

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

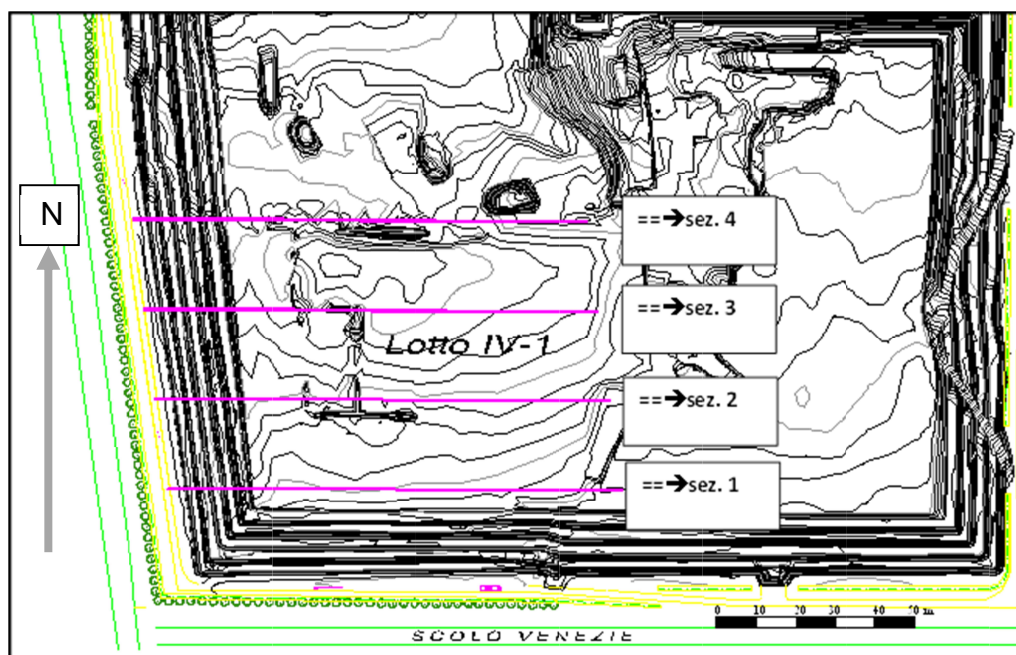
AREA IMPIANTI S.p.A.

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. 19\_2



Luglio 2019

Università degli studi di Ferrara  
Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra

Prof. Nasser Abu Zeid

Libero Professionista  
Dott. Geol. Marco Condotta

## Indice

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 .....	9
Integrità del manto in HDPE lotto IV – Stralcio 1: .....	9
Allegato A.....	10

Risultati pregressi del monitoraggio geoelettrico [gennaio 2019]

## 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 è dato dal rapporto tra il voltaggio(V) e l'intensità (I) misurata:

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

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

$\varphi$  : 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 presso le vasche 3 e 4 del lotto IV stralcio 1.

E' possibile inoltre analizzare, mediante opportuno modello geofisico la risposta geoelettrica di un corpo di discarica nel caso il telone in HDPE sia lacerato o integro.

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).

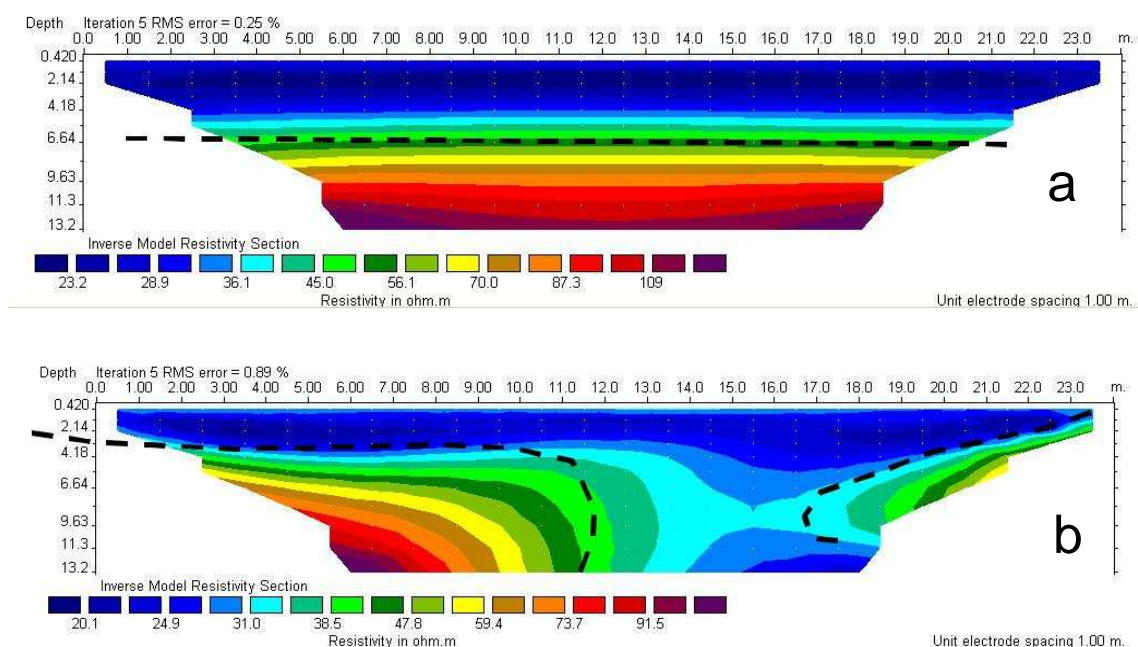


Figura 1: sezione 2D di un modello di discarica con telo in HDPE integro (a) e con lacerazione (b)

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).



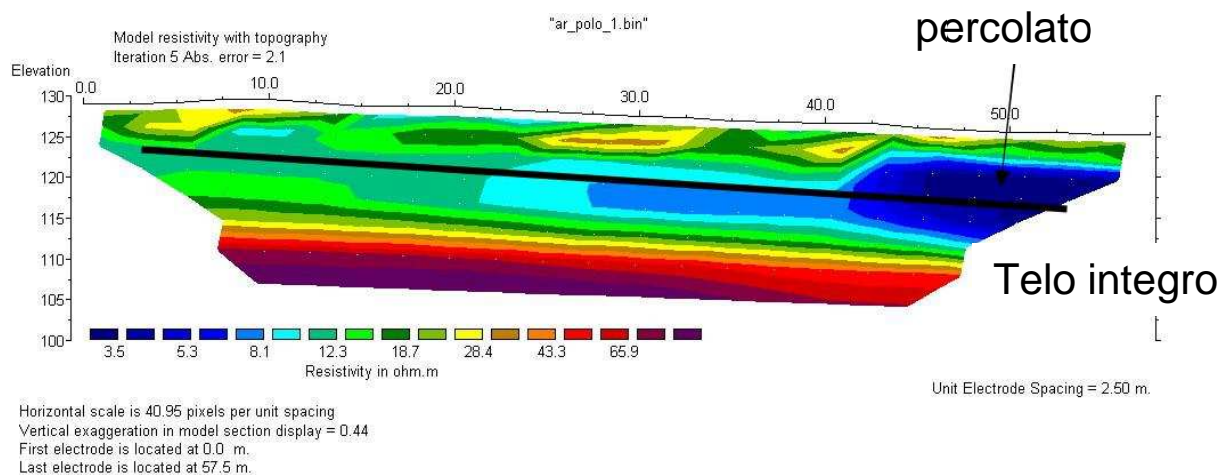


Figura 2: sezione con correzione topografica (quote in m s.l.m.) per la verifica geoelettrica dell'integrità del manto in HDPE in un caso reale dove il telo risulta integro.

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.

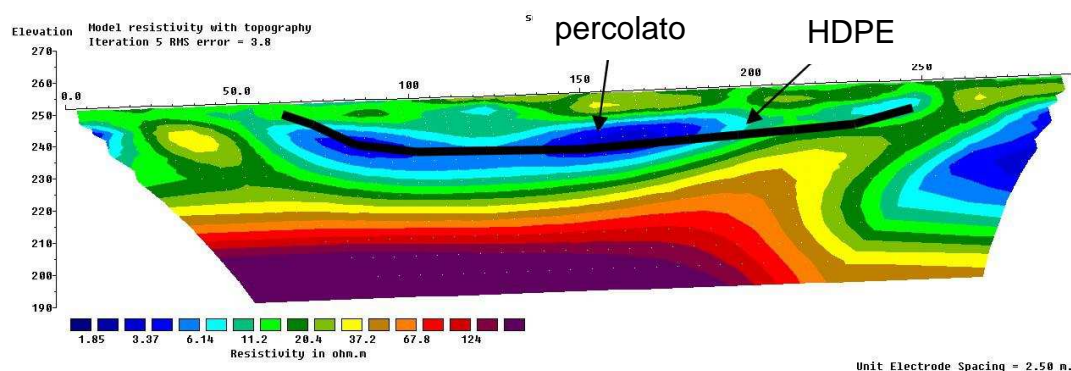


Figura 3: sezione 2D di resistività elettrica eseguita su un corpo di discarica per la verifica della tenuta idraulica laterale del manto in HDPE. Il modello evidenzia l'integrità del telo e conferma la presenza di adeguato ancoraggio del manto in HDPE.

La scelta del dispositivo elettrodoico "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).

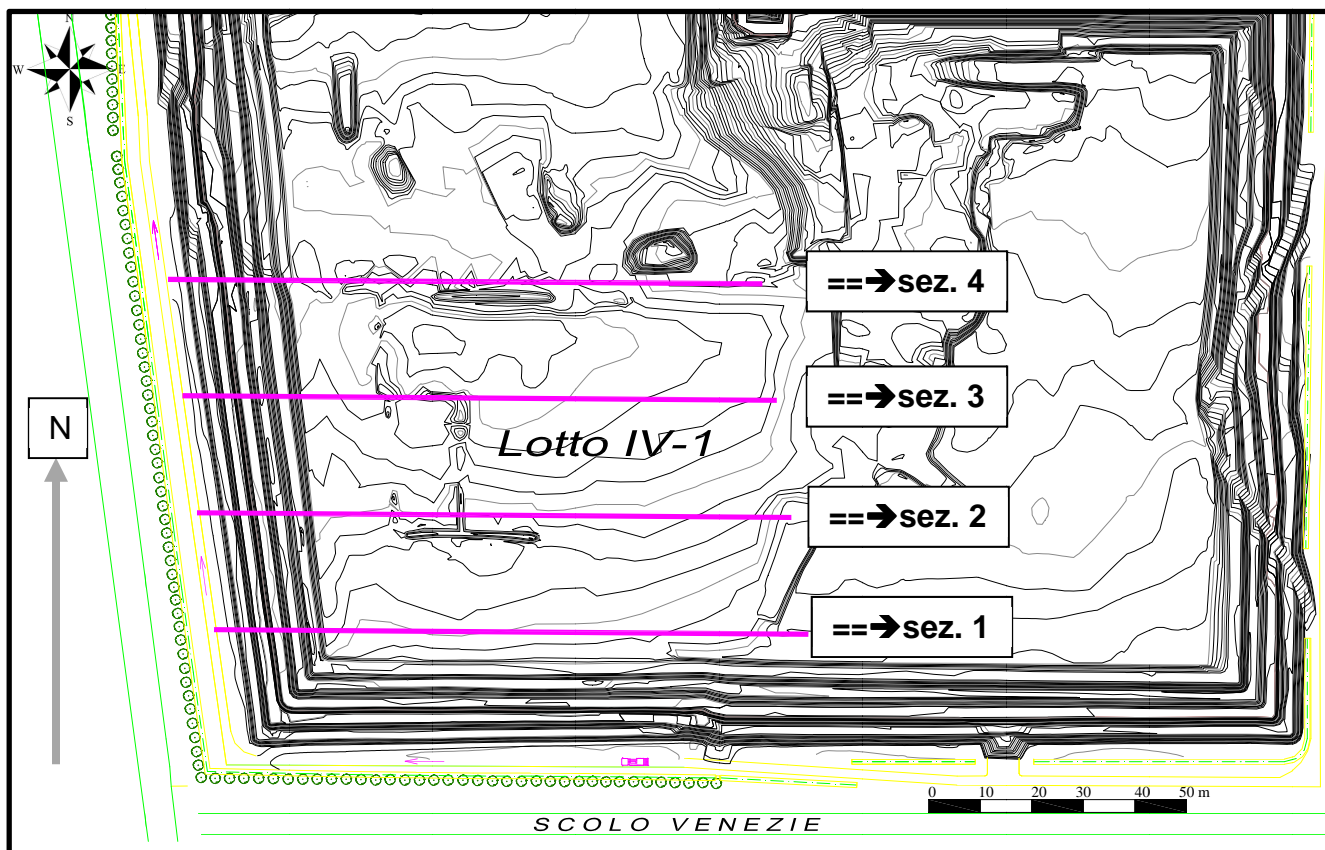


Figura 4: ubicazione profili ERT – corpo di discarica Lotto IV-1° stralcio

I dati di resistività apparente dei profili ERT sono stati invertiti con il software Res2dInv (Geotomo, 2015). Le immagini dei modelli di resistività in 2D ottenute, sono riportate in Figura 5.

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 l'elettrostrato 1 è alternato con volumi caratterizzati da bassi valori di resistività ( $1 < \rho < 5 \text{ Ohm.m}$ ) 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.

La tomografia elettrica del Lotto IV 1° Stralcio è quindi riconducibile a un corpo di rifiuti con presenza di percolato delimitato inferiormente da un manto in HDPE sostanzialmente integro.

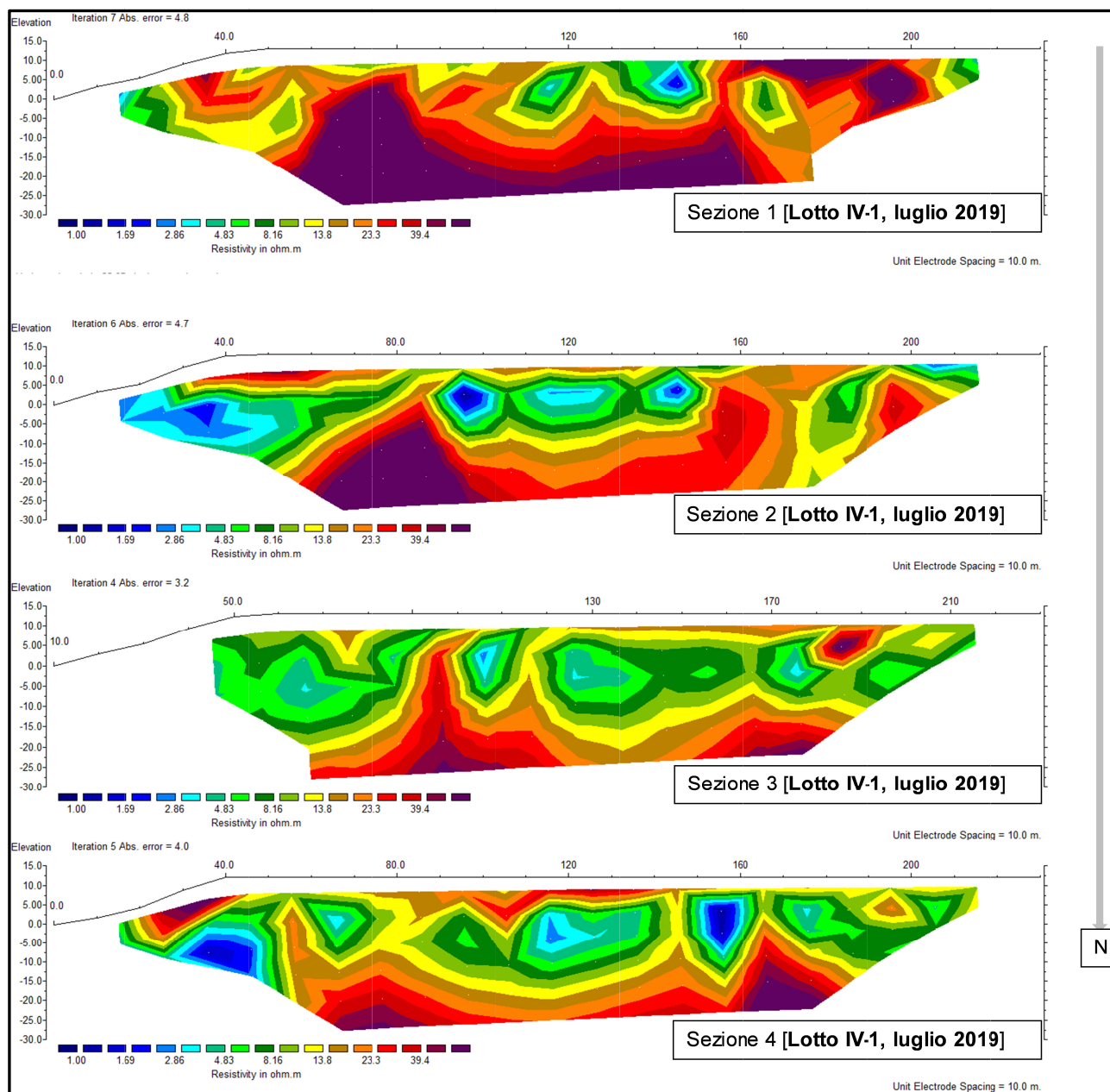


Figura 5 : modelli 2D di resistività delle quattro sezioni effettuate sul corpo del Lotto IV-stralcio-1 della discarica “CRISPA”, [luglio 2019].

Al fine di ottenere un'immagine della variazione della resistività elettrica sia del corpo di rifiuto 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 ed alla loro distribuzione geometrica, la stessa figura mostra la sostanziale integrità del telo di impermeabilizzazione sia lateralmente sia sotto il corpo dei rifiuti. Sono inoltre presenti, indizi di infiltrazione di acqua piovana.

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 dovuto, come già anticipato, ad infiltrazione di acqua piovana.

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

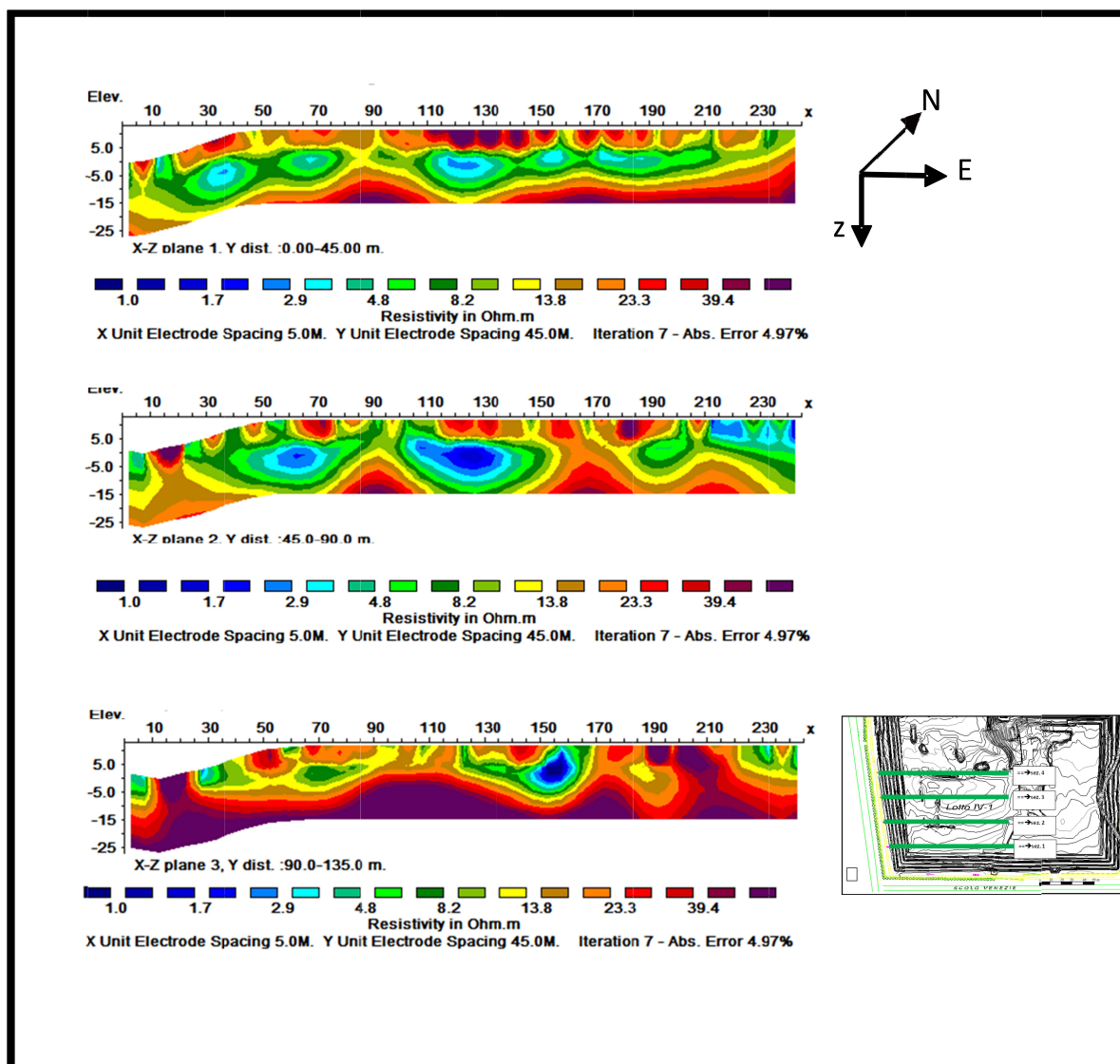


Figura 6: sezioni 2D di resistività elettrica ottenute dall'inversione 3D di tutti i dati di resistività apparente dei quattro profili ERT effettuati sul corpo del Lotto IV-stralcio-1 della discarica "CRISPA" [luglio 2019].



## 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 – 4, **Figg. 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 ed alla relativa ubicazione geografica, l'indagine geofisica eseguita presso il LOTTO IV Stralcio 1 della discarica Crispa, in data 16 luglio 2019, 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 gennaio 2019, da cui si evince la sostanziale concordanza con i risultati della presente verifica (luglio 2019).

*Infine, si segnala la presenza di bassi valori di resistività (progressive > 215m - tra le sezioni 3 e 4) limitatamente al bordo orientale del corpo del Lotto IV-1 stralcio 1 (Figg. 5 e 6). Questi valori possono indicare presenza di rifiuti/sedimenti parzialmente saturi di percolato. La situazione risulta, comunque, sostanzialmente invariata rispetto ai risultati dei monitoraggi precedenti di gennaio 2019 e luglio 2018.*

Ferrara, 16 luglio 2019

## ALLEGATO A

### Risultati pregressi del monitoraggio geoelettrico

In questo allegato, si riportano le sezioni di resistività elettrica, ottenute dal monitoraggio geoelettrico effettuato a gennaio 2019. Come si evince, l'esito del monitoraggio conferma la sostanziale integrità del telo di confinamento in HDPE.

#### ERT – Monitoraggio geoelettrico Lotto IV-1 gennaio-2019

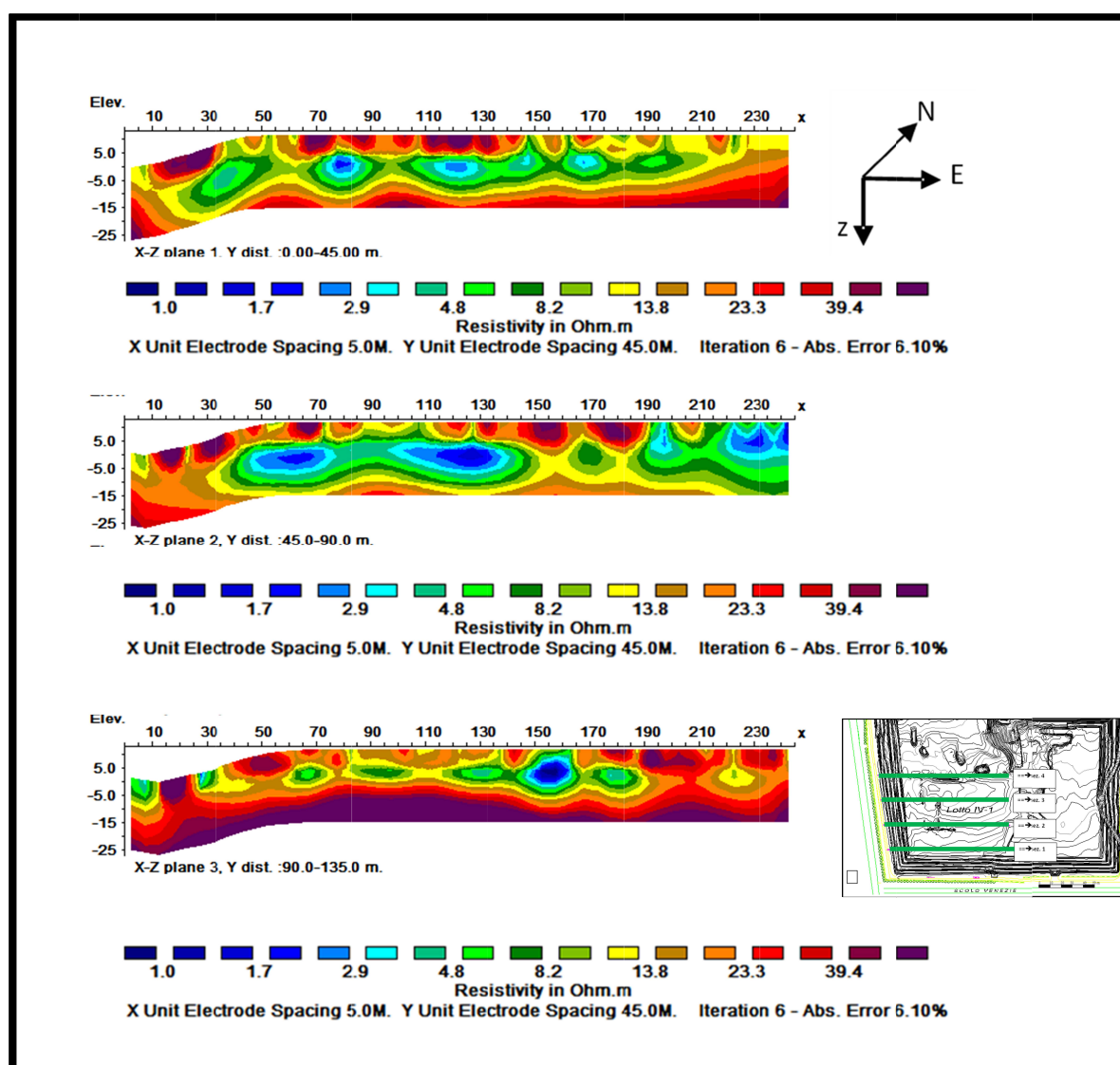


Figura 6: sezioni 2D di resistività elettrica ottenute dall'inversione 3D di tutti i dati di resistività apparente dei quattro profili ERT effettuati sul corpo del Lotto IV-stralcio-1 della discarica "CRISPA" [Relazione IV-1, gennaio 2019].