

ALMA MATER STUDIORUM A.D. 1088
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI SCIENZE

Corso di Laurea Magistrale in Geologia e Territorio

Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali

Tesi di Laurea Magistrale

Provenienza del materiale parentale e qualità
dei suoli della Pianura Padana

Candidato:
Fabio Foli

Relatore:
Prof. Enrico Dinelli

Sessione Dicembre 2014
Anno Accademico 2014-2015

Introduzione	- 5 -
Inquadramento Geografico e Geologico	- 8 -
Bacino del Po e dell'Appennino	- 11 -
Ambito alpino	- 12 -
Ambito appenninico	- 13 -
Ambito di Pianura.....	- 15 -
Bacino dell'Oglio (Alpi Lombarde)	- 16 -
Bacino del Mincio.....	- 17 -
Bacino dell'Adige.....	- 19 -
L'origine dei metalli pesanti nei suoli	- 21 -
Origini geochemiche dei metalli pesanti	- 21 -
Fonti di inquinamento da metalli pesanti nel suolo	- 23 -
Metalli pesanti nei fertilizzanti e concimi in agricoltura	- 24 -
Metalli pesanti da deposizione atmosferica.....	- 24 -
Concentrazioni dei metalli pesanti nei suoli agricoli	- 25 -
Perdite di elementi dal suolo (<i>da ARPAV: Metalli e metalloidi nei suoli del veneto</i>)	- 26 -
Metalli pesanti.....	- 28 -
Determinazione di anomalie nelle concentrazioni e importanza della conoscenza del tenore di fondo dei metalli nei suoli.....	- 28 -
Rapporto tra Mineralogia delle rocce e la concentrazione dei metalli pesanti	- 29 -
Uso del Suolo	- 34 -
Pedologia	- 36 -
Suoli della Pianura Padana.....	- 36 -
Classificazione dei suoli secondo la World Reference Base for Soil Resources (WRB) ...	- 40 -
Suoli con spessi strati organici	- 40 -
Histosols	- 40 -
Suoli con forte influenza umana	- 41 -
Anthrosols	- 41 -
Technosols.....	- 41 -
Suoli fortemente influenzati dall'acqua.....	- 42 -
Vertisols.....	- 42 -
Fluvisols	- 43 -

Solonchacks	- 44 -
Gleysols	- 44 -
Suoli con accumulo di materia organica, high base status.....	- 46 -
Phaeozems	- 46 -
Suoli con accumulo di sali poco solubili e/o sostanze non saline	- 46 -
Calcisols	- 46 -
Suoli, con un sottosuolo arricchito in argilla	- 47 -
Luvisols	- 47 -
Suoli relativamente giovani o suoli che hanno un profilo poco sviluppato o non sviluppato.....	- 48 -
Arenosols.....	- 48 -
Cambisols	- 49 -
Suoli che non rientrano in questa classificazione:	- 50 -
Proprietà dei Suoli:	- 51 -
Materiale e Metodi.....	- 52 -
Analisi Chimiche.....	- 59 -
Determinazione del contenuto totale dei metalli nei suoli tramite analisi XRF.....	- 59 -
Valutazione degli arricchimenti superficiali di metalli pesanti nei suoli	- 59 -
Elaborazione statistica dei dati	- 60 -
Elaborazione grafica con QGis	- 61 -
Interpretazione dei risultati:.....	- 62 -
Dati Profondi	- 63 -
Dati Superficiali	- 75 -
Qualità del suolo	- 83 -
Elaborazione cartografica delle concentrazioni degli elementi di interesse ambientale (As, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V e Zn) nell'area di interesse.....	- 85 -
Arsenico:.....	- 85 -
Cobalto:	- 87 -
Cromo:.....	- 89 -
Rame:	- 91 -
Nichel:.....	- 93 -
Piombo:	- 95 -
Vanadio:	- 97 -

Zinco:	- 99 -
Indice di Geoaccumulo per la valutazione della qualità del suolo:.....	- 101 -
Conclusioni	- 114 -
Appendice A.....	- 115 -
Legenda delle carte dell'Uso del Suolo tratte dal progetto Corine Land Cover e relativa descrizione dettagliata.....	- 115 -
Descrizione dettagliata della legenda (ISPRA):.....	- 116 -
BIBLIOGRAFIA:	- 123 -
SITOGRAFIA:	- 130 -

Introduzione

Le prime definizioni per capire in cosa consiste questa tesi sono le seguenti:

-Cos'è il suolo?

-Come si forma il suolo?

Il suolo è lo strato superiore della crosta terrestre formato da particelle minerali, materia organica, aria, acqua e organismi viventi. Rappresenta il mezzo di interazione dinamica tra atmosfera, litosfera, idrosfera e biosfera. Si suddivide in orizzonti aventi caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche proprie. I processi che portano alla formazione del suolo hanno origine con la degradazione della roccia affiorante da degradazione meteorica delle rocce rappresenta il fattore principale del primo stadio di formazione di un suolo.

La pedogenesi, cioè la formazione del suolo, è il processo con cui si forma si sviluppa un sottile livello di suolo su materiale roccioso alterato, seguito da un graduale aumento di spessore e che subisce una differenziazione per formare il profilo del suolo. Il profilo del suolo comprende distinti livelli, chiamati orizzonti, differenti in colore e/o tessitura e struttura, ed è l'unità di classificazione dei suoli (Duchaufour, 1977) (Fig.1).

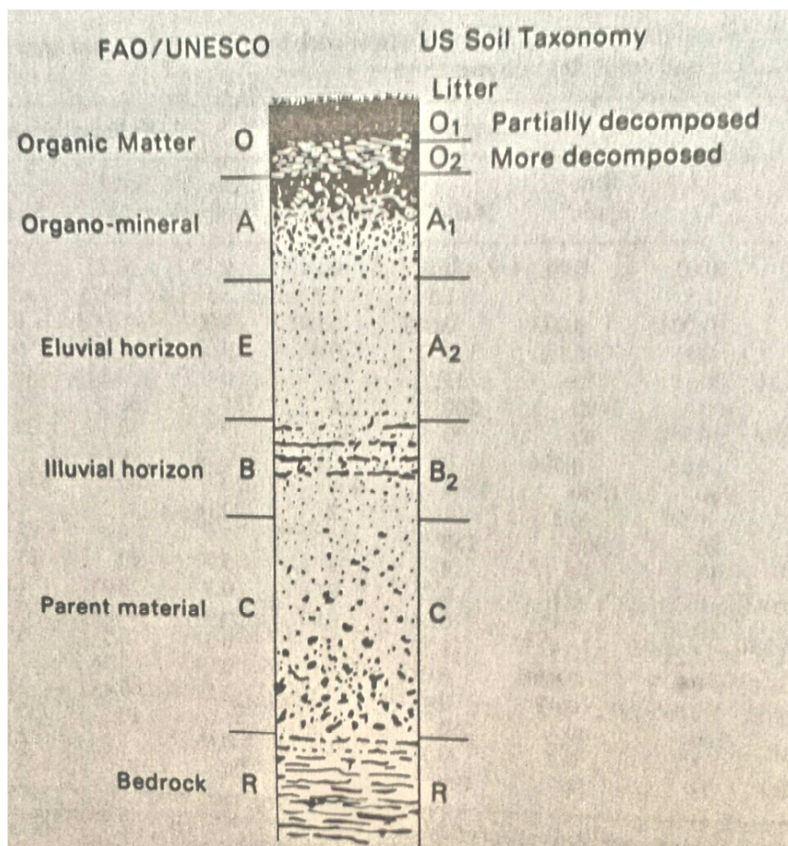


Fig. 1 - Profilo del suolo con nomenclatura FAO/UNESCO e US Soil Taxonomy Horizon.

Gli orizzonti O-A, quelli più superficiali, sono arricchiti in materia organica, soprattutto di origine vegetale, legata all'accumulo e decomposizione di resti vegetali. La decomposizione della materia organica produce ioni H^+ , abbassando il valore del pH. La materia organica in decomposizione ha elevata capacità di scambio ionico. Si ha un elevato accumulo di metalli in corrispondenza di elevata quantità di materia organica e minerali argillosi, che sono molto reattivi, poiché hanno una superficie con carica negativa a causa degli ioni ossigeno in condivisione.

L'orizzonte E, o orizzonte di lisciviazione o eluviazione. Questi processi di alterazione, spinti al massimo, poiché il materiale risulta essere più grossolano e permeabile rispetto agli strati O-A. Elementi, ad esempio come Ferro e Alluminio reagiscono con gli ioni H^+ e tendono ad andare in soluzione. L'ambiente di questo orizzonte è sempre a pH acido.

L'orizzonte B, è l'orizzonte in cui si ha precipitazione di nuove fasi minerali di Alluminio e Ferro a causa dell'aumento di pH, con il passaggio da pH acido a pH basico (illuviazione). La precipitazione di minerali argillosi causa una diminuzione della naturale permeabilità del suolo.

Gli orizzonti C-R sono rappresentati da roccia frantumata e leggermente alterata.

All'interno del profilo del suolo alcuni elementi (Ag, As, Cd, Cu, Hg, Pb, Sb e Zn) possono concentrarsi negli orizzonti superficiali a seguito di deposizione atmosferica e adsorbimento da parte della materia organica e a processi ciclici che coinvolgono la vegetazione. Negli orizzonti più profondi, si possono trovare maggiori concentrazioni di Al, Fe, Ga, Mg, Ni, Sc, Ti, V e Zr, che tendono ad essere associati ai minerali argillosi e agli idrossidi precipitati (Bowen, 1979). Tuttavia, i suoli recentemente inquinati, hanno spesso contenuti più elevati di metalli inquinanti nel topsoil, perché i processi pedogenetici non hanno operato abbastanza a lungo per effettuare una redistribuzione all'interno del profilo di suolo.

La formazione del suolo è da intendersi come risultato dell'interazione tra condizioni ambientali e attività biologica sulla superficie della roccia alterata nel paesaggio. Jenny (Jenny,1941) ha espresso i fattori della formazione del suolo in una equazione:

$$Soil = f(Cl, O, R, P, T)$$

f = funzione

Cl = Clima

O = Organismi

R = Topografia

P = Materiale Parentale

T = Tempo

Questi fattori, controllano la formazione del suolo determinando l'intensità dei processi pedogenetici operanti in ogni sito. Gli aspetti più importanti della pedogenesi relativa al comportamento dei metalli pesanti nei suoli sono quelli che interessano:

- il rilascio di metalli dal materiale parentale per alterazione
- la traslocazione e accumulo dei costituenti del suolo che assorbono metalli, come le argille, idrossidi e materia organica.

Diversi processi pedogenetici sono responsabili dello sviluppo degli orizzonti del suolo e dei profili del suolo. L'alterazione, che sia la disintegrazione fisica o decomposizione chimica dei minerali, è un processo importante nella formazione di tutti i suoli. Tuttavia, l'alterazione non è peculiare per i suoli, poiché si verifica anche in rocce non a diretto contatto con la biosfera. L'alterazione dei minerali del materiale parentale, include idrolisi, idratazione dissoluzione, ossidazione e riduzione, scambio ionico e formazione di carbonati. Queste reazioni sono dipendenti dall'acqua, sia per la continuazione della reazione che per i prodotti da rimuovere. I tassi delle reazioni, sono direttamente collegati alla temperatura, quindi i tassi sono alti nei tropici umidi e bassi in ambienti freddi e/o secchi. Anche le variazioni nella suscettibilità dei minerali e la loro granulometria influenzano il tasso di alterazione (*Jenny, 1941*).

Gli altri processi pedogenetici, importanti in relazione al comportamento dei metalli, sono quelli che coinvolgono la traslocazione dei costituenti del suolo. Questi sono i processi di, lisciviazione, eluviazione o dilavamento, salinizzazione, podzolizzazione e laterizzazione insieme con Gleyzzazione, cioè lo sviluppo di condizioni riducenti come risultato di allagamenti e accumulo di materia organica (*Bridges, 1978; Fenwick e Knapp, 1982*). E' importante fare una distinzione sulla tipologia dei suoli, esistono suoli residuali e suoli trasportati.

I suoli residuali, generalmente autoctoni, ovvero formati in situ, si formano dall'alterazione della roccia sottostante. Sono caratterizzati dalla notevole abbondanza di minerali argillosi, idrossidi di ferro e alluminio. I suoli residuali, mostrano profili verticali degli elementi, controllati da dispersione meccanica e tendono ad avere una migrazione delle concentrazioni più alte verso gli orizzonti più superficiali.

I suoli trasportati, sono caratterizzati da materiale parentale che viene trasportato da vari agenti, fiumi, vento, ghiacciai e altro sulla quale il suolo inizia a svilupparsi, questi suoli mostrano, tipicamente, concentrazioni elevate, sempre negli orizzonti più profondi.

Un altro concetto molto importante è la definizione di Provincia Geochimica, ovvero la porzione più o meno estesa della crosta terrestre con una composizione chimica significativamente distinta dalla media (arricchimento o impoverimento) o diversa tra adiacenti o diversa rispetto ad altre rocce simili, esempio, province legate all'affioramento di rocce sedimentarie, magmatiche o metamorfiche.

Il suolo si può considerare come Sorgente e/o deposito di elementi, ne viene parlato in maniera più dettagliata nel capitolo "Origine dei metalli pesanti", poiché questi possono appunto essere accumulati o anche in parte asportati dalla matrice suolo. Studiare questi accumuli di elementi, può essere molto importante per riuscire a determinare la provenienza del materiale parentale del suolo, obiettivo principale di questa tesi.

Inquadramento Geografico e Geologico

(Pavesi M. 2009)

La Pianura Padana, più propriamente pianura padano-veneto-romagnola, è una pianura alluvionale tra le più grandi d'Europa, e la più grande in Italia, dove occupa circa il 15% del territorio nazionale, con una superficie di circa 48000 km² (Fig. 2). Occupa buona parte dell'Italia settentrionale, delimitata a nord e a ovest dall'arco alpino, a sud dall'Appennino e a est con il mare Adriatico.



Fig. 2 - Immagine da Google Earth della Pianura Padana.

Quasi al centro di essa scorre il fiume Po, che l'attraversa in direzione ovest-est. Da un punto di vista geomorfologico (Castiglioni et al., 1997 a,b; Castiglioni e Pellegrini, 2001) è principalmente caratterizzata dal sistema meandriforme del fiume Po, dal suo vasto delta e dai suoi tributari che scendono in sinistra e destra idrografica, alimentati rispettivamente da Alpi e Appennini.

La pianura declina dolcemente verso l'Adriatico e verso l'asse dell'impiuvio tracciato dal Po. Gli affluenti alpini del Po, scorrono generalmente verso sud-est, mentre quelli appenninici tendono a scorrere in direzione nord-est. Lo spiovente alpino è più espanso rispetto a quello appenninico; questo si può spiegare grazie alla diversa morfologia del fondo marino, su cui andarono ad accumularsi le alluvioni fluviali e dalla maggior quantità di sedimenti portati a valle dai corsi alpini, che hanno tendenzialmente un regime idrico più regolare e una portata più abbondante (De Agostini Enciclopedia, Sartori et al., 1988). Questi corsi, all'uscita dalle valli montane, trovando un paesaggio più pianeggiante, depositarono i loro sedimenti, causa perdita di competenza, ovvero la capacità di trasportare materiale.

Nelle immediate vicinanze dello sbocco vallivo, vennero depositati i materiali più grossolani e pesanti, sostituiti da materiali progressivamente più fini distalmente, generando accumuli a forma di ventaglio, chiamati conoidi di deiezione, che si svilupparono progressivamente in potenza e in estensione, giustapponendosi (Sartori et al., 1988).

I ghiacciai quaternari, all'uscita dalle valli alpine, accumularono ingenti quantità di detrito morenico a forma di cordoni collinari arcuati e concentrici, che i fiumi dell'età post-glaciale, tuttora in corso, parzialmente smantellarono. Il deposito dei sedimenti fluviali e fluvioglaciali produsse due fasce di pianura, l'alta pianura e la bassa pianura (Sartori et al., 1988).

L'alta pianura è costituita principalmente da materiale grossolano, che determina un'elevata porosità e una carenza di acque superficiali. La bassa pianura, invece, è costituita da sedimenti più fini, tendenzialmente impermeabili, più fertile e ricca di acque superficiali. Il passaggio tra l'alta e la bassa pianura, corrisponde alla linea delle risorgive (o fontanili). Le acque stagnanti, che tendevano ad accumularsi verso il limite est della pianura, cioè nelle zone paludose, furono ridotte in parte dall'apporto di nuovo sedimento e in parte grazie all'intervento umano, grazie alle attività di bonifica (Sartori et al., 1988).

Il fiume Po suddivide la pianura padana in due zone, con sedimenti superficiali di diversa provenienza e dalle differenti caratteristiche litologiche: il settore settentrionale correlato al complesso alpino, presenta depositi più grossolani e ricchi in sabbie rispetto a quello meridionale, più argilloso, legato al complesso appenninico (Astori et al., 2002).

Gli aspetti strutturali più importanti del bacino padano sono però sepolti sotto la coltre sedimentaria e le prime conoscenze sul sottosuolo derivano dagli studi geofisici sviluppatisi a partire soprattutto dalla fine degli anni '70 e finalizzati alla ricerca di acqua e idrocarburi (AGIP Mineraria, 1959; AGIP, 1977; Aquater, 1976, 1977, 1978, 1980; Aquater-ENEL, 1981). Questi studi, basati principalmente sull'interpretazione di sezioni sismiche, sono stati integrati fino ad oggi da diversi approfondimenti con differenti finalità che hanno messo in luce le caratteristiche strutturali del bacino padano e del suo riempimento secondario (Pieri e Groppi, 1975, 1981; Bartolini et al., 1982; Cremonini e Ricci Lucchi, 1982; Pieri 1983; ENEL-GEOEXPERT, 1984; Castellarin et al., 1985, 1992; Boccaletti et al., 1987, 1990; Bigi et al., 1990; Castaldini e Panizza, 1991; Gelati et al., 1989; Doglioni, 1993; Anelli et al., 1996; Farabegoli et al., 1997; Regione Emilia-Romagna e ENI-AGIP, 1998; Amorosi et al., 1999, 1999a; Mariotti e Doglioni, 2000; Castiglioni e Pellegrini, 2001; Vai e Martini, 2001; Regione Lombardia e ENI Divisione AGIP, 2002; Bello e Fantoni, 2002; Amorosi e Colalongo, 2005; Molinari et al., 2007; Amorosi, 2008). Dalla sintesi di questi lavori è possibile definire la pianura padana come un bacino di avampaese in evoluzione, formatosi per progressiva migrazione della placca africana verso quella europea con conseguente subduzione dell'interposta microplacca padano-adriatica a partire dal Cretaceo (Argand, 1924; Channell et al., 1979; Pieri e Groppi, 1981; Dercourt et al., 1986).

L'attuale configurazione tettonica italiana (Fig. 3), è stata raggiunta attraverso tre stadi deformativi principali (Abbate et al., 1986; Boccaletti et al., 1990; Dalla et al., 1992):

- stadio transtensivo, con apertura dell'oceano Ligure-Piemontese (Liassico-Cretaceo Inferiore);
- stadio collisionale, caratterizzato da una compressione (Cretaceo Inferiore) e una convergenza più spinta orientata nord-sud tra l'Africa ed Europa (Cretaceo Superiore – Eocene Inferiore);
- stadio post-collisionale, in regime ensialico, cioè deformazioni che hanno interessato settori caratterizzati da sola litosfera continentale, tra Eocene Superiore e Attuale.

Questi stadi corrispondono alla suddivisione cronologica della storia evolutiva tetidea, proposta da Trumpy nel 1973, cioè fase precollisionale, fase collisionale e fase post-collisionale.

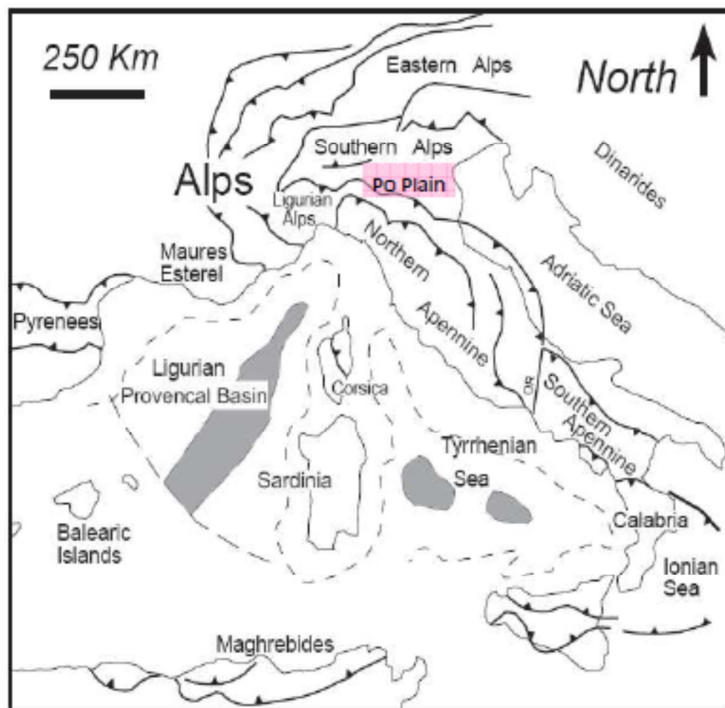


Fig. 3 - Assetto strutturale dell'Italia e contesto tettonico del Bacino Padano.

I Sedimenti che hanno reso possibile la pedogenesi, cioè la formazione di suolo, in questa area, possono derivare principalmente dai bacini riassunti in Tab. 1 (Fig.4):

Tab. 1 - Tabella con i Bacini e le relative estensioni in km².

Bacino	Estensione (km ²)
Bacino del Po insieme all'Appennino	70.700
Bacino dell'Oglio	6.360
Bacino del Mincio	3.000
Bacino dell'Adige	12.160

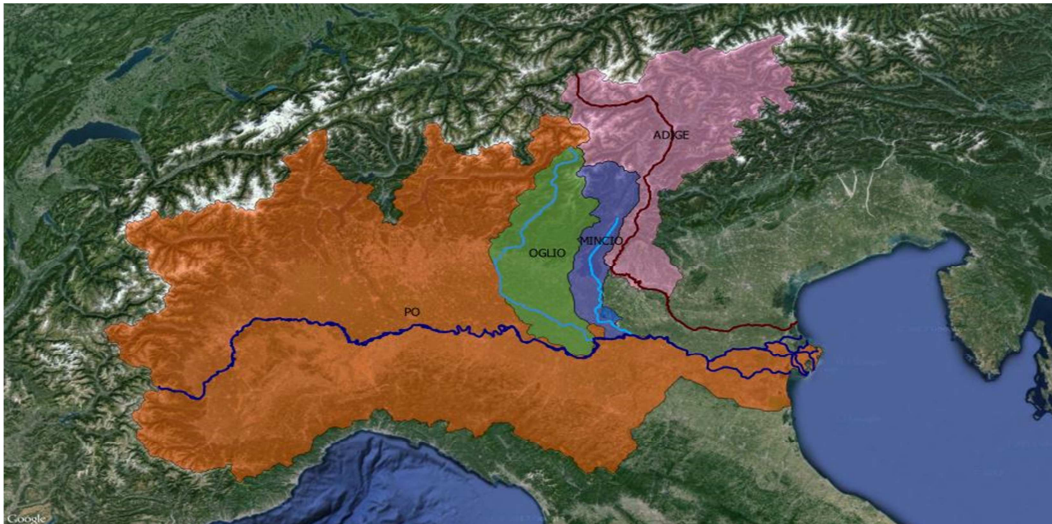


Fig. 4 - Bacini imbriferi oggetto di studio.

Bacino del Po e dell'Appennino

(da Autorità di Bacino del fiume Po - Caratteristiche del bacino del fiume Po e primo esame dell'impatto ambientale delle attività umane sulle risorse idriche – Aprile 2006)

Il bacino del Po (Fig.5), è il più vasto d'Italia, la sua superficie, alla sezione di Pontelagoscuro, è pari a 70700km²; ad essa vanno aggiunte le aree costituenti il sottobacino di Burana-Po di Volano e il Delta. Il bacino idrografico del Po comprende comuni appartenenti a sette Regioni (Piemonte, Valle d'Aosta, Liguria, Lombardia, Veneto, Emilia Romagna e Toscana) e comuni della Provincia Autonoma di Trento. Per descrivere gli aspetti geomorfologici, litologici e strutturali del bacino del Po, il suddetto bacino può essere suddiviso in tre ambiti: alpino, appenninico e di pianura.

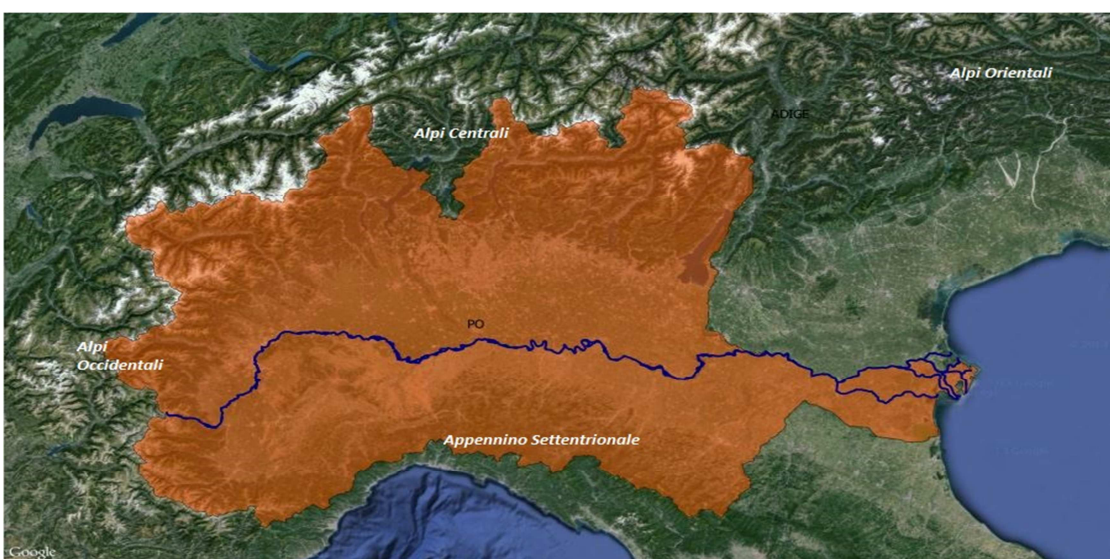


Fig. 5 - Immagine del Bacino del Po, comprendente anche il Bacino del Mincio e dell'Oglio.

Ambito alpino

La catena alpina si estende da Vienna al Mediterraneo descrivendo un arco di 270°. A nord la catena è bordata dalla zona molassica della Svizzera e della Baviera. A sud-ovest le Alpi confinano da una parte con la Provenza e dall'altra con l'Appennino, mentre a sud si arrestano bruscamente sulle sponde del Mediterraneo. Su base tettonica e paleogeografica, la catena alpina può essere divisa in zona interna ed esterna, e contemporaneamente suddivisa in Alpi occidentali, centrali e orientali.

Queste ultime contribuiscono in misura differente all'architettura che caratterizza tre differenti complessi che dall'esterno all'interno sono:

- unità delfino-elvetico;
- unità pennidica;
- unità austro-alpina e sud-alpina.

L'orogenesi dell'edificio alpino si può ricondurre a diverse fasi tettoniche dapprima agenti nel Cretaceo superiore e successivamente nel Terziario, dove sono stati intensi anche processi metamorfici che interessano soprattutto le formazioni del complesso pennidico (AdBPo, 2006).

In tutti e tre i complessi che caratterizzano l'edificio alpino (delfino-elvetico, pennidico e austro-alpino e sub-alpino) è possibile riconoscere un basamento ed una copertura, separati, tendenzialmente, da uno o più livelli di scollamento, che li rendono indipendenti. Il basamento è costituito, principalmente, da graniti e scisti cristallini di età ercinica, mentre la copertura comprende l'intera serie mesozoica e terziaria.

L'edificio strutturale delle Alpi, risulta costituito dalla coalescenza di pieghe, accavallamenti e falde di sovrascorrimento spostatesi da sud verso nord, nelle Alpi orientali e centrali e da est verso ovest nelle Alpi occidentali.

Relativamente alle Alpi occidentali e orientali, l'unità elvetica è caratterizzata da un basamento costituito da massicci cristallini, tra cui dominano gli scisti cristallini e graniti, e da una copertura, che per caratterizzarla è necessario distinguere l'insieme elvetico, materiale prevalentemente giurassico e cretaceo, dall'insieme ultraelvetico e ultradelfinese, che designa la parte più interna del dominio elvetico sovrascorso sopra le unità elvetico-delfinesi stesse (AdBPo, 2006).

Nell'insieme penninico è possibile distinguere un corpo principale costituito da un basamento paleozoico e da una copertura più recente molto spesso scollata dallo zoccolo, da una copertura mesozoica e terziaria scollata e carreggiata verso l'esterno sull'insieme delfino-elvetico.

Nelle Alpi occidentali l'insieme pennidico è rappresentato da un corpo principale costituito da tre zone concentriche che dall'esterno all'interno sono denominate: zona sub-brianzonese, zona brianzonese e zona piemontese, conosciuta come zona degli "Schistes lustrés" e da una successione di flysch ad Elmintoidi.

Lo zoccolo è rappresentato da massicci cristallini del periodo carbonifero e permocarbonifero. La copertura nella zona sub-brianzonese e brianzonese, corrisponde ad unità di copertura scollate al livello gessifero, mentre nella zona piemontese, è costituita dagli

Schistes lustrés e dalle ofioliti giurassiche.

L'insieme pennidico delle Alpi centrali è caratterizzato da uno zoccolo che mostra un intenso metamorfismo, ma anche processi di migmatizzazione intensi che portano ad una rifusione completa del materiale. La copertura è ancora rappresentata dagli Schistes lustrés più o meno metamorfici e dalle ofioliti.

L'insieme austro-alpino e sub-alpino, appare solo dal massiccio del Gran Paradiso, formando una zona detta "a radici" (AdBPo, 2006).

Nelle Alpi orientali domina l'insieme austro-alpino e sub-alpino. Sul lato settentrionale, tale dominio, è interrotto dalla presenza da una parte da unità appartenenti al dominio elvetico e dall'altra dai flysch ultra-elvetici e pennidici. L'insieme pennidico riappare nelle finestre tettoniche della bassa Engadina e delle Alpi Taure. La restante parte delle Alpi orientali è fatta da materiale austro-alpino, in cui si distingue un asse centrale, dove domina lo zoccolo cristallino antico e dalle Alpi calcaree settentrionali e meridionali in corrispondenza delle quali affiora la copertura post-paleozoica. Nelle Alpi calcaree meridionali tale copertura mostra accavallamenti di ampiezza limitata diretti verso l'interno dell'arco alpino, mentre lo zoccolo passa in continuità verso il nord con l'asse cristallino della catena. Le Alpi calcaree settentrionali sono costituite da un impilamento di falde di copertura provenienti dal cristallino assiale sovrascorso sul pennidico.

Ambito appenninico

La catena appenninica, lunga circa 1000km presenta altitudini contenute, a parte qualche cima che supera i 2000 metri. Dal punto di vista geologico, la catena appenninica viene suddivisa in appennino settentrionale e centro-meridionale. L'Appennino settentrionale è una catena strutturalmente complicata disposta ad arco, alle cui estremità sono situati il bacino terziario piemontese a nord e a ovest e la zona dei vulcani laziali a sud. Il contatto tra la catena delle Alpi e quella degli Appennini, viene posto in corrispondenza della linea "Sestri-Voltaggio", mentre a sud il limite dell'appennino coincide con la linea "Ancona-Anzio". La linea Sestri-Voltaggio, un insieme di dislocazioni sub-verticali disposte trasversalmente alle direttrici strutturali delle due catene, rappresenta l'elemento di separazione tra unità metamorfiche alpine e unità appenniniche poco o nulla metamorfiche, a vergenza opposta (AdBPo, 2006). Tale frattura, è posteriore alle strutture appenniniche che risultano tagliate mentre è anteriore al bacino terziario piemontese che ne ricopre l'estremità più settentrionale. A est della linea Sestri-Voltaggio, nell'Appennino ligure, sono presenti formazioni non esclusive dell'Appennino, ma affioranti anche nelle Alpi occidentali (Flysch a Elmintoidi).

L'Appennino settentrionale è costituito da ricoprimenti e strutture plicative successivamente tagliate da faglie normali che ne hanno modificato la struttura primitiva. L'arco appenninico può essere suddiviso in tre "macrozone", tra loro parallele, con proprio significato paleogeografico e strutturale.

Tali zone possono essere raggruppate in due sistemi principali, denominati "Insieme

Esterno”, che rappresenta la copertura autoctona, e il “Sistema Interno”, interamente alloctono.

L’Insieme Esterno è diviso in zona umbra, zona toscana esterna e zona toscana interna. Le unità delle prime due zone non sono rappresentate all’interno del bacino del Po, e quelle della zona toscana interna, caratterizzano i territori del bacino solo marginalmente. Ad esso, però, oltre ad un basamento metamorfico coincidente con le finestre tettoniche della zona della Apuane, sono riconducibili sia la copertura mesozoica sia quella terziaria. Più in particolare, stratigraficamente parlando, l’Appennino settentrionale può essere suddiviso, in maniera schematica in diverse unità tettoniche, che partendo dalle più basse, fino alle più alte sono (AdBPo, 2006):

- Autoctono e Parautoctono toscano;
- Falda toscana;
- Unità di Monte Modino-Cervarola;
- Successione umbro-marchigiana;
- Unità dell’Alberese;
- Liguridi;
- “Tongriano” autoctono.

Le prime due unità, insieme alla Successione umbro-marchigiana, sono esterne al bacino del Po, all’interno del quale, però, ricadono le altre unità sopra citate. Il passaggio della falda toscana con l’Unità di Monte Modino-Cervarola è rappresentata dall’Unità del Macigno, paleogeograficamente appartenente alla Falda toscana, ma identificabile nella parte più occidentale come formazione arenacea in facies di flysch, compresa tra la scaglia rossa e l’olistostroma basale del complesso Monte Modino-Cervarola.

Al di sopra del Macigno e delle Arenarie di Monte Modino-Cervarola, si estende l’unità subligure di Canetolo, conosciuta come unità delle “Argille e Calcari”, rappresentata da una base argillosa con interstrati calcarei, arenacei e calcareniti, da lenti di flysch calcareo-calcarenitici (Calcari del Groppo del Vescovo), da un flysch arenaceo (Arenarie del Bratica) e da arenarie verdi (Arenarie di Petrignacola).

L’Insieme Esterno, meglio conosciuto come “liguridi”, è rappresentato da un complesso di unità tettoniche paleogeograficamente distinguibili in Liguridi esterne e Liguridi interne, suddivise dalla cosiddetta Ruga del Bracco, formata essenzialmente da ofioliti e dalla loro copertura sedimentaria. Le Liguridi interne comprendono una successione di formazione che dal Giurassico giunge fino al Paleocene. Dal basso verso l’alto si possono distinguere le Radiolariti ed i calcari a Calpionelle a cui fanno seguito le Argille a Palombini, gli Scisti della Val Lavagna, le Arenarie del Monte Gottero ed i Flysch di Monte Antola. Le Liguridi esterne si succedono al complesso di base (Giurassico-Cretaceo superiore): si passa ai flysch calcarei di Monte Caio (il più interno), di Monte Cassio (laterale al precedente), di Bettola (il più esterno), a sua volta sormontato dai calcari tipo “Alberense”.

Superiormente si sviluppa la successione terziaria denominata epiligure delle Arenarie di Ranzano, detta anche “Tongriano”, che comprende oltre ad un nucleo semiautoctono del paleocene-miocene, le Marne di Monte Piano, le Arenarie di Ranzano, le Marne di

Antognola, i Tripoli di Contignano, le Arenarie di Bismantova e le Marne del Termina. Accavallato sopra alla Ruga del Bracco, si estende all'interno l'unità delle Arenarie di Monte Gottero, che sostiene a sua volta l'Unità del Monte Antola e all'esterno l'Unità del Monte Caio, l'unità del Monte Cassio e l'unità del Monte Sporno, tutti i flysch collegati tra loro da un Complesso di base.

Ambito di Pianura

Tra le catene delle Alpi e degli Appennini inizia a svilupparsi dal Miocene superiore l'avanfossa appenninica, costituita dalla pianura padana e dal mar Adriatico. E' piatta e poco acclive. Il bacino padano-adriatico, soggetto a forte subsidenza durante il Pliocene-Quaternario, è fortemente asimmetrico, con la parte più profonda posta sotto il piede della catena appenninica. E' caratterizzata da potenti spessori di sedimenti, che raggiungono in diverse aree anche 8000m di spessore, con una velocità di sedimentazione pari alle massime conosciute. L'avanfossa è un'area di notevoli dimensioni, ma non omogenea dal punto di vista geologico. Strutturalmente si sovrappone alle pieghe esterne dell'Appennino Settentrionale e delle Alpi Meridionali.

Bacino dell'Oglio (Alpi Lombarde)

(da Autorità di bacino del fiume Po - Linee generali di assetto idrogeologico e quadro degli interventi - Bacino Oglio)

Il bacino dell'Oglio, con il corso del fiume omonimo, è rappresentativo dei mutamenti dei caratteri e dei paesaggi nelle vallate lombarde, nelle zone prealpine e alpine. Il fiume Oglio, raccorda questi ambienti in un unico solco dopo il quale, formato il Lago d'Iseo, continua il suo corso fino al Po (Fig. 6). L'orientamento del bacino è in generale da nord a sud.

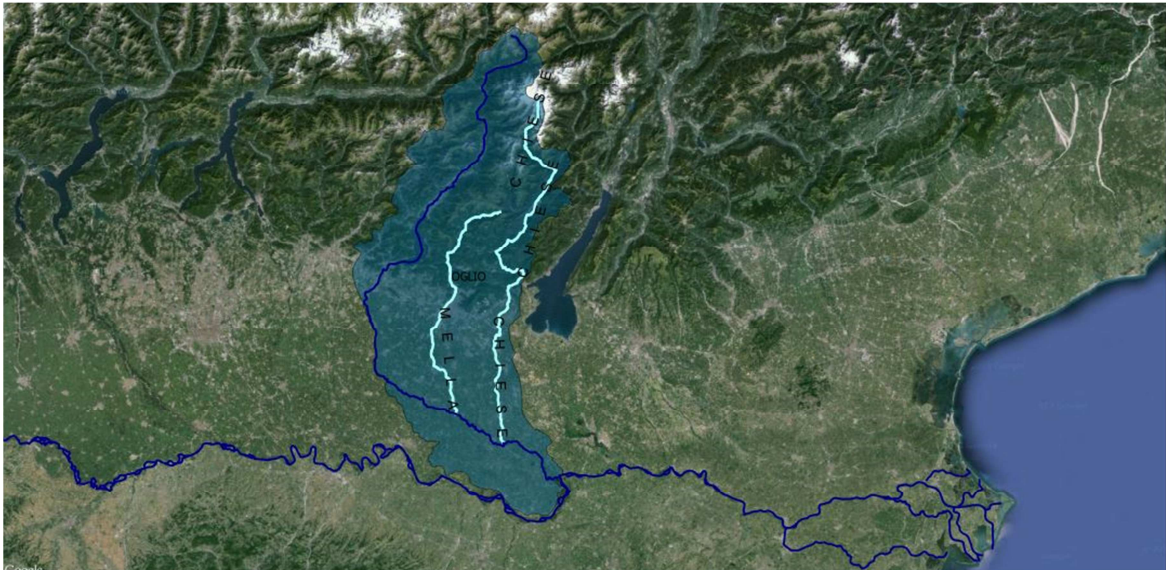


Fig. 6 - Bacino dell'Oglio.

Al bacino è assegnabile una suddivisione in tre ambiti: la Bassa Valle, dall'orlo superiore del Sebino fino alla soglia di Breno; la Media, da Breno a Edolo; l'Alta, oltre Edolo sino al Tonale. Ampi depositi alluvionali, conoidi, isolate o compatte emergenze di arenarie rosse, strati calcarei sono l'articolata compagine degli elementi geologici della parte bassa. Oltre Breno, si trovano strutture metamorfiche, indotte dall'intrusione di magmi tonalitici e gabbri. appartenenti al massiccio dell'Adamello. Dopo Edolo, il riempimento della valle verso oriente riprende l'andamento della faglia dinarica, limite tra le formazioni cristalline alpine e quelle calcaree prealpine. Il bacino del Fiume Mella, si trova in ambito prealpino dalle cime del Monte Colombine, Monte Maniva e Corna Blacca. Il tratto settentrionale, sino alle porte di Brescia, costituisce la Val Trompia. Il Mella confluisce nell'Oglio tra gli abitati di Seniga ed Ostiano.

Le caratteristiche del bacino del Fiume Chiese risultano essere fortemente differenziate e sono distinguibili in tre ambiti: un ambito settentrionale sino al Lago d'Idro, un ambito intermedio sino alle colline moreniche, e un ambito prettamente di pianura sino all'immissione nell'Oglio. Il Chiese nasce dai Ghiacciai del Caré Alto, ricevendo l'apporto di alcuni torrenti di fusione glaciale, scorrendo poco acclive fino al Lago d'Idro.

Questa parte del bacino risulta fortemente strutturata dalla faglia tettonica detta linea della Giudicarie, delimitante l'area Adamello-Presanella ad ovest con litologie come tonaliti, gneiss, scisti e arenarie, e il gruppo del Brenta e le Alpi di Ledro a est, con successioni calcareo-dolomitiche. Il Chiese e il torrente Arnò nel versante destro della vallata segnano rilievi collinari di calcare grigio lastriforme.

Il Bacino dell'Oglio può essere suddiviso in tre sottobacini: Oglio Sublacuale, Sebino e Val Camonica.

Il sottobacino a valle del Lago d'Iseo è litologicamente suddivisibile in due aree. L'area di valle è prevalentemente costituita da depositi derivanti dall'alterazione di rocce e terreni, come sabbie, limi e argille. L'area di monte è invece caratterizzata da arenarie, siltiti, calcari e dolomie stratificate, dolomie massive e conglomerati. In località Adro, si possono incontrare modesti affioramenti di limi e argille, coltri e cordoni morenici e altri depositi glaciali e fluvioglaciali, torbe, detriti di falda, accumuli di frana e conoidi, infine alternanze di calcari-marne e arenarie-argilliti.

Depositi quaternari come ghiaie, sabbie e limi, seguono il corso della principali vie fluviali.

Il sottobacino Sebino è litologicamente costituito da dolomie, calcari, conglomerati, arenarie, siltiti, calcari e dolomie stratificate. Nell'area prossima alla costa a sud del Lago d'Iseo, è possibile incontrare piccoli affioramenti di limi e argille, e torbe. Il fondovalle dell'alto corso del fiume Borlezza è costituito da sabbie, limi, argille. In subordine si trovano depositi glaciali e fluvioglaciali, come coltri e cordoni morenici e detriti di falda, accumuli di frana e conoidi.

All'interno del bacino della Val Camonica, il fiume Oglio attraversa litologie come gneiss tabulari, micascisti, filladi, calcescisti, quarziti e altre rocce metamorfiche, per poi attraversare calcari, dolomie, conglomerati, arenarie e siltiti. L'area di levante, È composta da gratini, sieniti, dioriti, porfidi e altre litologie ignee. Subordinatamente si possono incontrare modesti affioramenti di gneiss, kinzigiti e altre litologie metamorfiche, diabasi, tufi litoidi stratificati, sabbie, argille, limi e in prossimità della foce nel lago, alternanze calcari-marne e arenarie-argilliti. In tutta l'area del sottobacino affiorano depositi glaciali e fluvioglaciali, come cordoni e coltri moreniche e depositi di sabbie, limi e argille. Una considerevole fascia di depositi quaternari di alluvioni fluviali e fluviolacustri, partendo dal lago, fiancheggiano i principali corsi d'acqua.

Bacino del Mincio

(da StudioSilva s.r.l, Dott. Paolo Rigoni : PIANO DI GESTIONE DEL SIC IT20B0017 "ANSA E VALLI DEL MINCIO" E DELLA ZPS IT 20B0009 "VALLI DEL MINCIO"- Quadro conoscitivo)

I caratteri geologici fondamentali del bacino imbrifero del Mincio (Fig. 7) sono, procedendo da nord verso sud:

- una zona con netta predominanza di sedimenti glaciali di diversa natura (ciottoli, ghiaie, sabbie) intimamente commisti. Sono complessi morenici del Pleistocene, disposti ad

anfiteatro sotto il Lago di Garda;

- una zona intermedia con diffusione dei depositi fluvioglaciali di natura grossolana (ghiaie);

- una zona costituita solamente da sedimenti fluviali di granulometria fine o finissima (ghiaietto, sabbie, limi e argille) della bassa pianura.

A seguito delle pulsazioni che hanno caratterizzato le principali lingue glaciali durante il Pleistocene, le linee di demarcazione fra i depositi glaciali e quelli fluvioglaciali, e tra quest'ultimi e quelli alluvionali, hanno subito ampie escursioni, consentendo sovrapposizioni di sedimenti di differente origine. Ulteriori complicazioni nella definizione dei rapporti spaziali tra i diversi tipi di depositi, è da ricercarsi nell'alternanza di processi di sovralluvionamento e di erosione, migrazioni laterali dell'alveo legate all'alternarsi di fasi anaglaciali e cataglaciali. Oltre a questi fattori, c'è da ascrivere la formazione di una vasta zona costituita da notevoli accumuli di materiale grossolano che fascia il corso del Mincio e che si raccorda a nord con le cerchie moreniche.

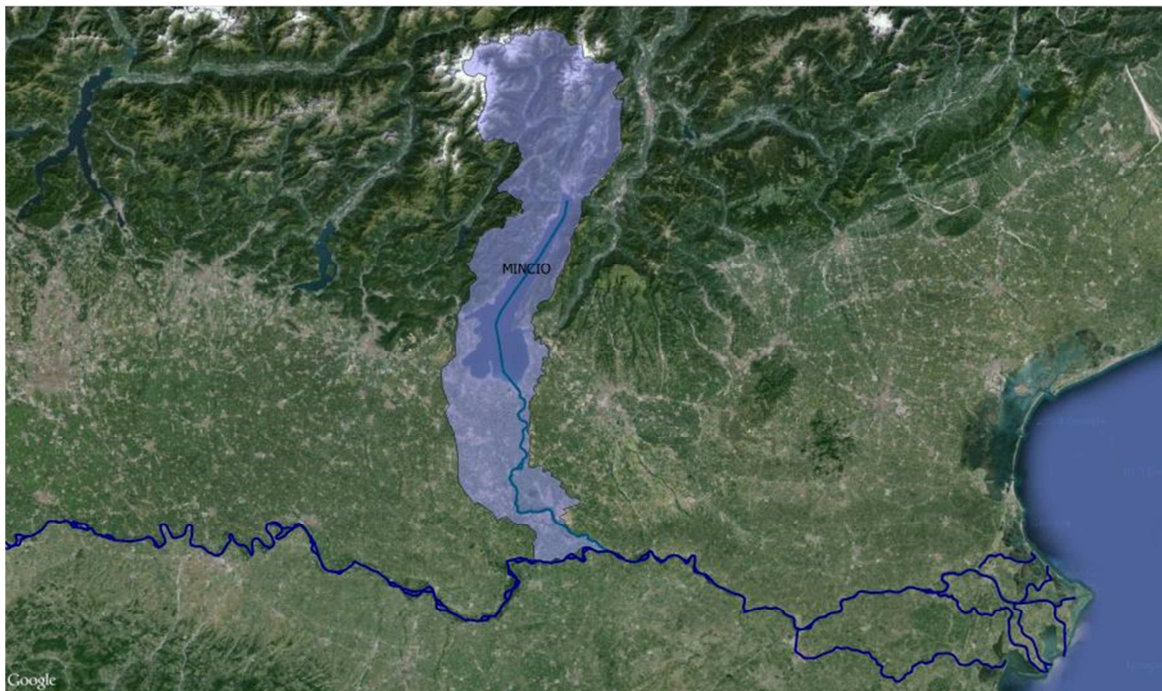


Fig. 7 - Bacino del Mincio.

La glaciazione Wurmiana, meno marcata delle precedenti, porta il suo fronte di nuovo allo sbocco della pianura, ma in posizione arretrata rispetto alle due glaciazioni precedenti, il tutto testimoniato dai relativi depositi moreniche. Gli "scarichi glaciali", costituiti dalle acque di fusione, escono da veri e propri tunnel, attraversando le colline, e con un'altalenante azione di deposito, "alzano" la pianura, livellandola per colmata. Con il sopraggiungere della successiva fase interglaciale, le masse ghiacciate si tramutano in acqua, incidendo profondamente, i depositi precedenti, ed è così che si forma la zona del Medio Mincio.

Bacino dell'Adige

(da Autorità di bacino del fiume Adige :Quaderno sul bilancio idrico superficiale di primo livello – Bacino idrografico del fiume Adige – Capitolo 2 Descrizione del Bacino)

Il fiume Adige nasce da una sorgente vicino al lago di Resia e dopo circa 410km sfocia nel mare Adriatico nei pressi della località di Porto Fossone, tra le foci dei fiumi Po e Brenta (Fig. 8).

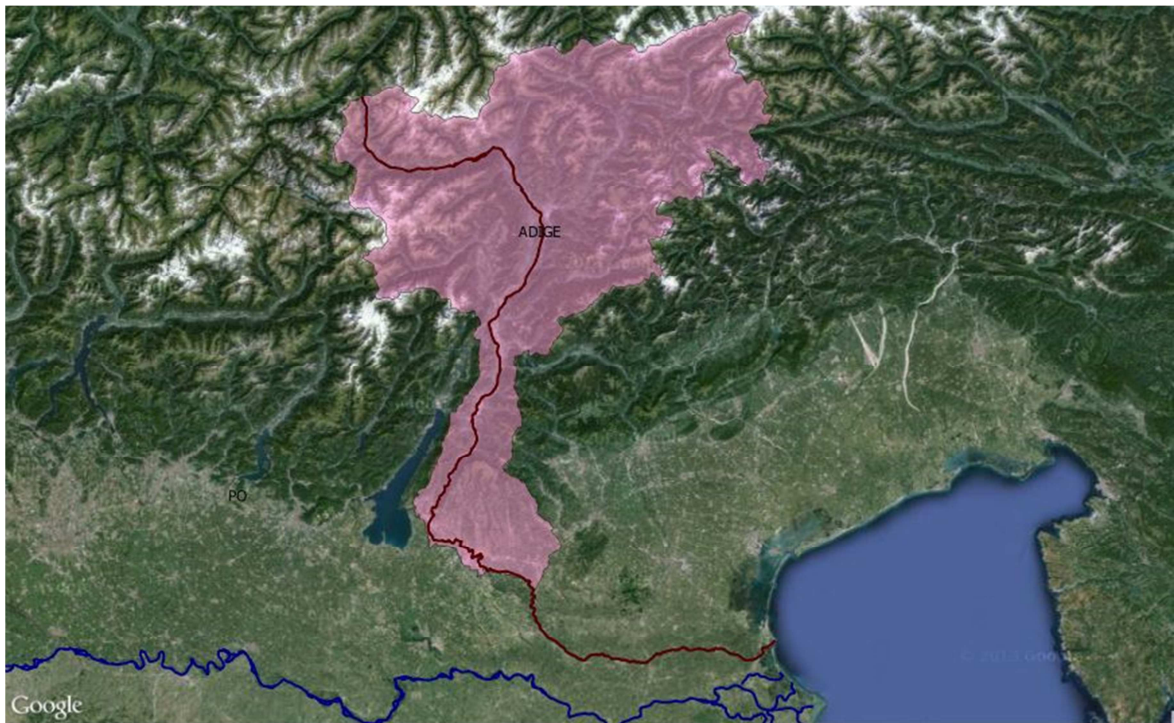


Fig. 8 - Bacino imbrifero del Fiume Adige.

Il suo bacino imbrifero, considerato chiuso ad Albaredo, ha una superficie di 12160km² e interessa le provincie di Bolzano, Trento, Belluno, Verona e Vicenza, oltre ad una piccola porzione di territorio svizzero. Il territorio compreso nel bacino si presenta con caratteristiche molto diverse da un punto di vista idro-geomorfologico.

Dal punto di vista geologico può essere suddiviso in tre zone strutturali ben distinte:

- Zona Pennidica;
- Zona dell'Austroalpino;
- Zona delle Alpi Meridionali.

Questa zonazione è derivata dall'evoluzione strutturale della catena alpina, caratterizzata da una complessa e prolungata sequenza di eventi deformativi, metamorfici e magmatici, particolarmente attivi nel tardo Paleozoico (Ciclo Ercinico) e in quelli Cretacico e Terziario (Ciclo Alpino). Una netta separazione di queste unità tettoniche, è caratterizzata dalla Linea Insubrica che, passando per il Tonale, Merano e proseguendo per la Val Pusteria, separa le unità metamorfiche delle falde austro-alpine a nord, dalla serie delle Alpi

meridionali a sud. Altri elementi strutturali minori, ma sempre significativi, interessano la regione e i più ricorrenti sono le faglie di varia estensione regionale, con movimenti di traslazione orizzontale e verticale, le pieghe e gli accavallamenti. Tra questi vanno ricordati il sistema di faglie e fratture giudicariense (Linea delle Giudicarie) orientato nord-est – sud-ovest, che interessa l'area in destra dell'Adige fra Bolzano e Trento e il sistema scledense (Linea di Schio) che è ben definito nei gruppi montuosi a sud-est di Trento, in sinistra orografica, nonché le pieghe e i sovrascorrimenti ad andamento circa est-ovest nella regione dolomitica.

Le litologie prevalenti possono essere schematizzate come segue:

Nella fascia delle Austridi, che occupa la gran parte dell'Alto Adige e un'area limitata a nord-ovest del Trentino, si distinguono:

1 basamento scistoso cristallino, che strutturalmente comprende vari complessi nel quale si riconosce la seguente successione stratigrafica, dal basso all'alto:

- paragneiss con intercalazioni di anfiboliti, pegmatiti e gneiss granitoidi;
- micascisti argentei con intercalazioni di quarziti e marmi;
- filladi con rocce verdi, quarziti, ortogneiss;

2 copertura mesozoica, anch'essa distinta in vari complessi con successioni di filladi, vulcaniti e magmatiti, conglomerati, quarziti e dolomie.

Nella fascia delle Pennidi (tra Valle Isarco e Valle Aurina) si distinguono vari complessi che, dal basso verso l'alto, sono:

- complesso Tux-Gran Venanzio;
- complesso Greiner-Picco dei Tre Signori;
- complesso dei Calcescisti con Ofioliti.

Il primo è costituito da gneiss granitici con subordinati paragneiss, micascisti, quarziti e marmi; il secondo da micascisti prevalentemente granatiferi, con intercalazioni di quarziti e marmi; il terzo da calcescisti con ofioliti, in poche parole, sono associazioni varie di metasedimenti, metavulcaniti e serpentini.

Nella successione stratigrafica della Alpi Meridionali, a cui appartengono i gruppi dolomitici delle valli Gardena, Badia, Fassa e Non, la catena del Lagorai e i gruppi montuosi calcareo-dolomitici della Val d'Adige e quelli vulcanico-sedimentari dei Monti Lessini, è più agevole distinguere le unità competenti (compatte, massicce, coerenti) da quelle incompetenti (fittamente stratificate, ad alto contenuto argilloso, facilmente erodibili). Tra le prime si segnalano tutte le plutoniti derivate dai vari cicli intrusivi (graniti, monzoniti, tonaliti), le vulcaniti ignimbriche permiane (porfidi) e tutte le formazioni calcareo-dolomitiche triassiche, giurassiche, cretache e eoceniche. Tra le seconde, sono significative le evaporiti del Permo-Trias (Formazione a Bellerophon), le formazioni degli Strati di La Valle, di San Cassiano e di Raibl (Trias medio-superiore), le formazioni marnose e calcareo-argillose eoceniche e le vulcaniti basaltiche di tipo tufaceo o ialoclastitico (del Trias medio e del Terziario).

L'origine dei metalli pesanti nei suoli

(Dal libro "Metalli pesanti nei suoli – B. J. Alloway (1990))

Origini geochimiche dei metalli pesanti

I dieci "elementi maggiori", O, Si, Fe, Al, Ca, K, Na, Mg, Ti e P, costituiscono oltre il 99% del contenuto totale degli elementi della crosta terrestre. I restanti elementi della tavola periodica, sono chiamati "elementi in tracce" e la loro concentrazione individuale non supera di solito i 1000 mg/kg (0.1%), e molti hanno concentrazione media inferiore a 100 mg/kg (0.01%) (Mitchell, 1964). Tuttavia alcuni minerali possono contenere alte concentrazioni di alcuni di questi elementi e possono rappresentare importanti fonti commerciali.

Gli elementi in traccia possono essere ospitati in minerali primari di rocce ignee (che cristallizzano dal magma fuso). Essi vengono incorporati in questi minerali per mezzo di sostituzione isomorfa nel reticolo cristallino, di ioni di uno degli elementi maggiori durante la cristallizzazione (Tab. 2).

La sostituzione è governata dalla carica ionica, dal raggio ionico e dall'elettronegatività degli elementi maggiori e degli elementi in tracce che li sostituiscono. La sostituzione può avvenire quando la differenza dei raggi ionici degli elementi maggiori costituenti e degli elementi in traccia è compresa entro il 15% e quando la differenza di carica non supera l'unità (Krauskopf, 1967).

Tab. 2 - Elementi in traccia dei comuni minerali costituenti le rocce (tratta da Mitchell, 1964).

Mineral	Trace constituents	Susceptibility to weathering
Olivine	Ni, Co, Mn, Li, Zn, Cu, Mo	Easily weathered ↓ Moderately stable ↓ Very resistant to weathering
Hornblende	Ni, Co, Mn, Sc, Li, V, Zn, Cu, Ga	
Augite	Ni, Co, Mn, Sc, Li, V, Zn, Pb, Cu, Ga	
Biotite	Rb, Ba, Ni, Co, Sc, Li, Mn, V, Zn, Cu, Ga	
Apatite	Rare earths, Pb, Sr	
Anorthite	Sr, Cu, Ga, Mn	
Andesine	Sr, Cu, Ga, Mn	
Oligoclase	Cu, Ga	
Albite	Cu, Ga	
Garnet	Mn, Cr, Ga	
Orthoclase	Rb, Ba, Sr, Cu, Ga	
Muscovite	F, Rb, Ba, Sr, Cu, Ga, V	
Titanite	Rare earths, V, Sn	
Ilmenite	Co, Ni, Cr, V	
Magnetite	Zn, Co, Ni, Cr, V	
Tourmaline	Li, F, Ga	
Zircon	Hf, U	
Quartz	—	

Le rocce sedimentarie costituiscono approssimativamente il 75% delle rocce affioranti della superficie terrestre e sono quindi più importanti rispetto alle rocce ignee come

materiali parentali del suolo. Si sono formati dalla litificazione di sedimenti, comprendenti anche frammenti di roccia o minerali primari resistenti alle alterazioni, minerali secondari come l'argilla, o precipitati chimici come il CaCO_3 .

Le concentrazioni degli elementi in traccia nelle rocce sedimentarie sono dipendenti dalla mineralogia e proprietà adsorbenti del materiale sedimentario, dalla matrice e dalle concentrazioni dei metalli nell'acqua in cui i sedimenti si sono depositati.

In generale, argille e scisti (argilliti) tendono ad avere concentrazioni elevate di molti elementi, a causa della loro abilità ad adsorbire ioni metallici. Le Argilliti bituminose (Black Shale) contengono alte concentrazioni di molti metalli e metalloidi, includendo Ag, As, Cd, Cu, Pb, Mo, U, V e Zn (Rose et al., 1979). I sedimenti dalla quale si sono formate, contengono quantità apprezzabili di materia organica, che funge da adsorbente per i metalli pesanti e da substrato per i microrganismi.

Questi ultimi, catalizzano lo sviluppo di condizioni riducenti che portano ad un ulteriore accumulo di metalli pesanti mediante la precipitazione di solfuri metallici. Condizioni simili si sono verificate, in una certa misura, nei primi stadi della formazione del carbone, e questo spiega le concentrazioni significative di molti metalli nel carbone. Le arenarie generalmente contengono basse concentrazioni di molti elementi, perché sono costituite principalmente da granuli di quarzo che non hanno costituenti in traccia e hanno scarsa capacità di adsorbire metalli (Tab. 3).

Tab. 3 - Principali metalli pesanti contenuti nei maggiori tipi di rocce ($\mu\text{g/g}$) (tratta da Krauskopf, 1967; Rose et al., 1979)

	Earth's crust	Igneous rocks			Sedimentary rocks		
		Ultra-mafic*	Mafic*	Granitic	Lime-stone	Sand-stone	Shales*
Ag	0.07	0.06	0.1	0.04	0.12	0.25	0.07
As	1.5	1	1.5	1.5	1	1	13 (1-900)
Au	0.004	0.003	0.003	0.002	0.002	0.003	0.0025
Cd	0.1	0.12	0.13	0.09	0.028	0.05	0.22 (< 240)
Co	20	110	35	1	0.1	0.3	19
Cr	100	2980	200	4	11	35	90
Cu	50	42	90	13	5.5	30	39
Hg	0.05	0.004	0.01	0.08	0.16	0.29	0.18
Mn	950	1040	1500	400	620	460	850
Mo	1.5	0.3	1	2	0.16	0.2	2.6
Ni	80	2000	150	0.5	7	9	68
Pb	14	14	3	24	5.7	10	23
Sb	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.05	1.5
Se	0.05	0.13	0.05	0.05	0.03	0.01	0.5
Sn	2.2	0.5	1.5	3.5	0.5	0.5	6
Tl	0.6	0.0005	0.08	1.1	0.14	0.36	1.2
U	2.4	0.03	0.43	4.4	2.2	0.45	3.7
V	160	40	250	72	45	20	130
W	1	0.1	0.36	1.5	0.56	1.6	1.9
Zn	75	58	100	52	20	30	120

*Ultramafic rocks are also called 'ultrabasic', e.g. dunite, peridotite and serpentinite, Mafic rocks are also called 'basic igneous rocks', e.g. basalt. 'Shales' also include clays.

I metalli pesanti e i metalloidi qui trattati possono essere classificati in accordo con la “classificazione geochimica degli elementi secondo Goldschmidt” (Tab. 4).

Brevemente, questa classificazione è basata sull’affinità degli elementi per il ferro (lega ferro-nichel) (Elementi Siderofili), quegli elementi che hanno alta affinità per i solfuri e normalmente sono presenti nei depositi di solfuri (Elementi Calcofilo) e quelli che generalmente si trovano abbinati ai silicati (Elementi Litofili). Gli elementi rimanenti, che si trovano generalmente nell’aria in forma gassosa, sono classificati come Elementi Atmosferici. Questa classificazione però non è molto diffusa al giorno d’oggi, ad eccezione del gruppo calcofilo che include metalli importanti trovati nei depositi minerali.

Tab. 4 - Classificazione Geochimica degli elementi secondo Goldschmidt (tratta da Krauskopf, 1967)

Siderophile	Chalcophile	Lithophile
Co, Ni, Au Mo, (Pb), (As)	Cu, Ag, (Au), Zn Cd, Hg, Pb, As, Sb, Se, Tl, (Mo)	V, Cr, Mn, U, (Tl)

Fonti di inquinamento da metalli pesanti nel suolo

Alcune delle principali fonti di inquinamento da metalli pesanti nel suolo sono:

- inquinamento atmosferico da veicoli a motore;
- la combustione dei combustibili fossili, il cui risultato è la dispersione di molti elementi nell’aria su ampie aree;
- l’uso di pesticidi e fertilizzanti in agricoltura;
- l’uso di concimi organici, ad esempio i fanghi di depurazione che generalmente contengono elevate concentrazioni di molti metalli, soprattutto quelli di bacino industriale;
- lo smaltimento di rifiuti urbani e industriali può portare all’inquinamento del suolo per via della deposizione di particelle inquinanti emesse dalla combustione di materiali contenenti metalli. Lo scarico non controllato e lo smaltimento di oggetti contenenti metalli, che possono includere batterie a secco (Ni, Cd, Hg), ad auto abbandonate e componenti delle auto (Batterie a Pb-acido), possono dar luogo a piccole zone con concentrazioni veramente alte di metalli nei suoli. Lo smaltimento di alcuni rifiuti domestici bruciati in falò nei propri giardini, o seppelliti possono originare anomalie localizzate di elevata magnitudo.
- Le industrie metallurgiche possono contribuire all’inquinamento del suolo in molti modi:
 - a) emissioni di fumi e ceneri contenenti metalli che vengono trasportati nell’aria e depositati sui suoli e vegetazione;
 - b) scarichi che possono inquinare i suoli quando avvengono inondazioni;
 - c) creazione di discariche dalle quali i metalli possono essere lisciviati e quindi possono

inquinare il suolo sottostante o i suoli nelle vicinanze.
 - l'estrazione e fusione di metalli non ferrosi.

Metalli pesanti nei fertilizzanti e concimi in agricoltura

I suoli agricoli e orticoli, sono regolarmente concimati, e molti ricevono anche calce e/o concimi organici. I fanghi di depurazione vengono applicati a terra come fertilizzanti e come ammendante organico, ma soprattutto come smaltimento. Gli intervalli di concentrazione dei metalli pesanti trovati comunemente negli ammendanti dei suoli sono mostrati in **Tab. 5**.

Tab. 5 - Intervalli tipici di concentrazione dei metalli pesanti in fanghi di depurazione, fertilizzanti, concimi e calce (mg/kg) (tratta da Kabata-Pendias e Pendias, 1984; con dati aggiuntivi tratti da Webber et al., 1984; O'Riordan et al., 1986; Andersson, 1977).

	Sewage sludge	Phosphate fertilisers	Nitrate fertilisers	Farmyard manure	Lime
Ag	< 960	—	—	—	—
As	3–30	2–1200	2.2–120	3–25	0.1–25
B	15–1000	5–115	—	0.3–0.6	10
Cd	< 1–3410	0.1–170	0.05–8.5	0.1–0.8	0.04–0.1
Co	1–260	1–12	5.4–12	0.3–24	0.4–3
Cr	8–40600	66–245	3.2–19	1.1–55	10–15
Cu	50–8000	1–300	—	2–172	2–125
Hg	0.1–55	0.01–1.2	0.3–2.9	0.01–0.36	0.05
Mn	60–3900	40–2000	—	30–969	40–1200
Mo	1–40	0.1–60	1–7	0.05–3	0.1–15
Ni	6–5300	7–38	7–34	2.1–30	10–20
Pb	29–3600	7–225	2–27	1.1–27	20–1250
Sb	3–44	< 100	—	—	—
Se	1–10	0.5–25	—	2.4	0.08–0.1
U	—	30–300	—	—	—
V	20–400	2–1600	—	—	20
Zn	91–49000	50–1450	1–42	15–566	10–450

Metalli pesanti da deposizione atmosferica

L'atmosfera è un mezzo di trasporto importante per metalli provenienti da fonti diverse. I suoli sono spesso contaminati anche a centinaia di chilometri di distanza dal sito di emissione. I metalli sono comunemente presenti nell'aria come particelle di dimensioni comprese tra 5 nm e 20 µm, ma molte sono comprese tra 0.1 µm e 10 µm di diametro e hanno un tempo di residenza medio di 10-30 giorni (Bowen, 1979).

Una percentuale elevata di metalli nei depositi recenti di ceneri sono di origine antropogenica. Anche prima della diffusione dell'uso di metalli nell'industria, la combustione di carbone ha contribuito in maniera considerevole alla presenza di particelle di carbone e metalli nell'aria dell'emisfero settentrionale (Bowen, 1979). Gli intervalli tipici delle concentrazioni di metalli trovati nell'aria di zone remote, popolate, industrializzate e in prossimità di vulcani, sono mostrate in **Tab. 6**.

Apporti naturali di metalli sono associati alle emissioni vulcaniche e possono raggiungere valori significativi (Tab. 6). Le particelle metalliche possono essere inalate da persone e animali, ma l'impatto maggiore a lungo termine è la deposizione gravitativa su vegetazione, suolo, fiumi, laghi e mari.

Tab. 6 - Concentrazioni di elementi selezionati nell'aria in varie aree (ng/m³) (tratta da Bowen, 1979).

	South Pole	Europe median (range)	North America median (range)	Volcanoes (Hawaii/Etna)
Ag	< 0.0004	1 (0.2-7)	1 (< 0.04-2.4)	30
As	0.007	16(1.5-53)	15(1.7-40)	5.5-850
Au	0.00004	(0.0001-0.006)	(< 0.003-0.3)	8
Cd	< 0.015	(0.5-620)	(< 1-41)	8-92
Co	0.0005	(0.2-37)	3(0.13-23)	4.5-27
Cr	0.005	25(1-140)	60(1-300)	45-67
Cu	0.036	340(8-4900)	280(5-1100)	200-3000
Hg	—	(< 0.009-2.8)	(0.007-38)	18-250
Mn	0.01	43(9-210)	150(6-900)	55-1300
Mo	—	(< 0.2-3.2)	(< 1-10)	—
Ni	—	25(4-120)	90(< 1-120)	330
Pb	0.63	120(55-340)	2700(45-13000)	28-1200
Sb	0.0008	8(0.6-32)	12(0.08-55)	45
Se	0.0056	3(0.15-800)	5(0.06-30)	9-21000
Sn	—	(1.5-800)	(< 10-70)	—
Tl	—	0.06	0.22	—
U	—	0.02	< 0.5	—
W	0.0015	0.7(0.35-1.5)	4(0.03-6)	—
Zn	0.03	1200(13-16000)	500(< 10-1700)	1000

Concentrazioni dei metalli pesanti nei suoli agricoli

Il contenuto totale di metallo in un suolo è il risultato di contributi da diverse fonti. Questo può essere espresso dalla seguente formula:

$$M_{\text{total}} = (M_p + M_a + M_f + M_{ac} + M_{ow} + M_{ip}) - (M_{cr} + M_l)$$

M_p = metalli pesanti dal materiale parentale;

M_a = metalli pesanti da deposizione atmosferica;

M_f = metalli pesanti da fertilizzanti;

M_{ac} = metalli pesanti da agrochimica;

M_{ow} = metalli pesanti da rifiuti organici;

M_{ip} = metalli pesanti da inquinanti inorganici;

M_{cr} = metalli pesanti da rimozione delle colture;

M_l = metalli pesanti da perdite da lisciviazione, volatilizzazione etc...

Anche se questo riguarda il contenuto totale di metallo nei suoli, la concentrazione biodisponibile dipenderà dai fattori chimici del suolo che controllano la speciazione dei metalli nel suolo e dalle piante. Gli intervalli delle concentrazioni dei metalli nei suoli agricoli è mostrata dalla **Tab. 7**.

Tab. 7 - Concentrazioni di metalli pesanti in suoli agricoli (mg/kg) (Bowen, 1979; Webber et al., 1984) Anche se questi saranno inquinati da normali pratiche agricole non saranno fortemente inquinati.

Element	Range	Common value
Ag	0.01-8	0.05
As	0.1-50	1-20
Au	0.001-0.02	—
Cd	0.01-2.4	0.2-1
Co	1-40	10
Cr	5-1500	70-100
Cu	2-250	20-30
Hg	0.01-0.3	0.03-0.06
Mn	20-10000	1000
Mo	0.2-5	1-2
Ni	2-1000	50
Pb	2-300	10-30 rural; 30-100 urban
Sb	0.05-260	2
Se	0.01-2	0.5
Sn	1-200	4
Tl	0.03-10	—
U	0.7-9	< 2
V	3-500	90
W	0.5-83	1.5
Zn	10-300	50

Perdite di elementi dal suolo

(da ARPAV: Metalli e metalloidi nei suoli del veneto)

Come esistono gli apporti di elementi potenzialmente inquinanti al suolo, esistono anche delle perdite degli stessi.

Si possono avere perdite a causa di asportazione con il raccolto, poiché in tutti i prodotti raccolti sono presenti elementi in traccia, tanto maggiori quanto maggiore è la capacità della pianta di assimilare determinati metalli e metalloidi. Altre perdite, possono derivare da trasferimenti verticali a causa degli apporti d'acqua dati dalla precipitazioni, che alle nostre latitudini, sono decisamente superiori rispetto all'evapotraspirazione reale della vegetazione. In molti suoli, soprattutto in quelli tendenzialmente più acidi e più permeabili, si può osservare una migrazione dei metalli e metalloidi verso gli orizzonti più profondi, fino ad arrivare alla falda freatica, nel caso delle forme più solubili. Le radici delle piante e i microrganismi, possono influenzare la solubilità e il trasporto di questi composti. Sono possibili anche trasferimenti laterali, che causano l'asportazione dello strato più superficiale del suolo da parte di ruscellamento superficiale ed erosione.

Erosione e ruscellamenti tendono ad asportare ed allontanare gli elementi in traccia legati alla materia organica e alle particelle minerali. Questi trasferimenti possono essere, in parte anche considerati come apporti, poiché dove avviene la risedimentazione di queste particelle asportate, sono apporti di nuove particelle con metalli e metalloidi.

Metalli pesanti

Determinazione di anomalie nelle concentrazioni e importanza della conoscenza del tenore di fondo dei metalli nei suoli

La determinazione di anomalie nelle concentrazioni dei metalli pesanti nel suolo è fondamentale per individuare la presenza di contaminazione. Queste anomalie sono individuate in base alla conoscenza delle concentrazioni naturali espresse in tenore di fondo naturale (*background*) o tenore di fondo attuale (*baseline*).

Il tenore di fondo naturale si riferisce alle concentrazioni naturali di elementi nei terreni derivate dal contenuto pedo-geochimico, senza interferenza alcuna di origine antropica, comprendendo la presenza di mineralizzazioni. Per determinare questi tenori di fondo naturali in una certa zona non si possono utilizzare i contenuti medi crostali, a causa dell'enorme variabilità nella composizione litologica della crosta più superficiale. Alti valori anomali, possono derivare da sorgenti naturali quali, specifiche litologie o mineralizzazioni, ad esempio, per alterazione di rocce basiche e ultrabasiche, i suoli che ne derivano, saranno arricchiti in Co, Cr e Ni (Facchinelli et al., 2001). I tenori di fondo naturali, possono variare in base alla tipologia di campione utilizzato, dimensione di particelle e metodologia analitica impiegata. Sarebbe utile integrare lo studio con carte geochimiche, costruite sulla base dei contenuti naturali, per identificare zone con valori naturali alti o bassi, purtroppo però è difficile la determinazione di un tenore di fondo naturale, a causa della diffusa contaminazione antropica (De Vivo et al., 2003). Per questo motivo risulta più adatto l'utilizzo del tenore di fondo attuale, cioè la concentrazione di elementi attualmente presenti in un certo sito, e questo è definito statisticamente come l'intervallo di concentrazioni che rappresenta il 95% dei campioni provenienti dall'area sottoposta a studio (Gough et al., 1994; Chen et al., 1999).

Differente è il concetto di *baseline*, cioè la concentrazione di un elemento misurata attualmente in un determinato sito, compresa la presenza di un contributo antropico (Salminen e Gregorauskiene, 2000).

BASELINE = BACKGROUND + Contributo Antropico

In assenza di contributi antropici, il *baseline* coinciderà con il *background*. Esistono metodi statistici per distinguere il valore di *baseline* da quello di *background*, ampiamente discussi da Lima et al. (2008) e Albanese et al. (2008, 2008a).

Per prima cosa, i dati a disposizione richiedono un trattamento statistico, per poter confrontare i tenori medi dei metalli nel suolo con quello delle rocce sulle quali esso è impostato. L'analisi sulla distribuzione viene effettuata attraverso l'elaborazione di istogrammi di frequenza, questa permette di valutare la tipologia di distribuzione (normale, log-normale, logaritmica ecc..) e selezionare a sua volta i parametri statistici più adatti (media aritmetica, media geometrica, deviazione standard ecc..) per

l'individuazione degli intervalli di concentrazione attesi per ogni metallo, e valutare quindi l'eventuale presenza di anomalie (Sinclair, 1986).

L'analisi delle correlazioni esistenti tra diversi metalli, può permettere di associare elementi ad origine comune, o a comportamento geochimico simile, quindi è necessario conoscere la distribuzione territoriale, come quella in profondità per poter determinare l'origine della correlazione che si osserva. La matrice delle correlazioni, individua coppie di elementi la cui variabilità è correlata.

E' importante conoscere la concentrazione naturale dei metalli pesanti nei suoli, per poter risalire al materiale parentale e stabilire, soprattutto, se c'è o meno inquinamento. Quando si ha a che fare con depositi quaternari, non consolidati, da cui i suoli si generano, il tipo di unità geologica e la composizione sedimentaria che li caratterizzano, riflettono una particolare tessitura e un altrettanto particolare provenienza del sedimento. Precedenti studi geochimici del sedimento (Darnley, 1997; Salminen et al., 1997) hanno dimostrato come i caratteri geochimici dei suoli, in realtà, riflettano fattori di controllo come:

- la composizione del sedimento, che dipende dalle caratteristiche del materiale di provenienza e quindi del bacino di drenaggio dal quale deriva;
- la tessitura, che riflette i meccanismi di trasporto e sedimentazione, che insistono nei differenti ambienti deposizionali.

Concludendo si può dire che, un suolo poco evoluto, tenderà ad avere caratteristiche simili, in concentrazione e rapporto tra elementi, a quello del materiale parentale, i suoli più evoluti (e non sono quelli che vengono analizzati in questo elaborato) possono presentare composizioni molto differenti rispetto al substrato originario.

Rapporto tra Mineralogia delle rocce e la concentrazione dei metalli pesanti

Generalmente rocce di qualsiasi tipologia, sedimentaria, metamorfica o magmatica, sono in grado di generare sedimenti contenenti metalli pesanti. E' altresì vero che la ripartizione degli elementi all'interno del reticolo dei minerali costituenti le rocce, rende alcune di queste, più predisposte rispetto ad altre a generare sedimenti con concentrazioni di metalli pesanti maggiori. Le litologie che hanno maggior probabilità di generare sedimenti con metalli pesanti, sono le rocce magmatiche, poiché queste, contengono alti contenuti di elementi come Alluminio e Ferro, come elementi minori Manganese e Titanio, e un ampio numero di elementi presenti in traccia, come Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb, Sc, Se, Sn, Tl, V, Zn. Questi elementi, a seconda del loro comportamento geochimico, potranno essere sottratti al magma durante la cristallizzazione frazionata, oppure concentrarsi all'interno del magma stesso, con l'evoluzione del magma e al procedere della cristallizzazione dei minerali primari. Gli elementi, tendenzialmente vengono suddivisi in due classi, quelli compatibili nei quali i valori tabellati, in ppm, diminuiscono passando da ultrafemiti a graniti e quelli

incompatibili, i cui valori, in ppm, aumentano passando dalle ultrafemiti ai graniti (Tab. 8). Tra quelli compatibili includiamo Co, Cr, il Ni, oppure il Mg e il Fe, costituenti fondamentali dei minerali femici. Quelli incompatibili, si dividono in due grandi gruppi, i LILE e i HFSE. Tra gli incompatibili che appartengono al gruppo LILE (Large Ion Lithophile Elements) possiamo citare Ba, Na, Rb, Pb, K, mentre tra quelli appartenenti al gruppo HFSE (High Field Strength Elements) possiamo citare Zr, Ce, Y, Th e La.

Tab. 8 - Composizione media di alcuni tipi di rocce (% in peso per gli elementi espressi come ossidi, in ppm gli altri).

	ultrafemiti	basalti	andesiti	graniti	Peliti	arenarie	Carbonati
Na₂O	0.66	2.52	3.83	3.48	1.29	0.44	0.05
MgO	38.18	7.49	1.55	0.26	2.47	1.15	7.74
Al₂O₃	2.27	15.64	15.49	13.60	15.11	4.72	0.79
SiO₂	42.36	50.28	67.18	74.24	58.41	78.73	5.13
P₂O₅	0.04	0.26	0.21	0.14	0.16	0.04	0.09
S	200	300	300	300	2400	240	1200
Cl	45	55	130	200	180	10	150
K₂O	0.02	1.00	3.04	5.06	3.20	1.29	0.33
CaO	2.24	10.06	3.54	0.71	3.09	5.46	42.24
Sc	10	27	14	7	13	1	1
TiO₂	0.05	1.90	0.57	0.20	0.77	0.25	0.07
V	40	225	88	44	130	20	20
Cr	1800	185	22	4.1	90	35	11
MnO	0.20	0.23	0.07	0.05	0.11	0.00	0.14
Fe₂O₃	13.78	12.30	4.23	2.03	6.75	1.40	0.47
Co	175	47	7	1	19	0.3	0.1
Ni	2000	145	15	4.5	68	2	20
Cu	15	94	30	10	45	0	4
Zn	40	118	60	39	95	16	20
As	0.8	2.2	1.9	1.5	13	1	1
Br	0.8	3.3	4.5	1.3	4	1	6.2
Rb	1.1	38	110	170	140	60	3
Sr	5.5	452	440	100	300	20	610
Y	0	21	35	40	26	40	30
Zr	38	120	140	175	160	220	19
Nb	9	20	20	21	11	0	0.3
Ba	0.7	315	420	840	580	10	10
La	1.3	6.1	45	55	39*	30	1
Ce	3.5	16	81	92	76*	92	11.5
Pb	0.5	7	15	19	20	19	9
Th	0.0045	3.5	8.5	17	12	17	1.7

Le rocce magmatiche, sono le più soggette ad alterazione, poiché il loro ambiente di formazione è molto differente in pressione, temperatura e condizioni redox rispetto all'ambiente superficiale, soggetto ad alterazione (Sartori, 2004). Proprio per questo motivo, rocce magmatiche basiche o ultrabasiche, tenderanno a generare sedimenti con alto contenuto di metalli pesanti, poiché maggiormente ricche di minerali femici, al contrario delle rocce magmatiche acide povere in minerali femici. Ad esempio, il Pb tende a concentrarsi nella serie acida delle rocce magmatiche e nei sedimenti argillosi, nei quali si trovano concentrazioni "normali" che vanno da 10 a 40 mg/kg (Kabata Pendias e

Pendias, 1992). La galena, solfuro di Pb, ha origine magmatica idrotermale. Si forma dopo il consolidamento dei residui magmatici, rimasti dopo la formazione di rocce come graniti e pegmatiti, in questo caso sarà associato a sfalerite, argentite, quarzo e fluorite. Un'altra litologia che può generare sedimenti ricchi di metalli pesanti è quella sedimentaria, poiché sono una litificazione di sedimenti provenienti da alterazione di altre rocce preesistenti, rocce madri.

Le rocce sedimentarie, tendenzialmente sono classificabili, in base alla percentuale delle tre componenti principali che le costituiscono:

- La componente terrigena clastica, ovvero tutti i sedimenti generati altrove e trasportati nel bacino di sedimentazione, costituita principalmente da quarzo, feldspati minerali femici o frammenti di roccia;
- La componente ortochimica, rappresentata dai precipitati chimici, che si generano nel bacino di sedimentazione, come calcite-dolomite, salgemma e gesso.
- La componente allochimica, ovvero i precipitati chimici, generati indirettamente all'interno del bacino di sedimentazione, pellets, ooliti e gusci/conchiglie.

Le rocce sedimentarie che hanno maggior concentrazione di metalli pesanti, sono quelle terrigene a grana fine (peliti), poiché possono generare suoli e sedimenti ad alto contenuto di metalli pesanti, a causa della carica negativa che si concentra sulla superficie dei minerali argillosi, che tende ad attrarre i metalli pesanti a valenza positiva, a differenza delle rocce sedimentarie a granulometria maggiore, ad esempio arenarie e conglomerati, che tendono ad avere una concentrazione in metalli pesanti notevolmente minore.

Mobilità dei metalli pesanti

La mobilità dei metalli pesanti è un parametro fondamentale se utilizzato in ottica ambientale, ovvero considerare la possibilità che alcuni elementi hanno di entrare nell'ecosistema come fonte di inquinamento o bioaccumulo. I fattori che regolano la mobilità di questi elementi sono, intrinseci dell'elemento stesso e/o appartenenti alle condizioni ambientali presenti.

La proprietà intrinseca che influisce principalmente nella mobilità degli elementi, è il potenziale ionico, ovvero il rapporto tra la carica e il raggio ionico (Fig. 9).

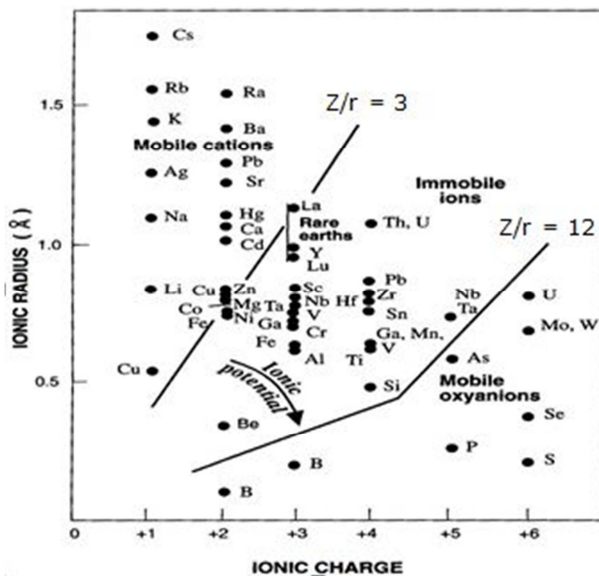


Fig. 9 - Grafico del potenziale ionico.

Il Potenziale maggiore che corrisponde al valore di 3, separa il campo dei cationi mobili dagli ioni immobili, mentre quello corrispondente al valore di 12, separa il campo degli ioni immobili dagli ossianioni mobili.

Altro fattore molto importante, come detto in precedenza, è la condizione ambientale. I parametri ambientali che controllano la mobilità degli elementi, sono principalmente il pH e l'Eh. Il pH definisce l'acidità o alcalinità dell'ambiente, ed è alla base di processi quali, dissoluzione, idrolisi, complessazione organica e/o inorganica ecc., mentre l'Eh ne identifica le condizioni redox (De Vivo, 2004). Per sintetizzare e dare un'idea della classificazione degli elementi, mobili o immobili, in base al pH ed Eh (Tab. 9).

Conoscere la mineralogia è importante per capire i processi di immobilizzazione, che possono essere generati dall'adsorbimento di elementi sulla superficie di minerali argillosi, ossidi e idrossidi di Fe e Mn, sostanza organica o precipitazione di minerali di neoformazione.

Risulta molto importante, a parità di altre condizioni, la temperatura, per definire la solubilità degli elementi.

Tab. 9 - Mobilità relative di alcuni elementi chimici al variare di alcuni parametri ambientali.

Mobilità relativa	condizioni ambientali			
	ossidanti	acide	neutre-alcaline	riducenti
Molto alta	Cl, I, Br, S, B	Cl, I, Br, S, B	Cl, I, Br, S, B; Mo, V, U, Se, Re	Cl, I, Br
Alta	Mo, V, U, Se, Re, Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra, Zn	Mo, V, U, Se, Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra, Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au	Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra	Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra
Media	Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au, As, Cd	As, Cd	As, Cd	
Bassa	Si, P, K, Pb, Li, Rb, Ba, Be, Bi, Sb, Ge, Cs, Tl	Si, P, K, Pb, Li, Rb, Ba, Be, Bi, Sb, Ge, Cs, Tl	Si, P, K, Pb, Li, Rb, Ba, Be, Bi, Sb, Ge, Cs, Tl	Si, P, K
Da molto bassa a immobili	Fe, Mn, Al, Ti, Sn, Te, W, Nb, Ta, Pt, Cr, Zr, Th, REE	Al, Ti, Sn, Te, Nb, Ta, Pt, Cr, Zr, Th, REE	Al, Ti, Sn, Te, W, Nb, Ta, Pt, Cr, Zr, Th, REE, Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au	Al, Ti, Sn, Te, W, Nb, Ta, Pt, Cr, Zr, Th, REE, S, B, Mo, V, U, Se, Re, Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au, As, Cd, Pb, Li, Rb, Ba, Be, Bi, Sb, Ge, Cs, Tl

Uso del Suolo

Tramite il sito dell'ISPRA, Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale, ho potuto trovare una tabella (Tab. 10) dei dati, percentuali dell'uso del suolo e relativa superficie totale, delle singole regioni interessate dal mio lavoro. Seguiranno, una legenda (Fig. 10) dei principali usi del suolo e delle immagini (Fig. 11-13) relative alle regioni interessate dal mio lavoro. In Appendice (Appendice A) vengono caricate, Legenda completa delle immagini che seguiranno (da QGis) e la relativa descrizione in dettaglio, presa dal sito ISPRA.

Tab. 10 - Distribuzione percentuale dell'uso del suolo per classi di primo livello CLC (2006).

Regione	Aree artificiali	Aree agricole	Aree boschive	Zone umide	Corpi idrici	Superficie totale
	%					km ²
Lombardia	10.9	47.6	38.5	0.1	2.9	23874
Veneto	8.2	57.2	29.0	1.5	4.0	18393
Emilia-Rom	5.0	67.7	25.9	0.3	1.1	22107

Fonte: ISPRA











	112	Tessuto Urbano Discontinuo
	211	Seminativi in aree non irrigue
	213	Risaie
	231	Prati stabili
	242	Sistemi colturali e particellari complessi
	243	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali
	311	Boschi di latifoglie
	422	Saline
	512	Bacini d'acqua
	521	Lagune

Fig. 10 - Legenda dei principali usi del suolo delle tre regioni di interesse in questo lavoro. Emilia Romagna, Lombardia e Veneto.

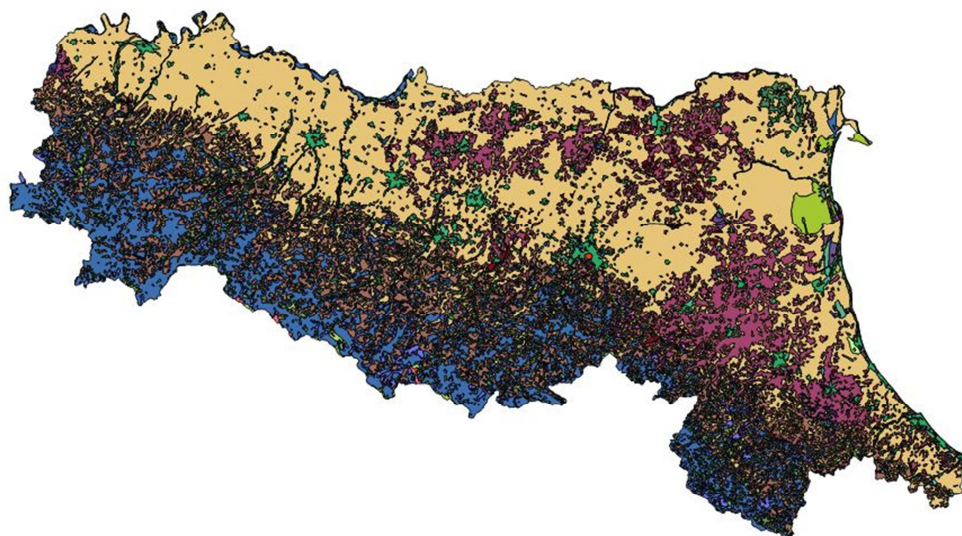


Fig. 11 - Uso del suolo Emilia Romagna (CORINE Land Cover) da QGis.

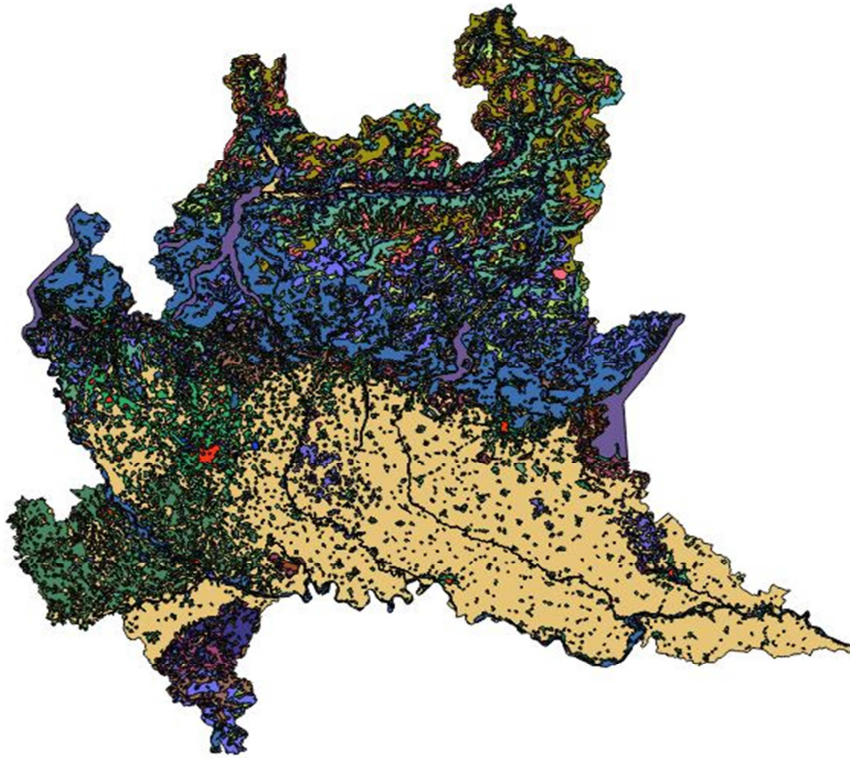


Fig. 12 - Carta Uso del Suolo Lombardia (CORINE Land Cover) da QGis.

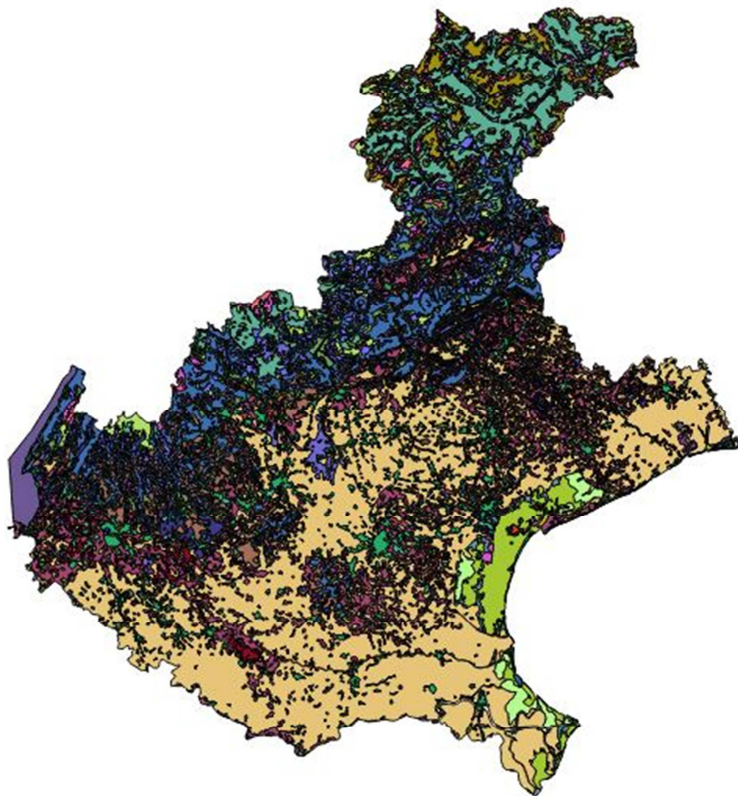


Fig. 13 - Carta Uso del Suolo Veneto (CORINE Land Cover) da QGis.

Pedologia

(Costantini E.A.C e Dazzi C - The Soils of Italy")

Suoli della Pianura Padana

I suoli delle pianure italiane sono da considerarsi giovani dal punto di vista geologico, ma vecchi se si considera il loro uso. La loro attuale fertilità, è collegata soprattutto alle pratiche agricole eseguite su questi suoli negli ultimi 1000 anni, non mostrando traccia di legami con il patrimonio lasciato dalle foreste, che si erano impostate in queste zone prima che questi suoli fossero dedicati all'agricoltura (Gasperini, 1955).

Le attuali pratiche agricole, purtroppo, non hanno nulla a che vedere che le pratiche agricole "ecologicamente corrette" che si eseguivano anche solo 60 anni fa, legate principalmente all'utilizzo di materia organica che attualmente si sta esaurendo.

Un esempio è dato dai suoli della Regione Piemonte, dove si trova un contenuto di carbonio organico intorno all'1.58%, cioè piuttosto basso, e arriva anche ad essere minore all'1% nei vigneti (IPLA, 2007).

La maggior parte dei terreni coltivati, è colpita da un tipo di degrado del suolo, causato dai macchinari pesanti utilizzati per la coltivazione, ovvero la compattazione del suolo. In passato, era consuetudine associare ad uno specifico suolo, uno specifico uso del suolo stesso.

Un esempio pratico per capire questo è dato dal fatto che anche se in maniera un po' estrema, proviene dalla pianura alluvionale del Tagliamento. Qui, in passato, i suoli fertili (FLUVIC CAMBISOL HUMIC), coltivati a mais, potrebbero essere facilmente riconoscibili e quindi separabili da quelli infertili e pietrosi (HAPLIC FLUVISOLS SKELETIC) usati prettamente per il pascolo.

Attualmente, questa distinzione basata sull'uso del suolo, è alquanto imprecisa, poiché i contadini che possiedono suoli poco o nulla fertili, tendono a ricorrere ad input artificiali, come concimazione e irrigazione, per poter ugualmente far crescere colture che generalmente crescevano solo in terreni migliori.

La valle del Po, un tempo interamente coperta da boschi planiziali è stata, nel corso dei secoli, trasformata nella più grande area agricola d'Italia. Il Bosco della Partecipanza, nella zona di Trino Vercellese, è uno dei pochi resti dell'antica foresta planiziale e quindi la sua pedogenesi potrebbe essere utilizzata come modello di riferimento per studiare l'evoluzione del suolo nei secoli, in questa parte della pianura padana formata da materiale parentale alluvionale di carattere silicatico.

Gli acidi organici contenuti all'interno dell'Humus hanno generato processi di lisciviazione che, insieme alla presenza di una tavola d'acqua particolarmente alta, ha dato origine a GLEYIC LUVISOL. Generalmente i suoli sottoposti all'influenza della tavola d'acqua sono stati utilizzati, tradizionalmente, come prati, mentre ultimamente, gli stessi sono stati piantati con alberi a crescita rapida come ad esempio i pioppi.

Ai piedi delle Prealpi, si possono trovare terrazzi fluvio-glaciali, originatisi nei periodi di interglaciale tra GUNZ e WURM (600.000 – 10.000 anni fa).

Quei suoli che si sono formati in condizioni climatiche differenti da quelle attuali, sono considerabili paleosuoli profondi (GLEYIC LUVISOLS FRAGIC), e in alcuni casi, l'influenza di questi ultimi è ridotta a causa di una coltre di limo eolico soffiato durante i periodi interglaciali della steppa.

L'attuale pedogenesi di questi suoli, comincia proprio da questo materiale eolico, in ogni caso influenzato dal sottostante *fragipan*. Il *fragipan*, è un orizzonte subsuperficiale alterato con uno spessore maggiore di 15 cm. Ha una densità apparente maggiore alla media e possiede una conduttività idraulica ridotta e un basso contenuto di sostanza organica. Parecchi *fragipan* mostrano screziature redox. E' friabile allo stato umido, mentre con i processi di disseccamento tende ad indurirsi, tanto da impedire o quasi la radicazione delle piante. Tende ad avere una struttura colonnare o poligonale.

Con queste condizioni, la vegetazione che naturalmente si imposta in questi suoli è composta da un'associazione di piante denominata Quercio-Carpinetum (Parco Regionale della Vauda, Piemonte). A causa dell'intensivo taglio di legname nel Medioevo e il conseguente uso del suolo a pascolo, il terreno e l'ambiente risultano piuttosto degradati e attualmente dominati da Brughiera, che tende a produrre, lentamente, una lettiera decomposta.

Nel corso del tempo, l'accumulo di azoto, generato dalla decomposizione della lettiera, ha facilitato la sostituzione della Brughiera, con la Molinia, un'erbacea perenne che produce a sua volta una lettiera che si decompone più velocemente della lettiera della brughiera, portando ad una maggiore quantità di azoto disponibile, necessario alla Molinia stessa che è una specie a rapido accrescimento (Berendse, 1994; citato in Van Breemen, 1998).

La vegetazione spontanea presente, rappresentata da felci, Molinia, brughiera, peri selvatici e betulle. Le superfici fluvio-glaciali lombarde, sono in molti casi ricoperte da foreste di Pino Silvestre, il cui humus produce fenomeni di lisciviazione. La Robinia, molto presente, essendo una leguminosa, il suo humus ricco di azoto è ben integrato nel suolo. Sui vecchi terrazzi fluvio-glaciali, sono impostate la maggior parte delle risaie. Sono state gestite a partire dal XIX secolo, in estesi appezzamenti (camere) predisposti alla periodica sommersione che produce un'artificiale sovrassaturazione del suolo, come si può notare dal colore grigio dei primi 30-40 cm e dal colore più brunastro al di sotto. I suoli sono ATHRAQUIC GLEYSOLS, se provengono dai GLEYIC LUVISOLS (FRAGIC), dei vecchi terrazzi fluvio-glaciali, e sono HYDRAGRIC ANTHROSOLS, se si trovano sulla recente piana alluvionale. La compattazione del suolo ad opera dell'uomo, causa una persistenza delle condizioni idromorfiche (sovrassaturazione) anche in caso di assenza di sommersione (IPLA, 2007).

Nella pianura padana, ad un'altitudine compresa tra il 300 e i 600 m (Province di Cuneo e Torino), si trovano praterie permanentemente irrigate. L'equilibrio tra concimazione e irrigazione, viene mantenuto allo stato stazionario, solo da una sapiente gestione del suolo. L'insieme di queste operazioni, concimazione e irrigazioni, generano processi di

lisciviazione generando LUVISOLS.

Altri usi del suolo sono le piantagioni di Mais su suoli prettamente argillosi e frutteti su suoli prettamente ghiaiosi vicino alle montagne. I restanti terrazzi sono occupati da campi coltivati, con un'agricoltura alimentata ad acqua piovana o alimentata da pozzi.

Questi terreni, avendo un drenaggio interno veramente lento, li rendono meno adatti alla coltivazione seguendo qualsiasi tipo di agricoltura, ma li rendono altamente adatti alla dismissione di rifiuti, ovvero discariche.

I vecchi terrazzi fluviali e la presenza di acqua che sgorga dal terreno, segna generalmente il passaggio tra alta e bassa pianura. L'acqua che si infiltra nei suoli a tessitura grossolana nell'alta pianura tende ad emergere in superficie quando raggiunge i suoli a tessitura fine e più impermeabili dalla bassa pianura. Questa linea che separa l'alta e la bassa pianura, è una linea praticamente continua che va da Cuneo a Trieste, generando in alcuni casi veri e propri corsi d'acqua, come Sile, Limene, Livenza e Stella. La presenza di questo tipo di emergenza di acqua viene chiamata *risorgiva* o *fontanile*.

Quest'ultimi, rappresentano una risorsa molto preziosa per l'agricoltura che in prossimità di queste risorgive o fontanili, raggiunge una gestione veramente intensiva. L'irrigazione dei campi con quest'acqua genera le condizioni ideali per la *gleyificazione* temporanea o permanente nei suoli. La *gleyificazione*, è un processo pedogenetico in cui si osserva, come fenomeno caratteristico, la produzione di ferro dalla forma trivalente a quella bivalente.

Quest'acqua delle risorgive viene utilizzata anche nelle zone intorno a Milano, durante il periodo invernale per la sommersione permanente di praterie (marcite) con un sottile strato d'acqua, con una temperatura costantemente superiore a 0°C. Questo permette di facilitare l'inizio anticipato del periodo vegetativo alla fine dell'inverno. L'uomo ha condizionato la pedogenesi di questi suoli, negli ultimi 700 anni, generando un suolo HYPERCALCIC HUMIC GLEYSOLS (ERSAF, 2004).

In Lombardia e Veneto, a livello locale ci sono suoli con un *hardpan*, che interrompe la penetrazione delle radici. L'*hardpan*, è uno strato di terreno molto denso, e generalmente si trova al di sotto dello strato più superficiale di Top Soil. Generalmente se risulta maggiormente ricco di Ferro, viene chiamato Maltraverso in provincia di Lodi, mentre se ricco in Carbonato di Calcio viene chiamato Castracane in provincia di Mantova, e il loro nome, generalmente può cambiare a seconda della provincia in cui ci si trova nella pianura padana (Bini, 2012; Donnici et al, 2011).

La zona sul lato destro del Po, può essere suddivisa in 3 parti (SERVIZIO CARTOGRAFICO UFFICIO REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 1994):

- la pianura sollevata;
- la pianura depressa;
- la piana deltizia.

La pianura sollevata, è composta da HAPLIC CAMBISOLS (CALCARIC), HAPLIC CAMBISOLS (CHROMIC) e HAPLIC CALCISOLS, il cui orizzonte calcico è favorito dall'elevata irrigazione e l'aratura profonda. CALCISOLS e CAMBISOLS sono coltivati sia a colture erbacee che a

frutteti.

La pianura depressa, è composta da VERTISOLS (EUTRIC, GLEYIC e CALCIC) e sono coltivati a cereali o a colture industriali.

La piana deltizia è caratterizzata da THIONIC FLUVISOLS, THIONIC HISTOSOLS, GYPSIC VERTISOLS, HAPLIC VERTISOLS (EUTRIC), HAPLIC CALCISOLS, HAPLIC CAMBISOLS (EUTRIC) e HAPLIC ARENOSOLS (CALCARIC) e sono coltivati in maniera intensiva con risaie e frutteti.

In molte parti del delta del Po, è stata eseguita la bonifica delle terre, scavando canali di drenaggio paralleli e distanziati gli uni dagli altri da 10 m. Questa operazione (mazzuolatura), causa la distruzione dell'originale profilo del suolo e può generare subsidenza.

Il prevalente uso del suolo nelle aree alluvionali recenti è caratterizzato dalla presenza di vegetazione spontanea nelle immediate vicinanze dei corsi d'acqua, mentre nelle zone più lontane si predilige l'agricoltura e i pioppeti. Essendo molto giovane il suolo ed essendo frequenti le inondazioni, la pedogenesi, risulta scarsamente influenzata dalla vegetazione. La presenza della Robinia, soprattutto vicino ai corsi d'acqua, indica un aumento generale della fertilità del suolo, grazie alla sua capacità di fissare l'azoto dall'atmosfera. Questo straordinario vantaggio, diventa però un ostacolo dopo il taglio, poiché le erbacce nitrofile, tendono ad invadere l'ambiente.

Sintetizzando quindi, si può assumere che nella pianura padana, i principali usi del suolo sono cereali, prati, praterie permanenti, colture oleaginose, frutteti, pioppeti e vigneti. La diffusione di colture per la produzione di bio-carburanti (colza, girasole ecc...) è un fenomeno piuttosto recente.

I principali gruppi di riferimento del suolo sono: HISTOSOLS, ANTHROSOLS, TECHNOSOLS, VERTISOLS, FLUVISOLS, SOLONCHACKS, GLEYSOLS, PHAEZEMS, CALCISOLS, LUVISOLS, ARENOSOLS, CAMBISOLS. Laddove è praticata l'irrigazione, generalmente si troveranno processi di lisciviazione, con una maggior presenza di LUVISOLS, e subordinatamente di GLEYSOLS.

Classificazione dei suoli secondo la World Reference Base for Soil Resources (WRB)

(da sito <http://www.isric.org/>)

Suoli con spessi strati organici

Histosols

E' un suolo composto principalmente da materia organica. Sono noti per avere nei primi 80 cm di suolo, ben 40 o più cm di materia organica. Quest'ultima, rappresentata da Muschio, Torba e Torba fangosa, ha un contenuto di carbonio organico (%W) compresa tra il 12% e il 18%, o in alcuni casi anche maggiori, a seconda del contenuto in argilla. Necessita di un drenaggio artificiale.

Generalmente hanno una densità apparente piuttosto bassa e sono scarsamente drenati poiché la sostanza organica è capace di trattenere bene l'acqua.

Gli Histosols (Fig. 14), sono generalmente acidi e carenti in sostanze nutritive per le piante, che vengono allontanate dal suolo, che è costantemente umido. Generano una quantità di materia organica maggiore di quella che viene distrutta. I resti delle piante e degli animali rimangono all'interno del suolo, poiché lo scarso drenaggio, preclude la decomposizione aerobica. Sono molto importanti a livello ecologico, poiché riescono a trattenere una grandissima quantità di carbonio organico. Se questo accumulo si protrae nel tempo, può portare alla formazione di carbone. La bassa fertilità chimica (poche sostanze nutritive) e lo scarso drenaggio, rende molto difficile coltivare questo tipo di suolo. E' stato limitato e viene tuttora limitato l'uso di questo suolo per l'ingegneria civile poiché le strutture pesanti tenderebbero a sprofondare nel terreno bagnato, a causa degli eccessivi cedimenti.



Fig. 14 - Histosols.

Suoli con forte influenza umana

Anthrosols

Suoli con un uso agricolo lungo e intensivo

È un suolo (Fig. 15) che si è formato o modificato a causa di attività umane intense o a lungo termine, come ad esempio l'irrigazione, l'aggiunta di rifiuti organici o la coltivazione a campo-bagnato, utilizzato per le risaie. Si possono generare da ogni tipologia di materiale parentale e si trovano generalmente dove l'agricoltura è stata praticata per secoli.



Fig. 15 – Anthrosols (a sinistra)

Technosols

Suoli che contengono molti reperti

È un suolo che unisce varie tipologie di suoli le cui proprietà e pedogenesi sono dominate dalle loro origini tecniche. Contengono una grande quantità di manufatti, una sorta di

fodera geotecnica, o sigillati da un materiale duro, completamente creato dall'uomo, che possiede proprietà totalmente differenti da ogni tipologia di roccia naturale. Essi comprendono suoli che si originano da rifiuti (discariche, fanghi di depurazione, ceneri ecc..), marciapiedi con i loro materiali non consolidati sottostanti, terreni con geomembrane o terreni totalmente costruiti dall'uomo. Tra i Technosols (Fig. 16), è possibile includere anche suoli naturali che sono stati spostati da un posto ad un altro, per effettuare un riempimento di almeno 50 cm, si possono aggiungere anche i suoli urbani e quelli di miniera. Si originano da ogni tipologia di materiale parentale che viene esposto alle attività umane. Sono strettamente collegati agli Anthrosols. Questi suoli hanno più possibilità all'esser sottoposti ad inquinamento, quindi devono essere trattati con estrema cautela, poiché potrebbero contenere sostanze tossiche derivanti da processi industriali.



Fig. 16 - Technosols.

Suoli fortemente influenzati dall'acqua

Vertisols

Suoli con alternanza di condizioni asciutto-bagnato, ricchi in argille rigonfianti

È un suolo con un elevato contenuto di Montmorillonite, un'argilla fortemente rigonfiante, e che mostra profonde crepe durante i periodi siccitosi.

L'alternanza di rigonfiamento e restringimento del suolo, causa l'autopacciamatura del suolo, la quale comporta un continuo rimescolamento del suolo, originando così un Vertisols (Fig. 17), con un orizzonte A piuttosto sviluppato e profondo, e una mancanza dell'orizzonte B, per questo vengono anche chiamati suoli A-C. Questi movimenti (rigonfiamento e restringimento), generano in superficie dei microrilievi, chiamati Gilgai. Si originano tipicamente da rocce ultrabasiche, in climi generalmente umidi, o che sono soggetti a periodi alterni di siccità e inondazioni, o in condizioni di drenaggio impedito. A seconda del clima e del materiale parentale da cui si originano, i Vertisols, possono variare dal colore grigio, al rosso, fino al nero. Si trovano tipicamente a latitudini comprese tra i 50°N e i 45°S.

La vegetazione tipica di questi suoli è rappresentata da prateria, savana o bosco erboso. La pesante tessitura e il comportamento instabile di questo suolo, rende difficoltosa la crescita di molte specie arboree e sono rare le foreste. Questi tipi di suoli sono utilizzati

nella maggior parte dei casi per pascoli di ovini e bovini.

Il continuo alternarsi di restringimento e rigonfiamento tende a danneggiare edifici e strade costruiti su di essi, generando una vasta subsidenza. Tuttavia, questo permette un rapido recupero della compattazione ideale del suolo.

Quando è possibile l'irrigazione, su questi suoli è possibile coltivare cotone, sorgo, grano e riso. Quando sono completamente saturi, e impermeabili, questi suoli sono particolarmente adatti per le risaie. L'agricoltura pluviale risulta particolarmente difficile poiché, questi suoli, possono essere lavorati solo in determinate condizioni di umidità, troppo duri quando sono asciutti e troppo appiccicosi quando sono saturi.



Fig. 17 - Vertisols con affianco i Gilgai

Fluvisols

Suoli tipici delle pianure alluvionali e paludi di marea

È un suolo geneticamente giovane, che si origina su depositi alluvionali, ma anche su depositi lacustri e marini, che generalmente possiede una buona fertilità naturale.

I Fluvisols (**Fig. 18**), si impostano su pianure alluvionali, ventagli di rocca, paludi e valli di marea, in qualsiasi continente e in qualsiasi condizione climatica. Possiedono una chiara evidenza di stratificazione. Gli orizzonti del suolo sono debolmente sviluppati ma il topsoil potrebbe essere ben distinto.

Sui Fluvisols, possono essere coltivate colture aride, operando un controllo sull'acqua.

Alcune pianure costiere hanno Fluvisols, al cui interno si può trovare un orizzonte contenente materiale solforico. Questi suoli, chiamati solfato-acidi, hanno limitazioni per quanto riguarda gli utilizzi agricoli, poiché possiedono pH bassi, livelli tossici di alluminio e alte concentrazioni di sali.



Fig. 18 - Fluvisols.

Solonchacks

Suoli arricchiti di Sali dopo l'evaporazione

E' un suolo, tendenzialmente pallido o grigio (Fig. 19), che si trovano principalmente in zone con condizioni da aride a sub-umide, in condizioni di scarso drenaggio. Sono estremamente ricchi in sali.



Fig. 19 - Solonchacks.

Gleysols

Suoli influenzati dalle acque sotterranee

E' un suolo piuttosto umido, che a meno di drenaggi, tende ad esser saturo con acque sotterranee per periodi abbastanza lunghi, tali da generare il tipico colore dei Gleysols (Fig. 20). Questo colore va generalmente dal rossastro, al brunastro o giallastro sulle superfici delle particelle del suolo e/o negli orizzonti superficiali del suolo mescolato con colori grigiastro/bluastri all'interno delle stesse particelle o nei suoli più profondi. Si originano su un'ampia gamma di materiali parentali, non consolidati, principalmente fluviali, marini e su sedimenti lacustri di età pleistocenica e olocenica, che provengono da litologie acide e. Si trovano in aree depresse e in bassi topografici con acque sotterranee poco profonde, vicine alla superficie. Il principale "limite" dei Gleysols vergini è l'umidità. Sono coperti, generalmente, da vegetazione palustre e sono o inattivi o utilizzati in

maniera intensiva (surpascolo). I Gleysols drenati artificialmente sono utilizzati per le coltivazioni arabili (con raccolta mediante utilizzo di macchinari agricoli), pascolo e l'orticoltura. Nelle zone tropicali, sono generalmente coltivati a risaie. Sono suoli azonali, e possono formarsi in quasi tutti i climi. Mostrano un colore variabile dal verdastro, al blu e grigio, a causa delle condizioni anossiche delle zone umide. Se viene esposto, il ferro nel suolo tende ad ossidarsi e quindi il suolo apparirà a macchie di colore rossastro, giallastro o arancione. Durante la formazione del suolo, l'ossigeno fornito per la saturazione del suolo, viene usato, in alternativa, per liberare l'ossigeno stesso, come accettore di elettroni per sostenere la respirazione cellulare. Qualora gli organismi anaerobici riducono l'ossido ferrico ad ossido ferroso, i composti minerali ridotti, producono il colore tipico dei Gleysols, ruggine-verde, un doppio idrossido di Fe(II) e Fe(III), stratificato che può essere trovato anche in forma di minerale, chiamato Fougerite. Possono essere appiccicosi e difficili da lavorare, soprattutto quando la Gleyficazione è causata da acque superficiali, trattenuta in superficie, o in prossimità di essa, da parte di uno strato poco permeabile. Alcuni Gleysols, tuttavia, possiedono orizzonti più permeabili più in profondità, comprese sabbie. I Gleysols, che si formano ad opera di acque sotterranee, dove il drenaggio è scarso poiché la tavola d'acqua è alta. Esiste un ambiente riducente negli strati saturi, che si screziano di grigio, blu o marrone a causa del contenuto di materia organica e del ferro ferroso. La presenza di screziature rossastre o arancioni, indicano una ri-ossidazione dei Sali ferrosi nella matrice suolo, ed è spesso associata a canali creati dagli apparati radicali, tane di animali o dalla fratturazione del terreno nei periodi siccitosi.



Fig. 20 - Gleysols.

Suoli con accumulo di materia organica, high base status

Phaeozems

Transizione ad un clima più umido

È un suolo molto scuro, senza un orizzonte calcareo entro il primo metro di suolo dalla superficie. Si trovano principalmente in zone umide e sub-umide, tipico delle steppe ad erba alta. I Phaeozems (Fig. 21), si originano da sedimenti non consolidati, come loess e depositi glaciali, e hanno generalmente un contenuto in sostanza organica intorno al 5% ed un pH compreso tra 5 e 7. L'uso intensivo in campo agricolo è molto diffuso e comprende la produzione di soia, frumento e cotone, ma sono considerati anche come i migliori suoli su cui impostare pascoli per il bestiame.



Fig. 21 - Phaeozems.

Suoli con accumulo di sali poco solubili e/o sostanze non saline

Calcisols

Accumulo di carbonato di calcio

È un suolo, con un importante accumulo secondario di calce. I Calcisols (Fig. 22), sono molto comuni su materiali parentali calcarei, e piuttosto diffusi in ambienti aridi o semi-aridi. Si sviluppano, su depositi alluvionali, colluviali ed eolici ricchi in materiale alterato. La vegetazione che si sviluppa su questi suoli è piuttosto scarsa con arbusti e alberi xerofiti dominanti e/o erbe effimere. La siccità, la presenza di un gran numero di pietre e/o la presenza di un orizzonte petrocalcico poco profondo, limita notevolmente l'idoneità di questi suoli per l'agricoltura. Se adeguatamente irrigato, drenato per evitare la salinizzazione e ben fertilizzato, questo suolo, può diventare altamente produttivo per

una grande varietà di colture. Le zone collinari, con Calcisols, sono utilizzate prevalentemente per pascoli a basso volume di bestiame, pecore e capre. Molti Calcisols, si formano insieme ai Solonchacks, che sono in realtà Calcisols salini e/o con altri suoli con accumuli secondari di calce.



Fig. 22 - Calcisols.

Suoli, con un sottosuolo arricchito in argilla

Luvisols

High base status con argilla fortemente attiva

È un suolo con orizzonti eluviali, da cui l'argilla è stata lisciviata dopo lo scioglimento nivale o dopo forti piogge, e di orizzonti illuviali dove l'argilla è stata depositata. Nei materiali salini o calcarei, la traslocazione dell'argilla è preceduta dalla lisciviazione di sali e carbonati. Si formano, generalmente, in zone boschive con un clima da umido a sub-umido, in cui i materiali parentali contengono un'apprezzabile quantità di argilla.



Fig. 23 - Luvisols grigio-marroni a sinistra e Luvisols grigi a destra.

I due grandi gruppi di Luvisols (Fig. 23), si distinguono principalmente dalla temperatura del suolo.

I Luvisols grigio-marroni (a sinistra), hanno un orizzonte molto scuro, in cui la materia organica è molto ben mescolata con il materiale minerale (comunemente, ad opera di lombrichi), un orizzonte marrone eluviale, spesso lamellare, e un orizzonte illuviale in cui è comune una struttura a blocchi. La loro principale temperatura è di circa 8°C o superiore.

I Luvisols grigi (a destra), hanno orizzonti eluviali e illuviali, che possono avere un orizzonte molto scuro se la temperatura media annua del suolo, è inferiore a 8°C.

Suoli relativamente giovani o suoli che hanno un profilo poco sviluppato o non sviluppato

Arenosols

Suoli sabbiosi

E' un suolo essenzialmente originatosi su depositi di sabbia non consolidata, spesso si trovano dove ci sono spostamenti di dune di sabbia, ma si possono trovare anche in zone con materiale parentale più grossolano soggetto a milioni di anni di alterazione ad opera di agenti atmosferici.

Non possiede orizzonti ben distinti ed è interamente composto da materiale argilloso-sabbioso o leggermente più grossolano. Sono particolarmente abbondanti nei deserti, ma possono originarsi anche in regioni più umide.

Possiedono una scarsissima capacità di ritenzione idrica, poiché la sabbia nel suolo non essendo gradata, e possedendo quindi dimensioni differenti, è sempre ben mescolata con il suolo. Poiché molte sabbie sono altamente silicee, gli Arenosols (Fig. 24), sono poveri in sostanze nutritive, soprattutto di fosforo e sono altamente acidi, in quasi se non tutte le condizioni climatiche, tranne in climi troppo aridi. Quelli formati dall'erosione glaciale (comuni nell'Europa del nord), sono generalmente piuttosto fertili, perché abbastanza giovani, ma risultano comunque molto meno fertili di molti altri tipi di suoli che si formano nelle stesse regioni.

La vegetazione sugli Arenosols varia enormemente in funzione della varietà climatica. Pochissimi, sono coltivati, e dove lo sono, il costo è elevato a causa degli elevati costi per la fertilizzazione.



Fig. 24 - Arenosols.

Cambisols

Suoli moderatamente sviluppati

È un suolo dove è chiaro un inizio di pedogenesi. C'è una debole differenziazione degli orizzonti. Questa non marcata differenziazione è evidente, grazie allo scolorimento, principalmente brunastro e/o dalla formazione di una struttura nel profilo del suolo. Si sviluppano su materiali tendenzialmente a tessitura medio-fine, derivanti dall'alterazione di una grande varietà di rocce, per lo più sedimenti colluviali e depositi alluvionali.

Molti di questi suoli rendono produttivi terreni agricoli e sono spesso intensamente utilizzati. I Cambisols (Fig. 25), nei climi temperati, sono da considerarsi tra i suoli più produttivi che possano esistere. Il materiale parentale di questi suoli è, generalmente, piuttosto giovane e questo perché con il freddo, il processo di formazione del suolo è piuttosto rallentato. Sono relativamente poco comuni nelle zone tropicali e sub-tropicali. Sono tuttavia comuni in queste zone, ma solo dove è evidente il fatto che l'erosione è tuttora attiva o dove potrebbero formarsi in associazione ai suoli tropicali maturi.



Fig. 25 - Cambisols.

Suoli che non rientrano in questa classificazione:

Regosols

Sono particolari suoli, che non hanno le caratteristiche tali da rientrare in una classificazione particolare, e quindi vengono raggruppati come Regosols.

Proprietà dei Suoli:

(da WORLD REFERENCE BASE FOR SOIL RESOURCE – Edizione italiana a cura di Costantini E.A.C e Dazzi C.)

Calcaric: significa che è caratterizzato dai primi 20-50cm di materiale tendenzialmente calcareo.

Chromic: indica una diversa colorazione, tendenzialmente più rossastra ovvero una colorazione HUE MUNSELL di 7,5YR e un CHROMA umido maggiore di 4, oppure un HUE MUNSELL maggiore di 7,5YR, nella maggior parte dell'orizzonte B.

Cutanic: significa che esistono rivestimenti d'argilla nell'orizzonte Argico, ovvero arricchito in argilla.

Eutric: significa che il suolo possiede tra i 20 e i 100cm, una saturazione in basi del 50%.

Fluvic: cioè con un chiaro riferimento a sedimenti fluviali, marini o lacustri, che ricevono, ad intervalli regolari, materiali freschi o li hanno ricevuti nel recente passato.

Gleyic: significa che presenta proprietà gleyiche entro 100cm dalla superficie del suolo. Queste proprietà si sviluppano se, a meno di drenaggi, è completamente saturo di acqua di falda, per un periodo di tempo tale da permettere l'instaurarsi di condizioni riducenti e mostrare una configurazione di colori gleyica. Questa configurazione è data da colorazioni rossastre, brunastre e giallastre vicino alle facce degli aggregati o nella parte alta del profilo, insieme a colori grigiastro/bluastri all'interno degli aggregati, o verso la parte profonda del profilo. Una particolarità di questi suoli, è l'accumulo di ossidi e idrossidi di Fe e Mn.

Haplic: significa che non si ha alcuna caratterizzazione ulteriore e significativa.

Hypercalcic: significa che hanno un orizzonte calcico, ovvero con un forte accumulo di carbonato di calcio secondario, che contiene 50% o più di carbonato di calcio.

Hyposalic: significa che ha una conducibilità elettrica dell'estratto saturo, maggiore di 4 dS/m a 25° in almeno qualche sottorizzonte entro 100cm dalla superficie del suolo (Hyposalic).

Humic: significa che hanno un alto contenuto di carbonio organico, generalmente più dell'1% in peso nella frazione di terra fine, fino ad una profondità di 50cm dalla superficie del suolo.

Materiale e Metodi

Campionamento

Il campionamento è stato effettuato su suoli nelle provincie di Mantova e Verona. E' stato eseguito grazie all'ausilio di trivella a mano Eijkelkamp (Fig. 26), o detta anche "Olandese", questa trivella è caratterizzata da due lame concave verticali, viene inserita nel terreno e con un movimento rotatorio, consente il campionamento di suolo. Il campione di suolo passa attraverso la punta e quindi è facilitata l'asportazione di quest'ultimo.

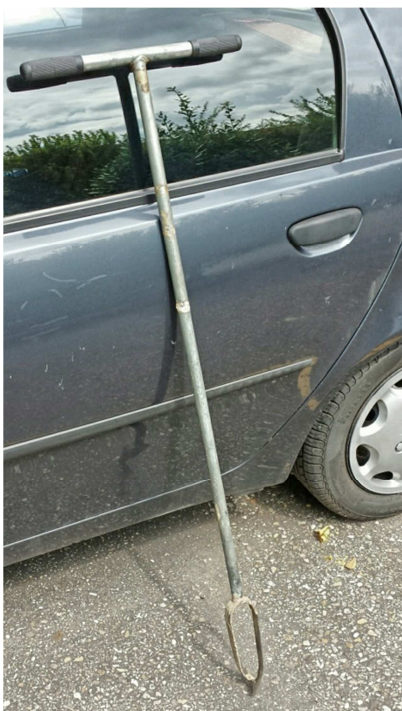


Fig. 26 - Trivella a mano, Eijkelkamp.

Per ogni sito di campionamento, sono stati prelevati due campioni, uno superficiale e uno profondo. Per quello superficiale, sono stati realizzati tre fori di profondità da 0-20 cm (*topsoil*), ad una distanza di 2-3 metri l'uno dall'altro e seguendo una geometria triangolare, asportando precedentemente la vegetazione che ricopre il suolo. Il materiale recuperato dalle tre perforazioni è stato mescolato a formare un campione composito e posto in un contenitore per il trasporto. Per quanto riguarda il campione profondo, si sceglie uno dei tre fori, e si procede a trivellare e campionare il suolo alla profondità di 80-100 cm (*subsoil*). La scelta di campionare *topsoil* e *subsoil*, ha la finalità di determinare se è presente un arricchimento superficiale di metalli pesanti.

Per la scelta del sito di campionamento, si sono privilegiati suoli ad uso agricolo, evitando quindi zone troppo vicine a fonti di inquinamento come ad esempio, discariche, cave, strade molto trafficate e zone dove erano molto evidenti tracce di rimaneggiamento o

intervento antropico. Si utilizzano un GPS per le coordinate e una lavagnetta per fare una foto identificativa del sito di prelievo (Fig. 27).

Una volta prelevati i campioni, e posti all'interno di buste di plastica e prontamente catalogati (Fig. 28), viene presa nota delle coordinate GPS del sito di prelievo e si esegue una descrizione paesaggistica, aiutandosi con un modello da compilare (Fig. 29), con supporto fotografico dell'area (Fig. 30).



Fig. 27 - Lavagnetta e GPS, utilizzati durante le campagne di campionamento.



Fig. 28 - Sacchetti con campione profondo e superficiale, con relativo nome e località di campionamento.

Scheda di campionamento per suoli

Località _____ Data _____

Codice attribuito al campione in campo _____

Località di campionamento _____

Coordinate geografiche (specificare sistema di riferimento utilizzato)

E _____ N _____

Distanza da Strade principali _____ m Distanza da strade secondarie _____ m

Il campo è:

pianeggiante _____; su versante a bassa pendenza; _____; su versante a forte pendenza _____

Caratteristiche del suolo nel giorno di campionamento:

secco _____; intermedio _____ umido _____; saturo _____

nel campo sono presenti frammenti di roccia > 6 cm?

No _____ rari _____ pochi _____ numerosi _____ abbondanti _____

Tipologia Coltura _____

Note _____

Campionatore _____

Fig. 29 - Modello da compilare, da abbinare ad ogni sito di campionamento.



Fig. 30 - Supporto fotografico dell'area di campionamento.

Inseriti i campioni all'interno delle buste di plastica, vengono lasciati essiccare al sole, e successivamente portati in laboratorio per poterli sottoporre ad analisi, i campioni ad elevato contenuto argilloso, per l'essiccazione prevedono l'ausilio di un passaggio in stufa nel laboratorio, per avere la certezza che il campione sia effettivamente essiccato. I siti campionati, nelle province di Mantova e Verona, in totale risultano essere 29 (Tab. 11), con un totale di 55 campioni tra superficiali e profondi, come da Fig. 31. Inoltre, in Fig. 32 sono riportati i campioni considerati nelle elaborazioni statistiche che includono dati provenienti da due tesi di laurea magistrale in Analisi e Gestione dell'Ambiente (Mantovani, 2014; Bertellini, 2014) e alcuni campioni suggeriti dal professor Amorosi relativi alle aree Emiliane, campionate nel progetto di cartografia pedogeochemica della Regione Emilia-Romagna.

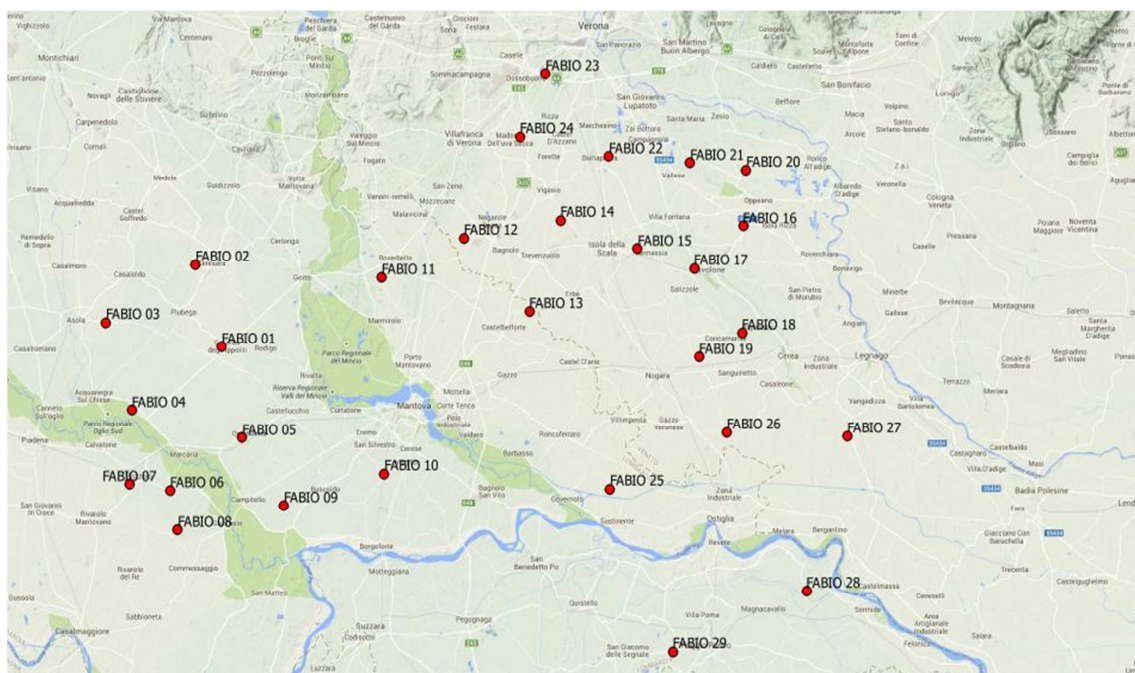


Fig. 31 - Campioni Fabio. (Province di Mantova e Verona).

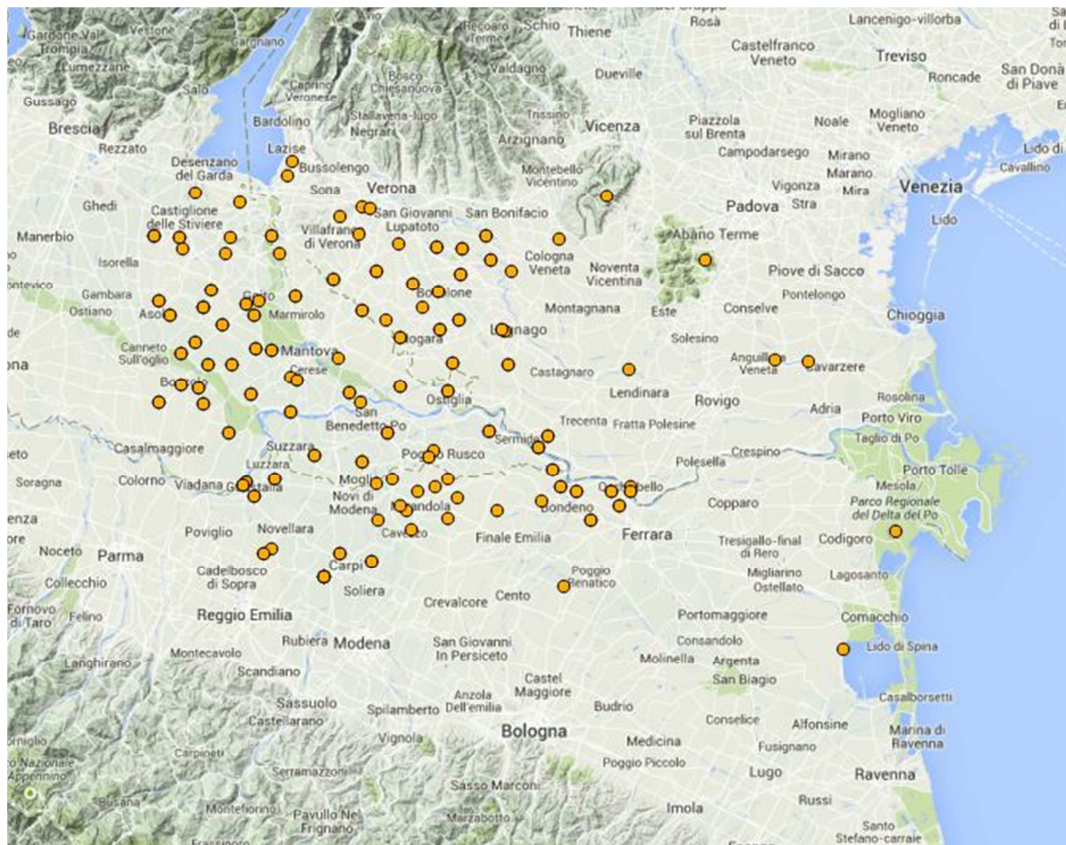


Fig. 32 - Totale campioni, compresi quelli delle ragazze (lavori precedenti al mio) e ai campioni del prof. Amorosi.

Tab. 11 - Tabella con il nome dei campioni e le relative coordinate GPS (coordinate UTM, Fuso 32, datum WGS84).

	EST	NORD
FABIO 01	623777	5006395
FABIO 02	621353	5013170
FABIO 03	613571	5008244
FABIO 04	615978	5000968
FABIO 05	625741	4998849
FABIO 06	619461	4994356
FABIO 07	615879	4994804
FABIO 08	620221	4991090
FABIO 09	629523	4993312
FABIO 10	638322	4996155
FABIO 11	637718	5012422
FABIO 12	644874	5015872
FABIO 13	650745	5009913
FABIO 14	653299	5017547
FABIO 15	660149	5015332
FABIO 16	669329	5017442
FABIO 17	665123	5013875
FABIO 18	669467	5008615
FABIO 19	665761	5006486
FABIO 20	669504	5022108
FABIO 21	664569	5022549
FABIO 22	657428	5022897
FABIO 23	651710	5029548
FABIO 24	649580	5024334
FABIO 25	658214	4995370
FABIO 26	668369	5000319
FABIO 27	678977	5000291
FABIO 28	675726	4987387
FABIO 29	664083	4982071

Analisi Chimiche

Determinazione del contenuto totale dei metalli nei suoli tramite analisi XRF

La composizione chimica totale dei campioni, è stata ottenuta tramite l'utilizzo dello spettrometro per fluorescenza a raggi X (XRF) che permette la valutazione del contenuto totale dei metalli, indipendentemente dalla fase mineralogica a cui sono legati.

Prima di procedere all'analisi, si sono preparati i campioni, eliminando l'eventuale scheletro o materiale vegetale presente, macinando e setacciando il tutto attraverso il mulino vagliatore, che permette di frantumare e rendere il tutto più o meno omogeneo di dimensione di 2 mm. Successivamente si macina ulteriormente e si preparano pastiglie, pressando 0.5 gr di polvere di campione e acido borico come supporto.

L'analisi è rapida e non distruttiva, gli elementi analizzati sono: SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , LOI, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, N, Ba, La, Ce, Pb. Tutte le analisi, sono state effettuate presso il Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali (BiGeA) dell'Università di Bologna, tramite l'ausilio dello spettrofotometro Philips PW 1480/10.

Il calcolo delle concentrazioni degli elementi maggiori, espresse in percentuali in peso di ossido, sono state effettuate secondo il metodo Franzini et al. (1975), per gli elementi in traccia, espressi in parti per milione (ppm o $\mu\text{g/g}$), sono stati utilizzati i coefficienti di Franzini et al. (1972), Leoni e Saitta (1976) e Leoni et al. (1982). La precisione e l'accuratezza delle analisi, sono state confermate, attraverso la ripetizione delle analisi di campioni noti, utilizzati come standard di riferimento.

Associata a questa analisi, si è fatta la misurazione delle L.O.I (Loss Of Ignition) per la determinazione del contenuto totale delle sostanze volatili (H_2O , C_{org} , CO_2), previo riscaldamento in muffola a 950°C per una notte. All'interno della muffola, a varie temperature, avvengono determinate reazioni, che permettono l'allontanamento delle sostanze volatili, sopra citate. Il peso perduto, sarà strettamente legato al contenuto di sostanza organica e di carbonati presenti, e questo valore serve per equilibrare le concentrazioni durante l'analisi degli elementi maggiori con la tecnica XRF.

Valutazione degli arricchimenti superficiali di metalli pesanti nei suoli

La valutazione dell'inquinamento dei suoli, si può fare confrontando le concentrazioni misurate nei campioni superficiali e quelle dei campioni profondi, considerate, come riferimento, poiché ritenute idonee per determinare il valore di fondo naturale dei metalli pesanti (Huisman et al., 1997).

Per valutare la contaminazione con metalli pesanti nei suoli, è stato determinato l'Indice di Geoaccumulo (Müller, 1979; Förstner e Müller, 1981), grazie ai dati ricavati dall'analisi in XRF, seguendo la formula:

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

C_n, è la concentrazione di metallo nel campione del topsoil (0-20 cm).

B_n, è la concentrazione di metallo nel campione del subsoil (80-100 cm).

L'Indice di Geoaccumulo, permette di stimare velocemente, se c'è o meno contaminazione del suolo. Esistono ben sette classi distinte di contaminazione, in base ai valori di Indice di Geoaccumulo calcolati (Tab. 12).

Tab. 12 - Classificazione del grado di inquinamento in base all'Indice di Geoaccumulo calcolato.

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

Elaborazione statistica dei dati

L'elaborazione statistica ha interessato sia i risultati derivanti dalle analisi chimiche svolte sui campioni di questo studio, sia da alcuni lavori di tesi precedenti e da dati forniti dal Professor Amorosi.

L'elaborazione dei dati, è stata eseguita grazie all'utilizzo di Excel e GCDkit (Geochemical Data Toolkit for Windows), quest'ultimo ha permesso di generare diagrammi di vario tipo, Diagrammi a Dispersione, BoxPlot ecc..

Molto utili risultano essere i BoxPlot, che rappresentano in maniera schematica e sintetica, gli indici statistici che descrivono la distribuzione dei dati. Il box, corrisponde alla parte centrale della distribuzione dei dati e ne comprende il 50% (fig. 33). E' delimitato dal 25° percentile o primo percentile, poiché contiene il primo quarto della popolazione dei dati, e dal 75° percentile, o terzo quartile.

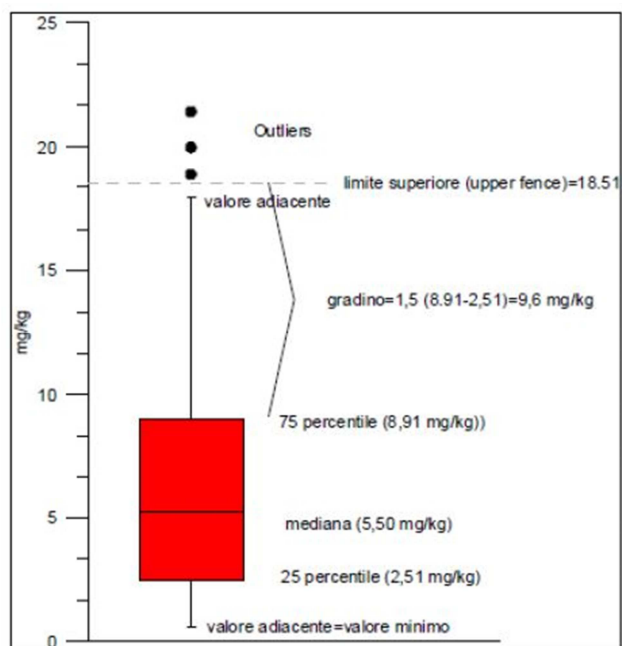


Fig. 33 - Parametri statistici rappresentati nel BoxPlot (APAT, 2006).

La differenza tra il terzo quartile e il primo quartile, definisce la “differenza interquartile”. I whiskers, sono i “baffi” all’esterno del box, e corrispondono all’intervallo di tolleranza, corrispondente a 1,5 la differenza interquartile, sottratto al 25° e 75° percentile. I punti al di fuori rappresentano i valori anomali, potenziali outliers. Il 50° percentile, corrisponde alla mediana ed è evidenziato all’interno del box, dalla striscia in grassetto.

Elaborazione grafica con QGis

L’elaborazione grafica viene effettuata con QGis, un programma OpenSource, che viene mantenuto sempre aggiornato da programmatori.

E’ permesso sovrapporre e visualizzare vettori e raster di diversi formati e proiezioni, senza per forza convertire il formato. Si possono creare mappe ed esplorare i vari dati spaziali con un’interfaccia grafica piuttosto semplice. E’ possibile creare, modificare, gestire ed esportare vettori e raster in molti formati. Si possono effettuare analisi spaziali su database spaziali e altri formati. QGis, attualmente offre strumenti di analisi vettoriale, geoprocessing, geometria e gestione database. Può essere utilizzato come client WMS, WMTS, WMS-C e WFS-T e come server WMS, WFS o WCS. E’ possibile adattare QGis ai propri scopi grazie ad una struttura estensibile dei plugin. Tramite questo programma, ho creato delle carte, ad esempio, con la locazione dei miei punti di campionamento, così come quelli dei lavori precedenti e del prof. Amorosi. Mi è stato possibile caricare file vettoriali, come Carta dei suoli, la suddivisione dei Bacini Idrografici, come quelli che ho utilizzato per evidenziarli nell’inquadramento, Carta Geologica, Reticolo idrografico, per me necessari per effettuare questo lavoro. Ci sono Tools, che permettono l’interrogazione dei vari Layer, con cui il lavoro viene realizzato.

Interpretazione dei risultati:

Prima di passare alla trattazione di Dati Profondi e Dati Superficiali, illustro il criterio fondamentale che ho seguito nella elaborazione dei dati. I campioni sono stati suddivisi in base al bacino di alimentazione utilizzando a questo scopo elaborazioni cartografiche a partire dalle informazioni disponibili di tipo geologico e pedologico integrate dalla delimitazione geografica dei bacini (Fig. 34).

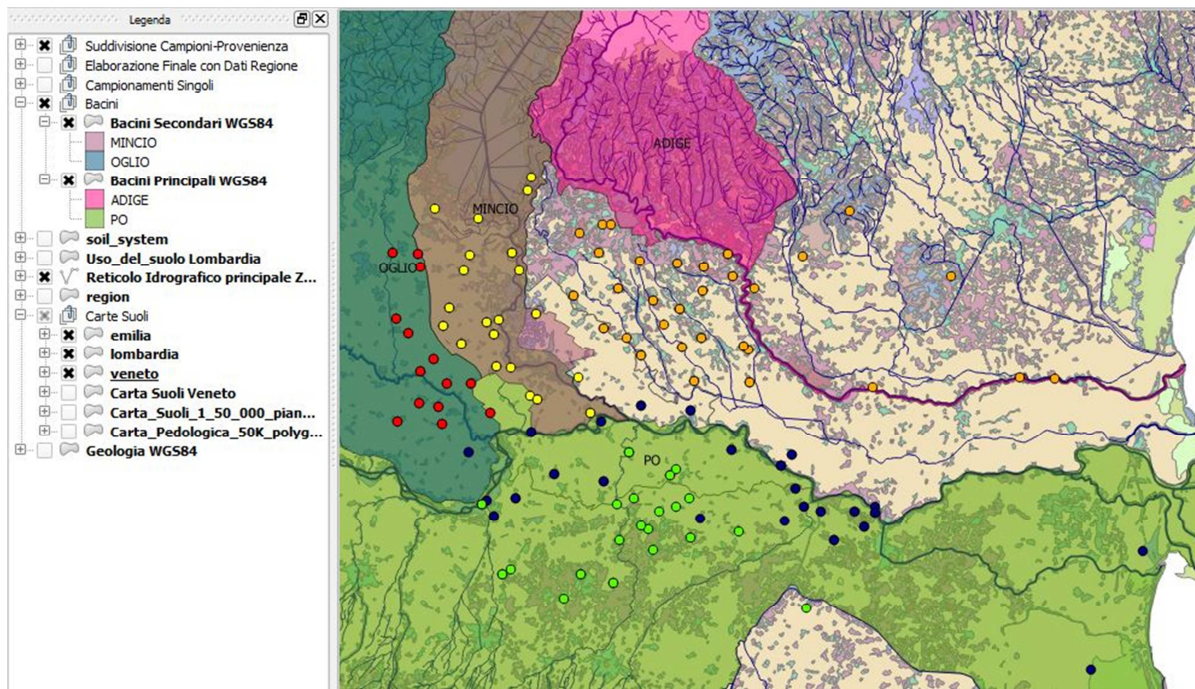


Fig. 34 - Campioni suddivisi per appartenenza ai bacini.

Dati Profondi

Essendo il terreno campionato intorno ai 100 cm, dovrebbe risultare meno inquinato da varie fonti, quindi tende a semplificare l'interpretazione e l'identificazione della provenienza del materiale parentale.

Dopo avere ripartito i 79 campioni in base alla provenienza geografica **Tab. 13**, investighiamo i dati con l'ausilio di diversi strumenti con lo scopo di identificare segnali geochimici utili per identificare segnali caratteristici di provenienza. Alcune anomalie verranno discusse in dettaglio.

Tab. 13 - Ripartizione campioni in base alla provenienza geografica - numero di campioni.

Bacini	n° Campioni
Po	22
Oglio	13
Mincio	11
Appennino	17
Adige	16

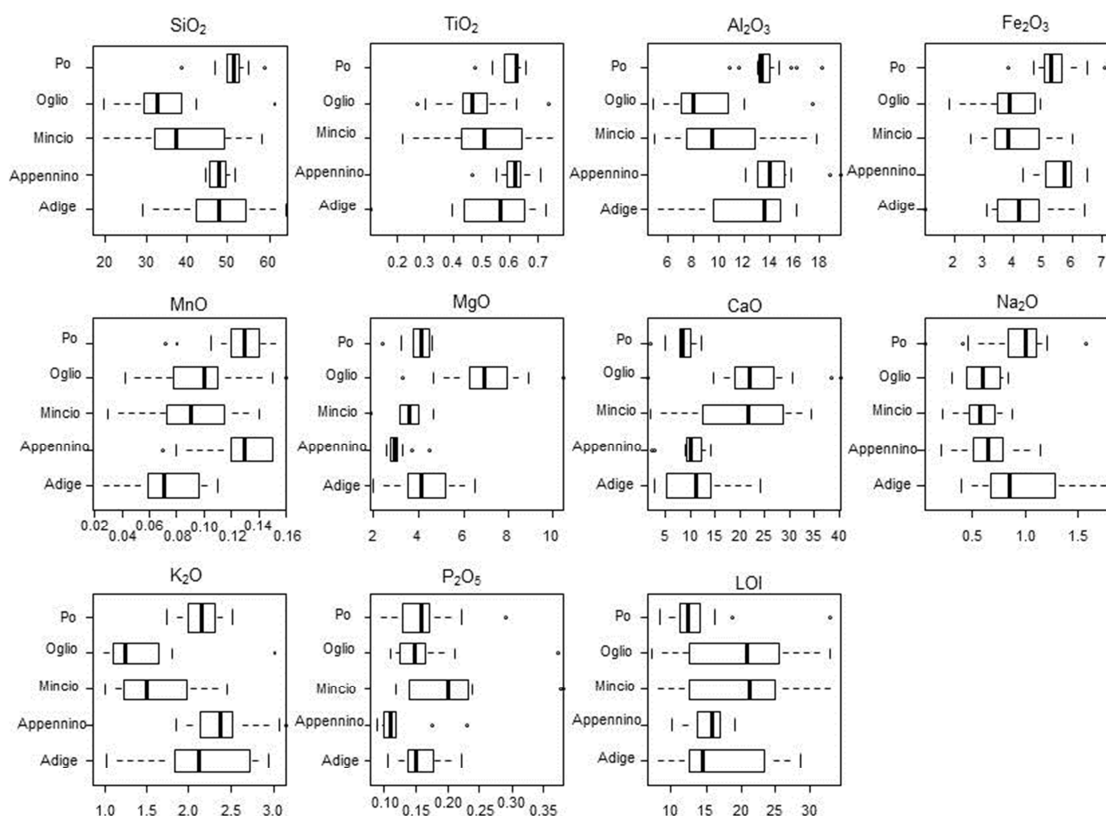


Fig. 35 - BoxPlot degli ossidi utili per identificare una provenienza (dati profondi), in %.

Dalla **Fig. 35**, si evidenzia che i campioni attribuibili a sorgenti Po, Appennino e Adige hanno una prevalenza di SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , con Fe_2O_3 e MnO ma non in Adige che per

questi elementi ha un segnale confrontabile con quelli di Oglio e Mincio. Oglio e Mincio risultano caratterizzati da più elevati contenuti di CaO ed è possibile discriminare ulteriormente tra queste 2 sorgenti per il significativo arricchimento in MgO dei suoli attribuiti a provenienze Oglio. Per discriminare il materiale parentale derivante dall'Appennino rispetto a quello proveniente dal Bacino Po, si può notare che il Po, tende ad esser più ricco in percentuale di Na₂O, e P₂O₅, relativamente più scarso nelle fonti appenniniche. Il P₂O₅, può essere utilizzato se confrontiamo Oglio e Mincio, quest'ultimi più arricchito in percentuale di quest'ossido.

Ora analizzeremo i BoxPlot degli elementi in traccia che ho selezionato tra tutti quelli analizzati.

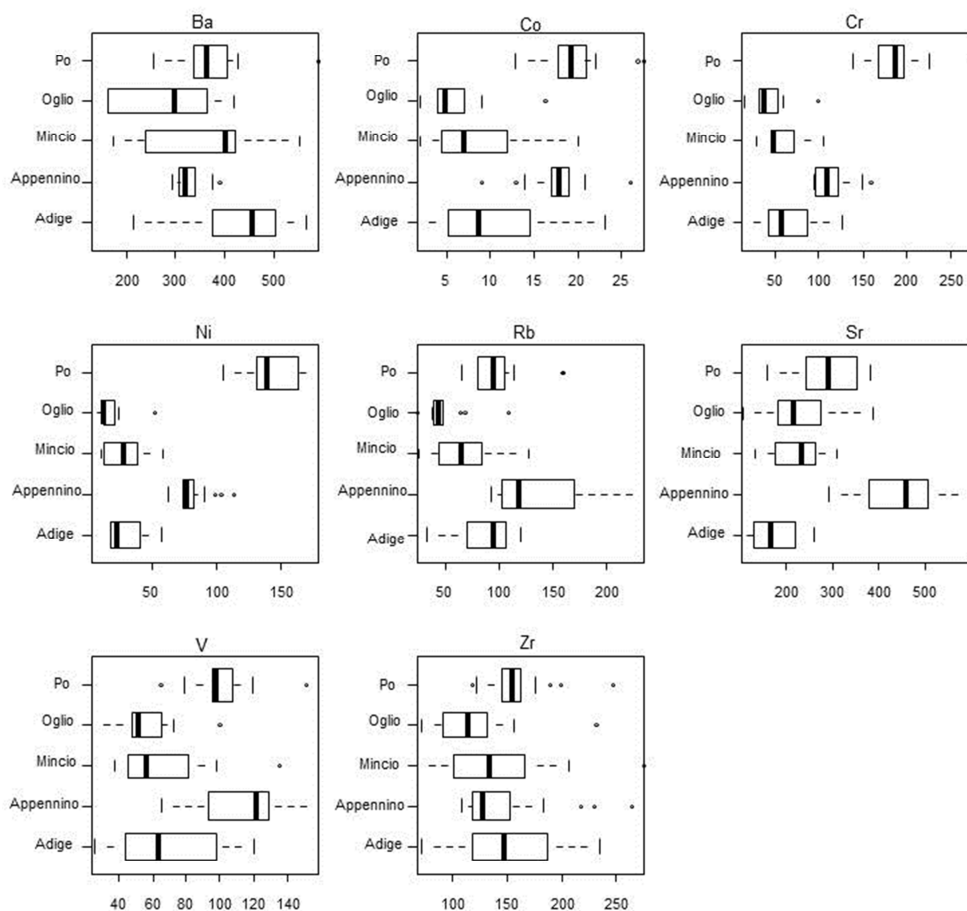


Fig. 36 - BoxPlot Elementi in traccia, utili per identificare una provenienza (dati profondi), in ppm.

Nei BoxPlot in **Fig. 36**, si può notare come le provenienze del materiale parentale del Po e Appennino, siano evidenziate dall'elevata concentrazione di Co, Cr, Ni e V. E' evidente anche che il Po tende ad avere una concentrazione più elevata in Cr e Ni, rispetto all'Appennino, mentre la concentrazione del Co è piuttosto simile nei suoli dei due bacini, solo leggermente maggiore nel bacino del Po rispetto all'Appennino. Il materiale

proveniente dall'Appennino, a sua volta sembra avere concentrazioni maggiori di Rb, Sr e V. Il Rb sembra però avere valori mediani, (striscia nera), piuttosto simili tra Po, Appennino e Adige. Rimane evidente come la provenienza del materiale parentale dell'Appennino, sia caratterizzata da elevate concentrazioni di Sr e di V rispetto al Po.

Sulle queste mappe che seguiranno sono stati inseriti i dati geochimici in modo da visualizzarne la distribuzione in pianta e valutare eventuali distribuzioni caratteristiche eventualmente riconducibili alla provenienza del sedimento. Di seguito sono riportate alcune mappe, con relativa legenda (Fig. 37), che possono caratterizzare alcune delle provenienze nell'area.

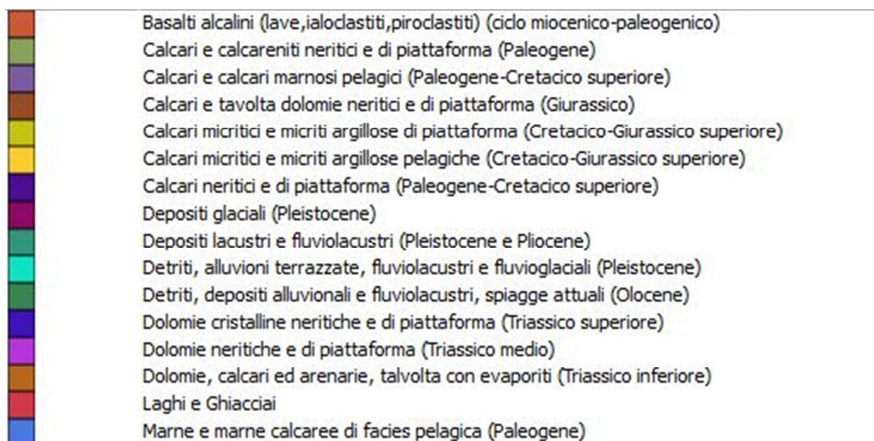


Fig. 37 - Legenda carta geologica, principali litologie visualizzabili nelle carte presentate in questo lavoro.

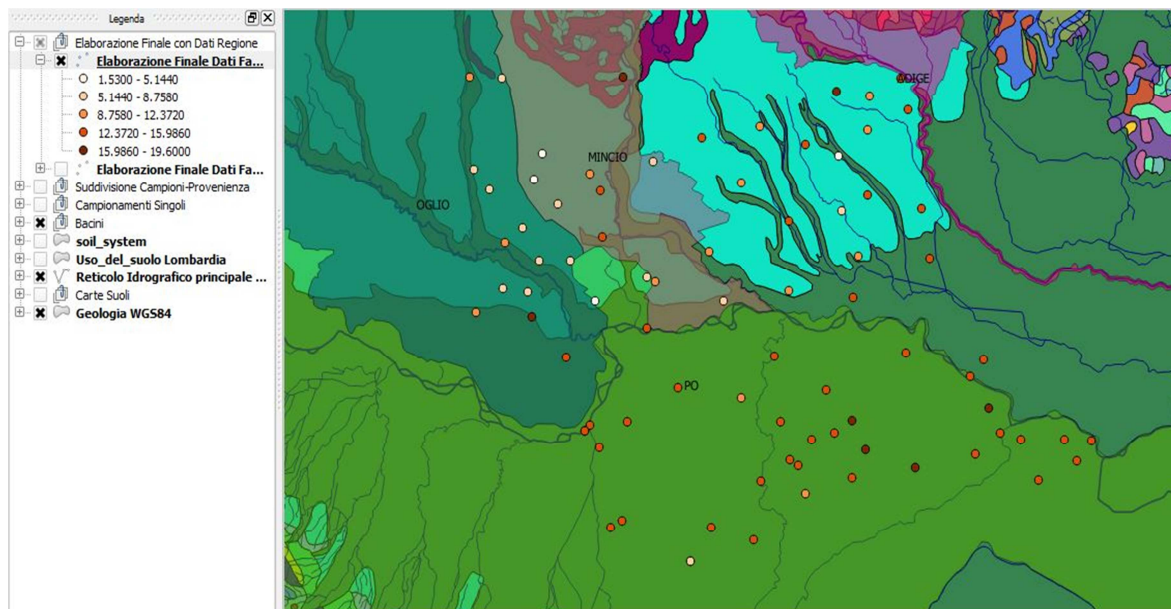


Fig. 38 - Mappa della composizione percentuale in Al₂O₃ dei campioni.

Come si può notare in Fig. 38, si ha una maggior percentuale di Al₂O₃ nei campioni di Appennino e Po (che ricadono nel bacino verde chiaro, Po) e Adige (che non ricadono in alcun Bacino, ma che per composizione mineralogica, successivamente verranno associati

a quel bacino). La prima difficoltà di assegnazione Campione-Bacino, c'è guardando i punti che non ricadono in nessuno dei bacini. Hanno comunque una composizione di Al_2O_3 piuttosto alta, che sono stati attribuiti all'Adige. Da questa immagine risulta chiaro anche che i Bacini Oglio e Mincio tendono ad avere basse concentrazioni di Al_2O_3 , seppur presenti qualche campione "anomalo" di cui successivamente cercheremo di dare spiegazione.

Altri elementi utili nella ripartizione sono stati CaO (Fig. 39) e MgO (Fig. 40) che consentono di suddividere i Bacini Oglio e Mincio. Iniziamo da quella CaO.

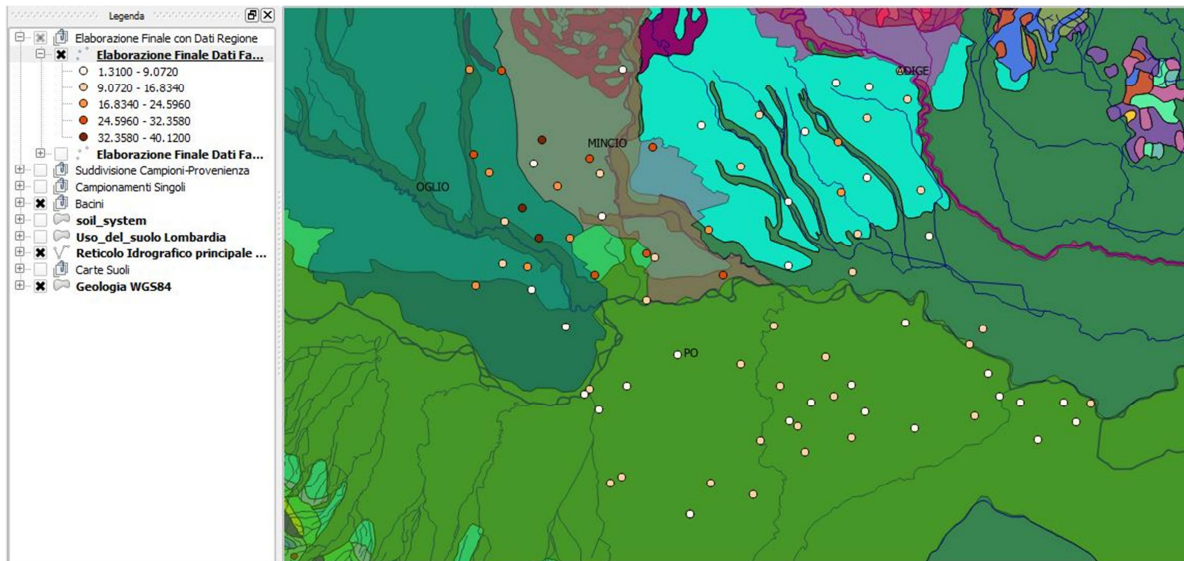


Fig. 39 - Mappa composizione percentuale CaO.

Da questa carta (Fig. 39) è chiaro che i Bacini Oglio e Mincio, hanno maggiori concentrazioni di CaO rispetto agli altri bacini, e se integrata con i dati di MgO consente una separazione soddisfacente tra le due provenienze, con l'Oglio caratterizzato da alte concentrazioni di MgO (Fig. 40).

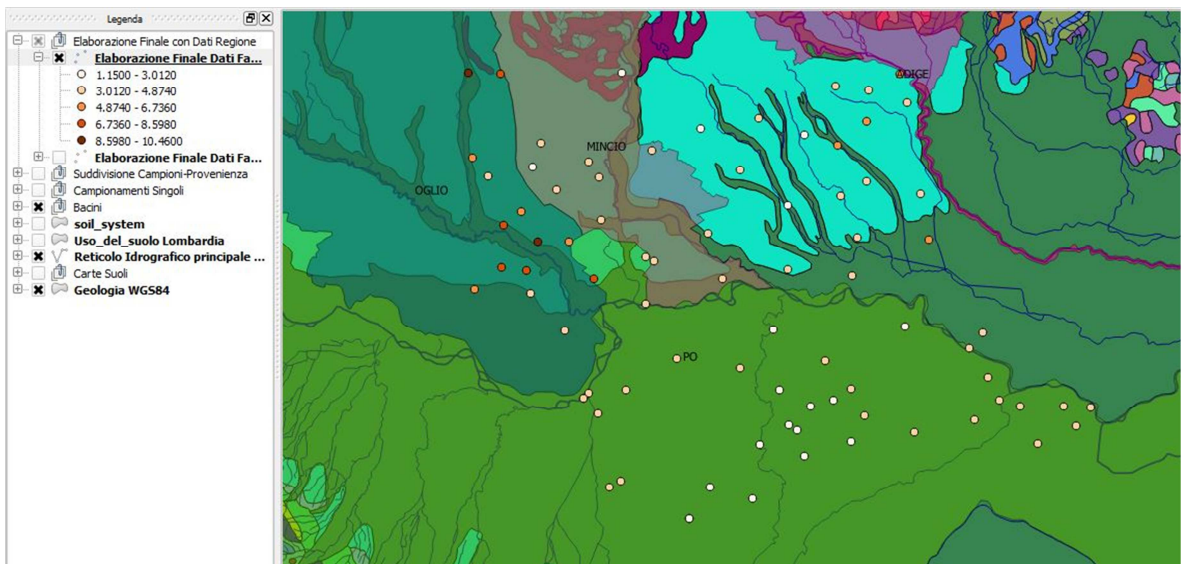


Fig. 40 - mappa composizione percentuale di MgO.

In entrambe queste mappe (CaO-MgO) si notano campioni anomali, gli stessi anomali per Al_2O_3 , il cui significato verrà discusso successivamente..

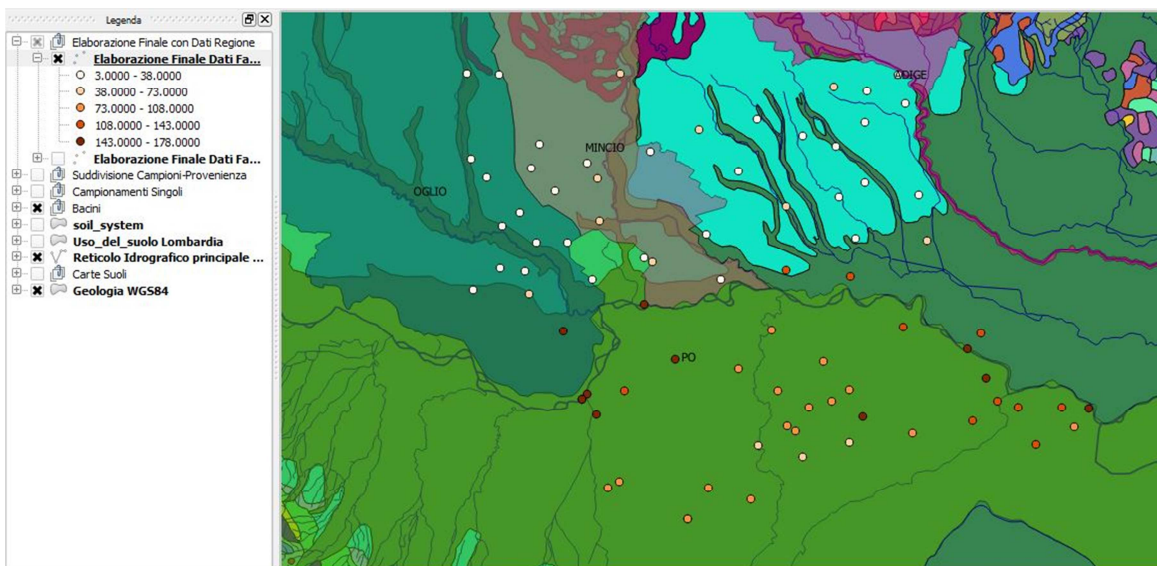


Fig. 41 - Mappa concentrazione Ni.

Da questa mappa (Fig. 41), sono evidenziati i campioni che hanno un'elevata concentrazione di Ni, chiaro indicatore della provenienza del bacino Po, quindi utile per separare la provenienza del Po, da Appennino e Adige. Si notano dei campioni con alta concentrazione, che non ricadono nel Bacino Po, ma sono di chiara provenienza Po. Utilizzando queste mappe, sono riuscito a fare una divisione campioni-Bacini.

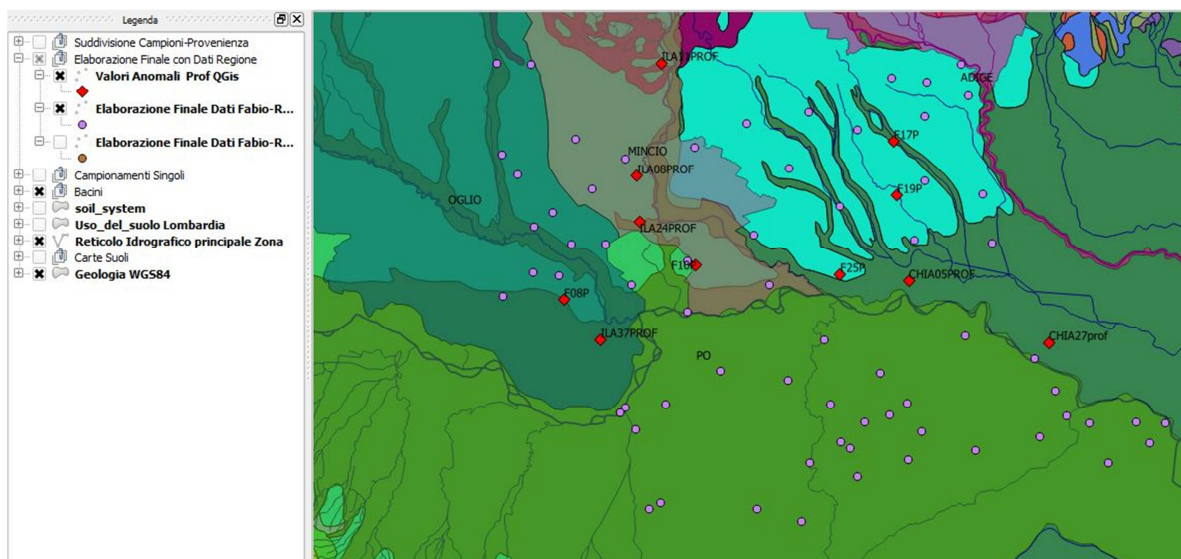


Fig. 42 - Campioni che dalle immagini sopra, risultano “anomali” nei bacini assegnati, a cui cercheremo di dare una spiegazione.

Come si può notare da questa immagine (**Fig. 42**), 11 campioni, risultano con valori anomali rispetto ai relativi bacini. Alcuni di questi spiegati successivamente nella trattazione dei campioni, come “anomalia” con spiegazione Geologica, o per processi pedogenetici, che portano ad un impoverimento o un arricchimento in determinate componenti. Altri invece, come ILA 37, F25, CHIA05 e CHIA 27, vengono abbinati a determinati bacini, come posizione geografica, ma da analisi e immagini già pubblicate sopra, risultano avere una composizione simile ai campioni che vengono associati al Po, quindi nonostante siano in bacini che non sono quelli del Po, vengono associati a quest’ultimo. Il fatto che abbiano un alto valore di Ni, mi porta a pensare che, essendo tutta la zona di interesse di questo lavoro una zona prettamente agricola, le colture possano essere irrigate sistematicamente da acque del Po, che quindi portano ad un arricchimento di elementi caratteristici del bacino del Po, oppure zone che periodicamente possono essere soggette ad inondazioni da parte di questo fiume, e che quindi, porta sedimenti appartenenti al Po, in zone che generalmente non sono oggetto di deposizione di questi sedimenti. Di seguito, si procede all’analisi, e interpretazione dei dati Profondi, più significativi per determinare l’origine del materiale parentale e quelli superficiali, dove cerchiamo di vedere se i valori superficiali, ci confermano questa tipologia di andamento.

Nei grafici che seguiranno si è utilizzata una simbologia comune che identifica i punti sulla base delle attribuzioni di provenienza (**Fig. 43**).

Symbols & colours by group



Fig. 43 - Legenda suddivisione Bacini.

A favore delle ipotesi sopra fatte, si prosegue l'interpretazione dei dati con dei grafici Ternari. Iniziando con l'analisi del grafico ternario relativo alle percentuali in Ossidi dei campioni

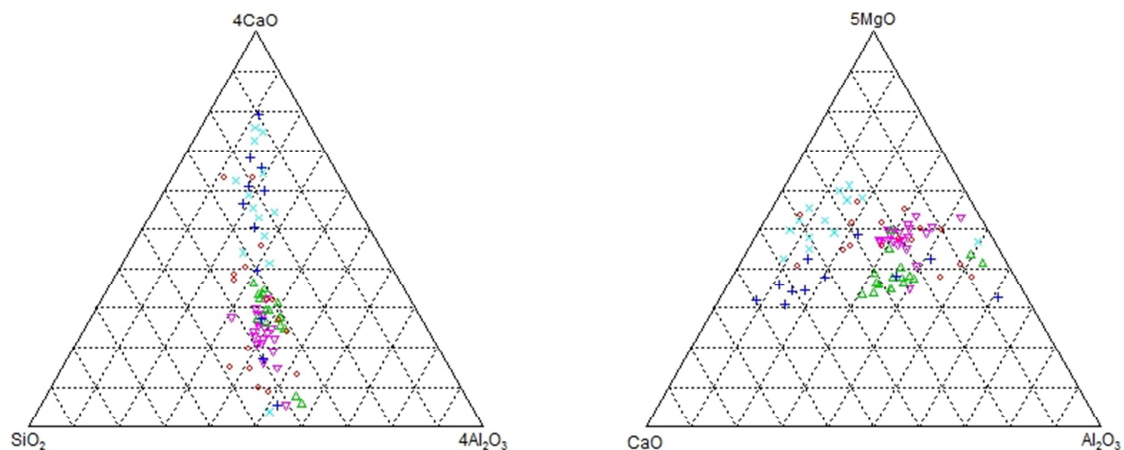


Fig. 44 - Diagrammi ternari degli ossidi (dati profondi).

Per una discriminazione efficace delle provenienze risultano particolarmente efficaci i grafici di Fig. 44. Il grafico con SiO_2 - 4CaO - $4\text{Al}_2\text{O}_3$ identifica le provenienze Oglio e Mincio marcate da una maggiore proporzione di CaO . Mentre SiO_2 e Al_2O_3 , tendono a marcare una provenienza da parte di Appennino, Po e Adige. Il grafico ternario CaO - 5MgO - Al_2O_3 separa in maniera significativa 4 provenienze, mentre evidenzia una certa eterogeneità per quei campioni che sono stati attribuiti all'Adige, mentre risultano piuttosto raggruppati e separati (a parte qualche campione anomalo), i bacini Mincio, che si separa bene dal Bacino Oglio per la diversa percentuale in composizione di CaO - MgO . I campioni del Mincio tendono ad avere una maggior percentuale di CaO , mentre i campioni

dell'Oglio mostrano una percentuale maggiore di MgO. Questi due bacini, vengono separati da Po e Appennino, grazie alla diversa percentuale di Al_2O_3 , tendenzialmente maggiore, anche se qualche campione di Mincio, tende a posizionarsi nei campi di Po e Appennino, a causa dell'elevata percentuale di Al_2O_3 . I campioni dei bacini Po e Appennino, possono essere separati, per la diversa percentuale in composizione di MgO, maggiore nel Po, rispetto all'Appennino. Ora si procede con l'analisi di un grafico ternario degli elementi in traccia (Fig. 45). Tra tutti quelli fatti, quello che risulta più utile e chiaro alla separazione dei materiali parentali e la loro associazione a determinati bacini, è il grafico utilizzato per i suoli superficiali.

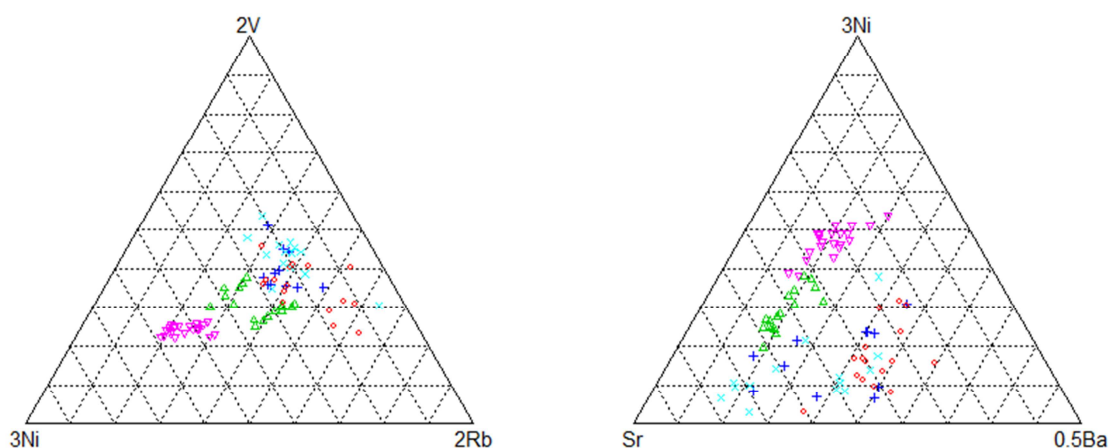


Fig. 45 - Diagrammi ternari Elementi in traccia (dati profondi).

Dal grafico ternario 3Ni-2V-2Rb, si può notare che i campioni attribuiti al fiume Po risultano avere proporzione maggiore di Ni, ed anche le provenienze appenniniche sono tendenzialmente più arricchite in questo elemento rispetto alle altre. Il Rb potrebbe essere utile per separare Appennino da Po. Anche se da questo grafico, sembrano esserci 2 famiglie di sedimenti sia in Appennino che in Adige. Il grafico ternario Sr-3Ni-0.5Ba, risulta più chiaro nella divisione tra Appennino-Po e Adige, quest'ultimo, più ricco in Ba, rispetto agli altri due bacini. Mentre Sr, può esser utile per distinguere le provenienze appenniniche da quelle del Po.

Nella sezione seguente verranno discussi alcuni grafici binari di confronto tra elementi, per evidenziare e discutere eventuali anomalie. Il grafico SiO_2-K_2O (Fig. 46) evidenzia una tripartizione del bacino Adige. Sono da notare anche alcuni campioni appartenenti ai bacini Oglio e Mincio che hanno una componente silicatica di molto maggiore rispetto alla maggior parte dei campioni analizzati, generalmente con una composizione silicatica compresa tra 20-40%. Degni di nota anche due campioni appartenenti a zone di possibile influenza appenninica che hanno una maggior componente potassica rispetto agli altri campioni. Il campione F25, campionato in **Haplic Vertisols** impostatisi su detriti alluvionali terrazzati, fluviolacustri e fluvioglaciali. Tramite analisi statistica dei dati risulta che il

campione F25 appartiene al bacino del Po, ma ha un valore molto alto di LOI rispetto agli altri campioni dello stesso bacino, quindi, potrebbe essere un dato che falsa l'analisi. Avendo prelevato i campioni in campi agricoli, lontani il più possibile da strade trafficate, potrei aver campionato del terreno concimato, e da qui l'elevato contenuto di materia organica.

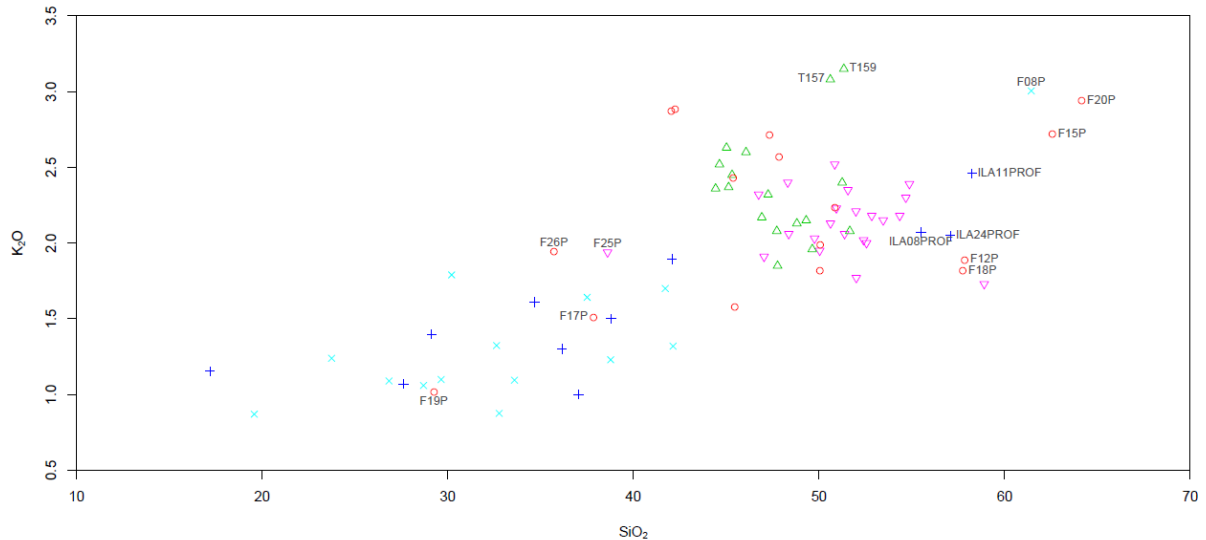


Fig. 46 - Grafico binario $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ (dati profondi).

Passiamo ad analizzare il grafico $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (Fig. 47). In questo grafico binario, analizzando i campioni appartenenti al bacino dell'Adige sembrano evidenti 2 "famiglie" di provenienza, una con una percentuale di Al_2O_3 inferiore al 10% e una che va da 12-16% circa, mentre se guardiamo la percentuale di composizione di Fe_2O_3 , solo un campione, l'F17, si discosta di molto dalla composizione media dei campioni del bacino. Procedendo con i campioni del Mincio e dell'Oglio, abbiamo campioni, rispettivamente 3 e 1, con una percentuale di Al_2O_3 , di molto maggiore rispetto agli altri, mentre la percentuale di Fe_2O_3 non aiuta a differenziare la provenienza. Per quanto riguarda il Po e l'Appennino, abbiamo rispettivamente, 1 e 2 campioni con una percentuale di Al_2O_3 maggiore rispetto alla maggior parte dei campioni dei bacini. E particolare nota per il campione T157, con una percentuale di Fe_2O_3 molto alta, rispetto agli altri campioni dell'Appennino. I campioni F13-F14-F16 e F26, sono stati campionati su **Haplic Vertisols**, impostatisi su detriti alluvionali terrazzati, fluviolacustri e fluvioglaciali.

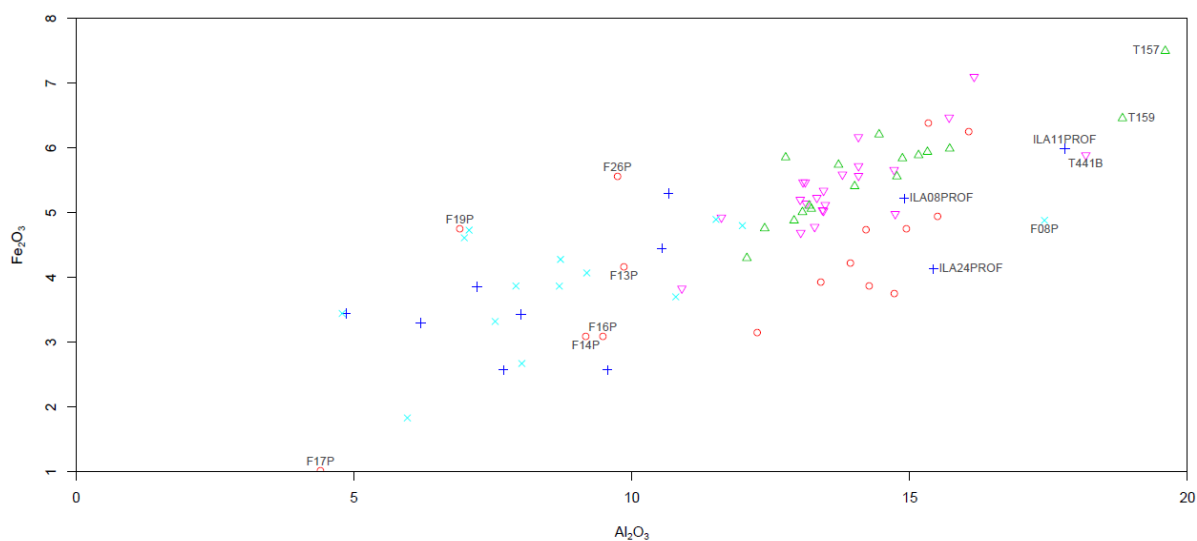


Fig. 47 - Grafico binario Al_2O_3 - Fe_2O_3 (dati profondi).

Il campione T441B, appartenente al bacino Po, ha una percentuale in Al_2O_3 più alta, rispetto agli altri campioni. E' stato campionato su **Hypercalcic Calcisols – Fluvic Cambisols** impostatisi su depositi alluvionali, fluviolacustri e sabbie fluviali. Visto dove è stato prelevato il campione, mi viene da pensare che possa aver avuto apporti di materiale argilloso da parte dei fiumi-torrenti dell'Appennino, poiché i valori alti di Ni-Cr mi portano a pensare che sia sicuramente Po, ma l'unica spiegazione plausibile per l'alta percentuale di Al_2O_3 , potrebbe esser proprio un apporto terrigeno da fonti differenti.

Passiamo all'analisi del grafico CaO-MgO (Fig. 48). Da notare in questo grafico sono 2 campioni appartenenti al bacino dell'Adige con una percentuale piuttosto alta in CaO rispetto agli altri campioni. Un'altra osservazione è che ci sono 4 campioni del Mincio, 1 dell'Oglio e 2 dell'Appennino che hanno una percentuale di CaO nettamente più bassa rispetto alla maggior parte dei campioni appartenenti ai relativi bacini. I campioni F17 e F19, appartenenti al bacino dell'Adige, sono stati campionati su **Haplic Vertisols** impostatisi su depositi alluvionali, fluviolacustri e sabbie fluviali (F17) e su detriti alluvionali terrazzati, fluviolacustri e fluvioglaciali (F19). La motivazione all'anomalia è da cercare nella geologia del bacino a monte, dove possiamo trovare rocce carbonatiche di vario tipo, come Carbonati, Dolomie, Calcareniti, Marne e altro, come anche Marmi o comunque rocce metamorfiche, di composizione carbonatica. Uno dei due campioni, F17, ha una percentuale di MgO, piuttosto elevata, la quale mi porta a pensare ad un apporto maggiore da parte di rocce più ricche di minerale Dolomite, rispetto al campione F19.

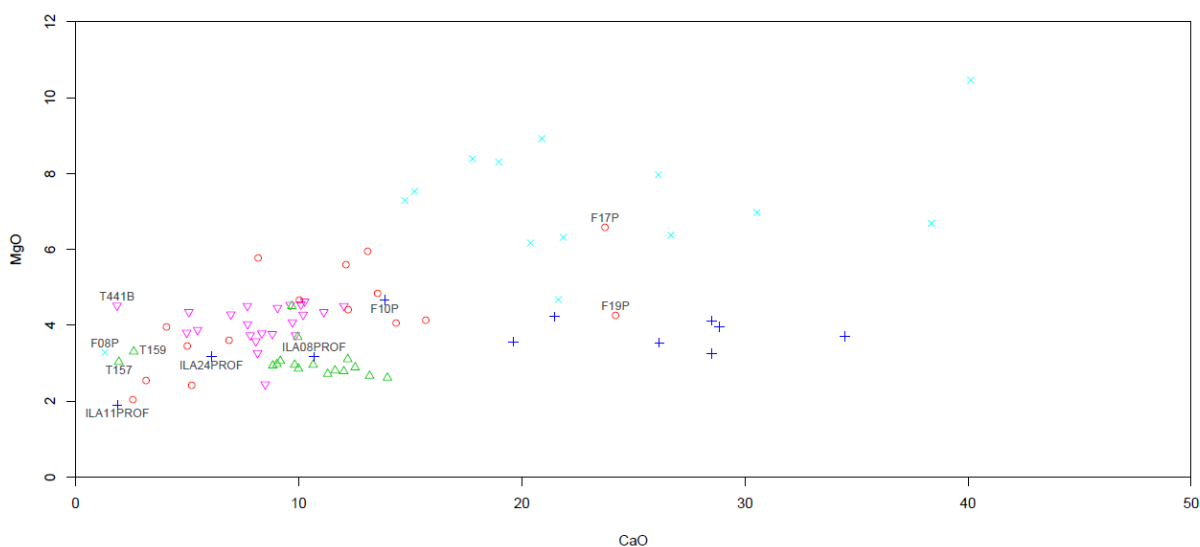


Fig. 48 - Grafico binario CaO-MgO (dati profondi).

I campioni F10, ILA08 e ILA24, appartenenti al Mincio, risultano avere una percentuale di CaO minore rispetto agli altri campioni appartenenti sempre al bacino del Mincio, in più va aggiunto che i campioni ILA08 e ILA24, hanno una percentuale di composizione felsica e sialica maggiore rispetto agli altri campioni del bacino. Tutti e 3 i campioni, sono stati prelevati su **Cutanic Luvisols** – **Haplic Vertisols** impostatisi su detriti alluvionali terrazzati, fluviolacustri e fluvioglaciali. Possiamo tentare di dare una spiegazione sull'anomalia, grazie ai processi pedogenetici, caratteristici di questi suoli, che portano ad una decarbonatazione del suolo. Dal punto di vista geologico, a monte del bacino del Mincio ci sono Marne, Calcari e Dolomiti e quindi dovremmo attenderci alta concentrazione di CaO, come mostrato nella maggior parte dei campioni, e in minor parte la componente felsica e sialica, dovuta probabilmente dalla disgregazione e alterazione di rocce come Tonaliti, Graniti, Micascisti ecc.

Degni di nota sono anche i campioni T157 e T159, sono "anomali" in tutti e 3 i grafici. Il campione T157 è stato prelevato su **Gleyic Cambisols**, mentre il T159 è stato campionato su **Calcaric Arenosols** (trattati in precedenza, nei campioni superficiali) – **Hyposalic Vertisols**, tutti impostatisi su depositi alluvionali, fluviolacustri e sabbie fluviali. Le alte percentuale di Al_2O_3 , e l'alta percentuale di Fe_2O_3 nei campione 157, si possono spiegare sia guardando i processi pedogenetici, sia geologicamente, grazie al notevole apporto di materiale terrigeno-argilloso proveniente dalle formazioni geologiche dell'Appennino. Mentre osservando il grafico CaO-MgO, c'è un impoverimento di CaO in entrambi i campioni. Questo può essere dovuto ad apporti di materiale meno carbonatico e più silicatico e argilloso, tipici comunque del bacino Appennino.

Infine passiamo all'analisi dell'ultimo grafico Ni-V (**Fig. 49**). Questo grafico discute elementi largamente utilizzati in lavori di geochemica a scala regionale e separa efficacemente le provenienze, Appenniniche e del Po. Una cosa che si può notare è che ci

sono i 3 andamenti piuttosto separati e chiari dei campioni di Po, Appennino, e l'insieme di Oglio, Mincio e Adige. Da questo grafico, si è dedotto che le anomalie trattate non potevano essere imputate ad una errata assegnazione del bacino di provenienza. Piuttosto si può notare un discreto aumento di V, in 2 campioni, uno appartenente al Mincio e uno appartenente all'Oglio. Altra particolarità sono i valori piuttosto alti in Ni di 3 campioni, ILA06-ILA15 e ILA16.

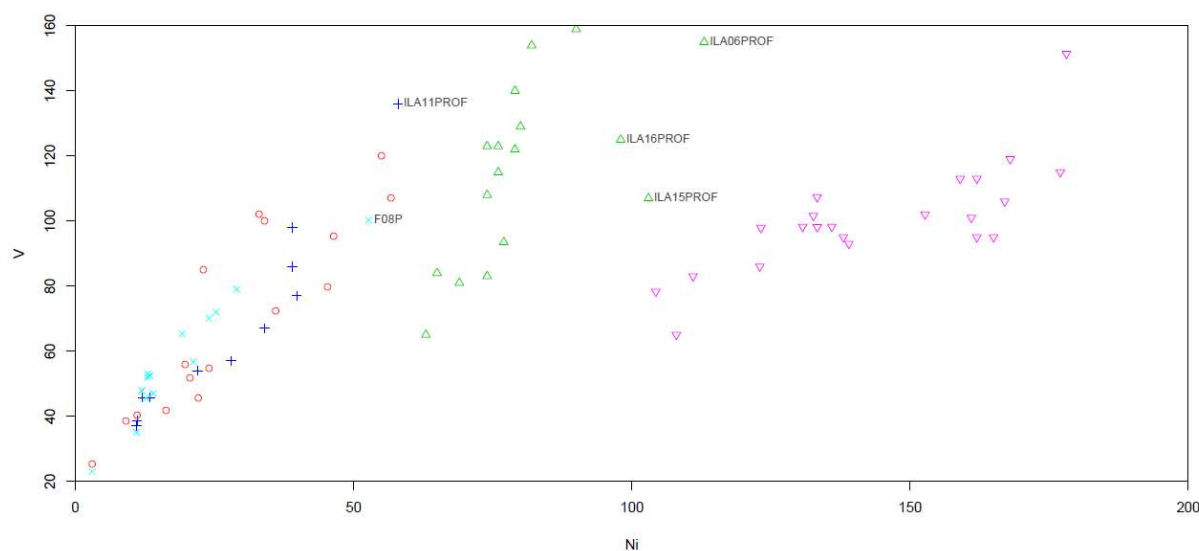


Fig. 49 - Grafico binario Ni-V (dati profondi).

Il campione F08, è stato prelevato in **Hypercalcic Calcisols – Cutanic Luvisols**, e ILA11, campionato su **Chromic Luvisols** impostati su detriti alluvionali terrazzati, fluviolacustri e fluvioglaciali. Vista la loro presenza, come anomalia in tutti i grafici sopra esposti, questo mi porta a pensare che la descrizione di questi suoli, Luvisols, potrebbe essere sufficiente per spiegare l'impoverimento in CaO e il contenuto di SiO₂, K₂O, Al₂O₃ come risultato della lisciviazione della parte carbonatica, che tende a far aumentare la percentuale delle componenti felsiche e sialiche, comunque presenti a monte dei bacini di alimentazione. Per spiegare l'anomalia in questi campioni anche di V e Ni, forse bisogna concentrarsi sulla geologia a monte del bacino, caratterizzata da litologie carbonatiche, vulcaniche e metamorfiche.

Passando ai tre campioni "anomali" appartenenti al bacino dell'Appennino, ILA06-ILA15 e ILA16, sono stati prelevati su **Hypercalcic Calcisols – Cutanic Luvisols** e su **Calcaric Cambisols** impostati su depositi alluvionali, fluviolacustri e sabbie fluviali. La provenienza appenninica, non è messa in discussione, ma a parer mio, potrebbero essere il risultato di una doppia provenienza, Appennino, con qualche arricchimento di elementi da parte di Po (a spiegazione dell'elevato contenuto di Ni).

Dati Superficiali

Anche per i dati superficiali verranno presentate elaborazioni simili, per discutere gli aspetti di provenienza evidenziati in precedenza sui campioni profondi e per evidenziare eventuali particolarità.

Dopo avere ripartito i campioni in base alla provenienza geografica **Tab. 14**, investighiamo i dati con l'ausilio di diversi strumenti con lo scopo di identificare segnali geochimici utili per identificare segnali caratteristici di provenienza. Alcune anomalie verranno discusse in dettaglio.

Tab. 14 - Ripartizione campioni in base alla provenienza geografica - numero di campioni.

Bacini	n° Campioni
Po	22
Oglio	13
Mincio	11
Appennino	17
Adige	16

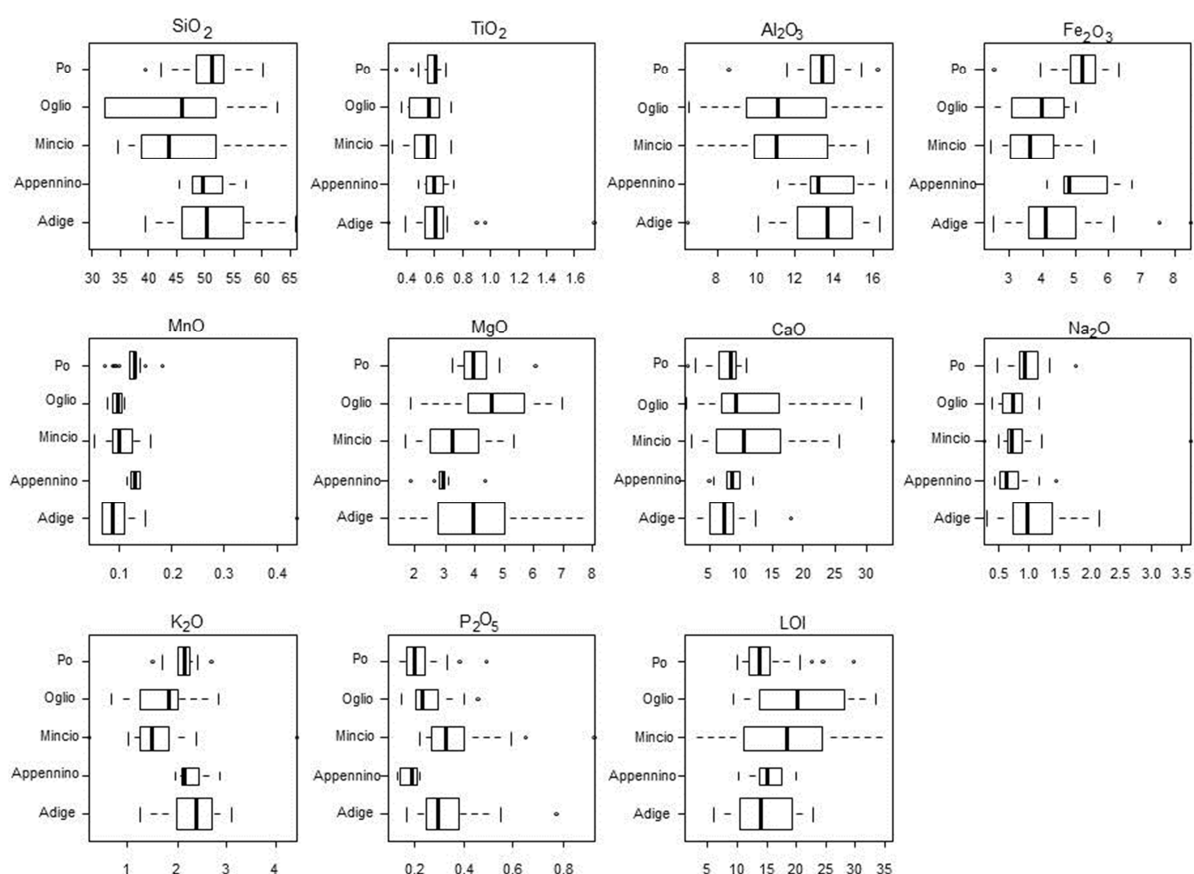


Fig. 50 - BoxPlot degli ossidi utili per identificare una provenienza (dati superficiali), in %.

Dalla **Fig. 50** si evidenziano, in confronto alla Fig. 40, alcune differenze. In generale si attenuano quelle che erano le differenze tra i gruppi evidenziate nei campioni profondi, in particolare per SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO . Alcuni elementi, come TiO_2 , MnO , Na_2O ,

P₂O₅, mostrano alcuni osservazioni anomale non presenti nel database dei campioni profondi. In ogni caso si mantengono quei segnali di differenza evidenziati dai campioni profondi, sia pure leggermente attenuati.

Analizzando i BoxPlot degli elementi in traccia (Fig. 51) si osserva che le differenze per Co, Cr, Ni, Sr e V evidenziate per i campioni profondi vengono mantenute, mentre si attenuano quelle per il Rb.

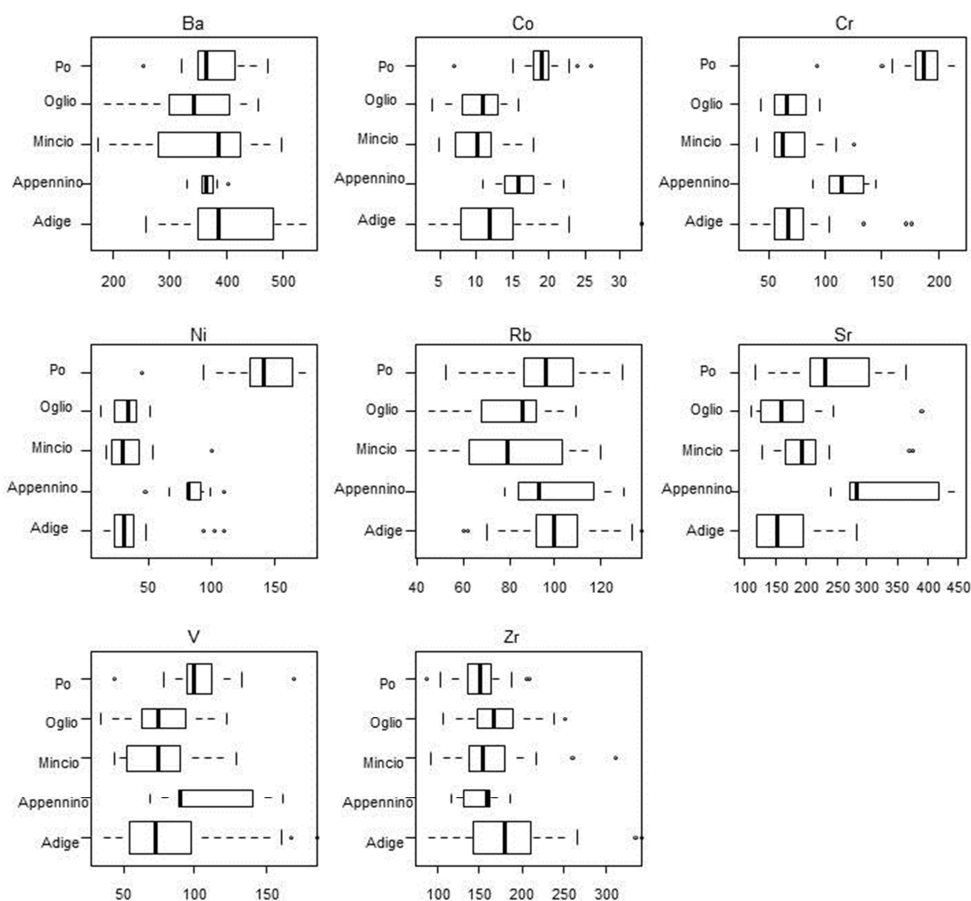


Fig. 51 - BoxPlot Elementi in traccia, utili per identificare una provenienza (dati superficiali), in ppm.

Gli stessi diagrammi già proposti per campioni profondi vengono riproposti per i campioni superficiali (Fig. 52)

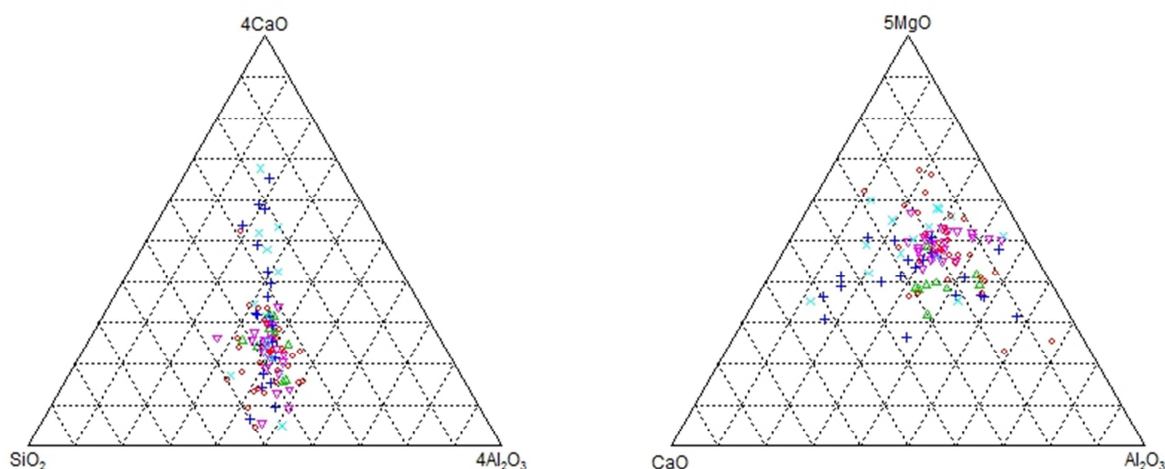


Fig. 52 - Diagrammi ternari degli ossidi (dati superficiali).

Il grafico di sinistra separa i campioni di Mincio ed Oglio dalle altre aree sorgente per via della maggior proporzione di CaO. I campioni del grafico a destra non separano in maniera così netta i campioni come nel caso dei profondi. I campioni di Oglio e Mincio si spostano verso composizioni più ricche in Al_2O_3 e tendenzialmente più disperse.

I diagrammi ternari riguardanti gli elementi in traccia (Fig. 53) confermano la loro efficacia nel discriminare le aree fonti. Rispetto ai campioni profondi risultano meno distinguibili i campioni attribuiti all'Adige, peraltro caratterizzati da proporzioni relativamente più alte di Ba.

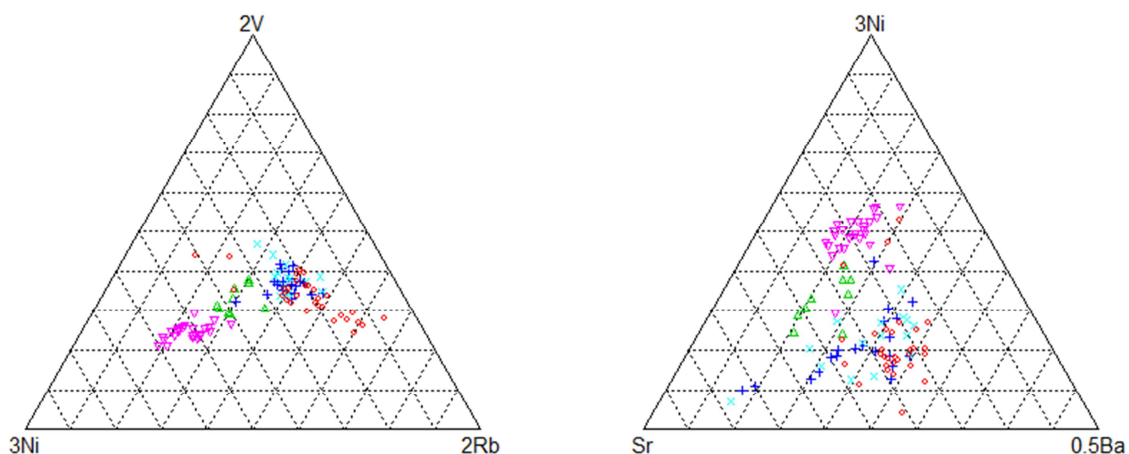


Fig. 53 - Diagrammi ternari Elementi in traccia (dati superficiali).

Dal diagramma ternario 3Ni-2V-2Rb, si può notare che c'è una divisione piuttosto buona tra i bacini Oglio-Mincio-Adige da una parte e Po e Appennino dall'altra. Inoltre possiamo affermare che il Rb tende a caratterizzare la provenienza riferibile all'Adige, rispetto a

tutti gli altri bacini, mentre il Ni caratterizza le provenienze appenninica e padana. Confrontando gli stessi grafici binari proposti per i campioni profondi e cominciando dal grafico $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ (Fig. 54) si evidenzia che una buona parte di campioni di Oglio e Mincio ha una composizione silicatica piuttosto bassa rispetto ai bacini Po, Appennino e Adige. All'interno della popolazione del Mincio ci sono però alcuni campioni anomali, molto più ricchi in SiO_2 (ILA11 e chia04), che si discostano notevolmente dagli altri. Alcuni dei campioni evidenziati risultano “anomali” in più grafici, quindi verranno analizzati più avanti.

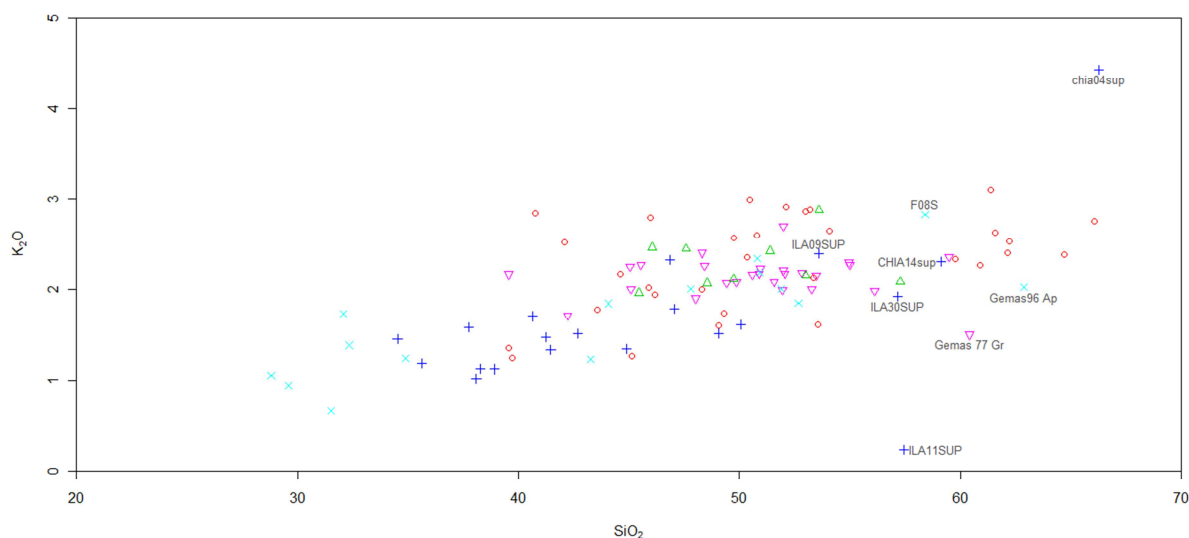


Fig. 54 - Grafico binario $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ (dati superficiali).

Il grafico $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (Fig. 55) mostra ampia variabilità anche se la maggior parte dei campioni di Oglio e Mincio risulta avere una composizione in Al_2O_3 medio-bassa. Sono evidenti campioni che si discostano di molto dai restanti, appartenenti ai medesimi bacini, come ad esempio F17 e Gemas 97Ap, lontani dagli altri campioni dell'Adige, e il Gemas 77Gr, lontano dagli altri campioni del Po. Le annotazioni rispetto a questi dati, saranno fatte successivamente, poiché risultano anomali in altri grafici, oltre al presente.

Il grafico CaO-MgO (Fig. 56) conferma le alte percentuali di CaO per i campioni appartenenti a Oglio e Mincio rispetto a quelli appartenenti a Po, Appennino e Adige. I campioni “anomali” che si discostano dall'andamento generale di tutti gli altri appartenenti ai vari bacini, sono F08, chia04 e F17, appartenenti, rispettivamente a, Oglio, Mincio e Adige.

Analizzando in primis, i campioni che risultano anomali solamente in questo grafico troviamo, ILA07 e ILA25, entrambi con una percentuale di CaO piuttosto bassa. Entrambi i campioni sono prelevati su Eutric Fluvisols – Calcaric Regosols, impostatisi su depositi alluvionali terrazzati, fluviolacustri-fluvioglaciali (ILA07) e alluvionali fluviolacustri-sabbie fluviali (ILA25). La descrizione dei suoli, non ci aiuta a spiegare queste anomalie.

Geologicamente, il bacino del Mincio, ha a monte, Calcari, Dolomie, ma anche Graniti, Tonaliti, Riodaciti e altre rocce intrusive a componente sialica, questo potrebbe spiegare

le anomalie anche in SiO_2 e Al_2O_3 . Il campione appartenente all'Oglio, Gemas 96Ap, risulta "anomalo" in 2 grafici, $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ e CaO-MgO . Questo campione è stato prelevato su **Calcaric Regosols** impostatisi su depositi alluvionali, fluviolacustri e fluvioglaciali. L'elevata percentuale in SiO_2 può essere spiegata dalla Geologia a monte del bacino. Anche per questo campione, valgono le stesse osservazioni, fatte poche righe sopra. Il campione F17, risulta anomalo in 2 grafici binari, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ e CaO-MgO . Questo campione risulta molto scarso in Fe_2O_3 e in Al_2O_3 , rispetto alla maggior parte degli altri campioni appartenenti al bacino dell'Adige, mentre risulta molto ricco in CaO e MgO rispetto agli altri campioni. E' stato campionato su **Haplic Vertisols**, impostatisi su depositi alluvionali, fluviolacustri e fluvioglaciali. I processi pedogenetici non ci aiutano molto, ma geologicamente, a monte del bacino Adige, possiamo trovare come materiale parentale Calcari, Marne e Dolomiti presenti in maniera piuttosto abbondante, e questo potrebbe spiegare che questo campione si trova in una zona dove c'è stato un maggior apporto, da rocce carbonatiche, rispetto a quelle dolomitiche.

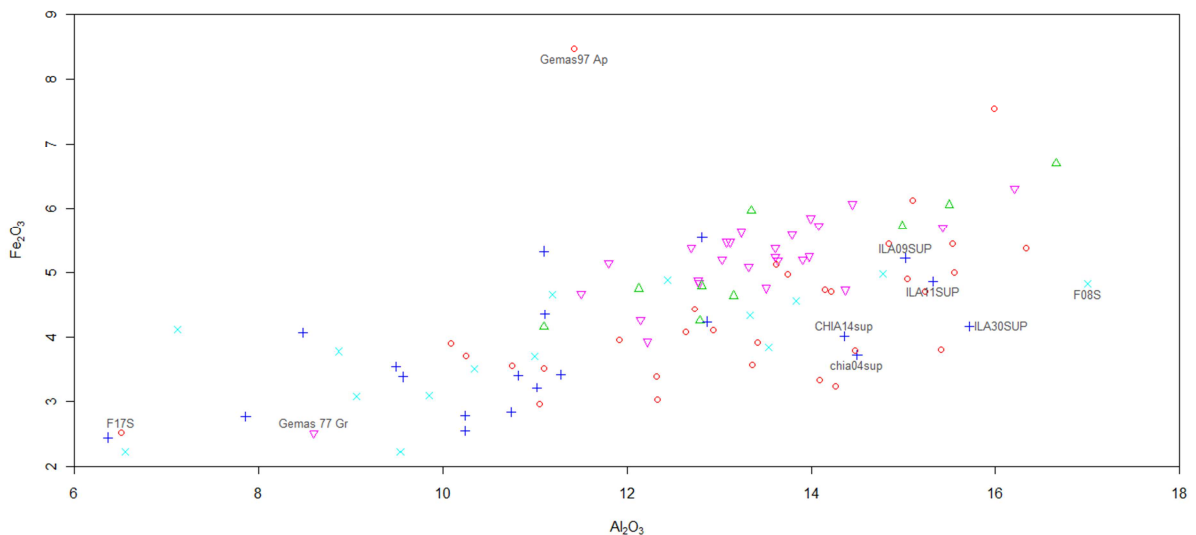


Fig. 55 - Grafico binario $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (dati superficiali).

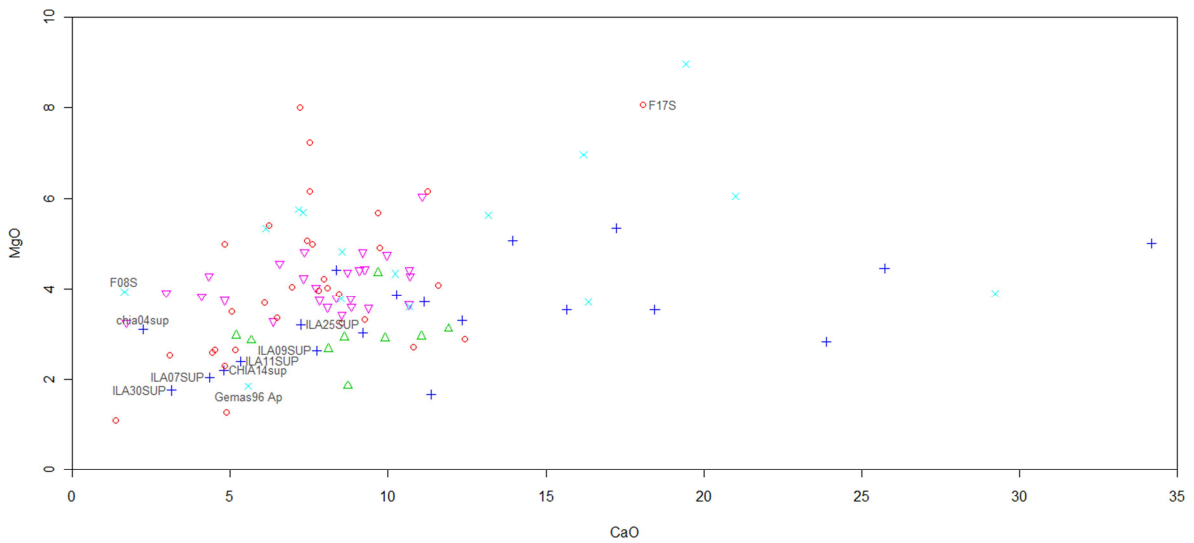


Fig. 56 - Grafico binario CaO-MgO (dati superficiali).

Infine, F08 (Oglio), ILA09-ILA11-ILA30 e chia14 (Mincio), risultano anomali in tutti e 3 i grafici binari sopra analizzati. I Campioni ILA09 e chia 14 sono prelevati su **Cutanic Luvisols** – **Haplic Vertisols**, ILA11, è prelevato su **Chromic Luvisols**, ILA30 è campionato su **Cutanic Luvisols** – **Humic Regosols** mentre il campione F08 è campionato su **Hypocalcic Calcisols** – **Cutanic Luvisols** tutti impostatisi su depositi alluvionali terrazzati, fluviolacustri-fluvioglaciali. Tutti questi campioni mostrano un relativamente basso contenuto di CaO. I Luvisols, sono suoli argillosi lisciviati, si sono impostati su materiali calcarei, con un'apprezzabile quantità di argilla. Da queste descrizioni è verosimile immaginare che siano diffusi fenomeni di decarbonatazione in seguito a processi pedogenetici che hanno ridotto la percentuale di CaO incrementando relativamente le concentrazioni di Al_2O_3 e SiO_2 .

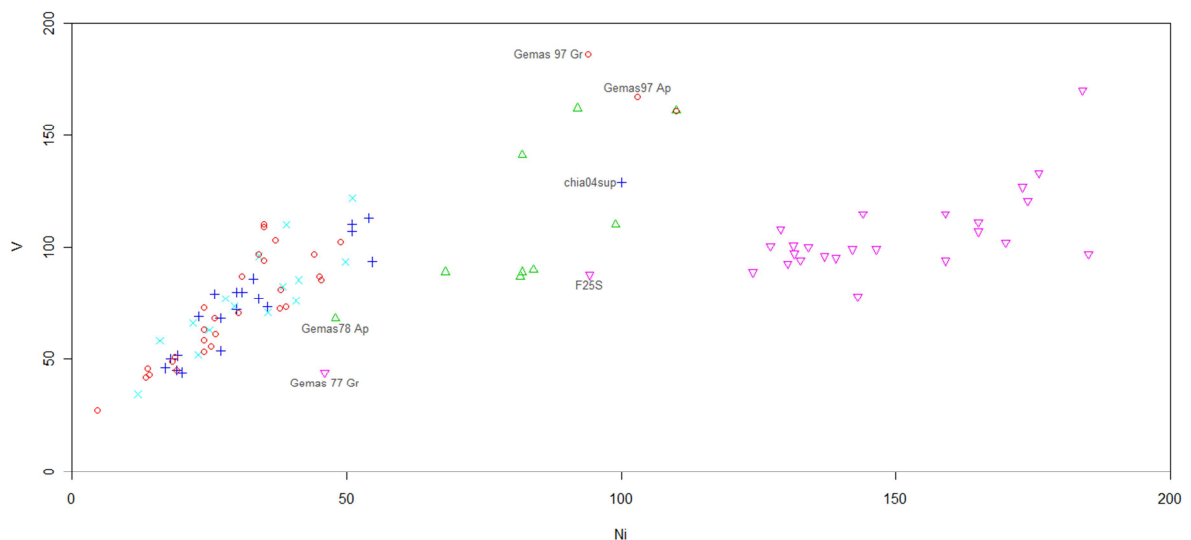


Fig. 57 - Grafico binario Ni-V (dati superficiali).

Il grafico (Fig. 57) evidenzia la netta separazione dei campioni attribuiti a Po e Appennino rispetto a Oglio-Mincio-Adige anche se sono evidenti alcuni campioni anomali: 3 campioni di Adige (di cui uno si sovrappone ad un campione di Appennino), 1 campione del Mincio e uno appartenente al bacino Po. Il campione Gemas 97Gr, anomalo solo in questo grafico, è stato prelevato in **Calcaric Regosols** – **Haplic Calcisols** impostatisi su calcari e calcareniti neritici e di piattaforma. La descrizione dei suoli non aiuta a spiegare le anomalie, mentre geologicamente troviamo a monte del punto di campionamento, Calcari, Calcareniti e Marne, circa le stesse rocce che possiamo trovare, insieme alle Argille, nell'Appennino, e forse da qui questa similitudine nei valori di Ni e V. Negli altri grafici non è stato possibile discriminare con soddisfazione tra Adige e Appennino mentre invece Ni e V riescono a discriminare queste due provenienze. Non si mette in discussione l'assegnazione al bacino, più che corretta. Oppure un'altra spiegazione, potrebbe essere un inquinamento antropico, visto che parliamo sempre di suolo superficiale.

Il campione Gemas 78Ap, è stato prelevato su **Calcaric Cambisols** impostatisi su depositi alluvionali fluviolacustri-sabbie fluviali. Una possibile spiegazione per questa anomalia è legata al contesto geologico che vede nelle località a monte del campionamento, Unità sabbiose e conglomerati, unità arenacee e arenaceo-marnose, che possono spiegare questo aumento di SiO_2 a discapito della componente carbonatica.

Il campione F25 risulta essere anomalo rispetto alla maggior parte dei campioni del Po. Questo campione è stato prelevato su **Haplic Vertisols** impostatisi su depositi alluvionali terrazzati, fluviolacustri-fluvioglaciali. Si può spiegare geologicamente questa anomalia, ovvero la bassa concentrazione di Ni, oppure semplicemente una granulometria differente che porta ad avere concentrazioni differenti. E' un campione un po' problematico da "classificare" soprattutto considerando che rappresenta un suolo superficiale, eventualmente soggetto a inquinamento o a inondazioni che possono portare un differente apporto. In più la sua posizione geografica è prossima al Po e al Mincio, ma secondo la carta dei bacini risulta in uno spazio intermedio a questi e all'Adige.

Il campione Gemas 97Ap, anomalo nei grafici $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ e Ni-V, è stato prelevato in **Fluvic Cambisols** impostatisi su depositi alluvionali terrazzati, fluviolacustri-fluvioglaciali. L'unica spiegazione a queste anomalie si può ottenere considerando la geologia a monte del campionamento. Il fiume che può aver portato il materiale parentale, sulla quale si è impostato il suolo, riceve sedimenti da rocce basaltiche alcaline, questo spiega l'elevatissimo contenuto di Fe_2O_3 , "anomalo" nel grafico $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$, e anche dell'elevato contenuto di Ni-Cr e V. Il campione Gemas 77Gr, è stato campionato in **Calcaric Arenosols** impostatisi su depositi alluvionali fluviolacustri-sabbie fluviali. Risulta "anomalo" in 3 grafici: $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$, dove mostra un elevato contenuto percentuale di SiO_2 ; nel grafico $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$, dove mostra una bassissima percentuale di Al_2O_3 ; nel grafico Ni-V con un basso contenuto di Ni e V, questo potrebbe essere associabile ad un forte apporto sabbioso da parte dell'appennino, che immettendosi nel Po, può influenzare tali concentrazioni, anche perché il Po è l'unico fiume che può aver scaricato sedimenti in

quel punto. Anche in questo caso quindi abbiamo una spiegazione di tipo geologico per spiegare questa “anomalia”.

Proseguendo, l'ultimo campione, chia04, risulta anomalo in tutti e 4 i grafici. Questo campione è stato campionato su **Cutanic Luvisols** – **Haplic Vertisols** impostatisi su depositi alluvionali fluviolacustri-sabbie fluviali. Questo campione è stato associato al bacino Mincio, ma risulta avere una percentuale di SiO_2 e K_2O decisamente maggiore rispetto agli altri campioni del gruppo. Ha una percentuale piuttosto alta anche in Al_2O_3 e una percentuale CaO piuttosto bassa. Le anomalie in SiO_2 , K_2O , Al_2O_3 e CaO , possono essere spiegate, tramite il processo pedogenetico di lisciviazione della componente carbonatica e un arricchimento nella componente silicatico-argillosa. Geologicamente, per la quantità di Ni e V, potrebbe essere associabile all'Appennino, se non fosse dall'altra sponda del Po. Controllando il campione profondo, risulta evidente che non può appartenere a Po o Appennino, a causa di una bassissima concentrazione degli elementi caratteristici di questi due bacini. Quindi una conclusione plausibile per avere alte concentrazioni di questi 2 elementi nella parte superficiale del suolo potrebbe essere legato a due momenti diversi nella deposizione, una antica affine al Mincio ed una successiva attribuibile ad altre fonti.

Qualità del suolo

In questa sezione verranno discussi aspetti relativi alla qualità del suolo, concentrando l'attenzione su alcuni elementi di particolare interesse ambientale tra quelli che sono stati analizzati (As, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V e Zn). Alcuni di questi sono già stati discussi nelle precedenti sezioni come ottimi indicatori di provenienza quindi si cercherà di valutare se esistono differenze attribuibili alla stessa origine anche a carico di altri elementi. L'obiettivo è quello di identificare possibili valori di riferimento utilizzabili in considerazioni successive selezionati in base alle caratteristiche geochemiche legate alla provenienza del materiale alluvionale. I campioni profondi verranno discussi con questo obiettivo.

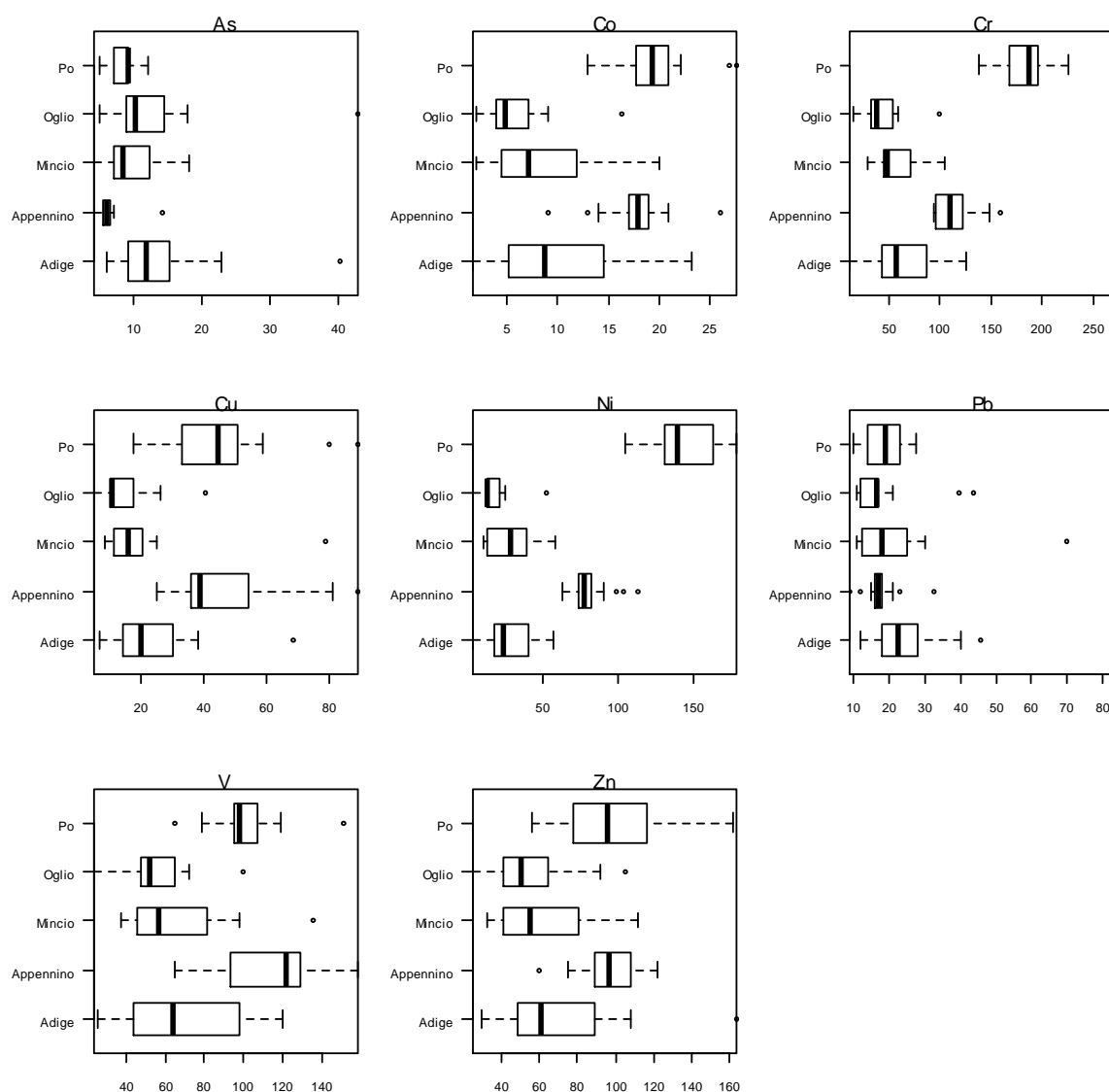


Fig. 58 - BoxPlot con elementi in traccia di interesse ambientale (dati profondi), in ppm.

In Fig. 58 sono rappresentati gli elementi in traccia ad interesse ambientale che mostrano alcune differenze sistematiche tra le aree geografiche di provenienza del sedimento. In particolare, come già segnalato il Po si caratterizza per gli altissimi valori di Cr e Ni e

comunque anche alte concentrazioni di Co, Cu, Ni, V, Zn questi ultimi condivisi con provenienze appenniniche. L'arsenico mostra un segnale diverso, con mediane leggermente più elevate per le provenienze Oglio e Adige, quest'ultimo mostrando anche una significativa dispersione. Il piombo non mostra invece differenze apprezzabili.

Occorre segnalare la presenza di alcuni outliers per As (concentrazione superiore a 40 ppm), per Pb (numerosi campioni con concentrazioni > 40ppm) e Cu che ha numerosi campioni superiori a 60 ppm.

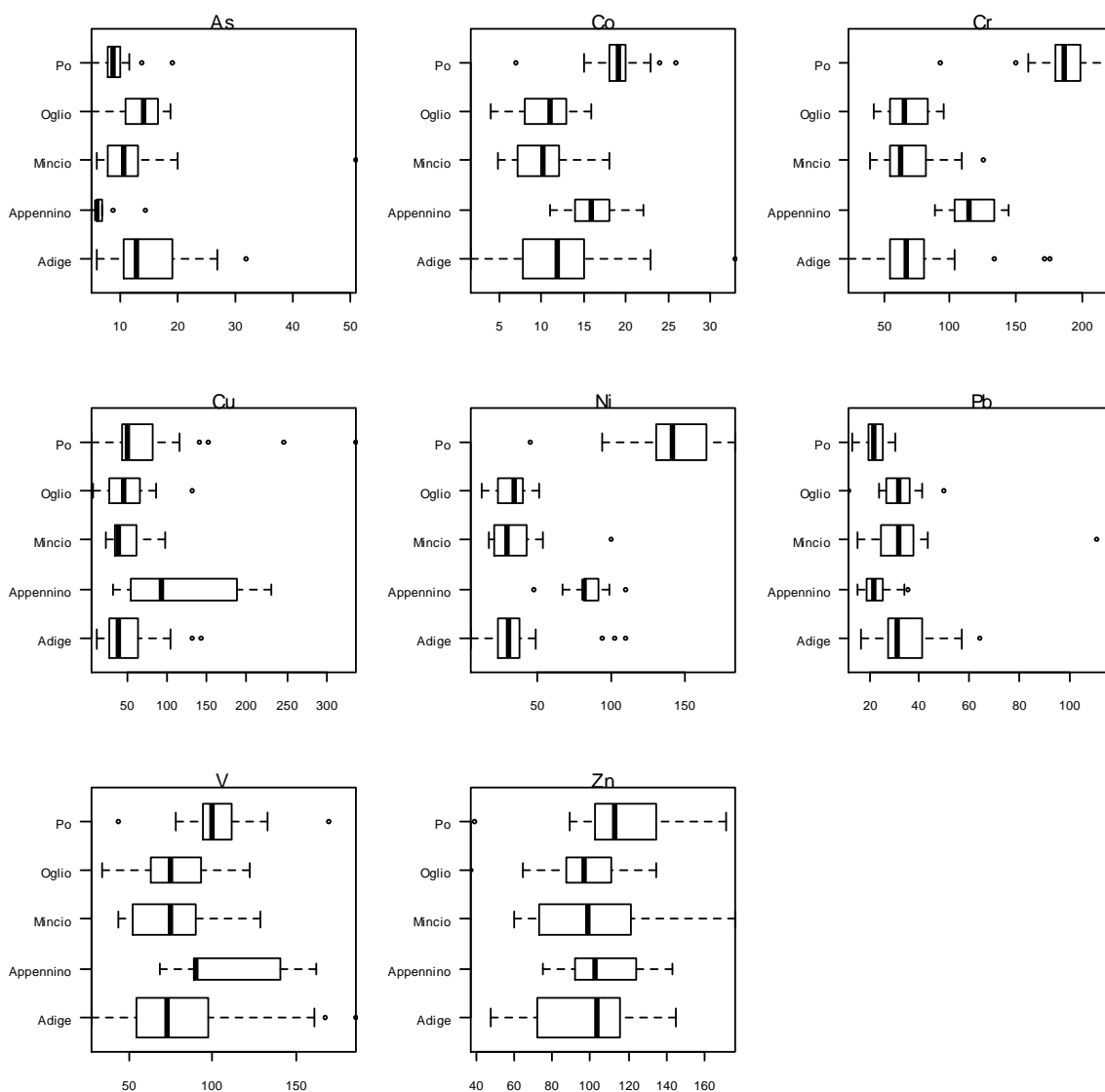


Fig. 59 - BoxPlot con elementi in traccia di interesse ambientale (dati superficiali), in ppm.

Nei campioni superficiali (Fig. 59) si confermano alcune differenze legate ai segnali di provenienza già discussi in precedenza e si segnala l'importante variazione degli intervalli di concentrazione per il Cu e per il Pb.

Elaborazione cartografica delle concentrazioni degli elementi di interesse ambientale (As, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V e Zn) nell'area di interesse.

(Tenendo in considerazione il fatto che per alcune stazioni di campionamento, abbiamo solo valori superficiali.)

Arsenico:

È l'elemento chimico di numero atomico 33, di simbolo As. È un semimetallo che si presenta in tre forme allotropiche diverse: gialla, nera e grigia. I suoi composti hanno trovato impiego, in passato, come erbicidi ed insetticidi. È inoltre usato in alcune leghe. L'arsenico e molti dei suoi composti sono veleni particolarmente potenti. In passato, l'arsenico è stato usato anche come pigmento per pitture, nelle concerie e ha avuto grande importanza anche in campo medico (Alloway, 1990).

Allo stato nativo, l'arsenico è molto raro in cristalli, abitualmente in masse granulari, massicce, fragili, di colore bianco stagno e con lucentezza submetallica. L'arsenico si ottiene per riduzione con carbone dell'anidride arseniosa, ottenuta come sottoprodotto della metallurgia di minerali arsenicali. I suoi stati di ossidazione nei composti sono generalmente -3, +3 e +5. Il più diffuso e importante minerale di arsenico, anche dal punto di vista industriale, è l'arsenopirite di colore bianco argenteo, solfuro di ferro e arsenico, FeAsS, rombico. L'arsenico metallico ha poche applicazioni pratiche: è utilizzato in lega con il Pb (0,5% di As) per indurire pallini da caccia, in lega con Cu e Sn per metallo da specchi, drogaggio dei semiconduttori (ovvero l'aggiunta di un semiconduttore puro). Le fonti antropiche di As, sono la combustione del carbone, impianti di torrefazione, fonderie e allevamenti di maiali e volatili (Reimann e de Caritat, 1998) .

Si può trovare anche in erbicidi, insetticidi, fungicidi e fertilizzanti (Kabata-Pendias e Pendias, 2001; Reimann et al., 2003).

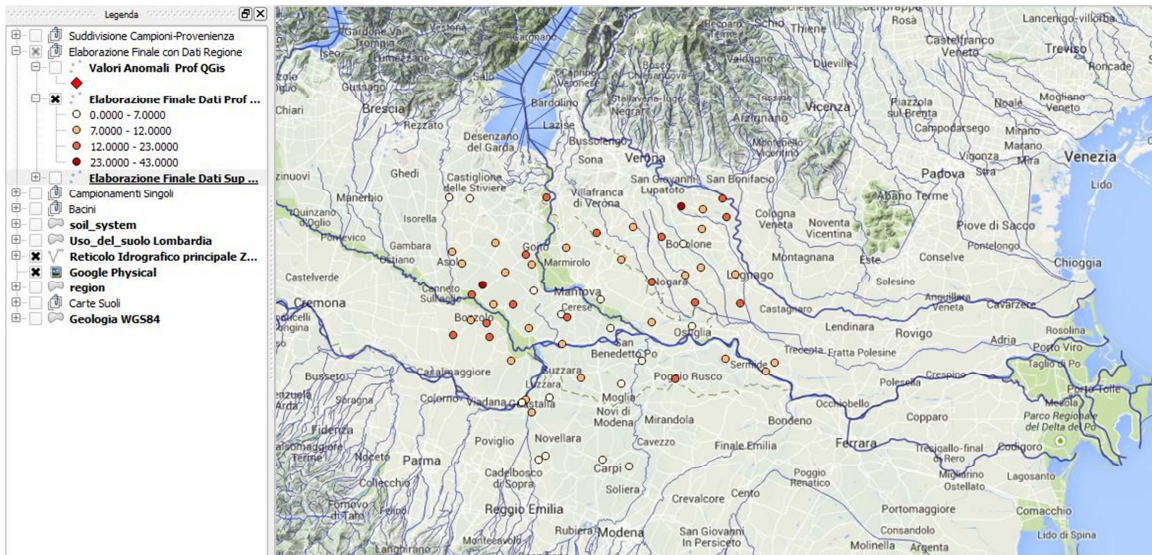


Fig. 60 - Mappa Concentrazioni As campioni profondi.

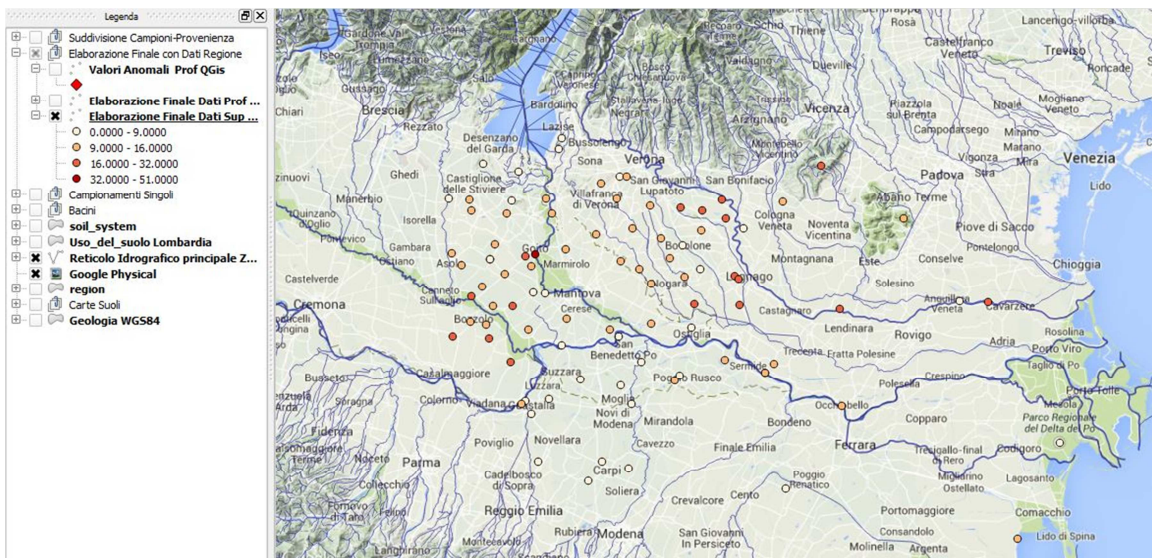


Fig. 61 - Mappa Concentrazioni As campioni superficiali.

Dal confronto delle concentrazioni tra Campioni profondi e superficiali (Fig. 60-61), possiamo dire che per le stazioni con entrambi i campionamenti, si può notare che la maggior parte dei suoli campionati non mostra arricchimenti superficiali in As. Solo un campione, risulta piuttosto arricchito in superficie. I campioni che hanno tendenzialmente una concentrazione elevata di As, sia a livello superficiale che profondo, sono quelli attribuiti ai bacini Oglio-Mincio e Adige.

Cobalto:

E' l'elemento chimico di numero atomico 27, il suo simbolo è Co. E' bianco-argenteo, ferromagnetico e molto duro. E' spesso associato al nichel, ed entrambi sono componenti caratteristici del ferro meteorico. Risulta chimicamente inerte, a temperatura ambiente risulta stabile nei confronti dell'aria e dell'acqua. Il cobalto è un elemento fondamentale nella vitamina B12, e si trova in molti organismi viventi, esseri umani compresi. Era noto fino dall'antichità per i suoi composti, che coloravano il vetro di un blu molto bello. Generalmente non si trova allo stato puro metallico, ma solo come minerale e non viene estratto da solo, ma come sottoprodotto dell'estrazione di rame e nichel. I suoi stati di ossidazione sono generalmente +2 e +3. Il cobalto metallico in polvere può infiammarsi spontaneamente all'aria. I composti del cobalto vanno maneggiati con cautela data la loro lieve tossicità.

Il Cobalto è particolarmente abbondante nelle rocce vulcaniche basiche ed ultrabasiche e nelle rocce metamorfiche con minerali ferromagnesiaci quali olivina, pirosseno e serpentino (Alloway, 1990).

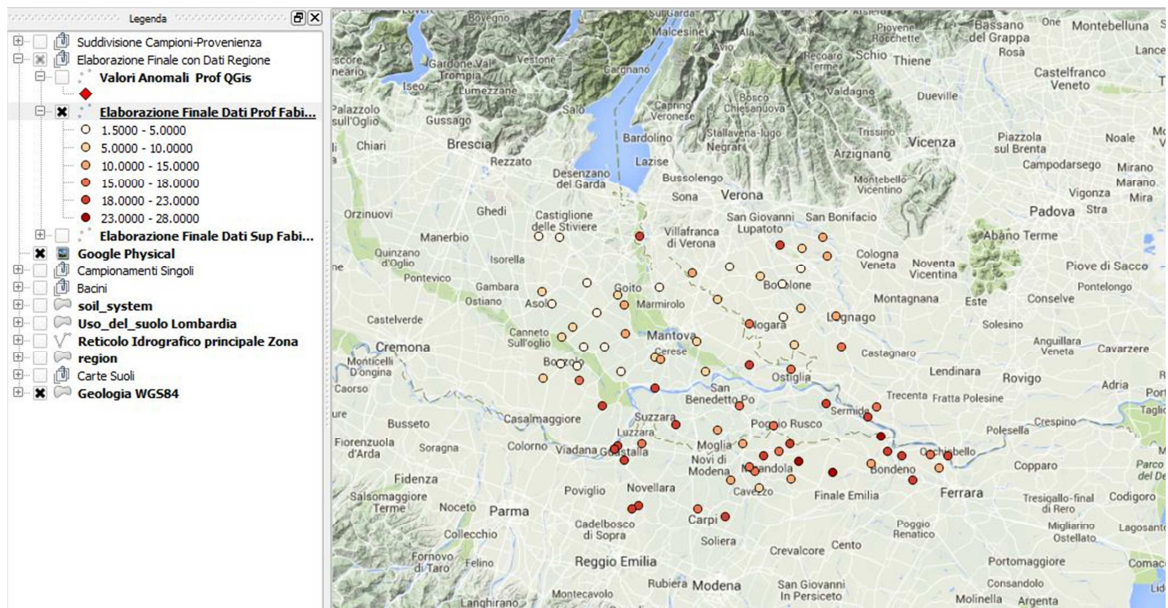


Fig. 62 - Mappa Concentrazioni Co campioni profondi.

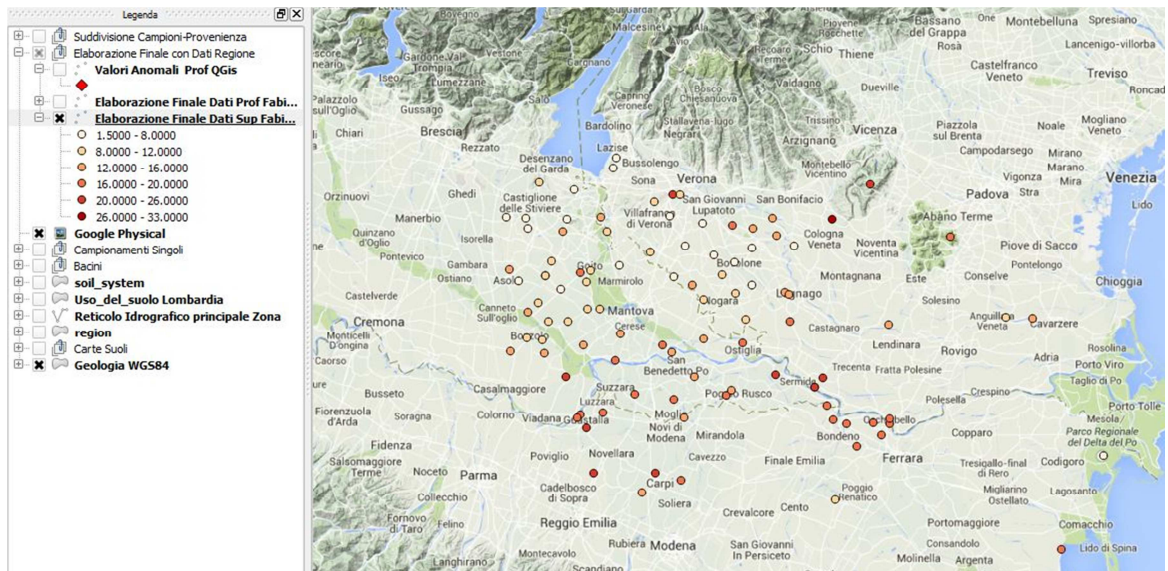


Fig. 63 - Mappa Concentrazioni Co campioni superficiali.

Dal confronto delle concentrazioni tra Campioni profondi e superficiali (Fig. 62-63), possiamo dire che per le stazioni con entrambi i campionamenti, c'è una tendenza all'arricchimento superficiale, raggiungendo concentrazioni piuttosto elevate. I campioni con Co alto, generalmente si distribuiscono nei bacini Appennino e Po, anche se si individuano alcuni campioni con Co piuttosto alto nel bacino del Mincio e dell'Adige.

Cromo:

E' l'elemento chimico di numero atomico 24, il suo simbolo è Cr. E' un metallo duro, lucido, di colore grigio acciaio. Facilmente lucidabile ma fonde con difficoltà ed è estremamente resistente alla corrosione. Gli stati di ossidazione più comuni del Cr sono +2, +3 e +6. Lo stato +3 è quello più stabile, mentre il +6 è un potente ossidante e gli effetti tossici e cancerogeni, sono principalmente imputati a questa caratteristica. Generalmente utilizzato in metallurgia, per conferire resistenza e una finitura lucida, utilizzato anche per smalti, vernici, come catalizzatore, impasti per la cottura dei mattoni, nella conciatura del cuoio ecc.. Il cromo metallico e i composti del cromo trivalente non sono generalmente considerati pericolosi per la salute, ma i composti del cromo esavalente, sono molto tossici se ingeriti o se i fumi vengono respirati. In natura si trova generalmente combinato, sottoforma di cromite, che rappresenta il solo minerale impiegato per l'estrazione del metallo. E' un elemento abbondante nelle rocce magmatiche mafiche e ultramafiche, in quanto nelle prime fasi di cristallizzazione del magma, entra a far parte di minerali come spinelli e pirosseni (De Vivo et al., 2004), nelle rocce magmatiche acide e nelle rocce sedimentarie ha una concentrazione molto minore (Alloway, 1990). Nel terreno, il comportamento del Cr è governato da pH-Eh (Fig. 64) e materia organica. Il suo assorbimento da parte dell'argilla è fortemente dipendente dal pH; l'adsorbimento del cromo esavalente diminuisce all'aumentare del pH, mentre l'adsorbimento del cromo trivalente aumenta all'aumentare del pH (Kabata-Pendias, 2001).

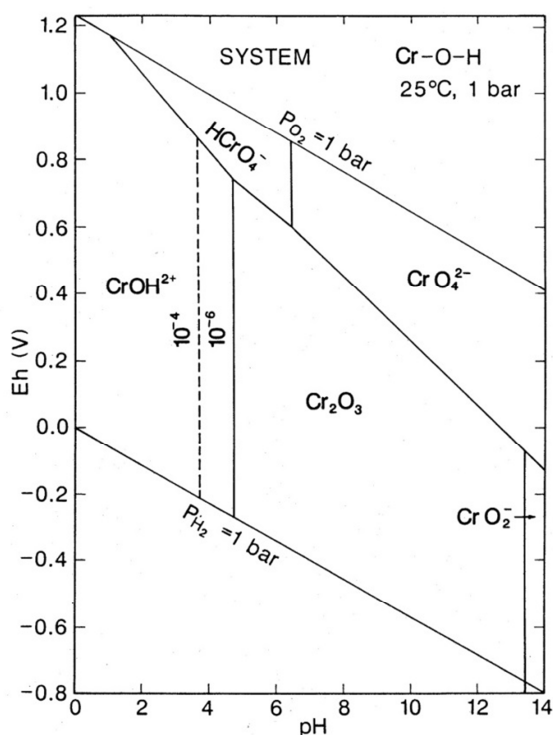


Fig. 64 - Diagramma Eh-pH del Cr.

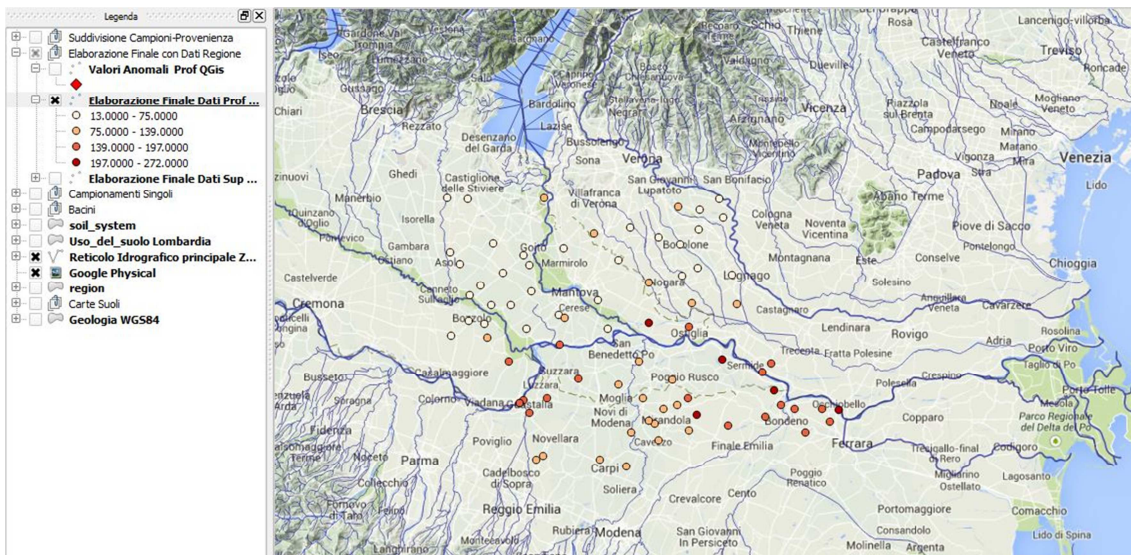


Fig. 65 - Mappa Concentrazioni Cr campioni profondi.

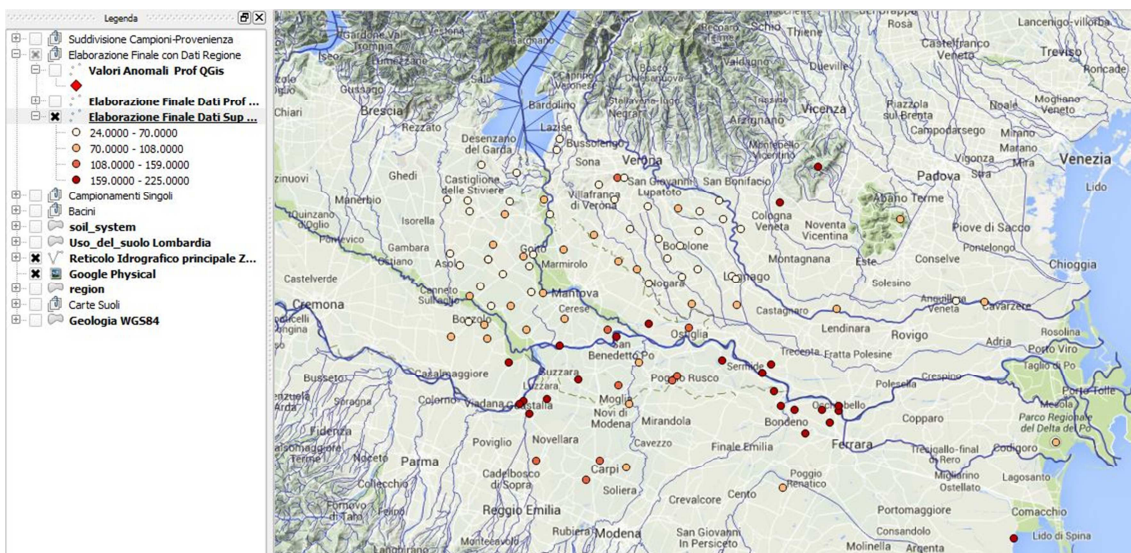


Fig. 66 - Mappa Concentrazioni Cr campioni superficiali.

Dal confronto delle concentrazioni tra Campioni profondi e superficiali (Fig. 65-66), possiamo dire che per le stazioni con entrambi i campionamenti, viene mostrato un tendenziale arricchimento in superficie di Cr. Dei campioni profondi, solo alcuni campioni hanno concentrazioni elevate, tutte le stazioni con concentrazioni elevate, sono lungo l'asta fluviale del Po, tranne nei campioni superficiali, dove 2 campioni mostrano alto Cr, ma si trovano nelle vicinanze dell'Adige. I campioni che mostrano una concentrazione alta di Ni, sono attribuiti generalmente ai bacini Po e Appennino, a parte 2 campioni superficiali che mostrano un'alta concentrazione, e che si trovano a sud di Vicenza.

Rame:

È l'elemento chimico di numero atomico 29 e il suo simbolo è Cu. È un metallo rosato o rossastro, di conducibilità elettrica e termica elevatissima, superata solo da quelle dell'argento. È piuttosto resistente alla corrosione, grazie ad una patina aderente che si forma spontaneamente sulla superficie, prima di colore brunoastro e poi di colore verde, verde-azzurro, e non è magnetico. È facilmente lavorabile, grazie alla sua estrema duttilità e malleabilità. I suoi stati di ossidazione sono +1, +2, +3 e +4. Si combina con altri metalli a formare numerose leghe metalliche, le più comuni sono il bronzo e l'ottone, rispettivamente con Stagno e Zinco. Generalmente lo si trova sottoforma di minerali, e molto più raramente allo stato nativo.

Per animali e uomo le dosi fino ad un decimo di grammo non sono dannose, come lo sono invece quantità di 2-3 gr che possono risultare letali.

È un elemento essenziale per piante e animali, infatti è usato come integratore alimentare negli allevamenti intensivi assieme allo Zinco (Alloway, 1990).

I livelli medi di Cu nel suolo variano tra 13-34 mg/kg, normalmente si accumula negli orizzonti superficiali e questo spiega il recente fenomeno di bioaccumulo nell'uomo (Kabata-Pendias e Pendias, 2001).

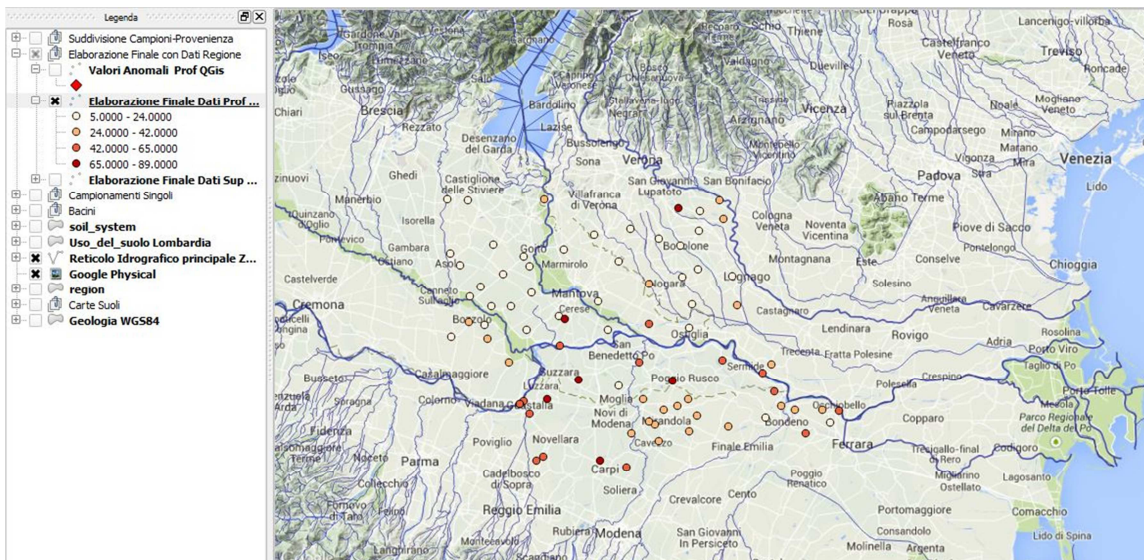


Fig. 67 - Mappa Concentrazioni Cu campioni profondi.

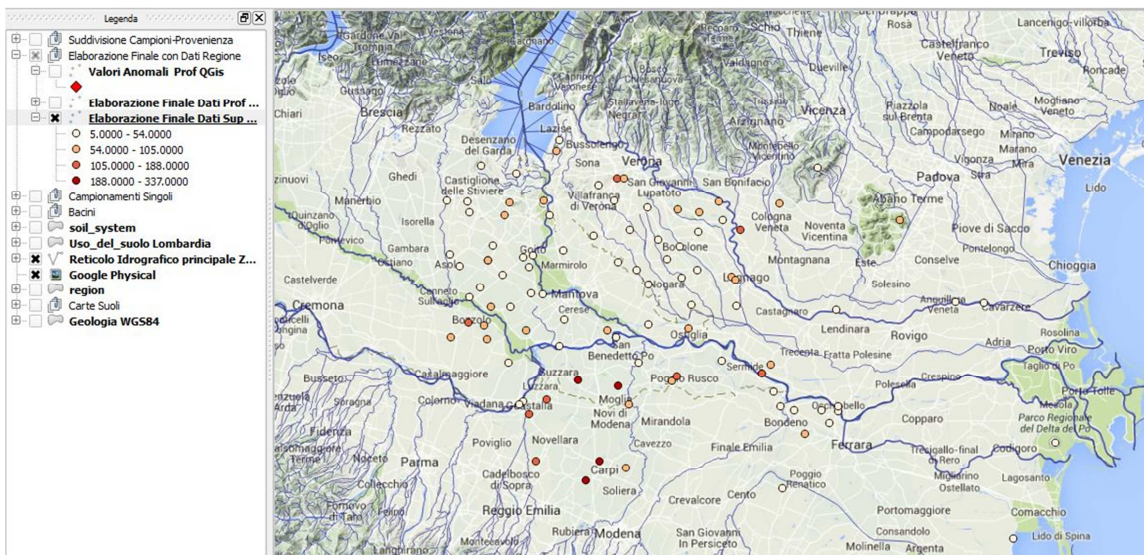


Fig. 68 - Mappa Concentrazioni Cu campioni superficiali.

Dal confronto delle concentrazioni tra Campioni profondi e superficiali (Fig. 67-68), possiamo dire che per le stazioni con entrambi i campionamenti, dimostrano che c'è una netta tendenza all'accumulo in superficie di questo elemento. Essendo le zone soggette a campionamento, aree agricole e di allevamento, questa elevata concentrazione di Cu nel suolo superficiale è facilmente riconducibile ad un uso intensivo in agricoltura e allevamento di questo elemento. I campioni che tendono ad avere valori molto alti di Cu, sono attribuibili ai bacini Po-Appennino, a parte qualche campione che ricade nel bacino dell'Adige.

Nichel:

E' l'elemento chimico di numero atomico 28 e il suo simbolo è Ni. E' un metallo argenteo, appartenente al gruppo del ferro ed è duro, duttile e malleabile. E' uno dei cinque elementi ferromagnetici, si accompagna molto spesso con il Cobalto, ed entrambi possono essere trovati nel ferro meteorico. Risulta assai apprezzato per le proprietà che conferisce alle leghe metalliche di cui fa parte. Gli stati di ossidazione sono generalmente +2 e raramente +3. L'esposizione al nichel metallico ed ai suoi sali solubili non dovrebbe superare gli 0.5 mg/m^3 per 40 ore alla settimana. Fumi e polveri di solfuro di nichel sono considerati cancerogeni come molti altri composti del nichel. Persone particolarmente sensibili, possono mostrare allergia al nichel, che si manifesta su zone della pelle esposte ad esso.

E' presente in alte concentrazioni in rocce ultramafiche e mafiche, mentre le rocce ignee acide e sedimentarie presentano concentrazioni modeste. Gli apporti nei suoli agricoli, sono a causa di fertilizzanti fosfatici, mentre i liquami zootecnici e letami, hanno tendenzialmente concentrazioni più basse di questo elemento (Alloway, 1990).

Nel terreno, è fortemente legato agli ossidi di Fe e Mn soprattutto in orizzonti del suolo superficiali (Kabata-Pendias e Pendias, 2001).

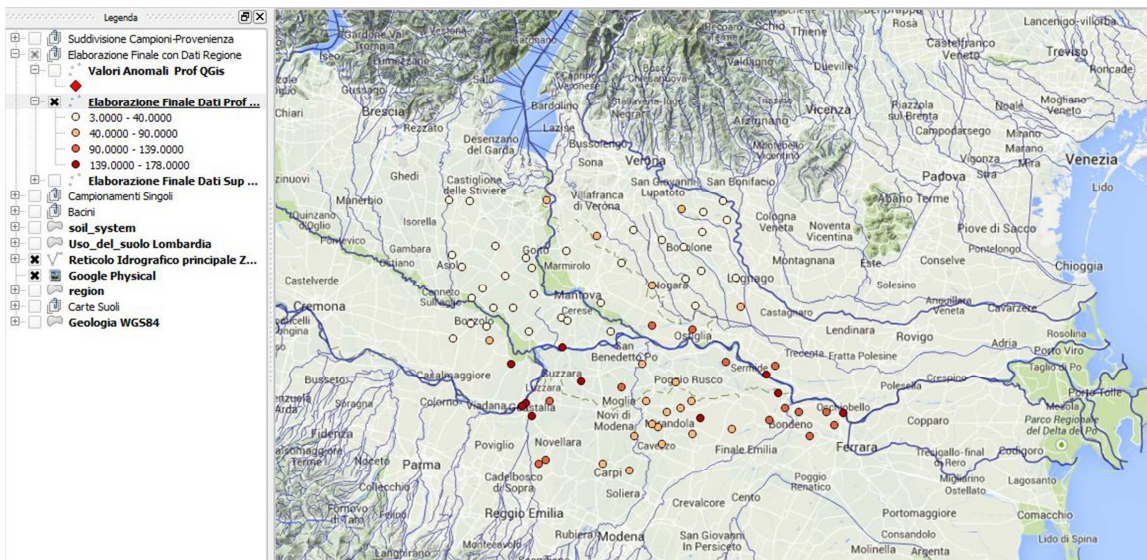


Fig. 69 - Mappa Concentrazioni Ni campioni profondi.

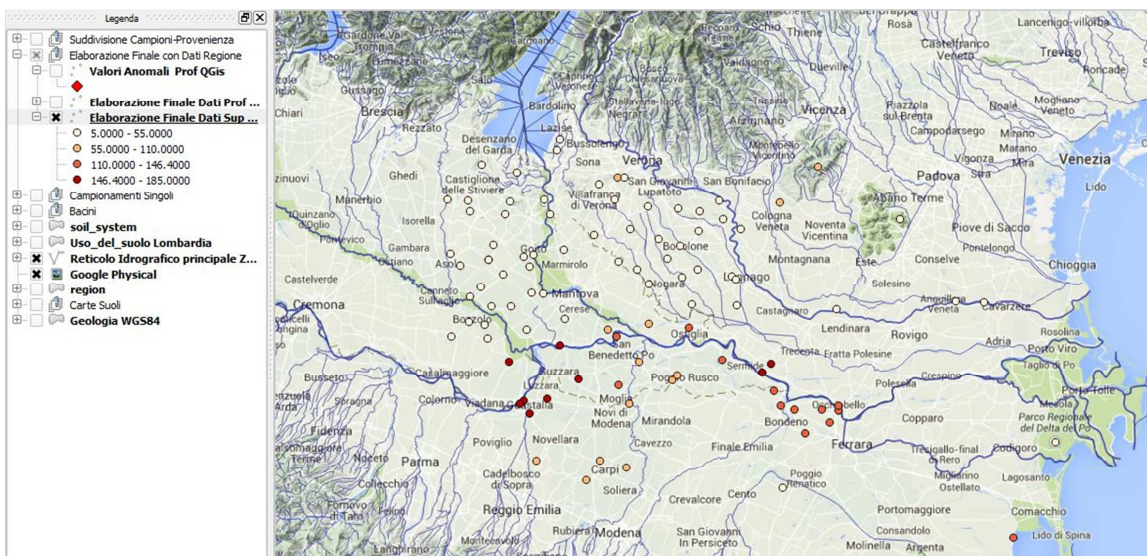


Fig. 70 - Mappa Concentrazioni Ni campioni superficiali.

Dal confronto delle concentrazioni tra Campioni profondi e superficiali (Fig. 69-70), possiamo dire che per le stazioni con entrambi i campionamenti, c'è una tendenza di questo elemento ad accumularsi in superficie, tale da considerare la qualità del suolo non buona. Per quanto riguarda i campioni con alta concentrazione di Ni, sono tutti o quasi concentrati lungo l'asse fluviale del Po, e valori anche piuttosto alti associati all'Appennino.

Piombo:

E' l'elemento chimico di numero atomico 82 e il suo simbolo è Pb. E' un metallo piuttosto tenero, denso, duttile e malleabile, di colore bianco-azzurrognolo appena tagliato, ma esposto all'aria si colora di grigio scuro. Il Pb viene utilizzato nell'edilizia, nella produzione di batterie, nei proiettili per armi da fuoco e allo stato liquido, come refrigerante nei reattori nucleari. Sia il piombo, che i suoi composti sono nocivi e tossici per inalazione e ingestione. Il piombo è presente naturalmente nell'ambiente, tuttavia la maggior parte del piombo che si trova in natura è prodotto da attività umane, come additivo nelle benzine e come componente nei pesticidi.

Presenta lunghi tempi di permanenza nel suolo, a causa della sua bassa solubilità, perciò rimane disponibile ad entrare nella catena alimentare (Alloway, 1990).

Un valore di base del Pb nel suolo superficiale, misurato su scala globale è stimato essere 25 mg/kg. Livelli sopra a questa soglia, portano a suggerire un'influenza di tipo antropico (Kabata-Pendias e Pendias, 2001).

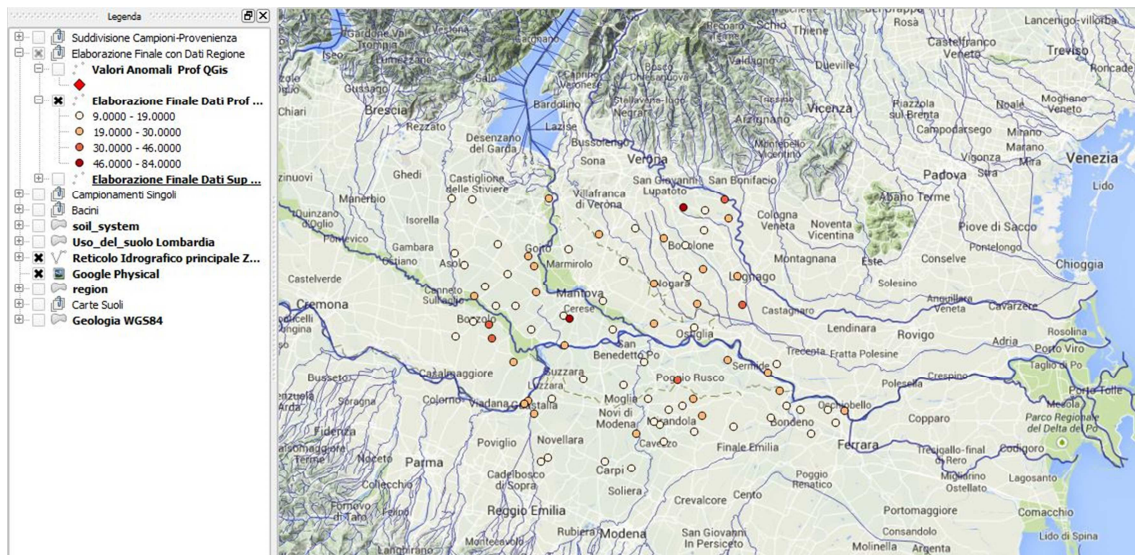


Fig. 71 - Mappa Concentrazioni Pb campioni profondi.

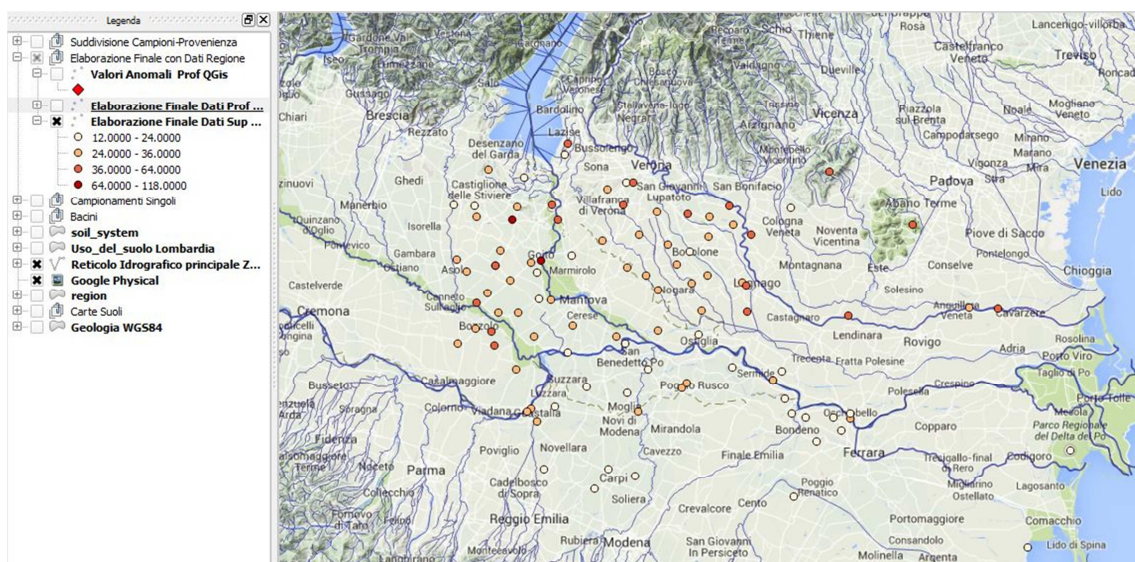


Fig. 72 - Mappa Concentrazioni Pb campioni superficiali.

Dal confronto delle concentrazioni tra Campioni profondi e superficiali (Fig. 71-72), possiamo dire che per le stazioni con entrambi i campionamenti, c'è una tendenza all'arricchimento superficiale, raggiungendo concentrazioni piuttosto elevate. I campioni con Pb alto, generalmente si distribuiscono nei bacini Oglio-Mincio e Adige.

Vanadio:

E' l'elemento chimico di numero atomico 23 e il suo simbolo è V. E' un elemento raro, che si trova sotto forma di composto in certi minerali. Si usa soprattutto in metallurgia per la produzione di leghe. E' un metallo bianco lucente duro e duttile. Ha una buona resistenza alla corrosione. Gli stati di ossidazione più frequentemente assunti dal vanadio nei suoi composti sono +2, +3, +4 e +5. Il vanadio non si trova mai puro in natura, fatta eccezione per il fungo "Amanita muscaria" che ne contiene in minime dosi. Il vanadio in polvere è infiammabile e tutti i suoi componenti sono considerati altamente tossici, causa di cancro alle vie respiratorie quando vengono inalati. Il più pericoloso è il pentossido di vanadio. Un limite di 35 mg/m³ di composti di vanadio è considerato critico, non va mai superato in quanto è alta la probabilità che causi danni permanenti o la morte.

L'azione tossica nell'essere umano, rimane confinata all'apparato respiratorio, e ha azione irritante per pelle e occhi. Risulta, in maniera minore, adsorbito nei minerali argillosi o legato in forma cationica alla sostanza organica (De Vivo et al., 2004).

Il valore medio nei suoli, a livello mondiale, è di circa 100 mg/kg, con un intervallo di concentrazione piuttosto ampio, 20-500 mg/kg. E' particolarmente abbondante nelle rocce vulcaniche derivanti da magmi basici, inoltre alcune forme ioniche, del vanadio, possono sostituire gli ioni del ferro nei minerali in cui tale elemento è presente (Alloway, 1990).

Il suo comportamento nel suolo, non ancora bene definito, pare sia legato agli ossidi di ferro. La sua mobilità è ridotta in ambiente alcalino mentre in condizioni non alcaline (pH compreso tra 5.0 e 8.0) e/o riducenti può spostarsi lungo il profilo del terreno (Kabata-Pendias e Pendias, 2001).

Le fonti antropiche risultano essere la combustione di olio e carbone, la produzione e lavorazione dell'acciaio, il traffico e viene utilizzato negli impianti metallurgici, elettronici e dove si producono vernici e pitture.

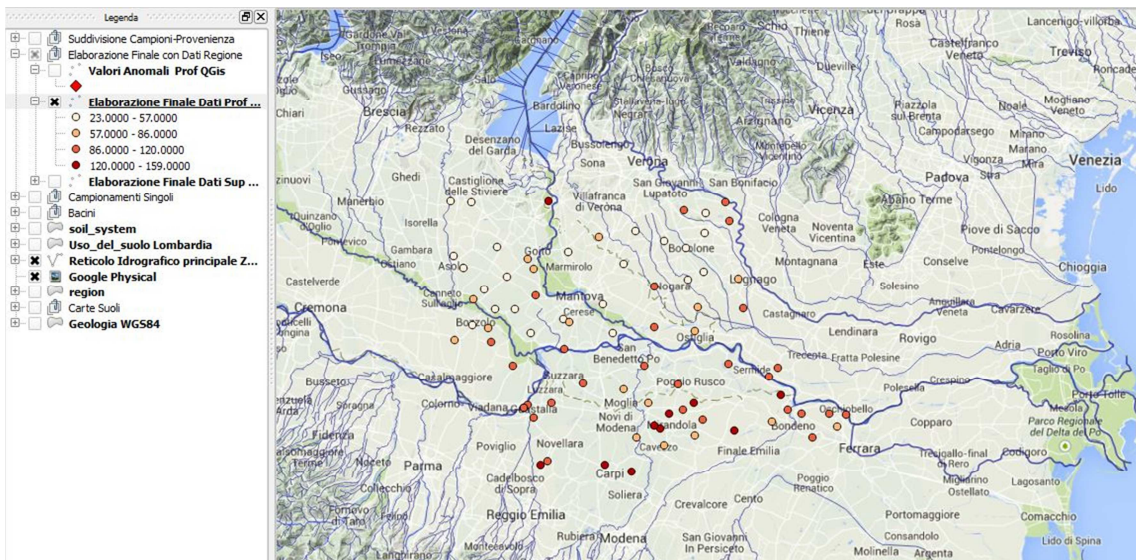


Fig. 73 - Mappa Concentrazioni V campioni profondi.

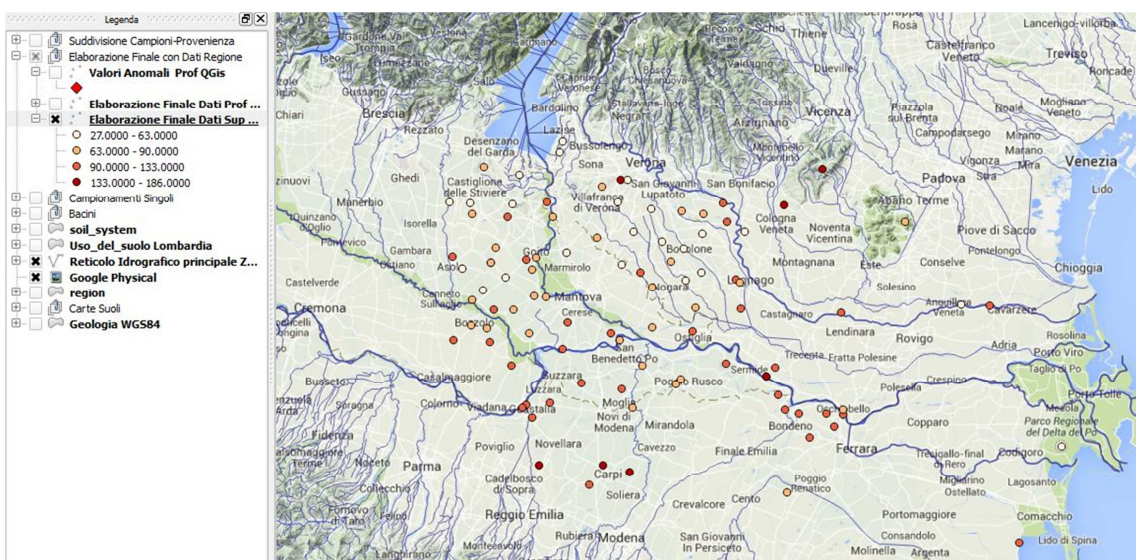


Fig. 74 - Mappa Concentrazioni V campioni superficiali.

Dal confronto delle concentrazioni tra Campioni profondi e superficiali (Fig. 73-74), possiamo dire che per le stazioni con entrambi i campionamenti c'è una tendenza all'arricchimento superficiale, raggiungendo concentrazioni piuttosto elevate. I campioni con alto Vanadio, sono distribuiti in maniera piuttosto eterogenea, li troviamo soprattutto lungo l'asse del Po e nelle stazioni di campionamento dell'Appennino, anche se alcune stazioni di campionamento di suolo superficiale mostrano un Vanadio piuttosto alto, nei dintorni di Verona, e sotto Vicenza. Mentre tra i campioni profondi, troviamo soprattutto un campione che mostra un elevato vanadio, lungo l'asse del fiume Mincio, mentre da notare la tendenza ad avere valori medio-bassi nel bacino dell'Oglio.

Zinco:

È l'elemento chimico di numero atomico 30 e il suo simbolo è Zn. È solido a temperatura ambiente, moderatamente reattivo, che si combina con l'ossigeno ed altri non metalli.

L'unico stato di ossidazione è il +2. Considerato un elemento in traccia essenziale, è presente nell'organismo in quantità superiore rispetto a qualsiasi altro oligoelemento al di fuori del ferro. Lo zinco, è un elemento essenziale per la vita degli esseri umani e degli animali superiori, poiché una carenza di zinco, condiziona la crescita corporea e l'aumento di peso. Lo zinco metallico non è tossico.

Le colture più carenti alla carenza di Zn sono il mais, sorgo, legumi, la vite e gli alberi da frutto. Pur non essendo considerato fitotossico, lo diventa qualora le concentrazioni in tale elemento sono comprese in un range tra 100-500 mg/kg. I valori più comuni nei suoli sono compresi tra 17-125 mg/kg. (Kabata-Pendias e Pendias, 2001).

Il contenuto totale dell'elemento, lo si collega al materiale parentale, anche se raggiunte certe concentrazioni, superiori a 150 mg/kg, siano spesso dovute ad apporti antropici (Alloway, 1990).

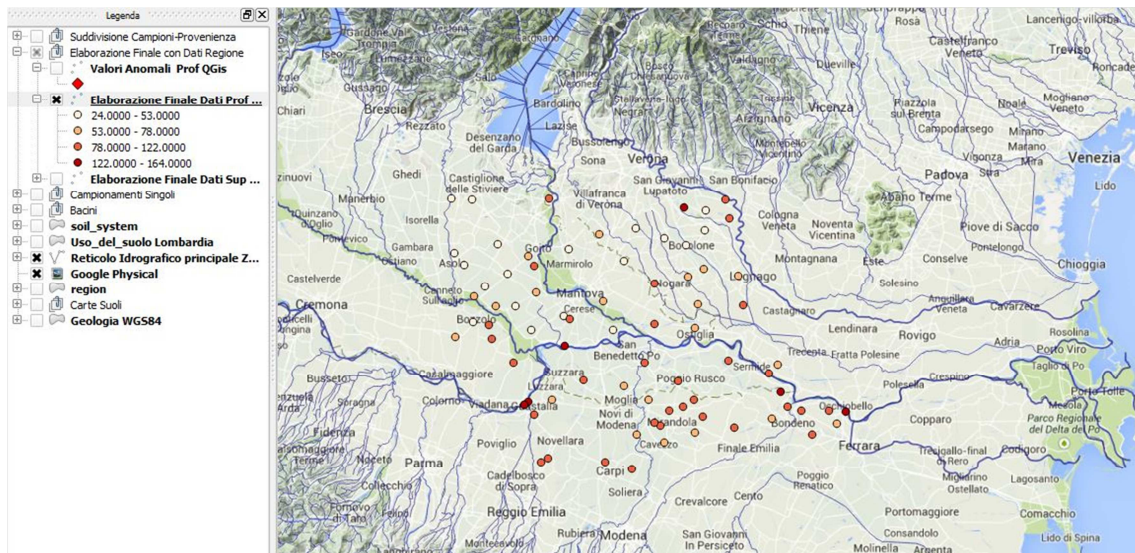


Fig. 75 - Mappa Concentrazioni Zn campioni profondi.

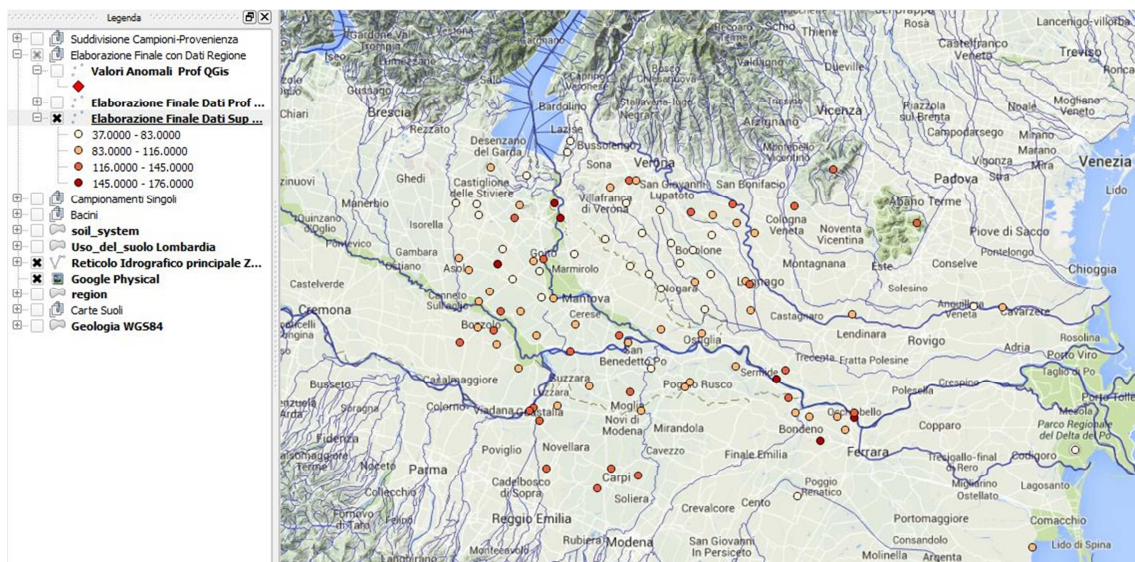


Fig. 76 - Mappa Concentrazioni Zn campioni superficiali.

Dal confronto delle concentrazioni tra Campioni profondi e superficiali (Fig. 75-76), possiamo dire che per le stazioni con entrambi i campionamenti, c'è una tendenza all'arricchimento superficiale, raggiungendo concentrazioni piuttosto elevate. Soprattutto uno lungo il Mincio e 2 in prossimità del Po.

Indice di Geoaccumulo per la valutazione della qualità del suolo:

Per determinare la qualità del suolo è stato calcolato l' I_{geo} , Indice di Geoaccumulo, tramite la formula che si può trovare precedentemente in questo lavoro. Sono stati seguiti 2 approcci per questa operazione: uno che utilizza come riferimento una concentrazione di area e un'altro che propone direttamente il confronto tra campione superficiale e campione profondo. Il primo metodo ha previsto l'utilizzo come riferimento un valore mediano calcolato per unità geografica di provenienza che consente di includere nella valutazione anche siti per i quali è stato raccolto solo un campione superficiale. I dati utilizzati come riferimento sono riportati in (Tab. 15) ed è stato calcolato sui campioni profondi escludendo i campioni outliers. Il secondo approccio ha una valenza locale, consente di mettere in luce altri aspetti interessanti anche se nel caso in questione porta ad una riduzione significativa del numero di osservazioni disponibili.

I risultati del calcolo del I_{geo} sono riportati nelle tabelle (Tab. 16-17) nei quali sono evidenziate le attribuzioni alle classi di qualità come da legenda riportata in Fig. 77.

Tab. 15 - Tabella con valori mediani degli elementi in traccia, escludendo gli outliers, per la stima della qualità del suolo, per bacino, in ppm.

Bacino Po	As	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
50% (mediana)	9	19.0	187	40.5	138.5	18.9	98.2	96
Bacino Appennino	As	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
50% (mediana)	6	18	107.5	39	76	17	122	97.4
Bacino Mincio	As	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
50% (mediana)	8.4	7	48.7	15	28	16	55.5	55
Bacino Oglio	As	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
50% (mediana)	9.6	4.5	37.4	11	13.2	14.7	52.2	48.3
Bacino Adige	As	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
50% (mediana)	10.6	9.8	58.2	19.2	23.5	21	64	56.3

Da questa tabella, si può notare come le mediane di As e Pb, nei vari bacini, non cambiano di molto, mentre Co, Cr, Cu, Ni, V e Zn hanno valori mediani nei bacini di Po e Appennino, che sono il doppio o il triplo alle volte, rispetto agli altri bacini.

	I _{geo} considerando il rapporto tra valori superficiali e profondi							
Val. I_{geo}	Stato del suolo							
<0	non inquinato							
tra 0 e 1	da non a moderatamente inquinato							
tra 1 e 2	moderatamente inquinato							
tra 2 e 3	da moderatamente a fortemente inquinato							
tra 3 e 4	fortemente inquinato							

Fig. 77 - Legenda delle classi di qualità del suolo, ottenute con I_{geo} .

Tab. 16 - Tabella con valori I_{geo} , sia considerando la mediana (calcolata senza considerare gli outliers, colonna bianca) sia facendo utilizzando la formula teorica confrontando campioni superficiali e profondi (colonna azzurra). (Bacini Po e Appennino).

Campione	Bacino	I_{geo} AS	I_{geo} AS	I_{geo} Co	I_{geo} Co	I_{geo} Cr	I_{geo} Cr	I_{geo} Cu	I_{geo} Cu	I_{geo} Ni	I_{geo} Ni	I_{geo} Pb	I_{geo} Pb	I_{geo} V	I_{geo} V	I_{geo} Zn	I_{geo} Zn
ILA04	Po	-0.6	-0.6	-0.4	-0.6	-0.6	-0.4	1.2	0.9	-0.3	-0.5	-0.2	-0.3	-0.3	-0.5	-0.2	-0.2
ILA05	Po	-0.6	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.3	-0.5	-0.3	-0.5	0.0	-0.5	-0.5	-0.5	0.0	-0.5
ILA06	Po	-0.4	-0.1	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.2	-0.6	-0.2	-0.4	-0.2	-0.5	-0.6	-0.6	-0.1	-0.6
ILA14	Po	-0.8	-0.8	-0.6	-0.7	-0.6	-0.5	-0.2	-0.7	-0.4	-0.7	-0.3	-0.7	-0.6	-0.8	-0.1	-0.7
ILA35	Po	-0.6	-0.4	-0.5	-0.5	-0.6	-0.5	2.0	0.9	-0.3	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5	-0.5	-0.4	-0.2
ILA36	Po	-0.9	-0.4	-0.7	-0.6	-0.7	-0.4	1.3	0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.2	-0.4	-0.3	-0.5	-0.2
ILA37	Po	0.5	0.2	-0.2	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.3	-0.3	-0.5	-0.2	-0.5	-0.2	-0.4	-0.4	-0.3
CHIA01	Po	-1.2	-	-0.9	-	-0.7	-	-0.7	-	-0.5	-	-0.5	-	-0.9	-	-0.4	-
CHIA02	Po	-0.8	-0.2	-0.7	-0.2	-0.9	-0.5	2.5	3.6	-0.6	-0.3	-0.2	0.2	-0.6	0.0	-0.1	0.6
CHIA05	Po	-0.9	-0.1	-0.7	-0.5	-0.8	-0.6	0.0	0.7	-0.6	-0.4	-0.4	-0.1	-0.6	-0.4	-0.5	0.0
CHIA26	Po	-0.6	-0.6	-0.5	-0.6	-0.6	-0.6	-0.1	-0.7	-0.3	-0.7	-0.4	-0.7	-0.4	-0.6	-0.5	-0.6
CHIA27	Po	-0.3	-0.3	-0.3	-0.1	-0.5	-0.2	0.4	0.7	-0.2	-0.2	-0.2	0.1	-0.1	-0.1	-0.3	0.0
CHIA28	Po	-0.4	-	-0.1	-	-0.5	-	0.9	-	-0.2	-	-0.2	-	0.2	-	0.1	-
F25	Po	-0.2	-0.6	-0.9	-1.1	-0.7	-1.0	-0.4	-0.5	-1.1	-1.1	-0.2	-0.5	-0.7	-0.9	-0.6	-0.5
F28	Po	-0.4	-0.6	-0.4	-0.5	-0.3	-0.5	-0.4	-0.6	-0.7	-0.5	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.7	-0.5
T456A	Po	-	-	-0.6	-	-0.5	-0.7	-0.3	-0.5	-0.5	-0.7	0.1	-0.5	-0.6	-0.6	0.3	-0.5
T451A	Po	-	-	-0.6	-	-0.6	-0.7	-0.6	-0.5	-0.7	-0.6	-0.7	-0.2	-0.7	-0.7	-0.4	-0.7
T441A	Po	-	-	-0.6	-	-0.6	-1.1	-0.2	-0.5	-0.7	-1.0	-0.8	-0.9	-0.6	-1.2	-0.3	-0.9
T447A	Po	-	-	-0.5	-	-0.5	-0.6	-0.4	-0.1	-0.6	-0.6	-0.9	-0.4	-0.6	-0.6	-0.4	-0.4
T448A	Po	-	-	-0.6	-	-0.6	-0.6	-0.6	-0.2	-0.6	-0.6	-0.7	0.3	-0.6	-0.7	-0.3	-0.4
T450A	Po	-	-	-0.6	-	-0.6	-0.6	0.4	0.2	-0.7	-0.6	-0.6	-0.4	-0.6	-0.6	0.2	0.0
T452A	Po	-	-	-0.7	-	-0.5	-0.5	-0.4	0.7	-0.5	-0.1	-0.7	-0.1	-0.6	-0.2	-0.3	0.2
ILA01	Appennino	-0.8	-	-0.8	-	-0.5	-	1.9	-	-0.2	-	-0.4	-	-0.7	-	-0.2	-
ILA02	Appennino	-0.6	-0.8	-0.6	-0.7	-0.6	-0.5	-0.1	-0.4	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.6	-0.3	-0.4
ILA03	Appennino	-0.6	-0.3	-0.3	-0.2	-0.4	-0.2	2.0	0.9	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	0.0	-0.1
ILA16	Appennino	-0.6	0.0	-0.3	-0.4	-0.3	-0.3	1.3	0.6	-0.1	-0.4	-0.2	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	-0.3
CHIA03	Appennino	-0.6	-0.6	-0.9	-0.9	-0.6	-0.5	-0.9	-1.1	-0.5	-0.5	-0.8	-0.8	-1.0	-1.0	-1.0	-0.9
CHIA09	Appennino	-0.8	-	-0.9	-	-0.9	-	0.7	-	-0.7	-	0.4	-	-1.0	-	-0.7	-
F29	Appennino	0.7	-0.5	-0.7	-0.6	-0.2	-0.5	0.6	-0.6	-0.5	-0.5	0.5	-0.5	-1.1	-0.7	-0.6	-0.6

Nel bacino Po il numero di situazioni alterate è relativamente basso per As, Co, Cr, Ni, Pb, V e Zn, che mostrano solo anomalie puntuali mentre completamente diversa è la situazione per il Cu, dove sono più numerosi i campioni alterati e dove si raggiungono livelli di alterazione significativa. Alcuni di questi campioni a seconda del metodo utilizzato, cambiano classe di qualità, come ad esempio il campione CHIA02. Questo campione ha un I_{geo} di 2.5 (3° Classe, con metodo con il valore mediano) e di 3.6 (4° Classe, con metodo puntuale, considerando le singole concentrazioni). Il valore superficiale misurato è di 337 ppm, quello profondo è di 18 ppm mentre il valore mediano utilizzato come riferimento è di 40.5 ppm. Risulta evidente il motivo della differenza, ma non cambia il senso della situazione che ha comunque a che fare con un campione superficiale fortemente alterato.

Tab. 17 - Tabella valori I_{geo} , sia considerando la mediana (calcolata senza considerare gli outliers, colonna bianca) sia facendo utilizzando la formula teorica confrontando campioni superficiali e profondi in questo studio (colonna azzurra). (Bacini Mincio, Oglio e Adige).

Campione	Bacino	I_{geo} AS	I_{geo} AS	I_{geo} Co	I_{geo} Co	I_{geo} Cr	I_{geo} Cr	I_{geo} Cu	I_{geo} Cu	I_{geo} Ni	I_{geo} Ni	I_{geo} Pb	I_{geo} Pb	I_{geo} V	I_{geo} V	I_{geo} Zn	I_{geo} Zn
ILA07	Mincio	2.0	-	-0.1	-	-0.5	-	0.7	-	-0.9	-	2.2	-	-0.3	-	0.6	-
ILA08	Mincio	-0.2	-0.4	-0.1	-1.1	-0.3	-1.0	0.2	-0.3	-0.5	-1.0	-0.1	-0.5	-0.2	-0.8	0.0	-0.7
ILA09	Mincio	0.7	-0.3	0.7	0.2	0.1	0.2	0.8	0.3	0.4	0.1	0.4	-0.3	0.4	0.2	0.3	0.2
ILA10	Mincio	-0.1	-	0.1	-	-0.3	-	1.0	-	-0.5	-	0.8	-	-0.1	-	0.9	-
ILA11	Mincio	0.3	-0.8	0.6	-0.9	0.2	-0.9	1.6	0.9	0.3	-0.8	0.7	-0.2	0.4	-0.9	1.0	0.0
ILA20	Mincio	-0.8	-	-0.2	-	-0.4	-	0.4	-	-0.7	-	0.4	-	-0.1	-	0.2	-
ILA24	Mincio	-0.5	0.0	-0.2	-1.1	-0.5	-1.0	0.7	0.4	-0.6	-1.1	-0.1	-0.6	-0.3	-1.1	-0.2	-0.6
ILA25	Mincio	-0.7	-	0.1	-	0.0	-	0.8	-	-0.3	-	0.5	-	0.0	-	0.4	-
ILA28	Mincio	-1.1	-	-0.6	-	-0.9	-	1.3	-	-1.2	-	0.3	-	-0.7	-	0.3	-
ILA30	Mincio	0.0	-	0.3	-	0.3	-	1.7	-	0.3	-	2.3	-	0.4	-	0.5	-
ILA33	Mincio	-0.3	-	0.1	-	-0.2	-	0.7	-	-0.3	-	0.4	-	-0.1	-	0.4	-
ILA34	Mincio	-1.1	-	-0.8	-	-0.6	-	1.0	-	-1.3	-	-0.7	-	-0.9	-	-0.5	-
chia04	Mincio	0.0	0.3	0.8	0.8	0.8	0.8	2.0	2.1	1.3	1.3	0.2	0.6	0.6	0.6	0.6	0.9
CHIA14	Mincio	-0.7	-	0.1	-	-0.3	-	2.1	-	-0.4	-	0.8	-	-0.1	-	1.1	-
CHIA15	Mincio	-0.7	-	-0.6	-	-0.7	-	1.7	-	-1.1	-	-0.5	-	-0.9	-	-0.5	-
F01	Mincio	-0.2	-0.2	-1.1	0.1	-0.2	-0.3	0.5	0.9	-1.1	-0.1	0.0	0.2	-0.7	-0.4	-0.2	0.4
F02	Mincio	0.1	0.1	0.0	1.8	0.1	0.5	0.5	1.3	-0.2	1.0	0.2	0.8	-0.2	0.1	-0.2	0.5
F10	Mincio	0.1	-0.7	0.6	-0.1	0.6	-0.3	1.0	-1.4	0.4	-0.1	0.5	-1.7	0.2	-0.3	0.1	-0.9
F11	Mincio	-0.3	-0.2	-0.5	1.3	0.2	0.2	0.2	0.5	-0.6	0.7	0.0	0.4	-0.6	-0.1	-0.2	0.2
ILA23	Oglio	-0.4	-0.3	0.9	0.3	0.3	0.4	0.8	0.8	0.8	0.8	0.3	0.6	0.3	0.3	0.3	0.5
ila27a	Oglio	-1.5	-0.6	-0.8	-0.6	-0.4	-0.5	-0.9	-0.7	-0.7	-0.5	-0.9	-0.6	-1.2	-0.6	-1.0	-0.6
ILA31	Oglio	-0.5	0.4	-0.2	0.4	-0.3	1.0	0.5	1.6	-0.3	1.8	0.1	0.5	-0.4	0.7	-0.2	0.9
ILA38	Oglio	0.3	-0.1	1.2	0.2	0.4	0.3	1.9	1.2	1.4	0.5	0.5	0.3	0.6	0.2	0.8	0.4
ILA39	Oglio	0.1	0.3	0.8	0.7	0.0	0.4	2.0	2.0	1.0	1.0	0.7	0.5	0.5	0.5	0.9	0.6
ILA40	Oglio	-0.3	-2.4	0.4	0.0	-0.1	0.1	1.2	1.3	0.3	0.3	0.3	0.6	-0.3	-0.2	0.5	0.7
F03	Oglio	-0.4	-0.4	-0.2	0.0	0.2	-0.5	1.4	0.8	0.2	-0.5	0.6	0.5	-0.6	-0.7	0.4	0.2
F04	Oglio	0.4	-0.2	1.0	0.4	0.6	0.1	1.5	0.6	1.1	0.1	0.8	0.3	0.1	-0.3	0.5	0.0
F05	Oglio	0.2	-0.7	0.7	1.2	0.6	0.0	1.5	1.5	0.9	0.9	0.6	0.7	-0.1	0.0	0.4	0.7
F06	Oglio	0.2	-0.2	0.7	0.6	0.5	0.1	2.4	1.8	1.0	0.4	1.2	-0.3	0.1	-0.2	0.8	-0.1
F07	Oglio	-0.1	0.0	0.6	0.7	0.2	0.2	3.0	1.7	0.6	0.6	0.5	0.3	-0.1	-0.1	0.6	0.6
F08	Oglio	0.2	-0.7	1.2	-0.6	0.8	-0.7	2.2	0.4	1.3	-0.7	0.9	-0.7	0.3	-0.7	0.6	-0.5
F09	Oglio	0.1	0.2	0.9	2.1	0.7	0.9	1.9	1.9	1.0	1.2	0.5	0.5	0.0	0.1	0.3	0.3
CHIA10	Adige	-0.3	-	-0.2	-	-0.2	-	-0.1	-	0.3	-	0.0	-	0.0	-	0.0	-
chia16	Adige	-1.4	-	0.6	-	0.6	-	2.3	-	1.6	-	-0.5	-	0.7	-	0.7	-
CHIA18	Adige	-0.7	-	-0.6	-	-0.5	-	0.8	-	-0.4	-	-0.1	-	-0.5	-	0.4	-
CHIA19	Adige	0.5	-	-0.1	-	-0.4	-	1.2	-	-0.1	-	-0.1	-	0.0	-	0.4	-
CHIA21	Adige	0.1	0.3	-0.1	-0.2	-0.5	-0.5	1.5	1.3	-0.2	-0.2	0.3	0.3	-0.1	-0.6	0.7	0.4
CHIA22	Adige	-0.5	-0.8	-0.3	-1.1	-0.3	-0.9	0.2	-0.6	0.1	-1.1	-0.2	-0.6	-0.2	-1.2	0.0	-0.8
CHIA23	Adige	0.3	-0.3	0.0	-0.6	-0.3	-0.4	1.3	0.6	0.0	-0.5	0.5	-0.4	0.2	-0.5	0.7	0.0
CHIA24	Adige	1.0	0.5	0.0	-0.5	-0.4	-0.4	0.4	-0.2	0.0	-0.5	-0.1	-0.1	0.2	-0.5	0.3	-0.4
CHIA25	Adige	-1.2	-	-1.1	-	-1.4	-	2.2	-	-1.3	-	0.6	-	-1.2	-	0.4	-
CHIA31	Adige	-0.3	-	-0.6	-	-0.9	-	-0.3	-	-0.6	-	-0.1	-	-0.4	-	-0.2	-
F12	Adige	-0.3	-0.6	-0.4	-0.9	0.2	-0.9	0.1	-0.3	0.1	-0.8	-0.2	-0.7	-0.4	-0.7	-0.2	-0.6
F13	Adige	-0.5	-0.3	-1.3	-0.6	-0.1	-0.5	0.1	0.2	-0.5	-0.5	-0.2	0.0	-0.8	-0.6	-0.5	-0.3
F14	Adige	-0.7	-0.3	-1.3	0.4	-0.6	0.1	0.2	0.7	-0.9	0.2	0.0	0.2	-1.1	-0.4	-0.3	0.3
F15	Adige	-0.5	-0.9	-1.0	-0.7	-1.0	-0.7	-0.5	-0.4	-0.9	-0.7	-0.3	-0.5	-0.9	-0.6	-0.6	-0.4
F16	Adige	-0.6	-0.5	-1.2	0.6	-0.8	0.1	-0.3	0.3	-0.9	0.4	-0.3	0.0	-1.0	-0.2	-0.5	0.0
F17	Adige	-1.3	-0.5	-3.3	-0.6	-1.9	0.3	-0.8	0.7	-2.9	0.0	-0.9	0.0	-1.8	-0.5	-0.8	0.1
F18	Adige	-0.8	-0.8	-1.7	-1.4	-1.0	-1.0	-0.6	-0.4	-1.4	-1.3	-0.3	-0.4	-1.2	-0.7	-0.7	-0.6
F19	Adige	-0.3	-0.2	-0.7	0.6	-0.4	-0.3	0.5	1.1	-0.4	-0.2	-0.2	0.3	-0.7	-0.5	0.4	0.4
F20	Adige	0.3	0.5	-0.2	0.5	-0.4	0.3	1.5	1.5	-0.2	0.3	0.0	0.2	-0.4	0.2	0.4	0.6
F21	Adige	0.6	-1.3	0.3	-1.0	0.1	-0.9	1.1	-0.7	0.4	-0.9	0.9	-1.1	-0.2	-0.9	0.8	-0.8
F22	Adige	-0.2	-	-1.7	-	-1.1	-	0.8	-	-1.4	-	0.1	-	-1.1	-	-0.1	-
F23	Adige	-0.3	-	-0.8	-	-0.4	-	1.4	-	-0.5	-	0.4	-	-0.9	-	0.4	-
F24	Adige	-0.3	-	-0.9	-	-0.5	-	-0.3	-	-0.5	-	0.2	-	-0.7	-	-0.3	-
F26	Adige	0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.1	-0.7	0.3	0.2	0.1	-0.5	0.1	0.0	-0.4	-0.6	-0.1	-0.3
F27	Adige	0.6	-0.5	0.4	-0.4	0.3	-0.4	0.6	-0.4	0.5	-0.5	0.7	-0.5	0.1	-0.5	0.5	-0.5

Anche per i campioni attribuiti all'Appennino As, Co, Cr, Ni, Pb, V e Zn, mostrano occasionali anomalie, di bassa entità, mentre il Cu risulta ancora fortemente alterato. Anche qui per il rame ci sono alcune situazioni particolari di classificazione diversa utilizzando i due approcci: il campione ILA 03, ha un I_{geo} di 2.0 (valore tra 2° e 3° Classe, con metodo con il valore mediano) e di 0.9 (1° Classe, con metodo puntuale, considerando le singole concentrazioni). Questi risultati derivano da concentrazione superficiale di 232 ppm, profonda di 81 ppm, mentre il valore mediano per la zona è di 39 ppm. Le considerazioni che possono essere fatte è che il campione superficiale è sicuramente alterato e non si può escludere che il segnale di anomalia si sia spostato anche parzialmente alle situazioni profonde, visto che comunque 81 ppm Cu non sono un valore comune.

Nel bacino Mincio, gli I_{geo} ci indicano che c'è un diffuso arricchimento superficiale degli elementi del suolo in molti campioni, arrivando anche ad esser classificati come moderatamente inquinati o come transizione tra moderatamente a fortemente inquinati. L'elemento che risulta avere valori di I_{geo} piuttosto elevati è il Cu. L'elevato Cu, nel suolo superficiale può essere ricondotto a pratiche agricole e all'uso di pesticidi e liquami ecc.. Una considerazione interessante può esser fatta osservando gli I_{geo} del campione F10. A seconda del metodo utilizzato, in tutti gli elementi si nota un cambio di classe qualitativa. Il cambiamento più evidente si osserva per il Cu e per il Pb, entrambi positivi con un metodo e negativi con l'altro. Per il Cu si ha un I_{geo} di 1.0 (1° Classe, con metodo con il valore mediano) e di -1.4 (valore fortemente negativo, con il metodo puntuale, considerando le singole concentrazioni). Per il Cu il valore superficiale misurato è di 46 ppm, quello profondo è di 79 ppm mentre il valore mediano utilizzato come riferimento è di 15 ppm.

Discorso simile per il Pb che ha un I_{geo} di 0.5 (1° Classe, con il metodo con il valore mediano) e di -1.7 (valore fortemente negativo, con il metodo puntuale, considerando le singole concentrazioni). Per il Pb, il valore superficiale misurato è di 33 ppm, quello profondo è di 70 ppm mentre il valore mediano utilizzato come riferimento è di 16. Una particolarità da notare in questo campione è il cambiamento di classe qualitativa per tutti gli elementi. E' evidente che abbiamo un campione profondo che ha sempre una concentrazione maggiore rispetto al valore mediano e a quello superficiale, per tutti gli elementi considerati. Questo potrebbe rispecchiare una composizione differente tra il campione superficiale e quello profondo causata, probabilmente, da una deposizione di sedimenti di diversa provenienza, o trattarsi di un campione profondo di scarsa qualità. Anche nel bacino dell'Oglio c'è un diffuso arricchimento superficiale degli elementi nel suolo, praticamente in tutti i campioni, arrivando anche ad essere classificati, in base al valore I_{geo} , come fortemente inquinati. Per quanto riguarda il Cu, che anche in questo caso mostra avere un arricchimento superficiale molto maggiore rispetto agli altri elementi. Soprattutto in questo bacino, l'Oglio, si può notare che per quasi tutti i campioni, si ha un particolare arricchimento superficiale in Co, Cr e Ni, il che mi porta a pensare che esista una differenza sistematica tra i campioni superficiali e quelli profondi: i campioni profondi hanno una composizione classica del bacino Oglio, mentre quelli

superficiali potrebbero essere stati influenzati da parte di apporti di sedimento o utilizzo di acque del Po per l'irrigazione che ha portato l'arricchimento in questi elementi, non caratteristici del bacino. Questo è plausibile, visto che la maggior parte di questi sedimenti, si trova nei pressi della confluenza dell'Oglio nel Po.

Per quanto riguarda il bacino dell'Adige, non si hanno grandi osservazioni da fare relativamente a As, Co, Cr, Ni, Pb, V e Zn, che mostrano sporadiche anomalie superficiali, più frequenti per l'Adige. Anche in questo caso è sempre il Cu l'elemento che mostra il maggiore arricchimento in superficie tanto da far ricadere la qualità del suolo nelle classi 2° e 3°. Una cosa interessante in questo bacino è la presenza di valori I_{geo} fortemente negativi, che non vengono mai classificati, ma che significano comunque una concentrazione molto elevata nei campioni superficiali o un valore mediano molto più grande rispetto al valore superficiale.

Le figure (Fig. 78-93) mostrano le ubicazioni dei campioni con I_{geo} significativo, includendo anche siti con I_{geo} negativo calcolati con il metodo del valore mediano.

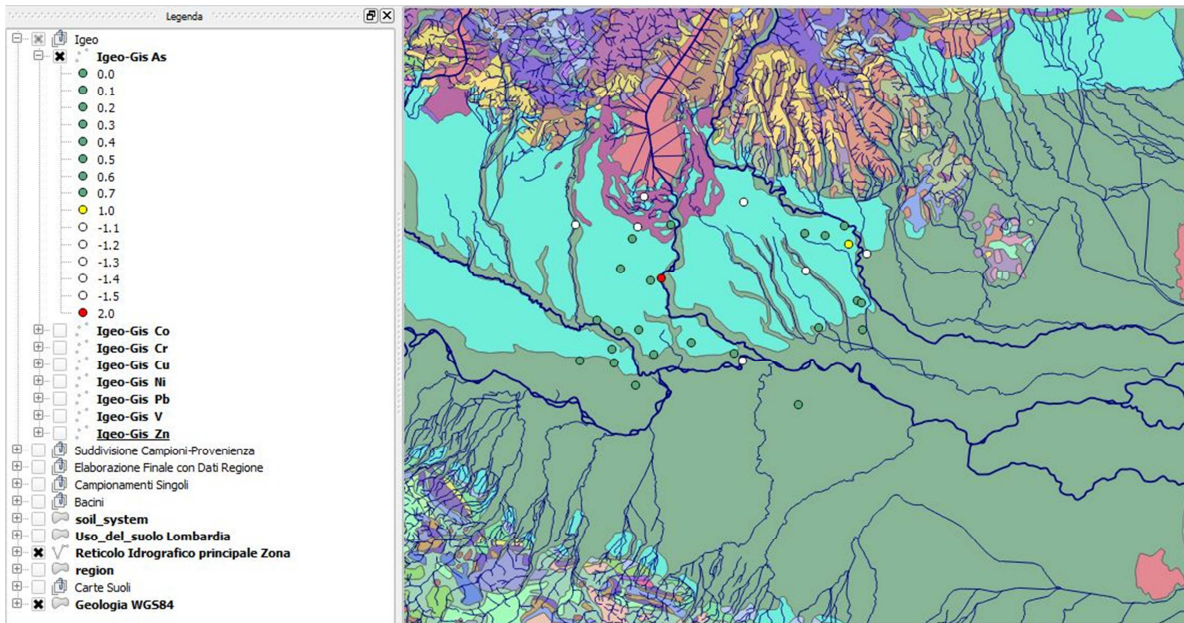


Fig. 78 - Carta con distribuzione dei campioni con il relativo valore I_{geo} per l'elemento As, raggruppati per "classe qualitativa".

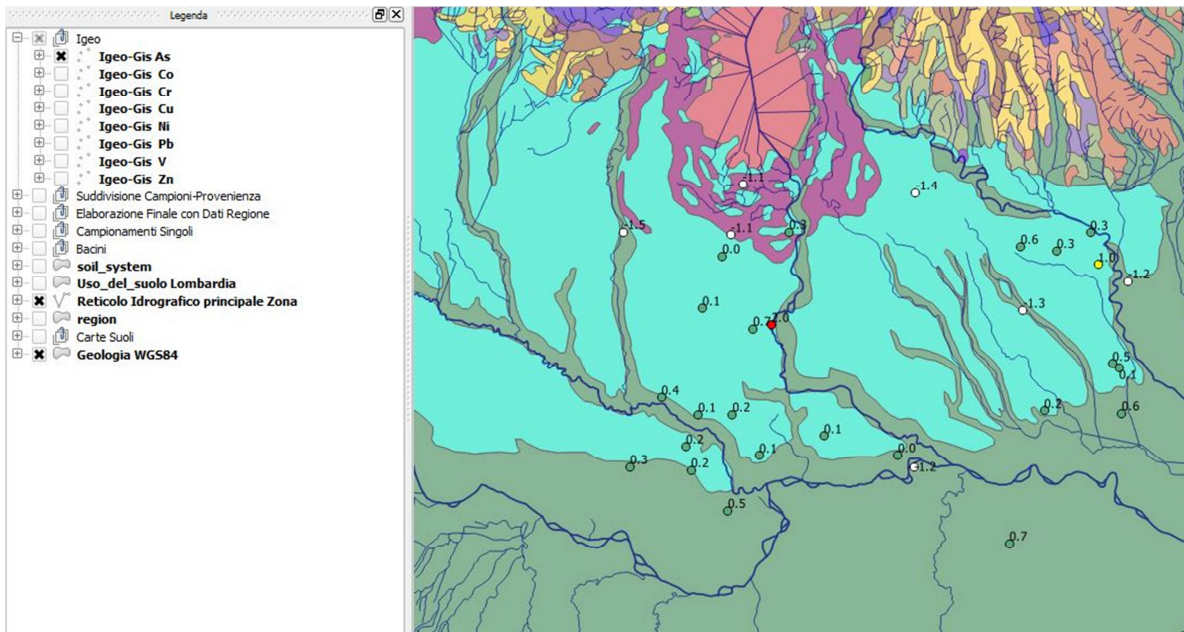


Fig. 79 - Zoom dei valori I_{geo} di As.

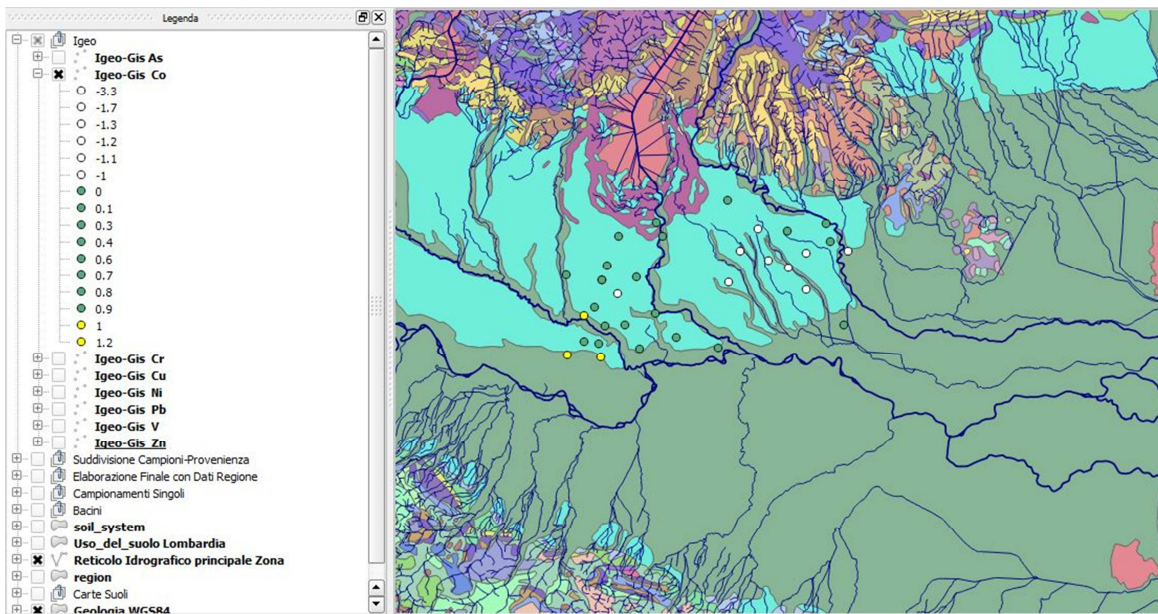


Fig. 80 - Carta con distribuzione dei campioni con il relativo valore I_{geo} per l'elemento Co, raggruppati per "classe qualitativa".

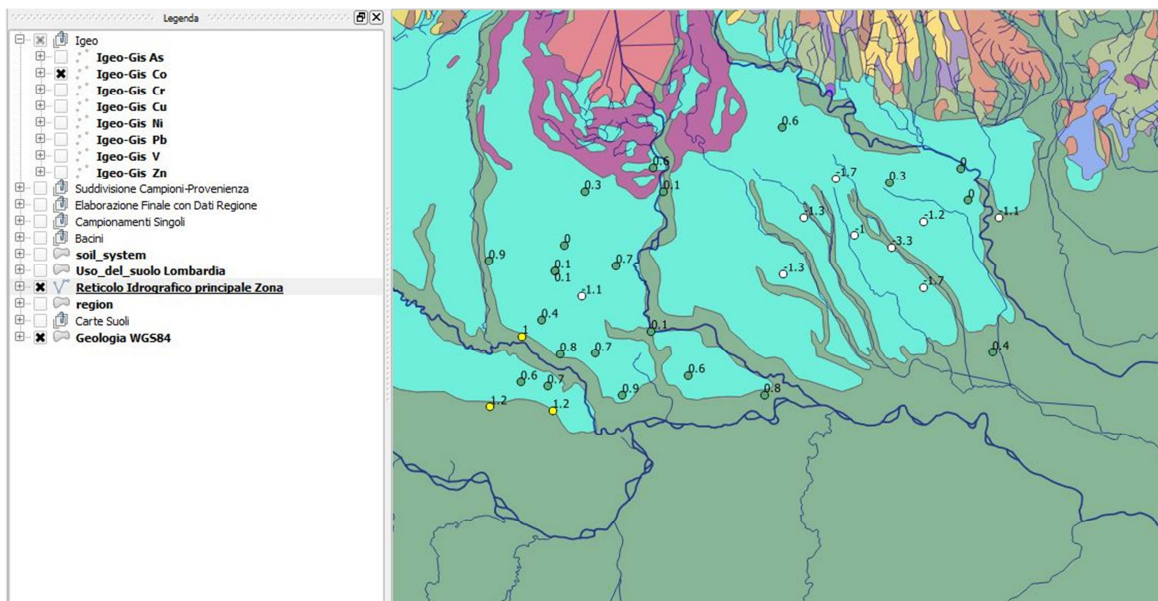


Fig. 81 - Zoom dei valori I_{geo} di Co.

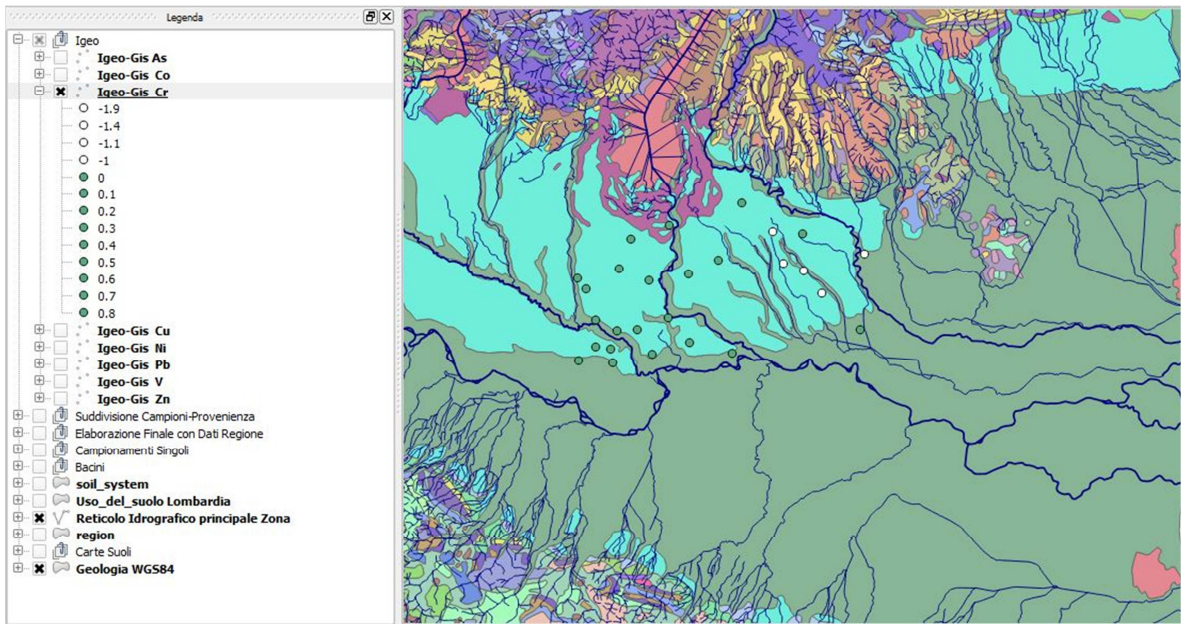


Fig. 82 - Carta con distribuzione dei campioni con il relativo valore I_{geo} per l'elemento Cr, raggruppati per "classe qualitativa".

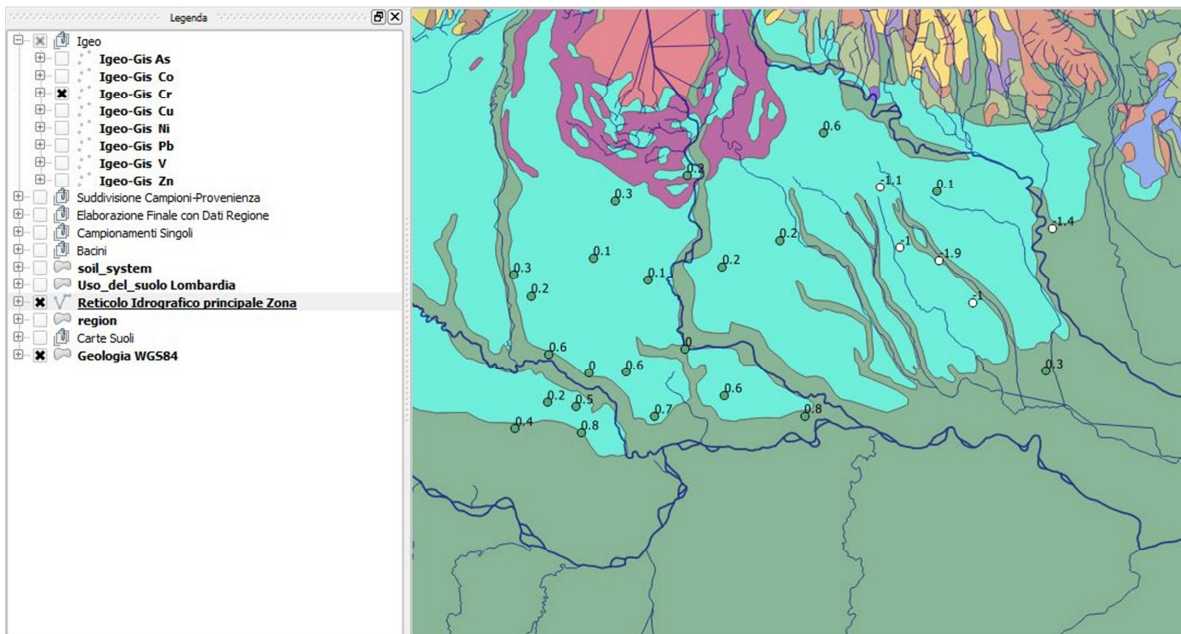


Fig. 83 - Zoom dei valori I_{geo} di Cr.

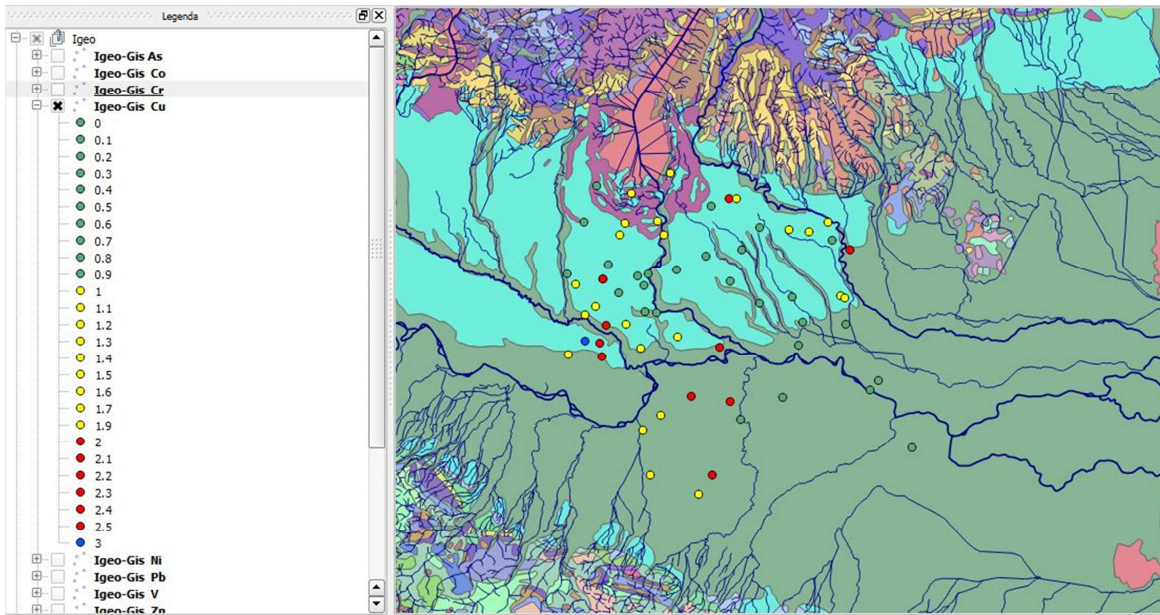


Fig. 84 - Carta con distribuzione dei campioni con il relativo valore I_{geo} per l'elemento Cu, raggruppati per "classe qualitativa".

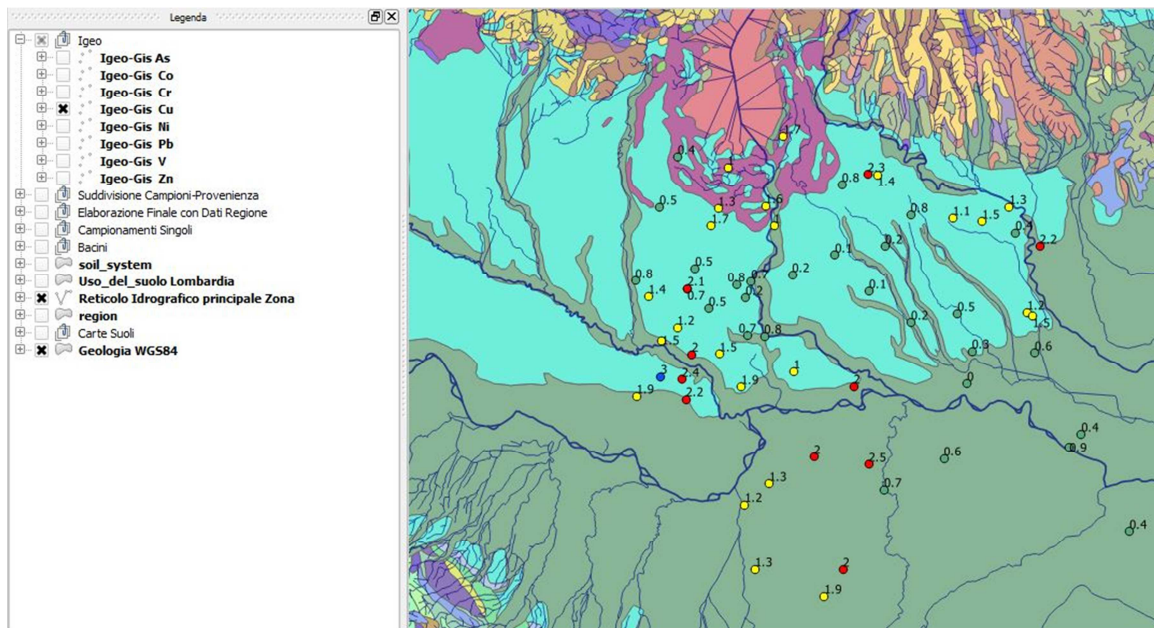


Fig. 85 - Zoom dei valori I_{geo} di Cu.

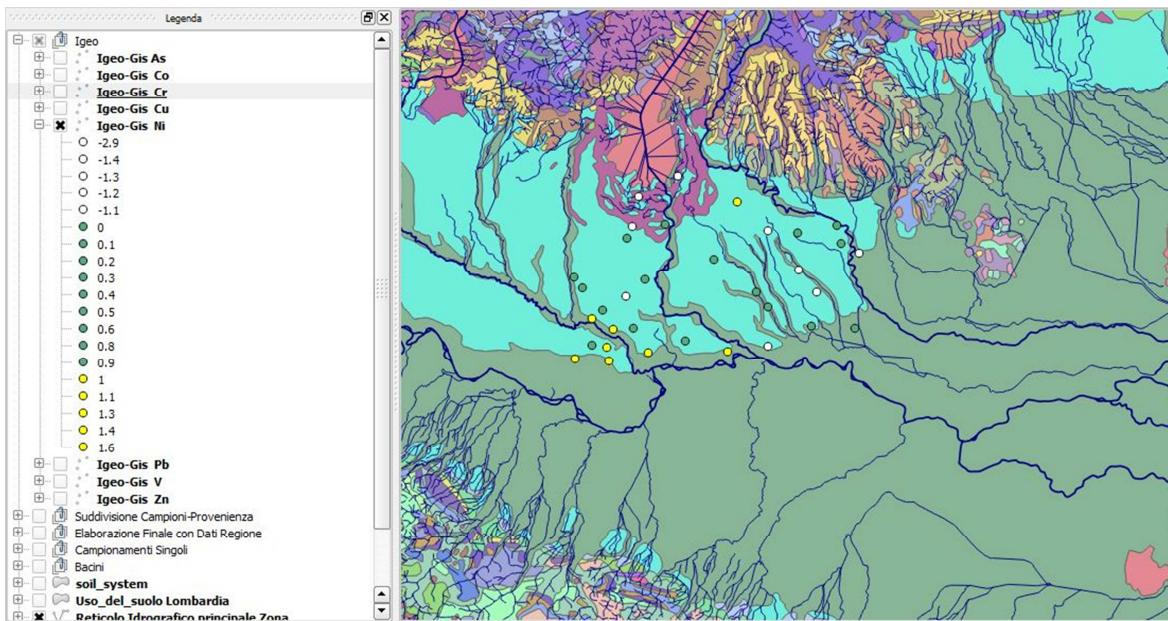


Fig. 86 - Carta con distribuzione dei campioni con il relativo valore I_{geo} per l'elemento Ni, raggruppati per "classe qualitativa".

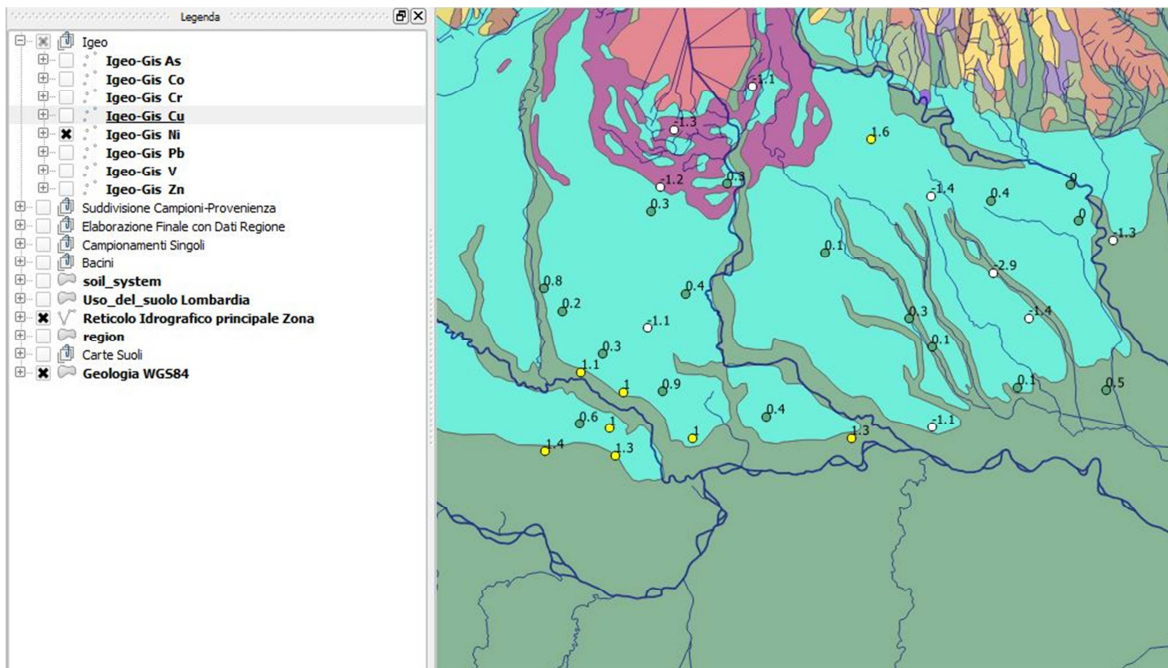
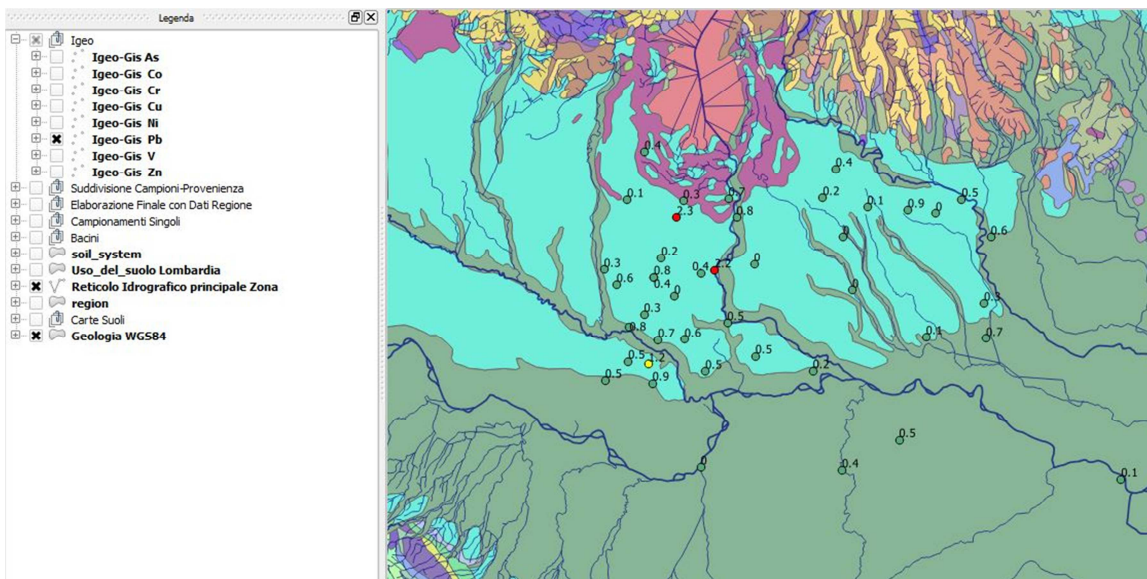
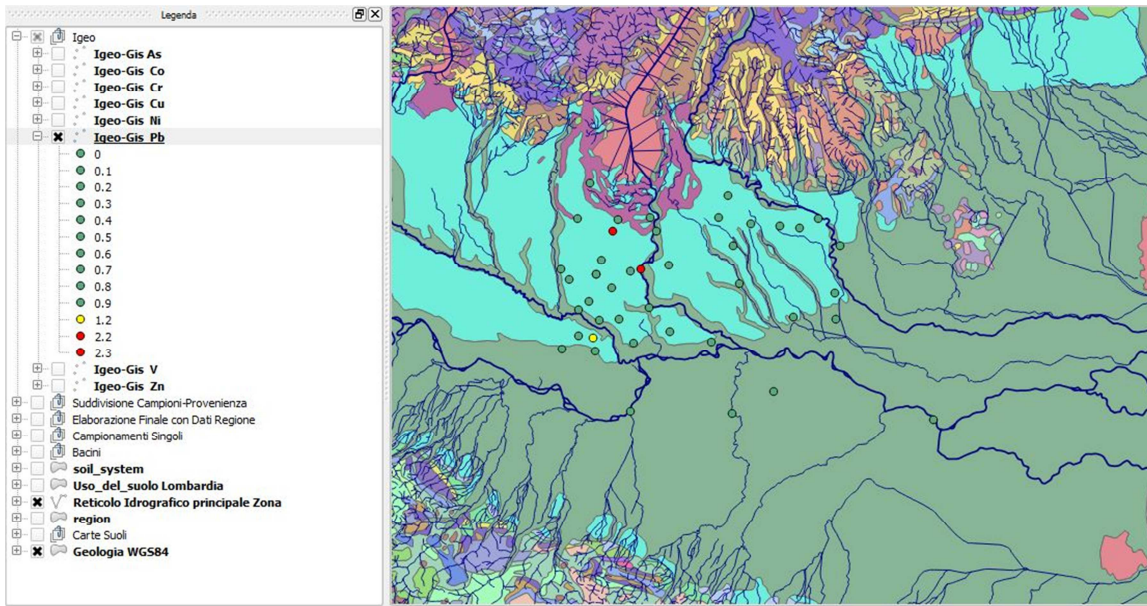


Fig. 87 - Zoom dei valori I_{geo} di Ni.



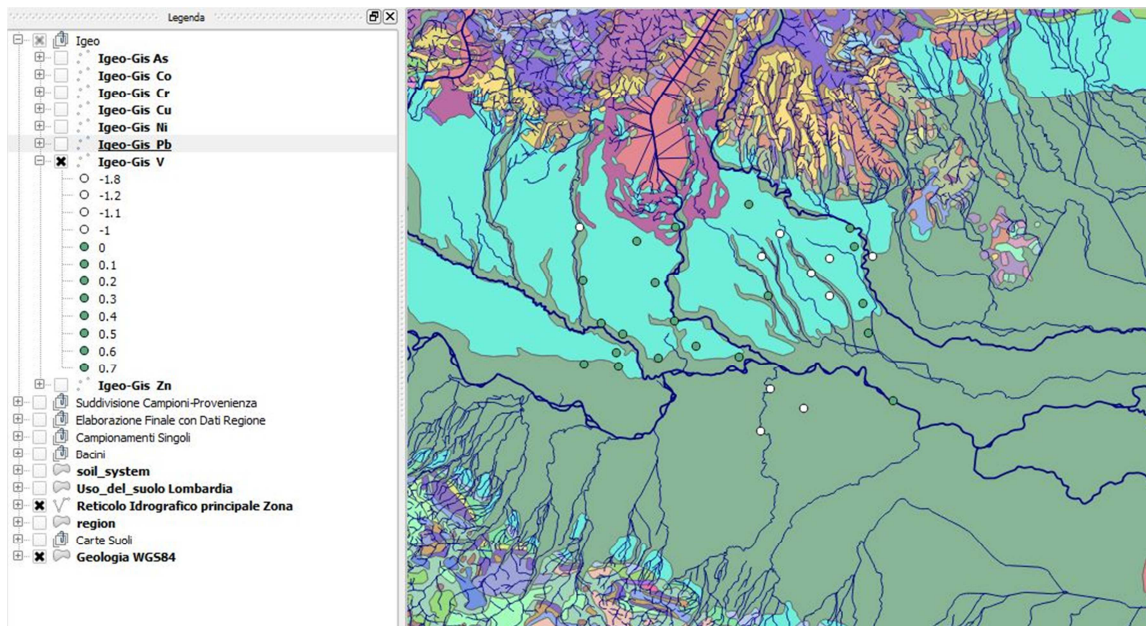


Fig. 90 - Carta con distribuzione dei campioni con il relativo valore I_{geo} per l'elemento V, raggruppati per "classe qualitativa".

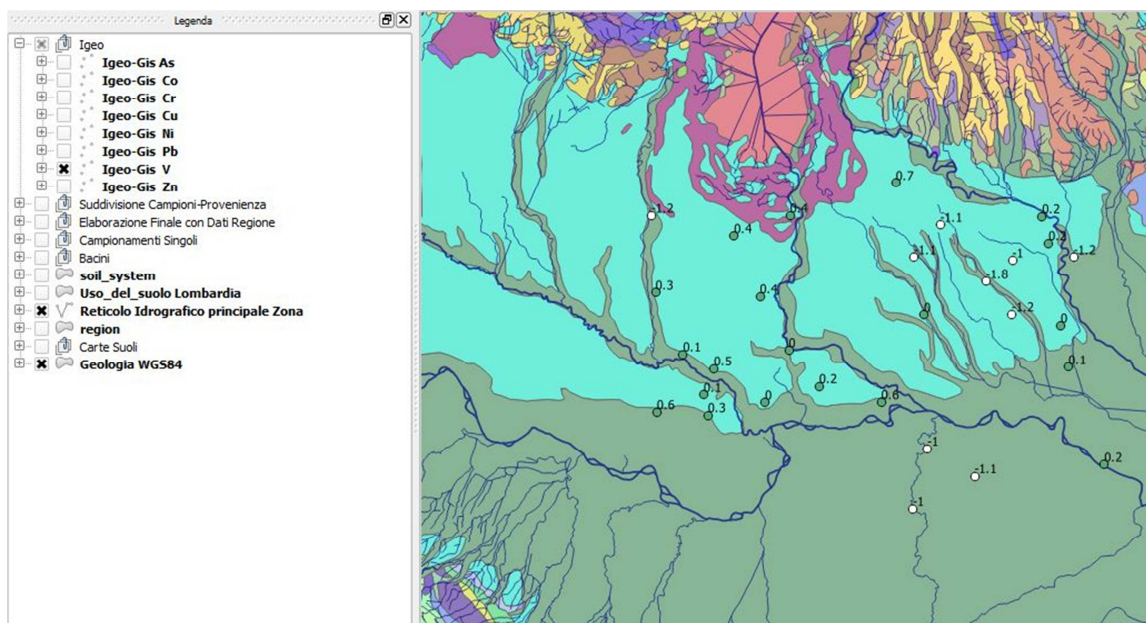


Fig. 91 - Zoom dei valori di I_{geo} di V.

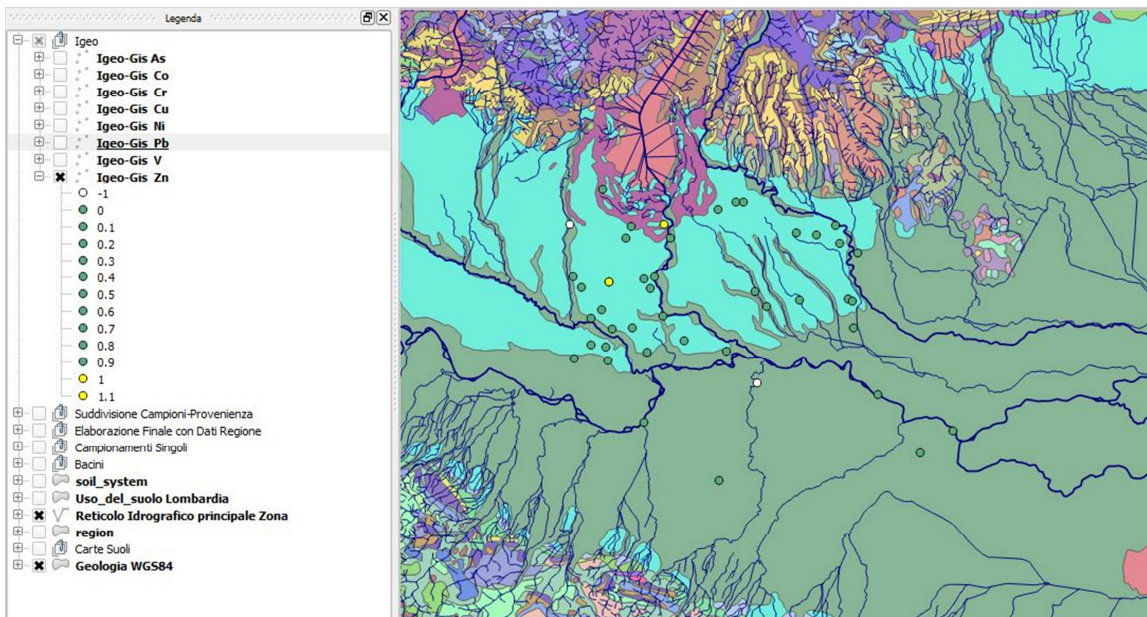


Fig. 92 - Carta con distribuzione dei campioni con il relativo valore I_{geo} per l'elemento Zn, raggruppati per "classe qualitativa".

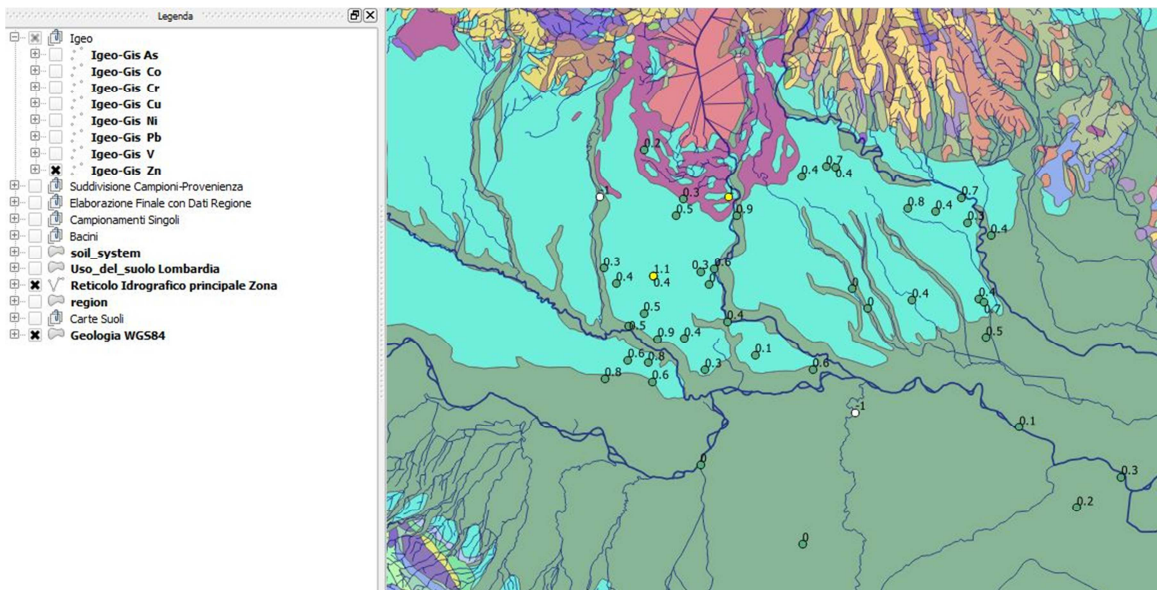


Fig. 93 - Zoom dei valori di I_{geo} di Zn.





































Conclusioni

Le conclusioni più significative di questo lavoro sono :

- E' possibile determinare il segnale geochimico di provenienza del sedimento in una situazione complessa come quella selezionata utilizzando opportune combinazioni di elementi maggiori ed in traccia, in particolare attraverso la creazione di diagrammi triangolari opportuni.
- Sono evidenti alcune situazioni critiche legate all'attribuzione del materiale che potrebbero dipendere da fattori locali, pedogenetici o geomorfologici
- alcuni elementi risultano poco discriminanti riguardo la provenienza
- elementi di interesse ambientale mostrano differenze significative tra i bacini per cui è necessario identificare valori di riferimento differenziati per unità geografica.
- per quello che riguarda la qualità del suolo occorre segnalare che è il rame l'elemento ad essere caratterizzato da forti anomalie, mentre gli altri elementi considerati mostrano solo leggere alterazioni della qualità del suolo superficiale.

Appendice A

Legenda delle carte dell'Uso del Suolo tratte dal progetto Corine Land Cover e relativa descrizione dettagliata.

	111	Tessuto Urbano Continuo
	112	Tessuto Urbano Discontinuo
	121	Aree Commerciali o Industriali
	122	Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori
	123	Aree portuali
	124	Aeroporti
	131	Aree estrattive
	132	Discariche
	133	Cantieri
	211	Seminativi in aree non irrigue
	213	Risaie
	221	Vigneti
	222	Frutteti e frutti minori
	223	Oliveti
	231	Prati stabili
	241	Colture annuali associate a colture permanenti
	242	Sistemi colturali e particellari complessi
	243	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali
	244	Aree agroforestali
	311	Boschi di latifoglie
	312	Boschi di conifere
	313	Boschi misti
	321	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota
	322	Brughiere e cespuglieti
	324	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione
	331	Spiagge, dune, sabbie (più larghe di 100 m)
	332	Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti
	333	Aree con vegetazione rada
	335	Ghiacciai e nevi perenni
	411	Paludi interne
	421	Paludi salmastre
	422	Saline
	423	Zone intertidali
	511	Corsi d'acqua, canali e idrovie
	512	Bacini d'acqua
	521	Lagune

Descrizione dettagliata della legenda (ISPRA):

CORINE LAND-COVER

LEGENDA

1. TERRITORI MODELLATI ARTIFICIALMENTE

1.1 Zone urbanizzate

1.1.1. Tessuto Urbano continuo

Spazi strutturati dagli edifici e dalla viabilità. Gli edifici, la viabilità e le superfici ricoperte artificialmente occupano più dell'80% della superficie totale. La vegetazione non lineare e il suolo nudo rappresentano l'eccezione. Sono qui compresi cimiteri senza vegetazione. Problema particolare degli abitati a sviluppo lineare (villaggi-strade): anche se la larghezza delle costruzioni che fiancheggiano la strada, compresa la strada stessa, raggiunge solo 75 m, e a condizione che la superficie totale superi i 25 ha, queste aree saranno classificate come tessuto urbano continuo (o discontinuo se le aree non sono congiunte).

1.1.2. Tessuto urbano discontinuo

Spazi caratterizzati dalla presenza di edifici. Gli edifici, la viabilità e le superfici a copertura artificiale coesistono con superfici coperte da vegetazione e con suolo nudo, che occupano in maniera discontinua aree non trascurabili. Gli edifici, la viabilità e le superfici ricoperte artificialmente coprono dal 50 all'80% della superficie totale. Si dovrà tenere conto di questa densità per le costruzioni localizzate all'interno di spazi naturali (foreste o spazi erbosi). Questa voce non comprende le abitazioni agricole sparse delle periferie delle città o nelle zone di coltura estensiva comprendenti edifici adibiti a impianti di trasformazione e ricovero; le residenze secondarie disperse negli spazi naturali o agricoli, comprende invece cimiteri senza vegetazione.

1.2 Zone industriali, commerciali e reti di comunicazione

1.2.1. Aree industriali o commerciali

Aree a copertura artificiale (in cemento, asfaltate o stabilizzate: per esempio terra battuta), senza vegetazione, che occupano la maggior parte del terreno. (Più del 50% della superficie). La zona comprende anche edifici e/o aree con vegetazione. Le zone industriali e commerciali ubicate nei tessuti urbani continui e discontinui sono da considerare solo se si distinguono nettamente dall'abitato. (Insieme industriale di aree superiore a 25 ha con gli spazi associati: muri di cinta, parcheggi, depositi, ecc.). Le stazioni centrali delle città fanno parte di questa categoria, ma non i grandi magazzini integrati in edifici di abitazione, i sanatori, gli stabilimenti termali, gli ospedali, le case di riposo, le prigioni, ecc.

1.2.2. Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori

Larghezza minima da considerare: 100 m. Autostrade, ferrovie, comprese le superfici annesse (stazioni, binari, terrapieni, ecc.) e le reti ferroviarie più larghe di 100 m che penetrano nella città. Sono qui compresi i grandi svincoli stradali e le stazioni di smistamento, ma non le linee elettriche ad alta tensione con vegetazione bassa che attraversano aree forestali.

1.2.3. Aree portuali

Infrastrutture delle zone portuali compresi i binari, i cantieri navali e i porti da diporto. Quando i moli hanno meno di 100 m., di larghezza, la superficie dei bacini (d'acqua dolce o salata) delimitati dagli stessi è da comprendere nel calcolo dei 25 ha.

1.2.4. Aeroporti

Infrastrutture degli aeroporti: piste, edifici e superfici associate. Sono da considerare solo le superfici che sono interessate dall'attività aeroportuale (anche se alcune parti di queste sono utilizzate occasionalmente per agricoltura-foraggio). Di norma queste aree sono delimitate da recinzioni o strade. In molti casi, l'area aeroportuale figura sulle carte topografiche a grande scala (1:25.000 e 1:50.000). Non sono compresi i piccoli aeroporti da turismo (con piste consolidate) ed edifici di dimensioni molto piccole.

1.3 Zone estrattive, discariche e cantieri

1.3.1. Aree estrattive

Estrazione di materiali inerti a cielo aperto (cave di sabbia e di pietre) o di altri materiali (miniere a cielo aperto). Ne fanno parte cave di ghiaia, eccezion fatta, in ogni caso, per le estrazioni nei letti dei fiumi. Sono qui compresi gli edifici e le installazioni industriali associate. Rimangono escluse le cave sommerse, mentre sono comprese le superfici abbandonate e sommerse, ma non recuperate, comprese in aree estrattive. Le rovine, archeologiche e non, sono da includere nelle aree ricreative.

1.3.2. Discariche

Discariche e depositi di miniere, industrie e collettività pubbliche.

1.3.3. CantieriSpazi in costruzione, scavi e suoli rimaneggiati.

1.4. Zone verdi artificiali non agricole

1.4.1. Aree verdi urbane

Spazi ricoperti di vegetazione compresi nel tessuto urbano. Ne fanno parte cimiteri con abbondante vegetazione e parchi urbani.

1.4.2. Aree sportive e ricreative

Aree utilizzate per camping, attività sportive, parchi di divertimento, campi da golf, ippodromi, rovine archeologiche e non, ecc. Ne fanno parte i parchi attrezzati (aree dotate intensamente di attrezzature ricreative, da picnic, ecc.) compresi nel tessuto urbano. N.B.: sono escluse le piste da sci, da classificare, di norma, come 2.3. I. e 3.2.1

2. TERRITORI AGRICOLI

2.1. Seminativi

Superfici coltivate regolarmente arate e generalmente sottoposte ad un sistema di rotazione.

2.1.1. Seminativi in aree non irrigue

Sono da considerare perimetri irrigui solo quelli individuabili per fotointerpretazione, satellitare o aerea, per la presenza di canali e impianti di pompaggio. Cereali, leguminose in pieno campo, colture foraggere, coltivazioni industriali, radici commestibili e maggesi. Vi sono compresi i vivai e le colture orticole, in pieno campo, in serra e sotto plastica, come anche gli impianti per la produzione di piante medicinali, aromatiche e culinarie. Vi sono comprese le colture foraggere (prati artificiali), ma non i prati stabili.

2. I. 2. Seminativi in aree irrigue

Colture irrigate stabilmente e periodicamente grazie ad un'infrastruttura permanente (canale di irrigazione, rete di drenaggio). La maggior parte di queste colture non potrebbe realizzarsi senza l'apporto artificiale d'acqua. Non vi sono comprese le superfici irrigate sporadicamente.

2.1.3. Risaie

Superfici utilizzate per la coltura del riso. Terreni terrazzati e dotati di canali di irrigazione. Superfici periodicamente inondate.

2.2. Colture permanenti

Colture non soggette a rotazione che forniscono più raccolti e che occupano il terreno per un lungo periodo prima dello scasso e della ripiantatura: si tratta per lo più di colture legnose. Sono esclusi i prati, i pascoli e le foreste.

2.2. I. Vigneti

Superfici piantate a vigna

2.2.2. Frutteti e frutti minori

Impianti di alberi o arbusti fruttiferi: colture pure o miste di specie produttrici di frutta o alberi da frutto in associazione con superfici stabilmente erbate. Ne fanno parte i castagneti da frutto e i nocciolieti. I frutteti di meno di 25 ha compresi nei terreni agricoli (prati stabili o seminativi) ritenuti importanti sono da comprendere nella classe 2.4.2.. I frutteti con presenza di diverse associazioni di alberi sono da includere in questa classe.

2.2.3. Oliveti

Superfici piantate ad olivo, comprese particelle a coltura mista di olivo e vite.

2.3. Prati stabili

2.3. I. Prati stabili

Superfici a copertura erbacea densa a composizione floristica rappresentata principalmente da graminacee, non soggette a rotazione. Sono per lo più pascolate ma il foraggio può essere raccolto meccanicamente. Ne fanno parte i prati permanenti e temporanei e le marcite. Sono comprese inoltre aree con siepi. Le colture foraggere (prati artificiali inclusi in brevi rotazioni) sono da classificare come seminativi (2. I. 1).

2.4. Zone agricole eterogenee

2.4. I. Colture annuali associate a colture permanenti

Colture temporanee (seminativi o prati) in associazione con colture permanenti sulla stessa superficie, quando le particelle a frutteto comprese nelle colture annuali non associate rappresentano meno del 25% della superficie totale.

2.4.2. Sistemi colturali e particellari complessi

Mosaico di piccoli appezzamenti con varie colture annuali, prati stabili e colture permanenti, occupanti ciascuno meno del 75% della superficie totale dell'unità. Vi sono compresi gli "orti per pensionati" e simili.. Eventuali "lotti" superanti i 25 ha sono da includere nelle zone agricole.

2.4.3. Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali

(formazioni vegetali naturali, boschi, lande, cespuglieti, bacini d'acqua, rocce nude, ecc.) importanti. Le colture agrarie occupano più del 25 e meno del 75% della superficie totale dell'unità.

2.4.4. Aree agroforestali

Colture annuali o pascolo sotto copertura arborea composta da specie forestali.

3. TERRITORI BOSCATI E AMBIENTI SEMI-NATURALI

3.1. Zone boscate

3.1.1. Boschi di latifoglie

Formazioni vegetali, costituite principalmente da alberi ma anche da cespugli e arbusti, nelle quali dominano le specie forestali a latifoglie. La superficie a latifoglie deve coprire almeno il 75% dell'unità, altrimenti è da classificare bosco misto.

N.B.: vi sono compresi i pioppeti e gli eucalitteti.

3.1.2. Boschi di conifere

Formazioni vegetali costituite principalmente da alberi ma anche da cespugli e arbusti, nelle quali dominano le specie forestali conifere. La superficie a conifere deve coprire almeno il 75% dell'unità, altrimenti è da classificare bosco misto. N.B.: vi sono comprese le conifere a rapido accrescimento.

3.1.3. Boschi misti

Formazioni vegetali, costituite principalmente da alberi ma anche da cespugli ed arbusti, dove non dominano né le latifoglie, né le conifere.

3.2. Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea

3.2.1. Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota

Aree foraggere a bassa produttività. Sono spesso situate in zone accidentate. Interessano spesso superfici rocciose, roveti e arbusteti. Sulle aree interessate dalla classe non sono di norma presenti limiti di particelle (siepi, muri, recinti).

3.2.2. Brughiere e cespuglieti

Formazioni vegetali basse e chiuse, composte principalmente di cespugli, arbusti e piante erbacee (eriche, rovi, ginestre dei vari tipi ecc.). Vi sono comprese le formazioni a pino mugo.

3.2.3. Aree a vegetazione sclerofilla

Ne fanno parte macchie e garighe. Macchie: associazioni vegetali dense composte da numerose specie arbustive miste su terreni silicei acidi in ambiente mediterraneo.

Garighe: associazioni cespugliose discontinue delle piattaforme calcaree mediterranee. Sono spesso composte da quercia coccifera, corbezzolo, lavanda, timo, cisto bianco, ecc. Possono essere presenti rari alberi isolati.

3.2.4. Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione

Vegetazione arbustiva o erbacea con alberi sparsi. Formazioni che possono derivare dalla degradazione della foresta o da una rinnovazione della stessa per ricolonizzazione di aree non forestali.

3.3. Zone aperte con vegetazione rada o assente

3.3.1. Spiagge, dune, sabbie (più larghe di 100 m)

Le spiagge, le dune e le distese di sabbia e di ciottoli di ambienti litorali e continentali, compresi i letti sassosi dei corsi d'acqua a regime torrentizio. Le dune ricoperte di vegetazione (erbacea o legnosa) devono essere classificate nelle voci corrispondenti: boschi (3.1.1., 3.1.2. e 3.1.3.), prati (2.3. 1.) o aree a pascolo naturale (3.2. 1.)

3.3.2. Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti

3.3.3. Aree con vegetazione rada

Comprende le steppe xerofile, le steppe alofile, le tundre e le aree calanchive in senso lato.

3.3.4. Aree percorse da incendi

Superfici interessate da incendi recenti. I materiali carbonizzati sono ancora presenti.

3.3.5. Ghiacciai e nevi perenni

Superfici coperte da ghiacciai o da nevi perenni.

4. ZONE UMIDE

4.1. Zone umide interne

Zone non boscate, parzialmente, temporaneamente o permanentemente saturate da acqua stagnante o corrente.

4.1.1. Paludi interne

Terre basse generalmente inondate in inverno e più o meno saturate d'acqua durante tutte le stagioni.

4.1.2. Torbiere

Terreni spugnosi umidi nei quali il suolo è costituito principalmente da muschi e materiali vegetali decomposti. Torbiere utilizzate o meno.

4.2. Zone umide marittime

Zone non boscate, saturate parzialmente, temporaneamente o in permanenza da acqua salmastra o salata.

4.2.1. Paludi salmastre

Terre basse con vegetazione, situate al di sotto del livello di alta marea, suscettibili pertanto di inondazione da parte delle acque del mare. Spesso in via di riempimento, colonizzate a poco a poco da piante alofile.

4.2.2. Saline

Saline attive o in via di abbandono. Parti di paludi salmastre utilizzate per la produzione di sale per evaporazione. Sono nettamente distinguibili dal resto delle paludi per la forma regolare delle particelle e il loro sistema di argini.

4.2.3. Zone intertidali

Superfici limose, sabbiose o rocciose generalmente prive di vegetazione comprese fra il livello delle alte e basse maree.

5. CORPI IDRICI

5.1. Acque continentali

5.1.1. Corsi d'acqua, canali e idrovie

Corsi di acqua naturali o artificiali che servono per il deflusso delle acque. Larghezza minima da considerare: 100 m

5.1.2. Bacini d'acqua

Superfici naturali o artificiali coperte da acque.

5.2. Acque marittime

5.2. 1. Lagune

Aree coperte da acque salate o salmastre, separate dal mare da barre di terra o altri elementi topografici simili. Queste superfici idriche possono essere messe in comunicazione con il mare in certi punti particolari, permanentemente o periodicamente.

5.2.2. Estuari

Parte terminale dei fiumi, alla foce, che subisce l'influenza delle acque.

5.2.3. Mari e oceani

Aree al di là del limite delle maree più basse.

BIBLIOGRAFIA:

Abbate E., Bortolotti V., Conti M., Marcucci M., Principi G., Passerini P., Treves B., (1986). Apennines and Alps ophiolites and the evolution of the western Tethys. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 31, 23-44.

AdBPo (Autorità di Bacino del fiume Po) (2006). Caratteristiche del bacino del fiume Po e primo esame dell'impatto ambientale delle attività umane sulle risorse idriche.

AGIP Mineraria (1959). Campi gassiferi padani. *Atti Convegno Giacimenti Gassiferi dell'Europa Occidentale. Acc. Naz. Lincei*, 2, 45-497.

AGIP (1977). Temperature sotterranee. *Inventario dei dati raccolti dall'AGIP durante la ricerca e la produzione di idrocarburi in Italia. Ed. AGIP*, 1930.

Albanese S., Cicchella D., Lima A., De Vivo B. (2008). Urban geochemical mapping. In: "Environmental geochemistry: Site characterization, Data analysis, Case histories" (B. De Vivo, H. E. Belkin, and A. Lima, eds.). Elsevier B.V.; 153-174

Albanese S., Civitillo D., Cosenza A., De Vivo B., Lima A. (2008a). Background and baseline values of the Bagnoli brownfield site and sea sediments (Naples, Italy). *33rd International Geological Congress, 6-12/8/08, Oslo, Norway*.

Alloway B. J. (1990). *Heavy metals in soils. John Wiley and Sons, Inc. New York*, 339.

Amorosi A., (2008). Delineating aquifer geometry within sequence stratigraphic framework: evidence from Quaternary of the Po River Basin Northern Italy. *GeoActa Special Publication 1*, 1-14, Bologna.

Amorosi A., Colalongo M.L., Pasini G., Preti D. (1999). Sedimentary response to Late Quaternary sea-level changes in the Romagna coastal plain (Northern Italy), *Sedimentology*, 46, 99-121.

Amorosi A., Colalongo M. L., Fusco F., Pasini G., Fiorini F. (1999a). Glacio-eustatic control of continental-shallow marine cyclicity from Late Quaternary deposits of the south-eastern Po Plain (Northern Italy), *Quaternary Research*, 52, 1-13.

Amorosi A. e Colalongo M.L. (2005). The linkage between alluvial and coeval nearshore marine succession: evidence from the Late Quaternary record of the Po River Plain, Italy. In: M. Blum and S. Marriott (Eds.) *Fluvial Sedimentology, IAS Special Publication*.

Andersson A. (1977). *Swedish J. Agric. Res.* 7, 1-5.

Anelli L., Mattavelli L., Pieri M. (1996). Structural-stratigraphic evolution and petroleum system of Italy. In: P.A. Ziegler and F Horvát (Eds) Structure and prospects of Alpine Basin and forelands. Peri-Tethys Memoir 2, Mémoires Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 170, 455-483.

Aquater (GEOTENECO) (1976). Elaborazione dei dati geofisici relativi alla Dorsale Ferrarese. Rapporto inedito per ENEL.

Aquater (GEOTENECO) (1977). Elaborazione dei dati geofisici relativi alla struttura di Trino Vercellese. Rapporto inedito per ENEL.

Aquater (GEOTENECO) (1978). Interpretazione dei dati geofisici delle strutture plioceniche e Quaternarie della Pianura Padana e Veneta. Rapporto inedito per ENEL.

Aquater, (1980). Studio del nanoplancton calcareo per la datazione della scomparsa di Hyaline baltica nella Pianura Padana E Veneta. Rapporto inedito per ENEL.

Aquater-ENEL (1981). Elementi di neotettonica del territorio italiano. Volume speciale, Roma 1981.

Argand E. , (1924). La tectonique de l'Asie. Comptes Rendus Congrès Géologique International, XIII Belgique 1922, 1, 171–372.

ARPAV (Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto) (2011). Metalli e Metalloidi nei suoli del Veneto: Determinazione dei valori di fondo. Grafiche Brenta Limena, 192.

Astori A., Castaldini D., Burrato P., Valensise G. (2002). Where the Alps meet the Apennines, active tectonics and seismicity of central Po Plain; Progetto SAFE, semestral meeting, Mantova, 20-23 September 2002.

Autorità di bacino del fiume Adige (Trento) (2008). QUADERNO SUL BILANCIO IDRICO SUPERFICIALE DI PRIMO LIVELLO – BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME ADIGE, 175.

Autorità di bacino del fiume Po. Linee generali di assetto idrogeologico e quadro degli interventi – Bacino Oglio.

Bartolini C., Bernini M., Carloni G.C., Costantini A., Federici P.R., Gasperi G., Lazzarotto A., Marchetti G., Mazzanti R., Papani G., Panzini G., Rau A., Sandrelli F., Vercesi P.L., Castaldini D. e Francavilla F., (1982). Carta neotettonica dell'Appennino Settentrionale. Note illustrative. Boll. Soc. Geol. It., 101, 523-549, Roma.

Bello M. e Fantoni R., (2002). Deep oil play in Po Valley: Deformation and hydrocarbon generation in a deformed foreland. AAPG HEDBERG CONFERENCE "Deformation History, Fluid Flow Reconstruction and Reservoir Appraisal in Foreland Fold and Thrust Belts, May, 14-18, 2002, Palermo – Mondello (Sicily, Italy).

Berendse F. (1994). Better decomposability: a neglected component of plant fitness. *J Ecol* 78

Bertellini, C. (2014). [Cartografia geochimica dei suoli della Pianura Padana centrale a est di Mantova.](#)

Bigi G., Cosentino D., Parotto M., Sartori R., Scandone P. (1990). Structural model of Italy. Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Progetto Finalizzato Geodinamica, Quaderni de "La Ricerca scientifica", 114/3, 1:500.000 scale, Firenze, SELCA.

Bini C (2012). Geology and geomorphology. In: Costantini EAC (Eds) *Soils of Italy*. Springer.

Boccaletti M., Martinelli P., Cerrina Feroni A., Mannori M.R., Sani F. (1987). Neogene tectonic phases of the Northern Apennines-South Alpine system; their significance in relation to the foredeep sedimentation, *Acta Naturalia de l'Ateneo Parmense*, 23-4, 253-264.

Boccaletti M., Calamita F., Deiana G., Gelati R., Massari F., Moratti G., Ricci Lucchi F. (1990). Migratine foredeep-thrust belt system in the northern Apennines and southern Alps. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 77, 3-14.

Bowen, H. J. M. (1979). *Environmental chemistry of the elements*; London; New York : Accademic Press, 1979 xv, 333.

Bridges E.M. (1978). *World soils*, 2nd ed.; Cambridge University Press, London, 128.

Castaldini D. e Panizza M. (1991). Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave e il Lago di Como (Italia Settentrionale), *Il Quaternario*, 4, 333-410.

Castellarin A., Eva C., Giglia G., Vai G.B., Rabbi E., Pini G.A. e Crestana G. (1985). Analisi strutturale del Fronte Appenninico Padano, *Giornale di Geologia*, 47, 47-75.

Castellarin A., Cantelli L., Fesce A.M., Mercier J., Picotti V., Pini G.A., Prosser G. e Selli L. (1992). Alpine compressional tectonics in the Southern Alps. Relations with the N-Apennines. *Ann. Tect.*, 6, 62-94.

Castiglioni G.B., Ajassa R., Baroni C., Biancotti A., Bondesan M., Brancucci G., Castaldini D., Cavallin A., Cortemiglia F., Cremaschi M., Da Rold O., Elmi C., Fasani D., Favero V., Gasperi G., Giorgi G., Marchetti G., Marchetti M., Meneghel M., Motta M., Nesci O., Orombelli G., Paronuzzi P., Pellegrini G.B., Pellegrini L., Tellini C., Toniello V., Turrini M.C., Zecchi R. e Zorzin R., (1997a). Carta altimetrica e dei movimenti verticali del suolo della Pianura Padana a scala 1:250.000. SELCA, Firenze.

Castiglioni G.B., Ajassa R., Baroni C., Biancotti A., Bondesan A., Bondesan M., Brancucci G., Castaldini D., Castellaccio E., Cavallin A., Cortemiglia F., Cortemiglia G.C., Cremaschi M., Da Rold O., Elmi C., Favero V., Ferri R., Gandini F., Gasperi G., Giorgi G., Marchetti G.,

- Marchetti M., Marocco R., Meneghel M., Motta M., Nesci O., Orombelli G., Paronuzzi P., Pellegrini G.B., Pellegrini L., Rigoni A., Sommaruga M., Sorbini L., Tellini C., Turrini M.C., Vaia F., Vercesi P.L., Zecchi R. e Zorzini R., (1997b). Carta geomorfologia della Pianura Padana a scala 1:250.000. SELCA, Firenze.
- Castiglioni G.B., Pellegrini G.B. (Eds) (2001). Illustrative Notes of the Geomorphological Map of the Po Plain, Suppl. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, suppl. IV, 207.
- Channell J.E.T., D'Argenio B., Horvath F., (1979). Adria, the African promontory, in Mesozoic Mediterranean paleogeography: Earth Sciences Reviews, v.15, 213-292.
- Chen, M., Ma, L.Q., Harris, W.G. (1999). Baseline concentrations of 15 trace elements in Florida surface soils. Journal of Environmental Quality 28, 1173-1181.
- Costantini E.A.C. e Dazzi C. (1999). WORLD REFERENCE BASE FOR SOIL RESOURCE. Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze, 118.
- Costantini E.A.C e Dazzi C (2013). The Soils of Italy – Springer. World Soils Book Series, Series Editor Prof. Alfred E. Hartemink, FD Hole Soils Laboratory, Department of Soil Science, University of Wisconsin-Madison, Madison, USA, 354.
- Cremonini G. e Ricci Lucchi F. (Eds), (1982). Guida alla Geologia del margine appenninico-padano. Società Geologica Italiana, Guide geologiche regionali, Pitagora Tecnoprint, Bologna.
- Dalla S., Rossi M., Orlando M., Visentin C., Gelati R., Gnaccolini M., Papani G., Belli A., Biffi U., Citrullo D., (1992). Late Eocene-Tortonian tectono-sedimentary evolution in the western part of the Padan basin (northern Italy). Paleontol. Evol. 24-25, 341-362
- Darnley A. G. (1997). A global geochemical reference network: the foundation for geochemical baselines, Journal of Geochemical Exploration, Volume 60, 1-5.
- De Vivo B., Lima A., Albanese S., Cicchella D. (2003). Atlante geochimico-ambientale della Regione Campania – Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia Università degli Studi Federico II, Napoli.
- De Vivo B., Lima A., Siegel F. R. (2004). Geochimica ambientale. Metalli potenzialmente tossici - Liguori Editore, 449.
- Dercourt J., Zonenshain L.P., Ricou L.E., Vrielynck B., (1986). Geological evolution of the Tethys belt from the Atlantic to the Pamirs since the Lias. Tectonophysics, 123, 241–315.
- Doglioni C., (1993). Some remarks on the origin of foredeeps. Tectonophysics, 228, 1-2, 1-20.
- Donnici S., Serandrei-Barbero R., Bini C. (2011). The caranto paleosol and its role in the early urbanization of Venice. Geoarcheology 26 n_ 4, 514–543.
- Duchaufour, P. (1977). Pédologie; t. I, Pédogenèse et classification, Paris, Masson, XVI et 477 p., 92 fig., 16 pi. phot, 17 x 24,5 cm, cartonné toile, 160 FF.

- ENEL-GEOEXPERT (1984). Studio di qualificazione dei siti per la localizzazione di una centrale elettronucleare.
- ERSAF (2004). Carta dei suoli della Lombardia. Regione Lombardia European Soil Bureau Network (2005) Soil atlas of Europe. European Commission, Brussels, 1–128.
- Facchinelli A., Sacchi E., Mallen L., (2001). Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. *Environmental Pollution*, 114/3, 313-324.
- Farabegoli E., Onorevoli G., Ruffino C., Costantini B., (1997). Struttura del sottosuolo quaternario continentale della Pianura Padana meridionale (Provincia di Ravenna – Italia). Università degli studi di Bologna e AGIP.
- Fenwick I.M. and Knapp B.J. (1982). *Soils, process and response*; Duckworth, London, 213.
- Förstner U. e 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. e Saitta M. (1972). A simple method to evaluate the matrix effects in X-ray fluorescence analysis. *X-Ray Spectrometry* 1, 151-154.
- Franzini M., Leoni L. e Saitta M. (1975). Revisione di una metodologia analitica per fluorescenza-X basata sulla correzione completa degli effetti della matrice. *Rendiconti Società Italiana Mineralogica e Petrologica* 31, 36-378.
- Gasparini M. (1955). *Dispense di Agronomia Generale. Anno Universitario 1955–56.* Facoltà di Agraria di Firenze, 1–207.
- Gelati, R., Rogledi, S. e Rossi, M.E., (1989). Significance of the Messinian unconformity-bounded sequences in the Apenninic margin of the Padan foreland basin, Northern Italy. *Memorie Società Geologica Italiana*, 39, 319–323.
- Gough, L.P., Severson, L.C., Jackson, L.L., (1994). Baseline element concentration in soils and plants, Bull Island, Cape Romain, National Wildlife Refuge, South Carolina, USA. *Water, Air and Soil Pollution* 74, 1-17.
- Huisman DJ., Vermeulen FJH., Baker J., Veldkamp A., Kroonenberg SB. e 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.
- IPLA (2007). Carta dei suoli del Piemonte. Note illustrative. Regione Piemonte, 1–128
- Jenny, H. (1941). *Factors of Soil Formation* : McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 281.
- Kabata-Pendias A. e Pendias H. (1984). *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press, Boca Raton, Fla.

Kabata-Pendias A. e Pendias H. (1992). Trace Elements in Soils and Plants. 2nd Edition, CRC Press, Boca Raton, FL, 365.

Kabata-Pendias A. e Pendias H. (2001). Trace Elements in Soils and Plants. 3rd Editions, CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington D.C.

Krauskopf K. B. (1967). Introduction to Geochemistry, McGraw-Hill, New York.

Leoni L. e Saitta M. (1976). X-ray fluorescence analysis of 29 rare elements in rock and mineral standard Rend. Soc. It. Min. Petr. 32, 497-510.

Leoni L., Menichini M. e Saitta M. (1982). Determination of S, Cl and F in silicate rocks by X-ray fluorescence analysis XRaySpectrum 11, 156-158.

Lima A., De Vivo B., Plant J. A., Tarvainen T., Albanese S., Cicchella D. (2008). Geochemical baseline maps using different interpolation methods: comparative study on arsenic in Foregs stream waters of Europe. Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, Vol. 8 2008, 41–48. AAG/ Geological Society of London

Mantovani I. (2014). [Cartografia geochemica dei suoli della Pianura Padana centrale a ovest di Mantova.](#)

Mariotti G. e Doglioni C., (2000). The dip of the foreland monocline in the Alps and Apennines. Earth and Planetary Science Letters, Vol. 181, Issues 1-2, 30 August 2000, 191-202.

Mitchell R. (1964). Chemistry of the Soil, 2nd edn., ed. Bear, Reinhold F. E., New York, 320-368.

Molinari F.C., Boldrini G., Severi P., Dugoni G., Rapti Caputo D. e Martinelli G., (2007). Risorse idriche sotterranee della Provincia di Ferrara. Parte Prima, Ferrara, 1-60.

Muller G. (1979). Schwermetalle in den sediment des Rheins, Veranderungem Seit 1971. Umschau, 79, 778-783.

O’Riordan R. G., Dodd V.A., Tunney H. e Flemming G. A. (1986). Irish J. Agric. Res. 25, 223-249.

Pavesi M. (2009). [Architettura stratigrafica dei depositi medio- e tardoquaternari del bacino padano, finalizzata alla caratterizzazione geometrica degli acquiferi.](#)

Pieri M. e Groppi G. (1975). The structure of the Pliocene-Quaternary sequence in the subsurface of the Po and Veneto Plains, the pedeapenninic Basin and the Adriatic Sea. Quad. Ric. Scient., 90, 409-415.

Pieri M. e Groppi G. (1981). Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy. CNR, Prog. Final. Geodinamica, pubbl. n. 414, Napoli.

- Pieri M. (1983). Three seismic profiles through the Po Plain. In: A.W. Bally (Ed) Seismic Expression of Structural Styles. A Picture and Work Atlas. Am. Assoc. Pet. Geol. Stud. Geol. 15: 3.4.1/8-3.4/26.
- Regione Emilia-Romagna e ENI – AGIP, (1998). Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna. A cura di G. DI DIO. S.EL.CA. (Firenze).
- Regione Lombardia e ENI Divisione AGIP, (2002). Geologia degli acquiferi Padani della Regione Lombardia. A cura di C. CARCANO e A. PICCIN. S.EL.CA. (Firenze).
- Reimann C. e de Caritat P. (1998). Chemical elements in the environment – Factsheets for the geochemist and environmental scientist. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 398.
- Reimann C., Siewers U., Tarvainen T., Bityukova L., Eriksson J., Gilucis A., Gregorauskiene V., Lukashev V. K., Matinian N. N. e Pasieczna A. (2003). Agricultural soils in Northern Europe: A Chemical Atlas. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 279.
- Rose A.W., Hawkes H.E. e Webb J.S. (1979). Geochemistry in Mineral Exploration, 2nd edn. Academic Press, London.
- Salminen R. e Tarvainen T. (1997). The problem of defining geochemical baseline. A case study of selected elements and geological materials in Finland. Journal of Geochemistry Exploration 60, 91-98.
- Salminen R. e Gregorauskiene V. (2000). Considerations reading the definition of a geochemical baseline of elements in the surficial materials in areas differing in basic geology. Applied Geochemistry, 15: 647-653.
- Sartori F., Boano G. e Bracco F. (1988). La pianura padana, De Agostini Editori, 1-176
- Sartori G., Corradini F., Bini C., Gemignani S., Mancabelli A. (2004). Contenuto di metalli pesanti nei suoli del Trentino –Studi Trentini di Scienze Naturali - Acta Geologica, Vol. 79, 75-117
- Servizio Cartografico Ufficio Regione Emilia-Romagna (1994). I suoli dell'Emilia-Romagna. Note illustrative, 1–383.
- Sinclair A. J. (1986). Statistical interpretation of soil geochemical data; in Fletcher W.K., Hoffman S. J., Mehrtens M. B., Sinclair A. J. e Thomson I., Exploration Geochemistry: design and interpretation of soil surveys; Soc. Econ. Geol., Reviews in Econ. Geol., v. 3, 97-115.
- StudioSilva s.r.l, Coordinatore Dott. For. Paolo Rigoni (Luglio 2010 (revisionato giugno 2013)). PIANO DI GESTIONE DEL SIC IT20B0017 “ANSA E VALLI DEL BINICIO” E DELLA ZPS IT20B0009 “VALLI DEL MINCIO” – Quadro conoscitivo, 436.

Trümpy R., (1973). The timing of orogenic events in the Central Alps. In; K.A. De Jong and R. Scholten (Eds) Gravity and Tectonics. J. Wiley e Sons, New York, 229–251.

Vai G.B. e Martini I.P. (Eds), (2001). Anatomy of an Orogen: Northern Apennines and Adjacent Mediterranean Basins, Kluwer Academic Publ., Dordrecht, 632.

Van Breemen N. (1998). Plant-induced soil changes: processes and feedbacks. Biogeochemistry, vol 42 n_ 1–2. Kluwer Academic Publishers, 1–19.

Webber M. D., Kloke A. e Tjell J. C. (1984). Processing and Use of Sewage Sludge, eds. L’Hermite P. e Ott J. D. Reidel e Dordrecht, 371-386.

SITOGRAFIA:

www.treccani.it (Enciclopedia Treccani)

http://it.wikipedia.org/wiki/Pagina_principale (Wikipedia)

<http://www.sapere.it/sapere/enciclopedia.html> (Enciclopedia DeAgostini)

<http://www.adbpo.it/on-multi/ADBPO/Home.html> (Autorità di Bacino del fiume Po)

<http://isric.org/> (World Soil Information)

<http://www.isprambiente.gov.it/it> (ISPRA – Istituto Superiore per la Prevenzione e la Ricerca Ambientale)