



**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)

**MONITORAGGIO GEOELETTRICO**  
**DEI MANTI IN HDPE E TOMOGRAFIA DELLA RESISTIVITÀ ELETTRICA**  
**PER LA CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA**

**LOTTO IV-stralcio 2**

(Vasche: 1, 2, 3 e 4)

**MONITORAGGIO N. 1\_21**

Gennaio 2021

Università degli studi di Ferrara  
Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra  
Prof. Nasser Abu Zeid

Libero Professionista  
Dott. Geol. Marco Condotta

## sommario

1. Premessa.....	3
2. RISULTATI.....	6
2.1. TELO INFERIORE (Lotto IV-stralcio 2 Vasche: 1,2,3,4) .....	7
2.2. DOPPIO TELO (Lotto IV-stralcio 2 Vasche:1,2,3,4).....	8
2.3. Tomografia Elettrica in 3D (Lotto IV-stralcio 2 Vasche 1-4) .....	9
3. CONCLUSIONI.....	11

## 1. PREMESSA

In data 18 **gennaio 2021** è stato eseguito il Monitoraggio n. **1/21** mediante metodo GMS (Geoelectrical Monitoring System). Il sistema di monitoraggio è composto da elettrodi installati nello strato di sabbia sotto il telo superiore e nel manto di argilla sotto il telo inferiore. I sistemi di monitoraggio sono stati installati dalla precedente ditta "Resources management Company di Pisa". Il sistema di monitoraggio elettrico sfrutta la capacità del sistema di individuare variazioni di densità di corrente a causa di una eventuale rottura dei sistemi di impermeabilizzazione. Il metodo geoelettrico è completamente indiretto e non invasivo.

La posizione del lotto IV stralcio-2, suddiviso in quattro vasche, è riportata in **Figura 1** mentre la distribuzione degli elettrodi (negli strati di argilla e sabbia) del sistema di monitoraggio GMS è riportata in **Figura 2**. La configurazione del sistema GMS installato ha permesso di effettuare le seguenti verifiche:

- tenuta elettrica dei manti in HDPE (ubicazione delle zone di lacerazione);
- tomografia elettrica del terreno sottostante la discarica (ubicazione delle plume di contaminazione).

Il monitoraggio prevede una prima fase di acquisizione in campo dei dati geoelettrici ed una seconda fase di post-elaborazione mediante appositi software dedicati.

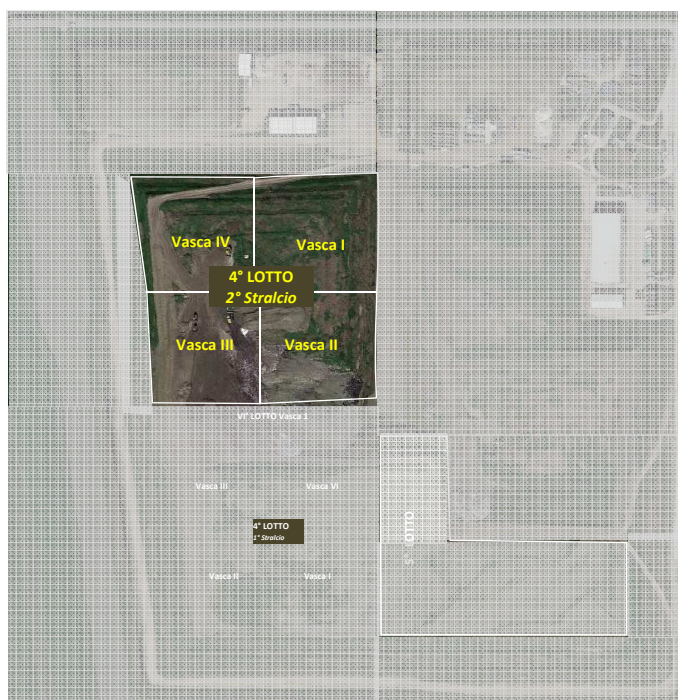


Figura 1. Ubicazione del lotto IV stralcio-2 e delle quattro vasche (1, 2, 3, 4) del polo di discarica "CRISPA".

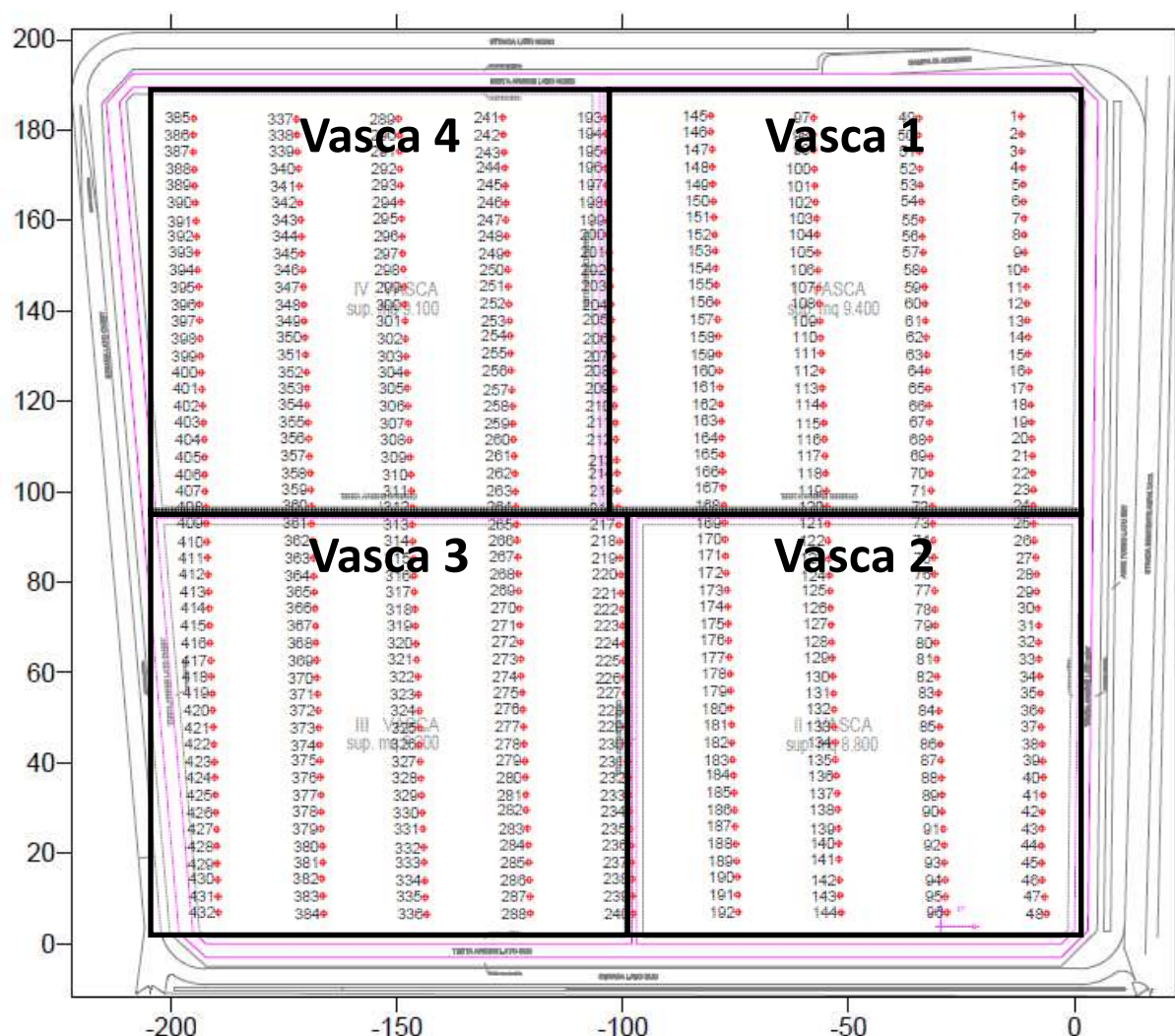


Figura 2. posizione degli elettrodi nel manto di argilla sotto il telo inferiore (Lotto IV-2).

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 (0,5-1,5)  
m : tortuosità dei pori (1,5-3,0)  
n : costante (~2)  
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 3D è stata quindi impiegata per la verifica delle condizioni elettriche dello strato di posa sotto il Lotto IV-2 della discarica "CRISPA". A tale fine è stato utilizzato il dispositivo elettrodico "Wenner -Schlumberger".

## 2. RISULTATI

Il monitoraggio geoelettrico, eseguito in data **18 gennaio 2021**, per la tenuta idraulica del sistema di impermeabilizzazione del **Lotto IV-2** della discarica per R.S.U. di Jolanda di Savoia (FE) è consistito nella verifica dell'integrità dei teli HDPE inferiore e superiore delle quattro vasche (Fig. 1) e nella misura della resistività elettrica dello strato di argilla sottostante il telo inferiore. La verifica della tenuta della linea di impermeabilizzazione, costituita dai due teli in HDPE, è stata realizzata secondo il seguente procedimento:

- test elettrico mediante l'energizzazione di un elettrodo tra quelli presenti nel livello sabbioso sovrastante il telo e la misura del potenziale elettrico negli elettrodi posti nello strato di argilla;
- test elettrico dei due teli in HDPE mediante l'energizzazione di un elettrodo posto sui rifiuti e la misura del potenziale elettrico negli elettrodi posti nello strato di argilla;
- test elettrico per la stima della resistività elettrica dello strato argilloso, sottostante il telo inferiore, utilizzando le linee di elettrodi presenti nel livello argilloso.

Il georesistivimetro utilizzato per le misure della resistenza unitaria è del tipo multi elettrodo modello ABEM SAS 1000 (Svezia). I valori ottenuti evidenziano principalmente le condizioni di umidità dell'argilla e quindi possono essere utilizzati, nei limiti della tecnica geoelettrica impiegata, come livello di riferimento per l'individuazione di eventuali pennacchi di contaminazione. Questo tipo di misure rappresenta un controllo importante per la verifica dei risultati del monitoraggio elettrico dei teli superiore e inferiore. La stima dei valori di resistività reale è stata ottenuta mediante processo di inversione dei dati di resistività apparente utilizzando il codice Res3dinv (Geotomo, 2015).

Nel seguito si riportano i grafici riguardanti la distribuzione della differenza di potenziale misurata sperimentalmente tra gli elettrodi posti sotto le quattro vasche del **Lotto IV-2** del polo di discarica CRISPA.



## 2.1. TELO INFERIORE (Lotto IV-stralcio 2 Vasche: 1,2,3,4)

Nei limiti della tecnica GMS, l'andamento del potenziale elettrico ha evidenziato un decorso simile a quello riscontrato nel collaudo precedente (luglio 2020), per le quattro vasche. I risultati ottenuti sono riportati nella Fig. 3.

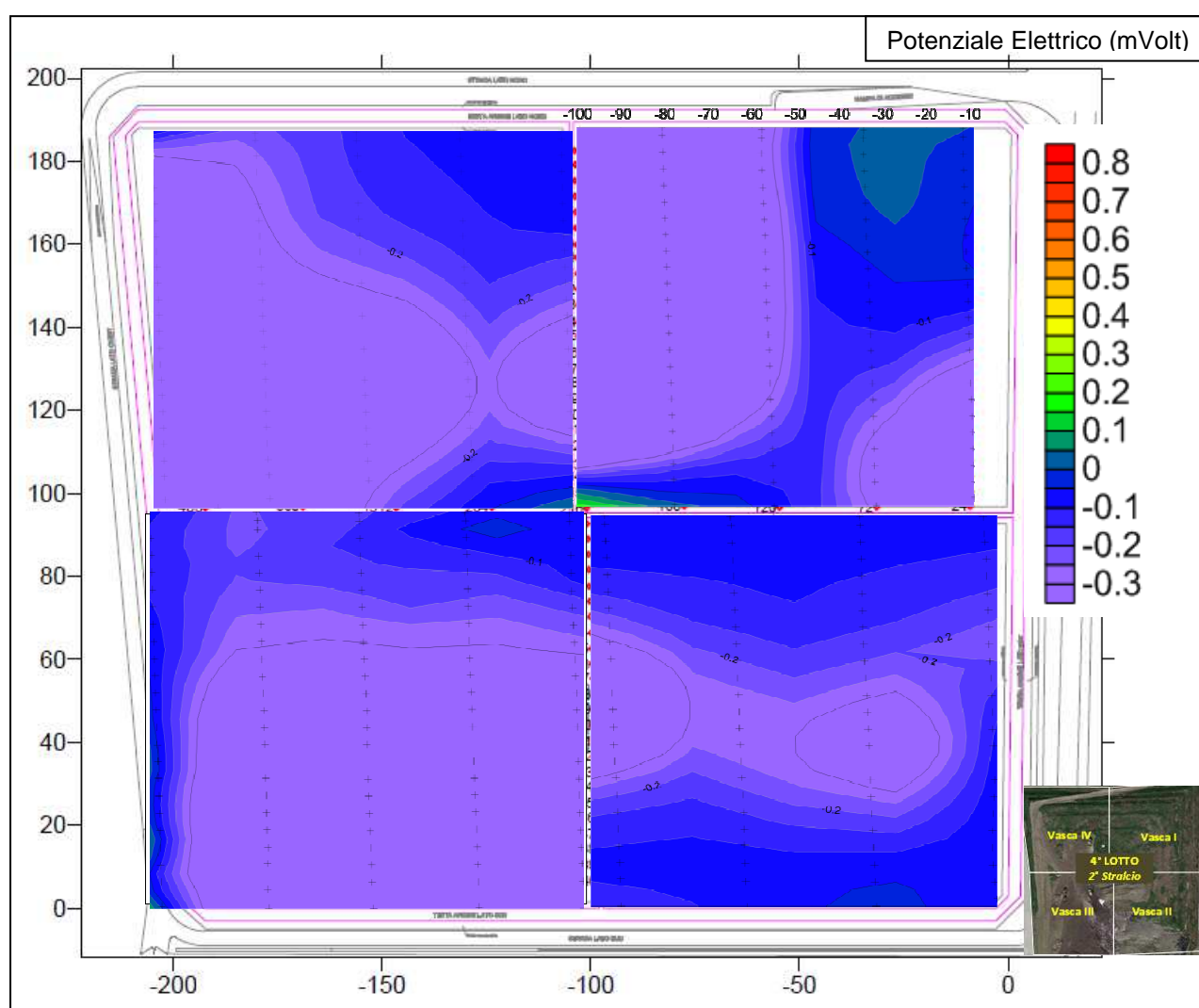


Figura 3: distribuzione della differenza di potenziale elettrico (mVolt) – Telo Inferiore Lotto IV-2, Vasche 1-2-3-4 [periodo gennaio 2021].

Il test elettrico per la verifica dell'integrità del telo inferiore delle quattro vasche (1-4) del Lotto IV-2 non evidenzia variazioni riconducibili a potenziali zone di lacerazione.

## 2.2. DOPPIO TELO (Lotto IV-stralcio 2 Vasche:1,2,3,4)

Nei limiti della tecnica GMS, il test elettrico per la verifica dell'integrità dei due teli sotto il Lotto IV-2, evidenziando la mappa della distribuzione della differenza di potenziale elettrico misurato tra tutte le coppie di elettrodi posti sotto il telo inferiore, non ha evidenziato anomalie elettriche riconducibili a potenziali zone di lacerazione. Tuttavia, si osserva una possibile fuga di corrente nel settore NE. I risultati ottenuti sono riportati nella Fig. 4.

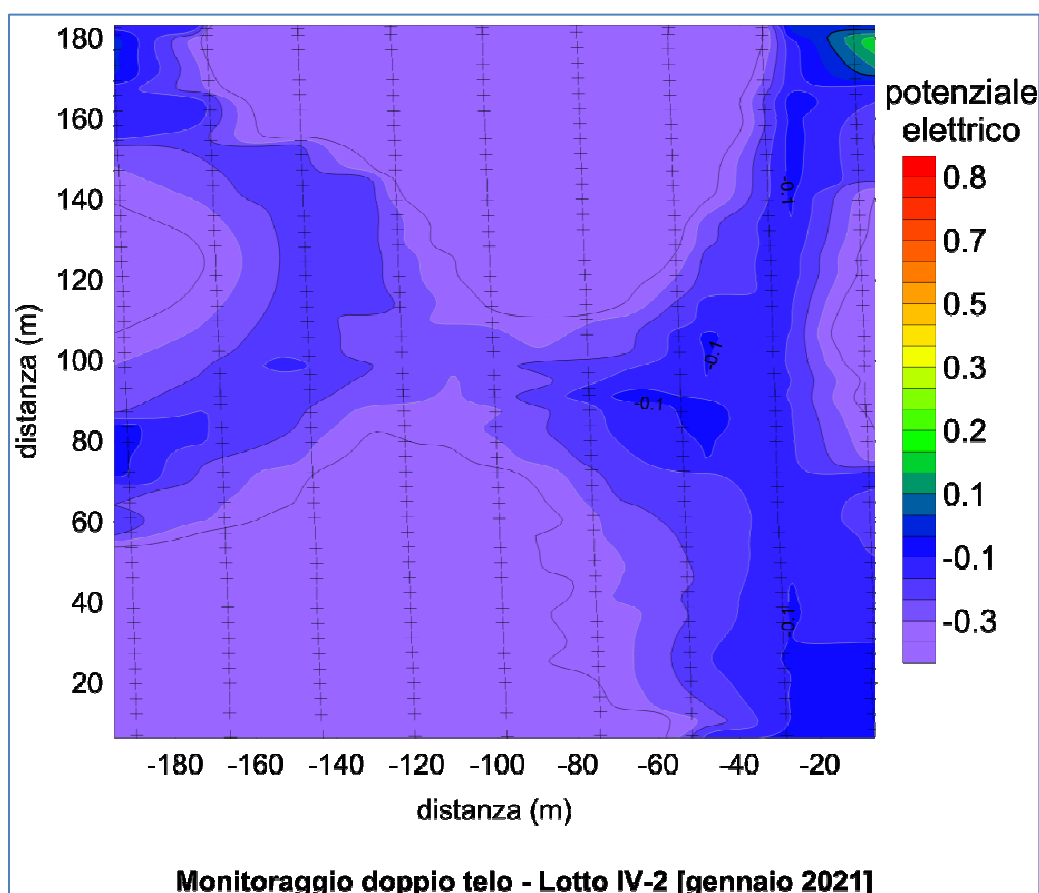


Figura 4: distribuzione della differenza del potenziale elettrico – doppio telo Lotto IV-2 vasche 1,2,3,4. Polo scarica “CRISPA”, [periodo gennaio 2021].



### 2.3. Tomografia Elettrica in 3D (Lotto IV-stralcio 2 Vasche 1-4)

La disposizione degli elettrodi nello strato di posa del telone impermeabilizzante ha permesso di acquisire i dati geoelettrici per realizzare la tomografia 2D e 3D dei primi metri di terreno al fine di verificare una eventuale infiltrazione di percolato che avrebbe modificato le condizioni esistenti prima dell'inizio della coltivazione della discarica.

I risultati delle condizioni di resistività nello strato di argilla, sotto le quattro vasche (1-4) sono riportati in Figura 5 (Sezione orizzontale - profondità 0 – 6,6 m).

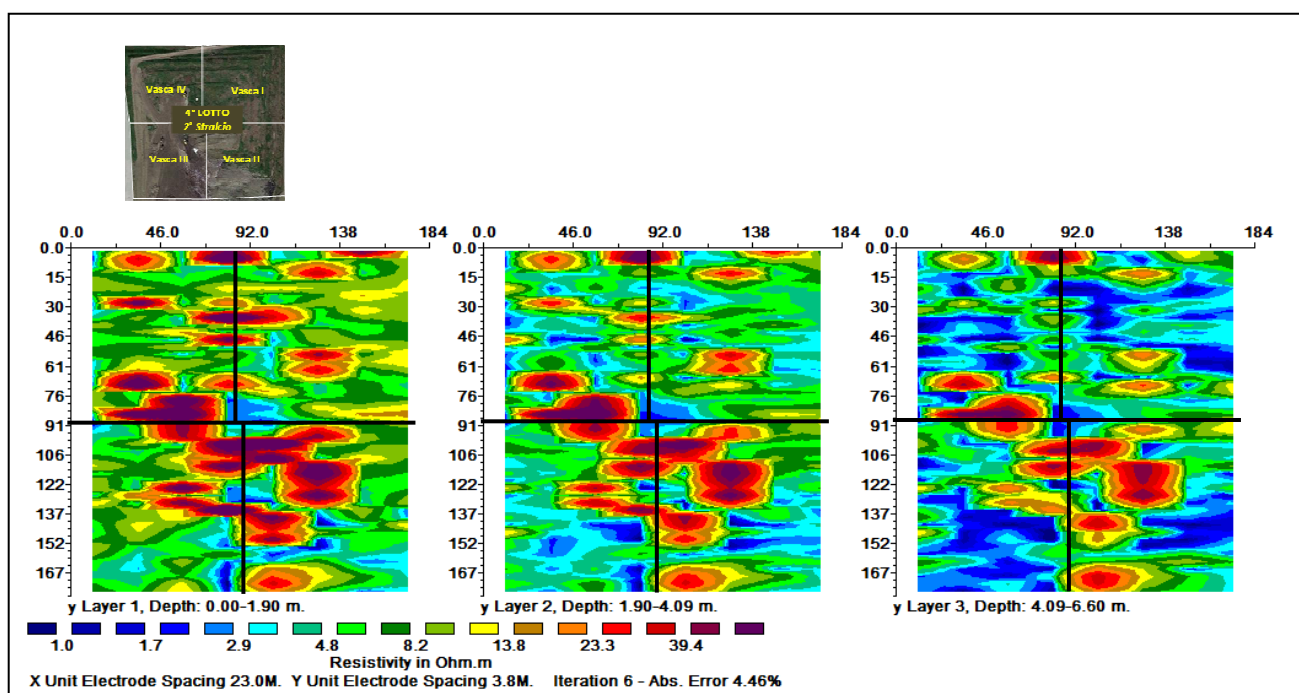


Figura 5. Sezioni orizzontali di resistività elettrica dei terreni sotto il telo inferiore delle quattro vasche alle profondità: 0-1,9m; 1,9-4,1m e 4,1-6,6m. [periodo gennaio 2021]

In Fig. 6 si riportano le sezioni verticali dell'area di indagine del Lotto IV-stralcio 2 per le quattro vasche. Le sezioni sono orientate verticalmente da Nord verso Sud e orizzontalmente da Ovest verso Est.

La scala cromatica dei valori di resistività è coerente con la scala utilizzata per la produzione di tutte le mappe di resistività elettrica degli altri lotti che purtroppo non corrisponde alla scala utilizzata per la produzione delle mappe di resistività dei monitoraggi pre-2017.

Le nuove mappe sono state prodotte con scale diverse al fine di semplificare il confronto dei risultati sia per la stessa campagna di monitoraggio sia per quelle future.

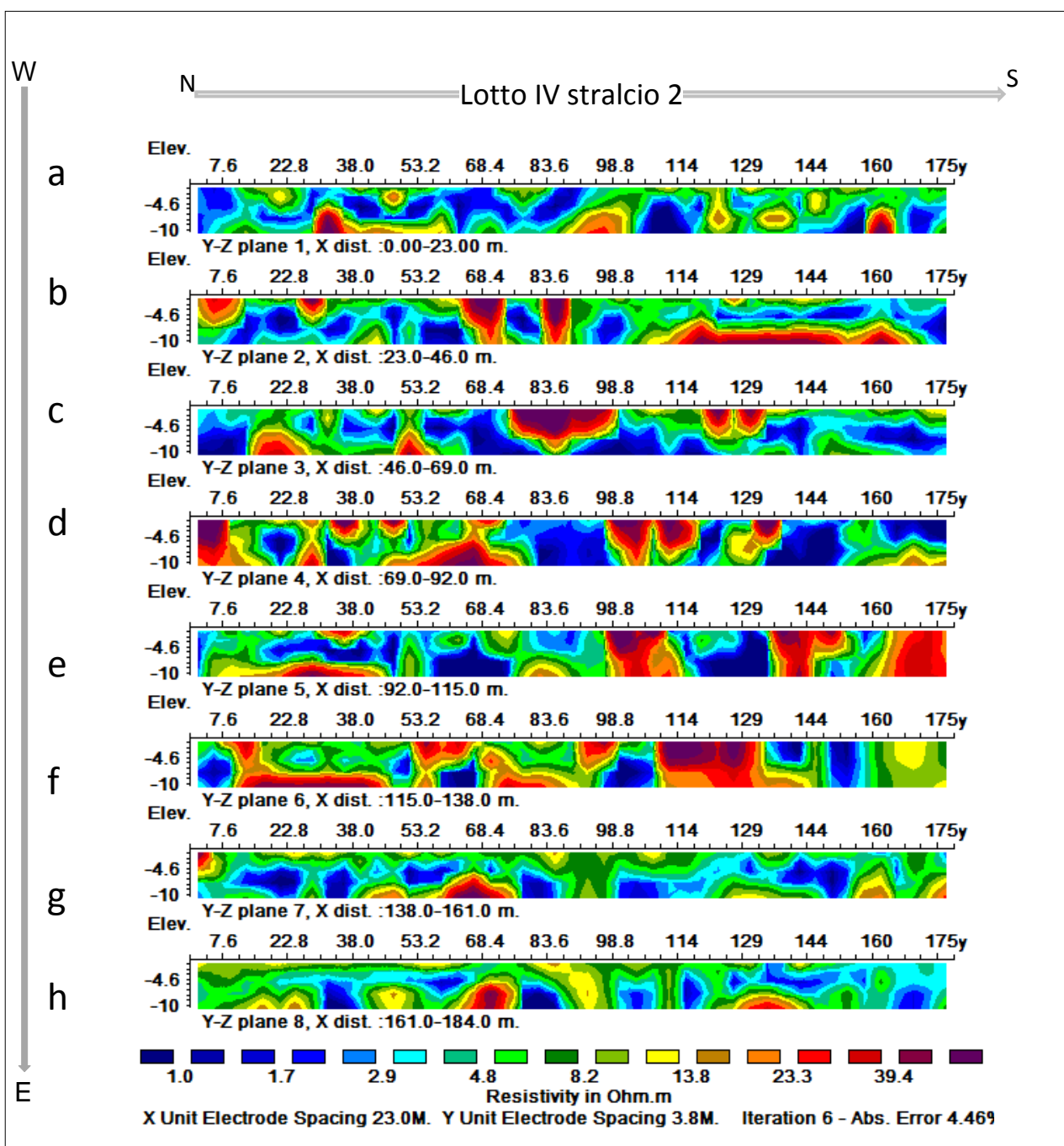


Figura 6: Tomografia elettrica – Sezioni verticali (a-h). Le sezioni percorrono questo lotto IV-2 in direzione N-S e da Ovest (a) verso Est (h). [periodo gennaio 2021]

I valori di resistività dei primi 2,0 metri (Fig. 5) evidenziano la presenza di anomalie conduttive circoscritte cioè senza continuità a cavallo delle vasche 1-4 e 2-3.



Le differenze di resistività osservate lungo i profili, possono essere riconducibili a variazioni litologiche e/o granulometriche locali, considerando i diversi materiali utilizzati per la costruzione degli argini, rispetto ai terreni compresi tra 5 e 11 metri di profondità, individuati nelle sezioni verticali (fig. 6 a-h). Tutto ciò esclude la presenza di infiltrazioni di fluidi conduttivi e quindi di lacerazioni.

### 3. CONCLUSIONI

Il test di monitoraggio elettrico eseguito in data **18 gennaio 2021** ha avuto come obbiettivi la verifica semestrale del sistema di impermeabilizzazione delle quattro vasche e la determinazione della resistività elettrica del terreno sotto il **Lotto IV stralcio 2** del polo di discarica per Rifiuti Solidi Urbani in località "CRISPA" nel comune di Jolanda di Savoia (FE).

Nei limiti della tecnica GMS, i risultati ottenuti possono essere così sintetizzati:

**Doppio Telo:** La misura della differenza di potenziale elettrico ha restituito valori che indicano una situazione di normale distribuzione della differenza di potenziale elettrico. L'assenza di anomalie a bassa resistività nelle sezioni di tomografia della resistività elettrica conferma le condizioni di tenuta idraulica del manto impermeabilizzante.

**Telo inferiore:** La misura della differenza di potenziale elettrico ha restituito valori che rispecchiano una situazione di normale distribuzione della differenza di potenziale senza evidenziare anomalie dovute a possibili lacerazioni. L'andamento di questi valori è simile a quello ottenuto nella fase di controllo del precedente monitoraggio avvenuto nel luglio 2020.

**Tomografia elettrica:** la resistività elettrica dei primi 6,6 m di terreno sottostanti la geomembrana inferiore in HDPE presenta valori simili a quelli riscontrati nel monitoraggio precedente. Le mappe di resistività e le sezioni verticali presentano valori bassi di resistività caratterizzati dalla presenza di sedimenti saturi di fluidi a elevata conducibilità elettrica (1-3 Ohm.m). Essi sono riconducibili alla presenza di sedimenti saturi di acqua salata oppure di argilla con torba.

Il monitoraggio non ha rilevato anomalie del potenziale elettrico, confermando la tenuta idraulica dei teli. Tuttavia, alcuni elettrodi risultano sconnessi oltre alla possibile presenza di fuga di corrente nel settore ENE del lotto IV-2 ovvero zona adiacente al nuovo I° lotto.

Tabella riassuntiva dei risultati del 18 gennaio 2021.

<b>Lotto IV – stralcio 2 vasca-1: stato sistema di controllo GMS</b>		
Pannello di controllo	Elettrodi	Potenziale elettrico
Buono stato	Rilevate sconnessioni di continuità elettrica (profilo 4 vasca 1)	I valori di potenziale elettrico (telo inferiore e doppio telo), nella norma per tutti gli elettrodi in buono stato di connessione.
<b>Lotto IV – stralcio 2 vasca-2: stato sistema di controllo GMS</b>		
Pannello di controllo	Elettrodi	Potenziale elettrico
Discreto stato	Rilevate sconnessioni di continuità elettrica in un numero limitato di elettrodi pertinenti al profilo n. 3 (121-144). Generalmente sono in buono stato.	Valori di potenziale elettrico (telo inferiore e doppio telo), sono nella norma per tutti gli elettrodi in buono stato di connessione.
<b>Lotto IV – stralcio 2 vasca-3: stato sistema di controllo GMS</b>		
Pannello di controllo	Elettrodi	Potenziale elettrico
Buono stato.	Buon stato in generale.	Non sono state riscontrate anomalie.
<b>Lotto IV – stralcio 2 vasca-4: stato sistema di controllo GMS</b>		
Pannello di controllo	Elettrodi	Potenziale elettrico
Discreto stato.	Risultano sconnessi 6 elettrodi (profilo 3 – vasca 4). Gli altri elettrodi sono in buono stato.	Non sono state riscontrate anomalie come da conferma del monitoraggio elettrico del manto di argilla sotto i teli.

In fede:

18 gennaio 2021