

Regione Emilia-Romagna

**CARTA DEL FONDO
NATURALE DEI METALLI
PESANTI DELLA
PIANURA
EMILIANO-ROMAGNOLA**

scala 1:250.000

82 **Pb**
Piombo
Lead

23 **V**
Vanadio
Vanadium

24 **Cr**
Cromo
Chromium

27 **Co**
Cobalto
Cobalt

29 **Cu**
Rame
Copper

30 **Zn**
Zinco
Zinc

28 **Ni**
Nichel
Nickel

2024
3^a edizione

NOTE ILLUSTRATIVE

A cura di:

Nazaria Marchi – ex Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli – Regione Emilia-Romagna

Alessandra Aprea - Area Geologia, Suoli e Sismica. Settore Difesa del Territorio – Regione Emilia-Romagna

Marina Guermandi – ex Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli – Regione Emilia-Romagna

Alessandro Amorosi – Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali. Università di Bologna

Irene Sammartino - Collaboratore ex Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli

In copertina:

foto: Archivio Area Geologia, Suoli e Sismica

Immagine coordinata:

Simonetta Scappini – Area Geologia, Suoli e Sismica. Settore Difesa del Territorio – Regione Emilia-Romagna

Il presente documento è rilasciato secondo i termini della licenza Creative Commons 4.0 Attribution (Attribuzione). I contenuti (salvo marchi, segni distintivi o altro diversamente specificato) possono essere riprodotti, distribuiti, comunicati, esposti, rappresentati e modificati rispettando la seguente condizione:

citazione della fonte ("Regione Emilia-Romagna") e il titolo del documento.

Una sintesi della licenza si trova alla pagina <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.it>

Per eventuali aggregazioni o rielaborazioni dei contenuti finalizzate alla realizzazione di prodotti diversi dall'originale, pur permanendo l'obbligo di citazione della fonte, si declina ogni responsabilità



Direzione Generale cura del territorio e dell'ambiente

Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli

Viale della Fiera 8, 40127 Bologna

telefono: 051 5274792

fax: 051 5274208

e-mail: segrgeol@regione.emilia-romagna.it

PEC: segrgeol@postacert.regione.emilia-romagna.it

Sito web: <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/suoli/metalli-pesanti>



INDICE

1	INTRODUZIONE	5
1.1	Definizioni.....	5
2	MATERIALI E METODI.....	6
2.1	Criteri di individuazione delle Unità Genetico-Funzionali (UGF)	6
2.2	Campionamento.....	9
2.3	Determinazioni in laboratorio (Analisi XRF)	9
2.4	Elaborazione statistica dei dati.....	9
2.5	Analisi delle variabili geochimiche.....	12
2.6	Elaborazioni cartografiche - Carta del Fondo Naturale.....	13
3	CONTENUTO DI METALLI NEI SUOLI DELLA PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA.....	14
3.1	Cromo [Cr] e Nichel [Ni]	14
3.2	Zinco [Zn].....	18
3.3	Rame [Cu]	20
3.4	Piombo [Pb].....	22
3.5	Vanadio [V]	24
3.6	Cobalto [Co]	26
4	ANOMALIE GEOCHIMICHE	30
4.1	Individuazione delle anomalie geochimiche.....	30
4.2	Elaborazioni cartografiche - Carta delle Anomalie Geochimiche	31
5	CONSULTAZIONE DELLE CARTE DEL FONDO NATURALE DEI METALLI PESANTI.....	35
5.1	Elenco dei siti di consultazione e loro caratteristiche	35
5.2	Consultazione sul sito Cartografia dei suoli dell'Emilia-Romagna (MokaSuoli)	36
5.3	Consultazione sul sito basato su GOOGLE EARTH	37
5.4	Consultazione sul GeoViewER Moka	39
5.5	Consultazione sul visualizzatore del Geoportale dell'Emilia-Romagna.....	40



5.6	Scaricamento dati	41
5.7	Consultazione come servizio WMS	42
6	BIBLIOGRAFIA.....	43



1 INTRODUZIONE

Il Progetto “Carta Pedogeochemica della Pianura emiliano-romagnola in scala 1:250.000” attraverso la redazione della “Carta del Fondo Naturale” e della “Carta delle Anomalie Geochimiche” si pone l’obiettivo di avviare un processo di conoscenza di base sul contenuto naturale di alcuni metalli nei suoli. Si ritiene questo processo il presupposto fondamentale per valutare eventuali fenomeni di contaminazione diffusa o puntuale del suolo e creare le premesse per corrette scelte di gestione territoriale.

Il suolo è riconosciuto dalla Strategia Tematica per la Protezione del Suolo (COM 2006/2319) come una risorsa sostanzialmente non rinnovabile e dal D.lgs 152/06 come matrice ambientale al pari dell’aria e dell’acqua; esso svolge numerose funzioni e presta servizi essenziali per le attività umane e la sopravvivenza degli ecosistemi.

La Carta Pedogeochemica della Pianura emiliano-romagnola, realizzata nel corso degli anni 2008-2013, rappresenta l’estensione all’intero territorio di pianura di Regione Emilia-Romagna dello studio pilota eseguito tra il 2004 e il 2006 nell’area del Foglio 181 (Parma Nord), in collaborazione con l’Università degli Studi di Bologna–Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali (oggi Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali) e l’Assessorato Agricoltura.

Nel 2016 la carta è stata rivista, con l’inserimento della “Carta del Fondo Naturale” riferita al vanadio.

Nella presente edizione (2024) è stata aggiunta la carta del fondo naturale del cobalto, adoperando la stessa metodologia utilizzata in precedenza per gli altri metalli. Tuttavia, per l’elaborazione statistica dei dati del cobalto si sono avuti a disposizione un maggiore di campioni, in quanti sono stati utilizzati anche i dati reperiti nella tesi di dottorato presso l’Università di Ferrara (AA 2008-2010) di Dario Di Giuseppe.

La caratterizzazione dei suoli su base geochemica ha condotto alla realizzazione di un tipo di cartografia, detta pedogeochemica, secondo la definizione presente nella norma ISO/DIS 19258 (2005) - Guidance on the determination of background values -. Essa può rappresentare da un lato un’efficace alternativa all’approccio convenzionale all’analisi e alla rappresentazione cartografica geochemica (basata unicamente su metodi geostatistici) e costituire dall’altro un potente strumento per identificare e quantificare l’impatto antropico sul suolo. La norma è stata nel frattempo aggiornata nel 2018 (ISO 19258:2018) senza però modifiche sostanziali relativamente alle definizioni ed indicazioni utilizzate in questo lavoro.

1.1 Definizioni

La “Carta del Fondo Naturale della Pianura emiliano-romagnola in scala 1:250.000” rappresenta la distribuzione areale nel *subsoil* (90-140 cm di profondità) di sette metalli potenzialmente tossici – cobalto [Co], cromo [Cr], nichel [Ni], zinco [Zn], rame [Cu], piombo [Pb] e vanadio [V] - nei suoli ad uso agricolo: tale profondità è ritenuta rappresentativa del contenuto di fondo naturale (*pedogeochemical content* secondo la norma ISO/DIS 19258) in quanto non influenzata da contributo antropico nei terreni sottoposti alle normali pratiche agricole.



2 MATERIALI E METODI

La metodologia adottata per la realizzazione della “Carta del Fondo Naturale della Pianura emiliano-romagnola in scala 1:250.000” fa riferimento principalmente alla norma ISO/DIS 19258, applicandola a partire dal campionamento fino alla elaborazione statistica dei dati e alla individuazione del 95° percentile come valore rappresentativo del fondo naturale (pedogeochemical background value).

La designazione dello stato del suolo in riferimento al contenuto in cobalto, cromo, nichel, zinco, rame, piombo e vanadio è avvenuta attraverso le seguenti fasi:

- accorpamento dei suoli in Unità Genetico-Funzionali (UGF);
- campionamento;
- analisi di laboratorio;
- analisi statistica dei dati;
- elaborazioni cartografiche.

Dati di base sono stati la Carta dei Suoli 1:50.000 (Regione Emilia-Romagna, aggiornamento 2021), la Carta dei Bacini Idrografici, modificata (Regione Emilia-Romagna, 2009), la Carta Geologica della Pianura Padana in scala 1: 250.000 e la Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna (parte collinare) in scala 1: 10.000. A tali dati sono state affiancate la Carta dell’Uso del Suolo (Regione Emilia-Romagna, 1976-2011) e le foto aeree (coperture dal 1954 al 2014), al fine di riferire l’ubicazione dei siti di campionamento alle attività produttive anche passate.

2.1 Criteri di individuazione delle Unità Genetico-Funzionali (UGF)

I suoli sono stati aggregati in Unità Genetico-Funzionali (UGF) sulla base dei seguenti caratteri diagnostici o discriminanti (Tabella 1):

- tessitura
- grado di alterazione
- provenienza del materiale parentale

Nella caratterizzazione delle UGF un ulteriore elemento classificativo è l’ambiente deposizionale. Il criterio su cui si basano gli accorpamenti di suoli nell’ambito della “Carta del Fondo Naturale” è che ognuna delle 13 UGF definite sull’intero territorio di pianura di Regione Emilia-Romagna presenta caratteristiche peculiari che derivano dall’incrocio dei fattori sopra citati (Tabella 1).

Per quanto riguarda i caratteri pedologici, i suoli sono stati raggruppati in tre categorie principali: suoli a tessitura fine (gruppo A), da moderatamente fine a moderatamente grossolana (gruppo B) e grossolana (gruppo C). Rispetto al grado evolutivo sono stati distinti e raggruppati in una unità separata (UGF A1) i suoli ad elevato grado di alterazione (es. Luvisols), a prescindere dalla tessitura, che è da media a fine.

Come ampiamente documentato in letteratura, uno dei principali fattori che influenza la distribuzione naturale dei metalli nei suoli è la composizione delle rocce affioranti nelle aree fonte dei sedimenti in cui si formano i suoli. Nel caso specifico della pianura emiliano-romagnola, che costituisce un classico esempio di sistema multi-sorgente alimentato a sud dai corsi d’acqua appenninici e lungo l’asse W-E dal Fiume Po (che a sua volta raccoglie il contributo sedimentario da ovest e da nord di gran parte dell’arco alpino), le differenze litologiche delle unità affioranti nei singoli bacini di drenaggio si riflettono sensibilmente sulla composizione geochemica dei materiali trasportati a valle dai corsi d’acqua.

Di particolare interesse ai fini della “Carta del Fondo Naturale” è la presenza, nel bacino di drenaggio del Po e di alcuni fiumi e torrenti emiliani, di complessi ultramafici (ofioliti) che forniscono un abbondante contributo di cromo e nichel contenuti in minerali di vario tipo, quali spinelli, cloriti e serpentino. Le rocce ofiolitiche, incorporate nell’edificio appenninico, sono intimamente legate ad un’unità strutturale estremamente complessa ed eterogenea (le “Liguridi”), affiorante in modo più o meno continuo lungo il tratto emiliano della catena, ad ovest della Linea del Sillaro. Ad est di questa linea tettonica, nell’Appennino romagnolo, le rocce affioranti sono invece principalmente riconducibili al complesso torbiditico miocenico della “Formazione Marnoso-arenacea” e i bacini di drenaggio dei fiumi e torrenti appenninici sono quasi del tutto privi di componente ofiolitica. Uno studio di dettaglio sulle unità ofiolitiche e ofiolitifere affioranti nell’Appennino emiliano-romagnolo a partire dalla

cartografia geologica a scala 1:10.000 è stato condotto dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli (De Nardo e Segadelli, 2015).

E' da tenere presente, tuttavia, che la distinzione in termini litologici tra i settori emiliano e romagnolo della catena appenninica non può essere rigidamente applicata all'intero territorio regionale: alcuni corsi d'acqua dell'Appennino emiliano, ad esempio, non presentano rocce ultramafiche nel bacino di drenaggio e, al contrario, unità liguri sono localmente affioranti in Romagna, come nel caso della "Sinclinale di S. Piero e S. Sofia" e della "Coltre della Val Marecchia" ma non sono stati trovati riscontri nei contenuti dei suoli a valle di questi affioramenti con la densità di campionamento applicata.

Infine, dal punto di vista sedimentologico i depositi della pianura emiliano-romagnola sono riconducibili a quattro sistemi deposizionali (corrispondenti ai complessi ambientali di pianura alluvionale, conoide alluvionale, piana costiera e delta in Tabella 1); questi, a loro volta, contengono al loro interno una serie di associazioni di facies, che definiscono altrettanti ambienti deposizionali.

Nella designazione delle UGF, così come schematizzate in Figura 1 e descritte in Tabella 1), alla lettera A corrispondono quattro gruppi di suoli a tessitura generalmente fine, riferibili a sedimenti di piana inondabile o ad aree inter-distributrici di piana deltizia superiore. Alla UGF A1 corrispondono a gruppi di suoli ad elevato grado di alterazione, situati al margine appenninico e di complessa interpretazione paleo ambientale; in questi suoli il grado evolutivo è così spinto da avere attenuato il segnale della provenienza.

Le sei UGF indicate dalla lettera B presentano suoli a tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana, con grado di alterazione da debole a moderato, formati in sedimenti alluvionali di canale, argine e rotta fluviale, in contesto sia di pianura che di conoide alluvionale (Tabella 1).

Le UGF a provenienza appenninica sono distinte sulla base dell'assenza o scarsità (UGF B1, A2), da moderata ad elevata presenza (UGF A3, B2, B3) o elevata presenza (B5) di rocce ofiolitiche nel relativo bacino di drenaggio; le UGF A4, B4, B6 si riferiscono invece a sedimenti apportati direttamente dal Fiume Po. In generale, numeri crescenti all'interno dei gruppi di UGF A e B indicano un contributo crescente di sedimento proveniente da erosione di rocce ultramafiche.

Le due UGF contraddistinte dalla lettera C si riferiscono a gruppi di suoli a tessitura grossolana, a debole grado di alterazione che, dal punto di vista sedimentologico, sono interpretabili come suoli in depositi di cordone litorale (Tabella 1), riferibili ad ambienti di piana costiera (C1) o deltizio (C2). I due sottogruppi C1 e C2 indicano rispettivamente alimentazione da aree fonte prive di materiale ofiolitico (fiumi romagnoli) e da canali distributori del Fiume Po.

L'UGF D1, infine, comprende suoli caratterizzati da una elevata componente organica e con un pH talora molto basso. Si tratta, in questo caso, di suoli a tessitura fine o moderatamente fine sviluppatasi al margine di ambienti di palude salmastra, laguna e baia interdistributrice (piana deltizia dell'antico corso del Po).

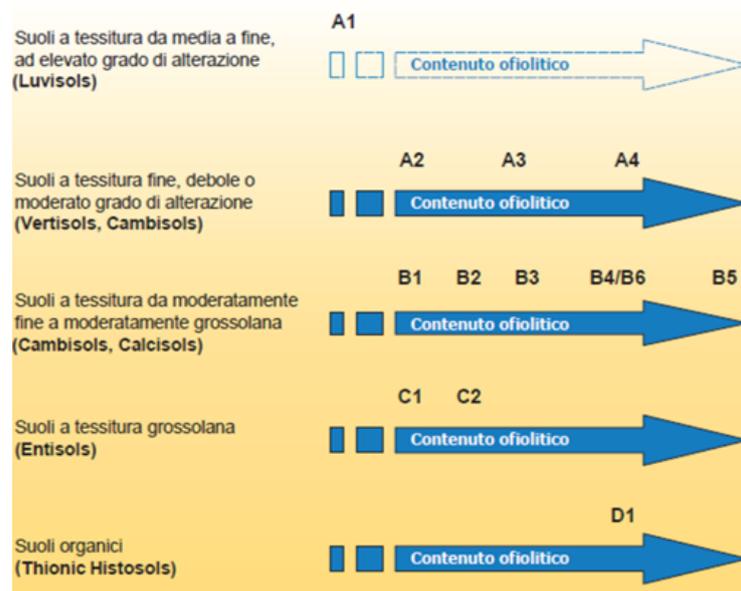


Figura 1: Schema riassuntivo dei criteri di attribuzione Lettera/numero alle UGF.



Unità	Caratteri diagnostici o discriminanti		Caratteri ambientali
Sigla	Suoli	Provenienza dei sedimenti	Complesso ambientale Ambiente deposizionale
A1	Suoli a tessitura da media a fine, ad elevato grado di alterazione <i>Stagnic Luvisols, Vertic Cambisols</i>	Mista (d bacini appenninici con componente ofiolitica da assente ad elevata)	Conoide alluvionale, interconoide e terrazzo fluviale. Depositi indifferenziati
A2	Suoli a tessitura fine, a debole o moderato grado di alterazione <i>Vertic Cambisols, Hyposalic Vertisol, Calcic Vertisols</i>	Bacini appenninici con componente ofiolitica da assente a scarsa	Pianura alluvionale Depositi di piana inondabile
A3	Suoli a tessitura fine, a debole o moderato grado di alterazione <i>Vertic Cambisols, Calcic Vertisols, Eutric Vertisols</i>	Bacini appenninici con componente ofiolitica da moderata ad elevata e fiume Po	Pianura alluvionale Depositi di piana inondabile
A4	Suoli a tessitura fine, a debole o moderato grado di alterazione <i>Vertic Cambisols, Calcic Vertisols, Hyposalic Vertisols</i>	Fiume Po	Delta (piana deltizia) Depositi di area interdistributrice
B1	Suoli a tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana, localmente con scheletro, a debole o moderato grado di alterazione <i>Calcaric Cambisols, Haplic Calcisols</i>	Bacini appenninici con componente ofiolitica da assente a scarsa	Pianura e conoide alluvionale. Depositi di canale, argine e rotta fluviale
B2	Suoli a tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana, localmente con scheletro, a debole o moderato grado di alterazione <i>Calcaric Cambisols, Haplic Calcisols</i>	Bacini appenninici con componente ofiolitica moderata: F.Enza, T.Baganza, T.Tresinaro, T.Crostolo	Pianura e conoide alluvionale. Depositi di canale, argine e rotta fluviale
B3	Suoli a tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana, localmente con scheletro, a debole o moderato grado di alterazione <i>Calcaric Cambisols, Haplic Calcisols</i>	Bacini appenninici con componente ofiolitica da moderata ad elevata: fiumi Arda e Taro	Pianura e conoide alluvionale. Depositi di canale, argine e rotta fluviale
B4	Suoli a tessitura da media a moderatamente grossolana, a debole o moderato grado di alterazione <i>Calcaric Cambisols, Haplic Calcisols</i>	Fiume Po	Pianura e conoide alluvionale. Depositi di canale, argine e rotta fluviale
B5	Suoli a tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana, con frequente scheletro, a debole o moderato grado di alterazione <i>Calcaric Cambisols, Haplic Calcisols</i>	Bacini appenninici ad elevata componente ofiolitica, fiumi Trebbia e Nure	Pianura e conoide alluvionale. Depositi di canale, argine e rotta fluviale
B6	Suoli a tessitura da media a moderatamente grossolana, a debole o moderato grado di alterazione <i>Haplic Cambisols, Haplic Calcisols</i>	Fiume Po	Delta (piana deltizia) Depositi di canale distributore, argine e rotta fluviale
C1	Suoli a tessitura grossolana, a debole grado di alterazione <i>Endogleyic Arenosols, Haplic Arenosols, Hypogleyic Cambisols</i>	Bacini appenninici con componente ofiolitica da assente a scarsa	Piana costiera Depositi di cordone litorale
C2	Suoli a tessitura grossolana, a debole grado di alterazione <i>Endogleyic Arenosols, Haplic Arenosols, Epigleyic Arenosols</i>	Fiume Po	Delta (fronte deltizio) Depositi di cordone litorale
D1	Suoli a materiale organico umificato <i>Thionic Histosols, Thionic Fluvisols</i>	Fiume Po	Delta (piana deltizia) Depositi di palude e baia interdistributrice

Tabella 1. Descrizione delle Unità Genetico Funzionali (UGF) che compongono la "Carta del Fondo Naturale".



2.2 Campionamento

Il campionamento per la determinazione del valore di fondo naturale ha previsto il prelievo di campioni di suolo a profondità di 90-140 cm (60-80 cm nei suoli con scheletro) mediante trivella a mano "Eijkelkamp" (mod. 01.11.SO, *hand auger set for heterogeneous soils*), dotata di un *set* di accessori da utilizzarsi in funzione dei diversi tipi di suolo attraversati. I siti di campionamento sono stati individuati in modo da ottenere una distribuzione omogenea che tenesse in considerazione le caratteristiche pedologiche del territorio, al fine di caratterizzare al meglio i suoli, i bacini idrografici e le loro caratteristiche geologiche (campionamento tipologico). Per ogni sito di campionamento è stata compilata la scheda di rilevamento per le osservazioni pedologiche prevista dal Manuale di Rilevamento della Regione Emilia-Romagna. In essa sono riportati: descrizione del sito di campionamento (ubicazione, quota, pendenza del terreno e uso del suolo, unità stratigrafica di riferimento della Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna in scala 1:10.000); descrizione della trivellata (granulometria, colore, reazione all'HCl, pH nei suoli ad elevato contenuto organico e presenza di resti vegetali, legni, fossili, noduli carbonatici ecc.) al fine di ricollegare le osservazioni alle tipologie di suolo presenti nella Banca Dati dei suoli della Regione Emilia-Romagna.

Inoltre, per ogni sito campionato è stato prelevato anche un campione di *topsoil* a 20-30 cm di profondità, allo scopo di individuare l'eventuale presenza di arricchimenti superficiali attraverso il confronto con il tenore di fondo definito *in situ*.

2.3 Determinazioni in laboratorio (Analisi XRF)

Tra i metodi analitici per la determinazione dei metalli nel suolo e/o nei sedimenti è stata utilizzata la Spettrometria per Fluorescenza di Raggi X (XRF), in quanto determina l'abbondanza assoluta del metallo indipendentemente dalla fase mineralogica a cui è legato, al contrario di quanto accade per la maggior parte dei metodi ad estrazione; mediante il metodo XRF è possibile eseguire analisi quali-quantitative di una vasta gamma di elementi. L'analisi è rapida, non distruttiva e i campioni, sotto forma di solidi, polveri o liquidi, possono essere recuperati al termine dell'analisi. I metalli di interesse per questo studio sono Co, Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, V, ma gli elementi analizzati sono stati in tutto 26: SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅, LOI, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, La, Ce, Pb.

I campioni di suolo sono stati analizzati presso i laboratori del Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali dell'Università di Bologna. Il calcolo delle concentrazioni degli elementi maggiori è stato effettuato secondo il metodo di Franzini et al. (1975); per gli elementi in traccia sono stati utilizzati i coefficienti di Franzini et al. (1972), Leoni & Saitta (1976) e Leoni et al. (1982). La precisione e l'accuratezza delle misure sono state assicurate attraverso la ripetizione delle analisi di campioni interni e utilizzando come standard di riferimento certificati i campioni BR, BCR-1, W1, TB, NIM-P, DR-N, KH e AGV-1 (Govindaraju, 1989). I risultati mostrano valori generali al meglio del 5% (< 3% per Cr, < 3% per Ni, < 5% per Cu, < 1% per Zn, < 9% per Pb e < 2% per V). I limiti di rilevabilità strumentali sono: 0,01% in peso per gli elementi espressi come ossidi e 3 ppm per i rimanenti elementi della lista. Nel caso della carta del Cobalto sono stati anche utilizzati dati analizzati presso i laboratori del Dipartimento di Scienze della terra dell'Università degli Studi di Ferrara.

Il metodo XRF viene riconosciuto dalla ISO/DIS 19258 come utilizzabile per la determinazione della concentrazione totale, assieme al metodo di estrazione con acido fluoridrico. Il D.lgs. 152/06 lo ammette per i metalli il cui valore limite è 10 volte superiore al limite di rilevabilità.

2.4 Elaborazione statistica dei dati

Le analisi statistiche sono state eseguite allo scopo di esaminare l'andamento della distribuzione dei dati geochimici, oltretutto di individuare la presenza di *outlier* (elementi estranei alla distribuzione) all'interno di ogni UGF. L'insieme di questi passaggi è necessario per giungere alla definizione, per ogni metallo e per ogni UGF, dei valori di fondo naturale o pedogeochimico (Fig. 1). Il calcolo dei parametri è stato eseguito avvalendosi del

software ProUCL 5.1 (EPA, 2013) per quanto riguarda i metalli analizzati nelle precedenti versioni, mentre per l'analisi dei dati di Cobalto si è utilizzato il Software di statistica R version 4.4.1. Tutte le UGF definite sono rappresentate da un numero di dati analitici superiore a 10 essendo questo valore ritenuto sufficiente per un'adeguata elaborazione statistica.

Inoltre, solo per la carta del Cobalto, si è riusciti ad avere a disposizione un numero di campioni maggiore in quanto è stato possibile collezionare campioni provenienti da altri progetti, portando così il numero complessivo di dati disponibili per la pianura a **948**, rispetto ai **776** utilizzati in precedenza per gli altri 6 metalli (Tabella 2).

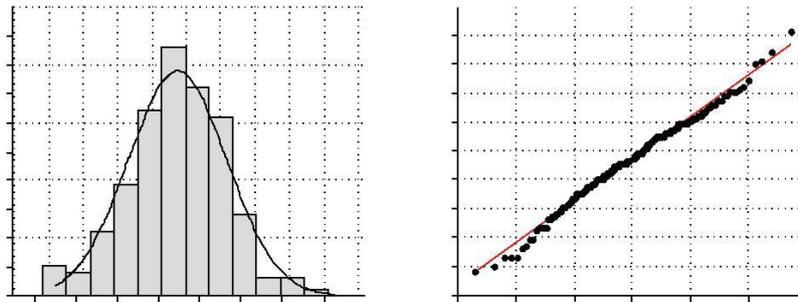


Figura 2. Esempio di istogramma di frequenza e curva di distribuzione cumulativa di Zinco relativa ad una distribuzione normale per la UGF B1.

Di seguito viene mostrato il riepilogo dei risultati ottenuti (Tabella 2) riferito alle 13 UGF di riferimento (Tabella 1). La prima riga indica il numero di campioni appartenenti ad ogni UGF, mentre le altre righe segnalano la quantità di **outlier** relativi ad ogni metallo individuati per quella specifica UGF. Sono individuate da un asterisco le UGF che non seguono una distribuzione parametrica; gli outlier sono stati ovviamente esclusi dalle elaborazioni statistiche successive e dal calcolo dei valori del fondo naturale di ogni metallo corrispondente al 95° della popolazione (Tabella 3). In linea con quanto indicato dalla ISO 19258 e dal protocollo APAT-ISS (2006), per l'individuazione del valore di fondo naturale per ogni UGF è stato calcolato il 90° percentile; in questo lavoro, però, in accordo con quanto proposto da ARPAV (2011), viene considerato come valore rappresentativo del valore di fondo naturale il 95° percentile.

UGF	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C1	C2	D1	TOTALI
<i>N campioni</i>	77	148	25	21	227	28	41	42	23	41	19	63	21	776
Cromo	4	2	0	0	1	2	1	3	0	0	1	5	2	21
Nichel	6	5	1	2	18*	0	0	3	0	0	0	2	2	21
Zinco	0	6	1	2	3	0	1	2	0	0	0	5	1	21
Rame	3	5	1	0	6	2	5*	1	1	3	1	4	3	30
Piombo	5	1	2	3	22*	0	6	1	2	0	4	2	1	27
Vanadio	1	2	0	0	0*	0	1	4	0	1	1	5	1	16
<i>N campioni</i>	74	162	21	33	268	22	51	46	22	95	18	77	59	948
Cobalto	5	4	1	2	10	5	3	6	0*	1	1	2*	0	40

*dati non riconducibili ad una distribuzione parametrica

Tabella 2. Tabella di riepilogo degli outlier individuati nelle UGF



CARTA DEL FONDO NATURALE DEI METALLI PESANTI DELLA PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA
TERZA EDIZIONE

Cr	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C1	C2	D1
N	73	146	25	21	226	26	40	39	23	41	18	58	19
Min	113	99	152	173	61	79	140	137	196	156	50	87	130
Max	189	169	272	273	159	219	263	250	646	256	82	183	273
Sum	10870	19729	5115	4854	25157	3838	7443	7822	8352	8179	1101	7693	3769
Mean	149	135	205	231	111	148	186	201	363	199	61	133	198
Std.error	1.85	1.26	6.92	5.54	1.29	6.39	4.84	4.25	26.97	3.4	2.22	2.51	7.84
Variance	250.1	231.6	1198.6	644.6	377.5	1063.1	935.2	705.6	16732.8	473.8	89.1	366.8	1168.1
Stand.dev	15.82	15.22	34.62	25.39	19.43	32.61	30.58	26.56	129.36	21.77	9.44	19.15	34.18
Median	148	137	197	237	112	147	179	202	345	203	60	132	199
25 percentil	139	126	180	212	98	134	163	185	250	183	55	122	173
75 percentil	158	147	226	250	124	165	204	221	452	213	67	144	214
Skewness	0.18	-0.37	0.56	-0.43	0.02	-0.24	0.7	-0.37	0.46	0.17	0.84	0.28	0.22
Kurtosis	0.23	-0.33	-0.67	-0.08	-0.11	0.42	-0.14	-0.07	-0.52	0.06	0.12	0.59	0.66
Geom. mean	148.07	134.24	201.89	229.76	109.56	143.79	183.74	198.76	341.22	198.33	60.52	131.28	195.54
Coeff.var.	10.62	11.26	16.92	10.98	17.45	22.09	16.43	13.24	35.62	10.91	15.43	14.44	17.23

Ni	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C1	C2	D1
N	71	143	24	19	213	28	41	39	23	41	19	61	19
Min	38	58	108	131	36	58	100	98	145	95	22	52	100
Max	111	110	194	187	107	139	167	179	387	191	41	115	152
Sum	5435	11977	3433	3064	14964	2639	5096	5525	5196	5667	628	4621	2368
Mean	77	84	143	161	70	94	124	142	226	138	33	76	125
Std.error	1.84	0.85	4.6	3.62	0.99	4.08	2.38	3.03	13.89	3.53	1.23	2.01	3.18
Variance	241.48	103.31	523.61	249.2	207.05	465.75	232.01	359.02	4439.81	509.58	28.83	246.52	192.13
Stand.dev	15.54	8.5	22.8	15.79	14.39	21.58	15.23	18.95	66.63	22.57	5.37	15.7	13.86
Median	76	83	135	164	69	94	124	144	207	142	34	75	125
25 percentil	68	77	129	150	61	87	112	127	171	120	29	64	115
75 percentil	88	89	160	170	78	107	135	153	268	156	38	84	132
Skewness	0.15	0.22	0.53	-0.36	0.32	0.01	0.58	-0.14	1.02	0	-0.42	0.63	0.22
Kurtosis	-0.02	0.06	-0.49	-0.23	0.17	-0.31	0.05	-0.33	0.39	-0.59	-0.57	0.2	-0.12
Geom. mean	74.94	83.14	137.58	160.51	68.77	91.74	123.41	140.39	217.53	136.38	32.61	74.21	123.9
Coeff.var.	20.3	12.1	18.92	9.79	20.48	22.9	12.25	13.37	29.49	16.33	16.24	20.7	11.12

Zn	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C1	C2	D1
N	77	142	24	19	224	28	40	40	23	41	19	58	20
Min	52	69	64	112	38	52	60	39	74	63	30	34	62
Max	111	126	128	167	110	104	102	132	108	166	46	59	156
Sum	6222	13945	2348	2652	17137	2162	3130	3552	2094	4213	711	2610	2298
Mean	81	98	98	140	77	77	78	89	91	103	37	45	115
Std.error	1.42	0.92	3.36	3.46	0.87	2.67	1.6	3.33	2.05	3.57	1.08	0.8	5.44
Variance	155.47	119.5	270.75	228.04	146.91	199.88	101.99	444.52	96.41	523.34	22.15	36.7	592.41
Stand.dev	12.47	10.97	16.45	15.1	13.15	14.14	10.1	21.08	9.82	22.88	4.71	6.06	24.34
Median	80	99	100	138	78	79	75	86	92	104	38	45	122
25 percentil	72	92	88	134	70	67	72	74	82	84	34	41	101
75 percentil	89	106	108	146	86	87	84	102	101	119	40	49	130
Skewness	0.19	-0.22	-0.22	0.07	-0.48	-0.05	0.77	-0.01	0.08	0.29	0.03	0.32	-0.77
Kurtosis	-0.27	-0.04	-0.14	-0.12	0.34	-0.73	0.14	-0.16	-1.04	0.34	-0.74	-0.25	0.54
Geom. mean	79.85	97.58	96.43	138.63	77.26	75.92	77.64	86.16	90.54	100.23	37.14	44.6	112.02
Coeff.var.	15.43	11.2	16.82	10.82	17	18.31	12.91	23.74	10.78	22.26	12.58	13.46	21.18

Cu	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C1	C2	D1
N	74	143	24	21	221	26	36	41	22	38	18	57	18
Min	13	24	26	32	12	28	30	13	27	21	9	3	20
Max	47	55	54	61	59	46	49	52	44	54	25	21	58
Sum	1943	5617	964	991	7716	915	1437	1415	816	1419	281	560	648
Mean	26	39	40	47	35	35	40	35	37	37	16	10	36
Std.error	0.86	0.48	1.64	1.44	0.59	0.86	0.79	1.49	1.05	1.23	0.99	0.58	2.1
Variance	55.1	33.27	64.67	43.26	76.78	19.44	22.65	90.51	24.47	57.64	17.55	19.47	79.41
Stand.dev	7.42	5.77	8.04	6.58	8.76	4.41	4.76	9.51	4.95	7.59	4.19	4.41	8.91
Median	25	39	39	47	35	36	41	33	38	38	15	9	38
25 percentil	21	35	35	43	29	32	37	29	34	34	12	7	31
75 percentil	30	44	45	51	41	38	42	42	41	42	19	12	42
Skewness	0.7	0.15	0.06	-0.02	0.06	0.43	-0.58	-0.14	-0.5	-0.08	0.48	1.02	0.47
Kurtosis	0.48	-0.45	-0.66	0.59	0.2	0.12	0.25	-0.67	-0.67	0.06	-0.14	0.77	0.94
Geom. mean	25.26	38.86	39.37	46.74	33.72	34.93	39.62	33.09	36.76	36.54	15.09	8.95	34.95
Coeff.var.	28.27	14.69	20.02	13.94	25.1	12.53	11.92	27.57	13.34	20.33	26.83	44.9	24.8



Pb	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C1	C2	D1
N	72	147	23	18	213	28	35	41	21	41	15	61	20
Min	11	8	13	14	9	10	13	9	10	7	12	5	6
Max	31	28	28	24	27	30	21	35	33	22	21	24	24
Sum	1497	2494	491	334	3691	531	634	813	420	574	250	766	327
Mean	21	17	21	19	17	19	17	20	20	14	17	13	16
Std.error	0.59	0.34	0.84	0.62	0.27	1.08	0.36	1.03	1.08	0.58	0.56	0.54	0.99
Variance	24.68	17.08	16.48	6.27	15.57	32.26	4.87	43.42	24.58	13.72	4.66	18.2	19.21
Stand.dev	5	4.12	4.01	2.96	3.95	5.74	2.08	6.58	4.9	3.74	2.16	4.22	4.44
Median	21	17	22	19	17	19	17	18	19	14	17	12	16
25 percentil	17	14	20	17	15	16	16	15	18	12	16	9	14
75 percentil	24	20	23	20	19	23	18	23	23	16	17	15	19
Skewness	-0.32	0.17	-0.38	0.07	0.51	0.37	-0.31	0.74	0.45	0.47	-0.04	0.61	-0.41
Kurtosis	-0.54	-0.4	0.06	-0.35	-0.08	-0.57	-0.21	-0.11	1.37	-0.25	1.34	0.5	0.34
Geom. mean	24.68	16.4	20.87	18.95	16.89	18.05	16.61	18.72	19.41	13.45	16.55	11.84	15.61
Coeff.var.	24.07	24.29	18.9	14.23	22.77	30.26	15.82	33.18	24.7	26.73	12.96	33.61	27.2

V	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C1	C2	D1
N	76	146	25	21	227	28	40	38	23	40	18	58	20
Min	87	76	74	117	30	53	55	64	85	70	24	34	80
Max	146	159	165	170	132	135	104	120	138	144	48	72	176
Sum	8979	17442	3087	3005	19044	2418	3217	3603	2472	4156	610	3043	2609
Mean	118	120	124	143	85	86	81	95	108	104	34	53	131
Std.error	1.63	1.37	4.92	3.2	1.2	3.87	1.71	2.59	3.24	2.53	1.52	0.94	5.12
Variance	202.7	269.93	604.18	215.15	328.32	419.19	116.31	269.13	241.71	256.87	41.4	51.2	523.84
Stand.dev	14.24	16.87	24.58	14.67	18.12	20.47	10.78	13.11	15.55	16.03	6.43	7.16	22.89
Median	118	119	119	139	85	82	80	96	107	102	33	52	134
25 percentil	109	109	111	135	76	71	74	88	94	95	30	48	114
75 percentil	130	132	143	153	98	103	89	101	118	116	38	57	142
Skewness	-0.12	0.11	-0.27	0.41	-0.31	0.32	-0.11	-0.17	0.36	0.14	0.83	0.37	-0.04
Kurtosis	-0.67	-0.02	-0.47	-0.36	0.45	-0.37	0.42	0.29	-0.59	0.06	0.64	0.6	0.44
Geom. mean	117.38	119.58	120.99	142.34	82.57	83.98	79.77	90.84	106.51	102.73	33.34	52.02	128.56
Coeff.var.	12.04	14.1	19.9	10.25	19.5	23.72	13.4	13.8	14.45	15.42	19	13.63	17.53

Co	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C1	C2	D1
N	69	158	20	31	258	17	48	40	22	94	17	75	59
Min	9.8	10.8	13.8	6	6.7	11.5	11.8	10	16.7	6.4	0.2	3.1	5.2
Max	28.1	25	25.6	30.6	22.4	17.2	20.5	26	34.8	31.2	8	20.4	25.9
Sum	1316	2763	419	662	3648	230	793	717	515	1602	81	688	1004
Mean	19	17.49	20.96	21.37	14.14	13.56	16.53	17.93	23.42	17	4.77	9.17	17
Std.error	0.45	0.23	0.75	1.04	0.19	0.37	0.29	0.53	1.04	0.53	0.49	0.43	0.61
Variance	13.75	8.21	11.27	33.54	9.6	2.38	4.09	11.11	23.84	26.7	4.08	13.85	21.81
Stand.dev	3.71	2.87	3.36	5.79	3.1	1.54	2.02	3.33	4.88	5.17	2.02	3.72	4.67
Median	19.1	17.5	20.95	23	14	13	16.7	17.3	20.9	17	4.9	8.3	17.7
25 percentil	16.7	15.62	19.12	17	12.2	12.7	15.35	16.15	19.9	14	3.5	6.25	14
75 percentil	21.6	19.38	24	25.1	16.2	14.2	17.8	19.5	27.35	20.9	6.3	11.15	20.1
Skewness	-0.15	0.04	-0.47	-0.65	0.05	0.79	-0.38	0.24	0.66	0.2	-0.43	0.93	-0.31
Kurtosis	-0.01	-0.38	-0.58	-0.13	-0.1	-0.09	-0.3	0.52	-0.67	-0.14	-0.25	0.31	-0.4
Geom. mean	18.69	17.25	20.68	20.39	13.78	13.48	16.4	17.62	22.97	16.22	3.96	8.5	16.28
Coeff.var.	19.44	16.39	16.02	27.1	21.91	11.37	12.23	18.59	20.85	30.31	42.35	40.57	27.44

Tabella 3. Statistica descrittiva relativa alle UGF analizzate escludendo gli outlier identificati.

2.5 Analisi delle variabili geochemiche

L'analisi delle variabili geochemiche finalizzata alla migliore definizione delle UGF già individuate è stata condotta utilizzando anche il metodo della cluster analysis, operata sui dati analizzati tramite XRF. L'analisi comprende una serie di elementi maggiori e in traccia (SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, LOI, V, Co, Cr, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Zr e Pb) che possono fornire utili indicazioni sulla composizione delle unità di suolo analizzate. Con questa tecnica è possibile raggruppare casi o variabili in base a misure di similarità. In questo studio, ai dati chimici relativi ai campioni rappresentativi del contenuto pedogeochimico (prelevati a 90-140 cm di profondità) è stata applicata la R-mode cluster analysis, con l'obiettivo di identificare gruppi di elementi positivamente correlati ed evidenziare possibili relazioni genetiche sulla base delle UGF così individuate (Figura 3). L'esame del dendrogramma mostra la presenza di quattro raggruppamenti principali. Il gruppo 1 mostra un'associazione di elementi tipica della frazione grossolana (sabbiosa) del suolo (SiO₂, Na₂O, Zr) cui si associa con basso indice di correlazione un elemento di interesse ambientale, quale Pb. Al gruppo 2, invece, appartengono gli elementi indicativi della frazione più fine del sedimento (K₂O, Rb, Fe₂O₃, Al₂O₃, TiO₂), cui si associano altri elementi di interesse ambientale (Zn, V, Co e Cu). Il gruppo 3 è rappresentativo delle associazioni mineralogiche riferibili a rocce ultrafemiche (ofioliti). La presenza di Cr e Ni all'interno di questo

gruppo, peculiare dei suoli formati su materiali provenienti dalle Liguridi, giustifica l'impalcatura della legenda per questi due metalli, basata sulla presenza di rocce ofiolitiche nei bacini di drenaggio (De Nardo & Segadelli, 2015). Il gruppo 4, infine, è rappresentato da un'associazione tipica della frazione carbonatica del sedimento (CaO, Sr, LOI).

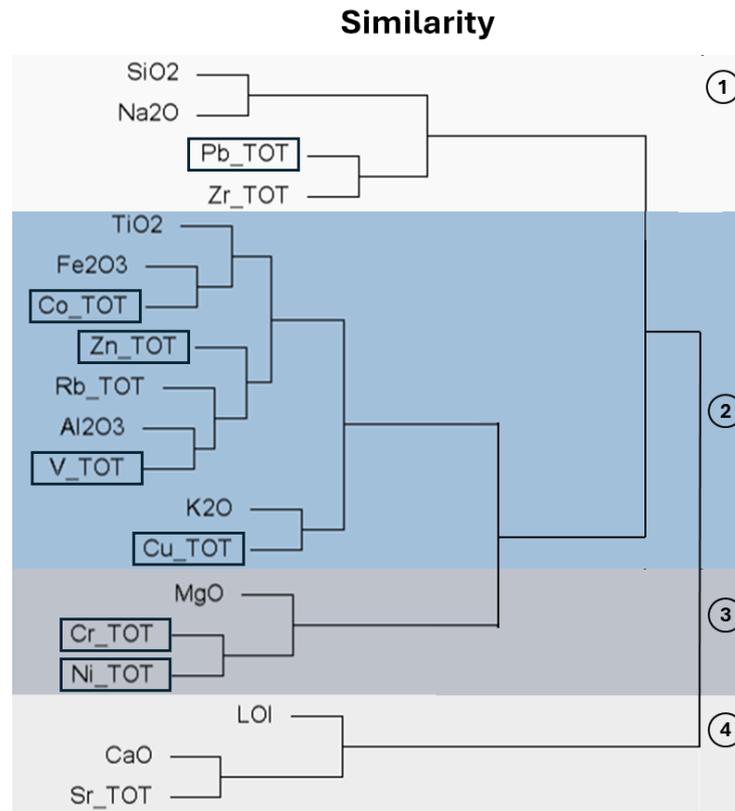


Figura 3. Dendrogramma relativo alle variabili dei campioni prelevati a 90-140 cm

2.6 Elaborazioni cartografiche - Carta del Fondo Naturale

Una volta definito il valore di fondo naturale per ogni Unità Genetico Funzionale attraverso i passaggi descritti nei precedenti paragrafi, l'estensione geografica del dato avviene attribuendo ogni poligono della carta dei suoli alla scala 1: 50.000 ad una UGF sulla base dei suoli prevalenti e, successivamente ad una classe di concentrazione. Le elaborazioni cartografiche relative ai sei metalli si prefiggono, tra l'altro, di fornire all'utente della "Carta del Fondo Naturale" un confronto immediato della distribuzione spaziale della concentrazione naturale dei metalli nell'area in esame con i valori limite previsti dal D.lgs152/06 e s.m.

Lo schema di legenda è basato sul limite di legge (x) previsto per i siti **ad uso verde pubblico e privato e residenziale** come indicato dal D.lgs.152 (2006) ALLEGATO 5, Tabella1, colonna A (numero rosso, in figura 4). Ogni legenda è costituita da quattro classi di colore, due delle quali si collocano al di sotto del limite di legge e due delle quali si situano invece al di sopra di esso. Toni di colore più carichi indicano tenori in metallo progressivamente più elevati. La prima e la seconda classe di colore di ciascuna carta sono separate da un valore di concentrazione pari a $x/2$, mentre la terza e la quarta classe sono separate da un valore di concentrazione corrispondente a $3x/2$.

Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	V (mg/kg)	Co (mg/kg)
<=75	<=60	<=75	<= 60	<=50	<=45	<=10
76-150	61-120	76-150	61-120	51-100	46-90	11-20
151-225	121-180	151-225	121-180	101-150	91-135	21-30
>225	>180	>225	> 180	>150	>135	>30

Figura 4. Schema di legenda per la "Carta del Fondo Naturale" (vedi testo). In rosso sono indicati, come riferimento, i limiti di legge per ogni metallo



3 CONTENUTO DI METALLI NEI SUOLI DELLA PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA

Il tenore di fondo naturale dei metalli nei suoli della pianura emiliano-romagnola è influenzato principalmente da tre fattori, rappresentati dalla “Carta del Fondo Naturale”: 1) la provenienza del parent material, 2) la tessitura, 3) il grado evolutivo. Il ruolo specifico di questi fattori nel determinare la composizione geochemica del sedimento, già messo in rilievo fin dagli anni '80 (Bini et al. 1986; Amorosi et al., 2002; Bianchini et al., 2002) è stato ampiamente documentato in area padana da studi recenti di caratterizzazione geochemica dei suoli (Amorosi & Sammartino, 2007; Sammartino et al., 2007; Amorosi, 2012, Amorosi et al 2014).

I paragrafi che seguono illustrano la distribuzione dei sette metalli nei suoli della pianura emiliano-romagnola e i principali fattori di controllo (laddove identificabili) che condizionano la distribuzione spaziale di ogni singolo metallo nei suoli dell'area in esame con l'ausilio di diagrammi binari e attraverso la rappresentazione delle 13 Unità Genetico Funzionali tramite box-plot.

3.1 Cromo [Cr] e Nichel [Ni]

L'elaborazione dei dati geochemici e la rappresentazione di essi attraverso diagrammi binari, box-plot e carte (da Figura 5 a Figura 9) confermano che il contenuto naturale di Cromo e Nichel nei suoli della pianura emiliano-romagnola è strettamente legato alla composizione del parent material (rif 2.1) e, in misura subordinata, alla tessitura e al grado evolutivo del suolo. La concentrazione in assoluto più bassa di questi due metalli è riscontrata all'interno delle UGF A2, B1 e C1 che riflettono la provenienza del sedimento dall'Appennino emiliano-romagnolo, laddove le unità geologiche affioranti nei bacini di drenaggio sono in genere prive o scarse di complessi ultramafici (Figura 6 e Figura 8). All'interno di questo dominio di provenienza si osserva un arricchimento relativo in Cr e Ni nei suoli a tessitura fine, di piana inondabile (A2), mentre i valori relativamente più bassi sono registrati nei suoli grossolani, tipici dell'ambiente di cordone litorale (C1). Suoli con caratteristiche tessiturali intermedie (B1) presentano un contenuto intermedio in questi metalli. L'UGF A1, costituita da suoli a maggiore grado evolutivo, presenta un contenuto in Cr e in Ni superiore rispetto alle suddette unità ma inferiori rispetto alle UGF influenzate dalla provenienza ofiolitica questo perché l'elevato grado evolutivo porta ad una perdita del segnale della provenienza e rimane solo la porzione di metallo legata ai minerali residuali.

Uno spostamento generalizzato verso tenori naturali elevati in Cr e Ni è messo in evidenza dalle UGF che registrano una significativa presenza di formazioni ofiolitiche nel bacino di drenaggio (C2, B3-B6, D1, A4, in Figura 6 e Figura 8). Anche in questo caso, suoli che riflettono tessiture più fini (depositi di area interdistributrice e di palude), come A4 e D1, presentano un tenore in metallo relativamente più elevato di quanto non avvenga per suoli a tessitura grossolana (depositi di cordone litorale – C2). La UGF B5, affiorante in prossimità del margine appenninico piacentino registra un forte arricchimento relativo in Cr e in Ni (da Figura 6 a Figura 7 e Figura 9) registrando valori di fondo di questi due metalli che superano anche di quattro volte i limiti di legge.

La distribuzione dei dati lungo una linea retta nel diagramma Cr-Ni (Figura 6) testimonia l'associazione di questi due metalli all'interno di fasi mineralogiche presenti nella frazione ultrafemica del sedimento. Per quanto concerne gli arricchimenti entro la frazione argillosa, l'elevato tenore in Cr appare riconducibile ad alte concentrazioni di una varietà di clorite cromifera (kämmererite) molto abbondante nelle rocce peridotitiche dei complessi ofiolitici delle Alpi Piemontesi (Bianchini et al., 2002). Analoga provenienza è ipotizzabile per Ni, che assieme a Cr si concentra all'interno del serpentino (Amorosi et al., 2002). Nella frazione grossolana è invece ipotizzabile il contributo di minerali quali spinelli (cromite) all'interno di frammenti di serpentinite. È questo il caso, ad esempio, degli elevatissimi valori di Cr e Ni riscontrati all'interno dell'UGF B5 (da Figura 6 e Figura 8), dove la descrizione delle trivellate ha messo in luce la presenza diffusa di ciottoli di serpentinite estremamente alterati.

La rappresentazione dei dati mediante box-plot (Figura 6 e Figura 8) mette in evidenza, per ogni UGF, la variazione del contenuto naturale in Cr e Ni in funzione della composizione del parent material, della tessitura e del grado di evoluzione del suolo. Dall'incrocio dei limiti di legge (vedi anche legende di Figura 4) con il valore del 95° percentile calcolato su ogni UGF, deriva l'attribuzione di ogni singola UGF ad una specifica classe di colore. Da questo confronto appare evidente la differenza tra gli attuali limiti di legge rispetto alle peculiari caratteristiche di distribuzione spaziale di Cr e Ni nella pianura emiliana. I gruppi di suoli costituiti, almeno in



parte, da materiali derivanti dallo smantellamento di complessi ofiolitici presentano valori di fondo naturale di Cr e Ni e superiori ai limiti di legge per i suoli ad uso residenziale e ricreativo (150 mg/kg per Cromo e 120 mg/kg per Nichel; D.lgs.152, 2006), con tenori fino a 577 mg/kg per Cr e fino a 360 mg/kg per Ni. Le concentrazioni più elevate si registrano in corrispondenza dei suoli impostati su depositi di conoide dei fiumi Trebbia e Nure, dove frammenti serpentinitici fortemente alterati fanno parte del parent material (B5).

Concentrazioni naturali di Cr superiori ai valori limite si registrano inoltre nei suoli evoluti situati al margine appenninico (A1) e lungo le aste fluviali che drenano bacini di drenaggio con componente ofiolitica moderata (De Nardo & Segadelli, 2015), quali Enza, Baganza, Crostolo e Tresinaro (B2). Al contrario, nei casi in cui il bacino di drenaggio sia privo o con scarsa componente ofiolitica (De Nardo & Segadelli, 2015) la concentrazione naturale di Cr e Ni si pone con valori al di sotto del limite di legge per le UGF relative a depositi grossolani (B1), con valori particolarmente bassi per quanto riguarda i suoli di cordone litorale alimentati dai fiumi appenninici (C1). Tenori di fondo in Cr e Ni molto vicini alle soglie previste dalla legge si riscontrano, tuttavia, anche in depositi di piana inondabile privi di alimentazione ofiolitica (A2), per effetto della concentrazione dei due metalli nella frazione granulometrica dell'argilla (Amorosi et al., 2014).

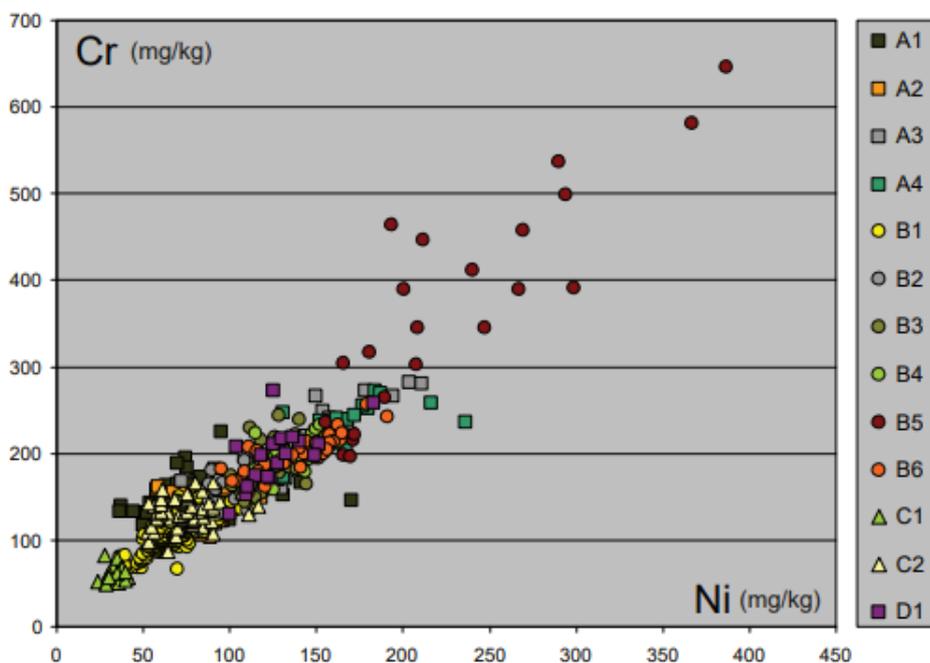


Figura 5. Diagramma binario Cr-Ni

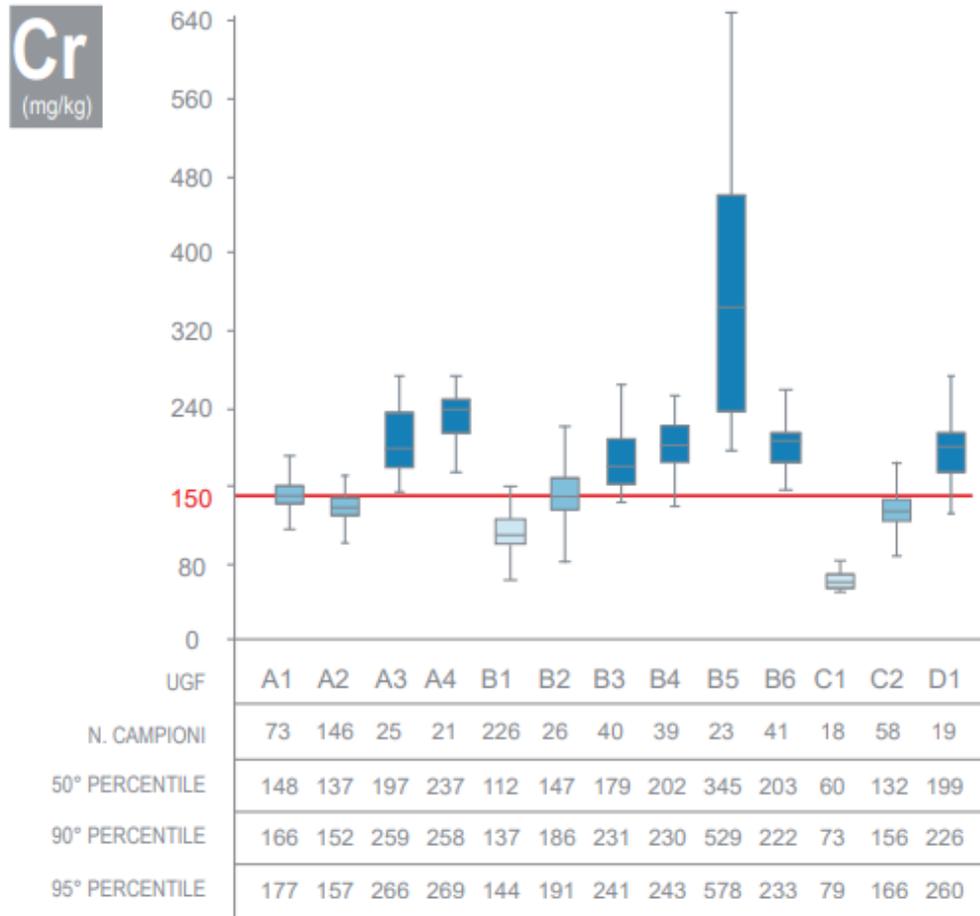


Figura 6. Distribuzione di Cr all'interno delle diverse UGF, con indicazione dei valori (in mg/kg) del 90°, 95° e 50° percentile

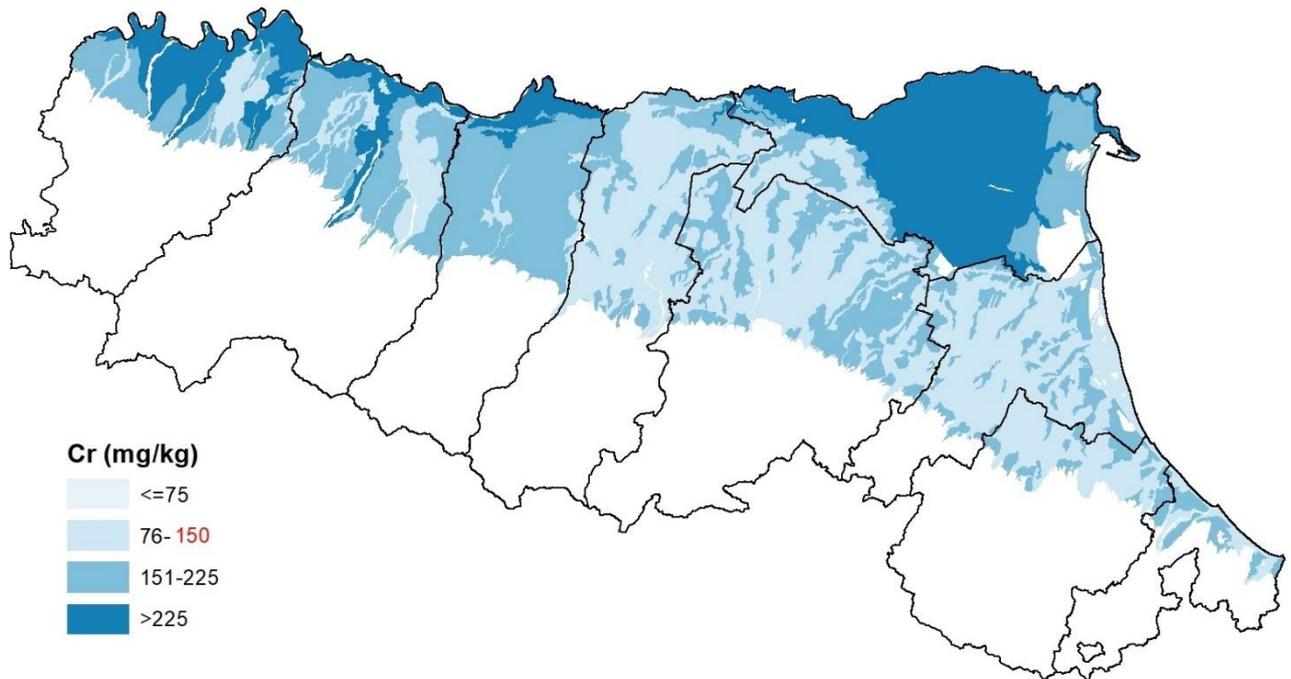


Figura 7. Carta del Fondo Naturale – cromo

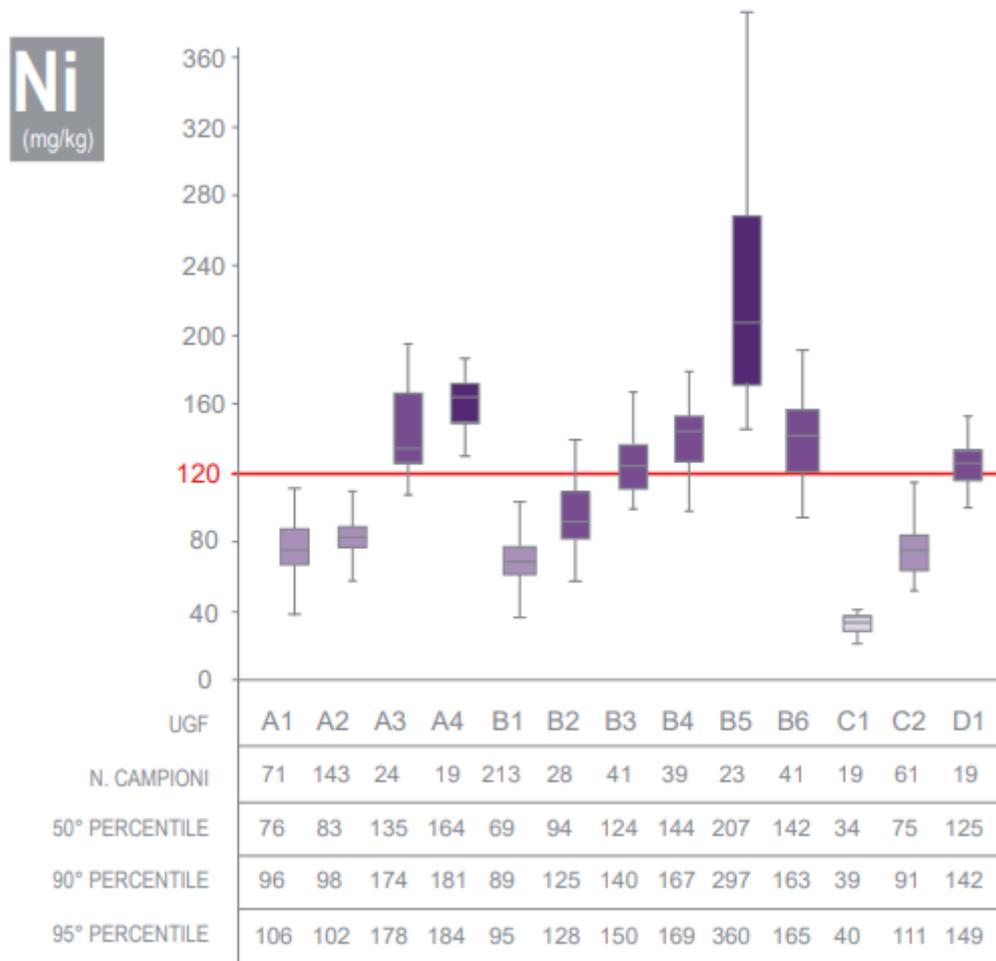


Figura 8. Distribuzione di Ni all'interno delle diverse UGF, con indicazione dei valori (in mg/kg) del 90°, 95° e 50° percentile

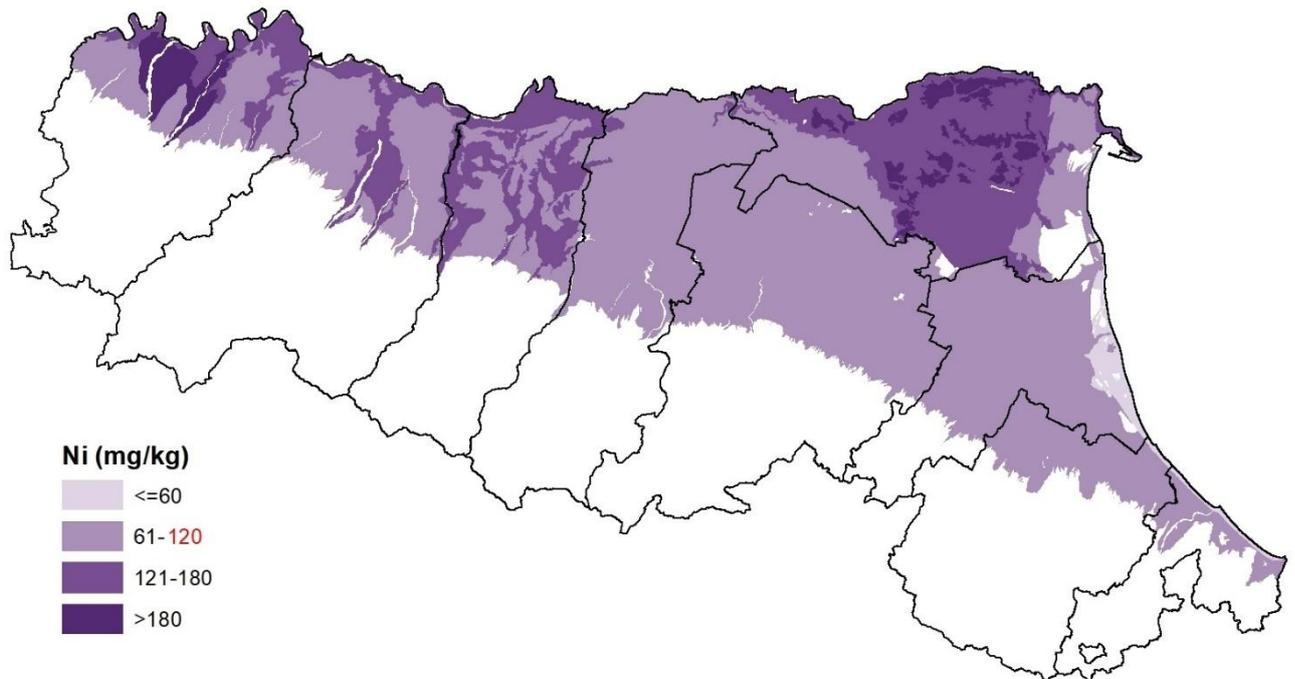


Figura 9. Carta del Fondo Naturale – nichel

3.2 Zinco [Zn]

Il contenuto pedogeochimico di Zn nei suoli della pianura emiliano-romagnola è principalmente legato alla tessitura dei suoli, e secondariamente alla provenienza del sedimento. Quasi tutte le UGF, ad eccezione di A1 (suoli del margine appenninico, ad elevato grado di evoluzione), si collocano su di un'unica retta nel diagramma Zn-V (Figura 10). La correlazione positiva di Zinco con Vanadio (V) (ma risultati analoghi si ottengono con l'allumina) all'interno dei suoli della pianura emiliano-romagnola indica la maggiore affinità di questo metallo per la frazione allumo-silicatica del sedimento e, di conseguenza, un suo accumulo preferenziale nelle tessiture fini. Questa interpretazione è avvalorata dalle concentrazioni relativamente più elevate di Zn e V all'interno dei suoli a tessitura fine tipici dell'ambiente di piana inondabile (A2, A3 e A4), contrapposte ai valori sistematicamente inferiori osservati all'interno dei suoli a tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana degli ambienti di canale, argine e rotta fluviale (B1-B6) e dei valori ancora più bassi registrati nei suoli a tessitura grossolana di cordone litorale (C1 e C2). Nei suoli ad elevato grado evolutivo (A1) si osserva nel diagramma binario di Figura 10 un progressivo impoverimento nel contenuto in Zinco rispetto alle altre UGF. Questo fatto è probabilmente imputabile ad una certa mobilità di questo metallo in risposta ai processi pedogenetici.

Dal confronto dei dati geochimici relativi alle differenti UGF, rappresentati mediante box-plot (Figura 11) con le soglie di attenzione (vedi anche legenda di

Figura 4) si osserva che il tenore naturale in Zn nell'area in esame si colloca sempre al di sotto del limite di legge di 150 mg/kg, ad eccezione dell'UGF A4 (suoli di area interdistributrice del delta padano), che presenta un valore del 95° percentile di 164 mg/kg e che assume un differente colore nella "Carta del Fondo Naturale" (Figura 12). In generale, emerge una tendenza naturale di Zn a concentrarsi maggiormente nei suoli caratteristici dell'ambiente deltizio: oltre all'elevata concentrazione riscontrata nell'UGF A4, il metallo occasionalmente supera i tenori massimi ammessi dalla legge anche all'interno delle UGF B6 e D1 (rispettivamente suoli di canale distributore e suoli organici di palude – in quest'ultimo caso il valore del 95° percentile è pari a 146 mg/kg). Il lieve arricchimento in Zn all'interno di sedimenti siltoso-argillosi trasportati dal Fiume Po è verosimilmente legato alla concentrazione di Zn-clorite, associata anch'essa alla frazione cloritica povera in magnesio che abbonda nel bacino di drenaggio, sempre all'interno delle peridotiti.

Per quanto riguarda le altre UGF, i valori del 95° percentile oscillano tra 114 e 124 mg/kg all'interno dei suoli a tessitura fine dell'ambiente di piana inondabile (A2, A3); valori generalmente più bassi si trovano nei suoli nei depositi di canale, argine e rotta fluviale (B1-B5), che presentano valori di 95° percentile compresi tra 97 e 123 mg/ kg. Abbondantemente al di sotto dei limiti di legge si collocano invece i suoli a tessitura grossolana dell'ambiente di cordone litorale, con valori del 95° percentile inferiori a 60 mg/kg (Figura 11).

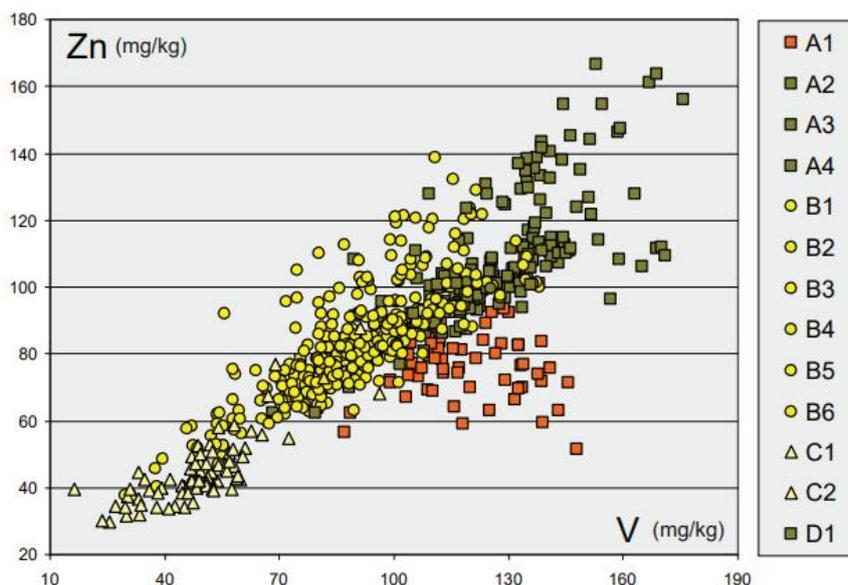


Figura 10. Diagramma binario Zn-V

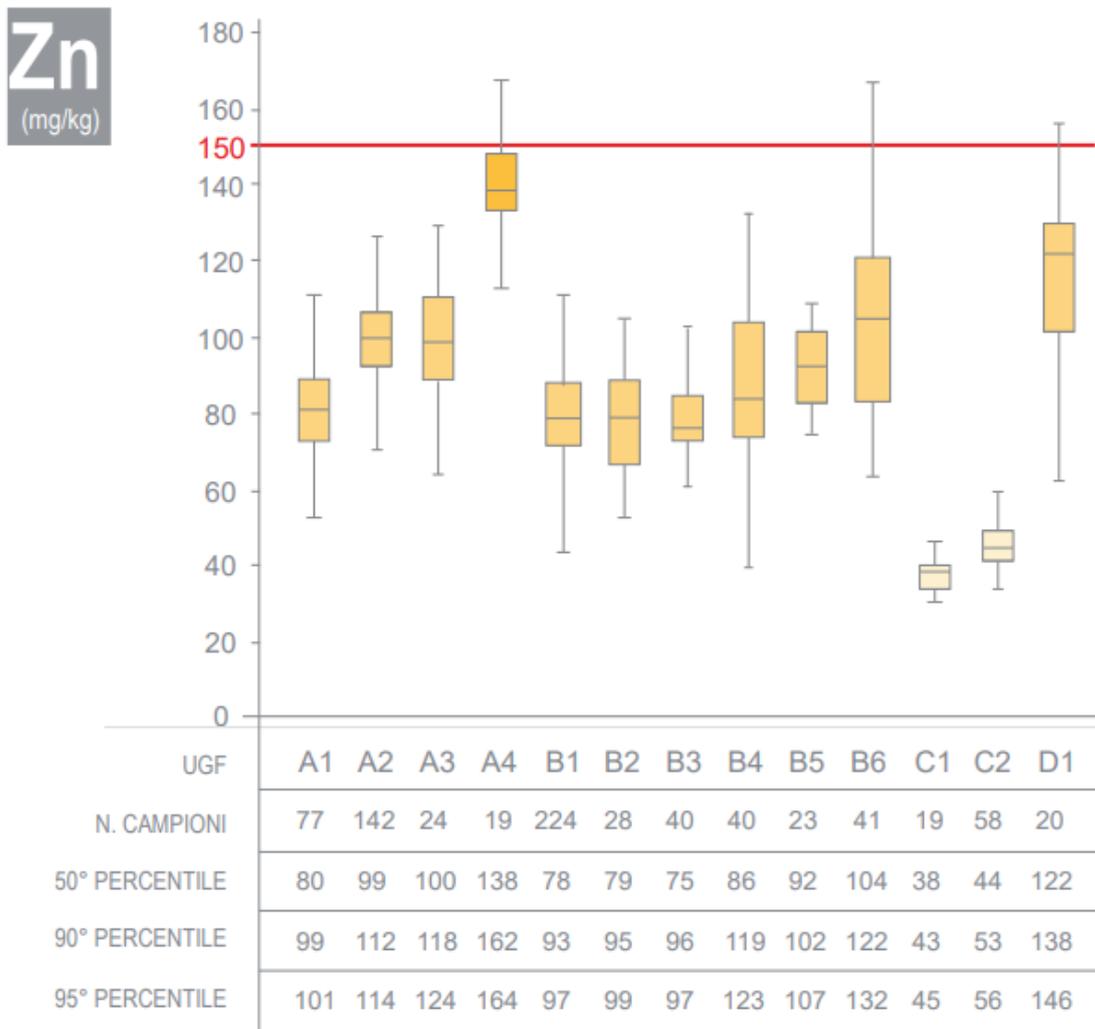


Figura 11. Distribuzione di Zn all'interno delle diverse UGF, con indicazione dei valori (in mg/kg) del 90°, 95° e 50° percentile

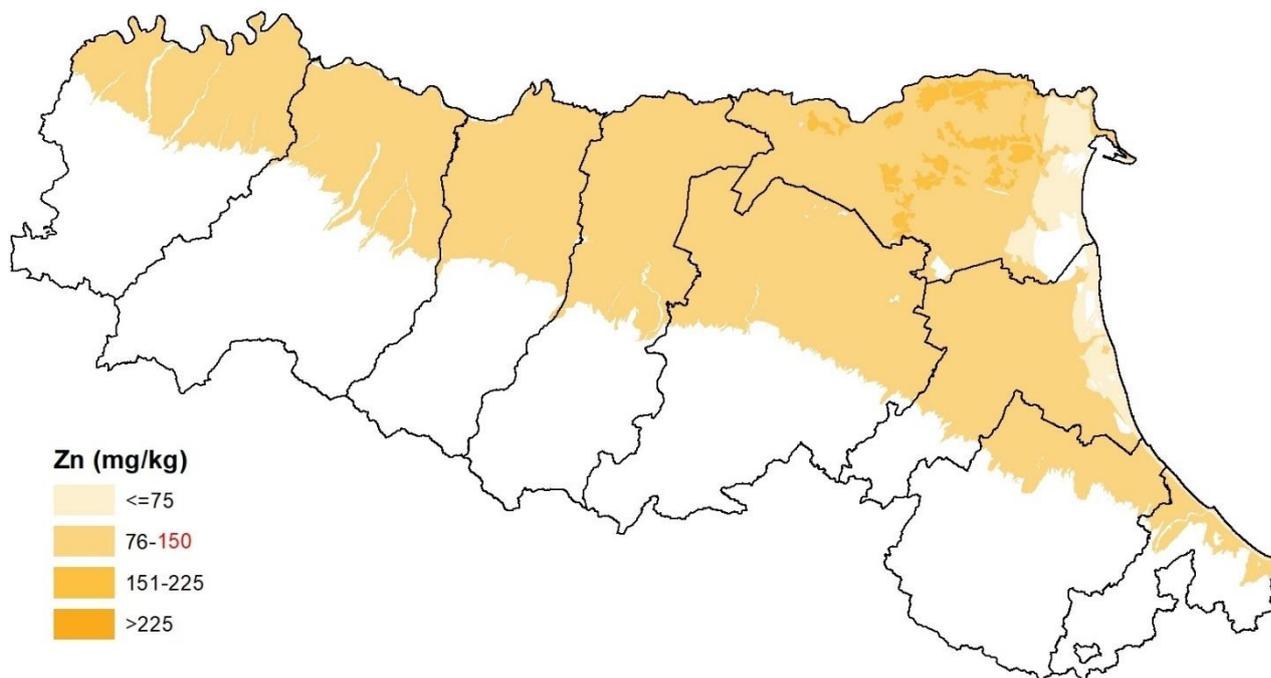


Figura 12. Carta del Fondo Naturale - zinco

3.3 Rame [Cu]

La distribuzione spaziale della concentrazione naturale di Cu presenta una variabilità in parte coerente con le differenti caratteristiche tessiturali del suolo (Figura 13). I suoli a tessitura fine dell'ambiente di piana inondabile e palude (UGF A2, A3, A4 e D1) appaiono anche in questo caso relativamente arricchiti in metallo rispetto ai suoli a tessitura più grossolana tipici dell'ambiente di canale, argine e rotta fluviale (B1-B6). Analogamente, i suoli a tessitura grossolana (C1-C2) presentano la minore concentrazione di Cu. Rispetto a Zn, si osserva tuttavia una minore correlazione con la tessitura, come evidenziato dall'elevato grado di dispersione dei dati sul diagramma binario (Figura 13).

Come già sottolineato per Zn, l'UGF A1, comprendente i suoli evoluti del margine appenninico, presenta una significativa deviazione rispetto alla tendenza generale, mostrando un forte impoverimento in Cu, cui si contrappone un arricchimento relativo in Ti (Figura 13). Questo comportamento è coerente con il grado evolutivo dei suoli. La diminuzione nei valori di Cu all'interno dei suoli è legata, così come per Ca, ai processi di alterazione ed eluviazione ed indica l'appartenenza di questo metallo a fasi minerali poco resistenti ai processi di pedogenesi. La rappresentazione grafica della distribuzione di Cu mediante box-plot (Figura 14) mostra la sottile differenza in termini di concentrazione di questo metallo all'interno dei suoli a debole o moderato grado di alterazione in ambiente di canale e piana inondabile, mettendo in evidenza, al contrario, un relativo impoverimento nei suoli più evoluti (A1) e valori molto bassi nei suoli a tessitura grossolana dei cordoni litorali (C1 e C2).

Nonostante la significativa differenza relativa tra il tenore in Cu rilevato nei suoli sabbiosi (valore del 95°: 20-22 mg/kg in Figura 14) e quello osservato nei suoli a tessitura da fine a moderatamente grossolana (40-58 mg/kg), tutte le UGF della pianura emiliano-romagnola sono raggruppate all'interno di un'unica classe di colore nella "Carta del Fondo Naturale" (Figura 15). Ciò è dovuto al fatto che le classi della legenda sono basate sul limite sul valore di 120 mg/kg appiattendole le differenze tra gruppi di suoli caratterizzati da concentrazioni assolute relativamente non molto elevate.

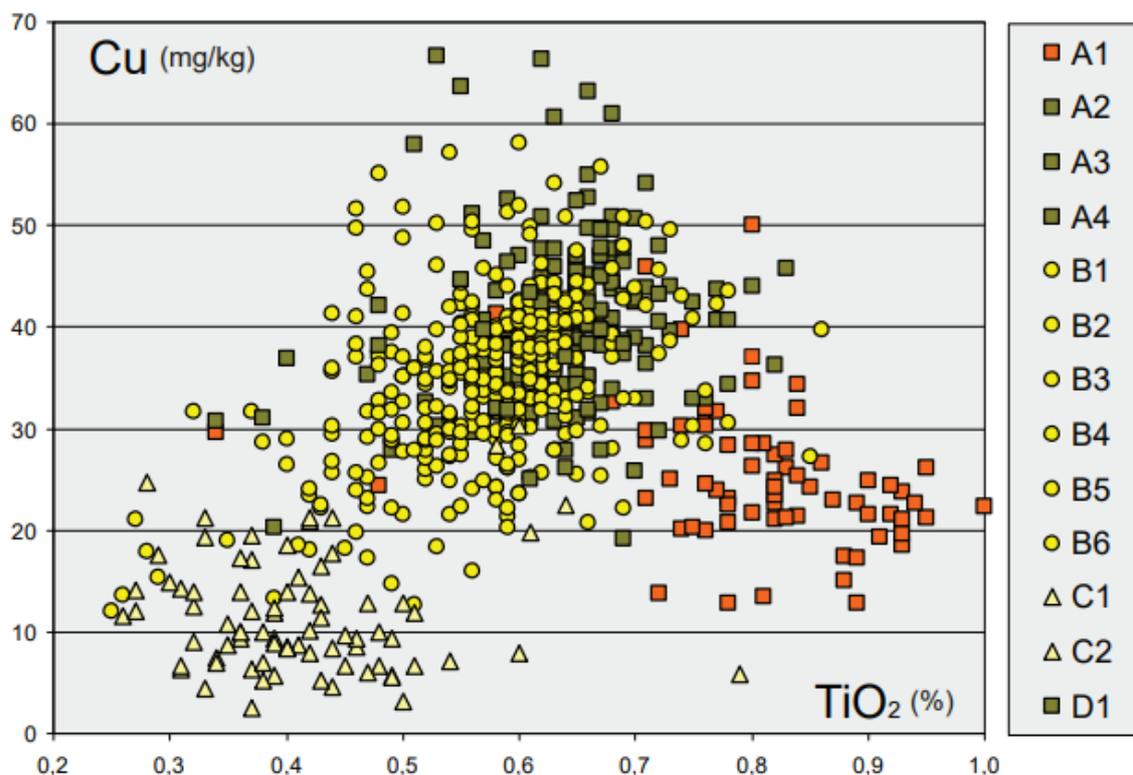


Figura 13.– Diagramma binario Cu-TiO₂



Figura 14. Distribuzione di Cu all'interno delle diverse UGF, con indicazione dei valori (in mg/kg) del 90°, 95° e 50° percentile

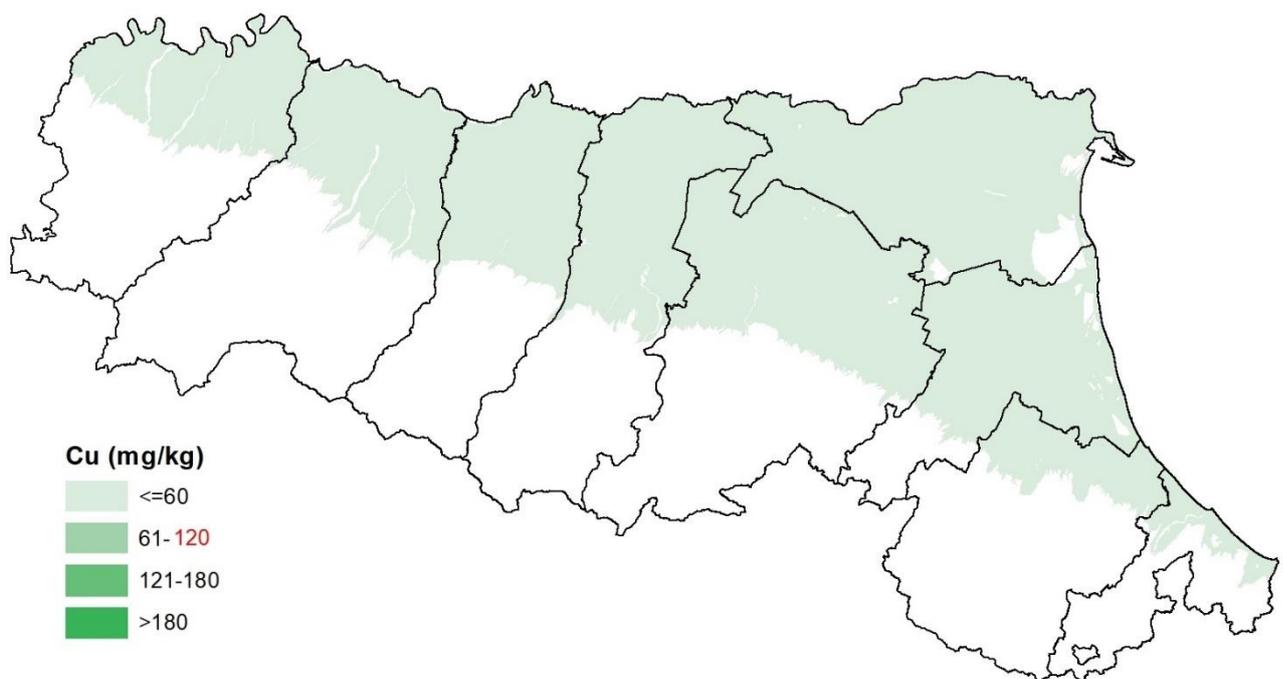


Figura 15. Carta del Fondo Naturale - rame



3.4 Piombo [Pb]

È difficile definire con precisione quali siano i fattori che maggiormente influenzano la distribuzione spaziale del contenuto naturale di Pb all'interno dei suoli della pianura emiliano-romagnola escludendo a priori quello della provenienza poiché in regione non vi sono bacini di drenaggio caratterizzati dalla presenza minerali ricchi in piombo. Ciò è dovuto sia alle scarse differenze nelle concentrazioni di questo metallo all'interno delle singole UGF che ai modesti tenori misurati, che in alcuni casi approssimano i limiti dell'errore di misura dello strumento.

Nel complesso, la distribuzione naturale di Pb non pare essere significativamente influenzata né dalla tessitura del suolo, né del suo grado evolutivo. Il diagramma binario di Figura 16, che mette in relazione Pb con l'allumina (Al_2O_3), ossido rappresentativo anche dei minerali argillosi che tendono a formarsi come minerale secondario in risposta ai processi di differenziazione dei suoli, non mette in evidenza significativi raggruppamenti per le UGF. La sostanziale omogeneità composizionale, in termini di contenuto naturale di Pb, tra tutte le UGF è confermata dalla rappresentazione grafica di Pb mediante box-plot (Figura 17), che mostra differenze minime, statisticamente non significative, tra i 13 raggruppamenti, con variazioni nei valori del 95° percentile contenuti in poche unità (tra 20 mg/kg, valore minimo e 33 mg/kg, valore massimo). Di conseguenza, la "Carta del Fondo Naturale" (Figura 18) presenta un unico colore.

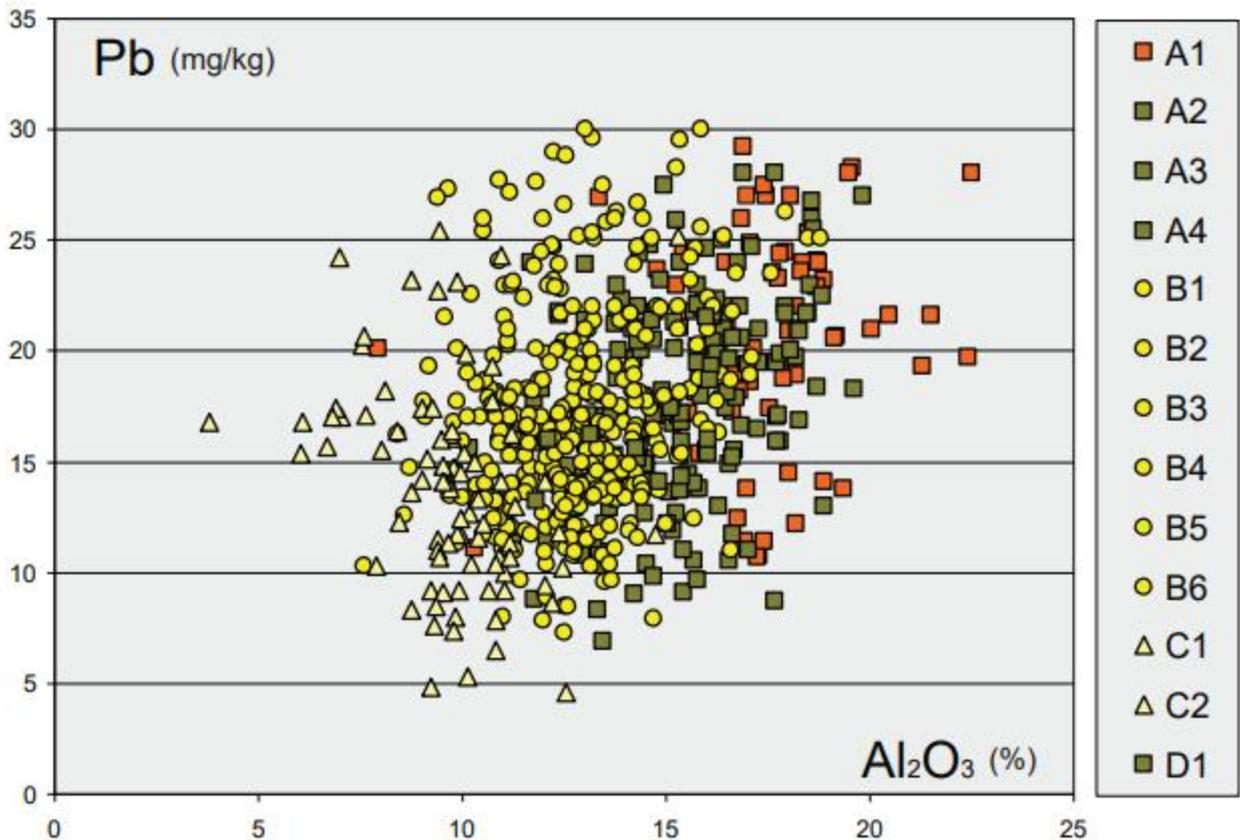


Figura 16. Diagramma binario Pb - Al_2O_3

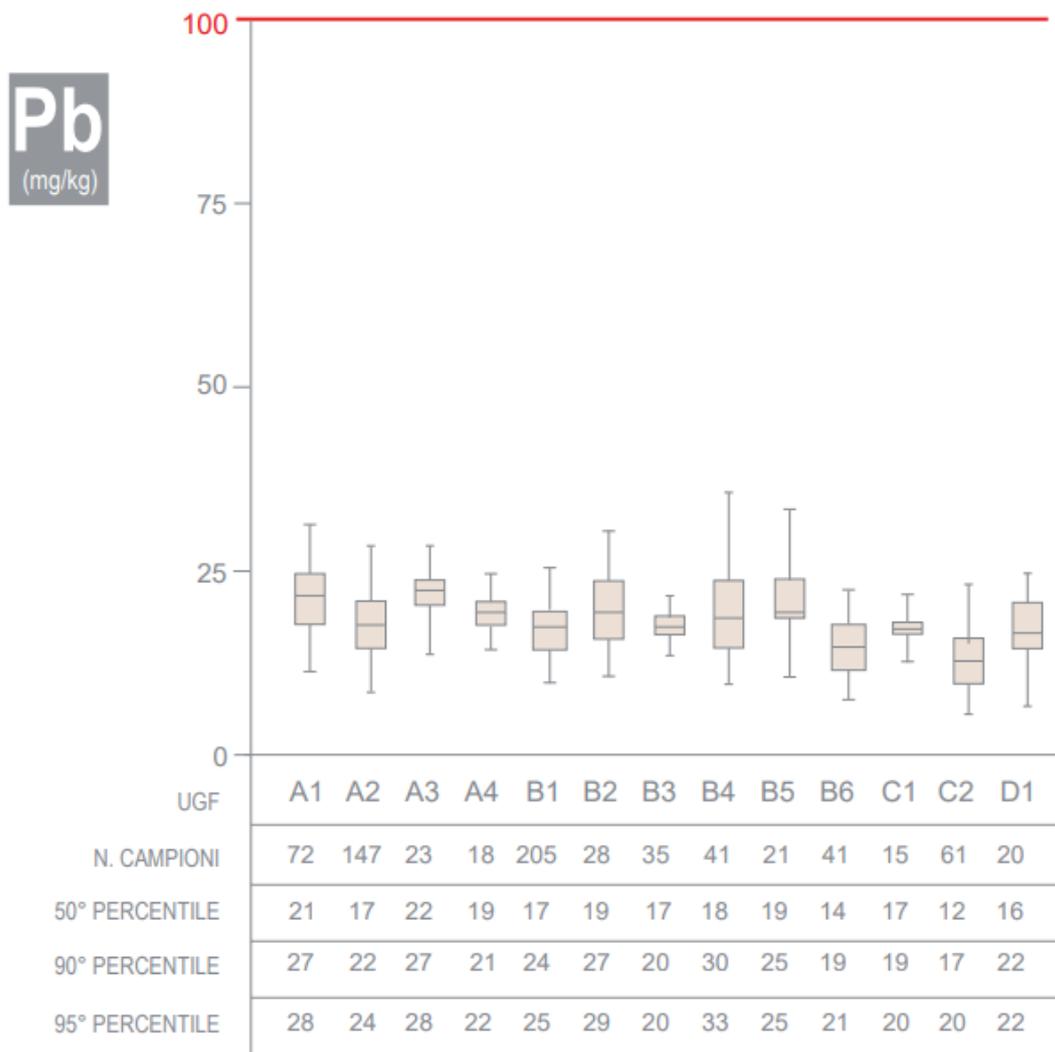


Figura 17. Distribuzione di Pb all'interno delle diverse UGF, con indicazione dei valori (in mg/kg) del 90°, 95° e 50° percentile

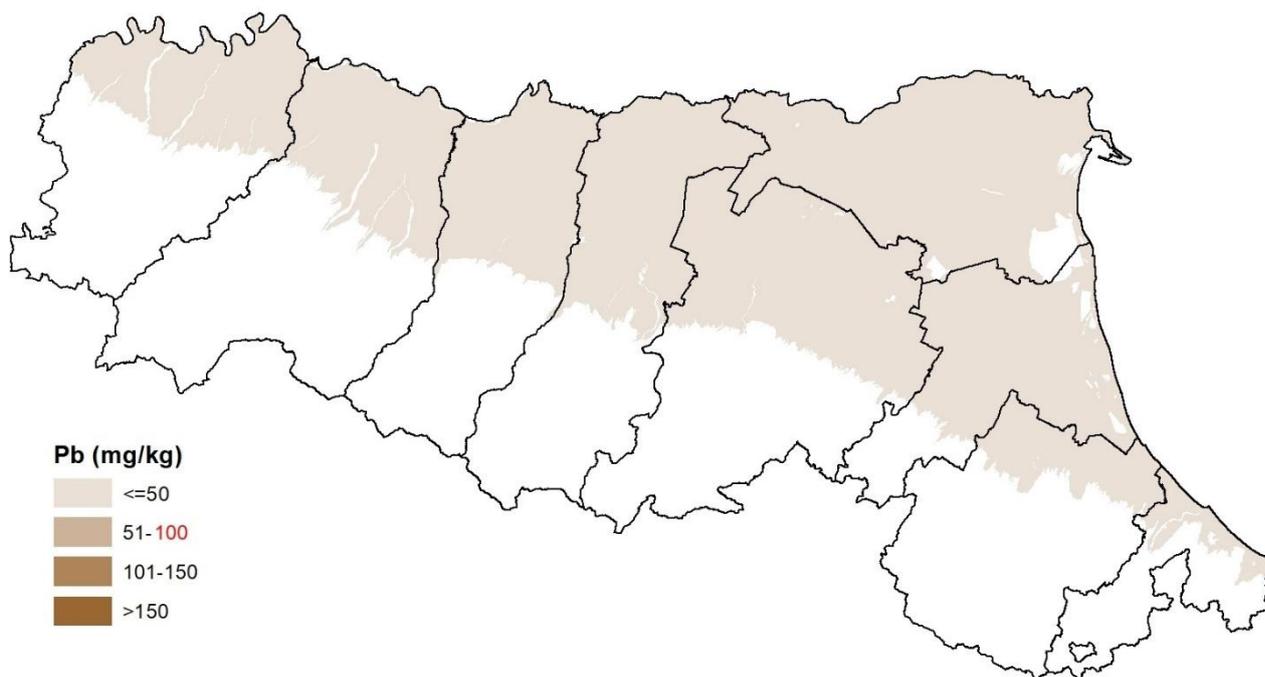


Figura 18. Carta del Fondo Naturale - piombo

3.5 Vanadio [V]

Per quanto riguarda il vanadio il fattore principale che influisce sul contenuto nei suoli è la tessitura, fattori secondari risultano essere il contenuto di sostanza organica e la provenienza (Cappuyens and Slabbinck, 2012). La cluster analysis (Figura 3) e il diagramma binario di Figura 19 mostrano una forte relazione fra vanadio ed elementi quali allumina, ferro e titanio, appartenenti alla frazione fine del sedimento.

Nella pianura emiliano-romagnola i valori del fondo naturale di V risultano superiori al limite di legge (90 mg/kg) per undici UGF su tredici (Figura 20), ossia per tutti i suoli ad eccezione di quelli impostati su sabbie di cordone litorale (UGF C1 e C2). I tenori massimi in V sono registrati nei suoli organici della UGF D1 (valore del 95° percentile pari a 171 mg/kg) a dimostrare l'importante legame con il contenuto di sostanza organica. Le UGF rappresentative dei suoli a tessitura fine (A1–A4), coerentemente con la tendenza di V a concentrarsi nella frazione argillosa, presentano tenori di V mediamente più elevati (139-169 mg/kg) dei valori (96-134 mg/kg) riscontrati nei suoli a tessitura grossolana (UGF del gruppo B). All'interno delle UGF in esame è inoltre riscontrabile pur con qualche eccezione (UGF A3 e B3) un controllo della provenienza del sedimento sul fondo naturale del metallo: tra i depositi fini (UGF A1–A4), i tenori massimi si registrano, infatti, all'interno dell'UGF A4, che riflette una provenienza del sedimento da unità geologiche di natura ofiolitica. Analogamente, anche per i suoli a tessitura relativamente grossolana (UGF B1–B6) valori relativamente più elevati in V sono associati ad una provenienza del sedimento da rocce ofiolitiche (B4, B5, B6). Coerentemente con questo quadro, anche all'interno delle UGF caratterizzate dalla tessitura più grossolana (C1 e C2) il fondo naturale di V è più elevato in suoli di provenienza padana/ofiolitica (65 mg/kg per C2 contro 47 mg/kg per C1).

La “Carta del Fondo Naturale” (Figura 21) riflette principalmente il fattore della tessitura del suolo sulla distribuzione di V, presentando nella classe di massima concentrazione (valori di 95° maggiori di 135 mg/kg) tutte le UGF riconducibili a sedimenti prevalentemente argillosi e con maggiore contenuto di sostanza organica (A1-A4 e D1) e nella classe sottostante (90-135 mg/kg) i suoli a tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana (UGF B1-B6).

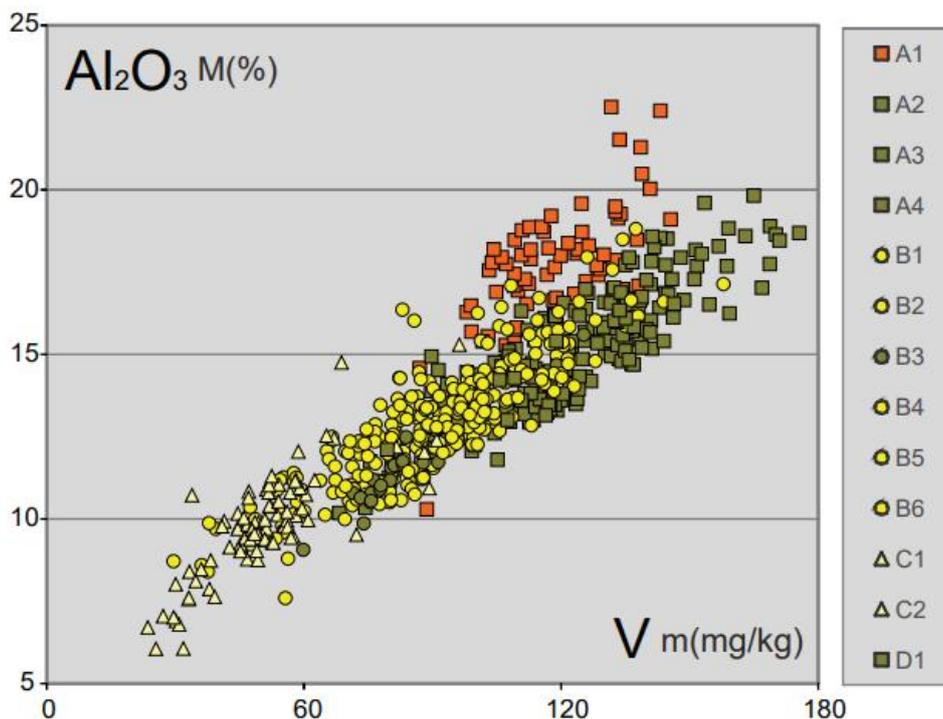


Figura 19. Diagramma binario V - Al₂O₃

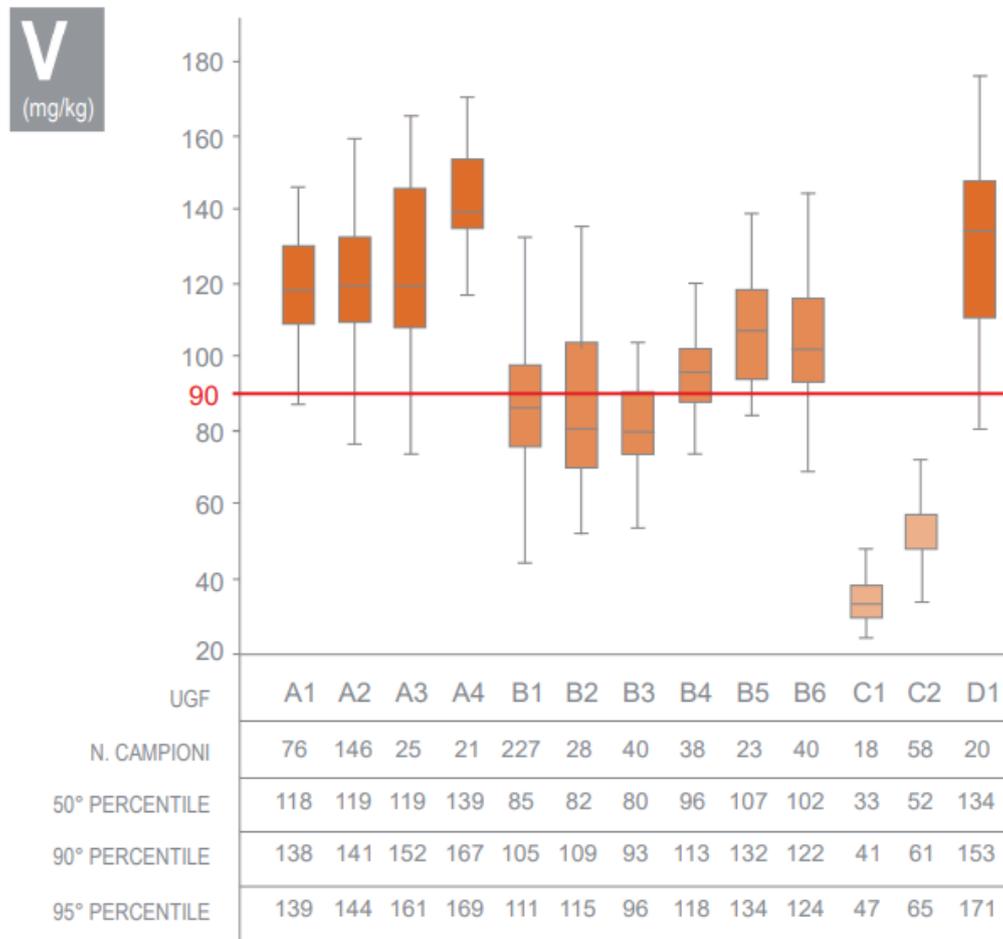


Figura 20. Distribuzione di V all'interno delle diverse UGF, con indicazione dei valori (in mg/kg) del 90°, 95° e 50° percentile

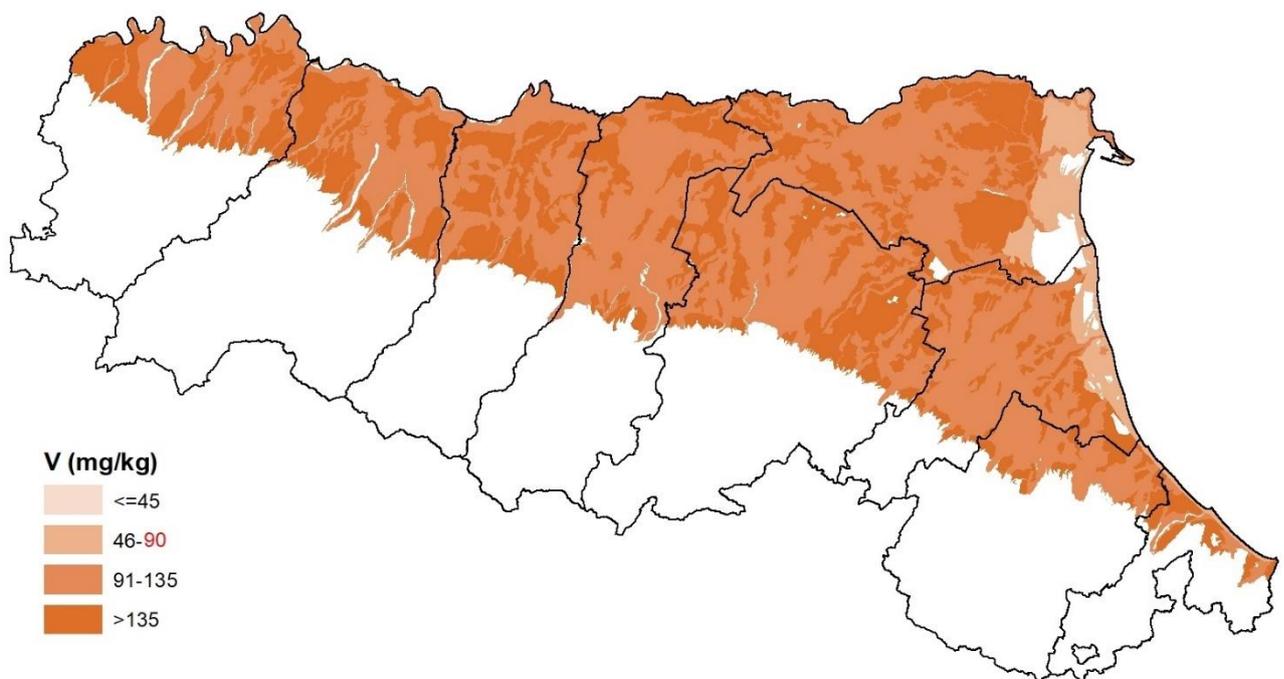


Figura 21. Carta del Fondo Naturale - vanadio



3.6 Cobalto [Co]

Il Cobalto è un metallo che risulta abbondante nei minerali ferro-magnesi come l'olivina, i pirosseni, gli anfibioli e la biotite, comuni nelle rocce magmatiche basiche e ultrabasiche. Di conseguenza nelle rocce magmatiche acide come le trachiti e i graniti è generalmente scarso, mentre nelle rocce sedimentarie il suo contenuto dipende dai materiali di origine. Nei suoli si concentra negli orizzonti ricchi in sostanza organica ed evidenzia una grande affinità con gli ossidi di Ferro e Manganese, ai quali si lega in forme praticamente insolubili (Alloway, 1995).

Per questo metallo la concentrazione soglia di contaminazione (CSC) prevista per i siti a uso residenziale, a verde pubblico o privato (colonna A) dal D.lgs. n. 152/2006 è di 20 mg/kg.

Per l'elaborazione statistica che segue nel caso della carta del cobalto sono stati utilizzati anche altri dati provenienti da bibliografia (Di Giuseppe D., 2010). Analizzando i dati relativi alla cluster analysis (Figura 3), oltre che i diagrammi binari di esempio delle figure 23 e 24 si evidenzia una forte relazione fra Cobalto ed elementi quali allumina (indice di correlazione di Pearson 0.74), ferro (indice di correlazione di Pearson 0.86) e titanio (indice di correlazione di Pearson 0.67), che ne indicano un forte legame alla frazione fine del sedimento; in aggiunta il Cobalto mostra anche una forte correlazione con altri metalli pesanti quali Zinco (indice di correlazione di Pearson 0.76) e Vanadio (indice di correlazione di Pearson 0.79) in quanto anche questi metalli sono fortemente correlati tra loro e dipendenti dalla frazione fine del sedimento, confermando quindi una dinamica di accumulo simile di questi 3 metalli per le tipologie di rocce madri presenti in regione (Figura 24).

Nella pianura emiliano-romagnola i valori del fondo naturale di Co risultano superiori al limite di legge (20 mg/kg) per otto UGF su tredici (Figura 25, Figura 20), ad eccezione di UGF B1, B2, B3, C1 e C2 che sono suoli con provenienza dei sedimenti da bacini dell'Appennino emiliano-romagnolo, laddove le unità geologiche affioranti nei bacini di drenaggio sono in genere prive o scarse di complessi ultramafici. All'interno di questo dominio di provenienza si notano valori maggiori nei suoli a tessitura media (B1, B2, B3), rispetto a quelli relativamente più bassi registrati nei suoli grossolani, tipici dell'ambiente di cordone litorale (C1 e C2); a loro volta all'interno di questi due gruppi si riscontra un arricchimento relativo in Co all'aumentare del contributo di sedimento proveniente da erosione di rocce ultrafemiche (definizione UGF rif. 2.1).

L'UGF A1, costituita da suoli a maggiore grado evolutivo, presenta un contenuto in Co superiore rispetto alle suddette unità ma inferiori rispetto alle UGF influenzate dalla provenienza ofiolitica: questo perché l'elevato grado evolutivo porta ad una perdita del segnale della provenienza e rimane solo la porzione di metallo legata ai minerali residuali.

Nelle UGF che registrano una significativa presenza di formazioni ofiolitiche nel bacino di drenaggio (A3, A4, B4, B5, B6 e D1) si riscontrano i valori fuori limite (Figura 25).

La UGF B5, affiorante in prossimità del margine appenninico piacentino che è quella con la più elevata componente ofiolitica (Figura 1 e Tabella 1) registra un forte arricchimento relativo in Co (Figura 25) registrando i valori di fondo più alti al 95°percentile maggiori di 30 mg/kg per questo metallo.

Pertanto, possiamo dire che il Cobalto tende ad avere una forte correlazione sia con la tessitura (vedi differenze tra le UGF contrassegnate da lettere diverse) ma anche con la natura del parent material (vedi differenze all'interno dei gruppi all'aumentare del contenuto di componente ofiolitica i.e. numero della UGF Figura 22):

- Le UGF rappresentative dei suoli a tessitura fine (A2–A4), coerentemente con la tendenza di Co a concentrarsi nella frazione argillosa, presentano tenori mediamente più elevati (22-28 mg/kg) dei valori (16-25 mg/kg) riscontrati nei suoli a tessitura grossolana (UGF del gruppo B, tra i quali fa eccezione il gruppo B5).
- È inoltre riscontrabile un controllo della provenienza del sedimento sul fondo naturale del metallo: tra i depositi fini (UGF A1–A4) i tenori massimi si registrano, infatti, all'interno dell'UGF A4, che riflette una provenienza del sedimento da unità geologiche di natura ofiolitica. Analogamente, anche per i suoli a tessitura relativamente grossolana (UGF B1–B6) valori relativamente più elevati in Co sono associati ad una provenienza del sedimento da rocce ofiolitiche (B5, B6). Coerentemente con questo quadro, anche



all'interno delle UGF caratterizzate dalla tessitura più grossolana (C1 e C2) il fondo naturale di Co è più elevato in suoli di provenienza padana/ofiolitica.

La “Carta del Fondo Naturale” (Figura 26) del Cobalto riflette quanto discusso, presentando nella classe di massima concentrazione (valori di 95° maggiori di 30 mg/kg) soltanto la UGF B5; nella classe sottostante (20-30 mg/kg) i suoli a tessitura fine (A1-A4) e quelli da moderatamente fine a moderatamente grossolana con contenuto ofiolitico minore (UGF B4 e B6) e i suoli organici (D1). Infine, nelle 2 classi che rappresentano concentrazioni di Cobalto al disotto della CSC i soli a tessitura grossolana (C1 e C2) e quelli a tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana con contenuto ofiolitico ancora inferiore (B1, B2 e B3).

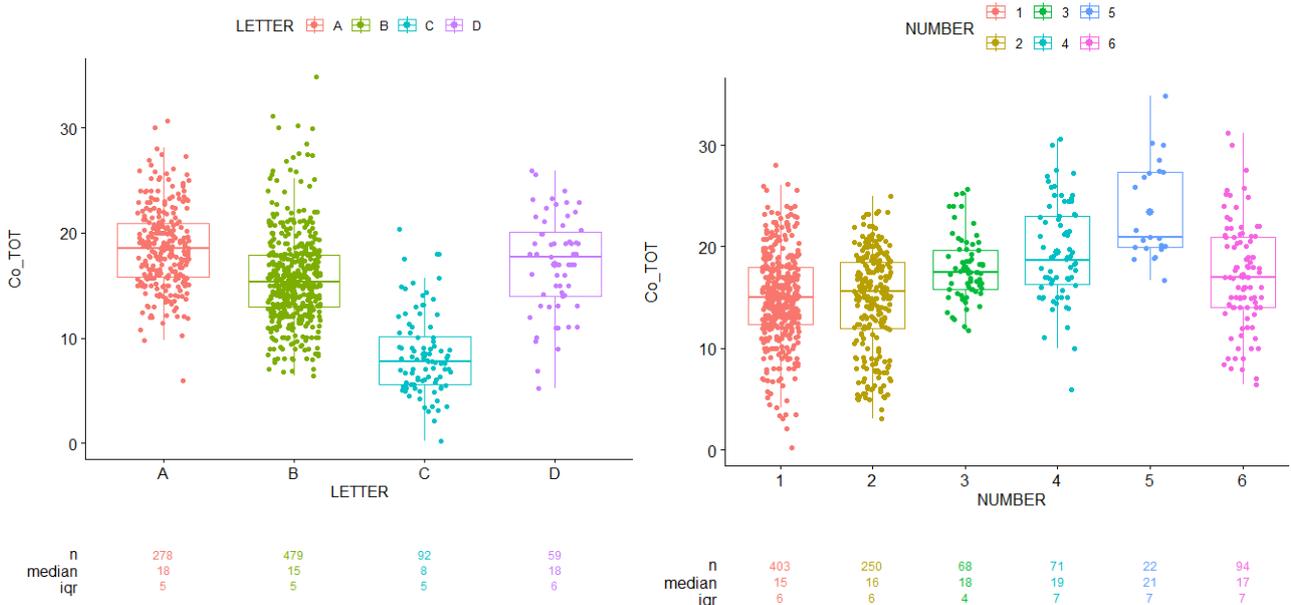


Figura 22. Distribuzione Co in funzione della lettera della unità genetica funzionale (UGF), rappresentativa della tessitura e del numero rappresentativo del contenuto ofiolitico secondo la Figura 1 del paragrafo 2.1.

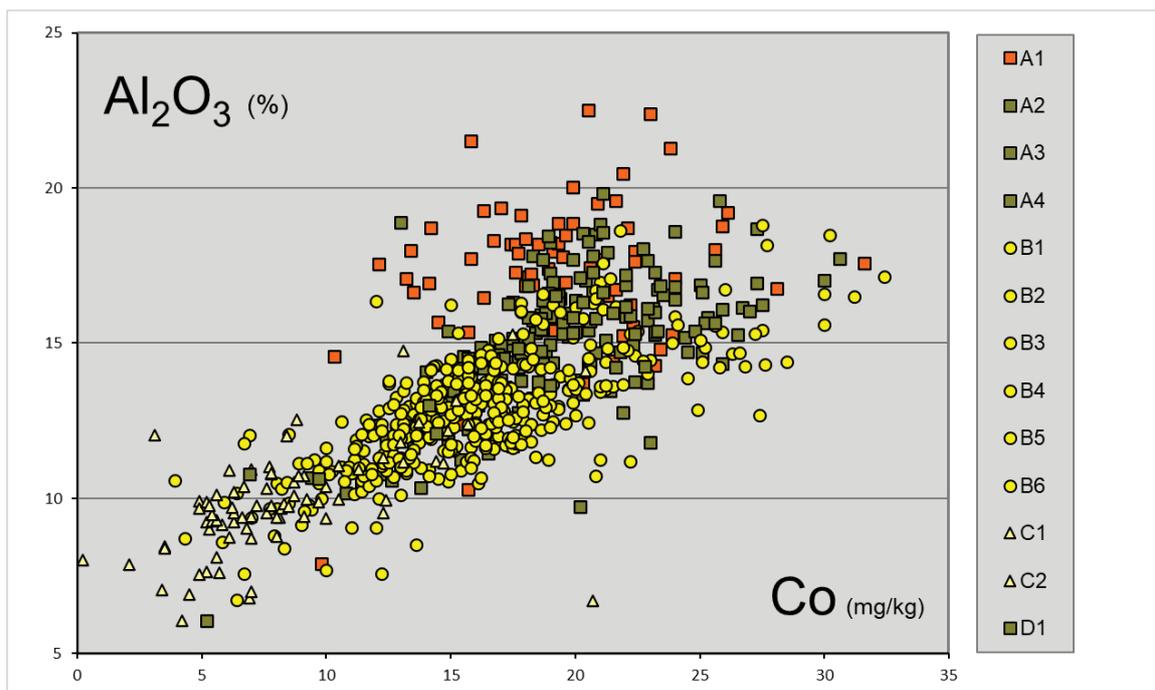


Figura 23. Diagramma binario Co - Al₂O₃

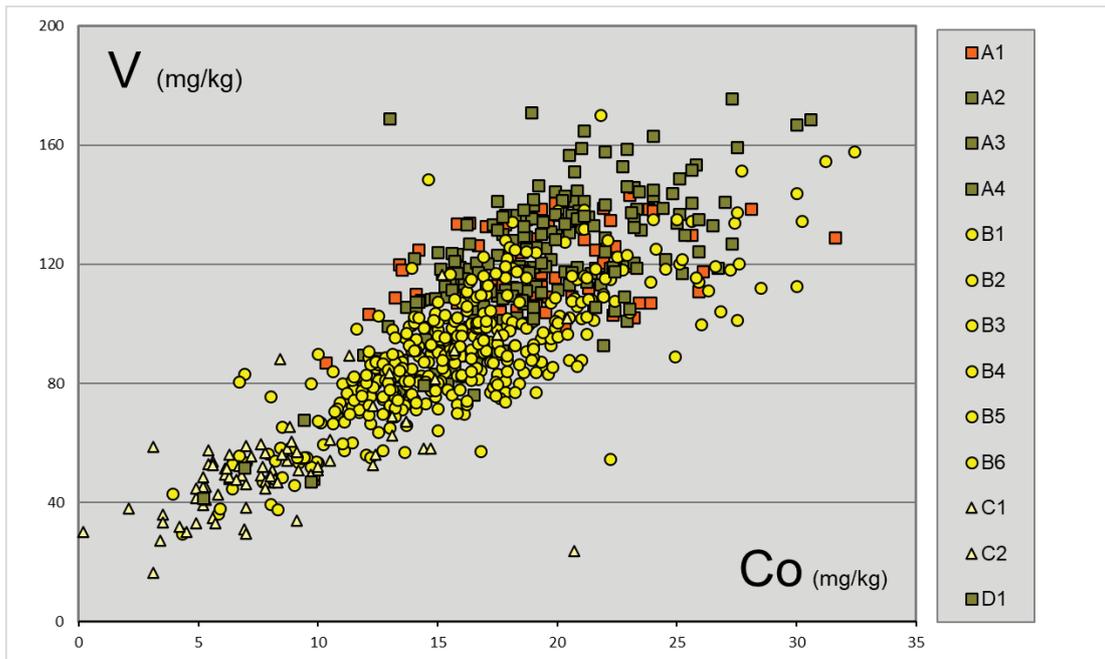


Figura 24. Diagramma binario Co – V

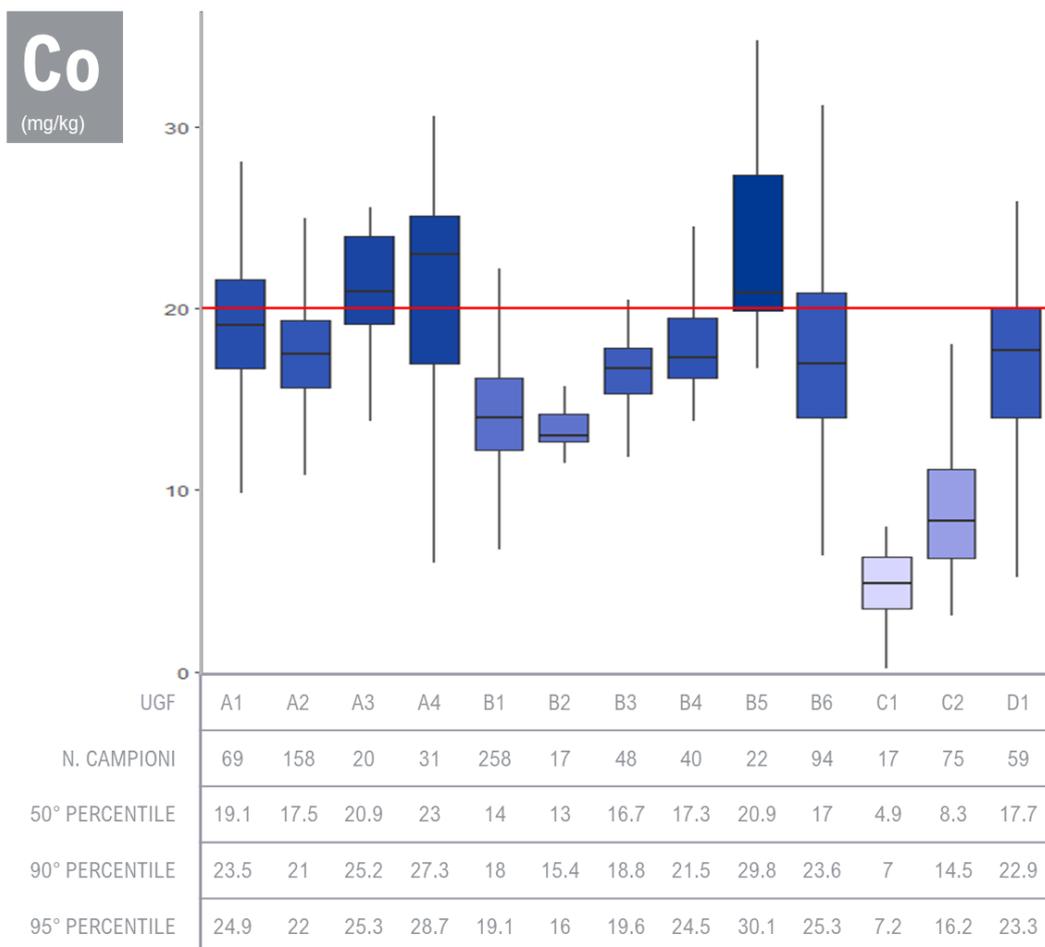


Figura 25. Distribuzione di Co all'interno delle diverse UGF, con indicazione dei valori (in mg/kg) del 90°, 95° e 50° percentile

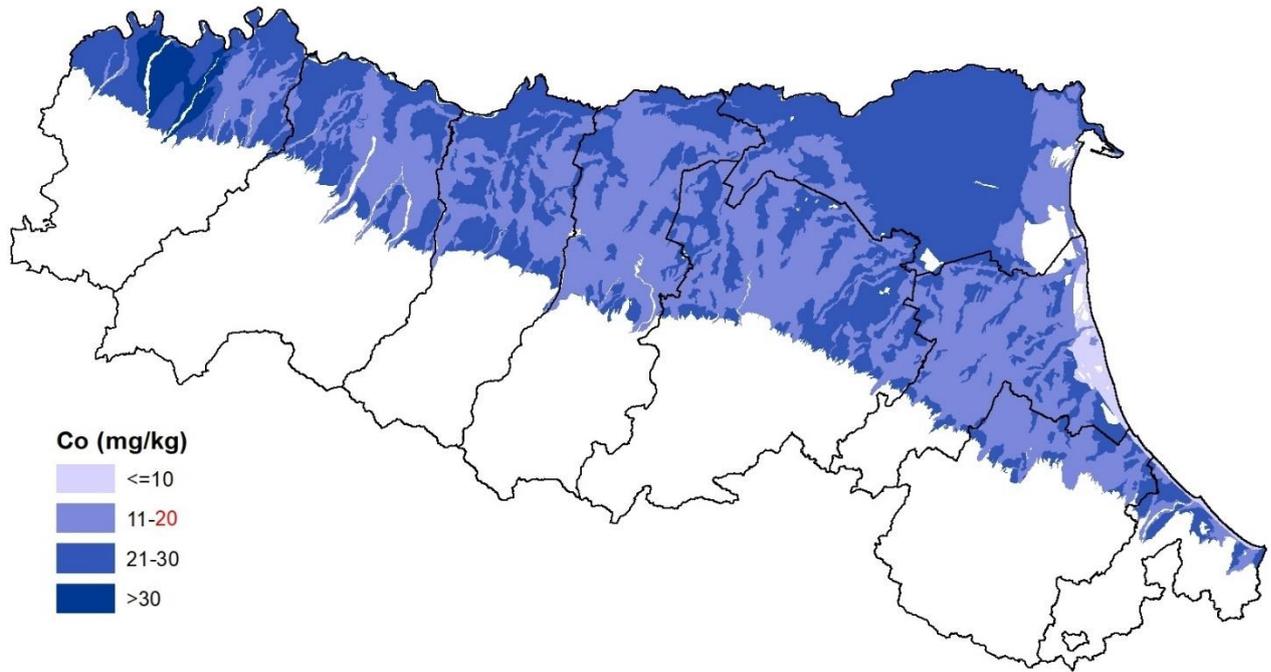


Figura 26. Carta del Fondo Naturale - cobalto



4 ANOMALIE GEOCHIMICHE

4.1 Individuazione delle anomalie geochimiche

Per la valutazione delle anomalie geochimiche si è proceduto all'analisi dei campioni prelevati a 20-30 cm di profondità in corrispondenza degli stessi siti di campionamento utilizzati per la costruzione della "Carta del Fondo Naturale". È infatti attraverso il confronto tra fondo naturale (definito su campioni di subsoil, a 90-140 cm di profondità) e concentrazioni di metallo rilevate a 20-30 cm (topsoil) che è possibile stimare l'entità di eventuali anomalie geochimiche legate ad un contributo antropico. Per consentire il confronto con i dati rappresentativi del fondo naturale, le analisi chimiche sui campioni di topsoil sono state condotte utilizzando la stessa procedura analitica (XRF) impiegata per i campioni di subsoil. La valutazione dello stato di contaminazione di un suolo si avvale comunemente di formule che, attraverso il confronto tra le concentrazioni di metallo rilevate nella parte superficiale del suolo e il fondo naturale, permettono la collocazione del suolo stesso all'interno di uno schema classificativo che ne definisce lo "stato di salute". Le due formule più comunemente utilizzate in letteratura, tra loro interscambiabili, calcolano:

l'Indice di Geoaccumulo, Igeo (Müller, 1979; Förstner & Müller, 1981), definito da

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

il Fattore di Arricchimento, EF (Rubio et al., 2000), definito da

$$EF = (C_n - B_n) / B_n$$

dove:

C_n = concentrazione di metallo nel campione a 20-30 cm di profondità

B_n = tenore di fondo naturale (Background) nel campione a 90-130 cm di profondità

Per la valutazione delle anomalie geochimiche è stato utilizzato uno schema classificativo (Müller, 1981; Banat et al., 2005; Sainz & Ruiz, 2006) che prevede la distinzione di sei classi di contaminazione del suolo sulla base di differenti valori dell'Indice di Geoaccumulo (Tabella 4).

Classe Igeo	I geo	Stato di salute del suolo
0	< 0	non contaminato
1	0-1	da non a moderatamente contaminato
2	1-2	moderatamente contaminato
3	2-3	da moderatamente a fortemente contaminato
4	3-4	fortemente contaminato
5	4-5	da fortemente a estremamente contaminato
6	>5	estremamente contaminato

Tabella 4. Classificazione del grado di contaminazione del suolo sulla base dell'Indice di Geoaccumulo.

Il calcolo dell'Indice di Geoaccumulo in corrispondenza dei siti di campionamento fornisce un'idea immediata, per quanto locale (considerato il carattere puntiforme dell'indagine), dello stato di salute dei suoli campionati, l'andamento a scala regionale fornisce un quadro generale.



4.2 Elaborazioni cartografiche - Carta delle Anomalie Geochimiche

Sono state fatte due elaborazioni partendo rispettivamente dall'Indice di Geoaccumulo rispetto al valore del 90° percentile (figura 28) e da quello del 95° (figura 27).

Non è stato possibile fare la carta delle anomalie geochimiche del Cobalto per scarsità di dati sull'orizzonte superficiale (solo 381 campioni su 948).

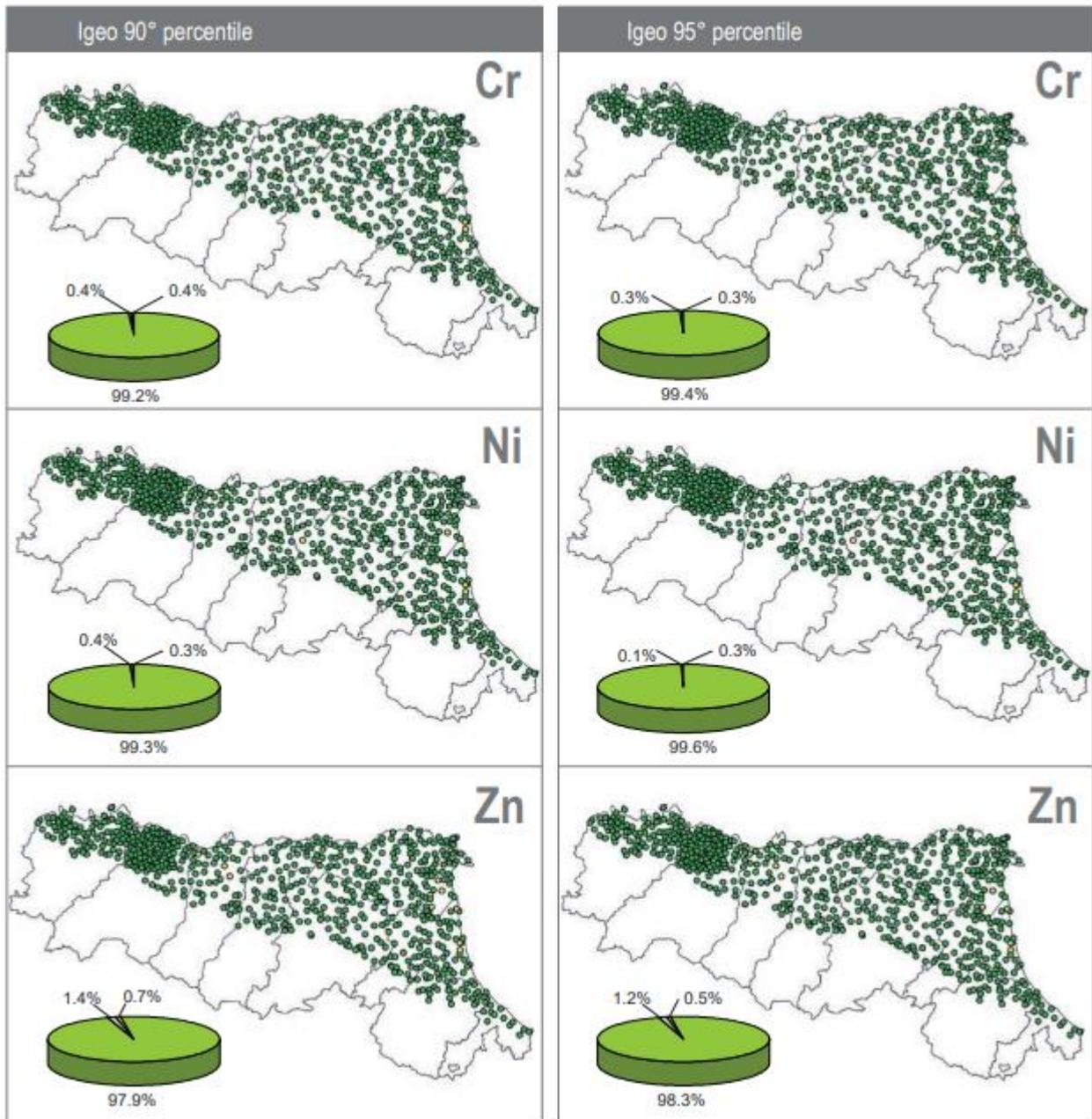
Come atteso, utilizzando un valore del fondo naturale più restrittivo (90° percentile) viene evidenziato un numero maggiore di anomalie, riferite in modo particolare a Cu, che appare come l'elemento più diffusamente soggetto a contaminazione all'interno del dataset. Nel caso di Cr, Ni e V, metalli per i quali la Carta del Fondo Naturale mette in evidenza tenori comunemente superiori ai limiti di legge, su di un totale di 776 stazioni esaminate i valori di Igeo risultano negativi (= suolo non contaminato) nel 98-99% dei casi, indipendentemente dal valore del 90° o 95° percentile utilizzato per il calcolo di Igeo, ciò a conferma del fatto che concentrazioni in metallo di origine naturale anche superiori ai limiti di legge non rappresentano di per sé un'indicazione di contaminazione esclusivamente antropica.

I diagrammi della figura 29, che ripartiscono i valori di Igeo per i sei metalli in esame in funzione dell'abbondanza relativa di ogni classe di Tabella 4, esprimono in modo sintetico i dati della Carta delle Anomalie Geochimiche. I diagrammi descrivono il grado di contaminazione dei suoli ottenuto utilizzando come valore di fondo naturale sia il 90° percentile, sia il 95° percentile.

Confortante è anche il quadro relativo allo stato di salute del suolo rispetto a potenziale contaminazione da Zn, con assenza di contaminazione per circa il 98% dei casi. Per quanto riguarda Pb, i casi di contaminazione rappresentano circa il 4% dei siti investigati, mentre per Cu questi si attestano intorno al 26% (dati riferiti al 90° percentile) o al 22% (dati riferiti al 95° percentile). La contaminazione da rame appare dunque piuttosto diffusa nell'area in esame, con il 3,3-4% di casi di contaminazione da moderata a forte e casi di contaminazione molto forte che si attestano intorno a 0,3-0,4%.

Poiché la scelta dei siti di campionamento è stata specificamente orientata ai suoli agricoli lontano da situazioni di contaminazione locale la Carta delle Anomalie Geochimiche fornisce un andamento dell'arricchimento superficiale compatibile con il quadro conoscitivo fornito dalle Carte del fondo naturale-antropico della pianura emiliano-romagnola a scala 1:250.000 relativamente ai sei metalli in esame. È importante sottolineare, tuttavia, che non tutto ciò che appare come anomalia geochimica sulla base dell'Indice di Geoaccumulo (Igeo) riflette necessariamente un apporto esclusivamente antropico di metallo all'interno del suolo pur considerando che esso è sempre presente nel topsoil. Poiché l'indice Igeo viene calcolato sulla base del confronto tra il fondo naturale misurato nel subsoil e il contenuto in metallo del topsoil, una semplice variazione delle caratteristiche tessiturali o composizionali lungo il profilo del suolo (provenienza, o in sostanza organica) è in grado di determinare una "anomalia" nei valori di Igeo.

Al fine di tentare la distinzione tra reali anomalie geochimiche di natura prevalentemente antropica (colori giallo, arancione e rosso in Fig. 29) e anomalie di origine prevalentemente geogenica (colore grigio in Fig. 29), è stato operato un confronto tra campioni con valori di Igeo > 0 e campioni di subsoil, rappresentativi del fondo naturale (colore verde in Fig. 29). Le anomalie sono state valutate caso per caso in base alle osservazioni pedologiche confrontando le concentrazioni di ogni singolo metallo mediante diagrammi binari con quelle dei markers geochimici di pertinenza (ad es., allumina per vanadio e zinco). Al termine di questa operazione, il numero di reali anomalie geochimiche in Cr, Ni e V, definite da campioni che si discostano dall'andamento generale rappresentato dai campioni di colore verde, si riduce a 1-3, mentre la maggior parte dei campioni caratterizzati da Igeo > 0 è riconducibile a cause prevalentemente geogeniche. Anche per quanto riguarda Zn, solo circa un terzo dei campioni con Igeo > 0 sembra riflettere una reale anomalia geochimica, ovviamente in numero maggiore se si utilizza il 90° percentile come valore di fondo. Differente invece è il risultato dell'analisi riguardante sia Pb che Cu: la mancanza di markers geochimici certi non permette di identificare anomalie geogeniche rimandando quindi tutte le anomalie riscontrate a cause prevalentemente antropiche.



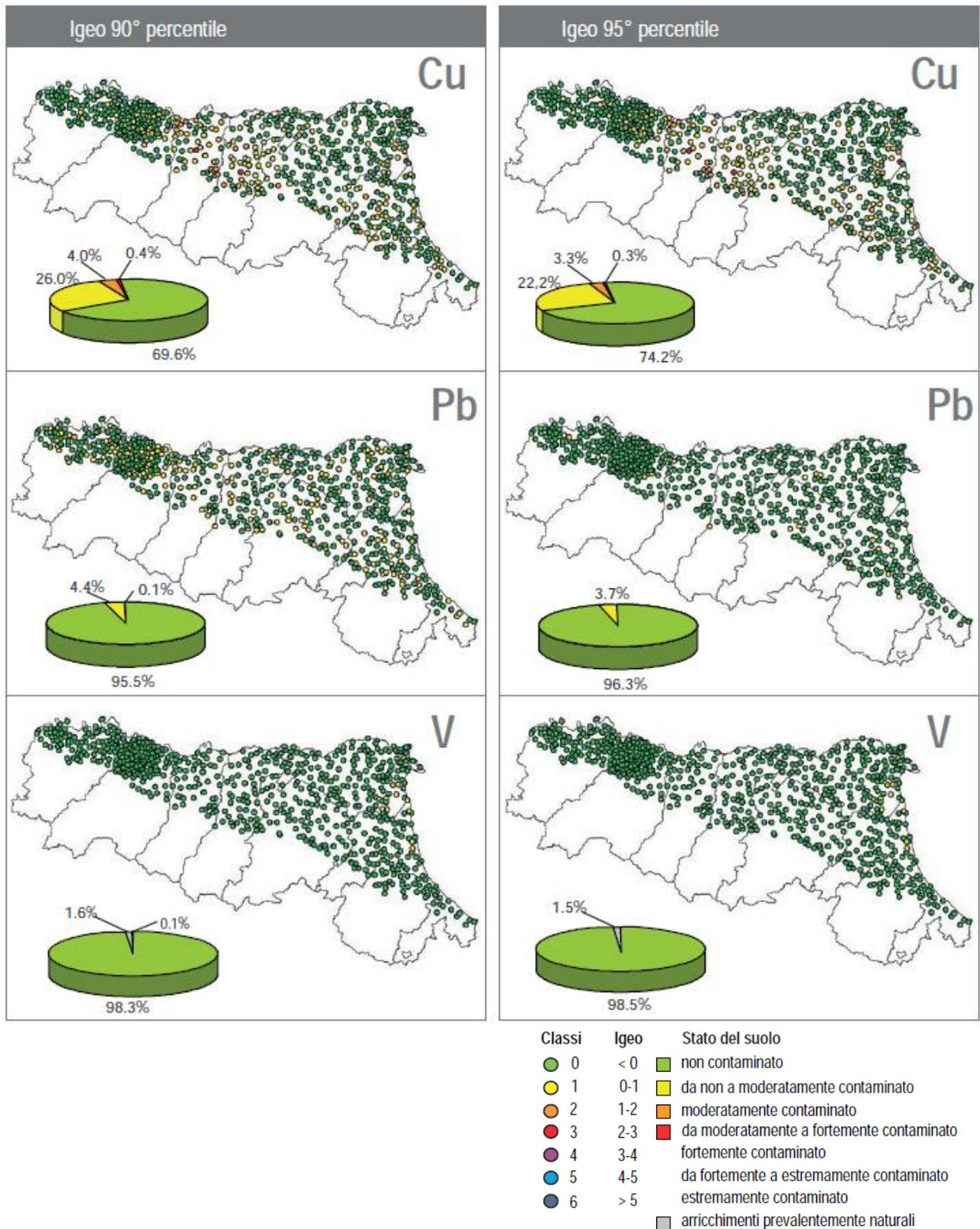


Figura 27. Carte delle Anomalie Geochimiche del 90° e 95° percentile dei metalli analizzati, basate sulla classificazione Igeo di Tabella 4 e relativi diagrammi riassuntivi dello stato di contaminazione dei suoli espressi mediante i valori dell'Indice di Geoaccumulo, anche questi di Tabella 4

I valori delle carte e dei diagrammi sono stati ottenuti utilizzando come valore di fondo il 90° e il 95° percentile. Si noti la contaminazione diffusa, localmente rilevante, registrata per Cu.

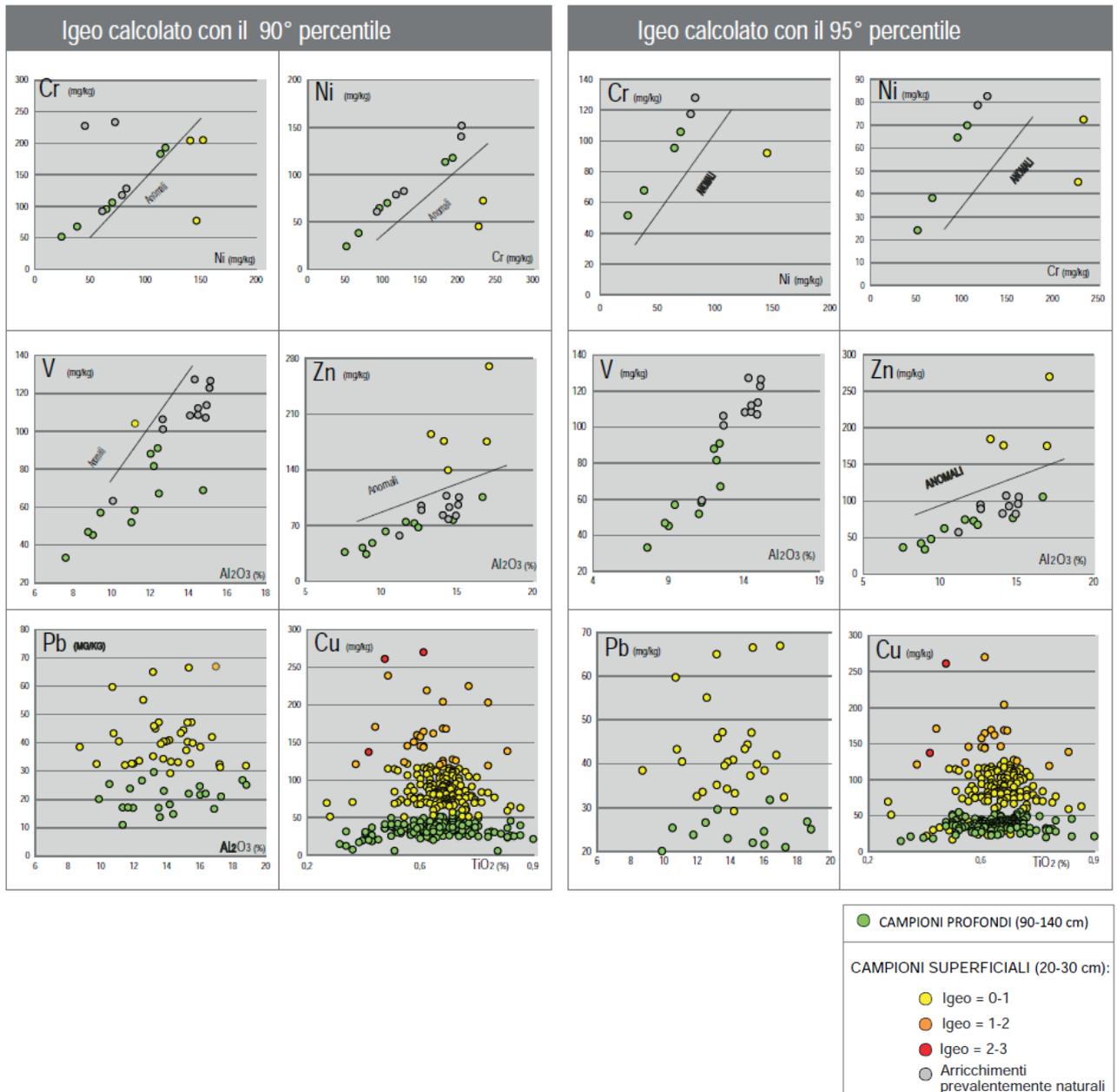


Figura 28. Diagrammi di discriminazione dello stato di contaminazione del suolo colorati in base alla classe di Igeo definita utilizzando il 90° percentile (a sinistra) e il 95° percentile (a destra): i campioni verdi sono rappresentativi del fondo naturale, i campioni superficiali definiscono le varie classi di Igeo: gialli (classe 1), arancioni (classe 2), rossi (classe 3), viola (classe 4) e grigi (arricchimenti di origine prevalentemente naturale).



5 CONSULTAZIONE DELLE CARTE DEL FONDO NATURALE DEI METALLI PESANTI

5.1 Elenco dei siti di consultazione e loro caratteristiche

Le carte del fondo naturale dei metalli pesanti nei suoli della pianura emiliano-romagnola sono consultabili su numerosi **siti WEBGIS**. Nella tabella sottostante vi è un elenco dei siti disponibili e loro collocazione. Nelle pagine seguenti ogni sito viene descritto in modo dettagliato.

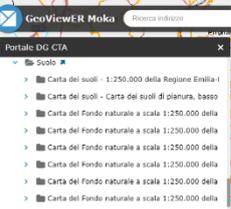
SITO	NOTE	URL
Cartografia dei suoli dell'Emilia-Romagna 	Sito che contiene la carta dei suoli 1:50.000 e tutte le carte tematiche derivate prodotte dal 2010, oltre che alcuni temi puntuali (dati SACT, dati ambientali, stazioni della rete della falda ipodermica). Permette la consultazione contemporanea di più strati. Presenti molti voli aerei/satellitari dal 1954 al 2023. È rivolto in particolare ad utenti del settore ambientale e educativo (es. ARPAE, scuole, CEA).	https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/applicazioni/ped
I suoli dell'Emilia-Romagna 	Sito che contiene tutte le carte dei suoli e carte tematiche derivate, rivolto a tutti gli utenti. Sono consultabili legende, catalogo dei suoli e glossario. È sviluppato su GOOGLE EARTH, per cui permette la navigazione 3D, la disponibilità di foto aeree di diversi anni e la possibilità di sovrapporre dati dell'utente.	https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartpedo/
GeoViewer Moka 	Visualizzatore del portale MinERva della Direzione Cura dell'Ambiente e del territorio. Sono disponibili tutte le cartografie prodotte dalla Direzione in ambito ambientale, pianificatorio e dei trasporti. Dal sito MinERva sono scaricabili i dati sotto forma di shapefile/raster e tabelle collegate.	https://datacatalog.regione.emilia-romagna.it/catalogCTA/geoviewer2
Mappe Emilia-Romagna 	Visualizzatore del Geoportale regionale. Sono disponibili tutte le cartografie prodotte dalla regione Emilia-Romagna, fra cui anche le carte dei suoli nella sezione Informazioni Geoscientifiche. Permette la visualizzazione in 3D. Dal geoportale sono scaricabili i dati sotto forma di shapefile/raster e tabelle collegate (nella sezione WMS).	https://mappe.regione.emilia-romagna.it/

Tabella 5. Elenco dei siti WEBGIS in cui è possibile visualizzare e consultare le carte del fondo naturale

¹ <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/suoli/conoscere-suolo/siti-web-sul-suolo-in-emilia-romagna>.



5.2 Consultazione sul sito Cartografia dei suoli dell'Emilia-Romagna (MokaSuoli)

Le carte del fondo naturale dei metalli pesanti sono consultabili sul sito [Cartografia dei suoli della Regione Emilia-Romagna²](https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/applicazioni/ped), definito brevemente in seguito MokaSuoli. La visualizzazione funziona solo per scale > 1:250.000.

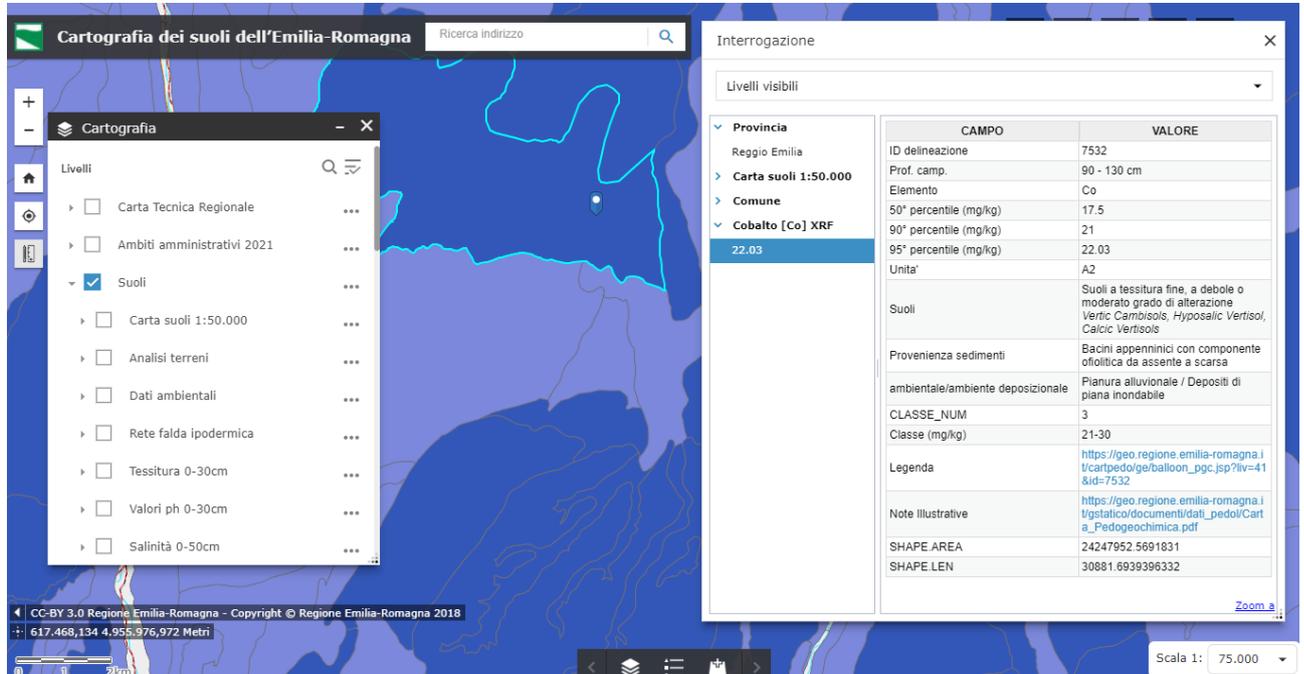


Figura 29. Esempio di interrogazione della carta del fondo naturale del cobalto sul sito Moka Suoli

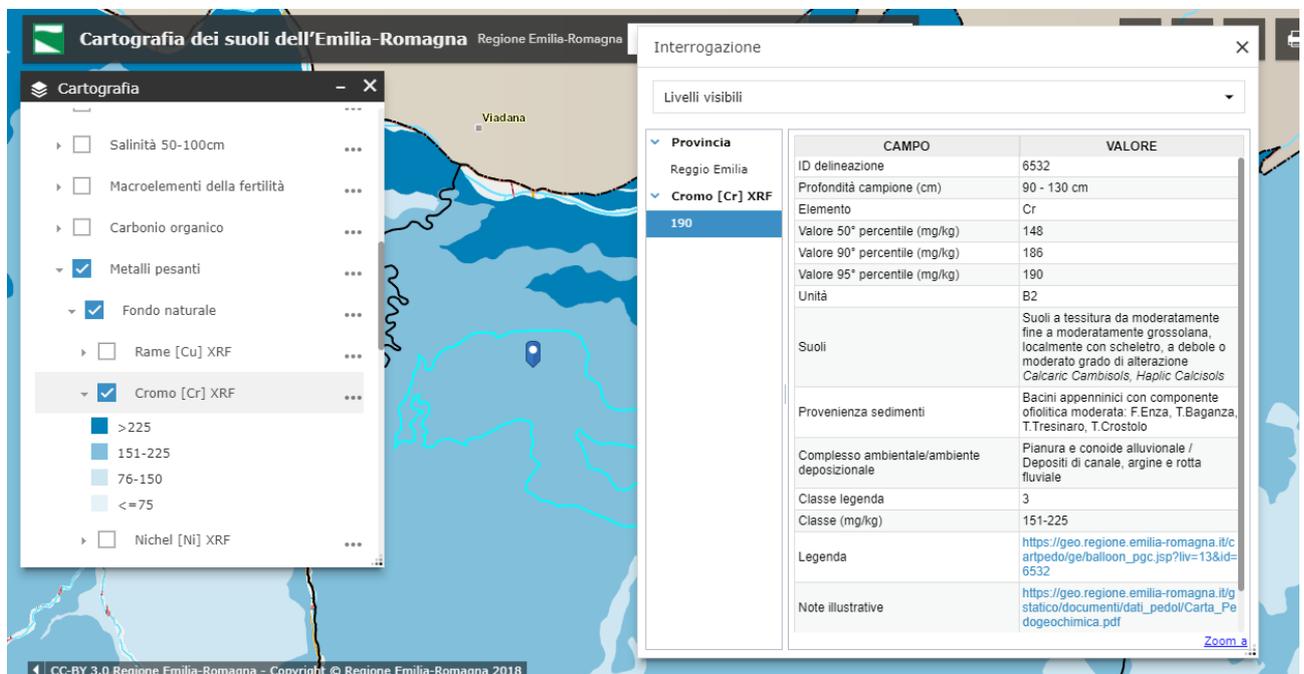


Figura 30. Esempio di interrogazione della carta del fondo naturale del cromo sul sito Moka Suoli

² <https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/applicazioni/ped>

5.3 Consultazione sul sito basato su GOOGLE EARTH

Le carte del fondo naturale sono consultabili sul sito [I suoli dell'Emilia-Romagna](http://suoli.dell'emilia-romagna.it)³, definito brevemente in seguito CARTPEDO, nella sezione **Carte delle proprietà chimico-fisiche**.

Questo sito è di facile utilizzo e usa come base cartografica GOOGLE EARTH. Presenta il vantaggio di poter essere personalizzato a piacere in quanto l'utente può sovrapporre alle cartografie proposte nel sito i propri strati. Sono disponibili le carte singole dei sette metalli (figura 31), oltre che a una carta generale (figura 32), vestita sulla base delle unità genetico-funzionali, che permette l'interrogazione contemporanea di tutti i metalli.

1.6 Fondo naturale del Cromo [Cr] della pianura emiliano-romagnola. 3a edizione

La "Carta del Fondo naturale della Pianura emiliano-romagnola del Cromo in scala 1:250.000" rappresenta la distribuzione areale del contenuto naturale di Cromo nel *subsoil* (90-140 cm di profondità, 60-80 nei suoli con ghiaie) nei suoli ad uso agricolo.

Il contenuto di fondo naturale dei metalli nei suoli è regolato principalmente da tre fattori: 1) la provenienza del sedimento in cui si è impostato il suolo, 2) la tessitura, 3) il grado evolutivo. Per quanto riguarda il Cromo, nei suoli meno evoluti, il fattore dominante è la provenienza, in relazione alla presenza di rocce ricche in Cr e Ni (ofioliti), che affiorano nelle Alpi Occidentali e in alcuni bacini idrografici dell'Appennino. Nei suoli ad elevato grado evolutivo del margine appenninico il "segnale" della provenienza si perde e il contenuto di Cromo è omogeneo indipendentemente dal bacino.

I valori di concentrazione sono ottenuti con il metodo analitico **XRF** (Spettrometria per Fluorescenza a raggi X) al fine di determinare il contenuto totale. Per questo metallo l'attacco con acqua regia e lettura ICP-MS (metodo UNI EN 13346- 2002/EPA 6020) determina valori inferiori rispetto a quelli ottenuti con l'**XRF**, con una percentuale variabile in relazione alle caratteristiche fisico-chimiche della matrice. Una media sul set di dati utilizzati per la carta segnala uno scarto del **35%** circa.

apri la [Carta del Fondo naturale del Cromo \[Cr\] della pianura emiliano-romagnola. 3a edizione](#) in Google Earth
 visualizza la legenda della [Carta del Fondo naturale del Cromo \[Cr\] della pianura emiliano-romagnola. 3a edizione](#)
 apri le note illustrative della [Carta del Fondo naturale del Cromo \[Cr\] della pianura emiliano-romagnola. 3a edizione](#)
 visualizza i [metadati della Carta del Fondo naturale del Cromo \[Cr\] della pianura emiliano-romagnola. 3a edizione](#)



Figura 31. Presentazione di una carta singola del fondo naturale (cromo) sul sito I suoli dell'Emilia-Romagna

1.5 Fondo naturale di Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn della pianura emiliano-romagnola. 2a edizione

La "Carta del Fondo naturale dei metalli pesanti della Pianura emiliano-romagnola in scala 1:250.000" rappresenta la distribuzione areale del contenuto naturale di 6 metalli (Cr, Cu, Ni, Pb, V e Zn) nel *subsoil* (90-140 cm di profondità, 60-80 nei suoli con ghiaie) nei suoli ad uso agricolo.

Il contenuto di fondo naturale dei metalli nei suoli è regolato principalmente da tre fattori: 1) la provenienza del sedimento in cui si è impostato il suolo, 2) la tessitura, 3) il grado evolutivo. I valori di concentrazione sono ottenuti con il metodo analitico **XRF** (Spettrometria per Fluorescenza a raggi X) al fine di determinare il contenuto totale. L'attacco con acqua regia e lettura ICP-MS (metodo UNI EN 13346-2002/EPA 6020) determina valori inferiori rispetto a quelli ottenuti con l'**XRF**, con una percentuale variabile in relazione all'elemento e alle caratteristiche fisico-chimiche della matrice.

- apri la [Carta del Fondo naturale di Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn della pianura emiliano-romagnola. 2a Ed.](#) in Google Earth
- visualizza la legenda della [Carta del Fondo naturale di Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn della pianura emiliano-romagnola. 2a Ed.](#)
- apri le note illustrative della [Carta del Fondo naturale di Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn della pianura emiliano-romagnola. 2a Ed.](#)
- visualizza i [metadati della Carta del Fondo naturale di Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn della pianura emiliano-romagnola. 2a Ed.](#)

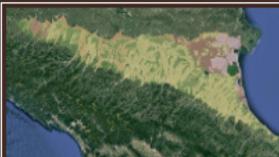


Figura 32. Presentazione delle carte del fondo naturale sul sito I suoli dell'Emilia-Romagna.

³ <http://geo.regione.emilia-romagna.it/cartpedo/>



I suoli dell'Emilia-Romagna

*Carta del Fondo naturale del Cromo [Cr]
della pianura emiliano-romagnola. 2a edizione
Scala 1:250.000*

Classe di concentrazione
151-225

Unità
B2

Suoli
Suoli a tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana, localmente con scheletro, a debole o moderato grado di alterazione
Calcaric Cambisols, Haplic Calcisols

Provenienza dei sedimenti
Bacini appenninici con componente ofiolitica moderata: F.Enza, T.Baganza, T.Tresinaro, T.Crostolo

Complesso ambientale/Ambiente deposizionale
Pianura e conoide alluvionale / *Depositi di canale, argine e rotta fluviale*

50° percentile (mg/kg)
148

90° percentile (mg/kg)
186

95° percentile (mg/kg)
190

Legenda

Classi

Cromo	
<=75	
76-150	
151-225	
>225	

La concentrazione è espressa in mg/kg

Attivando il link (ad esempio) [Carta del Fondo naturale del Cromo \[Cr\] della pianura emiliano-romagnola. 3^a edizione](#) si apre la carta su base Google Earth.

È possibile anche aprire le note illustrative correlate e i relativi metadati.

Il dato assente è stato assegnato agli alvei di piena ordinaria e ai corpi d'acqua.

Figura 33. Interfaccia di consultazione della carta del cromo



5.4 Consultazione sul GeoViewER Moka

Le carte del fondo naturale sono consultabili dal visualizzatore del portale Minerva (GeoViewER Moka) ⁴. Dal pannello di destra (Portale DGCTA) dal gruppo Suolo si aggiunge la carta desiderata cliccando sull'icona del WMS. La visualizzazione funziona solo per scale > 1:250.000.

Portale minERva

D.G. Cura del Territorio e dell'Ambiente

Cerca Dato

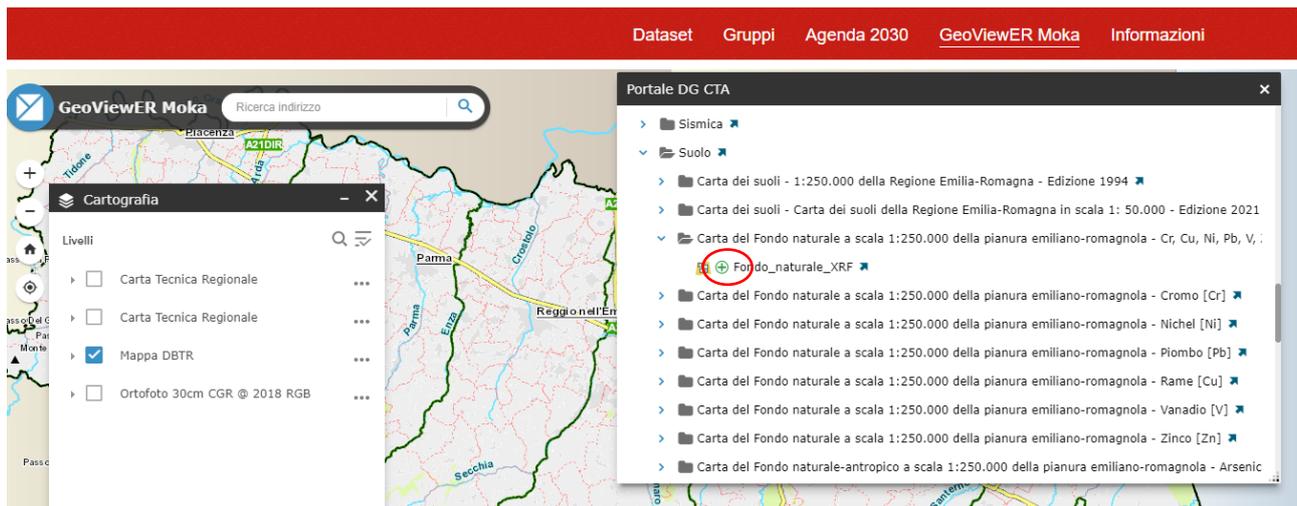


Figura 34. Come inserire le carte del fondo naturale nel GeoViewER Moka

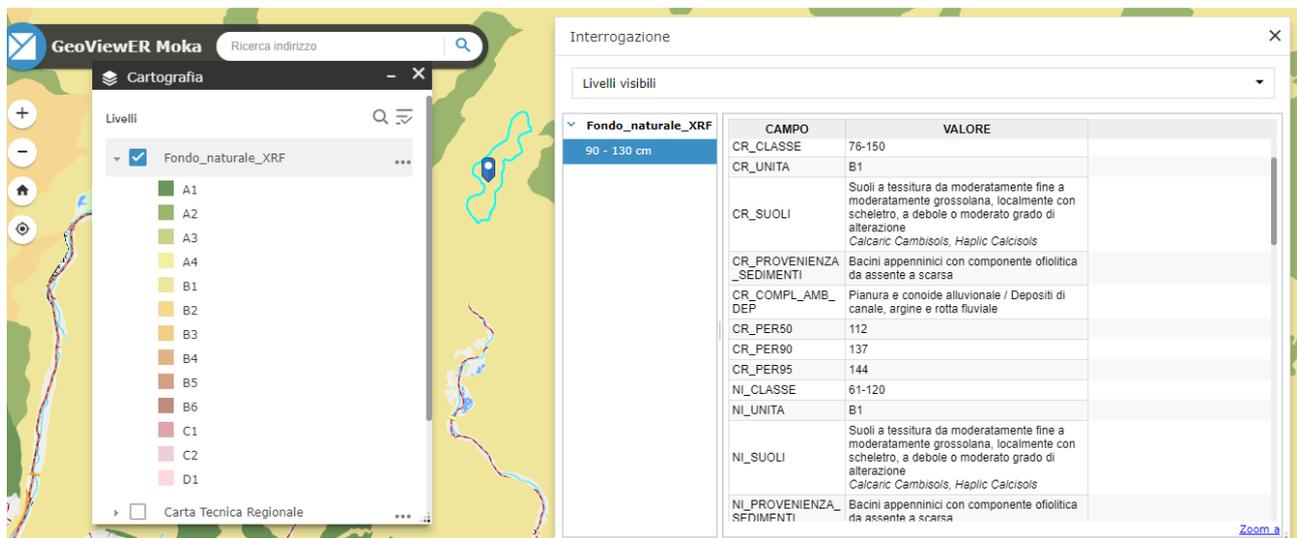


Figura 35. Esempio di interrogazione delle carte del fondo naturale sul GeoViewER. La carta che raggruppa tutti i metalli è vestita sulla base delle UGF

⁴ <https://datacatalog.regione.emilia-romagna.it/catalogCTA/geoviewer2>



5.5 Consultazione sul visualizzatore del Geoportale dell'Emilia-Romagna

Le carte del fondo naturale possono essere consultate anche sul **Geoportale regionale**, nella sezione dedicata alle mappe⁵. Le carte dei suoli e loro derivate si trovano in **Informazioni geo scientifiche**.

La visualizzazione funziona solo per scale > 1:250.000.

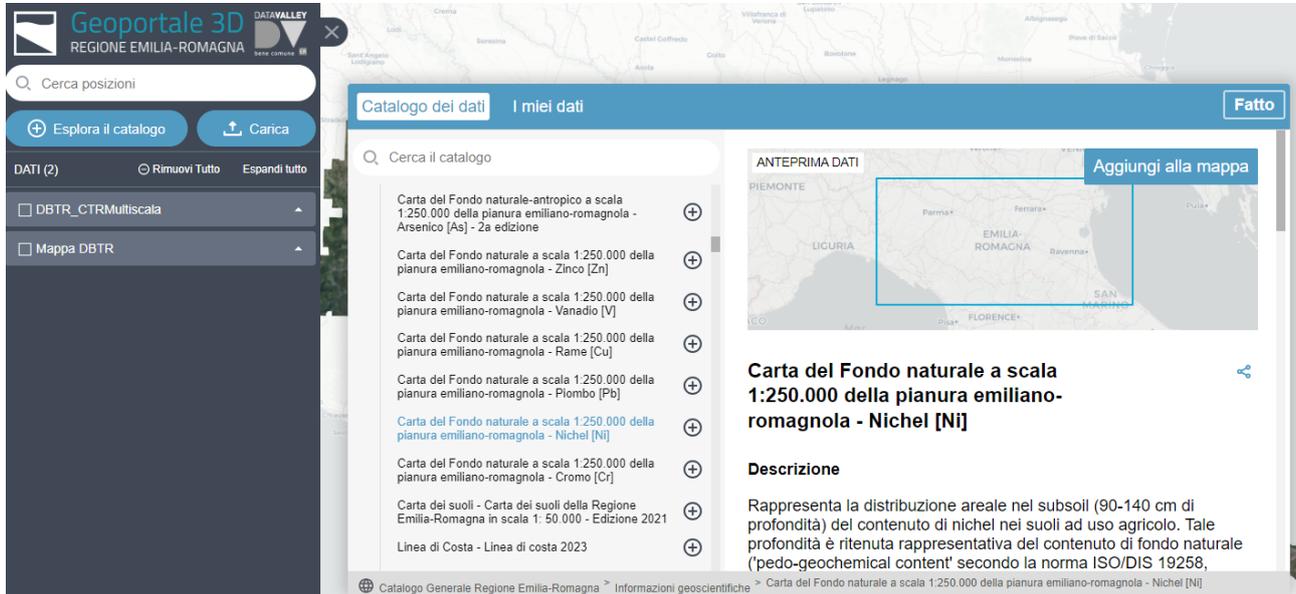


Figura 36. Come inserire le carte del fondo naturale (es. nichel) sul Geoportale ER

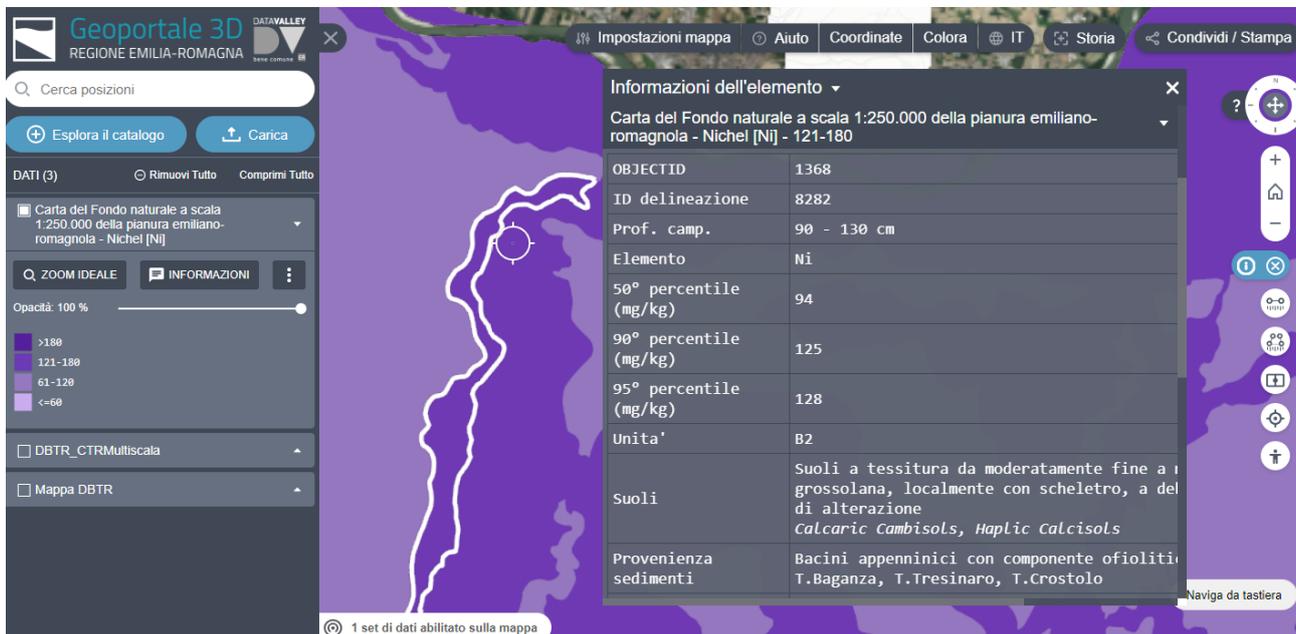


Figura 37. Esempio di interrogazione della carta del fondo naturale del nichel sul Geoportale ER

⁵ <https://mappe.regione.emilia-romagna.it/>



5.6 Scaricamento dati

Lo scaricamento dei dati si effettua sul sito Minerva⁶ nel gruppo SUOLI sotto forma di file zippato preconfezionato. Nel file si trova uno shapefile georeferenziato nel sistema di riferimento RDN2008 UTM zona 32N (EPSG 7791).

Dopo avere trovato la carta di interesse sul motore di ricerca, si clicca dal pulsante Esplora la sottovoce Download e il file si scarica direttamente (figura 38).

Carta del Fondo naturale a scala 1:250.000 della pianura emiliano-romagnola - Cromo [Cr]

Rappresenta la distribuzione areale nel subsoilo (90-140 cm di profondità) del contenuto di cromo nei suoli ad uso agricolo. Tale profondità è ritenuta rappresentativa del contenuto di fondo naturale ('pedo-geochemical content' secondo la norma ISO/DIS 19258, 2005). Le unità cartografiche sono rappresentate da gruppi di poligoni appartenenti alle medesime classi di concentrazione. I fattori che regolano il contenuto naturale di metalli nei suoli sono: provenienza del sedimento in cui si è formato il suolo, tessitura, e grado evolutivo. Per il cromo così come per il nichel il fattore dominante è la provenienza dei sedimenti che originano il suolo. La carta ha una impostazione originale in quanto utilizza l'interpretazione genetico-ambientale per la valutazione e l'estensione geografica del dato geochemico, associando a gruppi di suoli con affinità geochemica i medesimi valori di fondo naturale. I dati puntuali sono ottenuti con il metodo analitico XRF (Spettrometria per Fluorescenza a raggi X) al fine di determinare il contenuto totale per compiere una analisi geochemica approfondita e corretta.

Risorse

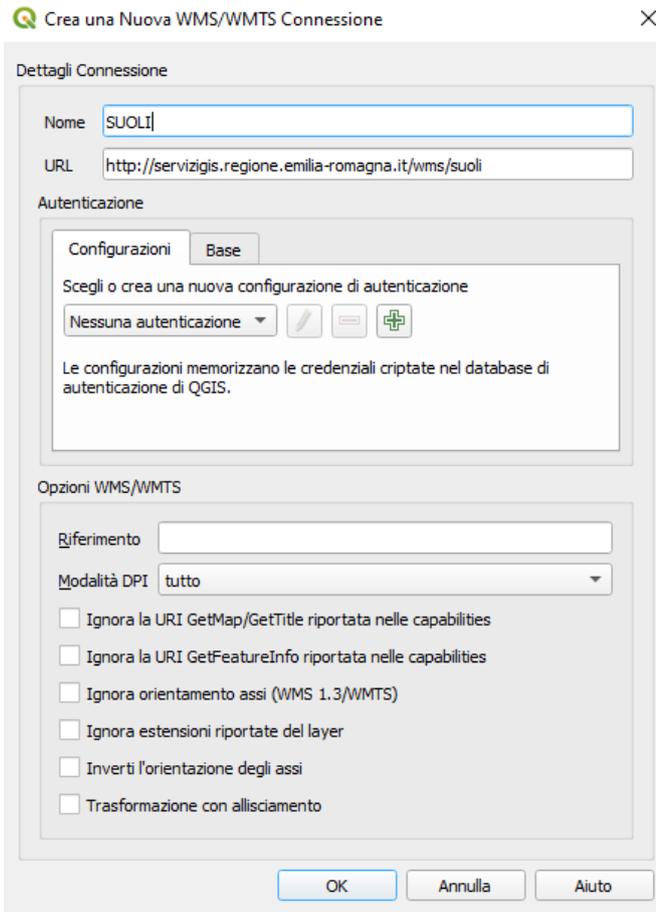
- Fondo_naturale_Cr_XRF**
Per l'utilizzo del servizio di consultazione WMS nei software GIS, come...
- Download Carta del Fondo naturale a scala 1:250.000 - Cromo [Cr] (Shapefile zip)**
Download Carta del Fondo naturale a scala 1:250.000 - Cromo [Cr] (Shapefile zip)
- Cartografia dei suoli dell'Emilia-Romagna**
Cartografia dei suoli dell'Emilia-Romagna
- I suoli dell'Emilia-Romagna**
I suoli dell'Emilia-Romagna

Figura 38. Scaricamento della carta del fondo naturale del cromo dal portale MinERva

⁶ <https://datacatalog.regione.emilia-romagna.it/catalogCTA/group/suolo>



5.7 Consultazione come servizio WMS



Le carte del fondo naturale anche essere consultate come servizio WMS mediante l'URL <https://servizigis.regione.emilia-romagna.it/wms/suoli> utilizzando un programma GIS (es. ArcMap, Qgis ecc.).

Di lato si fa un esempio utilizzando **Qgis**, liberamente scaricabile da Internet. Le carte del fondo naturale sono raggruppate sotto la voce **Metalli pesanti – Fondo naturale**.

Cliccando nella zona d'interesse compaiono tutte le informazioni presenti.

La visualizzazione delle informazioni in QGIS è possibile nel formato HTML o ELEMENTO (quest'ultimo disponibile solo dalla versione 3.28 in poi).

Nel formato ELEMENTO la vista è migliore ma i campi sono elencati in ordine alfabetico e non con la sequenza logica impostata.

Figura 39. Immissione delle capabilities in Qgis

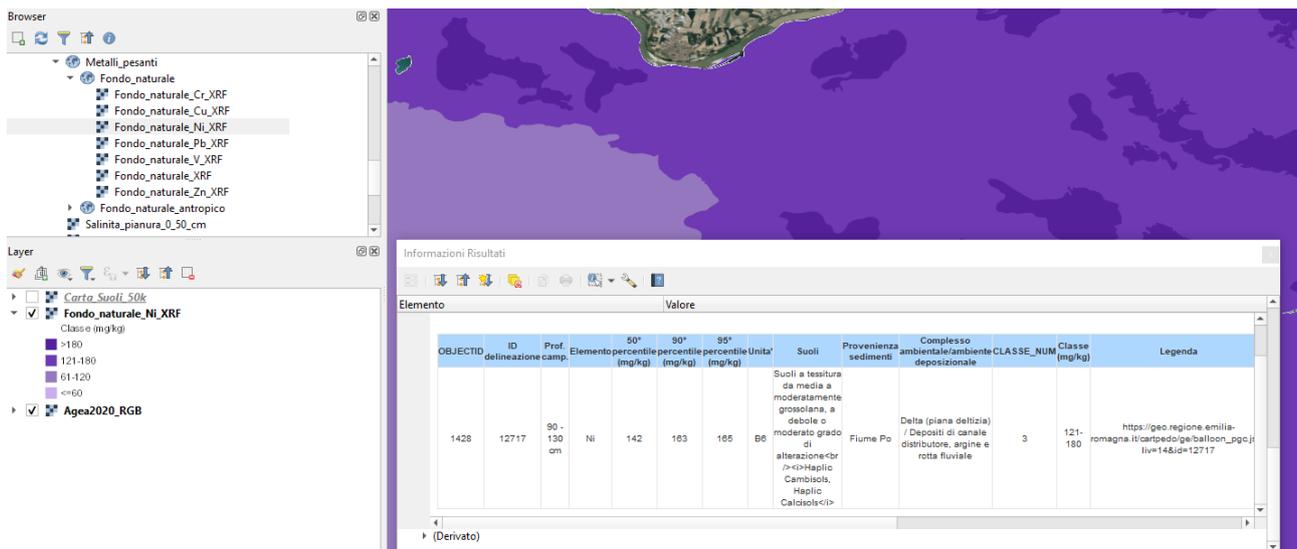


Figura 40. Visualizzazione del servizio WMS Fondo_naturale_Ni_XRF



6 BIBLIOGRAFIA

- Alloway B.J., 2013, Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability, Environmental Pollution 22. Springer Science+Business Media Dordrecht 2013
- Amorosi A., 2012. Chromium and nickel as indicators of source-to-sink sediment transfer in a Holocene alluvial and coastal system (Po Plain, Italy). *Sedimentary Geology*, 280, 260–269.
- Amorosi A. & Sammartino I., 2007. Influence of sediment provenance on background values of potentially toxic metals from near-surface sediments of Po coastal plain (Italy). *International Journal of Earth Sciences*, 96, 389–396.
- Amorosi A., Centineo M.C., Dinelli E., Lucchini F. & Tateo F., 2002. Geochemical and mineralogical variations as indicators of provenance changes in Late Quaternary deposits of SE Po Plain. *Sedimentary Geology*, 151, 273–292.
- Amorosi A., Sammartino I., Guermandi M. & Marchi N., 2007a. Note illustrative della Carta Pedogeochemica alla scala 1: 50.000 – Foglio 181 – Parma Nord. https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/suoli/metalli-pesanti/pdf/Note_Illustrative_181.pdf/@download/file
- Amorosi A., Guermandi M., & Marchi N., Sammartino I., 2012. Note illustrative della Carta Pedogeochemica alla scala 1:250.000 – Pianura emiliano-romagnola –
- Amorosi A., Guermandi M., Marchi N. & Sammartino I., 2014. Fingerprinting sedimentary and soil units by their natural metal contents: A new approach to assess metal contamination. *Science of the Total Environment*, 500–501, 361–372. <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/suoli/metalli-pesanti/pdf/2014SciTotEnv.pdf/@download/file>
- APAT-ISS, 2006. Protocollo operativo per la determinazione dei valori di fondo di metalli/metalloidi nei suoli e dei siti di interesse nazionale – Rev. 0.
- ARPAV, 2019. Metalli e metalloidi nei suoli del Veneto. Determinazione dei valori di fondo. Dipartimento Provinciale di Treviso, Servizio Suoli, Regione Veneto. <https://www.arpa.veneto.it/arpavinforma/pubblicazioni/metalli-e-metalloidi-nei-suoli-del-veneto-definizione-dei-valori-di-fondo.-edizione-2019>
- Bianchini G., Laviano R., Lovo S. & Vaccaro C., 2002. Chemical mineralogical characterisation of clay sediments around Ferrara (Italy): a tool for environmental analysis. *Applied Clay Science*, 21, 165–176.
- Bini C., Ferretti O., Ghiara E. & Gragnani R., 1986 - Distribuzione e circolazione degli elementi in traccia nei suoli. Pedogenesi, mineralogia e geochimica dei suoli dell'Emilia Occidentale. *Rendiconti Società Italiana di Mineralogia e Petrologia*, 41, 95–112.
- Cappuyns V., & Slabbinck E., 2012 - Applied and Environmental Soil Science, Article ID 979501, 12 pp. Decreto Legislativo 03/04/2006, N° 152. Norme in materia ambientale. G.U. 88, 14/04/2006.
- De Nardo M.T. & Segadelli S., 2015. Individuazione e classificazione delle unità geologiche ofiolitiche e ofiolitifere nell'Appennino Emiliano-Romagnolo. Allegato alle note illustrative della Carta Pedogeochemica della Pianura EmilianoRomagnola alla scala 1:250.000. <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/metalli-pesanti/ofioliti-cromo-nichel-suoli-EPA.2013>.
- Di Giuseppe D. Distribuzione dei metalli pesanti nei suoli agricoli ferraresi: analisi geochimica e cartografia tematica su base G.I.S. Tesi di dottorato Università di Ferrara. AA 2008-2010
- ProUCL version 5.1, 2013 - Statistical Software for Environmental Applications for Data Sets with and without Nondetect Observations. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington, DC 20460.
- R Core Team (2021) - R: A language and environment for statistical computing. - R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.



- Förstner U. & Müller G., 1981 - Concentrations of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in river sediments: geochemical background, man's influence and environmental impact. *Geojournal*, 5, 417–432.
- Franzini M., Leoni L. & Saitta M., 1972 - A simple method to evaluate the matrix effects in X-ray fluorescence analysis. *X-Ray Spectrometry* 1: 150–154.
- Franzini M., Leoni L. & Saitta M., 1975 - Revisione di una metodologia analitica per fluorescenza-X basata sulla correzione completa degli effetti di matrice *Rendiconti della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia*, 31, 365–378.
- Förstner U. & Müller G., 1981 - Concentrations of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in river sediments: geochemical background, man's influence and environmental impact *Geojournal* 5: 417-432.
- Govindarajiu K., 1989 - Compilation of working values and sample description for 272 geostandards. *Geostandards Newsletter*, 13, Special Issue, 114pp. ISO/DIS 19258, 2005. Soil quality - Guidance on the determination of background values.
- Leoni L. & Saitta M., 1976 - X-ray fluorescence analysis of 29 trace elements in rock and mineral. standard *Rendiconti della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia*, 32, 497–510.
- Leoni L., Menichini M. & Saitta M., 1982. Determination of S, Cl and F in silicate rocks by X-ray fluorescence analysis *X-Ray Spectrometry*, 11, 156–158.
- Regione Emilia-Romagna, 1999. Carta geologica di pianura dell'Emilia-Romagna alla scala 1:250.000. A cura di Preti D. Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, 2015.
- Regione Emilia-Romagna, 2021. Carta dei Suoli della regione Emilia-Romagna alla scala 1:50.000. https://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/carta_suoli_50k.pdf
- Regione Emilia-Romagna, 2015. Carta geologica dell'Appennino emiliano-romagnolo alla scala 1:10.000.
- Regione Emilia-Romagna, 2007. Carta dell'uso del suolo 1976.
- Regione Emilia-Romagna, 2002. Carta dell'uso del suolo 1994.
- Regione Emilia-Romagna, 2006. Carta dell'uso del suolo 2003.
- Regione Emilia-Romagna, 2011. Carta dell'uso del suolo 2008.
- Regione Emilia-Romagna, 2020. Manuale di campagna. Descrizione delle osservazioni pedologiche. https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/suoli/pdf/guida_campagna_2020.pdf/@download/file
- Sammartino I., Amorosi A., Guermandi M. & Marchi N., 2007. The Pedogeochemical Map of Parma alluvial plain: contribution of soil studies to geochemical mapping. *GeoActa*, 6, 11–23 https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/suoli/metalli-pesanti/pdf/GeoActa_Sammartino1.pdf/@download/file
- Commissione delle Comunità Europee. Strategia tematica per la protezione del suolo COM (2006) 231.
- Ungaro F., Marchi N., 2019. Carta del Fondo naturale-antropico della pianura emiliano-romagnola. https://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/Carta_fondo_naturale_antropico.pdf