



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 V

MONITORAGGIO N. 2_22

luglio 2022

Consorzio Futura in Ricerca

Dr. Nasser Abu Zeid

Geol. Libero Professionista

Dott. Geol. Marco Condotta

sommario

1. Premessa.....	3
2. RISULTATI	7
2.1. TELO INFERIORE (Lotto V Vasche: 1,2,3)	8
2.2. TELO SUPERIORE (Vasche:1,2,3)	10
2.3. Tomografia Elettrica in 3D (Vasche 1 e 2)	10
2.4. Tomografia Elettrica in 3D (Vasca-3)	12
3. CONCLUSIONI	14

1. PREMESSA

In data **15 luglio 2022** è stato eseguito il Monitoraggio n. **2/22** mediante metodo GMS (Geoelectrical Monitoring System). Il sistema di monitoraggio è composto di 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 le variazioni della densità di corrente a causa di un'eventuale rottura dei sistemi di impermeabilizzazione. Il metodo geoelettrico è completamente indiretto e non invasivo.

La posizione del V lotto e delle tre vasche è riportata in **Figura 1**, mentre la distribuzione degli elettrodi in argilla (sotto il telo inferiore) e nello strato di sabbia (sotto il telo superiore) del sistema GMS, nelle **Figure 2a, 2b**. La configurazione del sistema GMS installato ha permesso di eseguire le seguenti verifiche:

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

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



Figura 1. Ubicazione del V lotto e delle tre vasche (1, 2, 3) del polo di discarica "CRISPA".

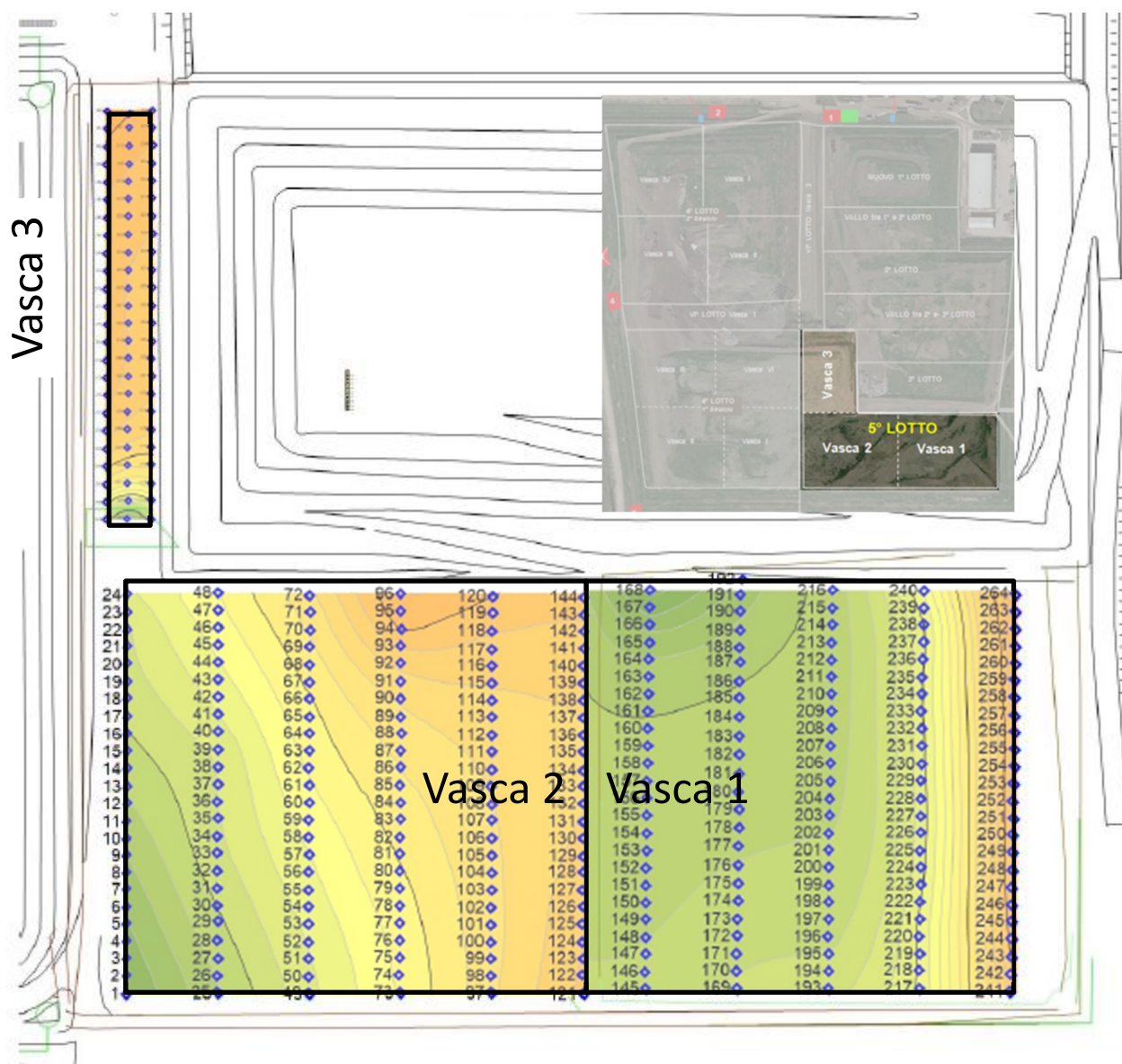


Figura 2a. posizione degli elettrodi nel manto di argilla sotto il telo inferiore.

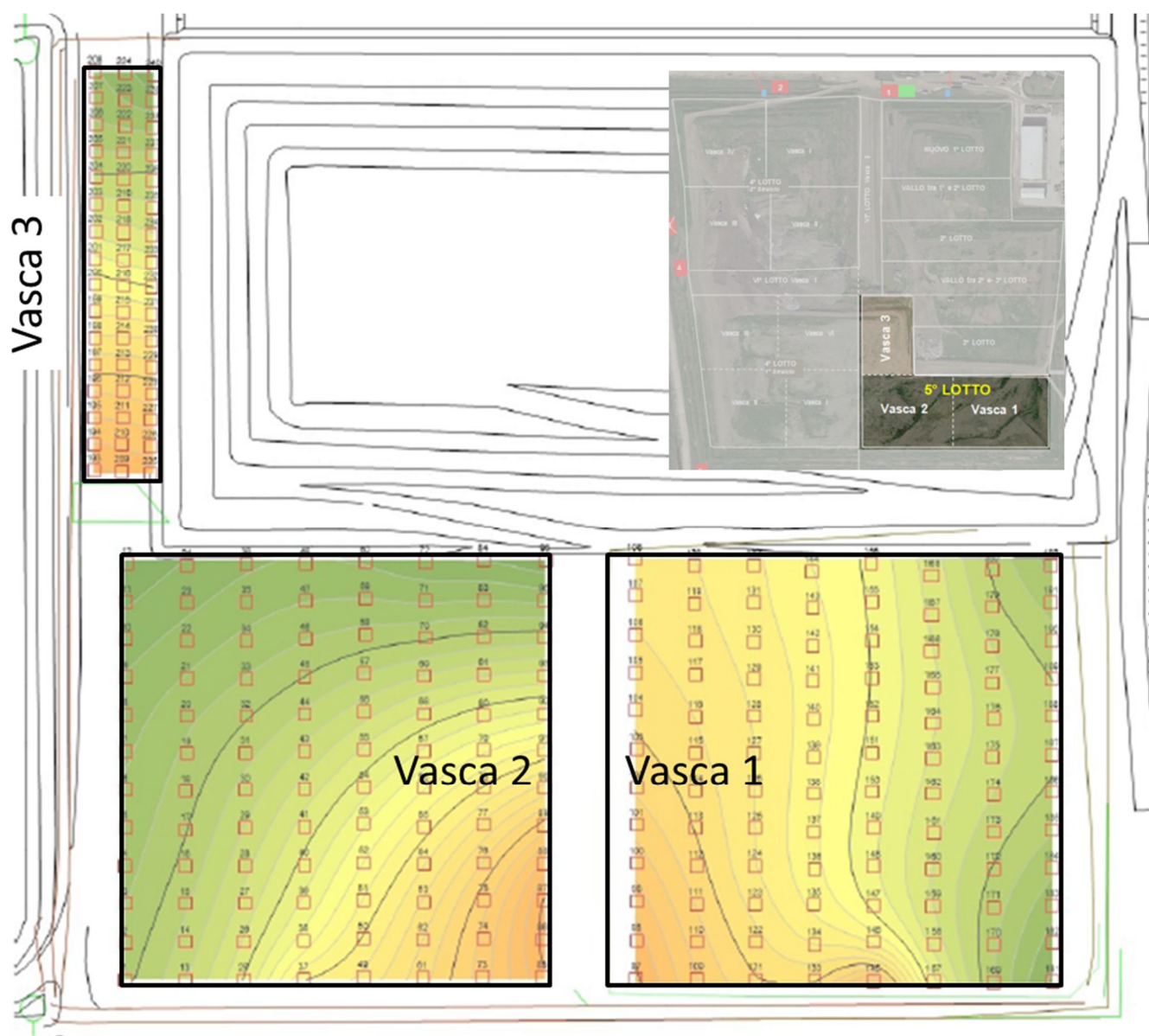


Figura 2b. posizione degli elettrodi nel manto di sabbia sotto il telo superiore.

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 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,

ρ_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,

ρ_f : resistività di formazione (terreno)

ρ_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

φ : 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 V della discarica “CRISPA”. A tale fine è stato utilizzato il dispositivo elettrodoico “Wenner -Schlumberger”.

2. RISULTATI

Il monitoraggio geoelettrico eseguito in data **15 luglio 2022** della tenuta idraulica del sistema di impermeabilizzazione del **Lotto V** della discarica per R.S.U. di Jolanda di Savoia (FE) è consistito nella verifica dell'integrità dei teli HDPE inferiore e superiore delle tre 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 del telo superiore in HDPE mediante l'energizzazione di un elettrodo posto sui rifiuti e la misura del potenziale elettrico negli elettrodi posti nello strato di sabbia;
- 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 apparente utilizzando il codice Res3dinv (Geotomo, 2015).

In seguito, si riportano i grafici relativi alla distribuzione della differenza di potenziale misurata sperimentalmente tra gli elettrodi posti sotto le tre vasche del **Lotto V** del polo di discarica "CRISPA".

2.1. TELO INFERIORE (Lotto V Vasche: 1,2,3)

Nei limiti della tecnica GMS, l'andamento del potenziale elettrico rispecchia quanto riscontrato nel collaudo precedente (**gennaio 2022**) per le tre vasche. I risultati ottenuti sono riportati nella Fig. 3.

Il test elettrico per la verifica dell'integrità del telo inferiore della vasca 1 del Lotto V non evidenzia variazioni riconducibili a potenziali zone di lacerazione limitatamente alle linee in buono stato di continuità elettrica. Poiché in corrispondenza di alcuni elettrodi (vasca 1 elettrodi: 169-192 "profilo 2", e 241-264 "profilo 5"), sono stati evidenziati problemi di cattivo contatto elettrico, si è ritenuto opportuno non includerli nell'elaborazione. Il controllo effettuato sugli ulteriori collegamenti ha confermato il buono stato di connessione cavo-connettore presso l'armadio elettrico; il problema è quindi dovuto a possibile interruzione lungo i cavi delle due linee. Aldilà di questo inconveniente il controllo della resistività nelle linee adiacenti dello strato di argilla, esclude la presenza di anomalie dovute alla presenza di percolato. I valori di resistività elettrica del manto di argilla, confermano l'assenza di anomalie.

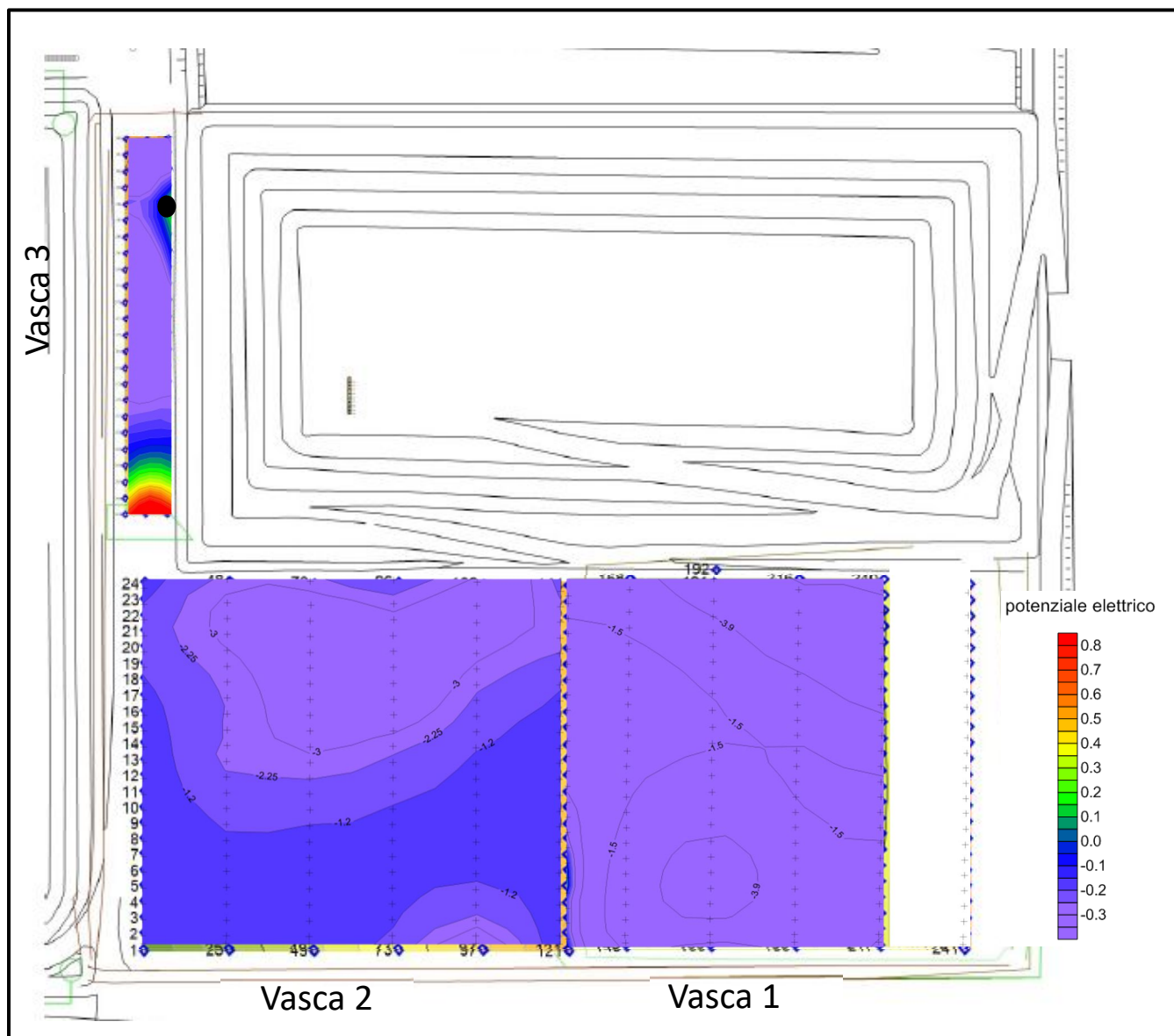


Figura 3: distribuzione della differenza del potenziale elettrico (mVolt) – Telo Inferiore Lotto V Vasche 1,2 3, polo discarica “CRISPA”, [periodo luglio 2022]. Cerchio nero pieno: possibile assottigliamento del telo inferiore.

2.2. TELO SUPERIORE (Vasche:1,2,3)

Nei limiti della tecnica GMS, il test elettrico per la verifica dell'integrità del telo superiore del **Lotto V** delle tre vasche non ha evidenziato anomalie elettriche riconducibili a potenziali zone di lacerazione. I risultati ottenuti, riportati nella Fig. 4, sono identici a quelli del precedente monitoraggio.

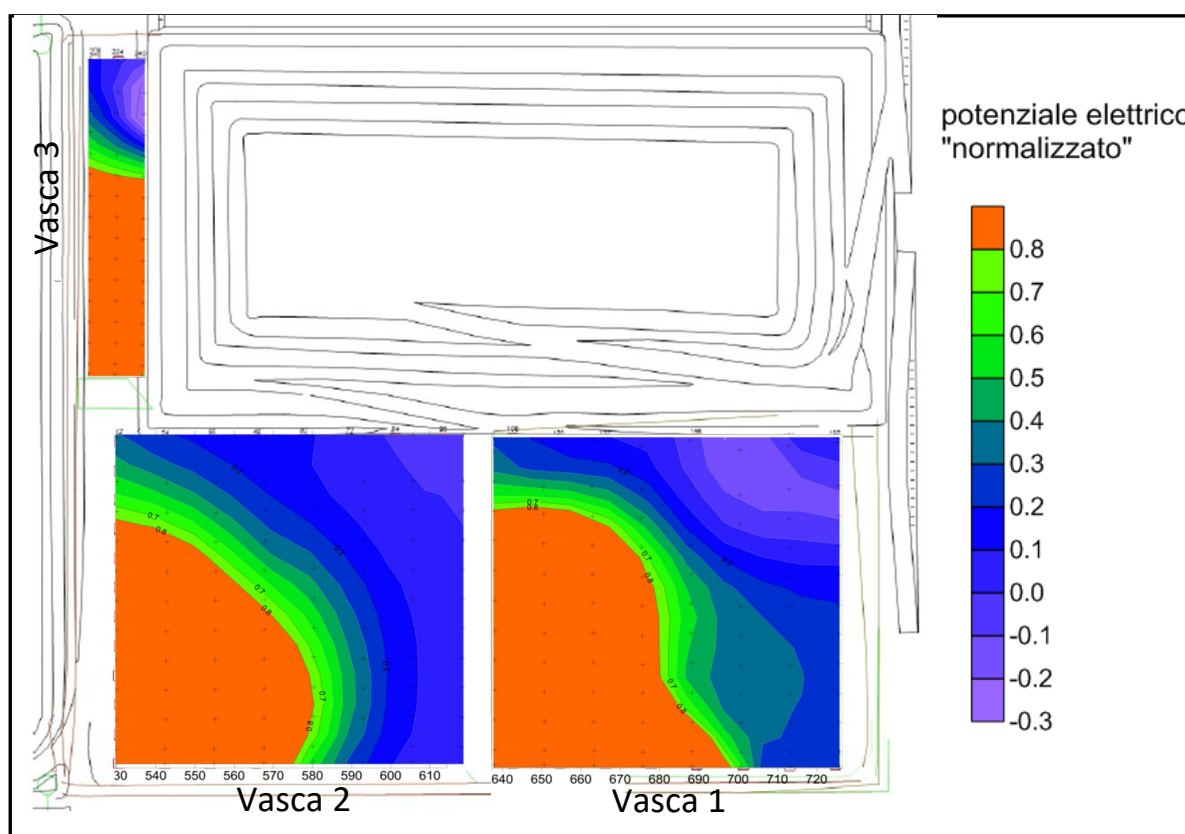


Figura 4: distribuzione della differenza del potenziale elettrico normalizzato – Telo Superiore Lotto V Vasche 1,2,3, polo scarica “CRISPA”, [periodo luglio 2022].

2.3. Tomografia Elettrica in 3D (Vasche 1 e 2)

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 della coltivazione della discarica.

I risultati delle condizioni di resistività nello strato di argilla, sotto le due vasche 1 e 2 sono riportati nelle Figg. 5a,b (Sezione orizzontale - profondità 0 – 6,6 m).

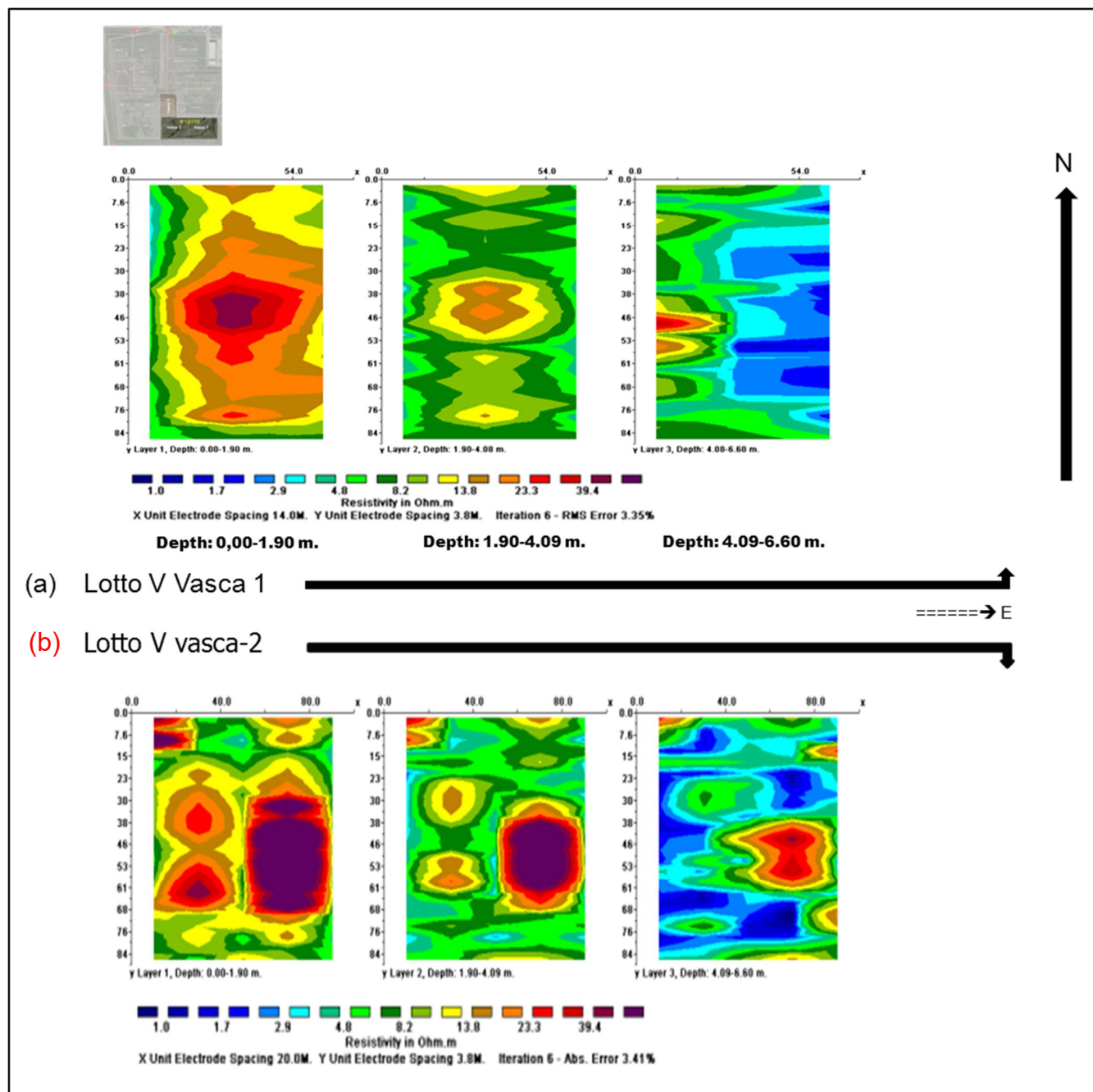


Figura 5. Sezioni orizzontali di resistività elettrica dei terreni sotto il telo inferiore della vasca-1 (a), vasca-2 (b) del Lotto V a tre profondità: 0-1,9m; 1,9-4,09m e 4,09-6,6m [periodo luglio 2022].

In Fig. 6 si riportano tre sezioni verticali dell'area di indagine del Lotto V vasche 1 e 2. Le sezioni sono orientati da Nord verso Sud e da Ovest verso Est.

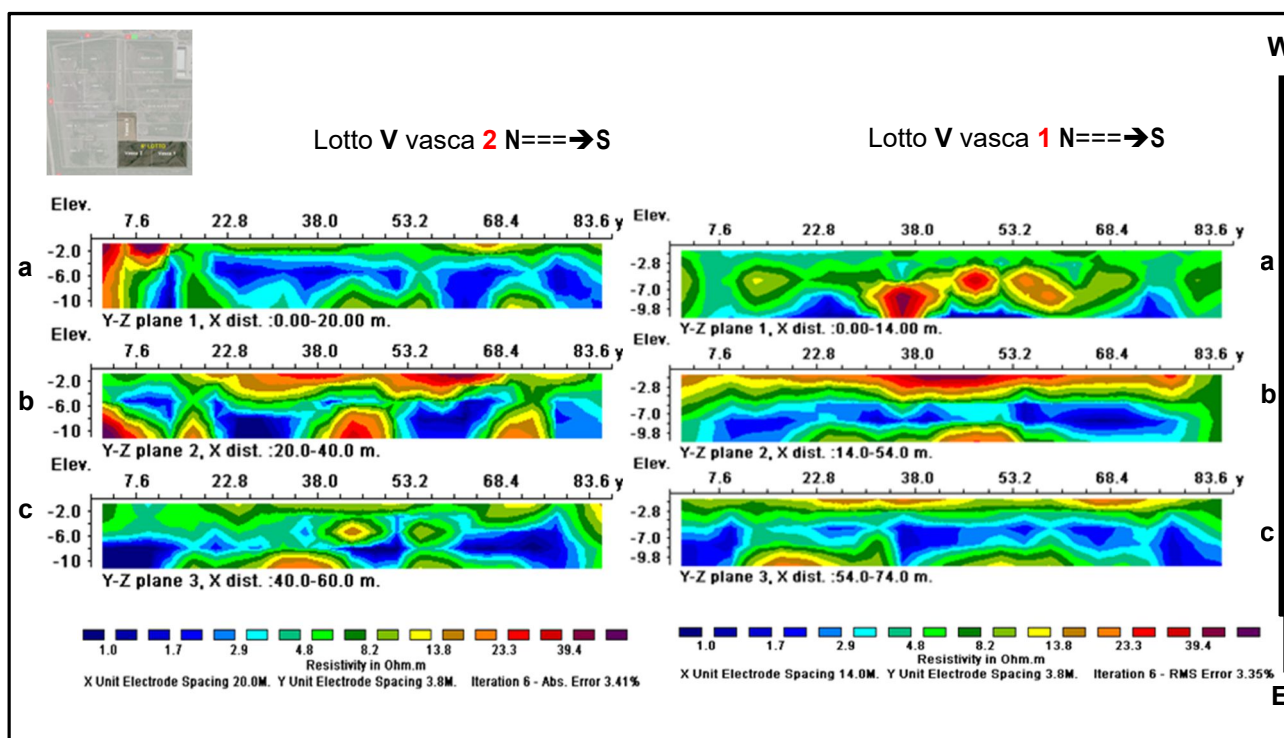


Fig. 6: Tomografia elettrica – Sezioni verticali (a, b, c). Le tre sezioni percorrono le vasche 1 [a destra] e 2 [a sinistra] del V° lotto, in direzione N-S e da Ovest (a) verso Est (c). [periodo luglio 2022].

I valori di resistività dei primi 3 metri sono simili a quanto riscontrato nel collaudo precedente (gennaio 2022) e sono riconducibili allo strato d'argilla. 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 compresi tra 4 e 11 metri di profondità, individuati nelle sezioni orizzontali (fig. 5a, b).

2.4. Tomografia Elettrica in 3D (Vasca-3)

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. 7 (Sezioni orizzontali).

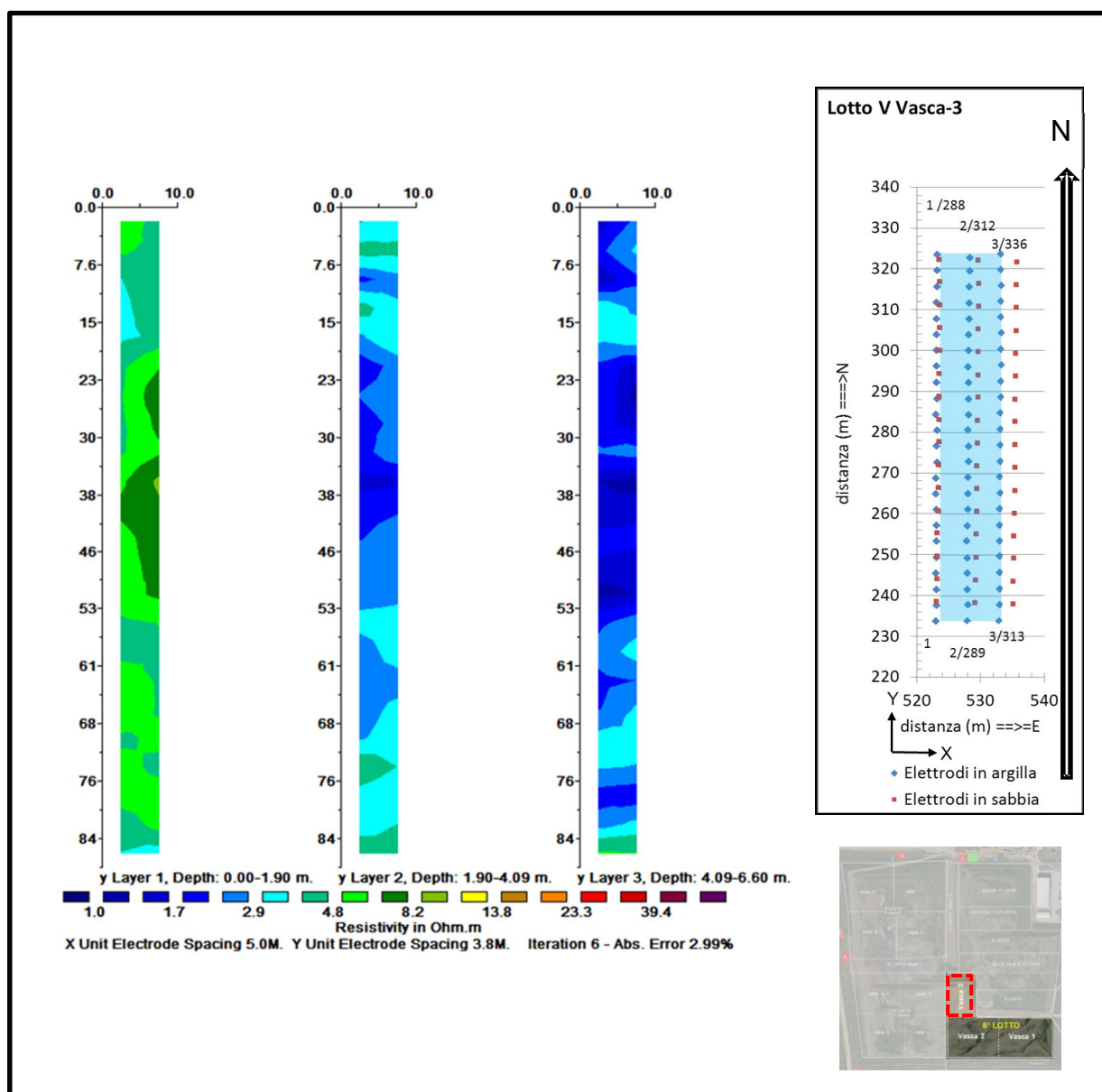


Figura 7: Tomografia elettrica – Sezioni orizzontali a tre profondità: 0 – 1,9 m, 1,9 – 4,09 e 4.09 – 6.6 m dal p.c. [periodo luglio 2022].

In Fig. 8 si riportano due sezioni verticali che illustrano la distribuzione della resistività elettrica sotto il telo inferiore (cioè manto d'argilla e terreno sottostante) del Lotto V – vasca n. 3 (tratteggiato in rosso). Le sezioni sono orientate da Nord verso Sud (Fig. 8a,b).

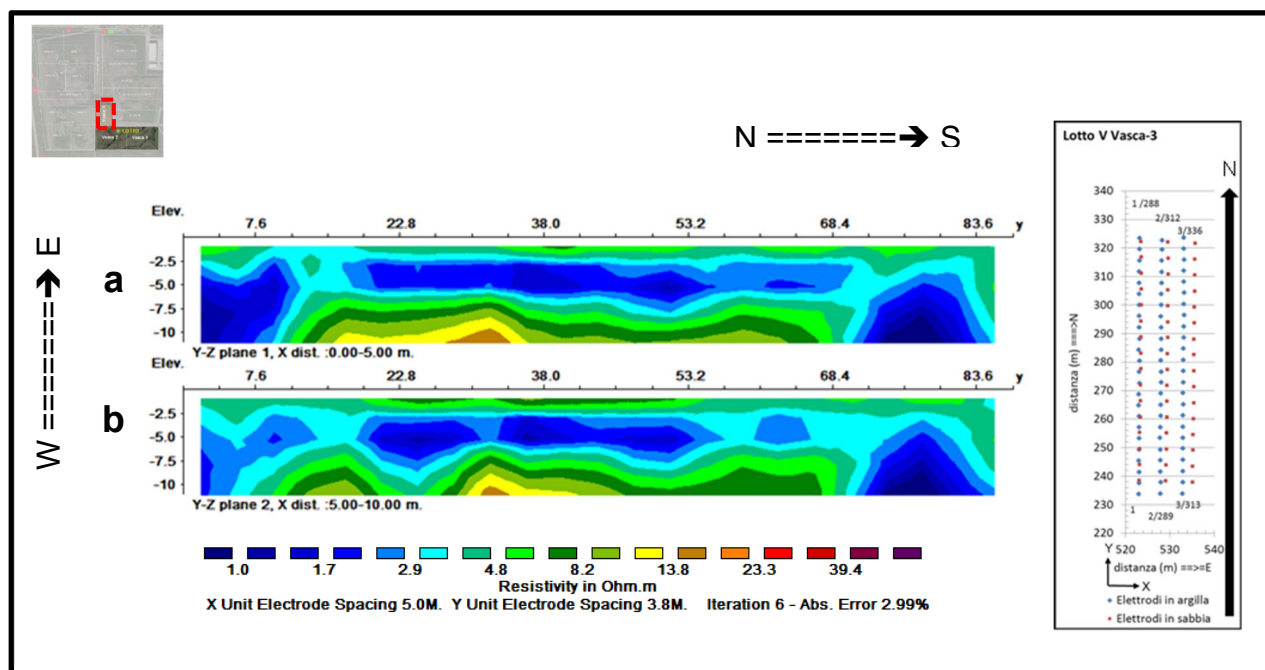


Fig. 8: Tomografia elettrica – Sezioni verticali (a e b). Le due sezioni percorrono la vasca 3 del V° lotto, in direzione N-S. [periodo luglio 2022].

I valori di resistività dei primi 2 metri sono simili a quanto riscontrato nel collaudo precedente (**gennaio 2022**) e sono riconducibili allo strato d'argilla. Piccole differenze osservate nella 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 compresi tra 5 e 10 metri di profondità, individuati nelle sezioni orizzontali (fig. 7).

3. CONCLUSIONI

Il test di monitoraggio elettrico eseguito in data **15 luglio 2022** per la verifica semestrale del sistema di impermeabilizzazione delle tre vasche e per la determinazione della resistività elettrica del terreno sotto il **Lotto V** del polo di discarica "CRISPA" per Rifiuti Solidi Urbani sito in Comune di Jolanda di Savoia (FE), ha permesso di ottenere i seguenti risultati.

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

Telo superiore: La misura della differenza di potenziale elettrico 'normalizzato' ha restituito valori che rispecchiano una situazione normale senza presenza di anomalie. Tale condizione permette di affermare che non vi sono state variazioni nelle condizioni di tenuta idraulica del manto impermeabilizzante rispetto al precedente monitoraggio.

Telo inferiore: La misura della differenza di potenziale elettrico, corrente costante, ha restituito un andamento dei valori pressoché simile a quello dell'ultimo monitoraggio (1/2022). Le mappe ottenute confermano, infatti, una situazione di normale distribuzione del potenziale elettrico. Inoltre, il controllo della distribuzione della resistività nei terreni immediatamente sotto il telo inferiore, esclude la presenza di anomalie dovute a lacerazioni.

Tomografia elettrica: la resistività elettrica dei primi 6,6 m di terreno, sottostanti la geomembrana inferiore in HDPE, presenta valori riconducibili alla situazione geolitologica tipica dell'area. Non sono stati riscontrati bassi valori di resistività tipici della presenza di percolato, mentre occorre evidenziare che, valori dell'ordine di 1-3 Ohm.m, possono essere riconducibili alla presenza di sedimenti saturi di acqua salata oppure a sedimenti contenenti argilla e torba.

Tabella riassuntiva dei risultati del 15 luglio 2022

Lotto V – vasca-1: stato sistema di controllo GMS		
Pannello di controllo	Elettrodi	Potenziale elettrico
Durante il controllo precedente alcune connessioni, con saldature precarie, sono state ripristinate. Discreto stato generale.	Le linee 2 e 3 della vasca-1 hanno problemi dovuti a probabile mancanza di connessione di continuità elettrica.	Valori di potenziale elettrico normalizzato (telo superiore) nella norma per tutti gli elettrodi in buono stato di connessione. Non sono state riscontrate anomalie.

Lotto V – vasca-2: stato sistema di controllo GMS		
Pannello di controllo	Elettrodi	Potenziale elettrico
Buono stato generale.	Buono stato di connessione in generale; riscontrata anomalia in due elettrodi (nn. 22 e 97), fra quelli installati nello strato di argilla.	Valori di potenziale elettrico normalizzato nella norma. Non sono state riscontrate anomalie.

Lotto V – vasca-3: stato sistema di controllo GMS		
Pannello di controllo	Elettrodi	Potenziale elettrico
Ottimo stato.	Buono stato in generale.	Non sono state riscontrate anomalie.

61

In fede:

15 luglio 2022