



**AREA IMPIANTI S.p.A.**

**DISCARICA “CRISPA” VIA GRAN LINEA 12  
JOLANDA DI SAVOIA (FE)**

**I° NUOVO LOTTO (ex I° lotto)**

**MONITORAGGIO N. 22\_2**



**RELAZIONE GEOFISICA**

Consorzio Futuro in Ricerca  
Dr. Nasser Abu Zeid

G.T.E. Geologia Tecnica Estense  
Studio Geologico Dr. Geol. Marco Condotta  
Via Fiume, 8/2 44121 FERRARA (FE)

## Sommario

1. PREMESSA.....	3
2. TOMOGRAFIA ELETTRICA.....	5
2.1 TOMOGRAFIA ELETTRICA IN 2D .....	5
3. VERIFICA INTEGRITÀ TELO INFERIORE .....	10
4. VERIFICA INTEGRITÀ TELO SUPERIORE.....	16
5. CONCLUSIONI.....	23

## 1. PREMESSA

In data **10 luglio 2022** è stato eseguito il primo Monitoraggio, n. **2/22**, mediante metodo GMS (Goelectrical Monitoring System), della *nuova vasca di scarica “(ex 1° lotto) del Polo Crispa sito in Comune di Jolanda di Savoia (FE)”*.

Il sistema Goelectrical Monitoring System (GMS) è un sistema composto di elettrodi, costituiti da piastre quadrate in acciaio inox, installati nello strato di sabbia sotto il telo superiore e nel manto di argilla sotto il telo inferiore.

I due livelli di monitoraggio sono stati installati e collaudati a fine novembre 2018 (CFR, Relazione\_Sintetica\_GMS\_I\_Nuovo\_Lotto\_20181207\_DEF.pdf, dicembre 2018).

Il sistema di monitoraggio elettrico sfrutta la capacità del metodo geoelettrico per individuare piccole variazioni di densità di corrente nel caso di una rottura vera e/o di un assottigliamento tale da comportare una lieve circolazione di corrente elettrica. Il sistema, completamente indiretto e non invasivo, fornisce, in tempo utile, indicazioni sullo stato d'impermeabilizzazione dei teli e fornisce, inoltre, indicazioni necessarie per definire il grado di rilevanza dell'impatto ambientale, oltre ad eventuali strategie di bonifica da seguire nel caso si individuassero anomalie associate a rotture.

La distribuzione spaziale degli elettrodi nello strato di argilla e nello strato di sabbia è riportata nelle Figg. 1a) e 1b) mentre in Fig. 1c) la sezione schematica del sistema di impermeabilizzazione. Il doppio sistema di monitoraggio geoelettrico ha permesso di effettuare 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 software specifici per la stima dei valori reali sulla distribuzione della resistività elettrica nel terreno, posto immediatamente sotto i teli di impermeabilizzazione, sia lungo sezioni bidimensionali (Res2DInv, Geotomosoft, 2015) e sia attraverso mappe di resistività reale in 3D (Res3DInv, Geotomosoft, 2015). Inoltre sono riportati, come sezioni, gli andamenti del potenziale elettrico misurato lungo le linee di monitoraggio elettrico poste sotto i teli di impermeabilizzazione e confrontate con i medesimi andamenti ottenuti nella fase di primo controllo.

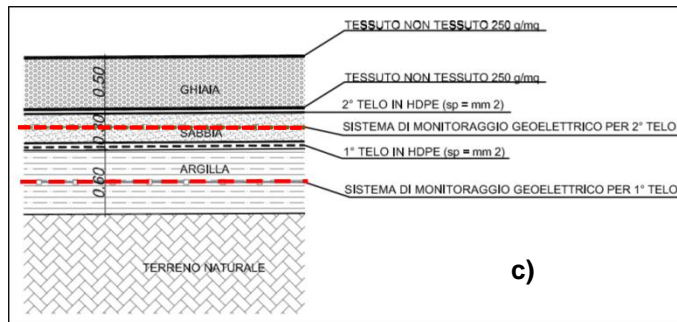
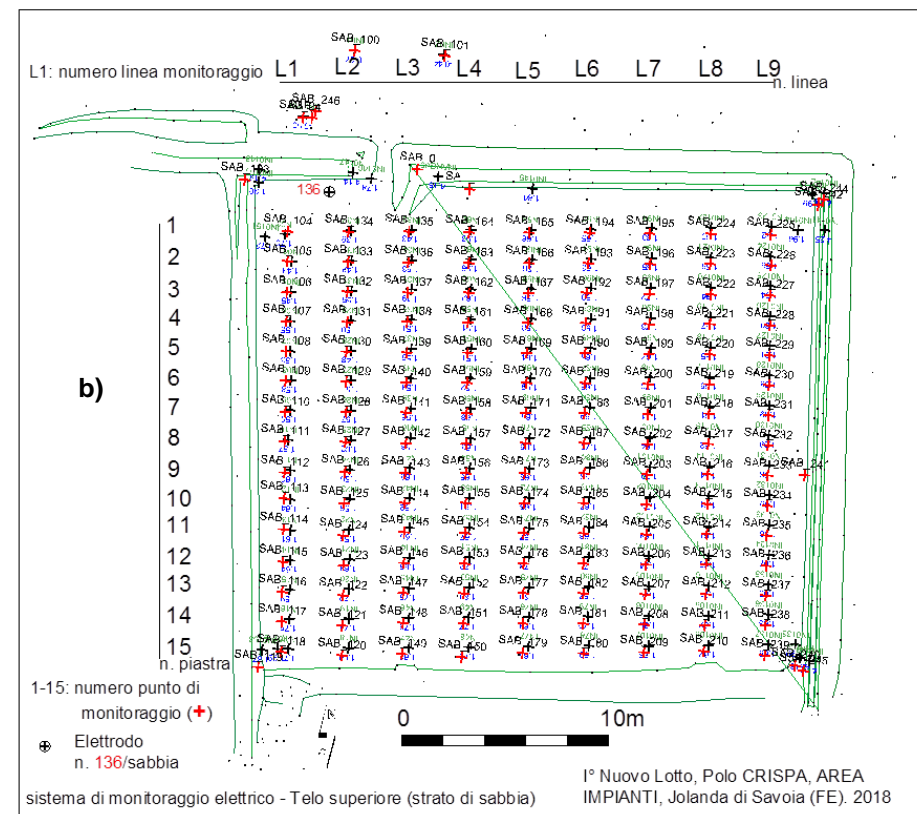
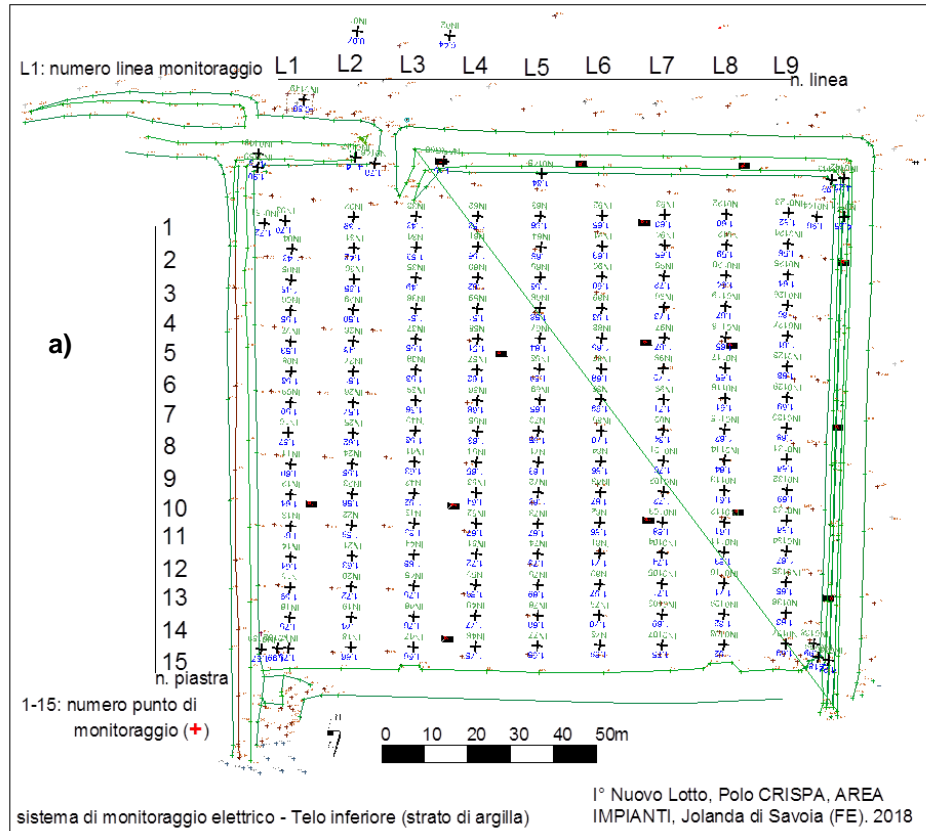


Figura 1:

- a) posizione degli elettrodi nel manto di argilla sotto il telo inferiore in HDPE;
- b) posizione degli elettrodi nello strato di sabbia sotto il telo superiore in HDPE;
- c) sezione schematica del sistema d'impermeabilizzazione, con ubicazione elettrodi (linee rosse tratteggiate).

## 2. TOMOGRAFIA ELETTRICA

La disposizione degli elettrodi nello strato di argilla sotto il telo inferiore ha permesso di acquisire i dati geoelettrici utilizzati per ricostruire modelli di resistività 2D e 3D dei primi metri di terreno, per poterli confrontare con quelli ottenuti prima della coltivazione del lotto in oggetto.

I dati di resistività apparente di nove profili (L1-L9) sono stati acquisiti utilizzando un georesistivimetro digitale modello ABEM Inc. SAS1000 (Svezia).

I modelli di resistività 2D e 3D sono stati processati utilizzando il codice Res2dinv e Res3dinv (Geotomosoft, 2015), stimando i valori reali della distribuzione della resistività elettrica nel terreno, posto immediatamente sotto il telo inferiore di impermeabilizzazione.

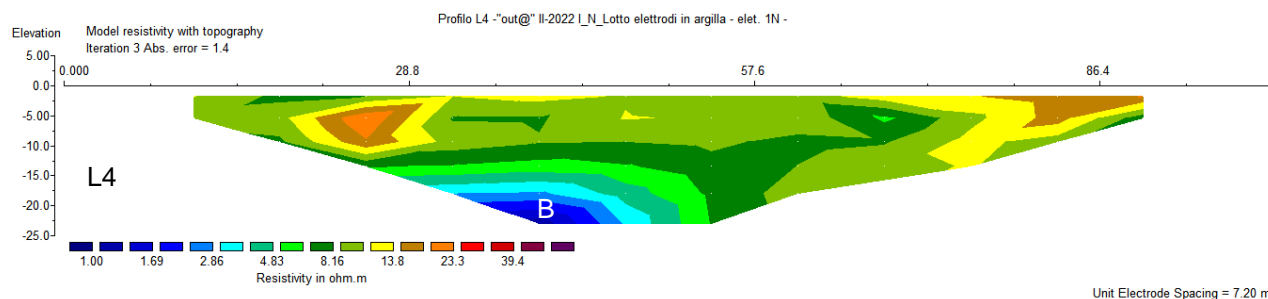
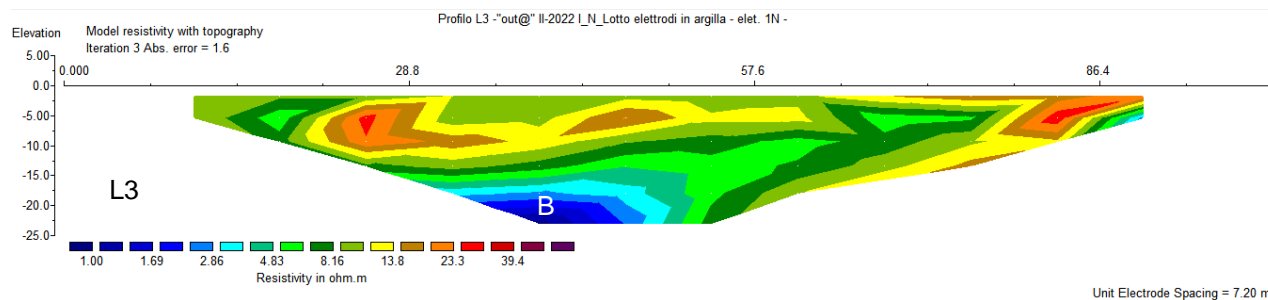
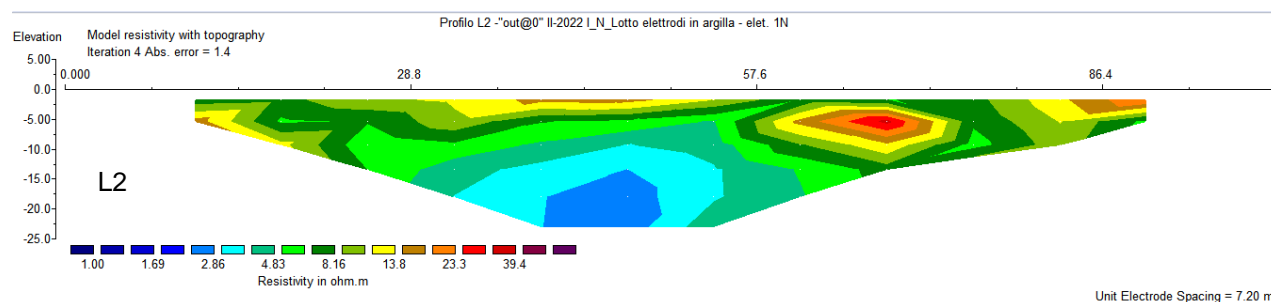
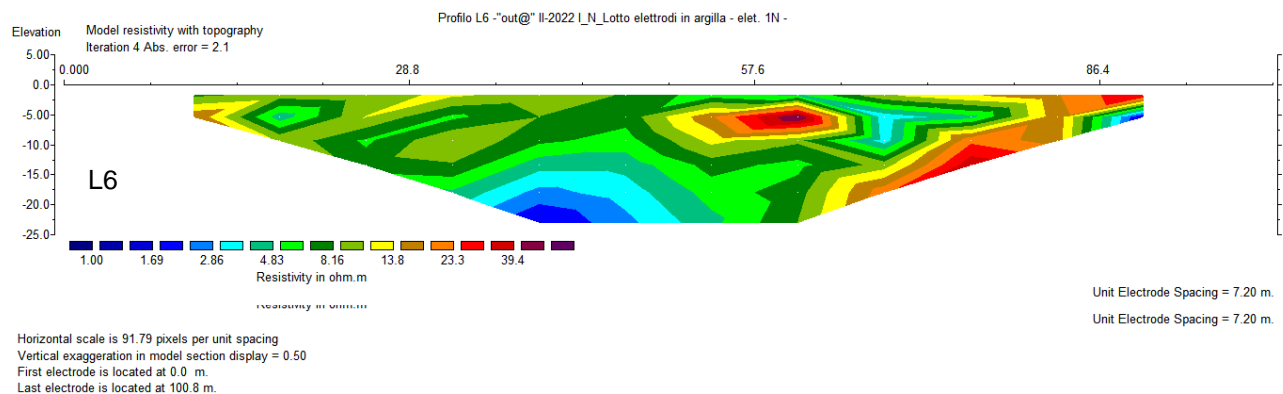
### 2.1 TOMOGRAFIA ELETTRICA IN 2D

I modelli di resistività 2D di tutte le nove sezioni ERT installate nello strato di argilla, sono illustrati nella figura 2.

I modelli di resistività, nei primi metri, risultano essere pressoché simili ai valori ottenuti dopo il primo monitoraggio (gennaio 2019); ciò suggerisce assenza di fluidi a bassa resistività come quelli del percolato confermando indirettamente la tenuta della barriera impermeabile del telo inferiore.

Le differenze di resistività laterale, osservate nei primi 2-3 m di spessore, possono invece essere legate a variazioni granulometriche locali o di umidità.

Le marcate variazioni nell'intervallo da 2-3 m a 5-6 m sono dovute alla presenza di sedimenti saturi in acqua dolce (Linee L6-L9, fig. 2), alternati lateralmente a sedimenti fini in presenza di acqua salmastra (cfr. B in Fig. 2).



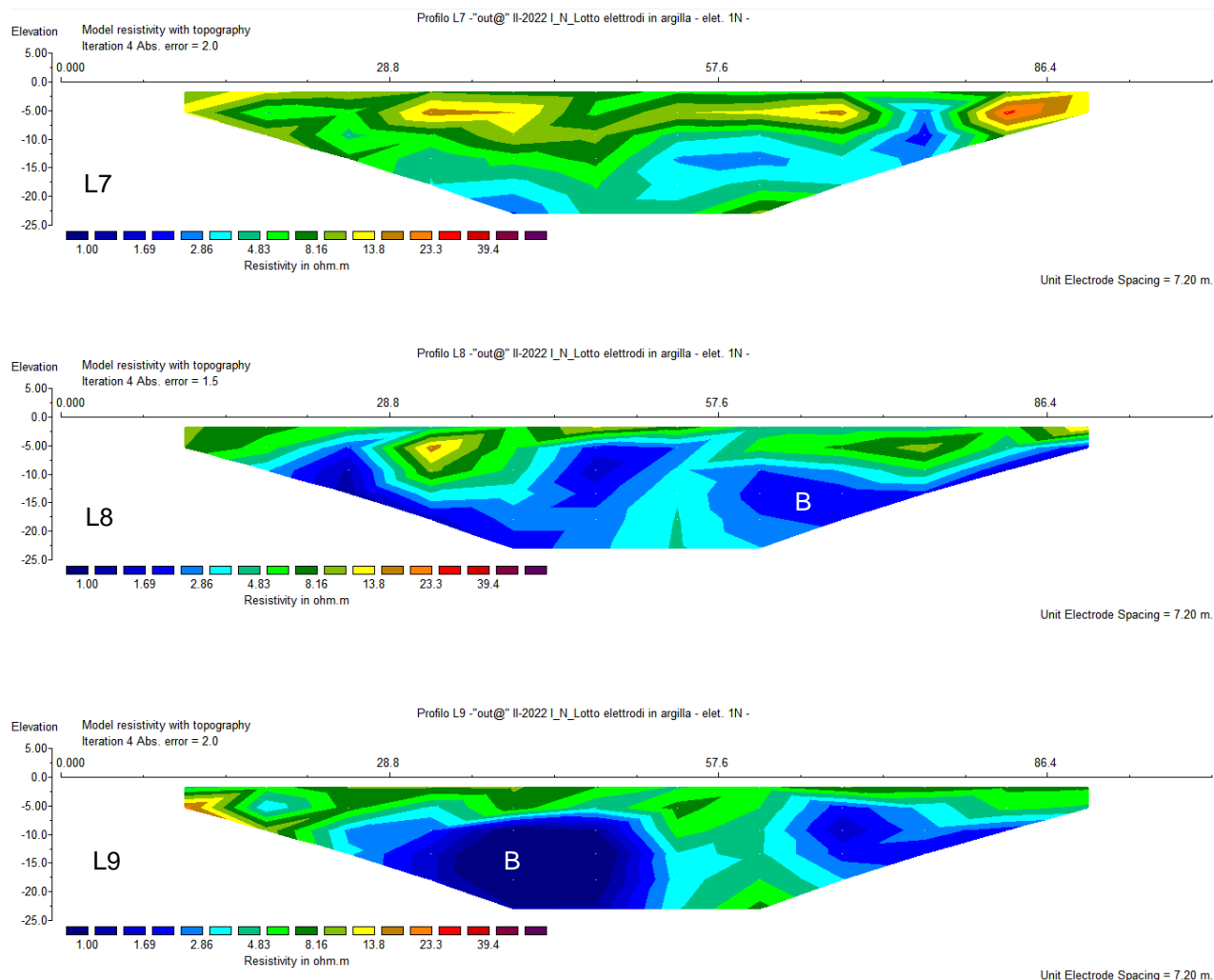


Figura 2: Modelli di resistività 2D delle sezioni geoelettiche L1-L9 sotto il telo inferiore [periodo luglio 2022]. Le sezioni sono orientate da nord verso sud, mentre le linee di monitoraggio elettrico sono collocate dal lato occidentale L1, verso quello orientale L9, del 'I Nuovo Lotto'. (B: evidenza di bassi valori di resistività elettrica attribuibili a sedimenti saturi di acqua salata).



## 2.2 TOMOGRAFIA ELETTRICA IN 3D

I dati di resistività apparente di tutti i profili sono stati processati con l'ausilio del codice di calcolo (Res3dInv, Geotomosoft, 2015) al fine di produrre il modello 3D della distribuzione della resistività elettrica nel sottosuolo. I risultati ottenuti, rappresentati sotto forma di sezioni orizzontali a diversa profondità (0 – 2,5 m e 2,5 – 5,0 m), sono riportati in Fig. 3a.

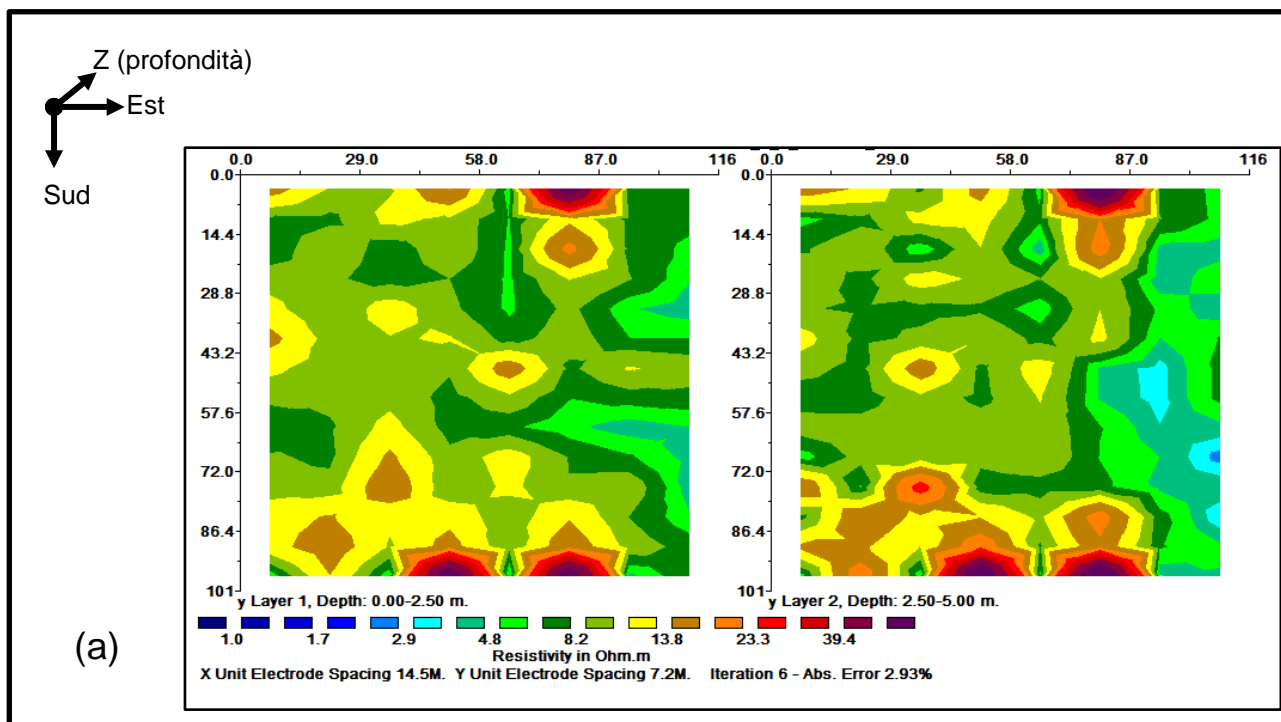


Figura 3a: sezioni orizzontali di resistività elettrica, fino a 5 m di profondità sotto il 1° Nuovo Lotto, ottenuti dall'inversione dei dati in 3D [periodo luglio 2022].



In Figura 3b si riportano, invece, le sezioni verticali orientate da sinistra verso destra (cioè da ovest verso est) e dall'alto verso il basso (cioè da nord verso sud). Le sezioni orizzontali e verticali riportano la distribuzione dei valori della resistività del sottosuolo, compreso quello dello strato di argilla.

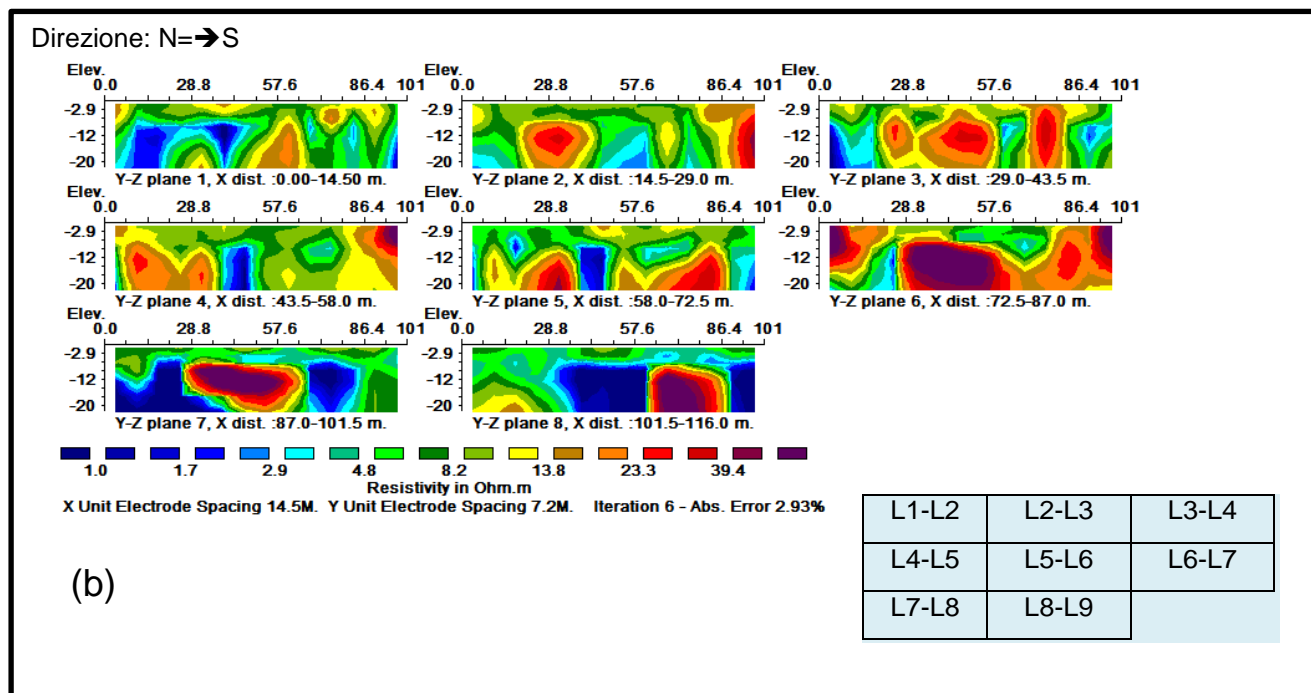


Figura 3b: sezioni verticali di resistività elettrica, fino a 18 m di profondità sotto il I° Nuovo Lotto, ottenute dall'inversione dei dati in 3D. Le sezioni sono orientate da Nord a Sud [periodo luglio 2022].

### 3. VERIFICA INTEGRITÀ TELO INFERIORE

Il monitoraggio è stato effettuato mediante l'energizzazione di un elettrodo posto nello strato di sabbia sovrastante il telo inferiore (elettrodo n. 136) e la misura della differenza di potenziale elettrico negli elettrodi in argilla secondo lo schema illustrato in figura 4.

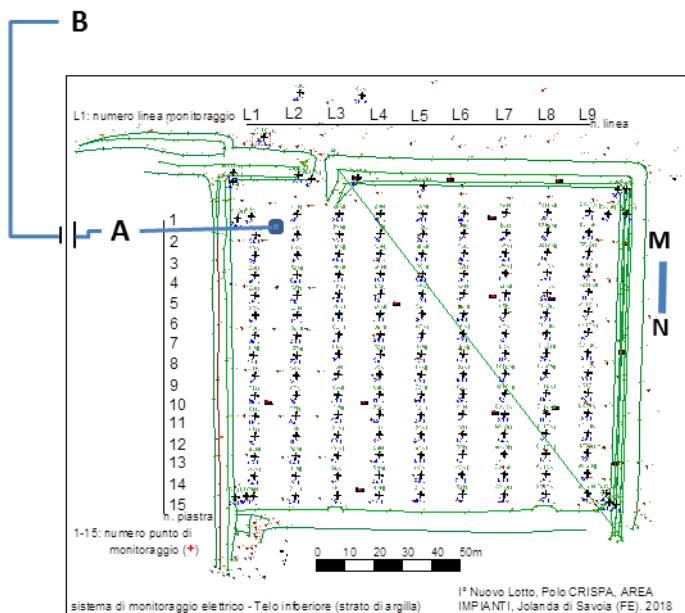
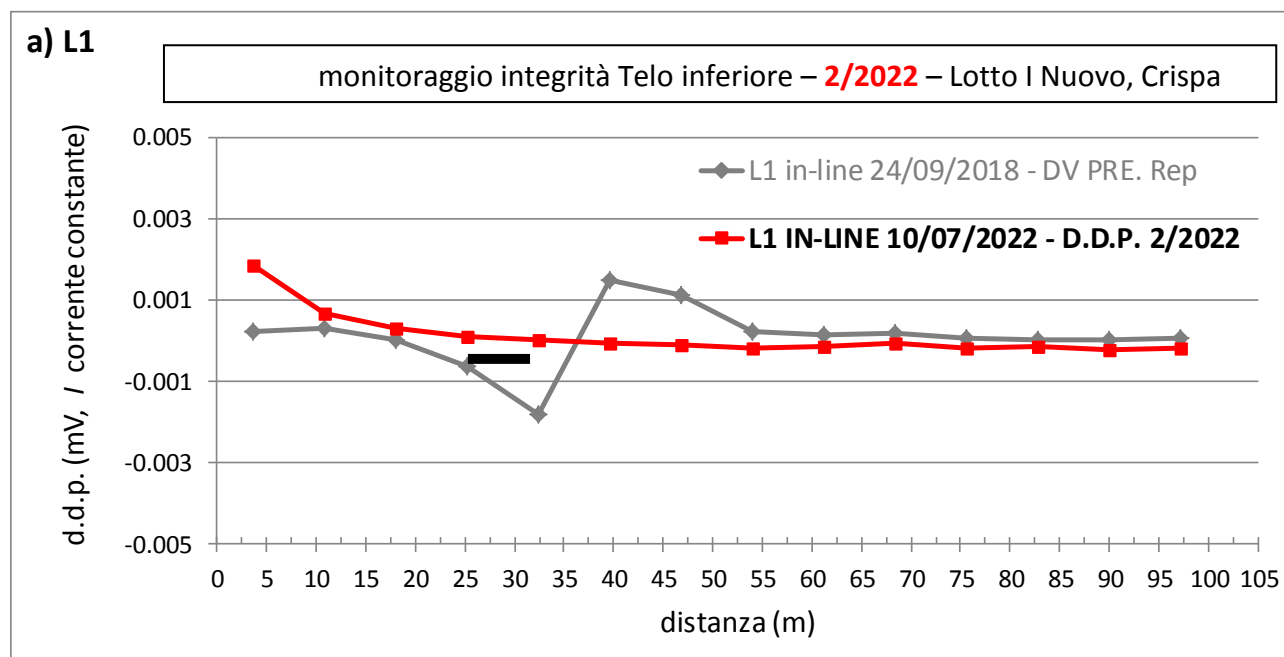


Figura 4: schema energizzazione (AB: dipolo di corrente ed MN: dipolo di potenziale) adottato per il controllo dell'integrità del telo inferiore (sopra lo strato di argilla).

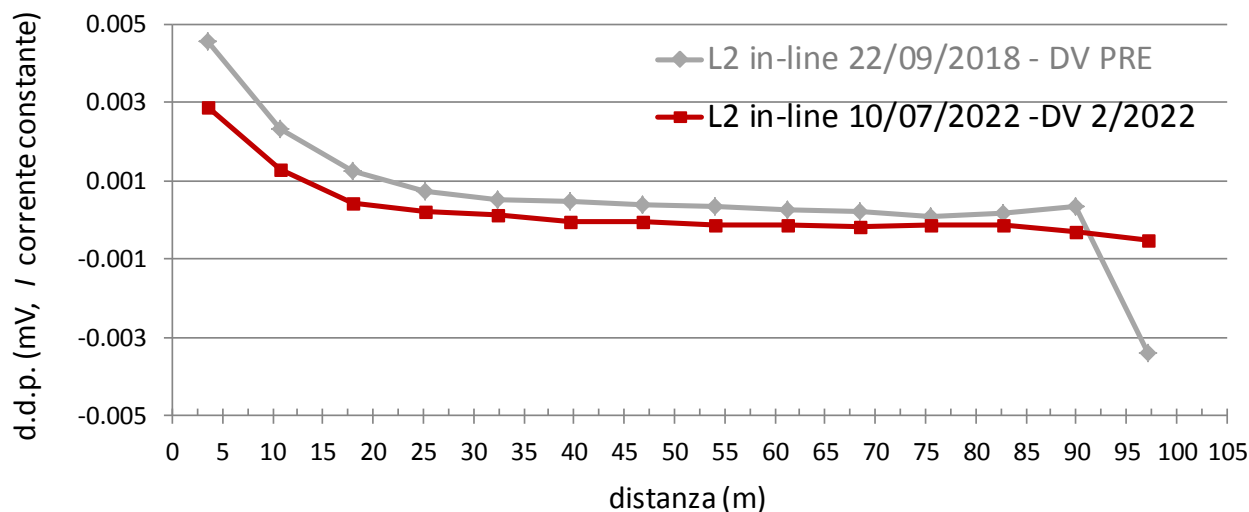
I dati delle d.d.p. acquisiti hanno confermato l'assenza di anomalie che possono essere causate da difetti nel sistema d'impermeabilizzazione costituito dal telo inferiore in HDPE. In figura (5 a÷i) si riportano i profili delle misure della d.d.p. di tutte le tracce (L1-L9) sovrapposte a quelle effettuate nel primo controllo (curve in grigio).

#### Monitoraggio Telo Inferiore 2/2022



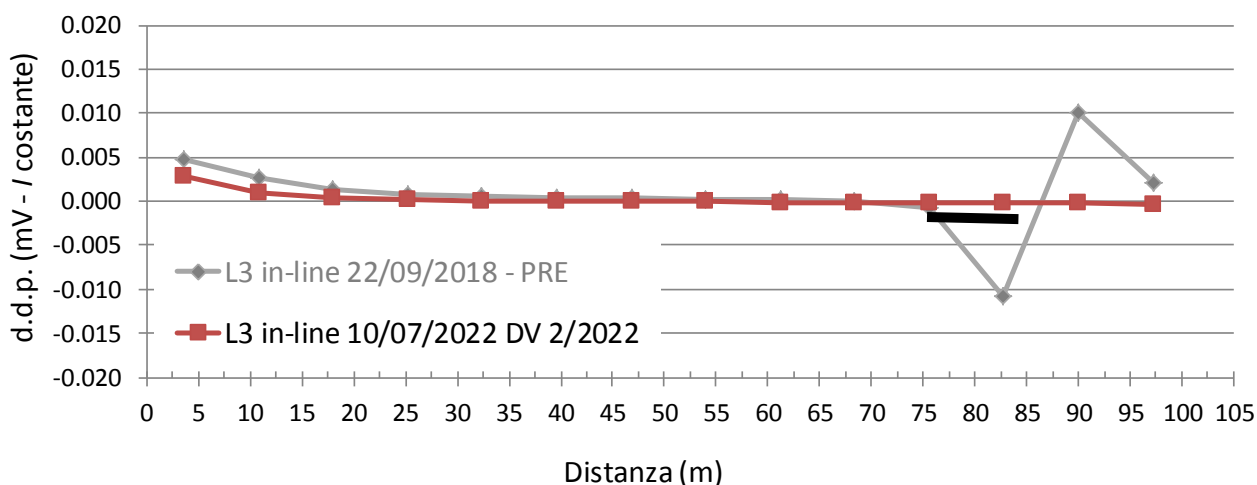
## b) L2

monitoraggio integrità Telo inferiore - **2/2022** - Lotto I Nuovo, CRISPA



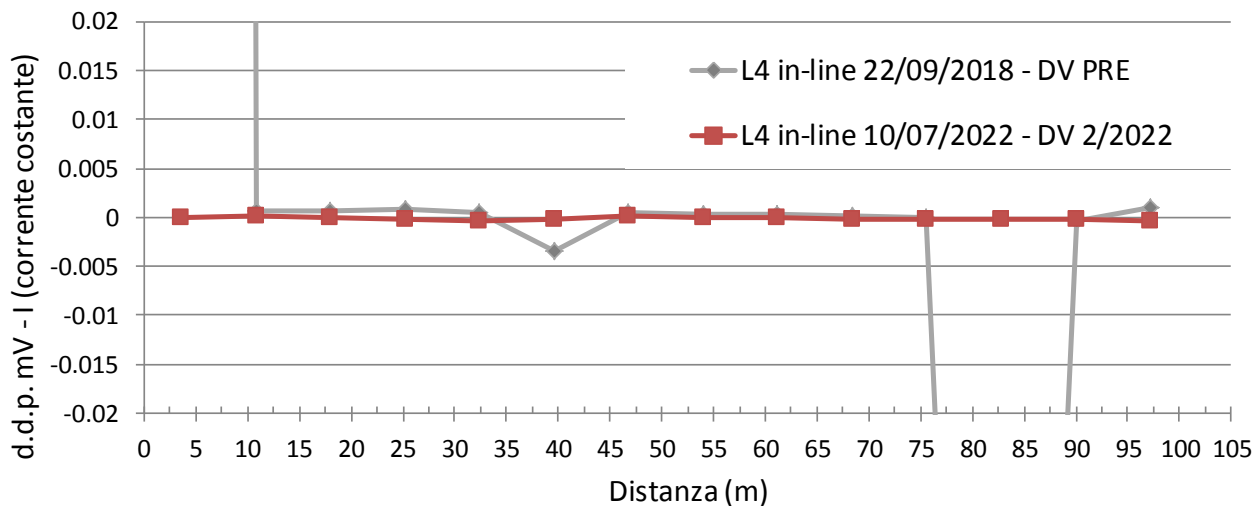
## c) L3

monitoraggio integrità Telo inferiore - **2/2022** - Lotto I Nuovo, CRISPA



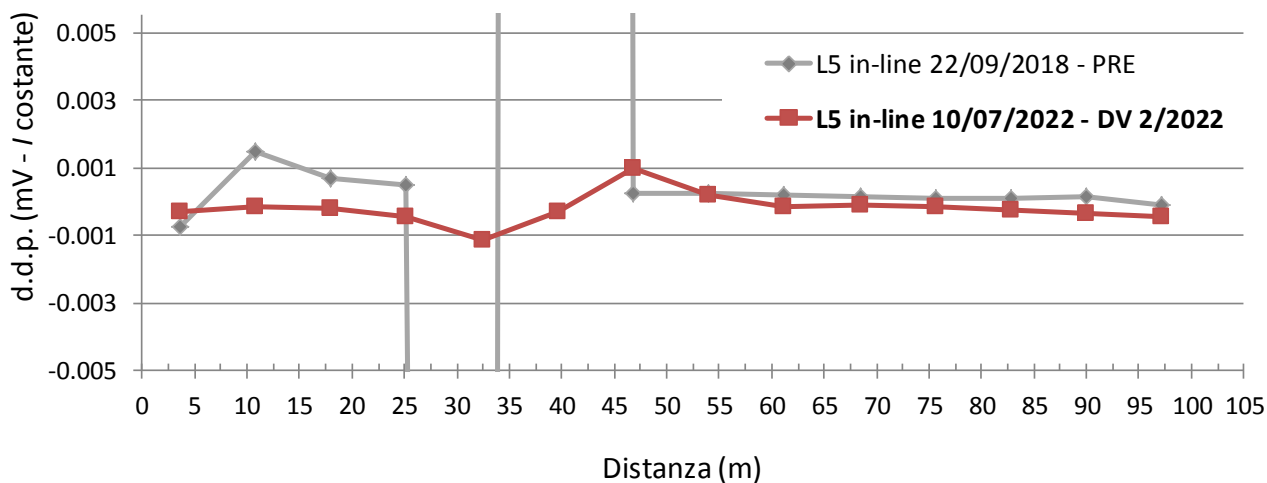
## d) L4

monitoraggio integrità Telo inferiore - **2/2022** - Lotto I Nuovo, CRISPA



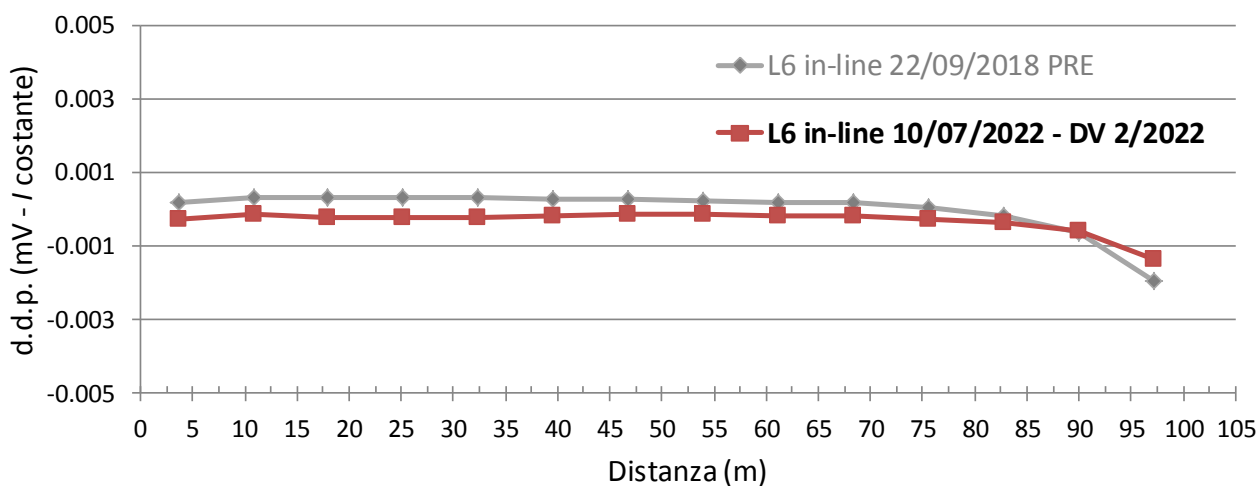
e) L5

monitoraggio integrità Telo inferiore - **2/2022** - Lotto I Nuovo, CRISPA



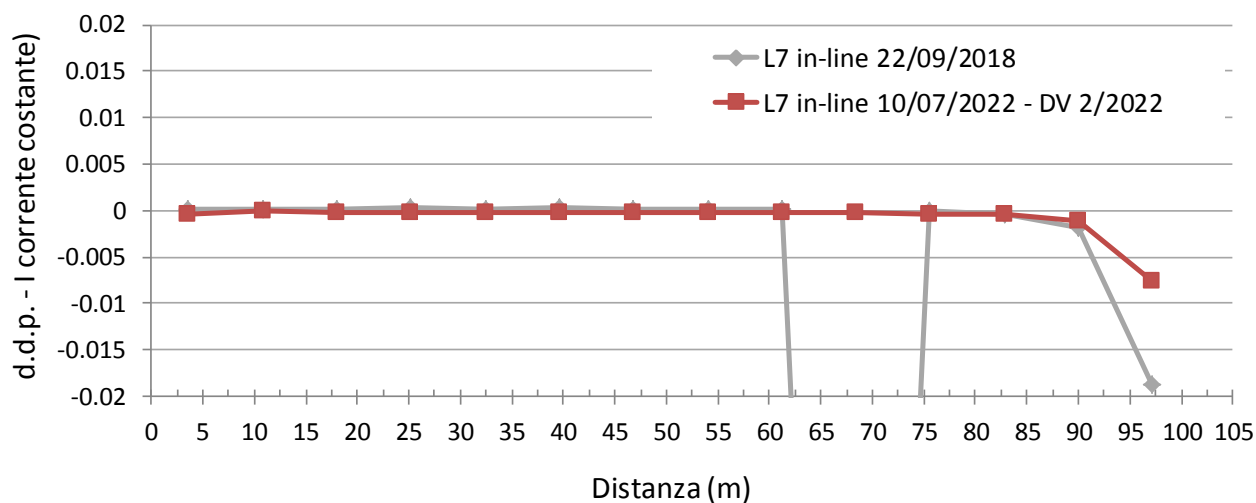
f) L6

monitoraggio integrità Telo inferiore - **2/2022** - Lotto I Nuovo, CRISPA



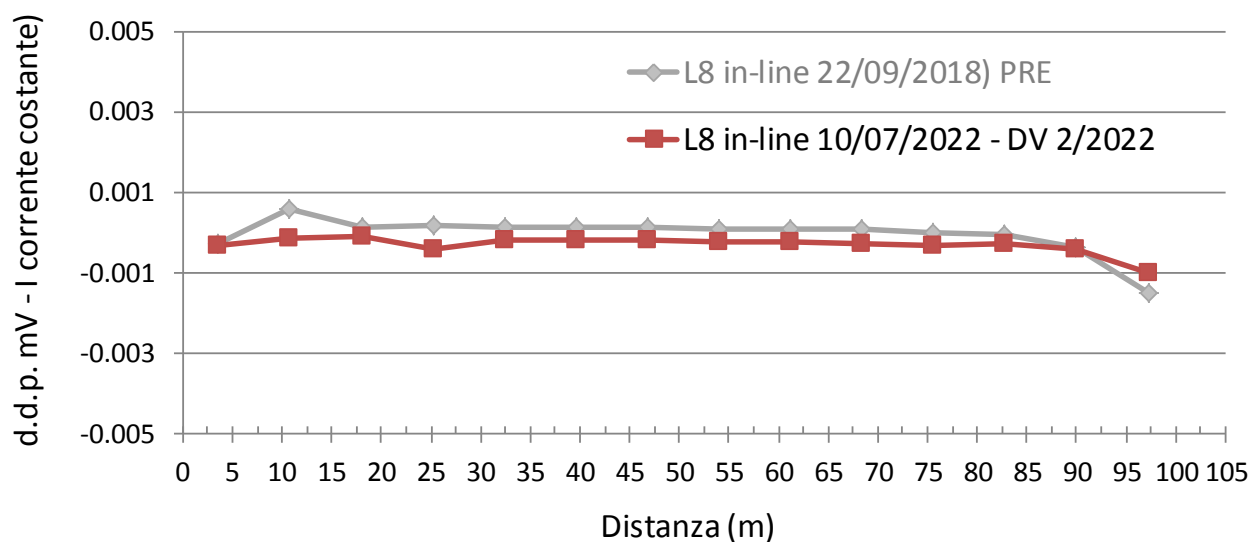
### g) L7

monitoraggio integrità Telo inferiore - **2/2022** - Lotto I Nuovo, CRISPA



### h) L8

monitoraggio integrità Telo inferiore - **2/2022** - Lotto I Nuovo, CRISPA



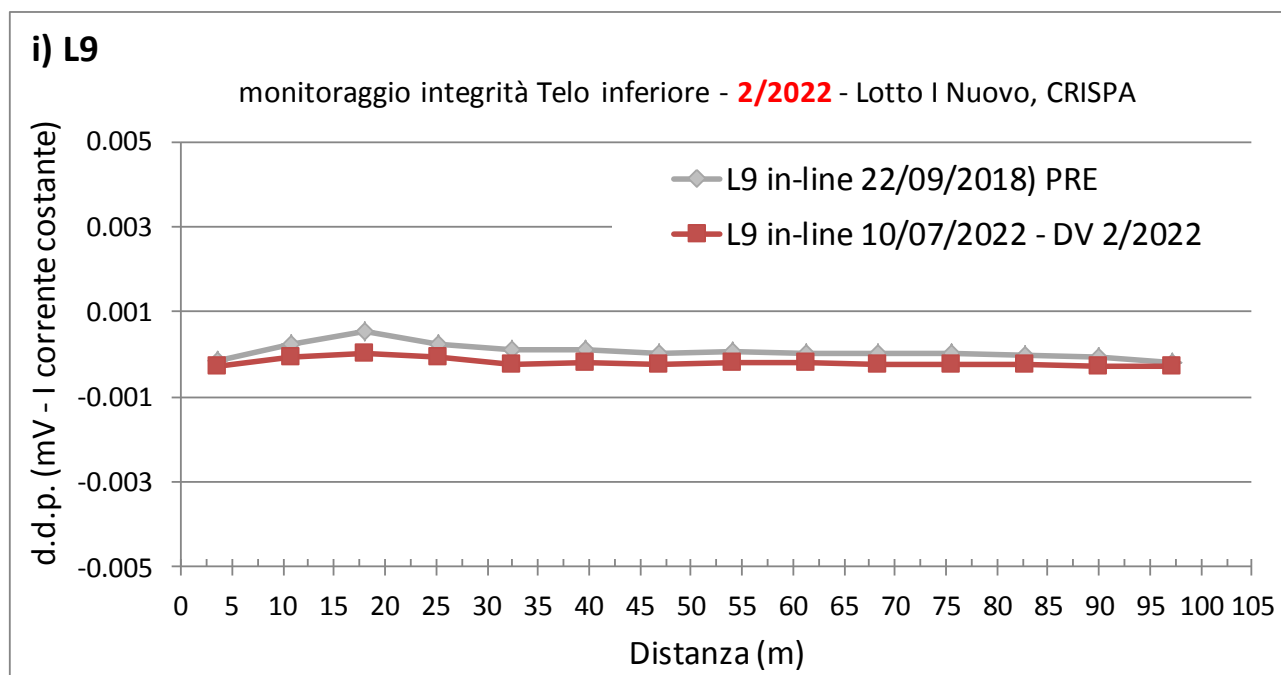


Figura 5: profili sperimentali di monitoraggio geoelettrico della d.d.p. misurata prima della riparazione (curva grigia) e dopo, in seguito al monitoraggio effettuato nel mese di **luglio 2022** (curva marrone).

In Figura 6, si riporta la mappa della distribuzione degli elettrodi nello strato di argilla. La figura non riporta nessuna anomalia a conferma che, nelle limitazioni del metodo geoelettrico del sistema GMS, **la barriera** di impermeabilizzazione rappresentata dal telo inferiore **risulta essere integra**.

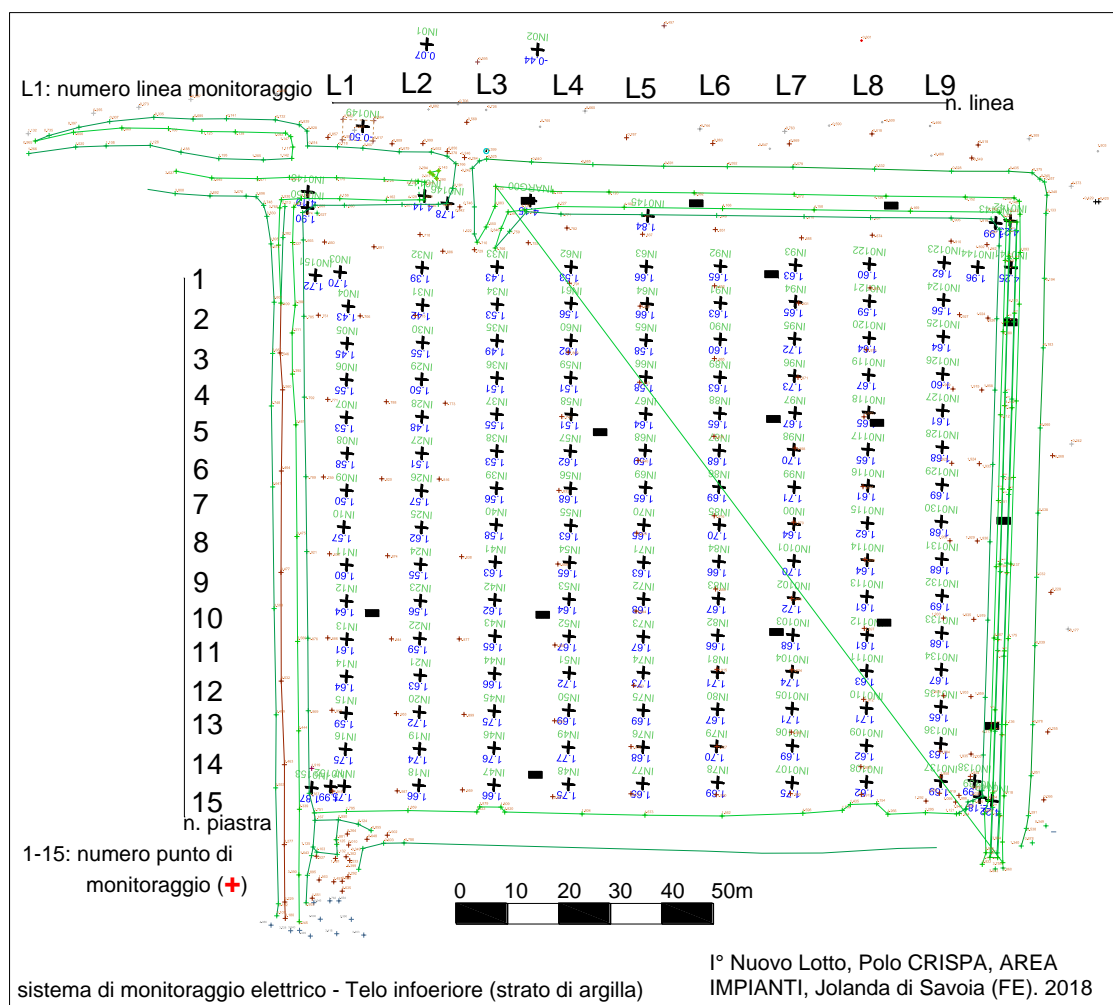


Figura 6: mappa della distribuzione delle piastre del sistema di monitoraggio elettrico installato nel manto di argilla sotto il telo inferiore. Il controllo effettuato nel mese di **luglio 2022** conferma l'integrità del telo inferiore.



## 4. VERIFICA INTEGRITÀ TELO SUPERIORE

La verifica è stata effettuata mediante l'energizzazione di un elettrodo, posto nello strato di ghiaia sovrastante il telo superiore e misura della differenza di potenziale elettrico, negli elettrodi posti nello strato di sabbia, secondo lo schema illustrato in figura 7.

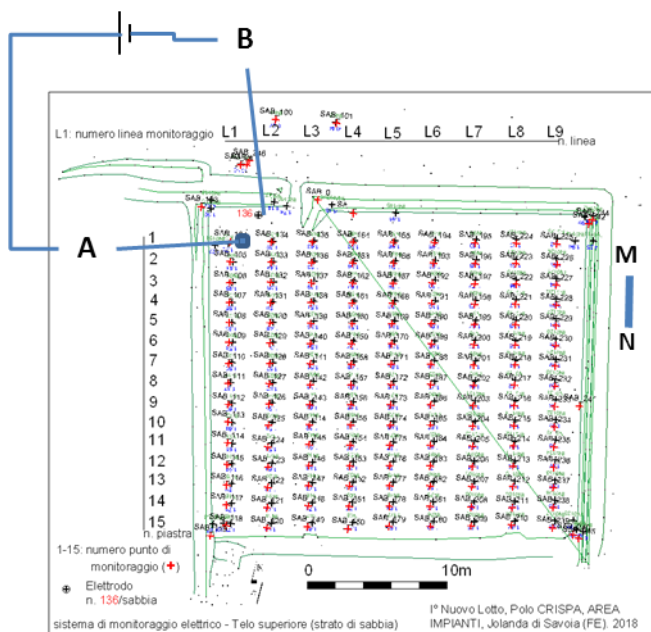


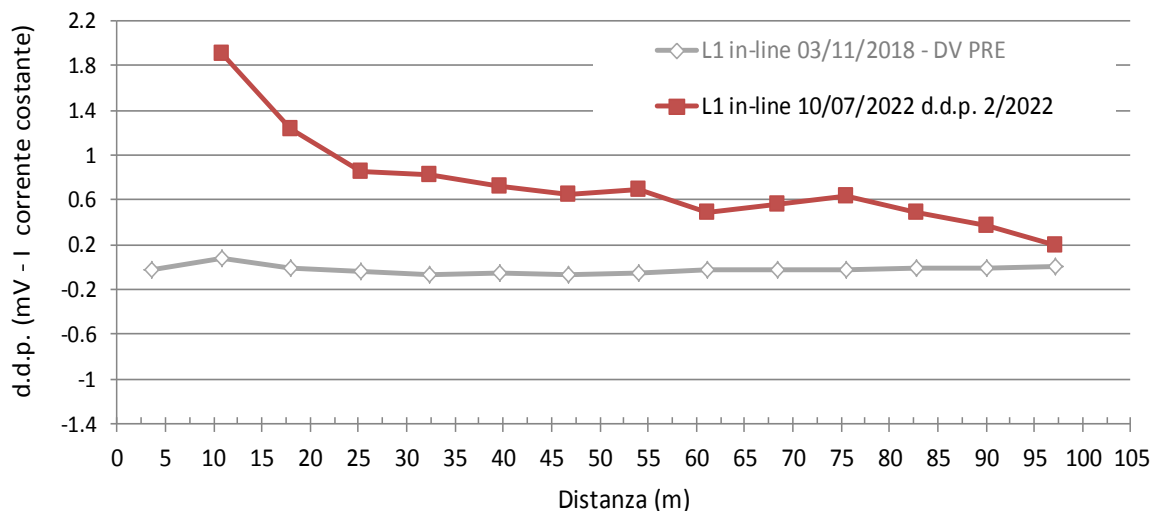
Fig. 7: schema energizzazione (AB: dipolo di corrente e MN: dipolo di potenziale) adottato per il controllo dell'integrità del telo superiore (sopra lo strato di sabbia).  
[luglio 2022].

Nei limiti della tecnica GMS, il test elettrico per la verifica del telo superiore non ha evidenziato anomalie, confermando la sua integrità. In figura 8, si riportano le misure della d.d.p. effettuate lungo tutte le linee del sistema GMS.

## Monitoraggio Telo Superiore 2/2022

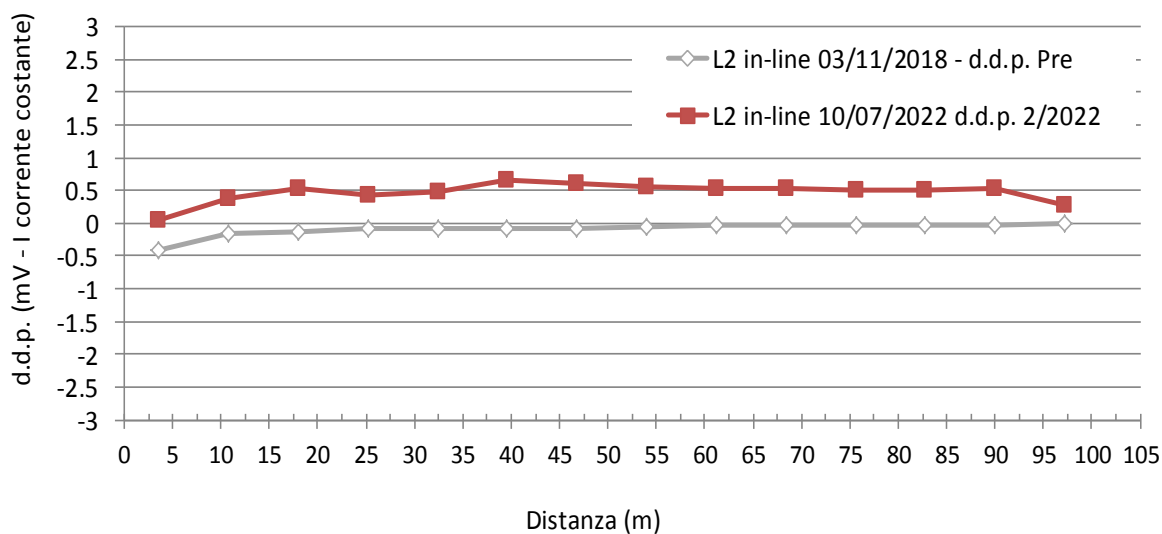
a) L1

monitoraggio integrità Telo superiore – 2/2022 – Lotto I Nuovo, Crispa



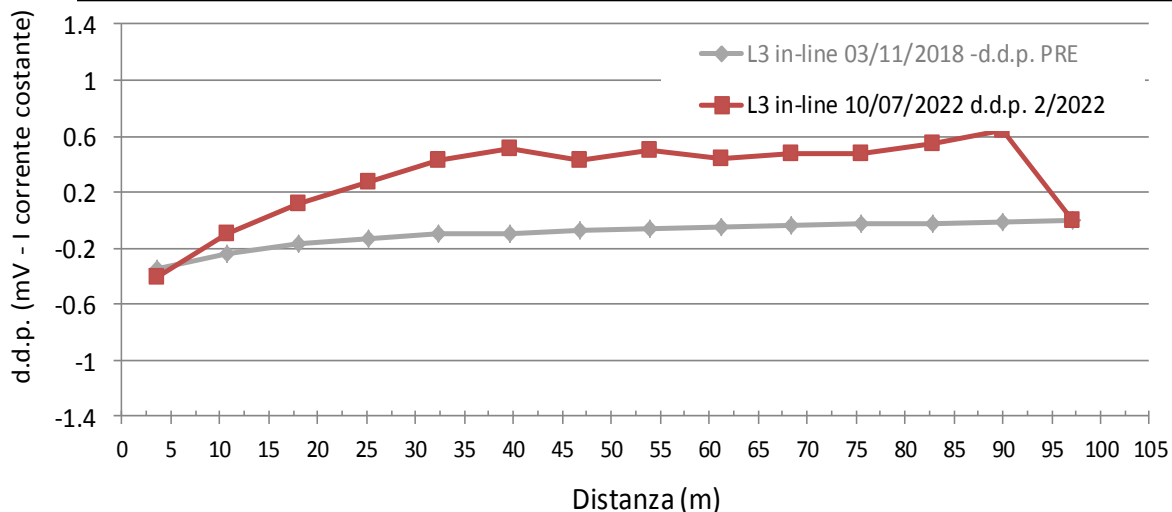
b) L2

monitoraggio integrità Telo superiore – 2/2022 – Lotto I Nuovo, Crispa



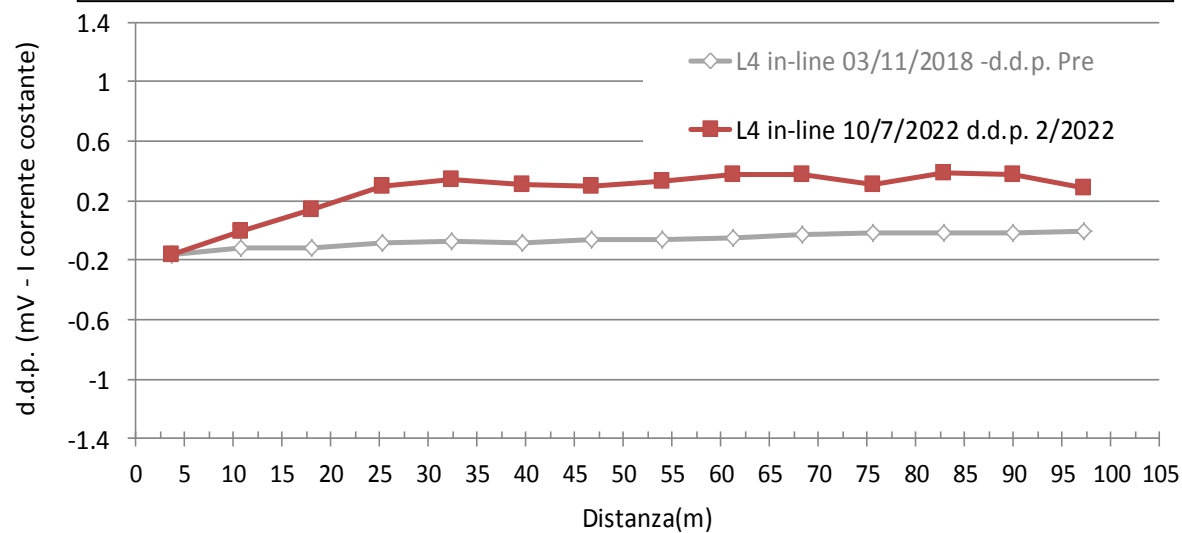
c) L3

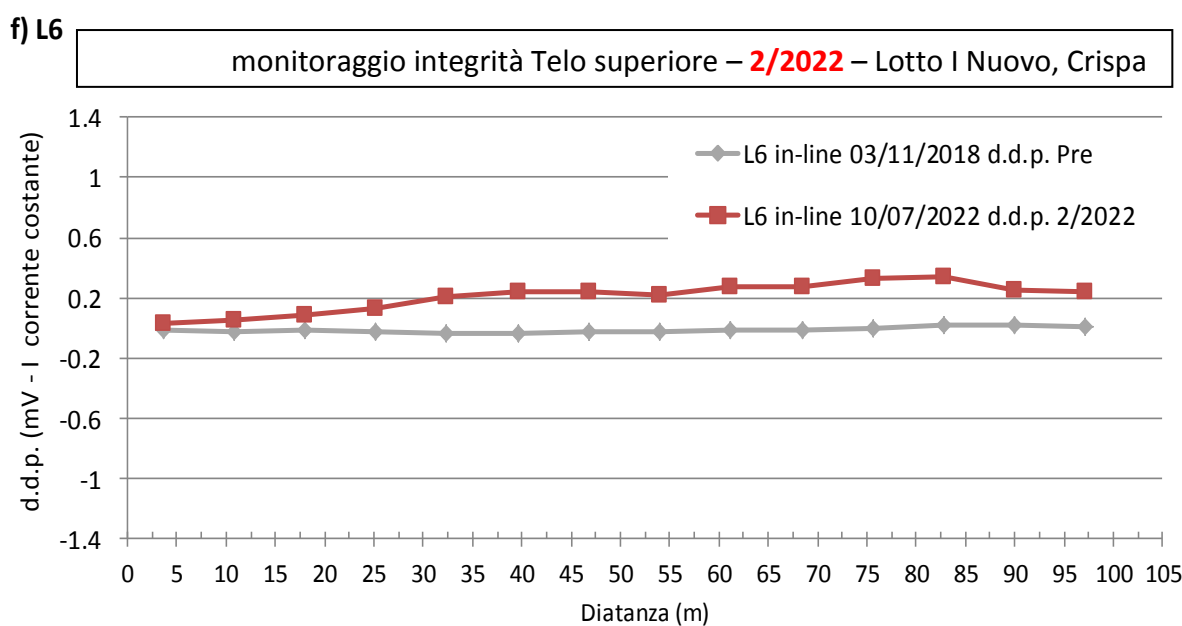
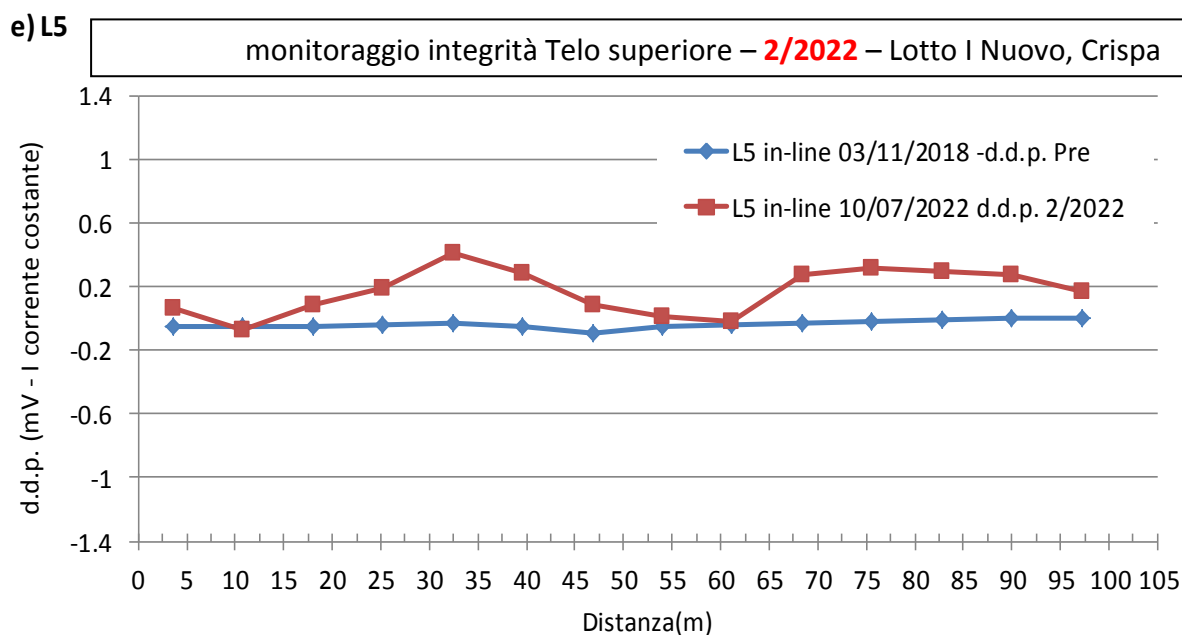
monitoraggio integrità Telo superiore – **2/2022** – Lotto I Nuovo, Crispa



d) L4

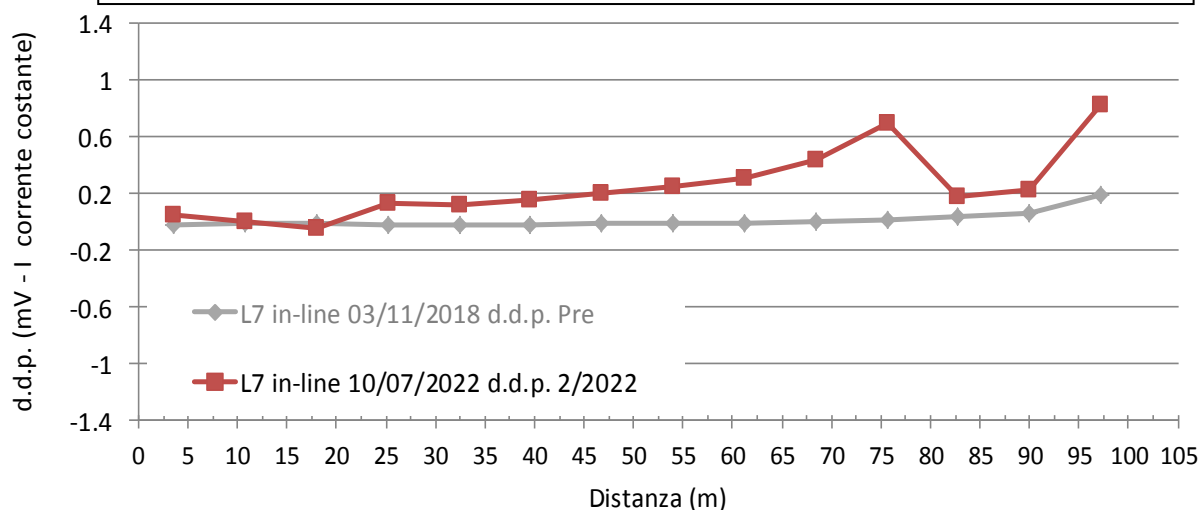
monitoraggio integrità Telo superiore – **2/2022** – Lotto I Nuovo, Crispa





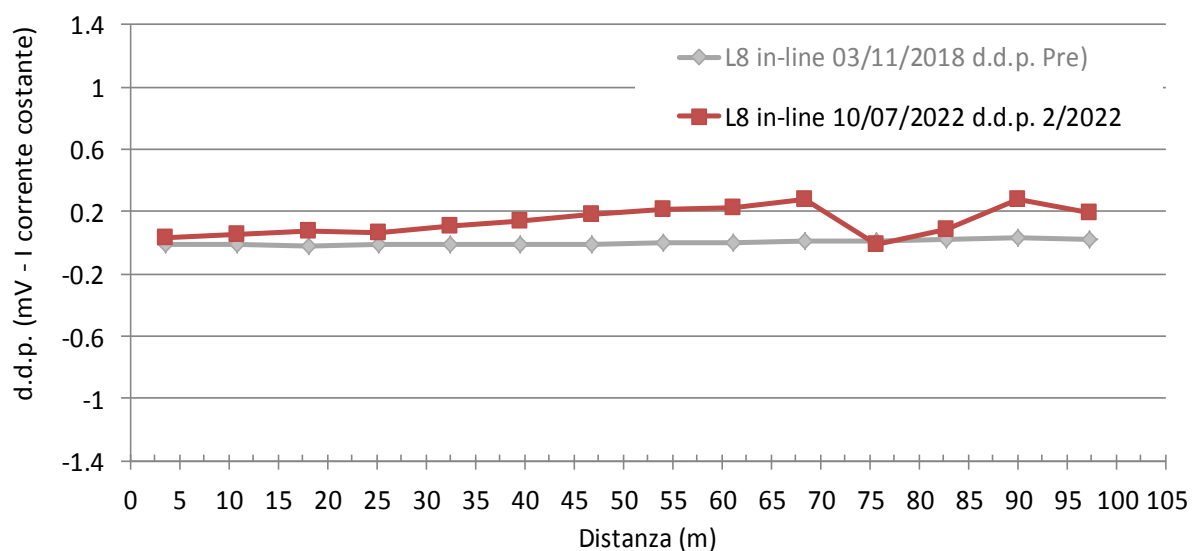
g) L7

monitoraggio integrità Telo superiore – 2/2022 – Lotto I Nuovo, Crispa



h) L8

monitoraggio integrità Telo superiore – 2/2022 – Lotto I Nuovo, Crispa



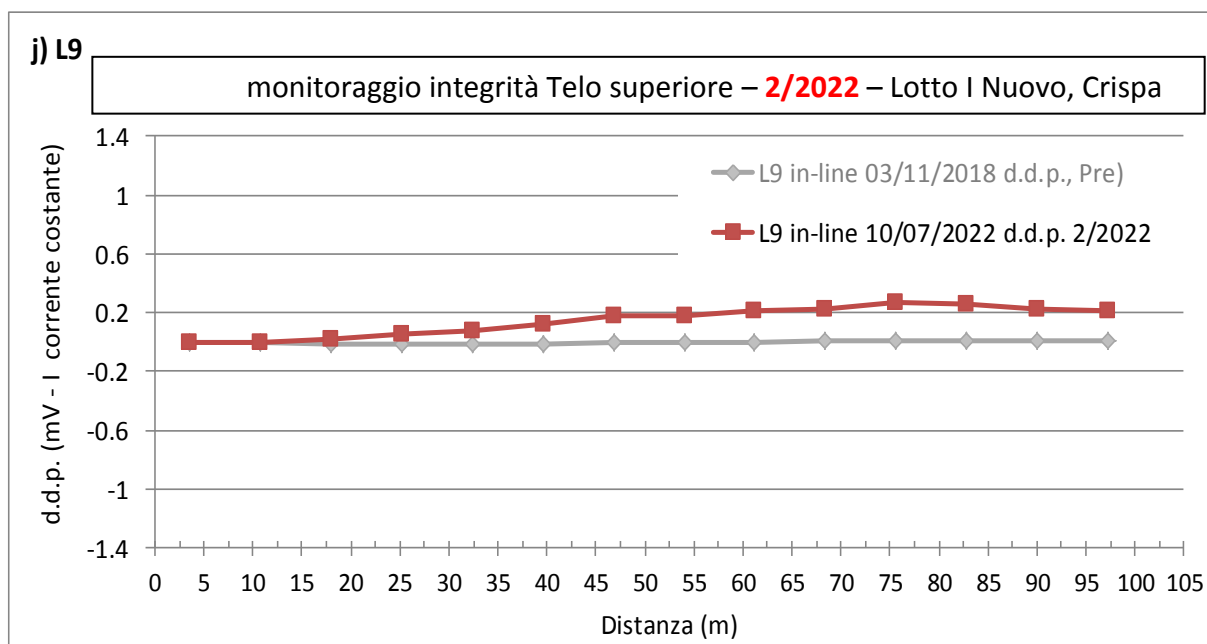


Figura 8: profili sperimentali del monitoraggio geoelettrico effettuato per la verifica dell'integrità del telo superiore [**periodo luglio 2022**] (colore rosso). In grigio sono presentati i medesimi profili ottenuti nella fase di collaudo [2018].

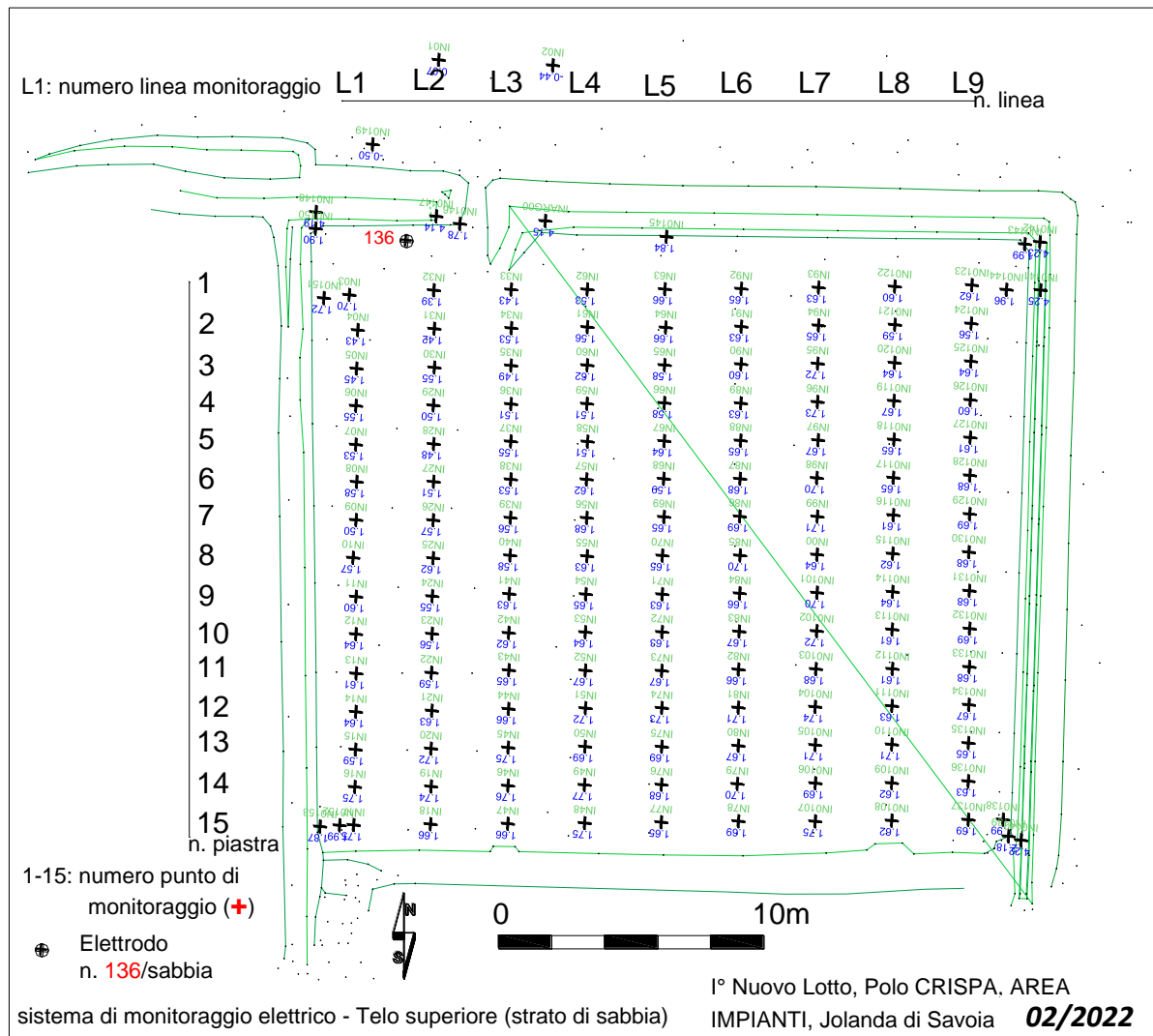


Figura 9: mappa di distribuzione delle piastre del sistema di monitoraggio elettrico installato nello strato di sabbia sotto il telo superiore. Controllo effettuato nel mese di **luglio 2022**. Cerchio arancione (X=71m, Y=24m, x0: bordo occidentale del lotto e y0: bordo settentrionale del lotto) della Linea L5): zona di possibile assottigliamento del telo superiore.



## 5. CONCLUSIONI

Il monitoraggio elettrico, eseguito in data **10 luglio 2022** presso il **I° Nuovo Lotto** della discarica per Rifiuti Solidi Urbani in Località “CRISPA” nel Comune di Jolanda di Savoia (FE) ha permesso di acquisire i valori di resistività elettrica del sottosuolo, per l’area in esame.

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

1. **Telo inferiore**: le misure della differenza di potenziale elettrico (d.d.p.), eseguite a corrente costante, hanno confermato l’assenza di anomalie e quindi la tenuta idraulica del telo inferiore;
2. **Tel superiore**: Le misure della differenza di potenziale elettrico (d.d.p.), effettuate a corrente costante, hanno confermato l’assenza di anomalie, ovvero la tenuta idraulica del telo superiore.
3. **Tomografia elettrica**: l’analisi dei valori di resistività elettrica dei modelli di resistività elettrica nei primi 2.5-5.0 m di terreno, sottostanti la geomembrana inferiore in HDPE, non ha evidenziato presenza di anomalie, confermando la tenuta dei sistemi di impermeabilizzazione. Si sottolinea che i valori di resistività risultano essere superiori a quelli ottenuti nella fase di collaudo. Questo incremento di valori può essere attribuito alla compattazione dello strato di argilla.

Tabella 3 condizioni generali del sistema di monitoraggio geoelettrico del I° Nuovo Lotto del polo CRISPA [**periodo luglio 2022**].

I Nuovo Lotto: stato sistema di controllo GMS: [10/07/2022]		
Pannello di controllo	Elettrodi	Potenziale elettrico
Ottimo stato.	Ottimo stato in generale. La continuità elettrica dell’elettrodo n. 136 risulta essere stata ripristinata.	Le verifiche effettuate non presentano anomalie riconducibili a lacerazioni nei teli d’impermeabilizzazione.