

**APPENDICE 03**  
Rapporto tecnico indagine geofisica  
a cura Geoinvest srl

# PROGETTO DI IMPIANTO IDROELETTRICO DI REGOLAZIONE SUL BACINO DI CAMPOLATTARO (BN)

MARZO 2011



COMMITTENTE



**R.E.C. S.r.l.**  
Via Uberti 37-20129 Milano

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI IMPRESE

Mandataria :

**ETATEC** S.R.L.  
SOCIETA' DI INGEGNERIA

20133 MILANO - via Bassini, 23 - tel.(02) 26681264  
fax (02) 26681553 - E-Mail: ETATEC@ETATEC.IT

AZIENDA CON SISTEMA DI QUALITA' CERTIFICATO UNI EN ISO 9001:2008  
SINCERT SICV - SC 06-647/EA 34



PROGETTISTA: Prof. Ing. Alessandro Paoletti

Mandante :

**CeAS**

SISTEMA QUALITÀ  
UNI EN ISO 9001 : 2008  
CERTIFICATO K031 RILASCIATO  
DA

CENTRO DI ANALISI STRUTTURALE S.R.L.  
AZIENDA CON SISTEMA QUALITÀ

SERVIZI DI INGEGNERIA CIVILE  
CIVIL ENGINEERING SERVICES




PROGETTISTA: Dott. Ing. Giovanni Canetta

INDAGINI GEOFISICHE:



**GEOINVEST** s.r.l.  
Geologia-Geofisica

via della Conciliazione, 45/A - 29122 Piacenza Italia  
telefono 0523 593622 - fax 0523 593640  
www.geoinvest.it - geoinvest@geoinvest.it



TITOLO ELABORATO

## RAPPORTO TECNICO *Indagini Geofisiche*

Revisione	Data	Descrizione	Redazione	Verifica	Approvazione	
A	31/03/2011	EMISSIONE PER VALUTAZIONE D'IMPATTO AMBIENTALE	Losi	Montesissa	Corno	
B						
C						
CODICE COMMESSA		TIPOLOGIA COMMESSA	TIPOLOGIA ELABORATO	FASE PROGETTAZIONE	PARTE DI IMPIANTO	PROGRESSIVO ELABORATO
L004		GU	R	D	A	060
SCALA:						

# INDICE

## PREMESSA

<b>A- BACINO MONTE CALVELLO</b>	pag. 1
A-1- Tomografia elettrica	pag. 2
A-2 - Rilievo gravimetrico	pag. 9
<b>B- AREA BACINO MONTE ALTO</b>	pag. 12
B-1- Rilievo di tomografia elettrica	pag. 13
B-2- Rilievo sismico	pag. 16
B-3- Rilievo gravimetrico	pag. 22
Appendice 1 - Sezioni sismica a rifrazione	
Appendice 2 - Indagine sismica con metodologia RE.MI.	
<b>C- COLLEGAMENTO MONTE ALTO - BACINO DI CAMPOLATTARO</b>	pag. 25
C-1- Metodologie applicate	pag. 26
C-1.1- Tomografia elettrica	pag. 26
C-1.2- Rilievo MagnetoTellurico in alta frequenza	pag. 29
C-1.3- Sintesi dei rilievi geofisici	pag. 34

## **PREMESSA**

Vengono riassunte le attività d'indagini geofisiche svolte nell'ambito degli studi per il progetto di impianto idroelettrico di regolazione sul bacino di Campolattaro (BN).

Il presente Rapporto è strutturato, per differenti aree d'indagine, in:

- A** - Area bacino Monte Calvello
- B** - Area bacino Monte Alto
- C** - Collegamento Monte Alto - bacino di Campolattaro

Per ogni singolo settore vengono illustrate le attività svolte e la sintesi dei dati elaborati con relative cartografie di riferimento.

---

## A- BACINO MONTE CALVELLO

Il documento illustra i dettagli operativi e i risultati di un'indagine geofisica eseguita nell'ambito dello studio del bacino di Monte Calvello in località Pontelandolfo (BN).

In particolare l'intervento è stato realizzato tramite l'applicazione di due metodologie geofisiche: **tomografia elettrica** e **gravimetria**, con lo scopo essenziale di fornire utili informazioni alla ricostruzione geologico-strutturale del sottosuolo dell'area d'interesse.

Costituiscono parte integrante del rapporto i seguenti elaborati:

- **All. A-1 PLANIMETRIA DI RIFERIMENTO**
- **All. A-2 TOMOGRAFIA ELETTRICA - Sezioni L01-L02-L03-L04-L05**
- **All. A-3 RILIEVO GRAVIMETRICO - Mappa dell'anomalia di Bouguer**

## A-1. TOMOGRAFIA ELETTRICA

Il rilievo di tomografia elettrica ha comportato l'esecuzione di:

- n. 1 profilo (L01), costituito da 84 elettrodi equispaziati di 6 m;
- n. 1 profilo (L02), costituiti da 84 elettrodi equispaziati di 5 m;
- n. 3 profili (L03-L04-L05), costituiti da 70 elettrodi equispaziati di 5 m;

la cui ubicazione è riportata nell'allegata **Planimetria di Riferimento (All.A-1)**.

### A-1.1. NOTE TEORICHE

La metodologia generalmente definita "geoelettrica" rappresenta uno dei metodi geofisici storicamente più utilizzati per la caratterizzazione dei materiali costituenti il sottosuolo.

I recenti sviluppi dell'elettronica e delle procedure d'acquisizione datano gestite tramite software dedicati, hanno consentito di applicare questa metodica, un tempo lenta e laboriosa, ai più disparati settori dello studio del sottosuolo con tempistica e dettaglio un tempo impensabili.

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

Le misure geoelettriche consentono quindi, studiando le deformazioni del flusso di corrente causate dalle diverse strutture geologiche, di caratterizzare le strutture stesse e ricostruirne la distribuzione spaziale. La resistività delle 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;

### A-1.2. ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI

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.

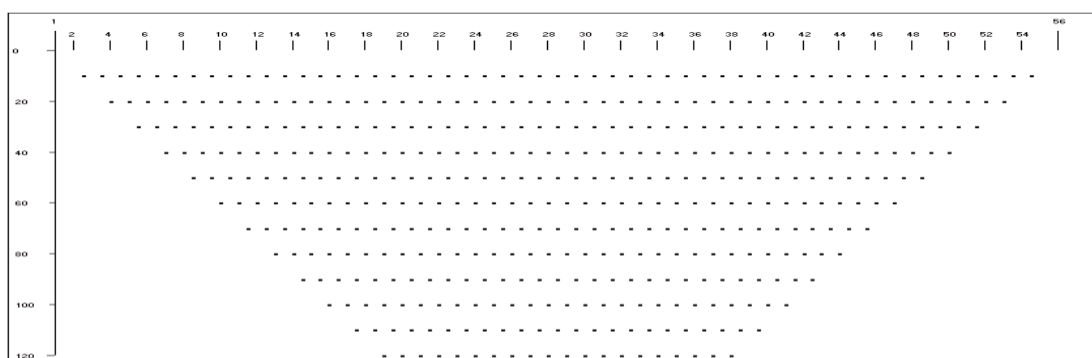
Il dispositivo di misura classico è costituito quindi da due coppie di elettrodi metallici infissi nel terreno a distanze opportune (dispositivo quadripolare). Generalmente i dispositivi utilizzati sono simmetrici rispetto ad un punto centrale O al quale si riferisce il valore misurato.

A1\_ \_ \_ \_ \_ A1\_ \_ \_ \_ M\_ \_ O\_ \_ N\_ \_ \_ \_ B1\_ \_ \_ \_ \_ B2

$$\begin{array}{c} \text{Dispositivo Schlumberger} \\ A1 \text{---} M1 \text{---} O \text{---} N1 \text{---} B1 \Rightarrow A_n \text{---} M_n \text{---} O \text{---} N_n \text{---} B_n \\ \text{Dispositivo Wenner} \end{array}$$

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.



**Figura 1 - Tomografia elettrica - Schema misure**

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 1). 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.

#### **A-1.2.1 Strumentazione utilizzata**

I dati sono stati acquisiti con l'utilizzo della seguente strumentazione:

- Georesistivimetro digitale AGI - STING R1/IP (Figura 2);
- Dispositivo di gestione automatica degli elettrodi AGI - SWIFT;
- Elettrodi (smart electrodes) dotati di elettronica interna
- Picchetti in acciaio.



**Figura 2 - Resistivimetro “STING R1/IP”**

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.



**Figura 3 - Particolare “Smart Electrode”**

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





*Figura 4 - Fase di “layout” dei profili di tomografia elettrica*

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

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.

### **A-1.2.2 Procedure di acquisizione**

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

Ogni misura di resistività è effettuata con una ripetizione del ciclo “+--+“ di cui è calcolato il valore della **deviazione standard**.

### **A-1.2.3 Procedure di elaborazione**

L'elaborazione dei dati registrati ha seguito il seguente schema:

- editing per l'individuazione e rimozione dei valori caratterizzati da un errore elevato (deviazione standard non superiore a 2%);
- ricostruzione della sezione di pseudoresistività apparente misurata;
- definizione delle dimensioni della griglia da utilizzare per l'inversione 2D;
- inversione 2D e la ricostruzione della sezione di resistività tramite iterazioni successive condotte sulla base del confronto delle pseudosezioni di resistività misurata e calcolata.

## **A-1.3 ANALISI DEI DATI**

In termini di qualità va osservato che le procedure di lavoro descritte hanno consentito di acquisire dati di un elevato livello qualitativo e pertanto il successivo processo di inversione per l'elaborazione delle sezioni finali, ha raggiunto livelli minimi di scostamento tra dati acquisiti e modello teorico.

Le sezioni allegate (**All.A-2**) nelle quali, tramite le diverse gradazioni di colore, è stata rappresentata la distribuzione dei valori di resistività elettrica, mostrano il miglior modello bidimensionale possibile per ogni profilo e consentono di evidenziare la presenza di diverse **unità geofisiche**.

Facendo riferimento ai litotipi presenti nella zona, è possibile descrivere come segue tali unità geofisiche:

- Unità con caratteristiche conduttive ( $\rho < 50$  ohmxm colore azzurro-blu) costituita verosimilmente da materiali a granulometria fine, prevalentemente argillosa;
- Unità con caratteristiche resistive ( $\rho > 500$  ohmxm - colore arancione-rosso), riferibile a materiali di natura arenaceo-marnosa;
- Unità intermedie ( $100 < \rho < 300$  ohmxm colore verde), riferibile a depositi con caratteristiche intermedie alle precedenti, di natura prevalentemente detritica in matrice argillosa.

Le unità risultano tanto più uniformi quanto più uniforme è la colorazione, mentre le brusche variazioni di colore sono indicative dei passaggi di stato.

La distribuzione, la geometria e la localizzazione stratigrafica delle unità, consentono di ricostruire in dettaglio il modello dell'area indagata caratterizzato dai seguenti aspetti principali:

- la porzione centrale e pianeggiante del bacino si presenta decisamente conduttiva indicando una natura dominata dalla componente argillosa dei depositi;
- i versanti presentano viceversa valori elevati di resistività, correlabili all'ammasso roccioso compatto (calcare);
- le brusche variazioni laterali sono indicative della possibile presenza di elementi strutturali (faglie) al contatto tra le unità descritte mentre i valori intermedi suggeriscono un accumulo di materiali di copertura: fratturati e/o detritici per valori medio-alti di resistività, con predominanza di componente fine per i valori medio-bassi;
- nell'ambito del settore pianeggiante centrale si verificano locali sovrapposizioni di materiali aventi caratteristiche elettriche intermedie riferibili a materiali di natura detritica sovrapposti a unità decisamente più conduttive e quindi argillose.
- Poiché anche l'eventuale presenza di acqua di saturazione è in genere correlata a valori medio-bassi di resistività, la sua discriminazione deve essere basata anche su valutazioni di tipo idrogeologico, e considerando che valori più bassi in assoluto sono in genere generati dai depositi argillosi.

#### **SEZIONI L01 e L02**

*In queste sezioni, registrate con andamento sud-nord, risulta evidente la definizione dei limiti del bacino dalla possibile presenza di due faglie localizzate alla base dei versanti.*

*In particolare, nel settore sud, il bacino presenta una prevalenza in superficie di materiali argillosi (fino a 8-10 m) associata ad una minore profondità del substrato.*

*Nel settore centro-nord, viceversa, si evidenzia una lente di depositi più grossolani in superficie e un deciso sottostante accumulo di materiale conduttivo associato ad un aumento della profondità del substrato.*

#### **SEZIONI L03 - L04 - L05**

*Anche in queste sezioni, ad andamento ovest-est, è evidente la differenziazione tra bacino e versante. In particolare, le sezioni L03 e L04 presentano una situazione più eterogenea sul versante orientale, nel quale si evidenzia un maggiore spessore di materiali detritici e/o di alterazione con particolare riferimento alla sezione L04 laddove la profondità del substrato sembra superiore a 40-50 m.*

*Tale situazione sarebbe inoltre compatibile con la presenza di circolazione idrica in corrispondenza della lente a minor resistività rilevabile tra le progressive 220-260. La sezione L04 mostra, inoltre, nel tratto compreso tra le intersezioni con L01 e L02, il massimo accumulo di materiali fini.*

*La sezione L05, posizionata al limite settentrionale del bacino mostra un minimo spessore dei materiali argillosi ed evidenzia, tra l'altro, la presenza di una prima faglia alla base del versante, eventualmente associata ad una seconda in prossimità del passaggio con il settore più conduttivo del bacino.*

In termini di corrispondenza tra i punti di incrocio si sottolinea la consistenza generalmente buona tra linee longitudinali e trasversali fatta eccezione per l'incrocio tra le linee L02 e L04, nel quale il brusco "contatto" laterale, evidenziato nella sezione L04 da una struttura resistiva localizzata, non è altrettanto chiaramente confermato nella sezione L02.

Tale situazione è verosimilmente attribuibile alla "distorsione" del campo elettrico di misura indotta dai terreni conduttivi in questo punto che ha enfatizzato la continuità del corpo conduttivo dimensionalmente predominante nel senso di acquisizione della sezione L02.

Si precisa a tal proposito che è insito nell'acquisizione lungo sezioni bidimensionali che le strutture presenti nel sottosuolo siano tanto meglio evidenziate quanto più sono intersecate ad angolo retto. Da ciò deriva infatti la procedura d'indagine, generalmente adottata, di realizzare, ove possibile, profili in entrambe le due direzioni.

## A-2 RILIEVO GRAVIMETRICO

Successivamente al rilievo geoelettrico l'area d'interesse è stata oggetto della realizzazione di un dettagliato rilievo gravimetrico.

### A-2.1 ACQUISIZIONE DATI

Il rilievo è stato portato a termine secondo una griglia di misura regolare di 12x12 m sull'area centrale del bacino, tramite l'utilizzo di sistema di posizionamento GPS, mentre sui versanti circostanti, a causa delle folte vegetazione, l'ubicazione delle stazioni è stata necessariamente supportata anche dall'utilizzo di una stazione topografica tradizionale.

In totale sono state acquisite 487 stazioni ubicate come riportato nell'allegata Planimetria di riferimento (All. A-1).



#### A-2.1.1 Attrezzatura utilizzata e procedure di acquisizione dati

Allo scopo di ottimizzare la produzione il rilievo è stato condotto con l'utilizzo di due squadre di lavoro: una squadra topografica dedicata al rilievo delle stazioni seguita da una squadra per le misure gravimetriche.

Il rilievo è stato condotto con l'utilizzo della seguente attrezzatura:

- n.2 Ricevitori GPS a doppia frequenza Ashtech/Magellan in configurazione RTK
- n.1 Gravimetro LaCoste&Romberg Aliod 100X
- n.2 Computers palmari portatili per la gestione e l'acquisizione dei dati gravimetrici e topografici
- n.1 Stazione totale SOKKIA Power set

Il gravimetro L&R Aliod è dotato di sistemi di livellamento e "azzeramento" elettronici per una accuratezza di misura dell'ordine del microgal. Durante l'acquisizione i dati, sono inviati, "via bluetooth", ad un PC palmare ed elaborati tramite il pacchetto software proprietario "Gcontrol gravity data logging", in grado di acquisire letture ad



intervalli di 2", e rendere quindi possibile un processo di "stacking" finalizzato all'ottimizzazione della qualità anche in condizioni di "noise" eventualmente causati da vento e/o vibrazioni in terreni soffici.

Come descritto il rilievo ha comportato dapprima l'individuazione e il rilievo topografico delle stazioni e successivamente la misura gravimetrica.

I dati gravimetrici sono stati acquisiti secondo "loop" che comprendevano la ripetizione, a intervalli di circa un'ora, della lettura su una stazione base, per il controllo della deriva strumentale.

Le misure strumentali sono state in genere acquisite con uno "stack" di 20 letture. Approssimativamente il 10% delle stazioni sono state ripetute per controllo con una deviazione standard pari a 0.016 milligal.

Le ripetizioni hanno riguardato anche il posizionamento GPS per un ulteriore controllo anche del rilievo topografico.

#### **A-2.1.2 Elaborazione dei dati**

I dati GPS sono stati elaborati con l'utilizzo del modello NGS ant\_info.003. La quota ortometrica dei punti è stata derivata utilizzando il modello geodetico EMG96. Le stazioni rilevate con la metodica tradizionale sono state inserite in poligonali collegate alle stazioni base GPS.

Tutte le coordinate finali delle stazioni sono state esportate secondo il reticolo WGS84 in coordinate geografiche e UTM Zona 33N.

Il gravimetro utilizzato converte la misura strumentale direttamente in milligal. Tali misure sono state successivamente corrette della "marea terrestre" e della deriva strumentale e rese come Gravità Osservata.

Tramite i dati topografici delle stazioni sono state inoltre calcolate le correzioni "in aria libera", di "Bouguer".

Infine, utilizzando i dati IGM relativi al modello digitale del terreno (DTM) per un intorno di 10 km, è stata calcolata la correzione topografica per giungere ai dati finali che, comparati con i dati di gravità teorica calcolati secondo la formula NIMA 1998, hanno consentito di calcolare i valori dell'anomalia di Bouguer per tre livelli di densità (2.1-2.3-2.5 g/cm<sup>3</sup>).

---

## A-2.2 ANALISI DEI RISULTATI

La **Carta dell'anomalia di Bouguer (All.A-3)** calcolata con densità di  $2.1 \text{ g/cm}^3$ , rappresenta il risultato finale del rilievo.

L'elaborato descrive l'andamento dello scostamento dei valori di gravità reale rispetto alla gravità teorica che è tanto maggiore quanto più è elevato il deficit di massa e quindi la presenza di materiali a bassa densità relativa.

In linea generale è quindi possibile distinguere le aree laddove l'ammasso roccioso è maggiormente compatto e subaffiorante (colore rosso) dalle aree di maggior depressione dello stesso che quindi coincidono con il maggior accumulo di materiali di copertura (colore blu).

Sulla base di tale principio, l'osservazione dell'andamento delle isocurve consente di formulare le seguenti considerazioni:

- I valori di gravità descrivono chiaramente i limiti del bacino e la posizione della massima depressione del substrato;
- L'elevato gradiente dei valori e l'andamento lineare dello stesso che si riscontra in particolare sui lati sud, ovest e nord-est è indicativo della presenza di possibili contatti strutturali (faglie);
- Sul lato orientale si osserva viceversa una situazione più articolata con la presenza di differenti disturbi strutturali che ha come conseguenza un maggior livello di fratturazione del substrato.

---

## B- AREA BACINO MONTE ALTO

Il documento illustra i dettagli operativi e i risultati della fase d'indagine geofisica eseguita nell'ambito dello studi in corso nell'area del bacino di Monte Alto in località Pontelandolfo (BN).

In particolare l'intervento, che è stato realizzato tramite l'applicazione di diverse metodologie geofisiche:

- Profili tomografici elettrici
- Profili sismici a rifrazione
- Sismica passiva (RE.MI)
- Rilievo gravimetrico

Costituiscono parte integrante del rapporto i seguenti elaborati:

- **All. B-1 - PLANIMETRIA DI RIFERIMENTO**
- **All. B-2 - TOMOGRAFIA ELETTRICA - Sezioni L04-L05-L08-L09**
- **All. B-3 - RILIEVO GRAVIMETRICO**
- **App.1 - SISMICA A RIFRAZIONE**
- **App.2 - SISMICA PASSIVA (RE.MI.)**



## B-1 RILIEVO DI TOMOGRAFIA ELETTRICA

Analogamente a quanto realizzato nella prima fase dell'intervento il rilievo di tomografia elettrica è stato eseguito con lo scopo di fornire un contributo alla ricostruzione delle sezioni geologiche delle aree interessate dall'intervento.

Nell'area "dolina" sono stati realizzati n.4 profili, con l'obiettivo di definire in dettaglio la successione stratigrafica delle aree con particolare riferimento alla definizione dei rapporti copertura-substrato:

- **L04**, costituito da 112 elettrodi equispaziati di 10 m per una lunghezza totale di 1110 m;
- **L09**, costituito da 42 elettrodi equispaziati di 10 m per una lunghezza totale di 410 m;
- **L05**, costituito da 35 elettrodi equispaziati di 10 m per una lunghezza totale di 340 m;
- **L08**, costituito da 28 elettrodi equispaziati di 6 m per una lunghezza totale di 162 m.
- **L11**, costituito da 67 elettrodi equispaziati di 5 m per una lunghezza totale di 335 m.
- **L12**, costituito da 83 elettrodi equispaziati di 50 m per una lunghezza totale di 415 m.

### B-1.1 ANALISI DEI DATI

In termini qualitativi va prima di tutto sottolineato che le procedure di lavoro applicate hanno consentito di acquisire dati di un elevato livello qualitativo e pertanto i successivi processi di elaborazione delle sezioni finali hanno raggiunto livelli minimi di scostamento tra dati acquisiti e modello teorico proposto.

Le sezioni riportate negli appositi allegati, rappresentano pertanto il risultato principale dell'intervento, le sezioni mostrano la distribuzione dei valori di resistività elettrica, consentendo di evidenziare la presenza di diverse **unità geofisiche**.

Facendo riferimento ai litotipi presenti nella zona, è possibile descrivere come segue tali unità geofisiche:

- Unità con caratteristiche conduttive ( $\rho < 50$  ohmxm colore azzurro-blu) costituita verosimilmente da materiali a granulometria fine, prevalentemente argillosa;
- Unità con caratteristiche resistive ( $\rho > 500$  ohmxm - colore arancione-rosso), riferibile a materiali di natura arenaceo-marnosa;
- Unità intermedie ( $100 < \rho < 300$  ohmxm colore verde), riferibile a depositi con caratteristiche intermedie alle precedenti, di natura prevalentemente detritica in matrice argillosa.

Le unità risultano tanto più uniformi quanto più uniforme è la colorazione, mentre le brusche variazioni di colore sono indicative dei passaggi di stato, riferibili quindi a contatti formazionali e/o strutturali.

## SEZIONI L04-L09

*Rappresenta la sezione più estesa di questo gruppo tagliando longitudinalmente il bacino oggetto dell'indagine.*

*Raffigura in modo molto preciso la struttura del sottosuolo, con la presenza di una copertura conduttiva e quindi prevalentemente argillosa, sovrapposta ad un substrato resistivo, calcareo.*

*La profondità massima del substrato è stimabile in 25-30 m in corrispondenza della progressiva 780 laddove si evidenzia una maggiore omogeneità dei valori della copertura argillosa.*

*Alla progressiva 1050 si evidenzia un avvallamento analogo del substrato ma associato ad un carattere meno conduttivo della copertura, riferibile quindi a materiale più grossolano (apporto detritico dal vicino versante?). In prossimità del versante si ipotizza inoltre la presenza di una possibile faglia.*

*Sul tratto opposto della sezione, lo spessore della copertura rimane piuttosto costante (circa 5 m) e non evidenzia, viceversa, l'affioramento del substrato calcareo.*

*Per tale ragione la sezione è stata estesa di un ulteriore tratto (L09) che solo in prossimità dell'estremità nord-ovest mostra la presenza del resistivo (calcareo).*

*La sezione L09 sottolinea quindi che i piccoli rilievi della porzione centrale, che evidenziano un comportamento mediamente conduttivo, sono costituiti da materiale estremamente fratturato eventualmente associato presenza di acqua di saturazione.*

## SEZIONI L05-L08

*Realizzate in corrispondenza della vallecchia sul lato nord-est del bacino, evidenziano rispettivamente un maggior spessore dei materiali di copertura e la presenza di una faglia in prossimità del versante (L05), Struttura che sembra essere confermata anche al centro dalla breve sezione L08.*

## SEZIONI L11-L12

*I profili L11 e L12 sono stati realizzati trasversalmente all'asse della valle con direttrice W-E.*

*Evidenziano i rapporti fra i materiali di riempimento di natura conduttiva (limi-argillosi) sul substrato calcareo che si presenta nella porzione sommitale più fessurata, con progressivo addensamento di profondità.*

*In corrispondenza della progressiva 100 per il profilo L11 e progressiva 120 per il profilo L12, si osserva il brusco contatto fra i calcari che delimitano morfologicamente l'affossamento del bacino.*

*Gli spessori dei materiali di riempimento assumono valori massimi nel profilo L11 con valori dell'ordine 20/25 metri.*

*Si osservano comunque intercalazioni di elementi conduttivi e relativamente resistivi imputabili a probabili riempimenti nell'ambito del bacino del materiale detritico.*

## B-2 RILIEVO SISMICO

L'area è stata oggetto anche di un rilievo sismico finalizzato alla definizione dello stato di addensamento dei materiali costituenti la copertura.

### B-1.1 ACQUISIZIONE DATI

Con tale finalità si è proceduto all'acquisizione dei dati sismici con differenti modalità:

- Profili Sismici a rifrazione in  $V_p$  e  $V_s$
- Profili Microtremori sismici tipo "Refraction microtremor" (ReMi)
- Stazioni Microtremori sismici tipo "Nakamura"

L'ubicazione di profili e stazioni è riportato nell'allegata Planimetria di riferimento (All. B-1).

### B-2.2 SISMICA A RIFRAZIONE

Sono stati acquisiti n.2 profili sismici (**P01** e **P02**) sono stati acquisiti con stendimenti di **24 geofoni** equispaziati di **5 metri**. Gli stendimenti sono stati attrezzati con geofoni verticali da 14 Hz e orizzontali da 4.5 Hz.

Lungo ogni profilo sono stati prodotti, mediante l'utilizzo di una massa battente, gli impulsi elastici necessari alla registrazione degli eventi sismici. In particolare l'acquisizione degli impulsi relativi alle onde di taglio ( $V_s$ ) sono state ottenute con energizzazioni "direzionali".

L'energizzazione è avvenuta in **7 punti** disposti a intervalli regolari lungo i singoli stendimenti e precisamente nelle seguenti posizioni: 2 esterni, 2 estremi, 3 punti intermedi (ogni 6 geofoni).

La registrazione dei sismogrammi è stata effettuata mediante un sismografo digitale Geode-Geometrics a 24 canali, con elevata dinamica (24 bits) interfacciati a geofoni Geospace a 14 Hz e 4.5 Hz. Il "time-break", tempo zero di inizio registrazione, è stato fissato attraverso l'apertura di un circuito elettrico situato in corrispondenza del punto sparo.

#### *B-2.2.1 Elaborazione e analisi dei dati*

Tramite software dedicato, sono stati letti i tempi di "primo arrivo" degli impulsi sismici ai vari geofoni (raggi diretti e rifratti) e ricostruiti i relativi diagrammi spazio-tempo (dromocrone sismiche). Le dromocrone sono state elaborate applicando algoritmi di calcolo basati sul metodo "time delay" di Hawkins e sul metodo "delle intercette".

I risultati di tale elaborazione forniscono pertanto la caratterizzazione in termini di velocità sismiche  $V_p$  e  $V_s$  i materiali costituenti il sottosuolo dell'area indagata e la ricostruzione geometrica delle unità sismiche così individuate.

Le sezioni finali sono riportate in appendice in termini di  $V_p$  e  $V_s$  (**Appendice 1**) ricostruiscono in dettaglio una sequenza stratigrafica di 4 unità:

- **Unità areata superficiale**, con valori di  $V_p$  dell'ordine di 0,3-0,4 km/sec e spessore medio di 2-3 m. La velocità  $V_s$  è stimata in 0.15 km/sec.
- **Unità di copertura con scarso grado di compattazione**, individuata da valori di  $V_p$  compresi tra 0,6 e 0.8 km/sec che si estende fino a circa 5-7 m di profondità nella sezione P01 e circa 10 m nella P02. Relativamente alle velocità  $V_s$  sono stati registrati valori dell'ordine di 0,3 km/sec.
- **Unità intermedia moderatamente consistente**, definita tramite velocità dell'ordine di 1,3-1,5 km/sec con valori di  $V_s$  compresi fra 0,42-0,45 km/sec. L'unità è presente fino a profondità variabile tra 18 e 27 m nel profilo P01, mentre è più uniforme, 20-22 m, nella sezione P02.
- **Unità di fondo**, relativa alla porzione sommitale del substrato roccioso. In particolare i valori registrati in P01,  $V_p$  pari a 2,0-2,1 km/sec, sono riferibili non a roccia compatta ma alla presenza di un consistente grado di alterazione, mentre i 2.5-2.8 km/sec individuati nella P02 indicano un materiale più compatto. I valori di  $V_s$  variano da 0.7 km/sec per la sezione P01 a 1,1-1,2 nella P02.

### B-2.3 PROFILI “RE-MI”

La tecnica di prospezione “Refraction Microtremor” (Re.Mi), capovolgendo il comune concetto del parametro “segnale-disturbo”, come aspetto fondamentale per l'acquisizione dei metodi cosiddetti “attivi” (rifrazione o riflessione), assume il “noise” ambientale come segnale sorgente per la registrazione dei dati. Si parla quindi di sismica “passiva” in quanto non necessita di una sorgente artificiale di segnale, essendo il “microtremore” sismico la sorgente di energia utile allo scopo.

In particolare il metodo è utilizzato per elaborare un profilo di velocità  $V_s$  finalizzato alla definizione della  $V_{s30}$  necessaria alla caratterizzazione sismica.

L'acquisizione dei dati si realizza tramite un profilo simile a quello utilizzato per la rifrazione (R01 in planimetria). La differenza è nella modalità di registrazione dei dati che si realizza con l'acquisizione di numerosi “records” (generalmente 20) di lunghezza di 30 sec ciascuno con campionamento ogni 2ms.

#### B-2.3.1 Elaborazione dati

La procedura di elaborazione adottata per la classificazione dei profili del suolo di fondazione ha utilizzato la tecnica sopra descritta utilizzando il pacchetto software SeisOpt Re.Mi. 2.0 prodotto dalla Optim Software LLC. La prima fase consiste nell'elaborazione di tutte le registrazioni acquisite tramite l'analisi spettrale dei singoli sismogrammi allo scopo di ottenere lo “spettro” del segnale di velocità sismica in funzione della frequenza. Successivamente si seleziona lo spettro dal quale viene estrapolata la curva di attenuazione del segnale (curva di dispersione) dalla quale tramite una procedura di “inversione” si risale al modello stratigrafico in termini di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) da cui il valore relativo ai primi 30 metri di sottosuolo ( $V_{s30}$ ). Le schede relative alla prova Re.Mi

(Appendice 2) riportano un esempio di sismogramma registrato, la relativa “analisi spettrale” e la “curva di dispersione” con il “profilo di velocità”.

### **B-2.3.2 Analisi dei risultati**

Il diagramma relativo alla prova Re.Mi. (App.2.1.2) indica la successione di tre unità:

- da 0 a 8 m       $V_s=155$  Km/sec
- da 8 a 23 m     $V_s=377$  Km/sec
- da 23 a 30      $V_s=756$  Km/sec

da cui deriva il parametro medio:

$$V_{s\ 30} = 295 \text{ m/s}$$

### **B-2.4 STAZIONE TIPO “NAKAMURA”**

A integrazione di quanto sopra è stata realizzata una serie di misure mediante l'applicazione di un'ulteriore prospezione sismica basata sull'acquisizione del microtremore sismico, definita “Tecnica dei rapporti spettrali HVSR” (Horizontal to Vertical Spectral Ratio - Ipotesi di Nakamura), finalizzata alla misura diretta delle frequenze di vibrazione del terreno.

#### **B-2.4.1 Cenni metodologici**

Il metodo dei rapporti spettrali di singola stazione (HVSR) e' largamente usato per la stima degli effetti di amplificazione di sito. La metodologia, rientrante tra le prospezioni sismiche passive, risulta già ampiamente utilizzata in paesi con elevato rischio sismico quali il Giappone.

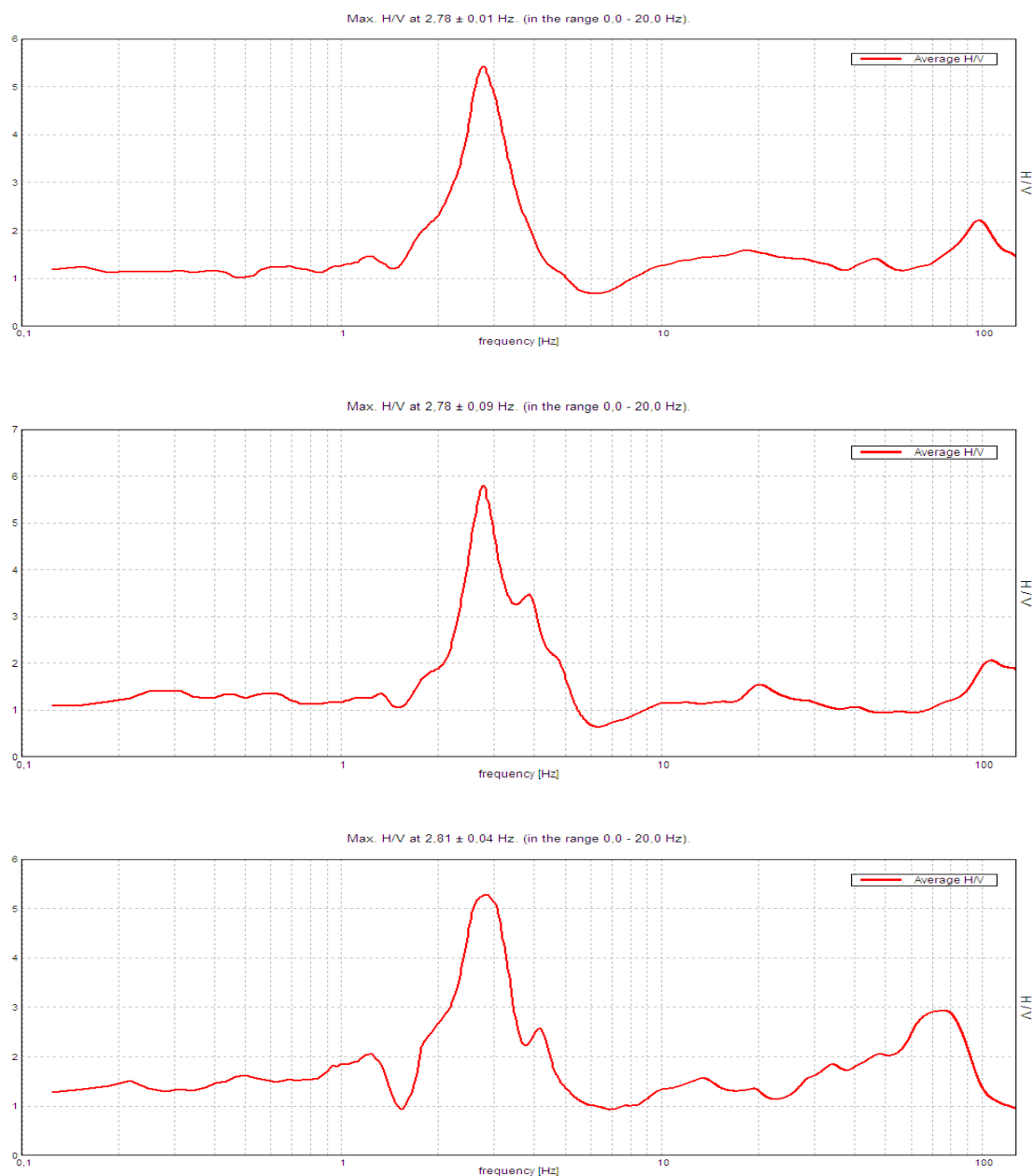
Il microtremore agisce da oscillatore naturale e quindi consente, tramite adeguata strumentazione, la misura diretta delle frequenze di vibrazione dei terreni e dei manufatti.

### B-2.4.2 Modalità d'intervento

Per l'acquisizione dei dati, è stato utilizzato il misuratore digitale Micromed Tromino Studio<sup>TM</sup> in grado di acquisire frequenze di vibrazione comprese tra 0.1 e 256 Hz. Lo strumento, mediante una terna di velocimetri elettrodinamici, registra contemporaneamente la componente verticale e le due componenti orizzontali tra loro ortogonali. In totale sono state acquisite 8 stazioni, sulle quali si è proceduto allo "stack" dei dati per una durata di circa 16 minuti ciascuna.

### B-2.4.3 Elaborazione dati

L'analisi spettrale dei segnali acquisiti ha consentito permesso la ricostruzione degli spettri HVSR di cui si riportano di seguito alcuni esempi.



Gli spettri indicano, in modo consistente, un picco di ampiezza in corrispondenza della frequenza a 2.8 Hz.

Tale frequenza ( $f_0$ ) si assume generata da una superficie di separazione tra strati sismici profondi la cui profondità è legata al valore della frequenza e della velocità media  $V_s$  tramite la formula:

$$f_0 = V_s / 4H$$

Considerando quindi la profondità del substrato individuata, tramite la sismica a rifrazione, nel punto di stazione, di circa 28 metri, si ottiene una velocità media  $V_s$  pari a 313 ms, in linea con quanto ottenuto dalle metodiche precedenti.

## B-2.5 ANALISI DEI RISULTATI

I dati sismici descritti oltre a consentire la dettagliata ricostruzione stratigrafica dell'area della dolina, come descritto, permettono di formulare un giudizio relativamente alle caratteristiche dei materiali presenti.

Le seguenti tabelle sintetizzano i parametri significativi delle unità sismiche individuate alle diverse profondità, in corrispondenza profili P01 e P02.

Profondità P01		VP	VS	VP/VS	dens	Poisson
0	2					
2	4	1.00	0.30	3.33	1.7	0.451
4	6	1.00	0.30	3.33	1.7	0.451
6	8	1.00	0.30	3.33	1.7	0.451
8	10	1.30	0.42	3.10	1.8	0.442
10	12	1.30	0.42	3.10	1.8	0.442
12	14	1.30	0.42	3.10	1.8	0.442
14	16	1.30	0.42	3.10	1.8	0.442
16	18	1.30	0.42	3.10	1.8	0.442
18	20	1.30	0.42	3.10	1.8	0.442
20	22	1.30	0.42	3.10	1.8	0.442
22	24	2.10	0.70	3.00	2.3	0.438
24	26	2.10	0.70	3.00	2.3	0.438
26	28	2.10	0.70	3.00	2.3	0.438
28	30	2.10	0.70	3.00	2.3	0.438



Profondità P02		VP	VS	VP/VS	dens	Poisson
<b>0</b>	<b>2</b>					
<b>2</b>	<b>4</b>					
<b>4</b>	<b>6</b>	1.00	0.30	3.33	1.7	0.451
<b>6</b>	<b>8</b>	1.00	0.30	3.33	1.7	0.451
<b>8</b>	<b>10</b>	1.00	0.30	3.33	1.8	0.451
<b>10</b>	<b>12</b>	1.40	0.45	3.11	1.85	0.442
<b>12</b>	<b>14</b>	1.40	0.45	3.11	1.85	0.442
<b>14</b>	<b>16</b>	1.40	0.45	3.11	1.85	0.442
<b>16</b>	<b>18</b>	1.40	0.45	3.11	1.85	0.442
<b>18</b>	<b>20</b>	1.40	0.45	3.11	1.85	0.442
<b>20</b>	<b>22</b>	2.70	1.30	2.08	2.5	0.349
<b>22</b>	<b>24</b>	2.70	1.30	2.08	2.5	0.349
<b>24</b>	<b>26</b>	2.70	1.30	2.08	2.5	0.349
<b>26</b>	<b>28</b>	2.70	1.30	2.08	2.5	0.349
<b>28</b>	<b>30</b>	2.70	1.30	2.08	2.5	0.349

## B-3 RILIEVO GRAVIMETRICO

Successivamente al rilievo geoelettrico l'area d'interesse è stata oggetto della realizzazione di un dettagliato rilievo gravimetrico.

### B-3.1 ACQUISIZIONE DATI

Il rilievo è stato portato a termine secondo una griglia di misura regolare di 12,5x12,5m sull'area centrale del bacino, tramite l'utilizzo di sistema di posizionamento GPS, mentre sui versanti circostanti, a causa della folta vegetazione, l'ubicazione delle stazioni è stata necessariamente supportata anche dall'utilizzo di una stazione topografica tradizionale.

In totale sono state acquisite 1094 stazioni ubicate come riportato in Fig. 2.



### B.3.2 ATTREZZATURA UTILIZZATA E PROCEDURE DI ACQUISIZIONE DATI

Allo scopo di ottimizzare la produzione, il rilievo è stato condotto con l'utilizzo di due squadre di lavoro: una squadra topografica dedicata al rilievo delle stazioni seguita da una squadra per le misure gravimetriche.

Il rilievo è stato condotto con l'utilizzo della seguente attrezzatura:

- n. 2 ricevitori GPS a doppia frequenza Ashtech/Magellan in configurazione TRK
- n. 1 gravimetro LaCoste&Romberg Aliod 100X
- n. 2 computer palmari portatili per la gestione e l'acquisizione dei dati gravimetrici e topografici
- n. 1 stazione totale SOKKIA Power set



Il gravimetro L&R Aliod è dotato di sistemi di livellamento e “azzeramento” elettronici per una accuratezza di misura dell’ordine del microgal.

Durante l’acquisizione i dati, sono inviati, “via bluetooth”, ad un PC palmare ed elaborati tramite il pacchetto software proprietario “Gcontrol gravity data logging”, in grado di acquisire letture ad intervalli di 2”, e rendere quindi possibile un processo di “stacking” finalizzato all’ottimizzazione della qualità anche in condizioni di “noise” eventualmente causati da vento e/o vibrazioni in terreni soffici.

Come descritto il rilievo ha comportato dapprima l’individuazione e il rilievo topografico delle stazioni e successivamente la misura gravimetrica.

I dati gravimetrici sono stati acquisiti secondo “loop” che comprendevano la ripetizione, a intervalli di circa un’ora, della lettura su una stazione base, per il controllo della deriva strumentale.

Le misure strumentali sono state in genere acquisite con uno “stack” di 20 letture. Approssimativamente il 10% delle stazioni sono state ripetute per controllo con una deviazione standard pari a 0.016 milligal.

Le ripetizioni hanno riguardato anche il posizionamento GPS per un ulteriore controllo anche del rilievo topografico.

### B-3.3 ELABORAZIONE DI DATI

I dati GPS sono stati elaborati con l'utilizzo del modello NGS ant\_info.003. La quota ortometrica dei punti è stata derivata utilizzando il modello geodetico EMG96. Le stazioni rilevate con la metodica tradizionale sono state inserite in poligonali collegate alle stazioni base GPS.

Tutte le coordinate finali delle stazioni sono state esportate secondo il reticolo WGS84 in coordinate geografiche e UTM Zona 33N.

Il gravimetro utilizzato converte la misura strumentale direttamente in milligal. Tali misure sono state successivamente corrette della "marea terrestre" e della deriva strumentale e rese come Gravità Osservata.

Tramite i dati topografici delle stazioni sono state inoltre calcolate le correzioni "in aria libera", di "Bouguer".

Infine, utilizzando i dati IGM relativi al modello digitale del terreno (DTM) per un intorno di 10 km, è stata calcolata la correzione topografica per giungere ai dati finali che, comparati con i dati di gravità teorica calcolati secondo la formula NIMA 1998, hanno consentito di calcolare i valori dell'anomalia di Bouguer per tre livelli di densità (2.1-2.3-2.5 g/cm<sup>3</sup>).

### B-3.4 ANALISI DEI RISULTATI

La **Carta dell'anomalia di Bouguer** (Fig. 2) calcolata con densità di 2.1 g/m<sup>3</sup>, rappresenta il risultato finale del rilievo.

L'elaborato descrive l'andamento dello scostamento dei lavori di gravità reale rispetto alla gravità teorica che è tanto maggiore quanto più è elevato il deficit di massa e quindi la presenza di materiali a bassa densità relativa.

In linea generale è quindi possibile distinguere le aree laddove l'ammasso roccioso è maggiormente compatto e subaffiorante (colore rosso) dalle aree di maggior depressione dello stesso che quindi coincidono con il maggior accumulo di materiali di copertura (colore blu).

Sulla base di tale principio, l'osservazione dell'andamento delle isocurve consente di formulare le seguenti considerazioni:

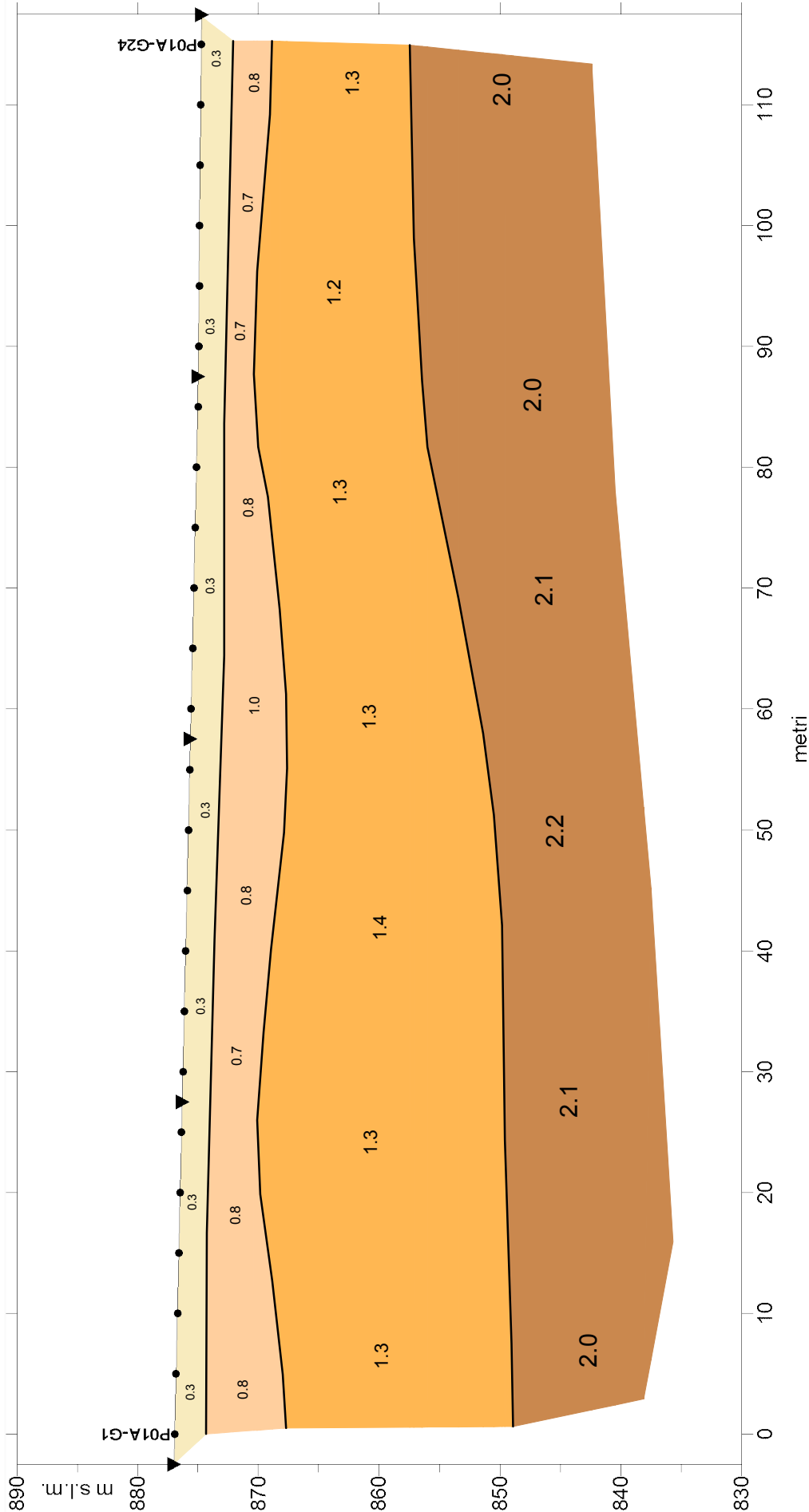
- I valori di gravità descrivono chiaramente i limite del bacino e la posizione della massima depressione del substrato;
- Si determina un settore allineato lungo una direttrice N-S (SE) definito a elementi a minor densità relativa imputabili a maggior accumuli di litologie limoso-argillose e/o a un potenziale disturbo strutturale;
- In modo puntiforme si localizzano dei settori con un ulteriore decadimento della densità relativa conseguente a locali fenomeni di intensa fratturazione.

**SEZIONI**  
**SISMICA A RIFRAZIONE**

**Appendice 1**

**SISMICA A RIFRAZIONE VP - Sezione**

**P01**



Unità a velocità sismica alta

Unità a velocità sismica media

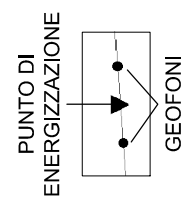
Unità a velocità sismica medio-alta

Areato

Unità a velocità sismica bassa

Velocità sismiche (km/sec)

0.4  
1.1  
1.4  
2.1

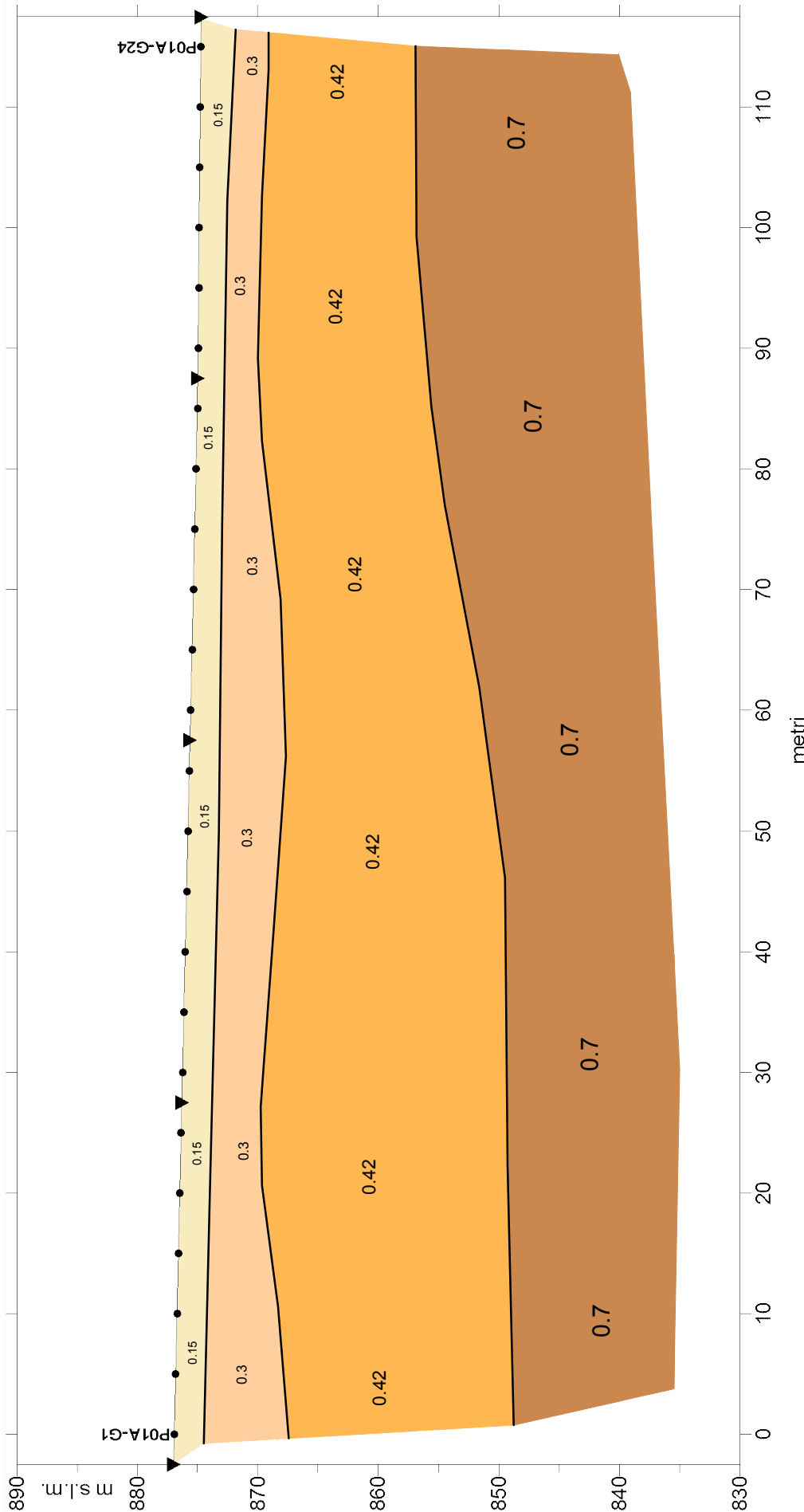


Scala 1:500

**App. 1.1.1**

**SISMICA A RIFRAZIONE VS - Sezione**

**P01**



**Velocità sismiche (km/sec)**

0.15	0.3	0.42	0.7
------	-----	------	-----

**PUNTO DI ENERGIZZAZIONE**

**GEOFONI**

**Unità a velocità sismica medio-bassa**

**Unità a velocità sismica alta**

**Unità a velocità sismica medio-alta**

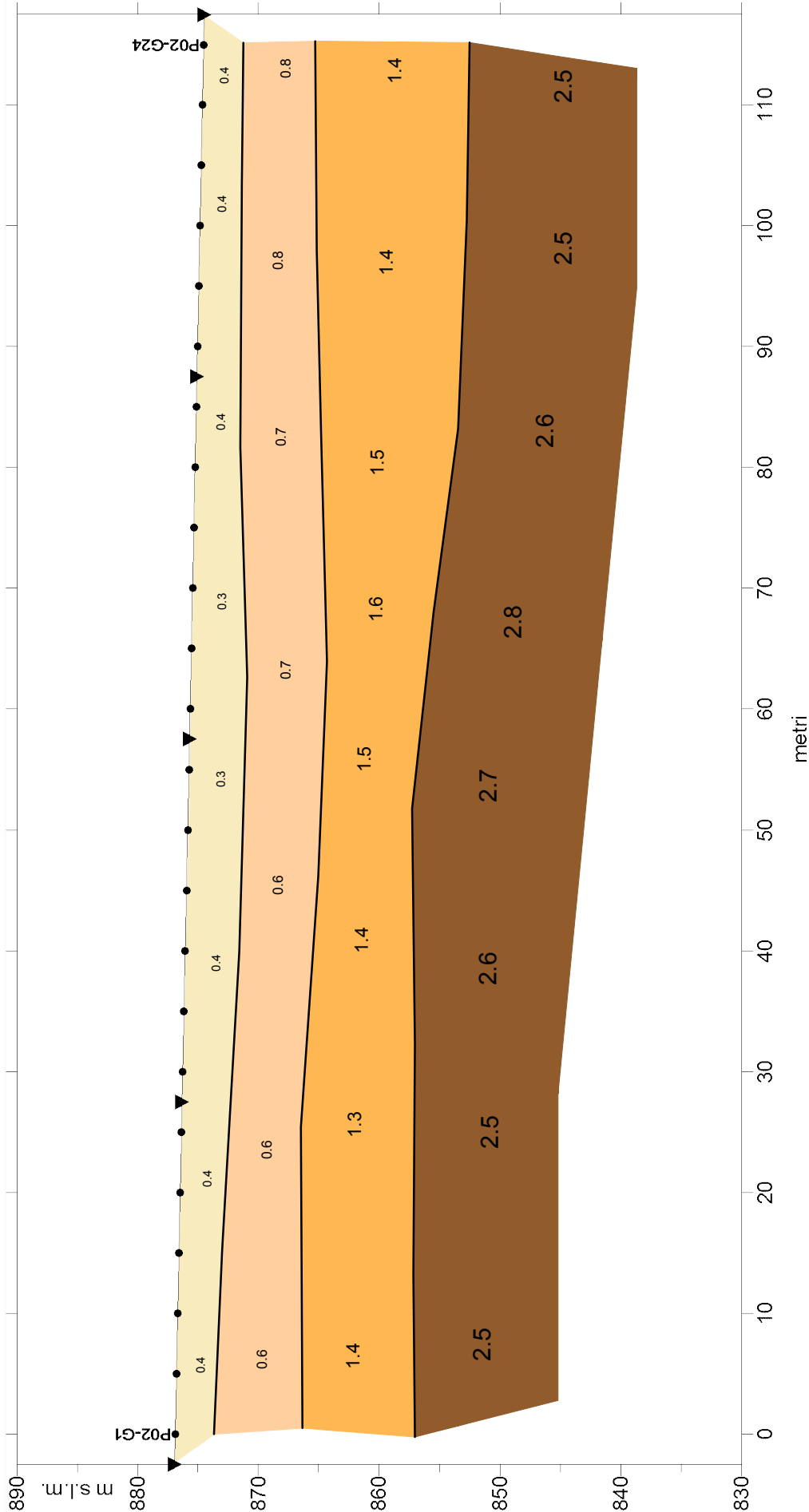
**Unità a velocità sismica bassa**

Scala 1:500

**App. 1.1.2**

**SISMICA A RIFRAZIONE VP - Sezione**

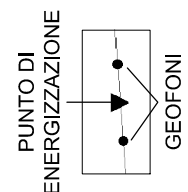
**P02**



Unità a velocità sismica alta  
 Unità a velocità sismica media  
 Unità a velocità sismica medio-alta

Areato  
 Unità a velocità sismica bassa

Velocità sismiche (km/sec)  
 0.4  
 1.1  
 1.4  
 2.1



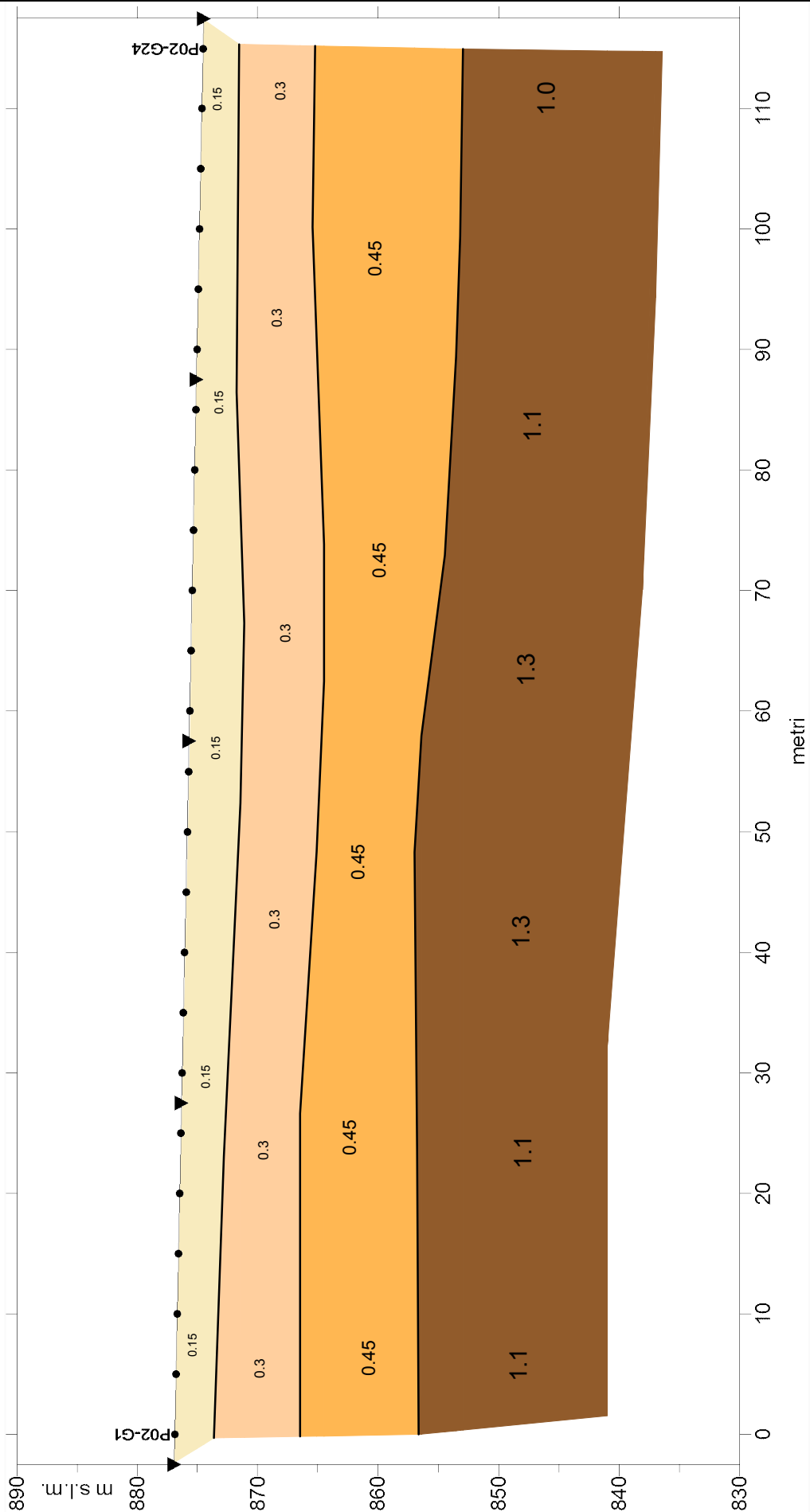
Scala 1:500

**App. 1.2.1**



**SISMICA A RIFRAZIONE VS - Sezione**

**P02**



**Velocità sismiche (km/sec)**

0.15	0.3	0.42	0.7
------	-----	------	-----

**PUNTO DI ENERGIZZAZIONE**

**GEOFONI**

**Unità a velocità sismica medio-bassa**

**Unità a velocità sismica medio-alta**

**Unità a velocità sismica alta**

**Unità a velocità sismica bassa**

**Unità a velocità sismica medio-bassa**

**Unità a velocità sismica medio-alta**

**Unità a velocità sismica alta**

**Areato**

Scala 1:500

**App. 1.2.2**

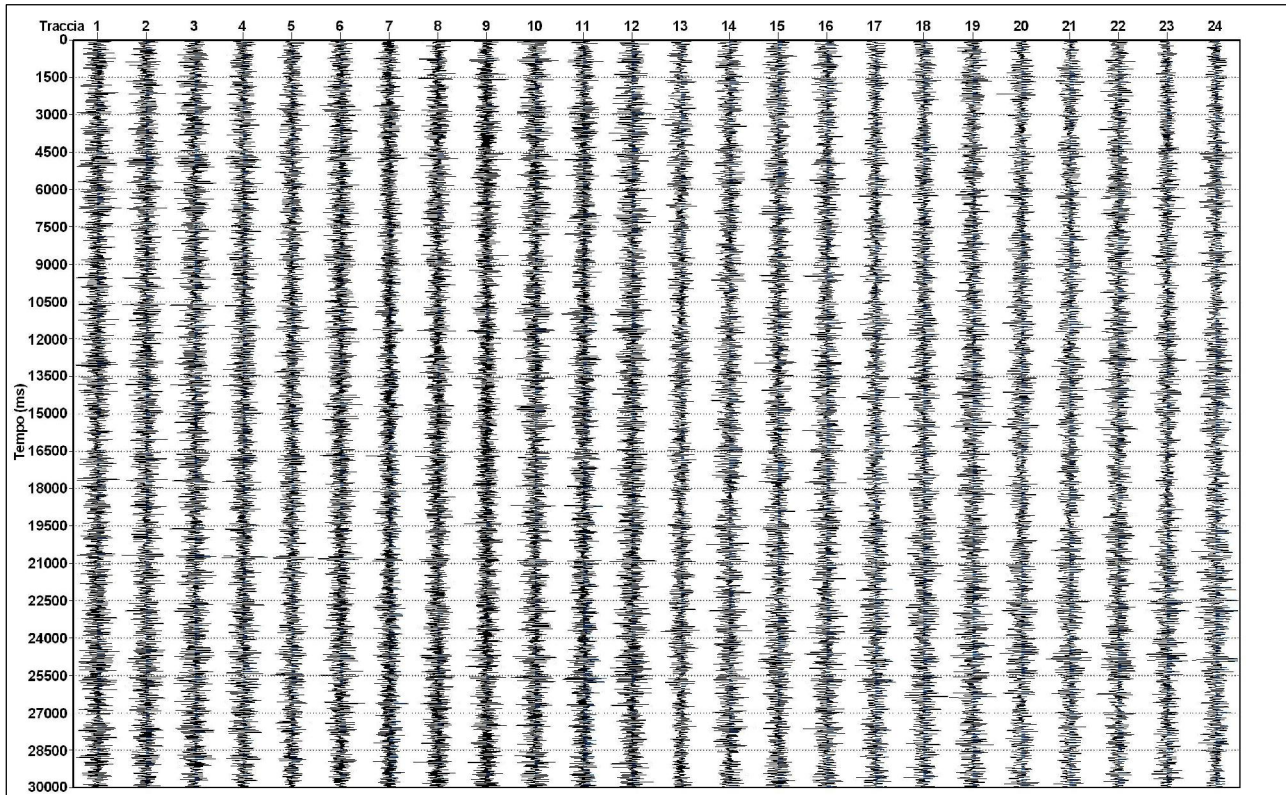
# **INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA RE.MI PER LA DETERMINAZIONE DELLA VS30 E LA CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO**

## **Appendice 2**

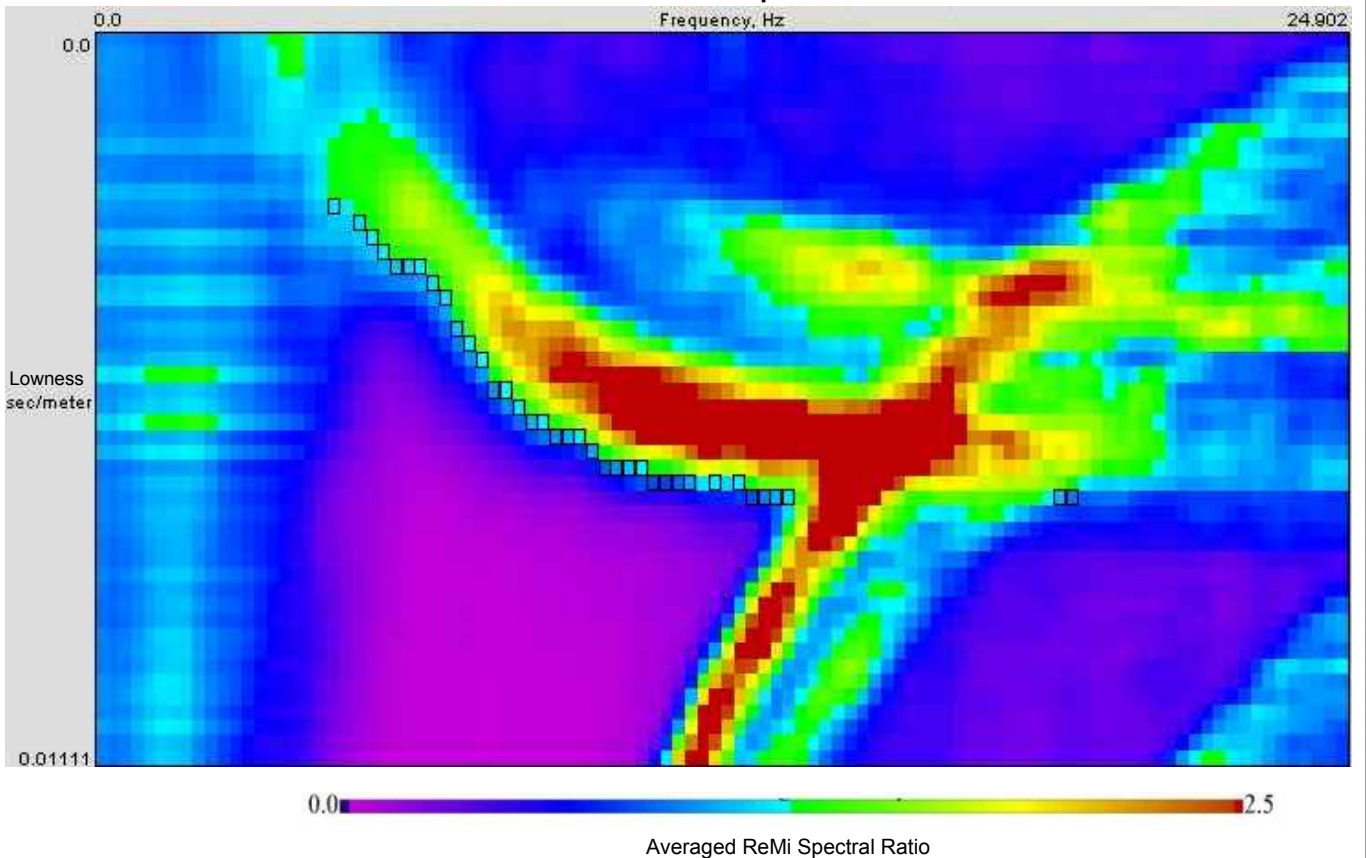
**REFRACTION MICROTREMOR Re.Mi.**

**R01**

**REGISTRAZIONE SISMICA**



**ELABORAZIONE p-f IMMAGINE CON I PUNTI DI DISPERSIONE**

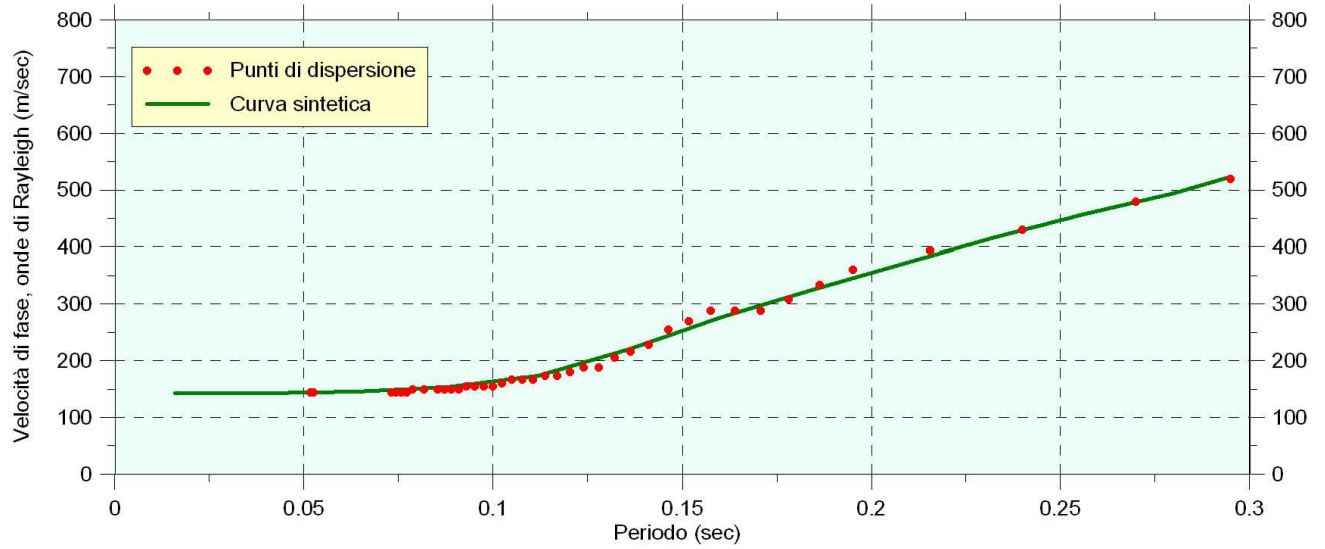


**App. 2.1.1**

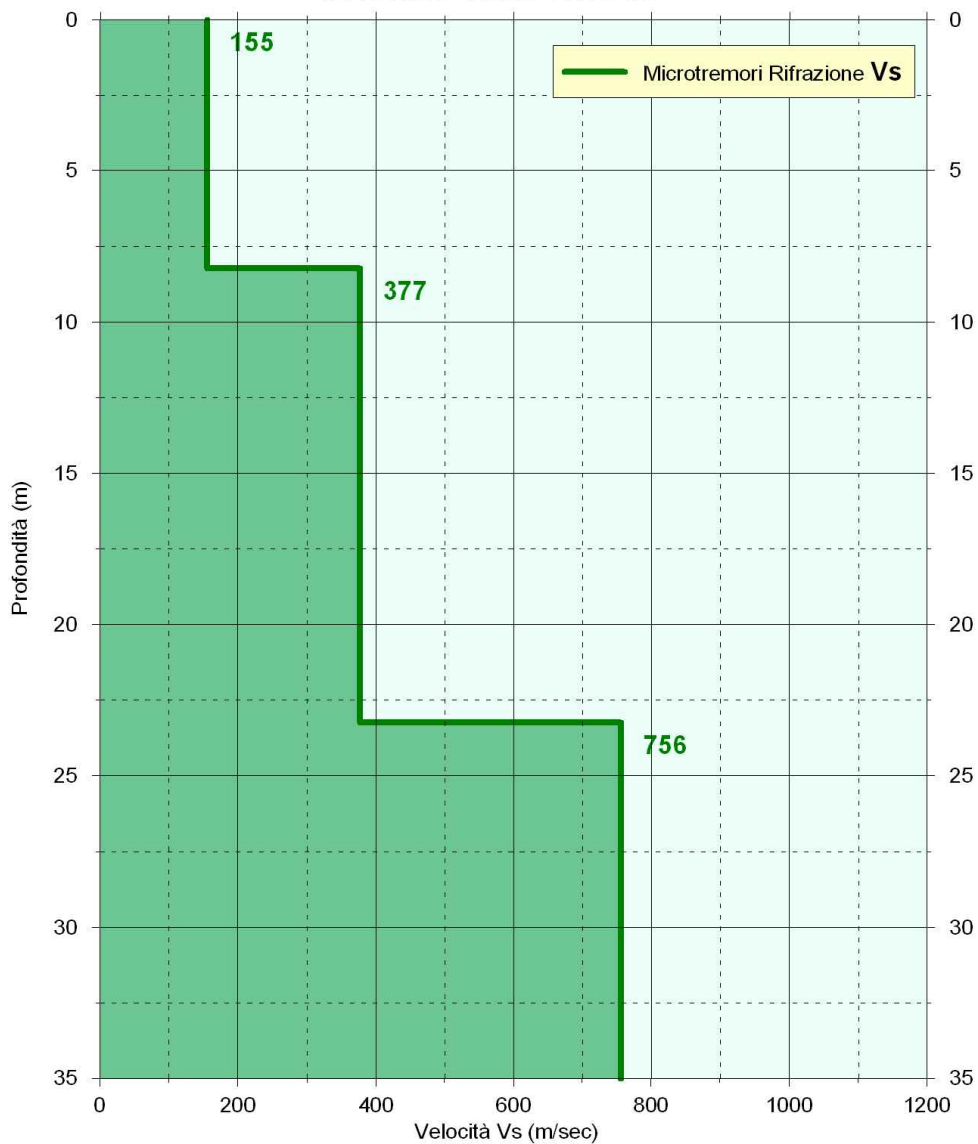
**REFRACTION MICROTREMOR Re.Mi.**

**R01**

**CURVA DI DISPERSIONE**



**PROFILO VELOCITÀ Vs**



**Vs30 = 295 m/sec**

Profilo stratigrafico del suolo di fondazione: **CATEGORIA C**

**App. 2.1.2**

---

## C- COLLEGAMENTO MONTE ALTO - BACINO DI CAMPOLATTARO

Al fine di definire le caratteristiche geolitologiche ed i rapporti stratigrafici fra le unità coinvolte nel progetto delle condutture fra il bacino di Monte Alto ed il bacino di Campolattaro, sono state sviluppate una serie di indagini geofisiche articolate in:

- Profili tomografici elettrici lungo l'asse del profilo e lungo le gallerie d'accesso
- Sezione di MagnetoTellurica (MT - per le indagini profonde) in corrispondenza della futura camera valvole

In planimetria All. C-1 sono riassunte le attività svolte ed i riferimenti topografici.

La sezione longitudinale di All. C-2 sintetizza i rilievi tomografici elettrici e la sezione elaborata di MagnetoTellurica (MT).

In All. C-3 sono raccolte le sezioni tomografiche elettriche registrate in posizioni trasversali al profilo principale, acquisite in corrispondenza delle gallerie d'accesso.

## C-1 METODOLOGIE APPLICATE

### C-1.1 TOMOGRAFIA ELETTRICA

Le metodologie operative e la descrizione generale è descritta nei paragrafi precedenti.

Le attività di tomografia elettrica si possono riassumere in:

- Profilo L01, costituito da 109 elettrodi equispaziati di 11 m per una lunghezza totale di 1188 m;
- Profilo L02, costituito da 315 elettrodi equispaziati di 11 m per una lunghezza totale di 3454 m;
- Profilo L03, costituito da 126 elettrodi equispaziati di 11 m per una lunghezza totale di 1386 m.
- Profilo L10, costituito da 56 elettrodi equispaziati di 10 m per una lunghezza totale di 550 m.
- Profilo L13, costituito da 91 elettrodi equispaziati di 11 m per una lunghezza totale di 1001 m;
- Profilo L14, costituito da 126 elettrodi equispaziati di 11 m per una lunghezza totale di 1386 m;
- Profilo L15, costituito da 161 elettrodi equispaziati di 11 m per una lunghezza totale di 1771 m.
- Profilo L16, costituito da 91 elettrodi equispaziati di 11 m per una lunghezza totale di 1001 m.

Di seguito vengono trasmesse le considerazioni interpretative per ogni singolo profilo.

#### SEZIONE L01

*La sezione rappresenta il tratto terminale, compreso tra la linea ferroviaria e il lago, del profilo realizzato tra centrale e bacino di Campolattaro.*

*Mostra una natura prevalentemente conduttiva, riferibile ad una predominanza di materiali argillosi in accordo con la formazione geologica cartografata (“Argille arenacee grigio-azzurrognole”).*

*In dettaglio nella prima metà della sezione e in particolare in superficie si nota un certo incremento dei valori indicativi di una maggiore componente arenacea. Nello stesso tratto in profondità si nota un brusco contatto (faglia?) tra un’unità decisamente argillosa e un corpo resistivo, verosimilmente più calcareo, che prosegue, verso monte, nel tratto finale della sezione **L02**.*

**SEZIONE L02**

*La sezione, nel suo sviluppo di circa 3500 m, mostra con estremo dettaglio, i passaggi tra le diverse formazioni affioranti nell'area. Si osserva quindi da monte a valle la presenza di calcari e calcareniti (progressiva 0-1100) al contatto con le argille varicolori (progr. 1100-2000). In questo tratto i dati geofisici risultano particolarmente interessanti per delineare il contatto tra le due formazioni con i calcari che sembrano sovrascorrere le argille.*

*Altra particolarità evidente, in questo tratto, risulta la presenza di un brusco contatto resistivo-conduttivo in corrispondenza dell'avvallamento nel versante (progr.300-350), associabile a materiale conduttivo (marne?) e ove possibile alla presenza di una struttura.*

*Analogamente risulta evidente la caratterizzazione geofisica delle formazioni e la definizione dei vari contatti successivi: calcareniti, mediamente resistive, nel tratto 1300-1600 e 2000-2600, con le sottostanti argille varicolori, conduttive, in affioramento, nelle tratte 1100-1300 e 1600-2000.*

*Altrettanto evidente risulta anche il carattere conduttivo delle "Argille e marne" del tratto 2600-2900.*

*Per quanto riguarda la porzione profonda della sezione si sottolinea la presenza di tre corpi resistivi associabili a formazioni di natura calcarea.*

**SEZIONE L03**

*La sezione è stata realizzata lungo la parte terminale della galleria di accesso. Ribadisce in modo significativo quanto evidenziato dall'omologo tratto della Sezione L02 rappresentando, tra l'altro, un valido esempio di "consistenza" del metodo di indagine utilizzato.*

*Il dato più significativo è rappresentato dalla conferma della presenza della formazione conduttiva al di sotto del calcare in affioramento.*

**SEZIONE L10**

*Evidenzia la sovrapposizione tra le argille varicolori e il calcare. Lo spessore delle argille è massimo nel tratto iniziale, verso ovest, mentre il calcare è sub affiorante nella seconda parte del profilo.*

*Si evidenzia inoltre la possibile presenza di due faglie in prossimità dell'attacco di entrambi i versanti.*

**SEZIONE L13-L14**

*Si sviluppano a partire dal bacino di Monte Alto sino a raccordarsi alla posizione della centrale studiate nei precedenti rapporti (profili L02-L03).*

*L'insieme dei materiali indagati evidenzia la diffusa presenza di elementi resistivi riconducibili a calcari e calcareniti.*

*Relativamente alla sezione L13 si evidenzia una certa omogeneità litologica interrotta da bruschi contatti laterali di probabile natura tettonica (progressiva 200, 470-580, 850).*

*Nella fase profonda tra le progressive 350-600 si osserva una diminuzione di resistività imputabile ad un probabile cambiamento dello stato fisico dei materiali (fratturazione, ecc.).*

*Per quanto riguarda la sezione L14 s'identifica un'unità decisamente resistiva nella porzione superficiale (primi 50-70 m dal p.c.) con progressivo decadimento dello stato d'addensamento dei materiali (probabili fratturazioni).*

*Vengono individuati dei bruschi contatti laterali imputabili a probabili faglie (progressive 150, 400, 520, 930, 1050).*

**SEZIONE L15**

*Si sviluppa lungo l'asse della programmata galleria d'accesso con direttrice N-S.*

*Evidenzia una natura prevalentemente conduttiva riferibile ad una predominanza di materiali argillosi.*

*In particolare nella porzione superficiale fra le progressive 100-800 si osservano dei terreni relativamente resistivi riferibili ad elementi marnosi-marnosoarenacei.*

*Di seguito si sviluppa l'unità argillosa e, solo in profondità, nel settore centrale (800-1150) si tende ad un certo incremento dei valori di resistività.*

*La posizione iniziale del profilo (0-100) avverte l'inizio dell'unità calcarea.*

**SEZIONE L16**

*La sezione tomografia elaborata evidenzia la diffusa presenza di elementi conduttivi a predominanza argillosa per una potenza investigata di circa 200/230m.*

*La porzione settentrionale del profilo mostra il passaggio ad elementi più resistivi di natura marnoso-marnoso arenacea il cui contatto potrebbe essere di natura tettonica.*



## C-1.2 RILIEVO MAGNETOTELLURICO IN ALTA FREQUENZA

### C-1.2.1 Generalità

Il metodo di indagine geofisica definito Magnetotellurica (MT) è parte del gruppo dei metodi di prospezione del sottosuolo basati sullo studio delle caratteristiche **elettriche** dei materiali, il parametro fondamentale è quindi la **resistività apparente** ( $\rho$ ). In particolare la MT è uno dei metodi definiti “elettromagnetici” dove la  $\rho$  è calcolata utilizzando la teoria dei fenomeni che governano la propagazione dei **campi elettromagnetici (EM)**.

Nelle misure di MT il campo EM primario è costituito dai campi naturali che derivano dall'energia generata nello spazio a grande distanza dalla zona di lavoro (teoria delle “plane waves”) nella magnetosfera e nella ionosfera superiore. Sfruttando tale energia, che penetra per chilometri la superficie terrestre, è possibile calcolare i valori di  $\rho$  fino a profondità di decine di chilometri. Il rilievo in alta frequenza è limitato a profondità inferiori (>1000 m) tramite la registrazione di segnali provenienti da distanze inferiori, in genere l'attività temporalesca dell'atmosfera. Tramite il valore di  $\rho$ , espresso in funzione della frequenza del segnale EM, è quindi possibile caratterizzare e discriminare le diverse unità geologiche e ricostruirne la geometria nel sottosuolo.

Come accennato la resistività apparente è calcolata dalla misura, sulla superficie del terreno, del campo EM naturale. Semplificando è possibile affermare che il valore di  $\rho$ , espresso in ohm x m, è funzione del rapporto fra i valori dei campi elettrico e magnetico (E/H) ed è calcolata in funzione della frequenza del segnale EM misurato. Campionando in continuo, e per un intervallo di tempo adeguato, il segnale EM naturale è successivamente possibile, tramite l'“analisi spettrale” del segnale, ricostruire una curva che esprime la variazione della  $\rho$  in funzione della frequenza e quindi della profondità.

Con un rilievo “in continuo” cioè lungo profili costituiti da singole stazioni disposte con elevata densità laterale (50m), come nel caso in esame, è possibile l'elaborazione di un modello bidimensionale, in termini di formazioni geofisiche, della sezione indagata.

### C-1.2.2 Acquisizione dati - Dotazione strumentale

Unità di acquisizione AMT/MT tipo MT1/MT24HF

Sensori magnetici EMI BF-4, BF-7, BF-6

Ricevitori GPS per la sincronizzazione delle Unità di acquisizione

Elettrodi acciaio e impolarizzabili

Garmin e-trex Summit

ATLANTA Reflectorless Laser

GPS differenziale Sokkia

Teodolite laser Topcon GPT-2009

GPS Topcon MAP-R con antenna MG-A1



Fig.1 Unità di acquisizione MT e AMT

### C-1.2.3 Acquisizione dati - Procedure operative

L'acquisizione dei dati prevede diverse fasi operative che è possibile riassumere come segue:

1. Ricognizione dettagliata delle aree, tracciamento linee;
2. Rilevamento plano-altimetrico delle stazioni;
3. Installazione dei sensori;
4. Acquisizione e registrazione dati;

#### Tracciamento linee e posizionamento stazioni

La prima fase di lavoro comporta un'attenta ricognizione realizzata allo scopo di individuare tutti gli eventuali ostacoli e sorgenti di disturbo elettromagnetico presenti sul territorio, informazioni necessarie sia in questa fase sia nella successiva elaborazione. Si rende così possibile l'eventuale modifica dei tracciati di progetto allo scopo di minimizzare l'impatto dei disturbi sui dati da registrare.

#### Rilevamento planoaltimetrico

Una volta tracciate le linee, i punti di stazione sono stati oggetto di un adeguato rilievo plano-altimetrico per la restituzione delle coordinate XYZ di ogni stazione.

#### Installazione dei sensori

I sensori elettrici e magnetici sono collocati sul terreno con opportune procedure. Il campo elettrico è misurato tramite opportuni dipoli ortogonali (Ex-Ey) di lunghezza variabile con la tipologia di acquisizione: 50 m per l'alta frequenza (AMT) e 50-100 m per la bassa frequenza MT in senso lato. Nel presente rilievo sono stati utilizzati dipoli da 50 m. Alle estremità dei dipoli si collocano gli opportuni elettrodi che assicurano il contatto con il terreno, collocati in trincee opportunamente preparate allo scopo di ridurre al massimo il valore della "resistenza di contatto". Anche i sensori magnetici (Hx-Hy), con particolare riguardo all'acquisizione in "bassa frequenza" devono essere sistemati in trincee di 30-40 cm di profondità necessari per prevenire le vibrazioni da parte degli agenti atmosferici. Procedura viceversa non necessaria per i sensori di AMT.

## Acquisizione e registrazione dati

L'acquisizione dati si realizza tramite il campionamento del segnale EM secondo un'opportuna frequenza. Le frequenze più elevate (96/48/5 KHz) e quindi tempi rapidi si utilizzano per l'AMT, mentre frequenze più basse (500/20/0.2 Hz) e quindi tempi di acquisizione più lunghi per l'MT. In genere per una stazione AMT possono essere sufficienti 15-20 mentre per un sito MT sono necessarie diverse ore (12-14) fino a oltre 24 in particolari situazioni. I dati sono registrati su opportuni supporti magnetici in forma di "serie temporali" per ogni canale registrato.

### ***C-1.2.4 Elaborazione dati - Dotazione strumentale***

- SERVER PENTIUM 3/4 - HD 300gb - RAM 512Mb cad.
- WORK STATIONS ATLON. 1.8G HZ
- WORK STATIONS ATLON. 500 MHZ.
- LAPTOP Pentium II
- Plotter A0 Encad CADJET3D
- Stampante LASER COLOR XEROX PHASER 7700
- Stampante Epson A3 colori
- Scanner A0 e A4

### ***C-1.2.5 Elaborazione dati - dotazione software***

- Autodesk MAP 2000
- Cad Overlay 14.0
- MAP Info 4.1
- ARC View 3.1
- ARC Press 1.0
- EVS environmental Visualization System
- Grapher 4.0 - Golden software
- Surfer 8.0 - Golden software
- EMI MTR2000/ACQ24, pacchetto integrato per l'acquisizione e l'elaborazione
- EMIXMT 2.2 Interpex Limited" Golden Colorado *per l'analisi 1D*
- Software sviluppati "in house" di analisi e "gridding" dati.
- Software sviluppati "in house" per l'elaborazione 2D

### ***C-1.2.6 Elaborazione dati - Procedure operative***

L'obiettivo dell'elaborazione dei dati è la trasformazione delle "serie temporali" registrate nelle grandezze fisiche (impedenza/resistività) utilizzate unitamente alle frequenze per la caratterizzazione delle diverse unità elettrostratigrafiche presenti nel sottosuolo. Dai dati registrati è inoltre prodotto il calcolo di numerosi parametri statistici atti a fornire un giudizio qualitativo delle stazioni e quindi a consentirne una selezione "pesata" per la successiva interpretazione del modello geologica.

L'elaborazione segue quindi due consolidati standard di lavoro: "time serie coherency" con l'utilizzo dei dati di una stazione di riferimento (remote reference) nel caso di bassa contaminazione del segnale registrato e "robust processing" nel caso in cui sia necessaria oltre che una selezione delle serie temporali anche una serie di filtraggi e di ricostruzione del segnale basate su diversi algoritmi statistici e di interpolazione.

Per ogni stazione registrata è quindi prodotta una curva di resistività apparente rappresentata in funzione della frequenza.

La fase finale dell'elaborazione consiste nel processo di "inversione" di tali curve che si esplica con l'applicazione di algoritmi di calcolo 1D e 2D per la definizione di un modello elettrostratigrafico del sottosuolo e la ricostruzione bidimensionale dei profili indagati.

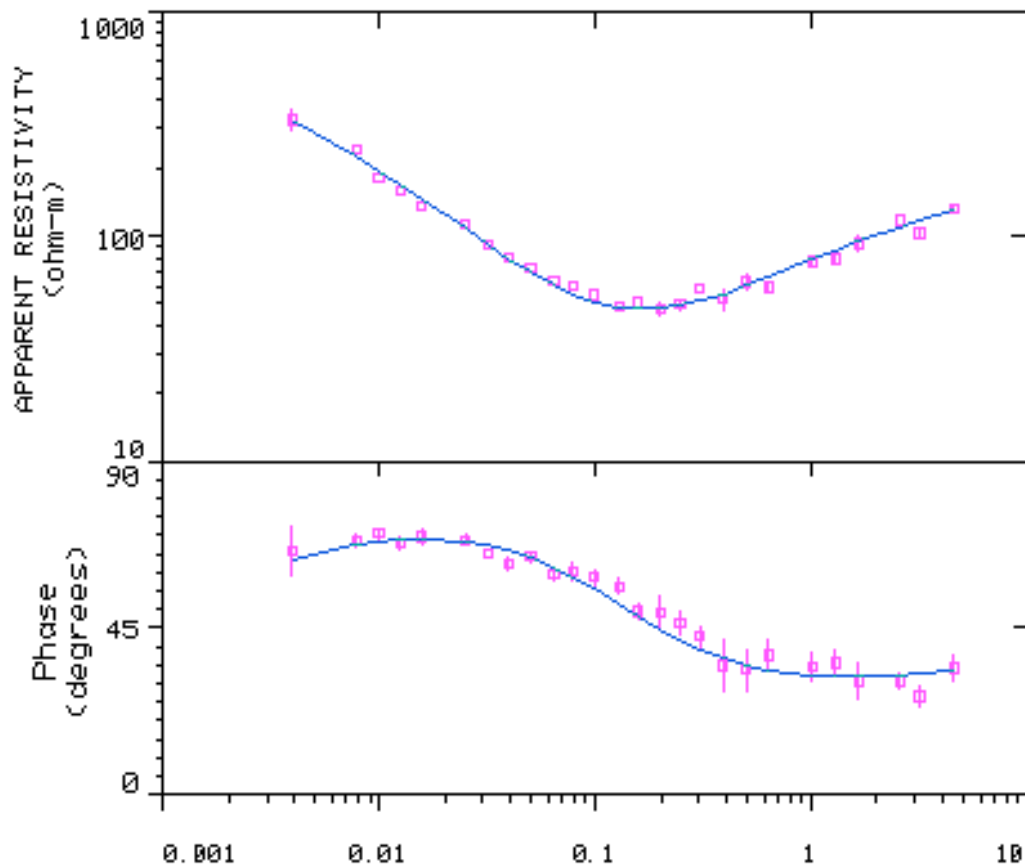


Fig. A - Resistività apparente

### **C-1.2.7 Analisi dei dati**

Come accennato il prodotto finale dell'elaborazione del rilievo è rappresentato dalla Sezione 2D dei profili acquisiti - All. C-2.

L'osservazione di tali sezioni consente di cogliere alcuni dei principali risultati del lavoro svolto:

- La caratterizzazione in termini di resistività elettrica si dimostra molto efficace per la ricostruzione dello stile stratigrafico dell'area.
- Si evidenzia chiaramente la distinzione tra le formazioni geologiche caratterizzate da una componente più marnosa, con valori di resistività relativamente più bassi (unità conduttive - colore azzurro) e le formazioni più decisamente calcaree, definite da valori più elevati (unità resistive - colore giallo/arancione/rosso).
- Unità intermedie sono caratterizzate da differente incremento della componente calcarea e dallo stato di fratturazione (colore verde)
- Tale distinzione evidenzia inoltre i rapporti geometrici e spaziali tra le unità geofisiche definendo sia, in senso verticale, i principali contatti stratigrafici, sia in senso orizzontale ove, in genere, le variazioni laterali definiscono contatti di tipo tettonico.

Lo schema geofisico si può sintetizzare in:

- **da p.c. sino a quota -250**, si registrano terreni più resistivi con elementi a valori più elevati nella porzione superficiale
- **da -250 a -650m**, alternanza di elementi con resistività medio-bassa (colore verde/azzurro)
- **oltre 650m**, terreni relativamente conduttivi alla base un'unità relativamente resistiva di natura calcarea

### C-1.3 SINTESI DEI RILIEVI GEOFISICI

Il profilo longitudinale rappresentato in All. C-3 sintetizza i rilievi geoelettrici ed MT eseguiti.

Sulla base dei valori di resistività relativa elaborati è possibile distinguere tre macrounità geofisiche riassumibili in:

- **unità conduttiva** con resistività inferiori a 30 ohm.m riferibile ad elementi argillitici-marnosi (**colore azzurro**) particolarmente evidente nel tratto prossimo al bacino di Campolattaro e sottostante alle unità calcaree nella porzione più profonda del rilievo;
- **unità intermedia** con resistività compresa fra 50-250 ohm.m riferibile ad elementi argilliti-carlcarei fratturati in alternanza (**colore verde**);
- **unità resistive** da medie ad elevate con valori superiori a 300 ohm.m (**colore giallo-rosso**) riferibile ad elementi arenaceo-calcarei e/o calcarei addensati nella porzione più resistiva.  
Si sviluppano prevalentemente nel tratto afferente al bacino di Monte Alto.

I rapporti spaziali fra le unità sopra descritte consentono di definire i passaggi stratigrafici (verticali) e/o strutturali (orizzontali) fra le unità sopra descritte.



Via Uberti 37-20129 Milano

**Area bacino di Monte Alto – Dispersore**

**Indagine geofisica**

**RAPPORTO TECNICO**



---

## PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO

Il presente Rapporto riassume i risultati di un rilievo geofisico di dettaglio realizzati in corrispondenza del dispersore idrico presente nell'ambito dell'area di Monte Alto.

Sono stati acquisiti ed elaborati una serie di profili tomografici elettrici disposti in modo regolare nell'immediato intorno dell'area del dispersore (Fig. 1).

Sono parte integrante del Rapporto:

- Le sezioni verticali 2D (Figg. 2 - 9)
- Le elaborazioni su differenti quote a partire dalla quota assoluta di 874,00 m s.l.m. sino alla quota 852,00 m s.l.m. (Figg. 10 - 16)
- Le elaborazioni in 3D in isovolumi per le unità inferiori ad 80 ohm.m (Fig. 17) e maggiori di 30 ohm.m (Fig. 18).



## TOMOGRAFIA ELETTRICA

Il rilievo di tomografia elettrica ha comportato l'esecuzione di:

- n. 2 profili (L20-L27), costituiti da 63 elettrodi equispaziati di 3 m;
- n. 6 profili (L21-L26), costituiti da 56 elettrodi equispaziati di 3 m;

la cui ubicazione è riportata nell'allegata **Planimetria di Riferimento (Fig. 1)**.

### **NOTE TEORICHE**

La metodologia generalmente definita "geoelettrica" rappresenta uno dei metodi geofisici storicamente più utilizzati per la caratterizzazione dei materiali costituenti il sottosuolo.

I recenti sviluppi dell'elettronica e delle procedure d'acquisizione datano gestite tramite software dedicati, hanno consentito di applicare questa metodica, un tempo lenta e laboriosa, ai più disparati settori dello studio del sottosuolo con tempistica e dettaglio un tempo impensabili.

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

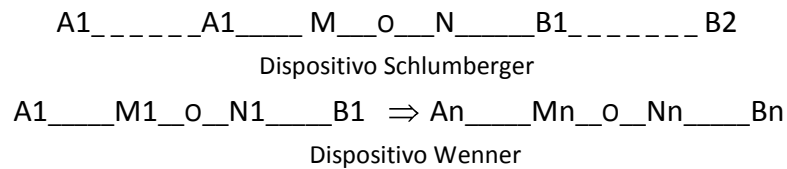
Le misure geoelettriche consentono quindi, studiando le deformazioni del flusso di corrente causate dalle diverse strutture geologiche, di caratterizzare le strutture stesse e ricostruirne la distribuzione spaziale. La resistività delle formazioni geolitologiche è determinata essenzialmente dai seguenti 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;

### **ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI**

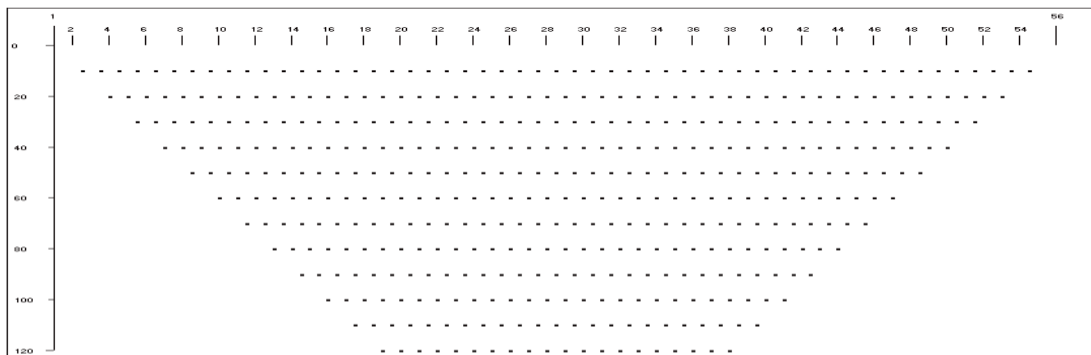
Come accennato la misura del valore di resistività elettrica dei materiali si realizza creando un campo elettrico artificiale nel mezzo da indagare e studiandone la distribuzione nel sottosuolo.

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.



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.



**Figura 1 – Tomografia elettrica – Schema misure**

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 1). 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.

### **Strumentazione utilizzata**

I dati sono stati acquisiti con l'utilizzo della seguente strumentazione:

- 1 Georesistivimetro digitale AGI - STING R1/IP (Figura 2);
- 1 Dispositivo di gestione automatica degli elettrodi AGI – SWIFT;
- 84 Elettrodi (smart electrodes) dotati di elettronica interna
- 84 Picchetti in acciaio.



**Figura 2 – Resistivimetro “STING R1/IP”**

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.



**Figura 3 – Particolare “Smart Electrode”**

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



**Figura 4 – Fase di “layout” dei profili di tomografia elettrica**

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

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.

### ***Procedure di acquisizione***

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

Ogni misura di resistività è effettuata con una ripetizione del ciclo "+--" di cui è calcolato il valore della **deviazione standard**.

### ***Procedure di elaborazione***

L'elaborazione dei dati registrati ha seguito il seguente schema:

- editing per l'individuazione e rimozione dei valori caratterizzati da un errore elevato (deviazione standard non superiore a 2%);
- ricostruzione della sezione di pseudoresistività apparente misurata;
- definizione delle dimensioni della griglia da utilizzare per l'inversione 2D;
- inversione 2D e la ricostruzione della sezione di resistività tramite iterazioni successive condotte sulla base del confronto delle pseudosezioni di resistività misurata e calcolata.

## ANALISI DEI DATI

In termini di qualità va osservato che le procedure di lavoro descritte hanno consentito di acquisire dati di un elevato livello qualitativo e pertanto il successivo processo di inversione per l'elaborazione delle sezioni finali, ha raggiunto livelli minimi di scostamento tra dati acquisiti e modello teorico.

Le sezioni allegare nelle quali, tramite le diverse gradazioni di colore, è stata rappresentata la distribuzione dei valori di resistività elettrica, mostrano il miglior modello bidimensionale possibile per ogni profilo e consentono di evidenziare la presenza di diverse **unità geofisiche**.

Facendo riferimento ai litotipi presenti nella zona, è possibile descrivere come segue tali unità geofisiche:

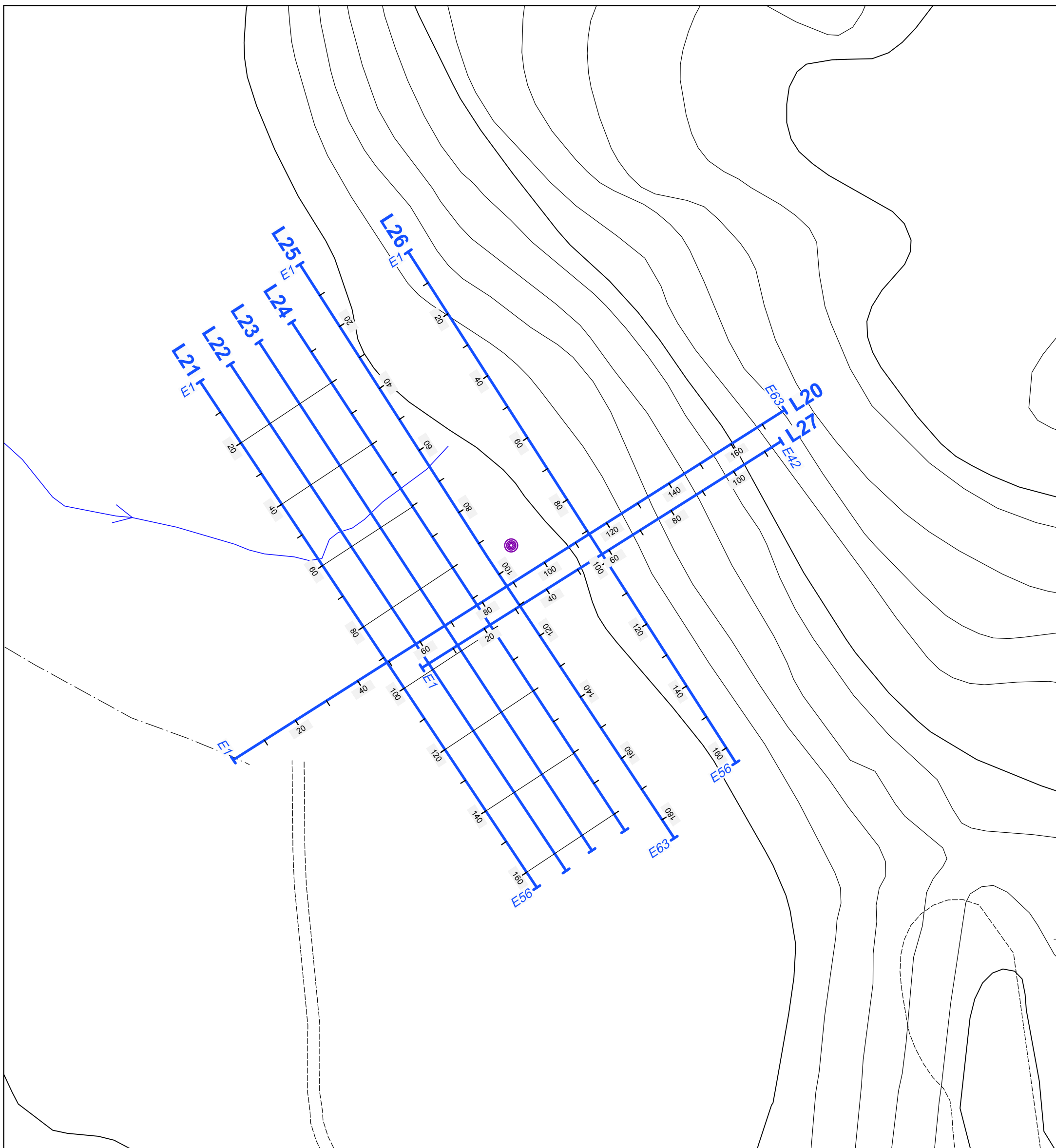
- Unità con **caratteristiche conduttive** ( $\rho < 30$  ohmxm colore azzurro-blu) costituita verosimilmente da materiali a granulometria fine, prevalentemente limo-argillosa;
- Unità con **caratteristiche resistive** ( $\rho > 500$  ohmxm - colore arancione-rosso), riferibile a materiali di natura calcarea;
- Unità **intermedie** ( $100 < \rho < 300$  ohmxm colore verde), riferibile a depositi con caratteristiche intermedie alle precedenti, riferibili alle porzioni detritiche calcaree.

Le unità risultano tanto più omogenee quanto più uniforme è la colorazione, mentre le brusche variazioni di colore sono indicative dei passaggi di stato.

La distribuzione, la geometria e la localizzazione stratigrafica delle unità, consentono di ricostruire in dettaglio il modello dell'area indagata caratterizzato dai seguenti aspetti principali:

- Le sezioni tomografiche (Figg. 2-9) evidenziano come il settore prossimo al dispersore sia interessato dalla diffusa presenza di elementi conduttivi (riempimento limo-argilloso) e non si riscontrano significative e continue strutture nel sottosuolo;
- la sezione longitudinale L25 tracciata a circa 4 metri dal dispersore localizza in corrispondenza dell'elettrodo 33, una deformazione di limitate dimensioni nei depositi conduttivi di riempimento, tale situazione si chiude attorno a quota 864;
- nella lettura in successione dal profilo L25 (Fig. 7) al profilo L21 (Fig. 3) si evidenzia lo sprofondamento del substrato con relativo riempimento con materiali limo-argillosi; il tutto confermato dai profili trasversali L20 e L27;
- La sezione trasversale L20 tracciata a 5 metri dal dispersore evidenzia un marginale riempimento in corrispondenza dell'elettrodo 30 che si spegne attorno a quota 864;
- L'analisi delle sezioni di resistività elaborate per quote diverse (da 874 a 852 m) mostra come sotto quota 860 tutto si regolarizza uniformandosi attorno ai valori del substrato calcareo;

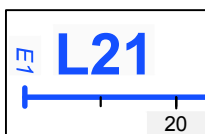
- Sempre nell'ambito del substrato roccioso ed in corrispondenza dei profili L20 ed L27 confermato dal profilo L26, si evidenzia una possibile struttura (faglia?);
- Un'ulteriore elaborazione in 3D ad isovolumi per differenti classi di resistività conferma l'andamento dei riempimenti sul substrato calcareo;
- La Fig. 17 mostra in visione 3D l'andamento morfologico del contatto delle unità superiori a 30 ohm.m
- La Fig. 18 evidenzia in 3D i riempimenti limo-argillosi in corrispondenza della sezione L25 confermando l'omogeneità dei depositi stessi.



Committente:  
**REC**  
 L'ENERGIA DALLA FONTE.  
 Via Uberti 37-20129 Milano

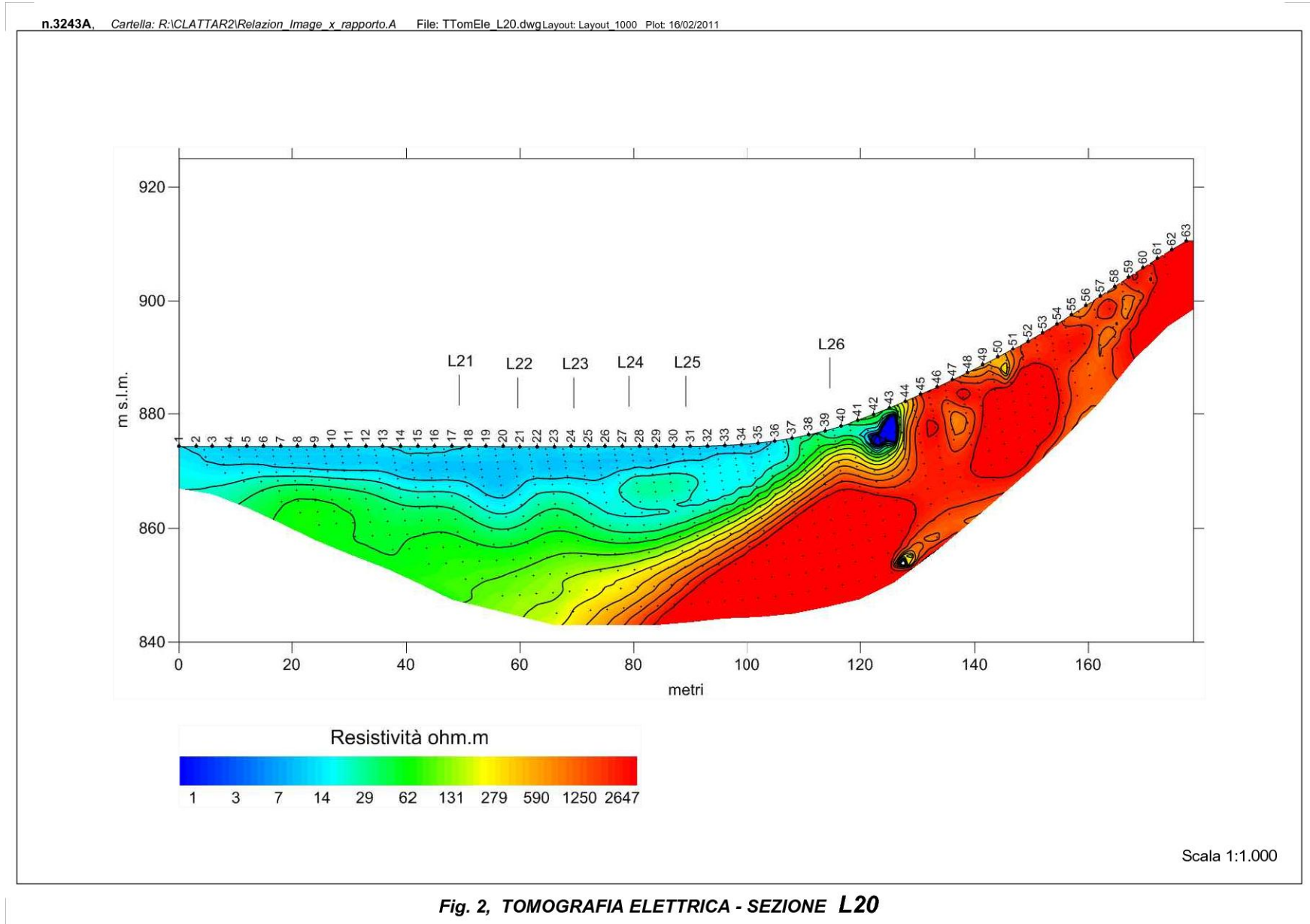
Oggetto: **Bacino Monte Alto**  
**AREA DISPERSORE**  
 Titolo: **PLANIMETRIA DI RIFERIMENTO**

**RILIEVO TOMOGRAFICO ELETTRICO**

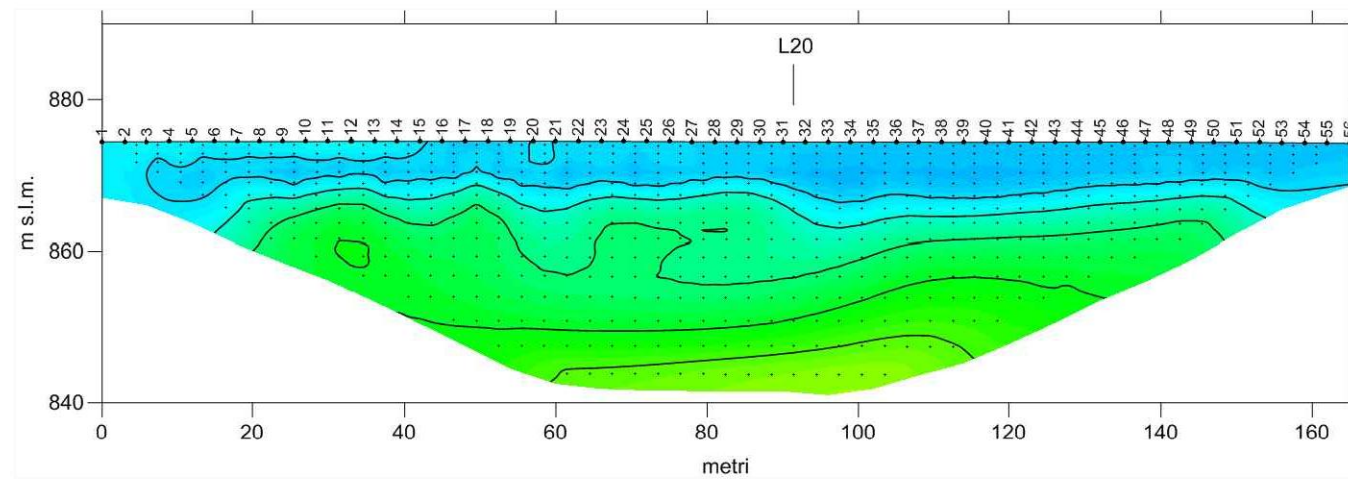


Traccia con progressive in metri





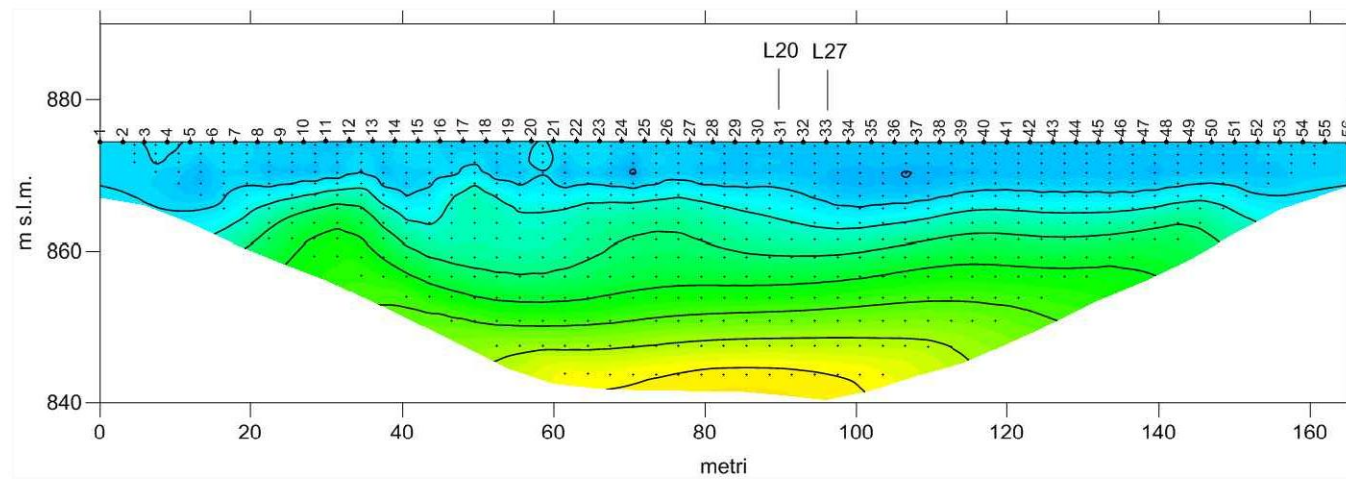
n.3243A, Cartella: R:\CLATTAR2\Relazion\_Image\_x\_rapporto.A File: TTomEle L21.dwg Layout: Layout\_1000 Plot: 16/02/2011



Scala 1:1.000

Fig. 3, TOMOGRAFIA ELETTRICA - SEZIONE L21

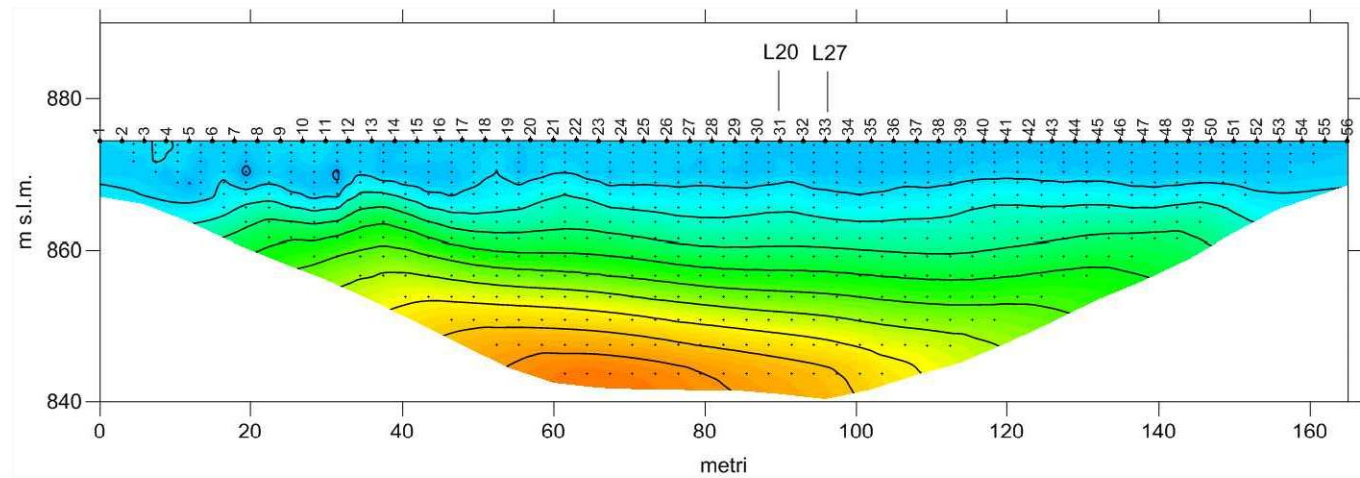
n.3243A, Cartella: R:\CLATTAR2\Relazion\_Image\_x\_rapporto.A File: TTomEle\_L22.dwgLayout: Layout\_1000 Plot: 16/02/2011



Scala 1:1.000

**Fig. 4, TOMOGRAFIA ELETTRICA - SEZIONE L22**

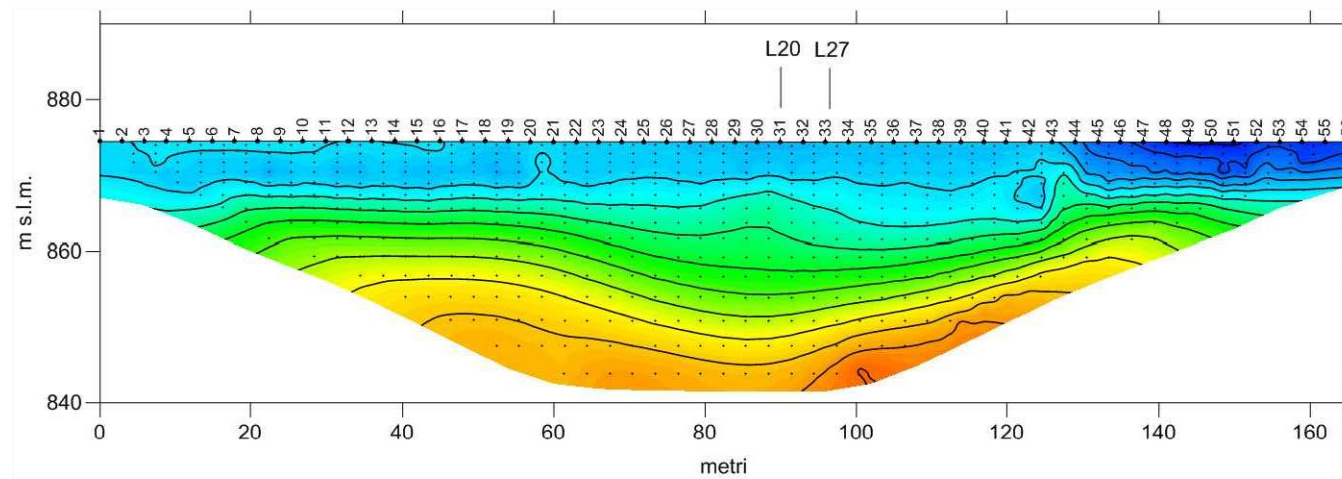
n.3243A, Cartella: R:\CLATTAR2\Relazion\_Image\_x\_rapporto.A File: TTomEle\_L23.dwg Layout: Layout\_1000 Plot: 16/02/2011



Scala 1:1.000

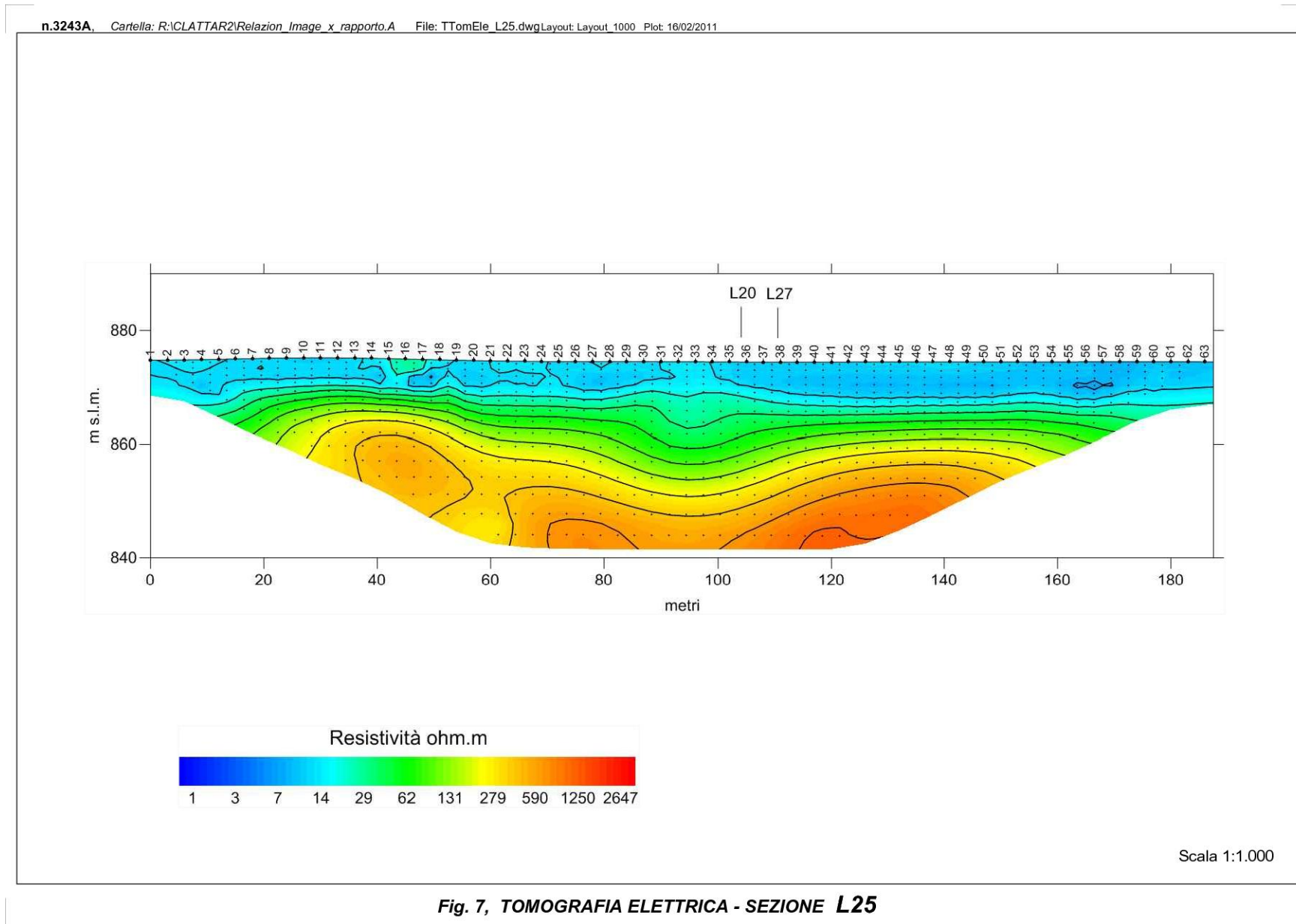
**Fig. 5, TOMOGRAFIA ELETTRICA - SEZIONE L23**

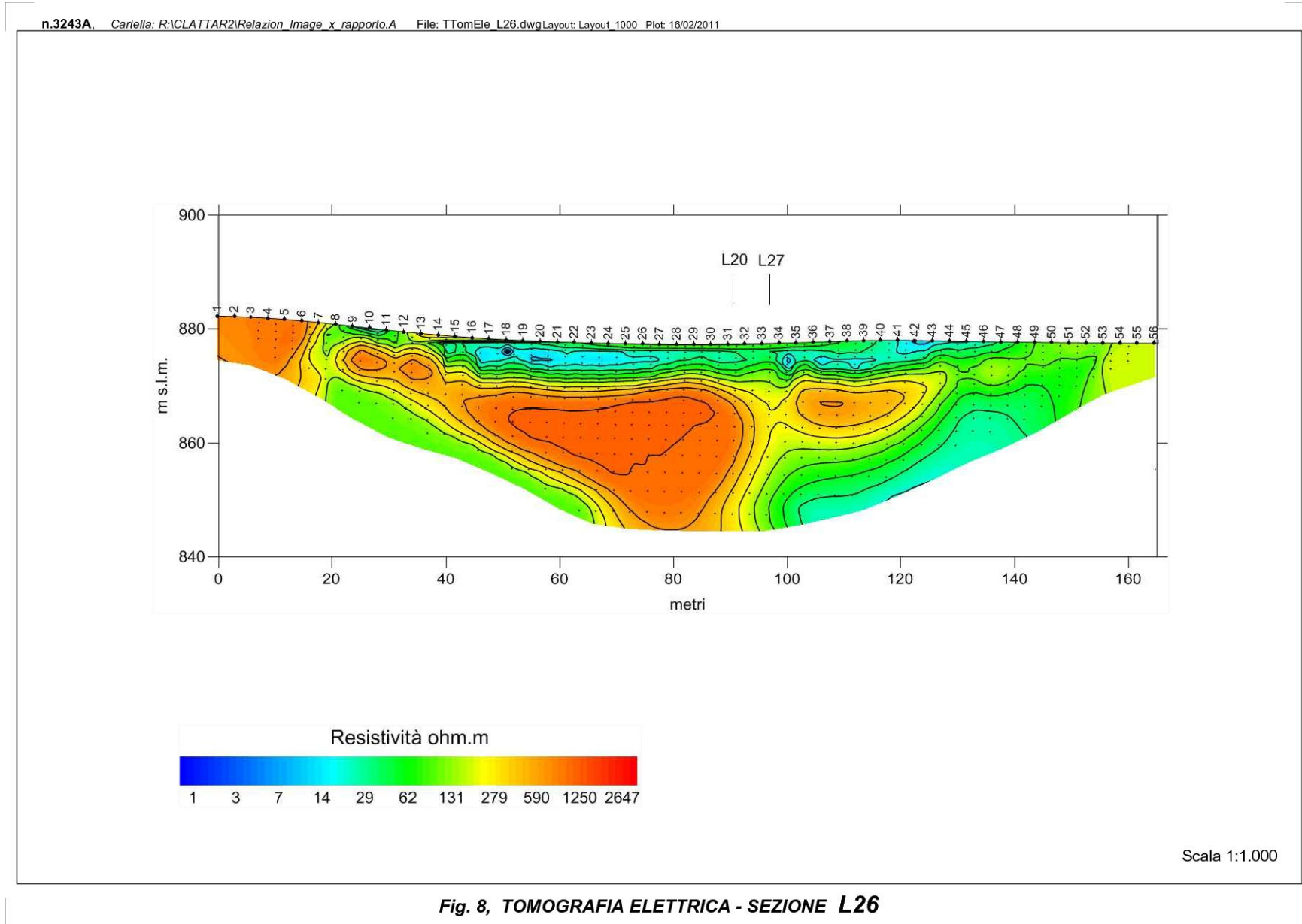
n.3243A, Cartella: R:\CLATTAR2\Relazion\_Image\_x\_rapporto.A File: TTomEle L24.dwg Layout: Layout\_1000 Plot: 16/02/2011



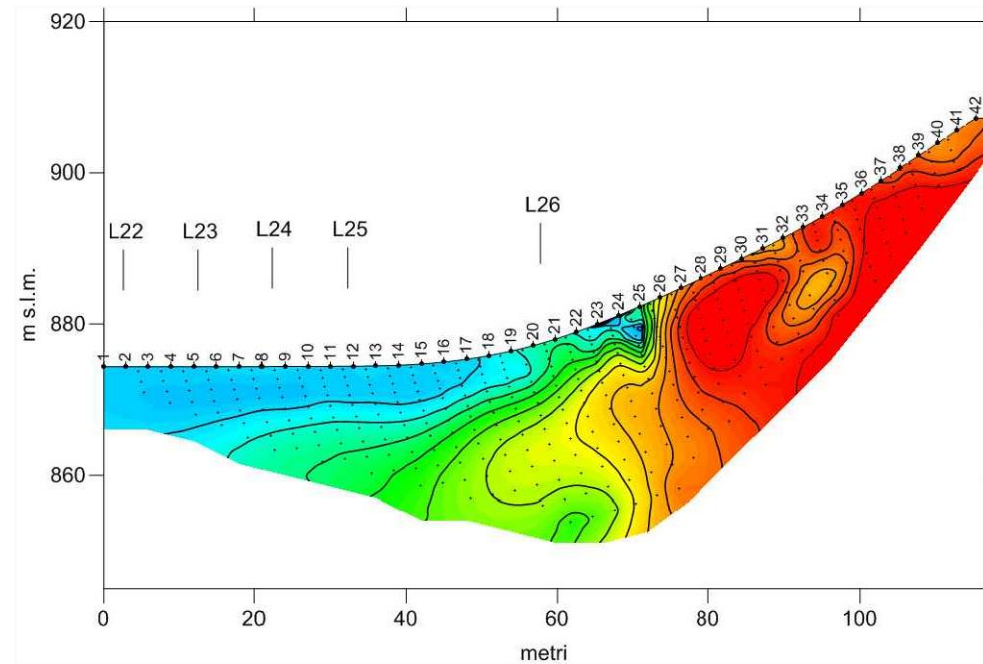
Scala 1:1.000

**Fig. 6, TOMOGRAFIA ELETTRICA - SEZIONE L24**





n.3243A, Cartella: R:\CLATTAR2\Relazion\_Image\_x\_rapporto.A File: TTomEle\_L27.dwgLayout: Layout\_1000 Plot: 16/02/2011



Scala 1:1.000

Fig. 9, TOMOGRAFIA ELETTRICA - SEZIONE L27



n.3243A, Cartella: R:\CLATTAR2\Relazion\_Image\_x\_rapporto.A File: TTomEle\_SezOriz\_Q874.dwg Layout: Layout\_1000 Plot: 16/02/2011

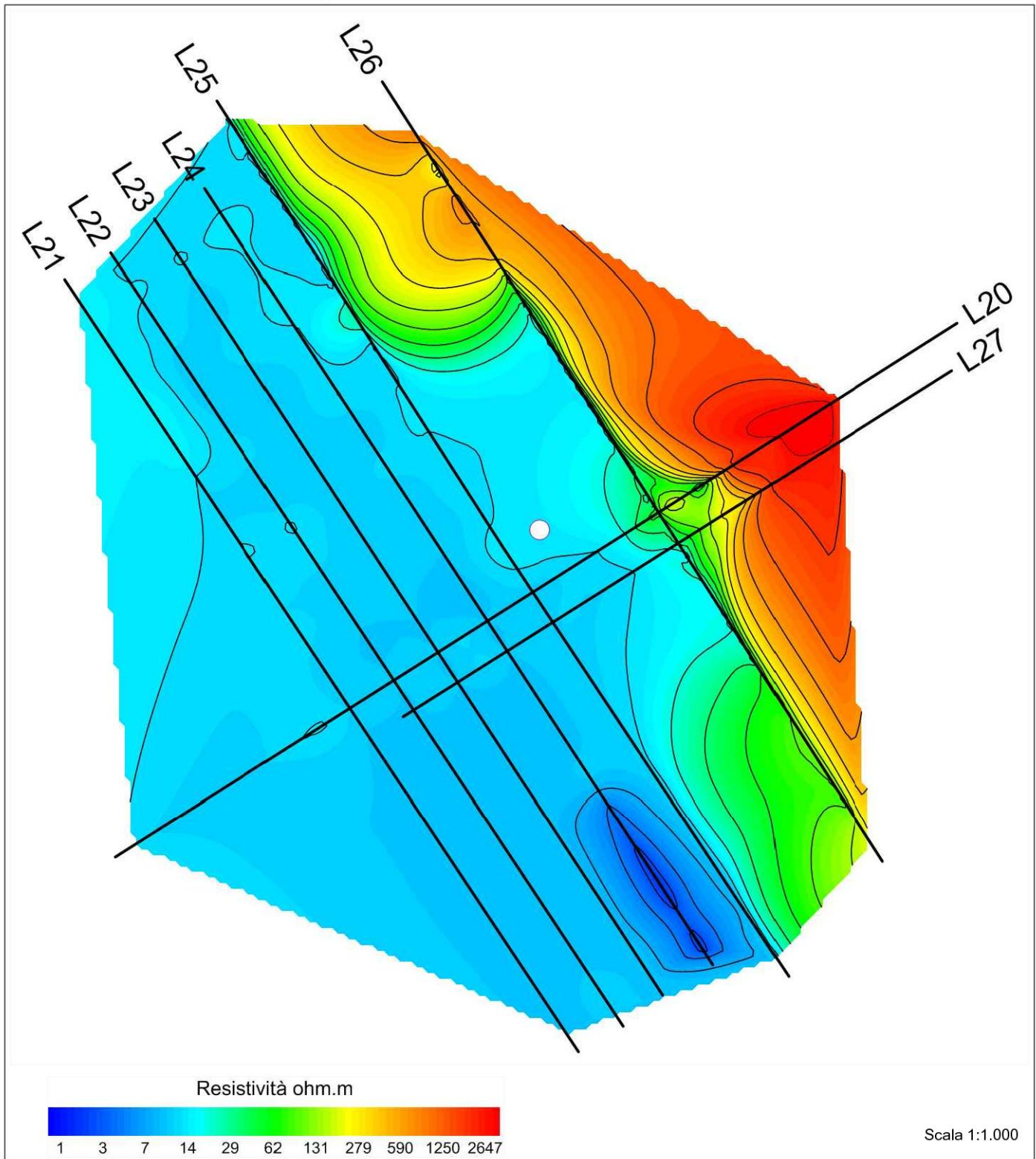


Fig. 10, TOMOGRAFIA ELETTRICA - SEZIONE orizzontale Q=874 m s.l.m.

n.3243A, Cartella: R:\CLATTAR2\Relazion\_Image\_x\_rapporto.A File: TTomEle\_SezOriz\_Q872.dwgLayout: Layout\_1000 Plot: 16/02/2011

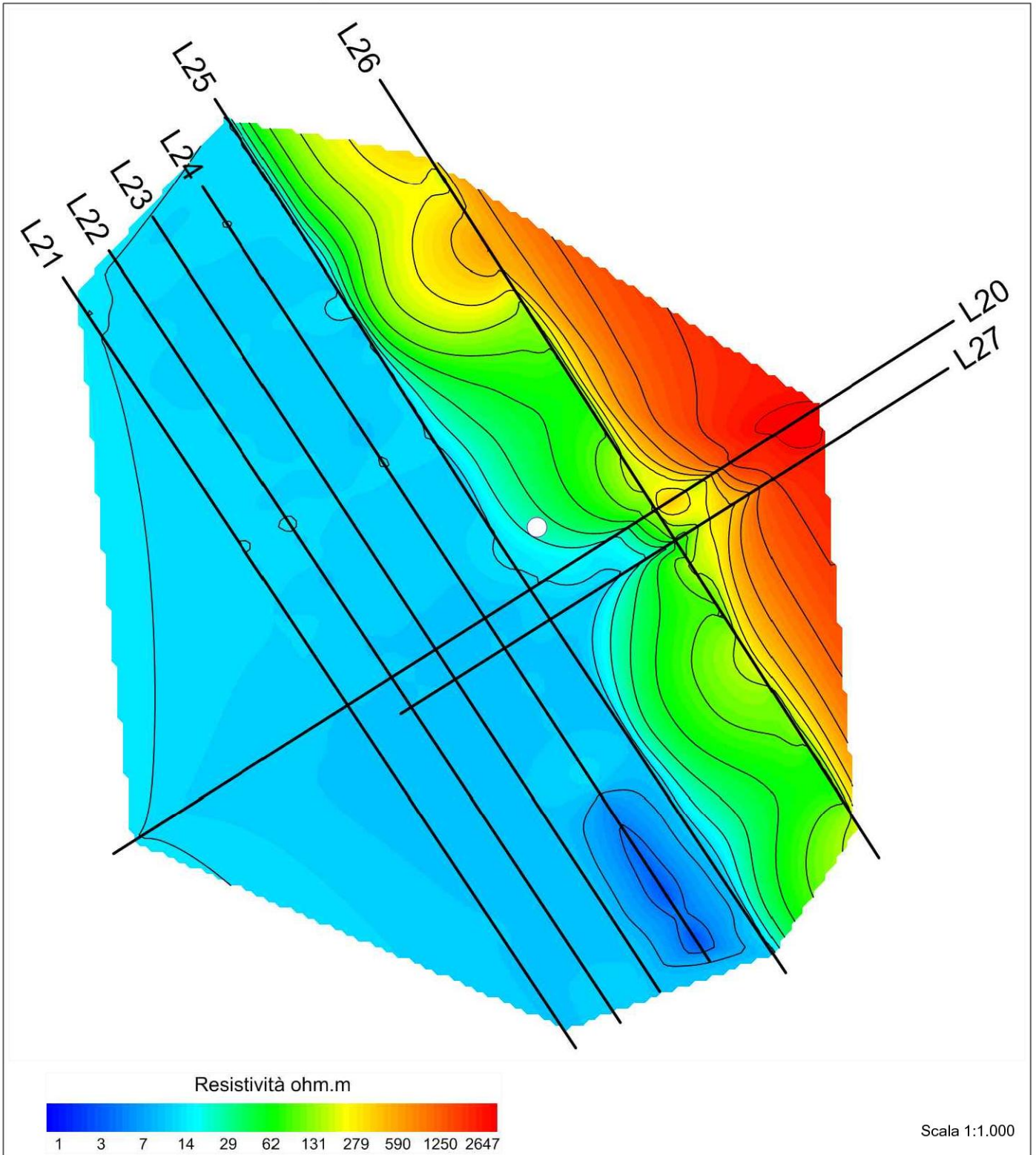


Fig. 11, TOMOGRAFIA ELETTRICA - SEZIONE orizzontale Q=872 m s.l.m.

n.3243A, Cartella: R:\CLATTAR2\Relazion\_Image\_x\_rapporto.A File: TTomEle\_SeZOriz\_Q868.dwgLayout: Layout\_1000 Plot: 16/02/2011

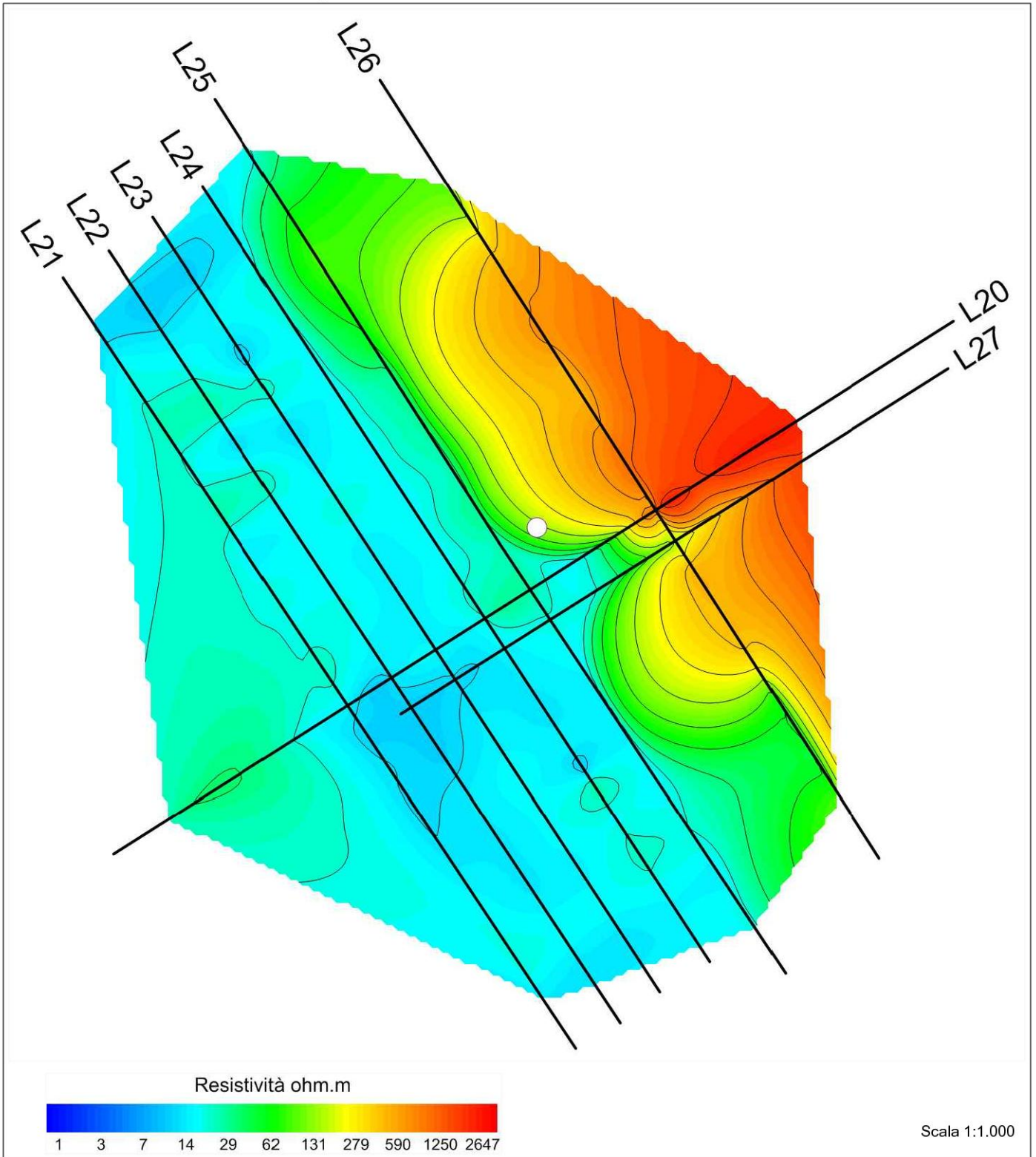


Fig. 12, TOMOGRAFIA ELETTRICA - SEZIONE orizzontale Q=868 m s.l.m.

n.3243A, Cartella: R:\CLATTAR2\Relazion\_image\_x\_rapporto.A File: TTomEle\_SezOriz\_Q864.dwg Layout: Layout\_1000 Plot: 16/02/2011

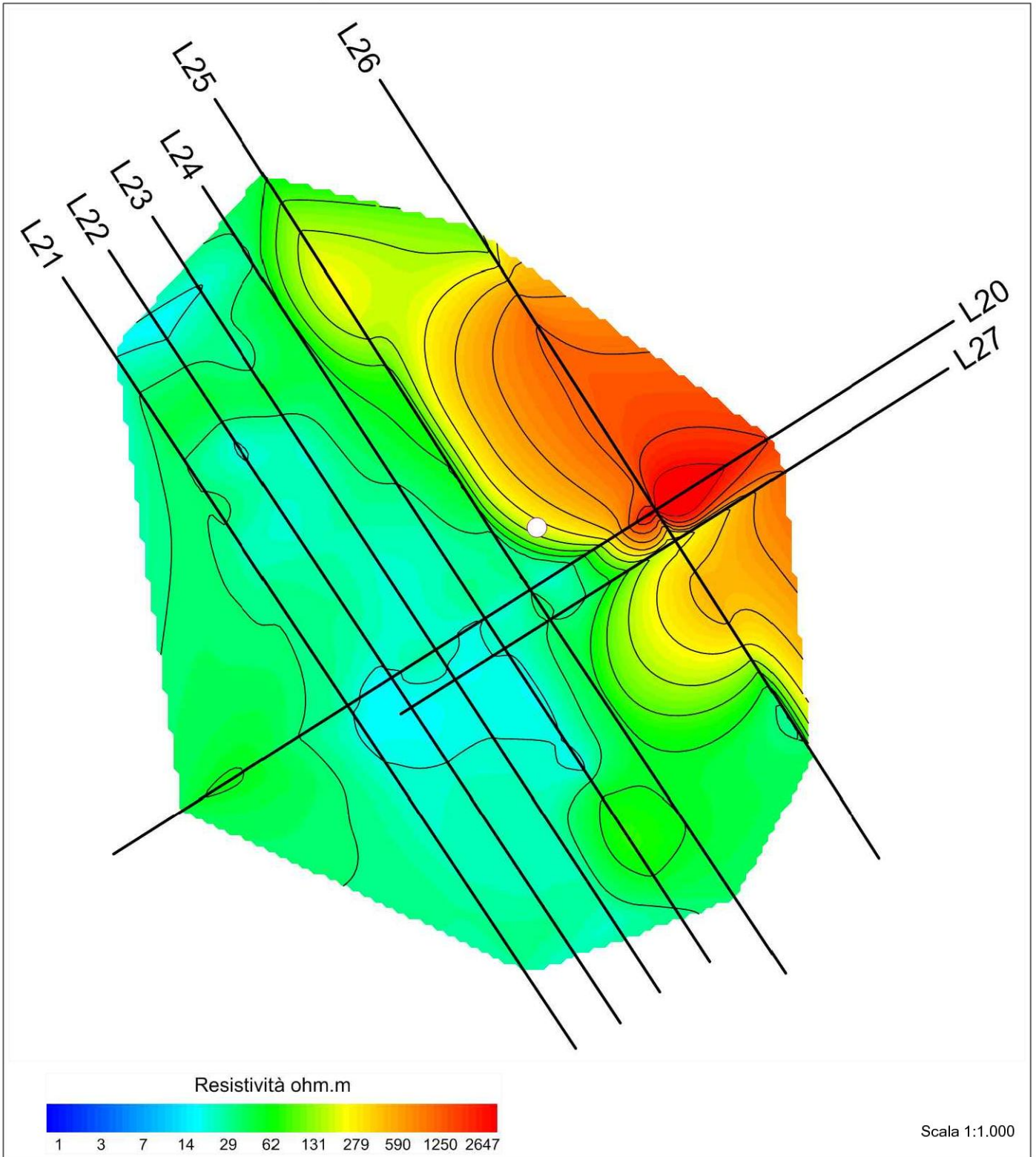


Fig. 13, TOMOGRAFIA ELETTRICA - SEZIONE orizzontale Q=864 m s.l.m.

n.3243A, Cartella: R:\CLATTAR2\Relazion\_image\_x\_rapporto.A File: TTomEle\_SezOriz\_Q860.dwgLayout: Layout\_1000 Plot: 16/02/2011

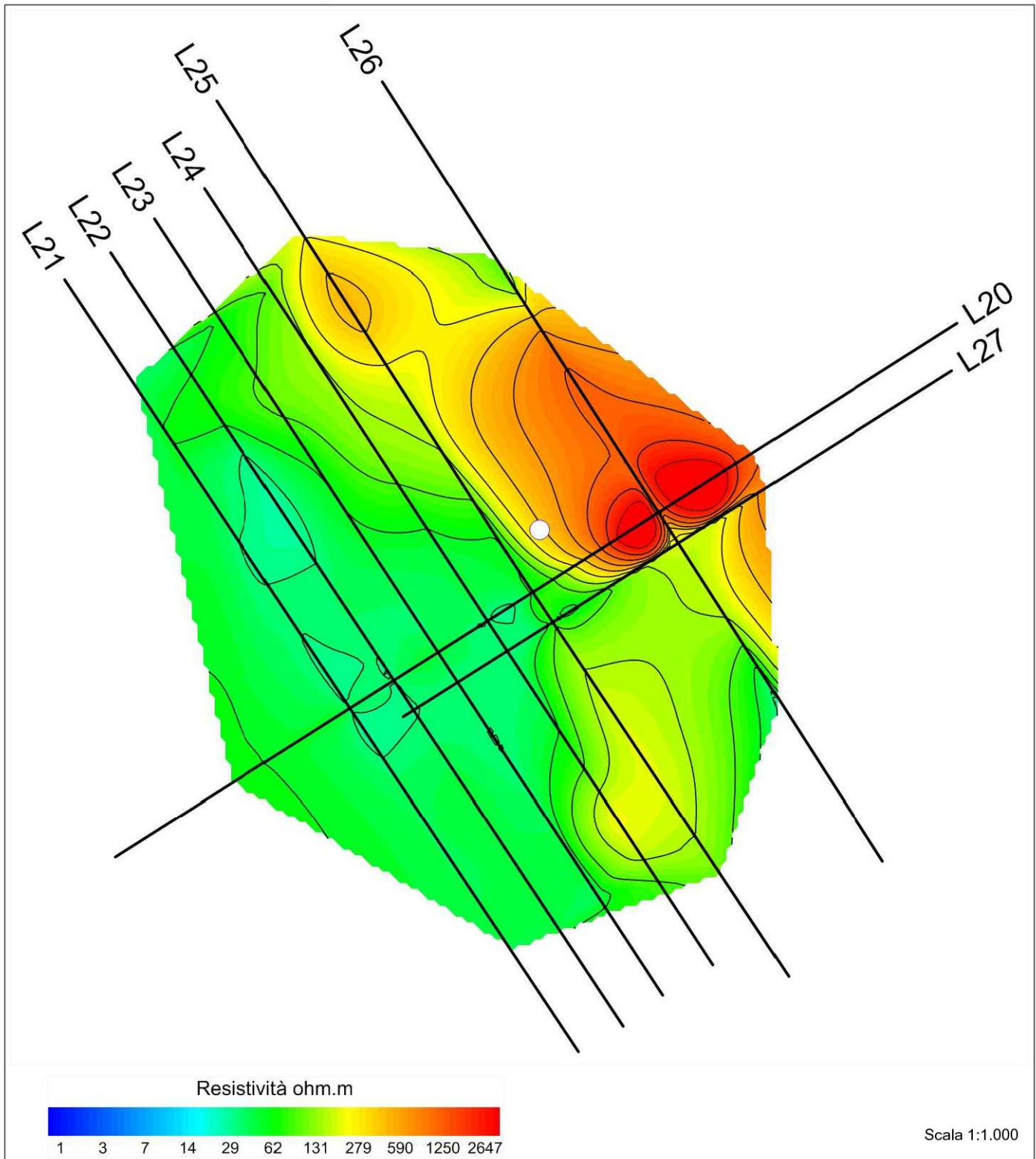
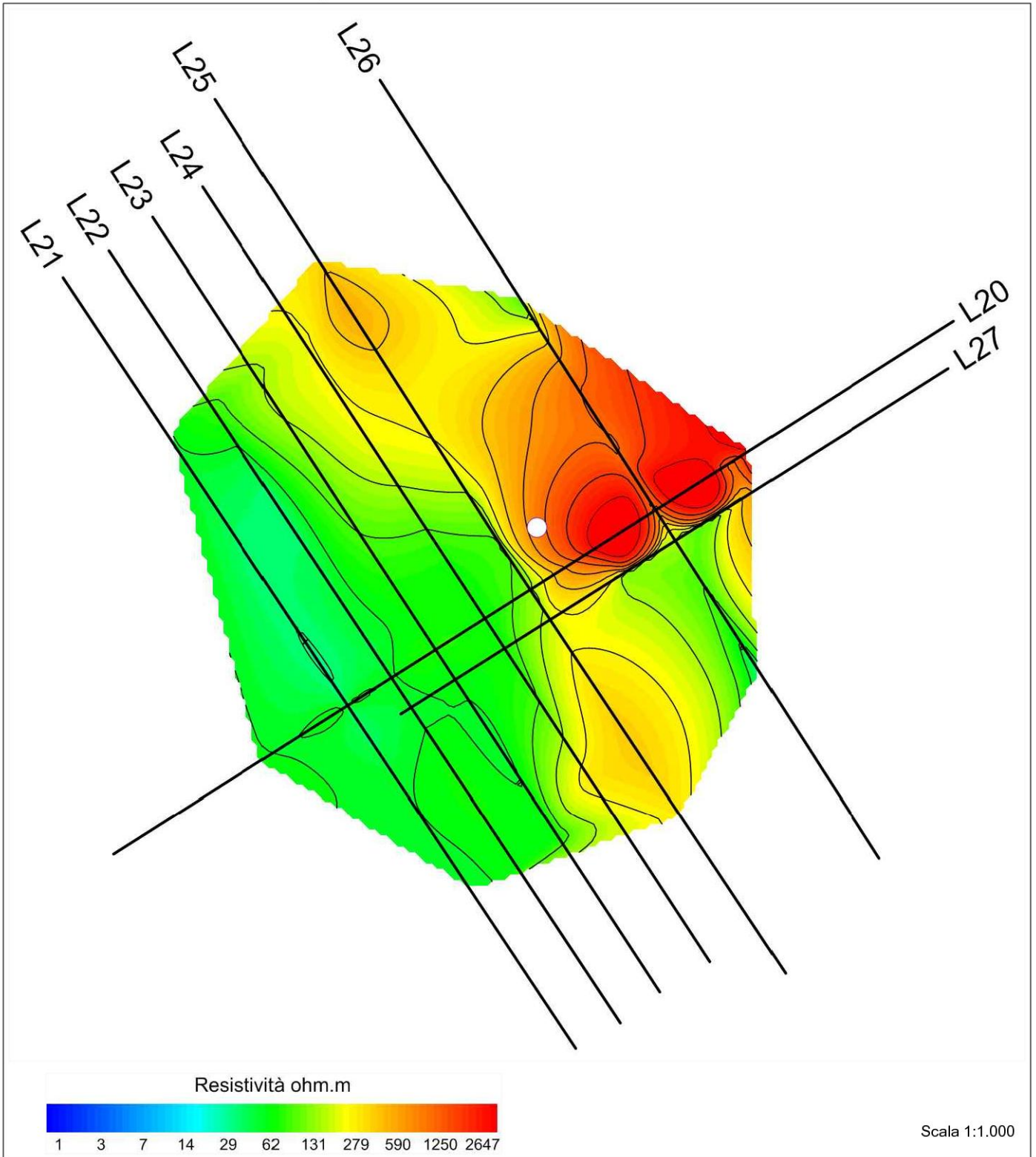


Fig. 14, TOMOGRAFIA ELETTRICA - SEZIONE orizzontale Q=860 m s.l.m.

n.3243A, Cartella: R:\CLATTAR2\Relazion\_Image\_x\_rapporto.A File: TTomEle\_SezOriz\_Q856.dwgLayout: Layout\_1000 Plot: 16/02/2011



Scala 1:1.000

**Fig. 15, TOMOGRAFIA ELETTRICA - SEZIONE orizzontale Q=856 m s.l.m.**

n.3243A, Cartella: R:\CLATTAR2\Relazion\_Image\_x\_rapporto.A File: TTomEle\_SezOriz\_Q852.dwgLayout: Layout\_1000 Plot: 16/02/2011

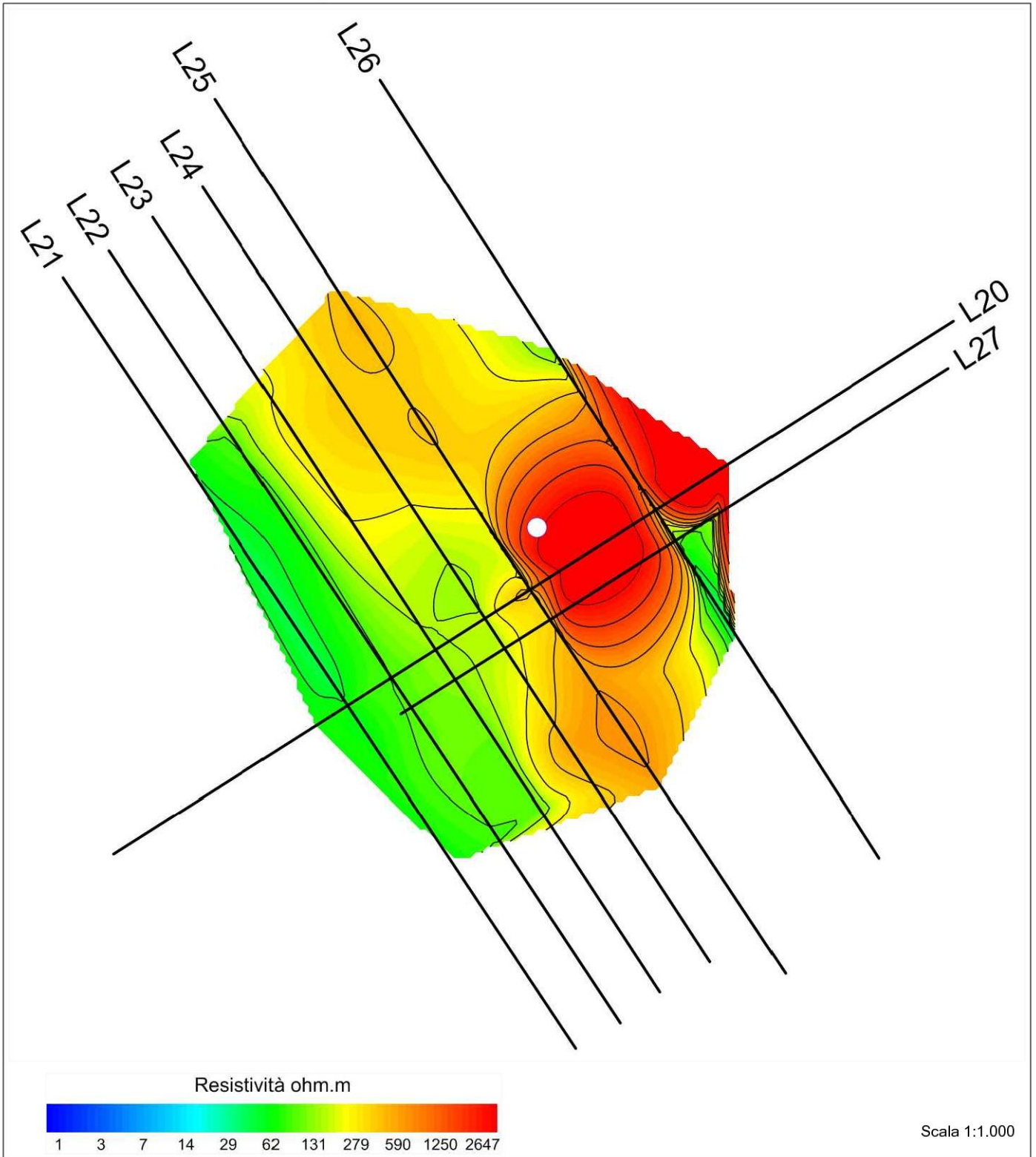


Fig. 16, TOMOGRAFIA ELETTRICA - SEZIONE orizzontale Q=852 m s.l.m.

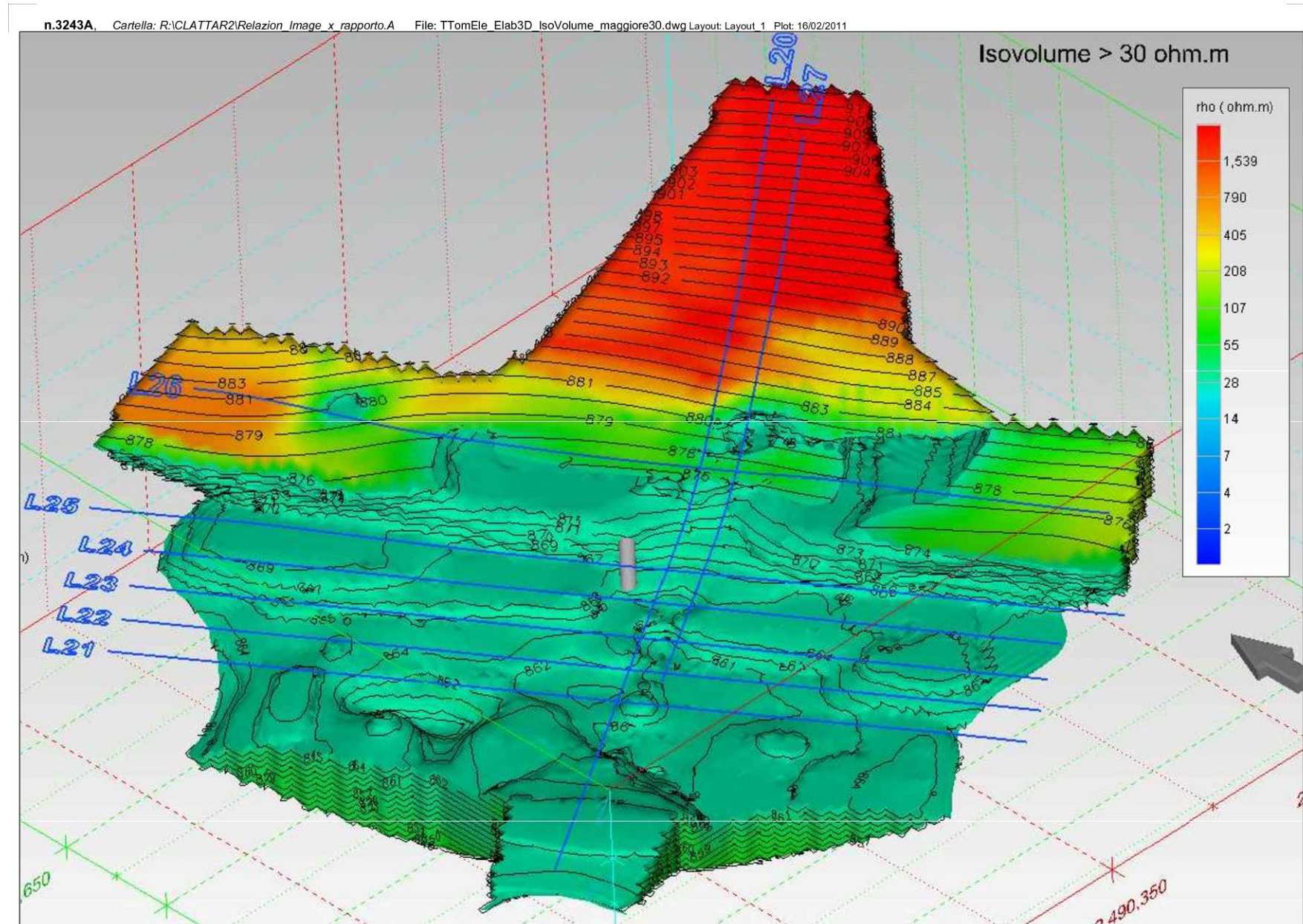


Fig. 17, TOMOGRAFIA ELETTRICA - Elaborazione 3D



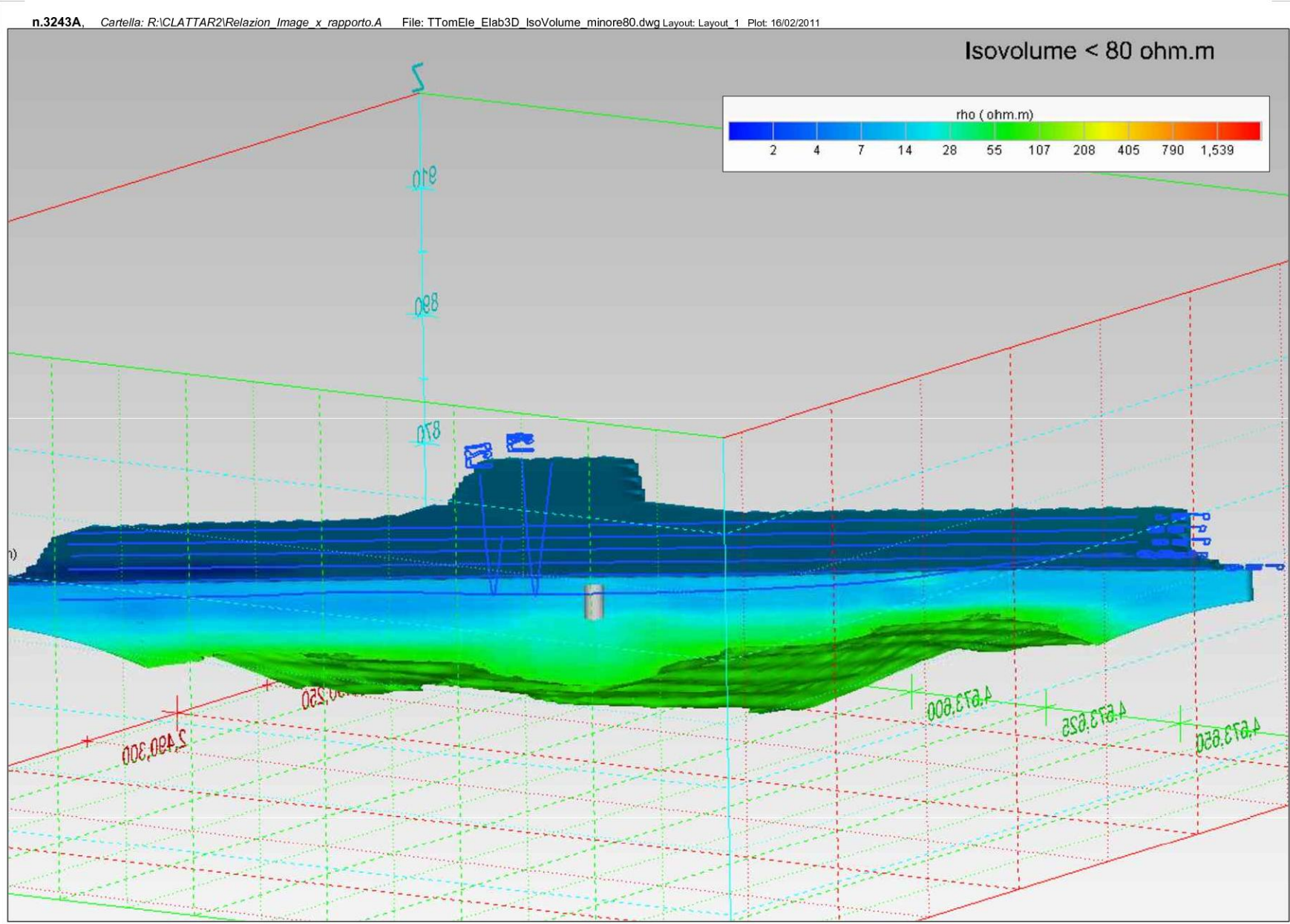


Fig. 18, TOMOGRAFIA ELETTRICA - Elaborazione 3D