

**RAPPORTO**

USO RISERVATO

APPROVATO

C4017828

**Cliente** Enel Green Power Italia S.r.l.

**Oggetto** Concessione "Travale".  
Realizzazione nuove postazioni geotermiche "Montieri 7", "Radicondoli 35",  
"Radicondoli 36".  
**Studio statistico finalizzato alla determinazione dei Valori di Fondo Naturale (VFN) dei suoli - Postazione Radicondoli 35.**

**Ordine** A.Q. JA10125351 - Attivazione n. 3500626896 del 24.09.2024

**Note** Codice EGP: GRE.EEC.R.26.IT.G.13406.49.013  
Codice PAUR: R35013\_DefVFN

La parziale riproduzione di questo documento è permessa solo con l'autorizzazione scritta del CESI.

**N. pagine** 50 **N. pagine fuori testo** 235

**Data** 17/12/2024

**Elaborato** C4017828 1793913 AUT **STC - Gatto Cesare ,** C4017828 3219906 AUT **STC - Grattacaso Gaia ,** C4017828 2721036 AUT **STC - Raduazzo Alessandro**  
**Davide Boschi**

**Verificato** C4017828 4991 VER **ENC - Stigliano Giuseppe Paolo**

**Approvato** C4017828 2809622 APP **ENC - Il Responsabile - Mozzi Riccardo**

## Indice

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO AMBIENTALE DELL'UNITÀ DI CAMPIONAMENTO .....</b>	<b>9</b>
3.1	Inquadramento geografico.....	9
3.2	Uso del suolo .....	10
3.3	Destinazione d'uso urbanistica .....	10
3.4	Localizzazione delle attività antropiche (attuali e storiche).....	10
3.5	Assetto geologico locale.....	13
3.6	Assetto idrogeologico locale .....	17
3.7	Assetto geomorfologico .....	19
3.8	Assetto pedologico locale.....	21
<b>4</b>	<b>SINTESI DEI RISULTATI ANALITICI OTTENUTI PER I SUOLI .....</b>	<b>23</b>
4.1	Risultati delle analisi di caratterizzazione delle TRS.....	23
4.2	Risultati delle analisi del piano di indagine integrativo per la determinazione dei VFN.....	24
4.3	Confronto tra i risultati della caratterizzazione ambientale delle TRS e di quella del piano di indagine per i VFN .....	25
4.4	Risultati delle rianalisi dei campioni di caratterizzazione delle TRS.....	28
<b>5</b>	<b>MODELLO CONCETTUALE DELL'UNITÀ DI CAMPIONAMENTO .....</b>	<b>31</b>
5.1	Modello geologico-stratigrafico e idrogeologico .....	31
5.2	Identificazione dei parametri di interesse caratteristici dell'UdC.....	32
5.3	Potenziati fonti naturali .....	32
5.4	Valutazione della numerosità campionaria e completezza del set di dati.....	33
<b>6</b>	<b>ORGANIZZAZIONE DELLA BASE DATI .....</b>	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>METODOLOGIE UTILIZZATE .....</b>	<b>36</b>
7.1	Approccio statistico utilizzato .....	36
7.2	Trattamento dei dati non-detected .....	39
7.3	Identificazione degli outlier .....	39
<b>8</b>	<b>ELABORAZIONE STATISTICA DEI DATI.....</b>	<b>41</b>
8.1	Analisi della distribuzione dei parametri di interesse .....	41
<b>9</b>	<b>PROPOSTA DEI VALORI DI FONDO NATURALE (VFN) INDIVIDUATI DA PARAMETRI STATISTICI ..</b>	<b>46</b>
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>48</b>

ELENCO TAVOLE FUORI TESTO

**Tot. Pagg. 5**

<b>Tavola 1</b>	Ubicazione dei punti di indagine realizzati
<b>Tavola 2a</b>	Cobalto: ubicazione dei superamenti delle CSC nei terreni insaturi
<b>Tavola 2b</b>	Cromo: ubicazione dei superamenti delle CSC nei terreni insaturi
<b>Tavola 2c</b>	Nichel: ubicazione dei superamenti delle CSC nei terreni insaturi

ELENCO ALLEGATI FUORI TESTO

**Tot. Pagg. 230**

**Allegato 1** – Biochemie Lab S.r.l. - Rapporti di Prova. Risultati delle analisi condotte sui campioni di suolo prelevati nell'ambito delle indagini integrative per la determinazione dei VFN

**Allegato 2** – Biochemie Lab S.r.l. - Rapporti di Prova. Risultati delle rianalisi condotte sui campioni di suolo prelevati nell'ambito delle indagini di caratterizzazione delle TRS

**Allegato 3** – Dataset. Concentrazioni utilizzate ai fini della determinazione dei VFN dei suoli (file in formato .xls)

## STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	17/12/2024	C4017828	Prima Emissione

## 1 PREMESSA

Nell'ambito dell'iter autorizzativo di PAUR avviato dalla Regione Toscana su istanza di Enel Green Power Italia S.r.l. (di seguito denominata EGPI) per la realizzazione di tre nuove postazioni di manutenzione campo geotermico ("Montieri\_7", "Radicondoli\_35", "Radicondoli\_36") e delle relative opere a rete di collegamento, EGPI ha presentato agli Enti competenti il Piano di Utilizzo delle Terre e Rocce da Scavo per ciascuno dei tre siti (per la postazione Radicondoli 35: *"Piano di Utilizzo Terre e Rocce da Scavo ai sensi del D.P.R. 120/2017 (art. 9) in forma preliminare e criteri di gestione delle terre da scavo come rifiuto ai sensi della parte IV del D.Lgs.152/2006 e ss.mm.ii."* - documento ISMES S.p.A. prot. GRE.EEC.R.28.IT.G.13405.00.007.00 del 14/12/2023 - Rif. [1]).

Il Piano di Utilizzo delle Terre e Rocce da Scavo (nel seguito TRS) è stato redatto con riferimento al Capo II del D.P.R. 120/2017, relativo a cantieri di grandi dimensioni sottoposti a VIA; il documento contiene il Piano di caratterizzazione dei suoli al fine di accertarne i requisiti ambientali al riutilizzo, redatto ai sensi dell'art. 4, comma 2, lettera d) del D.P.R. 120/2017.

Le indagini di caratterizzazione ambientale delle TRS, svolte a dicembre 2023 mediante la realizzazione di n. 10 sondaggi geognostici (AMB01÷AMB10) a carotaggio continuo (con prelievo di n. 28 campioni di suolo), i cui risultati sono contenuti nel documento ISMES S.p.A. prot. GRE.EEC.R.26.IT.G.08015.00.023 CTr021\_RAAMB del 24/04/2024 (Rif. [2]), hanno fatto riscontrare la non conformità alle CSC previste dalla Tabella 1 dell'Allegato 5, Titolo V, Parte IV del D.Lgs. 152/06 e ss.mm.ii. (Colonna A e/o B) per alcuni metalli (Sb, As, Cr tot, Ni, Cu, Zn), per i quali è stata ipotizzata l'origine naturale delle concentrazioni rilevate nei suoli, considerando il contesto geologico, e geochimico nel quale si inserisce la postazione Radicondoli 35.

In relazione ai superamenti dei limiti normativi riscontrati, in data 07/05/2024, EGPI ha notificato il rilevamento di superamenti delle CSC nei terreni ai sensi dell'art. 245 del D.Lgs.152/06 e ss.mm.ii. (nota prot. ENEL-EGP-07/05/2024-0011984 del 07/05/2024 - Rif. [3]), allegando alla stessa la Relazione Tecnica sull'esito delle indagini di caratterizzazione delle TRS (Rif. [2]). Nella stessa comunicazione, inoltre, EGPI ha richiesto ad ARPAT un incontro tecnico finalizzato a presentare i dati a disposizione e a proporre, avvalendosi di quanto previsto dall'art. 11, comma 1 del D.P.R. 120/2017, di ricondurre le non conformità ai limiti normativi, rilevate nei suoli, al Valore di Fondo Naturale dell'area ed infine a condividere le linee essenziali del modello concettuale sulla base del quale presentare il Piano di indagine per la determinazione dei Valori di Fondo Naturale (nel seguito VFN), così come previsto dal suddetto art. 11 del D.P.R. 120/2017.

Il Tavolo Tecnico con ARPA Toscana (Settore VIA/VAS – Direzione tecnica, Dipartimento di Siena e Dipartimento di Grosseto - AV Sud) si è svolto, in modalità videoconferenza, in data 28/05/2024 (Rif. [4]).

Successivamente, EGPI ha incaricato CESI S.p.A. (in seguito CESI) di elaborare il documento *"Piano di Indagine per la definizione dei Valori di Fondo Naturale (ai sensi dell'art.11 D.P.R. 120/2017)"* (Rif. [5]), così come previsto dall'art. 11, comma 1 del D.P.R. 120/2017 e dalla procedura indicata nella Linea Guida

SNPA 174/2018, integrato con quanto richiesto dagli Enti in occasione del Tavolo Tecnico del 28/05/2024 (Rif. [4]), finalizzato alla formulazione del Modello Concettuale preliminare ed alla definizione del piano di indagine per il completamento del set di dati disponibili, necessario per la fase di analisi statistica funzionale alla determinazione dei VFN.

Ai fini del piano di indagine per la determinazione dei VFN nei suoli, allo scopo di definire i limiti spaziali dello studio in relazione alle finalità e al contesto geo-ambientale, il sito della postazione Radicondoli 35 è stato identificato con l'“Unità di Campionamento” (UdC) oggetto dello studio. La nomenclatura adottata per l'UdC, che costituisce il contesto di riferimento oggetto del presente studio, fa quindi riferimento alla denominazione della stessa postazione, ovvero UdC “Radicondoli 35”.

La proposta d'indagine per l'UdC “Radicondoli 35” (Rif. [5]), trasmessa con nota prot. n. 17051 del 24/06/2024, è stata ritenuta condivisibile nella nota ARPAT prot. 67149 del 26/08/2024 (Rif. [6]), nell'ambito della quale sono state formulate ulteriori prescrizioni inerenti principalmente la necessità di prevedere una parte dei sondaggi proposti nelle vicinanze, ma all'esterno dell'area di realizzazione della postazione geotermica, rimandando in corso d'opera la definizione della loro ubicazione.

A seguito di idonei sopralluoghi atti a verificare l'effettiva fattibilità delle perforazioni in corrispondenza delle ubicazioni previste, le indagini sono state eseguite nei giorni 13÷16/09/2024 presso il sito della postazione Radicondoli 35.

Ai fini della validazione della campagna d'indagine, le attività si sono svolte in contraddittorio con ARPA Toscana (Dipartimento di Siena) che ha prelevato contro-campioni di suolo, in fase di realizzazione delle perforazioni, nella giornata del 13/09/2024; ulteriori campioni, prelevati il 13/09/2024, sono stati acquisiti dall'Ente in campo in data 16/09/2024.

I risultati del piano di accertamento per la definizione dei Valori di Fondo Naturale, contenuti nel documento CESI prot. C4015134 del 28/10/2024 (Rif. [8]), hanno evidenziato sui n. 22 campioni di terreno prelevati la non conformità:

- per il parametro Cromo alle CSC di Colonna A in n. 2 campioni e alle CSC di Colonna B in n. 4 campioni;
- per il parametro Nichel alle CSC di Colonna A in n. 2 campioni e alle CSC di Colonna B in n. 4 campioni;
- per il parametro Cobalto alle CSC di Colonna A in n. 5 campioni;

mentre hanno mostrato la conformità alle CSC per i parametri Antimonio, Arsenico, Rame, Zinco in tutti i campioni prelevati.

I Rapporti di Prova sono stati anticipati da EGPI agli Enti con nota prot. ENEL-EGI-14/10/2024-0027823 del 14/10/2024 (Rif. [7]). Successivamente, con nota prot. ENEL-EGI-04/12/2024-0032675 è stata trasmessa la Relazione Tecnica delle indagini integrative svolte a settembre 2024 (Rif. [8]).

**Il presente documento ha pertanto lo scopo di presentare gli esiti dello studio statistico finalizzato all'identificazione dei VFN e la proposta di VFN dei suoli della postazione “Radicondoli 35”, identificata quale Unità di Campionamento sulla base del suo contesto geologico, geomorfologico e geochimico.**

Come suggerito dalla LG SNPA 174/2018, il numero minimo di osservazioni su cui basare la procedura per la determinazione dei VFN, necessario a garantire la significatività statistica del valore determinato, è compreso fra 10 e 30, in funzione dello scopo dell'indagine. Come previsto dal Piano di Indagine per la determinazione dei VFN (Rif. [5]) e come concordato con gli Enti preposti, la numerosità minima adottata ai fini del presente studio è di 30 osservazioni.

Per l'UdC "Radicondoli 35", la numerosità campionaria è stata raggiunta considerando i n. 28 campioni prelevati nell'ambito delle attività di caratterizzazione delle TRS di novembre 2023 e i n. 22 campioni prelevati nell'ambito dell'indagine integrativa di settembre 2024, per un totale di n. 50 campioni di suolo.

Il confronto tra i superamenti riscontrati per i metalli sui campioni dell'indagine integrativa e quelli risultanti dalle indagini di caratterizzazione delle TRS, ha evidenziato la necessità di condurre approfondimenti sulle analisi chimiche effettuate sui campioni di terreno di quest'ultima indagine, in considerazione delle diverse metodiche analitiche adottate nelle due circostanze.

Gli approfondimenti analitici di cui sopra, che hanno comportato l'analisi delle seconde aliquote dei campioni prelevati nell'ambito delle indagini per la caratterizzazione delle TRS, hanno consentito la confrontabilità tra le due serie di dati e di individuare il set di dati da utilizzare per:

- la determinazione dei VFN per i parametri di interesse caratterizzati da superamenti dei limiti di riferimento;
- l'individuazione ed il trattamento di eventuali *outlier* in relazione ai parametri di interesse.

Sulla base delle risultanze analitiche di cui sopra, nelle more di acquisire i risultati analitici dei campioni prelevati in contraddittorio da ARPAT e la successiva validazione dei dati di parte trasmessi, si è quindi proceduto con lo studio della loro distribuzione statistica e con la determinazione dei Valori di Fondo Naturale dei suoli dell'UdC "Radicondoli 35", che costituisce oggetto del presente documento.

Il presente studio è stato condotto in riferimento alla Linea Guida SNPA (174/2018) "*Linee Guida per la Definizione dei Valori di Fondo per i Suoli e per le Acque Sotterranee*" ed è stato articolato nei seguenti Capitoli, in cui sono descritte nel dettaglio le fasi seguite per la definizione dei VFN:

- Inquadramento ambientale dell'Unità di Campionamento (Capitolo 3);
- Sintesi dei risultati analitici ottenuti per i suoli (Capitolo 4);
- Modello Concettuale dell'Unità di Campionamento (Capitolo 5);
- Organizzazione della base dati (Capitolo 6);
- Analisi statistica del Dataset (Capitolo 7);
- Metodologie utilizzate (Capitolo 8);
- Elaborazione statistica dei dati (Capitolo 9);
- Proposta dei Valori di Fondo Naturale (VFN) individuati da parametri statistici (Capitolo 10);
- Conclusioni (Capitolo 11).

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### Riferimenti normativi e Linee Guida

Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 “*Norme in materia ambientale*” e successive modificazioni e integrazioni (G.U. n. 88 del 14 aprile 2006 - Supplemento Ordinario n. 96).

Decreto del Presidente della Repubblica 13 giugno 2017, n. 120 “*Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164*” (G.U. n. 183 del 7 agosto 2017)

ISPRA (2018) – “*Determinazione dei valori di fondo per i suoli e per le acque sotterranee*”. Manuali e Linee Guida n. 174/2018.

### Riferimenti tecnici

- [1] Enel Green Power Italia S.r.l. *Concessione “Travale”. Postazione Geotermica Montieri 7. Progetto Definitivo. Piano Preliminare di Utilizzo Terre e Rocce da Scavo ai sensi del DPR 120/2017 (art.9) in forma preliminare e criteri di gestione delle terre da scavo come rifiuto ai sensi della parte IV del DLgs 152/06 e ss.mm.ii.* GRE.EEC.R.28.IT.G.13405.00.007.00 del 14/12/2023, presentato in istanza di PAUR (prot.n.001382 del 19/01/2024).
- [2] Enel Green Power Italia S.r.l. *Concessione “Travale”. Postazioni Geotermiche Montieri 7, Radicondoli 35 e Radicondoli 36. Progetto definitivo. Relazione tecnica sull'esito delle indagini ambientali di caratterizzazione delle terre e rocce da scavo ai sensi del D.P.R. 120/2017.* GRE.EEC.R.26.IT.G.08015.00.023 CTr021\_RAAmb del 24/04/2024, presentato in istanza di PAUR (prot.n.001382 del 19/01/2024).
- [3] Enel Green Power Italia (EGP and TGx Italy – Operation & Maintenance Geothermal Italy). *Comunicazione ai sensi dell'articolo 245 del D.Lgs. 152/2006 e ss.mm.ii. di rilevamento superamenti delle concentrazioni soglia di contaminazione (CSC) nei terreni – Nuove Postazioni di Manutenzione Campo Montieri 7, Radicondoli 35 e Radicondoli 36 ubicate nella Concessione di Coltivazione “Travale”, nei Comuni di Radicondoli (SI) e Montieri (GR) – Procedimento autorizzativo PAUR (Regione Toscana) n.ID: 2199.* Nota prot. ENEL-EGP-07/05/2024-0011984 del 07/05/2024.
- [4] ARPA Toscana - Settore VIA/VAS – Direzione tecnica, Dipartimento di Siena e Dipartimento di Grosseto - AV Sud. Verbale riunione del 28/05/2024.
- [5] CESI S.p.A. Rapporto C4009046 del 21/06/2024. *Concessione “Travale”. Realizzazione nuove postazioni geotermiche Montieri 7, Radicondoli 35, Radicondoli 36. Piano di Indagine per la determinazione dei Valori di Fondo Naturale (ai sensi dell'art. 11 D.P.R. 120/2017) - APPENDICE 2: Postazione Radicondoli 35.*
- [6] ARPA Toscana - Settore VIA/VAS – Direzione tecnica, Dipartimento di Siena e Dipartimento di Grosseto - AV Sud. *Considerazioni in merito ai piani di indagine per definire i valori di fondo naturale Montieri 7, Radicondoli 35 e 36.* Nota n. 67149 del 26 agosto 2024.
- [7] Enel Green Power Italia S.r.l. [ID:2199] *PAUR ai sensi art. 27 bis del D.lgs. 152/2006 e ss.mm.ii. e art. 73 bis della L.R. 10/2010 relativamente al progetto “Concessione di Coltivazione Travale - Nuove Postazioni di Manutenzione Campo Montieri\_7, Radicondoli\_35, Radicondoli\_36” nei comuni di Montieri (GR) e Radicondoli (SI). Proponente: Enel Green Power Italia S.r.l. Caratterizzazione delle aree interessate da movimenti terra e determinazione del Valore di Fondo Naturale (VFN) ex art. 11 del D.P.R. 120/2017: Trasmissione esiti indagini postazioni e Rapporti di Prova Nota.* prot. ENEL-EGI-14/10/2024-0027823 del 14/10/2024.

- [8] CESI S.p.A. Rapporto C4015134 del 28/10/2024. *Concessione "Travale". Realizzazione nuove postazioni geotermiche Montieri 7, Radicondoli 35, Radicondoli 36. Piano di indagine per la determinazione del Valore di Fondo Naturale (ai sensi dell'art. 11 D.P.R. 120/2017) - Postazione Radicondoli 35. Relazione tecnica indagine integrativa - settembre 2024.*

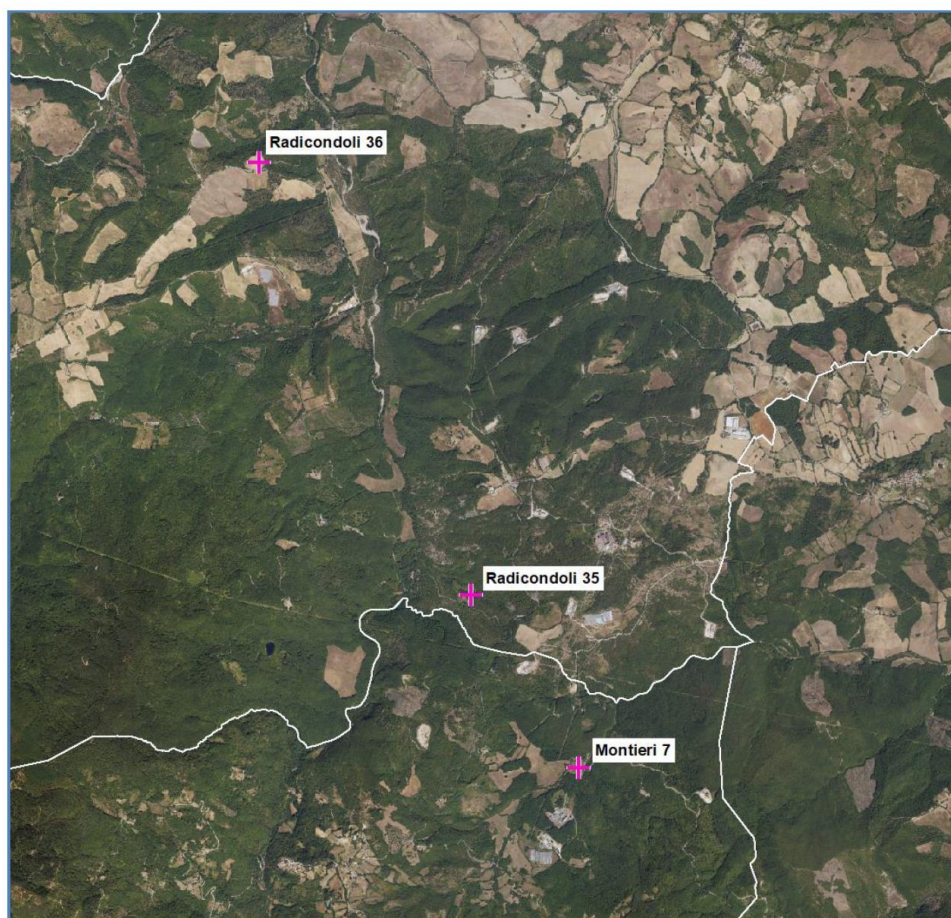


### 3 INQUADRAMENTO AMBIENTALE DELL'UNITÀ DI CAMPIONAMENTO

#### 3.1 Inquadramento geografico

La postazione Radicondoli 35 si trova nel territorio del Comune di Radicondoli (SI), nella zona delle Colline Metallifere toscane, corrispondente al settore compreso tra Siena e il Mar Tirreno.

Nella figura seguente è possibile osservare l'ubicazione relativa della postazione geotermica Radicondoli 35, posta a circa 4,5 km dalla postazione Radicondoli 36 e a circa 2 km da quella Montieri 7.



**Figura1** – Ubicazione delle tre Postazioni: Radicondoli 36, Radicondoli 35 e Montieri 7 con indicati in bianco i confini comunali.

Ortofoto OFC 2023 (GSD 20cm) fornite dalla Regione Toscana

Nella tabella seguente sono riportati i riferimenti cartografici del sito; le coordinate geografiche, nel sistema Gauss Boaga Datum ROMA 1940 fuso Ovest, sono relative al punto di origine degli assi X e Y della postazione, corrispondente al centro del pozzo, tra i 5 previsti, più distante dall'ingresso della postazione stessa.

Postazione	Coordinate U.T.M. Gauss Boaga		Riferimento (pozzo)	Sezione CTR 1:10.000
	E	N		
Radicondoli 35	166.4931,92	4.783.837,61	RAD_35	307010

**Tabella1** – Riferimenti cartografici della postazione.

### 3.2 Uso del suolo

Il sito nel quale sorgerà la postazione Radicondoli 35 corrisponde ad un declivio erboso, con debole pendenza (circa 8°), parzialmente vegetato con arbusti e alberi, delimitato a sud dalla strada comunale Bagno ad Elci e a nord dal Torrente Fosso delle Galleraie.

Per quanto concerne la copertura e l'uso del suolo prevalenti del sito della futura postazione Radicondoli 35, la cartografia della Regione Toscana (con riferimento alla Figura 4 del rapporto CESI C4009046 - Rif.[5]) riporta la presenza di *Frutteti e frutti minori* (222) per l'area della postazione di perforazione, le aree di cantiere e di accumulo temporaneo "A" e "B", e di *Boschi di latifoglie* (311) per le aree al contorno e per la viabilità di accesso; il percorso delle relative linee fluidi ricade in aree a *Boschi di latifoglie* (311) e *Seminativi* (210), mentre le aree di cantiere per accumulo temporaneo TRS "C" e "D" insistono su aree ad uso *Boschi di latifoglie* (311) e *Prati stabili* (231).

### 3.3 Destinazione d'uso urbanistica

Il Piano Operativo Intercomunale (2014) identificata per la postazione Radicondoli 35 le seguenti destinazioni d'uso: "E2 – Prevalente funzione agricola" e "E1b – Bosco ceduo".

Ai fini della gestione delle terre di scavo secondo il D.P.R. 120/2017, i terreni interessati dagli scavi sono da attribuire a "siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale" di cui alla colonna A della Tabella 1, Allegato 5, Titolo V, Parte Quarta del D.Lgs. 152/2006 e ss.mm.ii...

Si evidenzia però che l'autorizzazione alla realizzazione ed esercizio della nuova Postazione comporterà l'avvio sul relativo sito di una attività produttiva, consistente nell'attività di ricerca mineraria e di coltivazione della risorsa geotermica nell'ambito della Concessione Travale.

In tal senso si potrà fare riferimento alla destinazione d'uso "di fatto" prevista, corrispondente a "siti ad uso Commerciale e Industriale" di cui alla colonna B della Tabella 1, Allegato 5, sopra citato.

### 3.4 Localizzazione delle attività antropiche (attuali e storiche)

L'analisi relativa alla localizzazione delle attività antropiche alla scala della postazione è stata condotta attraverso la consultazione del Sistema Informativo Regionale Ambientale della Toscana (SIRA), relativamente alle seguenti categorie INSPIRE con i relativi dataset:

- Risorse energetiche:
  - Centrali geotermiche.
- Produzione e impianti industriali:
  - Aziende a rischio di incidente rilevante
  - Aree agricole per spandimento fanghi
  - Impianti di gestione dei rifiuti
  - Impianti soggetti ad autorizzazione ambientale integrata
  - Impianti di potenza a biocombustibile
  - Impianti di gestione dei rifiuti
  - Impianti di depurazione.

Nell'area comprendente la postazione in progetto sono presenti infrastrutture legate alla coltivazione della risorsa geotermica rappresentate da vapordotti, acquedotti, postazioni di perforazione e da n. 1 centrale geotermoelettrica esistente, come mostrato nella Figura 2:

- Centrale "Nuova Radicondoli": ubicata nel Comune di Radicondoli ad una distanza di 1,5 km dalla futura postazione Radicondoli 35.



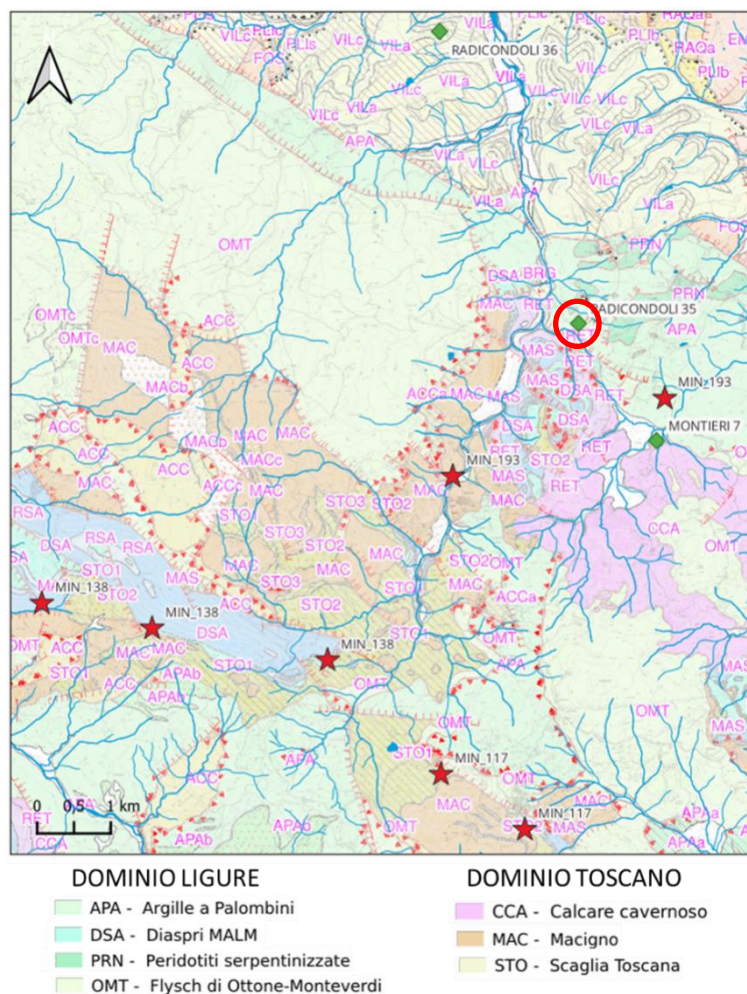
**Figura 2** – Ubicazione delle Centrali geotermiche nell'areale della postazione Radicondoli 35.  
(Sistema Informativo Regionale Ambientale della Toscana - SIRA)

Con riferimento agli insediamenti correlati alle risorse geotermiche, si segnala anche la presenza di una struttura dismessa che sfruttava fenomeni termali superficiali, collocata a circa 500 m di distanza dalla posizione prevista per la postazione Radicondoli 35; come riportato nella Relazione Geologica di progetto (*"Concessione "Travale". Postazione Geotermica Radicondoli 35. Progetto Definitivo. Postazioni e linee fluidi. Relazione Geologica"*). Doc. EGPI n. GRE.EEC.R.28.IT.G.13406.00.001.00 del 26/7/2023, presentato in istanza di PAUR con prot. n. 001382 del 19/01/2024, Figura 6.28) la struttura era denominata "Bagni delle Galleraie" e utilizzava acque ipertermali sulfureo-bicarbonato-solfato-magnesiaco-calciche e ferroso-arsenicali, provenienti da cinque sorgenti differenti.

Alla medesima scala di osservazione, non si rileva la presenza di insediamenti produttivi e impianti industriali quali aziende a rischio incidente rilevante, impianti gestione rifiuti, impianti soggetti ad AIA.

La consultazione delle schede dell'inventario dei siti minerari della Regione Toscana (BD\_RIMI, Regione Toscana - Banca Dati Risorse Minerarie (BD\_RIMI)) ha permesso di constatare che nel bacino imbrifero sotteso alla postazione geotermica in progetto, sono presenti tre siti minerari di diversa epoca storica, tutti abbandonati ma comunque censiti all'interno del database regionale. In particolare, sono censite coltivazioni di mineralizzazioni sia tipo "Lagoni" collegate ai soffioni boraciferi (Travale MIN-193), sia a solfuri misti (Poggio Mutti-Gerfalco MIN\_138 e Montieri MIN\_117). Per le caratteristiche geologiche e giacimentologiche dei tre siti minerari indentificati, estratte dalle schede dell'inventario del BD\_RIMI, si rimanda al paragrafo 6.2 del documento EGPI *"Concessione "Travale". Postazioni Geotermiche Montieri 7, Radicondoli 35 e Radicondoli 36. Progetto definitivo. Relazione tecnica sull'esito delle indagini ambientali di caratterizzazione delle terre e rocce da scavo ai sensi del D.P.R. 120/2017"* (Rif. [2]). L'ubicazione di questi siti minerari, in relazione alla posizione della postazione geotermica in progetto e all'assetto geologico ricavato dal DB geologico della Regione Toscana (fonte: Geoscopio), è riportata nella figura seguente.









**Figura 3** – Ubicazione dei siti minerari censiti dalla Regione Toscana (stella rossa, BD\_RIMI) in relazione alla postazione geotermica Radicondoli 35 in progetto (cerchio rosso) e assetto geologico dell'area in esame.  
(estratto da DB geologico della Regione Toscana).

Dal portale Geoscopio della Regione Toscana sono state altresì reperite ulteriori informazioni concernenti la presenza di siti censiti dal Piano Regionale Cave nell'areale di riferimento della postazione. L'analisi ha permesso di identificare i seguenti siti (vedi Figura 4):

- Giacimento di rocce sedimentarie per inerti artificiali (ID 0905317077001, Poggio Ripi): ubicato nel Comune di Montieri ad una distanza di circa 1,2 km dalla nuova postazione Radicondoli 35;
- Area di reperimento materiali ornamentali storici (ID 0905301705MOS, Grotta ai Falchi): ubicata nel Comune di Montieri ad una distanza di circa 1,2 km dalla postazione Radicondoli 35;
- Cave inattive, di cui n. 1 nel comune di Radicondoli ad una distanza di circa 0,5 km dalla postazione Radicondoli 35;
- Alcuni giacimenti potenziali di cui n. 2 ubicati nel Comune di Radicondoli, dei quali il più vicino alla postazione Radicondoli 35 si trova ad una distanza di circa 0,5 km (ID 09052025064001, Monte Gabbro, serpentiniti e gabbri per costruzioni).



**Legenda: Piano Regionale Cave**

-  Giacimenti
-  Giacimenti potenziali
-  Area reperimento Materiali storici (classe di tutela art.32 comma 3, lett. B)
-  Siti inattivi

**Figura 4 – Ubicazione dei giacimenti/siti inattivi nell'areale della postazione Radicondoli 35.**  
(Regione Toscana, SIPT-Piano Regionale Cave e DB\_Geologico, Portale Geoscopio)

L'analisi di dettaglio delle pressioni antropiche potenziali, passate e presenti, approfondita mediante l'esecuzione di sopralluoghi e la consultazione delle foto aeree è riportata al paragrafo 3.4 del rapporto CESI C4009046 (Rif. [5]).

In occasione dei sopralluoghi, condotti sia a novembre 2022 che a gennaio 2023, è stato verificato che il sito della postazione Radicondoli 35 si presenta privo d'insediamenti antropici (a conferma degli usi attestati) e si caratterizza per la presenza di una copertura vegetale (bosco e radura) prevalentemente naturale ed una morfologia che non mostra segni di modifiche attribuibili ad interventi antropici. Non sono state rilevate evidenze di contaminazione dei terreni superficiali né la presenza di possibili sorgenti di contaminazione all'interno del sito.

Dall'osservazione delle foto aeree storiche l'area non risulta essere stata interessata da insediamenti industriali/produttivi ma dedicata a seminativo e/o pascolo; la sequenza delle foto aeree mostra come la colonizzazione dell'area da parte della vegetazione arborea/arbustiva, che può essere identificata con la cessazione dell'uso a seminativo, sia iniziata tra il 1996 e il 2007.

Nelle aree limitrofe all'UdC Radicondoli 35 è presente la Centrale geotermica di Nuova Radicondoli (a circa 1,5 km di distanza) con i relativi allacciamenti impiantistici; in un raggio di 1,2 km dall'UdC sono altresì presenti alcuni insediamenti censiti dal Piano Regionale Cave (fonte: Geoscopio Regione Toscana). Non si osserva invece la presenza di insediamenti produttivi e impianti industriali quali aziende a rischio incidente rilevante, impianti gestione rifiuti, impianti soggetti ad AIA (fonte dati: Sistema Informativo Regionale Ambientale della Toscana - SIRA).

### 3.5 Assetto geologico locale

L'area in studio è collocata all'interno del dominio oceanico ligure, composto nello specifico dall'Unità Ofiolitica, qui rappresentata dalla Formazione delle Argille a Palombini e dalle Peridotiti serpentinate con filoni gabbri e basaltici. Il substrato risulta ricoperto da depositi continentali eluvio-colluviali olocenici.

Le rocce di substrato attribuibili alla Formazione delle Argille a Palombini sono costituite prevalentemente da argilliti e siltiti argillose di colore grigio-marrone o verde, marcatamente fissili, con intercalati calcari silicei a grana fine, di colore generalmente grigio o grigio-scuro, in strati, spesso

lenticolari, che raggiungono eccezionalmente lo spessore di 1,5 metri. Localmente si rinvenivano anche marne calcaree e calcilutiti e di colore grigio chiaro in frattura fresca e marrone in superficie alterata con spessore variabile da qualche decimetro a circa un metro. Del tutto subordinata è la presenza di arenarie quarzose, debolmente carbonatiche, a grana media, di colore grigio chiaro.

Le Peridotiti serpentizzate sono costituite da masse disarticolate di dimensioni molto variabili. Si tratta di rocce di colore dal verde chiaro al verde molto scuro, quasi bluastro, con tessitura massiccia o debolmente foliata. Talvolta sono visibili limitate porzioni a struttura cataclastica con elementi, di dimensioni da centimetriche a decimetriche, cementati da un fitto reticolato di vene di calcite (oficalci) e/o di serpentino.

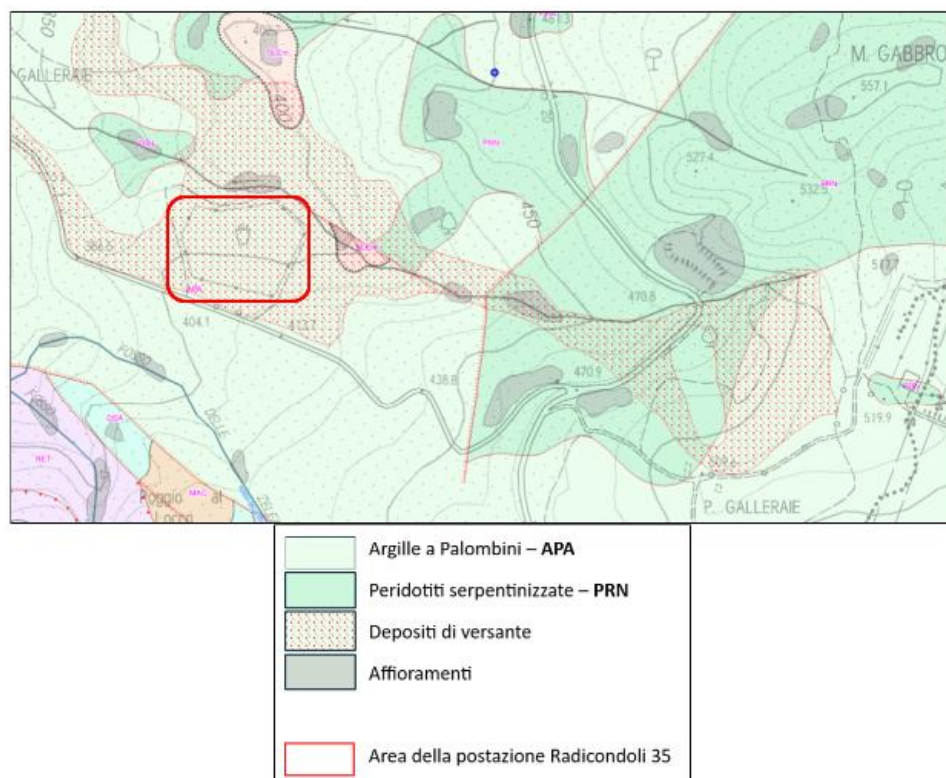
Aspetto rilevante dal punto di vista geologico strutturale è la diffusa presenza, in tutto l'intorno del sito di imposta della postazione di perforazione, di faglie dirette (con rigetti anche pluri-decametrici) che mettono in contatto le unità ofiolitiche cretache del Dominio Ligure anche con le unità triassiche della Falda Toscana.

Circa la metà orientale del tracciato delle linee fluidi in progetto corre praticamente a ridosso del contatto tettonico, localmente anche fagliato, tra le Argille e le Peridotiti. Diversi affioramenti si susseguono lungo il tracciato da ovest verso est ed è stato possibile anche rilevare direttamente una porzione del contatto di tipo tettonico tra le due unità, poco a sud della località Podere Galleraie.

Lungo la strada sterrata che dalla Strada Provinciale delle Galleraie (SP N.5) sale verso il Podere Galleraie è stata rilevata la presenza di limitati affioramenti presunti di oficalci, costituiti da serpentiniti brecciate interessate da una fitta rete di fratture riempite di calcite, che localmente presentano colori di alterazione che vanno dal violaceo al rossastro.

Dall'esame del reticolato idrografico si evince come l'area della postazione sia ubicata in sinistra idrografica di un fosso minore (non nominato in cartografia), tributario del F. Cecina, in cui sfocia circa 550 m in direzione ONO rispetto al sito. La porzione più elevata del bacino imbrifero è collocata poco a est del sito, e risulta delimitata a sud dal crinale su cui è ubicato il Podere Galleraie e a nord dalla dorsale che dal Monte Gabbro degrada in direzione ovest. L'intero bacino imbrifero di tale corso d'acqua è sotteso unicamente alle due formazioni del substrato presenti nell'area già descritte (Argille a Palombini e Peridotiti serpentizzate).

L'assetto geologico sopra descritto è raffigurato nella seguente Figura 5Figura, in cui, oltre alle unità del substrato sono evidenziati i depositi quaternari di copertura.



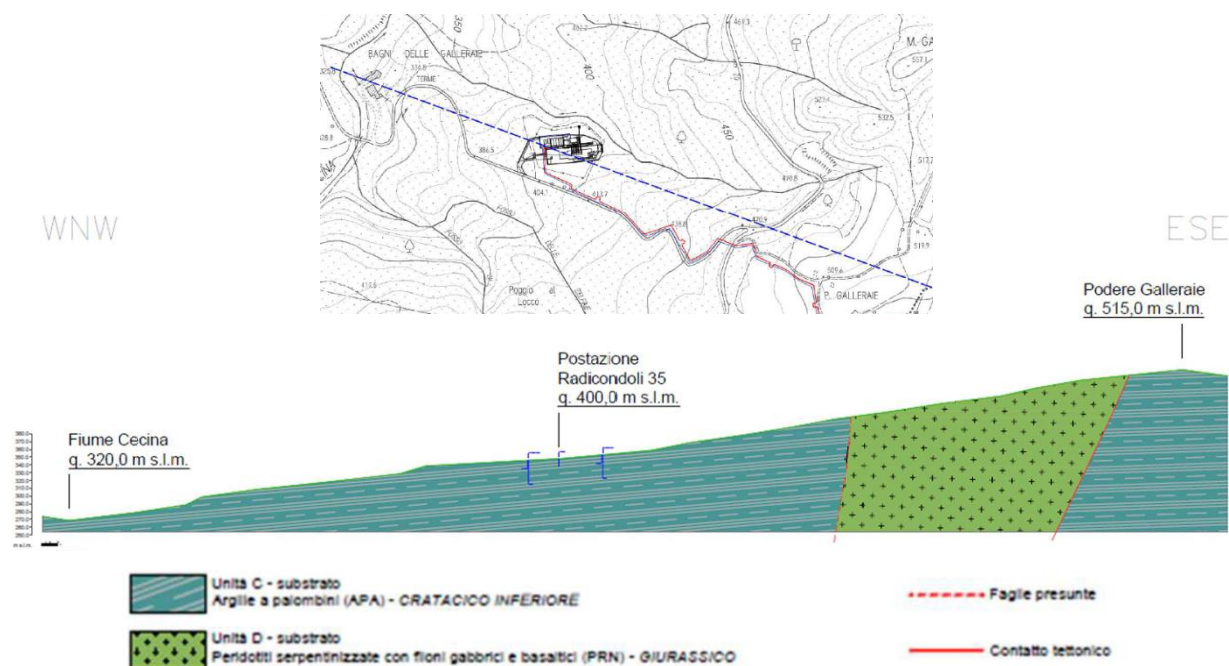
**Figura 5 – Carta geologica di dettaglio dell'area della postazione Radicondoli 35.**  
(Regione Toscana – Portale Geoscopio - Database Geologico)

La caratterizzazione litostratigrafica del sito è riportata nella Relazione Geologica del Progetto Definitivo della postazione (Rif. *“Concessione “Travale”. Postazione Geotermica Radicondoli 35. Progetto Definitivo. Postazioni e linee fluidi. Relazione Geologica”*. Doc. EGPI n. GRE.EEC.R.28.IT.G.13406.00.001.00 del 26/7/2023, presentato in istanza di PAUR con prot. n. 001382 del 19/01/2024), sulla base dei dati raccolti con alcune indagini svolte nell'ambito del Piano Strutturale Intercomunale dei Comuni di Casole d'Elsa e Radicondoli; ulteriori dati sono stati raccolti attraverso una campagna di indagini geognostiche dedicate alla completa caratterizzazione lito-stratigrafica e geotecnica dell'area della nuova postazione e della annessa viabilità di accesso (Rif. *“Concessione “Travale”. Postazione Geotermica Radicondoli 35. Progetto Definitivo. Postazione: Rapporto indagini geognostiche”*. Doc. EGPI prot. n. GRE.EEC.R.25.IT.G.13406.49.002.00 del 08/03/2024, presentato in fase di integrazione documentale PAUR con prot. n. 008645 del 28/03/2024), realizzata da EGPI nell'ambito della progettazione esecutiva delle opere civili previste.

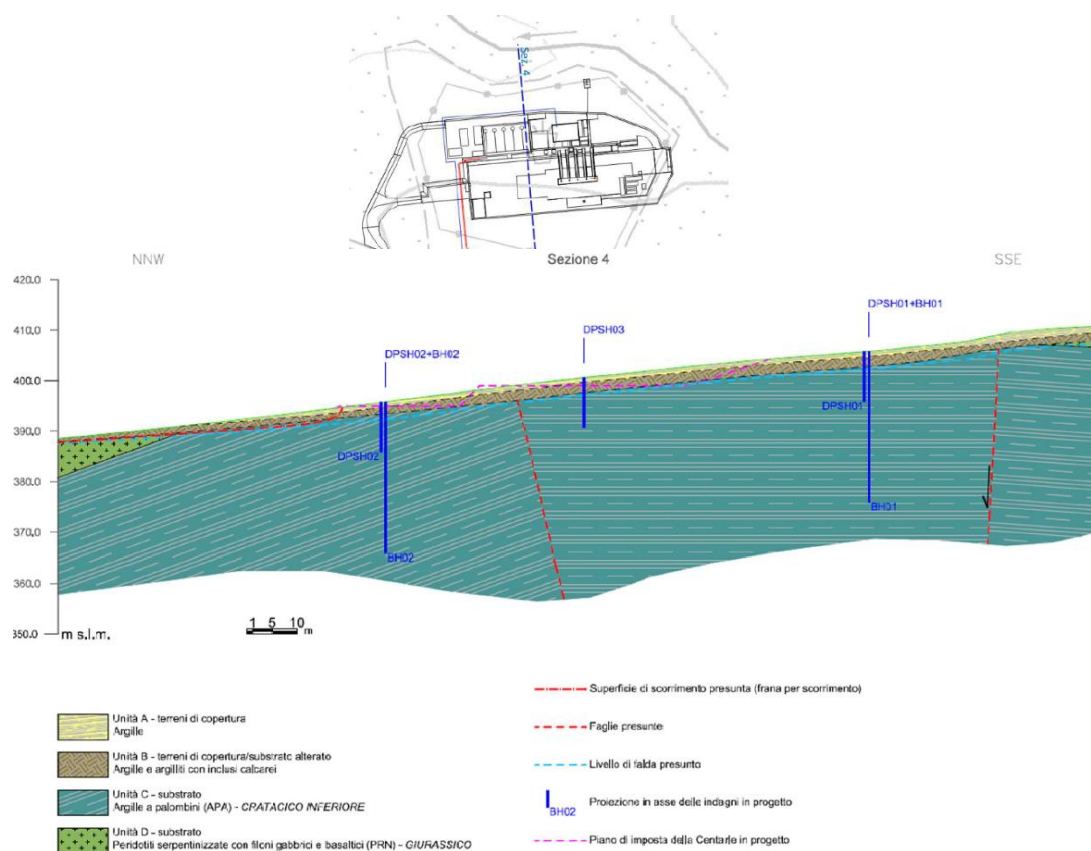
Le indagini del Piano Strutturale Intercomunale hanno evidenziato la presenza di terreni a granulometria fine (argille prevalenti), a copertura di un substrato lapideo caratterizzato dalle formazioni argillitiche delle Argille a Palombini; all'interfaccia si è riscontrato un cappellaccio di alterazione della sottostante unità di substrato.

Sulla base dei dati di cui sopra e delle evidenze raccolte in sito durante i sopralluoghi per la progettazione della postazione, è stato elaborato il modello geologico preliminare del sottosuolo presentato nella Relazione Geologica del Progetto attraverso le sezioni geologiche interpretative che seguono, di cui la prima (Figura 6), estesa dall'area del Fiume Cecina fino alla località Podere Galleraie con andamento ONO-ESE, e la seconda (Figura 7) limitata all'area della postazione di progetto, con andamento NNO-SSE.





**Figura 6 – Sezione geologica interpretativa estesa per l'area in studio.**



**Figura 7 – Profilo geologico/modello geologico per l'area della postazione Radicondoli 35.**



Nel profilo interpretativo riportato in Figura 7 sono state anche indicate le posizioni approssimative di alcune delle verticali delle indagini geognostiche eseguite nell'ambito della progettazione presso il sedime della postazione; i logs stratigrafici dei tre sondaggi perforati fino a 24-25 m dal p.c. evidenziano la presenza di materiali ascrivibili alle unità di copertura eluvio-colluviale fino a profondità dell'ordine di 10-15 m da p.c., a conferma della presenza dei depositi di versante, che non risultano invece cartografati nell'area indagata per il Piano Strutturale Intercomunale. Il modello geologico sarà in ogni caso validato dalla relazione tecnica interpretativa dei dati raccolti con le indagini geognostiche, in corso di preparazione.

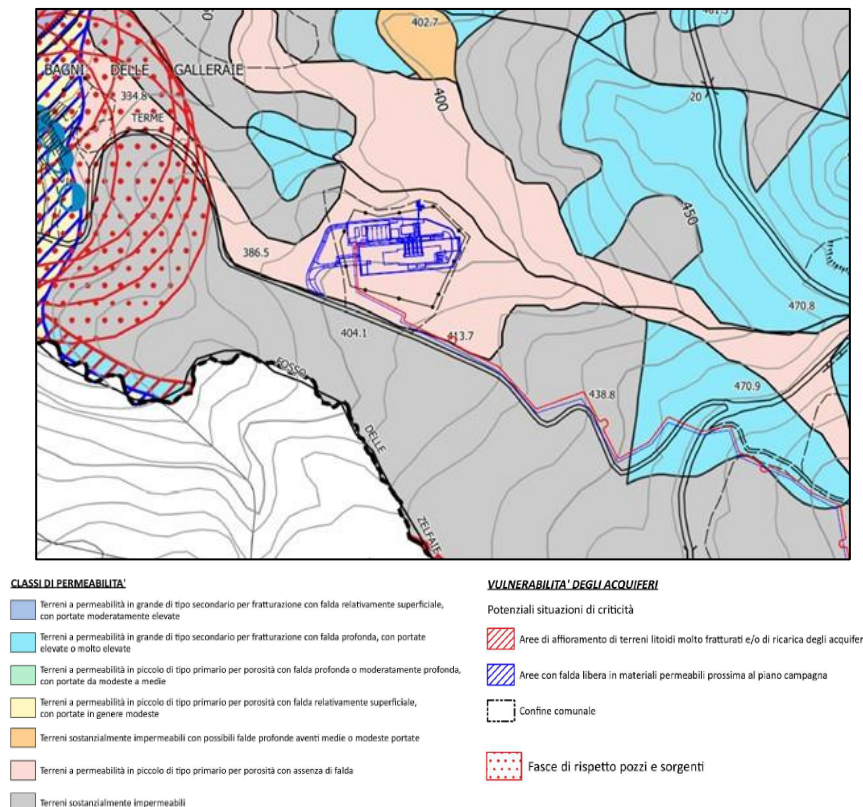
### 3.6 Assetto idrogeologico locale

Sulla base dell'assetto geologico del sito descritto nel par. precedente, il bedrock dell'area in studio è impostato sui terreni appartenenti all'Unità Ofiolitifera del Dominio Ligure Interno, ed in particolare sulla Formazione delle Argille a Palombini, nonché, limitatamente ad alcune aree sui versanti collinari prospicienti il sito, sulle Peridotiti serpentizzate con filoni gabbrici e basaltici, facenti parte della stessa Unità. Il substrato risulta tuttavia generalmente quasi sempre mascherato dalla presenza di depositi continentali alluvionali ed eluvio-colluviali olocenici.

Da un punto di vista idrogeologico la Formazione delle Argille a Palombini viene inquadrata come un "acquitard" a grande scala, in virtù principalmente della circolazione che caratterizza le facies maggiormente litoidi caratterizzate da fratturazione, ma sostanzialmente impermeabile se considerata a scala locale.

Le Peridotiti Serpentizzate, per la loro natura francamente litoide al netto delle coltri e cappellacci di alterazione, si caratterizzano invece per una permeabilità secondaria per fratturazione di tipo post-genetico, legata alle vicissitudini tettoniche, sia in ambiente compressivo che, più recentemente distensivo, che hanno caratterizzato l'orogenesi appenninica; la circolazione idrica sotterranea che caratterizza la formazione è in questo caso da buona a elevata, con falda comunque solitamente profonda.

La seguente Figura 8, tratta dal Piano Strutturale Intercomunale di Radicondoli e Casole d'Elsa, riporta la carta idrogeologica di sintesi dell'area della postazione Radicondoli 35.



**Figura 8** – Carta idrogeologica di sintesi per l’area della postazione Radicondoli 35.  
(Piano Strutturale Intercomunale di Radicondoli e Casole d’Elsa, Tavola Q.G03.5)

L’esame della carta presentata in figura individua per l’area di imposta della postazione di manutenzione capo geotermico la presenza di “*depositi caratterizzati da permeabilità in piccolo di tipo primario per porosità, con assenza di falda*”, correlabili ai depositi quaternari alluvionali e di versante presenti, giacenti su “*terreni sostanzialmente impermeabili*” localmente correlabili alla formazione di substrato delle Argille a Palombini ed al relativo cappellaccio di alterazione.

Per l’area di interesse la carta idrogeologica non indica situazioni di vulnerabilità degli acquiferi, che caratterizzano invece l’area di fondovalle in corrispondenza del corso del Fiume Cecina, a ovest della località Bagni delle Galleraie; presso quest’ultima sono identificate aree di rispetto di pozzi ad uso idropotabile, identificate con criterio geometrico, la cui fascia di rispetto non interessa tuttavia il sito di progetto.

I rilievi freaticometrici eseguiti in corrispondenza dei piezometri superficiali e profondi realizzati nell’ambito delle indagini geognostiche per la progettazione della nuova postazione (Rif. “*Concessione “Travale”. Postazione Geotermica Radicondoli 35. Progetto Definitivo. Postazione: Rapporto indagini geognostiche*”. Doc. EGPI prot. n. GRE.EEC.R.25.IT.G.13406.49.002.00 del 08/03/2024, presentato in fase di integrazione documentale PAUR con prot. n. 008645 del 28/03/2024) indicano una variabilità della soggiacenza della falda in funzione della posizione dei piezometri sul versante; il cluster ubicato in posizione di monte mostra una soggiacenza dell’ordine di 0,6 – 1,1 m da p.c., mentre nel cluster in posizione intermedia tra il crinale e l’impluvio posto subito a nord del sito di imposta, le soggiacenze rilevate sono state di 4,6 e 5,7 m da pc; nel piezometro profondo collocato in posizione di valle prossima all’impluvio, la soggiacenza è risultata pari a 3,6 m da pc. Il cluster di monte ha quindi fatto riscontrare una differenza di 0,5 m circa tra le soggiacenze del piezometro superficiale e del piezometro profondo, mentre per il cluster intermedio la differenza è risultata di circa 1,1 m.

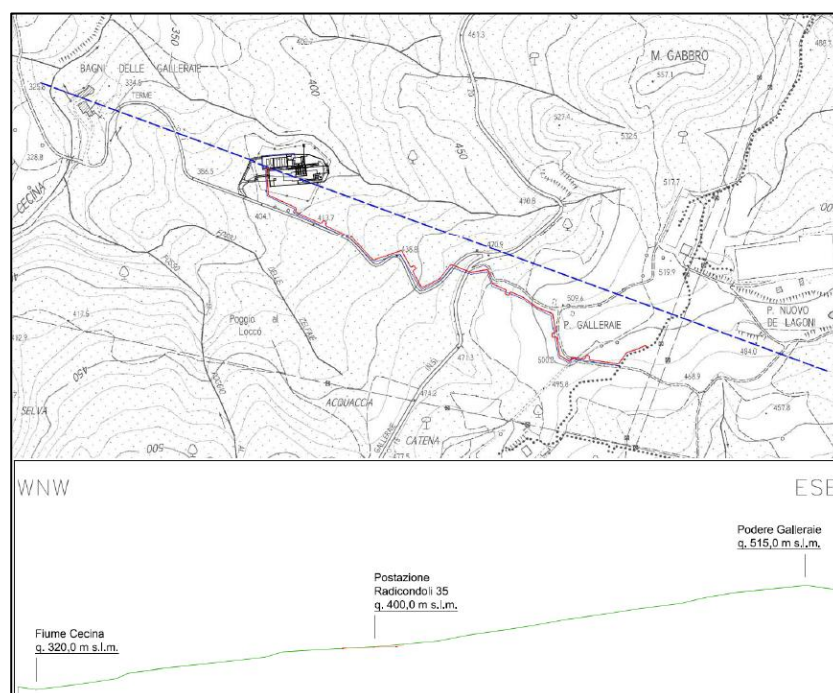
I dati di cui sopra suggeriscono che la presenza della circolazione idrica sotterranea sia impostata all'interno dei depositi quaternari alluvionali ed eluvio-colluviali (il cui spessore risulta pari o anche superiore ai 10 m) e verosimilmente sostenuta a letto dalla presenza della formazione a bassa permeabilità delle Argille a Palombini.

Le prove di permeabilità in foro (di tipo Lefranc a carico variabile) eseguite all'interno dell'orizzonte dei depositi quaternari di copertura nel corso della perforazione di alcuni dei sondaggi geognostici, hanno restituito valori di permeabilità bassi o molto bassi, con ordini di grandezza generalmente compresi tra  $10^{-8} < k < 10^{-6}$  m/sec (Rif. *Progetto Definitivo. Postazione: Rapporto indagini geognostiche* Doc. EGPI prot. n. GRE.EEC.R.25.IT.G.13406.49.002.00 del 08/03/2024).

### 3.7 Assetto geomorfologico

L'assetto morfologico del sito è visibile nel suo insieme in Figura 9 da cui è possibile notare come il sedime di imposta della futura postazione Radicondoli 35 sia ubicato su un versante a pendenza medio-bassa (valori medi di circa 8°), con morfologia regolare priva di particolari risalti topografici; tale contesto morfologico è associato al locale assetto tendenzialmente monoclinale delle litofacies argillitiche che caratterizza le formazioni di substrato presenti.

Il profilo passa dalla quota del crinale del locale spartiacque, posto a ESE del sito a circa 515 m s.l.m. (in corrispondenza della località Podere Galleriaie) alla quota di fondo valle incisa dal Fiume Cecina (circa 320 m s.l.m.) con una pendenza media costante di 8°.

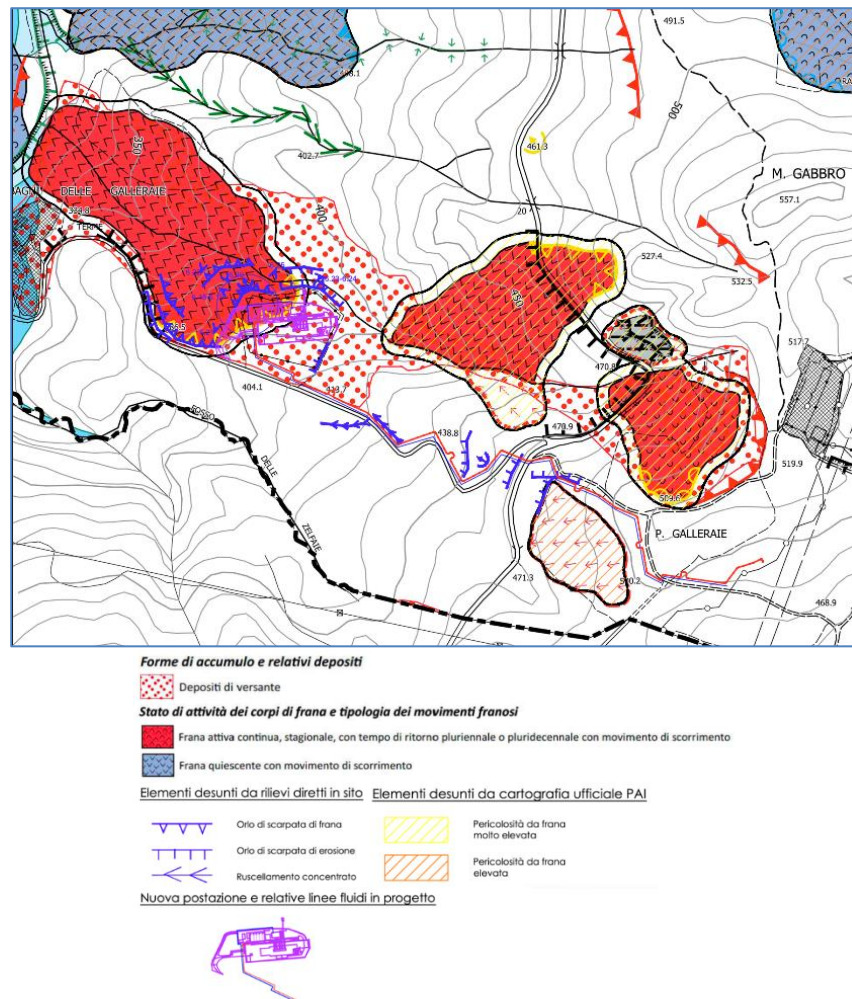


**Figura 9** – Profilo topografico del versante sede della postazione Radicondoli 35.

Il substrato risulta quasi costantemente mascherato dalla coltre di copertura superficiale, di natura eluvio-colluviale, alterata e modellata dagli agenti morfodinamici legati alla gravità (colamenti, soliflussi). Variazioni geomorfologiche locali sono imputabili ad assestamenti gravitativi della coltre superficiale, oltretutto alle diffuse azioni erosive dei fossi che ne incidono la superficie ed alla presenza di inclusi litoidi di dimensioni metriche che, per erosione selettiva, emergono tra i depositi di copertura.

Ampliando lo sguardo alla visione d'insieme, in considerazione anche del tracciato della linea fluidi, si evince come le opere in progetto sono impostate su terreni con pendenze comprese nel range tra 5° e 10°. Valori superiori (massimi pari a 26-27°) si riscontrano lungo le sponde incise dei corsi d'acqua o in corrispondenza di limitate porzioni di pendio.

Il rilievo in sito ha posto in evidenza la presenza di una frana attiva in evoluzione (Figura 10), che interessa parzialmente il sito di imposta nella sua porzione nord-occidentale.



**Figura 10** – Stralcio della carta geomorfologica dell'area della postazione  
(Regione Toscana – Portale Geoscopio - Database Geomorfologico)

Si tratta di episodi gravitativi classificati come recenti, dei quali sono riconoscibili e cartografabili gli orli di scarpata di recente attivazione, rilevati all'interno del corpo, così come le tracce degli orli principali attualmente quiescenti e le evidenze di movimento pregresso (testimoniati dalla presenza di alberi piegati e convessi verso valle); verosimilmente, i movimenti sono superficiali, nell'ordine di qualche metro da piano campagna, espressione locale del generalizzato movimento di versante. La profondità effettiva del movimento, tuttavia, potrà essere verificata solamente con l'ausilio della strumentazione di controllo in situ (inclinometri e piezometri) recentemente installata da parte di EGPI.

Da segnalare anche lo stato di forte erosione in cui si trovano le sponde dell'impiuvio posto subito a nord del sito di imposta afferente direttamente nel Fiume Cecina; si tratta di un alveo di dimensioni piuttosto contenute, pari a circa 1-1,5 m di larghezza e un'altezza spondale di 0,5-1 m circa. Tuttavia, in alcuni

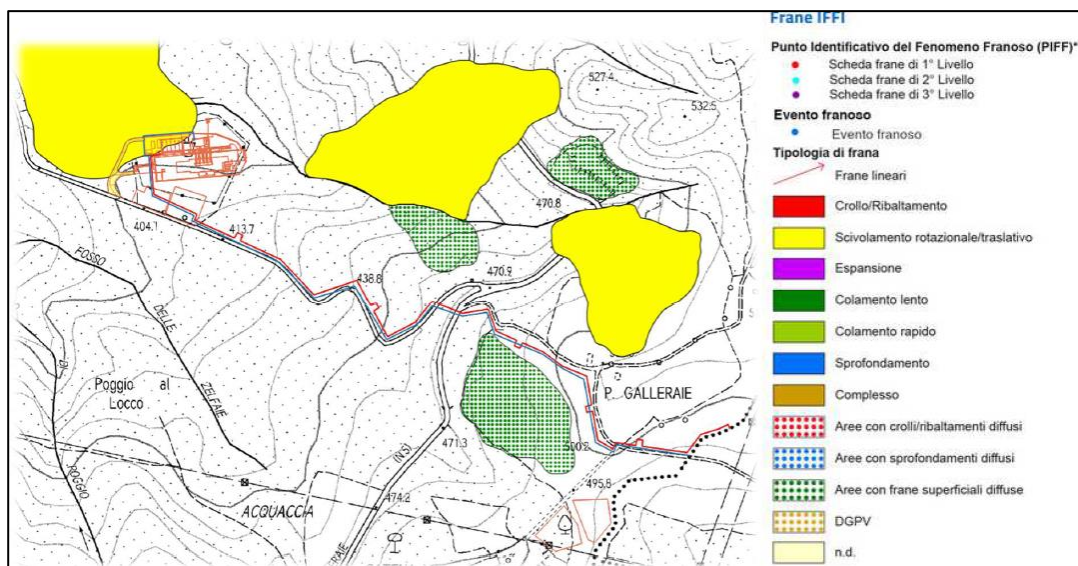


punti l'alveo risulta più incassato e presenta versanti soprastanti con altezze considerevoli dell'ordine di 6-8 m sempre caratterizzati da diffusi fenomeni di erosione superficiale.

Il trasporto solido è limitato a granulometrie fini (peliti e sabbie prevalenti, con ghiaie e ciottoli). I ciottoli di maggiori dimensioni non sembra che siano stati trasportati dalla corrente, ma piuttosto che rappresentino gli elementi litoidi presenti nei depositi di copertura incisi dal corso d'acqua.

Evidenze di scarpate in erosione e ruscellamenti concentrati sono state rilevate anche lungo il tracciato della linea fluidi, senza tuttavia evidenziare elementi di sostanziale criticità.

La suscettività al dissesto gravitativo di porzioni del versante in esame, dovuta all'assetto morfologico dell'area unitamente alle caratteristiche geotecniche delle litologie coinvolte, è accertata dagli strumenti di censimento degli eventi franosi disponibili, quali la cartografia I.F.F.I. e il database geomorfologico della Regione Toscana, che individuano, con perimetrazioni sostanzialmente analoghe, le porzioni di versante interessate da fenomeni franosi (Figura 11).

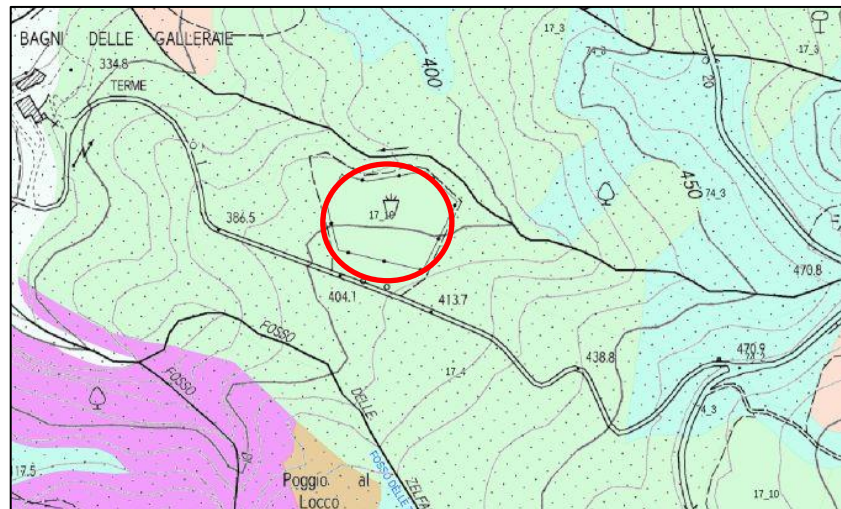


**Figura 11** – Dissesti gravitativi nell'area in esame stralciati dal progetto I.F.F.I.  
(in arancio la postazione Radicondoli 35 in progetto).

Per quanto riguarda la pericolosità geomorfologica, la cartografia riportata nel PAI di competenza dell'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino settentrionale evidenzia che la porzione nord-occidentale del sito di imposta della postazione di manutenzione campo risulta interessata da un ambito classificato come "PFME – aree a pericolosità da frana molto elevata", mentre sono assenti criticità idrauliche secondo le previsioni del Piano Gestione Rischio Alluvioni (P.R.G.A.).

### 3.8 Assetto pedologico locale

Le aree sulle quali insisteranno la postazione Radicondoli 35 e la viabilità relativa, come mostrato nella Figura 12, sono attribuite all'Unità di Paesaggio 17\_10.



**17\_10**  
Versanti con valleciole, poco incise, a morfologia ondulata, moderatamente pendenti, moderatamente erosi, su argilloscisti e calcari.  
Uso del suolo: seminativo.

**Figura 12** – Unità di paesaggio identificata per l'area della postazione Radicondoli 35 (cerchio rosso).  
(Regione Toscana, SIPT-Database pedologico, Portale Geoscopio)

All'Unità di Paesaggio 17\_10, che, nel caso in esame, corrisponde a terreni alluvionali e di copertura eluvio/colluviale impostati su substrato prevalentemente argillitico (Argille a Palombini), il database regionale associa suoli principalmente classificati come "MOT1"; si tratta di suoli da moderatamente profondi a profondi con spessori solitamente pari o anche superiore a 1,2 m, a tessitura franco argillosa, moderatamente ben drenati.

Per quanto concerne le caratteristiche idrauliche, i suoli si contraddistinguono per la conducibilità idraulica satura moderatamente bassa con prevalenza dei flussi in senso orizzontale e per l'assenza di falda; esse hanno inoltre una alta capacità di trattenere o inattivare i potenziali inquinanti.

## 4 SINTESI DEI RISULTATI ANALITICI OTTENUTI PER I SUOLI

### 4.1 Risultati delle analisi di caratterizzazione delle TRS

Come accennato in premessa, il Piano di Utilizzo delle Terre e Rocce da Scavo predisposto per la postazione Radicondoli 35 (Rif. [1]) ha definito il Piano di caratterizzazione ambientale delle TRS ai sensi del D.P.R. 120/2017.

La campagna di indagine, svolta nel corso del mese di dicembre 2023, è stata realizzata mediante la perforazione di n. 10 sondaggi geognostici a carotaggio continuo a secco ( $\varnothing$  101mm), ubicati all'interno del sedime della postazione di manutenzione del campo geotermico in progetto e delle aree destinate alla costruzione della viabilità di accesso, per il prelievo di n. 28 campioni di suolo insaturo, per la determinazione dei parametri analitici d'interesse.

Come previsto dal Piano di Utilizzo delle TRS (Rif. [1]) tutti i campioni di suolo sono stati prelevati in triplice aliquota, di cui una è stata inviata al laboratorio incaricato delle analisi e una è stata conservata presso i laboratori EGPI per eventuali approfondimenti analitici successivi.

I risultati delle determinazioni analitiche quantitative (eseguite dal lab. Isogea S.r.l. incaricato da ISMES S.p.A.) sui n. 28 campioni di suolo prelevati nell'ambito delle indagini di caratterizzazione ambientale delle TRS hanno mostrato, in alcuni casi, la non conformità dei seguenti parametri analitici:

- Arsenico, Antimonio, Cromo totale, Nichel, Rame, Zinco con riferimento alle CSC di Colonna A;
- Antimonio, Cromo totale, Nichel con riferimento alle CSC di Colonna B.

Nella tabella sottostante si riepilogano i risultati analitici per i quali è stato riscontrato almeno un superamento delle CSC nel suolo.

Sondaggio	Campione (prof. m da p.c.)	As [mg/kg]	Sb [mg/kg]	Cr tot [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Zn [mg/kg]
	CSC Col. A	20	10	150	120	120	150
	CSC Col. B	50	30	800	500	600	1500
AMB_01	C1 (0-1)	-	31,9	-	-	-	-
	C2 (1-2)	-	30,3	-	-	-	-
	C3 (2-3)	20,7	31,4	-	-	-	153
AMB_02	C1 (0-1)	-	12,1	161	357	-	-
	C2 (1-2)	-	28,1	319	332	-	-
AMB_03	C1 (0-1)	-	33,7	143	390	-	-
	C2 (1-2)	-	24,1	836	584	-	-
	C3 (2-3)	-	33,8	685	591	-	-
AMB_04	C1 (0-1)	-	10,5	877	605	-	-
	C2 (1-2)	-	32,8	792	581	-	-
AMB_05	C1 (0-1)	-	22,1	156	-	-	-
	C2 (2,2-3,2)	-	11,9	-	-	-	-
	C3 (4,4-5,4)	-	22,3	-	-	124	-
AMB_06	C1 (0-1)	-	14,9	-	-	-	-
	C2 (1,5-2,5)	-	25,9	-	-	-	161
	C3 (3,1-4,1)	-	33,0	-	-	-	-
AMB_07	C1 (0-1)	-	23,9	514	590	-	-
	C2 (1-2)	-	31,4	2017	2805	-	-
	C3 (2-3)	-	12,0	1512	2246	-	-

Sondaggio	Campione (prof. m da p.c.)	As [mg/kg]	Sb [mg/kg]	Cr tot [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Zn [mg/kg]
	CSC Col. A	20	10	150	120	120	150
	CSC Col. B	50	30	800	500	600	1500
AMB_08	C1 (0-1)	-	19,9	-	-	-	-
	C2 (1,3-2,3)	-	32,2	-	-	-	-
	C3 (2,7-3,7)	-	16,2	-	-	-	-
AMB_09	C1 (0-1)	-	11,1	653	618	-	-
	C2 (1-2)	-	30,0	-	-	-	-
	C3 (4,1-5,1)	-	30,0	-	-	-	-
AMB_10	C1 (0-1)	-	15,1	-	-	-	-
	C2 (1,4-2,4)	-	31,6	-	-	-	-
	C3 (2,8-3,8)	-	13,5	-	-	-	-

**Tabella 2** – Sintesi dei superamenti delle CSC (Colonna A/B nel suolo) nei campioni di suolo prelevati per la caratterizzazione delle TRS (lab. Isogea S.r.l.).

Per maggiori dettagli e approfondimenti in merito alle attività eseguite ed ai loro risultati si rimanda comunque integralmente ai contenuti del documento redatto da ISMES S.p.A. GRE.EEC.R.26.IT.G.08015.00.023 “Enel Green Power Italia S.r.l. - Postazioni geotermiche Montieri 7, Radicondoli 35 e Radicondoli 36 - Progetto definitivo - Relazione sull'esito delle indagini ambientali” (Rif. [2]).

L'ubicazione dei sondaggi geognostici realizzati nell'area della postazione Radicondoli 35 è mostrata nella planimetria di **Tavola 1** allegata al presente documento.

## 4.2 Risultati delle analisi del piano di indagine integrativo per la determinazione dei VFN

Le attività di indagine eseguite per il completamento del set di dati analitici disponibili (derivanti dalla caratterizzazione delle TRS) da analizzare e da validare da parte di ARPAT, ai fini della determinazione dei Valori di Fondo Naturale, sono state realizzate in linea con quanto previsto nel documento C4009046 “Piano di Indagine per la definizione dei Valori di Fondo Naturale (ai sensi dell'art.11 D.P.R. 120/2017)” (Rif. [5]), in accordo all'art. 11, comma 1 del D.P.R. 120/2017.

La campagna di indagine, svolta nel corso del mese di settembre 2024, è stata realizzata mediante la perforazione di n. 8 sondaggi a carotaggio continuo (RA35\_AMB11÷RA35\_AMB17, RA35\_AMB19) e n. 1 saggio di scavo (RA35\_AMB18), ubicati all'interno del sedime della futura postazione, ed infine n. 2 sondaggi a carotaggio continuo (RA35\_AMB20 e RA35\_AMB21), ubicati esternamente all'area di intervento prevista per la realizzazione della postazione geotermica, per un totale di n. 11 punti d'indagine, dai quali sono stati prelevati complessivamente n. 22 campioni di suolo insaturo, per la determinazione dei parametri analitici d'interesse.

Come previsto dal Piano di indagine (Rif. [5]) tutti i campioni di suolo sono stati prelevati in triplice aliquota, di cui una è stata inviata al laboratorio incaricato delle analisi, una è stata conservata presso i laboratori EGPI e una è stata messa a disposizione di ARPAT. Personale tecnico di ARPA Toscana (dip.to di Siena), infatti, ha assistito ai campionamenti e provveduto al prelievo in contraddittorio di contro-campioni di suolo, in fase di realizzazione delle perforazioni, nella giornata del 13/09/2024; ulteriori campioni, prelevati il 13/09/2024, sono stati acquisiti dall'Ente in campo in data 16/09/2024.

I risultati delle determinazioni analitiche quantitative (eseguite dal lab. Biochimie Lab S.r.l. incaricato da EGPI) sui n. 22 campioni di suolo prelevati nell'ambito delle indagini integrative per la determinazione dei VFN hanno mostrato, in alcuni casi, la non conformità dei seguenti parametri analitici:

- Cromo totale, Nichel, Cobalto con riferimento alle CSC di Colonna A;



- Cromo totale, Nichel con riferimento alle CSC di Colonna B.

Nella tabella sottostante si riepilogano i risultati analitici per i quali è stato riscontrato almeno un superamento delle CSC nel suolo.

Sondaggio	Campione (prof. m da p.c.)	Co [mg/kg]	Cr tot [mg/kg]	Ni [mg/kg]
	CSC Col. A	20	150	120
	CSC Col. B	250	800	500
AMB_12	C1 (0-1)	64,5	1.100	1.150
	C2 (1,5-2,5)	46,1	810	926
AMB_13	C1 (0-1)	-	156	-
AMB_15	C1 (0-1)	31,9	426	518
AMB_16	C1 (0-1)	25,1	231	278
AMB_17	C1 (0-1)	33,5	411	466
AMB_18	C1 (0-1)	-	-	126

**Tabella 3** – Sintesi dei superamenti delle CSC (Colonna A/B nel suolo) nei campioni di suolo prelevati nell'ambito del piano di indagine integrativo per la definizione dei VFN (lab. Biochemie Lab S.r.l.).

Per maggiori dettagli e approfondimenti in merito alle attività eseguite ed ai loro risultati si rimanda comunque integralmente ai contenuti del documento redatto da CESI prot. Rapporto C4015134 del 28/10/2024 "Piano di indagine per la determinazione del Valore di Fondo Naturale (ai sensi dell'art. 11 D.P.R. 120/2017) - Postazione Radicondoli 35. Relazione tecnica indagine integrativa - settembre 2024" (Rif. [8]).

L'ubicazione dei sondaggi geognostici complessivamente realizzati nell'area della postazione Radicondoli 35 (comprensivi di quelli relativi alle indagini di caratterizzazione delle TRS) è mostrata nella planimetria di **Tavola 1** allegata al presente documento. Mentre nelle **Tavola 2a÷2c** si riporta l'ubicazione dei sondaggi in corrispondenza dei quali sono state osservate eccedenze rispetto alle CSC (Col. A e B) per Co, Cr tot e Ni rispettivamente.

I risultati delle determinazioni analitiche quantitative condotte dal laboratorio Biochemie Lab S.r.l. sui campioni di suolo prelevati nell'ambito delle indagini integrative per la determinazione dei VFN, espressi come sostanza secca e riferita al totale (comprensivo dello scheletro maggiore di 2 mm e privo della frazione maggiore di 2 cm, scartata in campo), sono riportati nei Rapporti di Prova dell'**Allegato 1**. Nello stesso **Allegato 1**, sono altresì riportati i risultati delle determinazioni analitiche sul passante a due millimetri con espressione finale del risultato riferendosi alla totalità dei materiali secchi, non comprensiva dello scheletro, finalizzati allo studio per la determinazione dei VFN, come richiesto da ARPAT con la nota prot. 67149 del 26/08/2024 (Rif. [6]).

#### 4.3 Confronto tra i risultati della caratterizzazione ambientale delle TRS e di quella del piano di indagine per i VFN

Nella tabella seguente, per i parametri per i quali è stato riscontrato almeno un superamento delle CSC di Colonna A, si riporta il confronto tra i risultati delle analisi condotte sui campioni di suolo prelevati per la caratterizzazione delle TRS (a cura del laboratorio Isogea S.r.l.) e quelli ottenuti dalle analisi previste dal piano di indagine integrativo per la determinazione dei VFN (a cura del laboratorio Biochemie Lab S.r.l.).

Sondaggio	Campione (prof. m da p.c.)	As [mg/kg]	Sb [mg/kg]	Cr tot [mg/kg]	Co [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Zn [mg/kg]
	CSC Col. A	20	10	150	20	120	120	150
	CSC Col. B	50	30	800	250	500	600	1.500
Indagini di Caratterizzazione TRS (lab. Isogea S.r.l.)								
AMB_01	C1 (0-1)	-	31,9	-	-	-	-	-
	C2 (1-2)	-	30,3	-	-	-	-	-
	C3 (2-3)	20,7	31,4	-	-	-	-	153
AMB_02	C1 (0-1)	-	12,1	161	-	357	-	-
	C2 (1-2)	-	28,1	319	-	332	-	-
AMB_03	C1 (0-1)	-	33,7	143	-	390	-	-
	C2 (1-2)	-	24,1	836	-	584	-	-
	C3 (2-3)	-	33,8	685	-	591	-	-
AMB_04	C1 (0-1)	-	10,5	877	-	605	-	-
	C2 (1-2)	-	32,8	792	-	581	-	-
AMB_05	C1 (0-1)	-	22,1	156	-	-	-	-
	C2 (2,2-3,2)	-	11,9	-	-	-	-	-
	C3 (4,4-5,4)	-	22,3	-	-	-	124	-
AMB_06	C1 (0-1)	-	14,9	-	-	-	-	-
	C2 (1,5-2,5)	-	25,9	-	-	-	-	161
	C3 (3,1-4,1)	-	33,0	-	-	-	-	-
AMB_07	C1 (0-1)	-	23,9	514	-	590	-	-
	C2 (1-2)	-	31,4	2.017	-	2.805	-	-
	C3 (2-3)	-	12,0	1.512	-	2.246	-	-
AMB_08	C1 (0-1)	-	19,9	-	-	-	-	-
	C2 (1,3-2,3)	-	32,2	-	-	-	-	-
	C3 (2,7-3,7)	-	16,2	-	-	-	-	-
AMB_09	C1 (0-1)	-	11,1	653	-	618	-	-
	C2 (1-2)	-	30,0	-	-	-	-	-
	C3 (4,1-5,1)	-	30,0	-	-	-	-	-
AMB_10	C1 (0-1)	-	15,1	-	-	-	-	-
	C2 (1,4-2,4)	-	31,6	-	-	-	-	-
	C3 (2,8-3,8)	-	13,5	-	-	-	-	-
Sondaggio	Campione (prof. m da p.c.)	As [mg/kg]	Sb [mg/kg]	Cr tot [mg/kg]	Co [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Zn [mg/kg]
	CSC Col. A	20	10	150	20	120	120	150
	CSC Col. B	50	30	800	250	500	600	1500
Indagini di Integrative per VFN (lab. Biochemie Lab S.r.l.)								
AMB_12	C1 (0-1)	-	-	1.100	64,5	1150	-	-
	C2 (1-2)	-	-	810	46,1	926	-	-
AMB_13	C1 (0-1)	-	-	156	-	-	-	-
AMB_15	C1 (0-1)	-	-	426	31,9	518	-	-
AMB_16	C1 (0-1)	-	-	231	25,1	278	-	-
AMB_17	C1 (0-1)	-	-	411	33,5	466	-	-
AMB_18	C1 (0-1)	-	-	-	-	126	-	-

**Tabella 4** – Confronto tra i risultati delle analisi condotte sui campioni di suolo prelevati per la caratterizzazione ambientale delle TRS (lab. Isogea S.r.l.) e di quelle effettuate sui campioni prelevati nell'ambito del piano di indagine integrativo per la definizione dei VFN (lab. Biochemie Lab S.r.l.).

Nelle seguenti tabelle, per i parametri risultati eccedenti le CSC, sono poste a confronto le concentrazioni minime, massime e medie ottenute per tutti i campioni analizzati utilizzando metodiche analitiche differenti.

ARSENICO							
Indagine	N. campioni con C>CSC	N. campioni totali	Conc. Min [mg/Kg]	Conc. Max [mg/Kg]	Conc. Media [mg/Kg]	CSC/A [mg/Kg]	CSC/B [mg/Kg]
TRS	1	28	3	21	12	20	50
VFN	0	22	1	1	2		

**Tabella 5** – Arsenico: confronto delle concentrazioni minime, massime e medie tra i campioni TRS (lab. Isogea S.r.l.) e VFN (lab. Biochemie Lab S.r.l.).

ANTIMONIO							
Indagine	N. campioni con C>CSC	N. campioni totali	Conc. Min [mg/Kg]	Conc. Max [mg/Kg]	Conc. Media [mg/Kg]	CSC/A [mg/Kg]	CSC/B [mg/Kg]
TRS	28	28	11	34	24	10	30
VFN	0	22	<1	<1	1		

**Tabella 6** – Antimonio: confronto delle concentrazioni minime, massime e medie tra i campioni TRS (lab. Isogea S.r.l.) e VFN (lab. Biochemie Lab S.r.l.).

COBALTO							
Indagine	N. campioni con C>CSC	N. campioni totali	Conc. Min [mg/Kg]	Conc. Max [mg/Kg]	Conc. Media [mg/Kg]	CSC/A [mg/Kg]	CSC/B [mg/Kg]
TRS	0	28	11	18	16	20	250
VFN	5	22	5	65	20		

**Tabella 7** – Cobalto: confronto delle concentrazioni minime, massime e medie tra i campioni TRS (lab. Isogea S.r.l.) e VFN (lab. Biochemie Lab S.r.l.).

CROMO TOTALE							
Indagine	N. campioni con C>CSC	N. campioni totali	Conc. Min [mg/Kg]	Conc. Max [mg/Kg]	Conc. Media [mg/Kg]	CSC/A [mg/Kg]	CSC/B [mg/Kg]
TRS	11	28	37	2.017	348	150	800
VFN	6	22	26	1.100	203		

**Tabella 8** – Cromo totale: confronto delle concentrazioni minime, massime e medie tra i campioni TRS (lab. Isogea S.r.l.) e VFN (lab. Biochemie Lab S.r.l.).

NICHEL							
Indagine	N. campioni con C>CSC	N. campioni totali	Conc. Min [mg/Kg]	Conc. Max [mg/Kg]	Conc. Media [mg/Kg]	CSC/A [mg/Kg]	CSC/B [mg/Kg]
TRS	11	28	11	2.805	371	120	500
VFN	6	22	22	1.150	197		

**Tabella 9** – Nichel: confronto delle concentrazioni minime, massime e medie tra i campioni TRS (lab. Isogea S.r.l.) e VFN (lab. Biochemie Lab S.r.l.).

RAME							
Indagine	N. campioni con C>CSC	N. campioni totali	Conc. Min [mg/Kg]	Conc. Max [mg/Kg]	Conc. Media [mg/Kg]	CSC/A [mg/Kg]	CSC/B [mg/Kg]
TRS	1	28	10	124	53	120	600
VFN	0	22	16	59	39		

**Tabella 10** – Rame: confronto delle concentrazioni minime, massime e medie tra i campioni TRS (lab. Isogea S.r.l.) e VFN (lab. Biochemie Lab S.r.l.).

ZINCO							
Indagine	N. campioni con C>CSC	N. campioni totali	Conc. Min [mg/Kg]	Conc. Max [mg/Kg]	Conc. Media [mg/Kg]	CSC/A [mg/Kg]	CSC/B [mg/Kg]
TRS	2	28	39	161	109	150	1500
VFN	0	22	18	115	71		

**Tabella 11** – Zinco: confronto delle concentrazioni minime, massime e medie tra i campioni TRS (lab. Isogea S.r.l.) e VFN (lab. Biochemie Lab S.r.l.).

Il confronto tra i risultati delle due campagne di indagine ha evidenziato per i parametri Sb, Co, Cr tot, Ni, Cu e Zn che le concentrazioni sia minime, che massime e medie risultano significativamente diverse tra le due popolazioni di dati.

Il confronto tra i dati riportati nelle tabelle sopra esposte ha evidenziato, pertanto, la necessità di condurre approfondimenti sulle analisi chimiche effettuate sui campioni di terreno prelevati nell'indagine precedente (caratterizzazione TRS), in considerazione **delle diverse metodiche analitiche** adottate nelle due indagini.

Tali approfondimenti analitici hanno comportato le analisi (eseguite dal laboratorio Biochemie Lab S.r.l. incaricato da EGPI) delle seconde aliquote dei campioni prelevati nell'ambito delle indagini per la caratterizzazione delle TRS, i cui risultati sono riportati ed esposti nel paragrafo seguente.

#### 4.4 Risultati delle rianalisi dei campioni di caratterizzazione delle TRS

Nella seguente tabella sono riportati i risultati delle analisi delle seconde aliquote dei campioni prelevati nell'ambito delle indagini per la caratterizzazione delle TRS, che sono state eseguite dal laboratorio Biochemie Lab S.r.l. nell'ottobre 2024, utilizzando le stesse metodiche analitiche adottate nelle indagini integrative per la determinazione dei VFN. In particolare, sono riportati i risultati relativi ai parametri che hanno mostrato almeno un superamento delle CSC nel suolo.

Il set di parametri oggetto di rianalisi ha previsto la determinazione di alcuni metalli ed in particolare di: Zn, Cr, Ni, Sb, As, Cd, Co, Pb, Cu.

Sondaggio	Campione (prof. m da p.c.)	Co [mg/kg]	Cr tot [mg/kg]	Ni [mg/kg]
	CSC Col. A	20	150	120
	CSC Col. B	250	800	500
AMB_01	C1 (0-1)	26,6	-	-
AMB_02	C2 (1-2)	21,6	-	-
AMB_03	C1 (0-1)	41,6	229	253
	C2 (1-2)	99,6	523	594
	C3 (2-3)	83,7	636	638
AMB_04	C1 (0-1)	96,1	523	759
	C2 (1-2)	57,3	301	400
AMB_05	C1 (0-1)	24,6	-	-
AMB_07	C2 (1-2)	130	1.250	1550
	C3 (2-3)	116	1.050	1410
AMB_09	C1 (0-1)	54,6	451	534
AMB_10	C1 (0-1)	29,8	-	-
	C2 (1,4-2,4)	21,8	-	-

**Tabella 12** – Sintesi dei superamenti delle CSC (Colonna A/B nel suolo) nei campioni di suolo prelevati per la caratterizzazione delle TRS (rianalisi a cura lab. Biochemie Lab S.r.l.).

Nelle seguenti tabelle, per i parametri risultati eccedenti le CSC, sono poste a confronto le concentrazioni minime, massime e medie ottenute utilizzando le medesime metodiche analitiche per i campioni prelevati nelle due indagini.

COBALTO							
Indagine	N. campioni con C>CSC	N. campioni totali	Conc. Min [mg/Kg]	Conc. Max [mg/Kg]	Conc. Media [mg/Kg]	CSC/A [mg/Kg]	CSC/B [mg/Kg]
TRS	13	28	8	130	36	20	250
VFN	5	22	5	65	20		

**Tabella 13** – Cobalto: confronto delle concentrazioni minime, massime e medie tra i campioni TRS e VFN (lab. Biochemie Lab S.r.l.).

CROMO TOTALE							
Indagine	N. campioni con C>CSC	N. campioni totali	Conc. Min [mg/Kg]	Conc. Max [mg/Kg]	Conc. Media [mg/Kg]	CSC/A [mg/Kg]	CSC/B [mg/Kg]
TRS	8	28	28	1.250	216	150	800
VFN	6	22	26	1.100	203		

**Tabella 14** – Cromo totale: confronto delle concentrazioni minime, massime e medie tra i campioni TRS e VFN (lab. Biochemie Lab S.r.l.).

NICHEL							
Indagine	N. campioni con C>CSC	N. campioni totali	Conc. Min [mg/Kg]	Conc. Max [mg/Kg]	Conc. Media [mg/Kg]	CSC/A [mg/Kg]	CSC/B [mg/Kg]
TRS	8	28	28	1.550	253	120	500
VFN	6	22	29	1.150	197		

**Tabella 15** – Nichel: confronto delle concentrazioni minime, massime e medie tra i campioni TRS e VFN (lab. Biochemie Lab S.r.l.).

Il confronto tra i dati riportati nelle tabelle sopra esposte ha evidenziato che le rianalisi condotte sui campioni TRS, utilizzando le medesime metodiche analitiche applicate ai campioni VFN, hanno portato ad un maggior allineamento tra le due famiglie di dati, rispetto alla situazione precedente. In particolare:

- i risultati delle prime analisi (a cura laboratorio Isogea S.r.l.) condotte sui campioni TRS hanno mostrato eccedenze ai limiti normativi (Col. A e B), per As, Sb, Cu e Zn, non confermate dai risultati delle rianalisi (a cura Biochemie Lab S.r.l.) che, per tali parametri, evidenziano concentrazioni conformi alle CSC di Colonna A (risultato confermato anche dalle analisi condotte, a cura Biochemie Lab S.r.l., sui campioni prelevati nelle indagini integrative VFN, utilizzando le medesime metodiche analitiche). In particolare:
  - per As: in un caso, gli esiti analitici ottenuti dal laboratorio Isogea S.r.l. erano risultati non conformi (n. 1 campione con C>CSC/A), mentre in tutti i casi, gli esiti analitici ottenuti dal laboratorio Biochemie Lab S.r.l. sono risultati conformi ai limiti normativi;
  - per Sb: in tutti i casi, gli esiti analitici ottenuti dal laboratorio Isogea S.r.l. erano risultati non conformi (n. 18 campioni con C>CSC/A, n. 10 campioni con C>CSC/B); al contrario in tutti i casi, gli esiti analitici ottenuti dal laboratorio Biochemie Lab S.r.l. sono risultati inferiori al limite di rilevabilità strumentale;
  - per Cu: in un caso, gli esiti analitici ottenuti dal laboratorio Isogea erano risultati non conformi (n. 1 campione con C>CSC/A), mentre in tutti i casi, gli esiti analitici ottenuti da Biochemie sono risultati conformi ai limiti normativi;
  - per Zn: in due casi, gli esiti analitici ottenuti dal laboratorio Isogea S.r.l. erano risultati non conformi (n. 2 campioni con C>CSC/A), mentre in tutti i casi, gli esiti analitici ottenuti dalle rianalisi sono risultati conformi ai limiti normativi;

- le discordanze analitiche, tra gli esiti delle prime analisi (a cura Isogea S.r.l.) condotte sui campioni TRS e delle rianalisi (a cura Biochemie Lab S.r.l.) condotte sulle seconde aliquote dei campioni prelevati nella medesima campagna, risultano ulteriormente evidenti in riferimento alle concentrazioni minime, massime e medie determinate nei due cicli di analisi (così come evidenziato nelle Tabelle 7÷11 di confronto), per tutti i parametri che hanno mostrato eccedenze ai limiti normativi. In particolare, per il parametro Antimonio, le concentrazioni determinate dalle prime analisi sui campioni TRS hanno evidenziato tenori rilevabili in tutti i campioni, sovente eccedenti il limite di Colonna B (Cmax pari a 34 mg/Kg con una CSC di Colonna B pari a 30 mg/Kg); diversamente, i risultati delle rianalisi sugli stessi campioni mostrano sempre concentrazioni inferiori al limite di rilevabilità strumentale (risultato confermato anche dalle analisi condotte, a cura Biochemie Lab S.r.l., sui campioni prelevati nelle indagini integrative VFN, utilizzando le medesime metodiche analitiche). Anche per gli altri parametri non conformi (As, Cr tot., Co, Ni, Cu e Zn), le differenze tra il primo ciclo di analisi e il secondo di rianalisi sono significative, mostrando concentrazioni minime, massime e medie che differiscono di circa il doppio e, in alcuni casi (As e Ni), di oltre il doppio;
- di contro, i parametri non conformi ai limiti normativi, derivanti dalle rianalisi condotte sui campioni TRS e dalle analisi eseguite sui campioni prelevati nelle indagini integrative VFN, utilizzando le medesime metodiche analitiche (a cura Biochemie Lab S.r.l.), sono risultati gli stessi (Co, Cr tot. e Ni) in entrambi i casi; inoltre, le concentrazioni minime, massime e medie determinate risultano maggiormente confrontabili (così come evidenziato nelle Tabelle 13÷15 di confronto), evidenziando, pertanto, un allineamento sia in termini di parametri eccedenti le CSC che di livelli di concentrazione rilevata.

L'ubicazione dei sondaggi geognostici complessivamente realizzati (comprensivi di quelli relativi alle indagini di caratterizzazione delle TRS) nell'area della postazione Montieri 7 è mostrata nella planimetria di **Tavola 1** allegata al presente documento. Mentre nelle **Tavola 2a÷2c** si riporta l'ubicazione dei sondaggi in corrispondenza dei quali sono state osservate eccedenze rispetto alle CSC (Col. A e B) per Co, Cr tot e Ni rispettivamente; si specifica che, le tavole riportano i superamenti dei limiti normativi riscontrati dalle analisi condotte da Biochemie Lab S.r.l., sia sui campioni prelevati per la caratterizzazione ambientale delle TRS che su quelli prelevati nell'ambito del piano di indagine per la determinazione dei VFN, utilizzando le medesime metodiche analitiche.

I risultati delle determinazioni analitiche quantitative condotte da Biochemie Lab S.r.l. sulle seconde aliquote dei campioni di suolo prelevati nell'ambito delle indagini per la caratterizzazione delle TRS, espressi come sostanza secca e riferita al totale (comprensivo dello scheletro maggiore di 2 mm e privo della frazione maggiore di 2 cm, scartata in campo), sono riportati nei Rapporti di Prova dell'**Allegato 2**. Nello stesso **Allegato 2**, sono altresì riportati i risultati delle determinazioni analitiche sul passante a due millimetri con espressione finale del risultato riferendosi alla totalità dei materiali secchi, non comprensiva dello scheletro, finalizzati allo studio per la determinazione dei VFN, come richiesto da ARPAT con la nota prot. 67149 del 26/08/2024 (Rif. [6]).

Pertanto, come anticipato nella nota ENEL-EGI-14/10/2024-0027823 (Rif. [7]), a valle degli approfondimenti analitici condotti sui campioni della prima indagine di caratterizzazione delle TRS, visti i risultati ottenuti, utilizzando le stesse metodiche analitiche indicate e richieste da ARPAT, confrontabili con quelli delle successive indagini per la determinazione dei VFN, per i parametri Co, Cr tot. e Ni, si è proceduto con la valutazione statistica dei dati per la definizione dei Valori di Fondo Naturale utilizzando le risultanze analitiche delle rianalisi condotte dei campioni TRS e quelle delle analisi condotte sui campioni VFN, nell'attesa di ricevere i risultati analitici dei campioni prelevati in contraddittorio da ARPAT e la validazione dei dati di parte trasmessi.

## 5 MODELLO CONCETTUALE DELL'UNITÀ DI CAMPIONAMENTO

Con lo scopo di identificare i presupposti del piano di indagine volto ad acquisire i dati necessari al completamento del set di dati propedeutici allo studio dei VFN, è stato formulato il Modello Concettuale preliminare del sito (riportato al capitolo 3 del documento C4009046 del 21/06/2024 - Rif. [5]), attraverso fasi di studio successive, di seguito richiamate:

- definizione del modello geologico-stratigrafico e idrogeologico;
- definizione dei parametri di interesse;
- potenziali fonti naturali e considerazioni sull'origine naturale dei superamenti dei limiti normativi riscontrati a carico dei suoli;
- analisi delle pressioni antropiche;
- valutazione della numerosità campionaria /completezza del set di dati e definizione degli obiettivi dell'indagine integrativa.

Nel seguito si riporta l'aggiornamento dei diversi aspetti che costituiscono il Modello Concettuale dell'UdC "Radicondoli 35", sulla base dei risultati conseguiti nell'ambito dell'indagine integrativa oggetto del documento C4015134 del 28/10/2024 (Rif. [8]).

### 5.1 Modello geologico-stratigrafico e idrogeologico

Dal punto di vista geologico-strutturale, l'area è collocata all'interno del dominio oceanico ligure, composto nello specifico dall'Unità Ofiolitica, qui rappresentata dalla Formazione delle Argille a Palombini e dalle Peridotiti serpentinizzate con filoni gabbri e basaltici. Il substrato risulta ricoperto da depositi continentali eluvio-colluviali olocenici.

L'area della postazione risulta ubicata in sinistra idrografica di un fosso minore (non nominato in cartografia), tributario del F. Cecina, in cui sfocia circa 550 m in direzione ONO rispetto al sito. La porzione più elevata del bacino imbrifero è collocata poco a Est del sito, e risulta delimitata a Sud dal crinale su cui è ubicato il Podere Galleriaie e a nord dalla dorsale che dal Monte Gabbro degrada in direzione Ovest. L'intero bacino imbrifero di tale corso d'acqua è sotteso unicamente alle due formazioni del substrato presenti nell'area già descritte (Argille e Palombini e Peridotiti serpentinizzate).

Il modello geologico preliminare, presentato nella Relazione Geologica di progetto (Rif. *"Progetto Definitivo. Postazioni e linee fluidi. Relazione Geologica"*. Doc. EGPI n. GRE.EEC.R.28.IT.G.13406.00.001.00 del 26/7/2023) e confermato dalla descrizione stratigrafica i terreni intercettati dalle indagini eseguite nell'ambito della progettazione presso il sedime della postazione (Rif. *Progetto Definitivo. Postazione: Rapporto indagini geognostiche*. Doc. EGPI prot. n. GRE.EEC.R.25.IT.G.13406.49.002.00 del 08/03/2024), spinte fino alla profondità di 24-25 m da p.c., evidenzia la presenza di materiali ascrivibili alle unità di copertura eluvio-colluviale fino a profondità dell'ordine di 10-15 m da p.c., a conferma della presenza dei depositi di versante.

Di seguito si riporta l'assetto lito-stratigrafico desunto dalle indagini di caratterizzazione delle TRS condotte in sito e descritte al Par. 3.1 del documento C4009046 del 21/06/2024 (Rif. [5]):

- 0,2÷0,5 m da p.c.: strato vegetale pedogenizzato costituito da argilla limosa debolmente sabbiosa, con frequenti clasti centimetrici eterogenei;
- da 0,2÷0,5 m a 1,0÷5,1 m da p.c.: terreni alluvionali costituiti in prevalenza da argilla limosa, talora tra debolmente sabbiosa e sabbiosa e debolmente ghiaiosa (clasti e rari ciottoli, principalmente carbonatici);
- Da 3,9 m a 6,0 m da p.c.: terreni alluvionali e/o eluvio-colluviali costituiti da alternanze di limo sabbioso a limo debolmente argilloso, con intercalati trovanti carbonatici.



La presenza di acque di falda non è stata rilevata entro la massima profondità indagata con i sondaggi geognostici eseguiti sia nell'ambito dell'indagine di caratterizzazione delle TRS che dell'integrazione di indagine.

Per quanto concerne l'assetto idrogeologico, i dati suggeriscono che la circolazione idrica sotterranea sia impostata all'interno dei depositi quaternari alluvionali ed eluvio-colluviali (il cui spessore risulta pari o anche superiore ai 10 m) e verosimilmente sostenuta a letto dalla presenza della formazione a bassa permeabilità delle Argille a Palombini.

## 5.2 Identificazione dei parametri di interesse caratteristici dell'UdC

I risultati delle analisi condotte sulle seconde aliquote dei n. 28 campioni di terreno prelevati nell'ambito delle indagini di caratterizzazione ambientale delle TRS (dicembre 2023), e per i 22 campioni di terreno prelevati nell'ambito dell'indagine integrativa (settembre 2024) hanno fatto riscontrare la non conformità alle CSC per i seguenti parametri:

- Colonna A: **Cobalto**;
- Colonna B: **Cromo totale, Nichel**.

	Indagine Caratterizzazione TRS*	Indagine Integrativa
Colonna A	Cobalto	Cobalto
Colonna B	Cromo totale, Nichel	Cromo totale, Nichel

\* Esiti delle ripetizioni delle analisi condotte dal lab. Biochimie Lab S.r.l.

**Tabella 16** – Parametri risultati non conformi alle CSC.

L'integrazione di indagine ha confermato i parametri analitici per i quali erano già state osservate non conformità alle CSC (Co, Cr tot e Ni), che sono oggetto dello studio statistico finalizzato alla determinazione dei VFN, come vedremo nel seguito. I parametri analitici che, dalle prime analisi sui campioni di caratterizzazione delle TRS, erano risultati non conformi ai limiti normativi (ovvero As, Sb, Cu e Zn), successivamente non confermati dalle rianalisi eseguite sugli stessi campioni, non sono stati oggetto dello studio per la determinazione dei VFN.

Sulla base dei risultati analitici di cui sopra, per l'UdC "Radicondoli 35" sono quindi identificati i seguenti parametri di interesse:

- Cobalto;
- Cromo totale;
- Nichel.

## 5.3 Potenziali fonti naturali

Le concentrazioni di **Cromo totale, Nichel e Cobalto** possono essere correlate a fattori geologici, con particolare riferimento alla presenza di estese aree di affioramento di rocce ofiolitiche e inclusi ofiolitici nella Formazione delle Argille a Palombini.

In particolare, come anche evidenziato nel Paragrafo 3.4 del rapporto CESI C4009046 del 21/06/2024 (Rif. [5]), nell'area circostante la postazione di Radicondoli 35 sono censite coltivazioni, oggi abbandonate, di mineralizzazioni sia tipo "Lagoni" collegate ai soffioni boraciferi, sia a solfuri misti.

Il documento "Relazione tecnica sull'esito delle indagini ambientali di caratterizzazione delle terre e rocce da scavo (ex D.P.R. 120/2017)" (Rif. [2]), relativa alle tre postazioni in progetto, riporta una



caratterizzazione geochemica basata sui dati del Database Geochemico Regionale (DGR - GeoBasi), sia alla scala dell'areale comprendente le tre postazioni, sia alla scala delle singole postazioni.

Rinviando al documento di cui sopra per i dettagli dell'analisi, nella tabella seguente vengono riportati i valori medi di concentrazione rilevati dalle indagini di caratterizzazione delle TRS (rianalisi) e dalle indagini integrative, confrontati con quelli restituiti dal database regionale GeoBasi per i sedimenti fluviali con riferimento ad un areale di 64 km<sup>2</sup> di estensione, comprendente le tre postazioni in progetto, e ad un areale ristretto di 3,5 km<sup>2</sup> intorno alla postazione Radicondoli 35.

Parametro	Geobasi Scheda elemento	Geobasi Selezione area		Indagini 2023** e 2024
	Concentrazione media nel suolo	Concentrazione media nell'areale dei 3 siti	Concentrazione media nell'areale ristretto	Concentrazione media rilevata
	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
<b>Cromo totale</b>	80 <sup>1</sup>	-*	-*	132,6
<b>Nichel</b>	20 <sup>1</sup>	82,1	317,6	126,7
<b>Cobalto</b>	0,1-50 <sup>2</sup>	20,1	32,4	24,8

Fonti: 1: Reimann and de Caritat (1998); 2: Hamilton (1994); 3: Maderova et al. (2011).

\*Dato per i sedimenti non disponibile.

\*\*Esiti delle ripetizioni delle analisi condotte dal lab. Biochemie Lab S.r.l..

**Tabella 17** – Concentrazioni medie dei metalli dal portale Geobasi, e confronto con le concentrazioni rilevate dalle indagini di caratterizzazione delle TRS e Integrativa per lo studio dei VFN.

Da quanto sopra riportato, si ritiene che **la presenza degli elementi considerati sia riconducibile a causa di origine naturale (geogenica) e che le concentrazioni medie relative ai risultati analitici delle indagini di caratterizzazione delle TRS e delle indagini integrative per la determinazione dei VFN risultano compatibili con il contesto geochemico in cui il sito si inserisce**. In particolare, relativamente al parametro Cromo totale, in mancanza di dati disponibili nel database regionale GeoBasi, dal momento che:

- la presenza di Cromo totale può essere compatibile con rocce ofiolitiche e inclusi ofiolitici nella Formazione delle Argille a Palombini e con le peridotiti serpentinite delle Colline Metallifere toscane, caratterizzanti la geologia dell'area
- il Cromo totale è presente a scala di sito in concentrazioni rilevabili in tutti i campioni di suolo analizzati, con tenori che risultano del tutto confrontabili sia nei campioni di suolo superficiale che profondo e in nessun caso inferiori al limite di rilevabilità strumentale
- i superamenti dei limiti normativi del Cromo totale sono diffusi su tutto il sito, in concentrazioni confrontabili sia nel suolo superficiale che profondo
- l'analisi statistica dei dati di concentrazione non ha evidenziato la presenza di valori estremi (vedi par. 8.1)

si ritiene che la sua presenza sia comunque riconducibile a una causa di origine naturale (geogenica).

## 5.4 Valutazione della numerosità campionaria e completezza del set di dati

Come suggerito dalla LG SNPA 174/2018, il numero minimo di osservazioni su cui basare la procedura per la determinazione del fondo, necessario a garantire la significatività statistica del valore determinato, è compreso fra 10 e 30, in funzione dello scopo dell'indagine. Come concordato con gli Enti preposti (Rif. [4]) e previsto dal Piano di Indagine integrativo (Rif. [5]), la numerosità minima adottata nel presente studio è di 30 osservazioni.

Considerando quindi i n. 28 campioni prelevati nell'ambito delle attività di caratterizzazione delle TRS di dicembre 2023, e i n. 22 campioni prelevati nell'ambito dell'indagine integrativa di settembre 2024, per

l'UdC in esame la numerosità campionaria minima è stata raggiunta. Si ritiene, pertanto, che il set di dati risulti completo ai fini dell'elaborazione statistica per la determinazione dei VFN.

In definitiva, i dati complessivamente raccolti hanno consentito di raggiungere la numerosità campionaria minima per l'analisi dei dati prevista dalle LG SNPA 174/18, finalizzata:

- alla determinazione dei VFN per i parametri di interesse;
- all'individuazione di eventuali *outlier*.

## 6 ORGANIZZAZIONE DELLA BASE DATI

Come già detto in precedenza, il dataset della matrice terreni utilizzato ai fini della determinazione dei VFN è costituito da n. 50 punti di misura, 28 relativi alla prima campagna di caratterizzazione delle TRS, condotta sul sito nel novembre 2023, e 22 punti relativi alla campagna integrativa in cui sono stati prelevati campioni di terreno specificatamente per le analisi dei VFN.

Le principali informazioni contenute nel dataset sono:

- Anagrafica del punto di indagine: tipo di indagine (TRS o VFN), Unità di Campionamento (UdC) di appartenenza, coordinate geografiche del punto, profondità di campionamento (metri da piano campagna);
- Data del campionamento;
- Valori di concentrazione dei parametri di interesse, espressi in mg/kg s.s., quali Antimonio (Sb), Arsenico (As), Cobalto (Co) valutati nella concentrazione relativa al passante a 2 millimetri sia riferendosi alla totalità dei materiali secchi, non comprensiva dello scheletro, sia alla totalità dei materiali secchi, comprensiva dello scheletro.

Il Dataset utilizzato ai fini della determinazione dei VFN contenente le informazioni sopra indicate è riportato in **Allegato 3**.

## 7 METODOLOGIE UTILIZZATE

Lo studio per la determinazione dei Valori di Fondo Naturale (VFN) dei suoli del sito della postazione Radicondoli 35 è stato sviluppato in riferimento alle Linee Guida SNPA e nello specifico alla *“Linea guida per la determinazione dei valori di fondo per i suoli e per le acque sotterranee”* (174/2018).

Lo studio condotto è stato articolato nelle seguenti 3 fasi:

### ***Fase1 - Analisi dei dati disponibili***

In questa fase si è proceduto all’analisi della documentazione e dei dati disponibili, tenendo conto delle indicazioni fornite dalla Linea Guida prodotta da SNPA per la definizione dei VFN.

### ***Fase 2 - Analisi del dataset utilizzabile per la definizione di valori di fondo naturali (VFN)***

In particolare, con riferimento ai dati disponibili dei parametri d’interesse si è proceduto con le seguenti verifiche:

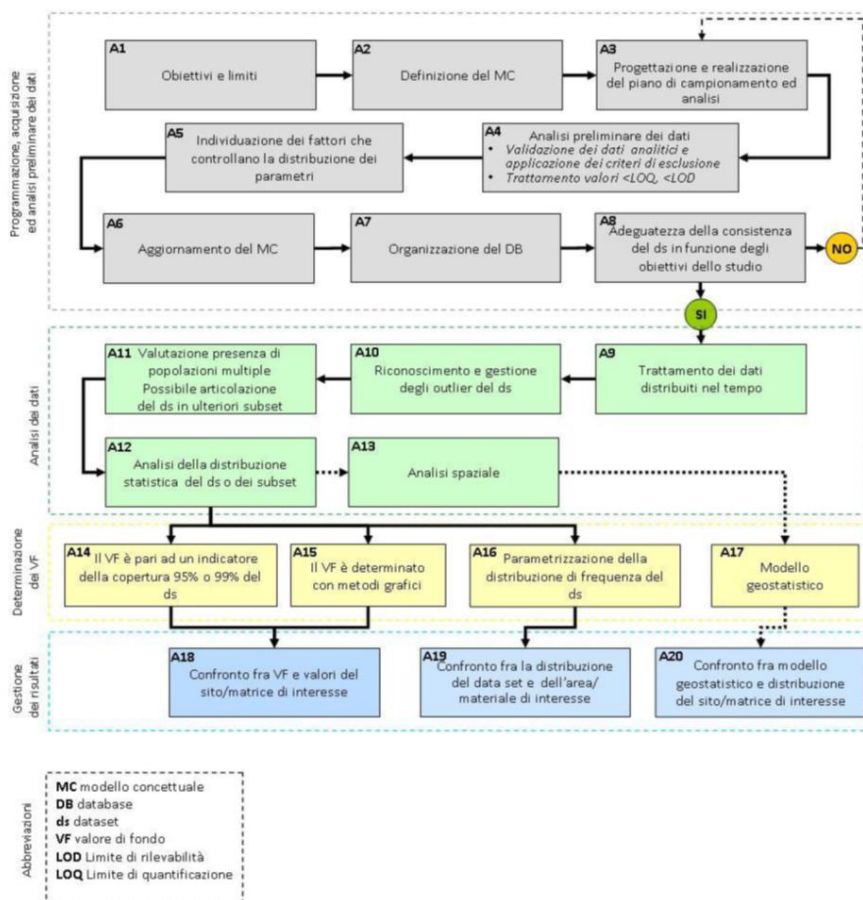
- verifica della completezza delle serie di misure;
- verifica dei valori estremi;
- verifica dei valori di concentrazione inferiori ai limiti di quantificazione (LOQ) o ai limiti di rilevabilità (LOD) della metodica analitica adottata.

### ***Fase 3 - Analisi dei dati e definizione dei VFN***

- definizione del set di dati da utilizzarsi per la determinazione dei VFN;
- valutazione delle soglie VFN.

### 7.1 Approccio statistico utilizzato

Il procedimento delineato dalla Linea Guida SNPA (174/2018) per la definizione dei VFN è schematizzato nella figura seguente.



**Figura 13** – Schema di riferimento per la definizione dei VFN nei suoli in base alla Linea Guida SNPA.

Alla luce di questo schema e ai fini dell'analisi dei parametri di interesse, le tematiche richiamate nei box da A4 fino al box A20 sono state oggetto di approfondimento.

Nella fase di analisi preliminare dei dati, è stato controllato il dataset delle misure disponibili, verificandone la coerenza e validando le premesse del Piano di Indagine che prevedeva che lo stesso fosse popolato con i dati provenienti dalla prima campagna di indagine (TRS) e dalla campagna integrativa (VFN).

In presenza di valori inferiori al limite di quantificazione (LOQ) o al limite di rilevabilità (LOD) del metodo analitico utilizzato, la LG SNPA 174/2018 propone diversi metodi di sostituzione di questi valori. Per il presente lavoro, è stato utilizzato il metodo di sostituzione semplice che consiste nel sostituire i valori LOQ o LOD con un valore di concentrazione pari rispettivamente a  $\frac{1}{2}$ LOQ e  $\frac{1}{2}$  LOD.

Successivamente si è proceduto alla valutazione ed eventuale esclusione di valori estremi ("outliers"), poiché non caratterizzanti la popolazione oggetto dello studio e alla valutazione della possibile presenza di popolazioni multiple nei dati.

Infine, sono stati definiti i relativi Valori di Fondo Naturale (VFN), coerentemente con quanto raccomandato nella LG SNPA, che, in funzione del contesto ambientale e della quantità e qualità dei dati, prevede, nel caso di un congruo numero di osservazioni che mostrino una distribuzione normale di cui sia ragionevolmente certa l'origine naturale, che il VF possa essere calcolato considerando il valore 99° percentile o il valore massimo, per ogni sostanza che abbia mostrato almeno un superamento dei limiti normativi definiti dal D.Lgs. 152/06 per i suoli (di cui alla Tabella 1, Colonna A, Allegato 5, Titolo V, Parte

IV del D.Lgs. 152/06). Inoltre, si specifica che i VFN proposti sono stati affiancati da altri stimatori quali l'Upper Tolerance Limit (UTL 95%), l'Upper Prediction Limit (UPL 95%) e l'Upper Simultaneous Limit (USL 95%), che ne consentono di valutare la variabilità.

L'approccio statistico "classico", infatti, permette di verificare che i valori raccolti siano distribuiti sul sito in modo non aggregato o localizzato, ma siano ragionevolmente distribuiti in modo omogeneo e diffuso su tutta l'area. Inoltre, consente di stimare, a partire dal campione statistico, valori numerici rappresentativi della popolazione del fondo. Ogni stima, ottenuta mediante inferenza statistica, può essere associata ad un intervallo di confidenza, con un limite inferiore e superiore, che indica il range entro cui ci si aspetta che il valore reale della popolazione si trovi con una certa probabilità.

A tal fine, sono stati valutati i limiti superiori delle soglie VFN mediante la stima dell'Upper Tolerance Limit (UTL 95%), dell'Upper Prediction Limit (UPL 95%) e dell'Upper Simultaneous Limit (USL 95%), parametri più comunemente utilizzati per valutare la variabilità di una popolazione statistica, le cui definizioni sono riportate di seguito.

**UTL (Upper Tolerance Limit al 95% di confidenza):** è il termine che definisce superiormente l'intervallo di tolleranza (Tolerance interval, TI, inferiormente limitato da LTL). L'intervallo di tolleranza è l'intervallo entro cui, con una certa confidenza (ad es. il 95%), ricade una percentuale specificata della popolazione campionata (ad es. la confidenza del 95% indica il 95% di possibilità che l'intervallo contenga il "vero" parametro (es. media, p-esimo percentile) della popolazione). L'altro parametro che definisce l'intervallo di tolleranza è la copertura, ovvero la proporzione del campione che l'intervallo presumibilmente contiene. A titolo esemplificativo il parametro UTL95%-90% indica il valore al quale al 95% di possibilità è contenuto il parametro 90° percentile.

**UPL (Upper Prediction Limit al 95% di confidenza):** UPL (Upper Prediction Limit) è il termine che definisce superiormente l'intervallo di "previsione" ("Prediction Interval", PI inferiormente delimitato dal LPL) ovvero l'intervallo entro il quale ci si attende che un valore possa ricorrere con una probabilità del 95%. Il PI rappresenta l'intervallo entro cui, con una data confidenza, ci si attende che cada una singola osservazione ( $k=1$ ) o più osservazioni simultaneamente ( $k=2, 3, \dots, n$ ), campionate dalla stessa popolazione da cui è stato tratto il campione su cui è stato computato il PI.

**USL (Upper Simultaneous Limit al 95% di confidenza):** è un parametro statistico utilizzato per definire un valore massimo che copre simultaneamente tutte le osservazioni di un dataset con una certa probabilità. In altre parole, un USL del  $(1 - \alpha) * 100\%$  garantisce che tutte le osservazioni nel dataset di fondo siano coperte con una probabilità del  $(1 - \alpha) * 100\%$ . Questo parametro è particolarmente utile quando si vuole stabilire un limite superiore per i valori di un dataset, assicurando che tutte le misurazioni rientrino entro questo limite con un alto livello di confidenza.  $(1 - \alpha) * 100\%$  rappresenta il livello di confidenza. Ad esempio, se  $\alpha$  è 0,05 (5%), allora  $(1 - \alpha) * 100\%$  è 95%, il che significa che si è certi al 95% che tutte le osservazioni del dataset siano coperte dal limite simultaneo superiore (USL) e quindi che saranno inferiori o uguali a questo limite.

In particolare, l'analisi statistica dei dati dei parametri d'interesse è stata caratterizzata dai seguenti passaggi:

- studio preliminare dei dati disponibili (controllo numerosità campionaria, trattamento dei *non-detected* e identificazione degli *outlier*);
- analisi distribuzione dati;
- verifica della normalità della distribuzione attraverso il test di Shapiro-Wilk<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Il test di Shapiro-Wilk è un test statistico utilizzato per verificare se un campione di dati proviene da una distribuzione normale. È particolarmente utile quando si vuole determinare la normalità di un dataset, che è un presupposto fondamentale per le analisi statistiche.

Tutte le analisi statistiche sono state eseguite con il software USEPA ProUCL versione 5.2.00 (5.2)<sup>2</sup>.

## 7.2 Trattamento dei dati non-detected

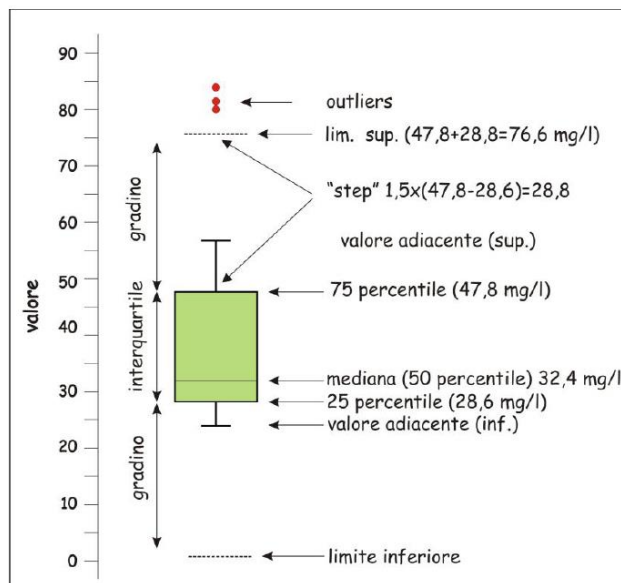
Come già accennato, in accordo con la Linea Guida SNPA i valori inferiori al limite di quantificazione (LOQ) o al limite di rilevabilità (LOD) del metodo analitico con il quale sono stati determinati, sono stati sostituiti con un valore di concentrazione pari rispettivamente a  $\frac{1}{2}$ LOQ o  $\frac{1}{2}$  LOD.

Con riferimento al Dataset riportato in **Allegato 3**, non risultano presenti dati *non-detected* (ND).

## 7.3 Identificazione degli outlier

La distribuzione dei valori e la possibile presenza di *outlier* è stata analizzata attraverso il metodo del grafico a scatola (Figura 14), o metodo “*box plot*”, che definisce come sono distribuiti i dati attorno al loro valore mediano. La linea nera all’interno del rettangolo (scatola o box) indica appunto il valore mediano (ovvero il 50° percentile) mentre la base inferiore e superiore del rettangolo rappresentano rispettivamente il 25° e il 75° percentile (I e III quartile), all’interno dei quali sono comprese il 50% delle misure. Accanto a questi parametri statistici fondamentali, il box plot deriva altri valori importanti per l’identificazione dei valori anomali; con il termine gradino (step) si indica 1,5 volte la differenza fra il valore corrispondente al 75° percentile e quello al 25° percentile (definito, spazio interquartile o ITQ, ovvero la distanza tra 25° e 75° percentile). I valori posti in corrispondenza del gradino sopra la base superiore del rettangolo e del gradino sotto la base inferiore definiscono rispettivamente un limite superiore ed un limite inferiore. I limiti superiore e inferiore non sono di norma visualizzati sul grafico box plot, mentre sono riportati i valori adiacenti (cioè rispettivamente il primo valore inferiore al limite superiore, e il primo valore superiore al limite inferiore). Sono i valori esterni a questi limiti ad essere visualizzati come “*outlier*”. In genere, si considerano outlier solo i valori che risultano sia minori del 25° percentile - 3 volte l’interquartile (ITQ) oppure maggiori del 75° percentile + 3 volte l’interquartile (ITQ). Nel caso non vi siano *outlier* (verso i valori massimi e/o verso i valori minimi), i valori adiacenti superiore e inferiore coincideranno rispettivamente con i valori massimo e minimo delle osservazioni del dataset.

<sup>2</sup> US EPA 2022: ProUCL Version 5.2.00 Technical Guide. Statistical Software for Environmental Applications for Data Sets with and without Nondetect Observations.



**Figura 14** – Esempio di grafico a scatola (o boxplot) dove oltre ad essere rappresentati i quartili che definiscono le dimensioni della scatola vengono anche rappresentati i limiti assunti in prima approssimazione ( $1.5$  volte il range interquartile, ITQ) per identificare gli outlier.

Di seguito si riportano i criteri in base ai quali nel presente studio i valori estremi sono stati mantenuti ai fini del calcolo dei VFN o sono stati esclusi.

Si precisa a tale riguardo che, sono stati mantenuti:

- i valori  $> 75^{\circ}$  Percentile  $+ 1,5 \times \text{ITQ}$  = valori anomali, considerati non estremi;
- i valori  $< 25^{\circ}$  Percentile  $- 1,5 \times \text{ITQ}$  = valori anomali, considerati non estremi.

Sono stati, invece, esclusi:

- i valori  $< 25^{\circ}$  Percentile  $- 3 \times \text{ITQ}$  = valori estremi (outliers);
- i valori  $> 75^{\circ}$  Percentile  $+ 3 \times \text{ITQ}$  = valori estremi (outliers).

Quali eccezioni alle regole di esclusione sono stati presi in considerazione i seguenti elementi:

- assenza di valori estremi dopo trasformazione dei dati (i.e., trasformazione logaritmica);
- presenza di simmetria tra valori estremi nel range alto e nel range basso dei valori.



## 8 ELABORAZIONE STATISTICA DEI DATI

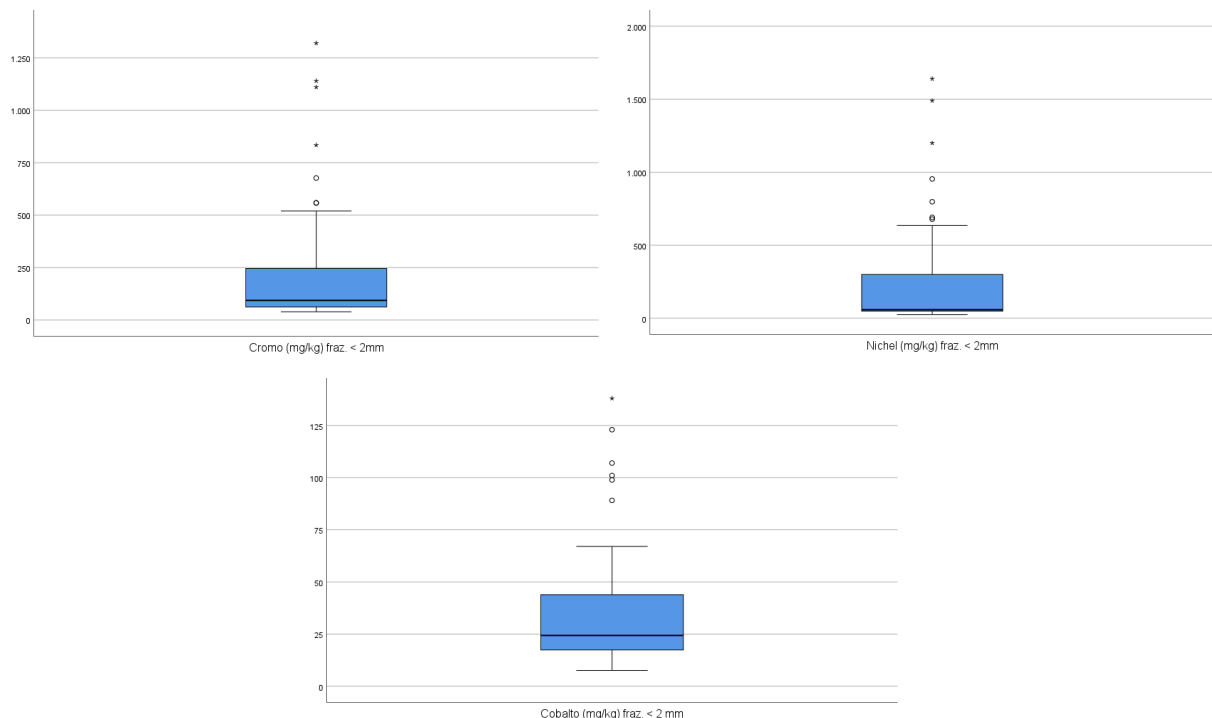
### 8.1 Analisi della distribuzione dei parametri di interesse

Le analisi delle distribuzioni statistiche contenute nel presente capitolo sono state effettuate sulla base dei criteri precedentemente riportati e sono state condotte sia sulle concentrazioni valutate sulla frazione fine (passante al vaglio 2 mm) che sulle concentrazioni riferite alla totalità dei materiali secchi, comprensive dello scheletro.

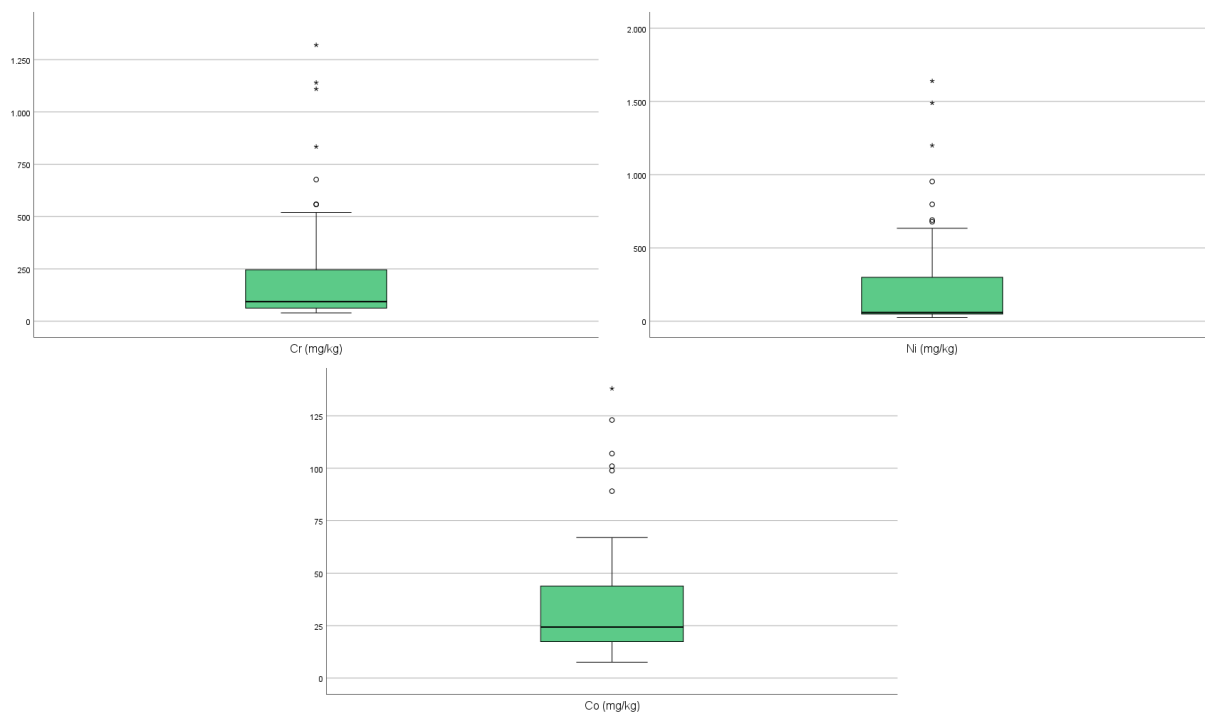
Le Figure 15 (fraz. < 2 mm) e 16 (concentrazioni comprensive di scheletro) mostrano i grafici a scatola ("box plot") che rappresentano la distribuzione complessiva delle misure presenti nel dataset.

I grafici a scatola riportati nelle figure sopra citate mostrano chiaramente la presenza di valori anomali (i.e. valori maggiori o minori di 1,5 volte l'interquartile (ITQ), rappresentati nei grafici dal pallino) e di valori estremi (i.e. valori maggiori o minori di 3 volte l'interquartile (ITQ), rappresentati nei grafici dall'asterisco) e la presenza di una forte asimmetria verso la coda destra delle distribuzioni, caratteristiche che fanno pensare a una distribuzione log-normale dei valori.

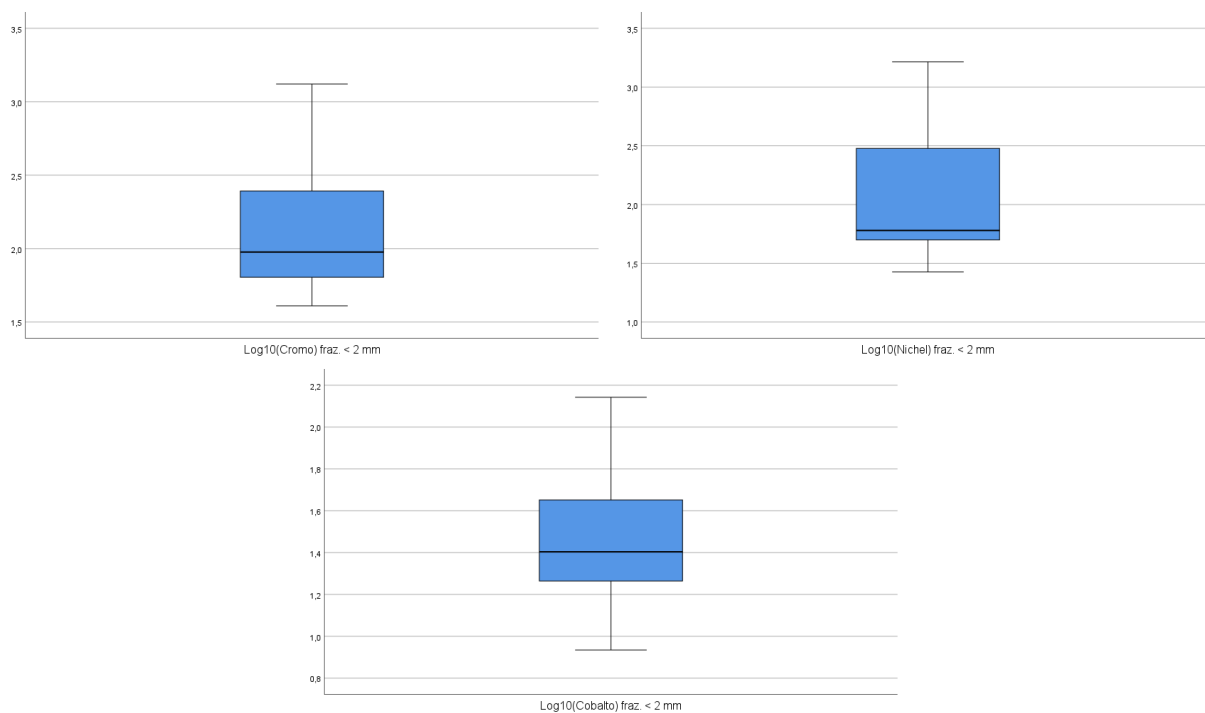
Applicando una trasformazione logaritmica ai dati delle concentrazioni, infatti, i valori anomali ed estremi non risultano più visibili nel box plot delle distribuzioni log-trasformate (Figure 17 e 18) e anche la asimmetria della distribuzione risulta mitigata.



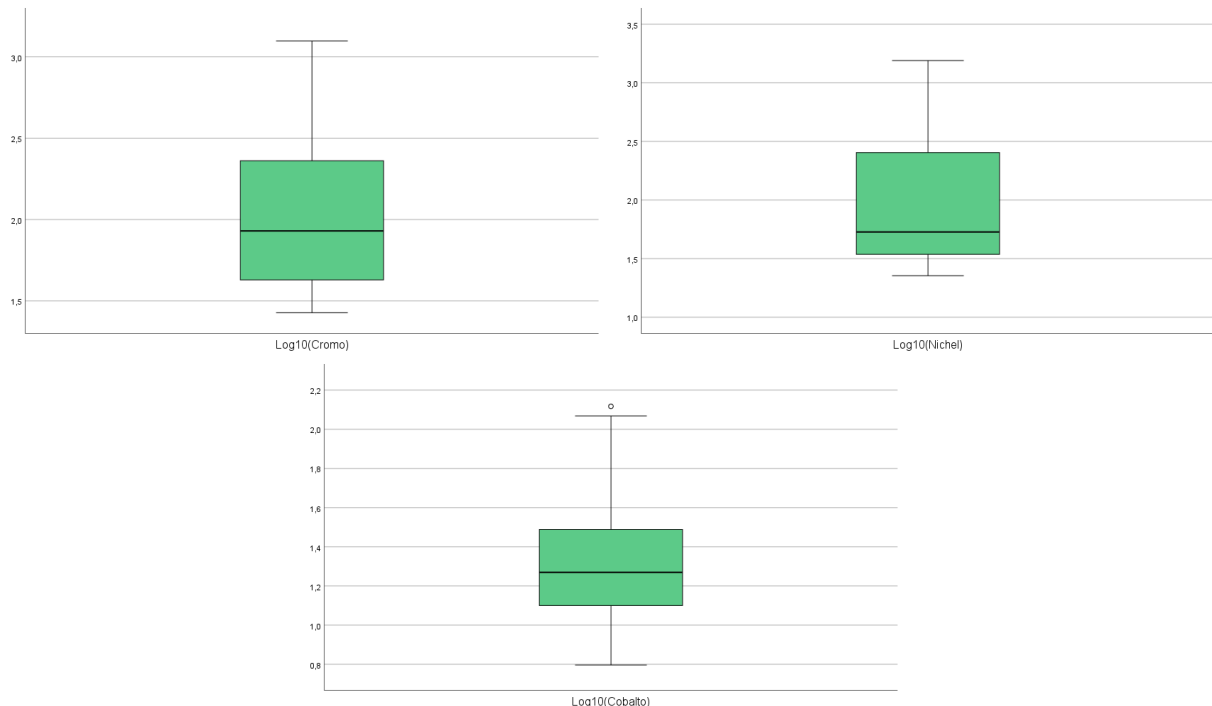
**Figura 15** – Box plot: distribuzioni delle concentrazioni dei parametri Cr tot, Ni e Co sulla frazione fine (< 2mm).



**Figura 16** – Box plot: distribuzioni delle concentrazioni dei parametri Cr tot, Ni e Co sulla frazione fine (< 2mm), comprensiva di scheletro.



**Figura 17** – Box plot: distribuzioni delle concentrazioni log-trasformate dei parametri Cr tot, Ni e Co sulla frazione fine (< 2mm).



**Figura 18** – Box plot: distribuzioni delle concentrazioni log-trasformate dei parametri Cr tot, Ni e Co sulla frazione fine (< 2mm), comprensiva di scheletro.

In Tabella 18 e in Tabella 19 si riportano le principali statistiche descrittive dei parametri oggetto dello studio, rispettivamente valutati sulla frazione fine (passante al vaglio 2 mm) e sulla totalità dei materiali secchi comprensiva di scheletro, e le proprietà statistiche principali ed eventuali dati *non-detected* (valori <LOQ o <LOD).

Parametro	N	Cmin (mg/Kg)	Cmax (mg/Kg)	Cmedia (mg/Kg)	Deviazione Std.	Dati n.d.
<b>Cromo totale</b>	50	39,8	1.320,0	243,1	307,1	-
<b>Nichel</b>	50	25,7	1.640,0	265,1	384,5	-
<b>Cobalto</b>	50	7,61	138,00	36,7	30,9	-

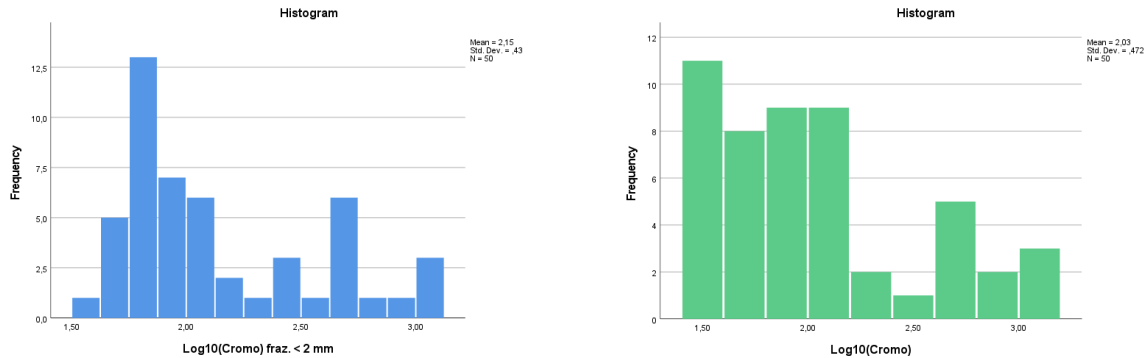
**Tabella 18** – Statistiche descrittive delle concentrazioni di Cr tot, Ni e Co valutate sulla frazione fine (2mm).

Parametro	N	Cmin (mg/Kg)	Cmax (mg/Kg)	Cmedia (mg/Kg)	Deviazione Std.	Dati n.d.	Superamenti
<b>Cromo totale</b>	50	25,8	1.250,0	210,2	294,8	-	Tabb. A, B
<b>Nichel</b>	50	21,6	1.550,0	228,6	364,1	-	Tabb. A, B
<b>Cobalto</b>	50	5,3	130,0	28,7	29,2	-	Tab. A

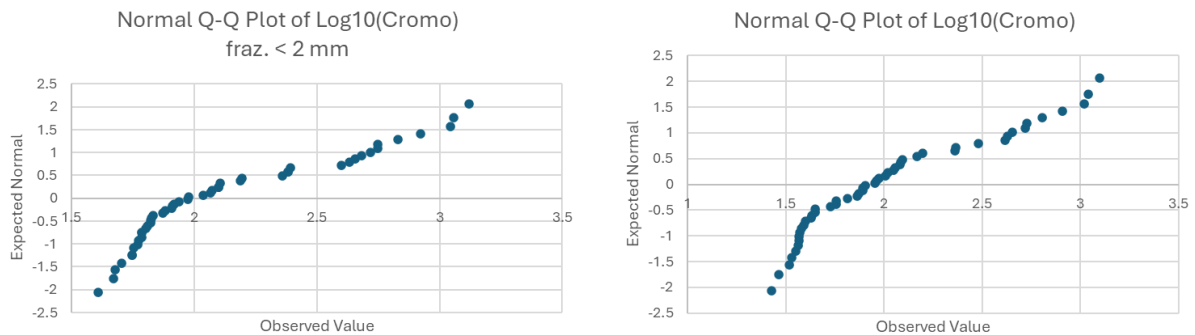
**Tabella 19** – Statistiche descrittive delle concentrazioni di Cr tot, Ni e Co valutate sulla frazione fine (< 2mm), comprensiva di scheletro.

La normalità dei dati è stata poi testata attraverso il test di normalità di Shapiro-Wilk ad un livello di significatività del 5% ( $P < 0,05$ ). L'unica distribuzione riscontrata normale al test è stata quella delle concentrazioni di Cobalto nella frazione fine (passante al vaglio 2 mm) mentre tutte le altre distribuzioni risultano significative al test di normalità ( $P < 0,05$ ).

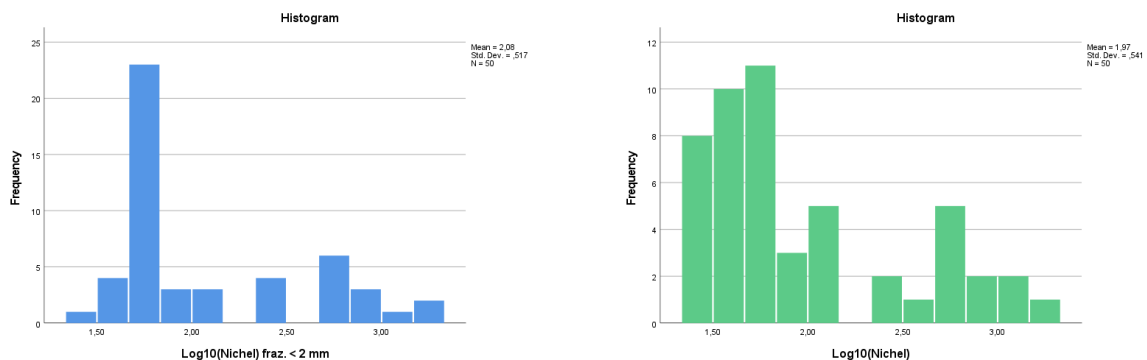
Nelle Figure 19-24 vengono rispettivamente mostrati gli istogrammi di frequenza e i grafici Q-Q plot relativi alla distribuzione dei 3 parametri di interesse (Cr tot, Ni e Co).



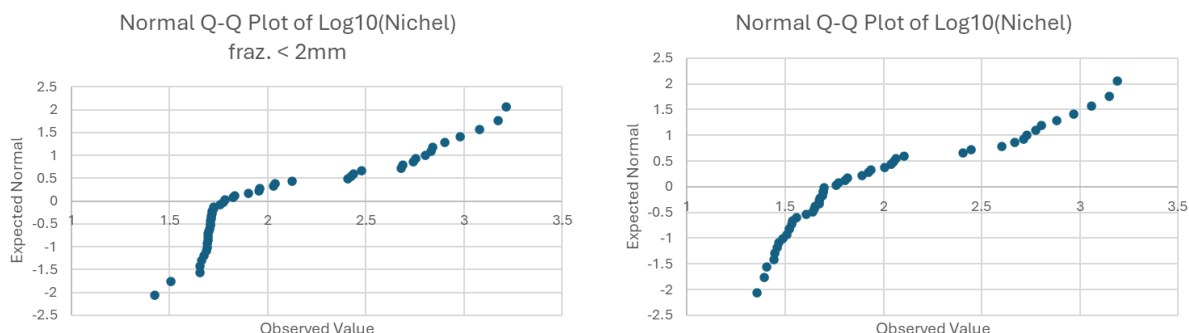
**Figura 19** – Istogrammi di frequenza dei valori di concentrazione log-trasformati di Cromo totale (Cr tot) relativi al passante al vaglio 2 mm (a sinistra) e al totale comprensivo di scheletro (a destra).



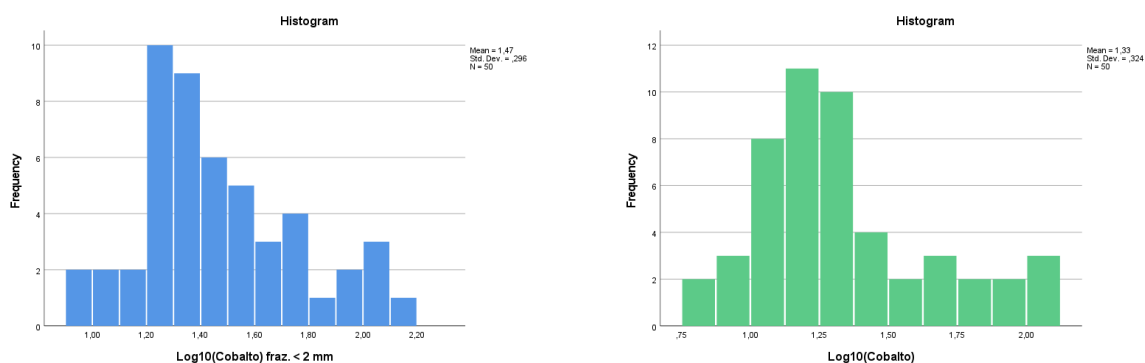
**Figura 20** – Grafici Q-Q plot dei valori di concentrazione log-trasformati di Cromo totale (Cr tot) relativi al passante al vaglio 2 mm (a sinistra) e al totale comprensivo di scheletro (a destra).



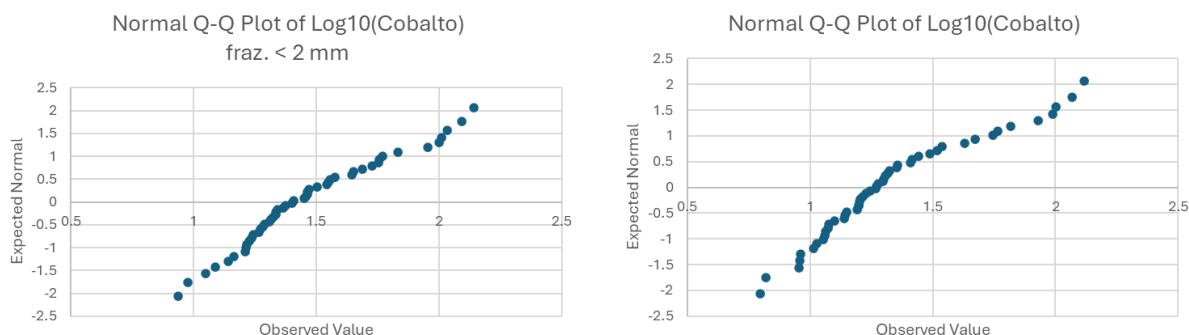
**Figura 21** – Istogrammi di frequenza dei valori di concentrazione log-trasformati di Nichel (Ni) relativi al passante al vaglio 2 mm (a sinistra) e al totale comprensivo di scheletro (a destra).



**Figura 22** – Grafici Q-Q plot dei valori di concentrazione log-trasformati di Nichel (Ni) relativi al passante al vaglio 2 mm (a sinistra) e al totale complessivo di scheletro (a destra).



**Figura 23** – Istogrammi di frequenza dei valori di concentrazione log-trasformati di Cobalto (Co) relativi al passante al vaglio 2 mm (a sinistra) e al totale complessivo di scheletro (a destra).



**Figura 24** – Grafici Q-Q plot dei valori di concentrazione log-trasformati di Cobalto (Co) relativi al passante al vaglio 2 mm (a sinistra) e al totale complessivo di scheletro (a destra).

Gli istogrammi sostanzialmente confermano la mancanza di simmetria della maggior parte delle distribuzioni e il risultato del test di normalità; unica eccezione è rappresentata dalla distribuzione delle concentrazioni di Cobalto sul passante al vaglio 2 mm che, come già sopra affermato, mostrano una distribuzione normale (Figura 23).

I grafici Q-Q plot consentono di verificare la relativa uniformità delle distribuzioni e l'assenza di popolazioni multiple di dati all'interno del dataset investigato.



## 9 PROPOSTA DEI VALORI DI FONDO NATURALE (VFN) INDIVIDUATI DA PARAMETRI STATISTICI

Coerentemente con quanto raccomandato nella LG SNPA 174/2018, sono riportati, per ogni parametro d'interesse (ovvero i parametri che hanno evidenziato almeno un superamento delle CSC previste per i suoli, di cui alla Tabella 1, Colonna A, Allegato 5, Titolo, Parte IV del D.Lgs. 152/06), i principali indicatori statistici utili alla determinazione dei valori di fondo (90° percentile, 95° percentile, 99° percentile, valore massimo). Inoltre, si specifica che i VFN proposti sono stati affiancati da altri stimatori quali l'Upper Tolerance Limit (UTL 95%), l'Upper Prediction Limit (UPL 95%) e l'Upper Simultaneous Limit (USL 95%), che ne consentono di valutare la variabilità.

In particolare, nel caso in esame, quale valore di VFN si propone:

- il valore di concentrazione corrispondente al 99-mo percentile (99p) degli N valori costituenti il dataset, nel caso questi mostrino una distribuzione non normale;
- il valore di concentrazione massimo (Cmax) degli N valori costituenti il dataset, nel caso che questi mostrino una distribuzione normale.

La determinazione dei VFN dei suoli è stata condotta in riferimento ai parametri Cr tot, Ni e Co (parametri eccedenti le CSC/Col. A e B) ed è stata effettuata:

- sulle concentrazioni determinate sul passante a due millimetri con espressione finale del risultato riferendosi alla totalità dei materiali secchi, non comprensiva dello scheletro, come richiesto da ARPAT con la nota prot. 67149 del 26/08/2024;
- sulle concentrazioni determinate sul passante a due millimetri con espressione finale del risultato riferendosi alla totalità dei materiali secchi, comprensiva dello scheletro, ai fini del confronto con le CSC.

Le Tabelle 20 e 21 riassumono i VFN individuati per Cromo totale, Nichel e Cobalto che nei terreni del sito in oggetto avevano evidenziato superamenti delle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) di cui alla Tabella 1, Colonna A e B, dell'Allegato 5, Parte IV del D. Lgs 152/2006 e i relativi limiti superiori (UTL 95%, UPL 95%, USL 95%). Si sottolinea che, i valori di concentrazione riportati nel seguito sono approssimati al numero di decimali con cui è definito il limite di legge, in relazione a quanto previsto dalla Linea Guida SNPA 34/2021 dell'ottobre 2021.

Parametro	90P	95P	99P	Cmax	Stat	VFN	95%UTL	95%UPL	95%USL
	[mg/Kg]	[mg/Kg]	[mg/Kg]	[mg/Kg]		[mg/Kg]	[mg/Kg]	[mg/Kg]	[mg/Kg]
<b>Cromo totale</b>	570	977	1.230	1.320	99P	<b>1.230</b>	1.236	1.125	1.321
<b>Nichel</b>	702	1.084	1.567	1.640	99P	<b>1.567</b>	1.570	1.324	1.641
<b>Cobalto</b>	91	105	132	138	Max	<b>138</b>	119	93	220

**Tabella 20** – sintesi dei Valori di Fondo Naturale individuati per le concentrazioni di Cr tot, Ni e Co riferite alla sola frazione passante a 2mm. Sono riportati anche i valori del 90°, 95° e 99° percentile, il valore massimo e le soglie superiori di riferimento (UTL 95%, UPL 95% e USL 95%). **Il valore proposto come VFN è indicato in grassetto.**

Parametro	CSC		90P	95P	99P	Cmax	Stat	VFN	95%UTL	95%UPL	95%USL
	A	B									
			[mg/Kg]	[mg/Kg]	[mg/Kg]	[mg/Kg]		[mg/Kg]	[mg/Kg]	[mg/Kg]	[mg/Kg]
<b>Cromo totale</b>	10	30	542	935	1.175	1.250	99P	<b>1.175</b>	1.180	1.074	1.250
<b>Nichel</b>	20	50	650	1.045	1.479	1.550	99P	<b>1.479</b>	1.486	1.262	1.552

Parametro	CSC [mg/Kg]		90P [mg/Kg]	95P [mg/Kg]	99P [mg/Kg]	Cmax [mg/Kg]	Stat	VFN [mg/Kg]	95%UTL [mg/Kg]	95%UPL [mg/Kg]	95%USL [mg/Kg]
	A	B									
Cobalto	20	250	67	99	124	130	99P	<b>124</b>	125	84	382

**Tabella 21** – Sintesi dei Valori di Fondo Naturale individuati per le concentrazioni di Cr tot, Ni e Co comprensive di scheletro e loro confronto con le concentrazioni soglia (CSC) previste dal D. Lgs 152/2006 (Colonne A e B). Sono riportati anche i valori del 90°, 95° e 99° percentile, il valore massimo e le soglie superiori di riferimento (UTL 95%, UPL 95% e USL 95%). **Il valore proposto come VFN è indicato in grassetto.**

Risulta, inoltre, rilevante osservare come i limiti superiori delle stime dei VFN, calcolati con diversi metodi statistici al 95% di confidenza (UTL 95%, UPL 95% e USL 95%), consentano di confermare la robustezza delle stime dei VFN proposti e ne traccino un limite superiore anch'esso rappresentativo del valore di fondo. Tali parametri statistici, infatti, permettono di effettuare previsioni e valutazioni sulle concentrazioni massime dei parametri d'interesse, considerando la possibilità che eventuali valori superiori ai VFN proposti possano comunque essere ascrivibili ad origine naturale.

## 10 CONCLUSIONI

Nell'ambito delle indagini ambientali per la caratterizzazione ambientale delle TRS che saranno prodotte e riutilizzate nel sito della futura postazione di manutenzione campo geotermico "Radicondoli 35", eseguite nel dicembre 2023 mediante la realizzazione di n. 10 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, sono stati osservati superamenti delle CSC (di cui alla Tabella 1, Colonna A e B, Allegato 5, Titolo V della Parte Quarta del D.Lgs. 152/06), sia a carico del suolo superficiale che profondo, relativamente ad alcuni parametri analitici ricercati (Arsenico, Antimonio, Cromo totale, Cobalto, Nichel, Rame e Zinco), per i quali è stata ipotizzata un'origine naturale considerando il contesto geologico, geochimico e minerario nel quale si inserisce la postazione Radicondoli 35.

In relazione ai superamenti dei limiti normativi riscontrati, in data 07/05/2024, EGPI ha notificato il rilevamento di superamenti delle CSC nei terreni, ai sensi dell'art. 245 del D.Lgs.152/06 e ss.mm.ii., e predisposto un Piano di Indagine integrativo finalizzato all'accertamento ed alla determinazione dei Valori di Fondo Naturale (VFN), nel quadro normativo definito dall'art. 11, comma 1 del D.P.R. 120/2017.

Le attività d'indagine previste dal suddetto Piano, la cui proposta tecnica è stata ritenuta condivisibile da ARPAT (nota prot. 67149 del 26/08/2024), ha previsto l'esecuzione di ulteriori n. 11 punti d'indagine integrativi (ubicati sia internamente che esternamente al perimetro d'intervento) che sono stati realizzati a settembre 2024, in contraddittorio alla presenza di tecnici di ARPAT (Dipartimento di Siena), ai fini della validazione della campagna d'indagine.

Ai fini del piano di indagine per la determinazione dei VFN nei suoli, allo scopo di definire i limiti spaziali dello studio in relazione alle finalità e al contesto geo-ambientale, il sito della postazione Radicondoli 35 è stato identificato con l'"Unità di Campionamento" (UdC) oggetto dello studio. La nomenclatura adottata per l'UdC, che costituisce il contesto di riferimento oggetto del presente studio, fa quindi riferimento alla denominazione della stessa postazione, ovvero UdC "Radicondoli 35".

I risultati del piano di accertamento per la definizione dei Valori di Fondo Naturale, contenuti nel documento CESI prot. C4015134 del 25/10/2024 hanno confermato in parte i parametri analitici (Cromo totale, Nichel e Cobalto) che, nella fase di caratterizzazione delle TRS, avevano evidenziato il superamento dei limiti normativi.

Infatti, il confronto tra i dati ottenuti dalla caratterizzazione delle TRS e dall'indagine integrativa per la determinazione dei VFN ha evidenziato la necessità di condurre approfondimenti analitici sui campioni della prima indagine, in considerazione delle diverse metodiche analitiche adottate nelle due campagne. Tali approfondimenti hanno comportato l'analisi (eseguita dallo stesso laboratorio analitico e utilizzando le stesse metodiche applicate alle analisi dei campioni prelevati per i VFN,) delle seconde aliquote dei campioni prelevati nell'ambito delle indagini per la caratterizzazione delle TRS, i cui risultati hanno portato ad un maggior allineamento tra le due famiglie di dati e a confermare i superamenti dei limiti normativi già osservati sui campioni dell'indagine integrativa per la determinazione dei VFN, relativi ai parametri Cobalto, Cromo totale e Nichel.

Dall'analisi del contesto geologico e geochimico dell'area, si ritiene che la presenza degli elementi considerati (Cr tot, Ni e Co) sia riconducibile a causa di origine naturale (geogenica) e che le concentrazioni medie complessivamente rilevate risultino compatibili con il contesto geochimico in cui il sito si inserisce.

Pertanto, come anticipato nella nota ENEL-EGI-14/10/2024-0027823, sulla base dei risultati analitici delle indagini di caratterizzazione delle TRS (rianalisi di ottobre 2024) e delle indagini integrative per la determinazione dei VFN, nelle more di ricevere i risultati del contraddittorio ARPAT e la validazione dei dati di parte trasmessi, si è proceduto allo studio statistico finalizzato alla determinazione dei VFN dei

suoli della postazione “Radicondoli 35”, che è stato condotto in accordo alla Linea Guida SNPA (174/2018) “Linea Guida per la Definizione dei Valori di Fondo per i Suoli e per le Acque Sotterranee”.

Ai fini della determinazione dei VFN nei suoli, il sito di Radicondoli 35 è stato identificato con l’“Unità di Campionamento” (UdC) oggetto dello studio. La nomenclatura adottata per l’UdC, che costituisce il contesto di riferimento oggetto del presente studio, fa quindi riferimento alla denominazione della stessa postazione, ovvero UdC “Radicondoli 35”.

Per l’UdC “Radicondoli 35”, la numerosità campionaria (n. 50 campioni di suolo insaturo), ottenuta considerando i n. 28 campioni prelevati nell’ambito delle attività di caratterizzazione delle TRS di dicembre 2023 e i n. 22 campioni prelevati nell’ambito dell’indagine integrativa di settembre 2024, si ritiene statisticamente significativa e sufficiente ai fini della determinazione dei VFN, in linea con quanto previsto dalla LG SNPA 174/2018.

La determinazione dei VFN dei suoli è stata condotta in riferimento ai parametri Cr tot, Ni e Co (parametri che hanno mostrato almeno un superamento delle CSC/Col. A) ed è stata effettuata:

- sulle concentrazioni determinate sul passante a due millimetri con espressione finale del risultato riferendosi alla totalità dei materiali secchi, non comprensiva dello scheletro, come richiesto da ARPAT con la nota prot. 67149 del 26/08/2024;
- sulle concentrazioni determinate sul passante a due millimetri con espressione finale del risultato riferendosi alla totalità dei materiali secchi, comprensiva dello scheletro, ai fini del confronto con le CSC.

Lo studio statistico ha condotto alla determinazione di Valori di Fondo Naturale per i suoli dell’UdC “Radicondoli 35”. Il parametro statistico descrittore del fondo naturale è rappresentato dal:

- 99° percentile dei valori costituenti il dataset nel caso di distribuzione statistica non normale;
- la concentrazione massima dei valori costituenti il dataset nel caso di distribuzione statistica normale.

Nella seguente tabella sono riportati i Valori di Fondo Naturale (VFN) proposti per i suoli dell’UdC “Radicondoli 35” per i parametri eccedenti le CSC (Col. A/B).

Unità di campionamento (UdC)	Cr tot [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Co [mg/kg]
Radicondoli_35	VFN fraz. < 2mm (senza scheletro)		
	1.230	1.567	138
	VFN comprensivo di scheletro		
	1.175	1.479	124

ELENCO TAVOLE FUORI TESTO

<b>Tavola 1</b>	Ubicazione dei punti di indagine realizzati
<b>Tavola 2a</b>	Cobalto: ubicazione dei superamenti delle CSC nei terreni insaturi
<b>Tavola 2b</b>	Cromo: ubicazione dei superamenti delle CSC nei terreni insaturi
<b>Tavola 2c</b>	Nichel: ubicazione dei superamenti delle CSC nei terreni insaturi



**ALLEGATO 1**

**Biochemie Lab S.r.l.**

**Rapporti di Prova**

Risultati delle analisi condotte sui campioni di suolo prelevati nell'ambito delle indagini integrative per  
la determinazione dei VFN

**Tot. pagg. 115**

## **ALLEGATO 2**

**Biochemie Lab S.r.l.**

### **Rapporti di Prova**

Risultati delle rianalisi condotte sui campioni di suolo prelevati nell'ambito delle indagini di caratterizzazione delle TRS

**Tot. pagg. 111**

### **ALLEGATO 3**

#### **Dataset**

Concentrazioni utilizzate ai fini della determinazione dei VFN dei suoli  
(file in formato .xls)

**Tot. pagg. 4**