

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

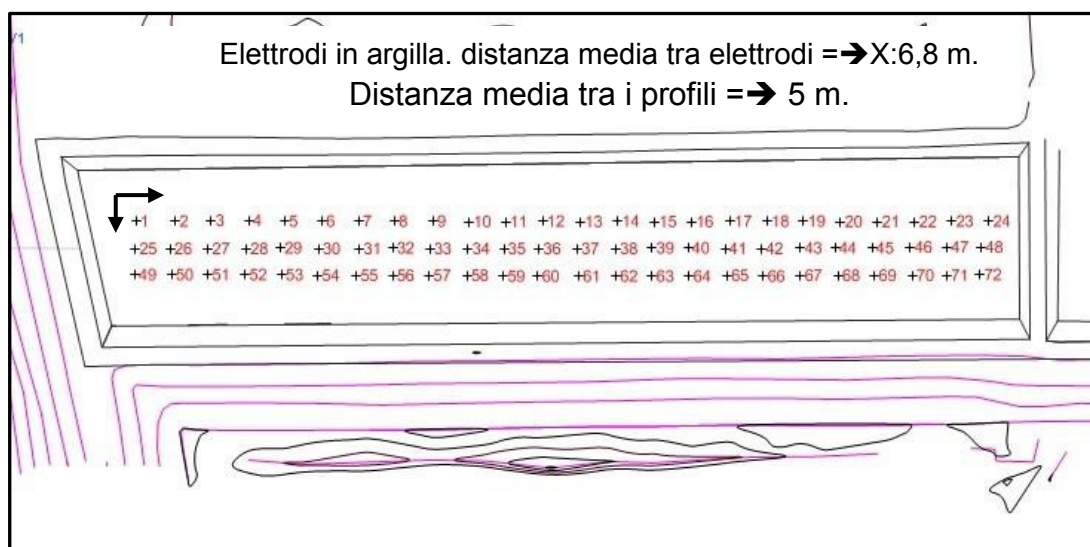
AREA IMPIANTI S.p.A.

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

Tomografia della resistività elettrica  
per la caratterizzazione stratigrafica

LOTTO VI, STRALCIO 1

MONITORAGGIO N. **2/2022**



**luglio 2022**

Dr. Nasser Abu Zeid  
CFR

Libero professionista  
Dott. Geol. Marco Condotta

## Sommario

1. PREMESSA .....	3
2. RISULTATI .....	5
2.1. Telo inferiore .....	6
2.2. Telo superiore/doppio telo .....	7
2.3. Tomografia Elettrica in 3D .....	7
3. CONCLUSIONI.....	9

## 1. PREMESSA



In data **10 luglio 2022** è stato eseguito il Monitoraggio n. **2/22** mediante metodo GMS (Geoelectrical Monitoring System). Il sistema Geoelectrical Monitoring System (GMS) è un sistema 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 per individuare variazioni nella densità di corrente, solitamente causate da lacerazioni nei teli d'impermeabilizzazione. Il metodo geoelettrico è completamente indiretto e non invasivo.

La dislocazione degli elettrodi in argilla del sistema GMS è riportata in Fig. 1. La configurazione del sistema di monitoraggio 'GMS' permette di eseguire le seguenti verifiche:

- tenuta elettrica dei manti in HDPE (localizzazione di eventuali zone di lacerazione);
- tomografia elettrica del terreno sottostante la discarica (localizzazione di eventuale presenza di percolato).

I dati acquisiti sono stati processati utilizzando codici specializzati per la stima dei valori reali inerenti la distribuzione della resistività elettrica nel terreno, posta immediatamente sotto i teli d'impermeabilizzazione (Resd3dInv). Inoltre, le mappe della distribuzione del potenziale elettrico sono state prodotte con algoritmo d'interpolazione numerica implementato nel codice Transform (USA).

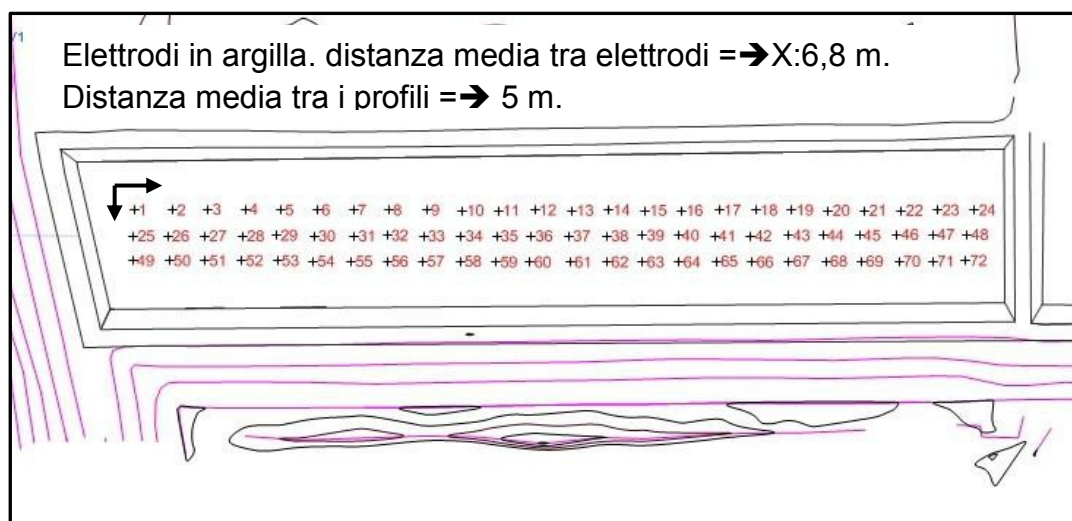


Figura 1: posizione degli elettrodi nel manto di argilla sotto il telo inferiore in HDPE.



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 d'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:

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

dove,

$\rho_f$  : resistività di formazione (terreno)

$\rho_w$  : resistività del fluido

$\alpha$  : costante legata alla litologia (0.5-1.5)

n : costante (~2)

m : tortuosità dei pori (1.5-3.0)

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 VI-1 della discarica “CRISPA”. A tale fine è stato utilizzato il dispositivo elettrodo “Wenner Schlumberger”.

## 2. RISULTATI

Il monitoraggio geoelettrico eseguito in data **10 luglio 2022** presso il **Lotto VI-1** della discarica per R.S.U. di Jolanda di Savoia (FE) è consistito nella verifica dell'integrità dei teli in HDPE inferiore e superiore della vasca 1 del VI lotto e nella misura della resistività elettrica dello strato di argilla sottostante il telo inferiore. La verifica della tenuta elettrica delle linee d'impermeabilizzazione, costituite 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 superiore e la misura del potenziale elettrico negli elettrodi in 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 in 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. In questo caso, la misura della resistenza unitaria è stata eseguita utilizzando un georesistivimetro 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 d'inversione dei dati di resistività apparente utilizzando il codice Res3dinv (Geotomo, 2015).

Nel seguito, si riportano i grafici che si riferiscono alla distribuzione della differenza di potenziale misurata sperimentalmente tra gli elettrodi, posti sotto il **Lotto VI-1** del polo CRISPA.

## 2.1. Telo inferiore

Nei limiti della tecnica GMS, l'andamento del potenziale elettrico normalizzato è simile a quanto riscontrato nel collaudo precedente (1/2022). I risultati ottenuti sono riportati nella Fig. 2.

Il test elettrico per la verifica dell'integrità del telo inferiore relativo al Lotto VI-1 non evidenzia variazioni di tenuta elettrica riconducibili a potenziali zone di lacerazione.

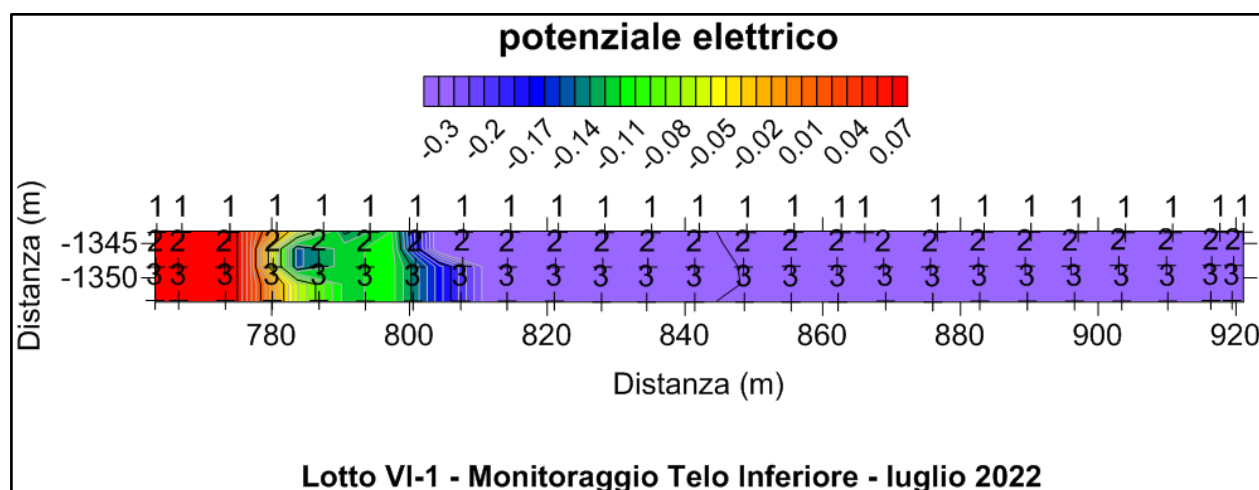


Figura 2: distribuzione della differenza del potenziale elettrico – Telo inferiore Lotto VI-1. [periodo luglio-2022].

## 2.2. Telo superiore/doppio telo

Nei limiti della tecnica GMS, il test elettrico per la verifica dell'integrità del telo superiore relativo al Lotto VI-1 non ha evidenziato anomalie elettriche riconducibili a potenziali zone di lacerazione. I risultati ottenuti sono riportati nella Fig. 3.

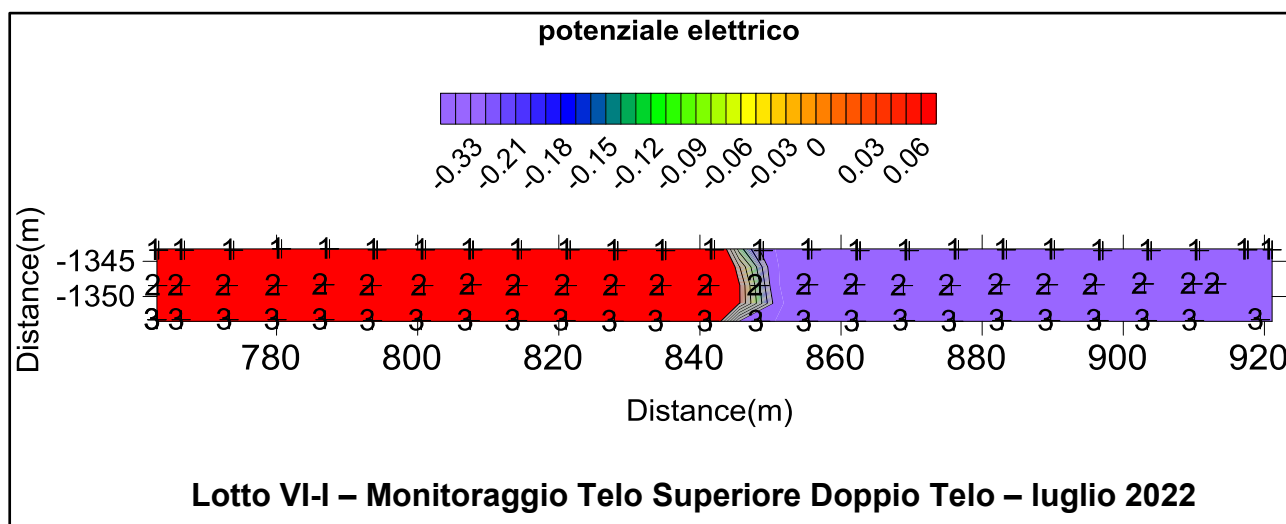


Figura 3: distribuzione della differenza del potenziale elettrico – Telo superiore-doppio telo Lotto VI-1. [periodo luglio-2022].

## 2.3. Tomografia Elettrica in 3D

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 l'eventuale infiltrazione di percolato rispetto alle condizioni esistenti prima dell'inizio della coltivazione della discarica. I risultati delle condizioni di resistività nello strato di argilla sono riportati in Fig. 4 (Sezione orizzontale - profondità 0 – 2,5 m e 2,5 – 5,0 m).

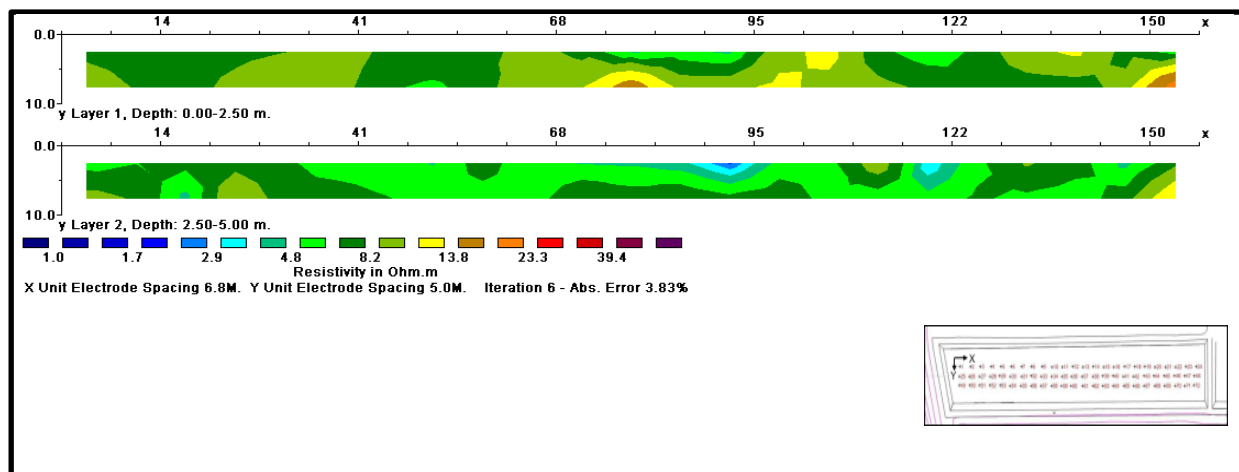


Figura 4: Tomografia elettrica – Sezioni orizzontali a due profondità: 0 – 2,5 m e 2,5 – 5,0 m dal p.c. del Lotto VI-1 [periodo luglio 2022].

In Figura 5 si riportano due sezioni verticali dell'area d'indagine.

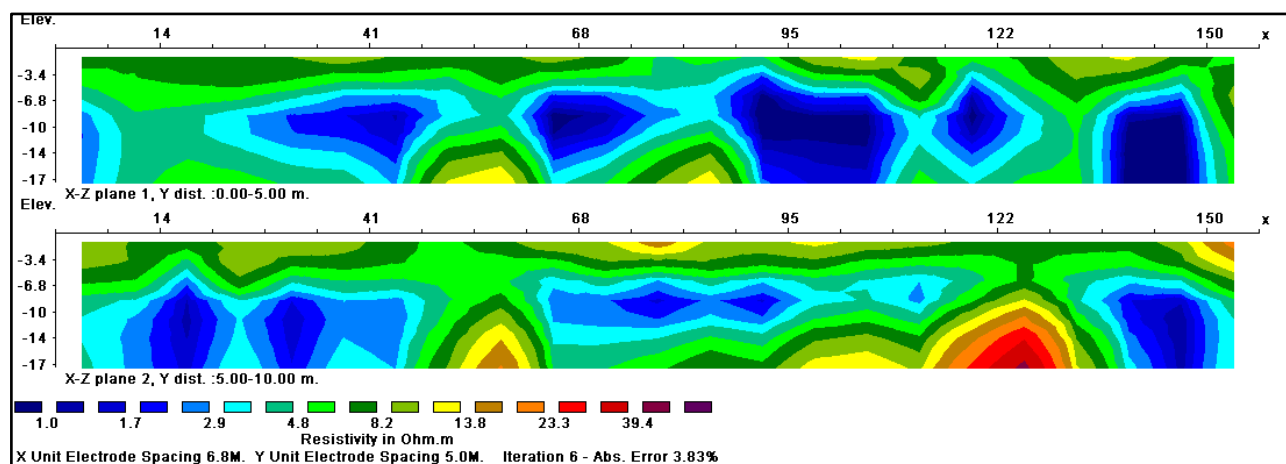


Fig. 5: Tomografia elettrica – Sezioni verticali. Le due sezioni percorrono il **lotto VI-1**, da Ovest verso Est (cfr. fig. 1 per ulteriori dettagli). **[periodo luglio 2022]**.

L'andamento dei valori di resistività è simile a quanto riscontrato nel monitoraggio precedente (**1/2022**) ed è riconducibile a uno strato di argilla compattato.

Le differenze di resistività laterale, possono invece essere legate a variazioni litologiche e/o granulometriche locali, considerando i diversi materiali utilizzati per la costruzione degli argini, rispetto ai terreni compresi tra 0 e 5 metri di profondità, individuati nella sezione orizzontale (progressive 55m e 125m).

### 3. CONCLUSIONI

Il test di monitoraggio elettrico eseguito in data **10 luglio 2022** presso il **Lotto VI-1** della discarica per Rifiuti Solidi Urbani in Loc. "CRISPA", nel Comune di Jolanda di Savoia (FE), ha avuto come obiettivi la verifica dell'integrità fisica dei due teli d'impermeabilizzazione e la determinazione della resistività elettrica del terreno sotto di essi.

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

**Telo inferiore:** la misura della differenza di potenziale elettrico ha restituito un andamento simile a quanto osservato nel collaudo precedente (gennaio-2022). Tale condizione permette di affermare che non vi sono state variazioni nelle condizioni di tenuta idraulica dei manti impermeabilizzanti rispetto al precedente monitoraggio.

**Tenuta elettrica telo superiore:** la misura della differenza di potenziale elettrico ha restituito una distribuzione simile a quella riscontrata nel collaudo precedente (gennaio-2022). Tale condizione permette di affermare che non vi sono state variazioni nelle condizioni di tenuta idraulica dei manti impermeabilizzanti rispetto al precedente monitoraggio.

**Tomografia elettrica:** la resistività elettrica dei primi 2,5 m di terreno sottostanti la geomembrana inferiore in HDPE presenta valori riconducibili alla situazione geolitologica tipica dell'area. Non sono stati riscontrati valori bassi di resistività, caratteristici della presenza di percolato. Tuttavia, i valori molto bassi di resistività (1-3 Ohm.m), riscontrati nelle sezioni verticali a profondità superiori a 5-6 m, possono essere riconducibili alla presenza di sedimenti saturi di acqua salata oppure ad argilla con torba.

Tabella riassuntiva dei risultati del 10 luglio 2022.

Lotto VI-1 stato sistema di controllo GMS: [luglio 2022]		
Pannello di controllo	Elettrodi	Potenziale elettrico
Buono stato.	Buono stato in generale. L'elettrodi n. 13 del profilo n. 1 risulta essere sconnesso.	L'analisi delle misure di differenza di potenziale non presenta anomalie riconducibili a lacerazioni nei teli d'impermeabilizzazione.