



DICEMBRE 2021

## **PALLADIO TEAM FORNOVO S.R.L.**

**IMPIANTO DI SMALTIMENTO RIFIUTI SPECIALI  
NON PERICOLOSI SITO IN LOCALITÀ MONTE  
ARDONE NEL COMUNE DI FORNOVO DI TARO**

### **PROGETTO DI AMPLIAMENTO PER OPERAZIONI D1 E D15**

**RISPOSTA ALLA RICHIESTA DI  
INTEGRAZIONI (Prot. n. 137429/2021  
del 06/09/2021)**

**ALLEGATO 04 – INDAGINI FONDO**



#### **Progettisti/coordinamento**

Ing. Alberto Angeloni (Ord. Ingegneri Pv. di Milano n. 20024)

Geol. Pietro Simone (Ord. Geologi della Lombardia n. 1030)



#### **Codice elaborato**

2582\_4809\_R01\_A04\_Rev0\_IND\_FONDO

MA  
cont  
forna



## Ampliamento per operazioni D1 e D15 dell'impianto di smaltimento rifiuti speciali non pericolosi sito in località Monte Ardone nel Comune di Fornovo di Taro (PR)

### Fase progettuale

Procedura per il rilascio del Provvedimento Autorizzativo Unico Regionale comprensivo di Valutazione di Impatto Ambientale. Richiesta di integrazioni di cui all'art.27-bis, comma 5 del D.Lgs. 152/06 e s.m.i.

### Oggetto

Verifica del sistema di impermeabilizzazione del fondo e delle sponde

Relazione illustrativa

### Professionisti

Ing. Stefano NERVIANI



Dott. Geol. Petra ROGATE



ELABORATO

G.01

Ampliamento per operazioni D1 e D15 dell'impianto di smaltimento rifiuti speciali non pericolosi sito in località Monte Ardone nel Comune di Fornovo di Taro (PR)  
Procedura per il rilascio del Provvedimento Autorizzativo Unico Regionale comprensivo di Valutazione di Impatto Ambientale.  
Richiesta di integrazioni di cui all'art.27-bis, comma 5 del D.Lgs. 152/06 e s.m.i.  
VERIFICA DEL SISTEMA DI IMPERMEABILIZZAZIONE DEL FONDO E DELLE SPONDE

Professionisti

SN-pg

## A. Redazione documento

n.pagine

15

n.allegati

0

## B. Lista di distribuzione

Palladio Team Fornovo S.r.l.

1 copia

REV	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO
0	EMISSIONE	01/12/2021	P.ROGATE	S.NERVIANI	S.NERVIANI
1					
2					
3					
File:	13533_ej.21.045.002.0001.docx				





## INDICE

<b>1. PREMESSA</b>	<b>2</b>
<b>2. INDAGINI GEOELETTRICHE - GENERALITÀ</b>	<b>3</b>
2.1. Resistività elettrica	3
2.2. Polarizzazione indotta	5
<b>3. ELABORAZIONE DATI</b>	<b>7</b>
<b>4. RILIEVI ESEGUITI</b>	<b>9</b>
<b>5. UBICAZIONE TOMOGRAFIE ELETTRICHE</b>	<b>11</b>



## 1. PREMESSA

La società Palladio Team Fornovo S.r.l. ha avviato una Procedura per il rilascio del Provvedimento Autorizzativo Unico Regionale comprensivo di Valutazione di Impatto Ambientale ai sensi del Capo III della L.R. 04/2018 relativo al progetto denominato: *“Ampliamento per operazioni D1 e D15 dell'impianto di smaltimento rifiuti speciali non pericolosi sito in località Monte Ardone nel Comune di Fornovo di Taro (PR)”*.

Con protocollo Sinadoc n.3260/2021 ARPAE – Servizio Autorizzazioni e concessioni di Parma – Area Autorizzazioni e concessioni Ovest ha formulato richiesta di integrazioni di cui all'art. 27-bis, comma 5 del D.Lgs. 152/06/ e s.m.i.

Nell'ambito di tale protocollo ARPAE ha richiesto, al punto 11, la seguente integrazione: *“si chiede venga condotto un approfondimento tecnico relativamente al sistema complessivo di impermeabilizzazione del fondo e delle sponde in considerazione dell'impermeabilizzazione dello stato di fatto della discarica, nello specifico si chiede una verifica con indagini dell'impermeabilizzazione del telo/geomembrana in essere, del suo stato di integrità proprio alla luce della nuova progettualità (che insiste in parte sul contesto esistente di discarica)”*.

Con riferimento a tale richiesta e su incarico di Palladio Team Fornovo S.r.l. il presente documento ha lo scopo di illustrare i risultati di un'indagine geofisica effettuata mediante l'esecuzione di tre tomografie elettriche presso la discarica di Monte Ardone ed avente la finalità di valutare lo stato di integrità fisica del sistema di impermeabilizzazione dell'invaso.

In condizioni di perfetta integrità fisica della geomembrana, essa infatti costituisce un mezzo altamente resistivo che impedisce il passaggio di corrente elettrica, ciò si manifesta come una zona ad alta resistività rispetto ai rifiuti.



## 2. INDAGINI GEOELETTRICHE - GENERALITÀ

Lo scopo delle prospezioni geoelettriche è quello di ricavare informazioni relative al sottosuolo mediante una serie di misurazioni effettuate in superficie.

I metodi geoelettrici comprendono in realtà numerose metodologie di indagine che, in sintesi, si dividono in due categorie principali:

- i metodi passivi, che sfruttano le correnti naturali presenti nel sottosuolo;
- i metodi attivi, che utilizzano correnti elettriche artificialmente immesse nel terreno.

Tra i metodi attivi, quello della resistività e della polarizzazione indotta sono i più comunemente utilizzati.

### 2.1. Resistività elettrica

Esso prevede, in sostanza, lo studio del campo elettrico che si crea nel terreno in seguito all'immissione di una corrente, continua o alternata a bassa frequenza; la distribuzione della corrente può ritenersi regolata dalla legge di Ohm.

Se consideriamo il campo elettrico dovuto a due elettrodi di immissione di corrente, A (positivo) e B (negativo), collegati mediante un generatore di corrente, è possibile calcolare la differenza di potenziale che viene a determinarsi in due punti M ed N per effetto delle sorgenti A e B, e quindi la differenza di potenziale  $\Delta V$  complessiva tra M ed N che deriva dal fluire della corrente da A a B.

La differenza di potenziale complessiva fra M ed N (o P1 e P2) è data da

$$\Delta V = \Delta V_{MN}^A - \Delta V_{MN}^B = \frac{I\rho}{2\pi} \left[ \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right]$$

In base a questa relazione è possibile calcolare la resistività  $\rho$ :

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} 2\pi \frac{1}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4}}$$

e, inserendo il coefficiente geometrico K, si ottiene:

$$\rho = (\Delta V/I) K$$

La differenza di potenziale  $\Delta V$  viene misurata in Volt, la Corrente I in Ampere e le varie distanze r in metri, la resistività  $\rho$  è espressa in  $\Omega \times m$ .



Dato che il sottosuolo non è in genere elettricamente omogeneo ed isotropo, il valore di  $\rho$  che si determina è condizionato dalla distribuzione del potenziale, che risulta diversa rispetto a quanto si avrebbe per un terreno omogeneo.

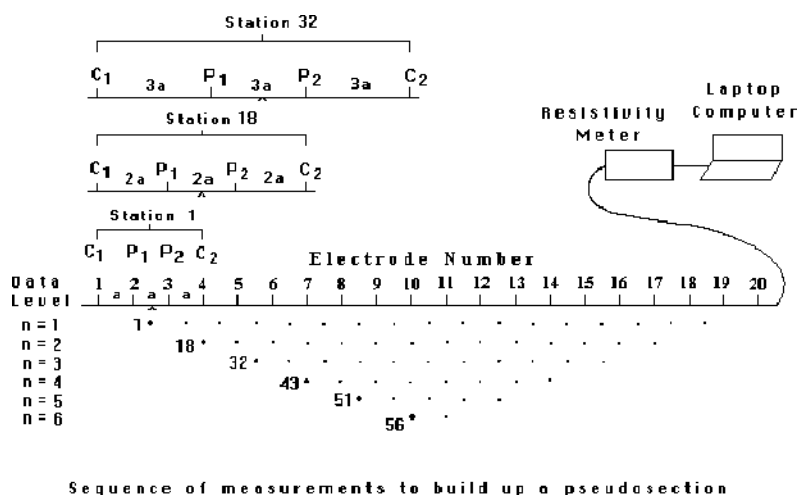
Il valore di resistività misurato è la resistività apparente ( $\rho_a$ ).

Il passaggio dalla resistività apparente a quella reale del terreno è il processo di inversione, cioè la determinazione di un modello del terreno coerente con le misurazioni sperimentali. Tale processo è quindi di fondamentale importanza nell'elaborazione di una prospezione geoelettrica.

La tomografia elettrica (Electrical Resistance Tomography o ERT) è in grado di utilizzare una combinazione di elettrodi in superficie per superare le limitazioni di risoluzione e di non univocità, che contraddistinguono le SEV (Sondaggi Elettrici Verticali).

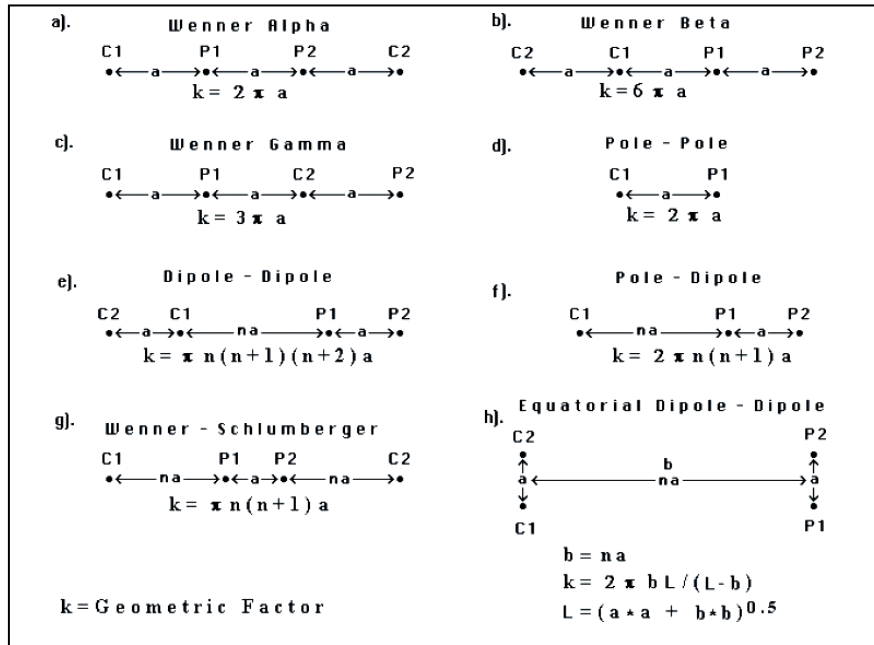
La principale differenza tra l'utilizzo dei normali metodi di resistività e le tecniche tomografiche consiste principalmente nella velocità di acquisizione dei dati e di gestione automatizzata delle combinazioni tipiche degli elettrodi di energizzazione / elettrodi di misura.

Utilizzando un sistema multi-elettrodo controllato da PC è possibile usare una grande varietà di stendimenti.



La figura seguente riporta le configurazioni elettrodeiche di uso più comune, con i relativi coefficienti geometrici.





L'insieme dei valori di resistività apparente ottenuti in campo viene diagrammato in "pseudosezioni". La pseudosezione fornisce un'immagine approssimata e distorta della resistività del terreno.

Con l'ausilio di appositi software di inversione è possibile, a partire dall'insieme di dati ottenuti, ottenere un modello di resistività reale.

Nel caso in oggetto, il software utilizzato per il procedimento di inversione è RES2DINV (vers. 3.53) della Geotomo Software; esso è in grado di determinare un modello di resistività bidimensionale per il terreno a partire dai dati ottenuti da un profilo di resistività. L'inversione è condotta mediante un metodo di ottimizzazione ai minimi quadrati non lineare.

## 2.2. Polarizzazione indotta

Le informazioni che si possono ottenere eseguendo delle misure di Polarizzazione Indotta (IP) possono fornire dati che, in aggiunta ai dati di resistività in una determinata zona, consentono di analizzare meglio il sottosuolo investigato.

Le misure della polarizzazione indotta sono eseguite utilizzando le medesime configurazione impiegate per eseguire le misure di resistività.

I meccanismi responsabili dei fenomeni detti di "rilassamento" nel dominio temporale, e di "dispersione" nel dominio frequenziale, detti di "polarizzazione", sono piuttosto complessi.

Tali meccanismi investono interazioni al contatto tra particelle solide e soluzioni interstiziali presenti nel terreno: le cariche superficiali di queste particelle inducono nella soluzione, vicino all'interfaccia, una concentrazione ionica di segno opposto; fra loro si forma un doppio strato elettrico, in cui gli ioni sono praticamente immobilizzati.



Questo costituisce una barriera più o meno impermeabile al passaggio degli ioni che trasportano la corrente, infatti, affinché essa possa fluire attraverso la barriera deve essere aggiunta una tensione, definita sovratensione. All'interruzione della corrente energizzante la sovratensione decade spontaneamente nel tempo. L'osservazione di questa curva di decadimento rappresenta uno dei metodi di analisi degli effetti di polarizzazione del terreno (dominio del tempo).

Considerando che è necessario un tempo finito affinché si formi la sovratensione, l'impedenza di queste zone diminuisce all'aumentare della frequenza, così che gli effetti della polarizzazione possono essere misurati anche nel dominio della frequenza, studiando la diminuzione di detta impedenza all'aumentare della frequenza.

Per le misure nel dominio delle frequenze la polarizzazione indotta è analizzata misurando la resistività apparente del terreno immettendo corrente alternata. In tal modo piuttosto che descrivere il parametro resistività del terreno si definisce l'impedenza del terreno stesso. All'aumentare del tempo di immissione della corrente e al diminuire della frequenza di misure, il potenziale di polarizzazione aumenta. Di conseguenza la resistività apparente a basse frequenze è maggiore di quella ad alta frequenza.

Nel dominio della frequenza si possono definire l'effetto frequenza percentuale (PFE - percent frequency effect) ed il fattore metallico (MF).

Questi sono valutati nel seguente modo:

$$\text{PFE} = 100 (\rho_f - \rho_F) / \rho_F \quad \text{MF} = 10^3 \text{PFE} / \rho_f \text{ [simens x m]}$$



### 3. ELABORAZIONE DATI

L'indagine è stata condotta utilizzando la strumentazione "Electra" della Micromed Geophysics S.p.A..

Si tratta di un sistema per tomografia elettrica 2D e 3D che permette di investigare il sottosuolo tramite l'immissione di corrente alternata a bassa tensione. L'amplificazione e la digitalizzazione dei segnali avviene direttamente sugli elettrodi.

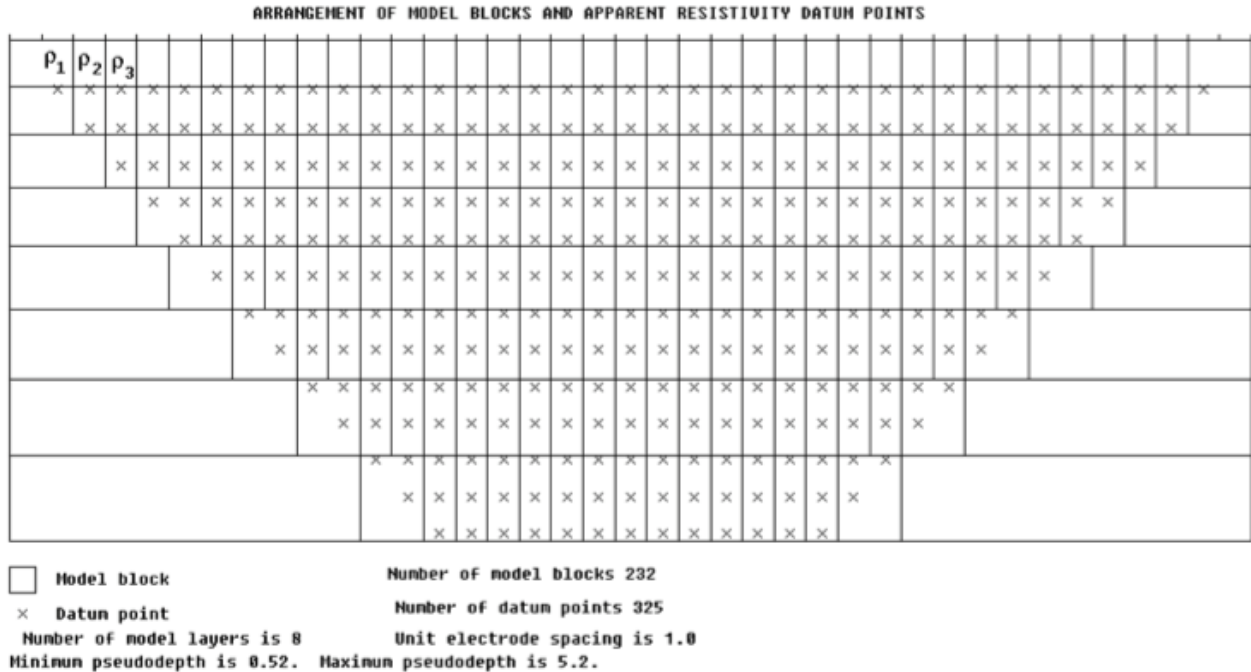
L'elaborazione dei dati è stata eseguita con il programma RES2DINV (vers. 3.53) della Geotomo Software, che utilizza il metodo di inversione dei minimi quadrati.

In generale il metodo inverso è un insieme organizzato di tecniche matematiche usate per analizzare i dati al fine di ottenere informazioni utili sulla realtà fisica che ha determinato l'andamento del dato misurato. A seconda della tecnica matematica usata, si possono avere diversi tipi di Inversione.

Le inversioni con i metodi iterativi dei minimi quadrati (Park e Van, 1991; Sasaki, 1994; Loke e Barker, 1996) o robusto (Morelli e LaBrecque, 1996; Wolke R. e Schwetlick H., 1988, Loke e Barker, 1996 e 1996) o del gradiente coniugato (Zhang e al., 1995), si basano sulla modellizzazione del sottosuolo mediante il metodo delle differenze o degli elementi finiti.

Nel programma utilizzato il modello bidimensionale prevede la divisione del sottosuolo in un certo numero di blocchi rettangolari (Metodo del Contouring). Questo serve per determinare i valori di resistività apparenti dei blocchi rappresentati in una pseudosezione che rappresenta la resistività apparente concorde con le misure reali. La dimensione e la disposizione dei blocchi viene generata automaticamente, utilizzando i punti misurati a titolo indicativo. La posizione orizzontale è stabilita dal punto medio tra gli elettrodi utilizzati per la misura, mentre la posizione verticale è posta ad una distanza proporzionale alla spaziatura tra gli elettrodi. In cui il primo strato di blocchi è posizionato ad uno spessore di 0.5 volte la distanza tra gli elettrodi. Ad ogni strato successivo più profondo lo spessore aumenta del 10%. L'ultima fila inferiore di blocchi è impostata per essere approssimativamente equivalente alla profondità media d'indagine (Edwards, 1977), che è maggiore man mano che si aumenta la distanza tra gli elettrodi.

La pseudosezione è una rappresentazione che ci fornisce un'idea della distribuzione delle resistività reali nel sottosuolo e permette di evidenziare delle anomalie locali determinate da valori troppo alti o troppo bassi rispetto ai valori limitrofi che saranno poi eliminati prima di procedere all'inversione dei dati stessi.



*Figura 1 - Esempio disposizione dei blocchi e dei punti in una pseudosezione*

Il metodo di ottimizzazione, utilizzato per interpretare i dati provenienti da uno strumento multielettrodo si propone di ridurre la differenza tra i valori di resistività apparente calcolata e misurata (reale), regolando la resistività dei blocchi del modello. Una misura di questa differenza è data dall'errore di root-meansquared (RMS).

Il programma sceglie automaticamente i parametri ottimali per l'inversione per un particolare insieme di dati, tuttavia, questi parametri possono anche essere modificati dall'utente per arrivare all'ottimizzazione dell'inversione.

Nello specifico si è utilizzato il "model refinement" per ridurre la larghezza del blocco del modello.

Per l'elaborazione dei dati di polarizzazione indotta, gli stessi sono stati anche interpretati mediante il metodo "robusto" (robust inversion), in modo da accentuare le brusche variazioni dei valori misurati.

Infine per ogni sezione è stata inserita la topografia, secondo i dati relativi all'ultima campagna di rilievo disponibile.

I rilievi e le acquisizioni sono stati condotti in data 11 novembre 2021. La giornata è stata molto instabile dal punto di vista meteorologico, con temperature basse, elevata umidità e con leggere piogge intermittenti nella mattinata.



#### 4. RILIEVI ESEGUITI

Sono state eseguite n. 3 sezioni:

##### Tomografia ERT 1

Lunghezza complessiva	160 m
num. elettrodi	33
passo elettrodico	5,0 m

##### Tomografia ERT 2

lunghezza	185 m
num. elettrodi	38
passo elettrodico	5,0 m

##### Tomografia ERT 3

lunghezza	185 m
num. elettrodi	38
passo elettrodico	5,0 m

Per l'acquisizione lungo i 3 stendimenti è stato utilizzato l'array Wenner (alpha), che è la configurazione geoelettrica più nota e comune, per via dell'elevato rapporto segnale- rumore.

La polarizzazione indotta è stata misurata nel dominio delle frequenze, con frequenza pari a 1Hz ed a 8 Hz.



*Figura 2 - Ubicazione Tomografie Elettriche*





## 5. UBICAZIONE TOMOGRAFIE ELETTRICHE

Il corpo della discarica al momento del rilievo era coperto quasi totalmente da teli provvisori dai quali emergevano le teste dei numerosi piezometri, inclinometri e pozzi per la raccolta del biogas.

Il tracciato del rilievo, soprattutto delle sezioni ERT2 ed ERT3, si è sviluppato necessariamente a distanza molto ravvicinata a queste strutture, che possono in alcuni casi interferire con l'acquisizione.

Inoltre lungo la strada di servizio perimetrale è presente la rete interrata dei cavidotti di alimentazione elettrica dell'illuminazione dell'area di impianto e delle apparecchiature di gestione (pompe, ecc.), anch'esse possibile causa di interferenze con le acquisizioni.

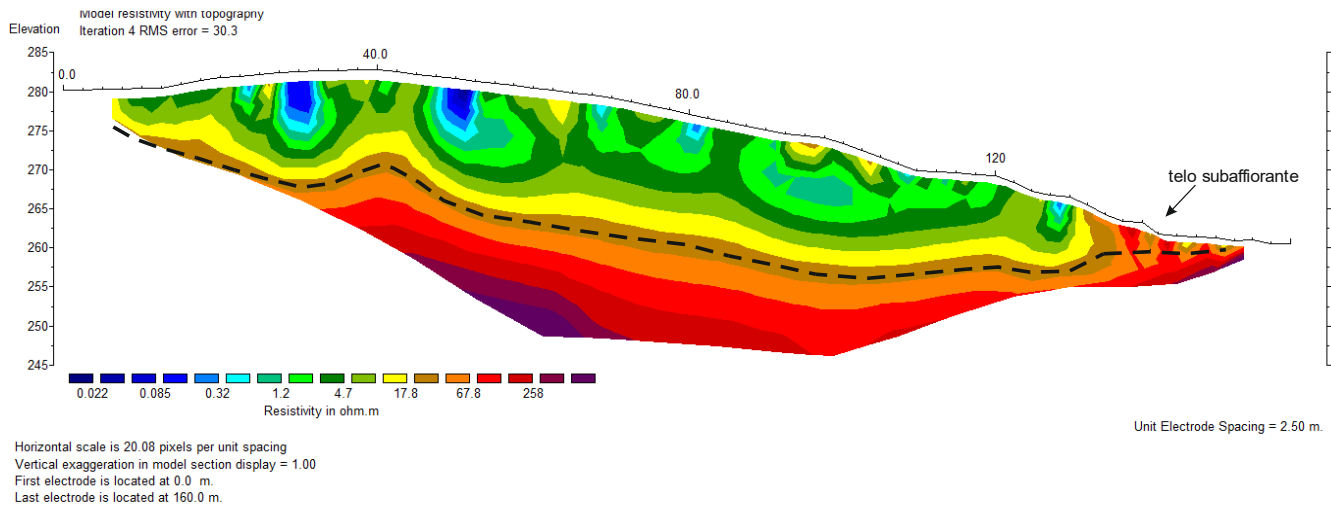
Dalle interpretazioni eseguite, l'errore RMS (errore quadratico medio) su ciascun profilo è mediamente alto.



*Figura 3 - Particolare lungo ERT 2 – in azzurro si vede il cavo dello stendimento e con le frecce rosse sono indicati i manufatti di monitoraggio e gestione della discarica presenti nelle immediate vicinanze.*



## Tomografia ERT 1



*Figura 4 – ERT1 Sezione di resistività elettrica*

Gli elementi basso resistivi (di colore blu/azzurri nella sezione di resistività) possono essere ragionevolmente ricondotti alla presenza di ristagni di percolato e/o rifiuti bagnati e/o diverse tipologie di rifiuti all'interno del corpo di discarica, mentre i valori di resistività maggiore si ritiene siano riconducibili alla presenza del manto impermeabilizzante posto alla base dei rifiuti.

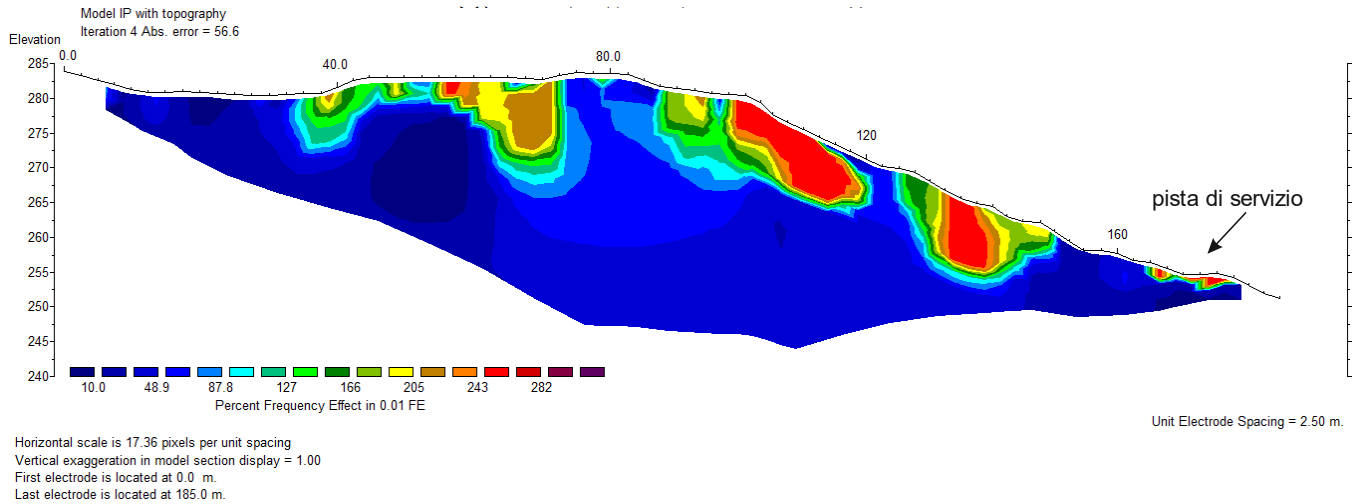
Dalla analisi della sezione si ipotizza quindi ragionevolmente il limite tra il corpo dei rifiuti ed il telo in corrispondenza di un valore di resistività elettrica di circa 20-30 Ohm m (vedi linea nera tratteggiata in Figura 4).

Come visto nel Capitolo "elaborazione dati", il modello risultante dalla inversione ha una forma triangolare che tende a chiudersi alle estremità; per tale motivo la profondità di acquisizione dei dati agli estremi della sezione è ridotta, ma si ritiene che possa essere ragionevolmente utile per delimitare la morfologia del telo anche verso il limite di monte.

I valori di resistività elettrica elevati indicati all'estremo di valle della sezione sono riconducibili alla presenza del telo sub affiorante.





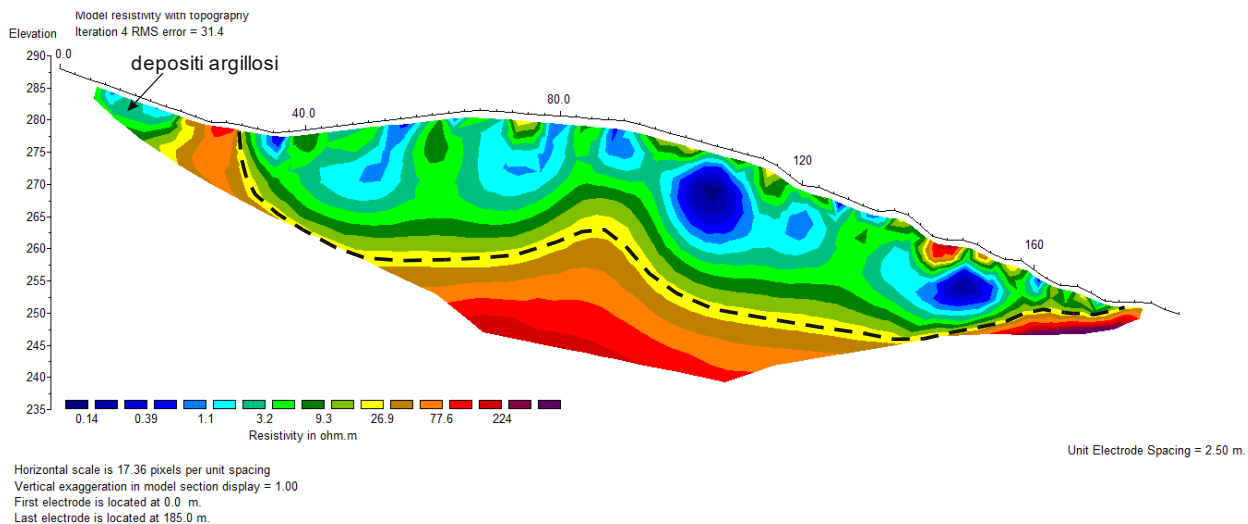


*Figura 6 – ERT2 Sezione di polarizzazione indotta*

I valori di PFE tendono a valori molto bassi proseguendo con la profondità, ragionevolmente interpretabili come assenza di perdite.

Tra circa le progressive 165,0 e 178,0 m si riscontra un picco molto superficiale di valori elevati di polarizzazione che ricade in prossimità della strada di servizio.

## Tomografia ERT 3



*Figura 7 – ERT3 Sezione di resistività elettrica*



Come per le sezioni precedenti, gli elementi basso resistivi (di colore blu intenso) possono essere ragionevolmente ricondotti alla presenza di ristagni di percolato e/o rifiuti bagnati e/o diverse tipologie di rifiuti all'interno del corpo di discarica, mentre i valori di resistività maggiore si ritiene siano riconducibili alla presenza del manto impermeabilizzante posto alla base dei rifiuti.

In analogia alle altre sezioni, il limite tra il corpo dei rifiuti ed il telo si ipotizza quindi in corrispondenza di un valore di resistività elettrica di circa 20-30 Ohm m (vedi linea nera tratteggiata in Figura 7).

I valori di resistività elettrica bassi rilevati all'estremo di monte della sezione sono ragionevolmente riconducibili ai depositi argillosi di copertura di versante, mentre i valori alto resistivi verso il limite di valle possono essere ricondotti alla probabile presenza del telo sub affiorante.