

DETERMINAZIONE DEI VALORI DI FONDO NATURALE DEI TERRENI PER METALLI E METALLOIDI NEL SITO DI INTERESSE NAZIONALE DELLA VALLE DEL SACCO



centro congressi comune rivoli c.so francia, 98 - rivoli (torino)

RELATORI: Ing. Antonella Vecchio, Dott. Gianluca Pirani ISPRA

impresa, produzione
e compatibilità ambientale

L'Emergenza nella Valle del Sacco

► L'Emergenza socio-economico-ambientale della Valle del Sacco (d.P.C.M del 19/05/2005) è scaturita dal rilevamento di concentrazioni di **esaclorocicloesano (HCH)** superiori a quelle consentite dalla normativa comunitaria in un campione di latte.

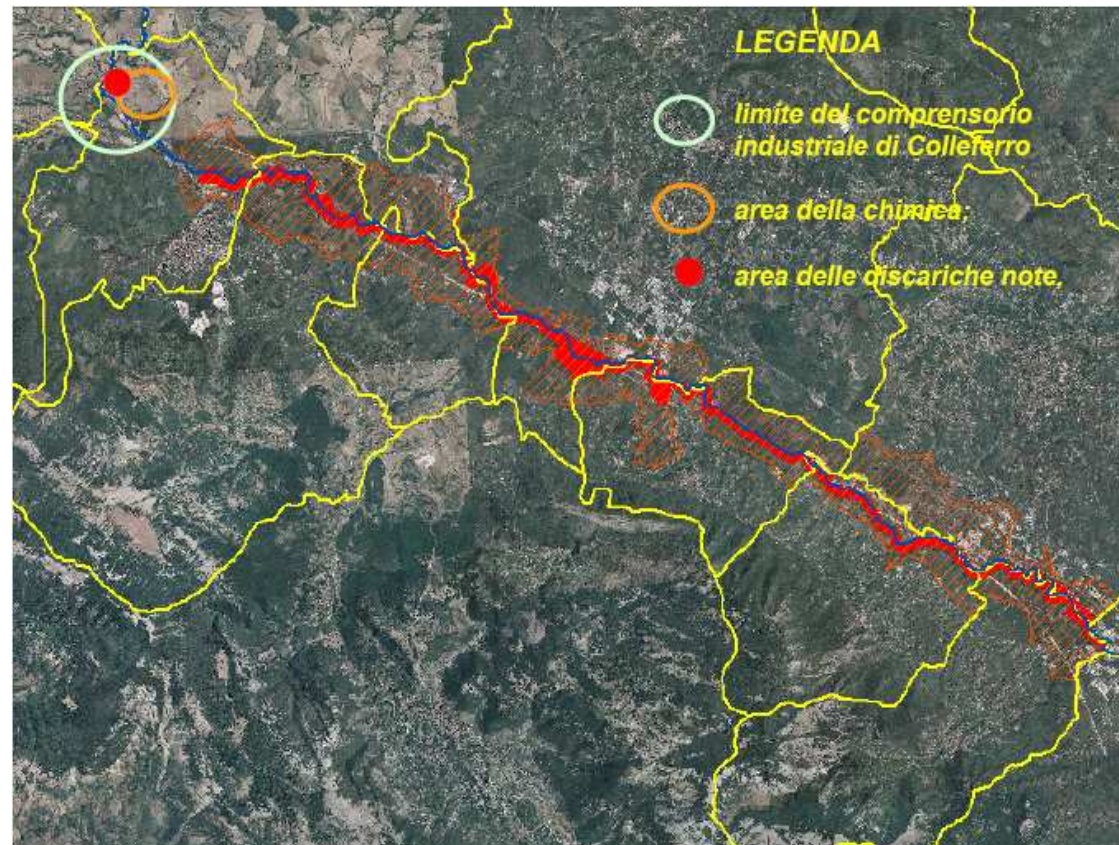
► La perimetrazione del sito la caratterizzazione hanno tenuto conto delle seguenti tipologie di aree:

■ aree con presenza di **fonti attive** di contaminazione:

- comprensorio industriale di Colleferro;
- aree di discarica note;

■ aree a rischio di **contaminazione passiva**:

- aree residenziali;
- aree agricole ripariali
- rete idrica superficiale.



Analisi dei risultati della caratterizzazione e valutazione del fondo



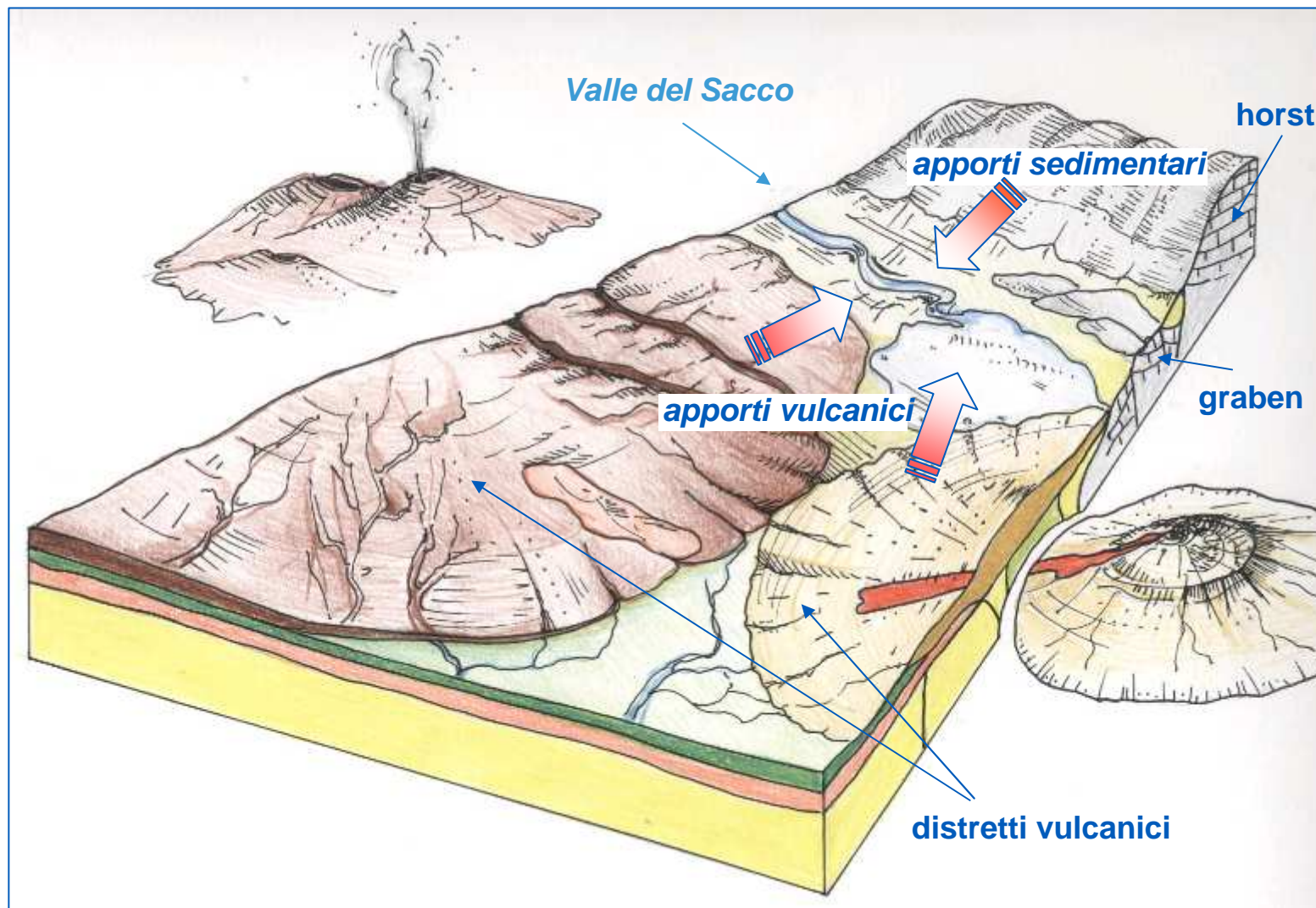
- ▶ I risultati della caratterizzazione dei terreni per il SIN della Valle del Sacco, oltre all'esaclorocicloesano (HCH), hanno evidenziato elevate concentrazioni per alcuni metalli/metalloidi: **Arsenico, Piombo, Vanadio, Rame, Manganese, Zinco**
- ▶ Tale situazione è stata riscontrata sia nelle aree industriali, che in quelle urbane e nelle zone agricole ripariali in corrispondenza dell'alveo del fiume Sacco.
- ▶ I valori rilevanti si riscontrano nei suoli superficiali che nei sondaggi profondi, fino a oltre 40m di profondità dal p.c.
- ▶ **Scopo del lavoro:** valutazione nei suoli del "contenuto di fondo pedogeochimico o naturale", sulla base dei dati di caratterizzazione del SIN (ed in particolare del comprensorio industriale di Colleferro).

Inquadramento geologico

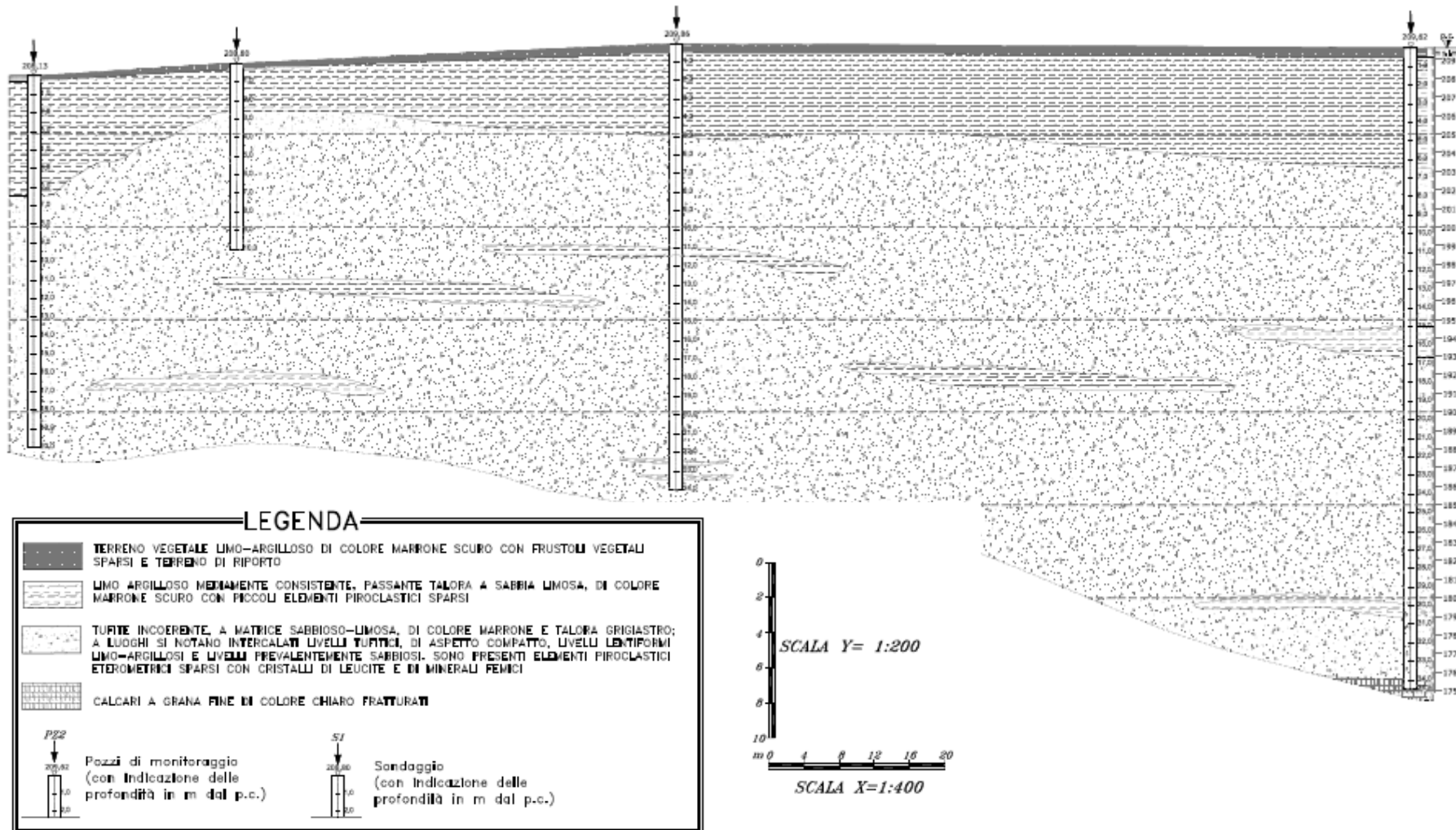








- ▶ L'area in esame è ubicata nel graben (Valle del Sacco), delimitata dai horst tettonici dei Monti Lepini ad ovest e dalla dorsale dei Monti Ernici ad est.
- ▶ La depressione è impostata nella piattaforma carbonatica laziale abruzzese, è caratterizzata da una potente successione calcarea continua dal Trias sino al Cretaceo Superiore, al cui tetto poggiano prima le calcareniti organogene del Miocene Superiore e superiormente i depositi argilloso sabbiosi del Miocene Superiore, collegati morfologicamente a depositi lacustri che hanno dato origine a facies travertinose.
- ▶ Al di sopra delle formazioni mioceniche, affiorano **vulcaniti quaternarie** intercalate a **depositi alluvionali** che rappresentano le litologie tipiche oggetto dell'indagine.

Ricostruzione paleoambientale dell'area



Sezione geologica tipo



| Elementi | Dati generali | Minerali principali | Associazioni con | Genesi o ambiente di deposizione |
|---|---|--|--|--|
|  | <p>Abbondanza: 47°posto</p> <p>% peso sup. terrestre: 0,0003</p> <p>Presenza: ampiamente diffuso in tracce</p> | <p>Arsenopirite $AsFeS$, Realgar As_4S_4, Orpimento As_2S_3, Enargite Cu_3AsS_4, Cobaltite $CoAsS$</p> | <p>ferro, vanadio, piombo, manganese, idrossidi di alluminio e ferro, rame, cobalto, nichel</p> | <p>fenomeni idrotermali e pneumatolitici, metamorfismo di contatto, depositi alluvionali, formazioni evaporitiche, cappellaccio sedimentario</p> |
|  | <p>Abbondanza: 48°posto</p> <p>% peso sup. terrestre: circa $3,4 \cdot 10^{-4}$</p> <p>Presenza: frequente, compare allo stato elementare anche in blocchi</p> | <p>Calcopirite $CuFeS_2$, Bornite Cu_5FeS_4, Calcocite Cu_2S, Covellite CuS, Cuprite Cu_2O, Malachite $Cu_2(CO_3)(OH)_2$, Azzurrite $Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$.</p> | <p>piombo, alluminio, ferro, manganese, zolfo, carbonati, idrossidi</p> | <p>cappellaccio sedimentario, (alterazione di solfuri di rame in ambiente carbonatico), impregnazione di arenarie da acque vadose, giacimenti filoniani o associati a rocce eruttive</p> |
|  | <p>Abbondanza: 12°posto</p> <p>% peso sup. terrestre: nd</p> <p>Presenza: ampiamente diffuso</p> | <p>Pirolusite (MnO_2), Rodocrosite ($MnCO_3$), Criptomelano $K(Mn^{4+}, Mn^{2+})_8O_{16}$, Todorokite $(Na, Ca, K)_2(Mn)_6O_{12} \cdot 3-4.5(H_2O)$</p> | <p>carbonati, zinco, rame, solfuri, feldspati alcalini, leucite, clinopiroseni</p> | <p>prevalentemente in rocce sedimentarie, (carbonati, gessi, alluvioni), rocce vulcaniche tufi, pomici</p> |
|  | <p>Abbondanza: nd</p> <p>% peso sup. terrestre: 0,002</p> <p>Presenza: diffuso, talora compare allo stato elementare,</p> | <p>Galena PbS, Cerussite $PbCO_3$, Anglesite $PbSO_4$, Pimorfite $Pb_5(PO_4)Cl$, Boulangerite $Pb_5Sb_4S_{11}$</p> | <p>solfuri, ferro, zinco, argento, rame, mercurio, alluminio, manganese, arsenico</p> | <p>giacimenti filoniani di origine idrotermale, cappellaccio sedimentario, rocce sedimentarie, formazioni evaporitiche, rocce ofiolitiche</p> |
|  | <p>Abbondanza: 22°posto</p> <p>% peso sup. terrestre: 0,011</p> <p>Presenza: scarsa, non compare allo stato elementare</p> | <p>Vanadinite $Pb(VO_4)3Cl$, Patronite VS_4, Carnotite $[K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O]$, .</p> | <p>piombo, fosfati, arsenico, solfuri, fluorite, ossidi metallici e prodotti argillosi</p> | <p>ambiente idrotermale, rocce sedimentarie, (depositi argillosi e scistosi formatesi in ambienti riducenti), rocce effusive, rocce fosfatice, carbone, metamorfismo di contatto,</p> |
|  | <p>Abbondanza: 26°posto</p> <p>% peso sup. terrestre: 0,0058</p> <p>Presenza: molto diffuso</p> | <p>Sfalerite $(Zn, Fe)S$, Smithsonite $ZnCO_3$, Calamina $Zn_4Si_2O_7(OH)_2 \cdot H_2O$, Franklinite $(Zn, Mn, Fe)(Fe, Mn)_2O_4$</p> | <p>ferro, manganese, solfuri, piombo, cadmio, rame, ferro, zinco, carbonati</p> | <p>depositi argillosi e scistosi formatesi in ambienti riducenti, ambiente idrotermale, metamorfismo di contatto, cappellaccio sedimentario,</p> |

Mineralizzazioni tipiche del vulcanismo laziale



- ▶ Studi recenti sulla mineralogia delle formazioni piroclastiche laziali, hanno mostrato l'esistenza all'interno di queste rocce di mineralizzazioni tardive, costituite da fasi contenenti elementi pesanti, associati ad una diffusa argillificazione.
- ▶ In tali mineralizzazioni, cristallizzano molti solfuri, tra cui l'arsenopirite (AsFeS), la sfalerite (ZnS), pirite (FeS_2), galena (PbS), antimonite (stibnite, Sb_2S_3), cinabro (HgS) e altri minerali come fluorite (CaF_2), siderite (FeCO_3), baritina (BaSO_4), quarzo (SiO_2).
- ▶ Negli affioramenti piroclastici di Fiano Romano, Baccano e nel Monte Cavalluccio (Monti Sabatini), in associazioni a tali minerali ed in presenza di litotipi argillosi, è stata rinvenuta una serie isomorfa costituita da vanadinite $\text{Pb}(\text{VO}_4)\text{Cl}$, minimetite $\text{Pb}_5(\text{AsO}_4)\text{Cl}$, piromorfite $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)\text{Cl}$, altri vanadati di Pb associati a fosfati e ad altri solfati.
- ▶ La potenziale diffusione in ambiente di Arsenico, Piombo e Vanadio in ambiente potrebbe essere riconducibile alla fenomeni naturali determinati dai processi di alterazione naturale delle rocce madri, (erosione e degradazione dei suoli e dei minerali contenenti i metalli).

Analisi mineralogica sito-specifica (diffrattometria)



| Campione | Minerali individuati |
|----------|---|
| 1 | Augite, zeoliti, minerali argillosi |
| 2 | K-feldspato, minerali argillosi |
| 3 | Augite, quarzo |
| 4 | Zeoliti, minerali argillosi |
| 5 | Augite, minerali argillosi |
| 6 | Augite, minerali argillosi |
| 7 | Calcite, augite, leucite, quarzo |
| 8 | Calcite, quarzo |
| 9 | Calcite, augite, leucite, quarzo, biotite, minerali argillosi |
| 10 | Augite, leucite, biotite |
| 11 | Augite, leucite |
| 12 | Augite, leucite, zeoliti |

| Minerale | Formula chimica |
|-------------|--|
| Augite | $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ |
| Zeoliti | $\text{M}_{x/n}[(\text{AlO}_2)_x(\text{SiO}_2)_y] \cdot n\text{xH}_2\text{O}$ [M=Ca, Na, Ba, K] |
| Quarzo | SiO_2 |
| Calcite | CaCO_3 |
| Leucite | KAlSi_2O_6 |
| K-feldspato | KAlSi_3O_8 |

Chimismo delle rocce

- Le analisi chimiche delle rocce della serie alcalina (classe feldspatoidi) dell'area dei monti Ernici, prospiciente all'area di studio, evidenziano risultati pressoché simili a quelle riscontrati nell'area dei monti Sabatini.

| | MONTI ERNICI | | MONTI SABATINI | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------------|------------------|-----------------------------|
| <i>Tipo di roccia</i> | <i>Basalto alcalino a leucite</i> | <i>Trachibasalto</i> | <i>Leucitite tefritica</i> | <i>Leucitite</i> | <i>Fonolite leucititica</i> |
| <i>% minerali</i> | | | | | |
| Si O₂ | 46,41 | 49,71 | 46,88 | 47,30 | 55,56 |
| Ti O₂ | 0,98 | 0,72 | 0,79 | 0,80 | 0,41 |
| Al₂ O₃ | 17,13 | 18,07 | 17,63 | 15,00 | 20,88 |
| Fe₂ O₃ | 1,21 | 1,66 | 3,53 | 3,90 | 2,44 |
| Fe 0 | 7,55 | 4,93 | 3,39 | 4,20 | 1,06 |
| Mn 0 | 0,17 | 0,15 | 0,14 | 0,15 | 0,15 |
| Mg 0 | 8,15 | 6,49 | 5,74 | 6,10 | 0,66 |
| Ca 0 | 12,87 | 10,90 | 10,63 | 11,50 | 3,38 |
| Na₂ 0 | 1,62 | 3,14 | 2,52 | 1,10 | 4,02 |
| K₂ 0 | 1,83 | 3,12 | 7,23 | 7,60 | 9,84 |
| Po₂ O₅ | 0,24 | 0,22 | 0,48 | 0,57 | 0,12 |

Indagine geologica – Conclusioni



- ▶ Elevate concentrazioni di ferro sono tipiche del vulcanismo alcalino, le quali sono state rinvenute anche nelle analisi chimiche dei terreni eseguite nelle aree industriali e urbane di Colleferro.
- ▶ I dati di letteratura riguardanti le associazioni mineralogiche, gli ambienti di deposizione e le composizioni teoriche e reali delle serie magmatiche presentano caratteristiche analoghe anche in aree diverse del distretto vulcanico laziale, e trovano riscontro con le indagini ambientali e mineralogiche effettuate nel sito.
- ▶ Le concentrazioni di metalli/metalloidi rilevate nei terreni del sito, presentano nella maggior parte dei casi valori simili ai valori medi di ampiezza tipici delle rocce madri.
- ▶ La presenza di metalli pesanti, solfati e massiccia presenza di facies argillose, risultano essere marker tipici dei fenomeni idrotermali sopra descritti; tali caratteristiche sono riscontrabili nell'area in esame.
- ▶ La presenza di metalli pesanti non sembra essere correlata alla profondità indagata, bensì alle litologie rappresentative, infatti gli elevati tenori di metalli sono stati riscontrati lungo tutta la verticale dei sondaggi.
- ▶ La scarsa mobilità idrica caratteristica dell'area, unitamente alla presenza di formazioni a bassa e/o scarsa permeabilità rendono improbabile la percolazione di tali sostanze dalla superficie sino alle profondità basali dei terreni investigati.

Scelta delle aree rappresentative



- ▶ **Protocollo APAT/ISS - Aree rappresentative per il fondo:**
 - siano geologicamente e geomorfologicamente confrontabili con l'area potenzialmente contaminate
 - la distribuzione delle concentrazioni dei metalli/metalloidi non sia riconducibile ad alcuna sorgente puntuale e/o specifica attiva nel presente o nel passato.
 - **Aree da privilegiare:** aree destinate a verde pubblico, parchi e zone protette, aree residenziali, etc.
- ▶ Nel nostro caso all'interno del comprensorio industriale di Colleferro, sono state individuate **3 aree candidate** per il fondo - **Area A** (uso residenziale), **Area B**, **Area C** (non utilizzate) - caratterizzate da:
 - assenza attuale di attività industriali o potenzialmente contaminanti in quanto tali aree sono state classificate "a rischio di contaminazione passiva";
 - i risultati della caratterizzazione mostrano una sostanziale assenza dei composti marker (isomeri dell'esaclorocicloesano) della contaminazione dell'intero Sito di Interesse Nazionale.
- ▶ Per la **selezione dei campioni di suolo** nelle tre aree sono stati adottati i seguenti criteri:
 - non sono stati utilizzati campioni prelevati all'interno dell'acquifero;
 - non sono stati ritenuti idonei i campioni prelevati entro il primo metro di perforazione (presenza di terreno di riporto, impatto attività antropiche).

Identificazione delle litologie rappresentative



- ▶ Sulla base delle stratigrafie dei sondaggi nelle aree oggetto di indagine sono state individuate tre tipologie principali:
 - **Depositi Piroclastici (DP)**: rappresentati principalmente dai depositi di natura vulcanica anche se intercalati talvolta dai materiale di tipo sedimentario (sabbie vulcaniche);
 - **Limi e Argille (LA)**: rappresentati principalmente dai materiali fini, indicati come limi, argille, limi argillosi, argille limose;
 - **Limi sabbiosi e Sabbie (LS)**: rappresentati dai depositi più grossolani, indicati come limi sabbiosi, sabbie limose, sabbie.

Analisi statistica dei dati



- ▶ L'analisi statistica è stata applicata:
 - ai [dati di concentrazione](#) di ciascun elemento in base alla litologia rappresentativa,
 - ai [rapporti di concentrazione](#) con gli altri analiti ad esso correlabili (es. per geni comuni).
- ▶ Il set di dati relativo alle tre aree (Area A, Area B e Area C) è di **129 campioni**.
- ▶ Applicazione dei **test statistici** mediante il software ProUCL 4.0 (US EPA):
 - Identificazione degli outlier
 - Diagrammi Quantile-Quantile
 - Indicatori statistici
 - Distribuzioni e test di adattamento (goodness-of-fit-test)
- ▶ Utilizzo di **test non parametrici**: non effettuando ipotesi sul tipo di distribuzione, si rivelano particolarmente robusti anche per dataset limitati o per cui non è agevole definire a priori una particolare distribuzione

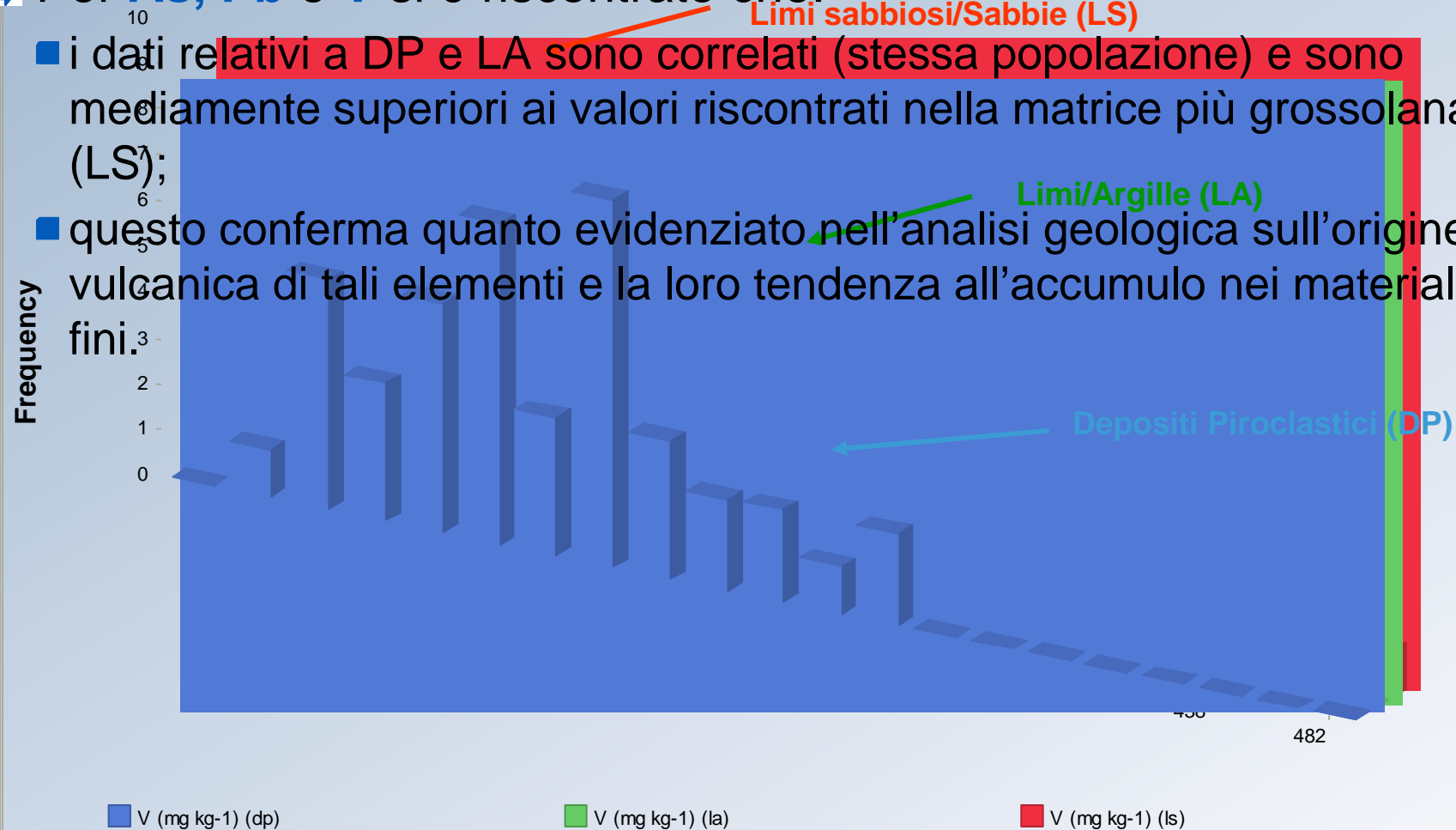
Identificazione degli outlier

- ▶ Gli outlier, in un insieme di osservazioni, rappresentano valori anomali, chiaramente distanti dalle altre osservazioni disponibili e potenzialmente non rappresentativi dell'insieme di dati nel suo complesso:
 - **Veri outlier**: errori nella misura/rilevazione del dato ⇒ se ne può escludere la presenza se, ad esempio, sono state validate le indagini e i risultati analitici.
 - **Falsi outlier**: valori estremi reali ⇒ occorre verificare se sono anomalie nella popolazione di studio (fondo) oppure se hanno differente origine (contaminazione).
- ▶ Nel nostro caso:
 - i dati di concentrazione sono stati selezionati **“a priori”** con criteri il più possibile congruenti con la valutazione del “fondo naturale”;
 - uno scostamento sostanziale (**falso outlier**) rispetto ai valori abbastanza omogenei riscontrati potrebbe essere indizio di una **non rappresentatività del dato all'interno della popolazione del fondo** (es. anomalie di tipo geologico/geochimico) più che di potenziale contaminazione.
 - Gli outlier sono stati comunque esclusi dal dataset

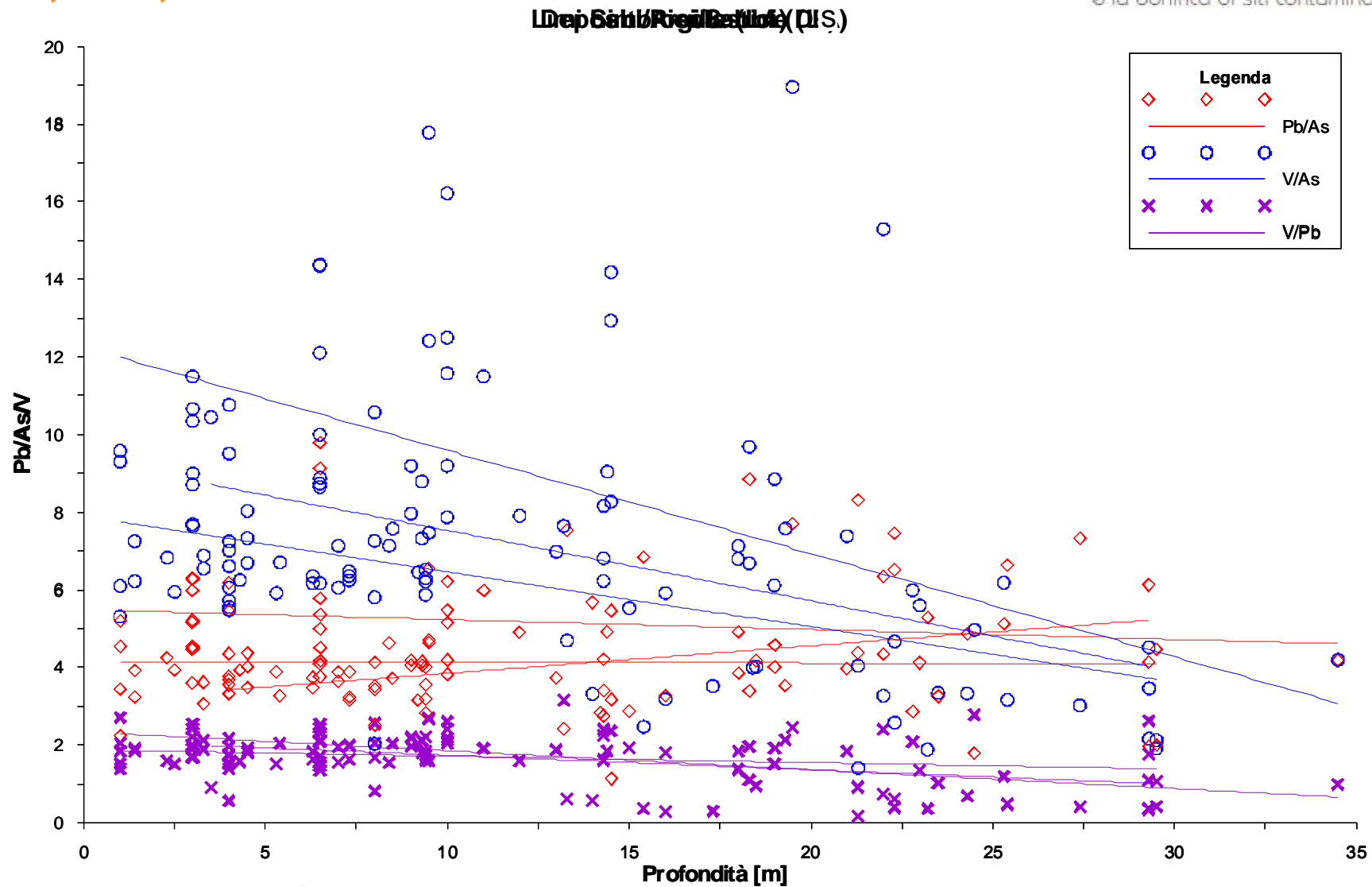
Analisi statistica As, Pb, V

► Per **As, Pb** e **V** si è riscontrato che:

- i dati relativi a DP e LA sono correlati (stessa popolazione) e sono mediamente superiori ai valori riscontrati nella matrice più grossolana (LS);
- questo conferma quanto evidenziato nell'analisi geologica sull'origine vulcanica di tali elementi e la loro tendenza all'accumulo nei materiali fini.



Analisi dei rapporti di concentrazione As, Pb, V



Analisi dei rapporti di concentrazione As, Pb, V

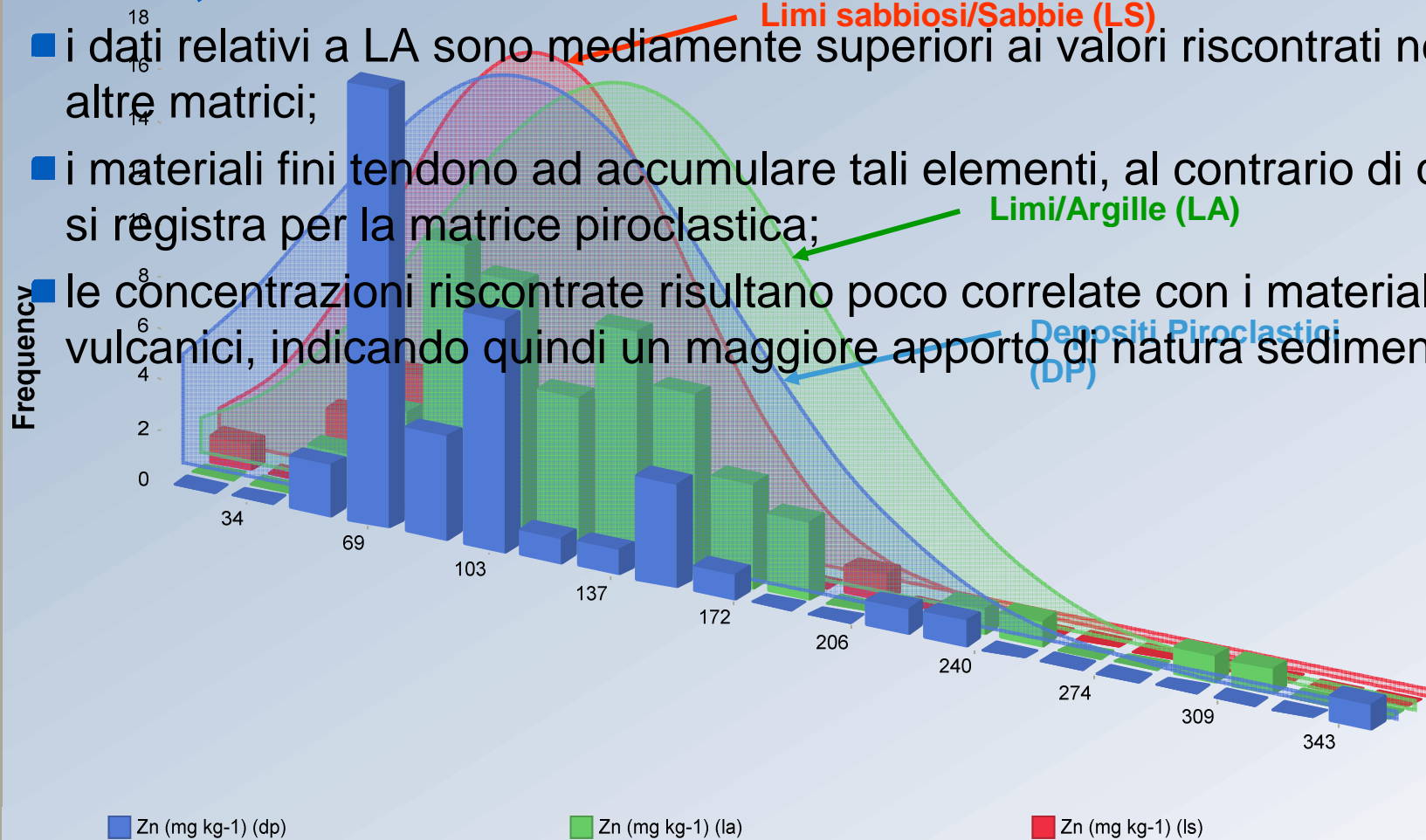


- ▶ L'andamento dei rapporti tra As, Pb e V risulta sostanzialmente indipendente sia dalla **profondità indagata** che dalle **concentrazioni riscontrate**.
- ▶ Gli indicatori statistici relativi ai rapporti tra As, Pb e V evidenziano che:
 - le **medie dei rapporti** sono **sostanzialmente omogenee** nelle tre litologie rappresentative;
 - nella maggior parte dei casi (ad eccezione dei rapporti V/As nei DP), le **medie dei rapporti** sono dei **buoni indicatori** dell'andamento della popolazione (coefficiente di variazione quasi sempre inferiore a 0,5);
 - la **deviazione standard** e la varianza sono generalmente non elevate, indicando per questi analiti una **bassa dispersione** dei dati rispetto al valor medio (distribuzione pressoché uniforme/costante dei rapporti).

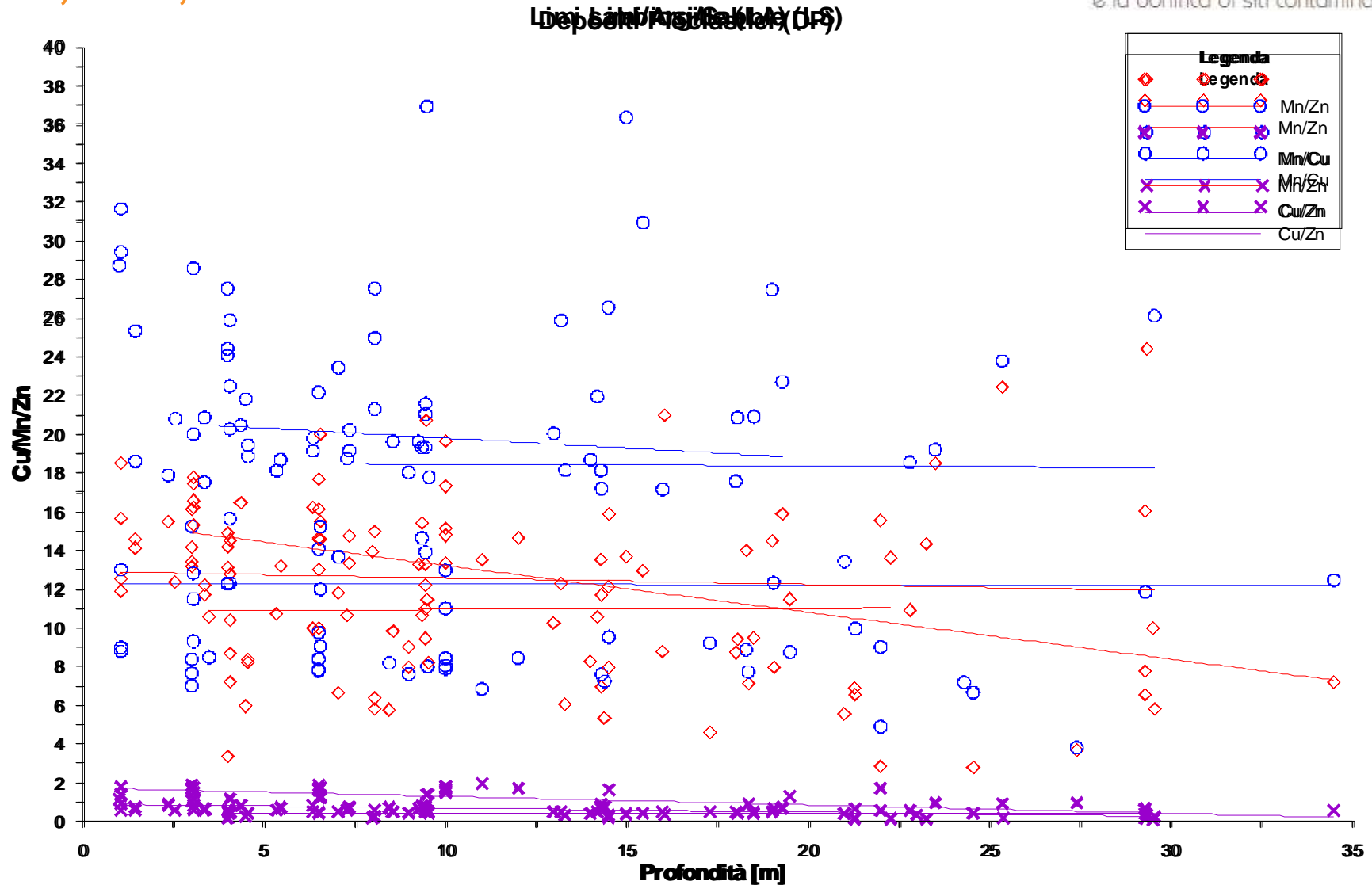
Analisi statistica Cu, Mn, Zn

► Per **Cu**, **Mn** e **Zn** si è riscontrato che:

- i dati relativi a LA sono mediamente superiori ai valori riscontrati nelle altre matrici;
- i materiali fini tendono ad accumulare tali elementi, al contrario di quanto si registra per la matrice piroclastica;
- le concentrazioni riscontrate risultano poco correlate con i materiali vulcanici, indicando quindi un maggiore apporto di natura sedimentaria.



Analisi dei rapporti di concentrazione Cu, Mn, Zn



Analisi dei rapporti di concentrazione Cu, Mn, Zn



- ▶ L'andamento dei rapporti tra Cu, Mn, Zn risulta sostanzialmente indipendente dalla **profondità indagata**
- ▶ Gli indicatori statistici relativi ai rapporti tra Cu, Mn, Zn evidenziano che:
 - le medie dei rapporti **non risultano omogenee** nelle tre litologie rappresentative (**LA** e **LS** sostanzialmente **diversi** da **DP**) anche se sono comunque dei **buoni indicatori** dell'andamento della popolazione (coefficiente di variazione quasi sempre inferiore a 0,5);
 - la deviazione standard e la varianza sono basse (distribuzione pressoché uniforme/costante dei rapporti) ad eccezione del Mn per il quale, pur riscontrando che i rapporti tendono ad un valor medio costante, si registrano **notevoli oscillazioni** non correlate né con la profondità né con la litologia identificativa del campione.

Analisi statistica - Conclusioni



- ◆ Arsenico, Piombo e Vanadio sono da associarsi ad origine vulcanica e pertanto risultano presenti prevalentemente nella matrice piroclastica e ai materiali fini.
- ◆ Rame, Manganese e Zinco si riscontrano prevalentemente nella matrice fine e in misura minore in quella grossolana e risultano poco correlati con i materiali vulcanici.
- ◆ La variabilità del dataset dei rapporti ha dimostrato una sostanziale indipendenza dalla profondità di prelievo dei campioni. Le correlazioni con le litologie significative (in modo particolare per As, Pb e V) sembrano essere invece congruenti con la caratterizzazione geologica del sito.
- ◆ In generale le medie dei rapporti di concentrazione sono buoni indicatori dell'andamento della popolazione e quindi possono essere selezionate come valori rappresentativi.
- ◆ I risultati dell'analisi statistica indicano quindi che **un valore assoluto (95° percentile) potrebbe non essere rappresentativo del fondo**. Infatti il valore di concentrazione di ciascun analita è influenzato dall'abbondanza degli altri, ovvero dal tipo di materiale e/o litologia più o meno ricca di tali elementi.

Determinazione dei valori di fondo

- ▶ E' stato quindi indicato per il fondo non un valore assoluto, bensì un **range di concentrazione** entro cui è lecito ritenere che la presenza dell'analita sia ascrivibile ad origine naturale.
- ▶ Gli estremi di tale range (C_i^{inf} , C_i^{sup}) sono stati ricavati a partire dal **95°percentile** (C_i^{95}) dei dati di concentrazione, in base alla **media** ($\mu_r(i/j)$) e alla **deviazione standard** (**SD** (i/j)) dei rapporti di concentrazione tra i vari elementi.
- ▶ Per la stima dei range si è utilizzata la media e la deviazione standard dei rapporti che presentano il minor **Coefficiente di Variazione**

$$C_1^{sup} = C_2^{95} \cdot (\mu_r(1/2) + SD(1/2))$$

$$C_1^{inf} = C_2^{95} \cdot (\mu_r(1/2) - SD(1/2))$$

$$C_2^{sup} = \frac{C_1^{95}}{(\mu_r(1/2) - SD(1/2))}$$

$$C_2^{inf} = \frac{C_1^{95}}{(\mu_r(1/2) + SD(1/2))}$$

Utilizzo dei range

- ▶ L'utilizzo dei range è stato proposto come screening dei dati attraverso:
 - verifica della **compatibilità geologica** dell'aree potenzialmente contaminate con le aree di riferimento per la determinazione del fondo;
 - verifica dell'**affinità delle litologie riscontrate** con quelle rappresentative del fondo;
 - analisi dei valori di concentrazione riscontrati per i metalli:
 - i valori ricadono nel range relativo alla litologia rappresentativa di riferimento ⇒ fondo naturale;
 - i valori sono superiori, ma molto prossimi al limite massimo del range relativo alla litologia di riferimento ⇒ indagini mirate per verificare se ascrivibili a fondo naturale;
 - i valori sono superiori al limite massimo del range relativo alla litologia di riferimento ⇒ contaminazione antropica;
- ▶ Ovviamente nel caso di tenori degli analiti inferiori al il limite minimo del range del fondo è lecito supporre che tali valori siano comunque ascrivibili ad origine naturale, in quanto si è focalizzata l'attenzione su determinate litologie che potenzialmente possono presentare anomalie geochimiche ascrivibili a cause naturali.

Criticità e indagini mirate

- ▶ Anche se i rapporti tra gli analiti tendono ad un **valor medio pressoché costante** nelle tre litologie, si registrano **alcune oscillazioni** (Mn e V) apparentemente poco correlate sia con la profondità che con la litologia.
- ▶ Pur avendo identificato tre macrolitologie rappresentative, non è stato possibile effettuare:
 - una caratterizzazione oggettiva delle litologie presenti a causa le disomogeneità nella redazione delle stratigrafie in fase di caratterizzazione e l'assenza di specifiche determinazioni granulometriche;
 - una correlazione tra litologia, ambiente chimico e concentrazioni riscontrate;
 - una valutazione della reale biodisponibilità dei metalli.
- ▶ E' stato proposto un **approfondimento delle indagini** che includa, almeno per le zone dove si è prossimi ai limiti superiori del range:
 - caratterizzazione litologica dei materiali attraverso analisi granulometriche, tessitura, peso specifico;
 - determinazione di pH, potenziale redox, carbonio organico, capacità di scambio cationico, contenuto di carbonato, contenuto totale di ferro e alluminio;

Conclusioni e sviluppi futuri



- ▶ Sulla base dei dati di caratterizzazione del SIN di Colleferro è stato possibile selezionare delle aree rappresentative per la determinazione del fondo.
- ▶ In base a quanto evidenziato dall'analisi geologica si osserva che la diffusione dei metalli oggetto dell'analisi in ambiente è riconducibile ad origine naturale determinata dai processi di alterazione delle rocce madri.
- ▶ I valori di concentrazione di ciascun analita sono influenzati dall'abbondanza degli altri, ovvero dal tipo di materiale e/o litologia più o meno ricca di tali elementi, e pertanto si è ritenuto opportuno definire un range di concentrazione entro cui è lecito identificare un'origine naturale.
- ▶ I range, definiti in base alle litologie rappresentative, sono proposti come criterio di screening che dovrebbe essere comunque supportato, in alcuni casi, da indagini mirate (es. valutazione della biodisponibilità).
- ▶ Le attività future riguarderanno:
 - Il confronto statistico dei dati del fondo con quelli delle aree industriali;
 - l'eventuale valutazione dei valori di fondo nelle acque sotterranee alla luce del recente protocollo ISPRA.

Grazie dell'attenzione!

Domande???

