

NOTE
ILLUSTRATIVE
DELLA
CARTA
PEDO-GEOCHIMICA
DELLA
PIANURA EMILIANA
ALLA SCALA 1:250.000

Cromo
Cromo

Zinco
Zinco

Rame
Rame

Nichel
Nichel

Piombo
Piombo

A cura di:

Alessandro Amorosi

Università di Bologna

Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali

Marina Guermandi

Regione Emilia-Romagna

Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli

Nazaria Marchi

Regione Emilia-Romagna

Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli

Irene Sammartino

Regione Emilia-Romagna

Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli

SOMMARIO

INTRODUZIONE	4
DEFINIZIONE	4
DESCRIZIONE DELLE ELABORAZIONI CARTOGRAFICHE.....	4
Cromo [Cr] - Nichel [Ni].....	5
Zinco [Zn].....	9
Rame [Cu]	11
Piombo [Pb]	13
METODOLOGIA	15
Acquisizione delle conoscenze relative all'area indagata	15
Campionamento	17
Analisi di laboratorio	18
Interpretazione dei dati	18
Analisi dei dati: statistica descrittiva	19
Elaborazioni cartografiche	21
BIBLIOGRAFIA	22

INTRODUZIONE

La Carta Pedo-geochimica della Pianura Emiliana a scala 1:250.000, prima approssimazione, si pone l'obiettivo di predisporre uno strumento conoscitivo di base sul contenuto naturale di alcuni metalli nei suoli. Si ritiene che questa conoscenza sia 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 2006/231) come una risorsa sostanzialmente non rinnovabile e, dal Decreto Legislativo 152 del 2006, 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 Pedo-geochimica della Pianura Emiliana rappresenta l'estensione dello studio pilota realizzato tra il 2004 e il 2006 nel Foglio 181 (Parma Nord), alla pianura emiliana situata ad ovest del Fiume Secchia: progetto realizzato da Regione Emilia-Romagna in collaborazione con l'Università degli Studi di Bologna.

La caratterizzazione dei suoli su base geochimica ha condotto alla realizzazione di un nuovo tipo di cartografia pedo-geochimica. Essa può rappresentare da un lato un'efficace alternativa all'approccio convenzionale all'analisi e alla rappresentazione cartografica geochimica (basato unicamente su metodi geostatistici), e costituire dall'altro un potente strumento per identificare e quantificare l'impatto antropico sul suolo.

DEFINIZIONE

La "Carta Pedo-geochimica della Pianura Emiliana in scala 1:250.000" rappresenta la distribuzione areale nel *subsoil* (90-140 cm di profondità, 60-80 cm per i suoli con ghiaie) dei suoli ad uso agricolo di cinque metalli potenzialmente tossici – Cromo [Cr], Nichel [Ni], Zinco [Zn], Rame [Cu] e Piombo [Pb]. Tale profondità è ritenuta rappresentativa del contenuto di fondo naturale (*pedo-geochemical content* secondo la norma ISO/DIS 19258, 2005) in quanto non influenzata da contributo antropico (Huisman et al., 1997).

DESCRIZIONE DELLE ELABORAZIONI CARTOGRAFICHE

Il tenore di fondo naturale dei metalli nei suoli è regolato principalmente da tre fattori: la provenienza del sedimento in cui si è impostato il suolo (*parent material*), la tessitura, e il grado evolutivo. Questi tre fattori, già messi in rilievo dalla letteratura internazionale e nazionale fin dagli anni '80 (Förstner U. & Müller G., 1981; Bini et al., 1986), sono stati confermati dagli studi recenti di caratterizzazione geochimica dei suoli della pianura emiliano-romagnola (Amorosi & Sammartino, 2005; 2007; Regione Emilia-Romagna, Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico Ambientali, 2006 Amorosi et al., 2007; Sammartino et al., 2007).

Così come nell'area pilota del Foglio 181, anche per la carta Pedo-geochimica della pianura emiliana a scala 1:250.000 l'interpretazione dei dati geochimici si è basata fortemente sulle caratteristiche dei suoli campionati.

Le unità cartografiche della carta pedo-geochimica rappresentano insiemi di poligoni appartenenti a classi di ugual concentrazione dei metalli definite attraverso due passaggi principali:

1) analisi dei dati basata sulla distribuzione geografica descritta dalla carta dei suoli, con lo scopo di identificare il/i fattore/i più significativo/i che regola/no il contenuto dei metalli nei vari tipi di suoli: il risultato di questa prima fase sono i box-plot delle figure 2, 4, 7; 10, 13;

2) applicazione di test di significatività statistica alle unità cartografiche identificate dalla precedente fase ai fini di valutare l'opportunità di differenti accorpamenti per definire le classi di concentrazione rappresentate nelle legende.

Questo procedimento ha permesso di descrivere ciascun poligono della Carta dei suoli a scala 1:50.000 con una classe di concentrazione dei metalli sulla base dei suoli presenti e dell'ambiente deposizionale, del bacino idrografico di appartenenza e delle caratteristiche geologiche del territorio, con specifica attenzione alla ricostruzione storica dei percorsi fluviali.

Le legende delle carte riportano inoltre i valori del 90°, 95° e 50° percentile per ogni classe di concentrazione. Il valore del 50° percentile orienta il lettore su un valore "medio", così come accade per le carte geochimiche tradizionali, mentre il 90° percentile potrebbe costituire, in forma maggiormente cautelativa rispetto al 95°, il valore del fondo naturale del metallo.

Cromo [Cr] - Nichel [Ni]

Nel caso del Cromo e del Nichel, l'elaborazione dei dati attraverso l'analisi *cluster* e i diagrammi binari (Fig. 1) hanno permesso di confermare, per l'area in esame, che il contenuto naturale di Cromo e Nichel nei suoli a debole/moderato e da moderato ad elevato grado evolutivo è strettamente legato alla provenienza del *parent material*. In particolare, l'arricchimento in questi metalli è in relazione alla provenienza dei sedimenti da bacini in cui sono presenticompleksi ultramafici (ofiolitici), ricchi in Cr e Ni, che affiorano nelle Alpi Occidentali e in alcuni settori dell'Appennino parmense e piacentino.

Nei suoli ad elevato grado evolutivo, di pertinenza delle superfici più antiche del margine appenninico, questo non accade e il contenuto di metalli è piuttosto omogeneo indipendentemente dal bacino di provenienza dei sedimenti.

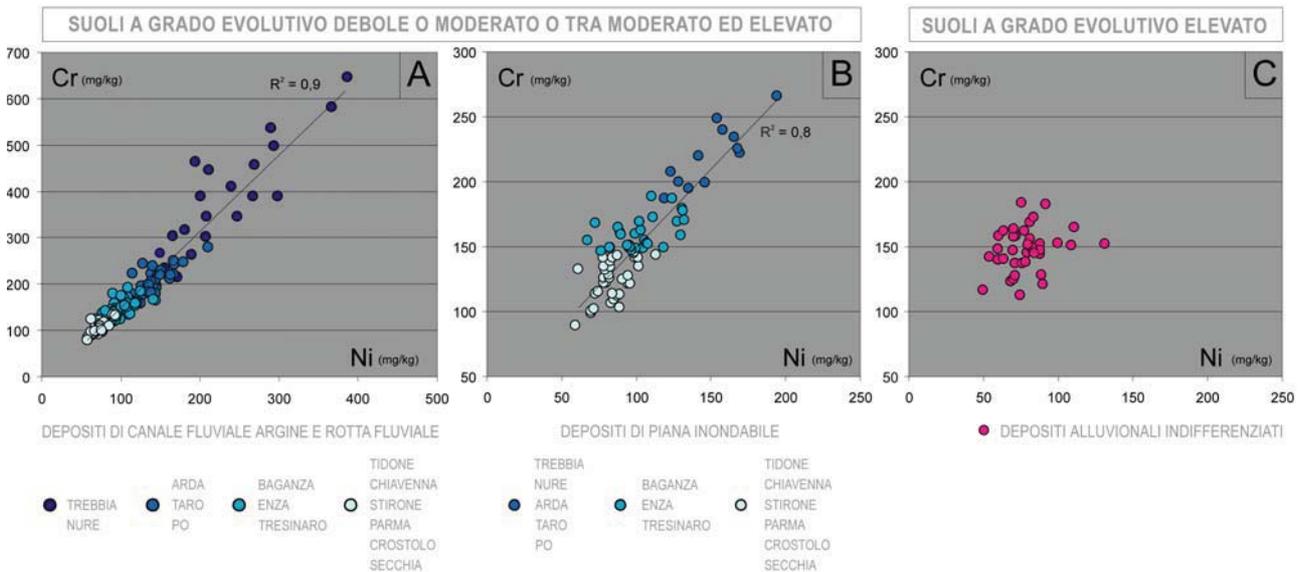


Figura 1. La provenienza di Cr e Ni da una stessa area fonte, così come l'appartenenza di questi due elementi alle stesse fasi mineralogiche, sono documentate nei suoli a debole/moderato e da moderato ad elevato grado evolutivo dai diagrammi A e B, che mostrano una forte correlazione positiva fra le due variabili, espressa da elevati valori di R^2 . I suoli nei depositi di canale, argine, rotta fluviale e conoide (A) e i suoli nei depositi di piana inondabile (B) mostrano tendenze analoghe. Lo stesso segnale non è chiaramente riconoscibile nei suoli ad elevata differenziazione del profilo (C).

La rappresentazione dei dati mediante box-plot (Fig. 2) riassume quanto espresso dal diagramma binario di Figura 1, mostrando i valori di riferimento dei raggruppamenti di suoli, espressi attraverso il 90° percentile al di sotto del relativo box-plot.

I bacini relativi ad aste fluviali con caratteristiche geologiche simili sono stati raggruppati all'interno di un unico box-plot. Per Cromo e Nichel le classi di concentrazione/unità cartografiche individuate sono quattro: in carta sono identificate da tonalità dello stesso colore via via più intense all'aumentare della concentrazione (Fig. 3).

Nella prima classe sono inclusi i poligoni che appartengono a bacini di drenaggio privi di contributi ofiolitici. Questa classe comprende suoli su *parent material* attribuiti ai fiumi Secchia, Parma, Crostolo, Tidone e ai torrenti Chiavenna e Stirone. I suoli di questa classe presentano le più basse concentrazioni in Cr e Ni registrate nell'area in esame, invariabilmente al di sotto dei limiti di legge (150 mg/kg per Cromo e 120 mg/kg per Nichel nella colonna A della tabella dell'Allegato 5 al titolo V del D.lgs.152/06; 75 mg/kg per il Nichel nell'Allegato I A del D.lgs. 99/92). La classe 2, caratterizzata da un contenuto in Cr e Ni mediamente superiore, si riferisce a suoli dei bacini di pertinenza dei fiumi Baganza, Enza e Tresinaro. Questi presentano al loro interno limitate percentuali di formazioni geologiche contenenti ofioliti, sufficienti tuttavia a determinare un tenore del fondo naturale nel suolo superiore ai limiti di legge. La classe 3, caratterizzata da contenuti di ofioliti rilevanti, si riferisce ai suoli dei bacini di drenaggio dei fiumi Taro, Arda e Po, per i quali la concentrazione nei suoli di entrambi i metalli si colloca ben al di sopra dei limiti di legge. La classe 4, infine, definita dai massimi tenori in Cr e Ni registrati all'interno dell'area in esame, si riferisce ai suoli dei bacini dei

fiumi Nure e Trebbia. Si sottolineano qui le elevate concentrazioni di formazioni ofiolitiche all'interno dei relativi bacini di drenaggio.

Pur rimanendo nell'ambito della stessa classe il valore del fondo naturale di Cr e Ni è in genere leggermente più elevato nei suoli fini di piana inondabile rispetto ai corrispettivi suoli a tessitura grossolana di canale, argine e rotta fluviale. I suoli antichi delle superfici terrazzate del margine si collocano, per quanto riguarda il Cromo, nella seconda classe (Figg. 2 - 3), e in prima classe nella carta del Nichel (Figg. 4 - 5) a testimoniare un maggiore impoverimento in metallo all'aumentare del grado evolutivo.

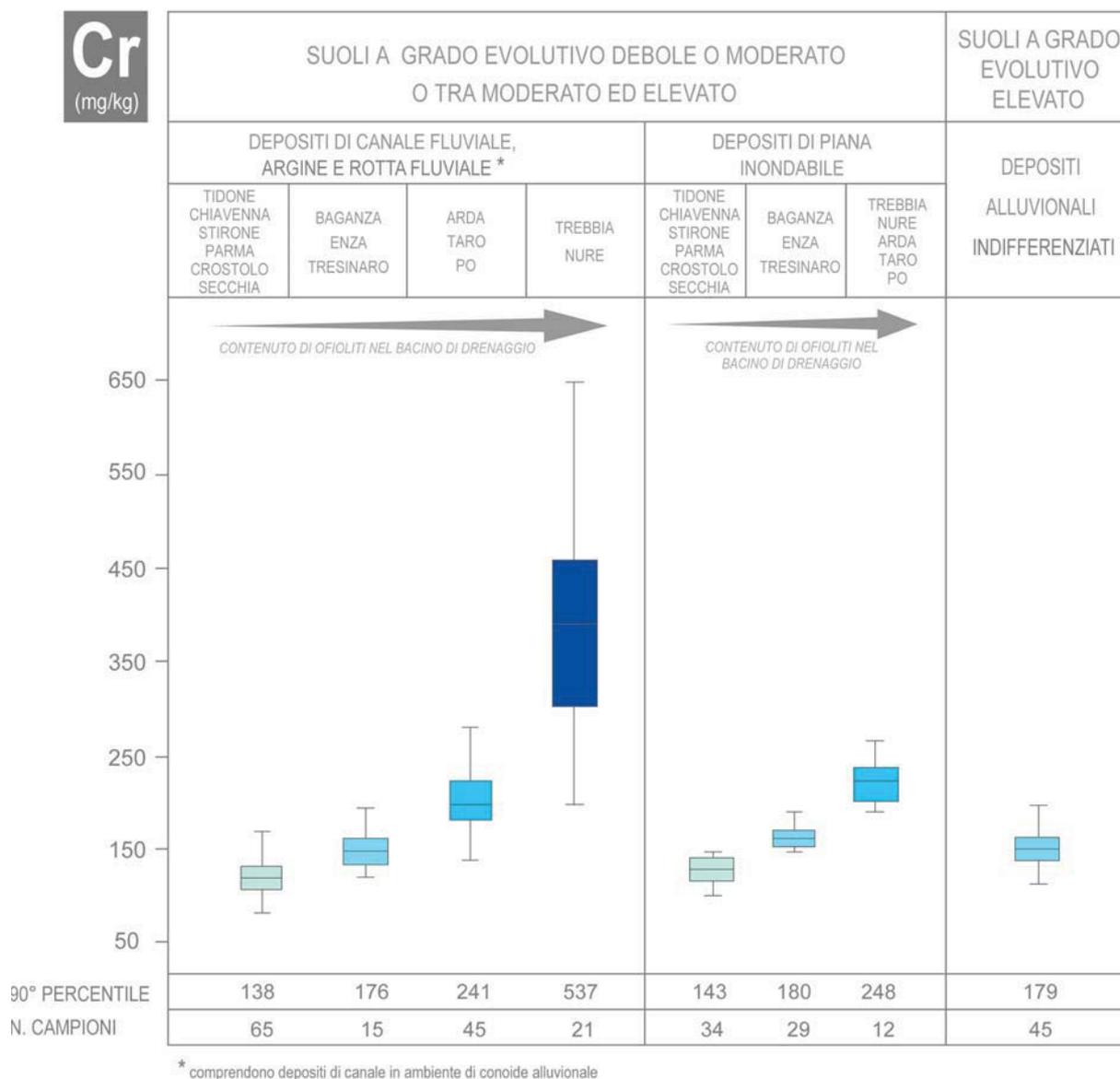
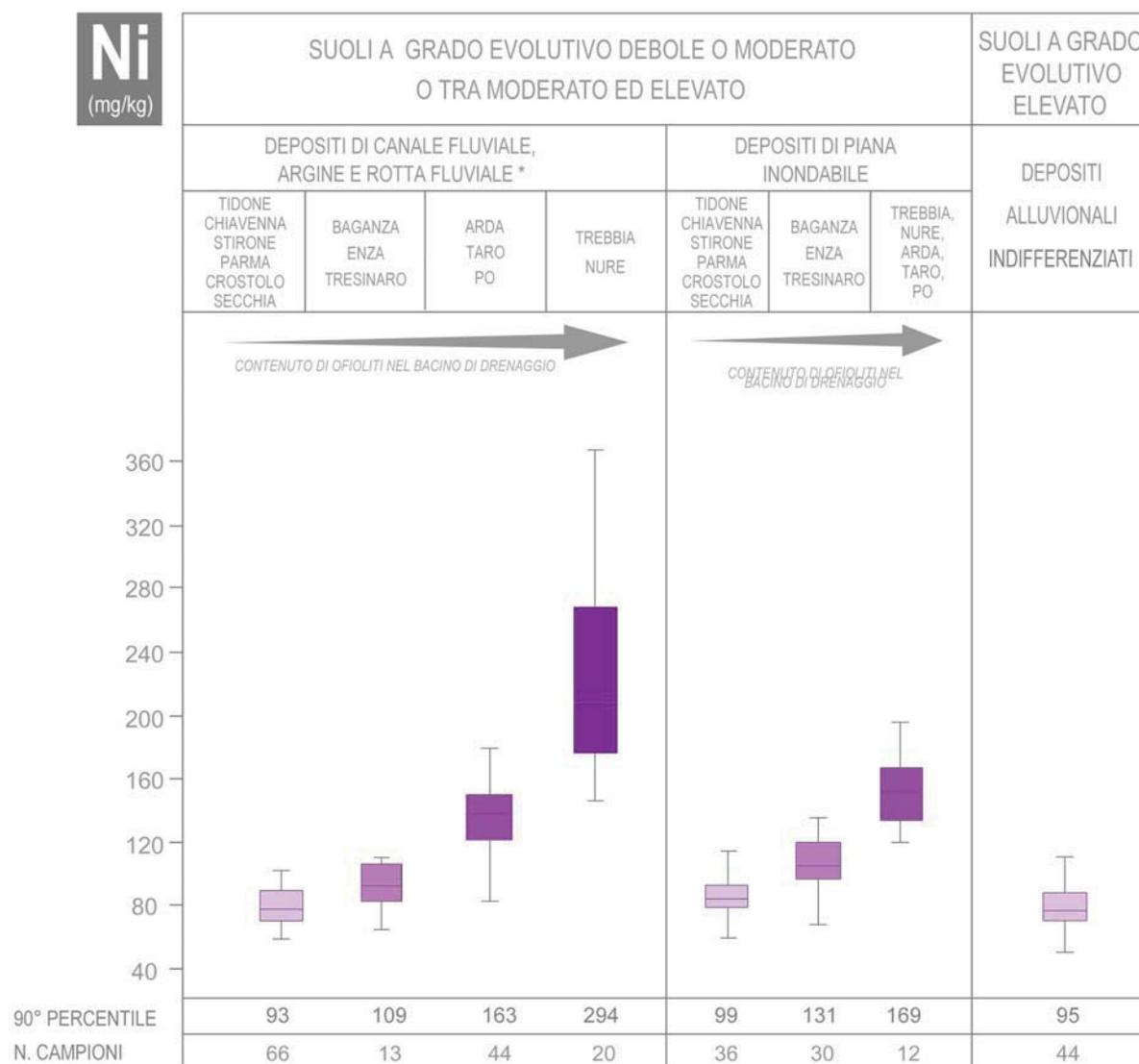


Figura 2. Caratterizzazione geochimica dei suoli della pianura emiliana relativamente al contenuto pedo-geochimico in Cr. I suoli sono distinti in primo luogo sulla base del grado evolutivo. Un secondo livello classificativo distingue le due principali associazioni di facies (canale, argine e rotta fluviale vs piana inondabile) dei sistemi di pianura alluvionale e conoide analizzate per domini di provenienza. I dati sono rappresentati per valori crescenti del contenuto di ofioliti all'interno dei bacini di drenaggio. Al di sotto di ogni box plot viene riportato il valore di concentrazione di metallo relativo al 90° percentile, nonché il numero di campioni "N" utilizzati per la costruzione del box-plot.

Cr (mg/kg)	90°	95°	50°	N. CAMPIONI
	Classe 1	142	146	122
Classe 2	180	185	151	89
Classe 3	241	246	197	57
Classe 4	537	582	389	21

Figura 3. Legenda della Carta del contenuto pedo-geochimico in Cr dei suoli della pianura emiliana. Nella sintesi finale i suoli vengono distinti in funzione principalmente del parent material. In questa prima approssimazione i suoli nei depositi più antichi sono stati aggregati ai suoli con contenuto medio di Cr.



* comprendono depositi di canale in ambiente di conoide alluvionale

Figura 4. Caratterizzazione geochemica dei suoli della pianura emiliana relativamente al contenuto pedo-geochemico in Ni. I suoli sono distinti in primo luogo sulla base del grado evolutivo. Un secondo livello classificativo distingue le due principali associazioni di facies (canale, argine e rotta fluviale vs piana inondabile) dei sistemi di pianura alluvionale e conoide analizzate per domini di provenienza. I dati sono rappresentati per valori crescenti del contenuto di ofioliti all'interno dei bacini di drenaggio. Al di sotto di ogni box plot viene riportato il valore di concentrazione di metallo relativo al 90° percentile, nonché il numero di campioni "N" utilizzati per la costruzione del box-plot. Si osservi il comportamento di Ni, analogo rispetto a Cr sia per quanto concerne la distribuzione in base alla provenienza del sedimento, che per quanto riguarda il preferenziale accumulo di metallo all'interno dei sedimenti fini.

Ni (mg/kg)	Ni			
	90°	95°	50°	N. CAMPIONI
Classe 1	95	100	79	146
Classe 2	129	131	104	43
Classe 3	167	168	136	56
Classe 4	294	302	208	20

Figura 5. Legenda della Carta del contenuto pedo-geochemico in Ni dei suoli della pianura emiliana. Nella sintesi finale i suoli vengono distinti in funzione principalmente del parent material. In questa prima approssimazione i suoli nei depositi più antichi sono stati aggregati ai suoli con contenuto basso di Ni.

Zinco [Zn]

A differenza di Cr e Ni, il contenuto pedo-geochemico di Zn dei suoli della pianura emiliana non mostra significative differenze in base alla provenienza del sedimento. Emerge per questo metallo la tessitura come fattore prevalente nel determinare differenti concentrazioni naturali nei suoli. I diagrammi di Figura 6 mostrano la buona correlazione positiva di Zinco con Vanadio (V) all'interno dei suoli a debole, moderata e tra moderata ed elevata differenziazione del profilo, che rivela la maggiore affinità di questo metallo per la frazione allumosilicatica del sedimento e, di conseguenza, un suo accumulo preferenziale nelle tessiture fini. Risultati analoghi si ottengono con l'allumina, ossido rappresentativo dei minerali argillosi che tendono a formarsi come minerale secondario in risposta ai processi di differenziazione dei suoli. Questa interpretazione è avvalorata dagli elevati valori di Zn e V registrati all'interno dei sedimenti argilloso-limosi di piana inondabile, contrapposti ai valori sistematicamente inferiori osservati all'interno delle sabbie di canale fluviale. A cavallo tra questi due gruppi, in parziale sovrapposizione con i suoli meno evoluti di canale, argine e rotta fluviale, si collocano i campioni prevalentemente franco argilloso limosi dei suoli con grado evolutivo tra moderato ed elevato che al margine della pianura emiliana si impostano al tetto dei depositi di conoide alluvionale antica. Anche nei suoli ad elevato grado evolutivo, nonostante il contenuto di Vanadio aumenti, si osserva un progressivo impoverimento nel contenuto in Zinco (Fig. 4), probabilmente a causa di una certa mobilità di questo elemento come effetto dell'intensità dei processi pedogenetici.

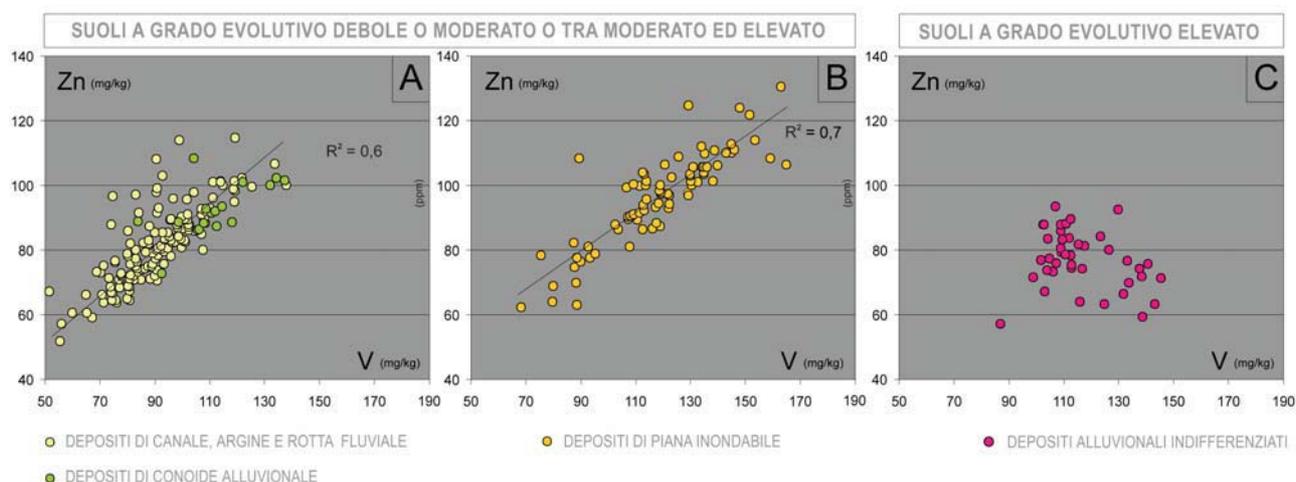


Figura 6. Diagramma Zn/V relativo a suoli a diversa granulometria e differente grado evolutivo.

La rappresentazione dei dati mediante box-plot (Fig. 7) riassume quanto espresso dai diagramma binari di Figura 6, mostrando i valori di riferimento dei quattro raggruppamenti di suoli, espressi attraverso il 90° percentile al di sotto del relativo box-plot. In seguito all'analisi statistica, che ne ha valutato la significatività, si è proceduto all'accorpamento dei quattro gruppi iniziali. Si sono così definite le due classi rappresentate in carta con due colori (Fig. 8).

Nella prima classe sono accorpate i suoli antichi e quelli di canale argine e rotta fluviale a debole e moderata differenziazione del profilo; nella seconda sono accorpate i suoli di piana inondabile a debole e moderata differenziazione del profilo e quelli di conoide a differenziazione del profilo da moderata ad elevata.

Entrambe le classi hanno valori del 90° e 95° percentile al di sotto al limite di legge per i siti ad uso verde pubblico o privato e residenziale che è di 150 mg/kg (tabella dei valori limite dell'Allegato 5 al Titolo V del D.lgs 152/06) e di 300 mg/kg (Allegato I A del D.lgs 99/92).

Nella definizione delle classi interagiscono due fattori dominanti (tessitura e grado evolutivo), ma quello che prevale nettamente è il fattore tessiturale.

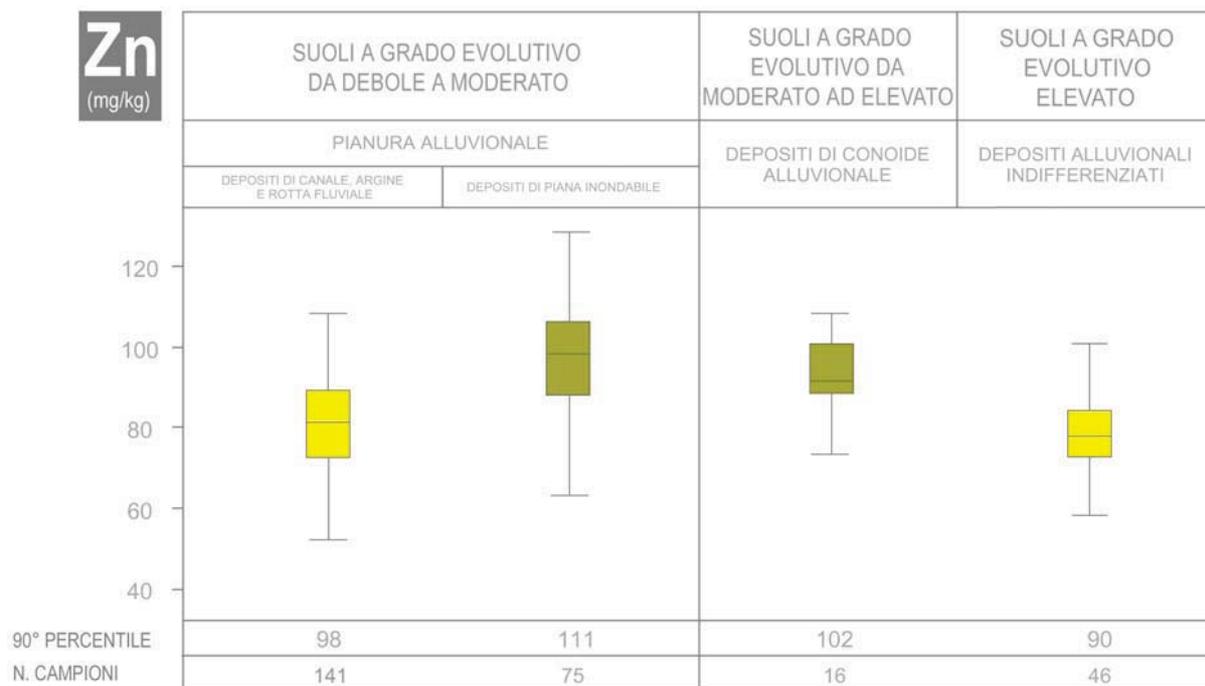


Figura 7. Caratterizzazione geochimica dei suoli della pianura emiliana relativamente al contenuto pedo-geochimico in Zn. Il tenore naturale di Zn nei suoli è principalmente funzione della granulometria: si osserva un relativo accumulo del metallo all'interno delle argille e dei limi di piana inondabile e dei sedimenti siltoso-argillosi che chiudono al tetto sedimenti di conoide alluvionale.

Zn (mg/kg)	90°	95°	50°	N. CAMPIONI
Classe 1	97	100	80	187
Classe 2	110	113	97	91

Figura 8. Legenda della Carta del contenuto pedo-geochimico in Zn dei suoli della pianura emiliana. Nella sintesi finale i suoli vengono distinti in funzione principalmente della granulometria.

Rame [Cu]

La distribuzione di Cu mostra una variabilità coerente con il grado evolutivo dei suoli. I diagrammi di Figura 9 mettono in relazione Cu con LOI (Loss on Ignition), a sua volta indicativa della quantità di sostanza organica e di carbonati nel suolo. Entrambe le variabili tendono a diminuire nei suoli più evoluti, in risposta ai processi di alterazione ed eluviazione. I bassi valori di Cu riscontrati all'interno dei suoli ad elevata differenziazione del profilo indicano l'appartenenza di questo metallo a fasi minerali poco resistenti ai processi di pedogenesi.

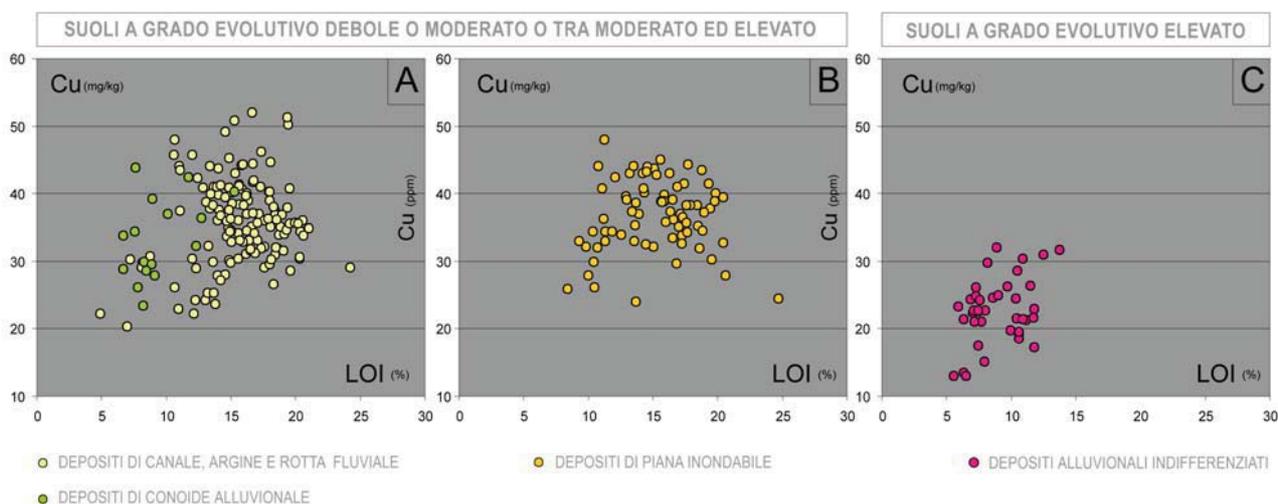


Figura 9. Diagrammi Cu/LOI (Loss on Ignition) relativo a suoli a diversa granulometria e differente grado evolutivo.

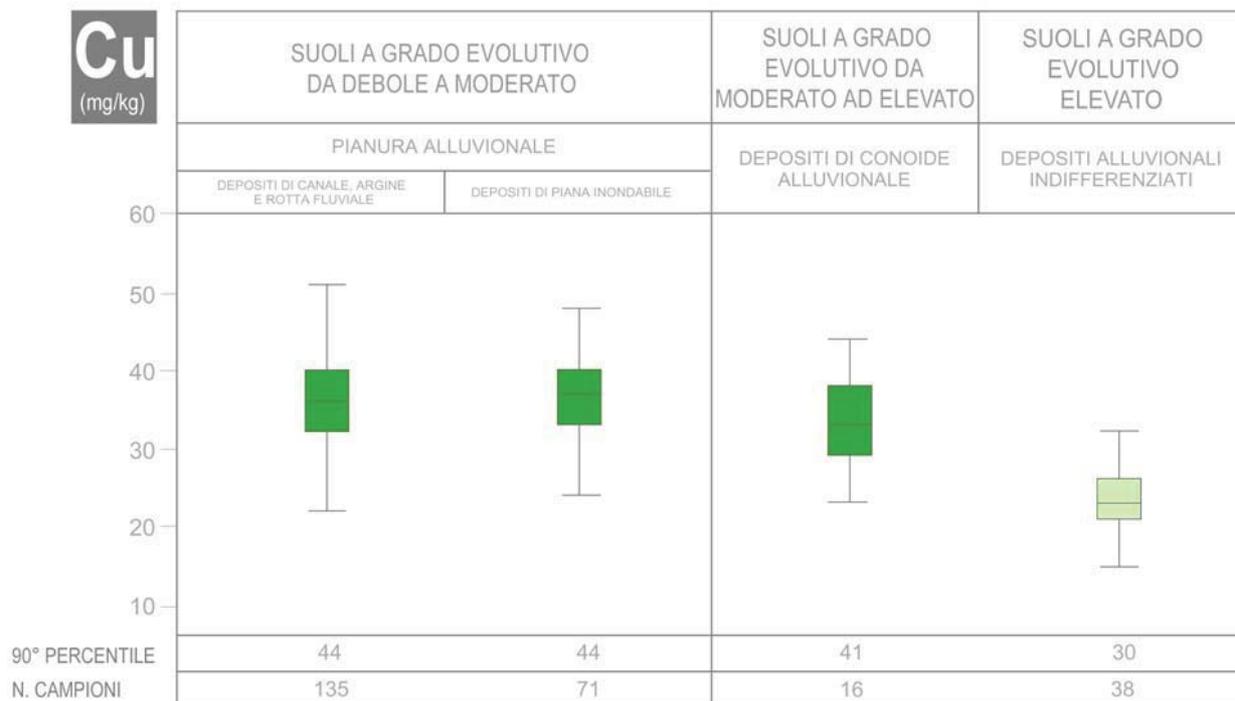


Figura 10. Caratterizzazione geochimica dei suoli della pianura emiliana relativamente al contenuto pedo-geochimico in Cu. Si noti come il tenore naturale di Cu nei suoli sia principalmente funzione del grado evolutivo, osservandosi un relativo impoverimento nei suoli ad elevata differenziazione del profilo

La rappresentazione grafica di Cu mediante box-plot (Fig. 10) mostra i valori di riferimento dei quattro raggruppamenti di suoli espressi attraverso il loro limite rappresentato dal 90° percentile, posto al di sotto del relativo box-plot. Anche in questo caso i risultati sono coerenti con quanto mostrato nel diagramma binario. L'analisi statistica evidenzia la differenza significativa di almeno una classe individuata su base Pedo-geochimica (suoli ad elevata differenziazione del profilo) rispetto alle altre. Vengono così definite due classi, rappresentate in carta da altrettanti colori (Fig. 11).

Entrambe le classi hanno valori del 90° e 95° percentili al di sotto del limite di legge per i siti ad uso verde pubblico o privato e residenziale che è di 120 mg/kg (tabella contenuta nell'Allegato 5 al Titolo V del D.lgs 152/06), e di 100 mg/kg (Allegato I A del D.lgs. 99/92).

Cu (mg/kg)	90°	95°	50°	N. CAMPIONI
	Classe 1	30	32	23
Classe 2	44	45	36	222

Figura 11. Legenda della Carta del contenuto pedo-geochimico in Cu dei suoli della pianura emiliana. Nella sintesi finale i suoli vengono distinti in funzione principalmente del loro grado evolutivo.

Piombo [Pb]

Dati di letteratura e studi recenti (Segatta G. et al, 2008) dimostrano come il contenuto di Pb nei suoli sia influenzato dalla provenienza del *parent material* in presenza di particolari litologie (vulcaniti): in Emilia-Romagna tali tipologie di rocce sono molto rare e questo fattore non risulta quindi essere rilevante.

Come si deduce dai diagrammi di Fig.12 anche la tessitura non è un fattore determinante; sembra esserci invece una debole variabilità coerente con il grado evolutivo dei suoli.

I diagrammi di Figura 12 mettono in relazione Pb con l'allumina (Al_2O_3), ossido rappresentativo dei minerali argillosi che tendono a formarsi come minerale secondario in risposta ai processi di differenziazione dei suoli.

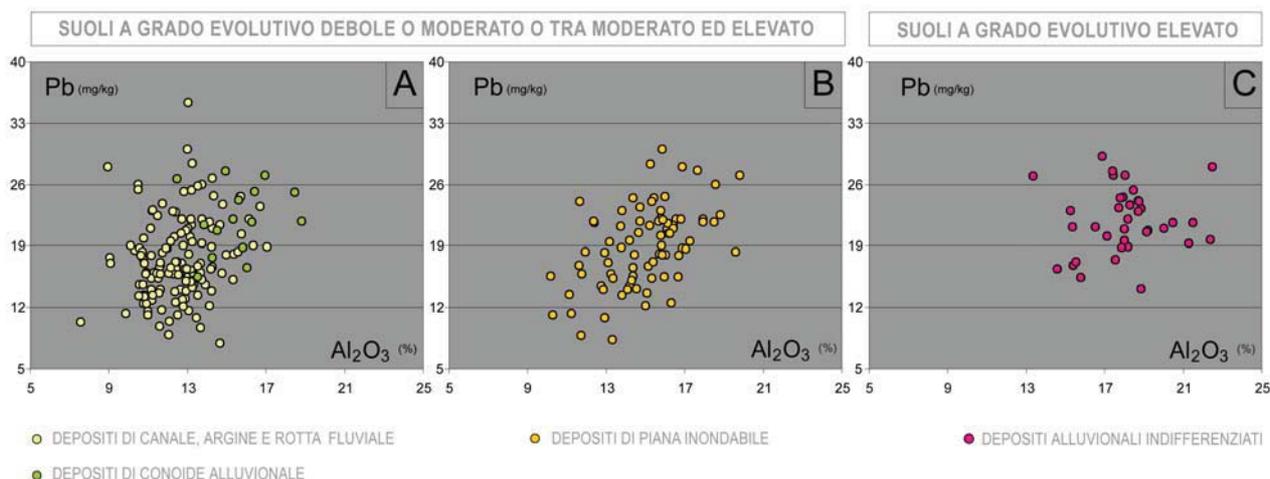


Figura 12. Diagramma Pb/Al_2O_3 relativo a suoli a diversa granulometria e differente grado evolutivo.

I diagrammi suggeriscono una scarsa mobilità del Piombo, che tende ad arricchirsi leggermente nei suoli più evoluti parallelamente alla formazione di minerali secondari. La relazione $Pb-Al_2O_3$, come si vede dalla dispersione dei dati nei diagrammi, non è in grado tuttavia di spiegare in modo soddisfacente la variabilità complessiva di questo metallo, indicando una concomitanza di fattori solo in parte noti che ne influenzano la distribuzione.

La rappresentazione grafica di Pb mediante box-plot (Fig. 13) mostra i valori di riferimento dei quattro raggruppamenti di suoli espressi attraverso il loro limite rappresentato dal 90° percentile, posto al di sotto del relativo box-plot. Anche in questo caso i risultati sono coerenti con quanto mostrato nel diagramma binario. L'analisi statistica evidenzia la differenza significativa di due classi di suoli (suoli a differenziazione del profilo da debole a moderata vs suoli a differenziazione del profilo da moderata ad elevata) individuati su base pedo-geochemica. Si è scelto tuttavia di rappresentare tutte le classi in carta mediante un solo colore in quanto l'entità numerica della differenza dei percentili delle classi si colloca in prossimità del margine di errore dell'analisi chimica (Fig. 14).

Entrambe le classi hanno valori del 90° e 95° percentili al di sotto del limite di legge per i siti ad uso verde pubblico o privato e residenziale che è di 100 mg/kg sia nel D.lgs 152/06 (Allegato 5 al Titolo V) sia nell'Allegato I A del D.lgs 99/92.

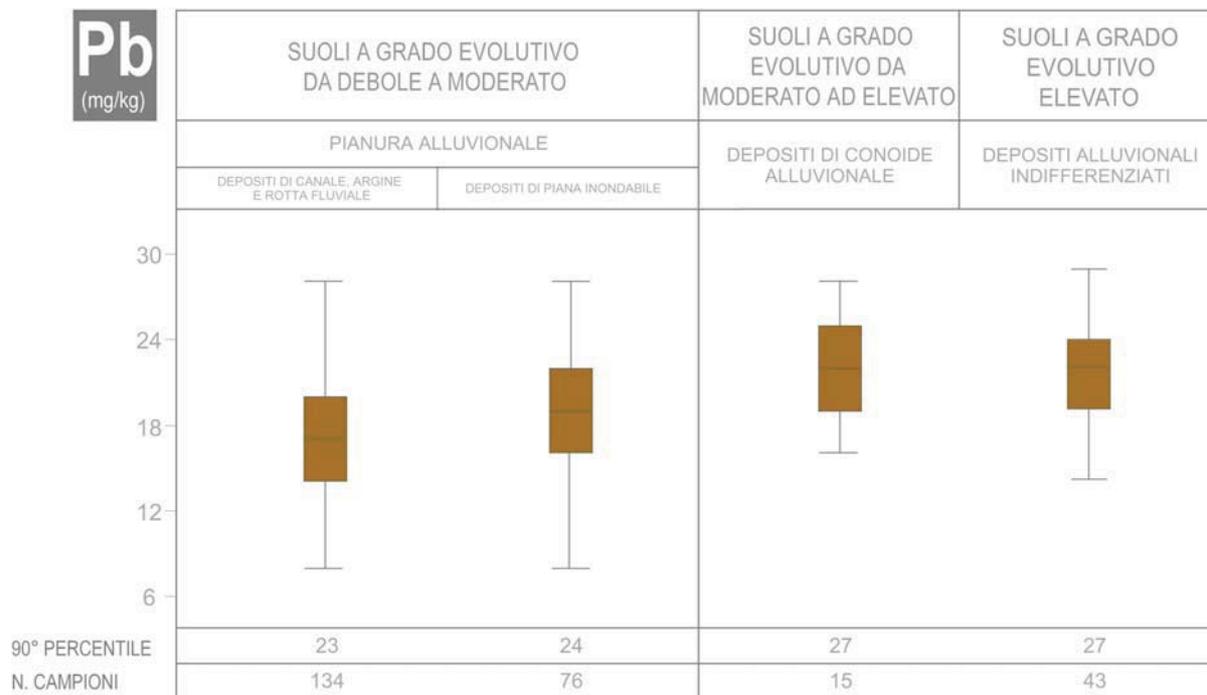


Figura 13. Caratterizzazione geochemica dei suoli della pianura emiliana relativamente al contenuto pedo-geochemico in Pb. Il tenore naturale di Pb nei suoli è principalmente funzione del grado evolutivo: si osserva un relativo arricchimento nei suoli da moderata ad elevata differenziazione del profilo.

Pb (mg/kg)		90°	95°	50°	N. CAMPIONI
Classe 1		25	27	19	268

Figura 14. Legenda della Carta del contenuto pedo-geochemico in Pb dei suoli della pianura emiliana. Nella sintesi finale i suoli vengono accorpati in un'unica classe di colore.

METODOLOGIA

La metodologia adottata per la realizzazione della Carta Pedo-geochimica della Pianura Emiliana in scala 1:250.000 fa riferimento principalmente alla norma ISO/DIS 19258 (2005) – *Guidance on the determination of background values* -, che è stata applicata a partire dal campionamento fino alla elaborazione statistica dei dati e alla individuazione del 90° percentile come proposta del valore rappresentativo del contenuto pedo-geochimico o contenuto di fondo naturale (*pedo-geochemical background value*).

La conoscenza dello stato del suolo in riferimento al contenuto in Cromo, Nichel, Zinco, Rame e Piombo è avvenuta attraverso le seguenti fasi:

- acquisizione delle conoscenze relative all'area indagata
- sintesi dei dati raccolti per la migliore comprensione del tenore di fondo naturale e la pianificazione della attività in campo
- campionamento
- analisi di laboratorio
- interpretazioni dei dati
- elaborazioni cartografiche

Acquisizione delle conoscenze relative all'area indagata

Sono stati utilizzati come dati di base: la Carta dei suoli 1:50.000 (Regione Emilia-Romagna, aggiornamento 2010), la Carta dei bacini idrografici (Regione Emilia-Romagna, 2009, *modificata*), la Carta Geologica della pianura padana a scala 1:250.000 e la Carta geologica della Regione Emilia-Romagna (parte collinare) a scala 1:10.000. A tali dati sono stati affiancati la Carta dell'uso del suolo (Regione Emilia-Romagna, 1976-2003) e le foto aeree (coperture dal 1954 al 2008), al fine di controllare l'ubicazione dei siti di campionamento relativamente alle attività produttive anche passate.

Sintesi dei dati raccolti per la migliore comprensione del tenore di fondo naturale e la pianificazione della attività in campo

La cartografia regionale dei suoli a scala 1:50.000 è stata finalizzata allo scopo del lavoro sintetizzandone i contenuti semantici e spaziali (Figg 15a e 15b).

La sintesi proposta e utilizzata per l'area pilota del Foglio 181 e per il presente studio permette di identificare tre raggruppamenti principali, diversificati tra loro per livello evolutivo:

- 1) suoli a forte grado evolutivo (Luvisols), impostati su sedimenti relativamente antichi del margine appenninico, di età pleistocenica;
- 2) suoli a grado evolutivo moderato (Haplic Calcisols), sviluppati su sedimenti di epoca pre-romana e romana;
- 3) suoli a debole grado evolutivo, impostati su sedimenti di pianura, poco (Cambisols) o non alterati (Fluvisols), di età post-romana.

Come evidenziato in seguito, questa sintesi trova un importante riscontro nella caratterizzazione geochimica dei suoli.

La sovrapposizione a scala regionale di questa cartografia di sintesi con la carta dei bacini della Regione Emilia-Romagna e la valutazione degli ambienti deposizionali, del *parent material* e delle tipologie di suolo sono state le basi per l'ubicazione dei punti di campionamento e per l'interpretazione dei dati geochimici ad essi relativi.

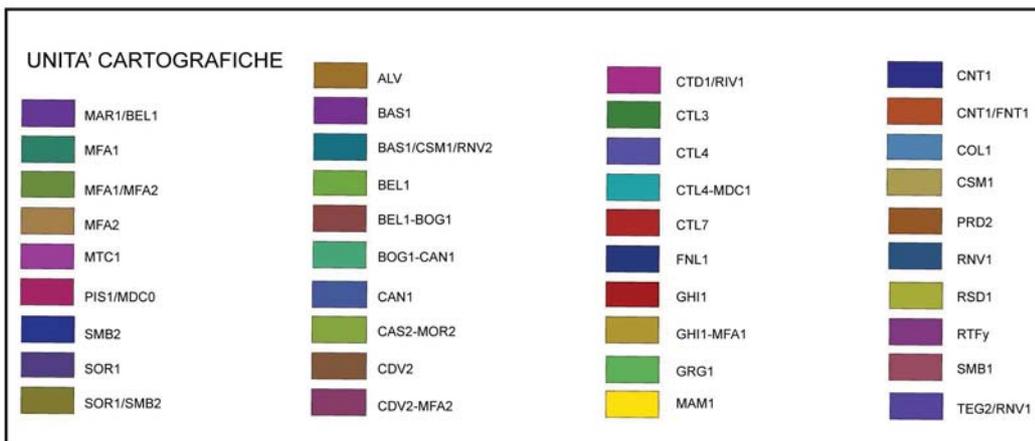
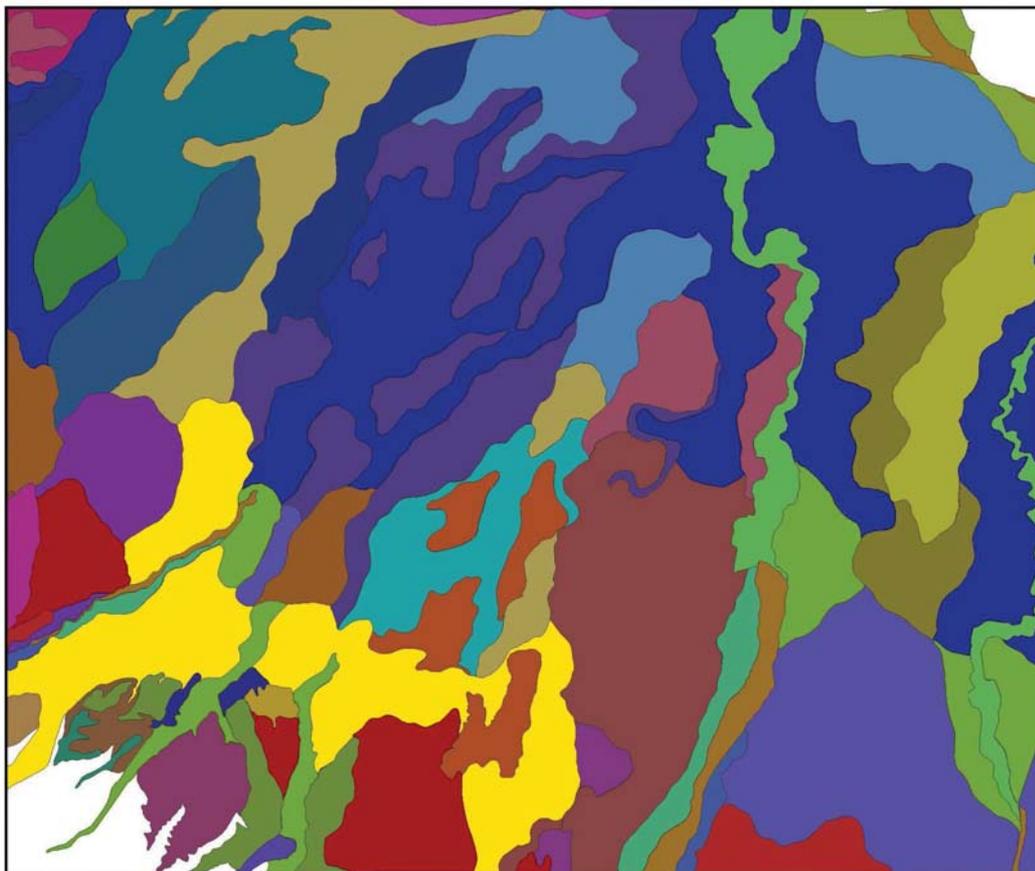


Figura 15a. Carta dei suoli a scala 1:50.000 del Foglio 181 (aggiornamento 2005).

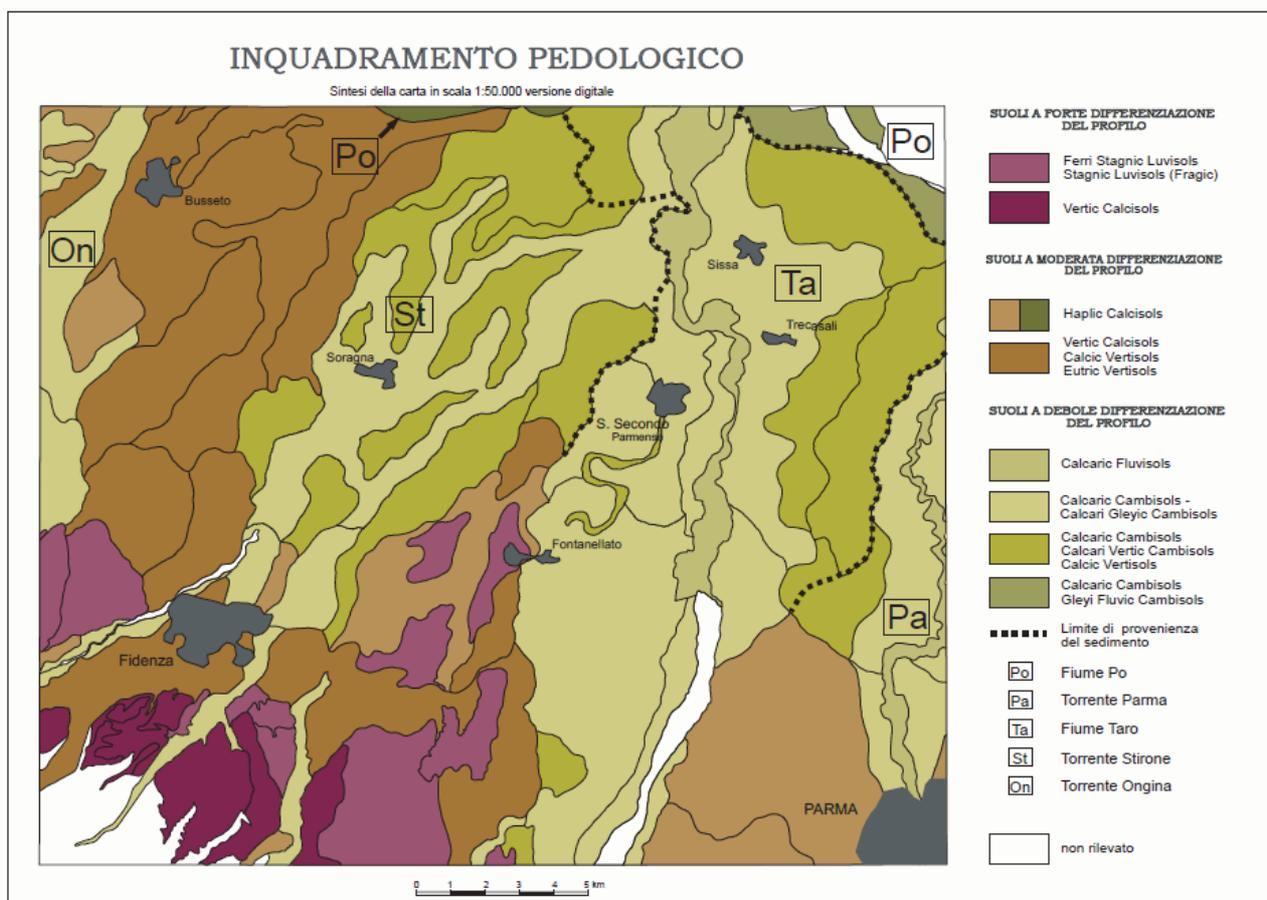


Figura 15b. Inquadramento pedologico del Foglio 181 (aggiornamento 2005) sulla base del grado evolutivo dei suoli e dei bacini di provenienza.

Campionamento

Il campionamento per la determinazione del valore di fondo naturale è stato eseguito mediante il prelievo di campioni di suolo alla 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 dei suoli 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); descrizione della trivellata (granulometria, colore, reattività all'HCl 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. La stima della granulometria e delle sue variazioni verticali, assieme alla descrizione del tipo di contatto stratigrafico e dei componenti accessori eventualmente presenti nei diversi tipi di orizzonte hanno reso possibile l'identificazione delle facies e la conseguente attribuzione all'ambiente deposizionale di ogni campione destinato all'analisi geochimica.

Analisi di laboratorio

Tra i metodi analitici per la determinazione dei metalli nel suolo e/o nei sedimenti si è scelto 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 dopo l'analisi. I metalli di interesse per questo studio sono Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, 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 prelevati sono stati analizzati presso il Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-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 (Govindarajiu, 1989). I risultati mostrano valori generali al meglio del 5% (<3% per Cr, <2% per Ni, circa 2% per Cu, circa 3% per Zn, tra 10 e 20% per Pb) e del 10-30% per gli elementi la cui concentrazione è minore di 10 mg/kg.

Va sottolineato che questo metodo, pur non essendo standardizzato da una norma ISO, viene riconosciuto dalla ISO/DIS 19258 come utilizzabile per la determinazione della concentrazione totale, assieme al metodo ad 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.

Interpretazione dei dati

La base dati utilizzata per la costruzione delle carte pedo-geochemiche, tenuto conto che alcuni campioni di ambigua attribuzione (circa una ventina) sono stati eliminati dal computo totale, consta di **283** siti di campionamento, con una densità massima di un dato ogni 5 kmq (area pilota del Foglio 181 a scala 1:50.000) ed una minima di un dato ogni 16 kmq (campionamento a scala 1:250.000). Per ogni campione si è proceduto all'attribuzione sia pedologica (tipo di suolo e grado evolutivo) e di bacino, sia sedimentologica (tipo di ambiente deposizionale). Questa fase ha costituito il punto di partenza per le successive fasi di raggruppamento e analisi statistica "ragionata" dei campioni (vedi composizione dei box-plot e parametri statistici nel paragrafo successivo).

L'analisi *cluster* dei dati pedo-geochemici (Fig. 16) ha individuato i gruppi ad affinità geochemica per i quali sono stati identificati, su base anche bibliografica, alcuni *marker* (MgO, Al₂O₃, Zr, V, TiO₂) utilizzati successivamente nella costruzione dei diagrammi binari (Fig. 17). La caratterizzazione geochemica dei dati attraverso l'impiego di diagrammi binari, associata all'analisi statistica, ha contribuito all'identificazione, e successiva esclusione dal set, di campioni possibilmente inquinati e dunque non rappresentativi del fondo naturale.

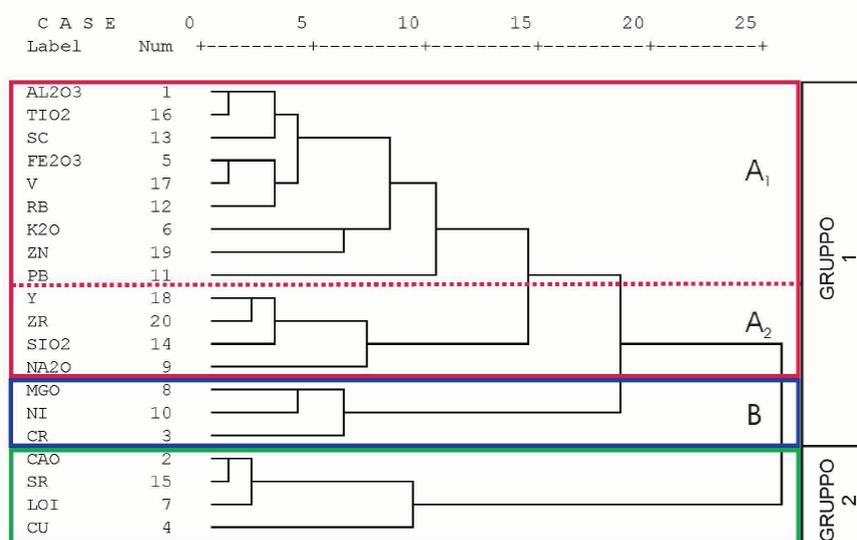


Figura 16. Dendrogramma delle variabili ottenuto dall'analisi cluster.

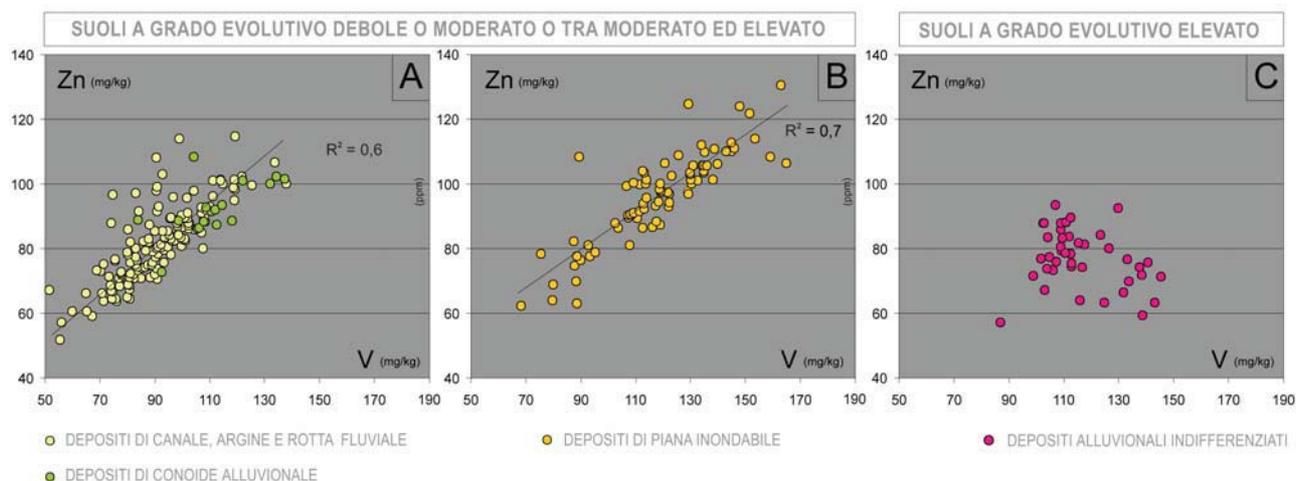


Figura 17. Diagramma Zn/V relativo a suoli a diversa granulometria e differente grado evolutivo.

Analisi dei dati: statistica descrittiva

I dati ad affinità Pedo-geochemica sono stati aggregati sulla base dei seguenti fattori:

- ambito geologico di appartenenza (distinzione tra depositi derivati dallo smantellamento di complessi ofiolitici e sedimenti provenienti da aree fonte prive di rocce ofiolitiche);
- ambiente deposizionale (distinzione tra associazioni di facies di canale fluviale/argine e piana inondabile);
- grado evolutivo del suolo (distinzione tra suoli a debole, moderata, elevata differenziazione del profilo).

Dopo la valutazione qualitativa dei campioni per individuarne le affinità geochemiche con identificazione degli anomali (senza per questo eliminarli dal set di dati) sono stati individuati i gruppi affini, rappresentati tramite box-plot (Fig. 18). Per ognuno di essi sono stati definiti i parametri statistici quali quartili, mediana, minimo, massimo e distribuzione. Gli outliers, che sono stati effettivamente eliminati dal set di dati, sono stati calcolati come valori rispettivamente inferiori o superiori a 1,5 volte lo scarto interquartile, cioè la distanza tra il primo e il terzo quartile.

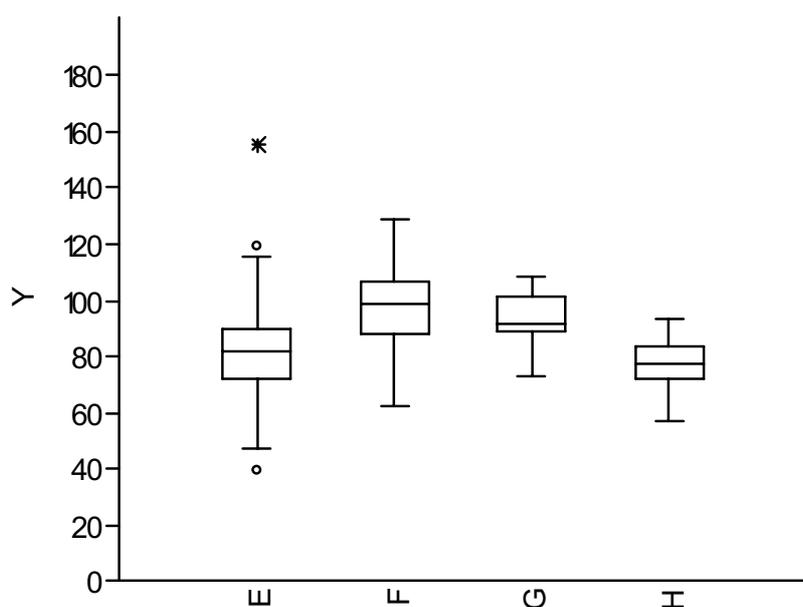


Figura 18. Esempio di box-plot con individuazione degli outliers relativi allo Zinco.

Per i metalli il cui contenuto naturale non è legato alla provenienza del sedimento, ma alla tessitura o al grado di alterazione (Cu, Zn e Pb), alcuni dei gruppi identificati per affinità Pedo-geochemica hanno dato origine a box-plot con parametri statistici descrittivi piuttosto simili tra loro.

La stima della significatività nella differenza tra i gruppi individuati su base Pedo-geochemica e rappresentati mediante diverso colore mediante box-plot (Fig. 19, esempio dello Zinco), è stata testata dapprima attraverso l'analisi della varianza (ANOVA), al fine di stabilire l'esistenza di eventuali differenze fra i gruppi. L'analisi ha individuato differenze a livello di significatività α di 0,01 per tutti i metalli. Una volta individuata la presenza di differenze statisticamente significative fra le classi si è proceduto a un confronto a due a due fra le stesse, attraverso il test T di Student. I risultati hanno confermato (sempre con livelli di significatività $\alpha=0,01$) quanto già individuato attraverso la caratterizzazione geochemica.

Per quanto riguarda **Zn**:

- differenze significative fra depositi di canale fluviale e piana inondabile, canale fluviale e conoide alluvionali, piana inondabile e suoli ad elevata differenziazione del profilo, depositi di conoide alluvionale e suoli ad elevata differenziazione del profilo;

- differenze non significative fra depositi di piana inondabile e di conoide alluvionale, e tra depositi di canale fluviale e suoli ad elevata differenziazione del profilo.

Per quanto riguarda **Cu**:

- differenze significative fra suoli ad elevata differenziazione del profilo e ciascuna delle altre tre classi (depositi di canale fluviale, piana inondabile e conoide alluvionale), nonché tra depositi di piana inondabile e conoide alluvionale, differenza quest'ultima non chiaramente emersa attraverso la caratterizzazione geochemica;

- differenze non significative fra depositi di piana inondabile e canale fluviale, e fra depositi di canale fluviale e conoide alluvionale.

Infine, per quanto riguarda **Pb**:

- differenze significative fra depositi di canale fluviale e conoide alluvionale, canale fluviale e suoli ad elevata differenziazione del profilo, depositi di piana inondabile e conoide alluvionale, e fra depositi di piana inondabile e suoli ad elevata differenziazione del profilo;

- differenze non significative fra depositi di canale fluviale e di piana inondabile, e tra depositi di conoide alluvionale e suoli ad elevata differenziazione del profilo.

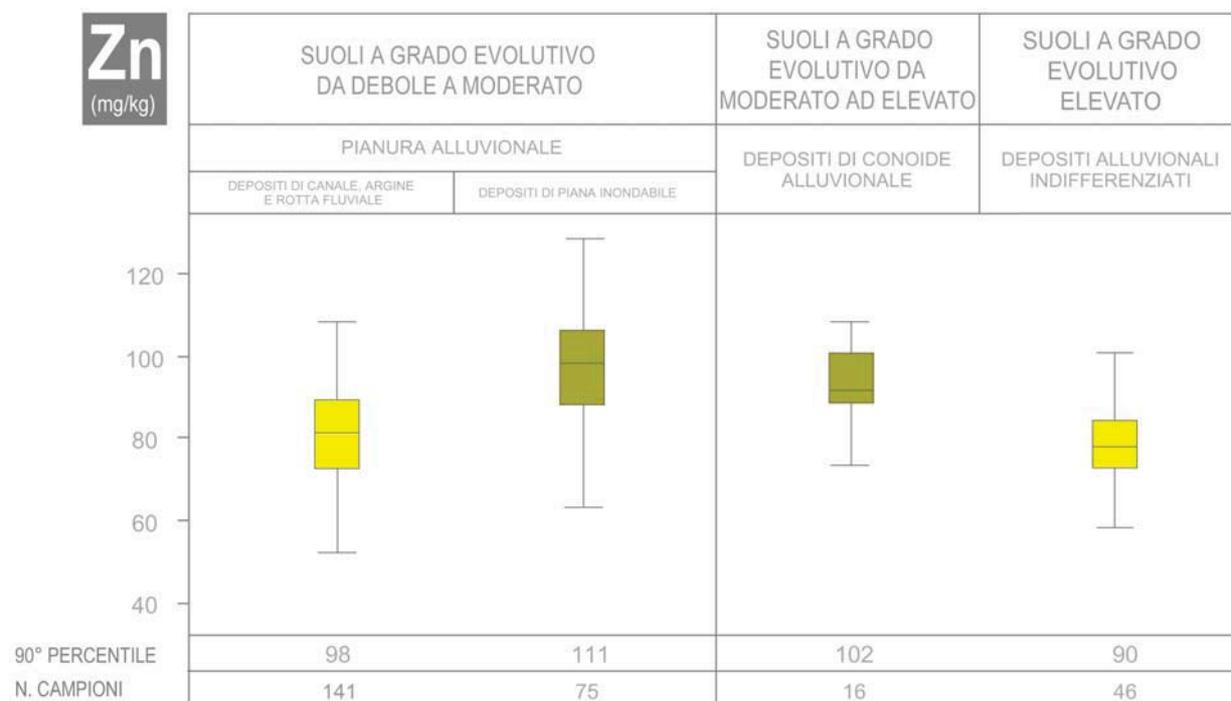


Figura 19. Caratterizzazione geochemica dei suoli della pianura emiliana relativamente al contenuto pedo-geochemico in Zn.

Elaborazioni cartografiche

La rappresentazione cartografica del fondo naturale di Cr, Ni, Zn, Cu e Pb si basa sulla caratterizzazione geochimica dei suoli ed è costruita sulla base della attribuzione a classi di concentrazione dei poligoni della carta dei suoli della pianura a scala 1:50.000. Le classi di concentrazione colorate in legenda con colori ad intensità crescente al crescere della concentrazione (Fig. 20) corrispondono a gruppi di box-plot, definiti per gruppi di dati con affinità pedo-geochimiche ed identificati come significativamente diversi su base statistica attraverso l'impiego della analisi della varianza ANOVA e il test T di Student.

Le legende riportano i valori del 90° e 95° percentile per ogni unità colorata. In particolare il 90° percentile, in forma più cautelativa rispetto al 95° percentile, potrebbe costituire il valore del fondo naturale del metallo, valido su tutta l'unità, sostituendo così il valore limite vigente nei casi in cui la concentrazione naturale sia superiore alla CSC (concentrazione soglia di contaminazione). A questi valori si aggiunge, come riferimento, la concentrazione di metallo relativa al 50° percentile.

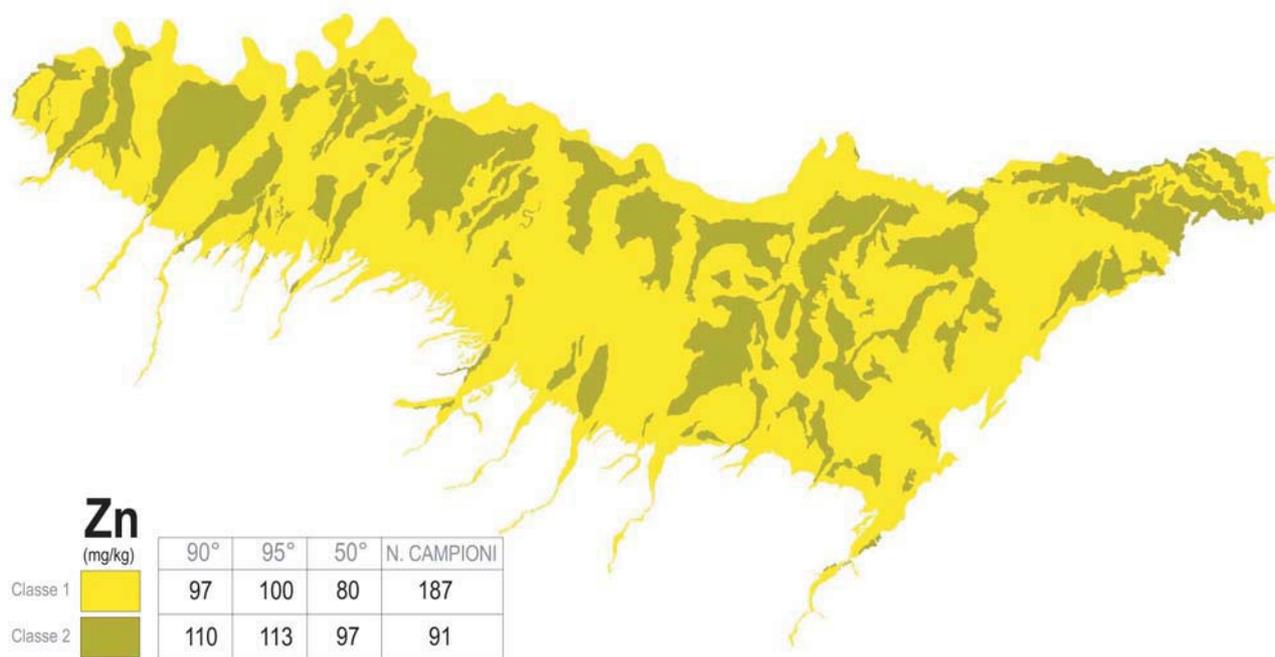


Figura 20. Carta pedo-geochimica di Zn della pianura emiliana.

BIBLIOGRAFIA

- 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. *Sed. Geol.* 151: 273-292.
- Amorosi A. & Sammartino I., 2005 - Geologically-oriented geochemical maps: a new frontier for geochemical mapping? *GeoActa* 4, 1-12.
- 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., Colalongo M.L., Dinelli E., Lucchini F. & Vaiani S.C., 2007b - Cyclic variations in sediment provenance from Late Pleistocene deposits of eastern Po Plain, Italy. *GSA Special Paper 420, Sedimentary Provenance and Petrogenesis: Perspectives from Petrography and Geochemistry* (J. Arribas, S. Critelli & M.J. Johnsson, Eds.): 13-24.
- Amorosi A., Sammartino I., Guermandi M. & Marchi N., 2007. Note illustrative della Carta Pedo-geochimica alla scala 1:50.000 – Foglio 181 – Parma Nord.
- Amorosi A., Dinelli E., Rossi V., Vaiani S.C. & Sacchetto M., 2008. Late Quaternary palaeoenvironmental evolution of the Adriatic coastal plain and the onset of Po River Delta. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 268: 80-90.
- Bianchini G., Laviano R., Lovo S. & Vaccaro C., 2002 - Chemical mineralogical characterisation of clay sediments around Ferrara (Italy): a tool for environmental analysis. *Appl. Clay Science* 21:165–176.
- Curzi, P.V., Dinelli, E., Ricci Lucchi M. & Vaiani, S.C., 2006 - Palaeoenvironmental control on sediment composition and provenance in the late Quaternary deltaic successions: a case study from the Po delta area (Northern Italy). *Geological Journal* 41: 591–612.
- APAT, ISSDS, 2006 - Protocollo Operativo per la determinazione dei metalli/metalloidi nei suoli dei siti di interesse nazionale.
- 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*, Vol. 41 (1): 95-112.
- Decreto legislativo 27/01/1992, N.99 - Attuazione della direttiva 86/278/CEE concernente la protezione dell'ambiente, in particolare del suolo, nell'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura.
- Decreto Legislativo 03/04/2006, N° 152 e successivi aggiornamenti.
- 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 *Rend. Soc. It. Min. Petr.* 31: 365-378.
- Govindarajiu K., 1989 - Compilation of working values and sample description for 272 geostandards. *Geostandards Newsletter* (1989), Vol. 13, Special Issue, 114pp.
- Huisman DJ., Vermeulen F.J.H., Baker J., Veldkamp A., Kroonenberg SB. & Klaver G. Th., 1997 - A geological interpretation of heavy metal concentrations in soils and sediments in the southern Netherlands. *J Geochem Expl* 59: 163–174
- ISO/DIS 19258, 2005 - Soil quality - Guidance on the determination of background values.

Note Illustrative – *Carta Pedo-geochimica della Pianura Emiliana*

Leoni L. & Saitta M., 1976 - X-ray fluorescence analysis of 29 trace elements in rock and mineral standard Rend. Soc. It. Min. Petr. 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 Spectrom 11: 156-158.

Regione Emilia-Romagna 2008 – Carta geologica dell'Appennino emiliano-romagnolo alla scala 1:10.000. Edizione digitale.

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, 2005 - Carta dei Suoli della pianura alla scala 1:50.000 - versione digitale.

Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, 2010 - Carta dei Suoli della pianura alla scala 1:50.000 - versione digitale.

Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, 2006 - Carta Pedo-geochimica del Foglio 181. http://www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/canali/suoli/carta_pedogeochemica/01_introduzione.htm

Regione Emilia-Romagna, Servizio Sistemi informativi geografici, 2007 - Carta dell'uso del suolo 1976.

Regione Emilia-Romagna, Servizio Sistemi informativi geografici, 2002 - Carta dell'uso del suolo 1994.

Regione Emilia-Romagna, Servizio Sistemi informativi geografici, 2006 - Carta dell'uso del suolo 2003.

Regione Emilia-Romagna, 2002 - Manuale di campagna. Bologna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli.

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.

Segatta G., 2008 - Lo studio della città di Trento. Fondo naturale dei metalli nei terreni alluvionali del fondovalle. Seminario Internazionale "Dall'emergenza delle bonifiche ad una gestione consapevole del territorio" Trento.

Strategia Tematica per la Protezione del Suolo (COM 2006/231).