

# LA SAPIENZA È FIGLIOLA DELL'ESPERIENZA GEOFISICA E MICROGEOFISICA: STRUMENTI PER L'APPROCCIO E LA RISOLUZIONE DI PROBLEMATICHE NON STANDARD

**Indagini integrate geofisiche, idrogeologiche e chimiche per la  
caratterizzazione idrogeologica ed ambientale dell'impianto di  
discarica esaurita di Campardo a Cordignano (TV).**

Enrico Farinatti\*, Rossella Merola\*, Roberto Pedron\*\*, Andrea Sottani\*\*  
IND.A.G.O.snc, via Balzan, 1 – 45100 Rovigo  
Sinergeo srl, Contrà Pozzetto, 4 – 36100 Vicenza

**Sinergeo**  
Sinergie geologiche per l'ambiente



VIII Workshop di Geofisica  
Rovereto, 2 dicembre 2011

Scopo del lavoro è stato quello di confrontare dati ottenuti da indagini di tipo idrogeologico, con quelli ottenuti da indagini di tipo geofisico, per verificare il quantitativo di percolato prodotto nell'area dell'ex discarica di Campardo in Comune di Cordignano (TV).



## Premesse e obiettivi dello studio

### Problematica:

Ampia e anomala produzione di percolato, risultante in elevati e persistenti battenti, nonostante uno smaltimento medio-annuo di ca. 3000 ton.

### Ipotesi:

- 1) Presenza di settori con elevata produzione di percolato per processi chimico-fisici
- 2) Infiltrazione di acque meteoriche nel corpo discarica (capping non impermeabile)
- 3) Alimentazione da falda

### Obiettivo:

Aggiornamento conoscitivo del sito in merito ai sistemi falda, percolato e biogas



## Attività svolte

### FALDA FREATICA E PERCOLATO

- Livellazione topoaltimetrica delle b.p.
- Campagne di misura di soggiacenza dei livelli
- Installazione di sonde per il monitoraggio automatico in continuo dei livelli
- Installazione di un pluviometro per la registrazione delle piogge
- Ricostruzione dei campi di flusso e delle direttrici di scorrimento
- Monitoraggio e controllo dei dati



## Attività svolte

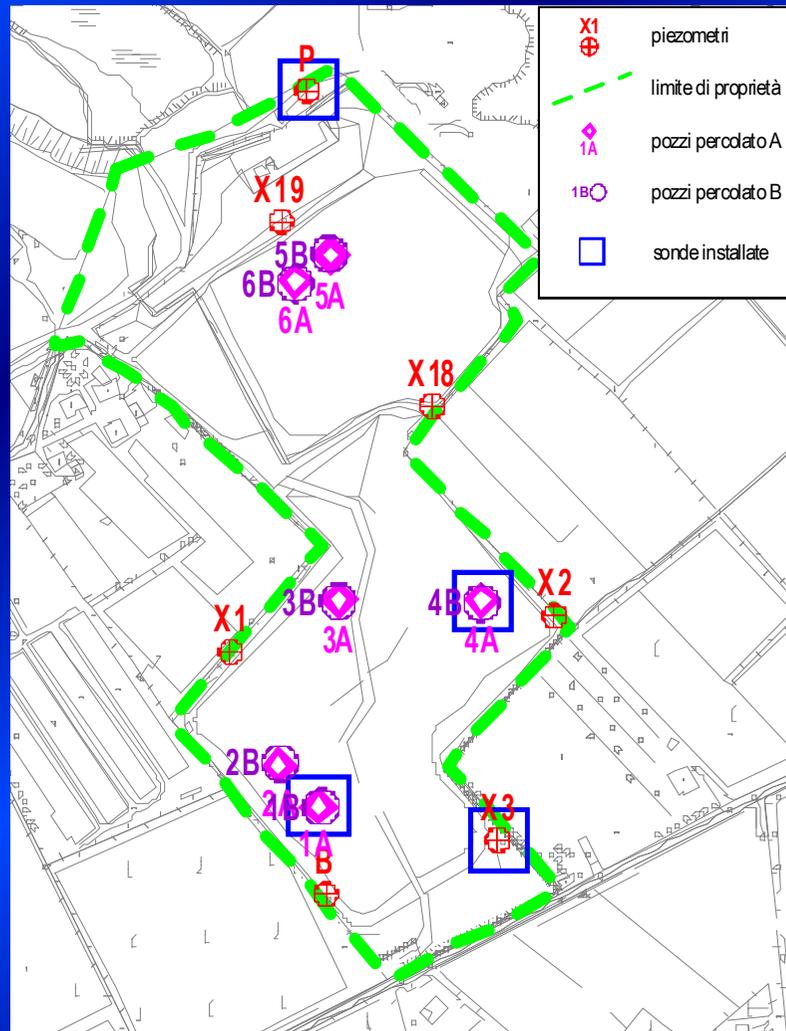
### BIOGAS

- Rilievo speditivo dell'esplosività dell'aria
- Misure delle proprietà fisiche e della composizione del gas (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>) mediante analizzatore ad infrarosso
- Misure dei composti organici volatili totali (VOC) mediante fotoionizzatore portatile (PID)
- Elaborazione dei dati acquisiti

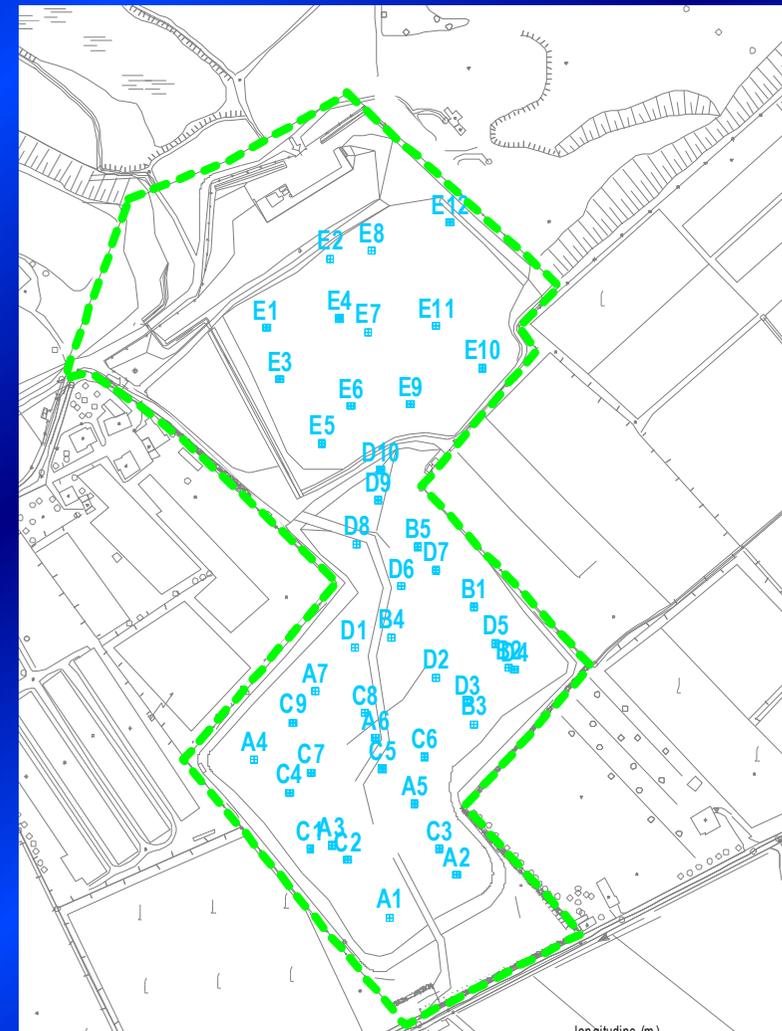


# Rete di monitoraggio

## PIEZOMETRI E POZZI PERCOLATO



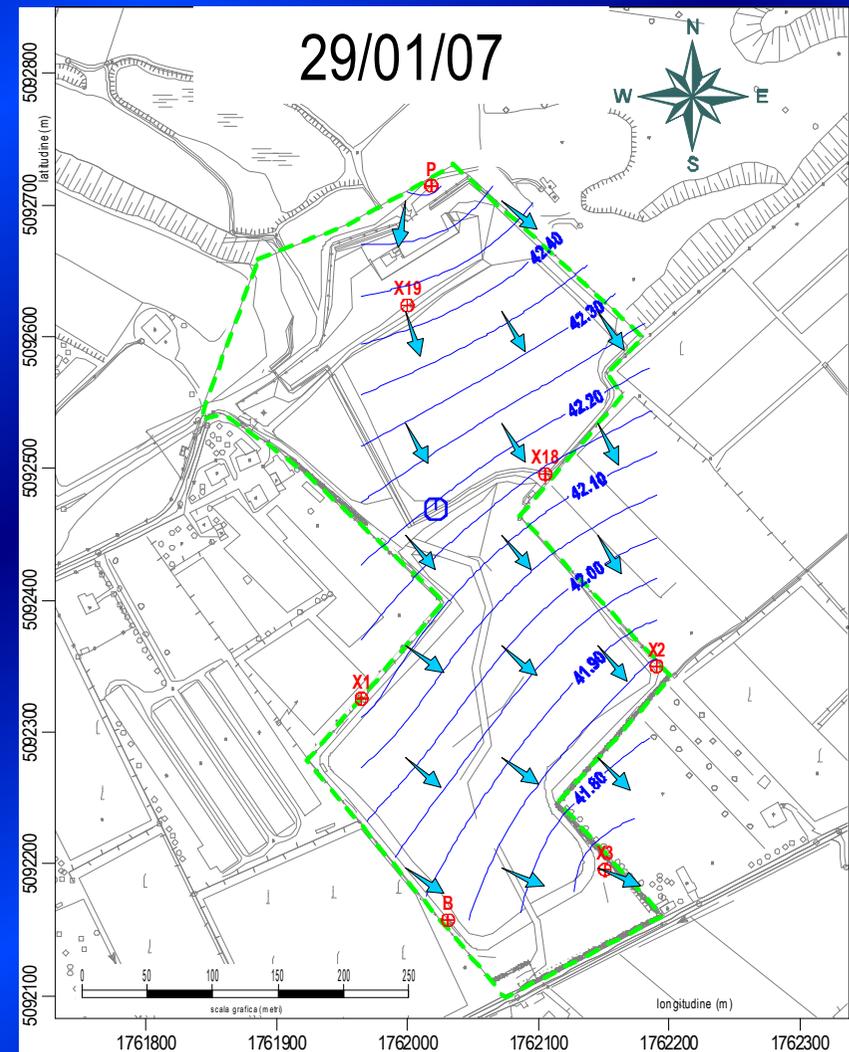
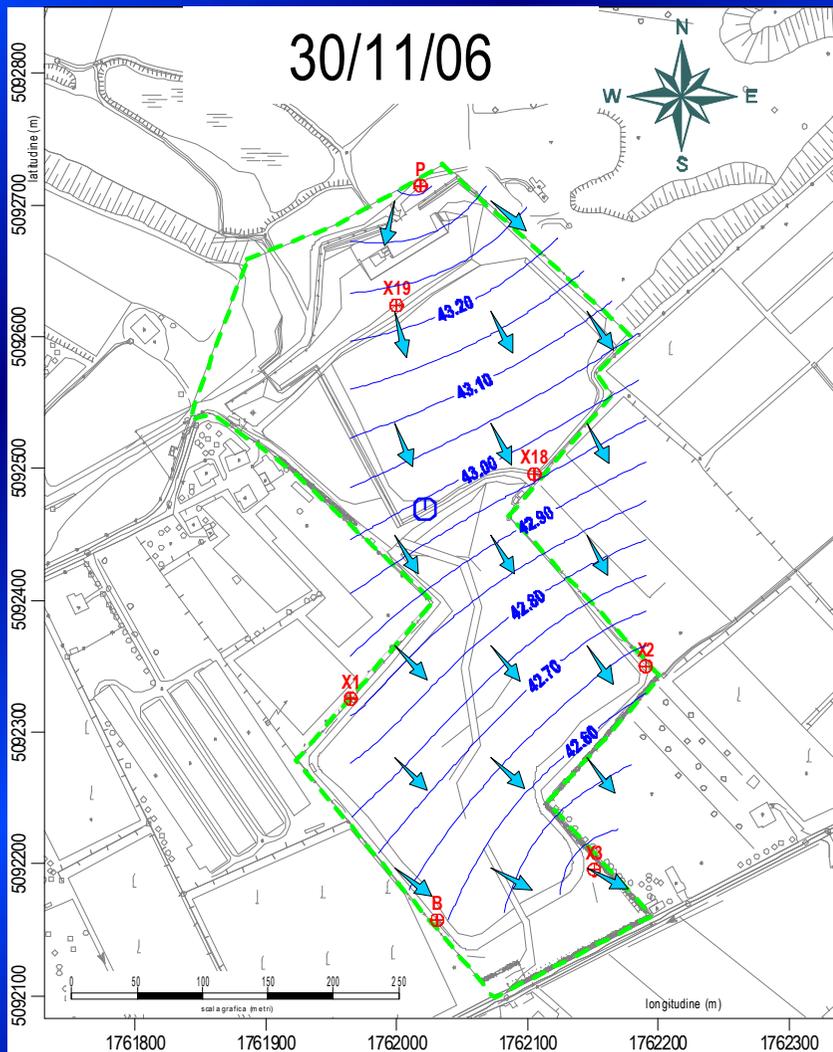
## PUNTI CAPTAZIONE BIOGAS



Elaborati

# PIEZOMETRIE FALDA

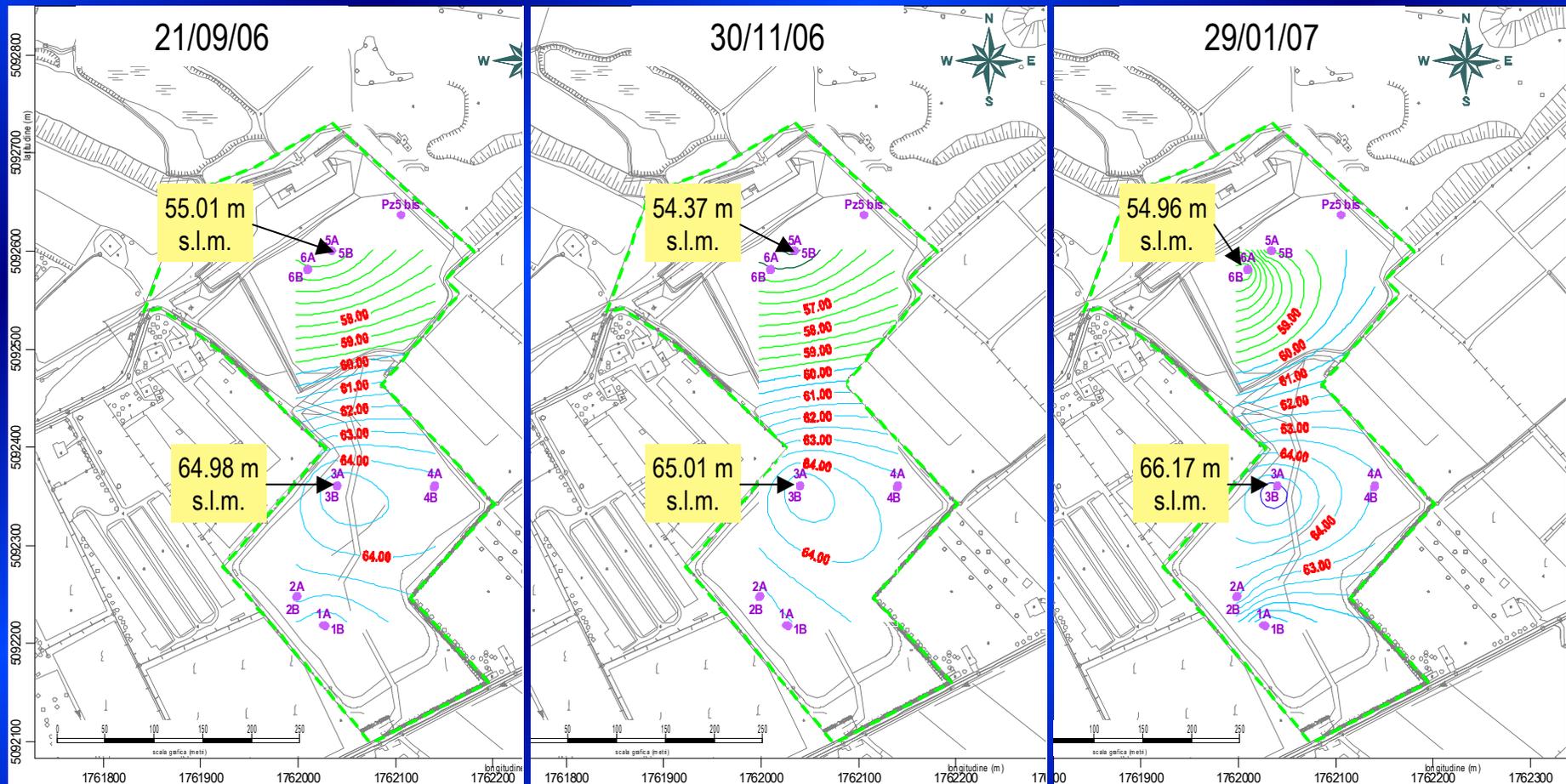
gradiente medio = 0.18-0.20%



# Elaborati

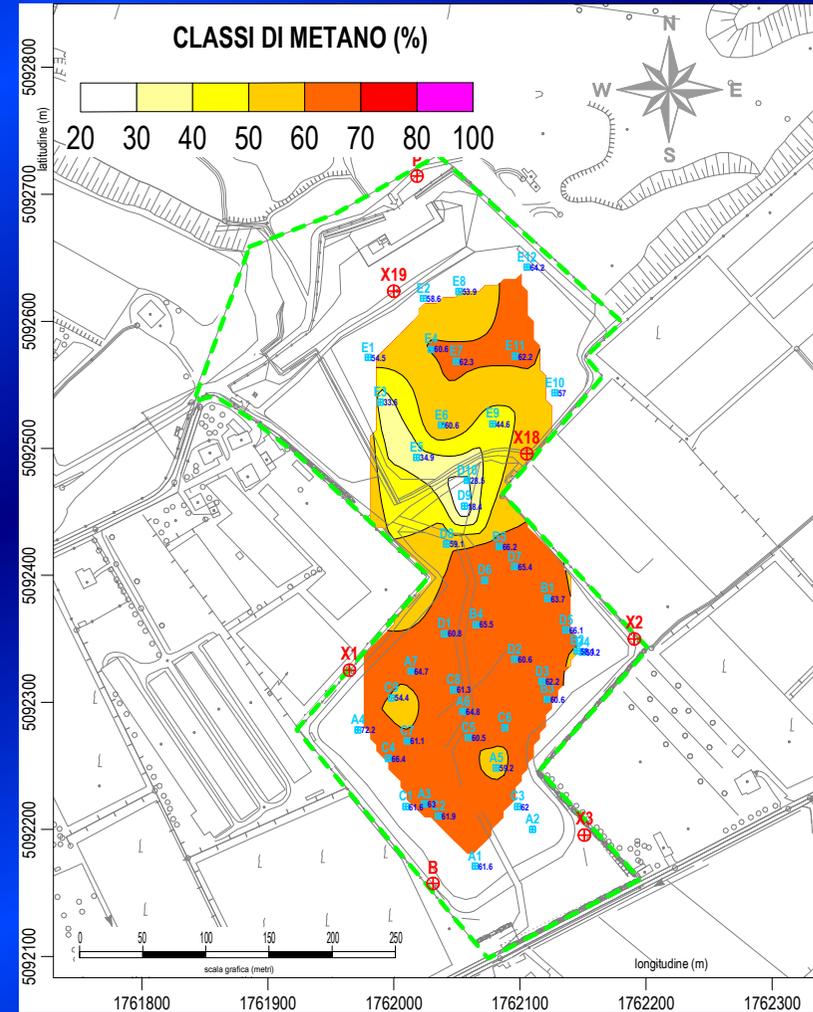
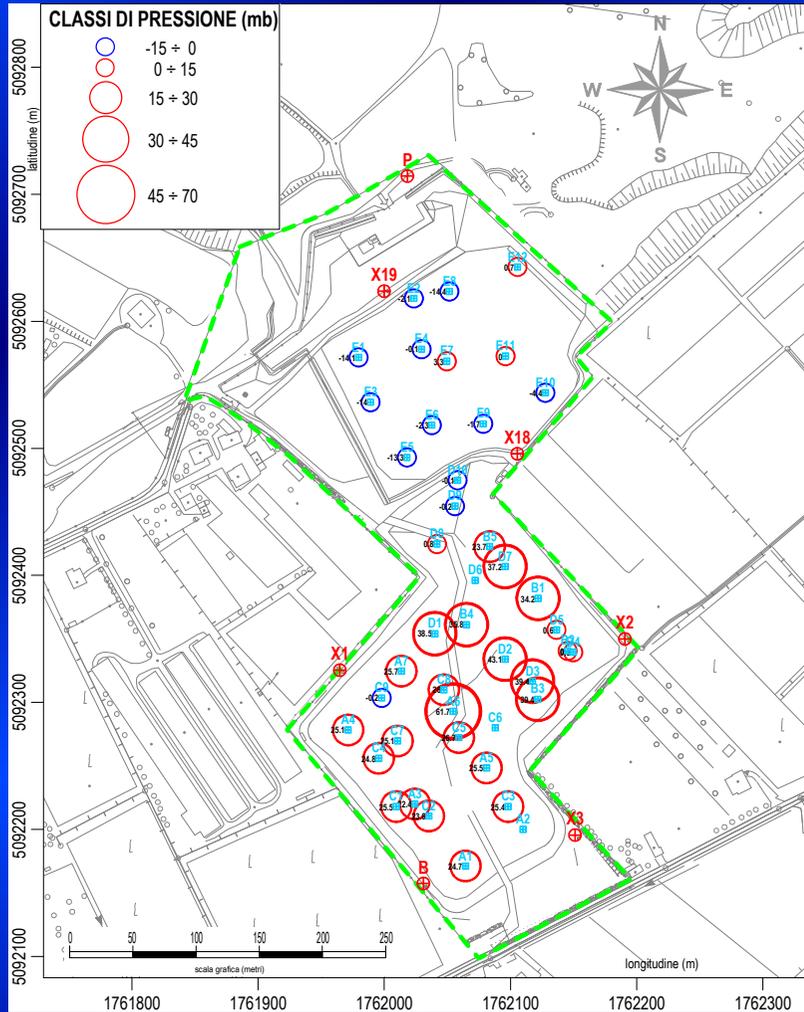
## PIEZOMETRIE PERCOLATO

equidistanza isolinee = 0.5 m



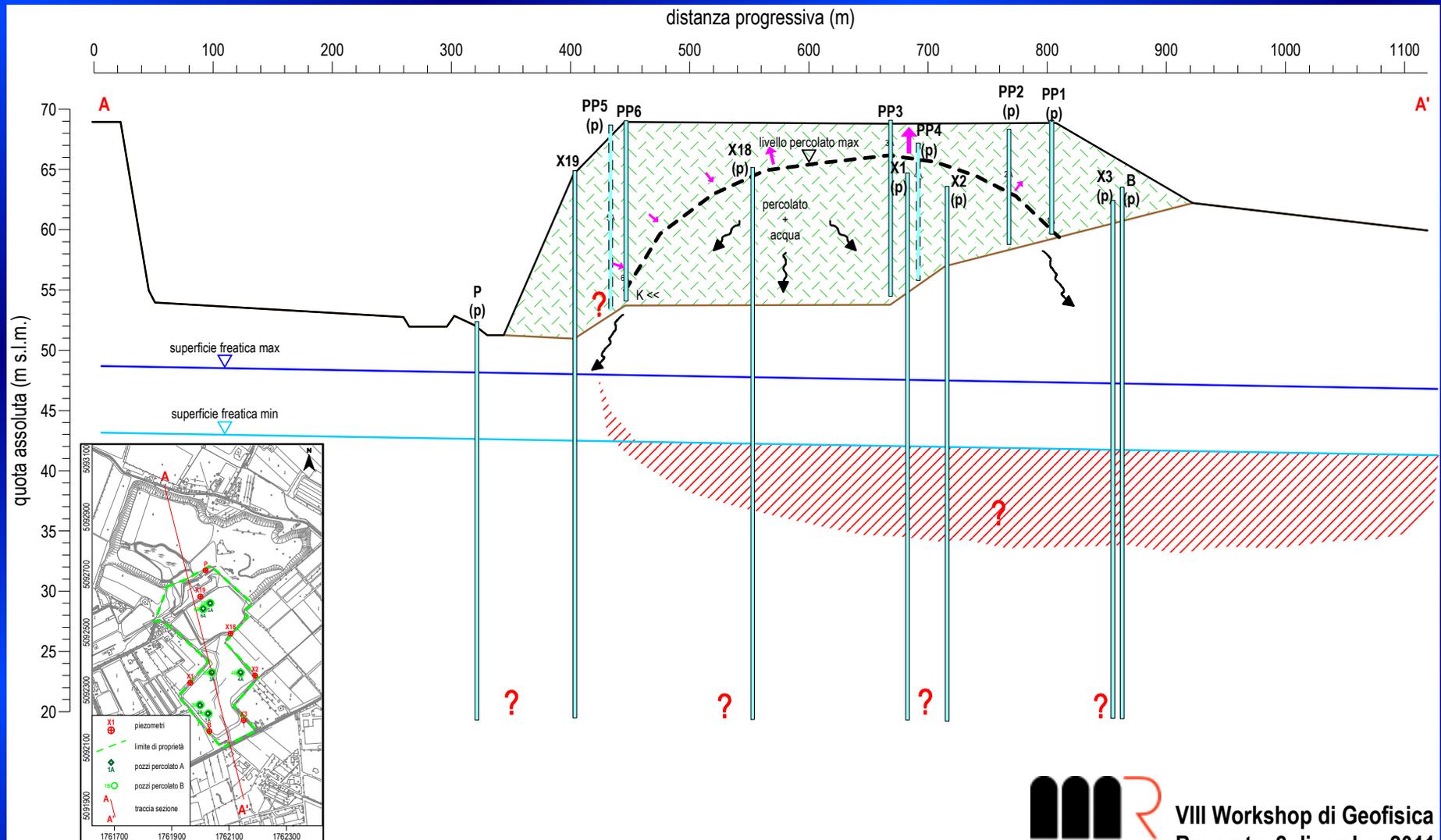
# Elaborati

## DISTRIBUZIONE DELLA PRESSIONE E DEL CONTENUTO DI METANO NEL BIOGAS



# Elaborati

## SEZIONE CONCETTUALE DELLA DISCARICA



## Risultati

Appare poco probabile un contributo di alimentazione da parte della falda

Allo stato attuale delle conoscenze non è sostenibile con assoluta certezza un esclusivo contributo da parte delle precipitazioni

La morfologia del percolato evidenzia settori con elevato battente (zona meridionale discarica) e settori con minore battente (zona settentrionale)

Esistono elementi per ipotizzare una produzione relativamente più elevata di percolato nel settore meridionale della discarica indipendentemente dalle piogge



## Risultati

Si rileva che i livelli del percolato tendono verso un livello di equilibrio nonostante i continui prelievi

Le caratteristiche idrochimiche della falda, pur se non preoccupanti, mettono in luce un possibile meccanismo di rilascio da parte del corpo rifiuti

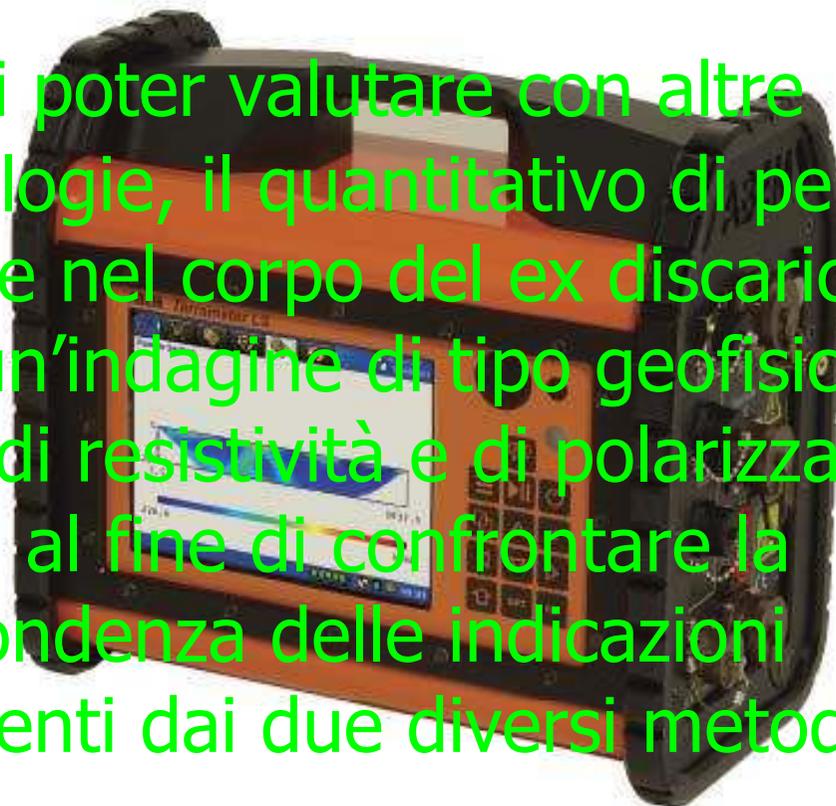
Falda con elevato potere di diluizione

Composizione biogas parte meridionale: 60% metano – 40% CO<sub>2</sub>  
Parte settentrionale (in aspirazione): miscela 50% biogas – 50% aria atmosferica

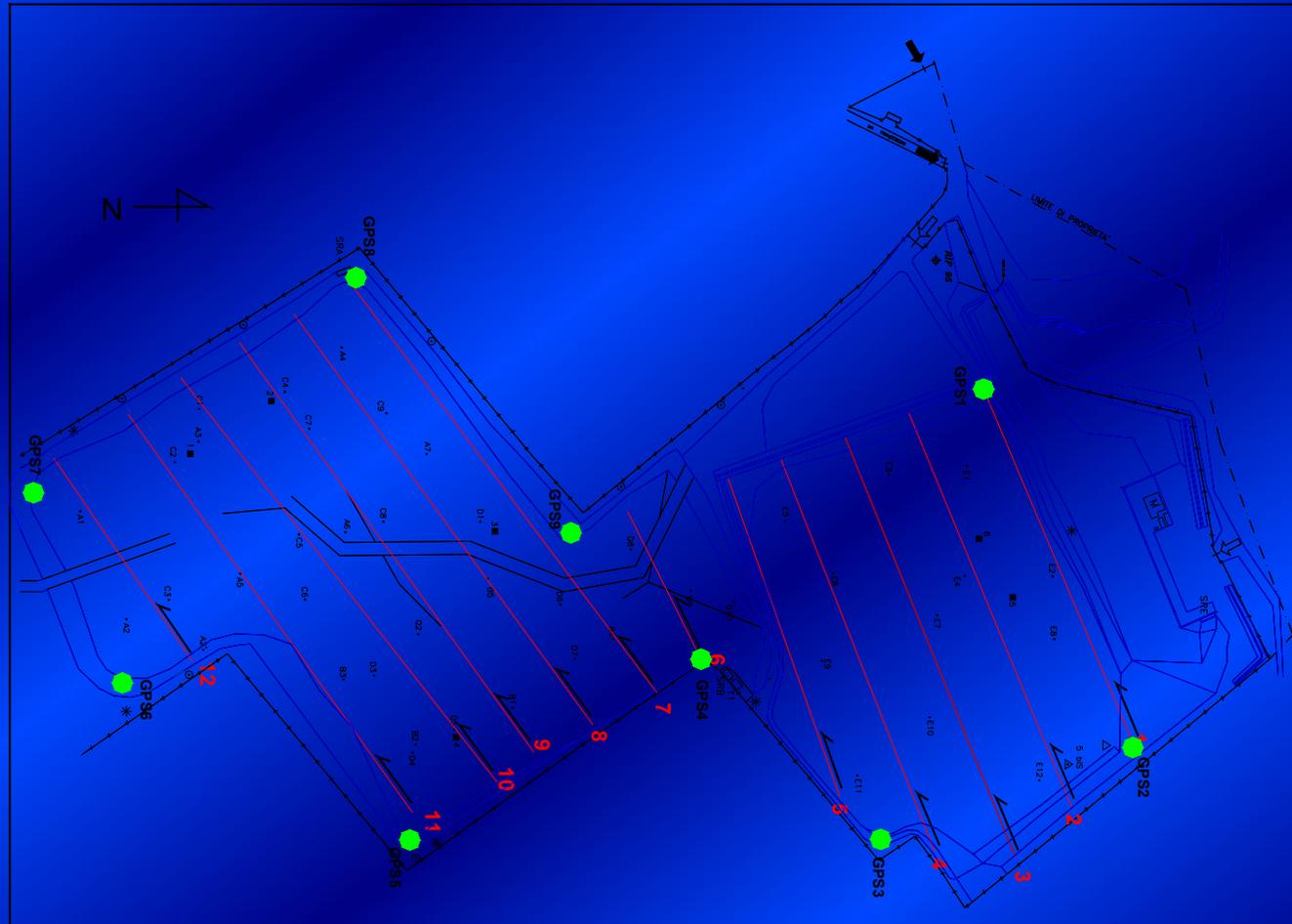


# INDAGINE GEOFISICA

Al fine di poter valutare con altre metodologie, il quantitativo di percolato presente nel corpo del ex discarica, si è svolta un'indagine di tipo geofisico, con misure di resistività e di polarizzazione indotta, al fine di confrontare la corrispondenza delle indicazioni provenienti dai due diversi metodi;



# PIANTA CON UBICAZIONE DEGLI STENDIMENTI DI TOMOGRAFIA ELETTRICA



VIII Workshop di Geofisica  
Rovereto, 2 dicembre 2011

# TOMOGRAFIA ELETTRICA

La resistività elettrica rappresenta una delle proprietà fisiche più utilizzate per l'esplorazione geofisica del sottosuolo, grazie soprattutto all'ampio spettro di valori che essa può assumere al variare della natura dei corpi investigati.

Questa metodologia rappresenta uno dei sistemi d'indagine più conosciuti e affidabili, le cui principali applicazioni consentono di:

- ricostruire la stratigrafia di massima dei terreni,
- rilevare la presenza di strutture sepolte,
- effettuare ricerche idriche o di acquiferi a diverso grado salino,
- monitorare movimenti degli acquiferi stessi o di fluidi in generale,
- mappare siti contaminati.



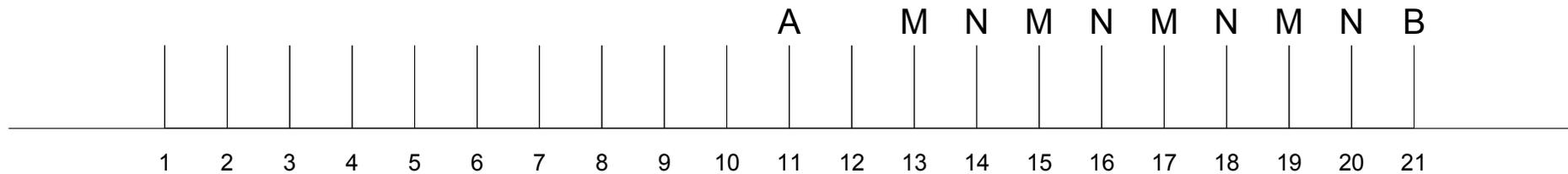
# TOMOGRAFIA ELETTRICA

Nel presente lavoro è stato utilizzato un tipo di dispositivo elettrodico che ha rivelato una maggior efficacia nelle indagini, dovuta al fatto che esse risultano avere una grande capacità risolutiva sia in senso verticale che laterale. Essendo però composte da un numero di punti di misura molto elevato rispetto ai dispositivi elettrodici “tradizionali”, non sono molto praticate, in quanto richiedono una strumentazione particolarmente sofisticata.

Questa geometria quadripolare corrisponde al cosiddetto “gradiente multiplo” (Multiple Gradient Array), che presuppone la disponibilità di uno strumento multicanale in grado di effettuare sino a 4 misure di resistività contemporaneamente. In questo caso si mantiene fissa la posizione degli elettrodi di corrente, traslando quelli di potenziale e misurando di volta in volta la d.d.p.



# Gradient array data acquisition - four-channel

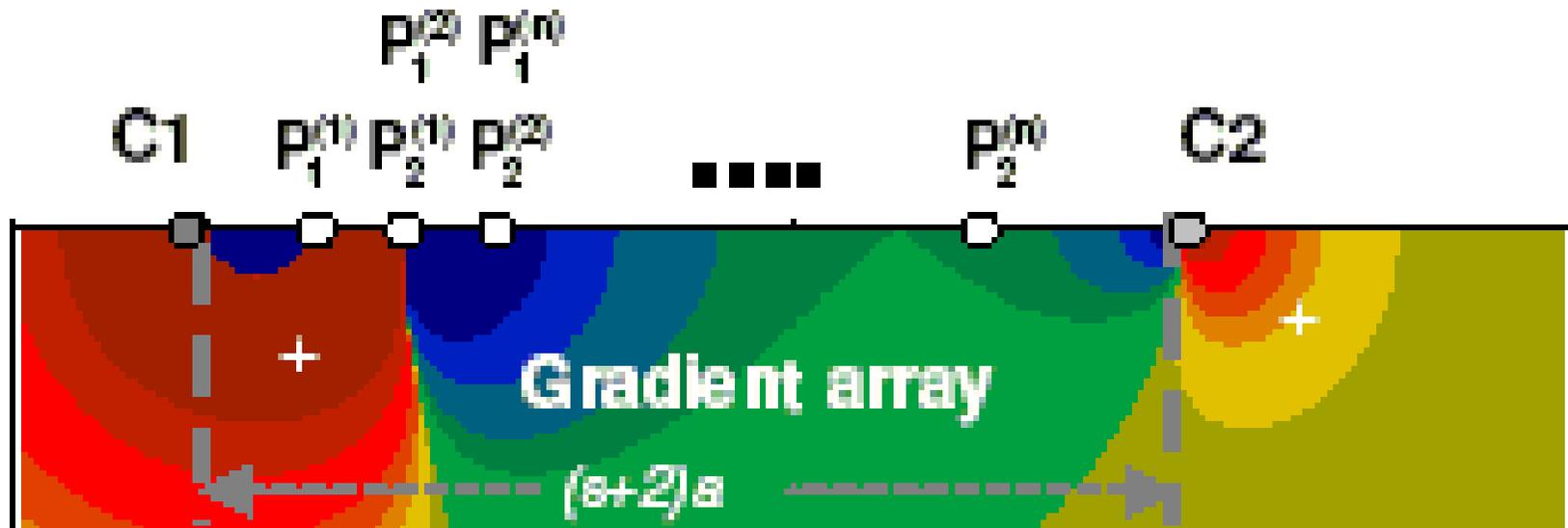


ABEM Terrameter LS



VIII Workshop di Geofisica  
Rovereto, 2 dicembre 2011

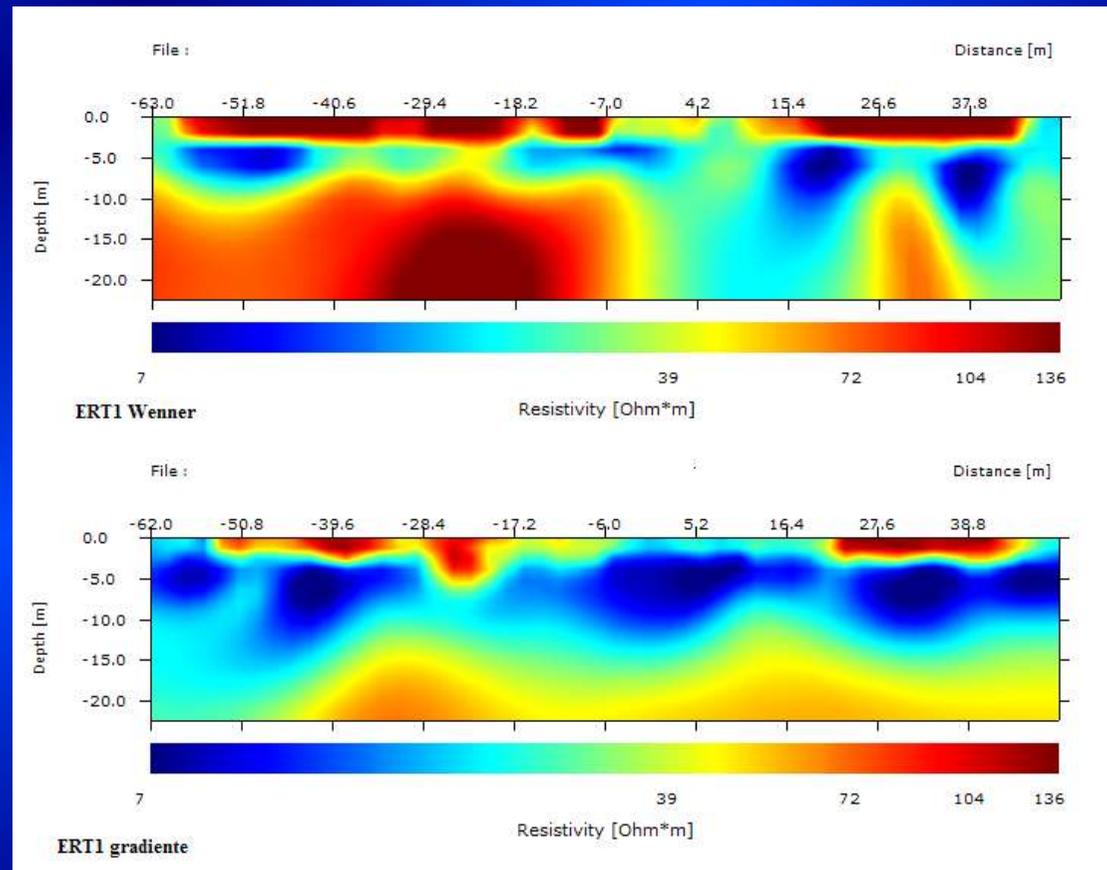
# Gradient array data acquisition - four-channel



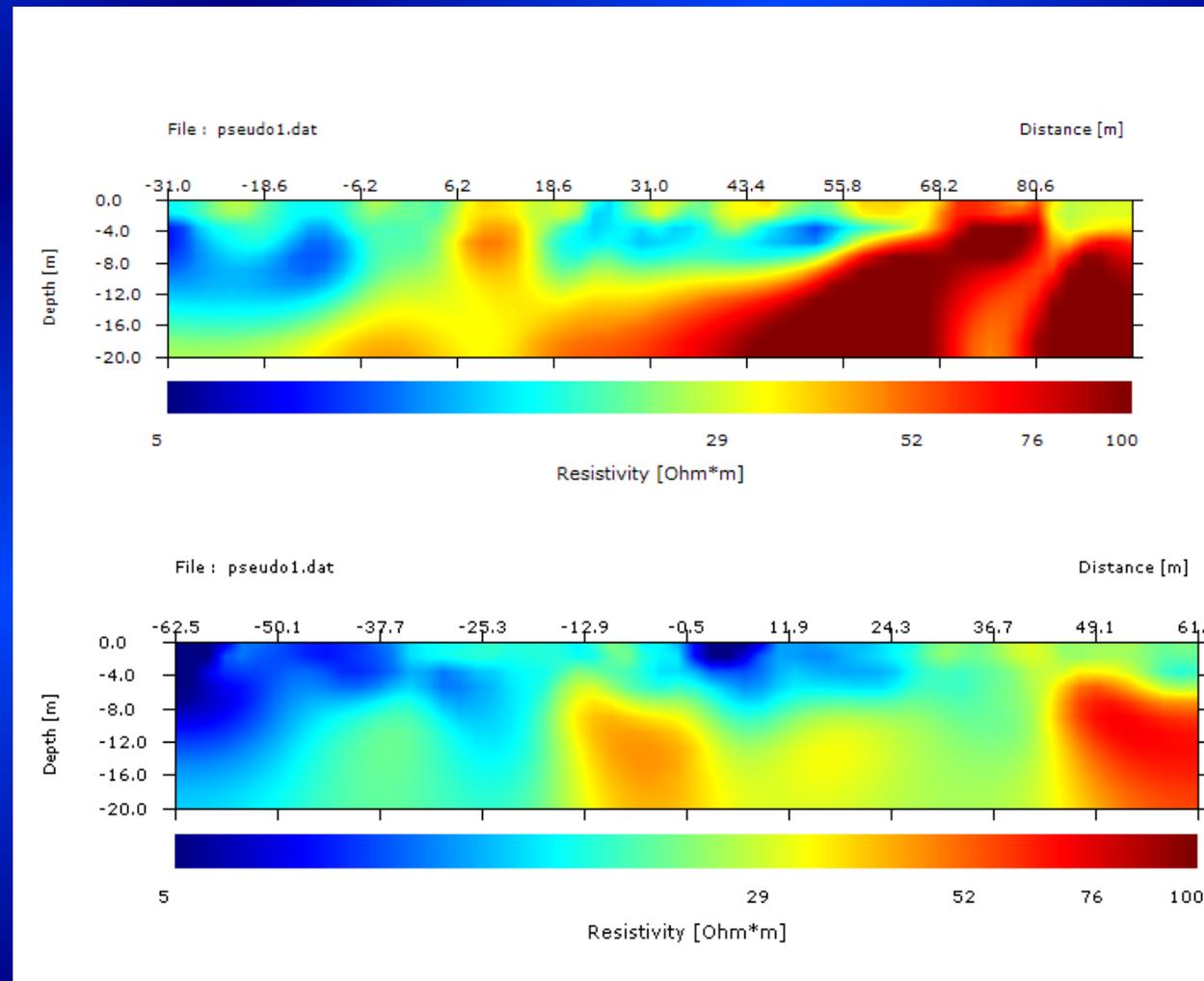
Schematizzazione del dispositivo quadripolare tipo “Gradient array”, utilizzato per l’acquisizione dei dati di resistività elettrica e PI negli stendimenti effettuati in questa indagine



# Raffronto gradiente / wenner



# Raffronto gradiente / wenner

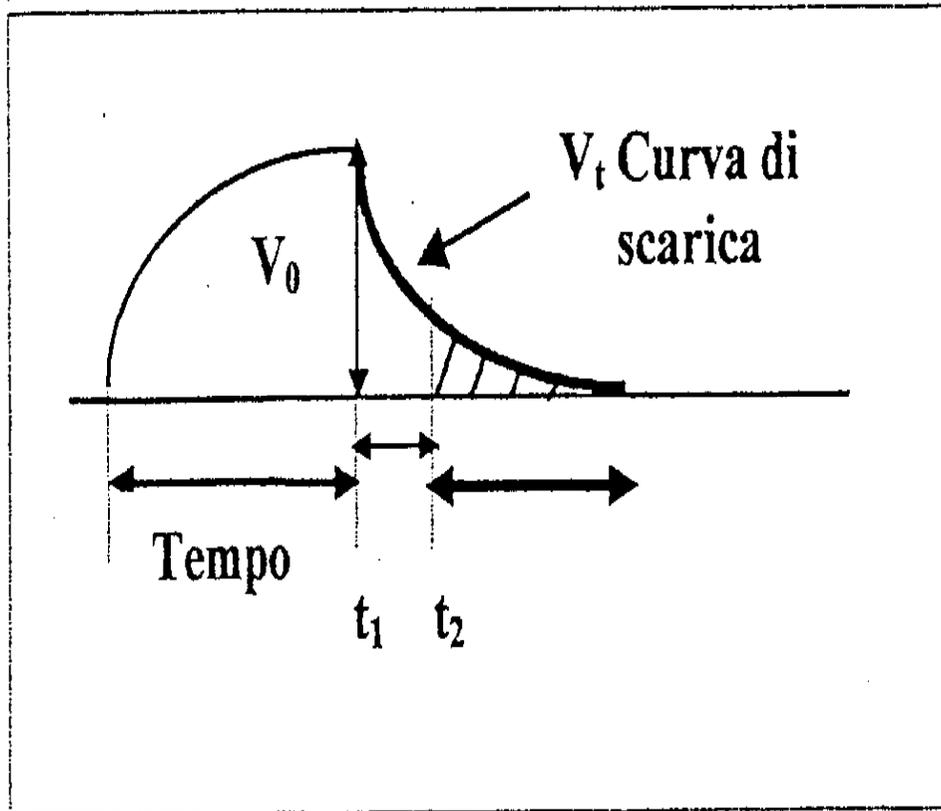


# POLARIZZAZIONE INDOTTA

Dal punto di vista fisico, il fenomeno della polarizzazione indotta comprende un'insieme di processi, in regime transitorio, che avvengono nel terreno quando esso è sottoposto ad un campo elettrico, applicato tramite un classico dispositivo quadri polare ABMN (con AB = elettrodi di corrente e MN = elettrodi di potenziale). In sostanza, il terreno viene energizzato con una corrente di intensità costante attraverso gli elettrodi AB per un certo tempo  $T$ , e si misura il potenziale di equilibrio tra gli elettrodi MN. Tale potenziale, che si produce per effetto della polarizzazione del terreno, assume un andamento asintotico. Allo stesso modo, la d.d.p. tra MN non cade istantaneamente a zero nel momento in cui si interrompe l'energizzazione, bensì decade in un certo tempo seguendo l'andamento riportato in figura.



# POLARIZZAZIONE INDOTTA



$$M = \frac{100}{V_0(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} V_t dt \quad (\%)$$

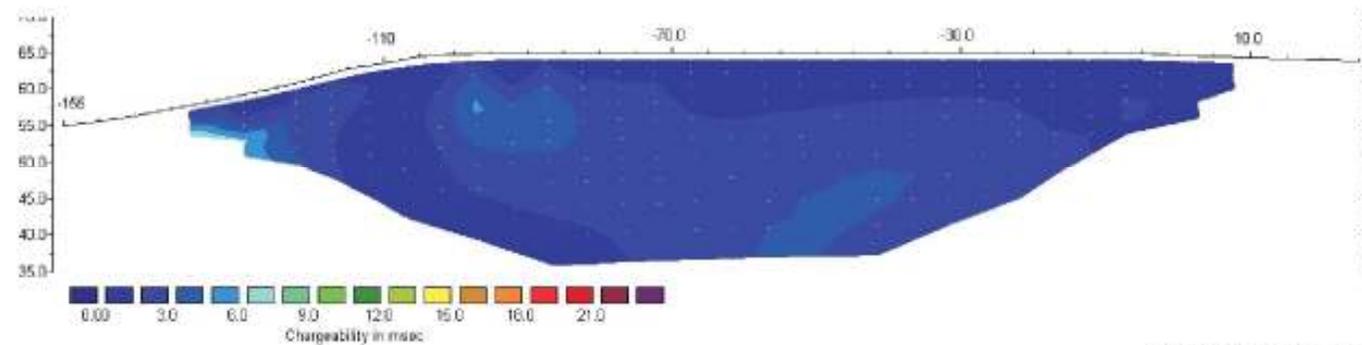
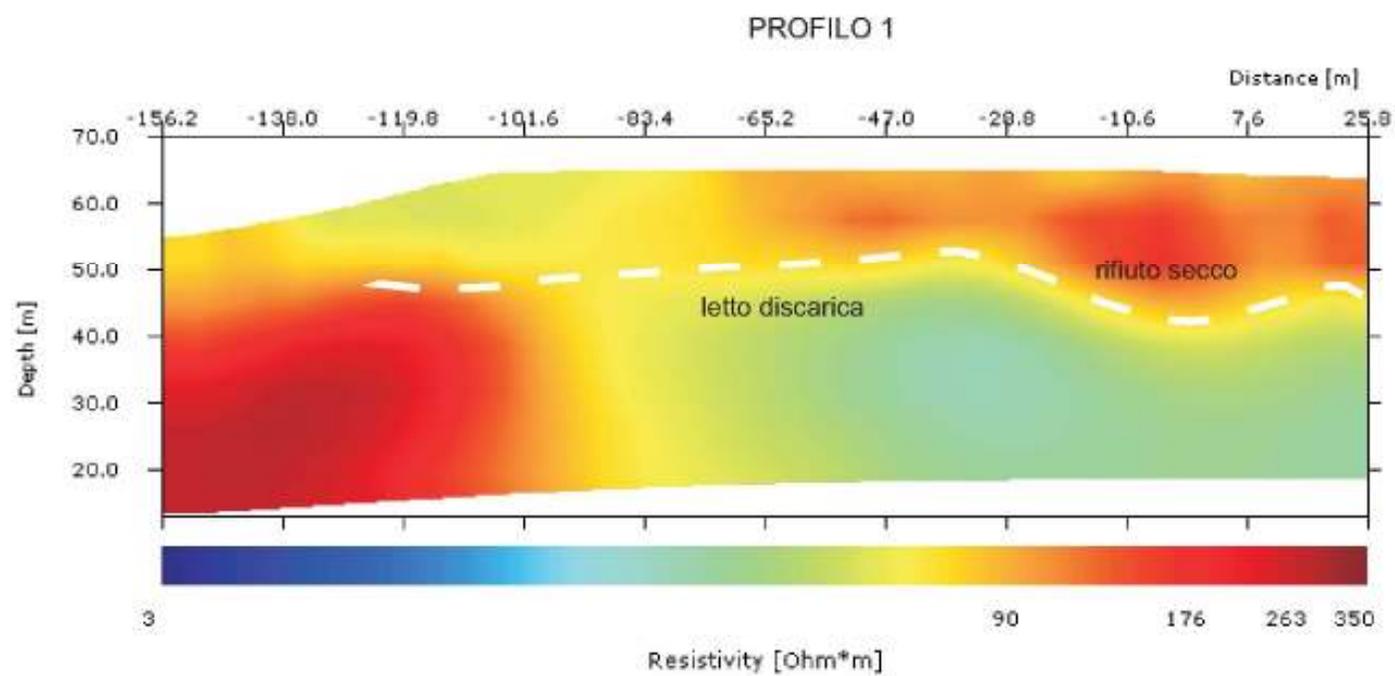
$V_t$  : d.d.p. di scarica ;

$V_0$  : voltaggio iniziale

$t$  : tempo

Figura - Esempio di curva di scarica PI





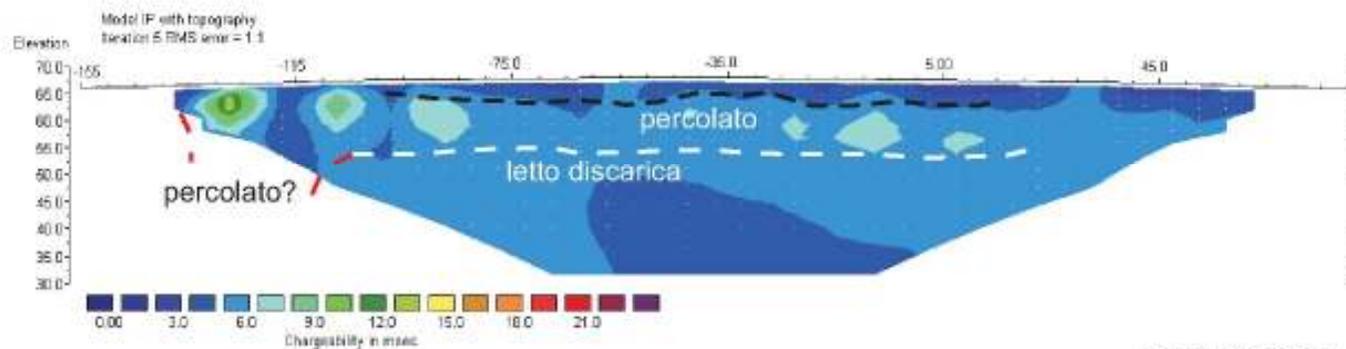
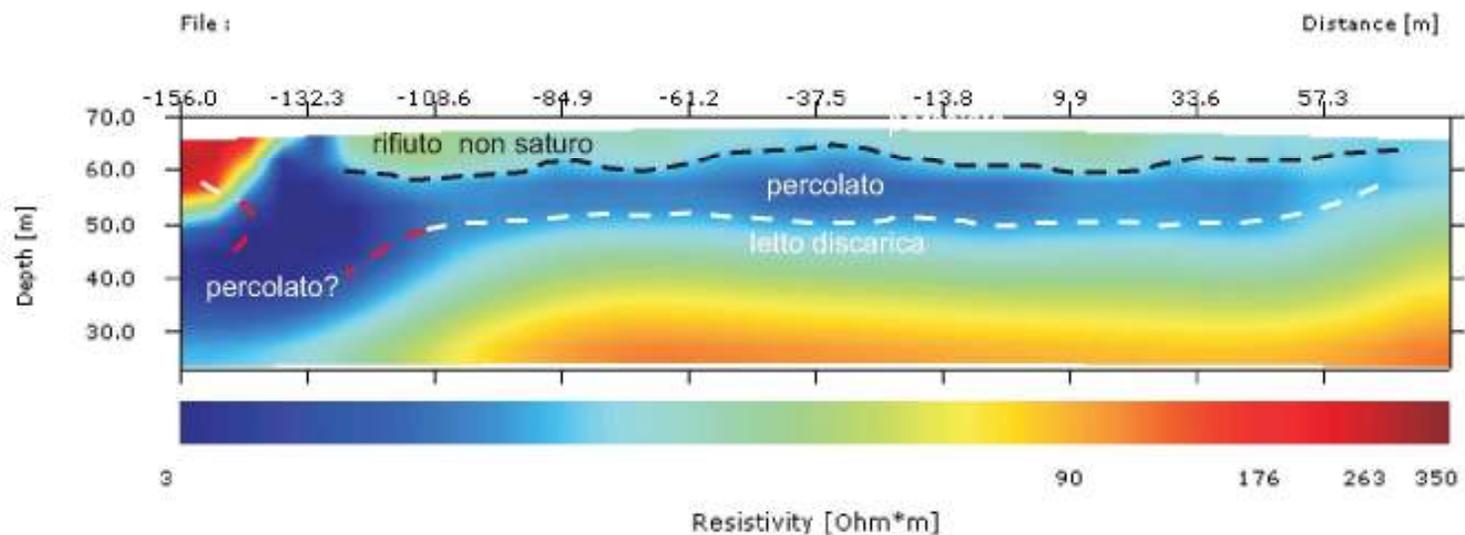
Horizontal scale is 32.71 pixels per unit spacing  
 Vertical exaggeration in model section display = 1.00  
 First electrode is located at -155.0 m  
 Last electrode is located at 25.0 m.

Unit Electrode Spacing = 5.00 m.



VIII Workshop di Geofisica  
 Rovereto, 2 dicembre 2011

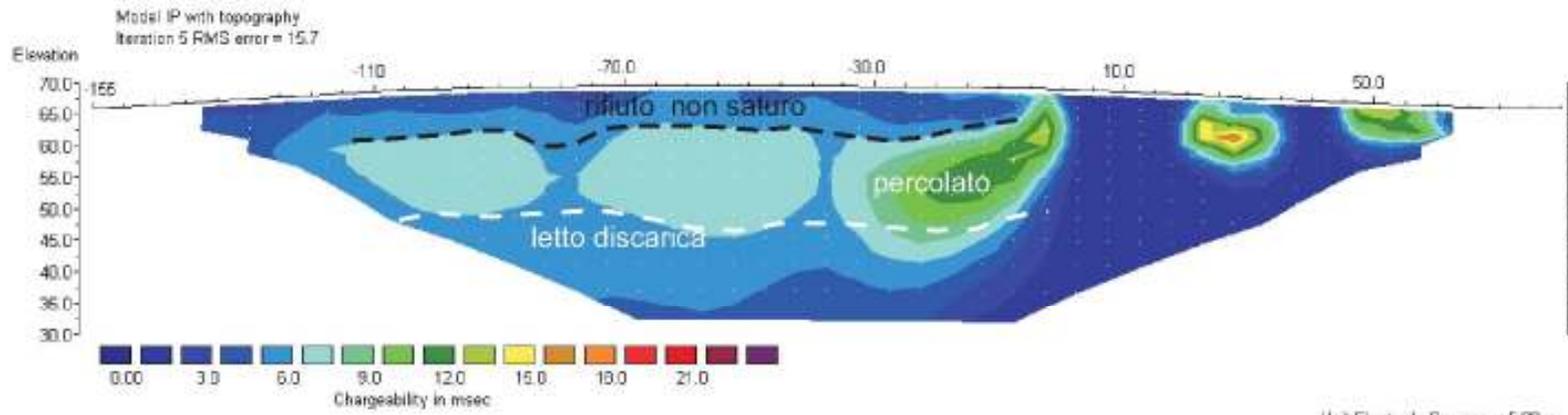
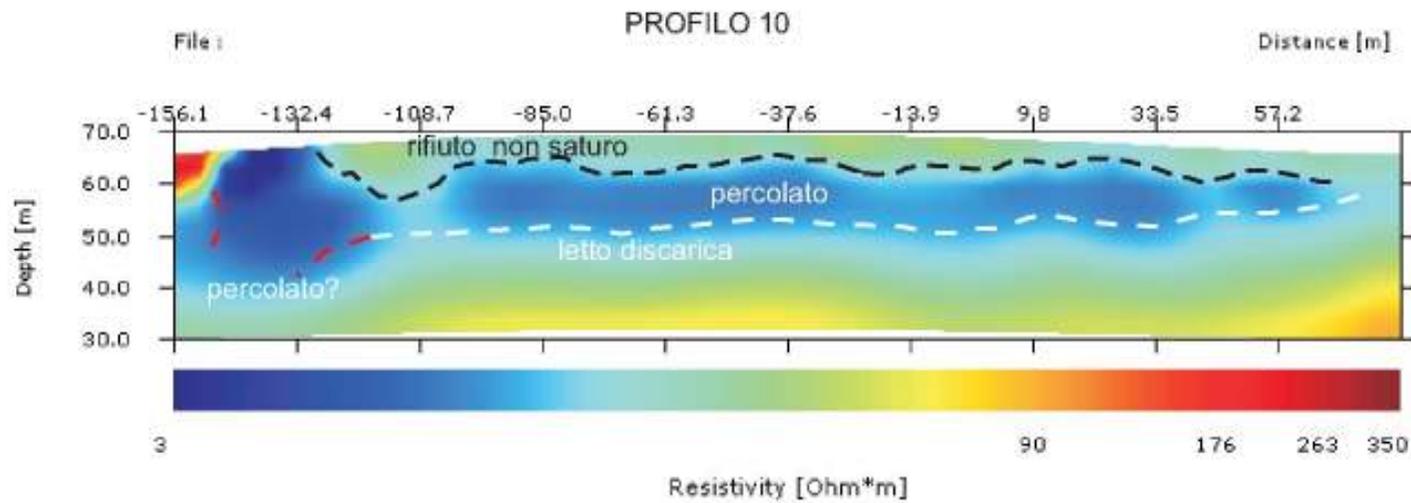
### PROFILO 8



Horizontal scale is 25.26 pixels per unit spacing  
Vertical exaggeration in model section display = 1.00  
First electrode is located at -155.0 m.  
Last electrode is located at 50.0 m.



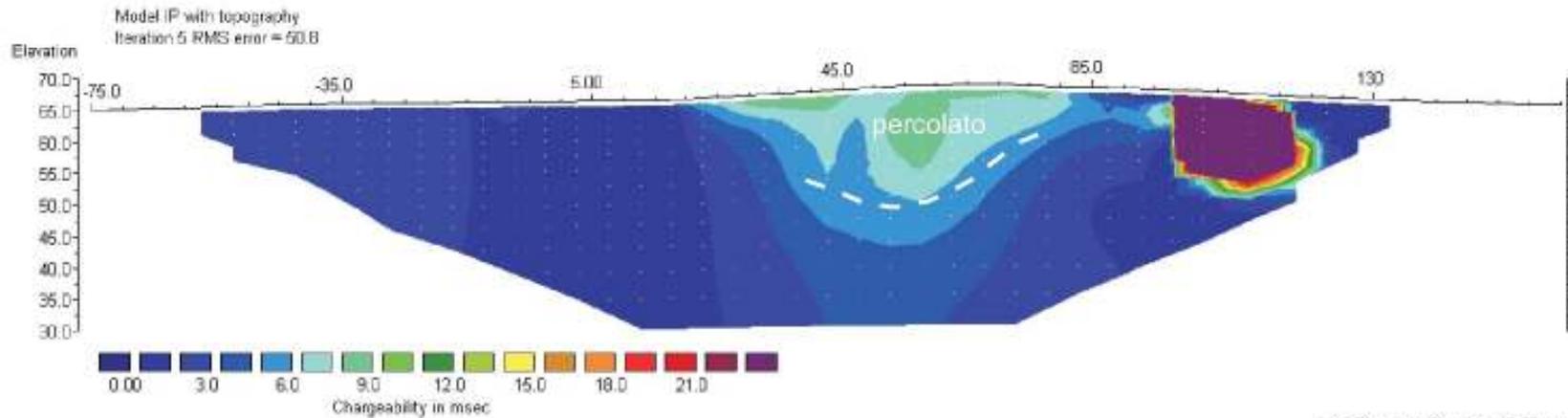
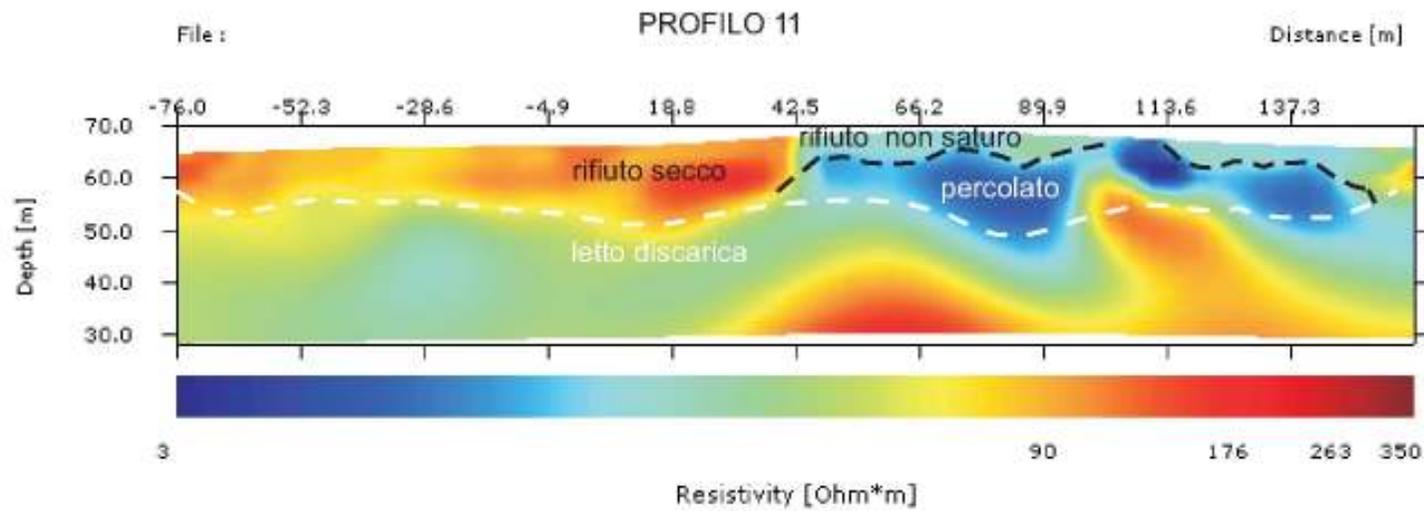
VIII Workshop di Geofisica  
Rovereto, 2 dicembre 2011



Horizontal scale is 24.78 pixels per unit spacing  
 Vertical exaggeration in model section display = 1.00  
 First electrode is located at -155.0 m.  
 Last electrode is located at 80.0 m.

Unit Electrode Spacing = 5.00 m.





Horizontal scale is 24.76 pixels per unit spacing  
Vertical exaggeration in model section display = 1.00  
First electrode is located at -75.0 m.  
Last electrode is located at 160.0 m.



VIII Workshop di Geofisica  
Rovereto, 2 dicembre 2011

## Stima volumetrica del percolato sulla base dei dati geofisici

Sulla base delle considerazioni effettuate circa entità e distribuzione del percolato, e tenendo conto dei rapporti spaziali tra le 12 sezioni, si è proceduto ad un calcolo tendente a quantificare, pur se in modo approssimativo, il volume totale di percolato contenuto nell'impianto. In questo calcolo non si è tenuto conto della porzione che è possibile sia fuoriuscita dalla discarica stessa (delimitata dal tratteggio rosso nelle sezioni), poiché essa non è quantificabile in profondità.

Per ciascun profilo (o porzione di esso) interessato da bassa resistività è stata perciò calcolata l'area corrispondente al percolato, e ne è quindi stata determinata la distribuzione volumetrica ipotizzando un'estensione orizzontale per un tratto corrispondente alla semidistanza tra profilo e profilo.

Il risultato a cui si è pervenuti indicherebbe una quantità apparente di percolato corrispondente a circa 387.000 mc.



E' necessario comunque ridurre tale volume in funzione della porosità efficace del materiale stoccato, che è stata assunta pari a 0.4, valore già adottato nel corso di stime volumetriche pregresse. L'applicazione di tale fattore correttivo permette di ricavare un volume complessivo di percolato entro il corpo discarica prossimo a 155.000mc.

La tabella a seguire presenta le grandezze utilizzate in ogni profilo (escludendo i profili 1 e 5, senza percolato) e i corrispondenti ipotetici volumi, nonché la sommatoria degli stessi.

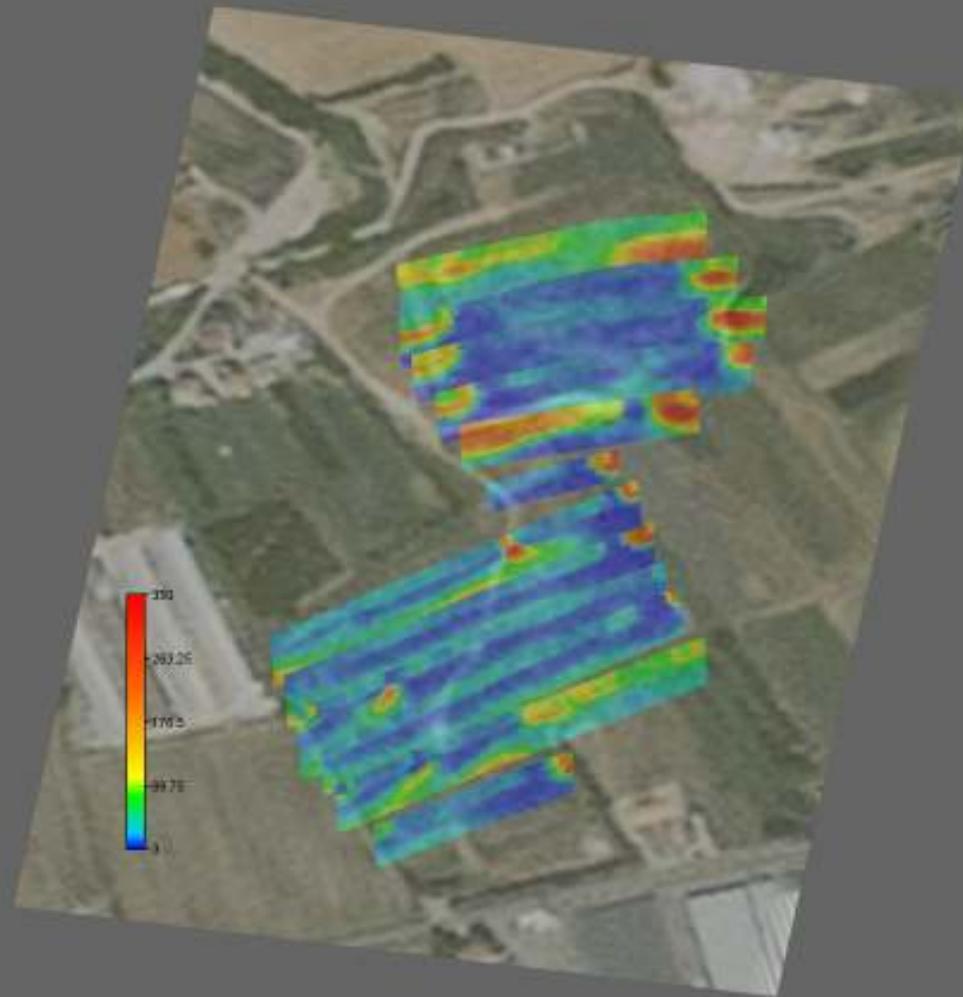
*Calcolo dei volumi approssimativi di percolato così come dedotti dall'analisi dei singoli profili di resistività.*

*Il profilo 9, con spessori di percolato differenti, è stato suddiviso in due porzioni*

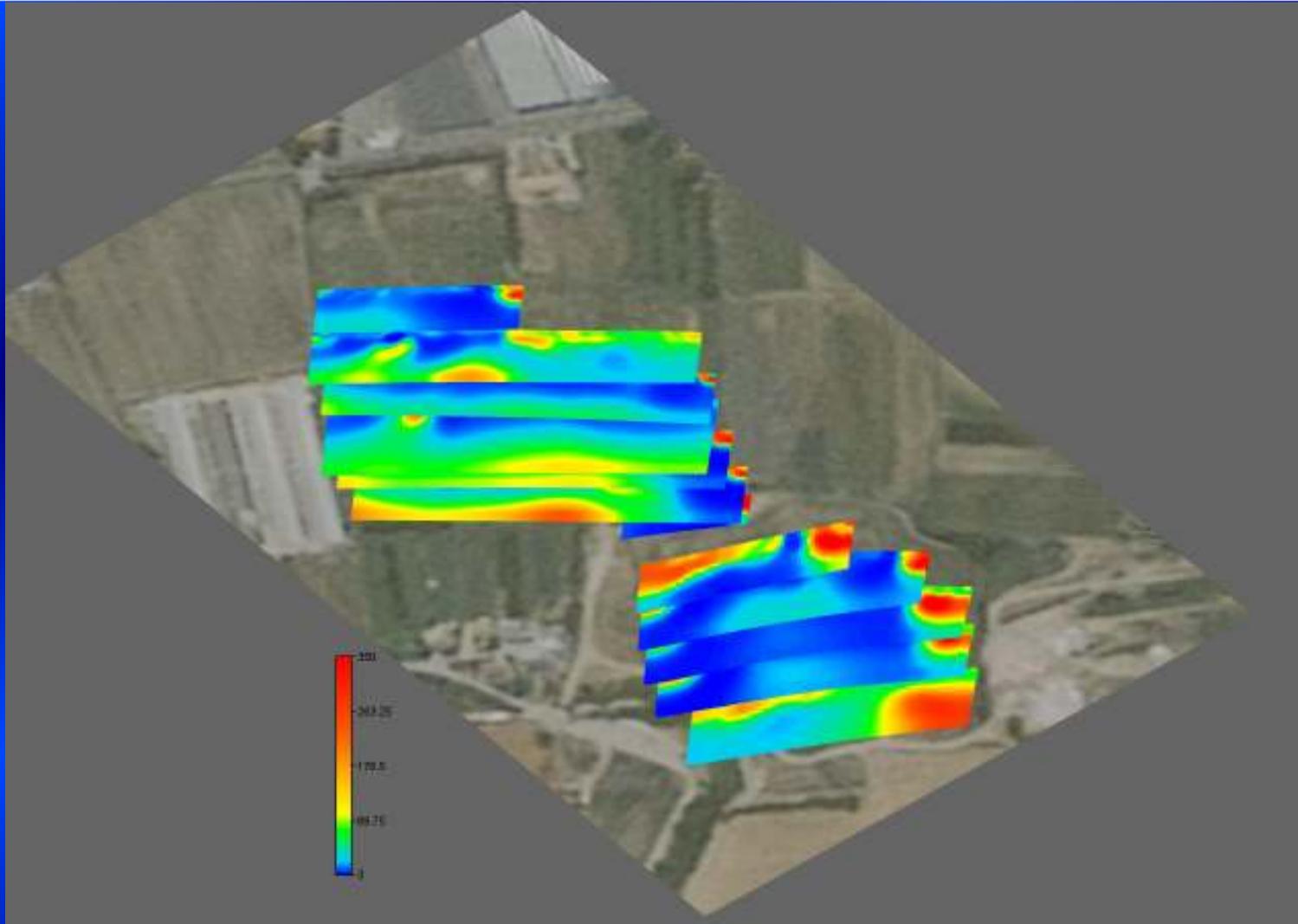
PROFILI	Lunghezza (m)	Spessore (m)	Larghezza (m)	Volume apparente (mc)
2	90	12	33	35640
3	135	14	32	60480
4	138	13	30	53820
6	22	5	32	3520
7	170	4	33	22440
8	195	10	28	54600
9a	158	11	26	45188
9b	12	7	26	2184
10	200	10	33	66000
11	100	7	33	23100
12	40	13	38	19760
			TOT.	386732



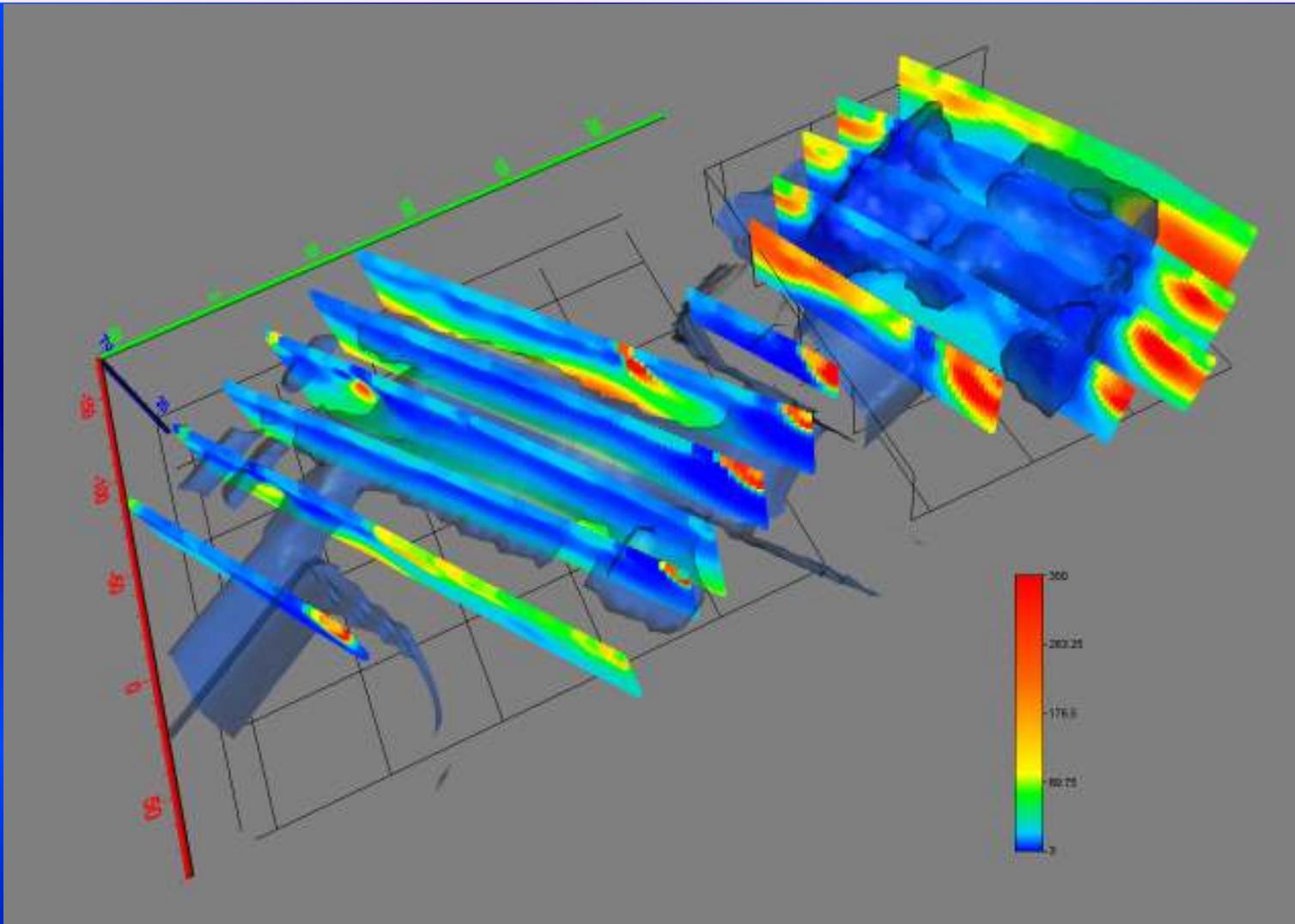
# Elaborazioni grafiche 3D dei profili di tomografia elettrica



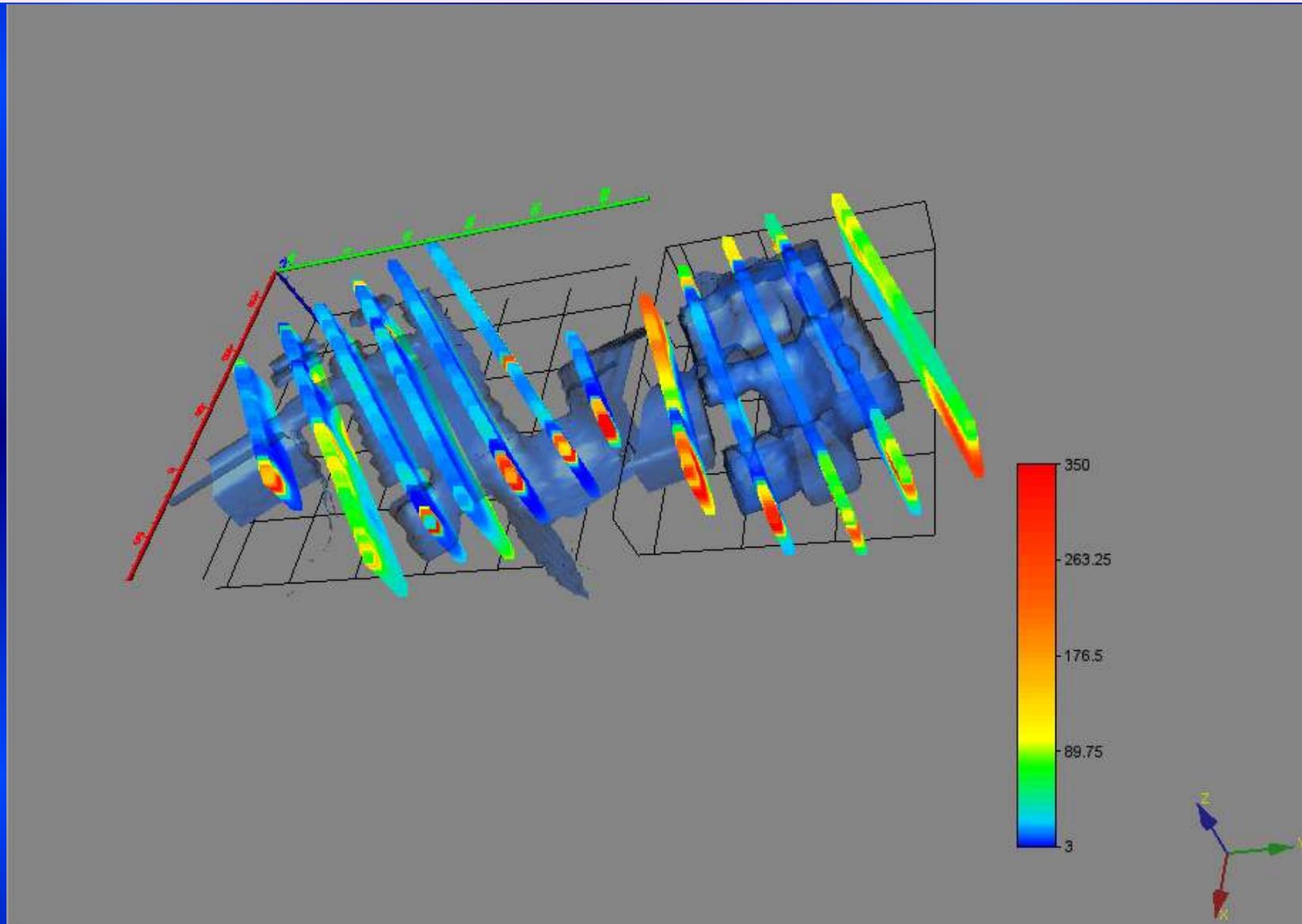
# Elaborazioni grafiche 3D dei profili di tomografia elettrica



# Elaborazioni grafiche 3D dei profili di tomografia elettrica



# Elaborazioni grafiche 3D dei profili di tomografia elettrica



# CONCLUSIONI

- L'INDAGINE Geofisica ha portato a rivalutare le quantità di percolato in discarica

Lotto	Area (mq)	stendimento	quota fondo discarica (valore medio lungo lo stendimento) (m s.l.m.)	quota livello percolato (m s.l.m.)	spessore percolato (m)	spessore medio di percolato entro il lotto (m)	Volume di percolato (mc)
5-6	25080	1	46		0	5.56	55 778
		2	48	55.3	7.3		
		3	47	56.5	9.5		
		4	50	57.5	7.5		
		5	55	58.5	3.5		
3-4	26715	6	60	60	0	8.79	93 930
		7	55	61.45	6.45		
		8	50	62.5	12.5		
		9	52	63.25	11.25		
		10	50	63.75	13.75		
1-2	22990	8	50	62.5	12.5	12.40	114 030
		9	52	63.25	11.25		
		10	50	63.75	13.75		
		11	55	65	10		
		12	52	66.5	14.5		
							263 738



