

Foglio
1
8
1

**NOTE
ILLUSTRATIVE
DELLA
CARTA
PEDOGEOCHIMICA**
ALLA SCALA 1:50.000

Cr

Ni

Cu

Zn

Pb

PARMA NORD

Responsabile del Progetto: Marina GUERMANDI
Coordinatore scientifico: Alessandro AMOROSI

NOTE ILLUSTRATIVE
della
CARTA PEDOGEOCHIMICA
alla scala 1:50.000

foglio 181
PARMA NORD

a cura di:
A. Amorosi* e I. Sammartino*

con il contributo di:
M. Guermandi** e N. Marchi**

*Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali, Università di Bologna

**Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna

1 – INTRODUZIONE

Al fine di operare una stima realistica dello stato di inquinamento di un suolo rispetto ai metalli è necessario definire la naturale concentrazione di questi (fondo naturale o valore di *background*) all'interno dei diversi tipi di terreno (Plant et al., 2001). Una volta che sia stato definito il fondo naturale dei metalli per una data area, l'anomalia geochimica viene definita come la deviazione del contenuto in metalli dalla norma (Reimann & Garrett, 2005).

Secondo il D.M. 471/99, Allegato 2, i “*campioni del fondo naturale*” vengono definiti come “*campioni prelevati da aree adiacenti il sito, nelle quali si ha certezza di assenza di contaminazione*”. Tuttavia, in aree soggette ad una pesante ed estesa influenza antropica, così come in aree caratterizzate da un'elevata variabilità vertico-laterale delle caratteristiche pedologiche e geologiche dei terreni, risulta particolarmente complesso risalire al *background* geochimico, ossia alle concentrazioni naturali degli elementi. Troppo spesso l'assenza di informazioni relative alla composizione geochimica del substrato nell'area campionata spinge a utilizzare, per la definizione del fondo naturale, valori internazionali di riferimento tipici del materiale analizzato, ma derivati da altri studi. Questa operazione determina un forte grado di imprecisione nella definizione del fondo naturale, con conseguente ricaduta negativa sulla corretta stima delle anomalie geochimiche. Per questo motivo la cartografia geochimica fa spesso riferimento al cosiddetto “valore di base” (*baseline*) di un metallo, che esprime la concentrazione di metallo effettivamente riscontrata nel suolo, indipendentemente dal fatto che il valore misurato corrisponda al fondo naturale oppure rifletta un contributo antropico.

Recenti studi di geochimica dei sedimenti (Darnley, 1997; Salminen & Tarvainen, 1997) hanno messo in luce come i caratteri geochimici dei suoli riflettano due principali fattori di controllo: 1) la composizione del sedimento, funzione delle caratteristiche del materiale di provenienza e quindi della composizione dei bacini di drenaggio; 2) la granulometria (o tessitura), funzione dei differenti meccanismi di trasporto e sedimentazione che hanno luogo all'interno di diversi tipi di ambiente deposizionale. A questi va aggiunto un terzo fattore, ossia il ruolo svolto dai processi di alterazione e pedogenesi che, specie in terreni relativamente antichi, possono

determinare rimozione o accumulo selettivo di elementi in specifiche fasi minerali, con conseguente variazione delle caratteristiche composizionali del suolo/sedimento.

La complessa interazione tra i fattori succitati può far sì che localmente la concentrazione naturale nei suoli di alcuni metalli pesanti potenzialmente tossici possa persino eccedere i valori limite designati per le aree contaminate (Miller, 1997; Box & Wallis, 2000; Myers & Thorbjornsen, 2004). Questo fenomeno, ad esempio, è stato osservato per una porzione significativa del sottosuolo padano (Amorosi et al., 2002; 2007), dove analisi di campioni provenienti da sondaggi profondi fino a 200 metri hanno evidenziato la presenza di concentrazioni naturali di metalli (Cr e Ni) superiori ai valori massimi ammessi dal Decreto Ministeriale 471/99 per le aree destinate all'uso di verde pubblico e residenziale. L'interpretazione di queste "anomalie" è stata attribuita all'abbondanza di cromo e nichel all'interno dei complessi ultramafici delle Alpi occidentali e dell'Appennino settentrionale drenati dal Fiume Po e da alcuni dei suoi affluenti (Amorosi et al., 2002; 2007).

Recenti studi condotti su depositi superficiali della pianura romagnola (Fig. 1) hanno confermato questa ipotesi, mettendo in luce una chiara relazione tra distribuzione naturale dei metalli pesanti e caratteri superficiali dei sedimenti e del suolo. In particolare, sono stati riscontrati elevati valori del fondo naturale di Cr e Ni all'interno di sedimenti di provenienza "padana" e, al contrario, basse concentrazioni in depositi di provenienza appenninica (Amorosi & Sammartino, 2007).

I risultati di queste ricerche, che mettono in evidenza come la composizione geochemica dei sedimenti superficiali presenti una stretta relazione con le caratteristiche composizionali ed evolutive dei suoli, pongono le basi per la costruzione di una cartografia geochemica di nuova concezione, in cui la distribuzione spaziale naturale dei metalli è funzione delle caratteristiche pedologiche e geologiche dei terreni (Amorosi & Sammartino, 2005).

Sulla scorta della recente positiva esperienza nella pianura romagnola, questo lavoro presenta i risultati di uno studio integrato, pedologico e geochemico, finalizzato alla costruzione di una Carta Pedogeochemica del Fondo Naturale e di una Carta delle Anomalie Geochemiche relative a cinque metalli (Cr, Ni, Cu, Pb e Zn) nell'area del Foglio 181 (Parma Nord) della cartografia nazionale in scala 1:50.000 (Fig. 1).

Obiettivo primario del lavoro è stata la realizzazione di un prototipo cartografico per la descrizione del contenuto naturale in metalli pesanti dei suoli e per

l'identificazione di ambiti territoriali con valori superiori ai limiti di legge. Obiettivo specifico è stata la definizione dei fattori che controllano il fondo naturale di diversi tipi di suolo; in particolare, è stato messo in evidenza come suoli a differente grado evolutivo e/o impostati su sedimenti di diversa provenienza e differente tessitura (ossia formati in ambienti deposizionali differenti) presentino caratteristiche geochimiche peculiari, cartografabili sulla base di una dettagliata base pedologica.

Attraverso una rappresentazione cartografica realistica del fondo naturale, questo lavoro si è posto infine l'obiettivo di una corretta stima delle anomalie geochimiche in Cr, Ni, Cu, Pb e Zn nei siti campionati.

Per quanto concerne la caratterizzazione pedologica dell'area in studio (§ 2.2) e, più in generale per l'interpretazione dei dati e la costruzione dell'impianto della carta geochimica, questo studio si è avvalso della collaborazione con il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, nelle persone della Dr.ssa Marina Guermandi e della Dr.ssa Nazaria Marchi.

2 – CARATTERI GEOLOGICI E PEDOLOGICI DELL'AREA DI STUDIO

2.1 – Inquadramento geologico e geomorfologico

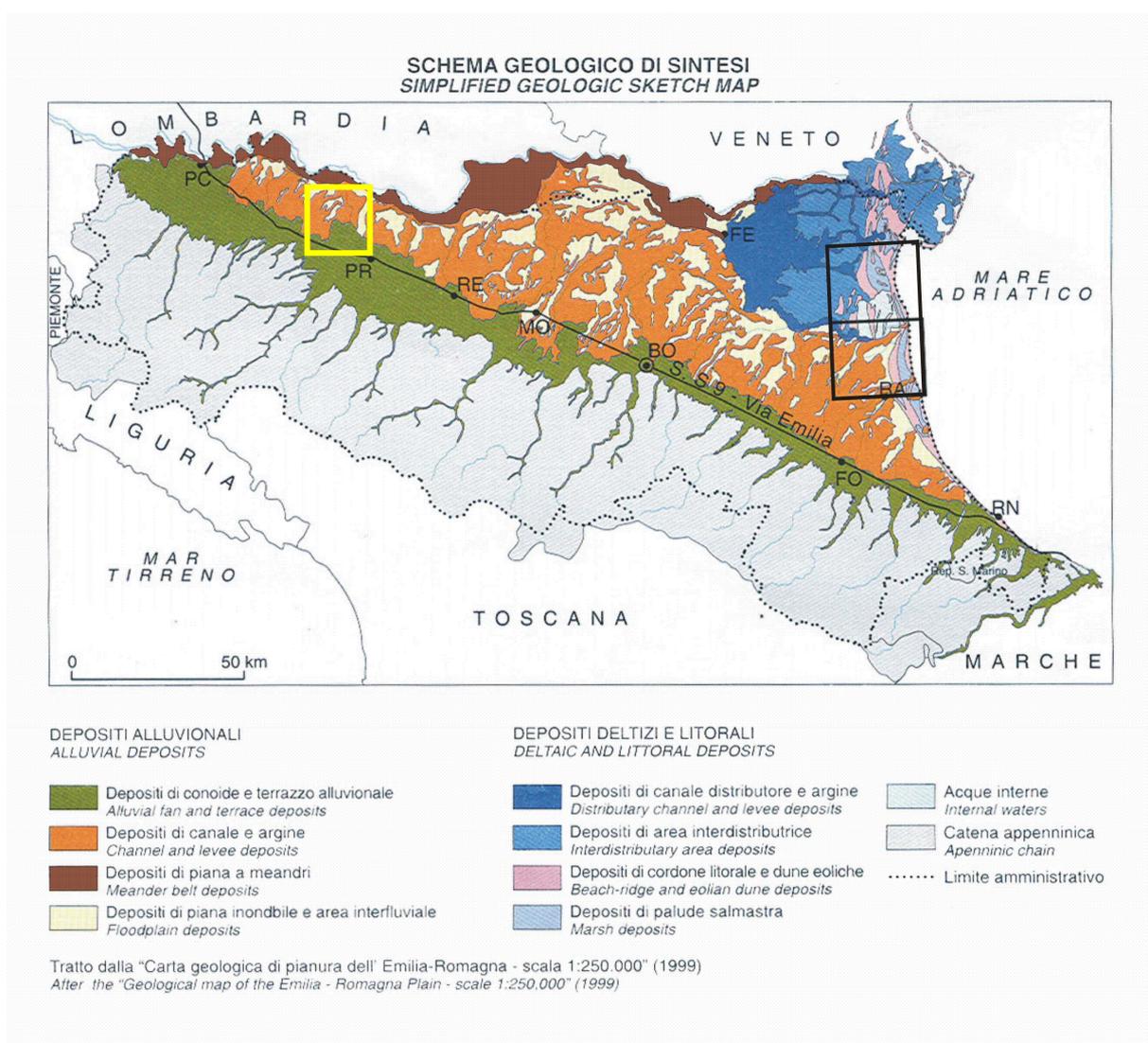


Fig. 1 – Geologia di superficie della pianura emiliano-romagnola (da Carta Geologica di Pianura della Regione Emilia-Romagna in scala 1:250.000, 1999) e ubicazione dell'area di studio (Foglio 181 – Parma Nord – riquadro giallo) e del settore di pianura romagnola (riquadro nero) utilizzato da Amorosi & Sammartino (2005, 2007) per lo studio pilota di cartografia geochemica (Foglio 205 – Comacchio e Foglio 223 – Ravenna).

Dal punto di vista geologico l'area compresa all'interno del Foglio 181 – Parma Nord racchiude tre delle principali unità riconosciute dalla Carta Geologica di Pianura in scala 1:250.000 della Regione Emilia-Romagna (Fig. 1). In particolare, da monte

verso valle si riconoscono 1) depositi di conoide e terrazzo alluvionale, 2) depositi di pianura alluvionale, a loro volta suddivisi in depositi di canale e argine e depositi di piana inondabile, 3) depositi di canale, riferiti alla piana a meandri (*channel belt*) del Fiume Po.

La carta geomorfologica relativa all'area in esame (Fig. 2) mostra nel dettaglio le caratteristiche fisiografiche di questi tre settori.

Le aree di terrazzo fluviale sono situate all'estremità sud-occidentale del Foglio, dove singole unità terrazzate, coperte da coltri più o meno spesse di materiale colluviale, si estendono a quote topografiche differenti. Allo sbocco dei fiumi e dei torrenti appenninici in pianura sono presenti corpi sedimentari dalla caratteristica forma a ventaglio in pianta, che prendono il nome di conoidi alluvionali (Fig. 2). Il materiale che forma questi corpi è costituito in prevalenza da ghiaie e sabbie di canale fluviale, generalmente organizzate in successioni *fining-upward*, con passaggio verso l'alto a materiali fini di intercanale e/o colluviali.

La maggior parte del Foglio Parma Nord racchiude depositi di pianura alluvionale, formati da fiumi e torrenti di provenienza appenninica, per lo più orientati in direzione SW-NE, che confluiscono nel Fiume Po. Quest'ultimo lambisce l'estremità nord-orientale dell'area in esame. Da ovest verso est, i principali corsi d'acqua del Foglio 181 sono il Torrente Ongina, il Torrente Stirone, il Fiume Taro e il Torrente Parma. Dal punto di vista geomorfologico questi corsi d'acqua costituiscono deboli rilievi (dossi) allungati perpendicolarmente al margine appenninico, separati da settori di intercanale rappresentati, al contrario, da deboli depressioni topografiche. I dossi fluviali costituiscono corpi sedimentari formati in prevalenza da sedimenti grossolani che comprendono, oltre che depositi di canale, anche sedimenti di argine e di rotta fluviale. Le depressioni corrispondono invece ad aree di piana inondabile, costituite in prevalenza da sedimenti limoso-argillosi, localmente ricchi in materia organica.

Per finire, l'estremità nord-orientale del Foglio è occupata dal Fiume Po e dai suoi depositi, corrispondenti prevalentemente a sabbie grossolane di canale e a sedimenti fini di tracimazione e abbandono canale.

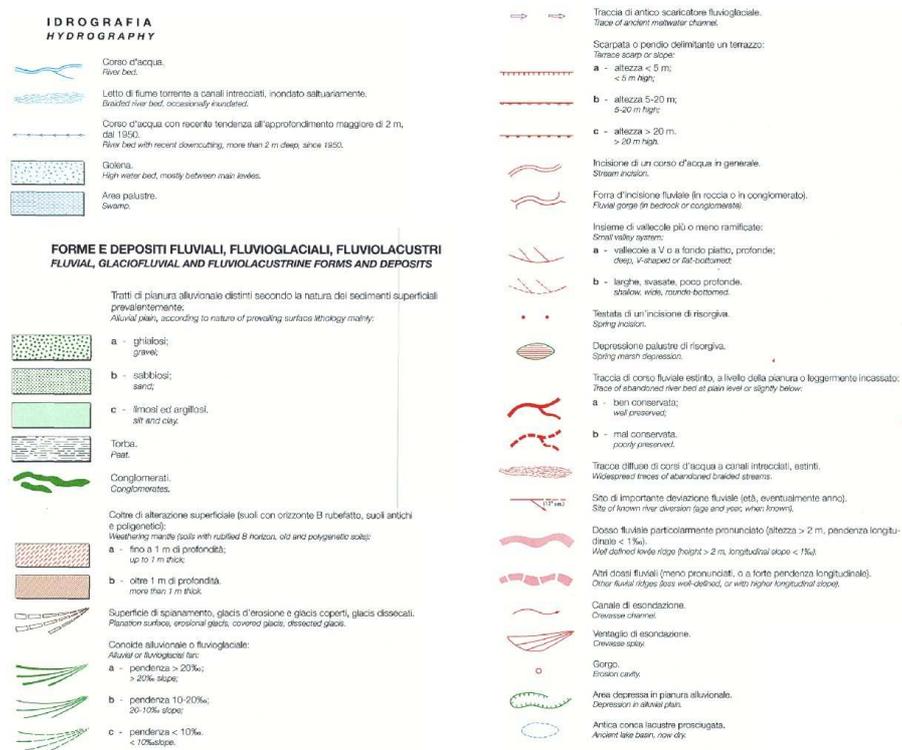
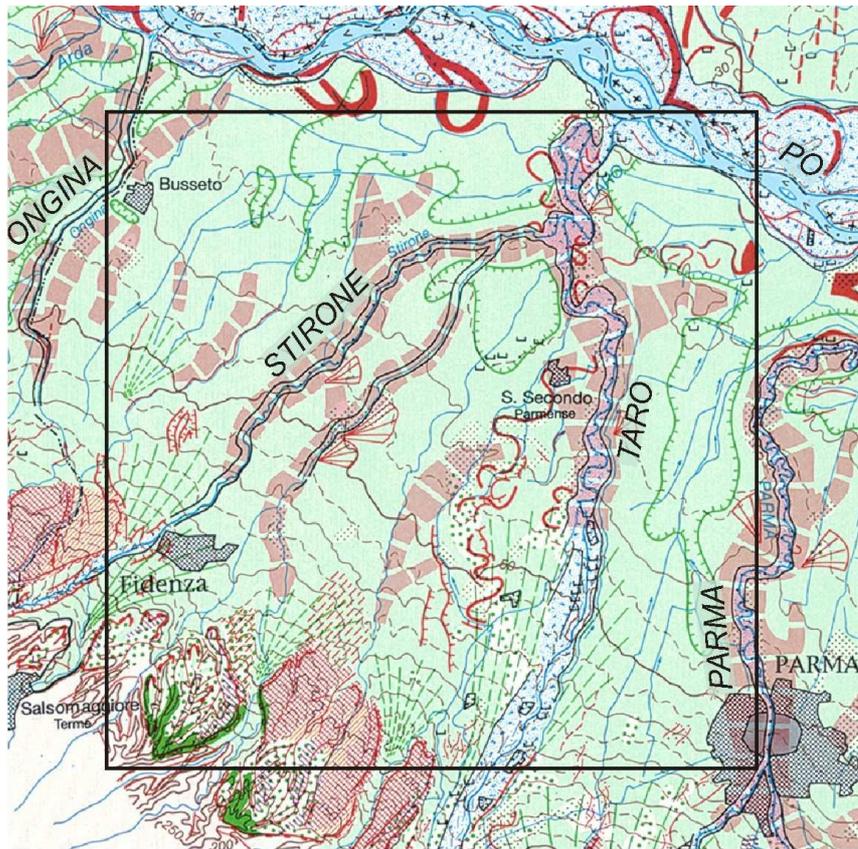


Fig. 2 - Caratteri geomorfologici dell'area racchiusa dal Foglio 181 - Parma Nord (da Carta Geomorfologica della Pianura Padana in scala 1:250.000, Castiglioni et al., 1999).

2.2 – Inquadramento pedologico

Da una lettura sintetica della carta dei suoli in scala 1:50.000, disponibile come 3^a approssimazione per quest'area, come per tutto il territorio della pianura emiliano-romagnola, è possibile operare una prima divisione tra suoli di pianura e suoli del margine; questa individuazione semplifica tuttavia eccessivamente la complessità del modello distributivo dei suoli dell'area.

La cartografia regionale dei suoli a questa scala prevede l'utilizzo di poligoni (delineazioni) che rappresentano unità di "suolo-paesaggio", all'interno delle quali una o più tipologie di suolo, descritte come principali, hanno una posizione nel paesaggio e una frequenza nella distribuzione ben precise. Questo spiega la grande complessità della carta di Figura 3 (Regione Emilia-Romagna, 2005).

Le unità della legenda sono individuate dalle sigle dei principali suoli contenuti, con specifici arrangiamenti, in ogni delineazione. Esistono delineazioni tanto simili tra loro da costituire un'entità territoriale unica, seppure frammentata nello spazio: l'unità cartografica.

Nella Banca dati dei Suoli del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli sono presenti un Archivio delle Unità Cartografiche (UC), con una descrizione del paesaggio e dei suoli presenti, e un Archivio delle Delineazioni, in cui ognuna di esse viene descritta nella sua peculiarità rispetto all'unità cartografica di appartenenza.

Partendo da questa cartografia molto complessa, con unità ambientali così varie (36 UC, 92 delineazioni), allo scopo di indagare le relazioni genetiche tra suoli, sedimenti e loro dotazione in metalli pesanti se ne è comunque fatta una generalizzazione, una sintesi in cui le unità cartografiche sono state accorpate per livello evolutivo dei suoli in esse presenti, loro tessitura e ambiente di provenienza dei sedimenti, così come è proposto in Figura 4.

La sintesi proposta e utilizzata per il presente studio permette di identificare nel Foglio 181 tre raggruppamenti principali, diversificati tra loro per livello evolutivo (Fig. 4). 1) suoli a forte differenziazione del profilo (Luvisols), impostati su terreni relativamente antichi del margine appenninico, di età pleistocenica; 2) suoli a moderata differenziazione del profilo (Haplic Calcisols), sviluppati su sedimenti di epoca pre-romana e romana; 3) suoli a debole differenziazione del profilo, impostati su sedimenti di pianura, poco (Cambisols) o non alterati (Fluvisols), di età post-

romana. Come evidenziato in seguito (§ 4.3), questa tripartizione trova un importante riscontro nella caratterizzazione geochemica dei suoli.

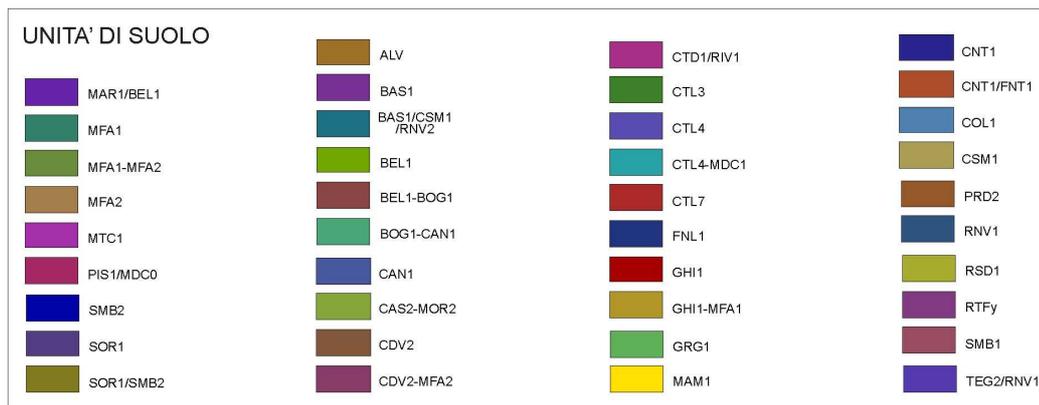
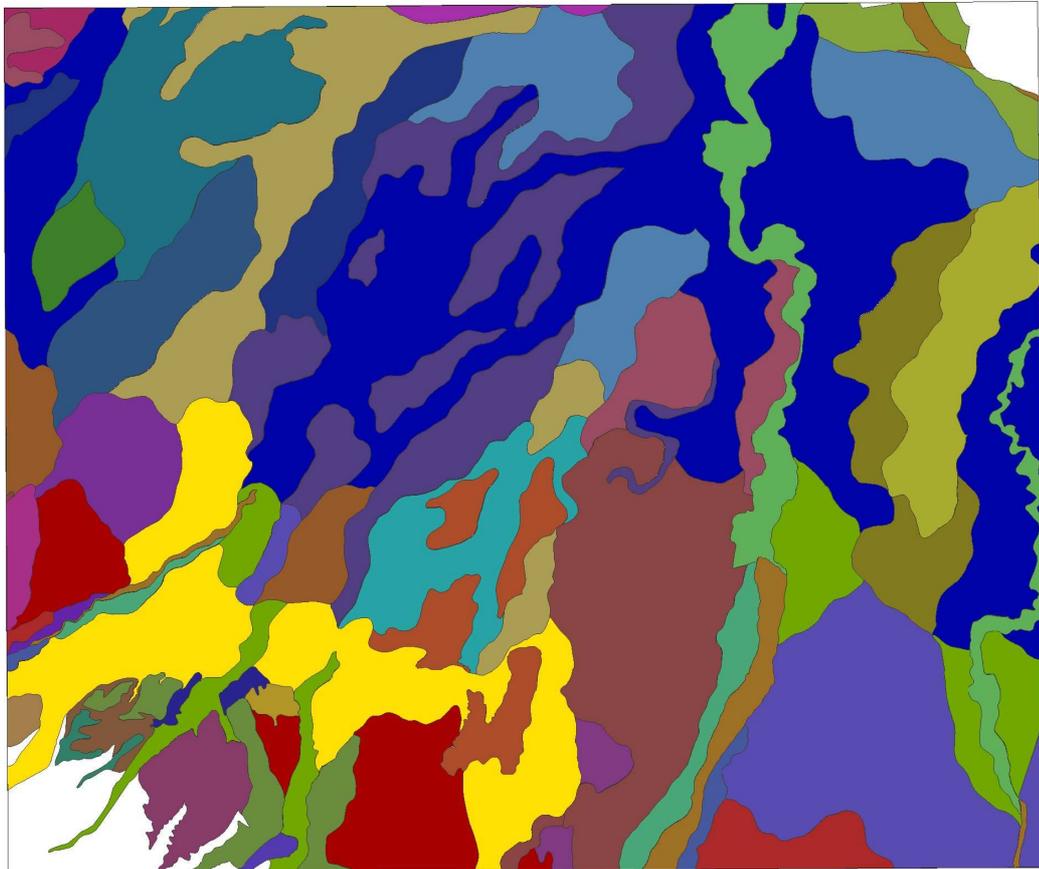
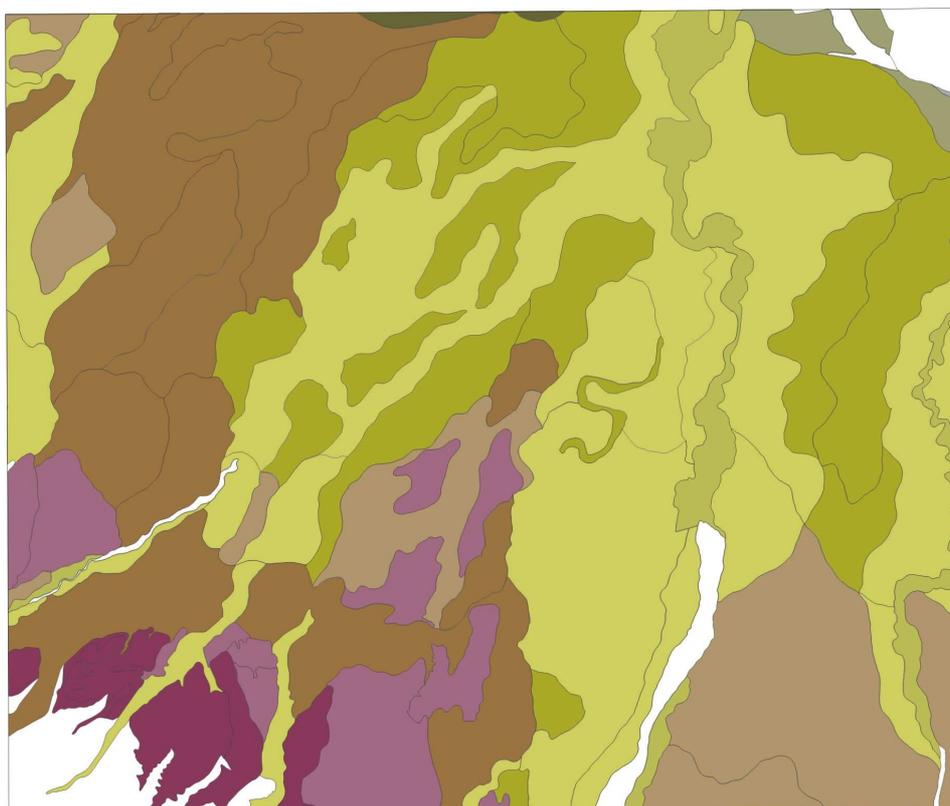


Fig. 3. Carta dei Suoli del Foglio 181 – Parma Nord in scala 1:50.000. Per una descrizione di dettaglio delle singole unità cartografiche, si rimanda all'archivio delle unità cartografiche contenuto nella Banca dati dei Suoli del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.



LEGENDA

SUOLI A FORTE DIFFERENZIAZIONE DEL PROFILO	SUOLI A DEBOLE DIFFERENZIAZIONE DEL PROFILO
<p> Ferric Stagnic Luvisols Stagni Luvisols (Fragic)</p> <p> Vertic Calcisols</p>	<p> Calcaric Fluvisols</p> <p> Calcaric Cambisols - Calcaric Gleyic Cambisols</p> <p> Calcaric Cambisols Calcaric Vertic Cambisols Calcic Vertisols</p> <p> Calcaric Cambisols Gleyic Fluvic Cambisols</p>
SUOLI A MODERATA DIFFERENZIAZIONE DEL PROFILO	
<p> Haplic Calcisols</p> <p> Vertic Calcisols Calcic Vertisols Eutric Vertisols</p>	

Fig. 4 – Inquadramento pedologico del Foglio 181, con raggruppamento delle unità cartografiche di Figura 3 (riconoscibili dal profilo della delineazione) sulla base del grado evolutivo dei suoli (carta prodotta dalla Dr.ssa Marina Guermandi e dalla Dr.ssa Nazaria Marchi).

Viene riportata, di seguito (Tabella 1), una breve descrizione dei tre raggruppamenti principali di suoli.

Suoli a forte differenziazione del profilo

Ferric Stagnic Luvisols – Stagni Luvisols (Fragic)

Suoli a forte differenziazione del profilo, con accumulo di argilla in profondità e ricchi in sesquiossidi. Presenti nel margine appenninico e nella piana ad esso prospiciente si sono formati in sedimenti a tessitura media o moderatamente fine su alluvioni ghiaiose a monte e su depositi fluviali a valle, la cui deposizione si ritiene risalga ad alcune centinaia di migliaia di anni fa.

Vertic Calcisols

Suoli a forte differenziazione del profilo, con totale decarbonatazione degli orizzonti superficiali e accumulo di carbonati in profondità, ricchi in sesquiossidi: presentano deboli decorticamenti dovuti alle dinamiche erosive. Nel margine appenninico, si sono formati in sedimenti fini di origine eluvio-colluviale o, si presume, eolica, la cui deposizione si ritiene risalga ad alcune centinaia di migliaia di anni fa

Suoli a moderata differenziazione del profilo

Haplic Calcisols

Suoli a moderata differenziazione del profilo, con parziale decarbonatazione degli orizzonti superficiali ed accumulo dei carbonati entro 1 metro di profondità. I suoli (1) si sono formati in sedimenti fluviali a tessitura media o moderatamente fine, la cui deposizione si ritiene risalga all'epoca pre-romana. I suoli (2) si sono formati in sedimenti fluviali a tessitura media, la cui deposizione si ritiene risalga all'epoca romana e sono di pertinenza delle aree di paleomeandro del Fiume Po.

Vertic Calcisols – Calcic Vertisols – Eutric Vertisols

Suoli a moderata differenziazione del profilo, con parziale o totale decarbonatazione degli orizzonti superficiali ed accumulo dei carbonati entro 1 metro di profondità. Hanno elevato contenuto di argilla che si traduce in caratteri vertici più o meno marcati. Si sono formati in sedimenti fluviali a tessitura fine, la cui deposizione si ritiene risalga all'epoca pre-romana.

Suoli a debole differenziazione del profilo

Calcaric Fluvisols

Suoli poco evoluti, formati in sedimenti fluviali a tessitura media o moderatamente grossolana. in aree di comune esondazione dei fiumi principali, nel loro tratto di media e bassa pianura alluvionale.

Calcaric Cambisols – Calcaric Gleyic Cambisols

Suoli con deboli evidenze di riorganizzazione interna dei carbonati, formati in sedimenti fluviali a tessitura media, di spessore superiore al metro, la cui deposizione si ritiene risalga all'epoca post-romana. Sono di pertinenza delle aree morfologicamente rilevate della pianura alluvionale.

Calcaric Cambisols – Calcaric Vertic Cambisols – Calcic Vertisols

Suoli con deboli evidenze di riorganizzazione interna dei carbonati, formati in sedimenti fluviali a tessitura fine, di spessore superiore al metro. Hanno elevato contenuto di argilla che si traduce in caratteri vertici più o meno marcati. La deposizione dei sedimenti si ritiene risalga all'epoca post-romana: sono di pertinenza delle aree morfologicamente depresse della pianura alluvionale.

Calcaric Cambisols – Gleyic Fluvic Cambisols

Suoli con debole riorganizzazione interna dei carbonati, formati in sedimenti fluviali a tessitura media e moderatamente grossolana, la cui deposizione si ritiene risalga all'epoca post-romana. Sono di pertinenza delle aree golenali recenti del Fiume Po, soggette a frequenti inondazioni

Tabella 1 – Classificazione dei suoli del Foglio 181 – Parma Nord, differenziati per grado evolutivo (classificazione operata dalla Dr.ssa Marina Guermandi e dalla Dr.ssa Nazaria Marchi).

3 – METODI DI INDAGINE

3.1 – Campionamento

Lo studio di terreno ha comportato il prelevamento di campioni in 100 siti all'interno del Foglio 181, mediante trivellate a mano. Per ogni sito sono stati prelevati due campioni, a profondità distinte (20-30 cm e 90-100 cm), per un totale di 200 campioni. In fase di interpretazione dei dati si è resa necessaria l'estensione dello studio a 6 ulteriori campioni, forniti dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna e sottoposti all'intera serie di trattamenti descritti di seguito.

La campionatura è stata eseguita nel corso del 2005 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 litologici attraversati. Ogni trivellata è stata spinta alla profondità di 1m.

La strategia di campionamento non ha previsto l'impiego di maglie regolari. I siti di campionamento sono stati definiti secondo una distribuzione omogenea che tenesse in considerazione le caratteristiche pedologiche del territorio, al fine di caratterizzare tutte le unità cartografiche e il maggior numero possibile di delineazioni all'interno del Foglio 181 (Fig. 5). Per ogni trivellata sono stati riportati: ubicazione, quota, pendenza del terreno e uso del suolo, per quanto riguarda la descrizione del sito di campionamento; tessitura, colore, reattività all'HCl e dati accessori (resti vegetali, legni, fossili, noduli carbonatici ecc.), per ricollegare l'osservazione speditiva alle tipologie di suolo presenti nella Banca Dati dei suoli; stratigrafia e facies, al fine di definire l'ambiente deposizionale di ogni campione destinato all'analisi geochimica. La scheda di campagna utilizzata nel rilevamento è una versione semplificata, tratta dal Manuale di Rilevamento dei Suoli della Regione Emilia-Romagna (Fig. 6).

3.2 – Analisi chimiche

In accordo con la normativa ISO19528 (2005), in questo studio le analisi chimiche sono state eseguite a due profondità di riferimento (*topsoil*, < 40 cm e *subsoil*, > 70 cm) utilizzando sia la spettrometria per fluorescenza di raggi (XRF) (per la determinazione del contenuto pedogeochimico naturale) che le estrazioni con acqua regia. Le letture dei campioni trattati con acqua regia sono state eseguite con il metodo ICP-MS (EPA 6020 A, 1998).

3.2.1 – Determinazione della composizione chimica totale: XRF

Mediante Spettrometria per Fluorescenza di Raggi X (XRF) è possibile eseguire analisi quali-quantitative di una vasta gamma di elementi con numeri atomici compresi tra 8 e 92. L'analisi è rapida, non distruttiva e i campioni, sotto forma di solidi, polveri o liquidi, possono essere recuperati dopo l'analisi. La quantità di materiale richiesta è variabile ed è funzione delle concentrazioni che si vogliono rilevare, oltre che del tipo di elemento ricercato e della precisione che si intende ottenere.

Le analisi mediante XRF forniscono indicazioni sull'abbondanza assoluta degli elementi. In questo senso, le analisi XRF definiscono il quadro reale di concentrazione degli elementi all'interno del campione analizzato, contrariamente a quanto avviene con i metodi di estrazione. Si tratta di un metodo accurato e ripetibile; uno svantaggio nell'impiego di questo metodo è l'assenza di una normativa internazionale di riferimento.

I 200 campioni prelevati alle profondità rispettivamente di 20-30 cm e 90-100 cm in corrispondenza delle 100 diverse stazioni sono stati sottoposti ad analisi chimica mediante XRF presso il Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali dell'Università di Bologna. Lo spettrometro utilizzato per le analisi è un Philips PW 1480 con tubo ad anticatodo di rodio. Ogni analisi ha richiesto 3 g di campione in polvere pressata sotto forma di pasticca con supporto di acido borico. Insieme ai campioni sono stati analizzati alcuni standard internazionali silicatici, alluminosilicatici e carbonatici, che hanno permesso la costruzione di rette di taratura per determinare la concentrazione degli elementi presenti nel campione, previa

correzione degli effetti di matrice. 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 il campione JB-1A (*GSI reference sample*, Imai et al.;1995). I risultati mostrano valori generali al meglio del 5% (<3% per Cr, <2% per Ni, circa 2% per Cu, circa 3% per Zn) e del 10-30% per gli elementi la cui concentrazione è minore di 10 mg/kg.

3.2.2 – Determinazione dei metalli pesanti: acqua regia

I contenuti elementali ottenibili mediante estrazione con il metodo dell'acqua regia sono comunemente accettati come riferimento per stabilire il limite e la soglia dei valori dei metalli nei suoli. Questo perché l'acqua regia è un metodo di estrazione armonizzato come Standard Internazionale (ISO 11466) e ufficialmente applicato come protocollo nella maggior parte delle nazioni europee, anche se *non* rappresentativo del contenuto totale dei metalli nei suoli. Questo metodo rappresenta una stima del tasso di rilascio a lungo termine dei metalli da parte del suolo e delle sue matrici. La percentuale di metallo estraibile varia da elemento a elemento, oscillando in genere tra il 50 e il 95%. Ad esempio, è noto come il cromo risulti generalmente sottostimato rispetto al totale (vedi Sartori et al., 2004), perché generalmente contenuto all'interno di reticoli cristallini resistenti a questo tipo di attacco (v. Tabella 2).

Le analisi sui 100 campioni prelevati a 20-30 cm di profondità, precedentemente essiccati e polverizzati presso il Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali dell'Università di Bologna, sono state condotte dai laboratori Als Chemex di Vancouver (Canada). I campioni sono stati sottoposti alle procedure di preparazione WEI-21, LOG-24 e TRA-21 e analizzati secondo la procedura analitica ME-MS41 ("Acqua regia ICP-MS"). Per le analisi riportate in Tabella 7 si fa riferimento al Certificato di Analisi VA05101512, prodotto dai Laboratori Als Chemex di Vancouver in data 28 Novembre 2005.

Sono stati analizzati otto metalli: As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn. I dati relativi alla precisione e all'accuratezza sono accettabili, certificati e garantiti dal laboratorio stesso. La Tabella 2 riporta i limiti di misura, forniti dal laboratorio, per i metalli analizzati:

As	(0,1 – 10.000)
Cd	(0,01 – 500)
Cr*	(1 – 10.000)
Cu	(0,2 – 10.000)
Hg	(0,01 – 10.000)
Ni	(0,2 – 10.000)
Pb	(0,2 – 10.000)
Zn	(2 – 10.000)

Tabella 2 – Limiti di misura (espressi in mg/kg) per i metalli analizzati per *aqua-regia acid digestion and ICP-MS*. L'asterisco indica elementi per cui l'estrazione del metallo è certificata come incompleta dal laboratorio stesso

4 - FONDO NATURALE DEGLI ELEMENTI CHIMICI IN RELAZIONE ALLE CARATTERISTICHE DEI SUOLI

Questa parte dello studio si è basata sui risultati delle analisi chimiche mediante XRF relative ai cento campioni prelevati a 90-100 cm di profondità. La profondità di 1 m viene generalmente assunta come il livello per cui si può considerare ragionevolmente basso il rischio di contaminazione di origine antropica nei suoli (Huisman et al., 1997). L'affidabilità di un campionamento a questa profondità per la definizione del tenore di fondo dei metalli nei suoli è stata recentemente documentata da Amorosi & Sammartino (2007) per il settore della piana costiera ferrarese e ravennate, attraverso il confronto dei dati analitici di campioni prelevati a 1 m di profondità mediante trivellate a mano con i dati geochimici di campioni di carota profondi fino a 200 metri.

4.1 – Analisi XRF

Di seguito vengono riportati i dati di concentrazione di Cr, Ni, Cu, Zn, As e Pb (Tabella 3). I cento campioni sono contrassegnati da numeri da 1 a 100. Per l'ubicazione dei campioni, si rimanda alla Figura 5.

Sample	181-01C	181-02C	181-03C	181-04C	181-05B	181-06C	181-07C	181-08C	181-09C	181-10C
Cr	113	224	163	126	121	153	219	161	140	130
Ni	89	95	77	85	90	100	126	89	60	82
Cu	33	30	19	25	42	26	38	32	13	24
Zn	69	52	63	71	86	74	87	100	71	72
As	2	4	7	5	4	6	5	6	4	5
Pb	14	20	23	23	27	28	27	24	25	20
Sample	181-11C	181-12 C	181-13 C	181-14 C	181-15 C	181-16 C	181-17 C	181-18 C	181-19 C	181-20 C
Cr	166	137	184	183	124	189	137	109	119	131
Ni	141	71	125	91	100	70	76	81	89	95
Cu	39	25	40	30	35	26	21	34	30	33
Zn	84	79	91	93	79	74	76	97	68	85
As	4	8	5	5	2	11	7	4	4	4
Pb	17	20	24	23	16	39	23	18	15	16
Sample	181-21C	181-22 C	181-23 C	181-4 C	181-25 C	181-26 C	181-27 C	181-28 C	181-29 C	181-30 C
Cr	123	122	103	173	164	165	124	230	173	137
Ni	93	96	89	84	70	111	87	151	111	92
Cu	34	41	44	25	25	30	36	41	33	31
Zn	83	78	81	88	88	83	89	71	104	76
As	0	4	3	4	5	5	5	3	3	4
Pb	17	22	14	17	21	15	13	18	20	13
Sample	181-31C	181-32 C	181-33C	181-34C	181-35C	181-36C	181 -37C	181-38C	181-39C	181-40C
Cr	163	135	180	161	114	134	120	190	160	158
Ni	113	112	129	120	77	110	80	137	106	92
Cu	29	37	41	38	41	35	30	44	46	29
Zn	69	86	83	80	86	69	75	100	98	52
As	3	3	8	8	4	5	4	6	6	3
Pb	16	16	12	13	14	19	25	18	30	10

Sample	181-41C	181-42C	181-43C	181-44C	181-45C	181-46C	181-47C	181-48C	181-49C	181-50C
Cr	147	137	108	114	114	111	125	196	115	117
Ni	103	107	68	75	77	76	91	135	73	81
Cu	40	44	62	40	36	38	38	38	50	36
Zn	81	88	92	87	75	77	91	78	79	71
As	6	3	4	4	5	5	3	5	3	8
Pb	19	22	37	11	13	15	19	14	26	12
Sample	181-51C	181-52C	181-53C	181-54C	181-55C	181-56C	181-57C	181-58C	181-59C	181-60C
Cr	112	144	206	150	199	178	157	220	183	239
Ni	74	113	139	118	136	129	121	150	135	140
Cu	51	41	45	37	44	56	51	40	49	37
Zn	82	100	85	86	82	96	101	73	108	76
As	8	9	8	8	8	11	5	10	9	10
Pb	16	13	17	17	16	21	8	16	20	13
Sample	181-61C	181-62C	181-63C	181-64C	181-65C	181-66C	181-67C	181-68C	181-69C	181-70C
Cr	159	182	229	170	180	221	146	159	154	170
Ni	119	139	150	127	134	167	99	125	118	132
Cu	38	42	31	39	54	37	44	46	44	43
Zn	85	77	88	82	110	90	100	119	90	97
As	9	10	12	10	12	10	10	16	10	9
Pb	20	17	23	16	22	16	12	35	25	21
Sample	181-71C	181-72C	181-73C	181-74C	181-75C	181-76C	181-77C	181-78C	181-79C	181-80C
Cr	135	196	212	221	110	124	142	141	149	160
Ni	102	126	162	163	85	94	101	96	100	99
Cu	37	20	30	30	34	58	39	38	40	34
Zn	91	65	80	82	90	89	100	96	109	97
As	10	8	10	9	8	11	9	3	5	4
Pb	19	14	19	15	11	23	16	16	22	21
Sample	181-81C	181-82C	181-83C	181-84C	181-85C	181-86C	181-87C	181-88C	181-89C	181-90C
Cr	128	154	150	151	130	137	149	124	175	97
Ni	82	107	115	101	93	77	104	88	100	77
Cu	30	41	37	37	35	24	41	37	36	36
Zn	62	97	72	99	89	64	92	86	69	71
As	3	3	6	4	3	4	6	4	3	8
Pb	16	24	12	17	16	16	22	18	11	13
Sample	181-91C	181-92C	181-93C	181-94C	181-95C	181-96C	181-97C	181-98C	181-99C	181-100C
Cr	114	151	126	107	149	122	129	139	151	142
Ni	84	94	82	83	95	88	89	91	96	78
Cu	39	43	37	35	44	31	32	39	37	36
Zn	86	125	108	75	104	84	67	96	100	101
As	8	5	4	5	12	4	5	11	10	10
Pb	16	20	22	17	24	10	11	25	17	14

Tabella 3 – Concentrazioni, espresse in mg/kg, di Cr, Ni, Cu, Zn, As e Pb nei 100 campioni prelevati a 90-100 cm di profondità, ottenute mediante analisi XRF.

In Tabella 4 sono indicati i principali parametri statistici ricavati dalle analisi chimiche riportate in Tabella 3 per cinque dei metalli presi in considerazione in questo lavoro. Alcuni dei parametri illustrati qui di seguito fanno parte del corredo della Carta Pedogeochemica (v. Cap. 6).

	Cr	Ni	Cu	Zn	Pb
Media	151,62	101,83	36,37	84,87	18,67
Mediana	147,90	95,45	37,00	85,40	17,55
Deviazione Standard	32,61	24,05	8,25	13,45	5,53
Minimo	97	60	13	52	8
Massimo	239	167	62	125	39
5 %	110	71	24	64	11
10 %	114	76	25	69	12
25 %	126	84	31	75	15
50 %	148	96	37	85	18
75 %	169	118	41	94	22
90 %	197	138	46	101	25
95 %	221	148	51	107	27

Tabella 4 – Parametri statistici riassuntivi dei dati XRF (espressi in mg/kg) nei campioni prelevati a 90-100 cm di profondità.

4.2 – Cluster analysis delle variabili geochimiche

L'analisi *cluster* è una tecnica di riduzione dei dati che raggruppa casi o variabili in base a misure di similarità. In questo studio è stata applicata la *R-mode cluster analysis* ai dati chimici relativi ai campioni prelevati a 90-100 cm di profondità, con l'obiettivo di identificare gruppi di elementi positivamente correlati e suggerire possibili relazioni genetiche sulla base dei raggruppamenti così individuati (Fig. 7).

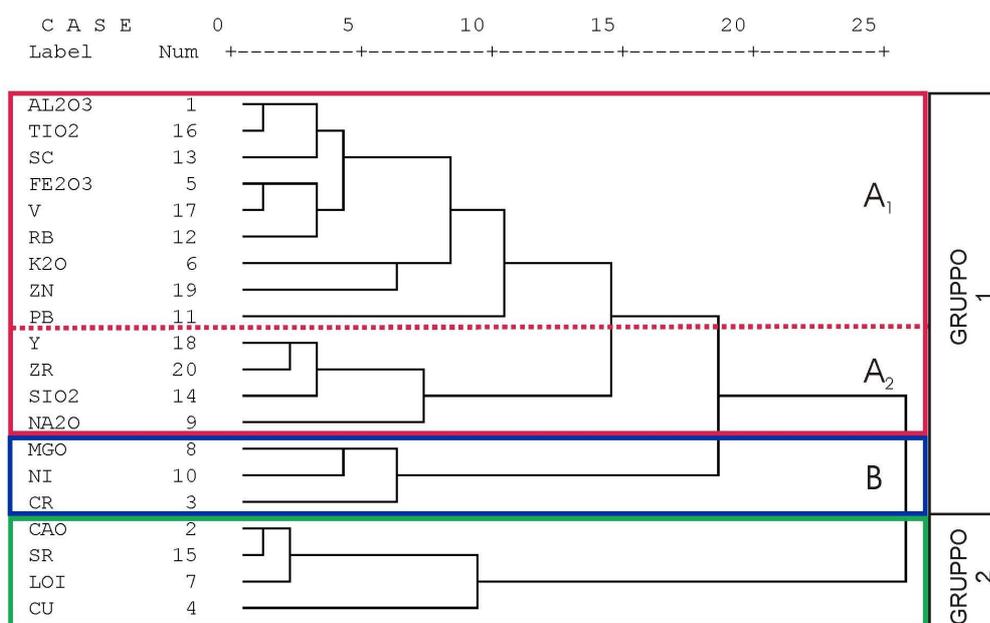


Fig. 7. Dendrogramma delle variabili ottenuto dall'analisi *cluster*.

L'esame del dendrogramma mostra la presenza di due raggruppamenti principali inversamente correlati: il Gruppo 1, associato alla frazione allumosilicatica del sedimento e il Gruppo 2, rappresentativo della frazione carbonatica.

Il Gruppo 1 è a sua volta chiaramente suddiviso in due gruppi principali di variabili, qui definiti come A (riquadro di colore rosso in Fig. 7) e B (riquadro di colore blu). All'interno del Gruppo A, che rappresenta la frazione allumosilicatica del sedimento, si individuano due sottogruppi principali: il sottogruppo A₁, comprendente Al₂O₃, TiO₂, Sc, Fe₂O₃, V, Rb e K₂O, è rappresentativo della componente granulometrica più fine, composta da minerali argillosi, ossidi e idrossidi. A questo sottogruppo si associano due metalli di rilevanza ambientale, quali Zn e Pb. Il sottogruppo A₂, definito da Y, Zr, SiO₂, Na₂O, corrisponde invece alla componente più grossolana, siltoso-sabbiosa, del sedimento.

Le variabili rappresentative del Gruppo B contengono metalli di notevole interesse ambientale (Cr e Ni). Considerata l'associazione di Cr e Ni con MgO, il Gruppo B può essere considerato indicativo della componente ultrafemica del sedimento che, in questo settore della pianura, è rappresentata da sedimenti di derivazione ofiolitica.

Il Gruppo 2, rappresentativo della frazione carbonatica e della sostanza organica del sedimento, è caratterizzato da CaO, Sr e da sostanze volatili (LOI). Si osserva un grado di affinità elevato, in particolare, tra CaO e Sr; quest'ultimo, essendo caratterizzato da raggio ionico molto simile al calcio, viene incorporato molto facilmente nel carbonato di calcio. Si osserva inoltre che a questa componente del sedimento tende ad associarsi Cu.

4.3 – Caratterizzazione geochimica dei suoli

L'accorpamento dei campioni prelevati a 90–100 cm di profondità con il metodo della *R-mode cluster analysis* applicata ai dati geochimici di Tabella 3 mette in evidenza la presenza di quattro raggruppamenti principali, caratterizzati al loro interno da affinità geochimiche peculiari, definite su base statistica. La rappresentazione dei quattro raggruppamenti sulla carta dei suoli (Fig. 8) mostra una distribuzione non casuale dei campioni, che appare ricalcare in modo sensibile le caratteristiche pedologiche del territorio sintetizzate in Figura 4.

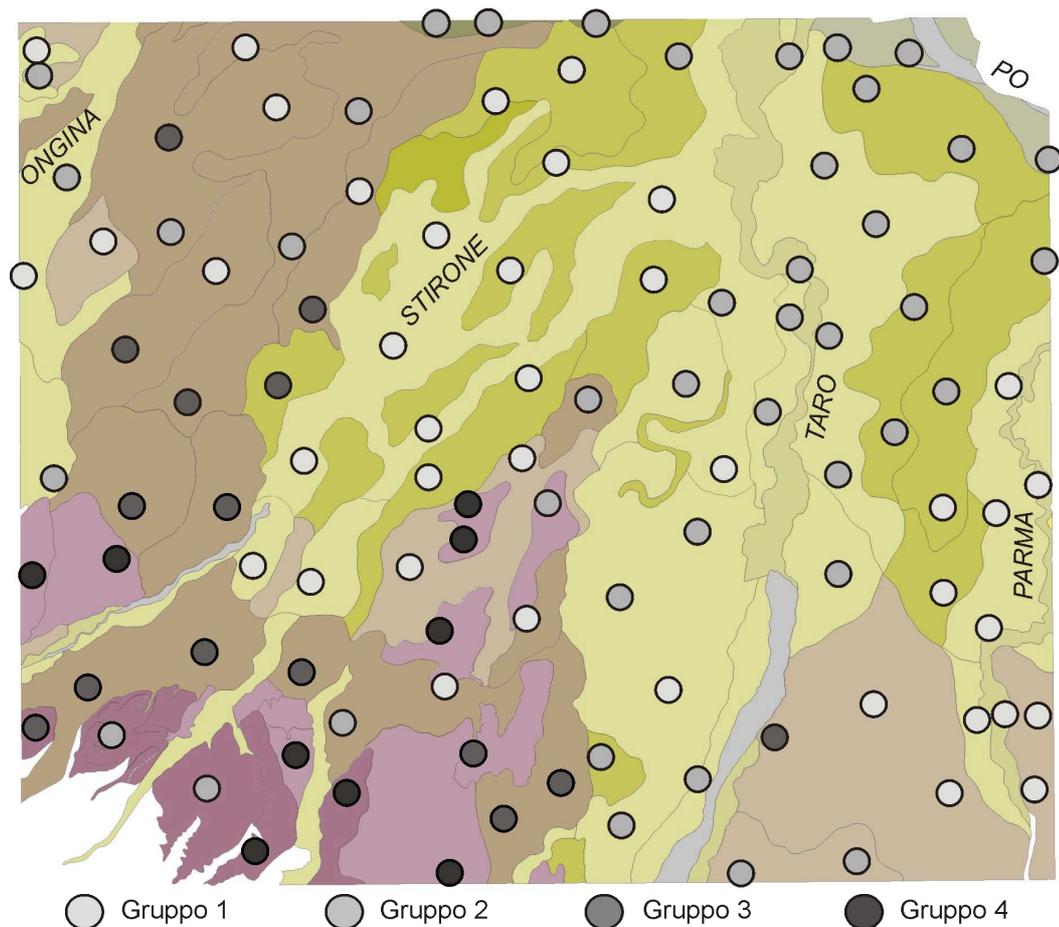


Fig. 8. Affinità geochimiche, definite dalla *cluster analysis* dei campioni prelevati a 90-100 cm di profondità, e loro distribuzione rispetto alla carta pedologica di sintesi.

In particolare, dei quattro gruppi di campioni identificati su base statistica, due (Gruppi 1 e 2 in Fig. 8) nel loro insieme ricalcano con ottima approssimazione la distribuzione spaziale dei *Suoli a debole differenziazione del profilo* di Figura 4. I tre campioni riferiti ad Haplic Calcisols di pertinenza del Fiume Po si collocano al limite con la classe successiva. Analogamente, i campioni appartenenti al Gruppo 3 presentano una buona sovrapposizione con l'insieme dei *Suoli a moderata differenziazione del profilo*, mentre quelli appartenenti al Gruppo 4 sono riferibili unicamente a suoli abbastanza evoluti (*Suoli a forte differenziazione del profilo* di Fig. 4). Appare evidente, dunque, come il principale fattore di controllo della composizione geochimica complessiva dei suoli alla scala dell'intero Foglio sia il **grado di evoluzione dei suoli**.

All'interno del gruppo di suoli a debole differenziazione del profilo, sviluppati prevalentemente in aree di pianura nella porzione centrale e orientale del Foglio, la distribuzione spaziale dei campioni riferibili ai gruppi 1 e 2 presenta una chiara sovrapposizione con i principali elementi fisiografici dell'area in esame. E' evidente, ad esempio, la sovrapposizione dei campioni appartenenti al Gruppo 1 con le aste fluviali del Parma e dello Stirone. Analogamente, è osservabile la quasi perfetta coincidenza nella distribuzione dei campioni appartenenti al Gruppo 2 con le aste dei fiumi Po e Taro, con rare eccezioni. Questa distribuzione, coerente con le caratteristiche del reticolo idrografico, indica in maniera inequivocabile come, a parità di grado evolutivo, il principale fattore di controllo della composizione geochimica dei suoli sia la **provenienza del sedimento** da aree fonte differenti, localizzate nei rispettivi bacini di drenaggio dei fiumi in esame.

4.3.1 – Caratterizzazione geochimica di suoli a diverso grado evolutivo

Il differente grado evolutivo dei tre gruppi di suoli che caratterizzano l'area del Foglio 181 (Fig. 4) può essere evidenziato su base geochimica facendo ricorso ad una serie di diagrammi binari basati sull'utilizzo di indicatori di processi pedogenetici spinti (Fig. 9). Tra i minerali primari maggiormente resistenti ai processi di eluviazione figurano, ad esempio, rutilo, ilmenite, titanite e zirconio; si tratta di minerali di Ti, Zr e V, elementi praticamente immobili all'interno del profilo dei suoli. A questi indicatori di pedogenesi vanno aggiunti minerali secondari, quali minerali argillosi, ossidi e idrossidi, i cui indicatori geochimici sono Al_2O_3 e Fe_2O_3 . A queste variabili si correla inversamente il calcio, elemento che, al contrario, è particolarmente poco resistente ai processi di pedogenesi.

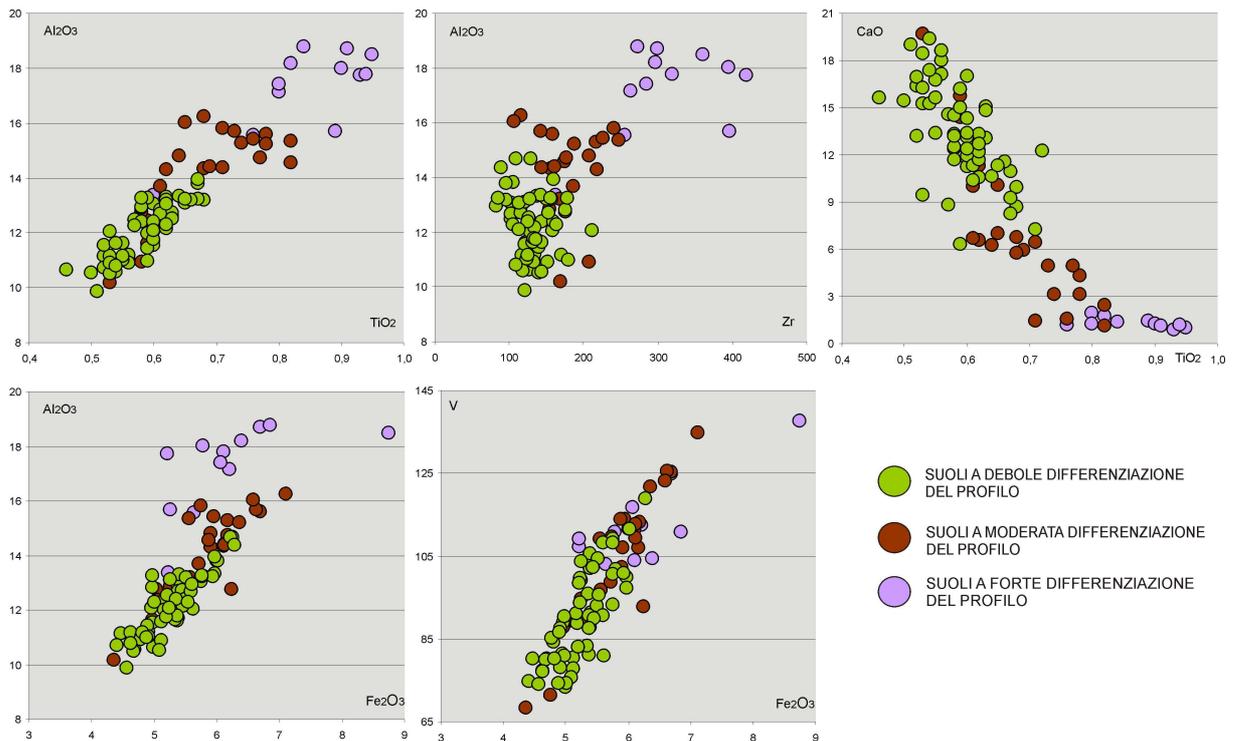


Fig. 9. Caratterizzazione geochimica di suoli a differente grado evolutivo mediante diagrammi binari.

Come emerso anche dalla *cluster analysis* delle variabili (Gruppo 1A in Fig. 7), Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Ti, V e Zr sono caratterizzati da relazioni positive, con alti indici di correlazione (Fig. 9). La relazione positiva tra le variabili indica l'appartenenza di queste alle stesse fasi minerali e la tendenza di alcuni minerali ad arricchirsi parallelamente negli stessi sedimenti.

Dall'insieme dei diagrammi binari di Figura 9 si osserva come i campioni relativi a suoli con moderata differenziazione del profilo, e ancor più quelli con forte differenziazione, si presentino sistematicamente arricchiti in elementi indicatori di pedogenesi (Zr, Ti, V, Al e Fe) rispetto ai campioni relativi a suoli con debole differenziazione del profilo; questi ultimi, al contrario, presentano più elevate concentrazioni di CaO. Considerata l'ottima applicabilità di questi diagrammi binari nella caratterizzazione del grado evolutivo dei suoli, testimoniata dallo scarso grado di sovrapposizione delle tre popolazioni di campioni in Figura 9, è possibile che le rare deviazioni dal *trend* generale (2-3 campioni in Fig. 9) riflettano possibili errori di campionatura (ad esempio, campionamento di materiale colluviale relativamente recente al tetto di unità più antiche) oppure locali imprecisioni nella cartografia dei suoli.

4.3.2 – Fattori di controllo del fondo naturale dei metalli pesanti nei suoli

Oltre al differente grado evolutivo dei suoli, messo ampiamente in luce nella sezione precedente, altri fattori controllano in modo sensibile la distribuzione spaziale naturale dei metalli pesanti indagati in questo studio (Ni, Cr, Zn, Pb e Cu). Tra questi, la composizione del sedimento di provenienza e, in subordine, la tessitura (granulometria) sembrano costituire i fattori principali di controllo. Ciò è ben documentato per i suoli a debole differenziazione del profilo per i quali è possibile, a parità di grado evolutivo, operare su base geochemica una netta distinzione tra differenti domini di provenienza e diversi ambienti deposizionali (Fig. 10).

La costruzione di diagrammi binari di relazione tra metalli e alcune variabili geochemiche particolarmente significative (Fig. 10) consente nell'ambito del Foglio 181 la chiara discriminazione tra un dominio di provenienza riferibile ai fiumi Taro e Po da un lato, ed uno riferibile al sistema Stirone-Parma dall'altro (a conferma della distribuzione spaziale dei Gruppi 1 e 2 illustrata in Fig. 8). Per confronto, vengono riportati sugli stessi diagrammi anche i dati (indifferenziati) relativi ai suoli a moderata e forte differenziazione del profilo (Fig. 10).

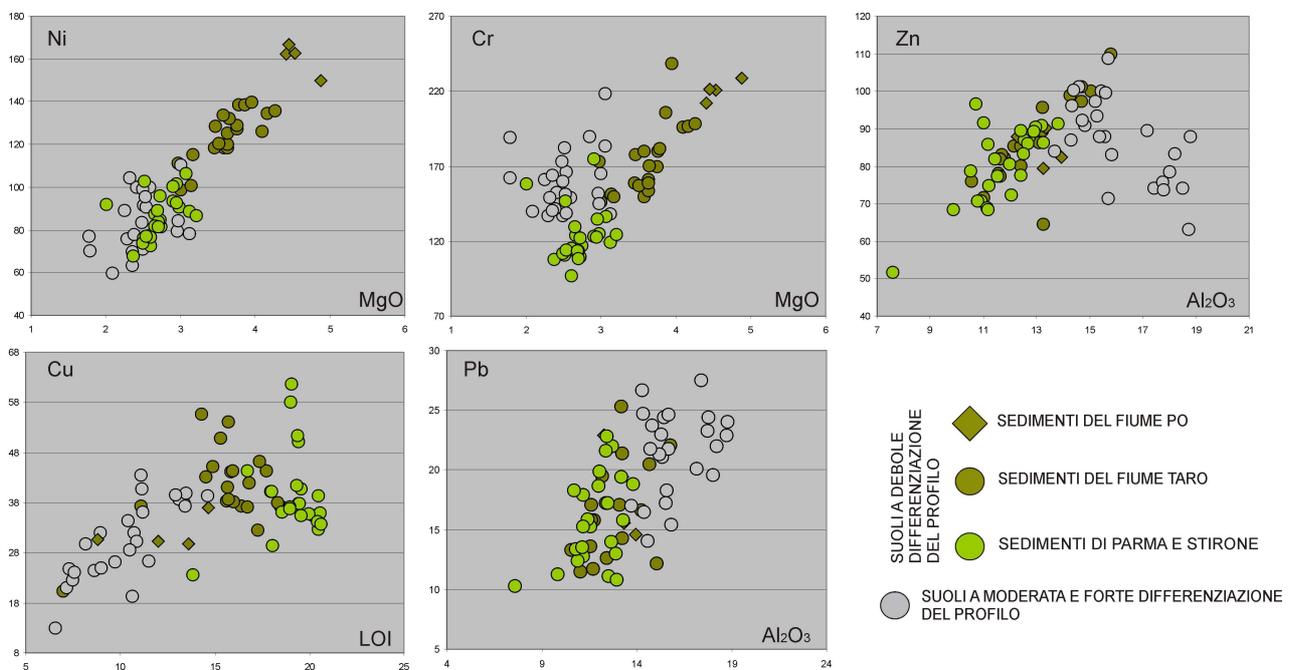


Fig. 10. Caratterizzazione geochemica di sedimenti a diversa provenienza mediante diagrammi binari.

Per quanto riguarda gli elementi rappresentativi della frazione ultrafemica del sedimento (Cr, Ni, e Mg), viene confermata la reciproca correlazione positiva evidenziata dall'analisi *cluster* delle variabili (Fig. 7). In particolare, la distribuzione dei campioni suddivisi per aste fluviali mostra una netta separazione tra il dominio relativo ai fiumi Po e Taro, dove si osservano alte concentrazioni in Cr, Ni e Mg, da quello relativo a Parma e Stirone, con caratteristiche opposte (Fig. 10). Analogamente a quanto discusso per i suoli della piana costiera ferrarese e ravennate (Amorosi & Sammartino, 2005; 2007) e, più in generale, per il sottosuolo dell'intera Pianura Padana sud-orientale (Amorosi et al., 2002; 2007), gli elevati tenori in Cr, Ni e Mg relativi a sedimenti riferibili al Po vengono interpretati come il risultato dello smantellamento dei complessi ofiolitici delle Alpi occidentali. Lo studio geologico dei bacini di drenaggio dell'area parmense mostra come anche il Taro, a differenza dello Stirone e del Parma, presenti importanti volumi di materiale ofiolitico nel suo bacino di drenaggio, fornendo così una spiegazione per l'arricchimento in Cr e Ni all'interno dei suoi sedimenti e di quelli del Po situati a valle della confluenza con il Taro stesso.

Tra Cr e Ni, quest'ultimo è l'elemento che meglio appare discriminare le differenze composizionali fra aste fluviali, mostrando le concentrazioni massime in corrispondenza dei sedimenti del Po (Fig. 10). Si osserva, inoltre, che il contenuto di Ni e Mg all'interno dei suoli a moderata e forte differenziazione del profilo è del tutto paragonabile a quello dei suoli a debole differenziazione del profilo relativi ai fiumi Parma e Stirone, indicando una provenienza comune di questo metallo per queste aree. Cr, al contrario, mostra un arricchimento relativo nei suoli di terrazzo rispetto a quelli di pianura del sistema Parma-Stirone, suggerendo così un'affinità per fasi minerali particolarmente resistenti ai processi di *weathering*, quali ad esempio la cromite.

All'interno dei suoli a debole differenziazione del profilo Zn non mostra significative differenze sulla base della provenienza del sedimento, essendo omogeneamente distribuito all'interno di depositi riferibili ai fiumi Po, Taro, Parma e Stirone (Fig. 10). Al contrario, il metallo presenta in questi suoli una correlazione positiva con l'allumina, indicando così il suo legame con la frazione allumosilicatica del sedimento e, di conseguenza, un suo accumulo preferenziale nelle facies fini (sedimenti di piana inondabile). I suoli a moderata e forte differenziazione del profilo mostrano una concentrazione in zinco paragonabile a quella dei suoli più recenti;

l'arricchimento in allumina nei primi è legato probabilmente alla presenza di minerali secondari.

Per quanto riguarda Cu, è già stata osservata attraverso la *cluster analysis* una maggiore affinità di questo metallo per le fasi carbonatiche e per la sostanza organica. La distribuzione dei campioni all'interno del diagramma di relazione con la LOI (Fig. 10), oltre a mostrare una tendenza positiva tra le due variabili, indica anche una differente tendenza all'accumulo all'interno di suoli recenti (di pianura) e antichi (di terrazzo). In particolare, questi ultimi presentano le concentrazioni più basse di entrambe le variabili, ad indicare l'appartenenza di queste a fasi minerali poco resistenti ai processi di pedogenesi. Nei suoli a debole differenziazione del profilo si osservano, nel complesso, valori di LOI mediamente più elevati per i suoli riferibili al Parma e allo Stirone, i cui sedimenti presentano una composizione maggiormente carbonatica.

Come già evidenziato dall'analisi *cluster*, Pb mostra una scarsa affinità con la fase allumosilicatica del sedimento e quindi una lieve tendenza positiva con l'allumina e gli elementi affini. E' da sottolineare la sua tendenziale concentrazione all'interno di suoli relativamente evoluti. La distribuzione di Pb è invece indipendente dalla provenienza del sedimento.

5 – ANOMALIE GEOCHIMICHE

5.1 – Analisi XRF

Per la valutazione delle anomalie geochimiche nell'area del Foglio 181 – Parma Nord si è proceduto all'analisi (v. Tabella 5) dei 100 campioni prelevati a 20-30 cm di profondità in corrispondenza dei siti di campionamento riportati in Figura 5. E' infatti attraverso il confronto tra fondo naturale definito a 90-100 cm di profondità e concentrazioni di metallo rilevate a 20-30 cm che è possibile stimare l'entità di eventuali anomalie geochimiche dovute al contributo antropico. Per consentire il confronto con i dati di Tabella 3, le analisi chimiche sui campioni superficiali sono state condotte utilizzando la stessa procedura analitica (XRF) impiegata per i campioni più profondi.

La valutazione dello stato d'inquinamento 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, sono:

l'**Indice di Geoaccumulo** I_{geo} (Müller, 1979; Förstner & Müller, 1981), definito da

$$I_{geo} = \log_2 C_n / (1,5 * B_n) e$$

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

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

dove:

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

B_n = tenore di fondo (*background*) nel campione a 90-100 cm di profondità

Sample	181-01A	181-02A	181-03A	181-04A	181-05°	181-06A	181-07A	181-08A	181-09A	181-10°
Cr	142	216	158	154	133	159	168	160	148	146
Ni	99	122	66	88	94	80	94	85	67	83
Cu	38	31	23	34	43	29	39	61	25	34
Zn	90	62	75	85	86	72	91	111	77	83
As	2	4	8	5	4	7	4	6	7	5
Pb	23	22	26	25	24	28	28	36	31	20
Sample	181-11A	181-12A	181-13A	181-14A	181-15°	181-16A	181-17A	181-18A	181-19A	181-20A
Cr	189	131	160	163	160	152	158	141	139	147
Ni	97	59	96	97	101	64	62	97	94	100
Cu	52	23	39	33	53	25	30	51	44	72
Zn	94	80	92	89	110	70	79	108	84	100
As	5	8	5	3	5	10	9	3	6	3
Pb	28	28	28	19	28	31	25	23	23	21
Sample	181-21A	181-22A	181-23A	181-24A	181-25A	181-26A	181-27A	181-28A	181-29A	181-30°
Cr	150	142	133	176	166	175	143	224	173	149
Ni	99	106	94	90	96	85	92	140	110	94
Cu	50	43	37	51	40	43	78	70	36	55
Zn	100	98	96	115	119	89	96	102	98	106
As	5	6	1	5	5	5	4	4	4	4
Pb	20	28	17	31	41	26	20	19	30	28
Sample	181-31A	181-32A	181-33A	181-34A	181-35A	181-36A	181-37A	181-38A	181-39A	181-40A
Cr	174	153	173	175	122	161	144	196	153	180
Ni	114	114	125	123	79	106	90	135	98	107
Cu	46	54	38	68	79	60	42	84	53	48
Zn	94	102	80	91	101	96	99	110	101	93
As	4	5	4	5	3	5	4	4	3	4
Pb	27	23	11	22	21	25	27	22	65	23
Sample	181-41A	181-42A	181-43A	181-44A	181-45A	181-46A	181-47A	181-48A	181-49A	181-50A
Cr	166	125	106	111	116	114	131	175	115	117
Ni	109	87	69	73	70	73	87	125	79	77
Cu	67	44	86	75	60	42	41	45	39	33
Zn	111	90	104	88	95	86	100	87	74	70
As	7	4	4	6	5	5	6	4	5	4
Pb	27	28	60	28	22	15	20	22	23	8
Sample	181-51A	181-52A	181-53A	181-54A	181-55A	181-56A	181-57A	181-58A	181-59A	181-60A
Cr	110	136	188	167	194	172	161	202	200	205
Ni	72	104	128	123	127	123	124	135	137	134
Cu	92	48	85	51	70	66	74	71	114	47
Zn	85	114	103	105	106	101	111	102	100	99
As	4	2	4	6	3	5	5	4	4	4
Pb	24	20	22	27	21	24	26	26	22	21
Sample	181-61A	181-62A	181-63A	181-64A	181-65A	181-66A	181-67A	181-68A	181-69A	181-70A
Cr	157	214	231	183	174	244	138	151	156	163
Ni	117	141	142	141	129	187	96	121	120	123
Cu	43	46	29	57	50	52	83	43	51	60
Zn	89	109	107	119	127	140	103	108	98	112
As	6	3	5	4	4	6	5	5	6	4
Pb	21	34	29	26	21	34	26	36	20	25
Sample	181-71A	181-72A	181-73A	181-74A	181-75A	181-76A	181-77A	181-78A	181-79A	181-80A
Cr	138	257	282	268	108	125	164	155	144	146
Ni	100	184	201	194	82	90	114	92	86	91
Cu	40	45	51	66	40	86	44	74	35	35
Zn	97	108	118	108	91	94	121	110	100	90
As	5	6	5	5	3	4	4	6	4	4
Pb	20	25	30	22	17	21	24	26	22	17
Sample	181-81A	181-82A	181-83A	181-84A	181-85A	181-86A	181-87A	181-88A	181-89A	181-90A
Cr	162	145	173	143	133	137	141	155	126	117
Ni	95	98	112	90	90	85	90	95	87	85
Cu	43	94	47	44	81	34	65	44	44	108
Zn	100	112	93	102	113	84	104	92	79	89
As	6	3	5	3	6	6	5	4	4	5
Pb	26	43	23	27	33	30	25	33	20	19
Sample	181-91A	181-92A	181-93A	181-94A	181-95A	181-96A	181-97A	181-98A	181-99A	181-100A
Cr	123	157	127	128	145	128	148	129	128	141
Ni	84	96	81	90	91	90	95	86	90	84
Cu	53	44	42	38	47	45	82	68	67	45
Zn	110	133	115	98	109	100	95	98	106	102
As	5	4	5	4	5	3	5	6	4	3
Pb	15	26	23	24	19	15	25	19	25	22

Tabella 5 – Concentrazioni, espresse in mg/kg, di Cr, Ni, Cu, Zn, As e Pb nei 100 campioni prelevati a 20-30 cm di profondità, ottenute mediante analisi XRF.

Per la valutazione delle anomalie geochimiche è stato utilizzato uno schema classificativo comunemente in uso (Müller, 1981; Banat et al., 2005; Sainz & Ruiz, 2006), che prevede la distinzione di sette gradi di inquinamento del suolo sulla base di differenti valori dell'Indice di Geoaccumulo (Tabella 6).

I_{geo}	Stato del suolo
< 0	non inquinato
0-1	da non a moderatamente inquinato
1-2	moderatamente inquinato
2-3	da moderatamente a fortemente inquinato
3-4	fortemente inquinato
4-5	da fortemente a estremamente inquinato
> 5	estremamente inquinato

Tabella 6 – Classificazione del grado di inquinamento del suolo sulla base dell'Indice di Geoaccumulo.

5.2 – Anomalie geochimiche nell'area del Foglio 181 – Parma Nord

Il calcolo dell'Indice di Geoaccumulo in corrispondenza delle 100 stazioni analizzate all'interno del Foglio 181 (Parma Nord) fornisce un'idea immediata, sebbene puntiforme, dello stato di salute del suolo dell'area in esame in riferimento ad uno specifico metallo. In particolare, la definizione accurata del fondo naturale attraverso l'incrocio tra dato geochimico e pedologico pone le basi per una stima realistica del contributo di origine antropica.

Per una lettura di dettaglio delle anomalie geochimiche si rimanda alle relative carte e al § 6.6. Vale qui la pena sottolineare, tuttavia, come a concentrazioni molto elevate di Cr e Ni in alcuni suoli dell'area parmense non corrispondano nella realtà anomalie geochimiche, essendo l'area in studio caratterizzata da un fondo naturale in questi due metalli localmente molto elevato. I bassissimi valori di I_{geo} misurati nel 100% dei casi indicano che in tutte le 100 stazioni esaminate il suolo non presenta alcun tipo di inquinamento da Cr o Ni. Abbastanza simile è la condizione del suolo

rispetto a Zn, con soli 5 casi di lievi anomalie geochimiche (suolo “da non a moderatamente inquinato”).

Differente è invece il caso di Pb e Cu. Per quanto riguarda il piombo, il 33% delle stazioni registra lievi anomalie (suolo “da non a moderatamente inquinato”) e in due casi (entrambe in prossimità dell’area urbana di Parma) il suolo può essere definito come “moderatamente inquinato”. Nel caso del rame, addirittura il 49% delle stazioni registra lievi anomalie (suolo “da non a moderatamente inquinato”), mentre in due casi (rispettivamente nell’area di Soragna e di S. Secondo Parmense) il suolo può essere definito come “moderatamente inquinato”. Le uniche zone che appaiono francamente non inquinate da rame sono il settore pedecollinare a monte di Fidenza e il territorio di pianura a sud e ad est di Busseto.

Nelle 100 stazioni investigate non sono state riscontrate condizioni di suolo fortemente o estremamente inquinato da metalli.

5.3 – Analisi con acqua regia

Le analisi chimiche sui 100 campioni superficiali di suolo sono state duplicate attraverso estrazione con il metodo dell’acqua regia (v. § 3.2.2). Questo al fine di acquisire ulteriori informazioni sul contenuto in metalli pesanti dei suoli emiliano-romagnoli, secondo le indicazioni del D. Lgs 99/92. I risultati di queste analisi sono riportati in Tabella 7.

Sample	181-01A	181-02A	181-03A	181-04A	181-05A	181-06A	181-07A	181-08A	181-09A	181-10A
As	5,9	6	16,9	8,4	7,4	14,1	6,4	6,7	9,8	9
Cd	0,28	0,23	0,11	0,22	0,21	0,14	0,27	0,29	0,19	0,23
Cr	60	66	76	68	62	68	63	64	59	57
Cu	41	27,1	25,2	40,2	48,9	27,4	42,1	69,8	24,7	32,9
Hg	0,1	0,05	0,06	0,07	0,06	0,07	0,05	0,16	0,06	0,04
Ni	82,7	95,8	44,3	74,3	80,9	55,8	82,7	71,5	49,4	68,3
Pb	25,1	18,1	25,9	23,6	21,1	25,4	25,3	33,9	28,8	20,3
Zn	82	51	54	75	79	53	84	99	67	75
Sample	181-11A	181-12A	181-13A	181-14A	181-15A	181-16A	181-17A	181-18A	181-19A	181-20A
As	7,1	12,2	9,6	7,3	7,2	14,8	14,2	4	6	5,7
Cd	0,24	0,15	0,11	0,23	0,22	0,12	0,11	0,33	0,23	0,24
Cr	70	62	65	69	71	70	68	52	58	66
Cu	55	26,5	37,6	37,3	58,3	28,9	30,1	45,7	44,4	77,1
Hg	0,09	0,06	0,05	0,05	0,04	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04
Ni	88,1	42,8	80,1	86,5	88,6	44,5	41,2	72,8	73,7	84,5
Pb	28	23,8	19,4	20,5	25,5	25,8	21,6	22,7	17,6	20,4
Zn	81	66	75	79	97	52	64	102	76	93
Sample	181-21A	181-22A	181-23A	181-24A	181-25A	181-26A	181-27A	181-28A	181-29A	181-30A
As	7,6	7,8	6,7	6,8	6,7	6,6	6,9	6,3	9,1	5,8
Cd	0,27	0,22	0,22	0,23	0,39	0,24	0,27	0,22	0,19	0,26
Cr	72	65	60	70	73	70	65	95	87	68
Cu	51,7	41,3	39,6	51,8	46,9	48,7	87,4	70,2	40,7	60,6
Hg	0,04	0,05	0,04	0,07	0,12	0,07	0,08	0,07	0,08	0,05
Ni	81	87,8	80,1	75,1	80,8	71,3	76,3	116,5	91,8	84,1
Pb	20	22,1	20,6	31,9	39,9	20,5	22,3	19,5	26,9	23,3
Zn	90	85	85	99	107	75	89	92	88	96
Sample	181-31A	181-32A	181-33A	181-34A	181-35A	181-36A	181-37A	181-38A	181-39A	181-40A
As	5,8	6	5,8	6,1	6,5	6,9	6,8	7	6,5	6,1
Cd	0,21	0,24	0,28	0,24	0,3	0,33	0,22	0,27	0,3	0,27
Cr	78	74	80	77	54	79	61	93	74	79
Cu	49,2	56,7	50	72,2	78,4	61,6	42,6	90,4	59,8	49,7
Hg	0,08	0,05	0,06	0,05	0,09	0,05	0,07	0,04	0,83	0,23
Ni	96,5	96	102	99,5	62,1	88,8	78	119,5	86,3	88
Pb	22,2	21,3	17,4	20,5	20,5	23,7	21,8	25,1	69,4	21,6
Zn	85	95	80	84	90	84	90	103	96	85
Sample	181-41A	181-42A	181-43A	181-44A	181-45A	181-46A	181-47A	181-48A	181-49A	181-50A
As	6,6	9	10	6,3	6	7	5,7	6,3	7	8
Cd	0,32	0,23	0,3	0,27	0,31	0,28	0,33	0,2	0,2	0,19
Cr	80	54	46	50	48	52	64	78	50	50
Cu	71,4	39,9	80,4	77,5	57,7	40,2	44,3	47,1	33	29
Hg	0,08	0,12	0,28	0,07	0,1	0,04	0,07	0,05	0,04	0,04
Ni	93,6	66	55	58,4	54	55,9	73,1	102,5	58	57,6
Pb	28,3	24,6	53,4	21,2	23,9	16,6	20,9	19,1	15,3	12,4
Zn	104	82	99	81	88	80	94	80	65	63
Sample	181-51A	181-52A	181-53A	181-54A	181-55A	181-56A	181-57A	181-58A	181-59A	181-60A
As	10	6,1	5,8	5,9	6,1	6,6	6,6	6,5	6,2	6,1
Cd	0,32	0,28	0,26	0,21	0,25	0,26	0,28	0,26	0,24	0,25
Cr	51	65	83	76	84	77	76	88	87	89
Cu	95,8	47,1	88,3	53,1	69,8	69,1	76,4	70,8	114,5	48,7
Hg	0,07	0,05	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,08	0,07	0,05
Ni	57,7	82,6	107	100,5	106,5	107,5	101,5	113	111	109
Pb	19,4	19,8	20,4	20,3	21,1	20,6	22,9	22,4	21,1	18,8
Zn	80	106	94	94	97	92	100	94	90	92
Sample	181-61A	181-62A	181-63A	181-64A	181-65A	181-66A	181-67A	181-68A	181-69A	181-70A
As	5,7	6,7	7,4	8	7,4	10,8	6,6	6	5,9	6,8
Cd	0,23	0,23	0,41	0,3	0,3	0,51	0,31	0,3	0,23	0,26
Cr	72	95	115	92	84	127	62	69	65	76
Cu	42,4	48,3	29,9	60,4	53	53	88,2	42,1	46,2	61
Hg	0,05	0,09	0,12	0,06	0,08	0,14	0,07	0,1	0,06	0,06
Ni	94,5	118	113,5	119	111,5	140,5	78,9	96,6	92	106,5
Pb	21,9	33,2	19,8	21,7	22,1	30,5	19,8	36,3	17,2	20,6
Zn	81	102	96	108	116	126	93	97	82	102
Sample	181-71A	181-72A	181-73A	181-74A	181-75A	181-76A	181-77A	181-78A	181-79A	181-80A
As	6,3	12	11,7	11	5,4	5,6	8	6,5	7,8	6,5
Cd	0,27	0,28	0,29	0,3	0,3	0,26	0,26	0,29	0,27	0,15
Cr	62	137	150	143	49	53	81	59	62	61
Cu	38,2	47,6	51,1	71,4	40,2	84,2	46,9	75,4	36,5	34,5
Hg	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06	0,08	0,08	0,05
Ni	79,7	145,5	157	153	65,6	70,5	92,6	77,8	72,3	73,6
Pb	19,3	24,1	25,1	22,5	16,5	16,9	20,4	22,8	22	16,8
Zn	81	90	100	89	80	81	104	94	87	75

Sample	181-81A	181-82A	181-83A	181-84A	181-85A	181-86A	181-87A	181-88A	181-89A	181-90A
As	6,5	9,5	6,3	8,2	6,9	8,9	6,7	5	4	5,5
Cd	0,25	0,27	0,27	0,19	0,21	0,24	0,33	0,24	0,21	0,27
Cr	62	64	72	63	61	59	62	57	51	49
Cu	40,4	94,6	42,8	41,8	81,3	33,3	70,9	39,3	42,8	106
Hg	0,06	0,1	0,07	0,08	0,1	0,17	0,05	0,13	0,05	0,06
Ni	77,7	80,3	90,5	71	68,8	67,8	77	75,9	69,5	67,4
Pb	20,5	45,5	20,3	26,3	27,3	20,6	23,8	25,5	15,6	19,3
Zn	84	102	82	91	104	75	90	82	66	77
Sample	181-91A	181-92A	181-93A	181-94A	181-95A	181-96A	181-97A	181-98A	181-99A	181-100A
As	5,5	6	5,4	5,5	7,5	5	6,4	6,3	5,8	5,7
Cd	0,28	0,4	0,16	0,3	0,31	0,26	0,24	0,29	0,26	0,27
Cr	53	70	54	58	63	59	58	58	57	61
Cu	48,1	45,5	43,1	38,3	49,8	43,1	79	69,5	67	42,4
Hg	0,06	0,07	0,12	0,05	0,06	0,05	0,09	0,03	0,03	0,03
Ni	64,5	80,3	64	72,8	79,6	73,6	75,4	70,5	71,9	65,3
Pb	23,5	23,7	19,4	20,1	21,8	16,9	21,3	18,9	19,6	19,2
Zn	92	116	104	87	98	89	79	85	87	85

Tabella 7 – Concentrazioni, espresse in mg/kg, di As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn nei 100 campioni prelevati a 20–30 cm di profondità, ottenute mediante estrazione con acqua regia e analisi ICP–MS.

5.4 – Metodologie a confronto: XRF e acqua regia

Come già sottolineato in § 3.2.2, l'estrazione con acqua regia *non* fornisce indicazioni precise circa la quantità di metallo *effettivamente* presente all'interno di un campione, ma definisce una stima del tasso di rilascio a lungo termine dei metalli da parte del suolo. Ciò implica che le quantità di metallo misurate attraverso estrazione con acqua regia siano sistematicamente in difetto rispetto a quelle rilevate attraverso analisi XRF. Il risultato del confronto tra le due diverse procedure, limitato ai sei elementi analizzati con entrambi i metodi (Cr, Ni, Cu, Zn, Pb e As), è illustrato in Figura 11.

E' evidente come il massimo scarto tra i due metodi analitici si realizzi per Cr (Fig. 11), con un valore medio di metallo estratto con acqua regia su 100 campioni che costituisce appena il 44% del totale di metallo risultante da analisi XRF. Valori medi più elevati si registrano per Ni (81% della lettura XRF) e Zn (88%), mentre concentrazioni medie simili o addirittura identiche tra i due metodi si registrano rispettivamente per Pb (94%) e Cu (100%). Il confronto dei dati relativi a As, al contrario, evidenzia valori mediamente più elevati nei campioni soggetti ad estrazione con acqua regia (Fig. 11). Questo apparente paradosso è verosimilmente il risultato di una lettura approssimativa di questo elemento attraverso analisi XRF, considerate le concentrazioni estremamente modeste di As, che cadono entro i margini di errore dell'analisi in fluorescenza.

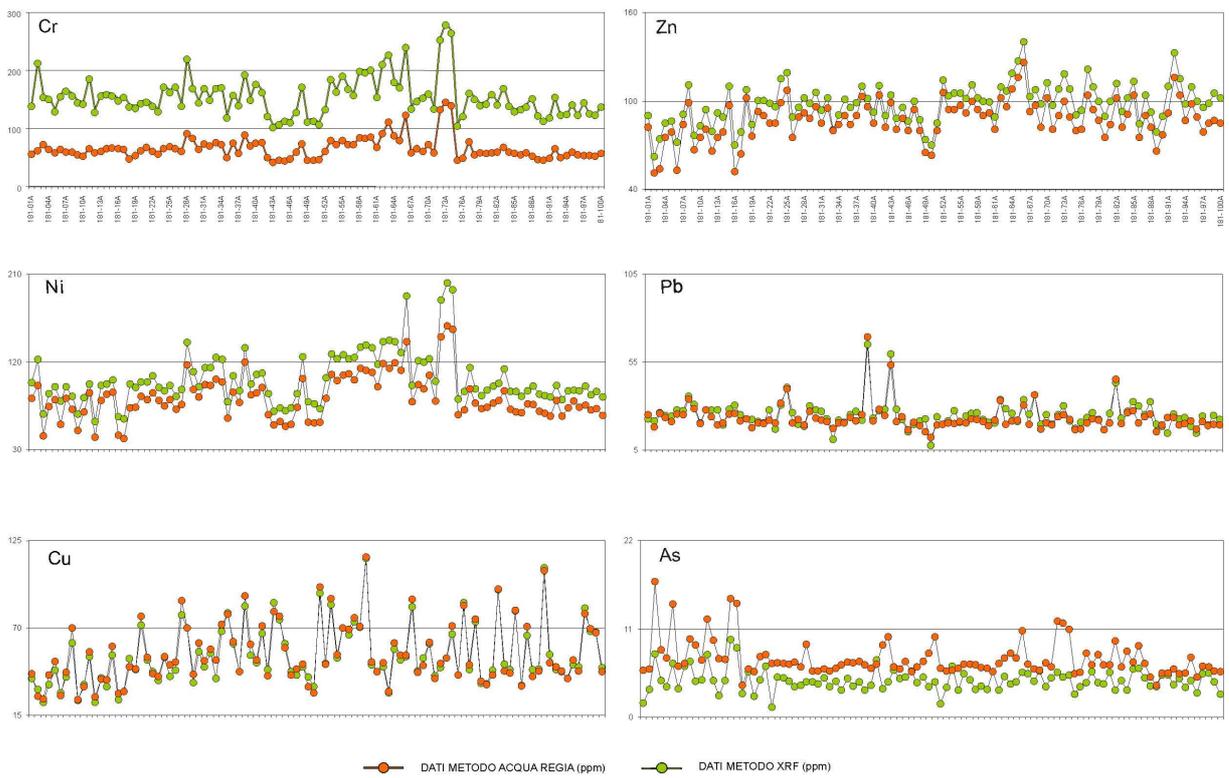


Fig. 11 – Concentrazioni di metallo misurate nei campioni a 20-30 cm di profondità con il metodo dell'acqua regia e mediante XRF.

6 – CARTOGRAFIA PEDOGEOCHIMICA DEL FOGLIO 181

6.1 – Impianto della Carta Pedogeochemica

La Carta Pedogeochemica del Foglio 181 – Parma Nord si compone di una serie di prodotti che sintetizzano il risultato degli studi illustrati nelle sezioni precedenti. Per una maggiore fruibilità del prodotto finale è stato messo a punto un impianto cartografico comune a tutti i metalli, che prevede uno stesso *set* di carte per ciascun foglio. Il simbolo del metallo a cui la carta si riferisce è stampigliato chiaramente nell'intestazione della carta stessa ed è contraddistinto da un colore (azzurro per Cr, viola per Ni, verde per Cu, giallo per Zn e marrone per Pb).

Nel dettaglio, ogni foglio si compone di tre prodotti cartografici distinti (Fig. 12):

- Carta Pedogeochemica del Fondo Naturale, in scala 1:50.000
- Carta delle Anomalie Geochimiche, in scala 1:100.000
- Carta di inquadramento pedologico.

A corredo di questi prodotti viene riportato su ogni foglio il quadro dei parametri statistici relativi al metallo in esame.

6.2 – Carta Pedogeochemica del Fondo Naturale

La Carta Pedogeochemica del Fondo Naturale, che rappresenta il prodotto di sintesi tra studio geochimico e Carta dei Suoli in scala 1:50.000, definisce la dotazione naturale in metalli dell'area in esame che, come ampiamente documentato nel Capitolo 4, è funzione del grado evolutivo dei suoli, della provenienza del sedimento e della granulometria (tessitura). Si tratta di un documento fortemente innovativo rispetto alla tradizionale cartografia geochimica basata unicamente su criteri di interpolazione statistica del dato (vedi discussione in Amorosi & Sammartino, 2005). Questo tipo di carta, infatti, mettendo in luce la relazione tra composizione geochimica e distribuzione spaziale delle differenti unità di suolo, consente l'interpretazione immediata del dato geochimico su base pedologica (v. anche Sartori et al., 2004).

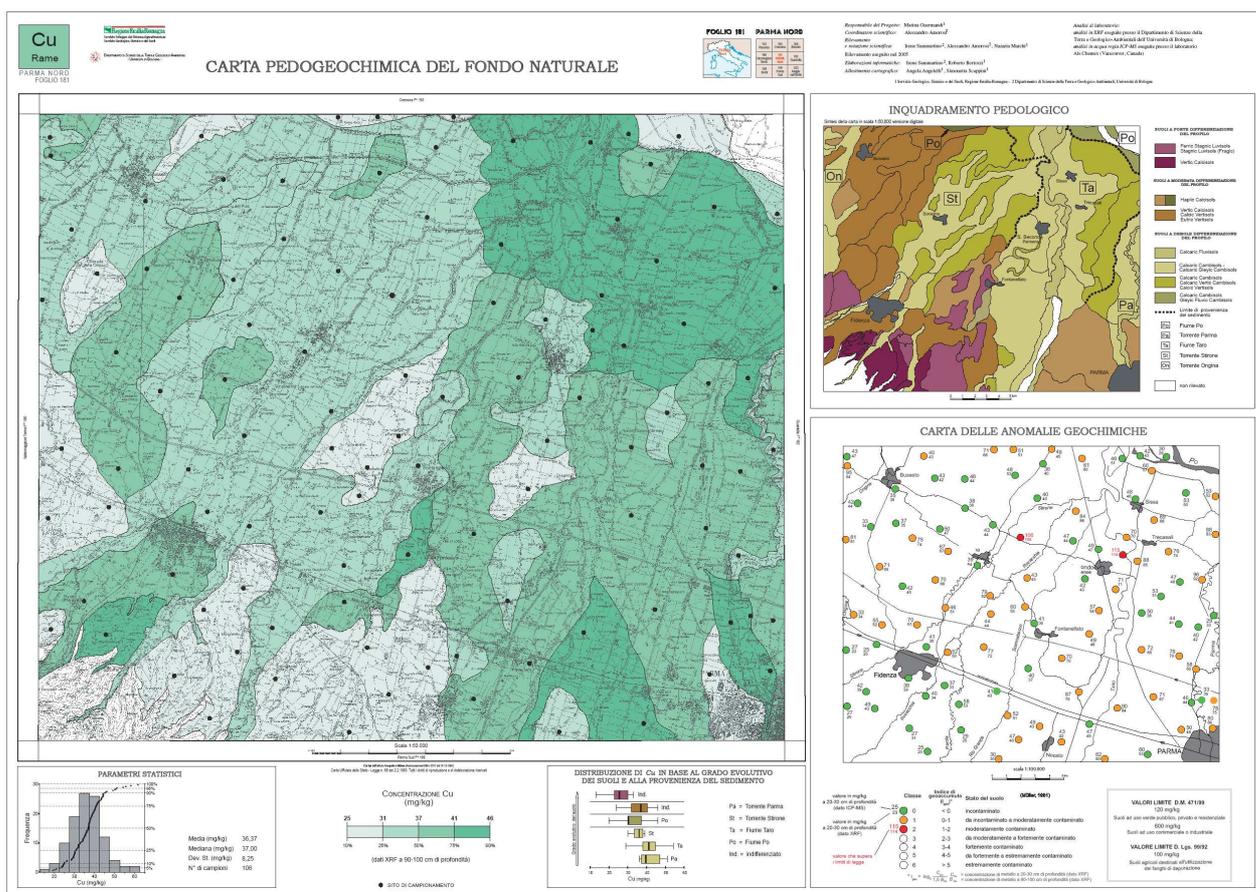


Fig. 12 – Esempio di carta pedogeochimica per uno dei metalli previsti dalla Convenzione

La carta, impostata su base topografica completa I.G.M. in scala 1:50.000, è costruita sui dati geochimici XRF di 106 siti in cui il campionamento è stato eseguito a 90-100 cm di profondità (Tabella 3) e contrassegnati in carta da cerchietti di colore nero. Il fondo naturale dei differenti metalli è riportato in legenda secondo quattro classi di isoconcentrazione, corrispondenti ad altrettante sfumature di colore disposte lungo una scala orizzontale. I limiti tra le singole classi sono definiti su base statistica in corrispondenza del 10°, 25°, 50°, 75° e 90° percentile della curva cumulativa (v. § 6.5).

La caratterizzazione geochimica delle unità di suolo illustrata al Capitolo 4 consente, nei casi in cui il metallo presenti valori di fondo naturale omogenei all'interno delle singole unità di suolo, di tracciare i limiti tra le classi in corrispondenza di confini fisicamente ben definiti, di significato pedologico. Questo

procedimento è ben visibile, ad esempio, per le carte di Cr e Ni, dove è osservabile una buona sovrapposizione tra carta pedogeochemica del fondo naturale e carta pedologica, ad indicare un controllo importante della distribuzione spaziale dei diversi tipi di suolo nella dotazione naturale in questi metalli.

Laddove, al contrario, una stessa unità di suolo presenti al suo interno significative variazioni del fondo naturale, i limiti di isoconcentrazione della carta pedogeochemica vengono tracciati all'interno dell'unità di suolo necessariamente sulla base dei tradizionali criteri di interpolazione del dato. Ciò si verifica in particolare per Pb e Cu, la cui distribuzione appare relativamente poco dipendente dal grado evolutivo dei suoli e dalla provenienza del sedimento e maggiormente funzione della granulometria (tessitura).

6.3 – Inquadramento pedologico

Si tratta della carta pedologica di sintesi ampiamente descritta al § 2.2 (v. Fig. 4), che riassume i caratteri pedologici della Carta dei Suoli in scala 1:50.000 (Fig. 3). La presenza di questa carta sul foglio consente, per confronto, una agevole lettura in chiave pedologica della Carta Pedogeochemica del Fondo Naturale, suggerendo dove e in quale misura la presenza di suoli a differente grado evolutivo condizioni la dotazione naturale in metalli nell'area in esame.

6.4 – Parametri statistici

La parte inferiore sinistra del foglio riassume alcuni degli elementi statistici rappresentativi del dato geochemico e utilizzati nella costruzione della Carta Pedogeochemica del Fondo Naturale. Sulla sinistra vengono presentati l'istogramma della distribuzione di frequenza, cui è sovrapposta la relativa curva cumulativa. Da quest'ultima possono essere ricostruiti i valori in mg/kg relativi al 5°, 10°, 25°, 50°, 75°, 90° e 95° percentile. A lato di questi diagrammi vengono esplicitati i parametri statistici della distribuzione: media, mediana, deviazione standard e numero di campioni.

6.5 – *Box-plot*

Attraverso una serie di *box-plot* si viene messo in evidenza come alcuni fattori, quali il grado evolutivo dei suoli e la provenienza del sedimento (vedi carta di inquadramento pedologico), influenzino la distribuzione dei metalli nell'area in esame. I colori dei *box-plot* richiamano quelli della carta di inquadramento pedologico, consentendo una chiara distinzione tra suoli a forte (colore viola), moderata (colore marrone) e debole (colore verde) differenziazione del profilo. All'interno dei suoli a debole differenziazione del profilo vengono distinti quattro diversi ambiti di provenienza, relativi rispettivamente ai fiumi Po e Taro e ai torrenti Stirone e Parma (v. anche Fig. 8). I limiti tra questi domini sono indicati da linee tratteggiate nella carta di inquadramento pedologico. I suoli a forte e moderata differenziazione del profilo sono indifferenziati in termini di domini di provenienza del sedimento.

Gli estremi dei *box-plot* corrispondono, rispettivamente, al 25° percentile (1° quartile) e al 75° percentile (3° quartile) e la barra nera rappresenta la mediana.

I *box-plot* costituiscono il naturale completamento della Carta Pedogeochemica del Fondo Naturale. Dal confronto tra *box-plot* riferiti a suoli a diverso grado evolutivo e a sedimenti di diversa provenienza, il diagramma fornisce un'indicazione immediata sul piano visivo dei principali fattori di controllo della dotazione naturale dei differenti metalli nei suoli.

6.6 – Carta delle Anomalie Geochimiche

La Carta delle Anomalie Geochimiche confronta la dotazione naturale di un metallo misurata a 90-100 cm di profondità con la concentrazione presente nello stesso sito a 20-30 cm di profondità (misurati entrambi mediante XRF); è una carta per punti costruita su una base topografica semplificata che rappresenta i valori dell'Indice di Geoaccumulo I_{geo} (Müller, 1979; Förstner & Müller, 1981 - § 5.1) in corrispondenza di 100 stazioni.

Lo stato del suolo, che può variare da "incontaminato" a "estremamente contaminato", è espresso da una serie di cerchietti di diverso colore, che esprimono le sette classi dello schema classificativo di Müller (1981) (v. Tabella 6). Il colore verde è indicativo di condizioni di suolo incontaminato, mentre i colori giallo e rosso

si riferiscono a suoli fino a moderatamente contaminati. A fianco di ogni sito di campionamento sono riportati in carta due valori di concentrazione del metallo, entrambi relativi al campione di suolo più superficiale (20–30 cm di profondità). Il valore in alto si riferisce al tenore in mg/kg di metallo misurato mediante estrazione con acqua regia e lettura ICP-MS, mentre il valore in basso, generalmente più elevato (v. discussione in § 5.3), si riferisce ai tenori in mg/kg di metallo misurato mediante analisi XRF.

Laddove le concentrazioni di metallo rilevate superino uno dei limiti di legge previsti dal D.M. 471/99 o dal D. Lgs. 99/92, i valori vengono riportati in rosso. *L'eventuale stato di contaminazione del suolo dipende unicamente dal colore del cerchietto e non dal colore del numero.* La presenza di concentrazioni di metallo molto elevate (numeri in rosso) accoppiate a cerchietti di colore verde indica semplicemente che il fondo naturale del metallo in quel sito eccede i limiti di legge, senza per questo essere in presenza di fenomeni di inquinamento. Questo fatto si verifica in molti casi per Cr e Ni, che nell'area in studio presentano un fondo naturale localmente molto elevato a causa del drenaggio di complessi ofiolitici ricchi in questi elementi da parte dei fiumi Po e Taro. E' stato ampiamente documentato da Sammartino (2004) per la pianura ferrarese e ravennate che le elevate quantità naturali di Cr e Ni provenienti dalla lisciviazione di complessi ultramafici non sono biodisponibili e che, quindi, non sono da ritenersi pericolose per la salute umana.

A differenza della Carta Pedogeochemica del Fondo Naturale, che interpola la concentrazione naturale dei metalli sull'intera area in esame, il carattere puntiforme della Carta delle Anomalie Geochimiche fornisce indicazioni circa la presenza di eventuali contaminazioni di origine antropica su scala strettamente locale. Tali anomalie non possono né essere interpretate in modo compiuto, né venire estese alle aree adiacenti prive di dati, in assenza di ulteriori adeguati approfondimenti di indagine. Deve essere peraltro sottolineato che, dato il carattere di casualità nell'ubicazione delle indagini rispetto all'uso del suolo, non è da escludersi la presenza di situazioni di contaminazione anche rilevante del suolo in aree esterne ai siti di campionamento.

CONCLUSIONI

1) E' stato eseguito, sull'area del Foglio 181 – Parma Nord della cartografia in scala 1:50.000, uno studio integrato, pedologico e geochemico, finalizzato alla costruzione di cinque carte geochemiche relative alla distribuzione di altrettanti metalli potenzialmente tossici (Cr, Ni, Cu, Pb e Zn). Il campionamento, su 100 stazioni, ha previsto il prelevamento per ogni stazione, mediante trivellata a mano, di due campioni (a 90-100 cm e 20-30 cm di profondità) utilizzati, al termine di una fase di validazione scientifica, per la definizione del fondo naturale dei metalli nei suoli e per la stima delle anomalie geochemiche, rispettivamente. I campioni, sottoposti ad analisi chimiche in duplicato mediante XRF ed estrazione con acqua regia, hanno evidenziato come quest'ultimo metodo fornisca un quadro realistico di concentrazione dei metalli all'interno dei suoli unicamente per Cu e Pb (valori medi di metallo estratto superiori al 90% del totale misurato con XRF). Al contrario, la percentuale di metallo estratto con acqua regia è dell'80-90% per Zn e Ni e solo del 44% per Cr, indicando così nell'analisi XRF uno strumento maggiormente affidabile per la stima del fondo naturale di questi metalli.

2) Dallo studio emerge come il grado evolutivo dei suoli, la composizione delle aree fonte di sedimento e la tessitura (granulometria) rappresentino in ordine decrescente di importanza i principali fattori di controllo della composizione geochemica naturale dei suoli. In particolare, la tripartizione tra suoli a forte, moderata e debole differenziazione del profilo consente la differenziazione di altrettanti settori con caratteri geochemici peculiari, all'interno dei quali si registra l'arricchimento o l'impovertimento selettivo in determinati elementi chimici in funzione del grado evolutivo dei suoli. Per quanto riguarda la dotazione naturale di metalli pesanti nei suoli, la presenza di complessi ofiolitici nei bacini di drenaggio del Po e del Taro giustifica le concentrazioni elevate in Cr e Ni (localmente superiori ai limiti ammessi dal Decreto Ministeriale 471/99 per le aree destinate all'uso di verde pubblico e residenziale) registrate in corrispondenza di queste aste fluviali. A parità di grado evolutivo dei suoli e di provenienza del sedimento, la concentrazione in alcuni metalli (ad esempio, zinco) risulta maggiormente elevata all'interno delle facies fini.

3) L'individuazione di una stretta relazione tra grado evolutivo e composizione geochimica dei suoli pone le premesse per la costruzione di una Carta Pedogeochemica del Fondo Naturale di nuova concezione, fortemente innovativa rispetto alla tradizionale cartografia geochimica basata su criteri di pura interpolazione statistica del dato. Una carta geochimica del fondo naturali dei metalli fortemente integrata con la cartografia dei suoli consente una interpretazione immediata del dato geochimico su base pedologica presentando, di conseguenza, un forte potere predittivo per la stima delle concentrazioni naturali di metalli in aree per le quali non siano disponibili dati.

4) La comprensione della variabilità spaziale del fondo naturale dei metalli in funzione delle caratteristiche pedologiche del territorio sta alla base di una stima realistica dello stato di inquinamento del suolo, evidenziato dalla Carta delle Anomalie Geochimiche. Dal confronto tra fondo naturale e concentrazioni di metallo nella porzione superficiale dei suoli del Foglio 181 risulta come, a dispetto di concentrazioni localmente anche molto elevate, non si registrino significativi arricchimenti in Cr e Ni, a conferma dell'origine naturale di questi metalli nei suoli dell'area in esame. Al contrario, lo studio geochimico evidenzia nell'area in studio una debole, ma diffusa, contaminazione antropica da Cu e Pb ed una ancor più debole e localizzata contaminazione da Zn.

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*, in stampa.

Amorosi A., Colalongo M.L., Dinelli E., Lucchini F. & Vaiani S.C. (2007). 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.

Banat K.M., Howari F.M. Al-Hamad A.A. (2005). Heavy metals in urban soils of central Jordan: Should we worry about their environmental risks? *Environmental Research*, 97: 258–273.

Box S. & Wallis J.C. (2000). Surficial geology along the Spokane River, Washington and its relationship to the metal content of sediments. *US Geol Survey, Open-File Rep 02-126*: 1–16.

Carta Geologica di Pianura della Regione Emilia-Romagna in scala 1:250.000 (1999). Regione Emilia-Romagna. Bologna.

Castiglioni G.B., Biancotti A., Bondesan M., Cortemiglia G.C., Elmi C, Favero V., Gasperi G., Marchetti G., Orombelli G., Pellegrini G.B. & Tellini C. (1999). Geomorphologic map of the Po plain, Italy, at the scale 1:250.000. *Earth Surf. Processes Landforms* 24, 1115–1120.

Darnley A.G. (1997). A global geochemical reference network: the foundation for geochemical baselines. *J. Geochem. Expl.* 60, 1–5.

Decreto Legislativo 27/1/1992, 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. *GU* 39, 15/02/92.

Decreto Ministeriale 25/10/1999, n° 471. Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati. *G.U.* 293, 15/12/1999.

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 (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

Imai N., Terashima S., Itoh S. & Ando A. (1995). 1994 compilation values for GSJ reference samples, "Igneous rock series". *Geostandards Newsletter* 19, 135–213.

ISO19528 (2005). Soil quality – Guidance on the determination of background values. *ISO/TC 190/SC 7-19258*.

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 (1986). Determination of S, Cl and F in silicate rocks by X-ray fluorescence analysis. *X-Ray Spectrom* 11, 156-158.

Miller J.R. (1997). The role of fluvial geomorphic processes in the dispersal of heavy metals from mine sites. *J Geochem. Expl.* 58, 101-118.

Müller G. (1979). Schwermetalle in den sedimenten des Rheins-Veränderungunten seit 1971. *Umschan* 79, 778-783.

Müller G. (1981). Die Schwermetallbelastung der Sedimente des Neckars und seiner Nebenflüsse: eine Bestandsaufnahme, *Chem. Zeit.* 105, 157-164.

Myers & Thorbjornsen (2004). Identifying Metals Contamination in Soil: A Geochemical Approach. *Soil and Sediment Contamination* 13, 1-16.

Nassisi A., Ballardini D., Bevilacqua D., Vitali F., Giapponesi A., Guermandi M., Sarno G., Tarocco P., ARPA, Programma Sina. Progetto Analisi e progettazione delle reti di monitoraggio ambientale a scala regionale e sub-regionale, Sottoprogetto Monitoraggio dei suoli, Proposta di organizzazione di una rete regionale di monitoraggio dei suoli.

Plant J., Smith D., Smith B. & Williams L. (2001). Environmental geochemistry at the global scale. *Appl. Geochem.* 16, 1291-1308.

Regione Emilia-Romagna (2005). Carta dei Suoli della pianura a scala 1:50.000 - versione digitale 2005. Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli.

Reimann C. & Garrett R.G. (2005). Geochemical background - concept and reality. *Sci. Total Envi.* 350, 12-27.

Rubio B., Nombela M.A. & Vilas F. (2000). Geochemistry of major and trace elements in sediments of the Ria de Vigo (NW Spain): an assessment of metal pollution. *Mar. Poll. Bull.* 40, 968-980.

Sainz A. & Ruiz F. (2006) Influence of the very polluted inputs of the Tinto-Odiel system on the adjacent littoral sediments of southwestern Spain: A statistical approach. *Chemosphere* 62, 1612-1622.

Salminen R. & Tarvainen T. (1997). The problem of defining geochemical baselines A case study of selected elements and geological materials in Finland. *J Geochem Expl* 60, 91-98.

Sammartino I (2004). Heavy-metal anomalies and bioavailability from soils of southeastern Po Plain. *GeoActa* 3, 35-42.

Sartori G., Corradini F., Bini C., Gemignani S. & Mancabelli A. (2004). Contenuto di metalli pesanti nei suoli del Trentino. *Studi Trentini di Scienze Naturali. Acta Geologica* 79, 75-117.

US EPA 6020 A (1998). U.S. Environmental Protection Agency, Method 6020, Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry.