

# ALLEGATO 1

## INDAGINI GEOFISICHE LINEARI

MASW / SRT / ERT / WiDEPI



## COMUNE DI VECCHIANO PIANO STRUTTURALE

maggio 2025

**Sindaco:**

Massimiliano Angori

**Dirigente:**

Manuela Riccomini

**Responsabile del Procedimento:**

Simona Coli

**Gruppo di lavoro interno:**

Oriana Carrano  
Federico Carbognani  
Federico Carmignani  
Daniel Del Carlo  
Katiuscia Fruzzetti  
Anita Giannarelli  
Gabriele Leone  
Maurizio Marchetti  
Alessio Tramonti

**Progettazione:**

Studio Associato di Urbanistica e Architettura  
Gianni Maffei Cardellini, Alberto Montemagni

**Collaborazioni specialistiche di supporto:**

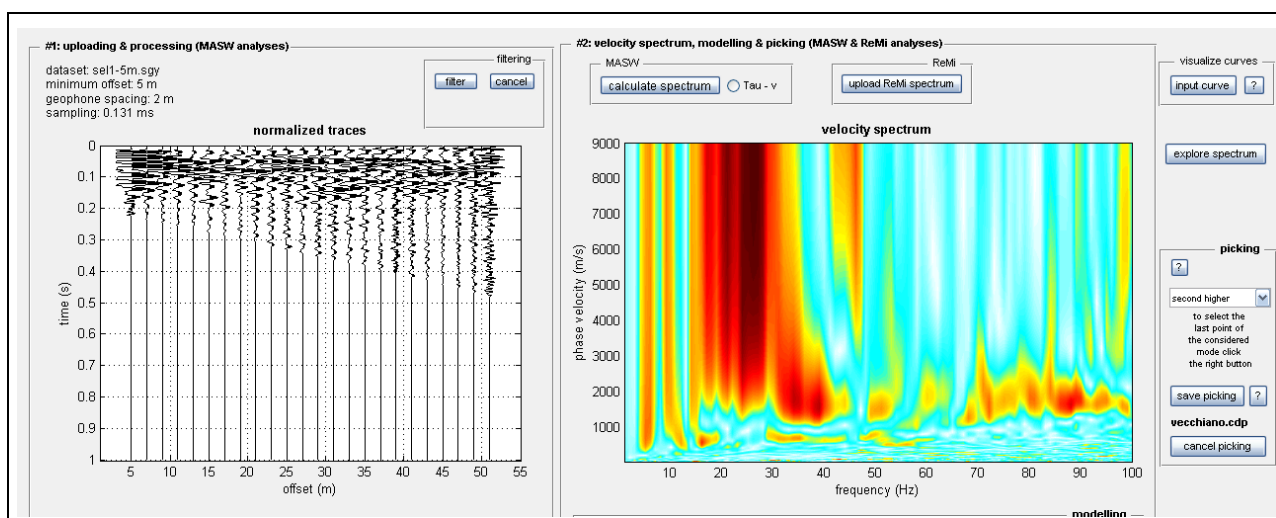
**Supporto progetto urbanistico:** Dario Franchini  
**Studi geologici:** Studio GS - Geologia Sostenibile, Roberto Balatri  
**Studi idrologici idraulici:** Società Hydrogeo Ingegneria srl, Giacomo Gazzini  
**Studi agronomici:** Enrico Bonari  
**Valutazione Ambientale Strategica:** Elisabetta Norci

**Garante dell'Informazione e Partecipazione:** Luigi Josi

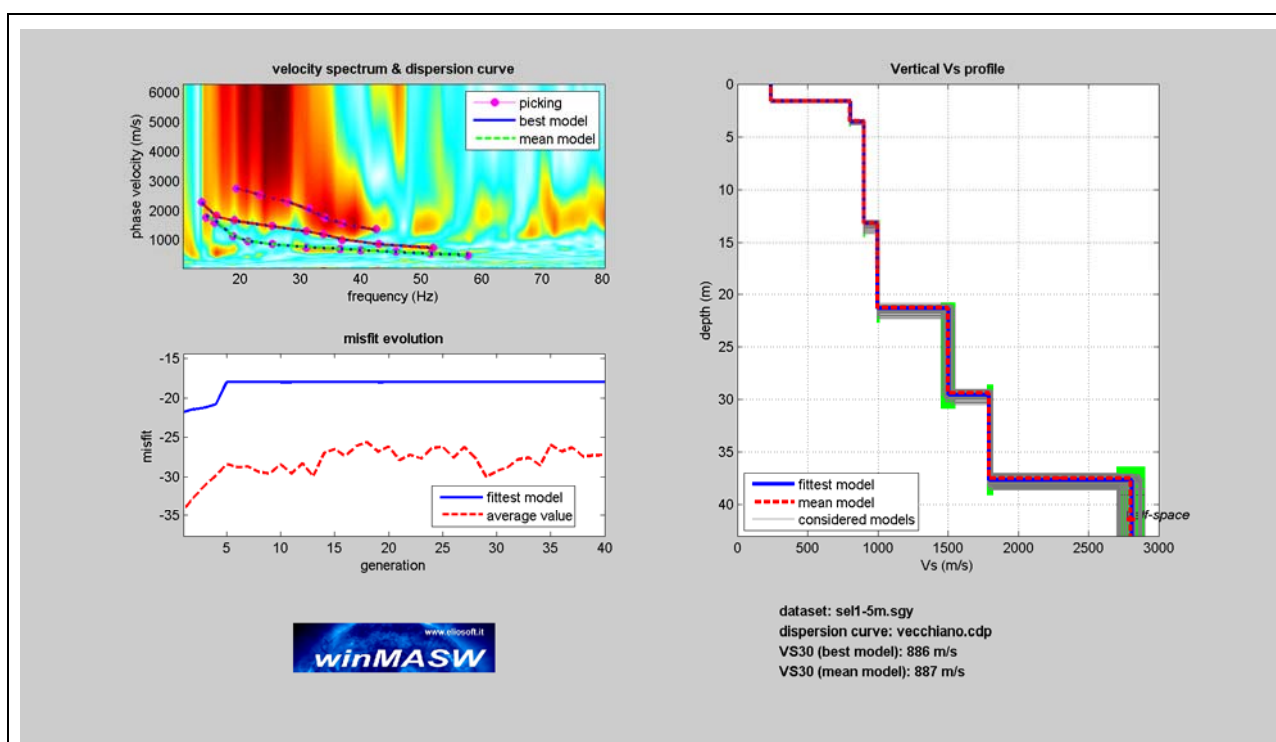
**Supporto alla partecipazione:** Sociolab S.c.a.r.l. - Impresa Social

**Supporto amministrativo:** Francesca Falconi – Claudia Strusi





**Fig. 2.** Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità calcolato

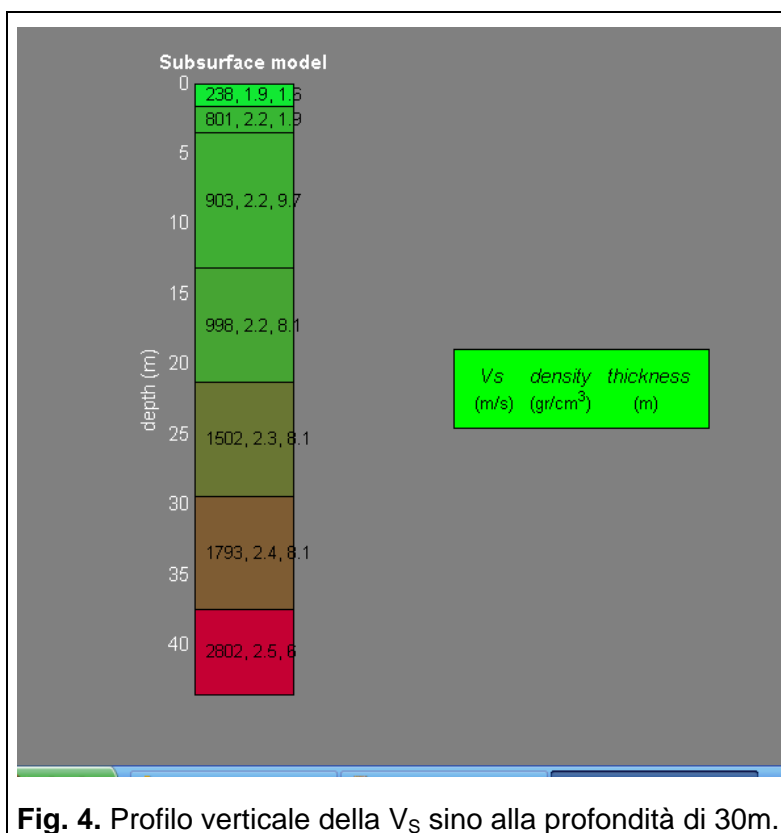


**Fig. 3.** Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale  $V_s$  identificato (vedi anche Tabella 1) (modello "migliore" e medio sono tipicamente analoghi). In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli *Algoritmi Genetici* – Dal Moro et al., 2007).



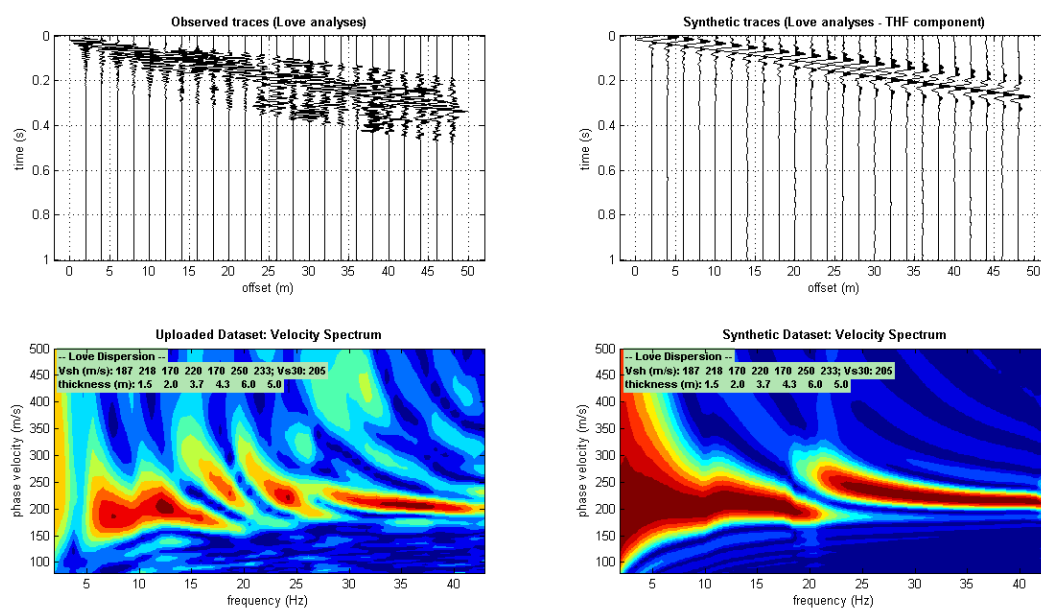
Spessore (m)	$V_s$ (m/s)	Modulo di taglio (MPa)
1.6	$238 \pm 1$	107
1.9	$801 \pm 3$	1398
9.7	$903 \pm 2$	1800
8.1	$998 \pm 3$	2223
8.1	$1502 \pm 13$	5260
8.1	$1793 \pm 8$	7635
<i>semispazio</i>	$2802 \pm 26$	19298

**Tab. 1.** Modello medio del sottosuolo ( $V_{s30}$  riferita al piano campagna: 887 m/s).



**Fig. 4.** Profilo verticale della  $V_s$  sino alla profondità di 30m.



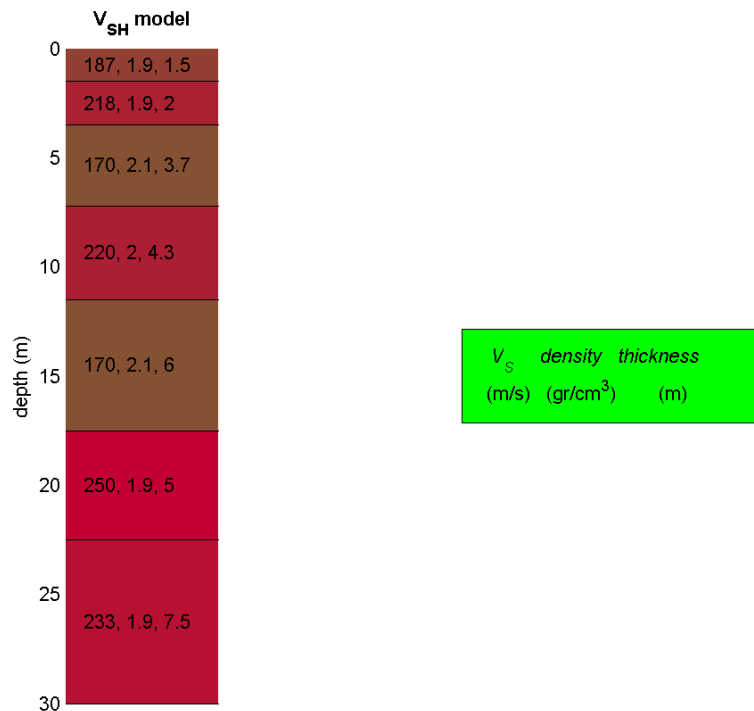


**Fig. 3** - Sulla sinistra i dati di campagna (Love), sulla destra i dati relativi al modello sintetico identificato tramite *full-waveform inversion*.

Spessore (m)	$V_s$ (m/s)
1.5	187
2.0	218
3.7	170
4.3	220
6.0	170
5.0	250
<i>Semi-spazio</i>	233

**Tab. 1.** Modello medio del sottosuolo  
(Vs30 riferita al piano campagna: 205m/s )





## Conclusioni

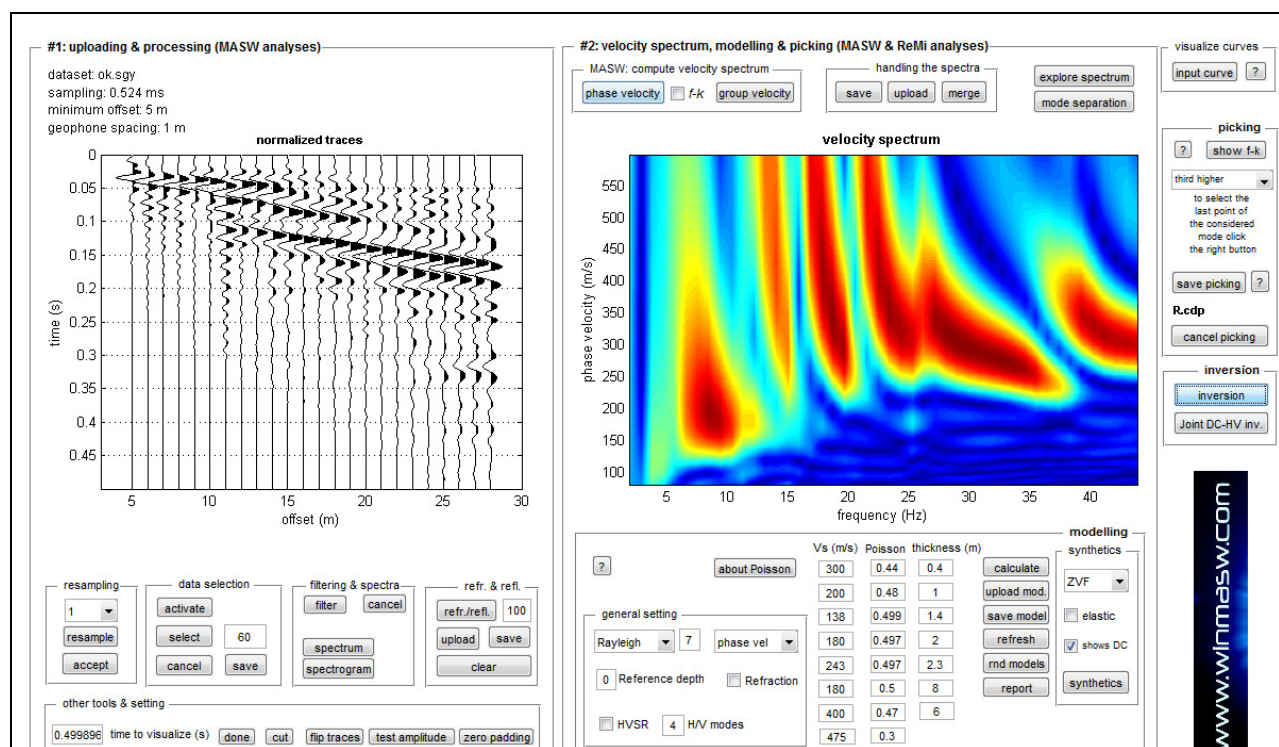
L'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh e di Love a partire da dati di sismica attiva (MASW) ha consentito di determinare il profilo verticale della  $V_s$  e, di conseguenza, del parametro Vs30, risultato pari a 205m/s (considerando come riferimento il piano campagna).

Sarà cura del professionista geologo incaricato, anche sulla base delle conoscenze geologico-stratigrafiche dell'area, agli esiti delle prove geognostiche eseguite, classificare il terreno di fondazione dell'opera in oggetto secondo quanto previsto dalla vigente normativa in materia.

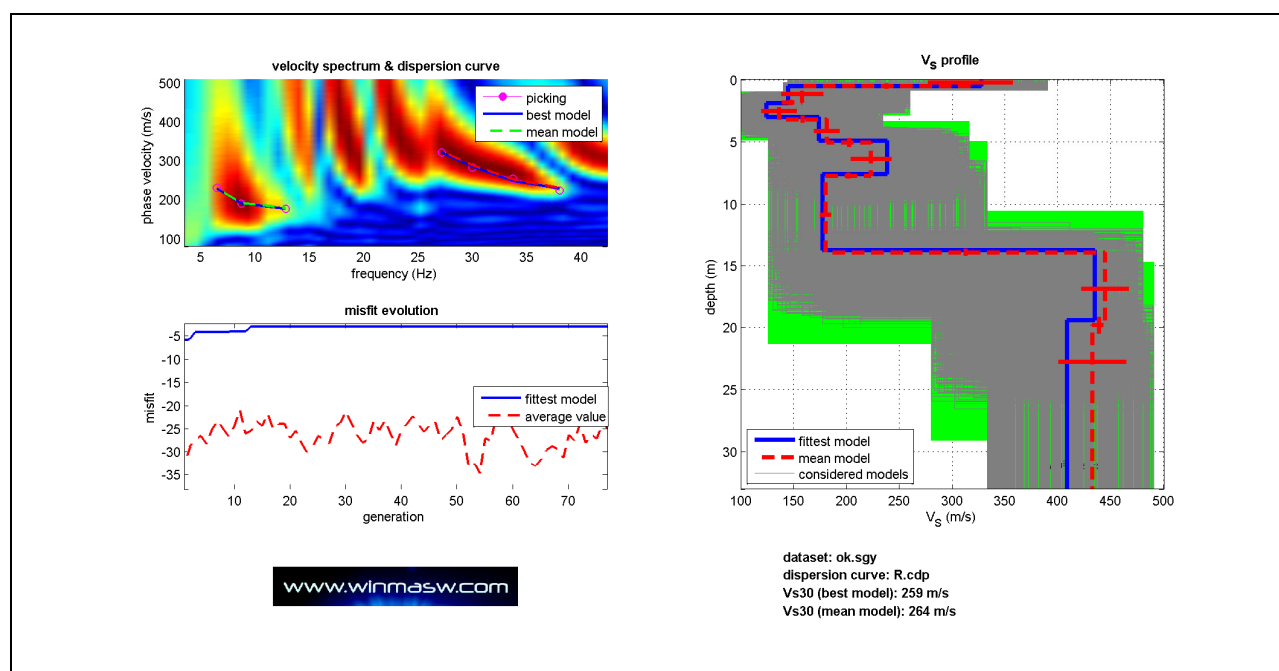
## Riferimenti

- Dal Moro G., 2010a, Joint Analysis of Rayleigh- and Love-Wave Dispersion Curves for Near-Surface Studies: Issues, Criteria and Improvements, pronto per l'invio alla rivista *Pure and Applied Geophysics*
- Dal Moro G., 2010b, Insights on Surface-Wave Dispersion Curves and HVSR: Joint Analysis via Pareto Optimality, *J. Appl. Geophysics* (DOI information: 10.1016/j.jappgeo.2010.08.004)
- Dal Moro G., 2008, VS and VP Vertical Profiling via Joint Inversion of Rayleigh Waves and Refraction Travel Times by means of Bi-Objective Evolutionary Algorithm, *J. Appl. Geophysics*, 66, 15-24
- Dal Moro G. & Pipan M., 2007, Joint Inversion of Surface Wave Dispersion Curves and Reflection Travel Times via Multi-Objective Evolutionary Algorithms, *J. Appl. Geophysics*, 61, 56-81
- Park C. B., Miller R. D., & Xia J., 1999, *Multichannel analysis of surface waves*, *Geophysics*, 64, 3; 800–808
- Herrmann R.B. 2003, Computer Programs in Seismology. Open files (<http://www.eas.slu.edu/People/RBHerrmann/CPS330.html>)
- O'Neill A., Dentith M., List R., 2003, Full-waveform P-SV reflectivity inversion of surface waves for shallow engineering applications, *Exploration Geophysics*, 34, 158–173





**Fig. 2.** Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità calcolato

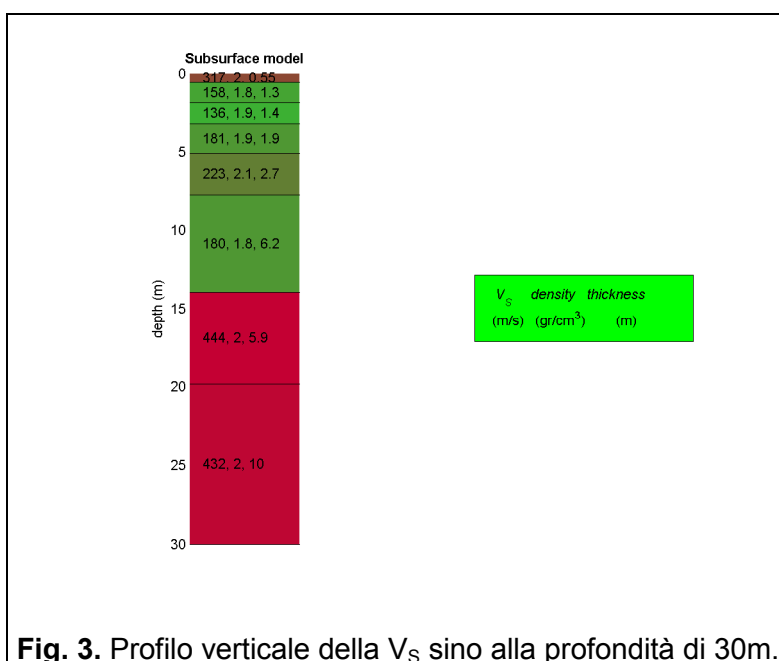


**Fig. 3.** Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale  $V_s$  identificato (vedi anche Tabella 1) (modello "migliore" e medio sono tipicamente analoghi). In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli *Algoritmi Genetici* – Dal Moro et al., 2007).

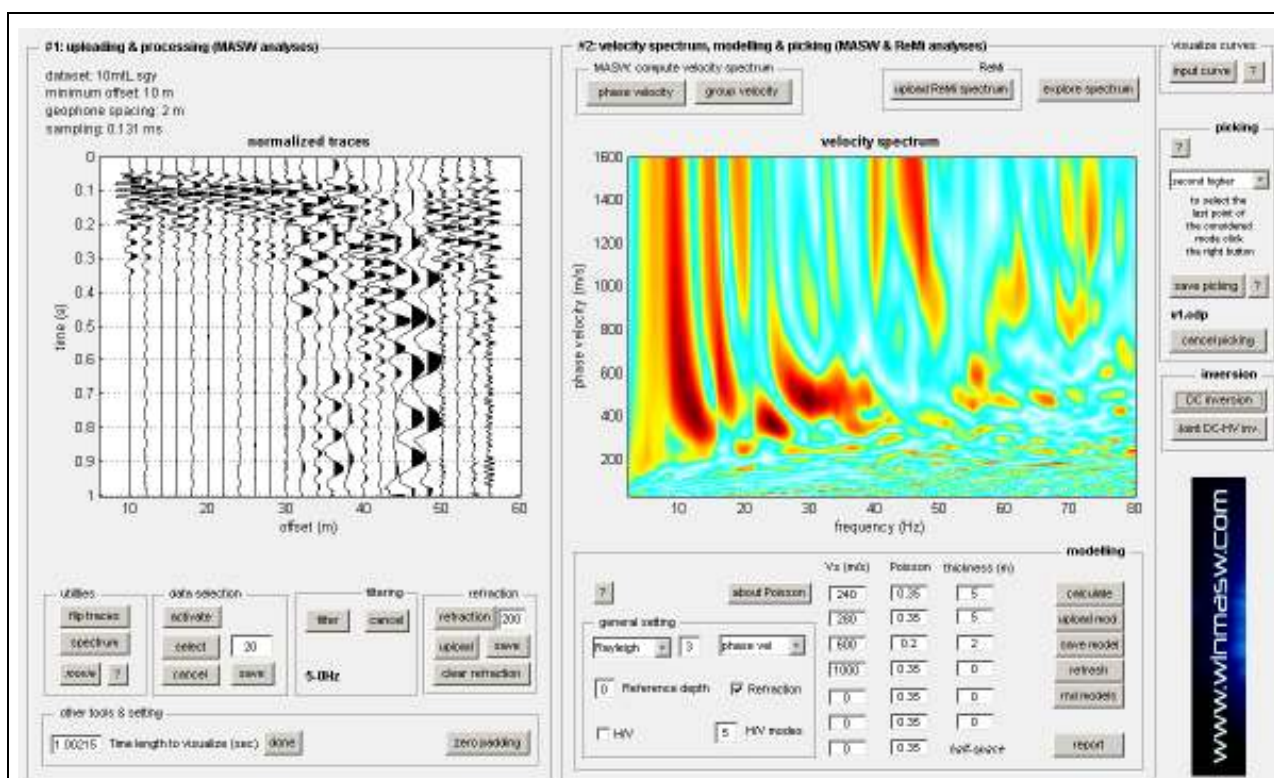


Spessore (m)	$V_s$ (m/s)
0.5	317
1.3	158
1.4	136
1.9	181
2.7	223
6.2	180
5.9	444
<i>Semi-spazio</i>	432

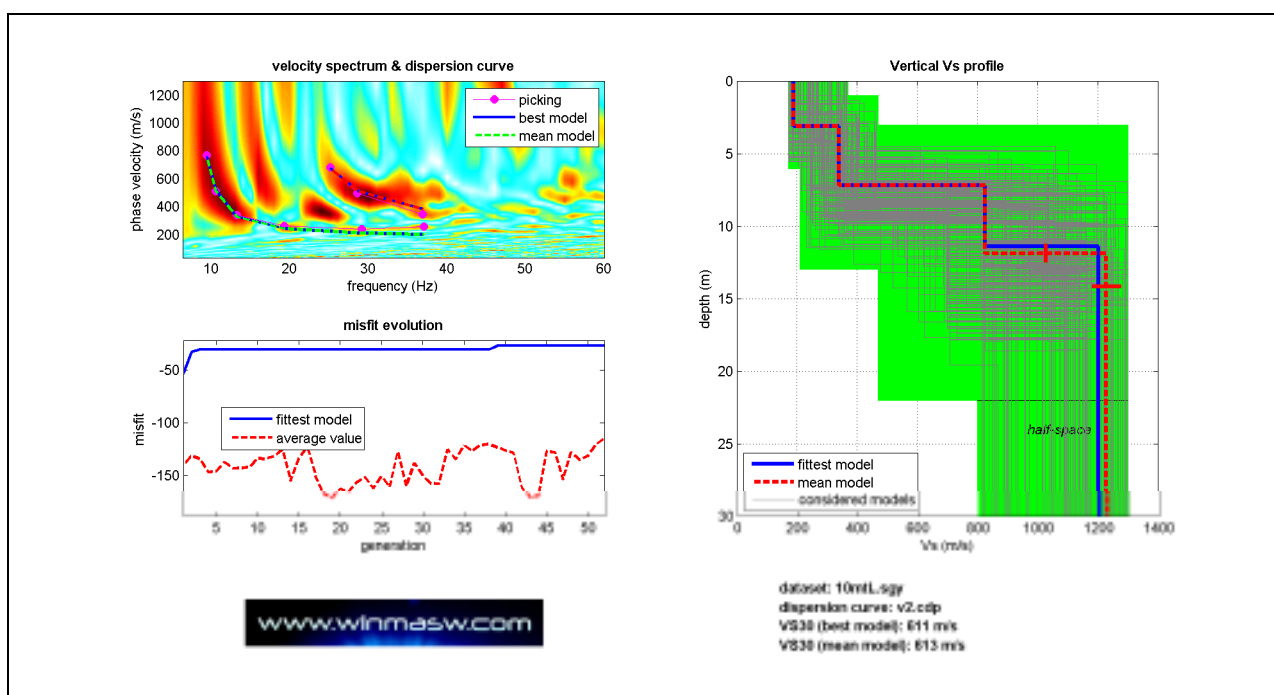
**Tab. 1.** Modello medio del sottosuolo ( $V_{s30}$  riferita al piano campagna: 264m/s).







**Fig. 2.** Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità calcolato

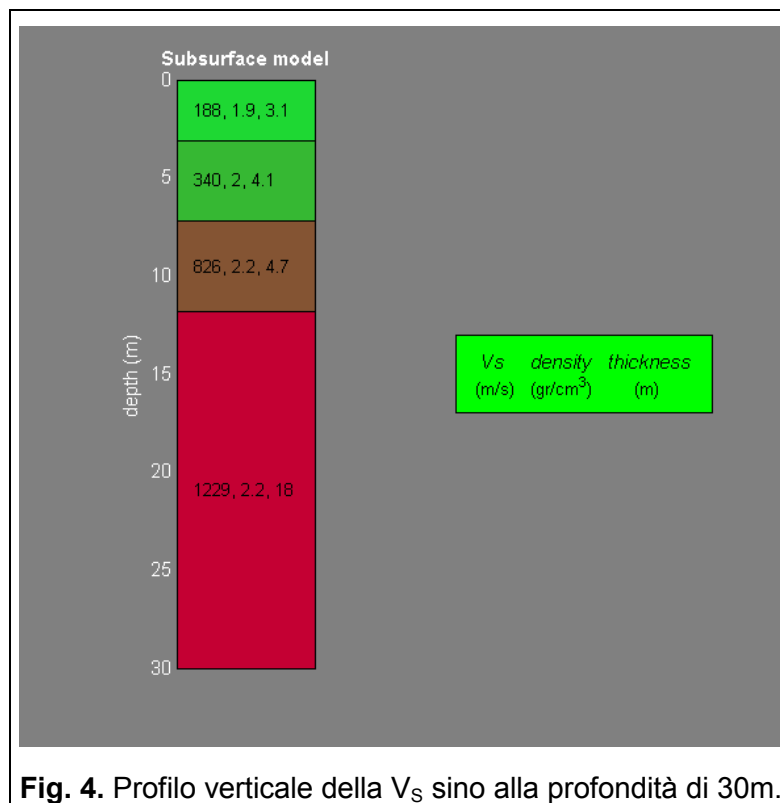


**Fig. 3.** Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale  $V_s$  identificato (vedi anche Tabella 1) (modello "migliore" e medio sono tipicamente analoghi). In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli *Algoritmi Genetici* – Dal Moro et al., 2007).



Spessore (m)	$V_s$ (m/s)	Modulo di taglio (MPa)
3.10	$188 \pm 0$	66
4,10	$340 \pm 0$	229
4,70	$826 \pm 5$	1476
<i>semispazio</i>	$1229 \pm 48$	3376

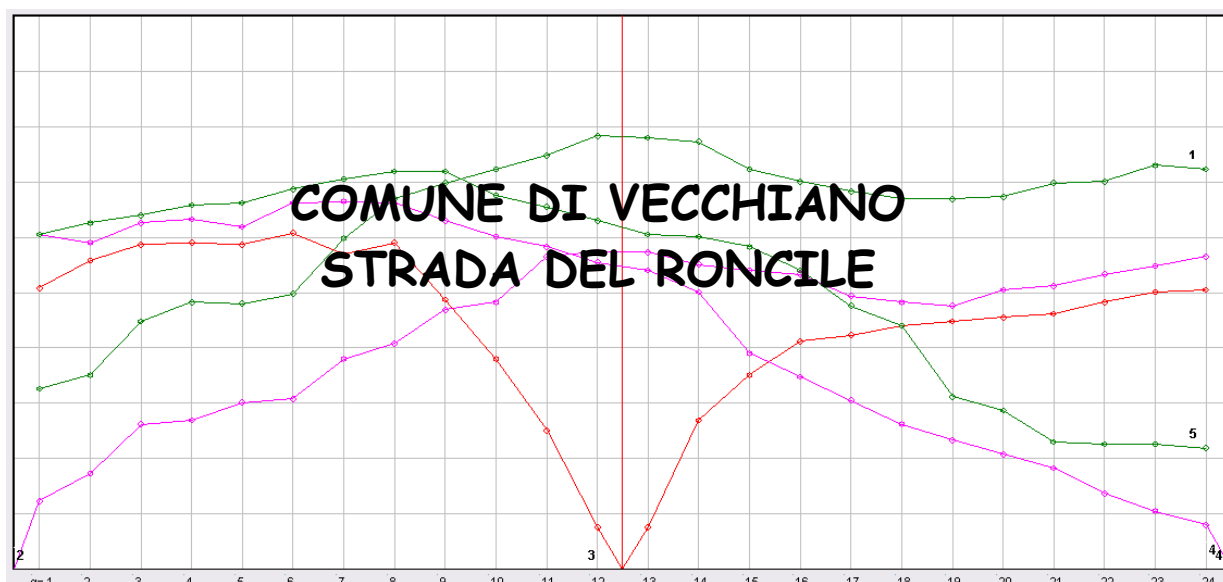
**Tab. 1.** Modello medio del sottosuolo ( $V_{s30}$  riferita al piano campagna: 613 m/s).





**GeoLogistica s.n.c.**  
di N. Bastardi e E. Sirgiovanni

Via delle Mura Sud, 45 - 54100 – MASSA  
tel e fax 058545319-0584784086  
info@geologistica.it



INDAGINI GEOFISICHE CONSISTENTI IN  
PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE CON ONDE P E SH

Committente: **Studio Associato GEA - Vecchiano (PI)**

Ottobre 2010



## 1 - PREMESSA

La presente relazione tecnica commissionata alla scrivente società

tratta la

realizzazione di indagini geofisiche consistenti in sismica a rifrazione in onde P e SH eseguita in località Roncile nel territorio del Comune di Vecchiano (PI).

Su richiesta della Committenza è si è provveduto ad approntare una linea sismica in onde longitudinali (P) e trasversali (SH) formata da 24 geofoni con passo intergeofonico di 3 metri.

Sono descritti di seguito la metodologia di indagine ed i risultati a cui si è pervenuti.

Nella prima parte sarà presentato il metodo sismico (limiti, strumentazione, acquisizione ed elaborazione) e successivamente saranno illustrati i risultati a cui si è pervenuti.

Per l'interpretazione si è tenuto conto anche della elaborazione di due prove geognostiche consistenti in penetrometrie dinamiche superpesanti (DPSH) e statiche (Cpt) realizzate congiuntamente alle indagini geofisiche e posizionate lungo gli stendimenti.

## 2 - METODO SISMICO A RIFRAZIONE

### 2.1 Metodologia di indagine

Il metodo sismico a rifrazione sfrutta, come noto, la differente velocità di propagazione nel sottosuolo delle onde di tipo elastico, prodotte da una sorgente di superficie, in funzione del litotipo presente.

Tali onde possono generalmente essere di compressione e dilatazione (onde P in quanto veloci e di conseguenza prime ad arrivare) e trasversali o di "taglio" (onde SH); in funzione della velocità posseduta da questi due tipi di onde è possibile risalire alla tipologia di litotipo presente ed agli spessori.

Più precisamente *"la sismica a rifrazione considera i tempi di propagazione di onde elastiche che, generate al suolo, si rifrangono su superfici di discontinuità. Si*



*ribadisce che non sempre un orizzonte individuato con metodologie sismiche coincide con un orizzonte litologico in quanto la velocità di propagazione di un impulso sismico, può variare nell'ambito di uno stesso litotipo perché, per variazioni di compattazione, fratturazione, porosità, ecc. cambiano le caratteristiche elastiche".*

Il sistema prevede semplicemente la lettura e registrazione attraverso apposito strumento (il sismografo) dei tempi di arrivo di un'onda sismica (o treno d'onda) generata artificialmente in superficie, ad una serie di rilevatori (i geofoni) disposti lungo la linea sismica (lo stendimento) posta ad una data distanza dai punti di energizzazione (off-set); la propagazione dell'onda nel sottosuolo segue le leggi di rifrazione dell'ottica, tendendo a rifrangersi sulle superfici di separazione tra due strati che presentino un modulo elastico crescente (secondo la legge di Snell). Conoscendo la posizione e la distanza degli apparecchi riceventi rispetto ai punti di energizzazione e misurando i tempi di arrivo della perturbazione agli stessi, è possibile elaborare un grafico tempi-distanze che consente la ricostruzione delle cosiddette dromocrone. Da queste si possono ricavare, per via analitica, le velocità delle onde elastiche del tipo longitudinale o trasversale (rispettivamente le  $V_p$  e le  $V_s$ ) caratteristiche dei vari mezzi attraversati.

Come tutti i sistemi di indagine indiretta, anche la prospezione sismica a rifrazione risulta affetta da un grado indeterminazione e da alcune limitazioni.

## 2.2 Limitazioni

Così come accennato in precedenza la sismica a rifrazione rileva esclusivamente strati la cui velocità di propagazione dell'onda elastica sia crescente verso il basso anche se esistono alcune importanti limitazioni legate soprattutto alla presenza o meno di zone di aumento graduale della stessa.

Più precisamente all'aumentare della spaziatura tra i geofoni aumenta la profondità indagata ma diminuisce anche la precisione nella determinazione del passaggio stratigrafico laddove si sia in presenza di orizzonti con velocità si crescenti verso il basso, ma con un passaggio graduale (nel caso della presenza nel mezzo a due



strati di un terzo avente spessore fino ad  $1/3$  del passo adottato e con velocità di propagazione intermedia tra i due, questo risulta non rilevabile).

Analogamente la presenza in basso di un orizzonte a velocità sensibilmente maggiore del soprastante e tra i due di un livello a velocità intermedia, questo potrà non essere rilevato poiché gli arrivi sottostanti lo mascherano.

Soprattutto l'interpretazione geologica delle velocità ricavate può essere strettamente dipendente dalle condizioni geologico-geomorfologiche al contorno in quanto, così come accennato in precedenza, ad una data velocità non sempre corrisponde un determinato litotipo. Più realisticamente la velocità di propagazione delle onde elastiche nel sottosuolo dipende strettamente da numerosi parametri, tra cui possiamo far rientrare il tipo di litotipo o di deposito, il suo grado di alterazione, fratturazione o carsismo; questi parametri concorrono a diminuire anche sensibilmente tale valore mentre al contrario si assiste ad un aumento laddove si sia in presenza di litotipi compatti e profondi. La presenza della falda o di un forte grado di saturazione può inoltre limitare l'indagine in quanto non permette la trasmissione delle onde trasversali, mentre le onde di compressione risultano fortemente influenzate.

Alla base di una interpretazione corretta delle indagini sismiche a rifrazione così come per tutte le indagini di tipo indiretto, concorre una buona conoscenza geologica e geomorfologica del sito anche attraverso informazioni di tipo diretto ottenute, ad esempio, con sondaggi. La conoscenza puntuale della stratigrafica del sottosuolo ottenuta con i sondaggi permette di "tarare" le indagini di superficie e di estrapolare un modello più aderente alla realtà.

### 3 - SISMOGRAFO ED ACQUISIZIONE

#### 3.1 Sismografo

La campagna di indagine consiste in una prima fase di acquisizione del segnale in ed in un suo successivo trattamento.

Durante la prima fase si provvede all'approntamento della linea sismica caratterizzata da una direzione e da una spaziatura dei geofoni così come



concordato preventivamente; nel caso in esame per entrambe le linee sono stati impiegati n°24 geofoni con spaziatura pari a 3 mt ottenendo una lunghezza pari a 72 metri. L'ubicazione indicativa della linea sismica è riportata nella figura sotto riprodotta.



L'acquisizione dei dati è stata eseguita registrando i segnali provenienti dai 24 geofoni verticali e orizzontali con frequenza naturale propria di 4.5 Hz, collegati mediante un cavo sismico da superficie a 24 takeouts della **AMBROGEO** ad un sismografo a 24 canali **ECHO 12-24/2002 Seismic Unit** a 16 bit anch'esso della **AMBROGEO**.

Si tratta di un prospettore sismico con le seguenti caratteristiche:

- |                               |                            |
|-------------------------------|----------------------------|
| - N. canali                   | 12/24                      |
| - Intervallo di campionamento | 0.296 msec                 |
| - Convertitore A/D            | 16 bit                     |
| Amplificatori                 |                            |
| - Impedenza di ingresso       | 1 Kohm                     |
| - Guadagno                    | 10 db - 100 db, passo 1 db |
| - Tensione di saturazione     | +/- 2,3 volt               |
| - Livello di saturazione      | 100 db                     |



- Distorsione	0,01 %
- Campionamenti	25, 50, 100, 200, 400 , 1000 msec
- Velocità di campionamento	130 micro/sec
- tempi di registrazione	25-50-10-20-400-800 millisec
- filtri "low-pass"	da 50 a 900 Hz, passo 1 Hz
- filtri digitali Fir "low pass"	1000-800-900-700-600-500-400-300- 200-100-50 Hz
- filtri digitali Fir " high pass"	0-25-50-75-100-125-150-175-200-225- 250 Hz
- risposta in frequenza	7-950 Hz, filtro a 950 Hz
- gamma dinamica	93 db
- tensione rumore in ingresso	0,66 uVolt rms, gain 55 db
- diafonia	52 db, gain 55 db
- alimentazione	12 volt

Il sismografo è corredato di computer portatile con processore e memoria dedicata.



Foto n.1 - Sismografo ECHO 12-24/2002 in configurazione di campagna.



### 3.2 Energizzazione e "trigger"

Il sistema di energizzazione per le onde longitudinali (P) ha previsto l'impiego di mazza da 8 Kg e piattello di battuta in duralluminio, mentre per l'acquisizione delle onde trasversali SH è stata impiegata la mazza da 8 Kg incidente orizzontalmente su una traversina in legno opportunamente zavorrata . Sia per le onde trasversali che per quelle longitudinali si sono approntati 5 punti di energizzazione o scoppio ("shot") distribuiti in prossimità della metà della linea stessa (scoppio P3), alle estremità (scoppi P2 e P4) e all'esterno (scoppi P1 e P5), avendo cura di realizzare un adeguato accoppiamento tra la superficie inferiore del piattello e/o della traversina ed il terreno mediante livellazione dello stesso o riporto di materiale fine a compensare le eventuali irregolarità. Il sistema di trigger è stato realizzato mediante uno starter dinamico costituito dalla apertura o chiusura di un circuito elettrico; la mazza di energizzazione è attrezzata con interruttore inerziale per la chiusura del circuito simultaneamente all'esecuzione dello scoppio.

### 3.3 Acquisizione

Si è provveduto a registrare i tempi di arrivo di una serie di scoppi come di seguito descritti, sotto forma di file del tipo AMBROGEO (\*.DTA) che possono essere agevolmente convertiti in SEG-Y ed altre estensioni.

Lo schema di acquisizione del segnale è di seguito riportato.

#### Linea ST1 (P + SH)

Spaziatura: 3 mt

Lunghezza complessiva: ml 72

Scoppi onde P/SH: P1 = 10 mt da geofono G1

P2 = 2 mt da geofono G1

P3 = tra geofoni G12 e G13

P4 = 2 mt da geofono G24

P5 = 10 mt da geofono G24



#### 4 - ELABORAZIONE DATI e RISULTATI

Le condizioni logistiche del sito hanno permesso l'esecuzione dei tiri esterni di copertura P1 e P5 ad una distanza dai geofoni G1 e G24 di 10 mt; la qualità complessiva delle registrazioni ottenute con la configurazione di scoppi sopra descritta si è rivelata buona ed ha permesso un agevole individuazione dei primi arrivi.

#### ELEMENTI DELLA STESA (ONDE P)

**Numero di geofoni: 24**

**Numero di shot: 5**

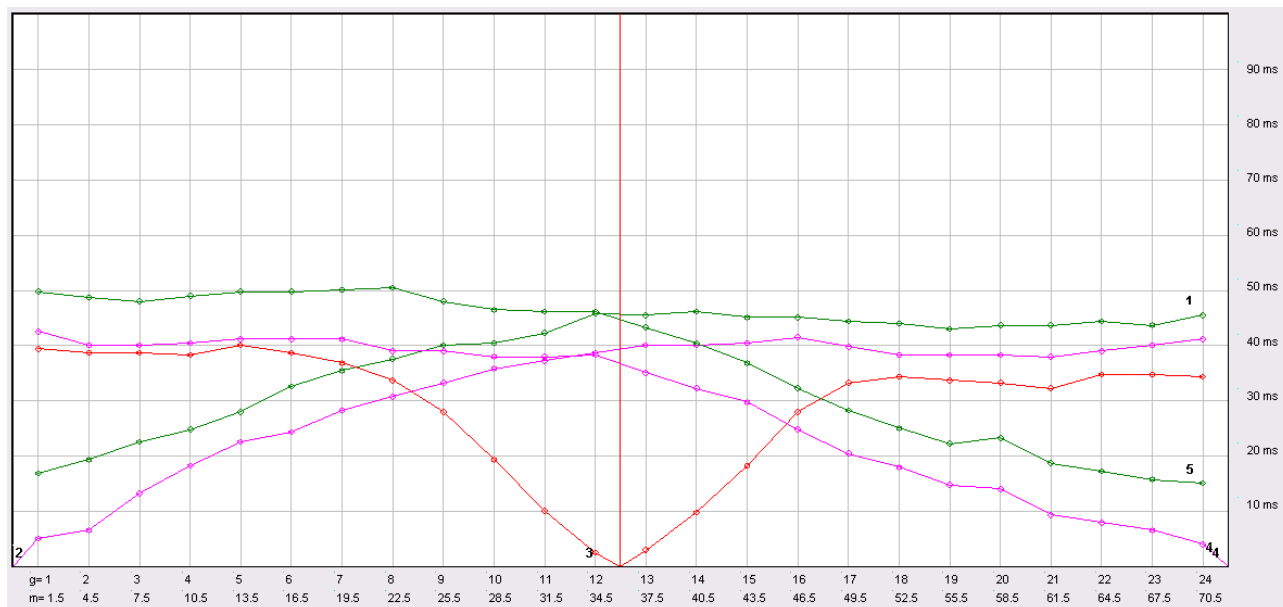
**Distanza fra i geofoni: 3 m**

#### **Posizione shot, geofoni e tempi letti**

	Shot 1	Shot 2	Shot 3	Shot 4	Shot 5	Distance	Elevation
Geo. 1	16.87	5.09	39.40	42.59	49.79	01.50	-00.50
Geo. 2	19.37	6.59	38.70	40.09	48.70	04.50	-00.50
Geo. 3	22.60	13.30	38.70	40.09	48.00	07.50	-00.70
Geo. 4	24.79	18.29	38.29	40.50	49.00	10.50	-00.70
Geo. 5	28.00	22.60	40.09	41.20	49.79	13.50	-00.70
Geo. 6	32.59	24.37	38.70	41.20	49.79	16.50	-00.90
Geo. 7	35.50	28.29	36.90	41.20	50.09	19.50	-01.00
Geo. 8	37.59	30.79	33.70	39.00	50.50	22.50	-01.00
Geo. 9	40.09	33.29	28.00	39.00	48.00	25.50	-01.30
Geo. 10	40.50	35.79	19.37	38.00	46.50	28.50	-01.00
Geo. 11	42.29	37.29	10.10	38.00	46.20	31.50	-01.50
Geo. 12	45.79	38.70	2.57	38.29	46.20	34.50	-01.80
Geo. 13	45.50	40.09	3.00	35.09	43.29	37.50	-01.80
Geo. 14	46.20	40.09	9.80	32.29	40.50	40.50	-01.80
Geo. 15	45.09	40.50	18.29	29.79	36.90	43.50	-01.80
Geo. 16	45.09	41.50	28.00	24.79	32.29	46.50	-01.80
Geo. 17	44.40	39.79	33.29	20.50	28.29	49.50	-01.90
Geo. 18	44.00	38.29	34.40	18.00	25.10	52.50	-02.00
Geo. 19	43.00	38.29	33.70	14.80	22.29	55.50	-02.00
Geo. 20	43.70	38.29	33.29	14.10	23.29	58.50	-02.10
Geo. 21	43.70	38.00	32.29	9.39	18.70	61.50	-02.30
Geo. 22	44.40	39.00	34.79	8.00	17.29	64.50	-02.30
Geo. 23	43.70	40.09	34.79	6.59	15.80	67.50	-02.50
Geo. 24	45.50	41.20	34.40	4.09	15.10	70.50	-02.50
Distance	-08.50	00.00	36.00	72.00	80.50		
Elevation	00.00	-00.30	-01.60	-02.70	-03.00		



## DROMOCRONE



## PROFONDITA' RIFRATTORE IN CORRISPONDENZA DEGLI SHOT

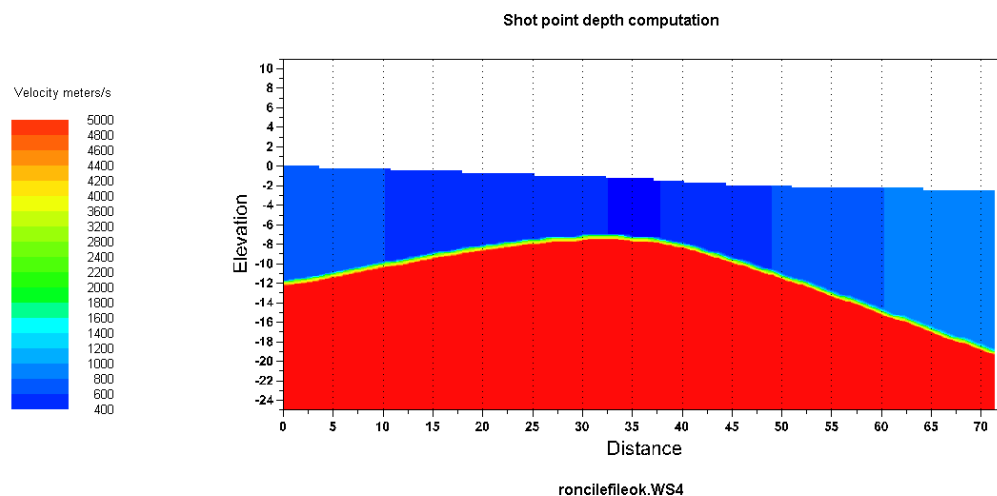
N° shot	<i>Strato 1</i> (metri)
2	12.23
3	6.42
4	17.09

## Velocità rilevate

	Vp (m/s)
<b>Strato 1</b>	947-374-1000
<b>Strato 2</b>	7837



## Profilo sismico



## ELEMENTI DELLA STESA (ONDE S)

**Numero di geofoni: 24**

Numero di shot: 5

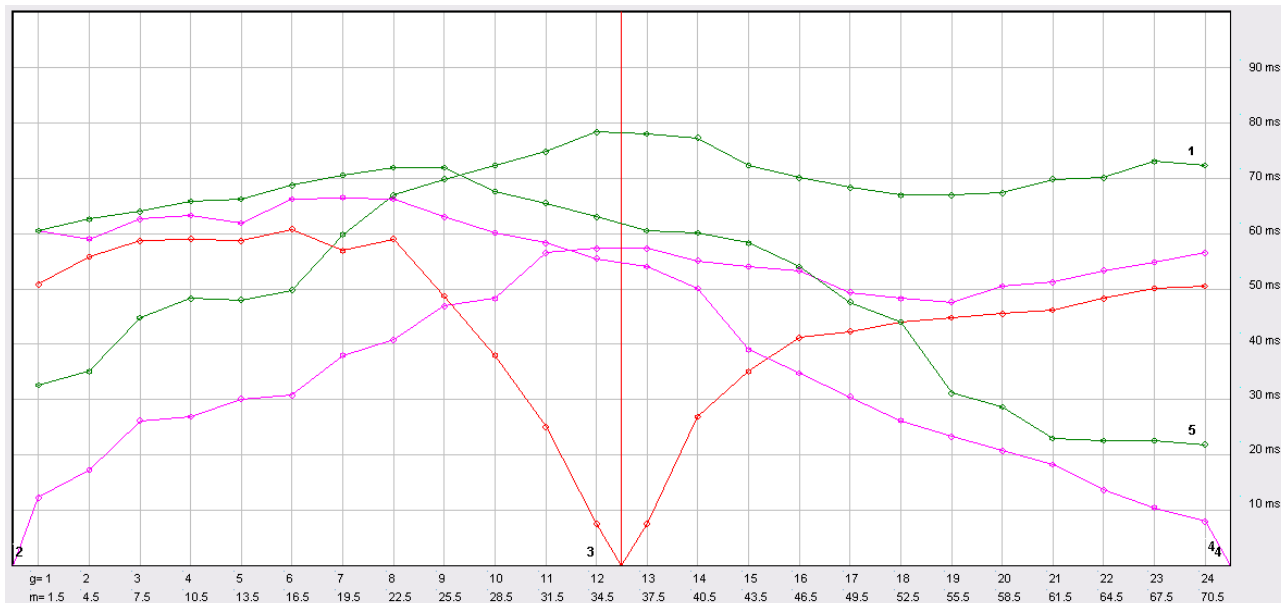
**Distanza fra i geofoni: 3 m**

**Posizione shot, geofoni e tempi letti**

	Shot 1	Shot 2	Shot 3	Shot 4	Shot 5	Distance	Elevation
Geo. 1	32.59	12.30	50.79	60.50	60.50	01.50	-00.40
Geo. 2	35.09	17.29	55.79	59.00	62.59	04.50	-00.44
Geo. 3	44.79	26.20	58.70	62.59	64.00	07.50	-00.50
Geo. 4	48.29	26.89	59.00	63.29	65.80	10.50	-00.60
Geo. 5	48.00	30.10	58.70	61.90	66.19	13.50	-00.68
Geo. 6	49.79	30.79	60.79	66.19	68.69	16.50	-00.77
Geo. 7	59.79	38.00	56.90	66.50	70.50	19.50	-00.91
Geo. 8	66.90	40.79	59.00	66.19	71.90	22.50	-01.00
Geo. 9	69.80	46.90	48.70	63.00	71.90	25.50	-01.20
Geo. 10	72.30	48.29	38.00	60.09	67.59	28.50	-01.30
Geo. 11	74.80	56.50	25.10	58.29	65.50	31.50	-01.39
Geo. 12	78.30	57.29	7.59	55.50	63.00	34.50	-01.48
Geo. 13	78.00	57.29	7.59	54.00	60.50	37.50	-01.54
Geo. 14	77.30	55.09	26.89	50.09	60.09	40.50	-01.60
Geo. 15	72.30	54.00	35.09	39.00	58.29	43.50	-01.66
Geo. 16	70.09	53.29	41.20	34.79	54.00	46.50	-01.76
Geo. 17	68.30	49.40	42.29	30.50	47.59	49.50	-01.86
Geo. 18	66.90	48.29	44.00	26.20	44.00	52.50	-01.96
Geo. 19	66.90	47.59	44.79	23.29	31.20	55.50	-02.00
Geo. 20	67.30	50.50	45.50	20.79	28.70	58.50	-02.10
Geo. 21	69.80	51.20	46.20	18.29	23.00	61.50	-02.30
Geo. 22	70.09	53.29	48.29	13.69	22.60	64.50	-02.40
Geo. 23	73.00	54.79	50.09	10.50	22.60	67.50	-02.50
Geo. 24	72.30	56.50	50.50	8.00	21.89	70.50	-02.60
Distance	-08.50	00.00	36.00	72.00	80.50		
Elevation	00.00	-00.30	-01.51	-02.66	-03.00		



## DROMOCRONE



## PROFONDITA' RIFRATTORI IN CORRISPONDENZA DEGLI SHOT

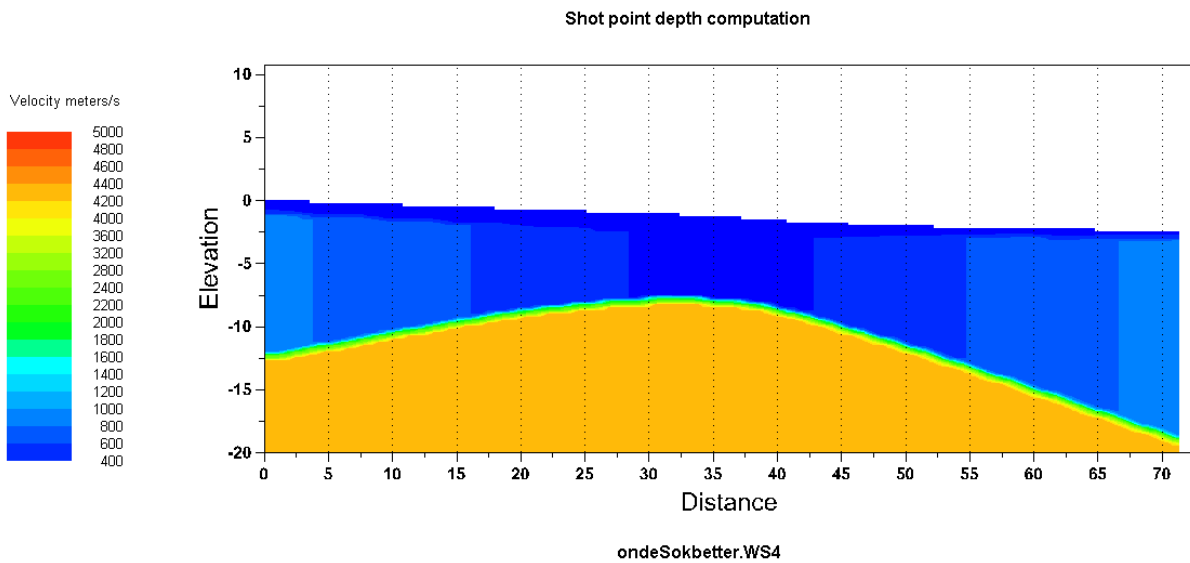
N° shot	<i>Strato 1</i> (metri)	<i>Strato 2</i> (metri)
2	0.91	12.45
3	1.28	7.01
4	0.53	16.7

## Velocità rilevate

	Vs (m/s)
<b>Strato 1</b>	121-173-188
<b>Strato 2</b>	871-286-871
<b>Strato 3</b>	4359



## Profilo sismico



Durata acquisizione: 512 ms

Tempo di campionamento: 260  $\mu$ s

Numero campioni per traccia: 1969

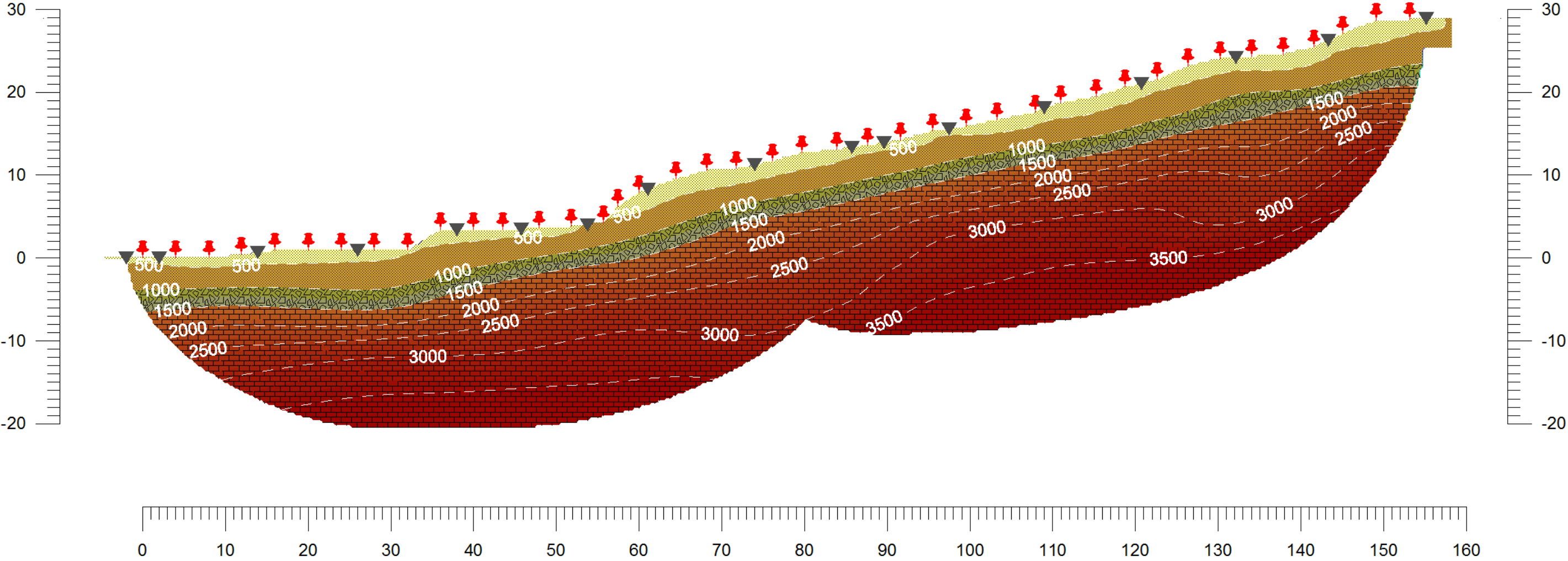
Sorgente: mazza 8.5 kg

L'analisi congiunta dei risultati ottenuti dagli stendimenti in onde P, in onde SH e delle prove penetrometriche eseguite in situ evidenzia la reciproca rispondenza tra le varie indagini eseguite, che confermano la geometria della ricostruzione sismostratigrafica sopra riportata; tuttavia si deve far notare come le velocità di propagazione sia delle onde P che delle onde SH risultino non del tutto in linea con le velocità caratteristiche dei terreni e dei litotipi presenti nell'area indagata. Un definitivo chiarimento in proposito potrebbe giungere dall'esecuzione di ulteriori indagini dirette.



0006

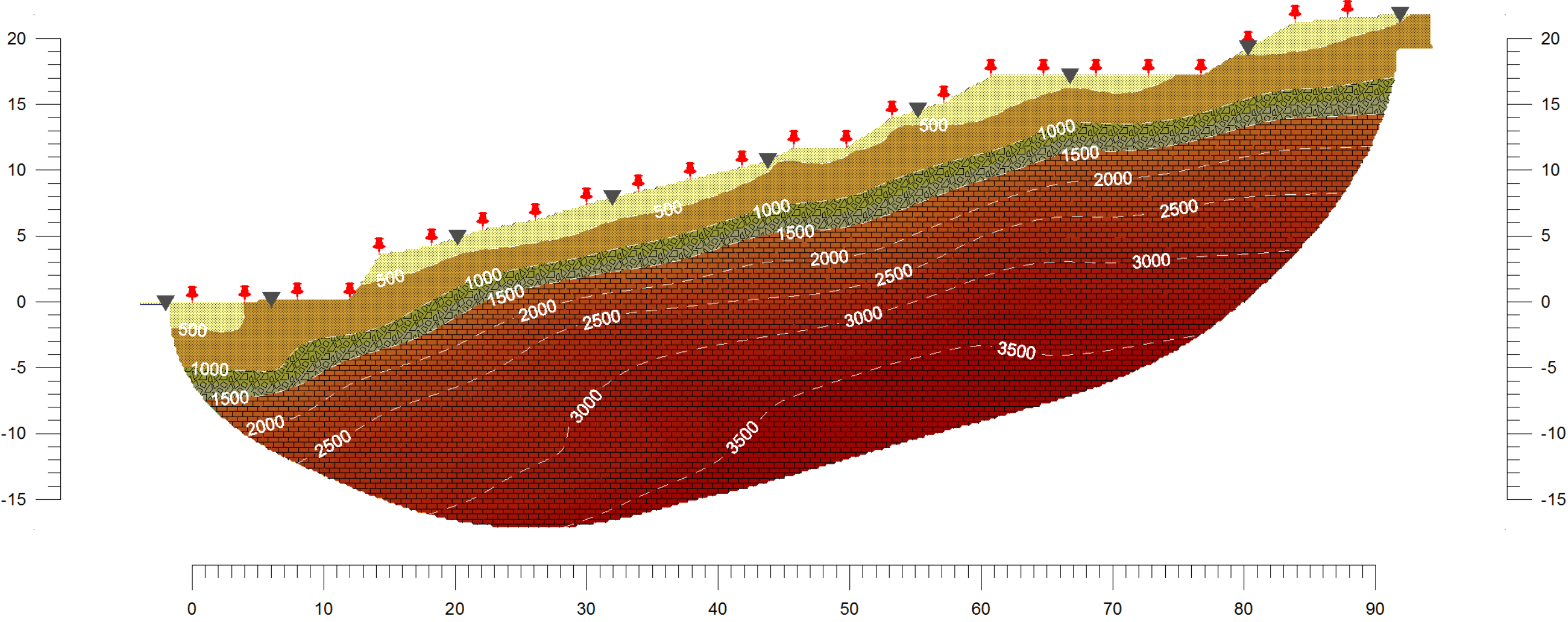
SUBSURFACE SEISMIC VELOCITY FOR SITE "Filettole P2/3"





0007

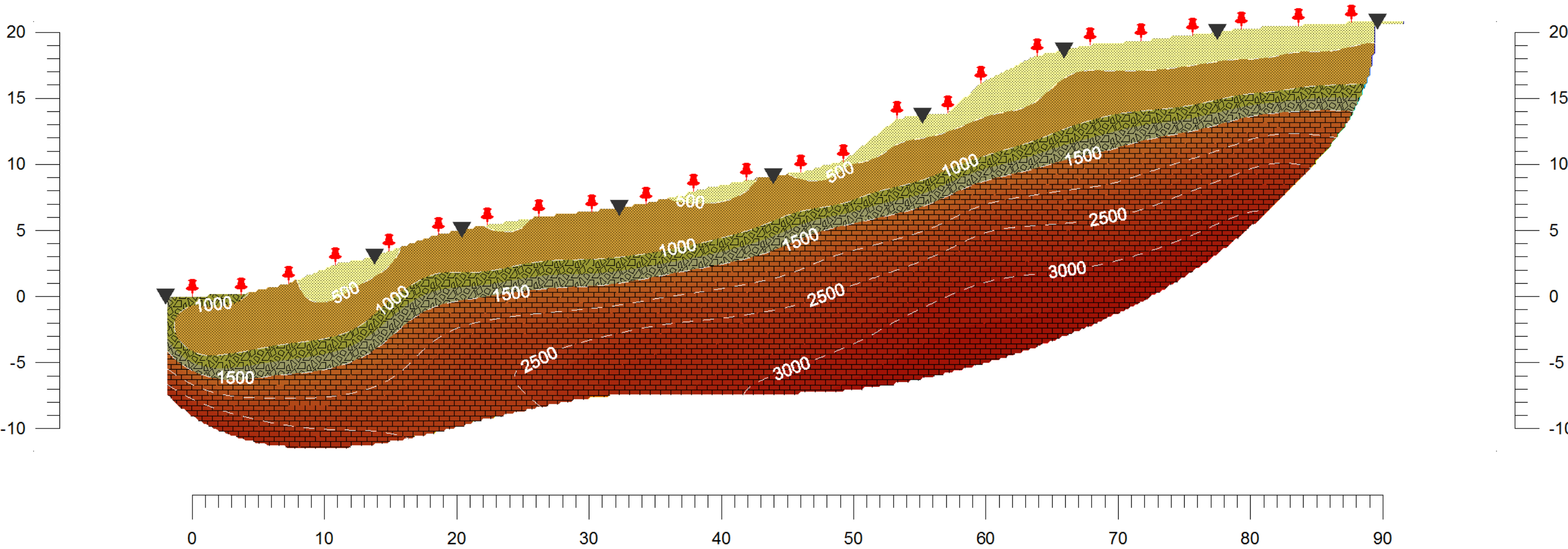
SUBSURFACE SEISMIC VELOCITY FOR SITE "Filettole P4"





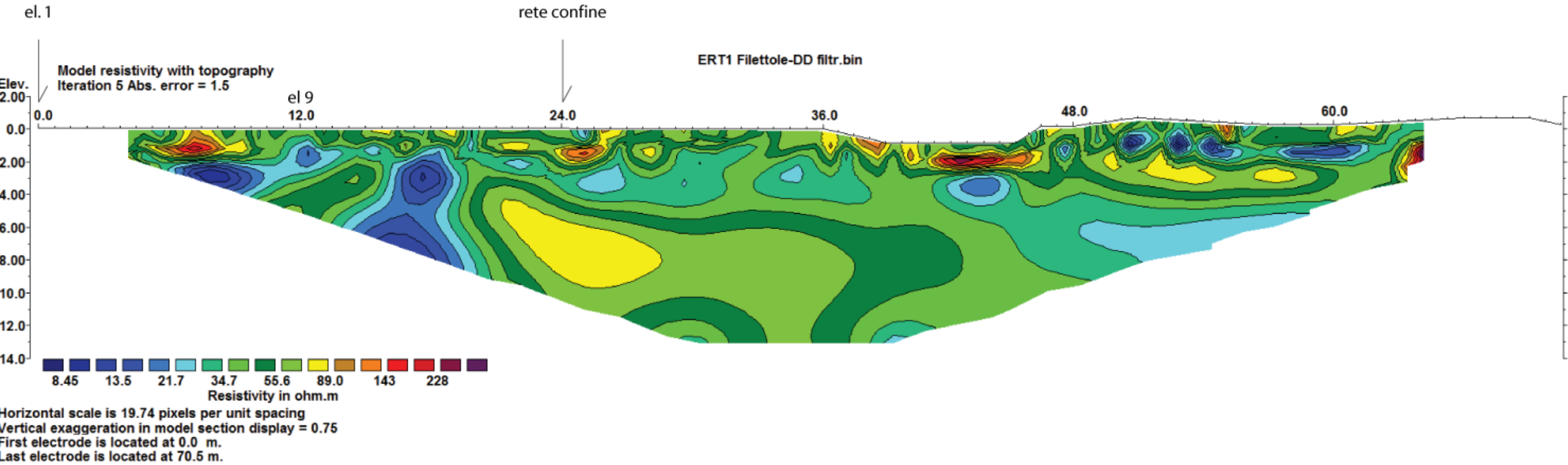
0008

SUBSURFACE SEISMIC VELOCITY FOR SITE "Filettole P5"





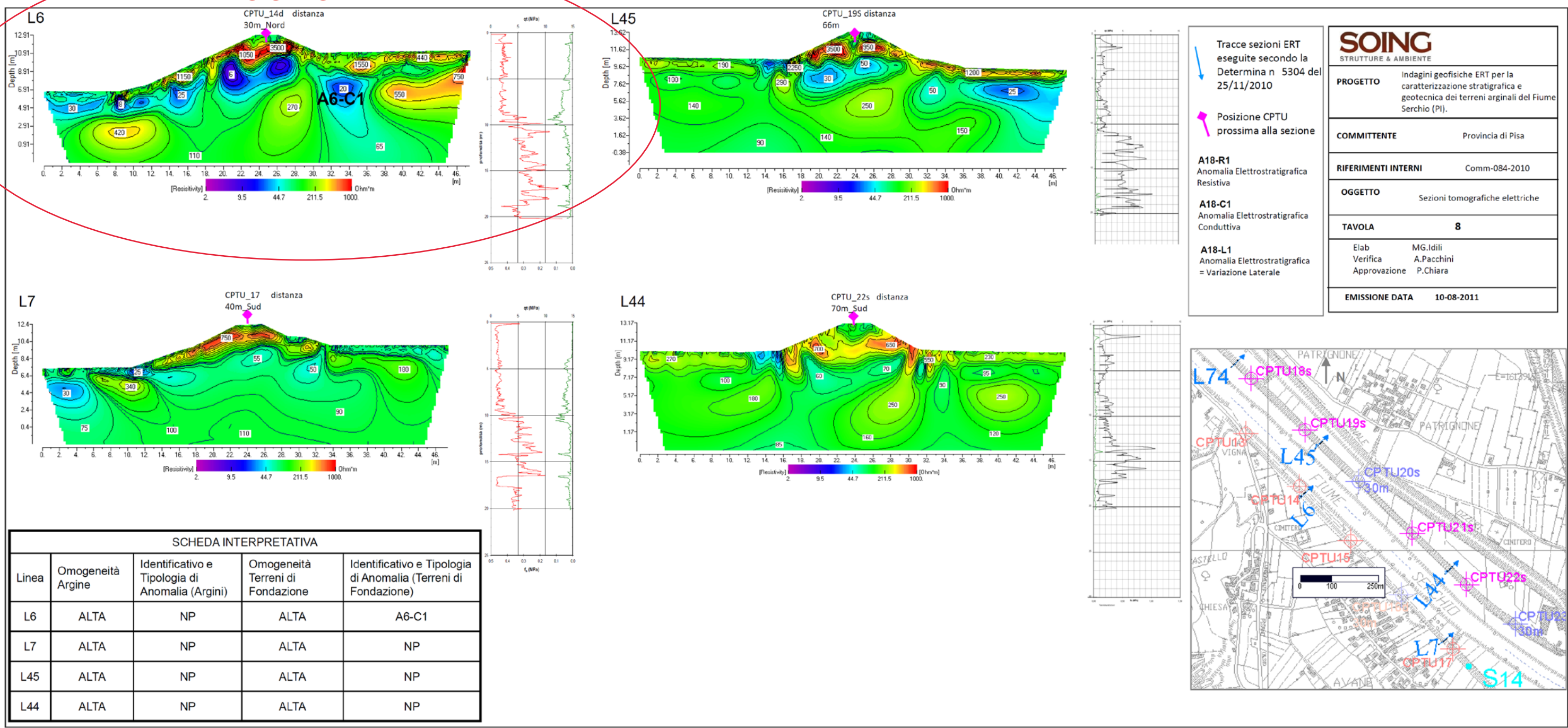
0009







0010

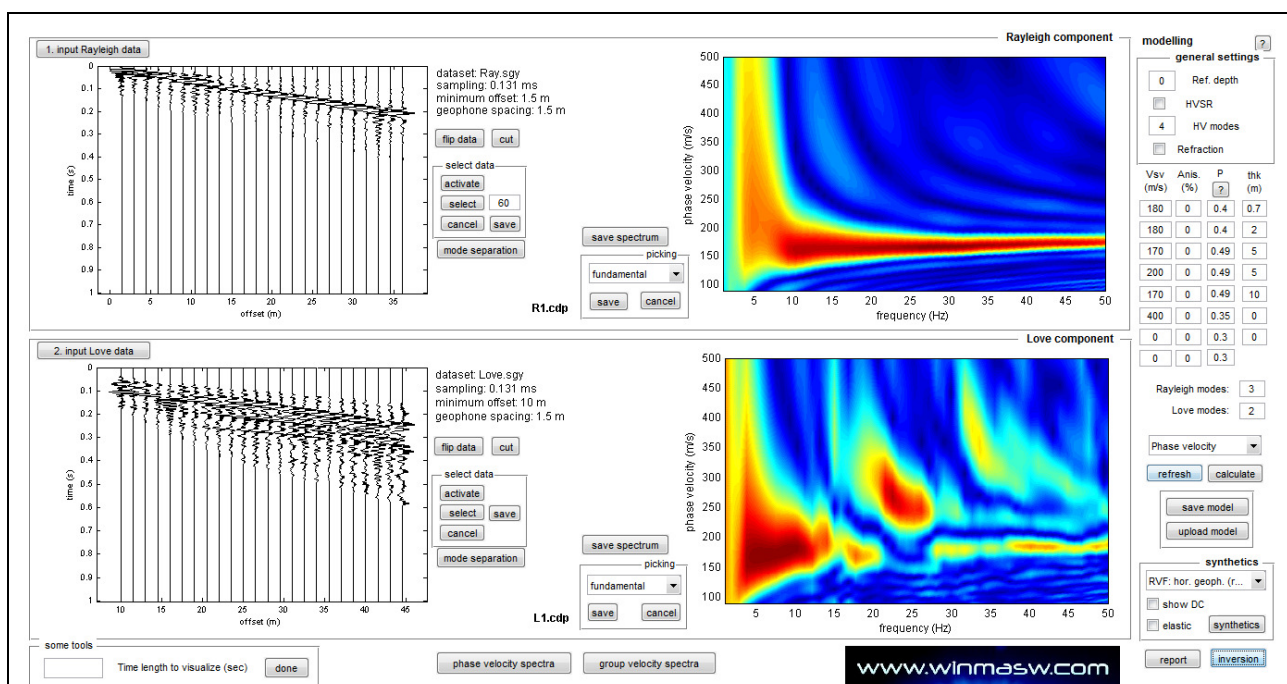




## Elaborazione

I dati MASW (in onde di Rayleigh e Love) sono stati elaborati (determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime) per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ).

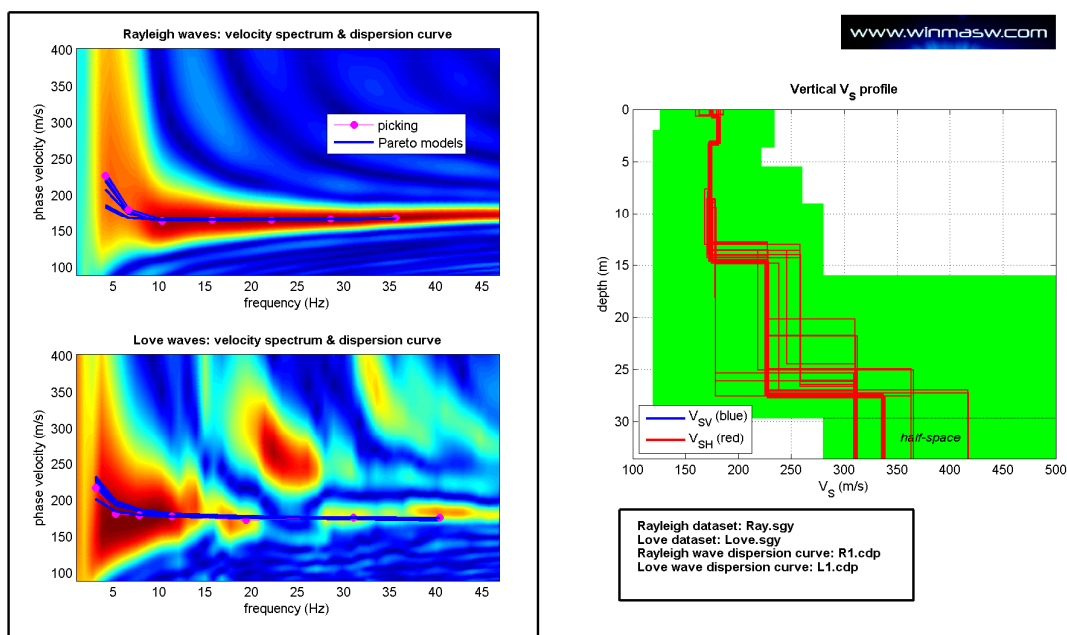
L'inversione congiunta è stata svolta secondo il metodo MOEA (Multi-Objective Evolutionary Algorithms) basato sulla determinazione del fronte di Pareto (Dal Moro & Pipan 2007, Dal Moro 2008; Dal Moro, 2010a; Dal Moro, 2010b).



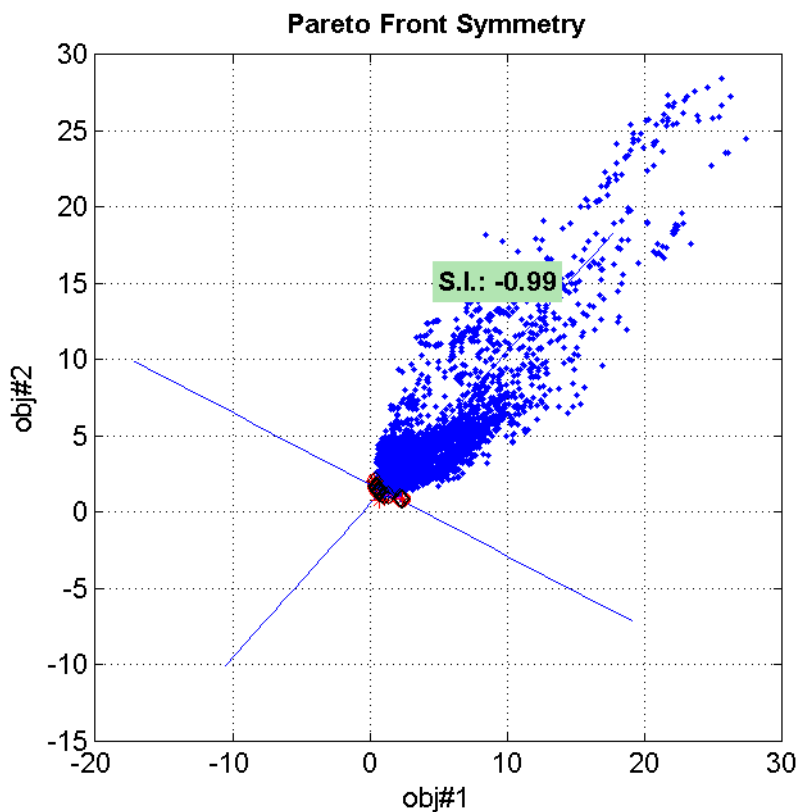
**Fig. 2.** Sulla sinistra i dati di campagna (in alto componente riferita alle onde di Rayleigh, in basso quella riferita alle onde di Love) e, sulla destra, i rispettivi spettri di velocità.



a)



b)

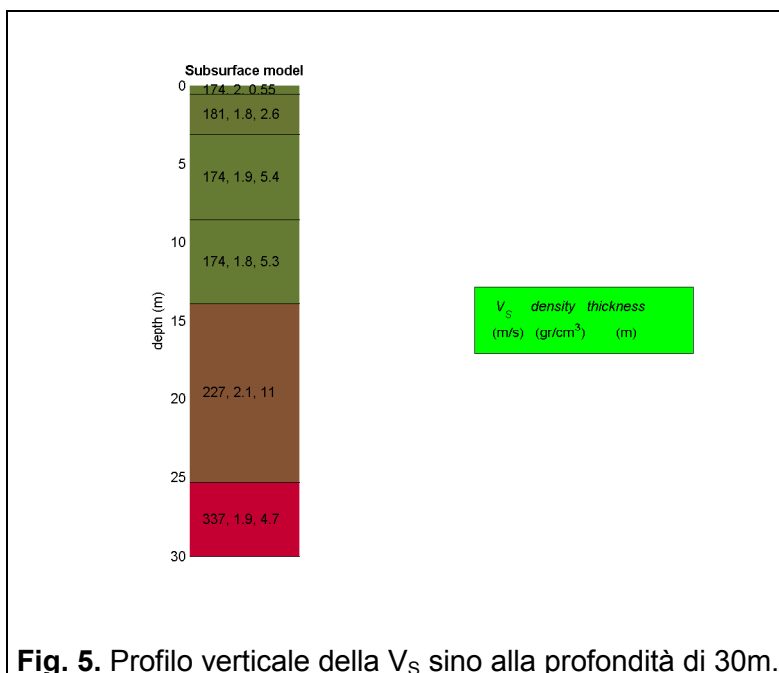
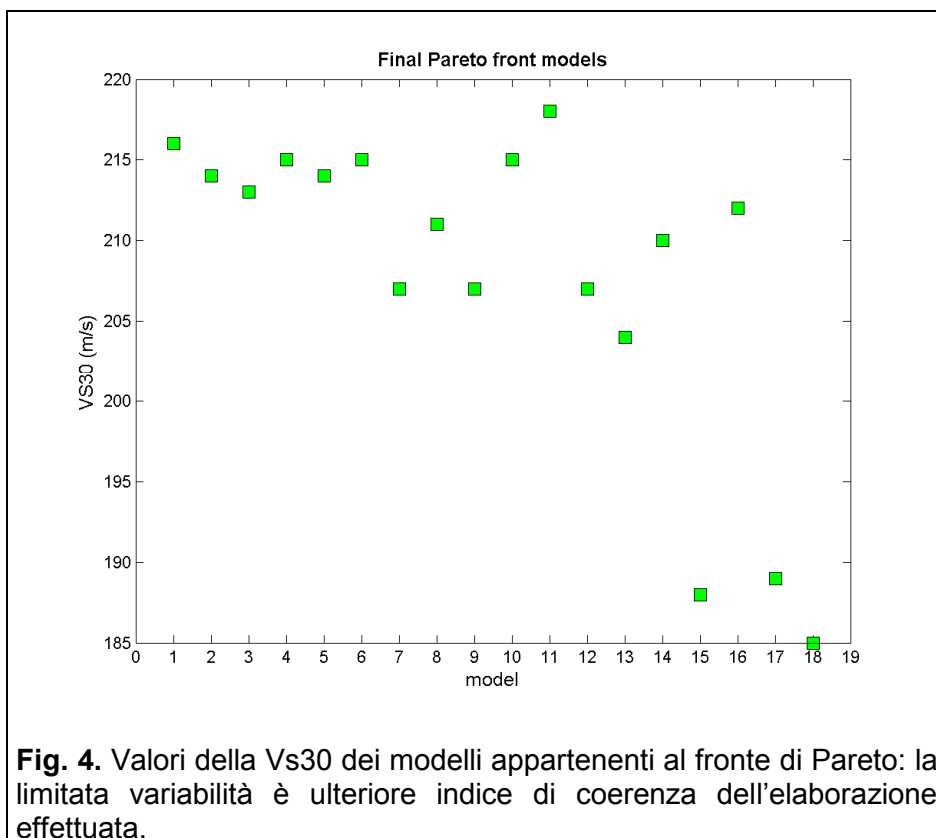


**Fig. 3.** Risultati dell'inversione delle curve di dispersione determinate tramite analisi congiunta Rayleigh & Love dei dati *MASW*: a) a sinistra: spettri osservati, curve di dispersione *piccate* e curve dei modelli individuati. Sulla destra il profilo verticale  $V_s$  identificato (vedi Tabella 1 per il modello medio); b) simmetria del fronte di Pareto ad evidenza della coerenza tra le curve di dispersione di Rayleigh e Love.



Spessore (m)	$V_{Sh}$ (m/s)
0.5	174
2.6	181
5.4	174
5.3	174
11.4	227
Semi-spazio	337

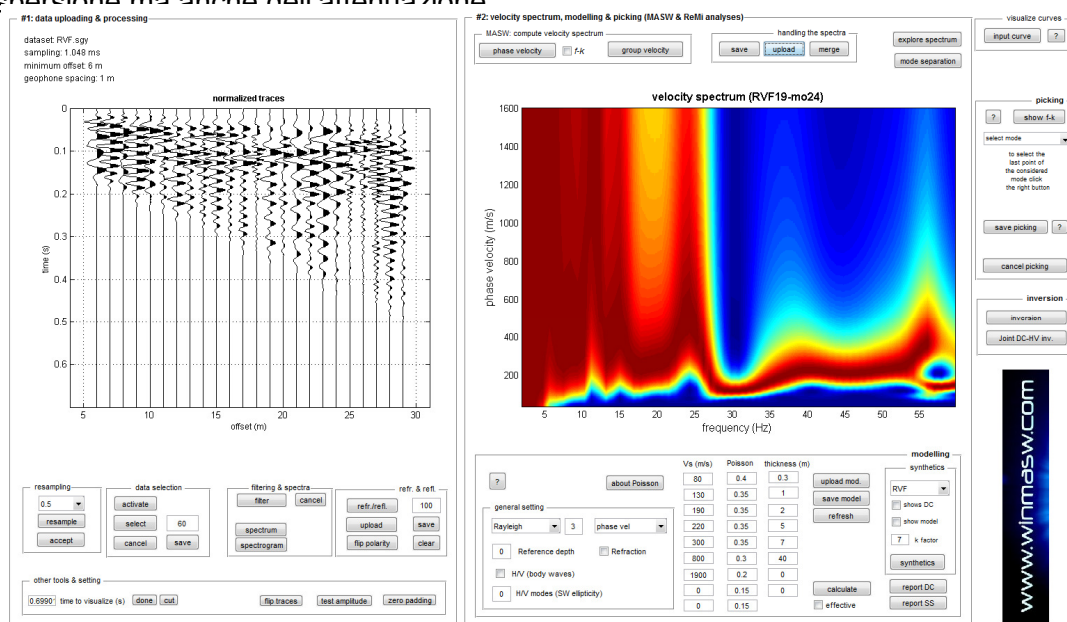
**Tab. 1.** Modello medio del sottosuolo



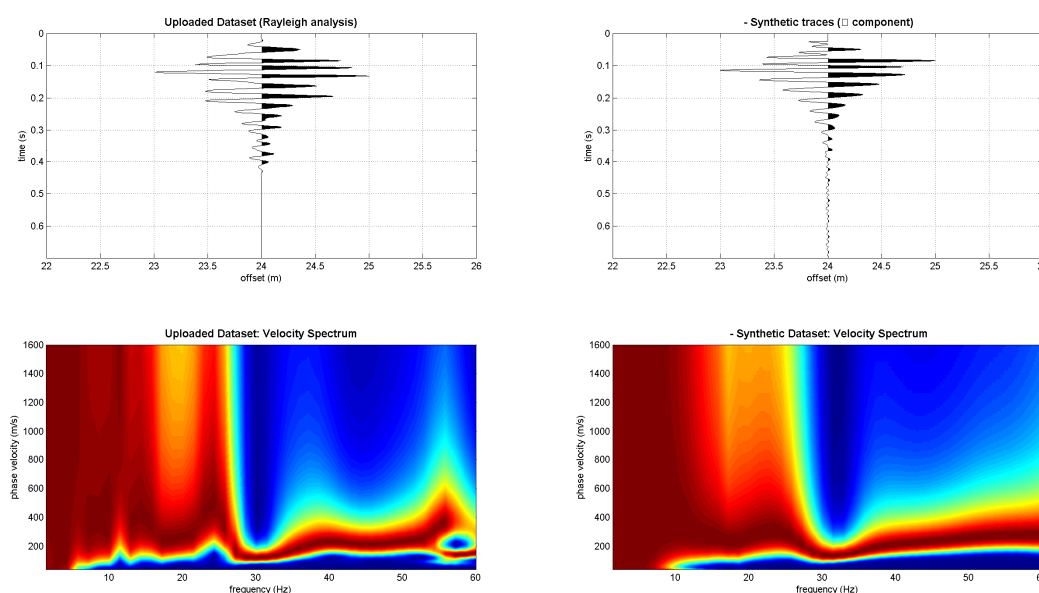


inversion senza che risulti necessario effettuare una stima della signature dell'ondina sismica, in quanto lavorando nel dominio frequenza-velocità di fase, vengono analizzate le proprietà dispersive e non l'esatta forma d'onda (cfr. e.g. O'Neill et al., 2003 e manuale winMASW 4.4.2 Academy – [www.winmasw.com](http://www.winmasw.com)).

Tale approccio, ottimizzando l'intero spettro di velocità, non rende interpretare le curve di dispersione e, inoltre, durante la generazione dei sismogrammi sintetici si tiene conto non solo della dispersione ma anche dell'attenuazione

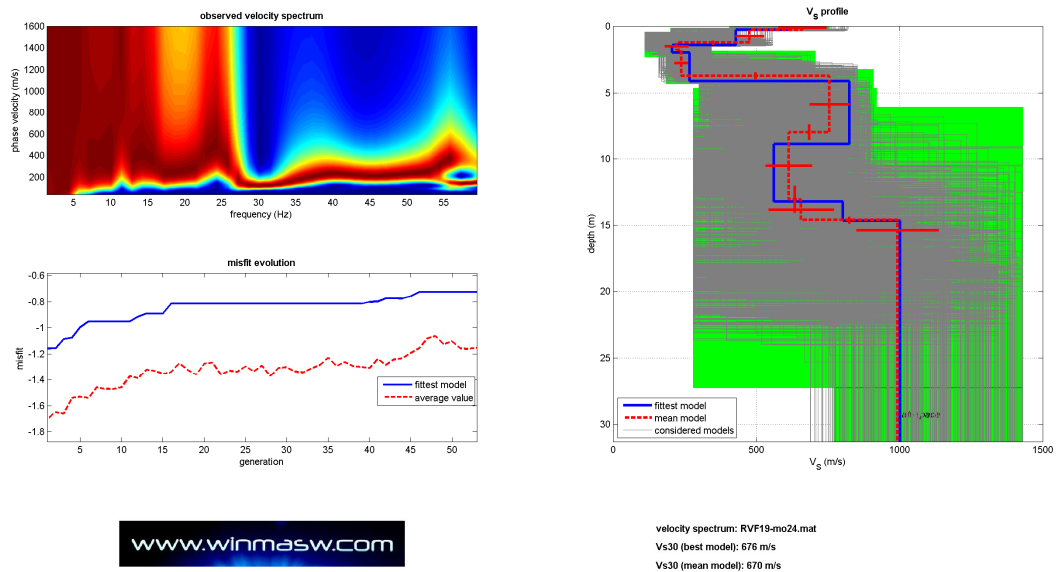


**Fig. 2.** Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità calcolato



**Fig. 3 -** Sulla sinistra i dati di campagna (Rayleigh, componente radiale), sulla destra i dati relativi al modello sintetico identificato.



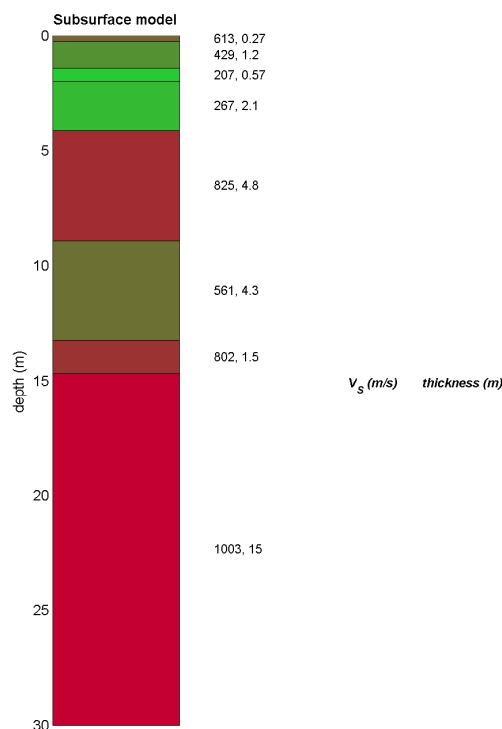


**Fig. 4.** Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati *MASW*. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale  $V_s$  identificato (vedi anche Tabella 1) (modello “migliore” e medio sono tipicamente analoghi). In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle “generazioni” (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli *Algoritmi Genetici* – Dal Moro et al., 2007).

Spessore (m)	$V_s$ (m/s)
0.3	613
1.2	429
0.6	207
3.1	267
4.8	825
4.3	561
1.5	802
<i>Semi-spazio</i>	1003

**Tab. 1.** Modello medio del sottosuolo  
( $V_{s30}$  riferita al piano campagna: 634 m/s)





## Conclusioni

L'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh a partire da dati di sismica attiva (MASW) ha consentito di determinare il profilo verticale della  $V_s$  e, di conseguenza, del parametro Vs30, risultato pari a 634 m/s (considerando come riferimento il piano campagna).

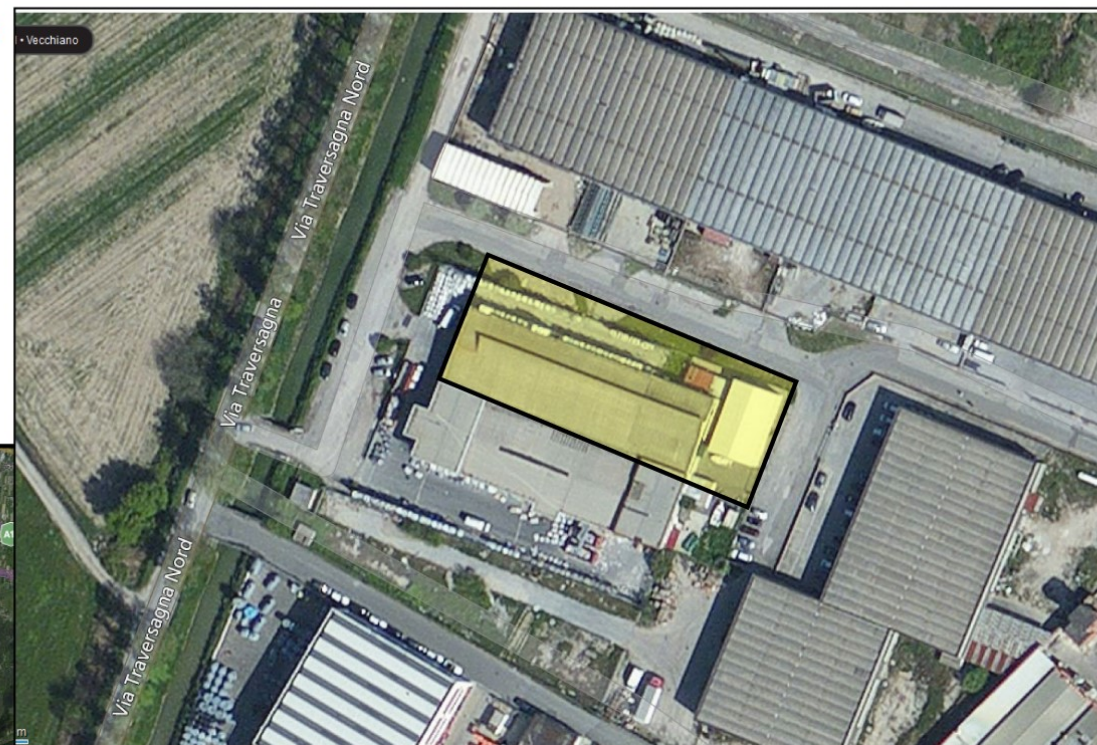
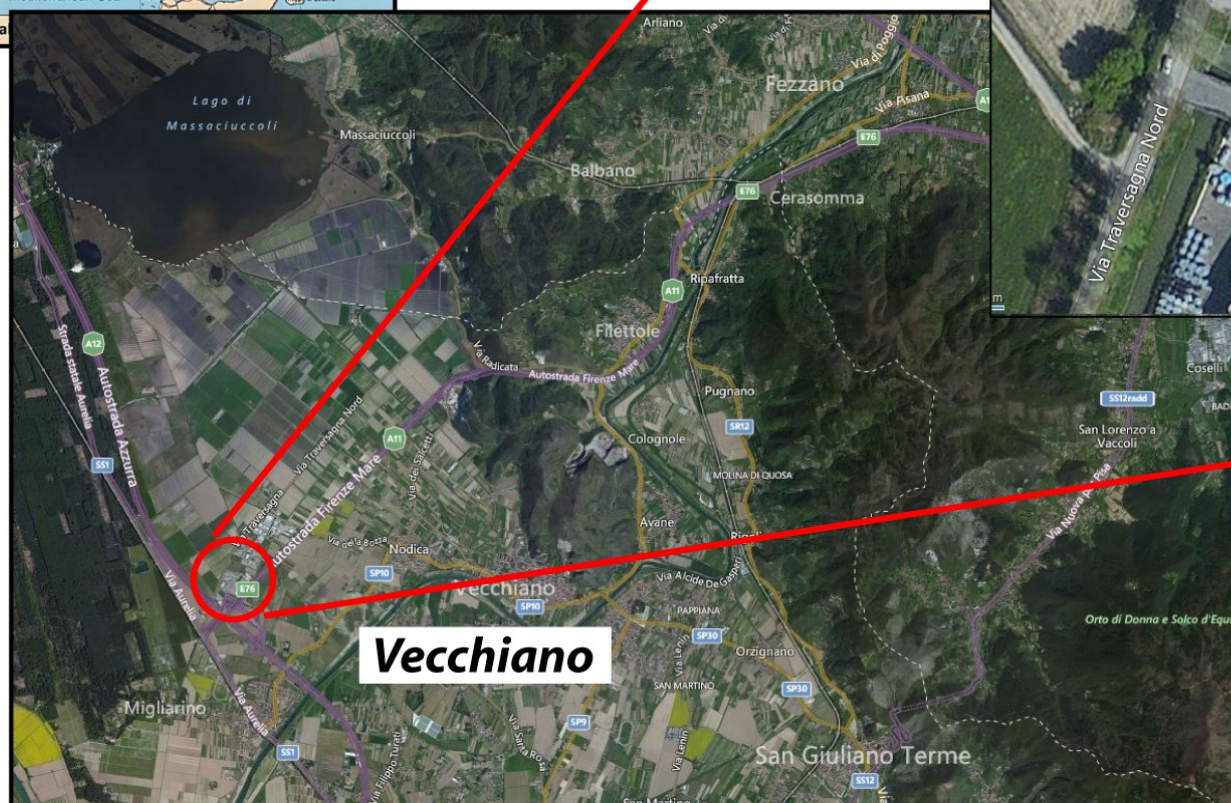
Sarà cura del professionista geologo incaricato, anche sulla base delle conoscenze geologico-stratigrafiche dell'area, agli esiti delle prove geognostiche eseguite, classificare il terreno di fondazione dell'opera in oggetto secondo quanto previsto dalla vigente normativa in materia.


## Riferimenti

- Dal Moro G., 2010a, Joint Analysis of Rayleigh- and Love-Wave Dispersion Curves for Near-Surface Studies: Issues, Criteria and Improvements, pronto per l'invio alla rivista *Pure and Applied Geophysics*
- Dal Moro G., 2010b, Insights on Surface-Wave Dispersion Curves and HVSr: Joint Analysis via Pareto Optimality, *J. Appl. Geophysics* (DOI information: 10.1016/j.jappgeo.2010.08.004)
- Dal Moro G., 2008, VS and VP Vertical Profiling via Joint Inversion of Rayleigh Waves and Refraction Travel Times by means of Bi-Objective Evolutionary Algorithm, *J. Appl. Geophysics*, 66, 15-24
- Dal Moro G. & Pipan M., 2007, Joint Inversion of Surface Wave Dispersion Curves and Reflection Travel Times via Multi-Objective Evolutionary Algorithms, *J. Appl. Geophysics*, 61, 56-81
- Park C. B., Miller R. D., & Xia J., 1999, *Multichannel analysis of surface waves*, *Geophysics*, 64, 3; 800-808
- Herrmann R.B. 2003, Computer Programs in Seismology. Open files (<http://www.eas.slu.edu/People/RBHerrmann/CPS330.html>)
- O'Neill A., Dentith M., List R., 2003, Full-waveform P-SV reflectivity inversion of surface waves for shallow engineering applications, *Exploration Geophysics*, 34, 158-173



0013



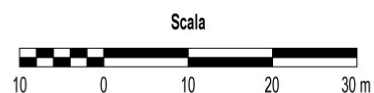
	Tavola 1
	Ubicazione sito di indagine
	Via Traversagna Nord, ZI Migliarino Pisano Comune di Vecchiano (PI)
	Prepared for Dott. Geol. Roberto Balatri





#### LEGENDA

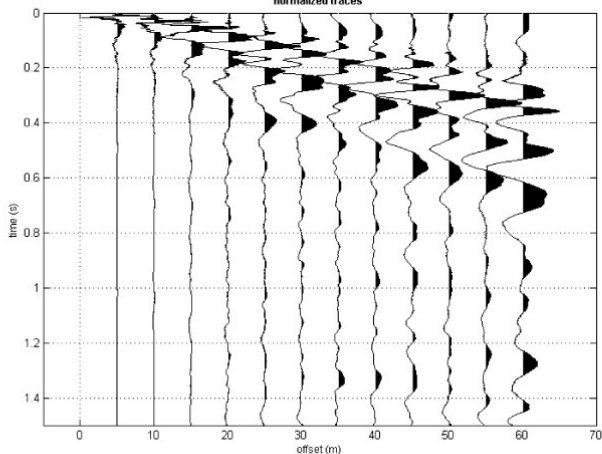
- Geofoni linea 1
- punti di scoppio
- HVSR
- DPSH



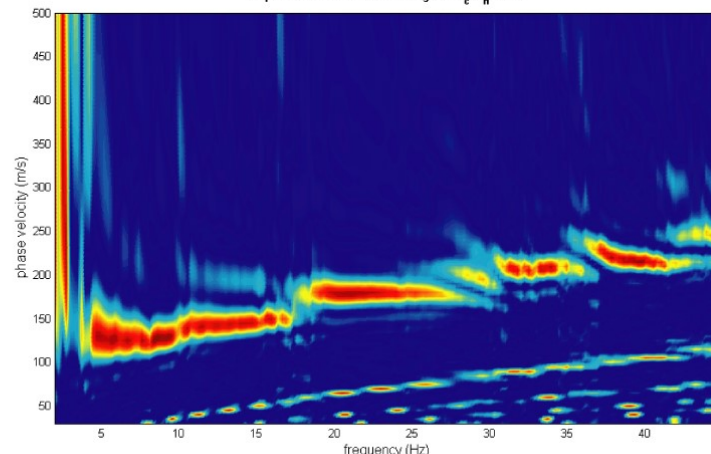


Common shot gather (ZVF)

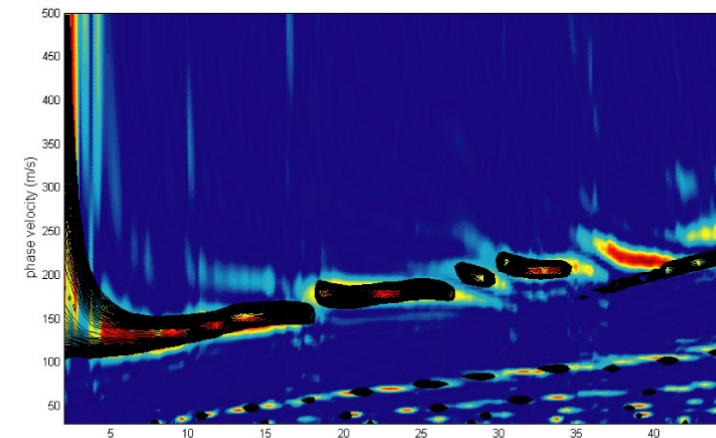
normalized traces



Spettro di velocità



Spettro sintetico v di fase (mo 5.0m)



## MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO

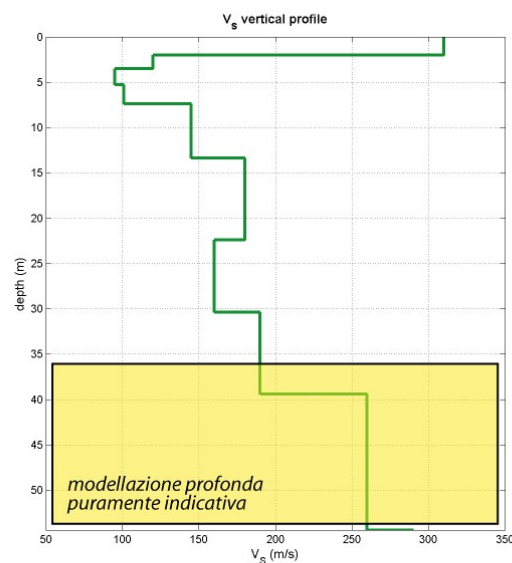
Strumentazione: **DAQ Link III**  
Geofoni: **12 vert. 4.5hz (Rayleigh)**  
Passo: **5.00 m**  
Lunghezza: **55 m**  
Shot: **2.50; 5.00; 7.50 m**

Campionamento  
frequenza: **250  $\mu$ s**  
durata: **1000 ms**  
Software  
acquisizione: **VScope 3.49**  
elaborazione: **VinMASW 7.0 Acd**

## SUBSURFACE MODEL

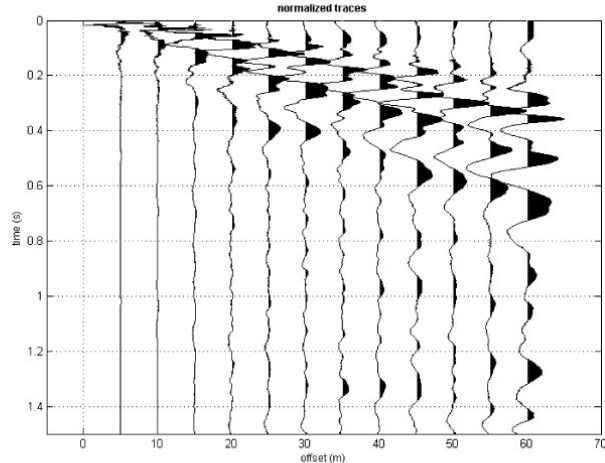
$V_s$  (m/s): 310, 120, 95, 101, 145, 180, 160, 190, 260  
Thickness (m): 2.0, 1.5, 1.8, 2.1, 6.0, 9.0, 8.0, 9.0  
Density (gr/cm<sup>3</sup>): 1.95 1.93 1.96 1.97 1.98 1.93 1.90 1.94 1.94  
Shear modulus (MPa): 187 28 18 20 42 62 49 70 131

**$V_{s30}$  (m/s): 152**

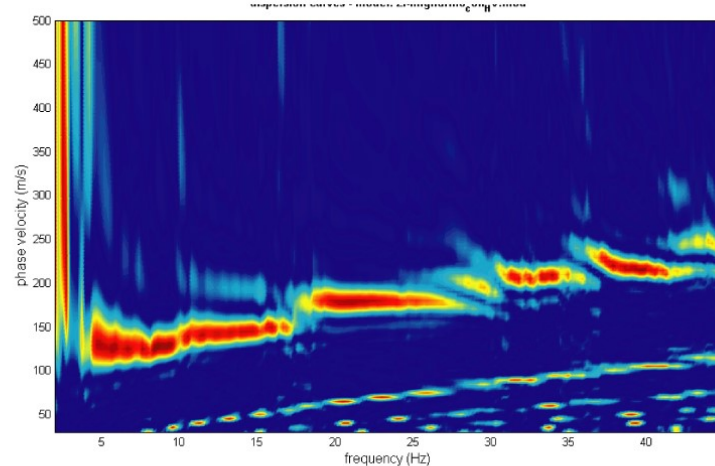




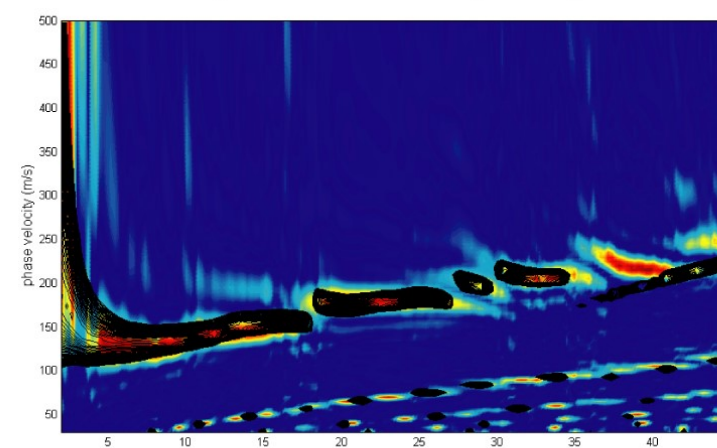
Common shot gather (ZVF)



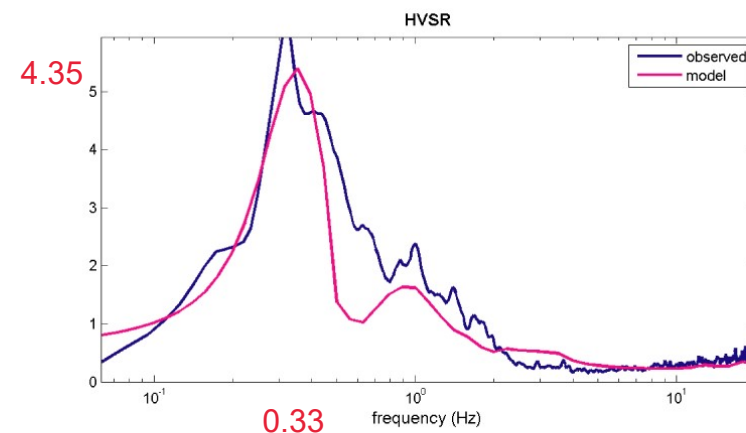
Spettro di velocità



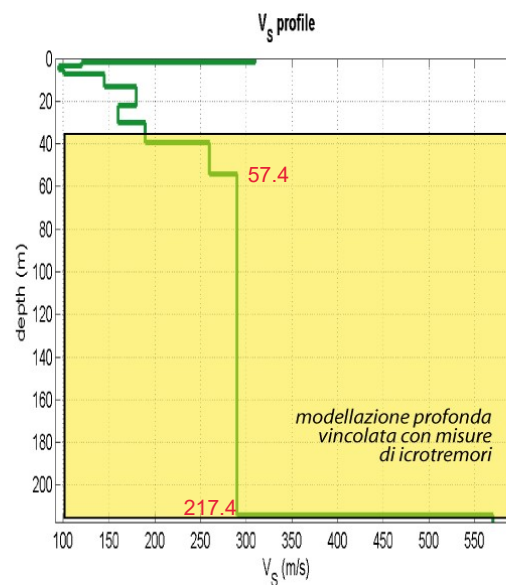
Spettro sintetico v di fase (mo 5.0m)



Curva HV osservata e sintetica



MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO



Strumentazione: **DAQ Link III**  
Geofoni: **12 vert. 4.5hz (Rayleigh)**  
Passo: **5.00 m**  
Lunghezza: **55 m**  
Shot: **2.50; 5.00; 7.50 m**

Campionamento  
frequenza: **250  $\mu$ s**  
durata: **1000 ms**  
Software  
acquisizione: **VScope 3.49**  
elaborazione: **VinMASW 7.0 Acd**

SUBSURFACE MODEL

Vs (m/s): 310, 120, 95, 101, 145, 180, 160, 190, 260, 290, 570  
Thickness (m): 2.0, 1.5, 1.8, 2.1, 6.0, 9.0, 8.0, 9.0, 15.0, 160.0  
Density (gr/cm3): 1.95 1.93 1.96 1.97 1.98 1.93 1.90 1.94 1.94 2.04 2.21  
Shear modulus (MPa): 187 28 18 20 42 62 49 70 131 172 718

**Vs30 (m/s): 152**

Tavola 4

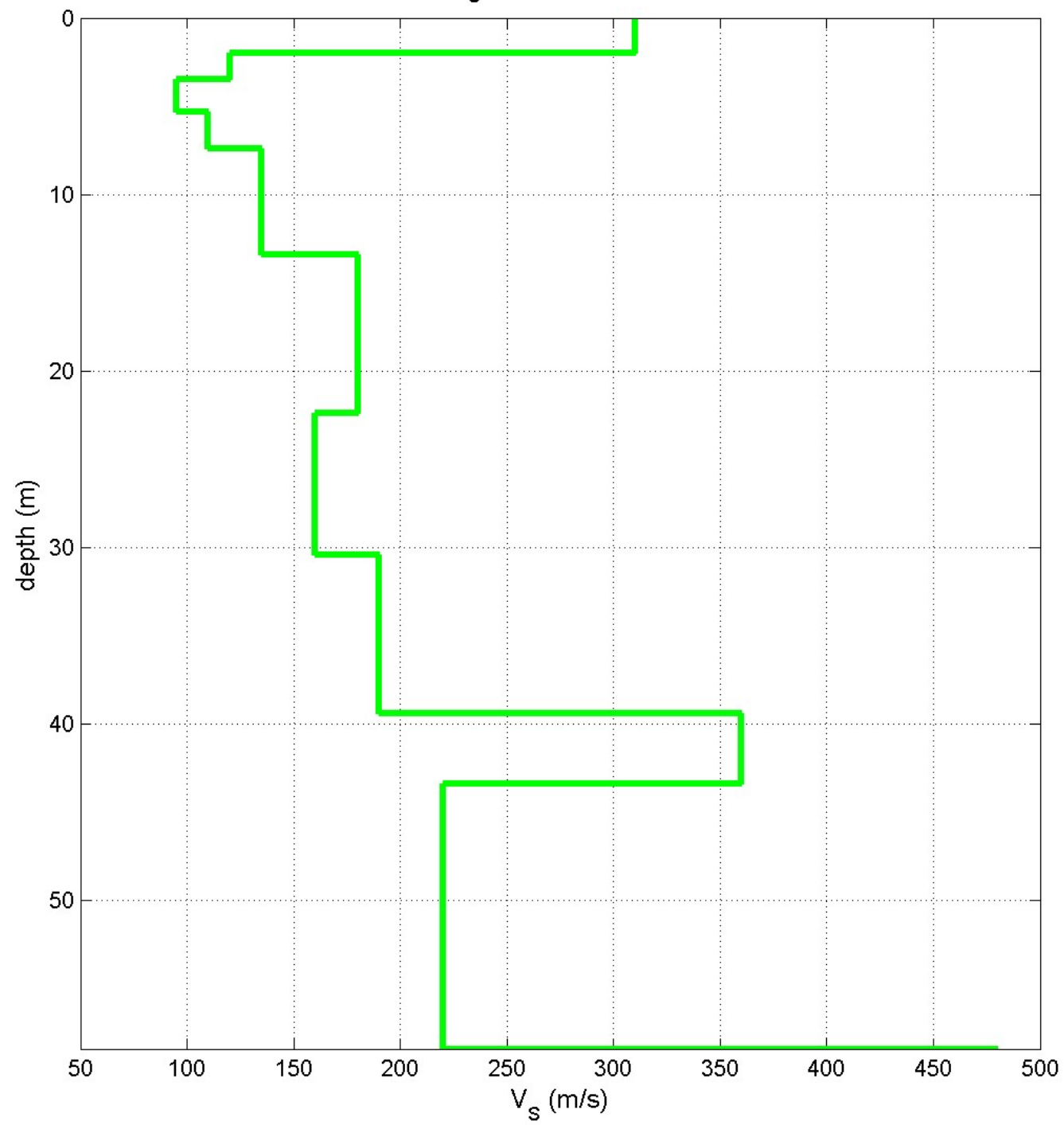
Line 1 - dispersione Rayleigh + curva HV

Via Traversagna Nord, ZI Migliarino Pisano  
Comune di Vecchiano (PI)

Prepared for Dott. Geol. Roberto Balatri

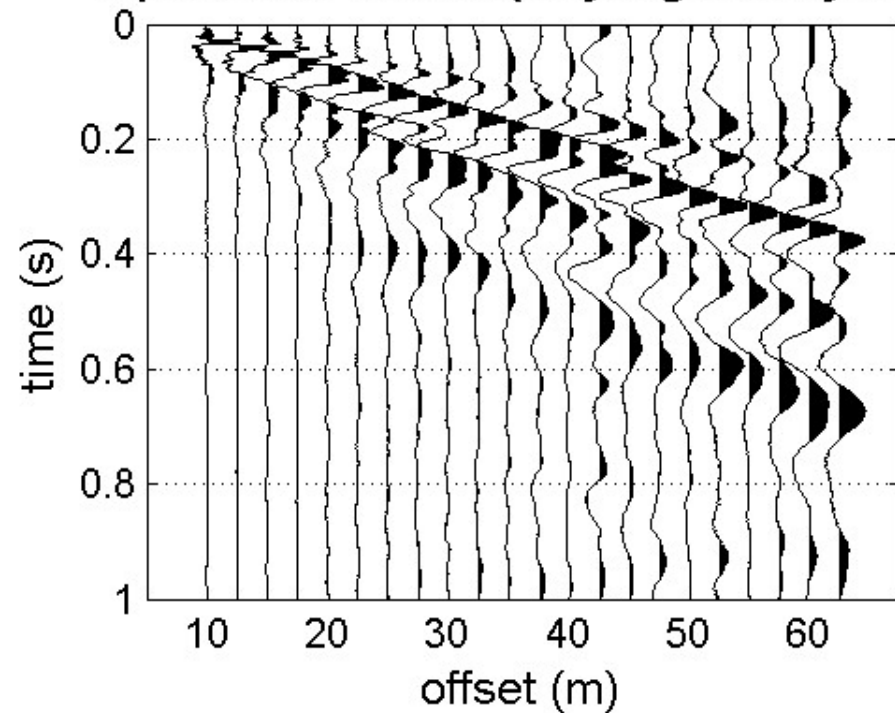


$V_s$  vertical profile

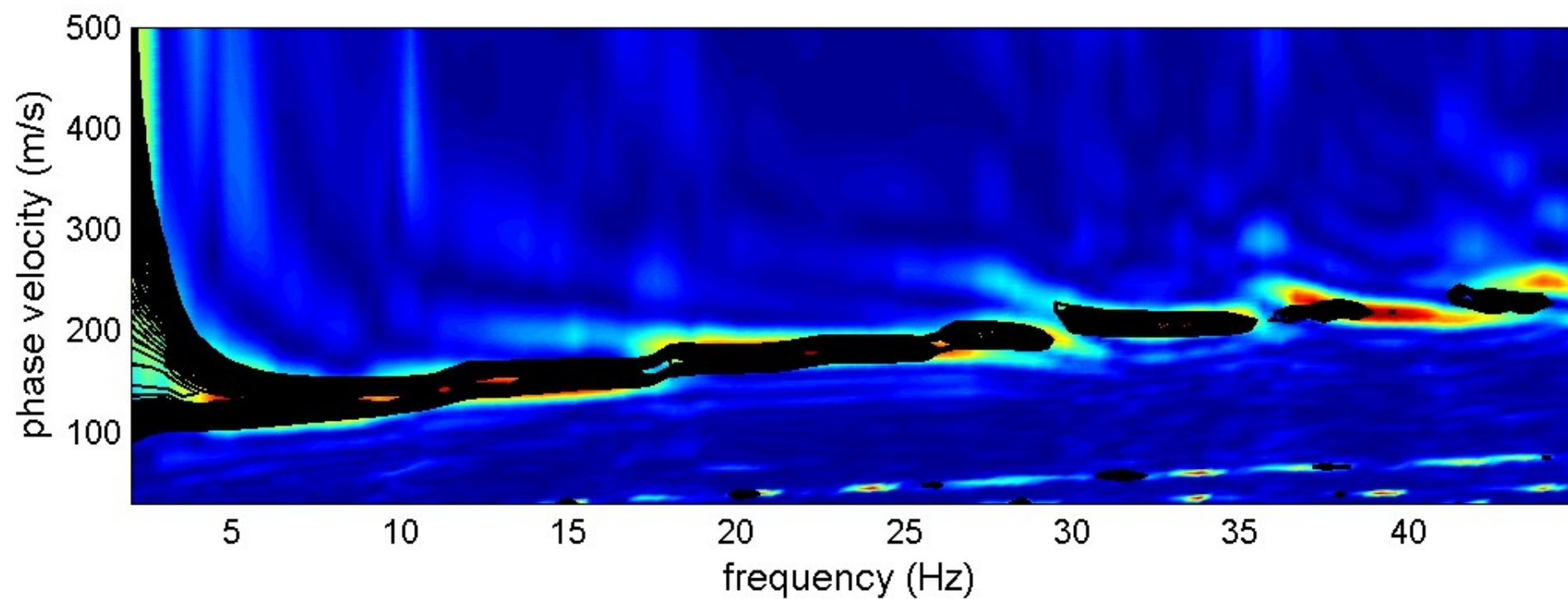
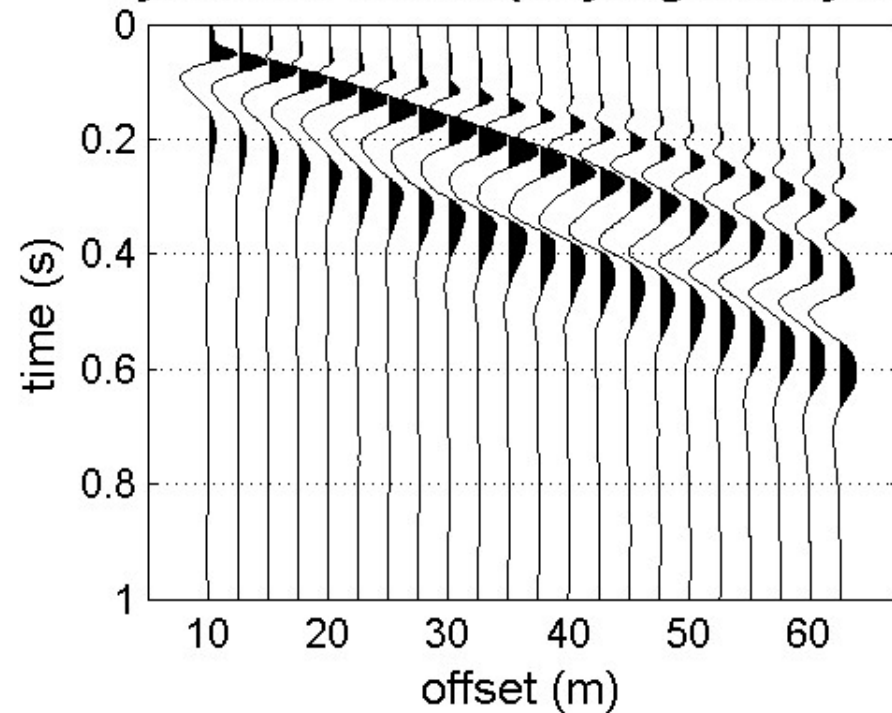




Uploaded Dataset (Rayleigh analyses)



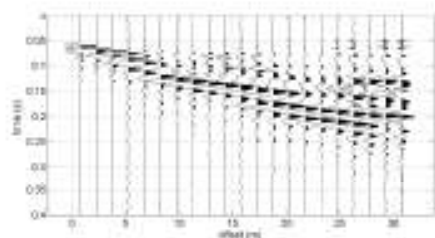
Synthetic Dataset (Rayleigh analyses)



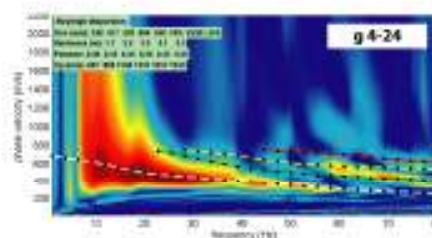


0014

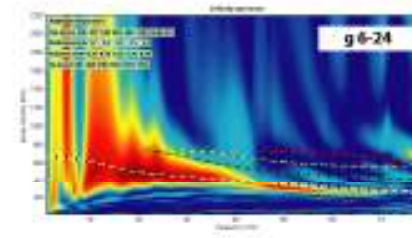
SEISMIC TRACES



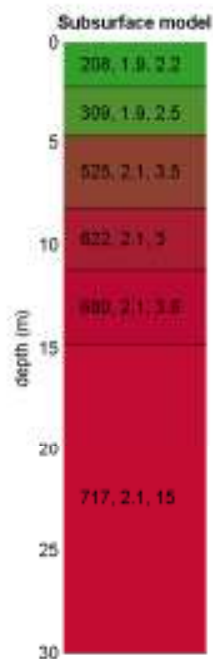
RAYLEIGH VELOCITY SPECTRUM



RAYLEIGH VELOCITY SPECTRUM



--- modo fondamentale  
 --- 1 superiore  
 --- 2 superiore  
 --- 3 superiore  
 --- 4 superiore



SEISMIC LINE


Seismic line: 12 channel  
 Geophones distance (x): 1.5 m  
 Minimum offset (mo): 5.0 m; 0.75 m  
 Geophones: vertical 10 Hz (Rayleigh Waves, vertical-component);  
 Seismic energy source: 8 kg sledge-hammer for Rayleigh Waves.

MEAN MODEL

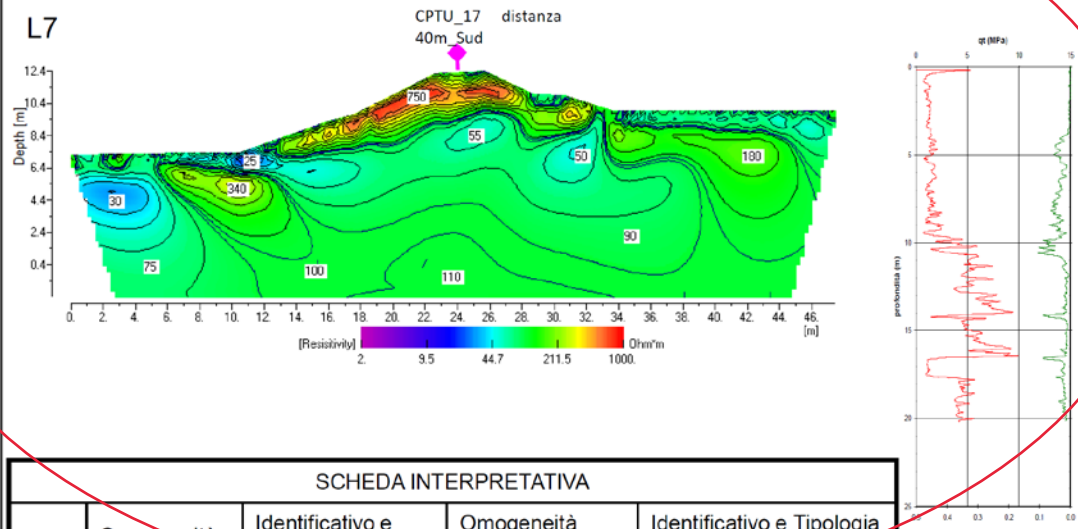
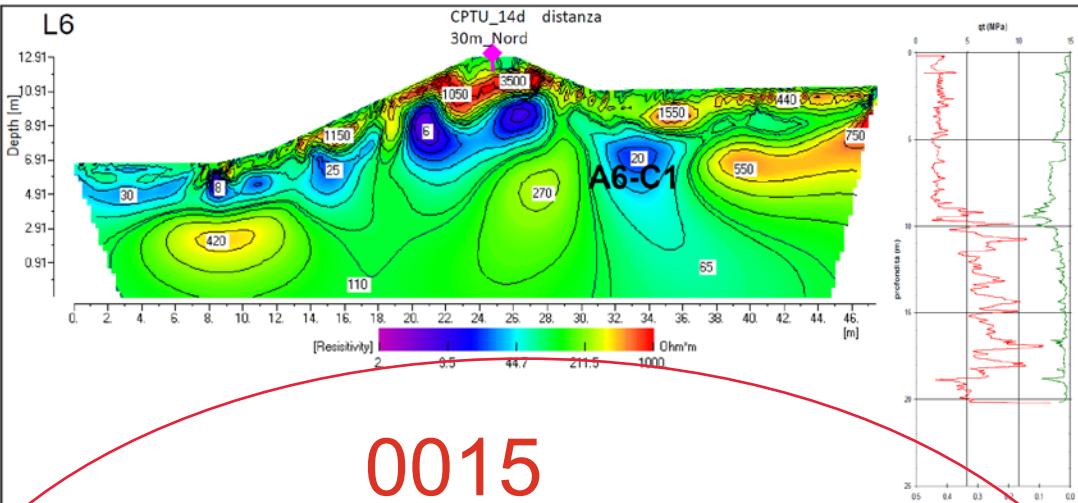
Vs (m/s): 248 417 530 604 508 748  
 Thickness (m): 1.7, 2.5, 3.3, 3.1, 3.3  
 Density (gr/cm3) (approximate values): 1.93 2.02 2.08 2.11 2.07 2.13  
 Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 119 351 584 770 534 1190  
 Vs30 (m/s): 574

SEISMIC LINE LOCATION

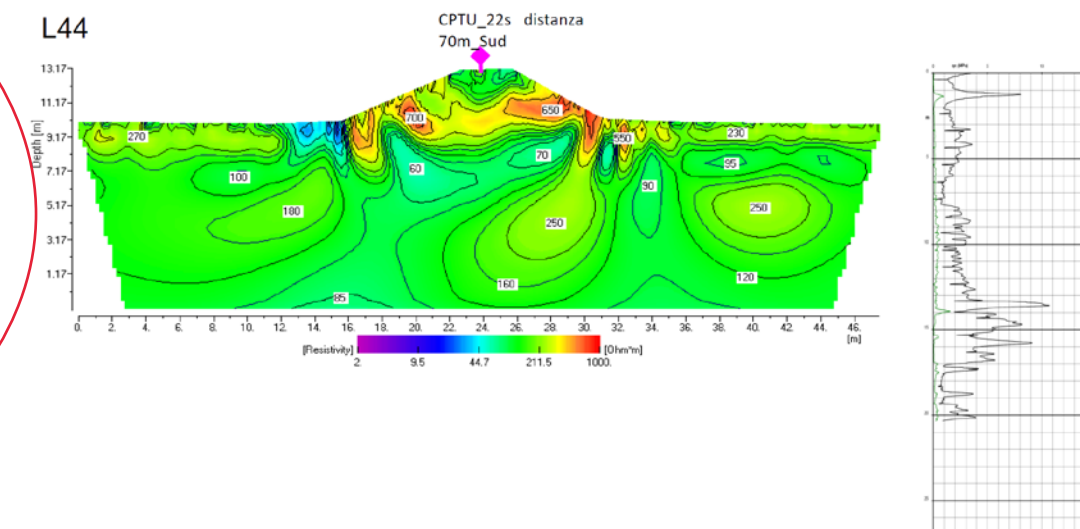
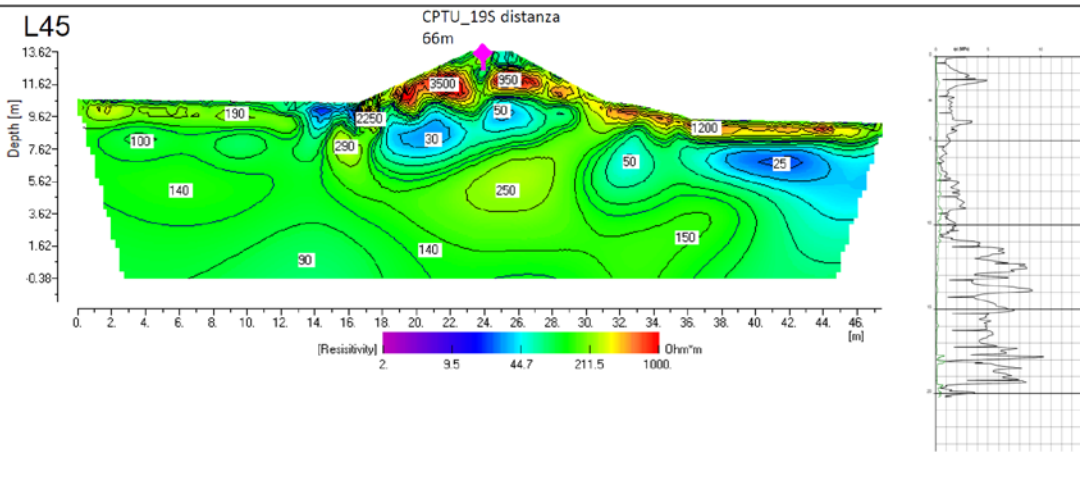


	MASW Via dei Sodi
	Analysis of Rayleigh Wave Dispersion
	Abitazione privata Signa G. Del Maestro Loc. Flettelle (PI)
	Prepared for Dott. Geol. Roberto Balatni





SCHEDA INTERPRETATIVA				
Linea	Omogeneità Argine	Identificativo e Tipologia di Anomalia (Argini)	Omogeneità Terreni di Fondazione	Identificativo e Tipologia di Anomalia (Terreni di Fondazione)
L6	ALTA	NP	ALTA	A6-C1
L7	ALTA	NP	ALTA	NP
L45	ALTA	NP	ALTA	NP
L44	ALTA	NP	ALTA	NP



Tracce sezioni ERT eseguite secondo la Determina n. 5304 del 25/11/2010

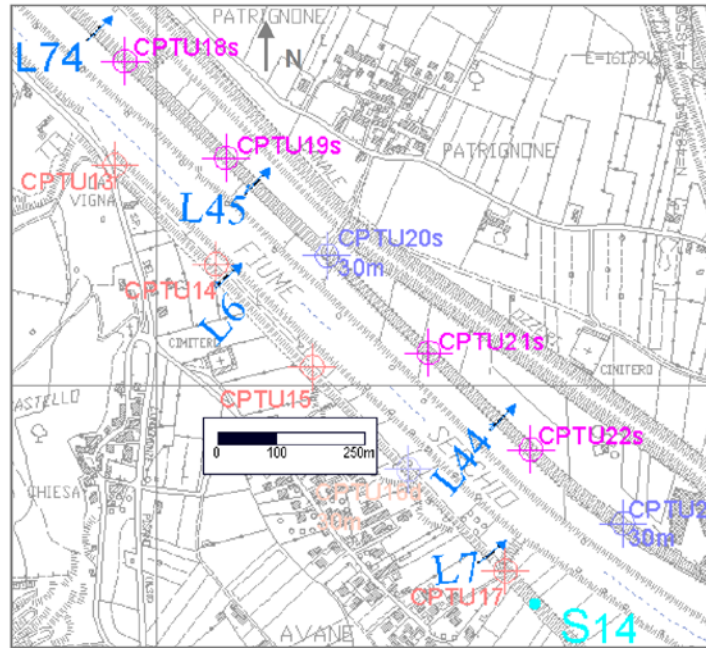
Posizione CPTU prossima alla sezione

**A18-R1**  
Anomalia Elettrostratigrafica Resistiva

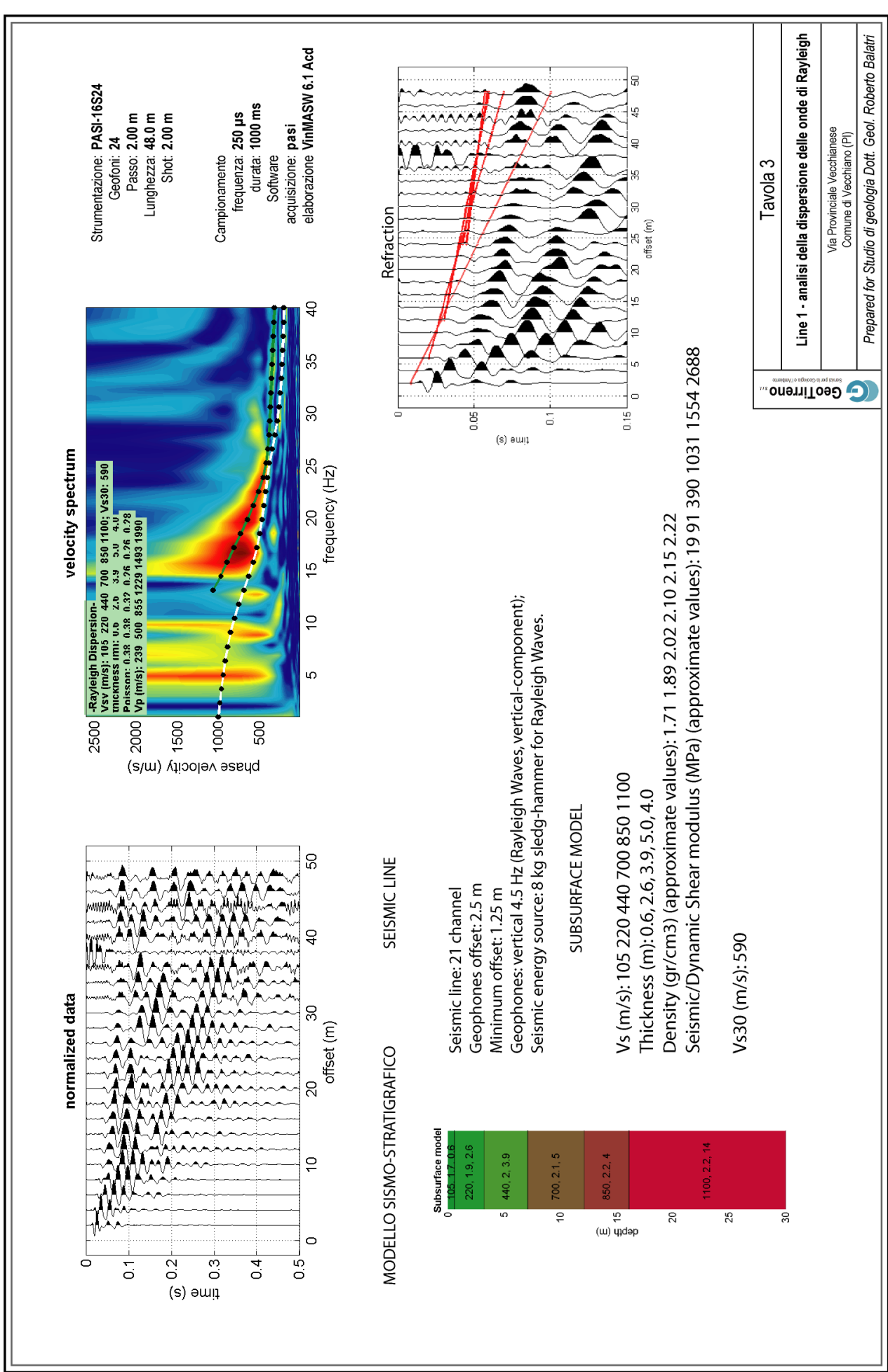
**A18-C1**  
Anomalia Elettrostratigrafica Conduttiva

**A18-L1**  
Anomalia Elettrostratigrafica = Variazione Laterale

SOING STRUTTURE & AMBIENTE	
PROGETTO	Indagini geofisiche ERT per la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni arginali del Fiume Serchio (PI).
COMMITTENTE	Provincia di Pisa
RIFERIMENTI INTERNI	Comm-084-2010
OGGETTO	Sezioni tomografiche elettriche
TAVOLA	8
Elab	MG.Idili
Verifica	A.Pacchini
Approvazione	P.Chiera
EMISSIONE DATA	10-08-2011

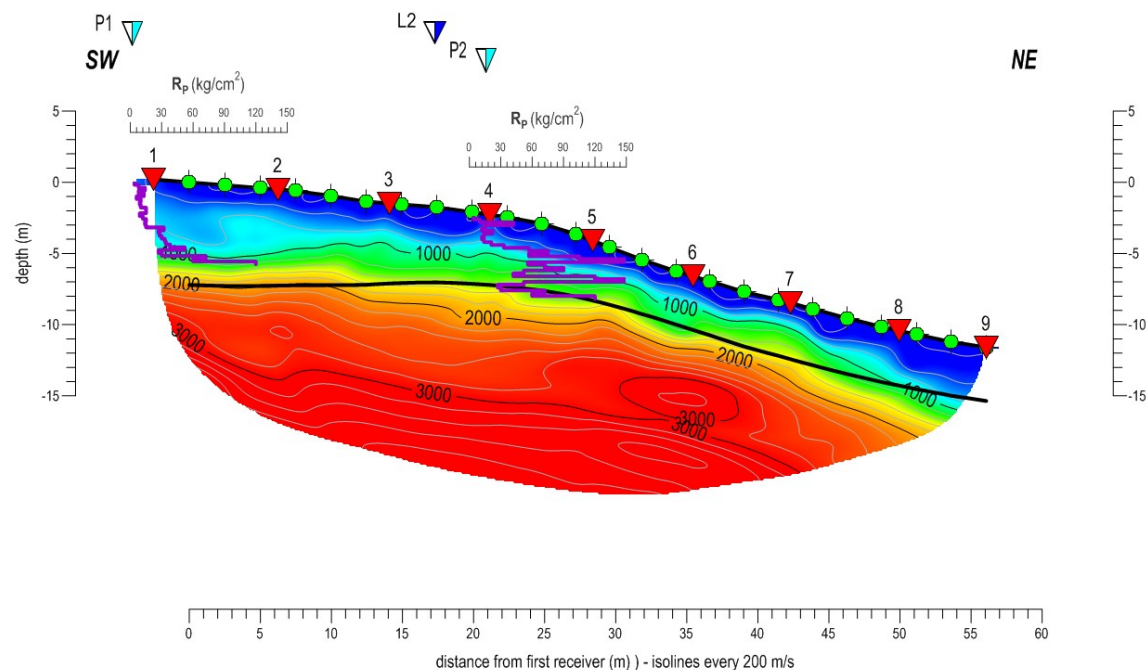








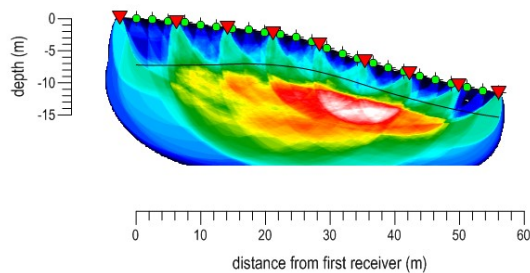
0017



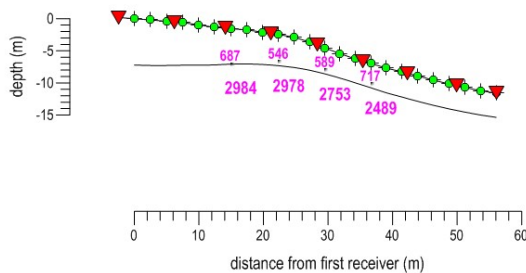
Seismic lines position



Seismic raypath coverage



Classic refractor



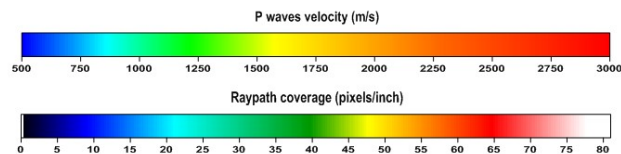
Order informations

Customer: **Sigg. Doufour**  
Requested from: Dott. Geol. Roberto Balatri  
Order num: -  
Job reference: C073-16 Balatri\_Castellaccio  
  
Data acquisition: 26 August 2016 \_ Dott. Luigi Allacorta  
Data processing: 29 August 2016 \_ Dott. Luigi Allacorta  
Graphic table redaction: 04 August 2016 \_ Dott. Luigi Allacorta

Technical features

**P\_waves**  
seismograph: Seismic Source DAQLink III  
channels: 24  
geophones: vertical, 4.5Hz  
geophones distance: x = 2.5 m  
shots position: 9, 7.5 m spaced  
acquisition software: -  
processing software: Rayfract, vers. 3.33

Chromatic scales

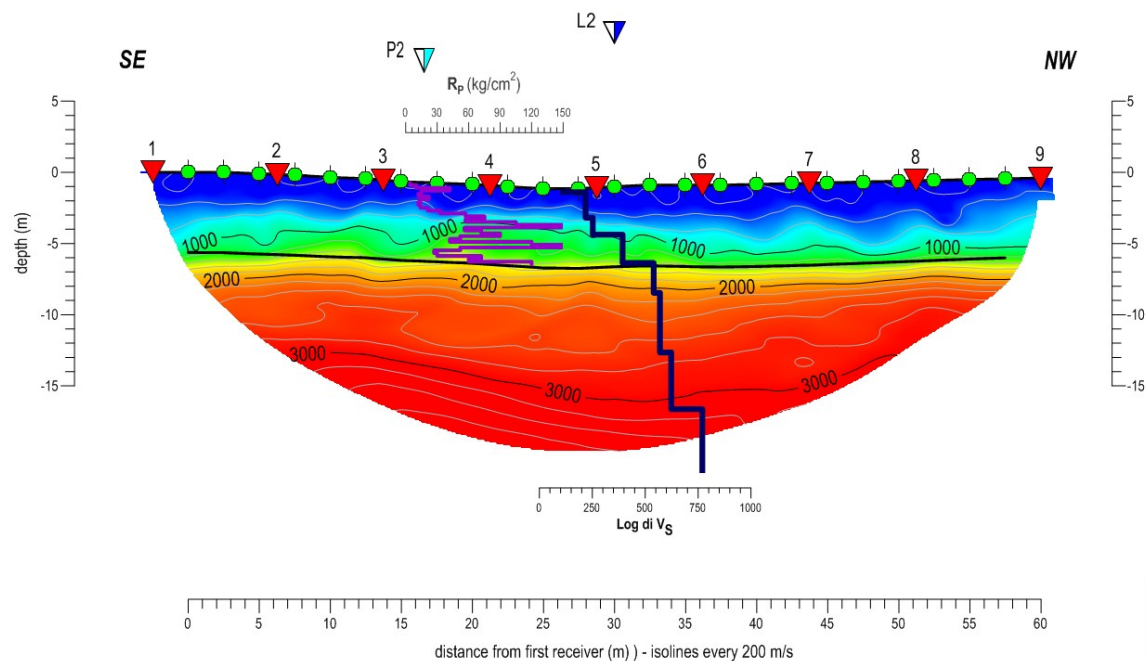


Legend

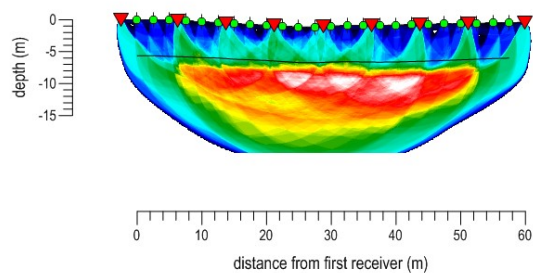
- Geophones
- Shots position
- refractor with classic methods (wavefront or CMP int. traveltimes met.)
- Vs log from masw analysis
- $R_p$  log from CPT test
- Other seismic line
- Penetrometric test (DPS)
- Other



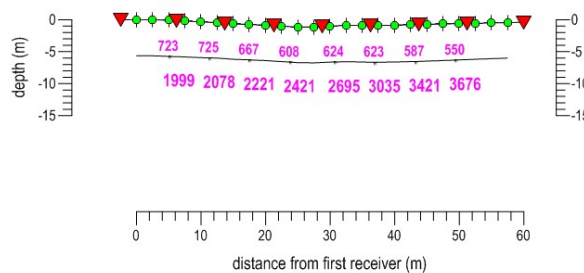
0018



Seismic raypath coverage



Classic refractor



Seismic lines position



#### Order informations

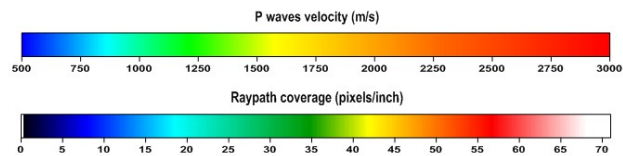
Customer: Sigg. Doufour  
Requested from: Dott. Geol. Roberto Balatri  
Order num: -  
Job reference: C073-16 Balatri\_Castellaccio

Data acquisition: 26 August 2016 - Dott. Luigi Allacorta  
Data processing: 29 August 2016 - Dott. Luigi Allacorta  
Graphic table redaction: 04 August 2016 - Dott. Luigi Allacorta

#### Technical features

**P\_waves**  
seismograph: Seismic Source DAQLink III  
channels: 24  
geophones: vertical, 4.5Hz  
geophones distance: x = 2.5 m  
shots position: 9, 7.5 m spaced  
acquisition software: -  
processing software: Rayfract, vers. 3.33

#### Chromatic scales

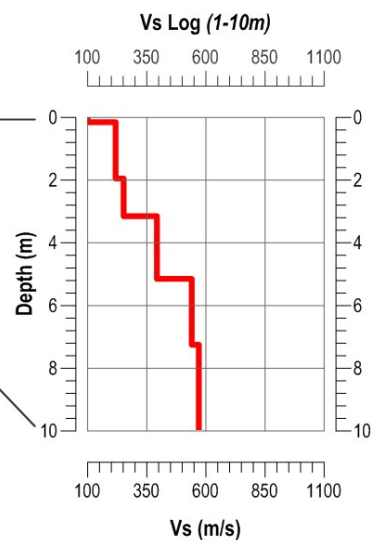
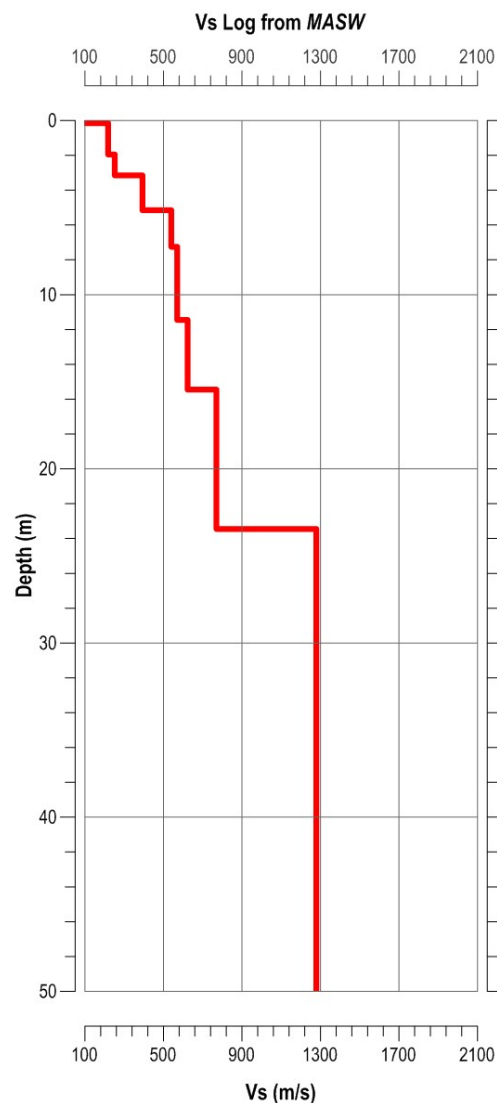


#### Legend

- Geophones
- Shots position
- refractor with classic methods (wavefront or CMP int. traveltimes met.)
- Vs log from masw analysis
- $R_p$  log from CPT test
- Other seismic line
- Penetrometric test (DPS)
- Other



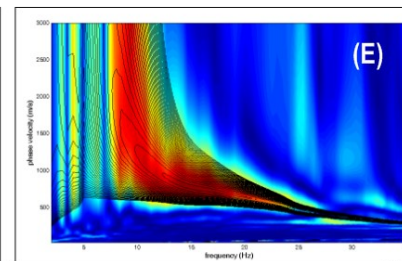
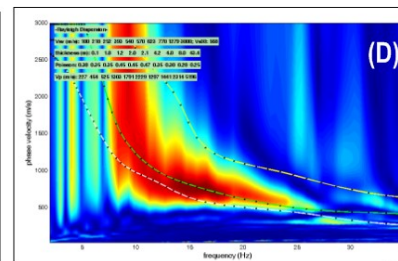
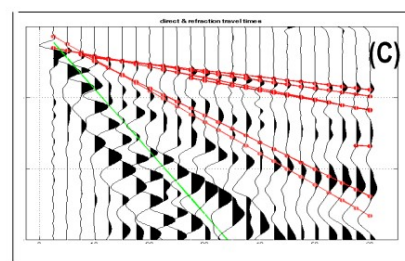
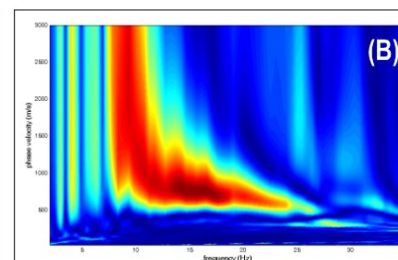
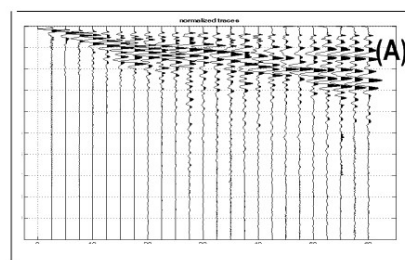
0019



Vs seismic model					
	h (m)	top	bottom	Vs	Qs
1	0.15	0.00	0.15	100.0	8.0
2	1.80	0.15	1.95	218.0	10.0
3	1.20	1.95	3.15	252.0	15.0
4	2.00	3.15	5.15	393.0	25.0
5	2.10	5.15	7.25	540.0	45.0
6	4.20	7.25	11.45	570.0	45.0
7	4.00	11.45	15.45	623.0	60.0
8	8.00	15.45	23.45	770.0	100.0
9	43.35	23.45	66.80	1273.0	153.9

Vs<sub>30</sub> 568 m/s

Seismic lines position



## Order informations

Customer: Sigg. Doufour  
Requested from: Dott. Geol. Roberto Balatri  
Order num: -  
Job reference: C073-16 Balatri\_Castellaccio  
Data acquisition: 26 August 2016 \_ Dott. Luigi Allacorta  
Data processing: 29 August 2016 \_ Dott. Luigi Allacorta  
Graphic table redaction: 04 August 2016 \_ Dott. Luigi Allacorta

## Technical features

Rayleigh\_waves  
seismograph: Seismic Source DAQLink III  
channels: 24  
geophones: vertical, 4.5Hz  
geophones distance: x = 2.50m  
minimum offset: 2.50; 5.00 m (forward and reverse)  
acquisition software: VScope 2.49  
processing software: WinMASW 7.1

## Legend

- Seismic line for MASW
- Full seismic line
- Vs log from masw analysis
- Penetrometric Test (CPT)
- Shots position

## Pictures: sperimental data vs modeling

- Rayleigh waves \_ vertical or ZVF component (24 traces common shot gather) (A)
- ZVF sperimental phase velocity spectrum (B)
- synthetic refracted P waves traveltimes vs P waves first break (C)
- phase velocity spectrum with modal curves (D)
- synthetic ZVF phase velocity spectrum vs sperimental spectrum (E)



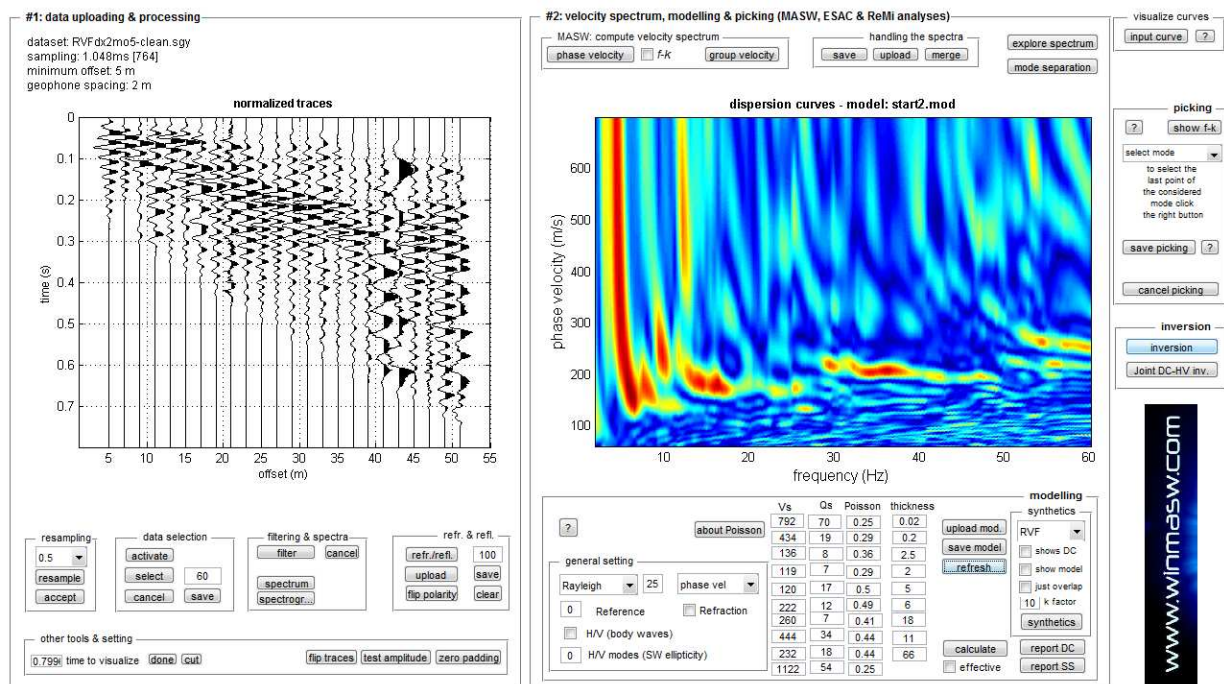


Fig. 2. Diagramma di dispersione delle onde di Rayleigh

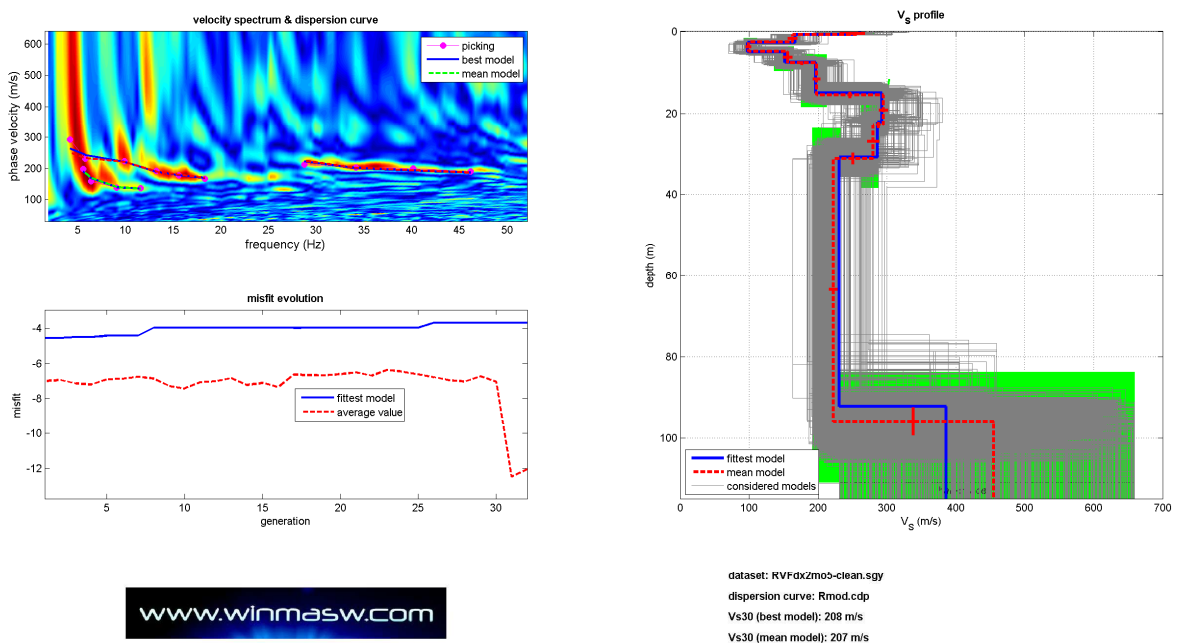
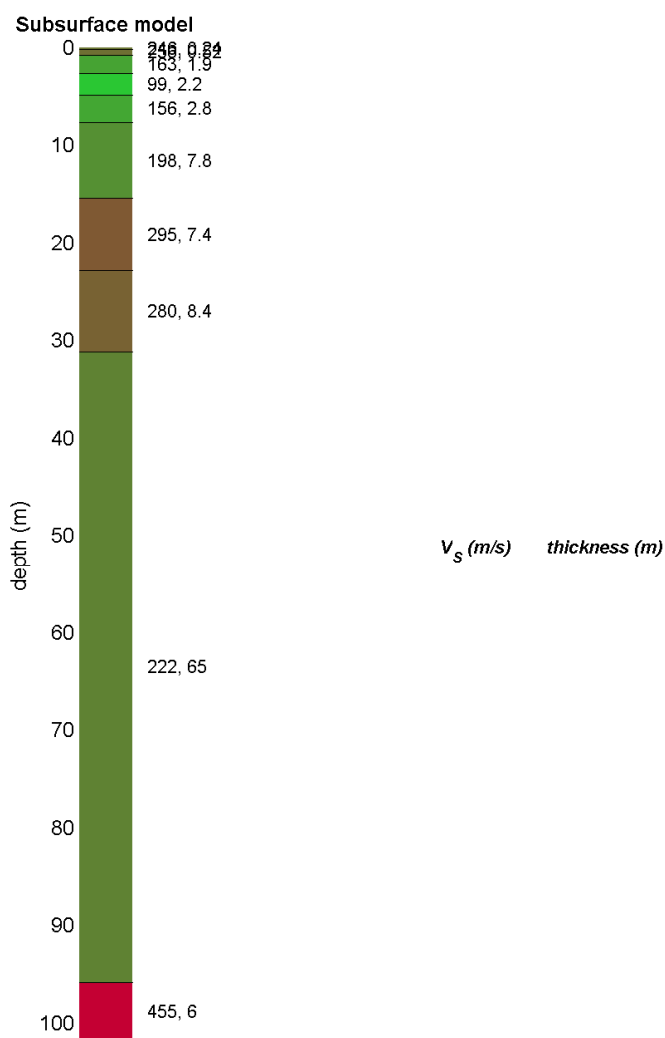


Fig. 3. Profilo verticale delle  $V_s$



Spessore (m)	$V_{Sh}$ (m/s)
1,90	163
2,20	99
2,80	156
7,80	198
7,40	295
8,40	280

**Tab. 1.** Modello medio del sottosuolo ( $V_{s30}$  riferita al piano campagna naturale: 209 m/sec)



**Fig. 4.** Sismostratigrafia in funzione della  $V_s$  sino alla profondità di 100 m.



geol: Balatri

model name: baccanella

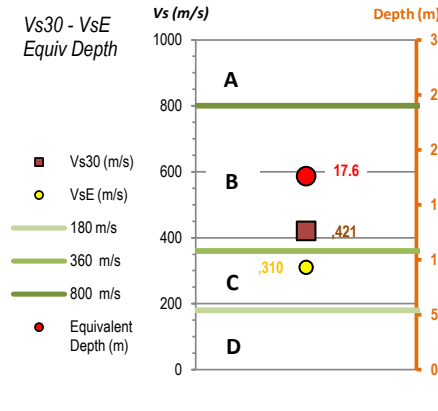
layer	h (m)	Vs	top	bottom
1	0.3	130	0.0	0.3
2	1.3	140	0.3	1.6
3	3.0	280	1.6	4.6
4	2.0	360	4.6	6.6
5	4.0	300	6.6	10.6
6	7.0	450	10.6	17.6
7	12.0	850	17.6	29.6
8	20.0	900	29.6	49.6
9	40.0	1200	49.6	89.6
10				
11				
12				

**Vs30 (m/s)**  
**421**

**VsE (m/s)**  
**310**

**Equivalent Depth (m)**  
**17.6**

*Probabile Categoria*  
**E**



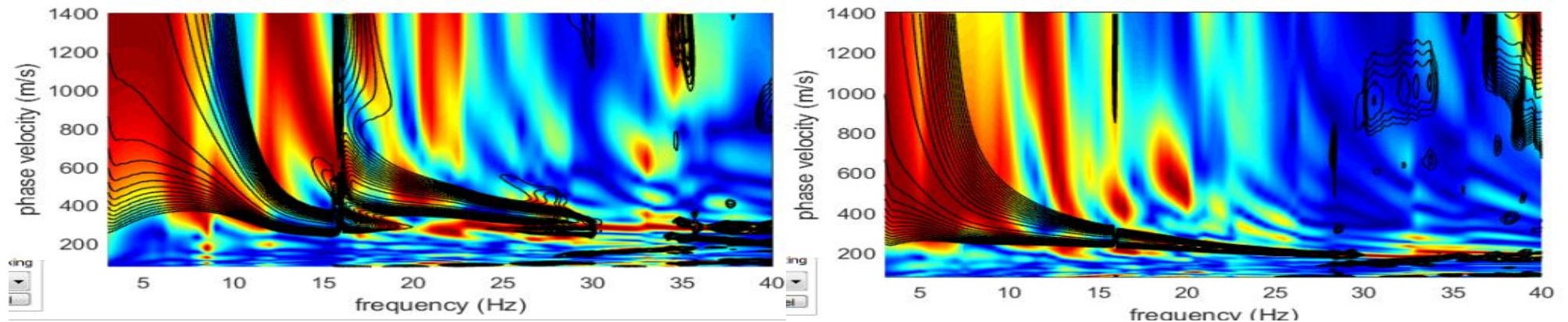
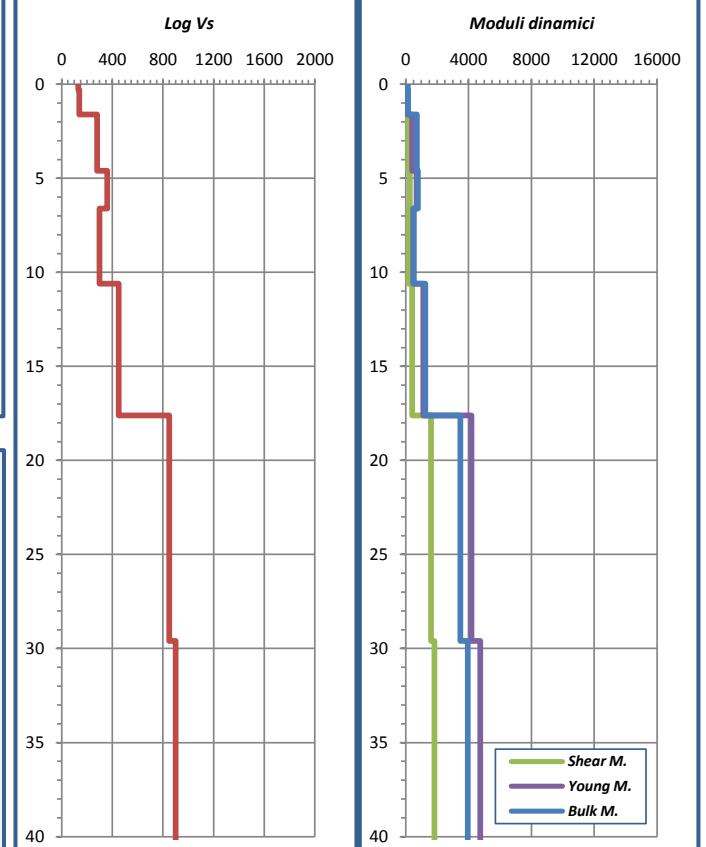
	Density (g/cm3)	Vp (m/s)	Poisson (adim.)	Shear M. G (Kg/cm2)	Young M. E (Kg/cm2)	Bulk M. k (Kg/cm2)
1	1.7	318	0.400	29	81	135
2	1.7	343	0.400	34	95	159
3	1.9	686	0.400	151	424	707
4	2.0	749	0.350	259	700	776
5	2.0	624	0.350	176	474	525
6	2.1	937	0.350	417	1126	1252
7	2.2	1590	0.300	1611	4189	3489
8	2.3	1684	0.300	1823	4739	3951
9	2.3	2078	0.250	3355	8387	5588
10						
11						
12						

**Vp e Moduli dinamici puramente indicativi**

**Poisson** assegnato durante la modellazione in base alla tipologia di terreno e per gli strati superficiali modellato per soddisfare i primi arrivi rifratti (quando visibili)

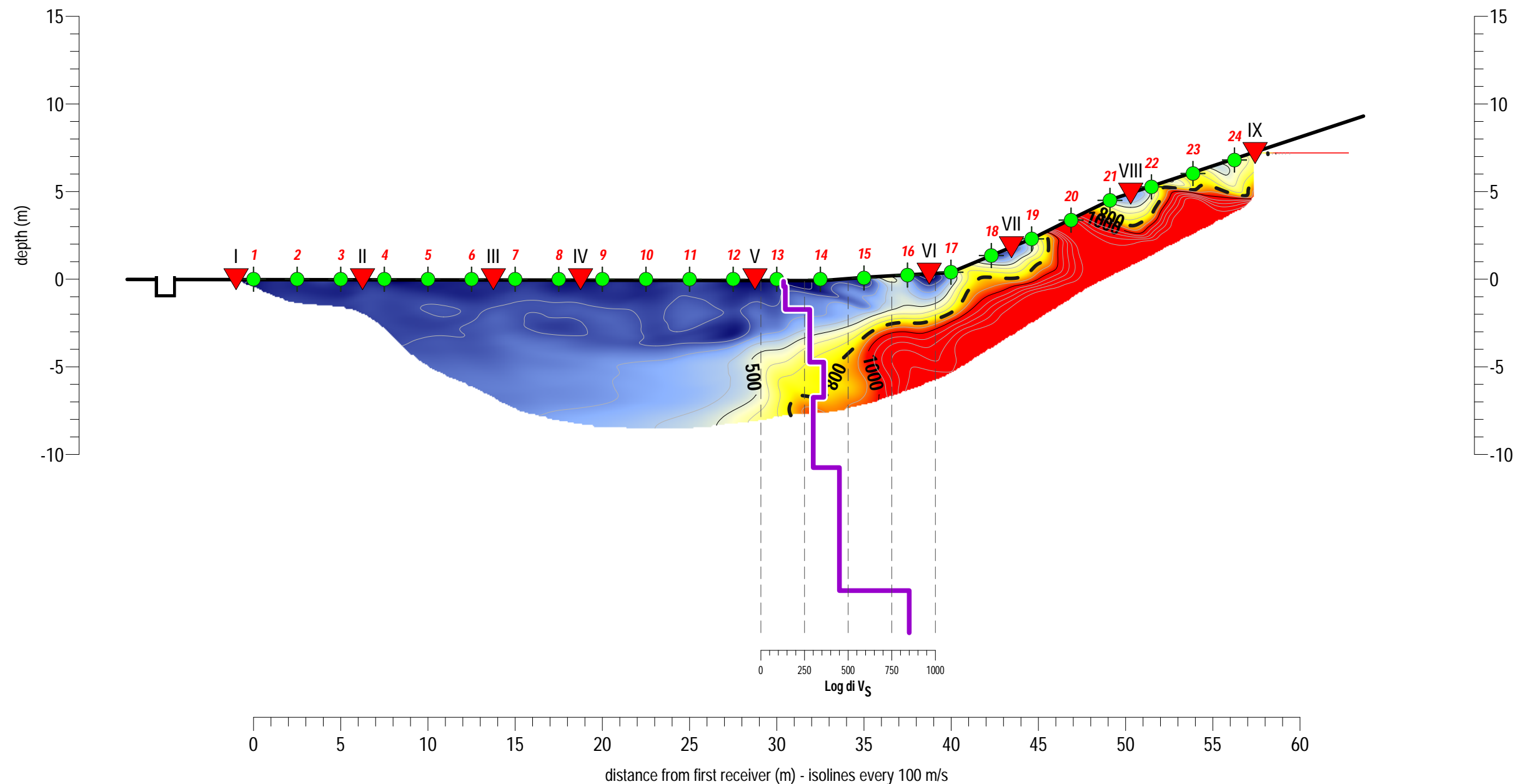
**Densità calcolata secondo:**

Gardner, G.H.F., Gardner, L.W., Gregory, A.R., 1974. *Formation velocity and density—the diagnostic basic for stratigraphic trap.* Geophysics 39, 770–780.





0022



Order informations

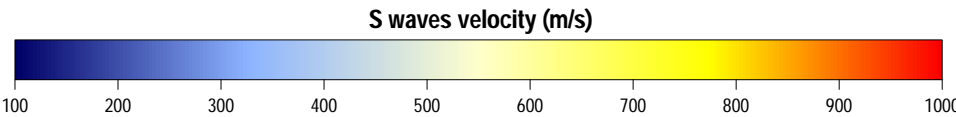
Customer: Sig.ra Lauretta Andreoni  
Requested from: Dott. Geol. Roberto Balatri  
Order num: 021-20L  
Job reference: Loc. Baccanella, Vecchiano (PI)  
Data acquisition: 05 Maggio 2020 \_ Dott. Luigi Allacorta  
Data processing: 06 Maggio 2020 \_ Dott. Luigi Allacorta  
Graphic table redaction: 08 Maggio 2020 \_ Dott. Luigi Allacorta

Technical features

**S\_waves**  
instrument: DAQLink III s.n.1005  
channels: 24  
geophones/electrodes: horizontal, 4.5Hz  
geop./electr.s distance: x = 2.5m  
shots position: 9, 7.5 m spaced  
acquisition software: VScope 2.59  
processing software: Rayfract, vers. 3.35  
sequences: -

**Log\_Vs\_(MASW)**  
-  
12  
vertical, 4.5Hz  
x = 5.0m  
2.5; 5.0m  
-  
WinMasw Acd 2019

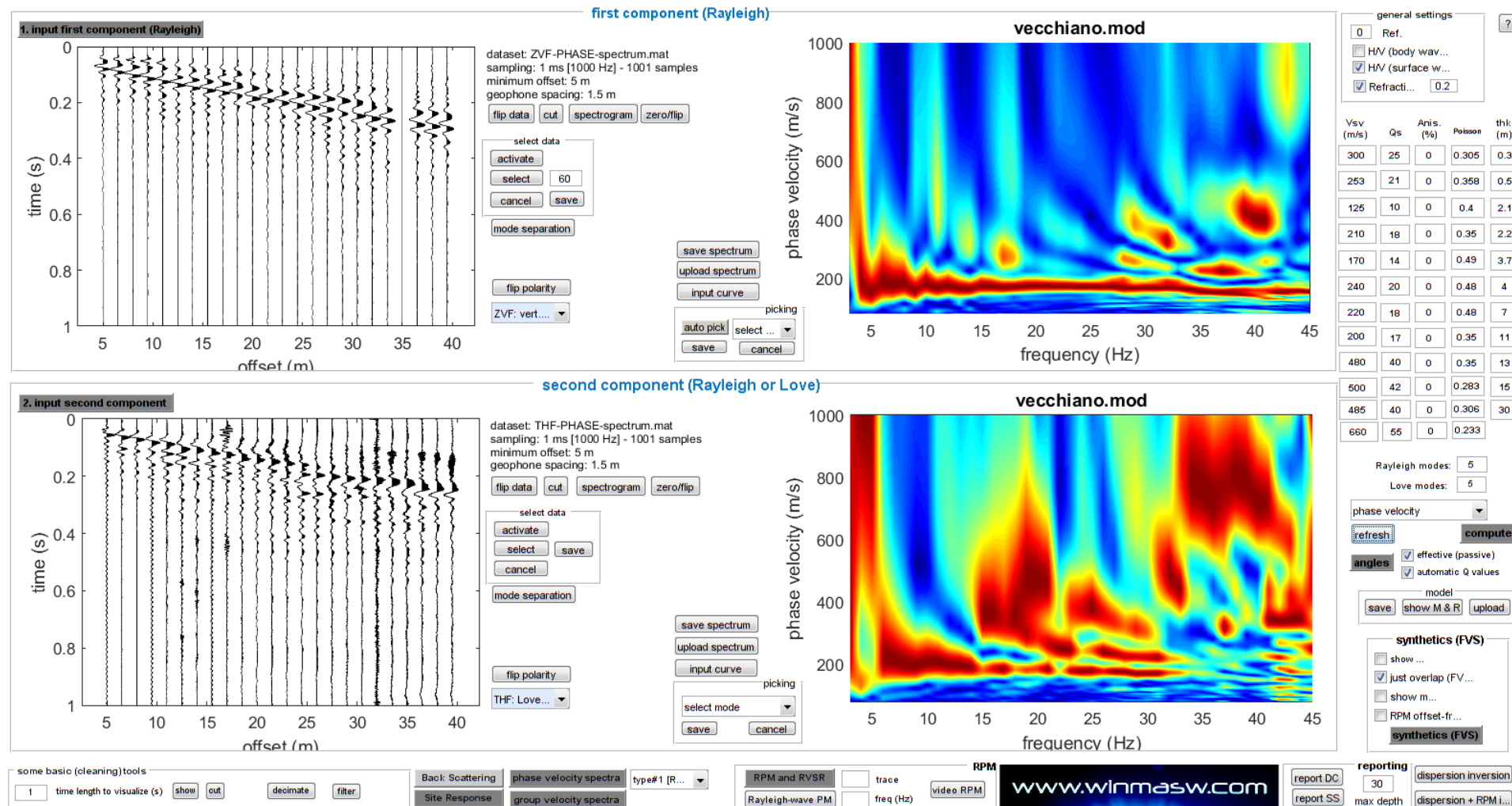
Chromatic scales



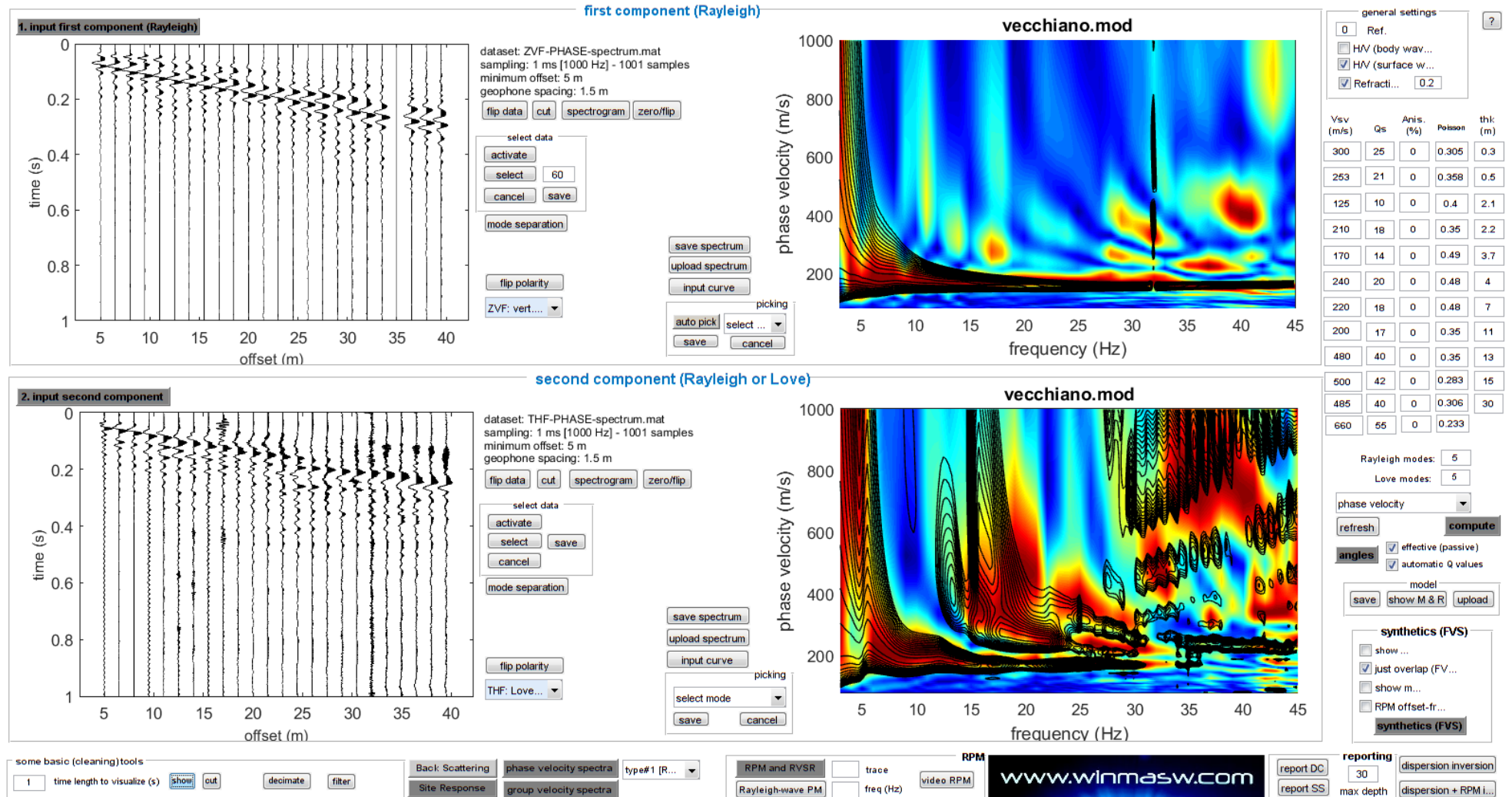
Legend

- Geophones
- Shots position
- refractor with classic methods (wavefront or plus-minus)
- Log Vs from MASW
- Velocità onde S -  $V_{s,eq}$
- Profondità Equivalente -  $Prof_{eq}$





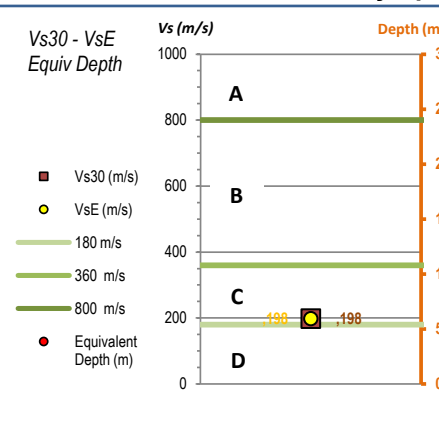






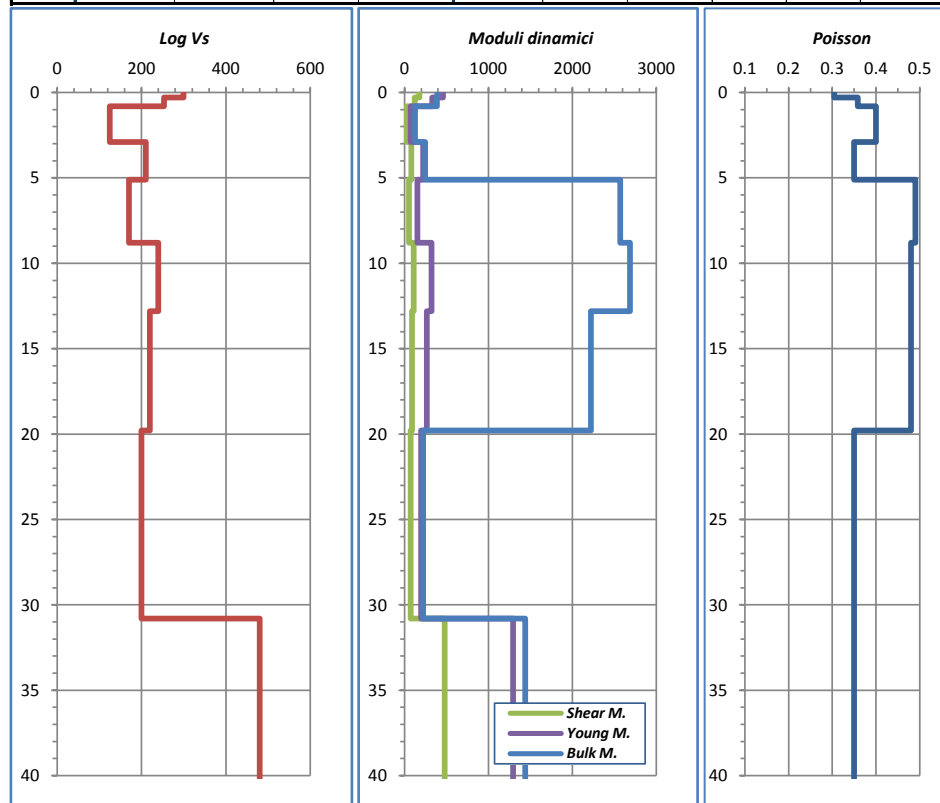
## Multichannel Analysis of Surface Waves via Modellazione Full Velocity Spectrum (FVS)

layer	h (m) (m)	Vs (m/s)	top (m)	bottom (m)	Density (g/cm3)	Poisson (adim.)	Vp (m/s)	Shear G*	Young E*	Bulk M. k*
1	0.3	300	0.0	0.3	2.0	0.305	566	176	458	391
2	0.5	253	0.3	0.8	1.9	0.358	538	122	330	388
3	2.1	125	0.8	2.9	1.7	0.400	306	27	75	124
4	2.2	210	2.9	5.1	1.9	0.350	437	82	220	245
5	3.7	170	5.1	8.8	1.8	0.490	1214	52	154	2569
6	4.0	240	8.8	12.8	1.9	0.480	1224	109	322	2686
7	7.0	220	12.8	19.8	1.9	0.480	1122	90	266	2221
8	11.0	200	19.8	30.8	1.8	0.350	416	74	199	220
9	13.0	480	30.8	43.8	2.1	0.350	999	479	1294	1437
10	15.0	500	43.8		2.1	0.28	909	523	1341	1030
11	30.0	485	58.8		2.1	0.31	917	489	1278	1097
12										

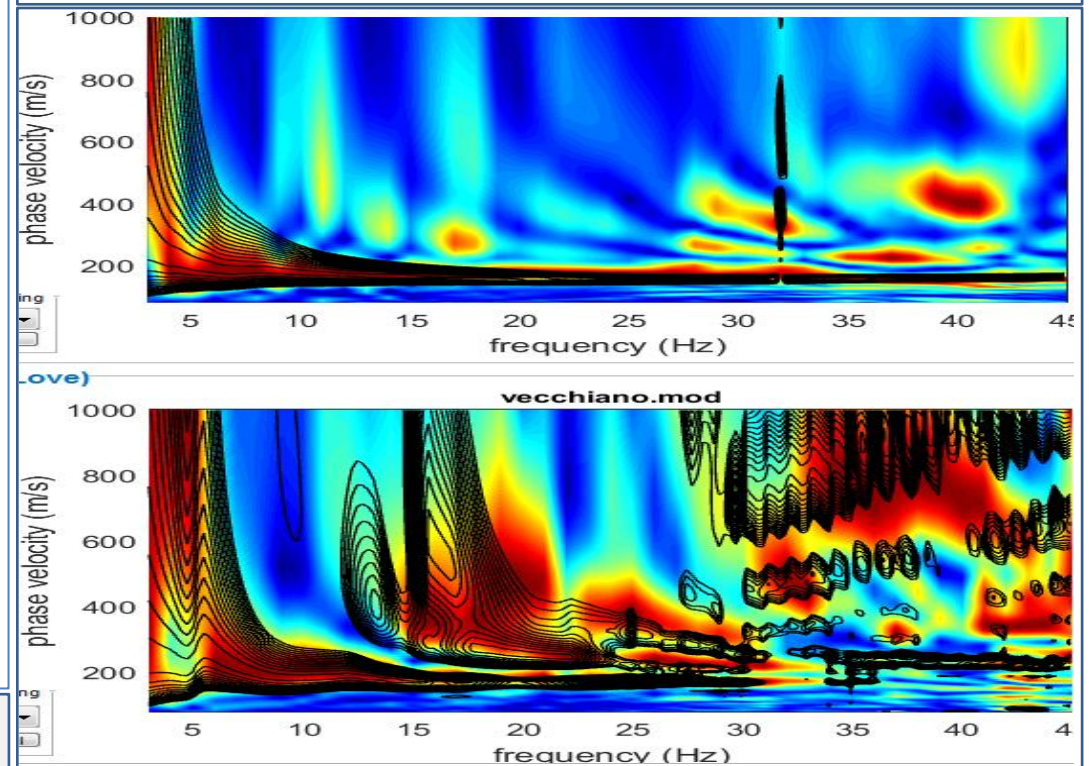


Committente **Dott. Geol. D. Caputo**  
 Lavoro **Ampliamento Peselli**  
 Ubicazione **Serravalle**

configurazione **ch 12; x=3.5; m.o.=3.5**  
 ricevitori **geofoni freq. 4.5Hz**  
 campionamento **250/1000ms**  
 durata registrazione **1s**  
 acquisizione **ZVF**  
 modellazione **Rayleigh**  
 metodo di analisi **Full Velocity Spectrum (FVS)**  
 modello finale **vecchiano**



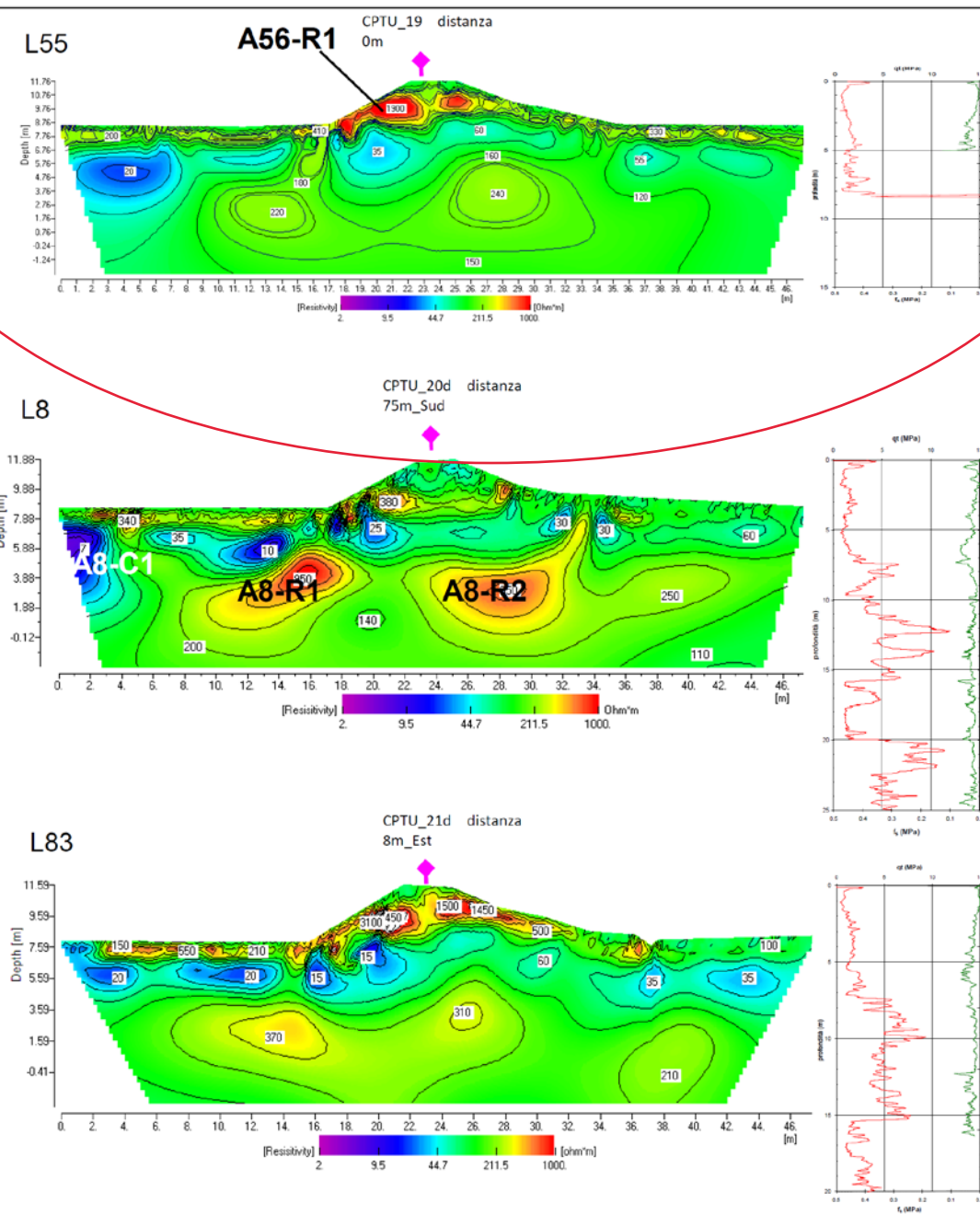
Vs30 (m/s) **198**  
 VsE (m/s) **198**  
 Equivalent Depth (m) **>30**  
 Probabile Categoria **C**



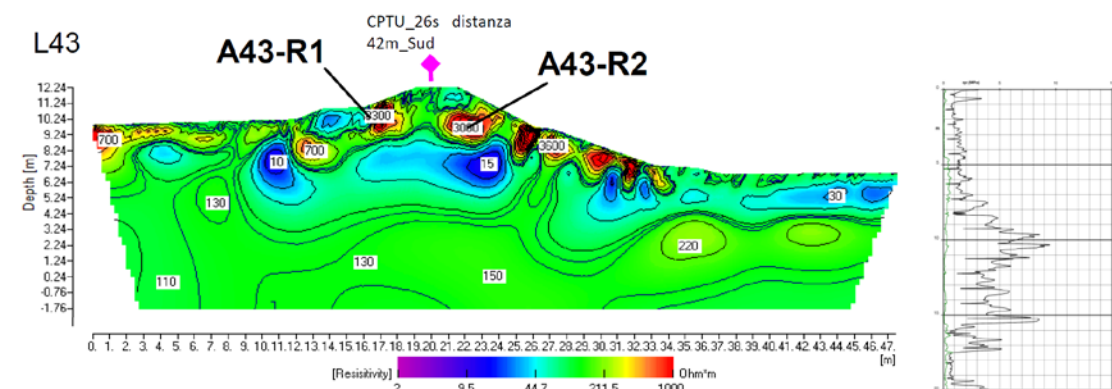
**Vp e Moduli dinamici puramente indicativi**  
 Poisson assegnato durante la modellazione in base alla tipologia di terreno e per gli strati superficiali modellato per soddisfare i primi arrivi rifratti (quando visibili); in caso di terreni sciolti saturi, poisson calcolato per soddisfare la condizione  $V_p = 1500 \text{ m/s}$ .  
 Densità calcolata secondo: Gardner, G.H.F., Gardner, L.W., Gregory, A.R., 1974. Formation velocity and density-the diagnostic basic for stratigraphic trap. Geophysics 39, 770-780.

**Confronto tra spettri sintetici e sperimentali.** Immagine superiore: spettro di velocità di fase delle onde di Rayleigh, componente verticale (ZVF); Immagine inferiore: spettro di velocità di fase delle onde di Rayleigh, componente orizzontale (RVF). Scala colore=spettro sperimentale; contouring nero=spettro sintetico.





SCHEDA INTERPRETATIVA				
Linea	Omogeneità Argine	Identificativo e Tipologia di Anomalia (Argini)	Omogeneità Terreni di Fondazione	Identificativo e Tipologia di Anomalia (Terreni di Fondazione)
L56	BASSA	A56-R1	ALTA	NP
L8	ALTA	NP	BASSA	A8-R1; A8-R2; A8-C1
L43	BASSA	A43-R1; A43-R2	ALTA	NP
L83	ALTA	NP	ALTA	NP



Tracce sezioni ERT eseguite secondo la Determina n. 5304 del 25/11/2010

Posizione CPTU prossima alla sezione

**A18-R1**  
Anomalia Elettrostratigrafica Resistiva

**A18-C1**  
Anomalia Elettrostratigrafica Conduttiva

**A18-L1**  
Anomalia Elettrostratigrafica = Variazione Laterale

**SOING**  
STRUTTURE & AMBIENTE

**PROGETTO**  
Indagini geofisiche ERT per la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni arginali del Fiume Serchio (PI).

**COMMITTENTE**  
Provincia di Pisa

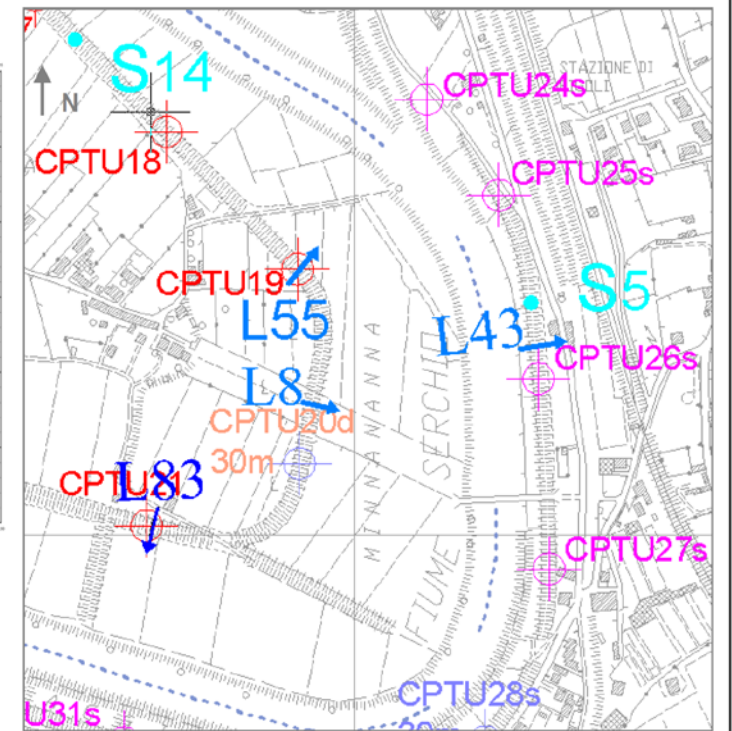
**RIFERIMENTI INTERNI**  
Comm-084-2010

**OGGETTO**  
Sezioni tomografiche elettriche

**TAVOLA**  
**9**

Elab. MG.Idili  
Verifica A.Pacchini  
Approvazione P.Chiera

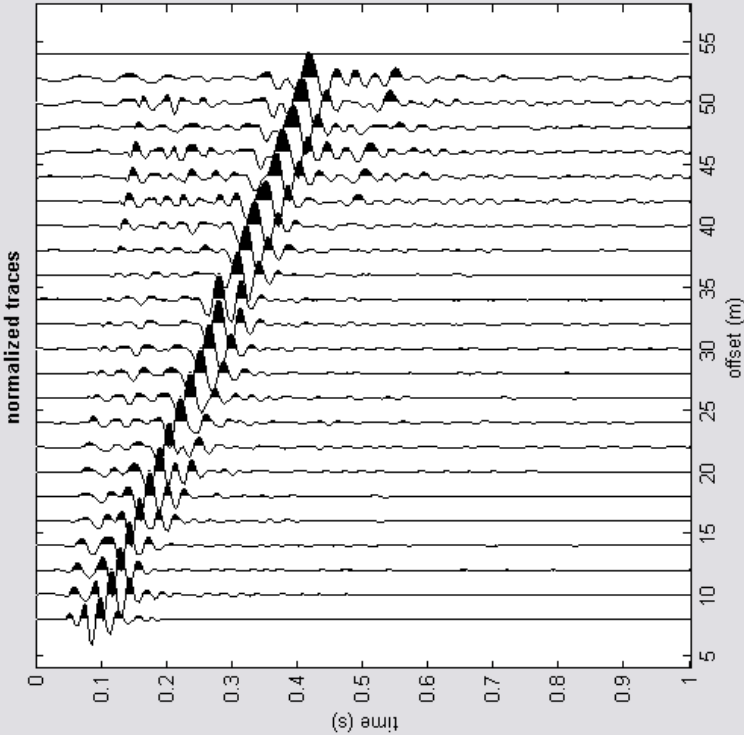
**EMISSIONE DATA**  
10-08-2011





#1: uploading & processing (MASW analyses)

dataset: sh3g1m18.SGY  
minimum offset: 8 m  
geophone spacing: 2 m  
sampling: 0.131 ms



refraction  
Professional version

Attenuation  
Professional version

utilities

flip traces

spectrum

movie

activate

select

cancel

20

save



ver. 4.1 std

#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW & ReMi analyses)

MASW

calculate spectrum

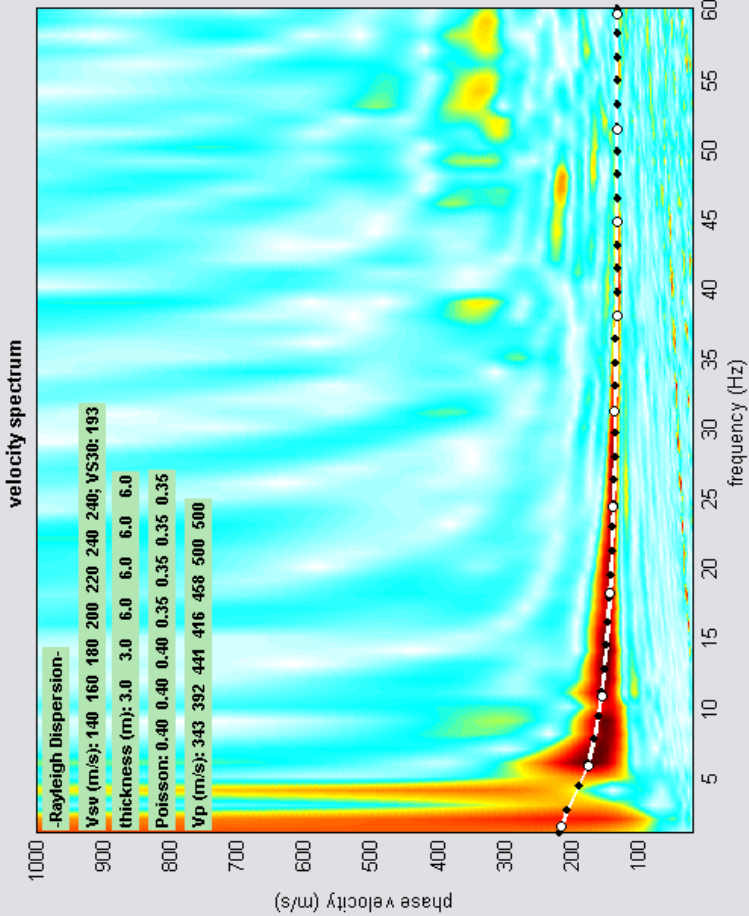
Tau - v

Professional version

visualize curves

input curve

?



explore spectrum

modelling

parameters

upload model

3

eigen period

save model

Love analysis:  
Professional version

refresh

STR080211A - VECCHIANO.cdp

fundamental

use the right button to select the last point of the considered mode

save picking

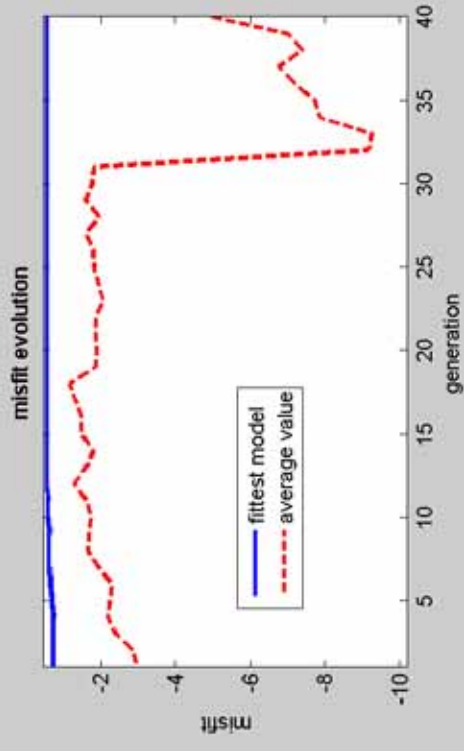
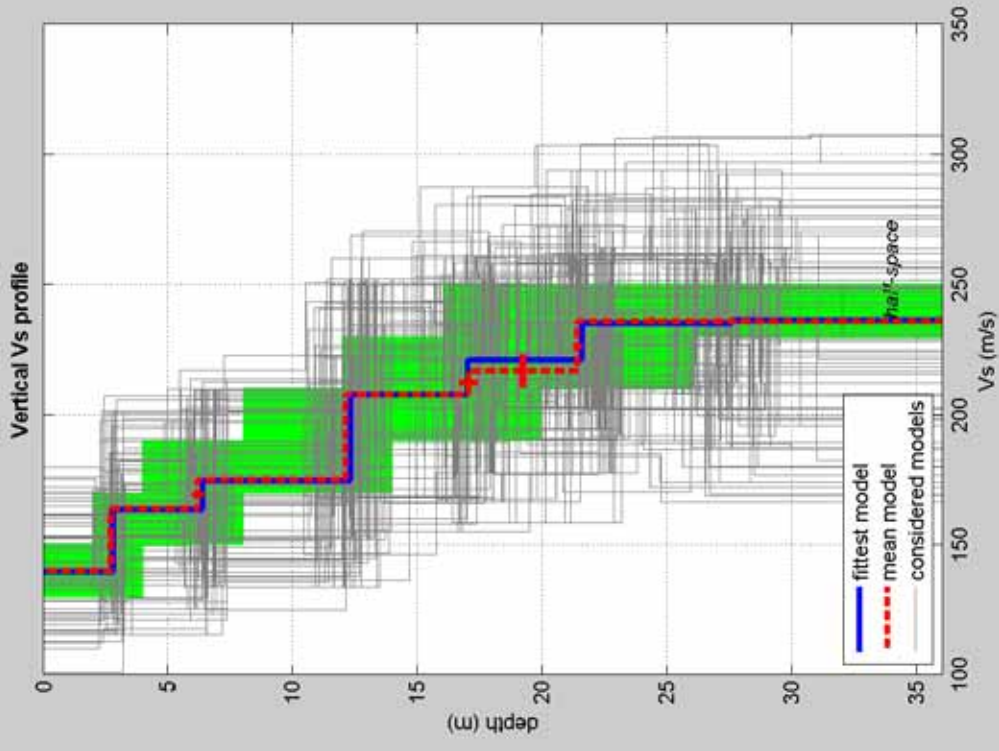
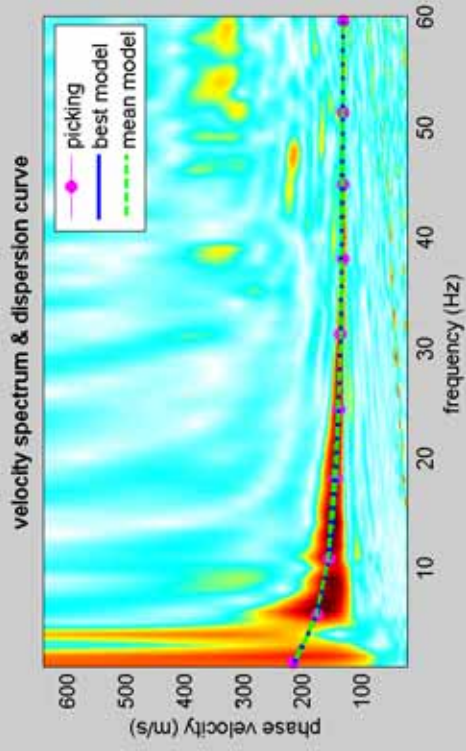
cancel picking

picking

?

inversion  
exit





dataset: sh3g1mi8.SGY

dispersion curve: STR080211A - VECCHIANO.cdp

VS30 (best model): 194 m/s

VS30 (mean model): 194 m/s



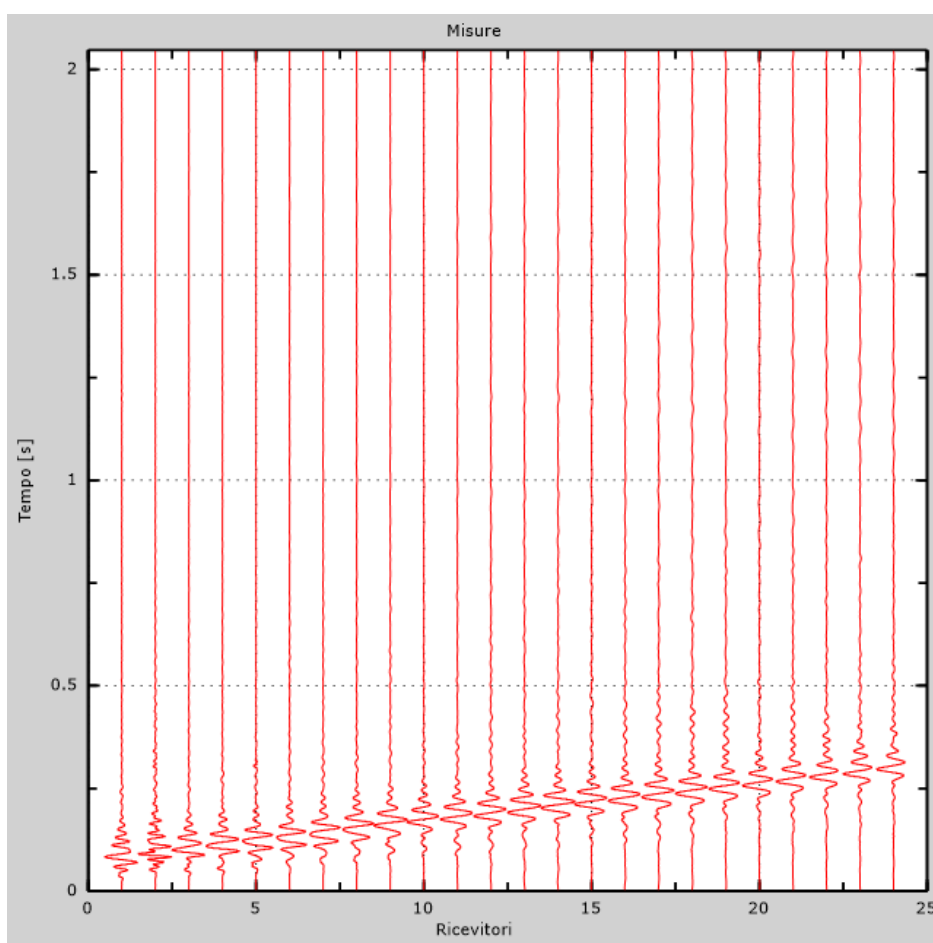


## Elaborazione Indagine Sismica MASW

Software MASW Vitantonio Roma

### Dati sperimentali

Numero di ricevitori.....24  
Distanza tra i sensori:.....1,5m  
Numero di campioni temporali.....2048  
Passo temporale di acquisizione.....1ms  
Numero di ricevitori usati per l'analisi.....24  
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a.....0ms  
L'intervallo considerato per l'analisi termina a .....2047ms  
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)



Tracce sperimentali

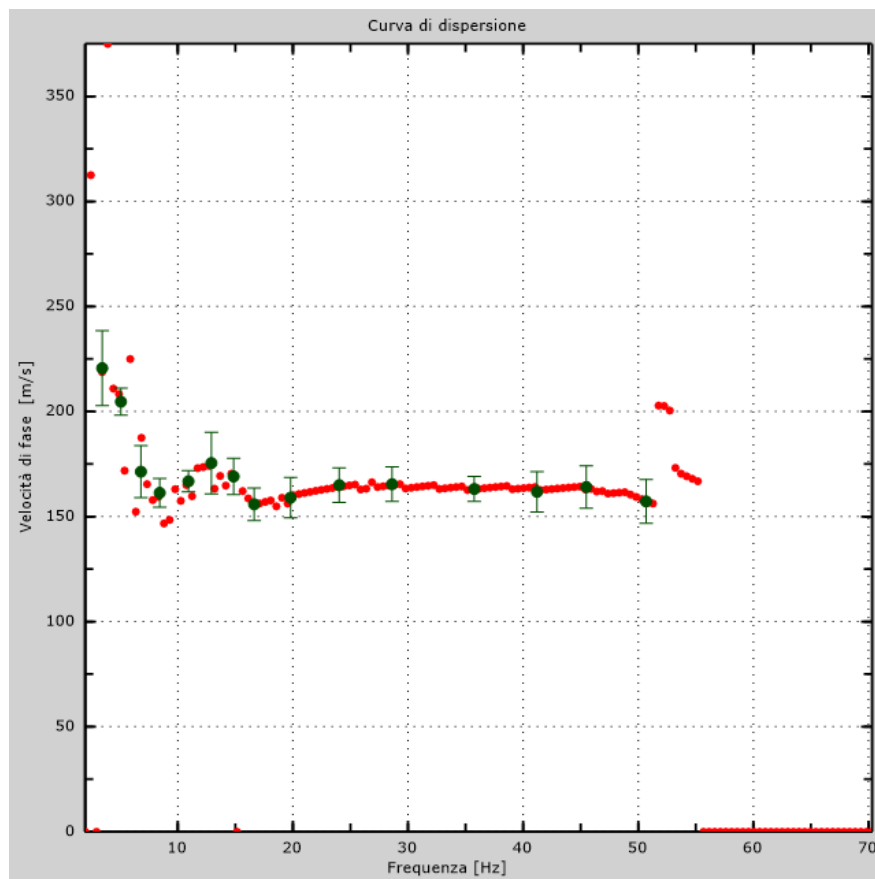


---

## Curva di dispersione

<b>Freq. [Hz]</b>	<b>V. fase [m/s]</b>	<b>V. fase min [m/s]</b>	<b>V. fase Max [m/s]</b>
3.42862	220.642	202.844	238.44
5.05994	204.669	198.28	211.058
6.79323	171.355	159.033	183.676
8.42455	161.315	154.469	168.16
10.9225	166.791	161.771	171.811
12.9107	175.462	160.858	190.066
14.8479	169.073	160.402	177.744
16.6321	155.838	148.08	163.596
19.7928	159.033	149.449	168.616
24.0241	164.966	156.751	173.18
28.6122	165.422	157.207	173.636
35.7492	163.14	157.207	169.073
41.2039	161.771	152.187	171.355
45.4862	164.053	154.013	174.093
50.686	157.207	146.711	167.704





Curva di dispersione acquisizione diretta

## Profilo sismico di sito

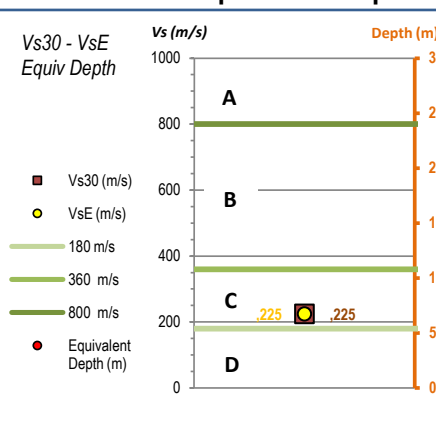
<i>da</i>	<i>a</i>	<i>Spessori</i>	<i>Vs [m/s]</i>
0	2	2	168
2	5	3	173
5	12	7	157
12	16	4	187
16	21	5	227
21	26	5	257
26	32	6	273



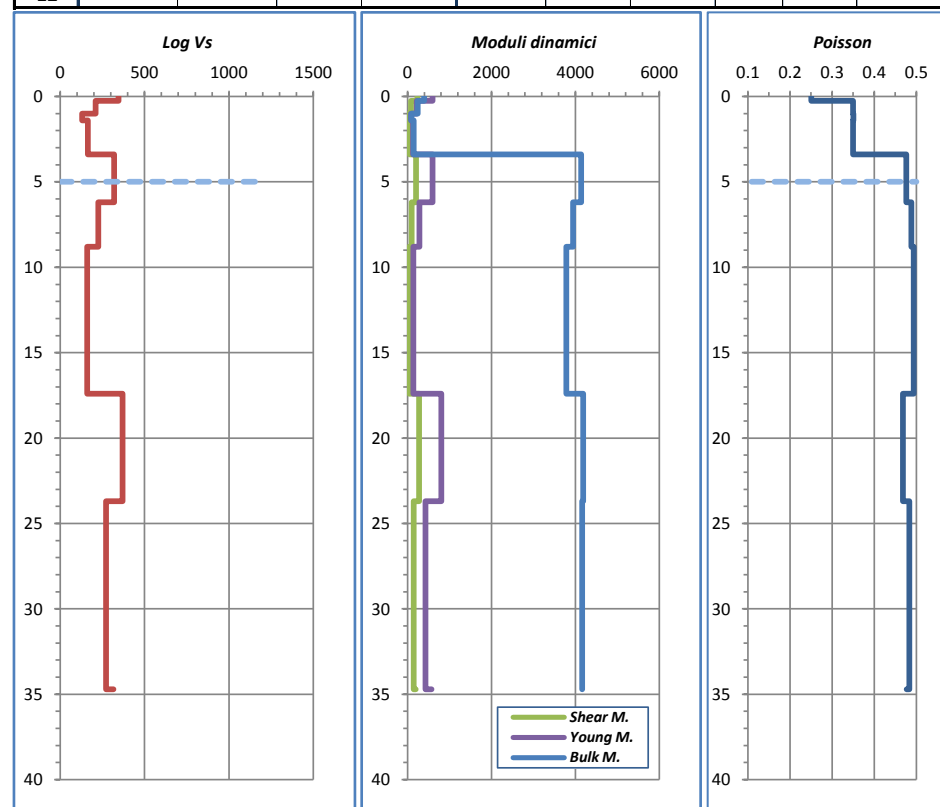
# Multichannel Analysis of Surface Waves via Modellazione multicomponente di spettri sintetici e curva HVSR

0027

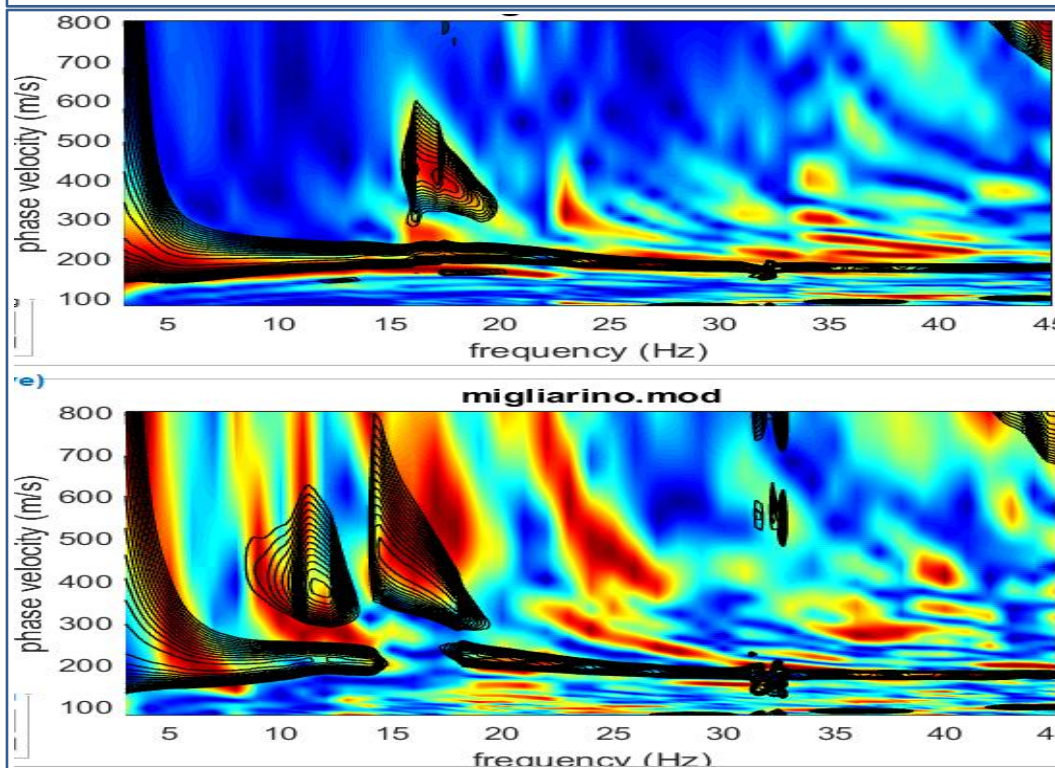
layer	h (m) (m)	Vs (m/s)	top (m)	bottom (m)	Density (g/cm3)	Poisson (adim.)	Vp (m/s)	Shear G*	Young E*	Bulk M. k*
1	0.3	345	0.0	0.3	2.0	0.251	598	237	592	396
2	0.8	210	0.3	1.0	1.9	0.350	437	82	220	245
3	0.4	130	1.0	1.4	1.7	0.351	271	29	79	88
4	2.0	165	1.4	3.4	1.8	0.349	343	49	132	146
5	2.8	320	3.4	6.2	2.0	0.476	1495	202	595	4134
6	2.6	226	6.2	8.8	1.9	0.488	1476	96	284	3947
7	8.6	160	8.8	17.4	1.8	0.494	1469	46	136	3780
8	6.3	370	17.4	23.7	2.0	0.468	1509	274	804	4189
9	11.0	273	23.7	34.7	1.9	0.483	1506	143	424	4164
10										
11										
12										



Committente Dott. Geol. Roberto Balatri  
 Lavoro Scuole Comune di Vecchiano  
 Ubicazione Elementari Migliarino Pisano  
 configurazione ch 12; x=5; m.o.=5  
 ricevitori geofoni freq. 4.5Hz  
 campionamento 500/1000ms  
 durata registrazione 1s  
 acquisizione ZVF+RVF+HV  
 modellazione Rayleigh Z+R  
 metodo di analisi Full Velocity Spectrum (FVS)  
 modello finale migliarino



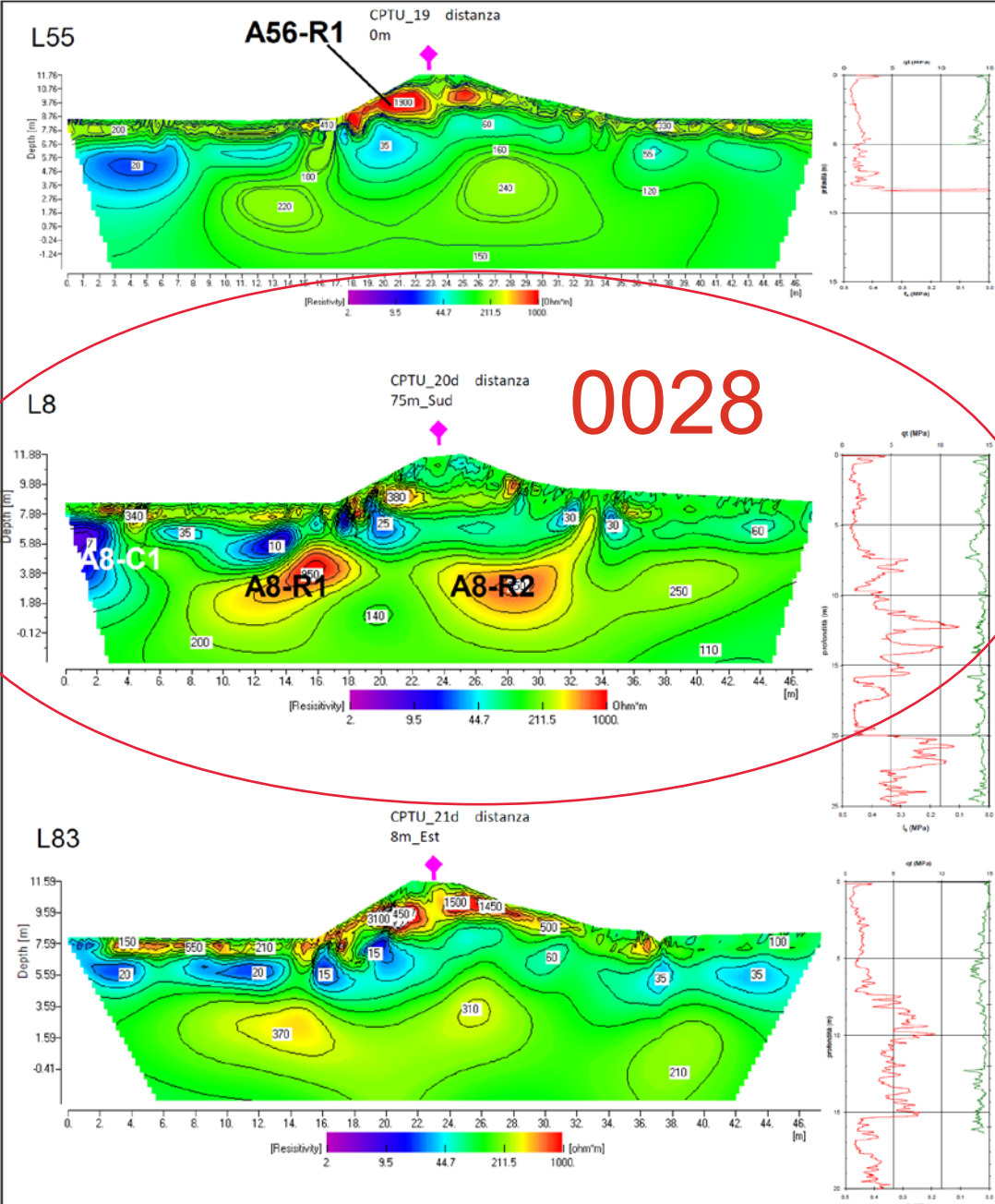
Vs30 (m/s) 225  
 VsE (m/s) 225  
 Equivalent Depth (m) >30  
 Probabile Categoria C



**Vp e Moduli dinamici puramente indicativi**  
 Poisson assegnato durante la modellazione in base alla tipologia di terreno e per gli strati superficiali modellato per soddisfare i primi arrivi rifratti (quando visibili); in caso di terreni sciolti saturi, poisson calcolato per soddisfare la condizione  $V_p = 1500 \text{ m/s}$ .  
 Densità calcolata secondo: Gardner, G.H.F., Gardner, L.W., Gregory, A.R., 1974. Formation velocity and density-the diagnostic basic for stratigraphic trap. Geophysics 39, 770-780.

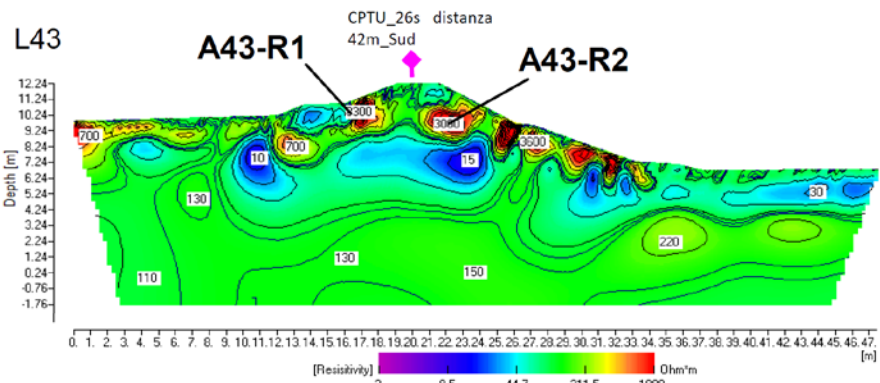
Confronto tra spettri sintetici e sperimentali. Immagine superiore: spettro di velocità di fase delle onde di Rayleigh, componente verticale (ZVF); Immagine inferiore: spettro di velocità di fase delle onde di Rayleigh, componente orizzontale (RVF). Scala colore=spettro sperimentale; contouring nero=spettro sintetico.





0028

SCHEDA INTERPRETATIVA				
Linea	Omogeneità Argine	Identificativo e Tipologia di Anomalia (Argini)	Omogeneità Terreni di Fondazione	Identificativo e Tipologia di Anomalia (Terreni di Fondazione)
L56	BASSA	A56-R1	ALTA	NP
L8	ALTA	NP	BASSA	A8-R1; A8-R2; A8-C1
L43	BASSA	A43-R1; A43-R2	ALTA	NP
L83	ALTA	NP	ALTA	NP



Tracce sezioni ERT eseguite secondo la Determina n. 5304 del 25/11/2010

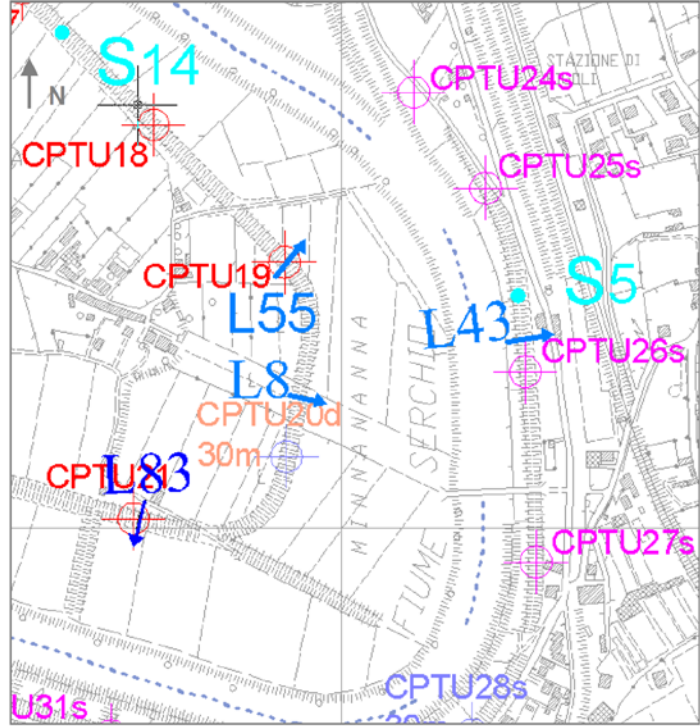
Posizione CPTU prossima alla sezione

**A18-R1**  
Anomalia Elettrostratigrafica Resistiva

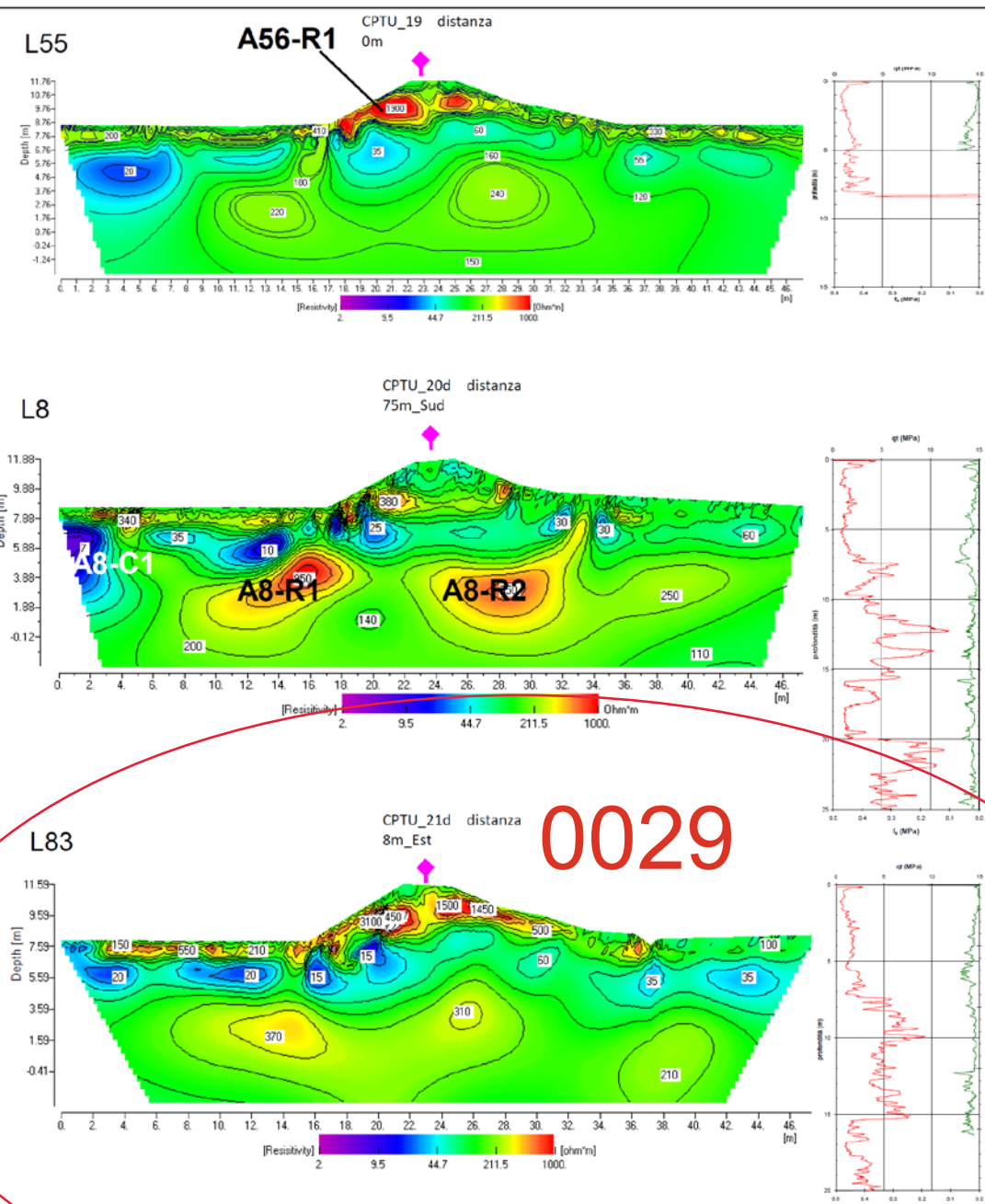
**A18-C1**  
Anomalia Elettrostratigrafica Conduttiva

**A18-L1**  
Anomalia Elettrostratigrafica = Variazione Laterale

SOING STRUTTURE & AMBIENTE	
PROGETTO	Indagini geofisiche ERT per la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni arginali del Fiume Serchio (PI).
COMMITTENTE	Provincia di Pisa
RIFERIMENTI INTERNI	Comm-084-2010
OGGETTO	Sezioni tomografiche elettriche
TAVOLA	9
Elab.	MG.Idili
Verifica	A.Pacchini
Approvazione	P.Chiera
EMISSIONE DATA	10-08-2011

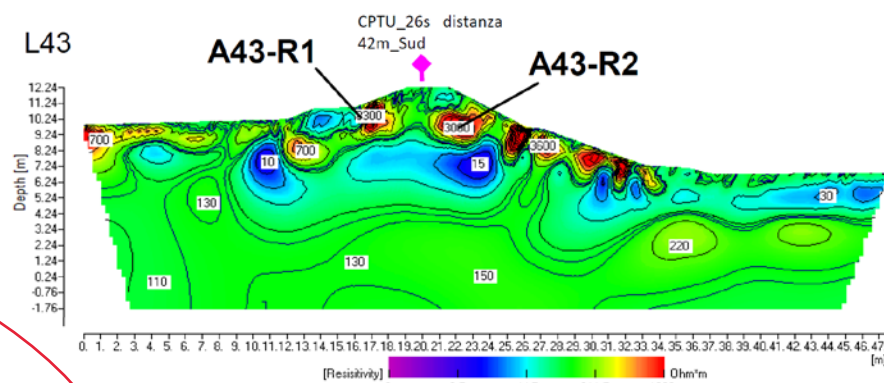






0029

SCHEDA INTERPRETATIVA				
Linea	Omogeneità Argine	Identificativo e Tipologia di Anomalia (Argini)	Omogeneità Terreni di Fondazione	Identificativo e Tipologia di Anomalia (Terreni di Fondazione)
L56	BASSA	A56-R1	ALTA	NP
L8	ALTA	NP	BASSA	A8-R1; A8-R2; A8-C1
L43	BASSA	A43-R1; A43-R2	ALTA	NP
L83	ALTA	NP	ALTA	NP



Tracce sezioni ERT eseguite secondo la Determina n. 5304 del 25/11/2010

Posizione CPTU prossima alla sezione

**A18-R1**  
Anomalia Elettrostratigrafica Resistiva

**A18-C1**  
Anomalia Elettrostratigrafica Conduttiva

**A18-L1**  
Anomalia Elettrostratigrafica = Variazione Laterale

**SOING**  
STRUTTURE & AMBIENTE

**PROGETTO** Indagini geofisiche ERT per la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni arginali del Fiume Serchio (PI).

**COMMITTENTE** Provincia di Pisa

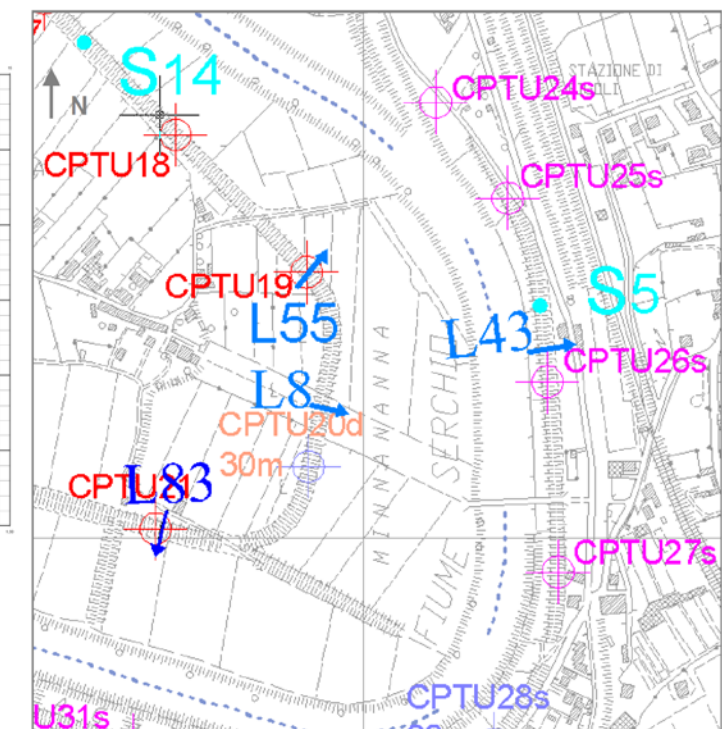
**RIFERIMENTI INTERNI** Comm-084-2010

**OGGETTO** Sezioni tomografiche elettriche

**TAVOLA** 9

Elab. MG.Idili  
Verifica A.Pacchini  
Approvazione P.Chiera

**EMISSIONE DATA** 10-08-2011

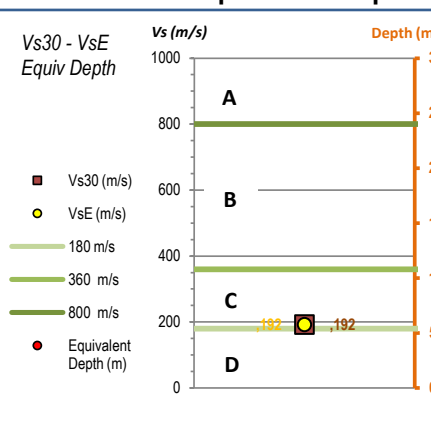




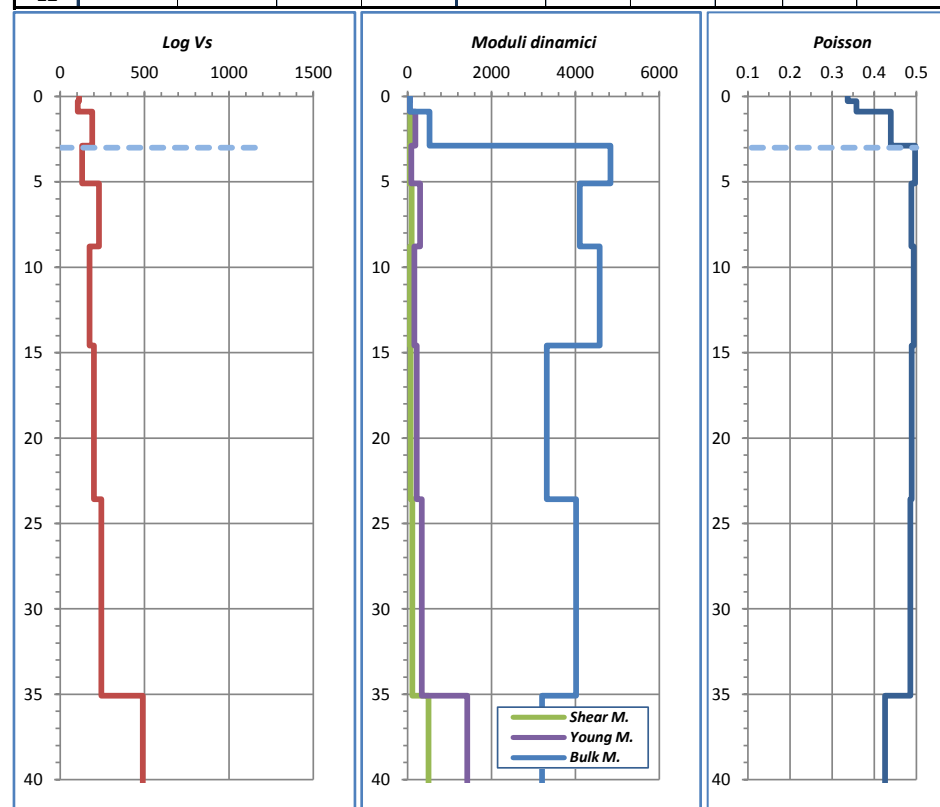
# Multichannel Analysis of Surface Waves via Modellazione multicomponente di spettri sintetici e curva HVSR

0030

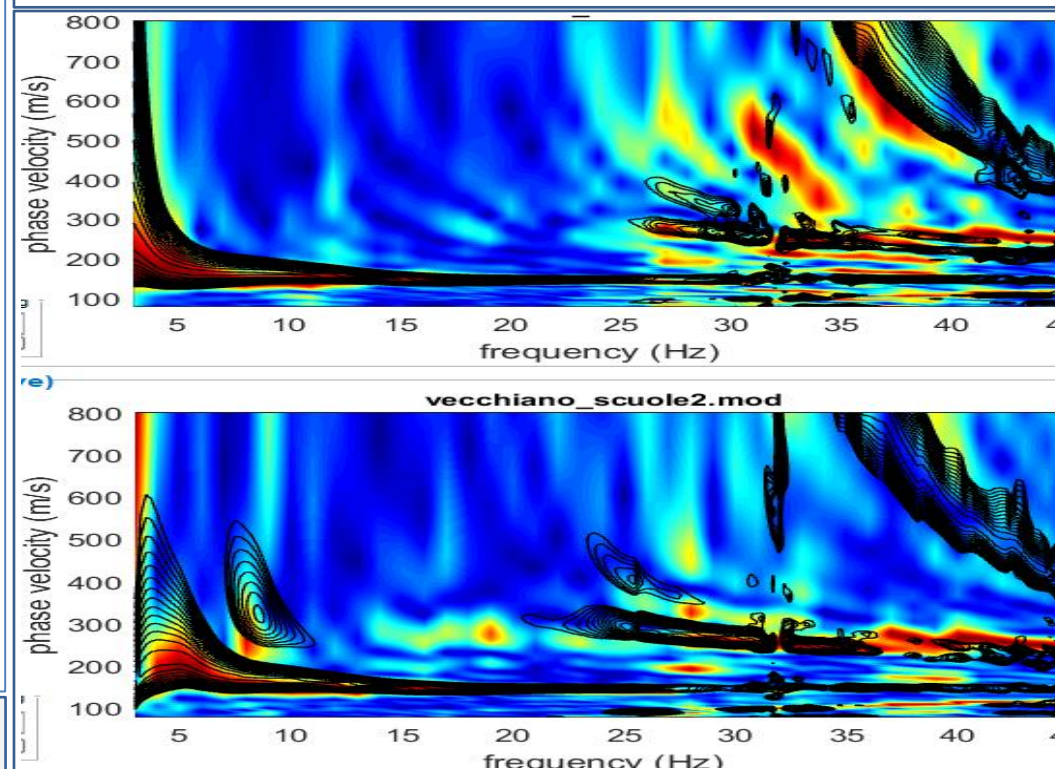
layer	h (m) (m)	Vs (m/s)	top (m)	bottom (m)	Density (g/cm3)	Poisson (adim.)	Vp (m/s)	Shear G*	Young E*	Bulk M. k*
1	0.3	112	0.0	0.3	1.7	0.337	226	21	56	58
2	0.6	105	0.3	0.9	1.7	0.358	223	18	50	58
3	2.0	190	0.9	2.9	1.8	0.439	578	66	189	520
4	2.2	130	2.9	5.1	1.7	0.497	1683	29	87	4833
5	3.7	230	5.1	8.8	1.9	0.488	1502	99	296	4109
6	5.8	175	8.8	14.6	1.8	0.494	1607	55	165	4575
7	9.0	200	14.6	23.6	1.8	0.489	1363	74	219	3320
8	11.5	245	23.6	35.1	1.9	0.486	1485	113	337	4017
9	12.0	490	35.1		2.1	0.426	1365	499	1424	3210
10										
11										
12										



Committente Dott. Geol. Roberto Balatri  
 Lavoro Scuole Comune di Vecchiano  
 Ubicazione Elementari Vecchiano  
 configurazione ch 12; x=5; m.o.=5  
 ricevitori geofoni freq. 4.5Hz  
 campionamento 500/1000ms  
 durata registrazione 1s  
 acquisizione ZVF+RVF+HV  
 modellazione Rayleigh Z+R  
 metodo di analisi Full Velocity Spectrum (FVS)  
 modello finale vecchiano\_scuole2



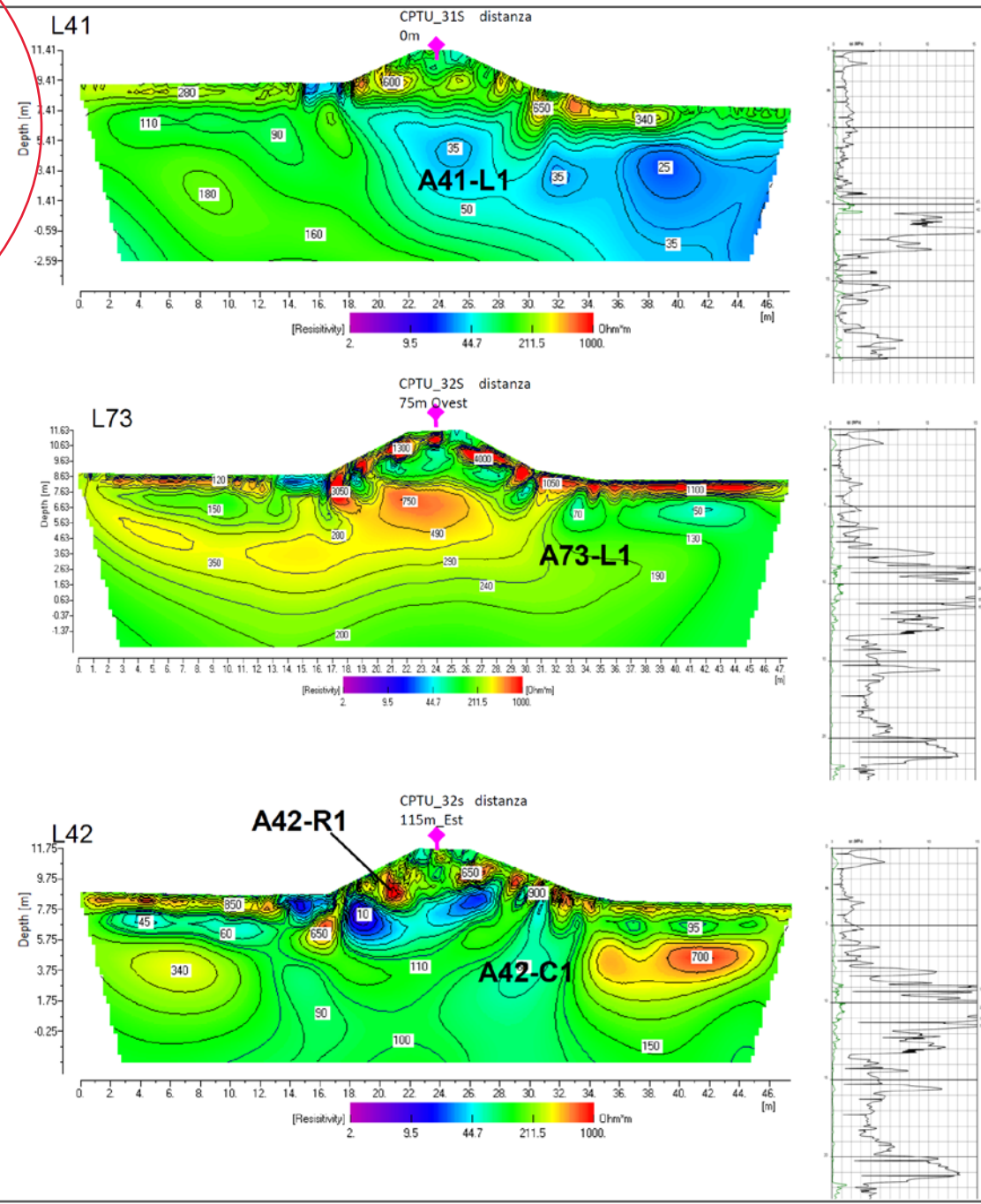
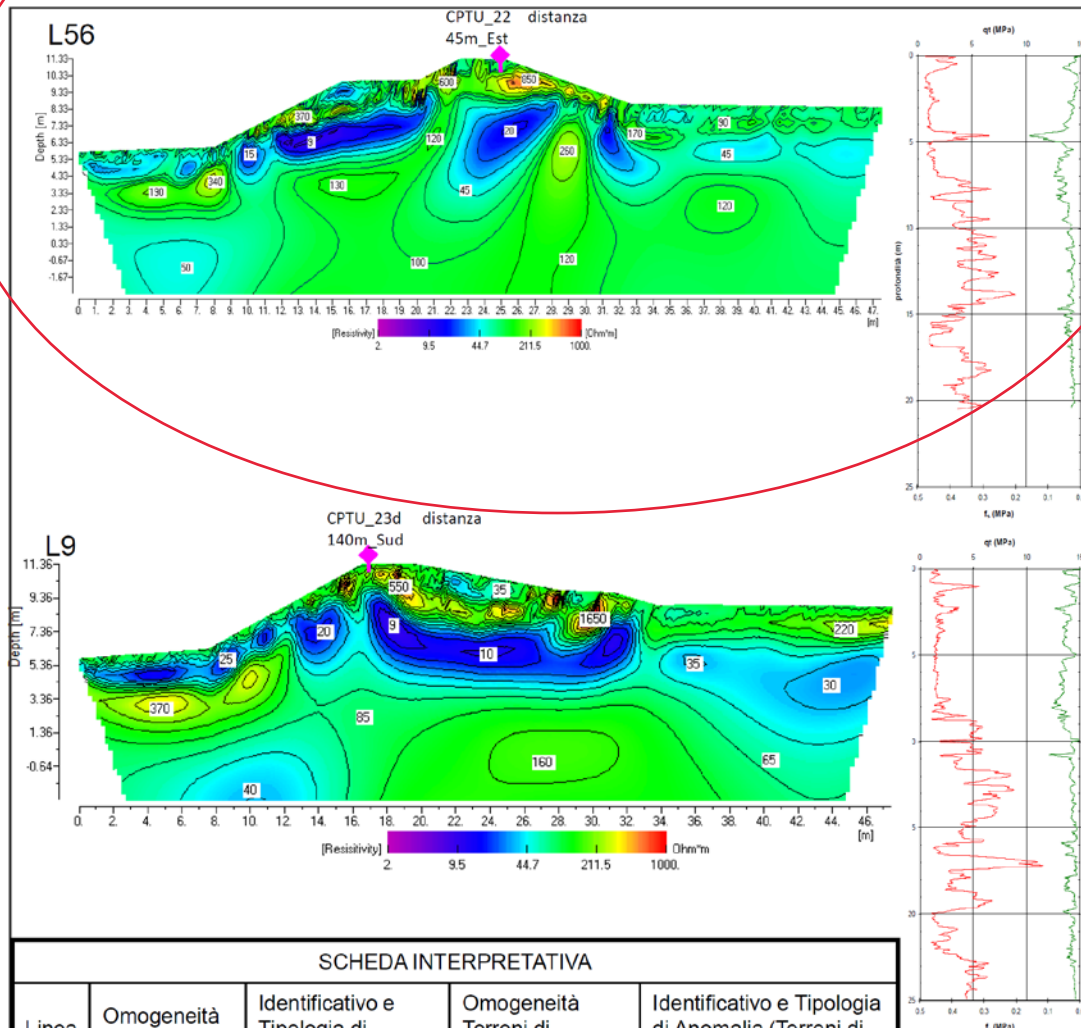
Vs30 (m/s) 192  
 VsE (m/s) 192  
 Equivalent Depth (m) >30  
 Probabile Categoria C



Vp e Moduli dinamici puramente indicativi  
 Poisson assegnato durante la modellazione in base alla tipologia di terreno e per gli strati superficiali modellato per soddisfare i primi arrivi rifratti (quando visibili); in caso di terreni sciolti saturi, poisson calcolato per soddisfare la condizione Vp= 1500m/s.  
 Densità calcolata secondo: Gardner, G.H.F., Gardner, L.W., Gregory, A.R., 1974. Formation velocity and density-the diagnostic basic for stratigraphic trap. Geophysics 39, 770-780.

Confronto tra spettri sintetici e sperimentali. Immagine superiore: spettro di velocità di fase delle onde di Rayleigh, componente verticale (ZVF); Immagine inferiore: spettro di velocità di fase delle onde di Rayleigh, componente orizzontale (RVF). Scala colore=spettro sperimentale; contouring nero=spettro sintetico.





Tracce sezioni ERT eseguite secondo la Determina n. 5304 del 25/11/2010

Posizione CPTU prossima alla sezione

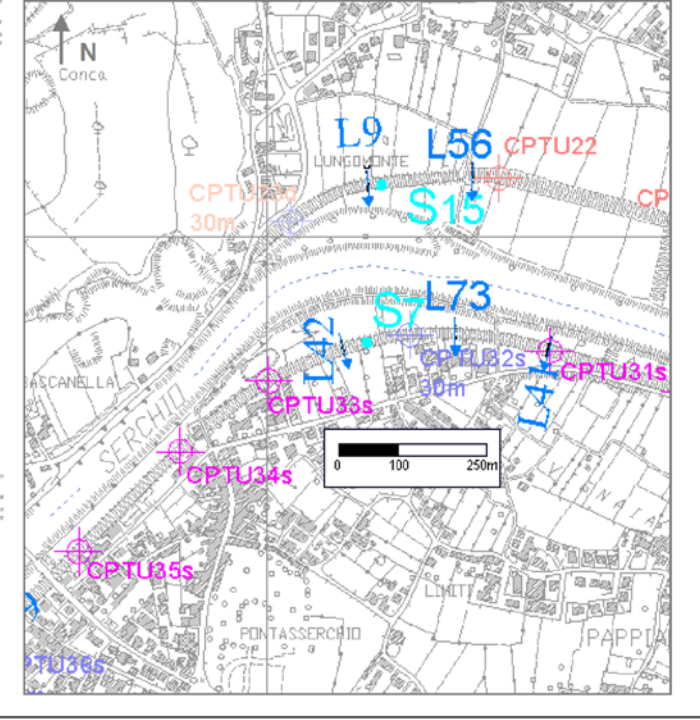
**A18-R1**  
Anomalia Elettrostratigrafica Resistiva

**A18-C1**  
Anomalia Elettrostratigrafica Conduttiva

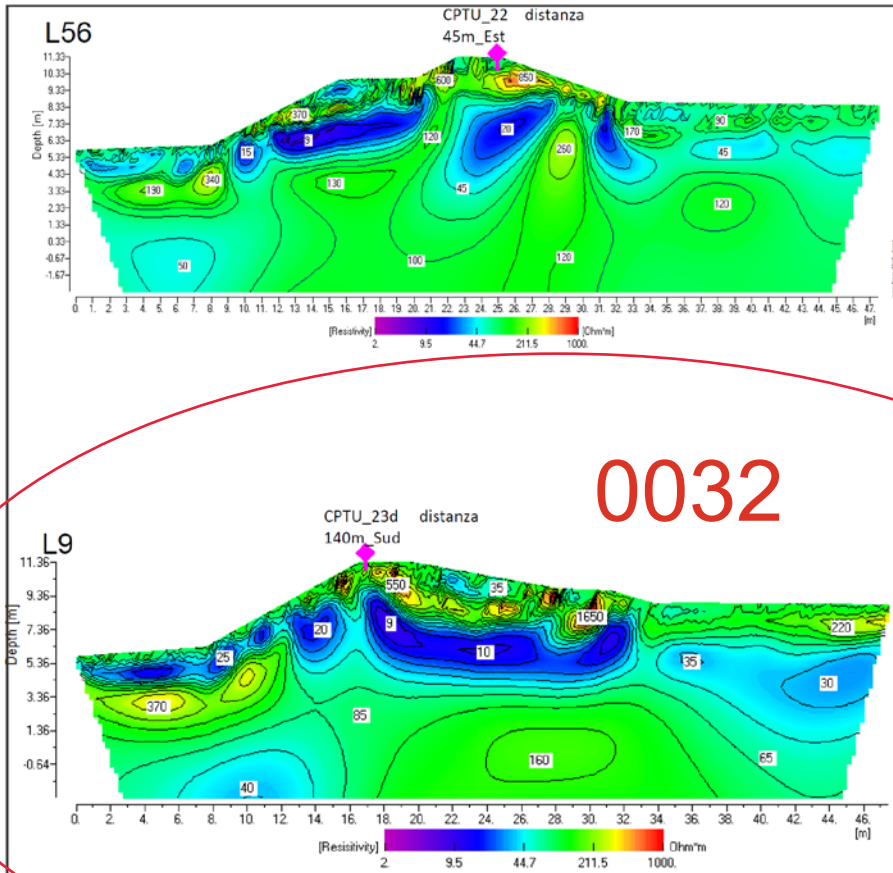
**A18-L1**  
Anomalia Elettrostratigrafica = Variazione Laterale

<b>SOING</b> STRUTTURE & AMBIENTE	
PROGETTO	Indagini geofisiche ERT per la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni arginali del Fiume Serchio (PI).
COMMITTENTE	Provincia di Pisa
RIFERIMENTI INTERNI	Comm-084-2010
OGGETTO	Sezioni tomografiche elettriche
TAVOLA	10
Elab	MG.Idili
Verifica	A.Pacchini
Approvazione	P.Chiera
EMISSIONE DATA	10-08-2011

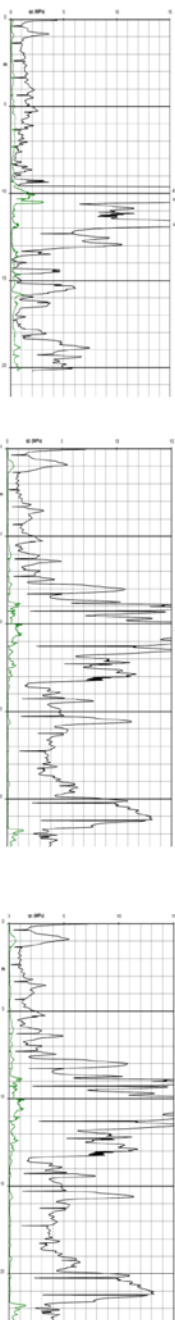
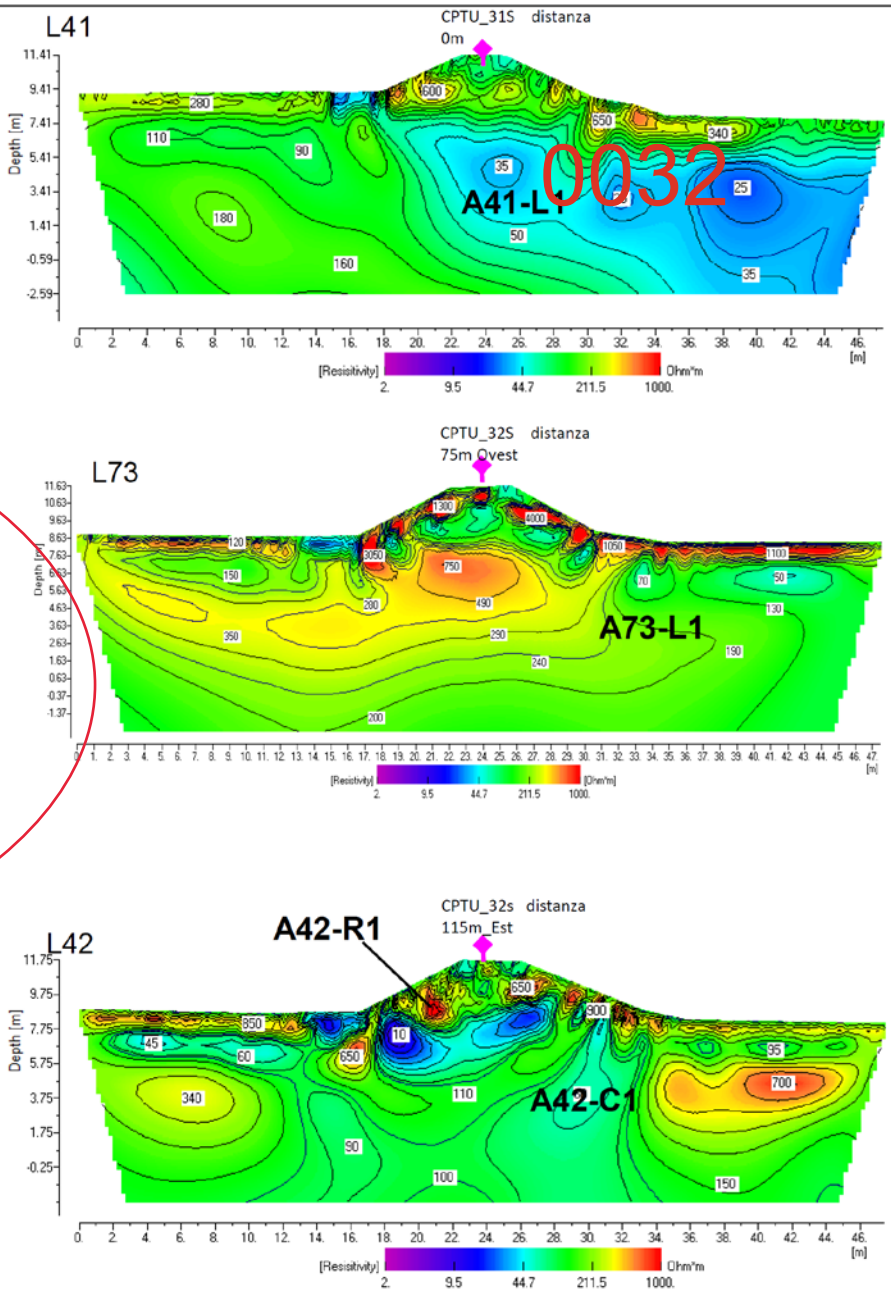
SCHEDA INTERPRETATIVA				
Linea	Omogeneità Argine	Identificativo e Tipologia di Anomalia (Argini)	Omogeneità Terreni di Fondazione	Identificativo e Tipologia di Anomalia (Terreni di Fondazione)
L56	ALTA	NP	ALTA	NP
L9	ALTA	NP	ALTA	NP
L41	ALTA	NP	BASSA	A41-L1
L73	ALTA	NP	BASSA	A73-L1
L42	BASSA	A42-R1	BASSA	A42-C1







SCHEDA INTERPRETATIVA				
Linea	Omogeneità Argine	Identificativo e Tipologia di Anomalia (Argini)	Omogeneità Terreni di Fondazione	Identificativo e Tipologia di Anomalia (Terreni di Fondazione)
L56	ALTA	NP	ALTA	NP
L9	ALTA	NP	ALTA	NP
L41	ALTA	NP	BASSA	A41-L1
L73	ALTA	NP	BASSA	A73-L1
L42	BASSA	A42-R1	BASSA	A42-C1



Tracce sezioni ERT eseguite secondo la Determina n. 5304 del 25/11/2010

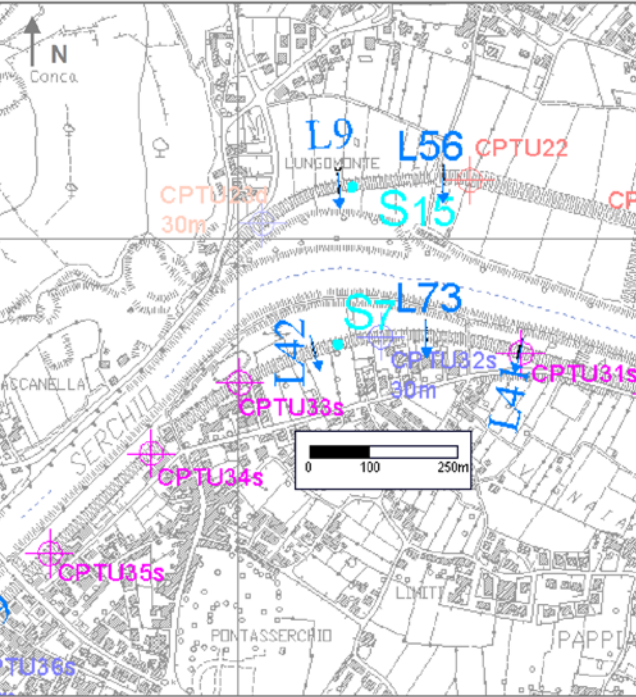
Posizione CPTU prossima alla sezione

**A18-R1**  
Anomalia Electrostratigrafica Resistiva

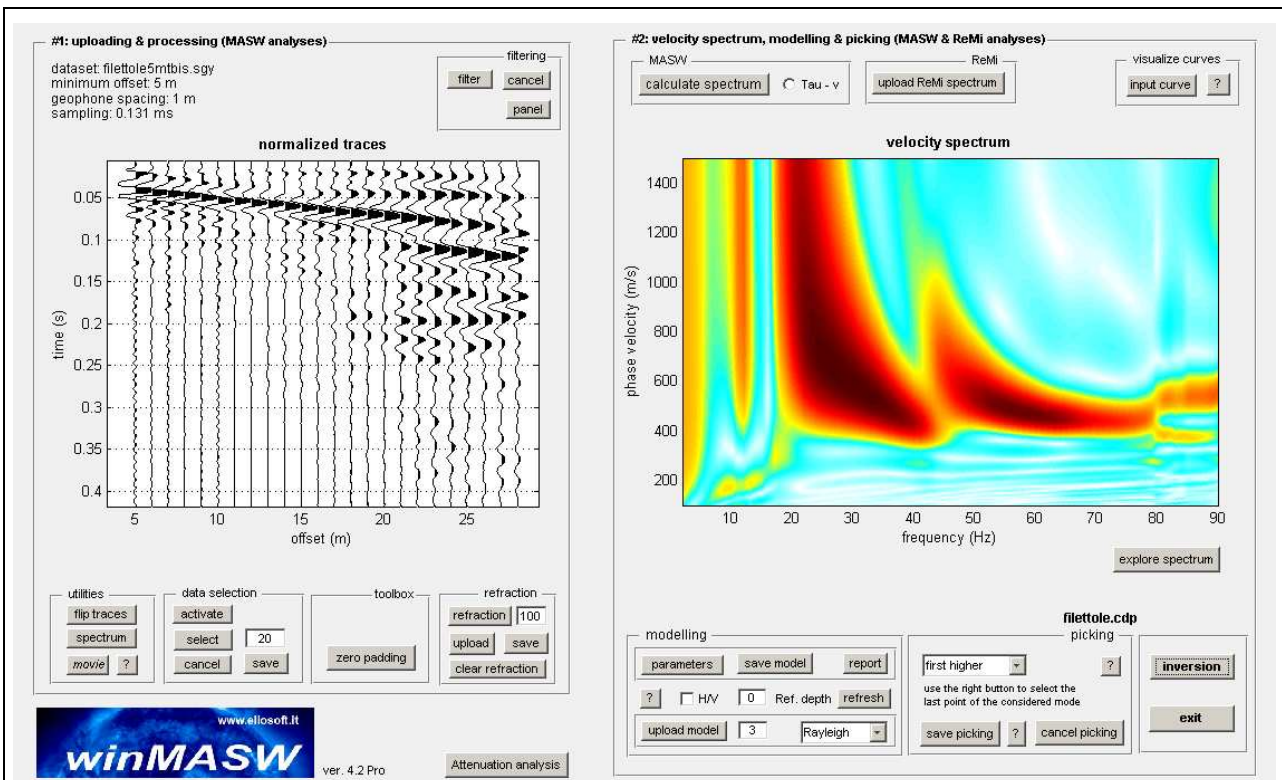
**A18-C1**  
Anomalia Electrostratigrafica Conduttiva

**A18-L1**  
Anomalia Electrostratigrafica = Variazione Laterale

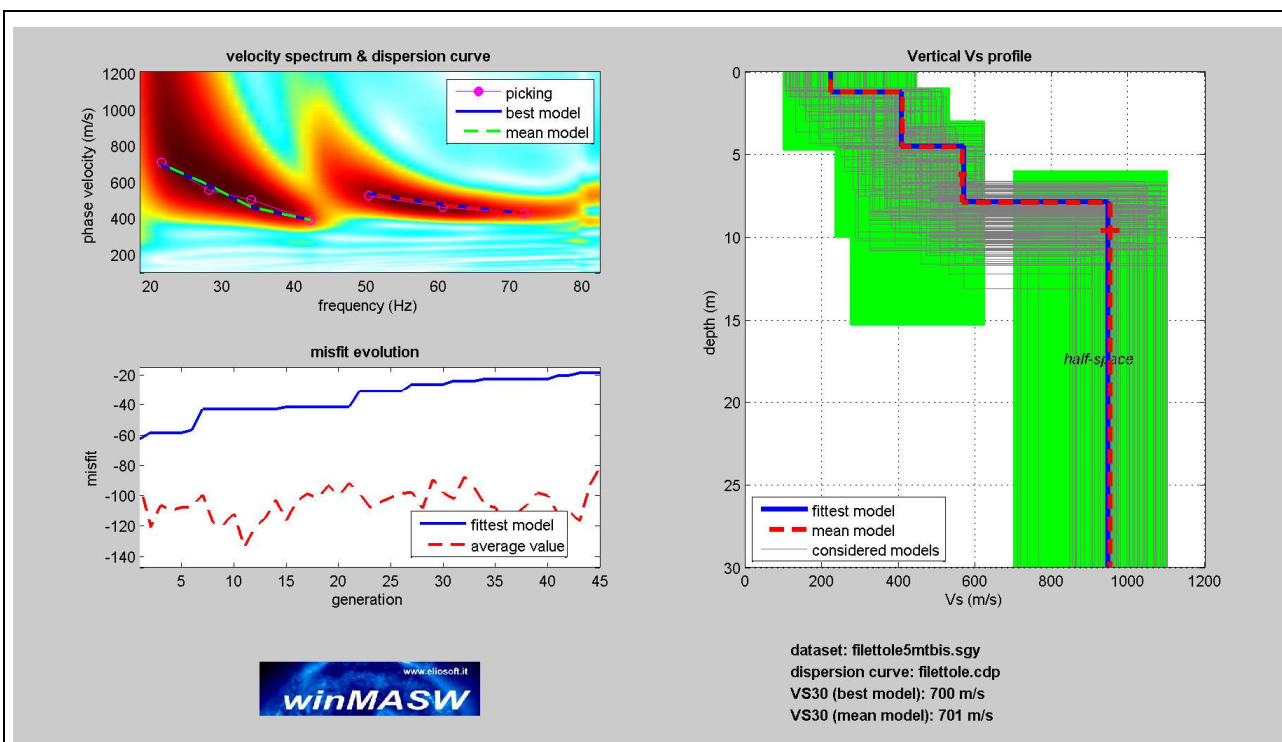
SOING STRUTTURE & AMBIENTE	
PROGETTO	Indagini geofisiche ERT per la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni arginali del Fiume Serchio (PI).
COMMITTENTE	Provincia di Pisa
RIFERIMENTI INTERNI	Comm-084-2010
OGGETTO	Sezioni tomografiche elettriche
TAVOLA	10
Elab	MG.Idili
Verifica	A.Pacchini
Approvazione	P.Chiera
EMISSIONE DATA	10-08-2011







**Fig. 2.** Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità calcolato

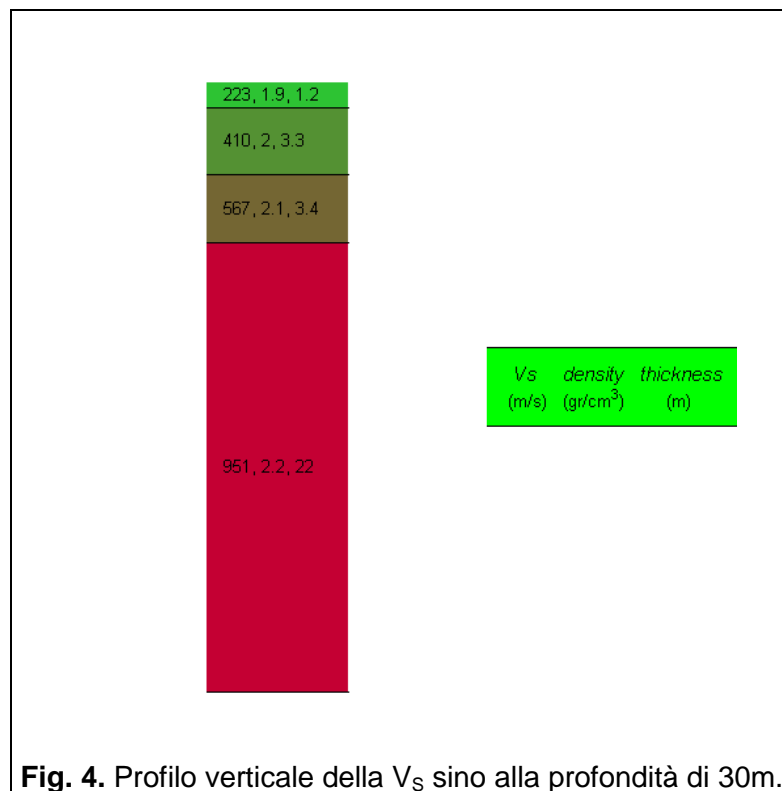


**Fig. 3.** Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale  $V_s$  identificato (vedi anche Tabella 1) (modello "migliore" e medio sono tipicamente analoghi). In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli *Algoritmi Genetici* – Dal Moro et al., 2007).

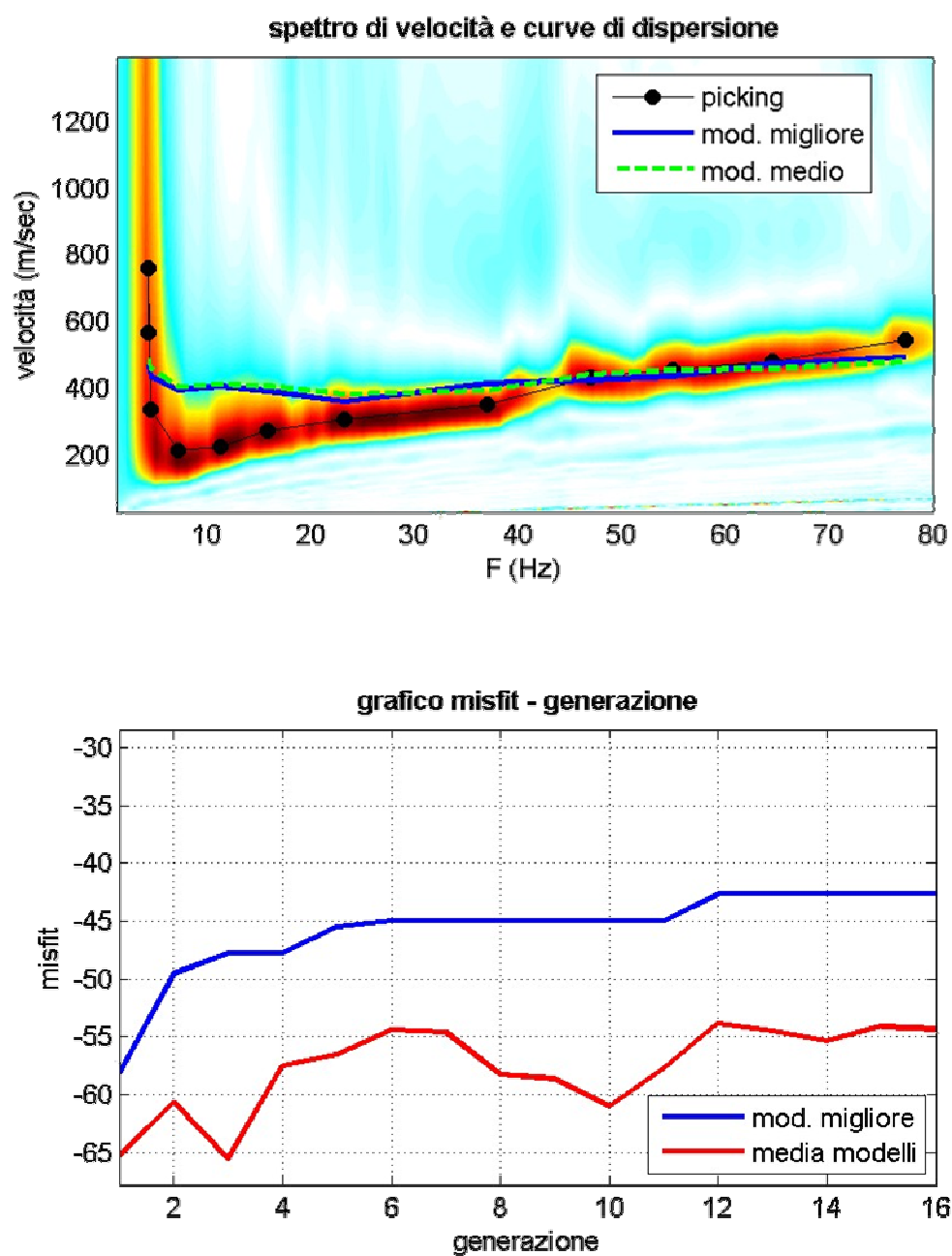


Spessore (m)	$V_s$ (m/s)	Modulo di taglio (MPa)
1.2	223	93
3.3	410	341
3.4	567	672
<i>Semi-spazio</i>	951	1968

**Tab. 1.** Modello medio del sottosuolo ( $V_s30$  riferita al piano campagna: 701 m/s).

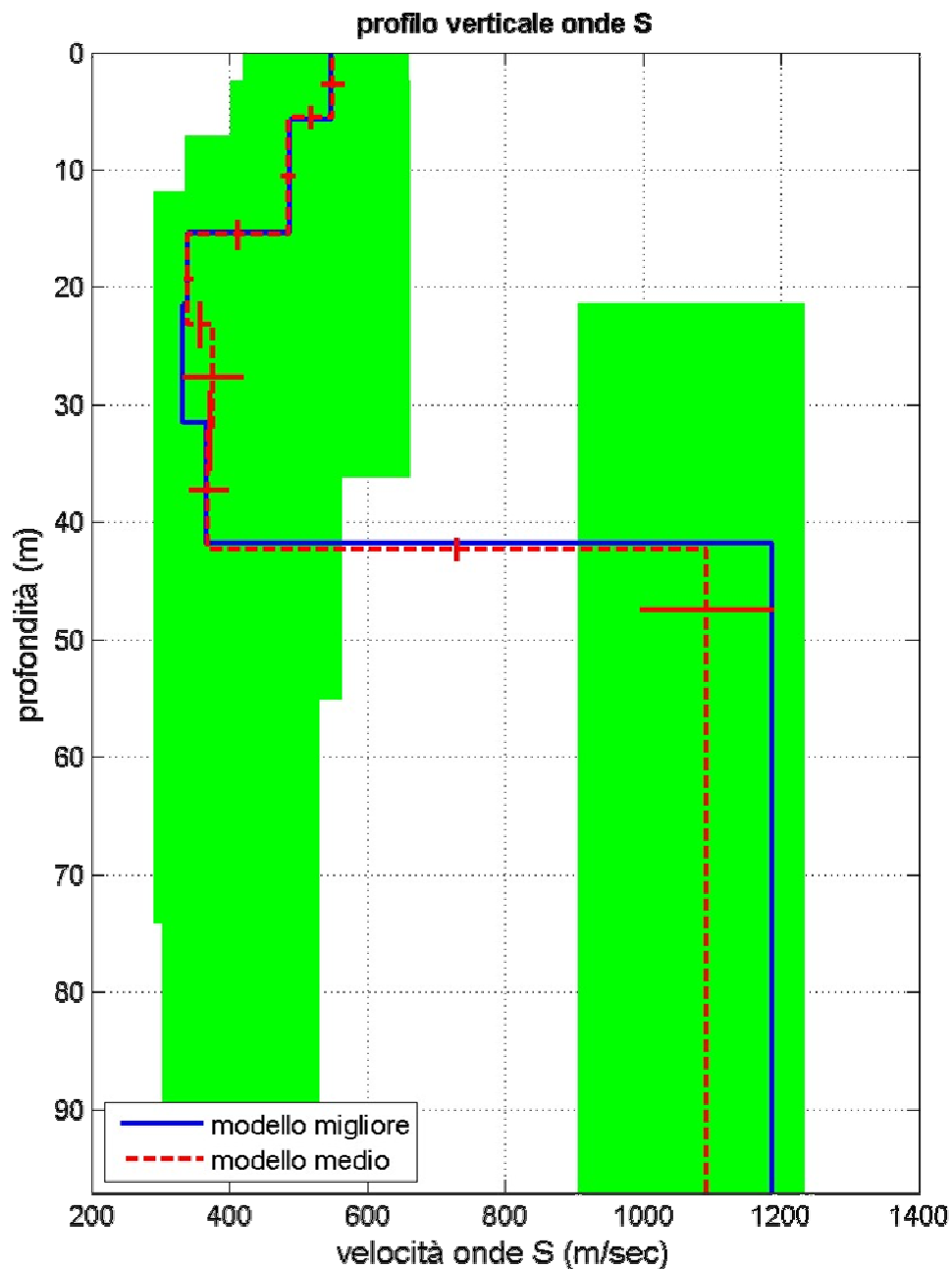






**Figure n.3 e 4** - Grafici relativi alla curva di dispersione e alla generazione dei modelli medio e migliore, relativamente allo shot P5.2 SGY Vecchiano, Pisa.





**dataset: P5.2.SGY**

**curva di dispersione: pick.cdp**

**modello migliore VS30: 406 m/sec**

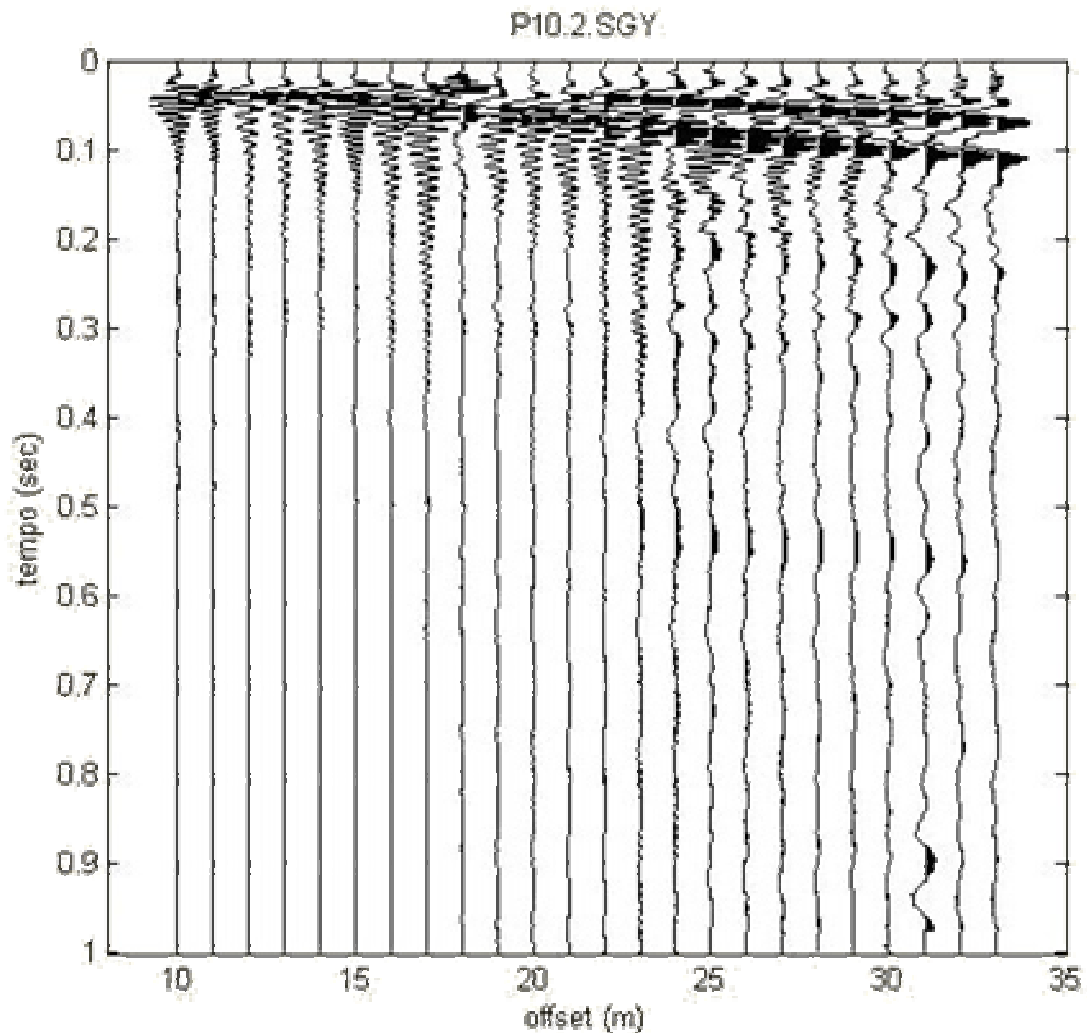
**modello medio VS30: 421 m/sec**

**Figura n.5** - Profilo verticale  $V_s$  dove in verde viene evidenziato lo spazio di ricerca adottato all'interno del quale l'algoritmo di calcolo del software identifica la soluzione ottimale che meglio approssima il dato registrato in campagna



### *Elaborazione shot P10.2 SGY*

Nella figura successiva si riporta la registrazione utilizzata (grafico distanza-tempo) con evidente il treno delle onde superficiali.



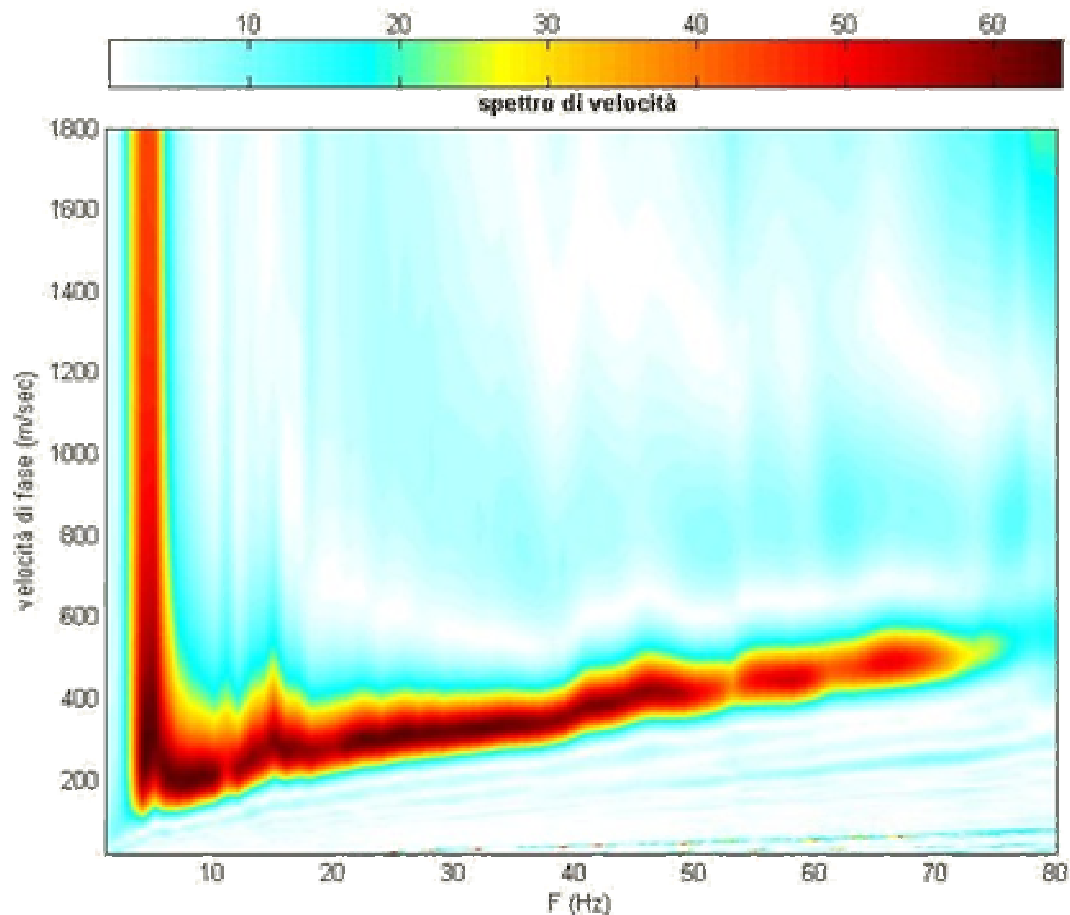
**Figura n.6** - Dati di input relativi allo shot P10.2 SGY registrato a Vecchiano, Pisa.

In particolare si osserva l'allargamento del segnale tipico della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh ovvero della loro dispersione.

Si nota come il trend non sia stato "tagliato" via da un ridotto tempo di acquisizione in quanto completo per l'intera stringa geofonica.



Nella successiva figura si riporta lo spettro di velocità ricavato per la suddetta registrazione (dominio frequenza/velocità di fase) da cui è stata ricavata la curva di dispersione e successivamente eseguito il picking.

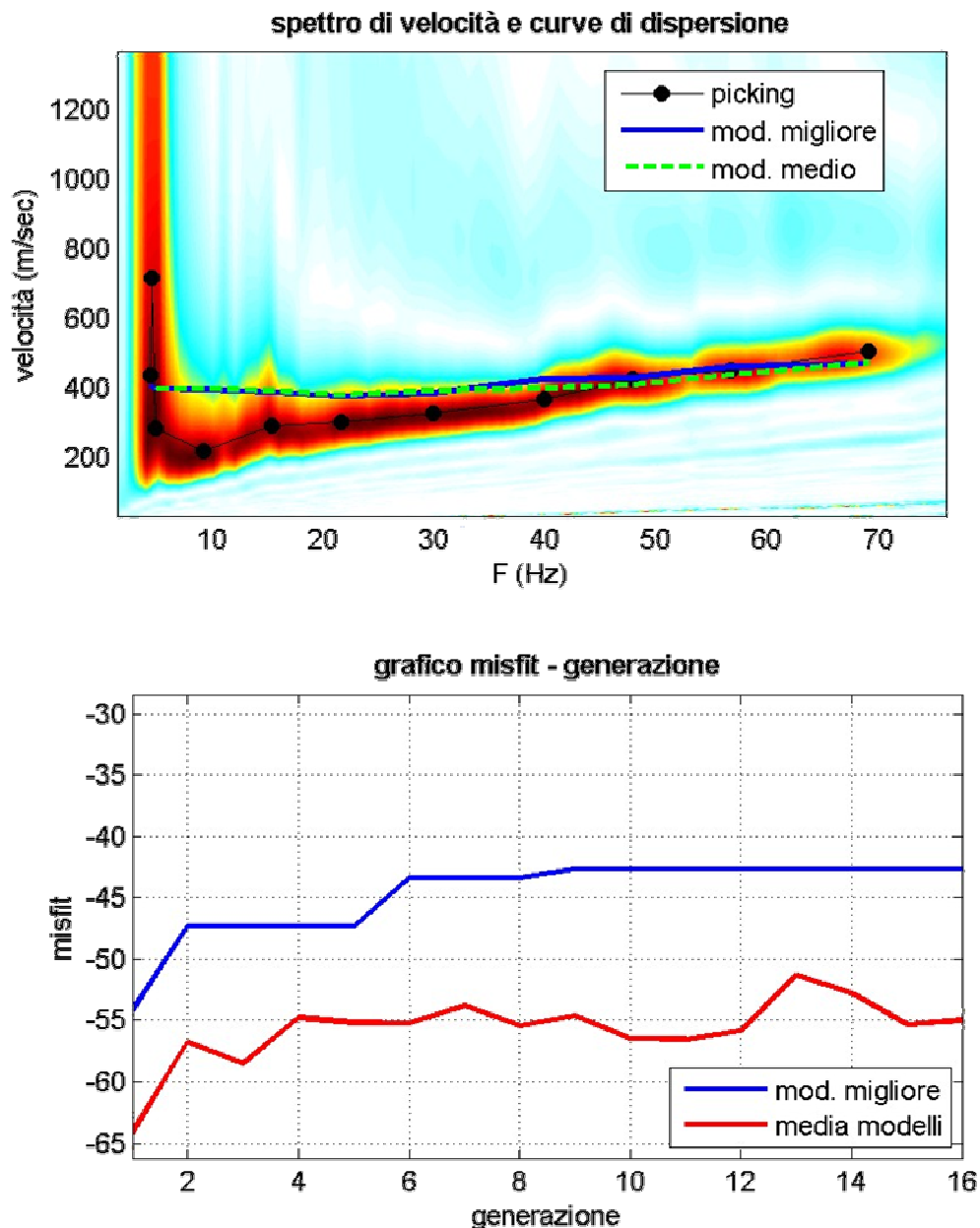


**Figura n.7** - Spettro di velocità (dominio frequenza-velocità di fase) relativa allo shot P10.2 SGY registrato a Vecchiano, Pisa.

Il programma permette di elaborare tale curva "piccata" e, mediante il processo di inversione, di arrivare a definire due modelli stratigrafici; un modello che fitta con una buona approssimazione tale curva (in questo caso si parla di minore "misfit" cioè minore discrepanza tra curva osservata e calcolata) e che viene definito **modello migliore** ed un altro, definito **modello medio**, calcolato tramite una operazione statistica denominata MPPD (Marginal Posterior Probability Density). Tale operazione permette di valutare l'attendibilità della soluzione finale dalle deviazioni standard fornite per i parametri di ciascun modello.

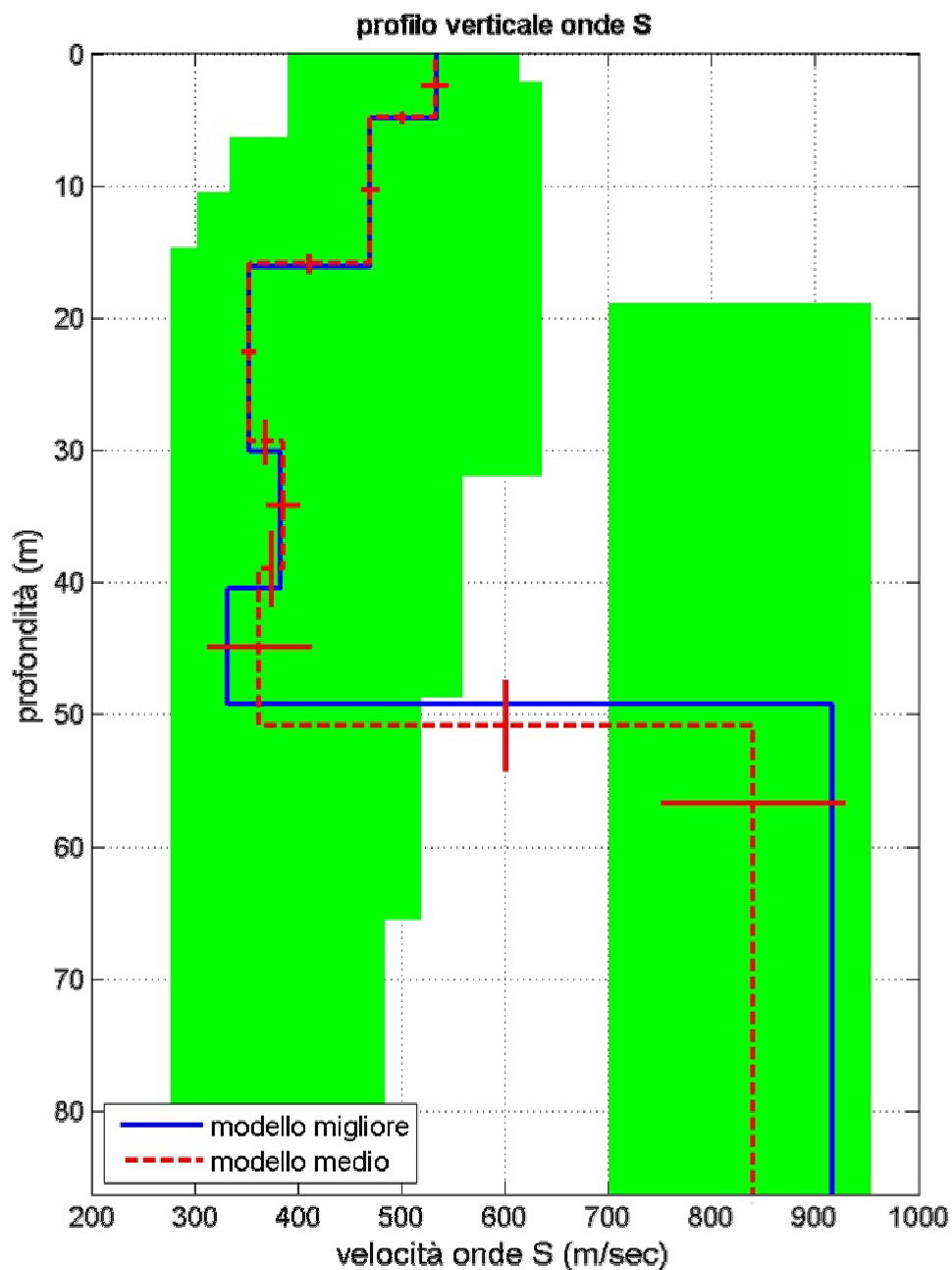


Il software consente quindi di ricavare le velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_{S5}$ ,  $V_{S20}$  e  $V_{S30}$  sia del modello migliore, ovvero dotato di minore "misfit", sia del modello medio; l'autore consiglia di utilizzare, quale dato finale, il modello medio, anche se normalmente, come nel caso in esame, i due valori non differiscono in maniera significativa.



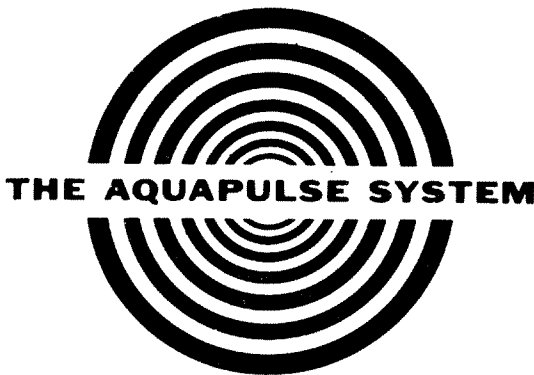
**Figure n.8 e 9** - Grafici relativi alla curva di dispersione e alla generazione dei modelli medio e migliore, relativamente allo shot P10.2 SGY Vecchiano, Pisa.





**Figura n.10** - Profilo verticale  $V_S$  dove in verde viene evidenziato lo spazio di ricerca adottato all'interno del quale l'algoritmo di calcolo del software identifica la soluzione ottimale che meglio approssima il dato registrato in campagna





AGIP

AREA : MARE TIRRENO  
ZONE 'E'

WESTERN  
GEOPHYSICAL  
DIVISION OF LITTON INDUSTRIES

PROCESSING SEQUENCE

- 1) EDIT -(SUM - 4 POPS)
- 2) DECONVOLVED BEFORE STACK
- 3) NORMAL MOVE OUT
- 4) STACK 1200 %
- 5) T V FILTER
- 6) PLAYBACK (UNFILTERED)

RECORDING DATA

PARTY NO 62  
ENERGY SOURCE AQUAPULSE  
FILTER 10-80 HZ  
CABLE 1600 M  
GEOPHONES 32 CRYSTAL ELEMENT  
TAPERED ARRAY  
LEAD IN 750 FT  
AMPLIFIER REDCOR BINARY GAIN  
CHARGE SIZE 4 GUNS POP  
DATE SHOT FEB 1968

PROCESSING INFORMATION  
SAMPLE RATE 2 ms.

DECONVOLUTION

DECONVOLVED BEFORE STACK  
AUTO CORR INT TIME VARIANT  
MAX APERTURE 0-300 ms.  
TIME ZONE 0.2-4.0 Sec  
ITERATIONS 2

TIME VARIANT FILTER

TIME ZONE	L.C.	H.C.
	Hz dB OCT	Hz dB OCT
0.1-0.4 Sec	25 24	60 12
0.4-0.6	20 12	55 12
0.6-0.8	15	50
0.8-2.8	10	50
2.8-4.4	10	45

REEL NO. E-0922  
DATE FEB 1968  
W.G.C. CONTRACT LDP 169

0035  
LINE : 104

S.P. 07AD To S.P. 96AAD

DATUM PLANE : SEA LEVEL

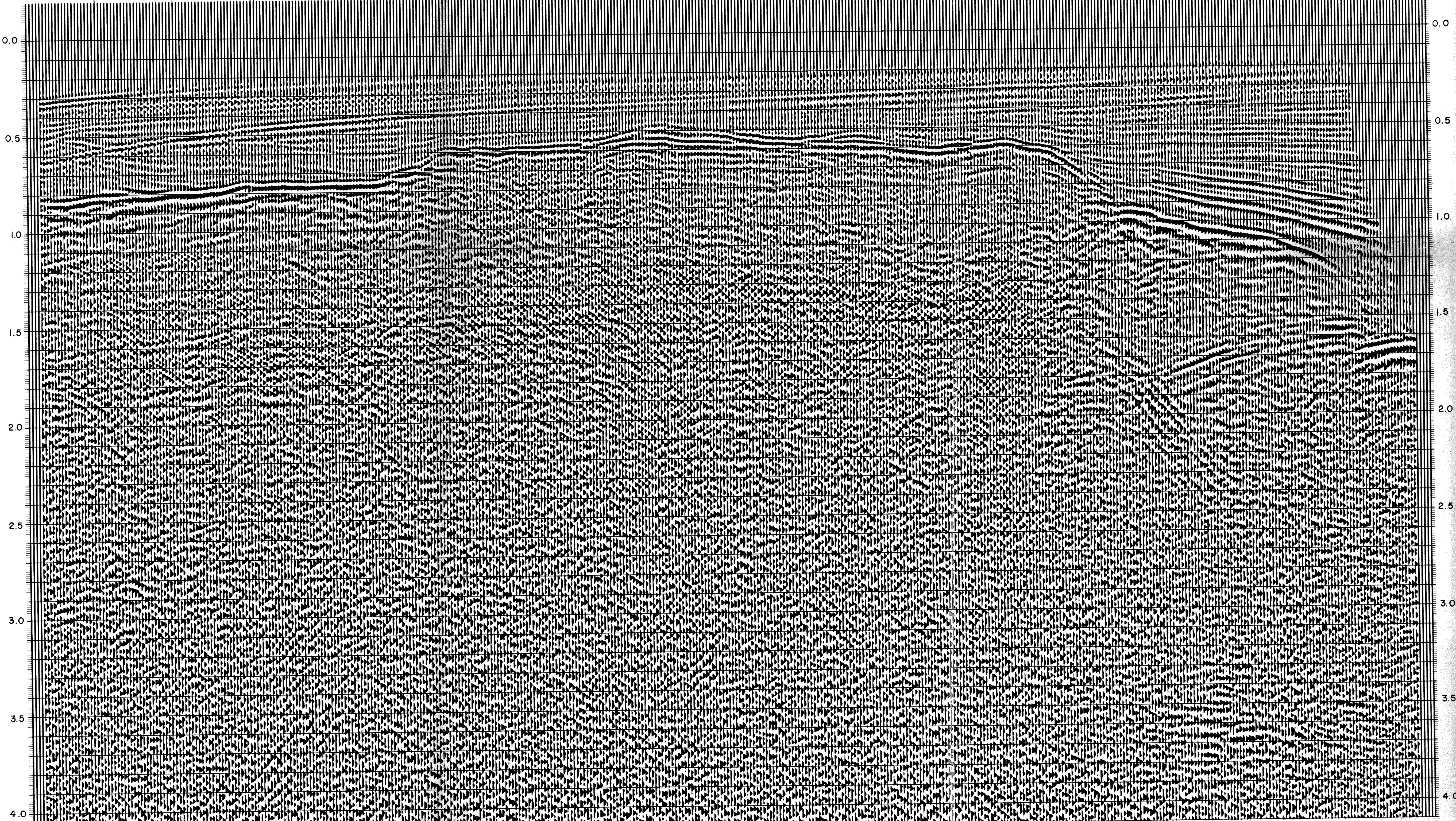
WEST

INTERSECTION  
LINE S.P.  
105 229

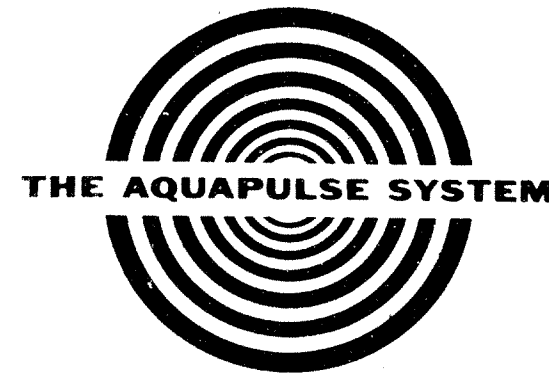
VELOCITY CHANGE

VELOCITY CHANGE

07AD 229 01A 198 6A 173 12A 156 18A 144 24A 134 30A 126 36A 119 42A 112 48A NA 54A NA 60A NA 66A NA 72A 89 78A 83 84A 77 90AA 70 96AAD 64







AGIP

AREA: MARE TIRRENO  
ZONE 'E'

WESTERN  
GEOPHYSICAL  
DIVISION OF LITTON INDUSTRIES

RECORDING DATA		PROCESSING INFORMATION	
PARTY NO.	62	SAMPLE RATE	2 ms.
ENERGY SOURCE	AQUAPULSE	DECONVOLUTION	TIME VARIANT FILTER
FILTER	10-80 HZ	DECONVOLVED BEFORE STACK	TIME ZONE
CABLE	1600 M	AUTO CORR. INT	0 1-0 4 Sec
GEOPHONES	32 CRYSTAL ELEMENT TAPERED ARRAY	TIME VARIANT	0 4-0 6
LEAD IN	750 FT	MAX. APERTURE	0 6-0 8
AMPLIFIER	REDCOR BINARY GAIN	TIME ZONE	0 8-2 8
CHARGE SIZE	4 GUNS POP	ITERATIONS	2
DATE SHOT	FEB 1968		

PROCESSING SEQUENCE			
1) EDIT -(SUM - 4 POPS)			
2) DECONVOLVED BEFORE STACK			
3) NORMAL MOVE OUT			
4) STACK 1200 %			
5) T.V. FILTER			
6) PLAYBACK (UNFILTERED)			

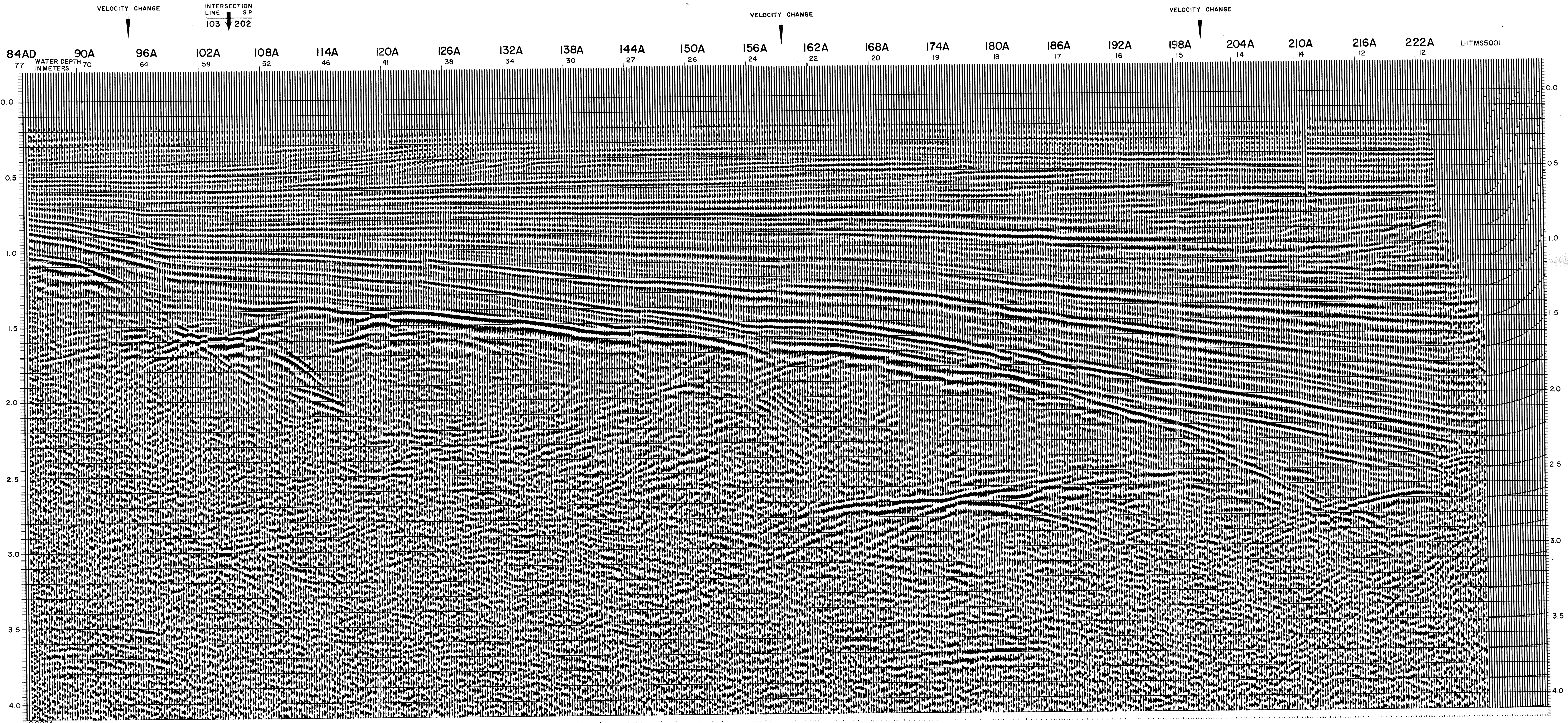
REEL NO.	E-0922
DATE	FEB 1968
W.G.C. CONTRACT LUP	169

LINE :104

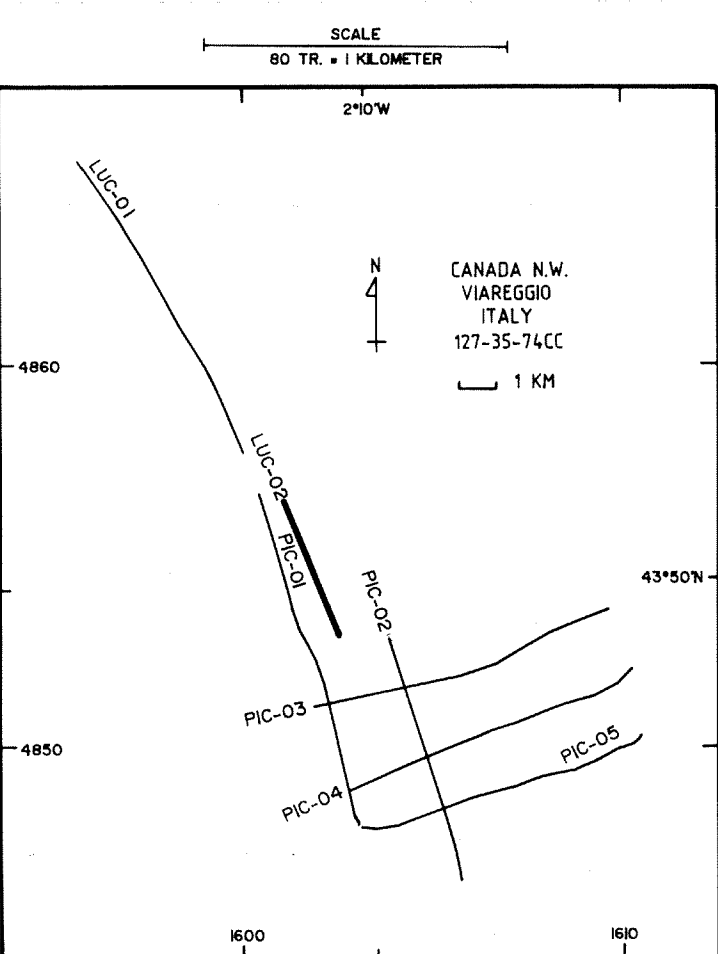
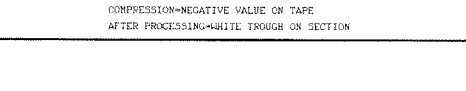
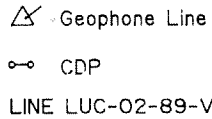
S.P. 84AD To S.P. 222A

DATUM PLANE : SEA LEVEL

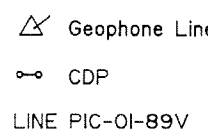
WEST





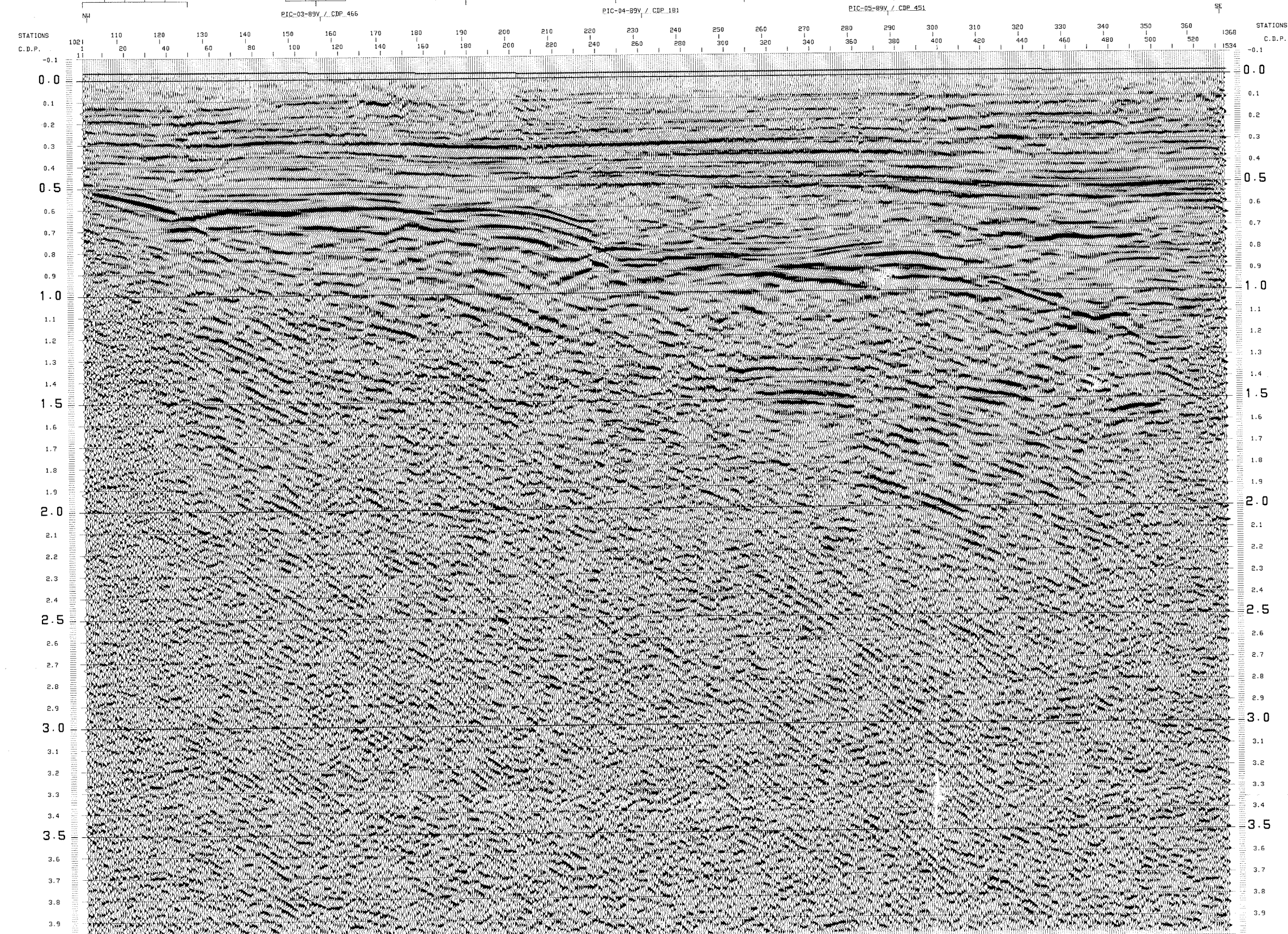
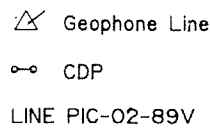






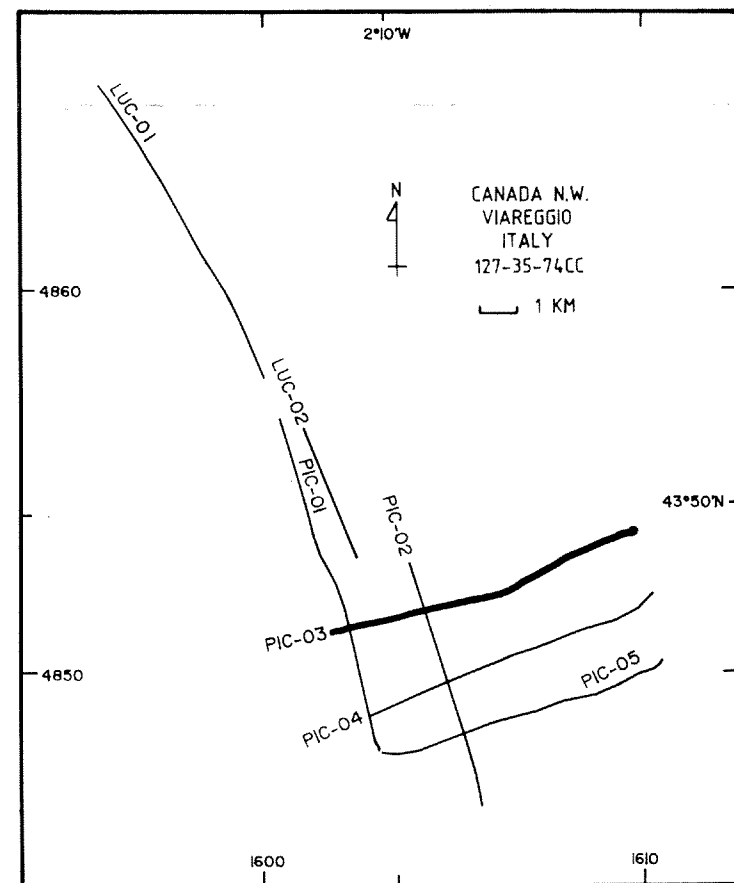
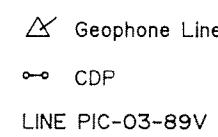
Map of the study area showing the coastline of Canada N.W. Viareggio, Italy, and the locations of the study sites (PIC-01, PIC-02, PIC-03, PIC-04, PIC-05) and the LUC-01 and LUC-02 transects. The map includes a scale bar (80 TR = 1 KILOMETER), a north arrow, and coordinates (43°50'N, 127°35'W).





Map of the study area showing the Canada-NW, Viareggio Italy seismic zone. The map includes a scale bar (0 to 1 km), a north arrow, and a coordinate grid (2°10'W, 43°50'N). The study area is bounded by 43°50'N and 43°40'N latitude and 2°10'W and 2°00'W longitude. The map shows the coastline of the Ligurian Sea and the location of the seismic zone. The seismic zone is marked by a thick black line labeled 'PIC-02'. Other seismic zones are labeled 'PIC-01', 'PIC-03', 'PIC-04', and 'PIC-05'. The map also shows the location of the 'LUC-01' and 'LUC-02' stations. The map is titled 'CANADA N.W. VIAREGGIO ITALY 127-35-74CC'.

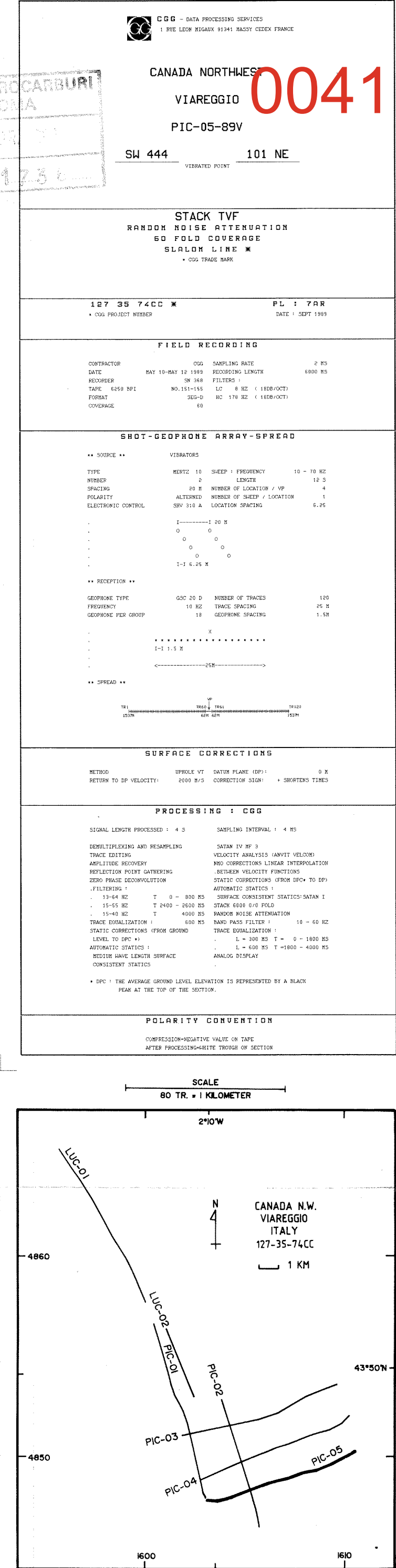
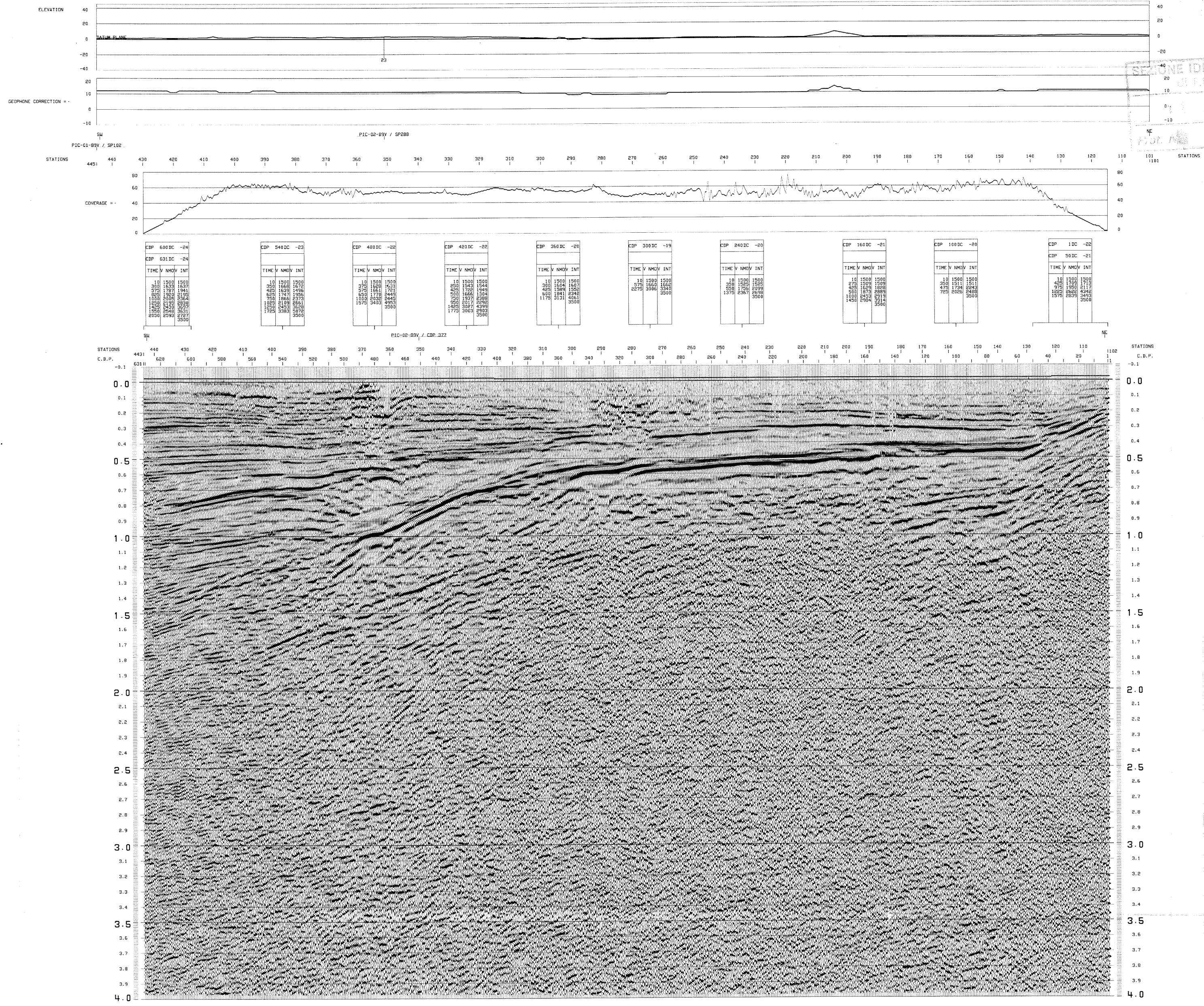
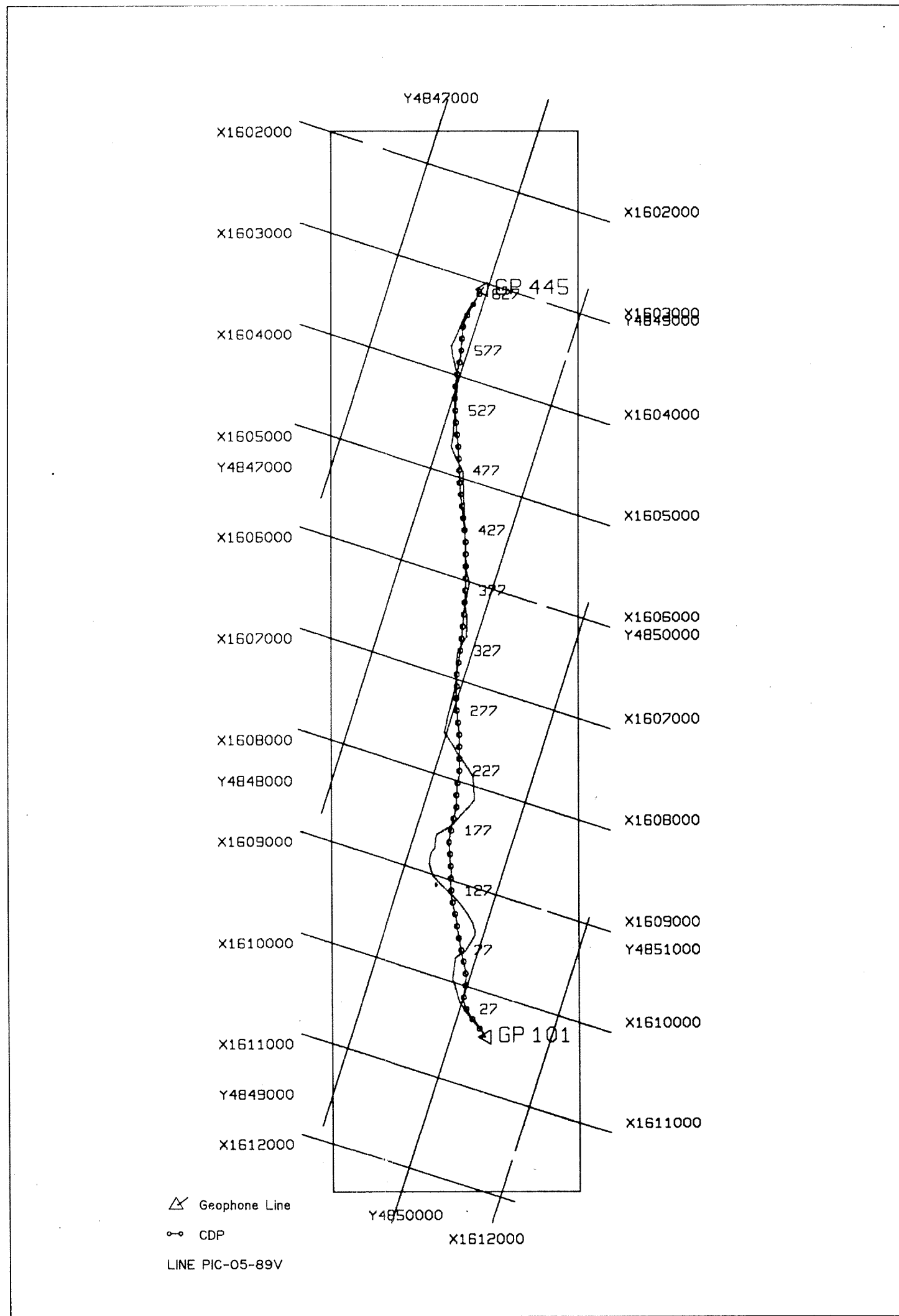














### 3 - ELABORAZIONE DEI DATI ACQUISITI

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC e convertiti in un formato compatibile (KGS format file) per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (winM.A.S.W. PRO).

L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "phase velocity-frequency (c-f)" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica.

#### Elaborazione M.A.S.W.

L'analisi M.A.S.W., come accennato in precedenza, può essere ricondotta in tre fasi:

- Prima fase: trasformazione delle serie temporali nel dominio frequenza  $f$  - numero d'onda  $K$ ;
- Seconda fase: individuazione delle coppie  $f-k$  cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (densità spettrale) che consentono di risalire alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel piano  $V_{\text{fase}}$  (m/sec) - frequenza (Hz) - (Fig. 2).

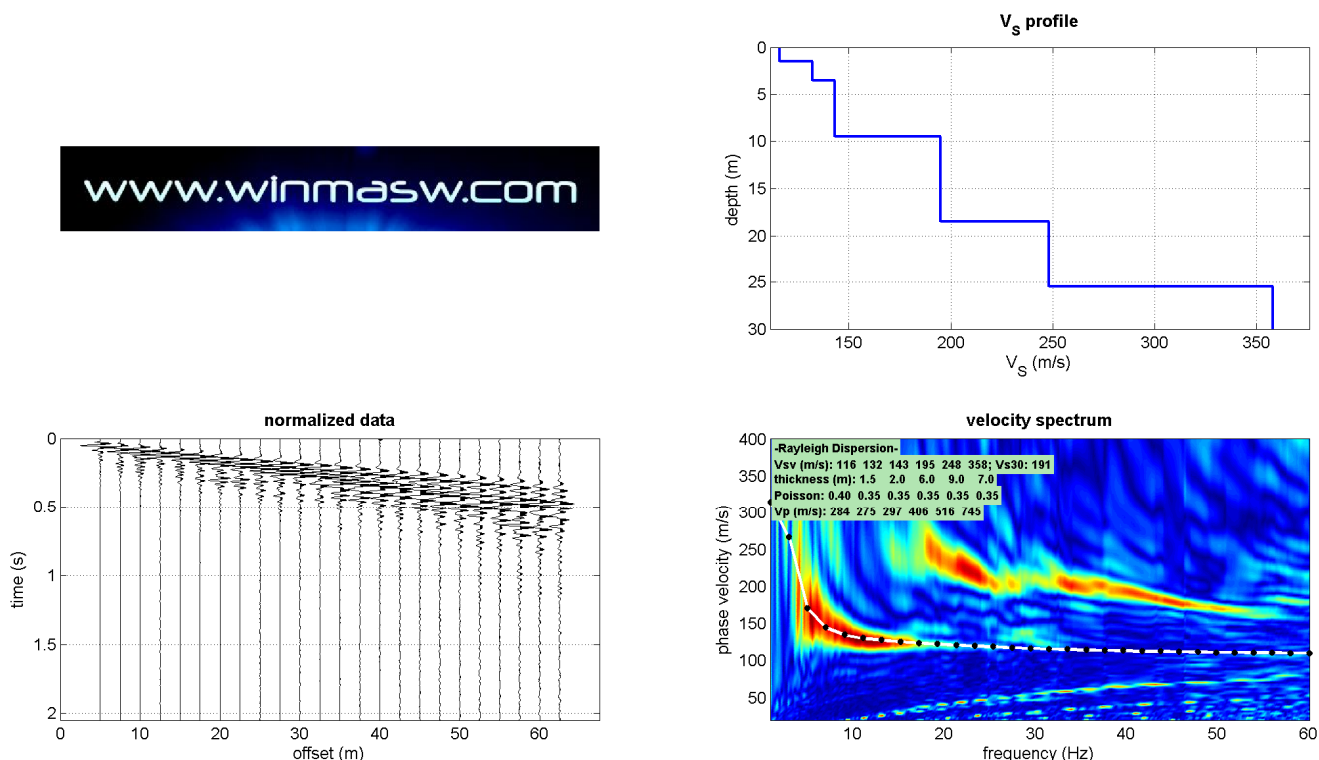


Fig. 2

- Terza fase: calcolo della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$  (Fig. 3).



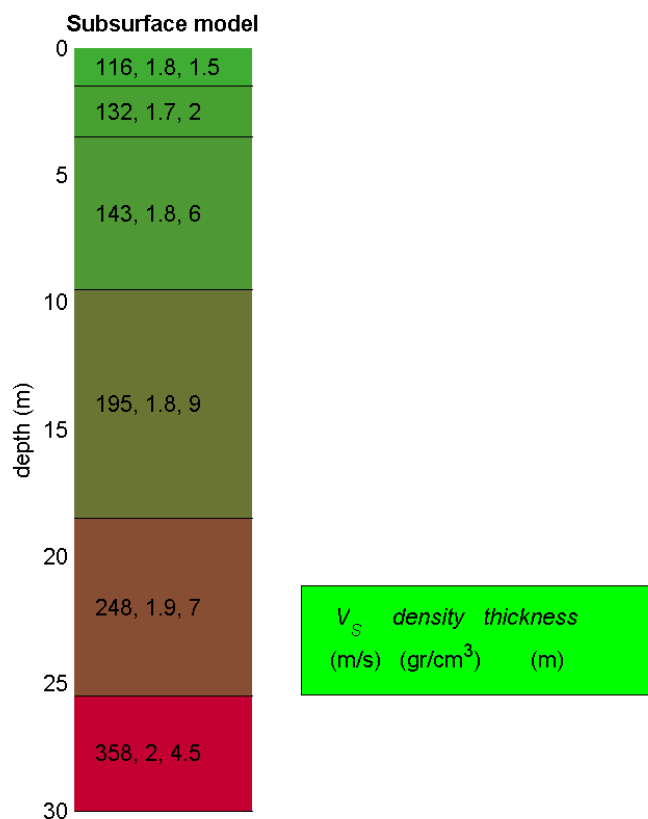


Fig. 3

Nella tabella seguente sono riassunti i principali parametri desunti dall'indagine effettuata.

SISMOSTRATO N.	PROFONDITA' DELLA BASE (m)	SPESSORE DELLO STRATO (m)		Vs (m/sec)		
1	1.5	1.5		116		
2	3.5	2.0		132		
3	9.5	6.0		143		
4	18.5	9.0		195		
5	25.5	7.0		248		
6				358		
MEAN MODEL						
Approximate values for Vp, density, Shear modulus						
Sismostrato n.	1	2	3	4	5	6
Vp (m/s)	284	275	297	406	516	745
Density (gr/cmc)	1.75	1.74	1.76	1.84	1.89	1.98
Shear modulus (MPa)	24	30	36	70	116	254



**Allegato C**

**Elaborati Grafici MASW "STR160517A"**

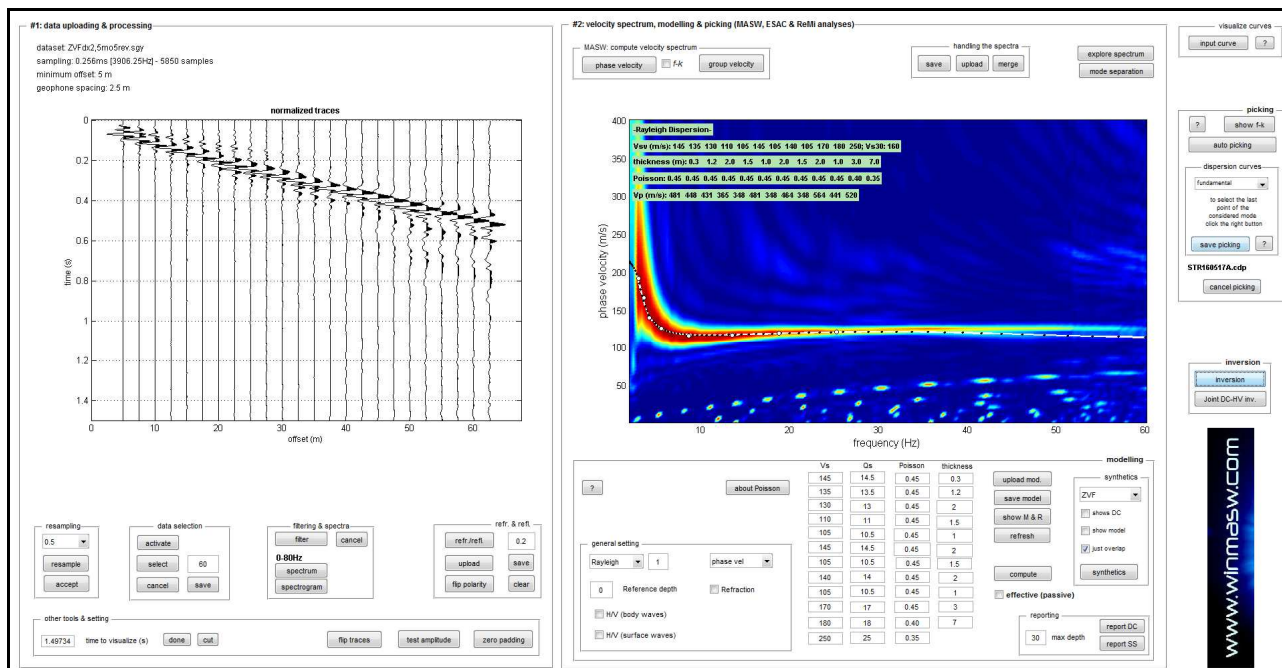
Elaborazione Shot 2 (5 m dal G24)

- Spettro delle Velocità con "Picking"
- Grafico Misfit & Profilo Verticale Onde S
- Profilo verticale Vs (modello medio)

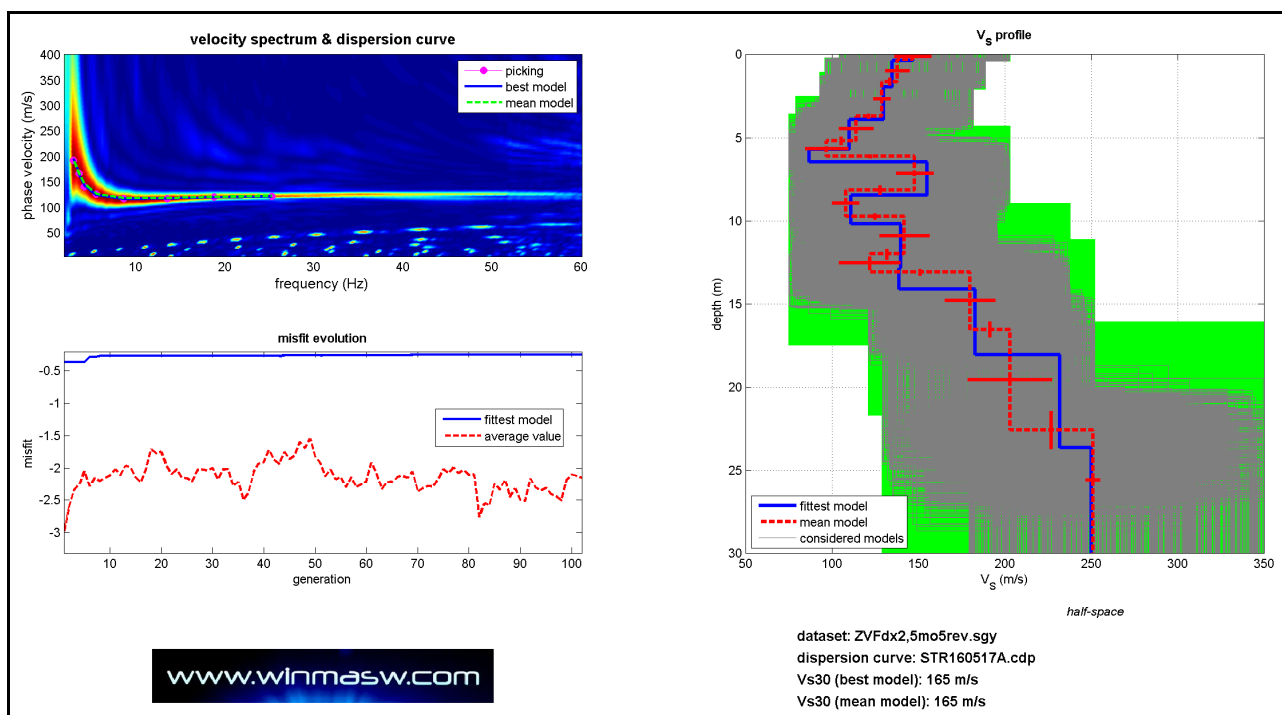


Numero di canali 24  
Distanza intergeofonica 2,5 metri  
Lunghezza 57,5 metri  
Azimuth N185° (S-N)

Coordinate Gauss-Boaga Geofono G1:  
X = 1607694.5345 Y = 4846440.7240  
Coordinate Gauss-Boaga Geofono G24:  
X = 1607696.9391 Y = 4846498.1737

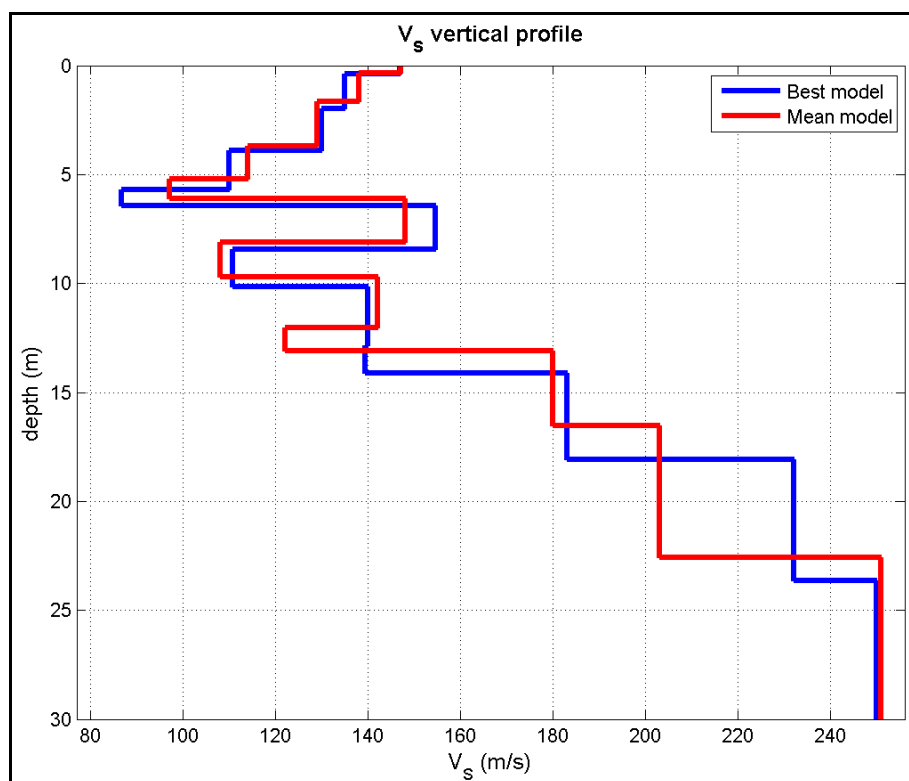


**Fig.1:** Sismogramma (Shot2 - G24 - m5,00) e spettro delle velocità con "picking"



**Fig.2:** Grafico Misfit - Profilo verticale delle Onde S





**Fig.3:** Profilo verticale Vs (Modello medio/Modello migliore)

#### Mean model

Vs (m/s): 147, 138, 129, 114, 97, 148, 108, 142, 122, 180, 203, 251

Thickness (m): 0.3, 1.3, 2.1, 1.5, 0.9, 2.0, 1.6, 2.3, 1.1, 3.4, 6.0

$$V_{S,30} = 165 \text{ m/s (best model)} \div 165 \text{ m/s (mean model)}$$

a partire dal piano campagna

#### CATEGORIA DI SOTTOSUOLO - 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  $V_{S,30}$  inferiori a 180 m/s (ovvero  $N_{SPT,30} < 15$  nei terreni a grana grossa e  $C_{U,30} < 70$  kPa nei terreni a grana fina)".*

NOTA: Le inversioni individuate alle varie profondità, possono essere trascurate in quanto i rapporti tra la Vs dello strato rigido (superiore) e la Vs dello strato meno rigido sono minori di 1,5.

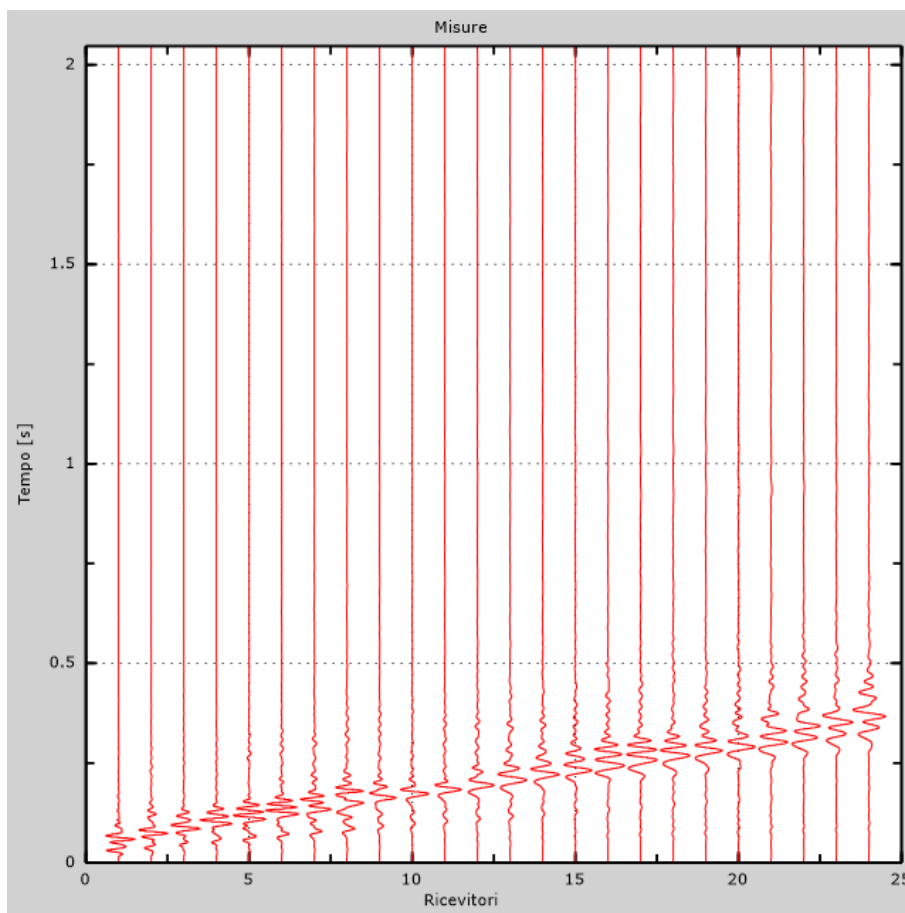


## Elaborazione Indagine Sismica MASW

Software MASW Vitantonio Roma

### Dati sperimentali

Nome del file delle tracce....C:\..... miglmasw\5stack.sg2  
 Numero di ricevitori.....24  
 Distanza tra i sensori:.....1,5m  
 Numero di campioni temporali.....2048  
 Passo temporale di acquisizione.....1ms  
 Numero di ricevitori usati per l'analisi.....24  
 L'intervallo considerato per l'analisi comincia a.....0ms  
 L'intervallo considerato per l'analisi termina a .....2047ms  
 I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)



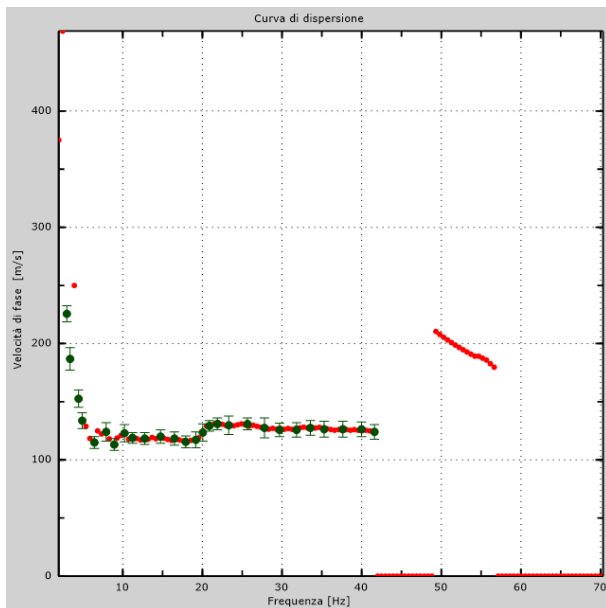
Tracce sperimentali



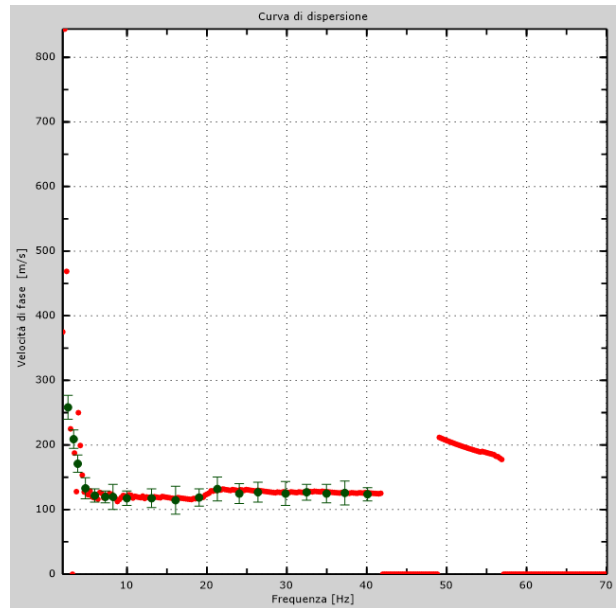
## Curva di dispersione

<i>Frea. [Hz]</i>	<i>V. fase [m/s]</i>	<i>V. fase min [m/s]</i>	<i>V. fase Max</i>	<i>λ [m]</i>
2.96981	225.602	218.757	232.448	75.97
3.37764	186.812	177.114	196.509	55.31
4.4482	152.584	145.168	160	34.3
4.90701	133.759	126.914	140.605	27.26
6.43637	114.934	109.8	120.068	17.86
7.91476	124.062	116.075	132.048	15.67
8.93434	113.223	108.089	118.357	12.67
10.2088	122.921	115.505	130.337	12.04
11.2284	118.927	114.364	123.491	10.59
12.7577	118.357	113.223	123.491	9.28
14.7459	120.068	114.364	125.773	8.14
16.4792	118.357	112.652	124.062	7.18
17.9066	115.505	110.371	120.639	6.45
19.1811	117.216	110.371	124.062	6.11
20.0477	123.491	116.075	130.907	6.16
20.8634	129.196	124.632	133.759	6.19
21.883	130.907	125.773	136.041	5.98
23.3104	129.766	121.78	137.752	5.57
25.6554	130.907	125.773	136.041	5.1
27.7965	127.484	118.927	136.041	4.59
29.6827	125.773	120.068	131.477	4.24
31.8238	125.773	119.498	132.048	3.95
33.5571	127.484	121.209	133.759	3.8
35.2904	126.343	119.498	133.189	3.58
37.6354	126.343	119.498	133.189	3.36
39.9804	126.343	120.068	132.618	3.16
41.6118	124.062	117.787	130.337	2.98





Curva di dispersione acquisizione diretta

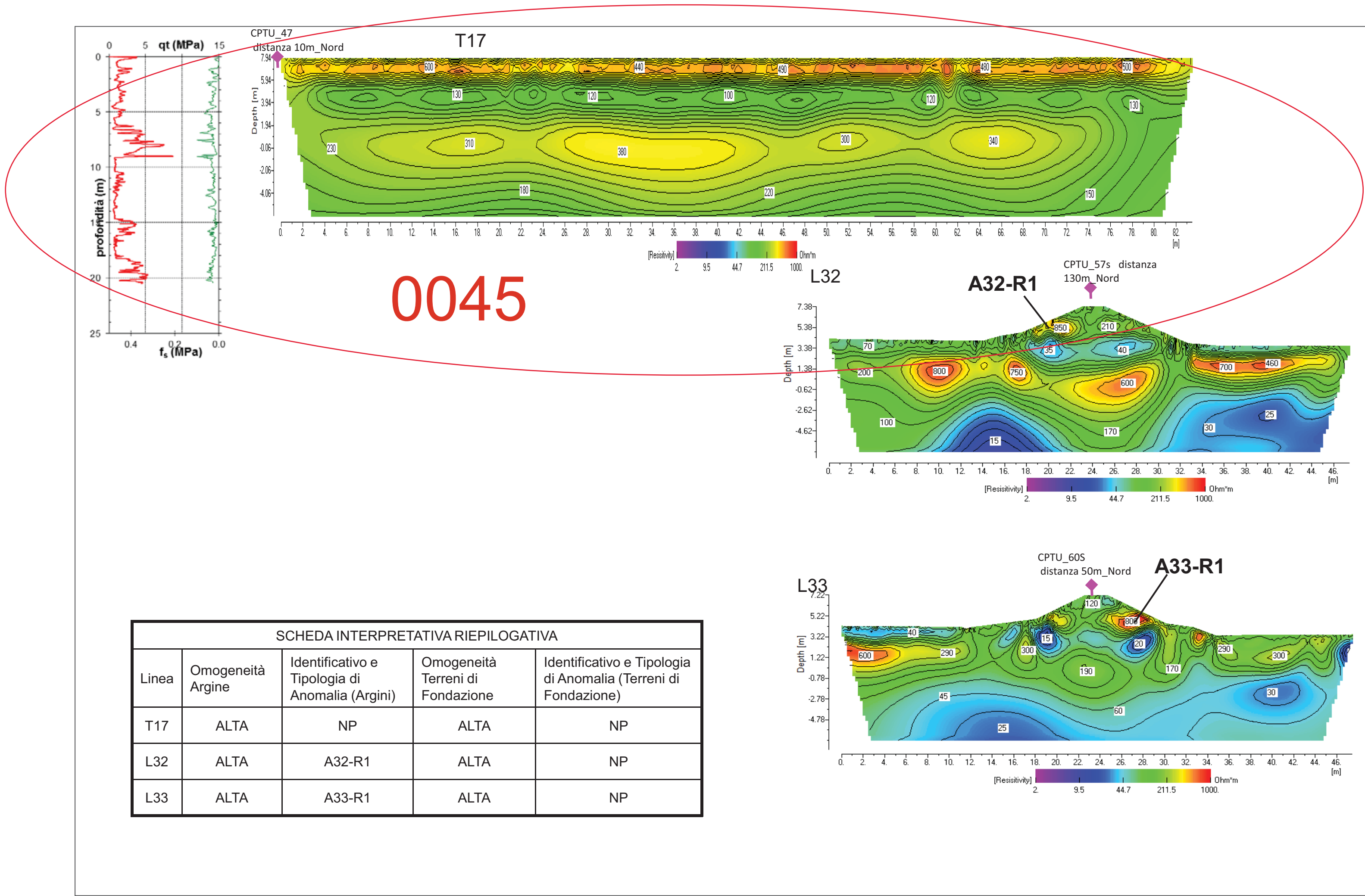


Curva dispersione acquisizione Inversa

## Profilo in sito

<i>da</i>	<i>a</i>	<i>Spessori</i>	<i>Vs [m/s]</i>	<i>Hi/VSi</i>
0	2	2	138	0,01
2	5	3	132	0,02
5	8	3	138	0,02
8	12	4	149	0,03
12	16	4	170	0,02
16	32	16	208	0,08
32	$\infty$	$\infty$	280	0





Tracce sezioni ERT eseguite secondo la Determina n° 5304 del 25/11/2010

Posizione CPTU prossima alla sezione

**A18-R1**  
Anomalia Elettrostratigrafica Resistiva

**A18-C1**  
Anomalia Elettrostratigrafica Conduttiva

**A18-L1**  
Anomalia Elettrostratigrafica = Variazione Laterale

**SOING**  
STRUTTURE & AMBIENTE

**PROGETTO**  
Indagini geofisiche ERT per la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni arginali del Fiume Serchio (PI).

**COMMITTENTE**  
Provincia di Pisa

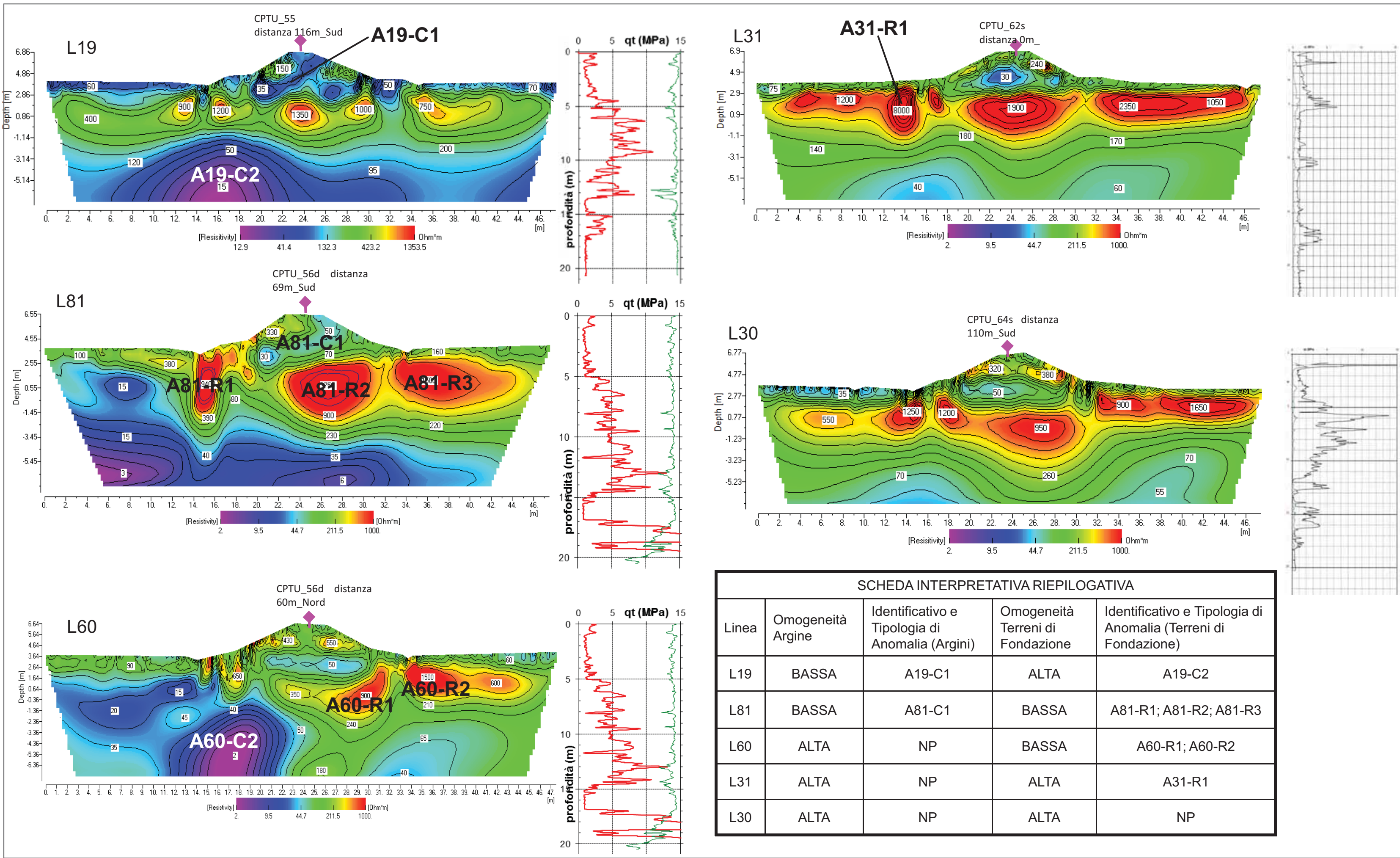
**RIFERIMENTI INTERNI**  
Comm-084-2010

**OGGETTO**  
Sezioni tomografiche elettriche

**TAVOLA**  
**16**

Elab. MG.Idili  
Verifica A.Pacchini  
Approvazione P.Chiara

**EMISSIONE DATA**  
**10-08-2011**



Tracce sezioni ERT eseguite secondo la Determina n° 5304 del 25/11/2010

Posizione CPTU prossima alla sezione

**A18-R1**  
Anomalia Elettrostratigrafica Resistiva

**A18-C1**  
Anomalia Elettrostratigrafica Conduttiva

**A18-L1**  
Anomalia Elettrostratigrafica = Variazione Laterale

**SOING**  
STRUTTURE & AMBIENTE

**PROGETTO**  
Indagini geofisiche ERT per la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni arginali del Fiume Serchio (PI).

**COMMITTENTE**  
Provincia di Pisa

**RIFERIMENTI INTERNI**  
Comm-084-2010

**OGGETTO**  
Sezioni tomografiche elettriche

**TAVOLA**  
**17**

Elab. MG.Idili  
Verifica A.Pacchini  
Approvazione P.Chiara

**EMISSIONE DATA**  
**10-08-2011**

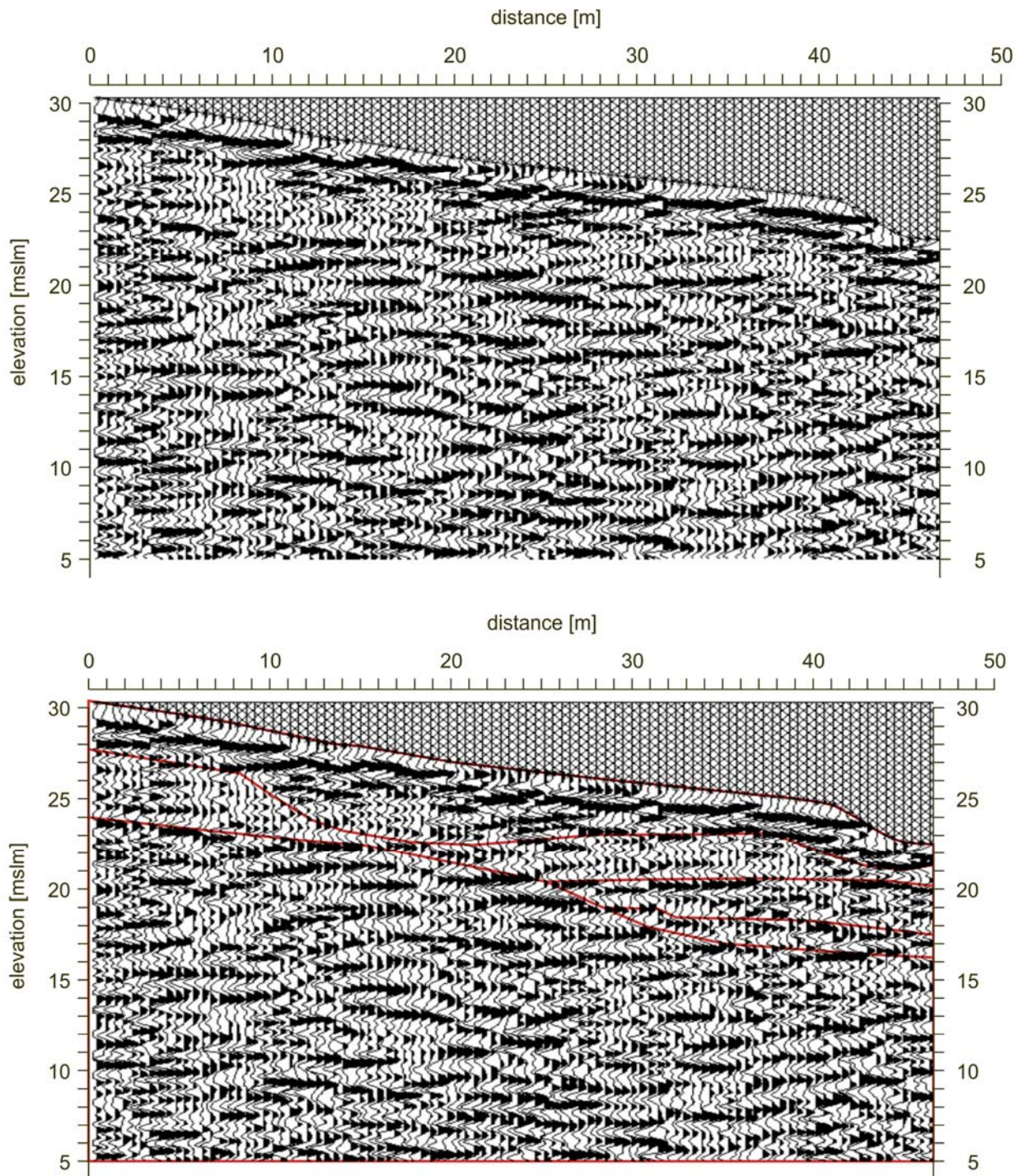




0046

### 3 – SINTESI E INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

Interpretazione dei risultati della sismica a riflessione nella sezione longitudinale 1, a monte del cimitero.





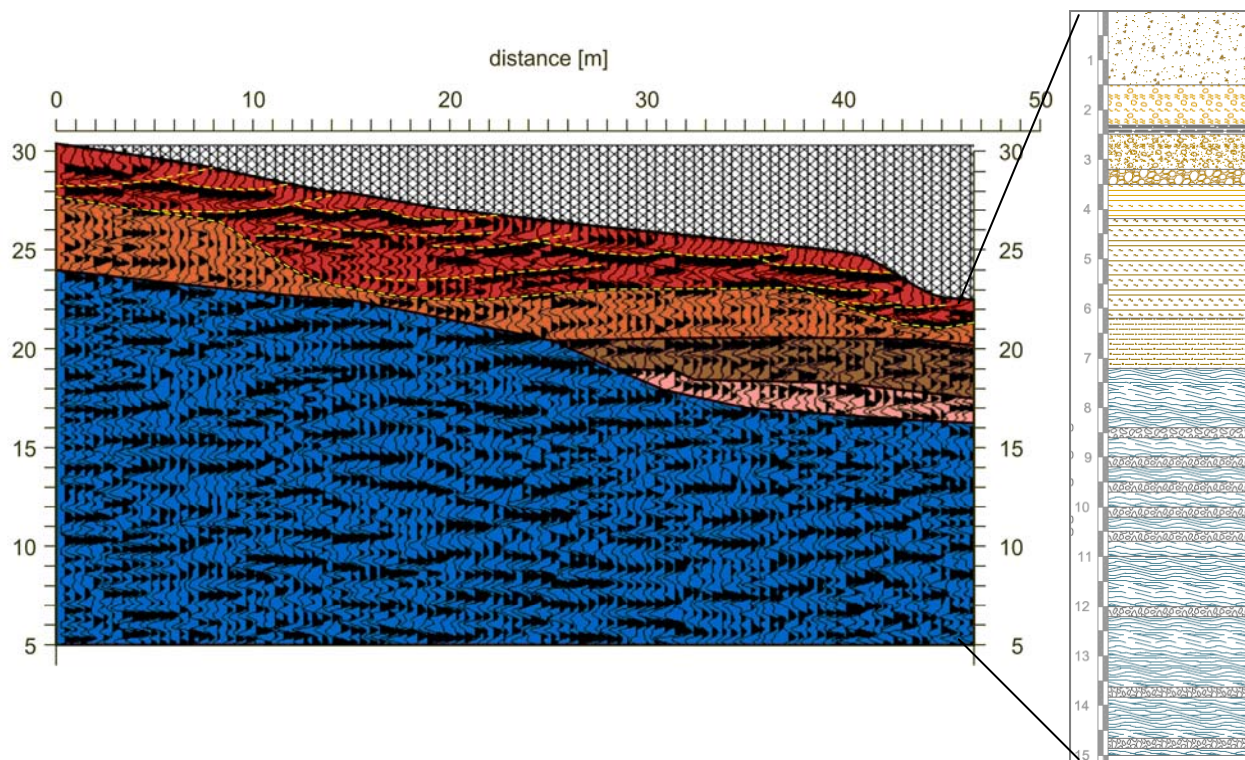
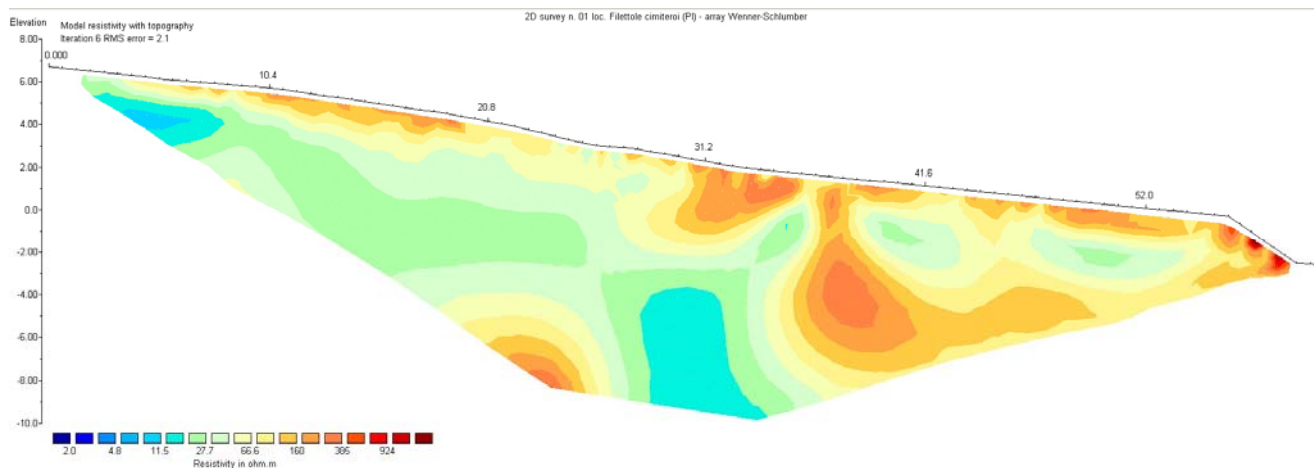


Fig. 4 Interpretazione profilo sismico a riflessione St1-St3 e correlazione con sondaggio S1

La sezione elettrostratigrafica ricavata dalle analisi di resistività del terreno si mostra coerente con l'elaborazione del modello del terreno sopra proposta.

Essa in particolare evidenzia la presenza di materiali superficiali con valori di resistività correlabili ai terreni detensionati della frana attiva, un dominio maggiormente conduttivo riferibile a materiali più addensati/fini appartenenti ad un deposito più antico (frana quiescente), e un dominio resistivo i cui valori sono coerenti con il substrato argillitico.





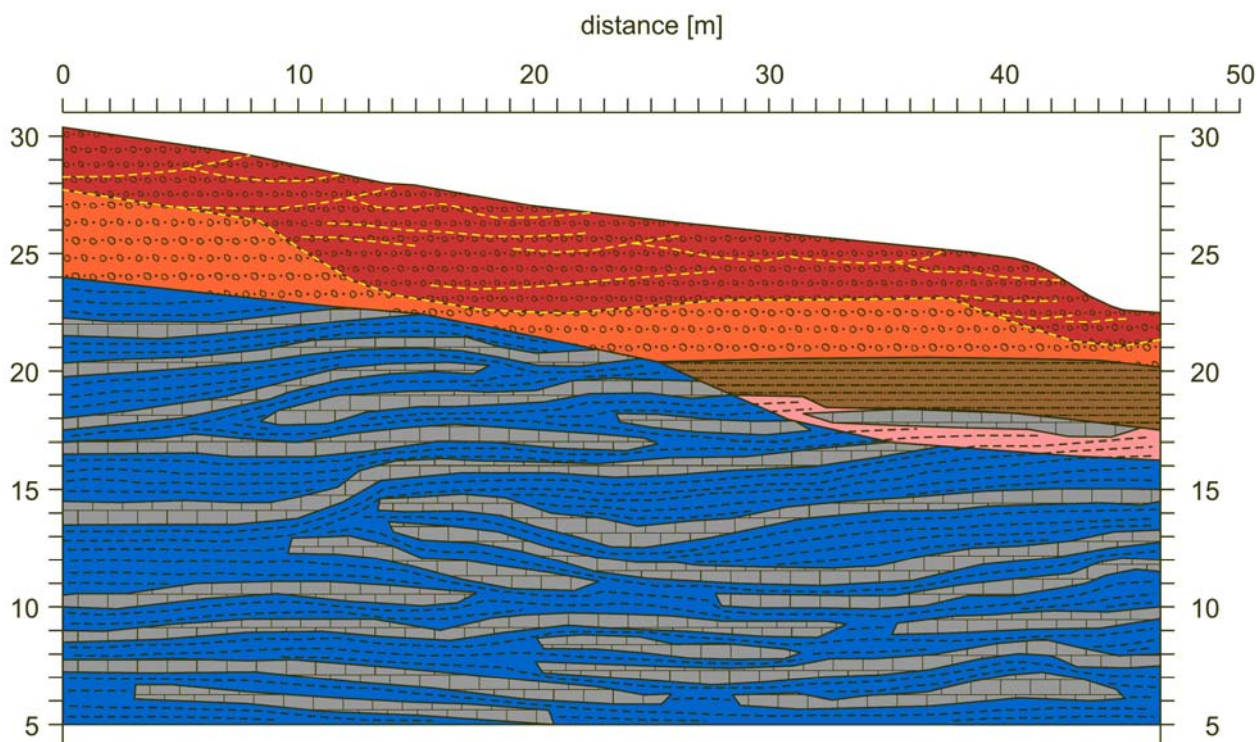


Fig. 5 Modello del terreno in corrispondenza della sezione di monte.

La correlazione tra i risultati delle diverse indagini ha consentito di elaborare il modello di terreno della sezione a monte del cimitero, in cui si evidenzia la presenza di materiali della copertura (depositi di frana con diverso grado di attività, colore rosso e colore arancio) che sormontano direttamente le argilliti (argille e calcari di Canetolo) nella parte sommitale. Alle quote inferiori tra i materiali in frana e la copertura (regolite) del substrato argillitico (colore rosa) sono presenti sedimenti alluvionali (colore marrone).

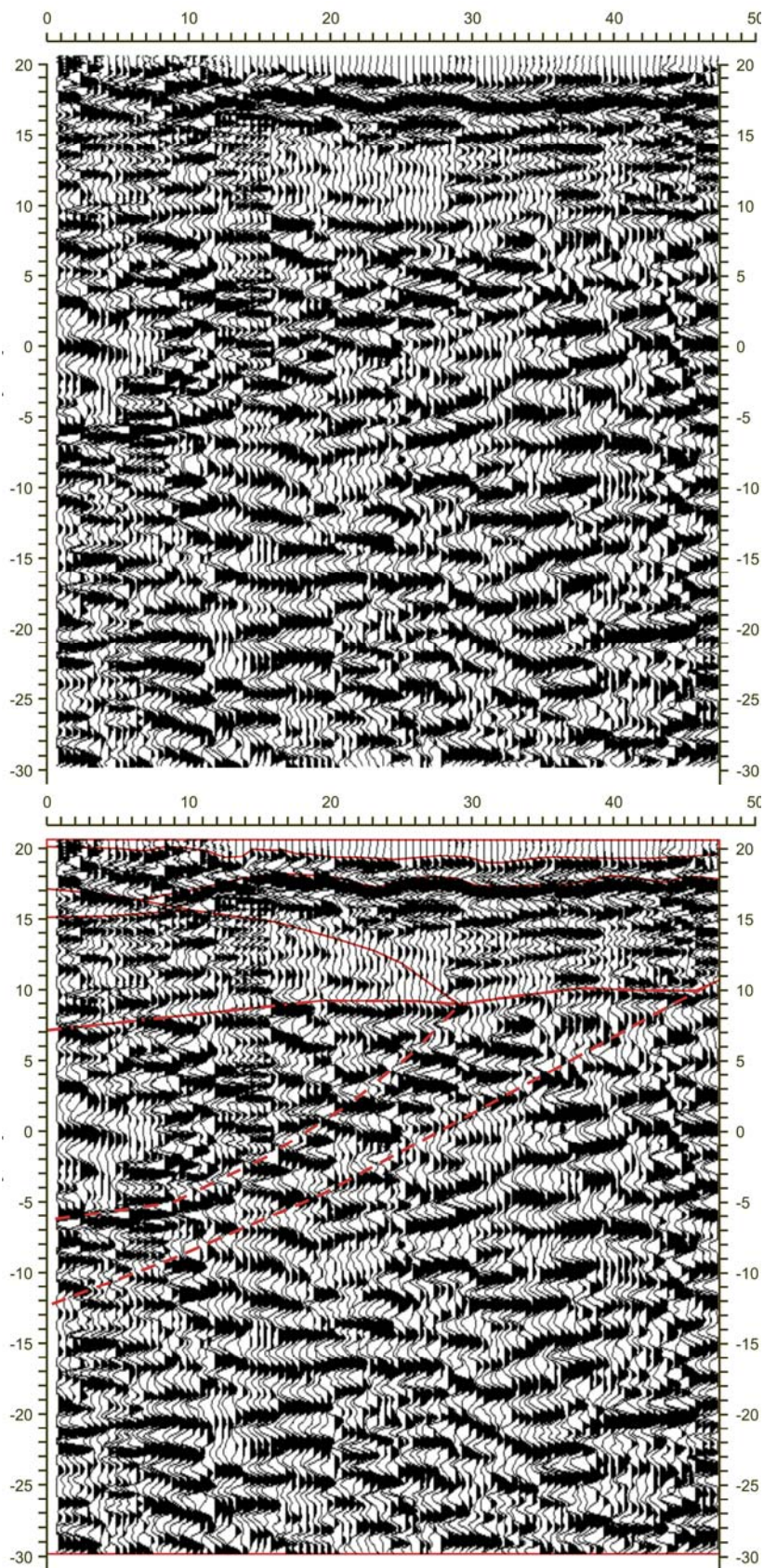
Il substrato è rappresentato dalle argilliti costituite da alternanze di livelli calcarei e orizzonti argillitici fissili (colore grigio e blu).





Interpretazione dei risultati della sismica a riflessione nella sezione trasversale 2, all'interno del campo inumazioni.

0047





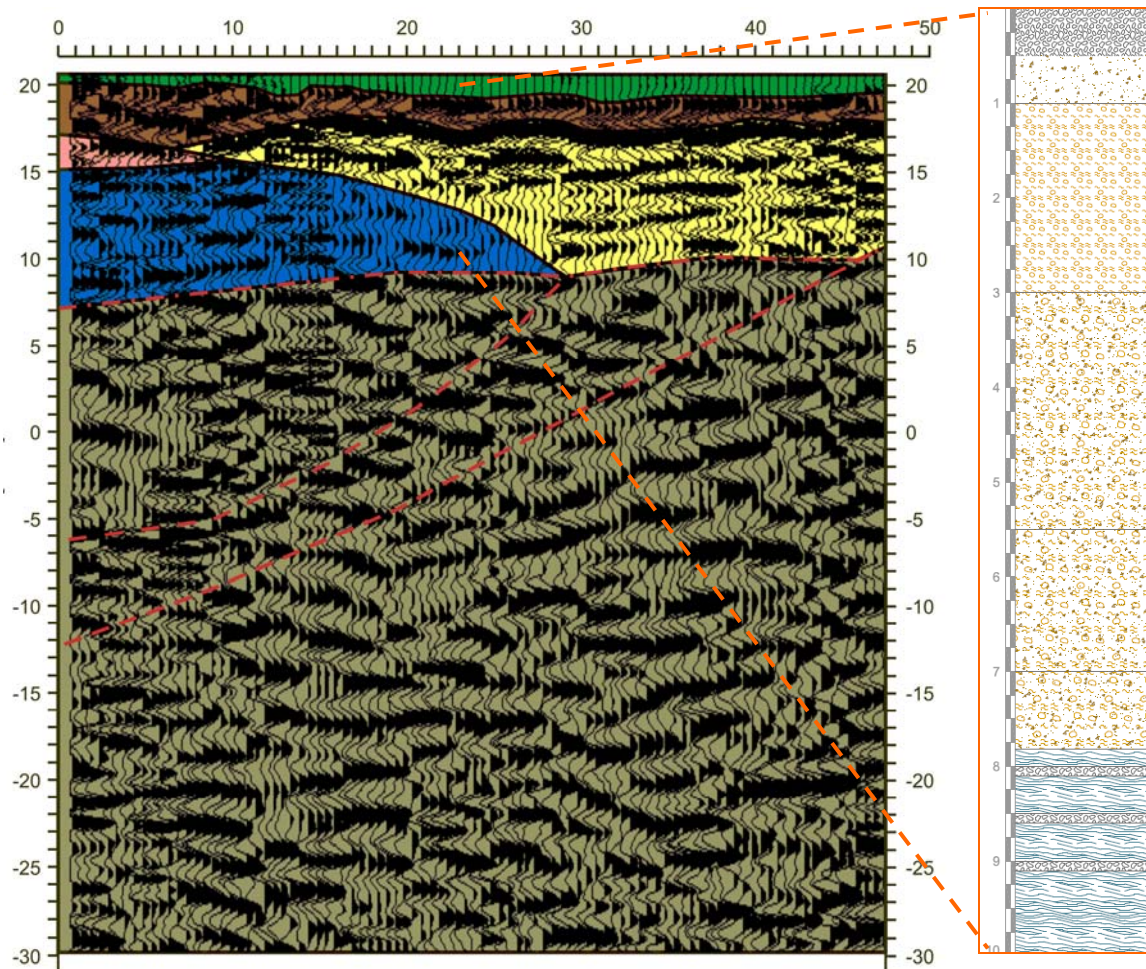
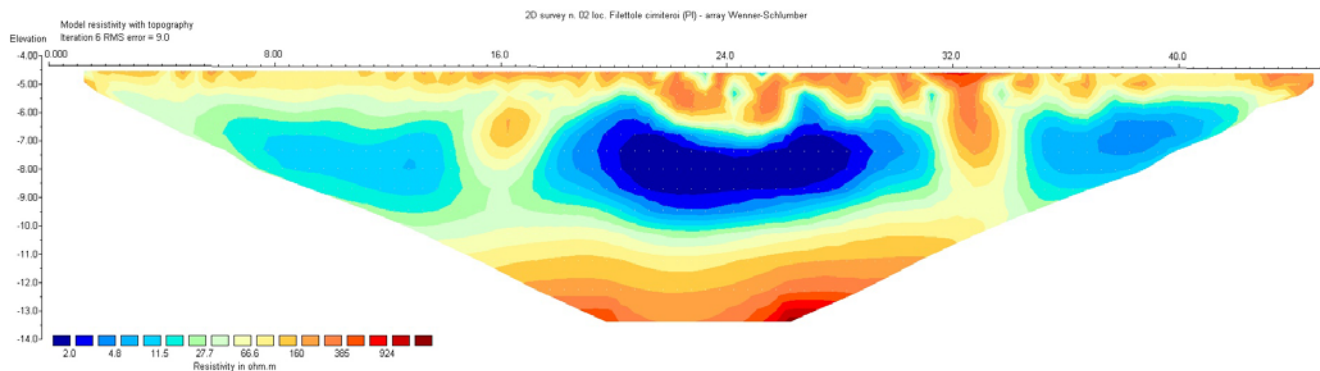


Fig. 6 Interpretazione profilo sismico a riflessione St4 e correlazione con sondaggio S5

Anche la sezione elettrostratigrafica ricavata dalle analisi di resistività del terreno in corrispondenza della sezione 2 si mostra coerente con l'elaborazione del modello del terreno sopra proposta. In particolare in essa si osserva (figura sotto), tra le due anomalie di resistività a 16 e 32 m associate alla presenza di sottoservizi, un dominio di maggior conduttività sovrastante il substrato ad elevata resistività i cui valori sono compatibili con la presenza del substrato arenaceo.





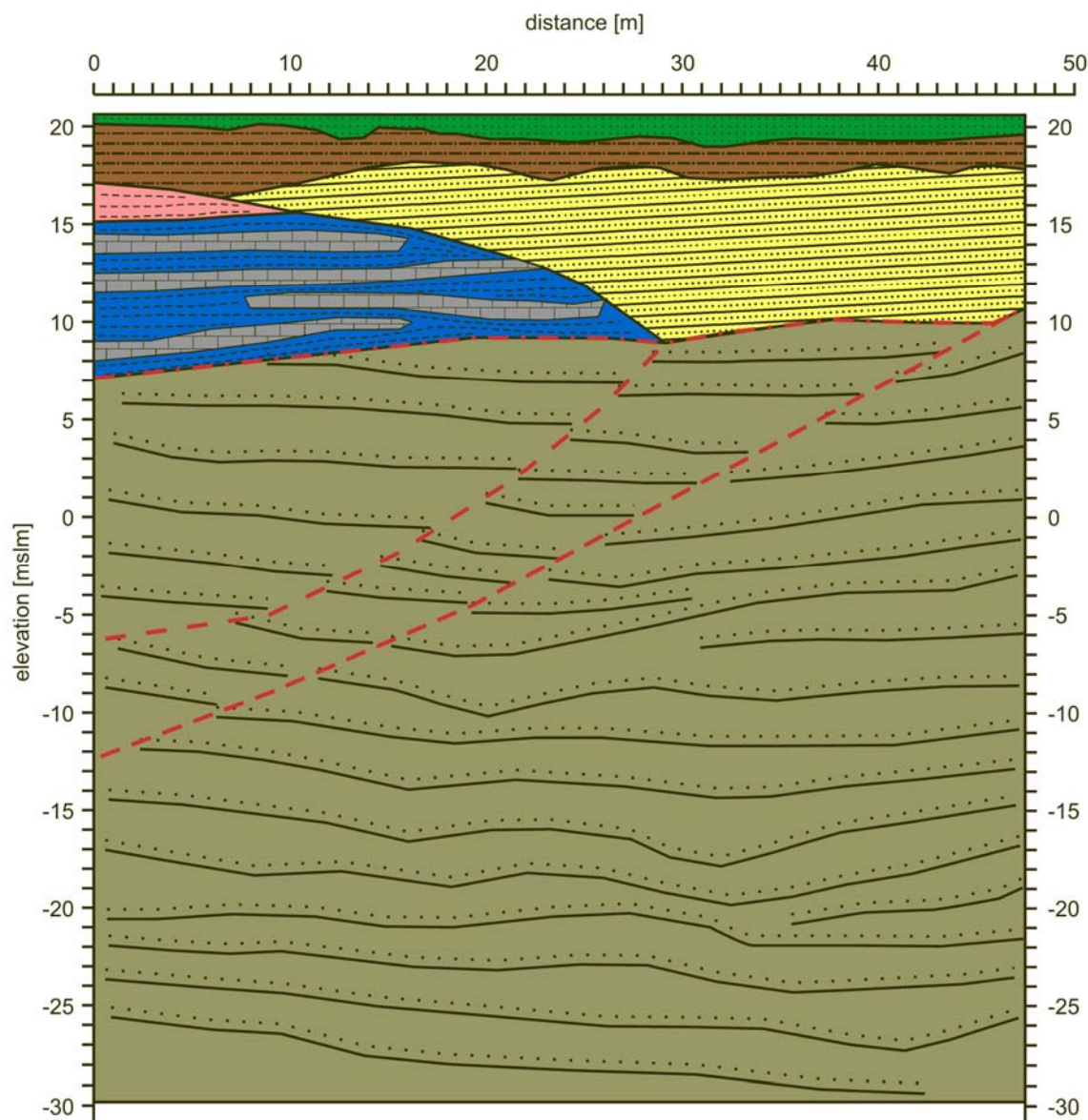


Fig. 7 Modello del terreno in corrispondenza della sezione dentro il cimitero.

La correlazione tra i risultati delle diverse indagini ha consentito di elaborare il modello di terreno della sezione nel campo di inumazioni all'interno del cimitero. In essa si evidenzia, al di sotto della coltre di materiali di riporto (colore verde), la presenza di sedimenti alluvionali (colore marrone) di spessore compreso tra 2,5 e 3,5 m. Al di sotto dei sedimenti alluvionali mediamente fini sono presenti materiali facenti parte della coltre detritica di alterazione dell'arenaria Macigno (colore giallo). Si tratta di sedimenti granulari in grado di ospitare una significativa circolazione idrica il cui tetto si attesta ad una profondità di circa 2,5 m dal pdc. Tali materiali si assottigliano verso la parte meridionale della sezione dove vengono interdigitati e sostituiti dalle argille e calcari di Canetolo (colore blu e rosa).

A profondità comprese tra 10 e 13 metri e disposto trasversalmente alla sezione, si localizza il sovrascorrimento (linea tratteggiata rossa) al di sotto del quale è presente l'arenaria Macigno (colore oliva), per profondità ben superiori a quelle d'interesse, interessata da sistemi di fratturazione (linee rosse oblique tratteggiate).





Un'ulteriore sezione rappresentativa del modello del terreno è stata ricostruita a valle del cimitero in corrispondenza della sezione geoelettrica n°3 e dei sondaggi S3 e S4. La correlazione tra i risultati delle diverse prove ha consentito di elaborare il modello rappresentato in figura 8.

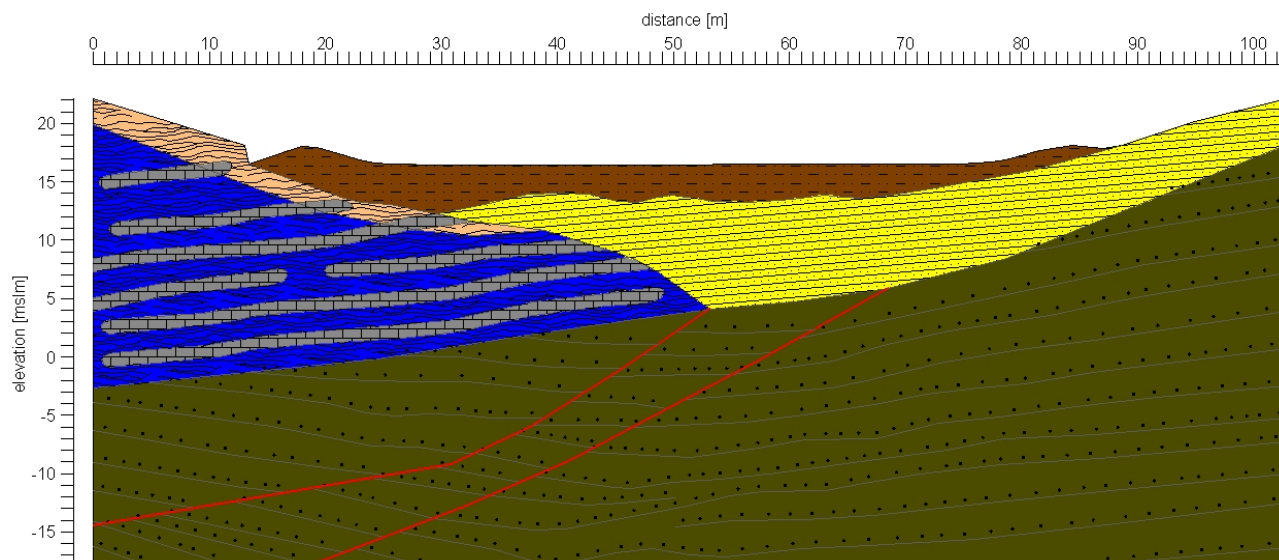
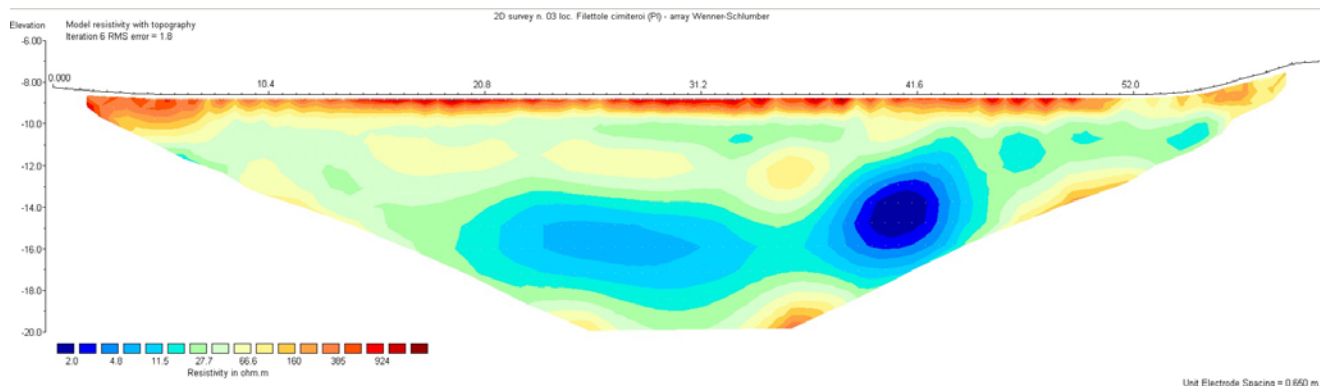


Fig.8 Modello del terreno a valle del cimitero.

Anche la sezione elettrostratigrafica ricavata dalle analisi di resistività del terreno si mostra coerente con l'elaborazione del modello del terreno sopra proposta. In particolare in essa si osserva (figura sotto), al di sotto del resistivo costituito dai materiali di riporto, la presenza di un dominio conduttivo che sormonta un resistivo più profondo, immergente da W verso E, significativo del substrato argillitico.







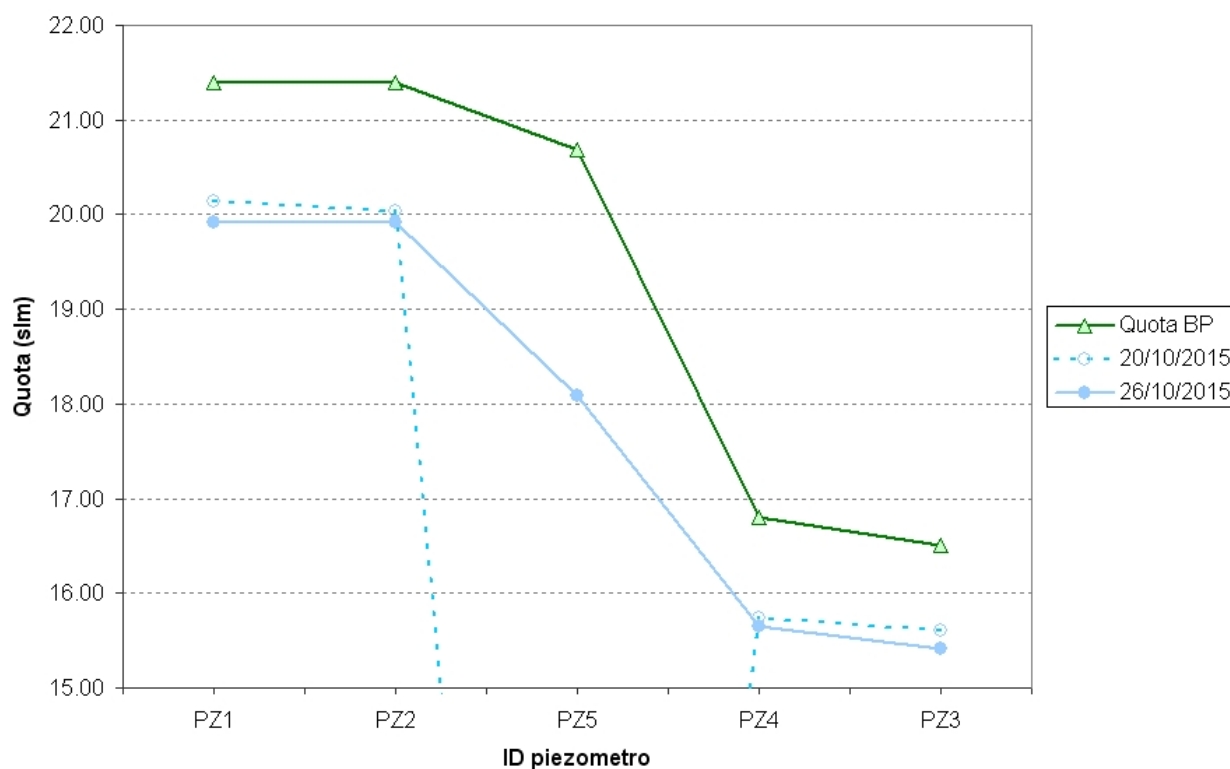
#### 4 – RILEVAZIONI PIEZOMETRICHE

All'interno di ciascun foro di sondaggio è stato installato un piezometro a cielo aperto in cui poter effettuare rilevazioni piezometriche.

Le misure, avviate sin dal termine della campagna di indagini, hanno fornito i seguenti risultati:

ID	X	Y	Quota BP	20/10/2015	26/10/2015
PZ1	1612445.822	4852344.232	21.40	20.14	19.92
PZ2	1612484.921	4852385.203	21.40	20.03	19.92
PZ5	1612481.080	4852353.484	20.69	-	18.09
PZ4	1612514.342	4852356.032	16.80	15.74	15.65
PZ3	1612489.754	4852324.237	16.50	15.61	15.41

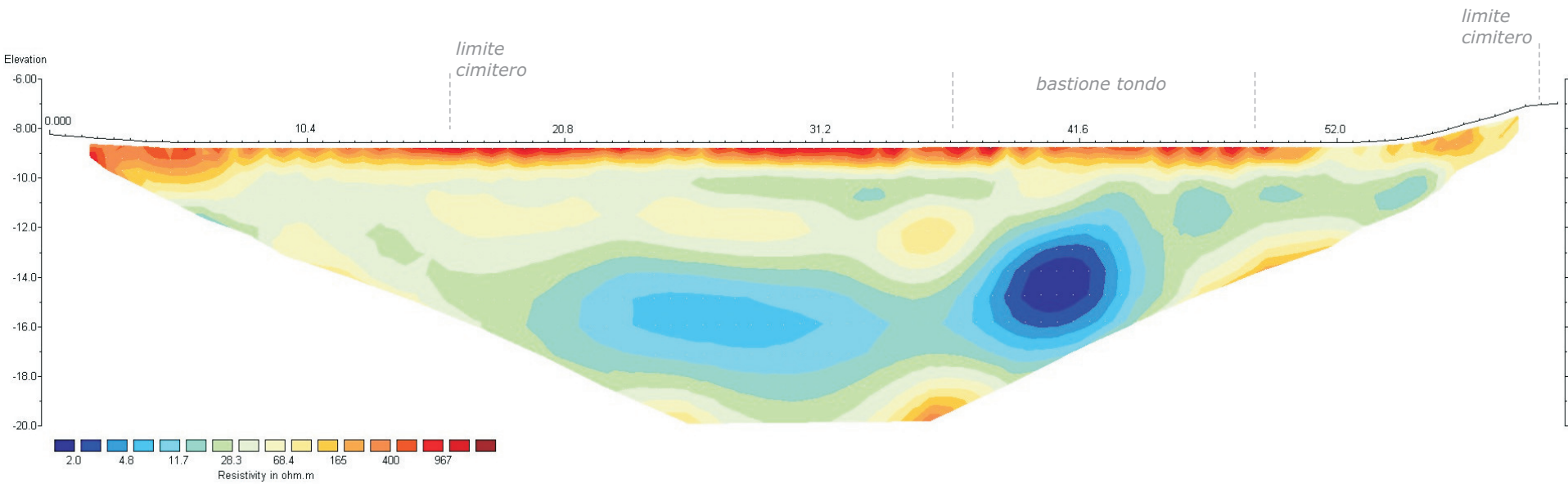
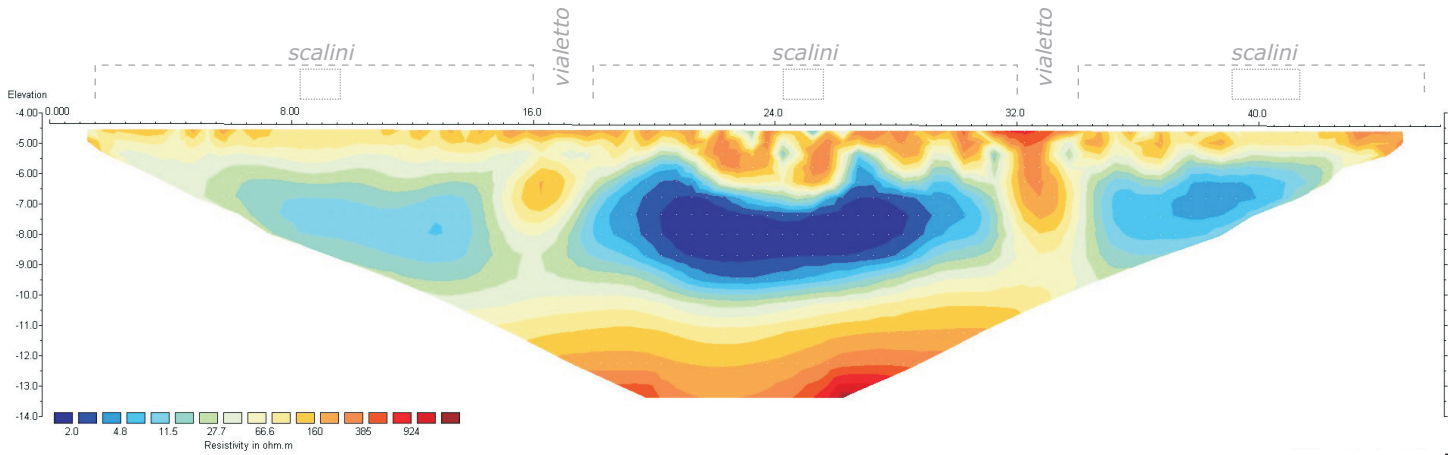
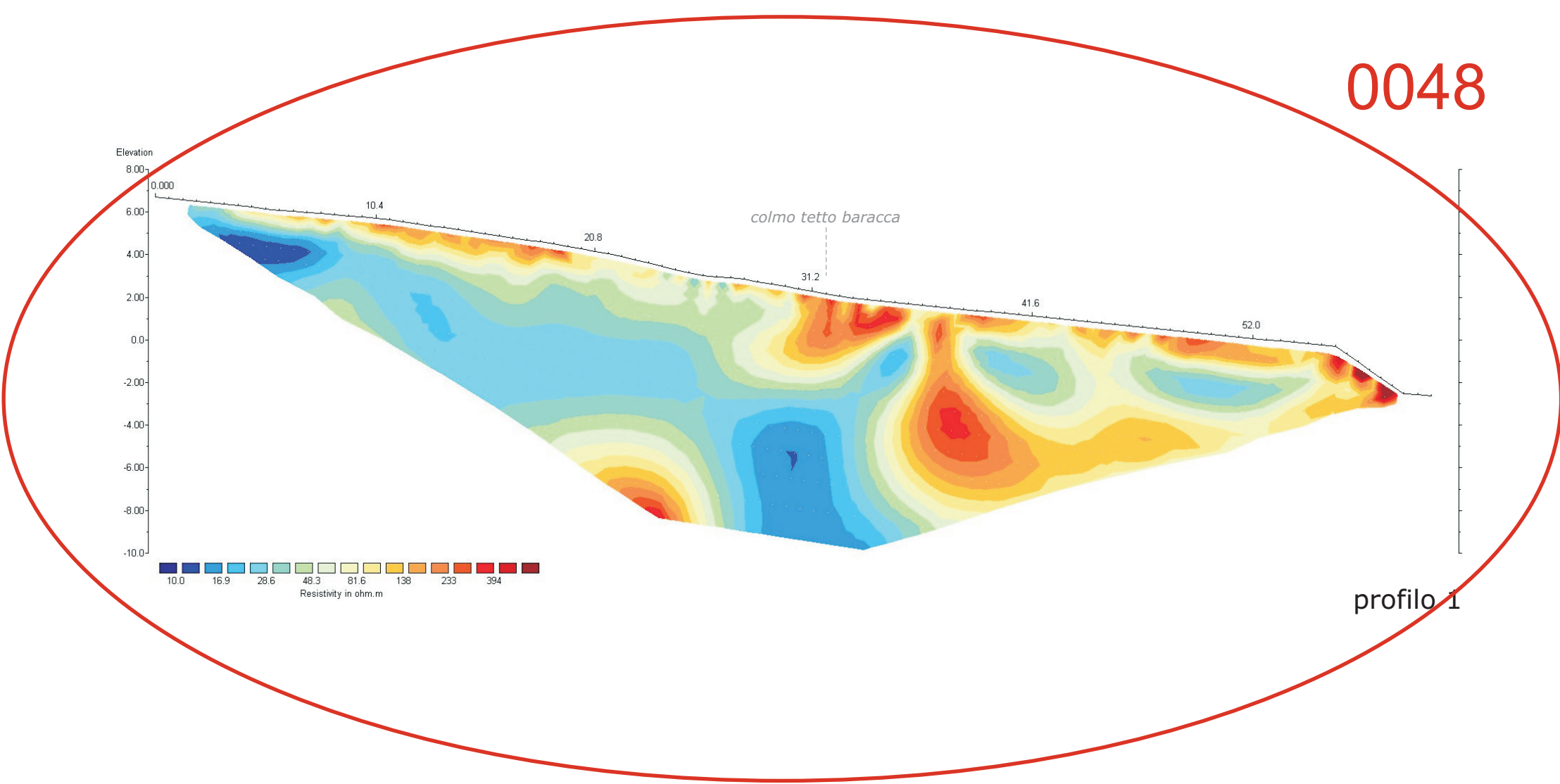
di seguito graficati:



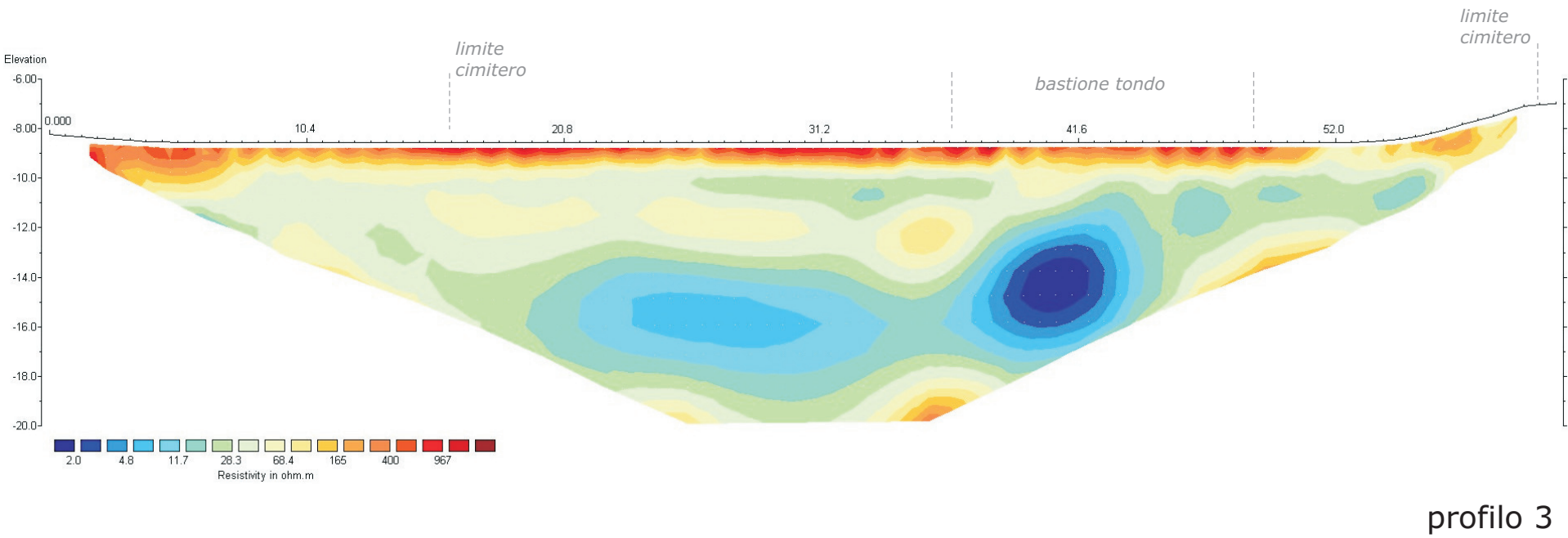
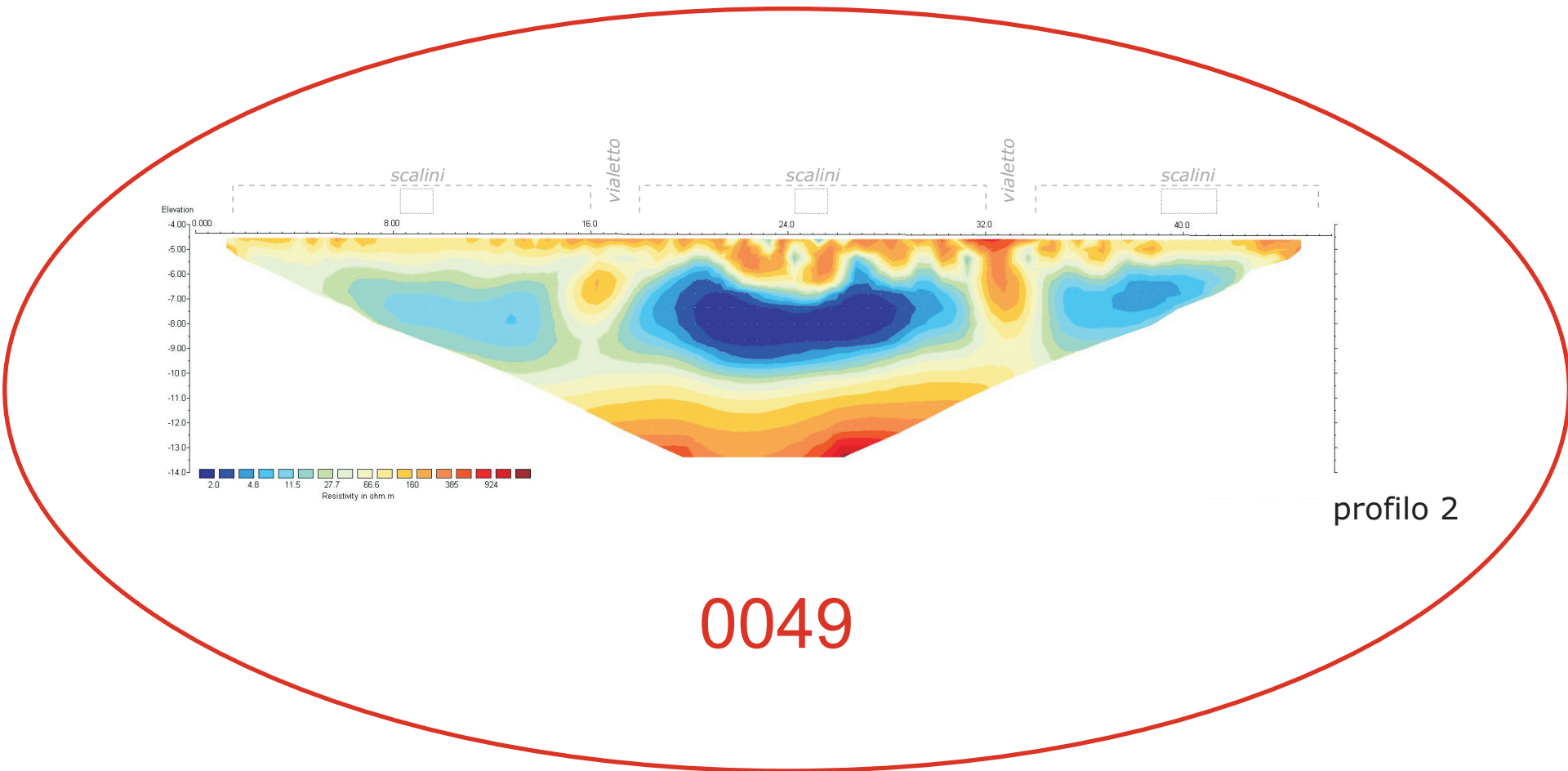
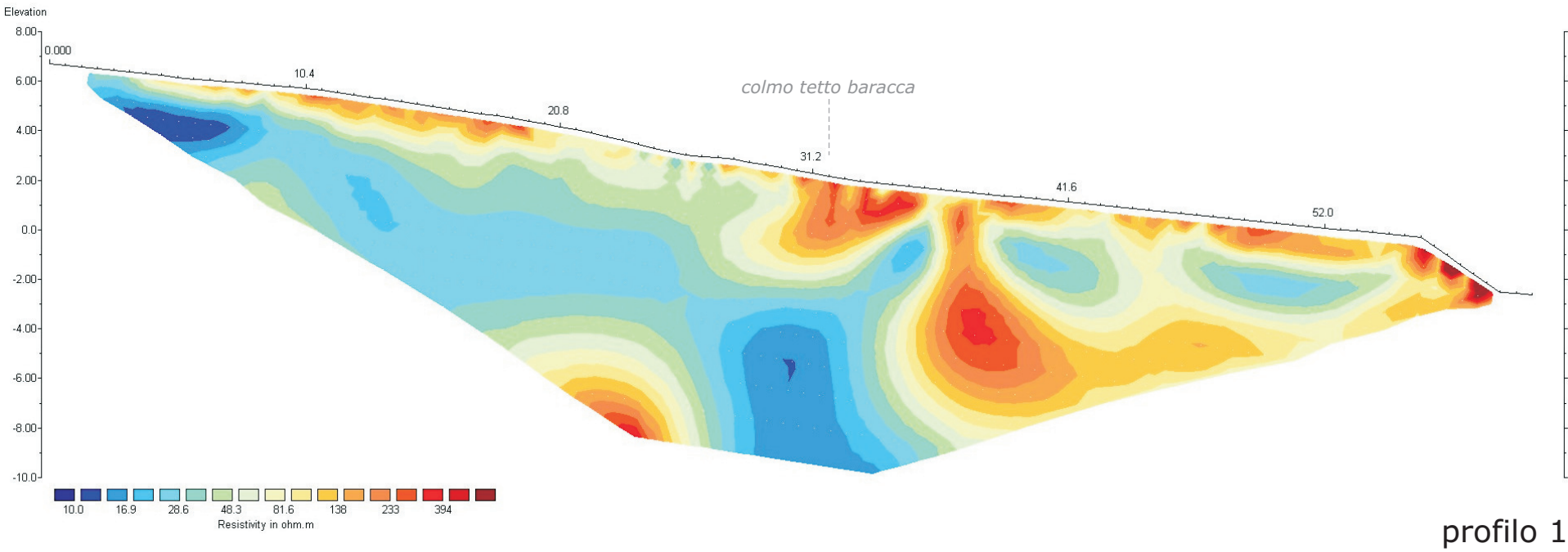
Cascina, 30 ottobre 2015

Geol. Massimiliano Perini

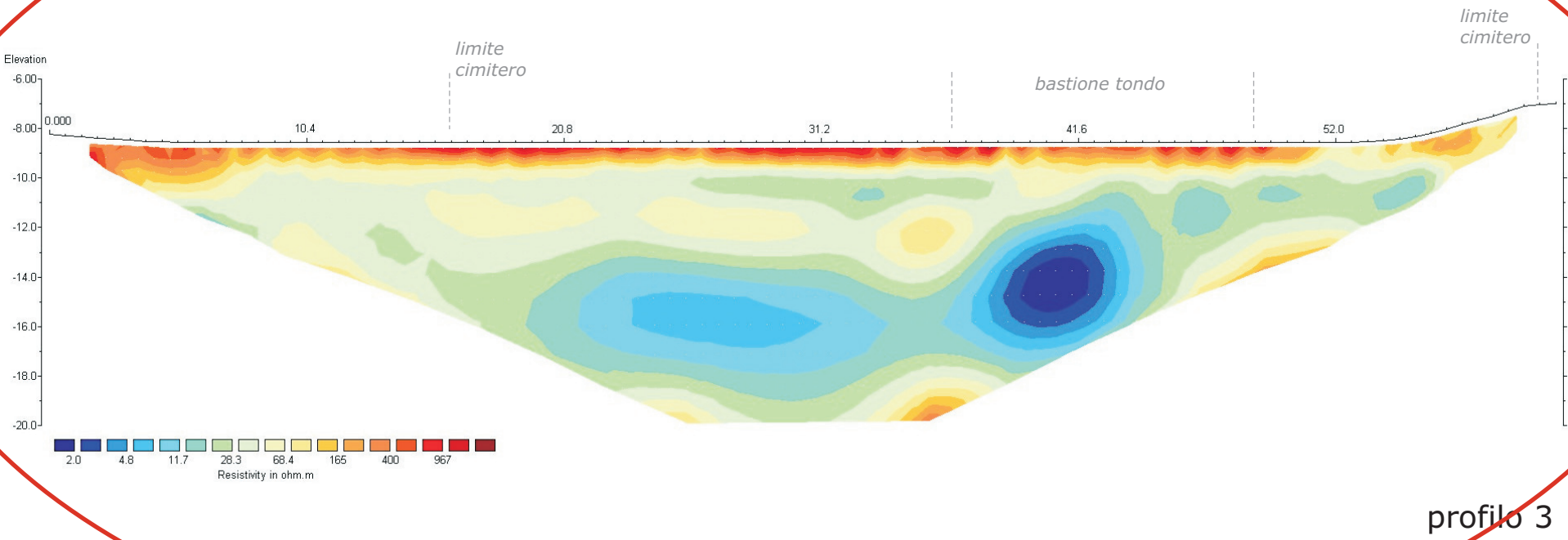
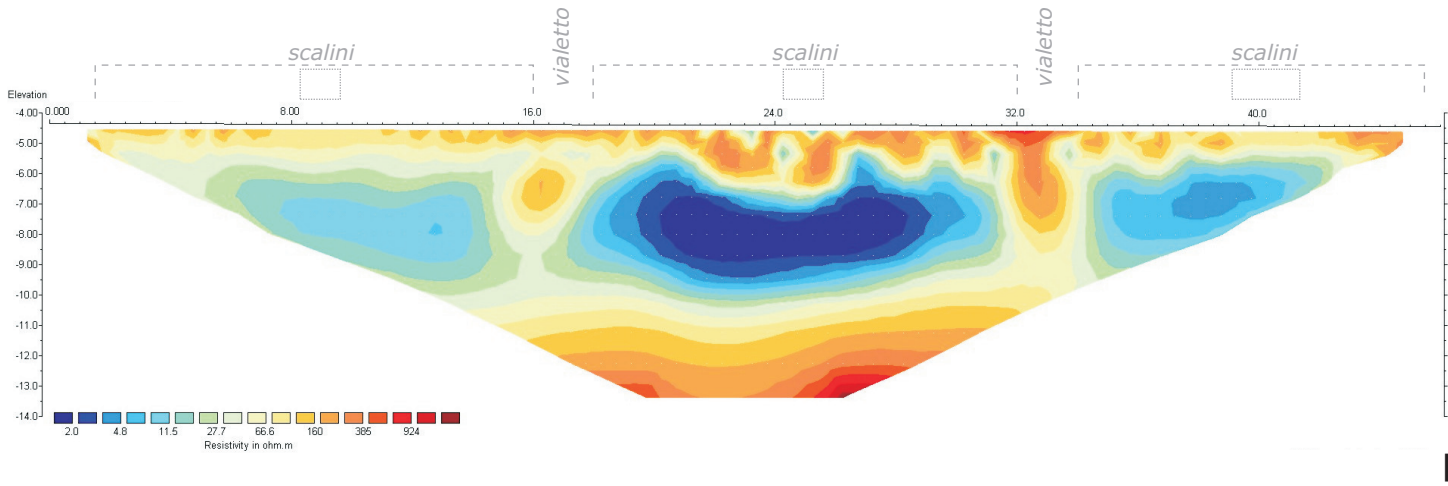
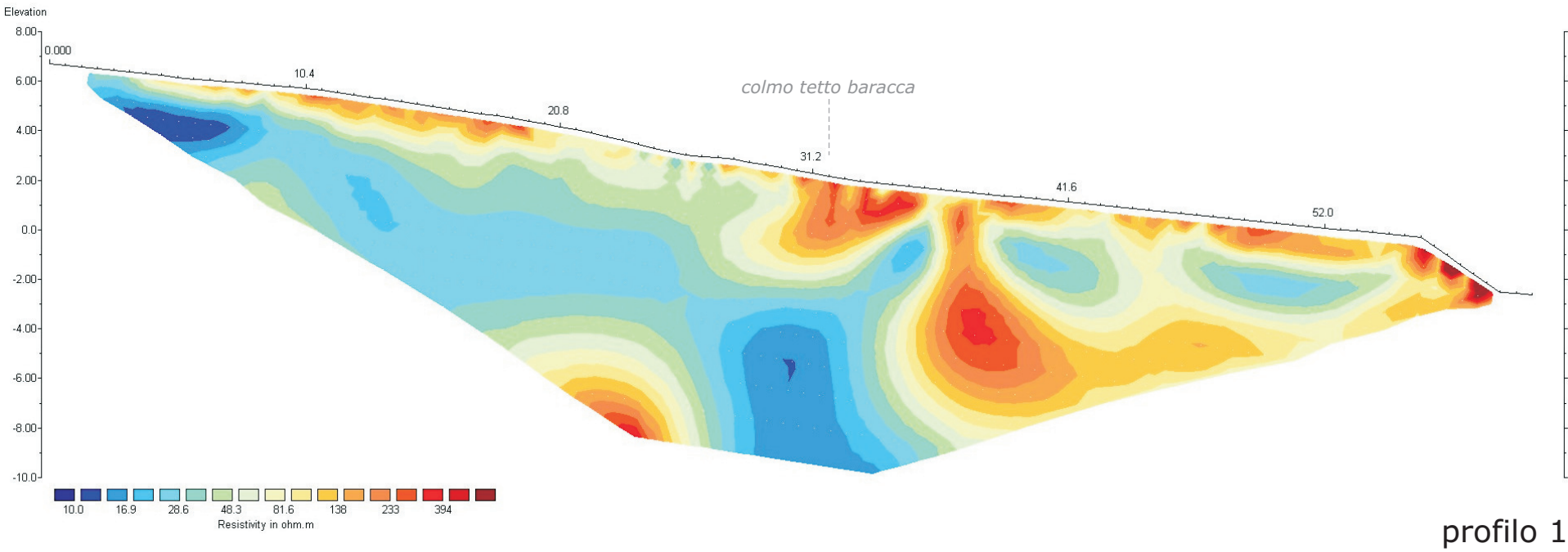










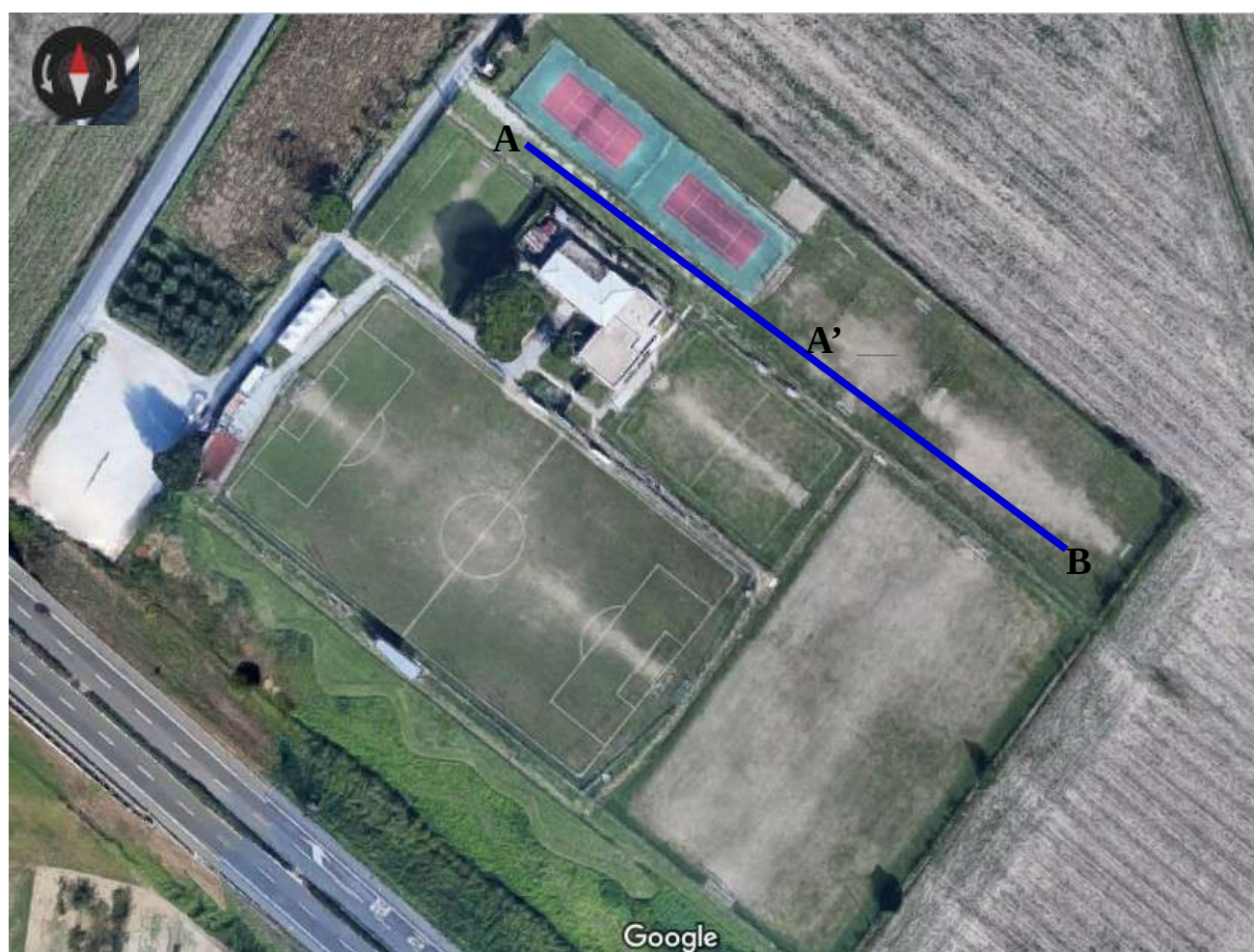




Nel caso specifico è stato realizzato uno stendimento lineare con n° 32 elettrodi (picchetti) distanziati tra loro di 5 metri a ricoprire una distanza di 160 m.

L'indagine è stata condotta in corrispondenza del campo da rugby, sfruttando all'incirca la diagonale del campo.

Sono state effettuate n° 3 acquisizioni utilizzando la configurazione di Wenner, Wenner-Schlumberger e dipolo-dipolo. Le 3 acquisizioni sono risultate simili tra loro.



**Ubicazione stendimento tomografia elettrica di superficie TES in corrente alternata con strumentazione POLARES della PASI S.r.l., 32 elettrodi con equidistanza di 5.0 metri.**

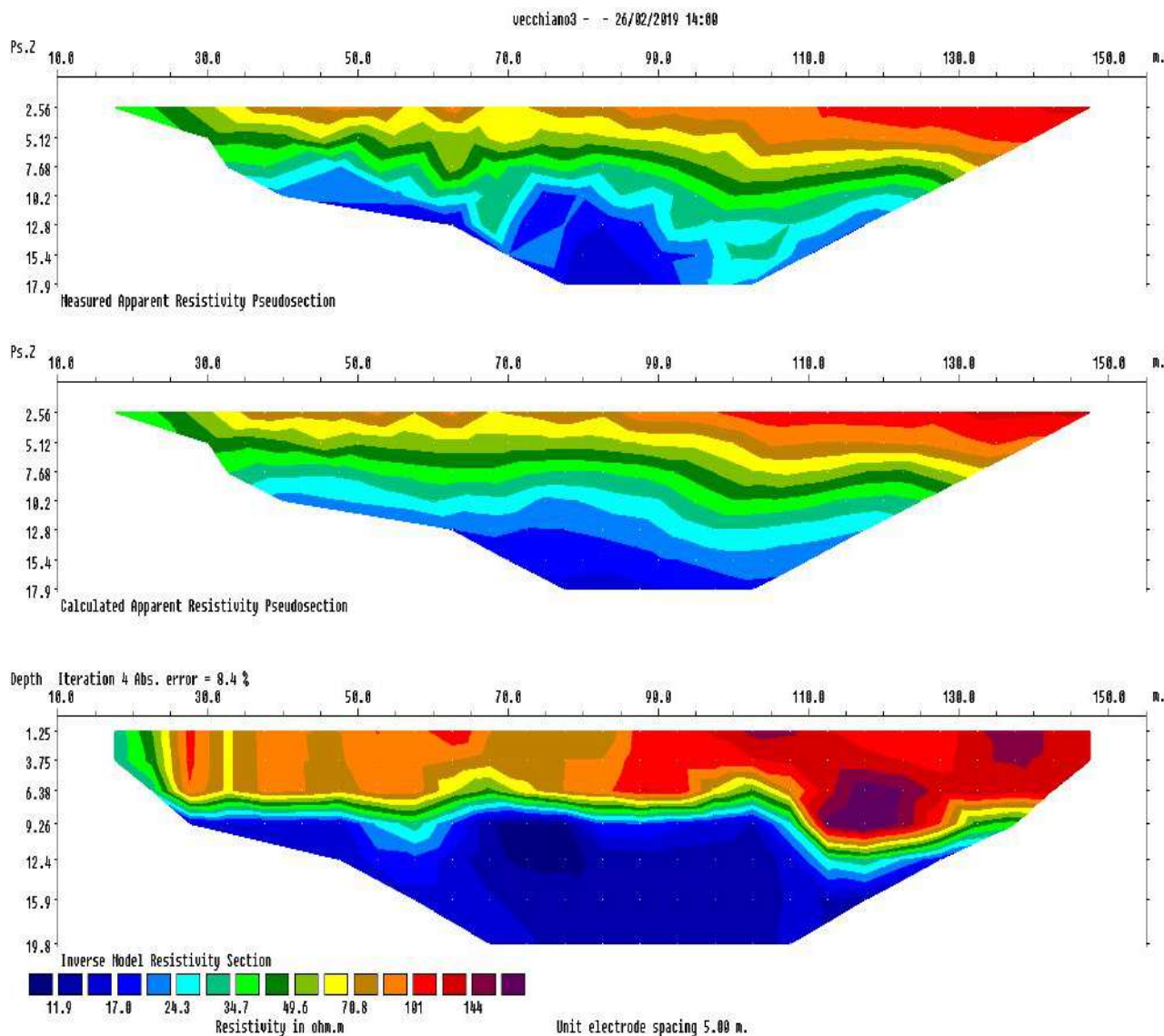


**DATI TECNICI DELLA STRUMENTAZIONE POLARES**

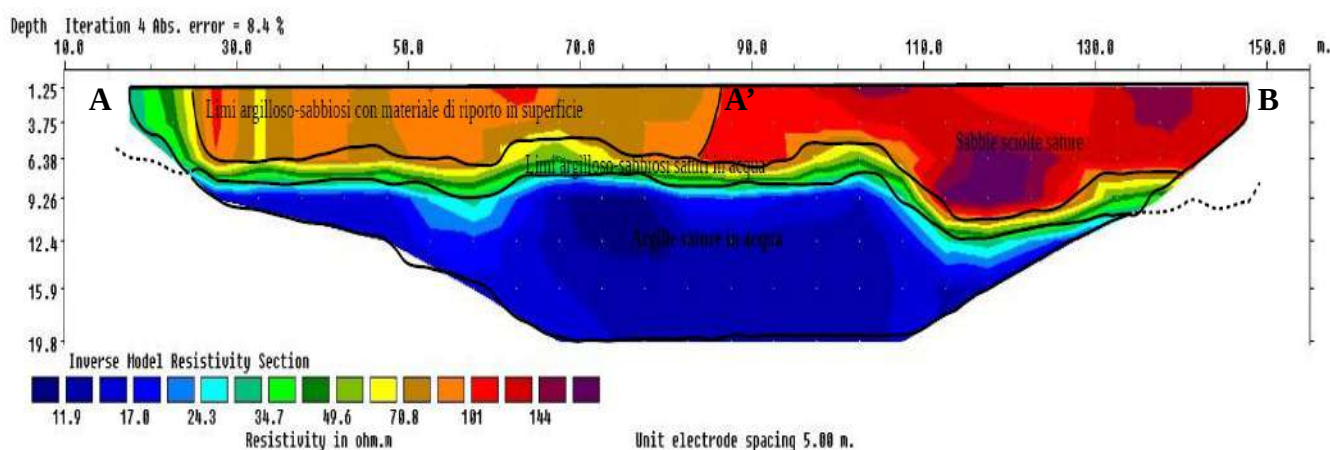
<b>CPU</b>	Arm 9 32 bit
<b>Sistema Operativo</b>	Linux
<b>Display</b>	QVGA 5.7" con retroilluminazione a LED
<b>Touch Screen</b>	Resistivo a 4 fili
<b>Memorizzazione dati</b>	Memoria Flash a stato solido
<b>Porte dati esterne</b>	USB host 1.1
<b>Connettività</b>	Chiavetta USB
<b>Connettività opzionale</b>	Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth, RS232, RS485, USB client, GPS, ecc.
<b>GPS</b>	Ricevitore integrato per misure georeferenziate
<b>DSP</b>	Freescale (Motorola) 120 MIPS
<b>Convertitori</b>	A/D 16 bit SAR e D/A a 16 bit
<b>Impedenza d'ingresso</b>	8 MOhm
<b>Range di misura tensione</b>	300V, 30V, 3V
<b>Range di misura corrente</b>	3A, 300mA, 30mA
<b>Frequenze sinusoidali generabili</b>	114Hz, 28.6Hz, 7.15Hz, 1.79Hz, 0.45Hz, 0.11Hz
<b>Verifica bontà misura</b>	Componente continua, distorsione, rumore di fondo, eccesso di fase, sigma modulo, sigma fase
<b>Numero massimo di picchetti</b>	Non limitato
<b>Massime scansioni per misura</b>	> 40.000
<b>Risultati memorizzabili (scansioni)</b>	> 200.000
<b>Velocità di scansione</b>	Fino a 6 scansione/sec
<b>Tensione generabile massima</b>	700 Vpp
<b>Corrente generabile massima</b>	2 A
<b>Potenza generabile massima</b>	200 W
<b>Protezioni termiche</b>	Dissipatore e interno valigetta, allarmi e blocco sistema
<b>Alimentazione</b>	Batteria al piombo o al litio da 8.5V= / 15V=, fusibile interno da 30 A, protezione contro l'inversione di polarità
<b>Temperatura di esercizio</b>	-20°C / +50 °C esterni
<b>Temperatura di stoccaggio</b>	-40°C / +80 °C
<b>Dimensioni e peso</b>	410x300x170mm; 6kg



## Configurazione elettronica di Wenner-Schlumberger





**Pseudosezione di resistività del terreno**

L'indagine ha consentito di investigare il sottosuolo fino ad una profondità di circa 20 metri. Nell'immagine sovrastante è riportata la pseudosezione di resistività del terreno ricavata con l'utilizzo del software Res2Dinv®.

Con colori diversi è rappresentata la resistività (in  $\text{ohm}\cdot\text{m}$ ) associata a diverse tipologie di terreni. Nel caso in esame si può osservare che in superficie i terreni sono costituiti da limi argilloso-sabbiosi con presenza di materiale di riporto fine (da 70 a 100  $\text{ohm}\cdot\text{m}$ ) nel tratto compreso tra A e A', mentre prevalgono terreni sabbiosi saturi nel tratto compreso tra A'-B (100-150  $\text{ohm}\cdot\text{m}$ ). I tratti colorati in viola scuro sono depositi sabbiosi compatti. Nel tratto intermedio, da una profondità minima di 3,50 m ad una profondità massima di circa 10 m, si trovano limi argilloso-sabbiosi saturi in acqua (da 25 a 70  $\text{ohm}\cdot\text{m}$ ) ed infine, da una profondità minima che varia dai 6,50 m circa a 10 m, fino alla profondità investigata di 20 m, si trovano argille sature in acqua (da 10 a 24.5  $\text{ohm}\cdot\text{m}$ ).



### Inversione

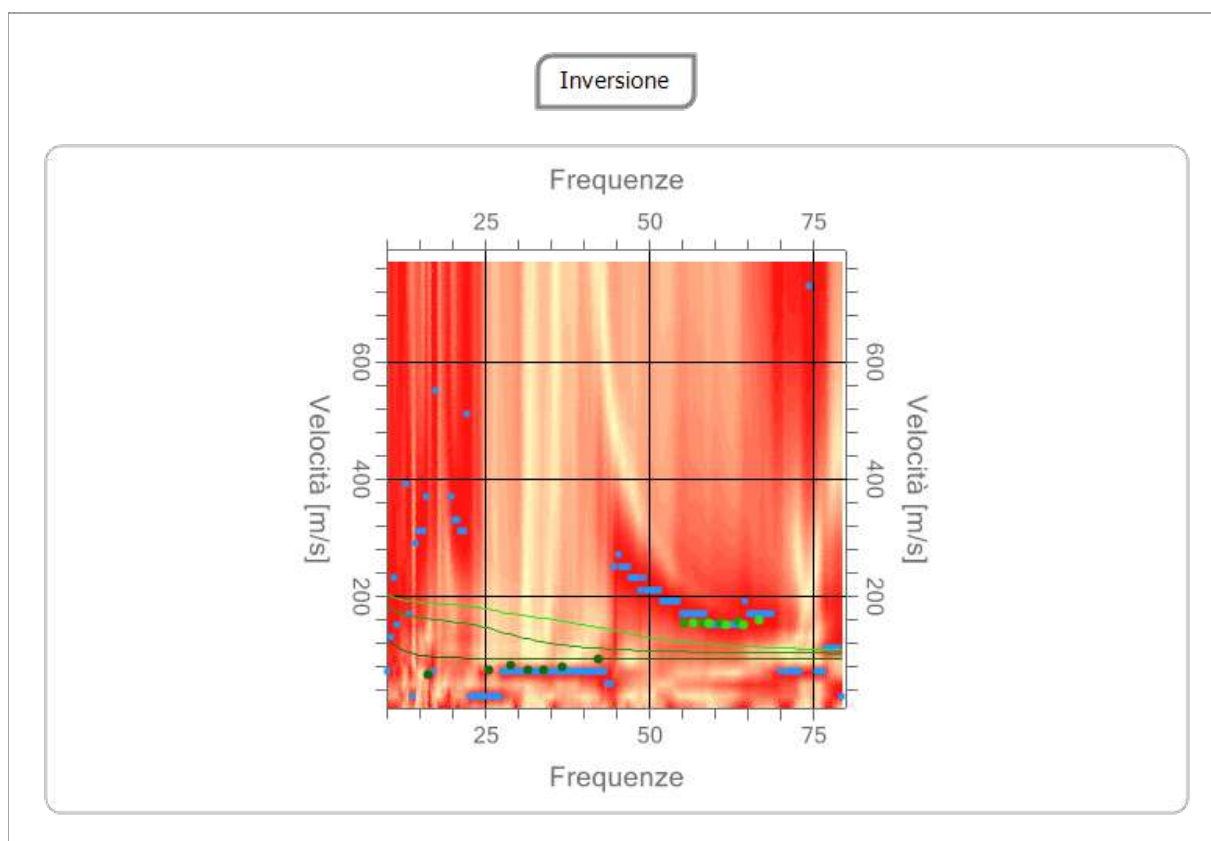
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	Limi argillosi	4.00	4.00	1400.0	0.35	186.7	99.8
2	Sabbie limoso-argillose	30.19	26.19	1600.0	0.35	357.4	183.9
3	Argille sabbiose	37.35	7.16	1750.0	0.34	445.0	219.1
4	Sabbie e ghiaietto fine	oo	oo	2000.0	0.4	589.9	283.4

Percentuale di errore

6.590 %

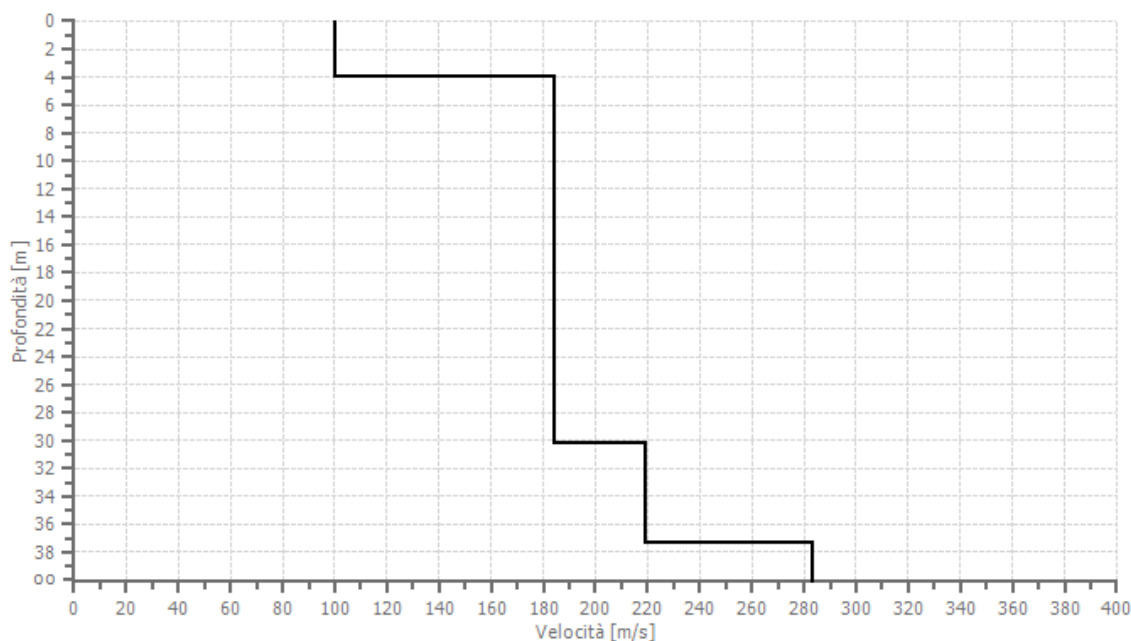
Fattore di disadattamento della soluzione

0.273





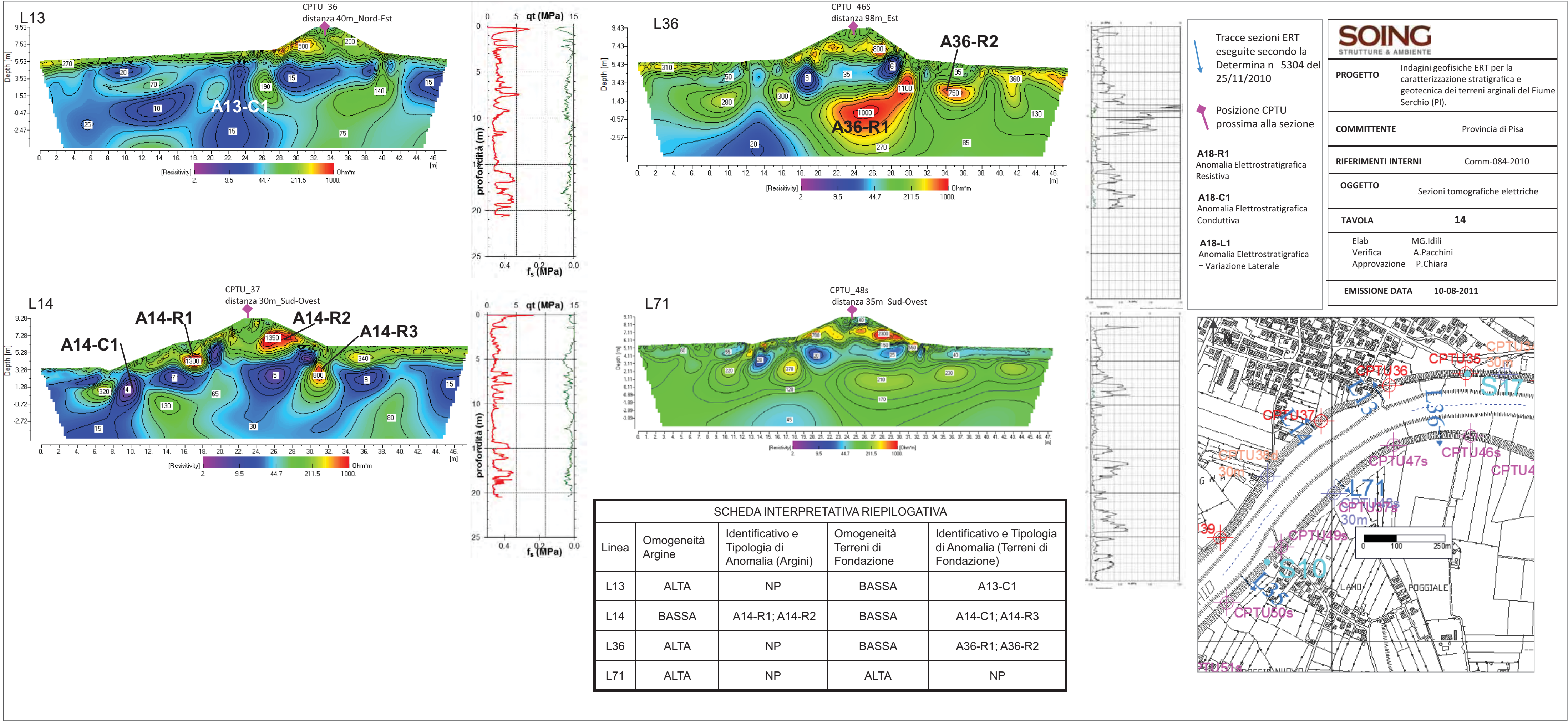
Profilo di velocità

**Risultati**

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,30 [m/sec]	165.31
Categoria del suolo	D

**Suolo di tipo D:** Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 inferiori a 180 m/s.







ST1

$V_{s30} = 180,72 \text{ m/s}$

La linea sismica ST1 realizzata secondo le modalità descritte nei capitoli precedenti, ha evidenziato la presenza di un rifratore posto ad una profondità compresa tra un minimo di 16.3 mt dal p.c. (geofono G19) ed un massimo di 21.7 mt (geofono G13); tale orizzonte si presenta con andamento leggermente ondulato e sub-parallelo alla morfologia esterna, e separa un sismostrato superficiale caratterizzato da una velocità  $V_1=164,3 \text{ m/sec}$  da un sottostante livello dotato di una maggiore velocità ( $V_2= 215,3 \text{ m/sec.}$ ).



ST2

$V_s = 160,34 \text{ m/s}$

La linea sismica ST2 realizzata secondo le modalità descritte nei capitoli precedenti, ha evidenziato la presenza di un solo rifratte posto ad una profondità compresa tra un minimo di 17.0 mt dal p.c. (geofono G1) ed un massimo di 23.1 mt (geofono G17); tale orizzonte si presenta con andamento leggermente ondulato a separare un sismostrato superficiale caratterizzato da una velocità  $V_1=139,8 \text{ m/sec}$  da un sottostante livello dotato di una maggiore velocità ( $V_2=211,1 \text{ m/sec ca.}$ ).

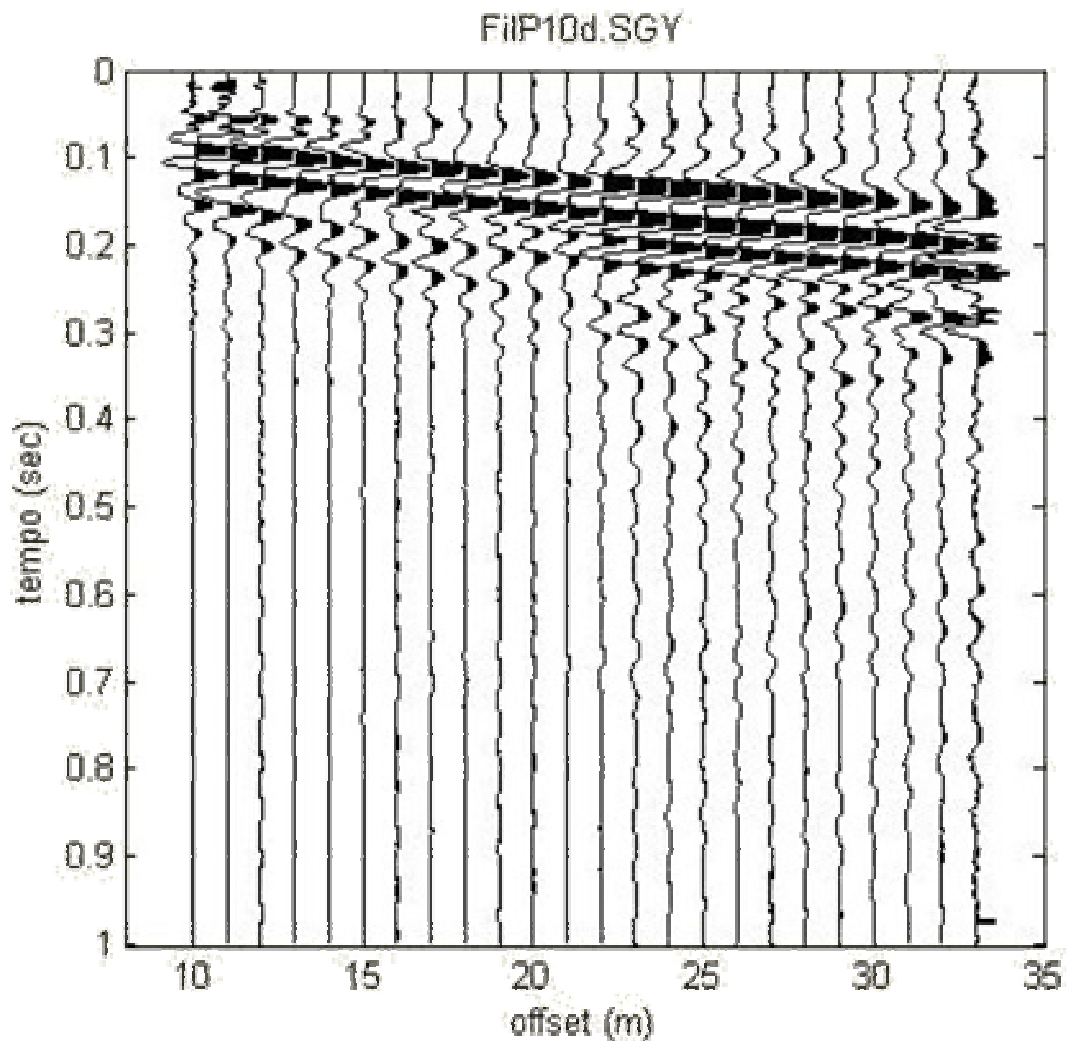


### 3.1 LINEA SISMICA ST3 FILETTOLE

*Elaborazione shot FilP10d.SGY*

0056

Nella figura successiva si riporta la registrazione utilizzata (grafico distanza-tempo) con evidente il treno delle onde superficiali.



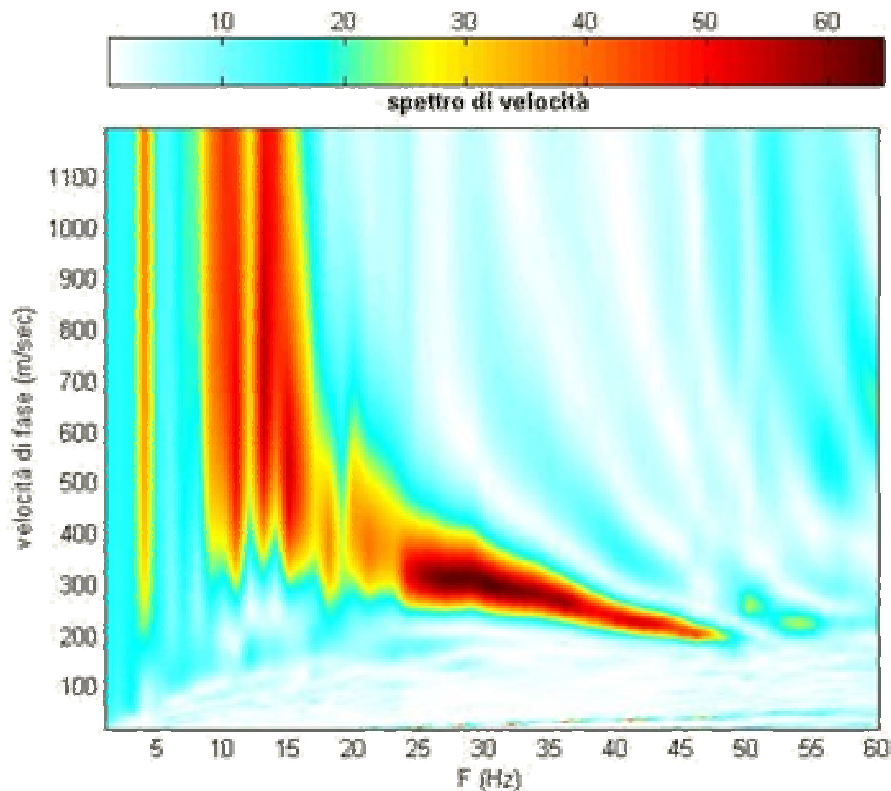
**Figura n.1** - Dati di input relativi allo shot FilP10d.SGY registrato in loc. Filettole sul territorio del Comune di Vecchiano (PI).

In particolare si può osservare l'allargamento del segnale tipico della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh ovvero della loro dispersione.

Si noti come il trend non sia stato "tagliato" via da un ridotto tempo di acquisizione in quanto completo per l'intera stringa geofonica.



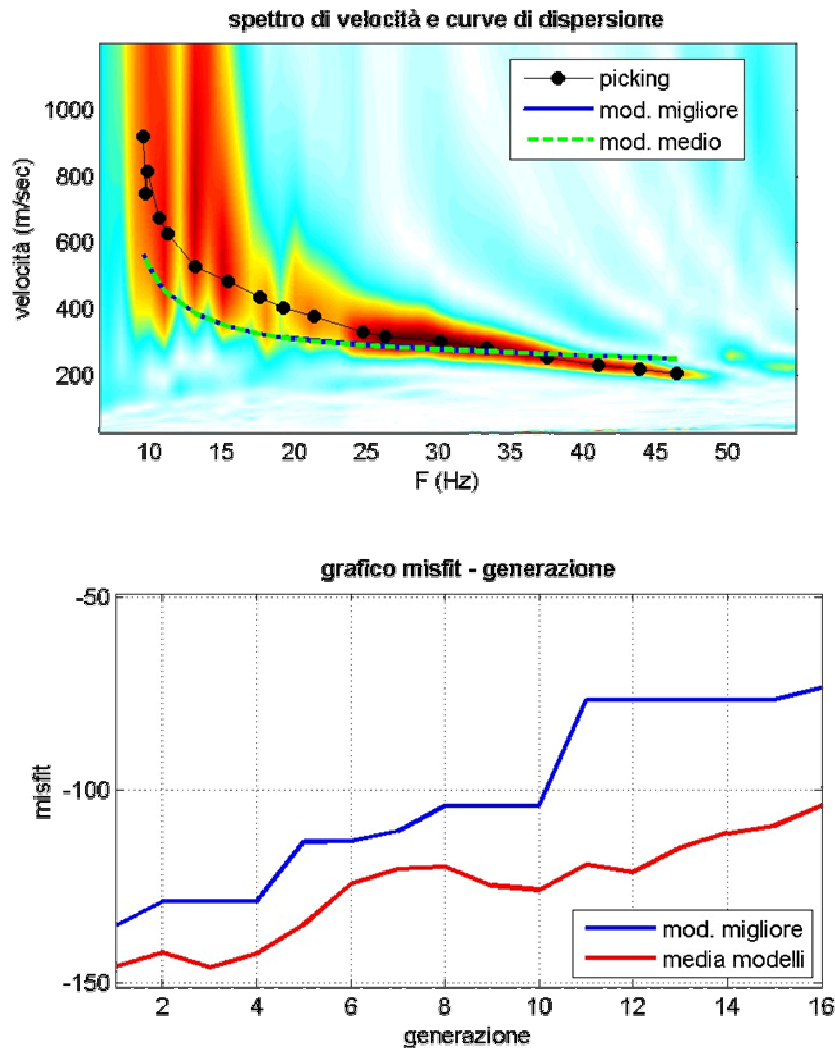
Nella successiva figura si riporta lo spettro di velocità ricavato per la suddetta registrazione (dominio frequenza/velocità di fase) da cui è stata ricavata la curva di dispersione e successivamente eseguito il picking.



**Figura n.2** - Spettro di velocità (dominio frequenza-velocità di fase) relativa allo shot Fil1P10d. SGY registrato loc. Filettole sul territorio del Comune di Vecchiano (PI).

Il programma permette di elaborare tale curva "piccata" e, mediante il processo di inversione, di arrivare a definire due modelli stratigrafici; un modello che fitta con una buona approssimazione tale curva (in questo caso si parla di minore "misfit" cioè minore discrepanza tra curva osservata e calcolata) e che viene definito **modello migliore** ed un altro, definito **modello medio**, calcolato tramite una operazione statistica denominata MPPD (Marginal Posterior Probability Density). Tale operazione permette di valutare l'attendibilità della soluzione finale dalle deviazioni standard fornite per i parametri di ciascun modello.

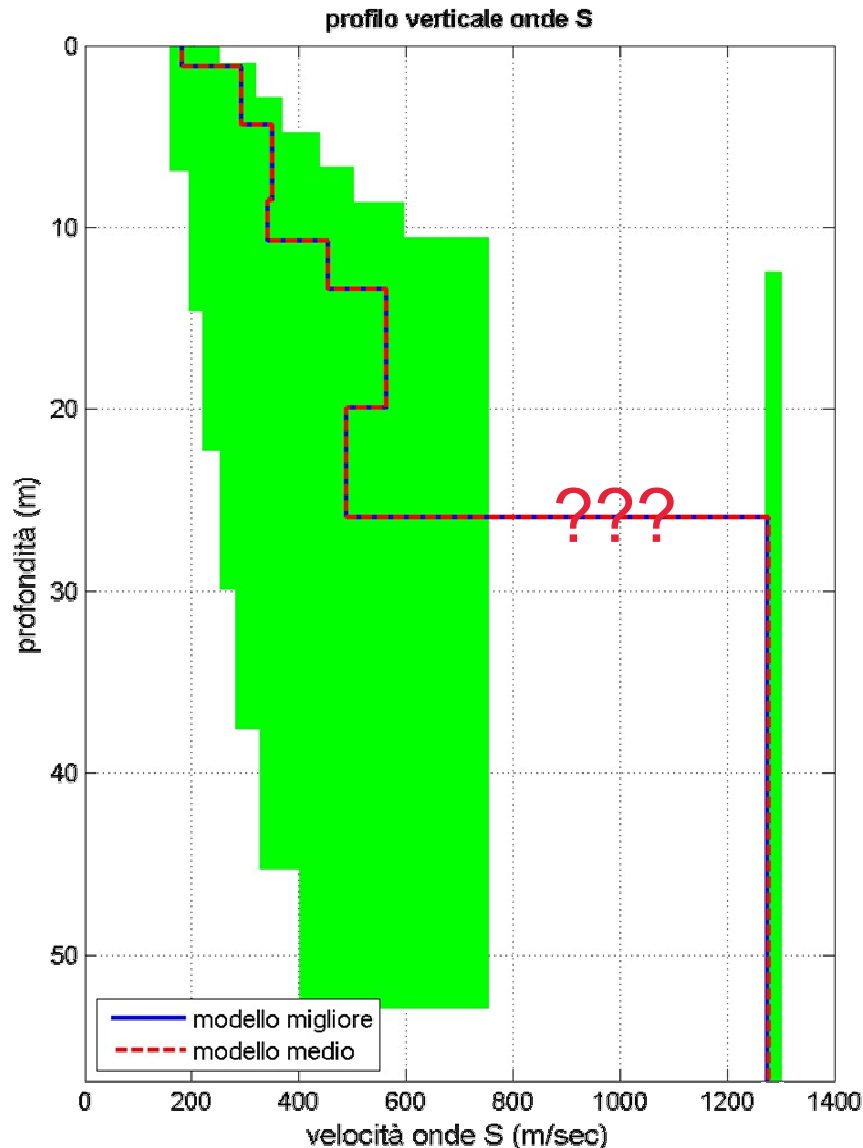




**Figure n.3 e 4** - Grafici relativi alla curva di dispersione ed alla generazione dei modelli medio e migliore, relativamente allo shot FilP10d.SGY registrato in via loc. Filettole sul territorio del Comune di Vecchiano (PI).

Il software consente quindi di ricavare le velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_{S5}$ ,  $V_{S20}$  e  $V_{S30}$  sia del modello migliore, ovvero dotato di minore "misfit", sia del modello medio; l'autore consiglia di utilizzare, quale dato finale, il modello medio, anche se normalmente, come nel caso in esame, i due valori non differiscono in maniera significativa.





dataset: FilP10d.SGY

curva di dispersione: pick.cdp

modello migliore VS30: 437 m/sec

modello medio VS30: 437 m/sec

$V_{s30} = 437 \text{ m/s}$

**Figura n.5** - Profilo verticale  $V_s$  ricavato per lo shoto FilP10d.SGY registrato in loc. Filettole sul territorio del Comune di Vecchiano (PI) dove in verde viene evidenziato lo spazio di ricerca adottato all'interno del quale l'algoritmo di calcolo del software identifica la soluzione ottimale che meglio approssima il dato registrato in campagna. La profondità di indagine significativa risulta attorno a 30 - 40 mt ca. oltre tale valore il risultato perde di significato.

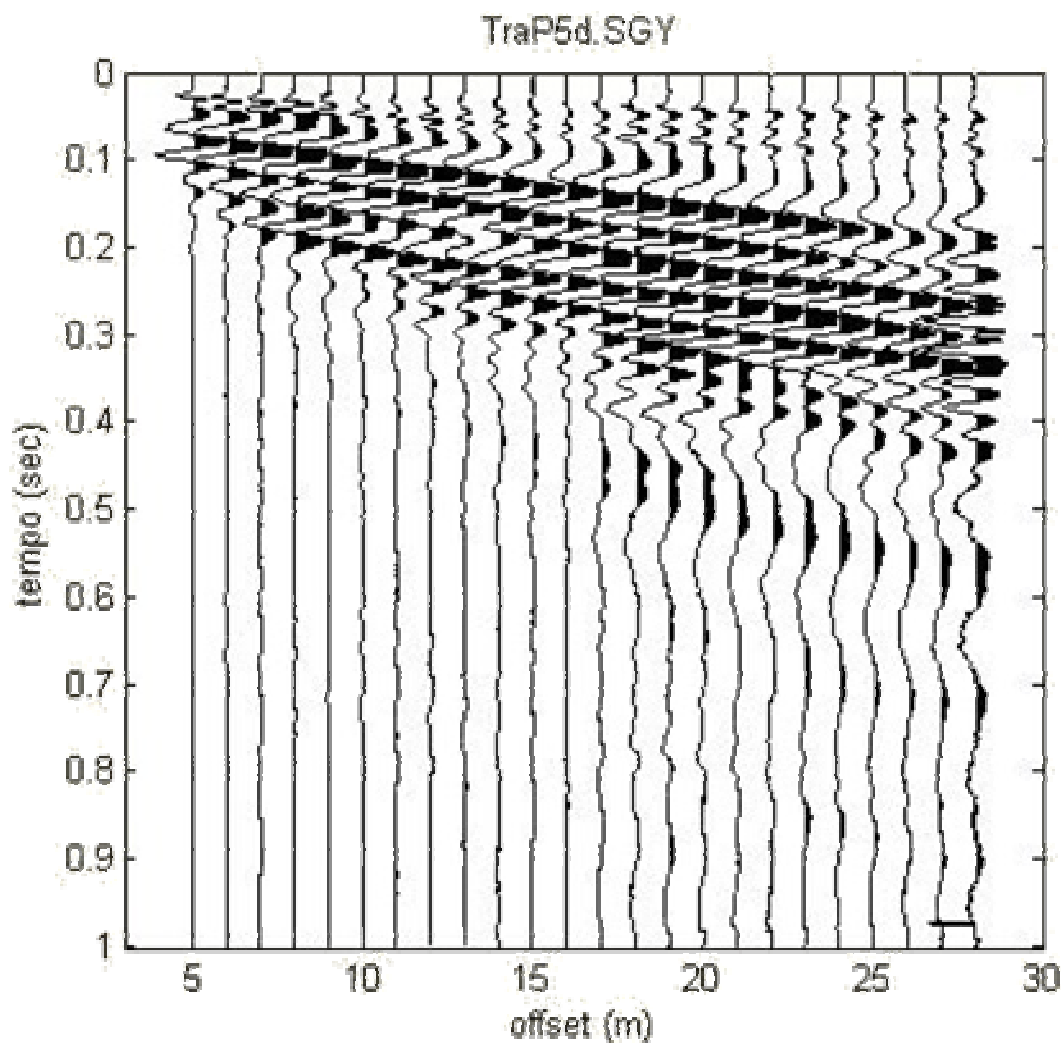


$V_s = 132 \text{ m/s}$

### 3.2 LINEA SISMICA ST4 TRAVERSAGNA

*Elaborazione shot TraP5d. SGY*

Nella figura successiva si riporta la registrazione utilizzata (grafico distanza-tempo) con evidente il treno delle onde superficiali.



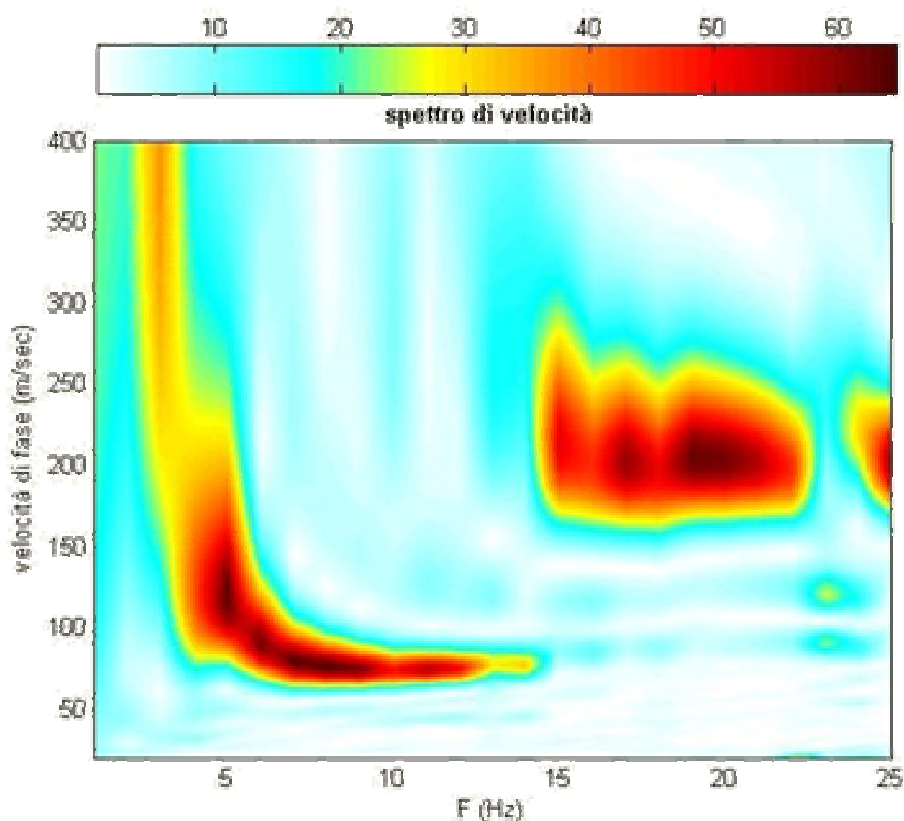
**Figura n.6** - Dati di input relativi allo shot TraP5d. SGY registrato presso la zona industriale di loc. Traversagna sul territorio del Comune di Vecchiano (PI).

In particolare si può osservare l'allargamento del segnale tipico della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh ovvero della loro dispersione.

Si noti come il trend non sia stato "tagliato" via da un ridotto tempo di acquisizione in quanto completo per l'intera stringa geofonica.



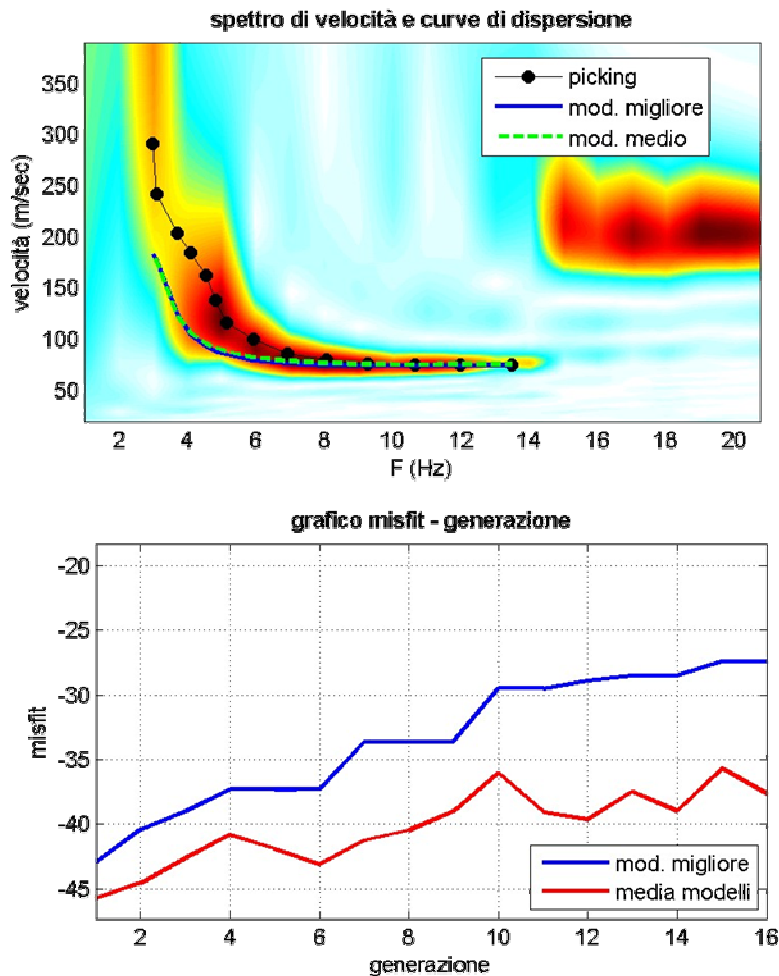
Nella successiva figura si riporta lo spettro di velocità ricavato per la suddetta registrazione (dominio frequenza/velocità di fase) da cui è stata ricavata la curva di dispersione e successivamente eseguito il picking.



**Figura n.7** - Spettro di velocità (dominio frequenza-velocità di fase) relativa allo shot TraP5d. SGY registrato presso la zona industriale di loc. Traversagna sul territorio del Comune di Vecchiano (PI).

Il programma permette di elaborare tale curva "piccata" e, mediante il processo di inversione, di arrivare a definire due modelli stratigrafici; un modello che fitta con una buona approssimazione tale curva (in questo caso si parla di minore "misfit" cioè minore discrepanza tra curva osservata e calcolata) e che viene definito **modello migliore** ed un altro, definito **modello medio**, calcolato tramite una operazione statistica denominata MPPD (Marginal Posterior Probability Density). Tale operazione permette di valutare l'attendibilità della soluzione finale dalle deviazioni standard fornite per i parametri di ciascun modello.

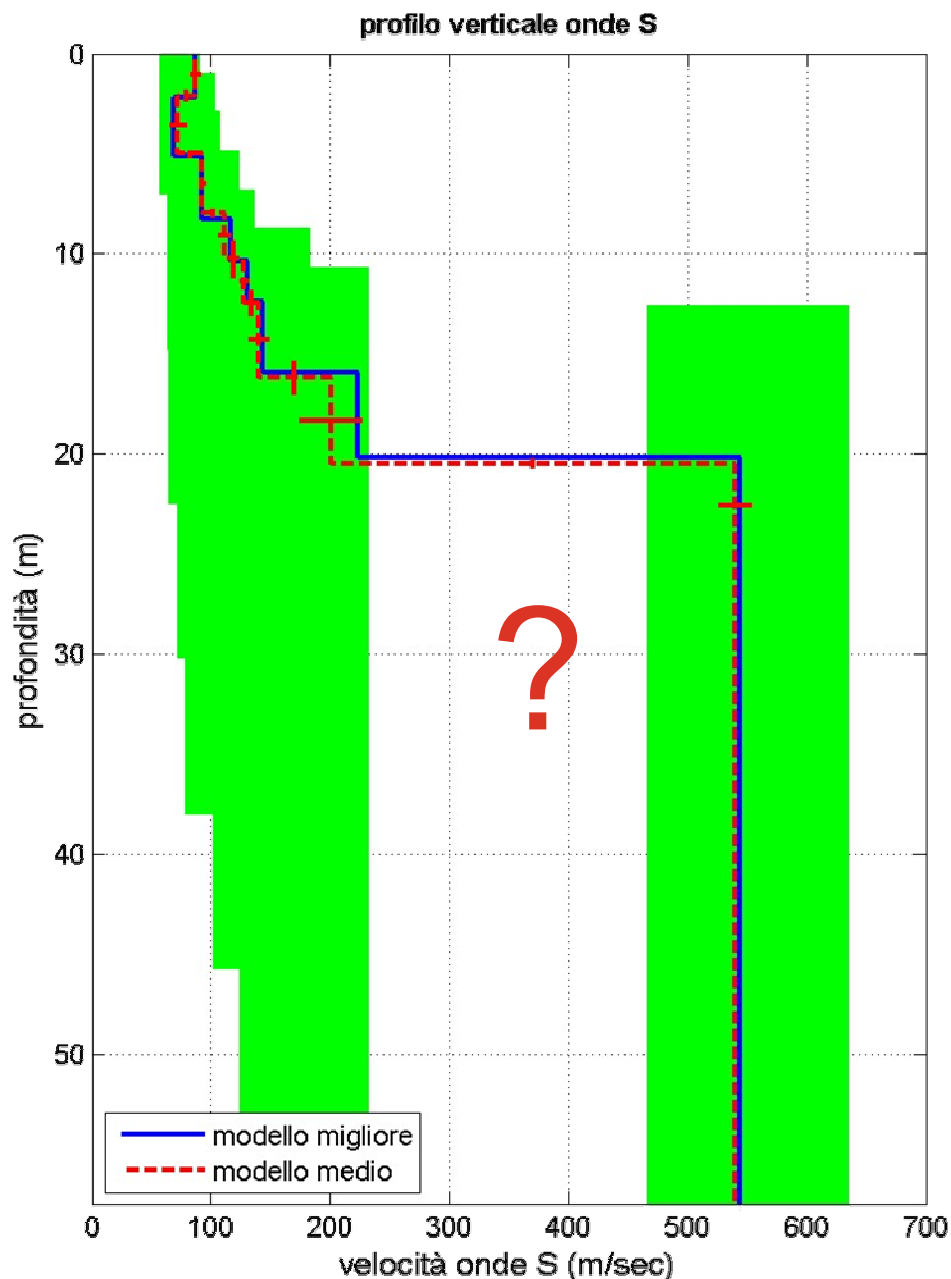




**Figure n.8 e 9** - Grafici relativi alla curva di dispersione e alla generazione dei modelli medio e migliore, relativamente allo shot TraP5d.SGY registrato presso la zona industriale di loc. Traversagna sul territorio del Comune di Vecchiano (PI).

Il software consente quindi di ricavare le velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_{55}$ ,  $V_{520}$  e  $V_{530}$  sia del modello migliore, ovvero dotato di minore "misfit", sia del modello medio; l'autore consiglia di utilizzare, quale dato finale, il modello medio, anche se normalmente, come nel caso in esame, i due valori non differiscono in maniera significativa.





**dataset: TraP5d.SGY**

**curva di dispersione: pick.cdp**

**modello migliore VS30: 152 m/sec**

**modello medio VS30: 150 m/sec**

**Figura n.10** - Profilo verticale  $V_S$  relativo allo shot TraP5d.SGY registrato presso la zona industriale di loc. Traversagna sul territorio del Comune di Vecchiano (PI), dove in verde viene evidenziato lo spazio di ricerca adottato all'interno del quale l'algoritmo di calcolo del software identifica la soluzione ottimale che meglio approssima il dato registrato in campagna. La profondità di indagine significativa risulta attorno a 30 - 40 mt ca. oltre tale valore il risultato perde di significato.



ST5

 $V_s = 174,64 \text{ m/s}$ 

La linea sismica ST5 realizzata secondo le modalità descritte nei capitoli precedenti, ha evidenziato la presenza di un solo rifrattore sismico posto ad una profondità compresa tra un minimo di 19.2 mt dal p.c. (geofoni G1 e G5) ed un massimo di 22.2 mt (geofono G16); tale orizzonte si presenta con andamento leggermente ondulato a separare un sismostrato superficiale caratterizzato da una velocità  $V_1=151,1 \text{ m/sec}$  da un sottostante livello dotato di una maggiore velocità ( $V_2=238,7 \text{ m/sec}$ ).



ST6

$V_s = 195,43 \text{ m/s}$

La linea sismica ST6 realizzata secondo le modalità descritte nei capitoli precedenti, ha evidenziato la presenza di un solo rifrattore posto ad una profondità compresa tra un minimo di 16.3 mt dal p.c. (geofono G6) ed un massimo di 19.9 mt (geofono G15); tale orizzonte si presenta con andamento suborizzontale alla morfologia esterna e separa un sismostrato superficiale caratterizzato da una velocità  $V_1=175,3 \text{ m/sec}$  da un sottostante livello dotato di una maggiore velocità ( $V_2=243,6 \text{ m/sec ca.}$ ).



ST7

 $V_s = 202,812 \text{ m/s}$ 

La linea sismica ST7 realizzata secondo le modalità descritte nei capitoli precedenti, ha evidenziato la presenza di un rifrattore posto ad una profondità compresa tra un minimo di 22,1 mt dal p.c. (geofoni G10, G11, G12, G13, G14 e G15) ed un massimo di 24,4 mt (geofono G19); tale orizzonte si presenta con andamento leggermente ondulato a separare un sismostrato superficiale caratterizzato da una velocità  $V_1=179,0 \text{ m/sec}$  da un sottostante livello dotato di una maggiore velocità ( $V_2=319,7 \text{ m/sec ca.}$ ).



ST8

 $V_s = 181,68 \text{ m/s}$ 

La linea sismica ST8 realizzata secondo le modalità descritte nei capitoli precedenti, ha evidenziato la presenza di almeno due rifrattori posti a differente profondità a separare tre sismostrati caratterizzati da diverse velocità di propagazione del treno d'onda longitudinale. Il primo rifrattore è posto ad una profondità compresa tra un minimo di 3,3 mt dal p.c. (geofono G24) ed un massimo di 8,9 mt (geofono G15), con andamento leggermente ondulato e sub-parallelo alla morfologia esterna a separare un sismostrato superficiale caratterizzato da una velocità  $V_1=132,3 \text{ m/sec}$  da un sottostante livello dotato di una maggiore velocità ( $V_2=168,8 \text{ m/sec ca.}$ ). Il secondo rifrattore sempre con andamento leggermente ondulato e sub-parallelo alla morfologia esterna ed ubicato ad una profondità compresa tra un minimo di 18,8 mt (geofono G21) ed un massimo di 24,2 (geofono G13) separa il sismostrato intermedio con  $V_2=168,8 \text{ m/sec ca.}$  da un sismostrato profondo dotato di una velocità  $V_3=200,1 \text{ m/sec ca.}$



ST9

 $V_s = 172.11 \text{ m/s}$ 

La linea sismica ST9 realizzata secondo le modalità descritte nei capitoli precedenti, ha evidenziato la presenza di due rifrattori posti a differente profondità a separare tre sismostrati caratterizzati da diverse velocità di propagazione del treno d'onda longitudinale. Il primo rifrattore è posto ad una profondità compresa tra un minimo di 3,1 mt dal p.c. (geofono G11) ed un massimo di 7,6 mt (geofono G21), con andamento ondulato e sub-parallelo alla morfologia esterna a separare un sismostrato superficiale caratterizzato da una velocità  $V_1=140,0 \text{ m/sec}$  da un sottostante livello dotato di una maggiore velocità ( $V_2=180,3 \text{ m/sec ca.}$ ). Il secondo rifrattore sempre con andamento leggermente ondulato e sub-parallelo alla morfologia esterna ed ubicato ad una profondità compresa tra un minimo di 31,9 mt (geofono G3) ed un massimo di 34,7 (geofono G18) separa il sismostrato intermedio con  $V_2=180,3 \text{ m/sec ca.}$  da un sismostrato profondo dotato di una velocità  $V_3=343,2 \text{ m/sec ca.}$



ST10

 $V_s = 143,5 \text{ m/s}$ 

La linea sismica ST10 realizzata secondo le modalità descritte nei capitoli precedenti, ha evidenziato la presenza di un solo rifrattore a separare due sismostrati con differente velocità di propagazione delle onde trasversali SH; tale superficie si presenta con un andamento leggermente ondulato ed immergente verso il geofono G24 e posta ad una profondità compresa tra un minimo di 27,3 mt dal p.c. (geofono G1) ed un massimo di 36,0 mt (geofono G24), a separare un sismostrato superficiale caratterizzato da una velocità  $V_1=143,5 \text{ m/sec}$  da un sottostante livello dotato di una maggiore velocità ( $V_2=291,0 \text{ m/sec ca.}$ ).



# PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE

## ONDE SH



**bierregi s.r.l.**

*Sede Legale: Loc. Tonella n. 1  
55060 - San Martino in Freddana - PESCAGLIA (LU)*

*Sede Operativa: Via di Tiglio n. 433  
55100 - Arancio - LUCCA*

*Telefono e Fax: +39 583 464539*

*E-Mail: bierregi.srl@virgilio.it*



*Cap. Soc. 50.000 € Int. Ver. - C. F. e Partita IVA 01757090467  
Registro Imprese C.C.I.A.A. di Lucca - n. R.E.A. 186603*

COMMITTENTE	Dott.Geol. Francesco Marianetti
LOCALITÀ	Migliarino (PISA)
DATA	5 APRILE 2005



## INTRODUZIONE

Tra le prospezioni di tipo indiretto la sismica a rifrazione rappresenta ad oggi un valido supporto sia per la ricostruzione delle geometrie sepolte sia per la caratterizzazione del sottosuolo. Il metodo utilizza il comportamento di alcune onde acustiche che si propagano nei corpi solidi, il cui moto si fonda sulla teoria dell'elasticità. Le onde, generate artificialmente dall'operatore, vengono prodotte tramite martello percussore, massa battente o tramite esplosivo. La prospezione può essere eseguita energizzando onde compressionali (tipo "P") o onde di taglio (tipo "SH") a seconda delle finalità dell'indagine e delle caratteristiche geologiche/idrogeologiche locali. La tecnica della sismica a rifrazione sfrutta la proprietà che hanno le onde sismiche di rifrangersi sulla superficie di separazione fra litotipi diversi, generalmente caratterizzati da una differente velocità di propagazione. Le onde rifratte viaggiano parallelamente alla superficie di discontinuità fra i due diversi strati con la stessa velocità dello strato più "veloce" rifrangendo continuamente verso l'alto (strato "lento") energia elastica. L'energia rifratta dagli strati che ritorna in superficie viene rilevata dai geofoni collegati al sismografo. La fase di interpretazione successiva avviene tramite l'utilizzo di un opportuno software che, in funzione della casistica in esame e delle diverse metodologie di calcolo offerte dal programma stesso, garantisce la possibilità di ottenere la migliore ricostruzione bidimensionale del sottosuolo.

L'ottimizzazione di tale prospezione prevede la realizzazione di indagini sismiche incrociate con la tecnica delle onde di "tipo P" compressionali e di "tipo SH" di taglio, tarate con sondaggi di tipo puntuale (carotaggi, penetrometrie...).

## CAMPO DI APPLICAZIONE

Le indagini di sismica a rifrazione vengono impiegate principalmente per le seguenti problematiche:

- Mappatura degli strati composti da materiale sciolto
- Mappatura del substrato roccioso
- Mappatura della resistenza allo scavo (rippabilità)
- Localizzazione delle zone di frattura
- Studi in campo idrogeologico (ricerca di falde idriche, ubicazione dei pozzi)



## VANTAGGI

1. Metodo sufficientemente economico
2. Informazioni dettagliate e areali
3. Vasta applicabilità
4. I risultati sono correlabili a importanti parametri geomeccanici e geotecnici e a sondaggi
5. Consente di valutare alcune caratteristiche fondamentali per il calcolo della risposta sismica di un sito.

## LIMITI

1. I sismostrati posso essere individuati solo se dotati di velocità delle onde sismiche crescente con la profondità
2. Gli strati debbono possedere uno spessore sufficiente per essere rilevati
3. Rilievi eseguiti su terreni di riporto o in aree adibite a discariche e in presenza di forte rumore antropico conducono spesso a risultati non affidabili
4. Fratture singole e strette non vengono rilevate.

## STRUMENTAZIONE ED ELABORATI FORNITI

La BIERREGI è dotata di un sismografo a 24 canali ECHO 12-24/2002 collegato ad un pc portatile su cui è installato programma di acquisizione Ambrogeo 6.0. I dati acquisiti in campagna e registrati sul pc vengono poi processati in studio tramite il programma di elaborazione *Winsism v.10*. I risultati della prospezione vengono restituiti con una relazione tecnica di commento che include le tabelle con i modelli interpretativi e le sezioni sismostratigrafiche. In particolare come allegati vengono forniti:

- Copia delle tracce sismiche registrate ad ogni geofono per ogni sparo
- Grafico con le dromocrone relative a tutti gli spari
- Sezioni sismostratigrafiche
- Tabella riassuntiva dei dati acquisiti ed elaborati



## PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE CON ONDE SH

### PREMESSA E DATI DI PROGETTO

E' stata eseguita una prospezione sismica a rifrazione con onde SH di supporto al progetto per la realizzazione di un centro diurno per anziani, una nuova sede del comitato ASBUC, una foresteria e degli ambulatori medici; il tutto da ubicarsi tra via Fucini e via S.D'Acquisto, Migliarino (PISA).

### DESCRIZIONE E LOGISTICA DELLA PROSPEZIONE

Al fine di garantire la copertura dell'area di indagine richiesta e ottimizzando gli ingombri disponibili, è stato eseguito n° 1 stendimento avente sviluppo di metri 72 (SA) con azimuth SW-NE. Per tale tipo di prospezione è stato ritenuto opportuno l'utilizzo di 24 geofoni interspaziati di 3 metri. Sono state eseguite n° 5 registrazioni, effettuate con mazza da 8 Kg su cassa in acciaio sovraccaricata, nominate come riportato nella tabella sottostante.

	<b>STESA A</b>
<b>S3</b>	<del>Esterno SW</del>
<b>S4</b>	Estremo NE
<b>S5</b>	Esterno NE

Le registrazioni ottenute in campagna sono state ottimizzate lavorando, in fase di acquisizione, sulla sensibilità di ciascun geofono orizzontale, al fine di minimizzare i disturbi acustici locali e allo stesso tempo di amplificare i segnali (le tracce) più deboli. Inoltre, ulteriori miglioramenti del segnale sono stati apportati lavorando sul filtraggio delle frequenze (Hi/Lo-cut).



Ogni segmento di tali curve rappresenta in prima analisi uno strato distinto, e la relativa pendenza fornisce indicazioni circa la velocità delle onde sismiche.

## DESCRIZIONE ED INTERPRETAZIONE DELLA SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA

Relativamente al pattern risultante dall'analisi complessiva di tutte le dromocrone è risultata una situazione tipo multistrato in cui sono ben individuabili n° 3 sismostrati. Sono stati distinti in dettaglio:

### STESA 1

1. Dal piano campagna fino a 0.53-0.69 metri di profondità uno strato riconducibile a terreno vegetale e riporto caratterizzato da una velocità  $V_s$  media di 78 m/sec.
2. Da 0.53-0.69 metri a 16.71-17.92 metri con andamento regolare uno strato caratterizzato da una velocità  $V_s$  media di 129 m/sec riconducibile ad una alternanza di sabbie limose e torbe.
3. Oltre, con andamento abbastanza regolare, uno strato caratterizzato da una velocità  $V_s > 239$  m/sec riconducibile probabilmente ad argille e limi poco consistenti.

Per una visualizzazione numerica completa delle caratteristiche della prospezione eseguita e dei dati ottenuti relativi alla ricostruzione bidimensionale del sottosuolo si rimanda agli elaborati allegati.



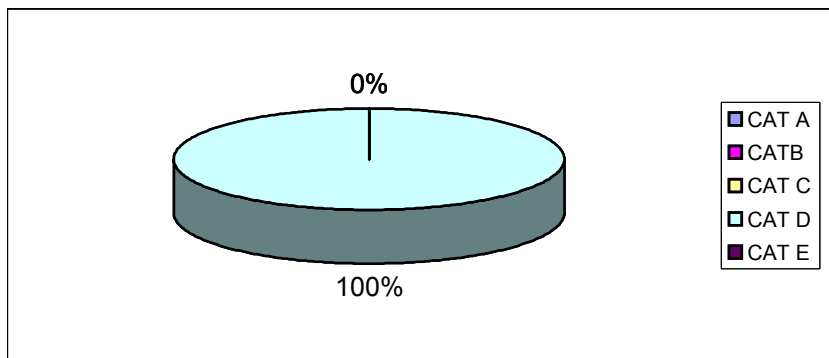
## Vs30 CALCULATOR

La normativa italiana **OPCM 3274** tiene conto degli effetti stratigrafici del suolo, definendo l'azione sismica differenziata per diverse categorie del suolo di fondazione. Al punto 3.1 vengono definite 5 categorie di fondazione, differenziate in base al valore di Vs30 della velocità media di propagazione delle onde di taglio entro 30m di profondità, espressa dalla relazione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} (h_i/v_i)}$$

	estremo sx	interm. sx	centrale	interm. dx	estremo dx
	SHOT2	*	SHOT3	*	SHOT4
Vs1(m/s)	89	*	60	*	85
h1(m)	0.65	*	0.55	*	0.69
Vs2(m/s)	129	*	127	*	132
h2(m)	17.27	*	16.18	*	16.03
Vs3(m/s)	239	*	239	*	239
h3(m)	12.08	*	13.37	*	13.28
spess. alluv.	17.92	*	16.73	*	16.72
Vs30 bedrock					
$\sum h_i/v_i$	0.1917	*	0.1925	*	0.1851
Vs30= 30/ $\sum h_i/v_i$	156	*	156	*	162

	Vs30		CAT A	CAT B	CAT C	CAT D	CAT E	CAT S1	CAT S2
SH2	156	=>	*	*	*	X	*	*	*
SH3	*	=>	*	*	*	*	*	*	*
SH4	156	=>	*	*	*	X	*	*	*
SH5	*	=>	*	*	*	*	*	*	*
SH6	162	=>	*	*	*	X	*	*	*
TOT(%)			0	0	0	100			

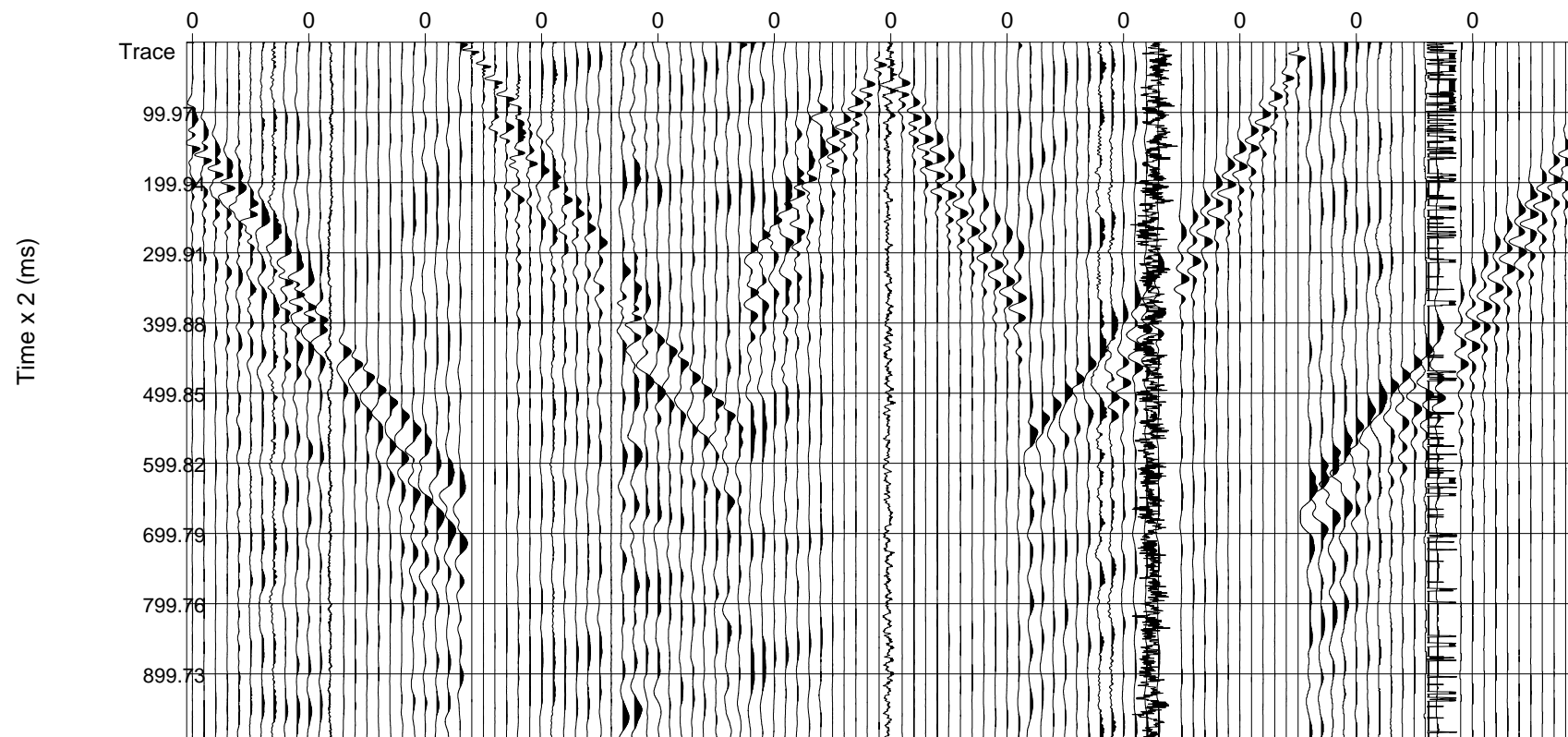




# STESA A ONDE S.SU

SW

NE

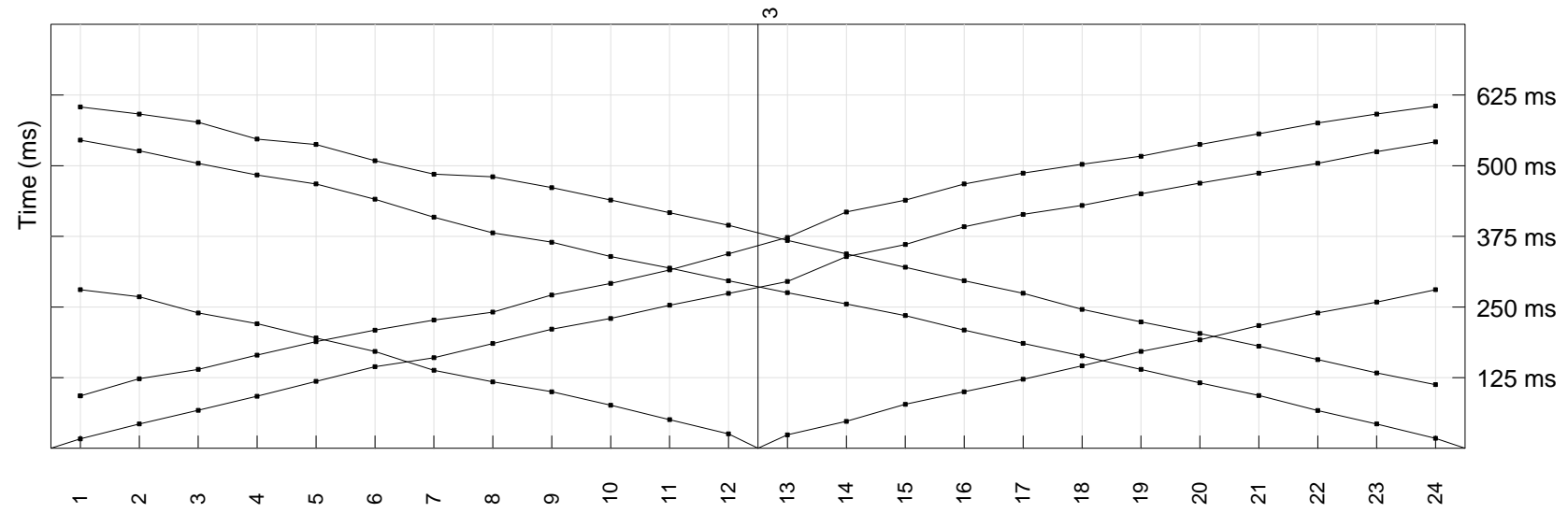




# TRAVEL TIME STESA\_A ONDE S

SW

NE



C:\migliarino\STESA\_A.WS4

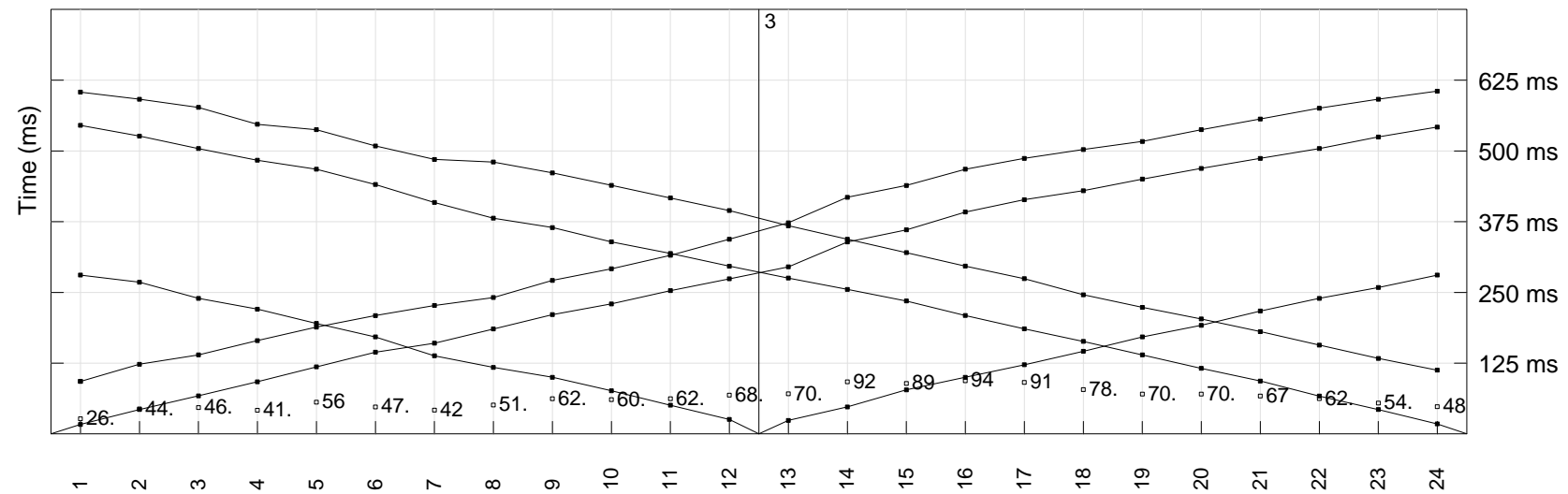
05/04/2005 15.28.22



# TRAVEL TIME + DELAY TIME STESA\_A ONDE S

SW

NE

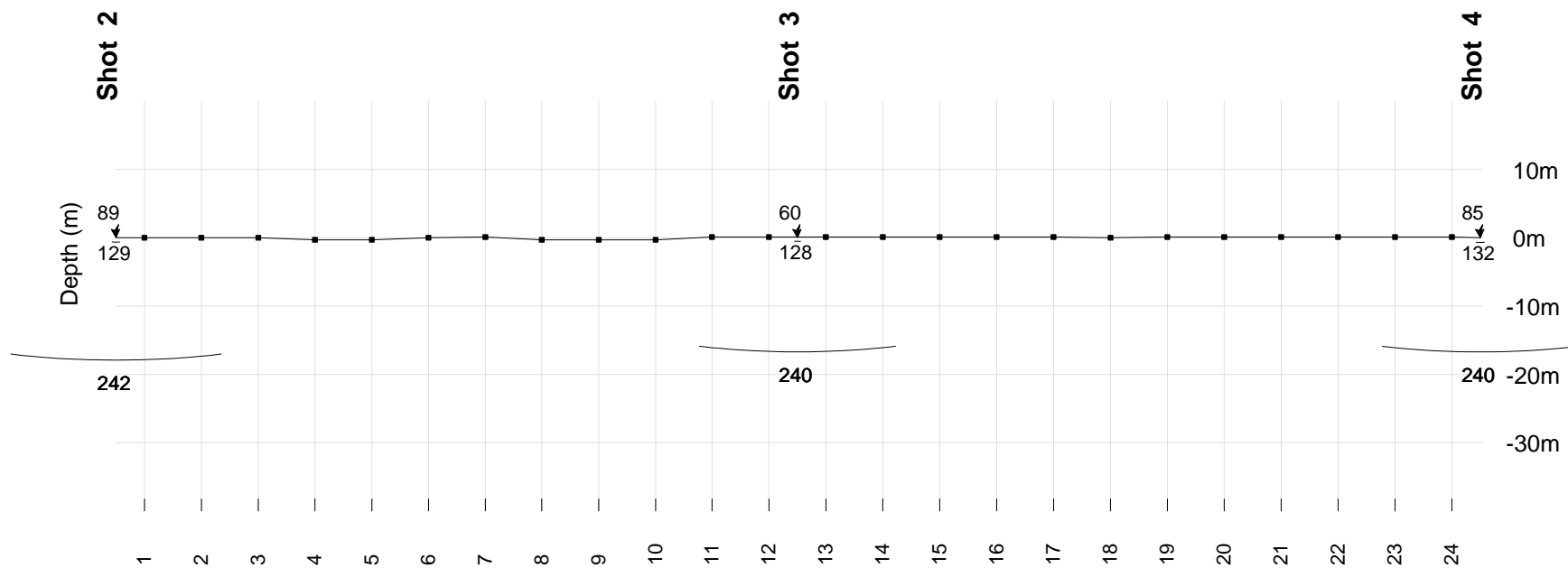




# SEISMIC PROFILE IT STESA\_A ONDE S

SW

NE

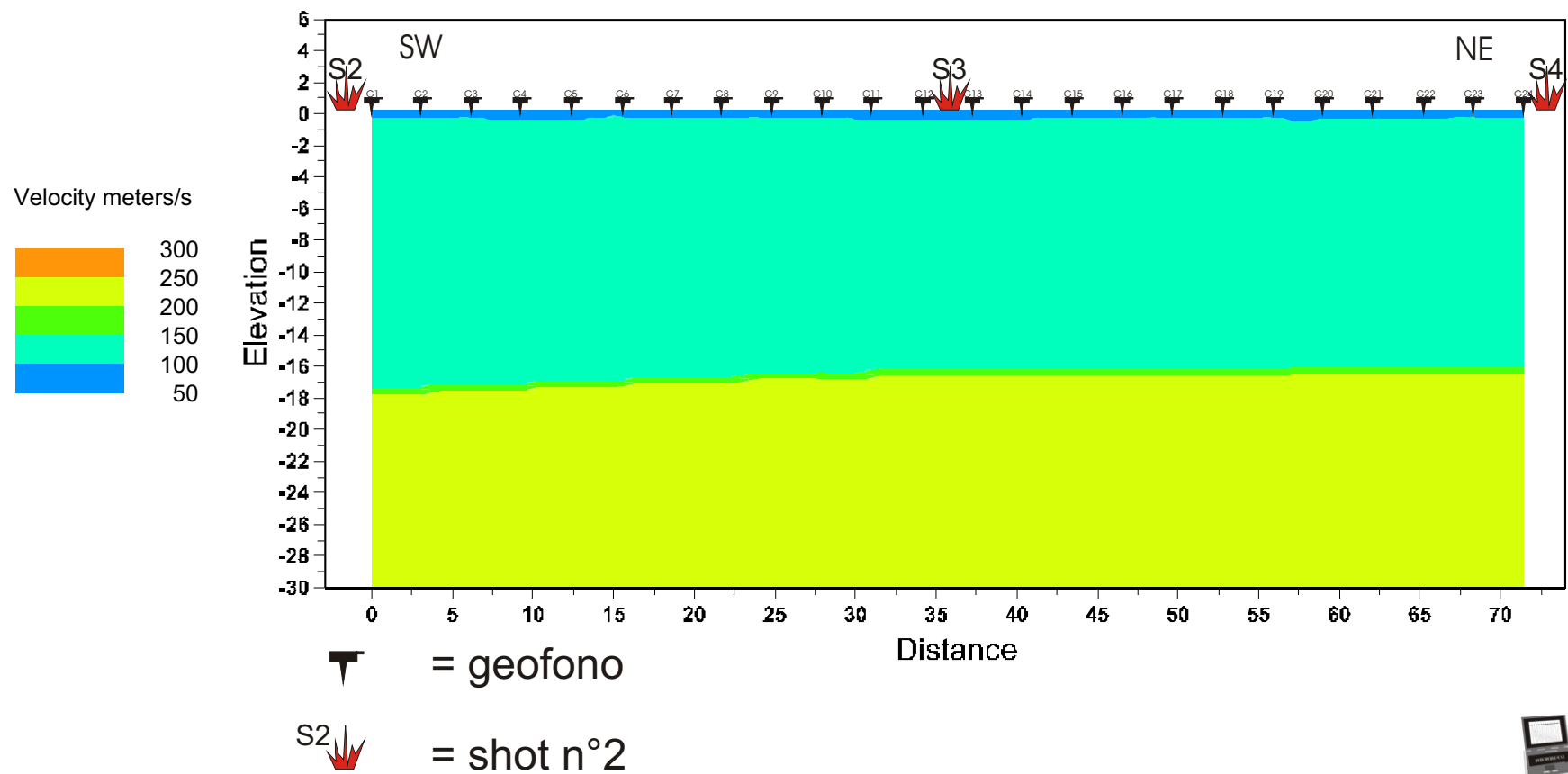




# INTERCEPT TIME METHOD DEPTH COMPUTATION

Shot point depth computation

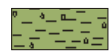
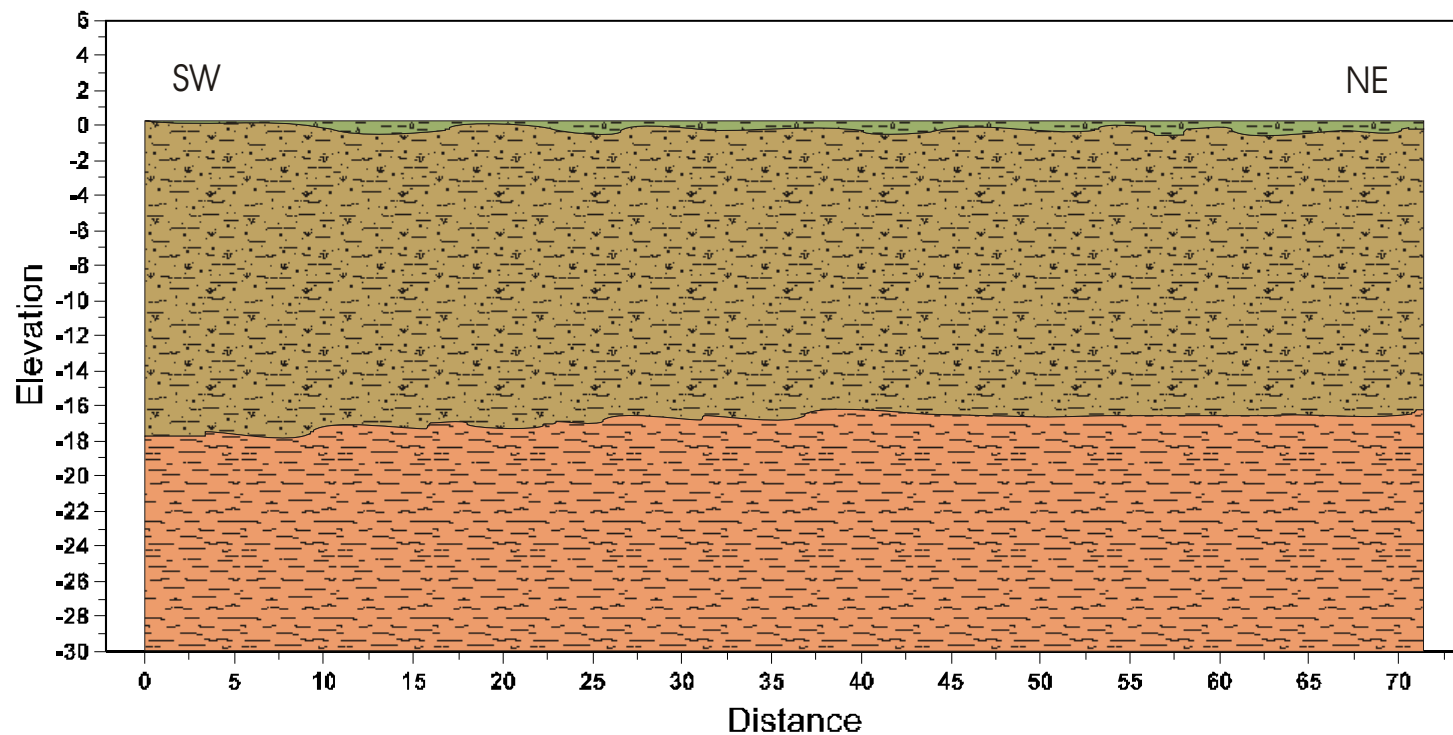
STESA\_A.WS4





# LITHOSTRATIGRAPHIC SECTION

Shot point depth computation



terreno vegetale e limi sabbiosi con riporto



Terreno eterogeneo costituito da alternanze di torbe e limi sabbiosi



Terreno poco consistente costituito da argille limose





# MIGLIARINO STESA A ONDE S

## First Break Picking (FBP) times

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14	G15	G16	G17	G18	G19	G20	G21	G22	G23	G24
Shot 1	92	123	139	164	188	209	226	241	271	291	315	344	373	418	439	467	486	502	516	537	556	575	591	605
Shot 2	16	43	67	92	118	144	160	185	210	229	253	274	295	339	360	392	413	429	450	469	486	504	524	542
Shot 3	280	268	239	220	195	171	138	117	100	76	50	25	23	47	77	100	122	145	171	191	217	239	258	280
Shot 4	545	526	504	483	467	440	408	381	364	339	318	296	275	255	234	209	185	163	139	115	93	66	42	17
Shot 5	603	591	577	546	537	508	485	480	461	439	416	394	367	344	320	296	274	245	223	203	180	157	133	112

## Spread geometry

Sh. Number	Sh. Distance (m)	Sh. Elevation (m)
1	-15	0
2	0	0
3	36	0
4	72	0
5	87	0.1

receivers number	24	
receivers spacing	3	(m)
spread total lenght	72	(m)

Rec. Num.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Rec. Elevat.	0	0	0	-0.2	-0.2	0	0.1	-0.2	-0.2	-0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Rec. Distan.	1.5	4.5	7.5	10.5	13.5	16.5	19.5	22.5	25.5	28.5	31.5	34.5	37.5	40.5	43.5	46.5	49.5	52.5	55.5	58.5	61.5	64.5	67.5	70.5

## Depth at shot point

layer 1 thick. (m)	shot1	shot2	shot3	shot4	shot5
		0.65	0.53	0.69	
layer 2 thick. (m)		17.27	16.18	16.03	
bedrock depth (m)		17.92	16.71	16.72	



# ALLEGATO 2

## Risultati delle analisi MASW



Sito: Loc. Filettole, Vecchiano (PI)  
Data: 22 Giugno 2021

Esecutore prova:  
Geol. Eraldo Santarnecchi

Responsabile:  
Geol. Cinzia Locci



# 1 - Dati sperimentali

Numero di ricevitori.....24  
Numero di campioni temporali .....2000  
Passo temporale di acquisizione ..... 1ms  
Numero di ricevitori usati per l'analisi .....24  
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a..... 0ms  
L'intervallo considerato per l'analisi termina a ..... 1999ms  
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

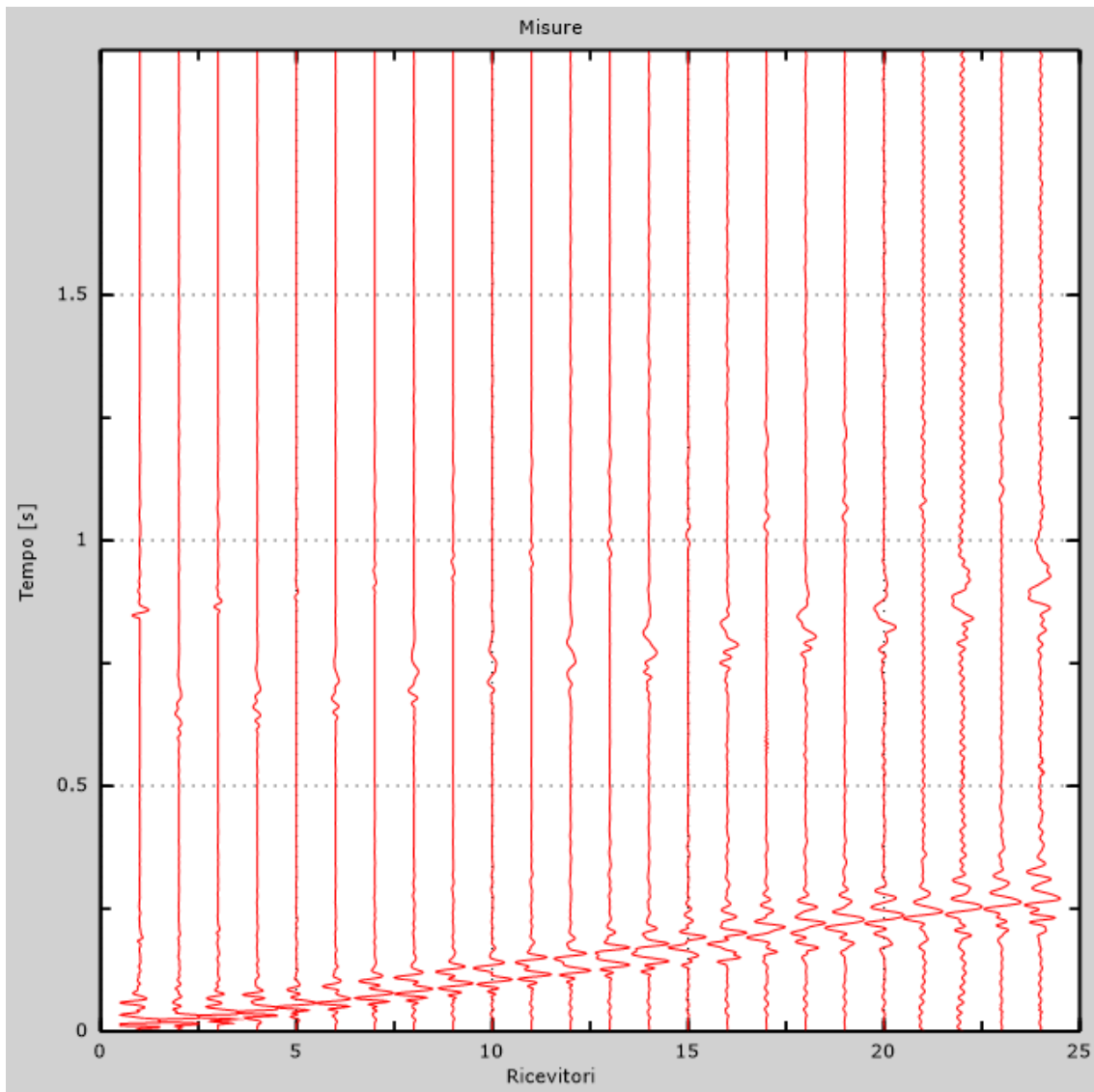


Figura 1: Tracce sperimentali



## 2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale..... 70Hz  
Frequenza iniziale ..... 2Hz

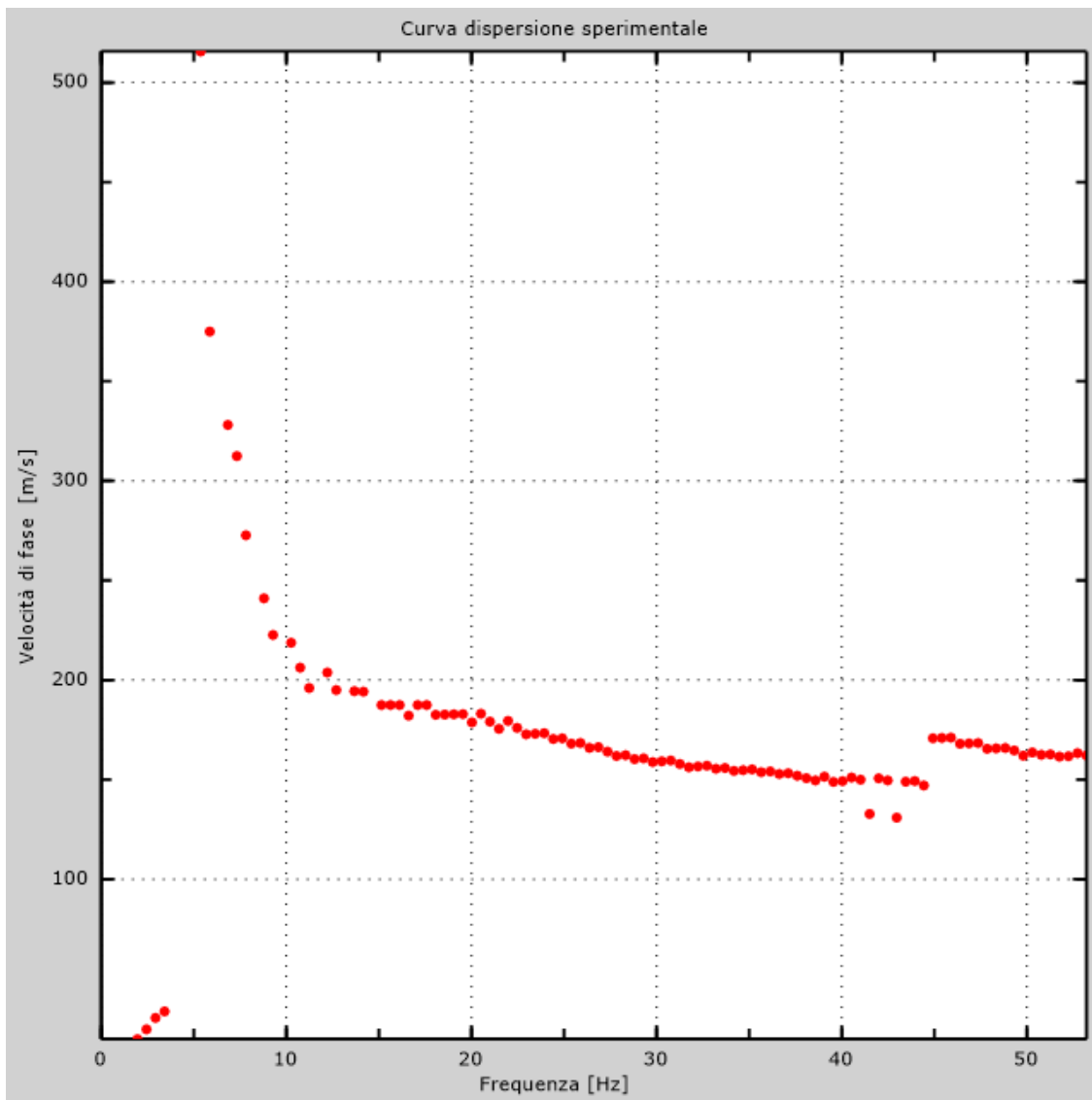


Figura 2: Curva dispersione sperimentale



### 3 - Curva di dispersione

Tabella 1: Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
6.81363	333.165	310.296	356.033
8.28182	264.56	249.314	279.805
10.5365	211.836	201.037	222.634
15.1509	188.967	178.804	199.131
22.0199	178.168	169.275	187.062
29.4657	157.206	150.218	164.193
37.0164	150.853	144.501	157.206
42.994	149.583	143.231	155.935
47.6608	168.005	159.111	176.898
53.0092	157.841	150.218	165.464



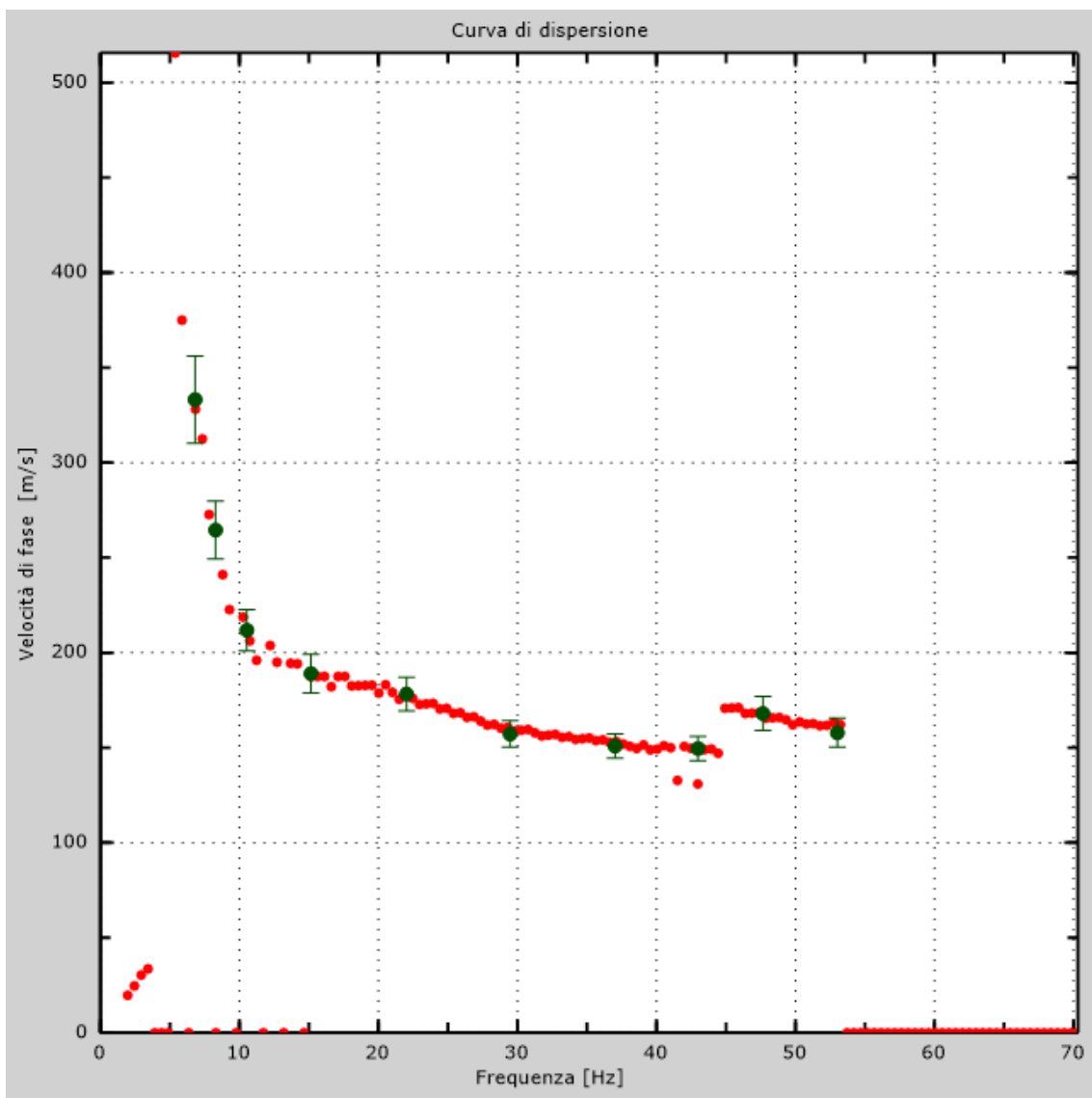


Figura 3: Curva di dispersione



## 4 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio) .....	8
Spaziatura ricevitori [m] .....	1.5m
Numero ricevitori.....	24
Numero modi .....	1

### Strato 1: terreno rimaneggiato/pedologico

h [m].....	0.6
z [m] .....	-0.6
Densità [kg/m <sup>3</sup> ].....	1700
Poisson .....	0.35
Vs [m/s].....	170
Vp [m/s] .....	353.88
Vs min [m/s] .....	87.69
Vs max [m/s].....	255.000000
Falda non presente nello strato	
Strato non alluvionale	
Vs fin.[m/s] .....	170.000

### Strato 2: argilla limosa

h [m].....	4.4
z [m] .....	-5
Densità [kg/m <sup>3</sup> ].....	1850
Poisson .....	0.35
Vs [m/s].....	180
Vp [m/s] .....	374.70
Vs min [m/s] .....	98.98
Vs max [m/s].....	270.000000
Falda non presente nello strato	
Strato alluvionale	
Vs fin.[m/s] .....	180.000

### Strato 3: argilla sabbiosa

h [m].....	4.2
z [m] .....	-9.2
Densità [kg/m <sup>3</sup> ].....	1850
Poisson .....	0.35
Vs [m/s].....	210
Vp [m/s] .....	437.15



Vs min [m/s] ..... 104.98  
 Vs max [m/s] ..... 315.000000  
 Falda non presente nello strato  
 Strato alluvionale  
 Vs fin.[m/s] ..... 210.000

#### Strato 4: argilla sabbiosa compatta

h [m] ..... 7.2  
 z [m] ..... -16.4  
 Densità [kg/m<sup>3</sup>] ..... 1850  
 Poisson ..... 0.35  
 Vs [m/s] ..... 350  
 Vp [m/s] ..... 728.58  
 Vs min [m/s] ..... 117.69  
 Vs max [m/s] ..... 525.000000  
 Falda non presente nello strato  
 Strato alluvionale  
 Vs fin.[m/s] ..... 350.000

#### Strato 5: argilla

h [m] ..... 3.6  
 z [m] ..... -20  
 Densità [kg/m<sup>3</sup>] ..... 1900  
 Poisson ..... 0.35  
 Vs [m/s] ..... 360  
 Vp [m/s] ..... 749.40  
 Vs min [m/s] ..... 146.98  
 Vs max [m/s] ..... 540.000000  
 Falda non presente nello strato  
 Strato alluvionale  
 Vs fin.[m/s] ..... 360.000

#### Strato 6: argilla

h [m] ..... 5  
 z [m] ..... -25  
 Densità [kg/m<sup>3</sup>] ..... 1900  
 Poisson ..... 0.35  
 Vs [m/s] ..... 380  
 Vp [m/s] ..... 791.03  
 Vs min [m/s] ..... 185.09  
 Vs max [m/s] ..... 570.000000  
 Falda non presente nello strato  
 Strato alluvionale



Vs fin.[m/s] .....380.000

### **Strato 7**

h [m].....6

z [m].....-31

Densità [kg/m<sup>3</sup>].....1900

Poisson .....0.35

Vs [m/s].....400

Vp [m/s] .....832.67

Vs min [m/s] .....185.09

Vs max [m/s].....600.000000

Falda non presente nello strato

Strato alluvionale

Vs fin.[m/s] .....400.000

### **Strato 8**

h [m].....0

z [m].....-00

Densità [kg/m<sup>3</sup>].....1900

Poisson .....0.35

Vs [m/s].....410

Vp [m/s] .....853.48

Vs min [m/s] .....185.09

Vs max [m/s].....615.000000

Falda non presente nello strato

Strato non alluvionale

Vs fin.[m/s] .....410.000



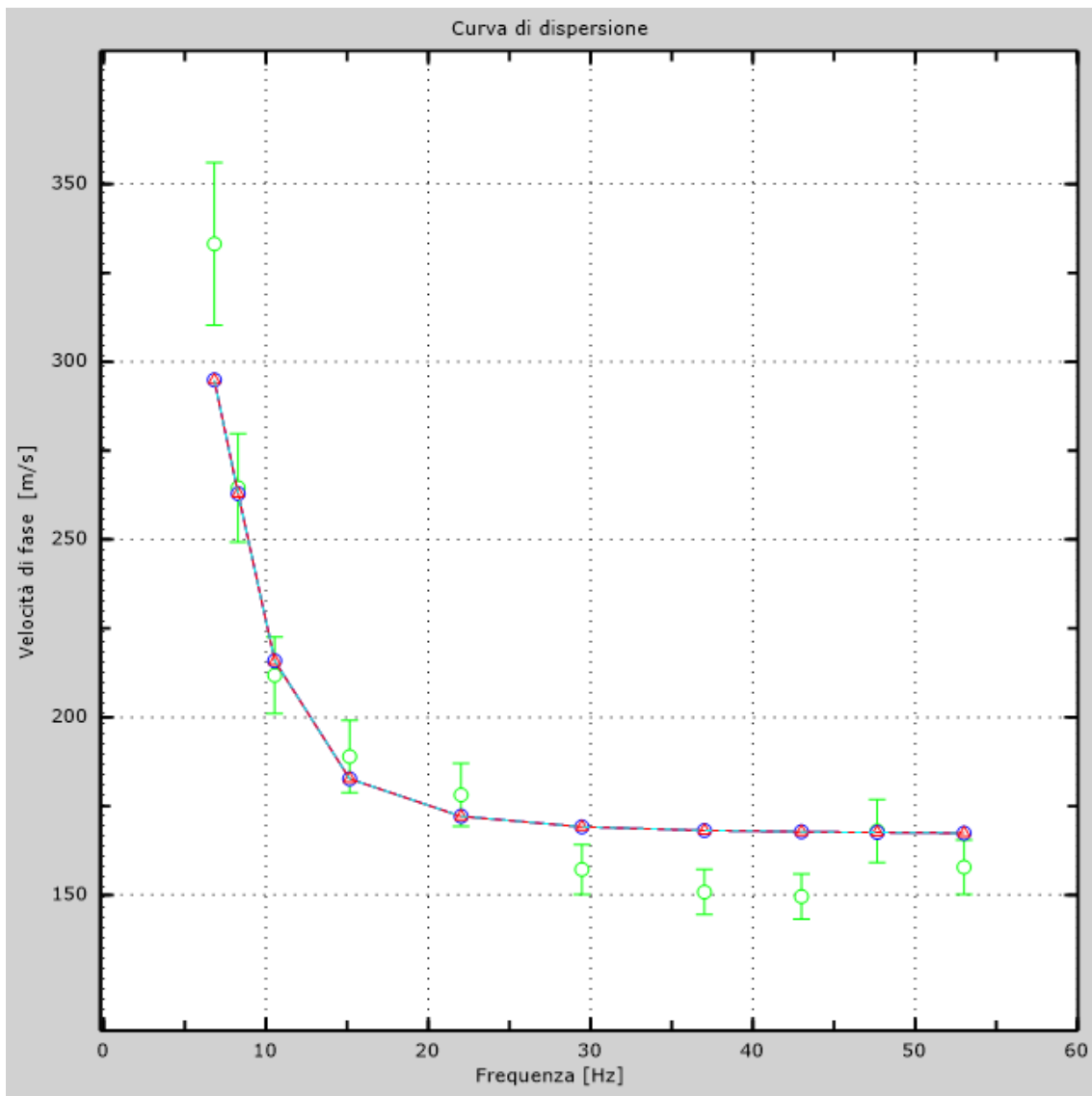


Figura 4: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)



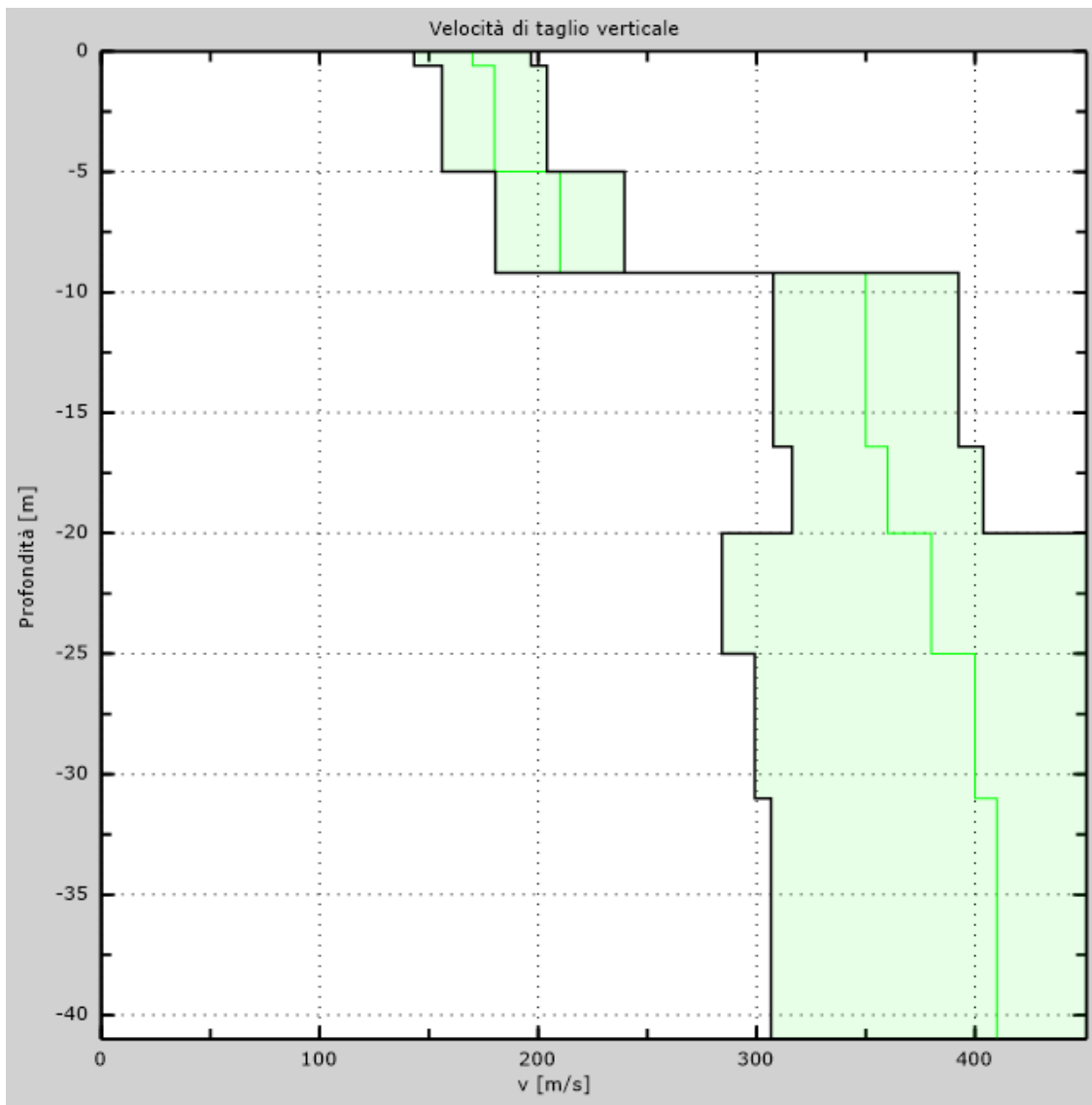
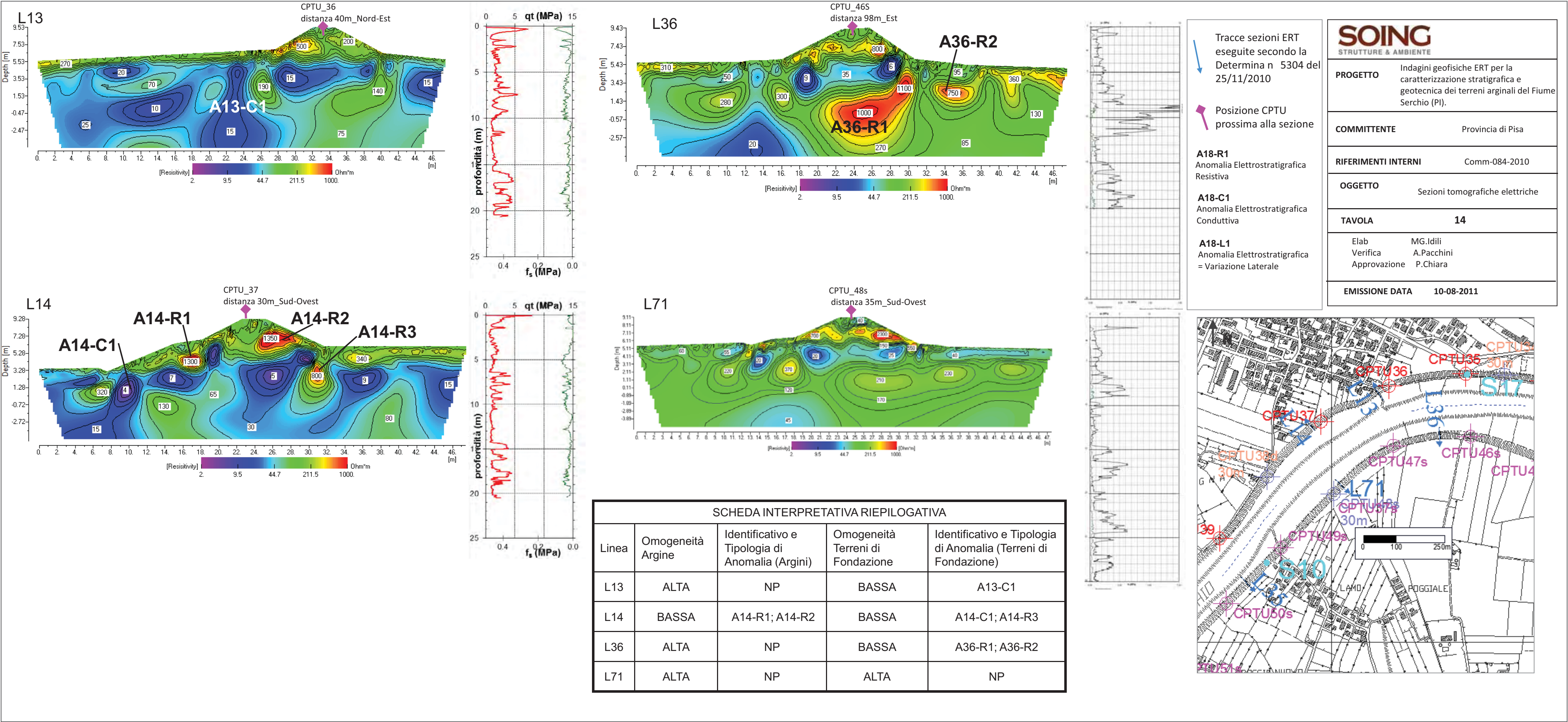


Figura 5: Profilo Vs numerico

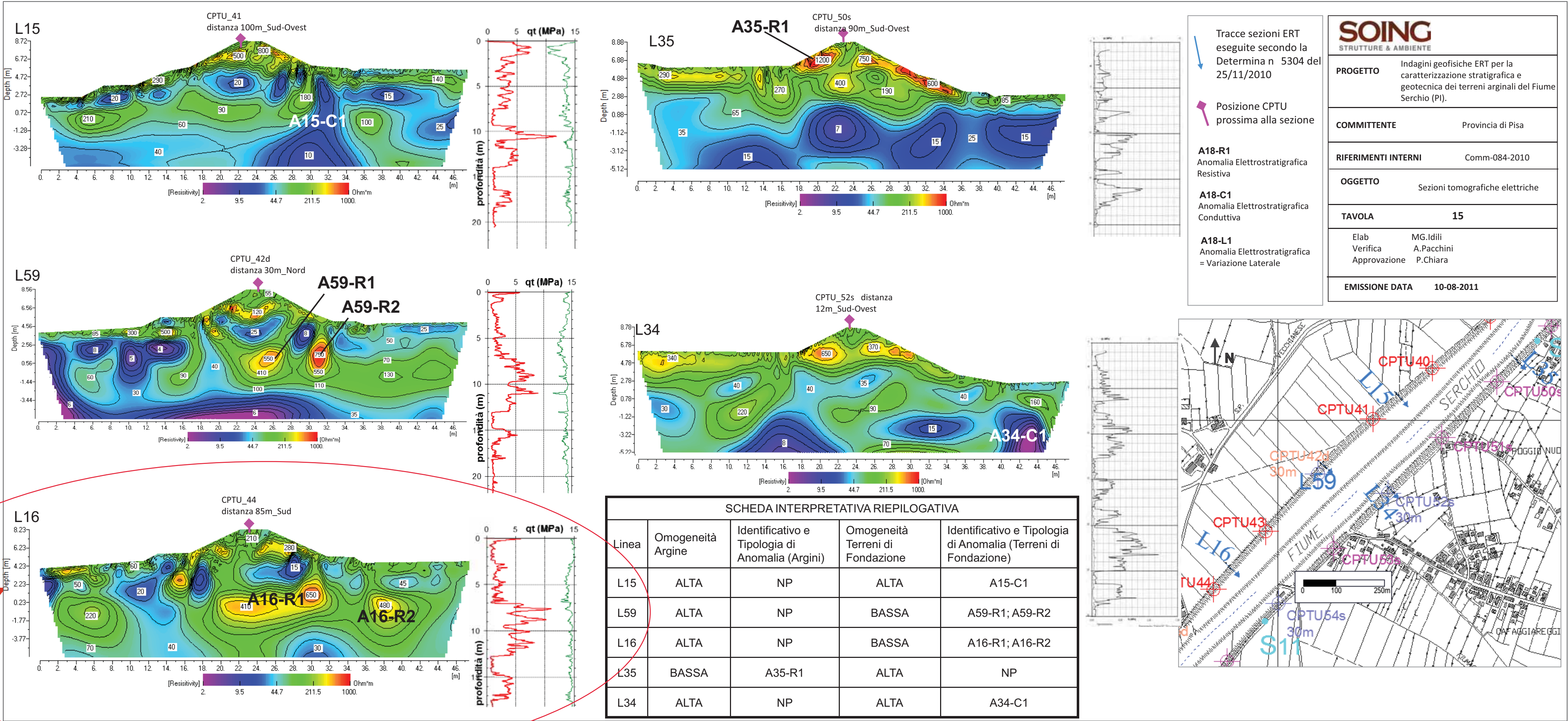
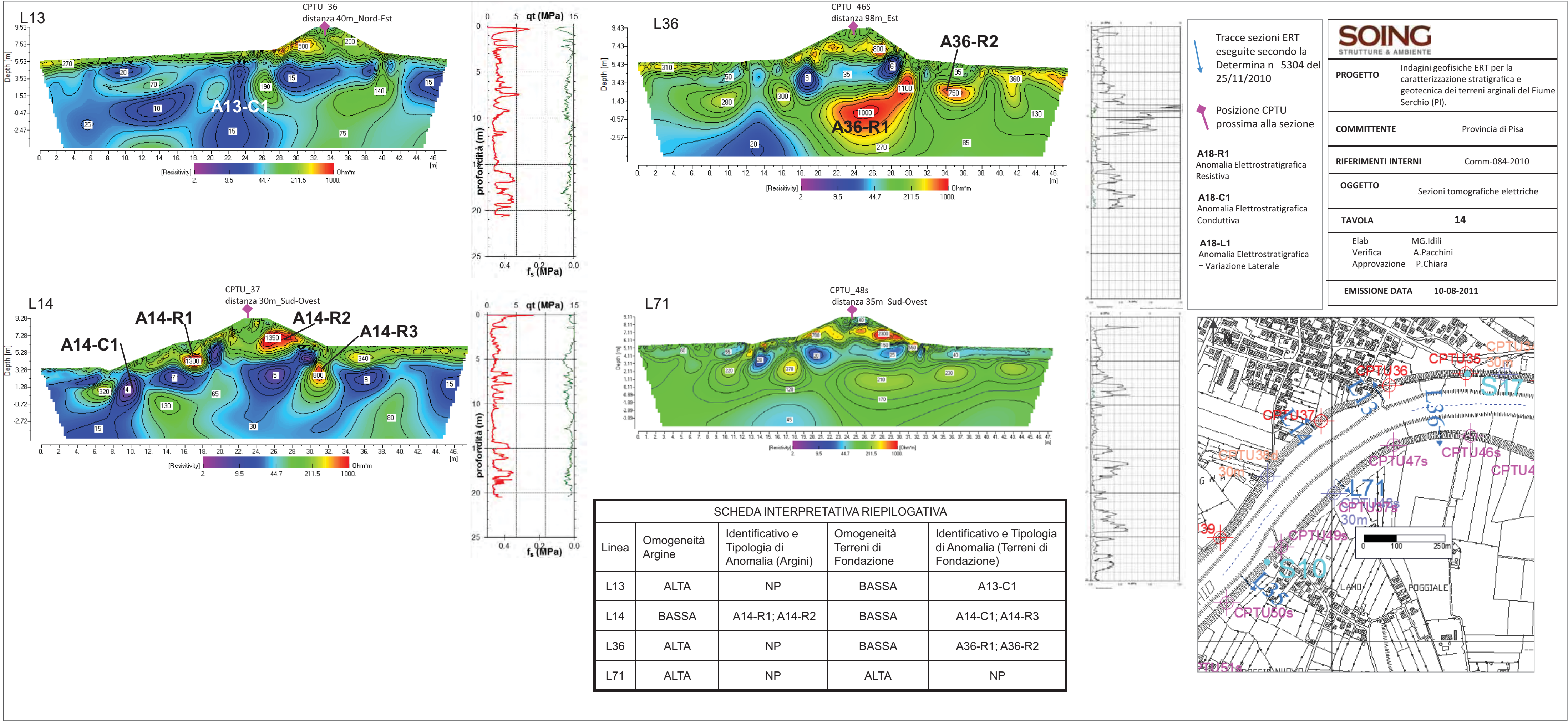
## 5 - Risultati finali

Offset [m] ..... 0  
 Vs30 [m/s] ..... 287  
 Tipo di suolo ..... C



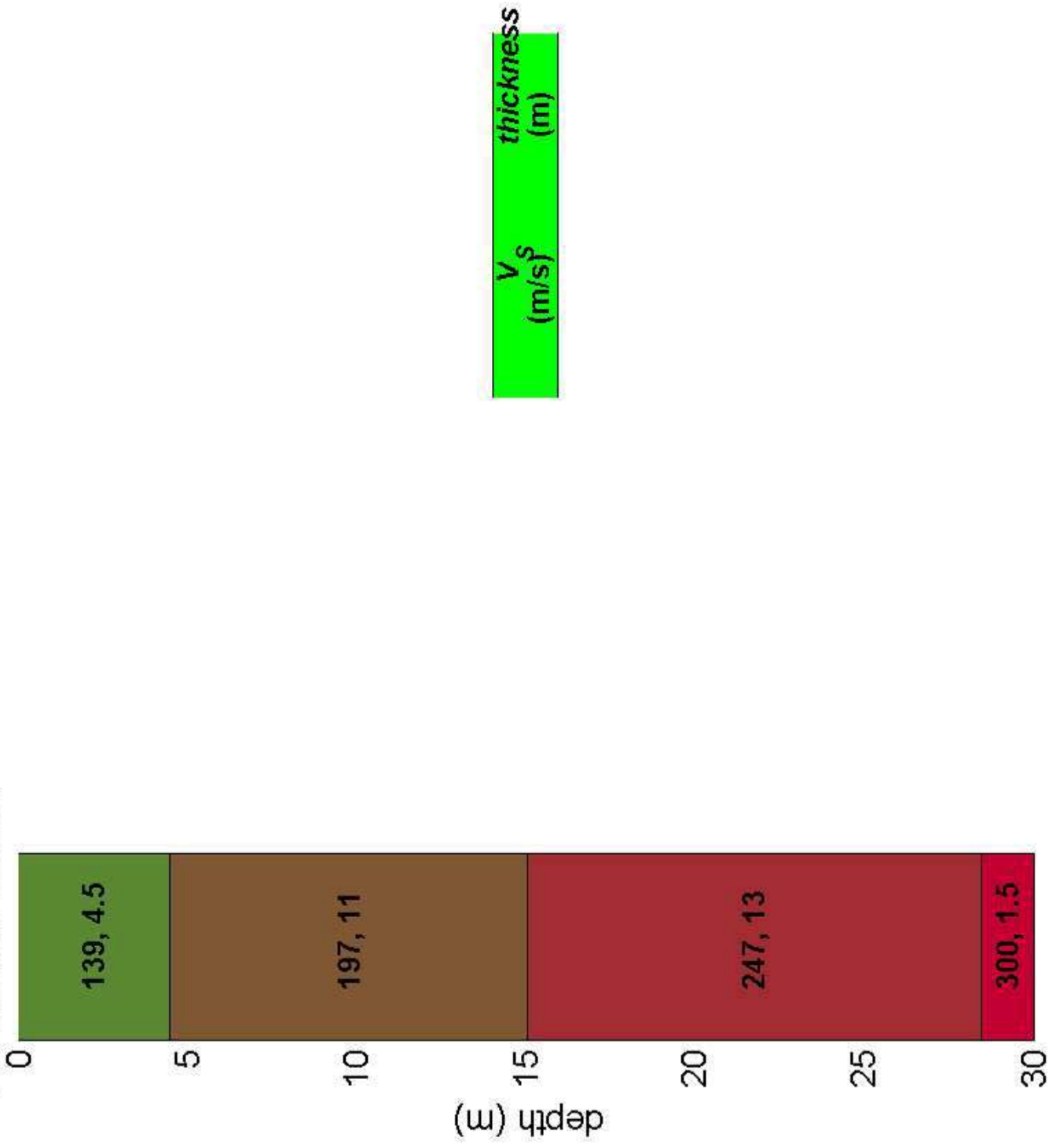




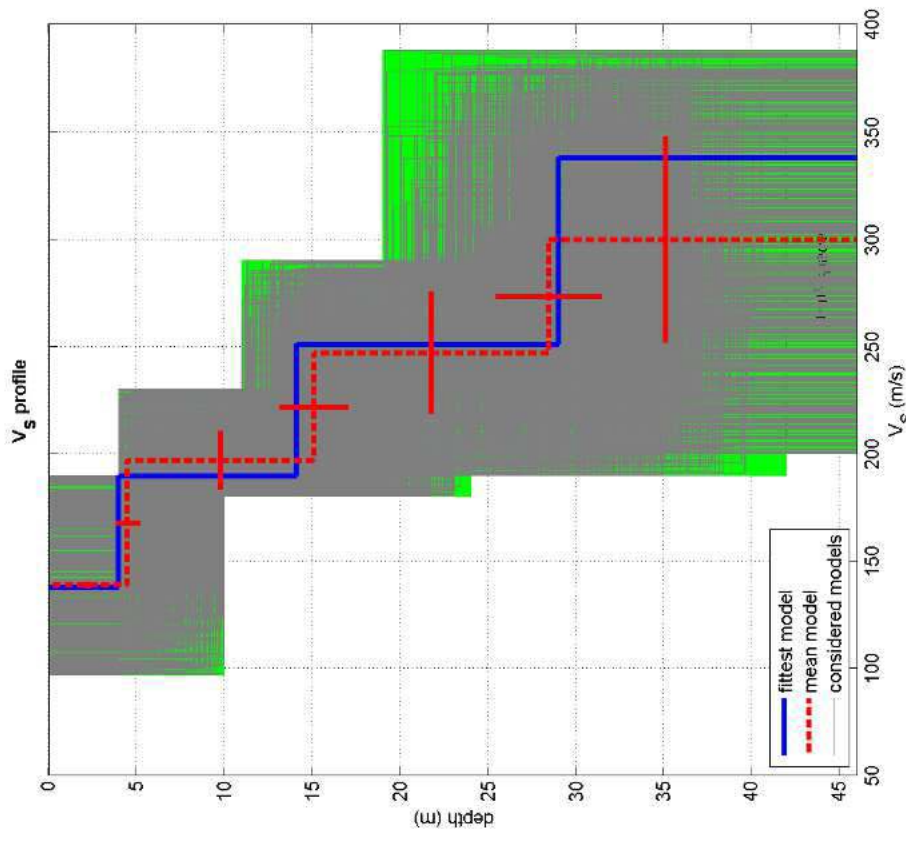
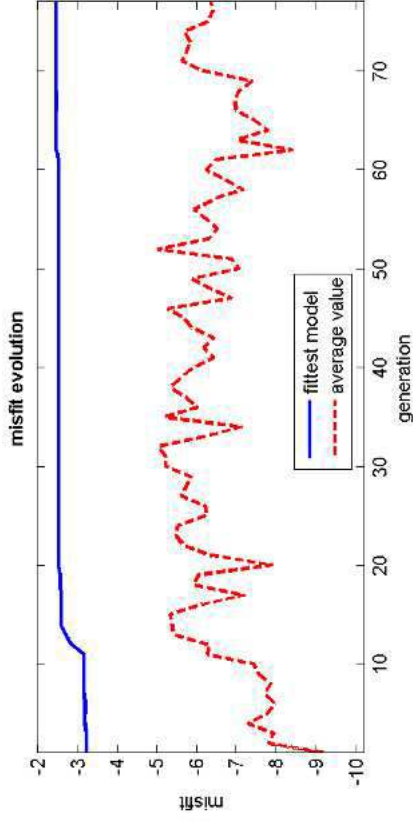
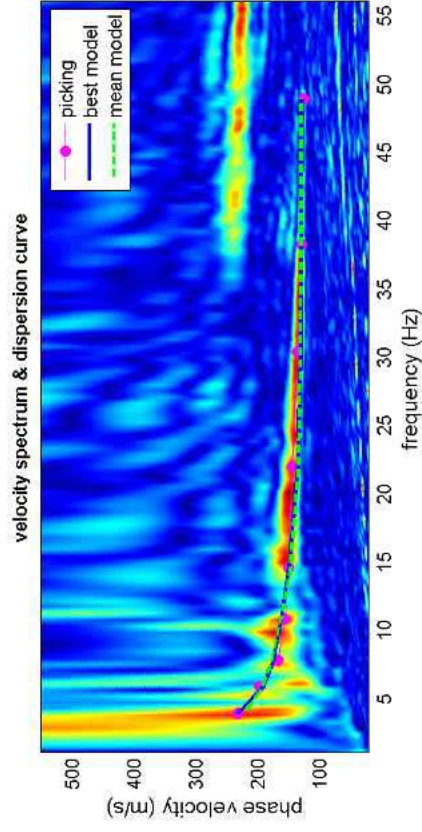




# Subsurface model





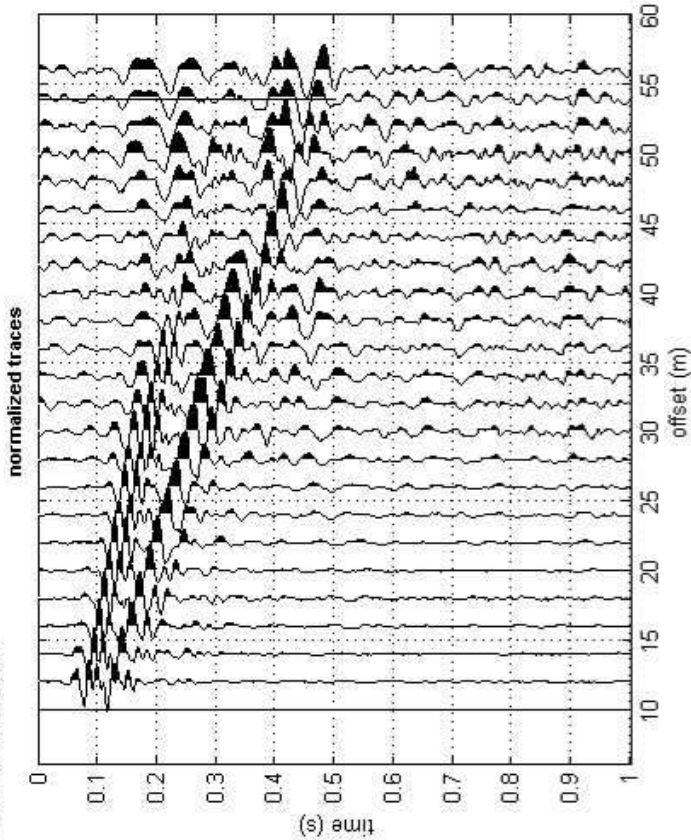


dataset: 10m.SGY  
 dispersion curve: 10m.cdp  
 $V_{s30}$  (best model): 208 m/s  
 $V_{s30}$  (mean model): 206 m/s



## #1: uploading & processing (MASW analyses)

dataset: 10m.SGY  
sampling: 0.131 ms  
minimum offset: 10 m  
geophone spacing: 2 m



1

resample

accept

activate

select

cancel

60

save

filter

spectrum

spectrogram

refraction

upload

clear refraction

refraction

100

save

1.00215

time length to visualize (s)

done

flip traces

zero padding

## #2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW & ReMi analyses)

phase velocity

☐ f-k

group velocity

save

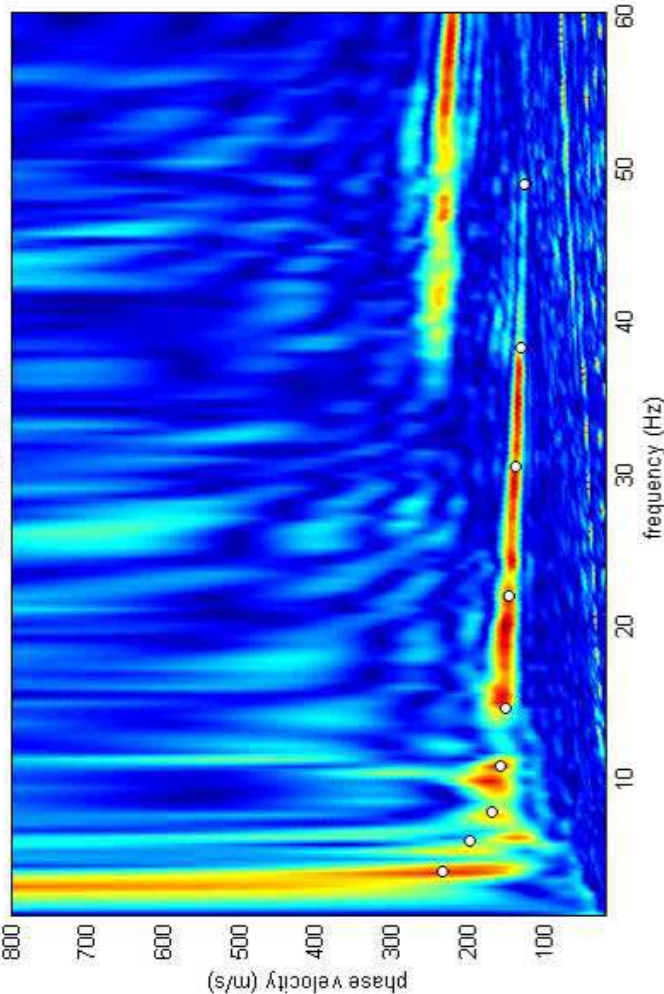
upload

merge

explore spectrum

mode separation

### velocity spectrum



about Poisson

Rayleigh

3

phase vel

0

Reference depth

☐ H/V body waves

0

H/V modes (SW ellipticity)

calculate

upload mod.

save model

refresh

100

180

260

400

600

800

1200

0

0.4

0.35

0.35

0.35

0.35

0.35

0.3

0.2

1

2

5

5

7

80

0

report

general setting

0

Reference depth

☐ H/V body waves

0

H/V modes (SW ellipticity)

calculate

upload mod.

save model

refresh

100

180

260

400

600

800

1200

0

0.4

0.35

0.35

0.35

0.35

0.35

0.3

0.2

1

2

5

5

7

80

0

100

180

260

400

600

800

1200

0

0.4

0.35

0.35

0.35

0.35

0.35

0.3

0.2

1

2

5

5

7

80

0

100

180

260

400

600

800

1200

0

0.4

0.35

0.35

0.35

0.35

0.35

0.3

0.2

1

2

5

5

7

80

0

100

180

260

400

600

800

1200

0

0.4

0.35

0.35

0.35

0.35

0.35

0.3

0.2

1

2

5

5

7

80

0

100

180

260

400

600

800

1200

0

0.4

0.35

0.35

0.35

0.35

0.35

0.3

0.2

1

2

5

5

7

80

0

visualize curves

input curve

picking

show f-k

fundamental

to select the last point of the considered mode click the right button

save picking

10m.cdp

cancel picking

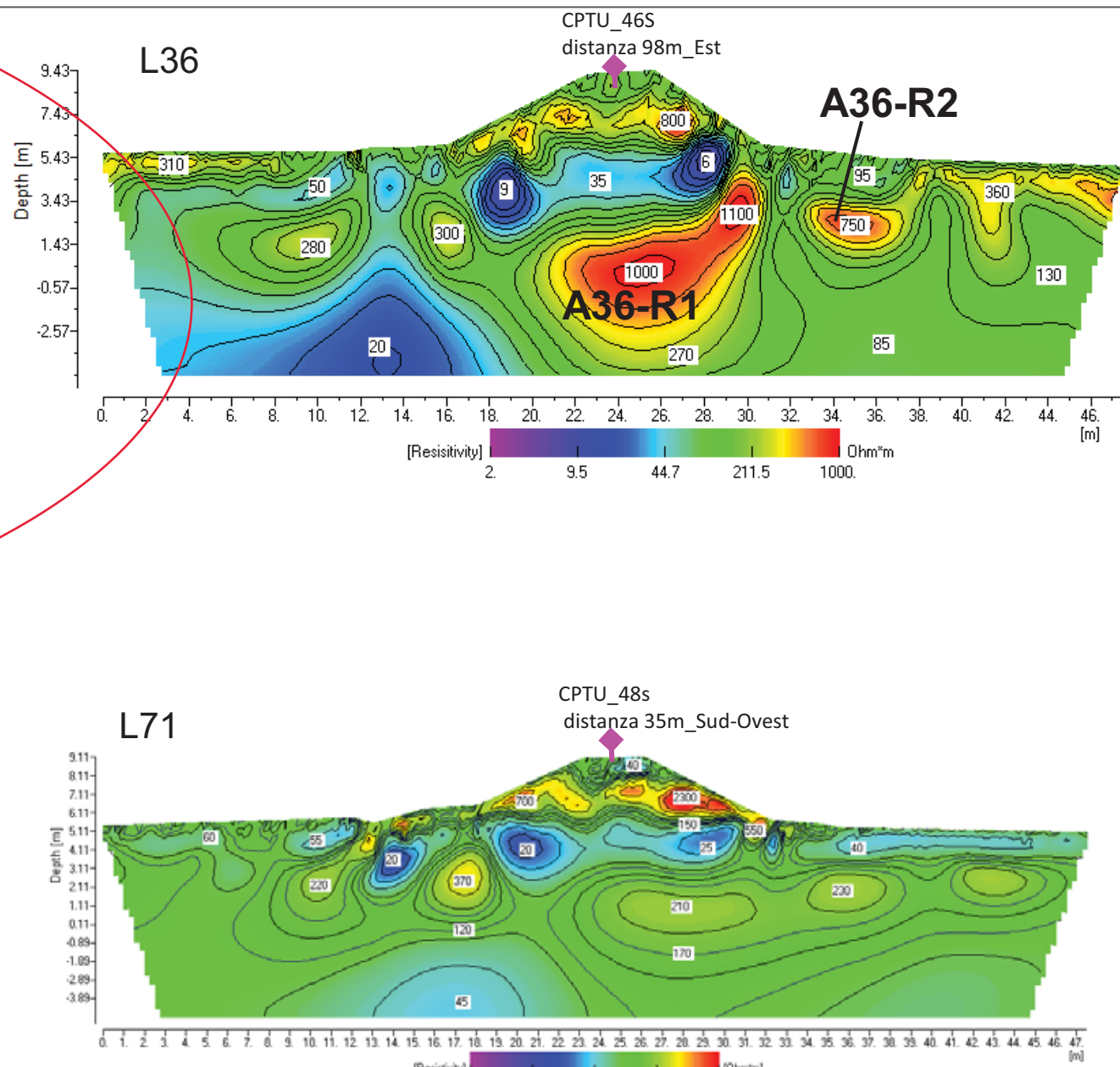
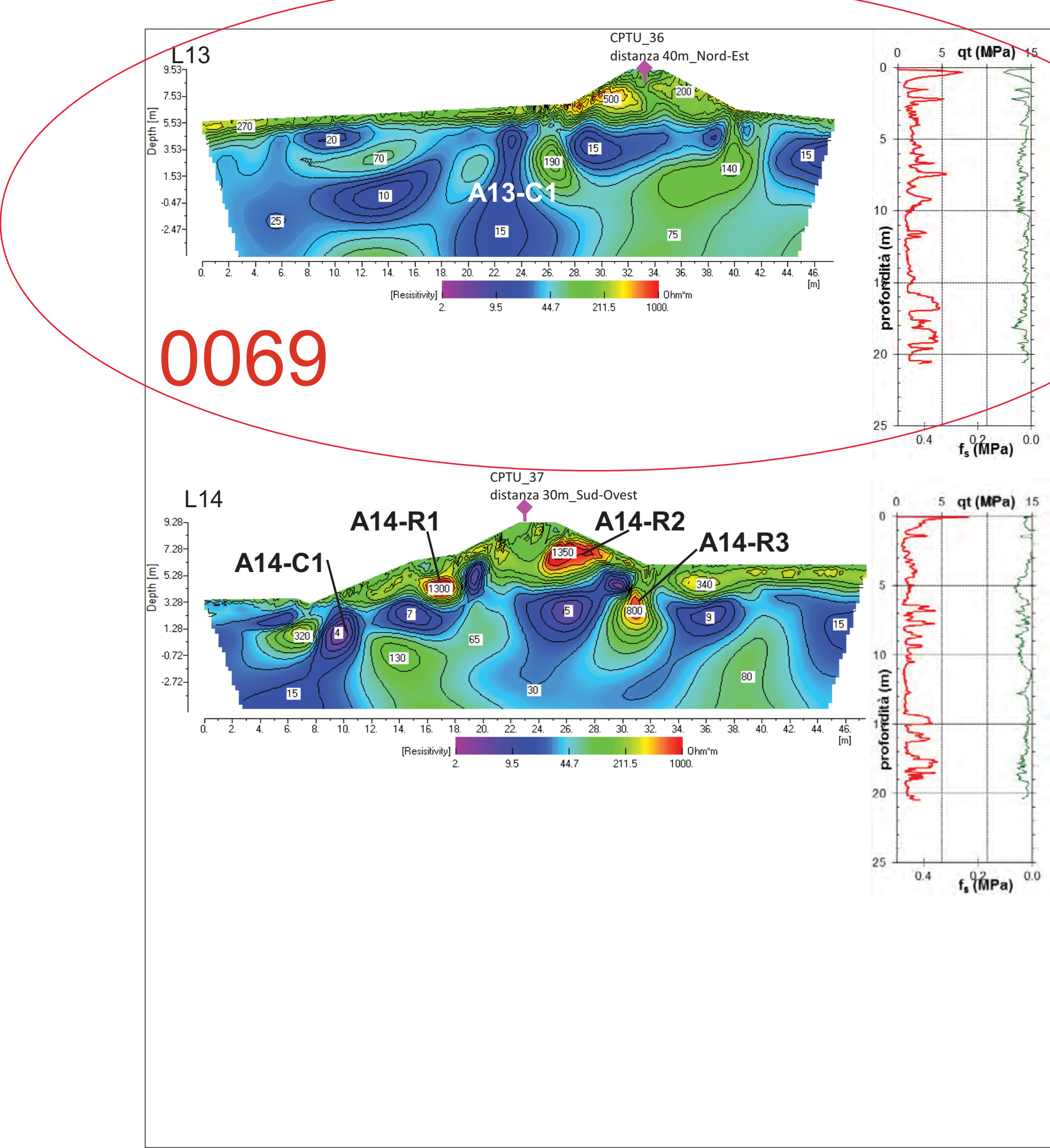
inversion

inversion

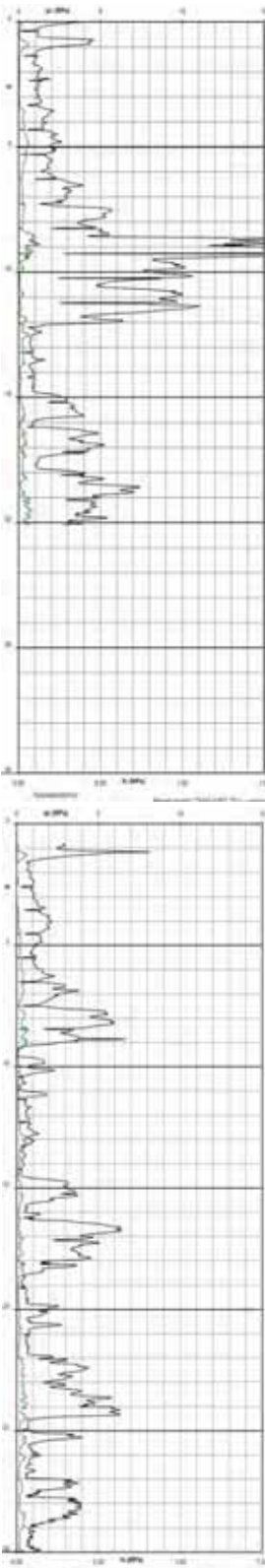
Joint DC-HV inv.

WWW.WINISW.COM





SCHEDA INTERPRETATIVA RIEPILOGATIVA				
Linea	Omogeneità Argine	Identificativo e Tipologia di Anomalia (Argini)	Omogeneità Terreni di Fondazione	Identificativo e Tipologia di Anomalia (Terreni di Fondazione)
L13	ALTA	NP	BASSA	A13-C1
L14	BASSA	A14-R1; A14-R2	BASSA	A14-C1; A14-R3
L36	ALTA	NP	BASSA	A36-R1; A36-R2
L71	ALTA	NP	ALTA	NP



Tracce sezioni ERT eseguite secondo la Determina n. 5304 del 25/11/2010

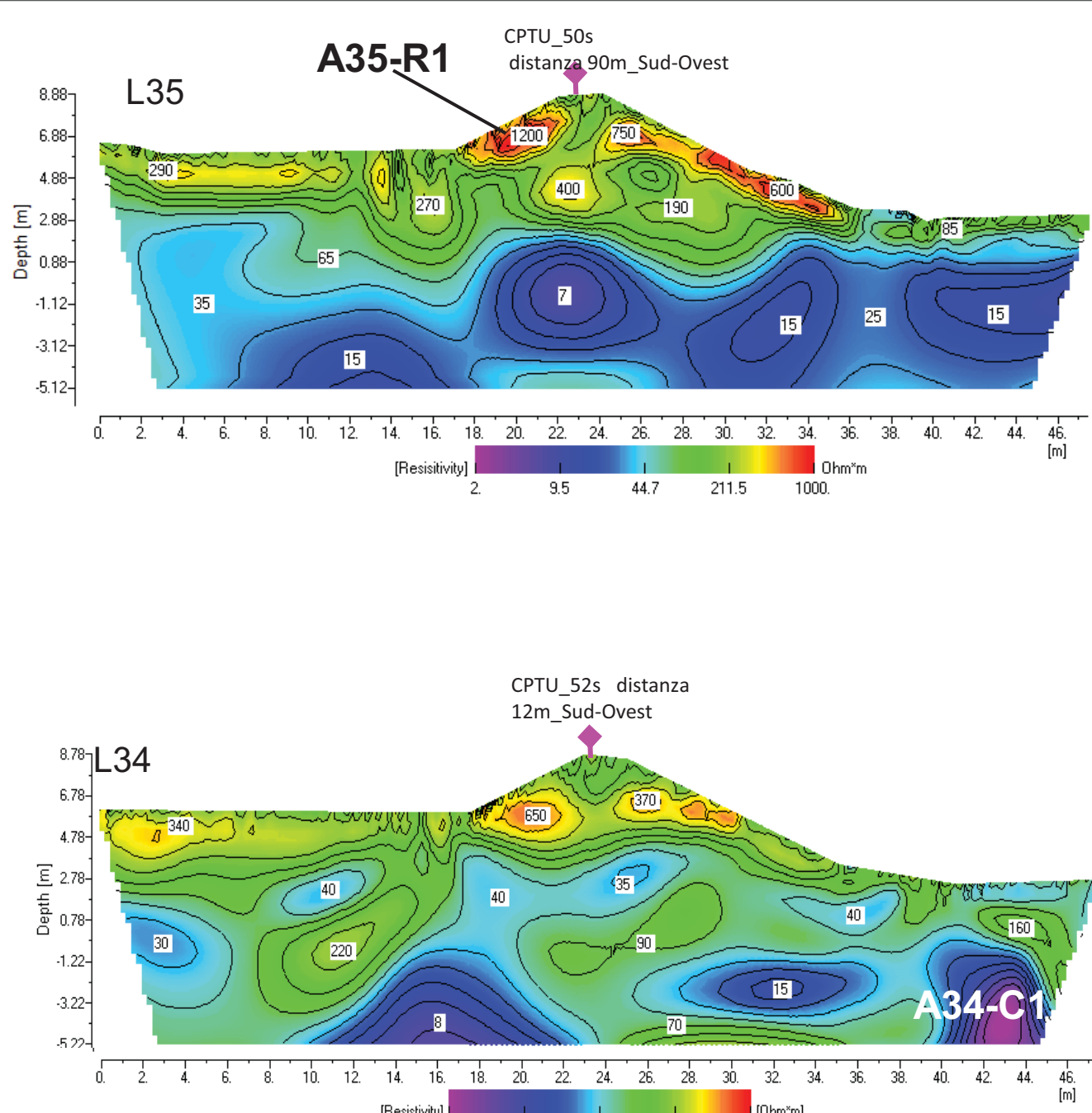
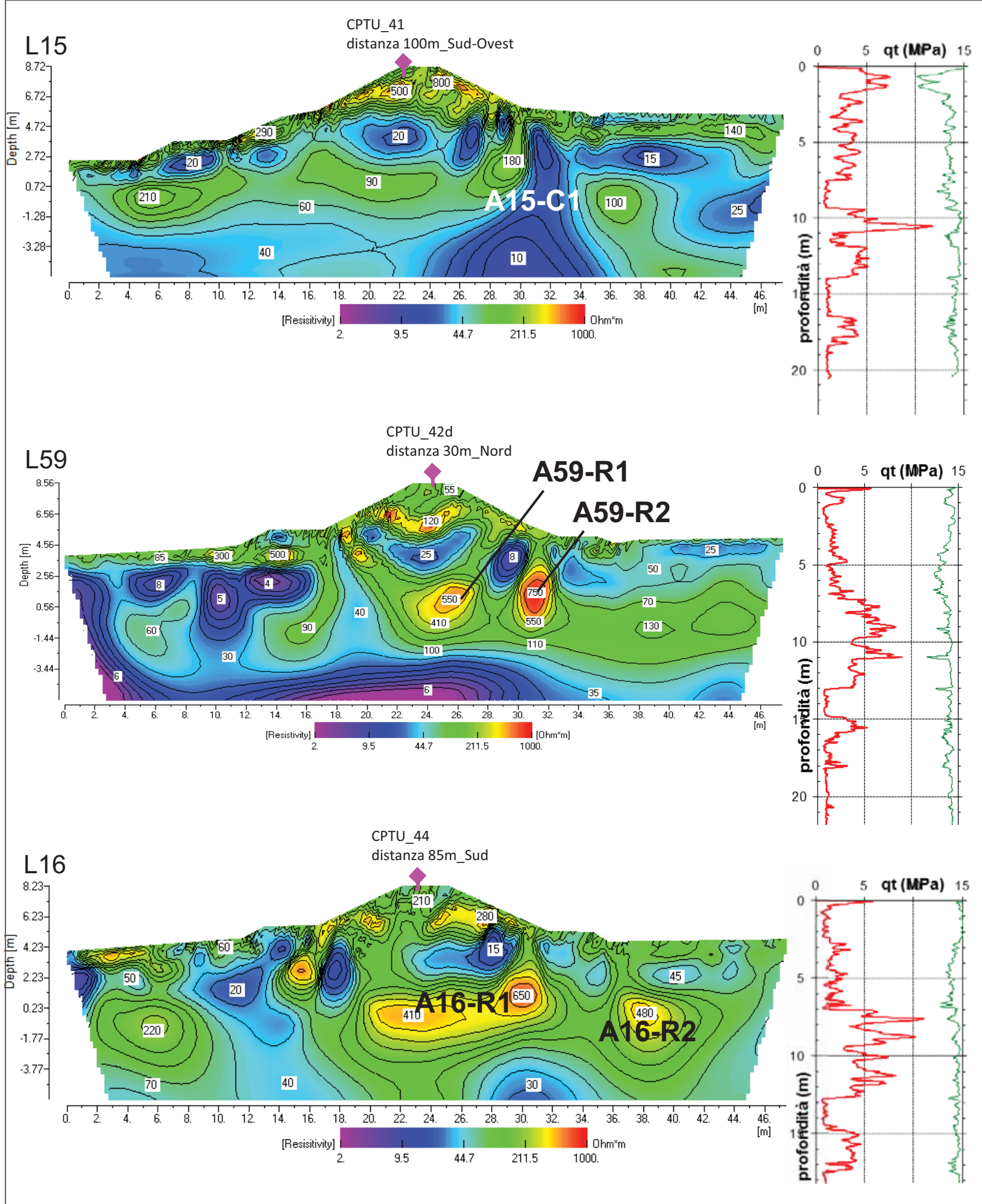
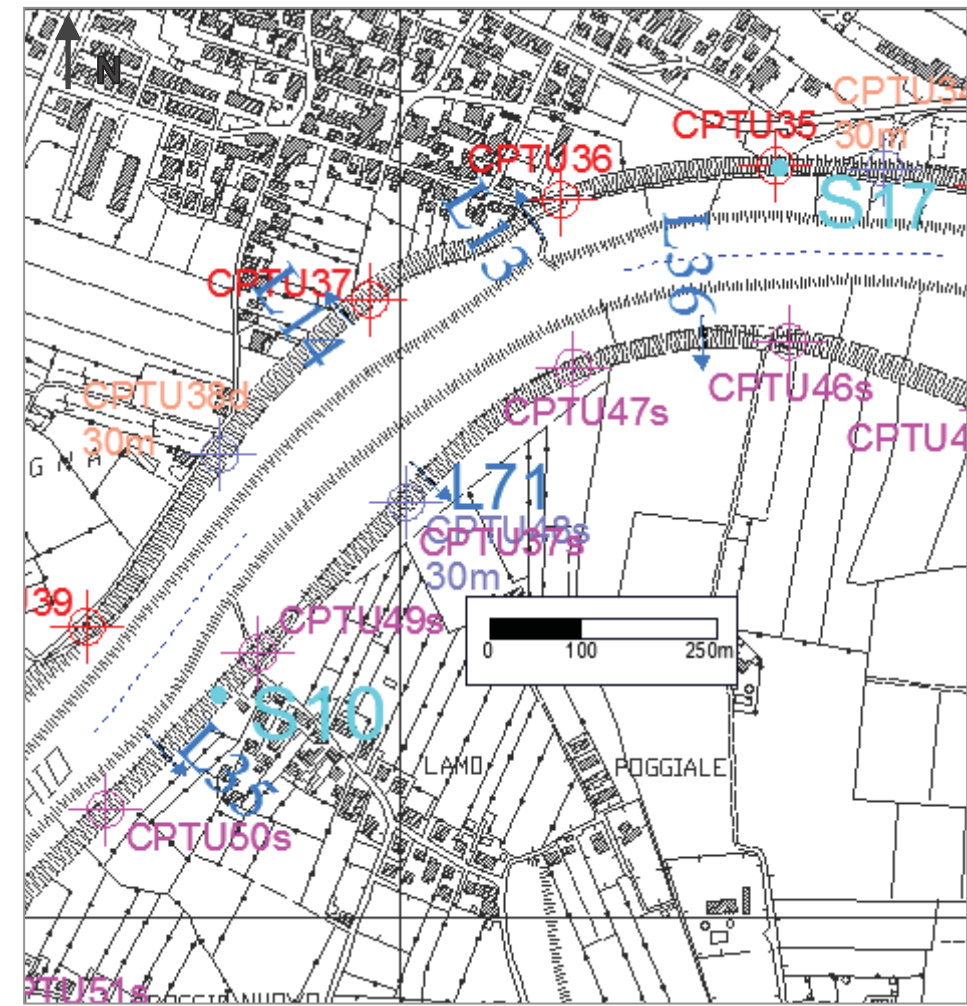
Posizione CPTU prossima alla sezione

**A18-R1**  
Anomalia Elettrostratigrafica Resistiva

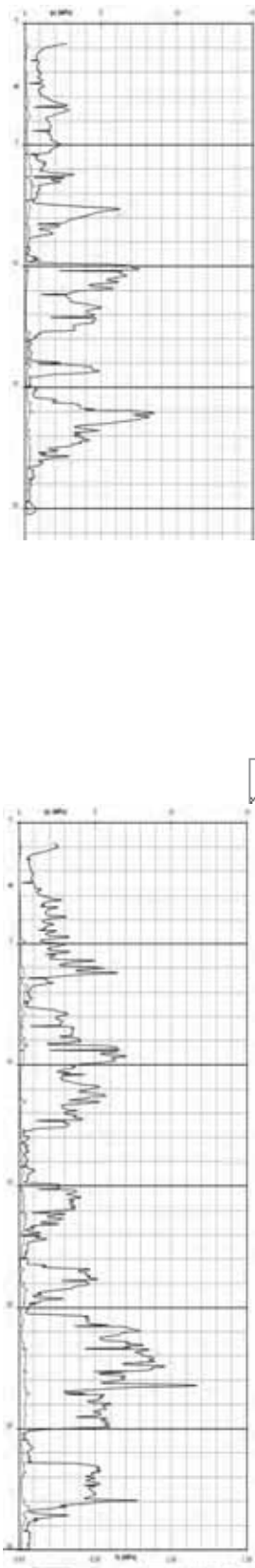
**A18-C1**  
Anomalia Elettrostratigrafica Conduttiva

**A18-L1**  
Anomalia Elettrostratigrafica = Variazione Laterale

SOING STRUTTURE & AMBIENTE	
PROGETTO	Indagini geofisiche ERT per la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni arginali del Fiume Serchio (PI).
COMMITTENTE	Provincia di Pisa
RIFERIMENTI INTERNI	Comm-084-2010
OGGETTO	Sezioni tomografiche elettriche
TAVOLA	14
Elab.	MG.Idili
Verifica	A.Pacchini
Approvazione	P.Chiara
EMISSIONE DATA	10-08-2011



SCHEDA INTERPRETATIVA RIEPILOGATIVA				
Linea	Omogeneità Argine	Identificativo e Tipologia di Anomalia (Argini)	Omogeneità Terreni di Fondazione	Identificativo e Tipologia di Anomalia (Terreni di Fondazione)
L15	ALTA	NP	ALTA	A15-C1
L59	ALTA	NP	BASSA	A59-R1; A59-R2
L16	ALTA	NP	BASSA	A16-R1; A16-R2
L35	BASSA	A35-R1	ALTA	NP
L34	ALTA	NP	ALTA	A34-C1



Tracce sezioni ERT eseguite secondo la Determina n. 5304 del 25/11/2010

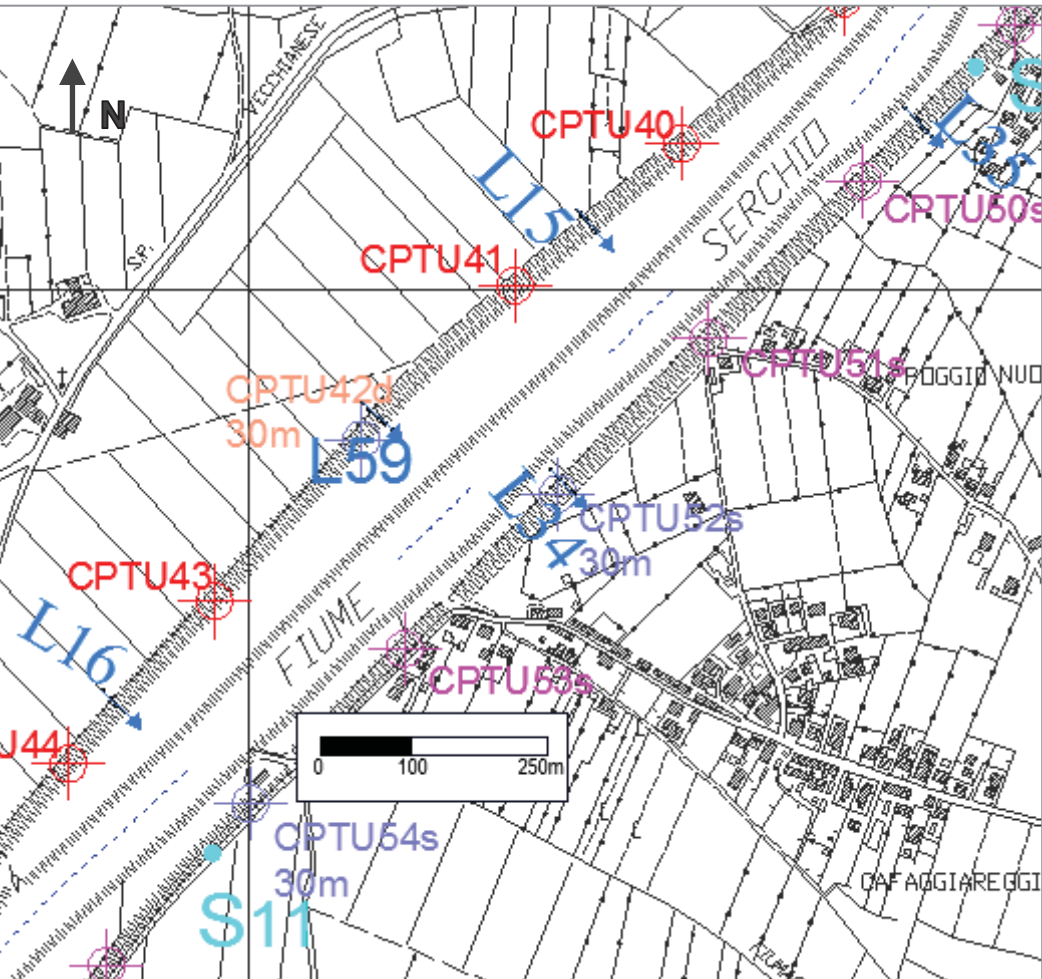
Posizione CPTU prossima alla sezione

**A18-R1**  
Anomalia Elettrostratigrafica Resistiva

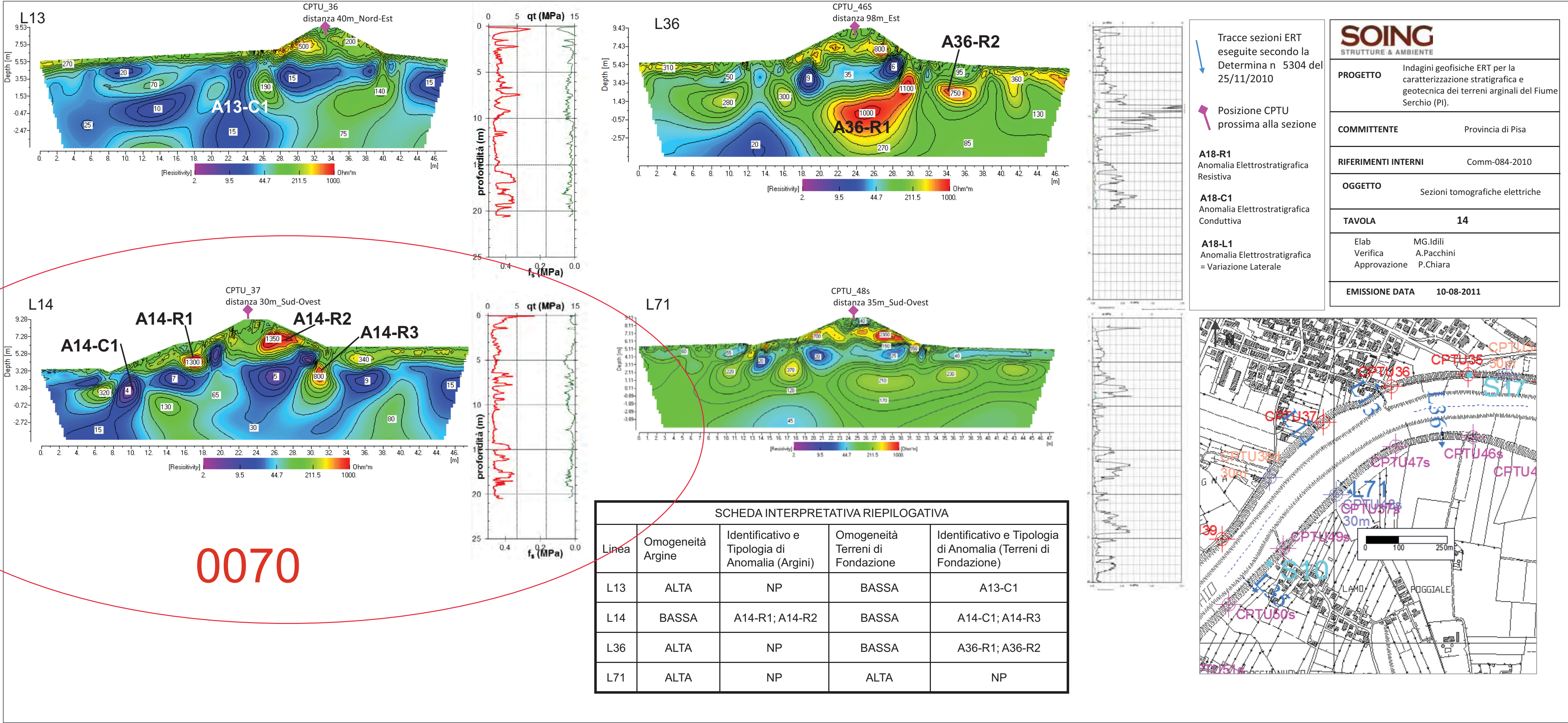
**A18-C1**  
Anomalia Elettrostratigrafica Conduttiva

**A18-L1**  
Anomalia Elettrostratigrafica = Variazione Laterale

SOING STRUTTURE & AMBIENTE	
PROGETTO	Indagini geofisiche ERT per la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni arginali del Fiume Serchio (PI).
COMMITTENTE	Provincia di Pisa
RIFERIMENTI INTERNI	Comm-084-2010
OGGETTO	Sezioni tomografiche elettriche
TAVOLA	15
Elab.	MG.Idili
Verifica	A.Pacchini
Approvazione	P.Chiara
EMISSIONE DATA	10-08-2011





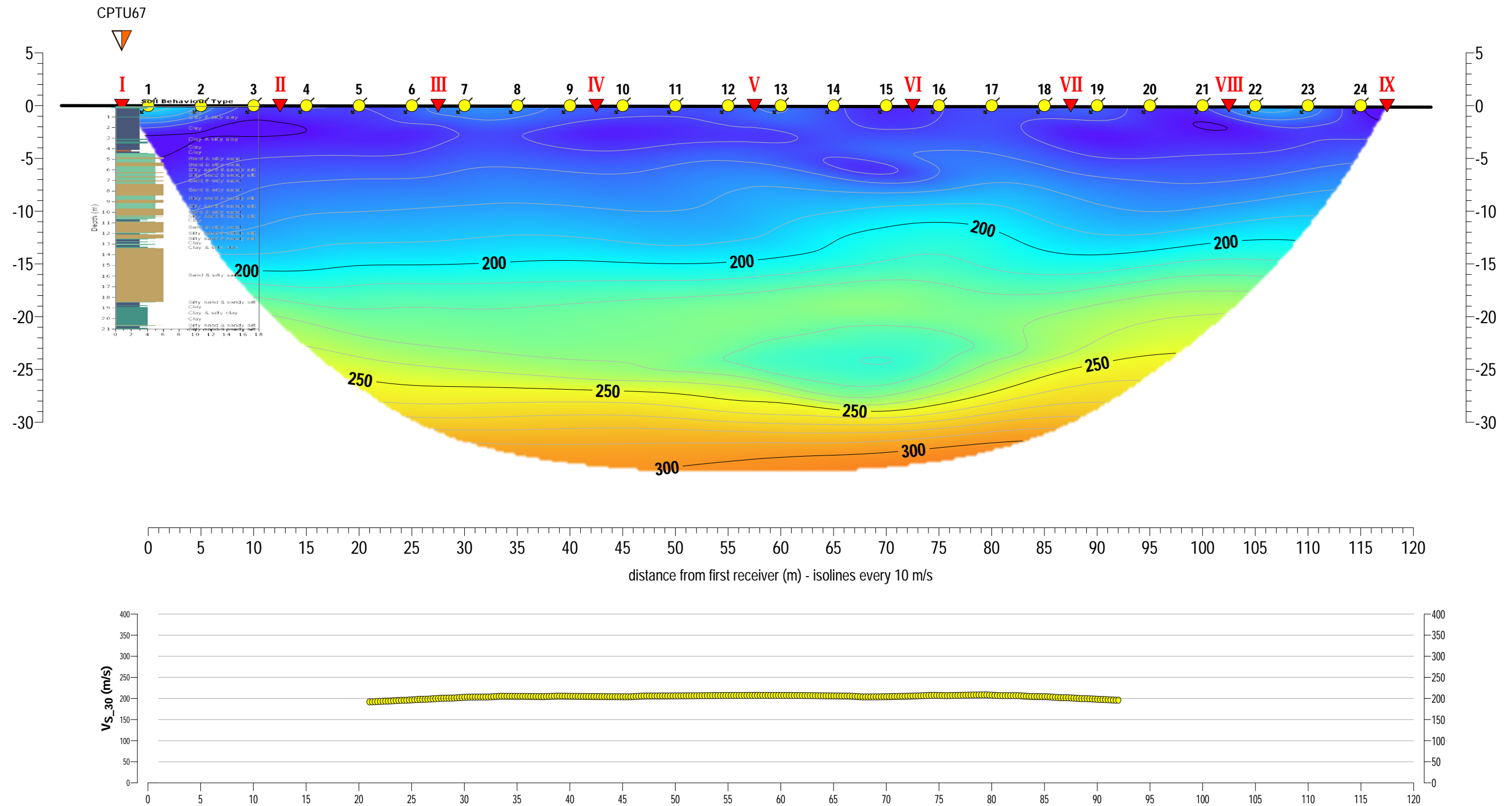




**Line1**  
**SRT\_S\_waves**

# SEISMIC REFRACTION TOMOGRAPHY (SRT)

Indagini geofisiche per il progetto di adeguamento della portata decennale del Fiume Serchio nel tratto Ripafratta-Foce



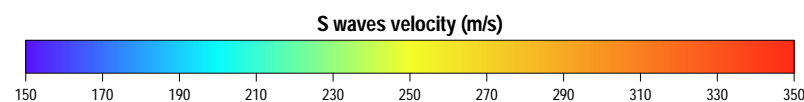
## Order informations

Customer: **Dott. Geol. Luca Niccoli**  
 Requested from: **Dott. Geol. Luca Niccoli**  
 Order num: --  
 Job reference: **Argini Serchio**  
 Data acquisition: 26 Agosto 2020 \_ Dott. Luigi Allacorta  
 Data processing: 31 Agosto 2020 \_ Dott. Luigi Allacorta  
 Graphic table redaction: 31 Agosto 2020 \_ Dott. Luigi Allacorta

## Technical features

**S\_waves**  
 instrument: DAQLink 3  
 channels: 24  
 geophones/electrodes: horizontal, 4.5Hz  
 geoph./electr.s distance: x = 5.0m  
 shots position: 9, 15.0 m spaced  
 acquisition software: VScope 2.59  
 processing software: Rayfract, vers. 3.35  
 sequences: -

## Chromatic scales



## Legend

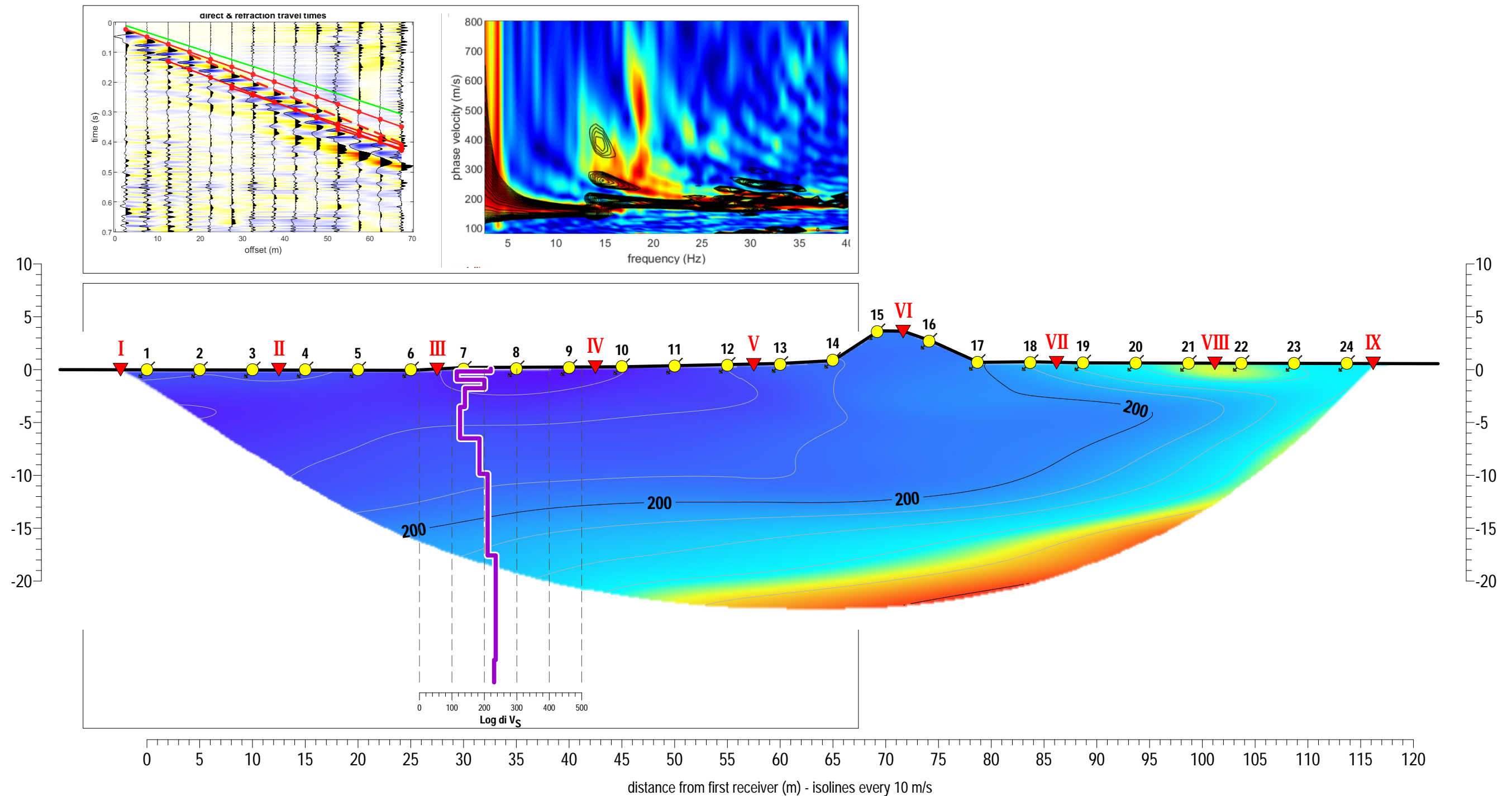
- Vertical receivers
- Shots position
- refractor with classic methods (wavefront or plus-minus)
- Log Vs from MASW
- Horizontal receivers
- CPTU
- Core drilling



**Line2**  
**SRT\_S\_waves**

# SEISMIC REFRACTION TOMOGRAPHY (SRT)

Indagini geofisiche per il progetto di adeguamento della portata decennale del Fiume Serchio nel tratto Ripafratta-Foce



## Order informations

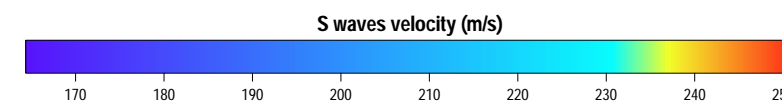
Customer: **Dott. Geol. Luca Niccoli**  
Requested from: **Dott. Geol. Luca Niccoli**  
Order num: --  
Job reference: **Argini Serchio**  
  
Data acquisition: 18 Settembre 2020 \_ Dott. Luigi Allacorta  
Data processing: 24 Settembre 2020 \_ Dott. Luigi Allacorta  
Graphic table redaction: 24 Settembre 2020 \_ Dott. Luigi Allacorta

## Technical features

**S\_waves**  
instrument: DAQLink 3  
channels: 24  
geophones/electrodes: horizontal, 4.5Hz  
geop./electr.s distance: x = 5.0m  
shots position: 9, 15.0 m spaced  
acquisition software: VScope 2.59  
processing software: Rayfract, vers. 3.35  
sequences: -

**Log\_Vs\_(MASW)**  
-  
14  
vertical, 4.5Hz  
x = 5.0m  
2.5m  
-  
WinMasw Acd 2020

## Chromatic scales

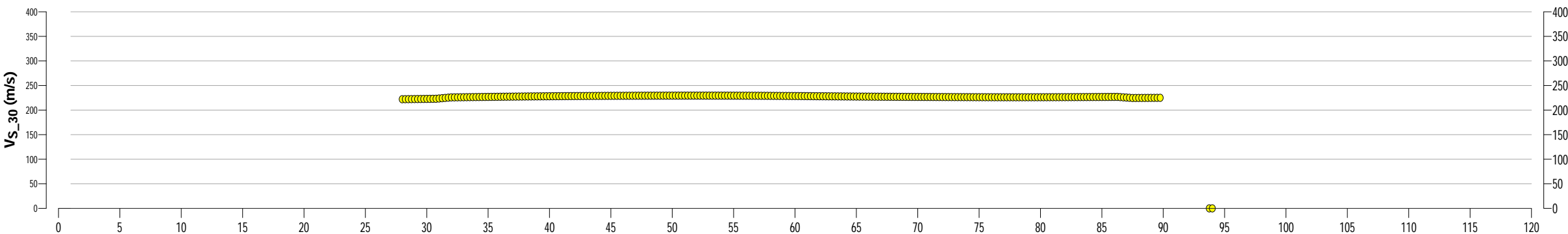
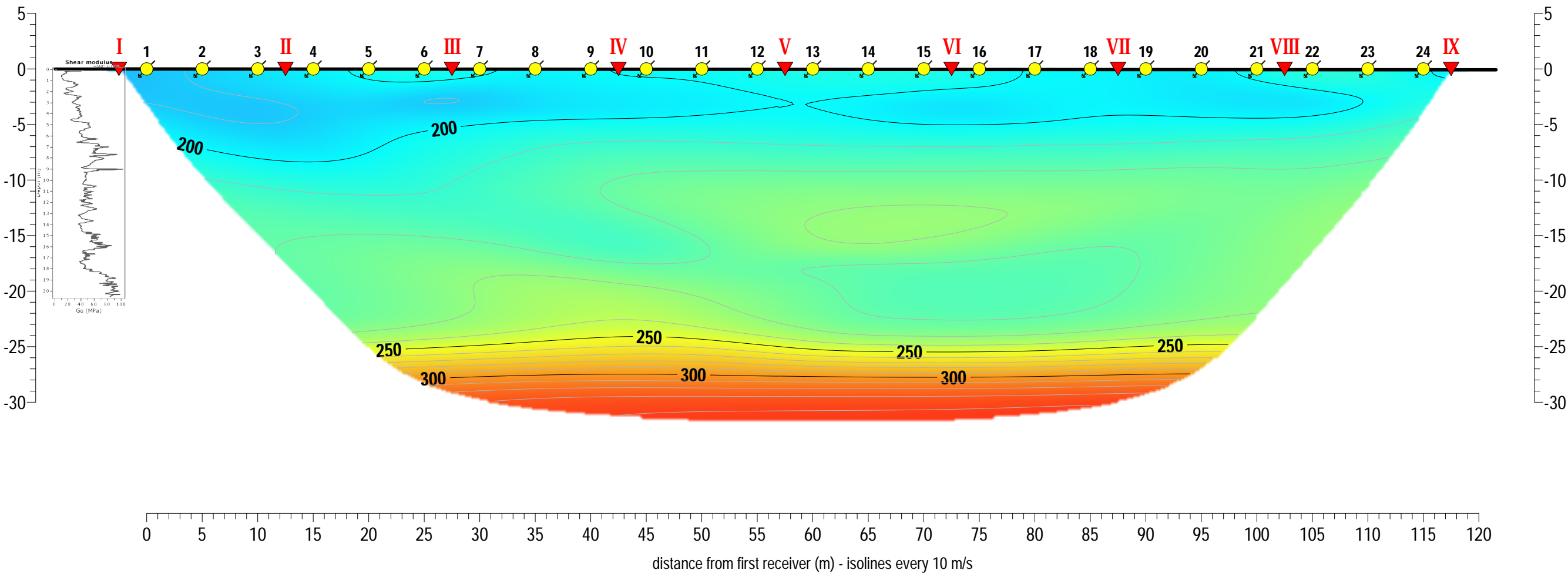


## Legend

- Vertical receivers
- Shots position
- refractor with classic methods (wavefront or plus-minus)
- Log Vs from MASW
- Horizontal receivers
- CPTU
- Core drilling



0073



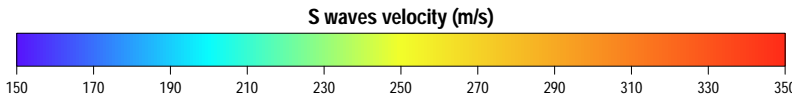
Order informations

Customer: **Dott. Geol. Luca Niccoli**  
Requested from: **Dott. Geol. Luca Niccoli**  
Order num: --  
Job reference: **Argini Serchio**  
  
Data acquisition: 26 Agosto 2020 \_ Dott. Luigi Allacorta  
Data processing: 31 Agosto 2020 \_ Dott. Luigi Allacorta  
Graphic table redaction: 31 Agosto 2020 \_ Dott. Luigi Allacorta

Technical features

**S\_waves**  
instrument: DAQLink 3  
channels: 24  
geophones/electrodes: horizontal, 4.5Hz  
geop./electr.s distance: x = 5.0m  
shots position: 9, 15.0 m spaced  
acquisition software: VScope 2.59  
processing software: Rayfract, vers. 3.35  
sequences: -

Chromatic scales



Legend

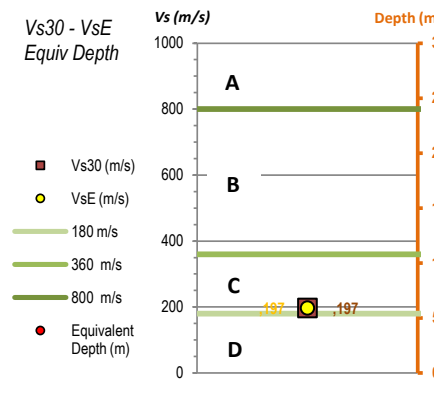
- Vertical receivers
- Shots position
- refractor with classic methods (wavefront or plus-minus)
- Log Vs from MASW
- Horizontal receivers
- CPTU
- Core drilling



# Multichannel Analysis of Surface Waves - Modellazione mediante spettri sintetici (Full Velocity Spectrum approach)

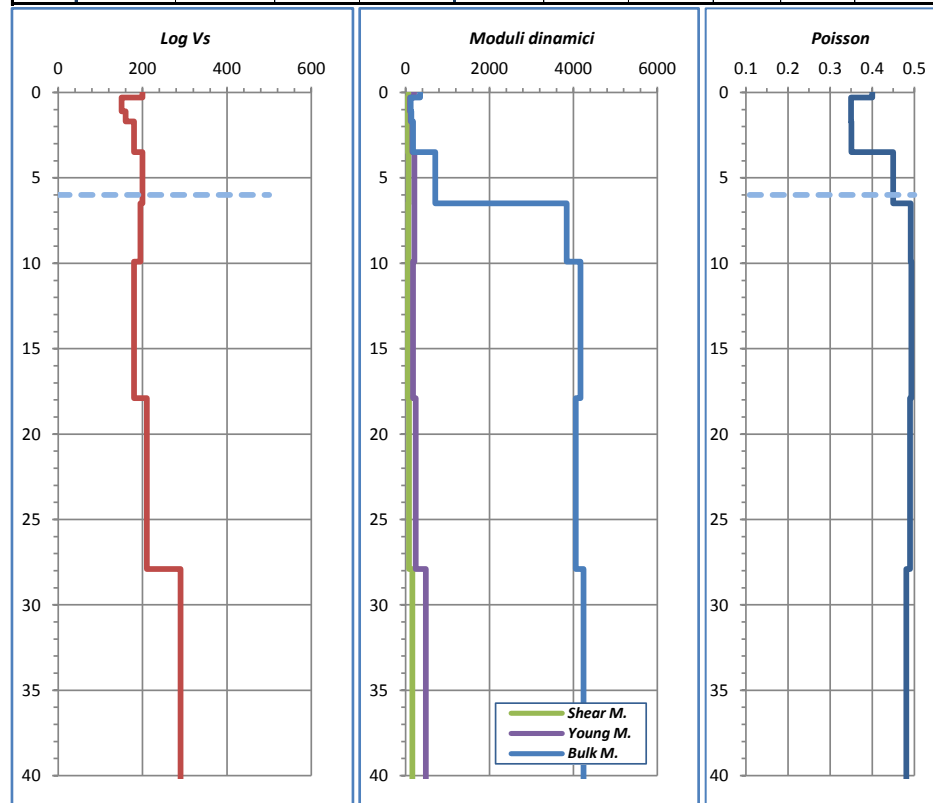
0074

layer	h (m) (m)	Vs (m/s)	top (m)	bottom (m)	Density (g/cm3)	Poisson (adim.)	Vp (m/s)	Shear G*	Young E*	Bulk M. k*
1	0.3	200	0.0	0.3	1.8	0.400	490	74	206	344
2	0.8	150	0.3	1.1	1.8	0.350	312	40	107	119
3	0.6	160	1.1	1.7	1.8	0.350	333	46	123	137
4	1.8	180	1.7	3.5	1.8	0.350	375	59	158	176
5	3.0	200	3.5	6.5	1.8	0.450	663	74	213	711
6	3.4	195	6.5	9.9	1.8	0.491	1466	70	208	3840
7	8.0	180	9.9	17.9	1.8	0.493	1532	59	175	4170
8	10.0	210	17.9	27.9	1.9	0.490	1500	82	243	4054
9	18.0	290	27.9	45.9	1.9	0.481	1516	163	483	4241
10										
11										
12										

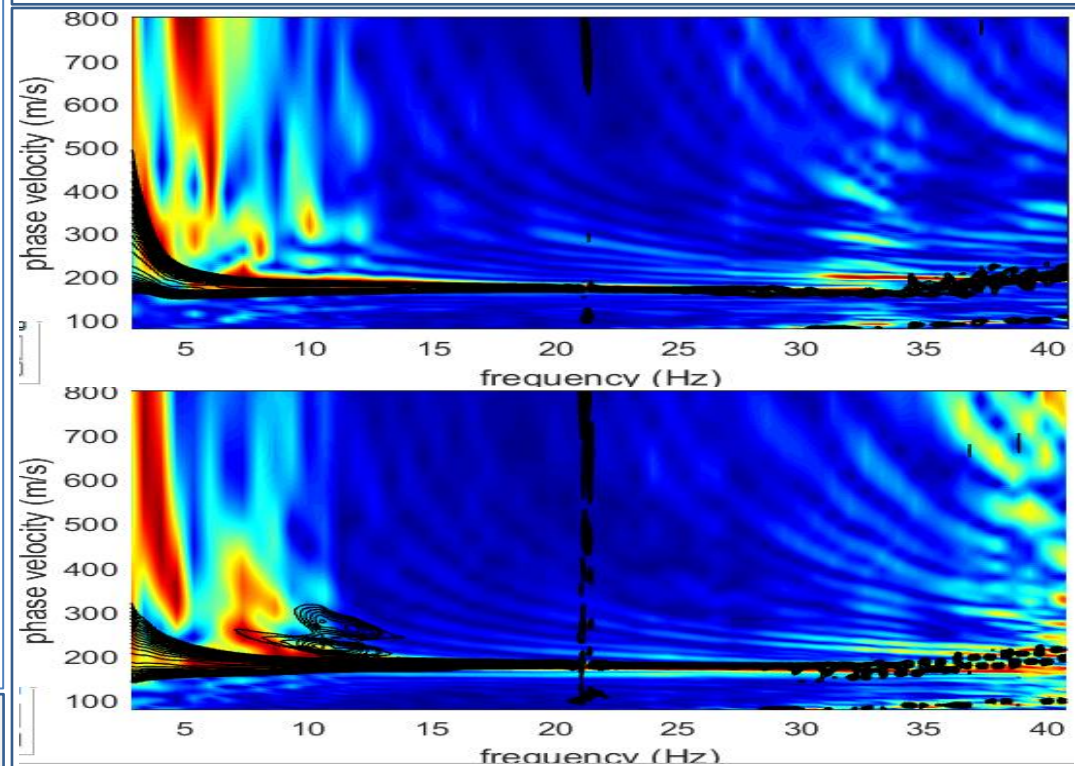


Committente **Dott. Geol. Lica Niccoli**  
 Lavoro **Argini Serchio**  
 Ubicazione **Serchio**

configurazione **ch 14; x=5; m.o.=2.5**  
 ricevitori **geofoni freq. 4.5Hz**  
 campionamento **500/1000ms**  
 durata registrazione **1s**  
 acquisizione **RVF+THF**  
 modellazione **Rayleigh orizz.+Love**  
 metodo di analisi **Full Velocity Spectrum (FVS)**  
 modello finale **serchio4**



Vs30 (m/s) **197**  
 VsE (m/s) **197**  
 Equivalent Depth (m) **>30**  
 Probabile Categoria **C**

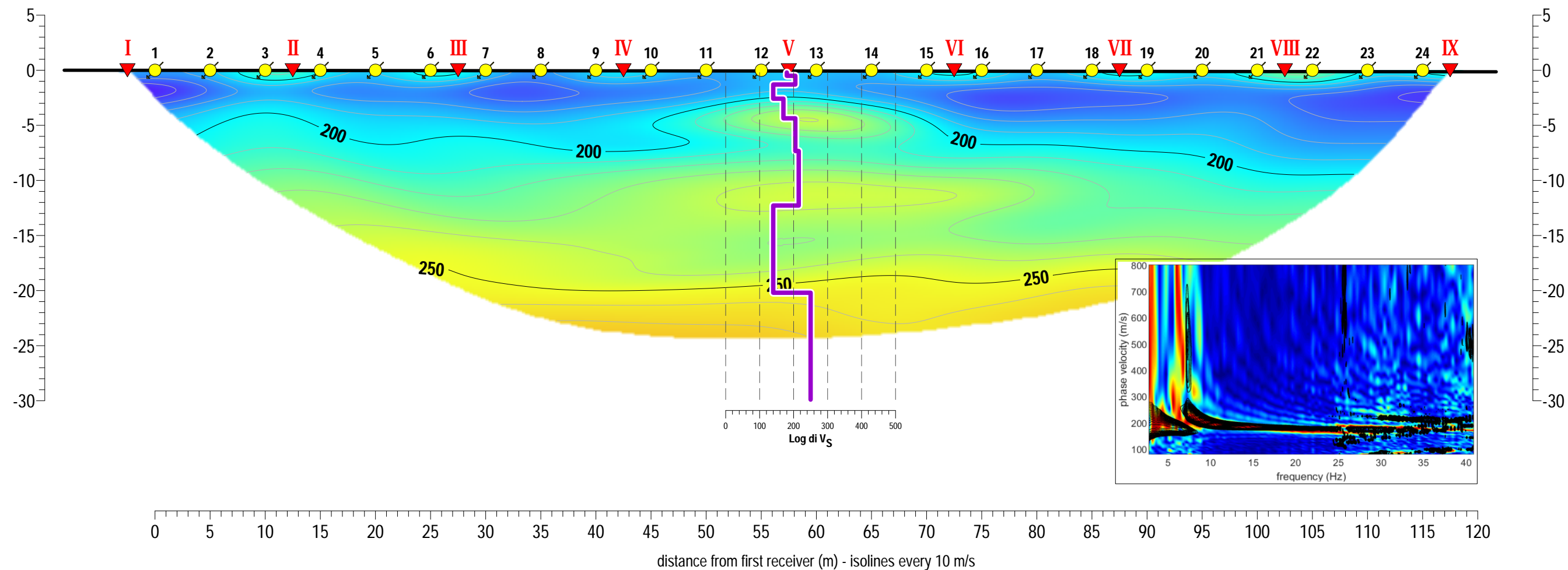


**Vp e Moduli dinamici puramente indicativi**  
 Poisson assegnato durante la modellazione in base alla tipologia di terreno e per gli strati superficiali modellato per soddisfare i primi arrivi rifratti (quando visibili); in caso di terreni sciolti saturi, poisson calcolato per soddisfare la condizione  $V_p = 1500 \text{ m/s}$ .  
 Densità calcolata secondo: Gardner, G.H.F., Gardner, L.W., Gregory, A.R., 1974. Formation velocity and density-the diagnostic basic for stratigraphic trap. Geophysics 39, 770-780.

**Confronto tra spettri sintetici e sperimentali.** Immagine superiore: spettro di velocità di fase delle onde di Rayleigh, componente orizzontale (RVF); Immagine inferiore: spettro di velocità di fase delle onde di Love (THF). Scala colore=spettro sperimentale; contouring nero=spettro sintetico.



0075



Order informations

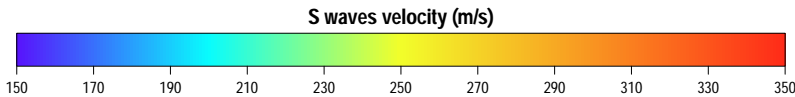
Customer: **Dott. Geol. Luca Niccoli**  
Requested from: **Dott. Geol. Luca Niccoli**  
Order num: **-**  
Job reference: **Argini Serchio**  
  
Data acquisition: **26 Agosto 2020 \_ Dott. Luigi Allacorta**  
Data processing: **31 Agosto 2020 \_ Dott. Luigi Allacorta**  
Graphic table redaction: **31 Agosto 2020 \_ Dott. Luigi Allacorta**

Technical features

**S\_waves**  
instrument: **DAQLink 3**  
channels: **24**  
geophones/electrodes: **horizontal, 4.5Hz**  
geop./electr.s distance: **x = 5.0m**  
shots position: **9, 15.0 m spaced**  
acquisition software: **VScope 2.59**  
processing software: **Rayfract, vers. 3.35**  
sequences: **-**

**Log\_Vs\_(MASW)**  
-  
24  
vertical, 4.5Hz  
x = 5.0m  
2.5m  
-  
WinMasw Acd 2020

Chromatic scales

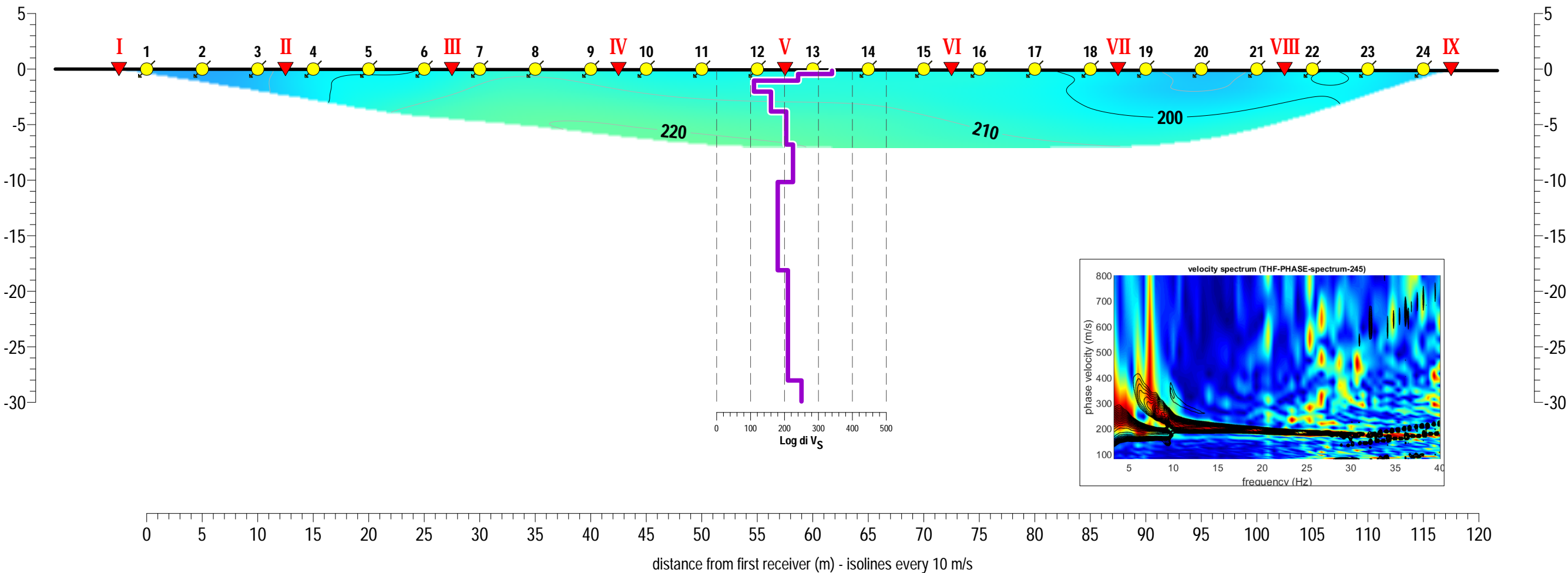


Legend

- Vertical receivers
- Shots position
- refractor with classic methods (wavefront or plus-minus)
- Log Vs from MASW
- Horizontal receivers
- CPTU
- Core drilling



0076



Order informations

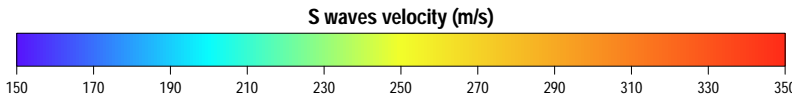
Customer: **Dott. Geol. Luca niccoli**  
Requested from: **Dott. Geol. Luca Niccoli**  
Order num: **--**  
Job reference: **Argini Serchio**  
Data acquisition: **26 Agosto 2020 \_ Dott. Luigi Allacorta**  
Data processing: **31 Agosto 2020 \_ Dott. Luigi Allacorta**  
Graphic table redaction: **31 Agosto 2020 \_ Dott. Luigi Allacorta**

Technical features

**S\_waves**  
instrument: **DAQLink 3**  
channels: **24**  
geophones/electrodes: **horizontal, 4.5Hz**  
geop./electr.s distance: **x = 5.0m**  
shots position: **9, 15.0 m spaced**  
acquisition software: **VScope 2.59**  
processing software: **Rayfract, vers. 3.35**  
sequences: **-**

**Log\_Vs\_(MASW)**  
-  
24  
vertical, 4.5Hz  
x = 5.0m  
2.5m  
-  
WinMasw Acd 2020

Chromatic scales

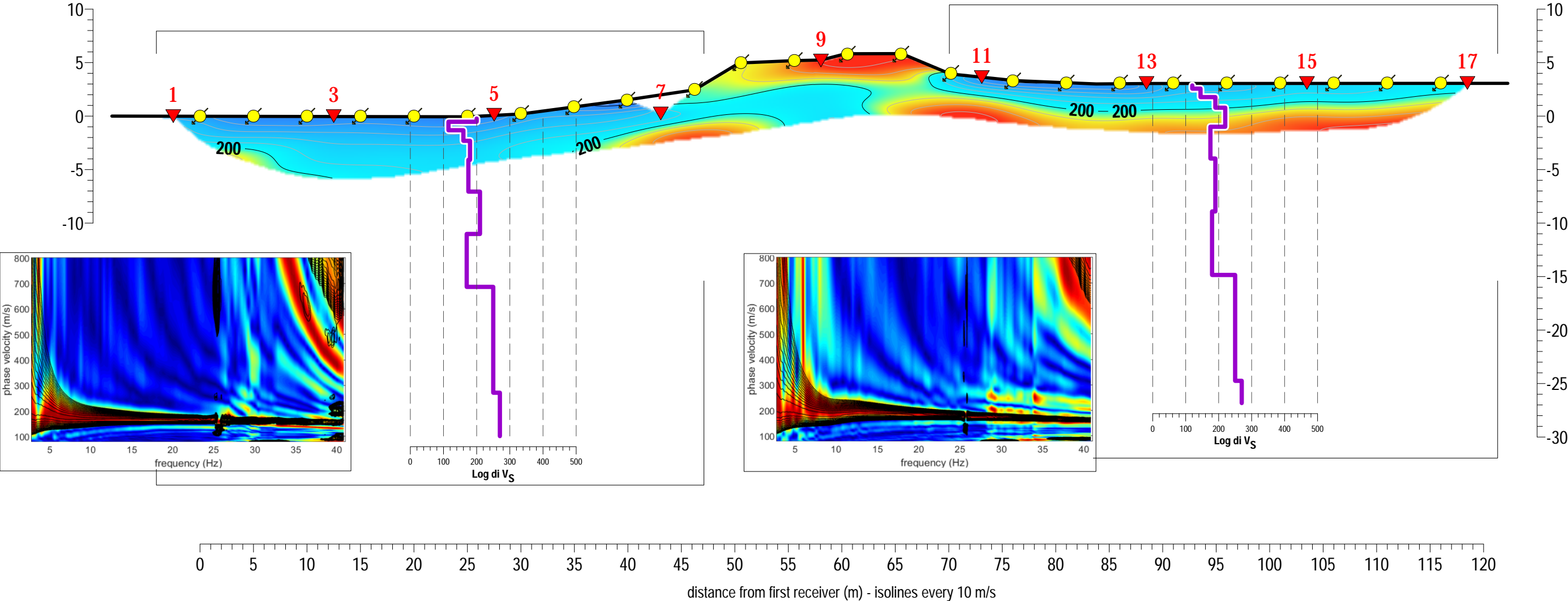


Legend

- Vertical receivers
- Shots position
- refractor with classic methods (wavefront or plus-minus)
- Log Vs from MASW
- Horizontal receivers
- CPTU
- Core drilling



0077



Order informations

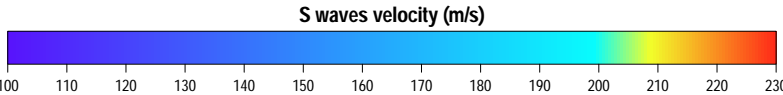
Customer: **Dott. Geol. Luca niccoli**  
Requested from: **Dott. Geol. Luca Niccoli**  
Order num: --  
Job reference: **Argini Serchio**  
  
Data acquisition: 18 Settembre 2020 \_ Dott. Luigi Allacorta  
Data processing: 24 Settembre 2020 \_ Dott. Luigi Allacorta  
Graphic table redaction: 24 Settembre 2020 \_ Dott. Luigi Allacorta

Technical features

**S\_waves**  
instrument: **DAQLink 3**  
channels: **24**  
geophones/electrodes: **horizontal, 4.5Hz**  
geop./electr.s distance: **x = 5.0m**  
shots position: **9, 15.0 m spaced**  
acquisition software: **VScope 2.59**  
processing software: **Rayfract, vers. 3.35**  
sequences: -

**Log\_Vs\_(MASW)**  
-  
10  
vertical, 4.5Hz  
x = 5.0m  
2.5m  
-  
WinMasw Acd 2020

Chromatic scales

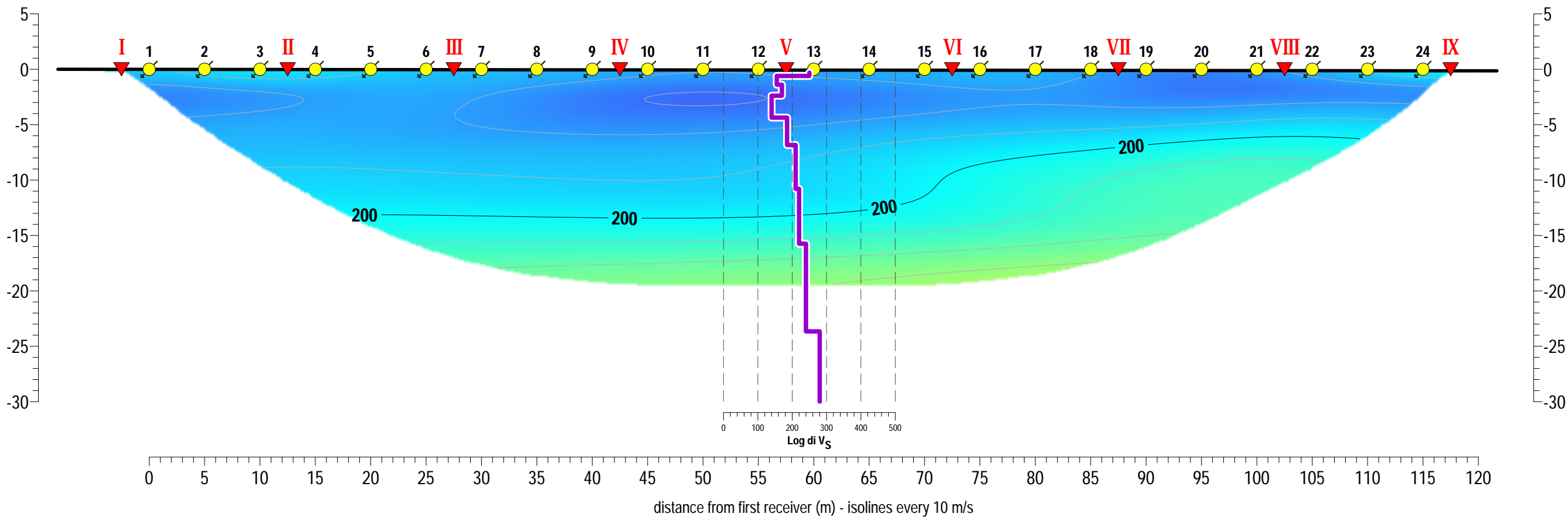
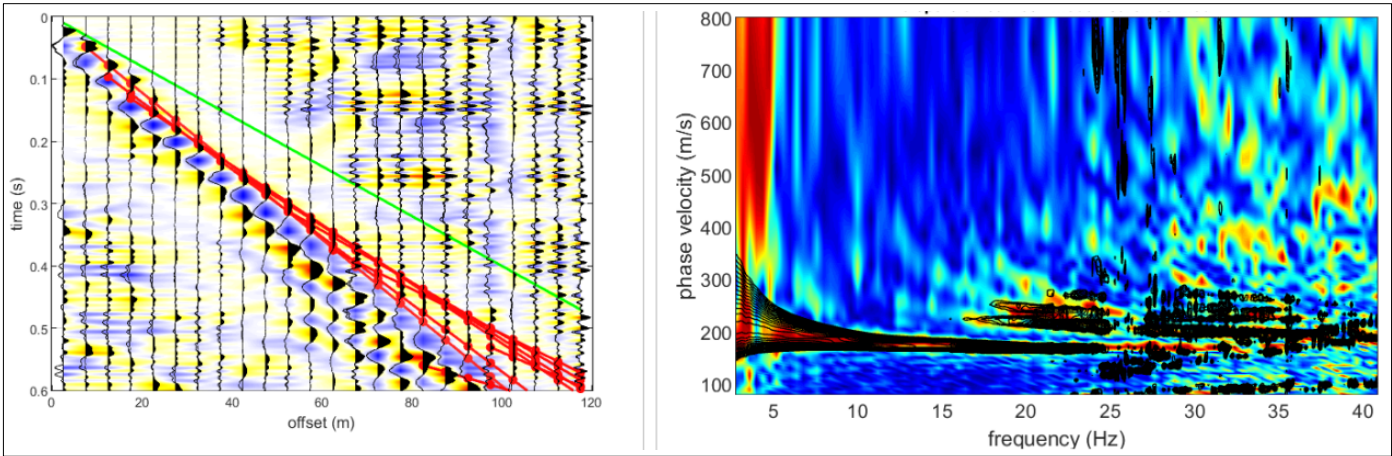


Legend

- Vertical receivers
- Shots position
- refractor with classic methods (wavefront or plus-minus)
- Log Vs from MASW
- Horizontal receivers
- CPTU
- Core drilling



0078



Order informations

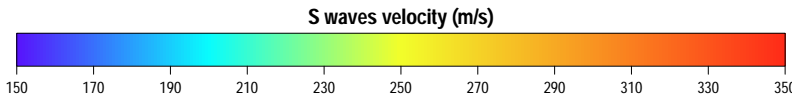
Customer: Dott. Geol. Luca Niccoli  
Requested from: Dott. Geol. Luca Niccoli  
Order num: --  
Job reference: Argini Serchio  
Data acquisition: 26 Agosto 2020 \_ Dott. Luigi Allacorta  
Data processing: 31 Agosto 2020 \_ Dott. Luigi Allacorta  
Graphic table redaction: 31 Agosto 2020 \_ Dott. Luigi Allacorta

Technical features

S\_waves  
instrument: DAQLink 3  
channels: 24  
geophones/electrodes: horizontal, 4.5Hz  
geop./electr.s distance: x = 5.0m  
shots position: 9, 15.0 m spaced  
acquisition software: VScope 2.59  
processing software: Rayfract, vers. 3.35  
sequences: -

Log\_Vs\_(MASW)  
-  
24  
vertical, 4.5Hz  
x = 5.0m  
2.5m  
-  
WinMasw Acd 2020

Chromatic scales

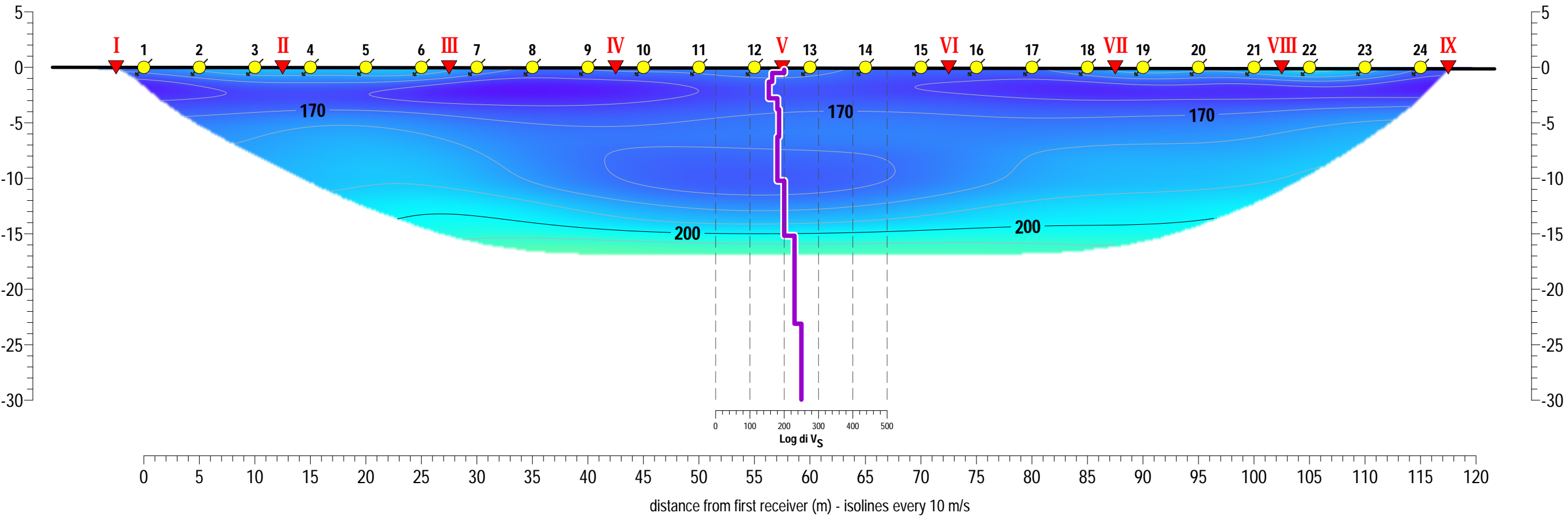
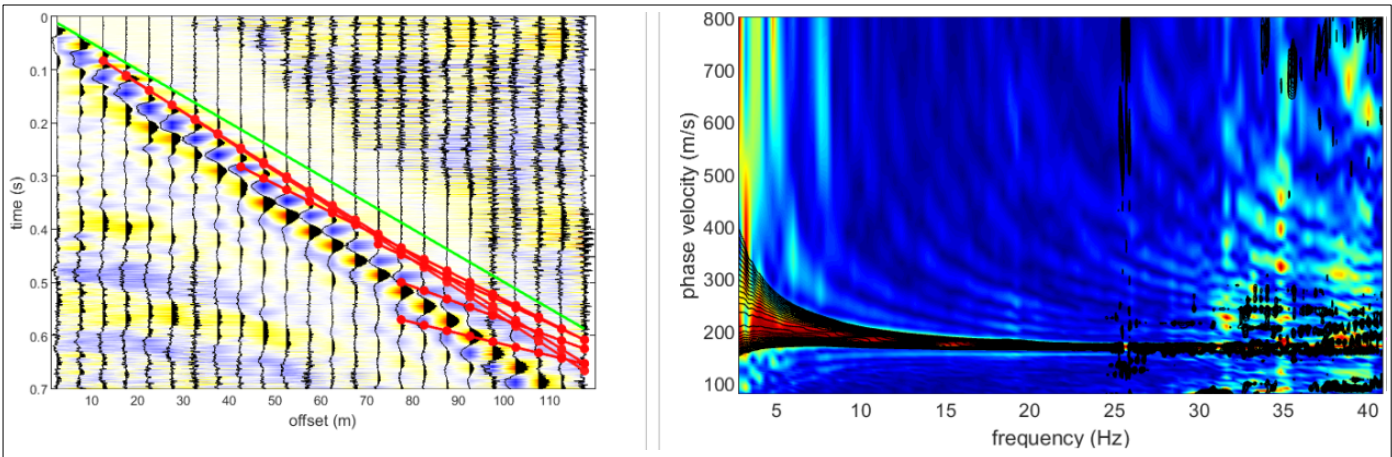


Legend

- Vertical receivers
- Shots position
- refractor with classic methods (wavefront or plus-minus)
- Log Vs from MASW
- Horizontal receivers
- CPTU
- Core drilling



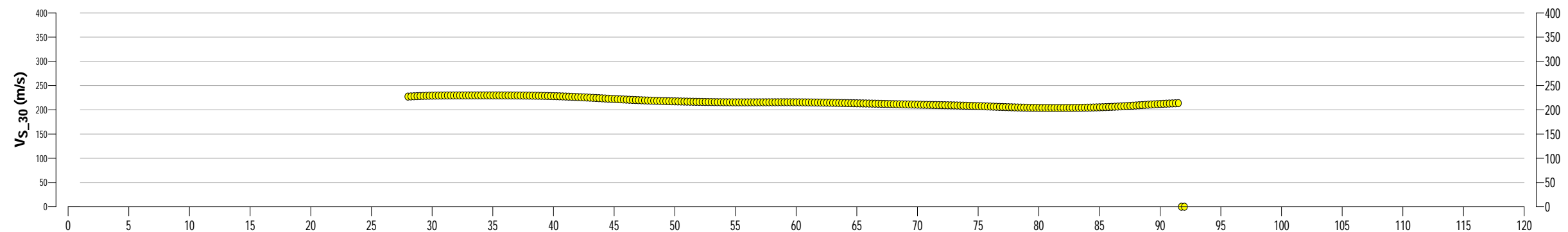
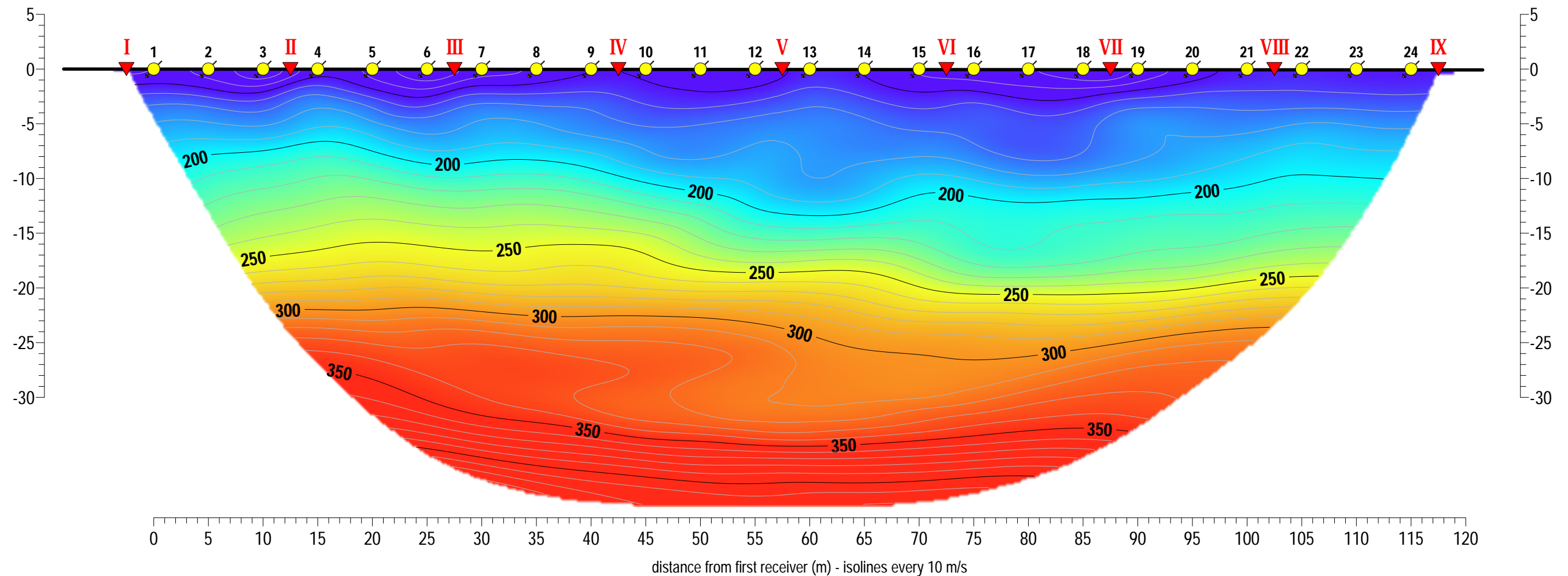
0079



Order informations	Technical features	Chromatic scales	Legend
<p>Customer: <b>Dott. Geol. Luca niccoli</b></p> <p>Requested from: <b>Dott. Geol. Luca Niccoli</b></p> <p>Order num: <b>--</b></p> <p>Job reference: <b>Argini Serchio</b></p> <p>Data acquisition: <b>26 Agosto 2020 _ Dott. Luigi Allacorta</b></p> <p>Data processing: <b>31 Agosto 2020 _ Dott. Luigi Allacorta</b></p> <p>Graphic table redaction: <b>31 Agosto 2020 _ Dott. Luigi Allacorta</b></p>	<p><b>S_waves</b></p> <p>instrument: <b>DAQLink 3</b></p> <p>channels: <b>24</b></p> <p>geophones/electrodes: <b>horizontal, 4.5Hz</b></p> <p>geop./electr.s distance: <b>x = 5.0m</b></p> <p>shots position: <b>9, 15.0 m spaced</b></p> <p>acquisition software: <b>VScope 2.59</b></p> <p>processing software: <b>Rayfract, vers. 3.35</b></p> <p>sequences: <b>-</b></p>	<p><b>Log_Vs_(MASW)</b></p> <p>-</p> <p>24</p> <p>vertical, 4.5Hz</p> <p>x = 5.0m</p> <p>2.5m</p> <p>-</p> <p>WinMasw Acd 2020</p> <p><b>S waves velocity (m/s)</b></p> <p>150 170 190 210 230 250 270 290 310 330 350</p>	<p> Vertical receivers</p> <p> Shots position</p> <p> refractor with classic methods (wavefront or plus-minus)</p> <p> Log Vs from MASW</p> <p> Horizontal receivers</p> <p> CPTU</p> <p> Core drilling</p>



0080



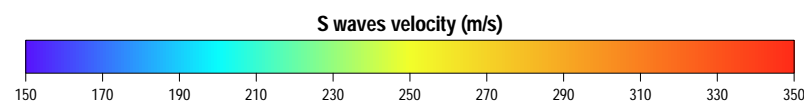
Order informations

Customer: **Dott. Geol. Luca Niccoli**  
Requested from: **Dott. Geol. Luca Niccoli**  
Order num: --  
Job reference: **Argini Serchio**  
  
Data acquisition: 26 Agosto 2020 \_ Dott. Luigi Allacorta  
Data processing: 31 Agosto 2020 \_ Dott. Luigi Allacorta  
Graphic table redaction: 31 Agosto 2020 \_ Dott. Luigi Allacorta

Technical features

**S\_waves**  
instrument: **DAQLink 3**  
channels: 24  
geophones/electrodes: horizontal, 4.5Hz  
geop./electr.s distance: x = 5.0m  
shots position: 9, 15.0 m spaced  
acquisition software: **VScope 2.59**  
processing software: **Rayfract, vers. 3.35**  
sequences: -

Chromatic scales



Legend

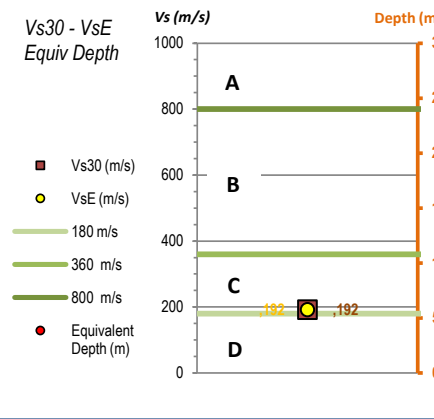
- Vertical receivers
- Shots position
- refractor with classic methods (wavefront or plus-minus)
- Log Vs from MASW
- Horizontal receivers
- CPTU
- Core drilling



# Multichannel Analysis of Surface Waves - Modellazione mediante spettri sintetici (FVS)

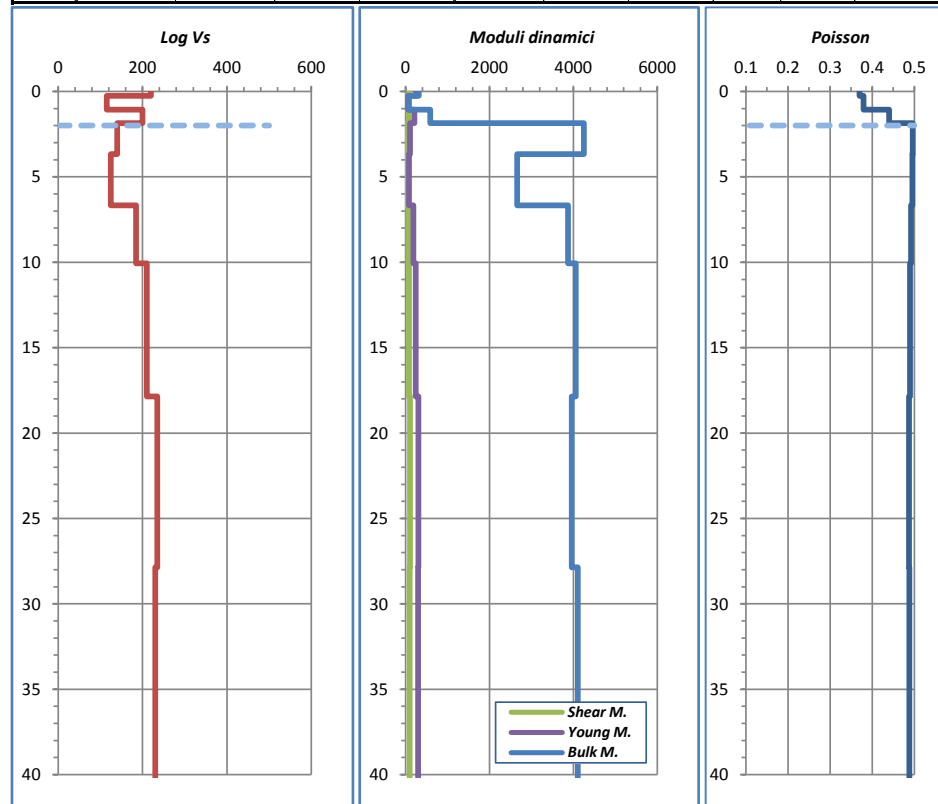
0081

layer	h (m)	Vs (m/s)	top (m)	bottom (m)	Density (g/cm3)	Poisson (adim.)	Vp (m/s)	Shear G*	Young E*	Bulk M. k*
1	0.3	220	0.0	0.3	1.9	0.370	484	90	247	316
2	0.8	115	0.3	1.1	1.7	0.380	261	22	62	85
3	0.8	200	1.1	1.9	1.8	0.440	611	74	212	589
4	1.8	140	1.9	3.7	1.7	0.496	1571	34	102	4249
5	3.0	125	3.7	6.7	1.7	0.495	1256	27	80	2662
6	3.4	185	6.7	10.1	1.8	0.492	1474	62	186	3871
7	7.8	210	10.1	17.9	1.9	0.490	1500	82	243	4054
8	10.0	235	17.9	27.9	1.9	0.487	1476	104	309	3957
9	33.0	230	27.9	60.9	1.9	0.488	1502	99	296	4109
10										
11										
12										

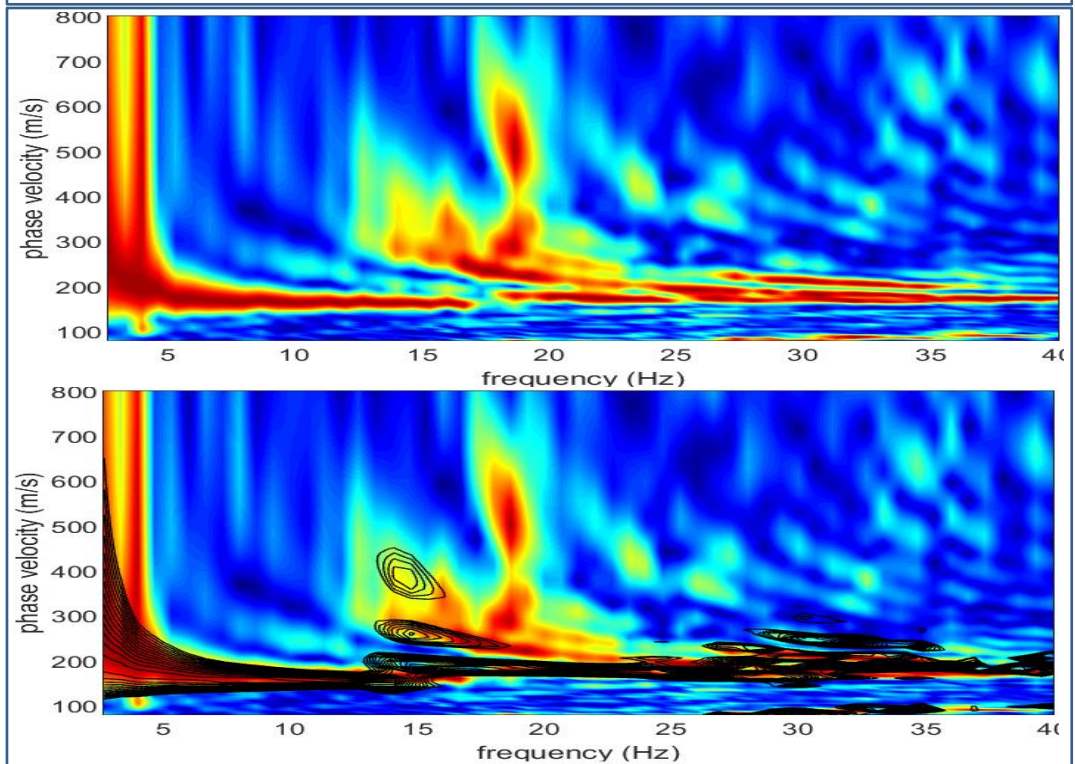


Committente **Dott. Geol. Lica Niccoli**  
 Lavoro **Arhini Serchio**  
 Ubicazione **Serchio**

configurazione **ch 14; x=5; m.o.=2.5**  
 ricevitori **geofoni freq. 4.5Hz**  
 campionamento **500/1000ms**  
 durata registrazione **1s**  
 acquisizione **ZVF+RVF**  
 modellazione **Rayleigh+Love**  
 metodo di analisi **Full Velocity Spectrum (FVS)**  
 modello finale **serchio2**



Vs30 (m/s) **192**  
 VsE (m/s) **192**  
 Equivalent Depth (m) **>30**  
 Probabile Categoria **C**



**Vp e Moduli dinamici puramente indicativi**  
 Poisson assegnato durante la modellazione in base alla tipologia di terreno e per gli strati superficiali modellato per soddisfare i primi arrivi rifratti (quando visibili); in caso di terreni sciolti saturi, poisson calcolato per soddisfare la condizione  $V_p = 1500 \text{ m/s}$ .  
 Densità calcolata secondo: Gardner, G.H.F., Gardner, L.W., Gregory, A.R., 1974. Formation velocity and density-the diagnostic basis for stratigraphic trap. Geophysics 39, 770-780.

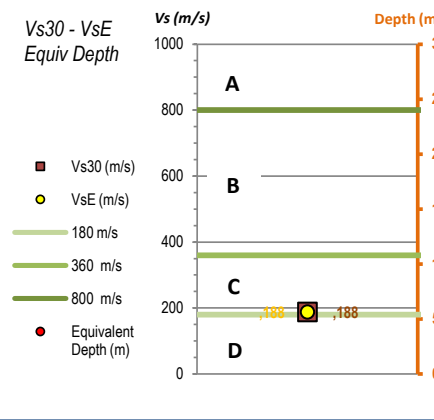
**Confronto tra spettri sintetici e sperimentali. Immagine superiore:** spettro di velocità di fase delle onde di Rayleigh, componente verticale (ZVF); **Immagine inferiore:** spettro di velocità di fase delle onde di Love (THF). Scala colore=spettro sperimentale; contouring nero=spettro sintetico.



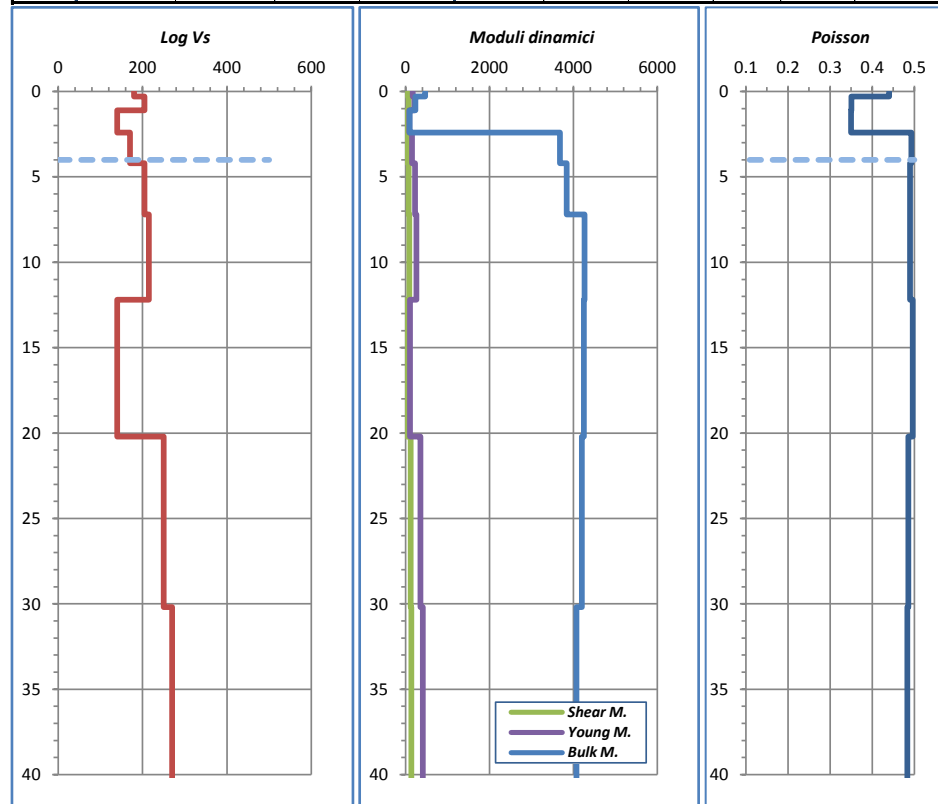
# Multichannel Analysis of Surface Waves - Modellazione mediante spettri sintetici (Full Velocity Spectrum approach)

0082

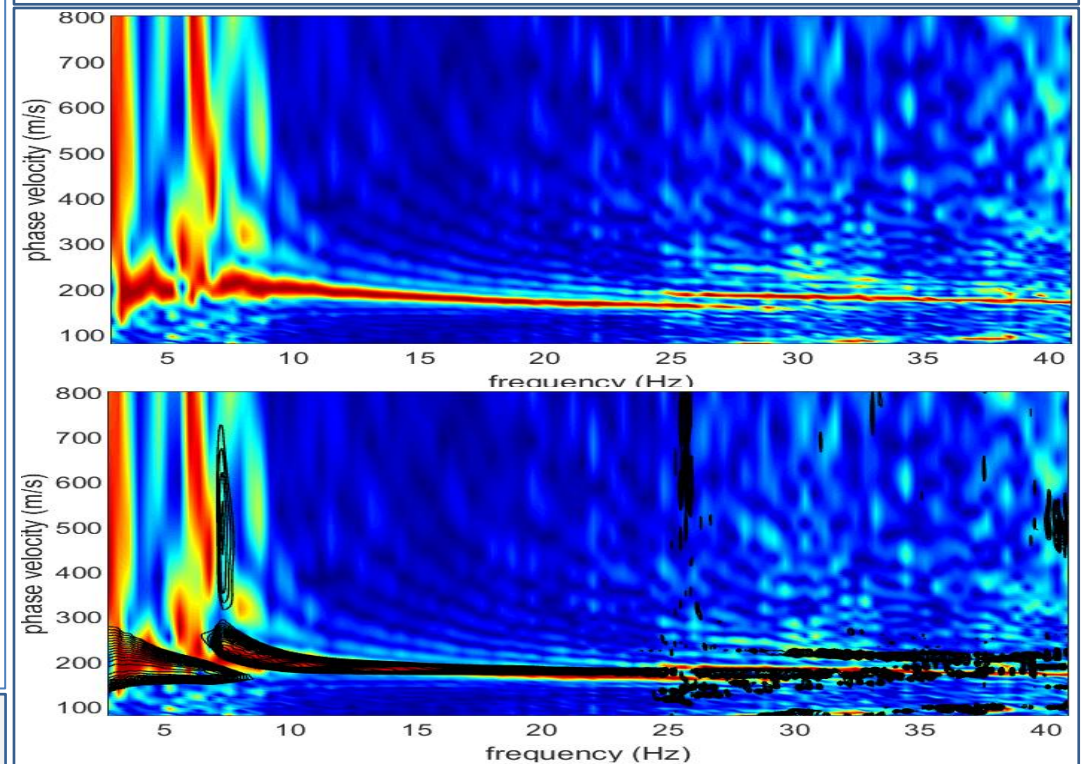
layer	h (m) (m)	Vs (m/s)	top (m)	bottom (m)	Density (g/cm3)	Poisson (adim.)	Vp (m/s)	Shear G*	Young E*	Bulk M. k*
1	0.3	180	0.0	0.3	1.8	0.440	550	59	169	469
2	0.8	205	0.3	1.1	1.8	0.350	427	77	209	232
3	1.3	140	1.1	2.4	1.7	0.349	291	34	92	102
4	1.8	170	2.4	4.2	1.8	0.493	1447	52	154	3679
5	3.0	205	4.2	7.2	1.8	0.490	1464	77	230	3841
6	5.0	215	7.2	12.2	1.9	0.490	1535	86	256	4268
7	8.0	140	12.2	20.2	1.7	0.496	1571	34	102	4249
8	10.0	250	20.2	30.2	1.9	0.486	1515	119	353	4203
9	15.0	270	30.2	45.2	1.9	0.483	1489	140	415	4070
10										
11										
12										



Committente Dott. Geol. Lica Niccoli  
 Lavoro Argini Serchio  
 Ubicazione Serchio\_5  
 configurazione ch 14; x=5; m.o.=2.5  
 ricevitori geofoni freq. 4.5Hz  
 campionamento 500/1000ms  
 durata registrazione 1s  
 acquisizione RVF+THF  
 modellazione Rayleigh orizz.+Love  
 metodo di analisi Full Velocity Spectrum (FVS)  
 modello finale serchio5



Vs30 (m/s) 188  
 VsE (m/s) 188  
 Equivalent Depth (m) >30  
 Probabile Categoria C



**Vp e Moduli dinamici puramente indicativi**  
 Poisson assegnato durante la modellazione in base alla tipologia di terreno e per gli strati superficiali modellato per soddisfare i primi arrivi rifratti (quando visibili); in caso di terreni sciolti saturi, poisson calcolato per soddisfare la condizione  $V_p = 1500 \text{ m/s}$ .  
 Densità calcolata secondo: Gardner, G.H.F., Gardner, L.W., Gregory, A.R., 1974. Formation velocity and density-the diagnostic basis for stratigraphic trap. Geophysics 39, 770-780.

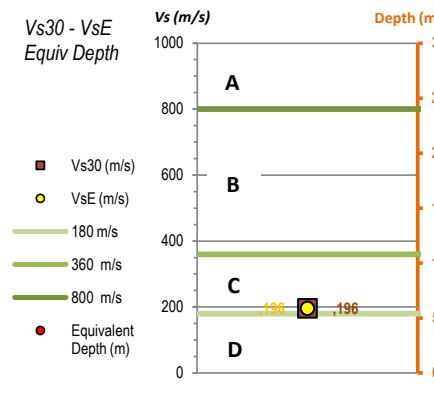
**Confronto tra spettri sintetici e sperimentali.** Immagine superiore: spettro di velocità di fase delle onde di Rayleigh, componente orizzontale(RVF); Immagine inferiore: spettro di velocità di fase delle onde di Love (THF). Scala colore=spettro sperimentale; contouring nero=spettro sintetico.



# Multichannel Analysis of Surface Waves - Modellazione mediante spettri sintetici (Full Velocity Spectrum approach)

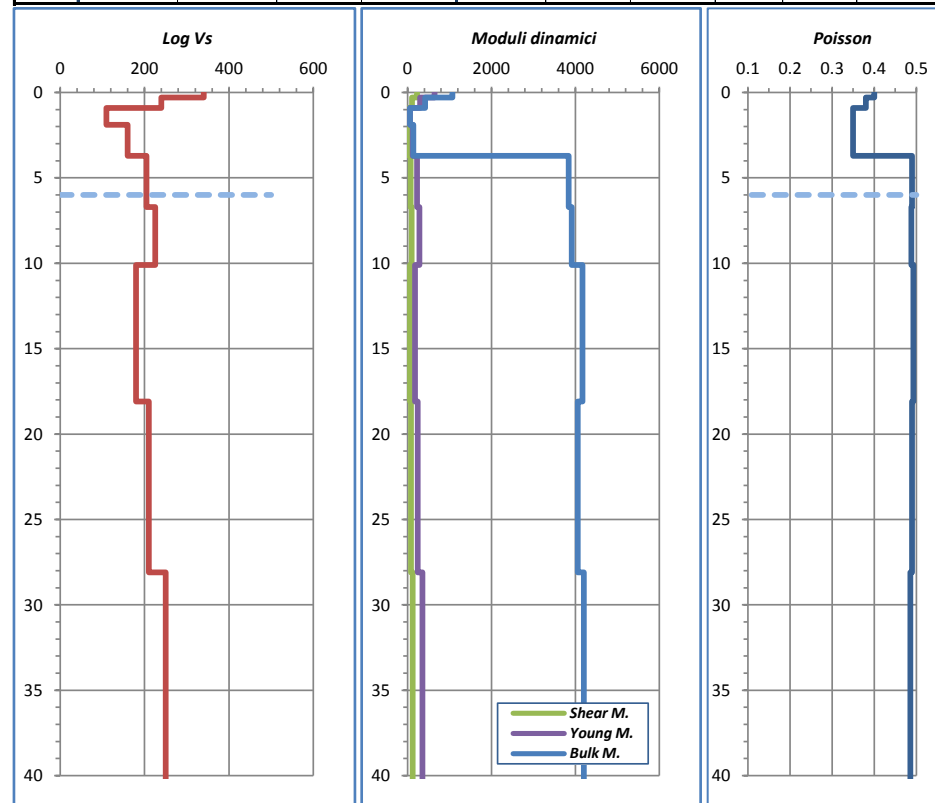
0083

layer	h (m) (m)	Vs (m/s)	top (m)	bottom (m)	Density (g/cm3)	Poisson (adim.)	Vp (m/s)	Shear G*	Young E*	Bulk M. k*
1	0.3	340	0.0	0.3	2.0	0.400	833	229	641	1069
2	0.6	240	0.3	0.9	1.9	0.380	546	109	301	418
3	1.0	110	0.9	1.9	1.7	0.350	229	20	55	61
4	1.8	160	1.9	3.7	1.8	0.350	333	46	123	137
5	3.0	205	3.7	6.7	1.8	0.490	1464	77	230	3841
6	3.4	225	6.7	10.1	1.9	0.488	1470	95	282	3915
7	8.0	180	10.1	18.1	1.8	0.493	1532	59	175	4170
8	10.0	210	18.1	28.1	1.9	0.490	1500	82	243	4054
9	33.0	250	28.1	61.1	1.9	0.486	1515	119	353	4203
10										
11										
12										

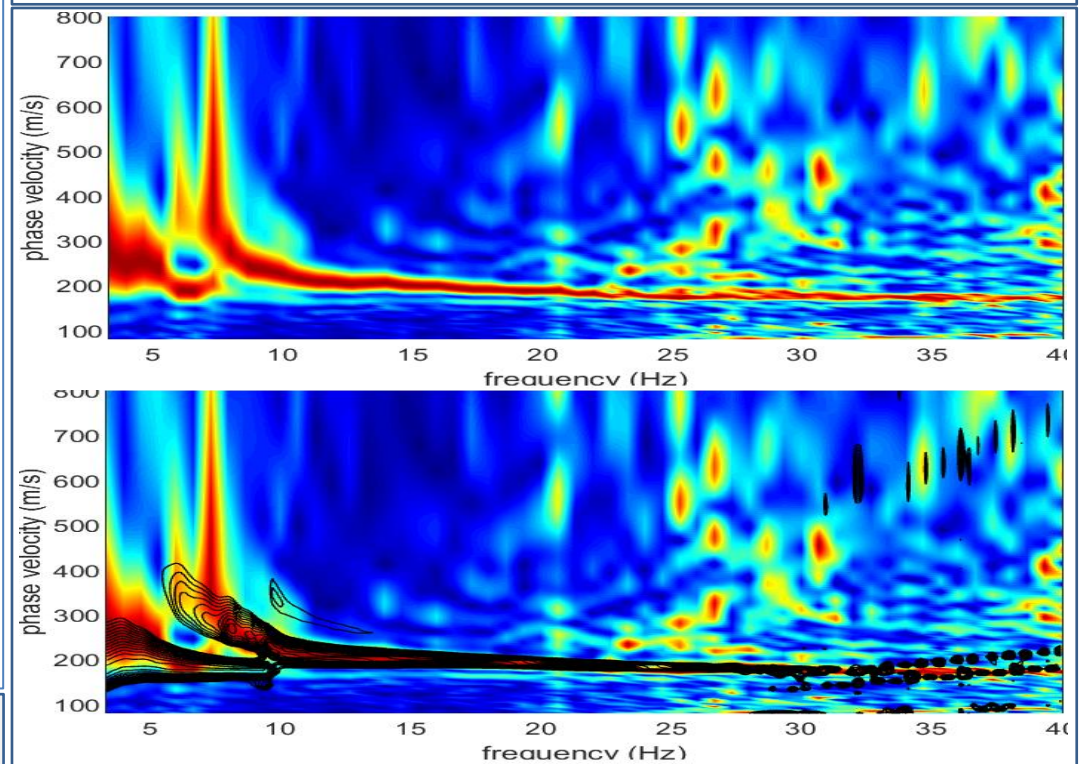


Committente **Dott. Geol. Lica Niccoli**  
 Lavoro **Argini Serchio**  
 Ubicazione **Serchio**

configurazione **ch 19; x=5; m.o.=2.5**  
 ricevitori **geofoni freq. 4.5Hz**  
 campionamento **500/1000ms**  
 durata registrazione **1s**  
 acquisizione **THF**  
 modellazione **Love**  
 metodo di analisi **Full Velocity Spectrum (FVS)**  
 modello finale **serchio6**



Vs30 (m/s) **196**  
 VsE (m/s) **196**  
 Equivalent Depth (m) **>30**  
 Probabile Categoria **C**



**Vp e Moduli dinamici puramente indicativi**  
 Poisson assegnato durante la modellazione in base alla tipologia di terreno e per gli strati superficiali modellato per soddisfare i primi arrivi rifratti (quando visibili); in caso di terreni sciolti saturi, poisson calcolato per soddisfare la condizione  $V_p = 1500 \text{ m/s}$ .  
 Densità calcolata secondo: Gardner, G.H.F., Gardner, L.W., Gregory, A.R., 1974. Formation velocity and density-the diagnostic basis for stratigraphic trap. Geophysics 39, 770-780.

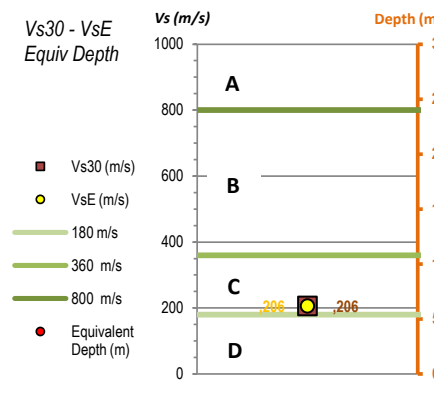
**Confronto tra spettri sintetici e sperimentali.** Immagine superiore: spettro di velocità di fase sperimentale delle onde di Rayleigh, componente verticale (ZVF); Immagine inferiore: onde di Rayleigh, spettro di velocità sintetico sovrapposto allo spettro sperimentale. Scala colore=spettro sperimentale; contouring nero=spettro sintetico.



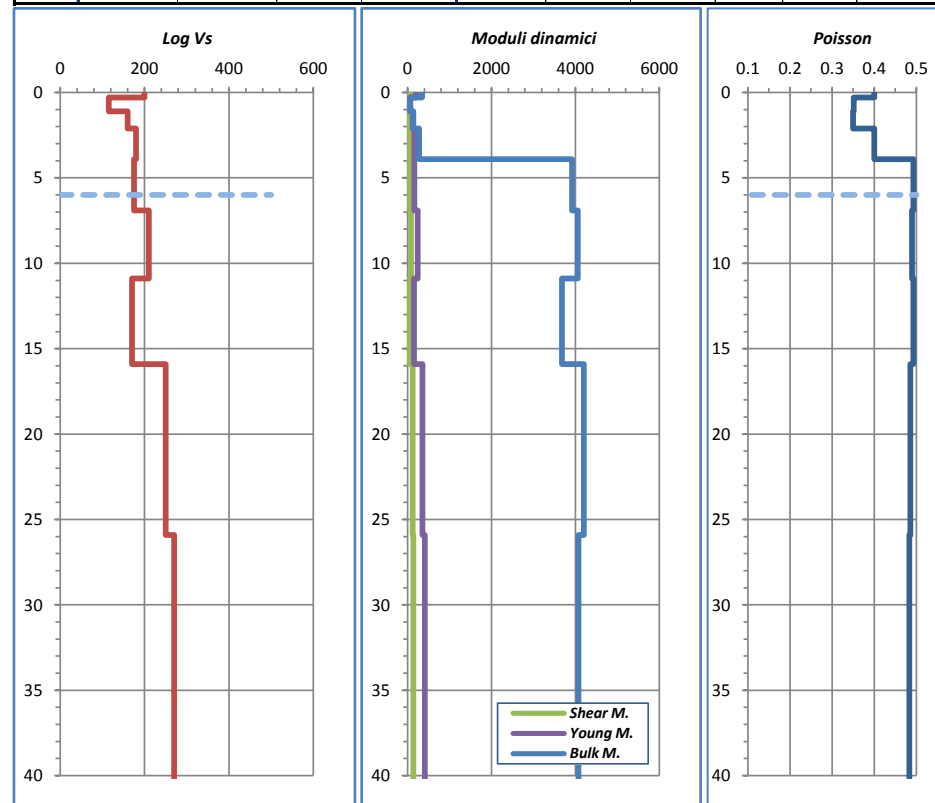
# Multichannel Analysis of Surface Waves - Modellazione mediante spettri sintetici (Full Velocity Spectrum approach)

0084

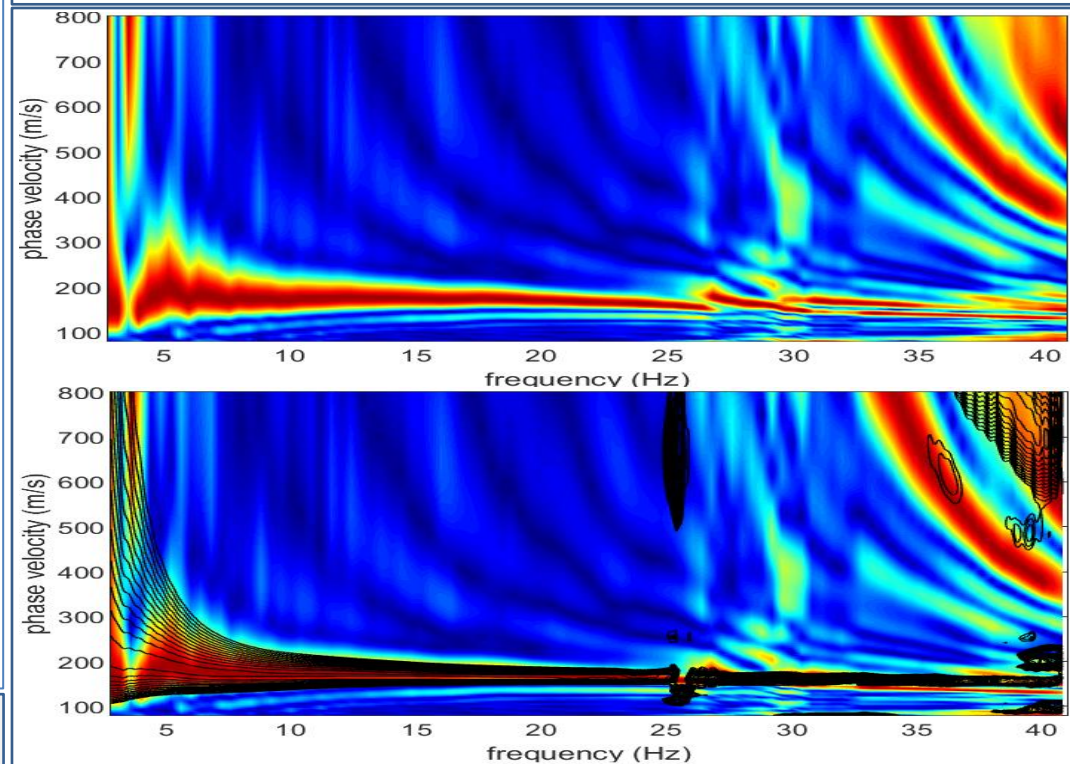
layer	h (m) (m)	Vs (m/s)	top (m)	bottom (m)	Density (g/cm3)	Poisson (adim.)	Vp (m/s)	Shear G*	Young E*	Bulk M. k*
1	0.3	200	0.0	0.3	1.8	0.400	490	74	206	344
2	0.8	115	0.3	1.1	1.7	0.351	240	22	60	68
3	1.0	160	1.1	2.1	1.8	0.350	333	46	123	137
4	1.8	180	2.1	3.9	1.8	0.400	441	59	164	274
5	3.0	175	3.9	6.9	1.8	0.493	1489	55	165	3917
6	4.0	210	6.9	10.9	1.9	0.490	1500	82	243	4054
7	5.0	170	10.9	15.9	1.8	0.493	1447	52	154	3679
8	10.0	250	15.9	25.9	1.9	0.486	1515	119	353	4203
9	15.0	270	25.9	40.9	1.9	0.483	1489	140	415	4070
10	20.0	320	40.9	60.9	2.0	0.48	1495	202	595	4134
11										
12										



Committente **Dott. Geol. Lica Niccoli**  
 Lavoro **Argini Serchio**  
 Ubicazione **Serchio**  
 configurazione **ch 10; x=5; m.o.=2.5**  
 ricevitori **geofoni freq. 4.5Hz**  
 campionamento **500/1000ms**  
 durata registrazione **1s**  
 acquisizione **THF**  
 modellazione **Love**  
 metodo di analisi **Full Velocity Spectrum (FVS)**  
 modello finale **serchio7A**



Vs30 (m/s) **206**  
 VsE (m/s) **206**  
 Equivalent Depth (m) **>30**  
 Probabile Categoria **C**



**Vp e Moduli dinamici puramente indicativi**  
 Poisson assegnato durante la modellazione in base alla tipologia di terreno e per gli strati superficiali modellato per soddisfare i primi arrivi rifratti (quando visibili); in caso di terreni sciolti saturi, poisson calcolato per soddisfare la condizione  $V_p = 1500 \text{ m/s}$ .  
 Densità calcolata secondo: Gardner, G.H.F., Gardner, L.W., Gregory, A.R., 1974. Formation velocity and density-the diagnostic basis for stratigraphic trap. Geophysics 39, 770-780.

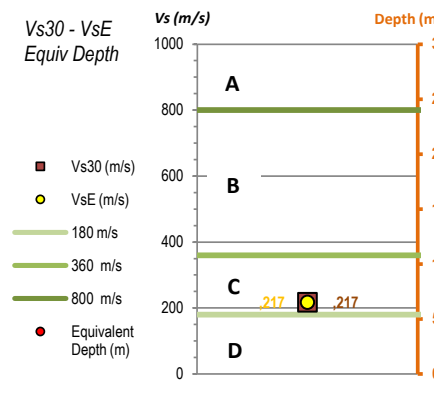
**Confronto tra spettri sintetici e sperimentali.** Immagine superiore: spettro di velocità di fase sperimentale delle onde di Rayleigh, componente verticale (ZVF); Immagine inferiore: onde di Rayleigh, spettro di velocità sintetico sovrapposto allo spettro sperimentale. Scala colore=spettro sperimentale; contouring nero=spettro sintetico.



# Multichannel Analysis of Surface Waves - Modellazione mediante spettri sintetici (Full Velocity Spectrum approach)

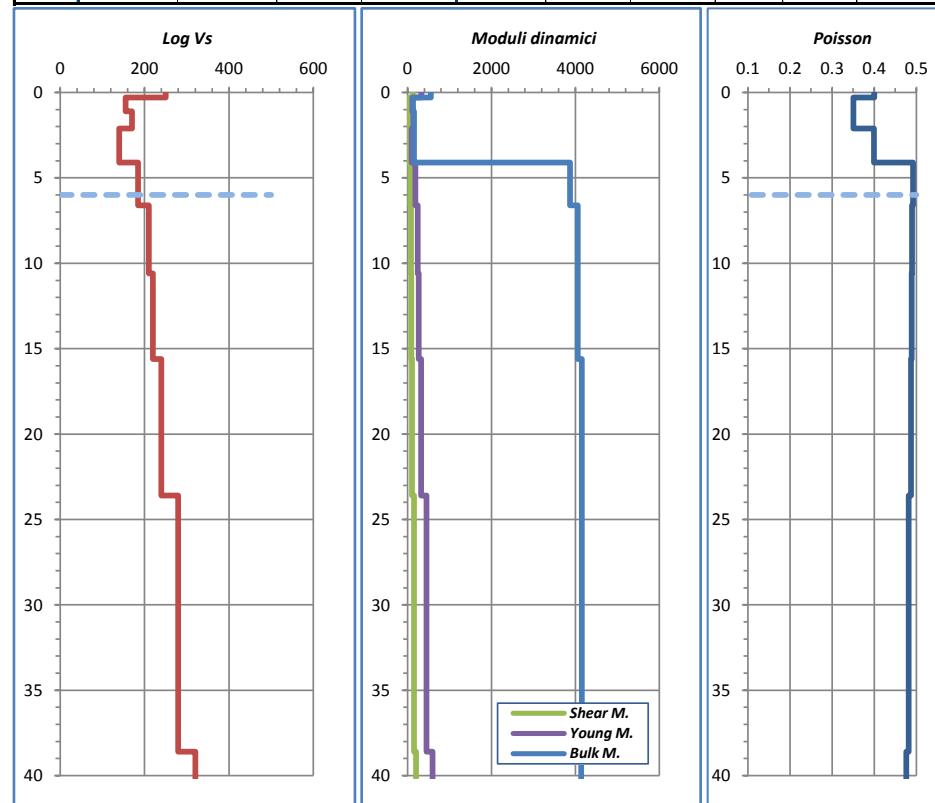
0085

layer	h (m) (m)	Vs (m/s)	top (m)	bottom (m)	Density (g/cm3)	Poisson (adim.)	Vp (m/s)	Shear G*	Young E*	Bulk M. k*
1	0.3	250	0.0	0.3	1.9	0.400	612	119	332	553
2	0.8	155	0.3	1.1	1.8	0.350	323	43	115	128
3	1.0	170	1.1	2.1	1.8	0.350	354	52	140	155
4	2.0	140	2.1	4.1	1.7	0.399	342	34	95	158
5	2.5	185	4.1	6.6	1.8	0.492	1474	62	186	3871
6	4.0	210	6.6	10.6	1.9	0.490	1500	82	243	4054
7	5.0	220	10.6	15.6	1.9	0.489	1499	90	268	4059
8	8.0	240	15.6	23.6	1.9	0.487	1508	109	324	4153
9	15.0	280	23.6	38.6	1.9	0.482	1502	151	448	4152
10	20.0	320	38.6	58.6	2.0	0.48	1495	202	595	4134
11										
12										

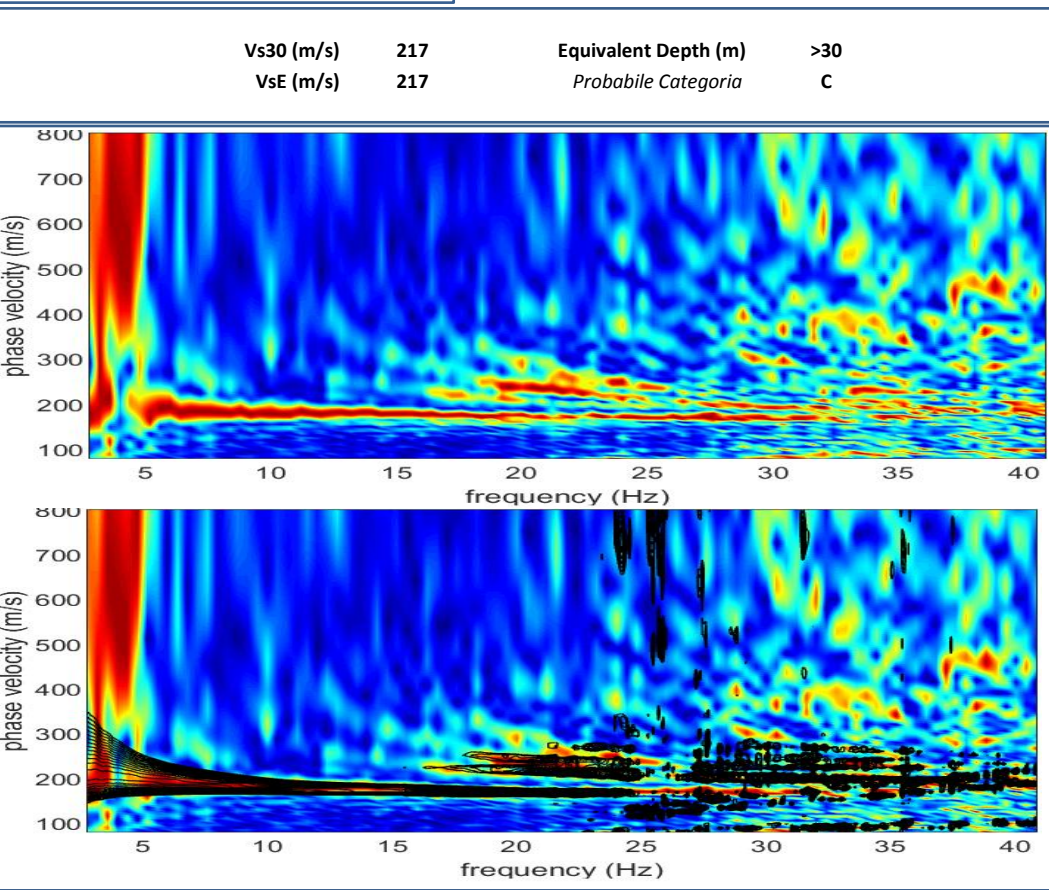


Committente **Dott. Geol. Lica Niccoli**  
 Lavoro **Argini Serchio**  
 Ubicazione **Serchio**

configurazione **ch 24; x=5; m.o.=2.5**  
 ricevitori **geofoni freq. 4.5Hz**  
 campionamento **500/1000ms**  
 durata registrazione **1s**  
 acquisizione **THF**  
 modellazione **Love**  
 metodo di analisi **Full Velocity Spectrum (FVS)**  
 modello finale **serchio8**



**Vp e Moduli dinamici puramente indicativi**  
 Poisson assegnato durante la modellazione in base alla tipologia di terreno e per gli strati superficiali modellato per soddisfare i primi arrivi rifratti (quando visibili); in caso di terreni sciolti saturi, poisson calcolato per soddisfare la condizione  $V_p = 1500 \text{ m/s}$ .  
 Densità calcolata secondo: Gardner, G.H.F., Gardner, L.W., Gregory, A.R., 1974. Formation velocity and density-the diagnostic basis for stratigraphic trap. Geophysics 39, 770-780.



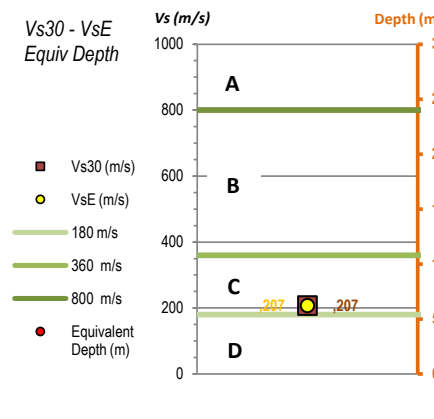
**Confronto tra spettri sintetici e sperimentali.** Immagine superiore: spettro di velocità di fase sperimentale delle onde di Rayleigh, componente verticale (ZVF); Immagine inferiore: onde di Rayleigh, spettro di velocità sintetico sovrapposto allo spettro sperimentale. Scala colore=spettro sperimentale; contouring nero=spettro sintetico.



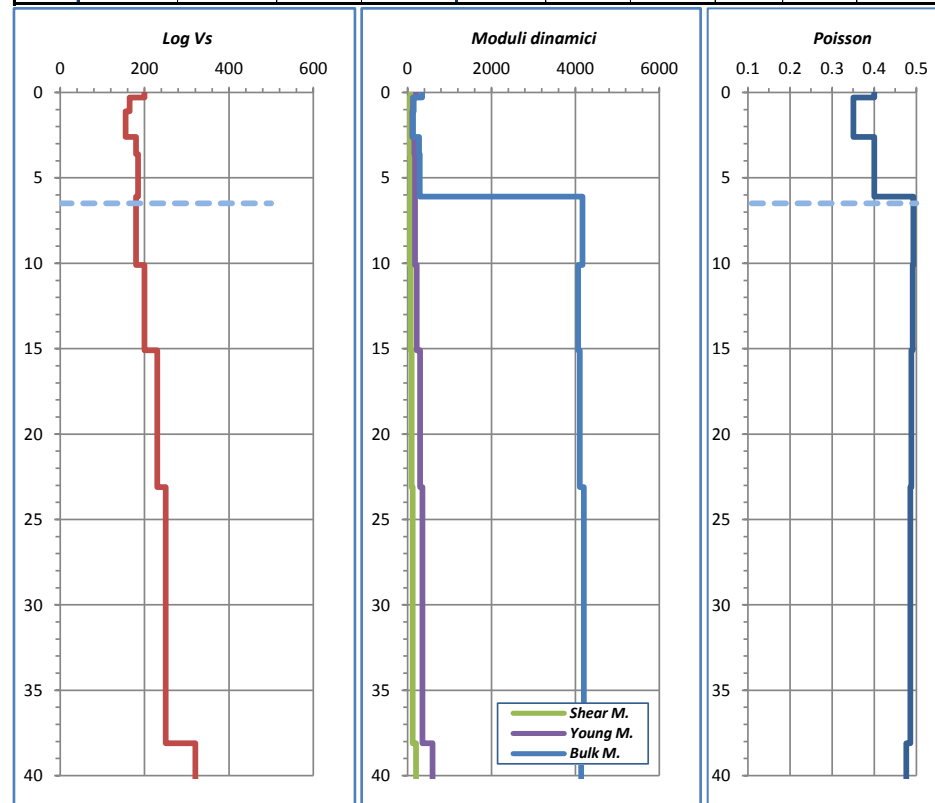
# Multichannel Analysis of Surface Waves - Modellazione mediante spettri sintetici (Full Velocity Spectrum approach)

0086

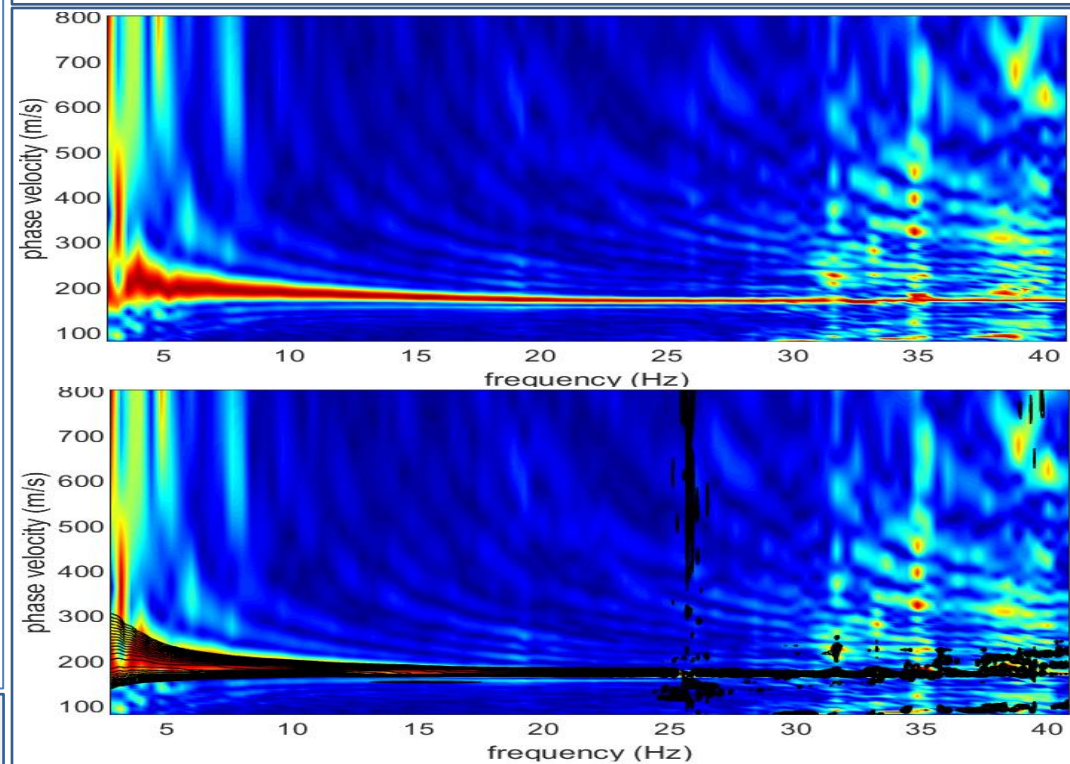
layer	h (m) (m)	Vs (m/s)	top (m)	bottom (m)	Density (g/cm3)	Poisson (adim.)	Vp (m/s)	Shear G*	Young E*	Bulk M. k*
1	0.3	200	0.0	0.3	1.8	0.400	490	74	206	344
2	0.8	165	0.3	1.1	1.8	0.351	344	49	132	147
3	1.5	155	1.1	2.6	1.8	0.350	323	43	115	128
4	1.0	180	2.6	3.6	1.8	0.400	441	59	164	274
5	2.5	185	3.6	6.1	1.8	0.400	453	62	174	290
6	4.0	180	6.1	10.1	1.8	0.493	1532	59	175	4170
7	5.0	200	10.1	15.1	1.8	0.491	1504	74	219	4064
8	8.0	230	15.1	23.1	1.9	0.488	1502	99	296	4109
9	15.0	250	23.1	38.1	1.9	0.486	1515	119	353	4203
10	20.0	320	38.1		2.0	0.48	1495	202	595	4134
11										
12										



Committente **Dott. Geol. Lica Niccoli**  
 Lavoro **Argini Serchio**  
 Ubicazione **Serchio**  
 configurazione **ch 24; x=5; m.o.=2.5**  
 ricevitori **geofoni freq. 4.5Hz**  
 campionamento **500/1000ms**  
 durata registrazione **1s**  
 acquisizione **THF**  
 modellazione **Love**  
 metodo di analisi **Full Velocity Spectrum (FVS)**  
 modello finale **serchio9**



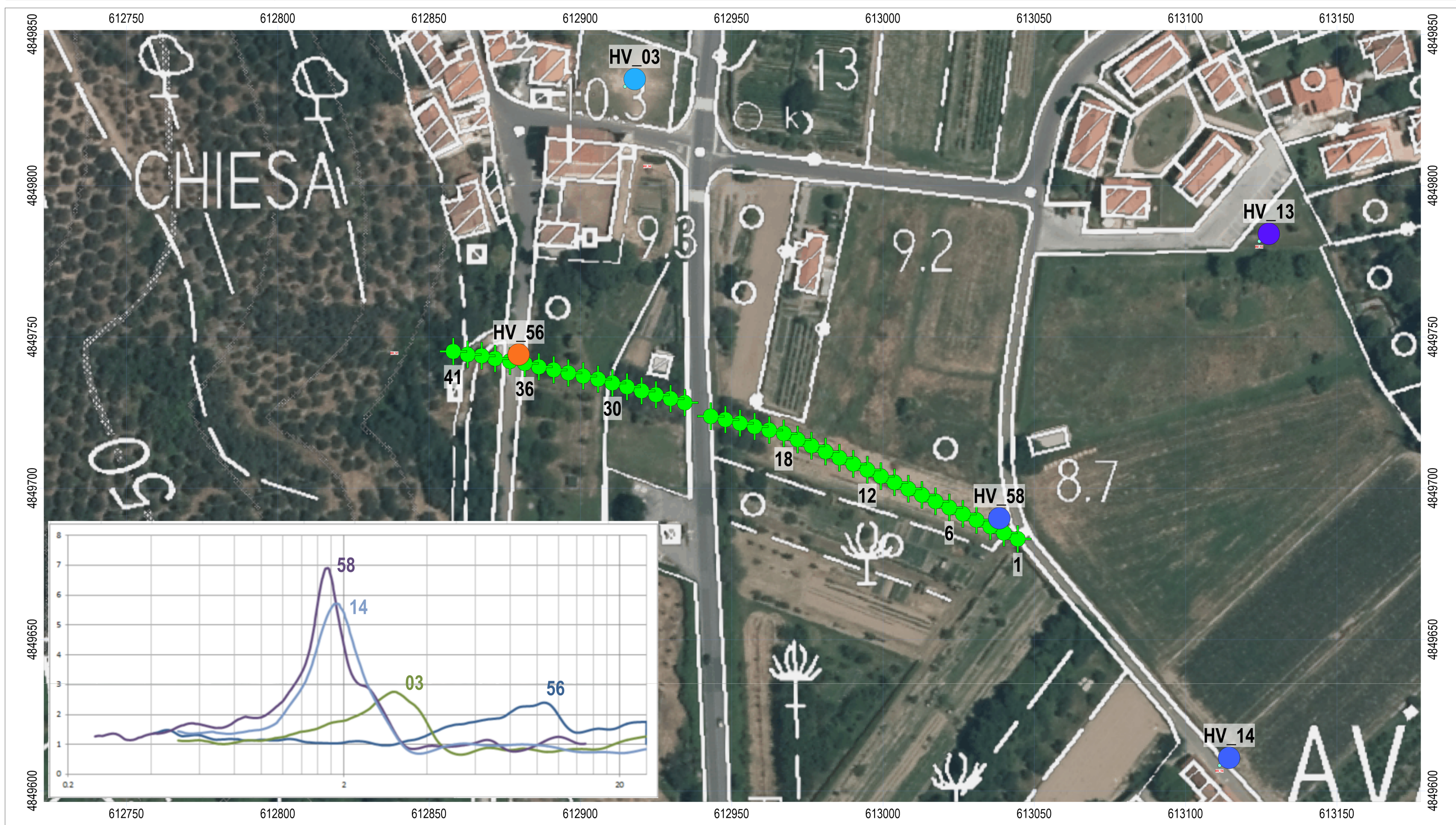
Vs30 (m/s) **207**  
 VsE (m/s) **207**  
 Equivalent Depth (m) **>30**  
 Probabile Categoria **C**



**Vp e Moduli dinamici puramente indicativi**  
 Poisson assegnato durante la modellazione in base alla tipologia di terreno e per gli strati superficiali modellato per soddisfare i primi arrivi rifratti (quando visibili); in caso di terreni sciolti saturi, poisson calcolato per soddisfare la condizione  $V_p = 1500 \text{ m/s}$ .  
 Densità calcolata secondo: Gardner, G.H.F., Gardner, L.W., Gregory, A.R., 1974. Formation velocity and density-the diagnostic basis for stratigraphic trap. Geophysics 39, 770-780.

**Confronto tra spettri sintetici e sperimentali. Immagine superiore**: spettro di velocità di fase sperimentale delle onde di Rayleigh, componente verticale (ZVF); **Immagine inferiore**: onde di Rayleigh, spettro di velocità sintetico sovrapposto allo spettro sperimentale. Scala colore=spettro sperimentale; contouring nero=spettro sintetico.





**Project info**  
Client: Amm.ne Comunale di Vecchiano  
Richiedente: Dott. Geol. Roberto Balatri  
Numero d'ordine: MS\_Vecchiano\_SRT  
Riferimento lavoro: MS\_Vecchiano\_SRT  
Acquisizione dati: 27 Marzo 2023 \_ Dott. Luigi Allacorta  
Data processing: 06 Aprile 2023 \_ Dott. Luigi Allacorta  
Report: 06 Aprile 2023 \_ Dott. Luigi Allacorta

**Technical features**  
S\_waves  
strumento: DAQLink III s.n. 1132  
canali attivi: 41  
canali totali: orizzontal, 4.5Hz  
geofoni/elettrodi: x = 5.0m  
interdistanza geof./elettro.: 13, 20.0 m spaced  
posizione shots: VScope 2.59  
software di acquisizione: Rayfract, vers. 4.03  
software di elaborazione: -

**Legenda**  
Ricevitori linea 1  
Registrazioni HV

Scala 1:1200  
0 20 40 60 80 100

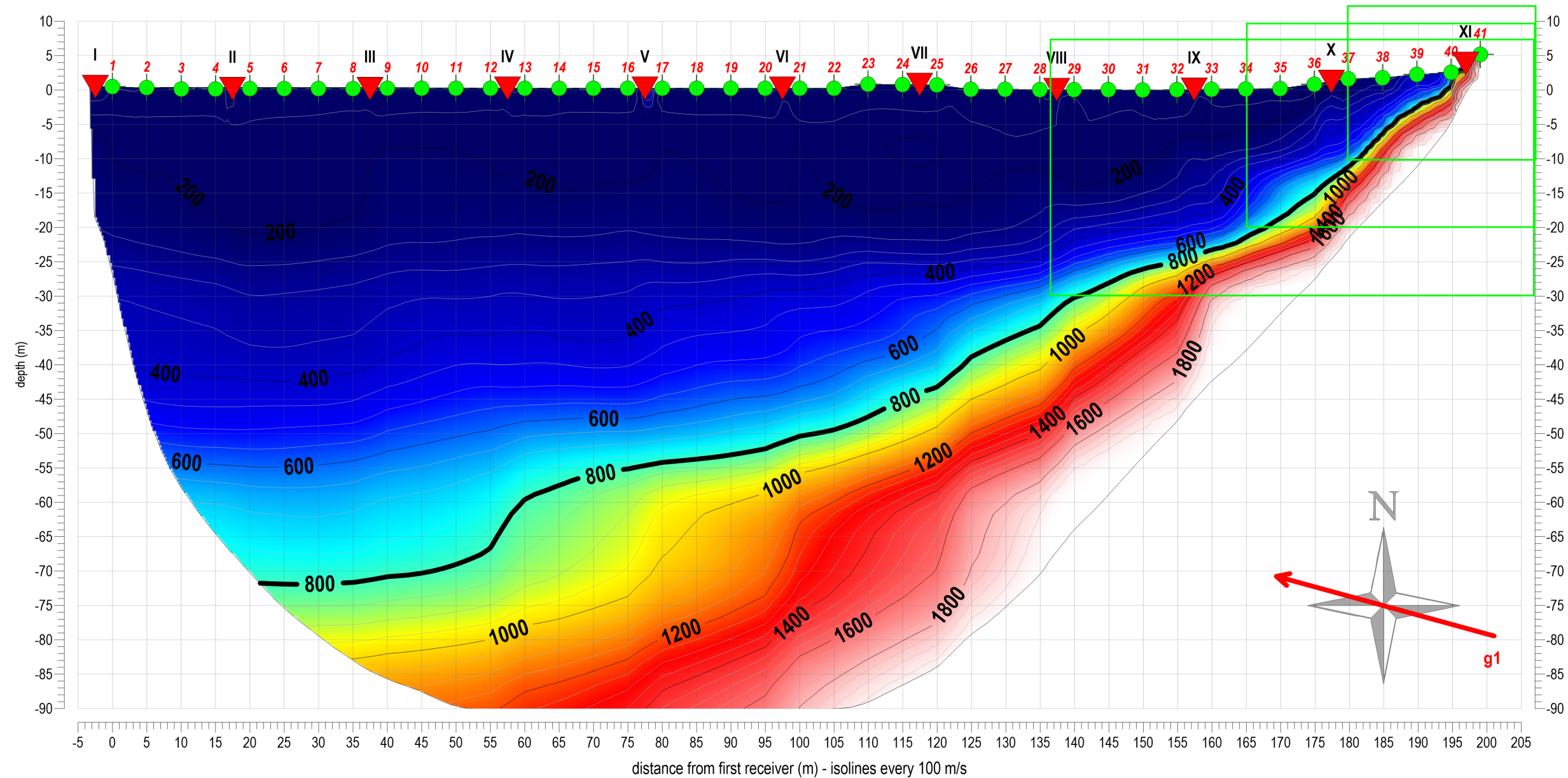
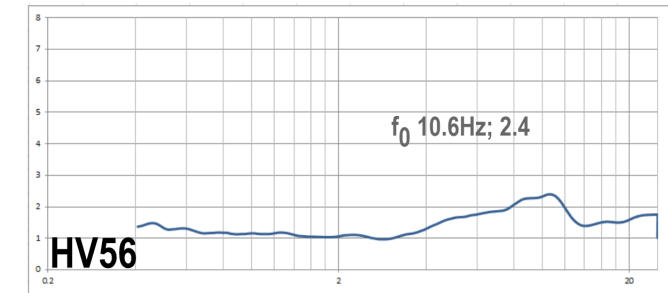
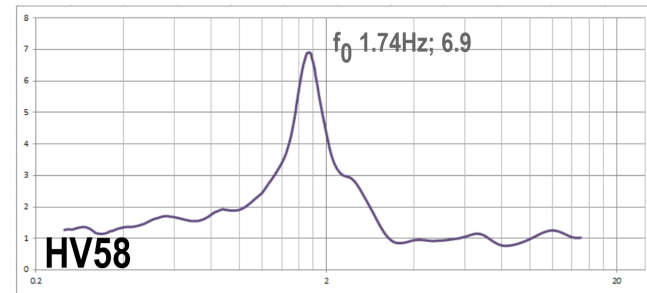
**Sistema di coordinate:**  
projection: UTM;  
datum: WGS84\_zone 32N  
coordinates: m



Line1  
SRT\_S waves

# SEISMIC REFRACTION TOMOGRAPHY (SRT)

Loc. Avane, Comune di VECCHIANO (PI)



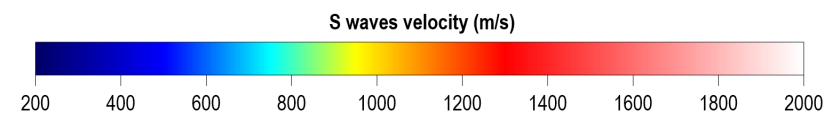
## Order informations

Customer: **Amm.ne Comunale di Vecchiano**  
Requested from: Dott. Geol. Roberto Balatri  
Order num: MS\_Vecchiano\_SRT  
Job reference: MS\_Vecchiano\_SRT  
  
Data acquisition: 27 Marzo 2023 \_ Dott. Luigi Allacorta  
Data processing: 06 Aprile 2023 \_ Dott. Luigi Allacorta  
Graphic table redaction: 06 Aprile 2023 \_ Dott. Luigi Allacorta

## Technical features

**S\_waves**  
instrument: DAQLink III s.n.1132  
channels: 41  
geophones/electrodes: horizontal, 4.5Hz  
geop./electr.s distance: x = 5.0m  
shots position: 13, 20.0 m spaced  
acquisition software: VSscope 2.59  
processing software: Rayfract, vers. 3.35  
sequences: -

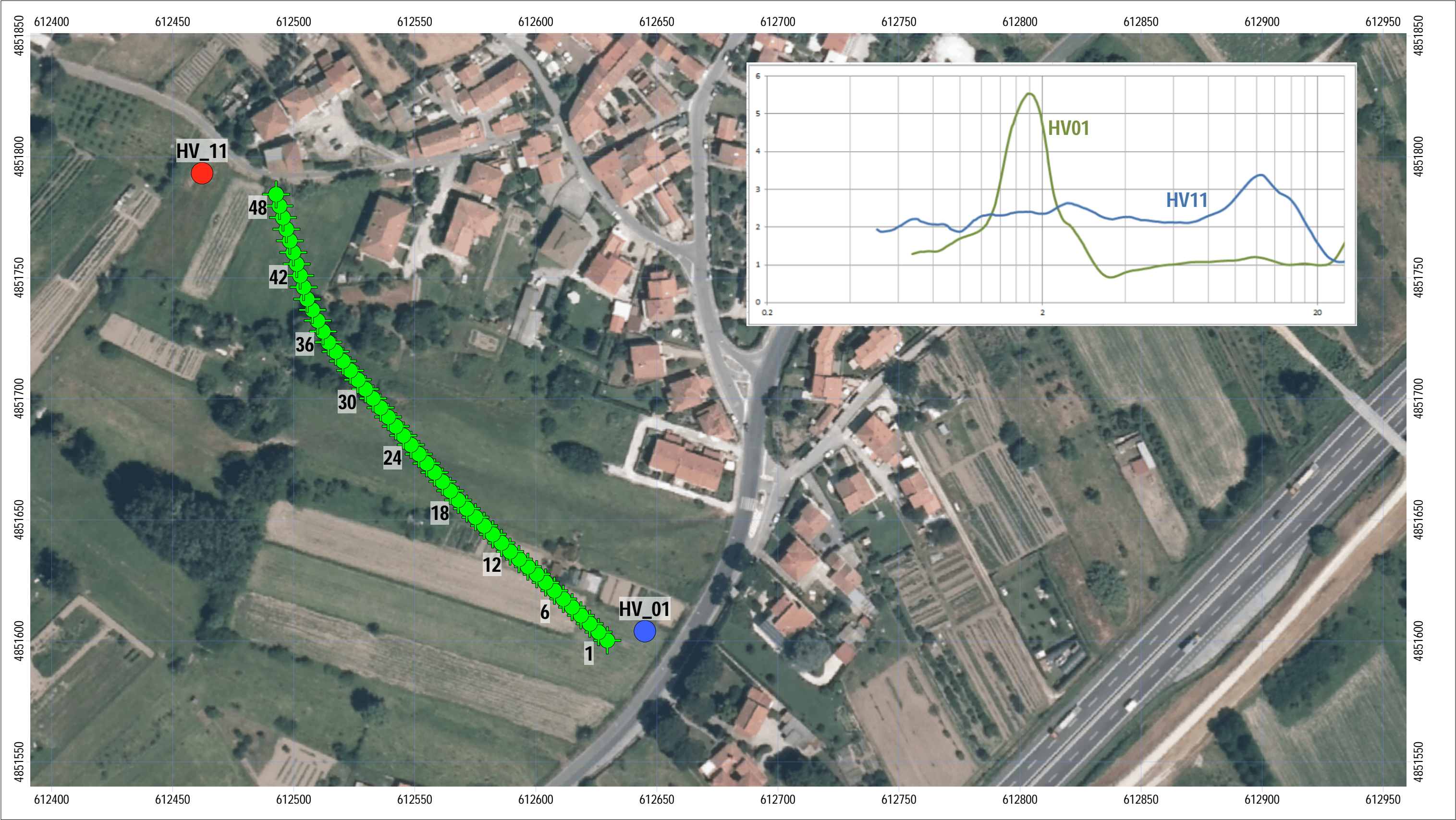
## Chromatic scales



## Legend

- Geophones
- Shots position
- refractor with classic methods (wavefront or plus-minus)
- Log Vs from MASW
- Other seismic line
- DL posizione
- DL profondità rifiuto





Project  
info

Client: Amm.ne Comunale di Vecchiano  
Richiedente: Dott. Geol. Roberto Balatri  
Numero d'ordine: MS\_Vecchiano\_SRT  
Riferimento lavoro: MS\_Vecchiano\_SRT  
  
Acquisizione dati: 27 Marzo 2023 \_ Dott. Luigi Allacorta  
Data processing: 06 Aprile 2023 \_ Dott. Luigi Allacorta  
Report: 06 Aprile 2023 \_ Dott. Luigi Allacorta

Technical  
features

S\_waves  
strumento: DAQLink III s.n. 1132  
canali attivi: 41  
canali totali: horizontal, 4.5Hz  
geofoni/elettrodi: x = 5.0m  
interdistanza geof./elett.: 13, 20.0 m spaced  
posizione shots: VScope 2.59  
software di acquisizione: Rayfract, vers. 4.03  
software di elaborazione: -

Legenda

- Ricevitori linea 1
- Registrazioni HV

Scala 1:1200  
0 20 40 60 80 100

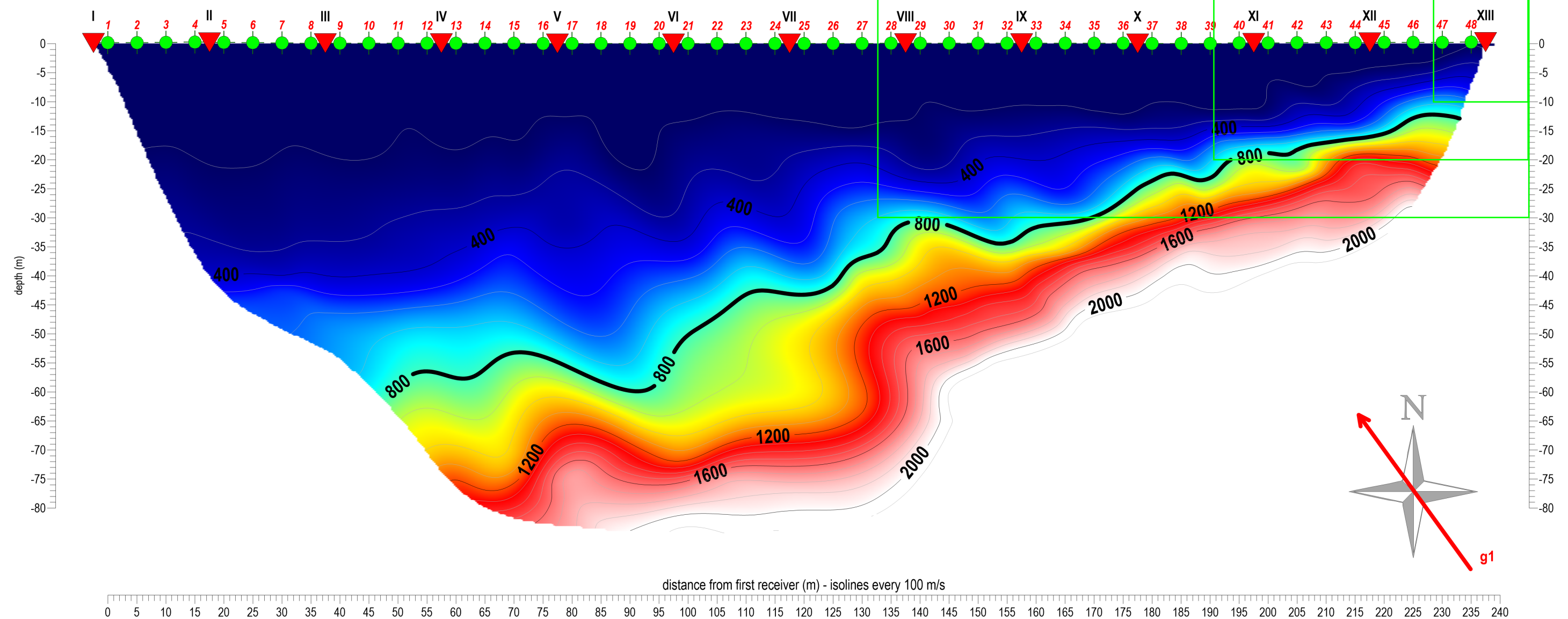
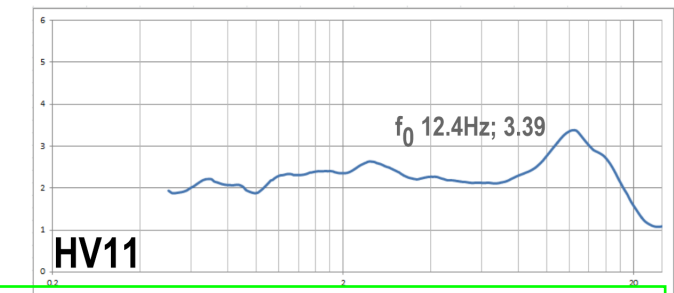
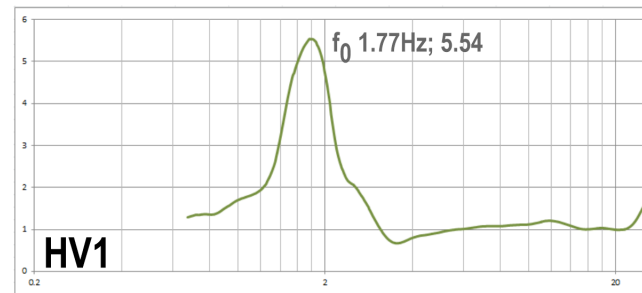
Sistema di coordinate:  
projection: UTM;  
datum: WGS84\_zone 32N  
coordinates: m



Line1  
SRT\_S waves

# SEISMIC REFRACTION TOMOGRAPHY (SRT)

Loc. Filettole, Comune di VECCHIANO (PI)



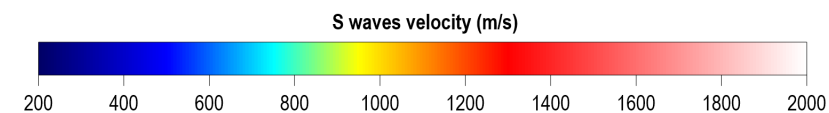
## Order informations

Customer: **Amm.ne Comunale di Vecchiano**  
Requested from: Dott. Geol. Roberto Balatri  
Order num: MS\_Vecchiano\_SRT  
Job reference: MS\_Vecchiano\_SRT  
  
Data acquisition: 27 Marzo 2023 \_ Dott. Luigi Allacorta  
Data processing: 06 Aprile 2023 \_ Dott. Luigi Allacorta  
Graphic table redaction: 06 Aprile 2023 \_ Dott. Luigi Allacorta

## Technical features

**S\_waves**  
instrument: DAQLink III s.n.1132  
channels: 48  
geophones/electrodes: horizontal, 4.5Hz  
geop./electr.s distance: x = 5.0m  
shots position: 13, 20.0 m spaced  
acquisition software: VSscope 2.59  
processing software: Rayfract, vers. 3.35  
sequences: -

## Chromatic scales



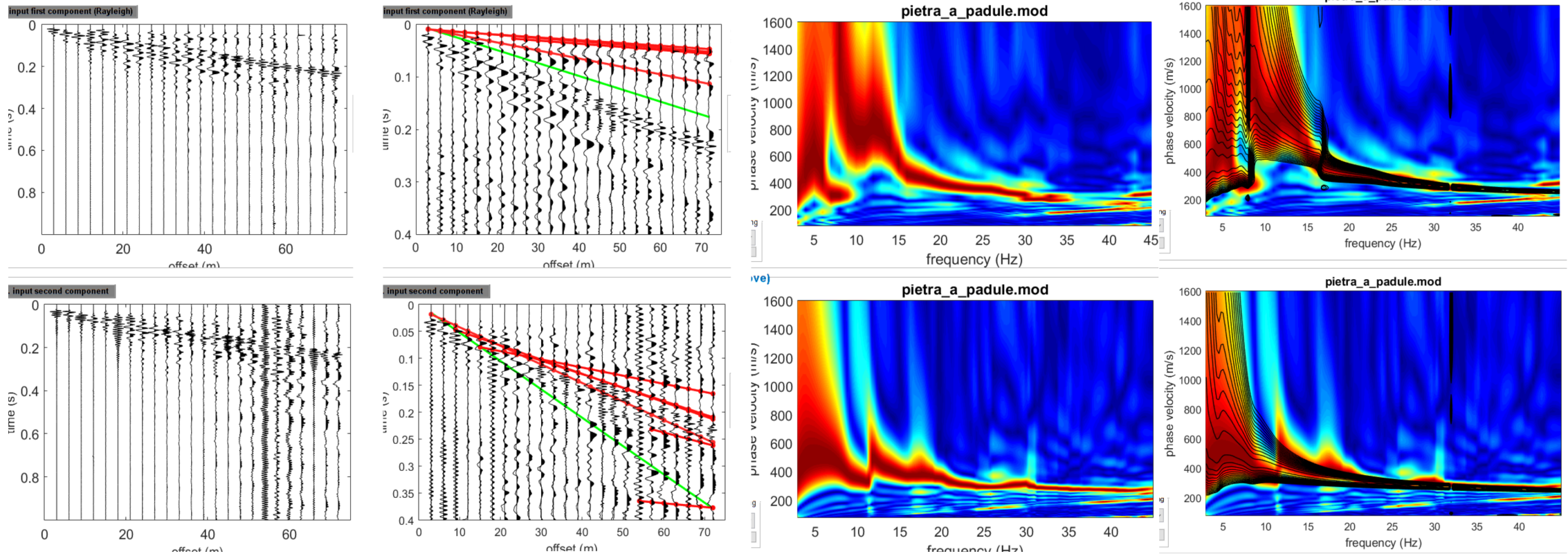
## Legend

- Geophones
- Shots position
- refractor with classic methods (wavefront or plus-minus)
- Log Vs from MASW
- Other seismic line
- DL posizione
- DL profondità rifiuto



# Multichannel Analysis of Surface Waves

inversione congiunta degli spettri della velocità di fase delle onde di Rayleigh e Love mediante modellazione Full Velocity Spectra



**sx:** sismogrammi **common shot gather** a 24 tracce (rappresentazione del dato acquisito nel dominio spazio-tempo), relativi all'acquisizione finalizzata alla registrazione delle onde di Rayleigh (componente verticale), ed alle onde di Love. RegISTRAZIONI ottenute per *stack* verticale di un numero minimo di 4 energizzazioni eseguite con mazza da 8kg, impatto verticale su piastra in acciaio per le Rayleigh (ZVF), impatto laterale su traversina di legno per le Love (THF). **dx:** ingrandimento sui primi arrivi rifratti con proiezione delle dromocrone sintetiche relative al modello sismo-stratigrafico ipotizzato. Il modulo di Poisson viene assegnato durante la modellazione in base alla tipologia di terreno (stima indicativa), mentre per gli strati più superficiali viene calibrato per riprodurre i primi arrivi rifratti (quando visibili); in caso di terreni sciolti saturi, il modulo Poisson viene calcolato per soddisfare la condizione  $V_p = 1500\text{m/s}$ .

**sx:** dati sperimentali, spettri delle velocità di fase delle onde di Rayleigh (alto) e Love (basso); **dx:** spettri sintetici ottenuti per modellazione diretta mediante analisi FVS (full velocity spectrum) delle velocità di fase delle onde di Rayleigh e Love (*contouring* nero), a confronto per sovrapposizione con i rispettivi spettri sperimentali (in scala colori).

## MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO

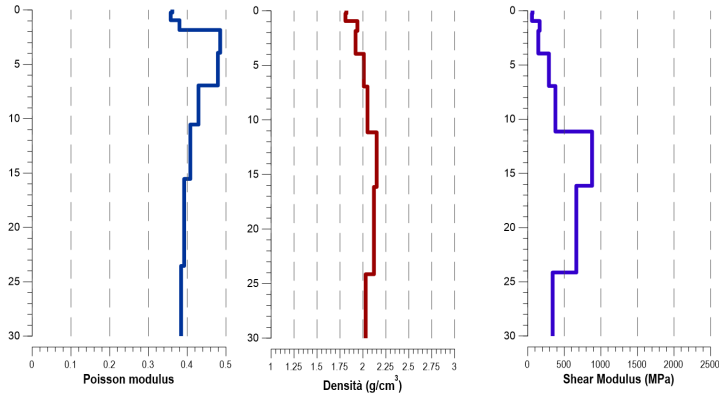
Layer	h (m)	Vs (m/s)	top (m)	bottom (m)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Poisson (adim.)
1	0.2	190	0.0	0.2	1.8	0.36
2	0.7	180	0.2	0.9	1.8	0.36
3	0.9	290	0.9	1.8	1.9	0.38
4	2.1	275	1.8	3.9	1.9	0.48
5	3.0	380	3.9	6.9	2.0	0.48
6	4.2	430	6.9	11.1	2.1	0.43
7	5.0	640	11.1	16.1	2.2	0.41
8	8.0	560	16.1	24.1	2.1	0.39
9		410	24.1		2.0	0.38

**Modello sismostratigrafico:** descrizione in termini di velocità e spessori della colonna sismo-stratigrafica. Gli strati profondi (prof.>30-35m) hanno valore puramente indicativo non essendo sufficientemente vincolabili, tuttavia risultano utili a guidare l'inversione verso un insieme di soluzioni geologicamente plausibili, escludendo quelle non compatibili con il contesto geologico. **Densità** secondo: Gardner, G.H.F., Gardner, L.W., Gregory, A.R., 1974. *Formation velocity and density-the diagnostic basic for stratigraphic trap*. Geophysics 39, 770–780.

## Configurazione di acquisizione

strumento: DAQLink III  
canali: 24  
sensori: vertical, horizontal 4.5Hz  
intertraccia sensori: x = 5.00 m  
posizioni di scoppio: -5.0m  
software di elaborazione: WinMasw Acd 2019

## MODULI DINAMICI

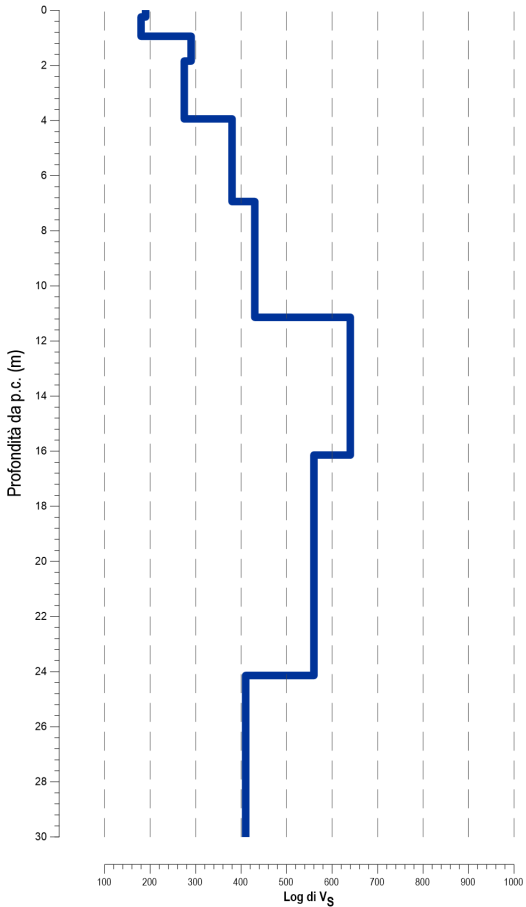


**Log di velocità delle onde di taglio** (profilo monodimensionale di velocità delle onde S); **Moduli di Poisson** assegnati al modello finale; **Densità** calcolata secondo Gardner et al. (1974), espressa in g/cm<sup>3</sup>; **Modulo di taglio**: noti Vs e Densità è possibile calcolare il modulo di taglio (espresso in MPa). È implicito che il valore dei moduli dinamici così derivati è puramente indicativo.

$V_{Seq}$  (m/s) -  
 $V_{S30}$  (m/s) **429**  
Profondità equivalente (m) **>30**

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

**Categoria di sottosuolo:** ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II (NTC2018 - DM del 17-01-18), si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s)



## VIA PIETRA A PADULE - Line 2\_masw

### Info Commessa

Commessa: Pietra a Padule  
Committente: Comune di vecchiano  
Sito: Via Pietra a Padule, Comune di Vecchiano (LU)  
Oggetto: sismica a rifrazione onde P+S

### Strumentazione

sismografo: Seismic Source DAQLink IV  
sensori: velocimetri verticali freq. 4.5Hz  
sorgente: mazza 8kg

### Acquisizione

data esecuzione: novembre 2023  
operatore: Allacorta/Caputo  
durata registrazione: 1.0s  
campionamento: 500ms (2000Hz)  
numero sensori: 24  
intertraccia: 3.0 m  
punti di sparo: 2

### Data processing

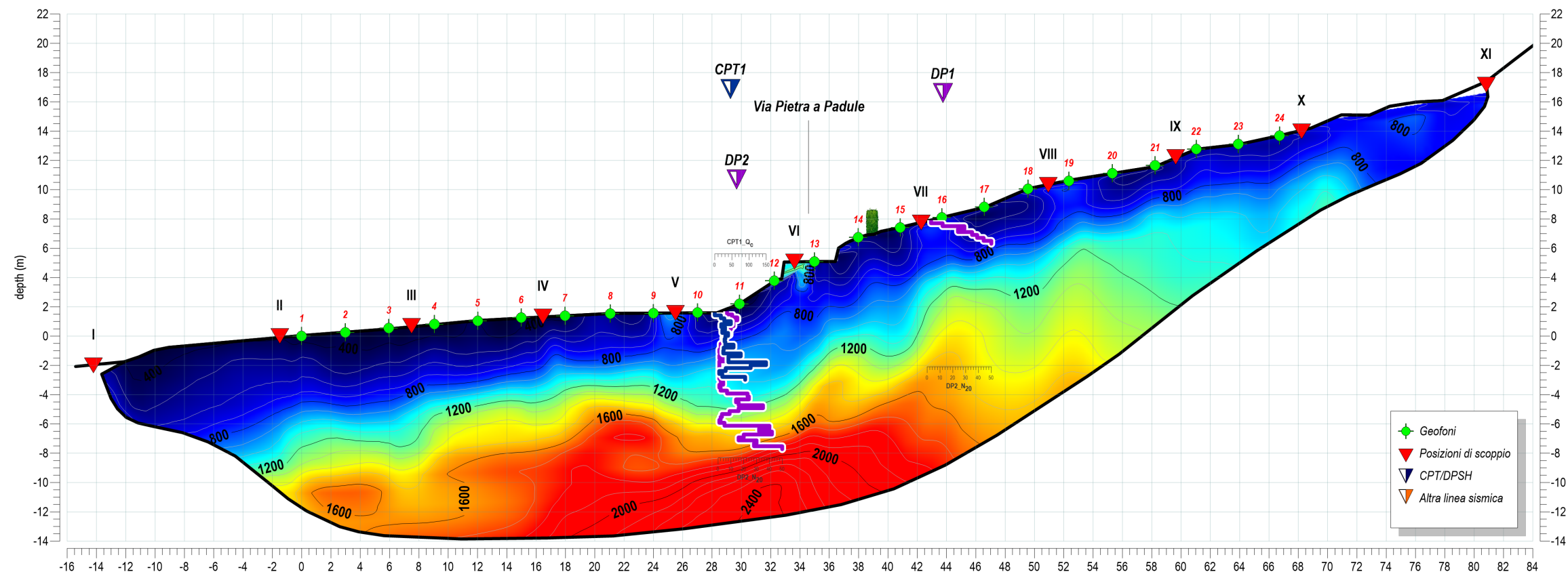
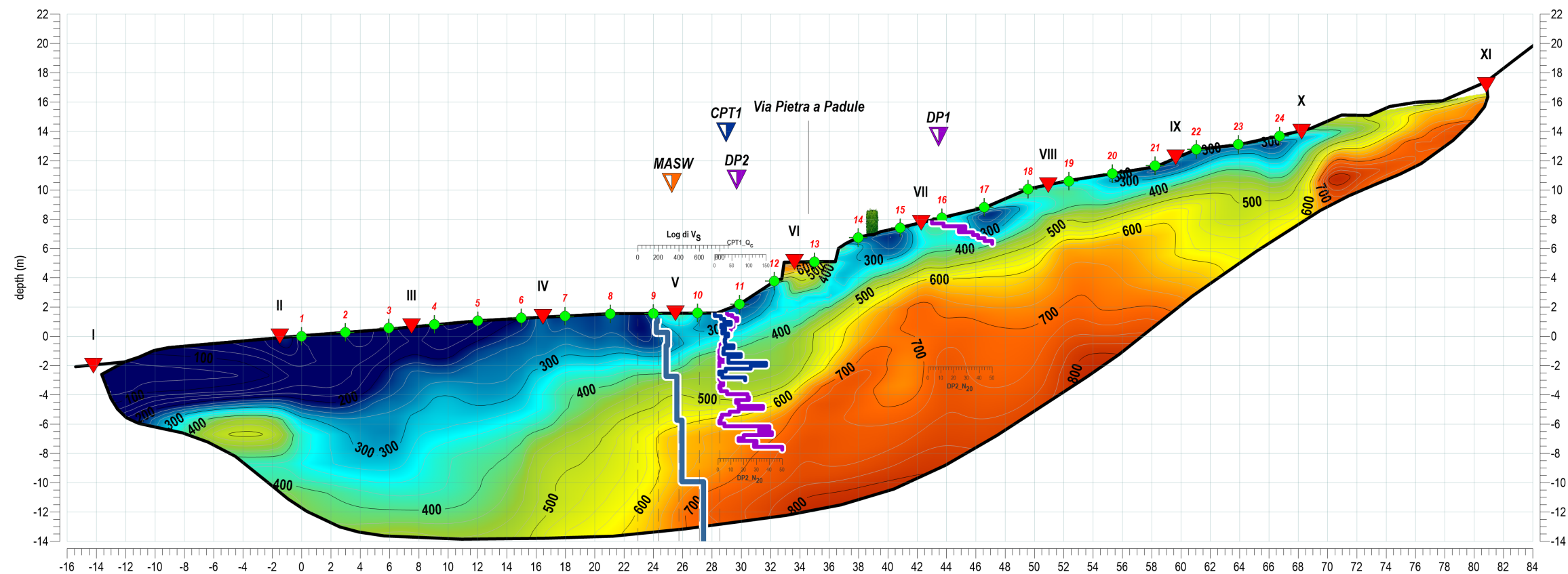
elaborazione: Dott. Luigi Allacorta  
data elaborazione: novembre 2023  
metodo di analisi: MASW  
software: WinMasw  
versione:





# SEISMIC REFRACTION TOMOGRAPHY (SRT)

Indagine sismica a rifrazione in onde di compressione (P) e taglio (S) mediante elaborazione tomografica



## VIA PIETRA A PADULE - Line 1\_ond P+S

### Info Commessa

Commessa: Pietra a Padule  
Committente: Comune di vecchiano  
Sito: Via Pietra a Padule, Comune di Vecchiano (LU)  
Oggetto: sismica a rifrazione onde P+S

### Strumentazione

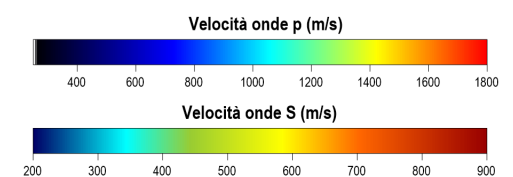
sismografo: DAQLink 4  
sensori: velocimetri orizzontali freq. 4.5Hz  
sorgente: trave +mazza 8kg

### Acquisizione

data esecuzione: novembre 23  
operatore: Allacorta/Caputo  
durata registrazione: 1.0s  
campionamento: 250ms (4000Hz)  
numero sensori: 24  
intertraccia: 3.0m  
punti di sparo: 11

### Data processing

elaborazione: Dott. Luigi Allacorta software: Rayfract  
data elaborazione: novembre 2023 versione: 4.05  
metodo di analisi: tomografia







**Project  
info**

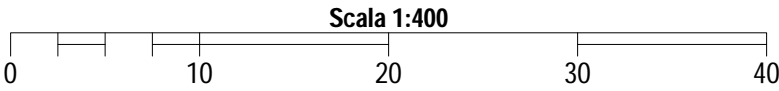
Client: **Comune di Vecchiano**  
Richiedente:  
Numero d'ordine: Frana\_Filettole  
Riferimento lavoro: Frana\_Filettole  
  
Acquisizione dati: 03 Ottobre 2022 \_ Dott. Luigi Allacorta/Dott. Geol. Caputo  
Data processing: 10 Ottobre 2022 \_ Dott. Luigi Allacorta  
Report: 10 Ottobre 2022 \_ Dott. Luigi Allacorta

**Technical  
features**

**S\_waves**  
strumento: DAQLink IV s.n.2407  
canali attivi: 24  
canali totali: horizontal, 4.5Hz  
geofoni/elettrodi: x = 2.50 m  
interdistanza geof./elett.: 9, 9.0 m spaced  
posizione shots: VScope 2.59  
software di acquisizione: Rayfract, vers. 4.02  
software di elaborazione: -

**Legenda**

- Geofoni linea SRT\_S
- Punti di scoppio
- CPT
- Geoelettrica 2012 (ERT)



**Sistema di coordinate:**  
projection: UTM;  
datum: WGS84\_zone 17S  
coordinates: m



# SEISMIC REFRACTION TOMOGRAPHY (SRT)

Indagine sismica a rifrazione in onde di taglio (S) mediante elaborazione tomografica



## SRT Via Cavallana - Line 1\_onde S

### Info Commessa

Commessa: Frana\_Filettole  
Committente: Comune di Vecchiano  
Sito: Loc. Castelletto, Filettole  
Oggetto: Frana Filettole

### Strumentazione

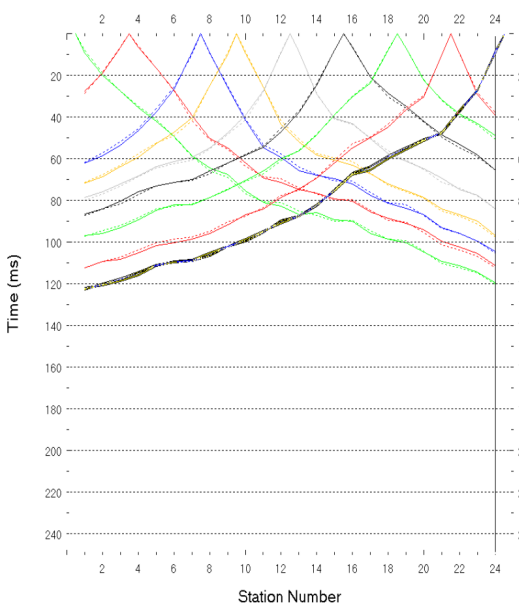
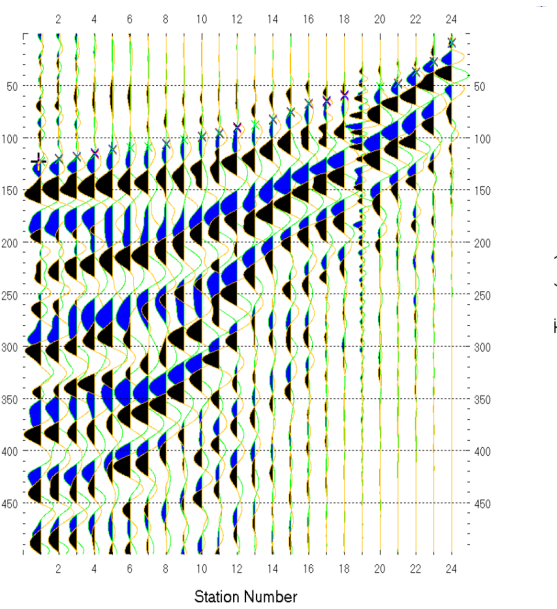
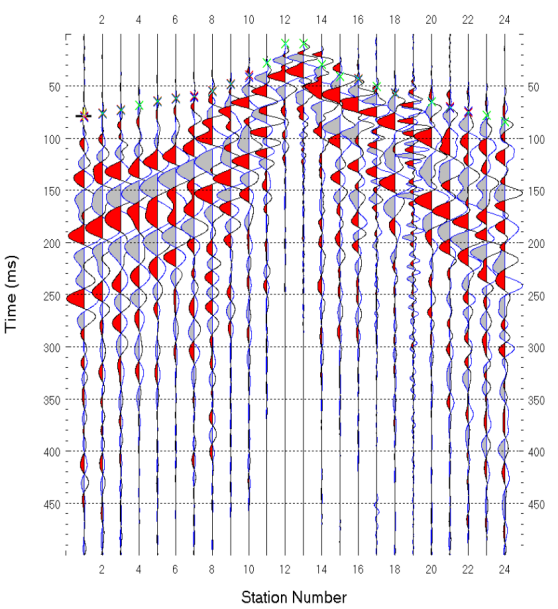
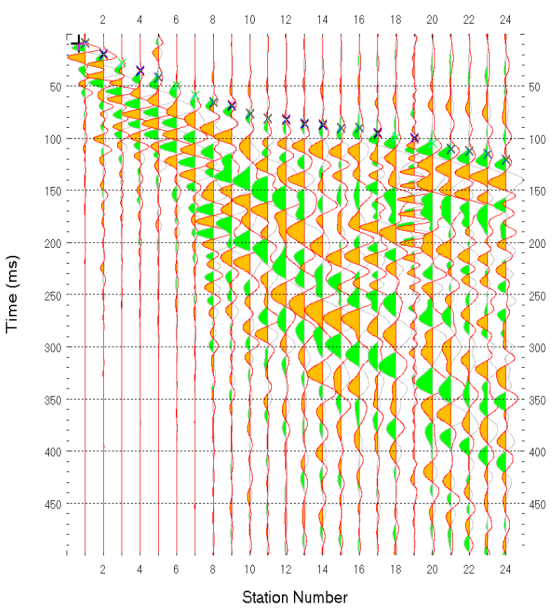
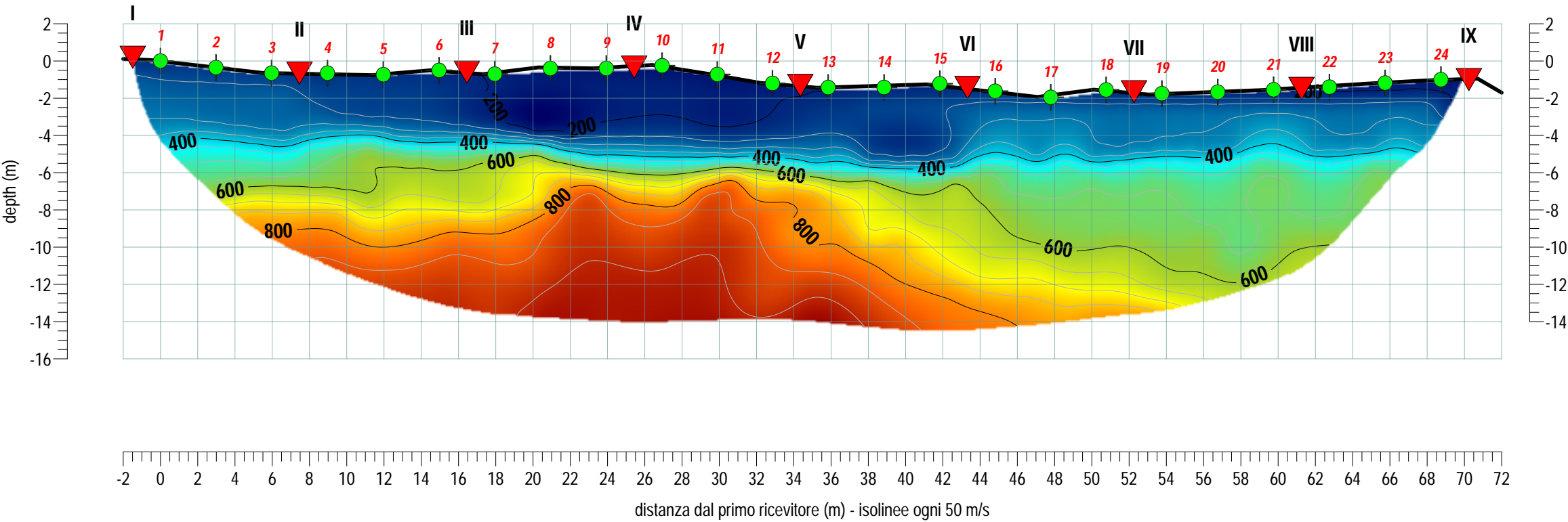
sismografo: Seismic Source DAQLink IV  
sensori: velocimetri orizzontali freq. 4.5Hz  
sorgente: mazza 8kg - trave in legno

### Acquisizione

data esecuzione: 03 ottobre 22  
operatore: Dott. Geol. Dorian Caputo  
durata registrazione: 1.0s  
campionamento: 250ms (4000Hz)  
numero sensori: 24  
intertraccia: 2.5 m  
punti di sparo: 9

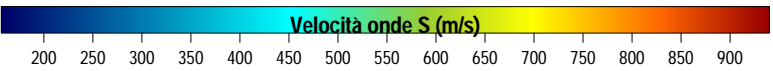
### Data processing

elaborazione: Dott. Luigi Allacorta  
data elaborazione: 10 ott 2022  
metodo di analisi: tomografia  
software: Rayfract  
versione: 4.02

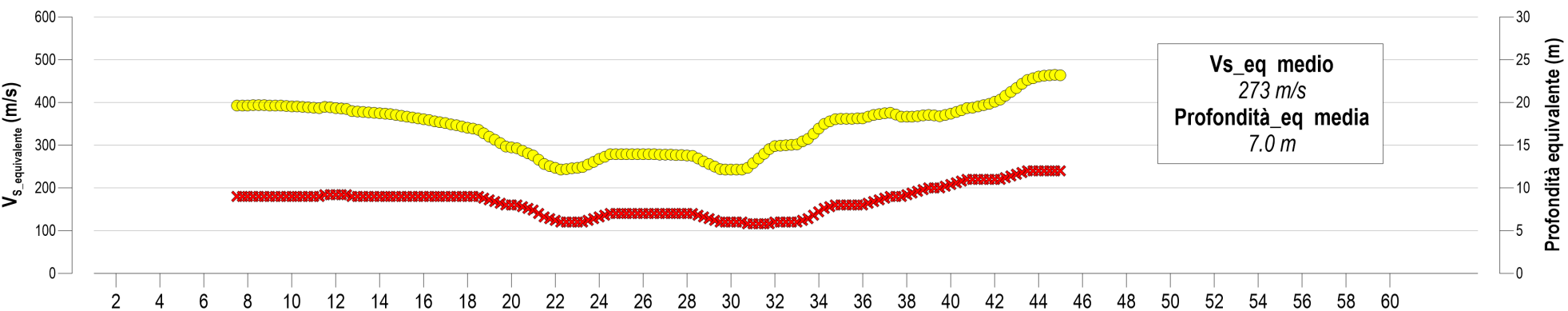
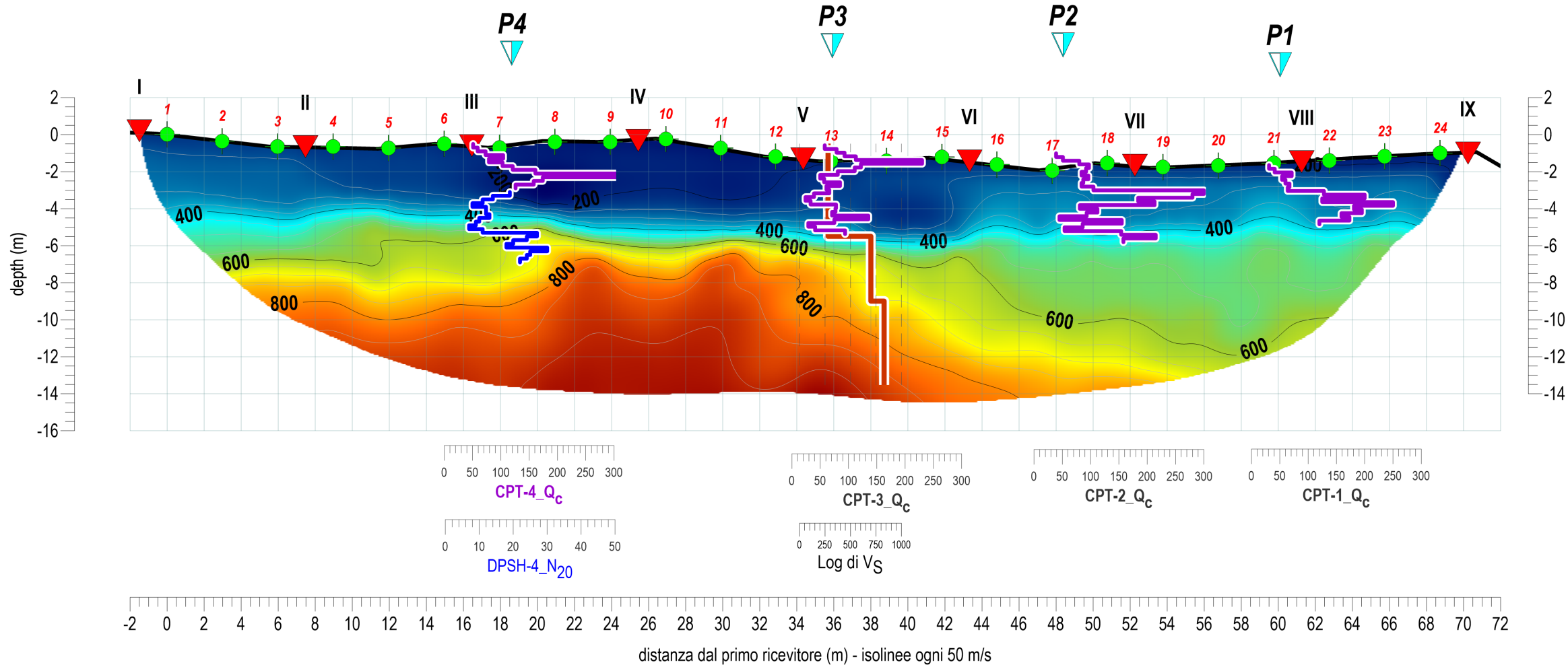


### Legenda

- Geofoni
- Altre linee sismiche
- Rifratore con metodi classici (GRM o plus-minus)
- Travellimes osservate (picking)
- Posizioni di scoppio
- Sondaggi a carotaggio
- Log Vs da metodi MASW
- Travellimes sintetiche (raytraced travellimes)
- Prove penetrometriche

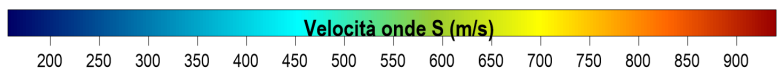






**Legenda**

- Geofoni
- Posizioni di scoppio
- Altre linee sismiche
- Sondaggi a carotaggio
- Prove penetrometriche
- Rifratore con metodi classici (GRM o plus-minus)
- Log Vs da metodi MASW
- Traveltimes osservate (picking)
- Traveltimes sintetiche (raytraced traveltimes)



**Info Commessa**

Commessa: Frana\_Filettole  
Committente: Comune di Vecchiano  
Sito: Loc. Castelletto, Filettole  
Oggetto: Frana Filettole

**Strumentazione**

sismografo:  
sensori:  
sorgente:

**Acquisizione**

data esecuzione: 03 ottobre 22  
operatore: Dott. Geol. Dorian Caputo  
durata registrazione: 1.0s  
campionamento: 250ms (4000Hz)  
numero sensori: 24  
intertraccia: 2.5 m  
punti di sparo: 9

**Data processing**

elaborazione: Dott. Luigi Allacorta  
data elaborazione: 10 ott 2022  
metodo di analisi: tomografia  
software: Rayfract  
versione: 4.02





# SEISMIC REFRACTION TOMOGRAPHY (SRT)

Indagine sismica a rifrazione in onde di taglio (S) mediante elaborazione tomografica



## SRT Via Cavallana - Line 1\_onda S

### Info Commessa

Commessa: Frana\_Filettole  
Committente: Comune di Vecchiano  
Sito: Loc. Castelletto, Filettole  
Oggetto: Frana Filettole

### Strumentazione

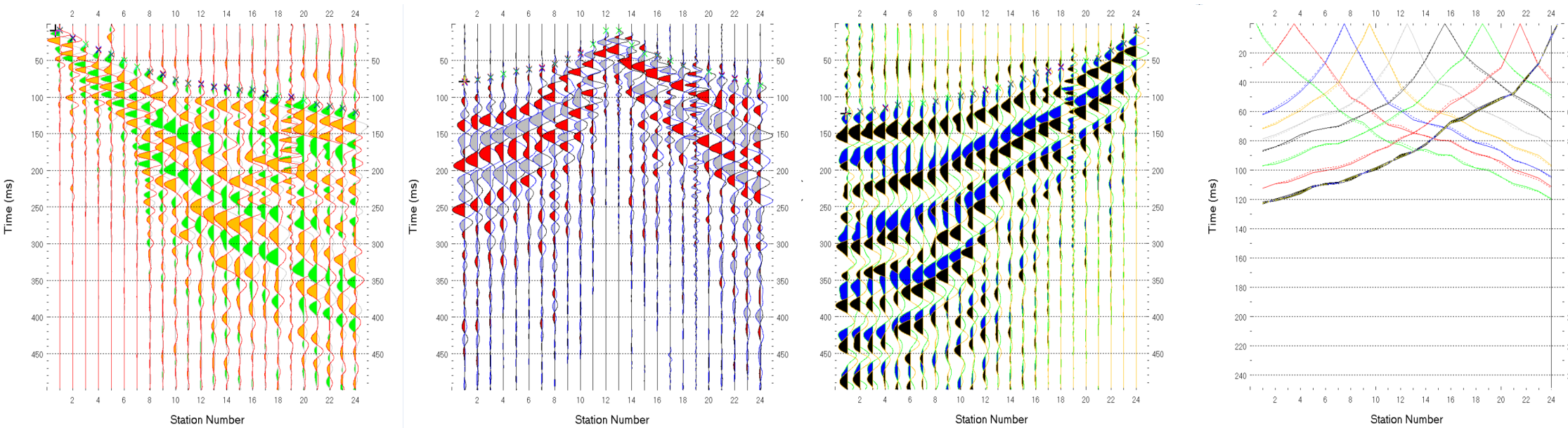
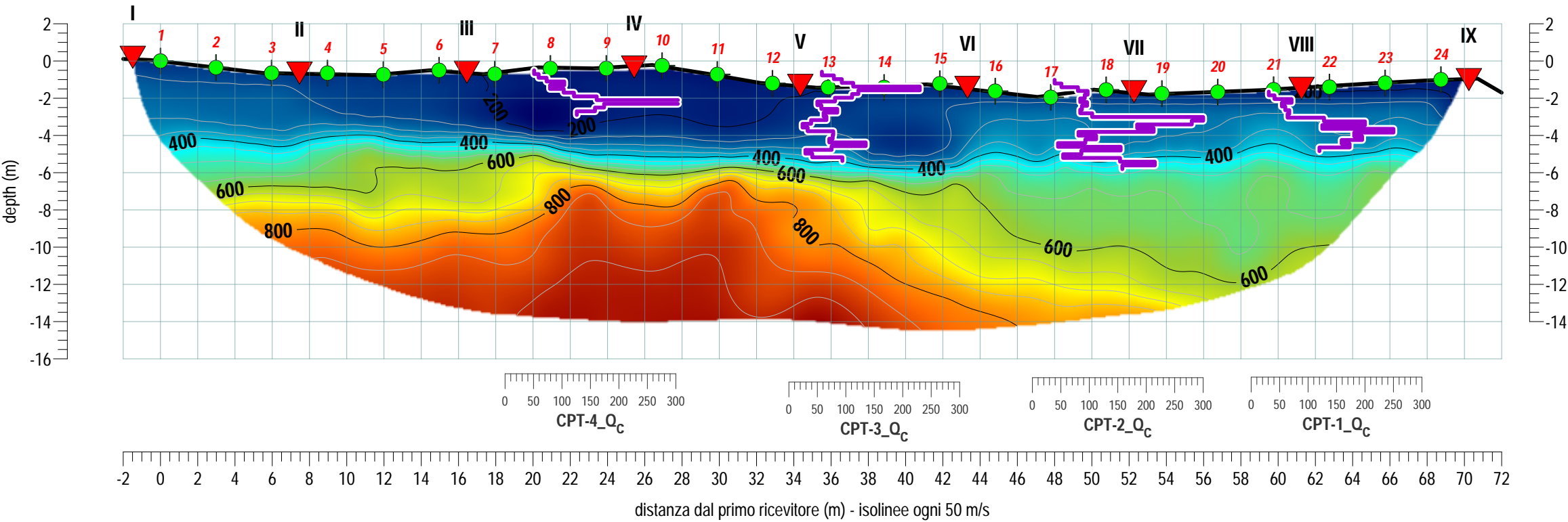
sismografo: Seismic Source DAQLink IV  
sensori: velocimetri orizzontali freq. 4.5Hz  
sorgente: mazza 8kg - trave in legno

### Acquisizione

data esecuzione: 03 ottobre 22  
operatore: Dott. Geol. Dorian Caputo  
durata registrazione: 1.0s  
campionamento: 250ms (4000Hz)  
numero sensori: 24  
intertraccia: 2.5 m  
punti di sparo: 9

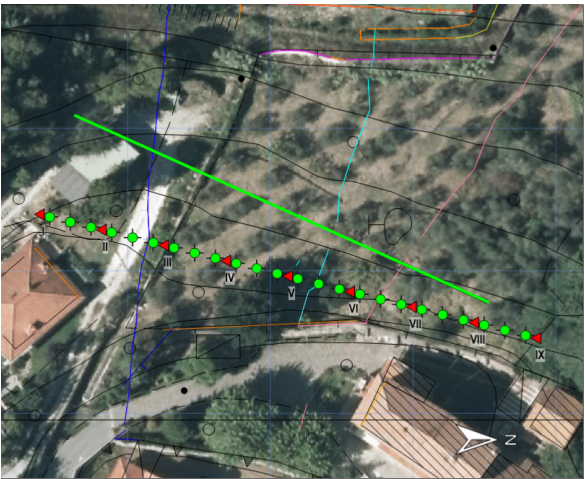
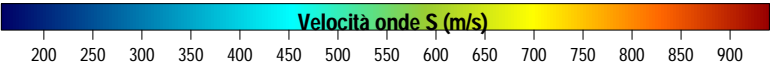
### Data processing

elaborazione: Dott. Luigi Allacorta  
data elaborazione: 10 ott 2022  
metodo di analisi: tomografia  
software: Rayfract  
versione: 4.02



### Legenda

- Geofoni
- Altre linee sismiche
- Rifratore con metodi classici (GRM o plus-minus)
- Traveltimes osservate (picking)
- Posizioni di scoppio
- Sondaggi a carotaggio
- Log Vs da metodi MASW
- Traveltimes sintetiche (raytraced traveltimes)
- Prove penetrometriche





# winMASW - Inversion of Surface-Wave Dispersion Curves

0092

## Main results

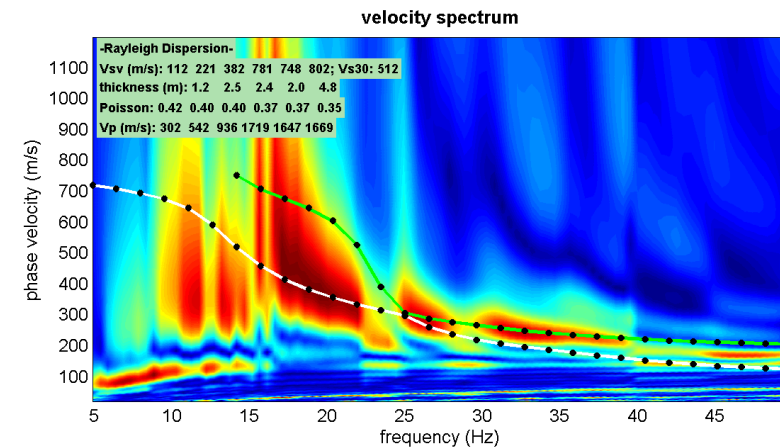
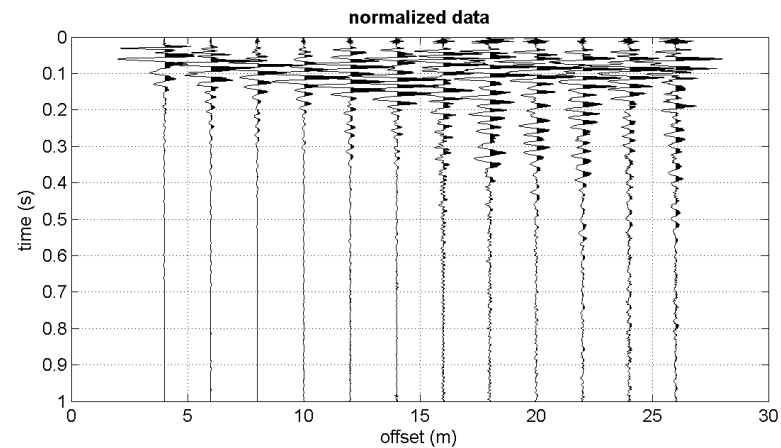
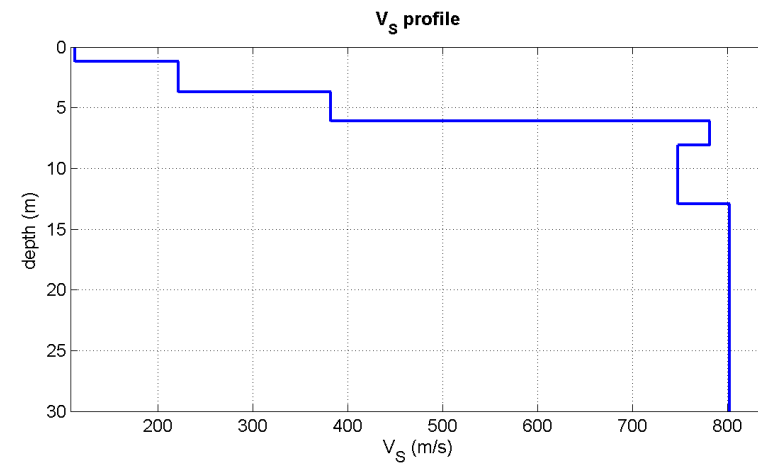
[www.winmasw.com](http://www.winmasw.com)

Date: 13 10 2014

Time: 11 1

Dataset: ZVfx2mo4.sg2





### Mean model

Vs (m/s): 112 221 382 781 748 802

Thickness (m): 1.2, 2.5, 2.4, 2.0, 4.8



Density (gr/cm<sup>3</sup>) (approximate values): 1.76 1.91 2.04 2.19 2.18 2.18

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 22 93 297 1333 1217 1401

Estimated static shear modulus (MPa) (approximate values): 0 0 0 0 0 0

Analyzing Phase velocities

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for V<sub>p</sub> and Poisson (please, see manual).

V<sub>p</sub> (m/s): 302 542 936 1719 1647 1669

Poisson: 0.42 0.40 0.40 0.37 0.37 0.35

V<sub>s30</sub> (m/s): 512

*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).

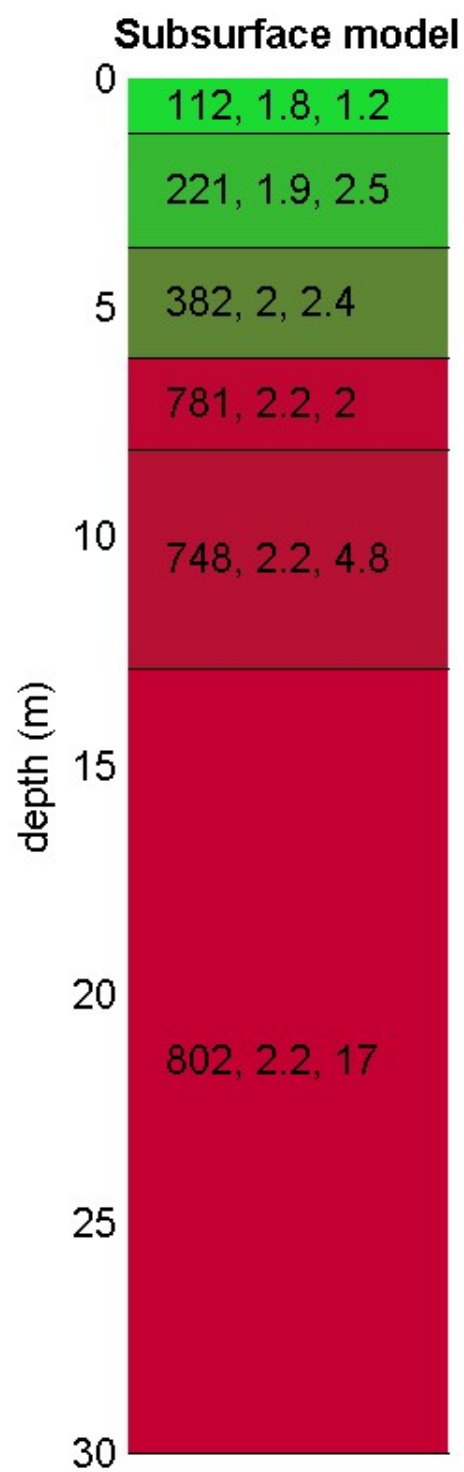
S1 - Depositati di terreni caratterizzati da valori di VS30 inferiori 100 m/s (ovvero  $10 < cu_{30} < 20$  kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includano almeno 3 m di torba o argille altamente organiche.

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](http://www.winmasw.com)





$V_s$	density	thickness
(m/s)	(gr/cm <sup>3</sup> )	(m)



# INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE ONDE "P" (passo 2,00 m - 24 canali)

COMMITTENTE: Amm. Com.le di Vecchiano  
LUOGO: Loc. Filettole, Vecchiano (PI)  
DATA: 04-01-2013

SCALA 1:250

## LEGENDA

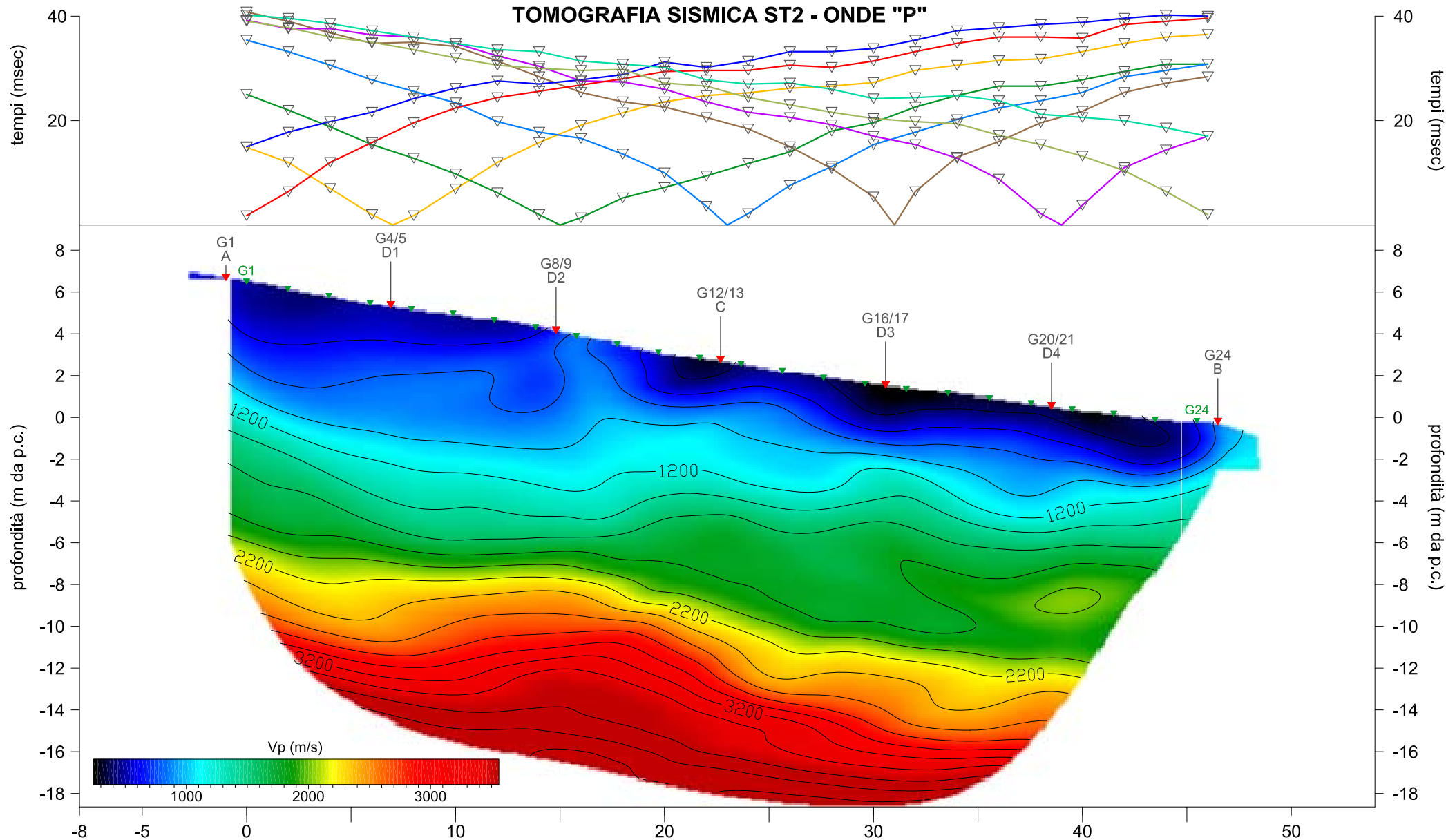
— Esterno Sinistro  
— Estremo Sinistro  
— Interno Sinistro  
— Interno Sinistro  
— Centrale  
— Interno Destro  
— Interno Destro  
— Estremo Destro  
— Esterno Destro

G1  
A Posizione scoppi  
G1  
▽ Posizione geofoni

0093



## TOMOGRAFIA SISMICA ST2 - ONDE "P"





# INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE ONDE "S" (passo 2,00 m - 24 canali)

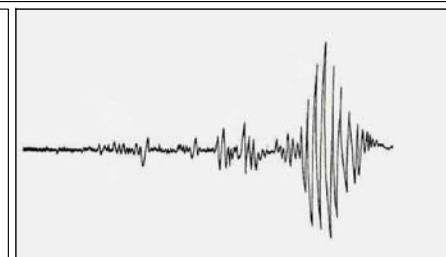
COMMITTENTE: Amm. Com.le di Vecchiano  
LUOGO: Loc. Filettolo, Vecchiano (PI)  
DATA: 04-01-2013

SCALA 1:250

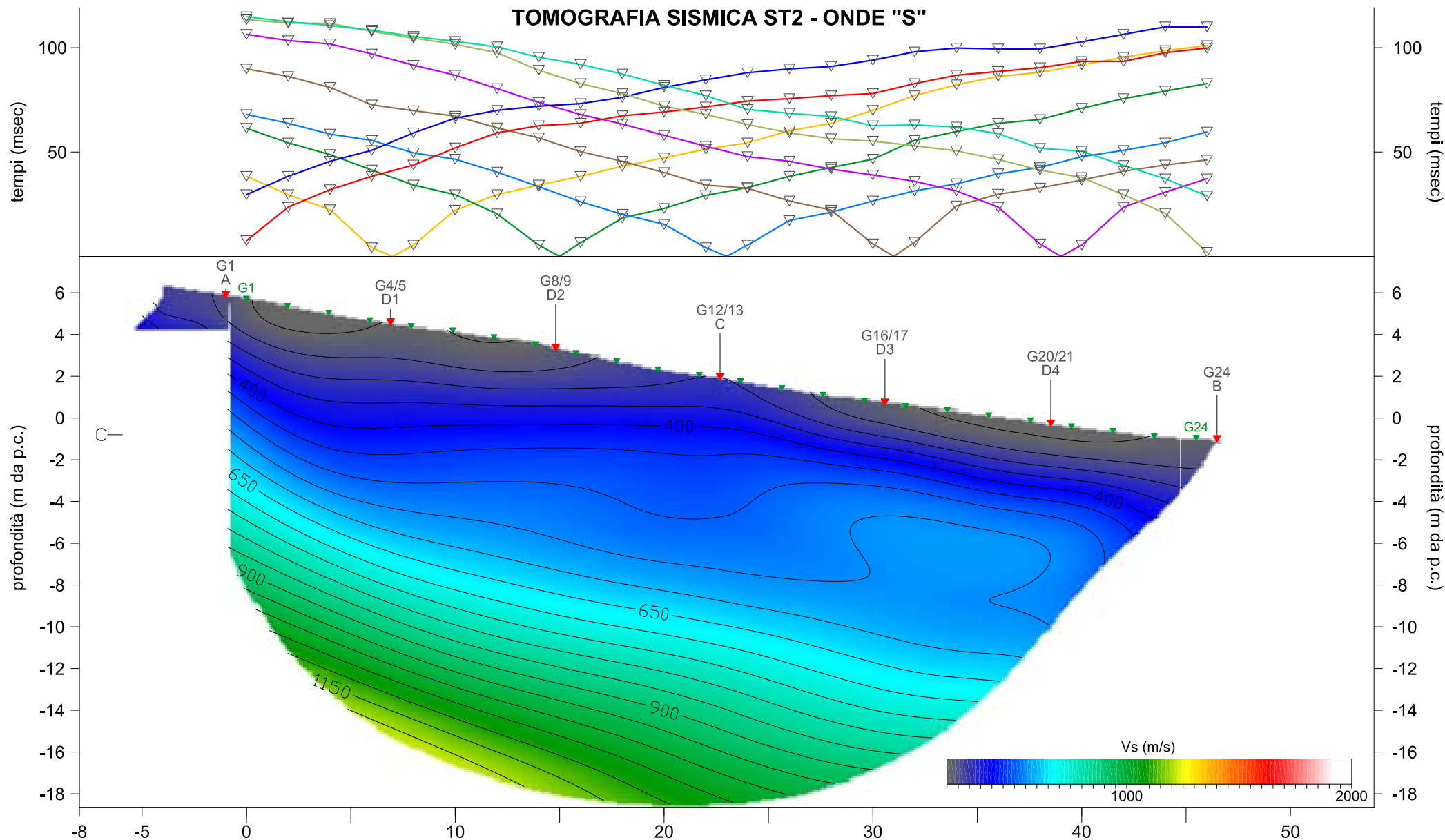
## LEGENDA

Esterno Sinistro  
Estremo Sinistro  
Interno Sinistro  
Interno Sinistro  
Centrale  
Interno Destro  
Interno Destro  
Estremo Destro  
Esterno Destro

G1  
A  
Posizione scoppi  
G1  
Posizione geofoni



## TOMOGRAFIA SISMICA ST2 - ONDE "S"





# INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE ONDE "P" (passo 2,00 m - 24 canali)

COMMITTENTE: Amm. Com.le di Vecchiano  
LUOGO: Loc. Filettolo, Vecchiano (PI)  
DATA: 04-01-2013

SCALA 1:250

## LEGENDA

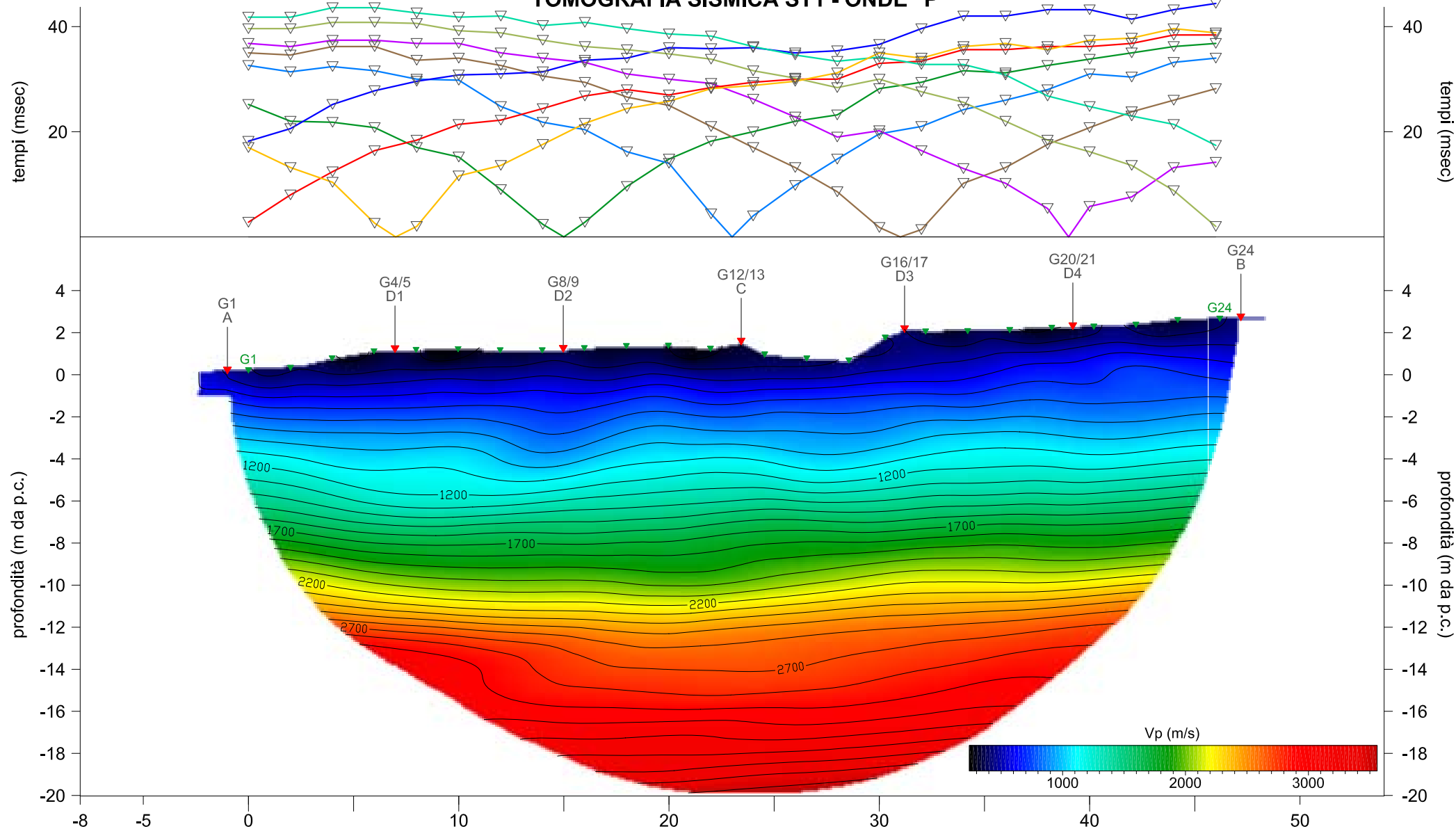
Esterno Sinistro  
Estremo Sinistro  
Interno Sinistro  
Interno Sinistro  
Centrale  
Interno Destro  
Interno Destro  
Estremo Destro  
Esterno Destro

G1  
A  
Posizione scoppi  
G1  
Posizione geofoni

0094



## TOMOGRAFIA SISMICA ST1 - ONDE "P"





# INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE ONDE "S" (passo 2,00 m - 24 canali)

COMMITTENTE: Amm. Com.le di Vecchiano  
LUOGO: Loc. Filettole, Vecchiano (PI)  
DATA: 04-01-2013

SCALA 1:250

## LEGENDA

Esterno Sinistro  
Estremo Sinistro  
Interno Sinistro  
Interno Sinistro  
Centrale  
Interno Destro  
Interno Destro  
Estremo Destro  
Esterno Destro

G1  
A  
Posizione scoppi  
G1  
▽  
Posizione geofoni



## TOMOGRAFIA SISMICA ST1 - ONDE "S"

