

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD

1° LOTTO

Piovene Rocchette - Valle dell'Astico

PROGETTO DEFINITIVO

CUP	G21B1 30006 60005
WBS	B25.A31N.L1
COMMESSA	J16L1

COMMITTENTE



S.p.A. AUTOSTRADA BRESCIA VERONA VICENZA PADOVA
Area Costruzioni Autostradali

CAPO COMMESSA
PER LA PROGETTAZIONE
Dott. Ing. Gabriella Costantini

PRESTATORE DI SERVIZI: CONSORZIO RAETIA



RAPPRESENTANTE: Dott. Ing. Alberto Scotti

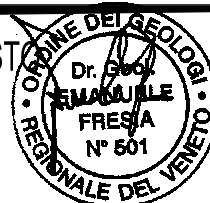
RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE
TRA LE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:
Technital S.p.A. - Dott. Ing. Andrea Renso



PROGETTAZIONE:



ELABORATO: STUDI PER LA CONOSCENZA DEL CONTESTO
INDAGINI GEOGNOSTICHE
INDAGINI GEOFISICHE



Progressivo Rev.
03 05 01 004 02

Rev.	Data	Descrizione	Redazione	Controllo	Approvazione	SCALA:	SCALA
00	MARZO 2017	PRIMA EMISSIONE	TECHNITAL - E.FRESIA	E.FRESIA	A.RENSO	NOME FILE:	J16L1_03_05_01_004_0101_OPD_02pdf
01	GIUGNO 2017	REVISIONE PER VERIFICA	TECHNITAL - E.FRESIA	E.FRESIA	A.RENSO	CM.	PROGR. FG. LIV. REV.
02	LUGLIO 2017	RECEPIMENTO OSSERVAZIONI	TECHNITAL - E.FRESIA	E.FRESIA	A.RENSO	J16L1_03_05_01_004_0101_OPD_02	

INDAGINI GEOFISICHE

**TRAVERSE SISMICHE A RIFRAZIONE, A
RIFLESSIONE E TOMOGRAFIA ELETTRICA**



engineering . geophysics . monitoring

Indagini Geofisiche

AUTOSTRADA A31 TRENTO - ROVIGO

TRONCO TRENTO – VALDASTICO – PIOVENE ROCCHETTE



<i>Commessa</i>	<i>Committente</i>	<i>Documento</i>
16116	Technital	17016-rel
<i>Redatto da</i>	<i>Revisione</i>	<i>Allegati</i>
Marta Bergamin	02	si
<i>Approvato da</i>	<i>Data</i>	<i>Firma</i>
Gianluca Ascari	04/05/2017	

Questo documento è di proprietà di Akron srl e non può essere riprodotto senza specifica autorizzazione scritta di Akron srl



Akron srl
C.F./P.I./Nr. Iscrizione Reg. Impr. 03145050963
Società uni personale
capitale sociale Euro 10.000 i.v.
REA Milano soc. n. 1647540

Sede Legale e operativa
Via Di Vittorio 26 - Bovisio Masciago – MB - Italy
tel. +39 +362 55 99 02 – fax +39 +362 59 26 34
info@akronservizi.it
www.akronservizi.it

1	Premessa	3
2	Descrizione metodologica	4
2.1	Indagini sismiche	4
2.1.1	Inversione tomografica del dato sismico	5
2.1.2	Sismica a rifrazione	8
2.1.3	Metodo reciproco generalizzato (GRM)	9
2.1.4	Sismica a riflessione	11
2.1.5	Indagini MASW	12
2.2	Indagini geoelettriche	12
2.2.1	Resistività elettrica	13
2.2.2	Proprietà elettriche dei materiali	15
2.2.3	Tecniche tomografiche	16
2.2.4	Principi base dell'inversione tomografica	17
3	Strumentazione	19
3.1	Indagini sismiche	19
3.1.1	Acquisizione dati	19
3.1.2	Sorgenti	19
3.1.3	Ricevitori	20
3.2	Indagini geoelettriche	20
3.3	Rilievo topografico	22
4	Descrizione del rilievo	23
4.1	Indagini sismiche	23
4.2	Sismica a riflessione	24
4.3	Indagini MASW	24
4.4	Indagini geoelettriche	24
5	Elaborazione dati	25
5.1	Indagini sismiche	25
5.1.1	Metodo GRM	26
5.2	Indagini MASW	26
5.3	Sismica a riflessione	27
5.4	Indagine geoelettrica	29
6	Risultati del rilievo	30
6.1	Indagini sismiche	31
6.1.1	Sismica a rifrazione	31
6.1.2	Sismica a riflessione	33
6.2	Indagini MASW	34
6.3	Indagini elettriche	35
7	Documentazione fotografica	37

Allegati

Rif.	Descrizione
01	Planimetrie – ubicazioni indagini
02	Indagini sismiche – sezioni interpretative
03	Indagini MASW

Lista di distribuzione

Riferimento	n. copie	
	cartacee	digitali
Technital – Dott. Fresia	0	1

1 PREMESSA

Su incarico di Technital sono state realizzate delle indagini geofisiche volte ad indagare il sottosuolo in corrispondenza della A31 Trento-Rovigo, Tronco Trento-Valdastico-Piovene Rocchette.

Sono state effettuate le seguenti tipologie di indagine:

- **Indagini sismiche a rifrazione**
- **Indagini sismiche a riflessione**
- **Indagini MASW**
- **Indagini geoelettriche**

Nella presente relazione sono stati riportati la metodologia di indagine, le specifiche tecniche del rilievo, la strumentazione utilizzata e la descrizione dei risultati del rilievo geofisico stesso.

Per ogni linea di indagine è stato effettuato il rilievo topografico tramite GPS.

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva delle indagini effettuate:

ID SEZIONE	SISMICA A RIFRAZIONE	SISMICA A RIFLESSIONE	TOMOGRAFIA ELETTRICA	INDAGINI MASW
TSD1	X		X	
TSD2	X			
TSD2bis	X			
TSD3	X		X	
TSD4	X		X	
TSD4bis	X			
TSD5	X		X	
TSD6	X			
TSD7	X		X	
TSD8	X		X	
TSD9	X			
TSD10		X		
TSD10bis	X	X		
TSD10ter	X			
TSD11	X		X	
Vs30_1				X
Vs30_2				X
Vs30_3				X
Vs30_4				X
Vs30_5				X
Vs30_6				X
Vs30_7				X
Vs30_8				X
Vs30_9				X
TOTALE	3.931 m	1885 m	1.040 m	9

La planimetria con l'ubicazione delle linee di rilievo ed i risultati delle indagini sono riportate in Allegato (rif.01 – 02 - 03).

2 DESCRIZIONE METODOLOGICA

2.1 INDAGINI SISMICHE

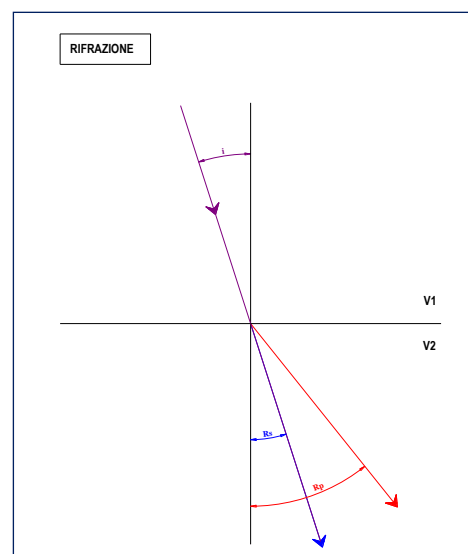
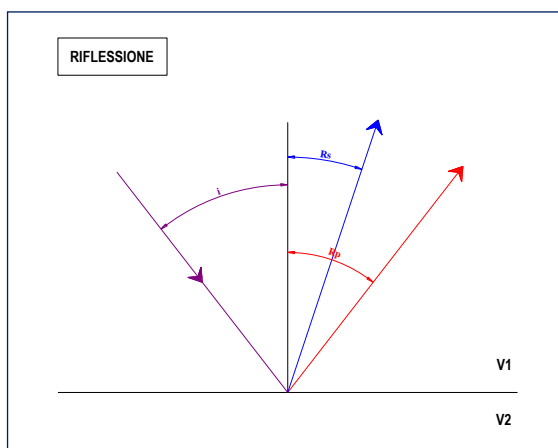
I metodi sismici sono le tecniche geofisiche più comunemente utilizzate in ambito ingegneristico. Le varie metodologie di indagine si basano sulla propagazione delle onde sismiche da una sorgente di energia artificiale a una serie di ricevitori. Il passaggio delle onde attraverso il mezzo indagato e le variazioni che esse ne subiscono permettono di ricostruire le caratteristiche meccaniche e geometriche del sottosuolo.

Un qualunque segnale sismico può essere descritto come la sovrapposizione di quattro differenti fasi (fase è il movimento che compie una particella nel mezzo investito dal fronte d'onda sismico):

- onde di volume
 - P: onde primarie o di compressione
 - S: onde secondarie o di taglio
- onde di superficie
 - L: onde di Love (caratterizzate da un movimento longitudinale e trasversale)
 - R: onde di Rayleigh (caratterizzate da un movimento ellittico retrogrado)

Le onde sismiche generate dalla sorgente attraversando il sottosuolo possono incontrare limiti tra materiali con differenti proprietà. Il fronte d'onda potrà essere riflesso, rifratto oppure convertito in una diversa tipologia. Le caratteristiche del mezzo e l'angolo di incidenza dei raggi sismici determineranno la traiettoria dell'onda sismica.

Quando un'onda longitudinale piana incide un'interfaccia tra due materiali con differenti proprietà elastiche, dove il mezzo a profondità maggiore ha una velocità superiore, è possibile applicare i principi dell'ottica e in particolare le leggi di Snell. Il fronte d'onda che incide obliquamente sull'interfaccia genera onde longitudinali e trasversali che si propagano in entrambi i mezzi. Le onde che si propagano nello stesso mezzo del fronte d'onda sono riflesse, mentre quelle che si propagano nel mezzo sottostante sono rifratte.



Riflessione: l'angolo di incidenza (i) è uguale all'angolo di riflessione dell'onda compressionale P (R_p), mentre l'angolo di riflessione dell'onda di taglio S (R_s) è legato all'angolo di incidenza dall'equazione:

$$\sin(R_s) = \frac{V_s}{V_p} \cdot \sin(i)$$

Rifrazione: l'angolo di riflessione dell'onda compressionale P (R_p) è legato all'angolo di incidenza dall'equazione:

$$\frac{\sin(i)}{\sin(R_p)} = \frac{V_{p1}}{V_{p2}}$$

L'angolo di riflessione dell'onda di taglio S (R_s) è legato all'angolo di incidenza dall'equazione:

$$\frac{\sin(i)}{\sin(R_s)} = \frac{V_{p1}}{V_{s2}}$$

Quando $\sin(i) = \frac{V_{p1}}{V_{p2}}$ il valore di $\sin(R_p)$ risulta pari a 1 e l'angolo pari a 90° ; pertanto le onde compressionali rifratte non attraversano il mezzo ma si propagano lungo l'interfaccia. In questo caso si parla di angolo critico e di riflessione totale.

La presenza di discontinuità o anisotropie nel mezzo modifica ampiezza e periodo delle onde sismiche. La velocità delle onde dipende dalle caratteristiche meccaniche del materiale attraversato, in particolare da: densità (γ), coefficiente di Poisson (ρ), modulo di Young (E) e modulo di taglio (G).

$$\rho = \frac{V_p^2 - 2 \cdot V_s^2}{2 \cdot (V_p^2 - V_s^2)}$$

$$E = V_p^2 \cdot \gamma \cdot \frac{(1 + \rho) \cdot (1 - 2\rho)}{1 - \rho}$$

$$G = \frac{\gamma \cdot V_s^2}{g}$$

V_p = velocità delle onde P

V_s = velocità delle onde S

g = accelerazione di gravità

Nella tabella di seguito vengono indicati valori di riferimento della velocità P per i vari materiali:

MATERIALE	V_p (m/s)
Granito	5.000
Calcare	1.500-4.200
Arenaria	1.400-4.000
Sabbie	1.200-1.800
Argilla	1.100-2.500

2.1.1 INVERSIONE TOMOGRAFICA DEL DATO SISMICO

La tomografia è una tecnica di ricostruzione per immagini che permette di caratterizzare un'area non accessibile per mezzo di impulsi di energia che attraversano l'area oggetto di indagine. L'esempio più efficace di tecnica tomografica è la TAC (tomografia assiale computerizzata) di largo impiego nel settore medicale.

I metodi di inversione tomografica applicati a metodologie di prospezione sismica attiva trovano numerose applicazioni per indagini di tipo geotecnico:

- ricostruzione stratigrafica;
- caratterizzazione di contrasti di impedenza;
- caratterizzazione delle zone a gradiente di velocità o attenuazione;
- individuazione di faglie e fratture;
- localizzazione di oggetti sepolti, massi erratici.

Gli obiettivi elencati possono essere raggiunti poiché la velocità sismica è un parametro che dipende dalle caratteristiche meccaniche del materiale quali: porosità, resistenza al taglio, compressibilità, quantità di fratture, saturazione e contenuto di argilla.

Misurando i tempi di arrivo o le ampiezze delle onde sismiche è possibile ottenere la distribuzione nel mezzo indagato di velocità sismica (modello di velocità) o attenuazione (modello cinematico); parametri che permettono di definire le caratteristiche meccaniche del sottosuolo.

Esistono differenti geometrie di acquisizione comunemente utilizzate per le elaborazioni tomografiche:

- sismica superficiale a riflessione o rifrazione;
- VSP (Vertical Seismic Profile);
- cross-hole;
- sismica 3D.

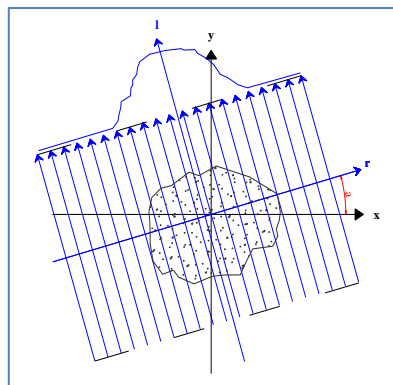
L'obiettivo della tomografia è definire le caratteristiche di un oggetto/sezione mediante la misura delle proiezioni esterne (somma di alcune proprietà interne) di queste caratteristiche.

Le serie di proiezioni utilizzate in tomografia corrispondono a integrali lineari di alcune funzioni del mezzo. Nelle indagini sismiche i parametri misurati sono il tempo di arrivo e l'ampiezza delle onde sismiche, mentre la funzione può essere lo smorzamento (reciproco della velocità) o il fattore di attenuazione. Per un'analisi bidimensionale il problema tomografico è rappresentato dalla seguente equazione:

$$p(r, \alpha) = \int f(x, y) dl$$

(una serie completa di somme di raggi ad un determinato angolo è definita proiezione o profilo)

Dove x , y , r , l e α sono rappresentati nello schema di seguito:



Dal punto di vista teorico $f(x,y)$ è una funzione 2D continua e per essere ricostruita necessita di un numero infinito di proiezioni. Per ovvi motivi di discretizzazione $f(x,y)$ è calcolata per un numero finito di punti attraverso un numero finito di proiezioni.

Il mezzo da ricostruire viene quindi discretizzato in un grid a elementi rettangolari (celle) in ciascuno dei quali il valore di smorzamento si suppone costante. Il tempo di arrivo calcolato per un raggio (impulso sismico - perturbazione ondulatoria) che attraversa le celle del grid può essere espresso dalla formula:

$$t_k^{calc} = \sum_{j=1}^N d_{kj} \cdot s_j$$

t_k^{calc} = tempo di arrivo calcolato per il raggio k_{esimo}

d_{kj} = lunghezza del percorso del raggio k_{esimo} nella cella j_{esima}

s_j = smorzamento della cella j_{esima}

N = numero di elementi del grid

I tempi di arrivo di tutti i raggi possono essere tradotti in forma matriciale:

$$T = D * S$$

T = vettore di lunghezza M (tempi di arrivo)

S = vettore di lunghezza N (celle)

D = vettore ($M \times N$) con lunghezza dei raggi in ogni cella

Ricostruire una funzione attraverso il suo integrale comporta una soluzione non unica poiché un infinito numero di integrali possono essere misurati. Il numero di soluzioni può essere ridotto introducendo dei vincoli nel modello quali: limiti di velocità, limiti di gradiente delle velocità (damping), conoscenza delle strutture geologiche presenti nell'area, dimensioni e tipologia di celle da utilizzare nella ricostruzione.

Esistono differenti approcci alla risoluzione del problema:

- ✓ Back Projection (BP);
- ✓ matrice di inversione;
- ✓ ricostruzione analitica;
- ✓ ricostruzioni iterative (ART, SIRT).

I processi di tipo iterativo risultano più appropriati per l'ambito geologico poiché i dati geofisici possono essere distorti dal rumore di fondo, oppure essere campionati irregolarmente e discontinuamente.

I metodi iterativi si basano sulla definizione di un modello iniziale di velocità del sottosuolo (modello a priori) costruito attribuendo un valore di velocità a tutte le celle del grid. Attraverso il modello iniziale è possibile calcolare i tempi di arrivo teorici delle onde sismiche.

Successivamente è possibile calcolare i tempi residui, ossia la differenza tra tempo osservato e tempo calcolato, e pertanto definire l'approssimazione del modello teorico al modello sperimentale/reale:

$$D_i = t_{obs} - t_{calc} \quad \text{dove} \quad i = 1, 2 \dots N$$

Lo step successivo è dato dalla costruzione di un sistema di equazioni lineari che stabilisce la relazione tra i residui e la variazione che deve essere apportata al modello iniziale di velocità per ottenere un modello quanto più possibile attendibile. La soluzione del sistema di equazioni, che risulta sovradeterminato poiché ha un numero di equazioni superiore al numero di incognite, definisce la variazione da applicare al modello iniziale (matrice di risoluzione).

L'iterazione del calcolo prosegue fino a quando la differenza tra tempi calcolati e tempi osservati risulta compresa in un range di errore accettabile.

La risoluzione delle sezioni tomografiche è proporzionale al numero e alla dimensione delle celle del grid ed è limitata dalla media della lunghezza d'onda del segnale che determina la dimensione minima della cella. Una anomalia può essere individuata solamente se l'effetto prodotto sul tempo di arrivo è maggiore della precisione della lettura del tempo di arrivo stesso.

La dimensione minima (Δl) che un'anomalia dovrebbe avere per generare una variazione misurabile nei tempi di arrivo dei raggi che vi passano attraverso può essere calcolata con la seguente equazione:

$$\Delta l = \frac{\Delta t}{\Delta v} \cdot (v_a \cdot v_m)$$

v_a = velocità dell'anomalia

v_m = velocità media nel mezzo

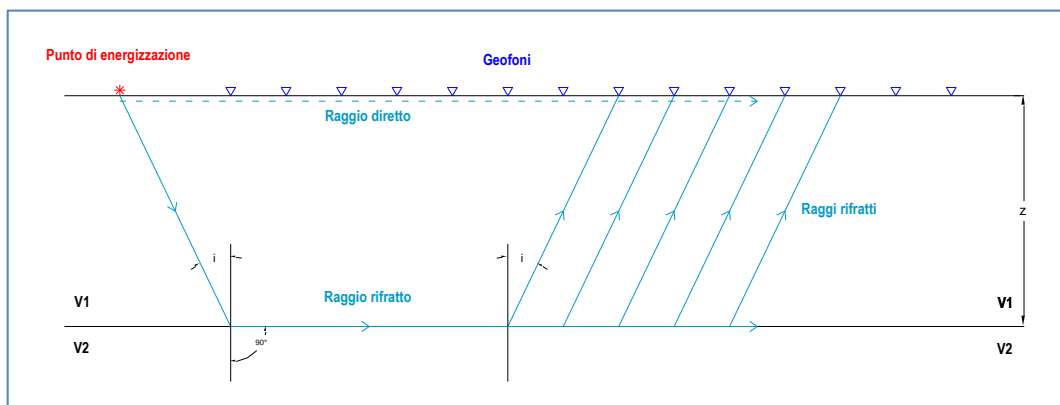
$$\Delta v = |v_a - v_m|$$

Δt = errore nella lettura dei primi arrivi

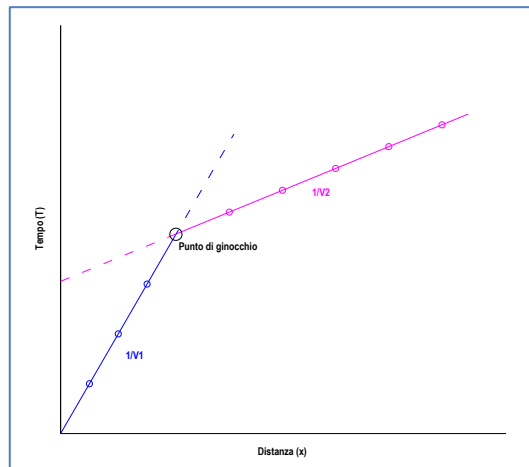
Al fine di evitare artefatti matematici senza corrispondenza fisica e geologica, le dimensioni della cella devono risultare inferiori alle dimensioni dell'anomalia, inoltre occorre tenere in considerazione il numero di raggi che attraversano le celle, i quali a loro volta dipendono dalla distanza sorgente-ricevitore, dal numero di sorgenti e ricevitori e dalla loro distribuzione.

2.1.2 SISMICA A RIFRAZIONE

Il metodo sismico a rifrazione utilizza le onde sismiche che vengono rifratte dalle discontinuità presenti nel sottosuolo ad es. l'interfaccia tra due mezzi a diverse velocità (si ipotizza che la velocità aumenti con la profondità).



Misurando i tempi di primo arrivo (FBP First Break Point) degli impulsi ai geofoni e le distanze tra gli stessi viene costruito un diagramma (dromocrona) nel quale in ascisse vengono rappresentate le distanze e in ordinate i tempi.



Le onde dirette viaggiano dalla sorgente al ricevitore con velocità V_1 (nella dromocrona sono rappresentate dalla linea che dall'origine ha una pendenza pari a $1/V_1$) e raggiungono i ricevitori in un tempo:

$$t = \frac{x}{V_1}$$

Le onde rifratte viaggiano lungo l'interfaccia a una profondità z (nella dromocrona sono rappresentate dalla linea retta con pendenza $1/V_2$ che intercetta l'asse dei tempi a $x=0$) e raggiungono i ricevitori in un tempo (tempo di intercetta):

$$T_i = \frac{x}{V_2} + \frac{2z\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_2 * V_1}$$

Il punto di intersezione tra le due rette, definito come punto di ginocchio, permette di calcolare la profondità del rifratore.

2.1.3 METODO RECIPROCO GENERALIZZATO (GRM)

I metodi di interpretazione della sismica a rifrazione di superficie variano in funzione della situazione d'interesse. La tabella di seguito riportata rappresenta una sintesi che illustra i casi d'applicazione per ogni metodologia d'indagine:

Metodi di interpretazione	Caso d'applicazione
Delle intercette (o convenzionale)	Strati paralleli e sub-orizzontali
Reciproco generalizzato (GRM)	Morfologie degli strati articolate e con inclinazioni $> 20^\circ$
Reciproco di Hawkins o Delay time	Morfologie degli strati articolate e con inclinazioni $< 20^\circ$
Tomografico	Morfologie complesse

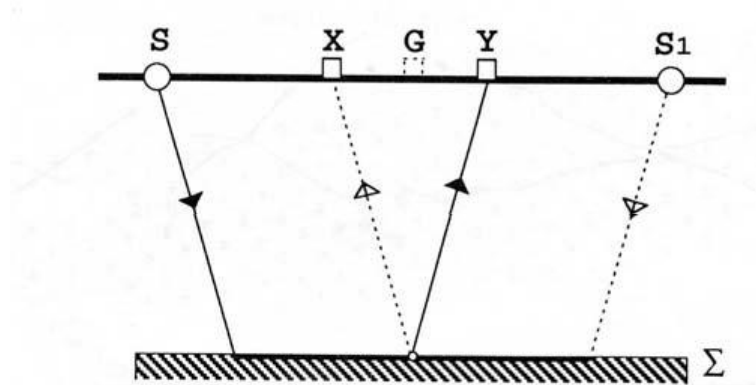
Il G.R.M. è un metodo interpretativo che si basa su tempi d'arrivo da energizzazioni coniugate, effettuate cioè da parti opposte del profilo sismico: tramite la determinazione di due funzioni:

- analisi-velocità, che corrisponde al tempo necessario al raggio sismico a percorrere un tratto di lunghezza nota sul rifrattore (distanza intergeofonica). La determinazione di tale funzione permette di ottenere una precisa stima della velocità delle onde sismiche e dunque del rifrattore stesso.

$$T_v = \frac{(T_{SY} - T_{S1X} + T_{SS1})}{2} \quad \text{FUNZIONE TEMPO - VELOCITA'}$$

- tempo-profondità, che è una misura della profondità del rifrattore, espressa in unità di tempo.

$$T_G = \frac{[T_{SY} + T_{S1X} - (T_{SS1} + \frac{XY}{v_n})]}{2} \quad \text{FUNZIONE TEMPO - PROFONDITA'}$$



L'analisi sismica si basa sulla determinazione del tempo di tragitto delle onde sismiche tra due geofoni separati da una distanza variabile XY che entra nel calcolo della velocità di propagazione delle onde nel rifrattore e della sezione tempo – profondità.

Il problema consiste nel calcolare con precisione la distanza XY ottimale per la quale i segmenti dei raggi che viaggiano verso l'alto e arrivano a ciascun geofono, emergano quasi dallo stesso punto del riflettore. Ciò permette di valutare tutte le eventuali variazioni laterali di velocità del rifrattore, e quindi di ricostruire anche morfologie complesse.

La sismica a rifrazione con il metodo del reciproco di Hawkins rappresenta un caso particolare del GRM in cui viene posto $XY = 0$. Tale semplificazione comporta delle significative limitazioni:

- La morfologia dell'orizzonte fisico può avere un andamento irregolare, ma i tratti singoli non devono avere variazioni laterali eccessive ($<20^\circ$).
- Non si possono intercettare variazioni laterali di velocità.

Il metodo ha comunque il vantaggio di essere più speditivo e di semplice applicazione, visto che non è necessaria la determinazione del valore ottimale XY.

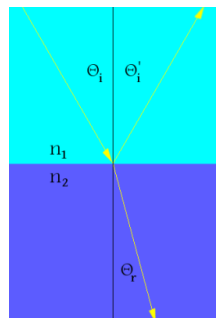
2.1.4 SISMICA A RIFLESSIONE

Le indagini a riflessione consentono di definire lungo un profilo indagato, tramite la valutazione della velocità di propagazione delle onde di compressione e di taglio, le unità litologiche presenti e la loro geometria (spessori e superfici di contatto).

Il principio base su cui si fonda la tecnica sismica a riflessione consiste nell'idea che una volta generato un segnale, ad un istante noto, si possa misurare il tempo che impiegano le onde sismiche così prodotte ad attraversare il mezzo considerato, essere riflesse e raggiungere i ricevitori posti in superficie. Questo tempo è noto come *"two-way travel time" (TWTT)* e la sua valutazione rappresenta l'essenza della tecnica a riflessione.

La sismica a riflessione, così come accade per la sismica a rifrazione, si basa sulla validità delle leggi di Snell alle quali occorre accennare al fine di comprendere i fenomeni che determinano i percorsi, le geometrie, le velocità e le caratteristiche dei raggi sismici.

Consideriamo un piano di incidenza individuato dal raggio incidente e dalla normale alla superficie di discontinuità tra il mezzo 1 ed il mezzo 2 (aventi caratteristiche meccaniche differenti) ed ipotizziamo che un'onda colpisca la loro superficie di separazione. In questo caso una parte dell'onda incidente subirà un fenomeno di riflessione e continuerà a viaggiare nel mezzo 1 (raggio riflesso), mentre una parte proseguirà il suo percorso e raggiungerà il mezzo 2 (raggio rifratto).



Secondo la **Prima legge di Snell** il raggio incidente, il raggio rifratto, il raggio riflesso e la normale alla superficie di separazione tra i due mezzi appartengono allo stesso piano, chiamato *piano di incidenza*.

La **Seconda legge di Snell** ci dà delle informazioni sulla relazione che lega l'angolo di riflessione e quello di incidenza sottolineando che:

$$\theta_i = \theta_i'$$

Il raggio rifratto, invece, viene trasmesso nel mezzo 2 e forma con la normale alla superficie di separazione tra i due mezzi l'angolo di rifrazione θ_r .

Secondo la **Terza legge di Snell** il rapporto tra il seno dell'angolo di incidenza ed il seno dell'angolo di rifrazione è uguale al rapporto tra l'indice di rifrazione del secondo mezzo e l'indice di rifrazione del primo:

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = \frac{n_2}{n_1}$$

Sulla base di quanto detto consegue che se $v_2 > v_1$ il raggio rifratto si allontanerà dalla normale alla superficie di separazione tra i due mezzi; se, invece, $v_2 < v_1$ allora il raggio rifratto si avvicinerà alla normale.

2.1.5 INDAGINI MASW

Il termine MASW è l'acronimo di Multi-channel Analysis of Surface Waves (Analisi Multicanale di Onde di Superficie).

Questa tipologia d'indagine analizza la dispersione delle onde di superficie e si basa sul principio che le varie componenti (frequenze) del segnale sismico che si propaga, viaggiano ad una velocità che dipende dalle caratteristiche del mezzo.

La dispersione è una deformazione di un treno d'onde dovuta ad una variazione di propagazione di velocità con la frequenza. Le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità rispetto a quelle a frequenza maggiore, per un dato modo, e presentano normalmente velocità di fase più elevate.

Tradizionalmente le MASW sono effettuate tramite analisi delle onde di Rayleigh, che vengono registrate tramite geofoni a componente verticale e utilizzando una sorgente ad impatto verticale (massa battente).

Le onde di Rayleigh costituiscono un particolare tipo di onde di superficie che si trasmettono sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo e sono il risultato dell'interferenza tra onde di pressione (P) e di taglio verticali (Sv). In un mezzo stratificato queste onde sono di tipo guidato e dispersivo, e vengono definite pseudo-Rayleigh.

Quindi poiché la dispersione delle onde di superficie dipende dalle caratteristiche del sottosuolo e in particolare dalle sue variazioni verticali, dalla determinazione delle curve di dispersione è possibile ricavare le caratteristiche del mezzo:

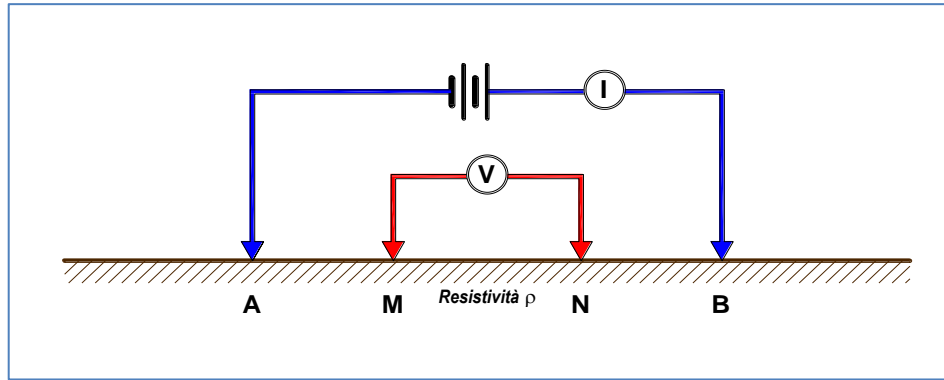
- velocità delle onde di taglio
- spessore degli strati

2.2 INDAGINI GEOELETTRICHE

Le indagini geoelettriche costituiscono un metodo geofisico che permette di ricostruire la distribuzione della resistività elettrica nel sottosuolo.

La grandezza che viene comunemente misurata è la resistività elettrica, ma possono essere misurati altri parametri quali il potenziale spontaneo e la polarizzazione indotta.

Il principio sul quale si basa questa metodologia è così schematizzabile: una corrente viene immessa nel mezzo attraverso una coppia di elettrodi AB (dipolo di immissione) e la differenza di potenziale risultante viene misurata attraverso un'altra coppia di elettrodi MN (dipolo di ricezione). Un voltmetro consente la misura della differenza di potenziale.



2.2.1 RESISTIVITÀ ELETTRICA

La corrente si propaga nel sottosuolo attraverso:

- conduzione elettronica: la corrente si propaga attraverso gli elettroni liberi, come nei metalli
- conduzione elettrolitica: la corrente si propaga attraverso il movimento degli ioni disciolti nell'acqua presente nel sottosuolo.

I metodi geoelettrici si basano sull'immissione di una corrente nel sottosuolo e sulla misura della differenza di potenziale prodotta per determinare la distribuzione della resistività. Queste grandezze sono legate tra loro dalla Legge di Ohm: il rapporto tra la differenza di potenziale ai capi di un conduttore e la corrente che lo attraversa è la resistenza:

$$\Delta V = RI$$

Dove :

ΔV = differenza di potenziale (volt)

I = intensità di corrente (ampere)

R = resistenza (ohm)

La resistenza dipende dalle caratteristiche fisiche e geometriche del conduttore e può essere così espressa:

$$R = \frac{\rho l}{A}$$

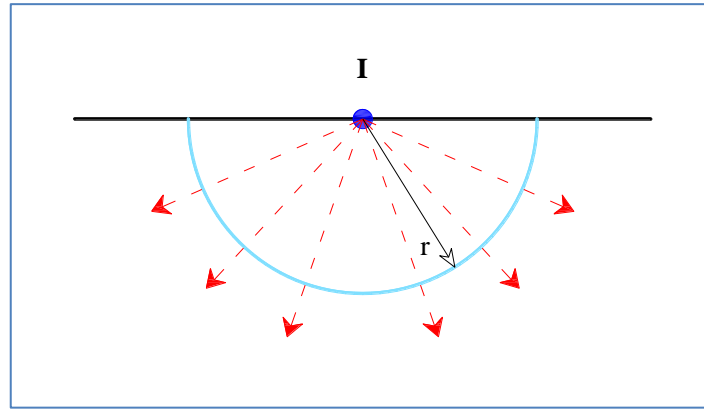
Dove :

ρ = resistività (ohm.m)

l = lunghezza del conduttore (m)

A = sezione del conduttore (m²)

Considerando un elettrodo che immette corrente in un mezzo omogeneo, in qualunque superficie emisferica, la corrente si propaga radialmente.



La densità di corrente J immessa da un elettrodo in un semispazio può essere così espressa:

$$J = \frac{I}{2\pi r^2}$$

e la differenza di potenziale:

$$V = \frac{I\rho}{2\pi r}$$

Considerando i quattro elettrodi utilizzati nelle indagini geoelettriche, è possibile esprimere la differenza di potenziale in questo modo:

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right)$$

Dove :

r_1 = distanza tra M e A

r_2 = distanza tra M e B

r_3 = distanza tra N e A

r_4 = distanza tra N e B

La resistività potrà essere così espressa:

$$\rho = 2\pi \frac{\Delta V}{I} k$$

Dove

$$\frac{1}{k} = \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right)$$

k è il fattore geometrico specifico per ogni configurazione elettrodica.

La resistività calcolata sopra è definita per un mezzo omogeneo, ma il sottosuolo è anisotropo e disomogeneo, pertanto l'equazione definisce una **resistività apparente**, poiché varia in funzione della posizione e/o della direzione dello stendimento.

Non rappresenta né la resistività reale, né il valore medio della resistività reale, ma la resistività di un equivalente semispazio omogeneo e isotropo.

2.2.2 PROPRIETÀ ELETTRICHE DEI MATERIALI

La resistività elettrica dei terreni e delle rocce dipende da numerosi fattori quali il contenuto di fluidi e di minerali, la porosità e il grado di saturazione del mezzo.

Questa grandezza è funzione essenzialmente della conduzione elettrolitica nei fluidi presenti tra i contatti dei granuli o contenuti in pori, fratture e faglie. La conduzione elettrolitica dipende dai seguenti fattori:

1. **salinità:** sono gli ioni disciolti in acqua a condurre la corrente; ne consegue pertanto che le soluzioni caratterizzate da un elevato contenuto di sali disciolti (ioni) sono quelle maggiormente conduttive;
2. **porosità:** la resistività e la porosità delle rocce sedimentarie sono generalmente correlate attraverso la legge di Archie, che per rocce prive di argilla può essere così espressa:

$$F = \frac{\rho_r}{\rho_e} = a\phi^{-m}$$

dove:

ρ_r = resistività della roccia

ρ_e = resistività della soluzione presente nei pori della roccia

ϕ =porosità

a = coefficiente di saturazione (compreso tra 0.6 e 1.0)

m = fattore di cementazione (compreso tra 1.4 e 2.2)

3. **presenza di materiali coesivi/argillosi:** le argille hanno una conduttività normalmente elevata poiché possiedono un doppio strato di scambio cationico. Questo strato ha una notevole capacità di assorbimento dei cationi che comporta un aumento della conduttività;
4. **grado di saturazione:** è il rapporto tra il volume dell'acqua presente nei pori e il volume totale dei pori. Maggiore è il grado di saturazione, minore è la resistività dei materiali.

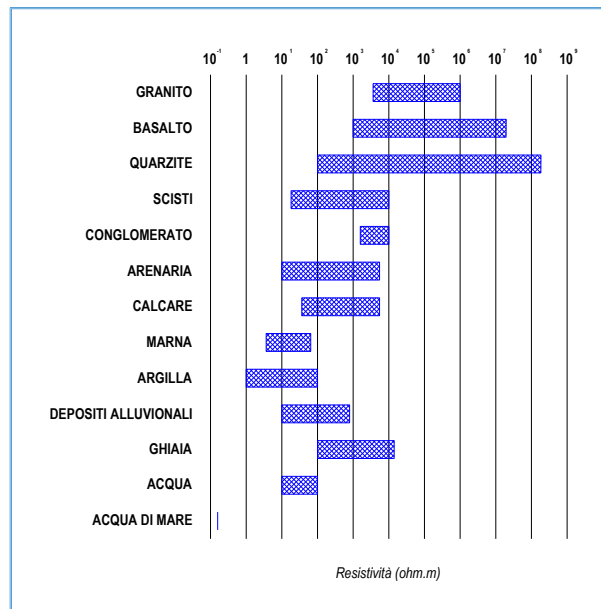
Poiché i fattori che possono influenzare la resistività sono numerosi, una stessa tipologia di materiale può essere caratterizzato da un range di resistività piuttosto ampio.

In generale è possibile affermare quanto segue:

- ✓ materiali naturali come le rocce ignee e metamorfiche sono caratterizzate da un comportamento fortemente resistivo che può raggiungere valori dell'ordine di grandezza pari a 10^7 ohm*m (in funzione della porosità e del contenuto di acqua);
- ✓ materiali naturali come le rocce sedimentarie presentano range di resistività variabili da qualche decina di ohm*m fino a 10^5 ohm*m (in funzione del grado di fratturazione);
- ✓ materiali naturali di tipo granulare (sabbie e ghiaie) sono caratterizzati da un comportamento fortemente resistivo; in funzione della granulometria dei materiali i valori di resistività variano da 100 fino a 3000-4000 ohm*m;
- ✓ materiali naturali di tipo coesivo (limi e argille) presentano valori di resistività bassi nell'ordine di qualche decina di ohm*m;

- ✓ la resistività dell'acqua nel sottosuolo presenta valori di resistività che variano da 10 a 100 ohm*m (in funzione dei sali disciolti). La presenza di acqua diminuisce i valori di resistività propri del materiale.
- ✓ i processi di alterazione dei materiali naturali provocano una diminuzione dei valori di resistività (ad es. aumentano i minerali delle argille);
- ✓ la presenza di vuoti (es. scavamenti) produce valori di resistività molto elevati avendo il vuoto caratteristiche elettriche di resistività infinita;
- ✓ le macerie (presumibilmente costituite da blocchi di calcestruzzo o mattoni) presentano valori di resistività elevate, simili o superiori a quelli che contraddistinguono le ghiaie;

Nella tabella di seguito si riportano dei range di resistività tipici di alcuni materiali:



2.2.3 TECNICHE TOMOGRAFICHE

La tomografia elettrica nasce dall'unione dei tradizionali profili elettrici con i metodi di inversione tomografica. Questa metodologia permette di ricostruire attraverso immagini le variazioni di resistività elettrica del sottosuolo.

Come nei tradizionali profili elettrici la tomografia necessita di quattro elettrodi per la misura della resistività: due per l'immissione della corrente nel sottosuolo e due per la misura della differenza di potenziale.

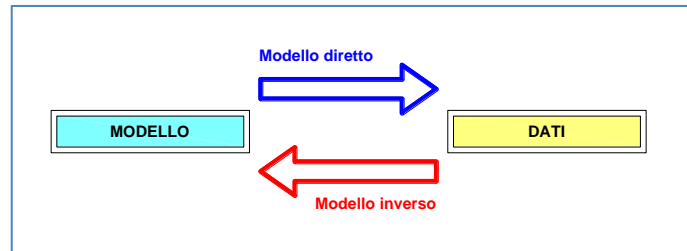
La differenza fondamentale consiste nell'utilizzare decine di elettrodi disposti lungo un allineamento alternativamente come elettrodi di corrente e di misura. Il numero di misure che si possono ottenere è pari a $n(n-3)/2$ dove n è il numero degli elettrodi.

Il maggiore vantaggio attribuibile alla tomografia elettrica rispetto alle tradizionali indagini 1D o 2D è quello di poter ricostruire non solo le variazioni verticali di resistività nello spazio, ma anche quelle orizzontali.

2.2.4 PRINCIPI BASE DELL'INVERSIONE TOMOGRAFICA

Obiettivo delle indagini è la ricostruzione della distribuzione nel sottosuolo della resistività. I valori di corrente, di differenza di potenziale, insieme alla disposizione degli elettrodi e al fattore geometrico permettono di ottenere la resistività apparente del sottosuolo.

Questi valori costituiscono i dati attraverso i quali è possibile ricostruire un immagine del sottosuolo (modello 2D) mediante il processo di inversione tomografica.



MODELLO DIRETTO:

La posizione degli elettrodi, la distribuzione della resistività apparente nel sottosuolo e la corrente immessa costituiscono i parametri del modello diretto attraverso i quali è possibile ricostruire un modello sintetico del potenziale elettrico.

Il modello diretto può essere ricostruito calcolando il potenziale V attraverso l'equazione:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\sigma \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\sigma \frac{\partial V}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\sigma \frac{\partial V}{\partial z} \right) = -I$$

dove:

V = potenziale elettrico (incognita)

I = corrente immessa

σ = distribuzione della conducibilità (per sezioni 2D $\sigma(x,z)$)

β = parametro che definisce le condizioni al contorno (è uguale a zero in superficie)

con le seguenti condizioni al contorno:

$$\text{in superficie } \frac{\partial V}{\partial n} = 0 \text{ e in qualunque altro punto del sottosuolo } \frac{\partial V}{\partial n} + \frac{\cos \theta}{r} V = 0$$

L'inversione ha lo scopo di definire a partire dal modello diretto ottenuto, il modello che meglio si adatta ai valori misurati, cioè minimizza le differenze tra valori calcolati e misurati. Il modello calcolato deve corrispondere ai valori misurati entro una percentuale accettabile di errore (valutato come RMS o L2 norm).

Il modello di resistività iniziale utilizzato nel processo di inversione può essere:

1. pseudosezione (rappresentazione 2D dei valori di resistività apparente misurata ottenuta mediante interpolazione geometrica dei dati)
2. valore medio della resistività apparente
3. modello a-priori definito dall'operatore

Il processo è iterativo e termina quando soddisfa i criteri stabiliti dall'operatore, che possono essere:

- il numero delle inversioni
- la percentuale di riduzione dell'errore $\left| \frac{RMS_n - RMS_{n-1}}{RMS_{n-1}} \right| * 100\%$

- il valore di RMS

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{a_i^{calc} - a_i^{meas}}{a_i^{meas}} \right)^2}{N}} * 100\%$$
- il valore di L2 normalizzata

$$\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{a_i^{calc} - a_i^{meas}}{3\% * a_i^{meas}} \right)^2}{N}$$

Poiché la soluzione del problema non è unica è possibile limitare il numero di soluzioni introducendo dei vincoli nel modello quali: limiti di resistività, conoscenza delle strutture geologiche presenti nell'area, dimensioni e tipologia di celle da utilizzare nella ricostruzione.

3 STRUMENTAZIONE

Le prove sono state effettuate con la strumentazione di seguito riportata.

3.1 INDAGINI SISMICHE

3.1.1 ACQUISIZIONE DATI

I dati sono stati acquisiti con sismografo GEODE della Geometrics dotato di 24 canali a 24 bit, possibilità di stacking, filtri analogici e digitali.

Si fa ad ogni modo notare che il dato è stato registrato a finestra aperta, vale a dire senza filtri in acquisizione che potrebbero precludere l'impiego del dato stesso su tutto lo spettro di frequenze acquisibili (ciò assicura che non venga intaccata in fase di acquisizione la completezza delle informazioni rilevabili).

Nella tabella si riportano le caratteristiche tecniche del sismografo.

<i>A/D Conversion</i>	24 bit result using Crystal Semiconductor sigma-delta converters and Geometrics proprietary oversampling
<i>Dynamic Range</i>	144 dB (system), 110 dB (instantaneous, measured) at 2ms, 24dB
<i>Sample Interval</i>	0.02, 0.3125, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 ms
<i>Record Length</i>	16,000 samples
<i>Maximum Input Signal</i>	2.8 VPP
<i>Distortion</i>	0.0005% @ 2 ms, 1.75 to 208 Hz
<i>Bandwidth</i>	1.75 Hz to 20 kHz
<i>Common Mode Rejection</i>	>-100 dB at <=100 Hz, 36 dB
<i>Crosstalk</i>	-125 dB at 23.5 Hz, 24 dB, 2 ms
<i>Noise Floor</i>	0.2uV, RFI at 2 ms, 36 dB, 1.75 to 208 Hz
<i>Stacking Trigger Accuracy</i>	1/32 of sample interval
<i>Input Impedance</i>	20 kOhm, 0.02 uf
<i>Anti-alias Filters</i>	-3 dB at 83% of Nyquist frequency, down 90 dB
<i>Delay</i>	0 to 9999 ms in 1 ms steps
<i>Acquisition and DisplayFilters</i>	<ul style="list-style-type: none"> ⊖ LowCut: OUT, 10, 15, 25, 35, 50, 70, 100, 140, 200, 280, 400 Hz, 24 or 48 dB/octave, Butterworth. ⊖ Notch: 50, 60, 150, 180 Hz and OUT, with the 50 dB rejection bandwidth 2% of center frequency. ⊖ HighCut: OUT, 250, 500 or 1000 Hz, 24 or 48 dB/octave.
<i>Triggering</i>	Positive, negative or contact closure, software adjustable threshold
<i>Power</i>	12V external battery

3.1.2 SORGENTI

Per le indagini sismiche da superficie in fase d'acquisizione è stata utilizzata come sorgente di energia la massa battente; essa è costituita da un martello avente massa da 10 kg utilizzato da un operatore.

Una sorgente di basso livello con più acquisizioni (stack) corrispondente all'impiego di una massa battente è, infatti, sicuramente meno efficiente dal punto di vista dell'energia impiegata, ma permette di utilizzare ampiamente le tecniche di stack che riducono gli effetti di rumore (segnale incoerente) aumentando (stack – somma) il segnale coerente, vale a dire il segnale sismico di interesse nella prospezione.

Per tal ragione al fine di ottenere l'ottimizzazione del rapporto S/N (signal to noise) tutte le indagini sismiche sono state effettuate con una ripetizione dell'operazione di stack compresa tra le 4 e le 6 volte.

L'impulso viene generato attraverso il colpo del martello su una piastra in teflon appoggiata al terreno.

Si ricorda che la generazione delle onde di compressione P e delle onde di taglio S è stata rispettivamente eseguita effettuando un'energizzazione in senso verticale e trasversale rispetto al suolo.

L'istante di trigger è fornito da un geofono posizionato in prossimità del punto di battuta.

3.1.3 RICEVITORI

Per le indagini di sismica a rifrazione sono stati utilizzati geofoni con asse verticale con frequenza pari a 14 Hz.

I geofoni sono sensori di tipo elettromagnetico che generano una tensione proporzionale alla velocità della perturbazione sismica.

I cavi utilizzati per l'acquisizione sono cavi con guaina in polipropilene schermati con connettori tipo militare Bendix o Cannon a 36 pin.

3.2 INDAGINI GEOELETTRICHE

Per il rilievo in esame è stato utilizzato il sistema multielettrodo ABEM Terrameter LS con elettrodi passivi. Ogni elettrodo è collegato all'unità centrale e contiene l'elettronica di comando per la gestione dell'operazione di switching.

L'unità centrale esegue in batch la sequenza di misure secondo la tecnica walk-away: definite le combinazioni di elettrodi di misura e corrente si rilevano profili di resistività con diverse spaziature elettrodiche in corrispondenza di diverse posizioni fino a coprire l'intero stendimento.

L'automazione del processo di acquisizione mediante centralina di switch intelligente velocizza le operazioni di acquisizione dati.

Nella tabella di seguito si riporta le caratteristiche tecniche del sistema impiegato:

Receiver		Tx Monitor	
No. of Channels	4,8 or 12 input (+ 2 for Tx monitoring)	Voltage	+/- 600 V
Isolation	All channels are galvanically separated	Current	+/- 2500 mA
Input Voltage Range	+/- 600 V	Current Accuracy	Full waveform monitored
Input Impedance	200 MOhm	Current Precision	0,2 %
Precision	0,1 %		0,1 %
Accuracy	0,2 %	General	
Resolution	Theoretical 3 nV at 1 sec integration	Casing	Rugged Aluminum case meets IEC IP 66
Linearity	0,005 %	Computer	Embedded ARM 9, 200 MHz
Range	+/- 2,5 V, 200 MOhm +/- 15 V, 30 MOhm +/- 600 V, 20 MOhm	GPS	20 channels SirF star III chip
Flat Frequency Response	Better than 1 % up to 300 Hz	Display	8,4" Active TFT LCD, full colour, daylight visible
		I/O ports	2 x KPT 32 p for imaging (1 x KPT 32 p for VES) AUX, USB A, USB B, RJ45 for LAN
Measuring		Service point	Accessible through Internet, Multifunction connector
Resistivity	YES	Memory Capacity	8 GB, More than 1 500 000 readings
SP	YES	Power	8 Ah Internal NiMH 12 V power pack and External 12 VDC battery (recommended option for all Imaging and VES)
IP	YES	Dimensions (W x L x H)	39 x 21 x 32 cm
Full wave form	Sampled and average to requested data. Possible to activate recording to file for post analysis	Weight	12 kg
		Ambient Temperature Range	- 20°C to + 55 °C operating ^{1, 2} - 30°C to + 70 °C storage ³
Dynamic Averaging	24 bit A/D conversion	<small>Note 1: Measuring speed may be reduced in high ambient temperature combined with high output power Note 2: The performance of the LCD is not guaranteed below 0°C Note 3: Non condensing</small>	
Data Sampling Rate	30 kHz	Multi-Electrode Survey Systems for 2D & 3D for Resistivity, IP & SP Imaging & Monitoring	
Cycle time	from 0,4 sec to 28,7 sec	Switching matrix	Internal 10 X 64, divided into four blocks for effective use of all receiver channels available
Pulse time	User selectable, resistivity from 0,1 sec to 8,2 sec. User selectable	Roll-a-Long	YES full coverage, both 2D & 3D
IP Windows	Arbitrary windows flexibility configured to powerline frequencies	Array types Default	Multiple Gradient, Dipole-Dipole, Pole-Dipole, Wenner etc. (for VES, get info)
		Take-outs internal	64 inline + 3 remote electrodes
Transmitter		Electrode Test	YES, Focus One estimating contact resistance on all electrodes currently in use
Output power	250 W		
Current transmission	True Current Transmitter		
Output Current Accuracy	Better than 0,4 %		
Maximum Output Current	2500 mA		
Maximum Output Voltage	+/- 600 V		
Instant Polarity Changer	YES		
Accuracy	0,4 %		
Precision	0,1 %		
Self Diagnostics	Temperature, Power dissipation, Monitoring		
Safety	Emergency Interrupter easily accessible		



Georesistivometro multielettrodo ABEM Terrameter LS con elettrodi passivi.



Elettrodo collegato ad un picchetto in ottone

3.3 RILIEVO TOPOGRAFICO

Lungo tutte le sezioni è stato eseguito il rilievo dei punti di stazione elettrodica e sismica mediante sistema GPS previo inquadramento topografico.

E' stato utilizzato il sistema GPS Stonex S8N Plus avente le seguenti caratteristiche:

➤ **Receiver**

- Channels: 120
- Satellite tracked: GPS - Simultaneous L1, L2, L2C, L5. GLONASS - Simultaneous L1,L2; GALILEO - E5a, E5b, Alt-BOC; BeiDou - B1, B2; SBAS - Simultaneous L1 C/A. L5; QZSS (Quasi -Zenith Satellite System); L-Band
- Position Rate: Up to 5Hz
- Signal Reacquisition: <1s
- RTK Signal Initialization <10s
- Hot start: <35s
- Initialization reliability >99.9%
- Internal memory: 256MB
- Micro SD Card: 4 GB Internal Memory (Over 60 days of raw static data storage with recording sample every 1s)

➤ **Positioning**

- Static
 - Horizontal: 5mm +0.5ppm RMS
 - Vertical: 10mm +0.5ppm RMS
- Static (Long time observations)
 - Horizontal: 3mm +0.1ppm RMS
 - Vertical: 3.5mm +0.4ppm RMS
- Code differential positioning
 - 3D: 0.25m RMS
 - SBAS Positioning: 0.6m 3D RMS²

➤ **Comunication**

- Connectors I/O 7pins Lemo and 5-pins Lemo interfaces. Multicable with USB interface for connecting with PC
- Bluetooth Device: 2.4GHz class II - maximum range 50m
- Reference Outputs: CMR, CMR+, RTCM 2.1, 2.3, 3.0, 3.1
- Navigation Outputs Navigation output support for NMEA-0183 and detailed NovAtel ASCII and binary logs.

➤ **Integrated GNSS antenna**

- High accuracy four constellation microstrip antenna, zero-phase center, with internal multipath suppressive board

➤ **Internal radio**

- Frequency range: 403-473MHz
- Channel Spacing: 12.5KHz / 25KHz
- Emitting Power: 0.5/1/2W
- Maximum Range: 3-4 Km (urban environment), 5-6 Km with optimal conditions
- Radio Protocol: Trasparent EOT/EOC/FST, SATEL, South, Stonex Type 1, TRIMTALK II/IIe, trimmark 3, TRIMTALK 450S.

4 DESCRIZIONE DEL RILIEVO

L'indagine ha previsto l'esecuzione di n. 14 linee a sismica a rifrazione, n.2 linea a sismica a riflessione, n.7 linee a tomografia elettrica e n.8 indagini MASW.

Le tipologie di indagine effettuate sono:

- **Indagini sismiche a rifrazione – onde di compressione (P):** il cui obiettivo è la modellizzazione 2D nel continuo tramite investigazione dettagliata delle prime decine di metri del sottosuolo.
- **Indagini sismiche a riflessione:** il cui obiettivo è l'esplorazione del sottosuolo per riconoscere l'assetto stratigrafico e strutturale dei corpi geologici.
- **Indagini MASW:** volte ad identificare il profilo verticale della Vs nei primi 30 m di profondità.
- **Indagini in tomografia elettrica:** volte alla determinazione dei valori di resistività al fine di ottenere una modello 2D del sottosuolo.

4.1 INDAGINI SISMICHE

L'indagine sismica ha previsto l'esecuzione di n. 13 profili di rilievo realizzati con tecnica sismica a rifrazione basata sulla velocità di propagazione delle onde di compressione (P).

Nella tabella si riportano codifiche linea, lunghezze delle sezioni di rilievo, il numero di ricezione (geofoni):

ID SEZIONE	PUNTI DI RICEZIONE	INTERDISTANZA (m)	LUNGHEZZA (m)
TSD1	24	5	115
TSD2	24	5	115
TSD2bis	72	6	426
TSD3	24	5	115
TSD4	24	5	115
TSD4bis	24	5	115
TSD5	24	5	115
TSD6	24	5	115
TSD7	24	5	115
TSD8	24	5	115
TSD9	24	5	115
TSD10			
TSD10bis	192	5	1000
TSD10ter	48	5	235
TSD11	48	5	235
TOTALE			3.931

Ogni tiro è stato ripetuto almeno una volta per migliorare mediante operazione di stacking (somma di più impulsi sismici generati nella medesima posizione) la qualità del segnale acquisito (aumento del rapporto segnale/disturbo).

La planimetria con la posizione delle linee di rilievo ed i risultati ottenuti sono riportati in allegato (Rif.01).

4.2 SISMICA A RIFLESSIONE

L'indagine ha previsto l'esecuzione di 2 linee di sismica a riflessione; nella tabella si riporta la codifica della sezione, la lunghezza della sezione, il numero di posizioni di ricezione (geofoni) e la relativa interdistanza:

ID SEZIONE	PUNTI DI RICEZIONE	INTERDISTANZA (m)	LUNGHEZZA (m)
TSD10	60	5	885
TSD10bis	192	5	1000
TOTALE			1.885

La planimetria con la posizione delle linee di rilievo, dei punti di ricezione e di energizzazione è riportata in allegato (rif.01).

4.3 INDAGINI MASW

L'indagine ha previsto l'esecuzione di n.9 MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves), effettuate al fine di identificare il profilo verticale della Vs (velocità di propagazione delle onde di taglio).

Ogni tiro è stato ripetuto almeno una volta per migliorare mediante operazione di stacking (somma di più impulsi sismici generati nella medesima posizione) la qualità del segnale acquisito (aumento del rapporto segnale/disturbo). Di seguito si riporta la codifica dell'indagine, il numero di posizioni di ricezione e l'interdistanza.

ID	PUNTI DI RICEZIONE	INTERDISTANZA (m)
VS30_1	12	2
VS30_2	12	2
VS30_3	12	2
VS30_4	24	2
VS30_5	24	2
VS30_6	24	2.5
VS30_7	24	2.5
VS30_8	24	2
VS30_9	24	2.5

Le posizioni ed i risultati ottenuti sono riportati in allegato (rif.01 e 03).

4.4 INDAGINI GEOELETTRICHE

L'indagine ha previsto l'esecuzione di n. 7 profili di rilievi eseguiti con metodologia elettrica. Nella tabella si riporta codifica linea, lunghezza della sezione, il numero di elettrodi e la loro interdistanza:

ID SEZIONE	PUNTI DI RICEZIONE	INTERDISTANZA (m)	LUNGHEZZA (m)
TSD1	41	3	120
TSD3	41	3	120
TSD4	41	3	120
TSD5	41	3	120
TSD7	41	3	120
TSD8	41	4	160
TSD11	81	3.5	280
TOTALE			1.040

Le posizioni delle linee di rilievo ed i risultati ottenuti sono riportati in allegato (rif.01 e 02).

5 ELABORAZIONE DATI

5.1 INDAGINI SISMICHE

La linea di sismica a rifrazione è stata analizzata tramite elaborazione tomografica.

Sono stati previsti i seguenti step:

Definizione dei tempi di arrivo

I dati acquisiti sono stati convertiti da formato SEG 2 a SU (Seismic Unix) con il software SeisOpt Picker. Utilizzando lo stesso software, sono stati analizzati i film sismici acquisiti e successivamente determinati per ogni traccia i tempi di primo arrivo delle onde compressionali P (FBP - First Break Peak).

Elaborazione tomografica

L'elaborazione tomografica è stata effettuata con il software Rayfract che utilizza il metodo di inversione WET (Wavepath Eikonal Traveltime).

L'algoritmo di inversione utilizza l'approccio basato sulle zone di Fresnel che costituisce un'alternativa ai metodi di inversione basati sul ray tracing.

Gli assunti di base di tale modellizzazione sono:

- ✓ i raggi sismici sono considerati come fronti d'onda sferici;
- ✓ il range di frequenza dell'impulso sismico è considerato finito (condizione rappresentativa della realtà);
- ✓ la perturbazione sismica indotta si propaga in uno spazio finito 3D (zona di Fresnel) attorno al raggio sismico.

L'analisi dei tempi di primo arrivo permette di definire il modello iniziale di velocità (gradiente), attraverso il quale calcolare i tempi di arrivo teorici delle onde sismiche. Calcolando i tempi residui (T_r), ossia la differenza tra tempo osservato e tempo calcolato, viene definita l'approssimazione del modello teorico al modello sperimentale.

Lo step successivo è dato dalla costruzione di un sistema di equazioni lineari che stabilisce la relazione tra i residui (T_r) e la variazione che deve essere apportata al modello iniziale di velocità per ottenere un modello quanto più possibile attendibile. L'iterazione del calcolo prosegue fino a quando la differenza tra tempi calcolati e tempi osservati risulta accettabile.

I risultati dell'inversione tomografica sono:

- matrici V_p ;
- dromocrone calcolate;
- valori di RMS dei tempi residui;
- matrice di copertura (coverage): copertura dei raggi sismici nello spazio indagato;
- matrice di risoluzione: scostamento del modello finale dal modello iniziale (variazione apportata dal processo tomografico al modello iniziale).

Restituzione e interpretazione e delle sezioni sismiche

I dati delle matrici V_p sono rappresentati in contouring 2D (con opportuna scala colore) mediante il software Surfer 13. L'algoritmo utilizzato per tale rappresentazione è il kriging con un valore di smoothing (filtro spaziale) basso. Questa funzione di interpolazione spaziale si basa sull'autocorrelazione della grandezza (in questo caso la velocità V_p), cioè l'assunto che la grandezza in oggetto vari nello spazio con continuità. Le sezioni ottenute sono state riportate su tavole costruite con il software AutoCAD 2017 (Autodesk).

5.1.1 METODO GRM

Il metodo del reciproco generalizzato (G.R.M. di R. Palmer) consente di ricostruire rifrattori ondulati a qualunque profondità utilizzando la geometria dei profili coniugati.

Gli aspetti di base dell'elaborazione sono:

Il calcolo della funzione analisi-velocità, dalla quale si ottiene la velocità del rifrattore.

Il calcolo della funzione tempo-profondità, che è una misura della profondità del rifrattore, espressa in unità di tempo.

L'analisi sismica si basa sulla determinazione del tempo di tragitto delle onde sismiche tra due geofoni separati da una distanza variabile XY , che entra nel calcolo della velocità di propagazione delle onde nel rifrattore e della sezione tempo – profondità.

Il problema consiste nel calcolare con precisione la distanza XY ottimale per la quale i segmenti dei raggi che viaggiano verso l'alto e arrivano a ciascun geofono, emergano quasi dallo stesso punto del riflettore. Ciò permette di valutare tutte le eventuali variazioni laterali di velocità del rifrattore, e quindi di ricostruire anche morfologie complesse.

Il metodo G.R.M. si sviluppa attraverso due fasi:

1. Definizione delle funzioni.
2. Stima del valore ottimale di XY .

In allegato è riportato il modello "Wavepath Coverage" ottenuto dalle linee di rilievo elaborate con metodo G.R.M. – Plus Minus.

5.2 INDAGINI MASW

I dati acquisiti sono stati elaborati per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio V_s utilizzando i seguenti passaggi:

- determinazione spettro di velocità;
- identificazione curve di dispersione;
- inversione/modellazione delle curve di dispersione.

Il software utilizzato per tale analisi di dati è winMASW 4.6 (Eliosoft).

5.3 SISMICA A RIFLESSIONE

Per l'analisi dei dati è stato utilizzato il software Visual SUNT Pro.

La sequenza di processing per dati sismici a riflessione si compone di una successione di operazioni applicate in cascata e organizzate in azioni pre-stack e post-stack.

Operazioni pre-stack

➤ Formattazione dei dati:

I dati ottenuti nel corso dell'indagine sono registrati in formato SEG-2; poiché la dimensione utilizzata nel processing sismico è la SEG-Y, la prima operazione da compiere è adeguare il formato SEG-2 a quello richiesto dal programma di elaborazione.

➤ Geometria:

Le coordinate geografiche e le quote di ogni stazione, vengono trasferite nell'header dei record di campagna in modo da assegnare correttamente la collocazione spaziale dei punti di scoppio e delle tracce sismiche.

➤ Editing-Controllo della qualità:

La procedura di "trace editing" rappresenta la fase in cui si esegue l'eliminazione delle tracce mal funzionanti, morte o comunque particolarmente rumorose.

➤ Recupero delle ampiezze:

A causa della sua propagazione nel sottosuolo l'onda sismica subisce una progressiva perdita di energia legata alla divergenza sferica (spreading geometrico), all'attenuazione anelastica ed alla ripartizione dell'energia alle interfacce; in termini di traccia sismica ciò si traduce in una diminuzione delle ampiezze con il crescere del tempo di propagazione in profondità e distanza. Per recupero delle ampiezze si intende, quindi, la compensazione del decadimento delle ampiezze che si rende necessaria nelle operazioni di processing per avere un'ottimizzazione dell'immagine.

➤ Filtraggio:

Nel processing sismico il filtraggio rappresenta un'operazione molto importante in quanto permette di ottenere un'attenuazione del rumore coerente ed incoerente e, di conseguenza, l'esaltazione del segnale di interesse.

Le modalità di filtraggio sono tre e la scelta della metodologia da adottare dipende dalle caratteristiche del segnale e del rumore:

- Nel dominio del tempo e delle distanze; si tratta dell'annullamento o del taglio delle ampiezze di porzioni di sezioni nel dominio tempo-spazio (t-x) che presentano del rumore. La tecnica più utilizzata in questo caso è il muting che manualmente o automaticamente permette di eliminare ad esempio il ground roll, l'onda d'aria o il rumore incoerente pre-primi arrivi.
- Nel dominio F-K; impiegato per l'eliminazione del rumore coerente contraddistinto da velocità caratteristiche quali il ground roll (250-330 m/s) o l'onda d'aria (340 m/s).
- Nel dominio delle frequenze; esso è effettuato sulla singola traccia tramite un'analisi di Fourier che permette di identificare le frequenze contenute nel segnale e quindi di applicare un filtro passa alto, passa basso o passa banda che consenta di esaltare le frequenze di interesse.

➤ Sort:

Prima di procedere con l'analisi di velocità e con le operazioni di stack i dati vengono riorganizzati dal dominio shot gather al dominio CDP-gather; per ciascun Common Depth Point-gather le tracce in esso contenute sono associate al medesimo punto medio superficiale.

➤ Analisi di velocità:

L'analisi di velocità mira alla determinazione delle funzioni di velocità che allineano i segnali riflessi nel dominio CDP-gather. Essa rappresenta il passaggio fondamentale che permette la conversione dal dominio del tempo (il sismogramma) al dominio della profondità (la sezione geologica finale).

L'analisi di velocità è essenzialmente una procedura di modellazione inversa in cui la ricerca dei valori di velocità di stack (Vstack) in funzione della profondità si ottiene per tentativi. Tra le metodologie che si possono adoperare in tale fase del processing ci sono:

- Constant Velocity Stack (CVS);
 - Analisi degli spettri di velocità;
 - Pannelli di velocità costante (CVP).
- Stack delle tracce:

Una volta corrette per la velocità di NMO, sulle tracce appartenenti a ciascun CDP si esegue una somma in fase. In questo modo le riflessioni verranno rinforzate e contemporaneamente si avrà un'attenuazione del rumore grazie all'eliminazione statistica degli eventi non allineati. Tale fase del processing produrrà la cosiddetta sezione stack.

Operazioni post-stack:

➤ Migrazione:

La prima operazione post-stack da compiere nel processing sismico è la migrazione; essa mira al completo recupero della corretta ubicazione spaziale degli eventi contenuti nella sezione stack, ed opera riportando gli orizzonti nella loro posizione reale.

Il processo di migrazione ha lo scopo di far collassare le iperboli di diffrazione che si generano in corrispondenza delle discontinuità degli orizzonti e di riposizionare le superfici pendenti, ripristinando in questo modo le reali geometrie dei riflettori nella sezione tempo.

➤ Correzioni statiche:

Nella sismica a riflessione le tracce sono caratterizzate da una serie di sfasamenti temporali causati dalle variazioni topografiche e dalle variazioni di velocità e spessore dello strato più superficiale del terreno (è lo strato areato o wethered zone). Nel corso del processing sismico i ritardi e gli anticipi nei tempi di primo arrivo legati a tali fattori devono essere collocati in modo tale da poter applicare la giusta correzione a ciascuna traccia sismica; ciò fa sì che i dati vengano ridotti ad un piano di riferimento comune chiamato datum.

➤ Conversione in profondità:

La sezione stack restituisce un'immagine del sottosuolo con scale verticale espressa in tempi doppi (TWTT); essa rappresenta, infatti, il tempo totale impiegato dall'onda sismica per raggiungere una generica superficie di discontinuità posta in profondità e riemergere in superficie dopo la riflessione. La conversione

della sezione-tempi in una sezione-profondità avviene attraverso l'applicazione delle velocità medie ottenute dalla precedente analisi di velocità.

5.4 INDAGINE GEOELETRICA

L'elaborazione dei dati ha previsto i seguenti step:

1. **Pseudosezione misurata:** rappresentazione 2D dei valori di resistività apparente misurata ottenuta mediante interpolazione geometrica dei dati con contouring.
2. **Filtraggio dati:** la rappresentazione grafica dei dati misurati come sezione 2D attraverso la pseudosezione permette di eliminare eventuali dati anomali. Singoli valori di resistività, corrispondenti dunque ad un unico punto di misura, decisamente superiori o inferiori rispetto ai materiali circostanti sono infatti certamente legati ad un disturbo di sistema e non ad una reale anomalia con corrispondenza nel sottosuolo. Affinché un'anomalia abbia una corrispondenza concreta deve infatti presentare una densità di punti di misura significativa in relazione alla densità della matrice dei dati acquisita, per tale ragione i singoli punti anomali vengono eliminati tramite l'operazione di filtraggio.
3. **Modello diretto:** il modello è stato costruito eliminando tutti i valori inferiori a 1 ohm.m e con un massimo valore di errore pari al 5%. È stato scelto come metodo di elaborazione il metodo agli elementi finiti con equazione di risoluzione Cholewsky.
4. **Modello inverso:** il metodo di inversione scelto è quello dei minimi quadrati smorzati con massimo numero di iterazioni pari a 8 e range di resistività compreso tra 1 e 1000 ohm.m. Come modello iniziale dell'inversione è stata scelta la pseudosezione.
5. **Valutazione del modello:** al fine di eliminare eventuali artefatti matematici al termine dell'inversione tomografica sono stati eliminati per ogni sezione i valori con L2 più elevati. Il valore di L2 cambia in funzione dell'attendibilità geologica del modello ottenuto.
6. **Costruzione sezioni profondità:** il modello ottenuto dall'inversione è stato esportato per ogni linea di rilievo in formato ASCII. I valori di resistività calcolati sono stati rappresentati in contouring 2D (con opportuna scala colore). L'algoritmo utilizzato per tale rappresentazione è quello di "triangolazione con interpolazione lineare" con un valore di smoothing (filtro spaziale) medio.

L'elaborazione dei dati è stata effettuata con i seguenti software:

- Data processing Earth Imager 2D (Geosciences software)
- Interpolazione matrici 2D Surfer 13 (Golden Software)
- Rappresentazione grafica AutoCAD 2017 (Autodesk).

6 RISULTATI DEL RILIEVO

Su incarico di Technital sono state realizzate delle indagini geofisiche volte ad indagare il sottosuolo in corrispondenza della A31 Trento-Rovigo, Tronco Trento-Valdastico-Piovene Rocchette.

Sono state effettuate le seguenti tipologie di indagine:

- **Indagini sismiche a rifrazione**
- **Indagini sismiche a riflessione**
- **Indagini MASW**
- **Indagini geoelettriche**

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva delle indagini effettuate:

ID SEZIONE	SISMICA A RIFRAZIONE	SISMICA A RIFLESSIONE	TOMOGRAFIA ELETTRICA	INDAGINI MASW
TSD1	X		X	
TSD2	X			
TSD2bis	X			
TSD3	X		X	
TSD4	X		X	
TSD4bis	X			
TSD5	X		X	
TSD6	X			
TSD7	X		X	
TSD8	X		X	
TSD9	X			
TSD10		X		
TSD10bis	X	X		
TSD10ter	X			
TSD11	X		X	
Vs30_1				X
Vs30_2				X
Vs30_3				X
Vs30_4				X
Vs30_5				X
Vs30_6				X
Vs30_7				X
Vs30_8				X
Vs30_9				X
TOTALE	3.931 m	1885 m	1.040 m	9

Nella presente relazione sono stati riportati la metodologia di indagine, le specifiche tecniche del rilievo, la strumentazione utilizzata e la descrizione dei risultati del rilievo geofisico stesso. Per ogni linea di indagine è stato effettuato il rilievo topografico tramite GPS.

In allegato si riportano:

- ✓ **Planimetrie con ubicazione stendimenti**
- ✓ **Linee sismica a rifrazione e tomografia elettrica:**
 - Sezione tomografia elettrica (se eseguita)
 - Sezione sismica a rifrazione
 - Modulo di attenuazione
 - Wavepath coverage – metodo G.R.M. – Plus Minus
 - Sezione interpretativa
- ✓ **Sismica a riflessione**
 - Sezioni sismica a riflessione interpretative
- ✓ **Indagini MASW**

6.1 INDAGINI SISMICHE

Si descrivono in questo capitolo i risultati derivanti dalle indagini sismica a rifrazione e sismica a riflessione.

Si fa presente che la velocità sismica è un parametro che dipende dalle caratteristiche meccaniche del materiale quali: porosità, resistenza al taglio, compressibilità, quantità di fratture, saturazione.

Ai fini dell'interpretazione del rilievo geofisico è opportuno ricordare alcune delle osservazioni riguardanti le proprietà dei materiali:






- i materiali sciolti presentano valori di velocità inferiori rispetto a materiali lapidei;
- i materiali sciolti presentano velocità proporzionali al materiale costituente i grani e alla percentuale di vuoti;
- le velocità sono proporzionali in modo diretto allo stato di addensamento dei materiali.

6.1.1 SISMICA A RIFRAZIONE

L'elaborazione dei dati sismici delle velocità delle onde P ha portato all'individuazione delle seguenti unità:

- **Unità superficiale:** valori di velocità delle onde P inferiori a 1000 m/sec, caratterizzata dalla presenza di materiale sciolto superficiale.
- **Seconda unità:** valori di velocità delle onde di compressione compresi tra 1000 m/s e 2600-2800 m/s. Tale unità è stata attribuita a materiale variamente addensato grossolano.
- **Unità di transizione** - identificata in corrispondenza della sezione TSD2bis a 260 m da inizio linea. Tale zona è caratterizzata da una variazione laterale nelle velocità delle onde P all'interno dell'unità 3.
- **Terza unità:** presenta velocità comprese tra 2600-2800 m/s e 4000 m/s ed è attribuita a materiale a vario stato di addensamento/substrato alterato/materiale fratturato.
- **Quarta unità:** la quarta unità, con velocità superiori a 4000 m/s si riferisce a substrato lapideo.

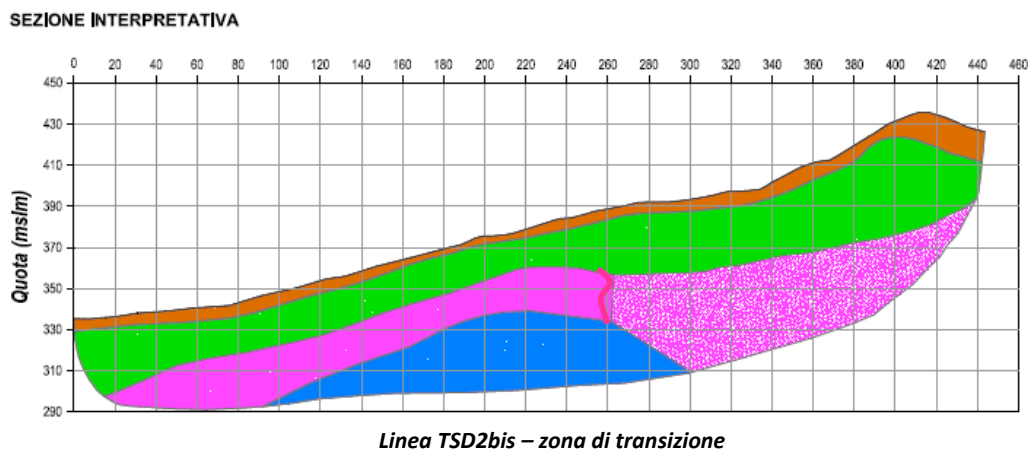
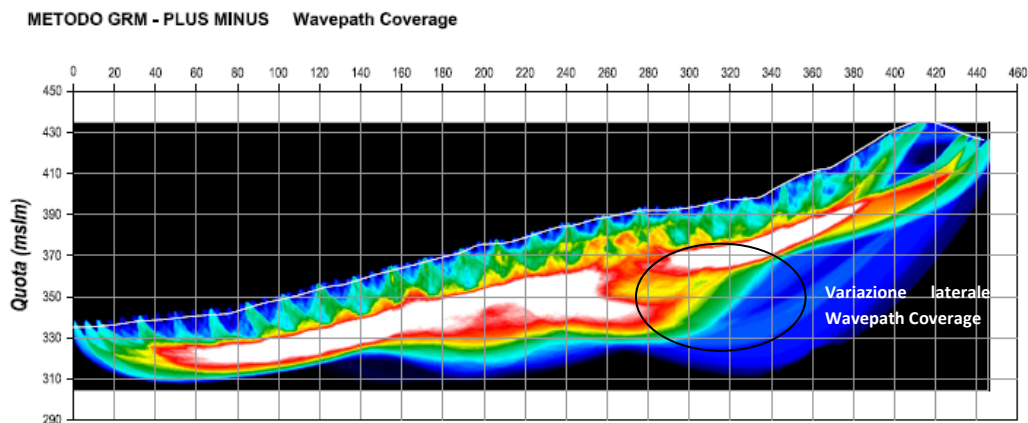
Nella tabella seguente si riportano le unità individuate, la relativa legenda, e le velocità P:

	UNITÀ	Velocità P (m/s)
	1	<1000
	2	1000 < Vp < 2600-2800
	TRANSIZIONE	-
	3	2600-2800 < Vp < 4000
	4	>4000

Nello specifico l'unità 3 lungo la sezione TSD2bis presenta uno spessore costante di circa 20 m; ad una distanza di 260 m da inizio linea è presente una variazione laterale di velocità (decremento) con un aumento nello spessore dell'unità stessa; tale zona viene identificata come zona di transizione all'interno dell'unità 3 (zona più lenta).

Tale zona è ben identificata dal modello GRM: nella prima parte della linea è presente un contrasto netto tra l'unità 2 e l'unità 3 e dunque punti di ginocchio chiaramente identificabili (colore bianco-rosso Wavepath Coverage); lateralmente è presente una variazione nella copertura delle Wavepath (colore blu) che identifica un approfondimento verso monte dell'unità 3. In tale zona (a circa 260 m da inizio linea) non è stato pertanto riscontrata l'unità 4 (substrato).

Si riporta di seguito, a titolo esemplificativo, lo stralcio della sezione con metodo GRM e la sezione interpretativa.



Ai fini di una corretta interpretazione dei risultati ottenuti, su alcune linee di rilievo sismica a rifrazione è stato applicato il metodo G.R.M. che, in unione al modulo di attenuazione, ha permesso una più precisa interpretazione delle diverse unità stratigrafiche. I risultati dell'elaborazione con metodo Modulo di attenuazione e Analisi GRM sono riportati in allegato (rif.2).

Al fine di correlare il modello sismico con dati diretti è stata realizzata la sezione TSD10ter centrata sul sondaggio S14D. L'analisi congiunta delle due sezioni sismiche (TSD10bis e TSD10ter) e dell'indagine diretta (S14D) ha permesso la costruzione di una sezione interpretativa univoca finale che nasce dall'unione delle osservazioni relative ai risultati ottenuti tramite le metodologie sopracitate.

I risultati delle indagini eseguite sono riportati in allegato (rif.02).

6.1.2 SISMICA A RIFLESSIONE

La tecnica a sismica a riflessione ha come obiettivo la ricostruzione delle strutture geologiche sepolte attraverso l'acquisizione e la successiva elaborazione delle informazioni contenute negli echi di onde elastiche generate artificialmente in superficie.

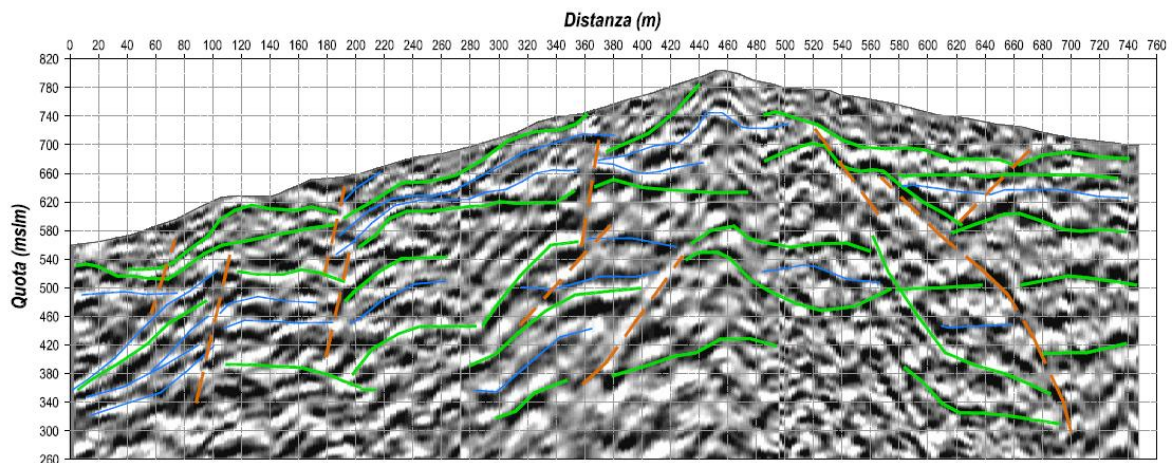
L'elaborazione del dato sismico a riflessione ha permesso di individuare un modello del sottosuolo fino ad una profondità di circa 300 m.

La sezione sismica TSD10 ha identificato principalmente due tipologie di riflettori e diverse superfici di discontinuità. Si riporta di seguito la legenda e uno stralcio di sezione esemplificativa:

 riflettore principale

 riflettore interno

 discontinuità



Linea TSD10 – sezione interpretativa

Come si osserva dalla sezione sopra riportata, sono stati identificati dei riflettori principali con geometria sub-orizzontale pressochè continua (colore verde). L'andamento di tali riflettori segue la superficie topografica ed è interrotto lateralmente da superfici di discontinuità indicate con linea di colore marrone identificate ad una profondità di circa 20-40 m da superficie.

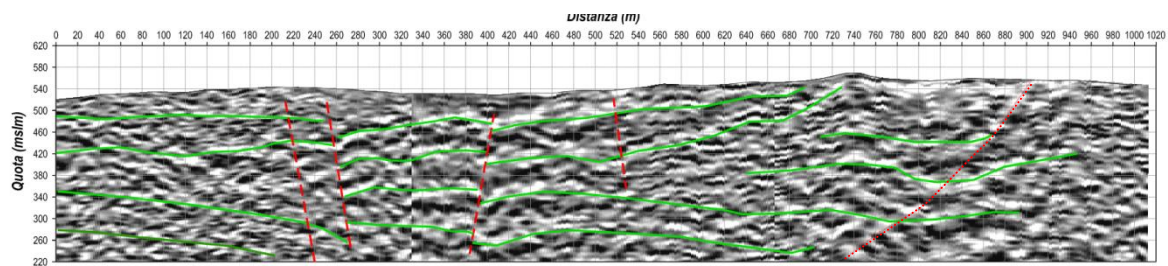
L'analisi della sezione sismica ha inoltre individuato dei riflettori di tipo secondario ubicati all'interno degli strati identificati dalle superfici riflettenti principali.

La sezione sismica TSD10bis ha identificato principalmente una tipologia di riflettore e diversi Lineamenti sub-verticali. Si riporta di seguito la legenda e uno stralcio di sezione esemplificativa:

 Riflettore principale

 Lineamento sub-verticali

 Lineamenti



Linea TSD10bis – sezione interpretativa

Sono stati identificati dei riflettori principali con geometria sub-orizzontale pressochè continua (colore verde). L'andamento di tali riflettori è interrotto lateralmente da lineamenti sub-verticali indicati con linea tratteggiata di colore rosso.

L'analisi della sezione sismica ha inoltre individuato un lineamento con geometria non sub-verticale indicata in sezione con linea puntinata di colore rosso.

In prossimità dei lineamenti sopra descritti sono state riscontrate in tomografia sismica a rifrazione (linea 10bis) zone caratterizzate da una diminuzione nei valori di velocità delle onde P.

6.2 INDAGINI MASW

L'indagine MASW ha come obiettivo la valutazione del parametro Vs30.

Il software utilizzato per l'elaborazione dei dati è winMASW 4.6 Standard (Eliosoft).

In allegato 03 si riportano i risultati delle elaborazioni effettuate.

Si ricorda che dalla normativa (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n°29 del 04/02/2008) vengono distinte le seguenti tipologie di terreno:

- A. Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.
- B. Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).
- C. Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà

- meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < \text{NSPT30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < \text{cu30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
- D. Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 inferiori a 180 m/s (ovvero $\text{NSPT30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $\text{cu30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
 - E. Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $\text{VS} > 800$ m/s).
 - F. Depositi di terreni caratterizzati da valori di VS30 inferiori 100 m/s (ovvero $10 < \text{cu30} < 20$ kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includano almeno 3 m di torba o argille altamente organiche.
 - G. Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

L'elaborazione dell'indagine MASW ha identificato i seguenti valori di Vs30(m/s):

INDAGINE MASW	Vs30 (m/s)	Tipologia di terreno
VS30_1	631	B
VS30_2	772	B
VS30_3	634	B
VS30_4	635	B
VS30_5	893	A
VS30_6	678	B
VS30_7	568	B
VS30_8	843	A
VS30_9	603	B

Sulla base dell'indagine eseguita è dunque possibile ascrivere le aree come suoli di classe sismica "A" (linee 5 e 8) e "B":

Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.

Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $\text{NSPT30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $\text{cu30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

L'ubicazione in planimetria e i risultati dell'indagine sono riportati in allegato (01 e 03).

6.3 INDAGINI ELETTRICHE

Ai fini di una corretta interpretazione dei risultati ottenuti con indagine sismica a rifrazione è stata realizzata una indagine in tomografia elettrica su alcuni stendimenti.

La tomografia elettrica consente di ottenere una rappresentazione del modello di resistività del sottosuolo.

Ai fini di una corretta interpretazione dei risultati ottenuti occorre ricordare che la resistività elettrica dei terreni e delle rocce dipende da numerosi fattori quali il contenuto dei fluidi e di minerali, la porosità, il grado di saturazione delle rocce, la conducibilità della soluzione saturante nonché la litologia stessa del terreno o della roccia; da ultimo anche la forma dei pori può influenzare la resistività.

Per quanto riguarda le indagini elettriche in generale è possibile affermare quanto segue:

- ✓ materiali naturali come le rocce ignee e metamorfiche sono caratterizzate da un comportamento fortemente resistivo che può raggiungere valori dell'ordine di grandezza pari a 107 ohm.m (in funzione della porosità e del contenuto di acqua);
- ✓ materiali naturali come le rocce sedimentarie presentano range di resistività variabili da qualche decina di ohm.m fino a 105 ohm.m (in funzione del grado di fratturazione);
- ✓ materiali naturali di tipo granulare (sabbie e ghiaie) sono caratterizzati da un comportamento fortemente resistivo; in funzione della granulometria dei materiali i valori di resistività variano da 100 fino a 3000-4000 ohm.m;
- ✓ materiali naturali di tipo coesivo (limi e argille) presentano valori di resistività bassi nell'ordine di qualche decina di ohm.m.

L'indagine geoelettrica eseguita lungo diversi stendimenti di metodologia sismica a rifrazione ha permesso di identificare le seguenti unità, a conferma del modello individuato con metodologia sismica:

- **Unità 1:** la prima unità presenta valori di resistività inferiori a 500 Ohm*m, caratterizzata dalla presenza di materiale superficiale;
- **Unità 2:** presenta valori di resistività compresi tra 500 e >1000 Ohm*m, caratterizzata dalla presenza di materiale grossolano variamente addensato;
- **Unità 3:** valori di resistività >1000 Ohm*m caratterizzata dalla presenza di materiale a vario stato di addensamento/substrato alterato.

I risultati delle indagini sono riportati in allegato (rif.02).

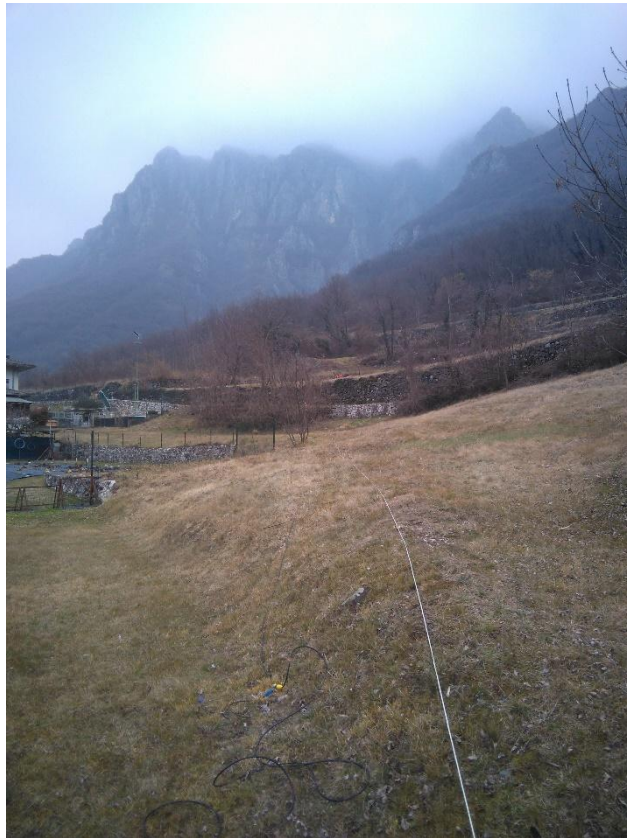
7 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



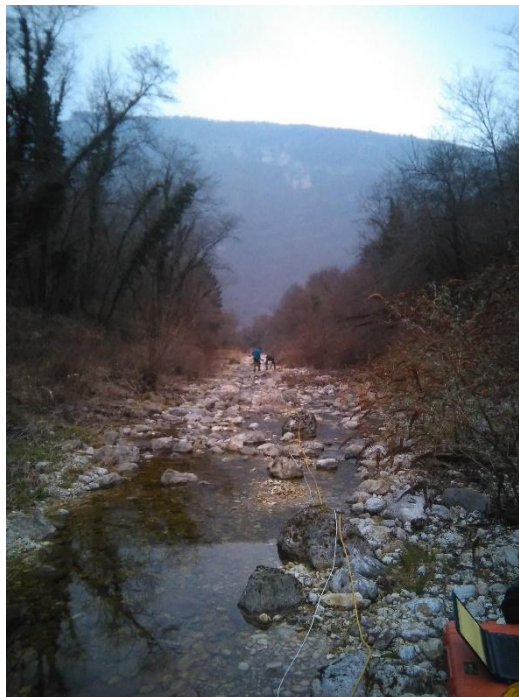
LINEA TSD1 - Tomografia elettrica



LINEA TSD2 - Sismica a rifrazione



LINEA TSD2bis - Sismica a rifrazione



LINEA TSD4bis - Sismica a rifrazione



LINEA TSD10 - Sismica a rifrazione






Rilievo GPS





STRALCIO UBICAZIONE INDAGINI

LEGENDA



INDAGINI GEOGNOSTICHE

PROGETTO DEFINITIVO 1° LOTTO FUNZIONALE-2016

-  **TSD2**
(115)
STENDIMENTO DI SISMICA A RIFRAZIONE con indicazione della relativa orientazione e lunghezza (TS10D e TS10bis sono anche a riflessione)
-  **RG09**
RILIEVO GEOSTRUTTURALE
-  **S1D**
L=25
SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO ATTREZZATO CON PIEZOMETRO A TUBO APERTO (S10D ed S17DBIS sono privi di piezometro)


-  **TSD3***
(120)
STENDIMENTO DI SISMICA A RIFRAZIONE E TOMOGRAFIA ELETTRICA con indicazione della relativa orientazione e lunghezza
-  **AMT01D**
(400)
STENDIMENTO DI AUDIO-MAGNETOTELLURICA con indicazione della relativa lunghezza
-  **Vs30-1**
PROVA MASW PER DETERMINAZIONE DELLA Vs30
-  **PZD1**
POZZETTO ESPLORATIVO CON PROVE DI CARICO SU PIASTRA

PROGETTO PRELIMINARE TRACCIATO T4-2011


-  **Tr03p**
(230)
STENDIMENTO DI SISMICA A RIFRAZIONE con indicazione della relativa lunghezza
-  **SG9**
RILIEVO GEOSTRUTTURALE

-  **AMT01P**
(500)
STENDIMENTO DI AUDIO-MAGNETOTELLURICA con indicazione della relativa lunghezza

PROGETTO DEFINITIVO RACCORDO TRA CASELLO DI PIOVENE ROCCHETTE E SP350 LOC. SCHIRI-2005

-  **SD2P**
L = 20m
SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO
I tubi SD3P ed SD4P sono attrezzati con piezometro a tubo aperto

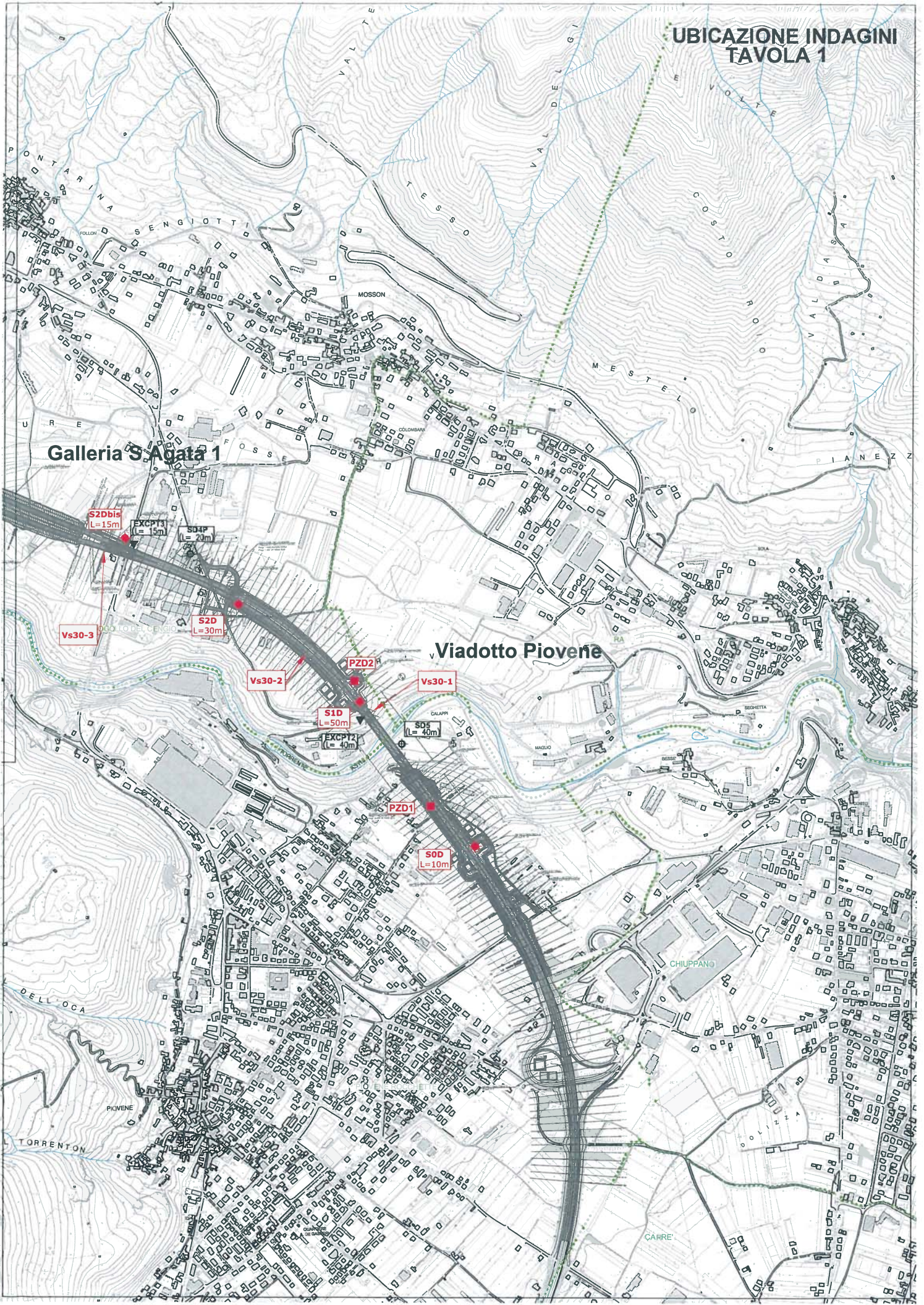
PROGETTO DEFINITIVO TRACCIATO A1-1995

-  **S4 EXCPT3**
L = 15m
SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO IN DETRITO
Il tubo EXCPT2 è attrezzato con piezometro a tubo aperto

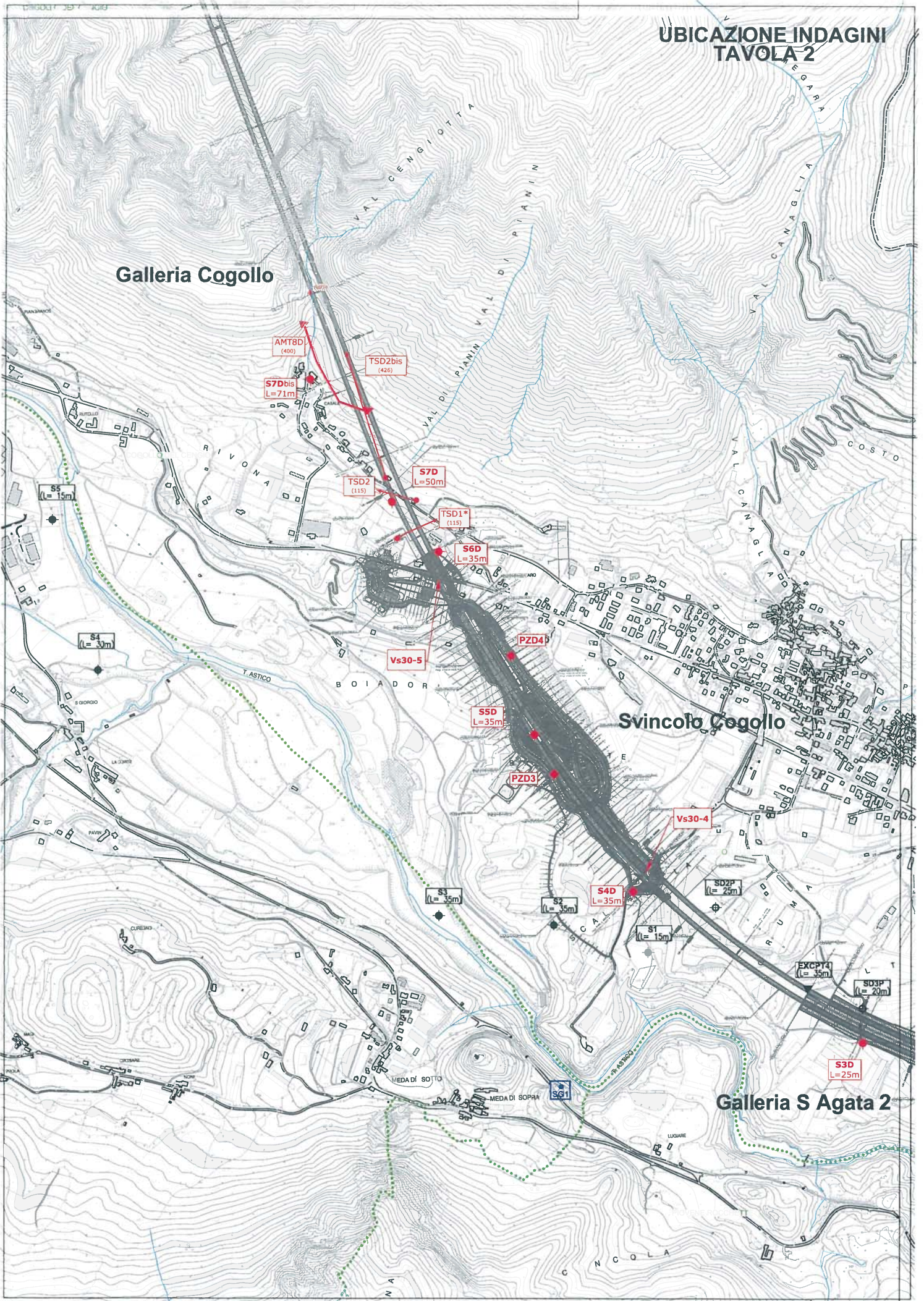
-  **S10bis**
SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO IN DETRITO E ROCCIA

-  **1**
RILIEVO GEOSTRUTTURALE

UBICAZIONE INDAGINI
TAVOLA 1



UBICAZIONE INDAGINI
TAVOLA 2



Galleria Cogollo

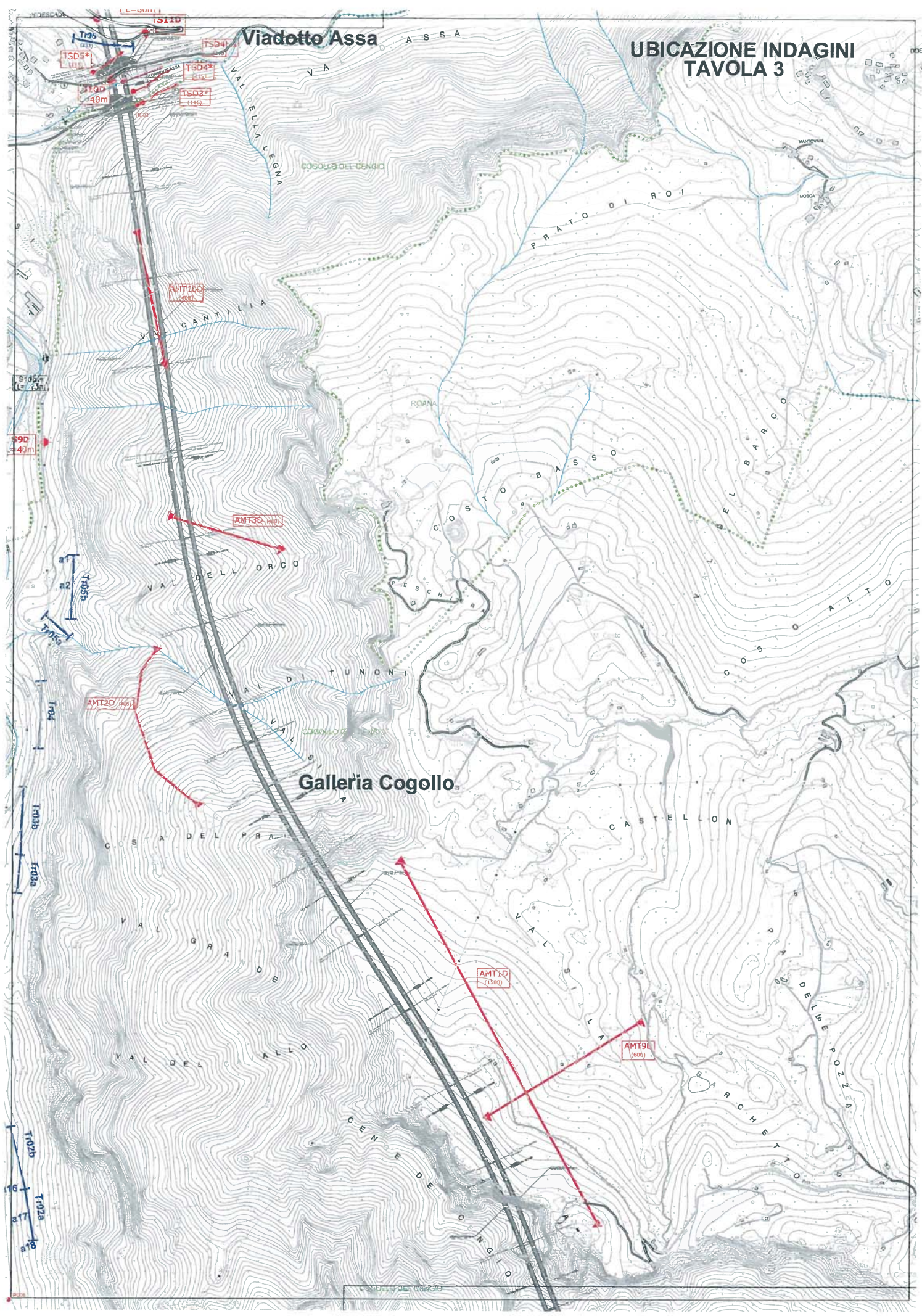
Svincolo Cogollo

Galleria S Agata 2

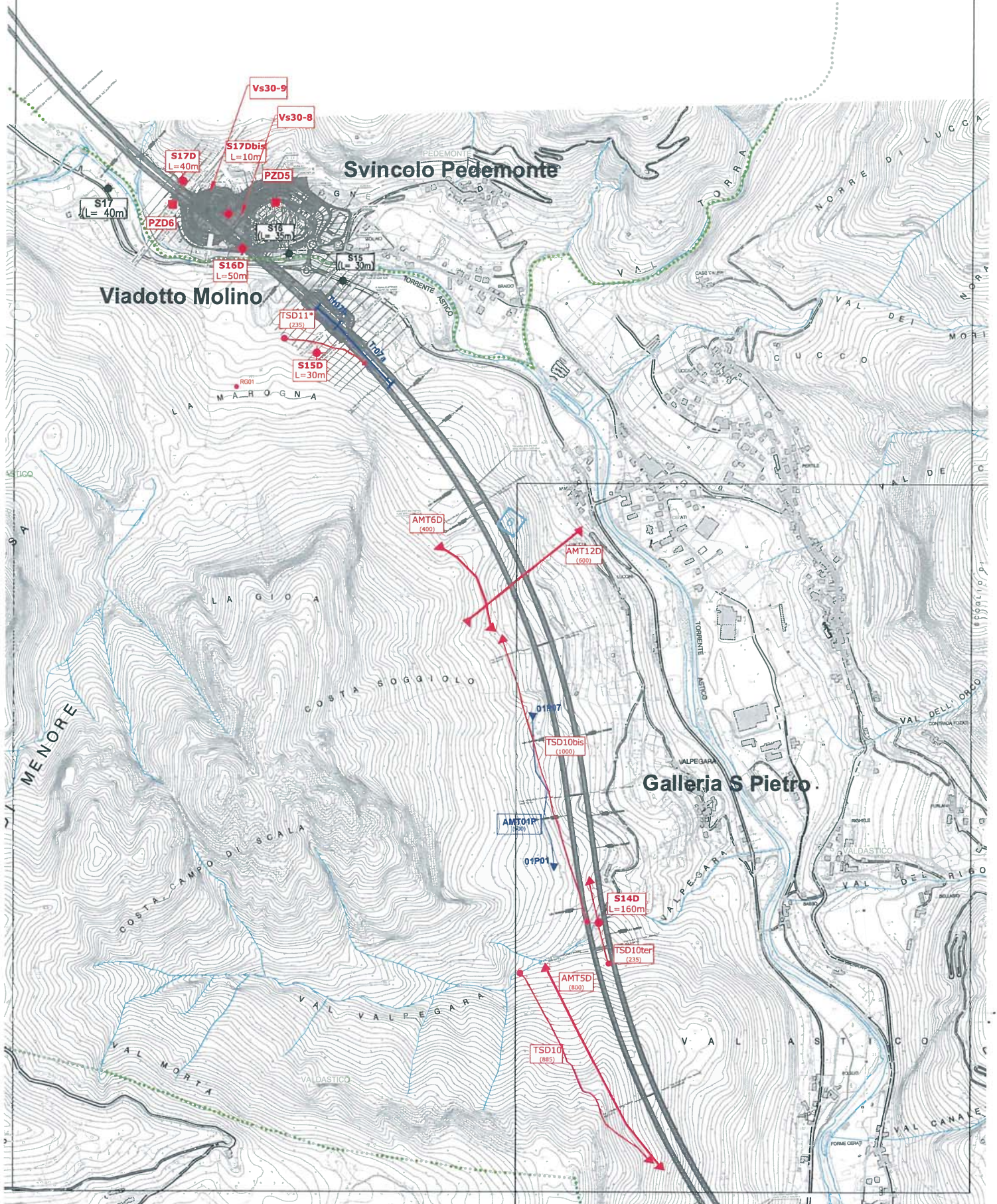
UBICAZIONE INDAGINI TAVOLA 3

Viadotto Assa

Galleria Cogollo



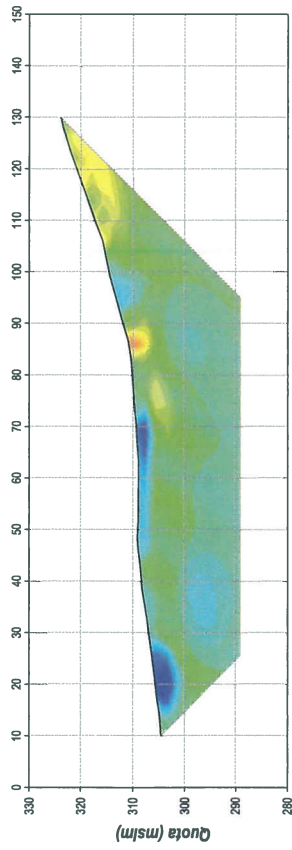
UBICAZIONE INDAGINI TAVOLA 5



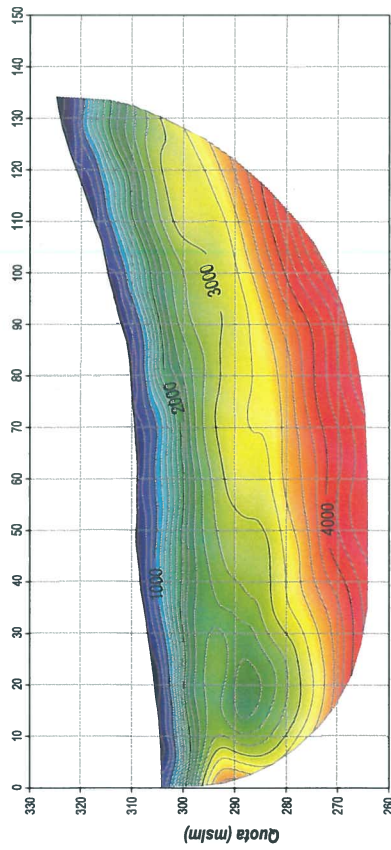
AUTOSTRADA VALDASTICO A31 Nord Trento - Rovigo: tronco Trento - Valdstastico - Piovene Rocchette

LINEA TSD 1

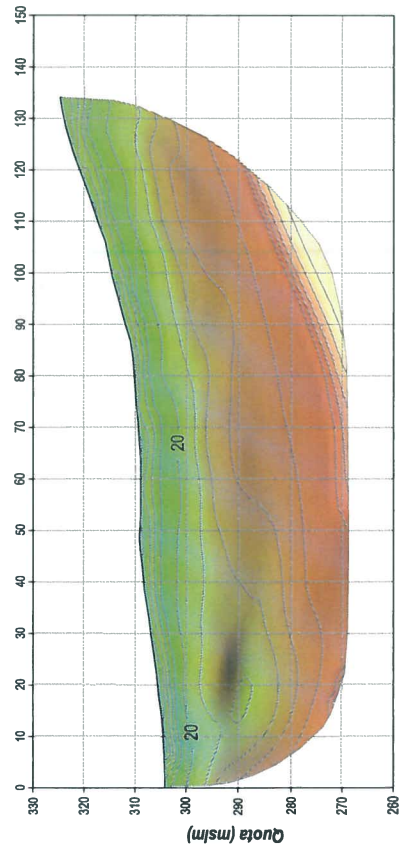
TOMOGRAFIA ELETTRICA



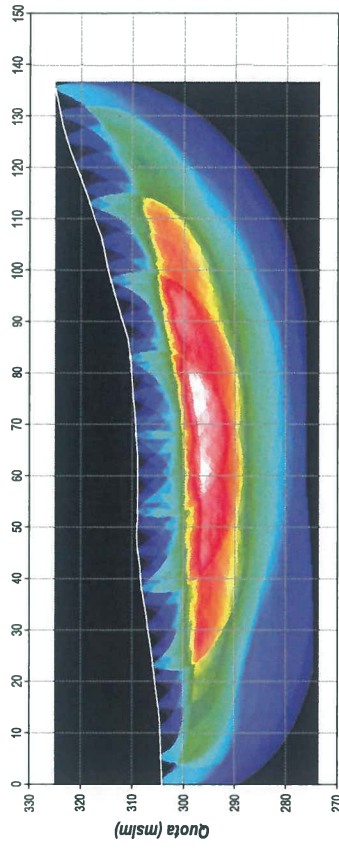
SISMICA A RIFRAZIONE



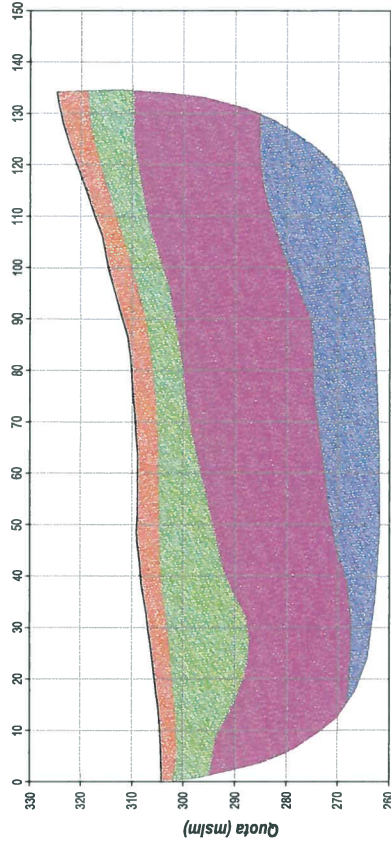
MODULO DI ATTENUAZIONE



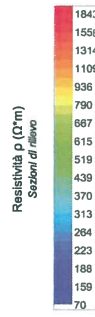
METODO GRM - PLUS MINUS Wavepath Coverage



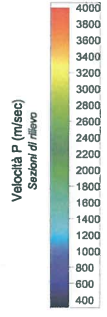
SEZIONE INTERPRETATIVA



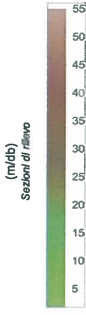
Tomografia elettrica



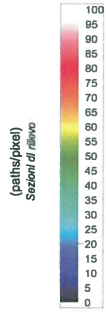
Tomografia sismica a rifrazione



Modulo di attenuazione



Metodo GRM - Plus Minus Wavepath Coverage



LEGENDA

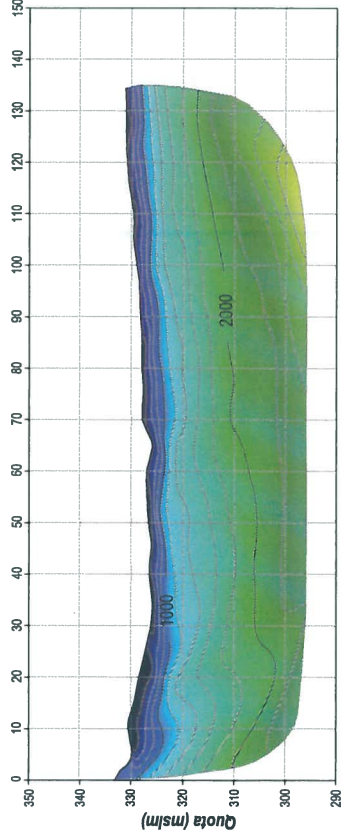
- Materiale superficiale (Vp<1000m/sec)
- Materiale variamente addensato grossolano (1000<Vp<2800m/sec)
- Materiale a vario stato di alterazione/coesione (2800<Vp<4000m/sec)
- Substrato (Vp>4000m/sec)

Scala 1:1.000

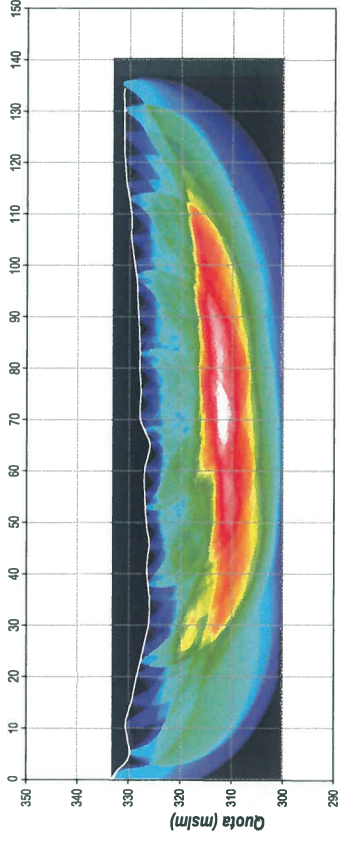


AUTOSTRADA VALDASTICO A31 Nord Trento - Rovigo: tronco Trento - Valdstasco - Piovene Rocchette
LINEA TSD 2

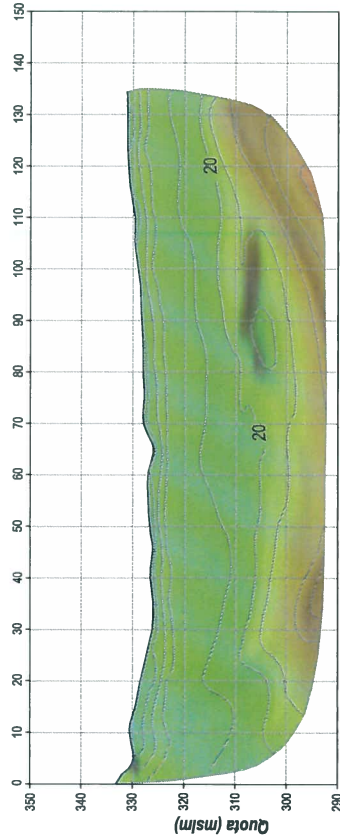
SISMICA A RIFRAZIONE



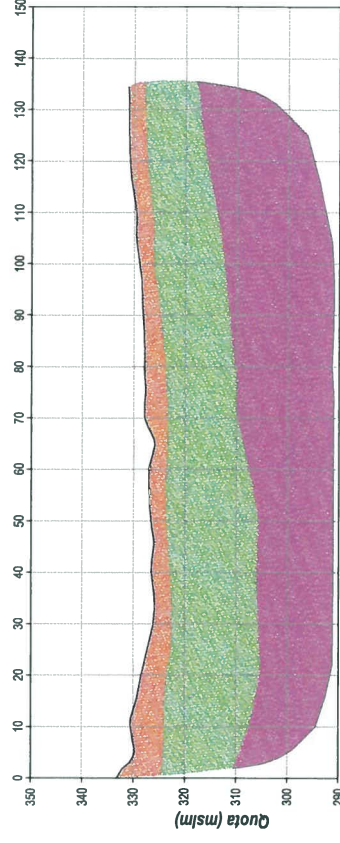
METODO GRM - PLUS MINUS Wavepath Coverage



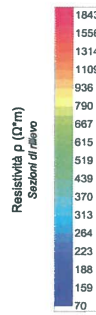
MODULO DI ATTENUAZIONE



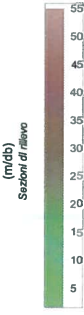
SEZIONE INTERPRETATIVA



Tomografia elettrica



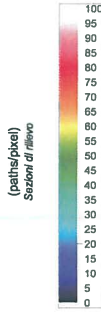
Modulo di attenuazione



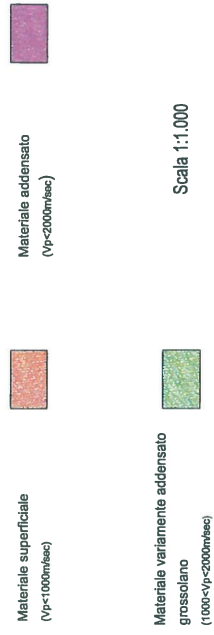
Tomografia sismica a rifrazione



Metodo GRM - Plus Minus Wavepath Coverage

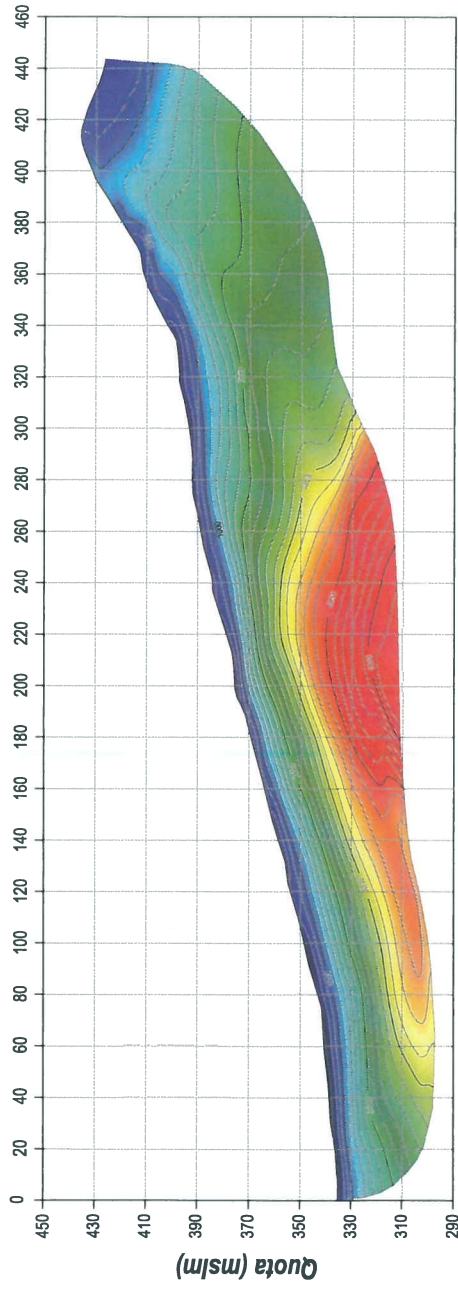


LEGENDA

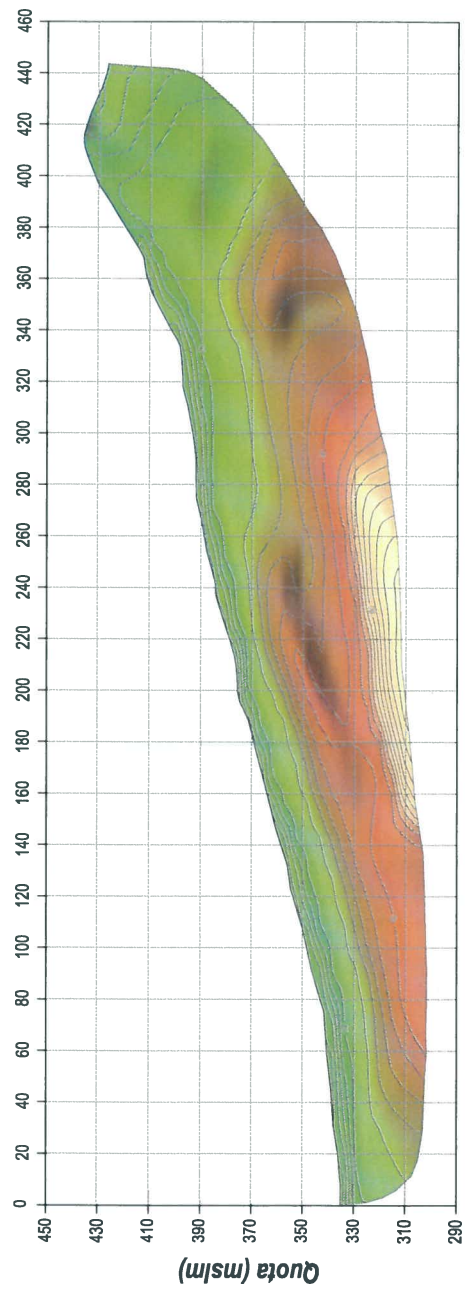


AUTOSTRADA VALDASTICO A31 Nord Trento - Rovigo: tronco Trento - Valdaistico - Piovene Rocchette
LINEA TSD 2bis

SISMICA A RIFRAZIONE

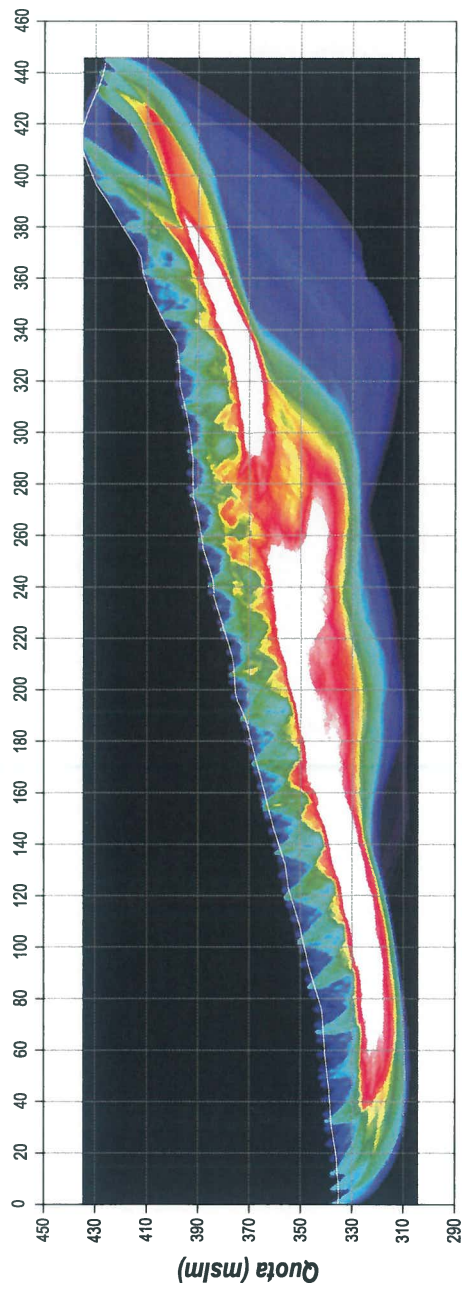


MODULO DI ATTENUAZIONE



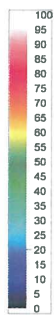
AUTOSTRADA VALDASTICO A31 Nord Trento - Rovigo: tronco Trento - Valdasico - Piovene Rocchette
LINEA TSD 2bis

METODO GRM - PLUS MINUS Wavepath Coverage



Metodo GRM - Plus Minus
Wavepath Coverage

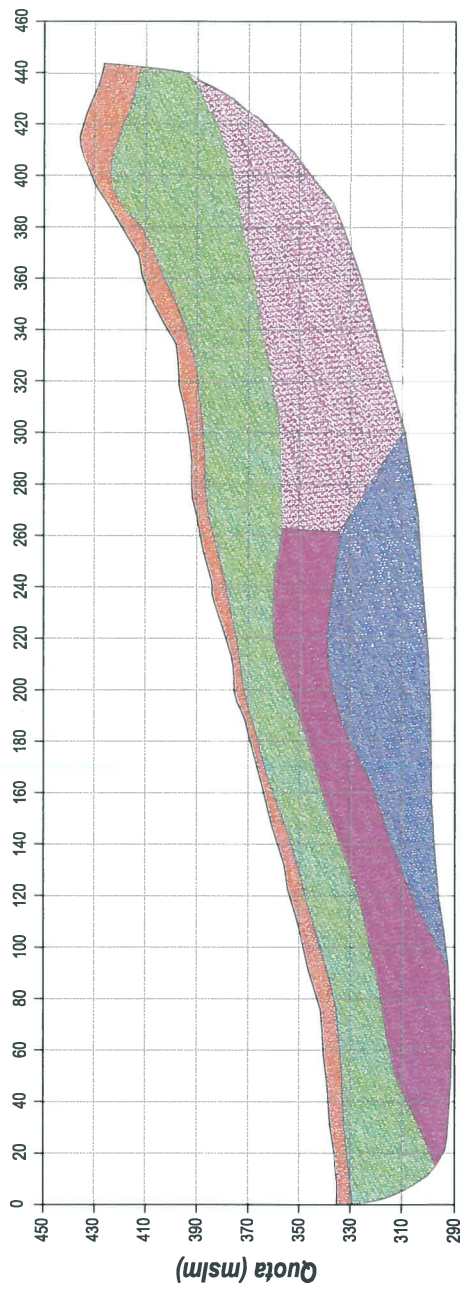
(paths/pxel)
 Sezioni di rilievo



LEGENDA

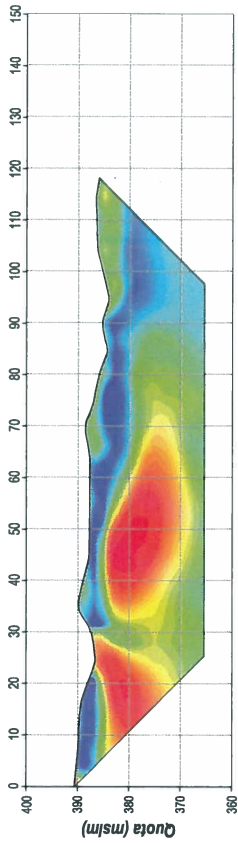
- Materiale superficiale
(Vp<1000m/sec)
- Materiale variamente addensato
grossolano
(1000<Vp<2800m/sec)
- Materiale di transizione
(2800<Vp<4000m/sec)
- Materiale a vario stato di
alterazione/coesione
(2800<Vp<4000m/sec)
- Substrato
(Vp>4000m/sec)

SEZIONE INTERPRETATIVA

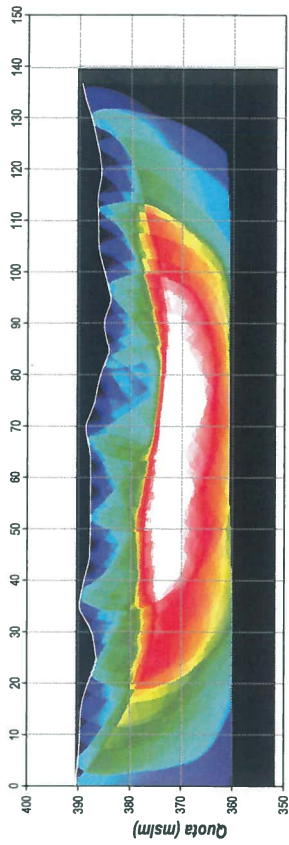


AUTOSTRADA VALDASTICO A31 Nord Trento - Rovigo: tronco Trento - Valdstico - Piovene Rocchette
LINEA TSD 3

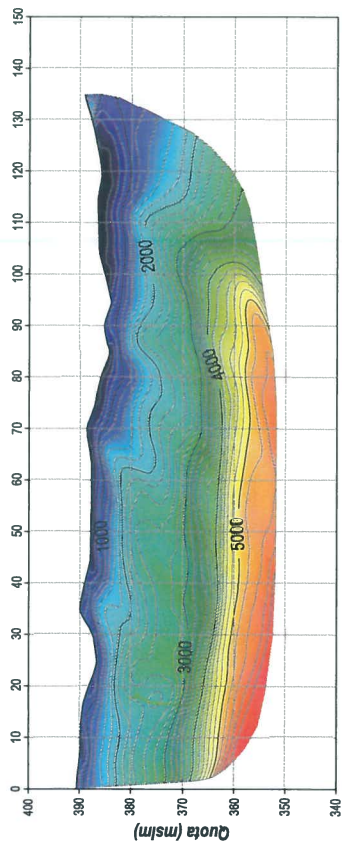
TOMOGRAFIA ELETTRICA



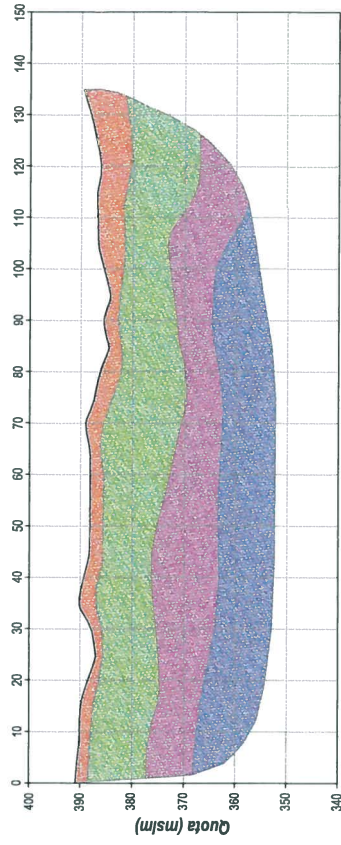
METODO GRM - PLUS MINUS Wavepath Coverage



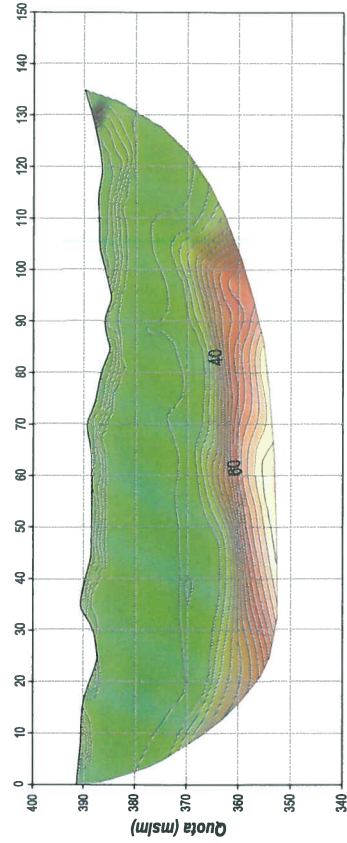
SISMICA A RIFRAZIONE



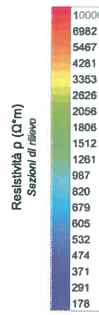
SEZIONE INTERPRETATIVA



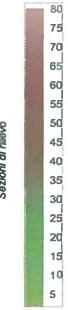
MODULO DI ATTENUAZIONE



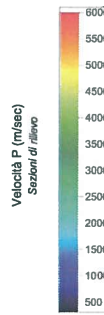
Tomografia elettrica



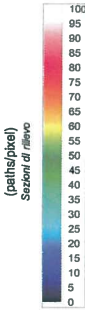
Modulo di attenuazione



Tomografia sismica a rifrazione



Metodo GRM - Plus Minus Wavepath Coverage



LEGENDA

- Materiale superficiale (Vp<1000m/sec)
- Materiale roccioso variamente alterato e fratturato (1000<Vp<2800m/sec)
- Substrato alterato (2800<Vp<4000m/sec)
- Substrato (Vp>4000m/sec)

Scala 1:1.000

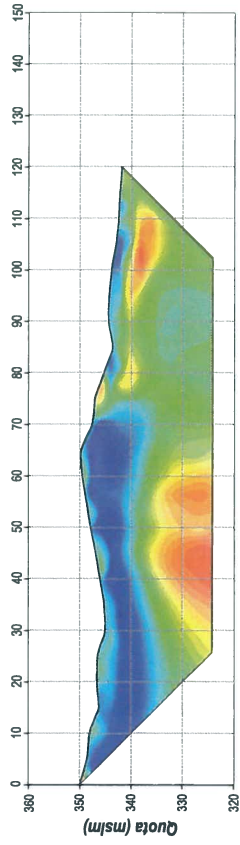


Akron
servizi per l'ingegneria, geologia, ambiente

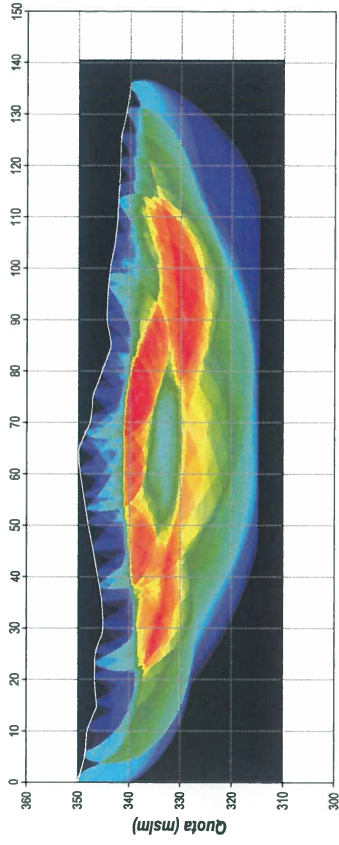
AUTOSTRADA VALDASTICO A31 Nord Trento - Rovigo: tronco Trento - Valdistico - Piovone Rocchette

LINEA TSD 4

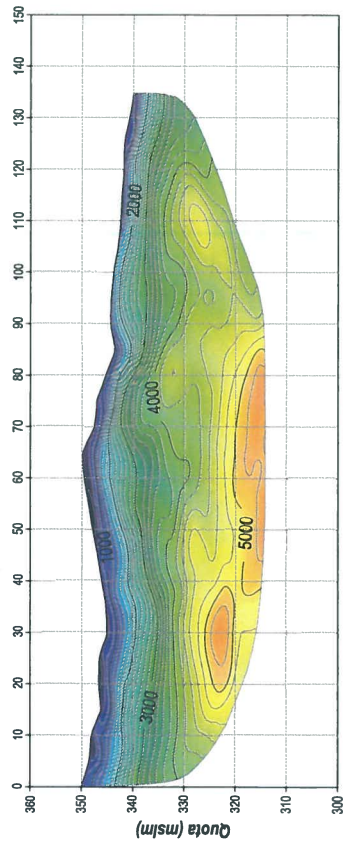
TOMOGRAFIA ELETTRICA



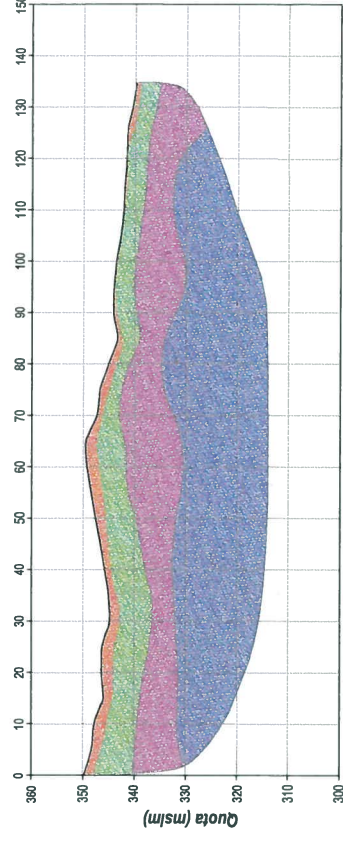
METODO GRM - PLUS MINUS Wavepath Coverage



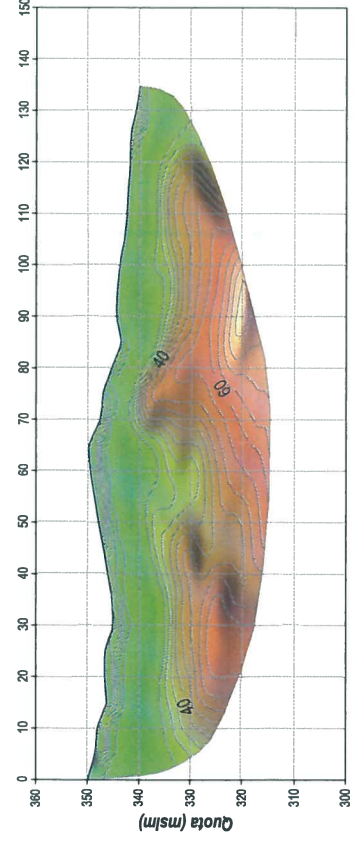
SISMICA A RIFRAZIONE



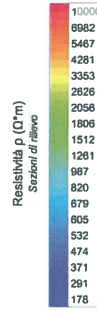
SEZIONE INTERPRETATIVA



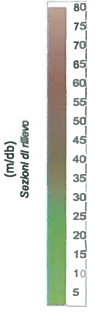
MODULO DI ATTENUAZIONE



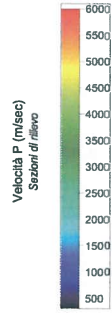
Tomografia elettrica



Modulo di attenuazione



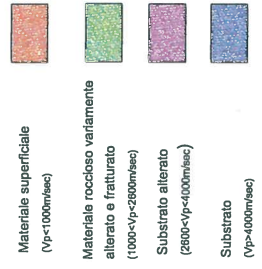
Tomografia sismica a rifrazione



Metodo GRM - Plus Minus Wavepath Coverage



LEGENDA



Scala 1:1.000

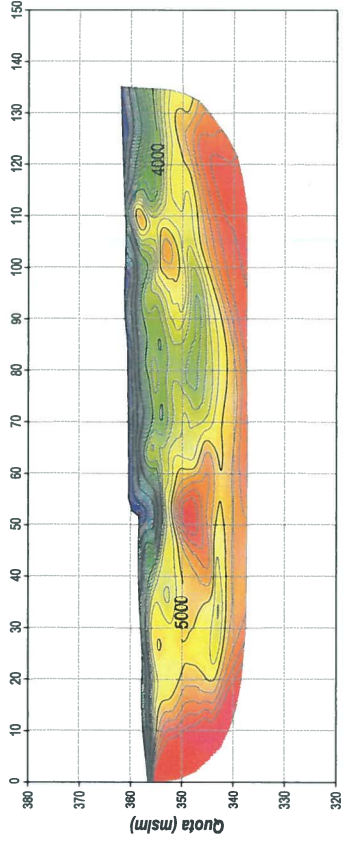


Akrone s.r.l. servizi per ingegneria, geologia, ambiente

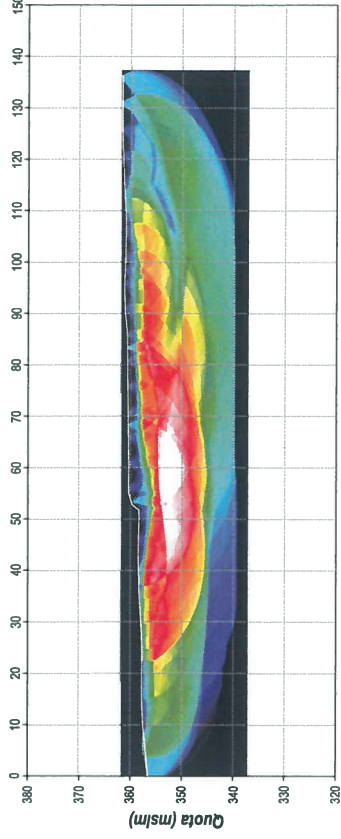
AUTOSTRADA VALDASTICO A31 Nord Trento - Rovigo: tronco Trento - Valdstastico - Piovene Rocchette

LINEA TSD 4bis

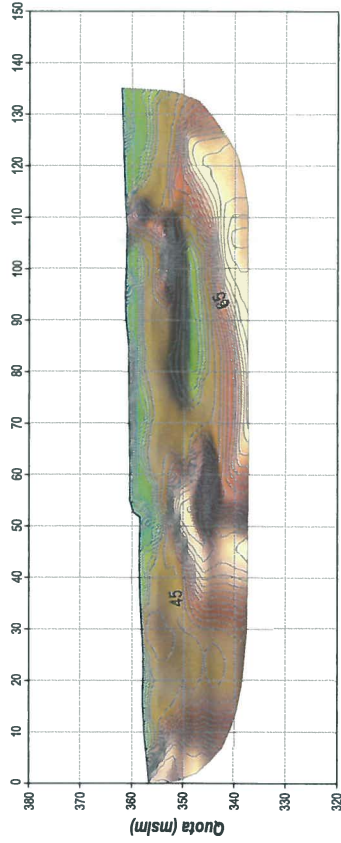
SISMICA A RIFRAZIONE



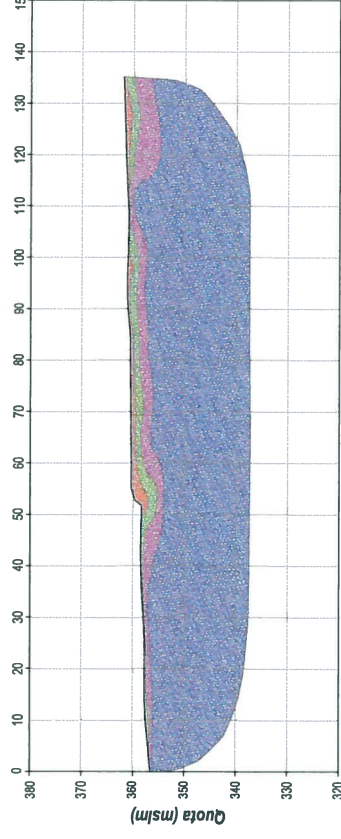
METODO GRM - PLUS MINUS Wavepath Coverage



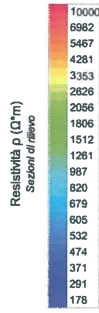
MODULO DI ATTENUAZIONE



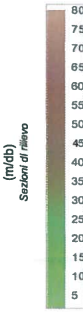
SEZIONE INTERPRETATIVA



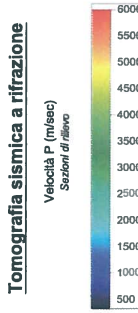
Tomografia elettrica



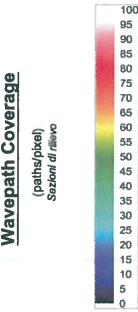
Modulo di attenuazione



Tomografia sismica a rifrazione



Metodo GRM - Plus Minus Wavepath Coverage



LEGENDA

- Materiale superficiale (Vp < 1000 m/sec)
- Materiale roccioso variamente alterato e fratturato (1000 < Vp < 2800 m/sec)
- Substrato alterato (2800 < Vp < 1000 m/sec)
- Substrato (Vp > 1000 m/sec)

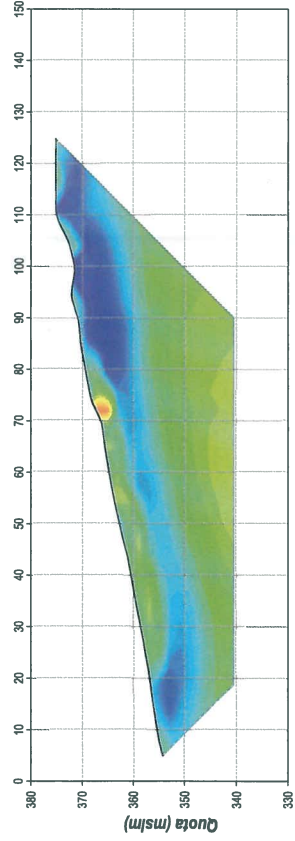
Scala 1:1.000



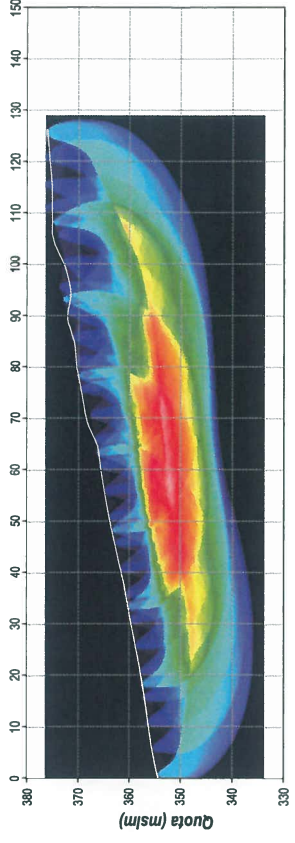
Akron
 s.p.a. sord per ingegneria, geologia, ambiente

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 Nord Trento - Rovigo: tronco Trento - Valdstastico - Piovene Rocchette
LINEA TSD 5

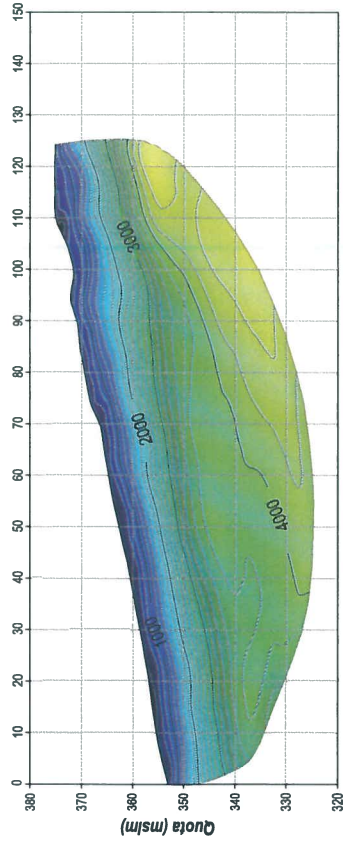
TOMOGRAFIA ELETTRICA



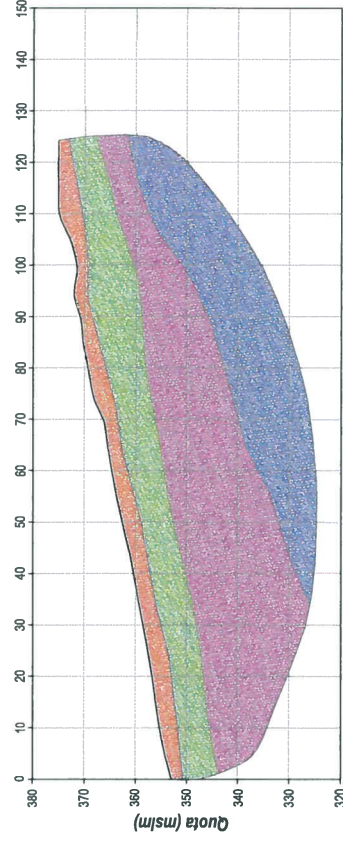
METODO GRM - PLUS MINUS Wavepath Coverage



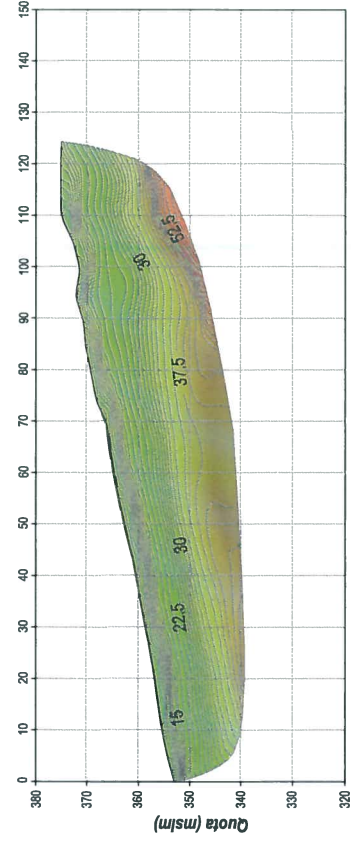
SISMICA A RIFRAZIONE



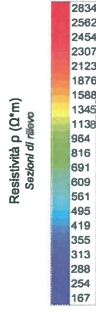
SEZIONE INTERPRETATIVA



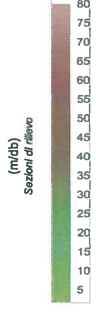
MODULO DI ATTENUAZIONE



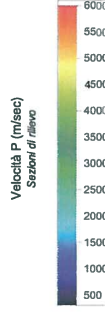
Tomografia elettrica



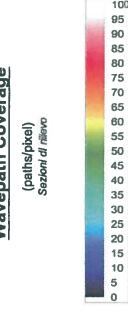
Modulo di attenuazione



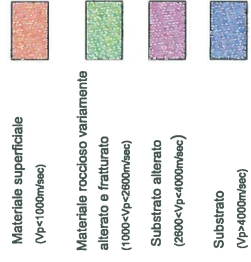
Tomografia sismica a rifrazione



Metodo GRM - Plus Minus Wavepath Coverage



LEGENDA



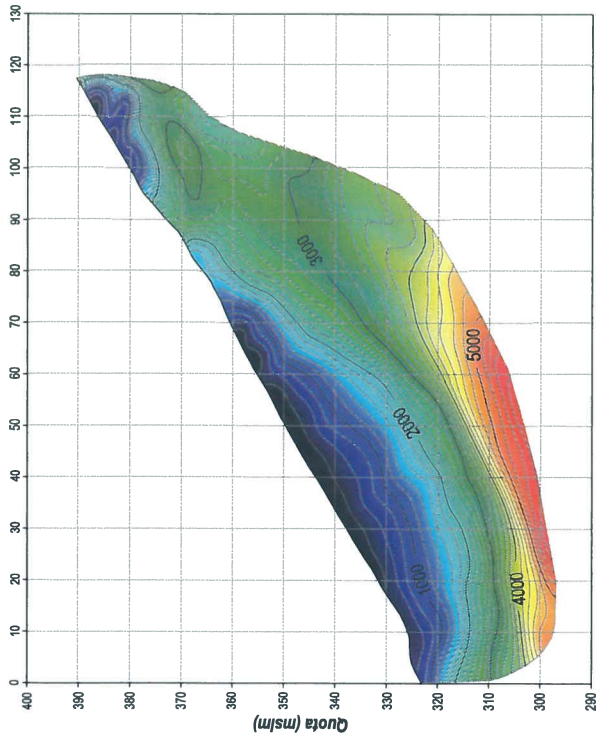
Scala 1:1.000



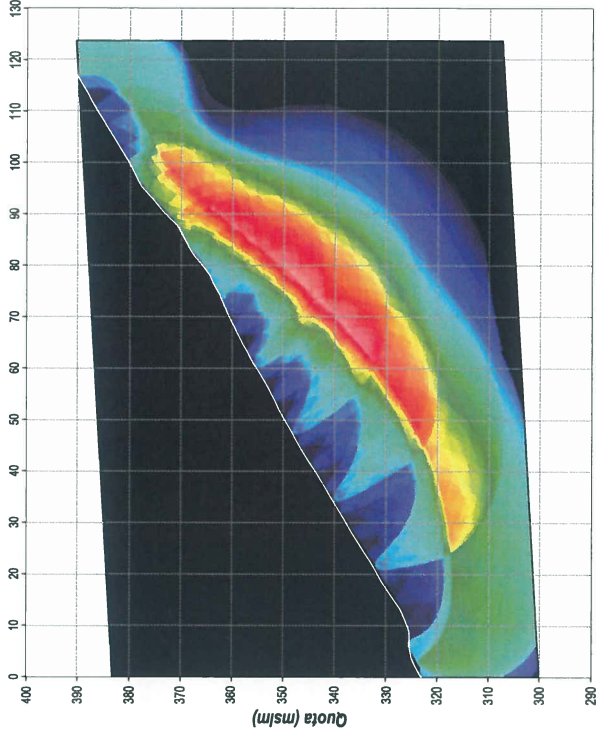
Akron
 s.r.l. sondaggi geologici, geologia ambientale

**AUTOSTRADA VALDASTICO A31 Nord Trento - Rovigo: tronco Trento - Valdistico - Piovene Rocchette
LINEA TSD 6**

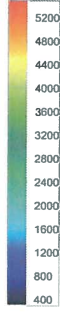
SISMICA A RIFRAZIONE



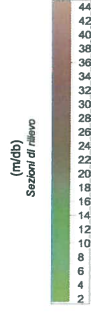
**METODO GRM - PLUS MINUS
Wavepath Coverage**



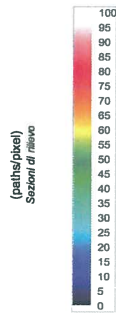
Tomografia sismica a rifrazione
Velocità P (m/sec)
Stazioni di rilievo



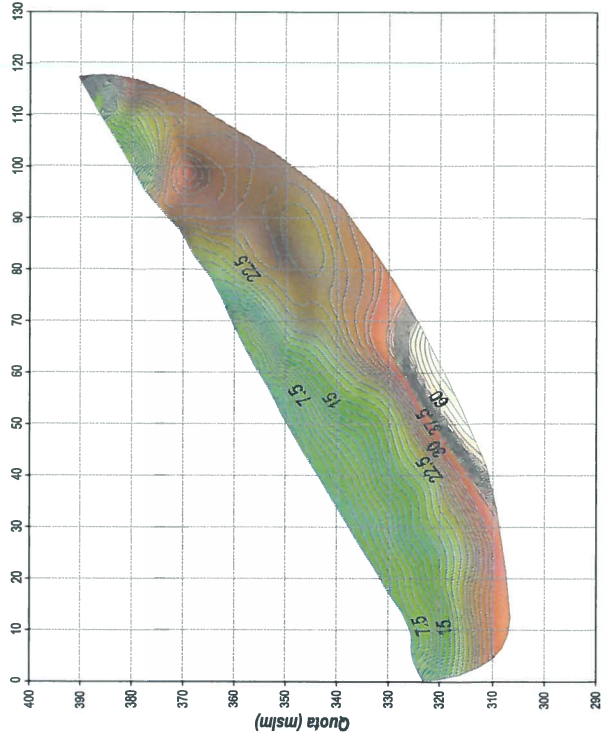
Modulo di attenuazione



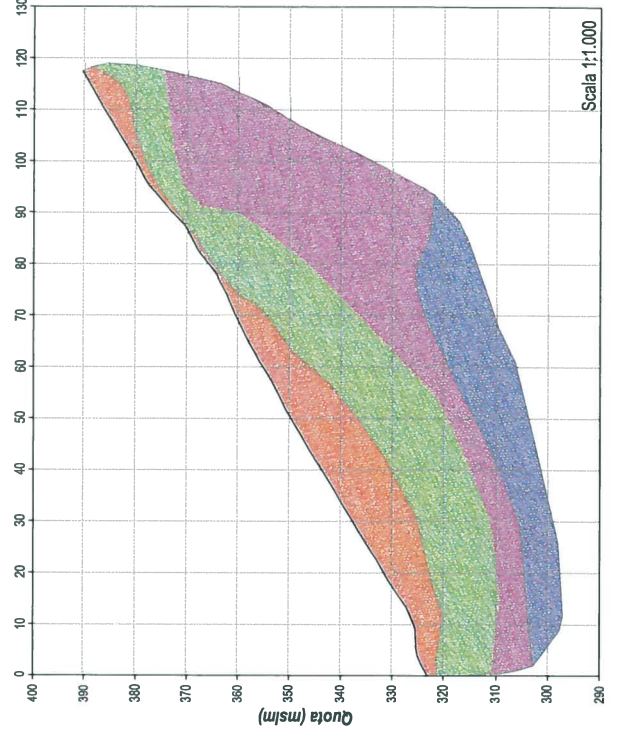
**Metodo GRM - Plus Minus
Wavepath Coverage**



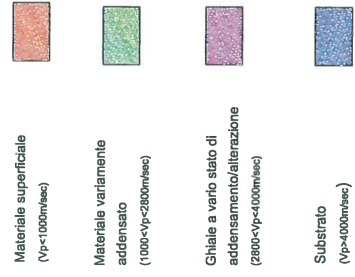
MODULO DI ATTENUAZIONE



SEZIONE INTERPRETATIVA

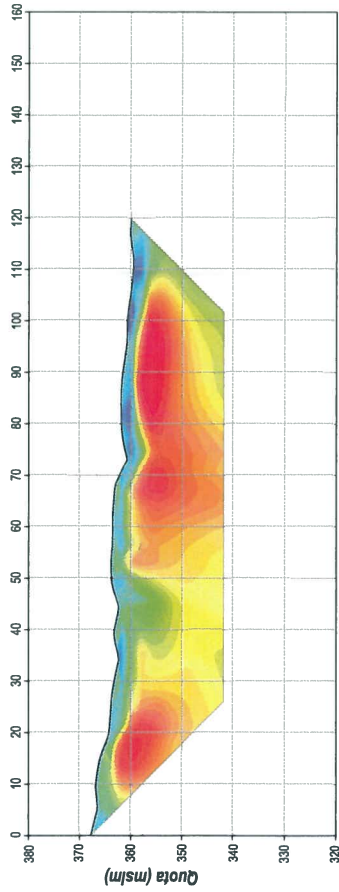


LEGENDA

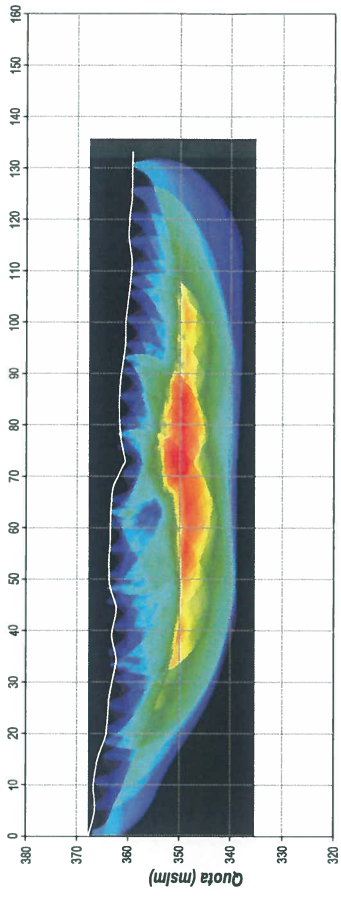


**AUTOSTRADA VALDASTICO A31 Nord Trento - Rovigo: tronco Trento - Valdstastico - Piovene Rocchette
LINEA TSD 7**

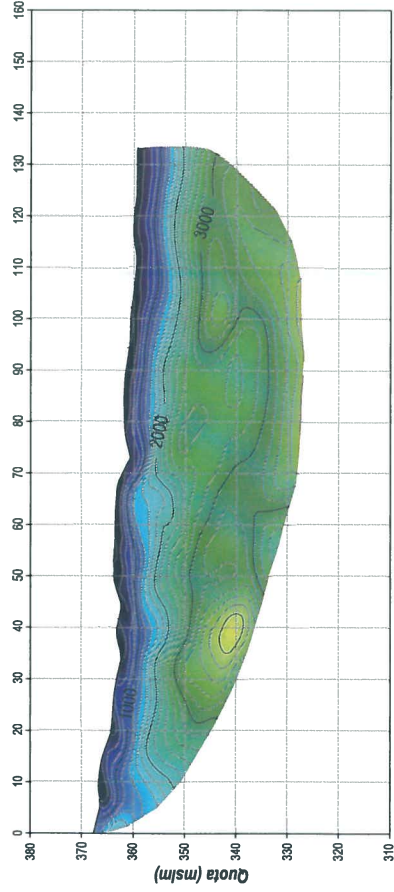
TOMOGRAFIA ELETTRICA



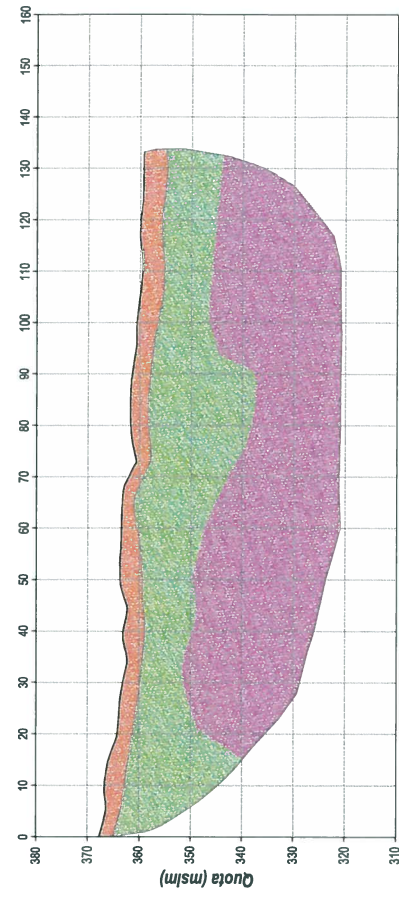
METODO GRM - PLUS MINUS Wavepath Coverage



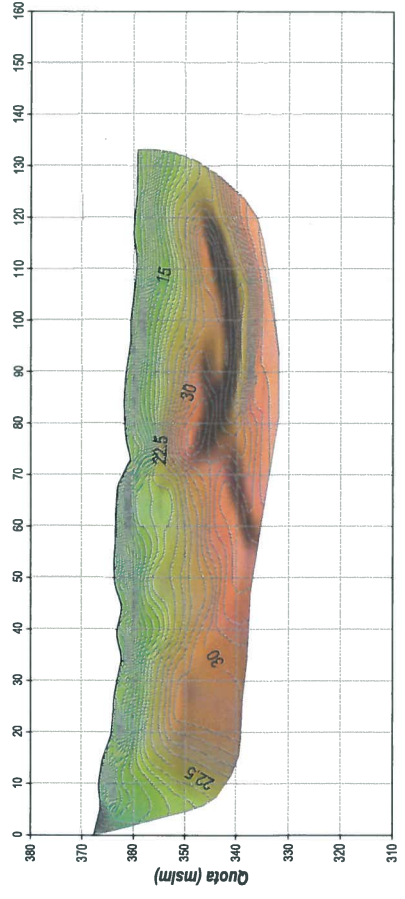
SISMICA A RIFRAZIONE



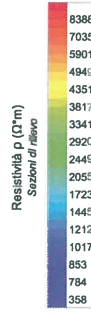
SEZIONE INTERPRETATIVA



MODULO DI ATTENUAZIONE



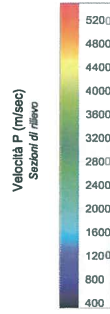
Tomografia elettrica



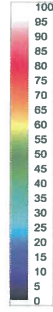
Modulo di attenuazione



Tomografia sismica a rifrazione



Metodo GRM - Plus Minus Wavepath Coverage



LEGENDA

Materiale superficiale
($V_p < 1000 \text{ m/sec}$)

Materiale variamente
addensato
($1000 < V_p < 2800 \text{ m/sec}$)

Chiale a vario stato di
addensamento/alterazione
($2800 < V_p < 4000 \text{ m/sec}$)



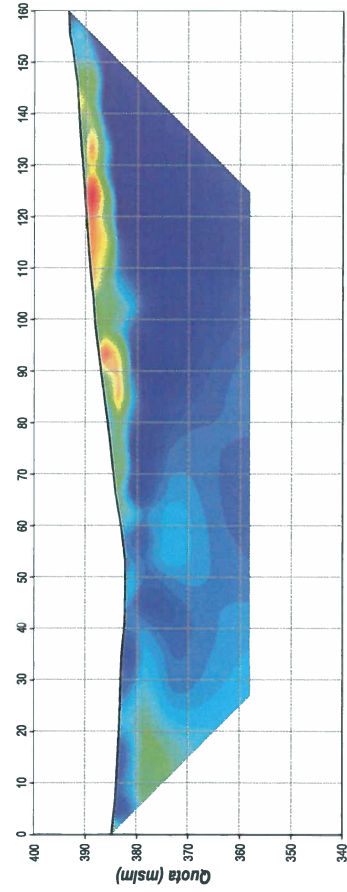
Scala 1:1.000

AKRON
servizi geofisici, geologici, ambientali

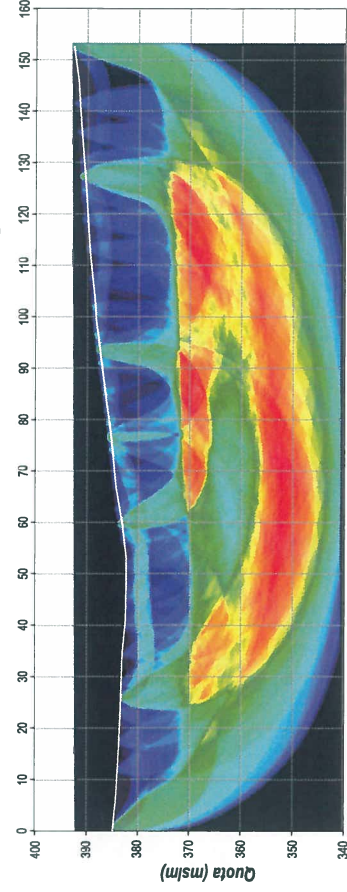
AUTOSTRADA VALDASTICO A31 Nord Trento - Rovigo: tronco Trento - Valdstasco - Piovene Rocchette

LINEA TSD 8

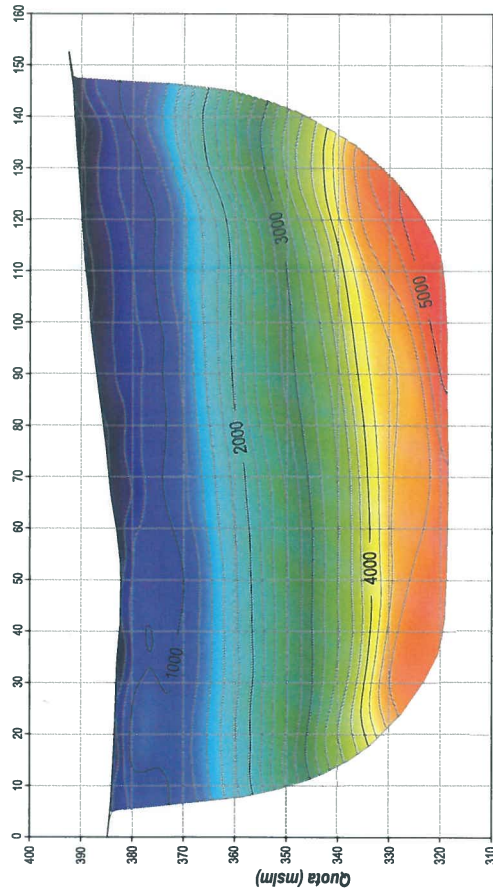
TOMOGRAFIA ELETTRICA



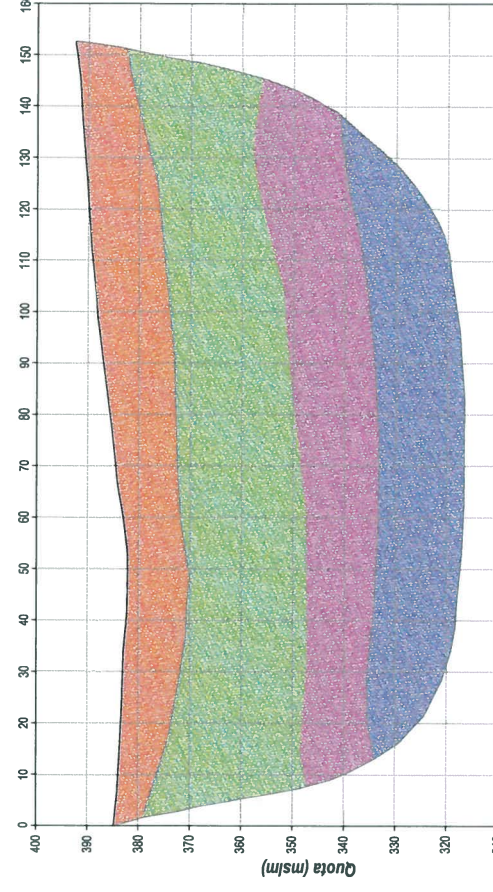
METODO GRM - PLUS MINUS Wavepath Coverage



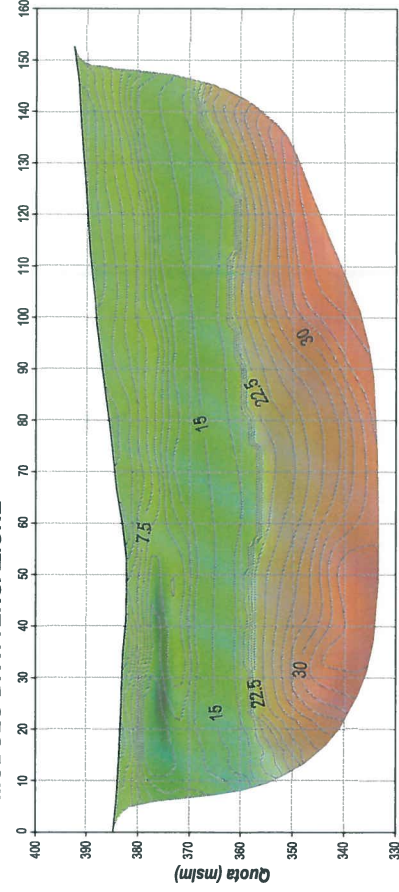
SISMICA A RIFRAZIONE



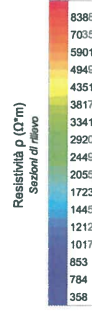
SEZIONE INTERPRETATIVA



MODULO DI ATTENUAZIONE



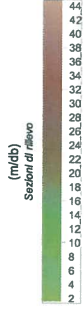
Tomografia elettrica



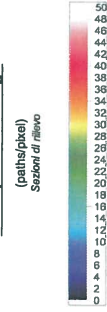
Tomografia sismica a rifrazione



Modulo di attenuazione



Metodo GRM - Plus Minus Wavepath Coverage



LEGENDA

- Materiale superficiale (Vp < 1000 m/sec)
- Materiale variamente addensato (1000 < Vp < 2800 m/sec)
- Ghiaie a vario stato di addensamento/alterazione (2800 < Vp < 4000 m/sec)
- Substrato (Vp > 4000 m/sec)

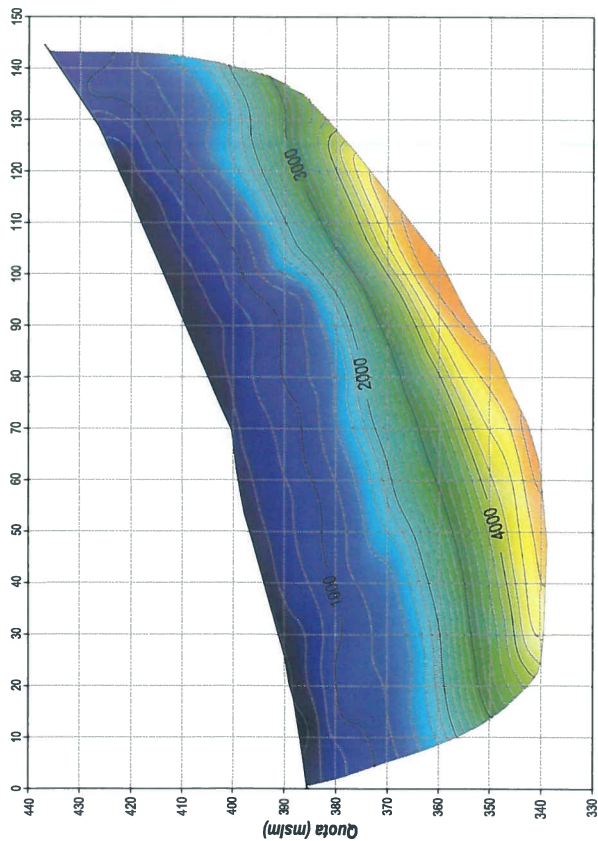
Scala 1:1.000



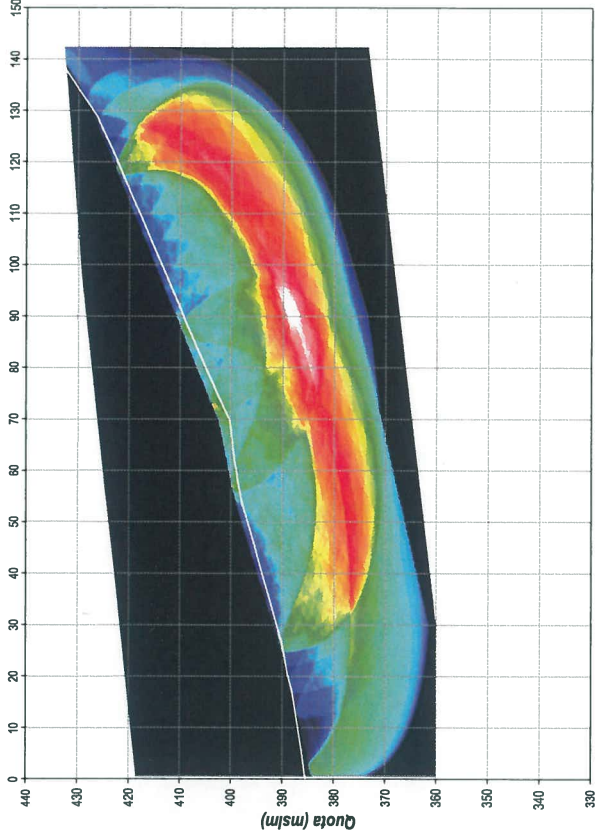
AKION
servizi per ingegneria, geologia, ambiente

**AUTOSTRADA VALDASTICO A31 Nord Trento - Rovigo: tronco Trento - Valdstastico - Piovene Rocchette
LINEA TSD 9**

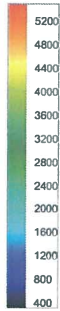
SISMICA A RIFRAZIONE



METODO GRM - PLUS MINUS Wavepath Coverage



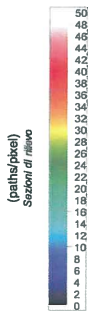
Tomografia sismica a rifrazione
Velocità P (m/sec)
Stazioni di rilievo



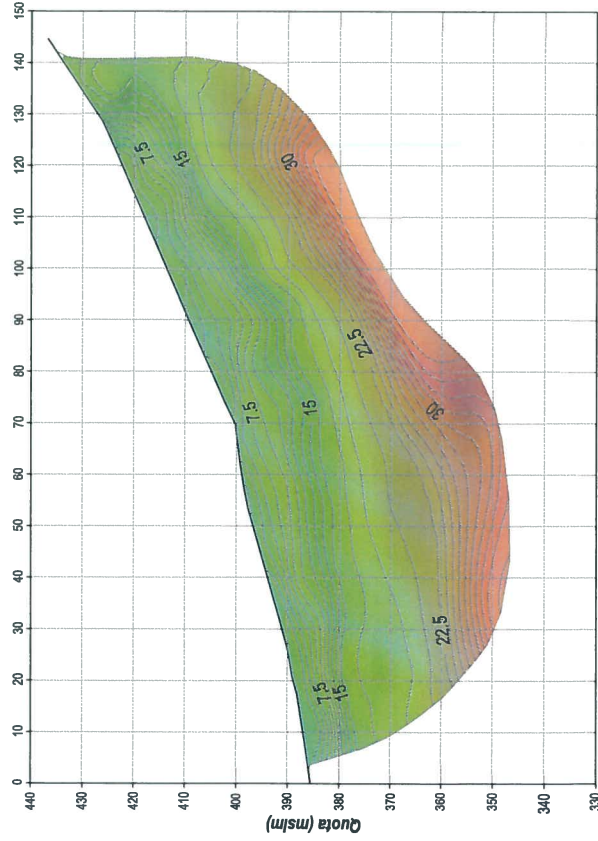
Modulo di attenuazione
(m/dB)
Stazioni di rilievo



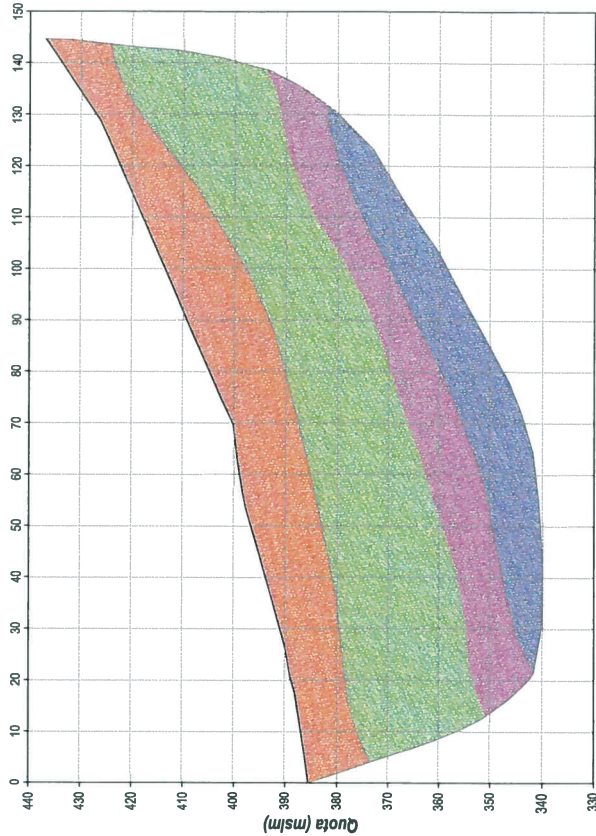
Metodo GRM - Plus Minus Wavepath Coverage
(paths/step)
Stazioni di rilievo



MODULO DI ATTENUAZIONE



SEZIONE INTERPRETATIVA



LEGENDA

- Materiale superficiale (Vp<1000m/sec)
- Materiale variamente addensato (1000<Vp<2500m/sec)
- Ghiaie a vario stato di addensamento/alterazione (2500<Vp<4000m/sec)
- Substrato (Vp>4000m/sec)

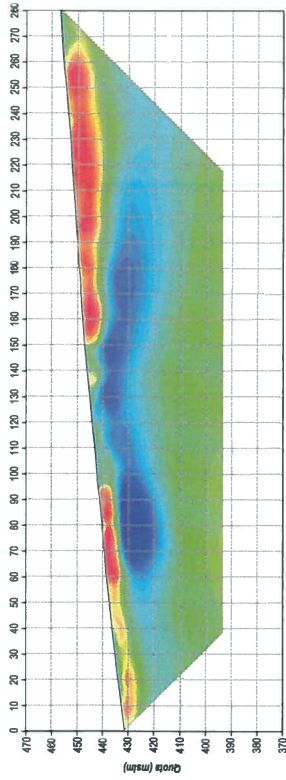
Scala 1:1.000



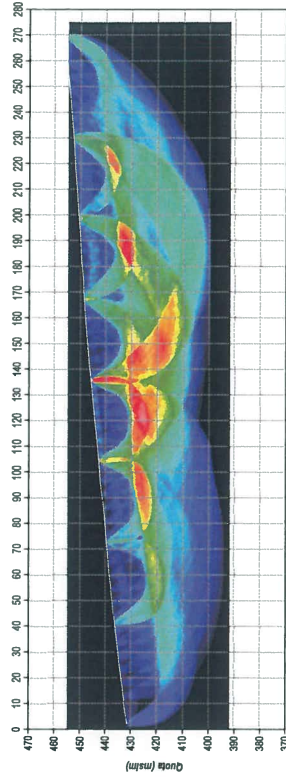
Akron
servizi per ingegneria, geologia, ambiente

LINEA TSD 11

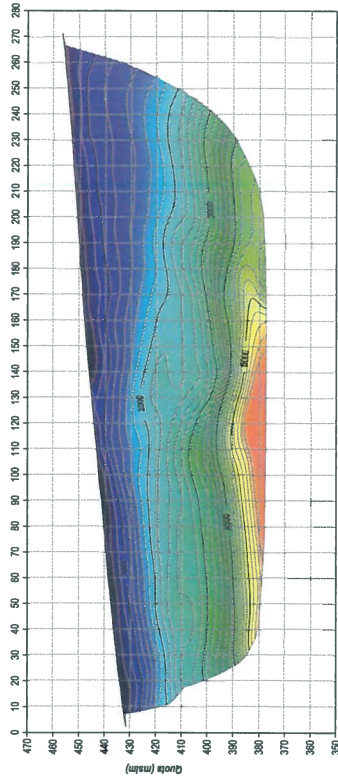
TOMOGRAFIA ELETTRICA



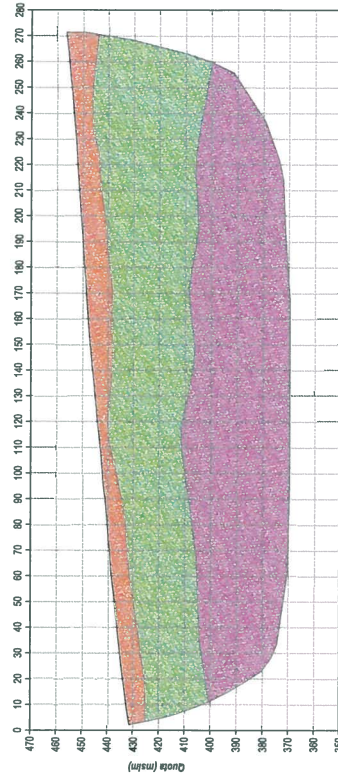
METODO GRM - PLUS MINUS Wavepath Coverage



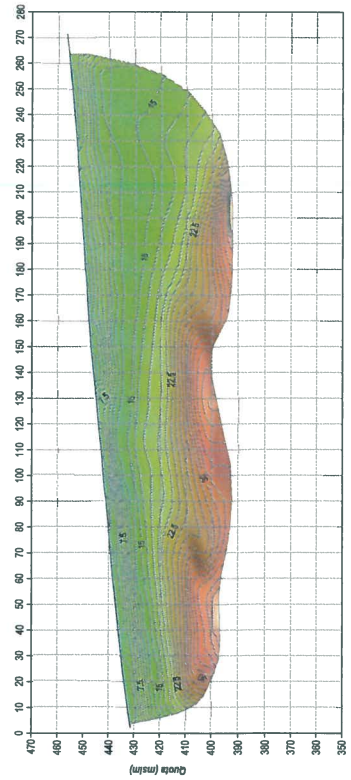
SISMICA A RIFRAZIONE



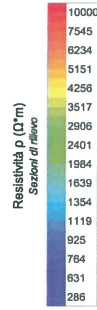
SEZIONE INTERPRETATIVA



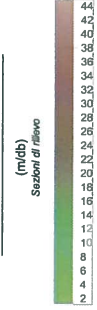
MODULO DI ATTENUAZIONE



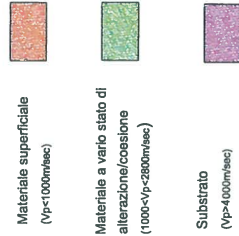
Tomografia elettrica



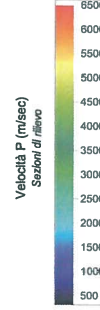
Modulo di attenuazione



LEGENDA



Tomografia sismica a rifrazione



Metodo GRM - Plus Minus Wavepath Coverage

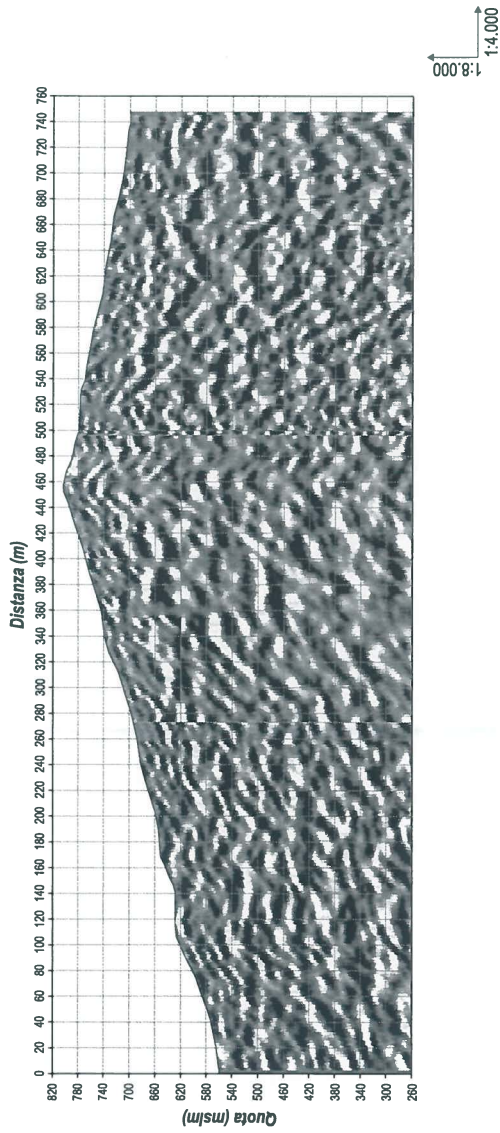


Scala 1:2.000



LINEA TSD 10

SISMICA A RIFLESSIONE



LEGENDA



Riflettore principale

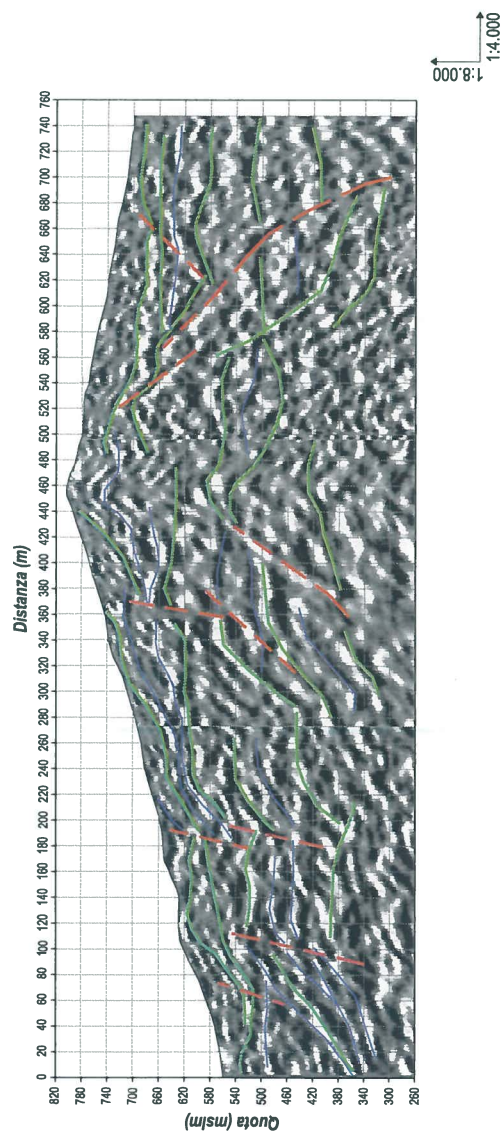


Riflettore interno



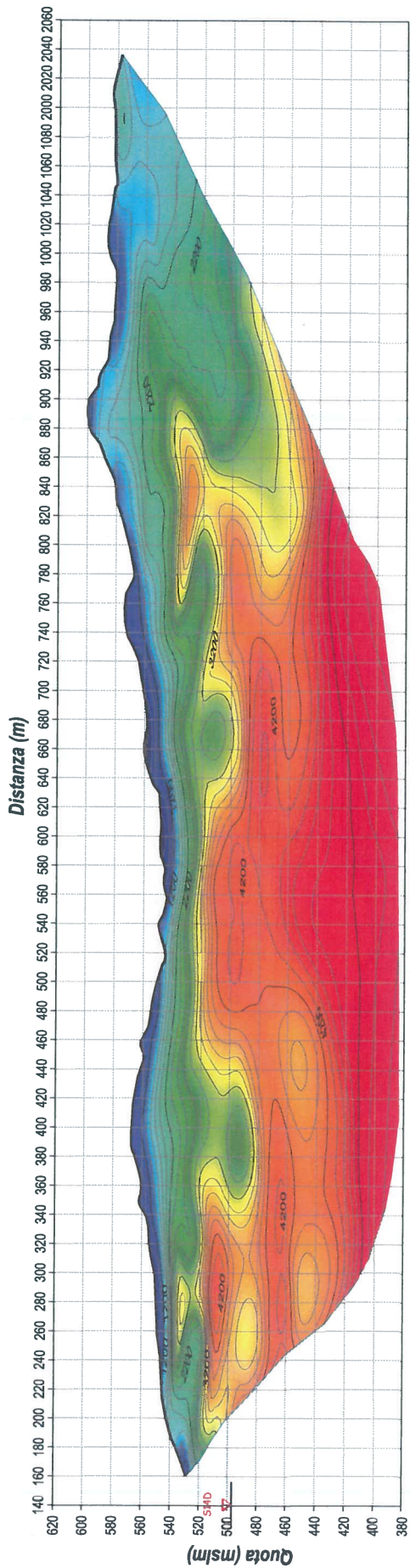
Discontinuità

SEZIONE INTERPRETATIVA

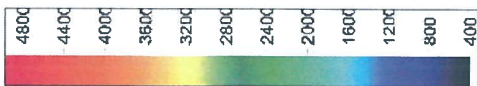


AUTOSTRADA VALDASTICO A31 Nord Trento - Rovigo: tronco Trento - Valdstastico - Piovene Rocchette
LINEA TSD 10bis- TSD 10tris

SISMICA A RIFRAZIONE:TSD10bis

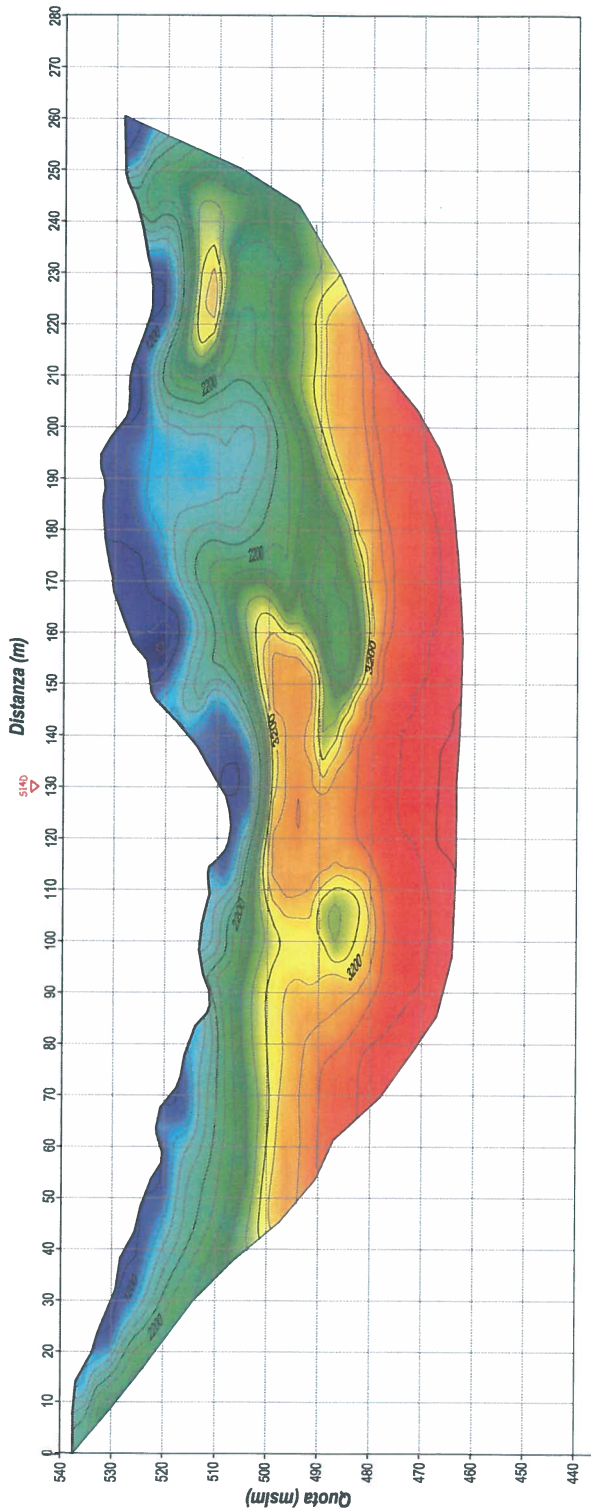


Velocità P (m/sec)
 Scostoni di rilievo



1:3000

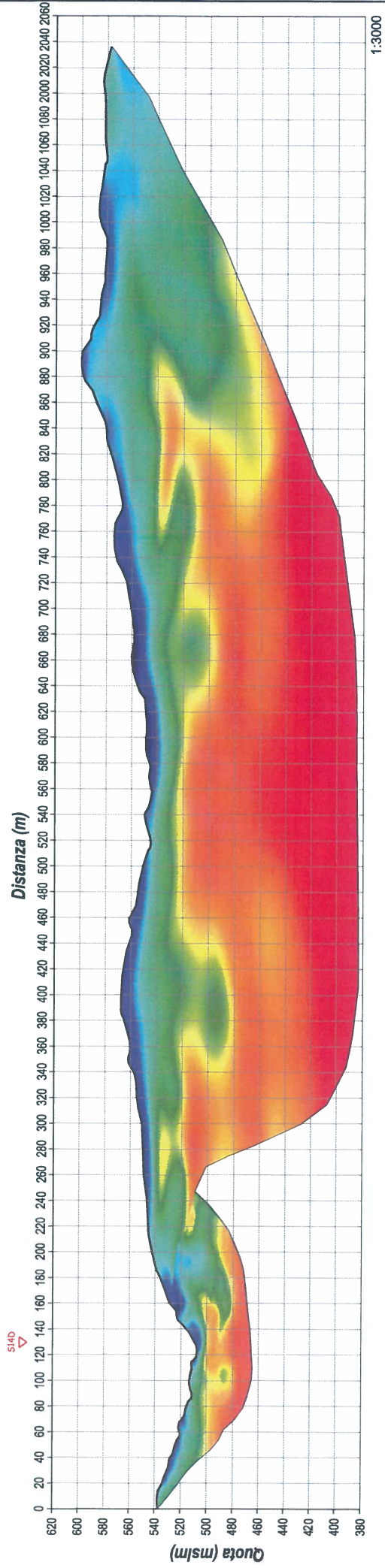
SISMICA A RIFRAZIONE:TSD10tris



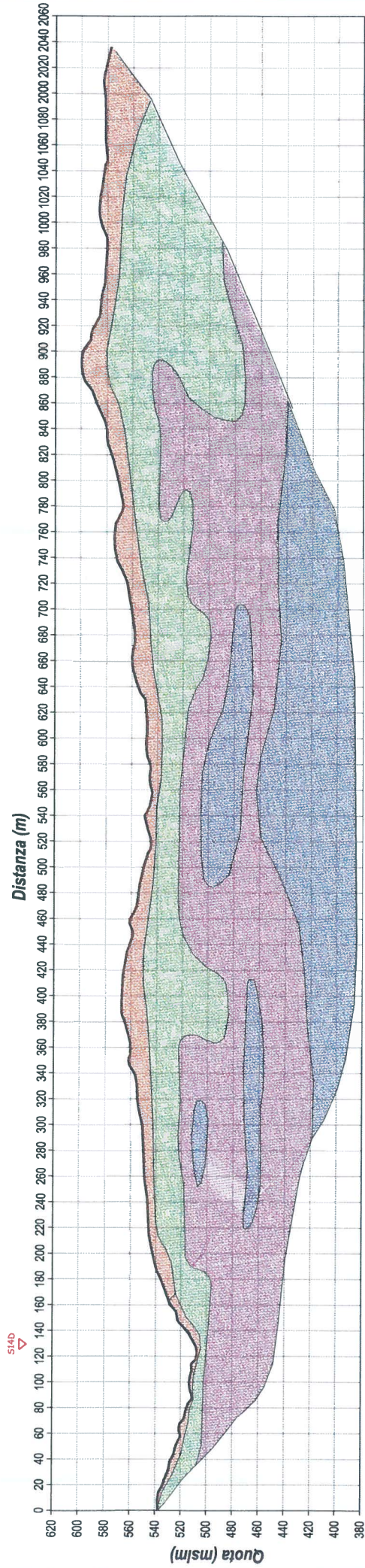
1:1000



AUTOSTRADA VALDASTICO A31 Nord Trento - Rovigo: tronco Trento - Valdstico - Piovene Rocchette
LINEA TSD 10bis - tris

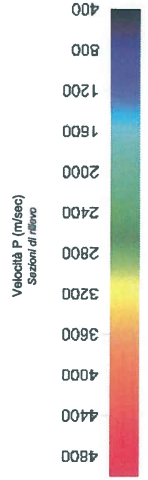


SEZIONE INTERPRETATIVA



LEGENDA

- Materiale superficiale
($v_p < 1200 \text{ m/sec}$)
- Materiale a vario stato di fratturazione
($3000 < v_p < 4000 \text{ m/sec}$)
- Materiale variamente addensato
($1200 < v_p < 3000 \text{ m/sec}$)
- Substrato lapideo
($v_p > 4000 \text{ m/sec}$)



1:3000



Akron
servizi per ingegneria, geologia, ambiente

DETERMINAZIONE DELLA VS30 MEDIANTE MASW

winMASW - Inversion of Surface-Wave Dispersion Curves

Main results

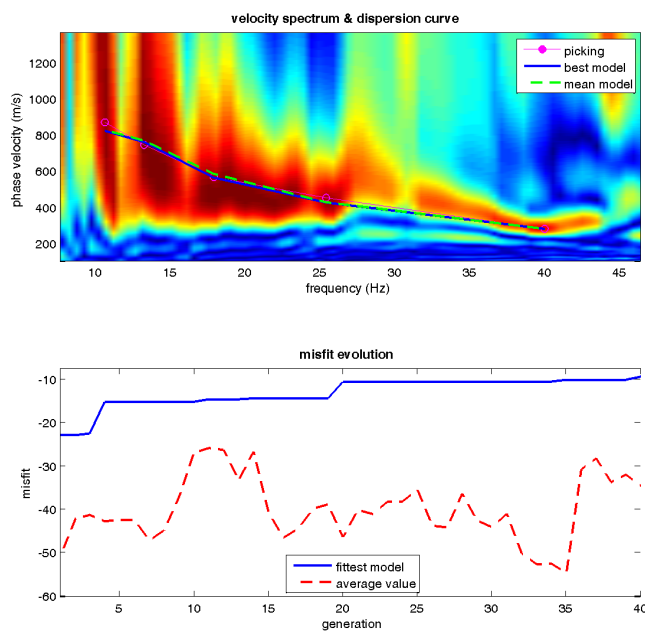
See "winMASW_report.txt" for further details.

www.winmasw.com

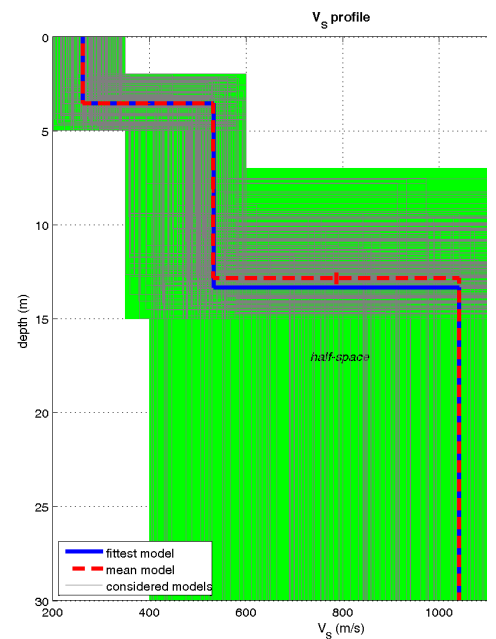
Date: 22 12 2016

Time: 17 56

Dataset: 100.dat



www.winmasw.com



dataset: 100.dat
 dispersion curve: 100.cdp
 V_{s30} (best model): 626 m/s
 V_{s30} (mean model): 631 m/s

Mean model

V_s (m/s): 263, 532, 1040

Standard deviations (m/s): 1, 3, 0

Thickness (m): 3.6, 9.3

Standard deviations (m/s): 0.0, 0.3

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.91 2.08 2.24

Shear modulus (MPa) (approximate values): 132 588 2425

Analyzing Phase velocities

Considered dispersion curve: 100.cdp

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 547 1107 2165

Poisson: 0.35 0.35 0.35

Vs30 (m/s): 631

Pay attention

Soil classification must be performed by the user.

For Italian Users:

Dalla normativa (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n° 29 del 04/02/2008):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

C - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).

D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).

E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).

S1 - Depositati di terreni caratterizzati da valori di VS30 inferiori 100 m/s (ovvero 10 < cuS30 < 20 kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includano almeno 3 m di torba o argille altamente organiche.

S2 - Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

winMASW

Surface Waves & Beyond www.winmasw.com

winMASW - Inversion of Surface-Wave Dispersion Curves

Main results

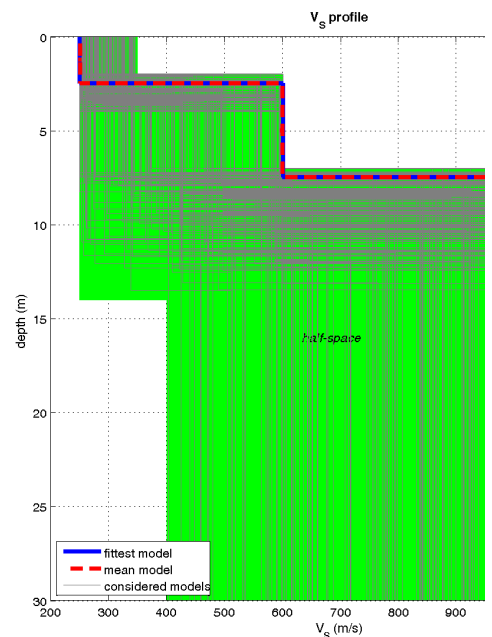
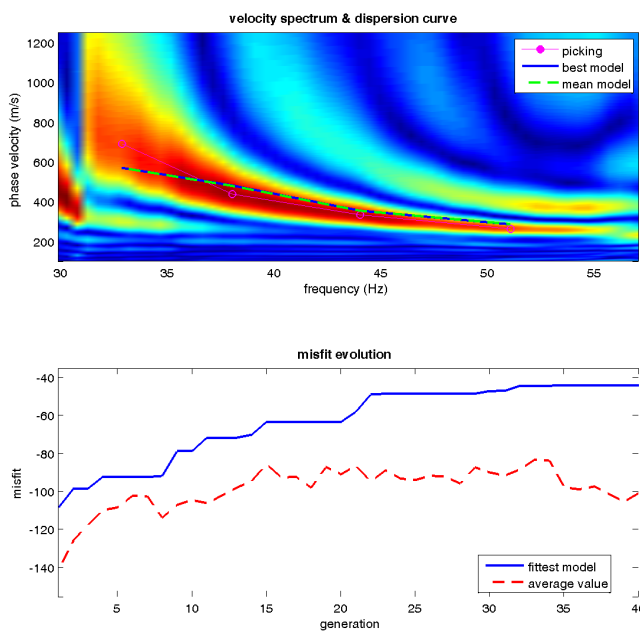
See "winMASW_report.txt" for further details.

www.winmasw.com

Date: 22 12 2016

Time: 18 5

Dataset: 114.dat



dataset: 114.dat
 dispersion curve: 114.cdp
 Vs30 (best model): 775 m/s
 Vs30 (mean model): 772 m/s

Mean model

V_s (m/s): 251, 599, 1095

Standard deviations (m/s): 3, 4, 17

Thickness (m): 2.5, 5.0

Standard deviations (m/s): 0.0, 0.0

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.90 2.11 2.25

Shear modulus (MPa) (approximate values): 120 756 2703

Analyzing Phase velocities

Considered dispersion curve: 114.cdp

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 522 1247 2279

Poisson: 0.35 0.35 0.35

Vs30 (m/s): 772

Pay attention

Soil classification must be performed by the user.

For Italian Users:

Dalla normativa (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n° 29 del 04/02/2008):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

C - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).

D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).

E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).

S1 - Depositati di terreni caratterizzati da valori di VS30 inferiori 100 m/s (ovvero 10 < cuS30 < 20 kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includano almeno 3 m di torba o argille altamente organiche.

S2 - Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

winMASW

Surface Waves & Beyond www.winmasw.com

winMASW - Inversion of Surface-Wave Dispersion Curves

Main results

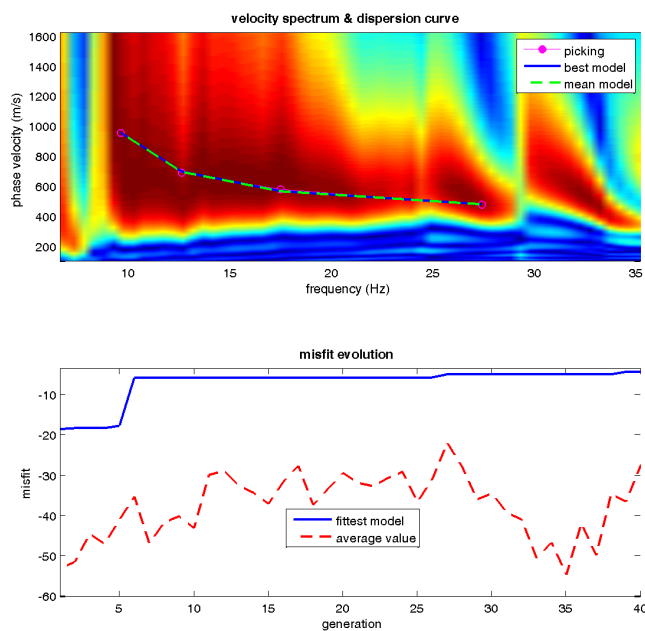
See "winMASW_report.txt" for further details.

www.winmasw.com

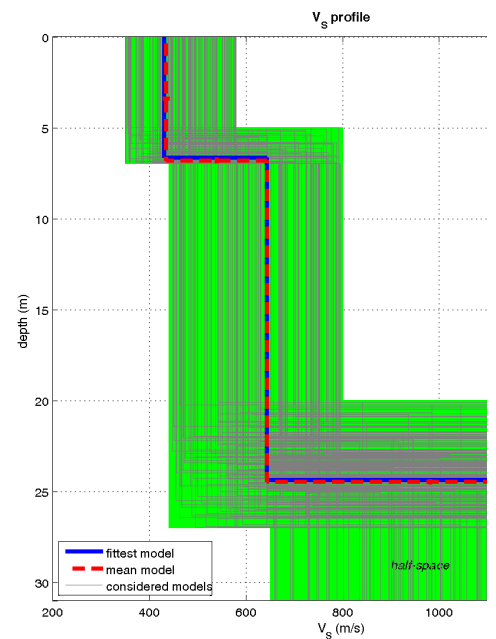
Date: 22 12 2016

Time: 18 10

Dataset: 118.dat



www.winmasw.com



dataset: 118.dat

dispersion curve: 118.cdp

Vs30 (best model): 634 m/s

Vs30 (mean model): 634 m/s

Mean model

Vs (m/s): 435, 643, 1317

Standard deviations (m/s): 6, 0, 5

Thickness (m): 6.8, 17.7

Standard deviations (m/s): 0.1, 0.1

Density (gr/cm³) (approximate values): 2.03 2.12 2.30

Shear modulus (MPa) (approximate values): 384 878 3988

Analyzing Phase velocities

Considered dispersion curve: 118.cdp

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 906 1339 2742

Poisson: 0.35 0.35 0.35

Vs30 (m/s): 634

Pay attention

Soil classification must be performed by the user.

For Italian Users:

Dalla normativa (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n° 29 del 04/02/2008):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

C - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).

D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).

E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).

S1 - Depositati di terreni caratterizzati da valori di VS30 inferiori 100 m/s (ovvero 10 < cuS30 < 20 kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includano almeno 3 m di torba o argille altamente organiche.

S2 - Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

winMASW

Surface Waves & Beyond www.winmasw.com

winMASW - Inversion of Surface-Wave Dispersion Curves

Main results

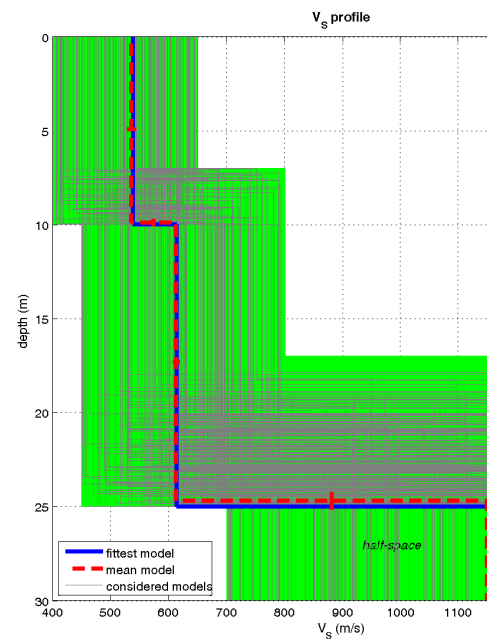
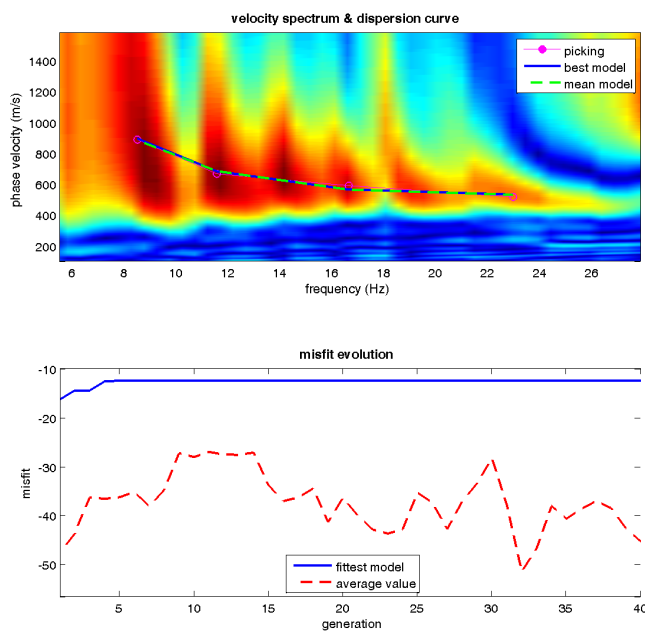
See "winMASW_report.txt" for further details.

www.winmasw.com

Date: 22 12 2016

Time: 18 16

Dataset: 120.dat



dataset: 120.dat
 dispersion curve: 120.cdp
 V_{s30} (best model): 635 m/s
 V_{s30} (mean model): 635 m/s

www.winmasw.com

Mean model

V_s (m/s): 536, 613, 1148

Standard deviations (m/s): 7, 5, 29

Thickness (m): 9.9, 14.8

Standard deviations (m/s): 0.2, 0.5

Density (gr/cm³) (approximate values): 2.08 2.11 2.27

Shear modulus (MPa) (approximate values): 598 794 2986

Analyzing Phase velocities

Considered dispersion curve: 120.cdp

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 1116 1276 2390

Poisson: 0.35 0.35 0.35

Vs30 (m/s): 635

Pay attention

Soil classification must be performed by the user.

For Italian Users:

Dalla normativa (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n° 29 del 04/02/2008):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

C - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).

D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).

E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).

S1 - Depositati di terreni caratterizzati da valori di VS30 inferiori 100 m/s (ovvero 10 < cuS30 < 20 kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includano almeno 3 m di torba o argille altamente organiche.

S2 - Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

winMASW

Surface Waves & Beyond www.winmasw.com

winMASW - Inversion of Surface-Wave Dispersion Curves

Main results

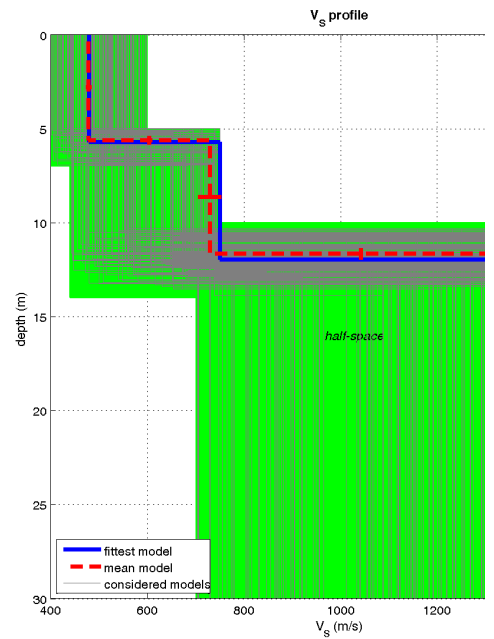
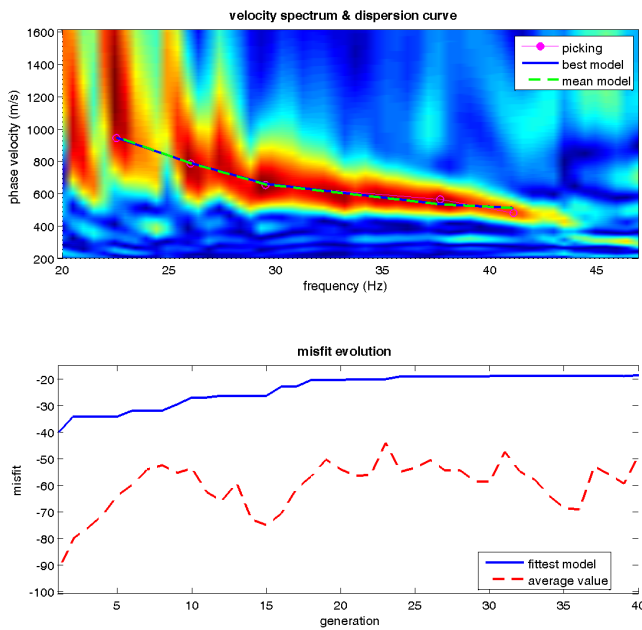
See "winMASW_report.txt" for further details.

www.winmasw.com

Date: 22 12 2016

Time: 18 30

Dataset: 132.dat



dataset: 132.dat
 dispersion curve: 132b.cdp
 Vs30 (best model): 892 m/s
 Vs30 (mean model): 893 m/s

Mean model

Vs (m/s): 479, 729, 1353

Standard deviations (m/s): 5, 24, 18

Thickness (m): 5.6, 6.0

Standard deviations (m/s): 0.2, 0.3

Density (gr/cm3) (approximate values): 2.05 2.16 2.31

Shear modulus (MPa) (approximate values): 471 1145 4221

Analyzing Phase velocities

Considered dispersion curve: 132b.cdp

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 997 1518 2816

Poisson: 0.35 0.35 0.35

Vs30 (m/s): 893

Pay attention

Soil classification must be performed by the user.

For Italian Users:

Dalla normativa (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n° 29 del 04/02/2008):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

C - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).

D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).

E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).

S1 - Depositati di terreni caratterizzati da valori di VS30 inferiori 100 m/s (ovvero 10 < cuS30 < 20 kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includano almeno 3 m di torba o argille altamente organiche.

S2 - Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

winMASW

Surface Waves & Beyond www.winmasw.com

winMASW - Inversion of Surface-Wave Dispersion Curves

Main results

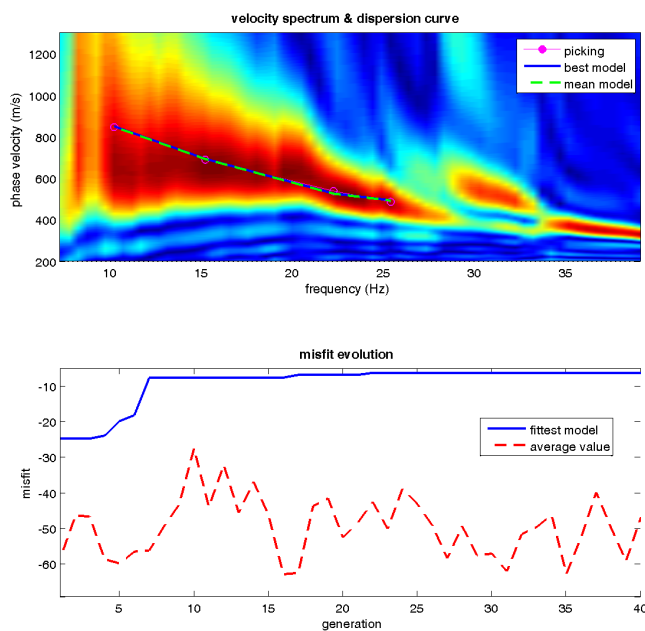
See "winMASW_report.txt" for further details.

www.winmasw.com

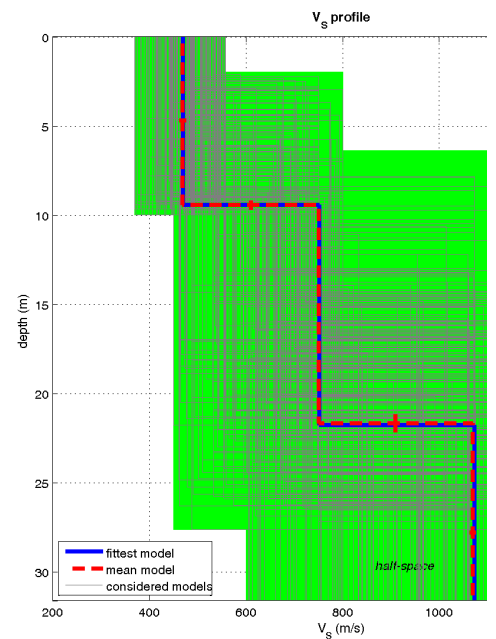
Date: 20 12 2016

Time: 11 31

Dataset: 601.dat



www.winmasw.com



dataset: 601.dat

dispersion curve: 601.cdp

V_{s30} (best model): 679 m/s

V_{s30} (mean model): 678 m/s

Mean model

V_s (m/s): 469, 750, 1068

Standard deviations (m/s): 7, 4, 6

Thickness (m): 9.4, 12.2

Standard deviations (m/s): 0.2, 0.5

Density (gr/cm³) (approximate values): 2.05 2.16 2.25

Shear modulus (MPa) (approximate values): 450 1216 2564

Analyzing Phase velocities

Considered dispersion curve: 601.cdp

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 976 1561 2223

Poisson: 0.35 0.35 0.35

Vs30 (m/s): 678

Pay attention

Soil classification must be performed by the user.

For Italian Users:

Dalla normativa (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n° 29 del 04/02/2008):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

C - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).

D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).

E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).

S1 - Depositati di terreni caratterizzati da valori di VS30 inferiori 100 m/s (ovvero 10 < cuS30 < 20 kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includano almeno 3 m di torba o argille altamente organiche.

S2 - Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

winMASW

Surface Waves & Beyond www.winmasw.com

winMASW - Inversion of Surface-Wave Dispersion Curves

Main results

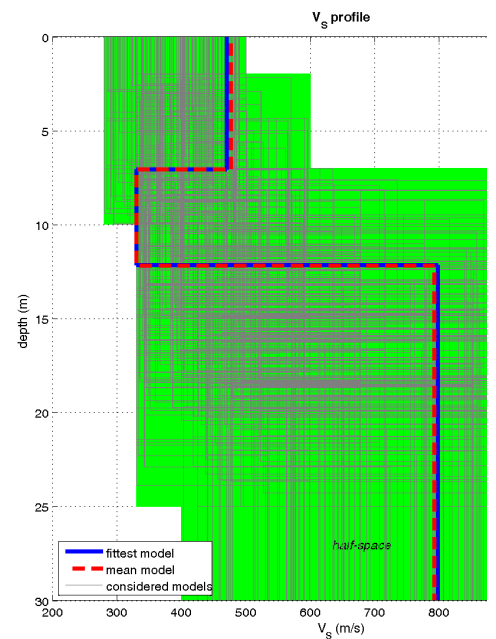
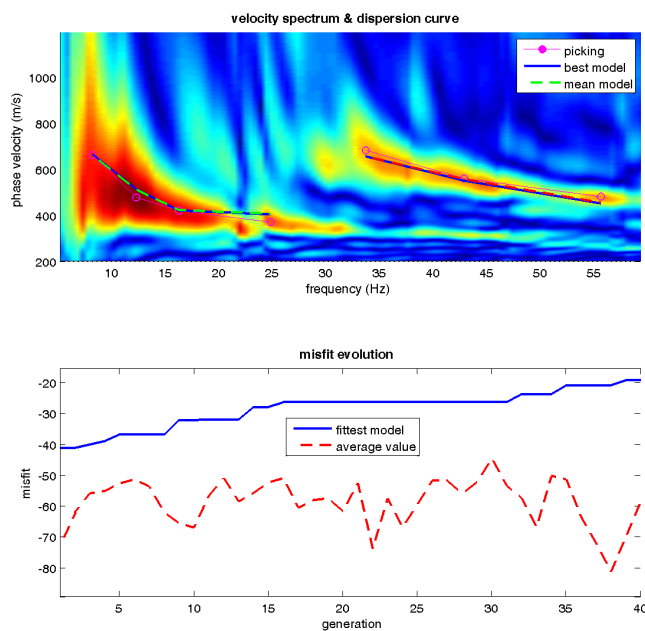
See "winMASW_report.txt" for further details.

www.winmasw.com

Date: 20 12 2016

Time: 11 51

Dataset: 605.dat



dataset: 605.dat
 dispersion curve: 605.cdp
 V_{s30} (best model): 568 m/s
 V_{s30} (mean model): 568 m/s

www.winmasw.com

Mean model

V_s (m/s): 476, 330, 792

Thickness (m): 7.1, 5.1

Density (gr/cm³) (approximate values): 2.05 1.96 2.18

Shear modulus (MPa) (approximate values): 465 214 1365

Analyzing Phase velocities

Considered dispersion curve: 605.cdp

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 991 687 1649

Poisson: 0.35 0.35 0.35

Vs30 (m/s): 568

Pay attention

Soil classification must be performed by the user.

For Italian Users:

Dalla normativa (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n° 29 del 04/02/2008):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e $cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

C - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT30 < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT30 < 15 nei terreni a grana grossa e $cu_{30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).

E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).

S1 - Depositati di terreni caratterizzati da valori di VS30 inferiori 100 m/s (ovvero $10 < cu_{30} < 20$ kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includano almeno 3 m di torba o argille altamente organiche.

S2 - Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

winMASW

Surface Waves & Beyond www.winmasw.com

winMASW - Inversion of Surface-Wave Dispersion Curves

Main results

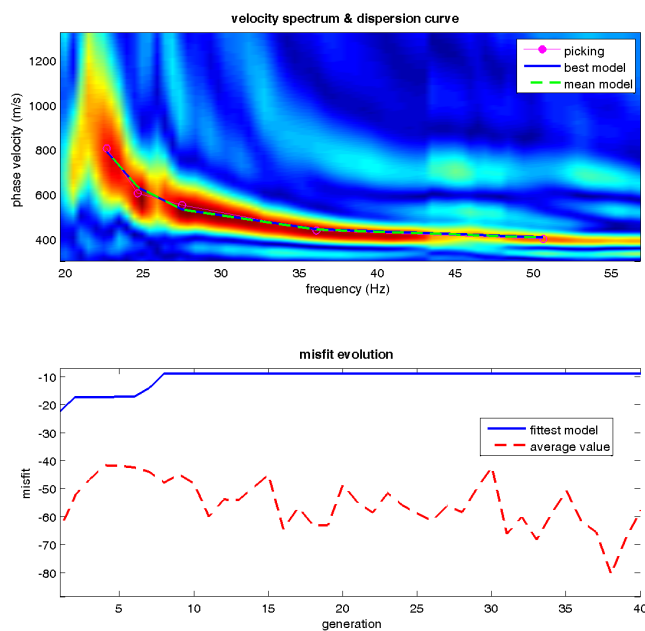
See "winMASW_report.txt" for further details.

www.winmasw.com

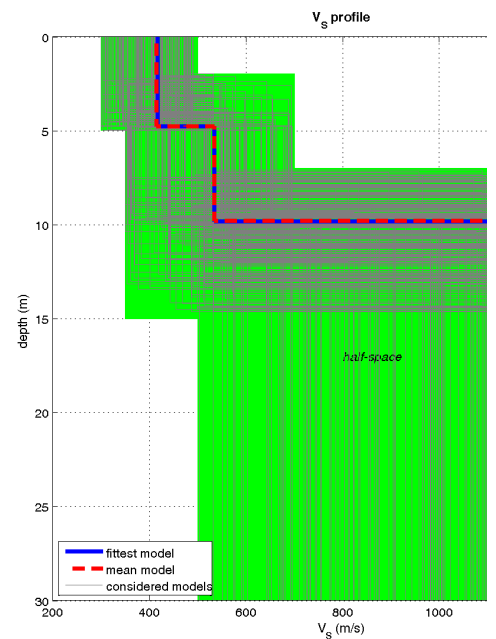
Date: 20 12 2016

Time: 15 1

Dataset: 800.dat



www.winmasw.com



dataset: 800.dat
 dispersion curve: 800.cdp
 V_{s30} (best model): 844 m/s
 V_{s30} (mean model): 843 m/s

Mean model

V_s (m/s): 415, 534, 1376

Standard deviations (m/s): 4, 0, 15

Thickness (m): 4.8, 5.0

Standard deviations (m/s): 0.0, 0.0

Density (gr/cm³) (approximate values): 2.02 2.08 2.31

Shear modulus (MPa) (approximate values): 348 593 4374

Analyzing Phase velocities

Considered dispersion curve: 800.cdp

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 864 1112 2864

Poisson: 0.35 0.35 0.35

Vs30 (m/s): 843

Pay attention

Soil classification must be performed by the user.

For Italian Users:

Dalla normativa (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n° 29 del 04/02/2008):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

C - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).

D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).

E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).

S1 - Depositati di terreni caratterizzati da valori di VS30 inferiori 100 m/s (ovvero 10 < cuS30 < 20 kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includano almeno 3 m di torba o argille altamente organiche.

S2 - Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

winMASW

Surface Waves & Beyond www.winmasw.com

winMASW - Inversion of Surface-Wave Dispersion Curves

Main results

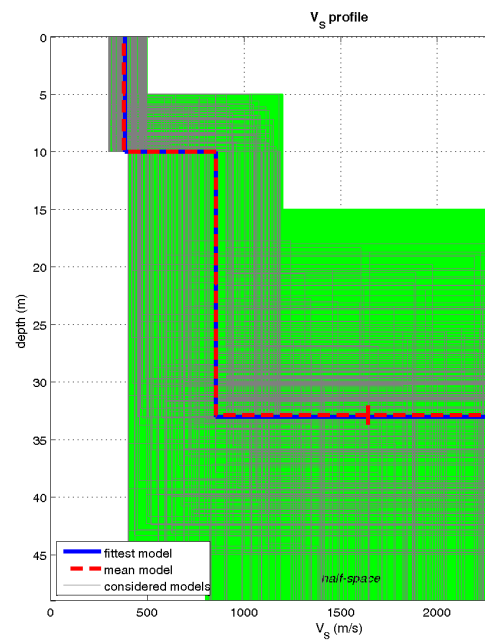
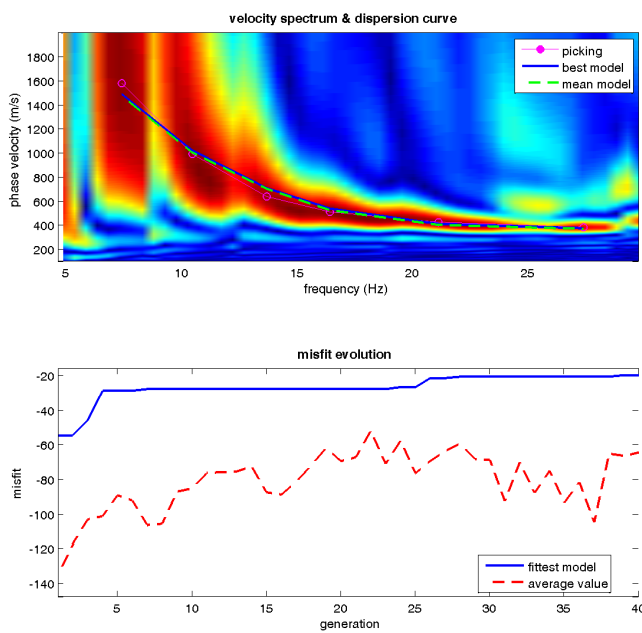
See "winMASW_report.txt" for further details.

www.winmasw.com

Date: 20 12 2016

Time: 15 17

Dataset: 901.dat



dataset: 901.dat
 dispersion curve: 901.cdp
 Vs30 (best model): 607 m/s
 Vs30 (mean model): 603 m/s

Mean model

Vs (m/s): 380, 854, 2427

Standard deviations (m/s): 5, 4, 47

Thickness (m): 10.0, 22.9

Standard deviations (m/s): 0.0, 0.8

Density (gr/cm3) (approximate values): 2.00 2.19 2.45

Shear modulus (MPa) (approximate values): 288 1600 14425

Analyzing Phase velocities

Considered dispersion curve: 901.cdp

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 791 1778 5052

Poisson: 0.35 0.35 0.35

Vs30 (m/s): 603

Pay attention

Soil classification must be performed by the user.

For Italian Users:

Dalla normativa (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n° 29 del 04/02/2008):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

C - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).

D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).

E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).

S1 - Depositati di terreni caratterizzati da valori di VS30 inferiori 100 m/s (ovvero 10 < cuS30 < 20 kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includano almeno 3 m di torba o argille altamente organiche.

S2 - Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

winMASW

Surface Waves & Beyond www.winmasw.com

MAGNETOTELLURICA

Committente:

Consorzio Raetia

Autostrada A31
Tronco Trento - Valdastico – Piovene Rocchette
Campagna di indagini per la progettazione definitiva



Indagini audio-magnetotelluriche per la caratterizzazione
litostratigrafica e la definizione del modello geologico

Relazione n:	3541/17
Redatto da:	Dott. Geol. Paolo Zamparutti
Controllato da:	Dott. Geol. Mario Naldi
Data:	Marzo 2017
Revisione:	3

Sommario

1. INTRODUZIONE	1
2. UBICAZIONE INDAGINI	2
3. MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO E TARATURA MODELLO AMT	5
4. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA ED ELABORAZIONE DATI.....	6
4.1. CONFIGURAZIONE DI ACQUISIZIONE	6
4.2. ELABORAZIONE DATI	7
5. RISULTATI OTTENUTI.....	10
5.1. SEZIONI AMT 1D, 9D, 2D, 3D E 10D.....	11
5.2. SEZIONE 4D E 11D	13
5.3. SEZIONE AMT 6BIS, 7D.....	15
5.4. SEZIONE 5D.....	17
5.5. SEZIONE 6D E 12D	18
5.6. SEZIONE 8D.....	19

In allegato:

TAVOLE 1÷17

APPENDICE A Cenni sulla metodologia Audio-Magnetotellurica

1. INTRODUZIONE

La presente relazione illustra e descrive le indagini Audio Magneto Telluriche (di seguito AMT) realizzate per conto del Committente (Consorzio Raetia) lungo il tracciato di progetto del tronco Trento - Valdastico – Piovene Rocchette dell'autostrada A31 tra il 2016 e il 2017.

La campagna di indagini ha il compito di fornire la caratterizzazione litostratigrafica ed individuare le maggiori discontinuità nell'ammasso roccioso che sarà interessato dalle opere in sotterraneo.

Il piano di indagine ha previsto l'utilizzo della metodologia AMT in quanto:

1. Consente di raggiungere profondità di indagine notevoli (fino 2 Km) con un limitato impatto ambientale;
2. Restituisce un profilo di resistività elettrica del terreno correlabile con le unità litologiche conosciute;
3. Consente di individuare la presenza di discontinuità strutturali dell'ammasso roccioso e il loro effetto in profondità.

Nel 2016 sono stati eseguiti 80 sondaggi AMT raggruppati in 8 sezioni, al fine di fornire informazioni sufficienti sul modello geologico di sottosuolo, nei settori a maggiore copertura, dove non sono previsti sondaggi profondi.

Per meglio integrare la campagna di indagini effettuate nel 2016 sono state effettuate altre 5 sezioni AMT nel 2017, alcune a completamento delle aree non indagate in precedenza, altre per meglio integrare le zone già indagate e migliorare il modello geologico interpretativo

I risultati delle indagini sono illustrati nelle Tavole allegate e commentati nelle pagine seguenti.

2. UBICAZIONE INDAGINI

Come detto nel capitolo introduttivo, le indagini geofisiche hanno interessato l'intero territorio vallivo, in particolare i versanti che si affacciano sulla Valdastico, tra i comuni di Cogollo del Cengio e Valdastico (VI). Sono state eseguite n°8 sezioni nel 2016 di lunghezza variabile tra i 350 e 1500 m, con interspazio tra i singoli sondaggi compreso tra 70 e 90 m, al fine di avere un dettaglio sufficiente alla definizione e delimitazione delle unità litologiche e delle discontinuità strutturali. 5 sezioni di lunghezza compresa tra i 400 e 600 m sono state invece rilevate nel 2017. In Figura 1 e nella Tavola 2 allegata si localizzano le sezioni su base Google Earth con l'indicazione dei singoli sondaggi magnetotellurici eseguiti.

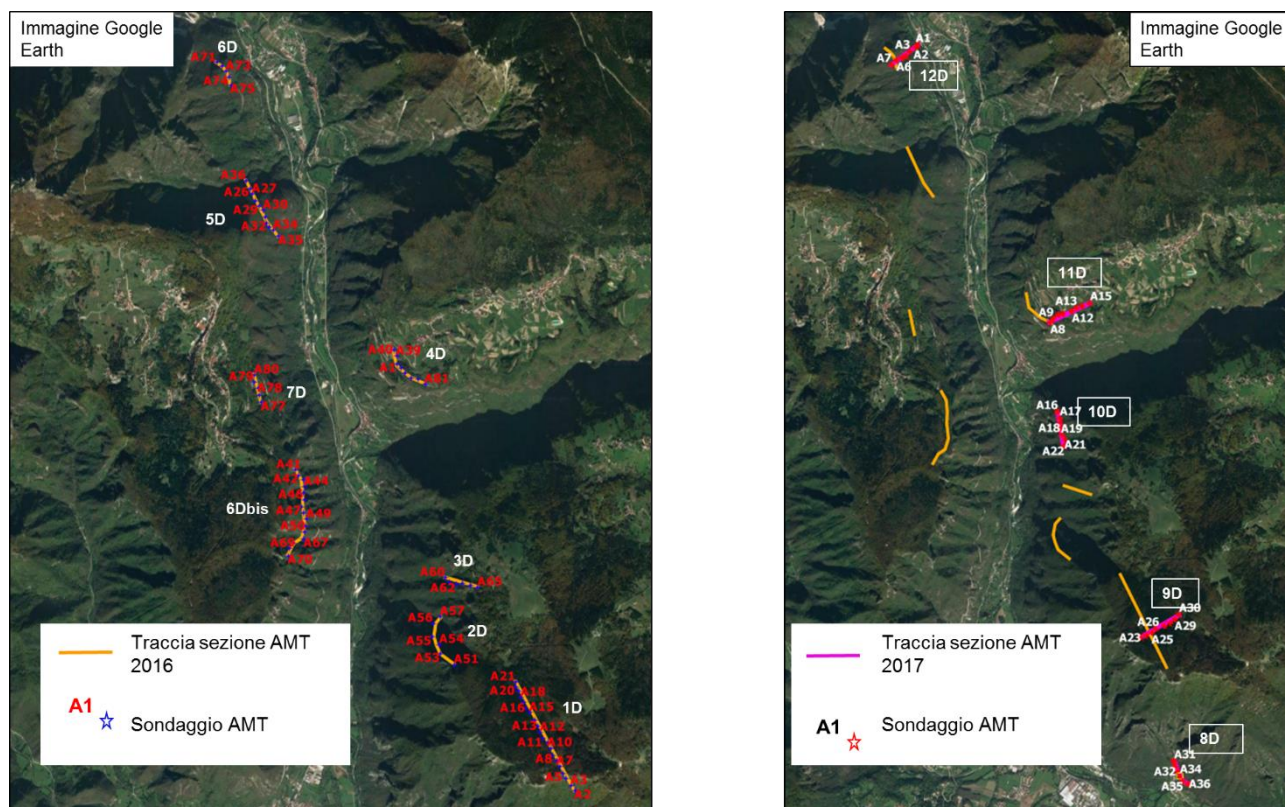


Figura 1 - Ubicazione delle indagini AMT eseguite

La posizione planimetrica, in coordinate UTM WGS84 - Zona 32 N, dei singoli sondaggi AMT, raggruppati per sezione di appartenenza, è indicata in tabella 1 e 2.

Tabella 1 Ubicazione sondaggi AMT del 2016

SEZIONE	ID	EST	NORD	QUOTA	SEZIONE	ID	EST	NORD	QUOTA	
AMT 1D	A02	686173	5075873	1329	AMT 5D	A36	682442	5082808	551	
	A03	686132	5075937	1316		A26	682480	5082717	623	
	A04	686080	5076010	1311		A27	682509	5082656	633	
	A05	686038	5076070	1293		A28	682547	5082574	693	
	A06	686002	5076154	1279		A29	682583	5082513	704	
	A07	685970	5076213	1258		A30	682636	5082473	759	
	A08	685928	5076277	1261		A31	682656	5082397	774	
	A09	685898	5076356	1261		A32	682674	5082329	768	
	A10	685867	5076420	1246		A33	682706	5082280	770	
	A11	685815	5076465	1239		A34	682750	5082246	726	
	A12	685783	5076540	1233		A35	682808	5082170	708	
	A13	685752	5076608	1238		AMT 6B	A41	683002	5079522	913
	A14	685721	5076674	1205			A42	683039	5079460	904
	A15	685662	5076765	1217			A43	683087	5079404	904
	A16	685617	5076811	1164	A44		683100	5079331	889	
	A17	685599	5076879	1161	A45		683088	5079257	904	
	A18	685564	5076937	1137	A46		683098	5079180	955	
	A19	685534	5077010	1148	A47		683071	5079100	963	
	A20	685501	5077052	1098	A48		683091	5079028	968	
	A21	685507	5077114	1122	A49		683128	5078961	966	
	AMT 2D	A51	684806	5077309	876		A50	683119	5078879	988
A52		684905	5077370	861	A66	683104	5078810	988		
A53		684586	5077413	737	A67	683096	5078733	1020		
A54		684638	5077539	701	A68	682975	5078684	1053		
A55		684552	5077619	623	A69	682934	5078629	1065		
A56		684637	5077749	593	A70	682916	5078543	1076		
A57		684702	5077788	584	AMT 6D	A71	682071	5084097	635	
AMT 3D	A60	684718	5078325	688		A72	682165	5084102	640	
	A61	684745	5078242	690		A73	682215	5084050	623	
	A62	684824	5078219	723		A74	682244	5083979	605	
	A63	684892	5078230	729		A75	682262	5083892	578	
	A64	684984	5078209	745	AMT 7D	A77	682611	5080284	885	
	A65	685072	5078189	849		A76	682593	5080370	878	
AMT 4D	A40	684116	5080880	711		A78	682572	5080447	877	
	A39	684150	5080813	706		A79	682534	5080520	864	
	A01	684154	5080720	732		A80	682535	5080602	895	
	A38	684202	5080672	699						
	A37	684250	5080615	712						
	A58	684318	5080566	745						
	A59	684395	5080548	769						
	A81	684472	5080496	792						

Tabella 2 Ubicazione sondaggi AMT del 2017

SEZIONE	ID	EST	NORD	QUOTA
12D	A7	682187	5083926.92	640.60
	A6	682258.1	5083991.25	578.59
	A5	682327.1	5084025.93	535.82
	A4	682390.9	5084045.55	489.91
	A3	682433.8	5084115.12	451.46
	A2	682508.7	5084162.83	417.82
	A1	682538.7	5084206.00	392.82
11D	A8	684986.7	5080782.50	777.35
	A9	684884.2	5080731.83	798.01
	A10	684805.9	5080711.42	813.40
	A11	684741.9	5080659.49	817.00
	A12	684627.3	5080617.87	814.12
	A13	684558.8	5080603.14	823.97
	A14	684491.8	5080549.16	822.53
	A15	684452.3	5080497.90	849.20
10D	A16	684587.9	5079293.23	604.07
	A17	684619.6	5079211.44	593.25
	A18	684622.6	5079142.22	600.95
	A19	684640	5079066.69	579.32
	A20	684653.3	5078994.49	575.47
	A21	684692.5	5078919.08	603.83
	A22	684685.1	5078830.72	604.07
9D	A23	685806.6	5076264.93	1274.58
	A24	685879.7	5076295.59	1270.02
	A25	685955	5076335.46	1239.74
	A26	686014.2	5076394.72	1191.43
	A27	686125.4	5076437.31	1189.27
	A28	686204.1	5076474.72	1184.94
	A29	686262.5	5076530.11	1198.16
	A30	686322.1	5076594.47	1194.55
8D	A31	686314.8	5074606.16	567.30
	A32	686333.7	5074533.36	532.21
	A33	686368.1	5074467.2	395.46
	A34	686397.8	5074408.73	400.51
	A35	686440.2	5074335.13	394.74
	A36	686523.3	5074302.22	399.55

3. MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO E TARATURA MODELLO AMT

Il modello geologico di riferimento è stato derivato dai rilievi effettuati in occasione della realizzazione del Foglio 082 - Asiago del Progetto CARG, all'interno del quale ricade l'area di interesse. In tavola 3 è riportata l'ubicazione delle sezioni AMT sul foglio geologico, appositamente georiferito per la sovrapposizione dei punti di misura.

In generale, posto che la quota del fondo valle coincidente con gli imbocchi delle gallerie si attesta tra i 280 m s.l.m. (Arsiero) e i 370 m s.l.m. (Valdastico), al di sopra di tale livello sono presenti numerosi affioramenti rocciosi che sono stati impiegati per la cartografia geologica. Le unità sottostanti a tale livello sono, invece, state descritte in altre aree del foglio Asiago, ma non risultano affioranti nell'area oggetto del presente studio.

Gli elementi principali del modello geologico sono:

- Le unità calcaree giurassiche, in particolare il Gruppo dei Calcari Grigi di cui fanno parte la Formazione di Rotzo (RTZ), il Calcare Oolitico di Loppio (LOP) e la Formazione di Monte Zugna (FMZ) che hanno uno spessore che può raggiungere i 300 mt.
- La Dolomia Principale (DPR Triassico) che rappresenta l'unità maggiormente rappresentata in quest'area, raggiunge spessori fino a 600 mt e caratterizza la maggior parte dei versanti della Valdastico (vedi *rendering* 3D di Tavola 1).
- Le Vulcaniti riolitico-dacitiche generalmente ubicate alla base della Dolomia Principale in filoni e livelli discontinui, rinvenute in alcuni sondaggi effettuati sul fondo valle
- I calcari triassici, si tratta di calcari molto diversi tra loro che presentano spesso importanti componenti marnose.

La localizzazione del contatto tra la Dolomia Principale (DPR) e le vulcaniti e/o i calcari triassici risulta di fondamentale importanza nelle fasi di progettazione in quanto questi ultimi sono generalmente la sede della falda acquifera e raccolgono gran parte delle acque di infiltrazione delle formazioni sovrastanti.

Le unità geologiche sopra descritte sono state impiegate come taratura dei sondaggi AMT. A ciascuna di esse è stato assegnato un valore di resistività ed è stato creato un modello sulla base del quale sono stati numericamente invertiti i successivi dati magnetotellurici. Il risultato è stato confrontato, quando possibile, anche con sezioni geologiche e/o dati provenienti da indagini dirette (sondaggi) e indagini indirette di altra natura (sezioni sismiche, geoelettriche...), effettuate in zona e note allo scrivente, considerando il differente grado di dettaglio ottenibile da ciascuna metodologia.

I dati AMT ottenuti dalla presente indagine sono stati basati pertanto su un modello geologico stratigrafico che tenesse conto delle formazioni sopra elencate. Per il dettaglio delle facies di ciascuna formazione/unità si rimanda alle note illustrative del Foglio 082 Asiago.

4. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA ED ELABORAZIONE DATI

4.1. CONFIGURAZIONE DI ACQUISIZIONE

L'acquisizione dei sondaggi AMT è stata realizzata con Lo strumento MTU-5A (Phoenix Geophysics, CA) e con l'impiego di sensori AMTC 30 con intervallo di frequenza di acquisizione tra 1 e 10 000 Hz e l'utilizzo di elettrodi in acciaio inox/grafite collegati mediante cavi multipolari con spaziatura di 50 m tra i dipoli di corrente.

La configurazione di terreno della strumentazione AMT è stata così impostata (vedi Figura 2 di pagina seguente):

- Posizionamento di 4 elettrodi in acciaio/grafite (sensori elettrici) in disposizione a croce (per comodità secondo i punti cardinali)
- Posizionamento dei tre sensori magnetici ortogonali l'uno rispetto all'altro ad una distanza di 30 m dallo strumento di ricezione. In questo caso sono stati impiegati sensori Phoenix centrati con frequenza massima di 10400 Hz.
- Unità di ricezione/registrazione Phoenix MTU-5

L'installazione del sensore verticale Hz ha previsto la perforazione di un foro di 50 cm di profondità e 10 cm di diametro, mediante trivella manuale a vite elicoidale. Al termine delle misure il foro è stato richiuso con lo stesso materiale sterrato.

Per ogni punto di misura si è proceduto ad un'acquisizione di un tempo minimo di circa 30 minuti, ampiamente sufficiente a coprire l'intervallo di frequenze utili al raggiungimento delle profondità attese (10 Hz → 1300-1500 m).

La qualità dei dati è stata verificata per ogni singola misura e sono stati applicati, ove possibile, filtri idonei al fine di aumentare il rapporto S/N (*Signal to Noise Ratio*) e limitare la sovrapposizione di onde armoniche dovute a rumore ambientale (correnti vaganti, macchine agricole, pozzi operanti, ecc.). Grazie a tali accorgimenti, nessun punto di indagine è risultato "contaminato" da rumore ambientale, e le curve di resistività elettrica ottenute sono risultate tra loro coerenti.

La taratura dello strumento è avvenuta all'inizio di ogni sessione di acquisizione. Al fine di verificare la rispondenza dei sensori con le curve sperimentali fornite dalla ditta produttrice, i coil magnetici sono stati posizionati parallelamente uno rispetto all'altro e sono state estratte le curve di risposta dopo almeno 2 h di acquisizione. Le curve risultanti sono, quindi, state confrontate con le curve fornite al momento dell'acquisto. Questo ha consentito di verificare sia il buon funzionamento della strumentazione, sia la risposta magnetica e la presenza di eventuali disturbi di fondo. Il dato di calibrazione è stato poi impiegato nelle fasi di elaborazione e processing dei dati.

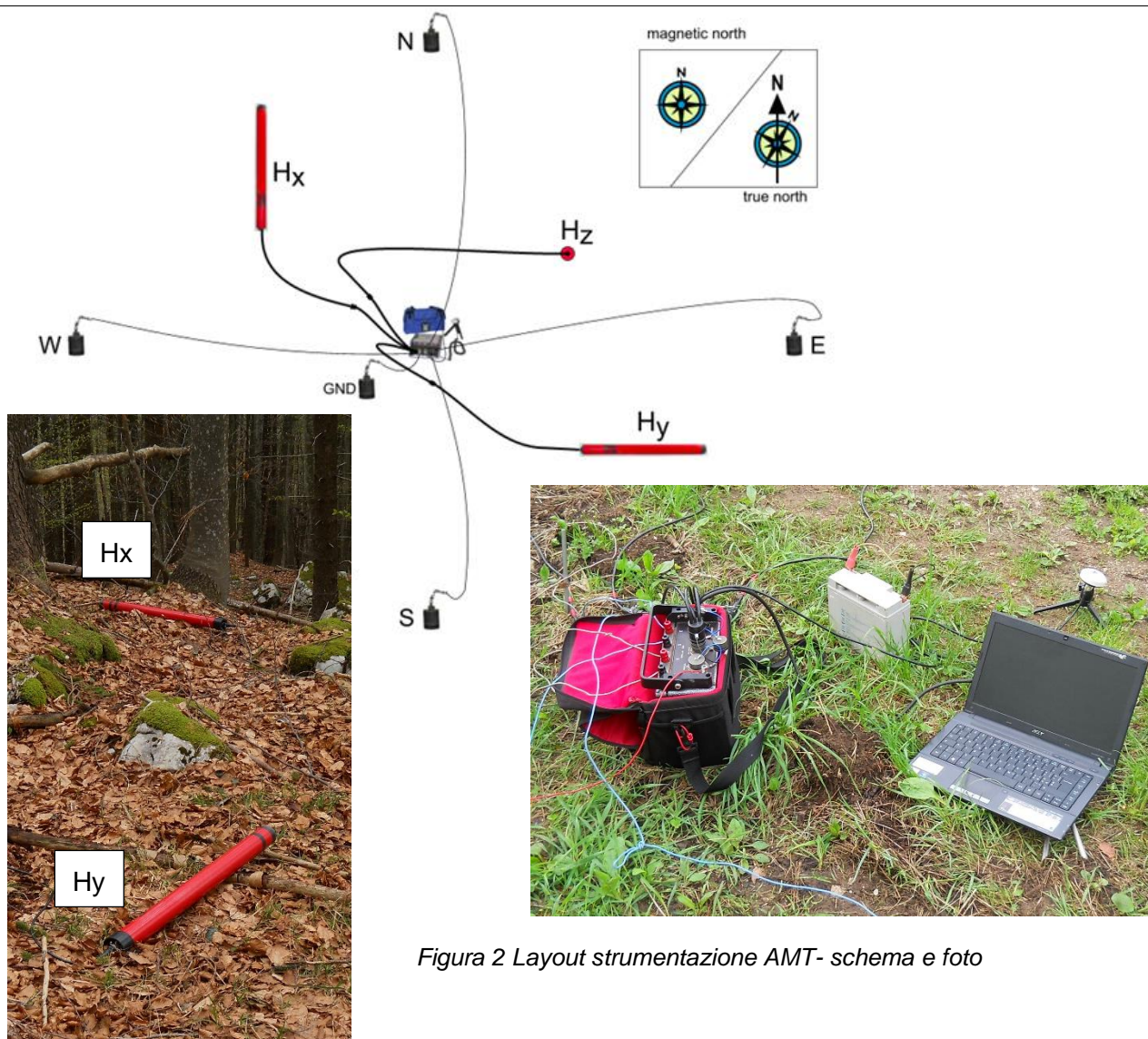


Figura 2 Layout strumentazione AMT- schema e foto

4.2. ELABORAZIONE DATI

L'elaborazione dei dati rilevati sul terreno procede secondo 3 fasi ben distinte per definire, infine, un modello elettrostratigrafico del sottosuolo bidimensionale. Trattandosi di un modello geologico prevalentemente piano parallelo, i dati sono stati trattati in 1D ed infine interpolati in un sistema 2D al fine di poter rappresentare in modo soddisfacente le variazioni lungo l'asse di indagine.

Le fasi di elaborazione dei dati sono state effettuate utilizzando i seguenti programmi:

- SMT2000 (Phoenix Instruments, CA) per:
- *Preprocessing* dei dati volto ad eliminare parti delle Time-Series fortemente disturbate e ad effettuare la Trasformata di Fourier dei valori in dominio di frequenza

-
- *Robust Processing* per il passaggio ai valori resistività attraverso l'analisi di coerenza dei segnali del campo elettrico (E) e magnetico (H) e l'eventuale correzione degli errori di layout
 - MT-Editor (Phoenix Instruments, CA) per valutare la dimensionalità dei dati, ruotare, se necessario, le componenti e filtrare i dati anomali esistenti attraverso un processo di filtraggio del segnale.
 - IPWin-MT (Moscow University, RU) per l'inversione delle curve di resistività e la creazione di sezioni 2D.

I dati sono stati infine interpolati con il software Surfer 13 (Golden Software, USA) per la vettorializzazione e l'esportazione grafica dei dati.

Nel processo di filtraggio delle curve, effettuato prima dell'inversione di resistività dei dati, si è proceduto eliminando i dati anomali (*outliers*) che avrebbero comportato uno scostamento dei valori di resistività con conseguente alterazione della continuità dei dati geologici.

Ogni singola frequenza di misura acquisita è stata suddivisa in 40 punti (*cross power*). Ad ogni punto viene associato un valore di resistività e angolo di fase (vedi figura 3); la media dei valori dei *crosspower* è il valore associato alla singola frequenza di misura. Al fine di evitare errori dovuti alla contaminazione antropica, per ciascuna frequenza acquisita sono stati eliminati i *crosspower* anomali, ottenendo medie più significative di resistività e angolo di fase. I dati sono quindi stati esportati in un formato compatibile con i software di inversione numerica

Le curve resistività (fase) - frequenza sono state invertite mediante un processo iterativo di adattamento, tenendo conto della qualità dei dati rilevati e degli effetti di *static shift* indotti sulle misure dalla presenza di strutture (faglie) allineate alla direzione di acquisizione. In figura 4 si riporta un esempio di adattamento tra i dati osservati e elaborati secondo le metodologie precedentemente descritte e la curva sintetica (resistività e fase) con il modello di resistività elettrico impiegato.

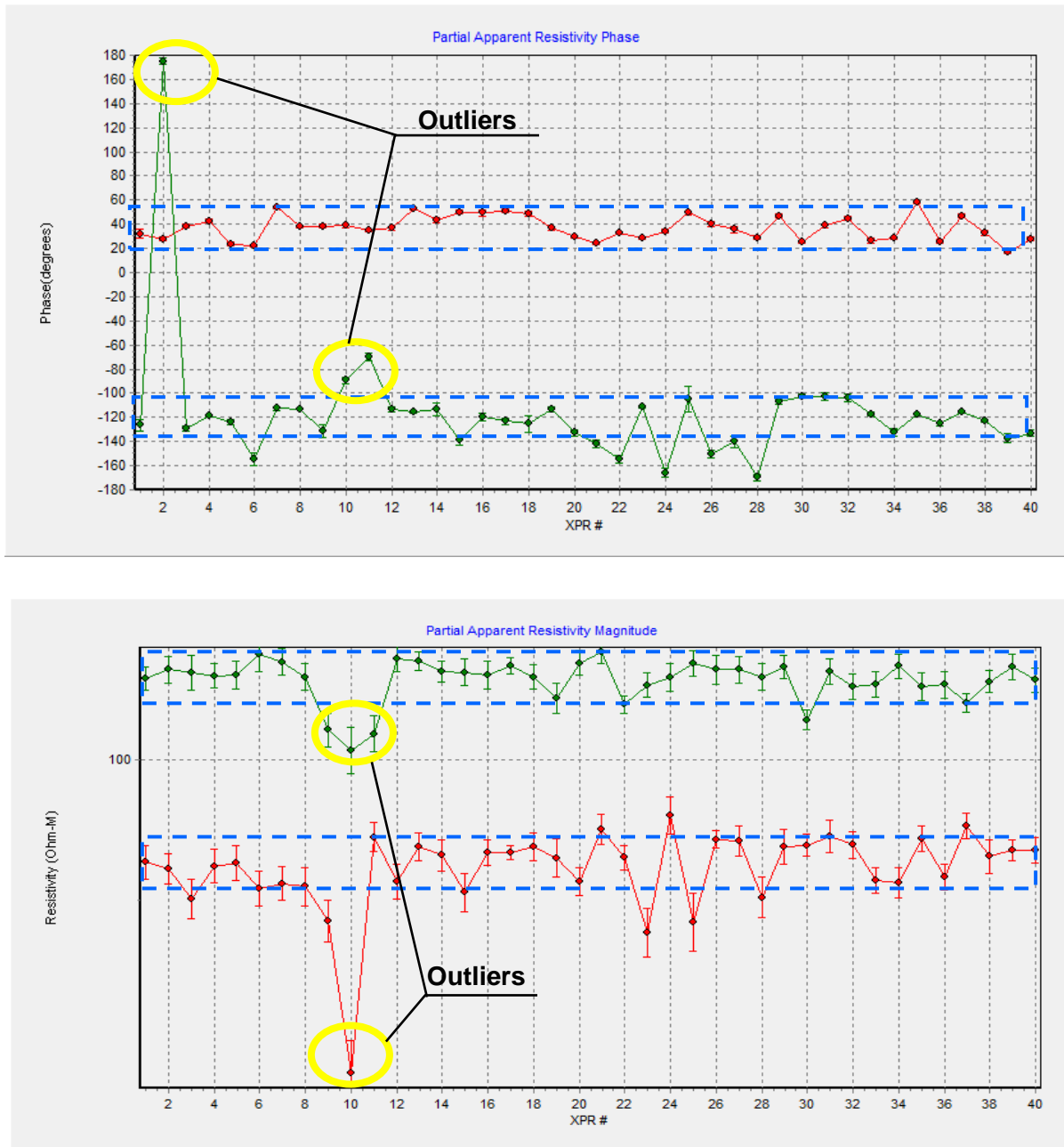


Figura 3 Esempio di crosspower per angolo di fase e resistività apparente, calcolati per un determinata frequenza nelle componenti xy(rosso) e yx(verde). I punti esterni a alle finestre blu sono considerati outliers e vengono esclusi dal conteggio del valor medio da assegnare alla frequenza. In giallo sono indicati alcuni outliers esclusi dal calcolo.

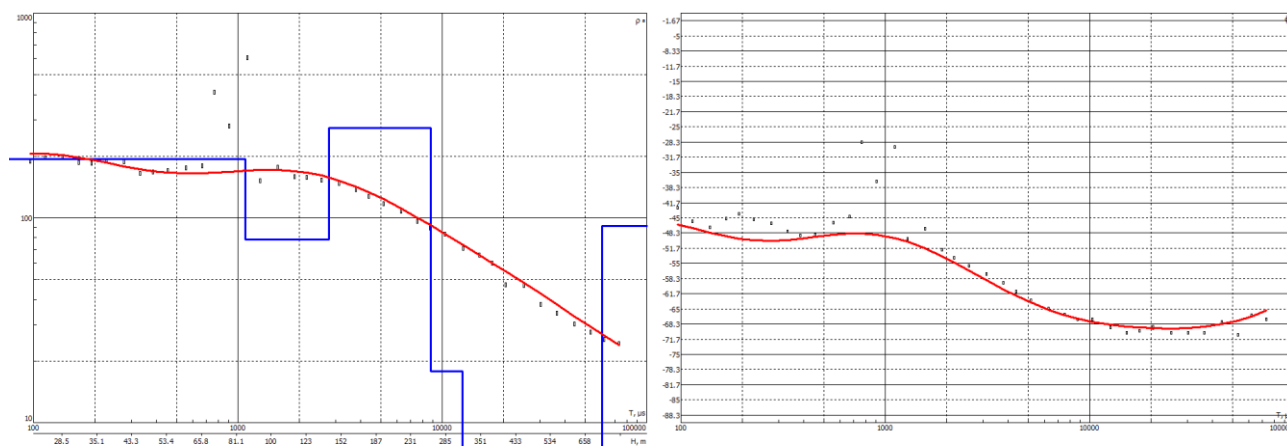


Figura 4 Modello di inversione e adattamento (fitting) tra i dati osservati (punti) e la curva sintetica (linea rossa) ottenuta dal modello di resistività elettrica a strati (linea spezzata blu)

Cenni ulteriori relativi alla metodologia di indagine sono riportati nell' Appendice allegato

5. RISULTATI OTTENUTI

I risultati ottenuti (sezioni di resistività elettrica 2D) sono riportati nelle tavole 4÷16. Per ogni sezione è stato rappresentata l'elettrostratigrafia fino alla quota 0 m s.l.m. Inoltre, su ciascuna sezione è rappresentata approssimativamente la posizione della galleria in progetto e del fondo valle riferito alla quota del torrente Astico.

In ciascuna sezione vengono sottolineati i principali contatti tettonici/litologici e le discontinuità strutturali messe in evidenza da differenti resistività.

In linea generale le sezioni mostrano 4 unità elettrostratigrafiche distinte:

- un'unità resistiva superficiale (colori dal giallo al rosso), con spessori variabili fino a 100-200 m che verosimilmente rappresenta le unità dei calcaree giurassiche. In taluni casi è stato possibile differenziare le unità giurassiche presenti.
- un livello a resistività medio-elevate (colori dal verde-giallo all'azzurro), questo livello è spesso assente e discontinuo. Non è stato ritrovato in tutte le sezioni. Probabilmente indica il passaggio dalle unità superiori quelle inferiori (generalmente meno permeabili)
- un'unità ad elevata resistività (colori dall'arancio al viola), gli spessori di questa unità sono generalmente i maggiori della sezione e spesso raggiunge la quota del fondo valle. La correlazione più plausibile per questo elettrostrato è la Dolomia Principale (DPR). Questa unità appare interessata da numerose discontinuità verticali o subverticali, peraltro in parte già segnalate nel foglio geologico CARG.

- Un'unità di fondo con bassi valori di resistività (colori dal verde al blu). Lo spessore di questa unità risulta molto variabile e generalmente piuttosto elevato. Non è stato possibile distinguere all'interno di questa unità le vulcaniti e dalle unità marnoso calcaree del Trias.

Situazioni locali hanno modificato la risposta elettromagnetica delle unità precedentemente distinte. Dalla comparazione dei risultati con la disposizione geometrica delle differenti unità, rilevata sul foglio geologico, emerge una buona congruenza. Sono emerse importanti discontinuità verticali/subverticali che sembrano interessate l'intera stratigrafia.

Le giaciture delle unità riconosciute appaiono coerenti con quelle riportate sulla cartografia, a riconferma dell'attendibilità dei dati misurati. I settori dove sono state cartografate discontinuità tettoniche importanti, mostrano spesso valori di resistività più bassi dovuti all'elevato grado di fratturazione della roccia che le rende settori preferenziali di circolazione dell'acqua.

Di seguito sono sommariamente riportate le descrizioni delle singole sezioni e per ciascuna di esse vengono distinte le singole unità elettrostratigrafiche riconosciute.

5.1. SEZIONI AMT 1D, 9D, 2D, 3D E 10D

Le sezioni 1D, 9D, 2D, 3D e 10D sono state rilevate sul versante orografico sinistro della Valdastico. In particolare la sezione 1D si sviluppa sul margine meridionale della valle. In figura 5 (tavole 4, 5, 6, 7 e 8) sono riportati i risultati dei sondaggi AMT.

Le sezioni mostrano una stratigrafia così suddivisibile:

- Un elettrostrato superficiale con valori molto elevati di resistività elettrica (1300-1500 Ohm*m) associabile ai calcari della Formazione di Monte Zugna (FMZ). Questo livello si sviluppa lungo tutta la sezione 1D e 9D, mentre compare nelle sezioni 2D, 3D solamente nei settori a quota maggiore. Nella sezione 10D questo strato non appare presente
- Un elettrostrato con resistività medie di limitato spessore, in particolare nella sezione 1D e 9D che sottolinea il passaggio all'unità sottostante.
- Un elettrostrato resistivo con valori nuovamente elevati (1000-1500 ohm*m) che si sviluppa per spessori compresi tra i 300 e i 500 m (sezioni 2D e 3D), talvolta fino a fondo sezione (10D). Spostandosi lateralmente, questo livello incontra numerose strutture verticali, alcune delle quali non segnalate nella cartografia geologica. La sezione 3D mostra valori di resistività leggermente più bassi rispetto alle sezioni precedenti, probabilmente legati ad un maggior grado di fratturazione. Nella sezione 10D all'interno di questo livello è stato rilevato un settore maggiormente conduttivo, correlabile probabilmente con un livello di vulcaniti riportato anche sul foglio CARG
- Un elettrostrato conduttivo basale con valori al di sotto di 450 Ohm*m. Questo strato appare correlabile verosimilmente con la presenza di un livello di vulcaniti, così come riportato anche nei recenti modelli basati sui rilievi di terreno e sui sondaggi eseguiti.

Si sottolinea come l'allineamento delle sezioni 1D, 2D e 10D con importanti strutture tettoniche, riportate sulla cartografia geologica, potrebbe aver portato ad uno scostamento dei valori di resistività (*Static Shift*).

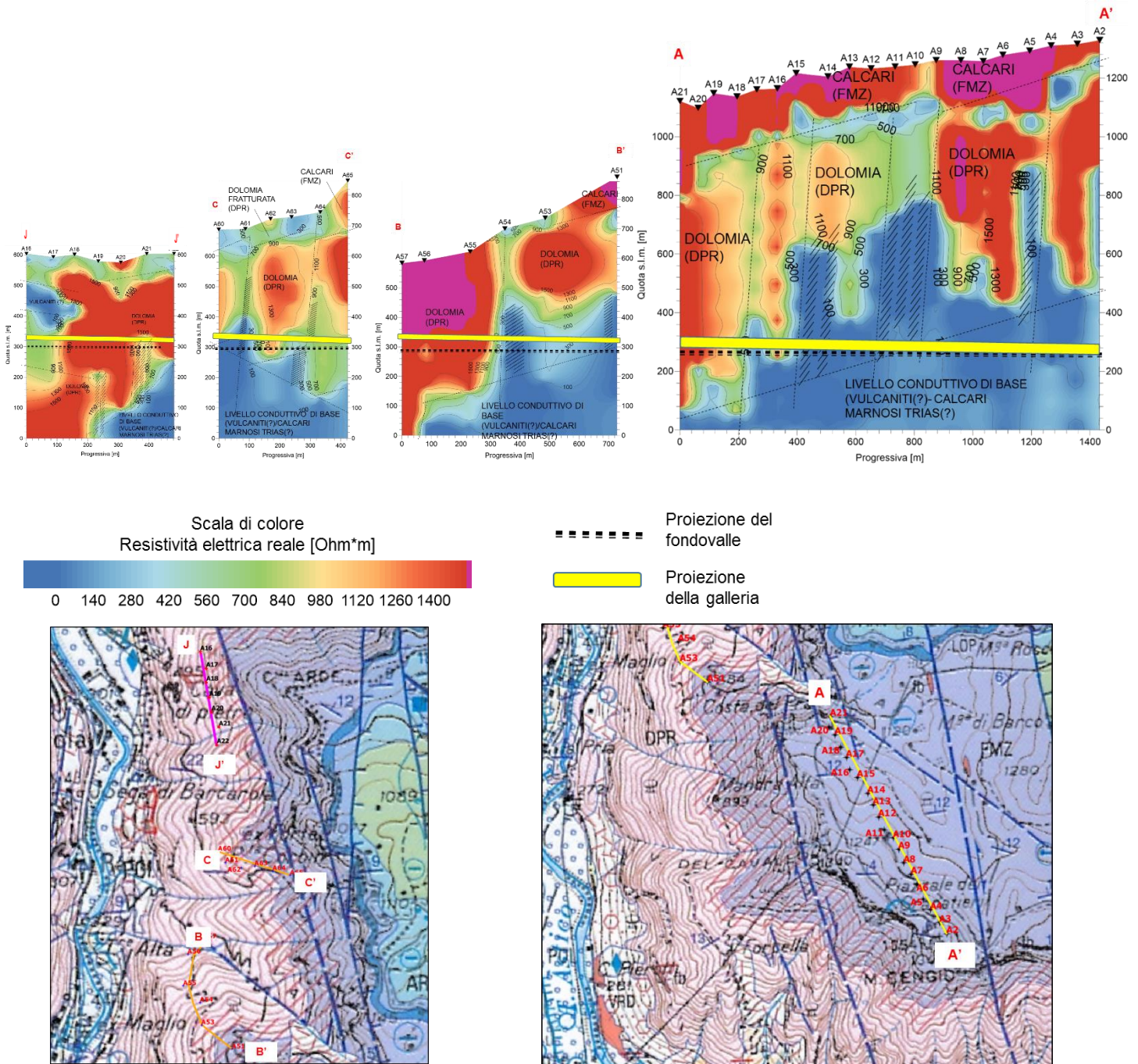


Figura 5 Correlazione tra le sezioni AMT 1D, 2D, 3D e 10D

5.2. SEZIONE 4D E 11D

Le sezioni 4D e 11 D (Tavola 9 e 10 e figura 6) sono state eseguite sul versante destro della Valdastico, a Nord della confluenza del T. Assa nell'Astico. La sezione 4D si situa poco a valle dell'altopiano, nei pressi del Comune di Rotzo e a monte di quello di Pedescala, mentre la sezione 11D risulta trasversale alla precedente con andamento SW-NE. A differenza di quanto descritto nel precedente capitolo, i valori di resistività misurati per la sezione 4D e la prima parte della sezione 11D risultano inferiori, indice probabilmente di un maggior grado di fratturazione. Sono, in effetti, riportate in cartografia numerose discontinuità strutturali, sia parallele all'andamento delle linee che perpendicolari ad esse. Le giaciture delle unità mostrano una differente inclinazione per il settore Nord e il settore Sud della sezione 4D, esse appaiono convergenti verso il centro della sezione.

Dal punto di vista stratigrafico sono state distinte le seguenti unità:

- Un'unità superficiale con resistività elevate (800-1000 Ohm*m), spessore circa 80-100 m, alla base della quale si sviluppa un livello a resistività minore. Dal confronto con i dati cartografici questa unità potrebbe essere correlabile con le formazioni dei calcari giurassici della Formazione di Rotzo (RTZ) e dei Calcari Oolitici di Loppio (LOP). La sezione 11D mostra valori più bassi nel settore centrale (100 Ohm*m) e valori invece nuovamente più elevati nel settore terminale
- Una seconda unità resistiva, come già detto, separata dalla soprastante da un livello più conduttivo, con valori compresi tra i 900 e i 1100 Ohm*m, lo spessore di questa unità è stato calcolato in circa 100-120 m. Le quota e la disposizione stratigrafica fanno propendere questa unità per essere la Formazione di Monte Zugna (FMZ).
- L'unità sottostante, anch'essa resistiva seppur talvolta con valori più bassi, appare interrotta lateralmente dalla presenza di un'importante discontinuità subverticale. Verosimilmente si tratta della Dolomia Principale. I bassi valori sono da imputarsi alla presenza di sistemi di fratturazione e faglie molto sviluppati. Questo livello appare gradualmente più resistivo nella spostandosi verso l'interno dell'altopiano, porzione Est della linea 11D.
- Unità di base conduttiva. Si sviluppa fino a fondo sezione al di sotto della dolomia. Nel settore Sud della sezione non è possibile distinguere questa unità dall'effetto di abbassamento dei valori di resistività causato dalla presenza di faglie. Si segnala, inoltre, che nell'area sono presenti affioramenti di vulcaniti, che potrebbero essere comprese all'interno di questa unità elettrostratigrafica e pertanto non distinguibili dai calcari-marnosi triassici.

L'obiettivo della sezione 11D, che risulta "fuori asse" rispetto al tracciato della galleria, è stato quello di valutare se l'abbassamento di resistività locale individuato nella sezione 4D fosse legato ad un livello di vulcaniti o, come invece appare evidente dalla figura 6, ad un fenomeno di fratturazione localizzato della dolomia. La presenza, infatti, di numerose faglie subparallele è la ragione dell'anomalia a bassa di resistività all'interno del livello di dolomia.

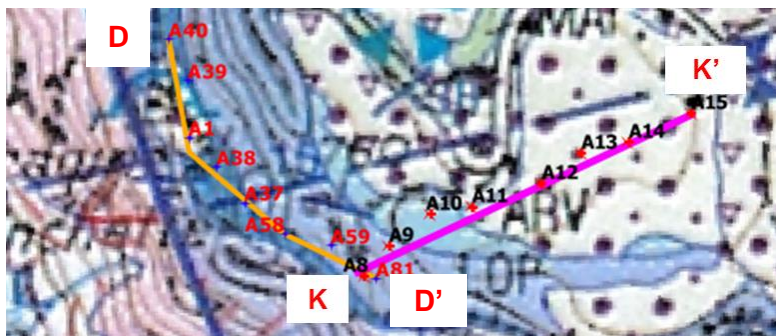
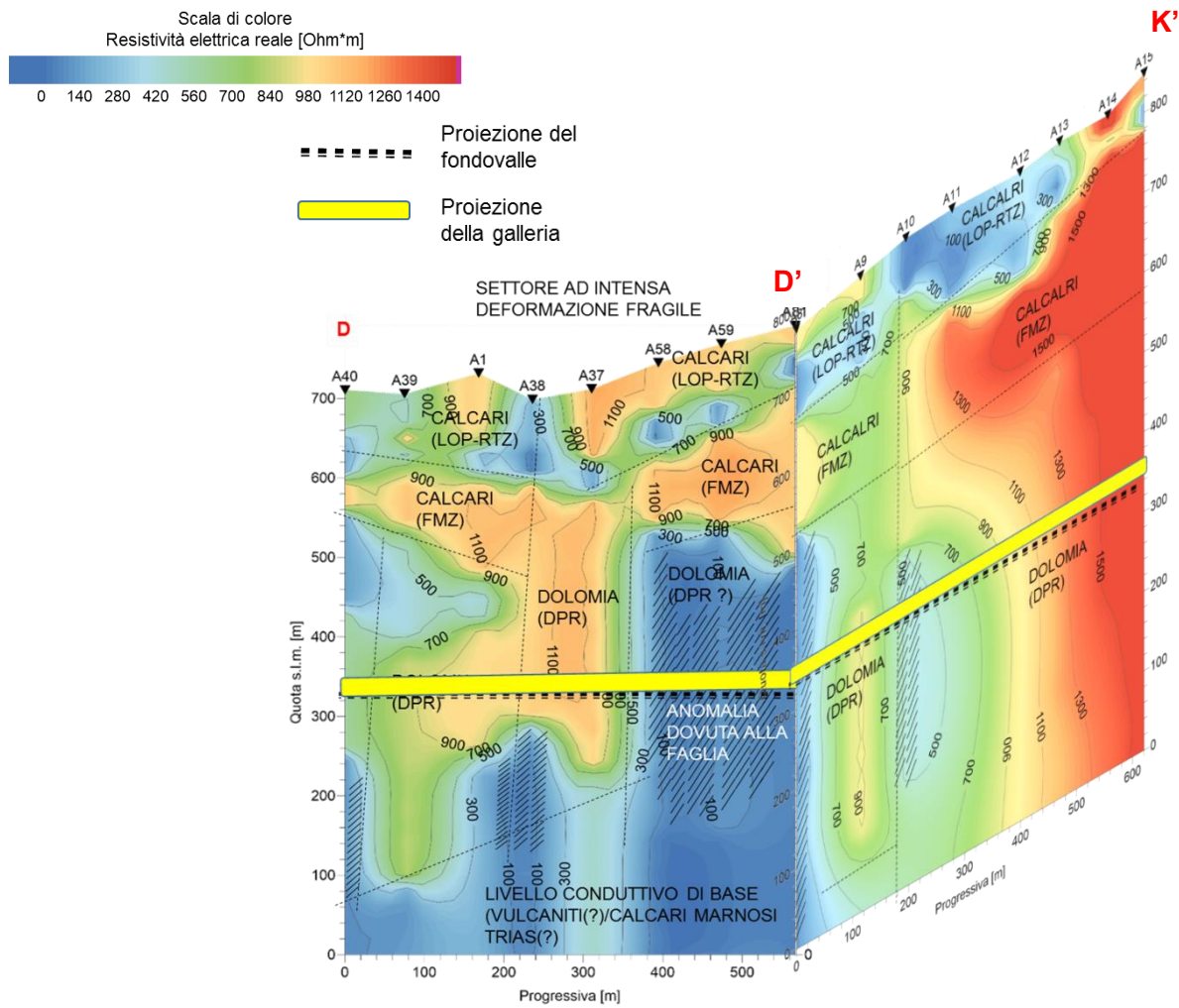


Figure 6 Sezione AMT 4D e 11D

5.3. SEZIONE AMT 6BIS, 7D

Le sezioni 6bis e 7D sono state eseguite sul versante orografico destro della Valdastico nei pressi del Comune di Tonezza del Cimone (figura 7, tavola 7 e 8). La sezione 6bis interseca due faglie dirette segnate in carta che ne modificano in modo importante l'elettrostratigrafia.

La suddivisione delle unità è analoga a quella descritta in precedenza per la sezione 4D, anche se in generale i valori di resistività appaiono più elevati. Le unità mostrano rispettivamente una giacitura inclinata verso Nord di circa 10° in tutta la sezione 6bis e la prima parte della sezione 7D e circa 15° verso Sud la sezione 7D, coerenti con quelle riportate in carta. Si possono pertanto distinguere:

- Un livello superficiale mediamente resistivo che è stato associato alla Formazione di Rotzo: I valori di resistività risultano nettamente inferiori nel settore Sud della sezione 6bis, probabilmente a causa dell'elevata fratturazione dovuta alla presenza delle faglie dirette. Questo livello non è presente nella sezione 7D, in quanto questa è stata eseguita ad una quota inferiore. Sono però stati rilevati depositi quaternari debolmente resistivi, coerentemente con quanto riportato in carta.
- Un livello resistivo, con valori fino a 1500 ohm*m e spessori fino a 150-200 m (maggiori nella sezione 7D) correlabile con la FMZ. Nel settore meridionale della sezione 6bis l'unità appare suddivisa in blocchi e parzialmente dislocata in corrispondenza delle faglie dirette.
- L'unità elettrostratigrafica sottostante mostra valori simili a quella sovrastante, seppur ridotti in corrispondenza delle discontinuità strutturali individuate. La quota appare compatibile con la DPR.
- L'unità di base mostra valori di resistività bassi ($\rho < 500 \text{ Ohm} \cdot \text{m}$). La continuità laterale di questa unità è ridotta, in particolar modo porzione Nord nella sezione 6bis, dove l'unità resistiva sovrastante si estende fino fondo sezione (quota 0 m s.l.m.).

La differente vergenza delle unità nella sezione 7D può essere spiegata con la presenza di un asse di piega sinclinale che seppur non esplicitata in cartografia su questo versante è presente sul versante opposto della Valdastico in corrispondenza della sezione 4D.

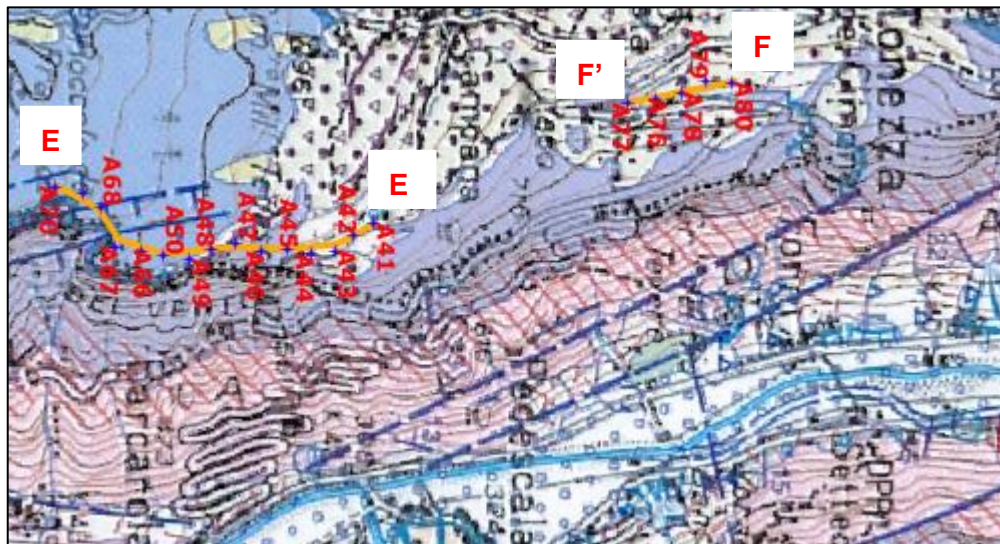
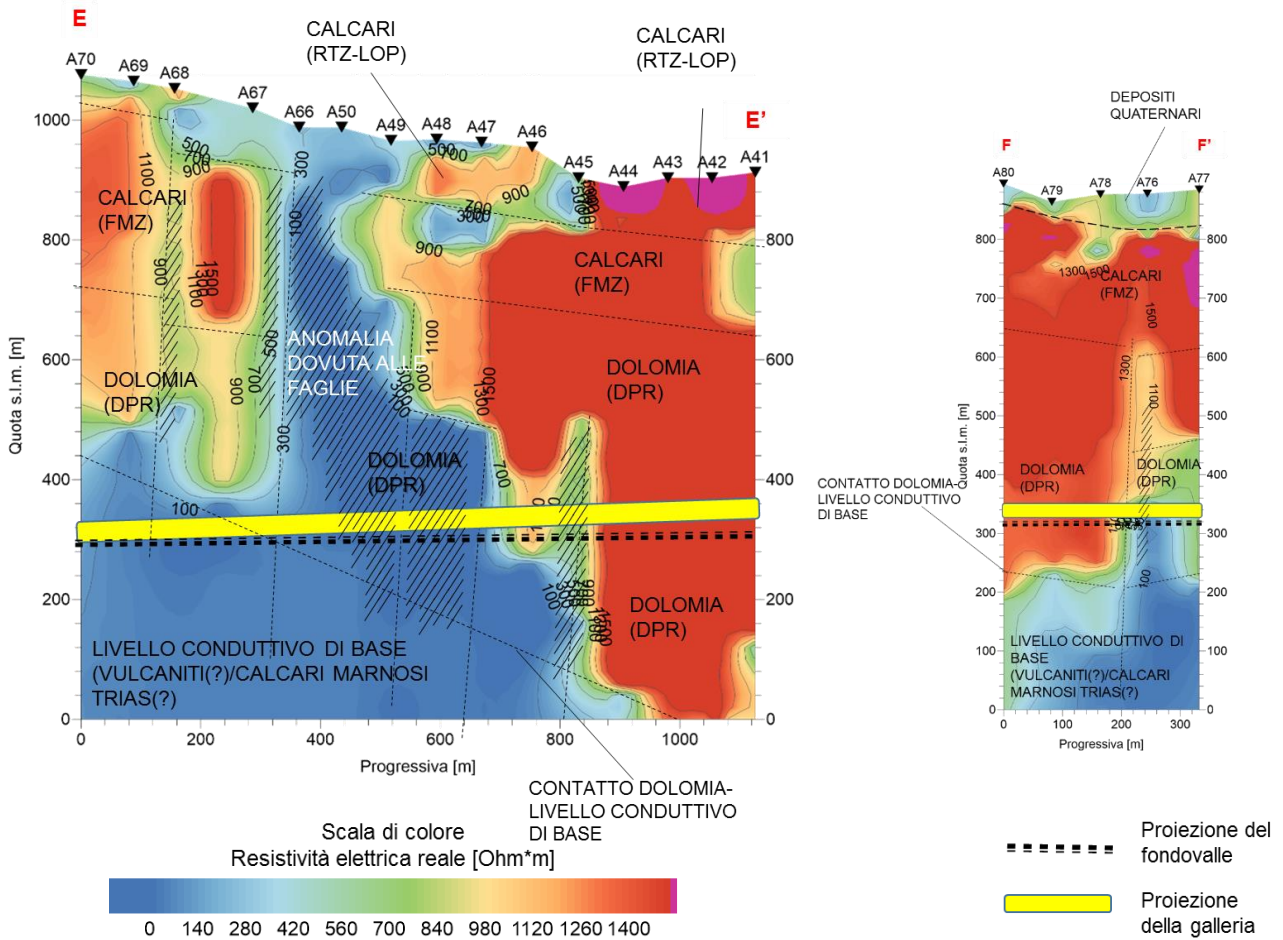


Figure 7 Sezioni 6bis e 7D

5.4. SEZIONE 5D

La sezione 5D (tavola 8 e figura 8) è realizzata sul versante orografico destro della Valdastico, a monte della frazione Valpegara del Comune di Valdastico. La sezione inizia da poco sotto la sommità del versante per concludersi all'interno di una piccola valle laterale. Le indagini AMT mostra un'elettrostratigrafia non dissimile dalle sezioni precedenti. La porzione centrale della sezione mostra valori di resistività più bassi dovuti probabilmente alla presenza di una discontinuità strutturale importante.

Si possono distinguere le seguenti unità elettrostratigrafiche:

- Un'unità superiore, molto resistiva ($1000 < \rho < 1400 \text{ Ohm} \cdot \text{m}$) presente solo nella metà settentrionale della sezione e correlabile con FMZ, con uno spessore di circa 100 m.
- Un settore centrale mediamente conduttivo, con una distribuzione di valori di resistività non omogenea tra i sondaggi AMT effettuati e generalmente compresa tra i 300 e 800 $\text{Ohm} \cdot \text{m}$. questo settore è plausibile sia riconducibile ad un livello particolarmente fratturato
- Un livello di base resistivo che si estende fino al fondo della sezione in quasi tutti i settori e con valori compresi tra 1100 e i 1500 $\text{Ohm} \cdot \text{m}$. La continuità laterale di questo livello è interrotta da un importante settore a bassa resistività, imputabile probabilmente alla presenza di una struttura verticale nel centro della sezione.

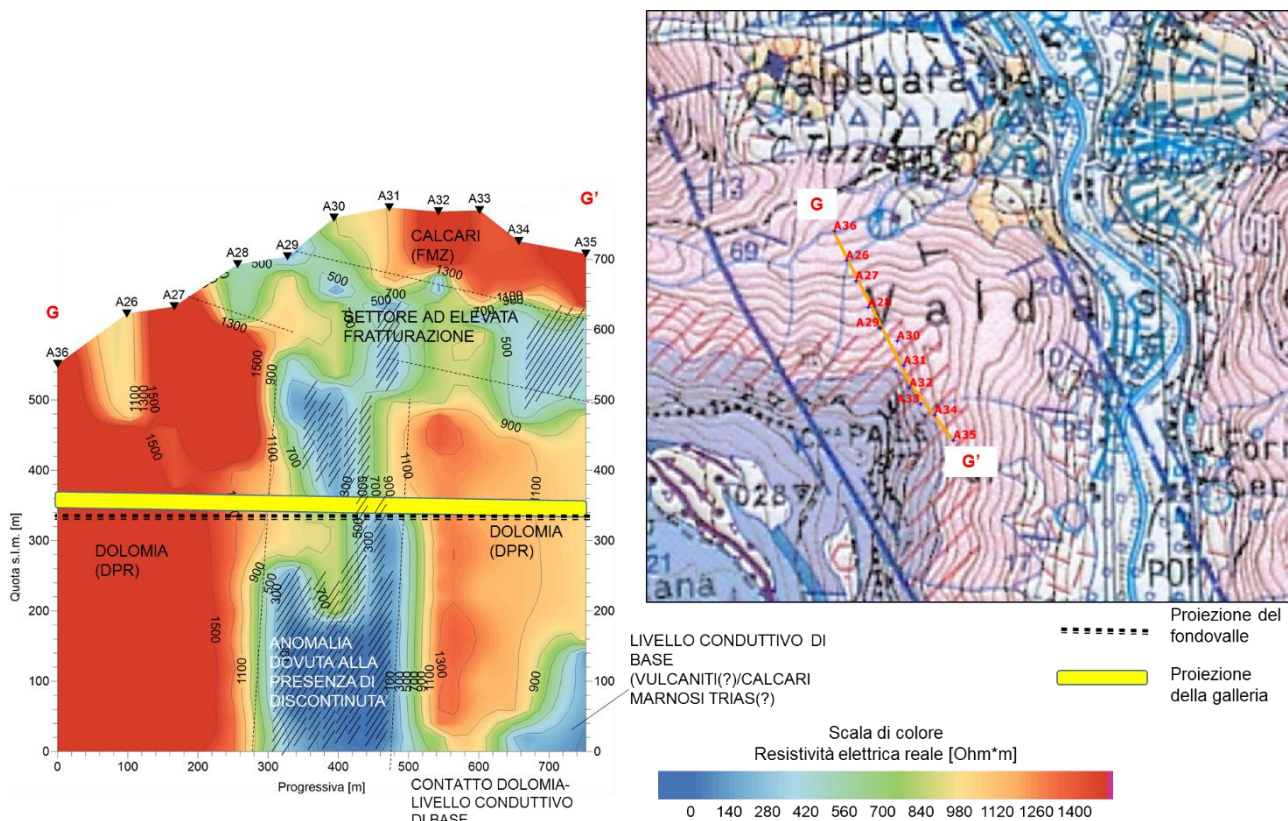


Figure 8 Sezione 5D

5.5. SEZIONE 6D E 12D

Le sezioni 6D e 12D sono state realizzate rispettivamente a metà del versante presente a monte della frazione Luconi-Grotta e da pochi metri a monte del fondo valle fino a quota 640 m s.l.m. nei pressi della medesima frazione, del Comune di Valdastico, in un settore dove la morfologia della valle cambia, allargandosi.

Dal punto di vista elettrostratigrafico sono presenti blocchi resistivi e porzioni maggiormente conduttive senza però che questi formino, come in precedenza, degli strati lateralmente continui, soprattutto nella sezione 6D. Si sottolinea come nell'area circostante le sezioni siano riportate sul foglio CARG numerose frane, anche di grandi dimensioni. Pertanto è ipotizzabile che l'intero ammasso roccioso appaia particolarmente fratturato; le medesime considerazioni possono essere fatte se confrontano i dati alcuni sondaggi effettuati nelle vicinanze. In particolare, nelle porzioni superiori della parte Nord della sezione 6D, è possibile notare la presenza di un settore conduttivo importate che potrebbe essere connesso con la fratturazione legata alla presenza della frana riportata in carta nei pressi dell'area di rilievo.

Nella sezione 6D il livello resistivo, associato alla DPR, si sviluppa dal piano campagna fino alla quota 150m s.l.m., ma la sua continuità laterale è interrotta da discontinuità strutturali verticali che ne abbassano fortemente la resistività.. Al di sotto di questo livello è presente un'unità conduttiva appartenenti verosimilmente al livello conduttivo di base.

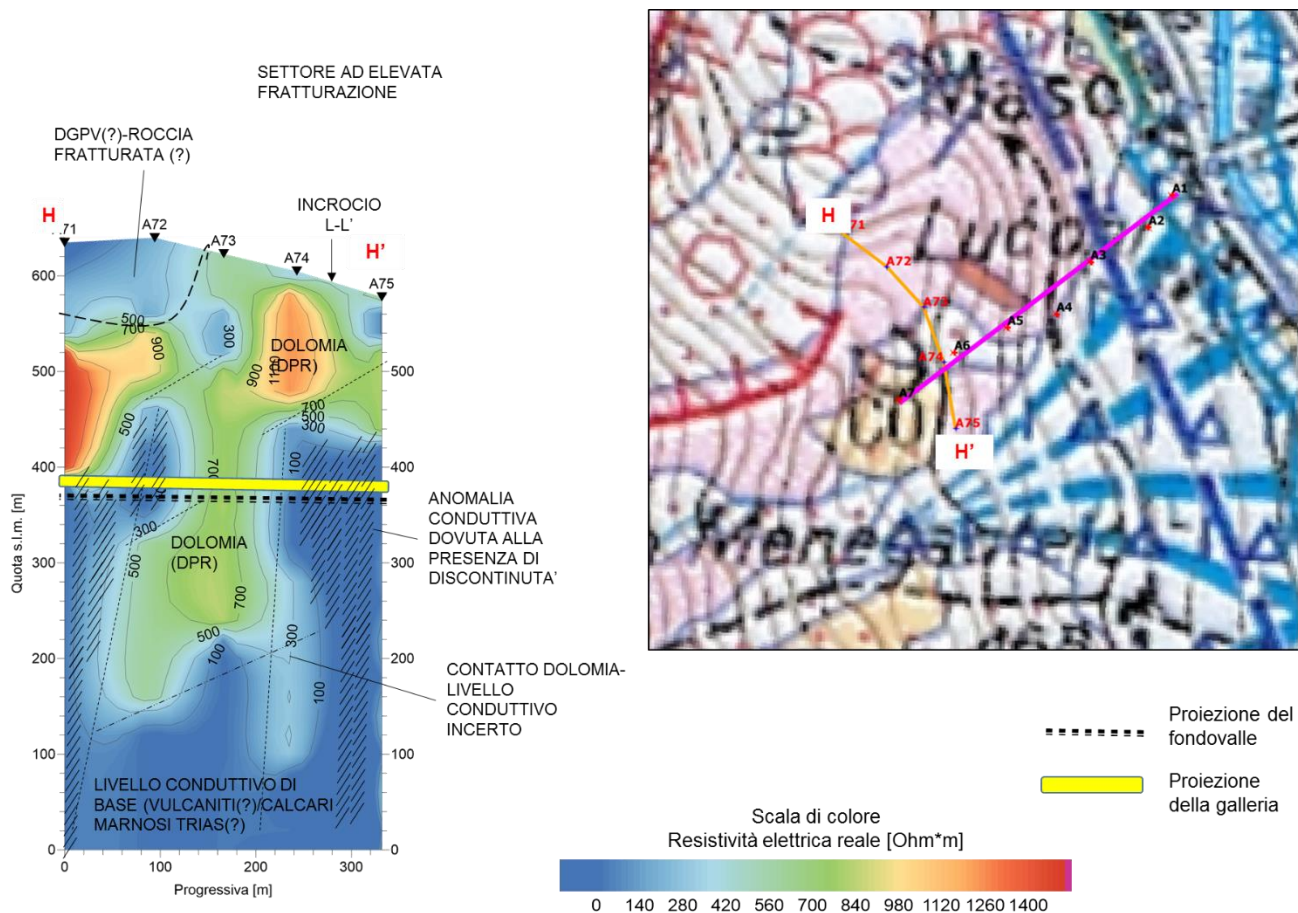


Figure 8 Sezione AMT 6D

La sezione 12D (Tavola 15 e figura 12) si sviluppa, come detto, lungo la massima pendenza ed interseca nella parte sommitale la sezione 6D. Da punto di vista elettrostratigrafico sono ben evidenti due settori distinti: quello di monte, maggiormente conduttivo, associato ad ammassi rocciosi particolarmente fratturati (Dolomia e calcari) e quello di valle con caratteristiche decisamente più resistive e interessato solamente da un'importate discontinuità verticale, segnalata anche sul foglio CARG. La vicinanza di questa linea a strutture antropiche ha determinato un forte disturbo nei sondaggi AMT più vicini al fondo valle.

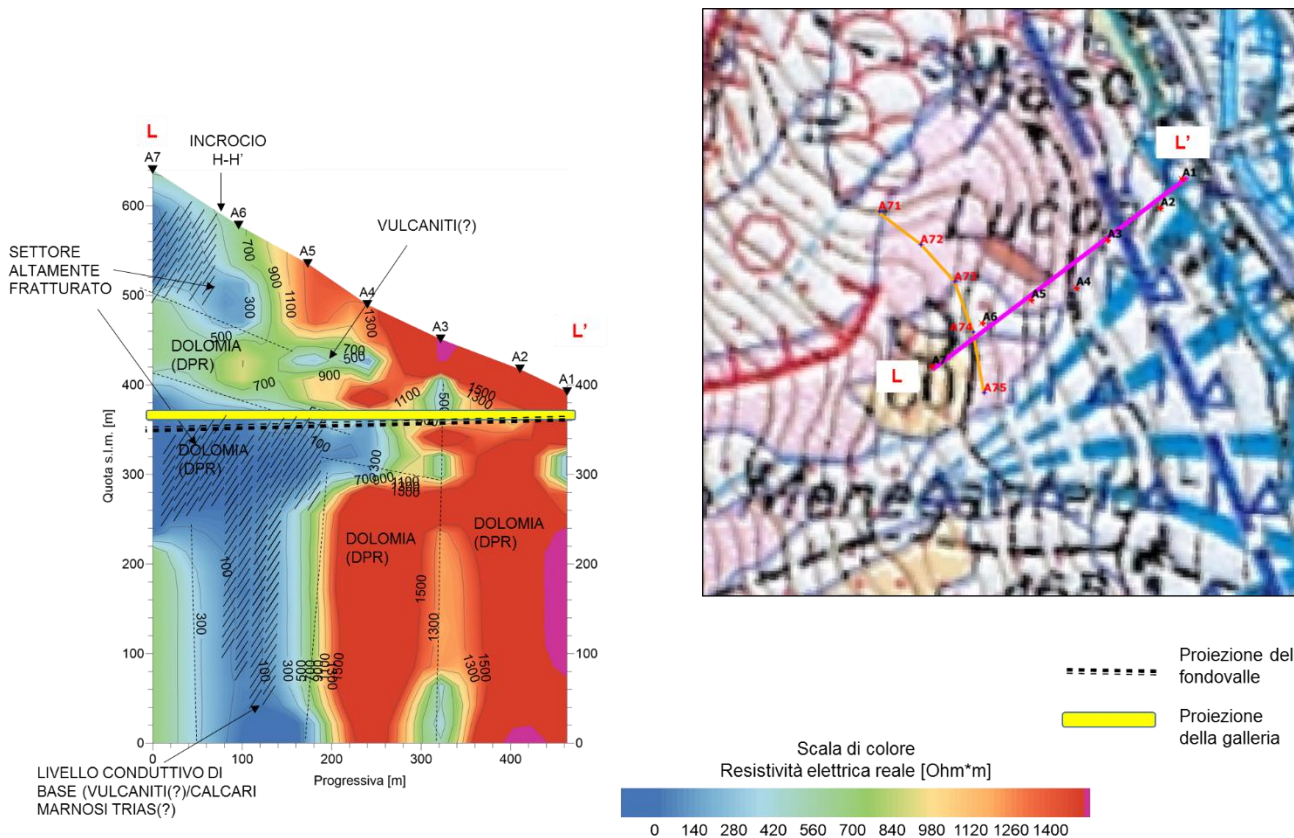


Figure 9 Sezione AMT 12D

5.6. SEZIONE 8D

La sezione 8D è stata realizzata in prossimità del fondo valle in prossimità dell'imbocco Sud della galleria del Cengio, a monte della frazione Casale del comune di Cogollo del Cengio (figura 10 e tavola 16). Parte della sezione si sviluppa all'interno del conoide che scende dal piccolo bacino che si origina a valle del Piazzale del Granatiere.

Dal punto di vista elettrostratigrafico si distinguono sostanzialmente due unità con comportamento fortemente differente. Il settore superficiale della sezione presenta un livello di spessore contenuto, resistivo (700-1300 Ohm*m), al di sotto del quale è presente un livello conduttivo fino a fondo sezione. Il livello superficiale è ipotizzabile sia associato alla presenza di depositi di conoide nel settore iniziale, mentre il livello conduttivo, in coerenza con quanto emerso dai sondaggi effettuati in zona, è associabile all'unità delle vulcaniti. Non è tuttavia possibile escludere che in profondità vi sia

il passaggio all'unità triassica dei calcari, non rilevato dalla magnetotellurica. L'altra porzione superficiale della sezione mostra dei depositi fortemente resistivi associabili probabilmente a falde detritiche, che si originano dalla dolomia sovrastante, fortemente cementate e che affiorano in modo discontinuo lungo il versante. La cementazione dei depositi è coerente con quanto riscontrato dalle indagini sismiche effettuate in zona e che mostrano un settore molto addensato in corrispondenza dei punti A35 e A36.

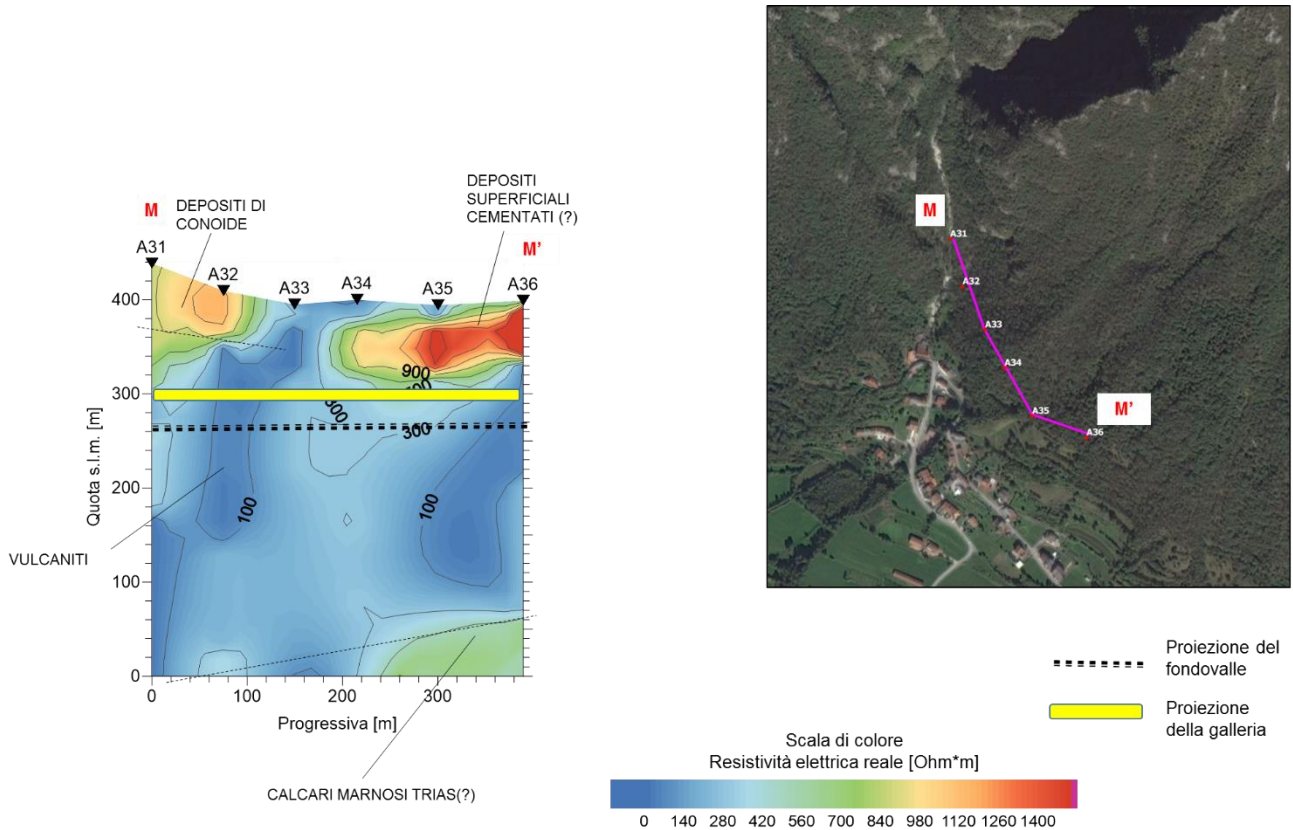


Figure 10 Sezione AMT 8D

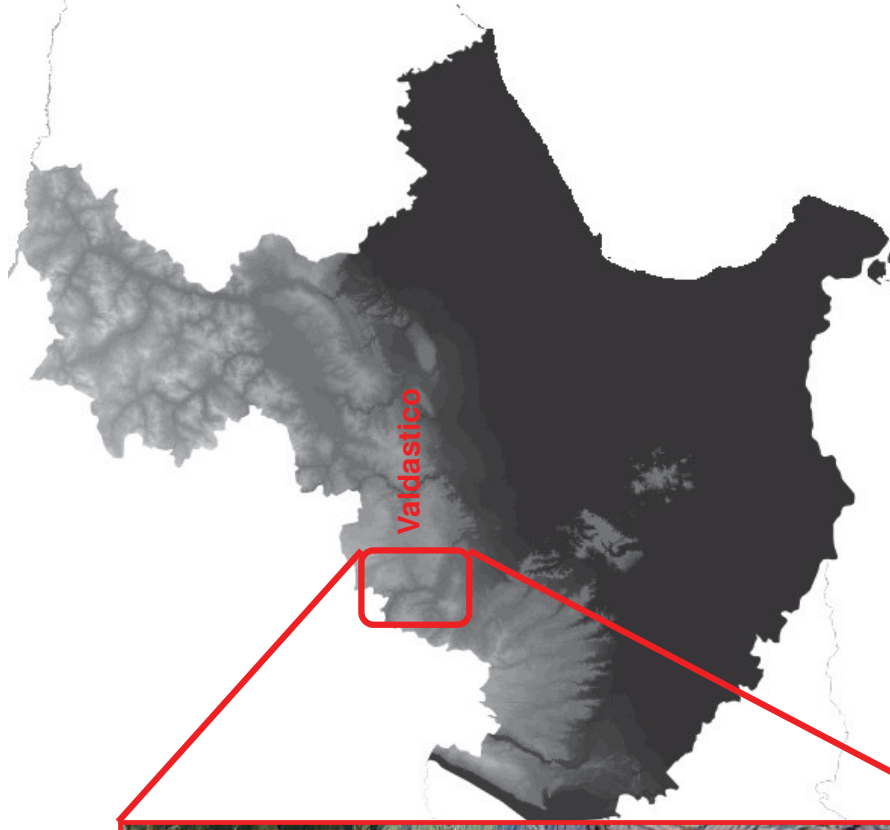
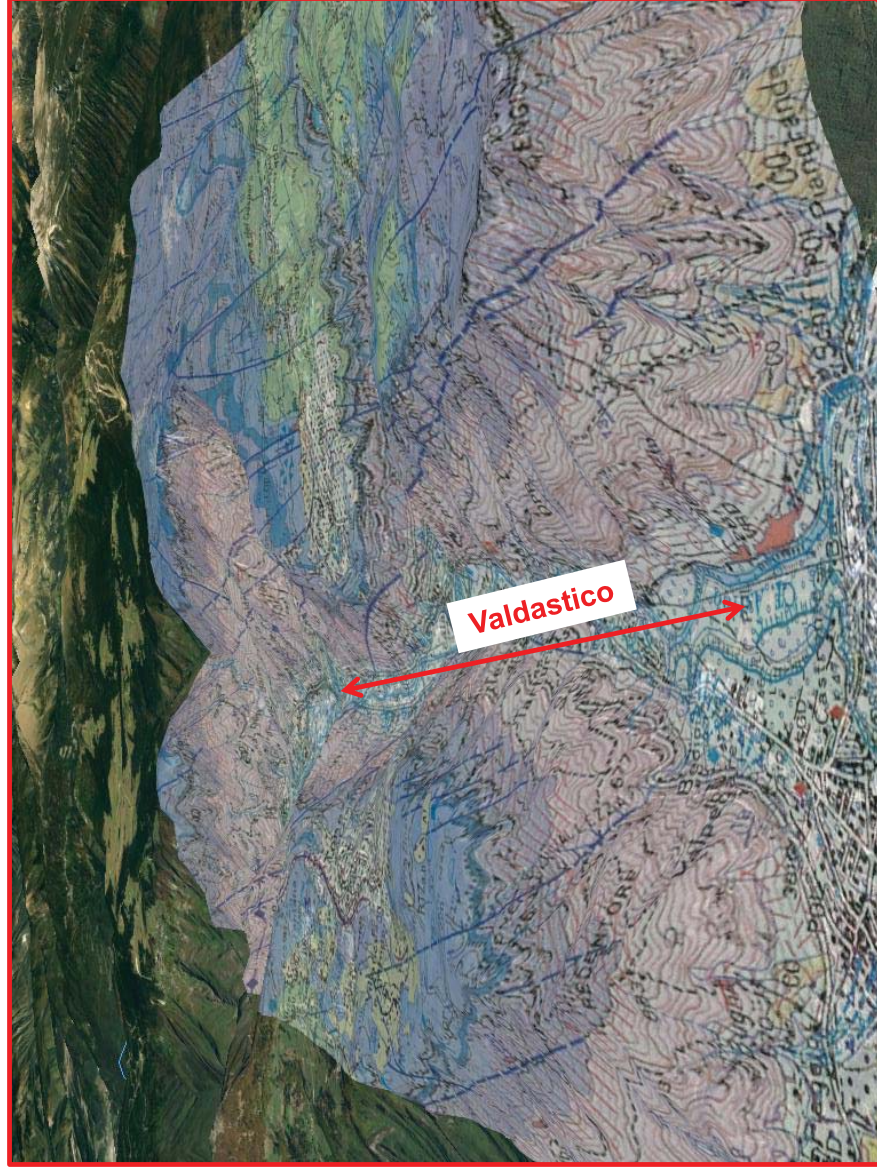
Techgea S.r.l.

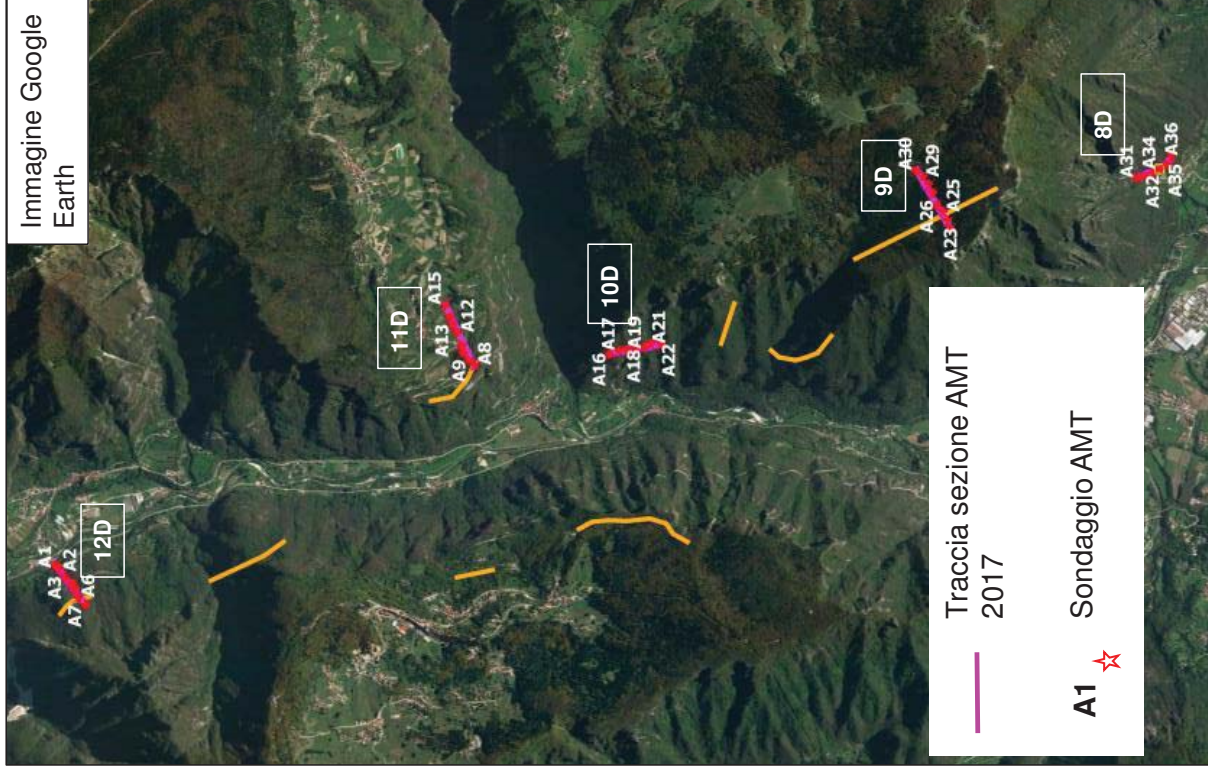
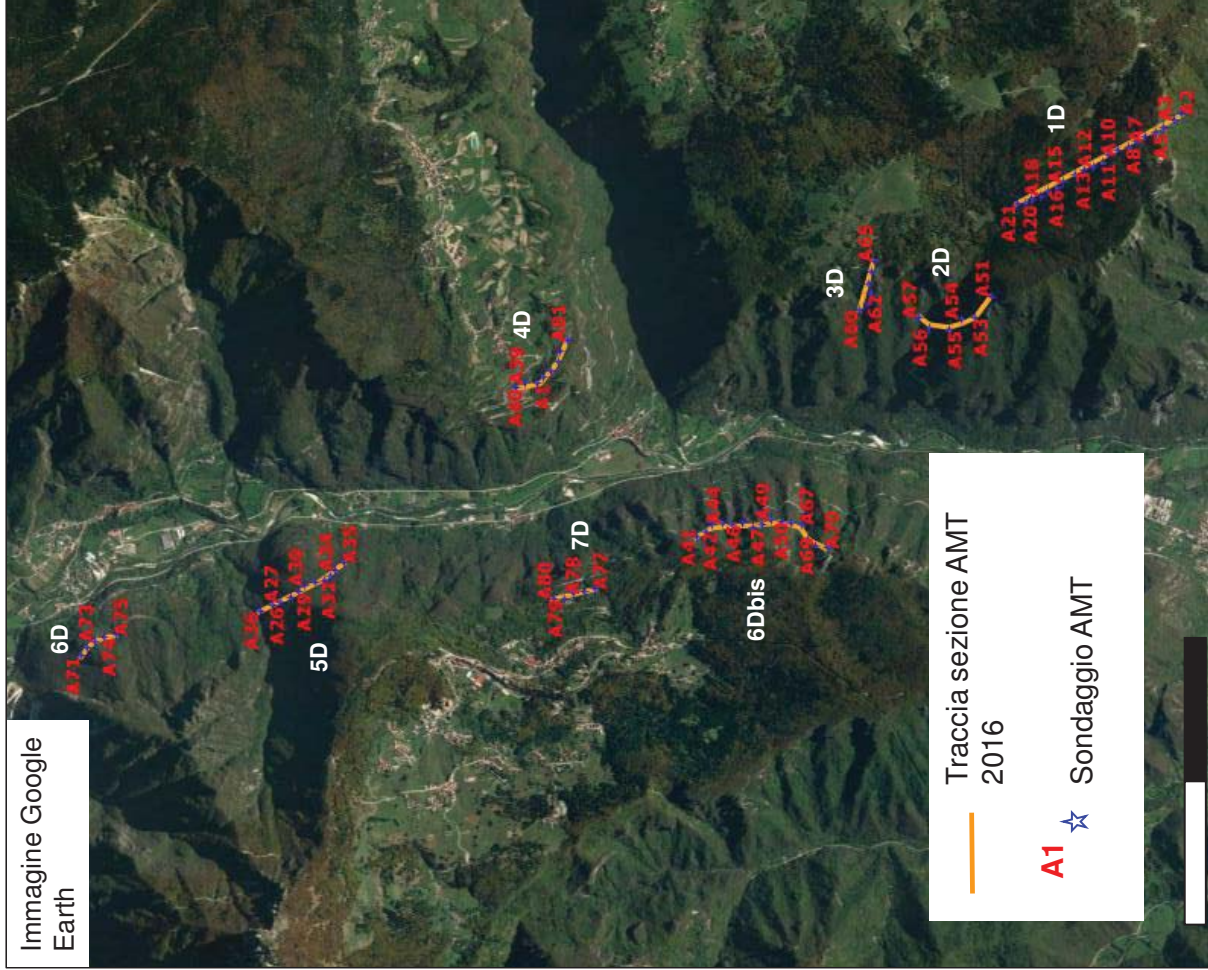
Redatto da: Dott. Geol. Paolo Zamparutti

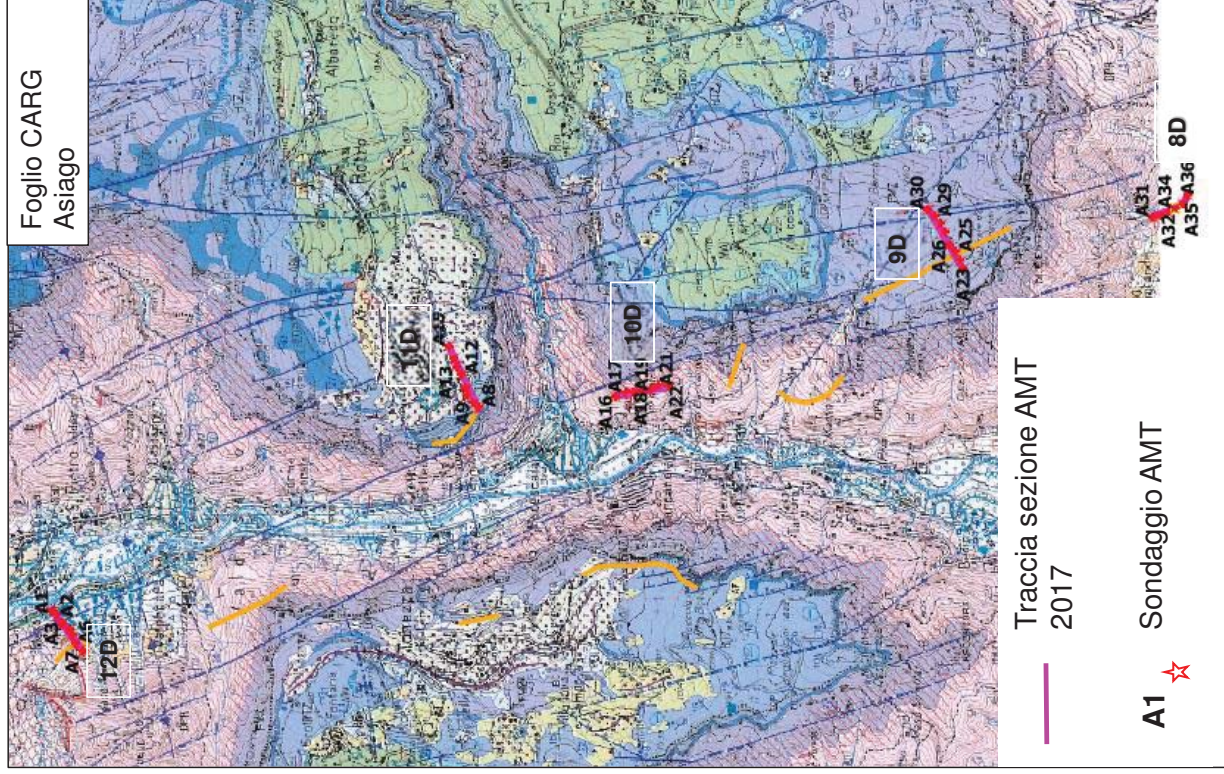
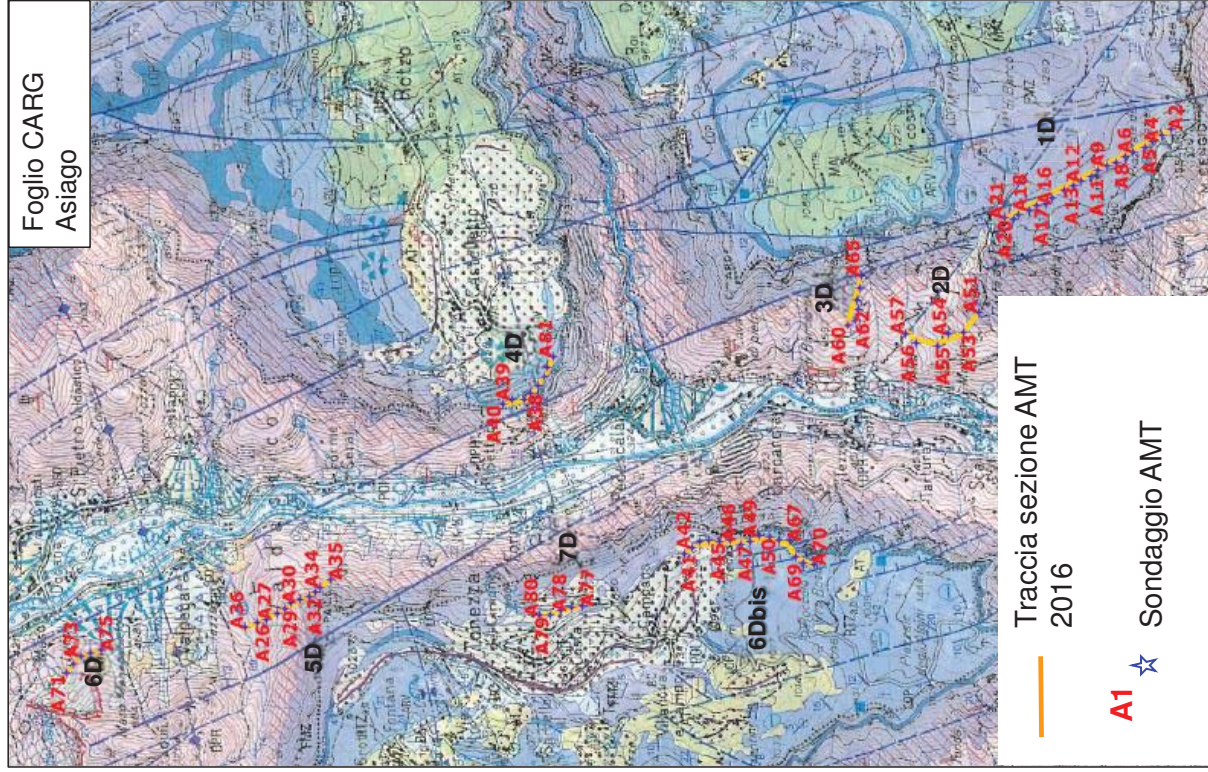
Controllato da: Dott. Geol. Mario Naldi

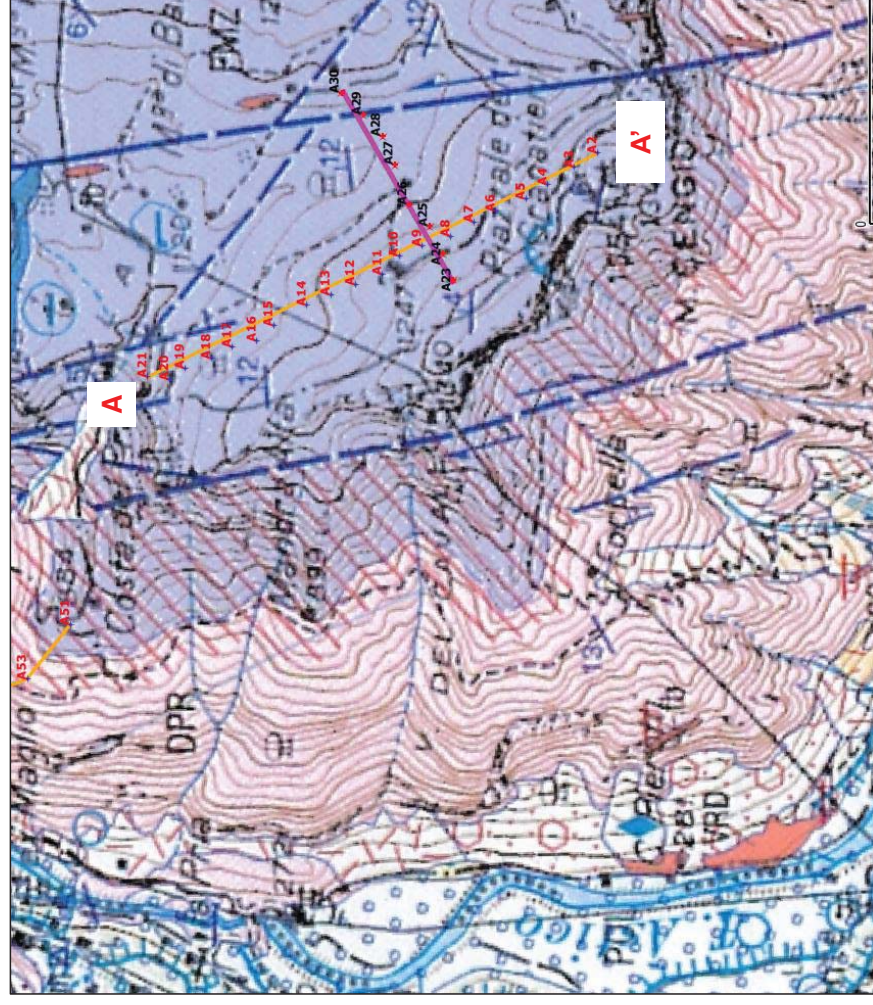
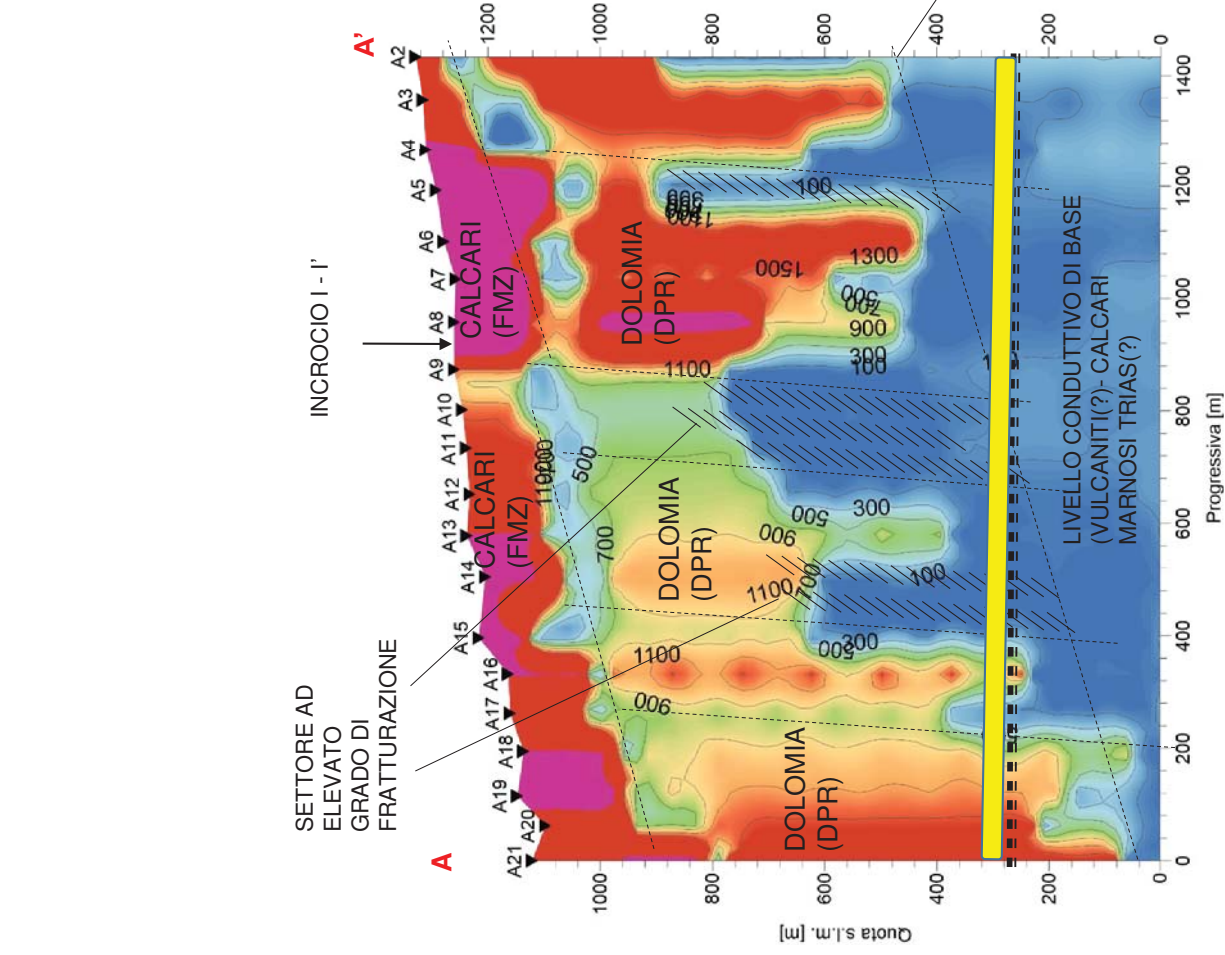
TAVOLE

Cliente:	Consorzio Raetia	Relazione:	3541/17
Sito:	Valdastico (VI)	Revisione:	2
Data:	Marzo 2017	Tavola:	1









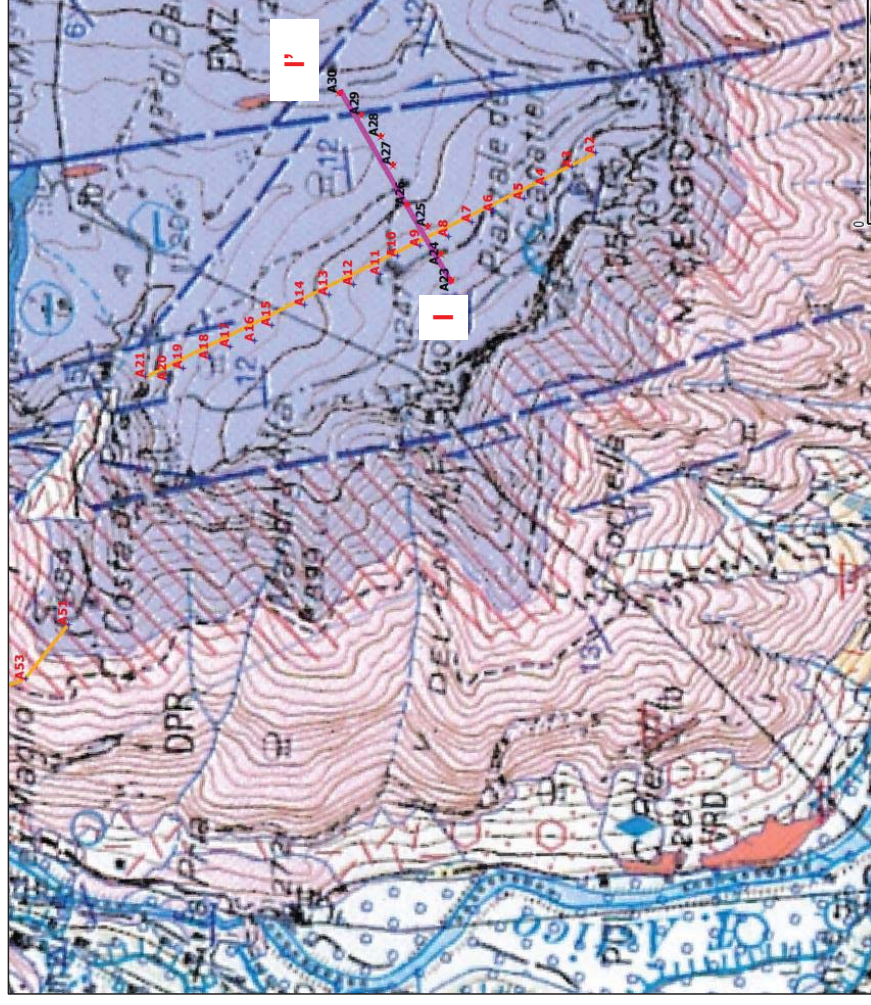
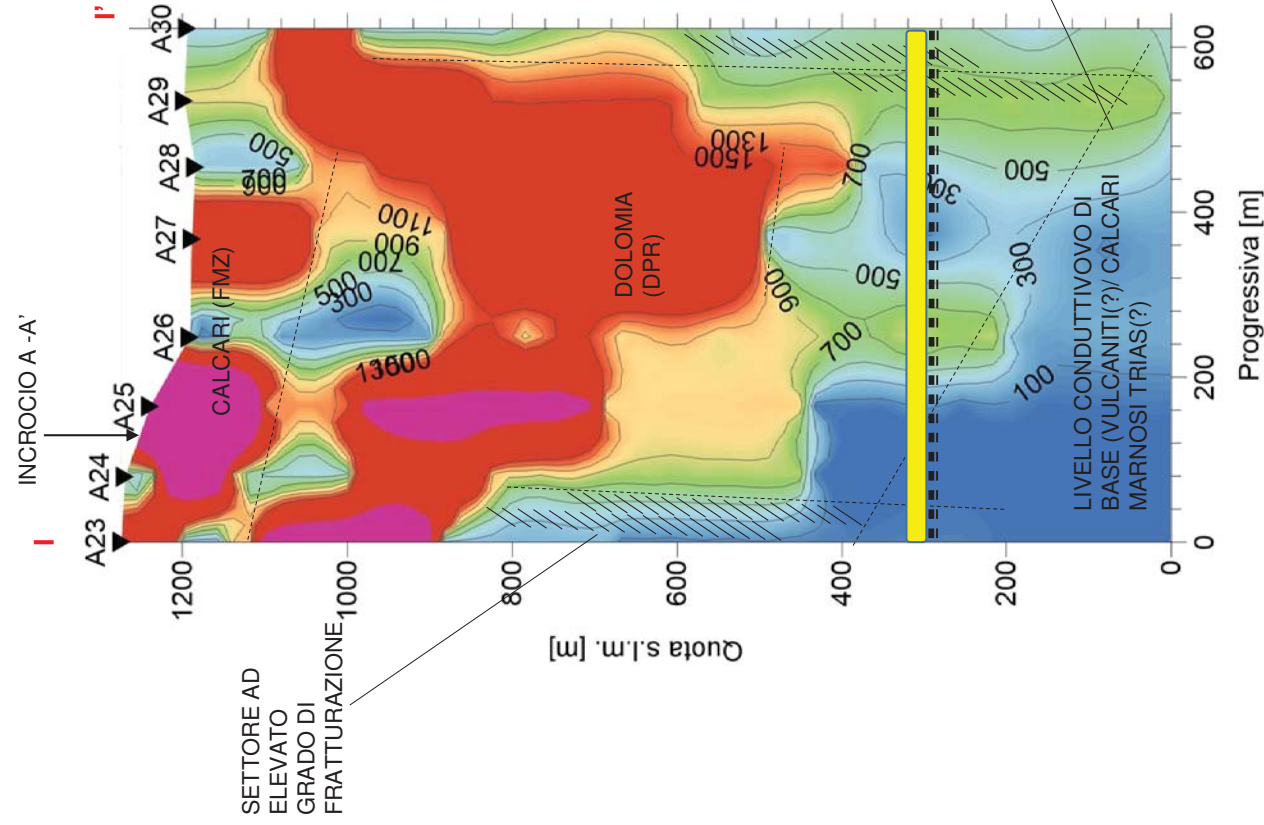
CONTATTO DOLOMIA-
LIVELLO CONDUTTIVO
DI BASE

Proiezione del
fondovalle

Proiezione
della galleria

Scala di colore
Resistività elettrica reale [Ohm*m]

0 140 280 420 560 700 840 980 1120 1260 1400

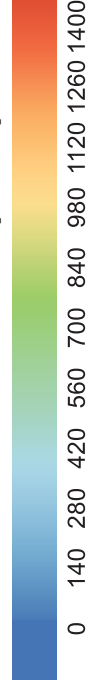


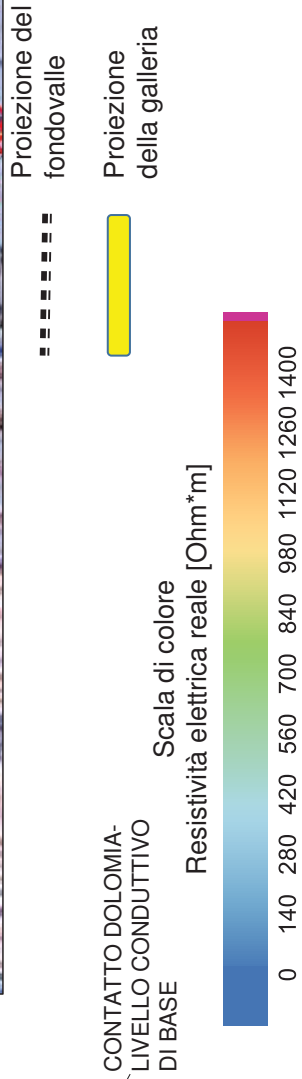
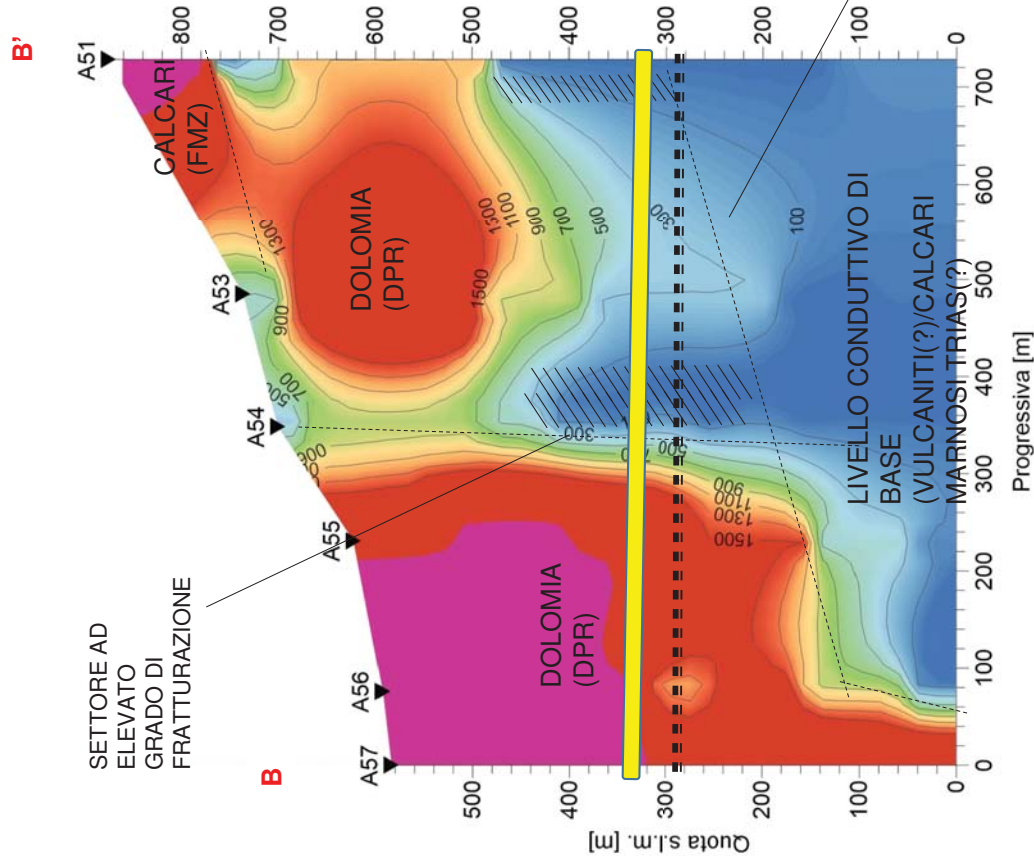
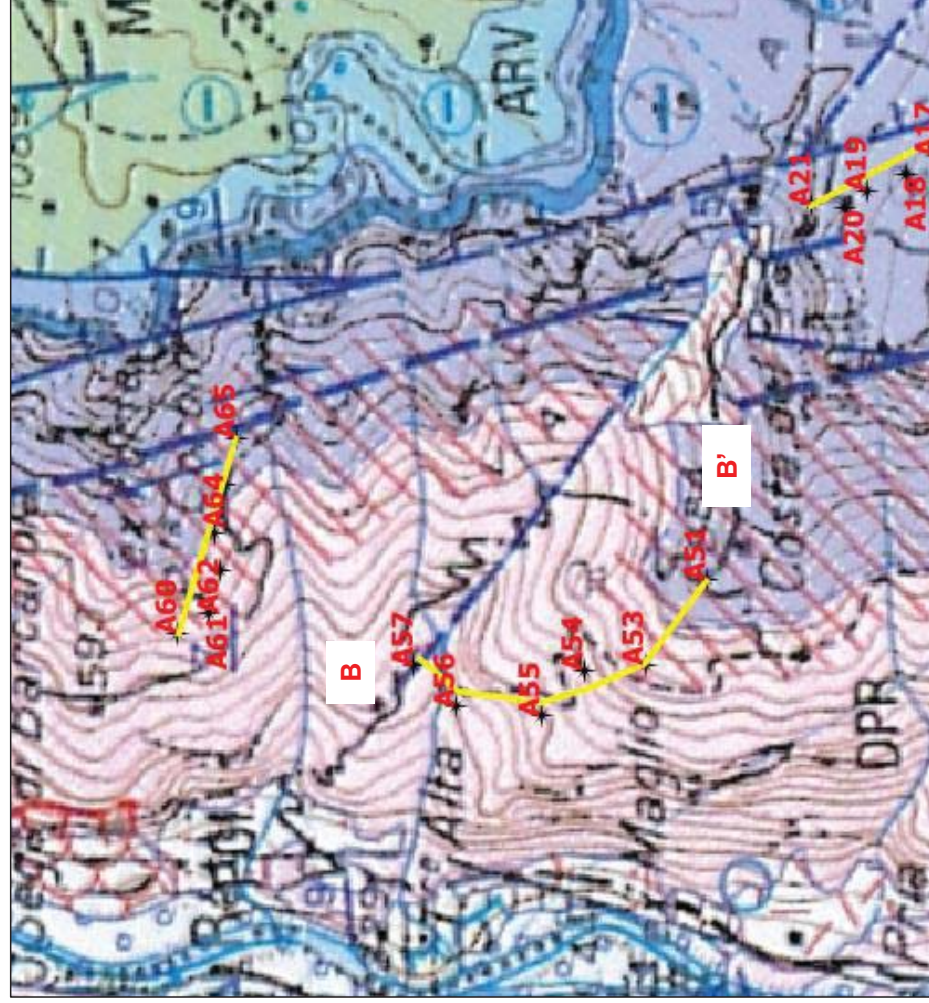
CONTATTO DOLOMIA-
LIVELLO CONDUTTIVO
DI BASE

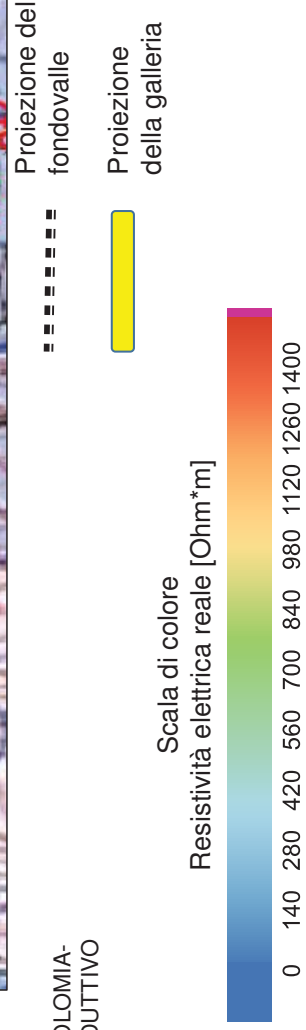
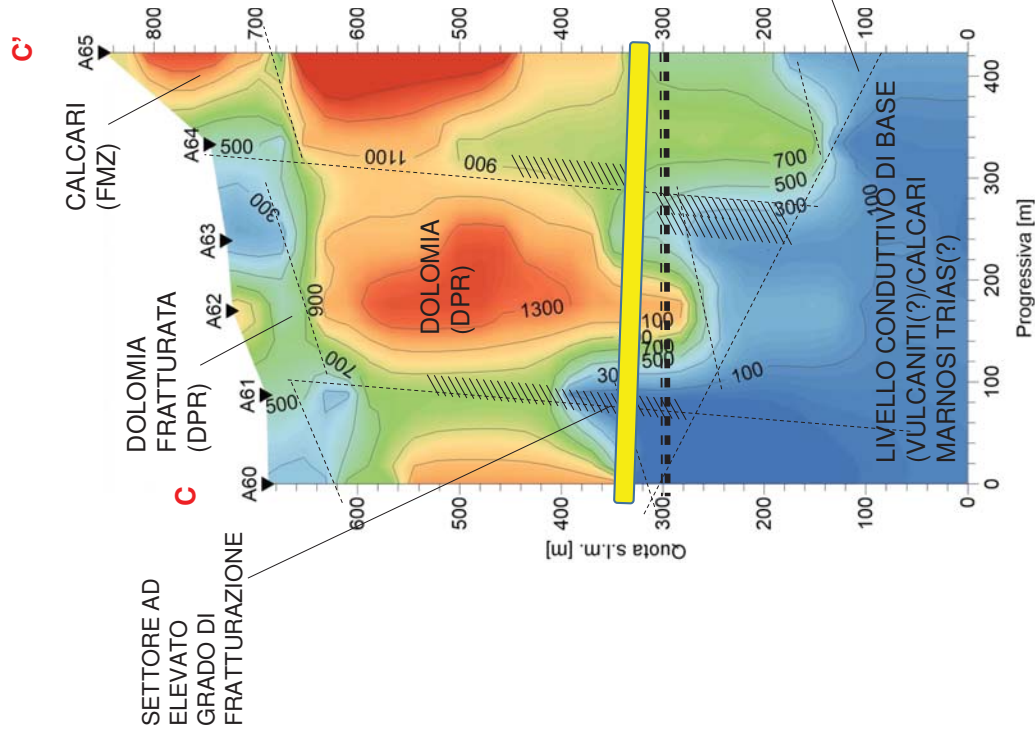
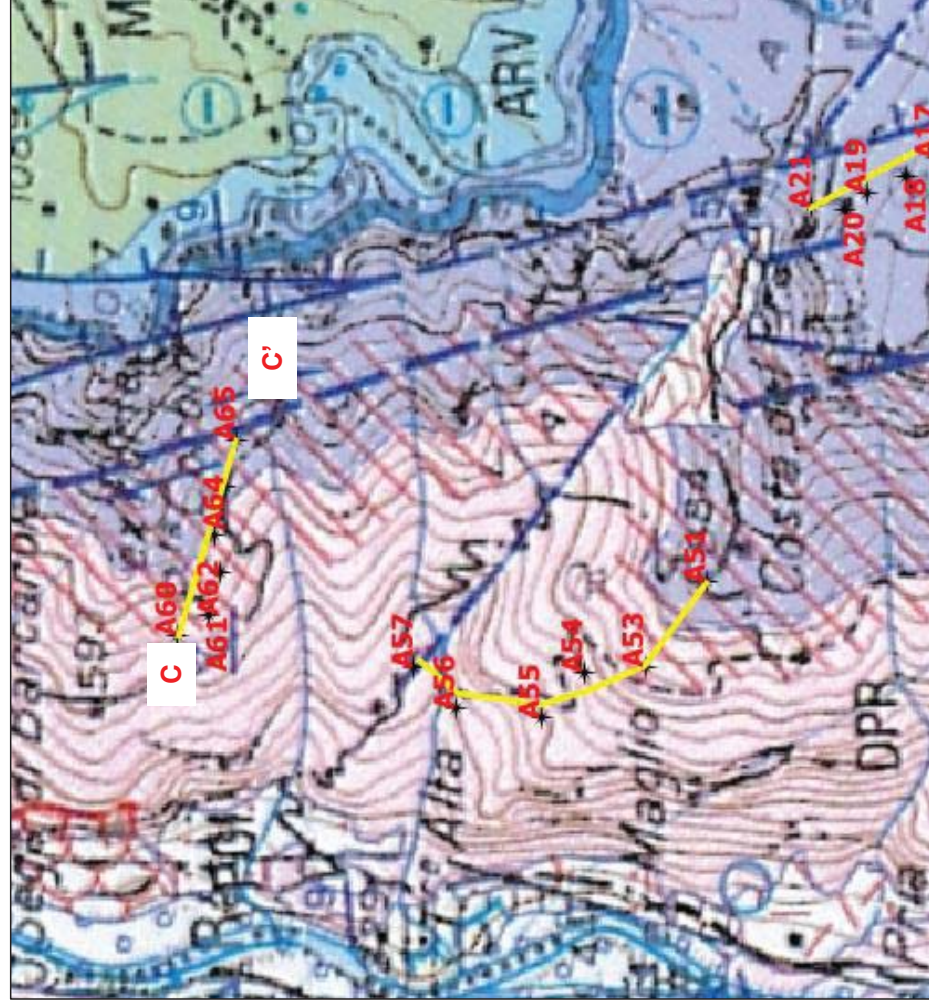
Proiezione del
fondovalle

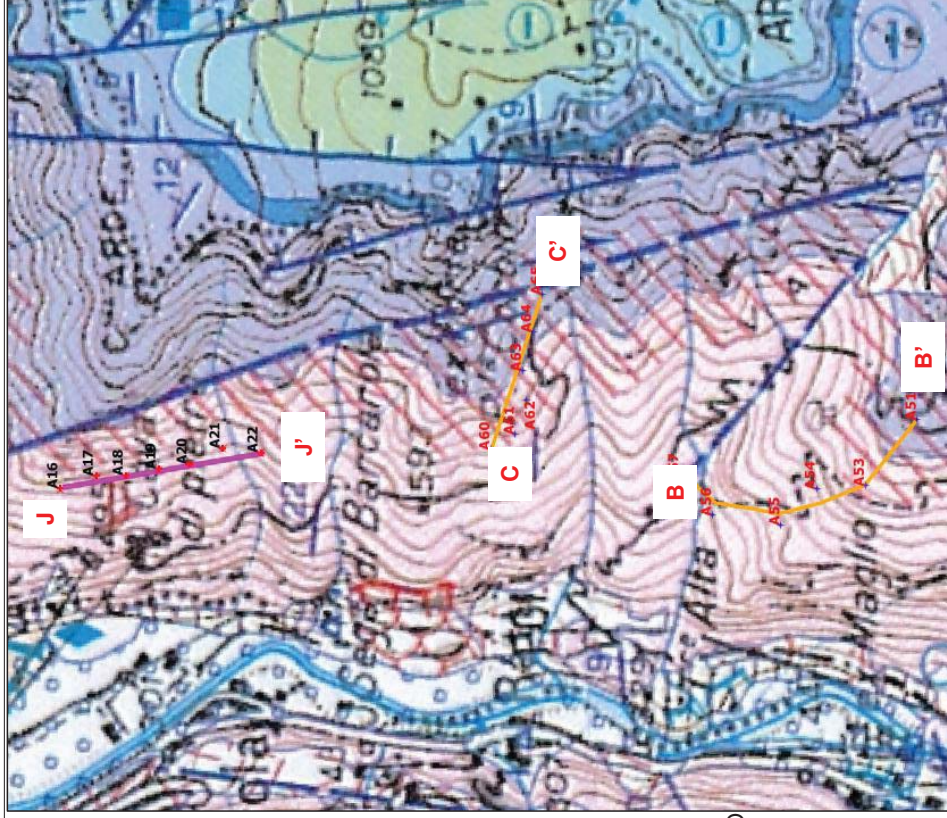
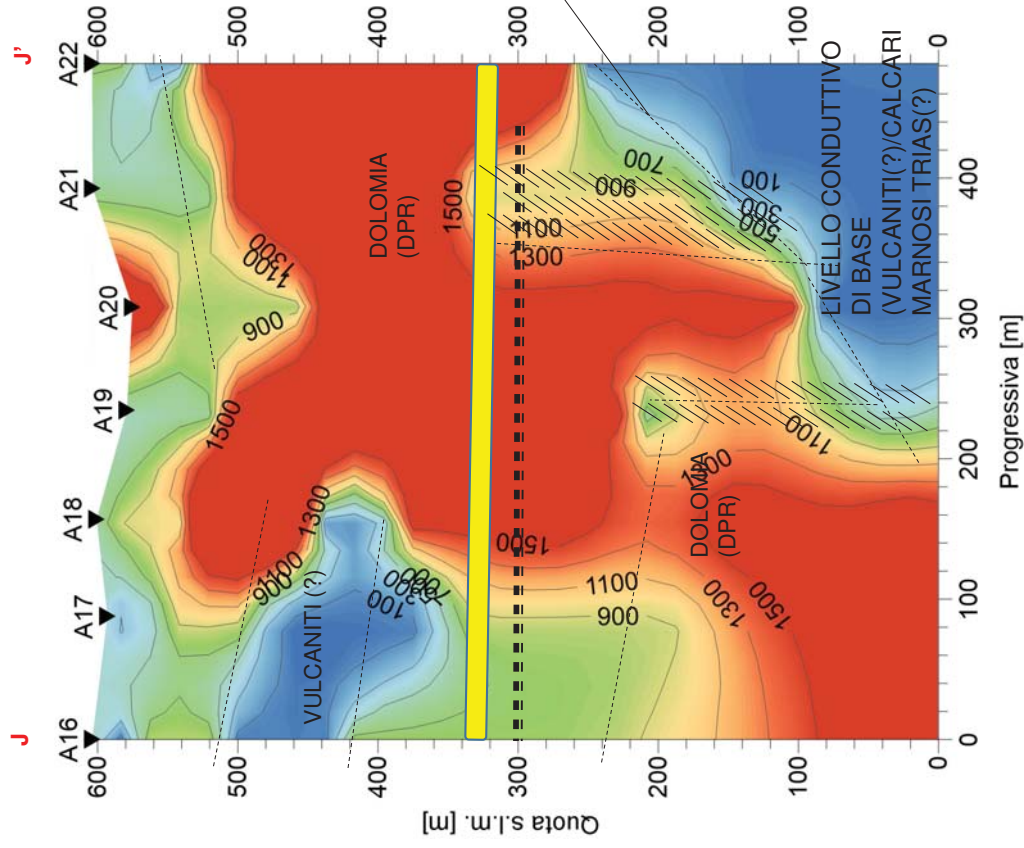
Proiezione
della galleria

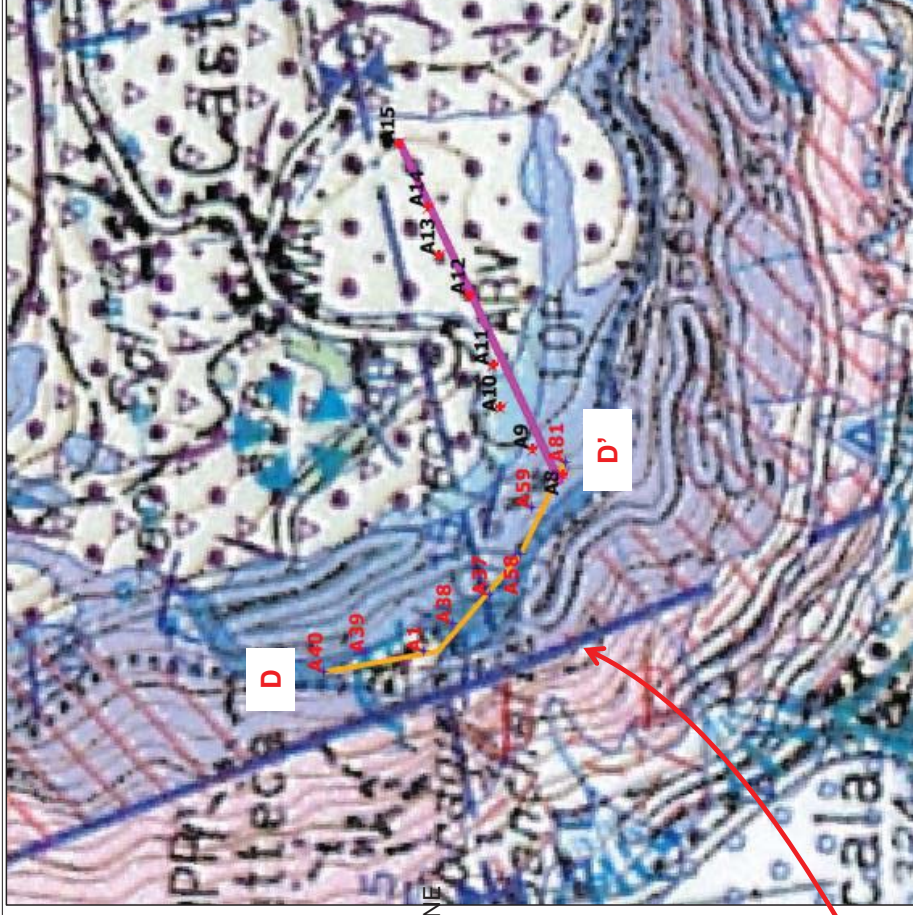
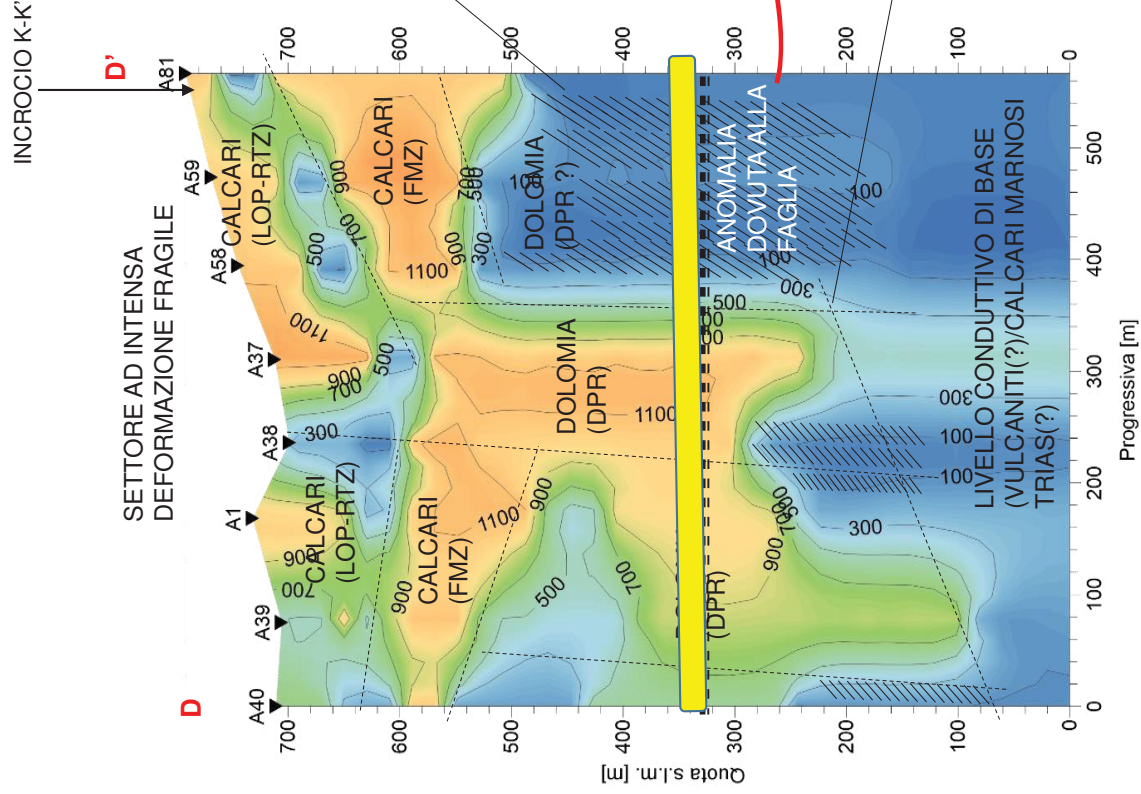
Scala di colore
Resistività elettrica reale [Ohm*m]









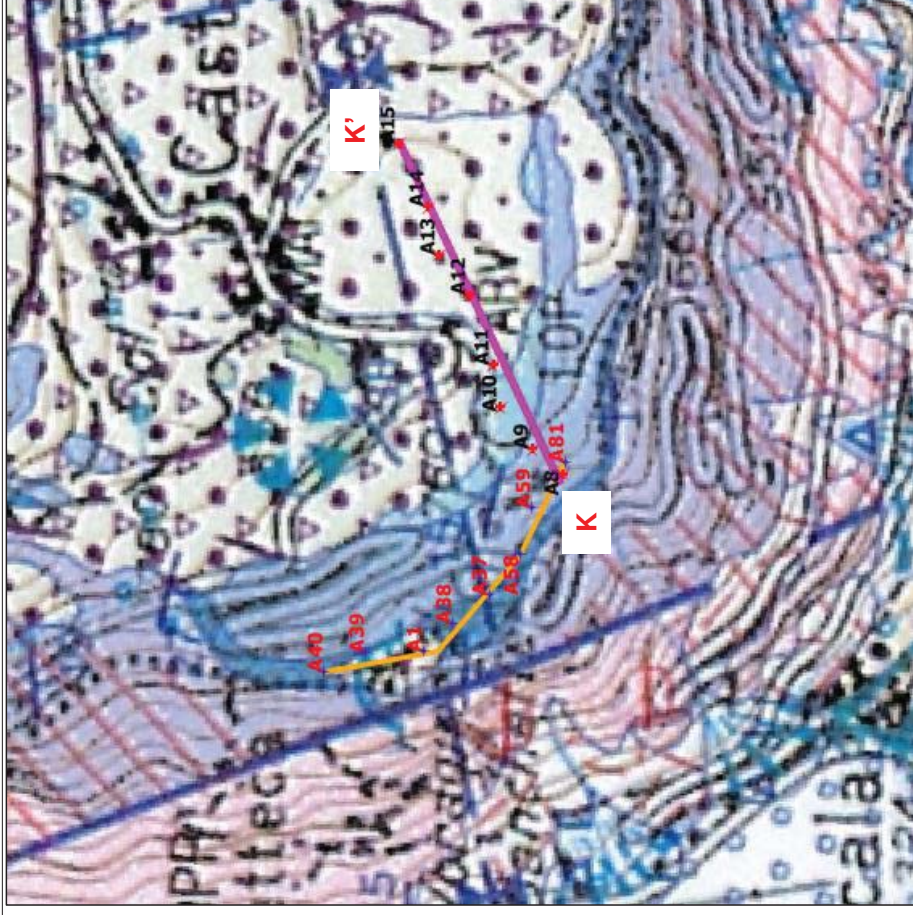
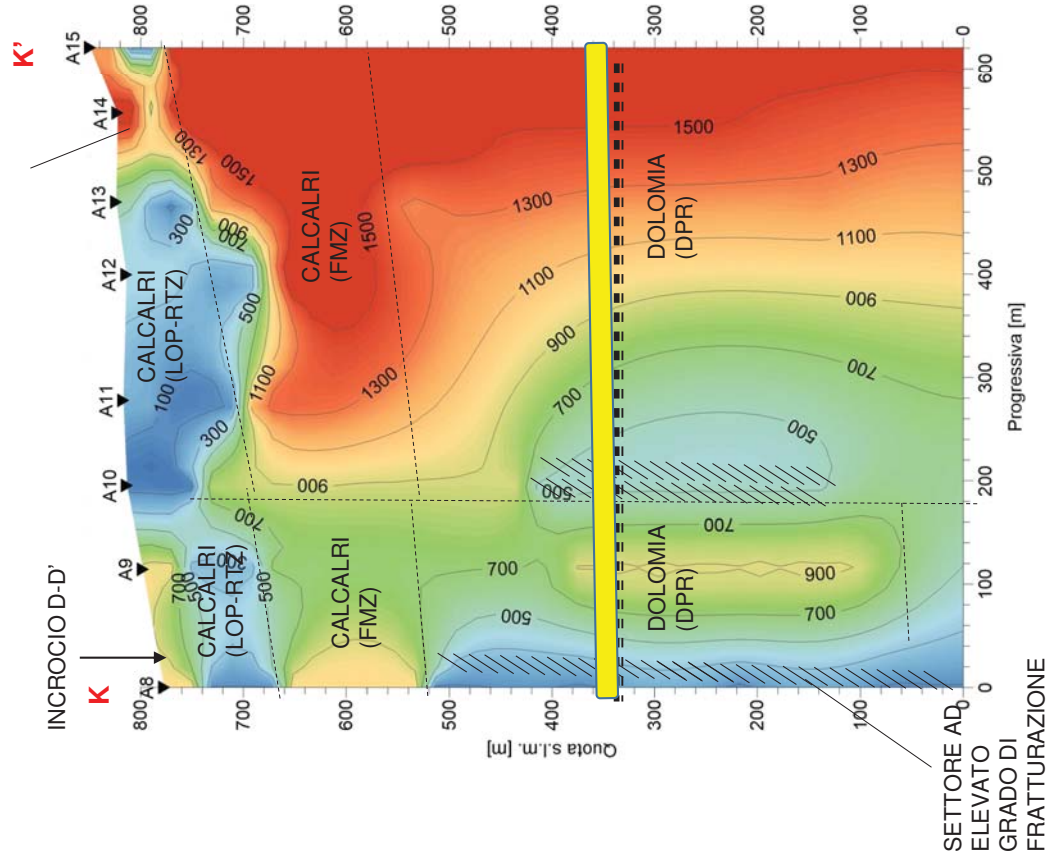


Proiezione del fondovalle
Proiezione della galleria



Scala di colore
Resistività elettrica reale [Ohm*m]





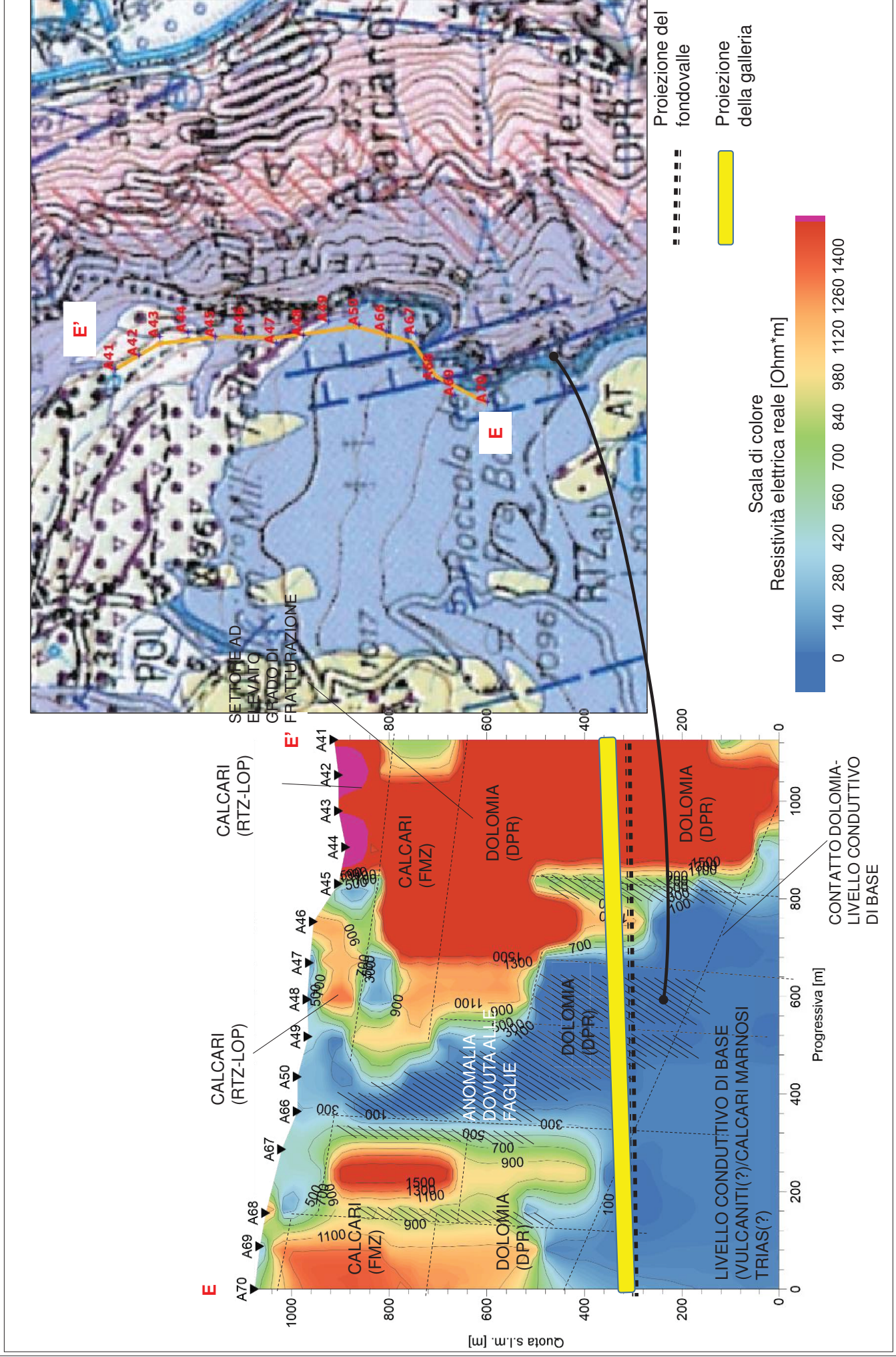
Proiezione del fondovalle

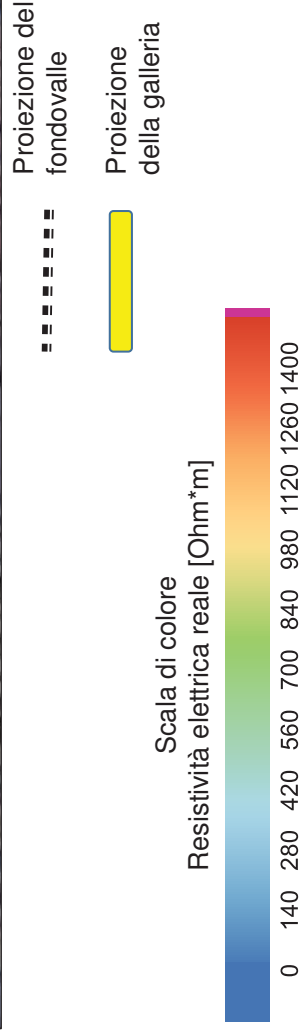
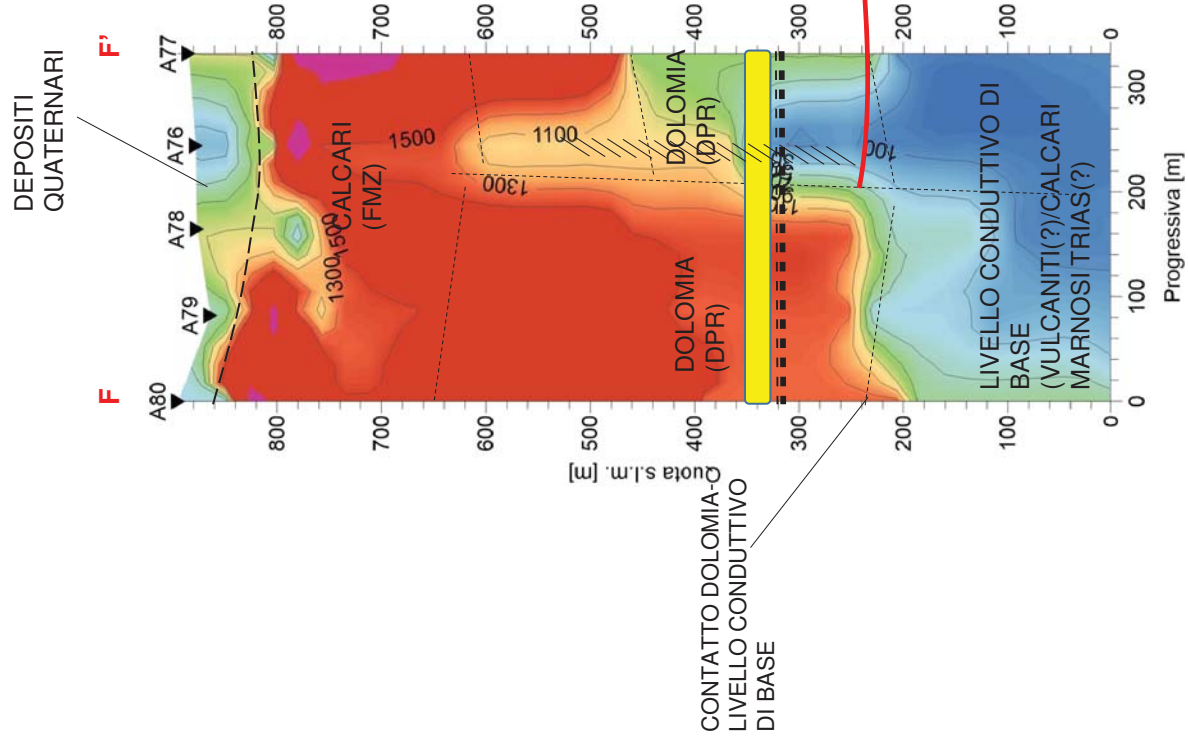
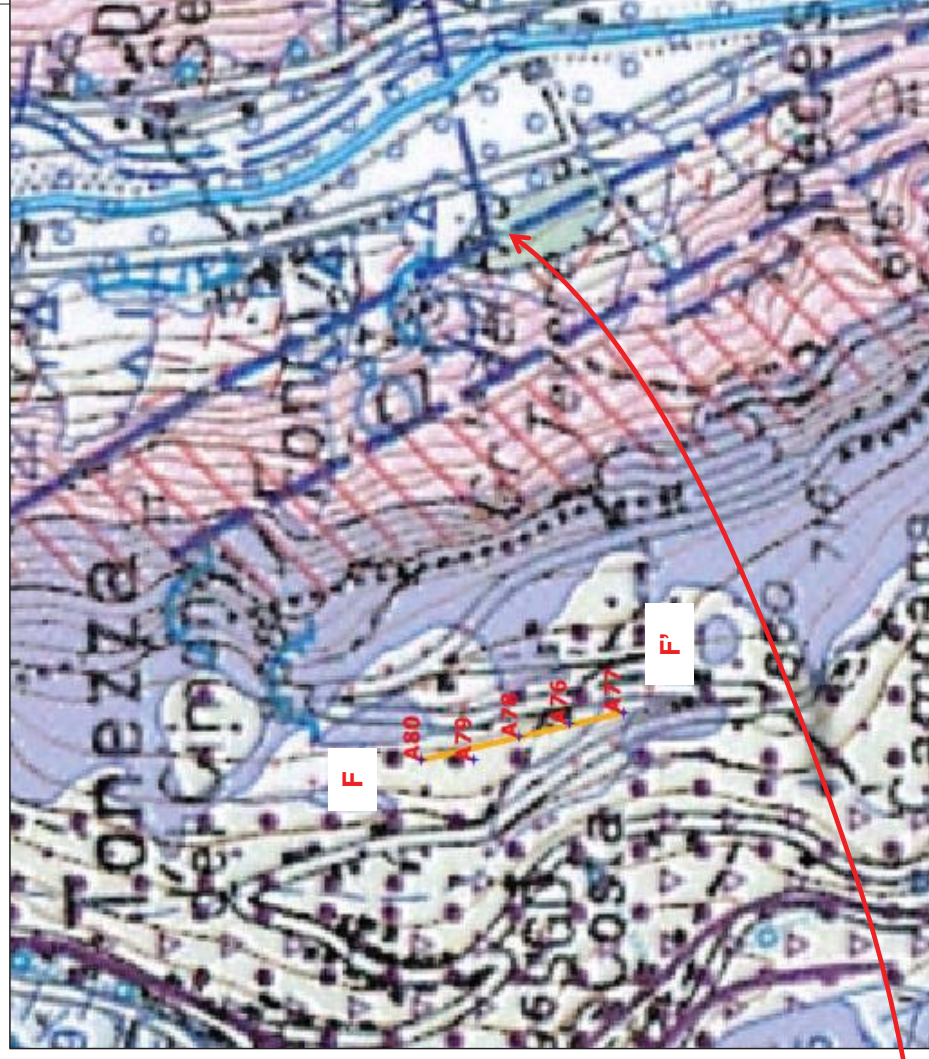
Proiezione della galleria

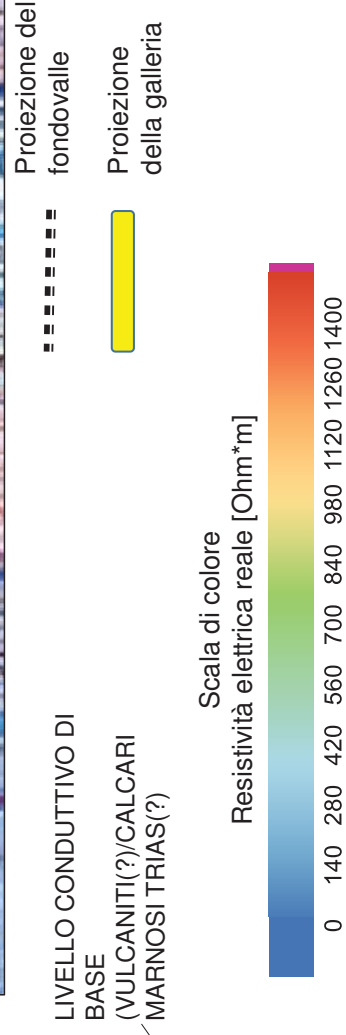
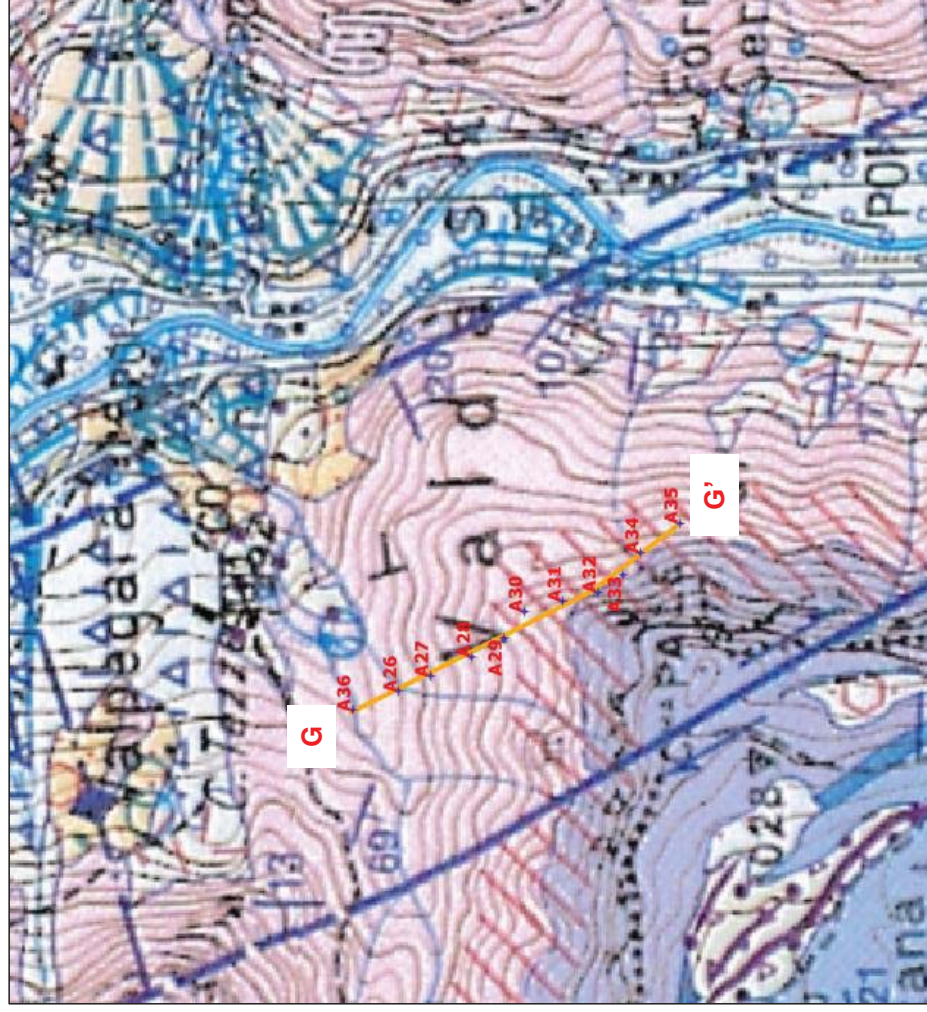
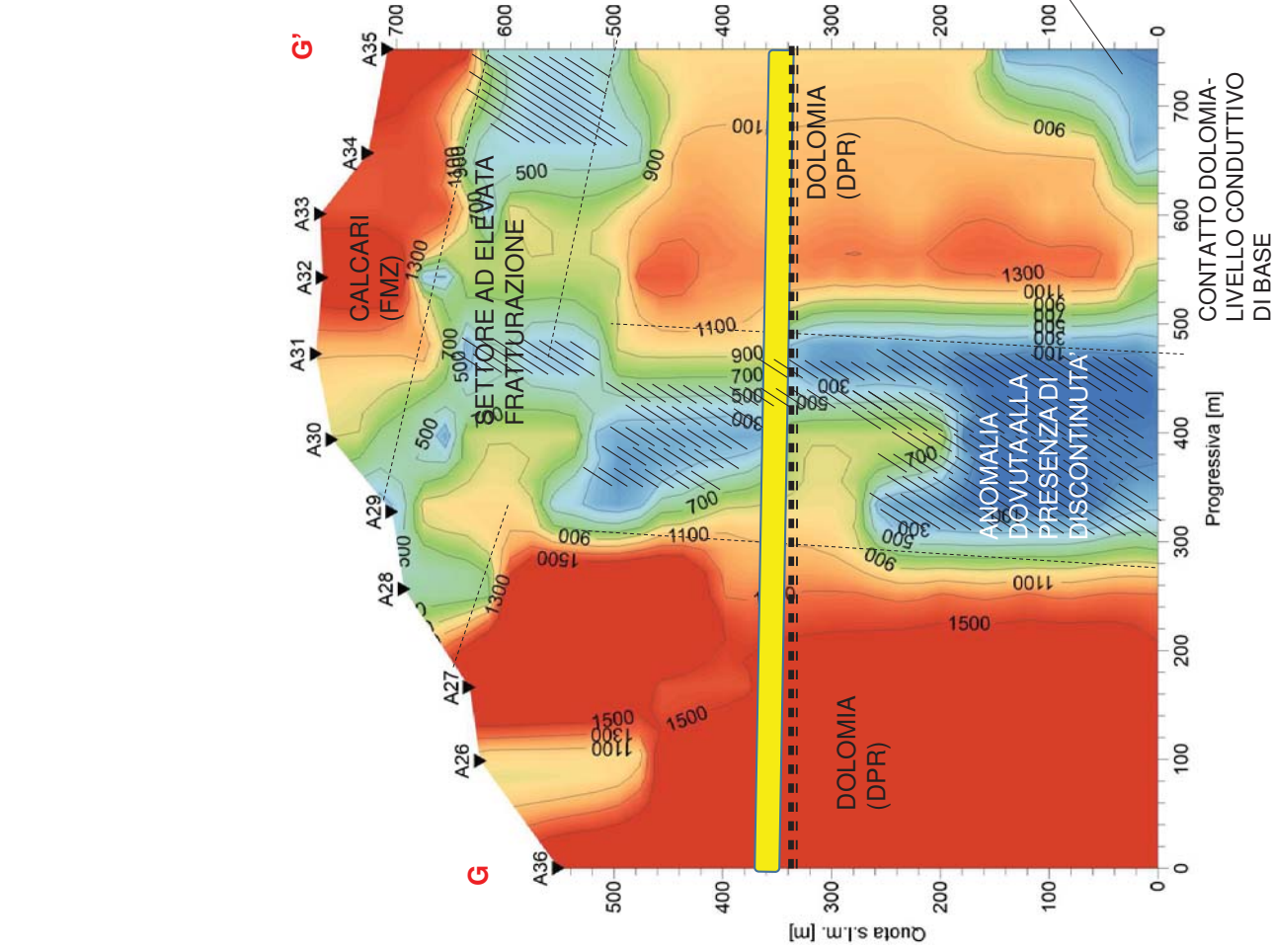
Scala di colore

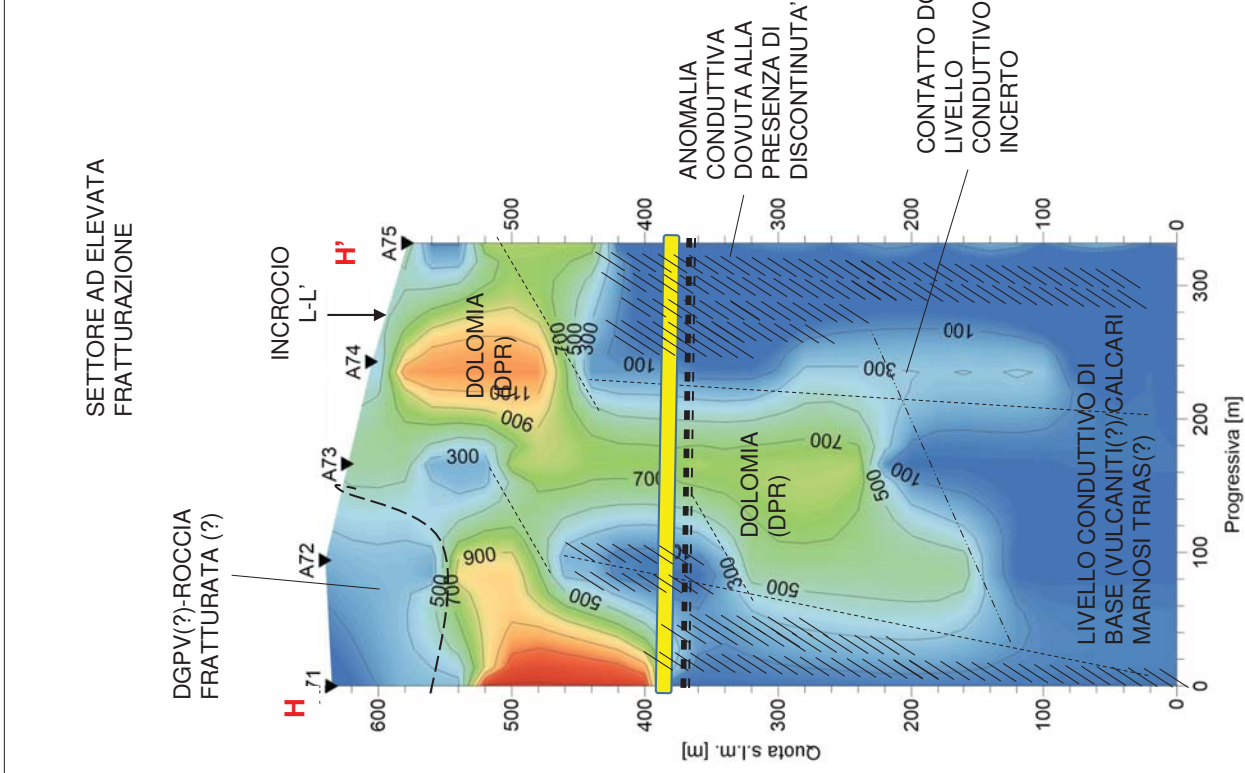
Resistività elettrica reale [Ohm*m]

0 140 280 420 560 700 840 980 1120 1260 1400





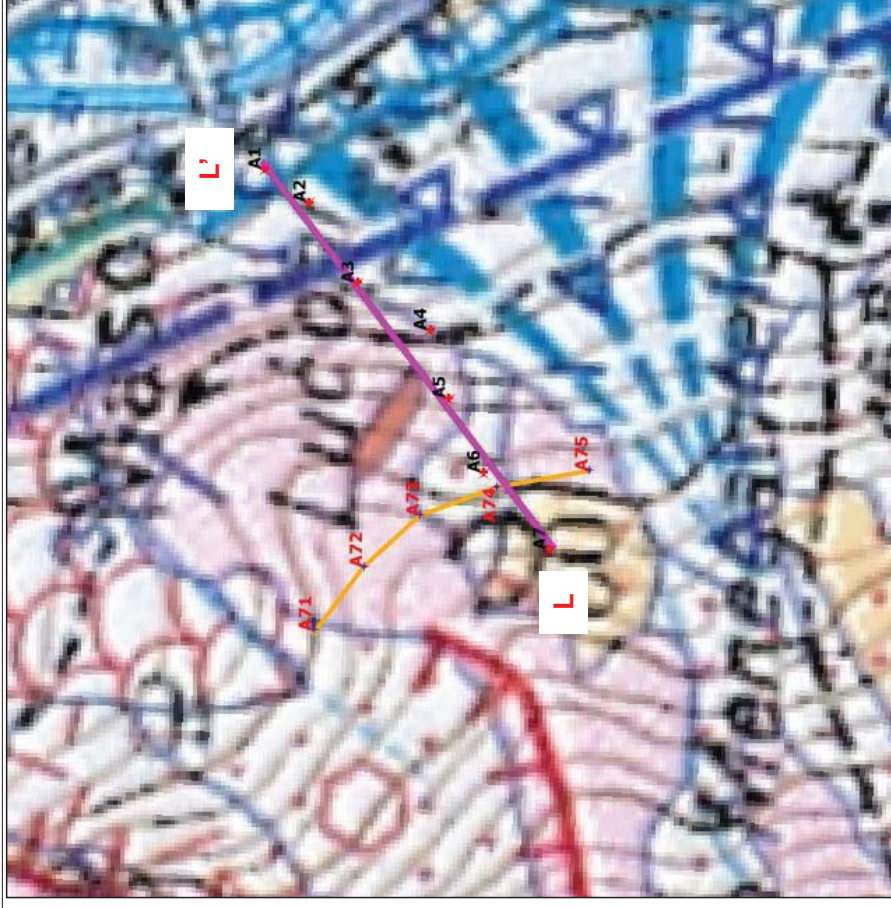
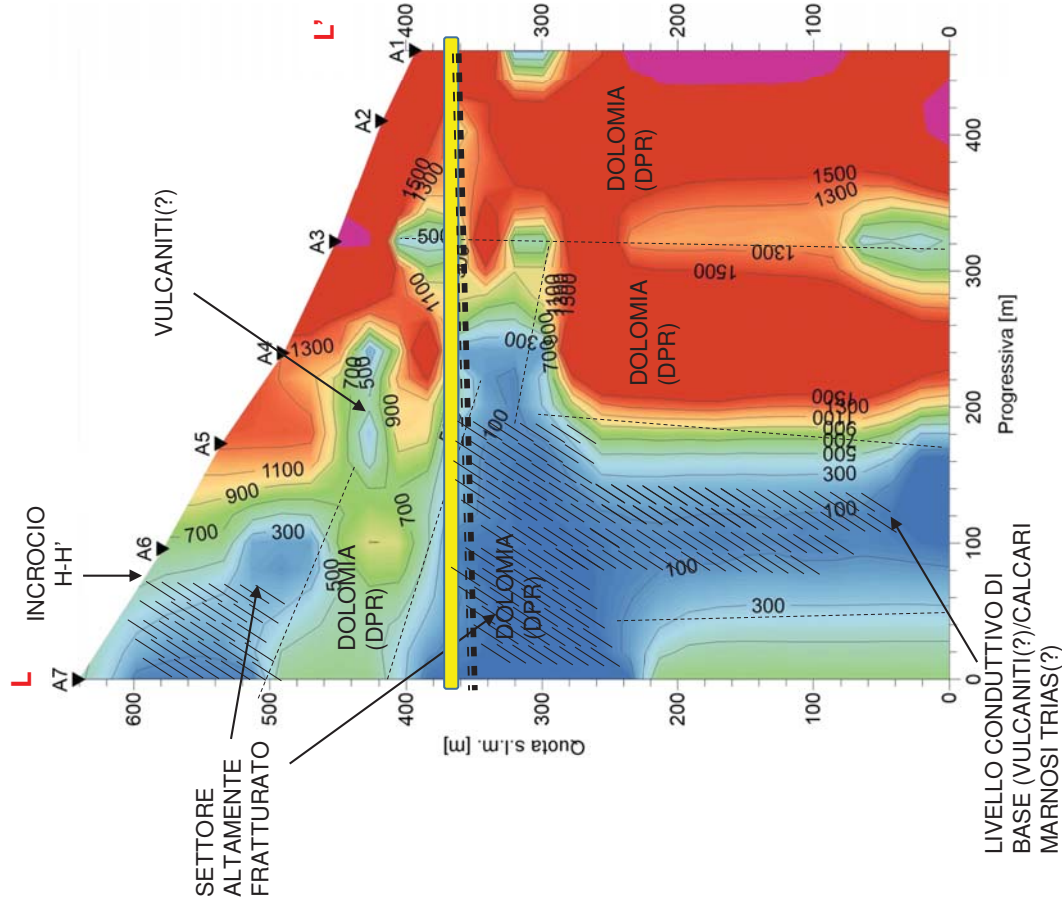




Proiezione del fondovalle
Proiezione della galleria

Scala di colore
Resistività elettrica reale [Ohm*m]

0 140 280 420 560 700 840 980 1120 1260 1400

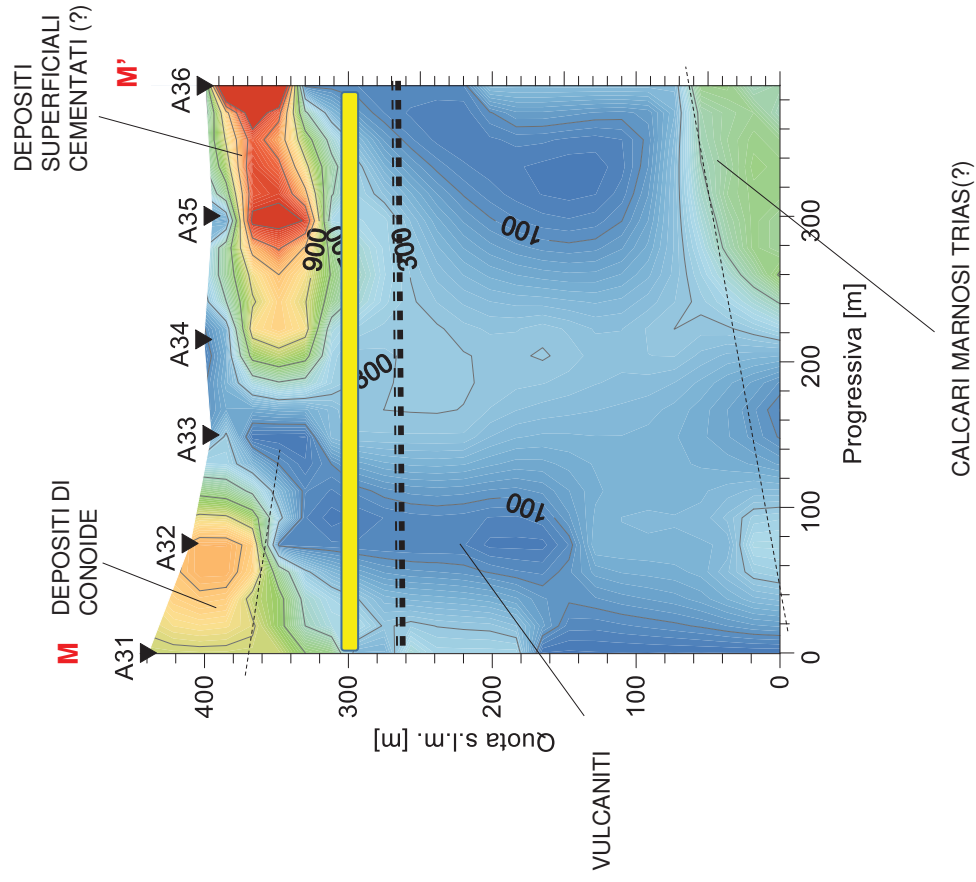


Proiezione del fondovalle

Proiezione della galleria

Scala di colore
Resistività elettrica reale [Ohm*m]

0 140 280 420 560 700 840 980 1120 1260 1400



Proiezione del fondovalle
Proiezione della galleria

Scala di colore
Resistività elettrica reale [Ohm*m]

0 140 280 420 560 700 840 980 1120 1260 1400



APPENDICE A

Cenni sulla metodologia Audio-magnetotellurica

CENNI TEORICI SULLE INDAGINI AUDIO-MAGNETOTELLURICHE

La Magnetotellurica è una tecnica che sfrutta l'esistenza di onde magnetiche naturali che provengono prevalentemente dallo spazio circumterrestre (ionosfera e magnetosfera) e che forniscono sorgenti naturali di onde magnetiche. Nella pratica di questi segnali naturali prodotti all'esterno della Terra, vengono considerati quelli che per loro natura essendo generati a grandi distanze dalla superficie terrestre, possono essere considerati come onde piane (far field).

L'onda penetra nel terreno attenuandosi in dipendenza dalla sua frequenza (Figura 1).

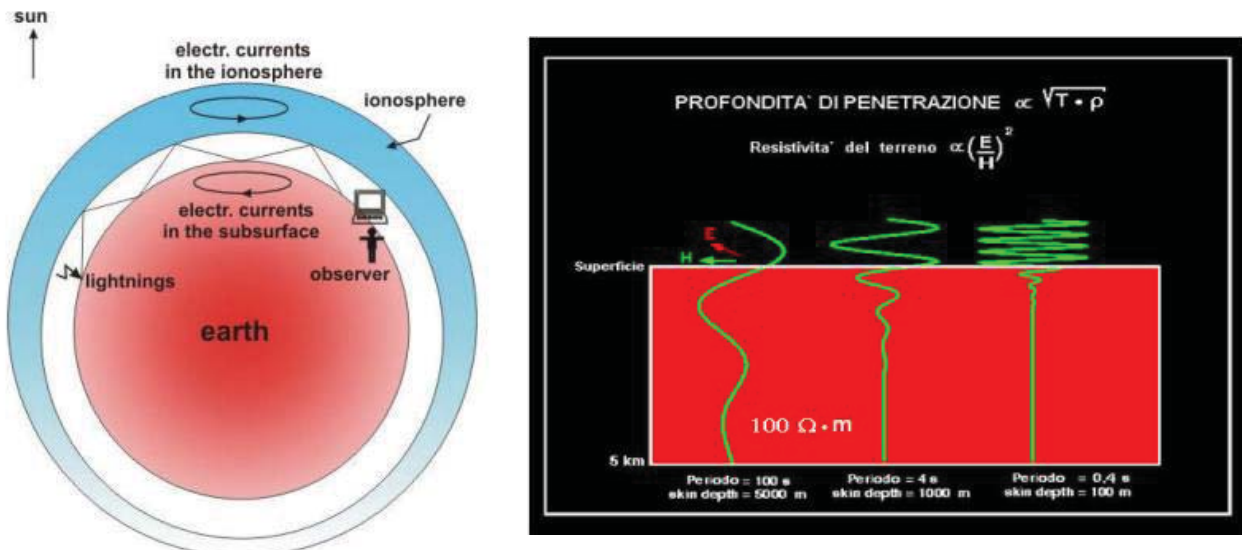


Figure 1 Correlazione tra sorgenti d'onda e struttura terrestre e tra frequenza e profondità

Il principio su cui si basa la Magnetotellurica è l'approssimazione diffusiva del campo EM all'interno di un conduttore, viste le frequenze MT e l'intervallo di resistività 0.1 - 106 $W \times m$, che caratterizza i materiali terrestri. Il valore del campo magnetico alla superficie è determinato dal campo incidente e dai campi secondari indotti dalle correnti di Foucault, mentre il campo elettrico è ricavato dalla differenza di potenziale tra due punti della superficie.

Questa tipologia di misure sono condotte per intervalli di tempo di diversi minuti (serie temporali, vedi Figura 2), a seconda delle bande di frequenza stabilite che, a seconda della strumentazione impiegata, ricadono all'interno del range 1Hz-10kHz (intervallo di frequenze dell'audiomagnetotellurica); a queste si applica una trasformata di Fourier e vengono convertite in spettri di impedenza.

Durante un rilievo MT il parametro misurato è l'impedenza; eseguendo una prospezione MT, se con E_x si indica la componente del campo elettrico in una direzione orizzontale arbitraria e il campo magnetico associato con H_y , in una direzione ortogonale, l'impedenza sulla superficie Z_s è:

$$Z_s = E_x / H_y$$

L'impedenza alla superficie è un numero complesso a causa della differenza di fase tra H e E; la misura di impedenza alla superficie, come funzione della frequenza, può essere interpretata in termini di proprietà elettriche del sottosuolo. L'impedenza alla superficie, che dipende dalla frequenza, è un tensore (misura totale del vettore del campo magnetico ed elettrico), se la struttura di conduttività non è stratificata (ad esempio lo spazio è omogeneo). Diventa uno scalare in presenza di una struttura isotropica

L'impedenza sulla superficie, calcolata attraverso gli spettri, è una funzione complessa di frequenze dove i dati con frequenze più alte sono influenzati da strutture superficiali e le frequenze più basse da quelle posizionate a profondità maggiori dal sito di misura

I moderni sistemi di magnetotellurica sono configurati per registrare le variazioni di entrambi i campi, elettrico e magnetico, nelle due direzioni ortogonali, e le impiegano per calcolare l'impedenza sulla superficie all'interno del sito di misura. La formulazione del tensore è preferita a quella scalare quando le sorgenti dei campi sono simili a onde piane e l'elemento Z non varia nel tempo (l'impedenza scalare alla superficie è più facile da calcolare, ma può variare quando varia la sorgente del campo). La transizione dalla variazione di impedenza alla variazione in resistività reale del sottosuolo avviene applicando un algoritmo iterativo di calcolo, il risultato sono curve di resistività reale. **Per gli obiettivi di investigazione geologica, un rilievo MT fornisce quindi una stima della resistività verticale al di sotto del punto in cui è posizionato il ricevitore.**

I rilievi magnetotellurici raggiungono grandi profondità in spazi limitati e sono generalmente impiegati per la definizione del modello geologico e idrogeologico per la definizione di modelli

geotermali e idrogeologici per il posizionamento di pozzi

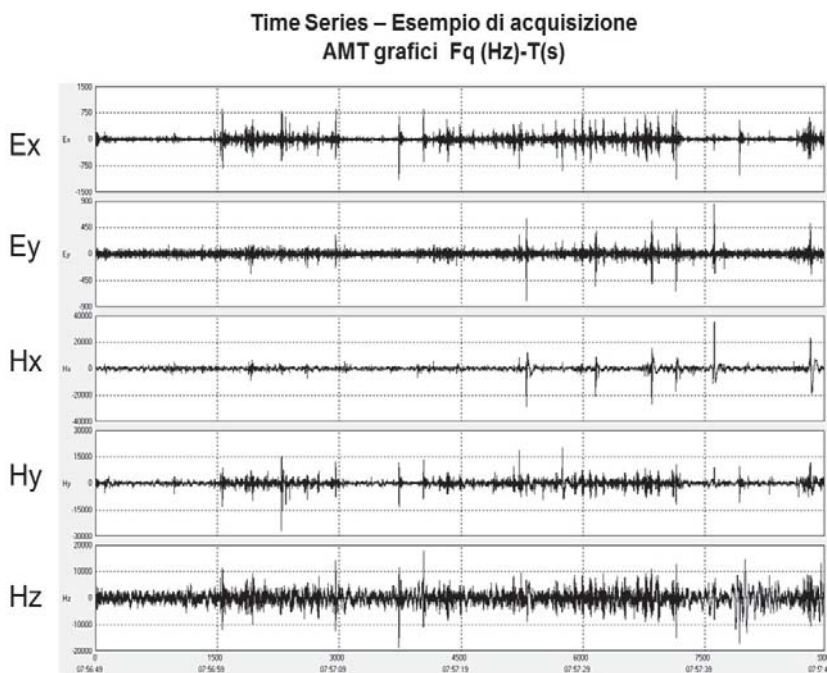


Figura 1 - Esempi di serie temporali

L'elaborazione di ogni singolo sondaggio AMT fornisce una curva di resistività elettrica apparente e reale (esempio di Figura 2). L'interpolazione tra sondaggi elettrici-tellurici affiancati fornisce una sezione di resistività elettrica (molto simile al modello tomografico ottenuto con prove geoelettriche, si veda Figura 3).

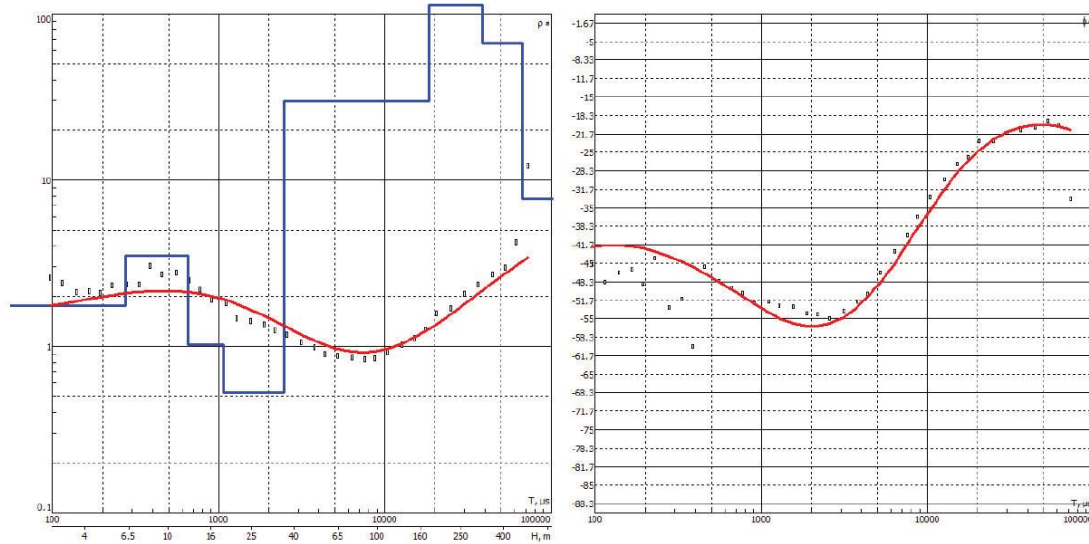


Figura 2 – Modello di resistiva elettrica (curva blu) ottenuto dal sondaggio AMT 05. Nella scala verticale sono riportati i valori di resistività elettrica (ohm.m, in scala logaritmica), mentre sull'asse orizzontale sono riportati i valori di profondità (H) e il periodo (T)

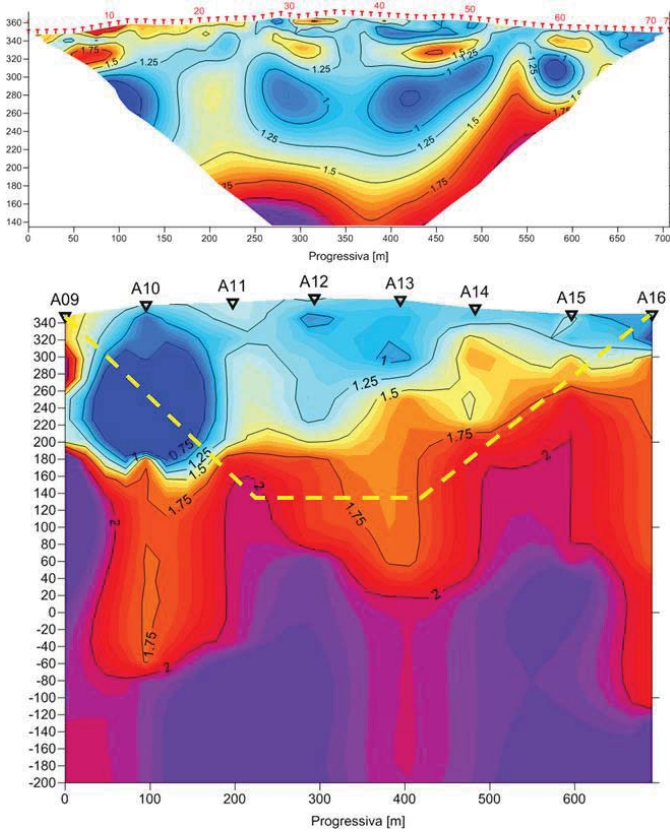


Figura 3 – Correlazione tra il modello di resistività elettrica ottenuto con indagine geoelettrica e il modello ottenuto con indagine AMT

La strumentazione utilizzata per le indagini Audio-magnetotelluriche consente di campionare frequenze nel Range 10 -2Hz-104 Hz attraverso l'impiego di Coil appositamente studiati e centrati sulla frequenza indicate.

Il software di processing (SSMT- Phoenix Geophysics, CA) permette di discretizzare le curve di frequenza utilizzando semplicemente i dati con un sufficiente livello di coerenza e di pervenire a modelli realistici di distribuzione della resistività elettrica del sottosuolo.

Un successivo filtraggio dei dati impiegato l'applicativo MT-Editor (Phoenix Geophysics, CA) permette il controllo della dimensionalità dei dati e l'eliminazione di eventuali *outliers* prima dell'inversione numerica 1D dei dati raccolti.

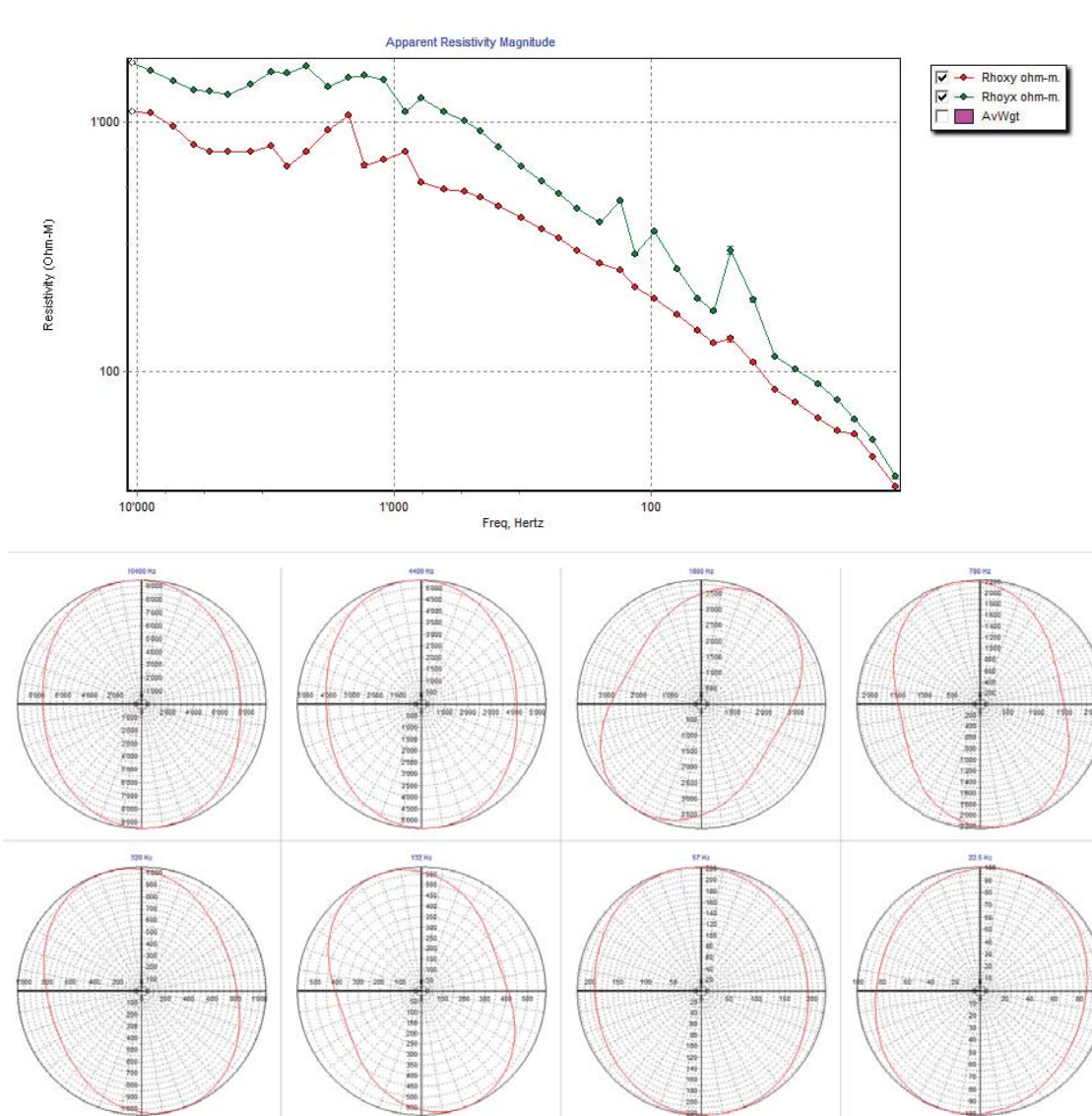


Figure 4 Plot della curva $Rho/Freq$ e Diagrammi polari per l'analisi dimensionale

I dati vengono quindi esportati per essere invertiti attraverso il software IP2Win-MT (Moscow University, RU) che consente la costruzione di sezioni AMT resistività-profondità, consentendo di scegliere i parametri di inversione e calcolando lo scarto quadratico medio tra la curva sintetica e la curva di resistività reale.

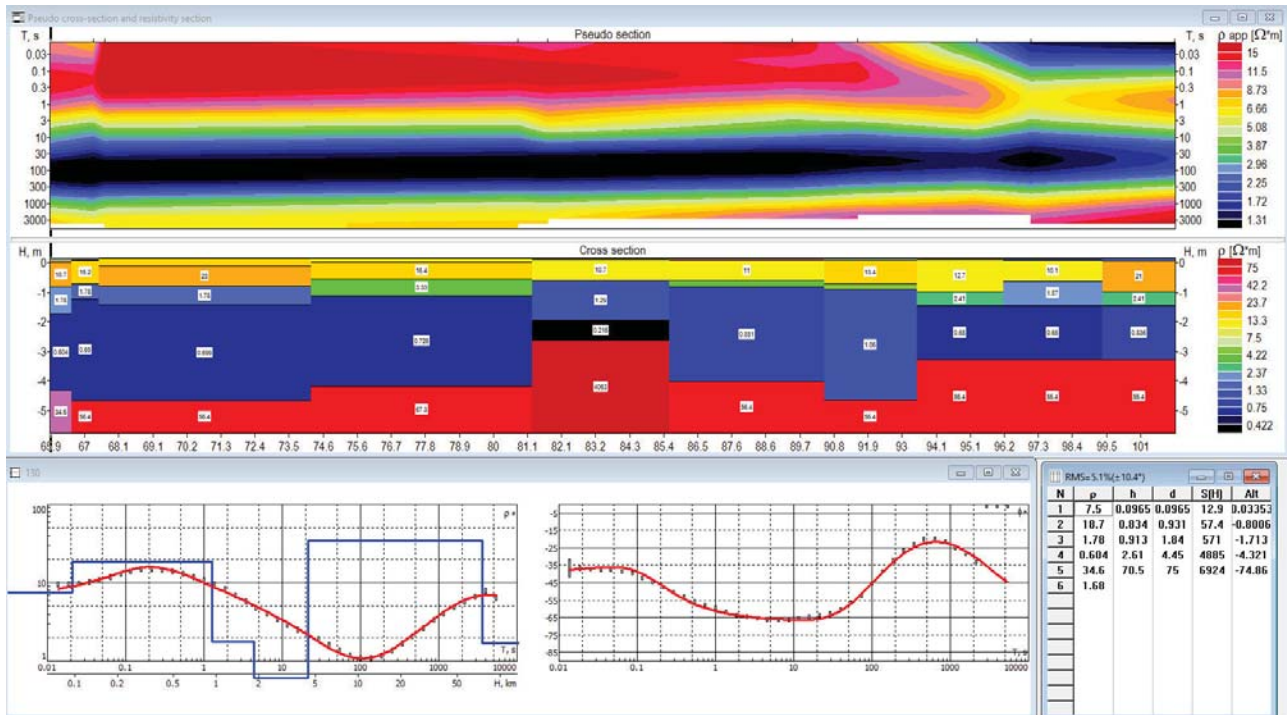


Figure 5 esempio di inversione numerica e sezione di resistività elettrica con software IP2Win-MT

MTU

Satellite-Synchronized Data Acquisition Units

- Lightweight, portable, rugged
- No cable links required
- GPS synchronized
- 10 000Hz to 0.00002Hz
- 24-bit digital resolution
- Wide dynamic range
- Operable from -20°C to $+50^{\circ}\text{C}$
- Available with 2, 3, or 5 channels per instrument (electric, magnetic, or both)
- Unlimited number of channels per system

MTU	Magnetotellurics 1 kHz to 0.00002Hz (50 000 seconds)
MTU-A	Magnetotellurics and Audio-frequency Magnetotellurics 10kHz to 0.00002Hz (50 000 seconds)



MTU and MTU-A Geophysical Instruments

The MTU is the heart

of the V5 System 2000. Introduced in the late 1990s, this patented system has now been used at tens of thousands of survey sites worldwide.

Flexibility of station spacing from kilometres to tens of metres facilitates cost-effective broad reconnaissance or resolution of fine details in a variety of applications.

The MT techniques are excellent supplements to seismic in

hydrocarbon exploration, but can also be used alone if logistics or geology make seismic impractical.

GPS synchronization means that multiple stand-alone units can be deployed simultaneously in almost any terrain, with no need for interconnecting cables. A small number of magnetic channels can be combined with many electric channels to form an economical system of virtually any size. The deployment of synchronized remote reference stations permits

sophisticated noise-reduction methods during processing.

Several channel complements are available—electric (E) only, magnetic (H) only, or 2E + 3H combined. The units can be purchased for MT alone (MTU) or for selectable MT/AMT (MTU-A).

Acquisition setup files are stored on the removable industrial-grade CompactFlash™ card for automatic operation. Data files are stored on the same card for easy transfer to the processing PC.

Applications

Exploration—surface to 50 km or more...

- Oil and gas
- Metals and minerals
- Groundwater
- Kimberlites (diamonds)
- Geothermal reservoirs
- Monitoring
- Earthquake research
- Engineering and environmental

Summary Specifications

Models & channels	E denotes electric channels; H denotes magnetic channels; A denotes AMT capability MTU-2E, MTU-2EA, MTU-3H, MTU-5 (2E + 3H channels), MTU-5A
Frequency range	MTU: 1kHz to 0.00002Hz (50 000s) MTU-A: 10kHz to 0.00002Hz (50 000s)
Dynamic range	130dB; gain settings variable by factors of 4
Input impedance	>1MΩ
Filtering	Powerline notch filter >40dB plus selectable low pass, high pass, band pass
Data storage	Industrial-grade removable flash memory, 256MB or 512MB (upgradeable)
Setup	Program file on flash memory or USB, parallel, or serial connection to Windows PC
ADC	One per channel, 24 bits. Samples/second: MTU: 2400 or 3072 MTU-A: 24 000
Timing accuracy	Better than ±500 nanoseconds; oven-controlled crystal oscillator synchronized to GPS
Controls, Indicators	Power switch; bright LED indicates instrument status via flashing sequence
Weight	Approx. 4kg
Dimensions	230mm x 225mm x 110mm environmentally sealed diecast aluminum case
Connectors	Multi-pin, military-style connectors for sensor input, GPS, and battery Heavy-duty binding posts for electric field inputs and ground
Input power	12V DC from any suitable battery
Power consumption	Approx. 9W
Environmental	Operating: -20°C to +50°C; passive operation causes no environmental damage



PHOENIX Geophysics Limited

3781 Victoria Park Avenue, Unit 3

Toronto, ON, Canada M1W 3K5

www.phoenix-geophysics.com

☎: +1 (416) 491-7340

☎: +1 (416) 491-7378

✉: mail@phoenix-geophysics.com

Sensors

Magnetic and Electric Field Sensors for Geophysical Receivers

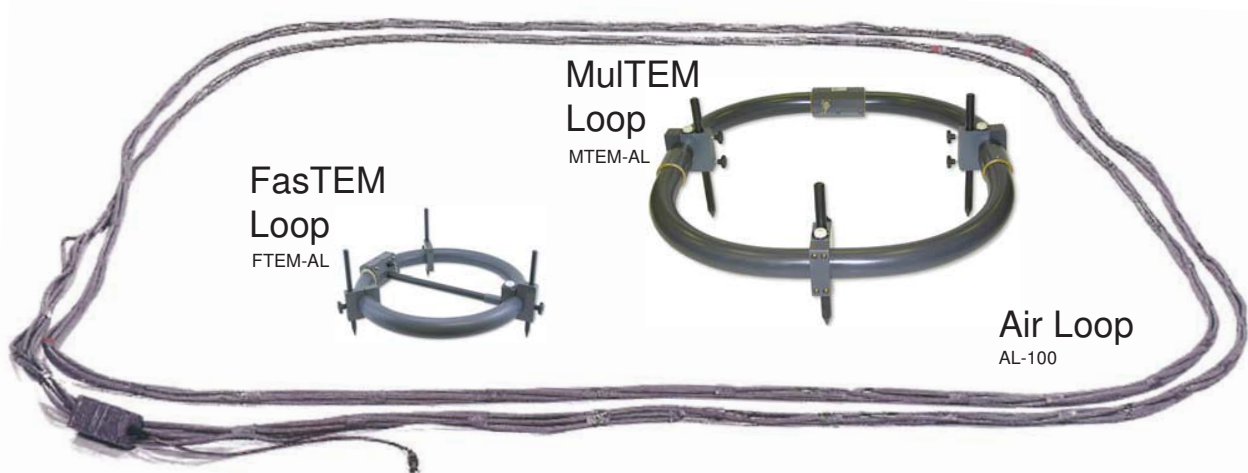
- Lightweight, rugged
- Easily portable
- Practical designs for optimum productivity
- Proven in hundreds of commercial surveys

MT, AMT, CSAMT	Magnetotellurics (MT), Audio MT, and Controlled Source Audio MT in scalar, vector, and tensor modes
TDEM, FDEM, MuITEM, LowTEM	All common Time and Frequency Domain Electromagnetics functions

Induction Coils



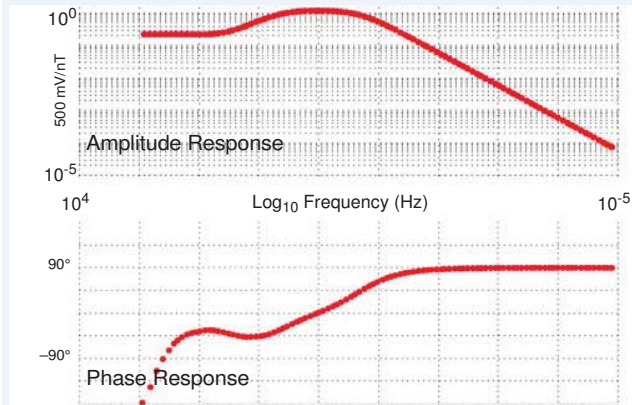
Porous Pot Electrodes



Summary Specifications

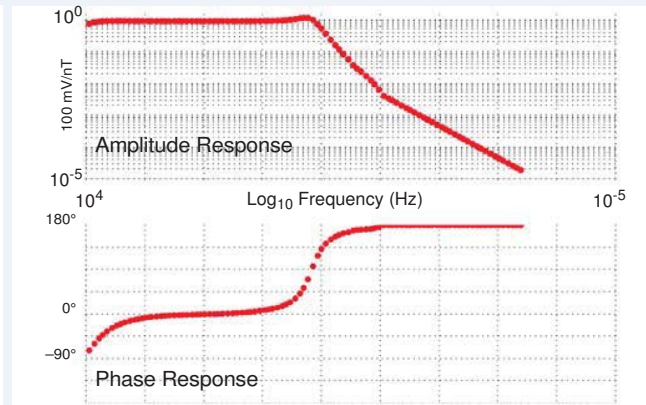
MTC-50H Induction Coil: MT

- 144cm x 6cm dia., 8.2kg
- Frequency range: 1000Hz to 50 000 seconds



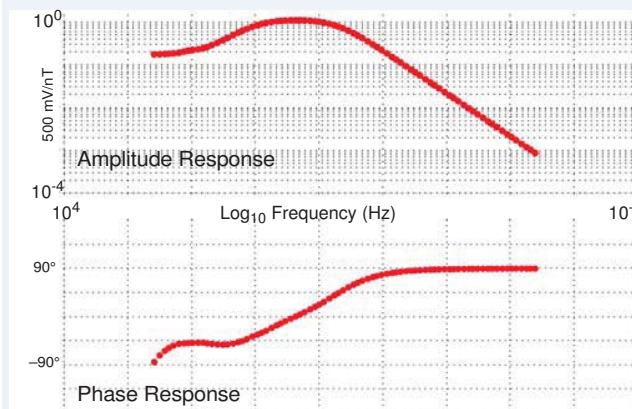
AMTC-30 Induction Coil: AMT, CSAMT

- 82.5cm x 6cm dia., 3.1kg
- Frequency range: 10 000Hz to 1 Hz

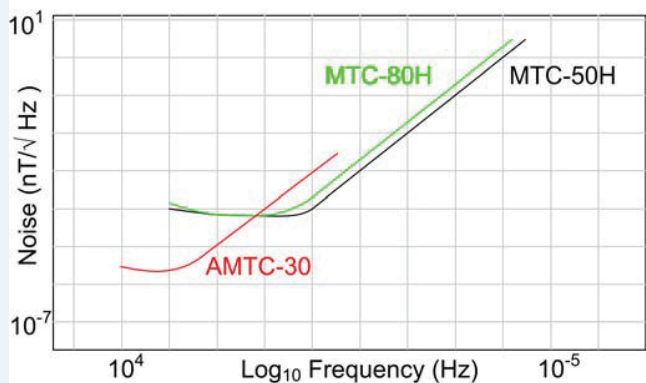


MTC-80H Induction Coil: MT

- 97cm x 6cm dia., 4.8kg
- Frequency range: 400Hz to 10 000 seconds



Typical Spectral Plot of Sensor Noise



PE4 Electrode

- 20cm x 10cm dia., 1.5kg
- Flat response from DC to 10 000Hz
- Low noise, low offset, low drift
- Porous ceramic contact surface and conductive slurry prevent polarization
- Heavy-duty PVC construction protects against foul weather and temperature variations when buried in the earth

MTEM-AL MuTEM Loop

- 1.1 m nominal dia. x 8.5cm (41 cm with legs), 12kg
- Nominal equivalent area: 100m²
- Three centre-bubble levels for accurate installation
- Heavy-duty PVC construction

AL-100, FDEM and TDEM Loops

- Various models available; please enquire for specifics



PHOENIX Geophysics Limited

3781 Victoria Park Avenue, Unit 3

Toronto, ON, Canada M1W 3K5

www.phoenix-geophysics.com

☎: +1 (416) 491-7340

📠: +1 (416) 491-7378

✉: mail@phoenix-geophysics.com