

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01e s.m.i.

CUP: J14H20000440001

U.O. GEOLOGIA TECNICA, DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA

LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC BRESCIA EST - VERONA

NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST

GEOLOGIA ED IDROGEOLOGIA

REPORT INDAGINI:

CAMPAGNE GEOFISICHE PREGRESSE

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I N 1 0 1 0 D 6 9 I G G E 0 0 0 5 0 0 3 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Definitiva	F. Continelli	26.07.21	M. Solarra	26.07.21	C. Mazzocchi	26.07.21	M. Comedini 26.07.21



File: IN1010D69IGGE0005003A

n. Elab.:



LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA
LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC BRESCIA EST - VERONA
NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST

REPORT INDAGINI :
CAMPAGNE GEOFISICHE PREGRESSE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D 69 IG	GE 0005 003	A	2 di 4

INDICE

1 INTRODUZIONE3

ALLEGATO 1 – CERTIFICATI

1 INTRODUZIONE

Durante la campagna indagine ITALFERR 2014, sulla linea Brescia-Verona, per il progetto preliminare Nodo di Verona AV/AC Ingresso Ovest, sono state eseguite prove sismiche in foro di tipo Down-Hole (2) e profili tomografici elettrici per la ricostruzione dei rapporti geostratigrafici tra le unità litostratigrafiche individuate.

ALLEGATO 1 – CERTIFICATI

3.2 Elaborazione e restituzione dei dati

Sui sismogrammi registrati sono stati “letti” i tempi di arrivo sia delle onde sismiche P che delle onde S, per ogni intervallo di profondità. Il calcolo delle velocità sismiche è stato realizzato attraverso la misura della differenza di tempi fra posizioni differenti dei geofoni ed il punto di energizzazione.

Nei grafici alleati sono visualizzati i sismogrammi acquisiti ricomposti lungo la verticale, l’andamento delle velocità sismiche d’intervallo.

Nella tabella di sintesi sono rappresentate le velocità delle onde P e S calcolate ad intervalli di 1 metro; sono inoltre riportati i valori dei principali parametri dinamici dei isotipi, ricavati dall’indagine sismica:

- Velocità Onde P= VP
- Velocità Onde S= VS
- Rapporto VP/VS
- Rapporto di Poisson σ
- Modulo di taglio G din
- Modulo di Young E din
- Modulo di compressione Ev

Per il calcolo dei moduli dinamici sono stati utilizzati i valori di γ = peso di volume valutati sulla base delle litologie presenti.

3.3 Analisi dei risultati

I risultati acquisiti e sintetizzati negli elaborati di seguito allegati possono essere riassunti in:

Down-Hole DH1

- Sino a 6.00 metri dal p.c. i valori di Vp risultano inferiori a 1500 m/sec: tra -6.00/-14.00 metri dal p.c. i valori di Vp sono dell’ordine di 1550/1660 m/sec seguono, sino a fondo foro, valori di Vp attorno 1800 m/sec;
- Vs assume valori medi attorno 700/800 m/sec salvo la porzione superficiale con valori inferiori a 600 m/sec

Down-Hole DH5

- Si registrano Vp inferiori a 1700 m/sec nella porzione superficiale, quindi valori attorno a 1400 m/sec sino a -12.00 dal p.c., seguono fino a fondo foro valori di 1500/1600 m/sec;
- Le velocità Vs si attestano prevalentemente attorno a valori di 800 m/sec, riduzioni significative fra 400/500 m/sec sono individuate nella porzione superficiale;

Le prove **DH** registrate non hanno evidenziato particolari disomogeneità nei terreni indagati.

Per ogni singola prova è stato calcolato il valore delle Vs₃₀ e quindi la relativa classe di suolo, il tutto riassunto nella seguente tabella

Prova	Vs ₃₀	Classe suolo
DH1	670	B
DH5	645	B

Documentazione Fotografica DH1



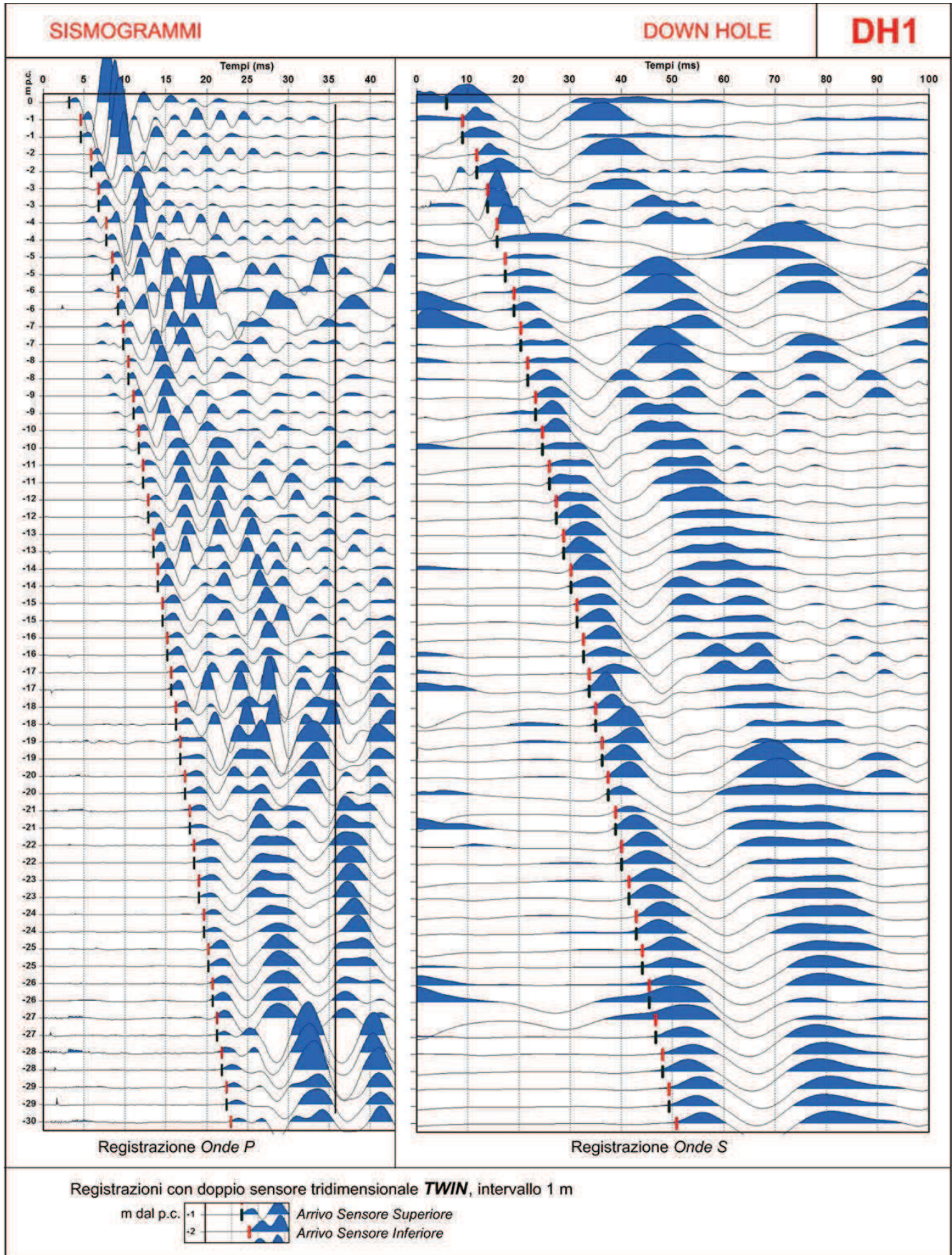
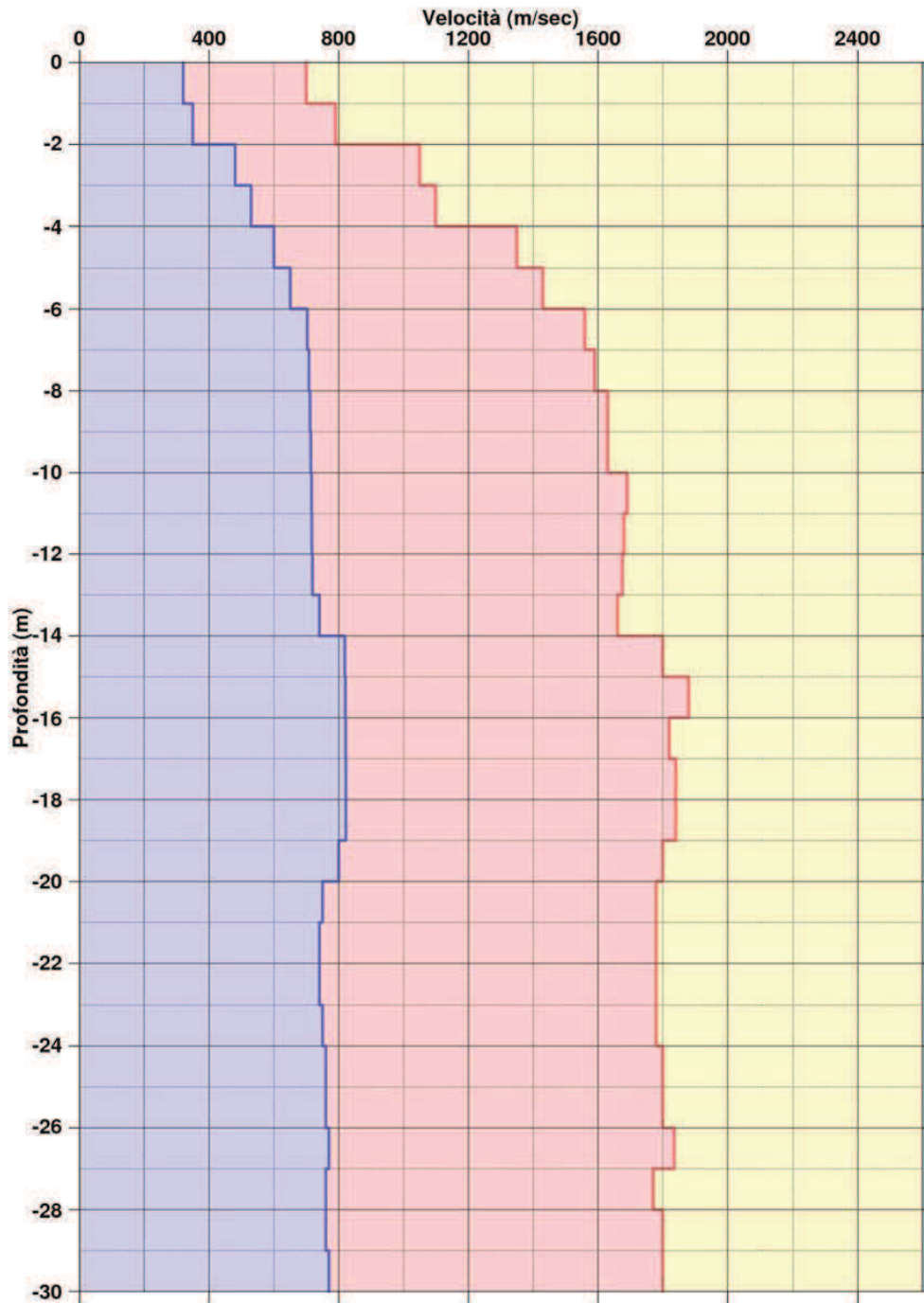


GRAFICO VELOCITÀ

DOWN HOLE

DH1



Velocità
Onde VSH



Velocità
Onde VP

Vs30 = 670 m/sec

Classificazione sismica del
suolo di fondazione:

Categoria B

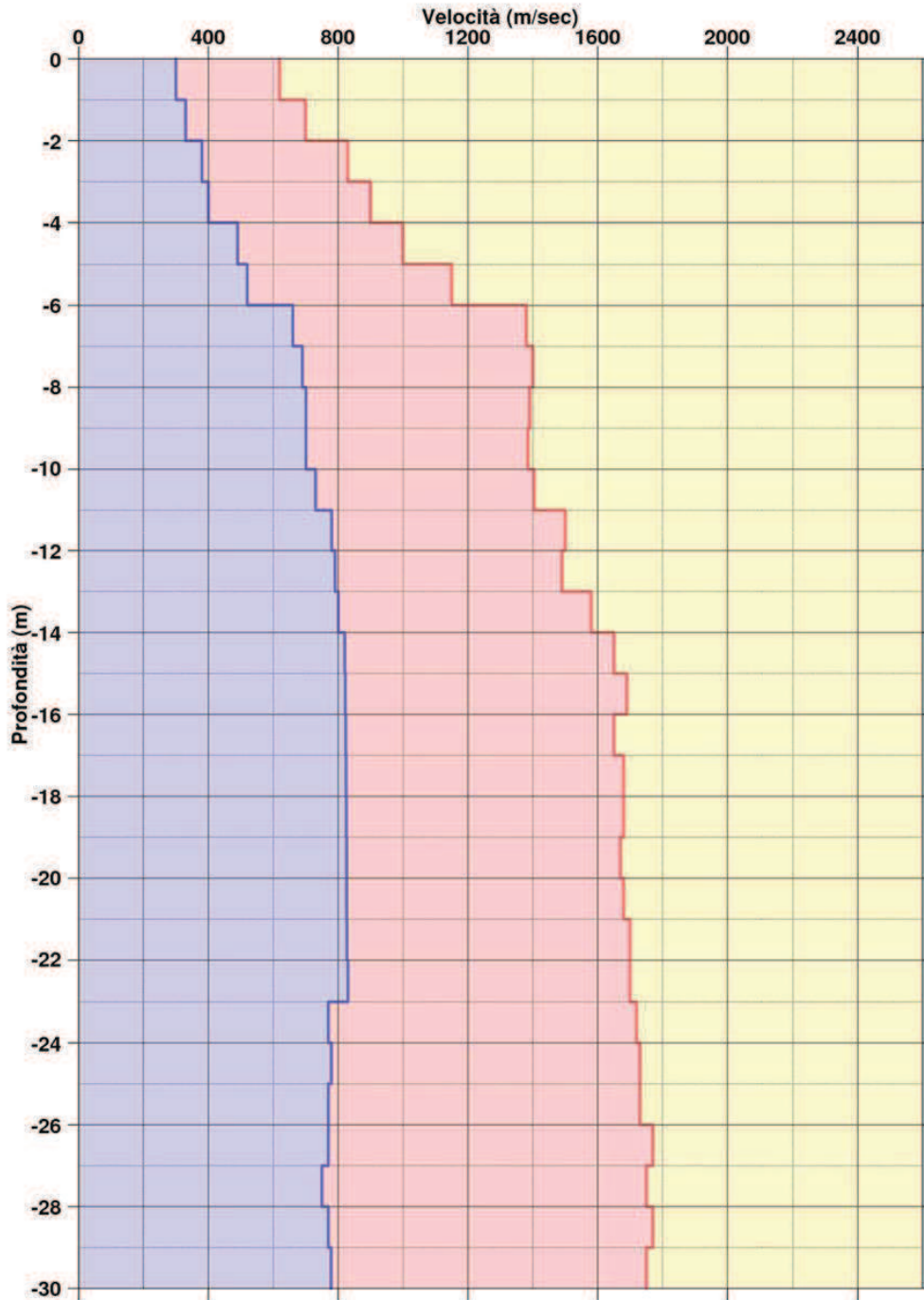
Documentazione Fotografica DH5



GRAFICO VELOCITÀ

DOWN HOLE

DH5



Velocità
Onde VSH



Velocità
Onde VP

Vs30 = 645 m/sec

Classificazione sismica del
suolo di fondazione:

Categoria B

4 RILIEVO TOMOGRAFICO ELETTRICO

Al fine di una ricostruzione stratigrafica continua su sezioni bidimensionali sono stati eseguiti quattro profili tomografici elettrici con elettrodi intervallati ogni 3 metri per le sezioni **L1, L3, L4** e 4 metri per il profilo **L2**.

L'ubicazione dei profili sono riportati nella planimetria generale ed è stata definita in accordo con la Committenza.

Sono parte integrante del rilievo le sezioni di resistività con relativa proposta interpretativa su unità geolitologiche.

4.1 Tomografia elettrica / Metodologia

Le metodologia "geoelettrica" rappresenta uno dei metodi geofisici storicamente più utilizzati per la ricostruzione delle strutture presenti nel sottosuolo con particolare riferimento alle tematiche legate alla caratterizzazione delle diverse formazioni geolitologiche.

I recenti sviluppi dell'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 tempistiche e dettaglio un tempo impensabili.

4.2 Cenni teorici

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

Le misure geoelettriche consentono, valutando le deformazioni del flusso di corrente indotte dalle proprietà fisiche dei materiali, di caratterizzare i materiali stessi e ricostruirne la distribuzione spaziale.

La resistività che caratterizza i materiali costituenti il sottosuolo, è determinata essenzialmente dai seguenti fattori:

- natura litologica (conducibilità intrinseca dei componenti di base)
- porosità e/o fatturazione e quindi forma, dimensione e continuità dei pori
- percentuale di presenza di fluidi interstiziali (essenzialmente presenza acqua)
- grado di salinità dell'acqua saturazione
- presenza di matrice fine

4.3 Modalità di misura

La misura del valore di resistività elettrica dei materiali si realizza creando un campo elettrico artificiale nel mezzo oggetto dell'indagine e studiandone la distribuzione nel sottosuolo.

Il dispositivo di misura è costituito quindi da due coppie di elettrodi metallici (quadripolo) infissi sul terreno con geometrie che si differenziano in funzione del tipo di rilievo da realizzare.

Generalmente i dispositivi utilizzati sono simmetrici rispetto ad un punto centra O al quale si riferisce il valore misurato. Per le ricostruzioni stratigrafico/strutturali, con particolare riferimento ad aree con topografia accidentata il dispositivo Schlumberger è ritenuto il più idoneo in termini di rapporto S/N e capacità risolutiva laterale.

A1_____A1_____M__O__N_____B1_____B2

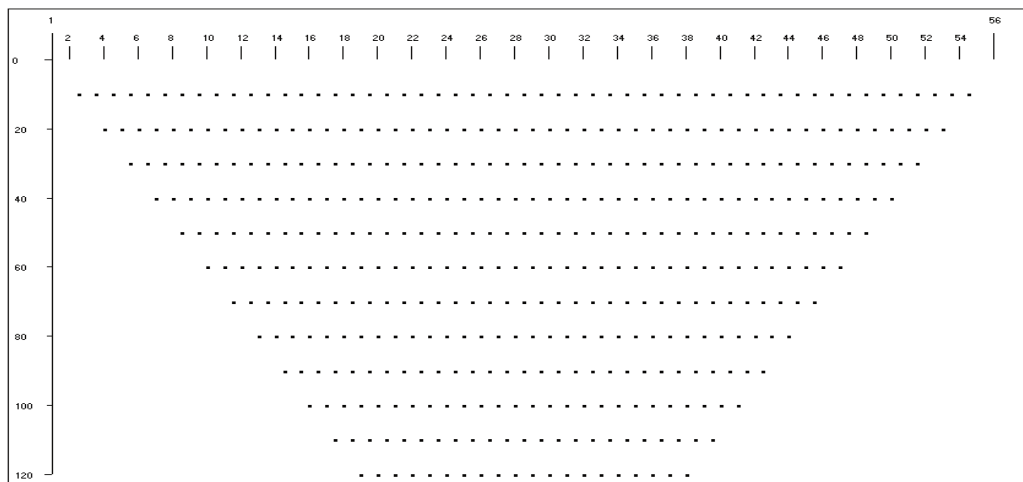
Dispositivo Schlumberger

La coppia elettrodo (A-B) costituisce il circuito con il quale s'immette corrente nel terreno misurandone l'intensità (I), la coppia elettrodo (M-N) rappresenta il circuito di misura della differenza di potenziale (DV) generata nel terreno stesso dal passaggio della corrente. Dal rapporto delle due grandezze si calcola la resistività apparente.

La profondità dell'esplorazione è direttamente proporzionale 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).

L'innovazione fondamentale introdotta nell'acquisizione tomografica è rappresentata dall'utilizzo di strumentazioni digitali "multicanale" in grado di gestire automaticamente un gran numero di elettrodi che riducono largamente i tempi di acquisizione e forniscono la misura della resistività in corrispondenza di un elevato numero di punti costituenti la sezione indagata.



Tomografia elettrica – Esempio di distribuzione delle misure

Grazie all'elevata densità dei punti si rende possibile, nella fase di elaborazione, l'applicazione di potenti algoritmi di "inversione" bidimensionale (2D) ricostruendo con estremo dettaglio, la sezione di resistività "vera", definendo in particolare gli effetti delle "variazioni laterali" e quindi restituendo una rappresentazione finale largamente corrispondente alla situazione reale.

4.4 Modalità d'intervento

La capacità della tomografia elettrica di discriminare con grande dettaglio le unità di copertura, le variazioni laterali, nonché le eventuali "inversioni di velocità" (che costituiscono un grande limite per altre metodologie) rappresenta una fondamentale caratteristica del metodo.

Gli elettrodi vengono disposti lungo stendimenti sulla superficie topografica, secondo lo schema rappresentato nella figura precedente.

In tal caso, la profondità di esplorazione è direttamente proporzionale alla lunghezza dello stendimenti, mentre il dettaglio è funzione della distanza elettrodo.

Entrambe queste dimensioni rappresentano quindi un aspetto fondamentale per la progettazione dell'intervento. In genere le indagini sono volte all'esplorazione secondo sezioni bidimensionali (2D) ma è possibile intervenire con modalità tridimensionale (3D) sia in acquisizione sia in elaborazione.

E' inoltre possibile l'elaborazione 3D sulla base di una geometria di acquisizione 2D.

I dati saranno acquisiti tramite un resistivimetro digitale del tipo A.G.I. SUPER STING R1/IP dotato di sistema automatico di commutazione degli elettrodi di misura (smart electrodes) secondo le diverse configurazioni elettroniche e pacchetto software dedicato per la gestione di tutte le fasi di rilievo.



Georesistivimetro digitale

La principale innovazione introdotta dalla strumentazione utilizzata è rappresentata dalla gestione totalmente automatizzata delle misure che si realizza grazie alla tecnologia dei cosiddetti "elettrodi intelligenti" (smart electrodes), che consente ad ogni elettrodo, dotato di elettronica interna, di essere utilizzato sia per l'invio della corrente sia per la misura del potenziale. E' quindi possibile l'acquisizione in tempi brevi di un elevato numero di punti (800/1000 punti/h).



Smart electrode

Lo strumento è in grado di gestire fino a 254 elettrodi contemporaneamente collegati, gestendo via 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

4.4.1 *Acquisizione dati*

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 ed il terreno ed eventualmente adottare le adeguate procedure di riduzione di tale parametro prima dell’inizio del processo di acquisizione.



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

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

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

4.4.2 Elaborazione dati

L'elaborazione dei dati segue il seguente schema:

- editing per l'individuazione e rimozione dei valori caratterizzati da un errore elevato (deviazione standard > 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.

I passi indicati sono sviluppati tramite l'utilizzo dei seguenti pacchetti software:

- RES2DINV 3.5

Programma che, dai dati di resistività apparente calcolata e utilizzando la tecnica di inversione smoothness-constrained least-squares, produce un modello bidimensionale di resistenza reale Vs profondità. Il programma è completamente automatico ed è stato ottimizzato per essere utilizzato con "data set" di grandi dimensioni acquisiti secondo le configurazioni Wenner, Schlumberger, polo-polo, polo-dipolo, ecc.

Tramite questo programma è inoltre possibile effettuare le adeguate correzioni topografiche. Unitamente al programma RES2DMOD costituisce un avanzato pacchetto di "inversione" e "modeling" bidimensionale. Il programma seleziona automaticamente i migliori parametri di inversione per ogni particolare set di dati e comunque i parametri che influenzano il processo di inversione possono essere modificati dall'utente.

Sono forniti tre differenti variazioni del metodo least-squares: uno molto veloce "quasi Newton", uno più lento ma più accurato "Gauss-Newton" e una tecnica ibrida mediamente veloce che include i vantaggi di entrambe i metodi precedenti.

- GOLDEN SOFTWARE – SURFER

Software utilizzato per la rappresentazione dei dati acquisiti tramite curve ad isovalori (contouring) di resistività apparente.

4.5 Analisi dei dati

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, nelle quali, tramite le diverse gradazioni di colore, è stata rappresentata la distribuzione dei valori di resistività elettrica, mostrano il miglior modello bidimensionale possibile e consentono di evidenziare la presenza di differenti unità geofisiche ed i loro rapporto stratigrafici.

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

- a) **Unità a bassa resistività relativa** (colore giallo) caratterizzata da elementi litologici relativi a sabbie con valori di resistività inferiori a 500 ohm m
- b) **Unità medio resistiva** (colore arancio) definisce elementi ghiaiosi-sabbioso con valori compresi fra 500-800 ohm m;
- c) **Unità resistiva** (colore rosso) relativa a litotipi ghiaioso-ghiaioso-sabbiosi con resistività superiore a 800 ohm m.

Le sezioni interpretative mostrano i rapporti stratigrafici fra le unità sopra descritte, inoltre viene proposto, per ogni singola sezione, un'interpretazione litostratigrafica delle unità geofisiche.

Le aeree analizzate sono prevalentemente caratterizzate da elementi resistivi (*ghiaie*) con intercalazioni medio resistive (*ghiaiose sabbie*) e con una struttura basale sabbioso-ghiaioso probabilmente satura.

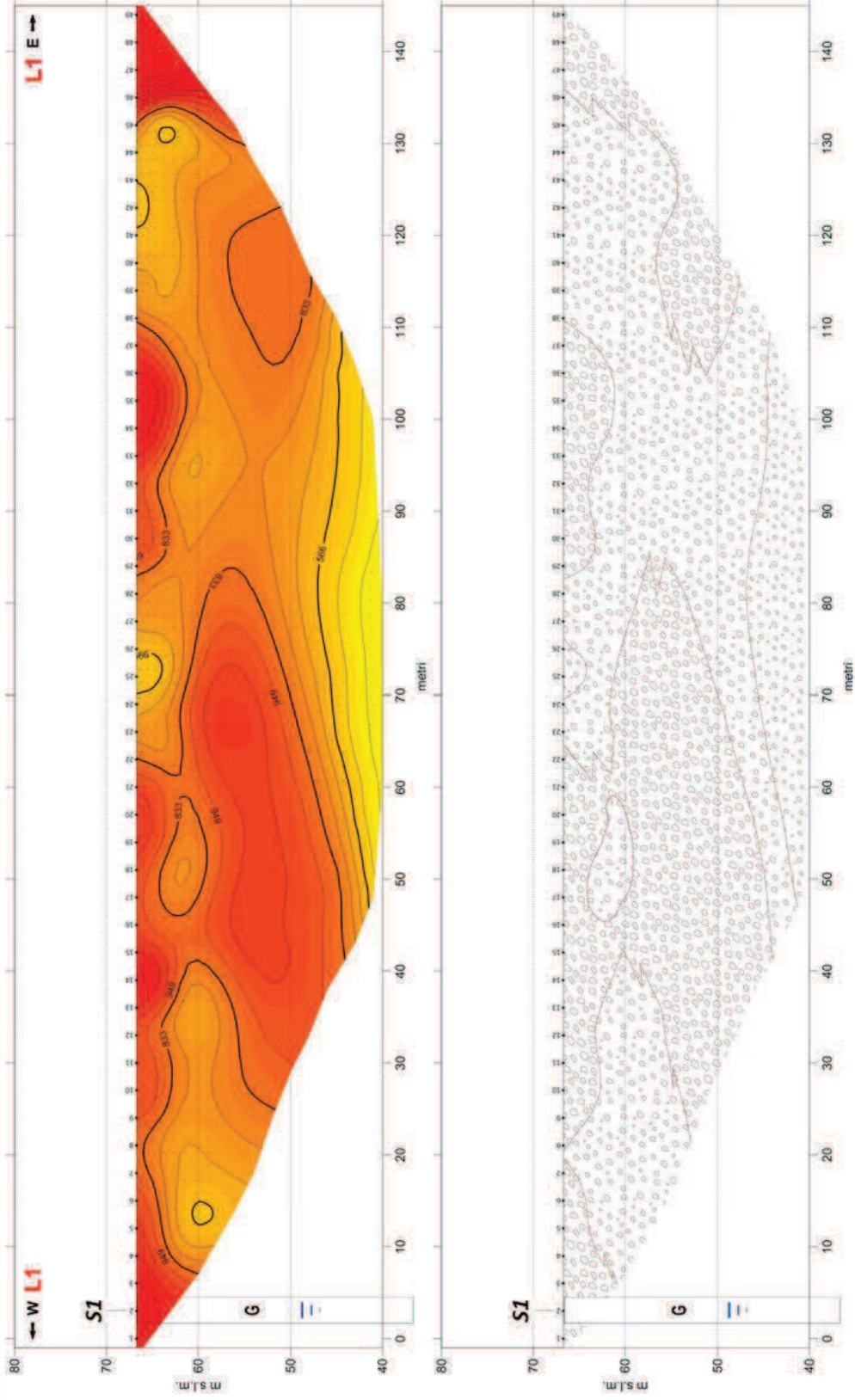
Nello specifico la sezione **L1** evidenzia una diffusa presenza di elementi ghiaiosi con intercalazioni di litotipi sabbioso e ghiaiosi; nella porzione basale si osserva un'unità bassa resistività passante ad elementi sabbiosi.

La sezione **L2** evidenzia la diffusa presenza di elementi ghiaiosi con elementi più sabbiosi nella porzione orientale.

La sezione **L3** evidenzia due distinti settori litologici con elementi prevalentemente ghiaiosi ad occidente mentre si incrementano le componenti sabbioso-ghiaiose nella porzione orientale.

Sezione **L4**, assai omogenea nella sua componente ghiaiosa con debole copertura sabbiosa e evidenzia un'unità di fondo ove si incrementano gli elementi sabbiosi.

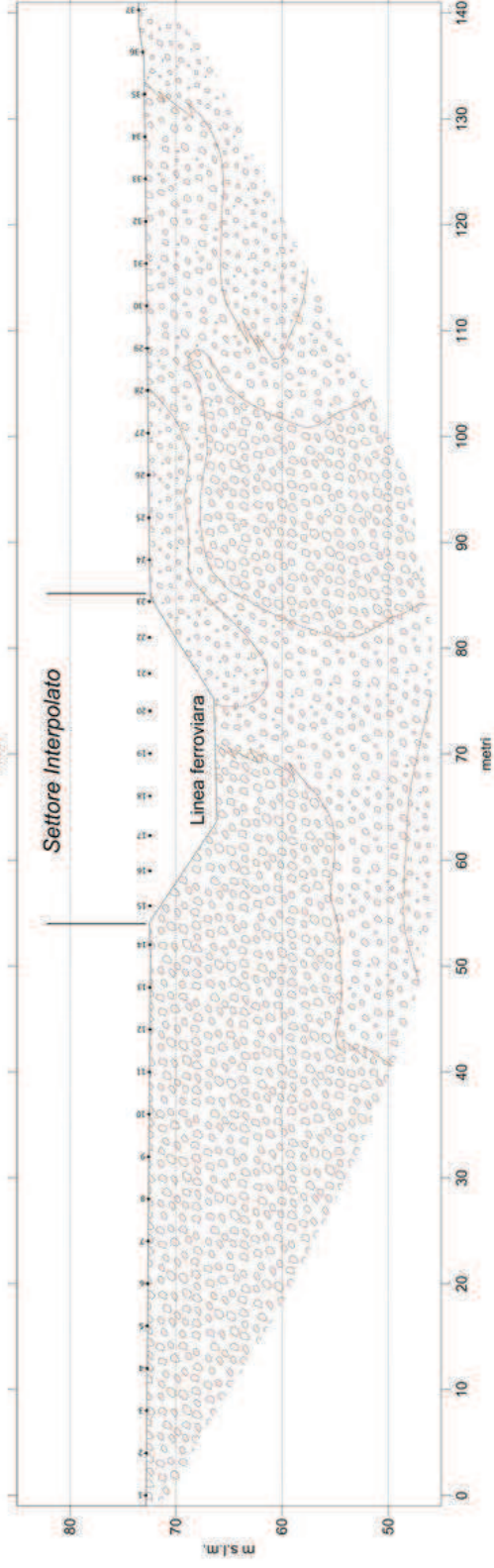
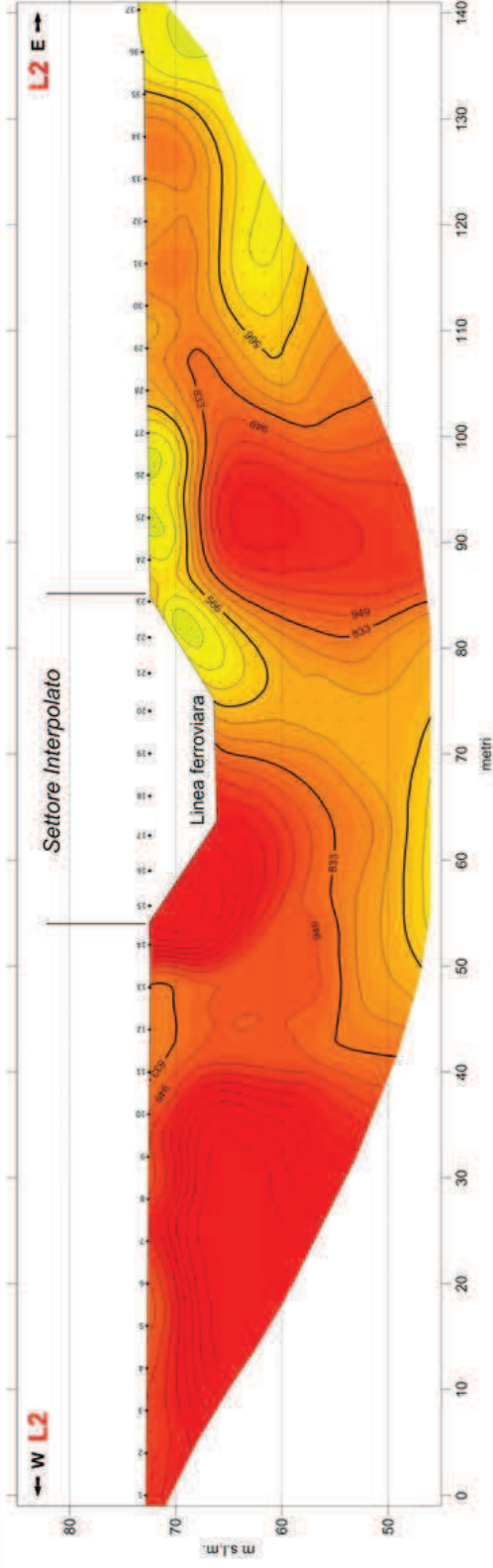
Sezione Elettrica L1



Schematizzazione
Sondaggio
Meccanico



Sezione Elettrica L2



Schematizzazione

Sondaggio
Meccanico



Elettrodi



Resistività ohm.m



Ghiaia

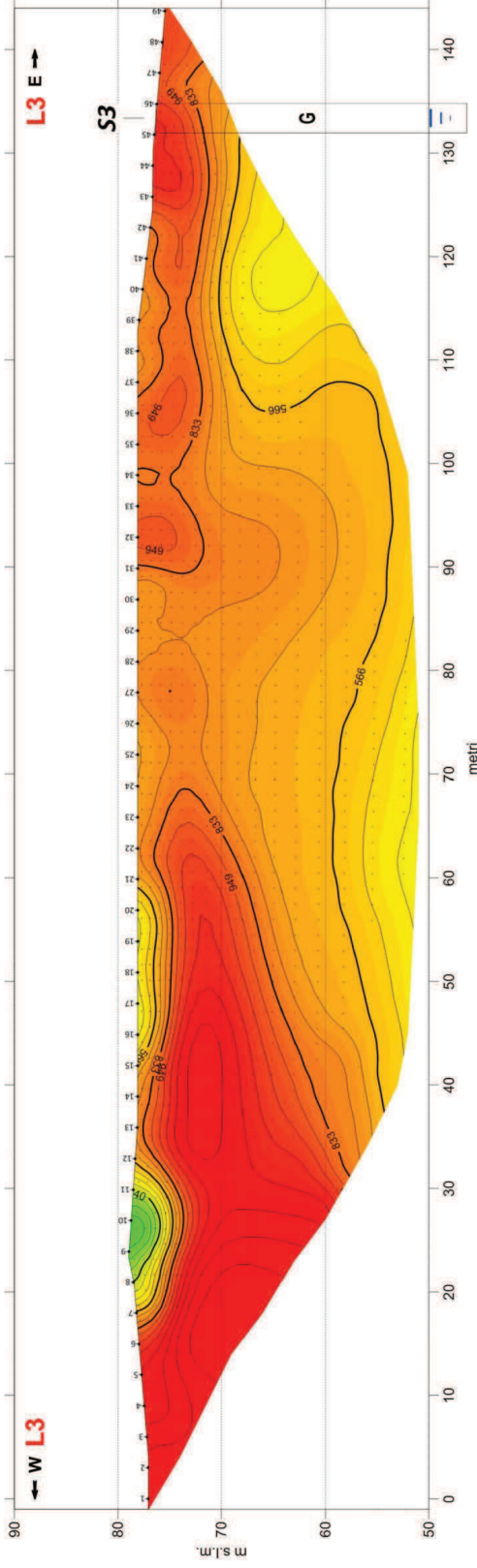


Ghiaia-Sabbia



Sabbia-Ghiaia

Sezione Elettrica L3





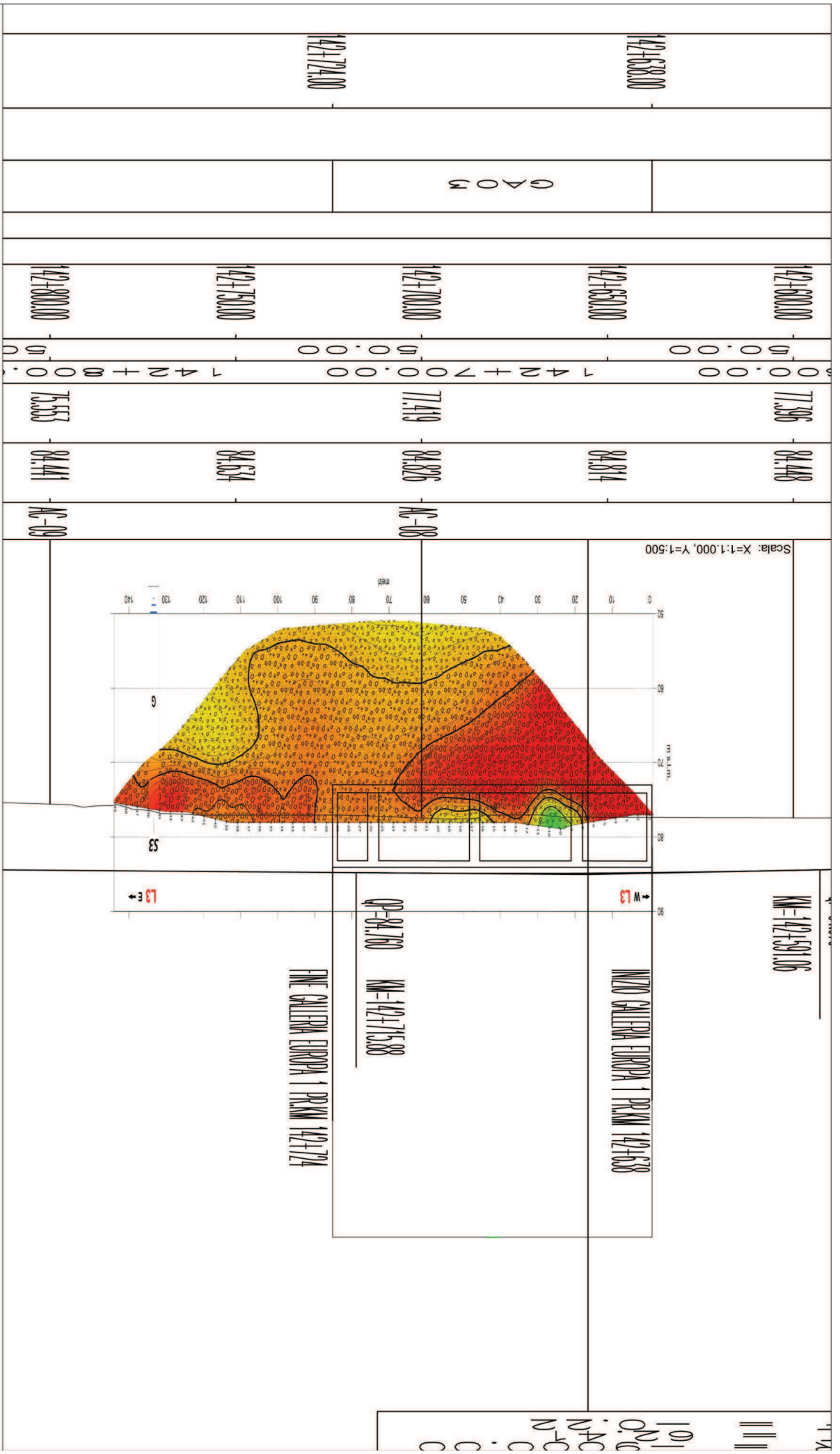
LOTTO FUNZIONALE TRATTA BRESCIA-VERONA

NODO AV/AC DI VERONA, INGRESSO OVEST

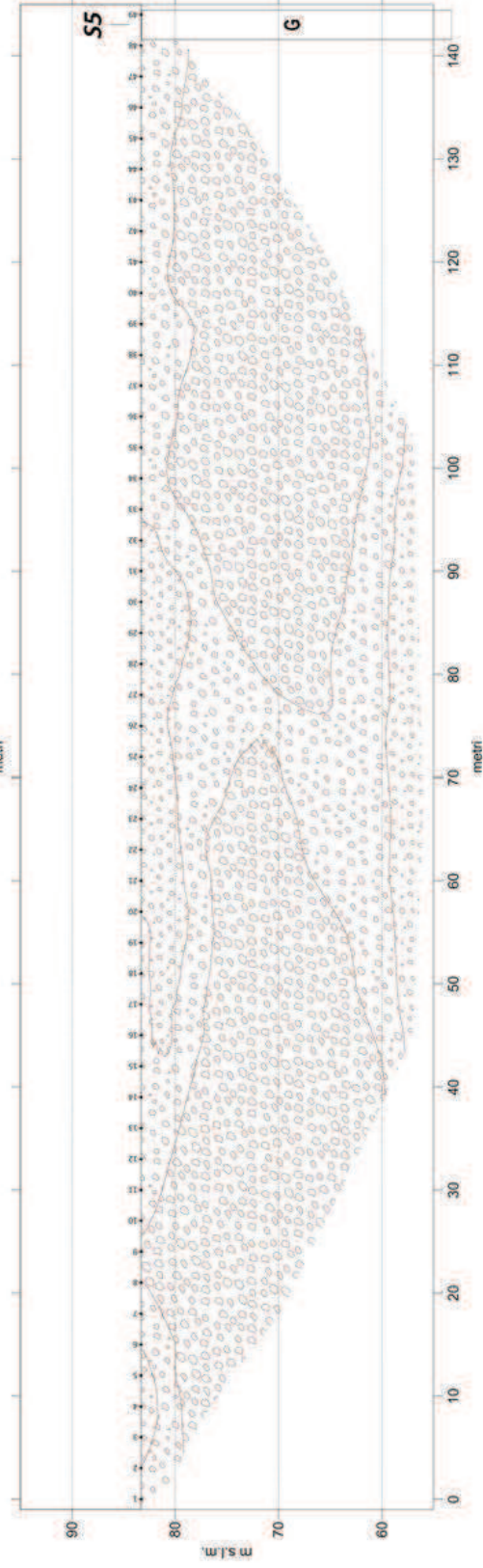
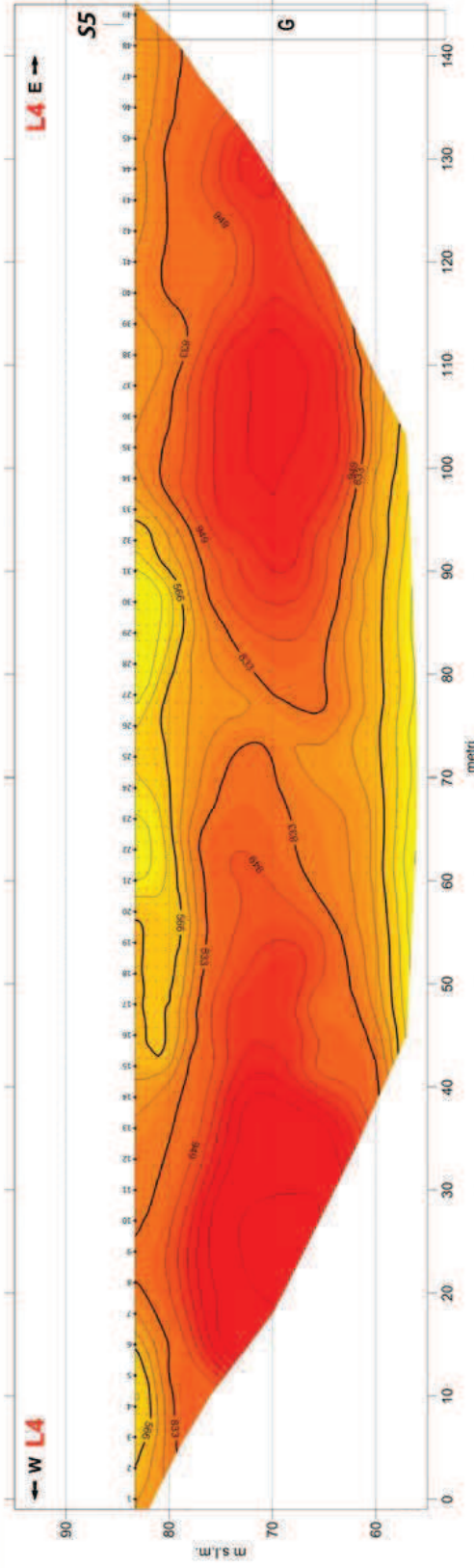
ESITI CAMPAGNA GEOFISICA

PROGETTO IN/9 LOTTO 10 CODIFICA R.09.RH DOCUMENTO GEOMIS.001 REV. A FOGGIO 41.d.43

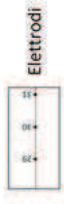
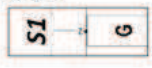
Sovrapposizione su Profilo di Progetto della Sezione Elettrica L3



Sezione Elettrica L4



Schematizzazione
Sondaggio
Meccanico



Elettrodi

Resistività ohm.m



Sovrapposizione su Profilo di Progetto della Sezione Elettrica L4

