

**CONSORZIO FUTURO IN RICERCA  
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI FERRARA &  
Via G. Saragat, 1 – 44122 FERRARA**

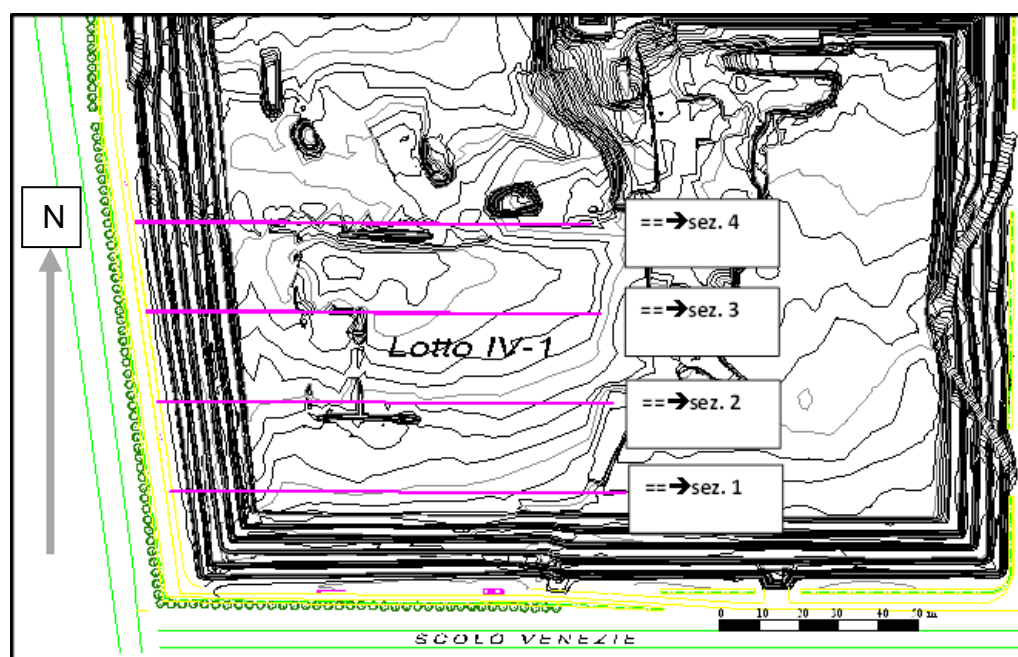
AREA IMPIANTI S.p.A.

DISCARICA "CRISPA" VIA GRAN LINEA 12, 44037  
JOLANDA DI SAVOIA (FE)

Tomografia della resistività elettrica  
per la caratterizzazione stratigrafica

LOTTO IV, STRALCIO 1

MONITORAGGIO N. 22\_1



Gennaio 2022

Consorzio Futuro in Ricerca  
Dr. Nasser Abu Zeid

Libero Professionista  
Dott. Geol. Marco Condotta

## Sommario

Verifica dell'integrità del telone in HDPE mediante tomografia elettrica ERT – Electrical Resistivity Tomography .....	3
ERT del corpo di discarica LOTTO IV – 1° Stralcio .....	6
Conclusioni .....	8
Integrità del manto in HDPE LOTTO IV – 1° Stralcio.....	8
Allegato A Sezioni di resistività ottenuti dal monitoraggio di luglio 2021 .....	10

## VERIFICA DELL'INTEGRITÀ DEL TELONE IN HDPE MEDIANTE TOMOGRAFIA ELETTRICA ERT – ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY

Per la ricostruzione della topografia del manto in HDPE e della sua integrità fisica, la precedente ditta “Resources management Company di Pisa” ha installato un sistema di monitoraggio elettrico basato sull'utilizzo del metodo geoelettrico cioè un procedimento geofisico, non invasivo e indiretto. La tecnica utilizzata è quella della tomografia della resistività elettrica “ERT: Electrical Resistivity Tomography”.

Il metodo di verifica si basa sull'elevato contrasto di resistività elettrica della geomembrana in HDPE ( $10^{13} \div 10^{16}$  Ohm.m) rispetto ai rifiuti saturi di percolato ( $1 \div 5$  Ohm.m) e al terreno di posa (resistività variabile, generalmente superiore a 8/10 Ohm.m). In condizioni di integrità fisica della geomembrana, la massa dei rifiuti risulta elettricamente isolata dall'ambiente circostante la discarica mentre, in presenza di una lacerazione, l'andamento della resistività elettrica si modifica in corrispondenza della zona di rottura della geomembrana.

Il valore di resistività apparente che si ottiene mediante l'eq. 1;

$$\rho_a = K * \frac{V}{I} \quad (1)$$

dove,

- $\rho_a$  : resistività apparente (Ohm.m)
- k : fattore geometrico che dipende dal tipo di dispositivo elettrodico utilizzato per l'acquisizione dei dati della resistenza unitaria
- V : d.d.p. (in mV)
- I : intensità di corrente che circola nel sottosuolo (in mA)

Secondo la legge di Archie (1942), equazione 2, in prima approssimazione la resistività del terreno è funzione dei seguenti parametri:

$$\rho_f = a S^{-n} \varphi^{-m} \rho_w \quad (2)$$

dove,

- $\rho_f$  : resistività di formazione (terreno)
- $\rho_w$  : resistività del fluido
- a : costante di litologia
- m : tortuosità dei pori
- S : saturazione
- n : coefficiente di saturazione ( $\approx 2$ )
- $\varphi$  : porosità efficace

Essendo il percolato fortemente conduttivo, per la legge di Archie, una sua eventuale infiltrazione nel terreno genererà una netta diminuzione, localizzata, nella resistività elettrica della zona e per questo motivo, con la misura della resistività elettrica del livello di



rifiuto e dello strato di posa del telone è possibile mettere in evidenza le zone umide, ovvero, nei casi di fuoriuscita del percolato dalle lesioni nel telone in HDPE, le “plume di contaminazione”.

La tomografia della resistività elettrica in 2D è stata quindi impiegata per:

- 1) la verifica delle condizioni elettriche dello strato di posa sotto la discarica “CRISPA”,
- 2) avere informazioni sulla integrità fisica del telone in HDPE del lotto IV stralcio 1.

E' inoltre possibile ottenere la risposta geoelettrica di un corpo di discarica nel caso il telone in HDPE sia lacerato o integro utilizzando dei modelli sintetici che permettono di calcolare la risposta teorica di situazioni differenti di corpi di discarica.

In Fig. 1 si riporta, come esempio, la sezione di resistività elettrica nel caso di un manto in HDPE integro (a) e con presenza di una lacerazione (b).

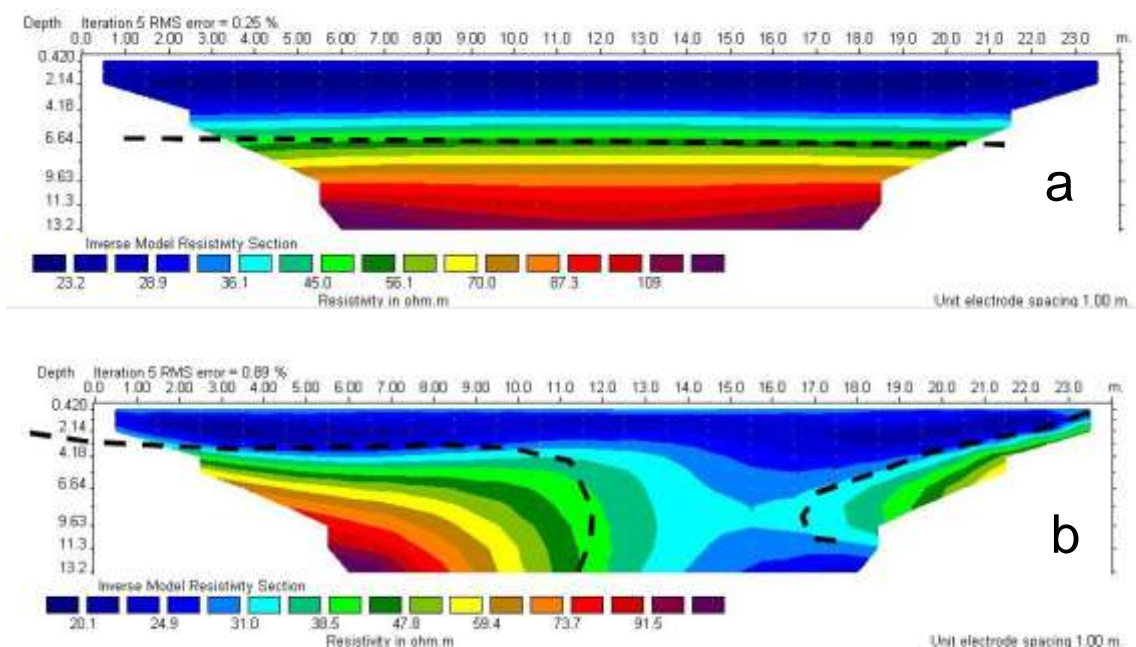


Figura 1: sezione 2D di un modello sintetico di resistività ottenuto per discarica il cui telo in HDPE è integro (a) e con lacerazione (b)

La dislocazione e il numero degli elettrodi, di misura e di corrente, avvengono lungo linee con lunghezza appropriata alla profondità di indagine e quindi allo spessore dei rifiuti (Fig. 2).

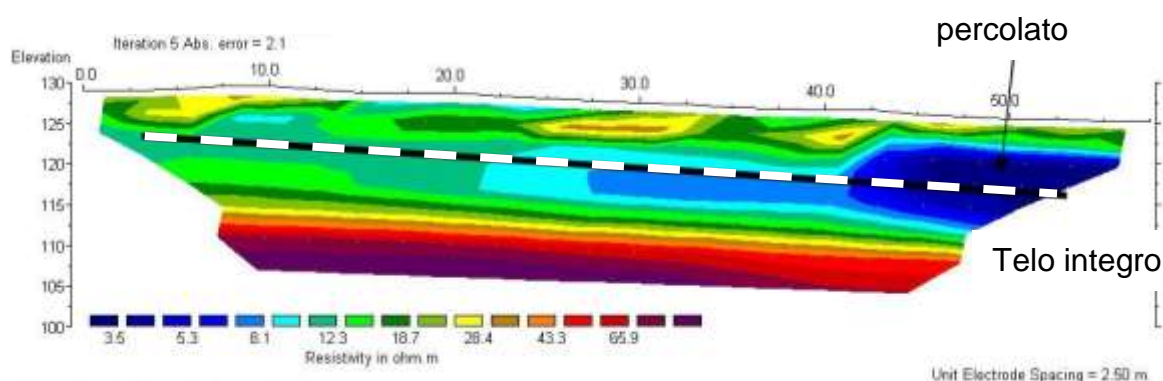


Figura 2: sezione con correzione topografica (quote in m s.l.m.) per la verifica geoelettrica dell'integrità del sistema di impermeabilizzazione (manto in HDPE). Linea tratteggiata: telo risulta integro.

La verifica della tenuta idraulica del manto in HDPE può essere realizzata anche mediante la ricostruzione dell'immagine di resistività elettrica dello strato di bassa resistività riconducibile al percolato presente nel corpo di discarica.

Un esempio di confinamento idraulico del percolato in un corpo di discarica è riportato in Fig. 3.

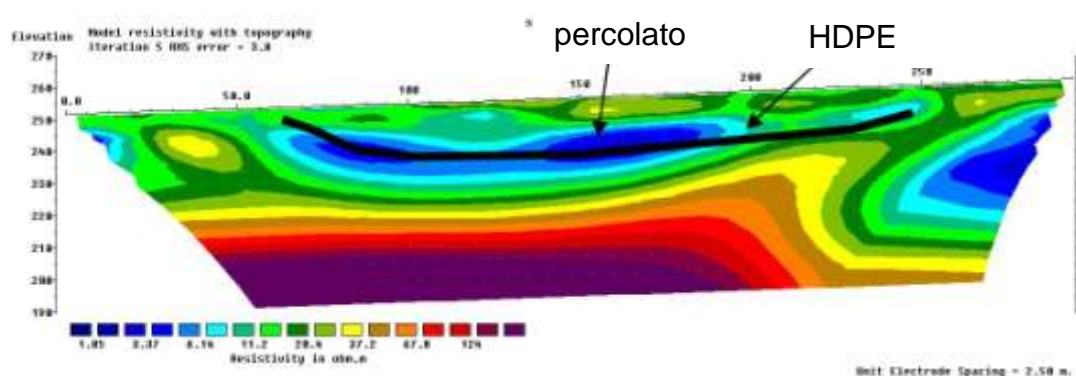


Figura 3: sezione 2D di resistività elettrica eseguita su un corpo di discarica per la verifica della tenuta idraulica laterale del manto in HDPE. Il modello evidenzia l'integrità del telo e conferma la presenza di adeguato ancoraggio del manto in HDPE.

La scelta del dispositivo elettrodico "Wenner Schlumberger" (distanza tra gli elettrodi di energizzazione e di misure di d.d.p.) è stata effettuata in base alle condizioni logistiche di superficie, al raggiungimento di una profondità di esplorazione superiore a quella dello spessore del materiale di rifiuto con un buon compromesso tra risoluzione laterale e verticale.

Le quote riportate nelle sezioni geoelettriche sono da considerarsi relative e sono riferite al piano di campagna esterno ai corpi di discarica (in questo rapporto, convenzionalmente viene considerato pari a 0 m).



## ERT DEL CORPO DI DISCARICA LOTTO IV – 1° STRALCIO

Sezioni 1 - 4: Le quattro linee geoelettriche, ciascuna con lunghezza pari a 230 metri e direzione W - E, sono state realizzate per ricostruire l'immagine elettrica di medio dettaglio del corpo di discarica Lotto IV – 1° Stralcio (Fig. 4).

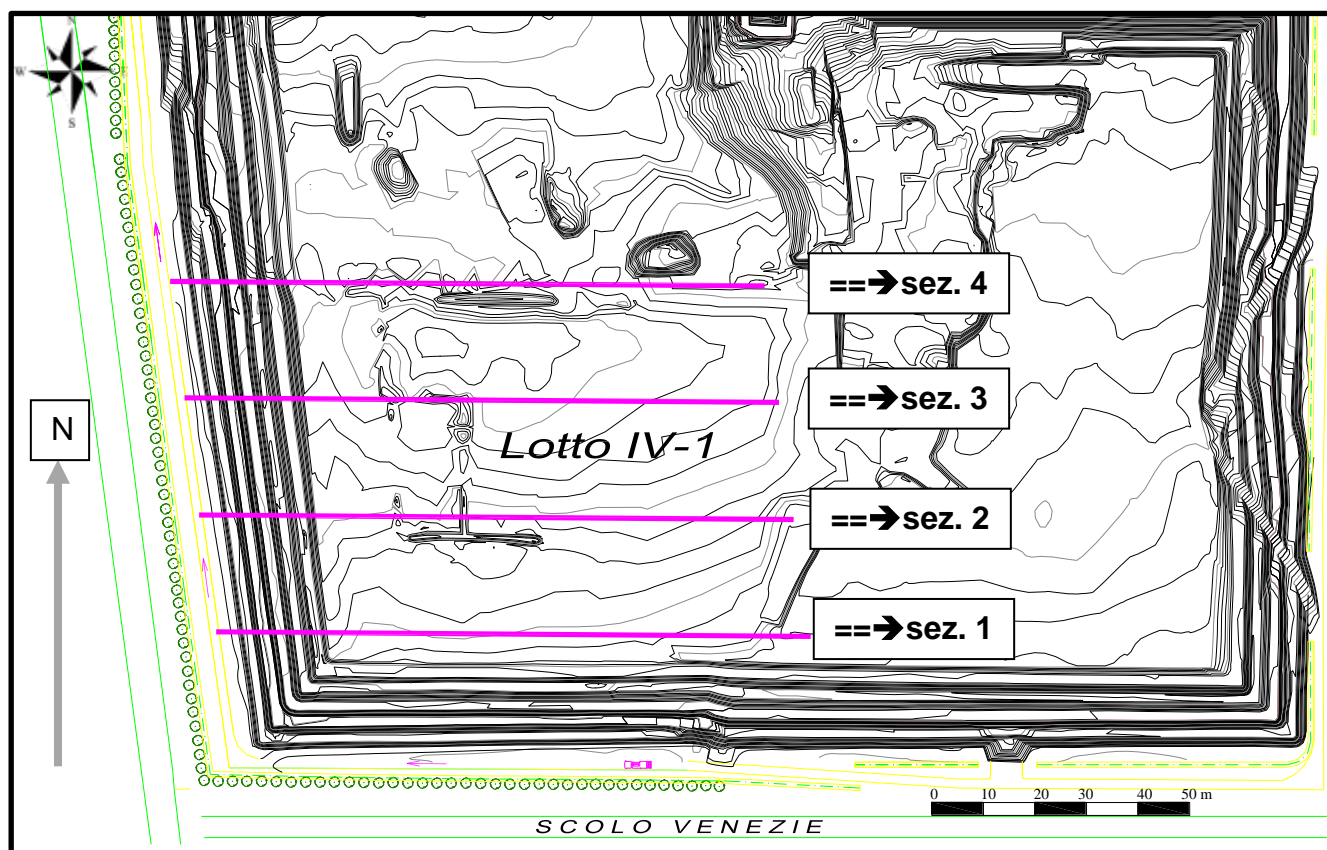


Figura 4: ubicazione profili ERT – corpo di discarica Lotto IV-1° stralcio

A causa di malfunzionamento delle linee 2 e 3 si è proceduto alla modifica del piano di acquisizione dei dati allo scopo di garantire la possibilità di effettuare il monitoraggio geoelettrico del corpo di discarica e del sottostante manto d'argilla. A tal fine, i dati sono stati acquisiti utilizzando oltre al dispositivo Wenner-Schlumberger quello del dipolo-dipolo equatoriale sfruttando i due profili esterni (sezioni 1 e 4) per trasmettere corrente nel corpo della discarica e per misurare la d.d.p. nella zona centrale tra i profili 1 e 4. Tale procedura ha permesso di ottenere i dati mancanti dei due profili centrali (2 e 3). I valori di resistività apparente, così ottenuti, sono stati invertiti congiuntamente utilizzando il software Res2dInv (Geotomo, 2015). I modelli di resistività in 2D e 3D ottenuti, sono riportati nelle **Figure 5 e 6**, rispettivamente.

L'interpretazione dei risultati può essere sintetizzata in tre orizzonti come segue:

- Elettrostrato 1: caratterizzato da valori, generalmente, resistivi ( $\rho > 15 \text{ Ohm.m}$ ) con spessore medio di 6/7 m. Questi valori di resistività sono compatibili con rifiuti solidi drenati cioè con bassa concentrazione di percolato. Lateralmente lo stesso

elettrostrato è alternato con volumi caratterizzati da bassi valori di resistività ( $1 < \rho < 5$  Ohm.m) attribuibili alla presenza di rifiuto con percolato,

- Elettrostrato 2: caratterizzato da valori nettamente superiori a quelli del percolato, che mostrano una continuità laterale sotto il manto in HDPE indicando la sua sostanziale integrità.

I valori di resistività dei modelli di resistività ottenuti sono riconducibili a un corpo di rifiuti con presenza di percolato delimitato inferiormente da un manto in HDPE sostanzialmente integro.

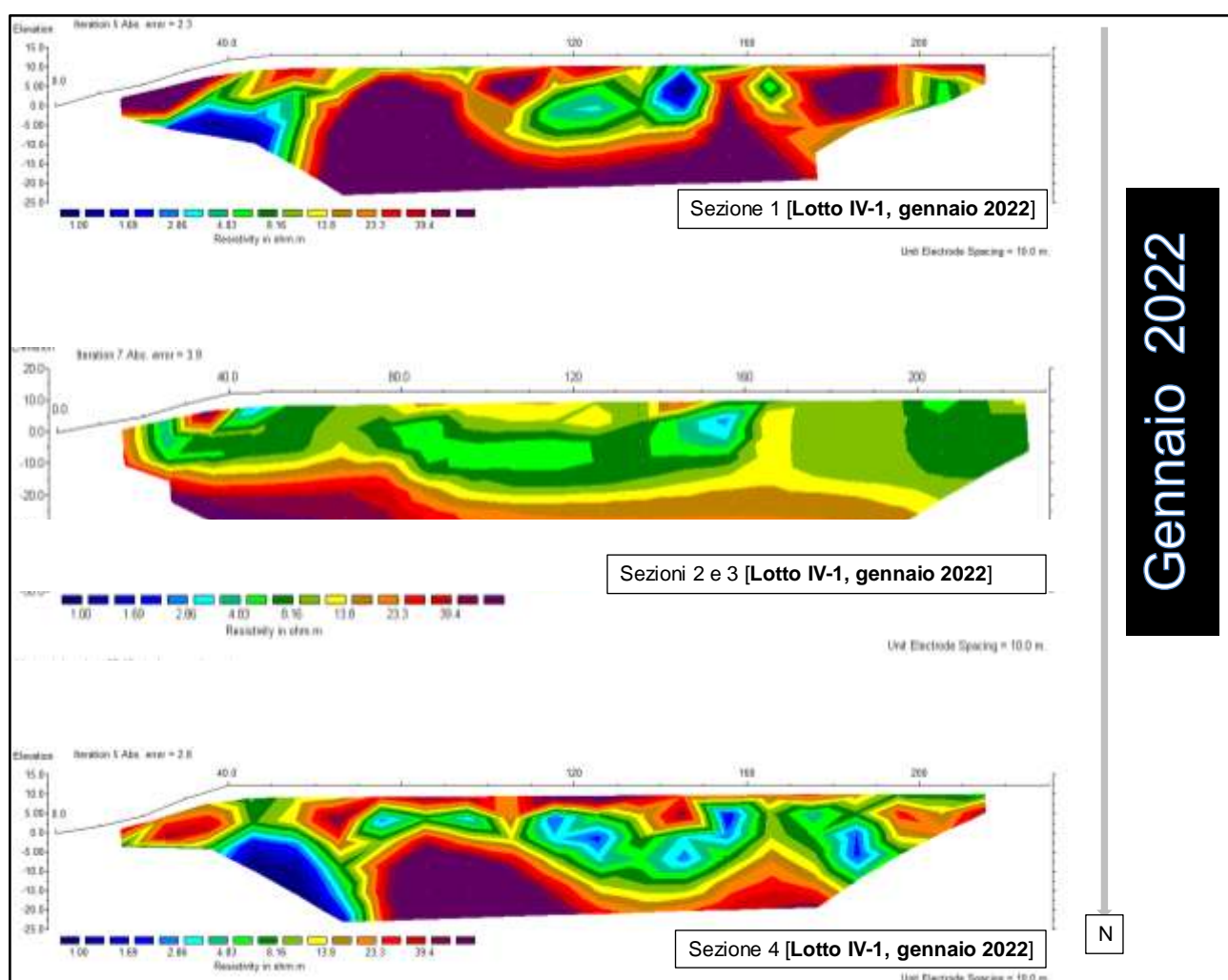


Figura 5 : modelli 2D di resistività delle quattro sezioni effettuate sul corpo del Lotto IV-stralcio-1 della discarica “CRISPA”, [gennaio 2022].

Al fine di ottenere un'immagine della variazione della resistività elettrica sia del corpo dei rifiuti sia del terreno sottostante è stato necessario invertire i dati di resistività apparente in 3D. Il processo di inversione è stato effettuato con il codice Res3Dinv (Geotomo, 2015). I risultati, rappresentati come sezioni bi-dimensionali estratti dal modello 3D, sono illustrati in **Figura 6**. In base ai valori di resistività e alla loro distribuzione geometrica, la stessa figura mostra la sostanziale integrità del telo di impermeabilizzazione sia lateralmente sia sotto il corpo dei rifiuti.

Tuttavia, le sezioni di **figura 6**, evidenziano la presenza di anomalie di resistività caratterizzata da bassi valori di resistività (4-10 Ohm.m) che si estendono fino alla superficie del corpo di discarica; ciò è dovuto, molto probabilmente, a infiltrazione di acqua piovana.

Sempre le sezioni di **Figura 6**, indicano che i corpi conduttivi si chiudono in profondità confermando, quindi, l'assenza di flussi di fluidi conduttivi tipo percolato, verso il basso.

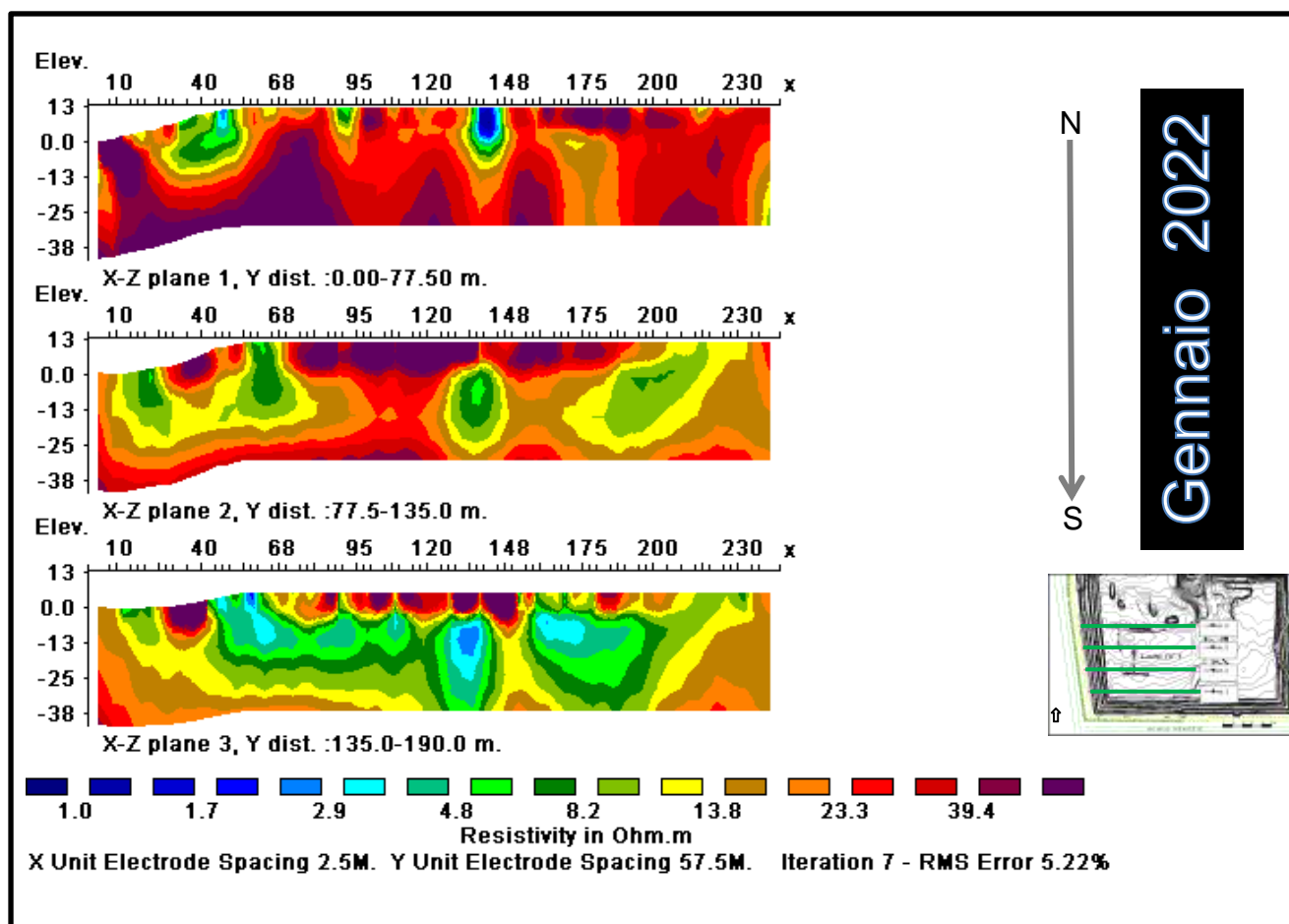


Figura 6: sezioni 2D di resistività elettrica ottenute dall'inversione 3D di tutti i dati di resistività apparente dei quattro profili ERT effettuati sul corpo del Lotto IV-stralcio-1 della discarica "CRISPA" [gennaio 2022].

## CONCLUSIONI

### Integrità del manto in HDPE lotto IV – Stralcio 1:

Il trattamento dei dati geoelettrici ha permesso di analizzare la continuità laterale dello strato resistivo soggiacente i rifiuti e riconducibile, sulla base del modello geofisico ipotizzato, al manto in HDPE.





Al di sotto dello strato dei rifiuti, le tomografie delle resistività elettriche (Sez. 1 - 2/3 - 4, **Fig. 5 e 6**) evidenziano uno strato resistivo omogeneo e senza soluzione di continuità laterale.

Pertanto, nei limiti della tecnica ERT, al numero delle sezioni geoelettriche realizzate e alla relativa ubicazione geografica, l'indagine geofisica eseguita presso il LOTTO IV Stralcio 1 della discarica CRISPA in data 18 gennaio 2021 ha fornito risultati compatibili con la presenza, al di sotto dello strato dei rifiuti, di una geomembrana di impermeabilizzazione in HDPE, sostanzialmente integra.

Si riportano, nell'Allegato A, i risultati del monitoraggio geoelettrico effettuato a luglio 2021, da cui si evince la sostanziale concordanza.

*Infine, si segnala la presenza di bassi valori di resistività (progressive ~ 135m – sezione n. 3) limitatamente al bordo settentrionale del corpo del Lotto IV-1 stralcio 1 (Fig.re 5 e 6). Questi valori possono indicare presenza di rifiuti/sedimenti parzialmente saturi di percolato. La situazione risulta, comunque, sostanzialmente invariata rispetto a quanto osservato, nel precedente monitoraggio.*

Ferrara, 18 gennaio 2022

## ALLEGATO A

Sezioni di resistività ottenute dal modello 3D della precedente campagna di monitoraggio (luglio 2021).

### ERT – Monitoraggio geoelettrico Lotto IV-1 luglio 2021

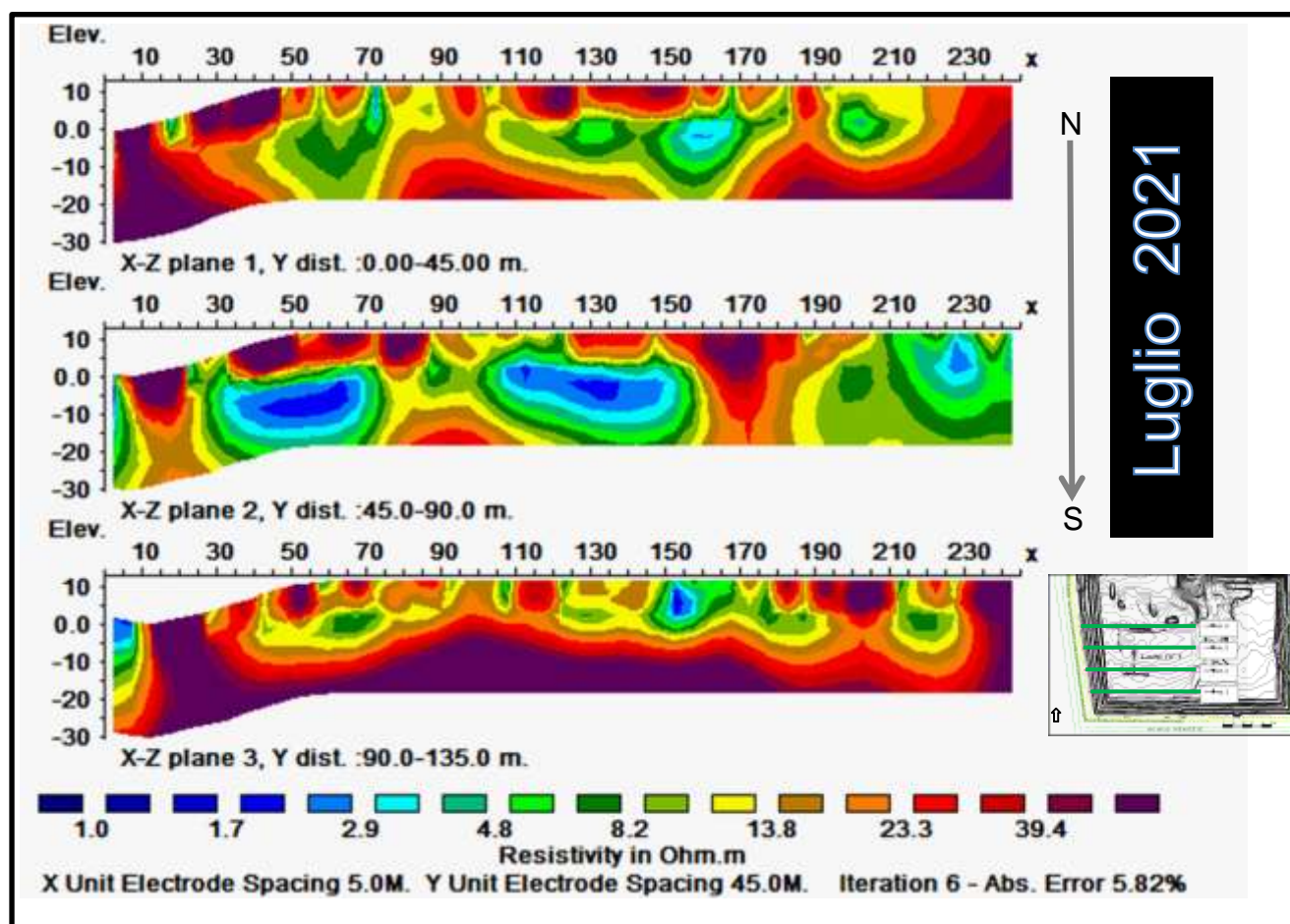


Figura 6: sezioni 2D di resistività elettrica ottenute dall'inversione 3D di tutti i dati di resistività apparente dei quattro profili ERT effettuati sul corpo del Lotto IV-stralcio-1 della discarica "CRISPA" [Relazione IV-1, luglio 2021].