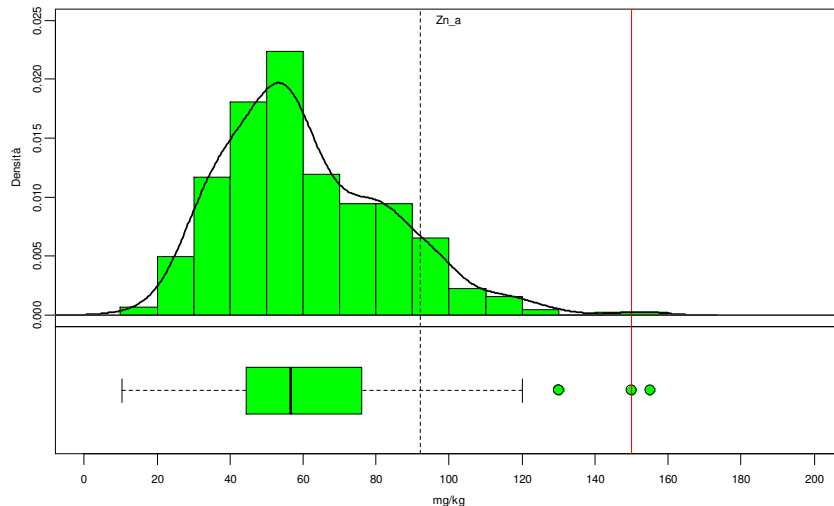
I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I

Zn - a1



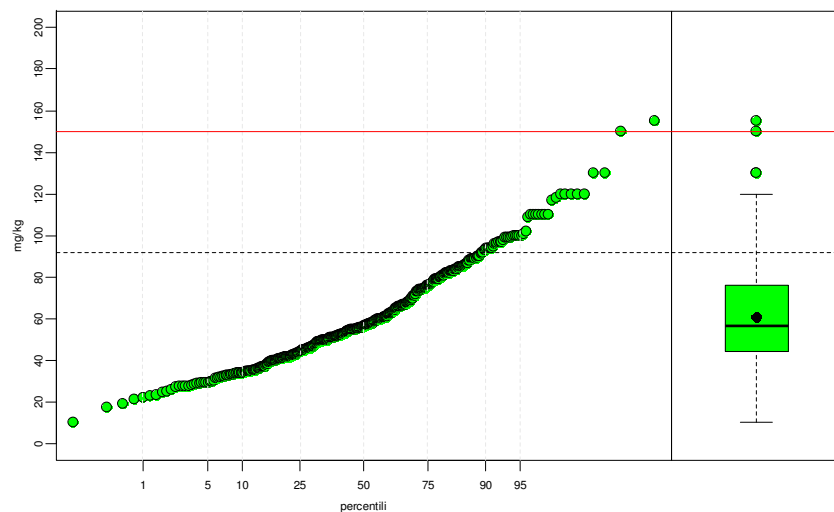
II



III

Aree omogenee		Zn_a1
Media	mg/kg	61
Mediana	mg/kg	57
Dev. St	mg/kg	23
CV	-	0,4
Min	mg/kg	10
Max	mg/kg	155
25° percentile (Q1)	mg/kg	44
50° percentile	mg/kg	57
75° percentile (Q3)	mg/kg	76
90° percentile	mg/kg	93
95° percentile	mg/kg	100
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	123
Numero outliers	n	4
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	92
Campioni	n	443
> Limite di legge ⁽³⁾	n	1
	%	0

IV



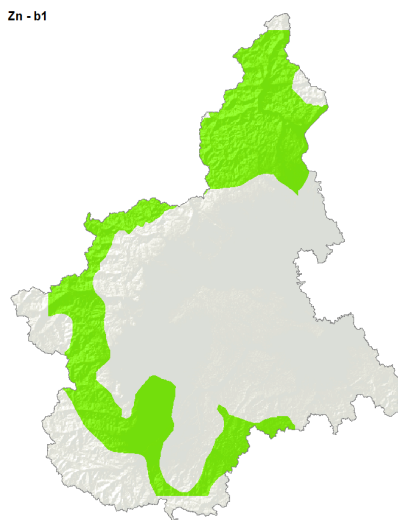
⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni superficiali A (10 – 30 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 134

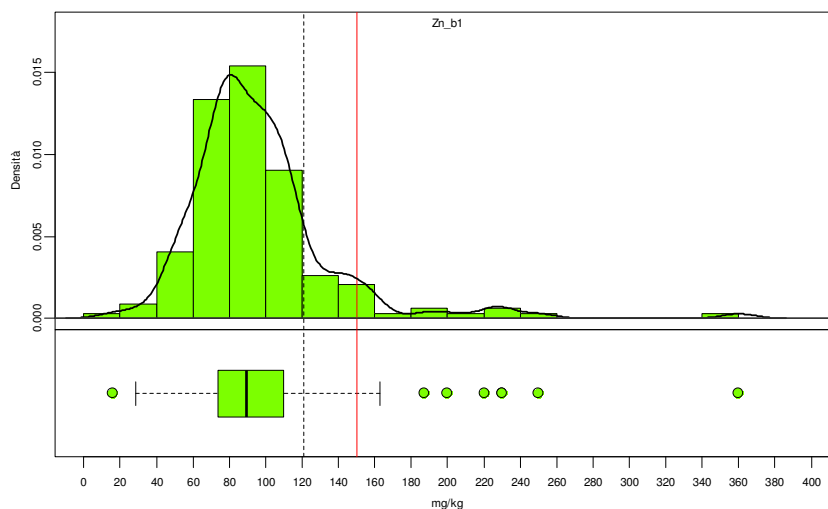
Parametri statistici del Zinco (Zn)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Zn_b1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I



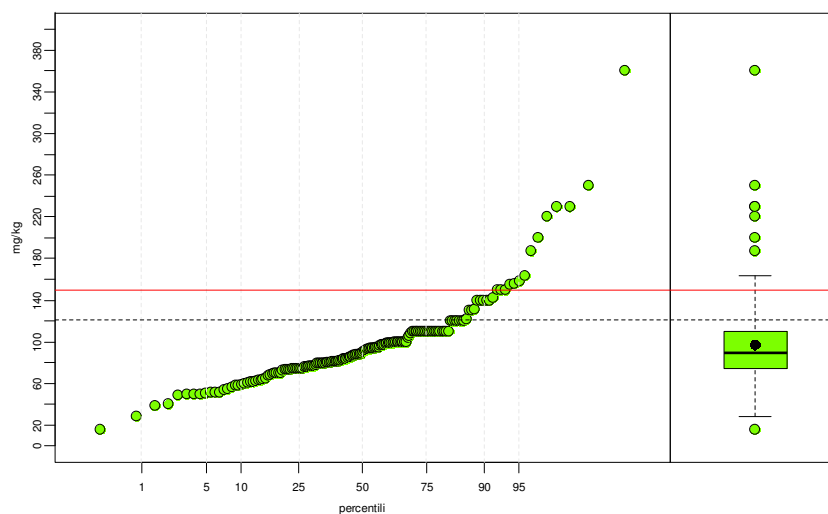
II



III

Aree omogenee		Zn_b1
Media	mg/kg	97
Mediana	mg/kg	90
Dev. St	mg/kg	41
CV	-	0,4
Min	mg/kg	16
Max	mg/kg	360
25° percentile (Q1)	mg/kg	74
50° percentile	mg/kg	90
75° percentile (Q3)	mg/kg	110
90° percentile	mg/kg	140
95° percentile	mg/kg	157
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	164
Numero outliers	n	7
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	121
Campioni	n	172
> Limite di legge ⁽³⁾	n	11
	%	6

IV



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni superficiali A (10 – 30 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

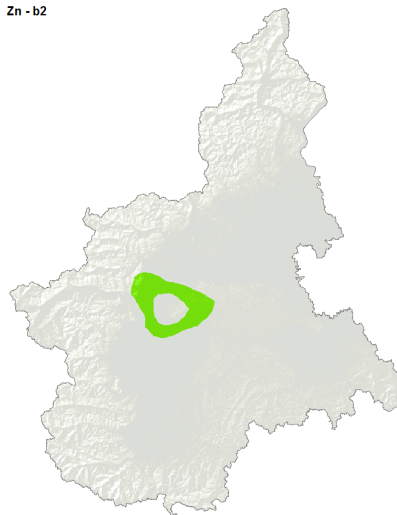
Figura 135

Parametri statistici del Zinco (Zn)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Zn_b2 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

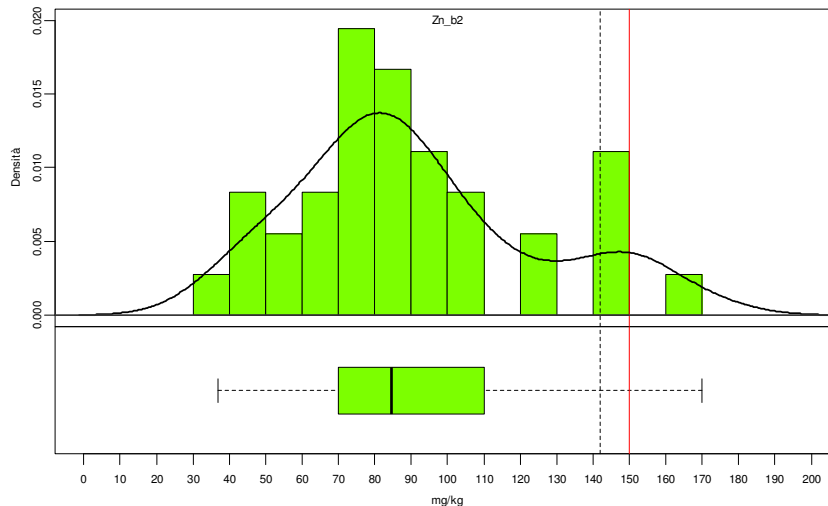
I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I

Zn - b2



II



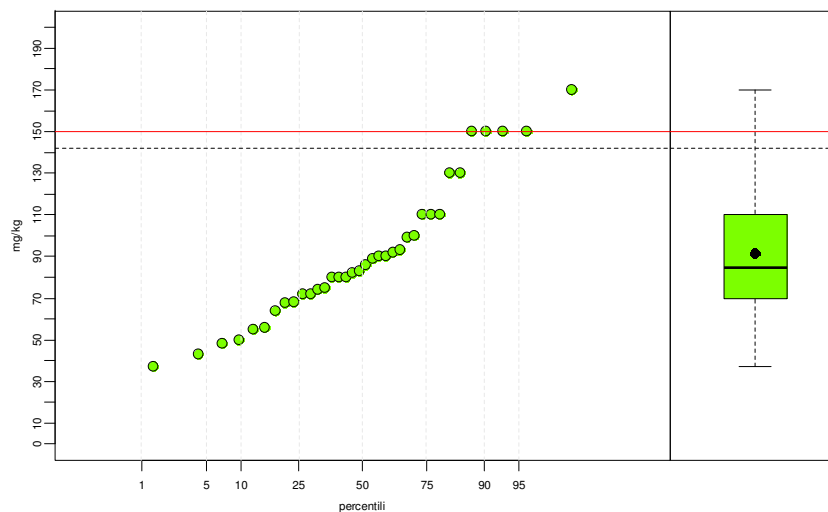
III

Aree omogenee

Zn_b2

Media	mg/kg	91
Mediana	mg/kg	85
Dev. St	mg/kg	34
CV	-	0,4
Min	mg/kg	37
Max	mg/kg	170
25° percentile (Q1)	mg/kg	71
50° percentile	mg/kg	85
75° percentile (Q3)	mg/kg	110
90° percentile	mg/kg	150
95° percentile	mg/kg	150
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	169
Numero outliers	n	1
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	142
Campioni	n	36
> Limite di legge ⁽³⁾	n	1
	%	3

IV



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni superficiali A (10 – 30 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

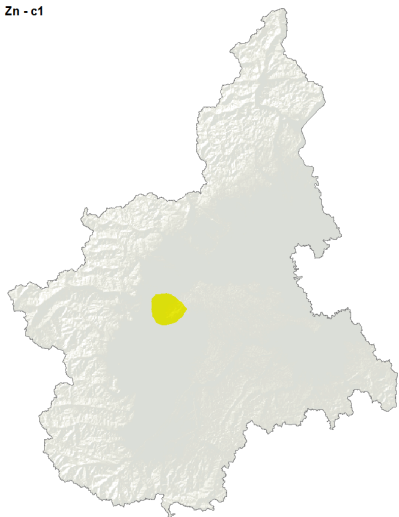
Figura 136

Parametri statistici del Zinco (Zn)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Zn_c1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

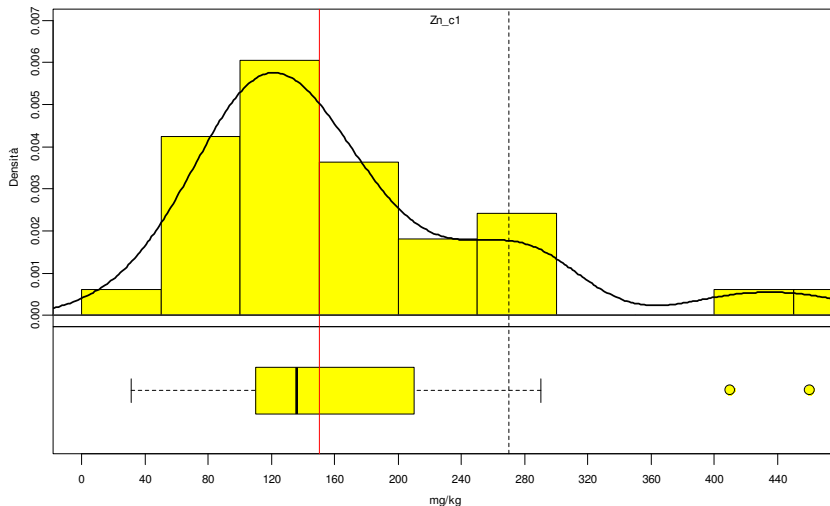
I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I

Zn - c1



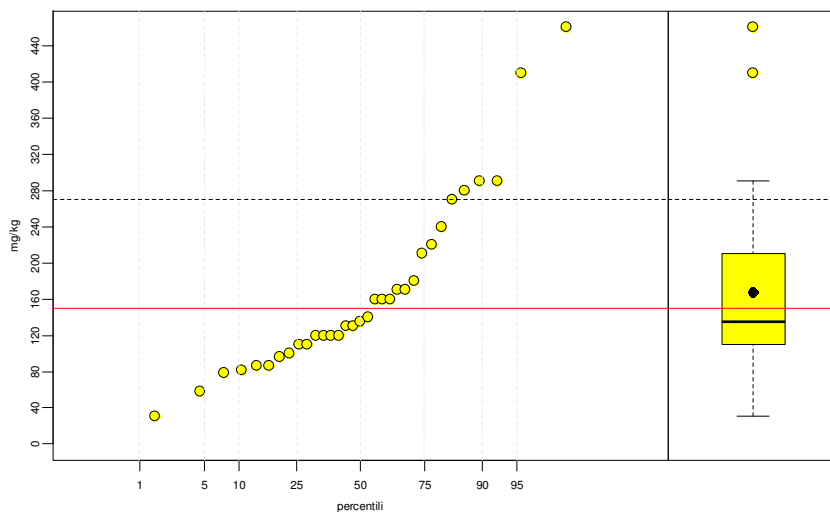
II



III

Aree omogenee		Zn_c1
Media	mg/kg	167
Mediana	mg/kg	136
Dev. St	mg/kg	96
CV	-	0,6
Min	mg/kg	31
Max	mg/kg	460
25° percentile (Q1)	mg/kg	110
50° percentile	mg/kg	136
75° percentile (Q3)	mg/kg	210
90° percentile	mg/kg	288
95° percentile	mg/kg	338
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	360
Numero outliers	n	2
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	270
Campioni	n	33
> Limite di legge ⁽³⁾	n	15
	%	45

IV



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni superficiali A (10 – 30 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

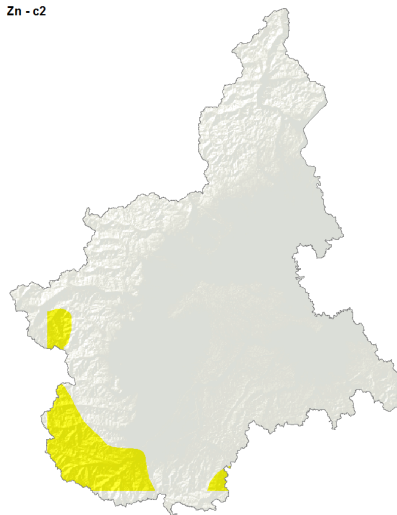
Figura 137

Parametri statistici del Zinco (Zn)⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione Zn_c2 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

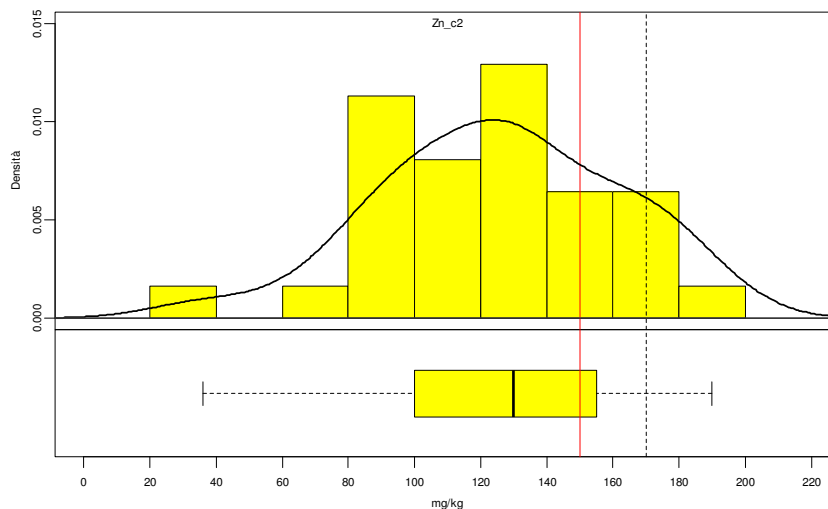
I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in mg/kg. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I

Zn - c2



II



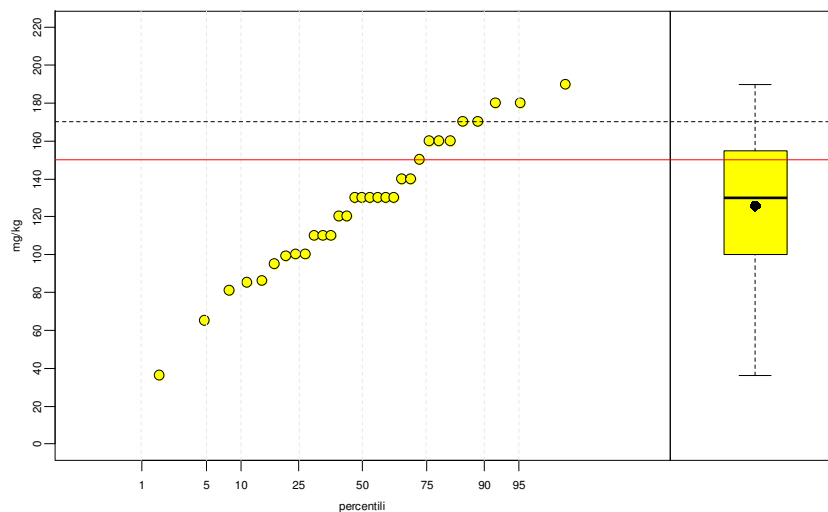
III

Aree omogenee

Zn_c2

Media	mg/kg	126
Mediana	mg/kg	130
Dev. St	mg/kg	36
CV	-	0,3
Min	mg/kg	36
Max	mg/kg	190
25° percentile (Q1)	mg/kg	100
50° percentile	mg/kg	130
75° percentile (Q3)	mg/kg	155
90° percentile	mg/kg	170
95° percentile	mg/kg	180
Soglia outliers ⁽⁵⁾	mg/kg	238
Numero outliers	n	0
Valore di fondo ⁽²⁾	mg/kg	170
Campioni	n	31
> Limite di legge ⁽³⁾	n	8
	%	26

IV



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni superficiali A (10 – 30 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Contaminanti organici

Policlorobifenili - PCB

Per le elaborazioni della sommatoria dei policlorobifenili, espressi secondo quanto previsto dal D.Lgs.152 del 2006 sulla sostanza secca, sono stati utilizzati i dati di 386 stazioni di monitoraggio distribuite in tutto il territorio piemontese su maglia sistematica (9x9 km e 3x3 km) (Figura 138 – I).

Il numero di stazioni di monitoraggio analizzate permette di ottenere, attraverso l'utilizzo di modelli predittivi geostatistici, rappresentazioni spaziali della concentrazione attendibili ad una scala di dettaglio indicativa pari a 1:250.000.

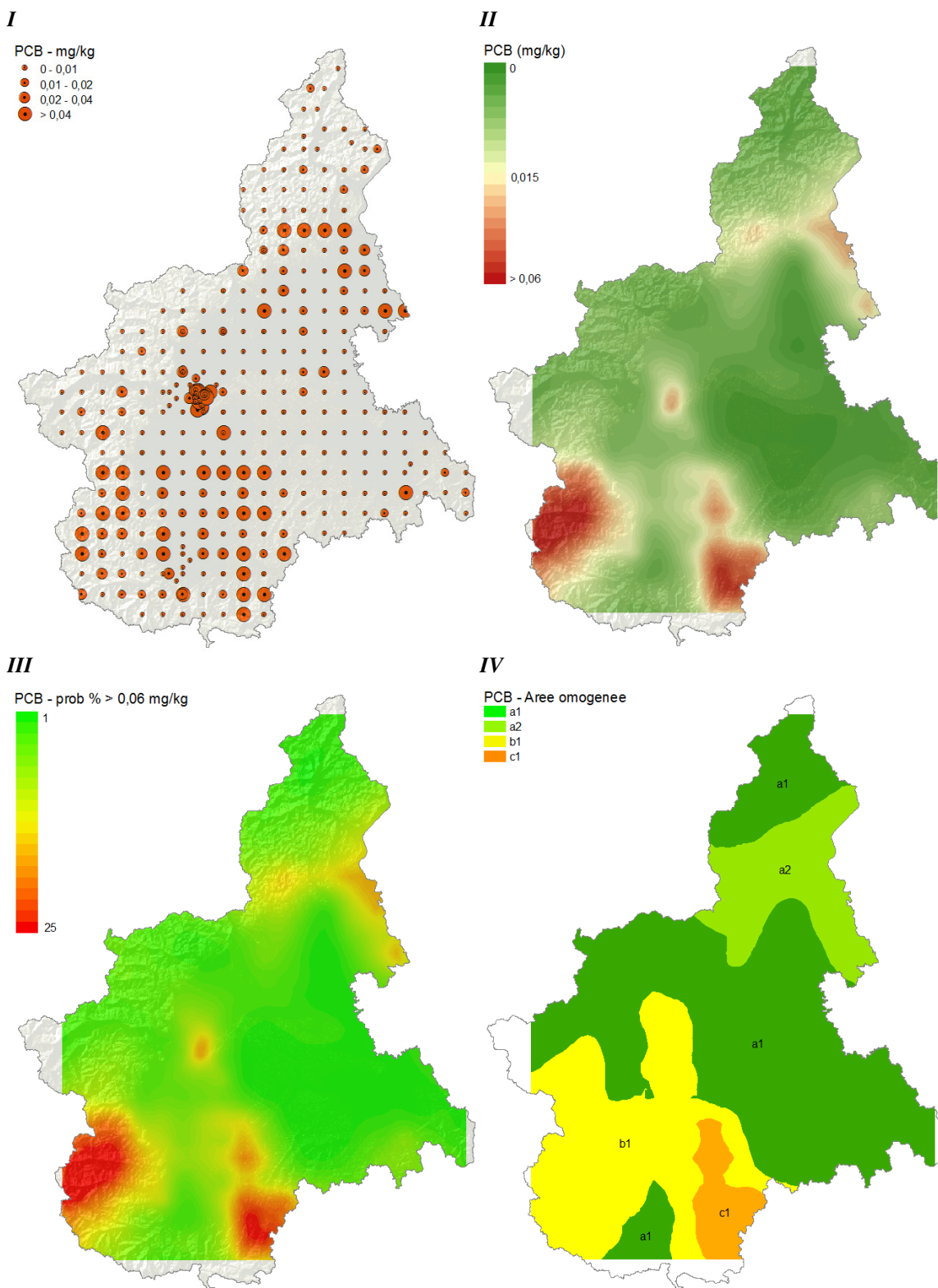
L'interpretazione congiunta dei risultati relativi alla stima della concentrazione in ng/kg (Figura 138 - II) e della stima delle probabilità percentuale di superamento dei limiti di legge (Figura 138 - III) ha permesso l'individuazione di aree omogenee di concentrazione su tutto il territorio piemontese (Figura 138 - IV), di dimensioni significative rispetto alla densità di campionamento ed alla scala di rappresentazione.

La rappresentatività statistica delle popolazioni di dati appartenenti alle singole aree omogenee di concentrazione è stata verificata attraverso confronto con test statistici (t-test per campioni indipendenti) e metodi di confronto grafici (curve della densità di distribuzione, Box plot, Curve di distribuzione cumulata di frequenza).

Figura 138

Spazializzazione della concentrazione della sommatoria dei policlorobifenili, espressi secondo quanto previsto dal D.Lgs.152 del 2006, nei suoli ⁽¹⁾ del territorio piemontese ed individuazione di aree omogenee di concentrazione.

I – Stazioni di monitoraggio per classi di concentrazione in mg/kg. *II* – Stima della concentrazione in mg/kg. *III* - Stima delle probabilità (%) di superamento dei limiti di legge⁽²⁾. *IV* – Aree omogenee di concentrazione (a, b, c).



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (*Allegato 5 - Tabella 1 - colonna A*).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Elaborazione dei dati per aree omogenee

Per i policlorobifenili, la cui origine è attribuibile esclusivamente a fenomeni più o meno intensi di deposizione superficiale derivante da contaminazione diffusa di origine antropica, le elaborazioni statistiche ed il calcolo dei valori di fondo (*contenuto di fondo di naturale - antropico*), sono stati effettuati utilizzando i campioni degli orizzonti A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli arati).

Al fine di evitare l'inclusione di campioni potenzialmente contaminati sono stati esclusi dalle elaborazioni campioni con valore del fattore di arricchimento superficiale superiore a 3.

Sono inoltre stati esclusi i valori outliers ($\geq Q3 + 3[Q3 - Q1]$) delle singole aree omogenee di concentrazione per i quali è stato verificato un evidente scostamento dalla direzione individuata dalle curve di distribuzione analizzate (densità della distribuzione, distribuzione cumulata di frequenza in percentili).

I valori di fondo sono stati calcolati in base a quanto stabilito dalla "Soil quality - Guidance on the determination of background values", descritta in dettaglio nel capitolo precedente.

La distribuzione dei dati che meglio approssima il campione (normale, log-normale, gamma, non parametrica) è stata valutata attraverso metodi grafici (istogrammi di frequenza, curve cumulative di frequenza e box plot) e test statistici (Shapiro - Wilk e Anderson - Darling).

In Figura 139 sono rappresentate le aree omogenee di concentrazione per le quali vengono forniti parametri di statistica descrittiva di riferimento e valori di fondo.

In Figura 140 sono rappresentati i box plot della concentrazione in mg/kg per aree omogenee di concentrazione, messi a confronto con i limite di legge (linea orizzontale rossa).

In Tabella 27 sono riportati, per aree omogenee di concentrazione, parametri di statistica descrittiva (media, mediana, deviazione standard - dev st, coefficiente di variazione - CV, valori minimi - min, valori massimi - max, 25° - 50° - 75° - 90° e 95° percentile, soglia outliers), valori di fondo, numero e percentuale di campioni che superano i limiti di legge. In rosso sono indicati i valori medi, mediani e percentili che superano il limite di legge.

Per ogni area omogenea di concentrazione sono inoltre rappresentati (da Figura 141 a Figura 144) l'istogramma della densità di distribuzione per classi di concentrazione, la curva di densità della distribuzione e la curva di distribuzione cumulata di frequenza in percentili, confrontati con il valore di fondo (linea tratteggiata nera) ed il limite di legge (linea continua rossa).

Dall'analisi delle elaborazioni geostatistiche è possibile osservare una variabilità spaziale ridotta, con presenza di aree omogenee di concentrazione molto ampie con basse concentrazioni, alternate ad aree di superfici più ridotte, caratterizzate da concentrazioni più elevate.

In tutte le aree omogenee di concentrazione individuate si riscontrano basse probabilità (sempre inferiori al 50%) di superamento dei limiti di legge.

Le concentrazioni medie variano da valori minimi di 0,005 mg/kg per l'area omogenea di concentrazione PCB_a1, a valori massimi di 0,057 mg/kg per l'area PCB_c1.

La variabilità del dato, evidenziata dalla deviazione standard, dal coefficiente di variazione e dall'intervallo interquartile risulta molto elevata in tutte le aree omogenee individuate ed è attribuibile alla presenza discontinua di forme di contaminazione diffusa che agiscono su superfici ridotte rispetto alla scala di rappresentazione.

I valori di fondo delle aree PCB_a1 (0,009 mg/kg), PCB_a2 (0,021 mg/kg) e PCB_b1 (0,039 mg/kg), ampiamente inferiori al limite di legge, possono essere considerati attendibili e statisticamente significativi a grande scala di dettaglio, in quanto sono rappresentati da un elevato numero di campioni caratterizzati da bassa variabilità del dato, se rapportata alla densità di campionamento, e da distribuzione simmetrica, uniforme e continua.

Le aree omogenee di concentrazione sono state classificate con le lettere “a”, “b” e “c” Tabella 28, in base alle probabilità di superamento del limite di legge (0,06 mg/kg), stabilito dal D.Lgs. 152/06 per i suoli ad uso verde pubblico, privato e residenziale (*Allegato 5 - Tabella 1 - colonna A*).

Le probabilità di superamento dei limi di legge sono inferiori al 5% per la classe “a”, con soglia outliers inferiore al limite di legge, tra il 5 e 25 % per la classe “b” e tra il 25 e 50% per la classe “c”.

Il valore di fondo dell’area PCB_1 (0,057 mg/kg) è ampiamente superiore ai limiti di legge; in questa area la distribuzione dei campioni risulta asimmetrica (positiva - destra), irregolare e discontinua con una elevata variabilità (coefficiente di variazione, deviazione standard, intervallo interquartile) ed il numero di campioni è basso per una corretta valutazione del valore di fondo.

L’ottenimento di parametri statistici di riferimento e valori di fondo statisticamente significativi è vincolato ad un infittimento dei campionamenti da effettuare in base ai risultati delle mappe di previsione dell'errore standard, che individuano zone differenziate per qualità di predizione ed aree sottocampionate.

Per l’area PCB_c1 non é possibile quindi utilizzare i parametri statistici ed i valori di fondo forniti come studio pregresso al fine di dimostrare che eventuali superamenti dei limiti di legge sono attribuibili a valore di fondo antropico.

Per tutte le aree omogenee individuate l’ottenimento di dati rappresentativi a scala di dettaglio comunale e/o locale, è sempre vincolato ad un ulteriore approfondimento con monitoraggio di maggiore dettaglio (vedi paragrafo - Raccomandazioni relative all’utilizzo dei dati).

Tabella 27

Classificazione delle aree omogenee di concentrazione dei policlorobifenili in base alle probabilità di superamento dei limiti di legge ⁽¹⁾

	Probabilità di superamento dei limiti di legge	Limite di legge
a	<5%	> Soglia outliers
b	5%-25 %	75° perc – Soglia outliers
c	25%-50%	50°perc – 75° perc

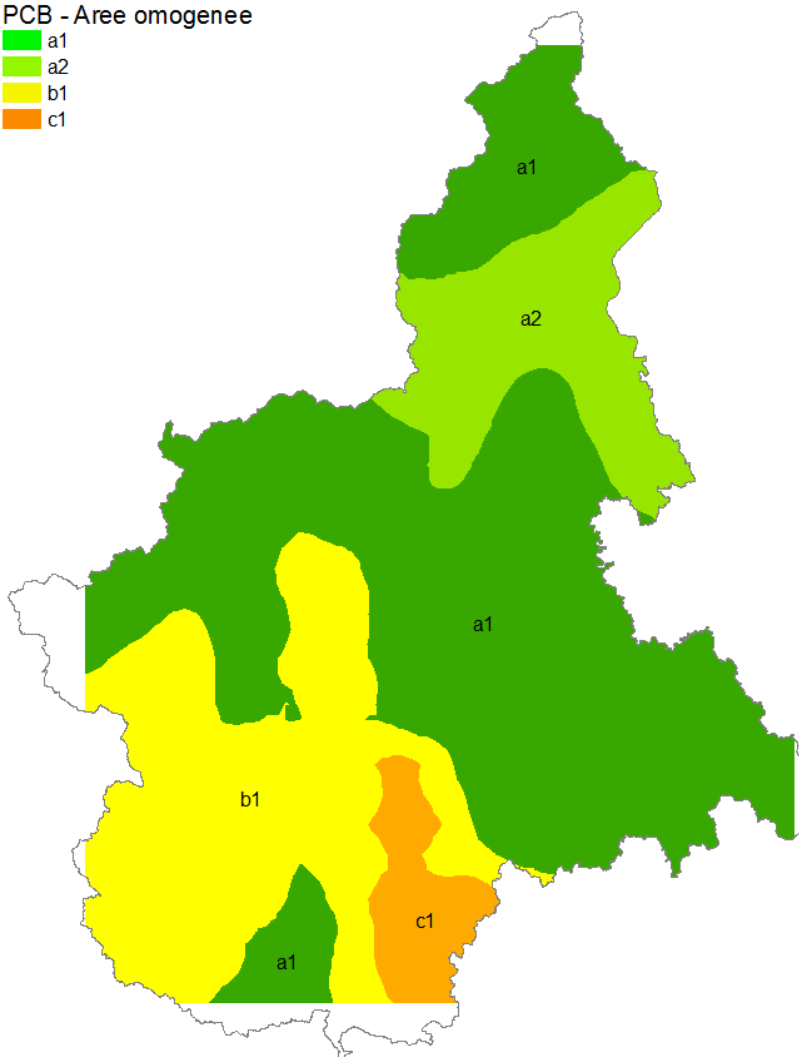
⁽¹⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 139

Aree omogenee di concentrazione (a1, b1, c1, c2) per le quali sono stati elaborati i parametri statistici e calcolati i valori di fondo della concentrazione della sommatoria dei policlorobifenili, espressi secondo quanto previsto dal D.Lgs.152 del 2006, nei suoli ⁽¹⁾ del territorio piemontese.

PCB - Aree omogenee

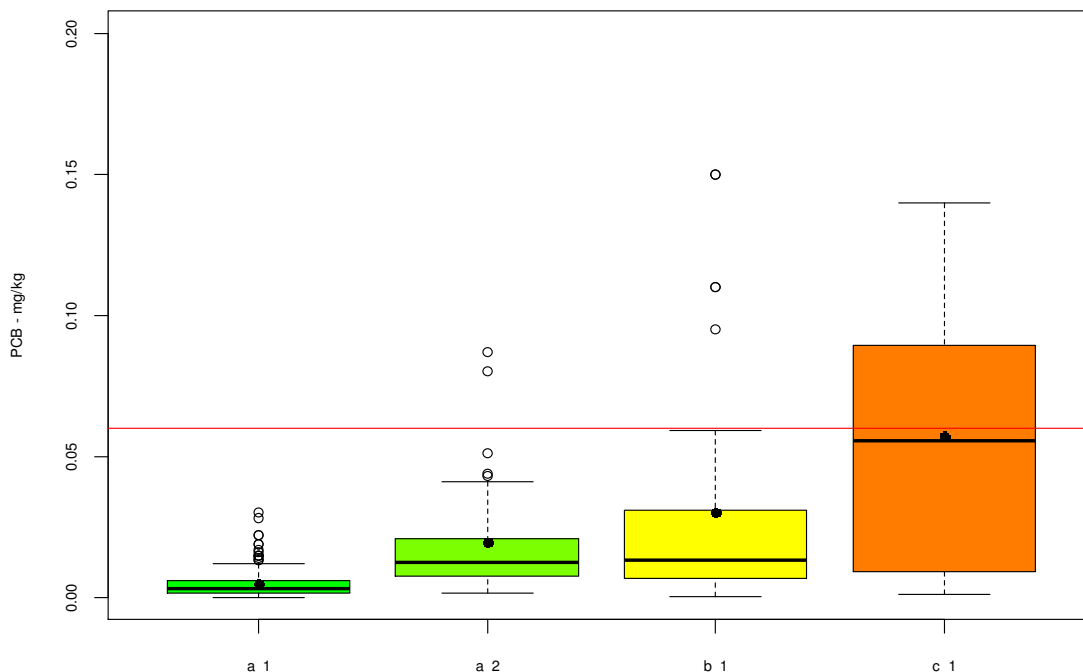
- a1
- a2
- b1
- c1



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni superficiali A (10 – 30 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 140

Box plot⁽¹⁾ della concentrazione della sommatoria dei policlorobifenili, espressi secondo quanto previsto dal D.Lgs.152 del 2006, in mg/kg nei suoli ⁽²⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione e confronto con i limiti di legge (0,06 mg/kg) ⁽³⁾ (linea orizzontale rossa).



⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (>Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽²⁾ Elaborazione dei campioni di suolo A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli) ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Tabella 28

Statistica descrittiva, percentili, valori di fondo ⁽¹⁾, confronto con i limiti di legge (0,06 mg/kg) ⁽²⁾ e conteggio di campioni analizzati dei policlorobifenili nei suoli ⁽³⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione.

Aree omogenee		PCB_a1	PCB_a2	PCB_b1	PCB_c1
Media	mg/kg	0,005	0,020	0,030	0,057
Mediana	mg/kg	0,003	0,012	0,014	0,056
Dev. St	mg/kg	0,006	0,020	0,057	0,050
CV	-	1,2	1,0	1,9	0,9
Min	mg/kg	0,000	0,001	0,000	0,001
Max	mg/kg	0,050	0,087	0,440	0,140
25° percentile (Q1)	mg/kg	0,001	0,008	0,007	0,010
50° percentile	mg/kg	0,003	0,012	0,014	0,056
75° percentile (Q3)	mg/kg	0,006	0,021	0,031	0,085
90° percentile	mg/kg	0,011	0,043	0,058	0,130
95° percentile	mg/kg	0,015	0,054	0,109	0,140
Soglia outliers ≥ ⁽⁵⁾	mg/kg	0,013	0,041	0,068	0,198
Numero outliers	n	12	5	10	0
Valore di fondo ⁽¹⁾	mg/kg	0,009	0,021	0,039	0,130 ⁽⁴⁾
Campioni	n	189	39	142	16

⁽¹⁾ Valore di fondo-naturale calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽²⁾ Limiti di legge D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽³⁾ Elaborazione dei campioni superficiali di suolo A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽⁴⁾ Numero di dati insufficiente per una corretta definizione dei valori di fondo. Occorre un ulteriore infittimento dei campionamenti. ⁽⁵⁾ =Q3+1,5*IQR, IQR=Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

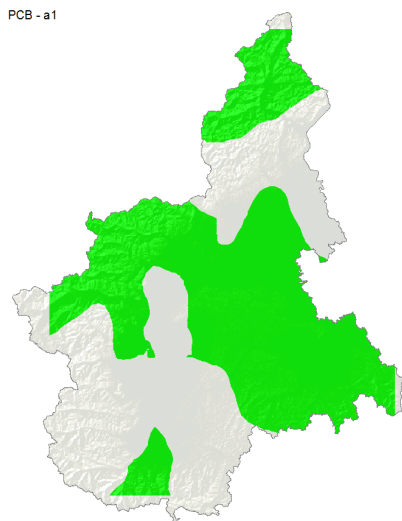
Figura 141

Parametri statistici della sommatoria dei policlorobifenili⁽¹⁾, espressi secondo quanto previsto dal D.Lgs.152 del 2006, per l'area omogenea di concentrazione PCB_a1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

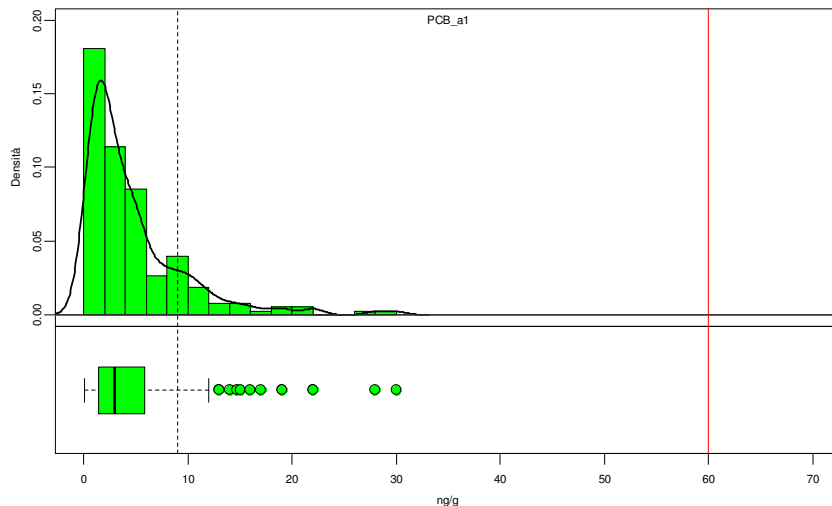
I – Delimitazione dell'area. *II* – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in ng/g.

III - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. *IV* - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I



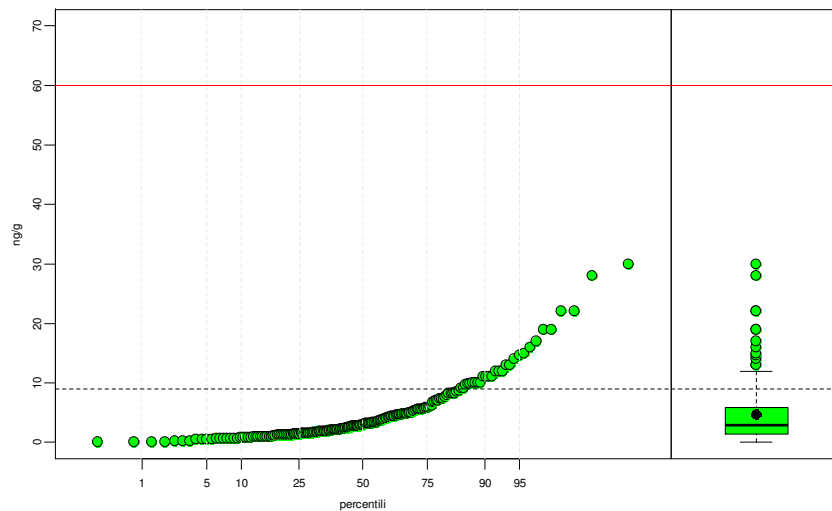
II



III

Aree omogenee		PCB_a1
Media	mg/kg	0,005
Mediana	mg/kg	0,003
Dev. St	mg/kg	0,006
CV	-	1,2
Min	mg/kg	0,000
Max	mg/kg	0,050
25° percentile (Q1)	mg/kg	0,001
50° percentile	mg/kg	0,003
75° percentile (Q3)	mg/kg	0,006
90° percentile	mg/kg	0,011
95° percentile	mg/kg	0,015
Soglia outliers \geq ⁽⁵⁾	mg/kg	0,013
Numero outliers	n	12
Valore di fondo ⁽¹⁾	mg/kg	0,009
Campioni	n	189

IV



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni superficiali A (10 – 30 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ($> Q3+1,5*IQR$), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = $Q3+1,5*IQR$ dove $IQR=(Q3-Q1)$.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

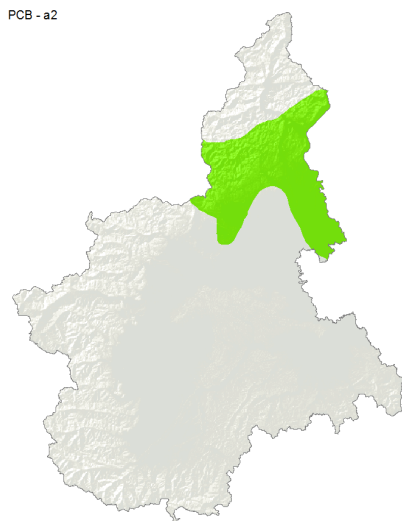
Figura 142

Parametri statistici della sommatoria dei policlorobifenili⁽¹⁾, espressi secondo quanto previsto dal D.Lgs.152 del 2006, per l'area omogenea di concentrazione PCB_a2 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

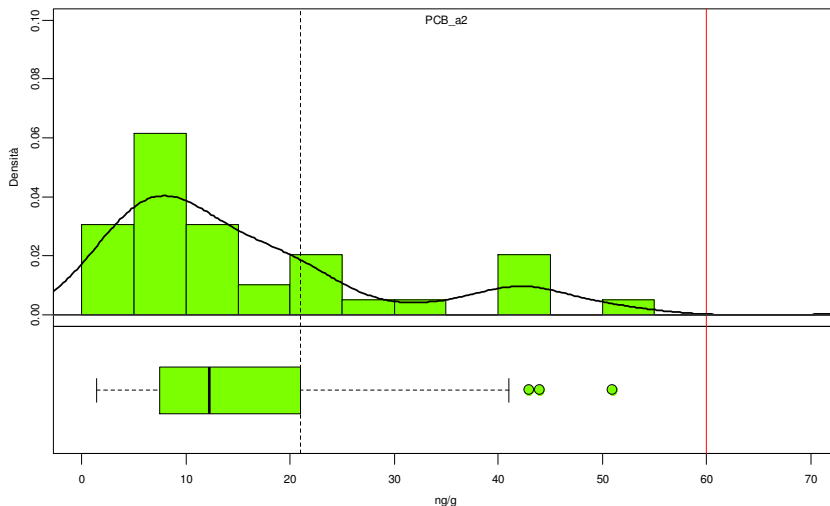
I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in ng/g.

III - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I



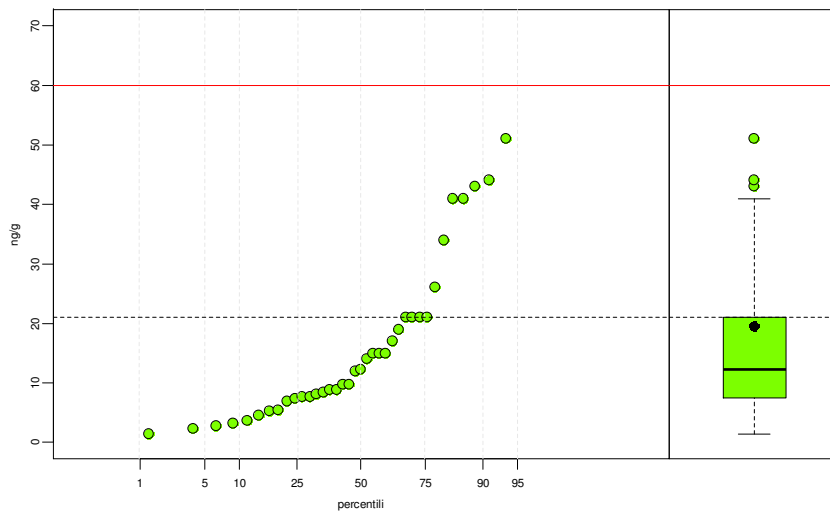
II



III

Aree omogenee		PCB_a2
Media	mg/kg	0,020
Mediana	mg/kg	0,012
Dev. St	mg/kg	0,020
CV	-	1,0
Min	mg/kg	0,001
Max	mg/kg	0,087
25° percentile (Q1)	mg/kg	0,008
50° percentile	mg/kg	0,012
75° percentile (Q3)	mg/kg	0,021
90° percentile	mg/kg	0,043
95° percentile	mg/kg	0,054
Soglia outliers \geq	mg/kg	0,041
Numero outliers	n	5
Valore di fondo ⁽¹⁾	mg/kg	0,021
Campioni	n	39

IV



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni superficiali A (10 – 30 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ($> Q3+1,5 \cdot IQR$), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = $Q3+1,5 \cdot IQR$ dove $IQR=(Q3-Q1)$.
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

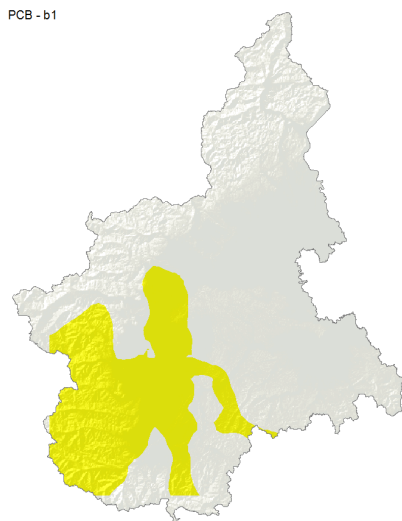
Figura 143

Parametri statistici della sommatoria dei policlorobifenili⁽¹⁾, espressi secondo quanto previsto dal D.Lgs.152 del 2006, per l'area omogenea di concentrazione PCB_b1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

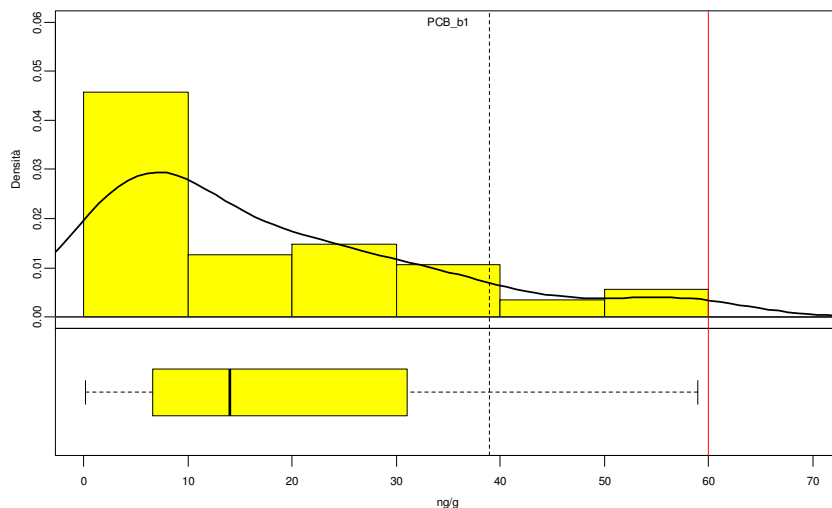
I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in ng/g.

III - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I



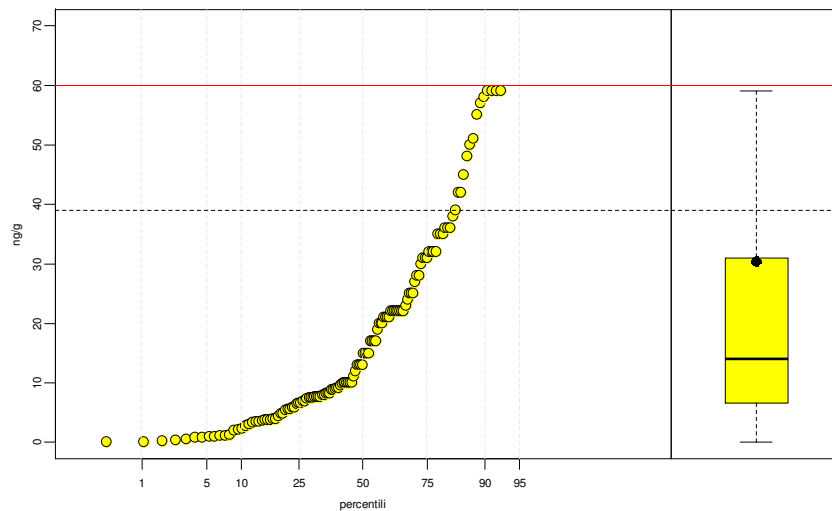
II



III

Aree omogenee		PCB_b1
Media	mg/kg	0,030
Mediana	mg/kg	0,014
Dev. St	mg/kg	0,057
CV	-	1,9
Min	mg/kg	0,000
Max	mg/kg	0,440
25° percentile (Q1)	mg/kg	0,007
50° percentile	mg/kg	0,014
75° percentile (Q3)	mg/kg	0,031
90° percentile	mg/kg	0,058
95° percentile	mg/kg	0,109
Soglia outliers \geq ⁽⁵⁾	mg/kg	0,068
Numero outliers	n	10
Valore di fondo ⁽¹⁾	mg/kg	0,039
Campioni	n	142

IV



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni superficiali A (10 – 30 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier ($> Q3+1,5*IQR$), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = $Q3+1,5*IQR$ dove $IQR=(Q3-Q1)$.

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

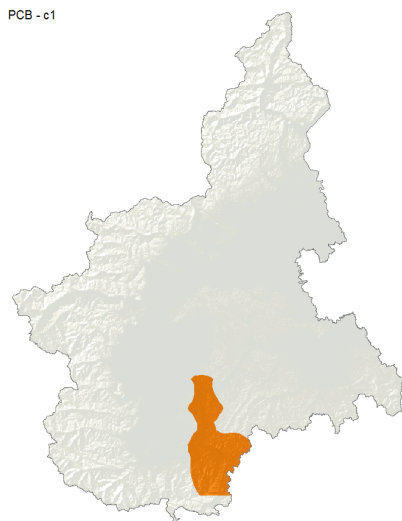
Figura 144

Parametri statistici della sommatoria dei policlorobifenili⁽¹⁾, espressi secondo quanto previsto dal D.Lgs.152 del 2006, per l'area omogenea di concentrazione PCB_c1 e confronto con valori di fondo⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge⁽³⁾ (linea continua rossa).

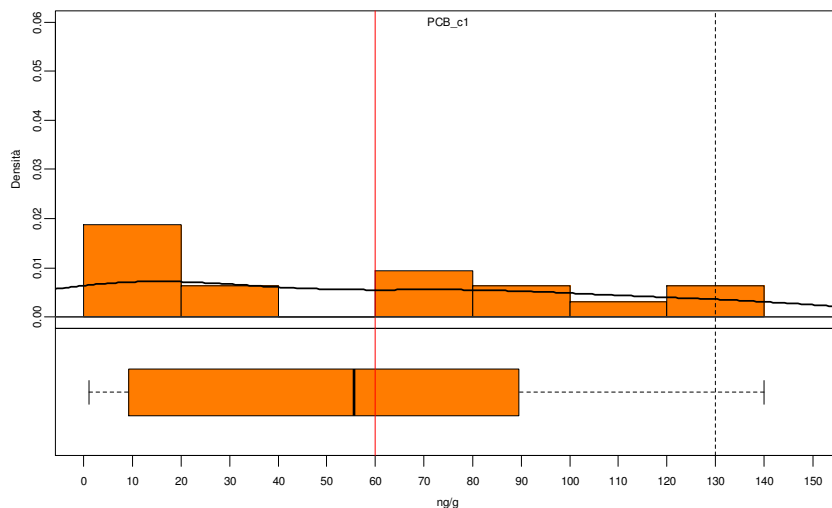
I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot⁽⁴⁾ in ng/g.

III - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot⁽⁴⁾.

I



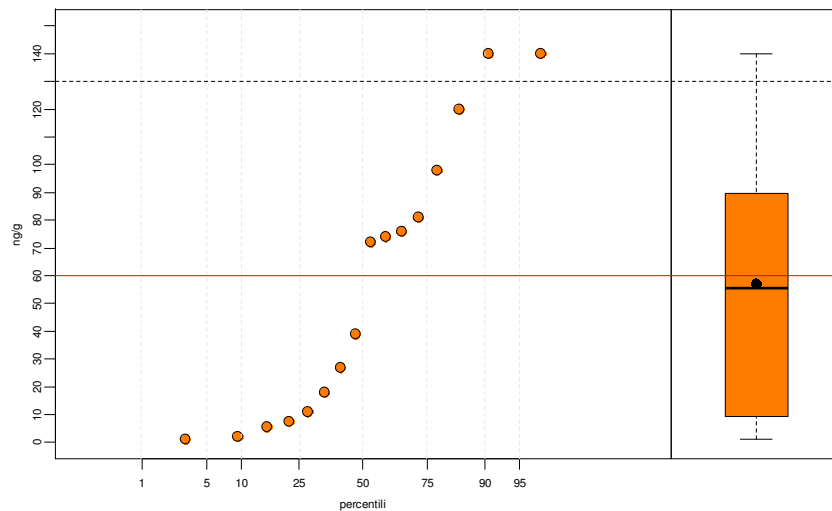
II



III

Aree omogenee		PCB_c1
Media	mg/kg	0,057
Mediana	mg/kg	0,056
Dev. St	mg/kg	0,050
CV	-	0,9
Min	mg/kg	0,001
Max	mg/kg	0,140
25° percentile (Q1)	mg/kg	0,010
50° percentile	mg/kg	0,056
75° percentile (Q3)	mg/kg	0,085
90° percentile	mg/kg	0,130
95° percentile	mg/kg	0,140
Soglia outliers ≥ ⁽⁵⁾	mg/kg	0,198
Numero outliers	n	0
Valore di fondo ⁽¹⁾	mg/kg	0,130
Campioni	n	16

IV



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni superficiali A (10 – 30 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Diossine e furani (PCDD/DF)

Elaborazione dei dati per aree omogenee

Per le elaborazioni della sommatoria di diossine e furani (PCDD/DF), espressi secondo quanto previsto dal D.Lgs.152 del 2006 sulla sostanza secca, sono stati utilizzati i dati di 387 stazioni di monitoraggio distribuite in tutto il territorio piemontese su maglia sistematica (9x9 km e 3x3 km) (Figura 145 – I).

Il numero di stazioni di monitoraggio analizzate permette di ottenere, attraverso l'utilizzo di modelli predittivi geostatistici, rappresentazioni spaziali della concentrazione attendibili ad una scala di dettaglio indicativa pari a 1:250.000.

L'interpretazione congiunta dei risultati relativi alla stima della concentrazione in ng/kg I-TE (Figura 145 - II) e della stima delle probabilità percentuale di superamento dei limiti di legge (Figura 145 - III) ha permesso l'individuazione di aree omogenee di concentrazione su tutto il territorio piemontese (Figura 145 - IV), di dimensioni significative rispetto alla densità di campionamento ed alla scala di rappresentazione.

La rappresentatività statistica delle popolazioni di dati appartenenti alle singole aree omogenee di concentrazione è stata verificata attraverso confronto con test statistici (t-test per campioni indipendenti) e metodi di confronto grafici (curve della densità di distribuzione, Box plot, Curve di distribuzione cumulata di frequenza).

Tutte le aree omogenee di concentrazione sono state classificate con la lettera “a” in quanto presentano probabilità inferiori al 5% di superamento del limite di 10 ng/kg I-TE, stabilito dal D.Lgs. 152/06 per i suoli ad uso verde pubblico, privato e residenziale (*Allegato 5 - Tabella 1 - colonna A*).

Per la sommatoria di diossine e furani, la cui presenza su superfici a scala regionale è attribuibile esclusivamente a fenomeni più o meno intensi di deposizione superficiale derivante da contaminazione diffusa di origine antropica, le elaborazioni statistiche ed il calcolo dei valori di fondo (*contenuto di fondo di naturale - antropico*), sono stati effettuati utilizzando i campioni degli orizzonti A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli arati).

Al fine di evitare l'inclusione di campioni potenzialmente contaminati sono stati esclusi dalle elaborazioni campioni con valore del fattore di arricchimento superficiale superiore a 3.

Sono inoltre stati esclusi i valori outliers ($\geq Q3 + 3[Q3-Q1]$) delle singole aree omogenee di concentrazione per i quali è stato verificato un evidente scostamento dalla direzione individuata dalle curve di distribuzione analizzate (densità della distribuzione, distribuzione cumulata di frequenza in percentili).

I valori di fondo sono stati calcolati in base a quanto stabilito dalla “Soil quality - Guidance on the determination of background values”, descritta in dettaglio nel capitolo precedente.

La distribuzione dei dati che meglio approssima il campione (normale, log-normale, gamma, non parametrica) è stata valutata attraverso metodi grafici (istogrammi di frequenza, curve cumulative di frequenza e box plot) e test statistici (Shapiro - Wilk e Anderson – Darling).

In Figura 146 sono rappresentate le aree omogenee di concentrazione per le quali vengono forniti parametri di statistica descrittiva di riferimento e valori di fondo.

In Figura 147 sono rappresentati i box plot della concentrazione dello Zinco in mg/kg per aree omogenee di concentrazione, messi a confronto con i limite di legge (linea orizzontale rossa).

In Tabella 29 sono riportati, per aree omogenee di concentrazione, parametri di statistica descrittiva (media, mediana, deviazione standard – dev st, coefficiente di variazione – CV, valori minimi - min, valori massimi - max, 25° - 50° - 75° - 90° e 95° percentile, soglia outliers), valori di fondo, numero e percentuale di campioni che superano i limiti di legge. In rosso sono indicati i valori medi, mediani e percentili che superano il limite di legge.

Per ogni area omogenea di concentrazione sono inoltre rappresentati (da Figura 148 a Figura 150) l'istogramma della densità di distribuzione per classi di concentrazione, la curva di densità della distribuzione e la curva di distribuzione cumulata di frequenza in percentili, confrontati con il valore di fondo (linea tratteggiata nera) ed il limite di legge (linea continua rossa).

Dall'analisi delle elaborazioni geostatistiche è possibile osservare una variabilità spaziale ridotta, con presenza di sole tre aree omogenee di concentrazione, estese su vaste superfici e caratterizzate da valori medi, mediani e di fondo abbondantemente al di sotto del limite di legge stabilito dal D.Lgs. 152/06 per i suoli ad uso verde pubblico, privato e residenziale (*Allegato 5 - Tabella 1 - colonna A*).

Tutte le aree omogenee di concentrazione sono state classificate con la lettera "a" in quanto presentano probabilità inferiori al 5% di superamento del limite di 10 ng/kg I-TE, stabilito dal D.Lgs. 152/06 per i suoli ad uso verde pubblico, privato e residenziale (*Allegato 5 - Tabella 1 - colonna A*).

Le concentrazioni medie variano da valori minimi di 1,68 ng/kg I-TE per l'area omogenea di concentrazione PCDD_a1, a valori massimi di 3,58 ng/kg I-TE per l'area PCDD_a3.

La variabilità del dato, evidenziata dalla deviazione standard, dal coefficiente di variazione e dall'intervallo interquartile risulta molto elevata in tutte le aree omogenee individuate ed è attribuibile alla presenza discontinua di forme di contaminazione diffusa che agiscono su superfici ridotte rispetto alla scala di rappresentazione.

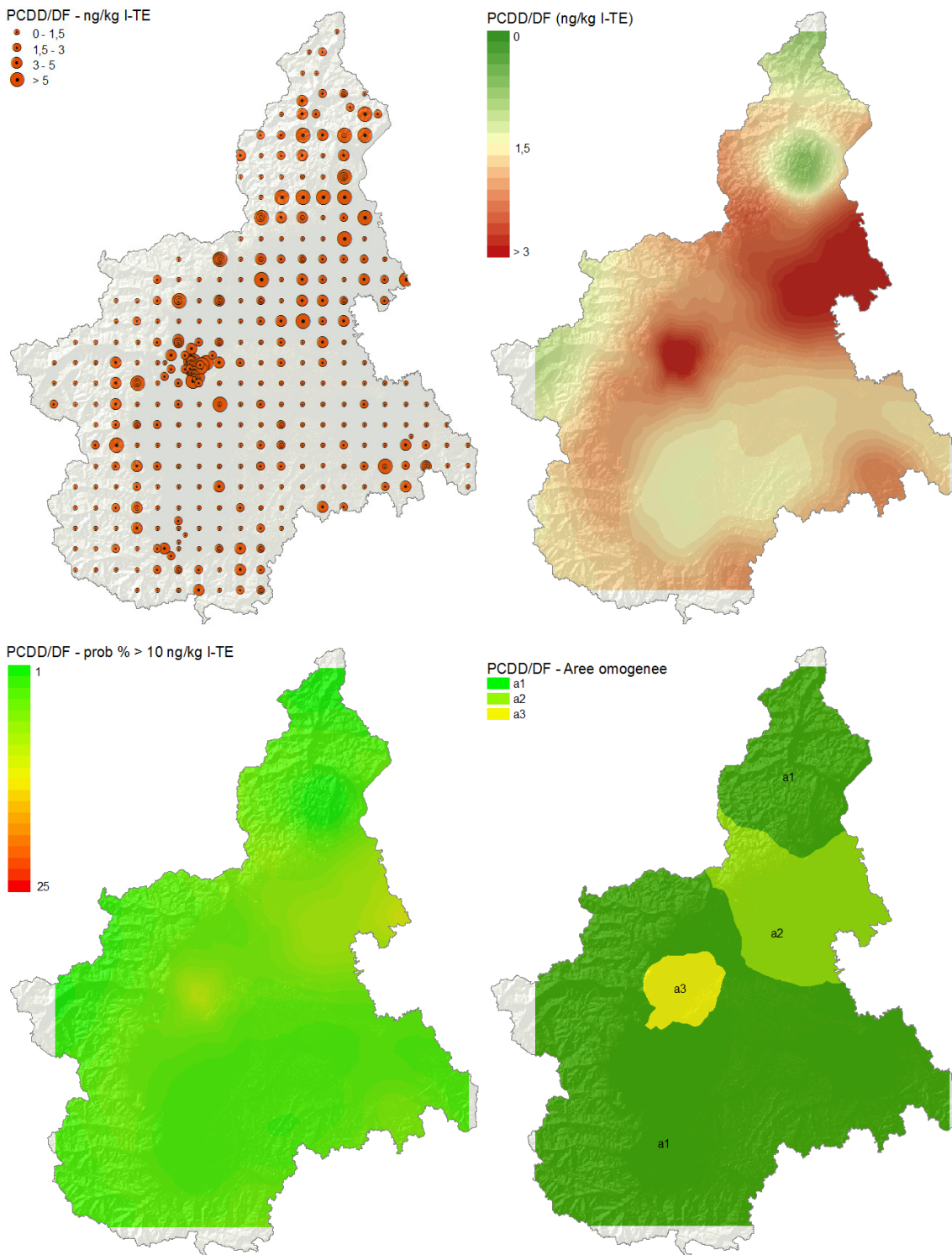
I valori di fondo, ampiamente inferiori al limite di legge per tutte le aree omogenee (a1 – 2,21, a2 – 4,61, a3 – 6,58 ng/kg I-TE), possono essere considerati statisticamente significativi a grande scala di dettaglio, in quanto sono rappresentati da un elevato numero di campioni e da distribuzione uniforme e continua.

Per tutte le aree omogenee individuate l'ottenimento di dati rappresentativi a scala di dettaglio comunale e/o locale, è sempre vincolato ad un ulteriore approfondimento con monitoraggio di maggiore dettaglio (vedi paragrafo - Raccomandazioni relative all'utilizzo dei dati).

Figura 145

Spazializzazione della sommatoria di diossine e furani (PCDD/DF) nei suoli ⁽¹⁾ del territorio piemontese ed individuazione di aree omogenee di concentrazione.

I – Stazioni di monitoraggio per classi di concentrazione in ng/kg I-TE. *II* – Stima della concentrazione in ng/kg I-TE. *III* - Stima delle probabilità (%) di superamento dei limiti di legge⁽²⁾. *IV* – Aree omogenee di concentrazione.



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni di suolo A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).

⁽²⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (*Allegato 5 - Tabella 1 - colonna A*).

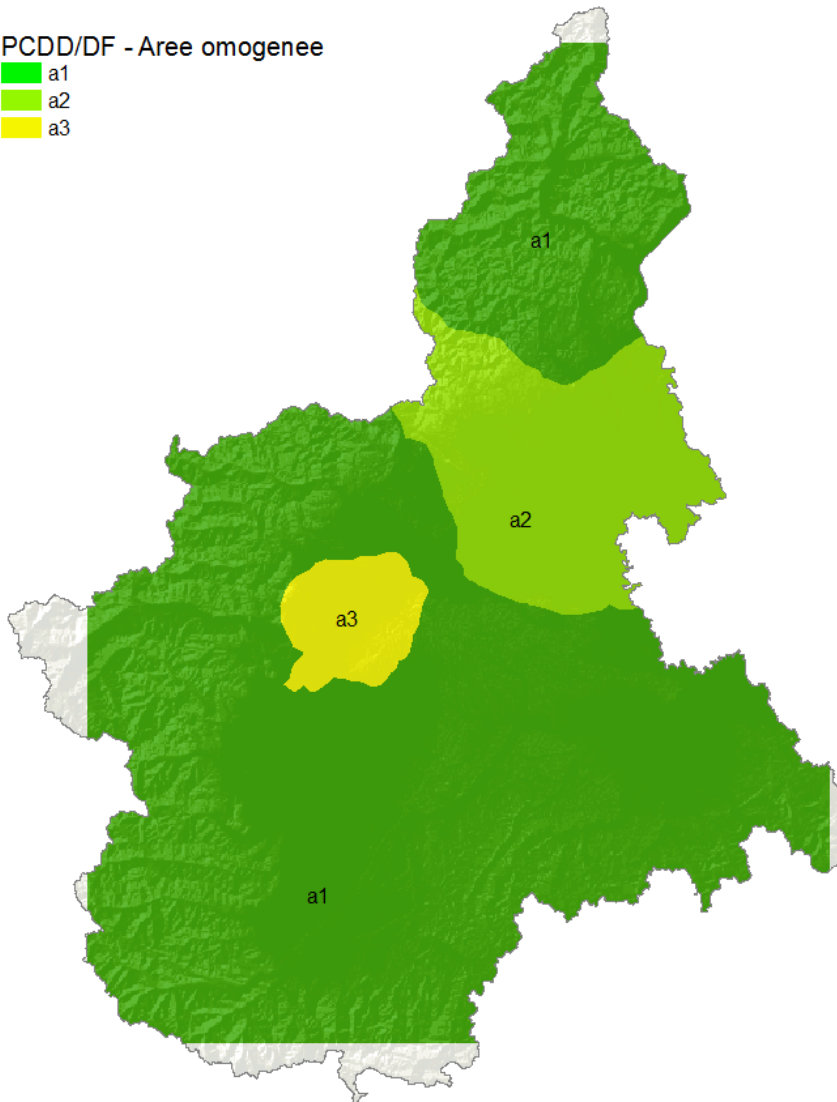
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 146

Aree omogenee di concentrazione (a1, a2, a3) per le quali sono stati elaborati i parametri statistici e calcolati i valori di fondo per la sommatoria di diossine e furani (PCDD/DF) nei suoli ⁽¹⁾ del territorio piemontese.

PCDD/DF - Aree omogenee

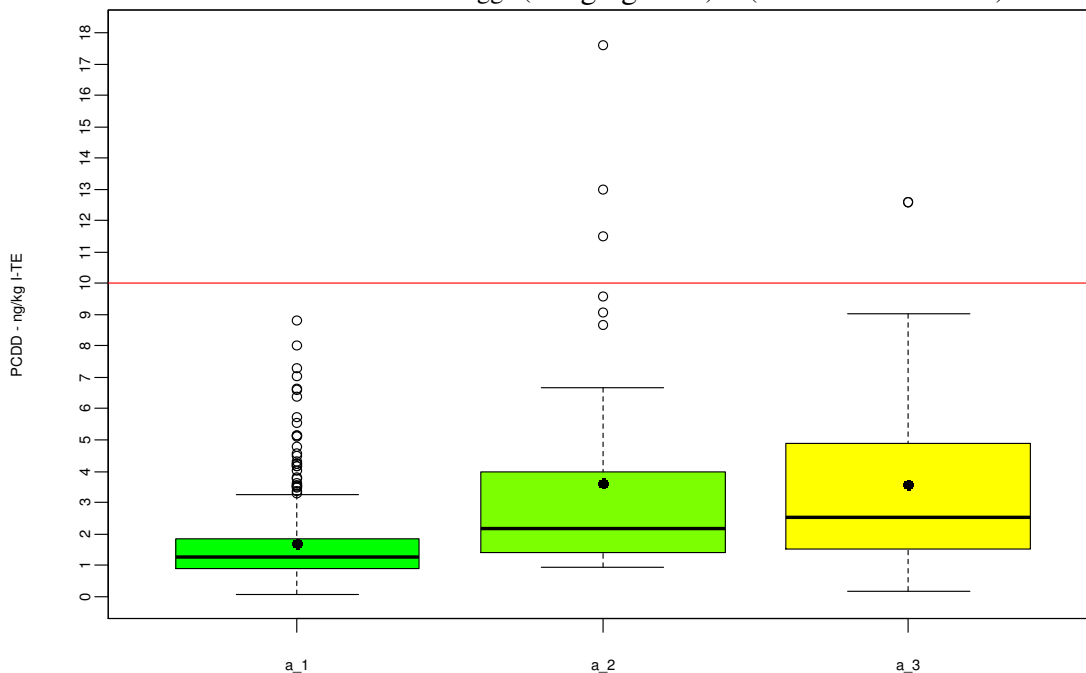
- a1
- a2
- a3



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni superficiali A (10 – 30 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli).
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 147

Box plot⁽¹⁾ della sommatoria di diossine e furani (PCDD/DF) in ng/kg I-TE nei suoli ⁽²⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione e confronto con i limiti di legge (10 ng/kg I-TE) ⁽³⁾ (linea orizzontale rossa).



⁽¹⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (>Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽²⁾ Elaborazione dei campioni di suolo A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli) ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Tabella 29

Statistica descrittiva, percentili, valori di fondo ⁽¹⁾, confronto con i limiti di legge (10 ng/kg I-TE) ⁽²⁾ e conteggio di campioni analizzati della sommatoria di diossine e furani (PCDD/DF) nei suoli ⁽³⁾ del territorio piemontese per aree omogenee di concentrazione.

Aree omogenee		PCDD_a1	PCDD_a2	PCDD_a3
Media	ng/kg I-TE	1,68	3,62	3,58
Mediana	ng/kg I-TE	1,26	2,16	2,53
Dev. St	ng/kg I-TE	1,39	3,55	2,73
CV	-	0,8	1,0	0,8
Min	ng/kg I-TE	0,114	0,925	0,160
Max	ng/kg I-TE	8,80	17,60	12,60
25° percentile (Q1)	ng/kg I-TE	0,90	1,42	1,53
50° percentile	ng/kg I-TE	1,26	2,16	2,53
75° percentile (Q3)	ng/kg I-TE	1,86	4,00	4,90
90° percentile	ng/kg I-TE	3,49	8,84	7,10
95° percentile	ng/kg I-TE	4,54	10,92	9,04
Soglia outliers ≥ ⁽⁵⁾	ng/kg I-TE	3,29	7,87	9,96
Numero outliers	n	28	6	2
Valore di fondo ⁽¹⁾	ng/kg I-TE	2,21	4,61	6,58
Campioni	n	267	47	73

⁽¹⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽²⁾ Limiti di legge D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽³⁾ Elaborazione dei campioni superficiali di suolo A (0 - 10 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽⁴⁾ Numero di dati insufficiente per una corretta definizione dei valori di fondo. Occorre un ulteriore infittimento dei campionamenti. ⁽⁵⁾ =Q3+1,5*IQR, IQR=Q3-Q1).

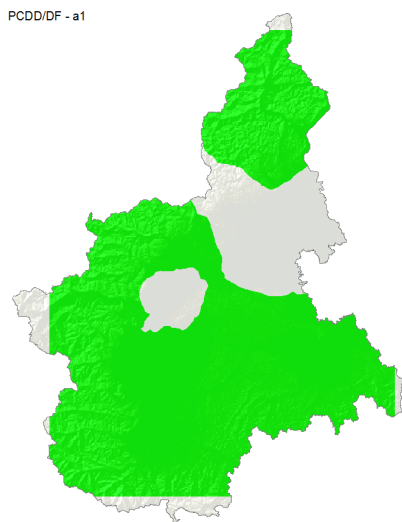
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati - Aprile 2014).

Figura 148

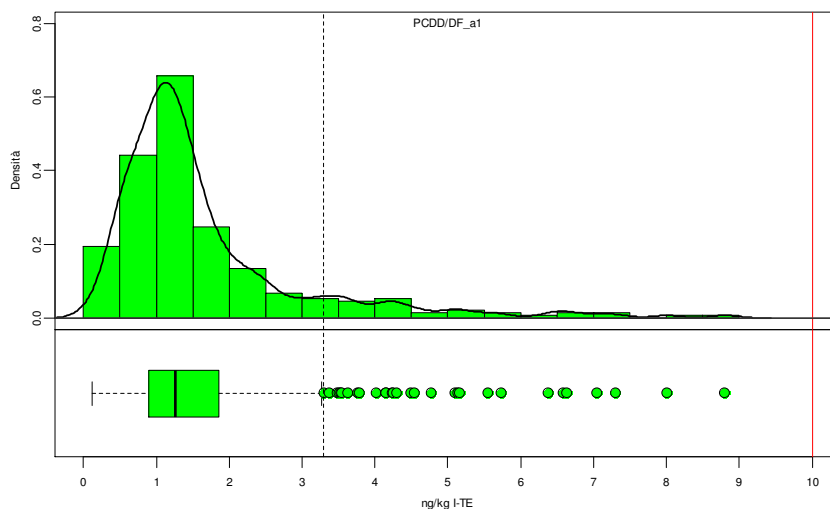
Parametri statistici della sommatoria di diossine e furani ⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione PCDD/DF_a1 e confronto con valori di fondo ⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge ⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot ⁽⁴⁾ in ng/kg I-TE. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot ⁽⁴⁾.

I



II



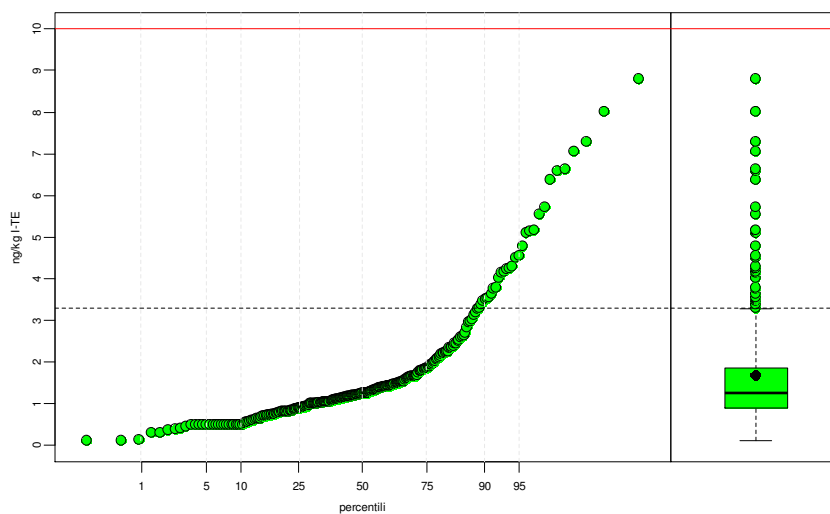
III

Aree omogenee

a1

Media	ng/kg I-TE	1,68
Mediana	ng/kg I-TE	1,26
Dev. St	ng/kg I-TE	1,39
CV	-	0,8
Min	ng/kg I-TE	0,114
Max	ng/kg I-TE	8,80
25° percentile (Q1)	ng/kg I-TE	0,90
50° percentile (Q2)	ng/kg I-TE	1,26
75° percentile (Q3)	ng/kg I-TE	1,86
90° percentile	ng/kg I-TE	3,49
95° percentile	ng/kg I-TE	4,54
Soglia outliers ⁽⁵⁾	ng/kg I-TE	3,29
Numero outliers	n	28
Valore di fondo ⁽¹⁾	ng/kg I-TE	2,21
Campioni	n	267

IV



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni superficiali A (10 – 30 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).

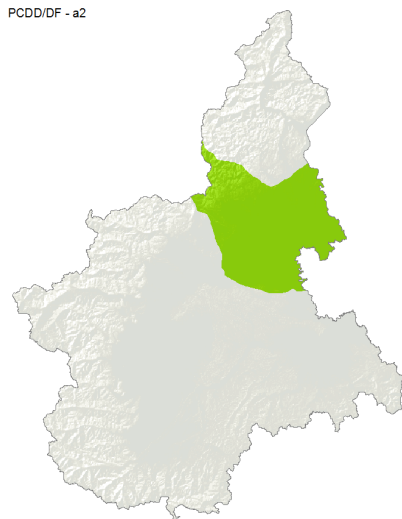
Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 149

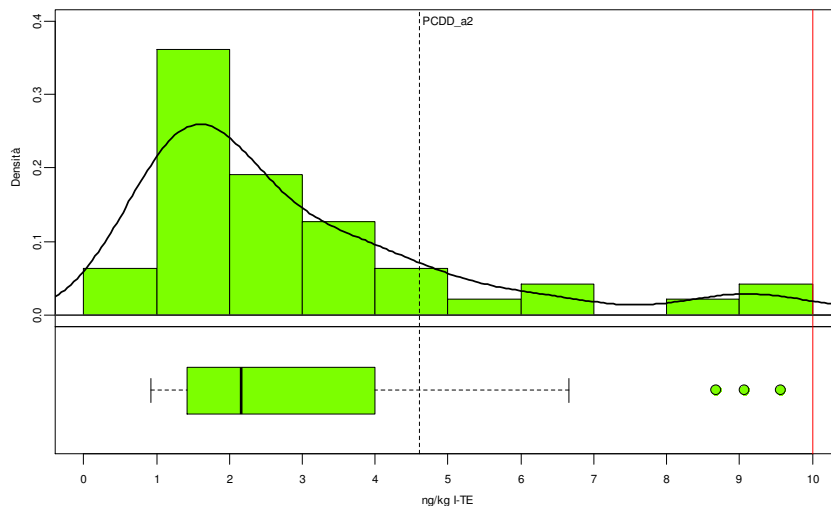
Parametri statistici della sommatoria di diossine e furani ⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione PCDD/DF_a2 e confronto con valori di fondo ⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge ⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot ⁽⁴⁾ in ng/kg I-TE. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot ⁽⁴⁾.

I



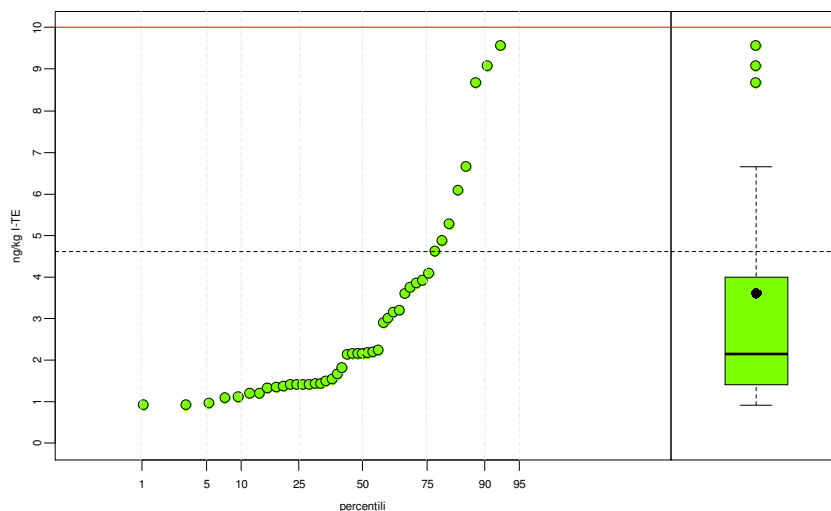
II



III

Aree omogenee		a2
Media	ng/kg I-TE	3,62
Mediana	ng/kg I-TE	2,16
Dev. St	ng/kg I-TE	3,55
CV	-	1,0
Min	ng/kg I-TE	0,925
Max	ng/kg I-TE	17,60
25° percentile (Q1)	ng/kg I-TE	1,42
50° percentile (Q3)	ng/kg I-TE	4,00
90° percentile	ng/kg I-TE	8,84
95° percentile	ng/kg I-TE	10,92
Soglia outliers ⁽⁵⁾ ≥	ng/kg I-TE	7,87
Numero outliers	<i>n</i>	6
Valore di fondo ⁽¹⁾	ng/kg I-TE	4,61
Campioni	<i>n</i>	47

IV



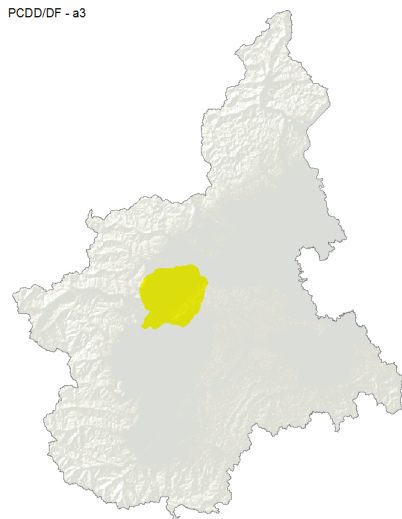
⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni superficiali A (10 – 30 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Figura 150

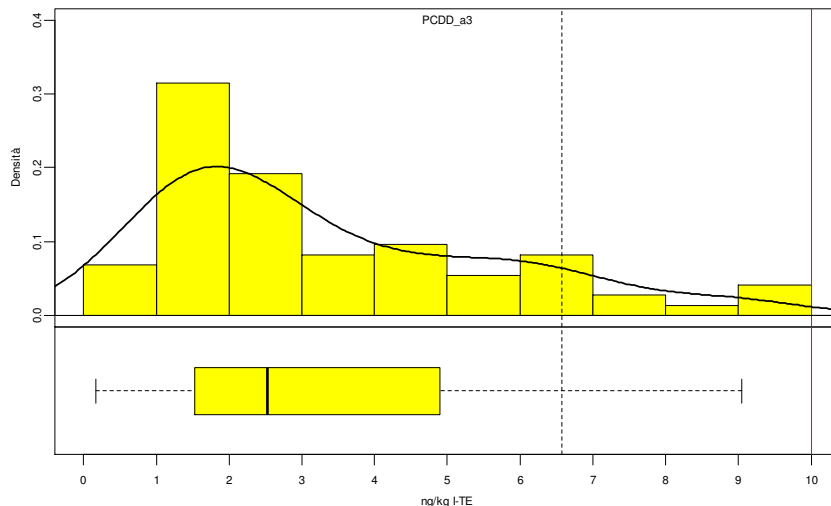
Parametri statistici della sommatoria di diossine e furani ⁽¹⁾ per l'area omogenea di concentrazione PCDD/DF_a3 e confronto con valori di fondo ⁽²⁾ (linea tratteggiata nera) e limiti di legge ⁽³⁾ (linea continua rossa).

I – Delimitazione dell'area. **II** – Istogramma per classi di concentrazione, curva di distribuzione della popolazione di dati e box plot ⁽⁴⁾ in ng/kg I-TE. **III** - Statistica descrittiva, percentili e valori di fondo. **IV** - Curve di distribuzione cumulata di frequenza in percentili e box plot ⁽⁴⁾.

I



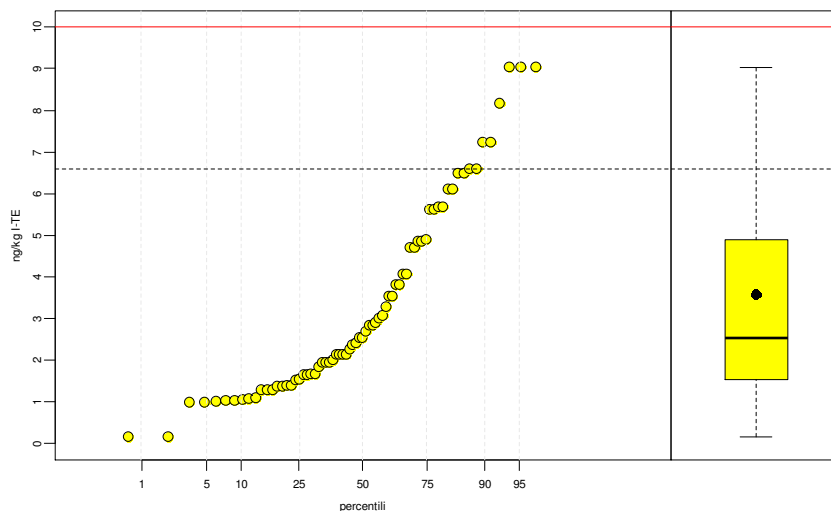
II



III

Aree omogenee		a3
Media	ng/kg I-TE	3,58
Mediana	ng/kg I-TE	2,53
Dev. St	ng/kg I-TE	2,73
CV	-	0,8
Min	ng/kg I-TE	0,160
Max	ng/kg I-TE	12,60
25° percentile (Q1)	ng/kg I-TE	1,53
50° percentile (Q2)	ng/kg I-TE	2,53
75° percentile (Q3)	ng/kg I-TE	4,90
90° percentile	ng/kg I-TE	7,10
95° percentile	ng/kg I-TE	9,04
Soglia outliers ⁽⁵⁾ ≥	ng/kg I-TE	9,96
Numero outliers	<i>n</i>	2
Valore di fondo ⁽¹⁾	ng/kg I-TE	6,58
Campioni	<i>n</i>	73

IV



⁽¹⁾ Elaborazione dei campioni superficiali A (10 – 30 cm per i suoli naturali o indisturbati e orizzonte arato Ap per i suoli agricoli). ⁽²⁾ Valore di *fondo-naturale* calcolato secondo la normativa ISO 19258/2005, corrisponde al 90° percentile della popolazione ricostruita di dati ottenuta dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (outliers). Valori calcolati a grande denominatore di scala; non possono essere considerati sostitutivi dei valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06. ⁽³⁾ Limiti di legge stabiliti D.Lgs. 152/06 per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale. ⁽⁴⁾ rettangolo = distanza interquartile (IQR=Q3-Q1), linea orizzontale = mediana, pallino = valore outlier (> Q3+1,5*IQR), linee verticali tratteggiate = range di valori con esclusione degli outliers. ⁽⁵⁾ Soglia outliers = Q3+1,5*IQR dove IQR=(Q3-Q1).
 Fonte: Arpa Piemonte - Rete di monitoraggio ambientale dei suoli (Dati aggiornati – Aprile 2014).

Raccomandazioni relative all'utilizzo dei dati

Le elaborazioni statistiche fornite dalla rete di monitoraggio per aree omogenee di concentrazione a scala regionale, rappresentano una fondamentale base conoscitiva scientifica di riferimento per attività correlate alla valutazione della qualità del suolo e dell'ambiente, alla pianificazione territoriale su ampia scala ed all'applicazione delle normative che riguardano la contaminazione del suolo. E' però di fondamentale importanza rilevare che i parametri statistici forniti, essendo elaborati a grande denominatore di scala e con un numero di campioni ridotto in relazione alla eterogeneità delle unità geologiche pedogenizzate, verosimilmente non sono attendibili a livello locale e/o comunale.

Per l'utilizzo e l'interpretazione dei dati è opportuno specificare che:

- I parametri statistici ed i valori di fondo forniti per area omogenea di concentrazione possono essere utilizzati come riferimento esclusivamente per lo strato superficiale interessato da processi chimici, fisici e biologici della pedogenesi e per una profondità coerente con le profondità di campionamento utilizzate nel presente studio (cfr. capitolo sul campionamento dei suoli pagg. 9 – 10);
- Le determinazioni analitiche in laboratorio condotte sull'aliquota di granulometria inferiore a 2 mm;
- La concentrazione fornita dalle elaborazioni si riferisce alla totalità dei materiali secchi della sola frazione inferiore a 2 mm, senza includere la frazione di scheletro 2 cm - 2 mm. I dati forniti dalla rete di monitoraggio non sono pertanto direttamente confrontabili con valori di concentrazione relativi a campioni riferiti alla totalità dei materiali secchi (comprensiva dello scheletro frazione 2 cm - 2 mm in base alle modalità previste dal D.Lgs. 152/06);
- I parametri statistici dall'area omogenea di concentrazione ricadente nella zona di interesse devono essere interpretati esclusivamente in termini probabilistici;
- Le rappresentazioni geostatistiche per aree omogenee di concentrazione dei singoli contaminanti sono da interpretare ad una scala di dettaglio indicativa pari a 1:250.000.
- Le concentrazioni dei contaminanti derivate da una o più stazioni di monitoraggio non possono essere considerate rappresentative del livello di contaminazione locale;
- L'ottenimento di parametri statistici rappresentativi a scala di dettaglio comunale e/o locale è vincolato ad un ulteriore approfondimento con monitoraggio di maggiore dettaglio;
- L'eventuale incongruenza della concentrazione del singolo dato rispetto a quella stimata può essere attribuito, oltre che alla scala di rappresentazione, alla bassa rappresentatività del punto rispetto alla popolazione di dati individuata all'interno dell'area omogenea;
- Nell'ambito delle indagini preliminari sito specifiche richieste dalla normativa riguardante la contaminazione dei suoli, i valori di fondo forniti dalla rete di monitoraggio sono da utilizzare esclusivamente come riferimento conoscitivo scientifico di base e non possono in nessun modo sostituire i valori di fondo sito-specifici citati dall'art. 240 del D.Lgs. 152/06.

Utilizzo dei dati della rete nell'ambito del D.M. 10 agosto 2012 n. 161

Per quanto riguarda l'applicazione della normativa concernente le terre e rocce da scavo, l'allegato 4 del D.M. 10 agosto 2012 n. 161 cita: “ *Qualora si rilevi il superamento di uno o più limiti di cui alle colonne A e B Tabella 1 allegato 5, al Titolo V parte IV del D.Lgs.152/2006 e s.m.i., è fatta salva la possibilità del proponente di dimostrare, anche avvalendosi di analisi e studi pregressi già valutati dagli Enti, che tali superamenti sono dovuti a caratteristiche naturali del terreno o da fenomeni naturali e che di conseguenza le concentrazioni misurate sono relative a valori di fondo naturale*”.

Per il territorio piemontese il riferimento ad “*analisi e studi pregressi realizzati già valutati dagli Enti*”, può essere effettuato in prima battuta tramite confronto con i risultati della Rete di monitoraggio ambientale dei suoli.

I risultati della rete dimostrano la presenza sul territorio piemontese di aree critiche caratterizzate da probabilità elevate di superamento dei limiti di legge (D.Lgs. 152/06 - Allegato 5 - Tabella 1 - colonna A) attribuibili in prevalenza “*a caratteristiche naturali del terreno*” per: Cromo (Cr), Nichel (Ni), Cobalto (Co), Arsenico (As) e Vanadio (V).

E' opportuno specificare che l'utilizzo dei parametri di riferimento forniti della rete di monitoraggio per dimostrare che i superamenti dei limiti di legge riscontrati sono principalmente attribuibili a caratteristiche naturali del terreno, può essere effettuata esclusivamente per siti che ricadono nelle aree critiche contrassegnate con le lettere “d” e/o “e”, caratterizzate da alte probabilità (>50%) di superamento dei limiti di legge.

Le ipotesi relative alla prevalente origine naturale sono relative all'analisi di una popolazione di dati statisticamente significativa a grande scala di dettaglio. Nelle aree critiche non è quindi possibile escludere a priori la presenza di casi di superamento dei limiti di legge e/o valori di fondo proposti, riconducibili a contaminazione puntuale di origine antropica come del resto non è possibile escludere localmente la presenza di valori superiori al fondo determinato in termini probabilistici dovuto a cause naturali.

Occorre inoltre considerare che le elevate concentrazioni riscontrate nelle aree critiche, caratterizzate da concentrazioni medie e valori di fondo molto elevati, possono “mascherare” forme di contaminazione da deposizione superficiale anche di intensità rilevante.

Per i motivi sopra elencati, l'ottenimento di dati rappresentativi a scala di dettaglio comunale e/o locale, è sempre vincolato ad un ulteriore approfondimento con caratterizzazione di maggiore dettaglio ed eventuale speciazione dei metalli per meglio comprendere l'origine dell'elemento considerato.

Per l'interpretazione ed il confronto con i parametri statistici forniti dalla rete di monitoraggio per aree omogenee di concentrazione è opportuno considerare alcuni aspetti di fondamentale importanza:

- I parametri statistici ed i valori di fondo forniti per area omogenea di concentrazione possono essere utilizzati come riferimento esclusivamente per lo strato superficiale interessato da processi chimici, fisici e biologici della pedogenesi, per una profondità coerente con le profondità di campionamento utilizzate nel presente studio (cfr. capitolo sul campionamento dei suoli pagg. 9 – 10)..
- Le determinazioni analitiche in laboratorio sono condotte sull'aliquota di granulometria inferiore a 2 mm. La concentrazione del campione si riferisce alla totalità dei materiali secchi della sola frazione inferiore a 2 mm senza includere la frazione di scheletro 2 cm - 2 mm. I dati forniti dalla rete di monitoraggio non sono pertanto direttamente confrontabili con valori di concentrazione relativi a campioni riferiti alla totalità dei materiali secchi (comprensiva dello scheletro frazione 2 cm - 2 mm in base alle modalità previste dal D.M. 161/12).

Pubblcazioni correlate

- Assessment and spatial prediction of soil diffuse contamination by inorganic pollutants in the Province of Turin – northern Italy. 7th European congress on Regional GEOscientific cartography and Information systems. (Gabriele Fabietti, Renzo Barberis, Mattia Biasioli, 2012).
- An appraisal of soil diffuse contamination in an industrial district in northern Italy. Chemosphere 05/2012 (Mattia Biasioli, Gabriele Fabietti, Renzo Barberis e Franco Ajmone Marsan, 2012).
- Statistical and geostatistical large scale assessment of soil diffuse contamination by organic and inorganic pollutants. Tesi di dottorato (Gabriele Fabietti, 2012).
- Heavy metals and rare earth elements in soils of an Italian Province. Tools for assessing their origin and enrichment. ICOBTE 11th International conference on the Biogeochemistry of Trace Elements. (Gabriele Fabietti, Mattia Biasioli, Franco Ajmone Marsan, 2011).
- Soil Contamination by Organic and Inorganic Pollutants at the Regional Scale: the Case of Piedmont, Italy. Journal of Soils and Sediments 10 (2), 290-300. (Gabriele Fabietti, Mattia Biasioli, Renzo Barberis e Franco Ajmone Marsan, 2010).
- Integrating soil data and landscape metrics: a tool for soil management in urban and periurban areas. Uniscape European network of universities for the implementation of the European landscape convention. (Gabriele Fabietti, Mattia Biasioli, Franco Ajmone Marsan, 2010).
- La contaminazione diffusa da metalli pesanti, terre rare e contaminanti organici nei suoli della provincia di Torino. Società Italiana di Chimica Agraria – XXVIII congresso nazionale, 2010. (Gabriele Fabietti, Mattia Biasioli, Franco Ajmone Marsan, 2010).
- La contaminazione diffusa dei suoli torinesi. ISPRA Volume unico pag.33 – 40 ISBN 978-88-448-0387-2, 2009 (Gabriele Fabietti, Mattia Biasioli e Renzo Barberis, 2009).
- The Influence of a Large City on Some Soil Properties and Metals Content. Science of the Total Environment 356 (1-3), 154-164. (Mattia Biasioli, Renzo Barberis e Franco Ajmone Marsan., 2006).
- Elementi di progettazione della rete di monitoraggio del suolo a fini ambientali, 2004. TES-T-MAN-04-02