

**APPENDICE B
INDAGINE GEOFISICA AREA CAVA CARPINETI**



Via Uberti 37-20129 Milano

Area Cava Carpineti – Pontelandolfo (BN)

Indagine geofisica

RAPPORTO TECNICO



PREMESSA

Vengono riassunti i risultati dei rilievi geofisici eseguiti nella Cava Carpineti di Pontelandolfo (BN), finalizzati alla definizione delle caratteristiche dei materiali accumulati.

Sono stati registrati:

- Rilievo elettromagnetico a maglia regolare 4x2m
- Profili tomografici elettrici

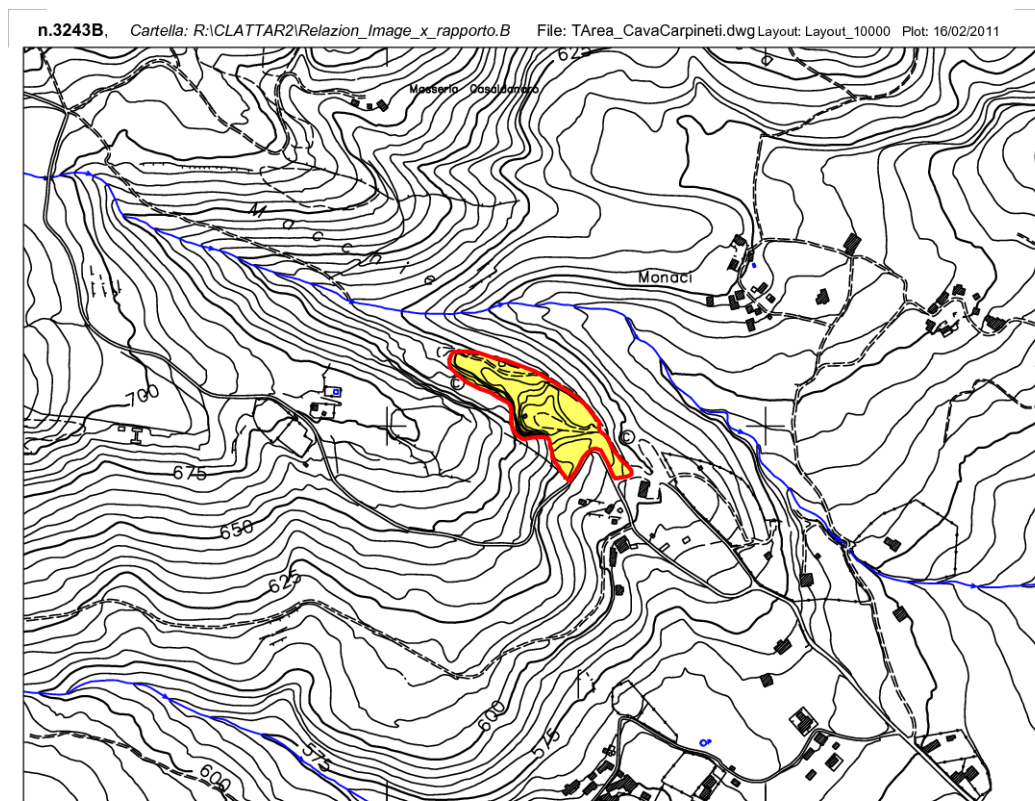


Fig. 1 – Area Cava Carpineti – scala 1:10.000

METODOLOGIE GEOFISICHE APPLICATE

Si riportano di seguito i dettagli tecnico-operativi relativi alle metodologie geofisiche applicate.

1. RILIEVO ELETTROMAGNETICO

Il rilievo elettromagnetico rappresenta attualmente una delle tecniche di prospezione più risolutive per le indagini non distruttive finalizzate alla ricerca di materiali inquinanti, quali: rifiuti, melme, ecc. e per la localizzazione di oggetti metallici (fusti, bidoni, ecc.) sepolti nel sottosuolo. Con il rilievo elettromagnetico, infatti, non avendo la necessità di creare contatti fisici di elettrodi con il terreno, può essere realizzata un'esplorazione veloce e nello stesso tempo dettagliata e specifica anche di vaste aree. In tal modo è possibile ottenere, con una prospezione sistematica a maglie regolari, uno "screening" accurato del sottosuolo, con la capacità di individuare e delimitare con precisione i trend e gli andamenti degli elementi strutturali presenti. Lo strumento utilizzato, "GEONICS EM31", è costituito da un sistema ad induzione elettromagnetica "low induction number" a frequenza di 9,8 KHz. Portatile, alimentato a batterie, è costituito da due sensori: un trasmettitore e un ricevitore, posizionati a distanza fissa di 3,66m su un supporto rigido solidale all'apparecchiatura (Figura 2).

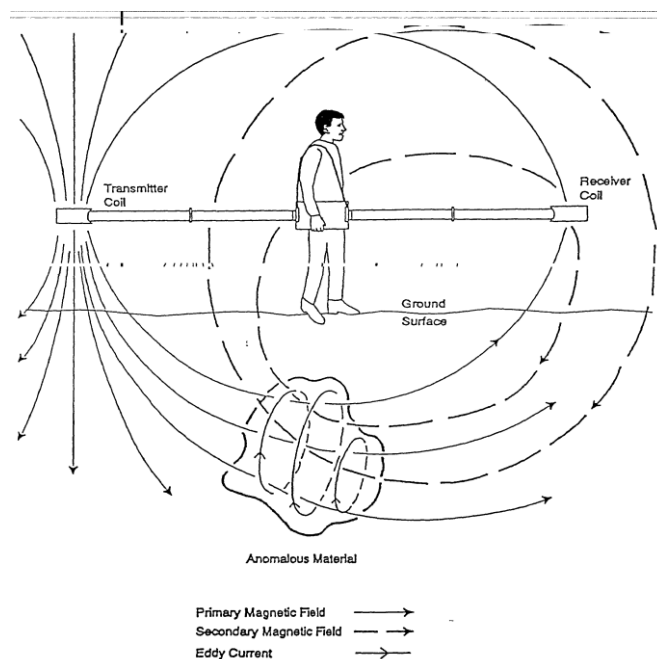


Figura 2 – Principio funzionamento strumentazione

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DEL SISTEMA

Il sistema utilizzato sfrutta il fenomeno fisico dell'induzione elettromagnetica che si verifica nei corpi conduttori di elettricità quando un'onda elettromagnetica (EM), propagandosi nello spazio, attraversa tale corpo.

In particolare, si può determinare la presenza del corpo conduttore nel sottosuolo eseguendo misure in superficie con vari dispositivi; quello in questione opera secondo lo schema seguente:

- un apparato trasmittente (Tx) invia nello spazio circostante, tramite un'antenna alloggiata ad una estremità del dispositivo di misura, un segnale a frequenza costante e di ampiezza uniforme (campo primario);
- un apparato ricevente (Rx) posto all'altra estremità del dispositivo, ad una distanza di 3.6m, riceve un segnale EM (campo secondario) propagatosi nello spazio compreso tra i due dispositivi, che è quindi influenzato dalle caratteristiche fisiche del materiale costituente il sottosuolo.

Il segnale ricevuto tramite l'antenna risulterà, in assenza di conduttori nella zona circostante gli apparati, perfettamente in fase ed attenuato per la quantità dipendente dalla distanza, rispetto a quello trasmesso direttamente; nella realtà, invece, i fenomeni di induzione nei terreni conduttivi presenti nel sottosuolo provocano una maggiore alterazione del segnale ricevuto (Figura 3).

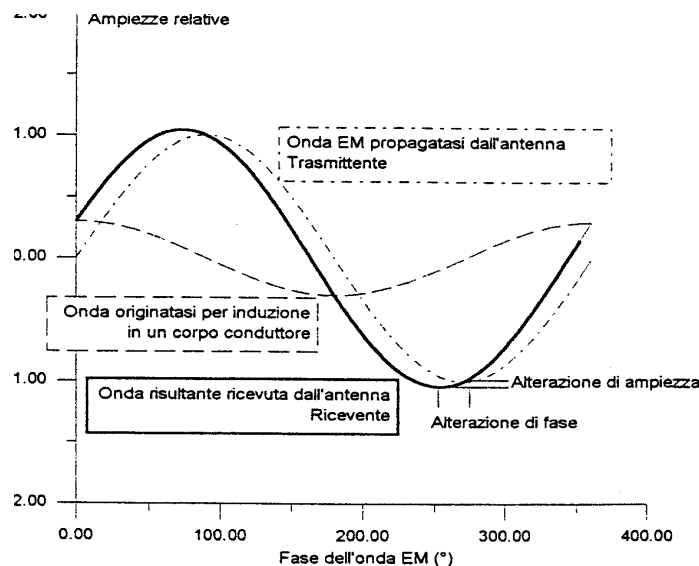


Figura 3 – Caratteristiche segnale EM

L'analisi dell'alterazione del segnale porta alla determinazione del valore di conducibilità del sottosuolo della zona in esame, in quanto il semispazio al di sopra della superficie si comporta praticamente come un isolante. La misura utilizza quindi il fenomeno dell'induzione elettromagnetica che genera un campo elettromagnetico secondario nel terreno la cui intensità è funzione delle caratteristiche fisiche del terreno stesso.

Il valore risultante viene convenzionalmente riferito al sottosuolo nel punto di stazione, tuttavia è necessario tener presente che il risultato è dipendente anche dalla posizione reciproca del Trasmettitore e del Ricevitore e dalla forma dell'oggetto anomalo. Infatti, mentre nel caso di situazioni di anomalie molto estese la variazione reciproca delle posizioni dei due apparati non comporta variazioni significative dei risultati delle misure, nel caso di anomalie molto ristrette (dimensioni inferiori al dispositivo) e sviluppate secondo una direzione preferenziale, i valori possono essere molto differenti tra un caso e l'altro. Anche al variare dell'angolo tra la linea del dispositivo e la linea di allungamento dell'oggetto è opportuno valutare i risultati non solo in base all'entità dei valori, ma anche in funzione delle dimensioni e delle caratteristiche delle situazioni anomale.

ACQUISIZIONE DATI

Il dispositivo ricevente rileva sia la componente in fase che in quadratura di fase del campo secondario (indotto) rispetto a quello primario. Dai valori in "**quadratura di fase**" si risale automaticamente ai valori di conducibilità elettrica (misura in millimhos/m), mentre dai valori "**in fase**" (misurati in percentuale rispetto al campo elettromagnetico primario) si possono ricavare e memorizzare analogicamente sul display dell'apparecchiatura e memorizzate in un "datalogger" collegato allo strumento.

I dati registrati, riversati su calcolatore e opportunamente elaborati, sono rappresentati graficamente in modo da evidenziare la distribuzione e la geometria delle eventuali anomalie riscontrate.

Sono stati acquisiti dati a maglia regolare 4x2 metri, l'allegata **Planimetria di riferimento** (ALL. 1) evidenzia l'estensione dell'area indagata e localizza i punti di misura.

2. TOMOGRAFIA ELETTRICA

La metodologia generalmente definita "geoelettrica" rappresenta uno dei metodi geofisici più utilizzati per la caratterizzazione dei materiali e in particolare del sottosuolo. I recenti sviluppi della miniaturizzazione elettronica e delle procedure di acquisizione dati gestite "via" software, hanno consentito di applicare questa metodologia, un tempo lenta e laboriosa, ai più disparati settori dello studio del sottosuolo con tempistica e dettaglio un tempo impensabili.

Il parametro di base è la resistività elettrica, proprietà fisica che esprime la "resistenza" che i materiali offrono al passaggio della corrente.

Le misure geoelettriche consentono quindi, studiando le deformazioni del flusso di corrente causate dalle diverse strutture presenti nel sottosuolo, di caratterizzare le strutture stesse e ricostruirne la distribuzione spaziale.

La resistività delle diverse formazioni geolitologiche è determinata essenzialmente dai seguenti fattori:

- Porosità; forma, dimensione e continuità dei pori;
- Percentuale di contenuto d'acqua dei pori;
- Salinità del liquido di saturazione dei pori;
- Presenza di matrice a granulometria fine;
- Conducibilità intrinseca dei minerali di base;

E' quindi evidente che i materiali più addensati e grossolani presentano i valori di resistività più elevati, mentre i materiali più disaggregati se associati a matrice argillosa o presenza d'acqua di saturazione hanno resistività inferiore.

MODALITA' DI MISURA

Come accennato la misura del valore di resistività elettrica dei materiali si realizza creando un campo elettrico artificiale nel mezzo da indagare e studiandone la distribuzione nel sottosuolo.

Il dispositivo di misura classico è costituito quindi da due coppie di elettrodi metallici infissi nel terreno a distanze opportune (dispositivo quadripolare). Generalmente i dispositivi utilizzati sono simmetrici rispetto ad un punto centrale O al quale si riferisce il valore misurato.

$$A1 \text{-----} A1 \text{---} M \text{---} O \text{---} N \text{-----} B1 \text{-----} B2$$

Dispositivo Schlumberger

$$A1 \text{---} M1 \text{---} O \text{---} N1 \text{---} B1 \Rightarrow An \text{---} Mn \text{---} O \text{---} Nn \text{---} Bn$$

Dispositivo Wenner

$$A1 \text{---} B1 \text{---} O \text{---} M1 \text{---} N1 \Rightarrow An \text{---} Bn \text{---} O \text{---} Mn \text{---} Nn$$

Dispositivo Dipolo-Dipolo

La coppia (A-B) costituisce il circuito con il quale s'immette corrente nel terreno, la coppia (M-N) è il circuito di misura della differenza di potenziale generata nel terreno stesso dal passaggio della corrente.

Si misurano così le variazioni del campo elettrico, indotte dalle eterogeneità litologiche presenti nel sottosuolo: queste variazioni sono più o meno marcate in funzione del contrasto di resistività elettrica esistente fra mezzi con caratteristiche differenti. La distribuzione della corrente in profondità e quindi la profondità dell'esplorazione è essenzialmente legata alla distanza tra i due elettrodi A e B e alle caratteristiche intrinseche del mezzo esplorato. La scelta del dispositivo più opportuno è legata alle condizioni dell'area da indagare, sia in termini strutturali sia di rapporto segnale-rumore (S/N).

Dalla misura dell'intensità di corrente che fluisce tra gli elettrodi A-B e della differenza di potenziale tra gli elettrodi M-N è possibile quindi calcolare la resistività apparente e riferirla generalmente al centro del quadripolo ad una profondità che è funzione della

distanza AB. L'acquisizione tomografica consiste quindi nella misura dei valori di resistività in corrispondenza di un elevato numero di punti lungo la sezione d'indagine (Figura 4).

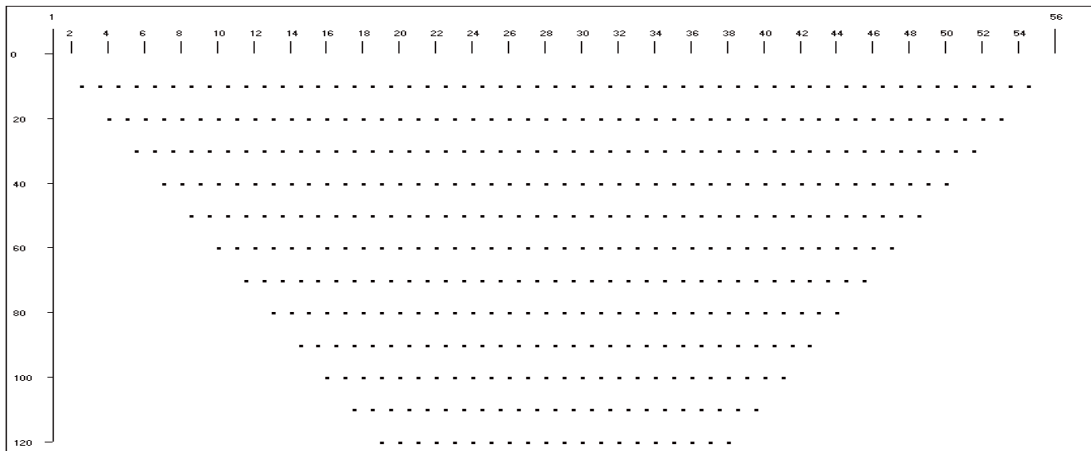


Figura 4 – Tomografia elettrica – Schema misure

La densità dei punti consente quindi di ricostruire con estremo dettaglio, anche tramite l'applicazione di algoritmi di calcolo bidimensionali, la sezione definendo in particolare gli effetti delle "variazioni laterali" e quindi restituendo una rappresentazione finale maggiormente corrispondente alla situazione reale.

ACQUISIZIONE DATI

L'acquisizione dei dati è stata condotta con l'utilizzo della seguente strumentazione:

- Georesistivimetro digitale AGI-SUPERSTING R1 IP (Fig. 5)
- Elettrodi dotati di elettronica interna (Fig. 6)
intervallo fra gli elettrodi= 5 metri
- Picchetti in acciaio

La principale innovazione introdotta dalla strumentazione utilizzata è rappresentata dalla gestione totalmente automatizzata delle misure, realizzata tramite un georesistivimetro multicanale di ultima generazione, con il quale è possibile l'acquisizione in tempi brevi di un elevato numero di punti, sfruttando la tecnologia dei cosiddetti "elettrodi intelligenti" (smart electrodes) che consente ad ogni elettrodo, dotato di un'elettronica interna, di essere utilizzato sia per l'invio della corrente sia per la misura del potenziale.

Lo strumento è in grado, infatti, di gestire fino a 254 elettrodi contemporaneamente collegati. A loro volta gli elettrodi sono a contatto con il terreno tramite adeguati picchetti metallici.

Il resistivimetro gestisce tramite software tutte le operazioni relative al controllo di qualità dei dati acquisiti attraverso le seguenti fasi:

- controllo del dispositivo di misura tramite verifica della resistenza di contatto degli elettrodi;

- azzeramento dei potenziali spontanei;
- iniezione di corrente in quantità, periodo e sequenza opportune;
- misura della differenza di potenziale e verifica della qualità del dato tramite il calcolo della “deviazione standard”;
- memorizzazione di tutti i dati relativi all’acquisizione



Figura 5 – Georesistivometro “Supersting R1 IP”



Figura 6 – Particolare “Smart Electrode”

L'acquisizione automatica dei dati garantisce, come accennato, un'elevata velocità di esecuzione. In tale situazione per la miglior qualità dei dati è di fondamentale importanza un "layout" ottimale della linea degli elettrodi. In particolare è necessario verificare la "resistenza di contatto" tra gli elettrodi e il terreno, ed eventualmente adottare le adeguate procedure di riduzione di tale parametro prima dell'inizio del processo di acquisizione.

Il lavoro di campagna ha comportato la registrazione di n. 2 profili con distanza elettrodica di 3 metri, l'allegata **Planimetria di riferimento** (All. 1) evidenzia il posizionamento dei profili realizzati.

Prima dell'avvio delle misure, tramite la stessa strumentazione, si è proceduto alla verifica dei valori di resistenza di contatto che sono registrati per il successivo controllo di qualità.

Una volta verificato il layout e iniziata la serie di misure, che procede automaticamente, è stato possibile proseguire con il successivo layout di elettrodi lungo il profilo in modo tale da realizzare l'acquisizione in continuo secondo la procedura definita del "roll-along".

I dati relativi al presente lavoro sono stati acquisiti secondo una configurazione elettrodica Schlumberger, ritenuta adeguata per il dettaglio e la profondità richiesti dal lavoro, su basi variabili costituite da stese di lunghezza variabile.

Ogni misura è stata effettuata con ripetizione del ciclo "+ - + -". Per ogni misura è stata inoltre calcolata la deviazione standard necessaria per il **controllo di qualità**.

PROCEDURE DI ELABORAZIONE DATI

I dati acquisiti sono stati elaborati tramite la seguente serie di passaggi:

1. conversione dal formato originale .stg in formato .dat adeguato all'inversione successiva. Durante questo passaggio i dati subiscono un opportuno "editing" realizzato allo scopo di eliminare le eventuali misure non corrette (misure negative e/o con un valore di "deviazione standard" elevato);
2. inserimento dei dati relativi alla topografia;
3. elaborazione matematica con programma d'inversione 2D denominato RES2DINV utilizzando il metodo di calcolo degli elementi finiti a due dimensioni
4. La procedura di calcolo d'inversione trasforma i dati di resistività apparente in resistività reale, minimizzando l'errore fra i dati acquisiti.

Nel caso specifico la dimensione unitaria delle celle è stata pari alla distanza elettrodica in X e pari ad un incremento del 10% per ogni singolo "livello" a partire dal livello iniziale di misura per Y. In sostanza le due sezioni sono state calcolate su un totale di celle circa uguale al numero di punti disponibili.

La procedura ha inizio con il calcolo di un modello diretto “agli elementi finiti isoparametrici” e prosegue con una inversione bidimensionale ai “minimi quadrati” basata su un algoritmo di regolarizzazione “smoot” tipo Occam.

La correlazione grafica dei valori calcolati, rappresentativi di ogni singola cella, necessaria per la ricostruzione finale delle sezioni allegate è stata realizzata tramite l’applicazione di appositi algoritmi di “gridding” e “countouring”.

ANALISI DEI DATI

Come accennato la presentazione finale dei risultati dei rilievi è costituita dagli elaborati grafici allegati che sono stati prodotti come di seguito descritto.

Negli Allegati 2a e 2b sono rappresentati i risultati dei rilievi elettromagnetici espressi secondo i parametri definiti “*in quadratura di fase*” e “*in fase*”.

Il valore misurato “*in quadratura di fase*” esprime, in altre parole la conducibilità elettrica (millimhos.m) che consente quindi di discriminare le diverse tipologie di materiali costituenti il sottosuolo dell’area.

Graficamente i valori sono stati suddivisi in classi di colore passando da materiali **conduttivi** evidenziati con il colore **blu**, a materiali **conduttivi** definiti con il colore **arancione**. La scala di valori passa da valori di 1-2 millimhos.m a valori dell’ordine di 50 millimhos.m; tra tali estremi rientrano ovviamente i termini relativi a materiali caratterizzati da comportamenti intermedi.

Nell’ambito di tale caratterizzazione e classificazione è quindi possibile trarre conclusioni sulla reale natura dei terreni interessati dall’indagine:

- i terreni naturali valutati attraverso profili di taratura si attestano su valori di 2-5 millimhos.m (poco conduttivi/molto resistivi);
- i terreni accumulati passano da valori dell’ordine di 15-20 millimhos.m per i riporti grossolani a valori fino a 50 millimhos.m per i riporti più fini

Si evidenzia una discreta omogeneità dei materiali riportati caratterizzati prevalentemente da materiali inerti di varia pezzatura. Locali anomalie sono riferibili agli accumuli superficiali di elementi di varia natura.

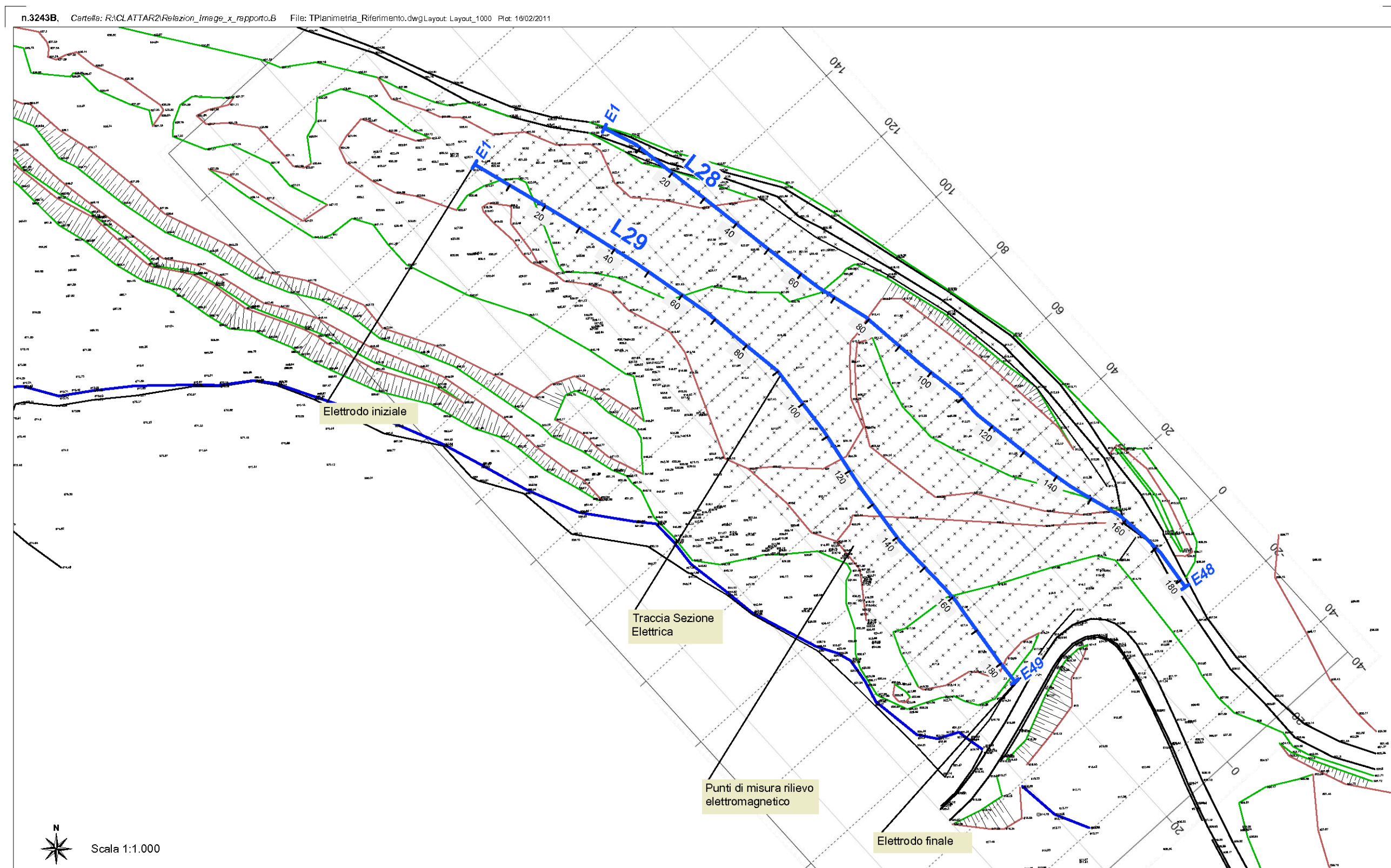
I dati relativi al rilievo “*in fase*” (All. 2b) non esprimono direttamente il valore di un parametro fisico del materiale, ma indicano la potenziale presenza di particolari concentrazioni di materiali metallici e quindi, in situazioni analoghe alla presente, corpi o ammassi metallici in senso stretto.

Relativamente alla natura dei materiali di riempimento non sono stati registrati significativi accumuli di materiali metallici, salvo in qualche posizione specifica correlabili ai materiali in superficie. Relativamente alla profondità indagata si fa riferimento ai **profili tomografici elettrici** di All. 3.

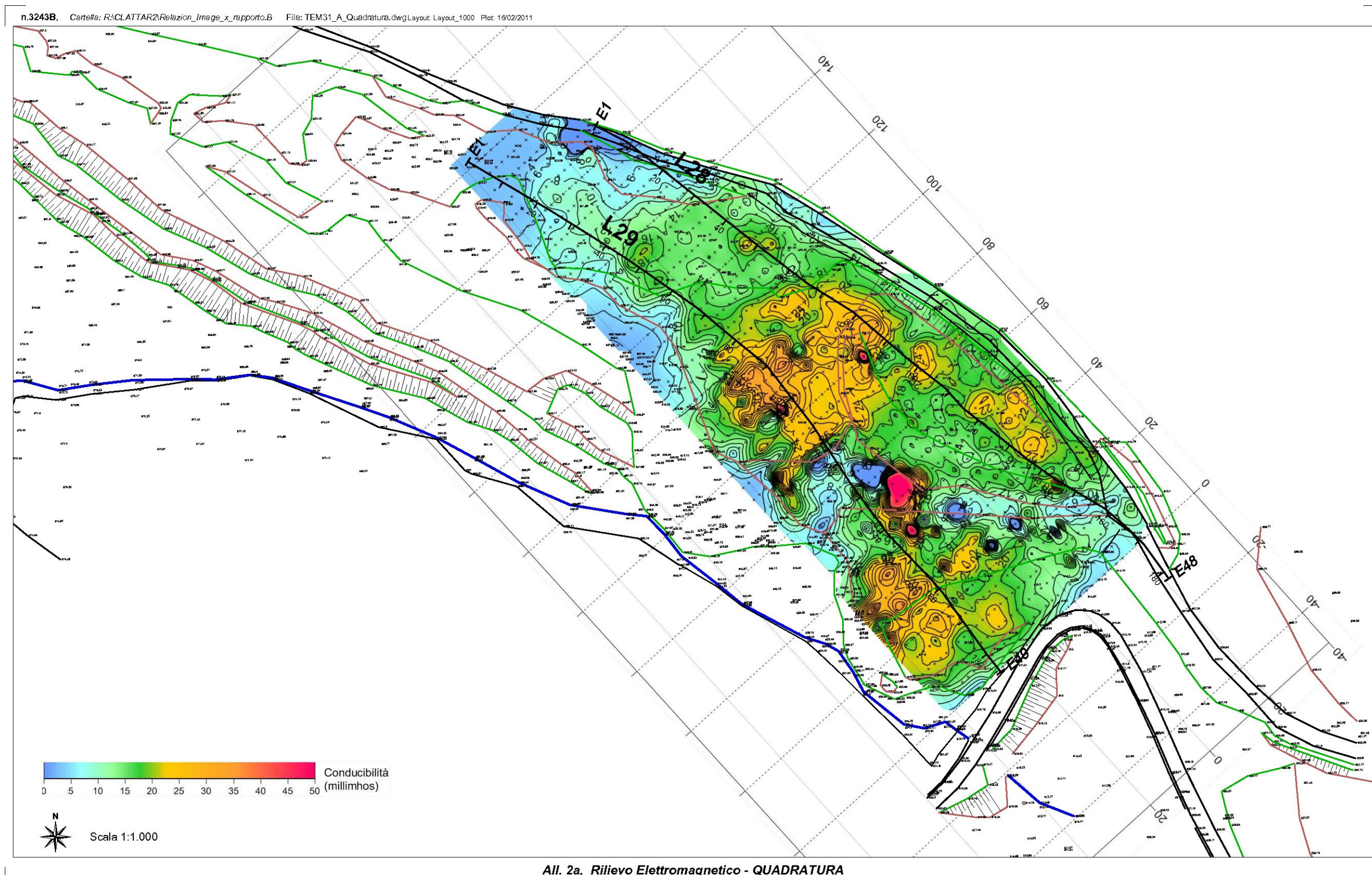
I materiali riportati sono relativi alle unità con valori di resistività inferiori a 120-150 ohm.m, mentre il substrato calcareo presenta valori dell’ordine di 1500/2000 ohm.m.

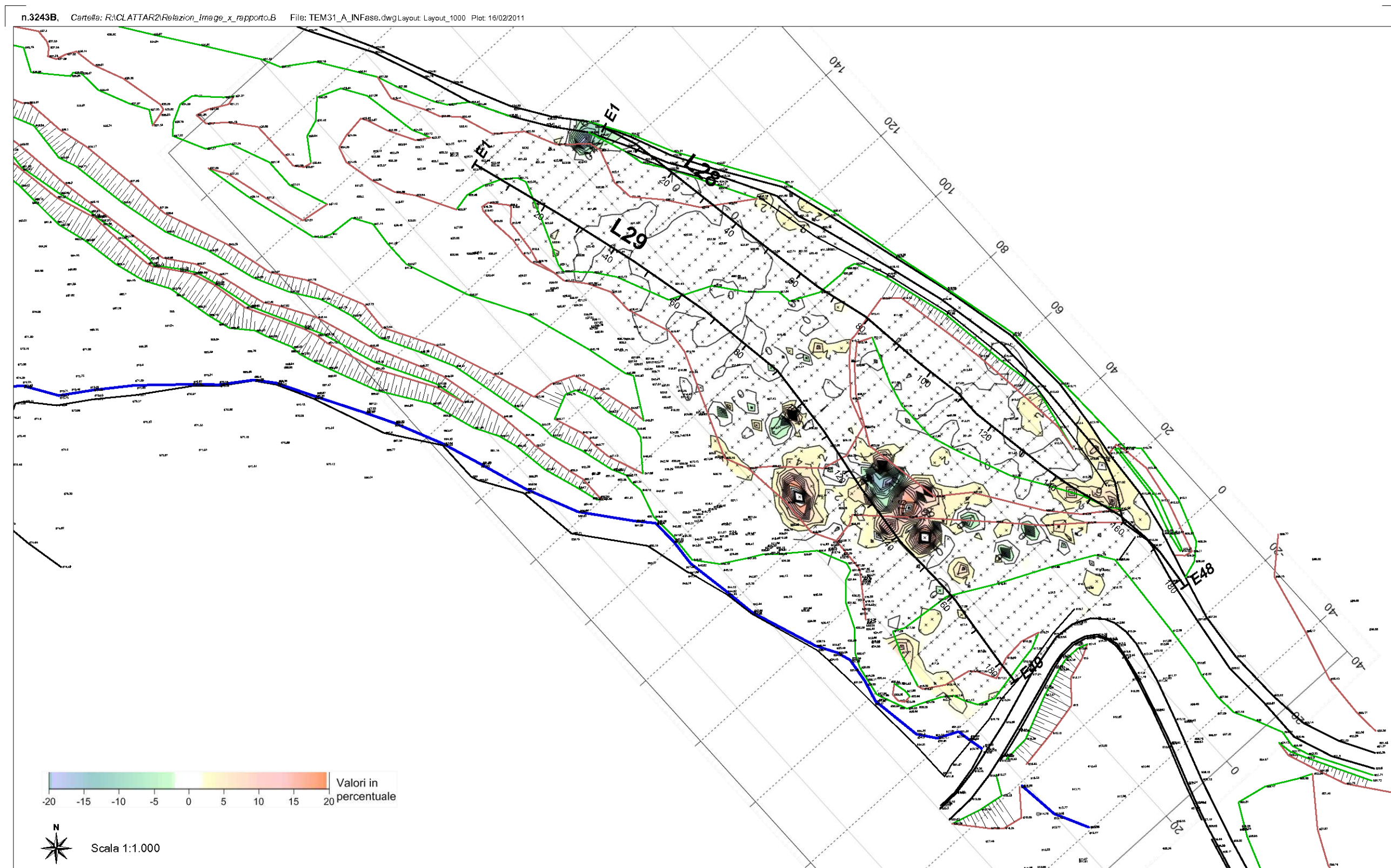
I maggiori spessori si registrano:

- per il profilo L28 – spessori dell’ordine di 7/8 metri (progressiva 140)
- per il profilo L29 – dell’ordine della decina di metri alla progressiva 160.
In questo profilo si descrivono i due corpi di riporti indagati (progressiva 115/150 e progressiva 135-170)



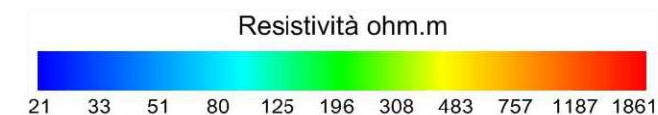
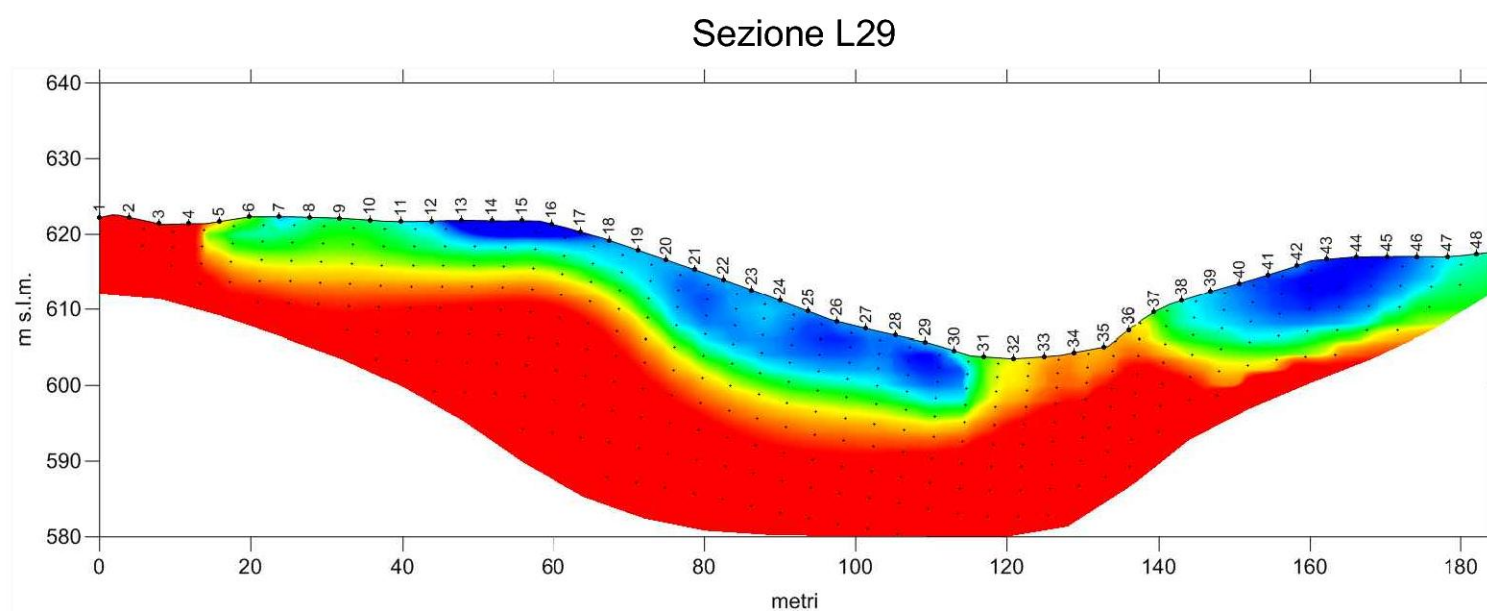
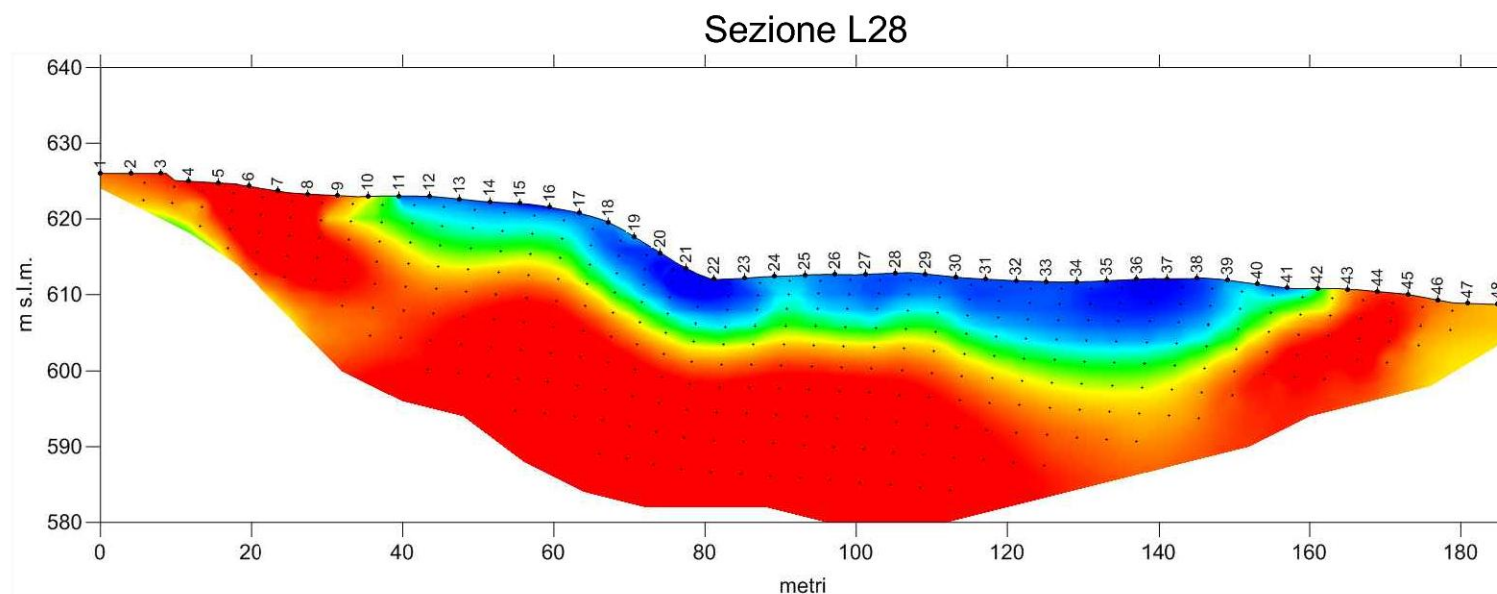
All. 1, Planimetria di riferimento





AII. 2b, Rilievo Elettromagnetico - IN FASE

n.3243B, Cartella: R:\\CLATTAR2\\Relazion_image_x_rapporto.B File: TTomEle_L28-L29.dwg Layout: Layout_1000 Plot: 16/02/2011



Scala 1:1.000

All. 3, Tomografia Elettrica