



**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 VI, STRALCIO 2

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

## sommario

1. PREMESSA.....	3
2. RISULTATI .....	5
2.1. Telo inferiore.....	6
2.2. Telo superiore-doppio telo .....	8
2.3. Tomografia Elettrica in 3D .....	9
3. CONCLUSIONI.....	10

## 1. PREMESSA

In data **16 luglio 2019** è stato eseguito il Monitoraggio **19\_2** 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 un’eventuale rottura dei sistemi di 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 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 ha previsto una prima fase di acquisizione, in campo, dei dati geoelettrici e una seconda fase di post-elaborazione mediante appositi software dedicati.

Y:8,2 m elettrodi in argilla. distanza media tra elettrodi

X:3,6 m <=== distanza media tra i profili

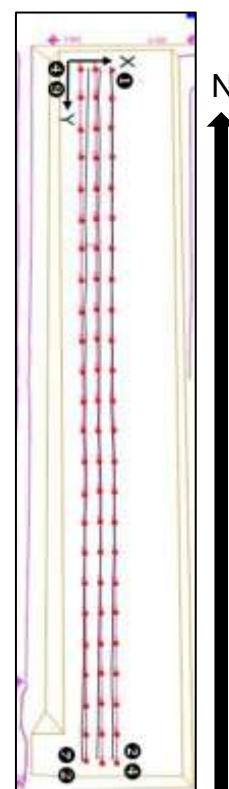


Figura 1: posizione degli elettrodi nel manto di argilla sotto il telo inferiore in HDPE.



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) ed 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:

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

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 VI-2 della discarica “CRISPA”. A tale fine è stato utilizzato il dispositivo elettrodo “Wenner -Schlumberger”.

## 2. RISULTATI

Il monitoraggio geoelettrico eseguito in data **16 luglio 2019** presso il **Lotto VI-2** della discarica per R.S.U. di Jolanda di Savoia (FE) è consistito nella verifica dell'integrità dei teli HDPE inferiore e superiore della vasca relativa e nella misura della resistività elettrica dello strato di argilla sottostante il telo inferiore. La verifica della tenuta elettrica della linea d'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 in argilla;
- test elettrico di 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 di inversione dei dati di resistività apparenti utilizzando il codice Res3dinv (Geotomo, 2015).

Nel seguito vengono riportati i grafici relativi alla distribuzione della differenza di potenziale, misurata sperimentalmente tra gli elettrodi posti al di sotto del **Lotto VI-2** della discarica CRISPA.

## 2.1. Telo inferiore

Nei limiti della tecnica GMS, l'andamento del potenziale elettrico è simile a quello riscontrato nel collaudo precedente (gennaio 2019). I risultati ottenuti sono riportati nella Fig. 2.

il test elettrico per la verifica dell'integrità del telo inferiore del Lotto VI-2 non evidenzia variazioni di tenuta elettrica riconducibili a potenziali zone di lacerazione, in accordo quindi con i risultati del monitoraggio della resistività elettrica del manto di argilla (vedi Sezione 2.3 più avanti). Tuttavia, si fa presente che il monitoraggio ha riscontrato la presenza di un'anomalia (indicata con cerchio nero in fig. 2) dovuta al possibile assottigliamento, localizzata tra gli elettrodi nn. 9 e 10 dei profili n. 1 e 2.

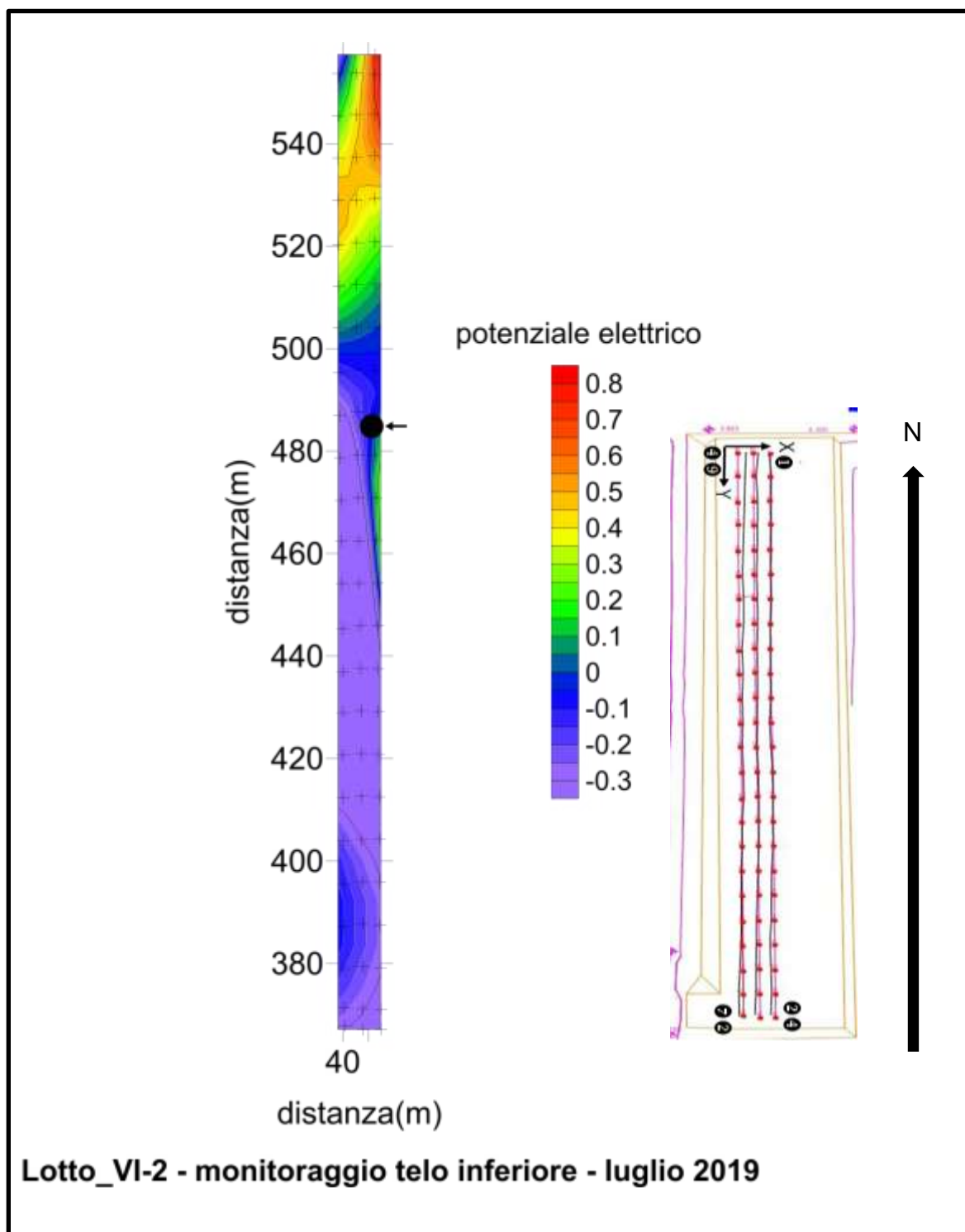


Figura 2: distribuzione della differenza del potenziale elettrico – Telo Inferiore Lotto VI-2, polo discarica “CRISPA”, [periodo luglio 2019]

## 2.2. Telo superiore-doppio telo

Nei limiti della tecnica GMS, il test elettrico per la verifica dell'integrità del telo superiore del Lotto VI-2 non ha evidenziato anomalie elettriche riconducibili a potenziali zone di lacerazione. I risultati ottenuti sono riportati nella Fig. 3.

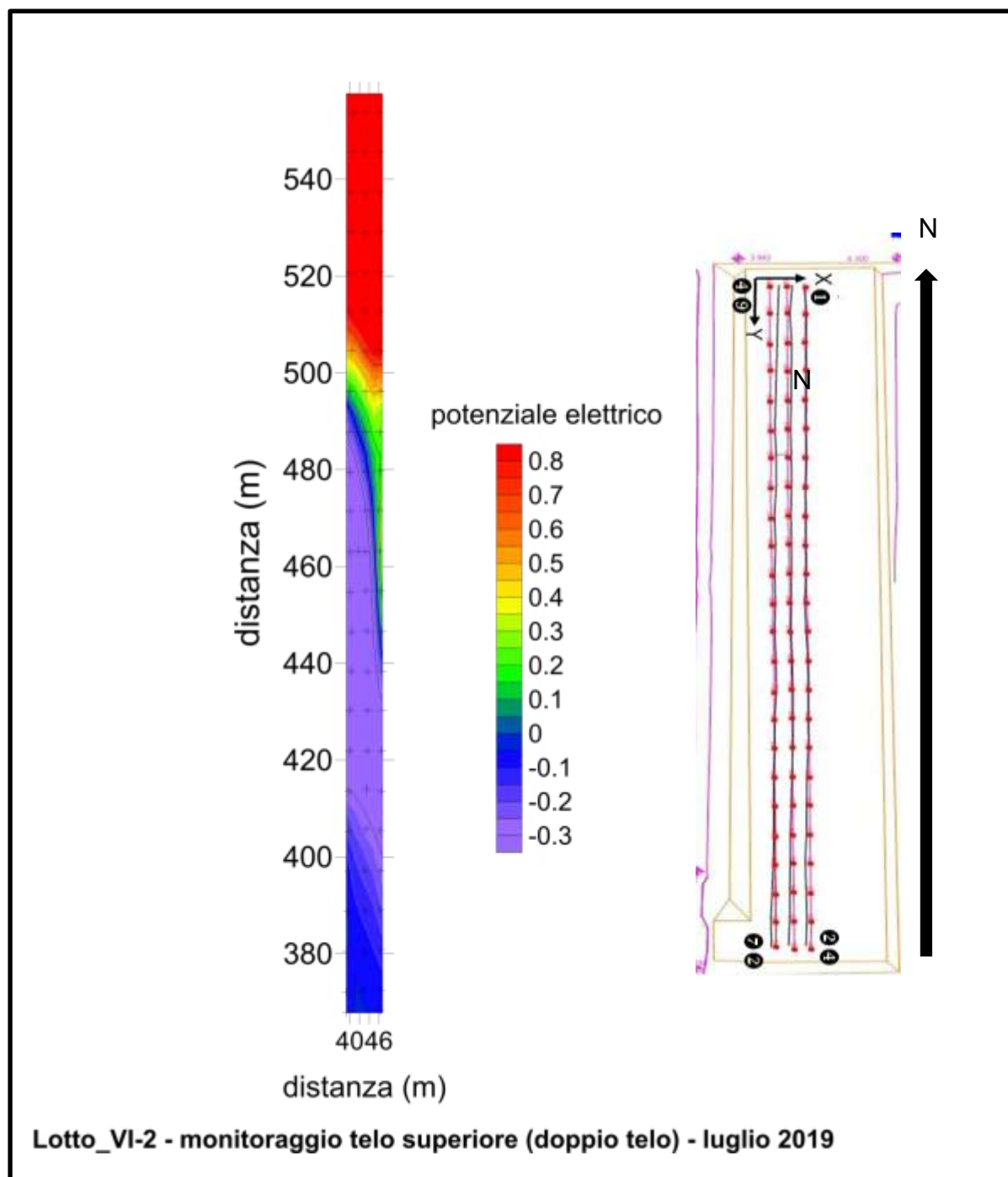


Figura 3: distribuzione della differenza del potenziale elettrico –Telo Superiore-doppio Telo Lotto VI-2, [periodo luglio 2019].



## 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 (Sezioni orizzontali-profondità 0–4 m).

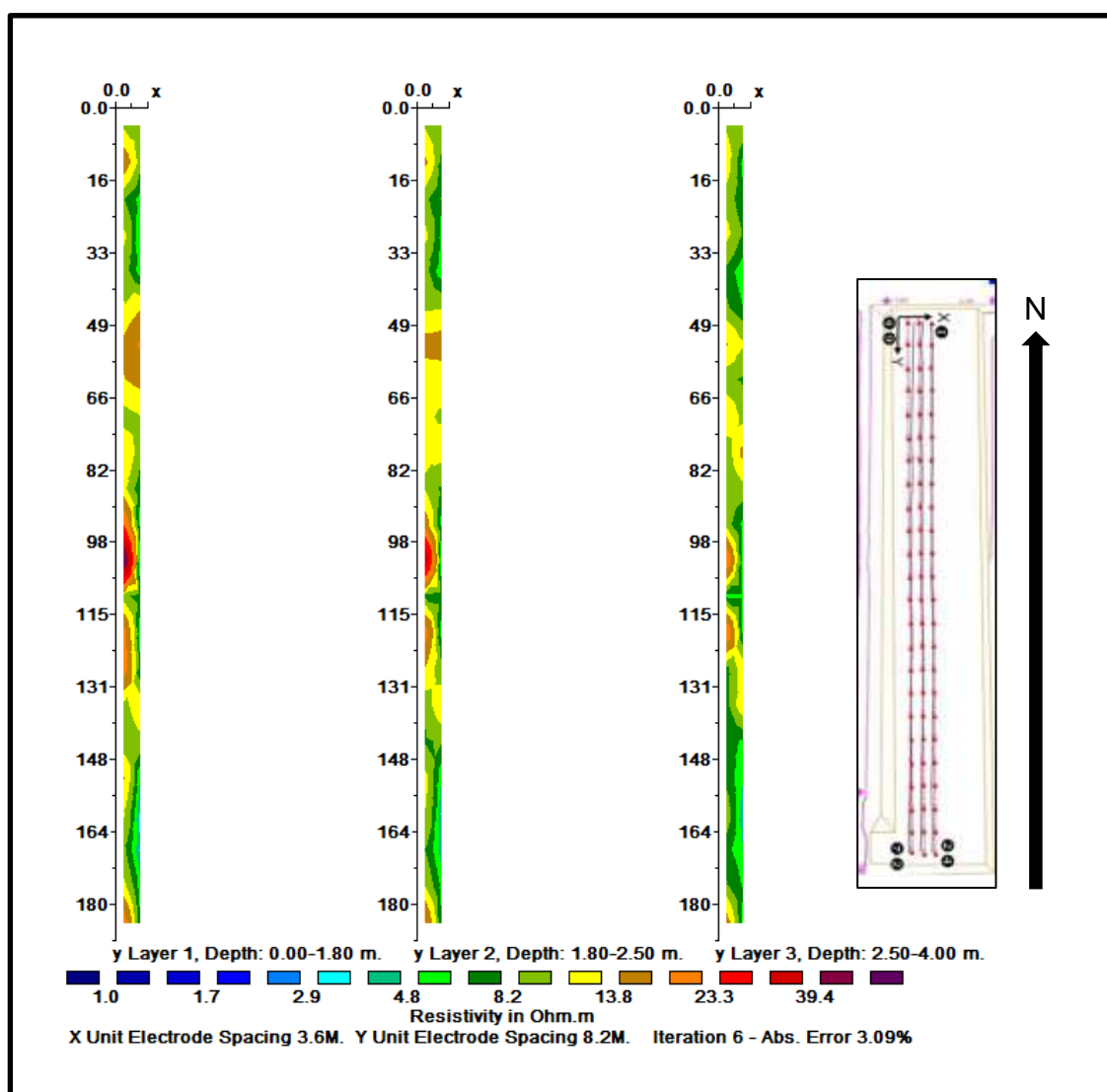


Figura 4: Tomografia elettrica – Sezioni orizzontali a tre profondità: 0 – 1,8 m, 1,8 – 2,5 e 2,5 – 4,0 m dal p.c. [periodo luglio 2019]

In Fig. 5 si riportano due sezioni verticali dell'area d'indagine del Lotto VI-2. Le sezioni sono orientate da nord a sud e da ovest verso est..

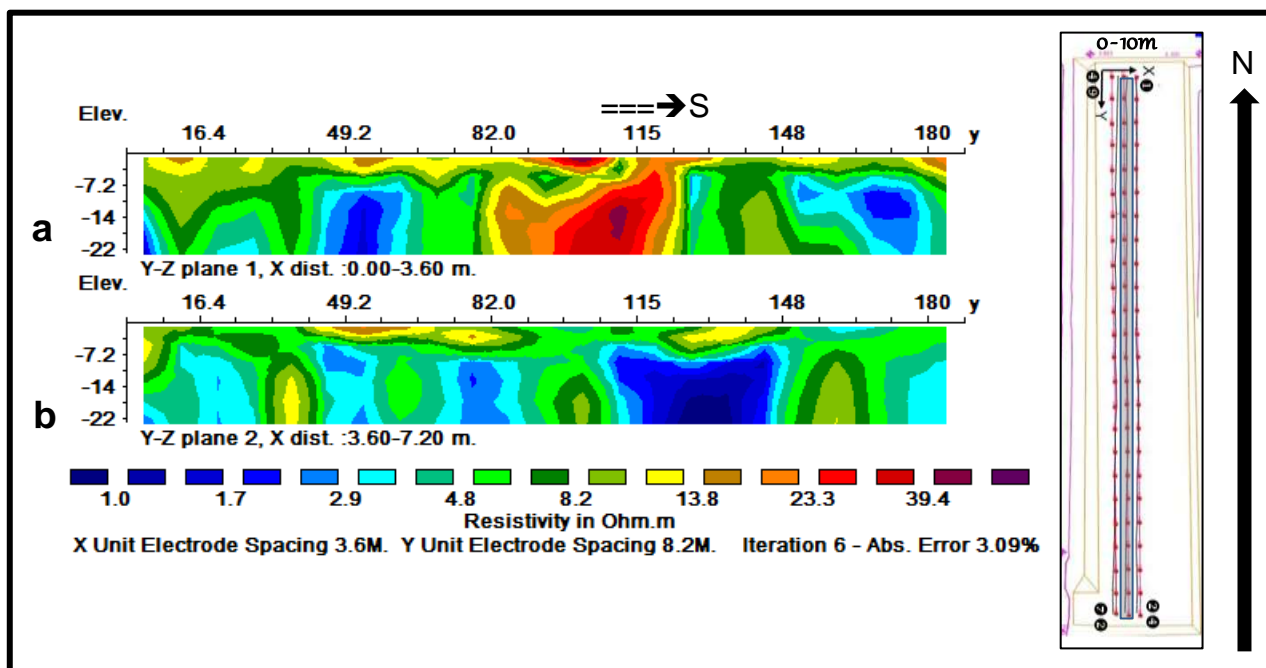


Fig. 5: Tomografia elettrica – Sezioni verticali (a e b). Le due sezioni attraversano il lotto VI-2 in direzione N-S. [periodo luglio 2019]

L'andamento dei valori di resistività, nei primi 3 metri, risulta essere simile a quanto riscontrato nel collaudo precedente (gennaio 2019) e riconducibili ad uno strato di argilla compattato. Le differenze di resistività laterale, possono essere riconducibili a variazioni litologiche e/o granulometriche locali, considerando i diversi materiali utilizzati per la costruzione degli argini, rispetto ai terreni più profondi > 7 metri di profondità, individuati nella sezione orizzontale (fig. 5b). L'incremento osservato nei valori di resistività, progressive 82m-123m (fig. 5a), rispetto a quello del collaudo precedente potrebbe indicare una possibile variazione delle condizioni idrogeologiche di questa zona (acquifero drenato o diminuzione della salinità della falda).

### 3. CONCLUSIONI

Il test di monitoraggio elettrico eseguito in data **16 luglio 2019** presso il **Lotto VI-2** della discarica "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, corrente costante, ha restituito valori pressoché simili a quelli ottenuti dal collaudo precedente (1/2019). Tale condizione conferma la possibile presenza di assottigliamento e/o lacerazione localizzata tra gli elettrodi nn. 9 e 10 dei profili n. 1 e 2 (Fig. 2). Tuttavia l'assenza di anomalie di resistività nel manto di argilla e la tenuta del telo superiore permettono di affermare che non vi sono state fughe di percolato in quanto il telo superiore risulta essere integro.

**Tenuta elettrica telo superiore:** la misura della differenza di potenziale elettrico ha restituito valori con andamenti simili a quelli ottenuti dal collaudo precedente. Tale condizione permette di affermare che non vi sono state variazioni nelle condizioni di tenuta idraulica del manto impermeabilizzante, rispetto al precedente monitoraggio.

**Tomografia elettrica:** la resistività elettrica dei primi 4 m di terreno sottostanti la geomembrana inferiore in HDPE presenta valori riconducibili alla situazione geolitologica tipica dell'area. Non si sono riscontrati valori bassi di resistività tipici della presenza di percolato. Tuttavia occorre far notare che i valori molto bassi di resistività (1-3 Ohm.m), riscontrati a profondità superiore a 8 metri, sono riconducibili alla presenza di sedimenti saturi di acqua salata oppure ad argilla con torba. L'incremento osservato nei valori di resistività, progressive 82m-123m (fig. 5a), rispetto a quello del collaudo precedente potrebbe indicare possibili variazioni delle condizioni idrogeologiche e cioè acquifero drenato o diminuzione della salinità della falda).

Tabella riassuntiva dei risultati del 16 luglio 2019.

<b>Lotto VI – 2: stato sistema di controllo GMS [periodo luglio 2019]</b>		
<b>Pannello di controllo</b>	<b>Elettrodi</b>	<b>Potenziale elettrico</b>
Buono stato.	Buono stato in generale.	Il controllo effettuato mediante misure di differenza di potenziale non presentano anomalie riconducibili a lacerazioni nel telo superiore; tuttavia si è riscontrata un'anomalia nel telo inferiore tra gli elettrodi n. 9 e n. 10 del profilo n. 1 (lato NE del lotto VI-2: coordinate: X: 46,21; Y=487,3 (già riscontrate nei controlli effettuati in precedenza). La tenuta è confermata dall'assenza di anomalie nei risultati della tomografia della resistività elettrica effettuata nel livello di argilla sotto il telo inferiore.