

**MCR - Workshop di Geofisica, Rovereto 5 dicembre 2008**  
*Mario Naldi, Fabrizio Fantini - Techgea Servizi TORINO*



**APPROCCIO GEOFISICO MULTIDISCIPLINARE  
PER LA VERIFICA DI DISCARICHE**

## APPROCCIO GEOFISICO MULTIDISCIPLINARE PER LA VERIFICA DI DISCARICHE

### Premessa

La crescente sensibilità ambientale – unita ad un razionale uso del territorio – pone come priorità conoscitiva la caratterizzazione delle **aree di discarica**, sia che si tratti di discariche abusive (e in tal caso prive di ogni sistema di protezione/prevenzione dell'inquinamento) e sia che si tratti di discariche note (discariche esaurite, di vecchia concezione) con potenziali problemi di perdita di percolato e conseguente inquinamento di falda.

La presenza di rifiuti o – in generale – di corpi estranei nel sottosuolo determina delle importanti variazioni di alcuni parametri chimico-fisici rilevabili con metodologie geofisiche, tra cui i più rilevanti sono:

1. La **conducibilità elettrica dei terreni** definisce la capacità di un materiale di permettere il passaggio di una corrente elettrica [unità di misura siemens/m]; spesso si usa la resistività elettrica (inverso della conducibilità elettrica e si esprime in  $\text{ohm}\cdot\text{m}$ )
2. La “caricabilità” elettrica (la **polarizzazione indotta** dal passaggio di corrente elettrica nel sottosuolo, particolarmente sensibili per materiali polarizzabili quali fluidi ipersalini o materiali metallici)
3. La **suscettività magnetica**, che definisce la capacità di un materiale di magnetizzarsi in presenza di un campo magnetico esterno.

## APPROCCIO GEOFISICO MULTIDISCIPLINARE PER LA VERIFICA DI DISCARICHE

### Obiettivi di indagine

Per la caratterizzazione ambientale di siti di discarica si pongono tre diversi obiettivi di indagine, tra loro consequenziali:

1. la “**localizzazione della sorgente di contaminazione**”, ovvero l’individuazione del sito di discarica su un’area priva di riferimenti visibili o noti
2. la “**caratterizzazione geometrica**” della sorgente di contaminazione, in termini di estensione laterale, approfondimento, presenza di fuoriuscita di sostanze contaminanti (“pennacchi” di contaminazione)
3. la “**caratterizzazione del tipo di rifiuto**”, con riconoscimento preliminare del possibile tipo di rifiuto (RSU, fanghi industriali, scorie di altoforno, macerie edili, ecc.)

Applicazione	Problematiche	Metodi
Individuazione discariche non controllate	Determinazione estensione laterale e in profondità dei rifiuti; individuazione di fusti metallici	Magnetico, Elettromagnetico, Tomografie elettriche
Studio di discariche controllate	Individuazione zone di accumulo di percolato in discarica; analisi perdite di percolato	Magnetico, Elettromagnetico, Tomografie elettriche, Polarizzazione indotta, Potenziali spontanei
Monitoraggio attività discariche	Verifica integrità dei teli prima inizio attività; monitoraggio nel tempo dell'integrità delle geomembrane	Tomografie elettriche, Rete di elettrodi

## APPROCCIO GEOFISICO MULTIDISCIPLINARE PER LA VERIFICA DI DISCARICHE

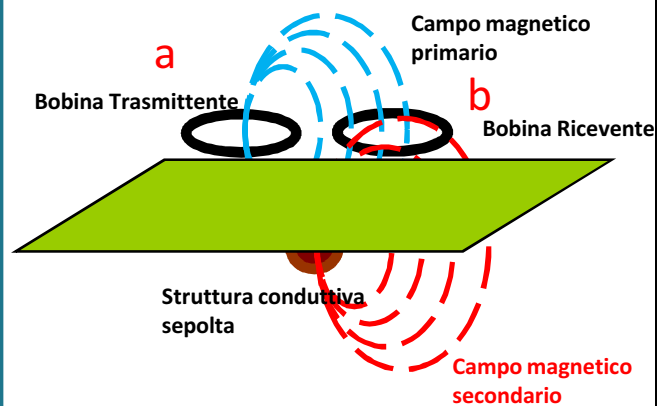
### La localizzazione di discariche con metodo EM in dominio di frequenza

→ Obiettivo

Localizzare in modo speditivo e su zone di vaste dimensioni le zone “anomale” correlabili a possibili interramenti di rifiuto.

→ Metodo di indagine

La metodologia geofisica che meglio risponde a tale requisito è il **METODO ELETTROMAGNETICO IN DOMINIO DI FREQUENZA**. Il metodo si basa sulla misura dei campi elettromagnetici prodotti dalle correnti elettriche indotte nel mezzo attraversato (campo EM secondario) da un sistema di campi elettromagnetici generati artificialmente in superficie (campo EM primario). La capacità di “creare” campi EM secondari è legata alla presenza di corpi conduttori, che caratterizzano generalmente le discariche (frammenti metallici, soluzioni ipersaline legate a percolato, ecc.). L’acquisizione dei dati avviene secondo una “maglia” di linee regolare che - per interpolazione dei valori acquisiti per ogni singolo punto - fornisce una mappa di distribuzione della conducibilità elettrica apparente, in grado di evidenziare aree anomale rispetto ai valori di fondo del terreno naturale.



Schema generale di funzionamento del metodo EM



Strumentazione multifrequenza GSSI Profiler



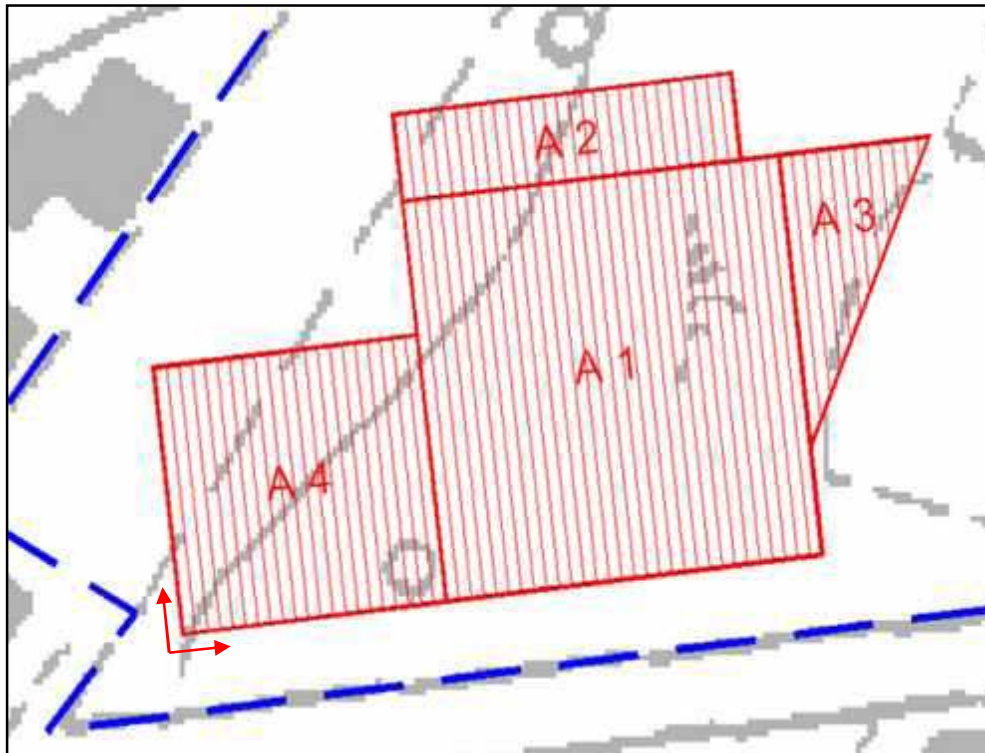
Acquisizione dipolo verticale (dettaglio bobina ricevente)

## APPROCCIO GEOFISICO MULTIDISCIPLINARE PER LA VERIFICA DI DISCARICHE

### Acquisizione delle indagini EM in dominio di frequenza

Un'indagine geofisica di tipo "areale" deve prevedere tre fasi:

1. Suddivisione della zona di rilievo in subaree regolari delimitate da capisaldi fissi
2. disposizione di linee di rilievo parallele a distanza regolare (1-2 m)
3. acquisizione di dati EM sulle linee di acquisizione a intervalli regolari (spaziatura compresa tra 1 e 2 m) con registrazione automatica dei dati su memoria digitale



Suddivisione dell'area di indagine EM in subaree di forma regolare e linee equidistanziate

Le indagini EM in dominio di frequenza misurano – in estrema sintesi – due parametri fisici fondamentali:

1. La **conducibilità elettrica apparente** (dalla quadratura di segnale)
2. La **suscettività magnetica** (dal segnale in fase)

In entrambi i casi si tratta di valori "mediati" (da qui il termine "apparente") su uno spessore variabile tra 3 e 6 m.

Il campo EM primario genera, infatti, un campo EM secondario che risente degli effetti di tutto lo strato di sottosuolo attraversato.

## APPROCCIO GEOFISICO MULTIDISCIPLINARE PER LA VERIFICA DI DISCARICHE

### Localizzazione di discariche abusive con metodo EM - Esempio 1

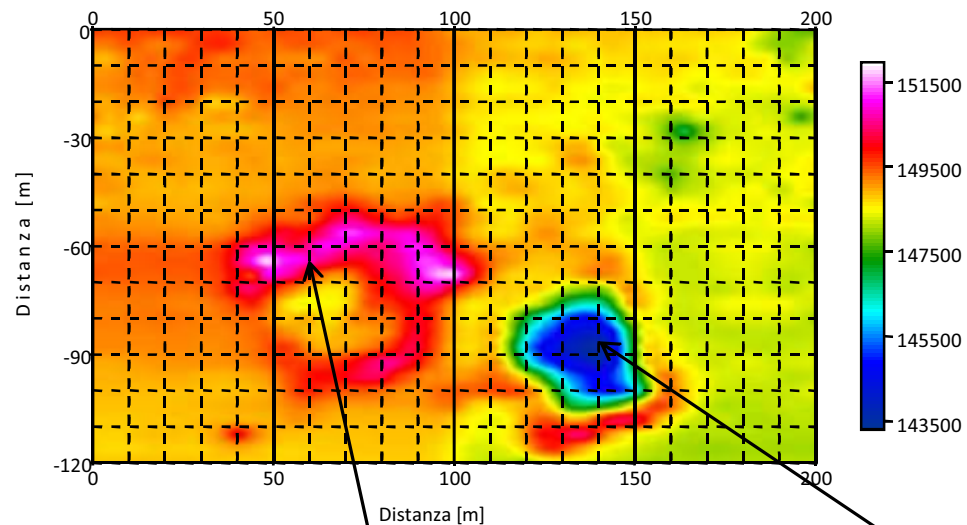
Tipologia rifiuto ricercato → Cascami di lavorazione di pneumatici

Ambito territoriale → Pianura alluvionale (Cuneo)

Destinazione d'uso → Agricola (pascolo)

Tipologia terreno → Ghiaie e sabbie con trovanti

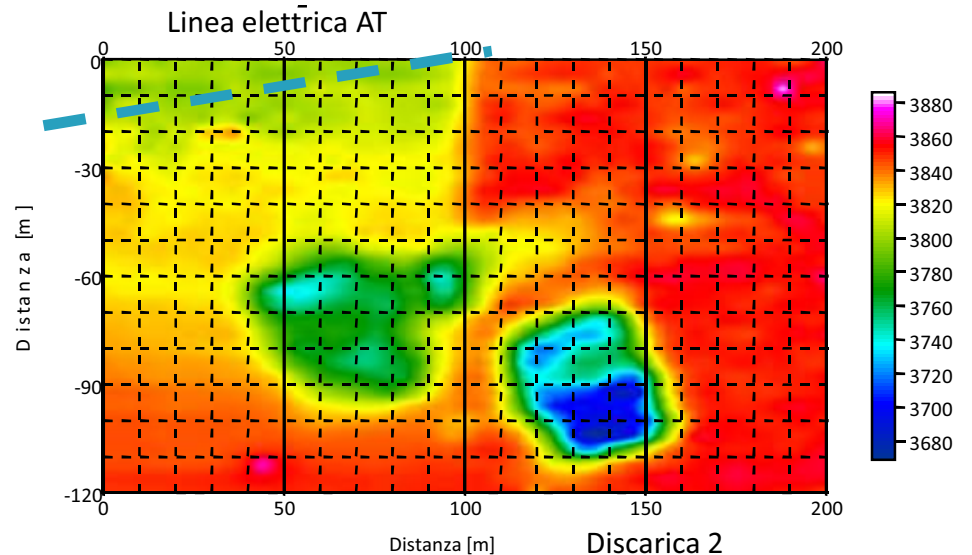
Mappa della componente in fase (ppm)



Discarica 1  
Trincee con depositi conduttivi  
(resti di pneumatici con tele metalliche)  
Forma a ferro di cavallo

Discarica 2  
Fossa con rifiuti plastici e gomma  
(comportamento resistivo)

Mappa della componente in quadratura (ppm)

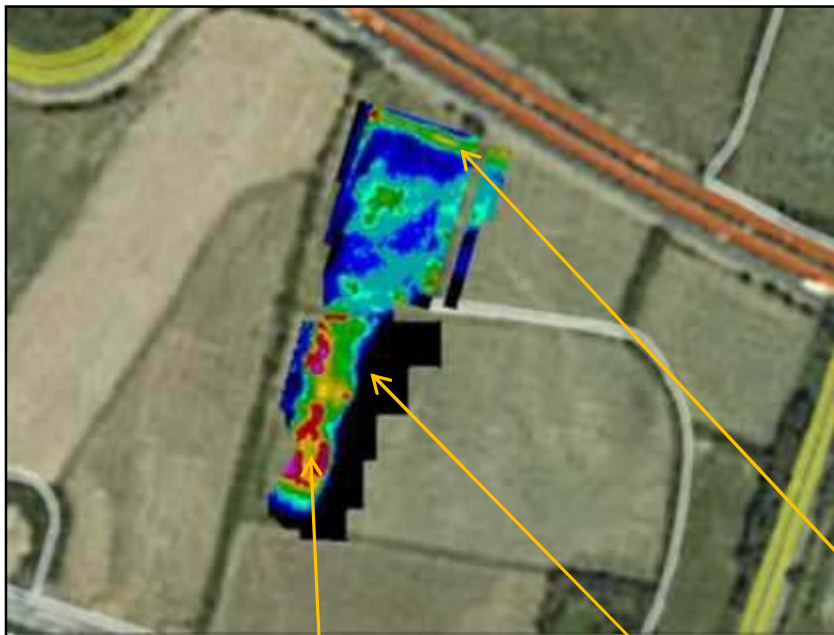


## APPROCCIO GEOFISICO MULTIDISCIPLINARE PER LA VERIFICA DI DISCARICHE

### Localizzazione di discariche abusive con metodo EM - Esempio 2

Tipologia rifiuto ricercato → rifiuti industriali  
Ambito territoriale → Pianura alluvionale (Brescia)  
Destinazione d'uso → Agricola (seminativo)  
Tipologia terreno → Ghiaie e sabbie

Mappa della componente in quadratura

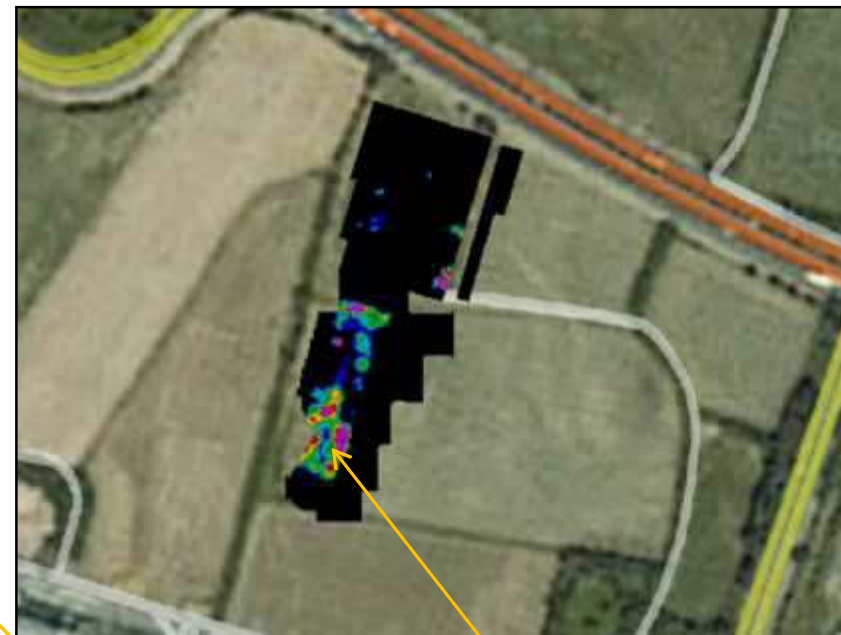


Fossa riempita con rifiuti conduttivi

Terreno naturale

Tubazione

Mappa della suscettività magnetica



Rifiuti ad elevata suscettività magnetica  
(scorie di altoforno)

# APPROCCIO GEOFISICO MULTIDISCIPLINARE PER LA VERIFICA DI DISCARICHE

## Caratterizzazione geometrica di discariche

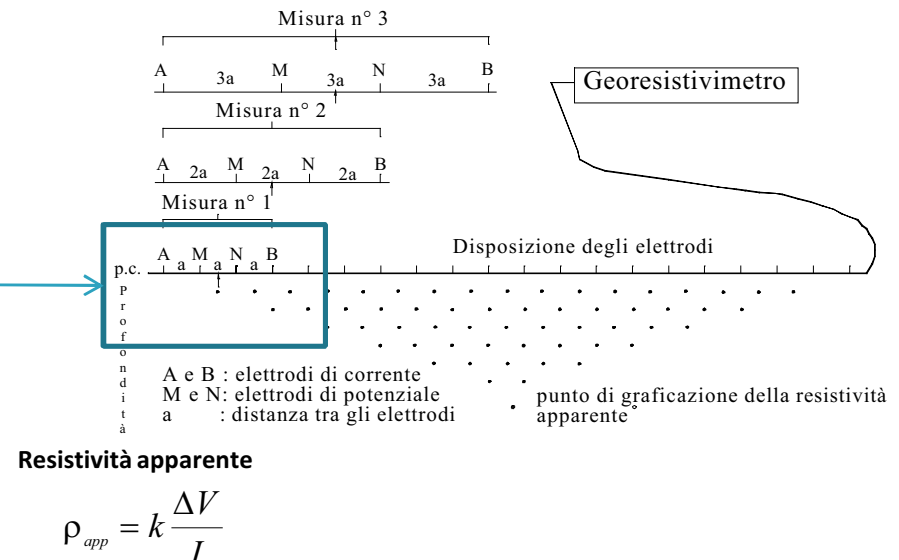
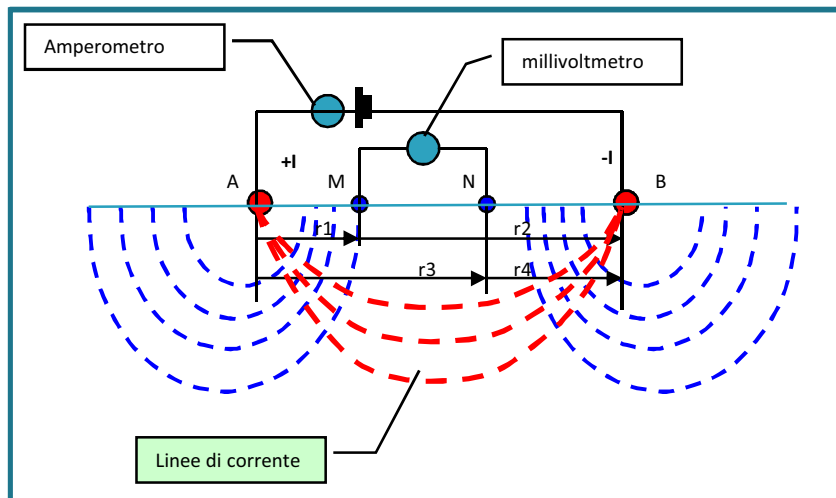
### → Obiettivo

- 1) Definire i limiti laterali e verticali di discariche note o abusive
- 2) Valutare la presenza del telo basale di impermeabilizzazione
- 3) Valutare la presenza di un telo superiore (capping)

### → Metodo di indagine

La metodologia geofisica che meglio risponde a tale requisito è il **METODO GEOELETRICO MULTIELETTRODO**.

La metodologia di misura geoelettrica multielettrodo consiste nel disporre sul terreno un numero di elettrodi compreso tra 24 e 96 disposti lungo un profilo (con passo dipendente dalla risoluzione e dalla profondità d'indagine richieste) e di inviare alternativamente corrente elettrica o misurare la differenza di potenziale, in una sequenza pre-programmata ed automatica. Si ottiene così una pseudosezione di resistività apparente che, con un algoritmo di inversione, viene convertita in resistività reale. La distribuzione della resistività reale sulla sezione interpretativa è strettamente correlata alle caratteristiche chimico-fisiche del mezzo attraversato.





## APPROCCIO GEOFISICO MULTIDISCIPLINARE PER LA VERIFICA DI DISCARICHE

### Acquisizione delle indagini geoelettriche multielettrodo

Un'indagine geofisica di tipo "lineare" deve essere ottimizzata per raggiungere i massimi risultati, sia come disposizione della linea (lunghezza, orientazione) e sia come numero di elettrodi e spaziatura tra gli stessi.

Ciò si ottiene :

1. Conoscendo preliminarmente la posizione della discarica (da dati storici, da scavi o da indagini EM)
2. Disponendo le linee elettriche in modo da tagliare – se possibile- tutto il corpo discarica
3. Tracciando un numero di linee elettriche sufficiente a caratterizzare la geometria del corpo discarica



Rilievo su pavimentazione sopra rifiuti interrati



Rilievo su discarica di rifiuti tossico-nocivi

Le indagini geoelettriche misurano – in estrema sintesi – due parametri fisici fondamentali:

1. La **resistività elettrica** apparente (con successiva determinazione del modello di resistività mediante inversione numerica di tipo tomografico)
2. La **polarizzazione indotta**, che viene misurata come il tempo di decadimento

La **resistività elettrica** evidenzia:

1. Geometria del corpo discarica
2. Presenza del telo basale o di copertura superiore (isolante e quindi "impermeabile" alla corrente elettrica)

La **polarizzazione indotta** (il valore residuo di campo EM dopo un tempo di decadimento) evidenzia:

1. La presenza di corpi metallici o rifiuti contenenti metalli
2. La presenza di fluidi inquinanti o di soluzioni ipersaline (percolato)



Rilievo su discarica esaurita di rifiuti solidi urbani

## APPROCCIO GEOFISICO MULTIDISCIPLINARE PER LA VERIFICA DI DISCARICHE

### Caratterizzazione geometrica di discariche - Esempio 1

Tipologia rifiuto discarica → Fanghi industriali inertizzati (chemfix) allocati in cave di estrazione di argilla

Ambito territoriale → Pianura alluvionale (Provincia di Torino)

Destinazione d'uso → piattaforma polifunzionale trattamento rifiuti con problemi di cedimento della pavimentazione

Tipologia terreno al contorno → ghiaie e sabbie con paleosuolo argilloso

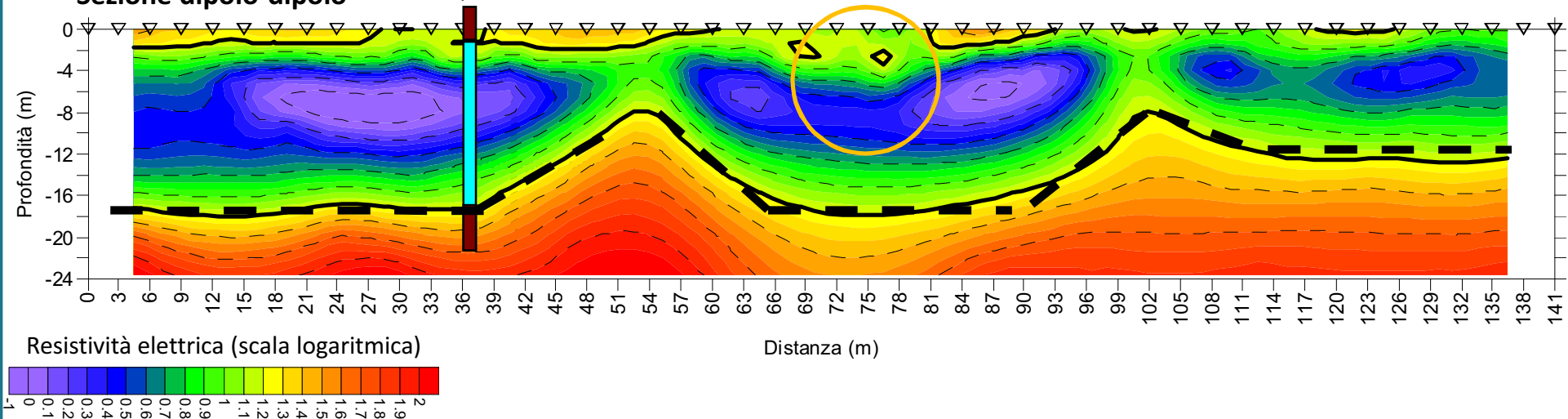
#### Obiettivo di indagine

1. valutare gli spessori del rifiuto e le geometrie dei corpi di discarica
2. Identificare le zone potenzialmente deformabili per definire gli interventi di consolidamento

#### Modello 2D

##### Sezione dipolo-dipolo

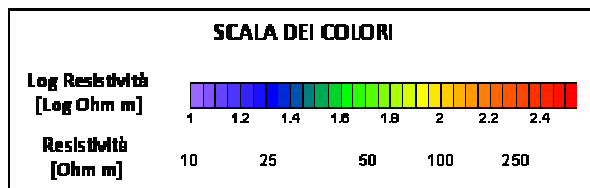
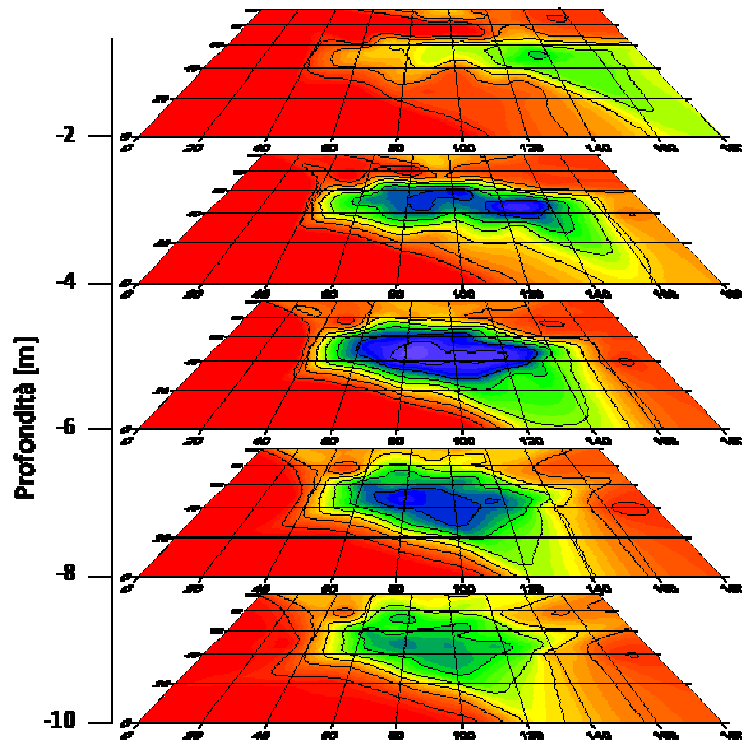
S-B proiettato



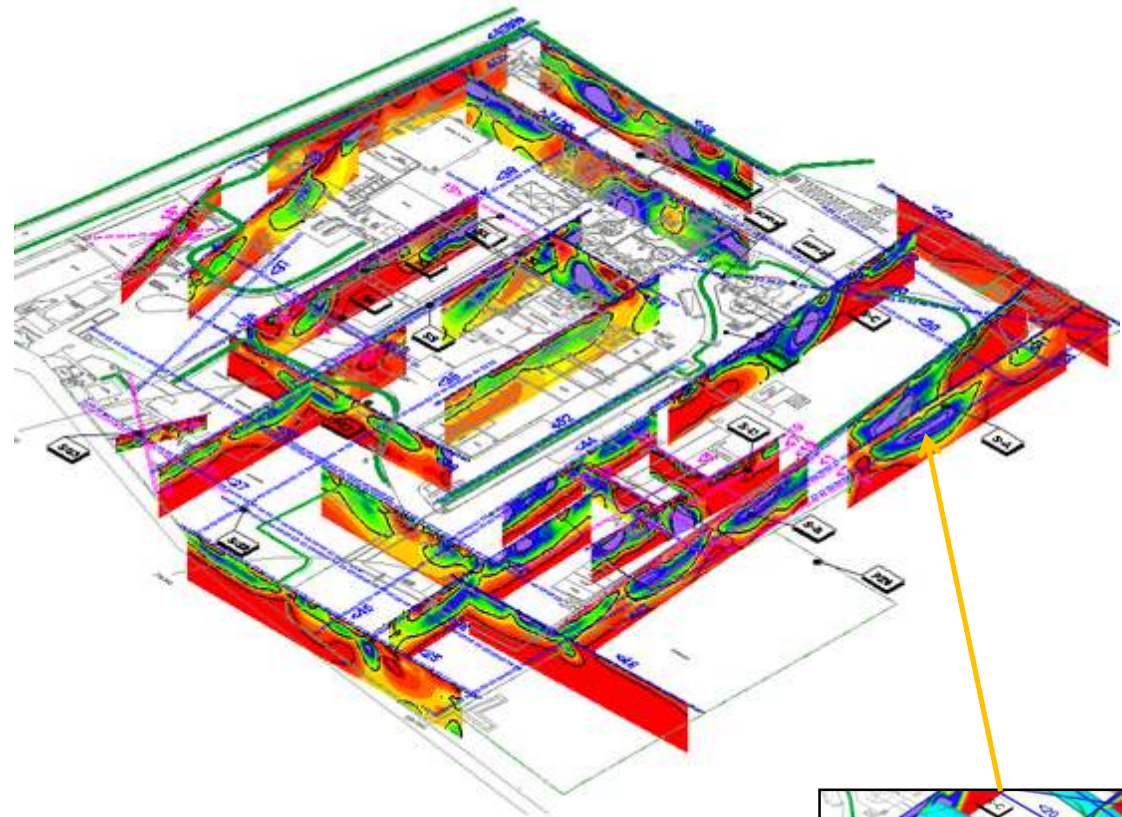
# APPROCCIO GEOFISICO MULTIDISCIPLINARE PER LA VERIFICA DI DISCARICHE

## Caratterizzazione geometrica di discariche - Esempio 1

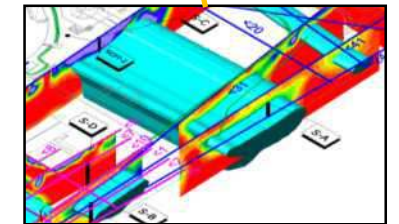
Modello 3D  
Mappe di resistività elettrica  
a differenti profondità



Modello 3D  
Bloccodiagramma ricostruito con le sezioni geoelettriche 2D

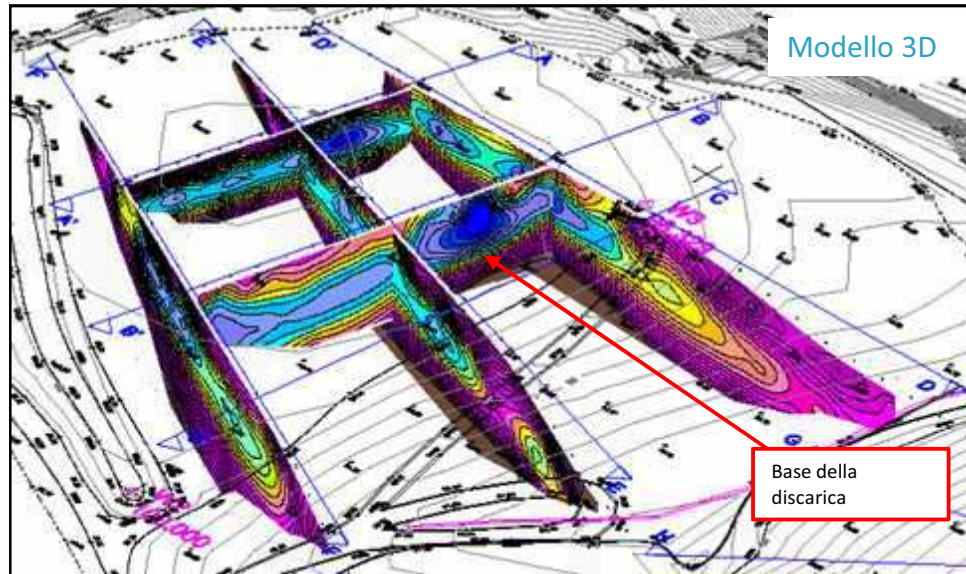


Modello 3D  
Ricostruzione cella di discarica



# APPROCCIO GEOFISICO MULTIDISCIPLINARE PER LA VERIFICA DI DISCARICHE

## Caratterizzazione geometrica di discariche con metodo geoelettrico - Esempio 2



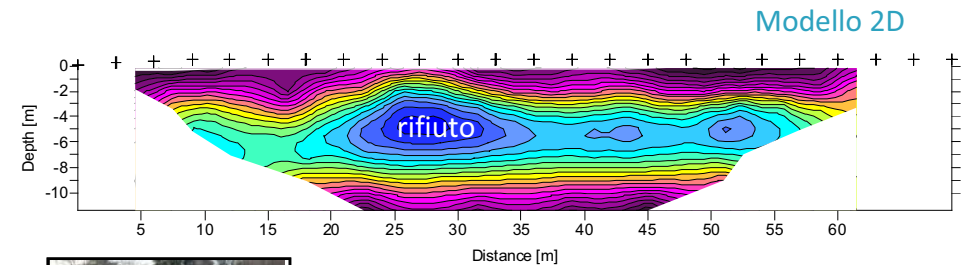
Tipologia rifiuto discarica → Rifiuti solidi urbani  
Ambito territoriale → Cava di calcare abbandonata (Swansea, UK)

Destinazione d'uso → Discarica

Tipologia terreno al contorno → calcari cretacei

### Obiettivo di indagine

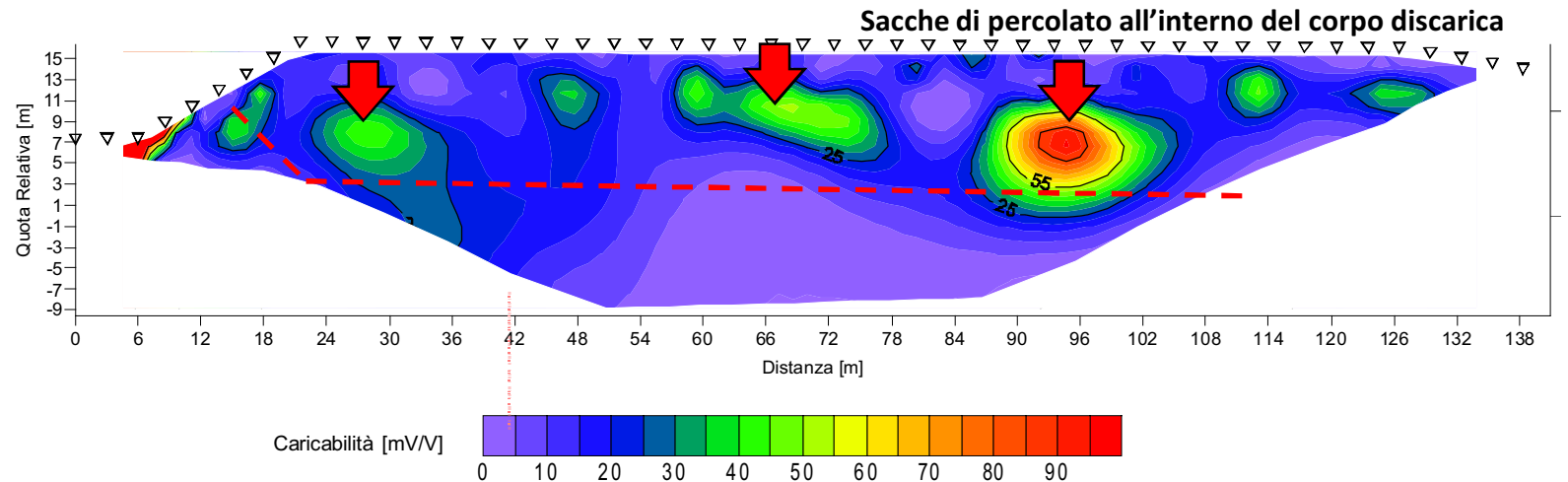
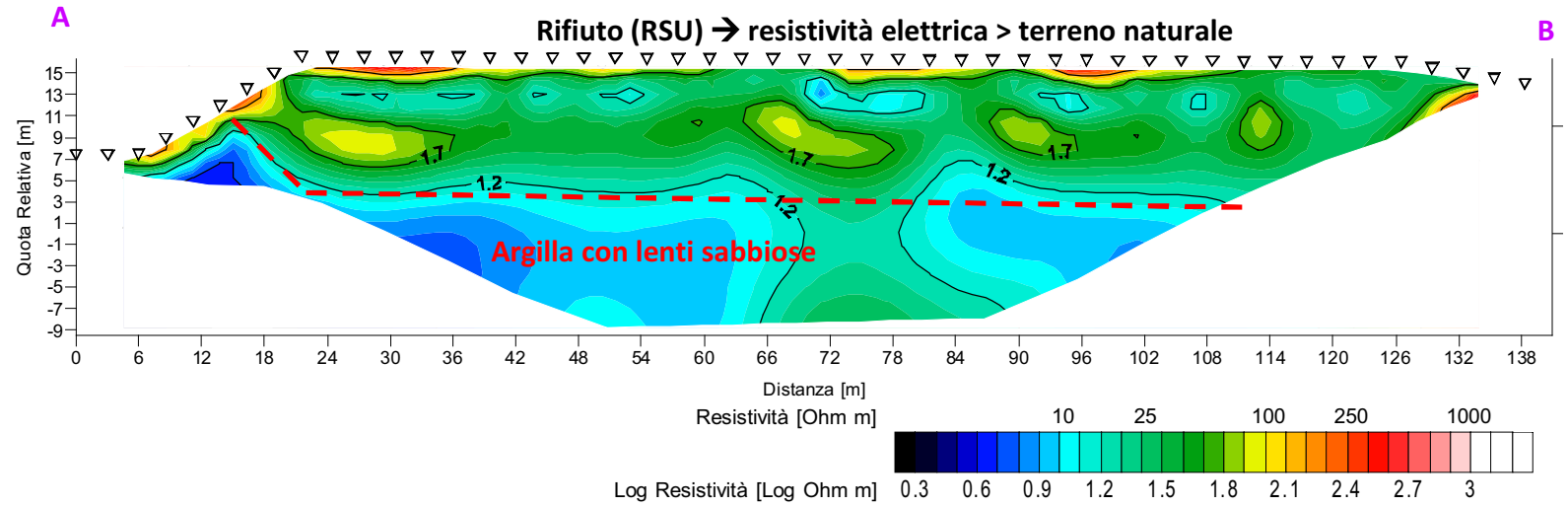
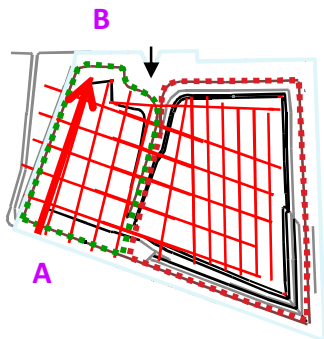
1. valutare lo spessore del rifiuto
2. Valutare la presenza di perdite di percolato sotto il telo in HDPE



# APPROCCIO GEOFISICO MULTIDISCIPLINARE PER LA VERIFICA DI DISCARICHE

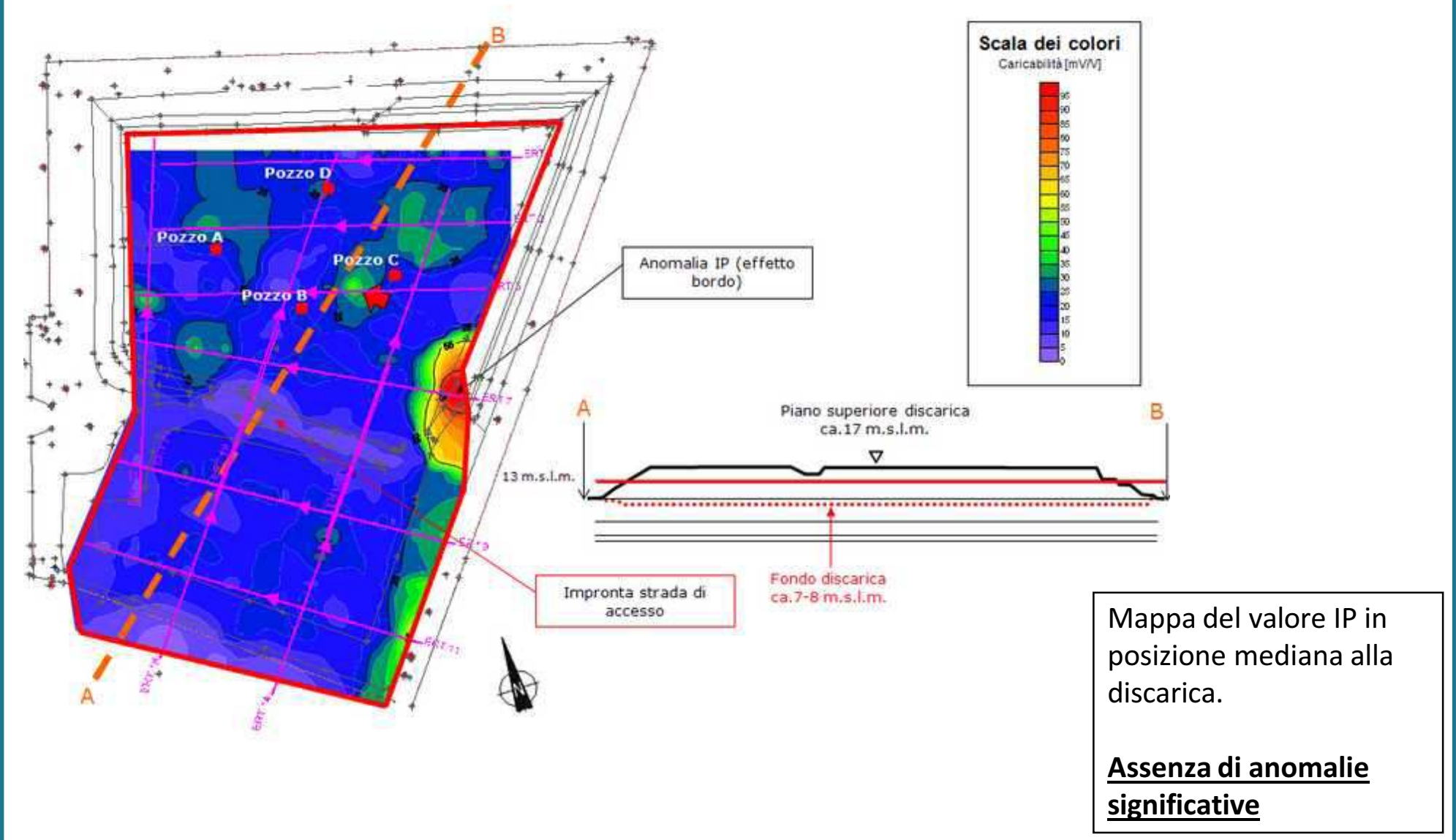
## Caratterizzazione geometrica di discariche con metodo geoelettrico - Esempio 3

Tipologia discarica →  
Rifiuti solidi urbani  
(Bondeno - Ferrara)  
Destinazione d'uso →  
Discarica esaurita  
Tipologia terreno al  
contorno → argille con  
sabbia  
Obiettivo di indagine  
→ verificare la  
geometria della  
discarica  
→ Valutare la  
presenza/posizione di  
sacche di percolato



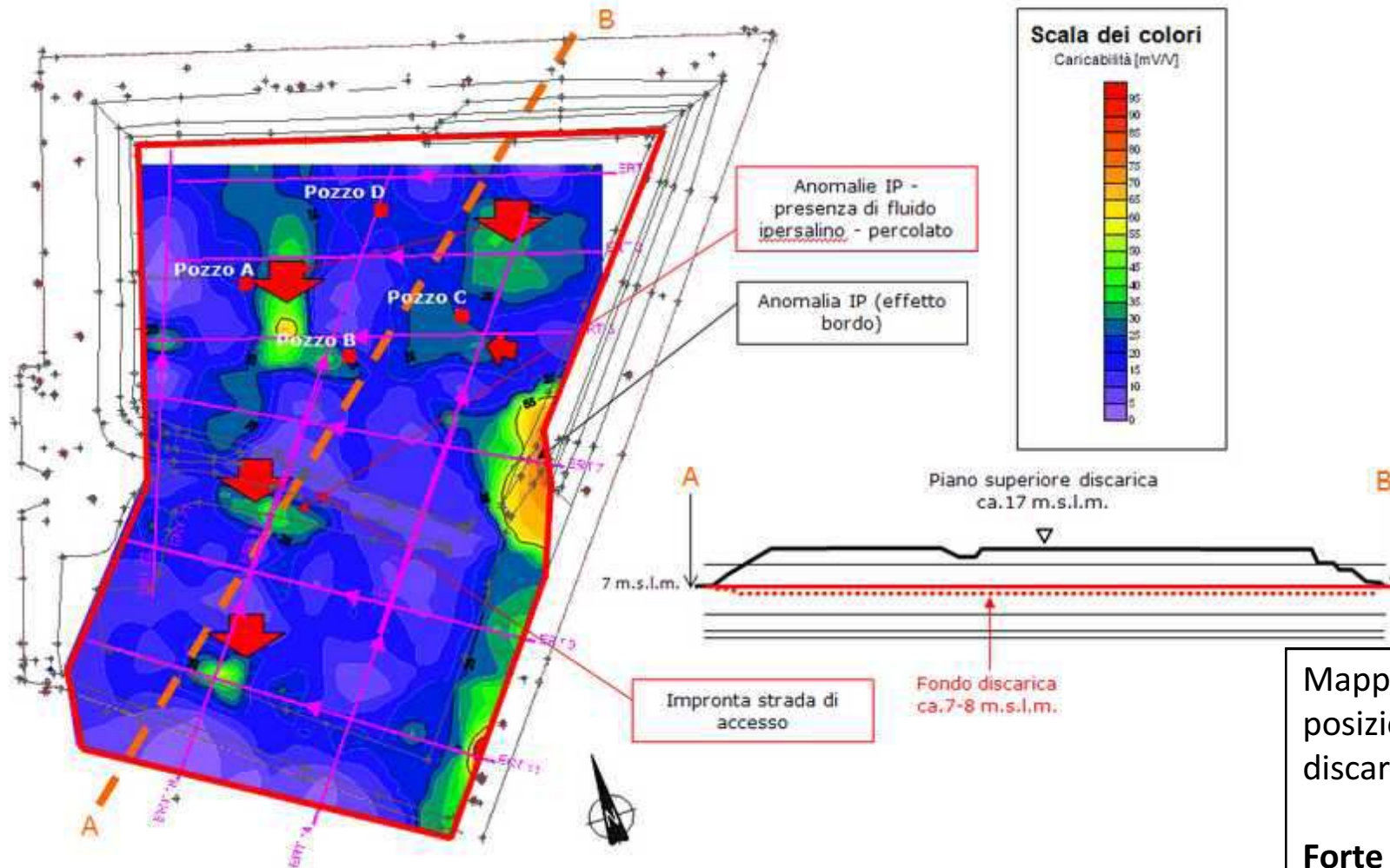
## APPROCCIO GEOFISICO MULTIDISCIPLINARE PER LA VERIFICA DI DISCARICHE

### Caratterizzazione geometrica di discariche con metodo geoelettrico - Esempio 3



## APPROCCIO GEOFISICO MULTIDISCIPLINARE PER LA VERIFICA DI DISCARICHE

### Caratterizzazione geometrica di discariche con metodo geoelettrico - Esempio 3



Mapa del valore IP in  
posizione basale alla  
discarica.

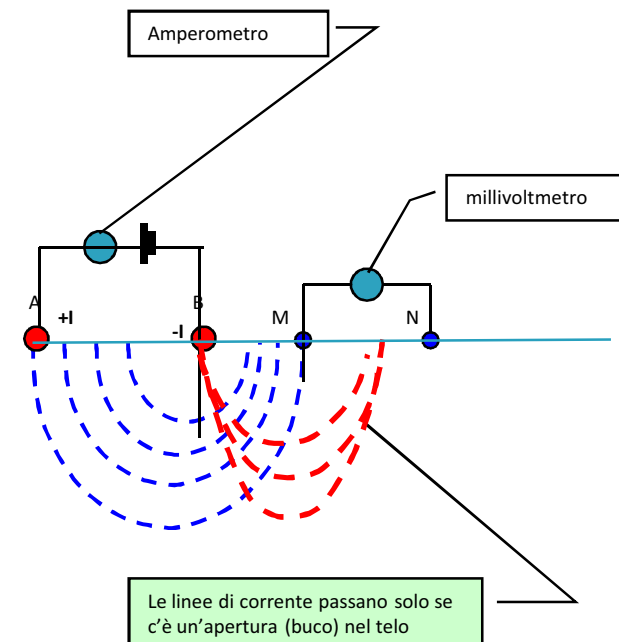
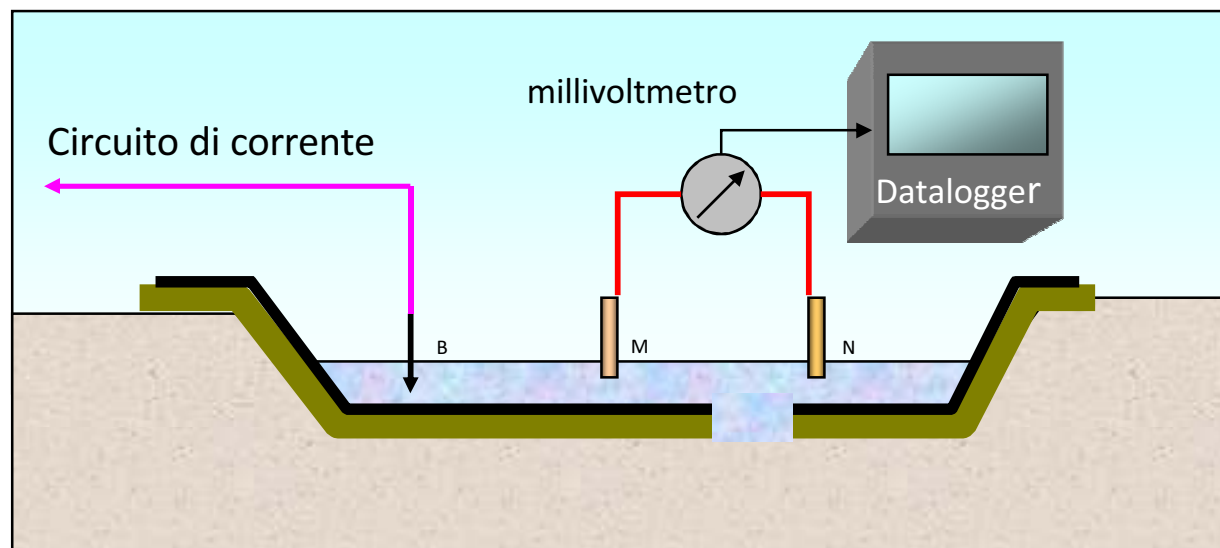
**Forte anomalia IP tra i  
pozzi per estrazione di  
percolato A e B**

## APPROCCIO GEOFISICO MULTIDISCIPLINARE PER LA VERIFICA DI DISCARICHE

### Controllo dell'integrità dei teli in HDPE

Si misura la deformazione delle linee equipotenziali (di tensione elettrica) all'interno del corpo di discarica con un semplice dipolo di tensione; il dispositivo è costituito da due elettrodi (impolarizzabili) e da un millivoltmetro con sensibilità di 0.1 mV collegato ad un datalogger.

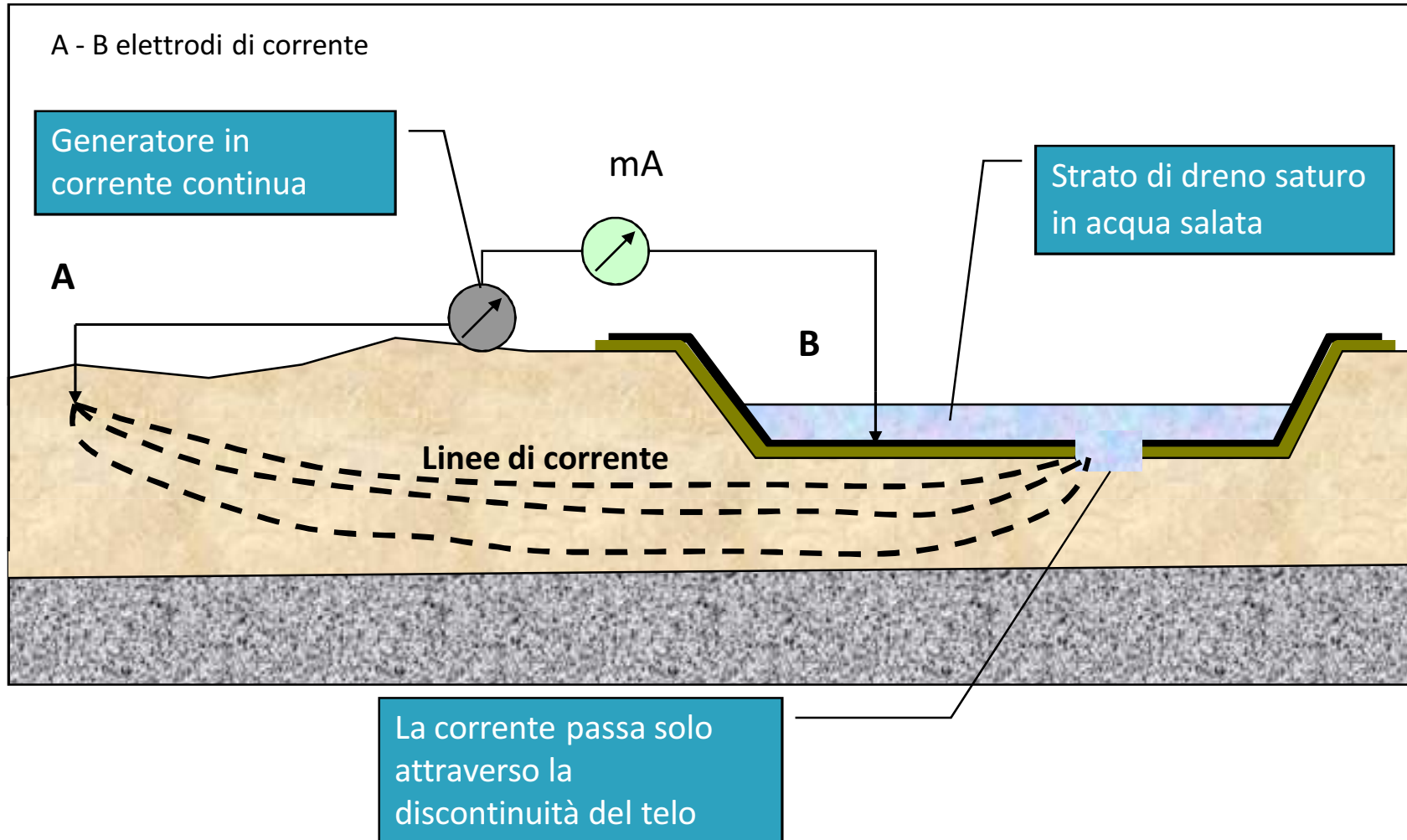
La presenza di una discontinuità nel dispositivo di impermeabilizzazione determina il passaggio di corrente ed una deformazione delle linee equipotenziali di tensione elettrica in prossimità della zona danneggiata.





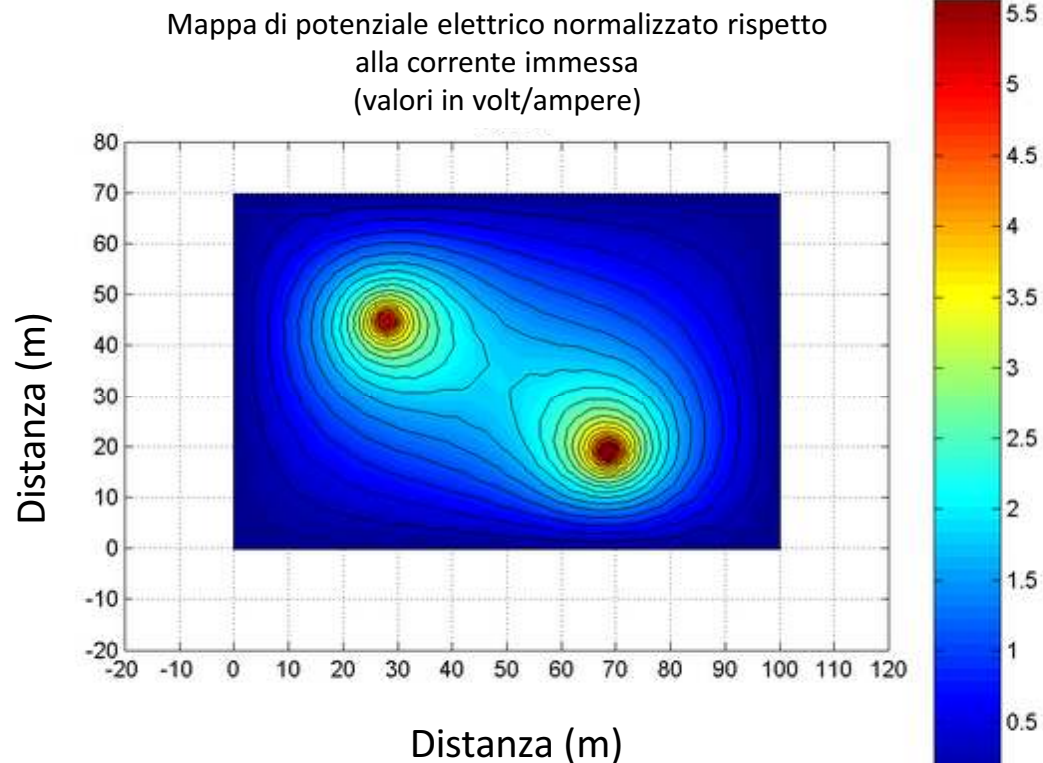
# APPROCCIO GEOFISICO MULTIDISCIPLINARE PER LA VERIFICA DI DISCARICHE

## Controllo dell'integrità dei teli di base



## APPROCCIO GEOFISICO MULTIDISCIPLINARE PER LA VERIFICA DI DISCARICHE

### Controllo dell'integrità dei teli di base



#### Acquisizione dei dati

1. disposizione di linee di rilievo parallele a distanza regolare (1 o 2 m)
2. acquisizione di dati di differenza di potenziale sui nodi della griglia con dipolo a "forchetta" con registrazione automatica dei dati su memoria digitale

#### Elaborazione dati

I risultati dell'indagine vengono elaborati con un programma di *contouring* per evidenziare i punti di passaggio della corrente.

Le anomalie di risposta individuano con notevole accuratezza le posizioni delle zone di discontinuità elettrica (idraulica) del telo.

## Conclusioni

- Le indagini geofisiche consentono di eseguire in modo speditivo e non invasivo delle analisi in aree di vaste dimensioni e di localizzare le zone in cui i parametri fisici presentano delle anomalie rispetto ai normali valori di fondo (terreno naturale)
- La localizzazione preventiva di zone a rischio, o la caratterizzazione geometrica e merceologica del rifiuto di discariche note, permette di ottimizzare le future indagini di tipo diretto (sondaggi, campionamenti, monitoraggi) con evidente risparmio economico
- Le indagini geofisiche forniscono un modello bidimensionale o tridimensionale che – opportunamente calibrato con sondaggi posizionati in punti mirati – permette una “visione” d’insieme delle condizioni del sottosuolo.