

COMUNE DI FONNI

PROVINCIA DI NUORO

PROSPERZIONI GEOELETTRICHE



Studio Geologico Dott. Giambattista CADAU via Berlinguer, 8 - 08023 FONNI - Tel./Fax 0784/58485 Cell. 347/5073521		Titolo: FONNI (NU) - PIANO DI CARATTERIZZAZIONE PER L'ATTUAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA E/O BONIFICA DELLA DISCARICA DISMESSA DEI RIFIUTI URBANI IN LOCALITA' "GENNA VENTOSA" AI SENSI DEL D. LGS 152/06 - PIANO DI INDAGINI AMBIENTALI	
 Oggetto: PROSPERZIONI GEOELETTRICHE		Il Tecnico: Geol. Giambattista CADAU	
Il Committente: Comune di Fonni		Data: Novembre 2010 Scala: varie Tav.:	

SOMMARIO

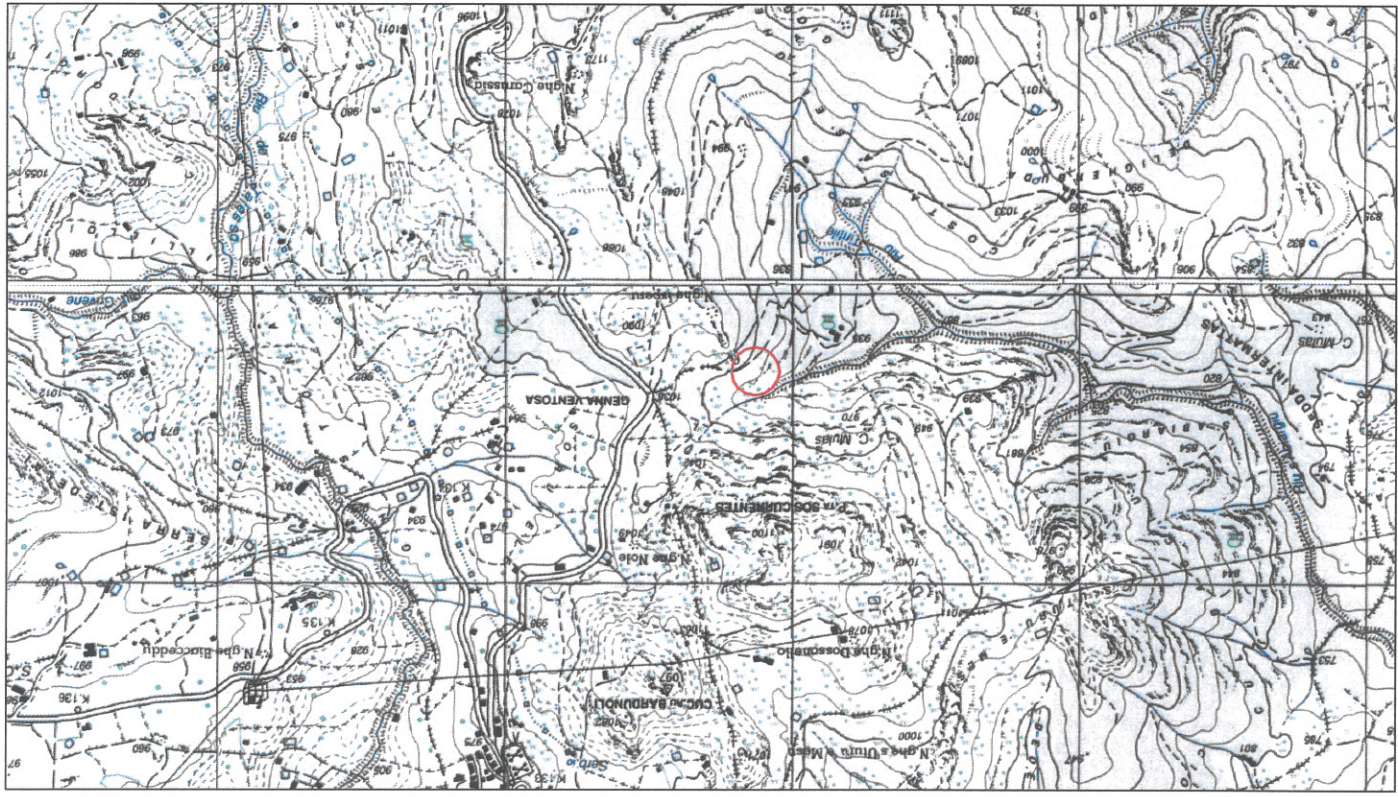
1.	GENERALITA'	2
2.	PROSPEZIONE GEOELETTICA	2
2.1.	Misure di resistività	3
2.2.	Strumentazione utilizzata	5
2.3.	Misure di polarizzazione indotta	6
2.4.	Caratteristiche di resistività e di IP, interpretazione geologica	8
3.	SPESSORI DISCARICA E PRESENZA CONTAMINATI	15
4.	CONCLUSIONI	16

RELAZIONE GEOFISICA

1. GENERALITA'

La presente relazione, commissionata dal Comune di Forni (Nu), illustra i risultati di alcune prospezione geofisiche di tipo geoelettrico eseguite ai primi di dicembre c.a. nell'ambito del "PIANO DI CARATTERIZZAZIONE PER L'ATTUAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA E/O BONIFICA DELLA DISCARICA DISMESSA DEI RIFIUTI URBANI IN LOCALITA' "GENNA VENTOSA" AI SENSI DEL D. LGS 152/06 - PIANO DI INDAGINI AMBIENTALI" nel comune di Forni (Nu). Le prove, con localizzazione presente in allegato, sono state eseguite in accordo con la committenza (per le finalità idrogeologiche e ambientali da ricercare) e in considerazione delle difficoltà logistiche incontrate (estensione degli stendimenti, fronte troppo acclive della discarica).

L'indagine geoelettrica fornisce una sezione di resistività del sottosuolo da cui si possono ottenere, in associazione con le caratteristiche di caricabilità dei terreni (altra proprietà fisica misurabile dei terreni dopo la resistività), utili informazioni stratigrafiche e idrogeologiche. Dal punto di vista ambientale le tomografie elettriche forniscono utili indicazioni sulla presenza di contaminanti nel sottosuolo.



Stralcio fuori scala dalla cartografia IGM in scala 1:25000 delle aree di ricerca

2. PROSPEZIONE GEOELETTRICA

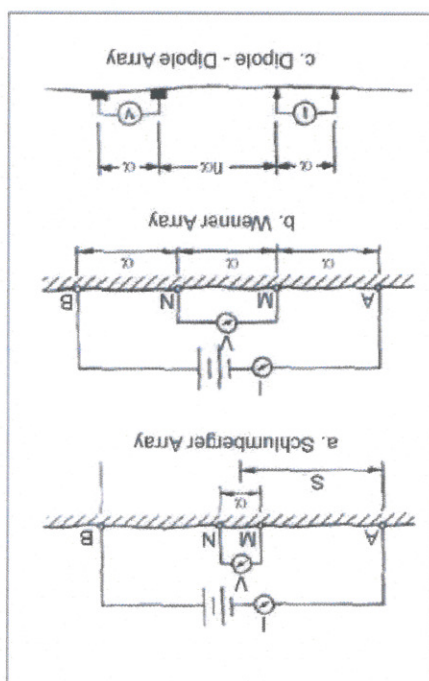
La tecnica adottata nello studio ha previsto l'utilizzo di una metodologia attiva (con energizzazione del terreno) di tipo geoelettrico. La strumentazione utilizzata è stata quella di acquisizione automatica tramite sistema

PROSPETTIVE GEOFISICHE

multielelettrodo ARRES della GF Instruments. I dati acquisiti in campagna sono stati rielaborati attraverso software particolari che consentono di passare dalla resistività apparente a quella reale, con successiva associazione di certi *range* di resistività ai vari litotipi in modo da ottenere così una modellizzazione geologica del settore.

2.1. Misure di resistività

Le sezioni tomografiche sono state eseguite secondo la configurazione di Schlumberger, Wenner e dipolo dipolo. Il passo **a** adottato, pari a 3 m, ha permesso il raggiungimento di profondità massime di circa 24 m dal piano campagna con l'utilizzo di un massimo di 44 picchetti nella sezione di resistività n°2. Contemporaneamente all'acquisizione dei valori di resistività, nella disposizione Wenner, sono stati misurati anche i valori di carica per la definizione della aree a maggior contaminazione.



Schema delle principali disposizioni elettrode e rappresentazione delle linee di corrente per i due elettrodi A e B



Tale tecnica permette di visualizzare l'andamento in profondità della resistività e della carica, apparente e reale.

Il metodo della resistività si basa sull'immissione artificiale nel terreno di una determinata quantità di corrente attraverso due elettrodi in contatto con il terreno e collegati ad un generatore. Misurando la differenza di potenziale ai capi di un'altra coppia di elettrodi è possibile conoscere la resistività apparente del mezzo.

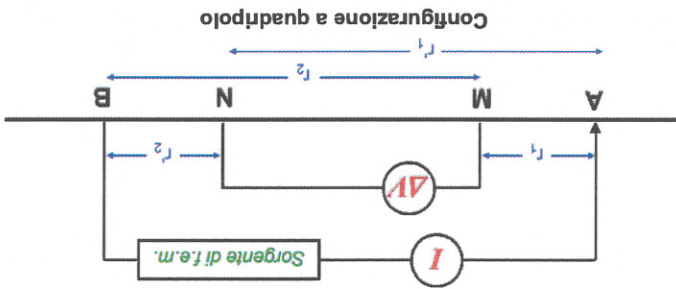
L'andamento del flusso di corrente viene determinato misurando le differenze di potenziale in diversi punti sulla superficie del terreno. Per un mezzo omogeneo ed isotropo, nota la corrente I (misurata in Ampere) e misurata la differenza di potenziale ΔV (misurata in Volt), attraverso la Legge di Ohm è possibile ricavare i valori di resistività apparente, utilizzando la relazione:

$$\Delta V = \rho \frac{I}{k}$$

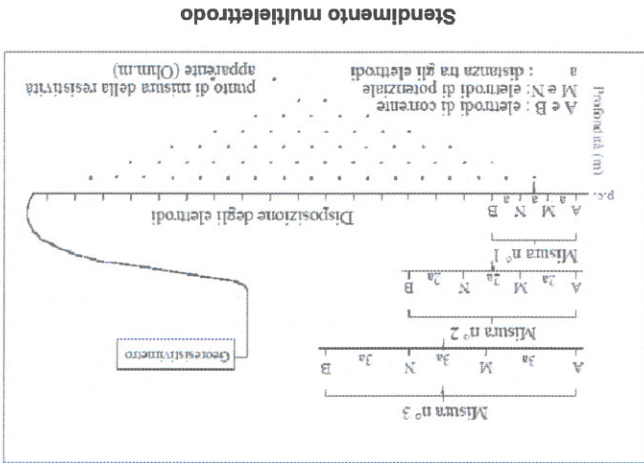
PROSPEZIONI GEOFISICHE

dove con p si indica la resistività ($\Omega \text{ m}$) e con k il fattore geometrico (m), che dipende dalla posizione reciproca degli elettrodi. Poiché il terreno non è un mezzo omogeneo ed isotropo ciò che viene ricavata è detta resistività apparente.

Per le misure di resistività elettrica si utilizzata uno strumento multielettrodo, in grado di energizzare il terreno attraverso due elettrodi di corrente A e B e misurare la differenza di potenziale ai capi di altri due elettrodi M e N : questa configurazione è detta quadrupolo.



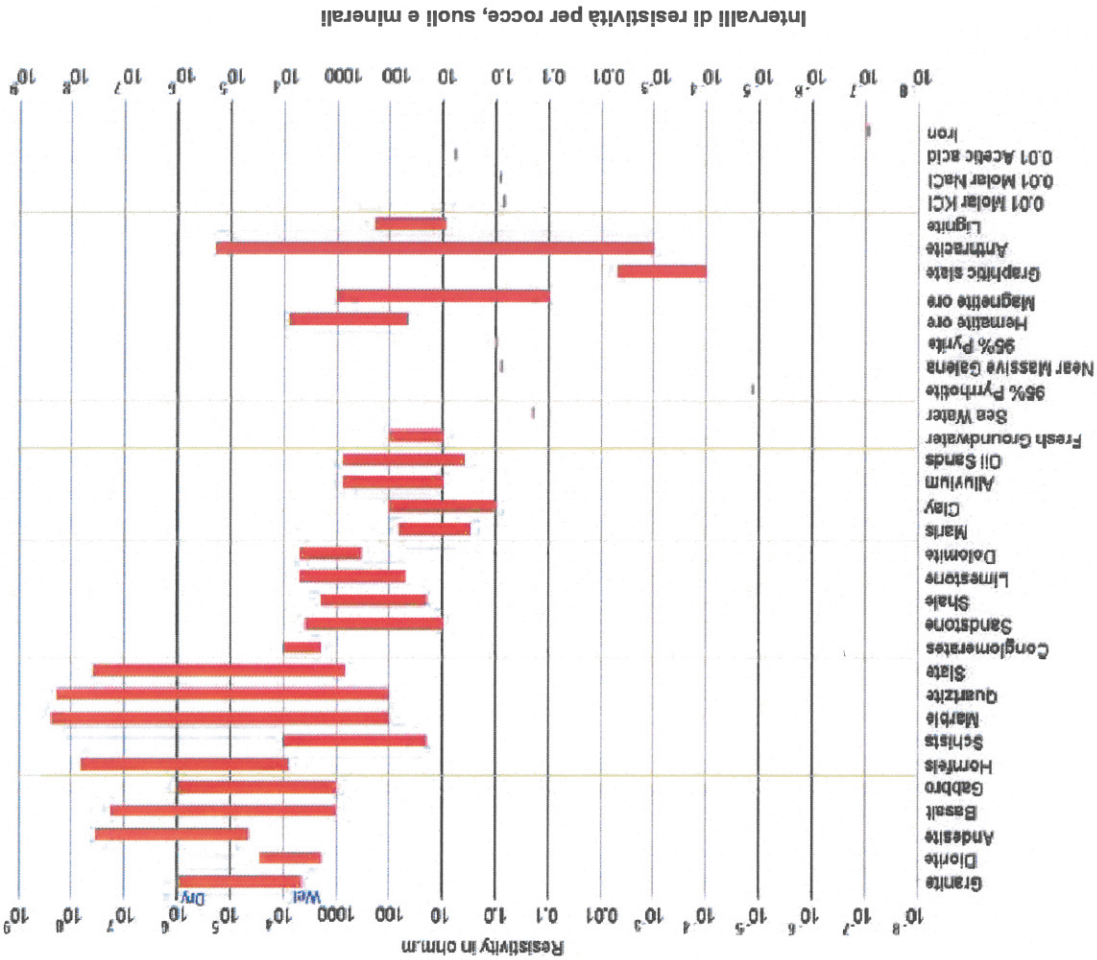
Variando la posizione delle coppie di elettrodi di corrente e di potenziale si realizza un'indagine che permette di caratterizzare le proprietà elettriche del sottosuolo a diverse profondità e con differenti risoluzioni spaziali. Per evitare continui riposizionamenti degli elettrodi, i moderni strumenti, come quello utilizzato durante il rilievo in questione, consentono di gestire l'energizzazione e l'acquisizione mediante stendimenti multielettrodo.



La profondità di investigazione dipende dalla lunghezza complessiva dello stendimento, generalmente compresa tra $1/4$ e $1/6$ della sua lunghezza, mentre la risoluzione spaziale dipende dalla distanza relativa degli elettrodi. Stendimenti più lunghi sono spesso legati a distanze tra gli elettrodi più ampie: la profondità cresce, ma la risoluzione dell'indagine diminuisce.

Obiettivo delle indagini è la ricostruzione di modelli di resistività del sottosuolo partendo da misure di resistività apparente. Oltre alle inevitabili anisotropie e disomogeneità del terreno, che impediscono una ricostruzione univoca del modello geometrico, è necessario ricordare che la resistività dipende da diversi fattori quali porosità, presenza di fluidi, composizione mineralogica, grado di fratturazione, grado di saturazione etc. In

particolare, la resistività delle rocce è sempre maggiore a quella dell'acqua nei pori, è minima in corrispondenza del grado di saturazione massimo ed è tanto minore quanto maggiore è la porosità. Tutti questi elementi contribuiscono ad una grande variabilità di valori anche per singole classi di rocce o terreni.



2.2. Strumentazione utilizzata

Per l'esecuzione delle misure geoelettriche di cui si discute è stato utilizzato un georesistivimetro monocanale realizzato dalla ditta GF Instruments mod. ARES G4, alimentato con batteria al piombo ricaricabile.

Questo strumento è stato progettato per effettuare una serie completa di stendimenti geoelettrici: sondaggi elettrici verticali, profili di resistività, misure multi-elettrodo per tomografie elettriche 2D e 3D, misure di polarizzazione indotta e di potenziali spontanei.

Esso è costituito dall'apparato di energizzazione (immette corrente nel terreno attraverso gli elettrodi A e B), e dall'apparato di ricezione (misura la differenza di potenziale tra gli elettrodi di tensione M e N); racchiude, infatti, tre unità principali: trasmettitore, ricevitore e microprocessore.

Il trasmettitore, isolato elettricamente, è costituito da un generatore di tensione in continua, provvisto di commutatore automatico della polarità, per l'invio nel sottosuolo, tramite gli elettrodi del dipolo energizzante, di

un flusso di corrente continua la cui intensità può variare fino a raggiungere un'intensità massima di 2.0 A ed un voltaggio compreso tra 10 e 550 V con una potenza massima di 300 W.

L'Ares G4 viene collegato ad un commutatore con cui è possibile programmare la gestione automatica degli elettrodi dello stendimento, ottenendo un elevato numero di combinazioni tra gli elettrodi nonché un notevole risparmio di tempo.

Al cavo multielettrodo del georesistivimetro sono collegati contemporaneamente tutti gli elettrodi attraverso appositi connettori. In base all'array prescelto, l'unità switch (commutatore) seleziona le coppie di elettrodi da energizzare.

La durata della fase di energizzazione, ossia di iniezione di corrente nel terreno, è stata determinata nel corso della misura in base al rapporto segnale-rumore caratteristico del sito. Il ricevitore è costituito da un millivoltmetro digitale collegato a un microprocessore, che memorizza i valori di tensione ai capi degli elettrodi del dipolo di misura con un passo di campionamento regolare e tale da rientrare un numero intero di volte nel ciclo completo di un'onda di corrente. Alla fine di ogni ciclo, inoltre, un software di esercizio fornisce il valore della resistenza (visualizzato su un display digitale in Ohm·m) come rapporto tra la media di tutte le stime della tensione di picco, riferite ai cicli di corrente via via susseguitsi, e l'intensità della corrente preselezionata.

È opportuno qui evidenziare che la procedura computerizzata appena descritta, detta stacking mira ad isolare il segnale utile di tensione, ovvero il segnale direttamente collegato alla corrente di energizzazione, mediante il processo di rimozione immediata del fattore di disturbo stazionario (generato da fenomeni di polarizzazione spontanea), e di abbattimento progressivo di quello casuale (provocato da sorgenti naturali e/o artificiali spurie di vario genere).

Il primo obiettivo si raggiunge facilmente grazie all'inversione della polarità del flusso di corrente continua nel sottosuolo, cioè mediante l'invio di onde quadre di corrente.

Il secondo obiettivo, invece, viene raggiunto tramite quella proprietà dei processi stocastici che afferma che la somma di n elementi di un rumore casuale qualunque selezionati ne attenua la portata rispetto ad un segnale coerente di un fattore pari alla radice quadrata di n . La scelta del numero di cicli da utilizzare è legata all'entità del disturbo: quanto più esso è forte tanto maggiore deve essere il numero di cicli. Lo strumento utilizzato è dotato di un software interno che regola automaticamente il numero di cicli di misura sulla base delle impostazioni dell'operatore, finché non viene raggiunto un segnale ottimale. Per il rilievo si sono utilizzati 48 elettrodi collegati fra loro da un cavo multipolare schermato e gestito dal commutatore automatico comandato dallo strumento di misura.

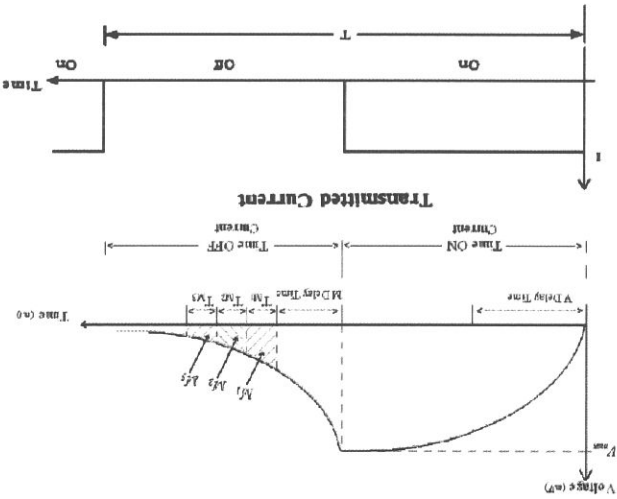
2.3. Misure di polarizzazione indotta

La polarizzazione indotta è un fenomeno generato dalla stimolazione di una corrente elettrica, che viene osservata dopo l'applicazione di una tensione nel terreno. Il metodo consiste nell'osservazione della curva di decadimento del potenziale, susseguentemente all'interruzione della corrente immessa, cioè dalla misura della "Caricabilità residua" trattenuta dal terreno sottoposto ad indagine.

Tali misure vengono fatte dopo un tempo di ritardo (Delay Time) di qualche decina di millisecondi, preferibilmente un secondo (M Delay Time), in modo da lasciare che gli effetti di accoppiamento tra i cavi e altri effetti parassiti si siano esauriti o che almeno siano trascurabili. Gli inconvenienti dovuti all'accoppiamento potrebbero essere molto ridotti utilizzando cavi schermati, come cavi coassiali che, però, fanno lievitare i costi e ridurre la flessibilità di tali misurazioni. Le misurazioni della carica apparente parziale (Mi) e una media globale dedotta (Ma) danno qualche informazione riguardante la capacità del suolo ad essere caricato da un flusso di corrente.

La carica apparente parziale di una singola finestra dell'intervallo di tempo T_{Mi} è dato dalla formula:

$$M_i = \int_{T_{M0}}^{T_{M0} + T_{Mi}} V dt / (T_{Mi} \cdot V_{Max}) \quad \left[\frac{mV}{V} \right]$$



Andamento della curva di scarica della corrente. La minore o maggiore rapidità nell'esaurimento del voltaggio indotto determina le caratteristiche di carica apparente del terreno

dove V è la tensione istantanea misurata nell'intervallo di tempo M_i T (msec) mostrata in Figura 2 e V_{Max} è il valore massimo della tensione di carica. Nella figura si nota che gli intervalli di tempo presi in considerazione sono tre (T_{M1}, T_{M2}, T_{M3}), gli intervalli di tempo disponibili per le misurazioni dipendono dalla corrente iniettata e dal metodo di IP utilizzato. La carica apparente globale, cioè la carica apparente di un singolo punto della pseudosezione, è data dalla formula:

$$M_a = \sum_{i=1}^n (M_i \cdot T_{Mi}) / \sum_{i=1}^n (T_{Mi})$$

L'inversione dei dati di carica apparente permette di passare con un margine di errore discreto dalla carica apparente a quella reale.

Le caratteristiche di resistività e di IP forniscono utili informazioni dal punto di vista idrogeologico visto che valori di carica apparente elevati sono associati spesso a presenza di argilla e dunque ad una diminuzione della produttività dell'acquifero.

Valori di carica apparente elevati sono sicuramente da ricondurre alla presenza di contaminanti come il percolato e alla presenza di rifiuti legati a discarica urbana. La presenza di rifiuti domestici è spesso associata a basse

resistività e a polarizzazione indotta elevata, con valori superiori a 10 msec, con massimi sino ad 80 msec. Se si considera che i terreni normali come le ghiaie, le argille e le sabbie hanno valori massimi di 3-4 msec si capisce come questa tecnica sia adottata in maniera diffusa nel settore di indagine ambientale.

La presenza di fanghi contaminati, di rifiuti metallici, di contaminanti organici e di lubrificanti in genere è alla base della elevata risposta IP delle discariche di rifiuti urbani. Nelle sezioni di resistività delle indagini eseguite si evidenzia la presenza di una debole risposta IP concentrata in maniera particolare al di sotto del corpo del corpo discarica.

Qualche evidenza di propagazione dei valori IP nel rilievo n°3 in direzione NW.

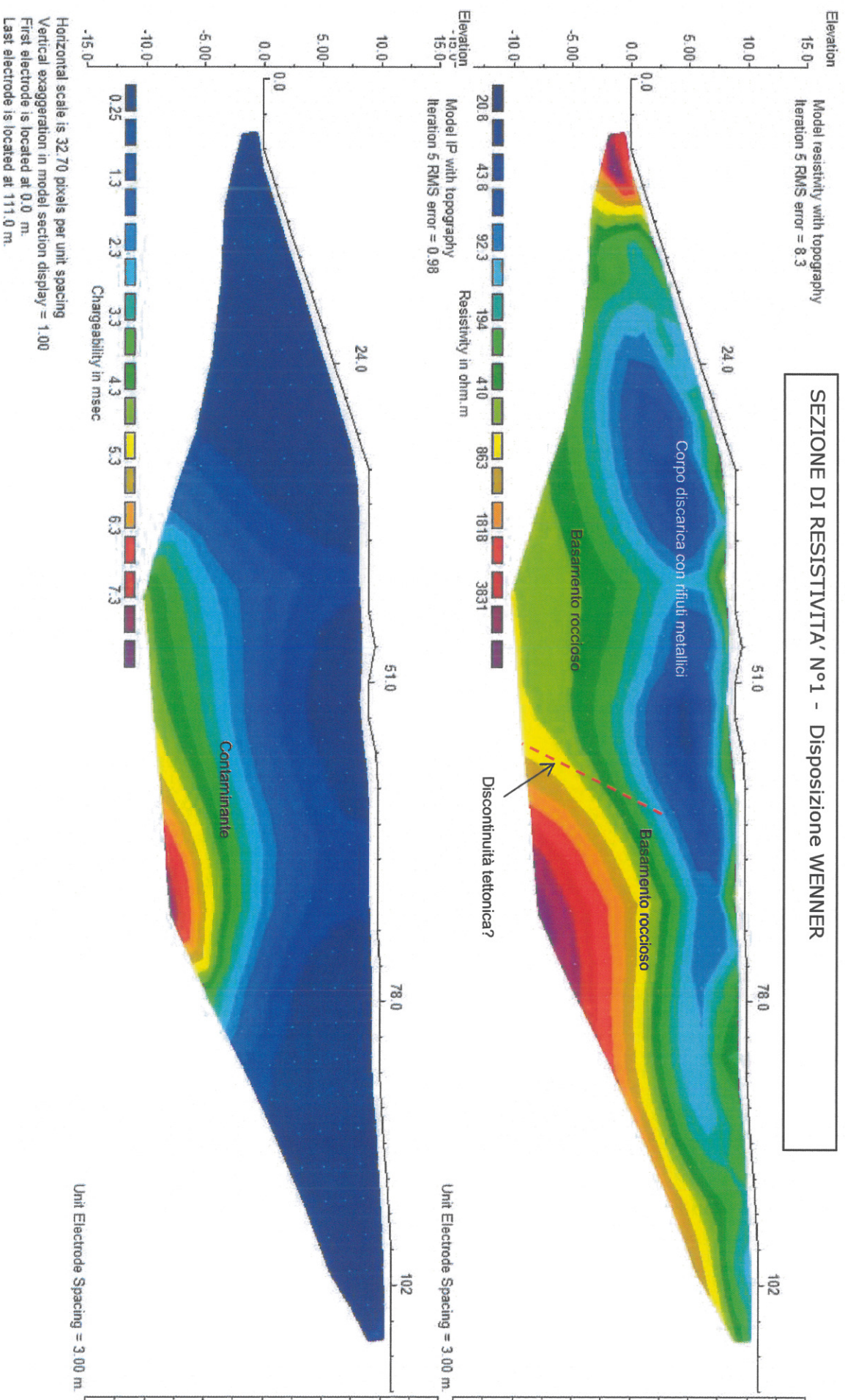
2.4. Caratteristiche di resistività e di IP, interpretazione geologica

L'esame della sezioni di resistività (vedere pagine successive) definisce l'andamento delle caratteristiche elettriche con la corrente. Si può tentare di attribuire un *range* di resistività ad ogni litotipo per profondità crescenti:

- elettrostrato 1 : la resistività reale ρ si colloca su valori inferiori a 60-70 ohm x m; caratterizza il corpo discarica e si distingue nettamente dagli altri rilievi per la presenza di bassa resistività indicata col color blu; valori di caricabilità bassi, inferiori a 2 msec; la presenza di materiali ferrosi contribuisce all'abbassamento della resistività come ben evidente sia nel corpo discarica sia in riperti localizzati nei settori limitrofi con bassa resistività lungo le sezioni di resistività 2 e 3;
- elettrostrato 2 : ρ si colloca su valori compresi tra 200 e 800 ohmxm circa; valori di resistività simili occupano un *range* compatibile con la presenza di roccia alterata e fortemente fessurata, probabilmente un granitoidale a parziale arenizzazione; valori di caricabilità generalmente bassi (ad eccezione del rilievo n°1 dove arrivano a 3-4 msec);
- elettrostrato 3: ρ si colloca su valori superiori a 1000 ohmxm; tali valori sono associabili alla presenza del portido molto resistivo. Valori di caricabilità generalmente bassi, elevati (sino ad 8 msec) nel rilievo n°1;

La bassa resistività del corpo discarica è legata alla presenza di materiale ferroso all'interno degli RSU. La caricabilità inizia ad essere sensibile con valori medio bassi al di sotto del basamento roccioso e del fondo della discarica. Si tratta probabilmente del settore a maggior contaminazione, già verso valle si segnalano valori anomali di caricabilità (a dir il vero abbastanza bassi) solamente nel rilievo n°3 attorno alla progressiva 55 m. In quest'ultimo caso la sezione tomografica sembra evidenziare come la maggior caricabilità si abbia in corrispondenza di un contatto tettonico verticale legato con tutta probabilità a differenti condizioni di permeabilità idraulica. Risulta comunque evidente nel complesso dei bassi valori registrati (si consideri che in condizioni di elevato inquinamento i valori di IP sono anche 8-10 volte superiori) la diminuzione della caricabilità in direzione NW, dal rilievo n°1 al n°3.

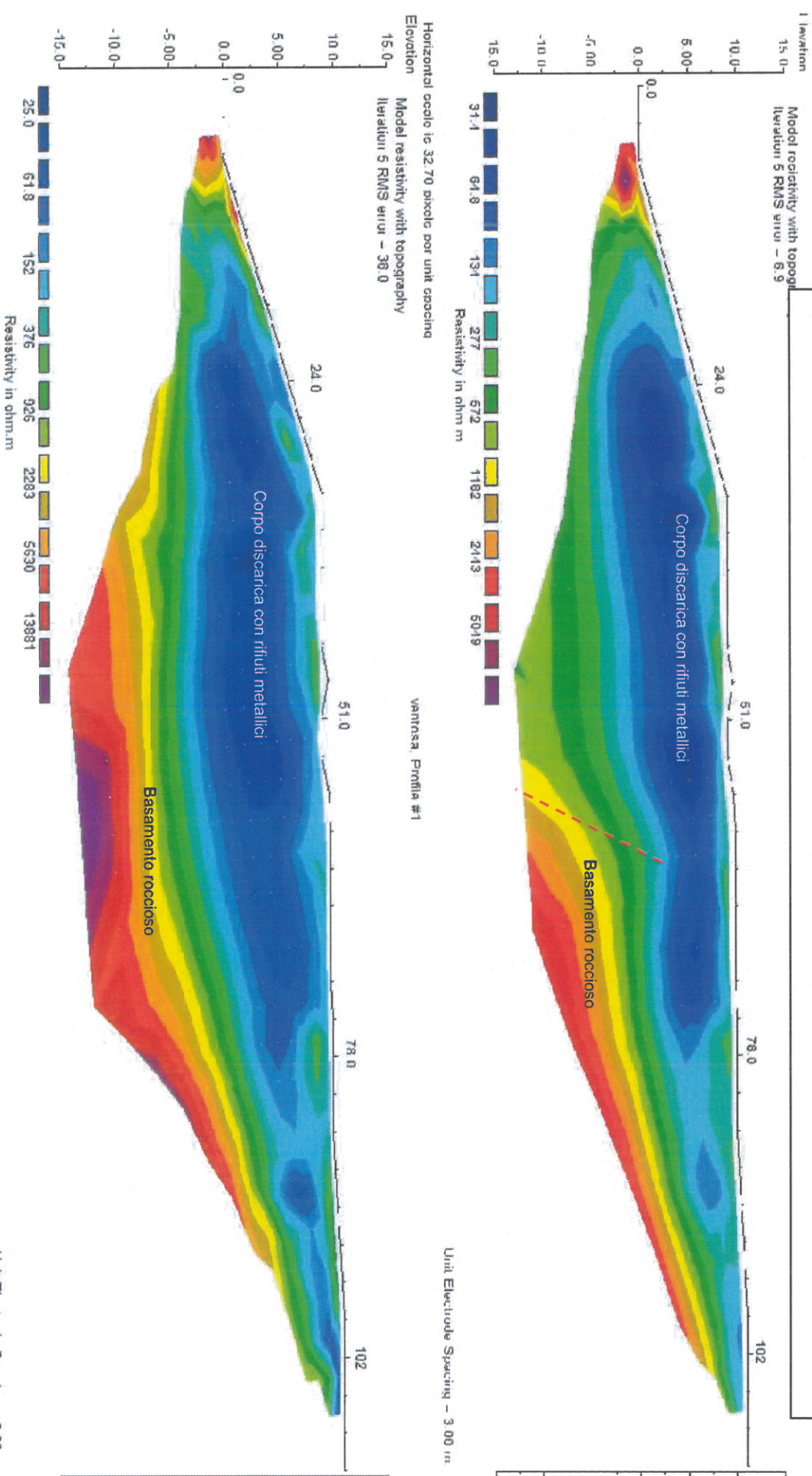
Lungo la fascia più alterata del rilievo 2 (attorno alla progressiva 80 m) si registra una forte diminuzione di resistività associata con tutta probabilità alla presenza di circolazione idrica subsuperficiale, come confermato da una sorgente poco più a valle.



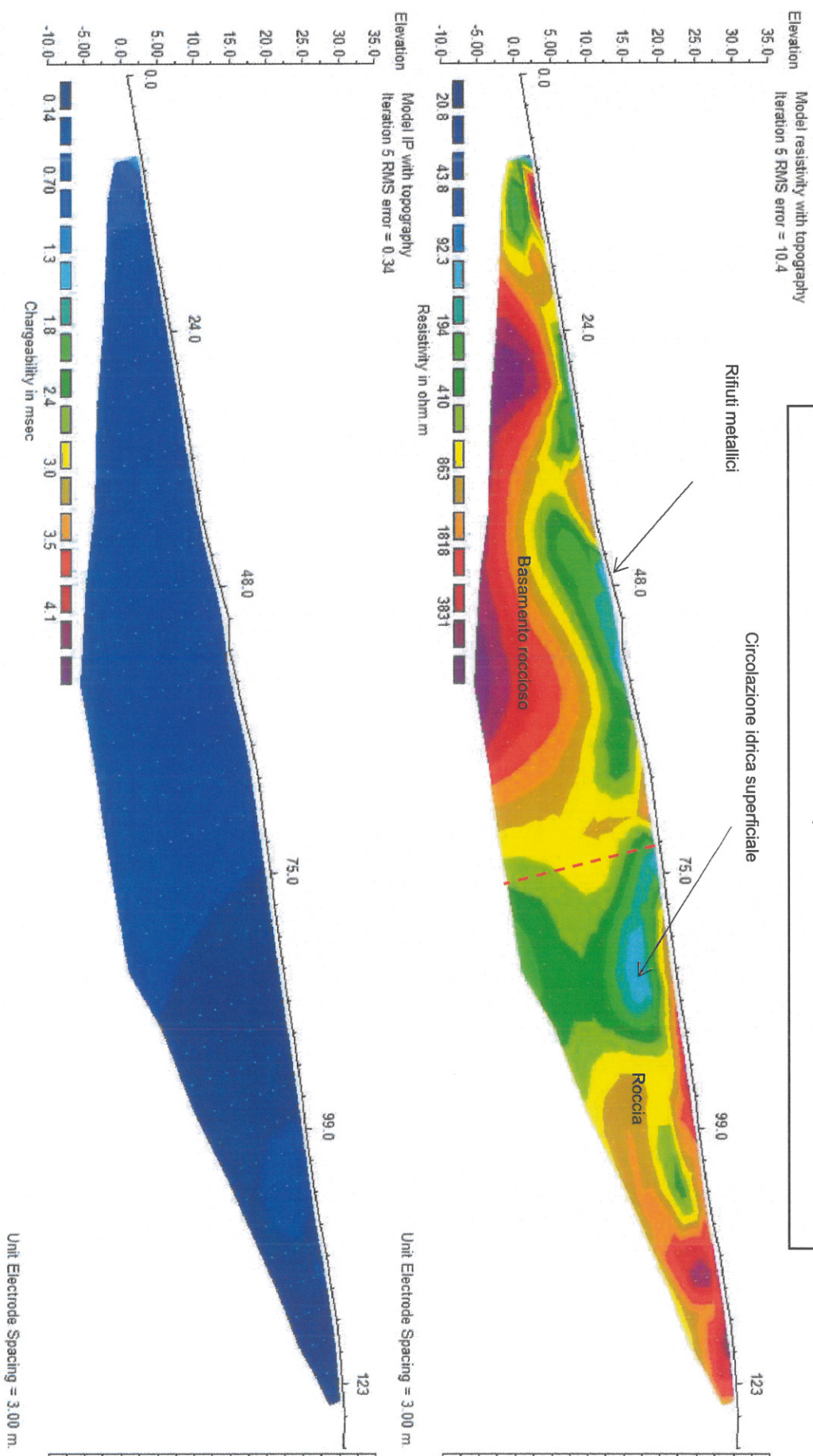
Confronto tra la sezione di resistività e la sezione di caricabilità dei terreni della Sezione di resistività 1 secondo la disposizione Wenner

FONNI (NU) - PIANO DI CARATTERIZZAZIONE PER INTERVENTI DI BONIFICA DISCARICA IN LOC. "GENNA VENTOSA"
PROSEZIONI GEOFISICHE

SEZIONI DI RESISTIVITA' N°1 - Disposizione SCHLUMBERGER (in alto) e DIPOLO DIPOLO (in basso)



SEZIONE DI RESISTIVITA' N°2 - Disposizione WENNER

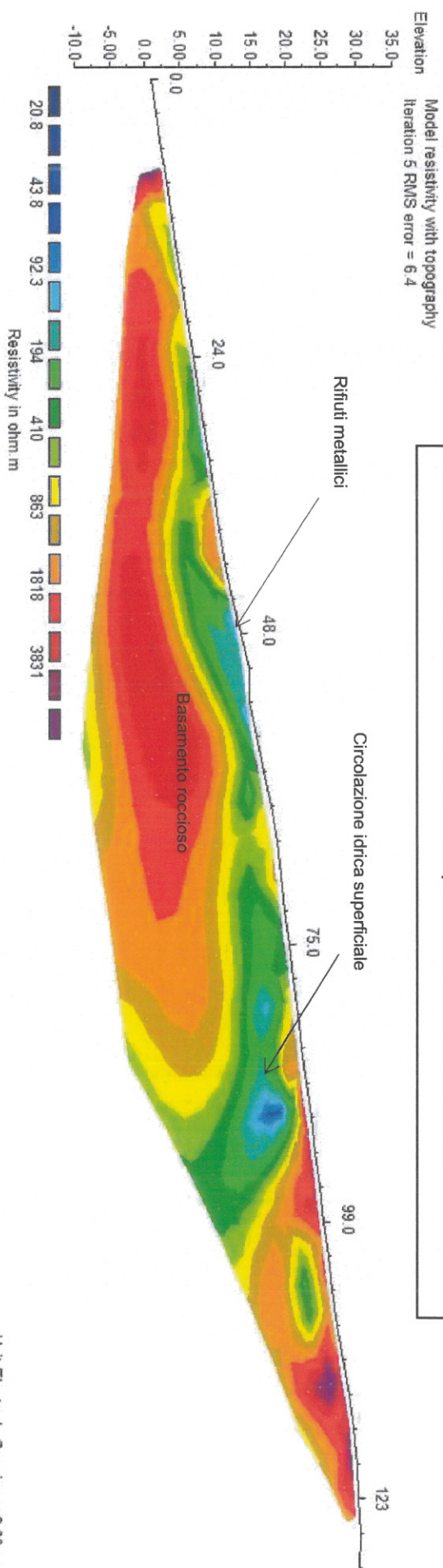


Horizontal scale is 28.44 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 0.69
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 129.0 m.

Confronto tra la sezione di resistività e la sezione di caricaibilità dei terreni della Sezione di resistività 2 secondo la disposizione Wenner

FONNI (NU) - PIANO DI CARATTERIZZAZIONE PER INTERVENTI DI BONIFICA DISCARICA IN LOC. "GENNA VENTOSA"
PROSPEZIONI GEOFISICHE

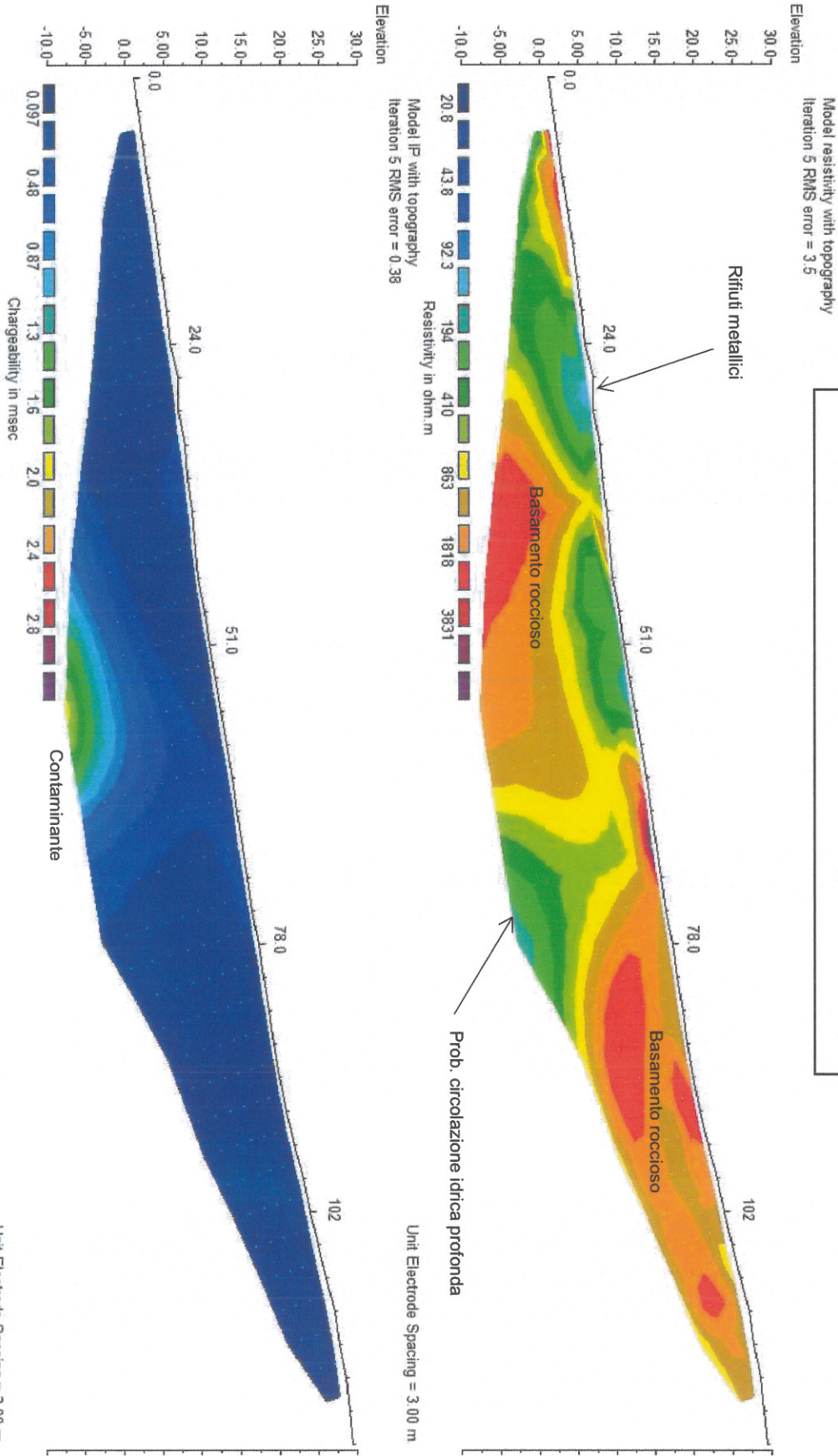
SEZIONE DI RESISTIVITA' N°2 - Disposizione SCHLUMBERGER



Horizontal scale is 28.44 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 0.61
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 123.0 m.

FONNI (NU) - PIANO DI CARATTERIZZAZIONE PER INTERVENTI DI BONIFICA DISCARICA IN LOC. "GENNA VENTOSA"
PROSEZIONI GEOFISICHE

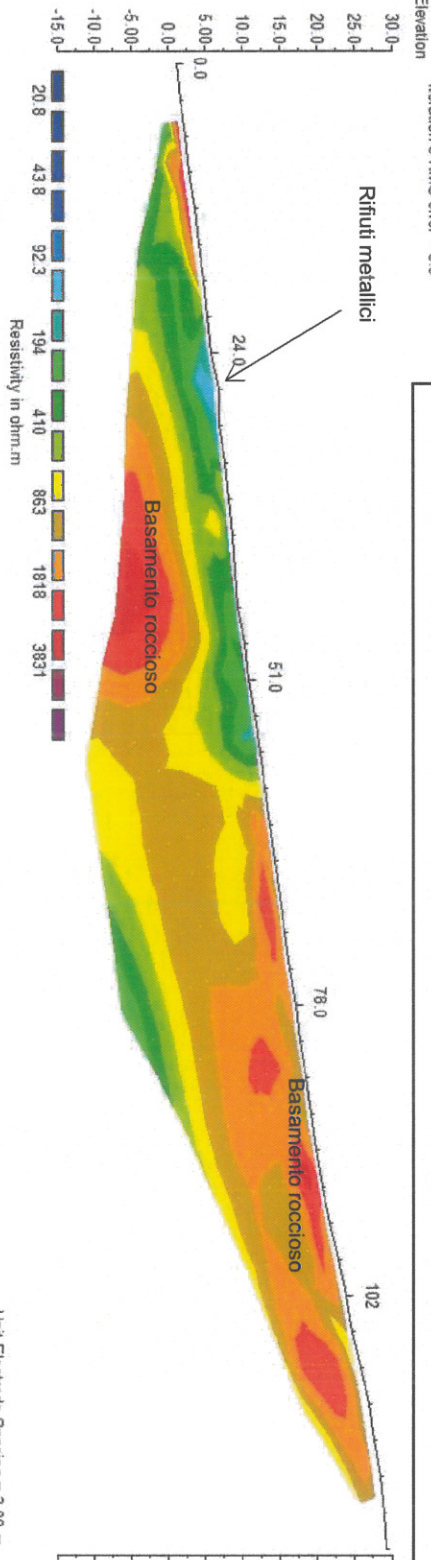
SEZIONE DI RESISTIVITA' N°3 - Disposizione WENNER



Horizontal scale is 29.05 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 0.70
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 123.0 m.

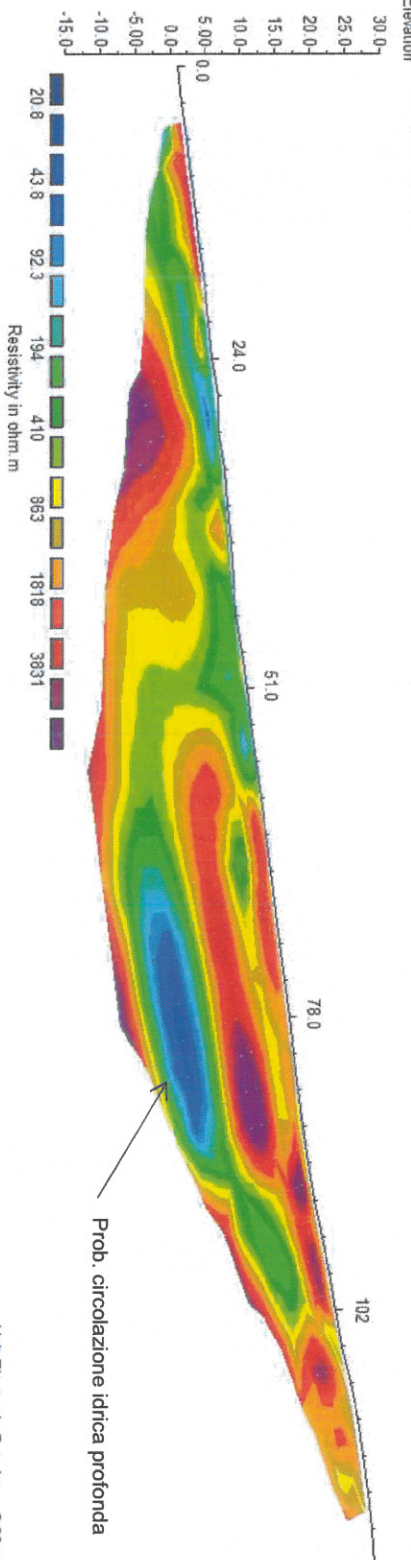
FONNI (NU) - PIANO DI CARATTERIZZAZIONE PER INTERVENTI DI BONIFICA DISCARICA IN LOC. "GENNA VENTOSA"
PROSEZIONI GEOFISICHE

Model resistivity with topography
Iteration 5 RMS error = 3.3



Horizontal scale is 29.05 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 0.52
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 123.0 m.

Model resistivity with topography
Iteration 5 RMS error = 6.9

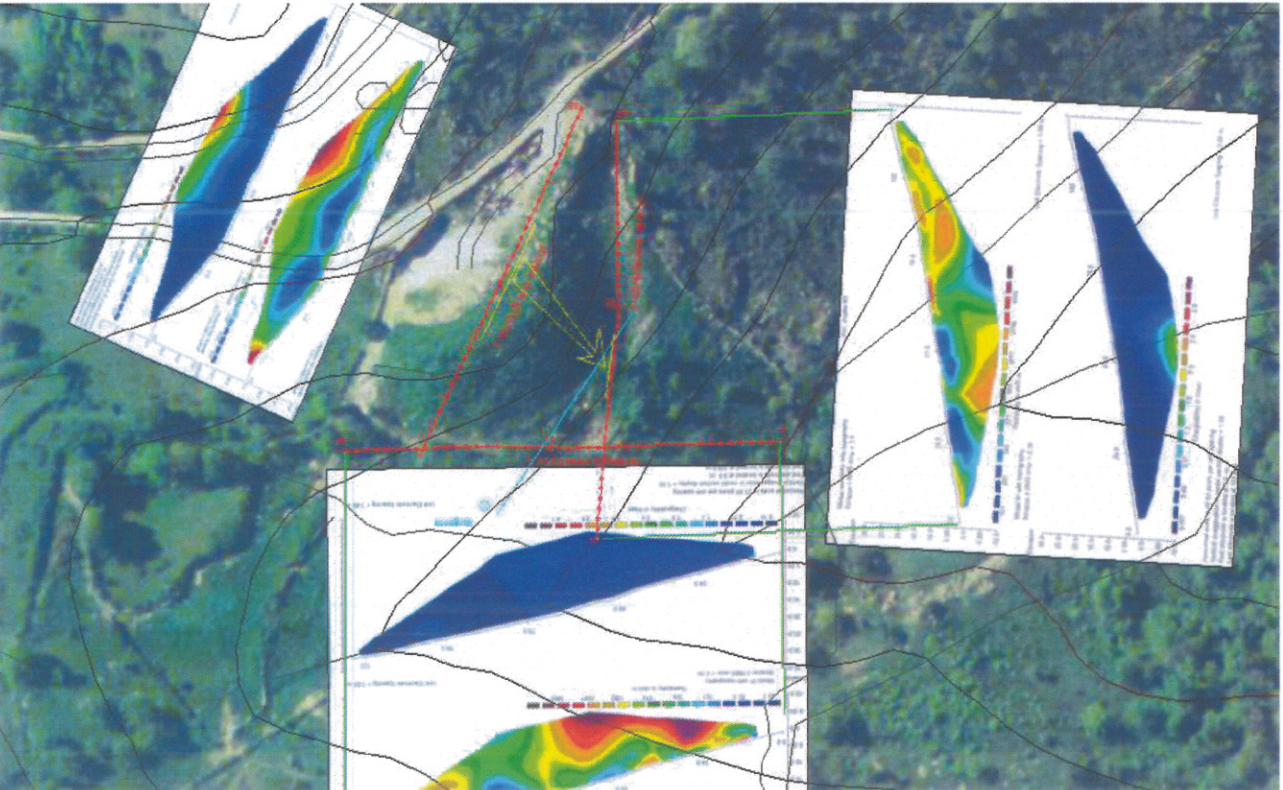


Horizontal scale is 29.05 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 0.58
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 123.0 m.

3. SPESSORI DISCARICA E PRESENZA CONTAMINATI

Gli spessori del corpo discarica sono facilmente definibili dalla sezione di resistività n°1 in cui appare evidente come l'abbancamento dei rifiuti coincida con la parte conduttiva della sezione. Lo stesso fronte della discarica poggia su terreni in posto e dal dislivello tra sommità e piede del fronte possiamo definire il massimo spessore della discarica. La superficialità nella parte più a sud della sezione, in direzione del picchetto 38, evidenzia come la roccia sia subaffiorante in questo settore, fatto evidenziato anche dagli affioramenti superficiali presenti poco più a monte. La mancanza di un rilievo topografico di dettaglio non ha contribuito ad una definizione precisa degli spessori su tutto il perimetro a Nord Est della discarica; la stessa ricostruzione della Sezione di resistività n°1 non sembra definire in maniera precisa l'andamento della topografia anche se permette di stimarne in maniera abbastanza attendibile gli spessori; la presenza dei terreni originari subito a valle del fronte della discarica sembra escludere avvallamenti o irregolarità all'interno del corpo discarica che implicherebbero di conseguenza un aumento degli spessori di RSU. Da una prima stima sul lato nord (area sezione 1) possiamo definire circa 9 m di abbancamento in prossimità del fronte della discarica, mentre il settore sul lato NW presenta in maniera evidente spessori maggiori di qualche metro. Anche in questo settore la potenza massima della discarica si registra in corrispondenza del fronte e va via via riducendosi verso SE in direzione della strada di accesso.

La presenza di contaminanti e di percolato può essere valutata, con tutte le precauzioni legate alle indagini di tipo indiretto da confermare con analisi dirette, secondo il modello derivante dalle proprietà di caricabilità dei terreni. Come già illustrato nei paragrafi precedenti alla presenza di percolato si associano elevati valori di polarizzazione indotta che aiutano nella definizione di un modello idrogeologico ed ambientale.



La sezione n°1 ha evidenziato valori di caricabilità medi attorno ad 8 msec, all'interno del basamento roccioso fessurato: si localizzano infatti al di sotto della discarica, nel resistivo di fondo corrispondente al filone di porfido affiorante nell'area circostante.

Simili valori non indicano sicuramente presenza abbondante di contaminati visto che in genere in situazioni di inquinamento pesante si registrano caricabilità di diverse decine di msec. La sezione n°2 non ha registrato valori di IP anomali mentre la sezione n°3 ha evidenziato attorno alla progressiva 55 m valori massimi di 2 msec. Il modello derivante da questi dati porta a considerare una rapida diminuzione dei valori di caricabilità dalla sezione 1 alla 3 con direzione approssimativa NE indicata nella figura alla pagina precedente dalla freccia color giallo.

I bassi valori di caricabilità portano a considerare, almeno in questa fase di investigazione, abbastanza verosimile un modello che prevede presenza di residui di percolato all'interno delle fessure del basamento roccioso (più in particolare del filone di porfido), residui che tendono a diminuire esternamente al corpo discarica.

4. CONCLUSIONI

Su commissione Comune di Fornì (Nu), nell'ambito del "PIANO DI CARATTERIZZAZIONE PER L'ATTUAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA E/O BONIFICA DELLA DISCARICA DISMESSA DEI RIFIUTI URBANI IN LOCALITÀ "GENNA VENTOSA" AI SENSI DEL D. LGS 152/06 - PIANO DI INDAGINI AMBIENTALI" nel comune di Fornì, il sottoscritto ha eseguito n°3 prospezioni geofisiche di tipo geoelettrico volte alla comprensione dell'assetto stratigrafico e ambientale del sito di discarica. Una prova è stata eseguita sul corpo discarica mentre le altre due immediatamente a valle per la comprensione del plume di contaminazione.

Le prove hanno fornito evidenze delle diverse caratteristiche di resistività e caricabilità dei diversi terreni da cui sembra scaturire che i contaminanti siano concentrati alla base del corpo discarica, all'interno delle fessure del basamento roccioso. I valori della caricabilità decrescono rapidamente in direzione nord ovest (nelle altre direzioni si annullano completamente) passando da circa 8 msec a 2 msec.

Dai risultati della sezione di resistività n°1 si evidenzia come il corpo discarica sia composto per buona parte da materiali ferrosi che contribuiscono ad un abbassamento dei valori di resistività, gli spessori massimi (circa 10 m da definire con rilievo topografico di dettaglio) si raggruppano in prossimità della sommità del fronte della discarica e quelli minimi nell'area prossima alla strada di accesso dove il basamento roccioso è in affioramento.

Fornì, 22 dicembre 2010

II. TECNICO

Allegati

Localizzazione indagini (1:1.000)

