

# Metalli e metalloidi nei suoli del Veneto

Definizione dei valori di fondo







# Metalli e metalloidi nei suoli del Veneto

Definizione dei valori di fondo

## **ARPAV**

### **Commissario Straordinario**

*Riccardo Guolo*

### **Direttore Tecnico**

*Carlo Terrabujo*

### **Progetto e realizzazione**

Servizio Centro Veneto Suolo e Bonifiche

*Paolo Giandon*

*Adriano Garlato e Francesca Ragazzi*

### **Analisi Chimiche**

Dipartimento Regionale Laboratori - Servizio Laboratorio Veneto Est, Servizio Analisi Rifiuti e Suoli

Gennaio 2019

*Il suolo è una risorsa non rinnovabile di cui tutti dovremo usufruire con rispetto e parsimonia. In quest'anno 2018 particolare attenzione è stata posta anche a livello mondiale sulla necessità di preservare il suolo da fenomeni di contaminazione. Tale necessità è particolarmente sentita in un'area che ha conosciuto negli ultimi decenni un intenso sviluppo economico che ha portato con sé una inevitabile espansione urbana e industriale, facendo emergere l'esigenza di più attente modalità di pianificazione dell'uso del territorio. Il territorio del Veneto presenta notevoli differenze che sono espresse dalla vegetazione, dagli habitat, dai paesaggi, dalle coltivazioni, dai prodotti. Questa diversità costituisce la ricchezza della regione e in quanto tale deve essere valorizzata e protetta; anche la conoscenza delle concentrazioni originarie e naturali degli elementi che costituiscono i nostri suoli sono utili a meglio comprendere le situazioni in cui possono essersi verificate delle contaminazioni per effetto delle attività dell'uomo. Alle regioni, insieme con gli altri enti locali, compete l'individuazione e la gestione dei rischi che possono insorgere sul territorio per la sostenibilità ambientale e ancor più per la salute dei cittadini; ma per riconoscere ciò che è anomalo si deve prima avere un quadro chiaro di ciò che è normale o accettabile. Questo volume completa e arricchisce il precedente lavoro del 2011 sul contenuto naturale di metalli e metalloidi nei suoli veneti che va a rafforzare i riferimenti, già consolidati dalla robustezza scientifica dell'indagine, importanti per distinguere fenomeni naturali da situazioni di contaminazione. Grazie ad ARPAV per aver svolto le indagini necessarie alla predisposizione di questo quadro informativo in modo sistematico e scientificamente rigoroso, rispondendo al mandato datole dalla Regione di gestire la conoscenza dei suoli allo scopo di prevenire qualsiasi forma di inquinamento. Prevenzione è la strada maestra che la nostra Regione intende percorrere anche in futuro per migliorare la qualità della vita in questo nostro territorio.*

**Gianpaolo Bottacin**  
Assessore all'Ambiente e alla Protezione civile  
Regione Veneto





*Tra i compiti affidati ad ARPAV dalla legge istitutiva vi è anche la conoscenza dei suoli, necessaria per qualsiasi ulteriore valutazione sullo stato ambientale di un territorio e sugli impatti che taluni interventi e attività possono causare sugli ecosistemi, di cui il suolo è parte attiva.*

*Come affermato dall'articolo 1 della L.R. 6 giugno 2017, n. 14, "Il suolo, risorsa limitata e non rinnovabile, è bene comune di fondamentale importanza per la qualità della vita delle generazioni future, per la salvaguardia della salute, per l'equilibrio ambientale e per la tutela degli ecosistemi naturali, nonché per la produzione agricola finalizzata non solo all'alimentazione ma anche ad una insostituibile funzione di salvaguardia del territorio".*

*Un'efficace azione di tutela ambientale non può prescindere da una adeguata e completa conoscenza dei suoli che formano l'ambiente, conoscenza che può essere raggiunta solo attraverso uno studio sistematico delle loro caratteristiche tramite metodologie di indagine riconosciute e uniformi nel tempo e nello spazio.*

*I risultati presentati in questo volume sono ottenuti in questo modo, e rappresentano l'attività svolta dal Centro Veneto Suolo e Bonifiche dell'ARPAV in quasi 20 anni di lavoro. Nel corso dei rilevamenti per la descrizione dei suoli l'Agenzia ha ritenuto di condurre un approfondimento sulla concentrazione di metalli e metalloidi presenti nei suoli, con la finalità di definire un quadro di riferimento univoco utilizzabile nel corso delle valutazioni sullo stato di naturalità/contaminazione di una certa area.*

*A partire dal 1999, anno di nascita dell'Agenzia, sono state realizzate nel corso degli anni diverse carte dei suoli: del Veneto in scala 1:250.000 (2005) e in scala 1:50.000 del Bacino Scolante in laguna di Venezia (2004), delle province di Treviso (2008), Venezia (2008), Padova (2012), Vicenza (2018) e Rovigo (2018) ed è in programma il completamento della carta dei suoli della provincia di Verona.*

*Questo volume è l'aggiornamento di un precedente studio pubblicato nel 2011 dopo che sono stati raccolti ulteriori dati per approfondire la conoscenza di quelle aree che nella prima fase non erano state sufficientemente indagate. Questo ulteriore approfondimento ha reso possibile il rafforzamento delle conclusioni a cui si era giunti con il primo studio, oltre ad una maggiore chiarezza di alcune situazioni non adeguatamente definite. Si tratta di un lavoro che viene evidenziato, sia a livello regionale sia nazionale, proprio per le sue caratteristiche di informazione di base in grado di rafforzare le valutazioni in tutti i contesti in cui sia necessario definire la presenza di fenomeni di contaminazione.*

*Sicuramente i risultati dello studio riportati in questo volume non possono considerarsi esaustivi di tutte le situazioni presenti nel territorio regionale; essi però sono in ogni caso utili per essere confrontati in ogni caso particolare, per ricavarne un quadro utile alla comprensione della specifica situazione ambientale.*

*ARPAV vuole quindi essere promotrice di una sempre maggiore attenzione al suolo quale risorsa ambientale primaria, che necessita di tutela e azioni di conservazione, e anche i risultati qui riportati vogliono esser un importante contributo a questa crescita di consapevolezza.*

**Riccardo Guolo**

Commissario Straordinario di ARPAV

# Indice

<b>1. Introduzione</b>	8
Struttura del volume	8
<b>2. Metalli pesanti e metalloidi nei suoli: aspetti generali e normativa</b>	9
Origine dei metalli nel suolo	10
I metalli e le piante	11
Normativa italiana e regionale	12
Limiti nella normativa italiana	13
Limiti nelle normative di altri paesi	15
<b>3. Materiali e metodi</b>	17
Individuazione delle aree omogenee: unità fisiografiche e deposizionali del Veneto	17
Campionamento dei suoli	21
Analisi di laboratorio	23
Elaborazione dei dati	24
Definizione dei valori di fondo	27
Elaborazione cartografica	28
Arricchimento superficiale	29
<b>4. Il contenuto in metalli e metalloidi nelle unità fisiografiche e deposizionali del Veneto</b>	31
<b>MONTAGNA E COLLINA</b>	
• Alpi del basamento cristallino e metamorfico (MA)	32
• Alpi su dolomia (MD)	35
• Alpi su litotipi silicatici (MS)	39
• Alpi su formazione di Werfen (MW)	43
• Prealpi su calcari duri (SA)	47
• Prealpi su calcari marnosi (SD)	51
<i>Scheda di approfondimento: Contenuto anomalo in metalli nell'area di Recoaro (VI)</i>	56
• Prealpi su basalti (LB)	57
• Prealpi su calcareniti (LC)	62
• Rilievi collinari (RR)	66
• Colline su calcareniti (RA)	70
• Colli Berici (RB)	74

## PIANURA

• Tagliamento (T)	78
• Piave (P)	83
• Brenta (B)	89
<i>Scheda di approfondimento: Determinazione del valore di fondo dell'arsenico in località Asseggiano (VE)</i>	97
• Adige (A)	98
• Po (O)	104
• Conoidi pedemontane calcaree (CC)	109
• Conoidi dell'Astico (CA)	113
• Conoidi pedemontane del sistema Leogra-Timonchio (CL)	118
• Depositi fluviali del sistema Agno-Guà (CG)	122
<i>Scheda di approfondimento: Bacino di laminazione di Montebello (VI) – Verifica dei valori di fondo</i>	127
• Costiero nord-orientale (DP)	129
<i>Scheda di approfondimento: Contenuto in metalli nei suoli dell'isola di Murano</i>	132
<i>Scheda di approfondimento: Contenuto in metalli nei suoli delle isole della Laguna di Venezia</i>	134
• Costiero meridionale (DA)	135

## 5 .Valori di fondo nelle unità fisiografiche e deposizionali del Veneto 140

Valore di fondo per il rame nei suoli coltivati a vigneto	142
<i>Scheda di approfondimento: Contenuto in cromo esavalente nei suoli del Veneto</i>	144
Forme disponibili dei metalli pesanti nei suoli del Veneto: primi risultati	144
<i>Scheda di approfondimento: Contenuto in tallio nei suoli del Veneto</i>	145

## Bibliografia 148

## Appendice 152

• Antimonio	153
• Arsenico	155
• Berillio	158
• Cadmio	160
• Cobalto	163
• Cromo	166
• Mercurio	169
• Nichel	172
• Piombo	175
• Rame	178
• Selenio	181
• Stagno	183
• Vanadio	185
• Zinco	188

# 1. Introduzione

Il presente volume costituisce una revisione di quello pubblicato nel 2011 da ARPAV per tener conto dei dati acquisiti tra il 2011 ed il 2015 per tutto il territorio regionale in particolare per le aree in cui si disponeva di un numero di dati limitato rispetto ai requisiti indicati dalla norma di riferimento. Questa seconda elaborazione dei dati ha fornito elementi per confermare la correttezza dell'impostazione adottata nel primo studio che è stata quindi ulteriormente rafforzata in questa seconda edizione.

Fin dalle prime indagini condotte (1995) per il rilevamento dei suoli finalizzato alla costituzione di una base conoscitiva sui suoli del Veneto, il Servizio Osservatorio Suoli dell'ARPAV (prima Centro Agrochimico dell'ESAV e poi Centro Agroambientale dell'ARPAV) ha associato alla determinazione delle caratteristiche di base dei suoli, necessaria per la loro classificazione, anche la misura della concentrazione di alcuni metalli e metalloidi, con l'obiettivo di definire un quadro di riferimento uniforme a livello regionale.

A partire dal 2001, grazie ai rilevamenti effettuati per la realizzazione della carta dei suoli regionale alla scala 1:250.000 (ARPAV, 2005) e delle carte dei suoli alla scala 1:50.000 delle province di Treviso (ARPAV, 2008), Venezia (ARPAV, 2009) e Padova (ARPAV, 2012), è stato dato ulteriore impulso a questa attività proprio per i risvolti collegati alla protezione del suolo da fenomeni di contaminazione diffusa e puntuale. Per questa seconda edizione sono stati utilizzati sia i risultati dell'analisi di nuovi campioni prelevati nel corso dei rilevamenti per la cartografia dei suoli in scala 1:50.000 delle province di Vicenza, Rovigo e Verona, sia i risultati di campioni conservati in archivio e prelevati nel corso di rilevamenti eseguiti precedentemente ma non ancora analizzati per i metalli pesanti.

Se per i suoli coltivati, esiste in Italia, e più in particolare per quelli della pianura padana, una buona bibliografia (ERSAF Lombardia, 2007; Regione Emilia Romagna, 2012) per quanto riguarda il contenuto in metalli pesanti e il loro comportamento, per i suoli di ambiente collinare e ancor più per i suoli alpini, i dati sono molto scarsi (Sartori *et al.*, 2004) o circoscritti ad aree limitate (Buondonno *et al.*, 2003; Comolli e Ferrè, 2004; Bini e Michelutti, 1997; Michelutti e Gottardo, 1997).

## Struttura del volume

Il presente volume è strutturato in un capitolo di inquadramento generale sul comportamento e la presenza dei metalli e metalloidi nei suoli (capitolo 2), in una parte metodologica (capitolo 3) e in un consistente capitolo, che costituisce il cuore del presente lavoro (capitolo 4), dove vengono descritti in dettaglio il comportamento e la concentrazione dei 14 elementi in traccia indagati nei diversi ambiti omogenei del Veneto (Unità deposizionali e fisiografiche) in termini di contenuto in metalli. In questo capitolo, per ciascuna unità, vengono indicati sia il valore di fondo antropico (VFA) che corrisponde al valore calcolato dai campioni raccolti nello strato superficiale del suolo (topsoil), sia il valore di fondo naturale (VFN) che corrisponde al valore calcolato dai campioni raccolti nello strato profondo del suolo (subsoil); solo per alcune unità dell'area montana e collinare, a causa del ridotto numero di dati disponibili, tale distinzione non è stata esplicitata.

Rispetto al volume 2011 l'impostazione è pertanto cambiata dando maggior risalto all'aspetto geografico e quindi alle unità deposizionali e fisiografiche rispetto alle elaborazioni per singolo metallo. Questo nella speranza di facilitarne l'utilizzo da parte di chi opera nel territorio.

Nel capitolo 5 è presente una tabella che riassume i valori di fondo per ogni metallo e metalloide in ciascuna unità fisiografica e deposizionale. Il valore di fondo presentato in questa tabella è unico per ciascuna unità e corrisponde al valore più elevato tra il fondo naturale-antropico e quello pedo-geochimico o naturale, secondo l'approccio proposto dalla DGRV 464/2010.

Il risultati relativi a tallio e cromo esavalente, analizzati in un numero inferiore di campioni e quasi sempre in concentrazione inferiore al limite di rilevabilità, sono stati discussi separatamente dagli altri metalli nel capitolo 5.

In appendice i dati sono organizzati per singolo metallo e metalloide con informazioni di carattere generale ma soprattutto evidenziando le differenze esistenti nel territorio regionale.



## 2. Metalli pesanti e metalloidi nei suoli: aspetti generali e normativa

Sono di norma definiti metalli pesanti, gli elementi che presentano una densità superiore a  $6 \text{ g/cm}^3$  e che si comportano per lo più come cationi. Questo gruppo comprende circa 70 elementi, ma di questi sono di interesse biologico solamente una dozzina che, pur potendo provenire da fonti molto diverse, hanno alcuni caratteri comuni:

- non decadono con il tempo, diversamente dai composti organici o dai radionuclidi;
- sono spesso tossici, al di sopra di determinate soglie, per organismi animali e/o vegetali;
- sono sempre presenti, a concentrazioni variabili, anche nei suoli incontaminati, cioè esiste sempre un valore di fondo non antropico, definito come livello di fondo naturale.

Assieme ai metalli pesanti si sono presi in considerazione anche alcuni semi-metalli o metalloidi che hanno proprietà intermedie tra metalli e non-metalli ma dal punto di vista della tossicità hanno comportamento simile ai primi, come arsenico e antimonio.

Alcuni di questi elementi rivestono un ruolo particolare nelle catene alimentari in quanto risultano essere tossici per gli organismi viventi, soprattutto piante ed animali, a concentrazioni relativamente basse

rispetto agli altri elementi presenti in natura. Alcuni altri invece sono indispensabili per lo sviluppo delle piante e la loro carenza può comportare una diminuzione della fertilità del suolo.

I metalli trattati nel presente volume possono essere suddivisi in:

- metalli tossici che costituiscono un pericolo per la salute dell'uomo: As, Be, Cd, Hg e Pb;
- metalli con tossicità minore rispetto ai precedenti: Sb, Sn e V;
- metalli essenziali per la vita: Co, Cr, Ni, Cu, Se e Zn.

Nei moderni processi tecnologici questi metalli si concentrano nei sottoprodotti di alcuni settori industriali o, anche se in misura minore, nei rifiuti solidi urbani e nei reflui civili; lo smaltimento di questi materiali, per i rischi di tossicità di cui si è detto, è regolamentato dallo Stato o dalla Regione mediante apposite normative.

Il rischio dato dalla presenza di metalli pesanti nel suolo è legato all'accumulo di quantità tali da avere effetti fitotossici sulle colture o da indurre modificazioni qualitative nelle piante dannose, per l'uomo e gli altri utilizzatori primari e secondari.

La presenza eccessiva di metalli nel suolo è in grado di influire negativamente sulle attività microbiologiche, sulla

qualità delle acque di percolazione, sulla composizione delle soluzioni circolanti, nonché di alterare lo stato nutritivo delle piante, modificandolo sino ad impedirne la crescita, con ripercussioni sugli utilizzatori primari o secondari.

Elemento	Intervallo normale nel suolo	Concentrazione critica nel suolo
Antimonio (Sb)	0,2-10	5-10
Arsenico (As)	0,1-40	20-50
Berillio (Be)	1-15	nd
Cadmio (Cd)	0,01-2,0	3,0-8,0
Cobalto (Co)	0,5-65	25-50
Cromo (Cr)	5-1500	75-100
Mercurio (Hg)	0,01-0,5	0,3-5
Nichel (Ni)	2-750	100
Piombo (Pb)	2-300	100-400
Rame (Cu)	2-250	60-125
Selenio (Se)	0,1-5	5-10
Stagno (Sn)	1-200	50
Vanadio (V)	3-500	50-100
Zinco (Zn)	1-900	70-400

Tabella 2.1: Concentrazioni di metalli pesanti nei suoli espresse in mg/kg; la concentrazione critica nel suolo è l'intervallo di valori oltre i quali fenomeni di tossicità sono possibili (Fonte: Alloway, 1995, ad eccezione del berillio tratto da Kabata - Pendias e Pendias, 2001).

## Origine dei metalli nel suolo

Il contenuto in metalli pesanti e metalloidi nel suolo (vedi tab. 2.1) è il risultato di fenomeni naturali, quali la presenza nei minerali delle rocce da cui si sono originati, e altri che sono influenzati dall'uomo, come gli apporti dovuti all'uso di fertilizzanti in agricoltura. In assenza di apporti antropici il tenore di elementi in traccia negli orizzonti di un suolo è il risultato dell'alterazione della roccia sottostante e dei sedimenti, nel caso dei suoli di pianura, e della redistribuzione legata ai processi pedogenetici del suolo, processi lenti e continui che possono durare migliaia d'anni.

Al contrario la contaminazione antropica consiste in apporti il più delle volte discontinui e notevoli in rapporto alle quantità messe in gioco dai processi naturali. Gli apporti arrivano al suolo generalmente dalla superficie e da lì, con modalità e velocità diverse a seconda del metallo e delle condizioni del suolo, si possono spostare negli orizzonti profondi e verso la falda acquifera (Baize, 1997). Il bilancio tra apporti e perdite di metalli e metalloidi nel suolo ne determina la concentrazione presente in un dato momento.

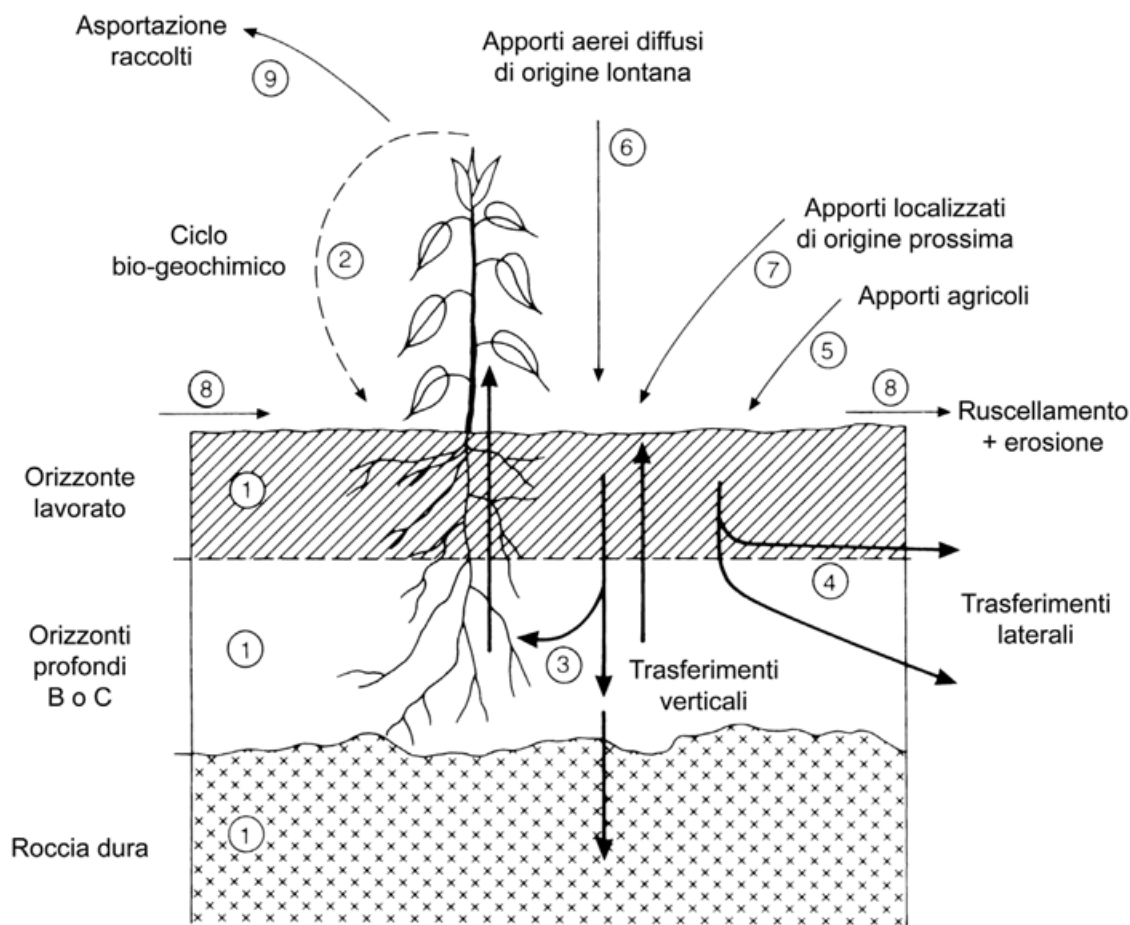


Figura 2.1: Schema degli apporti e delle perdite di metalli pesanti nel suolo.

La descrizione dei processi identificati dal numero è riportata nel testo (fonte: Baize, 1997).

## Apporti

Ereditati dalla roccia madre o dal materiale di partenza (1): è la fonte principale, e può determinare livelli molto diversi in base alle concentrazioni iniziali; è ovvio che un suolo sviluppatosi da un materiale molto ricco in nichel ne sarà conseguentemente molto ricco. In Veneto i diversi materiali parentali sono molto differenziati per contenuti di elementi in traccia, anche all'interno delle stesse litologie

Ciclo bio-geochimico (2): molti elementi sono assorbiti dalle piante e al termine del ciclo vitale rilasciati al suolo, sulla superficie o all'interno (decomposizione delle radici), in forme più mobili e più facilmente biodisponibili. L'asportazione dei raccolti interrompe il ciclo poiché una parte dei metalli non ritorna al suolo, ma entra nella catena alimentare.

Apporti atmosferici diffusi (6): possono essere apporti di origine naturale, come la deposizione di ceneri vulcaniche, oppure generati dall'uomo con le attività industriali o il traffico veicolare. L'origine può distare anche diversi chilometri e le deposizioni avvengono indistintamente su suoli coltivati o con vegetazione naturale.

Apporti agricoli (5): si tratta di impurezze presenti nei fertilizzanti, principalmente fosfatici, negli ammendanti organici, nei reflui utilizzabili in agricoltura (fanghi di depurazione e liquami zootecnici), nei prodotti fitosanitari (sali di rame, arseniati di piombo), ecc. Questi apporti sono legati alla gestione del singolo appezzamento e quindi possono essere molto diversi anche in aree molto prossime.

Apporti antropici localizzati (7): si tratta di apporti antropici in forma solida o liquida accidentali o risultato di attività industriali senza protezioni efficaci contro la dispersione nell'ambiente.

### **Perdite**

Asportazioni con il raccolto (9): in tutti i prodotti raccolti sono presenti elementi in traccia in concentrazioni tanto maggiori quanto maggiore è la capacità della specifica pianta di assimilare un determinato metallo o metalloide. Inoltre spesso i residui non vengono distribuiti esattamente dove sono stati prelevati. Il fenomeno è tanto maggiore quanto maggiori sono le asportazioni e interessa principalmente i suoli agricoli.

Trasferimenti verticali (3): nel nostro clima gli apporti di acqua con le precipitazioni sono nettamente superiori all'evapotraspirazione reale della vegetazione, coltivata o naturale per cui in molti suoli, in particolare quelli a reazione più acida e più permeabili, si può osservare una mobilitazione dei diversi metalli e metalloidi verso gli orizzonti più profondi. Le forme più solubili possono migrare ancora più in profondità fino a raggiungere la falda freatica. Microrganismi e radici delle piante possono condizionare la solubilità e l'eventuale trasporto di questi composti. Quando i movimenti lungo il profilo avvengono in direzione orizzontale rispetto alla superficie (movimenti laterali, 4) gli elementi possono spostarsi verso la rete di scolo e quindi verso i corpi idrici superficiali.

Ruscellamento ed erosione (8): il ruscellamento superficiale e l'erosione, provocando l'asportazione dello strato più superficiale del suolo, possono portare all'allontanamento degli elementi in traccia legati alle particelle minerali o alla sostanza organica. Gli orizzonti di superficie interessati dal fenomeno erosivo sono quelli che hanno subito la maggior alterazione e quindi spesso anche i più ricchi di elementi in traccia. I trasferimenti laterali possono essere sia delle perdite che degli apporti per i suoli dove avviene la rideposizione.

### **I metalli e le piante**

La tossicità dei metalli nei confronti dei vegetali si manifesta generalmente in forma di clorosi fogliari, talvolta simili a quelle dovute a carenza di ferro, e di crescita stentata dell'apparato radicale ed aereo. La sensibilità delle diverse specie è variabile e persino nell'ambito della stessa specie ci sono diversità di comportamento fra le singole varietà.

Le indagini sulla fitotossicità di questi elementi sono state condotte prevalentemente in laboratorio; esse hanno messo in evidenza che, all'aumentare del contenuto in metalli della soluzione nutritiva, l'effetto tossico porta ad una progressiva riduzione delle produzioni fino al loro annullamento.

D'altra parte l'assorbimento da parte delle piante non avviene allo stesso modo per tutti i metalli, cioè all'aumentare della loro concentrazione nella soluzione nutritiva la frazione assorbita dalla pianta aumenta in modo diverso a seconda dell'elemento considerato.

Anche la risposta della pianta all'aumentare del contenuto in metalli pesanti dei tessuti varia a seconda dell'elemento considerato; tale reazione negativa può comparire a livelli diversi di concentrazione del metallo e può consistere in riduzioni più o meno forti della crescita e della produzione della pianta.

Mercurio e cadmio sono tossici alle più basse concentrazioni, seguiti da selenio, cobalto e arsenico; cromo, rame, nichel e piombo presentano valori di fitotossicità dello stesso ordine di grandezza, mentre lo zinco è tossico solo a valori più alti.

A questo proposito si deve ricordare che rame e zinco sono considerati elementi essenziali per la crescita delle piante a valori attorno a 10-20 mg/kg nel suolo.

L'essenzialità per le piante induce un relativo arricchimento dell'elemento in superficie a causa del processo noto come plant pumping (Steinnes, 2009), le radici delle piante assimilano l'elemento in uno strato variabile a seconda della tipologia della pianta, dello spessore di alcune decine di centimetri, e lo riconsegnano al suolo sulla superficie a causa della ricaduta di parte o della totalità della pianta al termine del ciclo vitale o produttivo; i successivi processi di redistribuzione lungo il profilo del suolo sono molto lenti in relazione alla solubilità dell'elemento o al trasporto fisico operato dalla fauna del suolo o ancora al dilavamento delle particelle minerali. L'apporto in metalli può tradursi in modificazioni sulla composizione chimica dei vegetali; le implicazioni principali di tali alterazioni dello stato qualitativo, sono quelle relative ai consumatori primari e secondari. I metalli più rischiosi per il bio accumulo animale o umano sono piombo, cadmio, cromo, rame, zinco, nichel e

mercurio. Fra questi comunque vi sono diversi comportamenti; per alcuni il livello di fitotossicità è basso rispetto al livello di tossicità per gli animali e non consente quindi un accumulo del metallo nella pianta, perché questa subisce dei danni e non è più produttiva a bassi livelli di metalli nei tessuti vegetali, per altri invece si può avere un accumulo nella pianta senza effetti fitotossici con conseguente maggior pericolo per i consumatori primari.

### La normativa italiana e regionale

Sono principalmente tre i casi in cui la normativa italiana regola la concentrazione di metalli nel suolo:

- l'utilizzo di fanghi di depurazione in agricoltura per il quale il decreto legislativo 99/92 prevede dei limiti alla concentrazione di metalli nei terreni;
- la bonifica dei siti contaminati che secondo il D.Lgs. 152/2006 (Parte IV Titolo V) deve essere avviata quando sono superate le concentrazioni soglia di contaminazione di una serie di sostanze, tra le quali i metalli, il cui superamento impone l'avvio di una serie di verifiche sull'eventuale rischio per la salute umana;
- la gestione delle terre e rocce da scavo che possono essere riutilizzate come sottoprodotto secondo il DPR 120/2017 solo se le concentrazioni di alcuni metalli (oltre ad altre sostanze organiche) non superano delle concentrazioni soglia di contaminazione (le stesse definite per i siti contaminati).

La Direttiva CEE n. 278/86 "Protezione dell'ambiente, in particolare del suolo, nell'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura", recepita con il D.Lgs. 99/1992 e a livello regionale con la DGRV 2241/2005, contiene indicazioni relative alle modalità di recupero dei fanghi di depurazione in agricoltura. Secondo tale norma l'utilizzazione di fanghi è ammessa solo se i fanghi non contengono sostanze tossiche e nocive e/o persistenti e/o bioaccumulabili in concentrazioni dannose per il terreno, per le colture, per gli animali, per l'uomo e per l'ambiente in generale.

Secondo la normativa regionale per ottenere l'autorizzazione, di durata triennale, all'utilizzo di fanghi sul suolo deve essere presentata alla Provincia una relazione che attesti l'idoneità dei siti prescelti in relazione alle caratteristiche pedologiche, agronomiche, idrologiche, idrogeologiche e chimiche dei terreni, corredata dalle analisi dei terreni stessi per i parametri indicati nella tabella B1/2, che per i metalli ha gli stessi valori limite previsti dal D.Lgs. 99/1992 (tabella 2.3). In presenza di terreni che presentino, anche per dotazione naturale, valori di concentrazione superiori ai limiti previsti dalla normativa, l'utilizzo dei fanghi non può essere autorizzato.

Il Decreto Legislativo n. 152 del 3 aprile 2006 "Testo Unico recante le Norme in Materia Ambientale (TUA)" disciplina al titolo V (articoli 239-253) criteri, procedure e modalità di messa in sicurezza, bonifica e ripristino ambientale dei siti inquinati. A tal fine all'art. 240, comma 1, lettera b) viene definita la Concentrazione Soglia di Contaminazione (CSC) in relazione alla specifica destinazione d'uso come: *"i livelli di contaminazione delle matrici ambientali che costituiscono valori al di sopra dei quali è necessaria la caratterizzazione del sito e l'analisi di rischio sito specifica, come individuati nell'Allegato 5 alla parte quarta del citato decreto. Nel caso in cui il sito potenzialmente contaminato sia ubicato in un'area interessata da fenomeni antropici o naturali che abbiano determinato il superamento di una o più concentrazioni soglia di contaminazione, queste ultime si assumono pari al valore di fondo esistente per tutti i parametri superati"*.

Per la possibilità di applicare quest'ultima parte del disposto normativo, è stata quanto mai importante l'approvazione da parte della Regione Veneto di criteri di indagine univoci per la determinazione del valore di fondo naturale dei metalli nei suoli, avvenuta con DGRV 464 del 2/3/2010, allo scopo di poter distinguere tra situazioni di effettivo inquinamento causata da apporti esterni al suolo (processo esogeno) e situazioni di elevata concentrazione naturale degli elementi presenti nel suolo (processo endogeno).

Nella tabella 1 dell'allegato 5 alla parte IV, titolo V del DLgs 152/2006, che riporta i valori di CSC per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (colonna A) e per i siti ad uso commerciale e industriale (colonna B), salta all'occhio la mancanza di un limite per il ripristino dei suoli a fini agricoli; in realtà il decreto prevede l'emanazione di uno specifico regolamento interministeriale per le aree agricole (art. 241): *"Il regolamento relativo agli interventi di bonifica, ripristino ambientale e di messa in sicurezza, d'emergenza,*



*operativa e permanente, delle aree destinate alla produzione agricola e all'allevamento è adottato con decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio di concerto con i Ministri delle attività produttive, della salute e delle politiche agricole e forestali".*

Attualmente, in mancanza di limiti specifici per i suoli agricoli, una nota dell'Istituto Superiore della Sanità, risalente al 2003, stabilisce che per questi possano essere applicati quelli relativi ai siti a verde pubblico, privato e residenziale (colonna A) del D.Lgs. 152/2006. Per quanto riguarda i suoli agricoli recentemente lo stesso Istituto, Dipartimento Ambiente e Connessa Prevenzione Primaria, Reparto Suolo e Rifiuti (ISS, 2012) e il Gruppo di Lavoro interministeriale istituito per la definizione delle aree a rischio sanitario nella "Terra dei fuochi" hanno fornito ulteriori elementi di valutazione.

Innanzitutto hanno evidenziato che, ai fini della valutazione dei rischi, il Ministero dell'Ambiente ha disposto, in numerose situazioni di diffusa presenza di contaminanti, che possa essere prescritta la messa in sicurezza d'emergenza per la tutela igienico-sanitaria dei soggetti che fruiscono dell'area in caso di inquinamento da parte di una o più delle sostanze definite cancerogene, molto tossiche o persistenti dalla Banca Dati ISS-INAIL per Analisi di Rischio Sanitario Ambientale, quando queste superino di 10 volte (*hot spot*) i valori tabellari definiti dalla vigente normativa per i suoli ad uso residenziale e per le acque sotterranee.

Tra i metalli ad esempio rientrano tra queste sostanze l'arsenico, il berillio, il cadmio, il mercurio, il nichel e il piombo.

Tale riferimento del valore pari a 10 volte le CSC (colonna A) è stato ripreso, con estensione a tutte le sostanze che possono essere causa di contaminazione, anche dal Gruppo di Lavoro che ha prodotto una tabella di riferimento per definire le classi di rischio dei suoli agricoli tenendo conto di alcuni riferimenti generali e di alcuni elementi di valutazione specifici. Semplificando la tabella in modo da depurarla dagli elementi di valutazione specifica della "Terra dei fuochi", in quanto non estendibili a tutte le situazioni di contaminazione diffusa, si ottiene lo schema di riferimento riportato in tabella 2.2 utilizzabile per valutazioni sulla necessità di approfondimenti successivi.

Livello di rischio presunto	Evidenze riscontrate nell'area
5	Concentrazione contaminanti > 10 x CSC (o VF) e presenza di potenziali fonti di contaminazione
4	Concentrazione contaminanti > 10 x CSC (o VF)
3	Concentrazione contaminanti = 2-10 x CSC (o VF) e presenza di potenziali fonti di contaminazione
2	Concentrazione contaminanti = 2-10 x CSC (o VF)
1	Concentrazione contaminanti < 2 x CSC (o VF)

Tabella 2.2: Livello di rischio presunto in funzione delle concentrazioni rilevate in aree agricole.

Per quanto riguarda la gestione di terre e rocce da scavo, esse possono essere riutilizzate in qualità di sottoprodotti purché il produttore dimostri, tra gli altri requisiti, che in caso di destinazione a recuperi, ripristini, rimodellamenti, riempimenti ambientali o altri utilizzi sul suolo, non siano superate le CSC di cui alle colonne A e B (tabella1 dell'allegato 5 alla Parte IV del TUA) con riferimento alle caratteristiche delle matrici ambientali e alla destinazione d'uso urbanistica del sito di destinazione, fatti salvi i valori di fondo naturale.

Nell'ipotesi di utilizzo in sito diverso da quello da quello di produzione ciò dovrà accadere in un ambito territoriale con fondo naturale con caratteristiche analoghe e confrontabili per tutti i parametri oggetto di superamento.

### Limiti nella normativa italiana

La tabella 1 dell'allegato 5 alla parte IV, titolo V del DLgs 152/2006 riporta i valori di CSC per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (colonna A) e per i siti ad uso commerciale e industriale (colonna B).

Tali limiti costituiscono il riferimento anche per la possibilità di riutilizzare le terre e rocce da scavo in qualità di sottoprodotto.

Il D.Lgs. 99/92 e la DGRV 2241/2005 riportano invece i valori limite massimi oltre i quali non è consentita la distribuzione al suolo di fanghi di depurazione.

Altro riferimento normativo che riporta limiti di concentrazione per i metalli nei suoli è il D.C.I. 27/7/84 relativo all'applicazione di compost da rifiuti urbani indifferenziati in agricoltura; nel caso in cui il materiale derivi dal recupero della sola frazione organica dei rifiuti, com'è per tutto il compost prodotto in Veneto, non sono previsti limiti per l'applicazione ai terreni agricoli in quanto il compost è un fertilizzante a tutti gli effetti.

Si deve tener conto del fatto che per tutti i casi citati la legislazione fa riferimento solo ai contenuti estraibili in acqua regia (contenuto pseudo-totale) che corrisponde circa al 70-90% del totale (Alloway, 1995), parametro che risulta assolutamente inadeguato a descrivere la reale biodisponibilità dell'elemento.

È da evidenziare che i valori di concentrazione proposti nel presente volume sono riferiti alla sola frazione inferiore ai 2 mm, senza considerare lo scheletro, a differenza di quanto previsto dal D.Lgs. 152/2006 che prevede di esprimere le concentrazioni riferendole alla totalità dei materiali secchi comprensiva dello scheletro, inferiore a 2 cm. Tale differenza porta ad una potenziale sovrastima dei valori riscontrati che è nulla nei casi in cui la frazione grossolana costituita dalle particelle con diametro compreso tra 2 e 20 mm non sia presente, tipicamente in tutte le aree della bassa pianura (figure 3.10 e 3.11), mentre può essere consistente, fino anche al 20-30% in più del valore calcolato come da D.Lgs. 152/2006, nei casi in cui la stessa frazione rappresenti fino al 20-30% del peso totale del suolo, situazione frequente nelle aree di montagna e dell'alta pianura veneta.

Metallo	D.C.I. 27.07.84	Dir. 86/278/CEE	D.Lgs 99/92	D.Lgs. 152/06	
				Col. A	Col. B
Antimonio	--	--	--	10	30
Arsenico	10	--	--	20	50
Berillio	--	--	--	2	10
Cadmio	3	1-3	1,5	2	15
Cromo	50	--	--	150	800
Cromo VI	--	--	--	2	15
Cobalto	--	--	--	20	250
Mercurio	2	1-1,5	1	1	5
Nichel	50	30-75	75	120	500
Piombo	100	50-300	100	100	1000
Rame	100	50-140	100	120	600
Selenio	--	--	--	3	15
Tallio	--	--	--	1	10
Vanadio	--	--	--	90	250
Zinco	300	150-300	300	150	1500

*Tabella 2.3: Limiti massimi imposti dalla legge alla concentrazione dei metalli pesanti nel suolo (mg/kg s.s.) per l'utilizzo di compost (DCI 27.07.84) e fanghi (D.lgs 99/92 e Dir. 86/278/CEE) e valori di concentrazione soglia di contaminazione nel suolo riferiti a siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (col. A) e commerciale e industriale (col. B).*

Dal confronto tra i limiti previsti dalle diverse norme (tabella 2.3) emerge una certa corrispondenza, in particolare per cadmio, mercurio, piombo e rame, tra i limiti fissati per l'utilizzo agricolo di fanghi/compost e quelli della concentrazione soglia di contaminazione per la bonifica dei siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale; anche per gli altri metalli si rileva comunque una similitudine tra i valori individuati dalle diverse norme, se pure con un minor grado di corrispondenza.

Ciò evidentemente sta ad indicare un sostanziale consolidamento delle valutazioni sui livelli di concentrazione che possono causare danno al suolo e più in generale alla catena alimentare, anche in considerazione del principio di precauzione più volte stabilito dalle normative sanitarie ed ambientali europee e nazionali.

Si ricorda che, rispetto al volume del 2011, lo stagno totale non ha più una concentrazioni soglia di contaminazione (che era stato fissato in 1 mg/kg per la colonna A e 350 mg/kg per la colonna B)

poiché il Decreto Legislativo n.91/2014 ha sostituito lo stagno indicato in tabella 1 con i composti organostannici; il Decreto ha eliminato l'anomalia tra il limite per le aree residenziali imposto dal D.Lgs 152/2006 e la dotazione naturale dei suoli italiani che risultava nettamente superiore.

### Limiti nelle normative di altri Paesi

Stato	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Normativa e descrizione limite
Canada		3	40	750	150		150	375	600	Federal remediation criteria
Danimarca		0,5		500	500	1		40		Minimo Suoli lievemente contaminati
		5		1000	1000	3		400		Massimo Suoli lievemente contaminati
Germania	25	10		200		10	70	200		Federal Soil Protection Law; Giardini pubblici
	50	20		400		20	140	400		FSPL: Aree residenziali
	125	50		1000		50	350	1000		FSPL: Parchi-Aree naturali
	140	60		1000		80	900	1000		FSPL: Aree industriali-commerciali
	50	20			1300	2	1900	1200		FSPL: Prati
Gran Bretagna		3		600				500		Giardini familiari
		15		1000				2000		Aree verdi
Fiandre	45	2		130	200	10	100	200	600	Parchi naturali e zone agricole
	110	6		300	400	15	470	400	1000	Zone residenziali
	200	15		500	500	20	550	1500	1000	Zone ricreative
Francia		2		150	100	1	50	100	300	Fanghi di depurazione, Norme AFNOR (1985)
Paesi Bassi		0,8	20	100	36		35	85	140	Soglia A limite tra contaminato e non
		12	240	380	190		210	530	720	Soglia C rischio intollerabile per l'uomo
Quebec		1,5	15	75	50		50	200	100	Soglia A limite tra contaminato e non
		20	300	800	500		500	600	1500	Soglia C rischio intollerabile per l'uomo
Svezia	15	0,4	30	120	100	1	35	80	350	Suoli contaminati: valori guida
	45	1,2	90	360	300	3	105	240	1050	Suoli contaminati: valori di attenzione
	150	4	300	1200	1000	10	350	800	3500	Suoli contaminati: limite di contaminazione
Svizzera		0,8	25	75	50		50	50	200	Valori indicativi

Tabella 2.4: Limiti alla concentrazione di metalli pesanti nei suoli stabiliti dalla normativa di diversi paesi dell'Unione Europea e non; valori espressi in mg/kg.

In attesa che siano definiti riferimenti omogenei nell'Unione Europea per la qualità dei suoli rispetto alla concentrazione di metalli, alcuni Stati hanno provveduto a definire valori guida o di riferimento per stabilire l'obbligatorietà di intervento o la necessità di limitazioni d'uso nel caso di superamento dei valori massimi ritenuti accettabili.

Il panorama della legislazione in tema di protezione del suolo risulta molto variegato tra i diversi Paesi e anche i limiti riportati in tabella 2.4 hanno significati e applicazioni alquanto diversi tra loro; talvolta vengono definiti come valori guida che orientano le decisioni delle amministrazioni, altre volte invece

Tipologia di Suolo	Cd	Pb	Cr	Cu	Hg	Ni	Zn
argilloso	1,5	100	100	60	1	70	200
franco/limoso	1	70	60	40	0,5	50	150
sabbioso	0,4	40	30	20	0,1	15	60

Tabella 2.5: Valori precauzionali per i metalli nei suoli, in relazione alla diverse classi tessiturali, secondo la legge federale di protezione dei suoli tedesca; valori espressi in mg/kg.

rappresentano dei veri e propri valori soglia il cui superamento comporta l'obbligo di intervento per la bonifica o la messa in sicurezza dell'area.

Risulta inoltre evidente una certa disomogeneità

tra le diverse legislazioni nel definire i valori limite che oscillano spesso all'interno di un intervallo piuttosto ampio: arsenico 15-200 mg/kg, cadmio 0,4-60, cobalto 15-300, cromo 75-1200, rame 36-1000, mercurio 1-80, nichel 35-900 (escludendo il valore di 1900 per i prati tedeschi), piombo 40-2000 e zinco 100-3500.

Vale la pena sottolineare i limiti della normativa tedesca che nel decreto federale per la protezione del suolo e per i siti contaminati del 12/07/99 fissa dei limiti di attenzione ai metalli nel suolo differenziati in base alla tessitura per cadmio, piombo, cromo, rame, mercurio, nichel e zinco (tabella 2.5).



# 3. Materiali e metodi

Per la determinazione dei valori di fondo dei metalli nel suolo è stato utilizzato come documento di riferimento la norma ISO 19258/2005 (Soil Quality – Guidance on the determination of background values) che rappresenta una guida a livello internazionale per le modalità di campionamento, analisi ed elaborazione dei dati.

La norma fa innanzitutto una distinzione tra contenuto di fondo pedo-geochimico (*pedo-geochemical background content*) e contenuto di fondo naturale-antropico (*background content*): il primo, che può essere considerato come contenuto naturale di un elemento, individua la concentrazione di elementi che è generata dai fattori caratteristici della pedogenesi, quali ad esempio la composizione ed alterazione della roccia madre e le eventuali successive movimentazioni all'interno del suolo, il secondo si riferisce invece alla concentrazione di un elemento riferito ad un tipo di suolo, localizzato in un'area o regione definita, che comprende sia le concentrazioni apportate da sorgenti naturali, sia quelle diffuse non naturali, quali ad esempio la deposizione atmosferica e le pratiche agronomiche ordinarie per quella certa area o regione. Infatti, soprattutto per i suoli agrari, difficilmente si può affermare che esista una condizione "naturale", a causa dell'introduzione di tecniche di coltivazione intensive che prevedono spesso l'utilizzo di prodotti di sintesi; può quindi essere introdotto e definito il concetto di "naturale-antropico" come la condizione osservata normalmente in un suolo agrario nel quale lo strato superficiale, nel corso degli anni, è stato oggetto di deposizione e accumulo di metalli e metalloidi, ma non ad una concentrazione tale da influenzare le normali attività e funzioni del suolo ai fini agricoli. Anche i suoli di montagna non sono esenti da apporti antropici per trasporto e ricaduta atmosferica; esemplificativo è il caso del piombo derivante dal traffico veicolare.

## Individuazione delle aree omogenee: unità fisiografiche e deposizionali del Veneto

La scelta dei siti di campionamento è stata effettuata seguendo quello che nella norma ISO 19258/2005 viene definito come "approccio tipologico", cioè in funzione del materiale di partenza e delle tipologie di suolo. Per questo motivo il territorio da indagare è stato suddiviso in aree omogenee all'interno delle quali sono scelti i siti da analizzare. I criteri utilizzati sono diversi: per la pianura, dove i suoli si sono originati da materiali alluvionali e queste aree omogenee sono state definite **unità deposizionali** (figura 3.1), il criterio è l'origine dei sedimenti dai quali si è formato il suolo, mentre nell'area montana, dove i suoli si sono formati dai materiali presenti sul posto e le aree omogenee prendono il nome di **unità fisiografiche** (fig 3.2), l'elemento di differenziazione è costituito dalla litologia prevalente sulla quale si è sviluppato il suolo e la tipologia e i processi pedogenetici che lo caratterizzano (ARPAV, 2011).

### Unità deposizionali di pianura

Nell'ambiente di pianura, nel quale i suoli si sono formati a partire dai materiali litologici apportati dai principali fiumi nei millenni passati, il principale elemento di differenziazione per il contenuto di metalli è costituito dall'origine dei sedimenti. In base a questo assunto per la determinazione del valore di fondo la pianura veneta è stata suddivisa in funzione del materiale di partenza da cui ha avuto origine il suolo, ottenendo inizialmente 8 gruppi: pianura alluvionale di Tagliamento, Piave, Brenta, Adige, Po, fiumi prealpini a

Sigla 2011	Sigla 2018	Unità deposizionale
T	T	Tagliamento
P	P	Piave
B	B	Brenta
A	A	Adige
O	O	Po
MC1	CA	Conoidi dell'Astico
MC2	CC	Conoidi pedemontane calcaree
MV1	CL	Conoidi pedemontane del sistema Leogra-Timonchio
MV2	CG	Depositi fluviali del sistema Agno-Guà
DP	DP	Costiero nord-orientale
DA	DA	Costiero meridionale

Tabella 3.1: Unità deposizionali individuate nel territorio di pianura del Veneto e corrispondenza tra le sigle utilizzate nella presente edizione (2018) e la precedente (2011); in grassetto le unità che hanno cambiato sigla.

sedimentazione prevalentemente calcarea, fiumi prealpini a sedimentazione prevalentemente silicatica, pianura costiera. Successivamente sono state fatte ulteriori divisioni all'interno di alcuni di essi per prendere in considerazione ulteriori fattori di variazione: dalla pianura dei fiumi prealpini a sedimentazione calcarea è stato possibile isolare la pianura formata dalle alluvioni dell'Astico; la pianura costiera è stata divisa, in base al contenuto in calcare, in una parte nord-orientale e in una meridionale; la pianura dei fiumi prealpini a sedimentazione silicatica è stata divisa in una parte di pertinenza del Timonchio-Leogra, maggiormente influenzata dagli apporti di sedimenti originati dall'alterazione delle rocce del basamento cristallino e metamorfico affioranti nel recoarese, e in una dell'Agno-Guà, in cui i sedimenti fini si sono originati dall'alterazione dei basalti e si sono successivamente frammisti a quelli dell'Adige. In tutto sono state identificate 11 unità deposizionali (figura 3.1). Per alcune unità sono state modificate le sigle rispetto all'edizione 2011 per renderle più facilmente distinguibili da quelle dell'ambiente montano-collinare. Le corrispondenze sono riportate nella tabella 3.1.

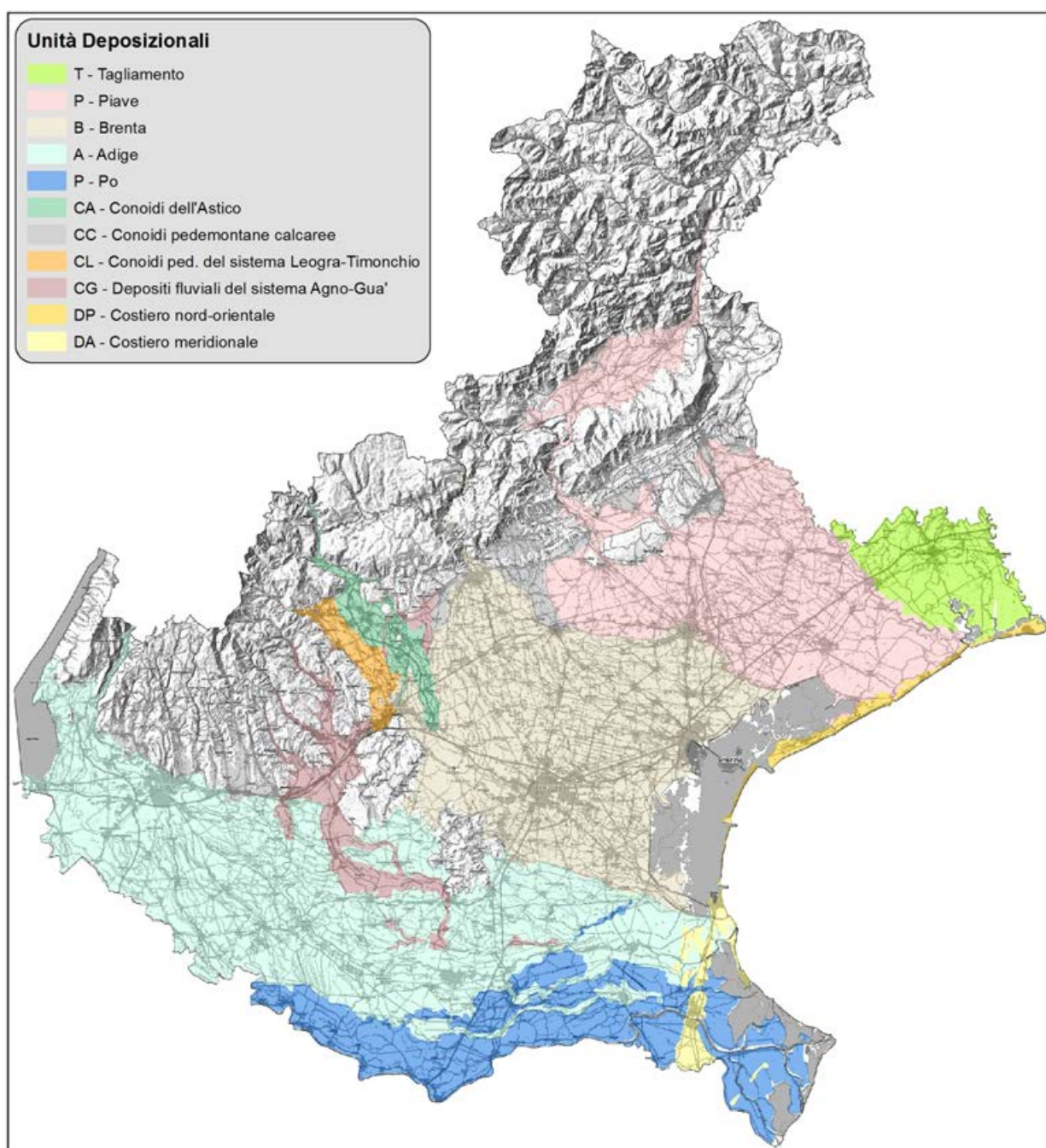


Figura 3.1: Unità deposizionali individuate nel territorio di pianura.

<b>Sigla 2011</b>	<b>Sigla 2018</b>	<b>Unità fisiografica</b>
MA	<b>MA</b>	Alpi del basamento cristallino e metamorfico
DC	<b>MD</b>	Alpi su dolomia
DS	<b>MS</b>	Alpi su litotipi silicatici
DW	<b>MW</b>	Alpi su formazione di Werfen
SA	SA	Prealpi su calcari duri
SD	SD	Prealpi su calcari marnosi
LB	LB	Prealpi su basalti
--	<b>LC</b>	Prealpi su calcareniti
RC	<b>RR</b>	Rilievi collinari
--	<b>RA</b>	Colline su calcareniti
--	<b>RB</b>	Colli Berici

Tabella 3.2: Unità fisiografiche identificate per l'area montana e collinare del Veneto e corrispondenza tra le sigle utilizzate nella presente edizione (2018) e la precedente (2011); in grassetto le unità che hanno cambiato sigla.

I campioni prelevati (22 superficiali e 22 profondi) nelle isole della laguna di Venezia sono stati trattati separatamente per la presenza di numerosi valori anomali (in particolar modo per mercurio, piombo, rame e stagno) di probabile apporto antropico e sicuramente richiedono ulteriori approfondimenti; nel caso dell'isola di Murano, per esempio, è stato fatto un approfondimento specifico, su incarico del comune di Venezia, perché sono state riscontrate concentrazioni elevate di molti metalli utilizzati nella lavorazione del vetro e accumulati nel corso dei secoli (vedi box specifico nel capitolo 5).

#### *Unità fisiografiche di montagna e collina*

Il contenuto in metalli nei suoli dell'area montano-collinare è fortemente legato al contenuto presente nelle rocce di partenza, come già evidenziato in alcuni lavori (Garlato, 2008, Sartori et al., 2004). Litotipi diversi presentano

concentrazioni dei vari metalli molto eterogenee e a volte anche rocce appartenenti alla stessa litologia presenti in aree relativamente lontane possono differire sensibilmente per i contenuti di elementi in traccia.

All'eterogeneità del materiale di partenza si aggiungono i processi di formazione del suolo, spesso caratteristici dei diversi materiali parentali, che possono, attraverso la traslocazione, la lisciviazione e l'assimilazione da parte delle piante, concentrare o diluire il contenuto degli elementi in traccia nei diversi orizzonti del suolo.

La notevole varietà che caratterizza l'ambiente montano e collinare ha determinato la necessità di adottare un approccio parzialmente diverso rispetto a quello della pianura. I poligoni definiti dall'unico documento cartografico disponibile su tutto il territorio regionale, la carta dei suoli in scala 1:250.000, hanno un'elevata eterogeneità litologica al loro interno per cui il passaggio da una litologia ad un'altra può avvenire più volte nell'arco di poche centinaia di metri (es. lungo uno stesso versante); la presenza quasi ubiquitaria di depositi glaciali, spesso eterogenei dal punto di vista litologico, complica ulteriormente la creazione di aree litologicamente uniformi. Gli insiemi più omogenei per il contenuto in metalli pesanti sarebbero delle aree con lo stesso materiale parentale, disponibile solo con cartografie pedologiche di maggior dettaglio (es. 1:50.000), attualmente disponibili nell'ambiente montano solo per aree molto limitate (provincia di Treviso e area prealpina vicentina e veronese).

Nel presente volume non sono presenti elaborazioni sui "raggruppamenti per materiale parentale", come nel volume del 2011, al quale si rimanda per una trattazione dettagliata. Per i motivi sopracitati le unità fisiografiche (figura 3.2) dell'area montana e collinare sono state delineate dall'aggregazione delle unità cartografiche della carta dei suoli, cercando di ridurre il più possibile l'eterogeneità del materiale parentale e la tipologia dei suoli presenti per minimizzare la variabilità del contenuto in elementi in traccia.

Le unità fisiografiche, così definite e trattate nel capitolo 4 del presente volume, sono 11, come elencato nella tabella 3.2.

Rispetto all'edizione del 2011 sono state cambiate alcune sigle delle unità (tabella 3.2) e sono state aggiunte tre nuove unità in seguito alla migliore definizione delle unità SD (Prealpi su calcari marnosi) e RR (rilievi collinari). Dalla prima sono stati separati i litotipi della formazione delle calcareniti di Castelgomberto (LC= Prealpi su calcareniti) caratterizzati da un elevato contenuto in arsenico, cobalto, cromo e vanadio, mentre l'area collinare ha subito una notevole revisione rispetto all'edizione precedente nella quale tutte le colline confluivano in un'unica unità. In seguito ad una serie di approfondimenti su aree dove erano stati riscontrati valori elevati in apparenza di origine naturale, l'area è stata suddivisa in tre porzioni:



- un'area collinare generica sostanzialmente priva di valori anomali, definita "RR – Rilievi collinari", nella quale confluiscono gran parte delle colline trevigiane, vicentine e i Colli Euganei;
- la quasi totalità dei Colli Berici (RB) in particolare i suoli sviluppatasi sulle litologie carbonatiche con l'esclusione delle aree dove affiorano le marne e gli affioramenti di basalti
- una stretta e caratteristi a fascia delle colline trevigiane con suoli che si sviluppano su calcareniti (RA – Colline su calcareniti).

Per i Fondovalle alpini, a differenza di quanto definito nel volume del 2011, a causa delle poche osservazioni disponibili e delle notevoli differenze che possono caratterizzare porzioni diverse dei singoli fondovalle, non è stato definito un valore di fondo; in tale contesto è necessario, caso per caso, riconoscere in campo la litologia predominante nei sedimenti che hanno originato il suolo e in base a questo valutare la congruità delle concentrazioni riscontrate rispetto all'unità di origine del materiale.

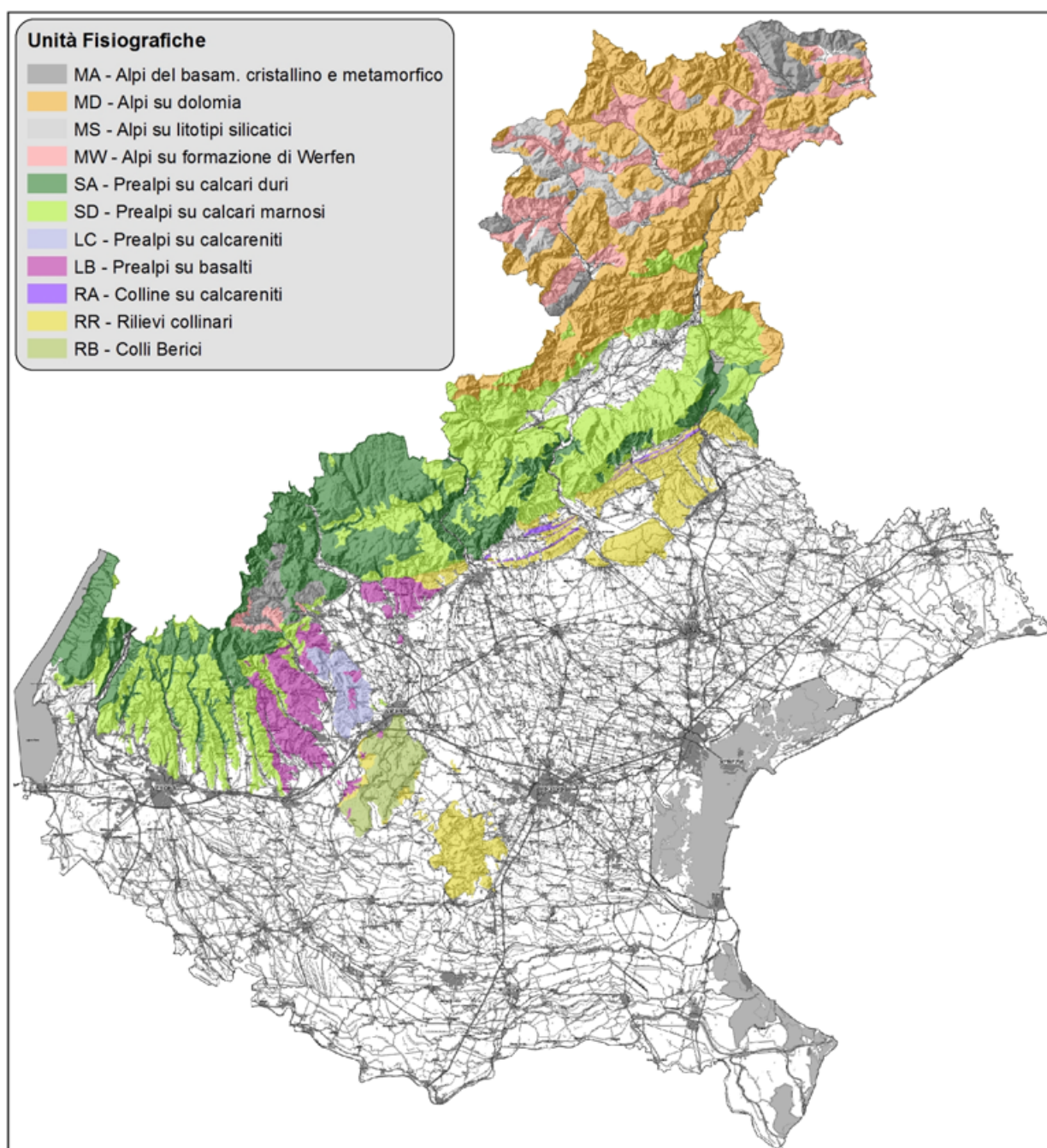


Figura.3.2: Unità fisiografiche identificate per l'area montana e collinare del Veneto.

### Campionamento dei suoli

I siti di campionamento sono stati individuati all'interno delle unità fisiografiche/deposizionali utilizzando in un primo momento i campioni raccolti nel corso del rilevamento pedologico, realizzato alla scala 1:50.000 per più di 2/3 del territorio di pianura e collina e in scala 1:250.000 per il restante territorio. In particolare sono stati utilizzati i campioni provenienti dai profili (figura 3.4) rappresentativi delle principali unità tipologiche di suolo descritte nella carta dei suoli e, dove questi non erano sufficientemente numerosi, da trivellate (figura 3.3) appositamente eseguite e descritte. La non uniforme distribuzione dei punti campionati è giustificata dalla diversa densità di osservazioni disponibili, maggiore nelle aree cartografate alla scala 1:50.000 e minore nella restante superficie.

Nella scelta dei siti di campionamento si è inoltre tenuto in considerazione l'uso del suolo, scegliendo cioè siti ad uso agricolo, avendo cura di evitare zone contaminate o troppo vicine a potenziali fonti inquinanti (discariche, cave, grandi vie di comunicazione) e siti che presentavano evidenti tracce di rimaneggiamento o di intervento antropico.



*Figura 3.3: Trivellata eseguita con trivella olandese manuale; le carote di terreno estratte vengono posizionate su di un telo per consentire la descrizione degli orizzonti pedologici e il campionamento.*



*Figura 3.4: Trincea scavata per la descrizione del profilo di suolo.*

Per la descrizione delle osservazioni è stato utilizzato il “Manuale per la descrizione del suolo” (ARPAV, 2004 e versioni successive) e la relativa scheda di descrizione. Tutte le osservazioni sono inserite in una banca dati informatizzata e sono georeferenziate.

La profondità di campionamento è stata scelta in funzione degli orizzonti pedologici, ma con metodologie differenziate tra pianura e montagna. In pianura i campioni per la determinazione del contenuto naturale sono stati prelevati in corrispondenza del primo orizzonte o strato pedologico sotto i 70 cm, ritenendo tale profondità sufficiente per poter escludere qualsiasi eventuale apporto antropico; per la determinazione del contenuto naturale-antropico si è campionato in corrispondenza del primo orizzonte individuato partendo dalla superficie, fino ad una profondità massima di circa 40-50 cm sempre all'interno dell'orizzonte lavorato. In montagna si è operato in maniera diversa prelevando un campione superficiale dal primo orizzonte pedologico, di spessore variabile, e un secondo campione in corrispondenza del primo orizzonte pedologico sotto i 70 cm quando possibile o, quando il suolo era meno profondo, in corrispondenza dell'orizzonte più profondo campionabile; questo implica che in suoli molto sottili l'orizzonte profondo è stato campionato anche a pochi decimetri di profondità.

Il campionamento è stato eseguito in un arco di tempo piuttosto lungo (1998-2015), inizialmente in occasione del rilevamento pedologico di diverse aree in scala 1:50.000 e 1:25.000 (aree DOC del Piave e dei Colli Euganei, bacino scolante in laguna di Venezia, province di Treviso e Venezia), successivamente con la realizzazione della carta dei suoli del Veneto in scala 1:250.000 il campionamento è stato esteso alle aree di pianura che erano rimaste scoperte, anche se con una densità inferiore, e alle aree montane e collinari. Dopo la prima determinazione del valore di fondo del 2011 si è cercato di aumentare il numero di campioni in quelle unità in cui non era sufficientemente grande per una robusta elaborazione statistica; l'avanzamento del rilevamento pedologico in scala 1:50.000 nelle province di Padova, Rovigo, Vicenza e Verona ha consentito di aumentare la densità dei dati in molte unità (figura 3.5).





*Figura 3.5: Localizzazione dei punti di campionamento per il contenuto in metalli e metalloidi nei suoli del Veneto.*

Campionamenti specifici e spesso a densità superiori sono stati eseguiti in aree dove era necessaria la determinazione del valore di fondo: nell'area contigua al sito d'interesse nazionale di Porto Marghera, nell'area contermina alla laguna di Venezia, in alcuni comuni dell'alto vicentino, nell'area adiacente al sito di interesse nazionale di Mardimago (RO), nell'area interessata dalla costruzione del metanodotto Porto Viro – Cavarzere e nell'area del distretto della concia (Valle del Chiampo).

I campioni analizzati e utilizzati per il presente lavoro sono stati complessivamente 4131 (contro i 2393 del volume precedente), di cui 2337 superficiali e 1794 profondi. In pianura ricadono 1906 campioni superficiali e 1480 profondi, mentre nell'ambiente montano-collinare 431 superficiali e 314 profondi. Il numero di campioni analizzati e disponibili in banca dati in realtà è superiore, perché per molti profili, in particolar modo nell'area montana e prealpina, sono stati analizzati tutti gli orizzonti descritti.

La densità di campionamento finale negli orizzonti superficiali è stata di 0,134 oss/km<sup>2</sup> per tutto il territorio regionale, che corrispondono a 0,183 oss./km<sup>2</sup> per l'area di pianura e 0,061, per il territorio collinare e montano.

### Analisi di laboratorio

Le determinazioni analitiche sono state effettuate presso il laboratorio ARPAV del Servizio Laboratori di Treviso che ha operato dal 1998 al 2009 presso la sede di Castelfranco Veneto e successivamente presso quella di Treviso, utilizzando metodi di analisi ufficiali riconosciuti a livello nazionale e/o internazionale ed eseguite sulla frazione granulometrica inferiore ai 2 mm (terra fine).

DETERMINAZIONE	METODO	RIFERIMENTO
pH in acqua	metodo potenziometrico con rapporto suolo-acqua 1:2,5	DM 13.9.99 Met. III.1
Carbonio organico	metodo di Walkley-Black: ossidazione con bicomato di potassio e analisi in automatico con spettrofotometro UV/VIS	UNICHIM M.U. 775/88
C.S.C. Calcare totale	estrazione con bario cloruro + TEA a pH 8,1 metodo gasvolumetrico	DM 13.9.99 Met. XIII.2 DM 13.9.99 Met. V.1
Granulometria	per sedimentazione previa dispersione in sodio esametafosfato; frazionamento in sabbia (da 2 a 0,05 mm), limo (da 0,05 a 0,002 mm) e argilla (<0,002 mm). Sui campioni con sabbia > 20% e < 50% è stato eseguito un ulteriore frazionamento delle sabbie (per setacciatura) per la determinazione della sabbia molto fine (0,05-0,1 mm).	DM 13.9.99 Met. IV integrato da DM 25.03.2002 Met. II.5
Berillio, Cadmio, Cobalto, Cromo, Rame, Nichel, Piombo, Vanadio, Zinco, totali	mineralizzazione con acqua regia; lettura all'ICP con camera di Scott	DM 13.09.99 Met. XI.1 integrato dal DM 25.03.2002
Antimonio, Arsenico totali	mineralizzazione con acqua regia e derivatizzazione con soluzione riducente; lettura all'ICP con sistema idruri	EPA 7473, EPA 3015, EPA 7062
Selenio, Stagno totali Mercurio totale	mineralizzazione con acqua regia; lettura all'ICP con sistema idruri analisi per volatilizzazione sul t.q. con analizzatore AMA	Metodo interno Metodo interno
Mercurio volatile	determinazione ottenuta dalla differenza tra il mercurio totale e quello residuo dopo aver portato il campione a 180°C per 48 ore	Ebinghaus et al., 1999

*Tabella 3.3: elenco dei metodi utilizzati dal laboratorio ARPAV di Treviso per la determinazione dei metalli pesanti e di alcuni parametri relativi al suolo.*

La possibilità di eseguire tutte le analisi presso il medesimo laboratorio, accreditato ai sensi della norma UNI EN ISO 17025 e assoggettato in modo continuativo ad una procedura di controllo dei risultati di analisi per mezzo della partecipazione ad un circuito di interconfronto internazionale (WEPAL), ha costituito la principale garanzia per l'affidabilità dei risultati ottenuti in un consistente arco temporale (15 anni circa). Prima dell'analisi tutti i campioni sono stati essiccati all'aria e setacciati avendo cura di evitare, in tutte le fasi del trattamento, contaminazioni da oggetti metallici.

Le metodiche analitiche utilizzate per la maggior parte dei parametri sono quelle individuate dal D.M. del 13 settembre 1999 "Metodi ufficiali di analisi chimica sul suolo", e ad integrazione le metodiche USEPA ed ISO (tabella 3.3).

Al termine delle analisi 300 g circa di ciascun campione sono stati archiviati per garantire la possibilità di effettuare analisi integrative.

I metalli oggetto di determinazione sono antimonio, arsenico, berillio, cadmio, cobalto, cromo, rame, mercurio, nichel, piombo, selenio, stagno, vanadio, zinco; per misurarne la concentrazione nel suolo è stata eseguita la determinazione degli elementi in forma "totale" (o *pseudo-total* secondo la terminologia anglosassone) cioè quelli presenti nella frazione estraibile in acqua regia.

Per una migliore comprensione dei risultati relativi ai metalli, qualora non fosse già prevista l'analisi nell'ambito di indagini pedologiche, sono stati analizzati anche alcuni parametri del suolo che sono strettamente connessi con il comportamento chimico dei metalli pesanti e con la loro biodisponibilità; in particolare:

- tessitura (le argille presenti nei suoli possono infatti determinare fenomeni di adsorbimento dei metalli);
- pH (le variazioni di pH influenzano le variazioni di solubilità dei metalli);
- sostanza organica (la sostanza organica, come le argille, può influire sui processi di adsorbimento);
- capacità di scambio cationico (modifica e può influenzare i processi di adsorbimento);
- calcare totale.

### Elaborazione dei dati

L'elaborazione statistica dei dati è stata condotta inizialmente sull'intero *dataset*, per una prima stima dell'andamento delle concentrazioni, successivamente per ciascuna unità deposizionale/fisiografica. Il numero di osservazioni all'interno delle unità è risultato variabile, poiché le unità e il numero di siti relativo sono stati stabiliti a tavolino ma poi perfezionati nel corso del rilevamento e durante l'elaborazione dei dati; per alcune unità, in particolar modo nell'area montana, il numero di dati a disposizione è risultato essere inferiore a 30, numero consigliato nella norma ISO 19258/2005 per la determinazione dei valori di fondo, ma comunque sufficiente per un'elaborazione statistica.

Le elaborazioni all'interno di queste unità, cautelativamente, sono state condotte sull'intero dataset e non separando orizzonti superficiali e profondi, portando alla definizione di un unico valore di fondo. I metalli con meno di 5 dati analitici sono stati esclusi dalle elaborazioni e dalla definizione del valore di fondo.

### Statistica descrittiva

Sui dati sono state eseguite alcune elaborazioni di statistica descrittiva per ciascun elemento, mantenendo distinti i valori degli orizzonti superficiali da quelli profondi; per ogni variabile sono stati determinati media, mediana, minimo, massimo, percentili (5°, 25°, 75°, 90° e 95°), deviazione standard, errore standard, coefficienti di asimmetria (*skewness*) e di curtosi (*kurtosis*) e sono stati eseguiti test per la normalità.

Tutte le elaborazioni sono state eseguite utilizzando i programmi Statistica 8.0 e ProUCL 5.0 (EPA, 2013).

### Trattamento dei "non detect"

Per alcuni metalli il numero di valori "non detect", ovvero con concentrazione al di sotto del limite di misura (*Quantitation Limit*) è molto rilevante (es. cadmio e mercurio). Tale valore può essere definito come il livello più basso al quale una sostanza chimica può essere misurata con precisione, generalmente pari al limite di rilevabilità (*Detection Limit*) dello strumento moltiplicato per un fattore compreso fra tre e cinque. In base alle indicazioni di letteratura, in particolare del protocollo APAT per la determinazione dei valori di fondo dei metalli/metalloidi nei suoli dei siti d'interesse nazionale (APAT-ISS, 2006), i dati sono stati trattati utilizzando il metodo della sostituzione semplice (*"Simple Substitution Methods"*), assegnando ai "non detect" un valore pari alla metà del *Quantitation Limit*. Quando il numero dei "non detect" è superiore al 15% del *dataset*, media e deviazione standard non sono idonee a descrivere la popolazione, pertanto i dati sono stati trattati utilizzando metodi non parametrici nel confronto tra gruppi ed è stata impiegata la mediana come parametro descrittore (Soliani, 2003). E' stato inoltre utilizzato il software ProUCL 5.0 che prevede il metodo di Kaplan-Meier o ROS (*regression on order statistics*), o la sostituzione con DL o DL/2; il programma effettua la sostituzione con tutti i metodi e successivamente verifica quale sostituzione approssima meglio una distribuzione normale, lognormale o gamma. Nel testo il termine "limite di rilevabilità" viene utilizzato nell'accezione d'uso comune per indicare il valore espresso dal laboratorio nel rapporto di prova che indica il valore minimo determinabile.

### Analisi della distribuzione dei dati (normale, lognormale, gamma)

Nella rappresentazione di una serie di dati ambientali le distribuzioni di probabilità più comunemente utilizzate sono: la gaussiana o normale, la lognormale, la gamma e la distribuzione non parametrica.

La distribuzione gaussiana, o **normale**, è una distribuzione di tipo simmetrico la cui tendenza centrale è data dal calcolo della media aritmetica dei valori (figura 3.6).



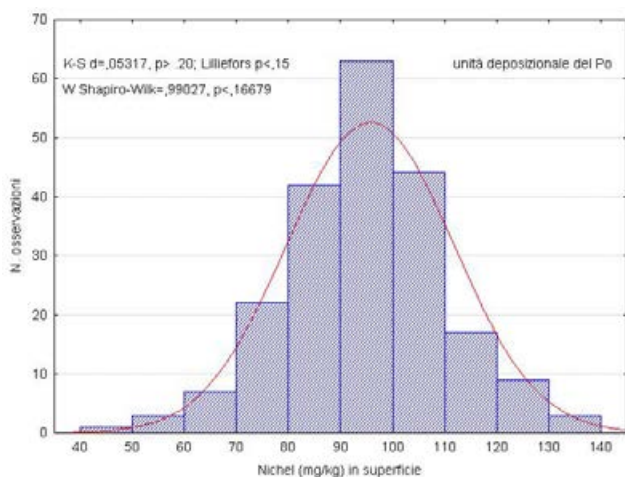


Figura 3.6: Esempio di distribuzione normale: nichel nell'unità del Po nel Veneto.

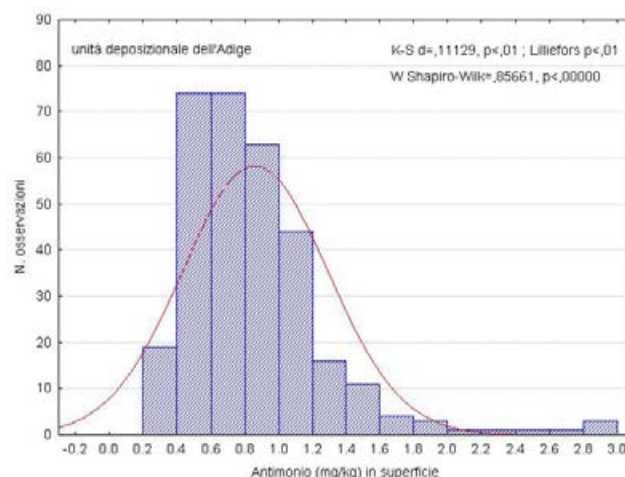


Figura 3.7: Esempio di distribuzione lognormale: antimonio nell'unità dell'Adige nel Veneto.

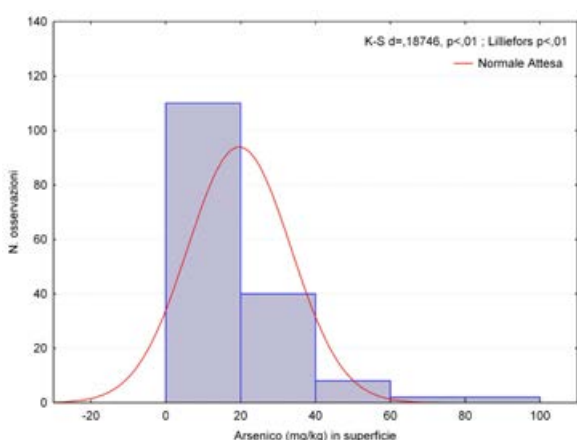


Figura 3.8: Esempio di istogramma di frequenza: arsenico negli orizzonti superficiali dell'unità deposizionale dell'Adige in Veneto.

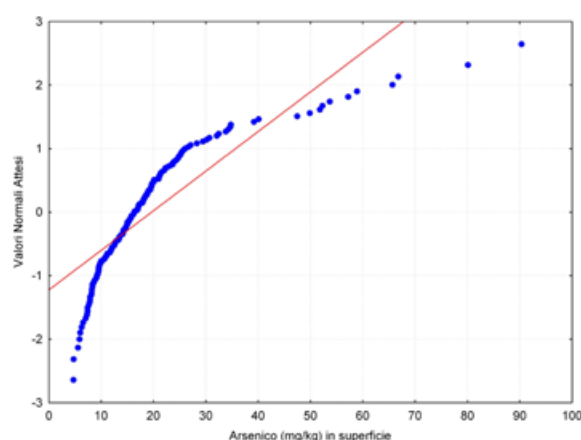


Figura 3.9: Distribuzione cumulativa di frequenza osservata rispetto ai valori normali teorici (normal probability plot): arsenico negli orizzonti superficiali dell'unità deposizionale dell'Adige in Veneto.

La distribuzione **lognormale** è invece un tipo di distribuzione asimmetrica, derivante dal calcolo della media geometrica dei valori. Nel caso di valori di concentrazione, la sua forma è più pendente di quella di una distribuzione normale ed è delimitata a sinistra dallo zero, mentre la parte destra presenta una specie di coda più lunga di quella normale. Tale asimmetria (coda a destra) è definita come positiva ed è dovuta al fatto che a un'elevata frequenza di valori bassi si associa una coda di valori molto meno frequenti ma, allo stesso tempo, molto elevati (figura 3.7).

Molti dataset ambientali presentano forti asimmetrie che possono essere rappresentate mediante distribuzioni lognormali, ma anche, specialmente nei casi in cui il numero di campioni  $n$  è inferiore a 70-100, di tipo gamma. La distribuzione **gamma** è generalmente definita da due parametri:  $k$  (parametro di forma) e  $\theta$  (parametro di scala); il loro prodotto è pari alla media aritmetica.

Nel caso in cui non sia possibile dimostrare che i valori di un dataset seguono una tra le suddette distribuzioni (ad esempio a causa dello scarso numero di campioni) o qualora risulti, dall'applicazione dei test statistici, che nessuna distribuzione approssimi bene l'insieme dei dati, si parla di dataset **non parametrici**.

Per ciascun parametro è stata verificata la normalità della distribuzione attraverso i test statistici di Kolmogorov-Smirnov, di Lilliefors e Shapiro-Wilk (figure 3.8 e 3.9); in caso negativo, è stata effettuata la trasformazione logaritmica dei dati e quindi riverificata nuovamente la normalità; nel caso la distribuzione non sia neppure logaritmica è stata effettuata la trasformazione dei dati scegliendo quella più appropriata con il metodo di Box-Cox (figura 3.10); anche in quest'ultimo caso è stata verificata la normalità dei dati trasformati.

### Individuazione e trattamento degli outliers

Sui dati, tal quali o trasformati a seconda dei casi, è stata eseguita la ricerca di eventuali *outliers*, che possono essere definiti come valori, all'interno di un dataset, non rappresentativi dell'insieme di dati nel suo complesso, perché quantitativamente in numero molto ridotto e qualitativamente caratterizzati da valori molto grandi o molto piccoli rispetto al resto del dataset (APAT-ISS, 2006). Tali valori estremi possono costituire dei "falsi outliers", che derivano da errori di trascrizioni, di codifica dei dati o da una qualsiasi inefficienza degli strumenti del sistema di rilevazione dei dati, o "veri outliers", valori estremi reali, spesso presenti in campo ambientale. La rimozione dei secondi e/o la mancata rimozione dei primi può condurre ad una errata visione del dataset (APAT-ISS, 2006). Gli outliers sono stati identificati sia con metodi grafici che con l'utilizzo di test statistici. Nel primo caso sono utilizzati i grafici chiamati "*box and whiskers plot*" (figura 3.11), a scatola e baffi, come suggerito dal documento ISO 19258 (2005); questi grafici riportano nella scatola la distribuzione dei dati tra il 25° e il 75° percentile, visualizzando cioè il 50% dei dati, e al suo interno la mediana; i baffi vanno dal 25° e 75° percentile rispettivamente fino al valore pari a una volta e mezzo l'intervallo interquartile (differenza tra il 25° e il 75° percentile): i valori che ricadono al di fuori dei baffi sono identificati come outliers. Oltre al metodo grafico, per i dati con distribuzione normale o log-normale l'eventuale presenza di outliers è stata confermata anche attraverso il test di Rosner (EPA, 2013), test consigliato per un numero di dati maggiore di 25. Questo test è fondato sul concetto di rimuovere progressivamente i valori più estremi, partendo da quelli che sono più lontani dalla media del campione, ma di fare alla fine una valutazione complessiva. Indipendentemente dal test scelto, l'effettiva eliminazione degli outliers è stata valutata e motivata di volta in volta. Dal momento che il *dataset* era stato validato in precedenza, escludendo valori derivanti da errori di trascrizione, di codifica dei dati o di strumentazione, la presenza di valori *outliers* è riconducibile a fenomeni di inquinamento puntuale oppure alla presenza di materiali parentali diversi da quelli dell'unità, deposizionale o fisiografica, in esame. I primi sono stati senz'altro esclusi dall'elaborazione mentre i secondi sono stati eliminati soltanto quando considerati dei veri "intrusi", spesso posti al confine tra due diverse unità.

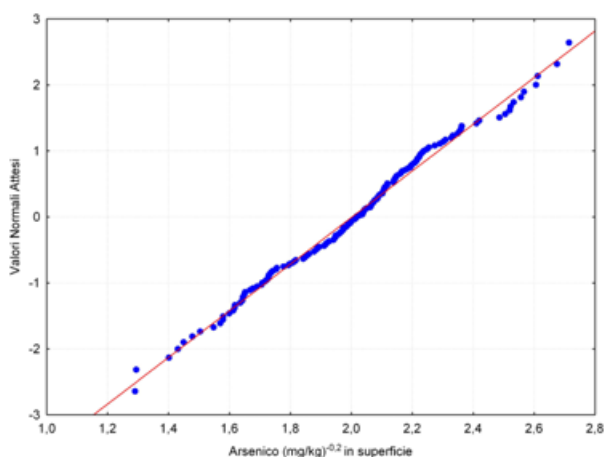


Figura 3.10: Distribuzione cumulativa di frequenza osservata rispetto ai valori normali teorici (normal probability plot): arsenico dopo trasformazione di Box-Cox negli orizzonti superficiali dell'unità deposizionale dell'Adige in Veneto.

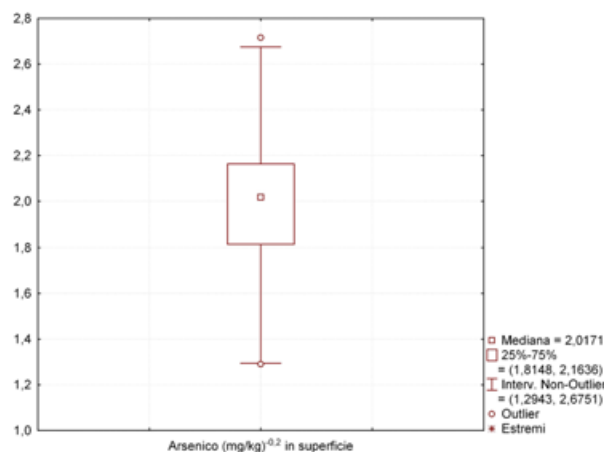


Figura 3.11: Grafico "*box and whiskers*" dell'arsenico dopo trasformazione di Box-Cox: orizzonti superficiali dell'unità deposizionale dell'Adige in Veneto; i pallini individuano gli outliers.

Per ogni elemento in ciascuna unità sono inoltre state testate le correlazioni (correlazione parametrica di Pearson e non parametrica di Spearman) con i parametri principali del suolo, come il contenuto di argilla, sabbia, carbonio organico, il calcare totale e il pH, e con gli altri metalli, utili per l'individuazione di eventuali associazioni dovute al materiale parentale o al comportamento geochemico oppure ad una fonte di apporto esogeno.

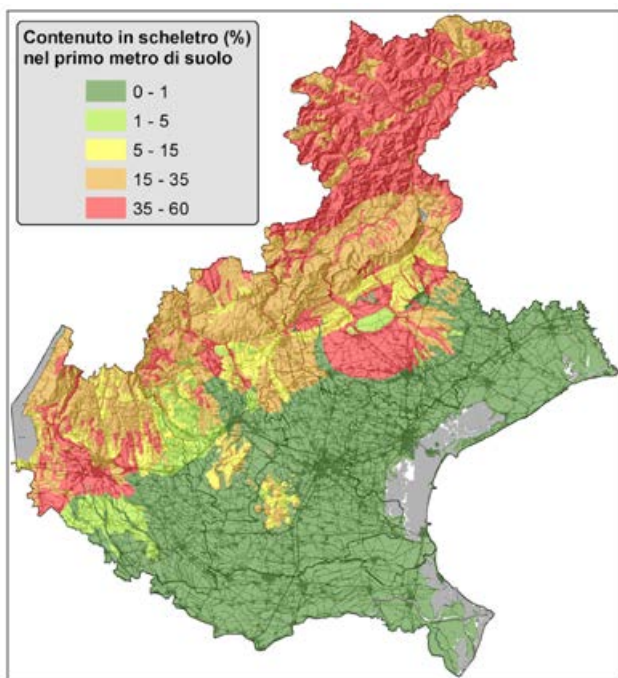


Figura 3.12: Presenza di scheletro, espressa in percentuale in volume, nel primo metro di suolo.

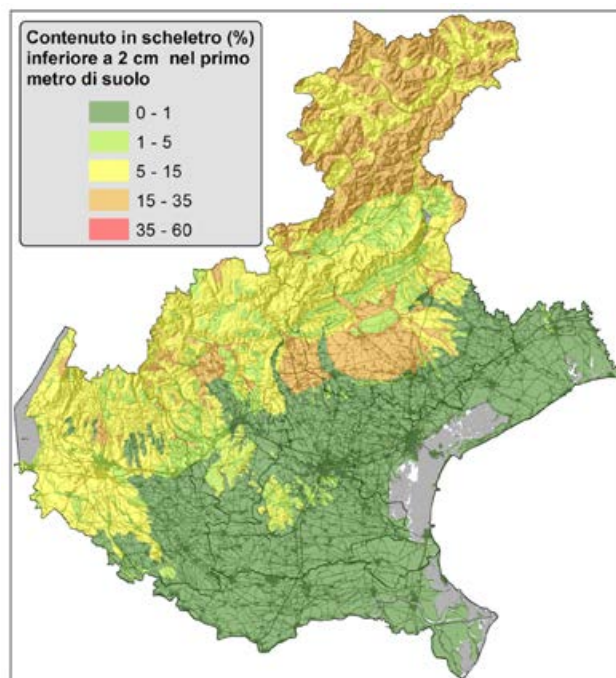


Figura 3.13: Presenza di scheletro inferiore ai 2 cm, come richiesto dal D.lgs. 152/2006, espressa in percentuale in volume, nel primo metro di suolo.

### Definizione dei valori di fondo

Si ricorda che sia la norma ISO 19258 (2005) sia i manuali dell'Environment Protection Agency (EPA, 2002) non indicano un preciso metodo per definire il valore di fondo ma una serie di stimatori statistici tra i quali scegliere quello più idoneo al caso di studio; tra questi l'EPA include oltre ai percentili (90°, 95° e 99°), l'Upper Prediction Limit (Limite di Predizione Superiore, di seguito UPL) e l'Upper Tolerance Limit di un determinato percentile (Limite di Tolleranza Superiore, di seguito UTL) entrambi con confidenza al 95%.

Il percentile rappresenta la condizione in cui una percentuale  $x$  della distribuzione è minore o pari al valore del percentile. In particolare, quindi, il 95° percentile è quel valore che eguaglia o supera il 95% dei valori di concentrazione che costituiscono l'insieme dei dati.

L'UTL, il limite superiore di tolleranza, stima il valore che dovrebbe essere superiore ad una determinata percentuale delle singole misure nella popolazione. L'UTL corrisponde, quindi, a un limite di confidenza di un determinato percentile della popolazione. Per esempio un UTL del 95° percentile, corrisponde al valore al di sotto del quale ci si aspetta di trovare il 95% della popolazione con il 95% di confidenza. L'intervallo di tolleranza può essere determinato usando la seguente equazione:  $media \pm K * deviazione\ standard$ ; dove il fattore  $K$  aggiusta l'ampiezza dell'intervallo ed è ricavato da valori tabellari per una determinata confidenza. Mentre l'intervallo di tolleranza fa delle stime basate su una popolazione campionata, l'UPL, il limite di predizione superiore, stima invece quale potrebbe essere il valore massimo nel caso di un nuovo campionamento con un intervallo di confidenza del 95%. L'intervallo di predizione tenta quindi di determinare i valori entro i quali dovrebbero ricadere, data una certa distribuzione di popolazione (con una determinata media e deviazione standard) i valori determinati in futuro.

In una popolazione normale quindi:

$$Media \leq 95^\circ \text{ Percentile} \leq UPL \text{ di una o più osservazioni} \leq UTL \text{ del } 95^\circ \text{ percentile};$$

Sempre EPA ricorda che il 95° percentile può essere calcolato, oltre che dal set di dati, a partire dalla media e dalla deviazione standard, secondo le regole della statistica inferenziale, con la seguente formula:

$$95^\circ \text{ percentile} = media + 1,645 * deviazione\ standard;$$



quindi anche il 95° percentile calcolato in questo modo può fornire un'indicazione utile, ma vale solo per quelle popolazioni che presentano distribuzione normale, o che vengono normalizzate attraverso la trasformazione dei dati.

Tutti gli stimatori statistici definiti sopra sono stati calcolati ma è stato scelto il 95° percentile per definire il valore di fondo all'interno di ciascuna unità fisiografica/deposizionale. Per poter distinguere tra valore di fondo naturale-antropico (VFA) e valore di fondo naturale o pedo-geochimico (VFN; MiPAF, 2007) sono stati tenuti distinti i valori delle concentrazioni negli orizzonti superficiali e profondi (es. vedi tabelle del capitolo 4), in modo tale da conservare le informazioni relative alle diverse profondità. Per una

semplificazione a livello operativo, per ogni metallo e metalloide, si è scelto però di fornire un unico valore per ciascuna unità, riportato nel capitolo 5 (tabella 5.1), corrispondente al valore più elevato tra il fondo naturale-antropico e quello pedo-geochimico, così come previsto anche dalla DGRV 464/2010.

Si ricorda che i valori di fondo proposti nel presente volume, come già accennato nel capitolo relativo alla normativa, sono riferiti alla sola frazione fine inferiore ai 2 mm, senza considerare lo scheletro, a differenza di quanto previsto dal D.Lgs. 152/2006 secondo il quale le concentrazioni vanno riferite alla totalità dei materiali secchi comprensiva anche della frazione inferiore a 2 cm dello scheletro. Questo non determina alcuna differenza dove lo scheletro è assente, come le aree di bassa pianura, mentre in alta

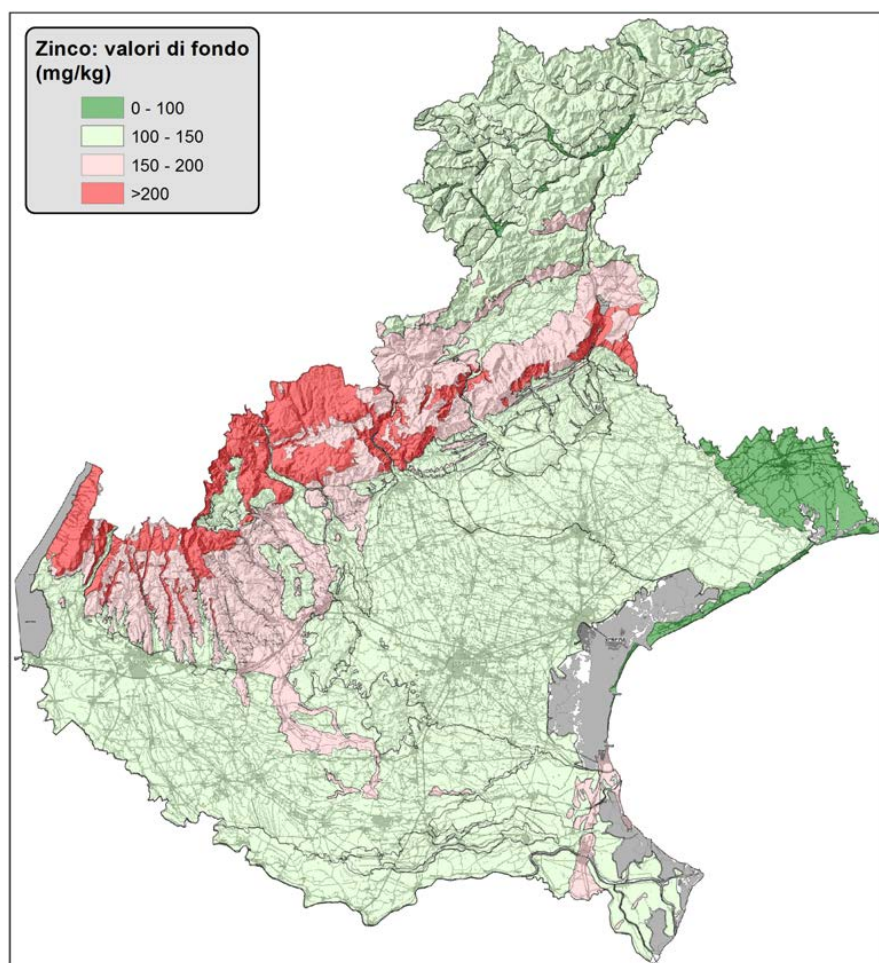


Figura 3.14: Esempio delle elaborazioni cartografiche prodotte: valore di fondo dello zinco. In tonalità rosse i valori di fondo superiori alla concentrazione soglia di contaminazione prevista dal D.Lgs. 152/2006.

pianura, ma anche in area collinare o montana, i valori di fondo calcolati potrebbero ridursi, tenendo in considerazione una parte dello scheletro, anche del 30%.

A titolo indicativo nella figura 3.12 viene riportata la distribuzione sul territorio regionale dei suoli classificati in base alla percentuale di scheletro totale presente nel primo metro di suolo, espresso in volume, mentre la figura 3.13 mostra la distribuzione regionale dello scheletro con diametro inferiore a 2 cm.

### Elaborazione cartografica

I valori di fondo determinati per ciascuna unità fisiografica/deposizionale sono stati rappresentati in cartografie specifiche per ciascun metallo e riportate in appendice (vedi come esempio la figura 3.14); in queste carte i valori sono raffigurati divisi in quattro classi modulate sulla concentrazione soglia di contaminazione, prevista per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (colonna A) dal D.Lgs

152/2006 (e s.m.i.). Delle quattro classi due, di colore verde, rappresentano i valori al di sotto della soglia e due, di colore rosso, quelli al di sopra.

È stata realizzata anche una cartografia ad una scala di maggior dettaglio, scaricabile come file pdf dal sito internet di ARPAV, alla sezione Suolo, avente come base cartografica la carta tecnica regionale, utile per l'identificazione precisa dei limiti delle varie unità.

### Arricchimento superficiale

INDICE IGEO	STATO DEL SUOLO
<=0	Non contaminato
0-1	Da non a moderatamente contaminato
1-2	Moderatamente contaminato
2-3	Da moderatamente a fortemente contaminato
3-4	Fortemente contaminato
4-5	Da fortemente a estremamente contaminato
>5	Estremamente contaminato

Tabella 3.4: Classificazione del suolo in relazione ai valori dell'indice di Geoaccumulo di un elemento nel suolo.

La presenza e l'intensità di fenomeni di contaminazione superficiale è stata valutata utilizzando degli indici di contaminazione che mettono in relazione le concentrazioni di un elemento in profondità (concentrazione naturale) con quelle riscontrate in superficie.

Tra i diversi indici proposti in letteratura si è ritenuto più idoneo per l'ambiente veneto l'indice di

**geoaccumulo (Igeo)** (Müller, 1979; Förstner & Müller, 1981), definito dalla formula:

$$Igeo = \log_2 C_n / (1,5 * B_n)$$

dove:

C<sub>n</sub> = concentrazione di metallo nel campione in superficie

B<sub>n</sub> = tenore di fondo naturale nel campione in profondità.

L'indice di Geoaccumulo viene diviso in 7 classi in accordo con Muller, (1981) che definisce il suolo da "incontaminato" a "estremamente contaminato" secondo lo schema riportato nella tabella 3.4. Un debole arricchimento superficiale è da considerare normale perché può essere dovuto a normali processi pedogenetici.

	N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Minimo	Massimo	Inferiore Quartile	Superiore Quartile
Igeo Sb	1440	-0.08	0.85	-0.21	-4.03	3.69	-0.58	0.34
Igeo As	1616	-0.30	0.86	-0.41	-3.56	4.05	-0.81	0.17
Igeo Be	1296	-0.33	0.84	-0.58	-3.01	2.09	-0.77	0.07
Igeo Cd	1783	-0.37	0.61	-0.58	-3.60	3.20	-0.58	-0.18
Igeo Co	1762	-0.34	0.71	-0.48	-3.32	4.51	-0.72	-0.05
Igeo Cr	1780	-0.25	0.79	-0.42	-3.34	4.07	-0.72	0.09
Igeo Hg	1615	0.04	1.00	-0.40	-3.75	5.05	-0.58	0.68
Igeo Ni	1783	-0.40	0.74	-0.51	-5.63	3.07	-0.82	-0.07
Igeo Pb	1783	0.50	1.17	0.24	-3.32	9.17	-0.31	1.13
Igeo Cu	1770	0.38	1.13	0.16	-4.51	4.84	-0.42	1.04
Igeo Se	1217	-0.03	0.86	-0.38	-3.37	3.49	-0.58	0.66
Igeo Sn	1238	0.00	0.93	-0.19	-4.09	4.32	-0.56	0.42
Igeo V	1306	-0.31	0.64	-0.45	-3.16	3.62	-0.70	-0.02
Igeo Zn	1769	-0.09	0.72	-0.24	-2.46	3.50	-0.54	0.23

Tabella 3.5: Principali parametri statistici dell'Indice di Geoaccumulo dei diversi elementi nel suolo.

L'indice è stato calcolato per tutti i punti in cui erano stati analizzati sia gli orizzonti superficiale che quelli profondi, ovvero per 1784 osservazioni. Come si osserva nella tabella 3.5 e dal grafico di figura 3.15 che riportano i principali parametri statistici dell'indice, soltanto in pochi casi, e per pochi metalli, si hanno fenomeni di arricchimento degni di nota.

Più significativa è l'analisi dell'indice per le osservazioni all'interno di ciascuna unità fisiografica e deposizionale alle quali si rimanda per una descrizione dettagliata.

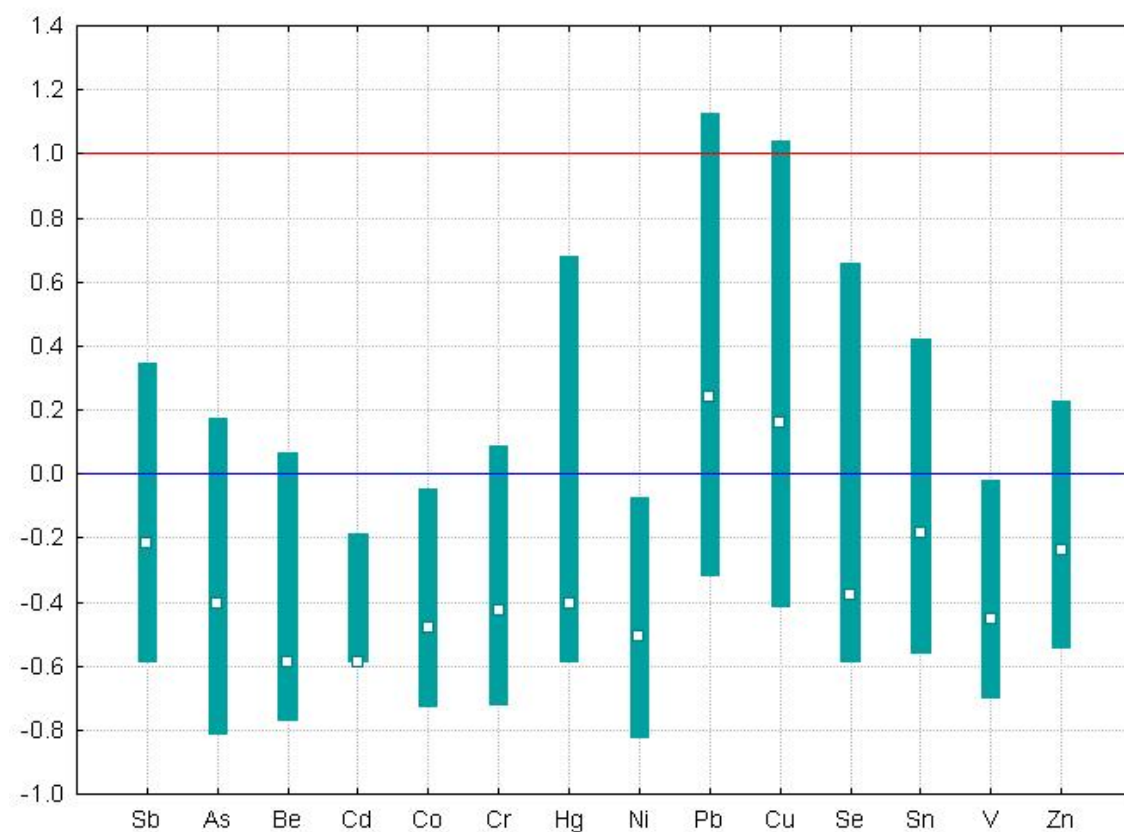


Figura 3.15: Indice di geoaccumulo (IGEO) dei metalli e metalloidi del Veneto: i quadrati interni rappresentano i valori mediani dell'indice, le barre azzurre il 25° e 75° percentile; i valori al di sotto della linea blu (IGEO <0) indicano assenza di arricchimento, tra questa e la prima linea rossa moderato arricchimento (IGEO 0 – 1), al di sopra medio arricchimento (IGEO 1 – 2).

## **4. Il contenuto in metalli e metalloidi nelle unità fisiografiche e deposizionali del Veneto**

## ALPI DEL BASAMENTO CRISTALLINO E METAMORFICO (MA)

Metallo o metalloide	Sb	As	Be	Cd	Co	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Sn	V	Zn
Valore di fondo (mg/kg)	2,6	19	1,6	0,52	22	68	0,40	46	90	48	--	--	69	150
Limite col. A, D.Lgs 152/2006	10	20	2	2	20	150	1	120	100	120	3	--	90	150



### Inquadramento, formazione e caratteristiche generali dei suoli

L'unità fisiografica delle Alpi del basamento cristallino e metamorfico si estende su una superficie di 280 km<sup>2</sup> ed è suddivisa in 7 sub-aree nelle province di Belluno e Vicenza. È costituita da suoli che si sviluppano su rocce silicatiche quali le sequenze metamorfiche di Agordo, Recoaro, Valle del Pivoa e del Comelico; le formazioni più diffuse sono le filladi e secondariamente le arenarie della Valgardena e il Conglomerato di Sesto.

Nei confronti delle unità fisiografiche limitrofe che sono costituite prevalentemente da litotipi carbonatici l'unità si differenzia in maniera piuttosto netta sia pedologicamente che in termini di contenuto in metalli. Il limite tra unità non è comunque mai netto e sono diffuse inclusioni di litotipi diversi, in questo caso carbonatici, che possono determinare, all'interno dell'area delimitata cartograficamente, concentrazioni in metalli diversificate.



I suoli dell'area sono caratterizzati da processi di podzolizzazione, anche spinti, favoriti dal materiale di partenza acido e dal clima rigido. I suoli sono acidi, spesso fortemente acidi in superficie (pH inferiore a 5) e ricchi in sostanza organica in particolare in superficie, dove è quasi sempre superiore al 5%. La tessitura è sempre franca o franco sabbiosa con valori moderatamente bassi di argilla (12%) mentre lo spessore è limitato, sempre inferiore al metro e comunemente intorno ai 50-60 centimetri.

### Indagini e risultati

Nell'unità fisiografica sono stati prelevati e analizzati un numero variabile di campioni a seconda dei diversi metalli: in superficie si passa dai 33 campioni disponibili per cromo, rame nichel e zinco agli 8 campioni disponibili per antimonio e arsenico; situazione simile si osserva anche in profondità. L'esiguo numero di campioni in particolare per antimonio, arsenico e mercurio e, secondariamente, vanadio ha portato a utilizzare una procedura diversa da quella applicata in altre unità con numerosità maggiore; i due dataset, superficiale e profondo, sono stati uniti per raggiungere, per il maggior numero di metalli, la numerosità suggerita (30) dalla norma ISO19258 (2005). Nonostante la procedura utilizzata, per antimonio, arsenico, berillio, mercurio e vanadio il numero di campioni risulta ancora inferiore a 30. Non sono invece disponibili dati per selenio e stagno.

Dalla lettura della tabella MA.2 è evidente che l'unità presenta delle concentrazioni in metalli e metalloidi

MA								
	N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile
<b>Sb*</b>	14	1,43	0,71	1,2	0,99	1,4	2,6	3,4
<b>As*</b>	16	10,2	6,05	10	6,4	13	19	<b>23</b>
<b>Be*</b>	26	1,00	0,31	0,95	0,83	1,1	1,6	1,8
<b>Cd</b>	63	0,32	0,34	0,25	0,25	0,25	0,52	1,5
<b>Co</b>	62	11,4	6,22	11	6,1	14	<b>22</b>	<b>27</b>
<b>Cr</b>	64	40,2	18,1	39	29	50	68	94
<b>Hg*</b>	16	0,16	0,13	0,11	0,09	0,21	0,40	0,41
<b>Ni</b>	64	26,3	13,1	26	16	37	46	54
<b>Pb</b>	63	37,1	25,3	29	22	42	90	<b>110</b>
<b>Cu</b>	64	22,9	13,9	21	11	31	48	51
<b>V*</b>	26	46,2	15,1	49	35	55	69	76
<b>Zn</b>	64	87,5	37,8	86	54	116	150	<b>158</b>

Tabella MA.2: Principali parametri statistici delle concentrazioni di metalli e metalloidi nell'unità delle Alpi del basamento cristallino e metamorfico (MA); a causa della scarsa numerosità del dataset i campioni dell'unità non sono stati suddivisi in superficiali e profondi. Dati espressi in mg/kg. \*Numero di campioni inferiore a 30, numerosità campionaria suggerita dalla norma ISO 19258 (2005).

	MA					
	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore
pH	64	5,1	0,8	5,0	4,4	5,7
Carb. Org. (%)	64	3,5	3,9	1,9	0,7	5,0
Calc. tot. (%)	54	0,2	1,0	0	0	0
Argilla (%)	55	12,4	6,4	13	7	17
Sabbia (%)	55	53,2	12,4	50	45	63
CSC (meq/100g)	62	10,4	6,5	9	6	14

Tabella MA.1: Principali parametri statistici di alcuni caratteri del suolo nell'unità delle Alpi del basamento cristallino e metamorfico (MA).

sempre inferiori ai limiti di colonna A del D.Lgs. 152/2006 con l'eccezione del **cobalto** per il quale è stato definito un valore di fondo di poco superiore ai limiti e pari a 22 mg/kg. Per lo zinco il valore di fondo coincide con il limite di legge. Per alcuni metalli, in particolare **arsenico**, **piombo** e **zinco** nella popolazione presa in esame sono comunque presenti valori massimi superiori alle CSC e non esclusi come outliers (si vedano valori di 99° percentile in tabella MA.2). Per quanto riguarda il piombo questi superamenti, dovuti molto probabilmente alla deposizione atmosferica, sono limitati agli orizzonti superficiali dello spessore di pochi centimetri e sono assenti negli orizzonti profondi. Per lo zinco i superamenti sono dovuti alla naturale dotazione dei materiali parentali in quanto anche i valori medi sia in superficie che in profondità risultano elevati.

Rispetto alla pubblicazione del 2011, sebbene almeno per alcuni metalli sia aumentato il numero di campioni disponibili, non si osservano differenze significative.

### Relazioni con i caratteri del suolo e tra metalli

Le relazioni tra i diversi metalli e metalloidi e i caratteri del suolo non sono particolarmente forti anche separando i dati degli orizzonti superficiali da quelli profondi. In generale le correlazioni più forti sono quelle tra **carbonio organico** e **mercurio** e **piombo** ( $r$  compreso tra 0,54 e 0,56), probabilmente legate anche al contributo antropico per deposizione atmosferica che si realizza in superficie.

Lo stesso succede per le relazioni tra i vari elementi, le uniche particolarmente significative sono quelle tra  **nichel**, **cobalto** e **rame**. Al contrario antimonio, arsenico e berillio non mostrano alcuna correlazione con gli altri metalli e metalloidi.

### Arricchimento superficiale

Nell'unità delle Alpi del basamento cristallino e metamorfico l'indice di geoaccumulo è in generale basso per tutti gli elementi considerati, come si nota dalla figura MA.1, che riporta i valori mediاني dell'indice; soltanto per mercurio e piombo l'indice assume un valore più elevato, circa 0 per il mercurio e 0,5 per il piombo indicando un probabile apporto di origine antropica. Si sottolinea che a causa degli spessori ridotti degli orizzonti superficiali campionati, in genere 10 centimetri, gli apporti assoluti rimangono comunque modesti. Vale la pena sottolineare che a causa del pH acido, a differenza della gran parte delle altre unità presenti in ambito regionale, i metalli mostrano una certa mobilità che potrebbe mascherare alcuni blandi fenomeni di accumulo.

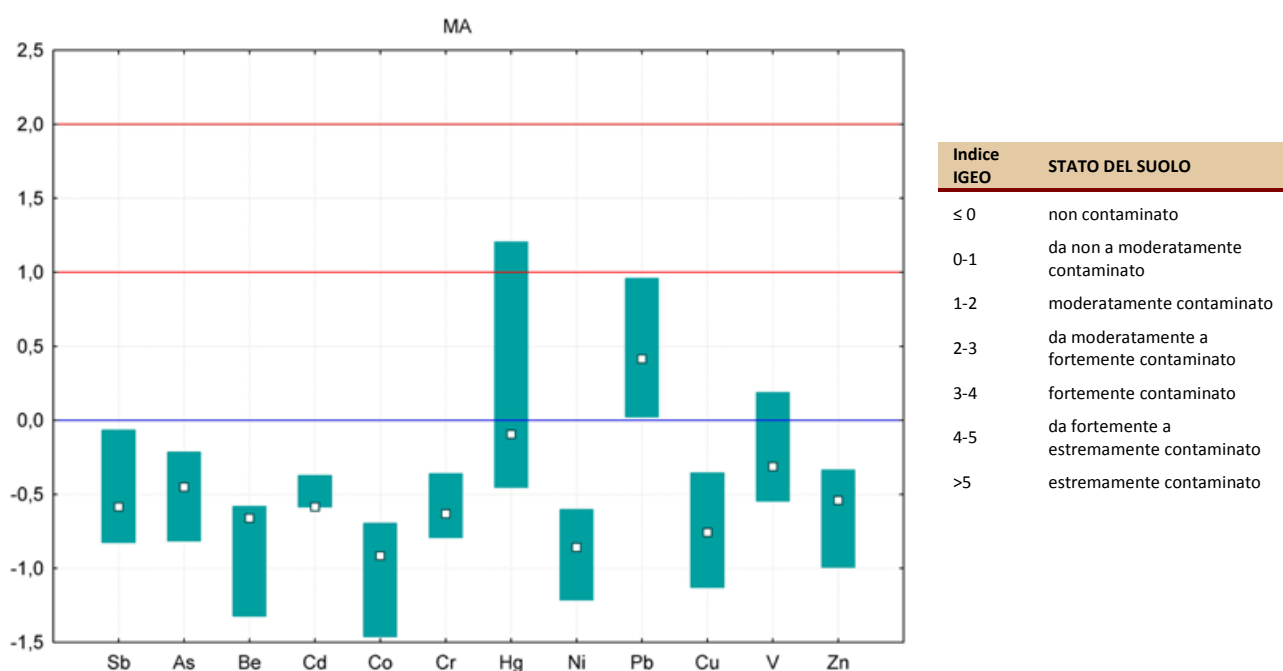
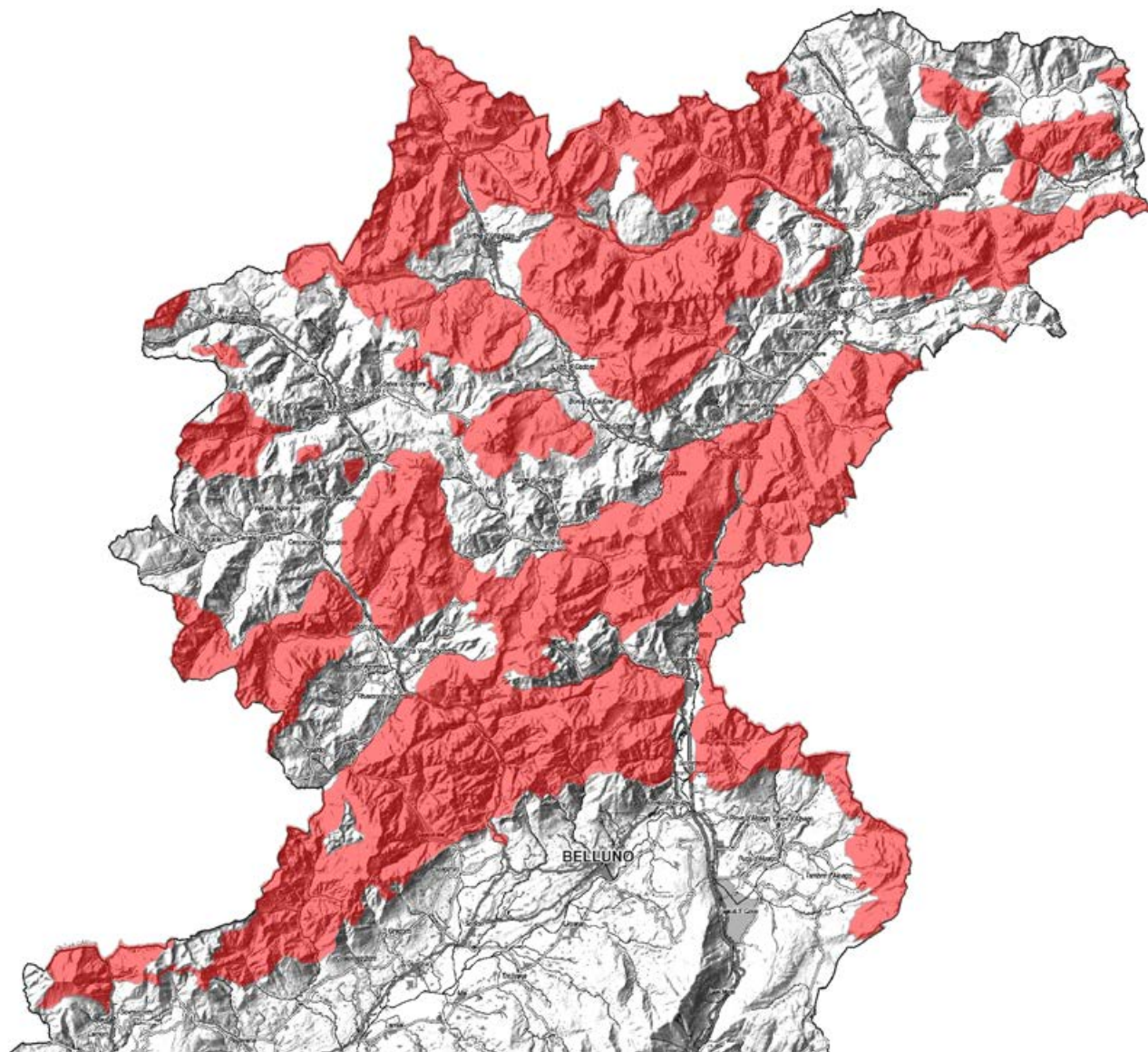


Figura MA.1: Indice di geoaccumulo (IGEO) dei metalli e metalloidi dell'unità delle Alpi del basamento cristallino e metamorfico: i punti rappresentano i valori mediاني dell'indice mentre le barre il 25° e 75° percentile; i valori al di sotto della linea blu indicano assenza di arricchimento, tra questa e la prima linea rossa moderato arricchimento.

## ALPI SU DOLOMIA (MD)

Metallo o metalloide	Sb	As	Be	Cd	Co	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Sn	V	Zn
Valore di fondo (mg/kg)	2,3	24	1,4	1,6	19	84	0,23	46	61	39	0,50	2,9	96	138
Limite col. A, D.Lgs. 152/2006	10	20	2	2	20	150	1	120	100	120	3	--	90	150



### Inquadramento, formazione e caratteristiche generali dei suoli

L'unità fisiografica delle Alpi su dolomia rappresenta l'unità più estesa dell'area alpina e si estende su una superficie di 1453 km<sup>2</sup>; l'unità è suddivisa in 15 sub-aree tutte localizzate in provincia di Belluno. È costituita da suoli che si sviluppano su materiale parentale costituito quasi esclusivamente da dolomia. Prevalgono i suoli sviluppati su depositi di versante o glaciali in quanto tutta l'area è stata coperta da ghiacci durante gran parte del Quaternario.

Dal punto di vista pedologico l'unità si differenzia notevolmente dall'unità delle Alpi del basamento cristallino e metamorfico (MA) e da quella delle Alpi su litotipi silicatici (MS) che presentano suoli a reazione da neutra a acida mentre mostrano delle analogie con i suoli dell'unità MW (Alpi su formazione di Werfen) e con quelle tipiche dell'area prealpina (SA e SD).

Il limite tra unità non è netto, anche a causa del fatto che nell'area alpina è disponibile solo la cartografia dei suoli in scala 1:250.000, e sono quindi frequenti inclusioni di litotipi diversi che possono determinare concentrazioni in metalli diversificate. In queste aree rimane fondamentale il riconoscimento del materiale

	MD					
	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore
pH	40	7,2	1,0	7,5	6,4	7,9
Carb. Org. (%)	40	5,6	6,6	4,3	0,9	7,1
Calc. tot. (%)	39	28,9	30,9	24	0	50
Argilla (%)	28	20,0	15,6	16	9	26
Sabbia (%)	28	40,0	16,6	35	29	48
CSC (meq/100 g)	42	38,2	23,8	32	23	52

Tabella MD.1: Principali parametri statistici di alcuni caratteri del suolo nell'unità delle Alpi su dolomia (MD). Come per la determinazione dei valori di fondo, a causa della scarsa numerosità del dataset i campioni dell'unità non sono stati suddivisi in superficiali e profondi.

valori superiori al 5%.

### Indagini e risultati

Nell'unità fisiografica sono stati prelevati e analizzati un numero variabile di campioni a seconda dei diversi metalli: in superficie si passa dai 22 campioni disponibili per cadmio, cromo, rame, nichel e zinco ai 10 campioni disponibili per selenio e stagno; andamento simile, seppure con valori leggermente più bassi, si osserva anche in profondità. L'esiguo numero di campioni, in particolare per antimonio, arsenico, mercurio selenio e stagno, ha indotto ad utilizzare una procedura diversa rispetto a quella applicata in altre unità; i due dataset, superficiale e profondo, sono stati uniti per raggiungere, per il maggior numero di metalli, la numerosità suggerita (30) dalla norma ISO19258 (2005); anche in questo modo però per antimonio, arsenico, berillio, mercurio selenio, stagno e vanadio il numero di campioni risulta inferiore a 30.

Dalla lettura della tabella MD.2 risulta che l'unità presenta delle concentrazioni in metalli e metalloidi sempre inferiori ai limiti di colonna A del D.Lgs. 152/2006 con l'eccezione dell'**arsenico** e del **vanadio** con valori di fondo di poco superiore ai limiti e pari a 24 e 96 mg/kg. L'arsenico sembra concentrarsi principalmente negli orizzonti "organici" (con contenuto di carbonio organico superiore al 5%) mentre diminuisce al diminuire della sostanza organica e passando da tessiture più fini a quelle più grossolane (vedi figura MD.1).

Per **cobalto** e **zinco**, nella popolazione presa in esame, sono comunque presenti valori massimi superiori alle CSC e non esclusi come outliers (vedi valori di 99° percentile in tabella MD.2). Per quanto riguarda lo zinco questi superamenti sono, molto probabilmente, legati all'utilizzo a pascolo di molte superfici campionate e quindi all'apporto mediante le deiezioni zootecniche piuttosto che a una dotazione naturale, in

parentale prevalente che è andato a formare il suolo per verificare se le concentrazioni riscontrate siano dovute alla dotazione naturale o a eventuali apporti antropici.

I suoli dell'area sono da sottili a moderatamente profondi con un grado di evoluzione modesto, spesso ostacolato dai processi di erosione, frequenti in considerazione delle notevoli pendenze dell'unità. Le tessiture sono franche con un contenuto, in argilla superiore (20%) e in sabbia minore (40%) rispetto all'unità MA e MS. La reazione è sempre alcalina (7,2) con notevole presenza di calcare anche in superficie. I suoli sono ricchi in sostanza organica in particolare in superficie, dove si accumula anche grazie al clima rigido delle quote elevate raggiungendo

	N dati	MD						
		Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile
<b>Sb*</b>	21	1,1	0,7	1,0	0,54	1,5	2,3	2,4
<b>As*</b>	23	11,3	6,84	10	5,9	15	<b>24</b>	<b>26</b>
<b>Be*</b>	28	0,68	0,49	0,52	0,25	1,1	1,4	1,8
<b>Cd</b>	42	0,66	0,45	0,54	0,25	0,83	1,6	1,8
<b>Co</b>	40	9,26	6,61	7,1	4,2	15	19	<b>26</b>
<b>Cr</b>	42	36,3	22,6	33	20	47	84	88
<b>Hg*</b>	23	0,11	0,07	0,10	0,04	0,17	0,23	0,25
<b>Ni</b>	42	18,5	16,5	14	8,8	22	53	76
<b>Pb</b>	39	26,6	18,4	27	12	36	61	65
<b>Cu</b>	41	18,7	10,5	18	9,9	25	39	41
<b>Se*</b>	17	0,25	0,16	0,27	0,10	0,37	0,50	0,55
<b>Sn*</b>	17	1,67	1,01	1,9	0,72	2,4	2,9	2,9
<b>V*</b>	29	46,1	27,2	41	28	55	<b>96</b>	<b>107</b>
<b>Zn</b>	42	73,9	38,8	68	47	104	138	<b>166</b>

Tabella MD.2: Principali parametri statistici delle concentrazioni di metalli e metalloidi nell'unità delle Alpi su dolomia (MD); a causa della scarsa numerosità del dataset i campioni dell'unità non sono stati suddivisi in superficiali e profondi. Dati espressi in mg/kg. \* Numero di campioni inferiore a 30 valore suggerito dalla norma ISO 19258 (2005).



quanto queste concentrazioni si riscontrano solo negli orizzonti superficiali.

Rispetto alla pubblicazione del 2011, dove l'unità era identificata con la sigla DC, si osserva, almeno per i metalli con valore di fondo superiore ai limiti, una leggera diminuzione dei valori: l'arsenico passa da 27 a 24 mg/kg, il cobalto da 31 a 19, il vanadio da 110 a 96 mentre per lo zinco da 170 si scende a 138. Tale diminuzione è in parte dovuta all'aumento della numerosità campionaria e quindi ad una più precisa caratterizzazione dell'unità e, in parte, alla scelta di utilizzare tutti i dati, senza dividere tra campioni superficiali e profondi, metodo che porta all'identificazione di un valore di fondo più cautelativo, opzione preferibile a fronte del comunque basso numero di dati disponibili per l'unità.

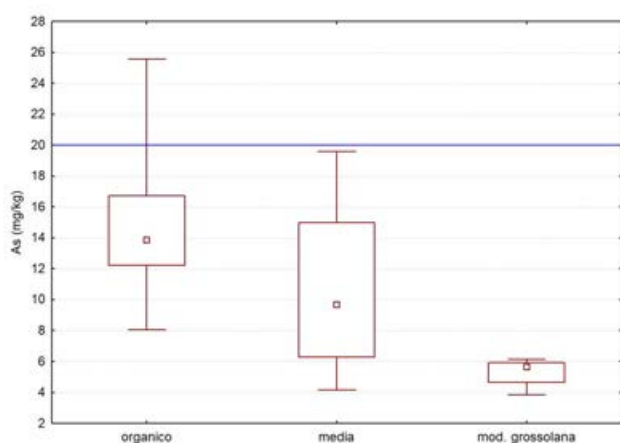


Figura MD.1: Contenuto totale di arsenico (mg/kg) nell'unità delle Alpi su dolomia (MD) in base alle classi tessiture USDA aggregate. Media = F, FL, L; Mod. grossolana = FS; organico = contenuto in carbonio organico maggiore del 5%. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs. 152/2006.

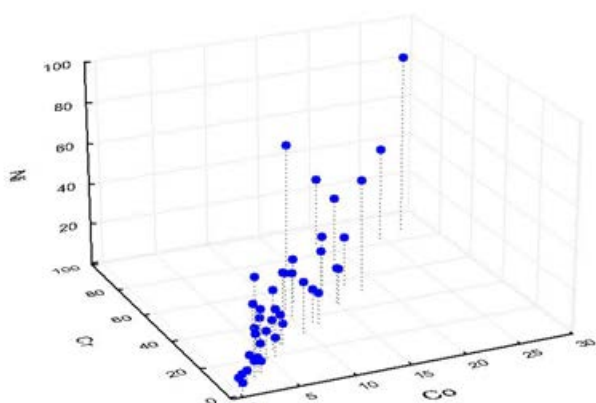


Figura MD.2: Scatterplot tridimensionale di correlazione tra cobalto, cromo e nichel, espressi in mg/kg, nei suoli dell'unità delle Alpi su dolomia (MD).

### Differenze con le unità deposizionali/fisiografiche limitrofe

Le differenze più significative, rimanendo in ambito montano, sono quelle con l'unità delle Alpi su litotipi silicatici (MS) che mostrano concentrazioni in vanadio nettamente superiori e di arsenico nettamente inferiori. Le differenze con le altre unità dell'area alpina (MA e MW) sono meno evidenti.

### Relazioni con i caratteri del suolo e tra metalli

Sono presenti correlazioni statisticamente significative tra carbonio organico e, rispettivamente, antimonio, mercurio, piombo, selenio e stagno ( $r$  compreso tra 0,83 e 0,47), mentre la concentrazione in calcare totale è inversamente proporzionale alla concentrazione di diversi metalli (Co, Cr, Be, Sn, Se, V, Ni e Cu) e, ovviamente, relazioni simili si osservano anche con il pH.

Come atteso e in linea con quanto accade in tutte le unità, correlazioni positive si osservano con il contenuto in argilla e negative con la percentuale di sabbia ad eccezione di antimonio, arsenico, cadmio, mercurio, piombo e zinco, tutti metalli per i quali è possibile un apporto di origine antropica.

Tra i vari elementi si osservano relazioni molto forti tra nichel, cromo, cobalto (vedi figura MD.2), vanadio e berillio.

### Arricchimento superficiale

Nell'unità delle Alpi su dolomia l'indice di geoaccumulo è in generale basso per tutti gli elementi considerati, come si nota dalla figura MD.3, con mediane sempre inferiori allo 0; le uniche eccezioni sono il piombo e secondariamente il selenio (mediana circa 0). Il valore del piombo indica un probabile apporto di origine antropica per il passato utilizzo di tale metallo come antidetonante nelle benzine. Si sottolinea che a causa degli spessori ridotti degli orizzonti superficiali campionati, in genere 10 centimetri, gli apporti

assoluti che si sono realizzati rimangono comunque modesti. Per il selenio il valore dell'indice sembra in parte influenzato dai numerosi valori inferiori al limite di rilevabilità presenti negli orizzonti profondi.

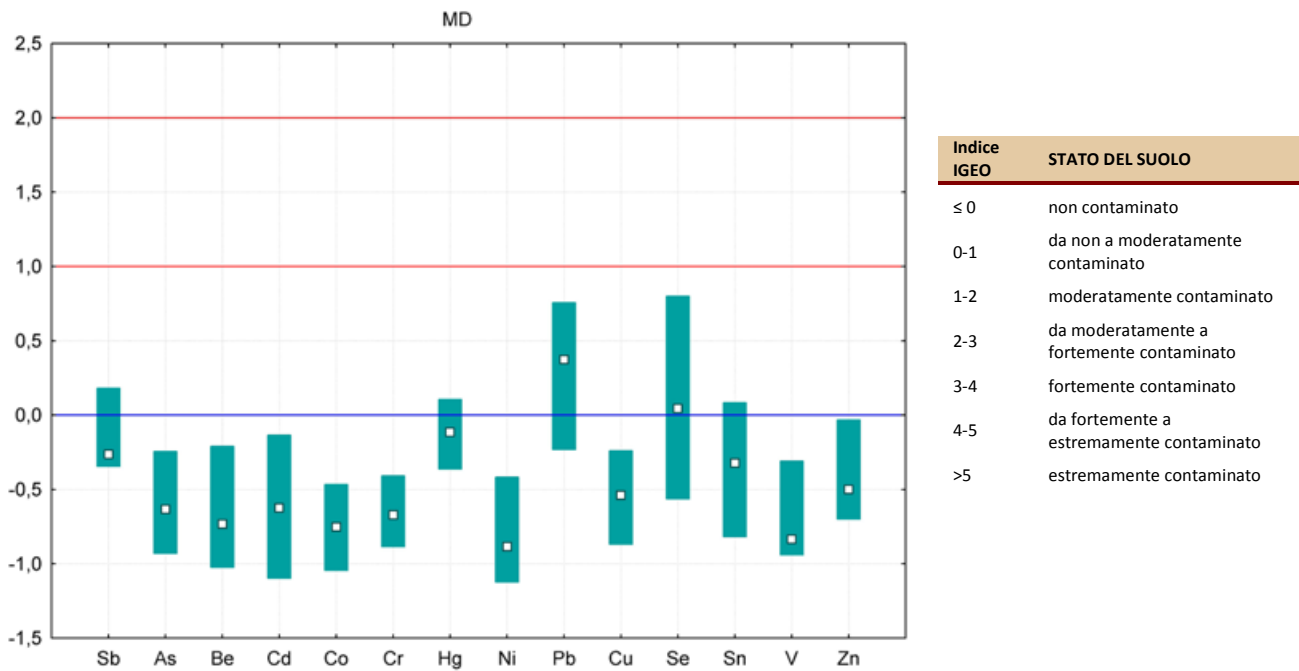
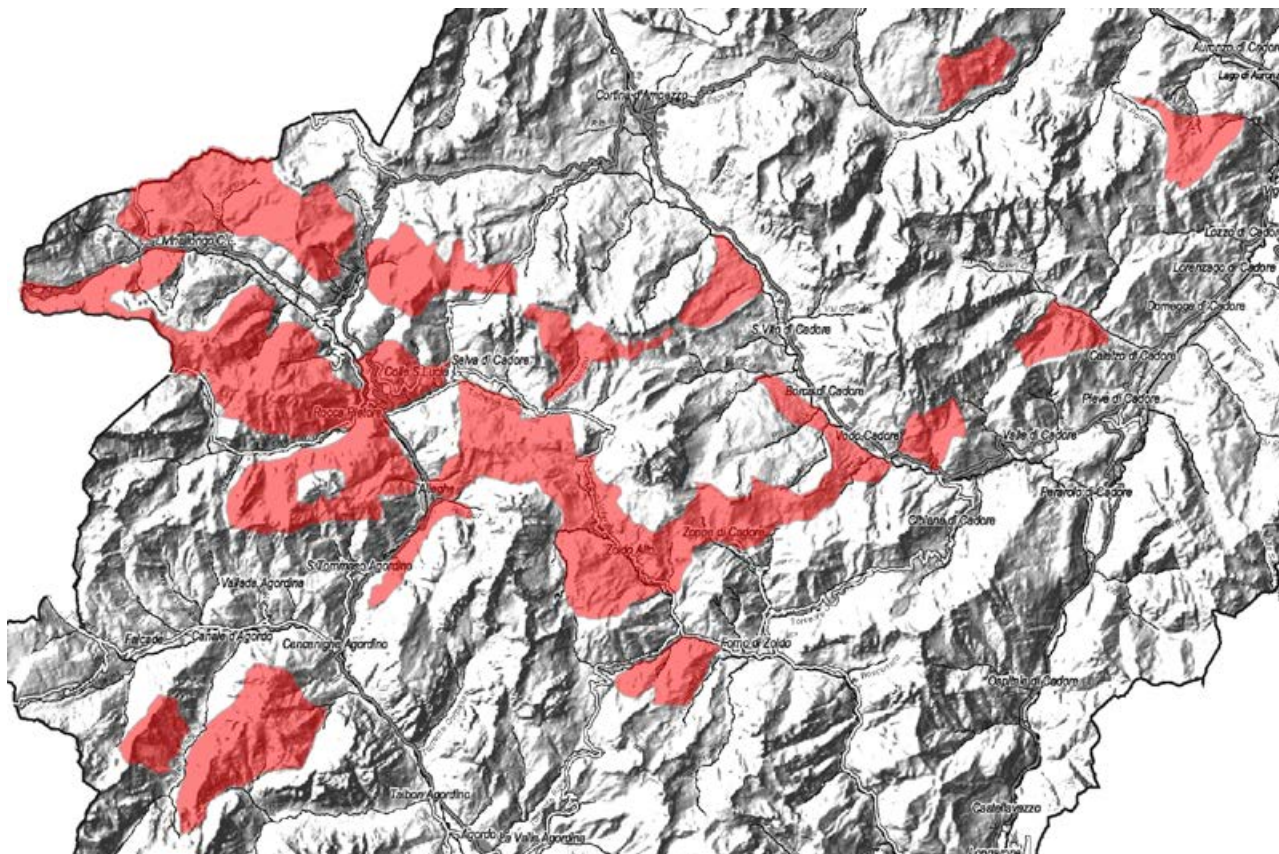


Figura MD.3: Indice di geoaccumulo (IGEO) dei metalli e metalloidi dell'unità delle Alpi su Dolomia (MD); i punti rappresentano i valori mediani dell'indice mentre le barre il 25° e 75° percentile; i valori al di sotto della linea blu indicano assenza di arricchimento, tra questa e la prima linea rossa moderato arricchimento.

## ALPI SU LITOTIPI SILICATICI (MS)

Metallo o metalloide	Sb	As	Be	Cd	Co	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Sn	V	Zn
Valore di fondo (mg/kg)	2,1	13	2,2	0,52	31	72	0,19	37	55	72	--	--	184	122
Limite col. A, D.Lgs. 152/2006	10	20	2	2	20	150	1	120	100	120	3	--	90	150



### Inquadramento, formazione e caratteristiche generali dei suoli

L'unità fisiografica delle Alpi su litotipi silicatici ha una superficie di 223 km<sup>2</sup> suddivisa in 13 sub-aree localizzate tutte nella porzione settentrionale della provincia di Belluno (a nord di Agordo). È costituita da suoli che si sviluppano su materiale parentale costituito da rocce sedimentarie con una forte componente silicatica (Arenarie del Fernazza, Formazione di La Valle, etc.). Prevalgono i suoli sviluppati su depositi di versante o glaciali rispetto a quelli evoluti su roccia in quanto tutta l'area è stata coperta da ghiacci durante gran parte del Quaternario.

	MS					
	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore
pH	42	5,7	0,8	5,8	5,1	6,1
Carb. Org. (%)	42	7,0	8,5	3,6	1,2	8,3
Calc. tot. (%)	41	0,3	0,9	0	0	0
Argilla (%)	29	17,3	14,6	14	5	28
Sabbia (%)	29	58,3	21,4	61	42	73
CSC (meq/100 g)	46	21,2	16,8	17	11	26

*Tabella MS1: Principali parametri statistici di alcuni caratteri del suolo nell'unità delle Alpi su litotipi silicatici (MS). Come per la determinazione dei valori di fondo, a causa della scarsa numerosità del dataset i campioni dell'unità non sono stati suddivisi in superficiali e profondi.*

Dal punto di vista pedologico l'unità mostra delle similitudini con l'unità delle Alpi del basamento cristallino e metamorfico (MA) per la presenza di suoli a reazione da neutra a acida mentre ci sono nette differenze con i suoli sviluppati su materiali carbonatici (MW e MD).

Il limite tra le varie unità non è mai netto e sono quindi frequenti inclusioni di litotipi diversi che possono determinare concentrazioni in metalli diversificate. Per l'area montana infatti è disponibile solo una cartografia di riconoscimento dei suoli, in scala 1:250.000, a differenza di gran parte dell'area di pianura e collinare. Rimane quindi fondamentale il

riconoscimento del materiale parentale dal quale si è formato il suolo per verificare se le concentrazioni riscontrate siano imputabili a dotazione naturale o a eventuali contaminazioni.

MS								
	N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile
<b>Sb*</b>	19	0,94	0,84	0,74	0,32	1,2	2,1	3,3
<b>As*</b>	19	6,93	3,59	5,8	5,3	7,3	13	16
<b>Be*</b>	14	1,14	0,59	0,96	0,77	1,3	<b>2,2</b>	<b>2,4</b>
<b>Cd</b>	48	0,29	0,13	0,25	0,25	0,25	0,52	0,81
<b>Co</b>	48	17,5	9,19	18	9	26	<b>31</b>	<b>32</b>
<b>Cr</b>	48	42,9	16,7	40	30	55	72	77
<b>Hg*</b>	19	0,10	0,07	0,10	0,06	0,13	0,19	0,31
<b>Ni</b>	48	20,2	9,17	19	13	26	37	40
<b>Pb</b>	48	27,3	14,8	26	15	34	55	59
<b>Cu</b>	48	37,2	24,6	30	18	51	72	115
<b>V*</b>	14	<b>135,9</b>	52,3	<b>155</b>	<b>102</b>	<b>180</b>	<b>184</b>	<b>189</b>
<b>Zn</b>	47	83,4	21,1	85	70	95	122	130

Tabella MS.2: Principali parametri statistici delle concentrazioni di metalli e metalloidi nell'unità delle Alpi su litotipi silicatici (MS) a causa della scarsa numerosità del dataset i campioni dell'unità non sono stati suddivisi in superficiali e profondi. Dati espressi in mg/kg. \* Numero di campioni inferiore a 30 valore suggerito dalla norma ISO 19258 (2005).

disponibili ha indotto ad utilizzare una procedura diversa rispetto a quella applicata in altre, più numerose, unità; i due dataset, superficiale e profondo, sono stati uniti per raggiungere, per il maggior numero di metalli, la numerosità suggerita (30) dalla norma ISO19258 (2005); anche in questo modo però per antimonio, arsenico, berillio, mercurio e vanadio il numero di campioni risulta inferiore a 30. Per selenio e stagno non sono disponibili un numero di dati sufficienti ad effettuare delle elaborazioni statistiche.

Un aspetto peculiare di questa unità sono la presenza di valori più elevati in profondità per quasi tutti i metalli con l'eccezione di antimonio, arsenico, mercurio e piombo; tale comportamento è dovuto alla reazione dei suoli, acida, che rende i metalli mobili lungo il profilo.

Tale fenomeno è parzialmente mascherato per quei metalli che hanno o hanno avuto negli ultimi decenni un significativo apporto antropico, spesso a causa di deposizione atmosferica.

Dalla lettura della tabella MD.2 si osserva che nell'unità sono presenti valori di fondo superiori ai limiti di colonna A del D.Lgs. 152/2006 per **berillio** (2,2 mg/kg), **cobalto** (31 mg/kg) e **vanadio** (184 mg/kg); in particolare per quest'ultimo mostra un valore di fondo nettamente superiore ai limiti (90 mg/kg) con i valori più elevati presenti in profondità, aspetto che conferma l'origine naturale del metallo. In figura MS.1 è evidenziata la concentrazione del

I suoli dell'area sono caratterizzati da processi di podzolizzazione, favoriti dal materiale di partenza acido e dal clima rigido, e secondariamente illuviazione delle argille, quest'ultimi in particolare sui materiali parentali più fini (siltiti, ecc).

I suoli sono comunemente acidi, ma in alcuni casi la reazione sale a valori prossimi alla neutralità e ricchi in sostanza organica con valori superiori al 5% in superficie.

La tessitura è sempre franco sabbiosa o franca con valori moderatamente bassi di argilla (14%) ed elevati in sabbia (61%) mentre lo spessore rimane comunque limitato, in genere compreso tra 40 e 70 centimetri.

### Indagini e risultati

Nell'unità fisiografica sono stati prelevati e analizzati un numero variabile di campioni a seconda dei diversi metalli: in superficie si passa dai 27 campioni disponibili per cadmio, cobalto, cromo, nichel, piombo, rame e zinco ai 10 per berillio e vanadio; andamento simile seppure con valori leggermente più bassi si osserva anche in profondità. Il ridotto numero di campioni

disponibili ha indotto ad utilizzare una procedura diversa rispetto a quella applicata in altre, più numerose, unità; i due dataset, superficiale e profondo, sono stati uniti per raggiungere, per il maggior numero di metalli, la numerosità suggerita (30) dalla norma ISO19258 (2005); anche in questo modo però per antimonio, arsenico, berillio, mercurio e vanadio il numero di campioni risulta inferiore a 30. Per selenio e stagno non sono disponibili un numero di dati sufficienti ad effettuare delle elaborazioni statistiche.

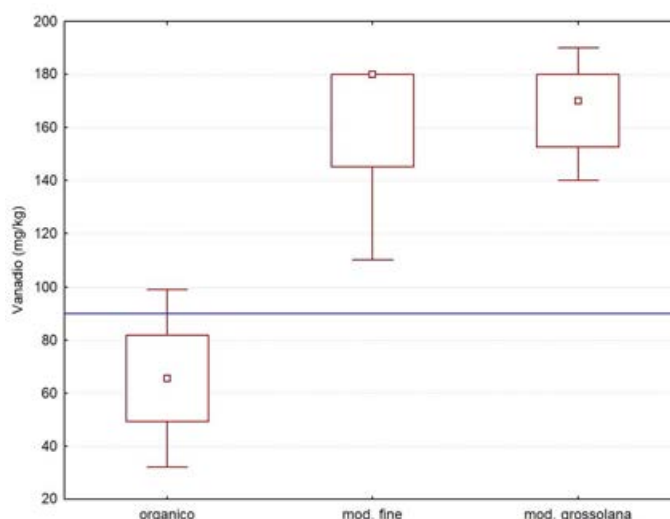


Figura MS.1: Contenuto totale di vanadio (mg/kg) nell'unità delle Alpi su litotipi silicatici (MS) in base alle classi tessiture USDA aggregate. Mod. fine = FSA, FA, FLA; Mod. grossolana = FS; organico = contenuto in carbonio organico maggiore del 5% Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs. 152/2006.



vanadio che risulta ubiquitario alle diverse classi tessiturali mentre mostra valori molto bassi negli orizzonti superficiali che hanno concentrazioni elevate in carbonio organico e quindi ricadono nella classe organico. Per tutti gli altri metalli non si osservano superamenti dei valori di fondo anche prendendo come riferimento il 99° percentile.

Rispetto alla pubblicazione del 2011, dove l'unità era identificata con la sigla DS, sono disponibili dati anche per berillio e vanadio, che, come accennato in precedenza, mostrano valori anomali. Per i restanti metalli non si osservano differenze significative.

### Differenze con le unità deposizionali/ fisiografiche limitrofe

Rispetto alle altre unità dell'area montana i suoli delle alpi su litotipi silicatici si distinguono per i valori elevati di vanadio sia in superficie che in profondità e secondariamente di cobalto anche se quest'ultimo risulta elevato anche nell'area prealpina (SD e SA). L'arsenico invece al contrario presenta valori molto bassi (mediana 5,8 mg/kg) rispetto alle altre unità dell'area montana.

### Relazioni con i caratteri del suolo e tra metalli

Nell'unità si osservano correlazione negative tra diversi metalli e il carbonio organico, aspetto legato al movimento dei metalli verso gli orizzonti più profondi che hanno concentrazioni di carbonio organico nettamente più basse. Altro aspetto anomalo sono le correlazioni assenti o molto basse tra i metalli e la percentuale di argilla e sabbia.

Simile a molte altre unità sono le correlazioni forti tra berillio, cobalto, nichel, cromo, vanadio e zinco e tra arsenico e antimonio (figura MS.2) mentre sorprendono le correlazioni negative, sempre molto rare tra metalli, riscontrate tra cobalto e rispettivamente mercurio e antimonio (figura MS.3) e secondariamente piombo e cadmio, tutti metalli con un probabile apporto antropico.

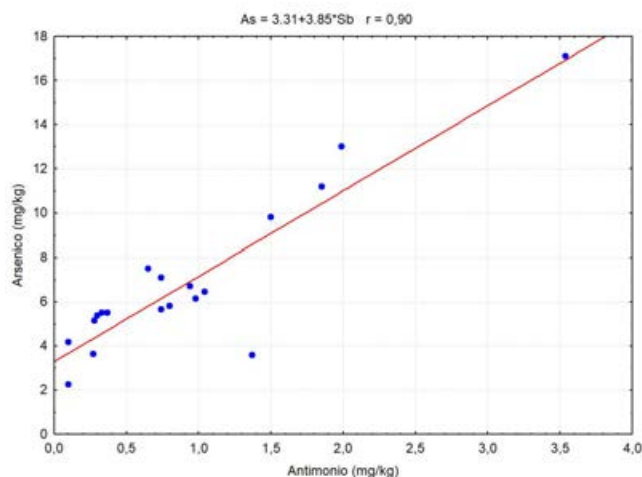


Figura MS.2: Correlazione tra contenuto totale di antimonio e di arsenico nell'unità delle alpi su litotipi silicatici (MS).

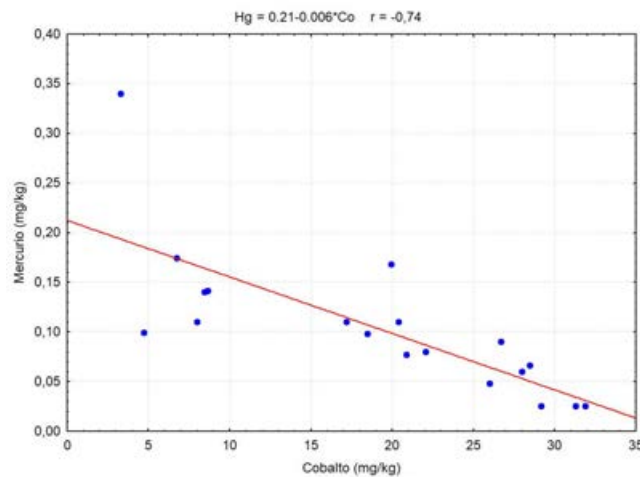


Figura MS.3: Correlazione negativa tra contenuto totale di cobalto e di mercurio nell'unità delle alpi su litotipi silicatici (MS).

### Arricchimento superficiale

Nell'unità delle Alpi su litotipi silicatici (MS) l'indice di geoaccumulo è in generale molto basso per tutti gli elementi considerati, come si nota dalla figura MS.4, con mediane spesso inferiori a -0,5 che testimoniano concentrazioni in profondità più elevate rispetto a quelle superficiali, come ribadito nei paragrafi precedenti; le uniche eccezioni sono piombo, mercurio e antimonio con mediana superiore allo 0; tali valori indicano un probabile apporto di origine antropica. Tali apporti rimangono, in valore assoluto (g/mq o kg/ha), comunque modesti a causa degli spessori ridotti degli orizzonti superficiali campionati, in genere 10-15 centimetri. Per il cadmio l'indicatore risulta poco significativo a causa dei molti campioni sia superficiali che profondi con valori inferiori al limite di rilevabilità. Si sottolinea inoltre il basso numero di campioni in particolare in profondità disponibili per antimonio, arsenico, berillio, mercurio e vanadio.

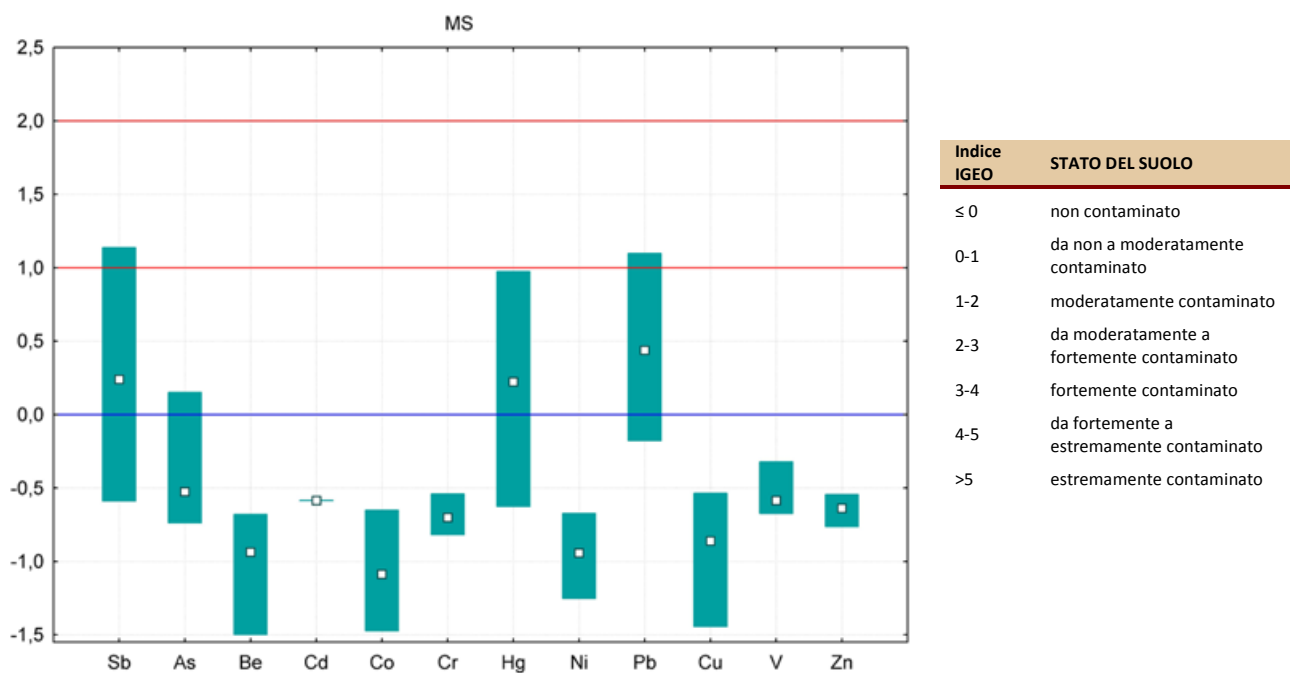
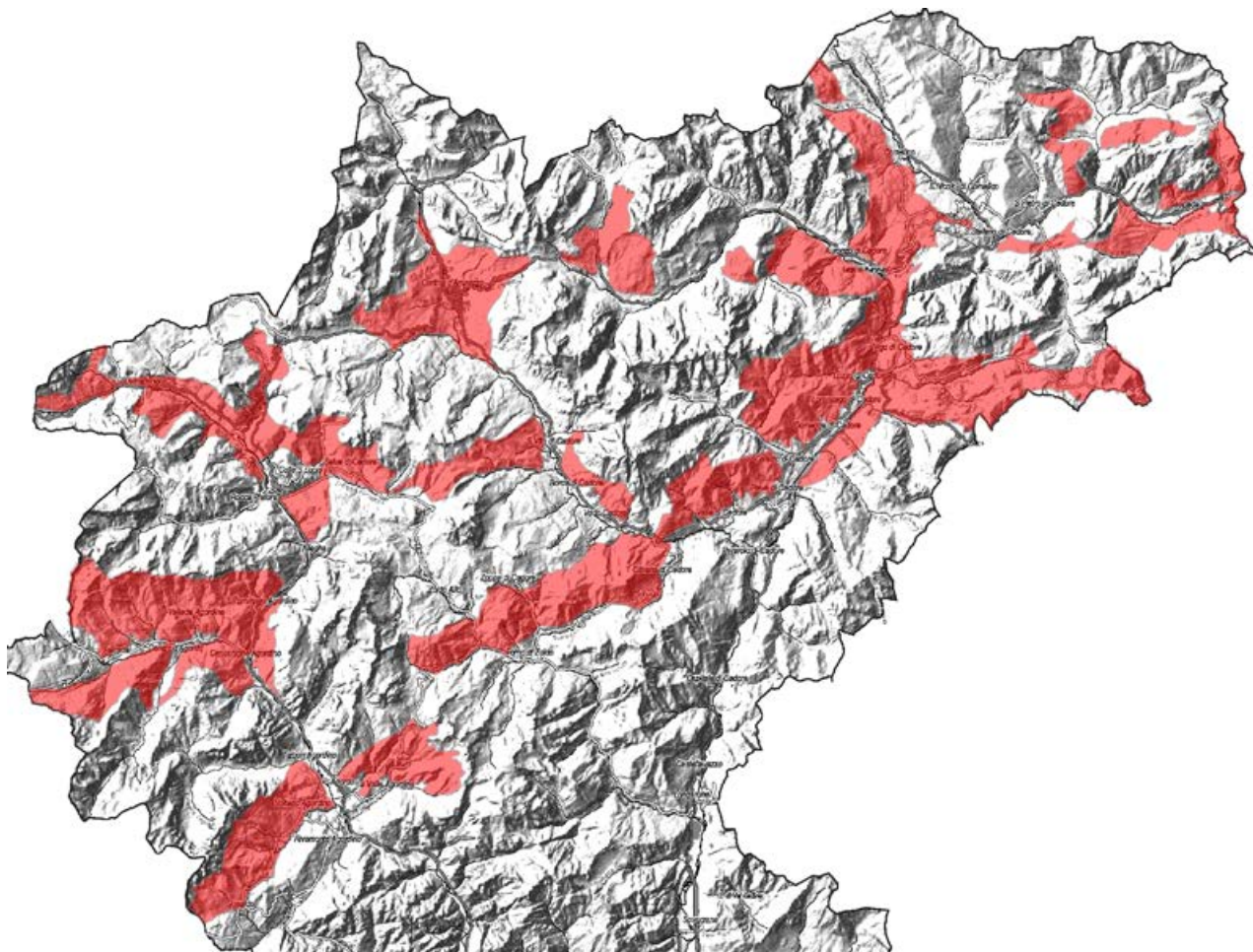


Figura MS.4: Indice di geoaccumulo (IGEO) dei metalli e metalloidi dell'unità delle Alpi su litotipi silicatici (MS); i punti rappresentano i valori medi dell'indice mentre le barre il 25° e 75° percentile; i valori al di sotto della linea blu indicano assenza di arricchimento, tra questa e la prima linea rossa moderato arricchimento.

## ALPI SU FORMAZIONE DI WERFEN (MW)

Metallo o metalloide	Sb	As	Be	Cd	Co	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Sn	V	Zn
Valore di fondo (mg/kg)	2,1	30	2,2	1,8	19	73	0,70	41	128	34	1,1	2,5	92	148
Limite col. A, D.Lgs. 152/2006	10	20	2	2	20	150	1	120	100	120	3	--	90	150



### Inquadramento, formazione e caratteristiche generali dei suoli

L'unità fisiografica delle Alpi su formazione di Werfen ha una superficie di 549 km<sup>2</sup> suddivisa in 18 sub-aree localizzate tutte nella porzione settentrionale della provincia di Belluno (a nord di Agordo) con l'eccezione di un'unità in provincia di Vicenza, nel Recoarese, dove si ritrova la sequenza stratigrafica tipica dell'area dolomitica. È costituita da suoli che si sviluppano su materiale parentale costituito da rocce sedimentarie principalmente appartenenti alla formazione di Werfen; tale formazione è costituita da più membri con caratteristiche litologiche diverse che riflettono lo svolgersi di alcuni cicli eustatici e/o tettonici. Le litologie dominanti sono calcari e calcari marnosi con subordinate dolomie, arenarie, siltiti e argilliti. Assieme alla formazione di Werfen sono stati inclusi in questa unità anche la formazione di S. Cassiano, costituita da calcareniti, arenarie e argilliti con aspetto flyschoidale, e il Gruppo di Raibl, costituito da arenarie, peliti, e marne rossastre. Prevalgono i

	MW					
	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile superiore
pH	42	6,5	1,2	6,4	5,7	7,5
Carb. Org. (%)	42	3,0	2,9	1,7	0,6	5,2
Calc. tot. (%)	41	11,8	23,3	0	0	4
Argilla (%)	32	22,7	11,8	22	14	30
Sabbia (%)	32	32,4	17,0	29	17	46
CSC (meq/100 g)	41	24,0	17,2	22	11	32

*Tabella MW.1: Principali parametri statistici di alcuni caratteri del suolo nell'unità delle Alpi su formazione di Werfen. Come per la determinazione dei valori di fondo, a causa della scarsa numerosità del dataset i campioni dell'unità non sono stati suddivisi in superficiali e profondi.*

suoli sviluppati su depositi di versante o glaciali rispetto a quelli evoluti su roccia in quanto tutta l'area è stata coperta da ghiacci durante gran parte del Quaternario.

Dal punto di vista pedologico l'unità si differenzia notevolmente dall'unità delle Alpi del basamento cristallino e metamorfico (MA) e da quella delle Alpi su litotipi silicatici (MS) che presentano suoli a reazione da neutra a acida mentre mostrano delle analogie con i suoli dell'unità MD (Alpi su dolomia) e con quelle tipiche dell'area prealpina (SA e SD).

Il limite tra le varie unità non è mai netto e sono quindi frequenti inclusioni di litotipi diversi che possono determinare concentrazioni in metalli diversificate. Per l'area montana infatti è disponibile solo la cartografia dei suoli in scala 1:250.000, a differenza di gran parte dell'area di pianura e collinare. Rimane quindi fondamentale il riconoscimento del materiale parentale dal quale si è formato il suolo per verificare se le concentrazioni riscontrate siano imputabili a dotazione naturale o a eventuali apporti antropici.

I suoli dell'area, a reazione alcalina, sono da sottili a moderatamente profondi con un grado di evoluzione moderato; in base alla litologia del materiale di partenza si osservano gradi di evoluzione e spessori molto diversificati: i suoli sviluppati sulle formazioni di S. Cassiano e di Raibl, a causa della maggior alterabilità del substrato, sono profondi, argilloso-limosi e con un ridotto contenuto in scheletro mentre su formazione di Werfen si trovano suoli meno spessi e con tessiture franche. Il contenuto in sostanza organica è elevato (3% in media) ma inferiore, in parte dovuto alle quote medie inferiori, rispetto ad altre unità.

### Indagini e risultati

Nell'unità fisiografica sono stati prelevati e analizzati un numero variabile di campioni a seconda dei diversi metalli: in superficie si passa dai 21 campioni disponibili per cadmio, cobalto, cromo, nichel, piombo e rame, zinco ai 3 campioni disponibili per selenio e stagno; andamento simile anche in profondità. L'esiguo numero di campioni in particolare per antimonio, arsenico, mercurio, selenio, stagno e vanadio ha indotto a utilizzare una procedura diversa rispetto a quella applicata nella maggior parte delle altre unità: i due dataset, superficiale e profondo, sono stati uniti per raggiungere, per il maggior numero di metalli, la numerosità suggerita (30) dalla norma ISO19258 (2005); anche in questo modo però per antimonio, arsenico, berillio, mercurio, selenio, stagno e vanadio il numero di campioni risulta inferiore a 30.

Per quanto riguarda la concentrazione in metalli l'unità presenta forti analogie con quella delle Alpi su dolomia (MD) e nel corso delle elaborazioni è stato valutato se unirle o meno; si è preferito comunque trattarle separatamente a causa della forte difformità litologica e pedologica.

Dalla lettura della tabella MW.2 si osserva che sono pochi i metalli che presentano valore di fondo superiore ai limiti di legge; tra questi quello che mostra i valori relativamente più alti rispetto al limite è l'**arsenico** con un valore di fondo pari a 30 mg/kg. A questo si aggiungono **berillio** (2,2 mg/kg), **piombo** (128 mg/kg) e **vanadio** (92 mg/kg).

Per arsenico, berillio e vanadio le concentrazioni rilevate sono imputabili alla dotazione naturale di questi elementi nel materiale di partenza in quanto sono limitate le differenze tra valori osservati in superficie, soggetta ad eventuali apporti antropici, e quelli in profondità.

MW								
	N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile
Sb*	15	1,12	0,72	1,2	0,64	1,6	2,1	2,5
As*	16	13,9	8,78	12	7,4	19	<b>30</b>	<b>31</b>
Be*	12	1,15	0,81	1,2	0,25	1,8	<b>2,2</b>	<b>2,3</b>
Cd	42	0,53	0,62	0,25	0,25	0,37	1,8	<b>2,6</b>
Co	42	10,8	5,19	12	7	14	19	<b>21</b>
Cr	42	42,6	20,7	45	29	55	73	92
Hg*	20	0,20	0,24	0,11	0,06	0,18	0,70	0,85
Ni	42	22,2	10,8	21	14	28	41	48
Pb	42	41,3	37,7	29	19	46	<b>128</b>	<b>152</b>
Cu	42	17,7	8,83	17	12	22	34	44
Se*	6	0,41	0,45	0,28	0,13	0,37	1,1	1,3
Sn*	6	1,06	1,07	0,51	0,35	1,8	2,5	2,6
V*	12	45,7	30,8	45	19	68	<b>92</b>	<b>106</b>
Zn	38	82,2	54,2	72	50	98	148	<b>274</b>

Tabella MW.2: Principali parametri statistici delle concentrazioni di metalli e metalloidi nell'unità delle Alpi su formazione di Werfen (MW); a causa della scarsa numerosità del dataset i campioni dell'unità non sono stati suddivisi in superficiali e profondi. Dati espressi in mg/kg. \* Numero di campioni inferiore a 30, numerosità campionaria suggerita dalla norma ISO 19258 (2005).



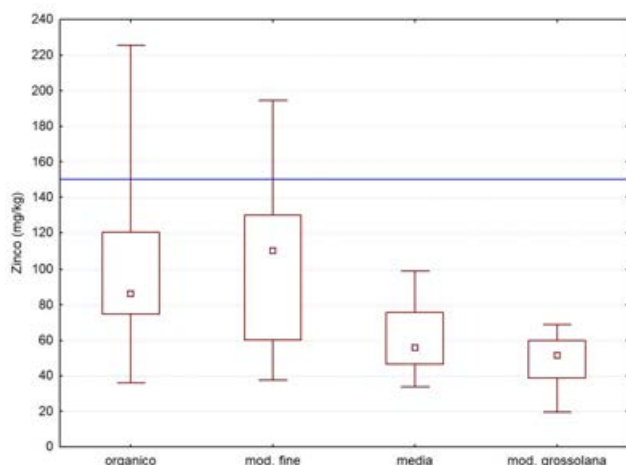


Figura MW.1: Contenuto totale di zinco (mg/kg) nell'unità delle Alpi su formazione di Werfen (MW) in base alle classi tessiture USDA aggregate. Mod. fine = FSA, FA, FLA; Media = F, FL, L; Mod. grossolana = FS; organico = contenuto in carbonio organico maggiore del 5%. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs. 152/2006.

più basse nell'orizzonte profondo confermano tale ipotesi. La concentrazione dello zinco inoltre è fortemente legata alla tessitura e infatti diminuisce passando dai suoli ricchi in sostanza organica a quelli a tessitura più grossolana, dove non si sono osservati superamenti dei limiti (figura MW.1).

Rispetto alla pubblicazione del 2011, dove l'unità era identificata dalla sigla DW, sono disponibili dati anche per berillio, selenio, stagno e vanadio, non disponibili in precedenza; per gli altri metalli e metalloidi i valori sono molti simili soprattutto nei valori mediani con alcune differenze per i valori di fondo per piombo (128 rispetto a 99 mg/kg) ma soprattutto zinco (148 rispetto a 300 mg/kg). Tali differenze sono in parte dovute all'aumento del numero dei dati disponibili e in parte alla scelta di utilizzare tutti i dati senza dividere tra campioni superficiali e profondi; tale scelta ha portato all'identificazione di valori di fondo più cautelativi, opzione che si ritiene preferibile a fronte del basso numero di dati disponibili per l'unità.

Si segnalano due siti campionati nei pressi di Recoaro (VI) che hanno valori fortemente anomali di antimonio, arsenico e zinco; concentrazioni imputabili alla presenza nell'area di diffuse mineralizzazioni che sono state oggetto nel corso dei secoli di attività mineraria (si veda la scheda di approfondimento sull'area mineraria di Recoaro presente nell'unità SD).

### Differenze con le unità deposizionali/fisiografiche limitrofe

Le differenze più significative, rimanendo in ambito montano, sono quelle con l'unità delle Alpi su litotipi silicatici (MS) che mostrano concentrazioni in vanadio nettamente superiori e di arsenico nettamente inferiori. Le differenze con le altre unità dell'area alpina (MD e MA) sono meno evidenti.

I superamenti del piombo sono limitati agli orizzonti superficiali spessi pochi centimetri e sono molto probabilmente imputabili all'apporto atmosferico. Tali apporti rimangono, in valore assoluto (g/mq o kg/ha), comunque modesti e infatti nei suoli lavorati (frutteti o seminativi) dove avviene il rimescolamento dei primi 20-30 cm le concentrazioni risultano nettamente inferiori (figura MW.3).

Per cadmio, cobalto e soprattutto zinco, nella popolazione presa in esame, sono comunque presenti valori superiori alle CSC e non esclusi come outliers (vedi valori di 99° percentile in tabella MW.2).

Per quanto riguarda lo zinco valori molto alti sono probabilmente, legati all'utilizzo di molte superfici a pascolo e all'apporto su tali superfici di deiezioni zootecniche ricche in tale metallo, presente come integratore nella dieta dei bovini; le concentrazioni

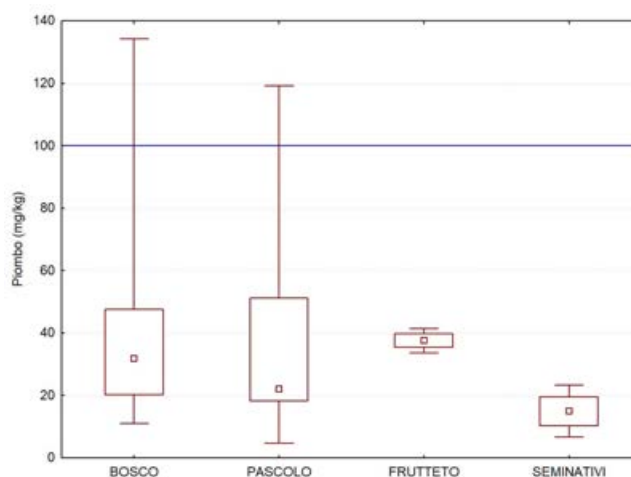


Figura MW.2: Contenuto totale di piombo (mg/kg) nei suoli dell'unità delle Alpi su formazione di Werfen (MW) in base all'uso del suolo. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs. 152/2006.

### Relazioni con i caratteri del suolo e tra metalli

Nell'unità le correlazioni più forti sono quelle positive tra berillio, stagno e vanadio e l'argilla e negative tra gli stessi e la sabbia.

Tra i metalli e metalloidi le concentrazioni di arsenico, stagno e vanadio sembrano fortemente e positivamente correlate a quelle di quasi tutti gli altri metalli che ne confermano l'origine naturale.

Tutte le considerazioni fatte sin qui devono comunque tenere in considerazione il basso numero di dati disponibili.

### Arricchimento superficiale

Nell'unità l'indice di geoaccumulo è in generale basso per la maggior parte degli elementi considerati, come si nota dalla figura MW.3, con mediane quasi sempre inferiori allo 0; sono presenti valori superiori a 0, che indicano uno stato da non a moderatamente contaminato, per berillio, mercurio, piombo, selenio, stagno e vanadio ma solamente il piombo ha un significativo numero di campioni. Il valore del piombo indica un probabile apporto di origine antropica per il passato utilizzo di tale metallo come additivo nelle benzine. Si sottolinea che a causa degli spessori ridotti degli orizzonti superficiali campionati, in genere inferiori ai 10 centimetri, gli apporti assoluti rimangono comunque modesti.

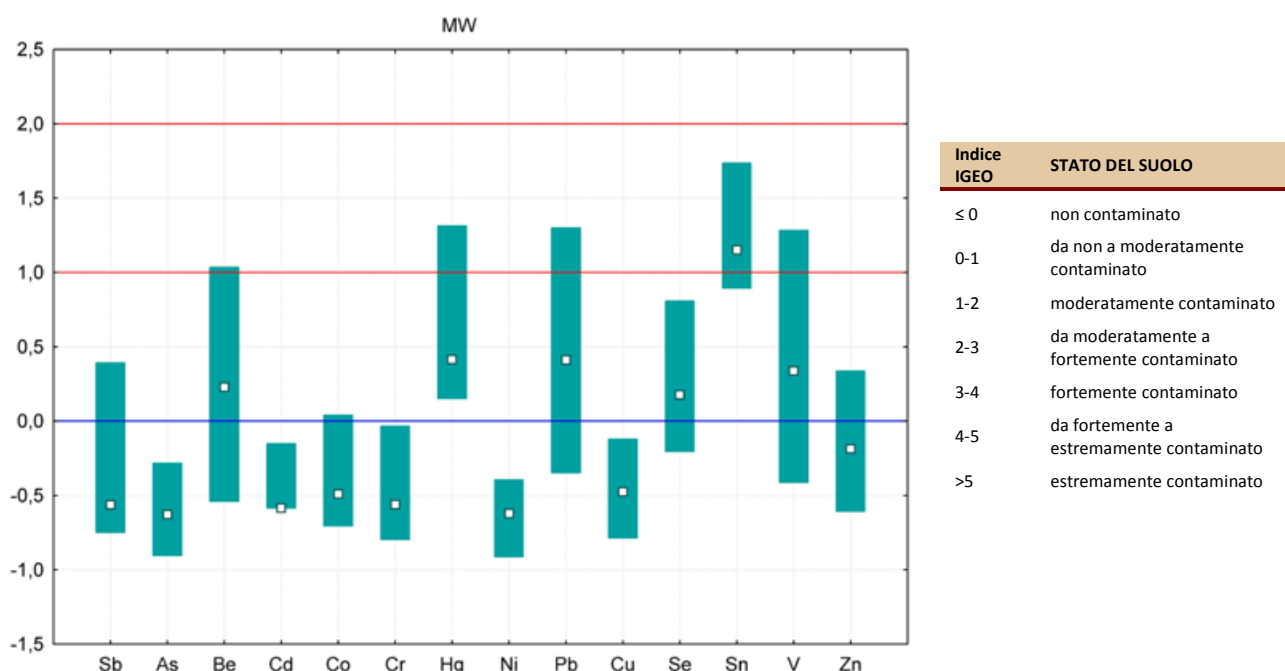
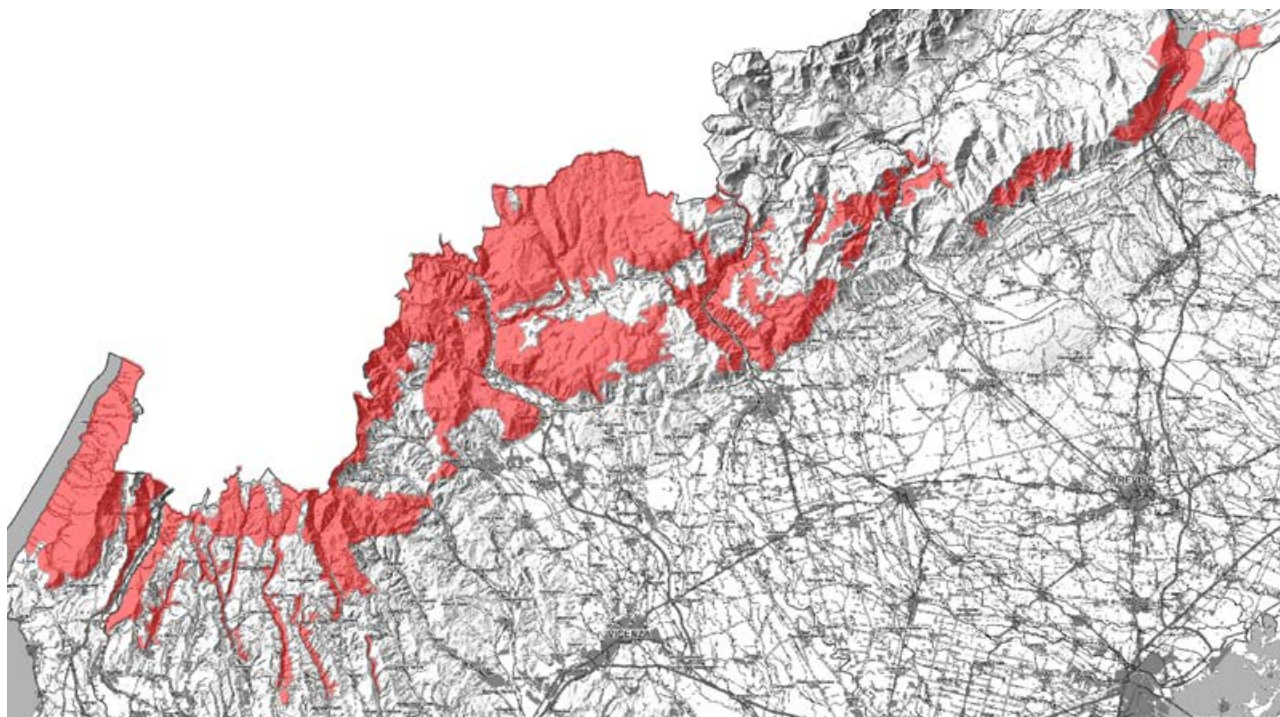


Figura MW.3: Indice di geoaccumulo (IGEO) dei metalli e metalloidi dell'unità delle alpi su formazione di Werfen (MW); i punti rappresentano i valori mediani dell'indice mentre le barre il 25° e 75° percentile; i valori al di sotto della linea blu indicano assenza di arricchimento, tra questa e la prima linea rossa moderato arricchimento.

## PREALPI SU CALCARI DURI (SA)

Metallo o metalloide	Sb	As	Be	Cd	Co	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Sn	V	Zn
Valore di fondo (mg/kg)	3,3	27	2,7	3,8	36	123	0,33	92	101	96	1,1	4,9	175	220
Limite col. A, D.Lgs. 152/2006	10	20	2	2	20	150	1	120	100	120	3	--	90	150



### Inquadramento, formazione e caratteristiche generali dei suoli

L'unità fisiografica delle prealpi su calcari duri (SA) ha una superficie di 1266 km<sup>2</sup> suddivisa in 14 sub-aree, localizzate principalmente nella porzione settentrionale delle province di Verona e Vicenza e secondariamente in provincia di Treviso e Belluno a sud del solco della Valbelluna. È costituita da suoli che si sviluppano su rocce calcaree compatte (Calcari Grigi e calcari organogeni) anche se sono diffusi depositi di versante o glaciali; quest'ultimi sono molto meno diffusi rispetto all'area alpina e limitati alle quote maggiori.

	SA - SUPERFICIALE						SA - PROFONDO					
	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore
pH	40	6,4	1,1	6,6	5,4	7,4	28	7,1	1,1	7,2	6,5	7,9
Carb. Org. (%)	42	6,6	5,1	5,4	3,8	8,0	28	1,8	1,8	1,3	0,7	2,5
Calc. tot. (%)	36	6,3	10,1	2	0	7	24	18,4	26,9	4	0	26
Argilla (%)	23	32,0	12,7	31	23	37	26	31,8	17,1	31	21	42
Sabbia (%)	24	26,8	11,1	27	18	36	26	28,2	15,8	28	17	33
CSC (meq/100 g)	34	48,2	27,3	45	29	60	25	28,7	16,4	28	17	40

Tabella SA.1: Principali parametri statistici di alcuni caratteri del suolo nell'unità delle prealpi su calcari duri (SA). A sinistra i dati dell'orizzonte superficiale a destra i dati dell'orizzonte profondo.

Dal punto di vista pedologico l'unità mostra delle similitudini con l'unità delle Prealpi su calcari marnosi (SD) con la quale spesso confina.

Il limite tra le varie unità non è mai netto e sono quindi frequenti inclusioni di litotipi diversi che possono determinare concentrazioni in metalli diversificate sebbene la minor presenza di depositi di origine glaciale rispetto alle unità dell'area alpina riduca fenomeni di apporti esogeni. Rimane in ogni caso fondamentale il riconoscimento del materiale parentale dal quale si è formato il suolo.

I suoli dell'area sono da sottili a moderatamente profondi con un grado di evoluzione modesto, spesso ostacolato dai frequenti processi di erosione per le notevoli pendenze dell'unità. Le tessiture sono franco argillose con una buona dotazione in argilla, intorno al 30%. La reazione è da subacida a neutra in superficie mentre è neutra o alcalina in profondità a causa dei processi di lisciviazione ad opera dell'acqua che percola lungo il profilo. Il calcare infatti è stato in gran parte allontanato sebbene costituisca oltre il 90% del materiale di partenza. I suoli sono ricchi in sostanza organica, in particolare in superficie, dove è sempre superiore al 5% e tale accumulo è favorito anche dal clima rigido alle quote più elevate.

### Indagini e risultati

SA - SUPERFICIALE									SA - PROFONDO								
	N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile		N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile
<b>Sb</b>	30	1,54	1,16	1,3	0,88	1,7	3,3	5,5	<b>Sb*</b>	22	0,97	0,75	0,83	0,57	1,1	2,5	3,2
<b>As</b>	30	15,2	5,43	15	11	19	25	26	<b>As*</b>	22	14,1	6,42	14	10,0	18	27	28
<b>Be</b>	31	1,40	0,68	1,3	0,93	2,1	2,3	2,7	<b>Be*</b>	20	1,58	0,81	1,5	1,2	2,1	2,7	3,2
<b>Cd</b>	41	1,53	0,90	1,3	0,99	1,8	3,4	3,9	<b>Cd*</b>	26	1,51	1,19	1,2	0,73	1,8	3,8	4,6
<b>Co</b>	41	20,2	8,92	19	16	25	36	43	<b>Co*</b>	26	19,9	8,63	19	17	23	35	38
<b>Cr</b>	42	72,7	29,5	68	52	90	121	140	<b>Cr*</b>	28	71,2	31,4	66	53	85	123	151
<b>Hg</b>	35	0,19	0,08	0,18	0,13	0,24	0,33	0,42	<b>Hg*</b>	22	0,14	0,09	0,13	0,07	0,20	0,29	0,31
<b>Ni</b>	42	54,4	21,2	56	38	72	82	96	<b>Ni*</b>	26	56,2	22,8	60	42	65	92	112
<b>Pb</b>	42	60,5	26,7	57	40	79	101	130	<b>Pb*</b>	28	34,6	22,4	29	18	48	67	84
<b>Cu</b>	40	45,0	24,6	40	29	48	96	117	<b>Cu*</b>	28	41,6	22,2	35	27	56	76	94
<b>Se*</b>	28	0,56	0,31	0,54	0,38	0,74	1,1	1,3	<b>Se*</b>	19	0,30	0,22	0,27	0,10	0,47	0,66	0,67
<b>Sn*</b>	28	3,13	0,96	3,1	2,4	3,6	4,9	5,4	<b>Sn*</b>	19	2,52	1,19	2,9	1,6	3,4	4,0	4,3
<b>V</b>	31	101,6	43,0	100	78	117	175	201	<b>V*</b>	20	95,4	41,9	96	67	123	161	168
<b>Zn</b>	42	146,1	42,1	137	119	171	212	254	<b>Zn*</b>	28	129,2	58,4	130	99	150	220	253

Tabella SA.2: Principali parametri statistici delle concentrazioni di metalli e metalloidi nell'unità delle prealpi su calcari duri (SA). A sinistra i dati dell'orizzonte superficiale a destra i dati dell'orizzonte profondo. Dati espressi in mg/kg. \* Numero di campioni inferiore a 30, numerosità campionaria suggerita dalla norma ISO19258 (2005).

Nell'unità fisiografica sono stati prelevati e analizzati un numero variabile di campioni a seconda dei diversi metalli: in superficie si passa dai 42 campioni disponibili per cromo, nichel, piombo e zinco ai 28 campioni per selenio e stagno; in profondità il numero di campioni è inferiore di circa il 30%. Sebbene solo in superficie si raggiunga la numerosità suggerita (30) dalla norma ISO19258 (2005) si sono comunque separati i campioni superficiali da quelli profondi per poter ottenere un valore di fondo sia antropico che naturale.

L'elemento che contraddistingue questa unità dalle altre dell'area montana è il **cadmio** che mostra concentrazioni nettamente superiori. Vari lavori in bibliografia confermano contenuti molto elevati di tale elemento nei suoli su calcari presenti in varie zone delle Alpi (Sartori et al., 2002; Baize, 1997; Baize e Tercé, 2002): In questi litotipi il cadmio è contenuto quasi esclusivamente nella struttura dei carbonati, dove sostituisce il calcio. Il valore di fondo identificato per questa unità è pari a 3,8 mg/kg quindi quasi doppio rispetto ai limiti del D.Lgs. 152/2006.

Dalla lettura della tabella SA.2 si osserva che sono diversi i metalli, oltre il cadmio, che presentano valore di fondo superiore ai limiti di legge: **arsenico** (27 mg/kg), **berillio** (2,7), **cobalto** (36), **piombo** (101), **vanadio** (175) e **zinco** (220).

I valori di vanadio, cobalto e zinco sono nettamente superiori ai limiti di legge mentre il piombo raggiunge il limite in superficie e mostra valori nettamente più bassi in profondità.



Per tutti questi metalli, con l'esclusione del piombo, queste concentrazioni sono imputabili alle caratteristiche del materiale di partenza poiché concentrazioni simili si osservano sia in superficie che in profondità e sono strettamente legate alla tessitura (figura SA.1 e SA.2).

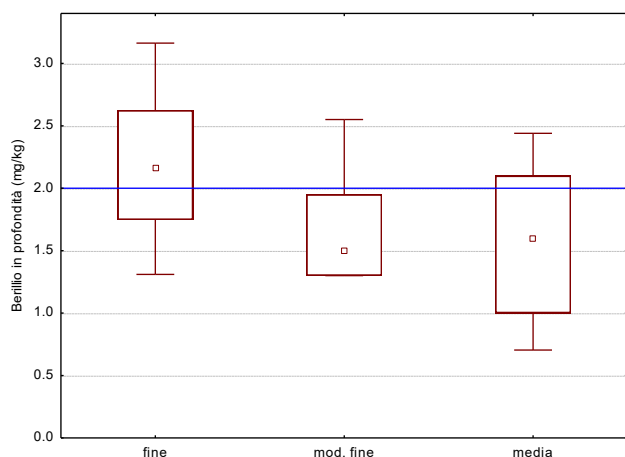


Figura SA.1: Contenuto totale di berillio (mg/kg) in profondità nell'unità delle prealpi su calcari duri (SA) in base alle classi tessiture USDA aggregate. Fine = A, AS, AL; Mod. fine = FSA, FA, FLA; Media = F, FL, L. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs. 152/2006.

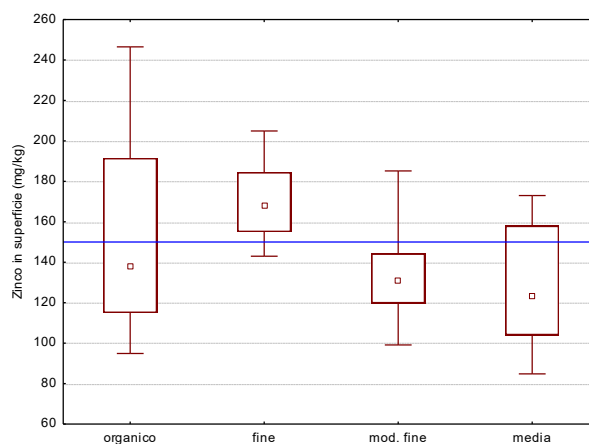


Figura SA.2: Contenuto totale di zinco (mg/kg) in superficie nei suoli dell'unità delle prealpi su calcari duri (SA) in base alle classi tessiture USDA aggregate. Fine = A, AS, AL; Mod. fine = FSA, FA, FLA; Media = F, FL, L; organico = contenuto in carbonio organico maggiore del 5%. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs. 152/2006.

Rispetto alla pubblicazione del 2011, è aumentato notevolmente il numero di dati disponibili.

Per quanto riguarda i valori medi c'è una buona corrispondenza mentre si osservano per alcuni metalli leggere differenze nei valori di fondo: per il berillio si abbassa da 3,3 mg/kg al valore attuale di 2,7 mg/kg; il piombo scende da 130 mg/kg, valore definito nel volume del 2011, a 101 mg/kg; il vanadio passa da 210 a 175 mg/kg mentre lo zinco da 245 a 220 mg/kg.

### Differenze con le unità deposizionali/fisiografiche limitrofe

Come detto in precedenza la concentrazione in cadmio si discosta nettamente dalla maggior parte delle unità fisiografiche e deposizionali del Veneto che mostrano valori nettamente inferiori con l'eccezione dell'unità delle Prealpi su calcari marnosi (SD) che mostra delle analogie senza però raggiungere le concentrazioni qui rilevate.

### Relazioni con i caratteri del suolo e tra metalli

La maggior parte dei metalli mostra correlazioni negative con contenuto in carbonati, sabbia e pH e positive con il contenuto in argilla anche se queste risultano più deboli in superficie rispetto alla profondità probabilmente a causa degli apporti antropici.

In superficie le correlazioni tra i vari metalli risultano sensibilmente più deboli rispetto ai dati degli orizzonti profondi come avviene anche con i caratteri del suolo.

In profondità le correlazioni più forti si osservano tra berillio e, rispettivamente, zinco ( $r = 0,89$ ), cromo ( $r = 0,84$ ), e nichel ( $r = 0,79$ ); quindi tra cobalto e vanadio ( $r = 0,79$ ) e tra nichel e zinco ( $r = 0,78$ ). I metalli che mostrano minori correlazioni sono antimonio, rame, selenio e cadmio.

### Arricchimento superficiale

Nell'unità SA l'indice di geoaccumulo è in generale basso per tutti gli elementi considerati, come si nota dalla figura SA.3 con mediane sempre inferiori allo 0 che indicano assenza di contaminazione; le uniche eccezioni sono il piombo e secondariamente il selenio (mediana circa 0). Il valore del piombo indica un probabile apporto di origine antropica per il passato utilizzo di tale metallo come additivo nelle benzine. Si

sottolinea che a causa degli spessori ridotti degli orizzonti superficiali campionati, in genere 10 centimetri, gli apporti assoluti che si sono realizzati rimangono comunque modesti.

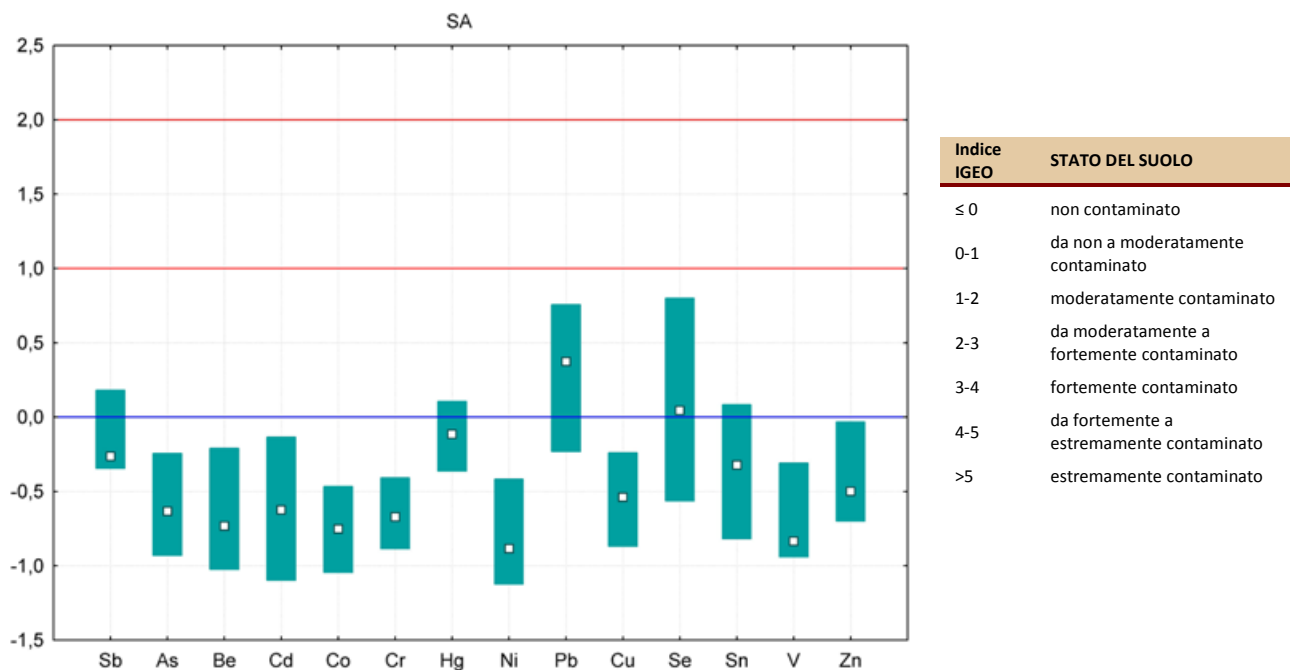
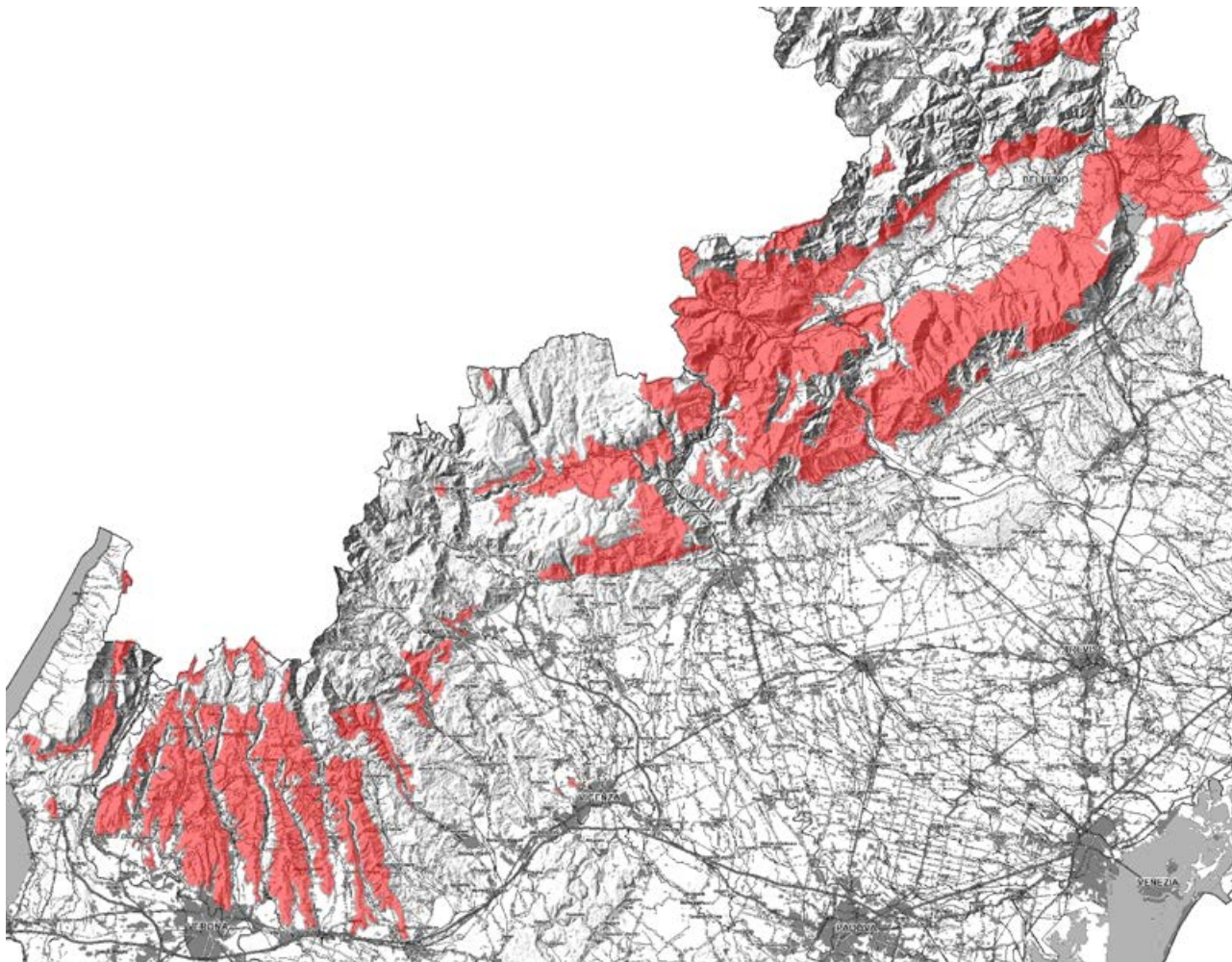


Figura SA.3 Indice di geoaccumulo (IGEO) dei metalli e metalloidi dell'unità delle prealpi su calcari duri (SA); i punti rappresentano i valori medi dell'indice mentre le barre il 25° e 75° percentile; i valori al di sotto della linea blu indicano assenza di arricchimento, tra questa e la prima linea rossa moderato arricchimento.

## PREALPI SU CALCARI MARNOSI (SD)

Metallo o metalloide	Sb	As	Be	Cd	Co	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Sn	V	Zn
Valore di fondo (mg/kg)	2,6	17	2,3	2,2	35	175	0,28	148	133	88	0,81	3,4	138	197
Limite col. A, D.Lgs. 152/2006	10	20	2	2	20	150	1	120	100	120	3	--	90	150



### Inquadramento, formazione e caratteristiche generali dei suoli

L'unità fisiografica delle prealpi su calcari marnosi (SD) ha una superficie di 1622 km<sup>2</sup> suddivisa in 40 sub-aree localizzate principalmente nella porzione settentrionale delle province di Verona e Vicenza e secondariamente in provincia di Treviso e Belluno, a sud del solco della Valbelluna. È costituita da suoli che si sviluppano su rocce calcareo-marnose (Biancone e Scaglia Rossa, principalmente); sono diffusi depositi di versante e glaciali sebbene quest'ultimi risultino molto meno diffusi rispetto all'area alpina e sono limitati alle quote maggiori e ai versanti che scendono verso la Valbelluna.

Dal punto di vista pedologico l'unità mostra delle similitudini con l'unità delle Prealpi su calcari duri (SA) con la quale spesso confina; a meridione confina anche con l'unità delle Prealpi su basalti (LB), dalla quale si differenzia nettamente per contenuto in alcuni metalli, e con l'unità delle Prealpi su calcareniti (LC) che, invece, mostra forti analogie pedologiche ma notevoli differenze per la concentrazione in arsenico e vanadio.

Il limite tra le varie unità non è mai netto e sono quindi frequenti inclusioni di litotipi diversi che possono determinare concentrazioni in metalli diversificate sebbene la minor presenza di depositi di origine glaciale, rispetto alle unità dell'area alpina, riduca i fenomeni di apporti esogeni. Rimane in ogni caso fondamentale il riconoscimento del materiale parentale dal quale si è formato il suolo.

I suoli dell'area sono moderatamente profondi con un grado di evoluzione che va da moderato a forte, in particolare sui versanti meno pendenti dove i processi di erosione sono limitati; in questo caso i suoli sono

caratterizzati da processi di traslocazione e accumulo delle argille in profondità. Le tessiture sono franco argillose con una buona dotazione in argilla, intorno al 30%. Rispetto ai suoli su calcari duri (SA) si osserva un minor contenuto in sabbia e scheletro. La reazione va da subacida a neutra in superficie mentre è neutra o alcalina in profondità a causa dei processi di lisciviazione ad opera dell'acqua che percola lungo il profilo. Il calcare infatti è stato in gran parte allontanato sebbene sia costituente principale nel materiale di partenza. I suoli sono ricchi in sostanza organica in particolare in superficie, dove la sostanza organica è circa il 5%; tale accumulo è favorito, oltre che dalla gestione del suolo, principalmente a pascolo o bosco, dal clima rigido legato alle quote più elevate.

	SD - SUPERFICIALE						SD - PROFONDO					
	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore
pH	71	6,4	1,2	6,7	5,2	7,5	46	7,1	1,2	7,6	5,8	8,1
Carb. Org. (%)	72	5,5	3,0	4,7	3,5	6,9	46	1,3	1,7	0,7	0,3	1,4
Calc. tot. (%)	66	8,7	13,7	2	0	10	43	21,2	29,2	3	0	48
Argilla (%)	46	31,7	13,2	31	21	41	44	33,1	19,2	32	19	43
Sabbia (%)	51	29,6	14,5	28	18	37	45	34,5	21,8	34	16	49
CSC (meq/100 g)	56	38,1	19,6	38	24	49	39	26,2	16,5	22	14	34

Tabella SD.1: Principali parametri statistici di alcuni caratteri del suolo nell'unità delle prealpi su calcari marnosi (SD). A sinistra i dati dell'orizzonte superficiale a destra i dati dell'orizzonte profondo.

### Indagini e risultati

Nell'unità fisiografica sono stati prelevati e analizzati un numero variabile di campioni a seconda dei diversi metalli: in superficie per tutti i metalli si raggiunge la numerosità campionaria (30) suggerita dalla norma ISO19258 (2005), infatti si passa dai circa 70 campioni disponibili per cadmio, cobalto, cromo, nichel, piombo, rame e zinco ai 37-38 campioni per selenio e stagno; in profondità il numero di campioni è inferiore di circa il 40% e arsenico, berillio, mercurio, selenio e stagno risultano avere un numero di campioni di poco inferiore a 30 (tabella SD.2).

Tipico di questa unità è la concentrazione in **cadmio** che mostra concentrazioni elevate anche se inferiori rispetto ai suoli dell'unità su calcari duri (SA), e valore di fondo, di poco superiore ai limiti di legge, pari a 2,2 mg/kg. Vale anche in questo caso quanto detto per l'unità SA e cioè che nei calcari il cadmio è contenuto quasi esclusivamente nella struttura dei carbonati, dove va a sostituirsi al calcio.

Dalla lettura della tabella SD.2 si osserva che sono diversi i metalli, oltre al cadmio, che presentano valore di fondo superiore ai limiti di legge: **berillio** (2,3 mg/kg), **cobalto** (35 mg/kg), **cromo** (175 mg/kg), **nichel** (148 mg/kg), **piombo** (133 mg/kg), **vanadio** (138 mg/kg) e **zinco** (197 mg/kg).

La maggior parte di questi metalli mostrano concentrazioni simili tra orizzonti superficiali e quelli profondi, a conferma dell'origine naturale; solo zinco e piombo hanno concentrazioni nettamente superiori in superficie, indice di un probabile apporto antropico; per il piombo tale apporto è imputabile alla deposizione di particolato atmosferico avvenuta in particolare prima del divieto di utilizzo di tale metallo come additivo nelle benzine mentre la concentrazione di zinco è, molto probabilmente, imputabile all'utilizzo di molte superfici a pascolo e quindi alla concentrazione di tale metallo nelle deiezioni zootecniche; i valori elevati osservabili anche in profondità sono in parte dovuti alle limitate profondità di prelievo, se confrontate con i suoli profondi di pianura, e a una comunque buona dotazione nel materiale parentale (mediana in profondità pari a 91 mg/kg).

A conferma dell'origine naturale di molti metalli è anche il forte legame che questi mostrano con la tessitura (figura SD.1 e SD.2) con concentrazioni più elevate in corrispondenza delle classi più fini.

SD - SUPERFICIALE									SD - PROFONDO								
	N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile		N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile
<b>Sb</b>	45	1,05	0,67	0,86	0,69	1,1	2,6	3,4	<b>Sb*</b>	27	0,74	0,73	0,56	0,48	0,78	1,1	3,4
<b>As</b>	46	9,51	3,71	8,8	7,0	11	17	20	<b>As*</b>	28	8,22	4,49	7,7	4,9	9,7	15	21
<b>Be</b>	46	1,21	0,47	1,2	0,86	1,5	2,1	2,3	<b>Be*</b>	25	1,29	0,69	1,4	0,66	2,0	2,3	2,5
<b>Cd</b>	72	0,88	0,61	0,70	0,52	1,1	1,9	2,9	<b>Cd</b>	46	0,78	0,65	0,62	0,28	0,99	2,2	2,9
<b>Co</b>	71	20,9	8,27	21	15	27	35	41	<b>Co</b>	44	18,9	9,51	19	10	27	33	34
<b>Cr</b>	72	81,4	35,9	75	57	100	155	175	<b>Cr</b>	45	77,1	44,3	76	41	95	175	190
<b>Hg</b>	48	0,14	0,06	0,13	0,10	0,17	0,28	0,31	<b>Hg*</b>	28	0,11	0,07	0,12	0,06	0,15	0,22	0,26
<b>Ni</b>	71	66,6	29,1	62	46	82	118	147	<b>Ni</b>	45	72,5	42,9	64	42	101	148	168
<b>Pb</b>	72	54,9	41,2	45	33	60	133	210	<b>Pb</b>	46	22,4	14,8	21	9,9	32	52	55
<b>Cu</b>	67	44,6	21,7	37	30	52	86	111	<b>Cu</b>	45	42,8	23,7	43	25	59	88	93
<b>Se</b>	38	0,41	0,21	0,38	0,29	0,51	0,81	0,88	<b>Se*</b>	21	0,28	0,18	0,23	0,10	0,38	0,58	0,65
<b>Sn</b>	37	2,30	0,68	2,2	1,8	2,7	3,4	3,6	<b>Sn*</b>	21	1,54	0,82	1,4	1,1	2,4	2,7	2,8
<b>V</b>	46	80,1	32,1	73	63	95	138	170	<b>V*</b>	25	69,5	28,6	68	47	91	109	118
<b>Zn</b>	72	130,6	37,5	129	110	154	197	224	<b>Zn</b>	46	100,2	46,3	91	63	143	163	174

Tabella SD.2: Principali parametri statistici delle concentrazioni di metalli e metalloidi nell'unità delle prealpi su calcari marnosi (SD). A sinistra i dati dell'orizzonte superficiale a destra i dati dell'orizzonte profondo. Dati espressi in mg/kg. \* Numero di campioni inferiore a 30, numerosità campionaria suggerita dalla norma ISO19258 (2005).

Rispetto alla pubblicazione del 2011 è aumentato notevolmente il numero di dati disponibili. Per quanto riguarda sia i valori medi che i valori di fondo definiti si osserva una buona corrispondenza con leggere differenze soprattutto per l'arsenico il cui valore di fondo scende da 23 a 17, il nichel da 173 a 148 mg/kg mentre il cadmio passa da 2,0 a 2,2 mg/kg.

Per gli altri metalli le differenze si limitano a pochi mg/kg. Per quanto riguarda l'arsenico sono comunque presenti nella popolazione presa in esame alcuni dati superiori a 20 mg/kg (colonna A del D.Lgs. 152/2006).

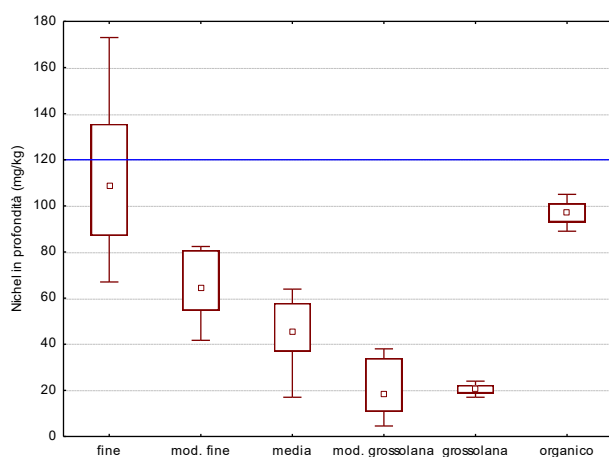


Figura SD.1: Contenuto totale di nichel in profondità nei suoli dell'unità delle prealpi su calcari marnosi (SD) in base alle classi tessiture USDA aggregate. Fine = A, AS, AL; Mod. fine = FSA, FA, FLA; Media = F, FL, L; Mod. grossolana = FS; Grossolana = SF, S; organico = contenuto in carbonio organico maggiore del 5%. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs. 152/2006.

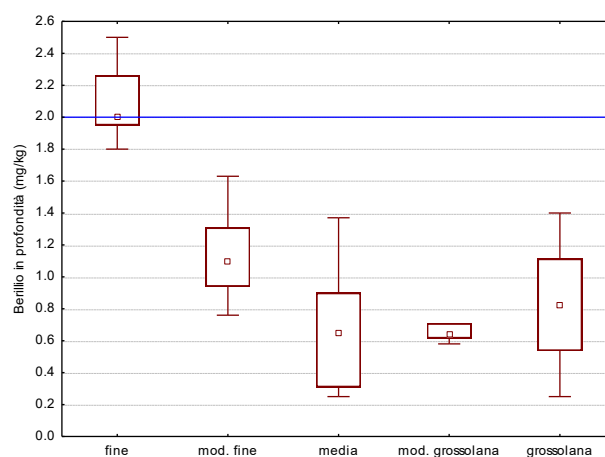


Figura SD.2: Contenuto totale di berillio in profondità nei suoli dell'unità delle prealpi su calcari marnosi (SD) in base alle classi tessiture USDA aggregate. Fine = A, AS, AL; Mod. fine = FSA, FA, FLA; Media = F, FL, L; Mod. grossolana = FS. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs. 152/2006.



### Differenze con le unità deposizionali/fisiografiche limitrofe

Come detto in precedenza la concentrazione in cadmio si discosta nettamente dalla maggior parte delle unità fisiografiche e deposizionali del Veneto che mostrano valori nettamente inferiori spesso inferiori anche al limite di rilevabilità, con l'eccezione dell'unità delle prealpi su calcari duri (SA) che mostra valori ancora più elevati. Rispetto all'unità delle prealpi su basalti (LB) invece le concentrazioni di cobalto, cromo, nichel e vanadio sono nettamente inferiori.

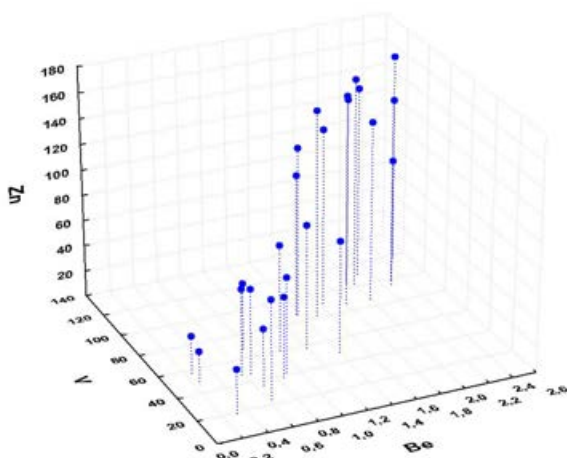


Figura SD.3: Scatterplot tridimensionale di correlazione tra berillio, vanadio e zinco in profondità nei suoli dell'unità delle Prealpi su calcari marnosi (SD); dati espressi in mg/kg.

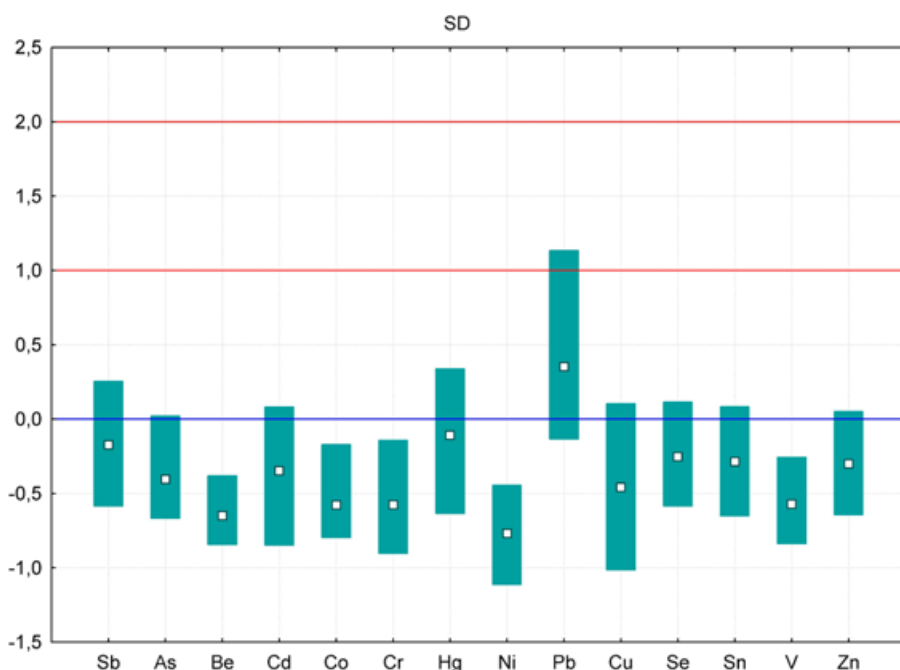
orizzonti profondi, come avviene anche con i caratteri del suolo, ma si segnalano comunque le correlazioni tra cromo e rispettivamente nichel e vanadio, quindi tra berillio e, rispettivamente, cadmio, nichel e zinco. In profondità correlazioni molto forti si osservano tra berillio, cobalto, cromo, nichel, vanadio e zinco. Il metallo che mostra minori correlazioni è l'antimonio, seguito dal selenio.

### Relazioni con i caratteri del suolo e tra metalli

In superficie le correlazioni tra metalli e caratteri del suolo sono molto deboli mentre migliorano in profondità in particolare si osservano correlazioni positive con l'argilla (zinco, berillio vanadio, nichel e stagno in particolare) e negative con contenuto di sabbia (berillio vanadio e stagno), di carbonati (berillio, stagno e cobalto) e pH (piombo, cobalto e stagno). La correlazione negativa con pH e carbonati in profondità si ritiene sia collegata ai fenomeni di traslocazione delle argille che si realizzano solo in assenza di carbonati e quindi con un pH più basso. Le argille scendendo lungo il profilo veicolano verso gli orizzonti profondi anche i metalli.

In superficie le correlazioni tra i vari metalli risultano sensibilmente più deboli rispetto ai dati degli

### Arricchimento superficiale



Indice IGEO	STATO DEL SUOLO
≤ 0	non contaminato
0-1	da non a moderatamente contaminato
1-2	moderatamente contaminato
2-3	da moderatamente a fortemente contaminato
3-4	fortemente contaminato
4-5	da fortemente a estremamente contaminato
>5	estremamente contaminato

Figura SD.4: Indice di geoaccumulo (IGEO) dei metalli e metalloidi dell'unità prealpi su calcari marnosi (SD); i punti rappresentano i valori medi dell'indice mentre le barre il 25° e 75° percentile; i valori al di sotto della linea blu indicano assenza di arricchimento, tra questa e la prima linea rossa moderato arricchimento.

Nell'unità l'indice di geoaccumulo è in generale basso per tutti gli elementi considerati, come si nota dalla figura SD.4 con mediane sempre inferiori allo 0 che indicano assenza di contaminazione; fa eccezione il piombo il cui valore indica un probabile apporto di origine antropica per il passato utilizzo di tale metallo come additivo nelle benzine. Si sottolinea che a causa degli spessori ridotti degli orizzonti superficiali campionati, in genere 10 centimetri, gli apporti assoluti che si sono realizzati rimangono comunque limitati. L'indice dello zinco, anche a causa dell'elevata dotazione naturale, rimane basso.

## Contenuto anomalo in metalli nell'area di Recoaro (VI)

ARPAV, su incarico del comune di Recoaro, ha indagato i suoli in prossimità della frazione Fracassi, dove erano stati riscontrati dei valori anomali nella concentrazione di diversi metalli in seguito ad un procedimento per la verifica della compatibilità ambientale dei materiali di scavo, ai sensi dell'art. 41bis della legge 98/2013.

L'area indagata è nota per la presenza di numerose mineralizzazioni a solfuri di zinco, piombo, ferro, rame e argento sfruttate dall'attività mineraria a partire dall'epoca romana, proseguite, quindi, durante il governo della Repubblica di Venezia e poi fino all'inizio del secolo scorso. Il materiale di risulta dell'attività mineraria veniva riutilizzato in loco in particolar modo nella costruzione dei terrazzamenti agrari.

Sono stati raccolti campioni sia nei pressi della frazione di Fracassi che in aree circostanti con l'obiettivo di delimitare l'area con concentrazioni di metalli anomale e di definire un valore di fondo per l'area. In tutti i siti, dove possibile, sono stati raccolti campioni a due profondità diverse, superficiale e profondo, per un totale di 23 campioni.

Le formazioni affioranti nei pressi dell'abitato sono la Formazione a Gracilis, costituita prevalentemente da calcari arenacei o marnosi stratificati, arenarie e siltiti. A nord affiorano invece i Calcari di Monte Spitz, costituiti da calcari massicci o localmente stratificati. Nella porzione più orientale invece affiorano camini vulcanici e filoni di rioliti e riodaciti. Le mineralizzazioni sono molto diffuse sia nella Formazione a Gracilis che nei Calcari di Monte Spitz.

Tutti i suoli indagati presentano una sequenza di orizzonti corrispondente con quanto atteso in tale contesto ambientale e non mostrano evidenze di rimaneggiamenti di origine antropica. Di conseguenza, pur rimanendo valida l'ipotesi dell'utilizzo di materiale di risulta nella costruzione dei terrazzi, in quanto questa era la tecnica costruttiva di tali strutture, molto probabilmente la loro realizzazione è avvenuta in un passato remoto in quanto i suoli mostravano un'evoluzione naturale.

Gli esiti analitici hanno evidenziato numerosi superamenti dei limiti previsti dal D.Lgs. 152/2006 e in particolare: arsenico con 16 superamenti del limite di colonna B (50 mg/kg) e un unico valore inferiore al limite per le aree residenziali (20 mg/kg); antimonio con 5 superamenti del limite di colonna B (30 mg/kg); zinco, 2 superamenti di colonna B (1500 mg/kg) e solo 4 campioni con concentrazione inferiore al limite di colonna A (150 mg/kg).

Vanadio, piombo, cadmio, e mercurio presentano numerosi superamenti di colonna A, mentre rame, nichel e selenio non evidenziano alcun superamento.

Nella tabella 1 sono riassunti i valori massimi riscontrati per alcuni metalli suddivisi tra orizzonti superficiali e profondi.

	Antimonio	Arsenico	Cadmio	Mercurio	Piombo	Zinco
Orizzonte superficiale	93	673	5,7	2,4	1718	1666
Orizzonte profondo	151	910	8,5	3,3	371	2663

Tabella SD.3: Massimo contenuto in metalli (mg/kg), suddiviso tra orizzonti superficiali e profondi, nei pressi della frazione Fracassi, in comune di Recoaro.

Nella maggior parte dei siti in cui sono stati prelevati campioni anche in profondità, quest'ultimi risultano avere concentrazione simile o anche più elevata rispetto ai campioni superficiali, aspetto che rafforza l'ipotesi di una loro origine naturale. Il valore massimo per il piombo è stato ritrovato in un campione per il quale non è stato possibile raccogliere il campione profondo.

Un altro aspetto che rafforza l'ipotesi di un'origine naturale di tali concentrazioni è la forte correlazione che esiste tra i diversi metalli.

A fronte dei pochi dati disponibili, non è stato possibile definire un valore di fondo specifico per l'area ma si ritiene che le concentrazioni misurate possano essere usate come riferimento per valori naturalmente possibili nella zona indagata.

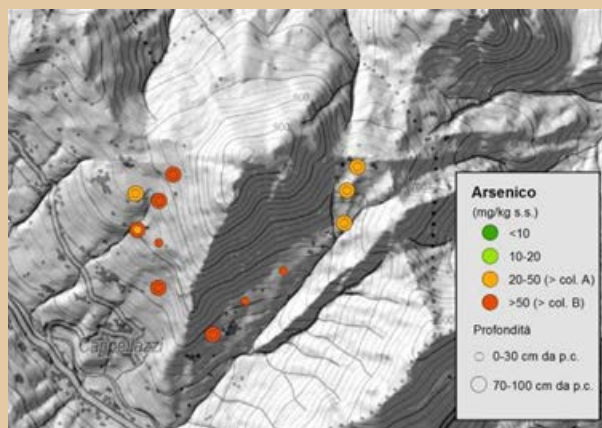


Figura SD.5: Recoaro (VI), frazione Fracassi: distribuzione dell'arsenico nei diversi punti di campionamento e alle diverse profondità di prelievo; in arancione i superamenti delle CSC di colonna A e in rosso quelli di colonna B.



LB - PREALPI SU BASALT

L'unità fisiografica delle prealpi su basalti (LB) ha una superficie di 277 km<sup>2</sup> suddivisa in 14 sub-aree localizzate principalmente nell'area prealpina e collinare della provincia di Vicenza e marginalmente nella porzione orientale della provincia di Verona. È costituita da suoli che si sviluppano su basalti o tufi basaltici formatisi durante l'Oligocene; sono presenti depositi di versante e colluviali sebbene molto meno diffusi rispetto all'area alpina poiché queste aree non sono mai state interessate dalla presenza di ghiaccio durante l'ultima glaciazione.

Dal punto di vista pedologico l'unità mostra delle particolarità dovute alla tipologia del materiale di partenza e si differenzia nettamente da tutte le altre unità del Veneto per il contenuto estremamente alto di nichel, cobalto, cromo e vanadio.

	LB - SUPERFICIALE						LB - PROFONDO					
	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore
pH	73	6,4	0,8	6,4	5,8	6,9	60	6,8	0,9	6,9	6,2	7,4
Carb. Org. (%)	73	1,8	1,1	1,6	1,0	2,3	60	0,5	0,4	0,5	0,2	0,6
Calc. tot. (%)	46	2,1	5,6	0	0	2	46	2,8	7,9	0	0	2
Argilla (%)	72	30,6	12,2	31	21	41	59	29,6	18,1	28	13	44
Sabbia (%)	71	33,5	15,8	30	21	43	58	38,9	23,1	32	20	58
CSC (meq/100 g)	49	45,3	16,4	43	36	55	45	42,5	15,0	43	35	51

Tabella LB.1: Principali parametri statistici di alcuni caratteri del suolo nell'unità delle prealpi su basalti (LB). A sinistra i dati dell'orizzonte superficiale a destra i dati dell'orizzonte profondo.

Il limite con le unità confinanti (principalmente SD e LC) è abbastanza netto in quanto i basalti occupano un'area ben definita e sono abbastanza limitate le inclusioni di litotipi diversi mentre viceversa sono abbastanza comuni inclusioni di basalti sotto forma di filoni vulcanici nelle altre unità, in particolare nell'area dei Berici.

I suoli dell'area sono da profondi a molto profondi con un grado di evoluzione moderato; lo spessore e il grado di evoluzione aumentano al diminuire della pendenza dei versanti, dove minori sono i processi di erosione. Le tessiture sono franco argillose, con una buona dotazione in argilla, intorno al 30%. Rispetto ai suoli su calcari duri (SA) e calcari marnosi (SD) si osserva un minor contenuto di scheletro e ovviamente la totale assenza di carbonati; quest'ultima caratteristica determina una reazione da subacida a neutra lungo tutto il profilo del suolo. La maggior parte dei suoli risulta coltivata in particolar modo a vigneto anche grazie alle morfologie arrotondate che caratterizzano i basalti mentre il bosco si concentra sui versanti più pendenti. I suoli hanno una moderata dotazione in sostanza organica, relativamente bassa se confrontata con le altre unità delle prealpi dove l'uso del suolo prevalente è il bosco o il prato-pascolo.

### Indagini e risultati

La numerosità campionaria è aumentata notevolmente rispetto al volume del 2011 ma i risultati rimangono molto simili sebbene nella prima elaborazione fossero disponibili solo una quindicina di campioni in superficie rispetto ai circa 70 ora disponibili. Le differenze limitate tra i valori di fondo definiti con una numerosità campionaria così diversa avvalorano la qualità della metodologia adottata. In generale il maggior numero di campioni mostra notevole confrontabilità per quanto riguarda le mediane mentre ha portato alla definizione di valori di fondo leggermente superiori a causa dell'aumento della casistica disponibile. In profondità il numero di campioni scende a circa 60 rimanendo ampiamente al di sopra della numerosità campionaria (30) suggerita dalla norma ISO19258 (2005).

La tipicità di questa unità è data dalle concentrazioni estremamente elevate di **cobalto**, **cromo**, **nichel** e **vanadio** con valori ampiamente superiori ai limiti validi per le aree residenziali e prossimi a quelli delle aree industriali per il vanadio; il valore di fondo del cobalto, pari a 79 mg/kg, è quasi 4 volte il limite di legge, quello del cromo (313 mg/kg) è circa doppio, come il nichel (251 mg/kg) e il vanadio (212 mg/kg).

Un altro metallo che mostra superamento del limite per il valore di fondo è lo **zinco** (177 mg/kg) anche se di entità nettamente inferiore ai precedenti. A questo si aggiunge poi il **berillio** che mostra un valore di fondo di poco superiore al limite di colonna A (2,1 mg/kg).



LB - SUPERFICIALE									LB - PROFONDO								
	N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile		N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile
<b>Sb</b>	71	0,75	0,97	0,49	0,32	0,79	1,6	4,7	<b>Sb</b>	58	0,35	0,42	0,22	0,10	0,38	1,4	1,9
<b>As</b>	72	5,28	4,59	3,8	2,6	5,5	14	<b>22</b>	<b>As</b>	57	4,19	4,49	2,5	1,5	4,4	12	20
<b>Be</b>	70	0,92	0,45	0,92	0,56	1,3	1,7	1,7	<b>Be</b>	57	1,24	0,50	1,3	0,93	1,5	<b>2,1</b>	<b>2,3</b>
<b>Cd</b>	73	0,30	0,20	0,25	0,25	0,25	0,56	1,1	<b>Cd</b>	60	0,28	0,18	0,25	0,25	0,25	0,27	1,0
<b>Co</b>	72	<b>48,8</b>	11,6	<b>50</b>	<b>43</b>	<b>55</b>	<b>68</b>	<b>72</b>	<b>Co</b>	59	<b>51,4</b>	17,2	<b>52</b>	<b>40</b>	<b>62</b>	<b>79</b>	<b>91</b>
<b>Cr</b>	72	<b>178,3</b>	53,2	<b>180</b>	146	<b>201</b>	<b>280</b>	<b>313</b>	<b>Cr</b>	60	<b>187,6</b>	68,6	<b>178</b>	149	<b>213</b>	<b>313</b>	<b>366</b>
<b>Hg</b>	72	0,06	0,05	0,06	0,03	0,08	0,15	0,22	<b>Hg</b>	59	0,05	0,05	0,03	0,03	0,05	0,14	0,24
<b>Ni</b>	73	<b>139,2</b>	47,7	<b>133</b>	101	<b>162</b>	<b>211</b>	<b>292</b>	<b>Ni</b>	60	<b>146,3</b>	55,3	<b>137</b>	107	<b>178</b>	<b>251</b>	<b>279</b>
<b>Pb</b>	73	25,7	24,3	17	11	35	57	<b>125</b>	<b>Pb</b>	60	9,53	9,50	3,9	2,5	15	28	34
<b>Cu</b>	40	65,9	20,9	58	52	78	99	129	<b>Cu</b>	59	49,6	13,4	48	42	55	71	97
<b>Se</b>	70	0,21	0,14	0,20	0,10	0,29	0,47	0,61	<b>Se</b>	57	0,18	0,13	0,10	0,10	0,23	0,43	0,55
<b>Sn</b>	70	2,28	0,71	2,2	1,8	2,6	3,8	4,5	<b>Sn</b>	57	2,20	1,00	2,0	1,5	2,6	4,2	5,7
<b>V</b>	70	<b>146,6</b>	32,5	<b>149</b>	<b>128</b>	<b>163</b>	<b>201</b>	<b>216</b>	<b>V</b>	57	<b>149,2</b>	37,8	<b>148</b>	<b>126</b>	<b>175</b>	<b>212</b>	<b>224</b>
<b>Zn</b>	72	143,6	23,7	146	130	<b>160</b>	<b>177</b>	<b>195</b>	<b>Zn</b>	58	129,6	23,5	128	117	143	<b>161</b>	<b>189</b>

Tabella LB.2: Principali parametri statistici delle concentrazioni di metalli e metalloidi nell'unità delle prealpi su basalti (LB). A sinistra i dati dell'orizzonte superficiale a destra i dati dell'orizzonte profondo. Dati espressi in mg/kg.

Tutti i metalli sopracitati mostrano concentrazioni simili tra orizzonti superficiali e quelli profondi, se non addirittura superiori negli orizzonti profondi, a conferma della loro origine naturale; la contemporanea alta concentrazione di cobalto, cromo, nichel e vanadio risulta essere un ottimo indicatore della presenza di basalti nel sottosuolo e dell'assenza di contaminazione antropica.

Per alcuni metalli, in particolare **arsenico**, **piombo** e **rame** nella popolazione presa in esame sono comunque presenti valori massimi superiori alle CSC e non esclusi come outliers (vedi valori di 99° percentile in tabella LB.2). Per quanto riguarda il piombo questi superamenti, dovuti molto probabilmente alla deposizione atmosferica, sono limitati agli orizzonti superficiali dello spessore di pochi centimetri e sono assenti negli orizzonti profondi e nei suoli lavorati, dove avviene il rimescolamento per uno spessore di 20-30 cm. Per il rame tali valori sono probabilmente legati ad aree in passato utilizzate come vigneto perché anche in questo caso i valori elevati sono solo in superficie. Si ricorda che tutti i campioni su vigneto sono elaborati separatamente per la definizione di un valore di fondo per il rame solo per questo uso del suolo. Per lo zinco i superamenti sono dovuti alla naturale dotazione dei materiali parentali in quanto anche i valori in profondità risultano elevati.

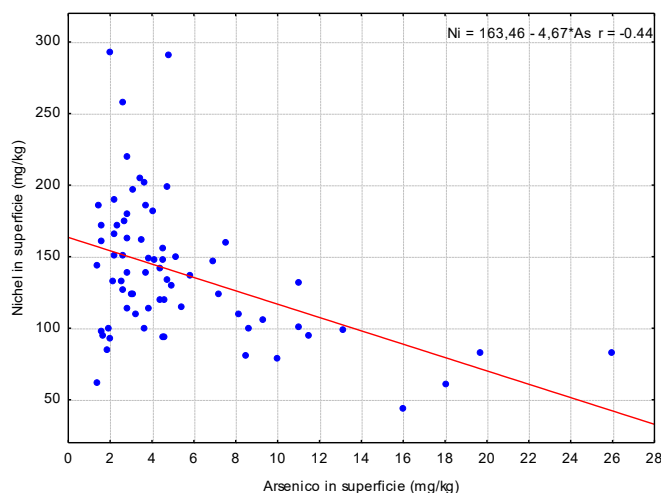


Figura LB.1: Correlazione tra contenuto totale di arsenico e di nichel negli orizzonti superficiali nell'unità delle prealpi su basalti (LB).

### Differenze con le unità deposizionali/fisiografiche limitrofe

Come detto in precedenza la contemporanea elevata concentrazione di cobalto, cromo, nichel e vanadio è ottimo indicatore dell'unità in quanto in tutte le unità del Veneto non si raggiungono valori di fondo così elevati per tutti e quattro i metalli. L'unità, inoltre, si differenzia per la bassa concentrazione in cadmio

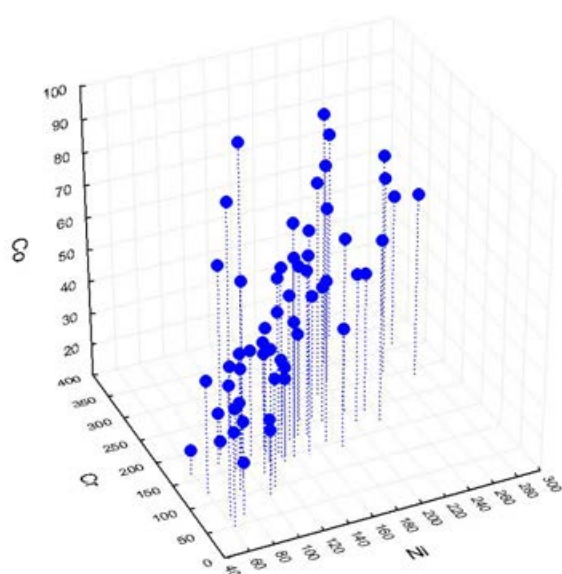


Figura LB.2: Scatterplot tridimensionale di correlazione tra cobalto, cromo e nichel in profondità nei suoli dell'unità delle prealpi su basalti (LB); dati espressi in mg/kg.

almeno rispetto alle altre unità dell'area prealpina dove tale metallo è, invece, presente in concentrazioni elevate.

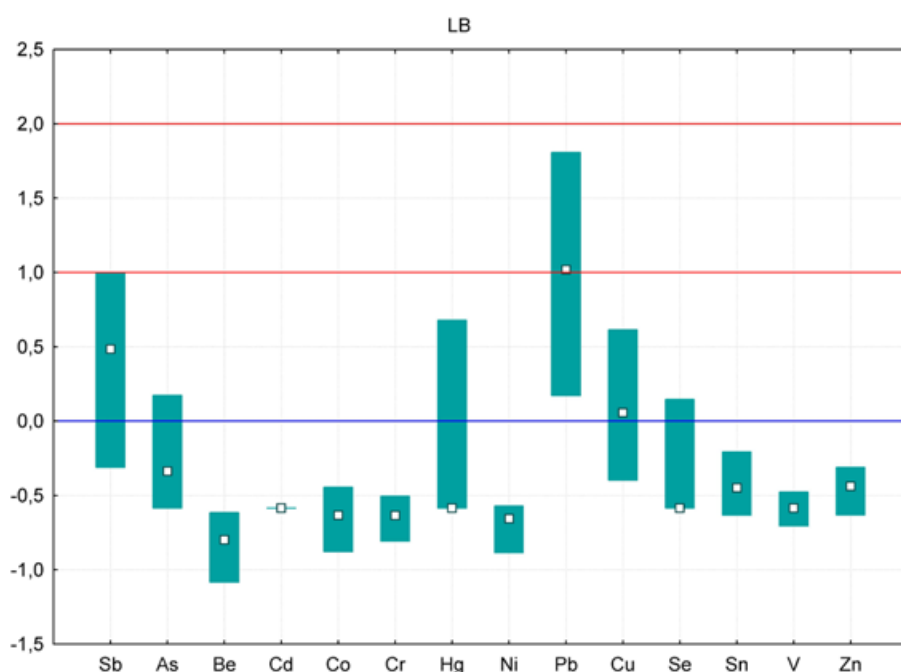
### Relazioni con i caratteri del suolo e tra metalli

In superficie le correlazioni tra metalli e caratteri del suolo sono molto deboli mentre migliorano in profondità; in particolare si osservano correlazioni positive con l'argilla (arsenico, antimonio, selenio, mercurio e berillio) e negative con la sabbia (selenio, arsenico, antimonio, piombo, mercurio e stagno). È interessante notare che i metalli caratteristici dei basalti (cobalto, cromo, nichel e vanadio) non mostrano rispetto ai caratteri del suolo correlazioni particolarmente significative.

In superficie le correlazioni tra i vari metalli risultano sensibilmente più deboli rispetto ai dati degli orizzonti profondi come avviene anche con i caratteri del suolo.

In profondità, invece, correlazioni molto forti si osservano tra antimonio, arsenico e cadmio quindi tra antimonio e selenio e secondariamente

tra arsenico e mercurio mentre con l'eccezione della relazione tra nichel e cromo (figura LB.2), molto forte, gli altri metalli tipici dei basalti (cobalto e vanadio) mostrano tra di loro legami significativi ma non particolarmente forti; questo aspetto sorprende in quanto in altre unità, che mostrano concentrazioni inferiori in questi metalli, le correlazioni sono più forti. Un aspetto interessante è rappresentato dalle correlazioni negative, sempre molto rare tra i diversi metalli e metalloidi, che nichel e cobalto mostrano nei confronti di arsenico (figura LB.1) e antimonio, e, secondariamente, con cadmio, mercurio e selenio.



Indice IGEO	STATO DEL SUOLO
≤ 0	non contaminato
0-1	da non a moderatamente contaminato
1-2	moderatamente contaminato
2-3	da moderatamente a fortemente contaminato
3-4	fortemente contaminato
4-5	da fortemente a estremamente contaminato
>5	estremamente contaminato

Figura LB.3: Indice di geoaccumulo (IGEO) dei metalli e metalloidi dell'unità delle prealpi su basalti (LB); i punti rappresentano i valori medi dell'indice mentre le barre il 25° e 75° percentile; i valori al di sotto della linea blu indicano assenza di arricchimento, tra questa e la prima linea rossa moderato arricchimento.

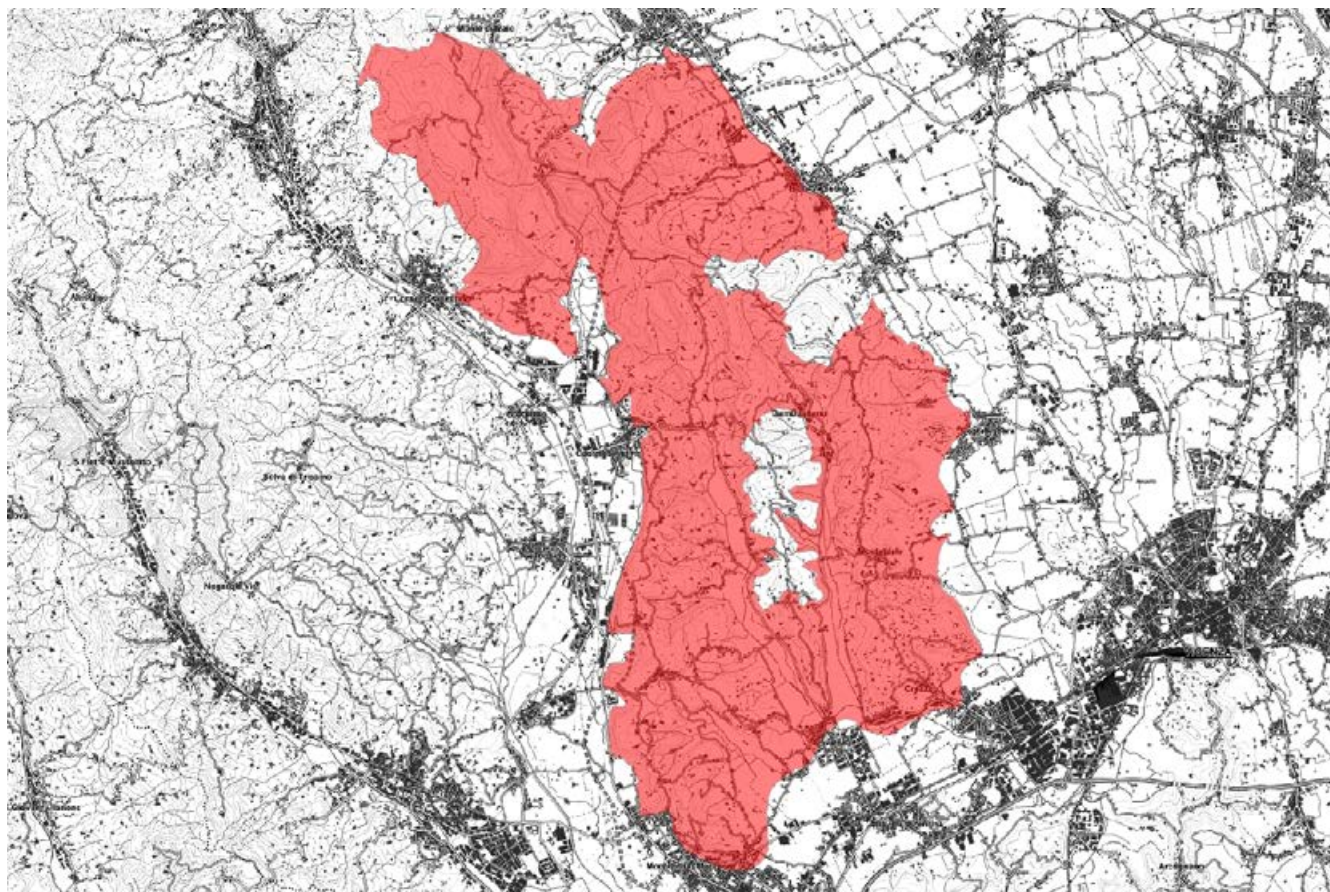
### Arricchimento superficiale

Nell'unità l'indice di geoaccumulo è in generale basso per tutti gli elementi considerati, come si nota dalla figura LB.3, con mediane sempre inferiori allo 0 che indicano assenza di contaminazione; le uniche eccezioni sono date dal piombo e secondariamente dall'antimonio. Il valore del piombo indica un probabile apporto di origine antropica per il passato utilizzo di tale metallo come additivo nelle benzine come accennato anche in altre unità dell'area prealpina. Si sottolinea che sebbene l'incremento sia significativo a causa delle concentrazioni molto basse di piombo negli orizzonti profondi (mediana pari a 3,9 mg/kg) i valori che si raggiungono in superficie rimangono comunque molto bassi (mediana pari a 17 mg/kg). Per quanto riguarda l'antimonio, non sono chiari i motivi del valore elevato dell'indice, perché, se legato ad apporti atmosferici, tale arricchimento dovrebbe essere evidente anche in altre unità delle prealpi. Tale valore potrebbe essere, almeno in parte, imputabile ai diversi campioni con concentrazione inferiore al limite di rilevabilità presenti negli orizzonti profondi. L'altro metallo che presenta mediana superiore allo 0 è il rame che ha subito un apporto almeno in quelle superfici che un tempo erano utilizzate a vigneto.

L'indice di geoaccumulo dei metalli caratteristici dell'unità (cobalto, cromo, nichel e vanadio) risulta molto basso con mediana inferiore a -0,5 che indica concentrazioni più elevate in profondità.

## PREALPI SU CALCARENITI (LC)

Metallo o metalloide	Sb	As	Be	Cd	Co	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Sn	V	Zn
Valore di fondo (mg/kg)	1,8	34	2,7	1,9	39	172	0,13	122	39	50	0,74	3,3	162	128
Limite col. A, D.Lgs. 152/2006	10	20	2	2	20	150	1	120	100	120	3	--	90	150



### Inquadramento, formazione e caratteristiche generali dei suoli

L'unità fisiografica delle Prealpi su calcareniti (LC) ha una superficie di 101 km<sup>2</sup> ed è formata da un unico poligono in provincia di Vicenza rappresentato dall'ultima dorsale dei Lessini che si allunga verso Vicenza. È costituita da suoli che si sviluppano su rocce calcareo-marnose della formazione delle Calcareniti di Castelgomberto; questa formazione in realtà include una varietà di litotipi molto diversi passando da forme tipicamente calcaree a termini propriamente marnosi, le litologie più diffuse, comunque sempre accomunate da concentrazioni elevate in arsenico a vanadio che le contraddistinguono dalle formazioni tipiche dell'area prealpina (Biancone, Scaglia rossa e Calcarei Grigi). Questa unità non era presente nel volume sui valori di fondo del 2011 perché ricadeva all'interno dell'unità delle Prealpi su calcari marnosi (SD), ma, a causa dell'elevato contenuto in arsenico, cobalto, cromo e vanadio, è stato deciso di separarla nonostante il numero di dati disponibili non risulti elevato.

Dal punto di vista pedologico l'unità mostra delle similitudini con l'unità delle Prealpi su calcari marnosi (SD) che si sviluppa più a nord;

	LC					
	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile superiore
pH	23	7,8	0,5	7,9	7,6	8,1
Carb. Org. (%)	23	1,7	1,3	1,4	0,6	2,4
Calc. tot. (%)	17	18,3	21,6	6	3	32
Argilla (%)	23	46,3	14,5	48	37	57
Sabbia (%)	23	19,5	11,9	14	8	31
CSC (meq/100 g)	16	42,3	13,8	43	32	50

*Tabella LC.1: Principali parametri statistici di alcuni caratteri del suolo nell'unità delle prealpi su calcareniti (LC). Come per la determinazione dei valori di fondo, a causa della scarsa numerosità del dataset i campioni dell'unità non sono stati suddivisi in superficiali e profondi.*



l'unità confina con l'unità delle Prealpi su basalti (LB), dalla quale si differenzia nettamente per contenuto in arsenico, alto in LC e molto basso nei suoli su basalti (LB). Il limite tra le varie unità non è mai netto e sono quindi frequenti inclusioni di litotipi diversi che possono determinare concentrazioni in metalli diverse. Inclusioni all'interno dell'unità di filoni basaltici sono frequenti aumentando la complessità del sistema; a causa di questa notevole variabilità risulta fondamentale il riconoscimento del materiale parentale dal quale si è formato il suolo.

I suoli dell'area sono moderatamente profondi con un grado di evoluzione moderato, in particolare sui versanti meno pendenti dove i processi di erosione sono limitati. Le tessiture sono argillose o franco argillose con una notevole dotazione in argilla, oltre il 40%. La reazione è decisamente alcalina anche in superficie con una buona dotazione in calcare totale (6%) che aumenta decisamente con la profondità. L'uso del suolo mostra un'alternanza tra vigneti, prati e bosco che spesso è più diffuso sui versanti più pendenti; i suoli hanno una moderata dotazione in sostanza organica, relativamente bassa se confrontata con le altre unità delle prealpi su materiale calcareo (SD e SA) nelle quali l'uso del suolo prevalente è il bosco o il prato-pascolo.

LC								
	N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile
<b>Sb*</b>	21	1,16	0,46	1,2	0,85	1,3	1,8	2,2
<b>As*</b>	21	18,5	7,96	16	14	<b>23</b>	<b>34</b>	<b>36</b>
<b>Be*</b>	19	1,61	0,70	1,6	1,2	2,0	<b>2,7</b>	<b>3,0</b>
<b>Cd*</b>	23	0,85	0,49	0,72	0,59	1,1	1,9	2,0
<b>Co*</b>	23	<b>24,6</b>	10,2	25	<b>19</b>	<b>34</b>	<b>39</b>	<b>39</b>
<b>Cr*</b>	23	123,0	36,6	134	99	145	<b>172</b>	<b>177</b>
<b>Hg*</b>	21	0,07	0,04	0,08	0,05	0,09	0,13	0,15
<b>Ni*</b>	23	87,0	29,7	88	66	105	<b>122</b>	<b>152</b>
<b>Pb*</b>	23	22,0	11,1	22	13	28	39	44
<b>Cu*</b>	22	32,4	12,4	31	26	41	50	60
<b>Se*</b>	19	0,48	0,20	0,54	0,31	0,68	0,74	0,74
<b>Sn*</b>	19	2,47	0,77	2,7	2,0	3,0	3,3	3,4
<b>V*</b>	19	<b>123,1</b>	29,7	<b>126</b>	<b>107</b>	<b>142</b>	<b>162</b>	<b>166</b>
<b>Zn*</b>	23	99,0	26,1	105	88	117	128	145

Tabella LC.2: Principali parametri statistici delle concentrazioni di metalli e metalloidi nell'unità delle prealpi su calcareniti (LC); a causa della scarsa numerosità del dataset i campioni dell'unità non sono stati suddivisi in superficiali e profondi. Dati espressi in mg/kg. \* Numero di campioni inferiore a 30, numerosità campionaria suggerita dalla norma ISO19258 (2005).

### Indagini e risultati

Nell'unità fisiografica sono stati prelevati e analizzati un limitato numero di campioni: in superficie sono disponibili solo 13 campioni che scendono a 7 in profondità. L'esiguo numero di campioni totali ha indotto ad utilizzare una procedura diversa rispetto a quella applicata in altre unità con maggiore numero di dati disponibili; i due dataset, superficiale e profondo, sono stati uniti per aumentare la numerosità campionaria ma anche in questo modo non è stato possibile raggiungere il valore suggerito (30 dati) dalla norma ISO19258 (2005). I risultati di questa unità risultano quindi preliminari e potranno essere soggetti in futuro a modifiche all'aumentare dei dati disponibili; si è preferito comunque separarla dalle altre unità delle prealpi per la peculiare concentrazione di alcuni metalli, arsenico in particolare.

Tipico di questa unità è l'elevato contenuto in **arsenico** con un valore di fondo nettamente superiore ai limiti di legge, pari a 34 mg/kg. La presenza di concentrazioni più elevate in profondità permette di attribuire la dotazione in arsenico alle caratteristiche litologiche del materiale di partenza, escludendo apporti di

origine antropica (si veda anche l'indice di geoaccumulo).

Oltre l'arsenico sono diversi i metalli che presentano valore di fondo superiore ai limiti di legge: **berillio** (2,7 mg/kg), **cobalto** (39 mg/kg), **cromo** (172 mg/kg), **nichel** (122 mg/kg), **piombo** (133 mg/kg) e **vanadio** (162 mg/kg). Anche quest'ultimo metallo, oltre all'arsenico, presenta concentrazioni caratteristiche che differenziano l'unità da quella delle Prealpi su calcari marnosi dove era inclusa nel volume del 2011.

La maggior parte di questi metalli mostrano concentrazioni simili tra orizzonti superficiali e profondi, a conferma dell'origine naturale di questi metalli e solo rame, zinco e soprattutto piombo mostrano concentrazioni nettamente superiori in superficie, indice di un probabile apporto antropico, ma comunque inferiori ai limiti di legge. Tutte queste considerazioni vanno valutate alla luce dei pochi dati disponibili in particolare negli orizzonti profondi. Le concentrazioni di piombo in superficie, come nelle altre unità delle



prealpi sono imputabili alla deposizione di particolato atmosferico avvenuta in particolare prima del divieto di utilizzo di tale metallo come additivo nelle benzine; la concentrazione di rame è probabilmente legata alla diffusa presenza del vigneto mentre le concentrazioni di zinco sono, molto probabilmente, riconducibili allo spargimento di deiezioni zootecniche.

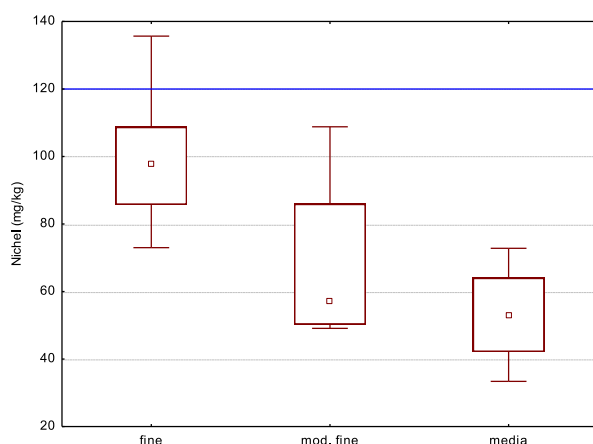


Figura LC.1: Contenuto totale di nichel nei suoli dell'unità delle prealpi su calcareniti (LC) in base alle classi tessitura USDA aggregate. Fine = A, AS, AL; Mod. fine = FSA, FA, FLA; Media = F, FL, L. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs. 152/2006.

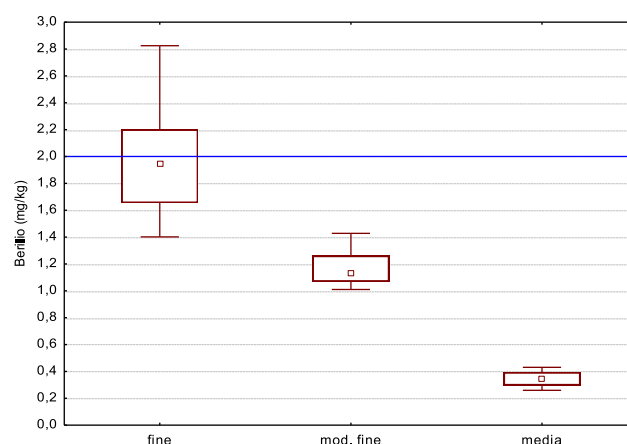


Figura LC.2: Contenuto totale di berillio nei suoli dell'unità delle prealpi su calcareniti (LC) in base alle classi tessitura USDA aggregate. Fine = A, AS, AL; Mod. fine = FSA, FA, FLA; Media = F, FL, L. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs. 152/2006.

A conferma dell'origine naturale di molti metalli è anche il forte legame che questi mostrano con la tessitura (figura LC.1 e LC.2) con concentrazioni più elevate in corrispondenza delle classi più fini. Dalla figura LC.1 emerge che il 95° percentile della sola classe a tessitura fine risulta ampiamente superiore a quello definito per tutta la popolazione (122 mg/kg) e pari a 136 mg/kg.

Si segnala inoltre la concentrazione in cadmio che sebbene inferiore ai limiti di legge risulta comunque elevata rispetto ai valori riscontrabili in media nei suoli del Veneto e simile, ma inferiore, a quella riscontrata nelle unità delle prealpi su materiale calcareo (SA e SD).

### Differenze con le unità deposizionali/fisiografiche limitrofe

Come detto in precedenza la concentrazione di arsenico si discosta nettamente dalle altre unità delle prealpi mentre il vanadio risulta in concentrazione maggiore rispetto alle unità SD e SA ma nettamente inferiore ai valori riscontrabili nell'unità delle Prealpi su basalti (LB) che presenta invece concentrazioni estremamente elevate anche di cobalto, cromo e nichel.

### Relazioni con i caratteri del suolo e tra metalli

Le correlazioni tra metalli e caratteri del suolo sono particolarmente significative in particolare con la tessitura, positive con il contenuto in argilla e negative rispetto alla sabbia mentre i legami con carbonio organico e pH sono più deboli e significativi solo per alcuni metalli (positive per cadmio, piombo e selenio nei confronti del carbonio organico e negative per cobalto, piombo, selenio e zinco nei confronti del pH). È interessante osservare la correlazione negativa tra il contenuto in calcare e la concentrazione di molti metalli (tra le più significative quelle con cobalto, cromo, vanadio e zinco). Tale aspetto è probabilmente legato alle molteplicità di litotipi presenti nell'unità dove quelli più ricchi in carbonati risultano avere delle concentrazioni più basse in metalli.

Tra i vari metalli le correlazioni più forti sono quelle tra vanadio e rispettivamente berillio e stagno; forti sono anche le correlazioni nel gruppo formato da berillio, cobalto, cromo, nichel e vanadio come accade anche in molte altre unità del Veneto; quindi tra antimonio e rispettivamente arsenico e cadmio e tra cobalto e zinco. I metalli che mostrano minori correlazioni con altri metalli sono rame, selenio e arsenico.

Le correlazioni tra i vari metalli suddivisi in orizzonte superficiale e profondo risultano poco significative a causa del ridotto numero di osservazioni disponibili.

### Arricchimento superficiale

Nell'unità l'indice di geoaccumulo è in generale basso per tutti gli elementi considerati, come si nota dalla figura LC.3, con mediane sempre inferiori allo 0 che indicano assenza di contaminazione; le uniche eccezioni sono date dal piombo e secondariamente dal rame. Il valore del piombo indica un probabile apporto di origine antropica, come accennato in precedenza e comune a tutte le altre unità dell'area prealpina. Si sottolinea che sebbene l'incremento percentuale sia significativo a causa delle concentrazioni molto basse di piombo negli orizzonti profondi (mediana pari a 14 mg/kg) i valori che si raggiungono in superficie rimangono comunque molto bassi (mediana pari a 28 mg/kg). Per quanto riguarda l'arricchimento in rame l'apporto è concentrato in quelle superfici che un tempo erano utilizzate a vigneto.

L'indice di geoaccumulo di molti metalli (antimonio, arsenico, berillio, cobalto, cromo, mercurio e vanadio) risulta molto basso, con mediane inferiori a -0,5, che corrispondono a concentrazioni in profondità più elevate rispetto a quelle superficiali.

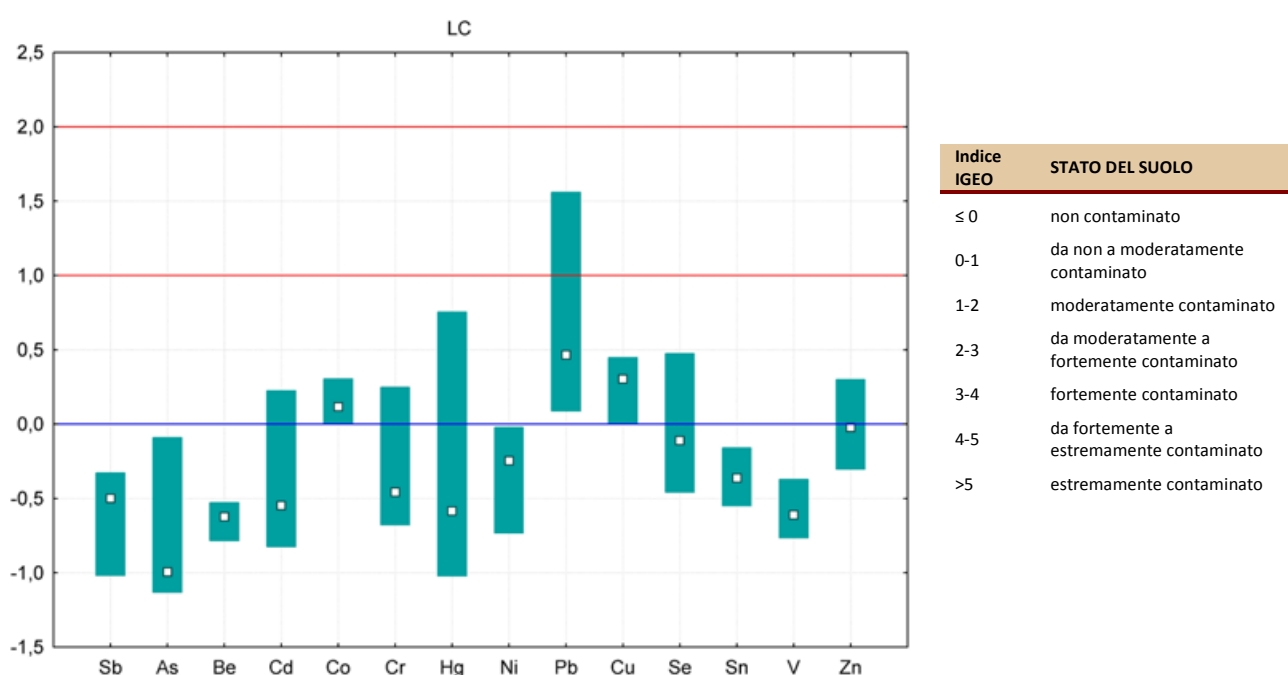
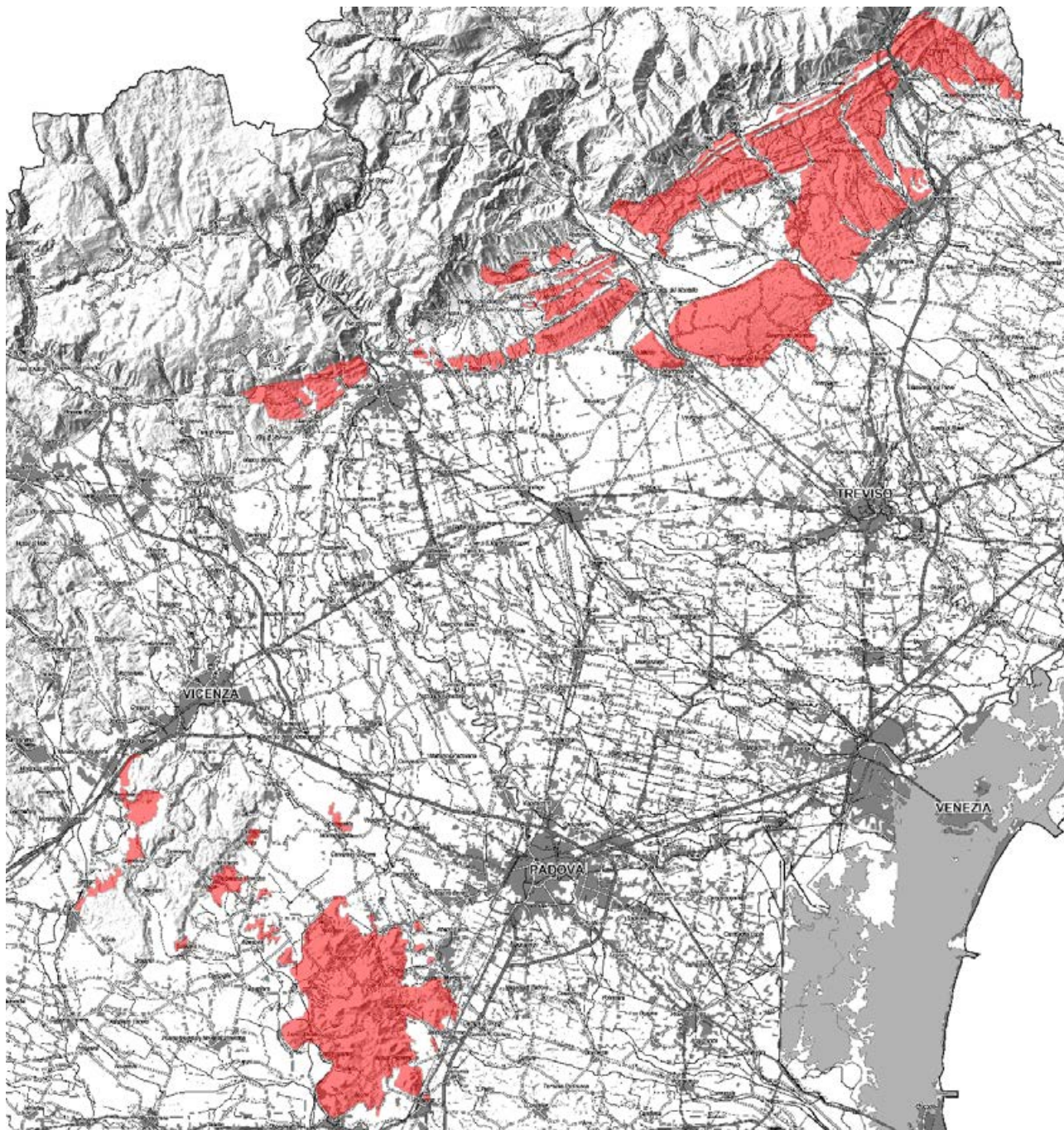


Figura LC.3: Indice di geoaccumulo (IGEO) dei metalli e metalloidi dell'unità delle prealpi su calcareniti (LC); i punti rappresentano i valori mediani dell'indice mentre le barre il 25° e 75° percentile; i valori al di sotto della linea blu indicano assenza di arricchimento, tra questa e la prima linea rossa moderato arricchimento.

## RILIEVI COLLINARI (RR)

Metallo o metalloide	Sb	As	Be	Cd	Co	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Sn	V	Zn
Valore di fondo (mg/kg)	1,1	18	1,7	0,90	27	102	0,36	66	48	112	0,59	3,6	100	141
Limite col. A, D.Lgs. 152/2006	10	20	2	2	20	150	1	120	100	120	3	--	90	150



### Inquadramento, formazione e caratteristiche generali dei suoli

L'unità fisiografica dei rilievi collinari (RR) ha una superficie di 512 km<sup>2</sup> ed è formata da 40 poligoni, alcuni di dimensioni estremamente ridotte, ricadenti principalmente in provincia di Treviso e Padova e limitatamente in provincia di Vicenza; l'unità include la gran parte dei rilievi collinari della regione con l'esclusione della maggior parte dei colli Berici (RB) e di alcune colline in provincia di Treviso su calcareniti (RA), aree che presentano concentrazioni anomale di alcuni metalli e per questo motivo sono state trattate separatamente. L'unità ha subito una notevole revisione rispetto al volume del 2011 sia per l'esclusione delle aree sopracitate sia per l'inclusione di molti conoidi pedecollinari; quest'ultime aree, nella versione



precedente, ricadevano nell'unità delle conoidi pedemontane calcaree ma essendo costituite esclusivamente da materiali di alterazione ed erosione dei suoli dell'area collinare sono stati a questi accorpati.

Dal punto di vista litologico l'area risulta essere molto eterogenea passando dalle rocce vulcaniche tipiche dei colli Euganei ai conglomerati e alle marne della provincia di Treviso; la motivazione dell'unione di litotipi così diversi è l'assenza di concentrazioni anomale di metalli. Nel caso di anomalie si è preferito costituire delle unità diverse anche se di ridotte dimensioni (vedi RB e RA). I litotipi prevalenti sono rappresentati da conglomerati e marne nel trevigiano, da calcari arenaceo-marnosi nelle colline a ovest di Bassano nel vicentino, e da trachiti e rioliti nei colli Euganei; nell'area dei colli Euganei sono diffusi anche le marne e i calcari marnosi.

	RR - SUPERFICIALE						RR - PROFONDO					
	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore
pH	61	7,2	1,2	7,6	6,4	8,1	39	7,0	1,6	7,9	5,2	8,3
Carb. Org. (%)	61	1,8	1,2	1,4	1,0	2,4	39	0,7	1,0	0,3	0,1	0,7
Calc. tot. (%)	58	12,6	17,8	2	0	23	38	15,5	20,3	2	0	36
Argilla (%)	61	28,0	11,0	26	21	35	39	30,9	14,4	27	20	40
Sabbia (%)	61	29,9	13,3	29	19	36	39	26,7	16,4	23	14	36
CSC (meq/100 g)	54	20,9	10,2	20	12	28	33	17,8	9,4	17	9	22

Tabella RR.1: Principali parametri statistici di alcuni caratteri del suolo nell'unità dei rilievi collinari (RR). A sinistra i dati dell'orizzonte superficiale a destra i dati dell'orizzonte profondo.

Dal punto di vista pedologico l'unità mostra un'estrema variabilità legata alla notevole diversità litologica alla quale si somma la stabilità delle superfici che vincola lo sviluppo dei suoli. Si passa quindi da suoli profondi e fortemente evoluti, tipici dei conglomerati del Montello, a suoli molto sottili tipici delle superfici più pendenti e fortemente erose presenti su tutti i litotipi. In linea di massima si hanno tessiture argillose sulle marne e sui calcari marnosi e più grossolane sui litotipi vulcanici degli Euganei. Anche la reazione è fortemente legata al materiale parentale: acida sulle rioliti dei colli Euganei e alcalina sulle marne. Una caratteristica comune è rappresentata dalla dotazione in carbonio organico, sempre buona, grazie anche alla notevole diffusione del bosco. Coltivazione tipica di queste aree è la vite.

### Indagini e risultati

Nell'unità fisiografica sono stati prelevati e analizzati un numero variabile di campioni a seconda dei diversi metalli: in superficie per tutti i metalli si raggiunge la numerosità campionaria (30) suggerita dalla norma ISO19258 (2005), infatti si passa dai circa 60 campioni disponibili per cadmio, cobalto, cromo, mercurio, nichel, piombo e zinco ai 30 circa per antimonio, selenio, stagno e vanadio; per quanto riguarda il rame il numero di campioni disponibili in superficie (27) è condizionato dall'eliminazione di tutti i campioni raccolti su vigneto che sono stati elaborati a parte. In profondità il numero di campioni è inferiore di circa il 30% ma solo antimonio, arsenico, berillio, selenio, stagno e vanadio risultano avere un numero di campioni di poco inferiore a 30 (tabella RR.2).

Come si accennava nel capitolo di inquadramento questa unità presenta poche anomalie per la concentrazione in metalli e valori di fondo superiori ai limiti di legge limitati a **cobalto** (27 mg/kg) e **vanadio** (100 mg/kg), con valori simili sia in superficie che in profondità a testimonianza dell'origine naturale dei due elementi.

Per piombo, rame e zinco nella popolazione presa in esame sono comunque presenti valori massimi prossimi o superiori alle CSC e non esclusi come outliers (vedi valori di 99° percentile in tabella). Per quanto riguarda il piombo questi superamenti, dovuti molto probabilmente alla deposizione atmosferica, sono limitati agli orizzonti superficiali dello spessore di pochi centimetri e sono assenti negli orizzonti profondi e negli orizzonti lavorati dove i primi centimetri sono stati rimescolati su uno spessore maggiore. Per il rame tali valori sono molto probabilmente imputabili a superfici che in passato erano utilizzate a vigneto e infatti,

come per il piombo, le concentrazioni elevate sono limitate all'orizzonte superficiale. Per lo zinco i superamenti sono dovuti alla naturale dotazione dei materiali parentali in quanto anche i valori medi sia in superficie che in profondità risultano elevati.

I confronti rispetto alla pubblicazione del 2011 sono poco significativi per le modifiche sostanziali che l'unità ha subito.

RR - SUPERFICIALE									RR - PROFONDO								
	N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile		N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile
<b>Sb</b>	30	0,78	0,23	0,78	0,60	0,98	1,1	1,2	<b>Sb</b>	29	0,53	0,28	0,48	0,29	0,70	1,0	1,2
<b>As</b>	53	7,54	4,99	6,5	3,1	11	16	19	<b>As</b>	28	9,6	5,4	7,2	5,0	15	18	20
<b>Be</b>	33	0,96	0,39	0,94	0,70	1,2	1,5	1,9	<b>Be</b>	29	0,98	0,44	0,87	0,66	1,4	1,7	1,8
<b>Cd</b>	61	0,38	0,21	0,25	0,25	0,40	0,90	1,0	<b>Cd</b>	39	0,31	0,14	0,25	0,25	0,25	0,57	0,75
<b>Co</b>	60	13,3	7,31	12	7,0	18	<b>26</b>	<b>32</b>	<b>Co</b>	38	13,9	8,1	11	8,0	<b>22</b>	<b>27</b>	<b>31</b>
<b>Cr</b>	61	47,8	23,7	47	33	57	93	110	<b>Cr</b>	39	52,7	24,0	51	39	62	102	119
<b>Hg</b>	55	0,10	0,08	0,08	0,05	0,14	0,23	0,36	<b>Hg</b>	32	0,06	0,04	0,06	0,03	0,10	0,14	0,16
<b>Ni</b>	59	32,6	19,7	29	19	40	64	101	<b>Ni</b>	37	36,8	16,1	37	27	47	66	68
<b>Pb</b>	61	26,3	17,9	25	15	32	48	93	<b>Pb</b>	39	18,3	11,7	16	9,6	26	41	44
<b>Cu</b>	27	52,7	32,7	44	28	67	112	118	<b>Cu</b>	39	29,8	20,4	24	16	35	76	92
<b>Se</b>	29	0,36	0,13	0,34	0,30	0,45	0,59	0,62	<b>Se</b>	25	0,26	0,19	0,25	0,10	0,37	0,42	0,83
<b>Sn</b>	30	2,16	0,87	2,1	1,5	2,5	3,6	4,6	<b>Sn</b>	25	1,66	0,85	1,3	1,1	2,1	3,2	3,4
<b>V</b>	33	64,6	21,8	66	57	79	<b>99</b>	<b>100</b>	<b>V</b>	29	64,0	28,0	65	46	81	<b>100</b>	<b>122</b>
<b>Zn</b>	61	87,7	28,9	84	69	102	141	<b>156</b>	<b>Zn</b>	39	76,5	21,4	74	60	93	111	124

Tabella RR.2: Principali parametri statistici delle concentrazioni di metalli e metalloidi nell'unità dei rilievi collinari (RR); A sinistra i dati dell'orizzonte superficiale a destra i dati dell'orizzonte profondo. Dati espressi in mg/kg.

### Differenze con le unità deposizionali/fisiografiche limitrofe

L'unità si differenzia dalle altre dell'area collinare per il basso contenuto in metalli, in particolare per arsenico, cromo e vanadio, molto alti nell'unità dei colli Berici (RB) ma soprattutto in quella delle colline su calcareniti (RA). Nette rimangono le differenze anche con le aree prealpine limitrofe in particolare l'unità delle Prealpi su basalti (LB) che ha alte concentrazioni in cobalto, cromo, nichel e vanadio ma anche da quelle su calcari (SA, SD e LC) caratterizzate da contenuti più elevati in cadmio, cobalto e vanadio.

### Relazioni con i caratteri del suolo e tra metalli

In superficie, come atteso e in linea con quanto accade in molte altre unità, correlazioni positive si osservano con il contenuto in argilla e negative con la percentuale di sabbia ma sono limitate ad alcuni metalli e non sono particolarmente forti. Molto probabilmente la forte eterogeneità litologica indebolisce le correlazioni che migliorerebbero trattando le diverse litologie separatamente. Unico metallo che mostra correlazione significativa con il carbonio organico è il cadmio. In profondità la situazione rimane sostanzialmente invariata (figura RR.1) con la differenza di una maggiore correlazione negativa tra il contenuto in metalli e il calcare totale. Tra i vari elementi si osservano relazioni forti, in superficie, in particolare tra nichel e cromo e tra vanadio e rispettivamente arsenico, cobalto e cromo (figura RR.2).

In profondità le relazioni migliorano anche per la mancanza degli apporti antropici e alle correlazioni osservate in superficie si aggiungono quelle tra arsenico e, rispettivamente, antimonio e stagno.

Il metallo che mostra minori legami è il rame solo in superficie, a causa degli apporti legati alla coltivazione della vite, seguito da cadmio e berillio.



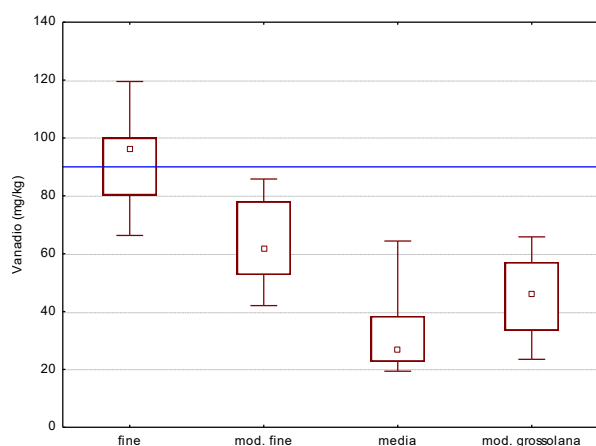


Figura RR.1: Contenuto totale di vanadio (mg/kg) in profondità nell'unità dei rilievi collinari (RR) in base alle classi tessiturali USDA aggregate. Fine = A, AS, AL; Mod. fine = FSA, FA, FLA; Media = F, FL, L; Mod. grossolana = FS. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs. 152/2006.

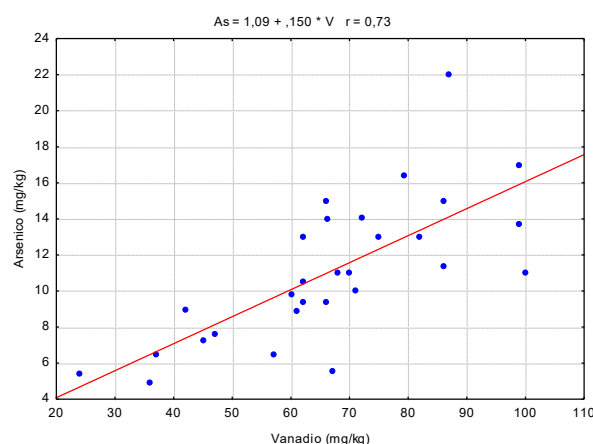
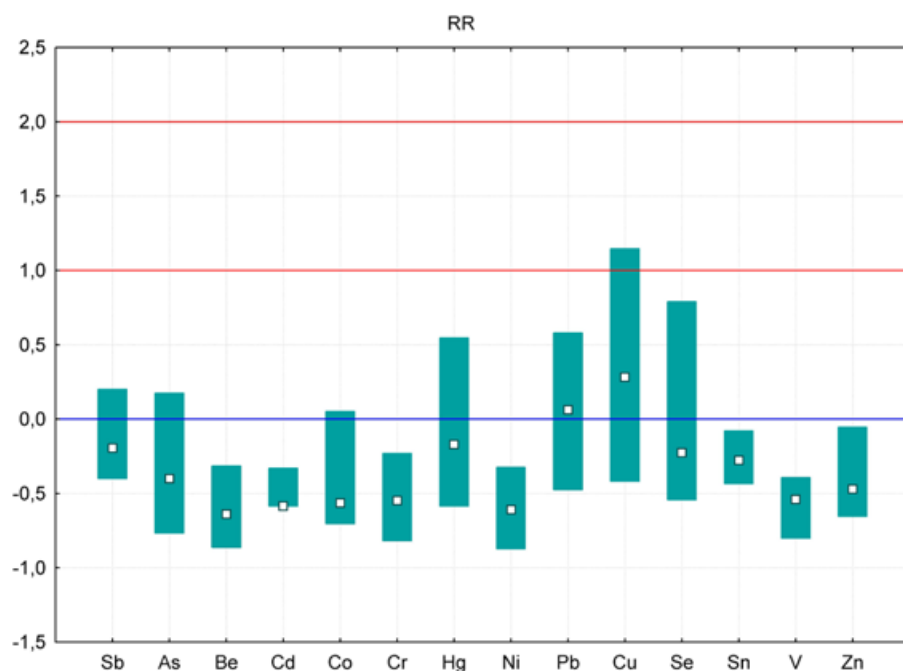


Figura RR.2: Correlazione tra contenuto totale di arsenico e vanadio negli orizzonti superficiali nell'unità dei rilievi collinari (RR).

### Arricchimento superficiale

Nell'unità l'indice di geoaccumulo è in generale basso per tutti gli elementi considerati, come si nota dalla figura RR.3 con mediane sempre inferiori allo 0 che indicano assenza di contaminazione; fanno eccezione rame e piombo con mediane dell'indice comprese tra 0 e 0,5. In entrambi i casi il grafico evidenzia l'apporto di origine antropica per deposizione atmosferica per il piombo e con i trattamenti antiparassitari per il rame, in linea con quanto accennato nei capitoli precedenti.

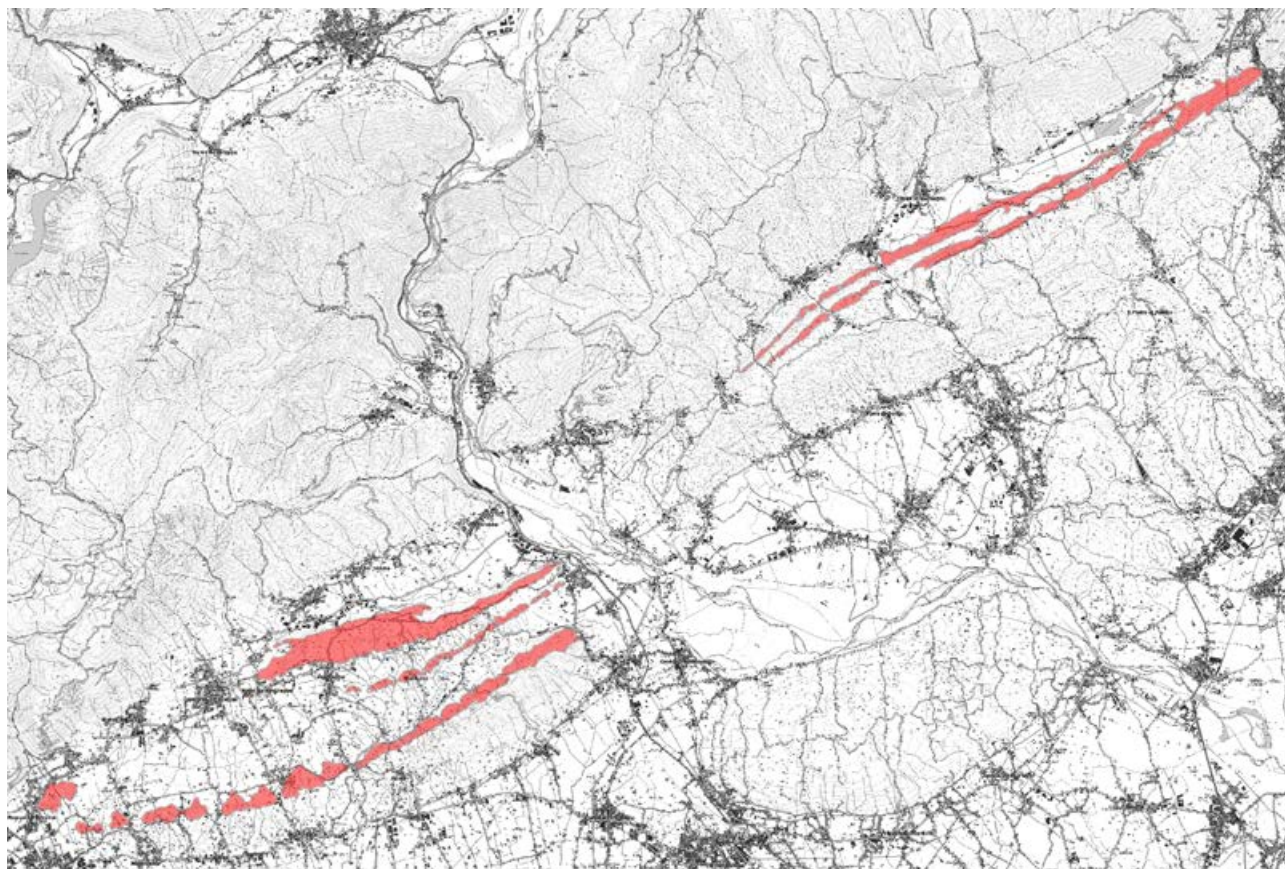


Indice IGEO	STATO DEL SUOLO
≤ 0	non contaminato
0-1	da non a moderatamente contaminato
1-2	moderatamente contaminato
2-3	da moderatamente a fortemente contaminato
3-4	fortemente contaminato
4-5	da fortemente a estremamente contaminato
>5	estremamente contaminato

Figura RR.3: Indice di geoaccumulo (IGEO) dei metalli e metalloidi dell'unità dei rilievi collinari (RR); i punti rappresentano i valori mediani dell'indice mentre le barre il 25° e 75° percentile; i valori al di sotto della linea blu indicano assenza di arricchimento, tra questa e la prima linea rossa moderato arricchimento.

## COLLINE SU CALCARENITI (RA)

Metallo o metalloide	Sb	As	Be	Cd	Co	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Sn	V	Zn
Valore di fondo (mg/kg)	3,9	89	2,1	0,96	14	298	0,13	67	57	52	0,55	4,0	303	176
Limite col. A, D.Lgs. 152/2006	10	20	2	2	20	150	1	120	100	120	3	--	90	150



### Inquadramento, formazione e caratteristiche generali dei suoli

L'area dell'unità delle colline su calcareniti (RA) è estremamente contenuta, sebbene suddivisa in 25 poligoni, con una superficie totale pari a 25 km<sup>2</sup>, risultando così l'unità più piccola definita in questo volume. Si sviluppa quasi esclusivamente in provincia di Treviso ed è costituita da suoli evoluti su rocce calcareo-arenacee che affiorano nel sistema di "corde" che caratterizza le colline trevigiane.

Nel volume del 2011 tali aree erano incluse nell'unità fisiografica delle colline che comprendeva suoli sviluppati su litologie diverse; questa unità non è descritta nel presente volume in quanto sostituita dall'unità dei rilievi collinari (RR) che, sebbene contenga ancora una molteplicità di litotipi, rispetto alla precedente risulta depurata da alcune litologie, come le calcareniti, che presentano concentrazioni anomale in metalli. Nonostante la limitata estensione si è deciso di definire un'unità a sé stante a causa delle concentrazioni significativamente diverse di arsenico, cromo e vanadio.

	RA					
	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore
pH	34	6,5	1,2	6,7	5,5	7,6
Carb. Org. (%)	39	2,3	2,7	1,4	0,9	3,2
Calc. tot. (%)	12	0,3	0,8	0	0	0
Argilla (%)	33	32,0	13,7	32	25	41
Sabbia (%)	33	52,1	14,8	52	40	62
CSC (meq/100 g)	4	16,9	9,1	15	9	23

Tabella RA.1: Principali parametri statistici di alcuni caratteri del suolo nell'unità delle colline su calcareniti. Come per la determinazione dei valori di fondo, a causa della scarsa numerosità del dataset i campioni dell'unità non sono stati suddivisi in superficiali e profondi.

Le anomalie presenti nell'unità sono state individuate nel 2011, in seguito alle risultanze analitiche di alcuni campioni raccolti da una

ditta concessionaria di attività di cava in area collinare (ex unità RC), in comune di Pederobba (TV); in seguito è stato quindi avviato un approfondimento sulle litologie affioranti in zona (calcareniti) ipotizzando un'origine naturale delle concentrazioni in sito riscontrate. I campioni erano stati raccolti e analizzati dalla ditta nell'ambito delle indagini ambientali previste dalla DGRV 761/2010, che richiede, per le attività di cava, la definizione della qualità ambientale dello strato di terreno più superficiale da reimpiegare nella ricomposizione ambientale. Nella banca dati regionale all'epoca disponibile erano presenti 2 soli profili riferibili alle calcareniti; che pur mostrando concentrazioni anomale di cromo, arsenico e vanadio non erano state separati a causa dell'esiguo numero di dati. Nel 2013 sono stati quindi campionati ulteriori 15 siti su tali litologie.

Dal punto di vista pedologico i suoli mostrano un'elevata evoluzione con completo allontanamento dei carbonati presenti nel materiale parentale e quindi traslocazione delle argille in profondità; lo spessore è significativo in genere intorno al metro e le colorazioni sono tipicamente rossastre. I suoli hanno una buona dotazione sia di argilla (circa 30%) che di sabbia (50% circa) e un notevole contenuto in carbonio organico per l'uso prevalente a bosco.

Il limite tra le varie unità in genere è abbastanza netto nonostante le dimensioni limitate dei poligoni.

### Indagini e risultati

L'esiguo numero di campioni ha indotto ad utilizzare una procedura diversa rispetto a quella applicata in altre unità con maggiore numero di dati; solo considerando tutti i campioni indipendentemente dalla profondità di campionamento si raggiungono i 30 dati, numero consigliato dalla norma ISO 19258.

Dalla lettura della tabella RA.2 è evidente che, soprattutto per **arsenico** (figura RA.1) e **vanadio**, tutta la popolazione presenta valori molto elevati in quanto sia le medie che le mediane risultano essere superiori ai limiti di colonna A; nel caso del cromo (figura RA.2), pur risultando sia la media che la mediana inferiori ai limiti, vi sono numerosi superamenti che tuttavia vengono riconosciuti dall'analisi statistica come appartenenti alla popolazione e pertanto non come outliers.

Tali concentrazioni sono da imputarsi alla dotazione naturale del materiale di partenza; la conferma di tale ipotesi è data dal fatto che le concentrazioni più elevate si trovano sempre negli orizzonti profondi.

Concentrazioni più elevate in profondità sono imputabili anche al processo di traslocazione delle argille, che caratterizza i suoli dell'area; l'argilla infatti in tempi molto lunghi si è spostata, veicolata dall'acqua che penetra nel suolo, dagli orizzonti superficiali a quelli profondi portando con sé anche i metalli. In caso contrario, a fronte di fenomeni di contaminazione relativamente recenti, le concentrazioni più elevate si riscontrerebbero in superficie anche perché le velocità dei due processi, contaminazione antropica e traslocazione delle argille, risultano molto diverse: molto alta la prima, molto più bassa la seconda.

Oltre ai metalli sopracitati anche zinco e berillio mostrano dei superamenti dei limiti di colonna A del D.Lgs. 152/2006; il valore di fondo dello zinco è pari a 176 mg/kg ma nella popolazione sono presenti valori superiori anche a 200 mg/kg e non eliminati come outliers mentre per il berillio è pari a 2,1 mg/kg. Per tutti gli altri metalli non si osservano superamenti anche considerando i valori massimi riscontrati.

RA								
	N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile
<b>Sb</b>	34	1,78	1,18	1,6	0,82	2,2	3,9	4,8
<b>As</b>	39	47,4	29,2	43	26	62	<b>89</b>	<b>132</b>
<b>Be</b>	34	1,08	0,56	0,98	0,65	1,3	<b>2,1</b>	<b>2,3</b>
<b>Cd</b>	34	0,37	0,28	0,25	0,25	0,25	0,96	1,3
<b>Co</b>	39	7,86	4,16	7,3	4,5	10	14	20
<b>Cr</b>	39	132,7	91,7	94	66	161	<b>298</b>	<b>408</b>
<b>Hg</b>	34	0,07	0,04	0,08	0,03	0,09	0,13	0,17
<b>Ni</b>	39	35,5	17,4	33	23	46	67	82
<b>Pb</b>	34	24,3	16,5	22	13	28	57	77
<b>Cu</b>	33	16,5	14,5	12	8,1	17	52	62
<b>Se</b>	34	0,29	0,16	0,30	0,10	0,41	0,55	0,57
<b>Sn</b>	34	1,35	1,40	0,88	0,78	1,3	4,0	6,6
<b>V</b>	39	128,6	94,3	89	54	179	<b>303</b>	<b>377</b>
<b>Zn</b>	33	83,3	44,9	70	54	94	<b>176</b>	<b>216</b>

Tabella RA.2: Principali parametri statistici delle concentrazioni di metalli e metalloidi nell'unità delle colline su calcareniti (RA); a causa della scarsa numerosità del dataset i campioni dell'unità non sono stati suddivisi in superficiali e profondi. Dati espressi in mg/kg.

### Differenze con le unità deposizionali/fisiografiche limitrofe

Come detto nel capitolo di inquadramento la concentrazione in arsenico, cromo e vanadio si discostano nettamente dalla maggior parte delle unità fisiografiche e deposizionali del Veneto che mostrano valori nettamente inferiori. Per arsenico e vanadio infatti il valore di fondo definito è il più elevato di tutta la regione mentre il valore del cromo è superato solo da quello definito nell'unità delle prealpi su basalti (LB).

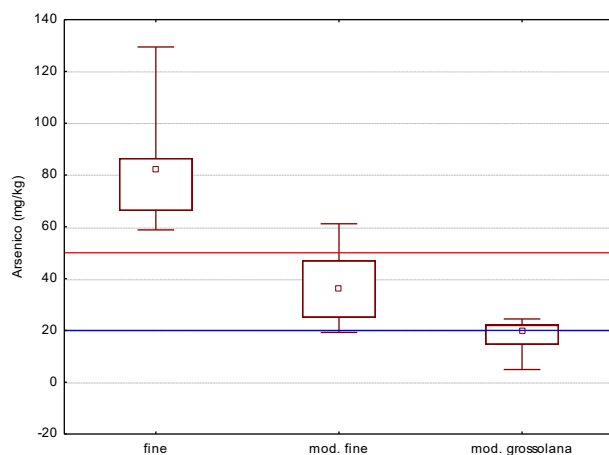


Figura RA.1: Contenuto totale di arsenico nei suoli dell'unità delle colline su calcareniti (RA) in base alle classi tessiture USDA aggregate. Fine = A, AS, AL; Mod. fine = FSA, FA, FLA; Mod. grossolana = FS. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A e in rosso quello di colonna B del D.Lgs. 152/2006.

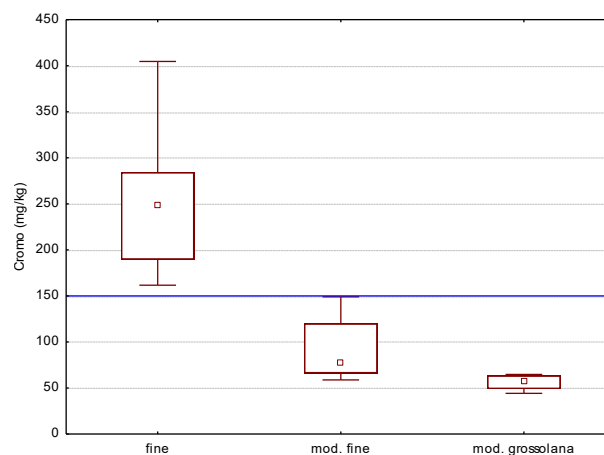


Figura RA.2: Contenuto totale di cromo nei suoli dell'unità delle colline su calcareniti (RA) in base alle classi tessiture USDA aggregate. Fine = A, AS, AL; Mod. fine = FSA, FA, FLA; Mod. grossolana = FS. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs. 152/2006.

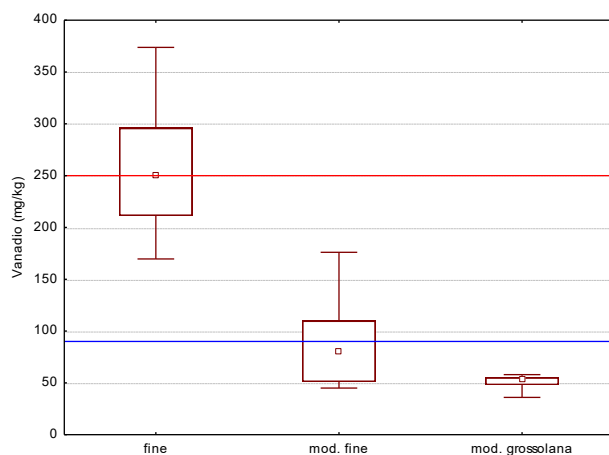


Figura RA.3: Contenuto totale di vanadio (mg/kg) nell'unità delle colline su calcareniti (RA) in base alle classi tessiture USDA aggregate. Fine = A, AS, AL; Mod. fine = FSA, FA, FLA; Mod. grossolana = FS. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A e in rosso quello di colonna B del D.Lgs. 152/2006.

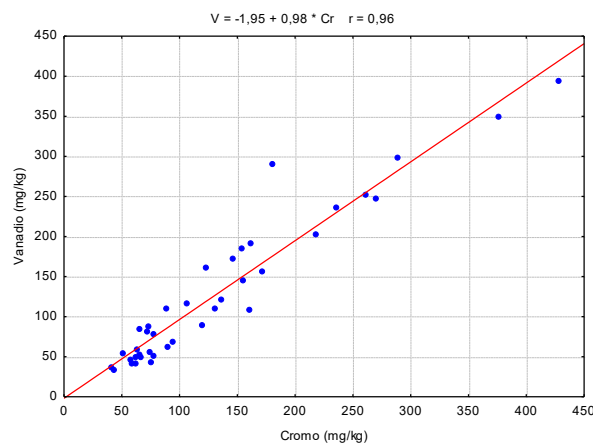


Figura RA.4: Correlazione tra contenuto totale di cromo e vanadio nell'unità delle colline su calcareniti (RA).

### Relazioni con i caratteri del suolo e tra metalli

Forti correlazioni positive si osservano con il contenuto in argilla e negative con la percentuale di sabbia per praticamente tutti i metalli mentre non si osservano relazioni particolarmente significative con gli altri parametri del suolo. I forti legami tra tessitura e concentrazione in metalli è evidente anche dalle concentrazioni estremamente diversificate che presentano le diverse classi tessiture (figure RA.1, RA.2 e RA.3); è possibile quindi trovare soprattutto in suoli particolarmente fini concentrazioni ancora più elevate rispetto ai valori di fondo definiti.

Tra i vari metalli e metalloidi si osservano relazioni molto forti in particolare tra vanadio, cromo (figura RA.4), antimonio, arsenico, berillio e nichel. Anche questo aspetto conferma l'origine naturale di questi metalli: ad alte concentrazioni di un metallo corrispondono alte concentrazioni degli altri, situazione poco probabile in presenza di fenomeni di contaminazione che andrebbero ad arricchire solo alcuni dei metalli indagati.

### Arricchimento superficiale

Nell'unità l'indice di geoaccumulo è molto basso per tutti gli elementi considerati, come si nota dalla figura RA.5, con mediane sempre ampiamente inferiori allo 0 che indicano assenza di contaminazione; per molti metalli il valore dell'indice risulta inferiore a 0,5 che corrisponde a concentrazioni più elevate in profondità rispetto alla superficie.

Unici valori che mostrano un possibile accumulo, almeno in alcuni campioni ma non per i valori medi, sono rame e piombo.

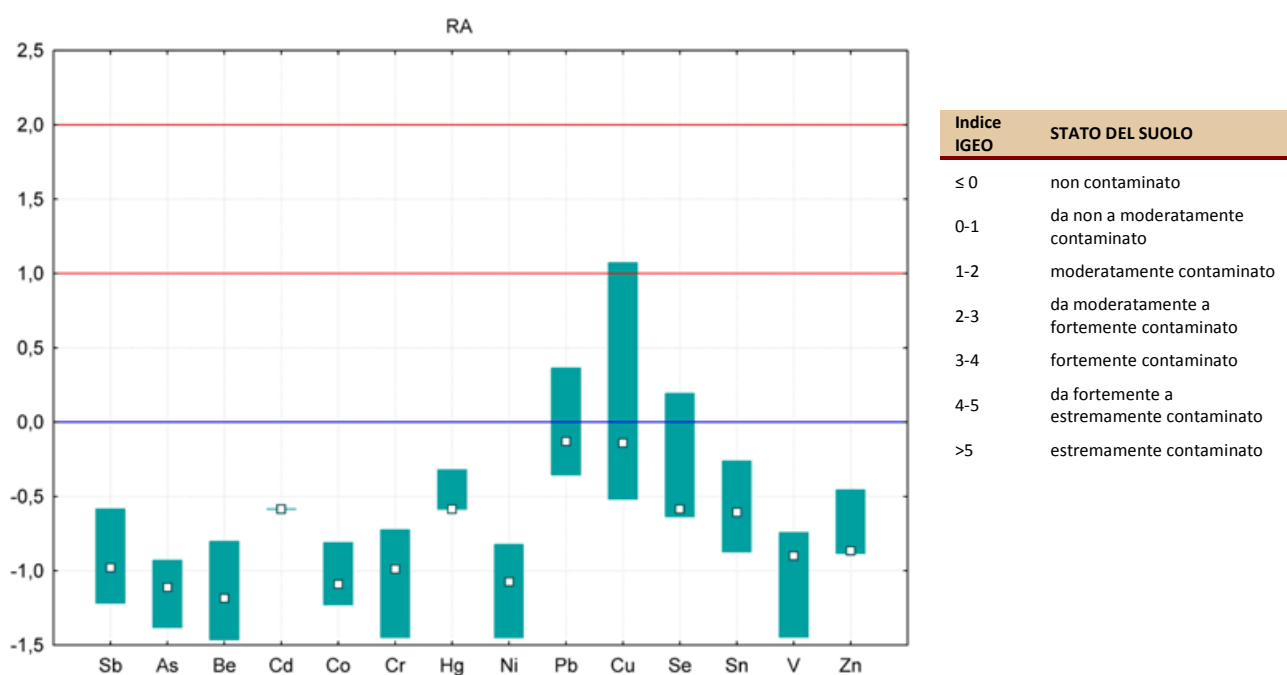
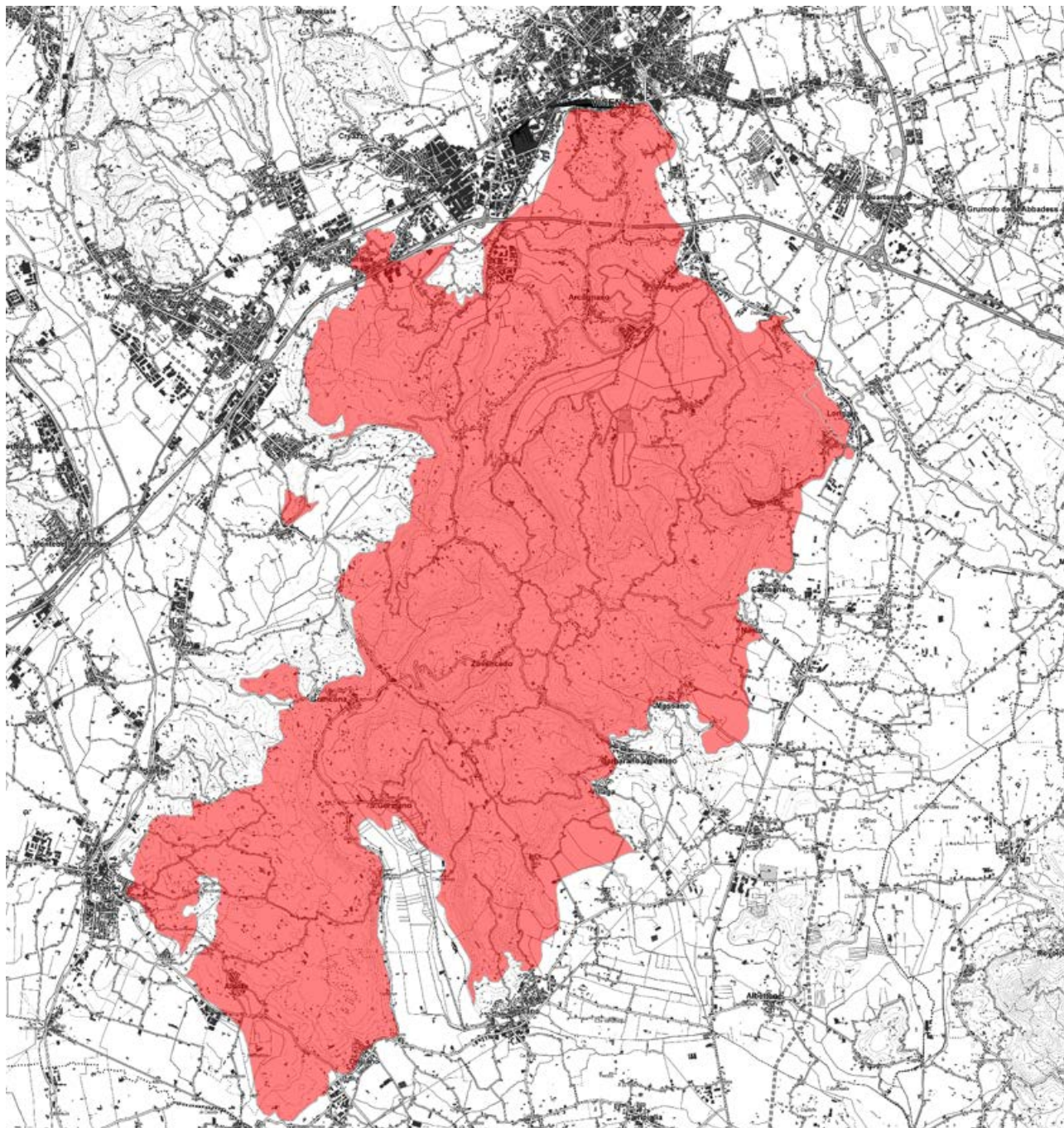


Figura RA.5: Indice di geoaccumulo (IGEO) dei metalli e metalloidi dell'unità delle colline su calcareniti (RA); i punti rappresentano i valori mediani dell'indice mentre le barre il 25° e 75° percentile; i valori al di sotto della linea blu indicano assenza di arricchimento, tra questa e la prima linea rossa moderato arricchimento.



Metallo o metalloide	Sb	As	Be	Cd	Co	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Sn	V	Zn
Valore di fondo (mg/kg)	4,5	39	2,8	1,8	31	199	0,14	111	72	81	0,59	4,4	226	145
Limite col. A, D.Lgs. 152/2006	10	20	2	2	20	150	1	120	100	120	3	--	90	150



L'area dell'unità dei colli Berici (RB) risulta suddivisa in soli 2 poligoni, uno molto piccolo a ovest dei Berici mentre il secondo, molto esteso, interessa quasi tutta l'area dei colli, per una superficie totale pari a 162 km<sup>2</sup>. Rispetto alla totalità dei Berici non ricadono in questa unità alcune aree in particolare sui fianchi verso la pianura dove prevalgono i basalti (confluiti nell'unità LB) o le marne (confluiti nell'unità RR). Come l'unità delle colline su calcareniti (RA) anche questa risulta essere di nuova definizione; nel volume del 2011 infatti tali aree erano incluse nell'unità fisiografica delle colline che

comprende suoli sviluppatasi su litologie diverse; tale unità non è descritta nel presene volume in quanto sostituita dall'unità dei rilievi collinari (RR) che, sebbene contenga ancora una molteplicità di litotipi, rispetto alla precedente risulta depurata da alcune litologie, come i calcari dei Berici, che presentano concentrazioni anomale per arsenico, berillio, cromo e vanadio.

L'unità si trova esclusivamente in provincia di Vicenza ed è costituita da suoli che si sviluppano su calcari compatti e di scogliera.

Le anomalie presenti nell'unità sono state individuate negli ultimi anni in seguito al rilevamento di dettaglio del territorio provinciale di Vicenza.

	RB					
	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore
pH	34	7,9	0,3	8,0	7,8	8,1
Carb. Org. (%)	34	2,3	1,7	2,0	1,1	3,0
Calc. tot. (%)	31	20,7	19,5	16	4	39
Argilla (%)	31	41,2	17,9	43	31	52
Sabbia (%)	31	22,7	15,4	18	11	28
CSC (meq/100 g)	10	42,9	12,2	41	35	47

Tabella RB.1: Principali parametri statistici di alcuni caratteri del suolo nell'unità dei colli Berici. Come per la determinazione dei valori di fondo, a causa della scarsa numerosità del dataset i campioni dell'unità non sono stati suddivisi in superficiali e profondi.

Dal punto di vista pedologico i suoli mostrano una elevata evoluzione con completo allontanamento dei carbonati presenti nel materiale parentale e quindi traslocazione delle argille in profondità; tipiche di questi suoli sono le colorazioni rosse testimoni dell'elevato grado di sviluppo. Lo spessore dei suoli è in genere inferiore al metro e hanno una elevata dotazione in di argilla (circa 40%) e buona dotazione in carbonio organico dovuta alla diffusa gestione a bosco. Sono presenti anche suoli molto sottili sui versanti più pendenti in seguito ai fenomeni erosivi innescati dalla coltivazione delle superfici molto diffusa, almeno in passato.

Nell'area dei Berici sono comuni affioramenti di basalti (unità LB), in molti casi non cartografati a causa delle ridotte dimensioni, che presentano concentrazioni molto alte di cobalto, cromo, nichel e vanadio. Il passaggio verso i litotipi marnosi è invece più netto ma in particolare sui versanti possono essere presenti depositi colluviali litologicamente eterogenei.

### Indagini e risultati

Nell'unità fisiografica sono stati prelevati e analizzati circa una trentina di campioni, tenendo conto sia dei campioni superficiali che profondi. L'esiguo numero di campioni ha indotto ad utilizzare una procedura diversa rispetto a quella applicata in altre unità con maggiore numero di dati; i due dataset, superficiale e profondo, sono stati uniti per raggiungere la numerosità suggerita (30) dalla norma ISO19258 (2005).

Dalla lettura della tabella RB.2 è evidente che, soprattutto per **arsenico** e **vanadio**, tutta la popolazione presenta valori molto elevati in quanto sia le medie che le mediane risultano essere superiore ai limiti di colonna A; per l'arsenico il valore di fondo è pari a 39 mg/kg, quasi il doppio del limite per i suoli in ambito residenziale, mentre per il vanadio è pari a 226 mg/kg a fronte di un limite pari a 90 mg/kg.

A questi elementi si aggiungono **cromo** (valore di

	RB							
	N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile
<b>Sb</b>	30	1,66	1,38	1,2	0,83	1,9	4,5	5,4
<b>As</b>	30	23,5	11,2	25	15	33	<b>39</b>	<b>42</b>
<b>Be</b>	30	1,60	0,71	1,5	1,0	2,3	<b>2,8</b>	<b>3,1</b>
<b>Cd</b>	34	0,79	0,58	0,67	0,25	1,2	1,8	<b>2,2</b>
<b>Co</b>	34	18,6	7,75	18	13	24	<b>31</b>	<b>34</b>
<b>Cr</b>	34	109,1	46,4	101	85	119	<b>199</b>	<b>242</b>
<b>Hg</b>	30	0,08	0,05	0,08	0,06	0,11	0,14	0,23
<b>Ni</b>	34	68,9	24,5	67	53	87	111	<b>125</b>
<b>Pb</b>	31	32,9	20,6	26	20	44	72	85
<b>Cu</b>	32	42,5	25,8	38	26	46	81	<b>130</b>
<b>Se</b>	30	0,39	0,13	0,37	0,33	0,48	0,59	0,60
<b>Sn</b>	30	2,52	1,20	2,5	1,5	3,4	4,4	5,4
<b>V</b>	30	114,0	48,6	107	86	122	<b>226</b>	<b>234</b>
<b>Zn</b>	34	100,7	30,5	102	79	119	145	<b>171</b>

Tabella RB.2: Principali parametri statistici delle concentrazioni di metalli e metalloidi nell'unità dei colli Berici; a causa della scarsa numerosità del dataset i campioni dell'unità non sono stati suddivisi in superficiali e profondi. Dati espressi in mg/kg.

fondo pari a 199 mg/kg), **cobalto** (31 mg/kg) e **berillio** (2,9 mg/kg) che presentano valori di fondo nettamente superiori ai limiti di legge.

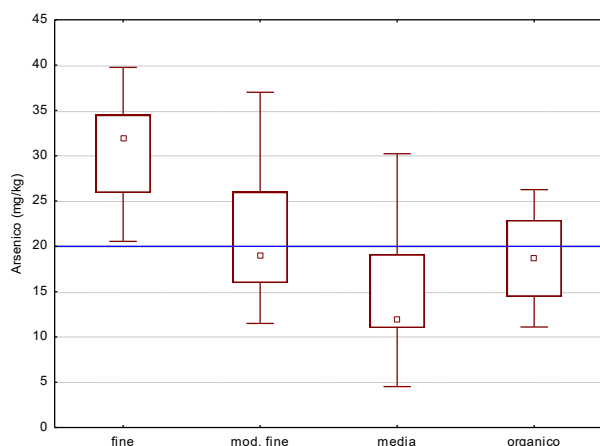


Figura RB.1: Contenuto totale di arsenico nei suoli dell'unità dei colli Berici (RB) in base alle classi tessiturali USDA aggregate. Fine = A, AS, AL; Mod. fine = FSA, FA, FLA; Media = F, FL, L; organico = contenuto in carbonio organico maggiore del 5%. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs. 152/2006.

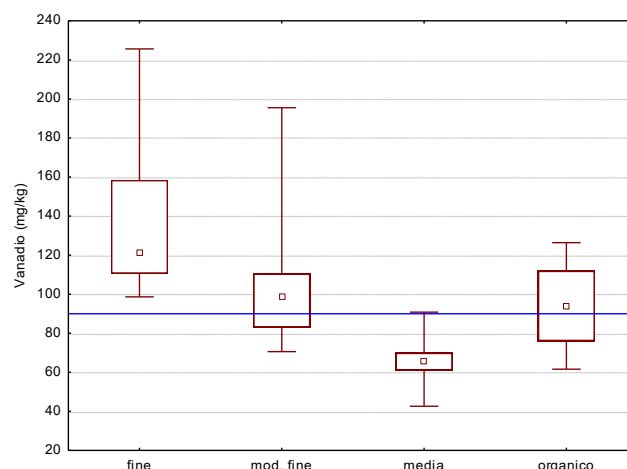


Figura RB.2: Contenuto totale di vanadio nei suoli dell'unità dei colli Berici (RB) in base alle classi tessiturali USDA aggregate. Fine = A, AS, AL; Mod. fine = FSA, FA, FLA; Media = F, FL, L; organico = contenuto in carbonio organico maggiore del 5%. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs. 152/2006.

Tali concentrazioni sono da imputarsi alla dotazione naturale del materiale di partenza; la conferma di tale ipotesi e dell'assenza di contaminazioni di origine antropica è data dalla similarità tra le concentrazioni negli orizzonti superficiali e quelle degli orizzonti profondi.

Per cadmio, nichel, rame e zinco nella popolazione presa in esame, sono comunque presenti valori massimi superiori alle CSC e non esclusi come outliers (si vedano i valori di 99° percentile in tabella RB.2). Anche per questi metalli, forse con l'esclusione del rame, tali valori sono imputabili alla dotazione naturale in quanto anche i valori mediani risultano elevati. Per il rame, come avviene in altre unità, in particolare dell'area collinare, sembra che le concentrazioni rilevate siano legate molto probabilmente a un passato uso a vigneto; si ricorda infatti che, per quanto riguarda il rame, dal dataset sono stati eliminati tutti i campioni raccolti su vigneto che sono stati elaborati a parte, come indicato nel capitolo 3.

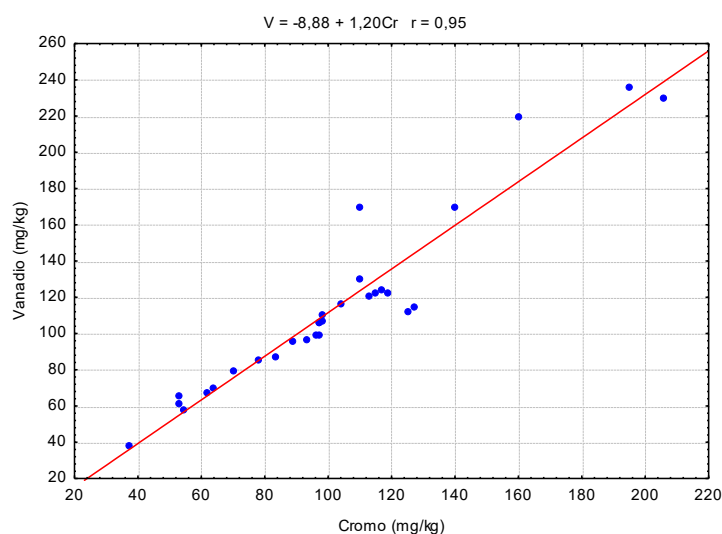


Figura RB.3: Correlazione tra contenuto totale di cromo e vanadio nei suoli dell'unità dei colli Berici (RB).

Rispetto al volume del 2011, si ricorda che questa unità, come accennato in precedenza, non era presente in quanto risultava compresa nell'unità delle colline (RC), in questa edizione sostituita da 3 diverse unità (RR, RA e RB).

### Differenze con le unità deposizionali/fisiografiche limitrofe

Geograficamente l'unità si differenzia nettamente dalle circostanti in quanto è quasi completamente circondata da aree di pianura e solo marginalmente confina con l'unità dei rilievi collinari (RR) dalla quale si distingue per valori più elevati di arsenico, berillio, cromo e vanadio.



### Relazioni con i caratteri del suolo e tra metalli

Forti correlazioni positive si osservano con il contenuto in argilla e negative con la percentuale di sabbia per quasi tutti i metalli mentre sono più deboli le relazioni con gli altri parametri del suolo. Rispetto alla sostanza organica nessun metallo mostra correlazioni significative ad eccezione del mercurio.

I forti legami tra tessitura e contenuto in metalli sono evidenti anche dalle concentrazioni estremamente diversificate che presentano le diverse classi tessiturali (figure RB.1 e 2); in suoli particolarmente fini è, quindi, possibile trovare concentrazioni ancora più elevate rispetto ai valori di fondo definiti.

Tra i vari metalli e metalloidi si osservano relazioni molto forti in particolare tra vanadio e cromo (figura RB.3), antimonio e piombo, berillio e, rispettivamente, stagno e vanadio, zinco e nichel.

### Arricchimento superficiale

Nell'unità l'indice di geoaccumulo è molto basso per tutti gli elementi considerati, come si nota dalla figura RB.4 con mediane sempre ampiamente inferiori allo 0 che indicano assenza di contaminazione; fanno eccezione il piombo e il mercurio e secondariamente il rame (mediana circa 0). Il valore del piombo indica un probabile apporto di origine antropica per il passato utilizzo di tale metallo come additivo nelle benzine. Tale arricchimento risulta più evidente nei suoli non coltivati dove viene a mancare il rimescolamento delle arature su uno spessore di almeno 20-30 cm.

Sorprende il valore dell'indice per il mercurio che potrebbe però essere parzialmente falsato dai molti valori con concentrazione inferiore al limite di rilevabilità, presenti soprattutto in profondità, ma allo stesso tempo potrebbe essere legato alla deposizione atmosferica in particolare in questa unità che si trova a ridosso di un'area densamente abitata e industrializzata.

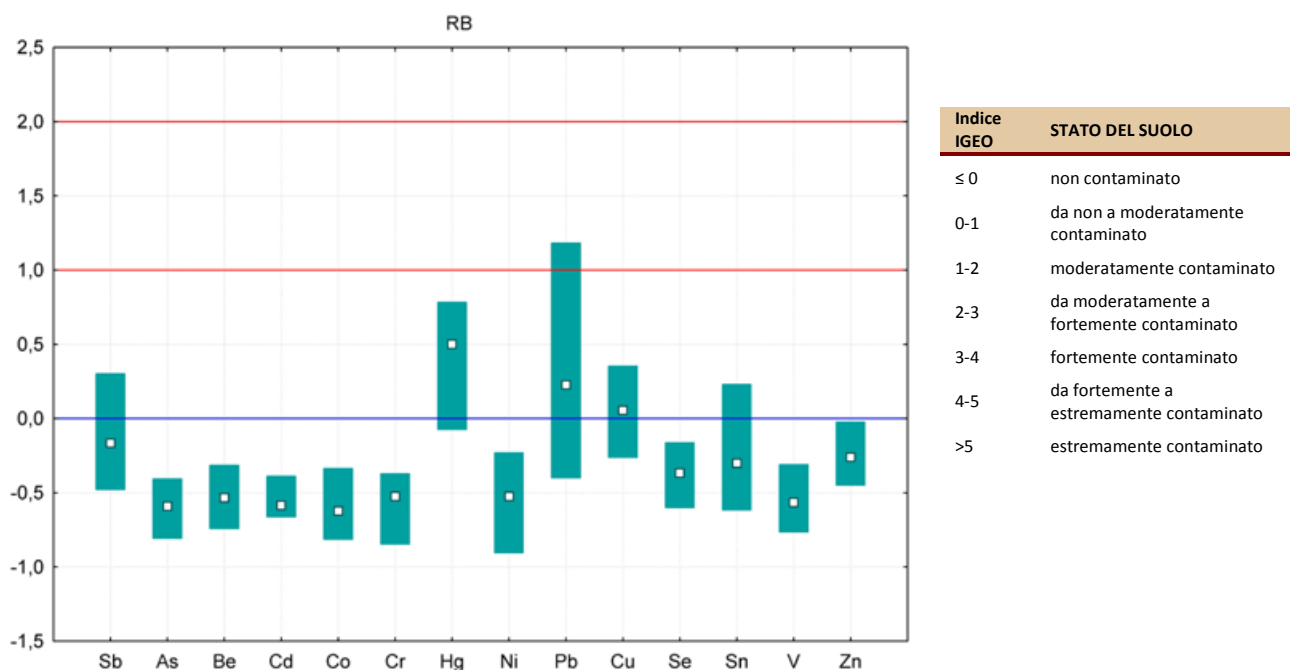
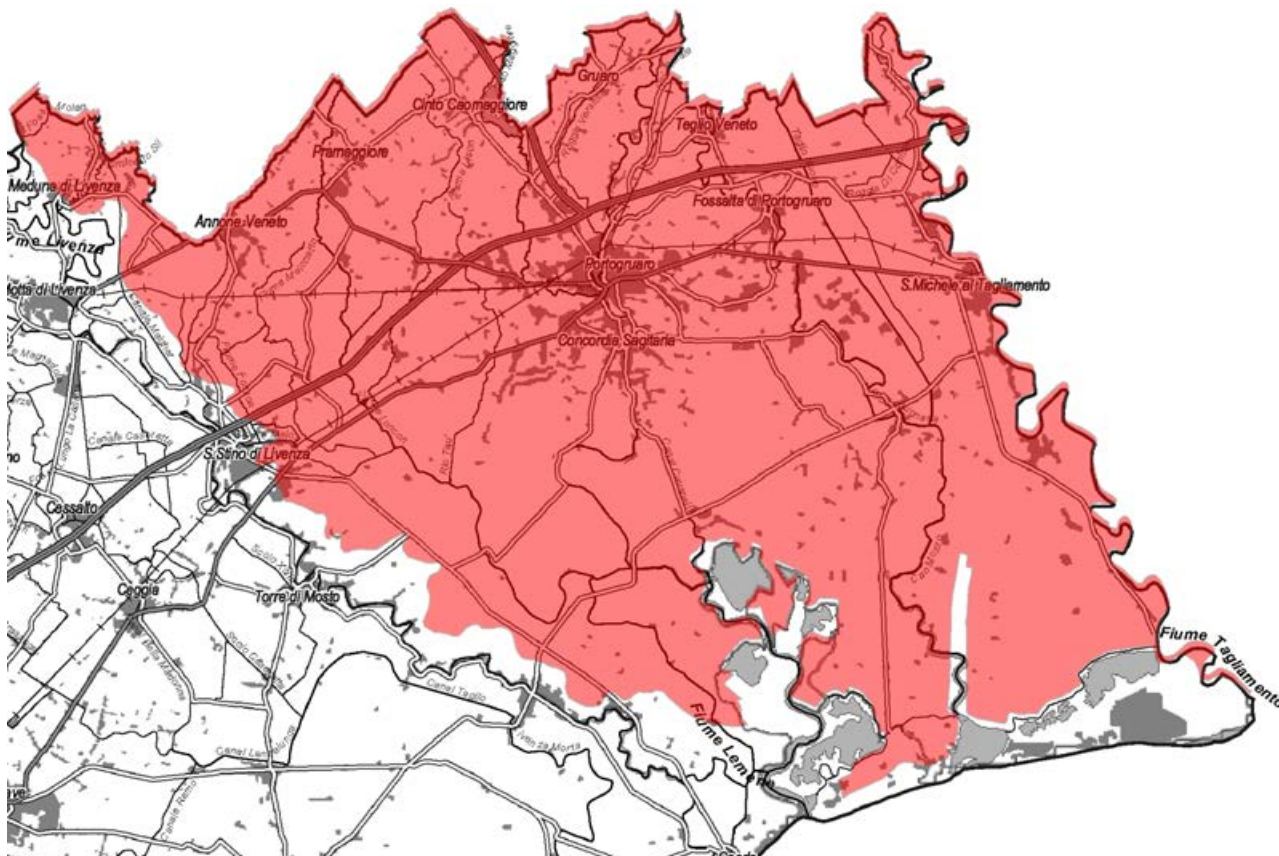


Figura RB.4: Indice di geoaccumulo (IGEO) dei metalli e metalloidi dell'unità dei colli Berici (RB): i punti rappresentano i valori mediani dell'indice mentre le barre il 25° e 75° percentile; i valori al di sotto della linea blu indicano assenza di arricchimento, tra questa e la prima linea rossa moderato arricchimento.

## TAGLIAMENTO (T)

Metallo o metalloide	Sb	As	Be	Cd	Co	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Sn	V	Zn
Valore di fondo (mg/kg)	1,1	15	1,8	0,59	12	68	0,26	43	30	49	0,76	3,1	88	90
Limite col. A, D.Lgs 152/2006	10	20	2	2	20	150	1	120	100	120	3	--	90	150



### Inquadramento, formazione e caratteristiche generali dei suoli

L'unità deposizionale del fiume Tagliamento occupa una superficie di 500 km<sup>2</sup>, ed è delimitata a nord-est dal confine con il Friuli Venezia Giulia e a ovest dal fiume Livenza. I sedimenti sono estremamente calcarei, con un contenuto di carbonati superiore al 60%.

Nei confronti delle unità deposizionali limitrofe l'unità del Tagliamento si differenzia in modo poco evidente da quella del Piave.

All'interno di questa superficie si può distinguere una parte più antica, ad ovest, con suoli decarbonatati ed evoluti, da una parte più recente, olocenica, in prossimità del corso attuale, con suoli soltanto a iniziale decarbonatazione.

La parte più antica, formata da depositi del Tagliamento di età pleniglaciale (porzione distale del *megafan* del Tagliamento) si presenta come una superficie ondulata caratterizzata da depositi fini, argille e limi, nella quale si possono distinguere delle aree di dosso leggermente rilevate, a sedimenti più grossolani, sabbie e a volte ghiaie, e aree depresse a drenaggio difficoltoso localizzate per lo più nella parte distale. I suoli sviluppati su questa superficie antica hanno subito un'evoluzione spinta, con decarbonatazione degli orizzonti superficiali e accumulo dei carbonati in profondità in un orizzonte calcico (Bk) molto sviluppato.

Nella parte meridionale, morfologicamente depressa e un tempo occupata da paludi, il suolo è molto scuro in superficie per l'accumulo di sostanza organica avvenuto quando la superficie era sommersa ma presenta ancora un orizzonte calcico in profondità.

Nella pianura recente, formata in diversi periodi dall'Olocene ad oggi, i suoli, a moderata differenziazione del profilo, risultano soltanto parzialmente decarbonatati.



	T - SUPERFICIALE						T - PROFONDO					
	N Dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore	N Dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore
pH	54	8,0	0,3	8,1	7,9	8,2	51	8,1	0,3	8,2	7,9	8,3
Carb. Org. (%)	54	1,8	1,8	1,1	0,8	1,6	51	0,7	1,3	0,3	0,2	0,7
Calc. tot. (%)	54	29,1	19,3	30	12	46	51	41,4	19,9	46	31	56
Argilla (%)	53	26,5	12,4	25	18	33	49	22,1	13,7	19	11	33
Sabbia (%)	53	20,1	13,9	17	8	32	49	22,3	26,0	9	4	35
CSC (meq/100 g)	51	19,4	10,4	18	11	24	50	13,6	9,7	11	6	21

Tabella T.1: Principali parametri statistici di alcuni caratteri del suolo in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nell'unità deposizionale del Tagliamento.

### Indagini e risultati

Nell'unità deposizionale sono stati prelevati e analizzati 55 campioni superficiali e 52 campioni profondi, numeri ampiamente adeguati per l'elaborazione statistica.

Si riportano nelle tabelle T.1 e T.2 i risultati delle determinazioni analitiche: metalli e metalloidi e parametri chimici generali del suolo, negli orizzonti superficiali e profondi.

T - SUPERFICIALE									T - PROFONDO								
	N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile		N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile
Sb	33	0,66	0,24	0,62	0,45	0,81	1,1	1,2	Sb	30	0,58	0,27	0,55	0,38	0,64	1,1	1,2
As	53	9,29	2,97	8,5	7,5	11	14	16	As	50	7,76	3,70	7,2	5,2	9,2	15	18
Be	33	0,92	0,36	0,90	0,73	1,1	1,5	1,7	Be	30	0,75	0,51	0,67	0,25	1,1	1,8	1,9
Cd	55	0,33	0,12	0,25	0,25	0,41	0,59	0,65	Cd	52	0,29	0,08	0,25	0,25	0,30	0,47	0,56
Co	55	7,22	2,74	7,5	4,9	8,8	12	13	Co	52	5,78	3,20	4,8	3,6	7,3	11	16
Cr	55	35,7	16,2	36	23	45	68	72	Cr	52	28,4	17,6	23	17	37	68	81
Hg	53	0,08	0,09	0,05	0,03	0,07	0,26	0,44	Hg	50	0,04	0,02	0,03	0,03	0,05	0,09	0,10
Ni	55	22,0	9,55	21	14	27	39	43	Ni	52	18,2	11,3	15	9,9	23	43	54
Pb	55	14,9	11,3	13	8,4	20	30	53	Pb	52	7,52	5,91	6,5	2,5	9,0	21	25
Cu	46	26,9	23,3	22	16,3	29	49	121	Cu	46	13,2	6,03	12	9,8	15	24	33
Se	33	0,31	0,22	0,26	0,10	0,44	0,76	0,86	Se	30	0,20	0,14	0,10	0,10	0,29	0,42	0,55
Sn	33	1,80	0,81	1,7	1,2	2,4	3,1	3,7	Sn	30	1,38	1,06	1,3	0,58	1,6	2,8	4,6
V	33	43,9	15,6	45	29	55	65	73	V	30	37,0	23,2	32	19	53	88	96
Zn	55	58,0	17,8	53	45	70	90	102	Zn	52	42,2	18,5	38	29	47	78	96

Tabella T.2: Principali parametri statistici dei metalli e metalloidi in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nell'unità deposizionale del Tagliamento; dati espressi in mg/kg.

Non sono stati riscontrati superamenti del limite di legge per le aree residenziali/a verde per quasi tutti i metalli se non per il **rame** nel 99° percentile in superficie.

Per antimonio, arsenico, berillio, cadmio, cobalto, cromo, mercurio, nichel, piombo, selenio, stagno, vanadio e zinco non sono stati riscontrati superamenti del limite se non nel valore massimo per il cobalto in superficie.

Per il rame le concentrazioni elevate solo in superficie sono attribuibili ad apporti nei suoli agricoli con le deiezioni zootecniche e fitofarmaci. Le maggiori concentrazioni sono state riscontrate nei vigneti a causa dei frequenti trattamenti effettuati con prodotti fitosanitari a base di rame, come si può vedere dal box plot di figura T.1. Raramente si riscontrano comunque valori superiori ai limiti di legge. I campioni prelevati dai vigneti sono stati esclusi dalle elaborazioni relativamente al rame e sono stati elaborati a parte e trattati in un paragrafo specifico (capitolo 5); nonostante tale procedura si riscontrano ugualmente valori elevati dell'elemento in appezzamenti oggi coltivati a seminativo o a prato ma che un tempo erano occupati dal vigneto.

Rispetto alla pubblicazione del 2011, sono stati definiti i valori di fondo di antimonio, berillio, selenio, stagno, vanadio che non era stato possibile determinare; per gli altri elementi non si osservano grosse differenze dai valori definiti in precedenza che rimangono comunque sempre inferiori ai limiti di legge.

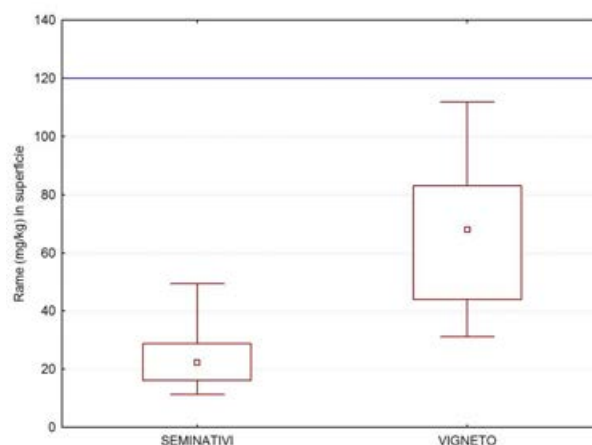


Figura T.1: Contenuto totale di rame (mg/kg) in superficie nella pianura del Tagliamento in base all'uso del suolo. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs 152/2006. Si ricorda che i dati su suoli a vigneto sono stati esclusi dalla definizione del valore di fondo dell'unità.

### Differenze con le unità deposizionali/fisiografiche limitrofe

Non esistono significative differenze tra i valori di fondo delle unità di Tagliamento e Piave se non per rame e zinco, più elevati nella seconda e di chiara origine antropica.

### Relazioni con i caratteri del suolo e tra metalli

Le relazioni tra i diversi elementi e i caratteri del suolo sono più forti negli orizzonti profondi, meno influenzati dalle attività antropiche: è particolarmente evidente per il rame per il quale il coefficiente  $r$  di correlazione con l'argilla passa da 0,02 a 0,76 dalla superficie alla profondità.

In profondità la gran parte degli elementi sono fortemente correlati con l'argilla: il coefficiente di correlazione di vanadio e berillio è rispettivamente di 0,93 e 0,92, di zinco 0,88 (figura T.2). Il selenio è l'elemento che mostra la maggiore affinità con il carbonio organico ( $r$  di 0,82 in profondità).

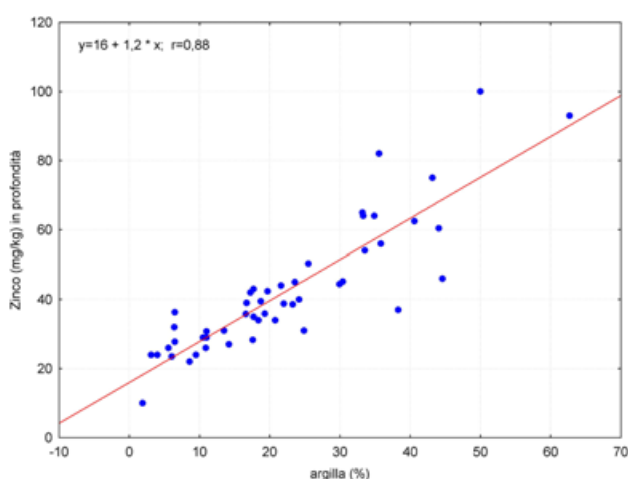


Figura T.2: Correlazione tra contenuto totale di zinco e di argilla negli orizzonti profondi nell'unità del Tagliamento.

Per quanto riguarda le relazioni tra i diversi elementi, sono molto forti soprattutto in profondità ma evidenti anche in superficie per molti metalli.

Le correlazioni più forti, sia in superficie che in profondità, sono tra vanadio e berillio ( $r=0,96$  in profondità) e tra vanadio e cromo ( $r=0,96$  in profondità); il berillio sembra essere legato, oltre che al vanadio, anche a cromo e cobalto ( $r=0,93$  e  $0,90$ ), forti le relazioni tra nichel, cromo e cobalto ( $r$  tra 0,95 e 0,93, figura T.3).

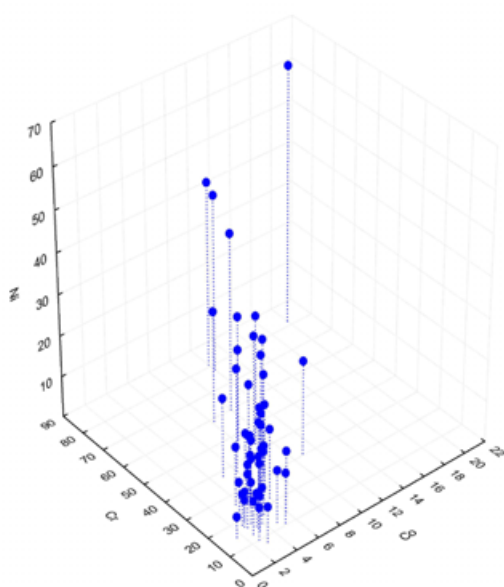


Figura T.3: Correlazione tra contenuto totale di nichel, cromo e cobalto negli orizzonti profondi nell'unità del Tagliamento.

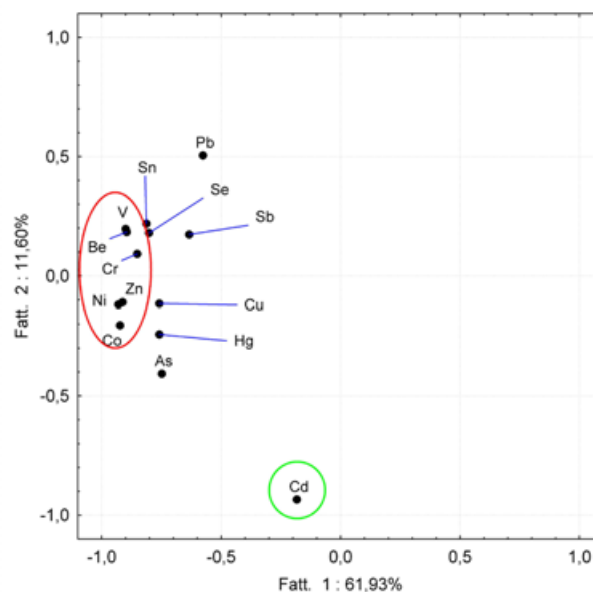


Figura T.4: Orizzonti profondi dei suoli dell'unità del Tagliamento: grafico dei primi due fattori della PCA e cluster di variabili; in rosso il primo, in verde il secondo.

Dall'analisi delle componenti principali (PCA) si nota come circa il 74% della varianza totale è spiegato da due fattori: il primo spiega da solo il 62% della varianza, il secondo il 12% (figura T.4 e tabella T.3). All'interno del primo fattore pesano prevalentemente zinco, berillio, cobalto, cromo, vanadio, nichel, ma anche gli altri elementi anche se in misura inferiore, fa eccezione il cadmio che contribuisce al secondo fattore.

	logSb	logAs	logBe	logCd	logCo	logCr	logHg	logNi	logPb	logCu	logSe	logSn	logV	logZn
<b>Fattore 1</b>	-0,63	-0,75	-0,89	-0,18	-0,92	-0,85	-0,76	-0,91	-0,58	-0,76	-0,80	-0,81	-0,90	-0,93
<b>Fattore 2</b>	0,17	-0,41	0,18	-0,93	-0,20	0,09	-0,24	-0,11	0,51	-0,12	0,18	0,22	0,20	-0,12

Tabella T.3: Orizzonti profondi dei suoli dell'unità del Tagliamento: pesi fattoriali delle variabili per i primi due fattori. I valori evidenziati in rosso indicano cluster di variabili.

### Arricchimento superficiale

Nell'unità del Tagliamento l'indice di geoaccumulo è in generale basso per molti elementi come si nota dalla figura T.5 che riporta i valori mediani dell'indice; soltanto per lo stagno l'indice assume un valore mediano superiore a 1 (moderato arricchimento). Berillio, mercurio, piombo, selenio e vanadio hanno un indice IGEO compreso tra 0 e 1, ma a fronte di contenuti piuttosto bassi. Il valore dell'indice, in particolare per mercurio e selenio, può essere influenzato dall'elevato numero di dati inferiori al limite di quantificazione, in particolare negli orizzonti profondi.

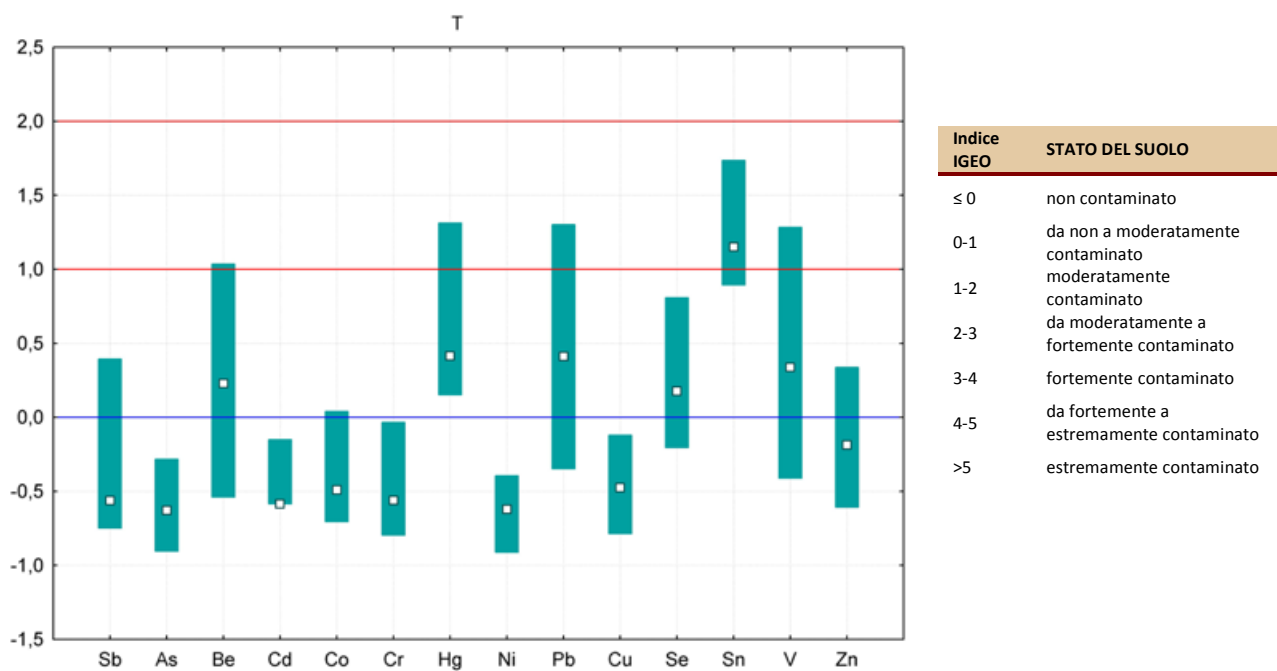
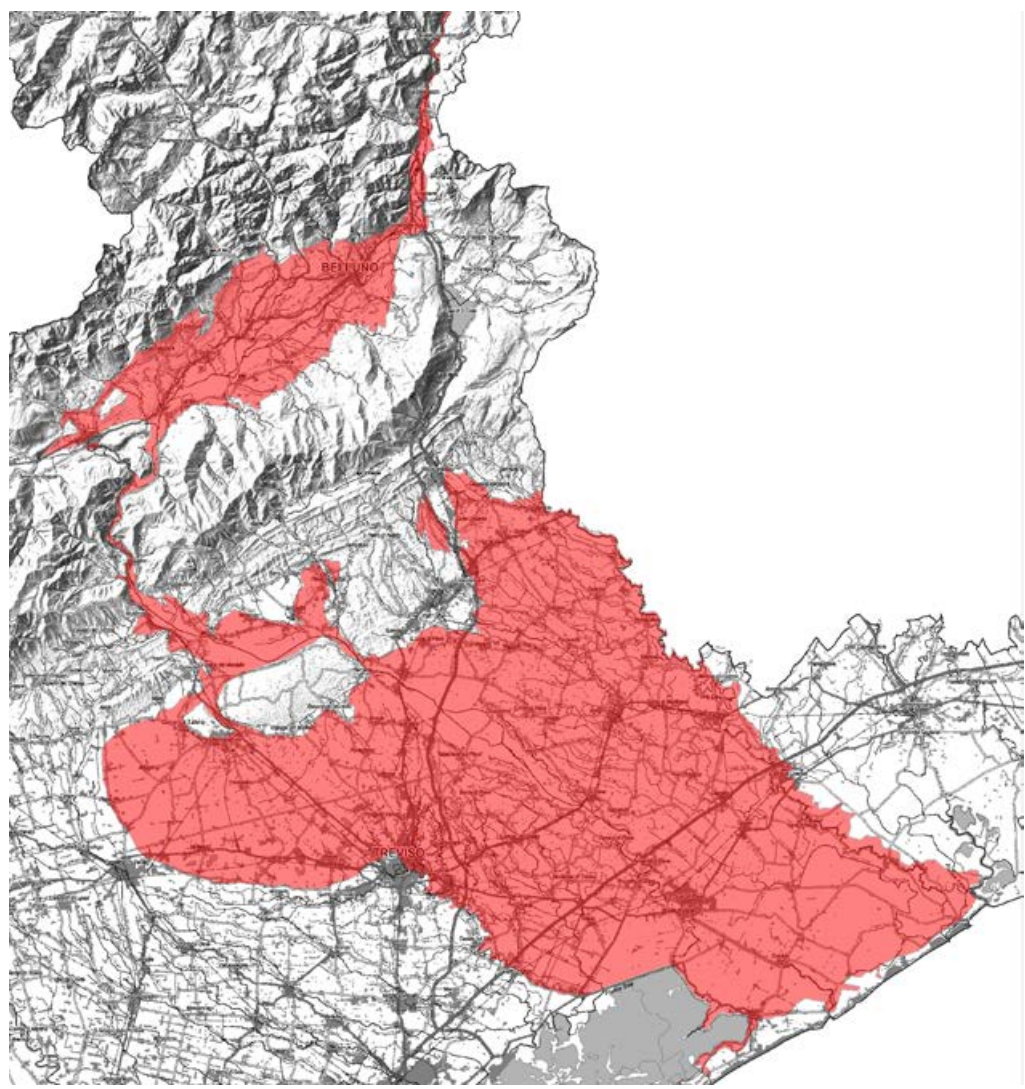


Figura T.5: Indice di geoaccumulo (IGEO) dei metalli e metalloidi dell'unità del Tagliamento: i quadrati interni rappresentano i valori mediani dell'indice, le barre azzurre il 25° e 75° percentile; i valori al di sotto della linea blu indicano assenza di arricchimento, tra questa e la prima linea rossa moderato arricchimento.



# PIAVE (P)

Metallo o metalloide	Sb	As	Be	Cd	Co	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Sn	V	Zn
Valore di fondo (mg/kg)	1,0	14	1,6	0,7	15	62	0,26	51	37	192	0,51	3,9	86	120
Limite col. A, D.Lgs 152/2006	10	20	2	2	20	150	1	120	100	120	3	--	90	150



## Inquadramento, formazione e caratteristiche generali dei suoli

L'unità deposizionale del fiume Piave occupa una superficie di 2088 km<sup>2</sup>, ed è delimitata a nord-est dal fiume Livenza e a sud dal Sile. I sedimenti sono estremamente calcarei, con un contenuto di carbonati intorno al 50%.

Nei confronti delle unità deposizionali limitrofe l'unità del Piave si differenzia in maniera piuttosto netta da quella del Brenta, da cui è separata dal Sile, mentre il limite con quella del Tagliamento, a nord-est, è meno evidente. Nelle aree "di confine" tra unità è pertanto possibile ritrovare delle concentrazioni di alcuni metalli diverse da quelle tipiche dell'unità. Nell'unità del Piave è incluso anche tutto il solco della Valbelluna a nord delle prealpi.

Questa pianura si è formata in varie fasi tra il Pleistocene superiore e l'Olocene: la parte più antica comprende il conoide ghiaioso (*megafan* di Montebelluna), risalente ad un periodo anteriore all'ultimo massimo glaciale (LGM) quando il Piave passava nel varco di Biadene (Bondesan *et al.*, 2002; Fontana *et al.*, 2004); la pianura a est di questo conoide (sia l'alta pianura che la bassa) corrisponde al *megafan* di Nervesa, formatosi durante l'ultimo massimo glaciale e l'Olocene, quando il Piave prese l'odierna direzione

sboccando in pianura a est della collina del Montello; qui i suoli sono caratterizzati dalla decarbonatazione dell'orizzonte superficiale e rideposizione dei carbonati in un orizzonte calcico molto sviluppato. Le deposizioni più recenti si trovano più vicine al corso attuale del fiume, sia in alta che in bassa pianura; i suoli di queste superfici sono a bassa differenziazione del profilo come risulta dall'elevato contenuto di carbonati, simile a quello del materiale di partenza. Vi è poi un lembo di bassa pianura recente, di età anteriore a questa, che può essere ricondotto all'Olocene inferiore, come si può desumere dal grado di decarbonatazione elevato ma non paragonabile a quello dei suoli antichi delle superfici LGM.

	P - SUPERFICIALE						P - PROFONDO					
	N Dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore	N Dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore
pH	304	8,1	0,3	8,1	8,0	8,3	184	8,3	0,3	8,4	8,2	8,5
Carb. Org. (%)	305	1,7	1,5	1,4	1,0	1,9	183	0,6	0,7	0,4	0,2	0,7
Calc. tot. (%)	303	27,2	18,2	27	11	42	183	45,8	19,1	50	38	59
Argilla (%)	304	27,2	12,4	25	18	36	184	20,2	14,9	16	8	31
Sabbia (%)	304	26,3	15,9	26	12	37	184	38,0	30,8	30	9	65
CSC (meq/100 g)	257	20,8	8,5	21	14	26	163	15,2	10,1	13	7	23

Tabella P.1: Principali parametri statistici di alcuni caratteri del suolo in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nell'unità deposizionale del Piave.

### Indagini e risultati

Nell'unità deposizionale sono stati prelevati e analizzati 305 campioni superficiali e 184 campioni profondi, numeri ampiamente adeguati per l'elaborazione statistica.

Si riportano nelle tabelle P.1 e P.2 i risultati delle determinazioni analitiche per metalli e metalloidi e parametri chimici generali del suolo, negli orizzonti superficiali e profondi.

P - SUPERFICIALE									P - PROFONDO								
	N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile		N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile
Sb	167	0,67	0,22	0,65	0,51	0,80	1,0	1,3	Sb	157	0,45	0,24	0,43	0,28	0,58	0,92	1,2
As	286	7,36	3,38	6,6	4,8	9,8	13	17	As	173	6,68	3,81	5,8	4,0	9,0	14	18
Be	162	0,90	0,44	0,93	0,56	1,2	1,6	2,1	Be	142	0,68	0,42	0,58	0,32	0,91	1,5	2,0
Cd	305	0,39	0,15	0,34	0,25	0,49	0,68	0,75	Cd	183	0,28	0,10	0,25	0,25	0,25	0,45	0,75
Co	292	8,40	3,64	8,2	5,2	11	15	17	Co	181	6,25	3,53	5,4	3,8	7,8	14	17
Cr	304	33,7	15,7	34	21	45	61	78	Cr	183	26,7	16,6	25	14	35	62	78
Hg	296	0,10	0,08	0,07	0,05	0,12	0,26	0,41	Hg	175	0,05	0,06	0,03	0,03	0,05	0,14	0,37
Ni	304	23,1	12,3	22	13	29	44	60	Ni	184	20,3	14,5	17	9,8	26	51	67
Pb	305	19,3	9,58	18	12	26	37	46	Pb	183	8,19	7,65	5,6	2,5	11	24	36
Cu	301	71,6	69,9	49	31	84	192	302	Cu	183	17,0	9,74	16	10	22	31	54
Se	160	0,24	0,14	0,23	0,10	0,30	0,51	0,65	Se	140	0,14	0,10	0,10	0,10	0,10	0,38	0,52
Sn	160	2,12	1,00	2,0	1,4	2,7	3,9	5,1	Sn	139	1,27	0,82	1,1	0,66	1,6	2,7	3,9
V	166	52,1	19,7	52	36	64	86	98	V	146	39,6	20,8	34	24	52	80	95
Zn	301	74,9	27,8	73	53	92	120	161	Zn	183	46,4	24,5	43	31	57	95	130

Tabella P.2: Principali parametri statistici delle concentrazioni di metalli e metalloidi in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nell'unità deposizionale del Piave; dati espressi in mg/kg.

Alcuni metalli hanno concentrazioni superiori al limite di legge per le aree residenziali/a verde:

- il **berillio** per il 99° percentile in superficie,

- il **rame** nel 95° percentile in superficie,
- il **vanadio** come 99° percentile in superficie e in profondità,
- lo **zinco** come 99° percentile in superficie.

Per antimonio, arsenico, cadmio, cobalto, cromo, mercurio, nichel, piombo, selenio e stagno non sono stati riscontrati superamenti del limite se non nel valore massimo per il cobalto in superficie.

### Berillio

Per il **berillio** le concentrazioni elevate in entrambi gli orizzonti sono legate al contenuto naturale come confermato dalle concentrazioni rilevate in materiali di partenza di origine calcarea. Analogamente a quanto riscontrato nelle unità del Brenta e del Tagliamento, le concentrazioni sono mediamente più elevate nei suoli a tessitura più fine (figura P.1). Il berillio risulta fortemente correlato in questa unità deposizionale con il **vanadio** e lo **zinco**, altri elementi riscontrati in elevate concentrazioni.

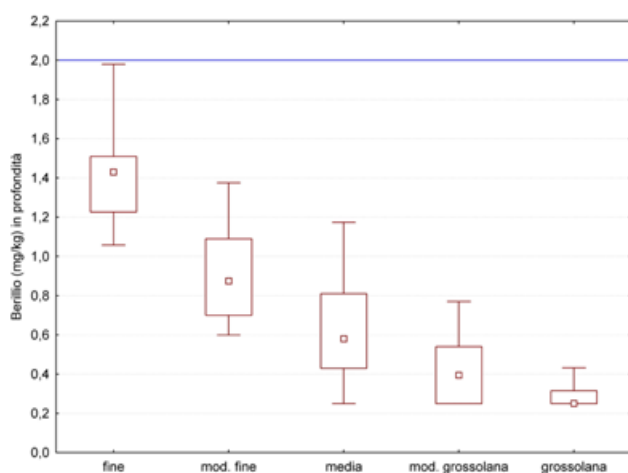


Figura P.1: Contenuto totale di berillio (mg/kg) in profondità nella pianura del Piave in base alle classi tessiture USDA aggregate. Fine= A, AS, AL; Mod. fine= FSA, FA, FLA; Media= F, FL, L; Mod. grossolana= FS; Grossolana= SF, S. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs 152/2006.

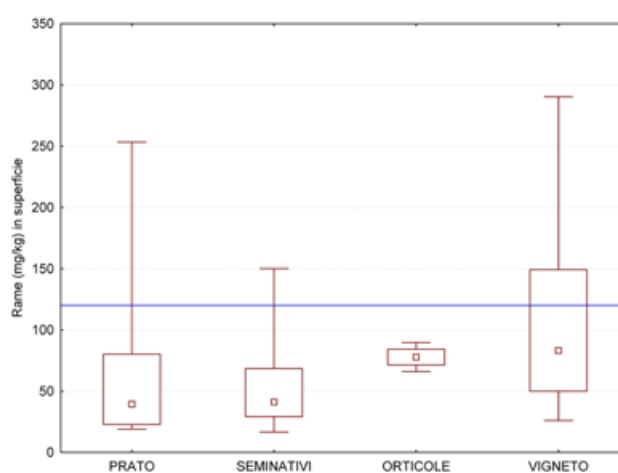


Figura P.2: Contenuto totale di rame (mg/kg) in superficie nella pianura del Piave in base all'uso del suolo. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs 152/2006. Si ricorda che i dati sui vigneti sono stati esclusi dalla definizione del valore di fondo dell'unità.

### Rame

Per il **rame** le concentrazioni elevate solo in superficie sono attribuibili ad apporti nei suoli agricoli con le deiezioni zootecniche. Le maggiori concentrazioni (figura P.2) sono state riscontrate nei vigneti a causa dei frequenti trattamenti con prodotti fitosanitari a base di rame effettuati. Queste concentrazioni elevate sono particolarmente evidenti e diffuse nel bacino del Piave dove il vigneto rappresenta una delle colture più estese. Per questo motivo i campioni prelevati dai vigneti sono stati esclusi dalle elaborazioni per il rame e sono stati elaborati a parte e trattati in un paragrafo specifico (capitolo 5); a volte si riscontrano ugualmente valori elevati dell'elemento in appezzamenti oggi coltivati a seminativo o a prato ma che un tempo erano occupati dal vigneto, come risulta evidente dall'ampiezza dei "baffi" del box plot di figura P.2.

### Vanadio e Zinco

Per **vanadio** e **zinco** i valori elevati, al di sopra dei limiti di legge, anche se isolati e per lo più localizzati in corrispondenza dei suoli più argillosi (figura P.3), sono comunque riconducibili a una origine geochimica; anche se in superficie i valori sono leggermente più alti, non si notano differenze significative con i diversi usi agricoli: soltanto nel prato (figura P.4) si nota una concentrazione mediamente più alta per effetto probabilmente del minor rimescolamento con le lavorazioni, e quindi minor diluizione nell'orizzonte lavorato di spessore di circa 40-50 cm.

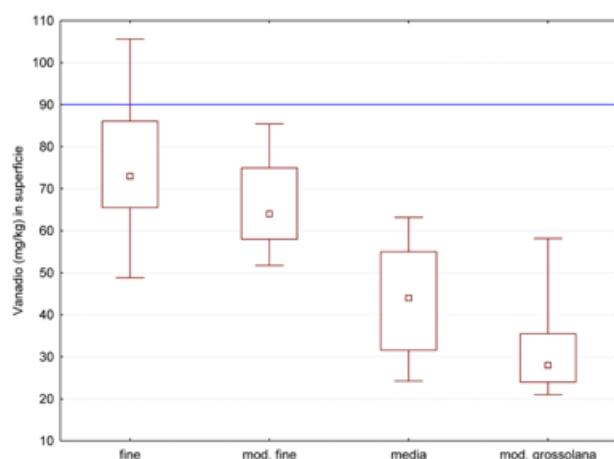


Figura P.3: Contenuto totale di vanadio (mg/kg) in superficie nella pianura del Piave in base alle classi tessiturali USDA aggregate. Fine= A, AS, AL; Mod. fine= FSA, FA, FLA; Media= F, FL, L; Mod. grossolana= FS. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs 152/2006.

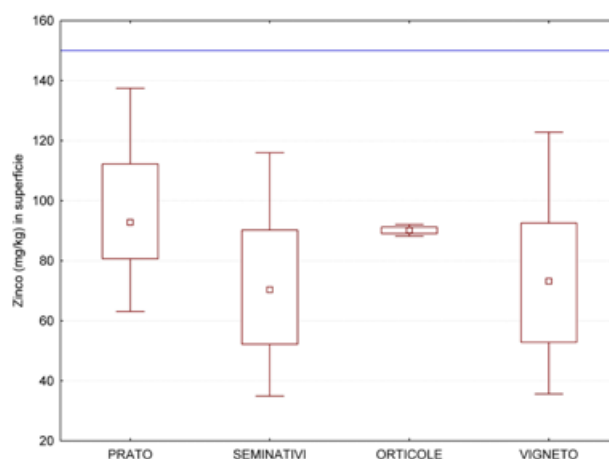


Figura P.4: Contenuto totale di zinco (mg/kg) in superficie nella pianura del Piave in base all'uso del suolo. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs 152/2006.

Rispetto alla pubblicazione del 2011, non si osservano grosse differenze dai valori definiti in precedenza,

### Differenze con le unità deposizionali/fisiografiche limitrofe

Non esistono significative differenze tra i valori di fondo delle unità di Tagliamento e Piave se non per rame e zinco, più elevati nell'ultimo e di chiara origine antropica, mentre il Piave si differenzia dall'unità del Brenta per valori mediamente inferiori, in particolare per l'arsenico.

### Relazioni con i caratteri del suolo e tra metalli

Le relazioni tra i diversi elementi e i caratteri del suolo sono più forti negli orizzonti profondi, meno influenzati dalle attività antropiche: è particolarmente evidente per il rame per il quale il coefficiente  $r$  di correlazione con l'argilla passa da 0,02 a 0,58 dalla superficie alla profondità. Correlazioni alte sia in superficie sia in profondità si hanno con argilla per berillio (figura P.5), vanadio e cromo (intorno a 0,70 in superficie, 0,80 in profondità), seguiti da nichel e cobalto ( $r$  di 0,63). Rame e selenio sono gli elementi che dimostrano la maggiore affinità con il carbonio organico ( $r$  rispettivamente di 0,61 e 0,64 in profondità) seguiti da zinco ( $r=0,56$ ), piombo (0,52) e antimonio (0,50).

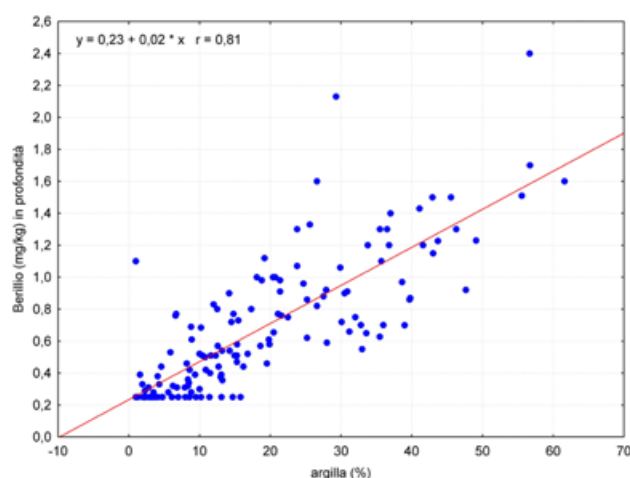


Figura P.5: Correlazione tra contenuto totale di berillio e di argilla negli orizzonti profondi nell'unità del Piave.

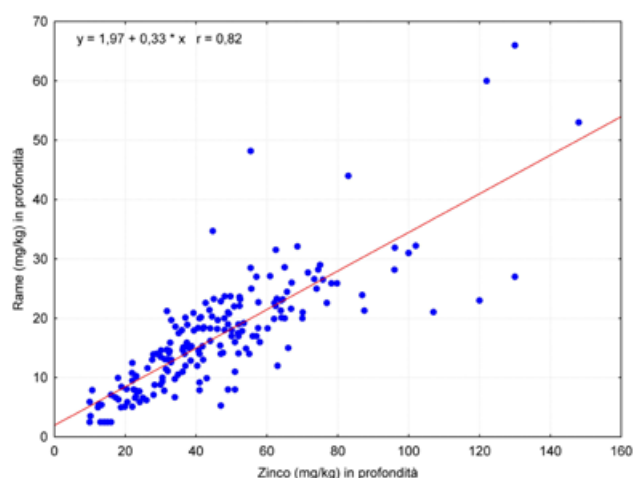


Figura P.6: Correlazione tra contenuto totale di rame e di zinco negli orizzonti profondi nell'unità del Piave.



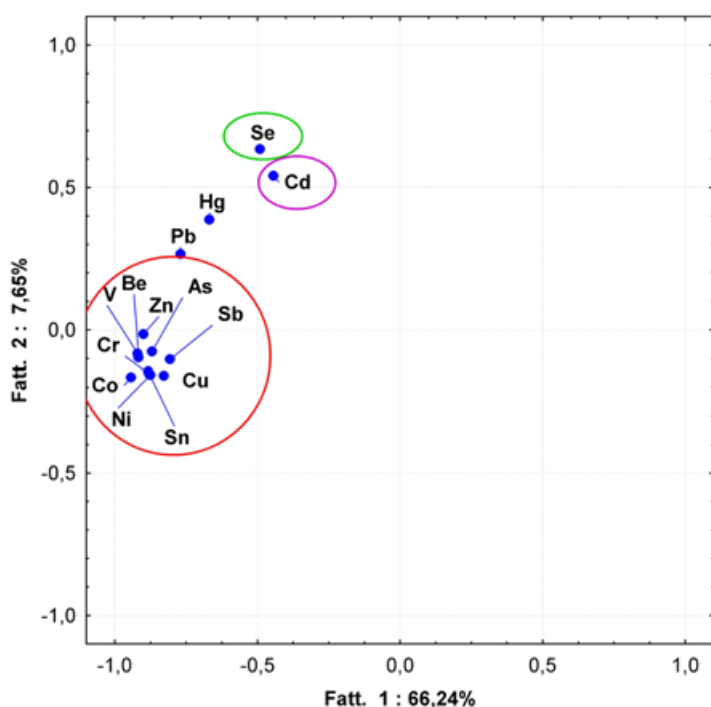


Figura P.7: Orizzonti profondi dei suoli dell'unità del Piave: grafico dei primi due fattori della PCA e cluster di variabili; in rosso il primo, in verde il secondo e in azzurro il terzo.

varianza totale è spiegato da tre fattori: il primo spiega da solo il 66% della varianza, il secondo l'8%, il terzo il 5% (figura P.7 e tabella P.3). All'interno del primo fattore pesano prevalentemente cobalto, zinco, vanadio, berillio, seguiti da arsenico, antimonio, cromo, nichel; al secondo fattore contribuisce il selenio e, infine, al terzo il cadmio.

Lo stesso succede per le relazioni tra i vari elementi: il rame ha correlazioni basse in superficie con la maggior parte degli elementi e altamente significative con molti elementi negli orizzonti profondi (in modo particolare con zinco con un  $r$  di 0,82, seguiti da piombo, antimonio, cobalto, nichel e cromo, figura P.6). Per altri, come il mercurio, le correlazioni con gli altri metalli sono basse sia negli orizzonti superficiali sia in quelli profondi.

Le correlazioni più forti, sia in superficie che in profondità, sono tra vanadio e berillio ( $r=0,96$  in profondità) e tra vanadio e cromo ( $r=0,89$  in profondità); il berillio sembra essere legato, oltre che al vanadio, anche a cromo e cobalto ( $r=0,86$ ), stagno ( $r=0,83$ ) e zinco ( $r=0,76$  in profondità); forti le relazioni tra nichel, cromo e cobalto ( $r$  tra 0,75 e 0,83).

Dall'analisi delle componenti principali (PCA) si nota come circa il 79% della

	logSb	logAs	logBe	logCd	logCo	logCr	logHg	logNi	logPb	logCu	logSe	logSn	logV	logZn
<b>Fattore 1</b>	-0,81	-0,87	-0,92	-0,44	-0,94	-0,88	-0,67	-0,88	-0,77	-0,83	-0,49	-0,88	-0,92	-0,90
<b>Fattore 2</b>	-0,10	-0,08	-0,10	0,54	-0,16	-0,15	0,39	-0,16	0,27	-0,16	0,63	-0,15	-0,08	-0,01
<b>Fattore 3</b>	-0,06	-0,11	-0,02	0,70	0,02	0,04	-0,19	0,08	-0,05	0,16	-0,42	-0,02	0,00	-0,01

Tabella P.3: Orizzonti profondi dei suoli dell'unità del Piave: pesi fattoriali delle variabili per i primi tre fattori. I valori evidenziati in rosso indicano cluster di variabili.

### Arricchimento superficiale

Nell'unità del Piave l'indice di geoaccumulo è in generale basso per molti elementi, come si nota dalla figura P.8 che riporta i valori medi dell'indice; soltanto per rame e piombo notoriamente soggetti ad apporto antropico, l'indice assume un valore mediano di 1 corrispondente ad un moderato arricchimento, alcuni siti mostrano un fattore di arricchimento superiore a 2. Tra gli altri metalli merita attenzione il selenio con un indice IGEO compreso tra 0 e 1.

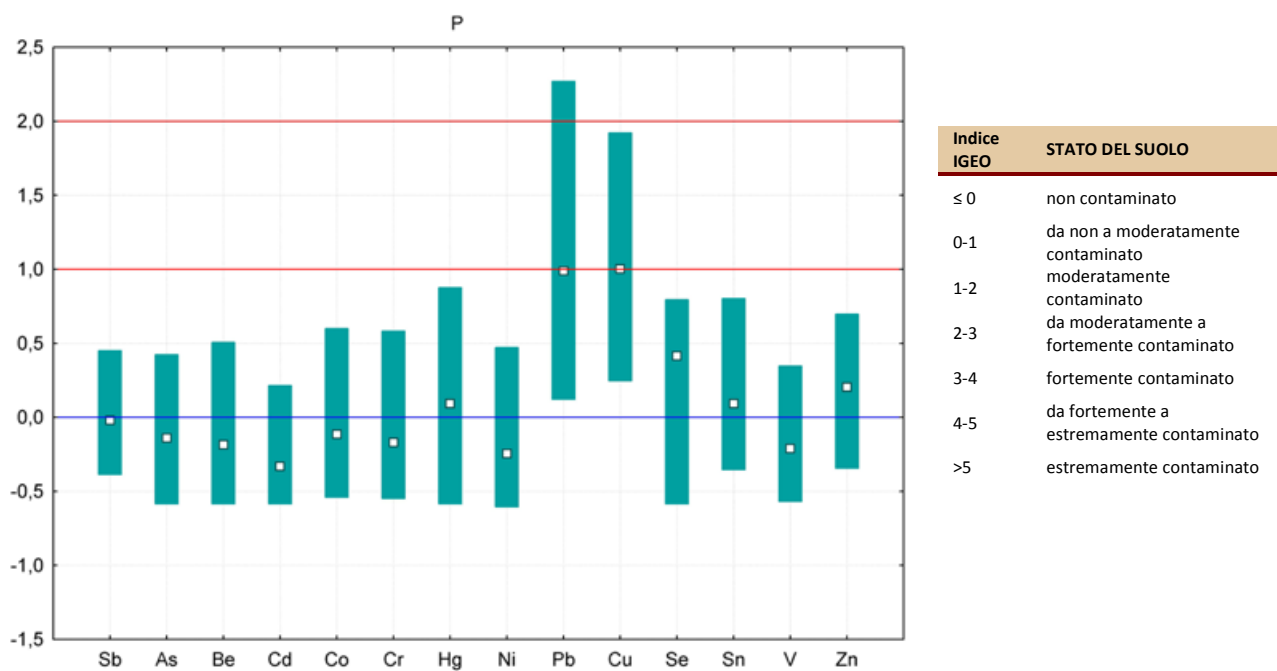
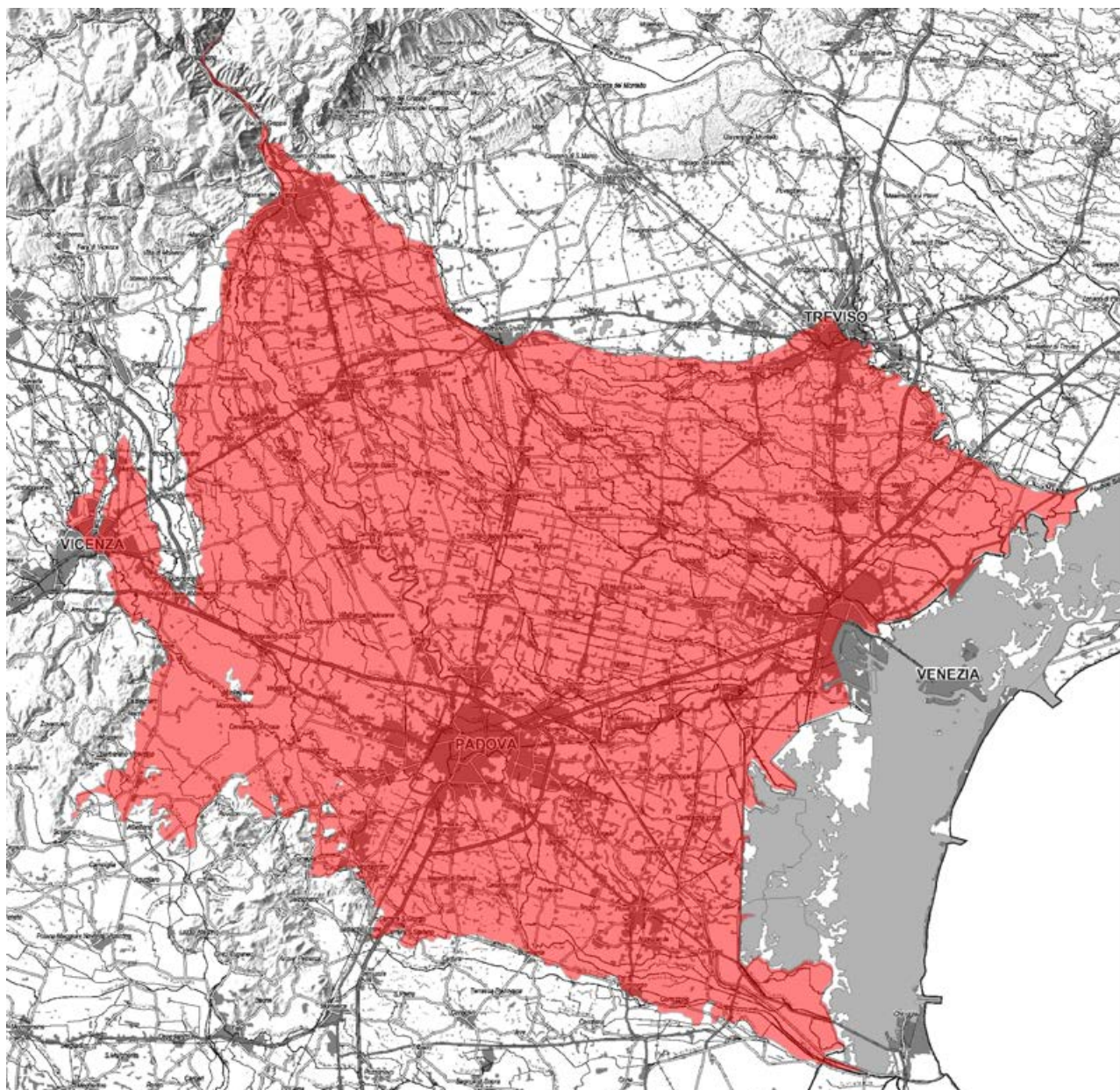


Figura P.8: Indice di geoaccumulo (IGEO) dei metalli e metalloidi dell'unità del Piave: i quadrati interni rappresentano i valori mediani dell'indice, le barre azzurre il 25° e 75° percentile; i valori al di sotto della linea blu indicano assenza di arricchimento, tra questa e la prima linea rossa moderato arricchimento.

## BRENTA (B)

Metallo o metalloide	Sb	As	Be	Cd	Co	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Sn	V	Zn
Valore di fondo (mg/kg)	2,0	46	2,1	0,93	16	63	0,51	38	56	110	0,36	6,3	84	143
Limite col. A, D.Lgs 152/2006	10	20	2	2	20	150	1	120	100	120	3	--	90	150



### Inquadramento, formazione e caratteristiche generali dei suoli

L'unità deposizionale del fiume Brenta occupa una superficie di 2410 km<sup>2</sup>, si estende dallo sbocco della Valsugana presso Bassano del Grappa fino alla laguna di Venezia ed è delimitata a nord dal fiume Sile e a sud dal Bacchiglione. I sedimenti sono fortemente calcarei, con un contenuto di carbonati intorno al 30-40%.

Nei confronti delle unità deposizionali limitrofe l'unità del Brenta si differenzia in maniera piuttosto netta da quella del Piave, da cui è separata dal Sile, ma in modo più sfumato da quella dell'Astico, a nord-ovest, e dell'Adige, a sud, per cui spesso in molti punti le alluvioni dei diversi fiumi si sono in parte mescolate e

sovrapposte. In queste aree “di confine” è pertanto possibile ritrovare delle concentrazioni di alcuni metalli diverse da quelle tipiche dell’unità.

E’ possibile distinguere, sia all’interno dell’alta che della bassa pianura del Brenta, una parte più antica, con suoli fortemente decarbonatati ed evoluti, da una porzione più recente, dove il processo di riorganizzazione interna dei carbonati è molto debole. Il limite tra queste due pianure è rappresentato dal corso del Naviglio Brenta. La pianura antica si è formata nel corso dell’ultima glaciazione (LGM) per effetto dello scioglimento dei ghiacciai (megafan di Bassano): più a monte si sono deposte le ghiaie e le sabbie (alta pianura) e più a valle i sedimenti più fini (bassa pianura). A questo sistema sedimentario pleistocenico si sono sovrapposti altri due conoidi in età olocenica incidendolo nella parte superiore e sovrapponendosi ad esso nella parte inferiore di bassa pianura.

	B - SUPERFICIALE						B - PROFONDO					
	N Dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore	N Dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore
pH	522	7,9	0,6	8,0	7,8	8,2	383	8,1	0,6	8,3	8,0	8,5
Carb. Org. (%)	512	1,2	1,0	1,0	0,8	1,3	371	0,5	2,1	0,2	0,1	0,4
Calc. tot. (%)	448	10,6	10,5	7	2	18	309	19,9	16,4	19	3	33
Argilla (%)	519	21,2	9,7	19	15	26	378	16,5	10,8	15	8	22
Sabbia (%)	519	33,3	17,1	32	20	44	378	38,5	29,0	32	13	59
CSC (meq/100 g)	436	17,6	7,4	16	13	21	308	14,4	10,1	13	8	19

Tabella B.1: Principali parametri statistici di alcuni caratteri del suolo in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nell’unità deposizionale del Brenta.

### Indagini e risultati

Nell’unità deposizionale sono stati prelevati e analizzati 536 campioni superficiali e 397 campioni profondi, numeri ampiamente adeguati per l’elaborazione statistica.

Si riportano nelle tabelle B.1 e B.2 i risultati delle determinazioni analitiche per metalli e metalloidi e parametri chimici generali del suolo, negli orizzonti superficiali e profondi.

B - SUPERFICIALE									B - PROFONDO								
	N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile		N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile
Sb	305	0,89	0,54	0,71	0,56	0,97	2,0	2,8	Sb	339	0,70	0,50	0,58	0,37	0,85	1,8	2,4
As	498	21,7	8,35	20	16	27	37	48	As	374	23,5	13,4	22	14	30	46	67
Be	215	1,19	0,46	1,1	0,90	1,5	1,9	2,6	Be	198	1,16	0,58	1,1	0,76	1,5	2,1	2,8
Cd	534	0,49	0,24	0,44	0,25	0,67	0,90	1,2	Cd	396	0,42	0,26	0,25	0,25	0,52	0,93	1,3
Co	493	10,6	2,62	10	8,9	12	15	17	Co	384	10,00	3,46	9,7	7,6	12	16	19
Cr	529	33,4	14,1	31	23	41	60	74	Cr	397	29,8	16,4	27	19	37	63	84
Hg	516	0,13	0,19	0,06	0,03	0,14	0,51	1,0	Hg	388	0,05	0,10	0,03	0,03	0,04	0,17	0,56
Ni	536	24,0	7,86	23	19	28	37	50	Ni	378	23,1	8,22	23	17	28	38	46
Pb	524	31,9	12,6	30	23	38	56	75	Pb	391	20,0	11,1	19	12	28	38	54
Cu	483	46,4	33,3	36	27	52	110	170	Cu	368	22,8	8,98	22	17	28	40	48
Se	210	0,18	0,14	0,12	0,10	0,23	0,36	0,69	Se	193	0,13	0,11	0,10	0,10	0,10	0,27	0,69
Sn	209	3,35	1,77	3,0	2,1	4,2	6,3	9,4	Sn	193	2,65	1,31	2,4	1,7	3,5	4,8	6,4
V	216	47,4	17,5	43	36	55	79	100	V	199	45,5	20,4	42	30	55	84	110
Zn	492	101,1	25,7	97	84	115	143	182	Zn	388	77,6	30,3	75	57	98	129	152

Tabella B.2: Principali parametri statistici delle concentrazioni di metalli e metalloidi in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nell’unità deposizionale del Brenta; dati espressi in mg/kg.



Alcuni metalli hanno concentrazioni superiori al limite di legge per le aree residenziali/a verde:

- l'**arsenico** in entrambi gli orizzonti, superficiale e profondo, per il 95° percentile ma anche nei valori medi e mediani della popolazione di dati considerata,
- il **berillio** per il 95° percentile in profondità ma soltanto nel 99° in superficie,
- il **rame** nel 99° percentile in superficie,
- il **mercurio** nel 99° percentile in superficie ma non in profondità,
- il **vanadio** come 99° percentile in superficie e in profondità,
- lo **zinco** come 99° percentile in superficie e in profondità.

Per antimonio, cadmio, cobalto, cromo, nichel, piombo, selenio e stagno non sono stati riscontrati superamenti del limite.

Per **arsenico** e **berillio** il superamento è di origine naturale e non antropica.

### Arsenico

Come già riportato nel precedente volume (ARPAV, 2011), per l'arsenico gli elevati valori riscontrati nella pianura del Brenta sono probabilmente ricollegabili ai giacimenti minerali contenenti arsenopirite (FeAsS) presenti in alta Valsugana (provincia di Trento), nei pressi di Levico e Roncegno. Questa ipotesi trova conferma con quanto è stato descritto in uno studio nel territorio comunale di Levico Terme (TN), che riporta di un contenuto in arsenico in 120 siti variante da 7 a 125 mg/kg con un 90° percentile di 82 mg/kg (Rampanelli e Lorenzin, 2008).

Analizzando il contenuto di arsenico nell'unità deposizionale del Brenta si è notato che nelle diverse province di suoli (livello L2 della carta dei suoli del Veneto, figura B.1), individuate sulla base della morfologia e granulometria dei sedimenti (suddivisione tra alta e bassa pianura) e dell'età delle superfici (pianura antica e recente), i valori riscontrati sono molto diversi. In particolare nella bassa pianura antica (indicata con la sigla BA) il contenuto di arsenico è più alto rispetto a tutte le altre unità, in superficie ma soprattutto in profondità (tabella B.3 e figura B.2); queste differenze sono state confermate da test statistici parametrici (HSD diseguali) e non parametrici (test di Kruskal-Wallis). Le differenze tra pianura antica e recente si possono spiegare con i cambiamenti del bacino d'origine del materiale sedimentario dal pleistocene all'olocene, nel primo caso più ricco di arsenico.

Nella pianura antica si osserva inoltre un contenuto mediamente superiore negli orizzonti profondi rispetto a quelli superficiali con valore del 95° percentile che nella bassa pianura antica (BA) arriva a 51 mg/kg, superiore a quello di 47 mg/kg individuato per l'intero bacino del Brenta; in questa area il contenuto di arsenico è più alto nei suoli a tessitura fine (con maggior contenuto di argilla) delle aree morfologicamente depresse e gradualmente più basso nei suoli con tessiture più grossolane della pianura indifferenziata e dei dossi (figura B.3 tabella B.4).

Nella pianura recente (BR) il valore in superficie è mediamente più elevato di quello rilevato in profondità, pur essendoci, soprattutto in bassa pianura, contenuti localmente elevati anche negli orizzonti profondi (il 95° percentile è infatti di 36 mg/kg).

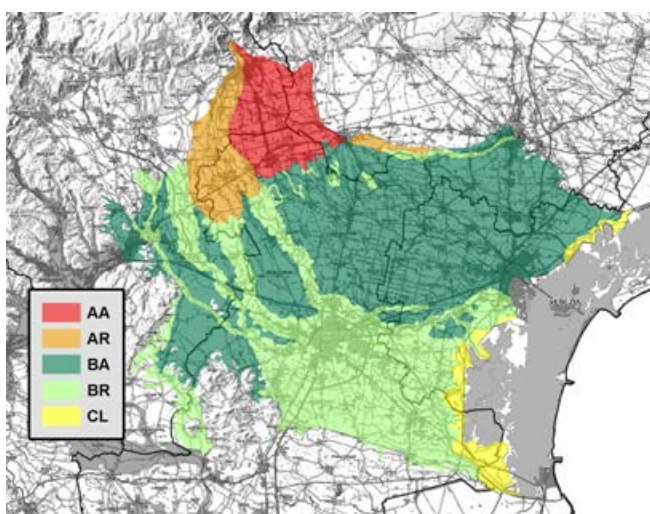


Figura B.1: Unità deposizionale del Brenta: suddivisione nelle province di suolo (L2) della carta dei suoli del Veneto. AA= alta pianura antica; AR= alta pianura recente; BA= bassa pianura antica; BR= bassa pianura recente; CL=lagunare.

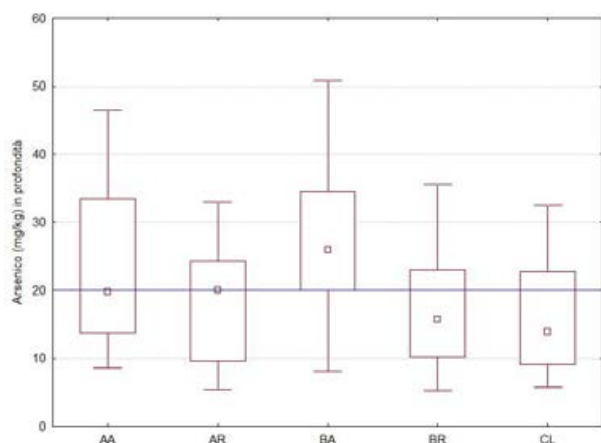


Figura B.2: Contenuto totale di arsenico (mg/kg) in profondità nelle province di suolo identificate nell'unità deposizionale del Brenta. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs 152/2006.

	Arsenico					
	N Dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore
AA	19	<b>24,7</b>	15,6	<b>20</b>	14	<b>34</b>
AR	18	19,1	14,2	<b>20</b>	10	<b>24</b>
BA	198	<b>27,6</b>	12,9	<b>26</b>	<b>20</b>	<b>34</b>
BR	105	17,9	10,7	16	10	<b>23</b>
CL	23	18,0	16,9	14	9	<b>23</b>

Tabella B.3: Principali parametri statistici dell'arsenico in profondità nelle province di suolo identificate nell'unità deposizionale del Brenta; dati espressi in mg/kg. Legenda AA= alta pianura antica; AR= alta pianura recente; BA= bassa pianura antica; BR= bassa pianura recente; CL= lagunare.

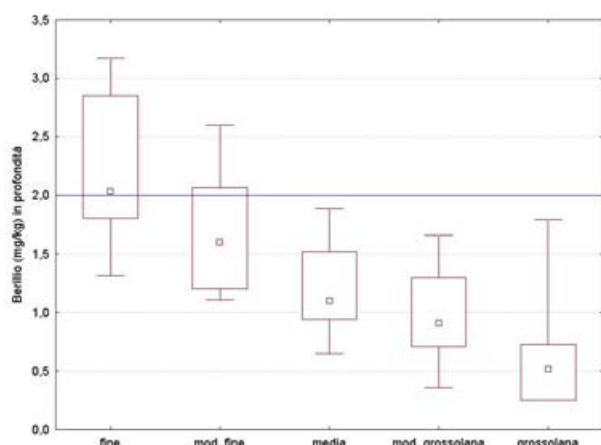


Figura B.4: Contenuto totale di berillio (mg/kg) in profondità nella pianura del Brenta in base alle classi tessiture USDA aggregate. Fine= A, AS, AL; Mod. fine= FSA, FA, FLA; Media= F, FL, L; Mod. grossolana= FS; Grossolana= SF, S. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs 152/2006.

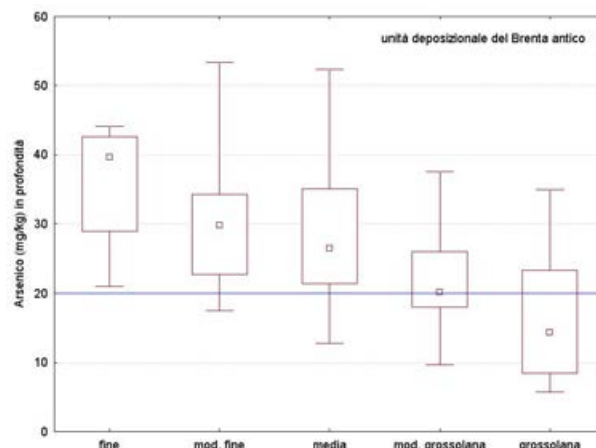


Figura B.3: Contenuto totale di arsenico (mg/kg) in profondità nella bassa pianura antica del Brenta in base alle classi tessiture USDA aggregate. Fine= A, AS, AL; Mod. fine= FSA, FA, FLA; Media= F, FL, L; Mod. grossolana= FS; Grossolana= SF, S. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs 152/2006.

	Arsenico					
	N Dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore
fine	6	<b>35,4</b>	10,3	<b>40</b>	<b>29</b>	<b>43</b>
mod. fine	34	<b>30,9</b>	11,3	<b>30</b>	<b>23</b>	<b>34</b>
media	111	<b>28,9</b>	13,3	<b>27</b>	<b>21</b>	<b>35</b>
mod. gross.	21	<b>22,9</b>	9,1	<b>20</b>	18	<b>26</b>
grossolana	23	17,9	11,7	14	9	<b>23</b>

Tabella B.4: Principali parametri statistici dell'arsenico in profondità nella bassa pianura antica del Brenta in base alle classi tessiture USDA aggregate. Fine= A, AS, AL; Mod. fine= FSA, FA, FLA; Media= F, FL, L; Mod. grossolana= FS; Grossolana= SF, S.

	Berillio					
	N Dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore
fine	5	<b>2,23</b>	0,82	<b>2,0</b>	1,8	<b>2,9</b>
mod. fine	24	1,72	0,54	1,6	1,2	<b>2,1</b>
media	98	1,20	0,42	1,1	0,9	1,5
mod. gross.	29	1,02	0,45	0,9	0,7	1,3
grossolana	28	0,65	0,54	0,5	0,3	0,7

Tabella B.5: Principali parametri statistici del berillio in profondità nella pianura del Brenta in base alle classi tessiture USDA aggregate. Fine= A, AS, AL; Mod. fine= FSA, FA, FLA; Media= F, FL, L; Mod. grossolana= FS; Grossolana= SF, S.

### Berillio

Per il berillio l'origine naturale delle concentrazioni elevate riscontrate nel bacino deposizionale del Brenta è in linea con i valori elevati riscontrati nell'unità fisiografica SA (Prealpi su calcari duri) e nel materiale parentale calcareo SCA (definito nel volume del 2011) dai quali i sedimenti possono essere derivati. Le concentrazioni sono mediamente più elevate nei suoli a tessitura più fine (figura B.4 e tabella B.5) per i quali si osservano i maggiori superamenti del limite di legge. Inoltre il berillio risulta fortemente correlato in questa unità deposizionale con il vanadio e lo zinco, altri elementi riscontrati in elevate concentrazioni.

### Rame

Per il **rame** le concentrazioni elevate riscontrate solo in superficie sono attribuibili ad apporti nei suoli agricoli con le deiezioni zootecniche e fitofarmaci. Le maggiori concentrazioni (figura B.5) sono state riscontrate nei vigneti a causa dei frequenti trattamenti con prodotti fitosanitari a base di rame. Per questo motivo i campioni prelevati dai vigneti sono stati esclusi dalle elaborazioni per il rame e sono stati elaborati a parte e trattati in un paragrafo specifico (capitolo 5); a volte si riscontrano ugualmente valori elevati dell'elemento in appezzamenti oggi coltivati a seminativo ma che un tempo erano occupati dal vigneto, come risulta evidente dall'ampiezza dei "baffi" del box plot di figura B.5.

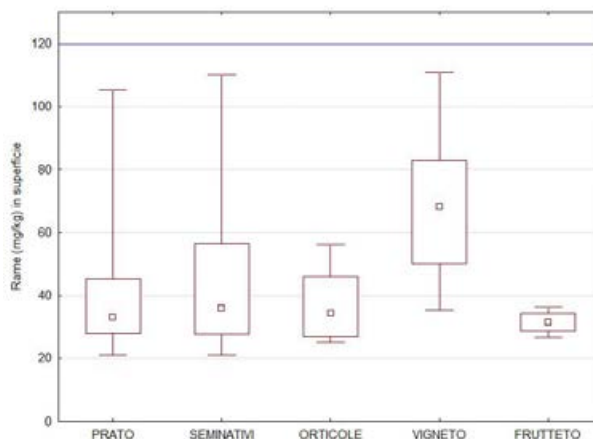


Figura B.5: Contenuto totale di rame (mg/kg) in superficie nella pianura del Brenta in base all'uso del suolo. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs 152/2006.

### Vanadio e Zinco

Per **vanadio** e **zinco** i valori elevati, al di sopra dei limiti di legge, anche se isolati e per lo più localizzati in corrispondenza dei suoli più argillosi, sono comunque riconducibili a una origine geochimica evidenziata dalla stretta correlazione tra concentrazioni rilevate e tessitura dei suoli (figure B.6 e B.7).

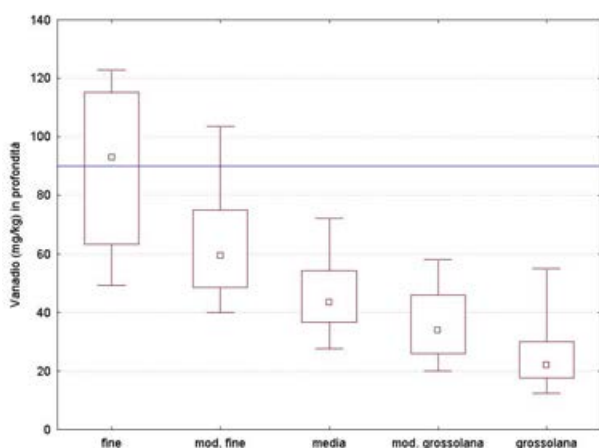


Figura B.6: Contenuto totale di vanadio (mg/kg) in profondità nella pianura del Brenta in base alle classi tessiture USDA aggregate. Fine= A, AS, AL; Mod. fine= FSA, FA, FLA; Media= F, FL, L; Mod. grossolana= FS; Grossolana= SF, S. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs 152/2006.

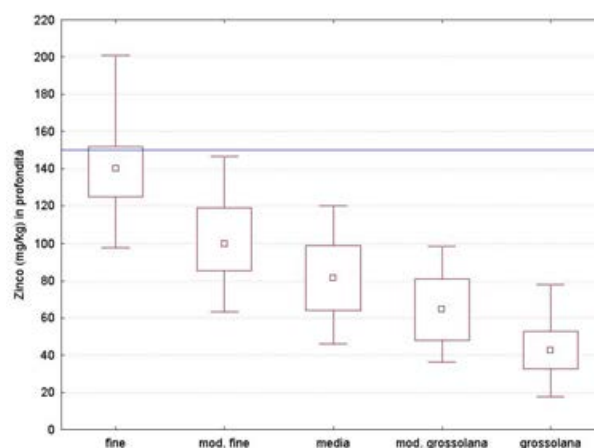


Figura B.7: Contenuto totale di zinco (mg/kg) in profondità nella pianura del Brenta in base alle classi tessiture USDA aggregate. Fine= A, AS, AL; Mod. fine= FSA, FA, FLA; Media= F, FL, L; Mod. grossolana= FS; Grossolana= SF, S. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs 152/2006.

## Mercurio

Le concentrazioni più elevate sono state riscontrate nell'intorno di Mestre, spesso in aree pubbliche con terreni non lavorati per cui non si è verificato l'effetto di diluizione nei primi 50 cm dovuto alle lavorazioni che solitamente si ha nei terreni coltivati,

## Differenze con le unità deposizionali/fisiografiche limitrofe

I depositi del Brenta si differenziano chiaramente da quelli del Piave per il contenuto più elevato di arsenico e stagno, da quelli dell'Adige per il contenuto più elevato in berillio e stagno; differenze esistono anche con le conoidi dell'Astico (CA) in cui il vanadio è più alto, con le conoidi pedemontane calcaree (CC), in cui nichel, cromo e cobalto sono a concentrazioni più elevate, e con le conoidi pedemontane del sistema Leogra-Timonchio (CL) per vanadio e zinco più elevati.

## Relazioni con i caratteri del suolo e tra metalli

Le relazioni tra i diversi elementi e i caratteri del suolo sono più forti negli orizzonti profondi; è particolarmente evidente per quei metalli che possono essere apportati dalle attività umane come il rame per il quale il coefficiente  $r$  di correlazione con la CSC passa da 0,07 a 0,47 dalla superficie alla profondità. In generale le correlazioni più forti sono quelle con argilla e CSC, in particolare per vanadio (figura B.8), berillio e zinco ( $r$  di 0,70) seguiti da nichel, cromo e cobalto ( $r$  di 0,65). La correlazione più forte con il carbonio organico è quella del selenio ( $r=0,68$  in profondità), seguito da nichel, cromo e cobalto ( $r$  di 0,30, 0,28 e 0,25 rispettivamente).

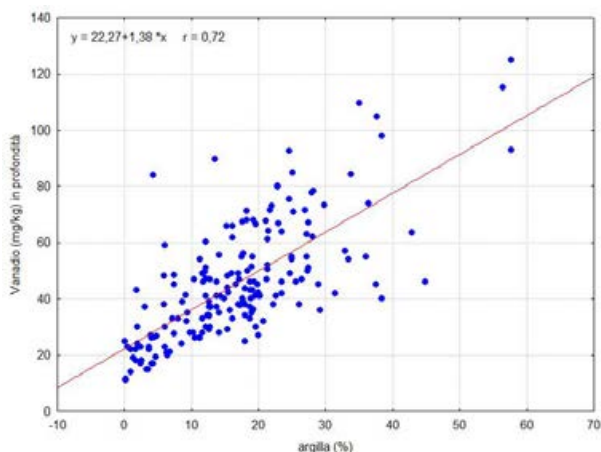


Figura B.8: Correlazione tra contenuto totale di vanadio e di argilla negli orizzonti profondi nell'unità del Brenta.

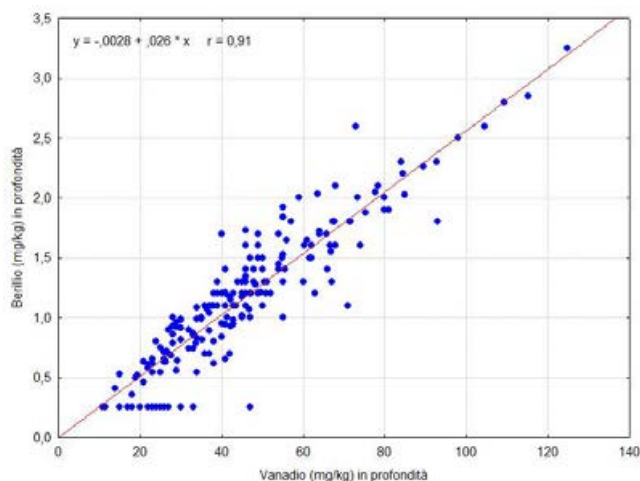


Figura B.9: Correlazione tra contenuto totale di vanadio e di berillio negli orizzonti profondi nell'unità del Brenta.

Lo stesso succede per le relazioni tra i vari elementi: il rame ha correlazioni basse in superficie con la maggior parte degli elementi e altamente significative con molti elementi negli orizzonti profondi (in modo particolare con piombo e zinco con un  $r$  di 0,80, seguiti da berillio, cobalto e cromo). Per altri, come il mercurio, le correlazioni con gli altri metalli sono basse sia negli orizzonti superficiali sia in quelli profondi.

	logSb	logAs	logBe	logCd	logCo	logCr	logHg	logNi	logPb	logCu	logSe	logSn	logV	logZn
<b>Fattore 1</b>	-0.72	-0.67	-0.74	-0.29	<b>-0.89</b>	<b>-0.86</b>	-0.36	<b>-0.81</b>	<b>-0.87</b>	<b>-0.86</b>	-0.25	-0.63	-0.71	<b>-0.91</b>
<b>Fattore 2</b>	-0.06	0.34	<b>-0.48</b>	0.48	0.19	0.04	-0.31	0.24	0.20	0.24	-0.27	<b>-0.60</b>	<b>-0.55</b>	0.22
<b>Fattore 3</b>	-0.07	-0.22	0.05	-0.55	0.24	0.30	<b>-0.65</b>	0.34	-0.12	0.00	-0.08	-0.13	0.09	-0.06
<b>Fattore 4</b>	-0.42	-0.08	0.03	0.39	0.11	-0.01	-0.13	0.22	-0.12	-0.07	<b>0.75</b>	-0.04	0.10	-0.09

Tabella B.5: Orizzonti profondi dei suoli dell'unità del Brenta: pesi fattoriali delle variabili per i primi quattro fattori. I valori evidenziati in rosso indicano cluster di variabili.



Le correlazioni più forti, sia in superficie che in profondità, sono tra vanadio e berillio ( $r=0,91$  in profondità, figura B.9) e tra vanadio e cromo ( $r=0,91$  in profondità); il berillio sembra essere legato, oltre che al vanadio, anche a zinco ( $r=0,82$  in profondità), cromo ( $r=0,85$ ), cobalto ( $r=0,78$ ) e stagno ( $r=0,79$ ); forti le relazioni tra nichel, cromo e cobalto.

Dall'analisi delle componenti principali (PCA) si nota come circa il 75% della varianza totale si spiega con 4 fattori: il primo spiega il 48% della varianza, il secondo il 12%, il terzo e il quarto l'8%. All'interno del primo fattore pesano prevalentemente **zinco, rame, cromo, nichel, cobalto e piombo**, al secondo fattore contribuiscono **stagno, vanadio e berillio**, al terzo **mercurio** e, infine, al quarto il **selenio**.

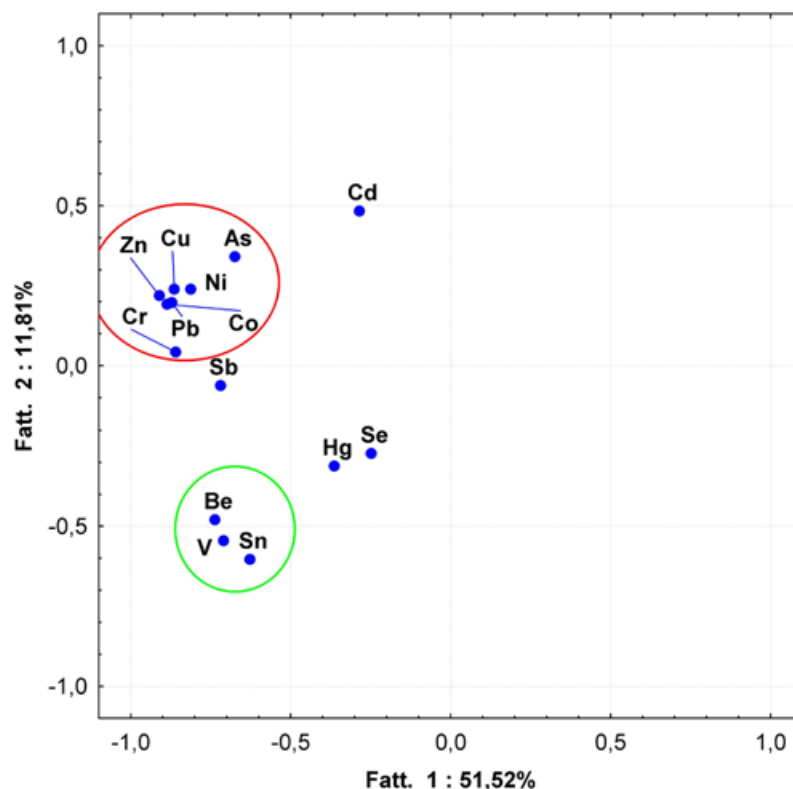


Figura B.10: Orizzonti profondi dei suoli dell'unità del Brenta: grafico dei primi due fattori della PCA e cluster di variabili; cerchiato in rosso il primo, in verde il secondo.

### Concentrazione dei metalli a profondità maggiori

Nella parte di unità del Brenta ricadente nel bacino scolante in laguna di Venezia sono stati fatti degli ulteriori approfondimenti, in particolare sono stati prelevati dei campioni a profondità maggiori a quelle solitamente indagate utilizzando le perforazioni per la realizzazione di piezometri per il monitoraggio delle acque profonde; i punti interessati erano 34 e in ciascuno sono stati prelevati due campioni, uno nella frangia capillare (a profondità comprese tra 150 e 480 cm) e uno immediatamente sottostante (tra 230 e 800 cm). I campioni sono stati analizzati per i metalli e i parametri generali del suolo, inoltre nel campione più profondo è stato eseguito il test di cessione in acqua satura di  $\text{CO}_2$ . Non sono state rilevate differenze statisticamente significative tra i campioni in funzione della profondità, per cui i 68 campioni analizzati sono stati considerati come parte di un'unica popolazione di dati (tabella B.6).

B – MOLTO PROFONDO								
	N dati	Media	Dev. Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile
Sb	68	0,42	0,16	0,39	0,33	0,49	0,71	0,77
As	68	11,28	7,81	9,80	6,03	13,93	22,00	37,62
Be	68	0,40	0,27	0,25	0,25	0,54	1,06	1,23
Cd	68	0,26	0,05	0,25	0,25	0,25	0,25	0,40
Co	68	6,51	2,25	6,20	5,05	7,73	10,83	12,30
Cr	68	16,06	8,21	15,05	11,45	18,48	33,60	40,96
Hg	68	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,20
Ni	68	14,23	5,33	13,90	10,78	16,10	25,00	30,32
Pb	68	9,76	4,63	9,25	6,60	12,63	18,36	21,33
Cu	68	16,93	6,61	15,90	12,38	19,60	29,30	38,32
Se	68	0,19	0,21	0,10	0,10	0,24	0,48	0,92
Sn	68	1,46	0,79	1,34	0,94	1,74	2,74	4,01
V	68	23,98	9,98	22,00	17,48	27,00	42,00	57,61
Zn	68	56,80	19,55	55,00	43,75	66,75	86,00	111,16

Tabella B.6: Principali parametri statistici dei metalli e metalloidi a profondità superiore a 200 cm nell'unità deposizionale del Brenta; dati espressi in mg/kg.

In generale le concentrazioni dei vari elementi sono risultate inferiori a quelle determinate a minor profondità (contenuto pedo-geochimico, 70-100cm): gli orizzonti molto profondi corrispondono, infatti, in gran parte a un substrato non pedogenizzato e a granulometria più grossolana; la mediana del contenuto in sabbia passa dal 32% del primo metro al 49% degli orizzonti a profondità superiore. Superamenti del limite di legge sono stati rilevati soltanto nel caso dell'**arsenico**, a conferma dell'origine geochimica del contenuto riscontrato nell'unità del Brenta.

I test di cessione sono stati effettuati per l'arsenico utilizzando i campioni prelevati alla prima profondità tra le due considerate nella perforazione. In nessun caso (tabella B.7) si sono verificati superamenti del limite di legge per le acque sotterranee di 10 µg/l anche in quei campioni dove l'arsenico totale è in concentrazione elevata e nel 24% dei casi le concentrazioni sono risultati inferiori al limite di quantificazione (LOQ) di 1 µg/l.

Le concentrazioni nell'eluato sono state messe in relazione con le concentrazioni nel campione di terreno ma senza alcun risultato significativo ( $r=0,19$ ).

Arricchimento superficiale

Nell'unità del Brenta l'indice di geoaccumulo è in generale basso per tutti gli elementi considerati, come si nota dalla figura B.11 che riporta i valori mediani dell'indice; soltanto per rame e piombo per i quali è conosciuto l'apporto antropico, l'indice assume un valore mediano maggiore di 0, pur restando al di sotto di 1 nel 75% dei punti campionati. Discorso a parte per il mercurio in cui l'arricchimento si registra soltanto in aree non agricole in cui i terreni non sono lavorati e dove pertanto non si verifica l'effetto di diluizione nei primi 50 cm.

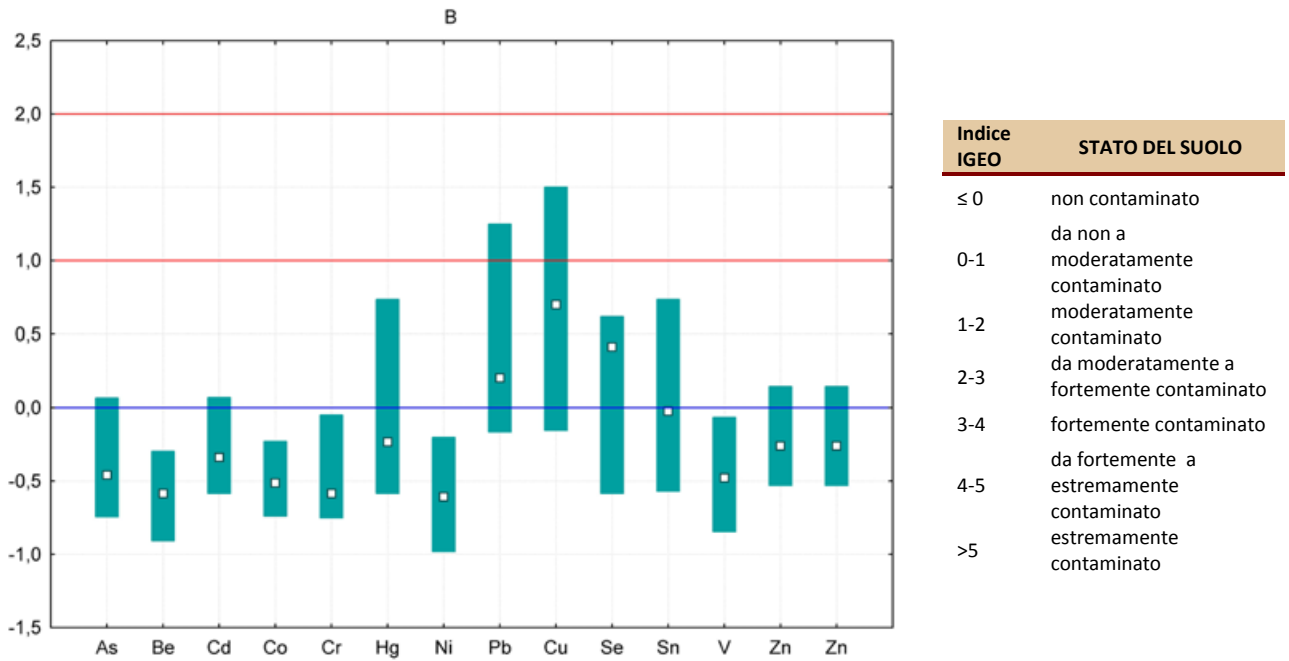


Figura B.11: Indice di geoaccumulo (IGEO) dei metalli e metalloidi dell'unità del Brenta: i punti rappresentano i valori mediani dell'indice, le barre il 25° e 75° percentile; i valori al di sotto della linea blu indicano assenza di arricchimento, tra questa e la linea rossa moderato arricchimento.

B – MOLTO PROFONDO								
	N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile
concentrazione As nell'eluato (µg/l)	34	3,85	2,85	3,5	1,0	6,0	8,4	9,0

Tabella B.7: Principali parametri statistici delle concentrazioni di arsenico nell'eluato a profondità superiore a 200 cm nell'unità deposizionale del Brenta; dati espressi in µg/l. I valori sono stati calcolati ponendo <LOQ paria 1/2LOQ.

## Determinazione del valore di fondo dell'arsenico in località Asseggiano (VE)

Nell'ambito delle opere complementari al passante di Mestre, in seguito al rinvenimento di concentrazioni anomale di arsenico sui campioni raccolti per la verifica della qualità ambientale dei materiali da scavo ottenuti durante la realizzazione di una rotatoria, ARPAV ha attuato la verifica delle concentrazioni in arsenico nei suoli in località Asseggiano in comune di Venezia.

Sono stati scelti 10 punti di campionamento localizzati sia all'interno dell'area oggetto di scavo ma anche all'esterno in modo da verificare l'estensione delle anomalie rilevate dalle verifiche effettuate in precedenza (figura B.12).



Figura B.12: Localizzazione dei siti di campionamento nell'area interessata dalle operazioni di scavo in località Asseggiano nel comune di Venezia.

Le determinazioni analitiche (tabella B.8) hanno evidenziato che le concentrazioni medie dell'arsenico sono particolarmente elevate; la media, pari a 53,3 mg/kg, risulta superiore al limite di colonna B dell'All. 5 al Titolo V, Parte

Quarta del D.Lgs. 152/06, valido per la destinazione d'uso commerciale e industriale, e anche la mediana, seppure inferiore ai limiti di colonna B, risulta particolarmente elevata. Il valore massimo rilevato in profondità del punto 2, all'interno dell'area oggetto di scavo, è pari a 213 mg/kg mentre è stato riscontrato un altro valore superiore a 100 mg/kg nel punto 6, sempre in profondità, in questo caso esternamente all'area interessata dagli scavi previsti.

Per la determinazione del valore di fondo dell'arsenico si è proceduto in maniera diversa rispetto a quanto effettuato nel resto del territorio veneto. A causa, infatti, della scarsa numerosità dei dati il valore di fondo è stato calcolato utilizzando l'intero dataset senza distinguere un valore di fondo naturale-antropico e un valore di fondo naturale o pedo-geochimico attraverso l'utilizzo di dati a profondità diverse.

Inoltre è stato utilizzato un diverso metodo statistico di stima del valore di fondo per superare i problemi di ambiguità che derivano dall'utilizzo dei percentili: se il

95° percentile viene utilizzato in sostituzione della CSC, secondo quanto indicato dalla normativa, ogni superamento di tale valore, compreso il 5% dei dati analizzati, diventa potenzialmente un punto contaminato anche in una popolazione campionata priva di contaminazione. È stato quindi scelto come stimatore il limite superiore di tolleranza UTL (acronimo di *upper tolerance limit*) che, come spiegato nel capitolo 3, stima il valore che dovrebbe essere superiore a una determinata percentuale delle singole misure nella popolazione e non solo dei dati campionati.

L'UTL corrisponde, quindi, a un limite di confidenza di un determinato percentile della popolazione. Per esempio un UTL del 95° percentile, corrisponde al valore al di sotto del quale ci si aspetta di trovare il 95% della popolazione e quindi non solo dei dati campionati.

La scelta dell'UTL come stimatore del valore di fondo è stata effettuata anche in altri lavori come ad esempio la determinazione dei valori di fondo nelle acque sotterranee del Piemonte (ARPA Piemonte 2012).

Tale procedura applicata ai dati determinati nell'area di Asseggiano, ha portato all'identificazione di un valore di fondo pari a **104 mg/kg**, nettamente superiore a quello determinato nell'intero bacino del Brenta, valido e utilizzabile esclusivamente nell'area indagata.

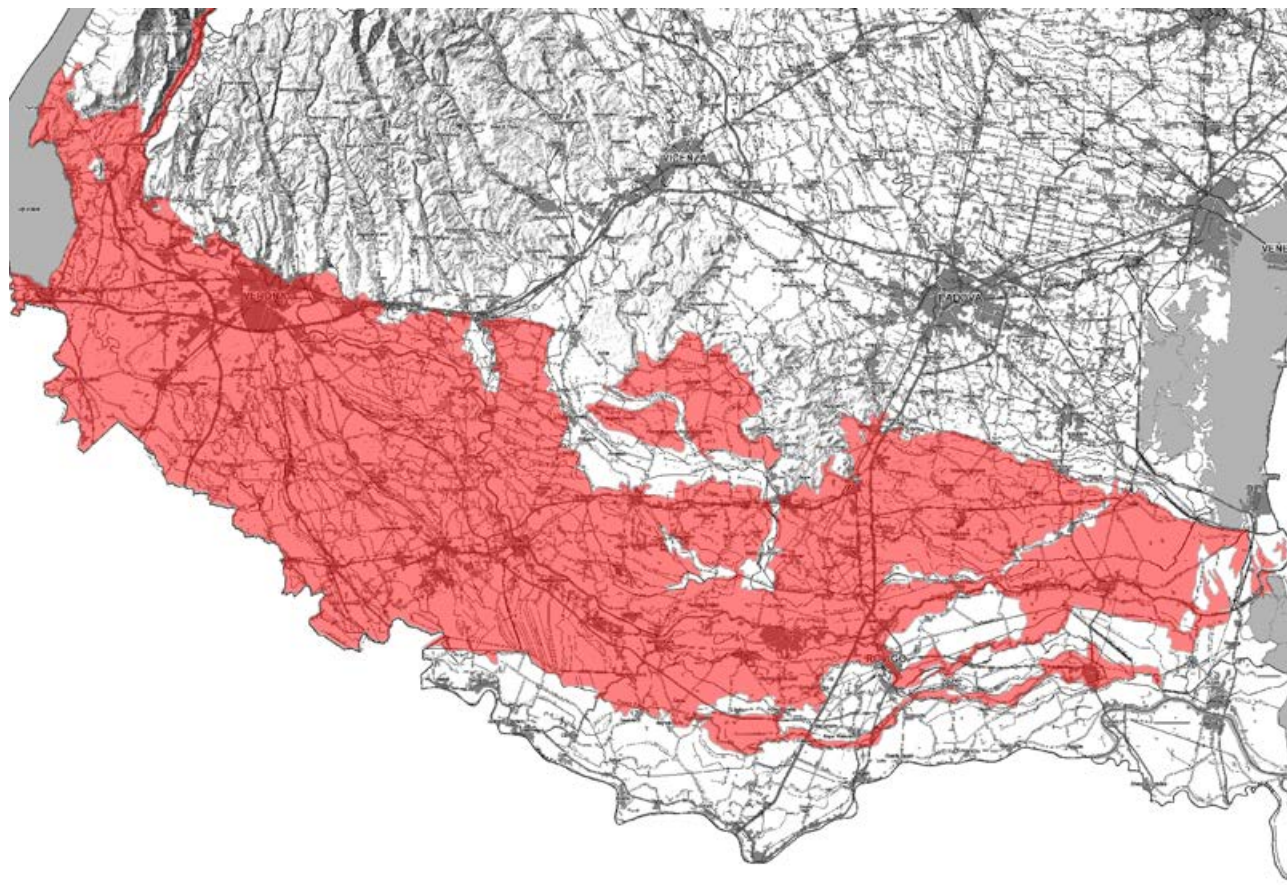
BRENTA								
	N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Minimo	Massimo	Quartile Inferiore	Quartile Superiore
As	20	53,3	43,8	43	14	213	30	54

Tabella B.8: Principali parametri statistici per l'arsenico (mg/kg) campionato in località Asseggiano (VE).



## ADIGE (A)

Metallo o metalloide	Sb	As	Be	Cd	Co	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Sn	V	Zn
Valore di fondo (mg/kg)	1,6	40	1,5	0,93	19	124	0,21	103	57	97	0,75	4,2	80	150
Limite col. A, D.Lgs 152/2006	10	20	2	2	20	150	1	120	100	120	3	--	90	150



### Inquadramento, formazione e caratteristiche generali dei suoli

L'unità deposizionale del fiume Adige occupa una superficie di 3213 km<sup>2</sup>, e si estende dai piedi del Monte Baldo a nord-ovest fino ai cordoni dunali antichi tra San Pietro di Cavarzere e Ariano Polesine a est. I sedimenti, derivanti da rocce per lo più carbonatiche e porfiriche, sono molto calcarei, con un contenuto di carbonati inferiore al 20%.

Nei confronti delle unità deposizionali limitrofe l'unità dell'Adige si differenzia notevolmente per contenuto in metalli da quella del Brenta, a nord, da cui è separata dal corso del Bacchiglione, da quella del Po, a sud, e dai depositi fluviali del sistema Agno-Guà. Il limite è piuttosto netto con il Brenta ma sfumato con il Po e l'Agno-Guà perché le deposizioni di questi corsi d'acqua si sono spesso intercalate e sovrapposte. Nelle aree "di confine" tra unità è pertanto possibile ritrovare delle concentrazioni di alcuni metalli diverse da quelle tipiche dell'unità, soprattutto negli orizzonti profondi.

Nell'unità dell'Adige si riconosce una pianura antica, limitata alla parte più occidentale, ed una più recente nel restante territorio; entrambe possono essere suddivise in alta e bassa pianura.

L'alta pianura antica è costituita da un sandur formato dall'unione di conoidi alluvionali alimentati dagli scaricatori glaciali durante l'ultimo massimo glaciale (Piovan, 2008) ed è caratterizzata da sedimenti grossolani, sabbie e ghiaie. La bassa pianura si distingue per i sedimenti più fini, sabbie, talvolta miste a ghiaia, nella parte prossimale e sabbie e limi in quella distale.

Nell'Olocene le portate si sono ridotte e l'Adige è andato in incisione sulla superficie più antica con la formazione di terrazzi fluviali nell'alta pianura e la deposizione secondo il tipico modello a dossi, depressioni e superfici di transizione, in bassa pianura.



	A - SUPERFICIALE						A - PROFONDO					
	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore
pH	387	8,0	0,5	8,1	7,9	8,3	306	8,2	1,0	8,4	8,2	8,6
Carb. Org. (%)	387	1,8	2,3	1,2	0,9	1,8	305	1,5	4,1	0,5	0,3	0,8
Calc. tot. (%)	369	10,8	8,5	10	5	14	293	21,4	18,5	16	8	27
Argilla (%)	366	20,1	10,5	18	12	26	286	13,8	12,5	10	4	20
Sabbia (%)	364	39,3	20,7	37	23	55	284	45,9	31,7	41	15	76
CSC (meq/100 g)	364	21,6	13,6	18	13	25	234	17,0	17,2	13	7	21

Tabella A.1: Principali parametri statistici di alcuni caratteri del suolo in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nell'unità deposizionale dell'Adige.

All'interno della pianura recente, è possibile distinguere una parte deposta nel corso dell'Olocene fino in età alto medioevale, dove i suoli sono moderatamente evoluti, con parziale decarbonatazione degli orizzonti superficiali e accumulo di carbonati negli orizzonti profondi, e una parte più recente, prossima al corso attuale dell'Adige, dove i suoli manifestano soltanto una iniziale decarbonatazione.

La parte orientale è costituita da aree depresse e a drenaggio difficoltoso, con quote al di sotto del livello del mare, formatesi a ovest degli antichi cordoni dunali del Po e caratterizzate da un notevole accumulo di sostanza organica dovuto alla vegetazione palustre presente prima della bonifica.

### Indagini e risultati

Nell'unità deposizionale sono stati prelevati e analizzati 396 campioni superficiali e 315 campioni profondi, numeri ampiamente adeguati per l'elaborazione statistica. Il numero di campioni è raddoppiato rispetto all'elaborazione del 2011 grazie all'avanzamento del rilevamento pedologico nelle province di Verona e Rovigo, di conseguenza è migliorata la rappresentatività del dato per quest'unità molto estesa territorialmente.

Si riportano nelle tabelle A.1 e A.2 i risultati delle determinazioni analitiche per metalli e metalloidi e i parametri chimici generali del suolo, negli orizzonti superficiali e profondi.

	A - SUPERFICIALE									A - PROFONDO							
	N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile		N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile
<b>Sb</b>	315	0,86	0,43	0,78	0,57	1,1	1,6	2,7	<b>Sb</b>	280	0,71	0,45	0,58	0,42	0,92	1,5	2,2
<b>As</b>	361	17,9	11,5	15	11	20	40	62	<b>As</b>	295	15,8	12,6	13	7,8	20	39	65
<b>Be</b>	284	0,75	0,43	0,69	0,25	0,99	1,5	2,0	<b>Be</b>	242	0,58	0,41	0,45	0,25	0,83	1,3	2,1
<b>Cd</b>	396	0,41	0,27	0,25	0,25	0,53	0,93	1,6	<b>Cd</b>	314	0,30	0,16	0,25	0,25	0,25	0,57	0,94
<b>Co</b>	390	12,0	3,83	12	9,4	14	18	22	<b>Co</b>	311	10,3	5,15	11	6,0	14	19	22
<b>Cr</b>	396	45,5	21,2	40	31	54	92	116	<b>Cr</b>	309	41,7	34,7	31	19	47	124	160
<b>Hg</b>	349	0,07	0,07	0,05	0,03	0,07	0,21	0,38	<b>Hg</b>	286	0,04	0,04	0,03	0,03	0,05	0,08	0,18
<b>Ni</b>	396	34,5	19,4	29	22	41	78	93	<b>Ni</b>	314	34,2	29,9	26	13	41	103	131
<b>Pb</b>	390	29,0	15,4	26	18	36	57	77	<b>Pb</b>	314	16,9	13,8	13	7,2	23	44	63
<b>Cu</b>	382	45,8	27,3	40	30	56	97	145	<b>Cu</b>	311	23,7	18,6	20	11	31	53	76
<b>Se</b>	263	0,26	0,22	0,21	0,10	0,32	0,68	1,1	<b>Se</b>	226	0,22	0,32	0,10	0,10	0,20	0,75	1,8
<b>Sn</b>	265	2,44	0,97	2,3	1,8	2,9	4,2	5,7	<b>Sn</b>	231	1,62	0,87	1,5	0,99	2,0	3,1	4,3
<b>V</b>	278	48,4	16,3	46	37	58	80	98	<b>V</b>	239	40,1	18,1	39	28	49	73	98
<b>Zn</b>	393	94,4	36,9	90	69	110	150	228	<b>Zn</b>	310	62,7	31,1	60	37	87	116	140

Tabella A.2: Principali parametri statistici delle concentrazioni di metalli e metalloidi in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nell'unità deposizionale dell'Adige (A) espressi in mg/kg.

Alcuni metalli hanno concentrazioni superiori al limite di legge per le aree residenziali/a verde:

- l'**arsenico** per il 95° percentile in superficie e in profondità,
- il **berillio** per il 99° percentile in superficie,
- il **cobalto** come 99° percentile in superficie e in profondità,
- il **rame** nel 99° percentile in superficie,
- il **vanadio** come 99° percentile in superficie e in profondità,
- lo **zinco** come 99° percentile in superficie.

Per antimonio, cadmio, cromo, mercurio, nichel, piombo, selenio e stagno non sono stati riscontrati superamenti del limite.

### Arsenico

Nell'unità deposizionale dell'Adige i contenuti di **arsenico** sono mediamente più bassi rispetto all'unità del Brenta, ma raggiungono valori elevati in particolari situazioni (il 95° percentile arriva a 40 mg/kg in superficie e a 39 mg/kg in profondità), come nei suoli delle depressioni e in particolare in quelli ricchi di materiale organico. E' infatti chiara la relazione con la tessitura e soprattutto con la sostanza organica (figura A.1).

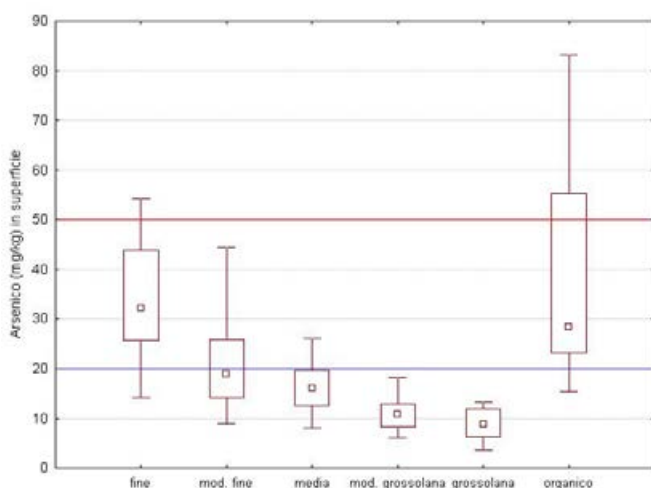


Figura A.1: Contenuto totale di arsenico (mg/kg) in superficie nella pianura dell'Adige in base alle classi tessurali USDA aggregate. Fine= A, AS, AL; Mod. fine= FSA, FA, FLA; Media= F, FL, L; Mod. grossolana= FS; Grossolana= SF, S; Organico= contenuto di carbonio organico > 5%. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs 152/2006, in rosso il limite di colonna B.

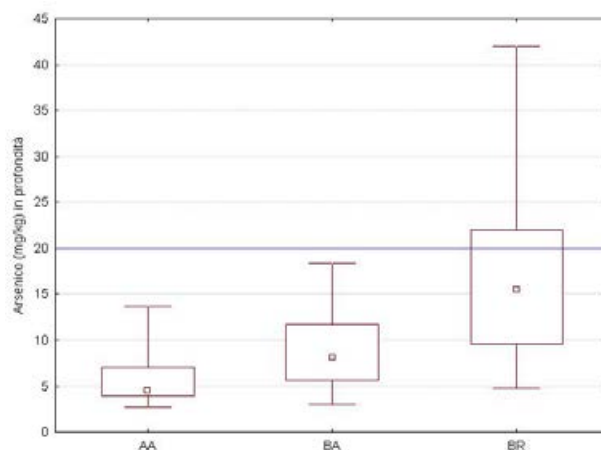


Figura A.2: Contenuto totale di arsenico (mg/kg) in profondità nell'unità dell'Adige in base alle province di suolo (L2) della carta dei suoli del Veneto. AA= alta pianura antica; BA= bassa pianura antica; BR= bassa pianura recente. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs 152/2006.

I dati del contenuto di arsenico sono stati anche analizzati dividendoli in base alle province di suolo (L2) della carta dei suoli del Veneto (figure A.2 e A.3). Si notano valori più alti nella pianura recente (BR), dove si ha una cospicua presenza di suoli con tessiture fini, rispetto a quella antica sia di alta (AA) che di bassa (BA) pianura.

### Rame

Per il **rame** le concentrazioni elevate, solo in superficie, sono attribuibili ad apporti nei suoli agricoli con le deiezioni zootecniche e fitofarmaci. Le maggiori concentrazioni (figura A.4) sono state riscontrate nei vigneti e nei frutteti a causa dei frequenti trattamenti con prodotti fitosanitari a base di rame. Per questo motivo i campioni prelevati dai vigneti sono stati esclusi dalle elaborazioni per il rame e sono stati elaborati a parte e trattati in un paragrafo specifico (vedi capitolo 5); a volte si riscontrano ugualmente valori elevati dell'elemento in appezzamenti oggi coltivati a seminativo o a prato ma che probabilmente un tempo erano occupati dal vigneto.

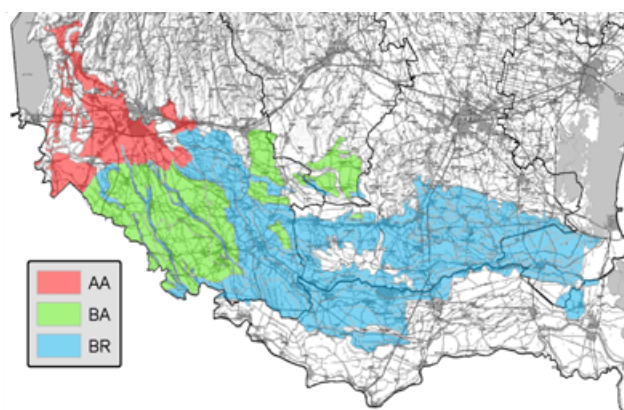


Figura A.3: Unità deposizionale dell'Adige: suddivisione nelle tre province di suolo della carta dei suoli del Veneto. AA= alta pianura antica; BA= bassa pianura antica; BR= bassa pianura recente.

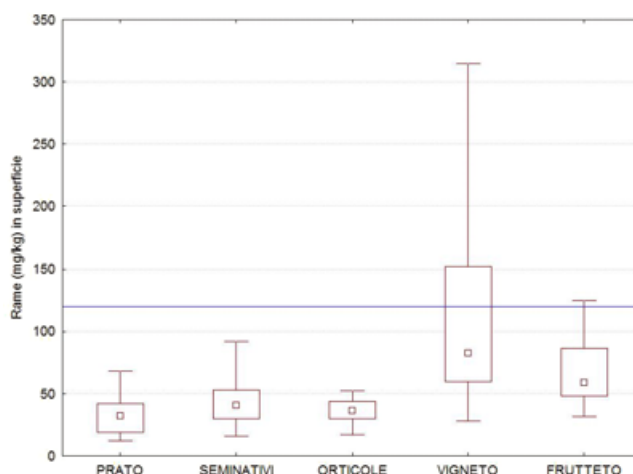


Figura A.4: Contenuto totale di rame (mg/kg) in superficie nella pianura dell'Adige in base all'uso del suolo. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs 152/2006.

### Zinco

Per lo **zinco** i valori elevati al di sopra dei limiti di legge, anche se isolati e per lo più localizzati in corrispondenza dei suoli più argillosi, sono in gran parte riconducibili a una origine geochimica; si osserva infatti una relazione stretta con la tessitura (figura A.5): sono i suoli delle depressioni a tessitura più fine ad avere i contenuti più elevati dell'elemento; i suoli organici hanno invece un contenuto mediamente più basso. In superficie i valori sono mediamente più alti per effetto dell'arricchimento dovuto all'apporto di fertilizzanti organici e minerali oltre che all'effetto di *plant pumping*; non si notano però differenze significative con i diversi usi agricoli (figura A.6).

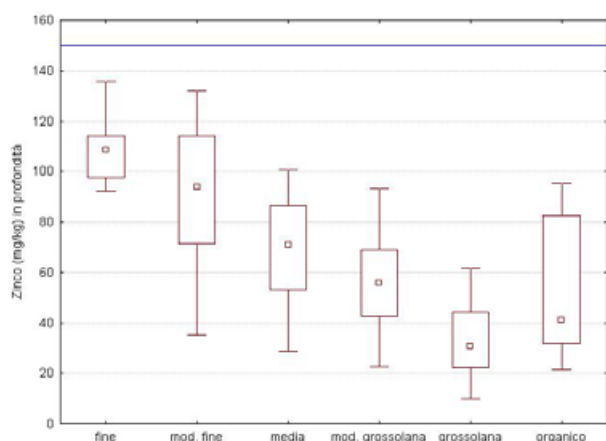


Figura A.5: Contenuto totale di zinco (mg/kg) in profondità nella pianura dell'Adige in base alle classi tessiture USDA aggregate. Fine= A, AS, AL; Mod. fine= FSA, FA, FLA; Media= F, FL, L; Mod. grossolana= FS; Grossolana= SF, S; Organico=contenuto di carbonio organico>5%. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs 152/2006.

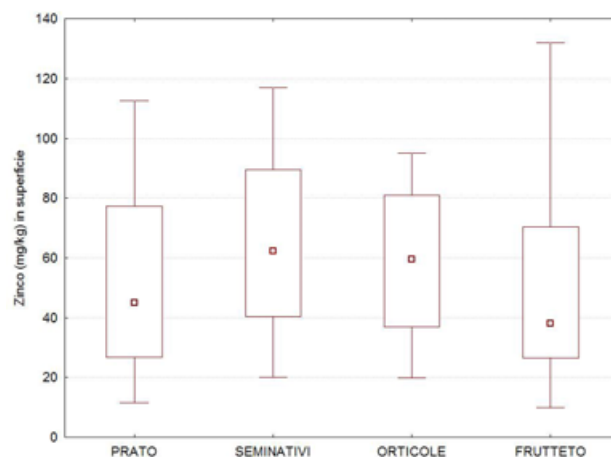


Figura A.6: Contenuto totale di zinco (mg/kg) in superficie nella pianura dell'Adige in base all'uso del suolo. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs 152/2006.

Rispetto alla pubblicazione precedente (ARPAV, 2011), si osservano limitate differenze dai valori allora definiti per alcuni elementi: arsenico (da 50 mg/kg a 40), cobalto (da 20 mg/kg a 19), nichel (da 125 mg/kg a 103), zinco (da 155 mg/kg a 150); le differenze sono dovute sia all'aumentata numerosità del campione considerato, si è passati da 321 campioni totali a 711, sia ad una migliore definizione geografica dei limiti delle unità deposizionali.

### Differenze con le unità deposizionali/fisiografiche limitrofe

L'unità dell'Adige si differenzia da quella del Po per contenuto di nichel e cromo, più alti nel Po, e arsenico, più elevato nell'Adige; nichel e cromo, insieme a cobalto e vanadio, distinguono anche i depositi fluviali dell'Adige da quelli del sistema Agno-Guà, nei quali il contenuto è nettamente maggiore. L'unità dell'Adige si distingue, infine, dal Brenta per il più basso contenuto in berillio e stagno.

### Relazioni con i caratteri del suolo e tra metalli

Alcuni elementi come berillio e vanadio (figura A.7) sono correlati significativamente con l'argilla sia in superficie sia in profondità (coefficiente di correlazione  $r$  tra 0,70 e 0,77), lo stesso succede per nichel, cromo e cobalto ( $r$  intorno a 0,56 in superficie, 0,68 in profondità); arsenico, antimonio e selenio hanno invece correlazioni significative ad entrambe le profondità con il carbonio organico ( $r$  tra 0,48 e 0,65).

Gli elementi più influenzati da apporti antropici come rame, zinco, piombo e stagno hanno correlazioni molto deboli in superficie e più forti in profondità con argilla e sostanza organica: il rame passa con la profondità da un coefficiente  $r$  per l'argilla di 0,19 a 0,51, per lo zinco  $r$  passa da 0,28 a 0,63.

Lo stesso succede per le relazioni tra i vari elementi: il rame ha correlazioni basse in superficie con la maggior parte degli elementi e altamente significative con molti elementi negli orizzonti profondi, in modo particolare con zinco ( $r$  di 0,76) e vanadio ( $r$  di 0,66). Sono invece fortemente correlati tra loro, sia in superficie che in profondità, nichel, cromo (figura A.8), cobalto, vanadio ma anche antimonio e arsenico ( $r=0,79$ ) e berillio e vanadio ( $r=0,77$ ).

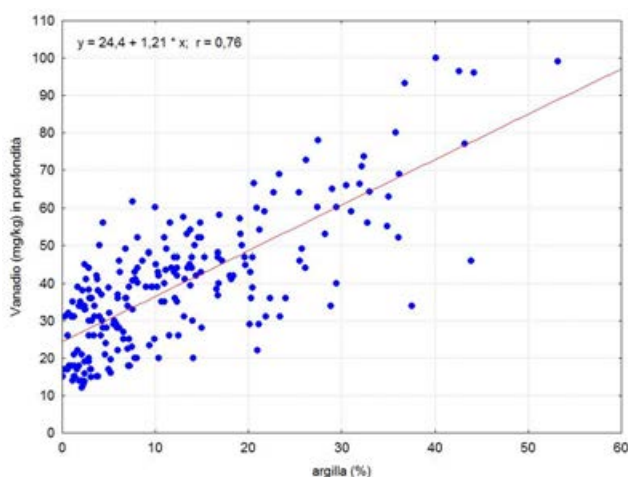


Figura A.7: Correlazione tra contenuto totale di vanadio e di argilla negli orizzonti profondi nell'unità dell'Adige.

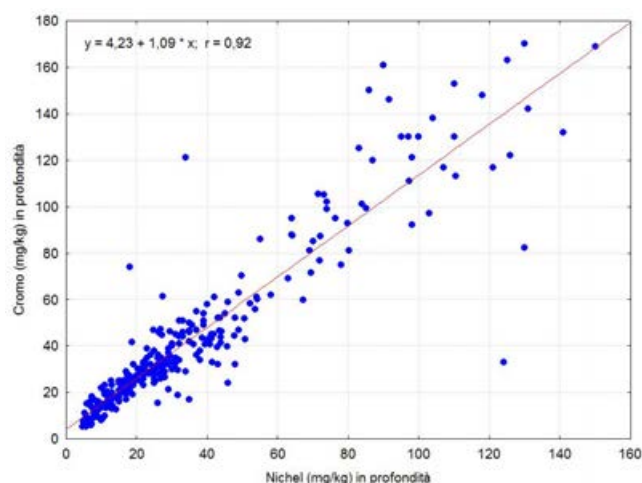


Figura A.8: Correlazione tra contenuto totale di cromo e di nichel negli orizzonti profondi nell'unità dell'Adige.

### Arricchimento superficiale

Nell'unità dell'Adige l'indice di geoaccumulo è in generale basso per molti elementi, come si nota dalla figura A.9 che riporta i valori medi dell'indice; soltanto per rame e piombo, per i quali è conosciuto l'apporto antropico, l'indice assume un valore mediano inferiore a 1 che corrisponde ad una leggera contaminazione, e soltanto in pochi casi è mediamente arricchito ( $IGEO > 1$ ).



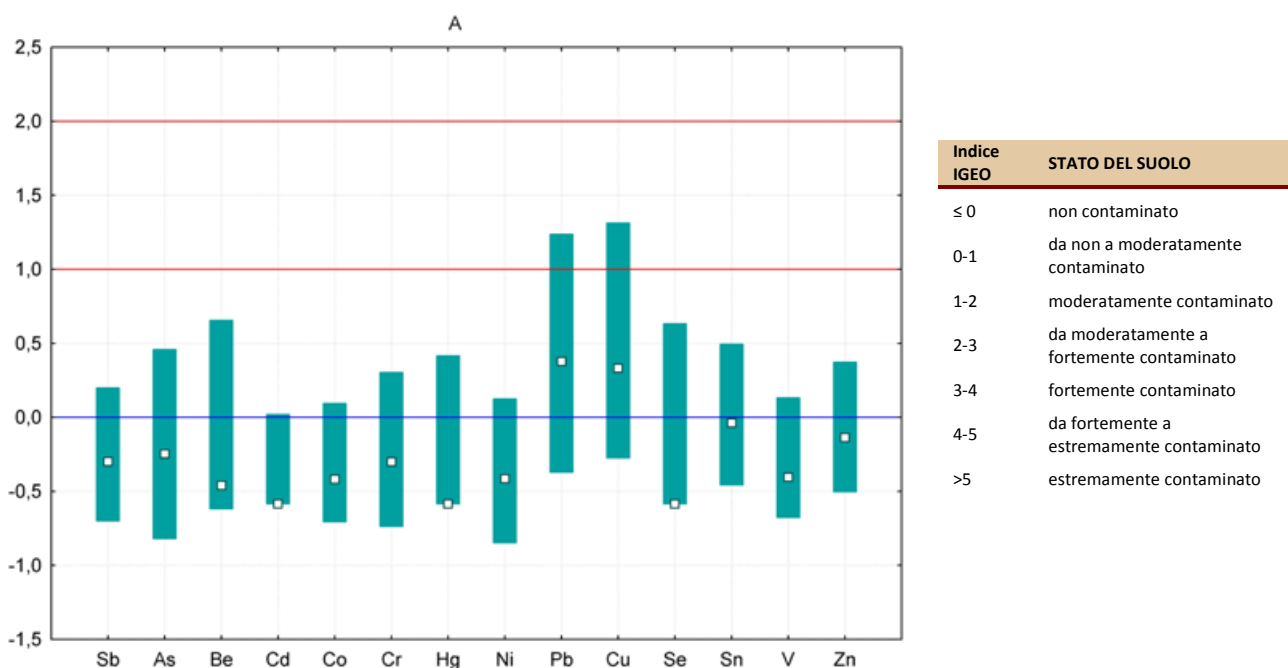
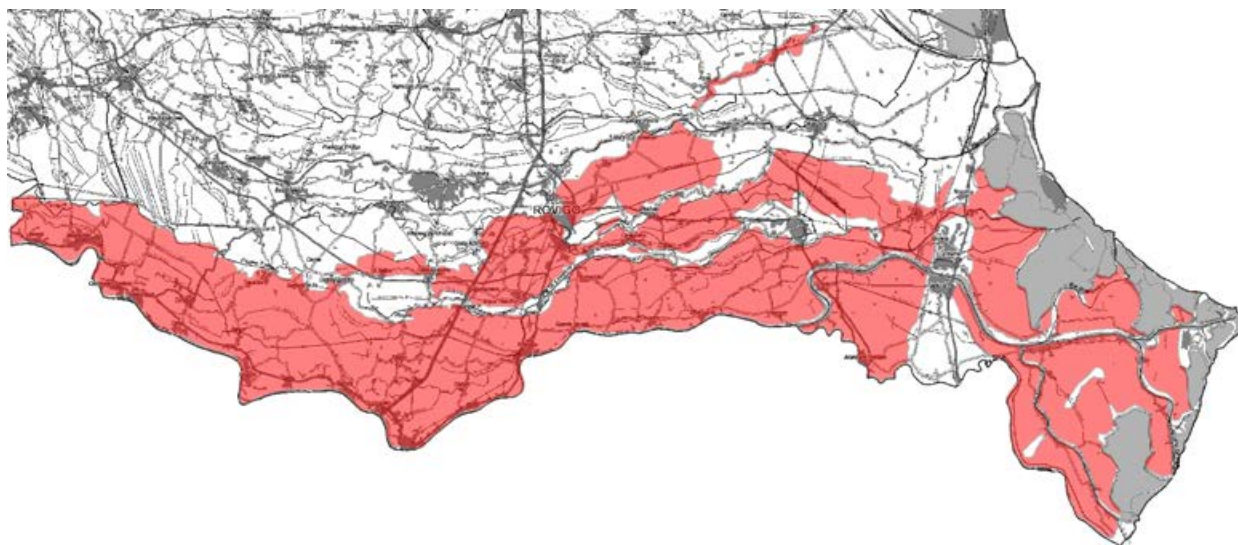


Figura A.9: Indice di geoaccumulo (IGEO) dei metalli e metalloidi dell'unità del'Adige: i punti rappresentano i valori medi dell'indice, le barre azzurre il 25° e 75° percentile; i valori al di sotto della linea blu indicano assenza di arricchimento, tra questa e la prima linea rossa moderato arricchimento.

## PO (O)

Metallo o metalloide	Sb	As	Be	Cd	Co	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Sn	V	Zn
Valore di fondo (mg/kg)	1,3	28	1,7	0,54	20	162	0,08	130	34	66	0,91	3,7	89	111
Limite col. A, D.Lgs 152/2006	10	20	2	2	20	150	1	120	100	120	3	--	90	150



### Inquadramento, formazione e caratteristiche generali dei suoli

L'unità deposizionale del fiume Po si estende su una superficie di 1161 km<sup>2</sup>, occupa la parte meridionale della regione, dal confine con la Lombardia al delta dello stesso fiume Po.

I sedimenti sono calcarei, con un contenuto di carbonati intorno al 10-15%.

Le unità deposizionali di Po e Adige si sono più volte sovrapposte nei tempi passati quando i fiumi correvano liberamente nella pianura; le due unità si differenziano abbastanza chiaramente per contenuto di metalli, questo ha permesso di distinguerle meglio nella cartografia; ciononostante in molte aree si possono trovare a diverse profondità i depositi di entrambi i fiumi con concentrazioni di alcuni metalli diverse da quelle tipiche dell'unità.

	O - SUPERFICIALE						O - PROFONDO					
	N Dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore	N Dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore
pH	203	8,1	0,4	8,2	8,0	8,3	184	8,3	0,6	8,4	8,2	8,6
Carb. Org. (%)	203	1,8	1,6	1,4	1,1	1,8	185	1,1	1,8	0,6	0,4	1,0
Calc. tot. (%)	203	10,3	5,0	11	6	14	184	13,4	5,7	15	11	17
Argilla (%)	194	29,7	9,6	29	23	36	178	22,5	13,5	19	13	31
Sabbia (%)	194	21,4	14,3	19	12	28	178	25,6	23,8	18	7	35
CSC (meq/100 g)	189	24,7	10,8	23	18	27	145	19,1	13,7	16	11	23

Tabella O.1: Principali parametri statistici di alcuni caratteri del suolo in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nell'unità deposizionale del Po.

Nel territorio veneto il fiume Po percorre l'ultimo tratto del suo corso verso il mare; fino alla tarda età del ferro il corso del fiume era più a nord di quello attuale (Marcolongo e Zaffanella, 1987), correva in direzione nord est con ampie anse staccandosi dall'attuale alveo in corrispondenza di Castelmasa e, poco a sud di Rovigo, si suddivideva in due rami di cui il più settentrionale scorreva in direzione nord-est toccando Sarzano e Mardimago, immettendosi in quello che oggi è l'alveo dell'Adige presso Anguillara Veneta e seguendolo fino a Borgoforte, proseguiva poi verso Agna e Cona per sfociare in Adriatico presso la foce di Cavanella d'Adige; il ramo meridionale proseguiva a nord dell'attuale Canal Bianco fino ad Adria

suddividendosi in due rami distinti in prossimità dell'antica linea di costa, sboccando in Adriatico in parte alla foce di Cavanella d'Adige e in parte più a sud in prossimità di Fenilon.

I suoli formati su queste superfici mostrano in generale una parziale decarbonatazione degli orizzonti superficiali con un moderato accumulo di carbonati negli orizzonti profondi.

Il resto della superficie è stato occupato dalle deposizioni più recenti del fiume: in alcuni tratti l'attività si è fermata in epoca romana, in altri è proseguita fino all'età alto medievale o più recente. Qui i suoli, di più recente formazione, mostrano soltanto una iniziale decarbonatazione degli orizzonti superficiali e non si notano accumuli di carbonati in profondità.

Il modello deposizionale è quello tipico della bassa pianura, a dossi, depressioni e superfici di transizione con granulometrie più grossolane sulle superfici più rilevate e via via più fini.

### Indagini e risultati

Nell'unità deposizionale sono stati prelevati e analizzati 211 campioni superficiali e 139 campioni profondi, numeri ampiamente adeguati per l'elaborazione statistica. Il numero di campioni è raddoppiato rispetto all'elaborazione del 2011 grazie all'avanzamento del rilevamento pedologico nella provincia di Rovigo, di conseguenza è migliorata la rappresentatività del dato per l'unità.

Si riportano nelle tabelle O.1 e O.2 i risultati delle determinazioni analitiche per metalli e metalloidi e parametri chimici generali del suolo, negli orizzonti superficiali e profondi.

O - SUPERFICIALE									O - PROFONDO								
	N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile		N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile
<b>Sb</b>	200	0,70	0,27	0,65	0,52	0,85	1,3	1,5	<b>Sb</b>	188	0,53	0,23	0,51	0,37	0,66	0,94	1,1
<b>As</b>	205	13,7	6,69	12	9,3	17	28	34	<b>As</b>	192	10,0	4,57	8,8	7,1	12	19	23
<b>Be</b>	196	1,05	0,35	1,0	0,84	1,3	1,7	1,9	<b>Be</b>	184	0,86	0,46	0,88	0,52	1,2	1,6	1,8
<b>Cd</b>	210	0,28	0,10	0,25	0,25	0,25	0,54	0,71	<b>Cd</b>	193	0,26	0,05	0,25	0,25	0,25	0,25	0,54
<b>Co</b>	210	15,9	1,84	16	15	17	19	20	<b>Co</b>	193	14,5	3,54	14	12	16	20	22
<b>Cr</b>	211	116,8	23,6	114	103	130	160	179	<b>Cr</b>	193	108,3	31,3	106	90	130	162	180
<b>Hg</b>	206	0,04	0,03	0,03	0,03	0,06	0,08	0,13	<b>Hg</b>	193	0,03	0,01	0,03	0,03	0,03	0,06	0,07
<b>Ni</b>	211	95,7	16,0	96	86	105	121	131	<b>Ni</b>	193	89,4	23,3	89	74	102	130	140
<b>Pb</b>	211	19,7	7,65	18	14	23	34	45	<b>Pb</b>	193	13,4	5,36	13	10,0	17	21	31
<b>Cu</b>	208	40,0	13,0	37	32	45	66	82	<b>Cu</b>	192	28,7	11,3	29	22	35	46	56
<b>Se</b>	195	0,38	0,24	0,33	0,24	0,45	0,91	1,2	<b>Se</b>	177	0,28	0,24	0,20	0,10	0,38	0,76	1,1
<b>Sn</b>	194	2,50	0,74	2,5	2,0	2,9	3,7	4,4	<b>Sn</b>	183	1,97	0,80	1,9	1,3	2,6	3,3	3,7
<b>V</b>	195	59,5	15,4	57	49	69	89	99	<b>V</b>	184	50,0	19,8	48	36	62	85	93
<b>Zn</b>	203	87,1	15,3	87	75	98	111	122	<b>Zn</b>	193	72,7	20,4	73	60	86	104	120

Tabella O.2: Principali parametri statistici delle concentrazioni di metalli e metalloidi in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nell'unità deposizionale del Po espressi in mg/kg.

Alcuni metalli hanno concentrazioni superiori al limite di legge per le aree residenziali/a verde:

- l'**arsenico** per il 95° percentile in superficie,
- il **cromo** per il 95° percentile in superficie e in profondità,
- il  **nichel** per il 95° percentile in superficie e in profondità,
- il **vanadio** per il 99° percentile in superficie e in profondità.

Per **antimonio**, **berillio**, **cadmio**, **cobalto**, **mercurio**, **piombo**, **rame**, **selenio**, **stagno** e **zinco** non sono stati riscontrati superamenti del limite.

## Arsenico

Nell'unità deposizionale del Po i contenuti di arsenico sono generalmente inferiori al limite di legge tranne in alcuni casi, in suoli con orizzonti organici e/o contenuto elevato di argilla (figura O.1), oppure in aree al confine con l'unità di Adige o in zone dove nel passato le alluvioni di Po e Adige si sono sovrapposte.

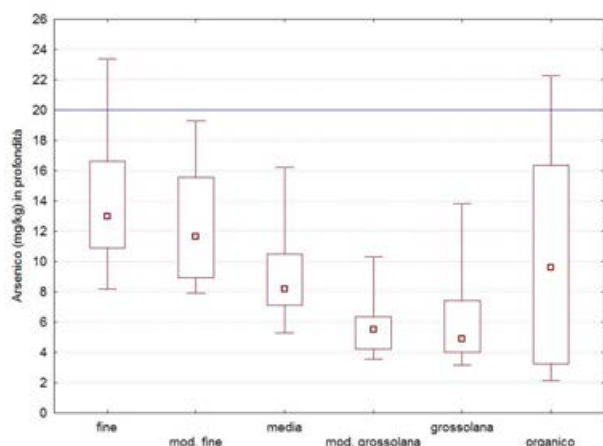


Figura O.1: Contenuto totale di arsenico (mg/kg) in profondità nella pianura del Po in base alle classi tessiture USDA aggregate. Fine= A, AS, AL; Mod. fine= FSA, FA, FLA; Media= F, FL, L; Mod. grossolana= FS; Grossolana= SF, S. Organico= contenuto di carbonio organico>5%. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs 152/2006.

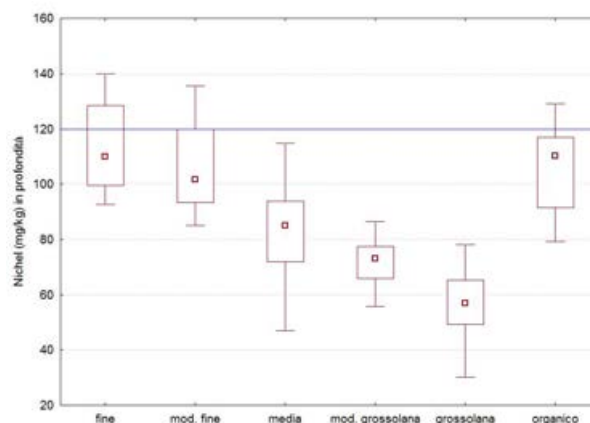


Figura O.2: Contenuto totale di nichel (mg/kg) in profondità nella pianura del Po in base alle classi tessiture USDA aggregate. Fine= A, AS, AL; Mod. fine= FSA, FA, FLA; Media= F, FL, L; Mod. grossolana= FS; Grossolana= SF, S. Organico= contenuto di carbonio organico>5%. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs 152/2006.

## Nichel, cromo

L'unità del Po si contraddistingue per i contenuti elevati di nichel e cromo, spesso superiori al limite di legge (D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., colonna A), in particolare nei suoli delle depressioni a tessitura fine o moderatamente fine e con orizzonti organici (figure O.2 e O.3). Per questi metalli vanno tenuti in considerazione anche i limiti previsti per l'utilizzo dei fanghi in agricoltura: per il nichel è di 75 mg/kg, secondo il D.Lgs 99/1999, per il cromo invece vale la normativa regionale (DGRV 2241/2005) che prevede limiti variabili in funzione della reazione del suolo (50 mg/kg per pH<6, 100 mg/kg per pH tra 6 e 7,5 e 145 mg/kg per pH maggiore di 7,5). Il limite in questi casi ha finalità cautelative poiché in queste aree, già naturalmente ricche di nichel e cromo, un ulteriore apporto con i fanghi potrebbe aumentare la concentrazione dell'elemento a livelli non accettabili.

## Cobalto

Il valore di fondo individuato per l'unità del Po (95° percentile della concentrazione) coincide con il limite di legge pertanto soltanto in pochi casi (5%) si riscontrano valori superiori e, come per nichel e cromo, solo nei suoli più argillosi (figura O.4).

Rispetto alla precedente pubblicazione (ARPAV, 2011) si osservano differenze solo minime dai valori allora definiti: l'**arsenico** scende da 31 a 28 mg/kg e il **cromo** che aumenta da 153 a 162 mg/kg; le differenze sono dovute in parte all'aumentata numerosità del campione considerato, si è passati da 206 campioni totali a 350, e in parte ad una migliore definizione geografica dei limiti tra le unità deposizionali di Po e Adige.

## Differenze con le unità deposizionali/fisiografiche limitrofe

L'unità del Po si differenzia da quella dell'Adige per contenuto di nichel e cromo, più alti nel Po, e di arsenico, più elevato nell'Adige. Concentrazioni più basse di nichel e cromo si notano anche nell'unità costiero meridionale (DA), in cui i sedimenti derivano in buona parte dal Po ma le granulometrie sono in prevalenza sabbiose.



## Relazioni con i caratteri del suolo e tra metalli

Le correlazioni più forti con i caratteri del suolo si hanno in generale negli orizzonti profondi rispetto a quelli superficiali, questo è accentuato per quegli elementi che risentono di apporti antropici come rame, zinco, piombo e stagno per i quali si notano correlazioni significative con l'argilla soltanto in profondità; altri hanno correlazioni forti ad entrambe le profondità, soprattutto con l'argilla e la CSC; degne di nota sono le relazioni di berillio, nichel (figura O.5) e vanadio con l'argilla (coefficiente di correlazione  $r$  intorno a 0,70) e quelle di selenio con il carbonio organico ( $r$  di 0,67 e 0,77).

Sono fortemente correlati tra loro, sia in superficie che in profondità, nichel, cromo ( $r$  pari a 0,88, figura O.6), cobalto, vanadio ma anche selenio e arsenico ( $r=0,79$ ) e berillio e vanadio ( $r=0,86$ ).

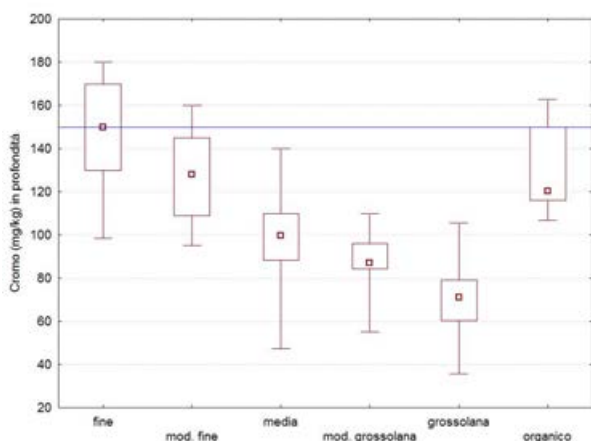


Figura O.3: Contenuto totale di cromo (mg/kg) in profondità nella pianura del Po in base alle classi tessiture USDA aggregate. Fine= A, AS, AL; Mod. fine= FSA, FA, FLA; Media= F, FL, L; Mod. grossolana= FS; Grossolana= SF, S. Organico= contenuto di carbonio organico>5%. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs 152/2006.

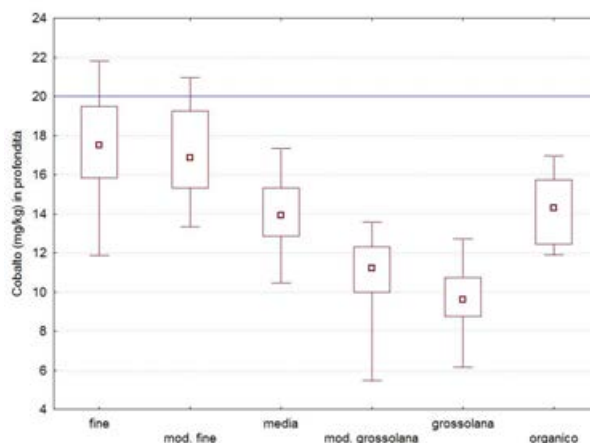


Figura O.4: Contenuto totale di cobalto (mg/kg) in profondità nella pianura del Po in base alle classi tessiture USDA aggregate. Fine= A, AS, AL; Mod. fine= FSA, FA, FLA; Media= F, FL, L; Mod. grossolana= FS; Grossolana= SF, S. Organico= contenuto di carbonio organico>5%. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs 152/2006.

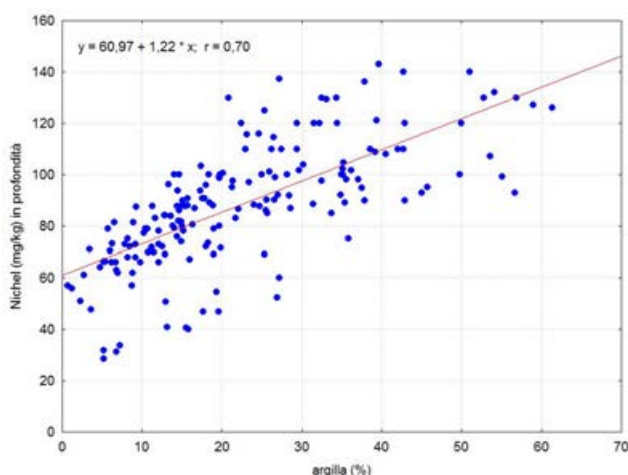


Figura O.5: Correlazione tra contenuto totale di nichel e di argilla negli orizzonti profondi nell'unità del Po.

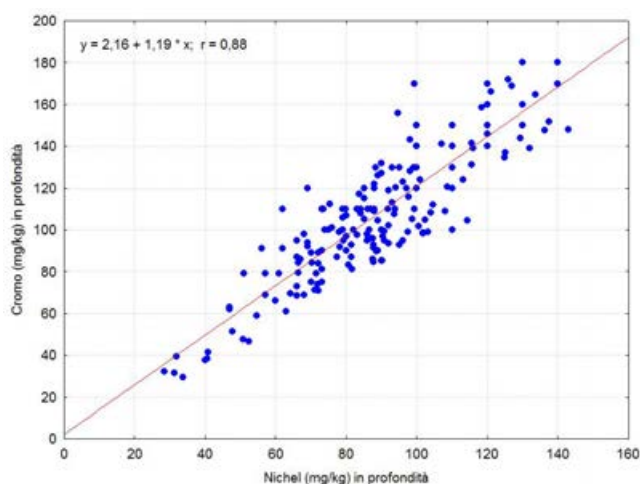


Figura O.6: Correlazione tra contenuto totale di cromo e di nichel negli orizzonti profondi nell'unità del Po.

## Arricchimento superficiale

Nell'unità del Po l'indice di geoaccumulo è in generale basso per molti elementi, come si nota dalla figura O.7 che riporta i valori mediani dell'indice; soltanto per rame e piombo per i quali è conosciuto l'apporto antropico, l'indice assume un valore mediano tra 0 e 1 che corrisponde ad una leggera contaminazione, e soltanto in pochi casi è mediamente arricchito (IGEO>1).

Per nichel, cromo, cobalto e arsenico, elementi di cui si è verificato che il valore di fondo assume valori superiori al limite di legge, l'indice evidenzia assenza di contaminazione.

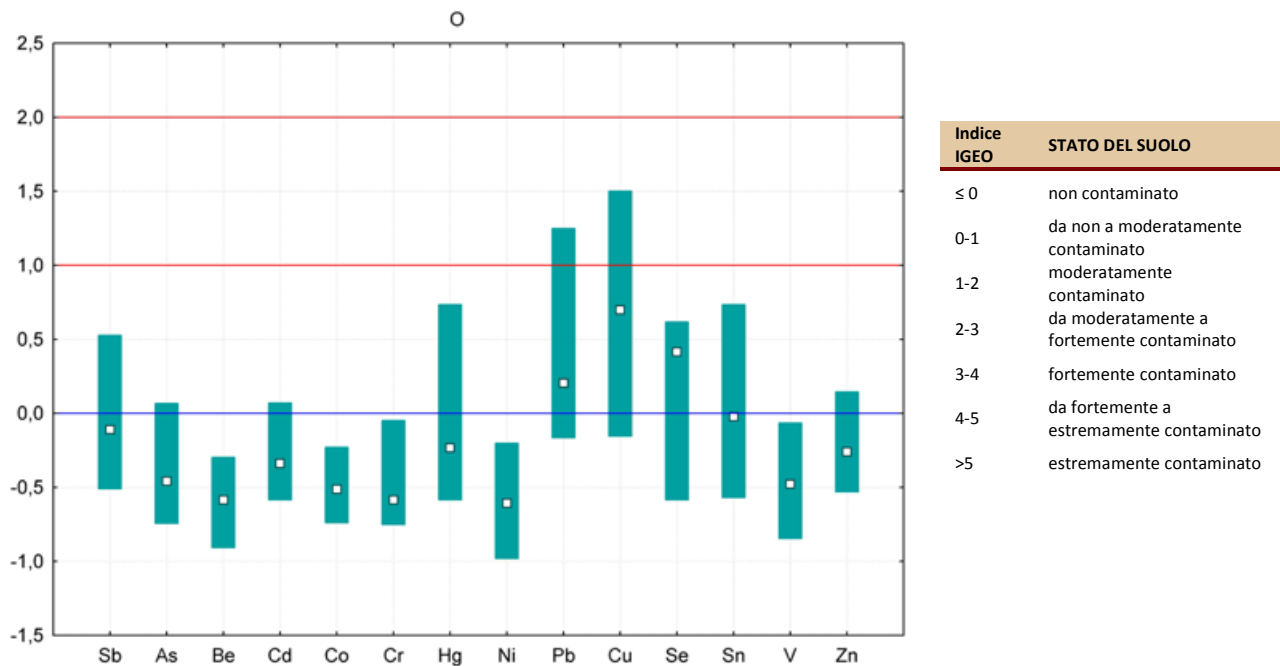
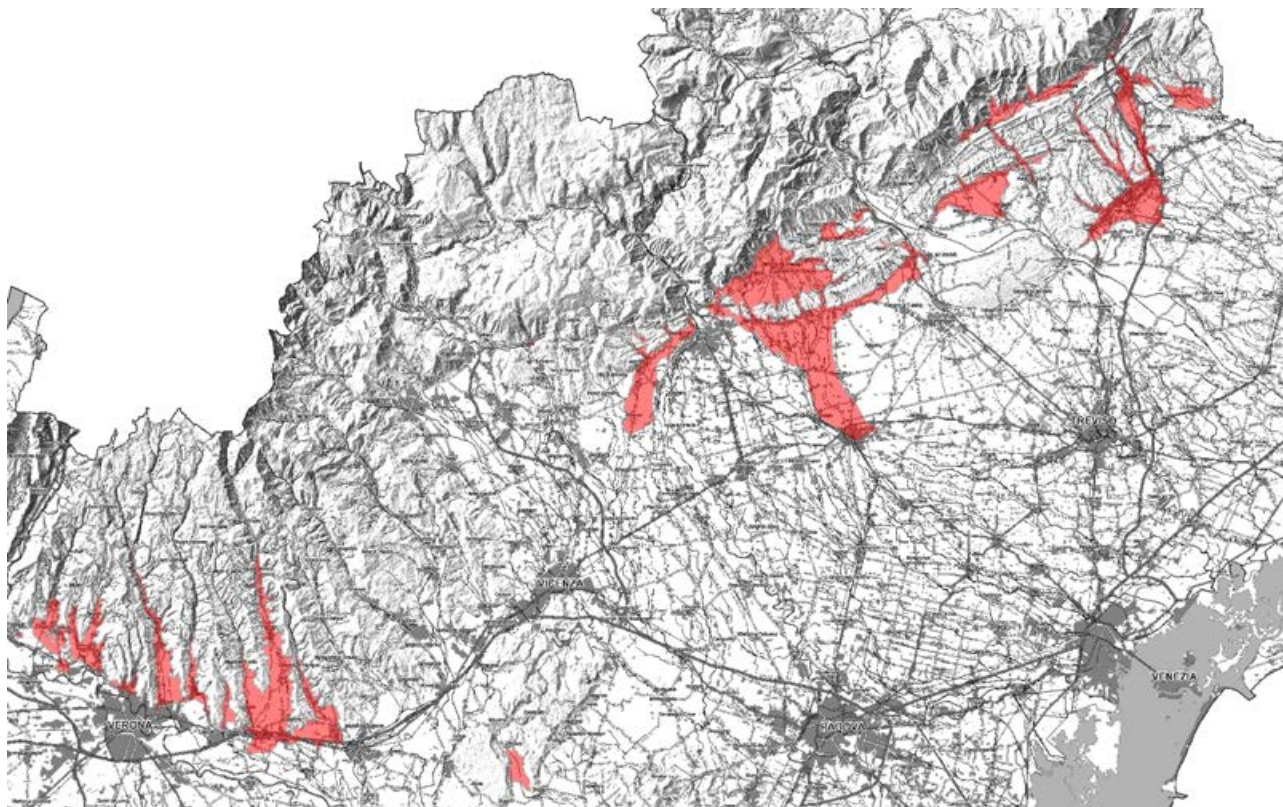


Figura O.7: Indice di geoaccumulo (IGEO) dei metalli e metalloidi dell'unità del Po: i punti rappresentano i valori mediani dell'indice, le barre azzurre il 25° e 75° percentile; i valori al di sotto della linea blu indicano assenza di arricchimento, tra questa e la prima linea rossa moderato arricchimento.

## CONOIDI PEDEMONTANE CALCAREE (CC)

Metallo o metalloide	Sb	As	Be	Cd	Co	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Sn	V	Zn
Valore di fondo (mg/kg)	0,84	13	1,6	0,92	22	103	0,21	81	42	141	0,40	3,7	84	113
Limite col. A, D.Lgs. 152/2006	10	20	2	2	20	150	1	120	100	120	3	–	90	150



### Inquadramento, formazione e caratteristiche generali dei suoli

L'unità delle conoidi pedemontane calcaree si estende su una superficie di 427 km<sup>2</sup>. Si tratta della pianura formata dai torrenti prealpini che scendono da bacini dove prevalgono litotipi carbonatici; i corsi d'acqua principali che danno origine alle conoidi sono, da ovest verso est: Fumane, Negrar, Progno di Valpantena, Squaranto, Illasi e Tramigna in provincia di Verona, Lastego, Muson, Curogna, Raboso, Soligo, Monticano e Meschio in provincia di Treviso. Tutte queste superfici sono caratterizzate da un'alta percentuale di carbonati nei sedimenti, anche superiore al 50%.

	CC - SUPERFICIALE						CC - PROFONDO					
	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore
pH	68	7,8	0,5	8,0	7,4	8,1	52	8,2	0,4	8,3	7,9	8,5
Carb. Org. (%)	68	1,5	0,6	1,3	1,1	1,6	52	0,5	0,3	0,4	0,2	0,6
Calc. tot. (%)	67	17,4	20,8	9	2	27	51	31,6	30,7	24	3	60
Argilla (%)	68	25,9	8,5	25	20	32	52	23,4	12,6	25	15	32
Sabbia (%)	68	34,3	12,1	34	26	44	52	41,4	22,6	35	25	53
CSC (meq/100 g)	58	24,8	10,2	22	17	30	51	19,4	12,0	17	11	26

Tabella CC.1: Principali parametri statistici di alcuni caratteri del suolo nell'unità delle conoidi pedemontane calcaree (CC). A sinistra i dati dell'orizzonte superficiale a destra i dati dell'orizzonte profondo.

Sulle superfici più recenti, i suoli, a moderato grado di evoluzione, mantengono l'alto tenore in carbonati del materiale di partenza, sono ricchi in scheletro, nelle porzioni apicali e più pendenti, e più fini, nelle parti distali.

Nelle porzioni distali dei conoidi, dove la copertura olocenica si assottiglia, si trovano suoli fini e poveri in scheletro in superficie che ricoprono e in parte rimaneggiano i suoli antichi formati a partire dalle ghiaie dei conoidi del Brenta, dell'Astico o del Piave. Le superfici più antiche si differenziano per una maggiore decarbonatazione che può innescare processi di traslocazione delle argille.

Le superfici percentualmente più estese all'interno dell'unità sono quelle costituite dai sedimenti del Musone e del Monticano, che hanno colmato le depressioni create tra i conoidi pleistocenici del Brenta e del Piave, nel caso del Musone, e tra il conoide olocenico e quello tardiglaciale del Piave, nel caso del Monticano; presentano tessitura fine e assenza di ghiaia e moderata decarbonatazione.

Dal punto di vista pedologico questa unità risulta estremamente eterogenea e sostanzialmente riunisce suoli che non presentano anomalie per contenuto in metalli.

Per quanto riguarda l'uso del suolo in questa unità è molto diffuso il vigneto rispetto alle adiacenti unità di pianura.

Il limite tra le varie unità non è mai netto e in genere i sedimenti dei corsi d'acqua tendono a seppellire materiali di origine alpina (Unità del Piave, Brenta, Adige, ecc.) con spessori via, via decrescenti tanto più ci si allontana dai rilievi prealpini; il passaggio tra unità risulta graduale e sono frequenti suoli dove nello spessore di un metro sono presenti sedimenti di origine diversa; in questi casi è importante riconoscere l'origine dei sedimenti per verificare se le concentrazioni riscontrate siano imputabili a dotazione naturale o a eventuali contaminazioni.

### Indagini e risultati

Nell'unità sono stati prelevati e analizzati un numero variabile di campioni (da 50 a 68 superficiali e da 42 a 52 in profondità) ma sempre in numero ampiamente adeguato per l'elaborazione statistica. Il numero di campioni è aumentato notevolmente rispetto all'elaborazione del 2011 grazie all'avanzamento del rilevamento pedologico nella provincia di Verona, di conseguenza è migliorata la rappresentatività dei valori di fondo. Rispetto al volume del 2011, dove aveva sigla MC2, l'unità ha subito alcune limitate

CC - SUPERFICIALE									CC - PROFONDO								
	N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile		N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile
<b>Sb</b>	51	0,56	0,19	0,54	0,44	0,64	0,84	1,1	<b>Sb</b>	45	0,36	0,19	0,37	0,23	0,46	0,72	0,81
<b>As</b>	58	8,20	3,35	8,0	6,7	9,9	13	16	<b>As</b>	46	7,09	3,71	6,7	4,5	9,7	13	15
<b>Be</b>	50	0,82	0,34	0,78	0,65	1,0	1,3	1,6	<b>Be</b>	43	0,73	0,44	0,72	0,25	1,0	1,6	1,7
<b>Cd</b>	68	0,48	0,23	0,44	0,25	0,59	0,92	1,0	<b>Cd</b>	52	0,36	0,16	0,25	0,25	0,47	0,72	0,83
<b>Co</b>	67	11,9	5,58	11	8,2	16	<b>22</b>	<b>24</b>	<b>Co</b>	52	11,4	6,49	10	6,0	16	<b>21</b>	<b>27</b>
<b>Cr</b>	68	49,7	26,2	44	28	63	103	121	<b>Cr</b>	52	46,2	27,5	38	28	63	99	115
<b>Hg</b>	61	0,08	0,07	0,07	0,03	0,13	0,21	0,26	<b>Hg</b>	45	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,11	0,19
<b>Ni</b>	68	36,6	19,2	32	21	48	67	89	<b>Ni</b>	52	36,8	24,3	30	20	53	81	108
<b>Pb</b>	67	22,0	10,3	21	16	27	42	46	<b>Pb</b>	52	11,9	10,7	8,0	2,5	17	32	39
<b>Cu</b>	60	54,7	40,0	46	25	68	<b>141</b>	<b>173</b>	<b>Cu</b>	52	19,9	12,1	18	13	27	43	58
<b>Se</b>	49	0,20	0,11	0,21	0,10	0,24	0,40	0,50	<b>Se</b>	42	0,11	0,03	0,10	0,10	0,10	0,20	0,23
<b>Sn</b>	49	2,08	0,94	2,0	1,4	2,5	3,7	4,4	<b>Sn</b>	42	1,35	0,88	1,3	0,58	1,8	2,5	3,9
<b>V</b>	50	55,5	18,4	55	40	71	84	90	<b>V</b>	43	49,5	23,8	46	30	71	84	90
<b>Zn</b>	67	80,2	22,7	80	68	95	113	124	<b>Zn</b>	52	58,8	24,1	58	37	78	92	104

Tabella CC.2: Principali parametri statistici delle concentrazioni di metalli e metalloidi nell'unità delle conoidi pedemontane calcaree (CC). A sinistra i dati dell'orizzonte superficiale a destra i dati dell'orizzonte profondo. Dati espressi in mg/kg.



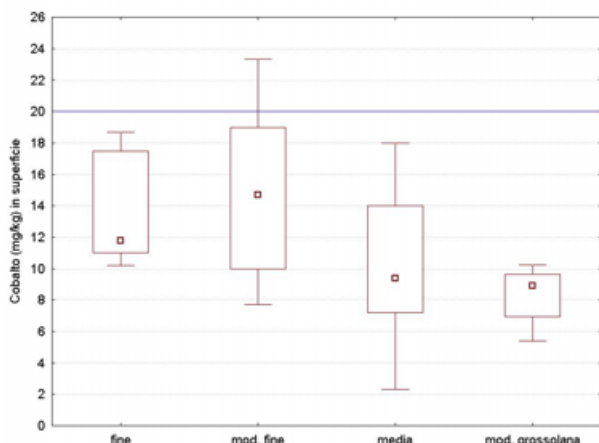


Figura CC.1: Contenuto totale di cobalto (mg/kg) in superficie nell'unità delle conoidi pedemontane calcaree in base alle classi tessiture USDA aggregate. Fine = A, AS, AL; Mod. fine = FSA, FA, FLA; Media = F, FL, L; Mod. grossolana = FS. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs. 152/2006.

elaborati a parte, si osservano ancora elevati contenuti di rame riconducibili ad un passato utilizzo a vigneto e agli apporti antropici dovuti all'uso di prodotti fitosanitari. In profondità, infatti, (contenuto naturale) le concentrazioni sono notevolmente inferiori.

Per antimonio, arsenico, berillio, cadmio, cromo, mercurio, piombo, selenio, e zinco non sono mai stati riscontrati superamenti del limite. Solo nichel (in profondità) e vanadio mostrano nei valori massimi delle concentrazioni leggermente superiori ai limiti di legge.

Rispetto alla pubblicazione del 2011 (dove comparivano con la sigla MC2) è aumentato significativamente il numero di dati disponibili. Per quanto riguarda sia i valori medi che i valori di fondo si osserva una buona corrispondenza per quasi tutti i metalli ad eccezione del rame con un valore di fondo che aumenta da 114 mg/kg a 141.

### Differenze con le unità deposizionali/fisiografiche limitrofe

Rispetto alle limitrofe unità deposizionali dei grandi fiumi alpini, l'unità si distingue da Adige (A) e Brenta (B) per il minor contenuto in arsenico e dal Piave (P) per le maggiori concentrazioni di cobalto. Rispetto all'unità delle Prealpi su calcari marnosi (SD) per il minor contenuto in nichel, cromo, cobalto e vanadio.

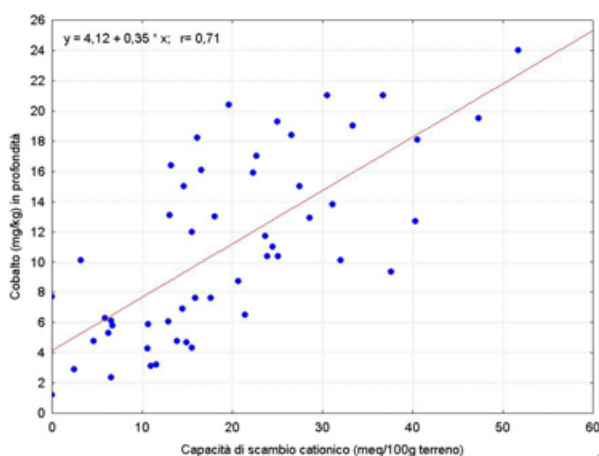


Figura CC.2: Correlazione tra contenuto totale di cobalto e la capacità di scambio cationico (CSC) negli orizzonti profondi nell'unità delle conoidi pedemontane calcaree.

modifiche nella geografia, grazie alle nuove informazioni acquisite, con l'esclusione di alcuni conoidi che sono stati inclusi nelle unità fisiografiche collinari sovrastanti (ad esempio in RR e RB).

Nell'unità solo 2 metalli hanno concentrazioni leggermente superiori al limite di legge per le aree residenziali: **cobalto** (come 95° percentile sia in superficie che in profondità) e **rame** (solo in superficie).

Per quanto riguarda il cobalto (valore di fondo pari a 22 mg/kg) le concentrazioni sono in linea con quelli del materiale calcareo dei rilievi collinari a monte; le concentrazioni sono molto simili alle due profondità, a prova dell'origine naturale, e sono maggiori negli orizzonti a tessitura più fine (figura CC.1). In diverse aree dell'unità è diffusa la coltivazione della vite e nonostante l'eliminazione di tutti i campioni raccolti su vigneto, che sono stati

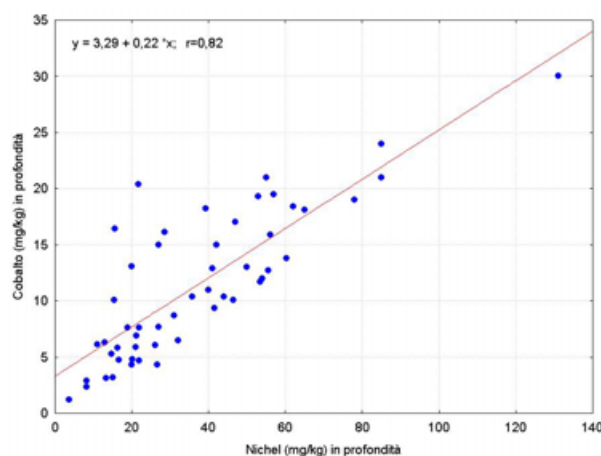


Figura CC.3: Correlazione tra contenuto totale di cobalto e di nichel negli orizzonti profondi nell'unità delle conoidi pedemontane calcaree.

### Relazioni con i caratteri del suolo e tra metalli

L'analisi della correlazione e della regressione sui dati disponibili mostra che esistono correlazioni significative tra l'argilla e berillio, vanadio e zinco (coefficiente di correlazione  $r = 0,84$  in profondità), più forti in profondità; il cobalto risulta correlato con la capacità di scambio cationico (figura CC.2). Tra i vari elementi, cobalto, nichel (figura CC.3), cromo e vanadio sono correlati fortemente tra loro ( $r$  tra 0,71 di nichel e vanadio e 0,93 di nichel e cromo); risultano piuttosto forti anche le correlazioni tra arsenico, antimonio e zinco e quelle tra vanadio e zinco ( $r=0,88$  in profondità).

### Arricchimento superficiale

Nell'unità delle conoidi pedemontane calcaree l'indice di geoaccumulo è basso per molti elementi come si vede dalla figura CC.4 che riporta i valori medi dell'indice; i valori sono sempre inferiori allo 0 ad indicare assenza di contaminazione. Fa eccezione il rame, per il quale è noto l'apporto antropico con i fitofarmaci, per il quale l'indice assume un valore mediano che si approssima a 1 (moderata contaminazione). Più modesto è l'arricchimento superficiale di selenio e piombo, entrambi interessati da probabili apporti di origine antropica.

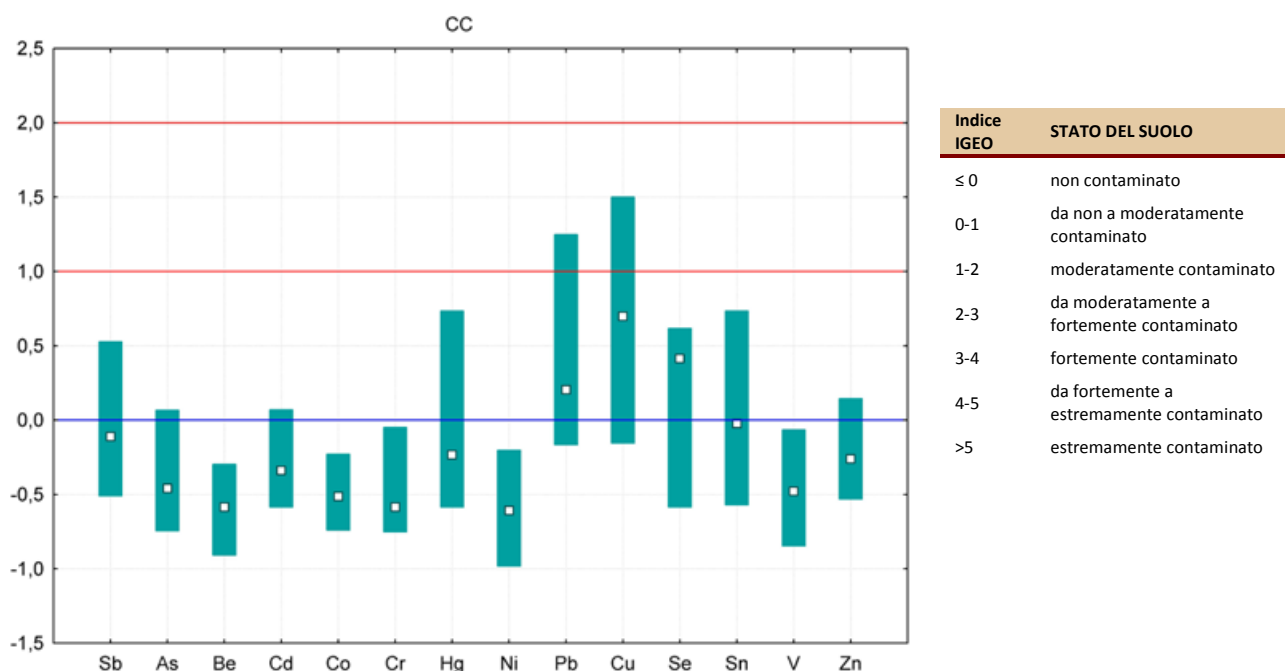


Figura CC.4: Indice di geoaccumulo (IGEO) dei metalli e metalloidi dell'unità delle conoidi pedemontane calcaree: i punti rappresentano i valori medi dell'indice mentre le barre il 25° e 75° percentile; i valori al di sotto della linea blu indicano assenza di arricchimento, tra questa e la prima linea rossa moderato arricchimento.



## CA - CONOIDI DELL'ASTICC

[illegible]

L'unità delle conoidi dell'Astico (CA) è costituita da un unico poligono, allungato in direzione nord-sud a seguire il corso d'acqua, con una superficie di 192 km<sup>2</sup> completamente in provincia di Vicenza.

	CA - SUPERFICIALE						CA - PROFONDO					
	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore
pH	40	7,6	0,6	7,8	7,5	7,9	36	8,2	0,5	8,2	8,1	8,5
Carb. Org. (%)	40	2,2	0,8	2,1	1,6	2,6	36	0,7	0,5	0,5	0,4	0,8
Calc. tot. (%)	40	16,9	18,5	10	2	23	36	48,4	24,3	51	37	67
Argilla (%)	40	23,9	7,6	26	18	29	36	16,0	12,6	12	7	23
Sabbia (%)	40	35,9	9,6	37	31	40	36	52,8	23,5	50	36	74
CSC (meq/100 g)	40	34,4	9,2	35	29	41	36	19,8	12,4	20	8	30

Tabella CA.1: Principali parametri statistici di alcuni caratteri del suolo nell'unità delle conoidi dell'Astico (CA). A sinistra i dati dell'orizzonte superficiale a destra i dati dell'orizzonte profondo.

È costituita da suoli che si sviluppano sulle diverse conoidi e terrazzi originatisi dall'attività deposizionale del fiume, sia lungo la Valdastico che in prossimità dello sbocco in pianura.

L'area è costituita da porzioni di età diversa in quanto l'area che va da Arsiero fino indicativamente a Villaverla si è formata nel pleistocene quando l'Astico usciva in pianura a ovest della collina delle Bregonze mentre la restante porzione si è formata in epoca più recente quando la direttrice del corso d'acqua si è impostata lungo l'attuale asta fluviale. Questa suddivisione risulta importante perché, come vedremo successivamente, le due aree mostrano delle differenze nel contenuto in alcuni metalli.

Nelle superfici più antiche, dove prevalgono i materiali ghiaioso-sabbiosi, i suoli sono completamente decarbonatati e presentano elevata differenziazione del profilo con orizzonte illuviale di accumulo di argilla. Sulle superfici più recenti (ad est) il processo di decarbonatazione è meno spinto e la differenziazione del profilo moderata o bassa; in quest'area dalle ghiaie, che caratterizzano l'apice del conoide, si passa a tessiture più fini scendendo verso sud.

Rispetto alla pubblicazione del 2011 l'unità ha subito una profonda revisione nella geografia, sia nella porzione orientale che in quella meridionale, grazie ai nuovi dati disponibili in provincia di Vicenza.

CA - SUPERFICIALE									CA - PROFONDO								
	N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile		N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile
Sb	34	1,54	0,86	1,4	0,87	1,8	3,3	3,8	Sb	30	0,65	0,52	0,49	0,25	1,1	1,5	2,0
As	37	13,2	5,90	13	9,4	16	25	29	As	33	8,57	5,96	6,8	4,1	12	19	23
Be	39	1,00	0,43	1,1	0,72	1,3	1,5	1,6	Be	35	0,69	0,57	0,25	0,25	1,1	1,8	2,1
Cd	40	0,39	0,18	0,27	0,25	0,51	0,74	0,87	Cd	36	0,27	0,06	0,25	0,25	0,25	0,38	0,50
Co	40	17,3	5,65	17	12	22	25	27	Co	36	9,49	5,55	7,9	4,6	14	19	20
Cr	39	55,2	15,2	53	43	64	84	85	Cr	35	29,3	17,9	24	14	44	61	66
Hg	37	0,11	0,07	0,09	0,07	0,13	0,20	0,36	Hg	33	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,08	0,08
Ni	40	33,5	13,9	29	24	35	66	73	Ni	36	21,0	12,9	19	11	30	43	54
Pb	39	37,2	14,4	37	29	46	65	70	Pb	36	9,32	11,2	2,5	2,5	9,9	37	38
Cu	34	48,0	25,4	41	31	62	101	110	Cu	36	14,4	11,9	11	6,4	18	33	50
Se	34	0,31	0,09	0,31	0,28	0,37	0,45	0,52	Se	30	0,14	0,09	0,10	0,10	0,10	0,34	0,37
Sn	34	3,69	1,99	3,2	2,7	4,0	7,2	9,8	Sn	30	1,40	0,97	1,1	0,57	1,9	3,1	3,4
V	39	121,0	49,5	130	84	165	190	196	V	35	71,4	47,5	50	37	100	166	200
Zn	40	107,1	30,8	107	93	130	150	162	Zn	36	46,2	32,6	38	22	63	104	125

Tabella CA.2: Principali parametri statistici delle concentrazioni di metalli e metalloidi nell'unità dei conoidi dell'Astico (CA). A sinistra i dati dell'orizzonte superficiale a destra i dati dell'orizzonte profondo. Dati espressi in mg/kg.



## Indagini e risultati

Nell'unità deposizionale sono stati prelevati e analizzati un numero variabile di campioni a seconda dei diversi metalli, ma sia in superficie che in profondità si raggiunge la numerosità campionaria (30) suggerita dalla norma ISO19258 (2005).

Tipico di questa unità è la concentrazione in **vanadio**, che risulta essere la più elevata tra i suoli di pianura, con valore di fondo pari a 190 mg/kg, oltre il doppio del limite di legge. Le concentrazioni più elevate si trovano sui campioni raccolti in superficie a causa delle tessiture che sono mediamente più fini rispetto ai campioni prelevati in profondità. Oltre al vanadio anche **arsenico** (25 mg/kg) e **cobalto** (25 mg/kg) presentano un valore di fondo superiore ai limiti per le aree residenziali.

Tutti i metalli sopracitati mostrano un andamento all'interno dell'unità molto particolare in quanto si presentano in concentrazioni più elevate nelle superfici più antiche che corrispondono alla porzione nord-occidentale dell'area, ad ovest del corso del torrente Igna (figura CA.2 e CA.3). Le differenze riscontrate tra superfici recenti e antiche sono tali da giustificare la suddivisione dell'area in due unità distinte (figura CA.1) ma il numero di dati disponibili, soprattutto per i conoidi più recenti, è troppo basso per garantire una significatività statistica. Oltre ad arsenico, cobalto e vanadio anche antimonio, berillio, stagno e in maniera meno accentuata zinco mostrano concentrazioni più elevate sulle superfici più antiche. La causa di tali differenze è probabilmente riconducibile ad una modifica del bacino montano dell'Astico al passaggio tra il periodo glaciale e quello successivo; durante l'ultima glaciazione il bacino includeva delle aree, ricche in tali metalli, che con la scomparsa dei ghiacci hanno cominciato a defluire verso altri bacini fluviali; qualcosa di simile, anche se con differenze meno accentuate, si verifica per il Brenta dove i depositi più antichi (tardiglaciali) mostrano una concentrazione in arsenico più elevata rispetto ai depositi olocenici (post-glaciali).

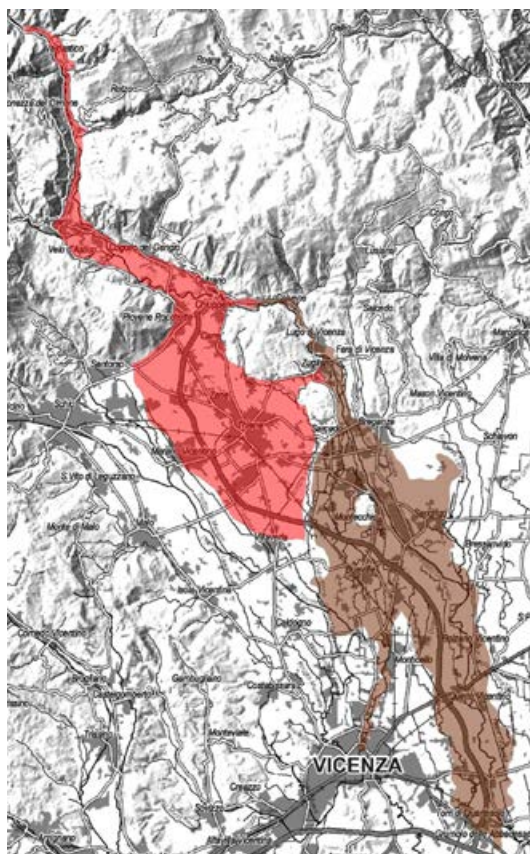


Figura CA.1: Suddivisione dell'unità dei conoidi dell'Astico in superfici di recente deposizione (Olocene) in marrone e superfici antiche in rosso (epoca glaciale).

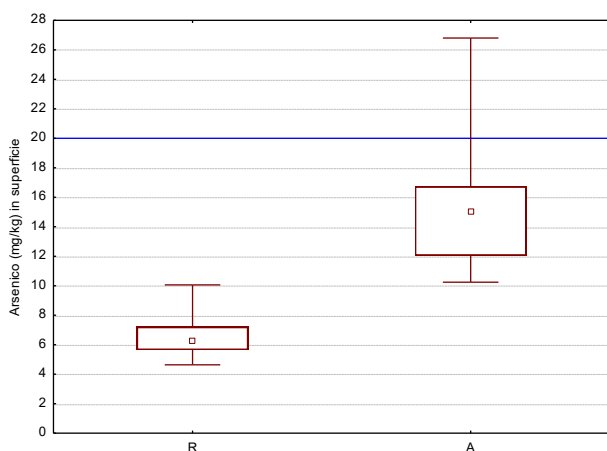


Figura CA.2: Contenuto totale di arsenico (mg/kg) in superficie nell'unità delle conoidi dell'Astico (CA) suddivisa tra superfici recenti (R) e antiche (A). Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del DLgs 152/2006.

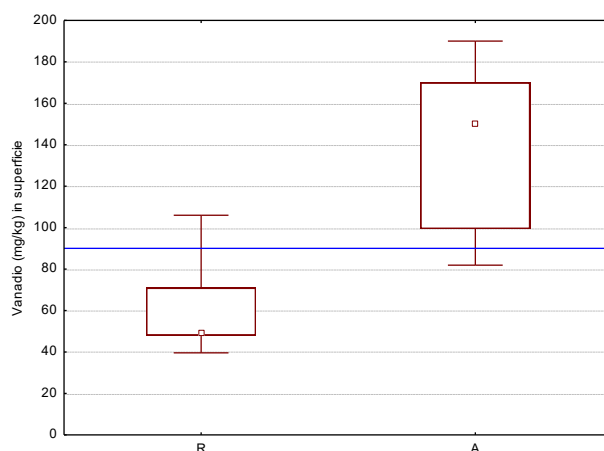


Figura CA.3: Contenuto totale di vanadio (mg/kg) in superficie nell'unità delle conoidi dell'Astico (CA) suddivisa tra superfici recenti (R) e antiche (A). Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs. 152/2006.

Un altro metallo che ha mostrato alcuni superamenti del limite di legge è lo **zinco** in particolare nei suoli a vigneto (si veda il valore del 99° percentile in tabella CA.2).

Rispetto alla precedente pubblicazione (ARPAV, 2011) è aumentato notevolmente il numero di dati disponibili; nonostante ciò per quanto riguarda sia i valori medi che i valori di fondo definiti si osserva in generale una buona corrispondenza, con leggere differenze soprattutto per l'arsenico il cui valore di fondo aumenta da 21 a 25 e per il vanadio che passa da 170 a 190 mg/kg.

### Differenze con le unità deposizionali/fisiografiche limitrofe

La concentrazione in vanadio permette di distinguere facilmente l'Astico dalla conoide del sistema Leogra-Timonchio (CL) a ovest, mentre a sud il limite con il Brenta (B) è meno evidente perché la porzione recente del conoide dell'Astico, che confina con la pianura del Brenta, ha contenuti inferiori in vanadio; il Brenta si differenzia invece per concentrazioni superiori in arsenico e berillio. Il minor contenuto in cadmio distingue invece l'Astico dalle unità prealpine calcaree (SA e SD) mentre le basse concentrazioni in cromo, cobalto e nichel permettono di distinguere l'unità dell'Astico dalle colline su basalti delle Bregonze (LB).

### Relazioni con i caratteri del suolo e tra metalli

In superficie le correlazioni tra metalli e caratteri del suolo sono deboli, ad eccezione della relazione inversa tra metalli e contenuto in calcare, mentre migliorano nettamente in profondità; in particolare si osservano correlazioni positive con l'argilla, il carbonio organico e la capacità di scambio cationico e negative con contenuto di sabbia, contenuto in carbonati e pH. La correlazione negativa con pH e carbonati è legata al maggiore contenuto di molti metalli nelle superfici più antiche dove i suoli sono anche maggiormente decarbonatati e presentano di conseguenza un pH inferiore.

Le correlazioni tra i vari metalli risultano sensibilmente più forti in profondità rispetto ai dati degli orizzonti superficiali come avviene anche con i caratteri del suolo; si segnalano le correlazioni tra cromo e rispettivamente nichel e cobalto, quindi tra berillio, arsenico, stagno e vanadio (figura CA.4).

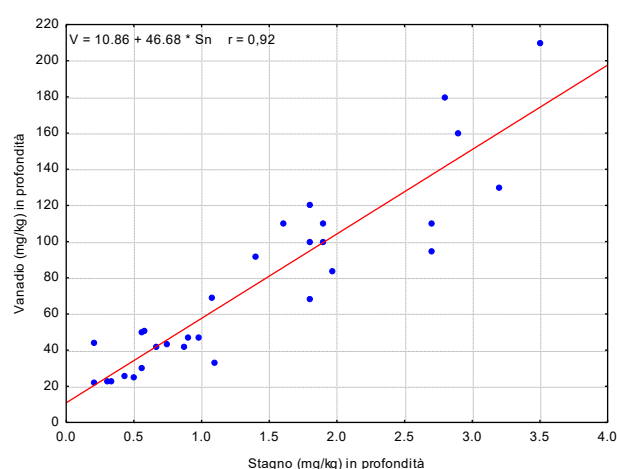


Figura CA.4: Correlazione tra contenuto totale di stagno e di vanadio negli orizzonti profondi nell'unità delle conoidi dell'Astico (CA).

### Arricchimento superficiale

Nell'unità delle conoidi dell'Astico (CA) l'indice di geoaccumulo è basso per molti elementi, come si vede dalla figura CA.5 che riporta i valori mediani dell'indice; le mediane sono sempre inferiori allo 0 ad indicare assenza di contaminazione. Fa eccezione il rame, per il quale è noto l'apporto antropico con i fitofarmaci, per il quale l'indice assume un valore mediano che si approssima a 1 (moderata contaminazione). Più modesto è l'arricchimento superficiale di selenio e piombo, entrambi con probabili apporti di origine antropica.

Vale la pena sottolineare che il valore dell'indice può essere molto influenzato, oltre che dagli apporti superficiali, da cambi tessiturali come nel caso dell'Astico dove il contenuto medio in argilla si abbassa da 24 a 16% e la sabbia aumenta da 36 a 53% al passare dagli orizzonti superficiali a quelli profondi.

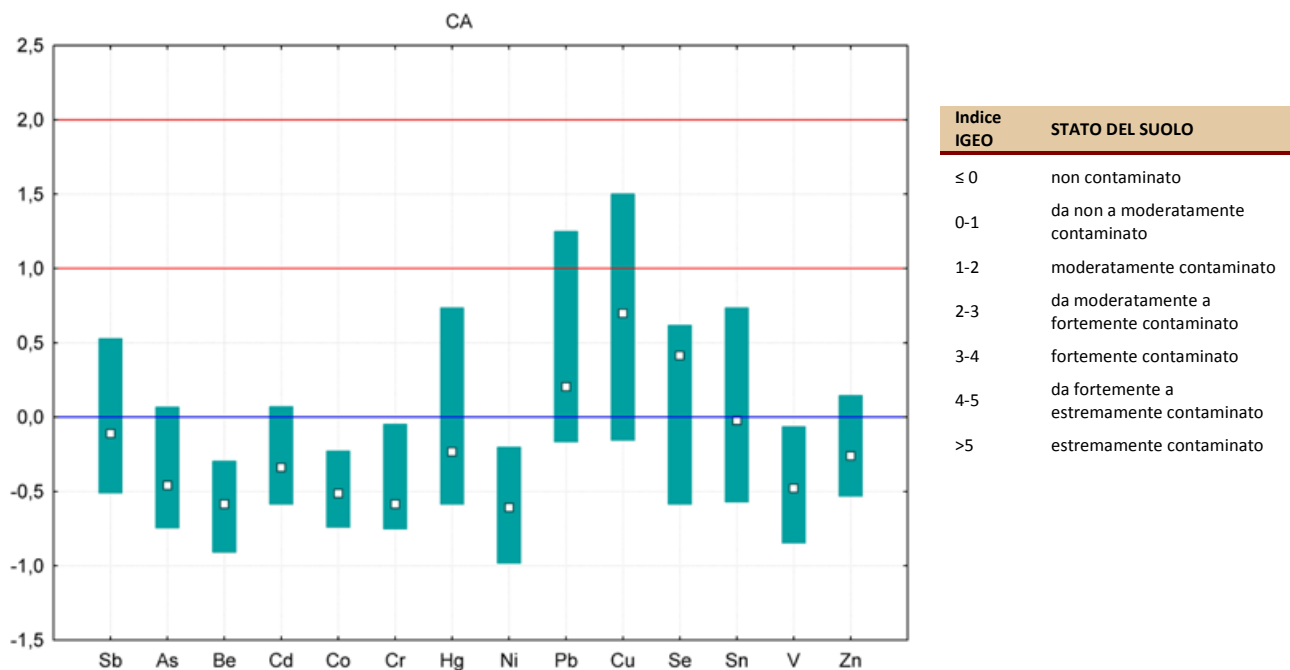
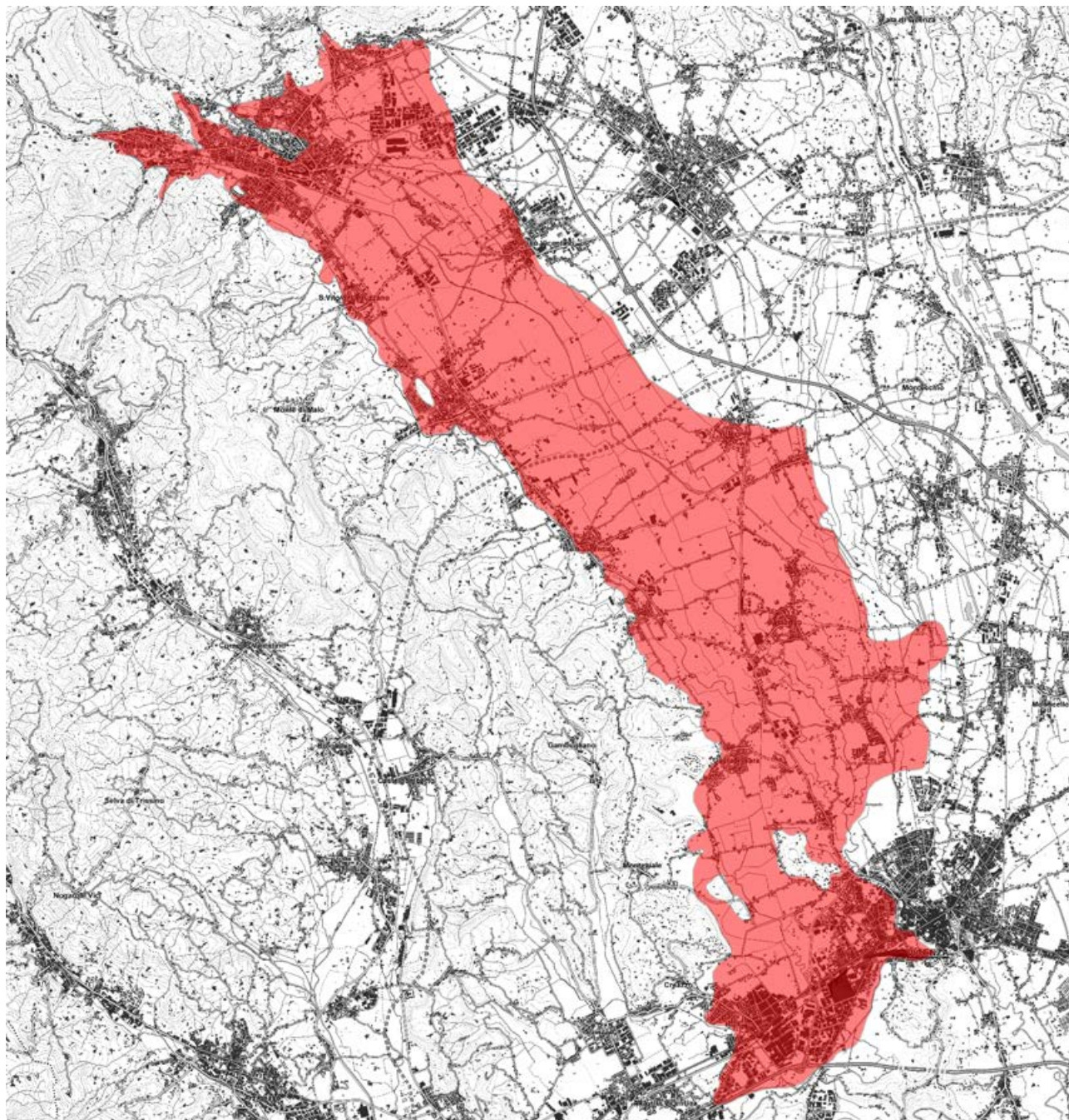


Figura CA.5: Indice di geoaccumulo (IGEO) dei metalli e metalloidi dell'unità delle conoidi dell'Astico (CA); i punti rappresentano i valori mediani dell'indice mentre le barre il 25° e 75° percentile; i valori al di sotto della linea blu indicano assenza di arricchimento, tra questa e la prima linea rossa moderato arricchimento.



## CONOIDI PEDEMONTANE DEL SISTEMA LEOGRA-TIMONCHIO (CL)

Metallo o metalloide	Sb	As	Be	Cd	Co	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Sn	V	Zn
Valore di fondo (mg/kg)	2,7	28	1,9	0,74	27	90	0,18	47	90	90	0,37	6,0	129	195
Limite col. A, D.Lgs. 152/2006	10	20	2	2	20	150	1	120	100	120	3	--	90	150



### Inquadramento, formazione e caratteristiche generali dei suoli

L'unità delle conoidi del sistema Leogra-Timonchio (CL) è costituita da un unico poligono, allungato in direzione nordovest-sudest a seguire il corso del Timonchio, con una superficie di 127 km<sup>2</sup> completamente in provincia di Vicenza. Il fiume Leogra è quello che presenta il bacino montano di maggiori dimensioni ma alla confluenza con il Timonchio, che scende dalle prealpi tra Piovene Rocchette e Schio, prende il nome di quest'ultimo; a sua volta il Timonchio alla confluenza con il torrente Igna, in destra idrografica, prende il nome di Bacchiglione dirigendosi, alimentato da molti corsi d'acqua di risorgiva, verso Vicenza.



	CL - SUPERFICIALE						CL - PROFONDO'					
	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore
pH	51	7,1	0,9	7,6	6,4	7,8	49	7,7	0,7	7,9	7,4	8,2
Carb. Org. (%)	51	1,4	0,6	1,3	1,1	1,6	49	0,7	0,4	0,7	0,4	0,9
Calc. tot. (%)	47	6,8	7,6	4	0	11	47	7,6	9,0	3	1	14
Argilla (%)	51	19,6	7,8	17	14	23	47	21,6	12,3	20	13	28
Sabbia (%)	51	37,8	12,7	39	29	46	47	37,0	18,6	32	23	46
CSC (meq/100 g)	45	23,8	9,5	20	18	28	44	21,2	9,5	20	15	26

Tabella CL.1: Principali parametri statistici di alcuni caratteri del suolo nell'unità delle conoidi pedemontane del sistema Leogra-Timonchio (CL). A sinistra i dati dell'orizzonte superficiale e a destra i dati dell'orizzonte profondo.

L'area è costituita da porzioni di età diversa dove, in generale, le porzioni più antiche si trovano a maggior distanza dal corso d'acqua attuale.

La granulometria dei suoli tende a divenire più fine tanto più ci si allontana dall'apice del conoide posizionato in corrispondenza dell'abitato di Schio. Nella parte settentrionale prevalgono le ghiaie mentre materiali franchi sono prevalenti nei pressi di Vicenza.

I processi pedogenetici sono ovviamente più spinti nelle porzioni più antiche del conoide sebbene non sempre percepibili a causa del basso contenuto in carbonati dei sedimenti; questo aspetto rappresenta un'eccezione rispetto a gran parte delle aree di pianura del Veneto ed è dovuta al bacino montano del fiume Leogra, molto eterogeneo con notevole presenza di materiali silicatici quali porfidi e filladi. Questa commistione determina nei suoli concentrazioni particolari di alcuni metalli.

Rispetto alla pubblicazione del 2011, grazie ai nuovi dati disponibili in provincia di Vicenza, l'unità ha subito una sensibile revisione nella geografia sia nella porzione orientale a confine con l'unità dell'Astico che a sud al confine con l'unità del Brenta (B) e dell'Agno-Guà (CG).

CL - SUPERFICIALE									CL - PROFONDO								
	N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile		N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile
Sb	45	1,74	0,52	1,7	1,4	2,1	2,7	3,1	Sb	42	1,54	0,48	1,5	1,2	1,8	2,4	2,9
As	46	19,2	4,04	19	16	22	26	28	As	44	21,3	4,13	21	19	24	28	29
Be	50	1,02	0,32	1,0	0,82	1,2	1,5	1,9	Be	48	1,22	0,42	1,3	0,92	1,5	1,9	2,0
Cd	51	0,36	0,18	0,25	0,25	0,45	0,74	0,97	Cd	49	0,32	0,12	0,25	0,25	0,37	0,54	0,73
Co	51	16,4	4,39	15	14	18	27	30	Co	48	16,1	2,78	17	14	18	20	20
Cr	51	49,4	17,5	44	38	52	90	103	Cr	48	43,7	10,9	44	37	51	62	65
Hg	46	0,09	0,06	0,08	0,06	0,10	0,18	0,33	Hg	44	0,07	0,04	0,07	0,05	0,08	0,14	0,19
Ni	46	31,2	5,86	30	28	34	42	50	Ni	49	34,7	8,27	34	31	39	47	55
Pb	51	53,6	20,8	47	39	67	90	109	Pb	49	34,5	13,5	33	26	38	60	77
Cu	51	46,6	20,0	41	35	51	90	110	Cu	48	30,7	6,28	30	27	34	41	45
Se	45	0,24	0,09	0,24	0,21	0,30	0,37	0,43	Se	43	0,15	0,09	0,10	0,10	0,16	0,29	0,43
Sn	45	2,76	1,47	2,2	1,8	3,0	6,0	6,9	Sn	43	1,91	0,80	1,9	1,4	2,3	3,2	4,2
V	50	74,7	23,6	66	59	90	122	135	V	48	78,7	29,3	78	58	95	129	161
Zn	51	130,1	29,9	120	110	144	195	200	Zn	47	115,9	21,5	120	100	132	144	159

Tabella CL.2: Principali parametri statistici delle concentrazioni di metalli e metalloidi nell'unità delle conoidi pedemontane del sistema Leogra-Timonchio (CL). A sinistra i dati dell'orizzonte superficiale a destra i dati dell'orizzonte profondo. Dati espressi in mg/kg.

## Indagini e risultati

Nell'unità deposizionale sono stati prelevati e analizzati un numero di poco inferiore a 50 campioni sia in superficie che in profondità, raggiungendo la numerosità campionaria (30) suggerita dalla norma ISO19258 (2005).

Dalla lettura della tabella CL.2 si osserva che sono numerosi i metalli, che presentano valore di fondo superiore ai limiti di legge: **arsenico** (28 mg/kg), **cobalto** (27 mg/kg), **vanadio** (129 mg/kg) e **zinco** (195 mg/kg).

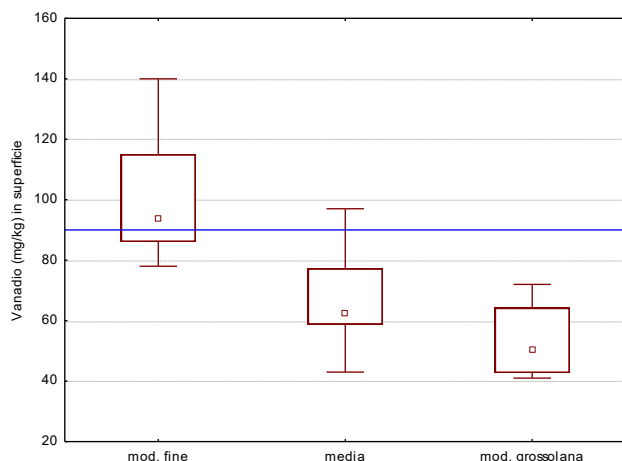


Figura CL.1: Contenuto totale di vanadio (mg/kg) in superficie nell'unità delle conoidi pedemontane del sistema Leogra-Timonchio (CL) in base alle classi tessiture USDA aggregate: Mod. grossolana = FS; Media = F, FL, L; Mod. fine = FSA, FA, FLA. Box plot con mediana e percentili (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs. 152/2006.

La maggior parte di questi elementi mostra concentrazioni simili tra orizzonti superficiali e profondi, a conferma dell'origine naturale di questi metalli e solo lo zinco ha concentrazioni nettamente superiori in superficie, indice di un probabile apporto antropico, nonostante la mediana sia uguale in superficie e in profondità (pari a 120 mg/kg), che denota una comunque buona dotazione nel materiale parentale.

Per il **piombo** nella popolazione presa in esame sono comunque presenti valori massimi superiori alle CSC e non esclusi come outliers (si veda il valore di 99° in superficie pari a 109 mg/kg).

A conferma dell'origine naturale di molti metalli è anche il forte legame che questi mostrano con la tessitura (figura CL.2) con concentrazioni più elevate in corrispondenza delle classi più fini.

Rispetto alla precedente pubblicazione (ARPAV, 2011) è aumentato notevolmente il numero di dati disponibili. Per quanto riguarda sia i valori medi che i valori di fondo si osserva una discreta corrispondenza, con leggere differenze soprattutto per il cobalto il cui valore di fondo scende da 35 a 27 e il vanadio da 157 a 129 mg/kg. In generale rispetto all'edizione precedente si osserva un lieve abbassamento sia dei valori di fondo che dei valori medi per diversi metalli fra i quali, oltre ai già citati cobalto e vanadio, anche cromo e nichel.

## Differenze con le unità deposizionali/fisiografiche limitrofe

La concentrazione in vanadio, sebbene elevata, permette di distinguere il sistema Leogra-Timonchio (CL) dall'Astico (antico) che presenta un tenore ancora maggiore. A sud, invece, il limite con il Brenta è meno distinguibile perché entrambi mostrano elevati tenori in arsenico anche se nell'unità del Brenta raggiunge spesso concentrazioni superiori; a ovest il limite con il sistema dell'Agno-Guà è evidente osservando le concentrazioni di cromo e nichel, molto più elevate in quest'ultimo.

## Relazioni con i caratteri del suolo e tra metalli

Sia in superficie che in profondità si osservano correlazioni negative per diversi metalli con il pH, il contenuto in calcare e il contenuto in sabbia e positive con la percentuale di argilla e di carbonio organico. In particolare si segnala la correlazione tra argilla e vanadio (figura CL.2), berillio e cobalto. La correlazione negativa con pH e carbonati è molto probabilmente legata al contributo percentuale della frazione silicatica che ha un maggior contenuto in metalli rispetto alla frazione carbonatica. Le correlazioni tra i vari metalli non mostrano sensibili differenze tra campioni superficiali e profondi e i metalli con le maggiori correlazioni sono cromo, cobalto, nichel, berillio e vanadio.

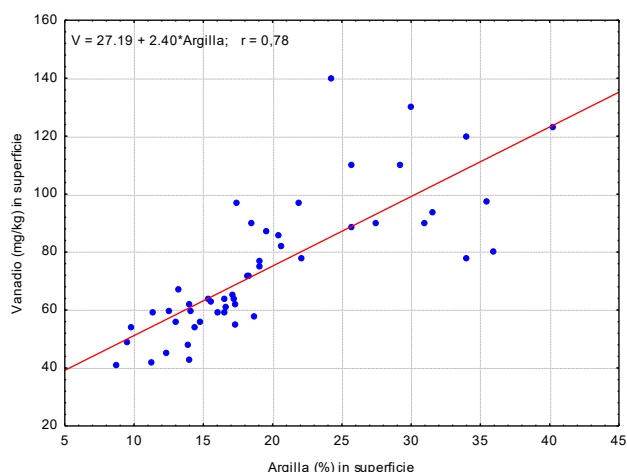


Figura CL.2: Correlazione tra contenuto totale di vanadio e di argilla negli orizzonti superficiali nell'unità delle conoidi pedemontane del sistema Leogra-Timonchio (CL).

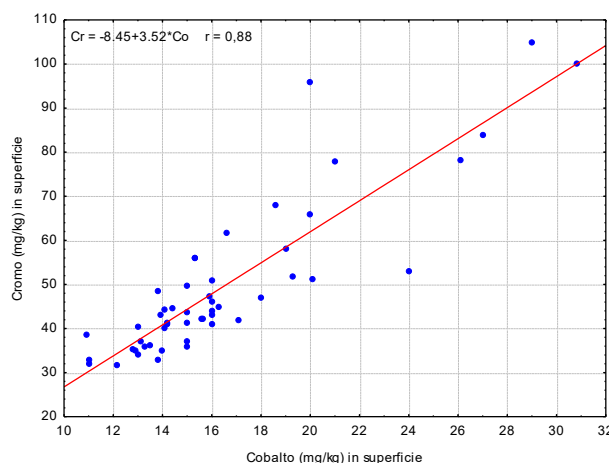
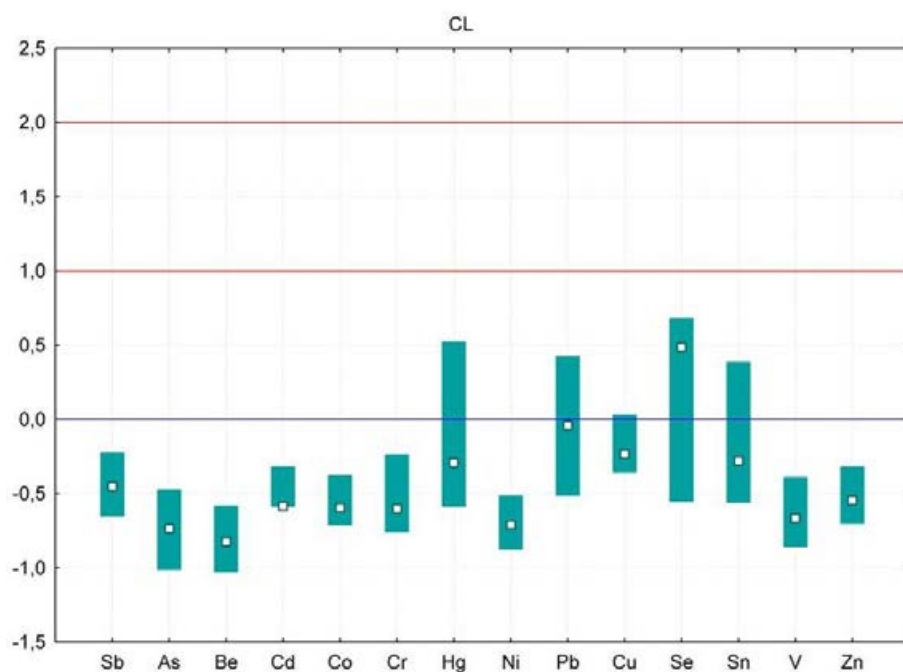


Figura CL.3: Correlazione tra contenuto totale di cromo e di cobalto negli orizzonti superficiali nell'unità delle conoidi pedemontane del sistema Leogra-Timonchio (CL).

### Arricchimento superficiale

Nell'unità delle conoidi dell'Astico l'indice di geoaccumulo è basso per tutti gli elementi, come si vede dalla figura CL.4 che riporta i valori medi dell'indice; le mediane sono sempre inferiori allo 0 ad indicare assenza di contaminazione. Fa eccezione il selenio che però sembra influenzato dai molti dati inferiori al limite di rilevabilità. Valori molto bassi dell'indice (<0,5) possono essere giustificati con una certa mobilità di alcuni metalli soprattutto in presenza di pH relativamente bassi.



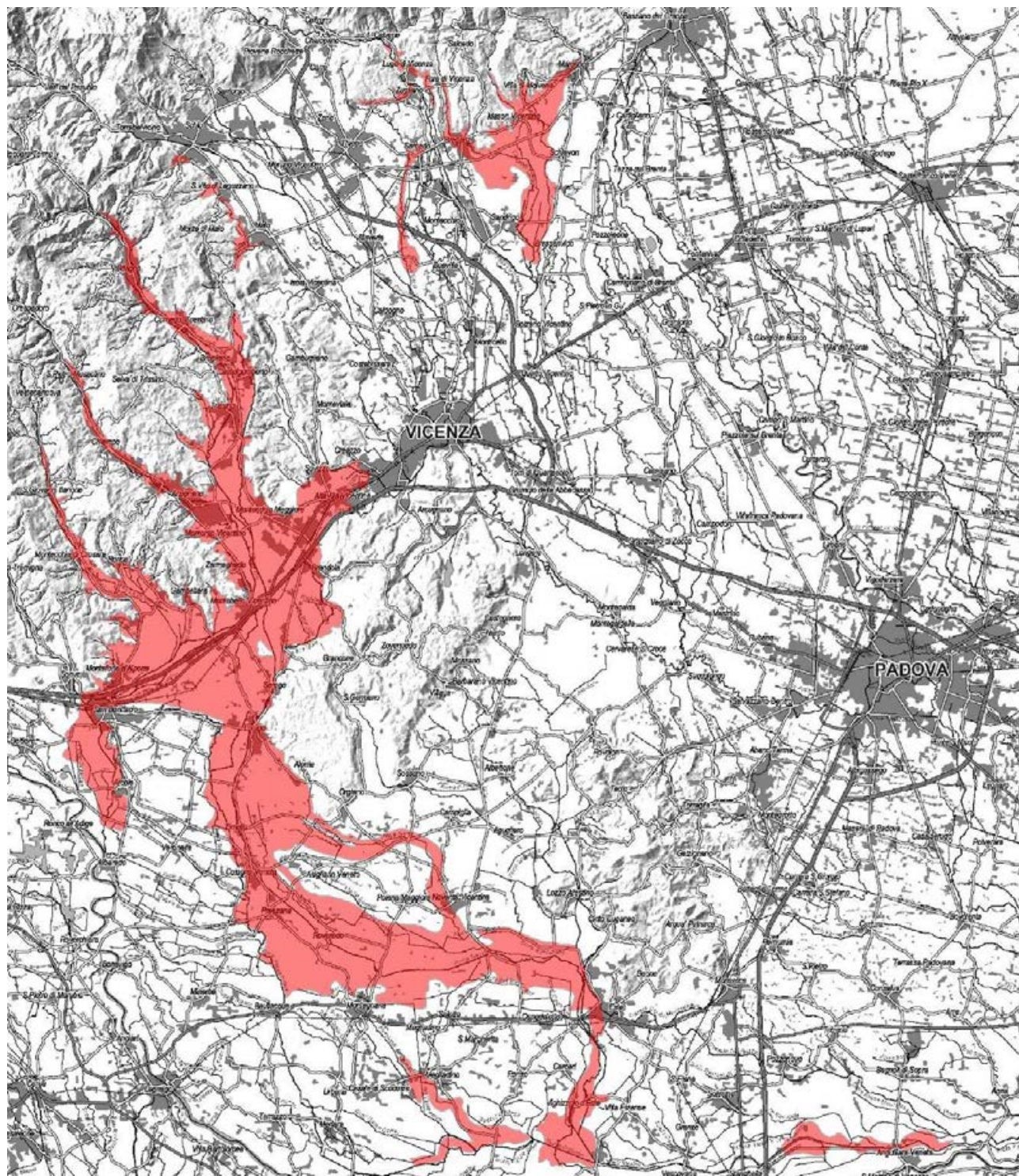
Indice IGEO	STATO DEL SUOLO
≤ 0	non contaminato
0-1	da non a moderatamente contaminato
1-2	moderatamente contaminato
2-3	da moderatamente a fortemente contaminato
3-4	fortemente contaminato
4-5	da fortemente a estremamente contaminato
>5	estremamente contaminato

Figura CL.4: Indice di geoaccumulo (IGEO) dei metalli e metalloidi dell'unità delle conoidi pedemontane del sistema Leogra-Timonchio (CL); i punti rappresentano i valori medi dell'indice mentre le barre il 25° e 75° percentile; i valori al di sotto della linea blu indicano assenza di arricchimento, tra questa e la prima linea rossa moderato arricchimento.



## DEPOSITI FLUVIALI DEL SISTEMA AGNO-GUÀ (CG)

Metallo o metalloide	Sb	As	Be	Cd	Co	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Sn	V	Zn
Valore di fondo (mg/kg)	1,9	21	1,5	0,66	50	190	0,1	160	88	103	0,42	3,4	151	160
Limite col. A, D.Lgs. 152/2006	10	20	2	2	20	150	1	120	100	120	3	--	90	150



### Inquadramento, formazione e caratteristiche generali dei suoli

L'unità deposizionale del sistema Agno-Guà si estende su una superficie di 426 km<sup>2</sup>. Le deposizioni derivano in origine dal torrente Agno che ha la sorgente nelle Prealpi vicentine, in comune di Recoaro e che nel suo percorso verso sud assume nomi diversi accogliendo le acque di altri corsi d'acqua. Infatti, dopo aver percorso la parte alta della valle montana, l'Agno assume il nome di Guà e con tale nome fiancheggia i colli



Berici. Il corso d'acqua attraversa parte delle province di Verona e di Vicenza, ricevendo le acque scolanti dai versanti meridionali dei Colli Berici ed entrando infine nella provincia di Padova. Qui muta denominazione dapprima in Fiume Frassine e poi, nel suo ultimo tratto, prima della confluenza nel Canale Gorzone, in Santa Caterina. L'Agno-Guà-Frassine-Santa Caterina ha deposto caratteristici depositi argillosi e limosi spesso al di sopra dei sedimenti dell'Adige.

Il bacino montano del fiume Agno presenta notevole variabilità litologica con elevata diffusione dei basalti in particolare in destra idrografica; i sedimenti, per questa ragione, sono costituiti da materiali litologicamente misti, carbonatici e basaltici, con un basso contenuto di carbonati.

	CG - SUPERFICIALE						CG - PROFONDO					
	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore
pH	81	7,9	0,5	8,1	7,8	8,3	73	8,3	0,3	8,3	8,2	8,4
Carb. Org. (%)	81	1,5	0,6	1,4	1,1	1,6	73	0,8	0,7	0,7	0,5	0,9
Calc. tot. (%)	78	15,9	9,2	15	10	23	72	19,9	14,2	21	5	30
Argilla (%)	79	33,7	8,4	34	29	39	71	27,6	12,7	27	18	37
Sabbia (%)	79	23,9	13,4	21	15	28	71	27,1	20,3	21	13	32
CSC (meq/100 g)	54	45,6	9,9	45	42	52	35	36,7	16,4	36	21	51

Tabella CG.1: Principali parametri statistici di alcuni caratteri del suolo nell'unità dei depositi fluviali dell'Agno-Guà (CG). A sinistra i dati dell'orizzonte superficiale a destra i dati dell'orizzonte profondo.

I sedimenti del sistema Agno-Guà si distinguono anche analiticamente da quelli dell'Adige grazie al più elevato contenuto in alcuni metalli: vanadio, nichel, cromo e cobalto. Il limite tra le due unità è però molto sfumato perché spesso le deposizioni dell'Agno-Guà si sono sovrapposte a quelle dell'Adige. Nelle aree "di confine" tra unità è pertanto possibile ritrovare delle concentrazioni di alcuni metalli diverse da quelle tipiche dell'unità soprattutto negli orizzonti profondi, ma anche all'interno della stessa unità il valore di fondo ha un intervallo di variazione ampio dovuto alla compresenza di sedimenti di origine diversa.

Rispetto alla precedente pubblicazione (ARPAV, 2011) l'unità ha subito una parziale revisione nella geografia principalmente nella porzione orientale e in quella occidentale grazie ai dati disponibili per i nuovi rilevamenti eseguiti sia in provincia di Vicenza che di Verona.

### Indagini e risultati

Nell'unità sono stati prelevati e analizzati 81 campioni superficiali e 73 profondi, numeri ampiamente adeguati per l'elaborazione statistica. Il numero di campioni è aumentato notevolmente rispetto all'elaborazione del 2011 grazie all'avanzamento del rilevamento pedologico, di conseguenza è migliorata la rappresentatività dei dati per l'unità.

Alcuni metalli hanno concentrazioni superiori al limite di legge per le aree residenziali/a verde:

- il **cobalto** come 95° percentile sia in superficie che in profondità,
- il **cromo** come 95° percentile sia in superficie che in profondità,
- il **nichel** come 95° percentile sia in superficie che in profondità,
- il **piombo** nel 99° percentile in superficie,
- il **rame** nel 99° percentile in superficie,
- il **vanadio** come 95° percentile sia in superficie che in profondità,
- lo **zinco** come 95° percentile in superficie.

Per antimonio, arsenico, berillio, cadmio, mercurio, selenio e stagno non sono stati riscontrati superamenti del limite.

**Cobalto, cromo e nichel** hanno concentrazioni elevate sia in superficie sia in profondità, data l'origine geochemica che trova riscontro con quanto osservato nell'ambiente montano nei suoli formati da litotipi basaltici (unità delle prealpi su basalti, LB); i tre metalli sono fortemente correlati tra loro (figura CG.6) e sono in concentrazioni più alte nei suoli a tessitura fine (figura CG.1 e CG.2).

CG - SUPERFICIALE									CG - PROFONDO								
	N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile		N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile
Sb	72	0,94	0,55	0,84	0,57	1,1	1,9	2,9	Sb	68	0,74	0,52	0,64	0,44	0,87	1,5	2,3
As	77	9,12	3,66	9,0	6,7	11	15	17	As	68	9,53	5,52	8,7	5,4	12	21	28
Be	76	0,73	0,36	0,76	0,25	0,95	1,3	1,5	Be	67	0,72	0,39	0,72	0,25	0,90	1,5	1,6
Cd	81	0,32	0,16	0,25	0,25	0,25	0,66	0,93	Cd	72	0,27	0,11	0,25	0,25	0,25	0,39	0,77
Co	81	29,7	10,8	28	23	36	50	53	Co	73	26,2	11,5	25	19	33	48	53
Cr	79	114,2	42,1	108	90	130	186	209	Cr	73	97,9	45,5	93	69	120	190	201
Hg	76	0,05	0,03	0,03	0,03	0,06	0,10	0,15	Hg	69	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,09	0,10
Ni	81	93,8	35,6	91	75	112	160	182	Ni	72	81,0	37,4	76	58	110	145	160
Pb	81	25,0	37,4	15	9,6	22	88	194	Pb	72	9,48	6,34	8,2	2,5	14	22	24
Cu	64	53,1	22,8	47	39	62	103	121	Cu	72	29,7	11,3	29	22	37	48	56
Se	76	0,24	0,12	0,23	0,10	0,32	0,42	0,63	Se	68	0,17	0,17	0,10	0,10	0,13	0,37	0,81
Sn	75	1,91	0,85	1,8	1,4	2,2	3,4	4,5	Sn	68	1,44	0,65	1,4	1,1	1,7	2,5	3,5
V	76	105,6	28,1	105	90	120	151	182	V	68	96,1	34,4	100	80	118	151	167
Zn	81	111,5	28,3	110	90	124	160	182	Zn	72	85,0	23,3	83	71	100	119	136

Tabella CG.2: Principali parametri statistici delle concentrazioni di metalli e metalloidi nell'unità dei depositi fluviali dell'Agno-Guà (CG). A sinistra i dati dell'orizzonte superficiale a destra i dati dell'orizzonte profondo. Dati espressi in mg/kg.

Il **vanadio**, come i precedenti, risulta a concentrazioni superiori ai limiti di legge sia in superficie che in profondità (valore di fondo pari a 151 mg/kg), a prova dell'origine geochimica; anch'esso è presente nei basalti dove i suoli ne contengono concentrazioni medie di 150 mg/kg. Le concentrazioni più alte si hanno nei suoli a tessiture più fini (figura CG.3).

Anche lo **zinco** è tipicamente legato ai materiali basaltici che caratterizzano i sedimenti del sistema dell'Agno-Guà; le concentrazioni negli orizzonti superficiali risultano però mediamente più elevate rispetto a quelle riscontrate a maggior profondità a causa principalmente all'apporto con fertilizzanti minerali e organici oltre che all'effetto di *plant pumping*; tra gli usi agricoli (figura CG.4) i valori più bassi si trovano nei seminativi per un effetto di diluizione che si verifica con l'aratura.

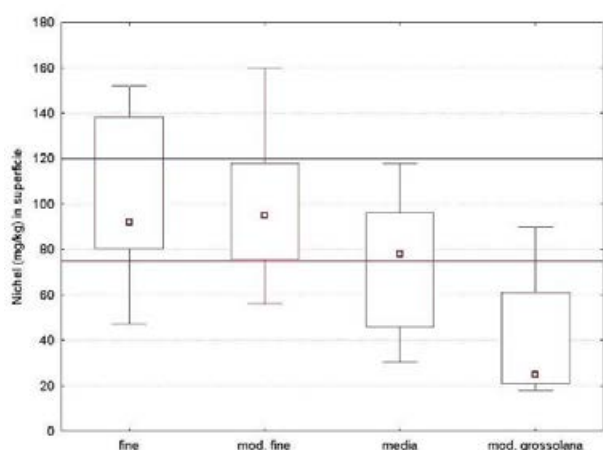


Figura CG.1: Contenuto totale di nichel (mg/kg) in superficie nell'unità dei depositi fluviali dell'Agno-Guà in base alle classi tessiture USDA aggregate. Fine= A, AS, AL; Mod. fine= FSA, FA, FLA; Media= F, FL, L; Mod. grossolana= FS. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs.152/2006, in rosso il limite del D.Lgs.99/1992.

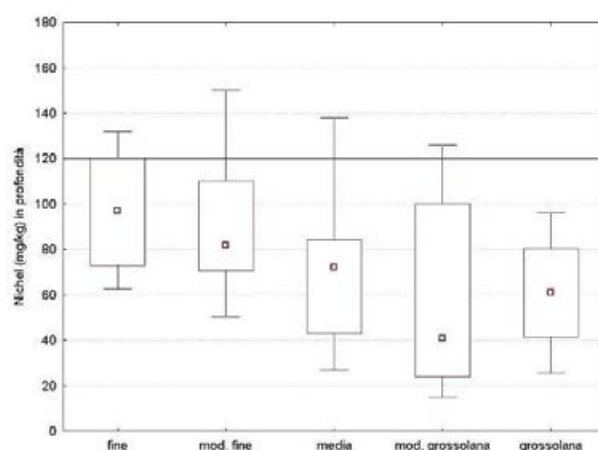


Figura CG.2: Contenuto totale di nichel (mg/kg) in profondità nell'unità dei depositi fluviali dell'Agno-Guà in base alle classi tessiture USDA aggregate. Fine= A, AS, AL; Mod. fine= FSA, FA, FLA; Media= F, FL, L; Mod. grossolana= FS; Grossolana= SF, S. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs.152/2006.

Rispetto al volume del 2011 la numerosità campionaria è aumentata notevolmente ma i risultati sono rimasti molto simili, in termini di media, mediana e valore di fondo, sebbene nella prima elaborazione fossero disponibili solo una quindicina di campioni rispetto ai circa 80 attuali. Tali limitate differenze, tra valori di fondo definiti con numerosità campionarie così diverse, avvalorano la qualità della metodologia adottata.

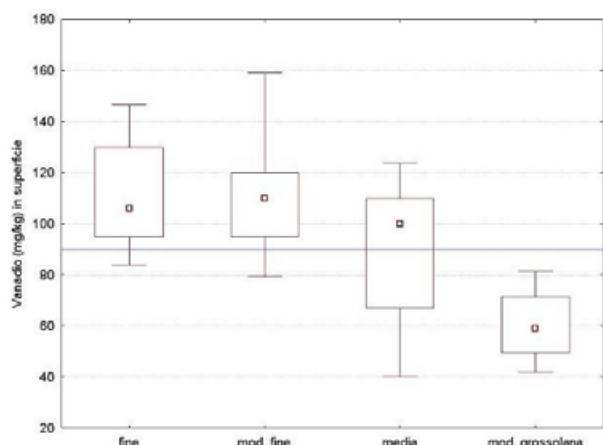


Figura CG.3: Contenuto totale di vanadio (mg/kg) in superficie nell'unità dei depositi fluviali dell'Agno-Guà in base alle classi tessiture USDA aggregate. Fine= A, AS, AL; Mod. fine= FSA, FA, FLA; Media= F, FL, L; Mod. grossolana= FS. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs.152/2006.

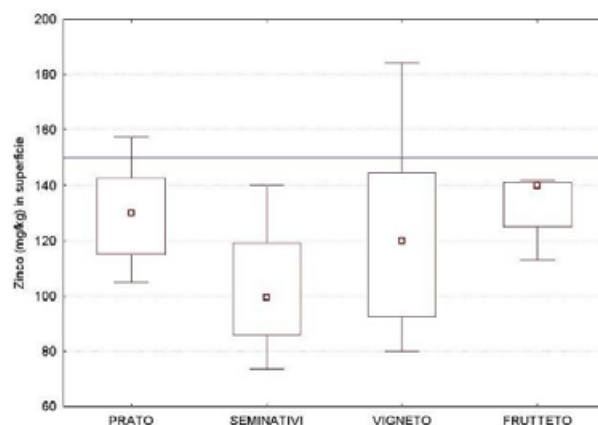


Figura CG.4: Contenuto totale di zinco (mg/kg) in superficie nell'unità dei depositi fluviali dell'Agno-Guà in base all'uso del suolo. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs.152/2006.

### Differenze con le unità deposizionali/fisiografiche limitrofe

Come accennato sopra, l'unità del sistema Agno-Guà si differenzia da quella dell'Adige, a ovest, del Brenta, a est, e dei rilievi collinari e prealpini su rocce carbonatiche (SD, LC, RB) per il maggior contenuto in nichel, cromo, cobalto e vanadio. Nickel, cromo, cobalto e vanadio risultano invece in concentrazioni più basse rispetto ai rilievi su basalti (LB) che risultano parte del materiale che va a costituire i sedimenti del sistema Agno-Guà.

### Relazioni con i caratteri del suolo e tra metalli

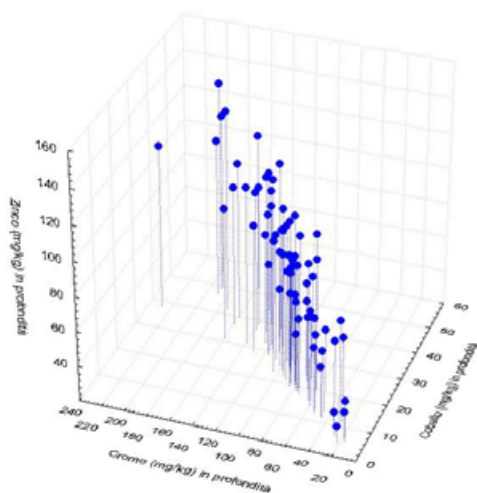


Figura CG.5: Correlazione tra contenuto totale di cromo, cobalto e zinco negli orizzonti profondi nell'unità del sistema Agno-Guà (CG).

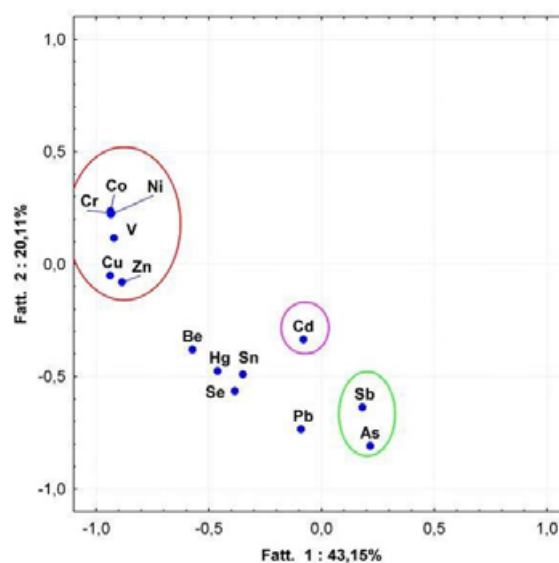


Figura CG.6: Orizzonti profondi dei suoli dell'unità del sistema Agno-Guà (CG): grafico dei primi due fattori della PCA e cluster di variabili; in rosso il primo, in verde il secondo, in viola il terzo.

Tra i caratteri del suolo, la capacità di scambio cationico (CSC), particolarmente elevata nei materiali di origine basaltica, ha le correlazioni più forti con alcuni elementi: cobalto, nichel, cromo e vanadio sia in superficie che in profondità (coefficiente di correlazione  $r$  tra 0,81 e 0,90); per altri elementi, che hanno anche apporti antropici, come rame e zinco, la correlazione diventa forte solo in profondità (zinco:  $r=0,37$  in superficie e 0,83 in profondità).

Per quanto riguarda le relazioni tra i diversi elementi, quelli correlati tra loro più significativamente sono nichel, cobalto, cromo e vanadio, indipendentemente dalla profondità ( $r$  variabile da 0,84 a 0,89); altri come rame e zinco soltanto in profondità; ad esempio il coefficiente di correlazione tra vanadio e zinco è 0,48 in superficie e 0,74 in profondità.

Dall'analisi delle componenti principali (PCA) si nota come circa il 71% della varianza totale si spiega con 3 fattori: il primo spiega il 43% della varianza, il secondo il 20%, il terzo l'8%. All'interno del primo fattore pesano prevalentemente **zinco, rame, cromo, nichel, cobalto e vanadio**, al secondo fattore contribuiscono **antimonio e arsenico**, al terzo il **cadmio**.

### Arricchimento superficiale

Nell'unità l'indice di geoaccumulo è in generale basso per quasi tutti gli elementi, come si nota dalla figura CG.7, che riporta i valori mediاني dell'indice; soltanto per rame e piombo per i quali sono noti fenomeni di apporto antropico, l'indice assume un valore mediano compreso tra 0 e 1 che corrisponde ad una leggera contaminazione. Per quanto riguarda il valore per il selenio questo risulta fortemente condizionato dai valori inferiori al limite di rilevabilità e quindi scarsamente rappresentativo.

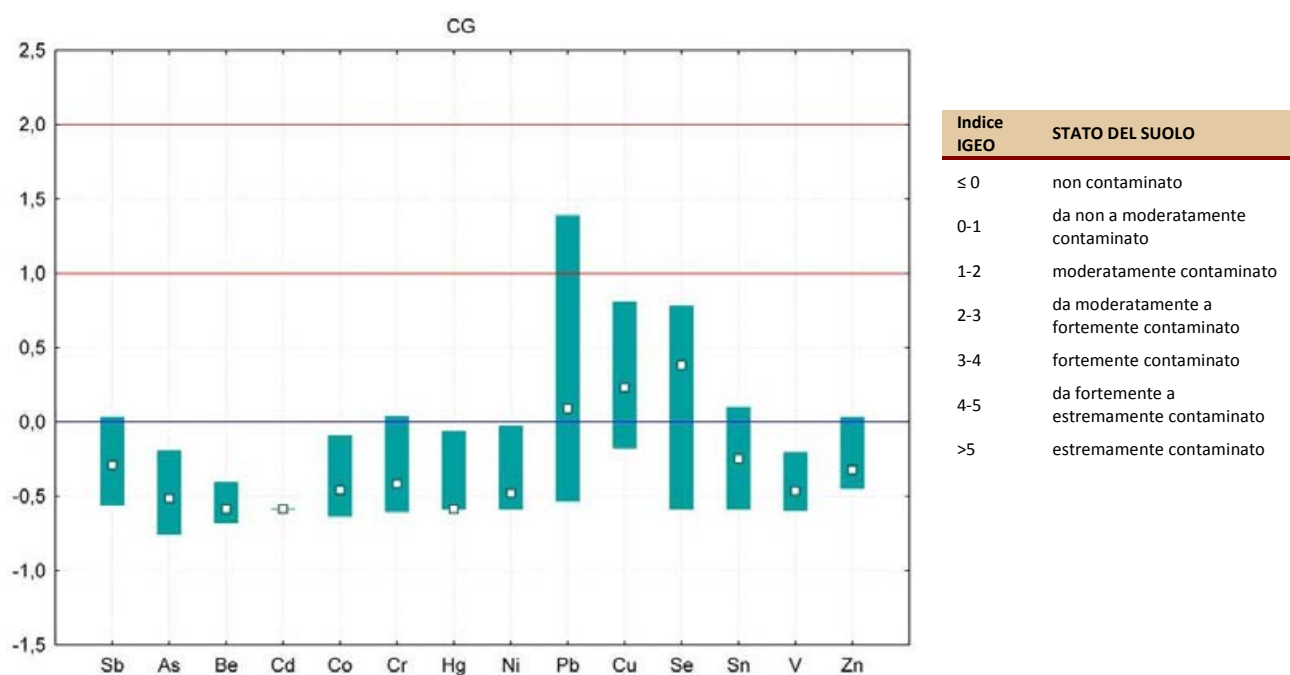


Figura CG.7: Indice di geoaccumulo (IGEO) dei metalli e metalloidi dell'unità dei depositi fluviali del sistema Agno-Guà (CG); i punti rappresentano i valori mediاني dell'indice mentre le barre il 25° e 75° percentile; i valori al di sotto della linea blu indicano assenza di arricchimento, tra questa e la prima linea rossa moderato arricchimento.



## Bacino di laminazione di Montebello (VI) – Verifica dei valori di fondo

Il progetto prevede la creazione di un bacino di espansione lungo l'asta fluviale del Chiampo a nord di Montebello Vicentino (VI) e la gestione dei materiali scavati dal bacino come terre e rocce da scavo secondo quanto indicato dal DM 161/2012; tale decreto prevede che i materiali da scavo possono essere gestiti come sottoprodotti solo quando rispettano i limiti delle concentrazioni soglia di contaminazione definiti alle colonne A e B del D.Lgs. 152/2006.



Figura CG.8: Ubicazione dei sondaggi realizzati.

Si ricorda, per inciso, che il D.Lgs.152/2006 non prevede dei limiti specifici per le aree agricole, sebbene l'articolo 241 faccia riferimento all'emanazione di un regolamento interministeriale specifico per le aree agricole che non è ancora stato pubblicato. Attualmente in mancanza di limiti specifici per i suoli agricoli, una nota dell'Istituto Superiore di Sanità stabilisce che per questi possano essere applicati quelli relativi ai siti a verde pubblico, privato e residenziale (colonna A).

Per la caratterizzazione ambientale dell'area di scavo per la realizzazione del bacino di espansione sono stati analizzati 332 campioni provenienti

da 168 sondaggi spinti fino ad una profondità di 3 metri, la cui ubicazione è evidenziata nella figura 1. L'area di indagine ricade all'interno dell'unità deposizionale "Depositi fluviali del sistema Agno-Guà – CG", descritta nel volume del 2011 (con sigla MV2), per la quale erano stati definiti, per diversi metalli (berillio, cobalto, cromo, nichel, vanadio e zinco) dei valori di fondo superiori ai limiti di colonna A. All'epoca dell'indagine (2014) nell'area era disponibile un numero alquanto limitato di dati (14 campioni superficiali e 14 profondi), pubblicati nel volume ARPAV del 2011, rispetto agli oltre 70 punti campionati ed analizzati in superficie e in profondità disponibili oggi.

Lo studio quindi, essendo stato realizzato a cavallo tra la prima elaborazione dei valori di fondo e il presente lavoro, anche grazie all'elevato numero di dati, ha permesso sia di validare i valori di fondo definiti nel 2011 che verificare la bontà della metodologia utilizzata anche in situazioni di bassa numerosità campionaria.

Nella tabella CG.3 sono riportati i valori i parametri statistici dei metalli nei campioni raccolti a Montebello, mentre i singoli metalli sono descritti di seguito.

### Cobalto

Il cobalto ha nell'area di indagine concentrazioni molto elevate e per tale metallo è stato definito un valore di fondo pari a 50 mg/kg, praticamente uguale al

valore attribuito nel 2011 (49 mg/kg), a fronte di un limite di legge di 20 mg/kg. I campioni analizzati nel bacino di Montebello mostrano un andamento degli indicatori statistici molto simile ai dati a disposizione nell'intera unità; l'unica eccezione è data del valore massimo nettamente superiore e pari a 81 mg/kg determinato in un campione profondo (-4/-5 m).

	N	Media	Dev.Std.	Mediana	95° perc.	Massimo
Arsenico	332	4,5	2,8	2,5	10,5	14
Cobalto	332	31	13,3	32	51	81
Cromo	332	120	76,2	130	191	861
Nichel	332	103	46,2	108	170	300
Piombo	332	7,2	6,5	6,0	17,5	65
Vanadio	332	101	33,0	96	160	200
Zinco	331	86	33,0	96	125	236

Tabella CG.3: Statistica descrittiva dei campioni raccolti nel bacino di Montebello; sui dati non è stata effettuata alcuna eliminazione degli outliers.

Cromo

Il cromo presenta nell'area di indagine concentrazioni molto elevate; per tale metallo è stato definito nel 2011 un valore di fondo per l'unità deposizionale pari a 180 mg/kg, sostanzialmente confermato dai nuovi dati (190 mg/kg). Il valore di fondo dell'unità è congruo con il 95° percentile nel bacino di Montebello pari a 191 mg/kg; l'anomalia principale è invece rappresentata dai valori più elevati poiché sono stati riscontrati campioni con concentrazioni fino a 861 mg/kg, evidentemente oggetto di contaminazione antropica.

Sul set analitico è stata effettuata una ricerca degli outliers sia con metodi grafici che utilizzando il test di Rosner; tale verifica ha portato all'identificazione di 8 outliers caratterizzati da una concentrazione superiore ai 250 mg/kg. Tutti gli outliers sono stati raccolti nel primo metro di profondità, aspetto che avvalorava la probabile contaminazione antropica.

Nichel

Il nichel è noto per avere, nell'unità in cui ricade l'area di indagine, concentrazioni molto elevate e per tale metallo è stato definito nel 2011 un valore di fondo pari a 161 mg/kg, valore confermato anche dai nuovi dati a disposizione (160 mg/kg).

I campioni del bacino di Montebello mostrano un andamento degli indicatori statistici simile ai dati a disposizione nell'unità, anche se con media, mediana e 95° percentile leggermente superiori; la ricerca degli outliers attraverso il test di Rosner ha portato al riconoscimento come outlier del valore massimo (300 mg/kg).

Piombo

Si osservano dei valori mediamente più bassi nel bacino di Montebello rispetto ai dati a disposizione nell'unità; tale differenza è dovuta alla profondità di raccolta di quest'ultimi che si limita al primo metro includendo numerosi campioni dell'orizzonte più superficiale che risulta, in molti casi, fortemente arricchito a causa delle deposizioni atmosferiche di questo metallo che si sono avute nei decenni precedenti all'introduzione delle benzine senza piombo.

Vanadio

Per tale metallo è stato definito un valore di fondo pari a 151 mg/kg che ha confermato il valore assegnato nel 2011 (146 mg/kg) e nettamente superiore al limite di legge (90 mg/kg).

I campioni analizzati nel bacino di Montebello mostrano un andamento dei principali indicatori statistici molto simile ai dati a disposizione nell'unità, in particolare per media e mediana (101 e 96 mg/kg, rispettivamente) mentre si osserva un moderato aumento sia per il 95° percentile, pari a 160 mg/kg, che per il valore massimo, pari a 200 mg/kg. Sul set analitico è stata effettuata una ricerca degli outliers sia con metodi grafici che utilizzando il test di Rosner; tale verifica non ha portato all'identificazione di nessun outlier. Su tutti i campioni con concentrazione superiore al valore di fondo sono stati effettuati dei test statistici (Wilcoxon-Mann-Whitney e Kruskal-Wallis) per la verifica della confrontabilità della mediana e della media della concentrazione in vanadio e, rispettivamente, cobalto, cromo e nichel, che hanno dato esito positivo confermando l'assenza di anomalie nelle concentrazioni, e quindi dell'origine naturale.

Zinco

Per quanto riguarda lo zinco si osserva una buona corrispondenza tra i dati raccolti per la caratterizzazione dei materiali da scavo e i dati dell'unità deposizionale: media, mediana e 95° percentile risultano leggermente inferiori e solo 2 campioni risultano superiori al limite di colonna A; il primo pari a 160 mg/kg risulta comunque uguale al valore di fondo mentre il secondo è stato identificato come outlier.

La caratterizzazione dei materiali da scavo di Montebello ha, in sostanza, confermato i valori di fondo definiti per l'unità deposizionale del sistema Agno-Guà, sebbene il bacino corrisponda a una piccola porzione di tutta l'unità ed è stata confermata anche la bontà della metodologia utilizzata per la loro definizione. La definizione di valori di fondo per metalli nei suoli ha permesso, inoltre, di limitare ulteriori accertamenti in campo e analitici garantendo al tempo stesso una gestione adeguata dal punto di vista ambientale dei materiali dell'area.

## COSTIERO NORD-ORIENTALE (DP)

Metallo o metalloide	Sb	As	Be	Cd	Co	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Sn	V	Zn
Valore di fondo (mg/kg)	0,6	11	0,6	0,25	6	32	0,37	19	38	45	0,32	2,0	43	70
Limite col. A, D.Lgs 152/2006	10	20	2	2	20	150	1	120	100	120	3	--	90	150



### Inquadramento, formazione e caratteristiche generali dei suoli

L'unità deposizionale costiero nord-orientale occupa una superficie di 98 km<sup>2</sup>, e si estende tra la foce del Tagliamento, a nord, e Chioggia, a sud.

I sedimenti, di origine marina con rimaneggiamento fluviale, hanno un contenuto di carbonati tra il 40 e il 60%.

Nei confronti delle unità deposizionali limitrofe di Tagliamento, Piave e Brenta, l'unità costiero nord-orientale si distingue in generale per le granulometrie prevalentemente sabbiose. Nelle aree di confine tra le unità è comunque possibile trovare delle concentrazioni di alcuni metalli più alte di quelle tipiche dell'unità.

Questa pianura costiera è costituita dai cordoni litoranei sabbiosi più esterni di Bibione e da quelli di Caorle e Jesolo nella parte nord-orientale, del Cavallino, del Lido di Venezia, di Pellestrina e Chioggia, che separano la laguna di Venezia dal mare. Ad eccezione di alcune aree naturali di estensione limitata (Vallevecchia, pineta degli Alberoni), questi cordoni litoranei sono stati modificati dall'attività umana con lavori di spianamento, di escavazione per l'utilizzo della sabbia e di urbanizzazione, tanto che non è più possibile riconoscere l'originaria alternanza di dune e interdune. In diverse zone delle isole lagunari, inoltre, la pratica di utilizzare i sedimenti lagunari per aumentare il franco di coltivazione o per estendere il suolo a

disposizione per le attività agricole, ha ulteriormente modificato la morfologia e le caratteristiche del suolo che in queste aree sono a tessitura prevalentemente limosa.

I campioni prelevati nelle isole della laguna di Venezia sono stati esclusi dalla determinazione del valore di fondo per questa unità per la presenza di numerosi valori anomali in particolar modo per mercurio, piombo, rame e stagno (si veda scheda alla fine dell'unità).

	DP - SUPERFICIALE						DP- PROFONDO					
	N Dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore	N Dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore
pH	23	8,2	0,3	8,3	8,2	8,4	23	8,6	0,3	8,7	8,4	8,8
Carb. Org. (%)	23	1,7	3,8	0,7	0,4	1,0	23	0,3	0,4	0,1	0,0	0,4
Calc. tot. (%)	23	52,3	16,0	47	42	61	23	61,0	13,0	61	51	73
Argilla (%)	22	9,1	8,9	4	3	13	24	4,2	5,8	2	2	4
Sabbia (%)	22	70,8	29,6	89	45	92	24	86,9	21,5	94	89	97
CSC (meq/100 g)	18	7,5	7,8	5	3	10	18	2,9	3,6	2	0	4

Tabella DP.1: Principali parametri statistici di alcuni caratteri del suolo in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nell'unità deposizionale costiero nord-orientale.

### Indagini e risultati

Nell'unità deposizionale sono stati prelevati e analizzati 24 campioni superficiali e 24 campioni profondi, numeri sufficienti per l'elaborazione statistica anche se inferiori a 30, numero previsto dalla norma ISO 19258 (2005) per la determinazione del valore di fondo. Il numero di campioni è più che raddoppiato rispetto all'elaborazione del 2011.

Si riportano nelle tabelle DP.1 e DP.2 i risultati delle determinazioni analitiche: metalli e metalloidi e parametri chimici generali del suolo, negli orizzonti superficiali e profondi.

	DP - SUPERFICIALE								DP - PROFONDO							
	N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile	N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile
<b>Sb</b>	19	0,33	0,17	0,34	0,23	0,47	0,56	0,61	<b>Sb</b>	24	0,22	0,14	0,18	0,10	0,31	0,48
<b>As</b>	22	7,03	2,72	7,1	4,4	8,6	11	13	<b>As</b>	24	5,79	2,52	5,6	3,9	7,6	9,3
<b>Be</b>	19	0,34	0,16	0,25	0,25	0,38	0,64	0,66	<b>Be</b>	19	0,27	0,07	0,25	0,25	0,25	0,28
<b>Cd</b>	24	0,25	0,01	0,25	0,25	0,25	0,25	0,28	<b>Cd</b>	24	0,25	0,00	0,25	0,25	0,25	0,25
<b>Co</b>	24	2,66	1,66	2,0	1,6	3,3	5,7	5,9	<b>Co</b>	24	1,98	1,28	1,8	1,2	2,1	5,0
<b>Cr</b>	24	12,3	9,77	7,8	6,0	13	32	37	<b>Cr</b>	24	6,18	5,89	3,8	2,5	6,8	20
<b>Hg</b>	21	0,12	0,14	0,09	0,03	0,15	0,37	0,51	<b>Hg</b>	24	0,05	0,10	0,03	0,03	0,03	0,10
<b>Ni</b>	24	7,34	6,08	3,9	3,1	10	19	20	<b>Ni</b>	24	4,91	4,14	3,7	3,0	4,4	15
<b>Pb</b>	24	14,0	13,2	11	2,5	17	38	50	<b>Pb</b>	24	4,39	4,12	2,5	2,5	2,8	11
<b>Cu</b>	24	16,1	14,3	13	5,6	21	45	49	<b>Cu</b>	24	4,92	5,61	2,5	2,5	3,4	15
<b>Se</b>	19	0,15	0,09	0,10	0,10	0,16	0,32	0,33	<b>Se</b>	19	0,10	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10
<b>Sn</b>	18	0,82	0,61	0,51	0,38	1,4	2,0	2,1	<b>Sn</b>	19	0,42	0,37	0,27	0,15	0,61	1,1
<b>V</b>	19	20,8	12,7	15	12	28	43	46	<b>V</b>	19	13,6	5,96	12	11	15	22
<b>Zn</b>	24	38,5	19,2	36	23	52	70	70	<b>Zn</b>	24	16,4	12,0	10,0	10,0	19	46

Tabella DP.2: Principali parametri statistici delle concentrazioni dei metalli e metalloidi in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nell'unità deposizionale costiero settentrionale espressi in mg/kg.



Nessuno tra i metalli indagati ha concentrazioni superiori al limite di legge per le aree residenziali/a verde.

Rispetto alla precedente pubblicazione (ARPAV, 2011), le differenze più rilevanti per quanto riguarda i valori di fondo si sono osservate per cromo (da 19 mg/kg a 32) e nichel (da 8 mg/kg a 19), per i quali il valore è più alto, e piombo (da 51 mg/kg a 38), rame (da 58 mg/kg a 45) e stagno (da 5,7 mg/kg a 2) per i quali invece i valori sono più bassi. Queste differenze sono dovute per lo più alla maggior numerosità del campione e alla migliore definizione dei limiti delle unità.

### Differenze con le unità deposizionali/fisiografiche limitrofe

L'unità costiero nord-orientale si differenzia dalle unità limitrofe per le concentrazioni più basse di tutti i metalli dovute alla granulometria prevalentemente sabbiosa dell'unità.

### Relazioni con i caratteri del suolo e tra metalli

Diversi elementi come cobalto, berillio, cromo, nichel (figura DP.1) e vanadio sono correlati significativamente con l'argilla in superficie e in profondità (coefficiente di correlazione  $r$  superiore a 0,9), altri come rame, piombo, zinco e stagno, in cui l'apporto antropico è più probabile, hanno correlazioni alte soltanto in profondità. Va tenuto presente che in questi suoli l'argilla è presente in percentuali non molto alte.

Per quanto riguarda le relazioni tra i diversi elementi, sono molto forti soprattutto in profondità ma evidenti anche in superficie per molti metalli.

Le correlazioni più forti, sia in superficie che in profondità, sono tra nichel e vanadio ( $r=0,96$ , figura DP.2), vanadio e cromo ( $r=0,94$  in profondità) e tra vanadio e berillio ( $r=0,82$  in profondità); il berillio sembra essere legato, oltre che al vanadio, anche a cromo e cobalto ( $r=0,80$ ), forti le relazioni tra nichel, cromo e cobalto ( $r$  tra 0,86 e 0,90). Queste relazioni sono molto simili a quelle riscontrate nelle unità di Tagliamento e Piave da cui il materiale deriva.

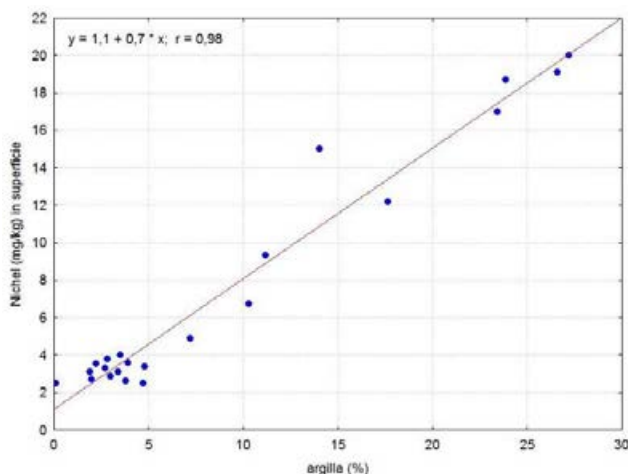


Figura DP.1: Correlazione tra contenuto totale di nichel e di argilla negli orizzonti superficiali nell'unità del costiero nord-orientale.

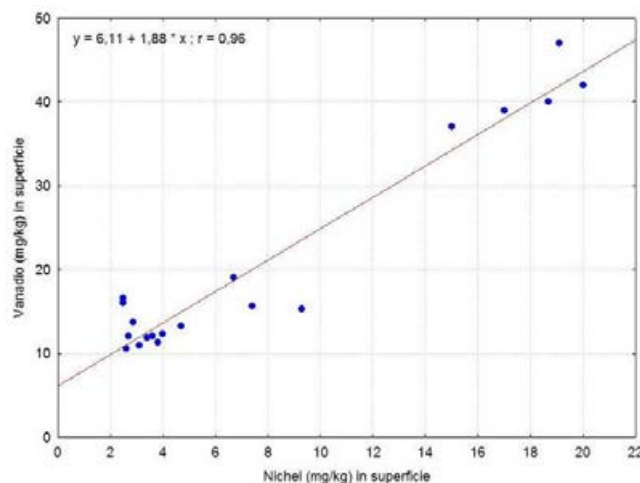


Figura DP.2: Correlazione tra contenuto totale di nichel e vanadio negli orizzonti superficiali nell'unità del costiero nord-orientale.

### Arricchimento superficiale

Nell'unità costiero nord-orientale l'indice di geoaccumulo è in generale basso per la maggioranza degli elementi, come si nota dalla figura DP.3 che riporta i valori mediani dell'indice; soltanto per lo stagno l'indice assume un valore mediano superiore a 1 (moderato arricchimento). Antimonio, berillio, cromo, mercurio, piombo, rame e zinco hanno un indice IGEO compreso tra 0 e 1, ma a fronte di contenuti piuttosto bassi.

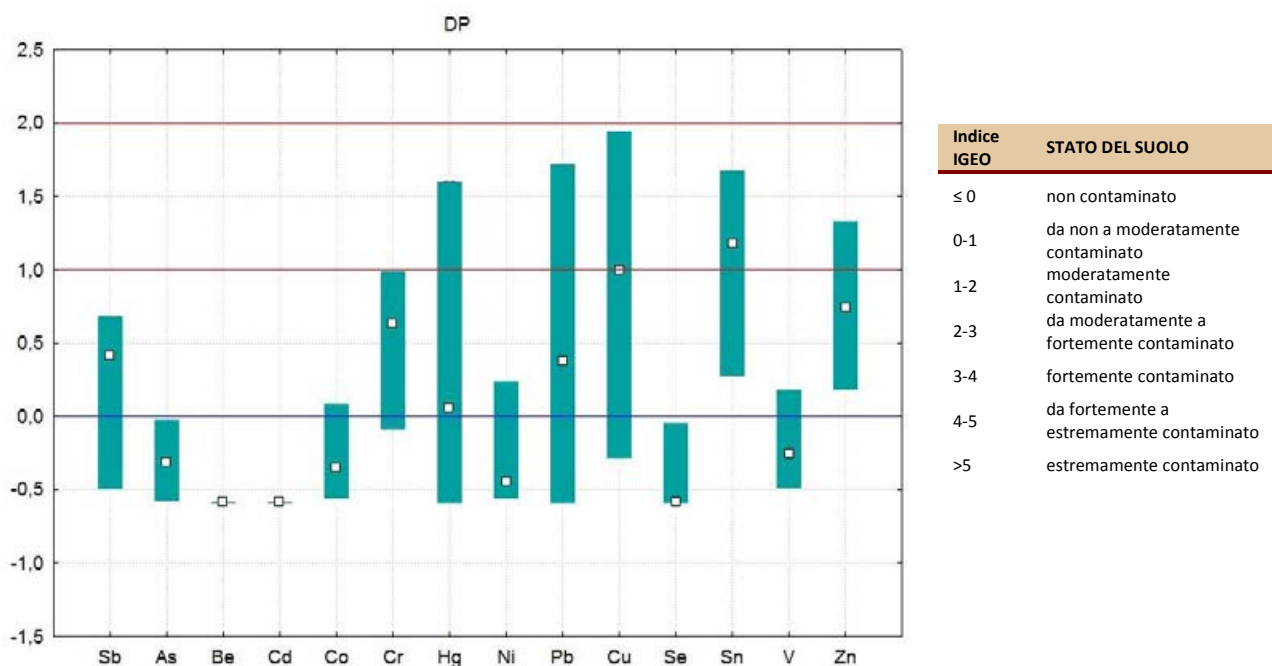


Figura DP.3: Indice di geoaccumulo (IGEO) dei metalli e metalloidi dell'unità costiero nord-orientale: i punti rappresentano i valori mediani dell'indice, le barre azzurre il 25° e 75° percentile; i valori al di sotto della linea blu indicano assenza di arricchimento, tra questa e la prima linea rossa moderato arricchimento.

### Contenuto in metalli nei suoli dell'isola di Murano

Su incarico del Comune di Venezia, ARPAV ha svolto una indagine per determinare i valori di fondo per metalli e metalloidi nei suoli dell'isola di Murano.

Il progetto prevedeva di individuare sia il livello naturale dell'elemento nel suolo che il livello naturale antropico, tenendo conto del contesto fortemente urbanizzato dell'isola di Murano; per il raggiungimento di tale obiettivo sono stati eseguiti prelievi, spinti fino a 3 metri di profondità, in 27 siti (figura DP.4) distribuiti in modo sufficientemente omogeneo sulla superficie dell'isola, in modo tale da raggiungere la numerosità campionaria prevista dalla norma ISO 19258, per un totale di 70 campioni.

La localizzazione dei siti di campionamento è stata concordata tra ARPAV e Comune di Venezia e la scelta è ricaduta su siti pubblici prevalentemente occupati a verde urbano.

Rispetto all'ipotesi iniziale, il valore di fondo per i suoli di Murano è stato calcolato trattando insieme i dati per tutti gli strati indagati; tale scelta è dovuta a due ragioni: da una parte la constatazione della presenza di valori anomali anche in profondità che rende impossibile la definizione di un valore di fondo naturale e dall'altra la possibilità di avere una numerosità più elevata del data set, e di conseguenza delle elaborazioni statistiche più robuste.

I valori di fondo calcolati per i suoli dell'isola di Murano presentano per diversi metalli delle concentrazioni decisamente anomale se confrontate con quelle rilevate per i suoli agricoli della regione Veneto. Tali concentrazioni sono molto probabilmente imputabili al riporto di materiali contenenti gli scarti della lavorazione del vetro; questi apporti si sono realizzati nel corso di diversi secoli a partire dall'insediamento delle prime fornaci per la produzione del vetro.

La produzione di vetro è documentata a Venezia fin dal VII secolo; nel XIII secolo tutta la produzione venne spostata a Murano per difendere Venezia dagli incendi e preservare i segreti tecnologici della produzione. Attualmente ci sono ancora diverse fornaci attive anche se il settore mostra un forte declino a partire dagli anni '90.

Le sostanze utilizzate nella produzione del vetro artistico sono sabbie silicee (K e Na-feldspati), soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), potassa ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ), carbonati, dolomite e allumina. Altre sostanze possono essere aggiunte al vetro: vitrificanti ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), agenti fondenti ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Li}_2\text{O}$ ), stabilizzanti ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{PbO}$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), affinantanti ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{NaNO}_3$ ). Diversi metalli (es. Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Cd, Au, e U) sono aggiunti invece come coloranti.



Figura DP.4: Localizzazione dei siti e profondità di campionamento.

Concentrazioni anomale di metalli sono note da tempo sia sui sedimenti della laguna che in altre isole e riguardano zinco, rame, piombo, mercurio e stagno mentre sembrano una peculiarità di Murano e del suo comparto produttivo la presenza di elevate concentrazioni di **arsenico** e **antimonio**. Valori di fondo superiori ai limiti per le aree residenziali sono stati riconosciuti per antimonio, cadmio, piombo, rame, stagno e zinco mentre arsenico e mercurio presentano valori di fondo superiori anche ai limiti per le aree commerciali e industriali (tabella DP.3).

	Sb	As	Cd	Hg	Pb	Cu	Sn	Zn
<b>Valore di fondo</b>	25	78	10	12	712	297	38	220

Tabella DP.3: Valori di fondo per metalli e metalloidi nei suoli dell'isola di Murano superiori alle CSC, dati espressi in mg/kg.

Prima e durante lo studio è stata raccolta una serie di dati analitici su campioni di suolo prelevati a Murano, in particolare nell'ambito di procedimenti di bonifica o per la caratterizzazioni dei materiali di scavo; tali dati non sono stati utilizzati nella definizione dei valori di fondo, qui riportati, per un motivo di uniformità in quanto provenienti da laboratori diversi e raccolti con metodiche di campionamento differenti ma, in linea di massima, mostrano delle concentrazioni, soprattutto nei valori massimi, confrontabili con quelli rilevati da ARPAV.

Per avere un quadro completo sulla presenza e pericolosità di metalli nel suolo le indagini sono proseguite con il coordinamento di Regione e ASL n°12 di Venezia.

## Concentrazione dei metalli nelle isole della Laguna di Venezia

Come già in precedenza accennato, sono stati prelevati e analizzati campioni anche nelle isole della laguna di Venezia (Burano, Torcello, Mazzorbo, San Francesco del Deserto, Sant'Erasmo, Le Vignole) ma i dati sono stati elaborati separatamente dal resto dell'unità costiero nord-orientale alla quale appartengono da un punto di vista geografico e deposizionale. Per l'isola di Murano è stato fatto un approfondimento specifico (vedi scheda precedente), su incarico del Comune di Venezia, ma anche nelle isole vicine, non direttamente interessate a questa attività, sono state riscontrate concentrazioni di alcuni metalli di molto superiori rispetto al resto dell'unità (tabella DP.4); si tratta di **mercurio, piombo, rame, stagno e zinco**, probabilmente accumulati nel passato nei sedimenti dei canali di Venezia dove si depositavano i rifiuti prodotti dalle attività civili e produttive, sedimenti che spesso venivano utilizzati per aumentare il franco di coltivazione o per estendere il suolo a disposizione per le attività agricole. Si trovano, infatti, concentrazioni elevate non solo in superficie ma anche a profondità maggiori. Come nel caso di Murano, anche per queste isole si rendono necessari ulteriori approfondimenti per stabilire la compatibilità ambientale di queste concentrazioni anomale.

DPR - SUPERFICIALE							DPR - PROFONDO						
	N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore		N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore
Sb	19	2,91	2,41	2,70	1,16	3,71	Sb	22	1,59	1,42	1,35	0,50	1,92
As	20	12,09	3,09	11,80	9,84	14,53	As	22	11,44	4,81	9,50	8,83	12,33
Be	19	0,64	0,27	0,81	0,36	0,85	Be	20	0,62	0,29	0,65	0,27	0,82
Cd	22	0,34	0,13	0,31	0,25	0,40	Cd	22	0,27	0,05	0,25	0,25	0,25
Co	22	5,17	2,05	5,53	3,83	6,86	Co	22	4,97	2,25	5,49	2,78	6,41
Cr	22	24,81	12,75	28,27	15,20	35,33	Cr	22	24,22	13,78	27,55	11,76	35,43
Hg	20	3,19	4,62	2,13	0,80	3,76	Hg	22	2,39	2,95	1,49	0,47	2,59
Ni	22	13,26	5,86	16,30	7,49	17,53	Ni	22	13,08	7,03	15,75	5,08	18,45
Pb	22	232,7	199,1	212,9	58,13	355,75	Pb	22	151,3	195,6	67,75	24,80	205,88
Cu	22	136,3	101,4	124,1	52,99	213,50	Cu	22	93,78	128,5	45,98	21,14	132,00
Se	19	0,12	0,03	0,10	0,10	0,10	Se	20	0,11	0,03	0,10	0,10	0,11
Sn	19	25,69	23,10	24,09	5,72	37,28	Sn	20	16,46	21,01	7,76	2,02	24,90
V	19	36,91	13,94	43,00	24,45	47,60	V	20	37,18	15,53	40,30	22,90	48,53
Zn	22	129,00	76,62	118,00	86,78	167,63	Zn	22	72,14	50,01	57,65	37,10	109,23

Tabella DP.4: Principali parametri statistici delle concentrazioni di metalli e metalloidi in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nelle isole della laguna di Venezia, espressi in mg/kg.

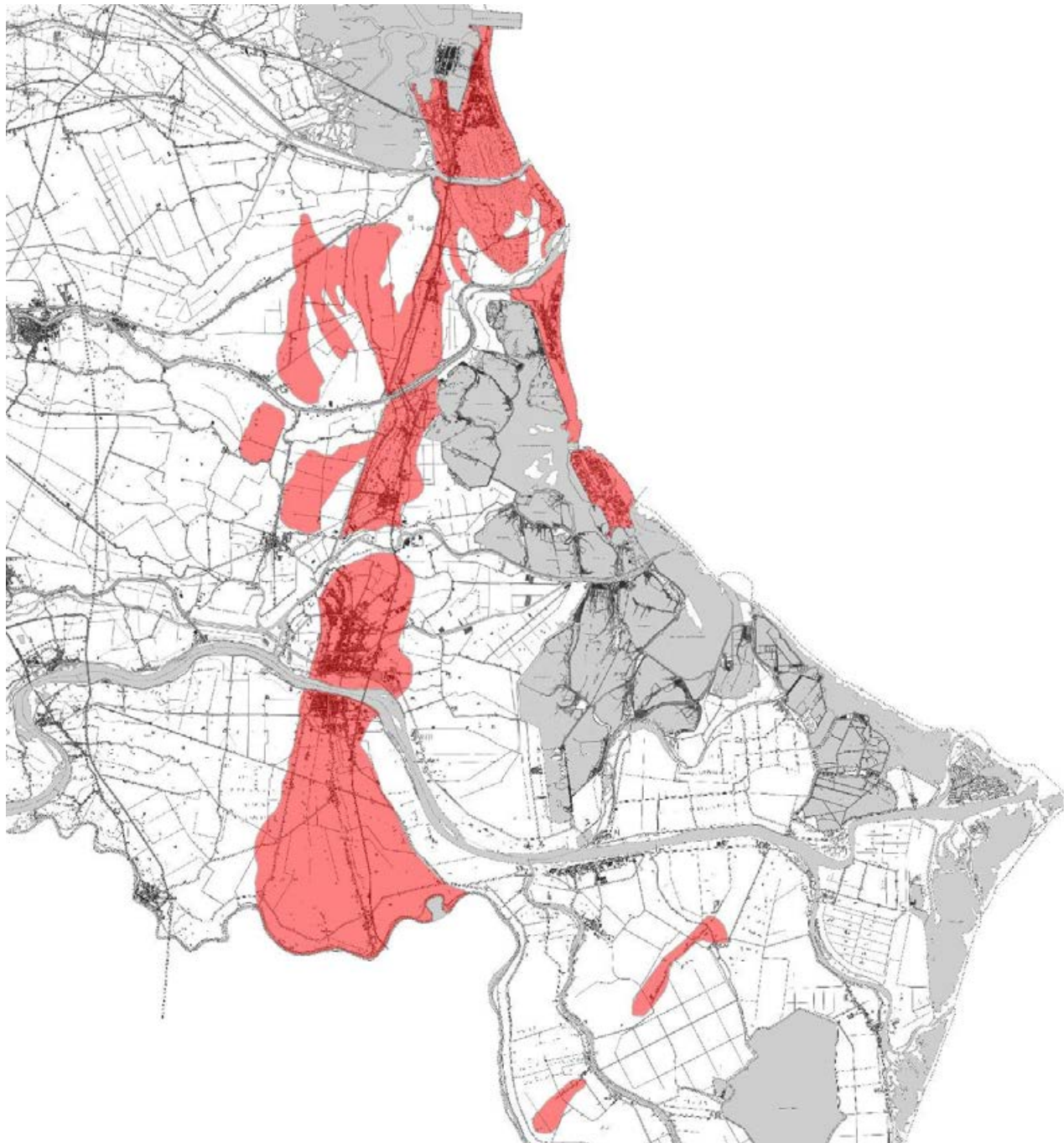
	DPR - SUPERFICIALE						DPR - PROFONDO					
	N Dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore	N Dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore
pH	22	8,2	0,2	8,3	8,0	8,5	22	8,4	0,2	8,4	8,3	8,5
Carb. Org. (%)	22	1,1	0,5	1,1	0,8	1,2	22	0,6	0,4	0,5	0,3	0,8
Calc. tot. (%)	18	50,1	10,1	48,5	43,0	56,0	17	54,5	13,4	50,0	46,0	67,6
Argilla (%)	21	11,8	6,2	14,1	5,6	15,5	22	12,3	7,6	14,7	4,3	17,4
Sabbia (%)	21	55,9	26,4	43,4	35,6	85,6	22	52,1	32,0	46,8	26,4	87,8
CSC (meq/100 g)	6	6,3	4,7	5,6	2,7	8,0	5	4,5	4,3	3,3	1,2	7,8

Tabella DP.5: Principali parametri statistici di alcuni caratteri del suolo in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nelle isole della laguna di Venezia.



## COSTIERO MERIDIONALE (DA)

Metallo o metalloide	Sb	As	Be	Cd	Co	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Sn	V	Zn
Valore di fondo (mg/kg)	1,0	23	1,1	0,26	16	166	0,13	105	42	48	0,68	4,7	70	158
Limite col. A, D.Lgs 152/2006	10	20	2	2	20	150	1	120	100	120	3	--	90	150



### Inquadramento, formazione e caratteristiche generali dei suoli

L'unità deposizionale costiero meridionale occupa una superficie di 138 km<sup>2</sup>, e si estende in direzione nord-sud tra Chioggia e Ariano Polesine.

I sedimenti, di origine marina con rimaneggiamento fluviale, hanno un contenuto di carbonati tra il 10 e il 25%.

Nei confronti delle unità deposizionali limitrofe dell'Adige e del Po, l'unità costiero meridionale si distingue in generale per le granulometrie prevalentemente sabbiose. Nelle aree di confine tra le unità è comunque

possibile trovare delle concentrazioni di alcuni metalli diverse, generalmente più alte, da quelle tipiche dell'unità.

La pianura costiera comprende alcuni cordoni litoranei antichi connessi all'apparato deltizio del Po, risalenti all'età del bronzo, isolati tra i depositi alluvionali dell'Adige. A questi seguono dei cordoni litoranei sabbiosi più recenti, da quelli di età greco-etrusca tra S. Anna e Bosco Nordio, a quelli di Sottomarina, di età posteriore.

I cordoni più antichi, formati nel corso dell'Olocene medio e superiore e rimasti isolati tra i depositi alluvionali, a seguito della progradazione della pianura deltizia dell'Adige, appaiono come l'alternanza di fasce più chiare e fasce più scure che corrispondono rispettivamente alle dune sabbiose e alle depressioni di interduna, un tempo impaludate, nelle quali le sabbie sono frammiste a materiale organico. A causa dello spianamento effettuato per consentire la coltivazione e dell'attività di cava per il prelievo delle sabbie, la superficie appare piuttosto omogenea e di colore scuro e soltanto in alcuni tratti appaiono le sabbie, più chiare. In corrispondenza delle dune, spianate per l'utilizzazione agricola, i suoli sono tipicamente sabbiosi fin dalla superficie, in buona misura decarbonatati pur non evidenziando differenziazione in orizzonti genetici, obliterati dalle lavorazioni. Nelle depressioni d'interduna, prosciugate dalle acque stagnanti e colmate con interventi di bonifica, i suoli presentano orizzonti organici sepolti oppure ancora in superficie, di colore scuro.

I cordoni litoranei sabbiosi più esterni, più recenti, sono stati modificati dall'attività umana con lavori di spianamento, di escavazione per l'utilizzo della sabbia e di urbanizzazione, tanto che non è più possibile riconoscere l'originaria alternanza di dune e interdune, ad eccezione di alcune aree naturali di estensione limitata.

	DA - SUPERFICIALE						DA- PROFONDO					
	N Dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore	N Dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile inferiore	Quartile Superiore
pH	52	8,1	0,3	8,1	7,9	8,3	46	8,2	0,9	8,4	8,1	8,6
Carb. Org. (%)	52	1,4	1,4	0,8	0,5	1,7	46	0,8	1,5	0,3	0,1	0,7
Calc. tot. (%)	50	13,4	9,2	14	5	22	45	14,7	10,5	14	7	23
Argilla (%)	52	10,2	10,0	6	3	17	46	6,0	8,5	2	1	9
Sabbia (%)	52	73,7	24,1	86	63	92	46	80,5	26,7	93	76	97
CSC (meq/100 g)	50	14,4	13,9	8	5	20	41	4,9	6,6	3	1	8

Tabella DA.1: Principali parametri statistici di alcuni caratteri del suolo in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nell'unità deposizionale costiero meridionale.

### Indagini e risultati

Nell'unità deposizionale sono stati prelevati e analizzati 55 campioni superficiali e 49 campioni profondi, numeri adeguati per l'elaborazione statistica. Il numero di campioni è raddoppiato rispetto all'elaborazione del 2011 grazie all'avanzamento del rilevamento pedologico nella provincia di Rovigo, di conseguenza è migliorata la rappresentatività del dato per quest'unità.

Si riportano nelle tabelle DA.1 e DA.2 i risultati delle determinazioni analitiche: metalli e metalloidi e parametri chimici generali del suolo, negli orizzonti superficiali e profondi.

Alcuni metalli hanno concentrazioni superiori al limite di legge per le aree residenziali/a verde:

- l'**arsenico** per il 95° percentile in superficie e il 99° in profondità,
- il **cromo** per il 99° percentile in superficie e il 95° in profondità,
- lo **zinco** come 95° percentile in superficie.

Per **antimonio**, **berillio**, **cadmio**, **cobalto**, **mercurio**,  **nichel**, **piombo**, **rame**, **selenio** e **vanadio** non sono stati riscontrati superamenti del limite.

DA - SUPERFICIALE									DA - PROFONDO								
	N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile		N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile
<b>Sb</b>	48	0,45	0,29	0,42	0,25	0,62	1,0	1,2	<b>Sb</b>	48	0,35	0,28	0,28	0,10	0,41	0,88	1,3
<b>As</b>	49	10,8	5,91	8,7	6,0	14	23	24	<b>As</b>	48	8,85	5,81	7,1	5,9	10	20	30
<b>Be</b>	47	0,46	0,34	0,25	0,25	0,71	1,0	1,5	<b>Be</b>	46	0,39	0,28	0,25	0,25	0,25	1,1	1,2
<b>Cd</b>	55	0,26	0,05	0,25	0,25	0,25	0,26	0,50	<b>Cd</b>	49	0,25	0,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
<b>Co</b>	55	9,45	4,15	8,2	6,5	13	16	17	<b>Co</b>	49	8,64	4,08	7,0	5,4	12	16	18
<b>Cr</b>	55	68,0	38,3	59	31	89	144	155	<b>Cr</b>	49	68,2	45,9	58	33	85	166	186
<b>Hg</b>	48	0,05	0,04	0,03	0,03	0,05	0,13	0,21	<b>Hg</b>	48	0,04	0,06	0,03	0,03	0,03	0,06	0,29
<b>Ni</b>	55	44,0	28,2	38	20	64	96	113	<b>Ni</b>	49	44,3	28,7	41	20	58	105	110
<b>Pb</b>	54	17,5	12,9	14	9,4	21	42	61	<b>Pb</b>	47	9,83	5,36	10	4,4	14	18	21
<b>Cu</b>	54	20,6	14,8	16	8,7	29	48	59	<b>Cu</b>	49	12,3	13,4	5,4	2,5	18	35	54
<b>Se</b>	46	0,27	0,21	0,22	0,10	0,41	0,68	0,82	<b>Se</b>	42	0,17	0,13	0,10	0,10	0,10	0,46	0,49
<b>Sn</b>	45	1,94	1,13	1,7	1,2	2,4	4,7	5,5	<b>Sn</b>	45	1,55	1,38	1,2	0,87	1,7	3,0	7,0
<b>V</b>	47	36,5	17,6	32	22	48	70	85	<b>V</b>	46	29,2	14,8	25	20	34	56	78
<b>Zn</b>	55	69,7	42,2	58	42	83	158	201	<b>Zn</b>	49	44,5	21,0	39	29	55	84	97

Tabella DA.2: Principali parametri statistici delle concentrazioni di metalli e metalloidi in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nell'unità deposizionale costiero meridionale (DA) espressi in mg/kg.

### Arsenico

Le concentrazioni al di sopra dei limiti di legge sono poche e localizzate al margine dell'unità, al confine con le unità di Adige e Po; si trovano più frequentemente nei suoli di interduna, meno sabbiosi e con un maggiore contenuto di sostanza organica (figura DA.1).

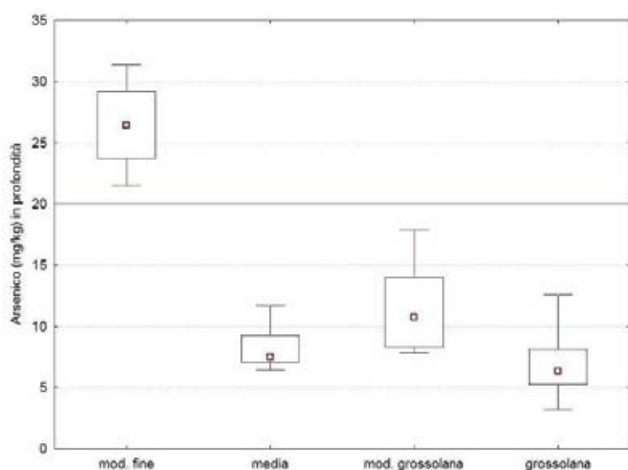


Figura DA.1: Contenuto totale di arsenico (mg/kg) in profondità nella pianura costiero meridionale in base alle classi tessiture USDA aggregate. Fine= A, AS, AL; Mod. fine= FSA, FA, FLA; Media= F, FL, L; Mod. grossolana= FS; Grossolana= SF, S. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs 152/2006.

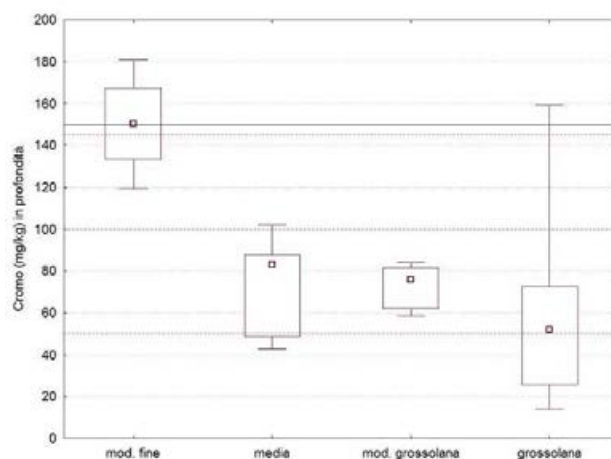


Figura DA.2: Contenuto totale di cromo (mg/kg) in profondità nella pianura costiero meridionale in base alle classi tessiture USDA aggregate. Fine= A, AS, AL; Mod. fine= FSA, FA, FLA; Media= F, FL, L; Mod. grossolana= FS; Grossolana= SF, S. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs 152/2006, in rosso i limiti della DGRV 2241/2005.

### Cromo

I valori di cromo elevati sono da mettere in relazione con i sedimenti del Po che ha formato gran parte dei cordoni dunali meridionali; le concentrazioni (figura DA.2) si mantengono relativamente elevate anche dove la tessitura è sabbiosa e raggiungono i valori massimi in corrispondenza di inclusioni di suoli fini o di quelle che un tempo erano depressioni interdunali, ora difficilmente riconoscibili a causa degli interventi di bonifica e di spianamento.

### Zinco

Le concentrazioni di zinco nel suolo sono maggiori in superficie e possono essere pertanto essere messi in relazione con i principali usi del suolo: i valori mediamente più alti si trovano dove vengono coltivate le orticole in pieno campo (figura DA.3) che spesso sono trattate con fungicidi contenenti zinco e concimate con fertilizzanti organici, particolarmente utili nei terreni sabbiosi.

Rispetto alla precedente pubblicazione (ARPAV, 2011), le differenze più rilevanti nei valori di fondo si sono verificate per cromo (da 89 mg/kg a 166) e nichel (da 83 mg/kg a 105), che ora hanno un valore più alto, e zinco (da 181 mg/kg a 151) che invece ha un valore più basso. Queste differenze sono dovute in parte alla maggior numerosità del campione, si è passati da 51 a 104 campioni totali, e, in particolare per cromo e nichel, all'aumento dei campioni raccolti nella parte meridionale dove prevalgono le deposizioni del Po, naturalmente più ricco di questi elementi.

### Differenze con le unità deposizionali/fisiografiche limitrofe

L'unità costiero meridionale si differenzia dall'unità dell'Adige per il contenuto di arsenico inferiore e da quella del Po per il maggior contenuto di zinco e il minor contenuto di nichel.

### Relazioni con i caratteri del suolo e tra metalli

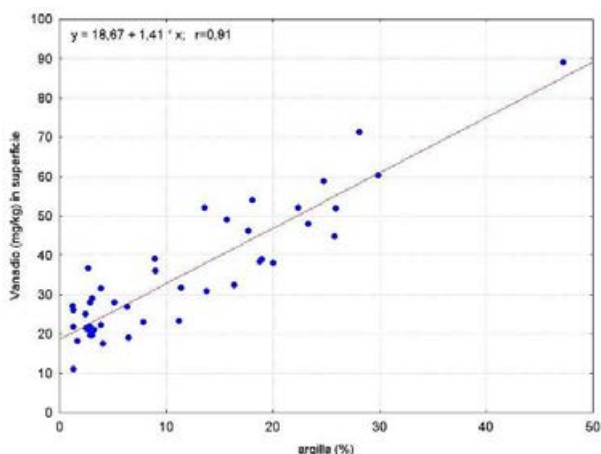


Figura DA.4: Correlazione tra contenuto totale di vanadio e di argilla negli orizzonti superficiali nell'unità del costiero meridionale.

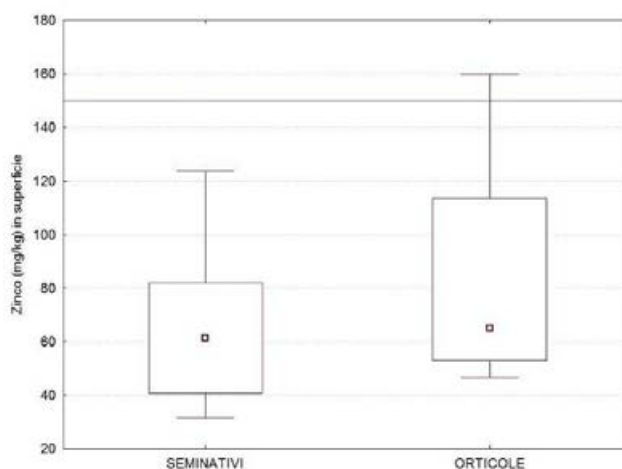


Figura DA.3: Contenuto totale di zinco (mg/kg) in superficie nella pianura costiero meridionale in base all'uso del suolo. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs 152/2006.

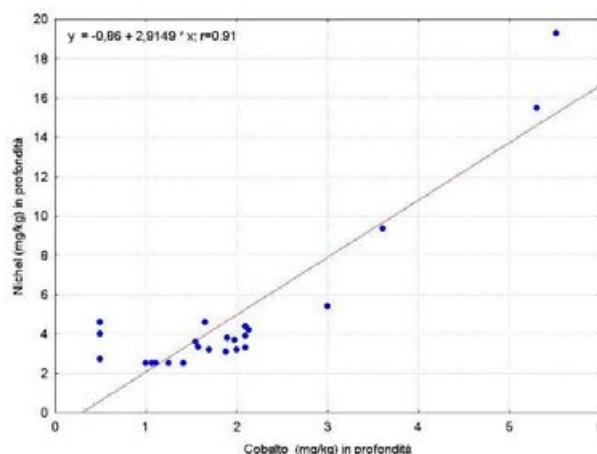


Figura DA.5: Correlazione tra contenuto totale di nichel e cobalto negli orizzonti profondi nell'unità del costiero meridionale.

Alcuni elementi come berillio e vanadio (figura DA.4) sono correlati significativamente con l'argilla sia in superficie sia in profondità (coefficiente di correlazione  $r$  0,91 e 0,85 in profondità), lo stesso succede per



nichel e cobalto (r di 0,73 e 0,66 in profondità, rispettivamente); arsenico, antimonio e selenio hanno invece correlazioni maggiormente significative in superficie con il carbonio organico (r tra 0,7 e 0,8).

Lo zinco ha correlazioni molto deboli in superficie e più forti in profondità con argilla e sostanza organica, ad avvalorare l'ipotesi del significativo apporto antropico.

Anche le correlazioni tra i vari elementi sono più forti in profondità: le più significative sono tra nichel e cobalto (r di 0,9) meno forti tra nichel e cromo (r di 0,7).

### Arricchimento superficiale

Nell'unità costiero meridionale l'indice di geoaccumulo è in generale basso per la maggioranza degli elementi, come si nota dalla figura DA.6 che mette in evidenza i valori mediاني dell'indice; soltanto per il **rame**, elemento apportato in agricoltura con i trattamenti fitosanitari, l'indice assume un valore mediano inferiore a 1 che corrisponde ad una leggera contaminazione, pur essendo le concentrazioni in superficie ben al di sotto del limite di legge.

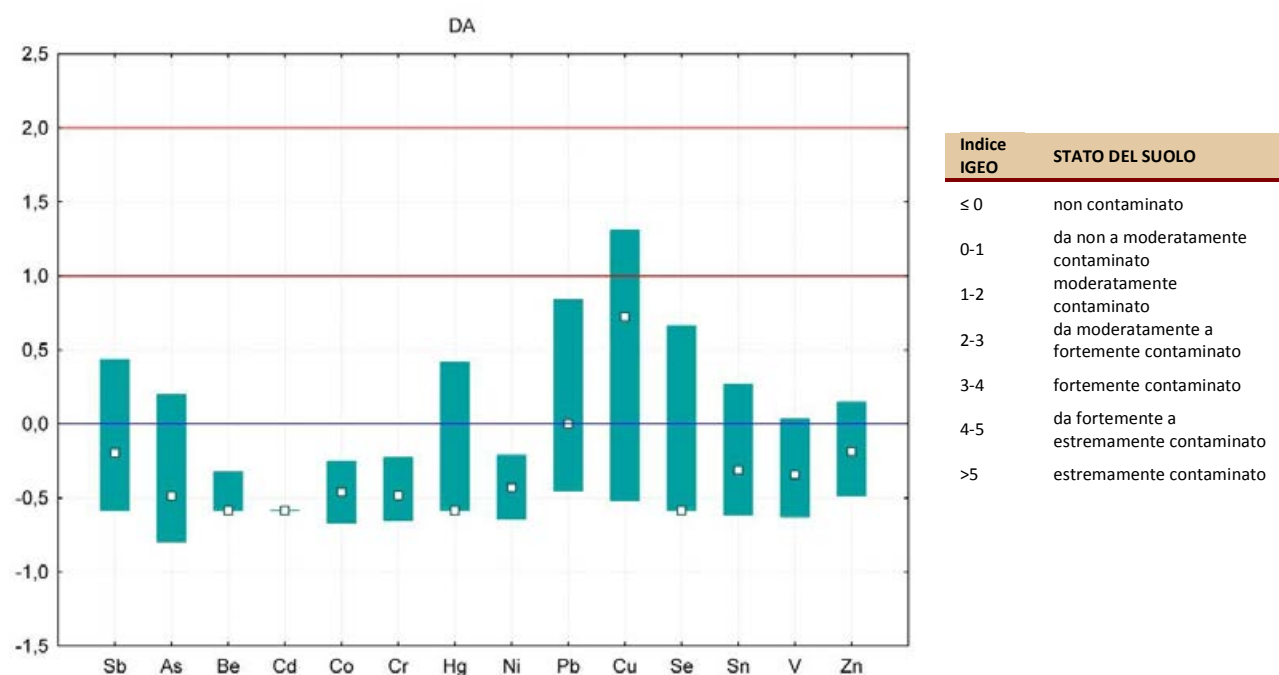


Figura DA.6: Indice di geoaccumulo (IGEO) dei metalli e metalloidi dell'unità costiero meridionale: i punti rappresentano i valori mediاني dell'indice, le barre azzurre il 25° e 75° percentile; i valori al di sotto della linea blu indicano assenza di arricchimento, tra questa e la prima linea rossa moderato arricchimento.

# 5. Valori di fondo nelle unità fisiografiche e deposizionali del Veneto

Nella tabella 5.1 vengono riportati i valori di fondo per ogni metallo e metalloide definiti in ognuna delle 22 unità fisiografiche e deposizionali. Per una semplificazione a livello operativo, per ogni metallo e metalloide, si è scelto di fornire un unico valore per ciascuna unità, corrispondente al valore più elevato tra il fondo naturale-antropico e quello pedo-geochimico. I due valori non sono stati tenuti separati perché spesso nelle determinazioni dei metalli sia per la caratterizzazione delle terre e rocce da scavo sia dei suoli da bonificare lo spessore minimo di campionamento è il metro. In tale spessore quindi i massimi riscontrabili, in assenza di contaminazione puntuale possono raggiungere il valore massimo trovato alle due profondità qui indagate. Nel capitolo 4 invece, solo per le unità che presentano un sufficiente numero di dati, si è definito sia il valore di fondo calcolato sugli orizzonti superficiali e quindi il cosiddetto valore di fondo naturale-antropico (VFA), sia il valore di fondo pedo-geochimico (VFN) calcolato solo sugli orizzonti profondi.

Si ricorda inoltre, come già ribadito nel capitolo 3, che i valori di fondo proposti nel presente volume sono riferiti alla sola frazione fine inferiore ai 2 mm, senza considerare lo scheletro. Per ottenere il valore riferito, come previsto dal D. Lgs. n. 152/06, alla totalità dei materiali secchi comprensiva anche della frazione inferiore a 2 cm dello scheletro, è sufficiente eseguire il calcolo a partire dalle percentuali di terra fine e scheletro determinate localmente.

I metalli per i quali non si osserva in nessuna unità fisiografica/deposizionale alcun superamento delle concentrazioni soglia di contaminazione sono **antimonio**, **mercurio** e **selenio**; a questi si aggiunge lo **stagno** per il quale dal 2014 non esiste più un limite normativo.

Per il **rame** si hanno due soli superamenti, nell'unità del Piave (P) e in quella delle conoidi pedemontane calcaree (CC), a causa della diffusione del vigneto, almeno nel passato, anche dopo l'eliminazione di tutti i dati dello strato superficiale in presenza di tale uso del suolo. Si ricorda infatti che per i suoli attualmente coltivati a vigneto è stato definito uno specifico valore di fondo per il rame pari a 284 mg/kg.

Come il rame anche il **cadmio** mostra 2 soli superamenti entrambi in area prealpina sia su calcari duri (SA) e, anche se con valori inferiori, su suoli sviluppati su calcari marnosi (SD); valori prossimi al limite ma inferiori si osservano anche sui colli Berici (RB) e sempre in prealpi su calcareniti (LC). Il piombo presenta valori superiori al limite solo in area prealpina, sia su calcari duri che marnosi (SA e SD) e in area montana nell'unità delle alpi su formazione di Werfen (MW).

**Arsenico**, **berillio**, **cobalto**, **cromo**, **nichel**, **vanadio** e **zinco** superano la concentrazione soglia di contaminazione prevista per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale in numerose unità, coinvolgendo una superficie significativa del territorio regionale. Valori di fondo superiore alle concentrazioni soglia di contaminazione definite per i siti ad uso commerciale e industriale (colonna B) si hanno solo per arsenico nell'unità delle colline su calcareniti (RA, 89 mg/kg). Le aree con il maggior numero di superamenti sono le Prealpi su basalti in area montana e i depositi fluviali del sistema Agno-Guà in pianura, che ricevono sedimenti proprio dall'alterazione dei basalti; in questi suoli cobalto, cromo, nichel, vanadio e zinco presentano valori di fondo nettamente superiori alle concentrazioni soglia di contaminazione. Oltre a queste due unità, concentrazioni anomale di diversi metalli si osservano anche nell'unità delle colline su calcareniti (RA) che però occupa percentualmente una superficie estremamente limitata del territorio regionale.

Unità fisiografiche/ deposizionali	Sb	As	Be	Cd	Co	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Sn	V	Zn
Alpi del basamento cristallino e metamorfico (MA)	2,6*	19*	1,6*	0,52	22	68	0,40*	46	90	48	nd	nd	69*	150
Alpi su dolomia (MD)	2,3*	24*	1,4*	1,6	19	84	0,23*	46	61	39	0,50*	2,9*	96*	138
Alpi su litotipi silicatici (MS)	2,1*	13*	2,2*	0,52*	31	72	0,19*	37	55	72	nd	nd	184*	122
Alpi su Formazione di Werfen (MW)	2,1*	30*	2,2*	1,8	19	73	0,70*	41	128	34	1,1*	2,5*	92*	148
Prealpi su calcari duri (SA)	3,3	27	2,7	3,8	36	123	0,33	92	101	96	1,1	4,9	175	220
Prealpi su calcari marnosi (SD)	2,6	17	2,3	2,2	35	175	0,28	148	133	88	0,81	3,4	138	197
Prealpi su basalti (LB)	1,6	14	2,1	0,56	79	313	0,15	251	57	99	0,47	4,2	212	177
Prealpi su calcareniti (LC)	1,8*	34*	2,7*	1,9*	39*	172*	0,13*	122*	39*	50*	0,74*	3,3*	162*	128*
Rilievi collinari (RR)	1,1	18	1,7	0,90	27	102	0,36	66	48	112	0,59	3,6	100	141
Colline su calcareniti (RA)	3,9	89	2,1	0,96	14	298	0,13	67	57	52	0,55	4,0	303	176
Colli Berici (RB)	4,5	39	2,8	1,8	31	199	0,14	111	72	81	0,59	4,4	226	145
Tagliamento (T)	1,1	15	1,8	0,59	12	68	0,26	43	30	49	0,76	3,1	88	90
Piave (P)	1,0	14	1,6	0,70	15	62	0,26	51	37	192	0,51	3,9	86	120
Brenta (B)	2,0	46	2,1	0,93	16	63	0,51	38	56	110	0,36	6,3	84	143
Adige (A)	1,6	40	1,5	0,93	19	124	0,21	103	57	97	0,75	4,2	80	150
Po (O)	1,3	28	1,7	0,54	20	162	0,08	130	34	66	0,1	3,7	89	111
Conoidi pedemontane calcaree (CC)	0,84	13	1,6	0,92	22	103	0,21	81	42	141	0,40	3,7	84	113
Conoidi dell'Astico (CA)	3,3	25	1,8	0,74	25	84	0,36	66	65	101	0,52	7,2	190	150
Conoidi pedem. del sistema Leogra-Timonchio (CL)	2,7	28	1,9	0,74	27	90	0,18	47	90	90	0,37	6,0	129	195
Depositi fluviali del sistema Agno-Guà (CG)	1,9	21	1,5	0,66	50	190	0,10	160	88	103	0,42	3,4	151	160
Costiero nord-orientale (DP)	0,6	11	0,6	0,25	6,0	32	0,37	19	38	45	0,32	2,0	43	70
Costiero meridionale (DA)	1,0	23	1,1	0,26	16	166	0,13	105	42	48	0,68	4,7	70	158
Suoli coltivati a vigneto	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	284	nd	nd	nd	nd

Tabella 5.1: Valori di fondo nelle unità fisiografiche e deposizionali del Veneto, in rosso i valori maggiori delle concentrazioni soglia di contaminazione previsti per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (colonna A) del DLgs 152/2006; \* numero campioni per la determinazione del valore di fondo inferiore a 30, quantità consigliata dalla norma ISO 19258 (2005); nd: valore di fondo non determinato.

In pianura nelle unità del Po, Adige e Brenta sono numerosi i valori di fondo superiori al limite mentre all'estremo opposto troviamo il Tagliamento, che non evidenzia nessun superamento, e il Piave che presenta un unico superamento per il rame, per i motivi sopra ricordati.

Significativi, in termini di superficie coinvolta e per le caratteristiche tossicologiche dell'elemento, sono i superamenti del limite per l'arsenico nei depositi di Brenta, Adige.

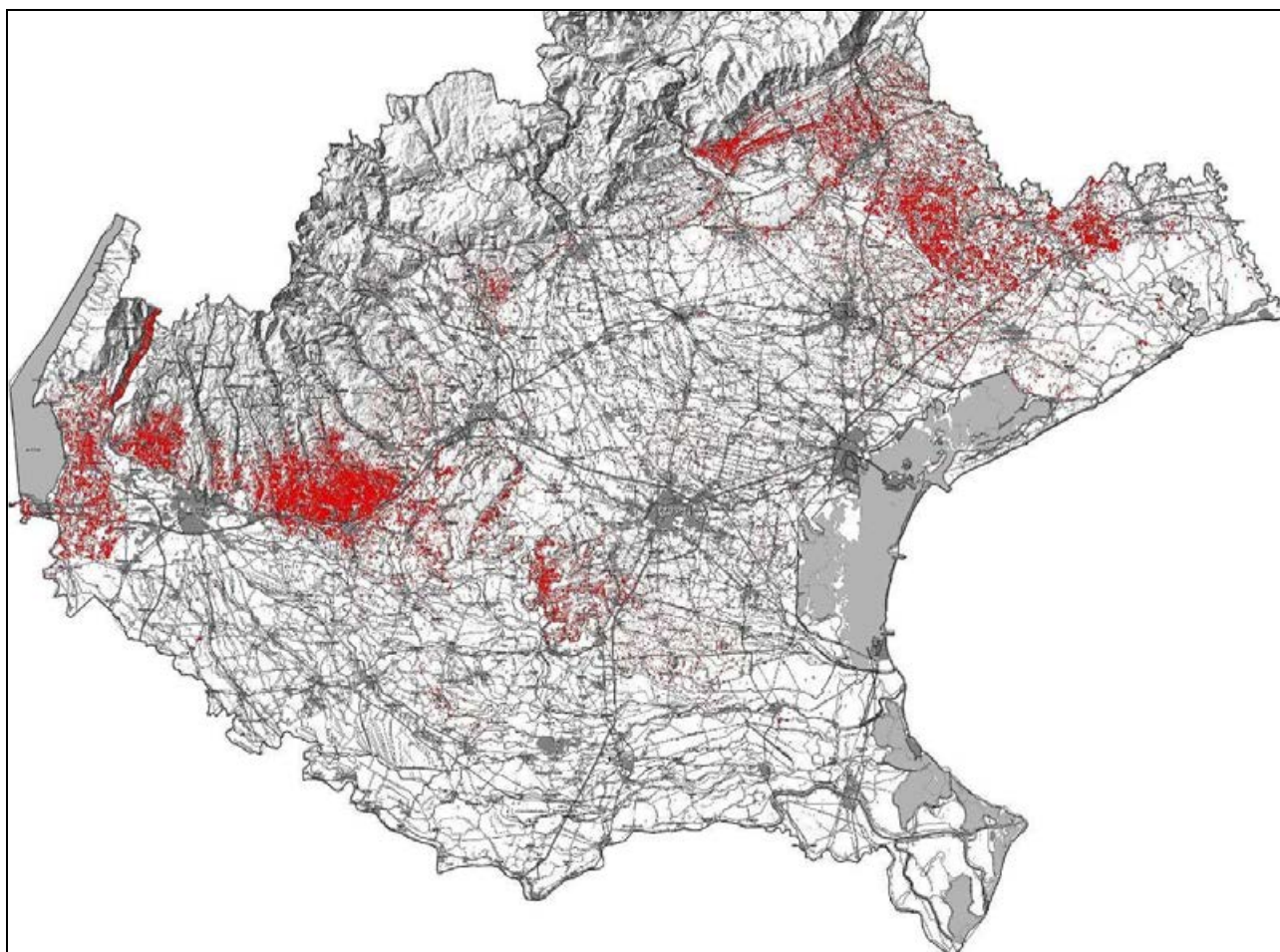
In montagna l'unità che presenta il minor numero di superamenti è l'area alpina dove affiora il basamento cristallino e metamorfico (MA), dove solo il cobalto supera di poco i limiti di colonna A.

Rispetto al precedente volume (ARPAV, 2011) il numero di dati a disposizione è aumentato notevolmente ma rimangono, in particolare in alcune unità fisiografiche di montagna, alcuni metalli con un numero di dati analitici inferiore a 30, numerosità consigliata dalla norma ISO 19258 (2005). Tali metalli sono evidenziati in tabella 5.1 con l'asterisco.

Per i Fondovalle alpini, a differenza di quanto definito nel volume del 2011, a causa delle poche osservazioni disponibili e delle notevoli differenze che possono caratterizzare porzioni diverse dei singoli fondovalle, non è stato definito un valore di fondo ma si rende necessario, caso per caso, riconoscere in campo la litologia predominante nei sedimenti che hanno originato il suolo e in base a questo valutare la congruità delle concentrazioni riscontrate rispetto all'origine del materiale.

### **Valore di fondo per il rame nei suoli coltivati a vigneto**

Come nel precedente volume (ARPAV, 2011), diversamente da quanto fatto per gli altri metalli, dove non sono state effettuate elaborazioni specifiche per i diversi usi del suolo, per il rame si è scelto di separare tutti i campioni prelevati nei vigneti perché questi, ad una prima elaborazione, presentavano valori nettamente superiori rispetto agli altri usi, indipendentemente dall'unità fisiografica/deposizionale di origine (figure 5.1 e 5.2). Il fenomeno è dovuto ai numerosi trattamenti a base di rame che fin dalla seconda metà dell'800 vengono fatti per la lotta alla peronospora della vite e ad altri parassiti fungini, che ha determinato l'accumulo dell'elemento nel suolo. Come si vede dalla figura 5.3, in pianura il vigneto presenta in assoluto i valori più elevati, seguito dal frutteto e dalle coltivazioni erbacee; tra queste ultime le orticole, pur essendo frequentemente trattate con fungicidi a base di rame, hanno valori bassi probabilmente a causa della tessitura grossolana dei suoli dove sono coltivate che evita un eccessivo accumulo. Anche in collina il vigneto ha valori nettamente superiori a quelli degli altri usi del suolo.



*Figura 5.1: Localizzazione dei vigneti nel Veneto. Fonte: Regione Veneto, 2009.*

L'apporto annuo di rame con i trattamenti antiperonosporici è stato stimato (Stefanelli, 1993) intorno ai 30 kg/ha se effettuato con la classica poltiglia bordolese maggiormente usata nel passato (e talvolta usata ancora oggi); l'apporto è inferiore, pari a 20 kg/ha, con i prodotti commercializzati a base di solfato di rame, 18 kg/ha con l'ossicloruro tetraramico, 15 kg/ha con l'idrossido di rame. Parte dell'elemento distribuito



viene asportato dalle colture e si ritrova nel prodotto raccolto, ma si tratta di una piccola quantità, stimata da 38 a 63 g/ha (Mantovi, 2003): la maggior parte viene perciò accumulata nel terreno. Gli altri possibili apporti da fonti agricole, con concimi o ammendanti organici, sono minori: considerando un apporto di azoto di 340 kg/ha per anno, possono essere apportati 1 kg/ha/anno di rame con il letame bovino, 1,9 kg/ha\*anno con il liquame suino, 2,9 kg/ha\*anno con i fanghi di depurazione e infine da 1,9 a 3,3 kg/ha\*anno con i diversi tipi di compost (Mantovi, 2003).

Trattando separatamente i dati raccolti in Veneto su vigneto (tabella 5.2) si raggiungono valori anche di 300-400 mg/kg e più, perciò decisamente elevati rispetto a quelli che si rilevano per altri usi del suolo e negli orizzonti profondi. Dal momento che la vite è particolarmente diffusa in molte aree della regione (fig. 5.1) e che l'utilizzo di prodotti a base di rame continua nel tempo, anche se in misura minore rispetto al passato grazie all'introduzione di nuovi prodotti, il contenuto di rame nei suoli coltivati a vite è destinato ad aumentare.

	N dati	Media	Dev.Std.	Mediana	Quartile Inferiore	Quartile Superiore	95° Percentile	99° Percentile
<b>Rame</b>	233	112,3	96,0	83	53	<b>148</b>	<b>284</b>	<b>561</b>

Tabella 5.2: Principali parametri statistici del rame negli orizzonti superficiali dei suoli coltivati a vigneto.

Per evitare, nell'ipotesi di movimenti di terra da un suolo coltivato a vigneto a uno non a vigneto, un eccessivo incremento del contenuto di rame, si è ritenuto di trattare separatamente i campioni raccolti nei vigneti rispetto agli altri usi del suolo e di definire dei valori di fondo distinti. I dati relativi ai suoli coltivati a vigneto (tabella 5.2) non sono stati distinti per unità ma trattati come un'unica popolazione dal momento che il fattore uso del suolo pesava notevolmente di più rispetto all'origine del materiale di partenza. Si è così definito un contenuto di fondo usuale per i vigneti pari a 284 mg/kg che può essere preso a riferimento per i suoli coltivati a vite. Questo valore è superiore a quello definito nel 2011 per effetto dell'aumento del numero di campioni disponibili (da 141 a 233).

Pur avendo fatto questa distinzione in base all'uso del suolo, in diverse unità (per esempio nel Piave) dove il vigneto è molto diffuso, il valore di fondo usuale è comunque influenzato da quello di suoli che hanno ospitato un vigneto nel passato e mantengono tuttora valori molto elevati. E' il caso delle unità del Piave (P), dei depositi fluviali dell'Agno-Guà (CG), dei conoidi calcarei (CC e CA) e delle colline (RR).

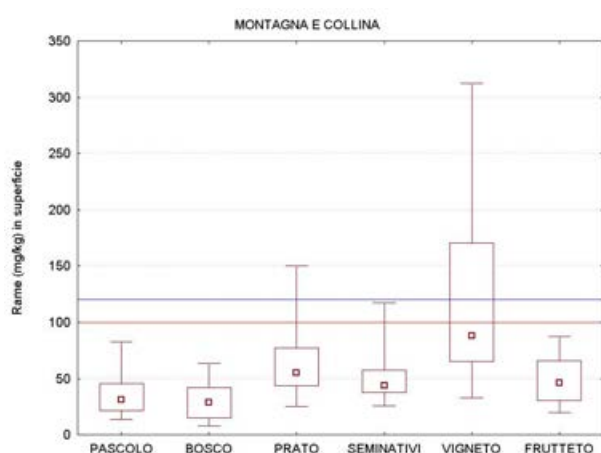


Figura 5.2: Contenuto totale di rame (mg/kg) in superficie nei suoli montani e collinari suddiviso in base all'uso del suolo. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs 152/2006; in rosso il limite del D.Lgs 99/1992.

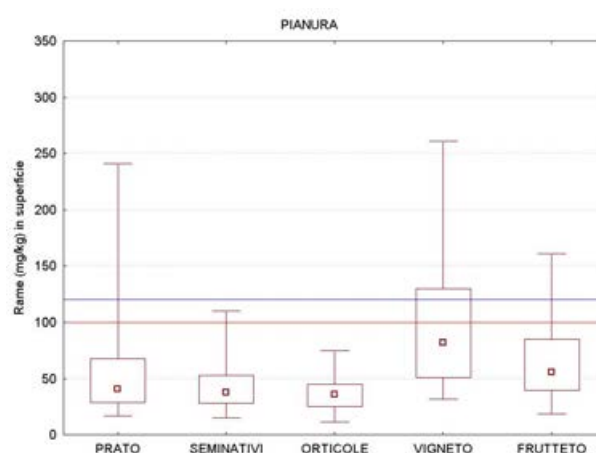


Figura 5.3: Contenuto totale di rame (mg/kg) in superficie nei suoli di pianura suddivisi in base all'uso del suolo. Box plot con mediana e percentile (5°, 25°, 75° e 95°); in blu il limite di colonna A del D.Lgs 152/2006; in rosso il limite del D.Lgs 99/1992.

## **Contenuto in cromo esavalente nei suoli del Veneto**

Il cromo si può trovare nell'ambiente in tre forme stabili: metallico, trivalente Cr(III) ed esavalente Cr(VI). Le forme trivalente ed esavalente sono molto diverse. La prima è caratterizzata da una tossicità relativamente bassa. La seconda, invece, presente in diversi composti di origine industriale (in particolare cromati e tiolati), è considerata altamente tossica a causa del forte potere ossidante che la rendono fortemente aggressiva nei confronti dei sistemi biologici; il cromo esavalente è stato classificato dalla IARC come cancerogeno per l'uomo (classe I).

Riguardo agli effetti sulla salute diversi studi hanno dimostrato che l'esposizione a cromo esavalente è una delle possibili cause di tumore al polmone. L'ingestione sarebbe invece meno critica, in quanto stomaco ed intestino hanno un'alta capacità riducente.

I più importanti impieghi industriali del cromo esavalente sono nella cromatura galvanica, nella saldatura ad arco e nella produzione e tintura con colori ed inchiostri contenenti pigmenti a base di cromato

La concentrazione soglia di contaminazione prevista per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (colonna A) dal D.Lgs 152/2006 (e s.m.i.) è di 2 mg/kg, estremamente più bassa rispetto ai 150 mg/kg previsti per il cromo totale, mentre per i siti ad uso commerciale e industriale (colonna B) è di 15 mg/kg; non sono previsti limiti per lo spandimento al suolo di fanghi di depurazione (D.Lgs 99/1992).

Nella banca dati regionale sono disponibili 170 campioni dove è stato analizzato anche il cromo esavalente e nessuno ha mostrato una concentrazione superiore al limite di rilevabilità del laboratorio ARPAV, pari a 1 mg/kg. Questo non stupisce in quanto il cromo esavalente potenzialmente presente nei suoli viene immediatamente ridotto a forme meno pericolose.

## **Forme disponibili dei metalli pesanti nei suoli del Veneto: primi risultati**

Con il termine biodisponibile si intende, generalmente, quella componente della sostanza inquinante che si trova in una forma chimica che è o può essere resa disponibile per l'assorbimento da parte degli organismi viventi, animali e vegetali.

Le piante sono il maggiore veicolo di diffusione dei metalli pesanti ed accrescono quindi la possibilità che queste sostanze entrino nella catena trofica. In condizioni che favoriscono la mobilità dei metalli anche la lisciviazione e il raggiungimento delle acque sotterranee sono un potenziale veicolo di diffusione. Per quanto concerne, le piante, il concetto di biodisponibilità è legato alla loro capacità di estrarre sostanze nutritive dal suolo, attraverso le loro radici, mediante processi di assorbimento, che rappresentano la via attraverso la quale i metalli tossici migrano dall'ambiente al ciclo biologico.

Quando un metallo è mobilizzato ed è trasferito in un ecosistema, sarà la sua forma chimica a determinarne la biodisponibilità, giacché un elemento si può presentare nelle matrici ambientali in diverse forme e specie. La mobilizzazione, la solubilità e la precipitazione di metalli potenzialmente tossici sono influenzate da diversi fattori, tra i quali il pH, il potenziale redox e la temperatura, spesso in associazione a processi batterici. Inoltre la mobilità dei metalli pesanti è influenzata da caratteristiche del suolo quali la tessitura, la composizione della matrice e l'interazione con i fluidi.

La forma con la quale un metallo è presente nell'ambiente, non è solo rilevante in termini di biodisponibilità, ma anche in termini di tossicità e/o ecotossicità. Nel suolo, la parte che può essere resa biodisponibile di un metallo è sempre di molto inferiore al contenuto totale dell'elemento.

In genere, all'interno del contenuto totale di un metallo nel suolo, oltre a una frazione solubile disciolta nella soluzione circolante del suolo in concentrazione molto bassa, si possono distinguere diverse frazioni:

- una frazione sequestrata, che di solito è complessata da leganti organici come essudati radicali, sostanze umiche, acidi umici, acidi fulvici o leganti inorganici, che sono presenti nella soluzione circolante o legati alla superficie delle argille;
- una frazione legata a carbonati, argille, fosfati, solfati, ossidi e idrossidi, che è definita scambiabile;

- una frazione residua, stabile, difficilmente solubile, costituita da ioni che sono all'interno dei reticoli cristallini dei minerali primari.

Di queste frazioni, solo l'ultima, vale a dire quella residua, non è biodisponibile mentre quella sequestrata e quella scambiabile possono essere potenzialmente mobilizzate e di conseguenza rese biodisponibili. Nella mobilizzazione di tali frazioni, gioca un ruolo molto importante la variazione delle condizioni di equilibrio tra suolo e soluzione circolante, prima tra tutte la variazione del pH e del potenziale redox. Vi sono numerose tecniche analitiche volte a determinare la concentrazione di un inquinante che potrebbe essere potenzialmente biodisponibile. Manca, però, un consenso univoco sulle metodologie da utilizzare per la sua misura.

Un tentativo di armonizzare tali metodiche, volte alla misura della biodisponibilità di alcuni contaminanti come metalli, metalloidi, contaminanti organici e complessi organo-metallici, è quello portato avanti dall'ISO con la procedura n. 17402 del 2008 denominata *Soil quality - Requirements and guidance for the selection and application of method for the assesment of bioavailability of contaminants in soils and soils materials*.

Le metodiche comuni utilizzate prevedono delle estrazioni mediante trattamento con diverse soluzioni. Ogni estraente ha un comportamento diverso in termini di efficienza nell'estrazione di una specifica frazione di metalli e la scelta dipende dal risultato che si aspetta dall'analisi, che può essere la misura del contenuto di un singolo metallo o di un gruppo di metalli.

### **Contenuto in tallio nei suoli del Veneto**

Il tallio è un metallo piuttosto abbondante nella crosta terrestre, con una concentrazione stimata di circa 0,7 ppm. Nei suoi composti può presentare stato di ossidazione +1 e +3 (rispettivamente nei composti tallosi e tallici). Non viene impiegato come metallo da solo, ma sotto forma di leghe (binarie e ternarie) con piombo, argento, alluminio ecc.; i composti del tallio si usano per vetri d'ottica, per produrre luce verde (segnalazioni, fuochi d'artificio), nella produzione di insetticidi, topicidi, agenti fotosensibili, catalizzatori ecc.

Il tallio e i suoi composti sono molto tossici, vanno pertanto maneggiati con estrema cura. La sua tossicità deriva dalla capacità di sostituirsi ai cationi dei metalli alcalini presenti nell'organismo, principalmente sodio e potassio. Questa sostituzione scombina molti dei normali processi cellulari. Tra gli effetti dell'avvelenamento da tallio rientrano la perdita dei capelli ed il danneggiamento dei nervi periferici. Il tallio è anche un sospetto cancerogeno. Proprio a causa della sua tossicità l'uso di sali di tallio come topicida è stato bandito in molte nazioni. Secondo l'EPA tra le fonti antropiche di inquinamento da tallio vi sono le emissioni gassose dei cementifici, e delle centrali a carbone. La principale causa delle concentrazioni elevate di tallio nell'acqua è la lisciviazione del tallio a seguito di operazioni di trattamento del minerale.

La concentrazione soglia di contaminazione prevista per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (colonna A) dal D.Lgs 152/2006 (e s.m.i.) è di 1 mg/kg mentre per i siti ad uso commerciale e industriale (colonna B) è di 10 mg/kg; non sono previsti limiti per lo spandimento al suolo di fanghi di depurazione (D.Lgs 99/1992).

Nella banca dati regionale sono disponibili 437 campioni per i quali è stato analizzato anche il tallio e di questi solo 23 hanno una concentrazione superiore al limite di rilevabilità del laboratorio ARPAV, pari a 1 mg/kg che corrisponde anche alla CSC per i siti residenziali. Questi 23 campioni sono stati tutti raccolti in occasione dell'approfondimento della zona mineraria in prossimità della frazione Fracassi in comune di Recoaro (vedi scheda nell'unità delle prealpi su calcari marnosi - SD) con concentrazioni anche molto elevate fino a 77 mg/kg e 4 campioni con concentrazione superiore al limite per le aree industriali e commerciali (10 mg/kg).

Ad eccezione dei valori rilevati nel recoarese, nel restante territorio regionale il tallio non è mai stato rilevato in concentrazioni apprezzabili e per questo motivo non è stata condotta alcuna specifica elaborazione.

Gli estraenti possono essere classificati in:

- Deboli: acqua; soluzioni saline acquose (nitrato di ammonio, cloruro di calcio, nitrato di calcio, sali di magnesio, cloruro di bario);
- Riducenti: sodio ascorbato, sodio ditionito
- Acidi deboli: soluzioni diluite di acido citrico o acetico;
- Agenti chelanti: (forti complessanti) EDTA, DTPA, NTA;
- Combinazioni sale acido: ammonio ossalato-acido ossalico, sodio acetato-acido acetico;
- Acidi diluiti: HNO<sub>3</sub>, HCl, HCl+H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a concentrazioni <0,1 M;
- Acidi forti concentrati: HNO<sub>3</sub>, HCl, HCl+HF, Aqua regia;

L'aqua regia è un estraente che permette di determinare la frazione 'pseudo-totale' perché con questo tipo di estrazione è mobilizzata anche una porzione di metalli che è intrappolata nel reticolo cristallino di alcuni minerali, ma che non è coinvolta nei processi di assorbimento delle piante.

I metodi di estrazione che usano agenti chelanti, come EDTA (acido etilendiamminotetracetico) e DTPA (acido dietilentriamminopentacetico) rappresentano dei buoni metodi di estrazione che simulano verosimilmente i processi che avvengono nell'ambiente, in particolare quello di assorbimento da parte delle piante.

Si ricorda che per quanto riguarda la disponibilità non esistono in Italia limiti di riferimento e solo per l'estrazione in acqua esistono dei limiti riferiti però a una matrice diversa: i rifiuti. Solo la Germania, e solo per alcuni metalli, ha indicato dei limiti di azione per l'estratto in nitrato di ammonio che prevedono, una volta accertato il superamento, la messa in atto di verifiche puntuali.

Per una prima verifica sulla disponibilità dei metalli nei suoli del Veneto sono stati scelti diversi estraenti, in ordine di crescente potere estraente: acqua deionizzata, nitrato di ammonio, DTPA e acido nitrico diluito (oltre all'aqua regia).

Sono stati analizzati solo una trentina di campioni scelti tra quelli che mostravano concentrazioni elevate in metalli, sia di origine naturale che antropica. I risultati hanno mostrato una generale bassa mobilità di quasi tutti i metalli, cioè un basso rapporto tra frazione estraibile e concentrazione totale, in particolare se di origine naturale, ma con alcune eccezioni. Tra gli estraenti ovviamente l'acido nitrico diluito è quello che ha mostrato i tassi di estrazione più elevati, in alcuni casi molto elevati e quasi confrontabili con quanto ottenuto dall'attacco con aqua regia.

Antimonio: nessuna disponibilità anche a fronte di valori elevati sia di origine antropica (Murano) che naturale (Recoaro tra 80 e 200 mg/kg). Gli unici valori rilevabili sono stati identificati in 2 campioni raccolti a Murano estratti con HNO<sub>3</sub> diluito con una percentuale di disponibilità comunque ampiamente inferiore al 10%.

Arsenico: i valori sono nella maggior parte dei casi inferiori al limite di rilevabilità ma nei campioni di Murano una percentuale molto bassa (2-5%) del metalloide risulta disponibile sia in acqua che in DTPA che in nitrato di ammonio. Valori più elevati in acido nitrico diluito in particolare molto elevati nei campioni con apporti antropici dove viene estratto indicativamente oltre il 50%.

Cadmio: non rilevabile in acqua e nitrato di ammonio; la disponibilità in DTPA è più elevata ma solo in concentrazioni elevate (>2 mg/kg) anche se di origine naturale, in questo caso le percentuali di metallo estratto in DTPA sono abbastanza elevate (13-50%). Come per altri metalli (As, Sb, V, Zn) in acido nitrico diluito mostra recuperi quasi totali se di origine antropica e leggermente più bassi (<70%) se di origine naturale.

Cobalto: anche a fronte di concentrazioni elevate nei suoli su basalti (LB) la disponibilità rimane molto bassa ad eccezione dell'estrazione con acido nitrico diluito dove circa il 30% risulta disponibile.



Cromo: risulta disponibile solo nell'estrazione con acido nitrico diluito in percentuali comunque inferiori al 10%.

Nichel: risulta disponibile nell'estrazione con acido nitrico diluito in percentuali variabili comprese tra il 5 e il 35% e in DTPA con percentuali comprese tra 1 e 5%.

Piombo: in DTPA è estraibile circa il 10% mentre non è rilevabile nell'estratto in acqua e in nitrato di ammonio; l'acido nitrico diluito si mostra un estraente eccessivamente forte con percentuali che possono arrivare al 100%. Non si osservano differenze in presenza di apporti di origine antropica.

Rame: in DTPA è estraibile circa il 10% con valori che superano il 20% nei suoli a vigneto dove ci sono apporti di origine antropica; non è rilevabile nell'estratto in acqua e in nitrato di ammonio ad eccezione dei campioni da vigneti nei quali la concentrazione risulta superiore anche al limite di azione tedesco (1 mg/kg); in acido nitrico diluito risulta estraibile circa il 30%, con valori superiori se di origine antropica.

Vanadio: nessuna disponibilità ad eccezione dell'estrazione con HNO<sub>3</sub> dove si hanno dei recuperi intorno al 10% e più elevati nei campioni di Murano, in presenza di apporti di origine antropica.

Zinco: in acido nitrico diluito risulta estraibile circa il 30% con valori superiori se di origine antropica; mentre per gli altri estraenti solo il DTPA mostra una certa capacità estrattiva seppure molto bassa, sempre inferiore al 5% e solo in alcuni campioni.

Berillio, Mercurio, Selenio, Stagno e Tallio : nessuna disponibilità rilevabile.

In sintesi nichel, piombo, rame e, in maniera minore, zinco mostrano una certa disponibilità in DTPA mentre tutti gli altri metalli risultano poco disponibili con alcune particolari eccezioni usando soluzioni estraenti diverse.

Discorso a parte per l'acido nitrico diluito che mostra sempre una notevole capacità estrattiva (con l'eccezione di antimonio, arsenico, cadmio, mercurio, selenio e stagno) e che quindi si dimostra forse un estraente troppo forte per valutare la biodisponibilità; è interessante però la diversa capacità di solubilizzare in percentuali diverse alcuni metalli (antimonio, arsenico, cadmio, vanadio e zinco e secondariamente piombo e cromo) se di origine antropica.

Tutte le considerazioni sopra esposte dovranno essere confermate con l'analisi di un numero maggiore di campioni e cercando, qualora possibile, di abbassare ulteriormente i limiti di rilevabilità soprattutto per quei metalli presenti in concentrazioni molto basse.

# Bibliografia

- Adriano D. C. (2001) - Trace elements in terrestrial environments: biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals. Springer, New York.
- Alloway B.J. (Ed.), (1995) - Heavy metals in soils. Blackie Academic & Professional, II edition, London.
- Amorosi A., Sammartino I. (2006) – Influence of sediment provenance on background values of potentially toxic metals from near-surface sediments of Po coastal plain. Int. Journal of Earth Science, Springer.
- ANPA (1999) - Il rischio in Italia da sostanze inorganiche. Documenti 1/1999.
- APAT- ISS (2006) - Protocollo Operativo per la determinazione dei valori di fondo di metalli/metalloidi nei suoli dei siti d'interesse nazionale. Revisione 0.
- APAT (2006) - Studio dei valori di fondo dell'arsenico nei suoli ad uso residenziale - Sito di interesse nazionale di Porto Marghera.
- ARPA Piemonte (2012) - Definizione dei valori di fondo naturale per i metalli nelle acque sotterranee come previsto dalla Direttiva 2006/118/CE e dal Decreto Legislativo 16 marzo 2009 n.30.
- ARPA Piemonte (2003) - Rapporto sullo stato dell'ambiente in Piemonte. Torino.
- ARPA Sardegna (2009) - Determinazione dei valori di fondo nelle matrici ambientali dell'area di Portoscuso.
- ARPA Veneto, Comune di Venezia (2014) - Valori di fondo di metalli e metalloidi nei suoli dell'isola di Murano. Documento interno.
- ARPA Veneto, Regione Veneto (2011) - Metalli e metalloidi nei suoli del Veneto. Serie Orientambiente, Padova.
- ARPAV (2018) - Carta dei suoli della provincia di Rovigo. Osservatorio Regionale Suolo, Treviso, pp. 196.
- ARPAV (2018) - Carta dei suoli della provincia di Vicenza. Osservatorio Regionale Suolo, Treviso, pp. 219
- ARPAV (2013) - Carta dei suoli della provincia di Padova. Osservatorio Regionale Suolo, Treviso, pp.182.
- ARPAV (2009) - Determinazione dei valori di fondo di metalli e metalloidi nei suoli dell'area del sito contaminato di interesse nazionale di via dei Mille a Mardimago (RO) Documento interno predisposto per il comune di Rovigo. [http://www.arpa.veneto.it/suolo/docs/documenti/suolo/rel\\_mardimago\\_4\\_03\\_09.pdf](http://www.arpa.veneto.it/suolo/docs/documenti/suolo/rel_mardimago_4_03_09.pdf)
- ARPAV (2008) - Carta dei suoli della provincia di Treviso. Osservatorio Regionale Suolo, Treviso, pp. 108.
- ARPAV (2008) - Carta dei suoli della provincia di Venezia. Provincia di Venezia e Osservatorio Regionale Suolo, pp. 268.
- ARPA Veneto (2006) - Monitoraggio del contenuto di metalli pesanti nel bacino scolante in laguna di Venezia. Documento interno.
- ARPA Veneto (2005) - Carta dei suoli del Veneto. Osservatorio Regionale Suolo, Treviso, pp. 383.
- ARPA Veneto, Comune di Venezia, Provincia di Venezia (2002) - Determinazione del livello di fondo di metalli pesanti nei suoli dell'entroterra veneziano. <http://www.arpa.veneto.it/dapve/docs/rel15metallisuolovenez.pdf>
- Baize D. (a cura di), (1997) - Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols. INRA, Paris, pp. 408.
- Baize D. e Tercé M. (a cura di), (2002) - Les éléments traces métalliques dans les sols. INRA, Paris, pp. 565.
- Bini C., Michelutti G., (1997) - Heavy metal bioaccumulation in forest soils of alpine environment. In: Proc. IV ICOBTE, I. Iskandar (Ed.), Berkeley, pp. 365-366.
- Buondonno A., Chersich S., Comolli R., Coppola E., Letizia A., Previtali F., Samaria M., Solaro S. (2003) - Distribuzione di elementi potenzialmente tossici (PTE) all'interfaccia suolo ambiente in un transetto in Valchiavenna (Sondrio). In: Bollettino S.I.S.S. 52 (1-2) pp. 689-699.

- Canali S., Tittarelli F., Sequi P. (a cura di), (1997) - Chromium environmental issues. Franco Angeli Editore.
- Cenci R. M., Sena F. (2009) - Dioxins, trace elements, bioindicators and biodiversity. Soils EUR 23935 EN, Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability
- Comolli R., Ferrè C. (2004) - Microvariabilità pedologica e distribuzione di elementi in traccia in suoli di ambiente alpino. In: Bollettino S.I.S.S. 53 (1-2) pp. 285-291.
- Consalter A., Giandon P., Gherardi M., Simoni A., Vianello G. (1998) - Approccio metodologico per definire la distribuzione e il differente grado di concentrazione in metalli nei suoli per cause naturali ed antropiche. Sensibilità e vulnerabilità del suolo: metodi e strumenti di indagine, Progetto Panda, Franco Angeli editore, pp. 279-303.
- CRPA (2001) - Liquami zootecnici, manuale per l'utilizzazione agronomica. Edizioni L'Informatore Agrario.
- De Vivo B., Lima A., Siegel F. R. (2004) - Geochimica ambientale. Metalli potenzialmente tossici. Liguori Editore, pp. 449.
- Della Sala S., Scazzola R., Terrabujo C., Giandon P., Wenning R.J., Dodge D.G., Luksemburg W.J., Weagraf S.A. (1999) - Assessment of PCDD/Fs, PCBs, and heavy metals in soil: a measure of the impact of the industrial zone of Porto Marghera on inland coastal areas of Italy". Organohalogen Compounds, vol. 43, pp. 137-141.
- Diamond D., Baskin D., Brown D., Lund L., Najita J., Javandel I. (2009) - Analysis of Background Distributions of Metals in the Soil at Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Dotti N., Beccaris G., Pucci V. (2001) - Proposta di metodologia per la determinazione del fondo naturale ed esempio applicativo. ARPA Liguria.
- Ebinghaus R., Turner R.R., de Lacerda L.D., Vasiliev O., Salomons W. (1999) - Mercury contaminated sites. Springer, Berlin, Germany.
- ERSAF (2007) - Analisi del contenuto in rame e altri metalli nei suoli agricoli lombardi. Quaderni della ricerca, n. 61.
- Facchinelli A., Sacchi E., Mallen L. (2001) - Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal source in soils. Environmental pollution 114, pp. 313-324.
- Garlato A., Sartori G., Ungaro F., Vinci I., Giandon P. (2008) - Contenuto di metalli pesanti nei suoli montani e collinari del Veneto. ARPA Veneto. Documento interno.
- Gasparetto G., Giandon P., Cappellin R. (2008) - Contenuto naturale e naturale-antropico di metalli pesanti nei suoli dei dell'Alto Vicentino. Atti del XXI Congresso Internazionale "Aspetti innovativi della moderna biologia".
- Giandon P. (2015) - Soil Contamination by Diffuse Inputs. In Armon R.H., Hanninen O (eds.) Environmental Indicators. DOI 10.1007/978-94-017-9499-2\_18, pp. 331-341.
- Giandon P., Cappellin R., Ragazzi F., Vinci I. (2004) - Confronto tra livello naturale e livello antropico dei metalli pesanti nei suoli della pianura veneta in relazione al materiale di partenza. In: Bollettino S.I.S.S. 53 (1-2) pp. 540-544.
- Giandon P., Fantinato L., Vinci I. (2000) - Heavy metal concentration in soils of the Basin Draining in the Venice Lagoon. Bollettino S.I.S.S., 49 (1-2), pp. 359-366.
- Giandon P., Garlato A., Ragazzi F. (2015) - Metals and metalloids in soils: a monitoring experience. IMPEL Soil Conference "Many soil functions, many reasons to protect it", Milan 7-8/10/2015, <http://ita.arpalombardia.it/ita/impel-ISC2015.asp>.
- Giandon P., Garlato A., Ragazzi F. (2012) - Assessing Background Values of Metals and Metalloids in Soils of the Veneto Region. Proceedings of European Congress on Regional Geoscientific Cartography and information System, vol. II, pp. 658-659.

Giandon P., Garlato A., Ragazzi F. (2011) - Metalli e metalloidi nei suoli della provincia di Treviso. Provincia di Treviso, pp. 95.

Giandon P., Garlato A., Ragazzi F. (2010) - Valori di fondo di metalli e metalloidi nei suoli del Veneto per una gestione sostenibile del territorio. Atti dell'VIII convegno AISSA, Udine 24-26 novembre 2010, pp. 86-89.

Giandon P., Garlato A., Ragazzi F. (2010) - Valori di fondo di metalli e metalloidi nei suoli del Veneto. Ambiente, Risorse e Salute n. 127 ottobre/dicembre 2010, pp. 14-19.

Giandon P., Ragazzi F. (2009) - Assessing background values of metals and metalloids in soils of the Veneto region. Epitome vol. 3-2009, Geoitalia Rimini 9-11 settembre 2009, p. 110.

Giandon P., Ragazzi F., Ungaro F. (2008) - Linea guida per la determinazione del valore di fondo naturale e naturale-antropico dei suoli agrari per metalli e metalloidi. Atti del 14° Convegno di Igiene Industriale, Corvara 1-4 aprile 2008, pp. 872-885.

Hooda, P.S. (2010) - Trace elements in soil. Wiley Publication, pp. 596.

Kabata - Pendias A., Pendias H. (2001) - Trace elements in soils and plants. CRC Press, II Ed., Boca Raton.

ISO - International Standards Organisation (2008) - Soil quality - Requirements and guidance for the selection and application of method for the assesment of bioavailability of contaminants in soils and soils materials, n.17402.

ISO - International Standards Organisation (2005) - Soil quality - Guidance on the determination of background values, n. 19258.

ISPRA (2006) - Protocollo per la Definizione dei Valori di Fondo per le Sostanze Inorganiche nelle Acque Sotterranee.

ISS, INAIL (2012) - Documento di supporto alla Banca dati "ISS-INAIL"

Mantovi P. (2003) - Rischi di accumulo del rame nei terreni. L'Informatore Agrario 42/2003.

Michelutti G., Gottardo E. (1997) - Inventario sullo stato dei suoli forestali del Friuli-Venezia Giulia. Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia, Direz. Delle Foreste, Udine, 82 pp.

MiPAF - Ministero per le Politiche Agricole e Forestali (2007) - Linea guida per la determinazione del valore di fondo naturale e naturale-antropico dei suoli agrari per metalli e metalloidi. Osservatorio Nazionale Pedologico, documento interno, versione 12 aprile 2007.

Müller G. (1981). Die Schwermetallbelastung der Sedimente des Neckars und seiner Nebenflüsse: eine Bestandsaufnahme. Chem. Zeit. 105, pp. 157-164

Müller G. (1979). Schwermetalle in den sedimenten des Rheins-Veränderungen seit 1971. Umschau 79, pp. 778-783

Ottonello G., Serva L. (2003) - Geochemical baseline of Italy. Pacini editore, Pisa.

Provincia di Milano (2003) - Linee guida per la determinazione dei valori del fondo naturale nell'ambito della bonifica dei siti contaminati.

Rampanelli G, Lorenzin M. (2008) - Rilevazione dei metalli nel terreno del territorio comunale di Levico Terme, per la definizione del fondo naturale. Convegno "Dall'emergenza delle bonifiche ad una gestione consapevole del territorio". Trento 3-4luglio 2008.

Regione Emilia Romagna (2012) - Progetto Cartografia Pedogeochemica a scala 1:250.000: Carta del Fondo Naturale La Carta pedogeochemica di Cr, Ni, Zn, Pb, Cu della pianura emiliano-romagnola a scala 1:250.000

<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/metalli-pesanti/carta-pedogeochemica-cr-ni-zn-pb-cu-250-2012>



- Regione Emilia Romagna (2007) - La carta pedogeochemica. Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna [http://www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/canali/suoli/carta\\_pedogeochemica/01\\_introduzione.htm](http://www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/canali/suoli/carta_pedogeochemica/01_introduzione.htm)
- Romani M., Beltarre G., Cattani I. (2010) - Quanto pesano acqua e varietà per limitare il cadmio nel riso. L'Informatore Agrario n.12.
- Rossi O. (2009) - Metodi statistici multivariati per l'analisi di dati ecologici ed ambientali. Uni.Nova, Parma
- Sartori G., Corradini F., Bini C., Gemignani S., Mancabelli A. (2004) - Contenuto di metalli pesanti nei suoli del Trentino. Studi Trentini di Scienze Naturali - Acta Geologica, Vol. 79, pp. 75-117
- SNPA (2017) - Linee guida per la determinazione dei valori di fondo per i suoli e per le acque sotterranee Delibera del Consiglio SNPA n. 20 del 14/11/2017, pp. 52.
- Soliani L. (2003) - Statistica applicata alla ricerca biologica e ambientale. Uni.Nova, Parma.
- Stefanelli G. (1993) - Utilizzo del rame in viticoltura: luci e ombre su uno dei più importanti anticrittogamici. Atti dell'Incontro Tecnico "Difesa delle colture" 12-13 novembre 1993. <http://bionet.stm.it/info/cuprici.htm>
- Steinnes E. (2009) - *Soils and geomedicine* - Environmental Geochemistry Health 31, pp. 523-535.
- Ungaro F. (2005/1) - Contenuto in metalli pesanti negli orizzonti superficiali dei suoli della pianura del Brenta. Analisi statistica e analisi spaziale esplorativa. Rapporto 1.1 CNR-IRPI Firenze.
- Ungaro F. (2005/2) - Contenuto in metalli pesanti negli orizzonti sottosuperficiali dei suoli della pianura del Brenta. Analisi statistica, analisi spaziale esplorativa e definizione dei livelli di fondo usuali. Rapporto 2.1 CNR-IRPI Firenze.
- Ungaro, F., Ragazzi, F. Cappellin R., Giandon, P. (2008) - Arsenic concentration in the soils of the Brenta Plain (Northern Italy): mapping the probability of exceeding contamination threshold. The Journal of Geochemical Exploration 96/2-3, pp. 117-131.
- U.S. EPA - Environmental Protection Agency (2013) - ProUCL Version 5.0.00 - Technical Guide. Statistical Software for Environmental Applications for Data Sets with and without Nondetect Observations.
- U.S. EPA - Environmental Protection Agency (2013) - ProUCL Version 5.0.00 - User Guide. Statistical Software for Environmental Applications for Data Sets with and without Nondetect Observations.
- U.S. EPA - Environmental Protection Agency (2006) - Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners, EPA QA/G-9S. EPA/240/B-06/003. Office of Environmental Information, Washington, DC. Download from: <http://www.epa.gov/quality/qs-docs/g9s-final.pdf>
- U.S. EPA - Environmental Protection Agency (2002) - Guidance for Comparing Background and Chemical Concentrations in Soil for CERCLA Sites, EPA 540-R-01-003.
- U.S. EPA - Environmental Protection Agency (2000) - Guidance for Data Quality Assessment Practical Methods for Data Analysis. EPA QA/G-9.

# Appendice

## ANTIMONIO

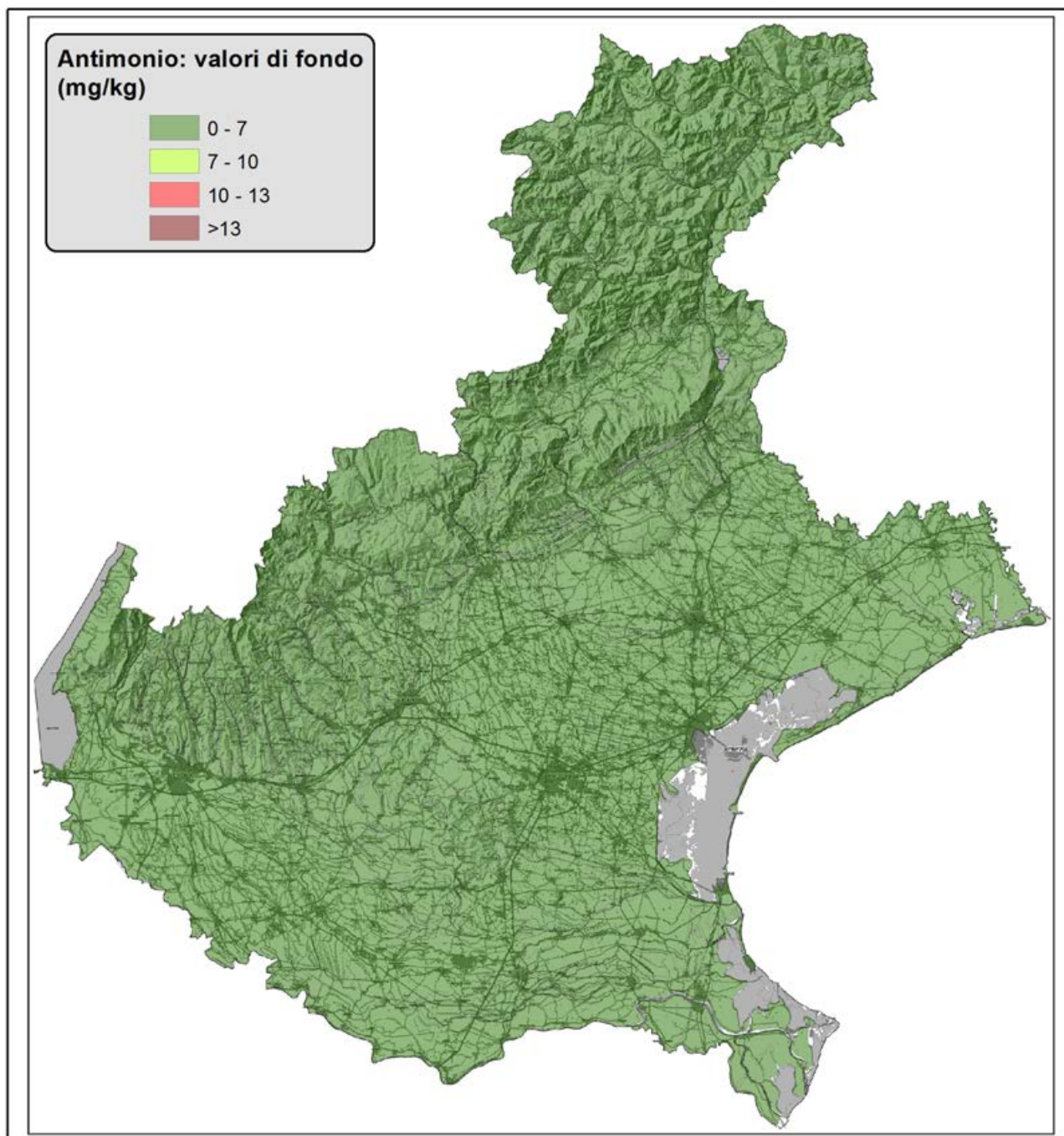


Figura A.Sb: Valore di fondo (95° percentile) dell'antimonio nei suoli del Veneto.

L'antimonio è un metalloide non essenziale per piante e animali, ma facilmente assimilabile dalle radici se presente in forma solubile nel suolo.

Le caratteristiche geochemiche sono simili a quelle dell'arsenico ma è molto meno abbondante di quest'ultimo. E' un elemento fortemente calcofilo, ha una bassa affinità per l'ossigeno e si lega preferibilmente con lo zolfo formando solfuri altamente insolubili (De Vivo, 2004). Può concentrarsi solo in condizioni riducenti dove si trova nello stato di ossidazione 3+.

Nel suolo ha una moderata mobilità e si trova adsorbito alle argille e agli idrossidi o può formare complessi con la sostanza organica (Alloway, 1995). Il range nei suoli oscilla tra 0,05 e 4,0 mg/kg (Kabata – Pendias e Pendias, 2001), con media pari a 1 mg/kg (Alloway, 1995).

L'antimonio si può trovare come inquinante nelle aree industriali soprattutto nei pressi di fonderie di rame, piombo e zinco e di industrie che fabbricano batterie (De Vivo et al. 2004).

Nei suoli agricoli può essere apportato attraverso deposizioni umide e secche derivanti dalla combustione di combustibili fossili o con la distribuzione di ammendanti, concimi chimici o fanghi di depurazione (Alloway, 1995).

E' tossico per l'uomo ma essendo poco diffuso nell'ambiente la tossicità è in genere limitata all'esposizione professionale (De Vivo et al. 2004).

La concentrazione soglia di contaminazione prevista per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (colonna A) dal D.Lgs 152/2006 (e s.m.i.) è di 10 mg/kg mentre per i siti ad uso commerciale e industriale (colonna B) è di 30 mg/kg; non sono previsti limiti per lo spandimento al suolo di fanghi di depurazione (D.Lgs 99/1992).

Nelle unità fisiografiche e deposizionali del Veneto non si osservano superamenti del limite di legge con valori di fondo ampiamente inferiori a 5 mg/kg.

Alti valori in antimonio, non considerati nelle elaborazioni di questo volume, sono stati rinvenuti a Murano, ovviamente di origine antropica (vedi scheda all'interno dell'unità DP), e in comune di Recoaro (VI) in prossimità di aree minerarie (vedi scheda all'interno dell'unità SD) dove si osservano concentrazioni superiori anche ai limiti di colonna B (30 mg/kg).

	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Inferiore Quartile	Superiore Quartile	95° percentile		N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Inferiore Quartile	Superiore Quartile	95° percentile
MA	7	1,38	0,4	1,2	1,1	1,6	2,0	MA	6	1,13	0,28	1,1	0,89	1,4	1,4
MD	11	1,44	0,49	1,4	1,1	1,7	2,2	MD	8	0,72	0,70	0,53	0,37	0,67	1,8
MS	11	0,98	0,48	0,94	0,7	1,3	1,7	MS	9	0,93	1,15	0,33	0,27	0,98	2,9
MW	7	1,42	0,78	1,3	1,1	1,9	2,3	MW	8	0,86	0,58	0,80	0,44	1,2	1,7
SA	30	1,54	1,16	1,3	0,88	1,7	3,3	SA	22	0,97	0,75	0,83	0,57	1,1	2,5
SD	45	1,05	0,67	0,86	0,69	1,1	2,6	SD	27	0,74	0,73	0,56	0,48	0,78	1,1
LB	71	0,75	0,97	0,49	0,32	0,79	1,6	LB	58	0,35	0,42	0,22	0,1	0,38	1,4
LC	12	1,16	0,38	1,2	0,84	1,3	1,8	LC	6	1,28	0,63	1,30	1,2	1,3	2,1
RA	17	1,53	0,91	1,1	0,85	2,0	3,2	RA	17	2,03	1,38	1,9	0,81	2,7	4,2
RB	19	1,93	1,56	1,3	0,94	2,6	4,7	RB	11	1,21	0,89	0,98	0,70	1,5	2,8
RR	30	0,78	0,23	0,78	0,6	0,98	1,1	RR	29	0,53	0,28	0,48	0,29	0,7	1,0
CA	34	1,54	0,86	1,4	0,87	1,8	3,3	CA	30	0,65	0,52	0,49	0,25	1,1	1,5
CC	51	0,56	0,19	0,54	0,44	0,64	0,84	CC	45	0,36	0,19	0,37	0,23	0,46	0,72
CG	72	0,94	0,55	0,84	0,57	1,1	1,9	CG	68	0,74	0,52	0,64	0,44	0,87	1,5
CL	45	1,74	0,52	1,7	1,4	2,1	2,7	CL	42	1,54	0,48	1,5	1,2	1,8	2,4
O	200	0,70	0,27	0,65	0,52	0,85	1,3	O	188	0,53	0,23	0,51	0,37	0,66	0,94
A	315	0,86	0,43	0,78	0,57	1,1	1,6	A	280	0,71	0,45	0,58	0,42	0,92	1,5
B	305	0,89	0,54	0,71	0,56	0,97	2,0	B	339	0,70	0,50	0,58	0,37	0,85	1,8
P	167	0,67	0,22	0,65	0,51	0,8	1,0	P	157	0,45	0,24	0,43	0,28	0,58	0,92
T	33	0,66	0,24	0,62	0,45	0,81	1,1	T	30	0,58	0,27	0,55	0,38	0,64	1,1
DA	48	0,45	0,29	0,42	0,25	0,62	1,0	DA	48	0,35	0,28	0,28	0,1	0,41	0,88
DP	19	0,33	0,17	0,34	0,23	0,47	0,56	DP	24	0,22	0,14	0,18	0,1	0,31	0,48

Tabella A.Sb: Principali parametri statistici delle concentrazioni di antimonio in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nei suoli delle diverse unità deposizionali e fisiografiche del Veneto. Il 95° percentile per le unità MA, MD, MS, MW, LC, RA e RB non rappresenta il valore di fondo poiché quest'ultimo è stato calcolato sull'intera popolazione a causa del ridotto numero di dati. Dati espressi in mg/kg.



## ARSENICO

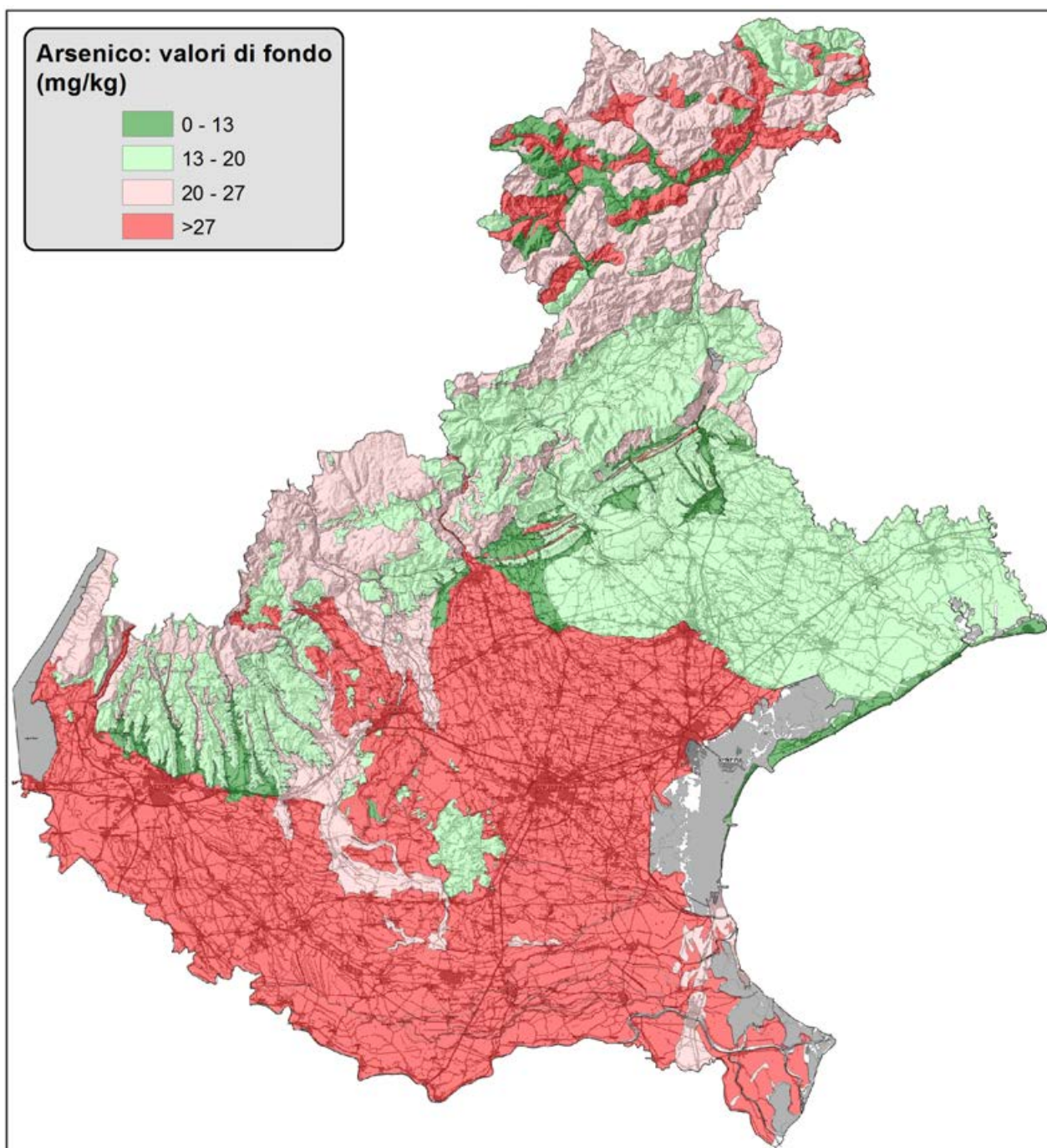


Figura A.As: Valore di fondo (95° percentile) dell'arsenico nei suoli del Veneto.

L'arsenico è un metalloide noto per la tossicità di alcuni suoi composti quali l'arsenico elementare, i composti organici e l'arsina ( $\text{AsH}_3$ ), fortunatamente non presenti nel suolo (ANPA, 1999).

L'arsenico nell'uomo è assorbito dal tratto gastrointestinale e si accumula prevalentemente nel fegato, reni, cuore e polmoni. E' cancerogeno e teratogeno. Dal punto di vista chimico, l'arsenico è molto simile al suo omologo, il fosforo, al punto che lo sostituisce parzialmente in alcune reazioni biochimiche, e proprio questo ne determina l'effetto tossico (De Vivo et al., 2004).

L'assorbimento da parte delle piante non è elevato, così che anche in suoli con elevate concentrazioni di arsenico le piante non presentano contenuti pericolosi dell'elemento per l'uomo con l'eccezione del riso che è in grado di assimilare quantità rilevanti del metalloide.

Viene rilasciato nell'ambiente principalmente dalla combustione del carbone e attraverso le acque, dove l'elemento può essere contenuto perché dissolto da alcuni suoli o rocce che lo contengono in concentrazioni elevate. L'arsenico può derivare anche da alcuni antiparassitari ed erbicidi, che erano usati soprattutto nel passato, e dall'uso di fertilizzanti fosfatici e organici. In passato l'arsenico è stato utilizzato come pigmento per pitture e nelle concerie e ha avuto grande importanza in campo medico (Alloway, 1995).

Il range nei suoli oscilla tra 1 e 70 mg/kg (Kabata – Pendias e Pendias, 2001), con media pari a 10 mg/kg (Alloway, 1995). Nel suolo si trova soprattutto sotto forma di solfuro, la cui ossidazione porta alla formazione dell'ossido di arsenico (III e V) che è moderatamente solubile in acqua e quindi trasforma quest'ultima in acqua "arsenicale". L'acidità gioca un ruolo importante nella mobilità dell'elemento, in quanto all'aumentare del pH aumenta la dissoluzione degli arseniati di ferro e alluminio (elementi presenti in abbondanza nei suoli) e, quindi ne viene favorita la mobilità. Anche il potenziale redox influenza la mobilità dell'arsenico in quanto ambienti riducenti riducono l'arsenico da V a III, forma molto più solubile, pertanto più assoggettabile alla lisciviazione (Kabata – Pendias e Pendias, 2001).

Valori elevati tra 100 e 2500 mg/kg sono riportati in bibliografia nei suoli in prossimità di diverse fonderie di rame e altri metalli e valori di 700 mg/kg sono stati rilevati da alcuni autori anche in suoli agricoli in cui si impiegavano pesticidi e erbicidi contenenti arsenico. In suoli trattati con pesticidi arsenicali la persistenza di questi composti è notevole, con un tempo di emivita di 15 anni (Kabata – Pendias e Pendias, 2001).

	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Inferiore Quartile	Superiore Quartile	95° percentile		N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Inferiore Quartile	Superiore Quartile	95° percentile
MA	8	9,35	4,92	9,1	6,4	13	15	MA	8	11,1	7,24	11	6,3	14	21
MD	11	13,8	4,33	14	11	15	21	MD	9	8,31	6,26	5,7	4,0	9,7	19
MS	11	6,70	2,15	6,3	5,6	7,1	11	MS	9	7,15	4,81	5,5	4,2	7,1	15
MW	8	17,4	10,3	17	9,7	25	31	MW	8	10,3	5,42	9,6	6,6	13	18
SA	30	15,2	5,43	15	11	19	25	SA	22	14,1	6,42	14	10	18	27
SD	46	9,51	3,71	8,8	7,0	11	17	SD	28	8,22	4,49	7,7	4,9	9,7	15
LB	72	5,28	4,59	3,8	2,6	5,5	14	LB	57	4,19	4,49	2,5	1,5	4,4	12
LC	12	17,0	6,99	16	12	19	29	LC	6	21,6	11,0	18	15	31	36
RA	22	37,7	18,7	32	25	48	62	RA	17	59,9	35,8	60	36	82	116
RB	19	24,2	10,1	26	18	31	40	RB	11	22,4	13,2	19	13	34	38
RR	53	7,54	4,99	6,5	3,1	11	16	RR	28	9,58	5,42	7,2	5,0	15	18
CA	37	13,2	5,90	13	9,4	16	25	CA	33	8,57	5,96	6,8	4,1	12	19
CC	58	8,20	3,35	8,0	6,7	9,9	13	CC	46	7,1	3,71	6,7	4,5	9,7	13
CG	77	9,12	3,66	9,0	6,7	11	15	CG	68	9,53	5,52	8,7	5,4	12	21
CL	46	19,2	4,04	19	16	22	26	CL	44	21,3	4,13	21	19	24	28
O	205	13,7	6,69	12	9,3	17	28	O	192	10,0	4,57	8,8	7,1	12	19
A	361	17,9	11,5	15	11	20	40	A	295	15,8	12,6	13	7,8	20	39
B	498	21,7	8,35	20	16	27	37	B	374	23,5	13,4	22	14	30	46
P	286	7,36	3,38	6,6	4,8	9,8	13	P	173	6,68	3,81	5,8	4,0	9,0	14
T	53	9,29	2,97	8,5	7,5	11	14	T	50	7,76	3,70	7,2	5,2	9,2	15
DA	49	10,8	5,91	8,7	6,0	14	23	DA	48	8,85	5,81	7,1	5,9	10	20
DP	22	7,0	2,72	7,1	4,4	8,6	11	DP	24	5,79	2,52	5,6	3,9	7,6	9,3

Tabella A.As: Principali parametri statistici delle concentrazioni di arsenico in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nei suoli delle diverse unità deposizionali e fisiografiche del Veneto. Il 95° percentile per le unità MA, MD, MS, MW, LC, RA e RB non rappresenta il valore di fondo poiché quest'ultimo è stato calcolato sull'intera popolazione a causa del ridotto numero di dati. Dati espressi in mg/kg.

La concentrazione soglia di contaminazione prevista per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (colonna A) dal D.Lgs 152/2006 (e s.m.i.) è di 20 mg/kg, mentre per i siti ad uso commerciale ed industriale (colonna B) il limite è di 50 mg/kg; non sono previsti invece limiti per lo spandimento al suolo di fanghi di depurazione (D.Lgs 99/1992).

Diverse sono le unità fisiografiche e deposizionali del Veneto che hanno valori di fondo superiori ai limiti di legge (in ordine dai valori di fondo più elevati): Colline su calcareniti (RA), Brenta (B), Adige (A), Colli Berici (RB), Prealpi su calcareniti (LC), Alpi su Formazione di Werfen (MW), Po (O), Conoidi pedemontane del sistema Leogra-Timonchio (CL), Prealpi su calcari duri (SA), Conoidi dell'Astico (CA), Alpi su dolomia (MD), Costiero meridionale (DA), Depositi fluviali del sistema Agno-Guà (CG).

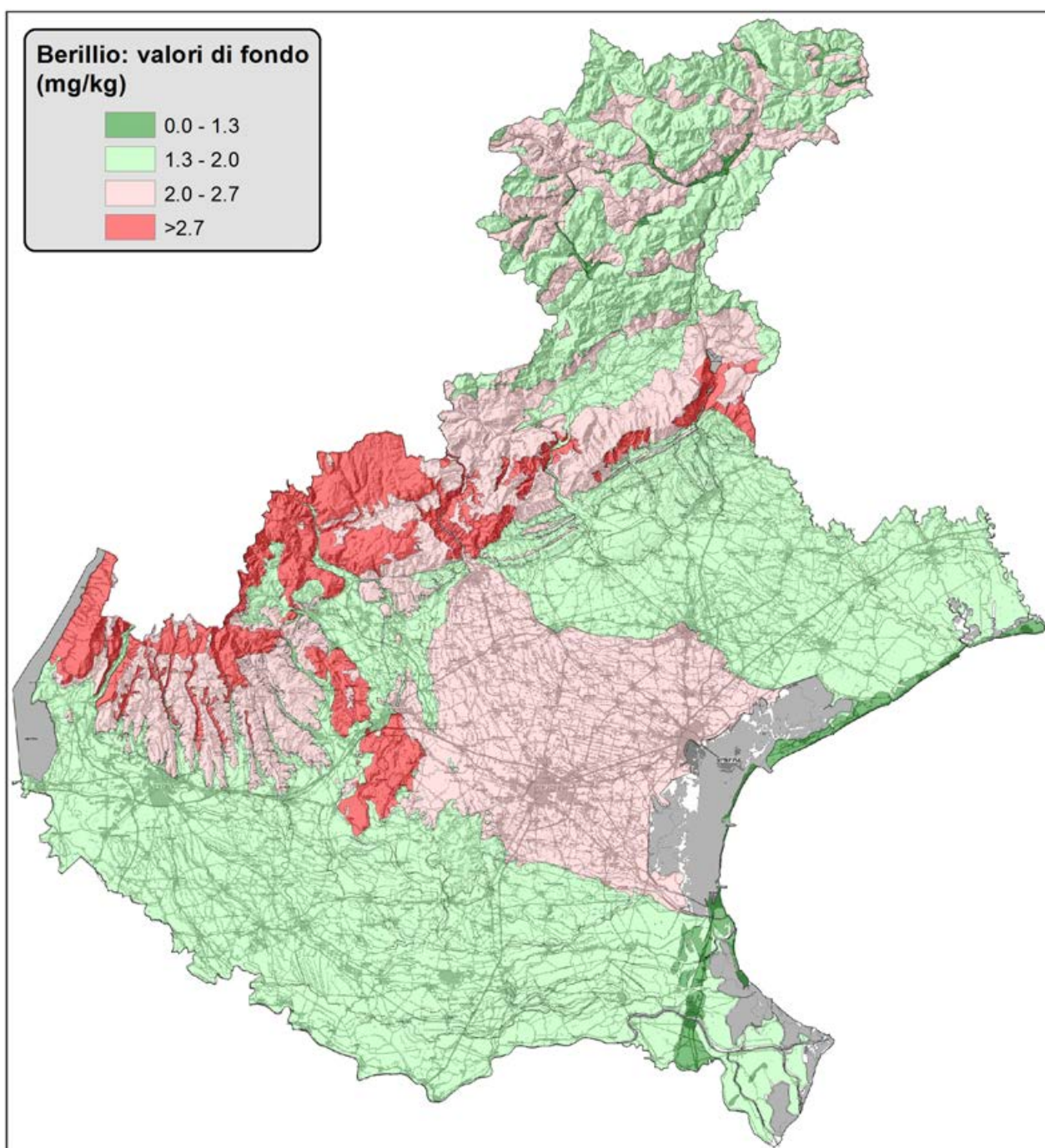
Tra queste si distingue in particolare, per la superficie coinvolta e per i valori medi, l'unità del Brenta (B) con valore di fondo di 46 mg/kg. Oltre a quest'area si segnala anche la pianura dell'Adige con valore di fondo pari a 40 mg/kg, i colli Berici (RB, 39 mg/kg) e l'area prealpina su calcareniti (LC, 34 mg/kg).

L'area che però in assoluto mostra le concentrazioni più elevate, ma che al contrario occupa una superficie alquanto ridotta, è l'unità colline su calcareniti (RA), diffusa quasi esclusivamente in provincia di Treviso dove il valore di fondo sale fino a 89 mg/kg. In quest'area a causa del ridotto numero di dati, cautelativamente, le elaborazioni per la determinazione del valore di fondo sono state effettuate sull'intero dataset mentre nella tabella A.As sono evidenziati i dati relativi sia agli orizzonti superficiali che a quelli profondi; è evidente l'origine naturale dell'arsenico in quest'area con concentrazioni più elevate in profondità (mediana pari a 60 mg/kg) a fronte di un valore superficiale molto più basso (32 mg/kg).

Valori molto elevati in arsenico, non considerati nelle elaborazioni di questo volume, sono stati rinvenuti a Murano, ovviamente di origine antropica (vedi scheda all'interno dell'unità DP), e in comune di Recoaro (VI) in prossimità di aree minerarie (vedi scheda all'interno dell'unità SD) dove si sono rilevate concentrazioni nell'ordine delle centinaia di mg/kg.



## **BERILLIO**



*Figura A.Be: Valore di fondo (95° percentile) del berillio nei suoli del Veneto.*

Il berillio è un elemento non essenziale per la nutrizione e non stimola alcuna funzione biologica; è inoltre tossico per l'uomo e tende ad accumularsi nei polmoni, nel fegato e nelle ossa. Studi epidemiologici hanno attestato la cancerogenicità del berillio nei mammiferi (ANPA, 1999).

Esiste in quantità molto piccole nei diversi tipi di rocce con valori inferiori a 10 mg/kg, tende a concentrarsi nei residui magmatici, formando minerali solo nell'ultima fase della solidificazione magmatica (ANPA, 1999).

I valori medi riscontrati nei suoli variano da 1 a 15 mg/kg, mentre valori elevati fino a 50 mg/kg sono stati trovati nei suoli in prossimità di fonderie e centrali elettriche a carbone (Kabata – Pendias e Pendias, 2001). Viene rilasciato nell'ambiente dalla combustione del carbone e dell'olio combustibile.

Sebbene sia considerato poco mobile, nei suoli forma sali solubili ( $\text{BeCl}_2$  e  $\text{BeSO}_4$ ), diventando disponibile e tossico per le piante. Il berillio ha alta affinità per la sostanza organica, per cui si accumula negli orizzonti



organici, inoltre, poiché si sostituisce all'alluminio e ad altri cationi bivalenti, è presente nelle argille montmorillonitiche (Kabata – Pendias e Pendias, 2001).

La concentrazione soglia di contaminazione, prevista per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (colonna A) dal D.Lgs 152/2006 è di 2 mg/kg, valore molto basso se confrontato con i valori naturali presenti in diverse parti del mondo, mentre per i siti ad uso commerciale e industriale (colonna B) è di 10 mg/kg. Non sono previsti limiti per lo spandimento al suolo di fanghi di depurazione (D.Lgs 99/1992).

Diverse sono le unità fisiografiche e deposizionali del Veneto che presentano valori di fondo superiori ai limiti di legge (in ordine dai valori di fondo più elevati): Colli Berici (RB), Prealpi su calcareniti (LC), Prealpi su calcari duri (SA), Prealpi su calcari marnosi (SD), Alpi su Formazione di Werfen (MW), Alpi su litotipi silicatici (MS), Colline su calcareniti (RA), Prealpi su basalti (LB), Brenta (B).

Tra queste l'unica area di pianura è costituita dalla pianura del Brenta (B) con valore di fondo appena superiore al limite e pari 2,1 mg/kg.

In generale i valori sono di poco superiori al limite per le aree residenziali e anche l'unità che in assoluto mostra le concentrazioni più elevate, i colli Berici, con valore di fondo di 2,8 mg/kg, presenta concentrazioni molto basse rispetto al limite per le aree ad uso commerciale e industriale (10 mg/kg). I valori rilevati in queste unità sono attribuibili alla dotazione naturale poiché le concentrazioni tra orizzonti superficiali e profondi sono confrontabili (vedi tabella A.Be).

	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Inferiore Quartile	Superiore Quartile	95° percentile		N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Inferiore Quartile	Superiore Quartile	95° percentile
MA	14	0,87	0,21	0,90	0,80	0,99	1,1	MA	12	1,1	0,35	1,1	0,94	1,3	1,7
MD	16	0,86	0,50	0,81	0,53	1,2	1,5	MD	11	0,45	0,38	0,25	0,25	0,39	1,2
MS	10	0,83	0,42	0,82	0,68	0,98	1,5	MS	5	1,58	0,68	1,3	1,3	<b>2,2</b>	<b>2,4</b>
MW	6	1,41	0,74	1,6	0,99	1,9	<b>2,1</b>	MW	6	0,89	0,85	0,52	0,25	1,3	<b>2,1</b>
SA	31	1,40	0,68	1,3	0,93	<b>2,1</b>	<b>2,3</b>	SA	20	1,58	0,81	1,5	1,2	<b>2,1</b>	<b>2,7</b>
SD	46	1,21	0,47	1,2	0,86	1,5	<b>2,1</b>	SD	25	1,29	0,69	1,4	0,66	2,0	<b>2,3</b>
LB	70	0,92	0,45	0,92	0,56	1,3	1,7	LB	57	1,24	0,50	1,3	0,93	1,5	<b>2,1</b>
LC	11	1,50	0,56	1,6	1,2	1,9	<b>2,2</b>	LC	5	<b>2,06</b>	1,00	<b>2,2</b>	2,0	<b>2,6</b>	<b>3,0</b>
RA	17	0,82	0,35	0,69	0,58	1,1	1,3	RA	17	1,35	0,61	1,2	0,95	2,0	<b>2,2</b>
RB	19	1,59	0,57	1,6	1,1	2,0	<b>2,4</b>	RB	11	1,62	0,95	1,3	0,98	<b>2,4</b>	<b>3,1</b>
RR	33	0,96	0,39	0,94	0,70	1,2	1,5	RR	29	0,98	0,44	0,87	0,66	1,4	1,7
CA	39	1,00	0,43	1,1	0,72	1,3	1,5	CA	35	0,69	0,57	0,25	0,25	1,1	1,8
CC	50	0,82	0,34	0,78	0,65	1,0	1,3	CC	43	0,73	0,44	0,72	0,25	1,0	1,6
CG	76	0,73	0,36	0,76	0,25	0,95	1,3	CG	67	0,72	0,39	0,72	0,25	0,90	1,5
CL	50	1,02	0,32	1,0	0,82	1,2	1,5	CL	48	1,22	0,42	1,3	0,92	1,5	1,9
O	196	1,05	0,35	1,0	0,84	1,3	1,7	O	184	0,86	0,46	0,88	0,52	1,2	1,6
A	284	0,75	0,43	0,69	0,25	0,99	1,5	A	242	0,58	0,41	0,45	0,25	0,83	1,3
B	215	1,19	0,46	1,1	0,90	1,5	1,9	B	198	1,16	0,58	1,1	0,76	1,5	<b>2,1</b>
P	162	0,90	0,44	0,93	0,56	1,2	1,6	P	142	0,68	0,42	0,58	0,32	0,91	1,5
T	33	0,92	0,36	0,90	0,73	1,1	1,5	T	30	0,75	0,51	0,67	0,25	1,1	1,8
DA	47	0,46	0,34	0,25	0,25	0,71	1,0	DA	46	0,39	0,28	0,25	0,25	0,25	1,1
DP	19	0,34	0,16	0,25	0,25	0,38	0,64	DP	19	0,27	0,07	0,25	0,25	0,25	0,28

Tabella A.Be: Principali parametri statistici delle concentrazioni di berillio in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nei suoli delle diverse unità deposizionali e fisiografiche del Veneto. Il 95° percentile per le unità MA, MD, MS, MW, LC, RA e RB non rappresenta il valore di fondo poiché quest'ultimo è stato calcolato sull'intera popolazione a causa del ridotto numero di dati. Dati espressi in mg/kg.

## CADMIO

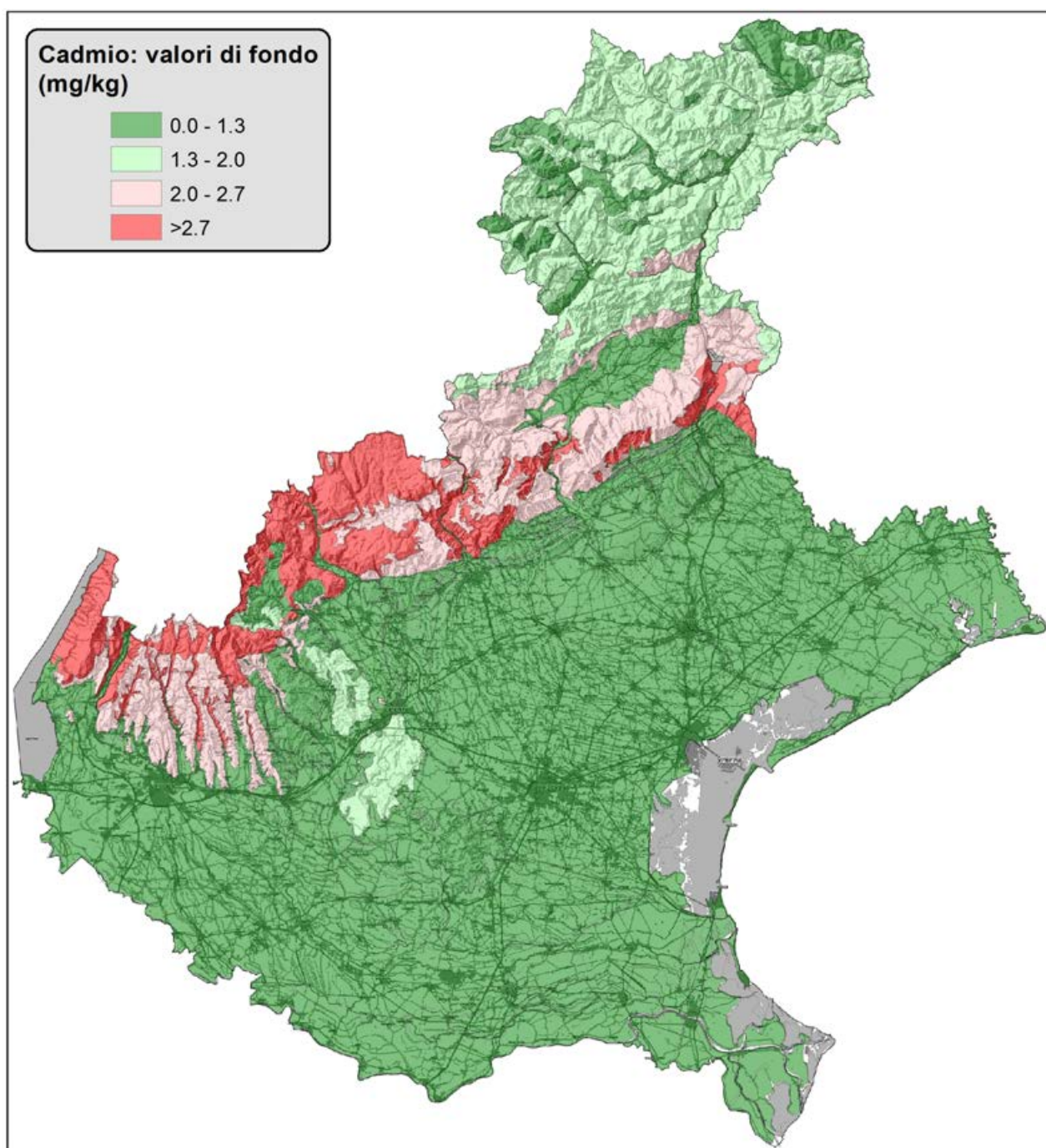


Figura A.Cd: Valore di fondo (95° percentile) del cadmio nei suoli del Veneto.

Il cadmio non svolge funzioni biologiche essenziali per le piante e gli animali, ma anzi è altamente tossico. Le piante, una volta assorbito l'elemento, non riescono ad eliminarlo e pertanto tendono ad accumularlo prevalentemente nelle radici e in misura inferiore nella parte aerea della pianta; questo fenomeno limita fortunatamente il movimento del cadmio attraverso la catena alimentare (ANPA, 1999).

Difficilmente le concentrazioni trovate nell'ambiente portano ad intossicazioni acute, ma il rischio maggiore per la salute umana è dato dall'accumulo cronico (Alloway, 1995).

Le fonti principali di contaminazione del suolo possono essere suddivise in tre gruppi: utilizzo in agricoltura di fanghi di depurazione e di fertilizzanti fosfatici che derivano da fosforiti, rocce naturalmente ricche di questo elemento; sorgenti industriali quali miniere, fonderie di piombo e zinco e inquinamento atmosferico da industrie metallurgiche; numerose attività umane, principalmente traffico veicolare e combustione di combustibili fossili.

Il contenuto di cadmio nelle rocce di origine carbonatica ha una variabilità molto elevata, a differenza delle rocce ignee e metamorfiche dove è presente in concentrazioni molto basse (Baize, 1997).

L'input principale per i suoli agricoli è dato dall'utilizzo dei fertilizzanti fosfatici che contengono circa 36 mg di cadmio per kg di fosfati; tenendo conto che nei suoli europei si usano mediamente 22 kg/ha all'anno di fosfati questo comporta un input di circa 0,8 g/ha all'anno.

In generale i suoli contengono valori inferiori a 1 mg/kg, valori medi nei suoli europei si aggirano tra 0,2 e 0,4 mg/kg (Alloway, 1995).

Il cadmio è un elemento fortemente calcofilo e di conseguenza è concentrato nei solfuri e mostra notevole affinità con la sostanza organica (De Vivo et al., 2004); mostra mobilità superiori rispetto a rame e piombo (ERSAF, 2007) ed essendo facilmente biodisponibile, può passare nella catena alimentare tramite i vegetali, oppure migrare in profondità con rischio di contaminazione delle falde freatiche. La mobilità del cadmio è fortemente legata al pH, aumentando tanto più si abbassa la reazione nel suolo, sebbene siano state osservate in letteratura migrazioni di cadmio anche in suoli neutri e alcalini (Baize, 1997).

Circa tre quarti della quantità di cadmio prodotta vengono usati nelle pile al nichel-cadmio, mentre il quarto rimanente è principalmente usato per produrre pigmenti, rivestimenti e stabilizzanti per materie plastiche.

La concentrazione soglia di contaminazione prevista per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (colonna A) dal D.Lgs 152/2006 (e s.m.i.), è di 2 mg/kg, per i siti ad uso commerciale e industriale (colonna B) è di 15 mg/kg, mentre lo spandimento di fanghi di depurazione è consentito solo se i suoli contengono meno di 1,5 mg/kg (D.Lgs 99/1992).

	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Inferiore Quartile	Superiore Quartile	95° percentile		N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Inferiore Quartile	Superiore Quartile	95° percentile
<b>MA</b>	32	0,30	0,10	0,25	0,25	0,29	0,53	<b>MA</b>	30	0,27	0,06	0,25	0,25	0,25	0,41
<b>MD</b>	22	0,85	0,48	0,77	0,55	1,2	1,7	<b>MD</b>	17	0,42	0,30	0,25	0,25	0,49	0,85
<b>MS</b>	27	0,33	0,19	0,25	0,25	0,25	0,84	<b>MS</b>	23	0,28	0,08	0,25	0,25	0,25	0,48
<b>MW</b>	21	0,65	0,78	0,25	0,25	0,54	2,0	<b>MW</b>	19	0,42	0,41	0,25	0,25	0,25	1,5
<b>SA</b>	41	1,53	0,90	1,3	0,99	1,8	<b>3,4</b>	<b>SA</b>	26	1,51	1,19	1,2	0,73	1,8	<b>3,8</b>
<b>SD</b>	72	0,88	0,61	0,70	0,52	1,1	1,9	<b>SD</b>	46	0,78	0,65	0,62	0,28	0,99	<b>2,2</b>
<b>LB</b>	73	0,30	0,20	0,25	0,25	0,25	0,56	<b>LB</b>	60	0,28	0,18	0,25	0,25	0,25	0,27
<b>LC</b>	13	0,95	0,45	0,72	0,65	1,2	1,7	<b>LC</b>	7	0,92	0,53	0,72	0,71	0,97	1,7
<b>RA</b>	17	0,36	0,30	0,3	0,25	0,25	0,80	<b>RA</b>	17	0,39	0,27	0,25	0,25	0,25	0,96
<b>RB</b>	21	0,75	0,60	0,61	0,25	1,1	1,6	<b>RB</b>	13	0,84	0,56	0,87	0,25	1,2	1,6
<b>RR</b>	61	0,38	0,21	0,25	0,25	0,40	0,90	<b>RR</b>	39	0,31	0,14	0,25	0,25	0,3	0,57
<b>CA</b>	40	0,39	0,18	0,27	0,25	0,51	0,74	<b>CA</b>	36	0,27	0,06	0,25	0,25	0,25	0,38
<b>CC</b>	68	0,48	0,23	0,44	0,25	0,59	0,92	<b>CC</b>	52	0,36	0,16	0,25	0,25	0,47	0,72
<b>CG</b>	81	0,32	0,16	0,25	0,25	0,25	0,66	<b>CG</b>	72	0,27	0,11	0,25	0,25	0,25	0,39
<b>CL</b>	51	0,36	0,18	0,25	0,25	0,45	0,74	<b>CL</b>	49	0,32	0,12	0,25	0,25	0,37	0,54
<b>O</b>	210	0,28	0,10	0,25	0,25	0,25	0,54	<b>O</b>	193	0,26	0,05	0,25	0,25	0,25	0,25
<b>A</b>	396	0,41	0,27	0,25	0,25	0,53	0,93	<b>A</b>	314	0,30	0,16	0,25	0,25	0,25	0,57
<b>B</b>	534	0,49	0,24	0,44	0,25	0,67	0,90	<b>B</b>	396	0,42	0,26	0,25	0,25	0,52	0,93
<b>P</b>	305	0,39	0,15	0,34	0,25	0,49	0,68	<b>P</b>	183	0,28	0,10	0,25	0,25	0,3	0,45
<b>T</b>	55	0,33	0,12	0,25	0,25	0,41	0,59	<b>T</b>	52	0,29	0,08	0,25	0,25	0,30	0,47
<b>DA</b>	55	0,26	0,05	0,25	0,25	0,25	0,26	<b>DA</b>	49	0,25	0,00	0,25	0,25	0,25	0,25
<b>DP</b>	24	0,25	0,01	0,25	0,25	0,25	0,25	<b>DP</b>	24	0,25	0,00	0,25	0,25	0,3	0,25

Tabella A.Cd: Principali parametri statistici delle concentrazioni di cadmio in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nei suoli delle diverse unità deposizionali e fisiografiche del Veneto. Il 95° percentile per le unità MA, MD, MS, MW, LC, RA e RB non rappresenta il valore di fondo poiché quest'ultimo è stato calcolato sull'intera popolazione a causa del ridotto numero di dati. Dati espressi in mg/kg.

Sono solo due le unità che presentano un valore di fondo superiore ai limiti per le aree residenziali: le Prealpi su calcari duri (SA) e le Prealpi su calcari marnosi (SD). Nella prima il valore di fondo raggiunge una

concentrazione quasi doppia rispetto alla colonna A (3,8 mg/kg) mentre nella seconda è di poco superiore al limite (2,2 mg/kg).

Vari lavori in bibliografia confermano contenuti molto elevati di tale elemento nei suoli su calcari presenti in varie zone delle Alpi (Sartori et al., 2002; Baize, 1997; Baize e Tercé, 2002): In questi litotipi il cadmio è contenuto quasi esclusivamente nella struttura dei carbonati, dove sostituisce il calcio.

I colli Berici (RB), le prealpi su calcareniti (LC) e le alpi su formazione di Werfen (MW) sono unità dove il valore di fondo si avvicina al limite tabellare e quindi sono potenzialmente possibili dei superamenti. Alti valori in cadmio, non considerati nelle elaborazioni di questo volume, sono stati rinvenuti a Murano, di sicura origine antropica (vedi scheda all'interno dell'unità DP), e in comune di Recoaro (VI) in prossimità di aree minerarie (vedi scheda all'interno dell'unità SD), ma mai superiori ai limiti di colonna B (15 mg/kg).



## COBALTO

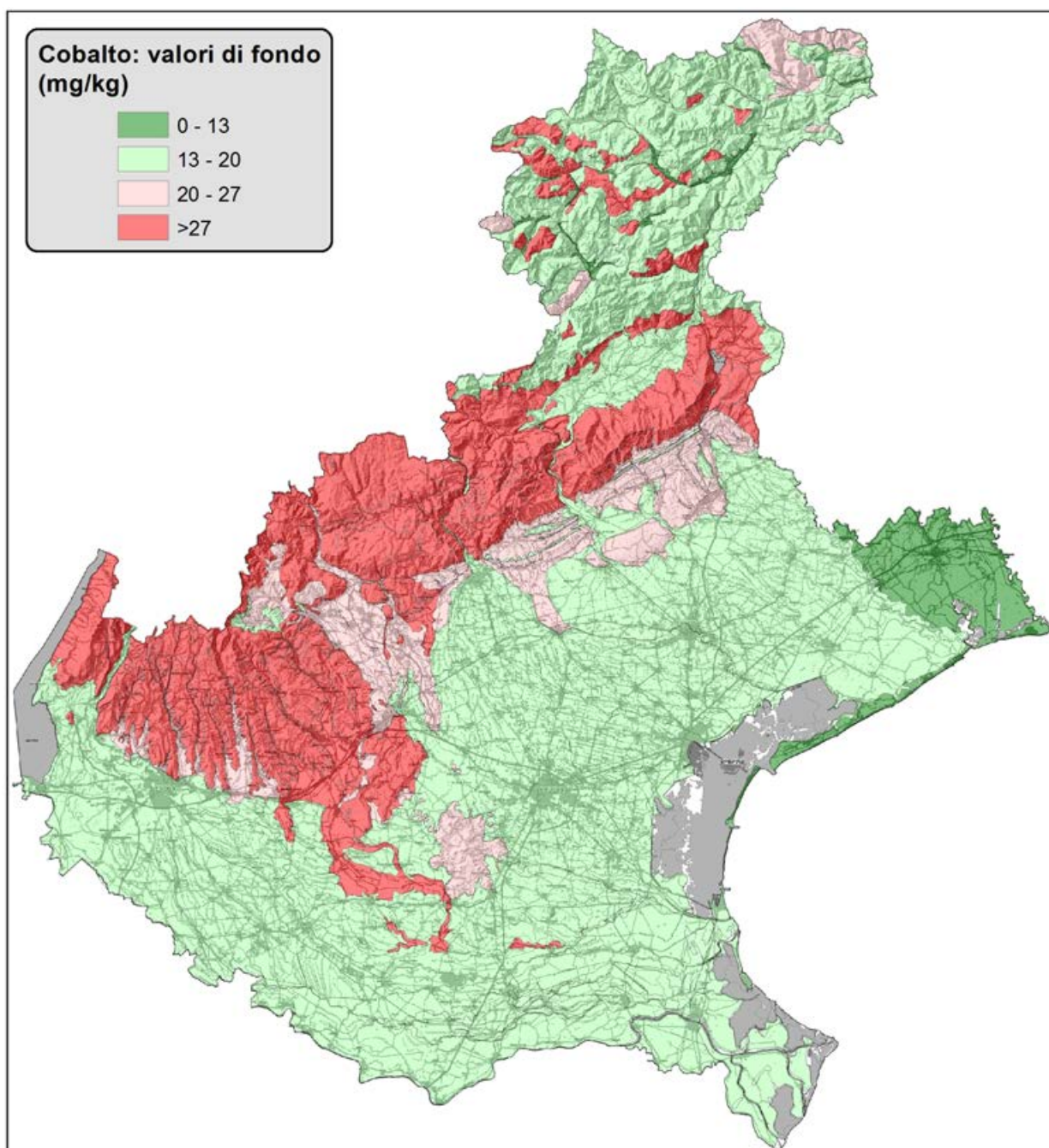


Figura A.Co: Valore di fondo (95° percentile) del cobalto nei suoli del Veneto.

Il cobalto è un elemento essenziale per le alghe verdi e i microrganismi azotofissatori, tra le piante superiori è elemento indispensabile per le azotofissatrici come le leguminose e gli ontani, ma non è chiaro se anche per le altre piante lo sia; per gli animali è un componente primario della vitamina B12, molecola necessaria per la produzione dei globuli rossi (De Vivo et al., 2004), nei ruminanti è essenziale per alcuni processi batterici che hanno luogo nell'apparato digerente e per questo motivo viene somministrato come integratore (Alloway, 1995). Possibili deficienze per i ruminanti sono spesso associate a suoli alcalini e calcarei (ANPA, 1999).

L'eccesso di cobalto può provocare il gozzo, patologia a carico della ghiandola tiroidea, e cardiomiopatie (De Vivo et al., 2004).

E' abbondante nei minerali ferro-magnesiaci come l'olivina, i pirosseni, gli anfibioli e la biotite, minerali comuni nelle rocce magmatiche basiche e ultrabasiche; al contrario è molto scarso nelle rocce magmatiche

acide (es. trachiti e graniti), mentre nelle rocce sedimentarie il contenuto è in relazione ai materiali di origine (Alloway, 1995).

Il valore medio per i suoli a scala mondiale è pari a 8 mg/kg con un intervallo di variazione molto ampio, da 1 a 40 mg/kg, a seconda del materiale da cui si è originato il suolo (Kabata – Pendias e Pendias, 2001).

Nei suoli si concentra negli orizzonti ricchi in sostanza organica e mostra una grande affinità con gli ossidi di ferro e manganese, ai quali si lega in forme praticamente insolubili. In condizioni alcaline l'elemento è immobile mentre il leaching è possibile nei suoli acidi o a idromorfia temporanea (Alloway, 1995). Forme di inquinamento da cobalto, sebbene poco comuni, sono legate alla presenza di fonderie di metalli non ferrosi, mentre minore importanza rivestono la combustione di carbone e il traffico stradale; valori più elevati si riscontrano in suoli lungo arterie stradali ad alto traffico (Kabata – Pendias e Pendias, 2001).

La concentrazione soglia di contaminazione prevista per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (colonna A) dal DLgs 152/2006 (e s.m.i.), di seguito chiamato "limite di legge" è di 20 mg/kg, per i siti ad uso commerciale e industriale (colonna B) è di 250 mg/kg, mentre non sono previsti limiti per lo spandimento al suolo di fanghi di depurazione.

	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Inferiore Quartile	Superiore Quartile	95° percentile		N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Inferiore Quartile	Superiore Quartile	95° percentile
<b>MA</b>	32	9,34	5,44	7,4	5,0	13	19	<b>MA</b>	30	13,7	6,29	13	8,8	19	<b>25</b>
<b>MD</b>	21	9,55	4,95	7,9	6,0	15	18	<b>MD</b>	16	8,00	8,24	4,5	2,1	11	<b>25</b>
<b>MS</b>	27	14,8	8,94	13	7,7	20	<b>31</b>	<b>MS</b>	23	20,0	8,77	<b>22</b>	13	27	<b>32</b>
<b>MW</b>	21	11,2	5,17	12	7,0	14	19	<b>MW</b>	19	10,4	5,49	12	7,1	15	17
<b>SA</b>	41	20,2	8,92	19	16	25	<b>36</b>	<b>SA</b>	26	19,9	8,63	19	17	23	<b>35</b>
<b>SD</b>	71	<b>20,9</b>	8,27	<b>21</b>	15	27	<b>35</b>	<b>SD</b>	44	18,9	9,51	19	10	27	<b>33</b>
<b>LB</b>	72	<b>48,8</b>	11,6	<b>50</b>	43	55	<b>68</b>	<b>LB</b>	59	<b>51,4</b>	17,2	<b>52</b>	40	62	<b>79</b>
<b>LC</b>	13	<b>28,2</b>	9,17	<b>29</b>	20	36	<b>39</b>	<b>LC</b>	7	18,0	11,7	13	9,9	25	<b>34</b>
<b>RA</b>	22	6,5	2,69	6,1	4,3	8,2	10	<b>RA</b>	17	9,60	5,09	9,6	5,3	12	16
<b>RB</b>	21	19,3	7,48	18	17	26	<b>30</b>	<b>RB</b>	13	17,3	8,33	18	12	22	<b>29</b>
<b>RR</b>	60	13,3	7,31	12	7,0	18	<b>26</b>	<b>RR</b>	38	13,9	8,14	11	8,0	22	<b>27</b>
<b>CA</b>	40	17,3	5,65	17	12	22	<b>25</b>	<b>CA</b>	36	9,49	5,55	7,9	4,6	14	19
<b>CC</b>	67	11,9	5,58	11	8,2	16	<b>22</b>	<b>CC</b>	52	11,4	6,49	10	6,0	16	<b>21</b>
<b>CG</b>	81	<b>29,7</b>	10,8	<b>28</b>	23	36	<b>50</b>	<b>CG</b>	73	<b>26,2</b>	11,5	<b>25</b>	19	33	<b>48</b>
<b>CL</b>	51	16,4	4,39	15	14	18	<b>27</b>	<b>CL</b>	48	16,1	2,78	17	14	18	20
<b>O</b>	210	15,9	1,84	16	15	17	19	<b>O</b>	193	14,5	3,54	14	12	16	20
<b>A</b>	390	12,0	3,83	12	9,4	14	18	<b>A</b>	311	10,3	5,15	11	6,0	14	19
<b>B</b>	493	10,6	2,62	10	8,9	12	15	<b>B</b>	384	10,0	3,46	9,7	7,6	12	16
<b>P</b>	292	8,40	3,64	8,2	5,2	11	15	<b>P</b>	181	6,25	3,53	5,4	3,8	7,8	14
<b>T</b>	55	7,22	2,74	7,5	4,9	8,8	12	<b>T</b>	52	5,78	3,20	4,8	3,6	7,3	11
<b>DA</b>	55	9,45	4,15	8,2	6,5	13	16	<b>DA</b>	49	8,64	4,08	7,0	5,4	12	16
<b>DP</b>	24	2,66	1,66	2,0	1,6	3,3	5,7	<b>DP</b>	24	1,98	1,28	1,8	1,2	2,1	5,0

Tabella A.Co: Principali parametri statistici delle concentrazioni di cobalto in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nei suoli delle diverse unità deposizionali e fisiografiche del Veneto. Il 95° percentile per le unità MA, MD, MS, MW, LC, RA e RB non rappresenta il valore di fondo poiché quest'ultimo è stato calcolato sull'intera popolazione a causa del ridotto numero di dati. Dati espressi in mg/kg.

Ben 12 sono le unità fisiografiche e deposizionali del Veneto che hanno valori di fondo superiori ai limiti di legge (in ordine dai valori di fondo più elevati): Prealpi su basalti (LB), Depositi fluviali del sistema Agno-Guà (CG), Prealpi su calcareniti (LC), Prealpi su calcari duri (SA), Prealpi su calcari marnosi (SD), Alpi su litotipi silicatici (MS), Colli Berici (RB), Rilievi collinari (RR), Conoidi pedemontane del sistema Leogra-Timonchio (CL), Conoidi dell'Astico (CA), Conoidi pedemontane calcaree (CC) e Alpi del basamento cristallino e metamorfico (MA).

Tra queste si distingue in particolare, per i valori elevati, l'unità delle prealpi su basalti (LB) con valore di fondo di 79 mg/kg, quasi 4 volte il limite per le aree residenziali; anche l'unità dell'Agno-Guà (CG) che raccoglie i sedimenti dall'alterazione dei versanti su basalti presenta valore di fondo molto alto (50 mg/kg).

In generale tutta l'area dei conoidi prealpini presenta valori di fondo superiore ai limiti mentre i grandi bacini fluviali della pianura presentano valori inferiori.

La bassa mobilità del metallo assieme alle concentrazioni molto simili presenti in superficie e in profondità confermano l'origine naturale del metallo nei suoli del Veneto e fenomeni di accumulo limitati.

## CROMO

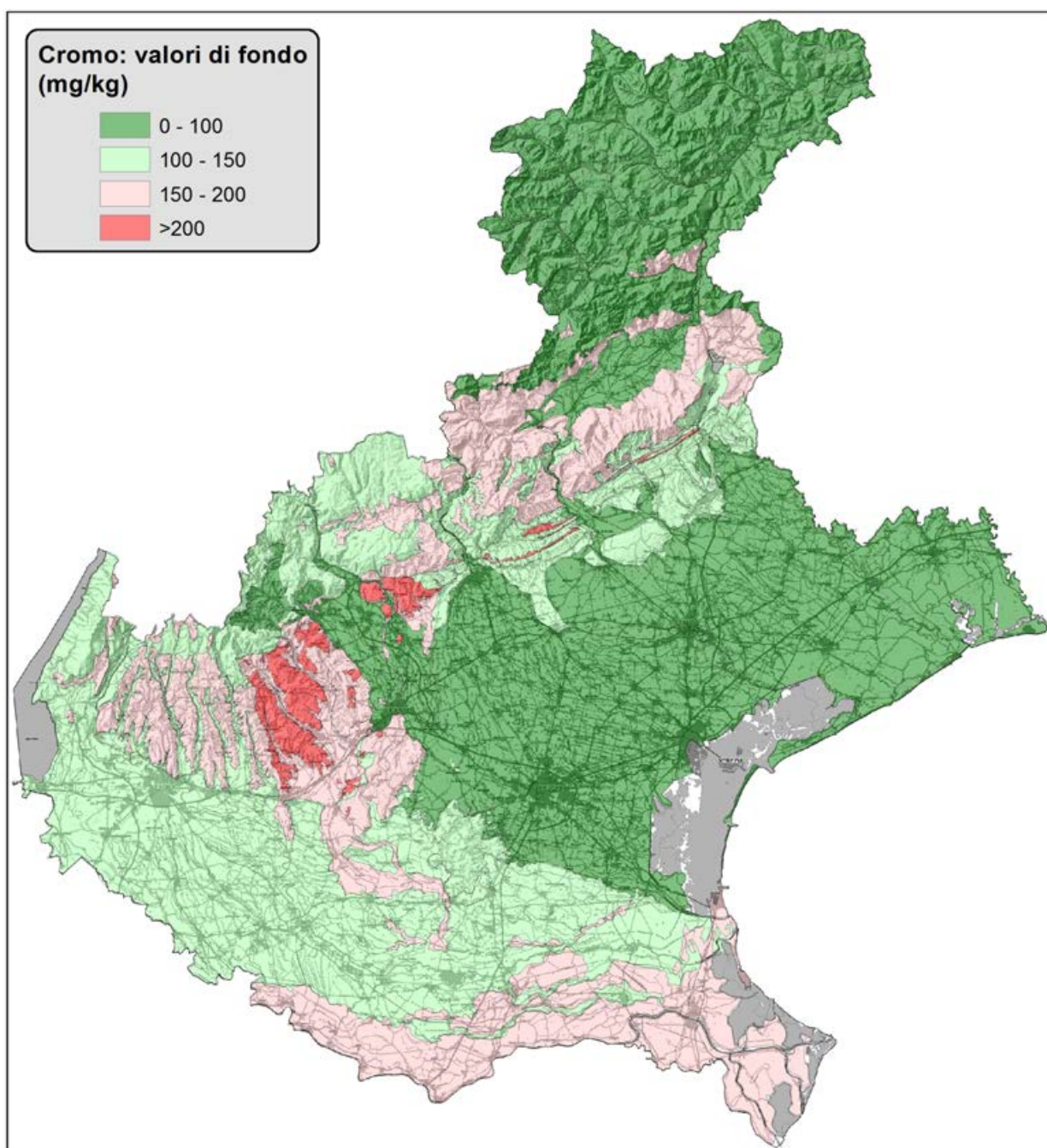


Figura A.Cr: Valore di fondo (95° percentile) del cromo nei suoli del Veneto.

Il cromo è un elemento essenziale a basse concentrazioni per piante e animali, ma allo stesso tempo è tossico e cancerogeno nella forma esavalente ( $\text{Cr}^{6+}$ ).

Esiste in diversi stati di ossidazione, ma i più stabili sono  $\text{Cr}^{3+}$ , più comune in natura, e  $\text{Cr}^{6+}$ , di maggior interesse industriale e tossico per le piante e gli animali (Alloway, 1995).

Il cromo è abbondante nelle rocce magmatiche mafiche e ultramafiche in quanto nei primi stadi della cristallizzazione frazionata entra a far parte di minerali come spinelli e pirosseni (De Vivo, 2004), mentre nelle rocce magmatiche acide e sedimentarie ha una concentrazione molto più bassa (Alloway, 1995).

Il  $\text{Cr}^{3+}$  è considerato un elemento stabile nel suolo poiché la sua solubilità decresce all'aumentare del pH e precipita con valori superiori a 5,5: questo determina una bassa concentrazione nelle piante, in particolar modo nella porzione fogliare. Il  $\text{Cr}^{6+}$ , invece, risulta molto instabile nel suolo ed è facilmente mobilizzato, sia in suoli acidi che alcalini (Kabata - Pendias & Pendias, 2001). La sostanza organica è fondamentale nello



stimolare la riduzione da  $\text{Cr}^{6+}$  a  $\text{Cr}^{3+}$ , rendendolo indisponibile per le piante. Una possibilità di mobilitazione del cromo lungo il profilo di suolo è data dalla lisciviazione (traslocazione meccanica) delle argille, che possono trasportare in profondità l'elemento a loro associato (Baize, 1997). Nel suolo il  $\text{Cr}^{3+}$  si trova prevalentemente in forma insolubile all'interno degli ossidi e idrossidi di ferro e manganese (Alloway, 1995).

Il valore medio di cromo nei suoli a scala mondiale è pari a 65 mg/kg, con un range che oscilla tra 20 e 80 mg/kg.

Il contenuto nel suolo può aumentare a causa di inquinamento da diverse fonti: emissione in acqua e in atmosfera da impianti industriali (produzione di pitture, concerie e industrie ferriere), applicazione di fanghi di depurazione (Canali et al., 1997) o uso di fertilizzanti organici o fosfatici minerali con elevato contenuto di cromo. L'assunzione di cromo da parte delle piante può essere efficacemente limitata attraverso calcitazioni, applicazione di fosforo e sostanza organica che risultano efficaci nel ridurre la tossicità in suoli inquinati dal metallo.

La concentrazione soglia di contaminazione previsto dal D.Lgs 152/2006 è di 150 mg/kg per le aree residenziali e il verde urbano, di 800 mg/kg per i siti ad uso commerciale e industriale (colonna B); per quanto riguarda lo spandimento di fanghi di depurazione la legislazione nazionale non fa riferimento al cromo mentre quella regionale (DGRV 2241/2005) prevede limiti variabili in funzione della reazione del suolo (50 mg/kg per  $\text{pH} < 6$ , 100 mg/kg per  $\text{pH}$  tra 6 e 7,5 e 145 mg/kg per  $\text{pH}$  maggiore di 7,5). Oltre al contenuto totale la normativa italiana sui siti contaminati (D.Lgs 152/2006) indica dei limiti anche per la frazione esavalente (cromo VI) pari rispettivamente a 2 e 15 mg/kg. Al cromo esavalente è dedicata una scheda specifica nel capitolo 5.

	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Inferiore Quartile	Superiore Quartile	95° percentile		N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Inferiore Quartile	Superiore Quartile	95° percentile
MA	33	39,6	19,2	40	29	50	66	MA	31	40,7	17,3	37	28	49	67
MD	22	39,2	17,6	39	26	50	74	MD	17	29,45	25,06	23	11	37	85
MS	27	41,2	16,9	40	29	56	72	MS	23	44,3	16,9	44	32	54	71
MW	21	43,4	18,0	45	35	53	74	MW	19	40,4	24,3	41	22	56	71
SA	42	72,7	29,5	68	52	90	121	SA	28	71,2	31,4	66	53	85	123
SD	72	81,4	35,9	75	57	100	155	SD	45	77,1	44,3	76	41	95	175
LB	72	<b>178,3</b>	53,2	<b>180</b>	146	201	<b>280</b>	LB	60	<b>187,6</b>	68,6	<b>178</b>	149	213	<b>313</b>
LC	13	133,5	26,9	140	127	143	<b>167</b>	LC	7	111,9	53,1	127	72	153	<b>169</b>
RA	22	106,5	58,9	77	64	144	<b>216</b>	RA	17	<b>166,8</b>	115,0	130	78	236	<b>386</b>
RB	21	105,7	35,5	104	96	117	<b>170</b>	RB	13	114,7	61,4	98	78	140	<b>221</b>
RR	61	47,8	23,7	47	33	57	93	RR	39	52,7	24,0	51	39	62	102
CA	39	55,2	15,2	53	43	64	84	CA	35	29,3	17,9	24	14	44	61
CC	68	49,7	26,2	43,9	28	63	103	CC	52	46,2	27,5	38	28	63	99
CG	79	114,2	42,1	108	90	130	<b>186</b>	CG	73	97,9	45,5	93	69	120	<b>190</b>
CL	51	49,4	17,5	44	38	52	90	CL	48	43,7	10,9	44	37	51	62
O	211	116,8	23,6	114	103	130	<b>160</b>	O	193	108,3	31,3	106	90	130	<b>162</b>
A	396	45,5	21,2	40	31	54	92	A	309	41,7	34,7	31	19	47	124
B	529	33,4	14,1	31	23	41	60	B	397	29,8	16,4	27	19	37	63
P	304	33,7	15,7	34	21	45	61	P	183	26,7	16,6	25	14	35	62
T	55	35,7	16,2	36	23	45	68	T	52	28,4	17,6	23	17	37	68
DA	55	68,0	38,3	59	31	89	144	DA	49	68,2	45,9	58	33	85	<b>166</b>
DP	24	12,3	9,77	7,8	6,0	13	32	DP	24	6,18	5,89	3,8	2,5	6,8	20

Tabella A.Cr: Principali parametri statistici delle concentrazioni di cromo in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nei suoli delle diverse unità deposizionali e fisiografiche del Veneto. Il 95° percentile per le unità MA, MD, MS, MW, LC, RA e RB non rappresenta il valore di fondo poiché quest'ultimo è stato calcolato sull'intera popolazione a causa del ridotto numero di dati. Dati espressi in mg/kg.

Sono 8 le unità fisiografiche e deposizionali del Veneto che hanno valori di fondo superiori ai limiti di legge (in ordine dai valori di fondo più elevati): Prealpi su basalti (LB), Colline su calcareniti (RA), Colli Berici (RB),

Depositi fluviali del sistema Agno-Guà (CG), Prealpi su calcari marnosi (SD), Prealpi su calcareniti (LC), Costiero meridionale (DA) e Po (O).

Tra queste si distingue in particolare, per i valori medi elevati, l'unità delle prealpi su basalti (LB), con valore di fondo di 313 mg/kg, oltre 2 volte il limite per le aree residenziali; anche l'unità dell'Agno-Guà (CG), che raccoglie i sedimenti dall'alterazione dei versanti su basalti, presenta valore di fondo molto alto (190 mg/kg).

Valori molto alti, confrontabili con i suoli su basalti, si hanno anche nella piccola unità delle colline su calcareniti (RA) che hanno un valore di fondo pari a 298 mg/kg.

Si segnala inoltre la pianura del Po (O) con valori di fondo di poco superiori ai limiti (162 mg/kg) ma che coinvolge un'estesa superficie.

La bassa mobilità del metallo, assieme alle concentrazioni molto simili presenti sia in superficie che in profondità, confermano l'origine naturale del metallo nei suoli del Veneto e l'assenza di evidenti ed estesi fenomeni di accumulo.

## MERCURIO

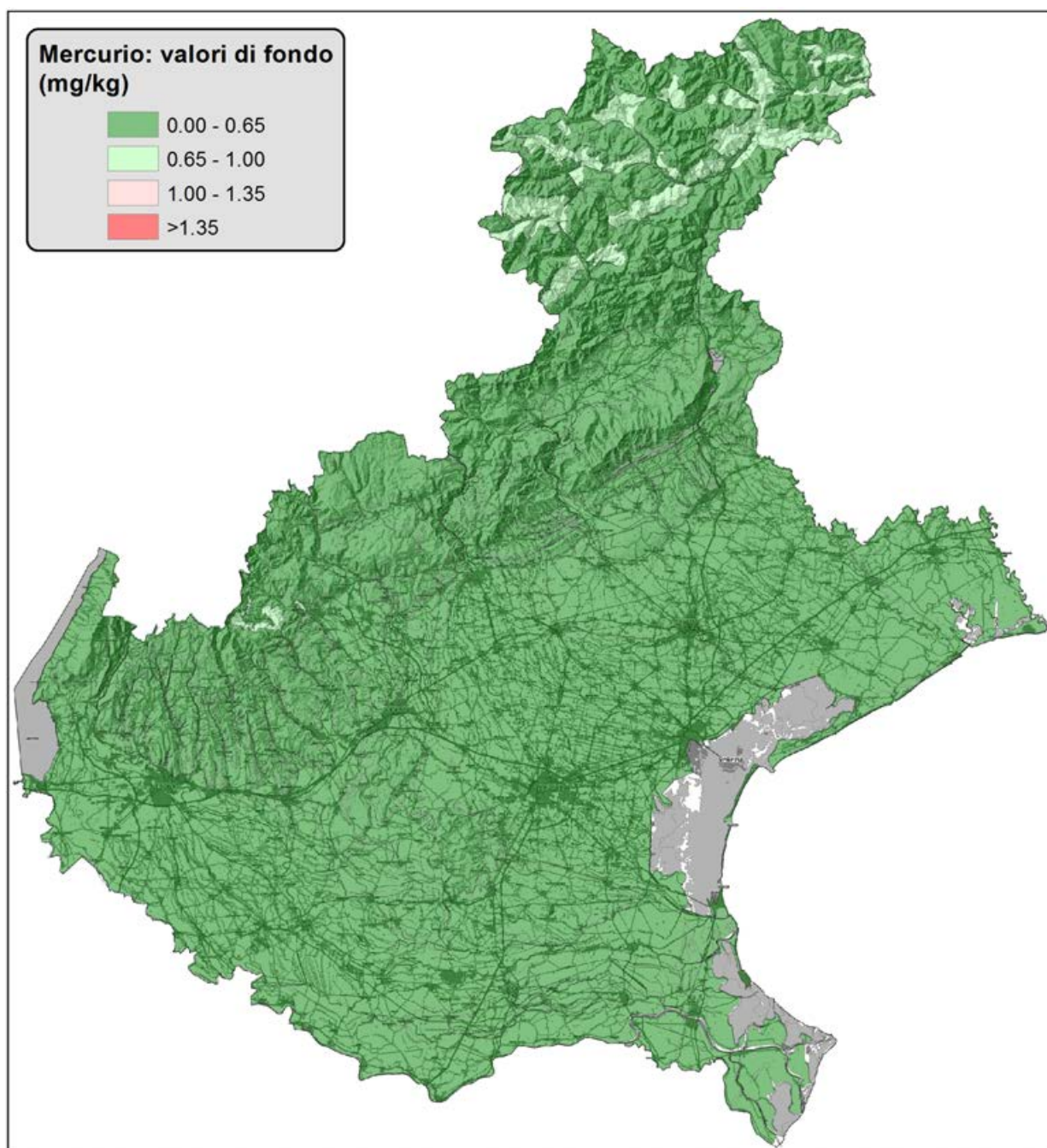


Figura A.Hg: Valore di fondo (95° percentile) del mercurio nei suoli del Veneto.

È un elemento non essenziale nelle funzioni biologiche e altamente tossico per l'uomo e gli animali superiori in tutti i suoi composti chimici (Alloway, 1995). I vapori di mercurio sono assorbiti dai polmoni e provocano tossicità a livello del sistema nervoso centrale, poiché attraversano rapidamente le membrane cellulari; i sali inorganici e i composti organici sono invece assorbiti dal tratto gastrointestinale e si distribuiscono ai vari tessuti attraverso il sangue e hanno inoltre effetti teratogeni (De Vivo, 2004).

Tra le forme organiche è importante il metilmercurio che viene prodotto da alcuni microrganismi in presenza dello ione  $Hg^{2+}$  e che ha effetti teratogeni, cancerogeni e mutageni. Fortunatamente la disponibilità per le piante dell'elemento nel suolo è bassa grazie all'effetto barriera esercitato dalle radici che rende il mercurio poco fitotossico (Alloway, 1995).

È il più volatile tra i metalli/metalloidi e quindi maggiormente coinvolto nei processi di trasporto in atmosfera.

Il contenuto di mercurio nelle rocce è abbastanza basso e non si osservano notevoli variazioni tra le diverse tipologie se non quelle legate al contenuto di sostanza organica. Valori di fondo naturale nei suoli sono di difficile determinazione a causa della prevalente incidenza dei fenomeni di inquinamento, ma in genere la concentrazione del mercurio in superficie non eccede 0,4 mg/kg (Kabata – Pendias e Pendias, 2001). Le fonti antropogeniche principali sono l'estrazione e la fusione per l'estrazione di rame e zinco, la combustione di combustibili fossili, processi di produzione industriale in particolare di cloro e soda caustica e la combustione dei rifiuti. Per i suoli agricoli l'uso di fertilizzanti (fertilizzanti commerciali, in particolar modo quelli fosfatici, letame, liquami e fanghi di depurazione), le calcitazioni e l'uso di fungicidi e concianti per i semi contenenti mercurio possono incrementarne il contenuto (Alloway, 1995).

L'accumulo di mercurio nel suolo è controllato principalmente dalla formazione e dalla precipitazione di complessi organici; di conseguenza la mobilità dipende dai processi di dissoluzione e degradazione della sostanza organica (Kabata – Pendias e Pendias, 2001).

La concentrazione soglia di contaminazione prevista per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (colonna A) dal D.Lgs 152/2006 (e s.m.i.) è di 1 mg/kg; lo stesso limite è previsto per lo spandimento al suolo di fanghi di depurazione (D.Lgs 99/1992). La concentrazione soglia di contaminazione per i siti ad uso commerciale e industriale (colonna B) è di 5 mg/kg.

	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Inferiore Quartile	Superiore Quartile	95° percentile		N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Inferiore Quartile	Superiore Quartile	95° percentile
<b>MA</b>	8	0,20	0,13	0,14	0,10	0,28	0,40	<b>MA</b>	8	0,13	0,12	0,09	0,07	0,13	0,32
<b>MD</b>	12	0,14	0,06	0,12	0,10	0,19	0,23	<b>MD</b>	9	0,06	0,05	0,03	0,03	0,10	0,15
<b>MS</b>	11	0,14	0,09	0,11	0,09	0,15	0,29	<b>MS</b>	9	0,08	0,05	0,07	0,05	0,11	0,16
<b>MW</b>	10	0,22	0,20	0,14	0,11	0,20	0,59	<b>MW</b>	10	0,18	0,28	0,06	0,03	0,12	0,69
<b>SA</b>	35	0,19	0,08	0,18	0,13	0,24	0,33	<b>SA</b>	22	0,14	0,09	0,13	0,07	0,20	0,29
<b>SD</b>	48	0,14	0,06	0,13	0,10	0,17	0,28	<b>SD</b>	28	0,11	0,07	0,12	0,06	0,15	0,22
<b>LB</b>	72	0,06	0,05	0,06	0,03	0,08	0,15	<b>LB</b>	59	0,05	0,05	0,03	0,03	0,05	0,14
<b>LC</b>	12	0,07	0,02	0,08	0,07	0,08	0,11	<b>LC</b>	6	0,08	0,05	0,09	0,04	0,12	0,15
<b>RA</b>	17	0,08	0,04	0,08	0,03	0,09	0,14	<b>RA</b>	17	0,06	0,04	0,06	0,03	0,08	0,12
<b>RB</b>	19	0,09	0,05	0,08	0,06	0,11	0,15	<b>RB</b>	11	0,07	0,04	0,06	0,03	0,09	0,13
<b>RR</b>	55	0,10	0,08	0,08	0,05	0,14	0,23	<b>RR</b>	32	0,06	0,04	0,06	0,03	0,10	0,14
<b>CA</b>	37	0,11	0,07	0,09	0,07	0,13	0,20	<b>CA</b>	33	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,08
<b>CC</b>	61	0,08	0,07	0,07	0,03	0,13	0,21	<b>CC</b>	45	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,11
<b>CG</b>	76	0,05	0,03	0,03	0,03	0,06	0,10	<b>CG</b>	69	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,09
<b>CL</b>	46	0,09	0,06	0,08	0,06	0,10	0,18	<b>CL</b>	44	0,07	0,04	0,07	0,05	0,08	0,14
<b>O</b>	206	0,04	0,03	0,03	0,03	0,06	0,08	<b>O</b>	193	0,03	0,01	0,03	0,03	0,03	0,06
<b>A</b>	349	0,07	0,07	0,05	0,03	0,07	0,21	<b>A</b>	286	0,04	0,04	0,03	0,03	0,05	0,08
<b>B</b>	516	0,13	0,19	0,06	0,03	0,14	0,51	<b>B</b>	388	0,05	0,10	0,03	0,03	0,04	0,17
<b>P</b>	296	0,10	0,08	0,07	0,05	0,12	0,26	<b>P</b>	175	0,05	0,06	0,03	0,03	0,05	0,14
<b>T</b>	53	0,08	0,09	0,05	0,03	0,07	0,26	<b>T</b>	50	0,04	0,02	0,03	0,03	0,05	0,09
<b>DA</b>	48	0,05	0,04	0,03	0,03	0,05	0,13	<b>DA</b>	48	0,04	0,06	0,03	0,03	0,03	0,06
<b>DP</b>	21	0,12	0,14	0,09	0,03	0,15	0,37	<b>DP</b>	24	0,05	0,10	0,03	0,03	0,03	0,10

*Tabella A.Hg: Principali parametri statistici delle concentrazioni di mercurio in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nei suoli delle diverse unità deposizionali e fisiografiche del Veneto. Il 95° percentile per le unità MA, MD, MS, MW, LC, RA e RB non rappresenta il valore di fondo poiché quest'ultimo è stato calcolato sull'intera popolazione a causa del ridotto numero di dati. Dati espressi in mg/kg.*

Nelle unità fisiografiche e deposizionali del Veneto non si osservano superamenti del limite di legge poiché i valori di fondo si aggirano intorno ai 0,3-0,5 mg/kg.

Le concentrazioni medie rilevate nei campioni superficiali, in quasi tutte le unità del Veneto, sono più elevate rispetto a quelle in profondità, indice di un accumulo antropico ma le concentrazioni rimangono molto basse e prossime al limite di rilevabilità analitico (0,05 mg/kg).



Alti valori in mercurio, non considerati nelle elaborazioni di questo volume, sono stati rinvenuti a Murano, di sicura origine antropica (vedi scheda all'interno dell'unità DP), con superamenti anche del limite di colonna B, e in comune di Recoaro (VI) in prossimità di aree minerarie (vedi scheda all'interno dell'unità SD).

## NICHEL

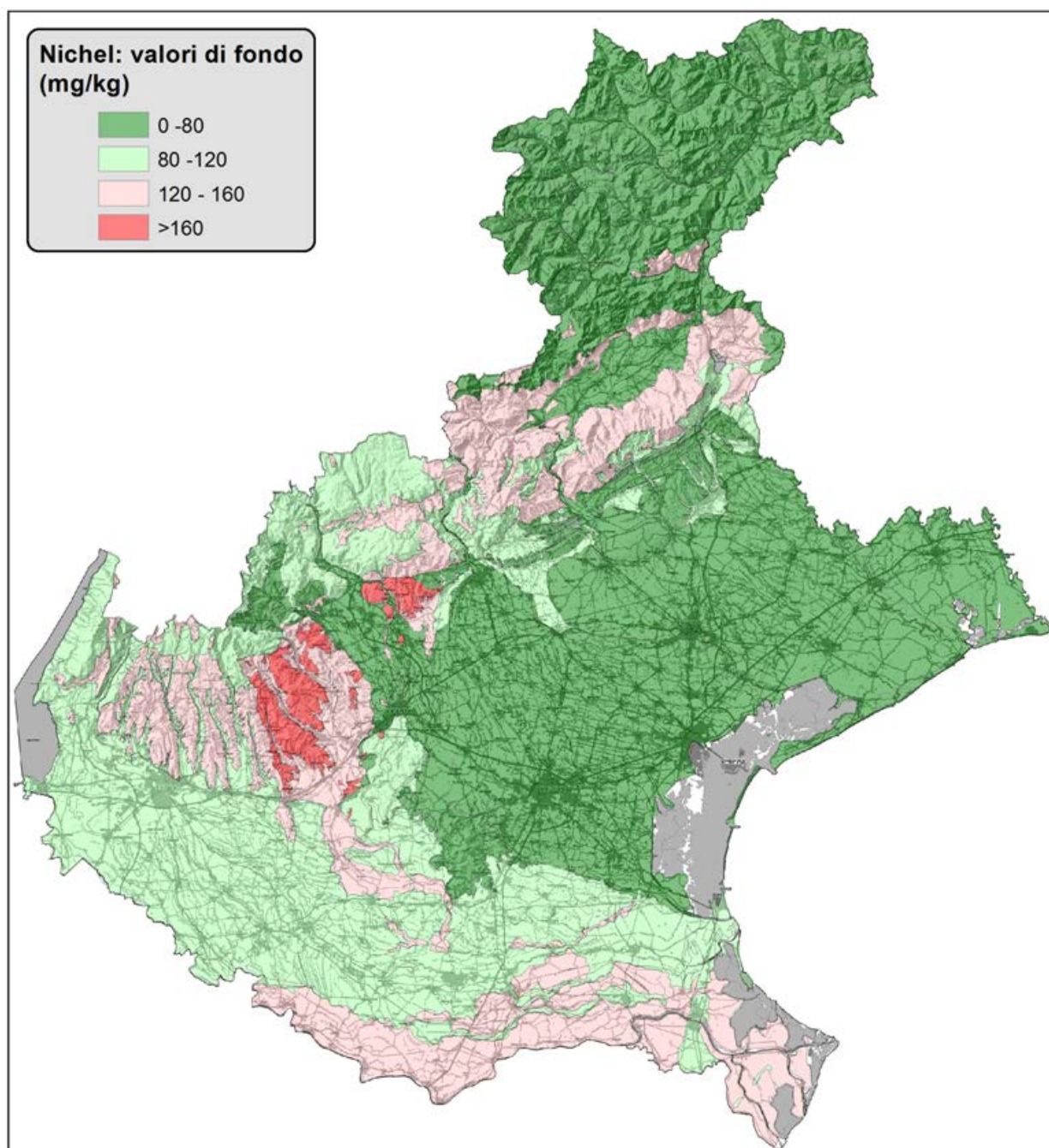


Figura A.Ni: Valore di fondo (95° percentile) del nichel nei suoli del Veneto.

È un elemento essenziale per piante, animali e uomo, sebbene in quest'ultimo ne sia ancora sconosciuto il ruolo preciso, probabilmente legato agli enzimi coinvolti nel metabolismo dell'urea (De Vivo et al., 2004). Per quanto riguarda i vegetali la concentrazione nei suoli è tale da non rendere necessari apporti specifici. Come altri elementi in traccia, se presente in alte concentrazioni, il nichel è tossico per piante e animali e potenzialmente cancerogeno per l'apparato respiratorio (ANPA, 1999).

Si trova in alte concentrazioni nelle rocce ignee ultramafiche e mafiche, mentre rocce ignee acide e quelle sedimentarie presentano concentrazioni basse (Alloway, 1995).

La concentrazione media del nichel nei suoli a scala mondiale è pari a 40 mg/kg (Alloway, 1995).

Il nichel geogeno è associato agli ossidi di ferro e manganese, ai carbonati o inserito come impurezza all'interno di diversi reticoli cristallini, al contrario di quello di origine antropica che si lega alla sostanza organica o ai carbonati. Spesso è fortemente correlato a cobalto, cromo, ferro e manganese (Baize, 1997).

Gli apporti antropogenici principali sono dovuti alla combustione di combustibili fossili, in particolare gasolio (motori diesel) e carbone (Alloway, 1995).

Gli apporti nei suoli agricoli sono principalmente dati dai fertilizzanti (per lo più fosfatici), mentre liquami e letami contengono basse concentrazioni dell'elemento (Alloway, 1995). Un apporto significativo può derivare dall'uso di fanghi di depurazione di origine civile o industriale (ERSAF, 2007).

La mobilità del nichel aumenta nei suoli al diminuire del pH, in particolare con valori inferiori a 6, e della capacità di scambio cationico (Alloway, 1995).

La concentrazione soglia di contaminazione (CSC), prevista per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (colonna A) dal D.Lgs 152/2006 (e s.m.i.), è di 120 mg/kg, per i siti ad uso commerciale e industriale (colonna B) è di 500 mg/kg, mentre lo spandimento di fanghi di depurazione è consentito sui suoli agricoli solo se questi contengono meno di 75 mg/kg (D.Lgs 99/1992).

Sono 5 le unità fisiografiche e deposizionali del Veneto che hanno valori di fondo superiori ai limiti di legge (in ordine dai valori di fondo più elevati): Prealpi su basalti (LB), Depositi fluviali del sistema Agno-Guà (CG), Prealpi su calcari marnosi (SD), Po (O) e Prealpi su calcareniti (LC).

Tra queste si distingue in particolare, per i valori medi elevati, l'unità delle prealpi su basalti (LB), con valore di fondo di 251 mg/kg, oltre 2 volte il limite per le aree residenziali; anche l'unità dell'Agno-Guà (CG), che raccoglie i sedimenti dall'alterazione dei versanti su basalti, presenta valore di fondo molto alto (160 mg/kg).

	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Inferiore Quartile	Superiore Quartile	95° percentile		N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Inferiore Quartile	Superiore Quartile	95° percentile
MA	33	22,5	11,9	21	14	30	42	MA	31	30,5	13,2	30	19	40	49
MD	22	18,9	13,6	15	11	21	53	MD	17	17,6	20,8	13	4,1	20	53
MS	27	17,7	8,49	17	11	24	32	MS	23	22,8	9,30	20	14	29	37
MW	21	20,8	8,58	22	14	26	36	MW	19	21,3	11,0	20	16	29	34
SA	42	54,4	21,2	56	38	72	82	SA	26	56,2	22,8	60	42	65	92
SD	71	66,6	29,1	62	46	82	118	SD	45	72,5	42,9	64	42	101	148
LB	73	<b>139,2</b>	47,7	<b>133</b>	101	162	<b>211</b>	LB	60	<b>146,3</b>	55,3	<b>137</b>	107	178	<b>251</b>
LC	13	96,7	26,9	89	83	110	<b>136</b>	LC	7	80,4	33,7	94	54	104	117
RA	22	29,0	10,5	28	19	37	47	RA	17	43,9	20,9	43	27	55	74
RB	21	69,7	21,4	69	58	88	100	RB	13	67,5	29,7	56	52	80	118
RR	59	32,6	19,7	29	19	40	64	RR	37	36,8	16,1	37	27	47	66
CA	40	33,5	13,9	29	24	35	66	CA	36	21,0	12,9	19	11	30	43
CC	68	36,6	19,2	32	21	48	67	CC	52	36,8	24,3	30	20	53	81
CG	81	93,8	35,6	91	75	112	<b>160</b>	CG	72	81,0	37,4	76	58	110	<b>145</b>
CL	46	31,2	5,86	30	28	34	42	CL	49	34,7	8,27	34	31	39	47
O	211	95,7	16,0	96	86	105	<b>121</b>	O	193	89,4	23,3	89	74	102	<b>130</b>
A	396	34,5	19,4	29	22	41	78	A	314	34,2	29,9	26	13	41	103
B	536	24,0	7,86	23	19	28	37	B	378	23,1	8,22	23	17	28	38
P	304	23,1	12,3	22	13	29	44	P	184	20,3	14,5	17	9,8	26	51
T	55	22,0	9,55	21	14	27	39	T	52	18,2	11,3	15	9,9	23	43
DA	55	44,0	28,2	38	20	64	96	DA	49	44,3	28,7	41	20	58	105
DP	24	7,34	6,08	3,9	3,1	10	19	DP	24	4,91	4,14	3,7	3,0	4,4	15

Tabella A.Ni: Principali parametri statistici delle concentrazioni di nichel in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nei suoli delle diverse unità deposizionali e fisiografiche del Veneto. Il 95° percentile per le unità MA, MD, MS, MW, LC, RA e RB non rappresenta il valore di fondo poiché quest'ultimo è stato calcolato sull'intera popolazione a causa del ridotto numero di dati. Dati espressi in mg/kg.

Si segnala inoltre la pianura del Po (O) con valori di fondo di poco superiori ai limiti (130 mg/kg) ma che coinvolge un'estesa superficie mentre il valore di fondo per l'unità delle Prealpi su calcareniti è sostanzialmente uguale al limite di legge (122 mg/kg).

La bassa mobilità del metallo, assieme alle concentrazioni molto simili presenti sia in superficie che in profondità, confermano l'origine naturale del metallo nei suoli del Veneto e l'assenza di evidenti ed estesi fenomeni di accumulo.



## PIOMBO

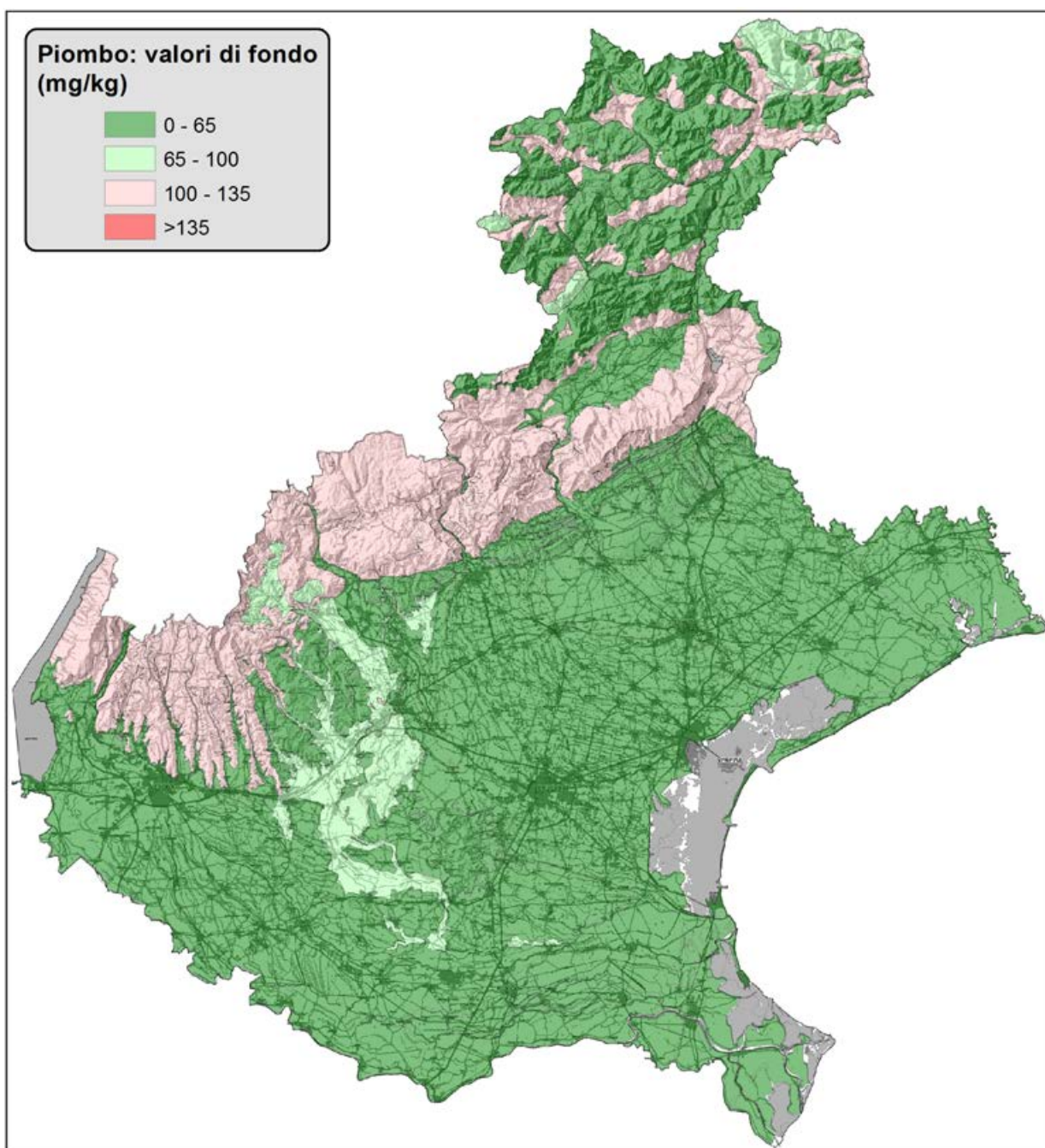


Figura A.Pb: Valore di fondo (95° percentile) del piombo nei suoli del Veneto.

Il piombo non svolge funzioni biologiche essenziali per gli esseri viventi ed è tossico per le piante e per l'uomo; per quest'ultimo le principali vie di assorbimento sono il tratto gastrointestinale e il sistema respiratorio, una volta assorbito si lega all'emoglobina ed è eliminato con difficoltà (De Vivo et al., 2004). Presenta lunghi tempi di permanenza nel suolo a causa della bassa solubilità e del basso tasso di degradazione da parte dei microrganismi; rimane pertanto accessibile alla catena alimentare e al metabolismo umano per lungo tempo (Alloway, 1995).

A causa dell'affinità con  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ , si trova nei k-feldspati, nelle miche e in minor misura nei plagioclasti, di conseguenza il suo contenuto aumenta al passare dalle rocce ultrabasiche a quelle acide ignee (De Vivo et al., 2004).

Gli apporti atmosferici sono consistenti e variano da 3 a 31  $\text{mg/m}^2\cdot\text{anno}$  in ambiente rurale, a 27-140  $\text{mg/m}^2\cdot\text{anno}$  in zone industriali e suburbane (Alloway, 1995).

I principali apporti antropici al suolo derivano da 5 gruppi di attività:

- utilizzo in passato di composti organo-metallici come antidetonanti nei motori a scoppio; si stima che in passato il 95% del piombo che ricadeva al suolo da deposizioni atmosferiche fosse legato al traffico stradale;
- sorgenti industriali;
- scarti di miniera;
- fanghi di depurazione;
- uso, principalmente nel passato, di pesticidi a base di piombo (arseniati di piombo) in frutticoltura, viticoltura e orticoltura.

A causa del diffuso inquinamento da piombo i suoli presentano concentrazioni più elevate in superficie, rispetto alla dotazione naturale riscontrabile in profondità.

Il contenuto nei suoli non contaminati è compreso nell'intervallo di 10-30 mg/kg (Alloway, 1995), mentre nei suoli in prossimità dei centri urbani e industriali il contenuto varia da 30 a 100 mg/kg, valori superiori indicano delle sorgenti inquinanti prossime al suolo.

La mobilità, la solubilità e anche la biodisponibilità nel suolo sono molto basse in quanto il piombo si lega fortemente alla sostanza organica accumulandosi negli orizzonti di superficie (Baize, 1997).

La concentrazione soglia di contaminazione prevista per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (colonna A) dal D.Lgs 152/2006 (e s.m.i.), è di 100 mg/kg, concentrazione uguale a quella prevista per lo spandimento sul suolo di fanghi di depurazione (D.Lgs 99/1992). La concentrazione soglia di contaminazione per i siti ad uso commerciale e industriale (colonna B) è di 1000 mg/kg.

	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Inferiore Quartile	Superiore Quartile	95° percentile		N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Inferiore Quartile	Superiore Quartile	95° percentile
<b>MA</b>	32	50,0	28,3	40	31	68	97	<b>MA</b>	30	22,6	9,81	25	15	28	35
<b>MD</b>	22	44,3	20,4	38	29	56	84	<b>MD</b>	17	12,4	10,5	9,0	2,5	18	30
<b>MS</b>	27	38,2	19,6	33	27	48	61	<b>MS</b>	23	18,0	9,13	19	12	24	32
<b>MW</b>	21	56,2	42,8	40	29	76	140	<b>MW</b>	19	27,6	25,7	20	16	31	72
<b>SA</b>	42	60,5	26,7	57	40	79	101	<b>SA</b>	28	34,6	22,4	29	18	48	67
<b>SD</b>	72	54,9	41,2	45	33	60	133	<b>SD</b>	46	22,4	14,8	21	9,9	31,7	52
<b>LB</b>	73	25,7	24,3	17	11	35	57	<b>LB</b>	60	9,53	9,50	3,9	2,5	15	28
<b>LC</b>	13	27,7	10,3	28	21	37	42	<b>LC</b>	7	12,7	7,45	14	7,8	17	22
<b>RA</b>	17	27,6	17,9	23	16	31	60	<b>RA</b>	17	20,9	14,8	19	12	28	47
<b>RB</b>	21	36,3	23,1	28	23	44	77	<b>RB</b>	13	20,4	14,7	21	11	25	47
<b>RR</b>	61	26,3	17,9	25	15	32	48	<b>RR</b>	39	18,3	11,7	16	9,6	26	41
<b>CA</b>	39	37,2	14,4	37	29	46	65	<b>CA</b>	36	9,32	11,2	2,5	2,5	9,9	37
<b>CC</b>	67	22,0	10,3	21	16	27	42	<b>CC</b>	52	11,9	10,7	8,0	2,5	17	32
<b>CG</b>	81	25,0	37,4	15	9,6	22	88	<b>CG</b>	72	9,48	6,34	8,2	2,5	14	22
<b>CL</b>	51	53,6	20,8	47	39	67	90	<b>CL</b>	49	34,5	13,5	33	26	38	60
<b>O</b>	211	19,7	7,65	18	14	23	34	<b>O</b>	193	13,4	5,36	13	10,0	17	21
<b>A</b>	390	29,0	15,4	26	18	36	57	<b>A</b>	314	16,9	13,8	13	7,2	23	44
<b>B</b>	524	31,9	12,6	30	23	38	56	<b>B</b>	391	20,0	11,1	19	12	28	38
<b>P</b>	305	19,3	9,58	18	12	26	37	<b>P</b>	183	8,19	7,65	5,6	2,5	11	24
<b>T</b>	55	14,9	11,3	13	8,4	20	30	<b>T</b>	52	7,52	5,91	6,5	2,5	9,0	21
<b>DA</b>	54	17,5	12,9	14	9,4	21	42	<b>DA</b>	47	9,83	5,36	10	4,4	14	18
<b>DP</b>	24	14,0	13,2	11	2,5	17	38	<b>DP</b>	24	4,39	4,12	2,5	2,5	2,8	11

*Tabella A.Pb: Principali parametri statistici delle concentrazioni di piombo in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nei suoli delle diverse unità deposizionali e fisiografiche del Veneto. Il 95° percentile per le unità MA, MD, MS, MW, LC, RA e RB non rappresenta il valore di fondo poiché quest'ultimo è stato calcolato sull'intera popolazione a causa del ridotto numero di dati. Dati espressi in mg/kg.*

Nei suoli del Veneto si conferma la diffusa presenza di piombo di origine antropica in quanto, se il contenuto medio in profondità è compreso nell'intervallo tra 5 e 30 mg/kg, nei campioni raccolti in

superficie la concentrazione media varia tra 20 e 60 mg/kg, quindi con concentrazioni superficiali almeno doppie rispetto ai valori profondi.

3 unità presentano valori di fondo superiori ai limiti di legge (in ordine dai valori di fondo più elevati): Prealpi su calcari marnosi (SD), Alpi su formazione di Werfen (MW) e Prealpi su calcari duri (SA). Queste unità sono caratterizzate da suoli con orizzonti superficiali di spessore di pochi centimetri, non lavorati, dove il piombo derivato da deposizione atmosferica tende ad accumularsi senza essere ridistribuito su uno spessore maggiore come avviene con le lavorazioni che operano una diluizione del contenuto del metallo in tutto l'orizzonte lavorato. Gli apporti assoluti sono comunque relativamente bassi.

Nell'area di pianura gli apporti agli orizzonti superficiali hanno determinato un incremento nel contenuto in piombo compreso tra 5 e 15 mg/kg.

L'unità che presenta valore di fondo più elevato (140 mg/kg) sono le Prealpi su calcari marnosi (SD) e questo sembra imputabile non tanto ad una maggiore pressione antropica che insiste su quest'area ma perché più prossime alla pianura padana, dove si concentrano le aree a maggior traffico, le attività economiche e produttive.

## RAME

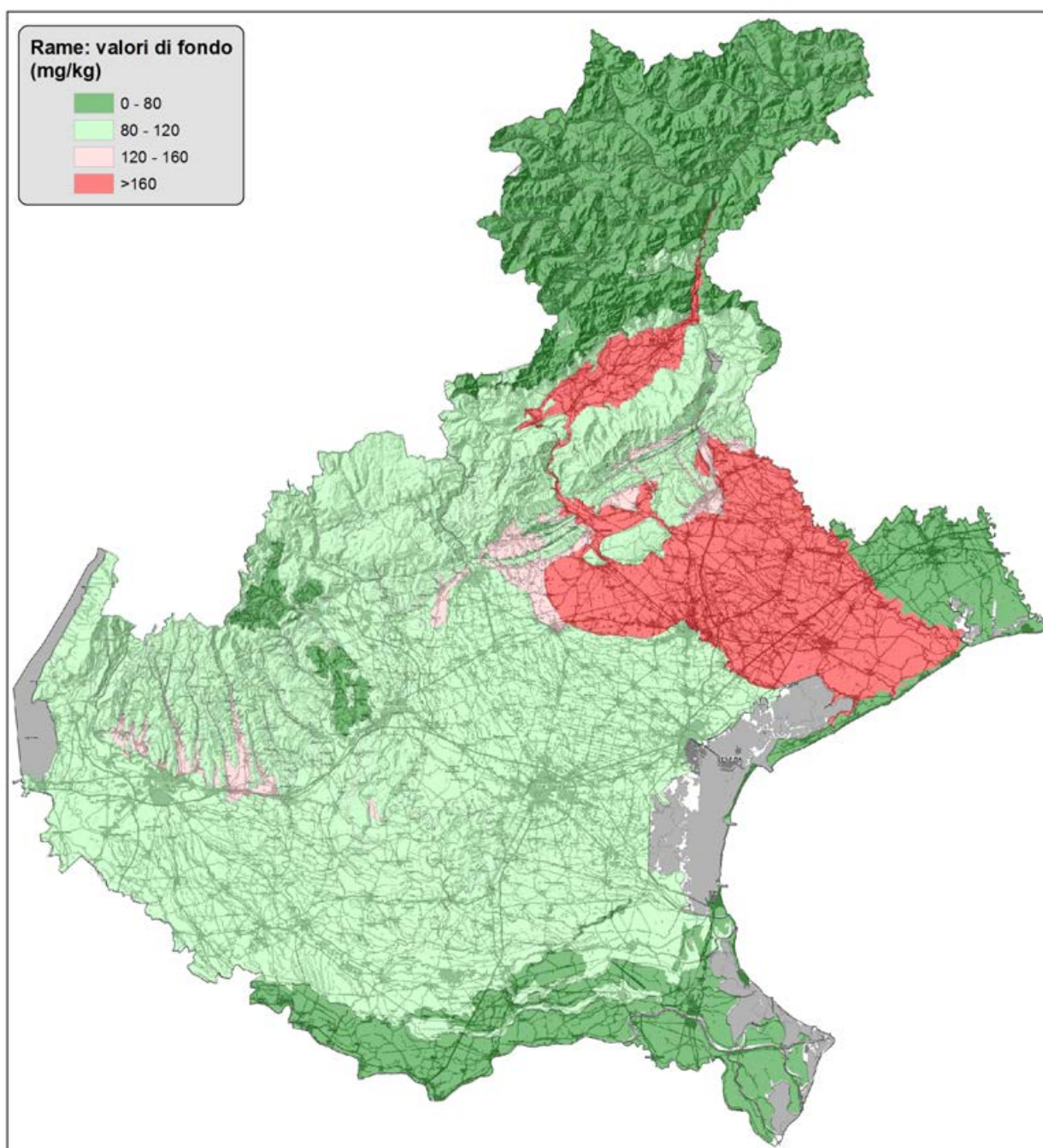


Figura A.Cu: Valore di fondo (95° percentile) del rame nei suoli del Veneto.

È elemento essenziale per piante e animali essendo componente di numerose sostanze enzimatiche coinvolte in importanti processi biologici (De Vivo et al., 2004) ed è per questo usato come integratore anche negli alimenti zootecnici assieme allo zinco (Alloway, 1995). Nell'uomo un elevato accumulo di rame può avere effetti negativi sul sistema nervoso, sul fegato e sui reni.

E' più abbondante nelle rocce mafiche e intermedie, ricche in minerali ferro-manganesiferi, mentre è presente in concentrazioni molto basse nelle rocce carbonatiche.

Gli apporti antropici sono dovuti principalmente a tre fonti: apporti dall'agricoltura (fitofarmaci, trattamenti fungicidi sulle viti e utilizzo di liquami zootecnici), apporti di origine industriale (attività metallurgiche legate alla produzione di composti di zinco, piombo e cadmio) e fonti urbane (fanghi di depurazione, compost).



Nel mondo il valore medio nel suolo è di circa 30 mg/kg (Alloway, 1995), ma valori più bassi si osservano nei suoli sabbiosi e più elevati nei suoli argillosi. Valori superiori a 100 mg/kg sono considerati anomali (ERSAF, 2007).

Nel suolo si trova legato ai complessi organici, adsorbito alle argille o sugli ossidi ed idrossidi di ferro, manganese e alluminio, o contenuto nel reticolo cristallino dei minerali (ERSAF, 2007). È considerato un metallo poco mobile se non in condizioni di estrema acidità (Baize, 1997).

La concentrazione soglia di contaminazione, prevista per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (colonna A) dal D.Lgs 152/2006 (e s.m.i.), è di 120 mg/kg, per i siti ad uso commerciale e industriale (colonna B) è di 600 mg/kg, mentre lo spandimento di fanghi di depurazione è consentito solo se i suoli (agricoli) contengono meno di 100 mg/kg (D.Lgs 99/1992).

	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Inferiore Quartile	Superiore Quartile	95° percentile		N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Inferiore Quartile	Superiore Quartile	95° percentile
<b>MA</b>	33	21,3	12,4	19	12	31	41	<b>MA</b>	31	24,7	15,3	22	11	37	50
<b>MD</b>	22	21,1	8,83	19	14	25	37	<b>MD</b>	17	15,8	12,4	9,9	7,5	25	39
<b>MS</b>	27	29,7	17,0	24	17	38	64	<b>MS</b>	23	44,3	29,5	42	19	61	110
<b>MW</b>	21	18,2	8,56	16	12	24	34	<b>MW</b>	19	17,0	9,70	16	11	20	28
<b>SA</b>	40	45,0	24,6	40	29	48	96	<b>SA</b>	28	41,6	22,2	35	27	56	76
<b>SD</b>	67	44,6	21,7	37	30	52	86	<b>SD</b>	45	42,8	23,7	43	25	59	88
<b>LB</b>	40	65,9	20,9	58	52	78	99	<b>LB</b>	59	49,6	13,4	48	42	55	71
<b>LC</b>	13	48,9	35,9	43	30	49	103	<b>LC</b>	7	24,8	9,51	31	16	32	34
<b>RA</b>	17	29,5	42,8	13	9,6	18	86	<b>RA</b>	17	13,0	8,29	12	6,5	16	26
<b>RB</b>	19	51,1	29,0	44	36	57	91	<b>RB</b>	13	29,8	13,0	27	22	36	50
<b>RR</b>	27	52,7	32,7	44	28	67	112	<b>RR</b>	39	29,8	20,4	24	16	35	76
<b>CA</b>	34	48,0	25,4	41	31	62	101	<b>CA</b>	36	14,4	11,9	11	6,4	18	33
<b>CC</b>	60	54,7	40,0	46	24,5	68	141	<b>CC</b>	52	19,9	12,1	18	13	27	43
<b>CG</b>	64	53,1	22,8	47	39	62	103	<b>CG</b>	72	29,7	11,3	29	22	37	48
<b>CL</b>	51	46,6	20,0	41	35	51	90	<b>CL</b>	48	30,7	6,28	30	27	34	41
<b>O</b>	208	40,0	13,0	37	32	45	66	<b>O</b>	192	28,7	11,3	29	22	35	46
<b>A</b>	382	45,8	27,3	40	30	56	97	<b>A</b>	311	23,7	18,6	20	11	31	53
<b>B</b>	483	46,4	33,3	36	27	52	110	<b>B</b>	368	22,8	8,98	22	17	28	40
<b>P</b>	301	71,6	69,9	49	31	84	192	<b>P</b>	183	17,0	9,74	16	10	22	31
<b>T</b>	55	33,7	29,0	25	18	35	83	<b>T</b>	46	13,2	6,03	12	9,8	15	24
<b>DA</b>	54	20,6	14,8	16	8,7	29	48	<b>DA</b>	49	12,3	13,4	5,4	2,5	18	35
<b>DP</b>	24	16,1	14,3	13	5,6	21	45	<b>DP</b>	24	4,92	5,61	2,5	2,5	3,4	15

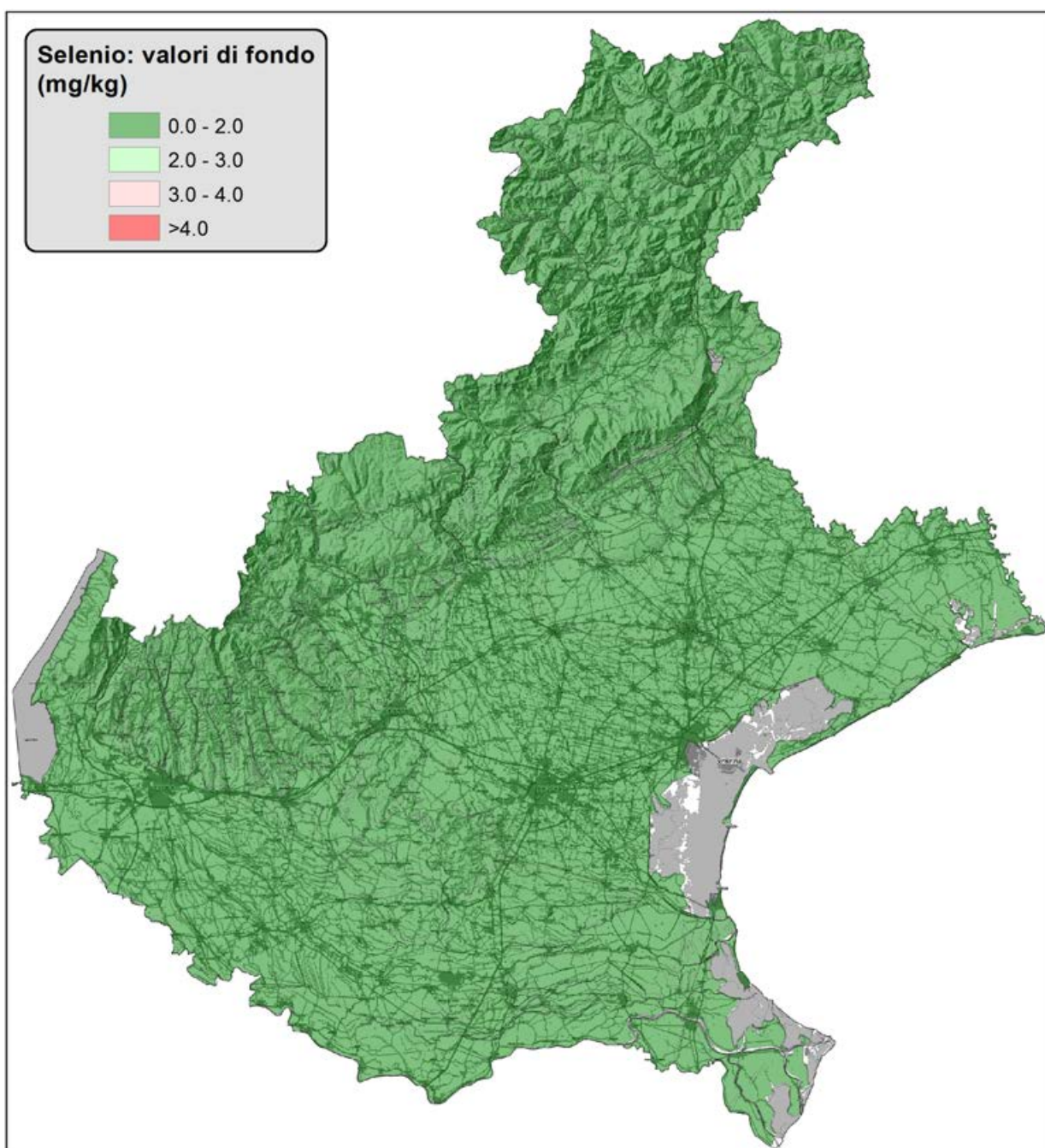
*Tabella A.Cu: Principali parametri statistici delle concentrazioni di rame in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nei suoli delle diverse unità deposizionali e fisiografiche del Veneto. Il 95° percentile per le unità MA, MD, MS, MW, LC, RA e RB non rappresenta il valore di fondo poiché quest'ultimo è stato calcolato sull'intera popolazione a causa del ridotto numero di dati. Dati espressi in mg/kg.*

Per il rame, diversamente a quanto fatto per gli altri metalli, per i quali non sono state effettuate elaborazioni specifiche per i diversi usi del suolo, si è scelto di separare tutti i campioni prelevati nei vigneti perché questi, ad una prima elaborazione, presentavano valori nettamente superiori rispetto agli altri usi, indipendentemente dall'unità fisiografica/deposizionale di origine. Il fenomeno è dovuto ai numerosi trattamenti a base di rame che fin dalla seconda metà dell'800 vengono fatti per la lotta alla peronospora della vite e ad altri parassiti fungini, che ha determinato l'accumulo dell'elemento nel suolo. Su tale uso del suolo è stato definito un valore di fondo pari a 284 mg/kg (vedi paragrafo specifico nel capitolo 4).

Nonostante la separazione dei dati su vigneto rimangono 2 unità con valori di fondo superiori alle CSC residenziali: Piave (P) e Rilievi collinari (CC); in queste due aree, che sono tra le più vitate in Veneto, questi valori sono imputabili ad un passato uso a vigneto, ora sostituito con altre colture. I valori rilevati in profondità risultano nettamente più bassi: a titolo di esempio la mediana nel Piave (P) scende da 49 a 16 mg/kg e in maniera analoga in altre unità di pianura, confermando la presenza di importanti apporti antropici.

Alti valori in rame, non considerati nelle elaborazioni di questo volume, sono stati rinvenuti anche a Murano di sicura origine antropica (vedi scheda all'interno dell'unità DP).

## **SELENIO**



*Figura A.Se: Valore di fondo (95° percentile) del selenio nei suoli del Veneto.*

Il selenio è un microelemento importante per la nutrizione animale, è infatti un componente essenziale dell'enzima glutazione perossidasi che con la sua attività catalitica riduce eventuali agenti ossidanti presenti nelle cellule, proteggendole così dall'azione distruttiva di ossidanti e radicali liberi (De Vivo, 2004). Non ci sono invece evidenze che suggeriscano la sua essenzialità per la crescita delle piante. Ad alte concentrazioni risulta tossico per gli animali e il range tra carenza e tossicità risulta molto stretto (Alloway, 1995).

In genere è presente in alta concentrazione nelle marne e nei materiali carbonatici spesso originatisi in condizioni riducenti. Alte concentrazioni si trovano anche in rocce fosfatice sebbene non vi sia correlazione tra il contenuto di fosfati e selenio (Kabata – Pendias e Pendias, 2001).

Nel suolo il contenuto di selenio dipende da quello del materiale di partenza, sebbene in alcune circostanze la deposizione atmosferica e apporti antropici possano aumentare la concentrazione dell'elemento (Kabata

– Pendias e Pendias, 2001). Il contenuto medio nei suoli varia tra 0,2 e 2 mg/kg (Hooda, 2010), ma sono noti suoli con valori naturali molto più elevati (1000 mg/kg; Kabata – Pendias e Pendias, 2001).

La fonte principale di selenio sono le eruzioni vulcaniche, ma elevate concentrazioni di selenio si osservano anche nei combustibili fossili, inclusi carbone e olio. In campo agricolo, oltre che come integratore nella dieta degli animali da allevamento, viene usato come pesticida, mentre il contenuto nei fanghi di depurazione, rispetto ad altri metalli pesanti, sembra relativamente basso (Alloway, 1995).

La mobilità del selenio dipende dallo stato di ossidazione, aumentando tanto più esso aumenta; per questo motivo nei suoli alcalini ben drenati è facilmente disponibile sotto forma di selenati, mentre in condizioni riducenti o con pH neutro è presente come selenite, forma meno disponibile. La solubilità aumenta anche in suoli con pH molto acido (Alloway, 1995).

Nel suolo può essere presente in diverse forme organiche e inorganiche. Le forme organiche rappresentano circa il 20-25% del totale; il selenio inorganico include la forma anionica ( $\text{Se}^{2-}$ ), il selenio elementare, la selenite e il selenato, questi ultimi due solubili in acqua; una porzione significativa dell'elemento è legata alle sostanze umiche (Hooda, 2010).

La concentrazione soglia di contaminazione prevista per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (colonna A) dal D.Lgs 152/2006 (e s.m.i.) è di 3 mg/kg, per i siti ad uso commerciale e industriale (colonna B) è di 15 mg/kg mentre per lo spandimento di fanghi di depurazione (D.Lgs 99/1992; DGRV 2241/05) non sono previsti limiti per il suolo ma solo per i fanghi (5 mg/kg).

Nelle unità fisiografiche e deposizionali del Veneto non si osservano superamenti del limite di legge con valori di fondo generalmente inferiori a 1 mg/kg.

Si segnala che in 2 unità dell'area alpina (MS - Alpi su litotipi silicatici e MA - Alpi del basamento cristallino e metamorfico) la carenza di dati disponibili non ha permesso di definire un valore di fondo.

	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Inferiore Quartile	Superiore Quartile	95° percentile		N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Inferiore Quartile	Superiore Quartile	95° percentile
<b>MD</b>	10	0,34	0,14	0,34	0,28	0,43	0,52	<b>MD</b>	7	0,13	0,07	0,10	0,10	0,10	0,23
<b>MW</b>	3	0,60	0,63	0,39	0,25	0,85	1,2	<b>MW</b>	3	0,22	0,11	0,23	0,17	0,28	0,31
<b>SA</b>	28	0,56	0,31	0,54	0,38	0,74	1,1	<b>SA</b>	19	0,30	0,22	0,27	0,10	0,47	0,66
<b>SD</b>	38	0,41	0,21	0,38	0,29	0,51	0,81	<b>SD</b>	21	0,28	0,18	0,23	0,10	0,38	0,58
<b>LB</b>	70	0,21	0,14	0,20	0,10	0,29	0,47	<b>LB</b>	57	0,18	0,13	0,10	0,10	0,23	0,43
<b>LC</b>	11	0,53	0,18	0,54	0,40	0,70	0,74	<b>LC</b>	5	0,46	0,27	0,57	0,24	0,66	0,70
<b>RA</b>	17	0,30	0,14	0,30	0,23	0,36	0,54	<b>RA</b>	17	0,28	0,18	0,30	0,10	0,41	0,56
<b>RB</b>	19	0,40	0,13	0,36	0,33	0,50	0,59	<b>RB</b>	11	0,38	0,13	0,40	0,32	0,45	0,56
<b>RR</b>	29	0,36	0,13	0,34	0,30	0,45	0,59	<b>RR</b>	25	0,26	0,19	0,25	0,10	0,37	0,42
<b>CA</b>	34	0,31	0,09	0,31	0,28	0,37	0,45	<b>CA</b>	30	0,14	0,09	0,10	0,10	0,10	0,34
<b>CC</b>	49	0,20	0,11	0,21	0,10	0,24	0,40	<b>CC</b>	42	0,11	0,03	0,10	0,10	0,10	0,20
<b>CG</b>	76	0,24	0,12	0,23	0,10	0,32	0,42	<b>CG</b>	68	0,17	0,17	0,10	0,10	0,13	0,37
<b>CL</b>	45	0,24	0,09	0,24	0,21	0,30	0,37	<b>CL</b>	43	0,15	0,09	0,10	0,10	0,16	0,29
<b>O</b>	195	0,38	0,24	0,33	0,24	0,45	0,91	<b>O</b>	177	0,28	0,24	0,20	0,10	0,38	0,76
<b>A</b>	263	0,26	0,22	0,21	0,10	0,32	0,68	<b>A</b>	226	0,22	0,32	0,10	0,10	0,2	0,75
<b>B</b>	210	0,18	0,14	0,12	0,10	0,23	0,36	<b>B</b>	193	0,13	0,11	0,10	0,10	0,10	0,27
<b>P</b>	160	0,24	0,14	0,23	0,10	0,30	0,51	<b>P</b>	140	0,14	0,10	0,10	0,10	0,10	0,38
<b>T</b>	33	0,31	0,22	0,26	0,10	0,44	0,76	<b>T</b>	30	0,20	0,14	0,10	0,10	0,29	0,42
<b>DA</b>	46	0,27	0,21	0,22	0,10	0,41	0,68	<b>DA</b>	42	0,17	0,13	0,10	0,10	0,10	0,46
<b>DP</b>	19	0,15	0,09	0,10	0,10	0,16	0,32	<b>DP</b>	19	0,10	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10

*Tabella A.Se: Principali parametri statistici delle concentrazioni di selenio in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nei suoli delle diverse unità deposizionali e fisiografiche del Veneto. Il 95° percentile per le unità MD, MA, MS, MW, LC, RA e RB non rappresenta il valore di fondo poiché quest'ultimo è stato calcolato sull'intera popolazione a causa del ridotto numero di dati. Dati espressi in mg/kg.*



## STAGNO

Lo stagno non svolge funzioni biologiche essenziali per le piante e gli animali ma presenta un basso rischio per l'uomo in quanto in genere, se assimilato, non viene assorbito a causa della bassissima solubilità dei sali comunemente ingeriti; forme molto tossiche sono invece quelle organiche (ANPA, 1999).

Nelle rocce ha concentrazioni maggiori nei sedimenti argillosi e nelle marne (6-10 mg/kg) e valori molto bassi sia nelle rocce ultramafiche che in quelle calcaree (0,3-0,5 mg/kg). Il contenuto nel suolo dipende principalmente dal materiale di partenza e valori medi nei suoli si aggirano intorno a 1 mg/kg (Kabata – Pendias e Pendias, 2001).

La mobilità dello stagno nel suolo dipende dal pH, ma rispetto ad altri metalli è poco mobile; si trova prevalentemente legato alla sostanza organica, sia in forma solubile che insolubile, e secondariamente è presente nel reticolo cristallino dei minerali argillosi. Pur non essendo elemento essenziale viene facilmente assorbito dalle piante, se presente in soluzione, ma si fissa principalmente nelle radici (Kabata – Pendias e Pendias, 2001).

Le principali fonti di apporto nei suoli sono le deposizioni atmosferiche in prossimità delle miniere di estrazione del metallo e di industrie metallurgiche e l'uso di pesticidi in agricoltura.

Lo stagno totale non ha più una concentrazione soglia di contaminazione (1 mg/kg per la colonna A e 350 mg/kg per la colonna B) poiché il Decreto Legge n. 91 del 2014, convertito con L. 116/2014, ha sostituito lo stagno indicato in tabella 1 con i composti organo-stannici. Era ormai assodato che il limite per le aree residenziali imposto dal D.Lgs 152/2006 risultava eccessivamente basso rispetto alla dotazione naturale dei suoli italiani e all'effettiva tossicità dell'elemento

Nessun limite è previsto nei suoli per lo spandimento di fanghi di depurazione.

	N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Inferiore Quartile	Superiore Quartile	95° percentile		N Validi	Media	Dev.Std.	Mediana	Inferiore Quartile	Superiore Quartile	95° percentile
<b>MD</b>	10	2,30	0,57	2,4	1,9	2,8	2,9	<b>MD</b>	7	0,77	0,79	0,60	0,20	1,0	2,0
<b>MW</b>	3	1,72	1,21	2,2	1,3	2,4	2,6	<b>MW</b>	3	0,39	0,26	0,35	0,15	0,51	0,63
<b>SA</b>	28	3,13	0,96	3,1	2,4	3,6	4,9	<b>SA</b>	19	2,52	1,19	2,9	1,6	3,4	4,0
<b>SD</b>	37	2,30	0,68	2,2	1,8	2,7	3,4	<b>SD</b>	21	1,54	0,82	1,4	1,1	2,4	2,7
<b>LB</b>	70	2,28	0,71	2,2	1,8	2,6	3,8	<b>LB</b>	57	2,20	1,00	2,0	1,5	2,6	4,2
<b>LC</b>	11	2,59	0,67	2,9	2,2	3,1	3,3	<b>LC</b>	5	2,39	1,08	2,8	2,1	3,0	3,3
<b>RA</b>	17	1,53	1,87	0,82	0,79	1,3	6,2	<b>RA</b>	17	1,18	0,71	0,99	0,78	1,4	2,6
<b>RB</b>	19	2,68	1,20	2,5	1,8	3,4	4,4	<b>RB</b>	11	2,25	1,22	2,4	1,3	2,9	4,1
<b>RR</b>	30	2,16	0,87	2,1	1,5	2,5	3,6	<b>RR</b>	25	1,66	0,85	1,3	1,1	2,1	3,2
<b>CA</b>	34	3,69	1,99	3,2	2,7	4,0	7,2	<b>CA</b>	30	1,40	0,97	1,1	0,57	1,9	3,1
<b>CC</b>	49	2,08	0,94	2,0	1,4	2,5	3,7	<b>CC</b>	42	1,35	0,88	1,3	0,58	1,8	2,5
<b>CG</b>	75	1,91	0,85	1,8	1,4	2,2	3,4	<b>CG</b>	68	1,44	0,65	1,4	1,1	1,7	2,5
<b>CL</b>	45	2,76	1,47	2,2	1,8	3,0	6,0	<b>CL</b>	43	1,91	0,80	1,9	1,4	2,3	3,2
<b>O</b>	194	2,50	0,74	2,5	2,0	2,9	3,7	<b>O</b>	183	1,97	0,80	1,9	1,3	2,6	3,3
<b>A</b>	265	2,44	0,97	2,3	1,8	2,9	4,2	<b>A</b>	231	1,62	0,87	1,5	0,99	2,0	3,1
<b>B</b>	209	3,35	1,77	3,0	2,1	4,2	6,3	<b>B</b>	193	2,65	1,31	2,4	1,7	3,5	4,8
<b>P</b>	160	2,12	1,00	2,0	1,4	2,7	3,9	<b>P</b>	139	1,27	0,82	1,1	0,66	1,6	2,7
<b>T</b>	33	1,80	0,81	1,7	1,2	2,4	3,1	<b>T</b>	30	1,38	1,06	1,3	0,58	1,6	2,8
<b>DA</b>	45	1,94	1,13	1,7	1,2	2,4	4,7	<b>DA</b>	45	1,55	1,38	1,2	0,87	1,7	3,0
<b>DP</b>	18	0,82	0,61	0,51	0,38	1,4	2,0	<b>DP</b>	19	0,42	0,37	0,27	0,15	0,61	1,1

Tabella A.Sn: Principali parametri statistici delle concentrazioni di stagno in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nei suoli delle diverse unità deposizionali e fisiografiche del Veneto, Il 95° percentile per le unità MD, MA, MS, MW, LC, RA e RB non rappresenta il valore di fondo poiché quest'ultimo è stato calcolato sull'intera popolazione a causa del ridotto numero di dati, Dati espressi in mg/kg,

Le unità fisiografiche e deposizionali del Veneto presentano concentrazioni abbastanza diversificate in quanto si passa da valori di fondo di 7,2 mg/kg dei depositi fluviali del sistema Agno-Guà (CG) a 2,0 mg/kg del Costiero nord-orientale (DP).

Si segnala che in 2 unità dell'area alpina (MS - Alpi su litotipi silicatici e MA - Alpi del basamento cristallino e metamorfico) la carenza di dati disponibili non ha permesso di definire un valore di fondo.

## VANADIO

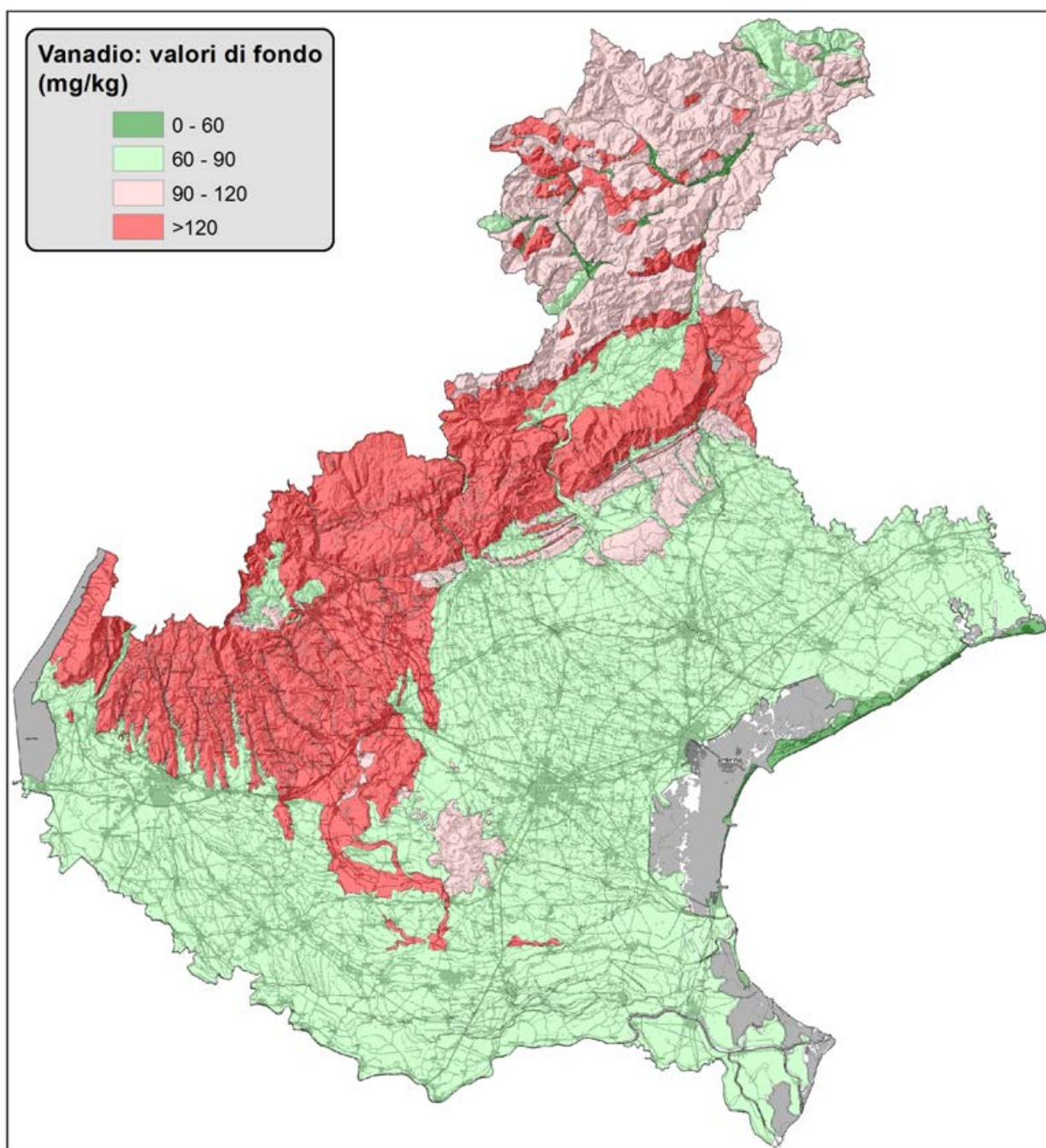


Figura A.V: Valore di fondo (95° percentile) del vanadio nei suoli del Veneto.

Dal punto di vista biologico esistono ancora dubbi sul fatto che il vanadio svolga una funzione fisiologica essenziale per le piante sebbene sia fondamentale nella fotosintesi delle alghe verdi (Steinnes, 2009); risulta essenziale per polli e ratti, mentre per l'uomo la sua importanza non è stata provata (ANPA, 1999). L'azione tossica nell'uomo è confinata al tratto respiratorio e ha azione irritante per la pelle e gli occhi (De Vivo et al., 2004).

La deposizione atmosferica sembra giocare un ruolo importante nell'incremento del vanadio nei suoli e le principali fonti sono la combustione di carbone e olio e alcuni processi industriali (cementifici, fonderie e impianti di trattamento di rocce fosfatice). L'uso di fanghi di depurazione e di fertilizzanti fosfatici non rappresenta un input significativo per i suoli agricoli (Alloway, 1995).

Nelle rocce presenta concentrazioni molto variabili con valori massimi nelle rocce ultramafiche e nelle marne, superiori a 100 mg/kg, mentre nelle rocce ignee acide ha concentrazioni molto basse

(Alloway, 1995), Lo ione trivalente ha raggio ionico simile al ferro (3+) e quindi si rinviene frequentemente in sostituzione del ferro nei silicati ferro-magnesiaci (De Vivo et al., 2004). Si lega alle sostanze organiche e può presentare concentrazioni elevate anche in alcuni tipi di carbone e petrolio (Kabata – Pendias e Pendias, 2001).

Il valore medio nei suoli a scala mondiale è pari a circa 100 mg/kg con range molto ampio compreso tra 20 e 500 mg/kg (Alloway, 1995).

Il comportamento nel suolo non è ancora ben definito, ma sembra che una notevole percentuale sia legata agli ossidi di ferro (Kabata. Pendias e Pendias, 2001), mentre solo secondariamente è adsorbito nei minerali argillosi o legato in forma cationica alla sostanza organica (De Vivo et al., 2004), La mobilità è ridotta in ambiente alcalino mentre in condizioni non alcaline (a pH compresi tra 5,0 e 7,0) e/ o riducenti può muoversi lungo il profilo (Kabata. Pendias e Pendias, 2001).

La concentrazione soglia di contaminazione, prevista per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (colonna A) dal D.Lgs 152/2006 (e s.m.i.), è di 90 mg/kg, mentre nei siti ad uso commerciale e industriale (colonna B) il limite è pari a 250 mg/kg; nessun limite è previsto nei suoli per lo spandimento di fanghi di depurazione (D.Lgs 99/1992),

	N Validi	Media	Dev,Std,	Mediana	Inferiore Quartile	Superiore Quartile	95° percentile		N Validi	Media	Dev,Std,	Mediana	Inferiore Quartile	Superiore Quartile	95° percentile
MA	14	50,6	16,5	51	39	63	72	MA	12	41,0	12,0	38	34	53	55
MD	16	57,1	24,7	49	42	63	101	MD	12	32,9	25,6	32	14	38	78
MS	10	109,9	61,9	105	60	175	180	MS	5	166,0	20,7	170	150	180	188
MW	6	61,3	31,9	59	48	75	102	MW	6	30,2	22,2	22	16	37	63
SA	31	101,6	43,0	100	78	117	175	SA	20	95,4	41,9	96	67	123	161
SD	46	80,1	32,1	73	63	95	138	SD	25	69,5	28,6	68	47	91	109
LB	70	146,6	32,5	149	128	163	201	LB	57	149,2	37,8	148	126	175	212
LC	11	126,2	19,4	132	121	141	146	LC	5	129,2	50,2	152	121	161	166
RA	22	98,8	59,2	80	51	140	201	RA	17	167,2	117,1	117	68,0	253	358
RB	19	111,1	39,4	107	98	122	176	RB	11	119,0	63,4	97	82	146	228
RR	33	64,6	21,8	66	57	79	99	RR	29	64,0	28,0	65	46	81	100
CA	39	121,0	49,5	130	84	165	190	CA	35	71,4	47,5	50	37	100	166
CC	50	55,5	18,4	55	40	71	84	CC	43	49,5	23,8	46	30	71	84
CG	76	105,6	28,1	105	90	120	151	CG	68	96,1	34,4	100	80	118	151
CL	50	74,7	23,6	66	59	90	122	CL	48	78,7	29,3	78	58	95	129
O	195	59,5	15,4	57	49	69	89	O	184	50,0	19,8	48	36	62	85
A	278	48,4	16,3	46	37	58	80	A	239	40,1	18,1	39	28	49	73
B	216	47,4	17,5	43	36	55	79	B	199	45,5	20,4	42	30	55	84
P	166	52,1	19,7	52	36	64	86	P	146	39,6	20,8	34	24	52	80
T	33	43,9	15,6	45	29	55	65	T	30	37,0	23,2	31,5	19	53	88
DA	47	36,5	17,6	32	22	48	70	DA	46	29,2	14,8	25	20	34	56
DP	19	20,8	12,7	15	12	28	43	DP	19	13,6	5,96	12	11	15	22

Tabella A.V: Principali parametri statistici delle concentrazioni di vanadio in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nei suoli delle diverse unità deposizionali e fisiografiche del Veneto. Il 95° percentile per le unità MA, MD, MS, MW, LC, RA e RB non rappresenta il valore di fondo poiché quest'ultimo è stato calcolato sull'intera popolazione a causa del ridotto numero di dati. Dati espressi in mg/kg.

Ben 13 sono le unità fisiografiche e deposizionali del Veneto che hanno valori di fondo superiori ai limiti di legge (in ordine dai valori di fondo più elevati): Colline su calcareniti (RA), Colli Berici (RB), Prealpi su basalti (LB), Conoidi dell'Astico (CA), Alpi su litotipi silicatici (MS), Prealpi su calcari duri (SA), Prealpi su calcareniti (LC), Depositi fluviali del sistema Agno-Guà (CG), Prealpi su calcari marnosi (SD), Conoidi pedemontane del sistema Leogra-Timonchio (CL), Rilievi collinari (RR), Alpi su dolomia (MD) e Alpi su formazione di Werfen (MW).

Tra queste si distingue la piccola unità delle colline su calcareniti (RA) che presenta valore di fondo superiore anche al limite per le aree industriali e commerciali e pari a 303 mg/kg e le unità dei Colli Berici



(RB, 226 mg/kg), delle Prealpi su basalti (LB, 212 mg/kg), delle Conoidi dell'Astico (CA, 190 mg/kg), Alpi su litotipi silicatici (MS, 184 mg/kg), con valori superiori a 2 volte il limite per le aree residenziali.

In generale tutta l'area dei conoidi prealpini presenta valori di fondo superiore ai limiti mentre i grandi bacini fluviali della pianura presentano valori inferiori.

La bassa mobilità del metallo, assieme alle concentrazioni molto simili presenti in superficie e in profondità, confermano l'origine naturale del metallo nei suoli del Veneto e la esiguità dei processi di accumulo.

## ZINCO

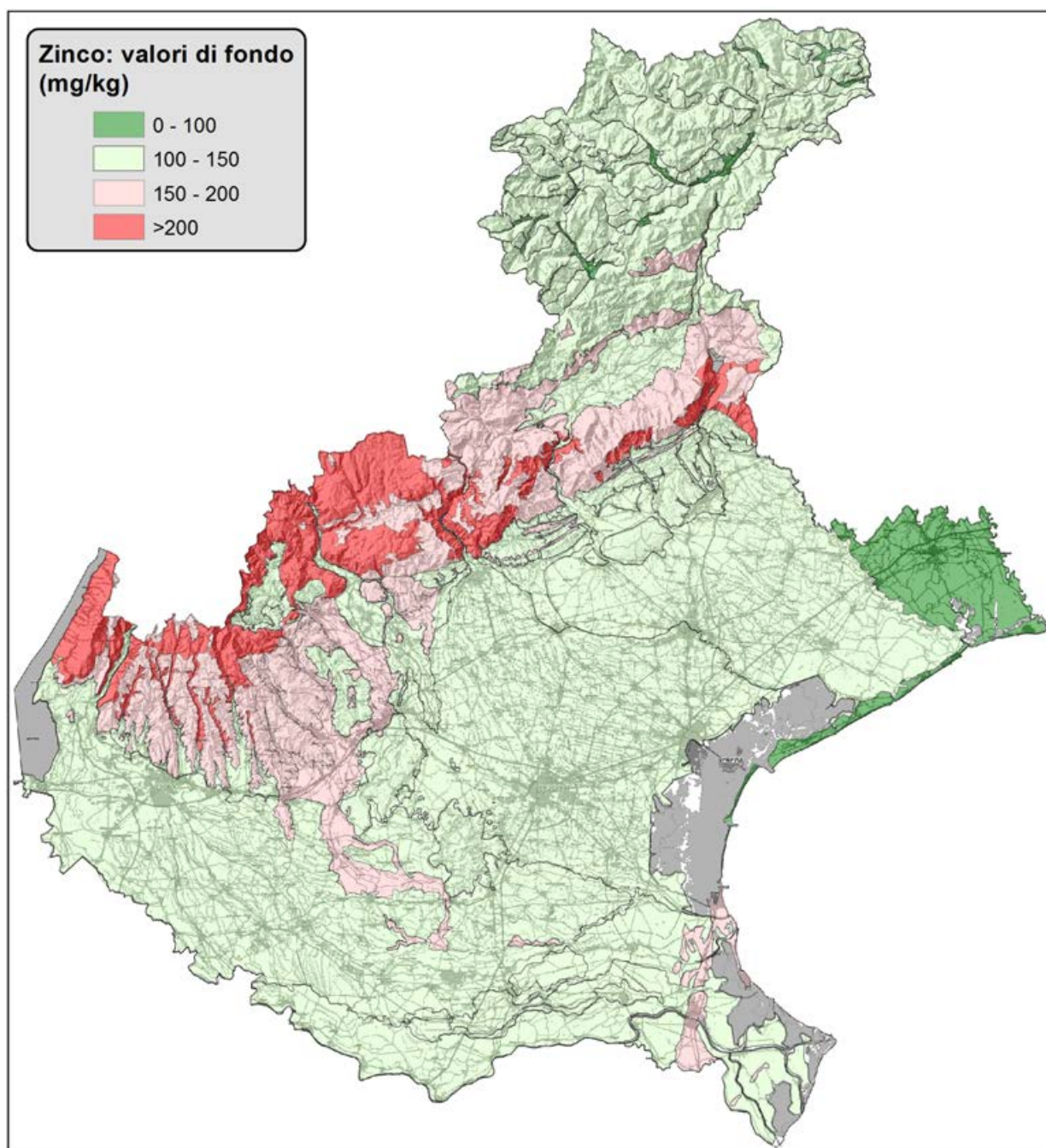


Figura A.Zn: Valore di fondo (95° percentile) del zinco nei suoli del Veneto.

Lo zinco è un microelemento essenziale per l'uomo, gli animali e le piante superiori. Le piante lo assorbono principalmente come catione divalente ( $Zn^{2+}$ ), indispensabile nella formazione di diversi enzimi. Per questo motivo se ne osserva un relativo arricchimento in superficie a causa del processo noto come *plant pumping* (Steinnes, 2009); le radici delle piante lo assorbono da uno strato di terreno dello spessore di alcune decine di centimetri, a profondità variabile a seconda della tipologia della pianta, e lo riconsegnano al suolo sulla superficie tramite la ricaduta di parte o della totalità della pianta al termine del ciclo vitale o produttivo; i successivi processi di ridistribuzione lungo il profilo del suolo sono molto lenti e dipendono dalla solubilità dell'elemento, dal trasporto fisico operato dalla fauna del suolo e dal dilavamento delle particelle minerali, a meno che non intervenga l'uomo con l'aratura.

Le colture più sensibili alla carenza di zinco sono il mais, il sorgo, i legumi, la vite e gli alberi da frutto, soprattutto il pesco. Pur non essendo considerato particolarmente fitotossico, tale situazione si verifica in

un range di valori compreso tra 100 e 500 mg/kg (Kabata - Pendias & Pendias, 2001), comunemente raggiunto in molti suoli.

Nelle rocce vulcaniche il contenuto varia da 40 mg/kg nei graniti a 100 mg/kg nei basalti; nelle rocce sedimentarie si osservano valori molto diversi in base alla tipologia di sedimento: nei sedimenti argillosi e nelle marne si riscontrano valori compresi tra 80 e 120 mg/kg mentre le arenarie, i calcari e le dolomie hanno valori nettamente inferiori compresi tra 10 e 30 mg/kg (Alloway, 1995).

Nei suoli i valori più comuni variano tra 17 e 125 mg/kg (Kabata - Pendias & Pendias, 2001). Il contenuto totale dell'elemento è spesso legato al materiale di partenza sebbene contenuti molto alti (superiori a 150 mg/kg) siano spesso dovuti ad apporti antropici (Alloway, 1995). Le principali fonti di apporto di zinco al suolo sono le miniere per l'estrazione di metalli, le industrie che li trattano (galvaniche, fonderie, produzione di batterie, ecc,) e le emissioni generate dal traffico stradale; per i suoli agricoli fonti importanti sono le deiezioni zootecniche, in quanto lo zinco è usato come integratore alimentare per il bestiame, i fanghi di depurazione, il compost, i fertilizzanti e i pesticidi. Tutti i fertilizzanti, minerali e organici, e gli ammendanti contengono zinco così come molti fungicidi comunemente usati per la lotta fitosanitaria.

Lo zinco è considerato abbastanza mobile nel suolo sebbene, rispetto al contenuto totale, la concentrazione dell'elemento nella soluzione circolante del suolo sia bassa (Alloway, 1995). Il contenuto totale può essere suddiviso in tre frazioni: ioni liberi e complessi zinco-organici nella soluzione del suolo, zinco adsorbito e scambiabile nella frazione colloidale e infine minerali secondari e complessi insolubili nella fase solida del suolo. La distribuzione dello zinco nelle diverse forme dipende dalla concentrazione degli ioni  $Zn^{2+}$  in soluzione, dalla tipologia del complesso di scambio, dalla concentrazione dei complessi organici e infine dal pH e dal potenziale redox del suolo.

	N Validi	Media	Dev,Std,	Mediana	Inferiore Quartile	Superiore Quartile	95° percentile		N Validi	Media	Dev,Std,	Mediana	Inferiore Quartile	Superiore Quartile	95° percentile
<b>MA</b>	33	84,0	40,5	77	49	115	<b>155</b>	<b>MA</b>	31	91,2	35,0	88	67	116	139
<b>MD</b>	22	93,7	35,2	92	71	110	<b>159</b>	<b>MD</b>	17	48,9	29,8	49	25	66	92
<b>MS</b>	26	80,7	22,4	80	64	97	114	<b>MS</b>	23	86,3	19,9	86	78	95	123
<b>MW</b>	19	98,3	67,9	76	56	120	<b>236</b>	<b>MW</b>	17	63,6	30,1	64	47	74	125
<b>SA</b>	42	146,1	42,1	137	119	171	<b>212</b>	<b>SA</b>	28	129,2	58,4	130	99	150	<b>220</b>
<b>SD</b>	72	130,6	37,5	129	110	154	<b>197</b>	<b>SD</b>	46	100,2	46,3	91	63	143	<b>163</b>
<b>LB</b>	72	143,6	23,7	146	130	160	<b>177</b>	<b>LB</b>	58	129,6	23,5	128	117	143	<b>161</b>
<b>LC</b>	13	111,5	19,1	117	105	123	137	<b>LC</b>	7	79,8	29,6	89	52	105	112
<b>RA</b>	17	91,4	82,4	65	49	92	<b>252</b>	<b>RA</b>	17	92,0	45,7	77	66	113	<b>168</b>
<b>RB</b>	21	109,2	27,1	104	99	120	<b>154</b>	<b>RB</b>	13	87,1	31,7	82	70	107	134
<b>RR</b>	61	87,7	28,9	84	69	102	141	<b>RR</b>	39	76,5	21,4	74	60	93	111
<b>CA</b>	40	107,1	30,8	107	93	130	150	<b>CA</b>	36	46,2	32,6	38	22	63	104
<b>CC</b>	67	80,2	22,7	80	68	95	113	<b>CC</b>	52	58,8	24,1	58	37	78	92
<b>CG</b>	81	111,5	28,3	110	90	124	<b>160</b>	<b>CG</b>	72	85,0	23,3	83	71	100	119
<b>CL</b>	51	130,1	29,9	120	110	144	<b>195</b>	<b>CL</b>	47	115,9	21,5	120	100	132	144
<b>O</b>	203	87,1	15,3	87	75	98	111	<b>O</b>	193	72,7	20,4	73	60	86	104
<b>A</b>	393	94,4	36,9	90	69	110	150	<b>A</b>	310	62,7	31,1	60	37	87	116
<b>B</b>	492	101,1	25,7	97	84	115	143	<b>B</b>	388	77,6	30,3	75	57	98	129
<b>P</b>	301	74,9	27,8	73	53	92	120	<b>P</b>	183	46,4	24,5	43	31	57	95
<b>T</b>	55	58,0	17,8	53	45	70	90	<b>T</b>	52	42,2	18,5	38	29	47	78
<b>DA</b>	55	69,7	42,2	58	42	83	<b>158</b>	<b>DA</b>	49	44,5	21,0	39	29	55	84
<b>DP</b>	24	38,5	19,2	36	23	52	70	<b>DP</b>	24	16,4	12,0	10,0	10,0	19	46

Tabella A.Zn: Principali parametri statistici delle concentrazioni di zinco in superficie (a sinistra) e in profondità (a destra) nei suoli delle diverse unità deposizionali e fisiografiche del Veneto. Il 95° percentile per le unità MA, MD, MS, MW, LC, RA e RB non rappresenta il valore di fondo poiché quest'ultimo è stato calcolato sull'intera popolazione a causa del ridotto numero di dati. Dati espressi in mg/kg.

La concentrazione soglia di contaminazione prevista per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (colonna A) dal D.Lgs 152/2006 (e s.m.i.), è di 150 mg/kg, per i siti ad uso commerciale/industriale (colonna B) è di 1500 mg/kg mentre lo spandimento di fanghi di depurazione è consentito sui suoli agricoli solo se questi contengono meno di 300 mg/kg (D.Lgs 99/1992). È evidente la discrepanza esistente tra il limite imposto per i siti potenzialmente contaminati in ambito urbano (150 mg/kg) e le aree agricole dove è possibile effettuare lo spandimento di fanghi; al momento attuale, infatti, per le aree agricole, in attesa di un decreto specifico per queste aree, vengono applicati i limiti delle aree residenziali.

Sono 7 le unità fisiografiche e deposizionali del Veneto che hanno valori di fondo superiori ai limiti di legge (in ordine dai valori, di fondo più elevati): Prealpi su calcari duri (SA), Prealpi su calcari marnosi (SD), Conoidi pedemontane del sistema Leogra-Timonchio (CL), Prealpi su basalti (LB), Colline su calcareniti (RA), Depositi fluviali del sistema Agno-Guà (CG) e Costiero meridionale (DA).

I valori, anche nelle unità con concentrazioni più elevate, non eccedono del 50% del limite per le aree residenziali; infatti le Prealpi su calcari duri (SA) e quelle su calcari marnosi (SD) hanno valore di fondo pari a 220 mg/kg e 197 mg/kg, rispettivamente. In queste aree alla dotazione naturale elevata, con mediana compresa tra 91 e 130 mg/kg in profondità, si possono sommare in particolare gli apporti dovuti all'utilizzo agronomico degli effluenti di allevamento.

Alti valori di zinco, non considerati nelle elaborazioni di questo volume, sono stati rinvenuti a Murano, di sicura origine antropica (vedi scheda all'interno dell'unità DP), ma soprattutto in comune di Recoaro (VI) in prossimità di aree minerarie (vedi scheda all'interno dell'unità SD), con superamenti anche del limite di colonna B.



## Note

**ARPAV**

DIREZIONE TECNICA

SERVIZIO CENTRO VENETO SUOLO E BONIFICHE

Via Santa Barbara, 5a

31100 Treviso (TV), Italy

Tel. +39 0422 558620

Fax +39 0422 558516

e-mail: [ssu@arpa.veneto.it](mailto:ssu@arpa.veneto.it)

<http://www.arpa.veneto.it/suolo>

*Finito di stampare*

*nel gennaio 2019, da:*

Stampa Sud S.r.l. - [stampasud.com](http://stampasud.com)



**ARPAV**

Agenzia Regionale  
per la Prevenzione e  
Protezione Ambientale  
del Veneto

**Direzione Generale**

Via Ospedale Civile, 24  
35121 Padova  
Italy

Tel. +39 049 823 93 01

Fax. +39 049 660 966

e-mail: [urp@arpa.veneto.it](mailto:urp@arpa.veneto.it)

e-mail certificata: [protocollo@pec.arpav.it](mailto:protocollo@pec.arpav.it)

[www.arpa.veneto.it](http://www.arpa.veneto.it)