

**ITINERARIO "SALERNO – POTENZA – BARI"**

Adeguamento delle sedi esistenti e tratti di nuova realizzazione IV tratta  
da zona industriale Vaglio a svincolo S.P. Oppido S.S. 96

Codice CIG - 70219264A5

**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA**

**ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI**

IL PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI  
SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 12)

Dott. Ing. **GIORGIO GUIDUCCI**  
ORDINE INGEGNERI  
ROMA  
N° 14035

Dott. Ing. **GIORGIO GUIDUCCI**  
Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 14035



Dott. Geol. **Giuseppe Cerchiaro**

Ordine dei geologi della Calabria n. 528

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Arch. **Silvia Besozzi**

Ordine Architetti Provincia di Roma n. 10846

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Ing. **Massimiliano Fidenzi**

PROGETTAZIONE ATI:

(Mandataria)

**GPI INGEGNERIA**

GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl

(Mandante)



(Mandante)



(Mandante)



(Mandante)



**GEOLOGIA GEOTECNICA**

Parte generale

Relazione sulle indagini geologiche e geotecniche

Indagini geofisiche e geoelettriche

CODICE PROGETTO

LO714APF1801

NOME FILE

T00GE00GEORE06\_C

REVISIONE

SCALA

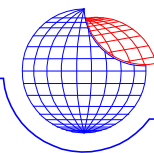
CODICE  
ELAB.

T00GE00GEORE06

C

-

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
C	Revisione	Feb. 22	Marino	Cerchiaro	Guiducci
B	Revisione	Dicembre'19	Marino	Cerchiaro	Guiducci
A	Emissione	Sett.'19	Marino	Cerchiaro	Guiducci



GEOFISICA  
MISURE S.n.c.

PROSPEZIONI E MONITORAGGI GEOFISICI SU TERRENI E MANUFATTI  
87075 Trebisacce (CS); Viale della Libertà, 132;  
tel./fax 0981 57110-489444 E-mail: info@geofisicamisure.it  
Par. IVA 02253910786; N. REA 0153033



ANAS — GRUPPO FS ITALIANE —

ITINERARIO "SALERNO-POTENZA-BARI"  
Adeguamento delle sedi esistenti e tratti di nuova  
realizzazione IV tratta da zona industriale di Vaglio  
a svincolo S.P. Oppido S.S. 96

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

INDAGINI GEOFISICHE

COMMITTENTE: GPIngegneria S.r.l.

I tecnici responsabili

Dr. Giuseppe Mainieri Dr. Giuseppe Ferraro

## SOMMARIO

<b>PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>CONTESTO DI INDAGINE.....</b>	<b>3</b>
<b>INDAGINI SISMICHE .....</b>	<b>3</b>
<b>PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE AD ONDE LONGITUDINALI (P) .....</b>	<b>5</b>
<b>PROSPEZIONI SISMICHE MASW .....</b>	<b>7</b>
<b>PROSPEZIONI SISMICHE IN FORO DEL TIPO “DOWN-HOLE” .....</b>	<b>8</b>
<b>INDAGINI GEOELETTRICHE MULIELETTRODICHE DI RESISTIVITA’ .....</b>	<b>10</b>
<b>ALTERNATIVA DI TRACCIATO Nord-Ovest .....</b>	<b>14</b>
<b>TRATTO DEL VALLONE TRICARICO .....</b>	<b>14</b>
<b>TRATTO “VALLONE DELLA BOTTE” .....</b>	<b>40</b>
<b>TRATTO TRA IL “TORRENTE CASTAGNA” E IL “VALLONE CIRIFUOLO” .....</b>	<b>45</b>
<b>TRATTO DEL “TORRENTE ALVO” .....</b>	<b>60</b>
<b>ALTERNATIVA “TRACCIATO Sud-Est” .....</b>	<b>70</b>



## PREMESSA

Nell'ambito del *Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica dell'Itinerario "Salerno-Potenza-Bari"*, adeguamento delle sedi esistenti e tratti di nuova realizzazione IV tratta da zona industriale di Vaglio a svincolo S.P. Oppido S.S. 96, la mandataria dell'ATI di progettazione GPIngegneria S.r.l. ci ha conferito l'incarico per l'esecuzione di una campagna di indagini geofisiche. Le attività sono state svolte lungo i tracciati di due ipotesi progettuali dove sono state realizzate prospezioni sismiche sia con metodo "a rifrazione" ad onde di compressione con elaborazione tomografica, che con analisi della dispersione delle velocità di fase delle onde superficiali di tipo attivo (*MASW*), finalizzate alla ricostruzione di profili verticali di rigidità e alla definizione delle categorie sismiche di sottosuolo attraverso il calcolo della media equivalente dei valori delle velocità delle onde di taglio. Sempre con metodo sismico, ma in foro, sono state eseguite misure con tecnica *Down-Hole*, che hanno consentito, nei sondaggi *S2* e *S12*, la misura di dettaglio del profilo di velocità delle onde di compressione e di taglio, con il calcolo dei moduli elastici dinamici del terreno fino a 35 m di profondità. Ulteriori indagini, finalizzate soprattutto alla ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo, sono state realizzate con metodo geoelettrico multielettrodo, mediante 7 profili tomografici di resistività, di cui 2 di essi con lunghezza di 150 m e 5 da 200 m.



Preparazione del profilo elettrodo TE02

## CONTESTO DI INDAGINE

Le due ipotesi di tracciato si sviluppano dal fondovalle del *Fiume Basento* (allaccio con la *E847 Basentana*) in direzione NE verso l'entroterra collinare caratterizzato da un assetto strutturale di catena a falde tettoniche sovrapposte (Unità tettoniche di Catena di *San Chirico*, di *Vaglio Basilicata* e *Groppa D'Anzi*), le cui strutture principali (trusths e pieghe) assumono tendenzialmente una direzione NW-SE, dislocate da faglie trascorrenti destre, trasversali alle direzioni di trasporto delle falde. Dal punto di vista litologico si rinvencono, alla base delle unità tettoniche, alternanze sedimentarie marine in facies di Flysch, prevalentemente pelitiche e pelitico-arenitiche, di età cretacico-paleogeniche. Successivamente su di esse si sedimentano, in trasgressione sui primi, i depositi post-orogeni Plio-pleistocenici (*Sintema di Tolve*), costituiti da successioni conglomeratico-sabbioso-argillose spesso tra loro eteropiche, di ambiente sia continentale che costiero e marino. Sui terreni visti sono diffusamente presenti fenomeni gravitativi, la cui evoluzione porta alla genesi di coltri di copertura con spessori molto variabili.

## INDAGINI SISMICHE

Come già citato in premessa, in vari tratti dei tracciati di progetto, sono state eseguite indagini con metodo sismico di superficie "a rifrazione" ad onde P e MASW, che con misure in foro mediante tecnica Down-Hole (sui sondaggi S2 e S12). Le misure hanno consentito di definire i caratteri sismo-stratigrafici dei tratti investigati e, con le opportune correlazioni, valutare gli spessori delle coltri di copertura e lo stato di degradazione delle formazioni affioranti.

### Caratteristiche delle apparecchiature

I segnali sismici sono stati digitalizzati mediante un Sismografo modulare Geometrics Geode a 24 x 2 = 48 canali, con conversione analogico-digitale a 24 bit, ad elevata dinamica, avente le seguenti caratteristiche principali:

- *Range dinamico: 144 dB di sistema.*
- *Distorsione: 0.0005 % @ 2.0 ms.*
- *Banda di acquisizione: 1.75-20.000 Hz.*
- *Accuratezza trigger: 1/32 del passo di campionamento.*

- *Impedenza: 20 Kohm.*
- *Filtri in acquisizione: LowCut: 10, 15, 25, 35, 50, 70, 100, 140, 200, 280, 400 Hz 24/48 dB/Octave, Butterworth. Notch: 50, 60, 180 Hz. HighCut: 32, 64, 125, 250, 500, 1000 Hz 24/48 dB/Octave.*
- *Intervallo di campionamento: 0.02, 0.03125, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 msec.*
- *Lunghezza di registrazione: 16.384 campioni.*
- *Pre-trigger: fino a tutta la lunghezza di registrazione.*
- *Delay: da 0 a 9999 ms in passi di una lunghezza di intervallo.*



**Acquisizione dati indagine sismica a rifrazione SR03**

Per il rilievo della velocità del moto del suolo sono stati utilizzati geofoni *Geospace*, con frequenza di oscillazione di 10 Hz (Onde P) e di 4.5 Hz (MASW).

Nelle indagini in foro (Down-Hole) sono stati utilizzati due sensori tridimensionali da foro tra loro intervallati di 2.0 m, di produzione *Geotomographie Gmb.*

L'energizzazione è stata realizzata mediante una mazza battente del peso di 9.0 kg, battente su un piattello metallico per la produzione delle onde di compressione; mentre per la genesi prevalente delle onde SH utilizzate nelle misure in foro, le battute sono state eseguite ai lati di una traversina in legno.

## PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE AD ONDE LONGITUDINALI (P)

### Tecnica di rilevamento

Gli stendimenti sismici “a rifrazione” sono stati realizzati utilizzando una spaziatura geofonica pari a 5.0 m, con un numero di canali tali da raggiungere le lunghezze previste. La prospezione SR04, elaborata anche con analisi MASW, è stata eseguita con spaziatura di 3.0 m. Altre due prospezioni, sulle cui basi geofoniche sono stati elaborati sia i dati a rifrazione che Masw (SR10Mw e Mw-R09), sono state realizzate a 2.0 m di spaziatura geofonica.

Profilo	Spaziatura geofonica	N. Canali	Lunghezza	Coordinata inizio (A) (WGS84-UTM N33)	Coordinata fine (B) (WGS84-UTM N33)
SR01A	5.0 m	16	80 m	579868.6 E 4500393.7 N	579925.7 E 4500393.7 N
SR01B	5.0 m	18	90 m	579920.2 E 4500356.1 N	580002.6 E 4500382.2 N
SR02	5.0 m	48	240 m	580337.0 E 4500808.5 N	580446.5 E 4501018.0 N
SR09	5.0 m	24	120 m	581460.2 E 4502268.7 N	581371.8 E 4502180.4 N
SR03	5.0 m	48	240 m	585339.5 E 4506817.0 N	585184.5 E 4506637.0 N
SR08	5.0 m	24	120 m	583255.5 E 4504500.1N	583376.5 E 4504512.4 N
SR10Mw	2.0 m	24	54 m	585507.6 E 4506906.5 N	585555.4 E 4506932.8 N
SR04Mw	3.0 m	24	78 m	588385.5 E 4508480.9 N	588318.5 E 4508449.9 N
SR05	5.0 m	24	120 m	588495.5 E 4508639.8 N	588434.6 E 4508536.4 N
MW-R09	2.0 m	24	54 m	587238.6 E 4506160.6 N	587197.5 E 4506124.4 N

Tabella delle geometrie relative agli stendimenti di sismica a rifrazione

### Elaborazione delle indagini sismiche “a rifrazione” ad onde P

I dati acquisiti dall’elaborazione dei sismogrammi costituiscono i primi tempi d’arrivo degli impulsi sismici longitudinali (onde di compressione) ai vari geofoni dello stendimento. Il metodo d’interpretazione utilizzato è stato del tipo tomografico, che ha consentito di evidenziare, in maniera migliore, eventuali variazioni laterali di velocità. Per l’elaborazione dei dati di campagna è stato utilizzato il software *RAYFRAC*, adatto per il *processing* di dati di profili sismici a rifrazione con *elevate* coperture, che consente di gestire reali contesti geologici. È stata utilizzata la tecnica d’inversione tomografica *WET* (Wavepath Eikonal Traveltime), che permette il calcolo delle traiettorie dell’onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell’*eikonal equation*, che esprime la propagazione dell’onda in un mezzo isotropo. Quindi, poiché utilizza le soluzioni di detta equazione, è considerata una tecnica ad alta frequenza, rapida ed efficiente. Per la rappresentazione della propagazione dell’onda la *WET* utilizza il concetto di “*volume di Fresnel*”, definito come l’insieme delle onde che hanno tempi di percorso differenti per al più mezzo periodo.

Attraverso calcoli iterativi viene aggiornato il modello di velocità e vengono ripetuti gli *step* definiti, fino al raggiungimento della convergenza.

Il software determina, tramite l'algoritmo per l'inversione tomografica *WET*, quella che è la soluzione ottimale. La bontà del modello dipende dalla geometria dello stendimento, dalle distribuzioni di velocità nel sottosuolo, dal numero e dalla posizione dei punti d'energizzazione (shots).

I risultati dell'elaborazione sono presentati in forma grafica nei seguenti elaborati:

- **Modello di velocità:** rappresenta il risultato ottimale ottenuto; le velocità sono rappresentate in scale cromatiche comprese tra il minimo ed il massimo valore determinato.
- **Modello del gradiente di velocità:** viene presentato mediante vettori, i cui moduli sono proporzionali alla loro lunghezza e in scala cromatica. Consente di verificare le variazioni di velocità, e quindi dei caratteri elastici del terreno, all'interno del modello; le superfici di separazione tra differenti orizzonti sismici tendono a collocarsi dove questo valore aumenta.
- **Percorso dei raggi sismici:** consente di verificare il percorso dei raggi sismici e, conseguentemente, la copertura raggiunta. Anche in questo caso la rappresentazione è ottenuta utilizzando una scala cromatica.
- **Diagramma delle dromocrone:** visualizza le dromocrone misurate in campagna con quelle calcolate (*cross*).



Acquisizione dati indagine sismica Masw MW03



## PROSPEZIONI SISMICHE MASW

Lungo i due tracciati in oggetto sono state realizzate 12 prospezioni sismiche con metodologia MASW. La tecnica di analisi si basa sullo studio della dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di tipo Rayleigh (R), nota in letteratura come *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW). Uno dei sismogrammi acquisito nello stendimento è oggetto di filtraggio per l'eliminazione delle alte frequenze e "depurato" dalle onde di volume, al fine di ottenere dei picchi d'ampiezza nelle oscillazioni relative alle onde di superficie. Successivamente si passa alla rappresentazione delle tracce sismiche su un diagramma che mette in relazione le frequenze con le velocità di fase. Su di esso s'individuano, come zone di massima ampiezza, gli allineamenti attribuibili alle onde di Rayleigh, da cui si ottiene la variazione delle velocità di queste ultime con il variare della loro frequenza, o lunghezza d'onda. Essendo la profondità di propagazione di questo tipo di onde dipendente dalla frequenza, sarà possibile correlare le velocità alle varie frequenze con le profondità. Quest'ultimo passo, successivo alla definizione della curva di dispersione, si ottiene mediante un processo d'inversione, che porta al risultato finale, costituito da un profilo verticale delle velocità delle onde trasversali ( $V_s$ ), posto al centro della stesa di geofoni.

Le velocità di fase delle onde di Rayleigh ( $V_r$ ), in un mezzo omogeneo, sono legate a quelle di volume dalla seguente relazione:

$$V_r^6 - 8V_s^2 V_r^4 + (24 - 16 V_s^2 / V_p^2) V_s^4 V_r^2 + (16 V_s^6 / V_p^6 - 1) V_s^6 = 0$$

In un mezzo non omogeneo le velocità delle onde di volume ( $V_p$  e  $V_s$ ) variano con la profondità. Le velocità di fase delle onde di Rayleigh mostrano velocità differenti per differenti valori di frequenza e sono fortemente legate ai valori delle velocità delle onde trasversali. Ciò consente di passare da modelli frequenza/velocità di fase delle onde di Rayleigh a modelli monodimensionali  $V_s$ /profondità.

Gli elaborati forniti contengono:

- la curva di dispersione della velocità di fase delle onde R in relazione alla frequenza;
- il profilo delle  $V_s$  al centro dello stendimento fino alla massima profondità di indagine;
- la tabella dei valori di  $V_s$  per orizzonti omogenei di velocità;
- la velocità equivalente delle onde di taglio ( $V_{seq}$ ).

<i>Indagine MASW</i>	<i>Spaziatura geofonica</i>	<i>N. Canali</i>	<i>Coordinate della verticale MASW (UTM 33N)</i>
MW1	2.0 m	24	X = 579434.7 E Y = 4500213.49 N
MW2	5.0 m	24	X = 580523.2 E Y = 4501104.8 N
MW3	5.0 m	24	X = 581098.02 E Y = 4501803.6 N
MW5	5.0 m	48	X = 585050.35 E Y = 4506421.37 N
MW6	5.0 m	24	X = 586842.40 E Y = 4507782.7 N
SR4 MW	3.0 m	24	X = 588352.21 E Y = 4508465.04 N
SR9 MW	2.0 m	24	X = 587217.0 E Y = 4506142.1 N
SR10 MW	3.0 m	24	X = 585532.84 E Y = 4506920.15 N
MW11	2.0 m	24	X = 579697.05 E Y = 4500648.23 N
MW12	2.0 m	24	X = 588529.8 E Y = 4508908.0 N
MW13	2.0 m	24	X = 584976.14 E Y = 4506292.78 N
MW14	2.0 m	24	X = 581388.2 E Y = 4502196.7 N

**Tabella delle posizioni delle verticali di indagini MASW**

### **PROSPEZIONI SISMICHE IN FORO DEL TIPO “DOWN-HOLE”**

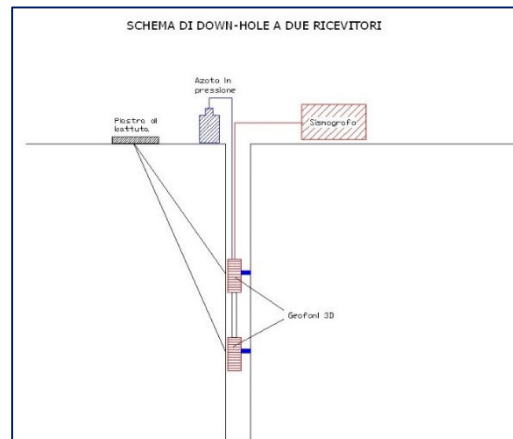
I fori di sondaggio in cui sono state realizzate le misure sismiche in foro con tecnica Down-Hole (DH-S2 e DH-S12), sono stati condizionati con tubo in PVC, opportunamente cementati, in modo da rendere solidale il tubo con il terreno circostante e quindi possibile il transito delle oscillazioni elastiche dal terreno ai sensori contrastati alla parete. L'energizzazione per la generazione delle onde di compressione (P) è stata realizzata con mazza di 9 Kg battente su piattello metallico. Per facilitare la generazione ed il rilievo delle onde trasversali con adeguata componente sul piano orizzontale (SH) si è utilizzato una traversina in legno, opportunamente ancorata, producendo impatti laterale. Sono state effettuate, quindi, per ogni stazionamento, due energizzazioni per le onde S (con inversione di fase), con piano di oscillazione prevalentemente orizzontale, e una verticale per la generazione prevalente delle onde P. Le energizzazioni sono state realizzate ad una distanza di 2.0 metri dai boccafori dei due sondaggi.

La tecnica Down-Hole si basa sulla determinazione dei tempi d'arrivo delle onde di volume, rilevate dai sensori all'interno del foro, generate in superficie in prossimità del boccaforo. I tempi di arrivo sono stati calcolati, per ogni intervallo di misura, come differenza dei tempi totali d'arrivo ai due sensori tra loro distanziati di due metri. Essendo le differenze calcolate relative ad un singolo evento di energizzazione, si sono annullati eventuali errori relativi alla partenza esatta della registrazione.

L'intervallo di avanzamento della sonda all'interno del tubo è stato fissato a 1 metro, in maniera tale da avere una misura ogni metro. Nelle tabelle allegate sono riportati i valori dei tempi d'arrivo relativi alle onde P e S, i tempi corretti sulla verticale ( $T'_p$  e  $T'_s$ ), per tenere conto della distanza del punto di energizzazione dal foro di sondaggio, i valori delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  relativi all'intervallo

corrispondente ed infine i principali moduli elastici dinamici: il coefficiente di Poisson ( $\nu$ ), il modulo elastico (E), il modulo di taglio (G) e il modulo di incompressibilità o di Bulk (K). I valori dei pesi di volume ( $\gamma$ ) sono indicativi.

Alcuni di questi dati sono presentati anche in forma grafica: nel primo grafico sono riportate le velocità delle onde longitudinali (P) e trasversali (S) d'intervallo (istogrammi), mentre nel secondo grafico sono riportati i valori dei coefficienti di Poisson alle varie profondità. Nel terzo diagramma sono stati individuati, sulle dromocrone, i tratti che mostrano caratteri omogenei di velocità (pendenze) e, di conseguenza, sono stati determinati i valori medi rappresentativi dei singoli sismostrati. Nell'ultimo grafico sono riportati i valori dei moduli elastici per ciascun sismostrato omogeneo.

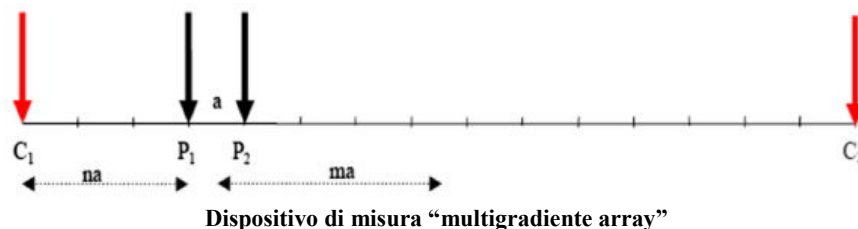


**DH-S2. Inserimento della doppia terna di sensori nel foro.**

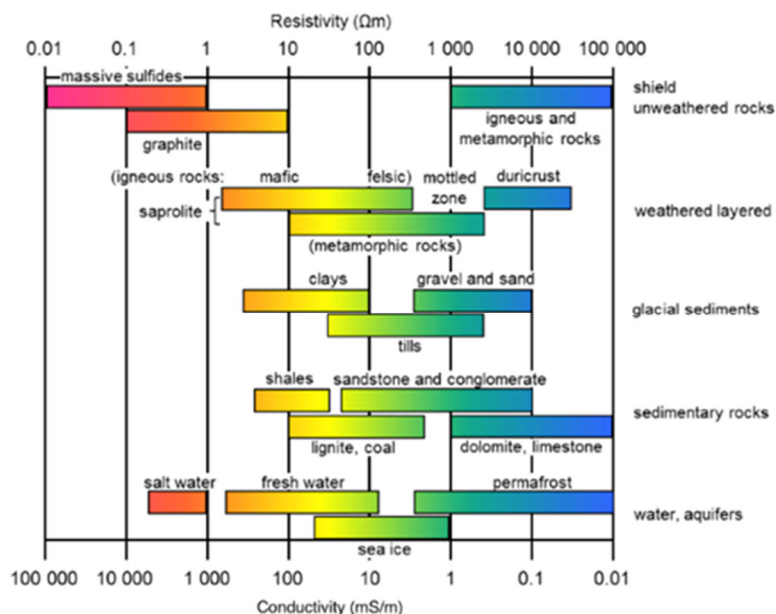
## INDAGINI GEOELETTICHE MULIELETTRODICHE DI RESISTIVITA'

**Metodo della resistività.** Il metodo geoelettrico con misura della resistività, si basa sulla misura della resistenza elettrica opposta dal terreno al passaggio di una corrente elettrica appositamente prodotta mediante l'ausilio di un apparato energizzante. Questo invia corrente con una certa intensità ad appositi elettrodi infissi nel terreno. Il potenziale elettrico generato dal campo così prodotto, viene misurato utilizzando altre coppie di elettrodi mediante l'uso di un potenziometro di alta precisione. Conoscendo la posizione degli elettrodi di corrente rispetto a quelli in cui viene misurata la differenza di potenziale (elettrodi di potenziale) sarà possibile calcolare la resistività apparente del terreno. Nel metodo multielettrodico si dispone di un adeguato numero di elettrodi che vengono alternativamente utilizzati sia come elettrodi di corrente che come elettrodi di potenziale, in maniera da ottenere un elevato numero di misure di resistività disposte lungo un allineamento in varie posizioni e profondità, in maniera da ottenete dei profili di resistività apparenti. Nel nostro caso, sono state utilizzate stese con distanze elettrodeiche di 3.0 m (TE02 e TE03) utilizzando 51 elettrodi, tale da coprire una distanza di 150m ciascuna. Altre prospezioni sono state eseguite con distanza geofonica pari a 2.5m, utilizzando 81 elettrodi di acquisizione per lunghezze di 200m per ciascun profilo.

Sono stati utilizzati quattro canali di acquisizione simultanea dei valori di potenziale, energizzando su due elettrodi di corrente ed effettuando ogni lettura di potenziale generato coppie di elettrodi con dispositivo di tipo *Multiple Gradient Array*, dove le coppie di elettrodi di potenziale,  $P_1$  e  $P_2$ , sono interni rispetto a quelli di corrente ( $C_1$  e  $C_2$ ), non necessariamente simmetrici. Questo dispositivo è particolarmente sensibile al rilievo delle variazioni verticali di resistività.



Le misure di campagna sono state realizzate in maniera automatica, ma con il costante controllo dei dati in acquisizione. Il valore della corrente immessa è variato tra i 200 e 500 mA. La disposizione multielettrodica utilizzata ha permesso, in fase di elaborazione, di operare a software al fine del calcolo delle resistività reali delle stese elettrodeiche (inversione 2D), tale da fornire informazioni sulle resistività reali dei terreni per la definizione di modelli bi-dimensionali (tomografie di resistività).



Acque ed effetto del contenuto in sale	
Acqua pura	$10^6$
Acque naturali	$1 \div 10^3$
Acqua di mare	0,2
Sale 20%	$5 \cdot 10^{-2}$
Granito 0% di acqua	$10^{10}$
Granito 0,19% di acqua	$10^6$
Granito 0,31% di acqua	$4 \cdot 10^3$

Valori indicativi della resistività e conduttività elettrica per vari tipi di terreno e acquiferi

Nel contesto litologico in esame i valori di resistività saranno fortemente legati alla presenza di sedimenti fini all'interno del terreno. In particolare la presenza dell'argilla determina una rapida diminuzione della resistività, causata dalla conduzione delle cariche elettriche sulle superfici dei fillosilicati. In misura minore si riscontra anche per i limi, mentre in corrispondenza dei sedimenti grossolani (sabbie e ghiaie) c'è da aspettarsi valori di resistenza elettrica specifica più elevate. Tendenzialmente aumenti di resistività sono da prevedere anche con l'aumento della componente calcarea nei sedimenti pelitici (marne) e dove sono presenti intercalazioni litoidi, quali le areniti, diaspri ecc.

**Processo di elaborazione dei modelli.** Il passaggio dai valori di resistività apparente, misurati in campagna, a modelli bi-dimensionali di resistività reale del terreno, è stato eseguito tramite l'inversione dei dati utilizzando un apposito software (*RES2DINV*). L'inversione consiste nel produrre dei modelli di resistività reale ipotetici su cui vengono calcolati dei valori sintetici di resistività apparenti in relazione al tipo di array utilizzato. I valori calcolati sono confrontati, in cicli

iterativi, con quelli misurati, fino a che l'errore può essere considerato minimo. Quindi, i modelli finali di resistività reale, saranno quelle che producono valori apparenti calcolati che più si avvicinano a quelli misurati. Più le sezioni apparenti calcolate si avvicinano a quelle misurate, migliore sarà l'attendibilità dei modelli di resistività reali finali. Il processo di inversione non ha comunque soluzioni univoche. Al fine di migliorarne il risultato è opportuno tenere conto del contesto di indagine, adottando dei vincoli che l'algoritmo può supportare al fine di ridurre l'incertezza del processo di elaborazione. Nel nostro caso si è scelto di adottare processi di inversione che prevedano variazioni graduali di resistività, in maniera da tenere conto e rilevare le variazioni litologiche nei terreni che, come visto, sono caratterizzati da variazioni della componente pelitica, che influisce molto sui caratteri di conducibilità elettrica. Tale soluzione è scaturita da alcuni tentativi di elaborazione, che in prima analisi sono stati effettuati con un metodo di inversione "robust" (passaggi di resistività netti), ma i modelli risultanti erano caratterizzati da una eccessiva omogeneità. Per cui si è preferito elaborare il modello 2D, attraverso l'ausilio di algoritmi che prevedano passaggi graduali di resistività ( $L_2$  norm).

**Attrezzature.** Le misure di resistività apparenti in campagna sono state realizzate mediante un georesistivimetro, a quattro canali con isolamento galvanico, di costruzione *ABEM* modello *Terrameter LS2*, per misure di resistività, polarizzazione indotta e potenziale spontaneo, con le seguenti caratteristiche:

- *Selezione automatica o manuale della corrente immessa: da 0.20 fino a 2500 mA;*
- *Energizzazione con tensione max: 600 V (1200 V peak-peak);*
- *Potenza max: 250 W;*
- *Accuratezza della trasmissione di corrente: 0.4 %;*
- *Lunghezza dell'impulso di corrente: 0.1 %;*
- *Impedenza: 30 M $\Omega$ , min;*
- *Risoluzione: 3 nV;*
- *Accuratezza  $dV/I$ : 0.2 %;*
- *Precisione  $dV/I$ : 0.1 %.*

Per eseguire le misure in configurazione multielettrodo il sistema è fornito di un selettore automatico, capace della gestione contemporanea di 81 elettrodi. Gli elettrodi infissi nel terreno, in acciaio inox, sono stati connessi al selettore tramite cavi multicore.

<i>Profilo</i>	<i>Spaziatura elettrodica</i>	<i>N. elettrodi</i>	<i>Lunghezza</i>	<i>Coordinata inizio (A) (WGS84-UTM N33)</i>	<i>Coordinata fine (B) (WGS84-UTM N33)</i>
TE01	3.0 m	50	150 m	580618.7 E 4501273.5 N	580705.2 E 4501397.9 N
TE02	3.0 m	50	150 m	580813.9 E 4501511.9 N	580904.8 E 4501631.6 N
TE03	2.5 m	41	200 m	583269.7 E 4504338.7 N	583338.2 E 4504525.9 N
TE04	2.5 m	81	200 m	582321.6 E 4499596.6 N	582224.5 E 4499422.5 N
TE05	2.5 m	81	200 m	582993.3 E 4500374.1 N	583142.3 E 4500507.3 N
TE09	2.5 m	81	200 m	587196.1 E 4506066.1 N	587258.9 E 4506257.2 N
TE11	2.5 m	81	200 m	579732.1 E 4500677.5 N	579871.1 E 4500833.5 N

**Tabella delle geometrie relative agli stendimenti di geoelettrica**



**Acquisizione delle misure di resistività sul profilo TE02**

## ALTERNATIVA DI TRACCIATO Nord-Ovest

### TRATTO DEL VALLONE TRICARICO

Il tratto di tracciato investigato all'interno del *Vallone Tricarico*, riguarda due differenti contesti geolitologici, derivanti da un assetto caratterizzato da una struttura a thrusts, il cui elemento principale decorre trasversalmente alla valle e delimita un settore nord-orientale (*Unità tettonica di Vaglio B.*) dove si rinvencono affioramenti in gran parte appartenenti alla *Formazione del Flysch Rosso* (peliti prevalenti, caratterizzate da argille e argilliti, localmente più o meno marnose), che tettonicamente è sovrapposto ai depositi più recenti, appartenenti all'*Unità di Groppa D'Anzi*, affioranti verso Sud-Ovest. Quest'ultima zona è stata investigata sia sul versante sinistro (MW01 e SR01), che sul versante in destra orografica, con una indagine geoelettrica tomografica (TE11) e una prospezione sismica Masw (MW11). In queste aree i terreni appartengono a formazioni marine prevalentemente pelitiche, costituite da marne e marne calcaree (*Formazione di Corleto Perticara*), passanti verso l'alto ad associazioni di facies arenitico-pelitiche, costituite da areniti con intercalazioni argilloso-marnose (*Formazione di Paola Doce*), dove ricade la prospezione sismica a rifrazione SR01. Nel settore più occidentale del tracciato è stata eseguita anche una prospezione sismica in foro (DH-S2).

**Prospezione SR01.** La base sismica come prevista è impostata a cavallo di una dorsale secondaria, ad andamento trasversale al Vallone Tricarico, sul cui versante settentrionale ricade il citato sovrascorrimento. A causa di difficoltà logistiche, è stato necessario eseguire due linee sismiche separate: la prima (SR01A) coincidente con la prima parte dell'ubicazione prevista, impostata sul lato meridionale e sulla sommità della dorsalina. Il secondo tratto, ubicato circa 70 m a SSE, comprende parte del versante meridionale, la sommità della dorsale e parte del suo versante settentrionale.

I modelli di velocità risultanti dall'inversione, sono tra loro ben correlabili lateralmente. Vi si riscontra un orizzonte superficiale relativamente spesso (da 5 m a 7 m circa) caratterizzato da valori di  $V_p$  in media pari a 550 m/sec, attribuibile al suolo (>500 m/sec) e ad una coltre di forte fratturazione e alterazione della compagine arenitico-pelitica che costituisce il substrato. Il secondo orizzonte elastico, che ha l'isolinea di base a 1400 m/sec, dove si osserva un lieve incremento del gradiente di velocità, può essere associato ad un orizzonte litologico sempre interessato da un forte stato di fratturazione, ma leggermente meno disarticolato da quello più superficiale. Da notare l'importante approfondimento della base di questo orizzonte sul versante sud-occidentale (parte iniziale dei modelli), dove la compagine è da prevedersi più intensamente "allentata", evidentemente anche a causa delle condizioni morfologiche sfavorevoli (maggiore acclività); anche se questa condizione



sembra continuare anche in profondità, denotando un fattore geologico strutturale come ulteriore motivo della minore rigidità rispetto al versante opposto. Al di sotto di questo orizzonte, tra 1400 e 2300 m/sec, si rileva un gradiente relativamente elevato nella parte centrale e terminale del modello SR01A, mentre nella parte iniziale e in tutto il modello SR01B, si osserva una condizione di maggiore omogeneità e spessore per questo intervallo di velocità. Considerate le litologie, i valori di velocità delle onde di compressione riscontrati in media pari a circa 1780 m/sec, denotano anche per questo terzo orizzonte una importante condizione di fratturazione della compagine, che diviene meno spinta o caratterizzata da condizioni di degrado meccanico minori, solo oltre i 10-12 m di profondità nella parte centrale e terminale del modello SR01A e oltre i 15-18 m per il modello SR01B.

L'indagine sismica MASW MW01, rientra sempre sul versante sinistro del basso Vallone Tricarico, ma su un contesto geolitologico caratterizzato dal prevalere della componente pelitica (*Formazione di Corleto P.*). Il profilo di Vs vede la presenza di un primo orizzonte a bassa velocità, con Vs media di 239 m/sec, attribuibile a depositi eluvio-colluviali e/o di frana, con spessore pari a 6.3 m. Segue un orizzonte in cui si riconosce un graduale aumento dei valori di Vs, che raggiunge i 568 m/sec a 18.6 m di profondità. Questo orizzonte elastico è riferibile alle peliti del substrato che assumono un grado di fratturazione e allentamento via via meno intenso con la profondità, fino a raggiungere un orizzonte omogeneo molto spesso, la cui base è posta a 42.6 m di profondità, che assume un valore medio di Vs pari a 653 m/sec, attribuibile ad una compagine pelitica molto consistente. L'ulteriore incremento a tale profondità indica la presenza di una componente marnosa o arenitica prevalente, con caratteri litoidi o semi-litoidi (Vs=1002 m/sec). Condizioni del profilo di rigidità del tutto analoghe e correlabili come interpretazione, si sono riscontrate nel MASW11, ricadente nello stesso contesto litologico, ma sul versante destro del Vallone Tricarico.

Tabella dei moduli elastici dinamici medi SR01 – MW01

	<i>Coltre superficiale di forte alterazione</i>	<i>Alternanza pelitico- arenitica fessurata</i>	<i>Alternanza pelitico-arenitica</i>	<i>Alternanze marnoso- arenitiche</i>
Coefficiente di Poisson $\mu$	0.384	0.383	0.422	0.400
Velocità onde longitudinali Vp (m/sec)	550	1120	1780	2450
Velocità onde trasversali Vs (m/sec)	239	488	653	1002
Peso di volume $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.85	2.00	2.20	2.20
Modulo di Young Edin (Mpa)	298.1	1342.8	2720.1	6302.5
Modulo di Rigidità G (Mpa)	107.7	485.5	956.3	2251.6

**Tomografia di resistività elettrica TE11.** Ricade sul versante destro del Vallone Tricarico, a poca distanza verso Nord dal Masw MW11, in zona di affioramento della *Formazione di Corleto Perticara* in passaggio alla *Formazione di Paola Doce*. La stesa elettroica, costituita da 41 elettrodi intervallati

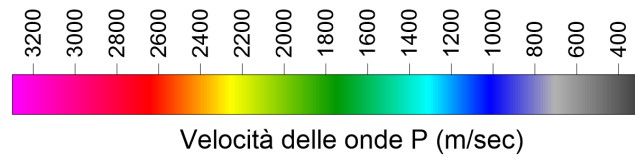
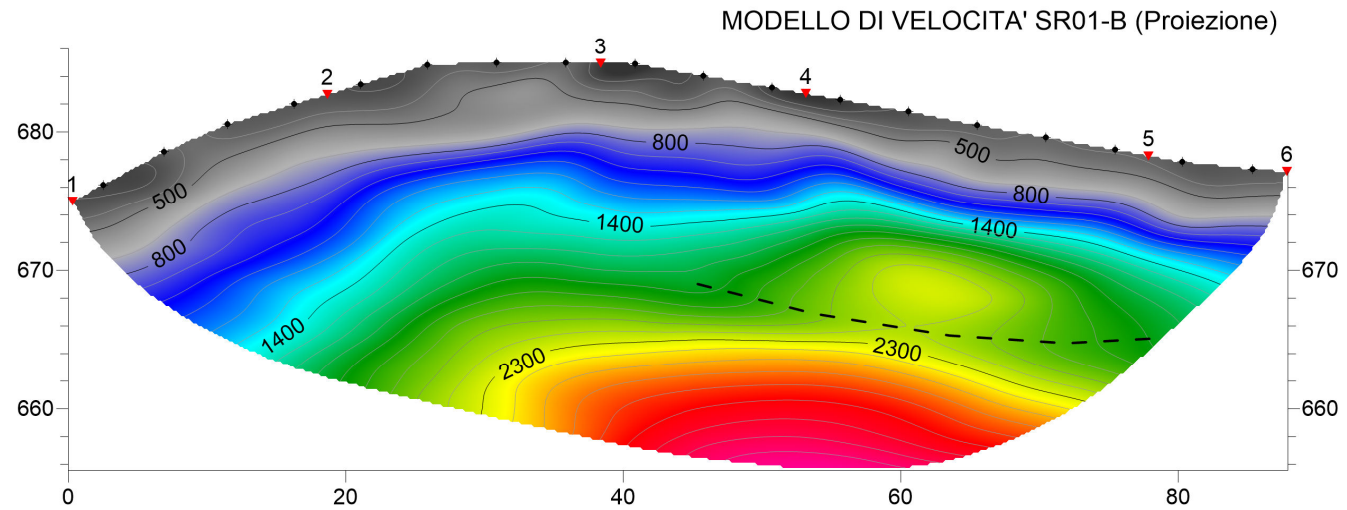
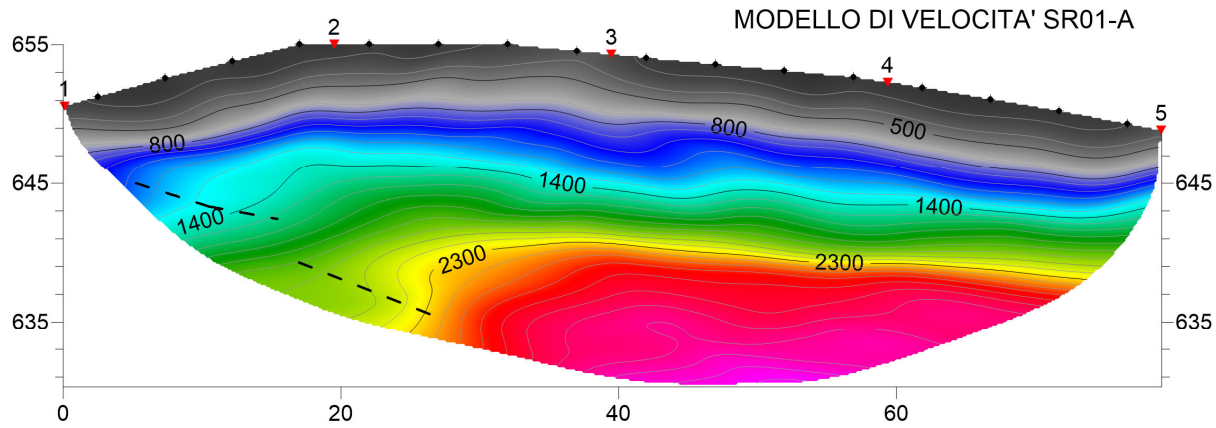
di 2.5 m per una lunghezza complessiva di 200 m, ha consentito una profondità di investigazione di circa 20 m con un array di misura *multiple gradient*. I valori di resistività elettrica risultanti dall'elaborazione dell'inversione, rientrano in un range molto contenuto, in gran parte compresi tra 0.5 e 5.0  $\Omega\text{m}$ , attribuibili a terreni prevalentemente argillosi e argilloso-limosi. Si nota solo un leggero aumento dei valori della resistenza elettrica specifica con la profondità (5-6  $\Omega\text{m}$ ), presumibilmente legata all'aumento della componente calcarea e/o alla presenza di livelli arenitici. Valori un po' più elevati si osservano nel tratto iniziale del modello, fino alla progressiva 40 m, imputabile sempre alle stesse cause; e in un livello superficiale (coltre eluvio-colluviale) discontinuo di litologia limoso-sabbiosa.



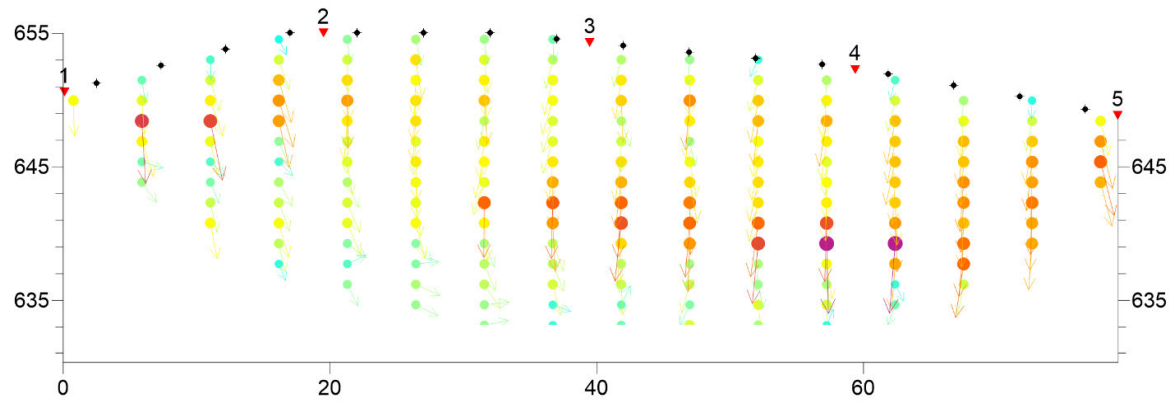
**Acquisizione delle misure di sismica a rifrazione SR01**



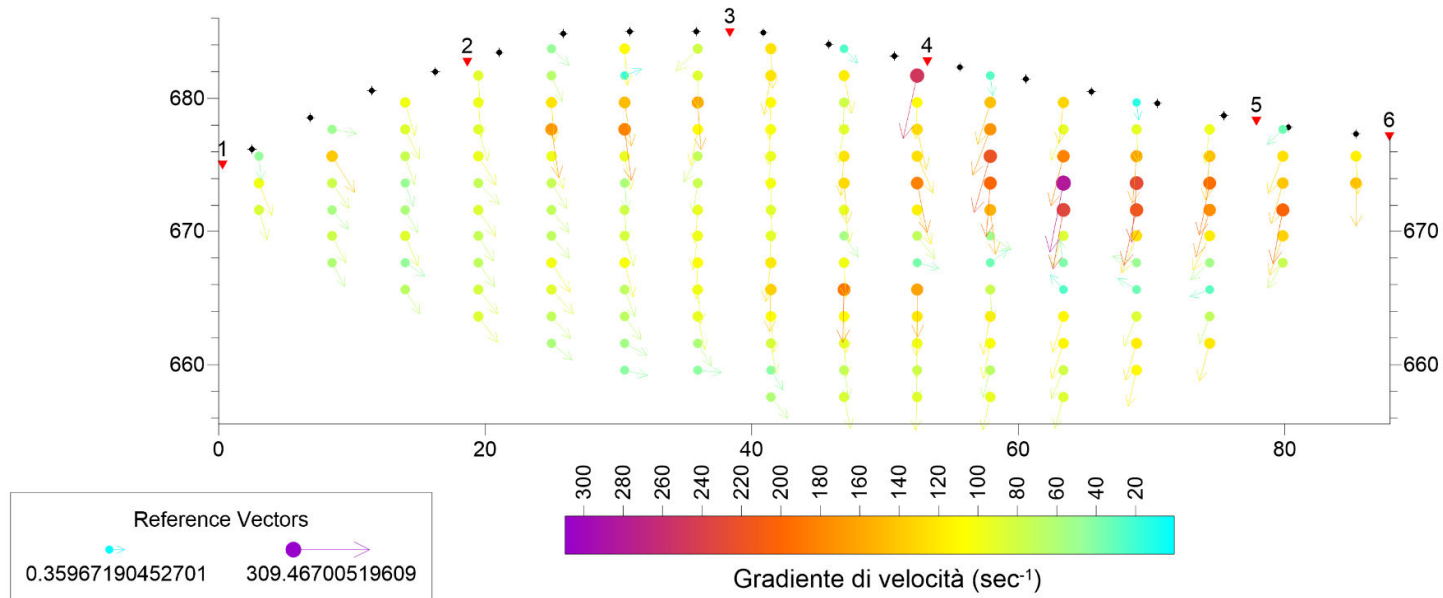
**Acquisizione delle misure di sismica MASW Mw01**



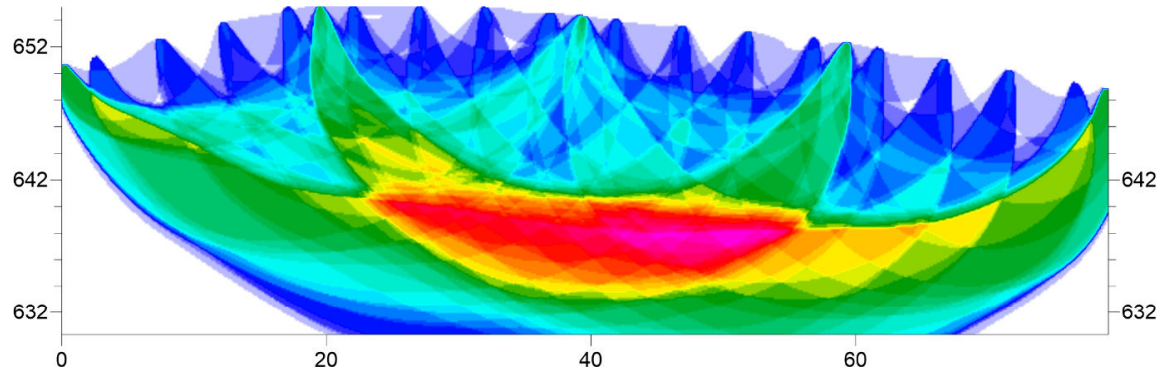
MODELLO DEL GRADIENTE DI VELOCITA' SR01-A



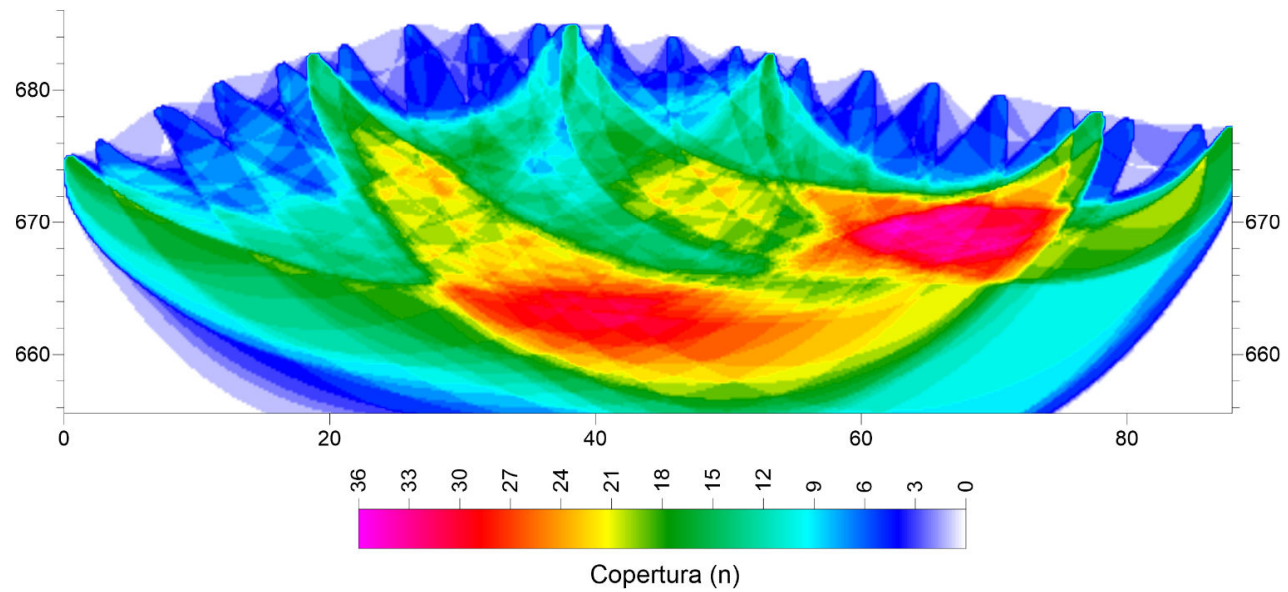
MODELLO DEL GRADIENTE DI VELOCITA' SR01-B (Proiezione)



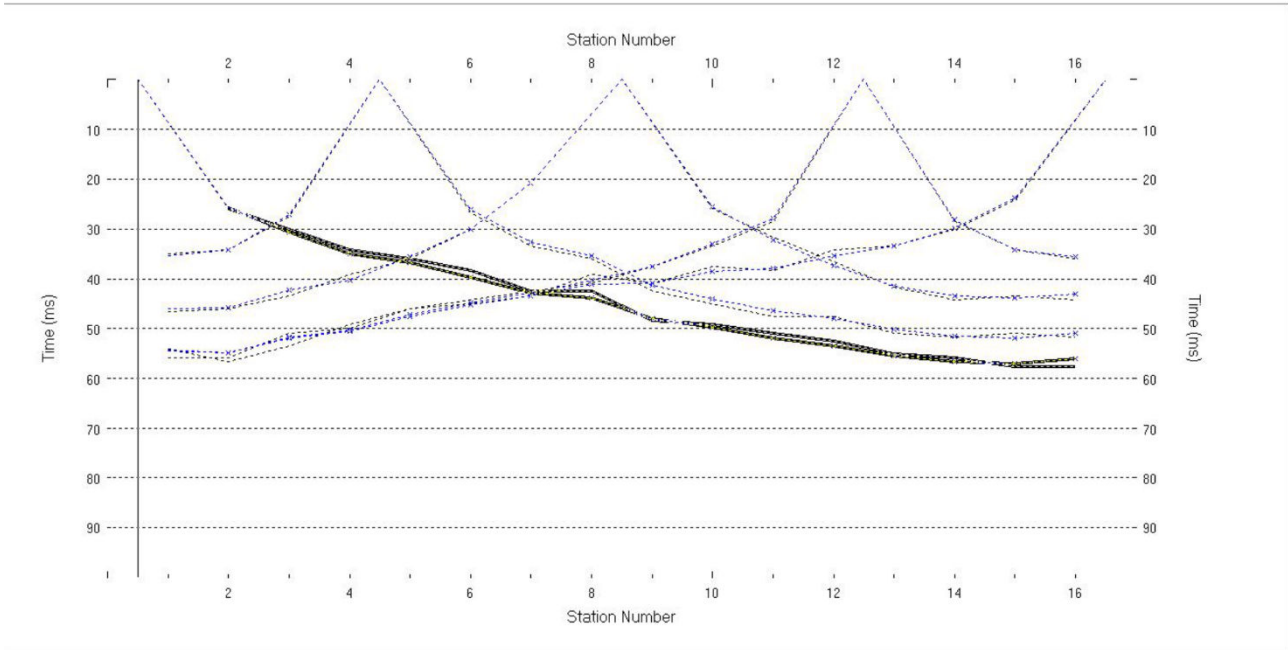
PERCORSO DEI RAGGI SISMICI SR01-A



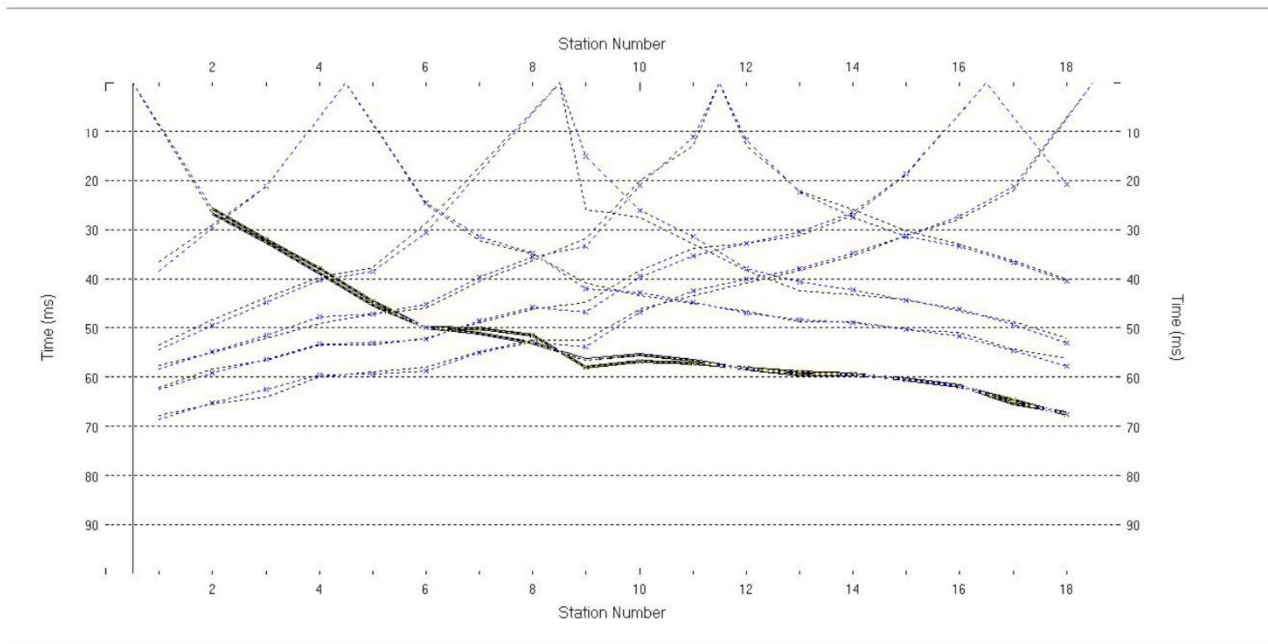
PERCORSO DEI RAGGI SISMICI SR01-B (Proiezione)



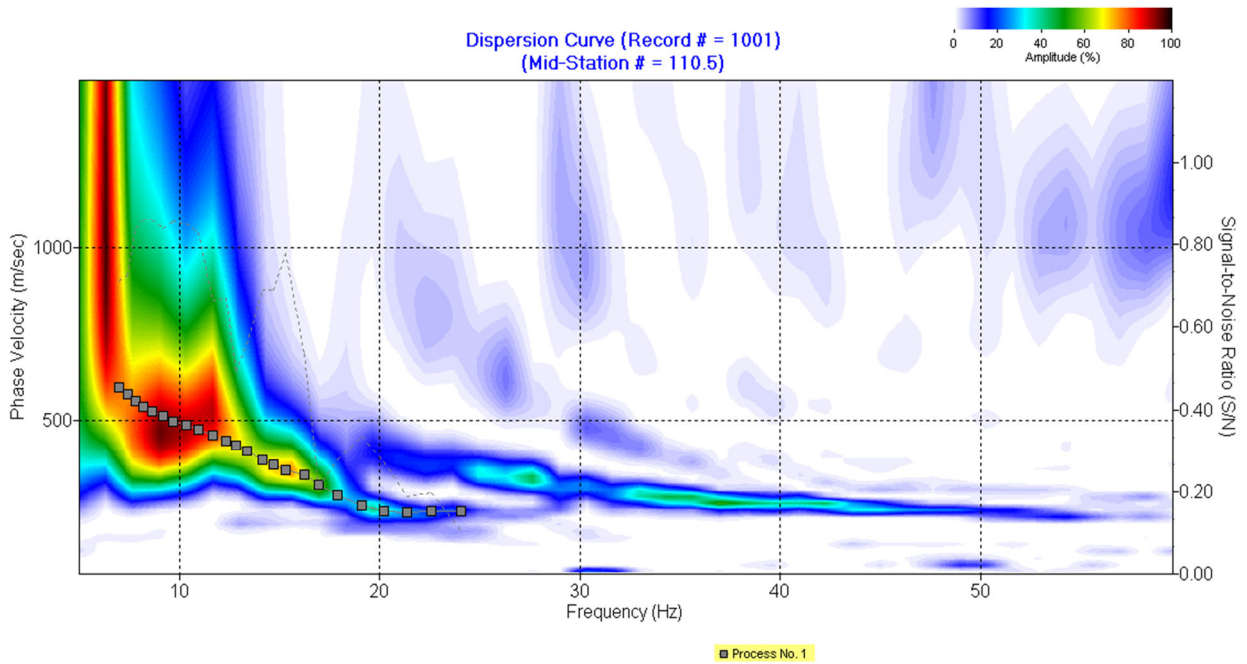
**DROMOCRONE - SR01A -**



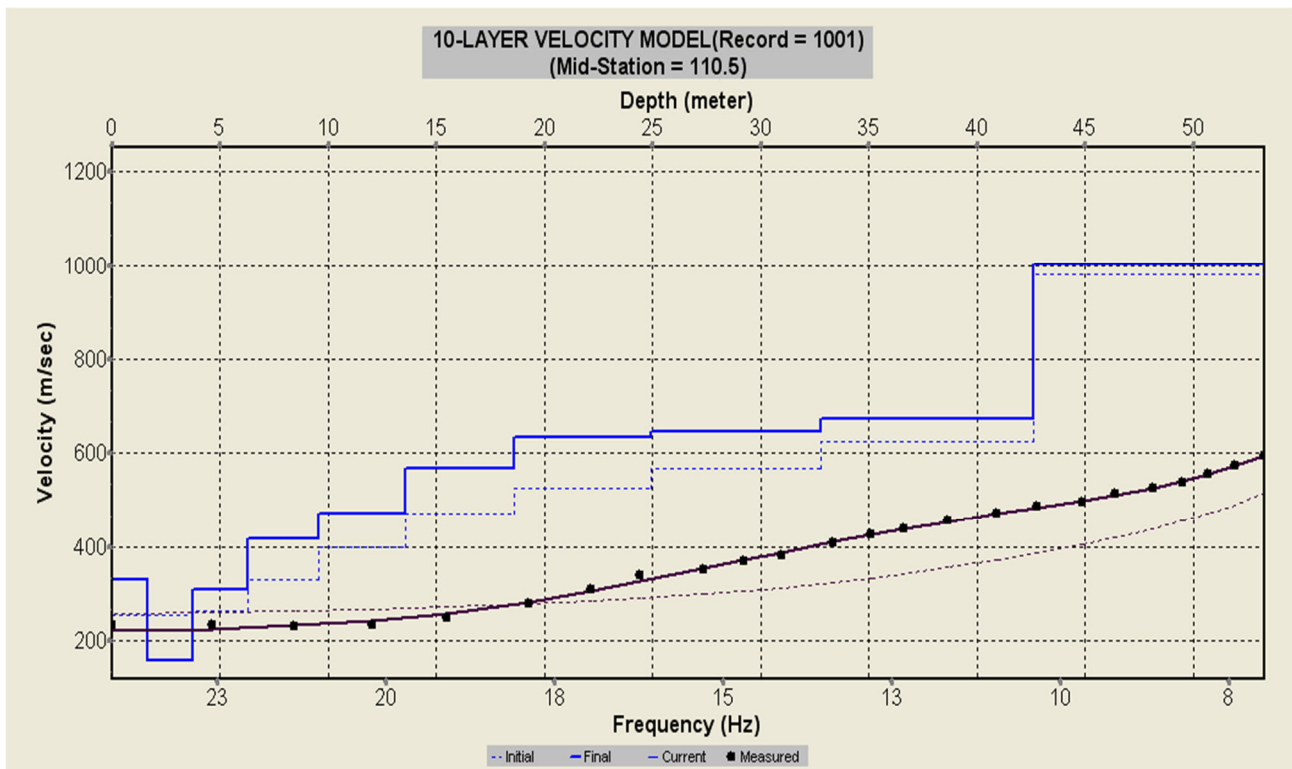
**DROMOCRONE - SR01B -**



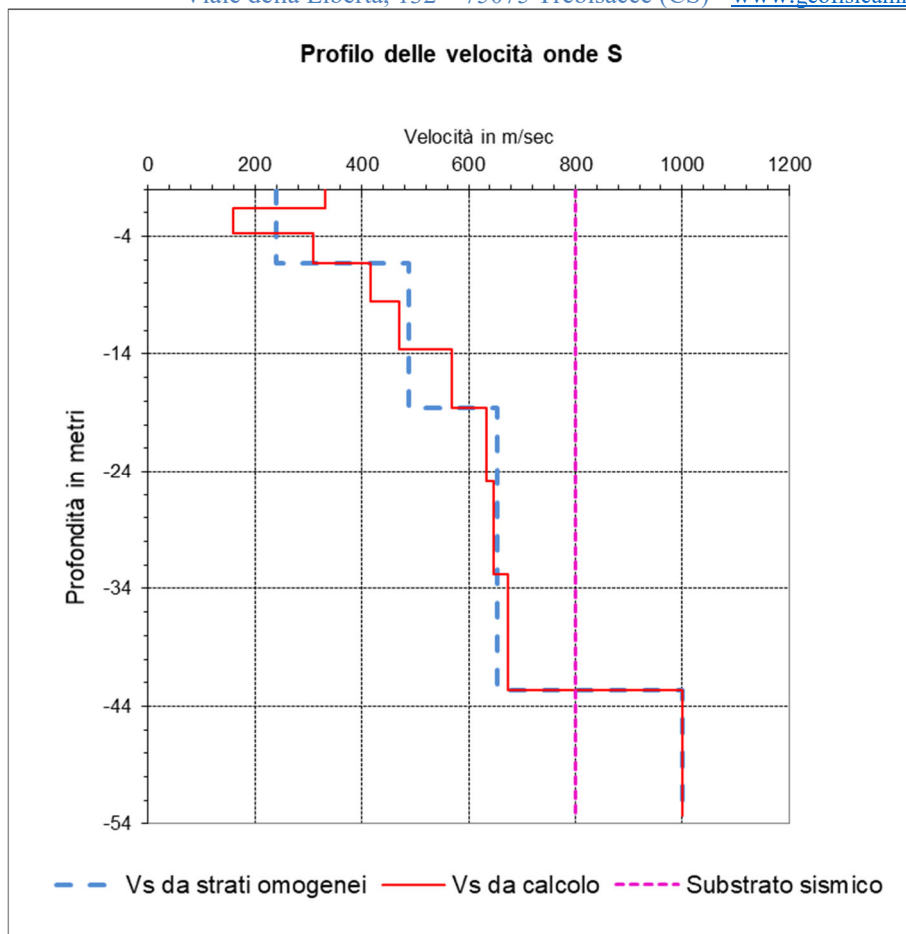
**MASW MW01**



Curva di dispersione



Curve di inversione



<i>Profondità dal p.c. (metri)</i>	<i>Velocità delle onde S (m/sec)</i>	<i>Profondità della base degli orizzonti omogenei (metri)</i>	<i>Spessore dei sismostrati omogenei (metri)</i>	<i>Velocità delle onde S per orizzonti omogenei (m/sec)</i>
-1.652	331.028	6.30	6.30	239
-3.718	158.674			
-6.299	308.242			
-9.526	416.275	18.60	12.30	488
-13.56	470.49			
-18.603	568.693			
-24.905	632.919	42.63	24.03	653
-32.784	646.096			
-42.632	673.07			
-53.29	1001.583	53.29	10.66	1002

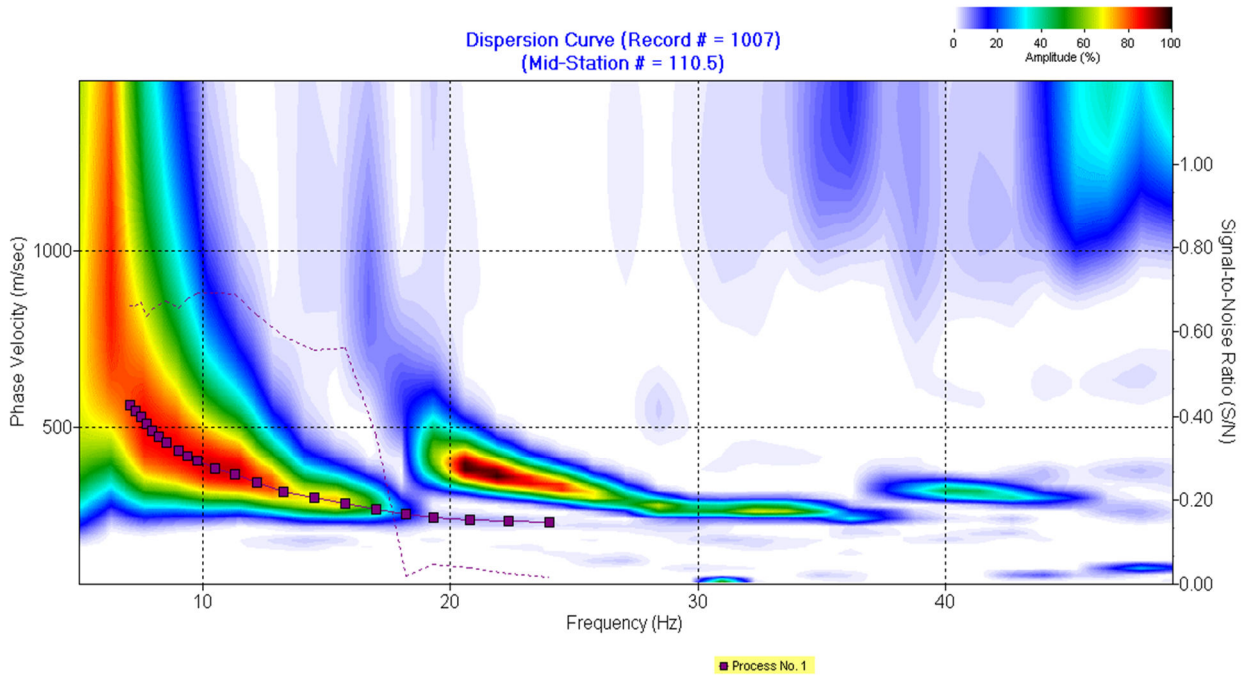
**Velocità equivalente ( $V_{s, eq}$ ) = 432 m/sec (riferimento al piano campagna)**

$$V_{s, eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

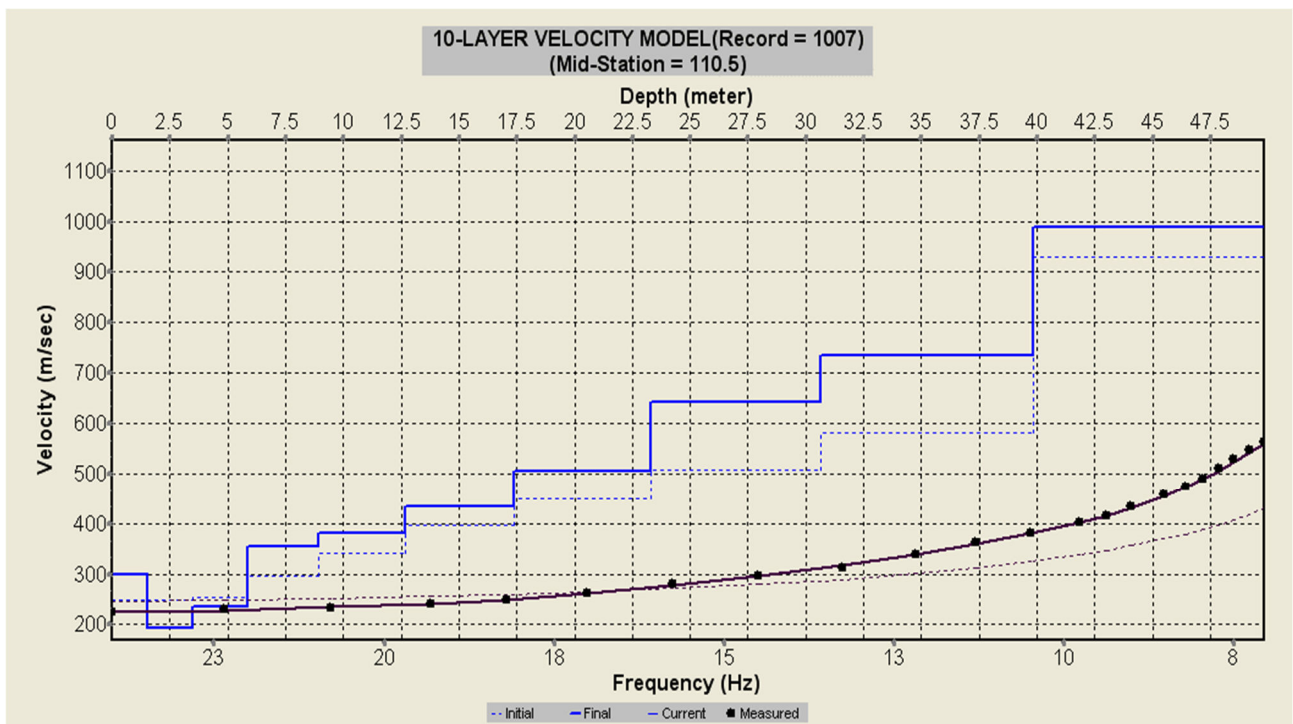
**Categoria sismica di suolo: B**



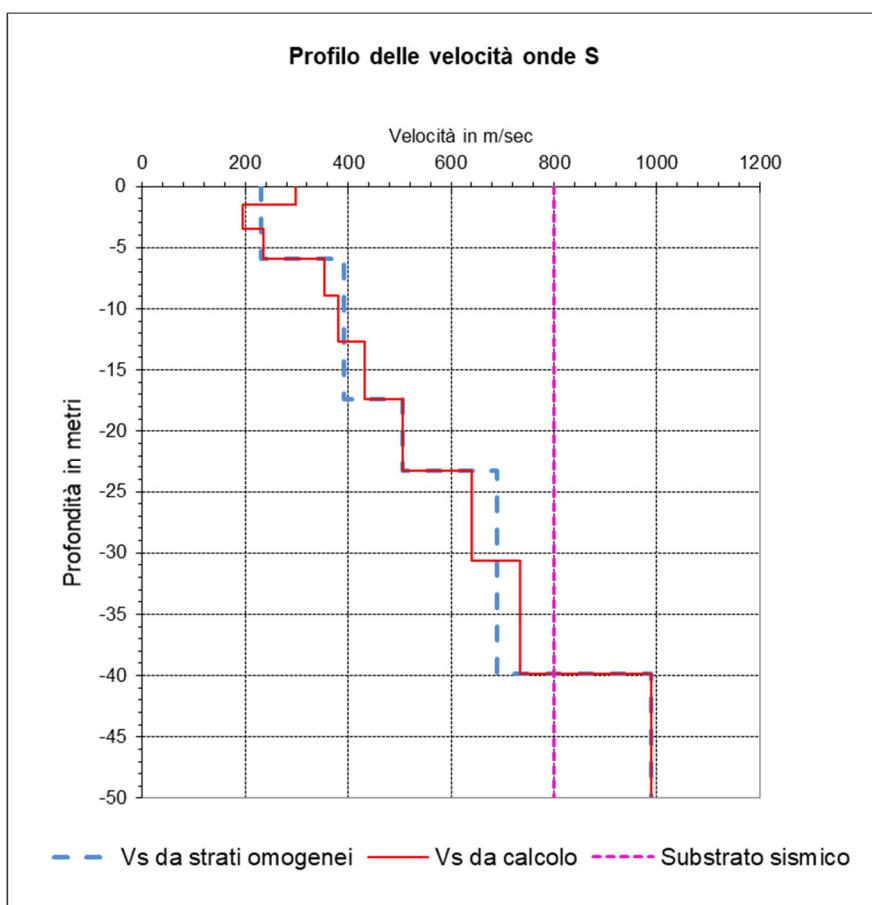
**MASW MW011**



Curva di dispersione



Curve di inversione



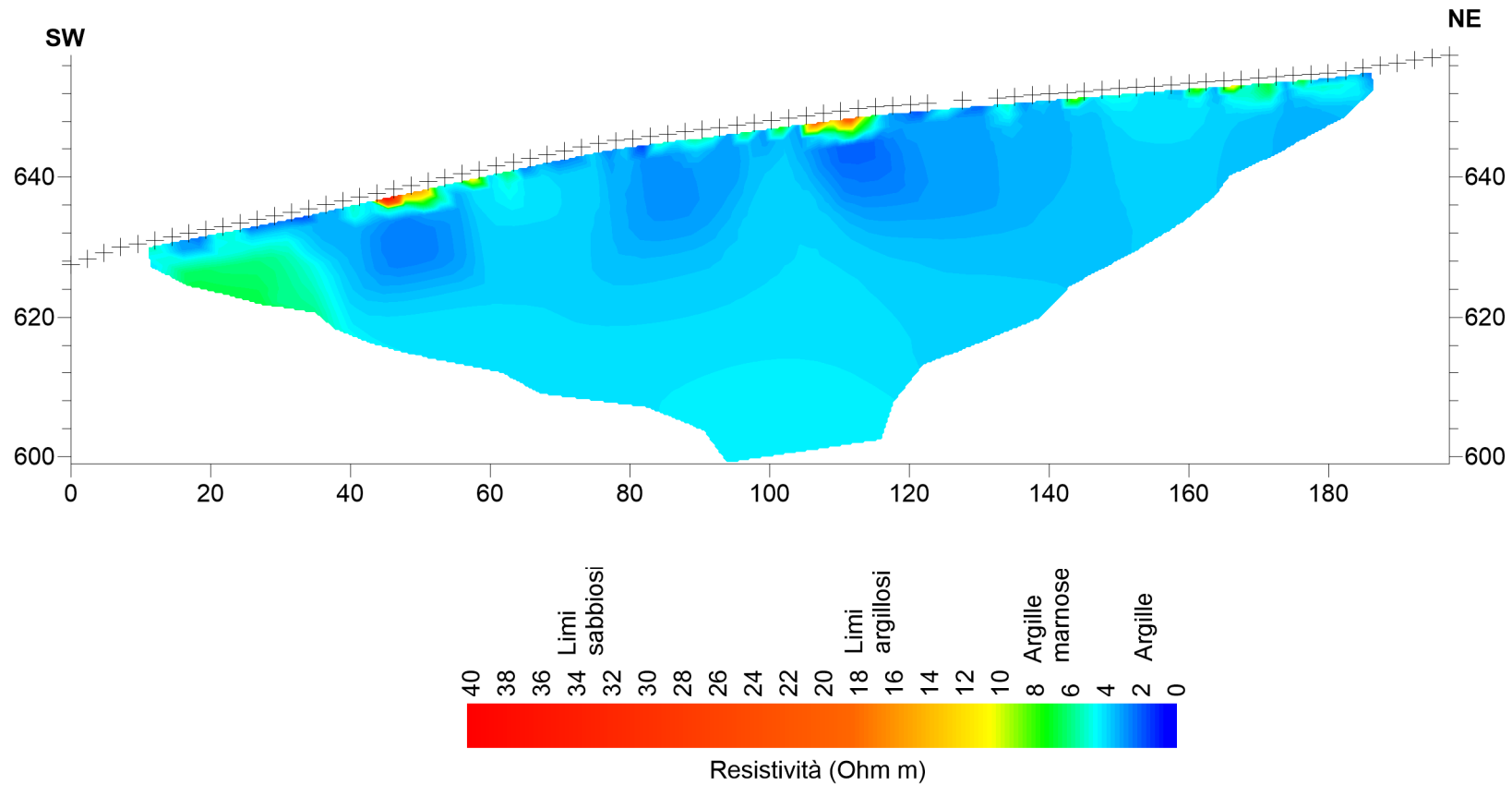
<i>Profondità dal p.c. (metri)</i>	<i>Velocità delle onde S (m/sec)</i>	<i>Profondità della base degli orizzonti omogenei (metri)</i>	<i>Spessore dei sismostrati omogenei (metri)</i>	<i>Velocità delle onde S per orizzonti omogenei (m/sec)</i>
-1.545	297.708	5.89	5.89	232
-3.476	193.847			
-5.889	234.582			
-8.906	353.93	17.39	11.50	393
-12.678	381.471			
-17.392	432.856			
-23.284	505.36	23.28	5.89	505
-30.65	641.076	39.86	16.57	690
-39.857	734.118			
-49.822	988.237	49.82	9.96	988

**Velocità equivalente ( $V_s, eq$ ) = 390 m/sec (riferimento al piano campagna)**

$$V_{s, eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

**Categoria sismica di suolo: B**

### TOMOGRAFIA DI RESISTIVITA' -TE 11-



# ANAS Gruppo FS Italiane - Direzione Progettazione e Realizzazione Lavori

Itinerario "Salerno-Potenza-Bari" - Adeguamento delle sedi esistenti e tratti di nuova realizzazione IV tratta da zona industriale Vaglio a Svincolo S.P. Oppido - Progetto di Fattibilità tecnico-economica -

PROSPEZIONE SISMICA IN FORO (DOWN-HOLE)

SONDAGGIO: S2

STRUMENTAZIONE: Sismografo Geometrics Geode - Sei Sensori da foro 14 Hz.

Profondità investigata: 35 m




Intervallo di campionamento: 20 µsec

Intervallo di misura: 1.0 m

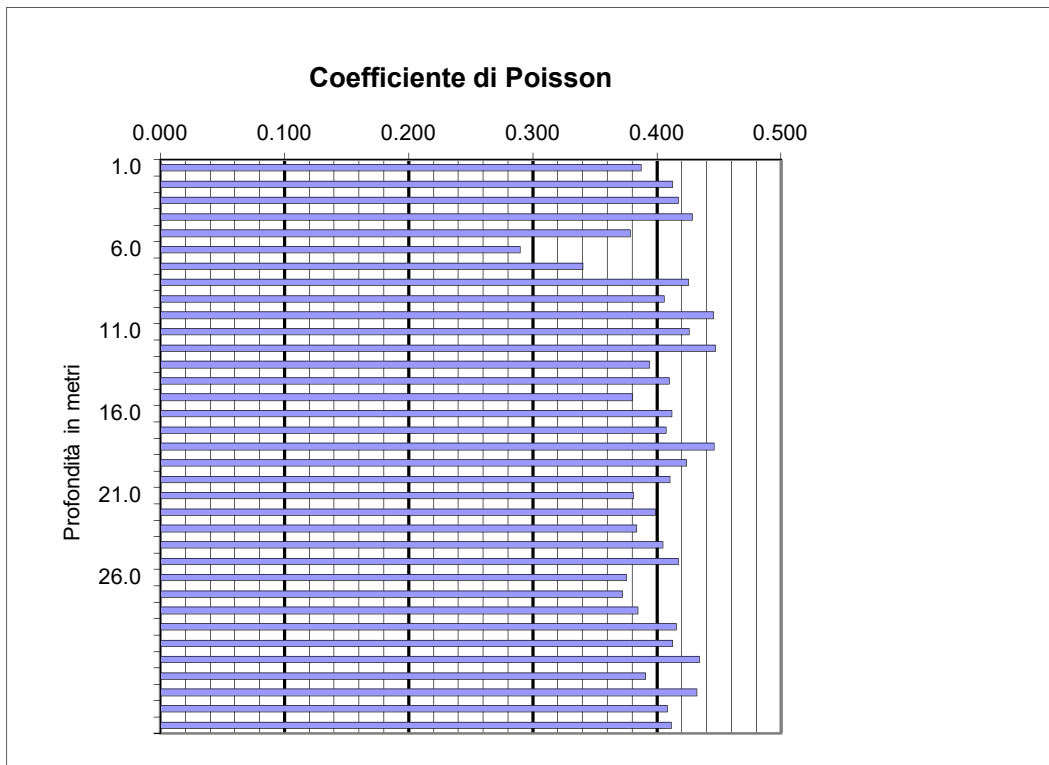
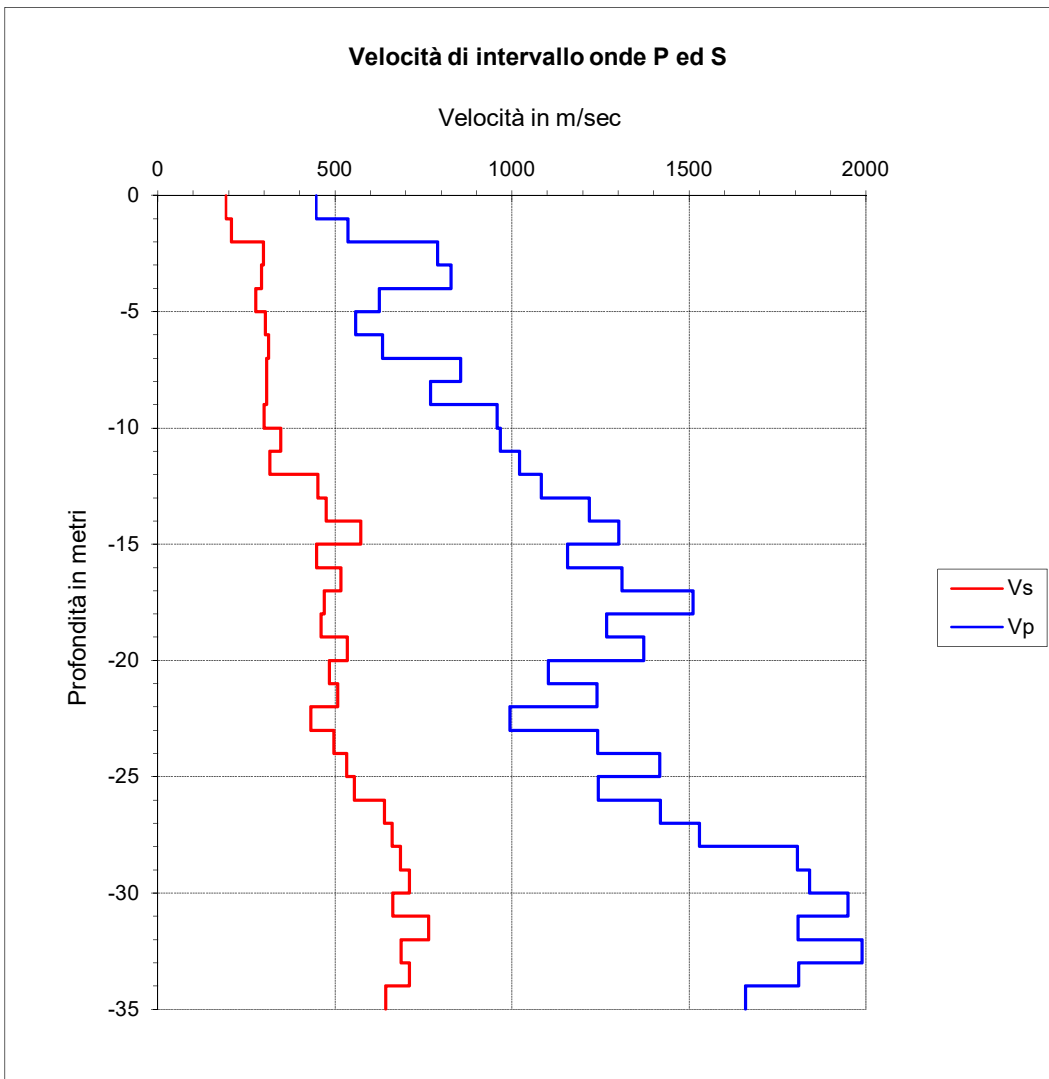
Offset dal foro m: 2.0

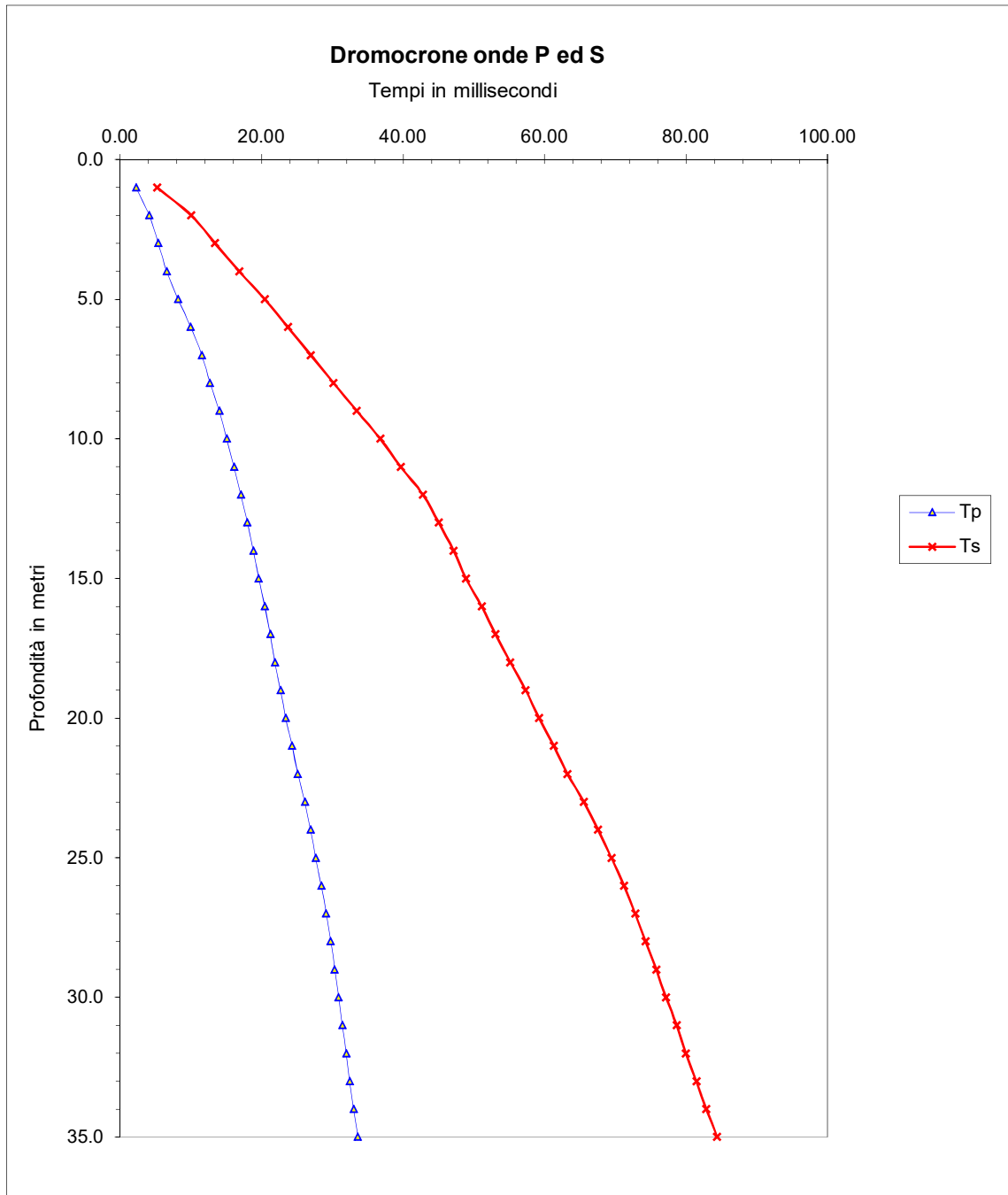
Profondità metri	Tempi di arrivo onde P ed S				Velocità P e S		Moduli elastici dinamici				
	Tp ms	Ts ms	Tp' ms	Ts' ms	Vp m/s	Vs m/s	γ g/cm <sup>3</sup>	ν	E Mpa	G Mpa	K Mpa
1.0	5.00	11.65	2.24	5.21	447	192	1.80	0.387	184.0	66.3	271.6
2.0	5.80	14.20	4.10	10.04	536	207	1.80	0.412	217.9	77.1	414.6
3.0	6.45	16.10	5.37	13.40	790	298	1.80	0.417	453.2	159.9	910.7
4.0	7.35	18.80	6.57	16.82	828	292	1.80	0.429	440.0	154.0	1029.6
5.0	8.80	22.00	8.17	20.43	626	277	1.80	0.379	380.5	138.0	522.1
6.0	10.50	25.00	9.96	23.72	558	304	2.00	0.290	476.4	184.7	377.5
7.0	12.00	28.00	11.54	26.92	634	312	2.00	0.340	521.7	194.6	544.6
8.0	13.10	31.10	12.71	30.17	854	308	2.00	0.425	540.2	189.5	1206.9
9.0	14.35	34.25	14.01	33.43	770	306	2.00	0.406	528.1	187.8	934.0
10.0	15.35	37.50	15.05	36.77	958	300	2.00	0.446	519.2	179.6	1596.9
11.0	16.35	40.30	16.09	39.65	967	347	2.00	0.426	688.5	241.4	1547.4
12.0	17.30	43.40	17.06	42.81	1022	317	2.00	0.447	579.8	200.3	1822.4
13.0	18.20	45.55	17.99	45.02	1083	452	2.00	0.394	1141.0	409.2	1798.2
14.0	19.00	47.60	18.81	47.12	1219	476	2.00	0.410	1277.4	453.0	2365.6
15.0	19.75	49.30	19.58	48.87	1303	573	2.00	0.380	1811.0	656.1	2518.6
16.0	20.60	51.50	20.44	51.10	1157	447	2.00	0.412	1131.0	400.5	2144.2
17.0	21.35	53.40	21.20	53.03	1311	518	2.00	0.408	1508.6	535.9	2722.4
18.0	22.00	55.50	21.87	55.16	1511	470	2.00	0.446	1279.7	442.4	3978.3
19.0	22.78	57.65	22.65	57.33	1267	460	2.00	0.424	1206.6	423.7	2644.7
20.0	23.50	59.50	23.38	59.20	1373	534	2.00	0.411	1611.1	571.0	3006.7
21.0	24.40	61.55	24.29	61.27	1103	484	2.00	0.381	1291.6	467.6	1809.2
22.0	25.20	63.50	25.10	63.24	1240	509	2.00	0.399	1447.0	517.2	2385.9
23.0	26.20	65.80	26.10	65.55	995	432	2.00	0.384	1034.2	373.7	1481.9
24.0	27.00	67.80	26.91	67.57	1242	497	2.00	0.405	1386.5	493.5	2426.6
25.0	27.70	69.66	27.61	69.44	1418	534	2.00	0.417	1617.2	570.5	3262.7
26.0	28.50	71.45	28.42	71.24	1243	555	2.00	0.376	1695.5	616.3	2270.1
27.0	29.20	73.00	29.12	72.80	1420	641	2.00	0.372	2252.6	820.8	2939.1
28.0	29.85	74.50	29.77	74.31	1529	662	2.00	0.385	2428.6	877.0	3507.7
29.0	30.40	75.95	30.33	75.77	1806	685	2.00	0.416	2659.3	939.1	5268.6
30.0	30.94	77.35	30.87	77.18	1840	710	2.00	0.413	2847.4	1007.9	5426.5
31.0	31.45	78.85	31.38	78.69	1948	663	2.00	0.434	2524.1	879.8	6418.4
32.0	32.00	80.15	31.94	79.99	1809	765	2.00	0.391	3254.9	1169.9	4981.8
33.0	32.50	81.60	32.44	81.45	1989	687	2.00	0.432	2700.3	942.6	6654.5
34.0	33.05	83.00	32.99	82.86	1810	711	2.00	0.409	2849.6	1011.4	5203.5
35.0	33.65	84.55	33.60	84.41	1661	643	2.00	0.412	2334.0	826.6	4412.5

**Ve<sub>q</sub> = 389 m/sec** (Riferimento al piano campagna)

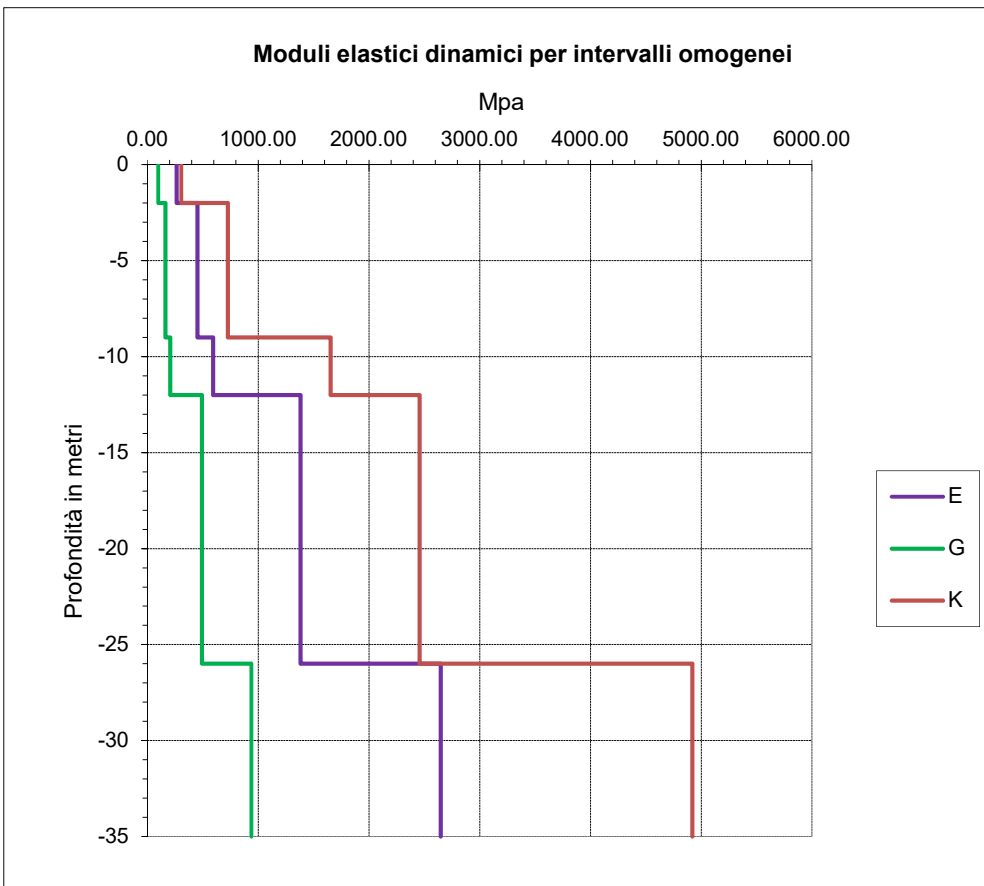
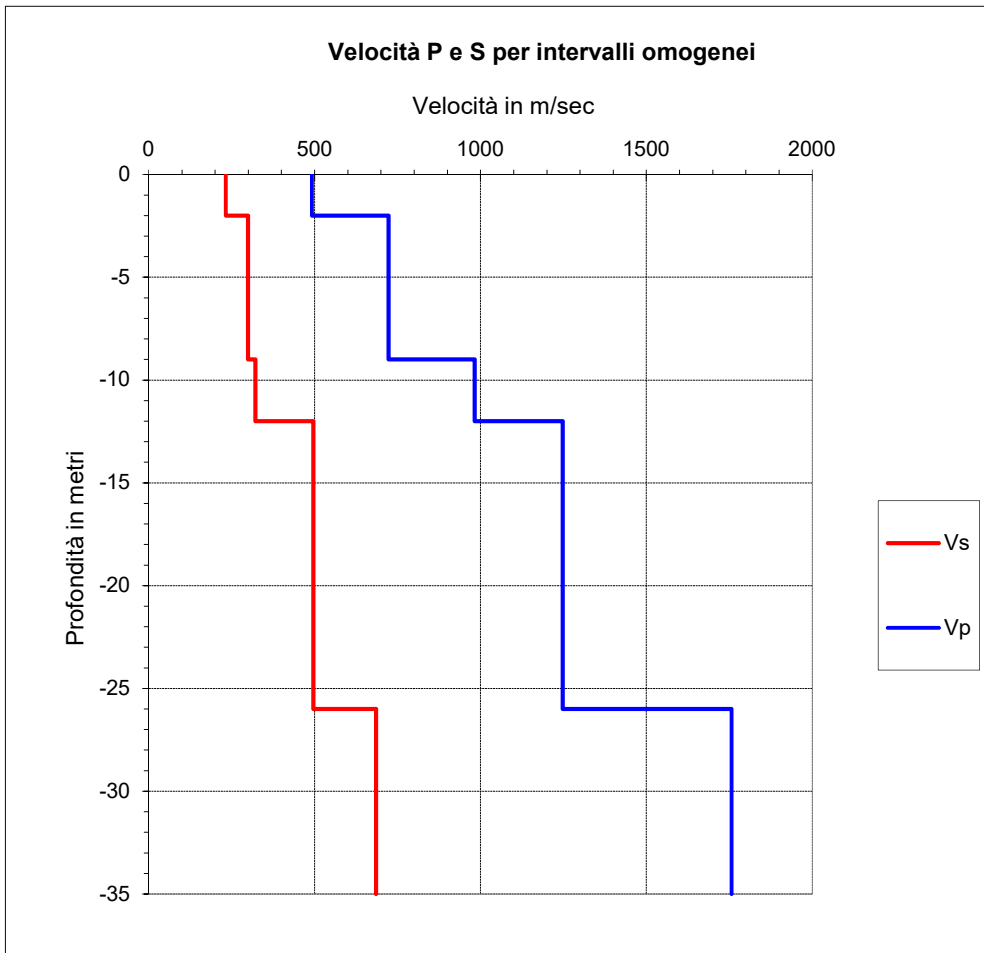
-  Argille di colore marrone con clasti
-  Ghiaia in matrice limoso-argillosa
-  Argille prevalenti da grigio-verdastre a screziate rossastre

- Tp:** Tempo di arrivo onde longitudinali (P)
- Ts:** Tempo di arrivo onde trasversali (S)
- Tp':** Tempo di arrivo onde P corretto sulla verticale
- Ts':** Tempo di arrivo onde S corretto sulla verticale
- Vp Vs:** Velocità di intervallo onde P ed S
- ν:** Coefficiente di Poisson
- E:** Modulo di Young
- G:** Modulo di taglio
- γ:** Peso di Volume
- K:** Modulo di incompressibilità





Intervalli omogenei di velocità			Moduli elastici dinamici				
Intervalli misure	Vp m/sec	Vs m/sec	$\gamma$ g/cm <sup>3</sup>	$\nu$	E Mpa	G Mpa	K Mpa
0 - 2	492	232	1.80	0.36	263.55	97.16	305.6
2 - 9	723	300	1.80	0.40	451.35	161.62	725.5
9 - 12	982	321	2.00	0.44	594.29	206.33	1655.0
12 - 26	1247	496	2.00	0.41	1382.69	491.64	2456.6
26 - 35	1757	685	2.00	0.41	2648.30	938.91	4920.7



**Settore Nord-Est.** Vi sono state realizzate le prospezioni geoelettriche tomografiche TE01 e TE02, l'indagine sismica a rifrazione SR02 e le indagini sismiche MASW MW02 e MW03. Ricadono tutte sul basso versante sinistro del *Vallone Tricarico*, in zone di affioramento della formazione del *Flysch Rosso* nel suo membro pelitico, caratterizzato dal netto prevalere della componente argillosa che solo localmente diviene più o meno marnosa e con rare intercalazioni di calcilutiti e calcareniti. Sia il modello sismico a rifrazione ad onde P SR02, che i modelli di Vs risultanti dall'elaborazione dei MASW, MW02 e MW03, mostrano che le proprietà elastiche dei terreni sono relativamente scadenti fino a 4-6 m di profondità, per poi migliorare rapidamente fino a circa 12-14 m dal piano di campagna. È quindi distinguibile una coltre molto alterata con Vp media pari a 560 m/sec, che poggia su un substrato interessato da fratturazione e allentamento che rapidamente diviene meno spinto con la profondità, come messo in luce da un forte gradiente verticale della velocità relativo al modello sismico a rifrazione, il quale si riduce poi bruscamente ai 12-13 m dal piano campagna, in corrispondenza dell'isolinea di 2000 m/sec. Al di sotto si osserva la presenza di un orizzonte omogeneo, spesso oltre 20 m, con Vp media di circa 2210 m/sec, al di sotto dei 40-45 m di profondità, la velocità delle onde di compressione riprende nuovamente a crescere in maniera graduale, raggiungendo valori superiori a 3000 m/sec nelle porzioni più profonde del modello (50-55 m dal p.c.).

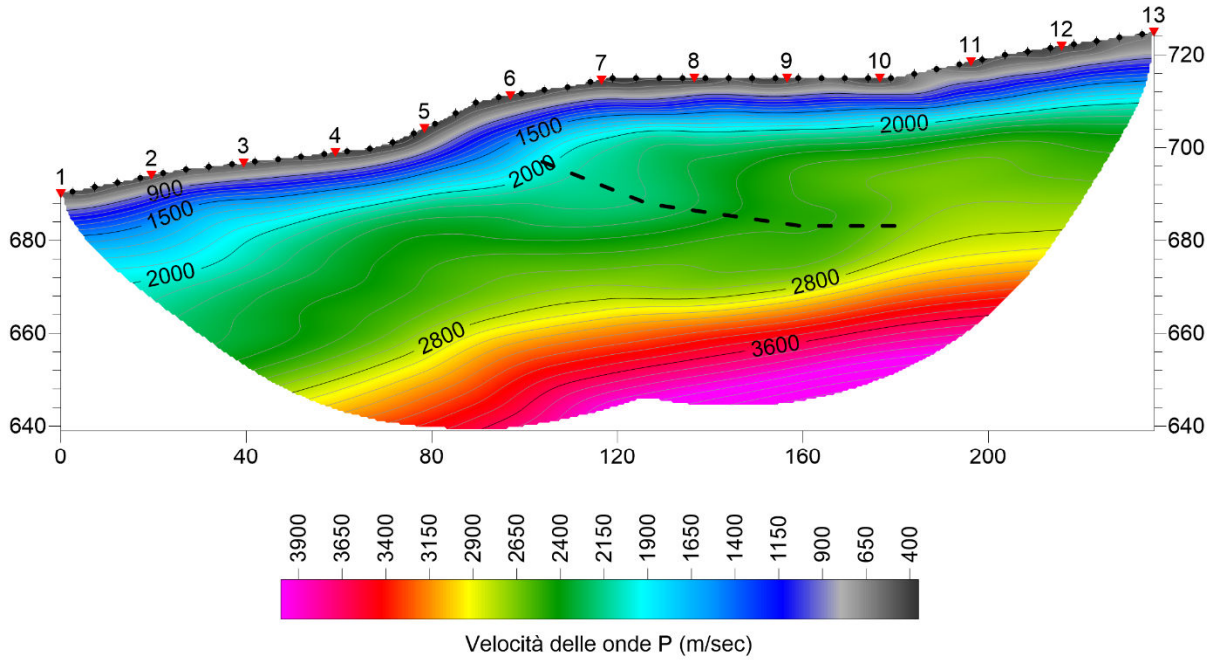
Tabella dei moduli elastici dinamici medi SR02 – MW02 – MW03

	<i>Coltre superficiale di forte alterazione</i>	<i>Argille, argilliti e argille marnose molto fratturate</i>	<i>Alternanza pelitico-arenitica</i>	<i>Alternanze marnoso- arenitiche</i>
Coefficiente di Poisson $\mu$	0.389	0.420	0.445	0.424
Velocità onde longitudinali Vp (m/sec)	560	1480	2210	2850
Velocità onde trasversali Vs (m/sec)	239	550	698	1038
Peso di volume $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.85	2.00	2.20	2.20
Modulo di Young Edin (Mpa)	299.2	1751.3	3156.8	6879.3
Modulo di Rigidità G (Mpa)	107.7	616.7	1092.6	2416.3

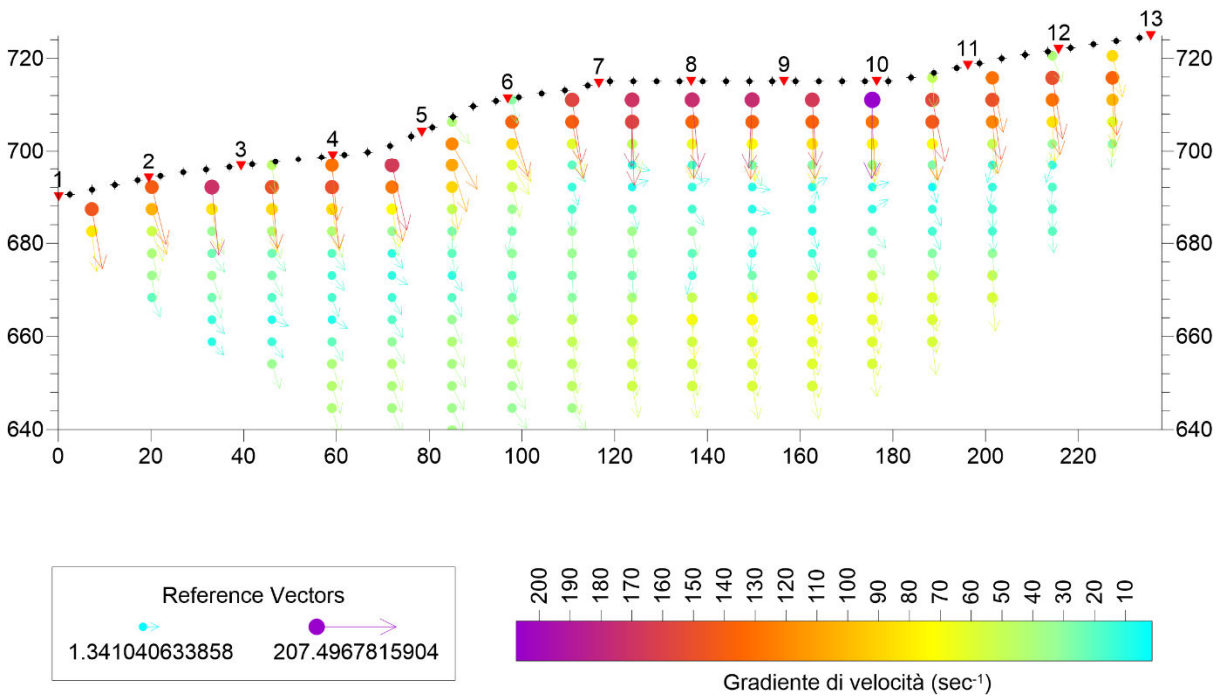
Entrambi i modelli di resistività elettrica risultanti dall'inversione tomografica (TE01 e TE02), mostrano variazioni valori della resistenza elettrica specifica molto contenuta, compresa tra 2 e circa 24  $\Omega$ m, denotando, in accordo con i caratteri litologici della Formazione affiorante, il netto prevalere della componente argillosa nella compagine. Si riconoscono delle coperture discontinue di limi argillosi spesse da 2 a 4 m circa, giacenti su argille (con resistività inferiori a 5  $\Omega$ m) che localmente divengono lievemente più alto-resistive, evidentemente all'aumentare della componente limosa o calcarea (argille marnose).



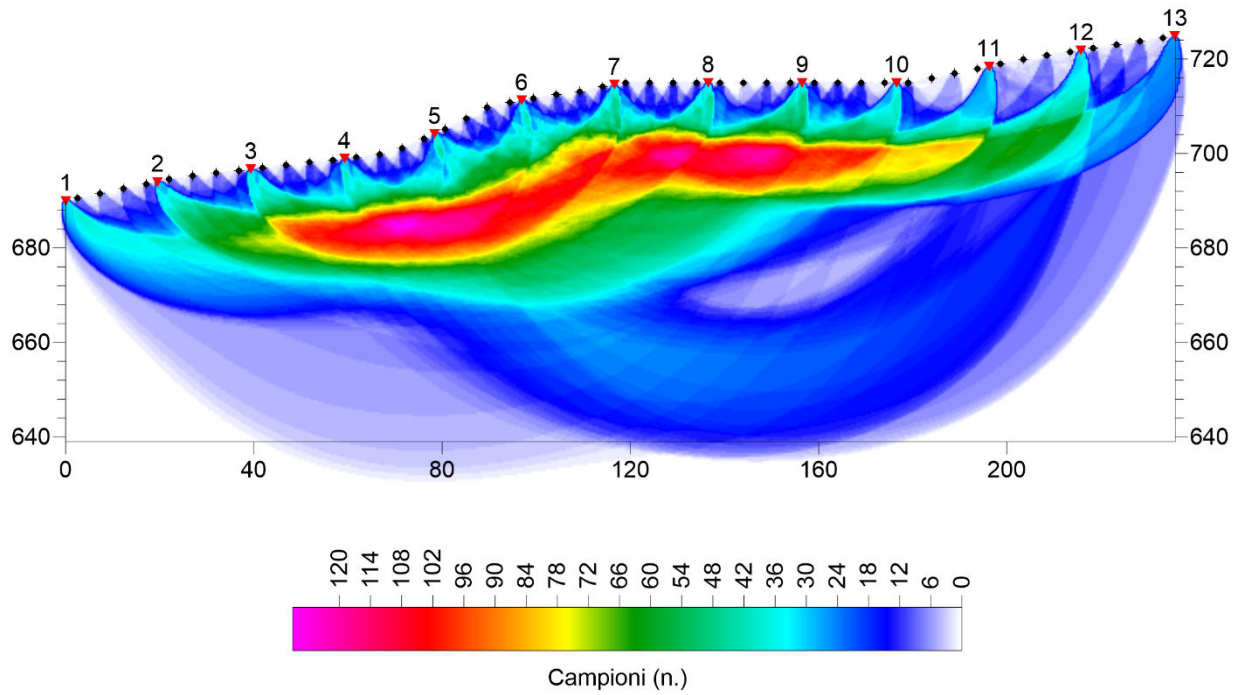
MODELLO DI VELOCITA -SR02-



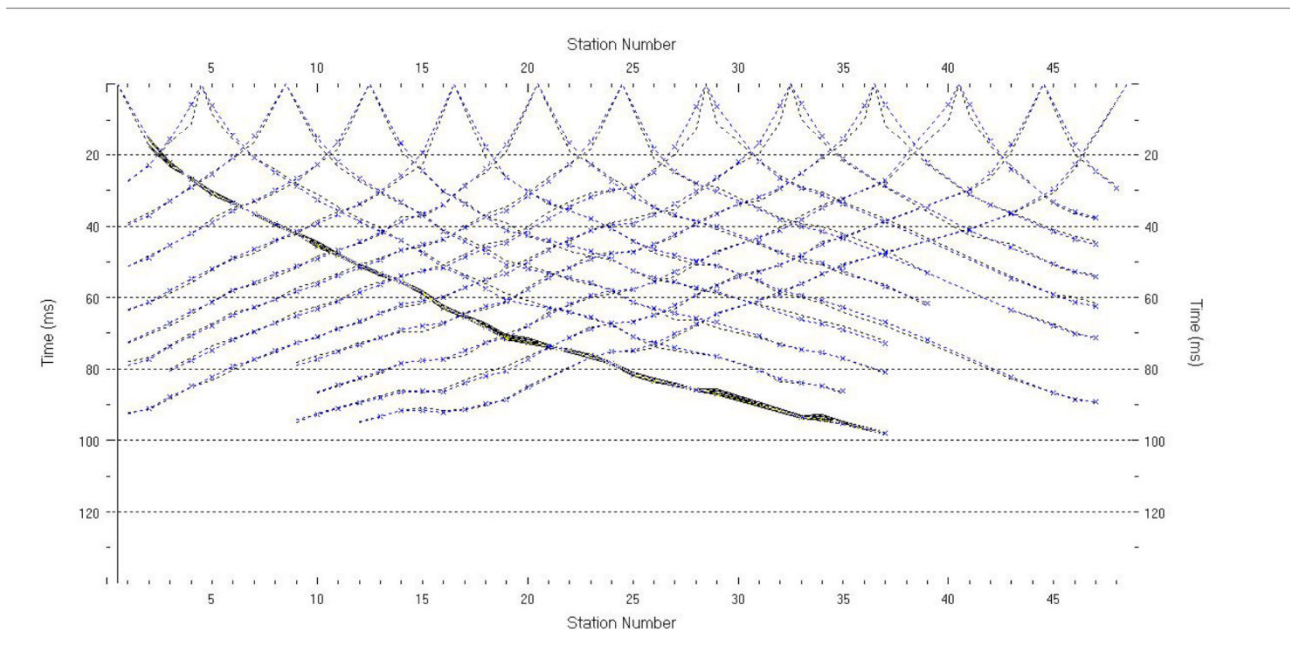
MODELLO DEL GRADIENTE DI VELOCITA -SR04-



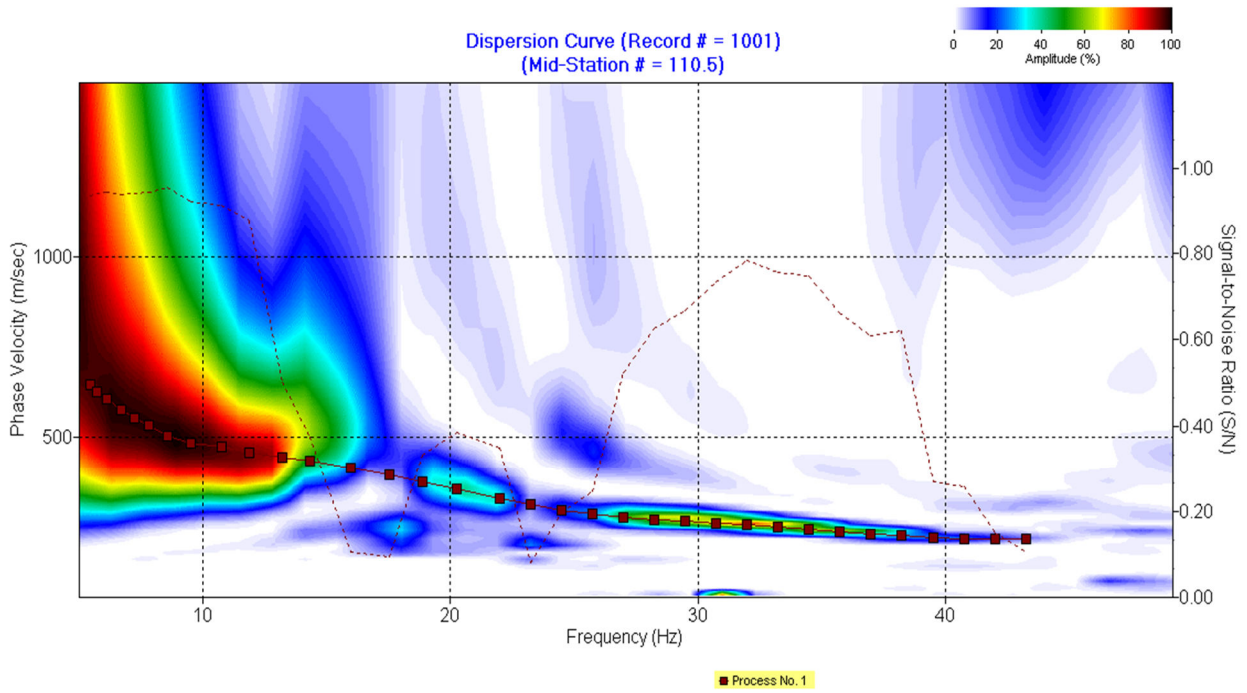
PERCORSO DEI RAGGI SISMICI -SR02-



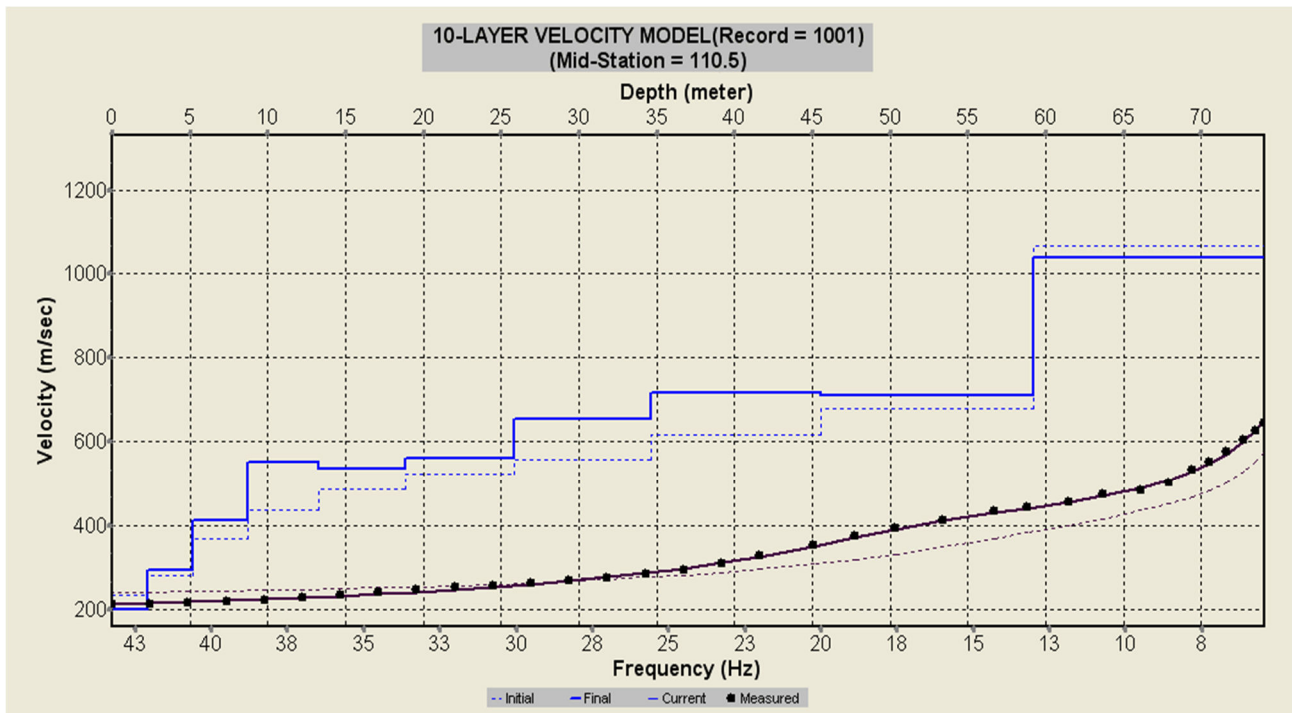
DROMOCRONE -SR02-



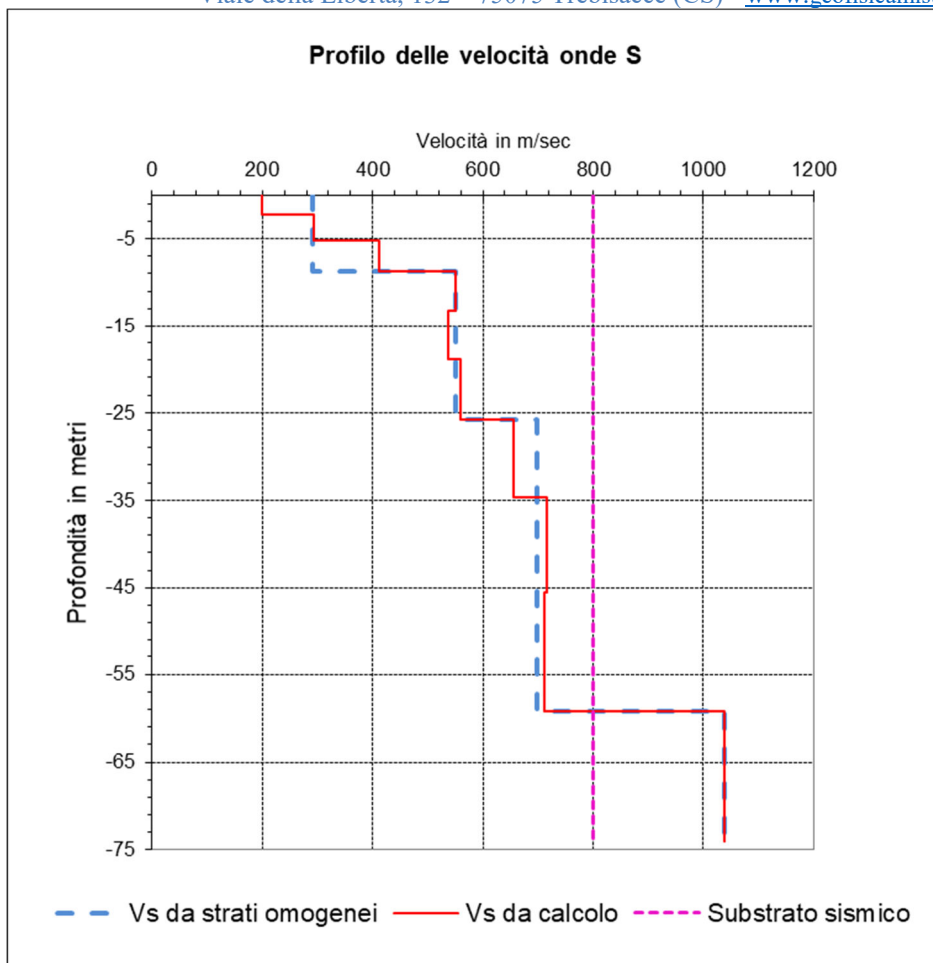
### MASW MW02



Curva di dispersione



Curve di inversione



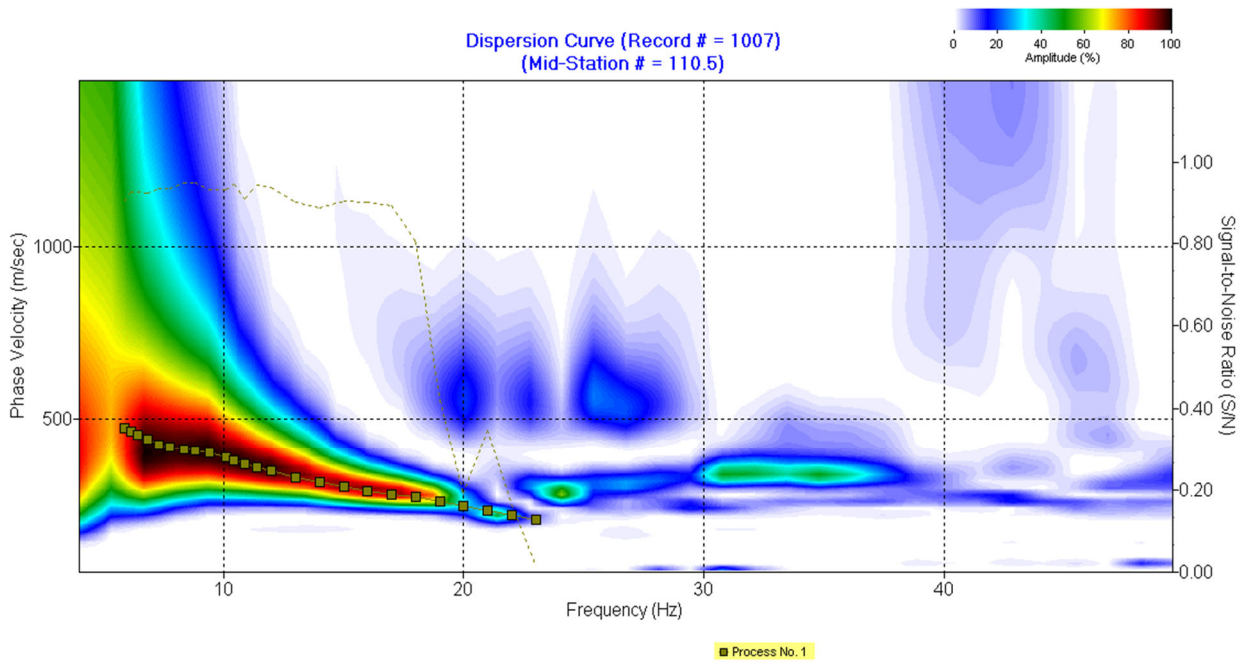
<i>Profondità dal p.c. (metri)</i>	<i>Velocità delle onde S (m/sec)</i>	<i>Profondità della base degli orizzonti omogenei (metri)</i>	<i>Spessore dei sismostrati omogenei (metri)</i>	<i>Velocità delle onde S per orizzonti omogenei (m/sec)</i>
-2.296	198.724	8.75	8.75	291
-5.166	294.004			
-8.754	410.922	25.85	17.10	550
-13.238	550.06			
-18.844	537.105			
-25.851	559.894	59.24	33.39	698
-34.61	655.422			
-45.559	716.482			
-59.244	712.09			
-74.055	1037.971	75.05	14.81	1038

**Velocità equivalente ( $V_{s, eq}$ ) = 445 m/sec (riferimento al piano campagna)**

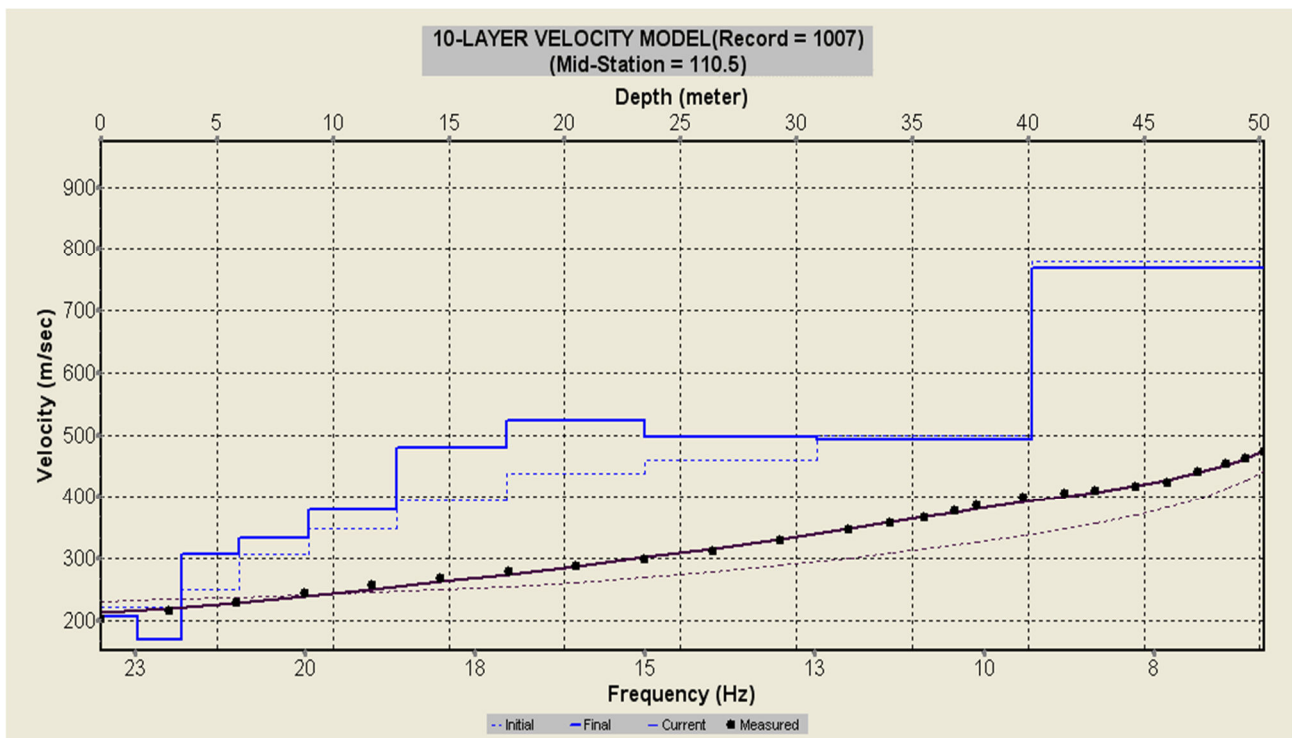
$$V_{s, eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

**Categoria sismica di suolo: B**

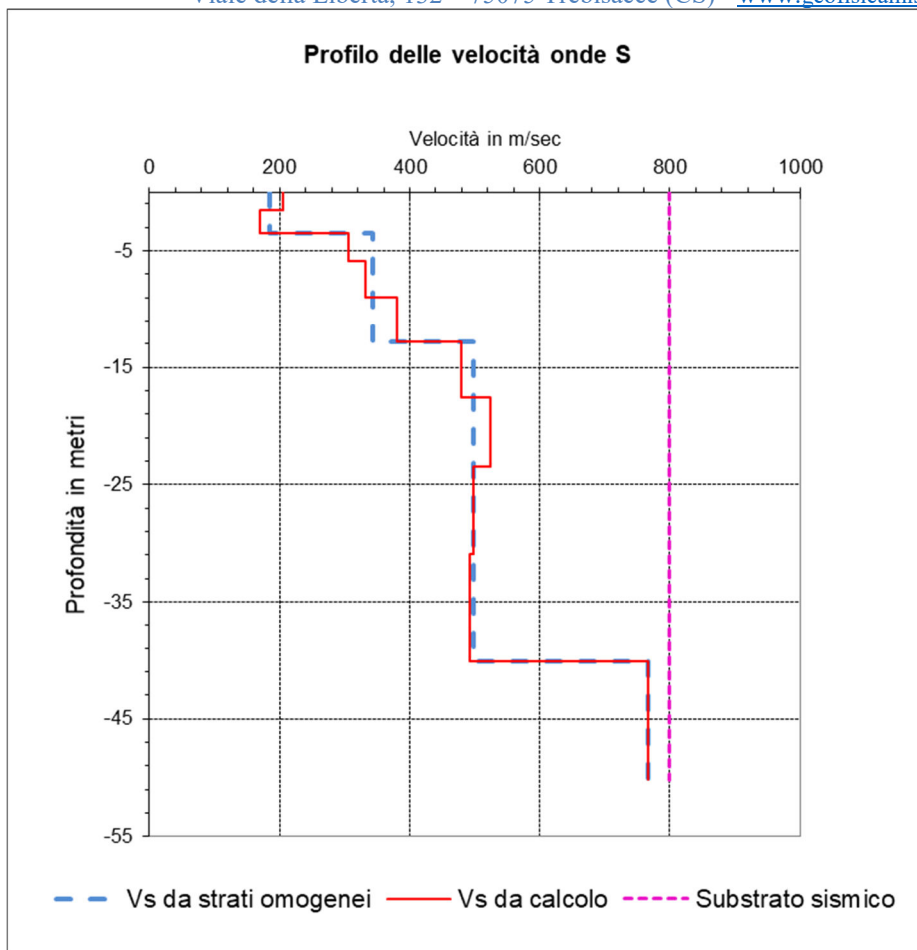
### MASW MW03



Curva di dispersione



Curve di inversione



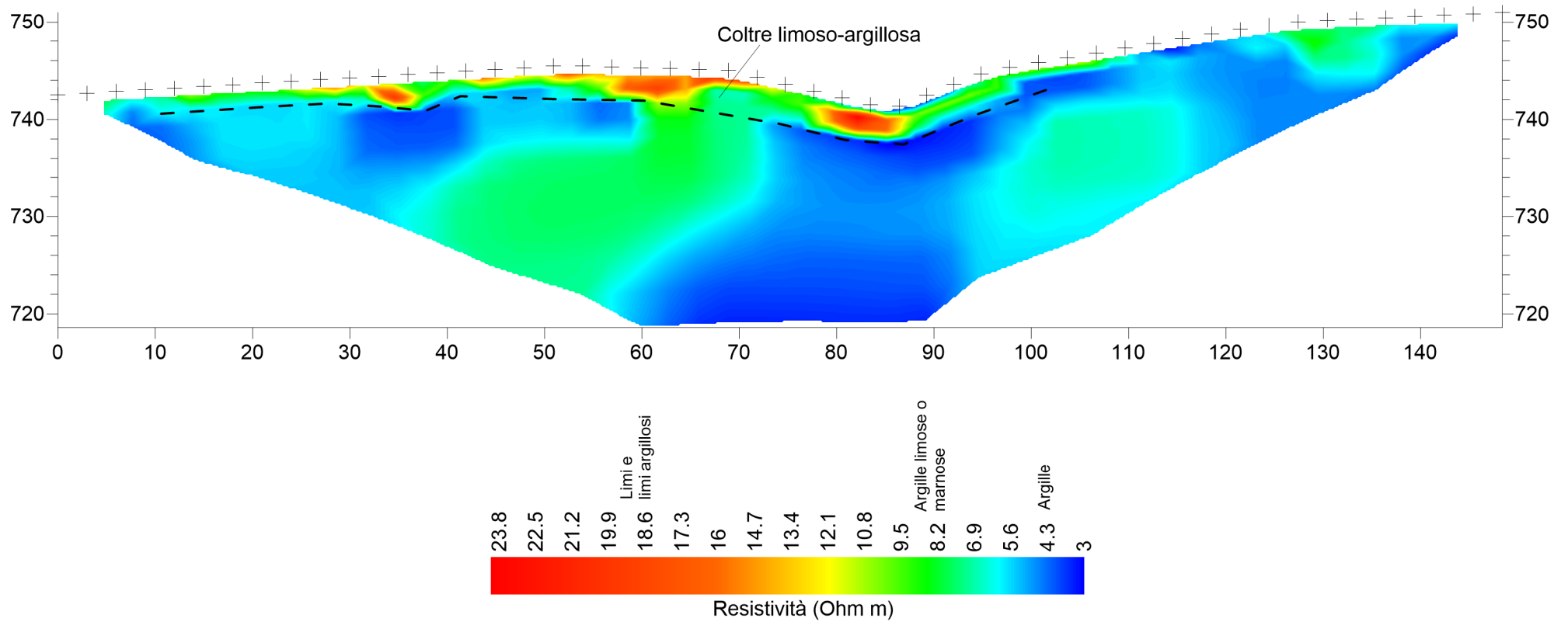
<i>Profondità dal p.c. (metri)</i>	<i>Velocità delle onde S (m/sec)</i>	<i>Profondità della base degli orizzonti omogenei (metri)</i>	<i>Spessore dei sismostrati omogenei (metri)</i>	<i>Velocità delle onde S per orizzonti omogenei (m/sec)</i>
-1.556	205.905	3.50	3.50	184
-3.501	169.868			
-5.933	306.733	12.77	9.27	342
-8.972	332.46			
-12.771	379.772			
-17.521	479.335	40.15	27.38	498
-23.457	523.854			
-30.877	497.771			
-40.153	492.045			
-50.191	767.149	50.19	10.04	767

**Velocità equivalente ( $V_{s, eq}$ ) = 373 m/sec (riferimento al piano campagna)**

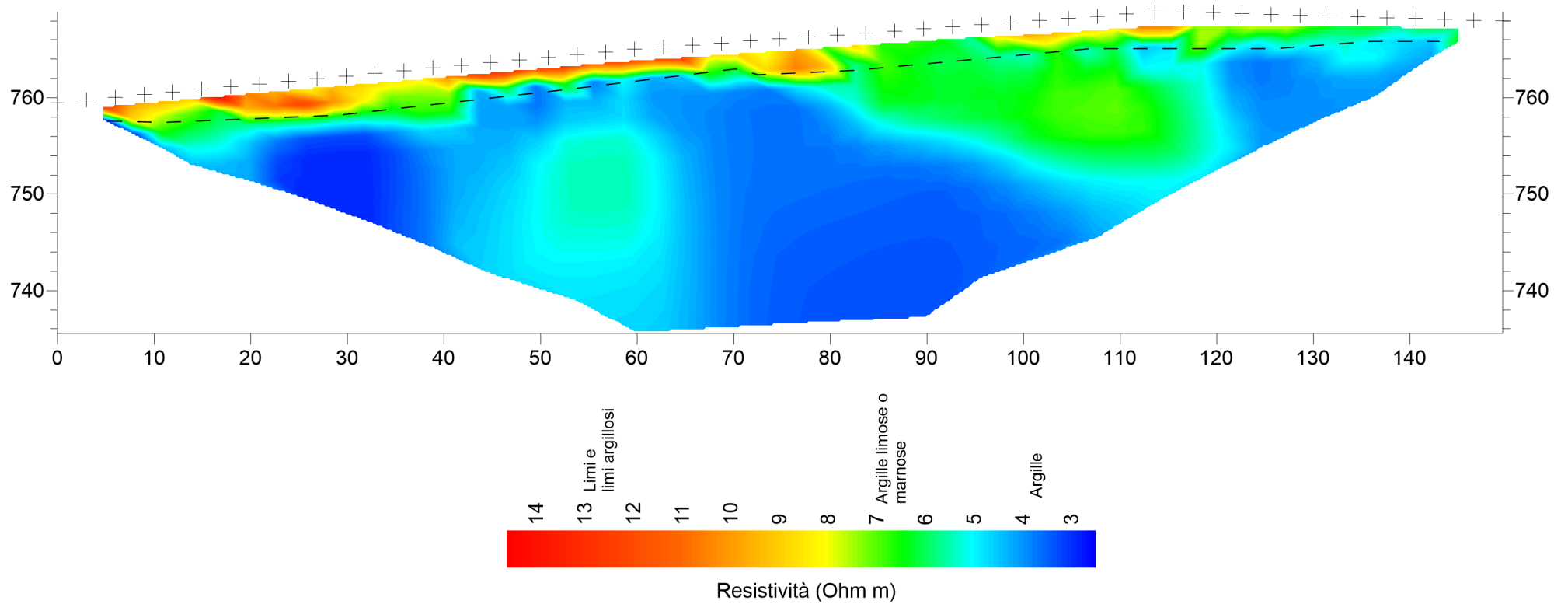
$$V_{s, eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

**Categoria sismica di suolo: B**

## MODELLO DI RESISTIVITA' -TE01-



## MODELLO DI RESISTIVITA' -TE02-





**Vallone Tricarico - zona di testata.** Ulteriori indagini sismiche sono state realizzate nella zona di testata del Vallone Tricarico, consistite in un profilo di sismica “a rifrazione” (SR09) con lunghezza di 125 m e una indagine sismica MASW (MW14). Entrambe finalizzate alla caratterizzazione sismostratigrafica dell’area di imbocco di una prevista galleria. La base per la sismica a rifrazione si sviluppa in direzione della massima pendenza del versante, dal medio versante della testata, fino a raggiungere la zona di imbocco. In prossimità di questa è stata eseguita anche l’indagine MASW.

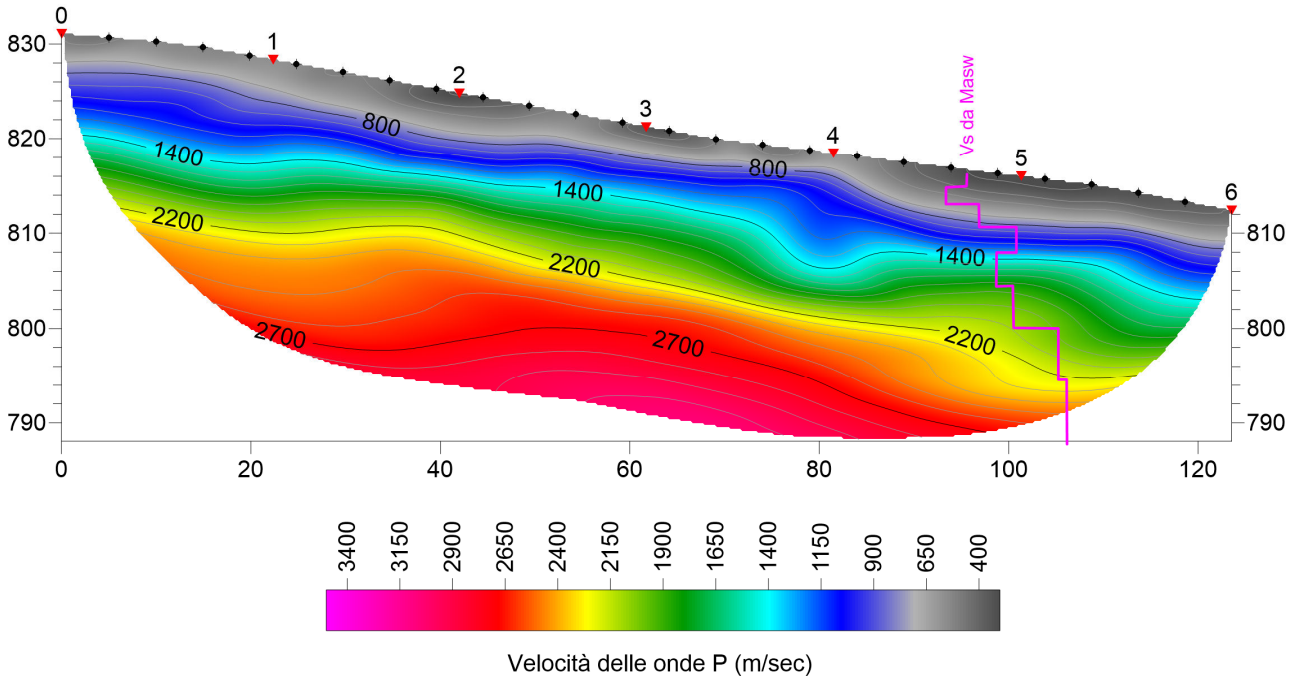
I terreni affioranti, come riportato in letteratura (Cartografia CARG), appartengono all’unità Tettonica “*Groppa D’Anzi*”, nella *Formazione del Flysch Galestrino*, costituita dall’alternanza tra calcilutiti, calcescisti, marne calcaree e radiolariti.

Il modello di velocità ad onde P risultante della sismica a rifrazione, mostra una buona continuità laterale degli orizzonti sismici. Questi sono caratterizzati da un orizzonte “lento”, con  $V_p$  media di 530 m/sec, riferibile ad una copertura/alterazione con spessori compresi tra 3 m e 6 m. Quindi, con un salto di velocità riscontrato anche nel profilo Masw, si passa ad un substrato da considerare molto fratturato, con un miglioramento delle sue caratteristiche elastiche dinamiche con la profondità. Questa condizione si osserva fino ad una profondità di circa 15 m, come ben evidente nel modello del gradiente di velocità. In questi 15 m circa si passa da  $V_p$  pari a 800 m/sec alla base dell’orizzonte di copertura a 2200 m/sec. Al di sotto di questa isolina, la compagine flisciode presenta caratteri di buona omogeneità, con una netta diminuzione del gradiente. Il valore di  $V_s$  associabile a questo orizzonte omogeneo profondo è di poco inferiore a 600 m/sec, indicando condizioni di consistenza elevata. Un ulteriore aumento di rigidità si osserva nell’indagine MASW a circa 37 m di profondità, dove il valore di  $V_s$  passa a oltre 800 m/sec.

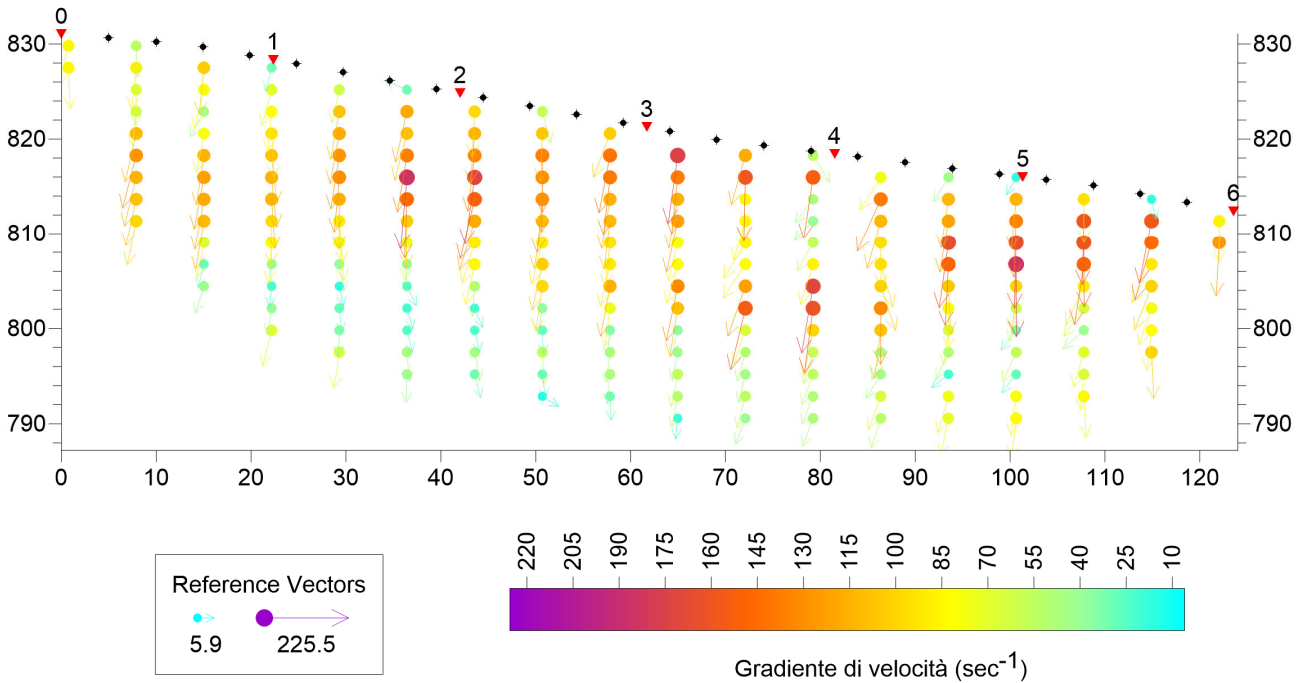
Tabella dei moduli elastici dinamici medi SR09 – MW14

	<i>Coltre superficiale di forte alterazione</i>	<i>Argille, argilliti e argille marnose molto fratturate</i>	<i>Alternanza pelitico-arenitica</i>	<i>Alternanza marnoso-arenitica</i>
Coefficiente di Poisson $\mu$	0.273	0.429	0.464	0.453
Velocità onde longitudinali $V_p$ (m/sec)	530	1220	2250	2750
Velocità onde trasversali $V_s$ (m/sec)	296	431	581	809
Peso di volume $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.85	2.00	2.20	2.20
Modulo di Young $E_{din}$ (Mpa)	420.8	1082.1	2217.0	4264.2
Modulo di Rigidità $G$ (Mpa)	165.2	378.7	757.0	1467.7

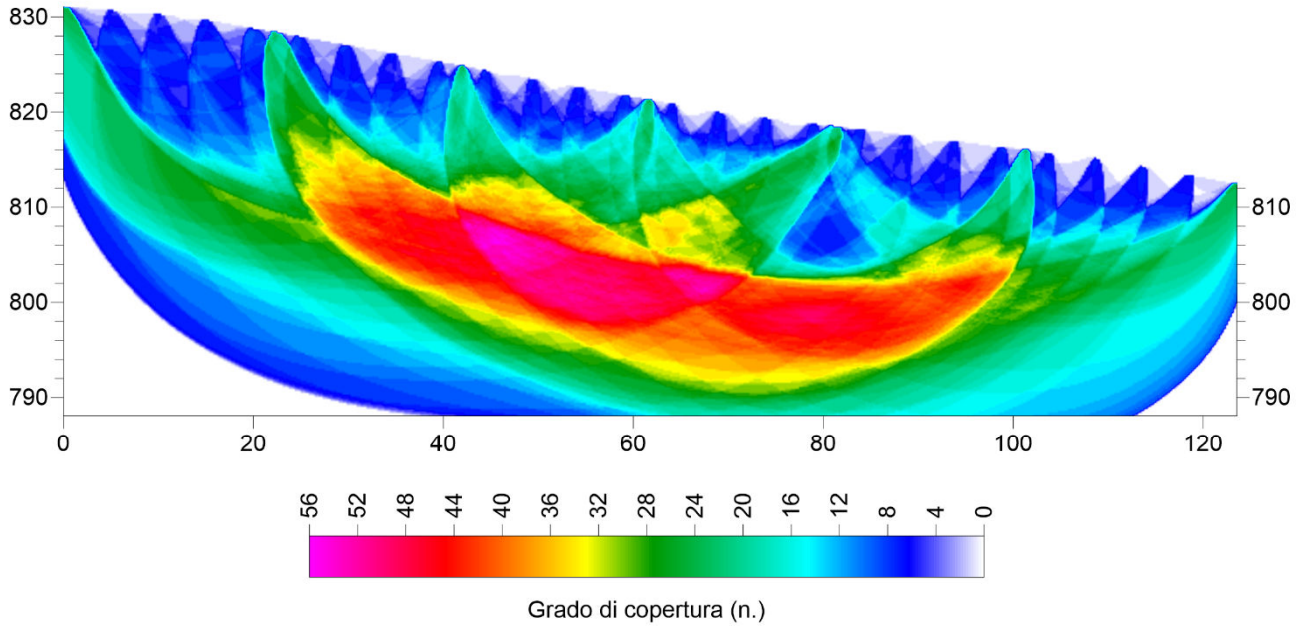
MODELLO DI VELOCITA' -SR09-



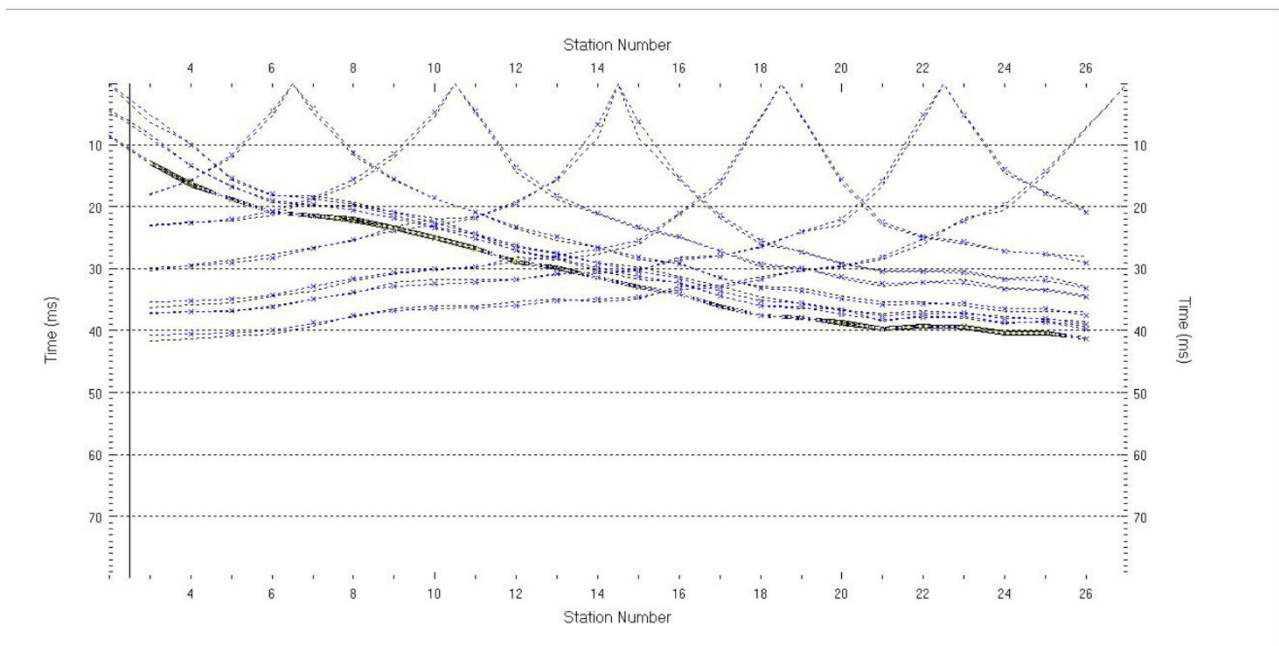
MODELLO DEL GRADIENTE DI VELOCITA' -SR09-



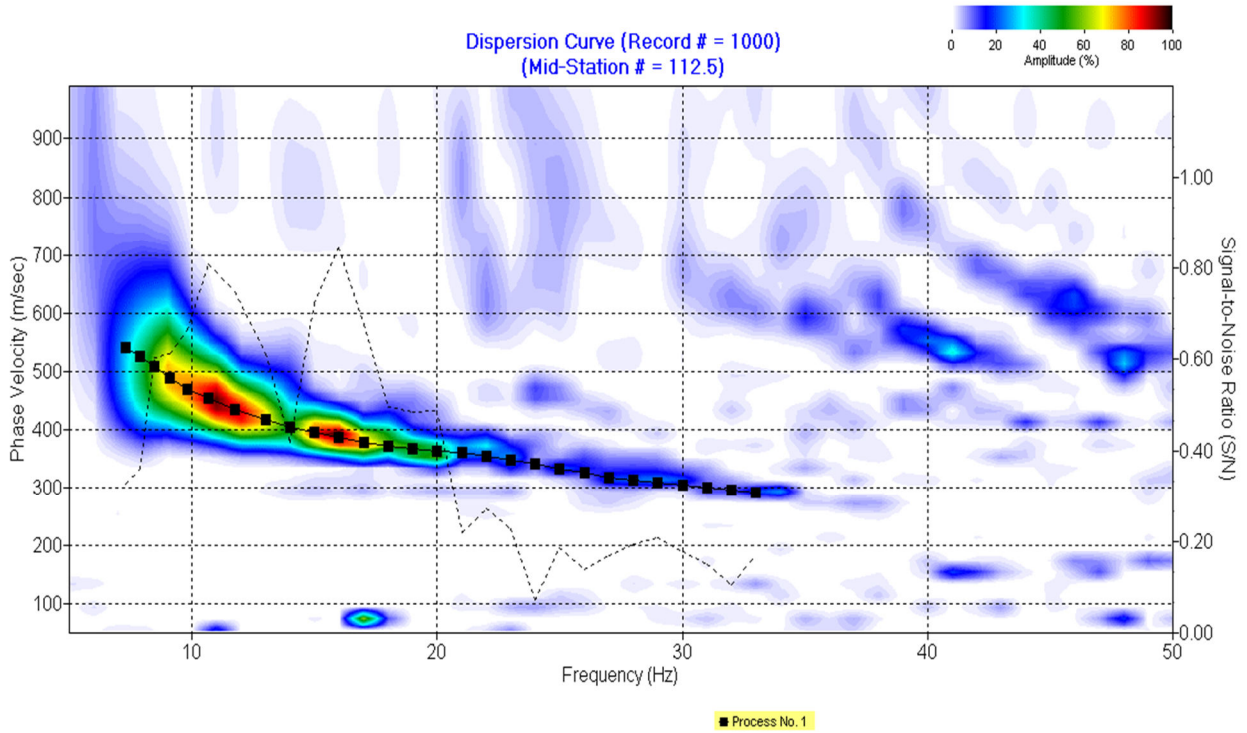
PERCORSO DEI RAGGI SISMICI -SR09-



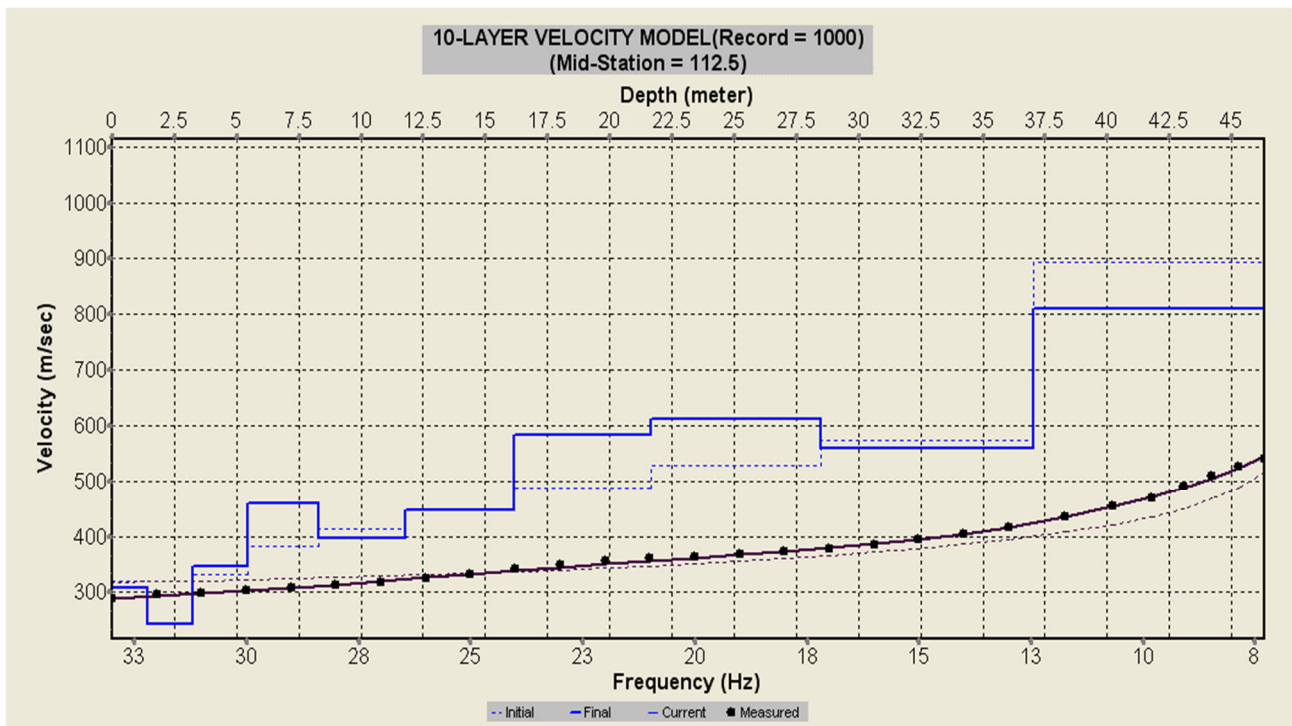
DROMOCRONE - SR09 -



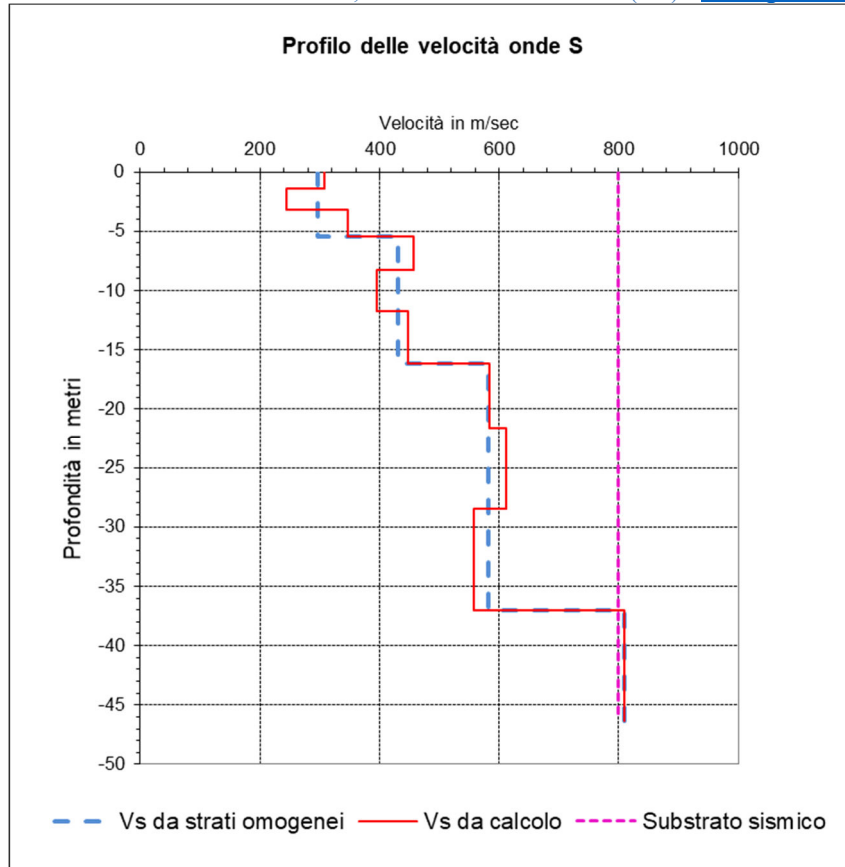
### MASW MW14



Curva di dispersione



Curve di inversione



<i>Profondità dal p.c. (metri)</i>	<i>Velocità delle onde S (m/sec)</i>	<i>Profondità della base degli orizzonti omogenei (metri)</i>	<i>Spessore dei sismostrati omogenei (metri)</i>	<i>Velocità delle onde S per orizzonti omogenei (m/sec)</i>
-1.436	307.524	5.48	5.48	296
-3.231	243.576			
-5.475	346.501	16.17	10.69	431
-8.28	457.407			
-11.786	395.613			
-16.169	446.782	37.05	20.88	581
-21.647	583.407			
-28.495	610.861			
-37.054	557.88	46.32	9.26	809
-46.318	809.101			

**Velocità equivalente ( $V_s, eq$ ) = 450 m/sec (riferimento al piano campagna)**

$$V_s, eq = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

**Categoria sismica di suolo: B**

## TRATTO “VALLONE DELLA BOTTE”

Le indagini realizzate sul tratto di tracciato che interessa il versante sinistro del *Vallone della Botte*, sono consistite in una sismica a rifrazione con lunghezza di 120m (SR08) e una tomografia elettrica di resistività (TE03) derivante da una stesa elettrodica di 200m. Tale settore è caratterizzato da un assetto geologico sempre influenzato da una tettonica compressiva molto spinta. Il sito di indagine è compreso tra due fronti di accavallamento tettonico che si sviluppano in direzione NW-SE. Nell'area di interesse affiorano le litologie appartenenti alla *Formazione del Flysch Rosso* che in zone è prettamente pelitica, caratterizzata dal prevalere della componente argillosa, a tratti più o meno marnosa, con rari intercalazioni di calciliti. Appena a Nord-Est dall'area di interesse, tali terreni sono in sovrascorrimento su quelli del *Sintema di Tolve*.

**Prospezione SR08.** La base sismica ricadente sul versante sinistro del *Vallone della Botte* è stata eseguita in direzione della massima pendenza del versante, con 24 geofoni ad interdistanza di 5.0 m ed elaborata in sismica a rifrazione tomografica. Il modello di velocità delle onde di compressione è caratterizzato dalla presenza di un orizzonte superficiale a bassa velocità, riferibile ad una coltre fortemente alterata e degradata, che ha spessori compresi tra 4 e 6 m circa e velocità delle onde P inferiori a 900 m/sec, caratterizzato da una evidente continuità laterale. La distribuzione dei valori di velocità al di sotto di questo primo orizzonte è invece interessata da una certa variabilità laterale; in particolare si osserva, intorno alla progressiva 60 m, un aumento dei valori di  $V_p$  verso Ovest (valle), che si manifesta nel “sollevamento” delle isolinee di velocità e quindi del gradiente. Il risultato è la presenza di un orizzonte intermedio (riferibile alle argille prevalenti del Flysch Rosso), interessato da forte degradazione, presumibilmente anche per i processi gravitativi che lo interessano, il cui spessore tende a ridursi da monte, dove la base coincidente con l'isolinea 1700 m/sec è posta a circa 13-14 m di profondità, verso valle tende a rastremarsi a circa 7 m. Nella porzione sottostante il gradiente di velocità tende a diminuire, indicando caratteri di omogeneità elastica, con un nucleo più rigido tra le progressive 85 e 100 m, presumibilmente in corrispondenza di un settore più marnoso.

Tabella dei moduli elastici dinamici medi SR08

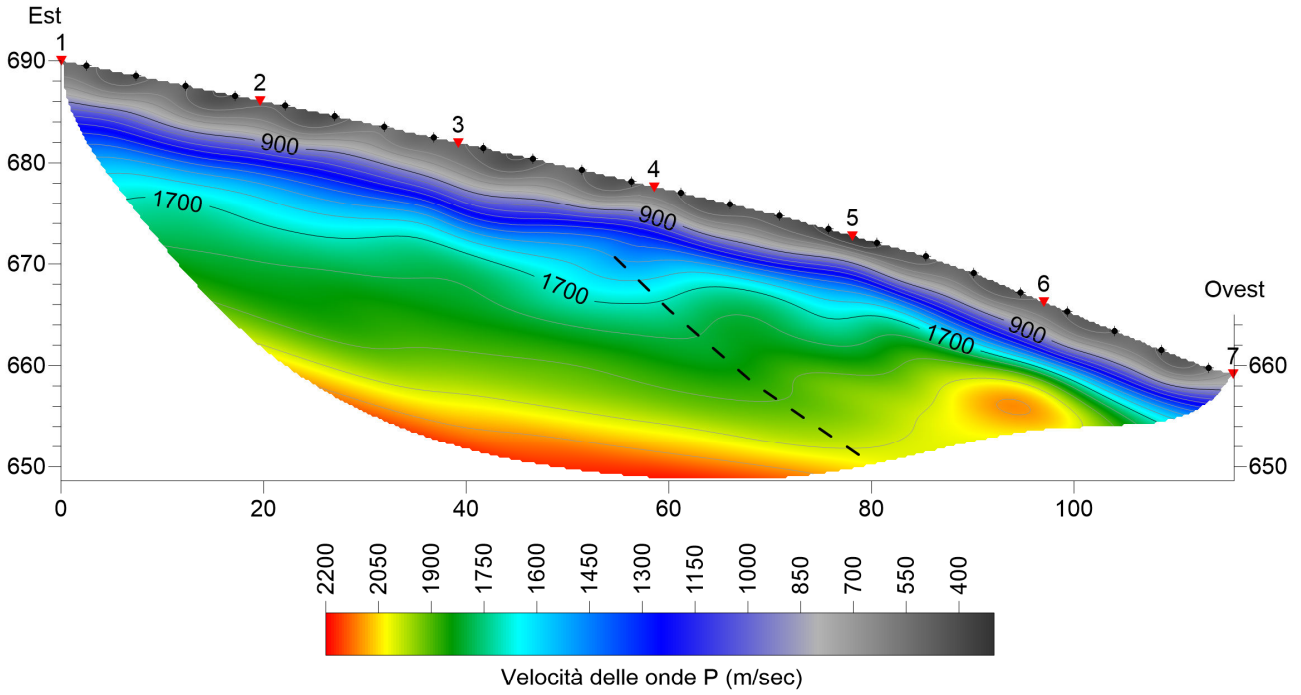
	<i>Coltre eluvio-colluviale</i>	<i>Orizzonte fortemente degradato e alterato</i>	<i>Argille e argilliti molto fratturate</i>	<i>Argille e argille marnose fratturate</i>
Coefficiente di Poisson $\mu$	0.39	0.44	0.43	0.43
Velocità onde longitudinali $V_p$ (m/sec)	570	1440	1830	2130
Velocità onde trasversali $V_s$ (m/sec)	242	471	641	746
Peso di volume $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.90	2.10	2.20	2.20
Modulo di Young Edin (Mpa)	315.5	1369.7	2637.8	3573.6
Modulo di Rigidità G (Mpa)	113.5	475.6	922.3	1249.5

**Tomografia di resistività elettrica TE03.** Ricade sullo stesso versante in cui è stata realizzata la prospezione sismica, ma la linea elettroica è in direzione trasversale ad essa, quindi in direzione parallela al versante. Realizzata con 81 elettrodi tra loro intervallati di 2.5m, per una lunghezza totale di 200 m, ha consentito di investigare una profondità di circa quasi 50 m. I valori della resistività elettrica reale risultanti dall'inversione tomografica, sono compresi in un range molto ristretto. Se si escludono alcune anomalie molto localizzate presenti nell'orizzonte superficiale interessato da fessurazioni, dove i valori della resistenza elettrica specifica possono superare i 15  $\Omega\text{m}$ , questi sono compresi tra 1.5 e 6  $\Omega\text{m}$ . Siamo quindi in un ambito litologico che vede il netto prevalere della componente argillosa. Nel modello sono stati differenziate le zone con valori di resistività compresi tra 4 e 6  $\Omega\text{m}$ , in cui è prevedibile la presenza di una leggera componente calcarea (argille marnose), con quelle che mostrano resistività ancora più bassa, dove la litologia è prettamente argillosa. Queste ultime si localizzano nella parte centrale del modello, fino a una profondità di 13-14 m, e in due nuclei posti nella porzione terminale della sezione, tra l'altro in corrispondenza di fenomeni gravitativi recenti che interessano il versante investigato.

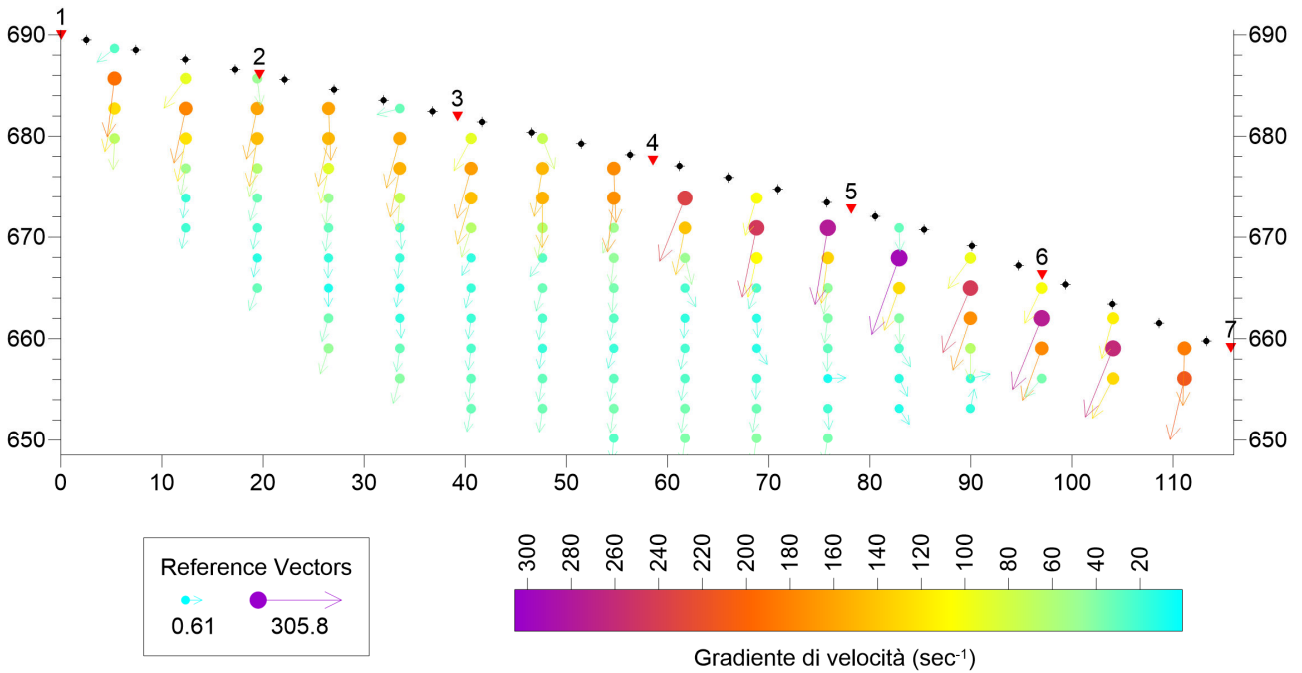


**Acquisizione dati profilo geoelettrico TE03**

MODELLO DI VELOCITA -SR08-

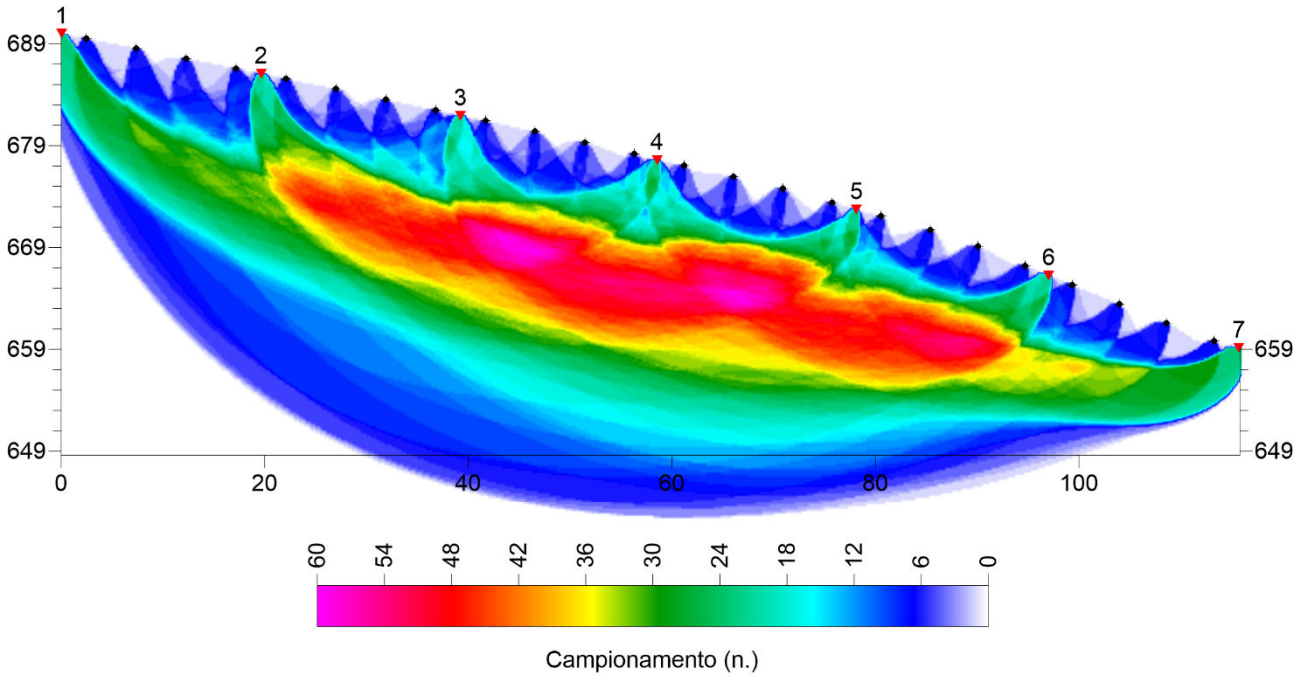


MODELLO DEL GRADIENTE DI VELOCITA -SR08-

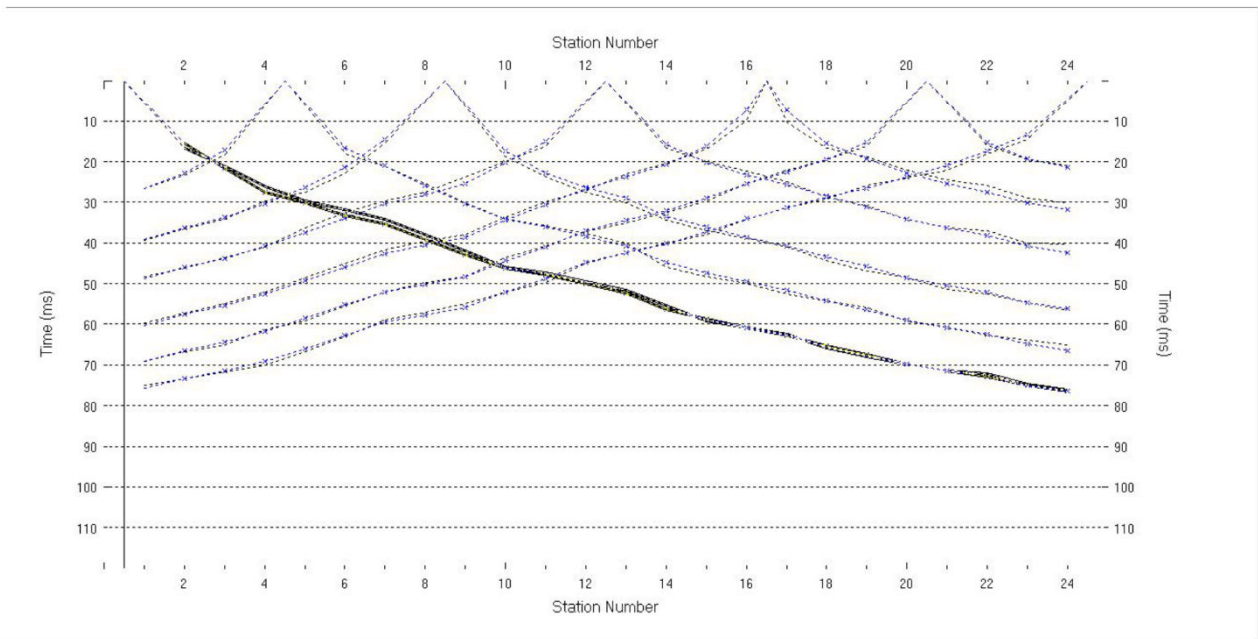




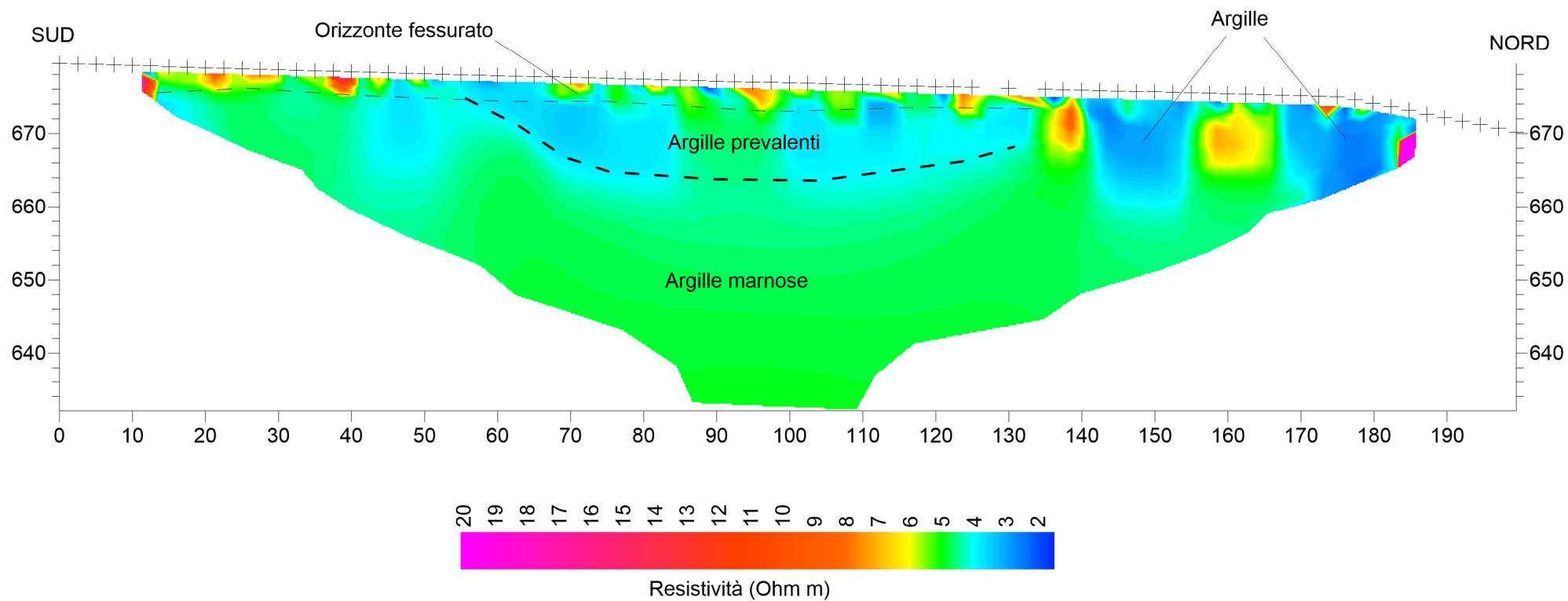
PERCORSO DEI RAGGI SISMICI -SR08-



DROMOCRONE -SR08-



## MODELLO DI RESISTIVITA' -TE03-



## **TRATTO TRA IL “TORRENTE CASTAGNA” E IL “VALLONE CIRIFUOLO”**

I terreni affioranti in questo tratto sono costituiti da coltri eluvio-colluviali e di frana giacenti su depositi marini del Pliocene medio-superiore (*Sintema di Tolve*). Si tratta di peliti (litologia argillo-siltose), con intercalazioni di livelli arenitici e siltitici e di facies più prettamente granulari di tipo sabbioso-arenacee.

**Prospezione SR03.** La base sismica, costituita da 48 sensori geofonici intervallati di 5.0 m, per una lunghezza complessiva di 240 m, interessa trasversalmente un crinale con la parte sommitale terrazzata e i due versanti degradanti verso NE e SW. I terreni affioranti sono costituiti da un suolo, più spesso nell'area sommitale sub-pianeggiante, in quanto meno eroso, giacenti sui depositi marini del Pliocene medio-superiore (argille-siltose-marnose), con intercalazioni di livelli arenitici e siltitici. Il modello di velocità delle onde P risultante dall'inversione tomografica dei tempi di arrivo delle onde di compressione (rifratte), ha consentito di investigare una profondità di oltre 70m, grazie alla presenza di un gradiente verticale positivo che interessa la compagine per un notevole spessore. Si riconoscono due orizzonti superficiali riconducibili a coltri di alterazione e degradazione della formazione pelitica presente: il primo, con velocità delle onde P comprese tra 360 m/sec e 700 m/sec ha spessore di circa 5 m nella parte sommitale (crinale), mentre tende a ridursi fino a un m circa sui versanti, dove, evidentemente, i processi erosivi del suolo tendono a smantellare questo orizzonte di alterazione superficiale. Al di sotto di questo primo strato sismico si osserva la presenza di un orizzonte caratterizzato da un elevato gradiente di velocità, che porta il valore delle onde di compressione da 700 m/sec a oltre 1900 m/sec a 10-12 m di profondità. Questa condizione è imputabile alla presenza del substrato pelitico caratterizzato da un certo grado di fessurazione e “allentamento” superficiale, che rapidamente diviene meno importante con la profondità. Al di sotto dei 10-12 m, la compagine mostra caratteri di buona omogeneità sia laterale, che verticale (il gradiente di velocità si riduce bruscamente) fino ad almeno 40 m di profondità, in corrispondenza della isolinea 2300 m/sec. Quindi al di sotto la velocità riprende ad aumentare, ma in maniera molto graduale, forse in corrispondenza di un cambio litologico. L'interpretazione proposta sembra essere confermata anche dai risultati dell'elaborazione relativa al MASW05, localizzato circa 300 m a Sud, dove il profilo delle velocità delle onde di taglio mostra un primo orizzonte spesso poco più di 3 m, riconducibile alla coltre di alterazione, con Vs pari a 206 m/sec; quindi si osserva un orizzonte con graduale aumento delle velocità relative alle onde di taglio fino a 11.6 m di profondità (orizzonte fessurato con Vs media di 357 m/sec) e quindi si raggiunge un orizzonte molto omogeneo riconducibile alla Formazione pelitica integra, con Vs medio di 480 m/sec, fino a oltre 35 m di profondità. L'indagine sismica *Masw MW13*, realizzata nel fondovalle appena a sud del versante in

cui ricade l'indagine *MW05*, mostra un profilo di  $V_s$  che in profondità è sostanzialmente analogo al profilo *MW05*, mentre più spessi (5.8 m) e meno rigidi sono gli orizzonti di copertura, in parte riferibili ad alluvioni, in parte a coltri di alterazione.

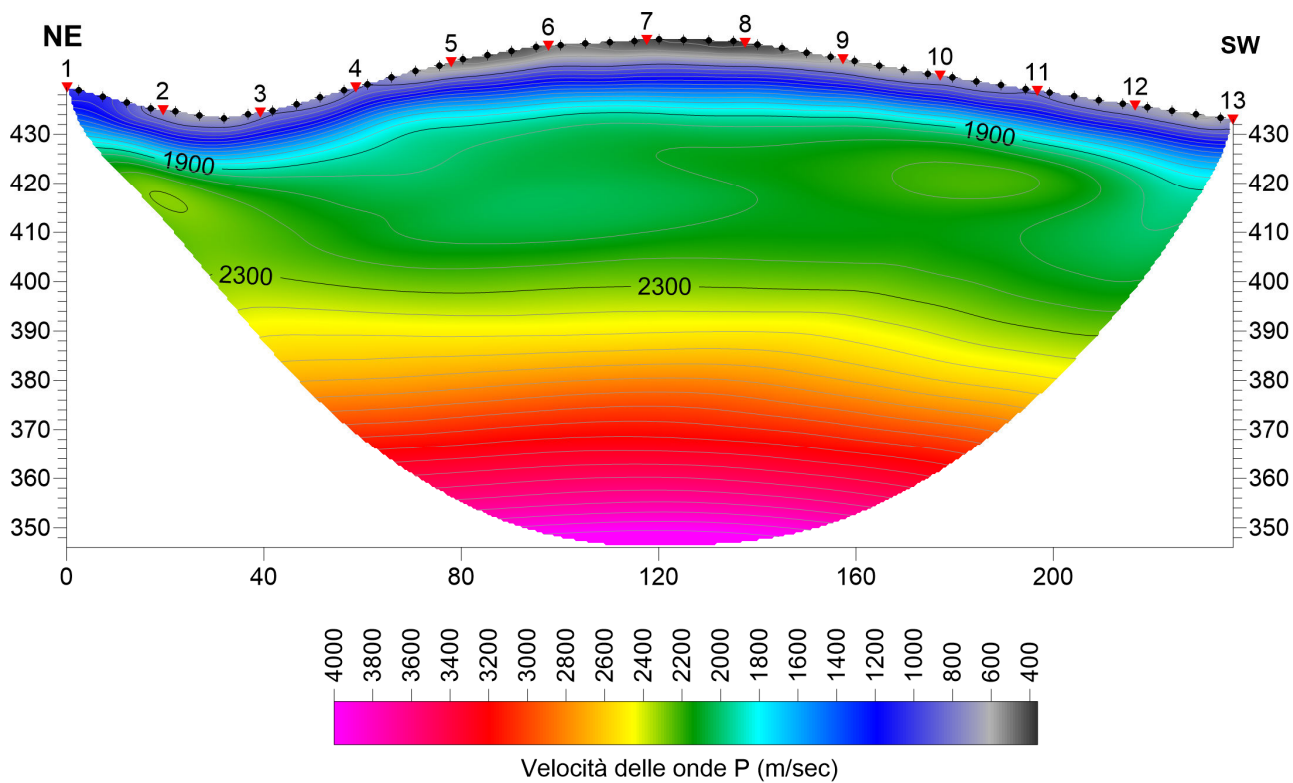
Tabella dei moduli elastici dinamici medi SR03 – MW05 – MW13

	<i>Coltre superficiale di forte alterazione a alluvioni di fondovalle</i>	<i>Alternanza pelitico-arenitica fessurata</i>	<i>Alternanza pelitico-arenitica</i>	<i>Areniti prevalenti</i>
Coefficiente di Poisson $\mu$	0.387	0.441	0.467	0.447
Velocità onde longitudinali $V_p$ (m/sec)	480	1100	1940	2450
Velocità onde trasversali $V_s$ (m/sec)	206	357	480	757
Peso di volume $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.85	2.00	2.20	2.20
Modulo di Young Edin (Mpa)	222.0	748.9	1516.4	3719.7
Modulo di Rigidità G (Mpa)	80.0	259.8	516.7	1285.1

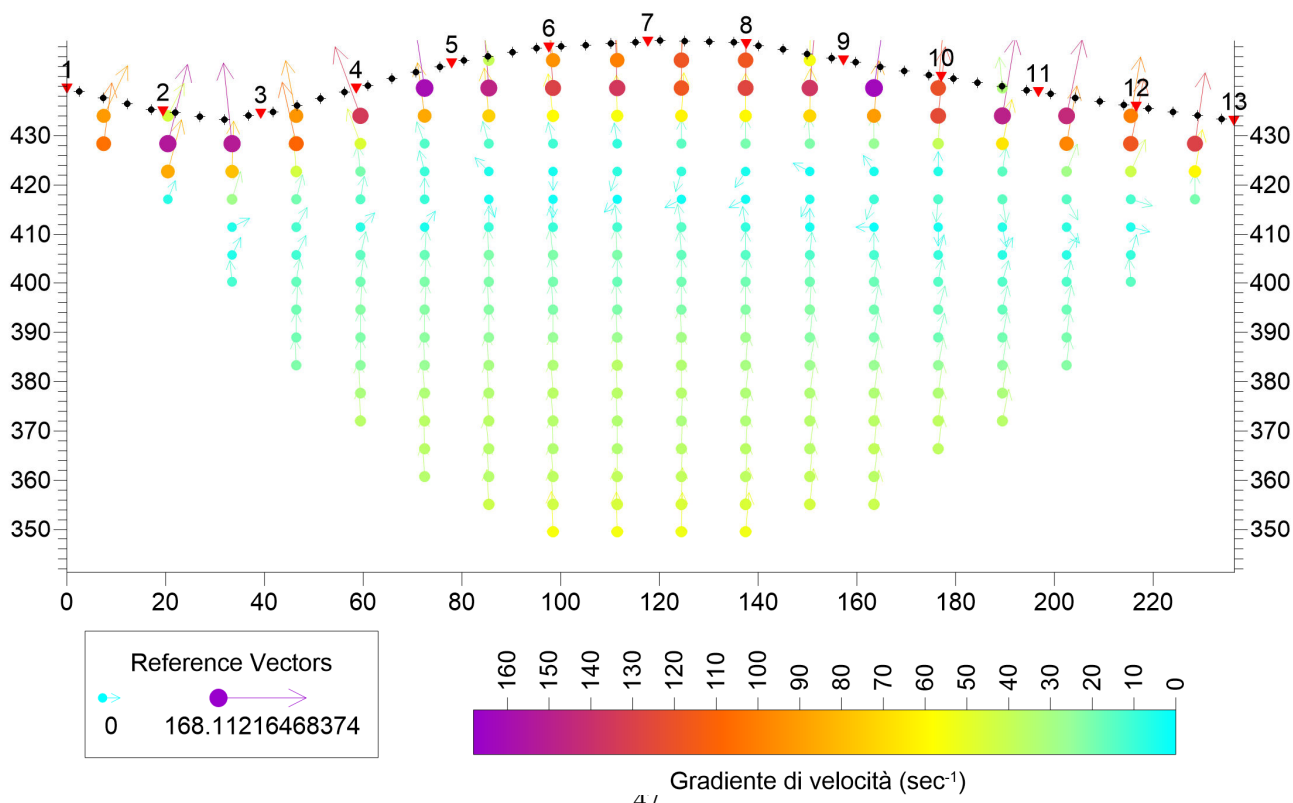


**Profilo sismico a rifrazione SR03**

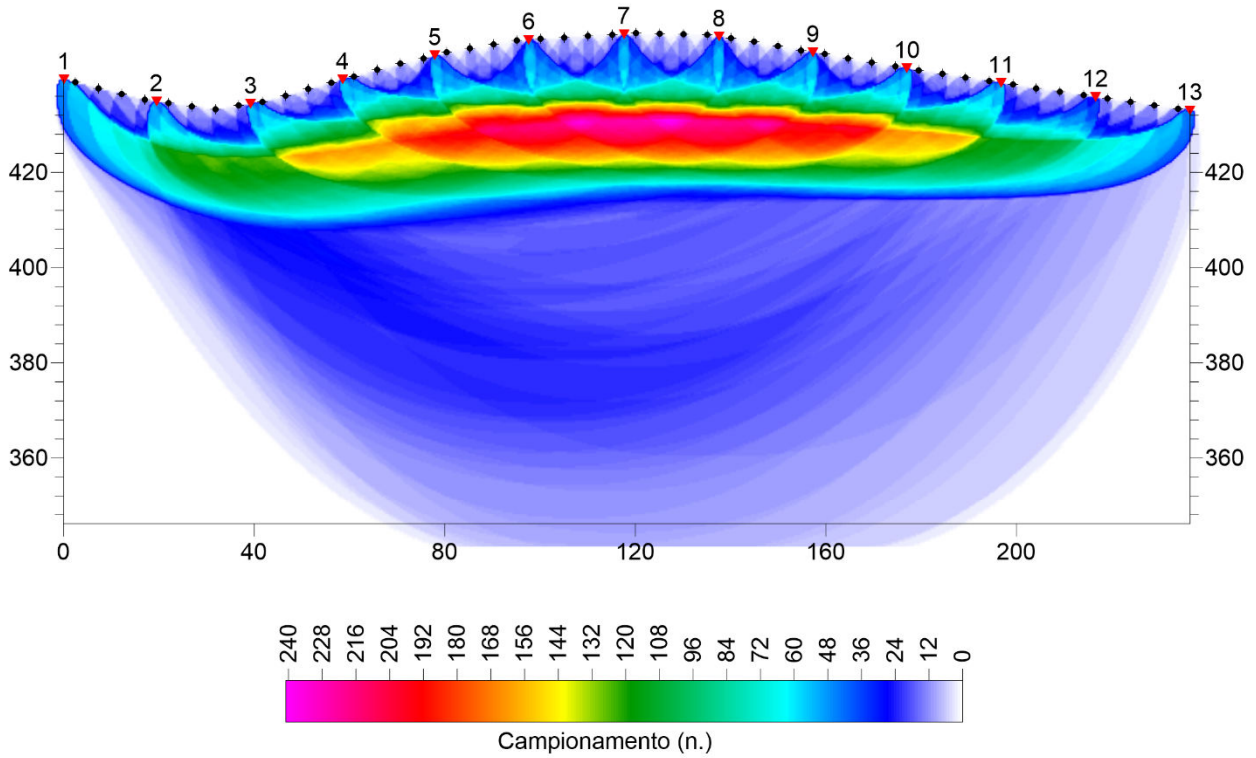
**MODELLO DI VELOCITA -SR03-**



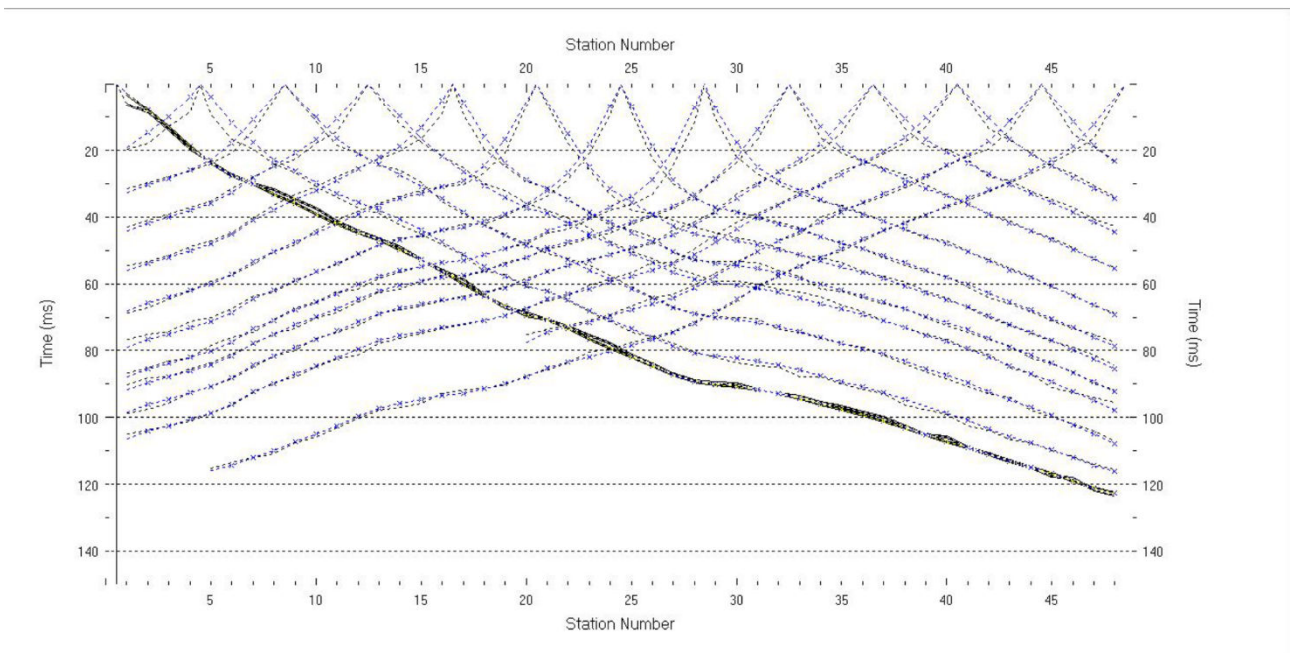
**MODELLO DEL GRADIENTE DI VELOCITA -SR03-**



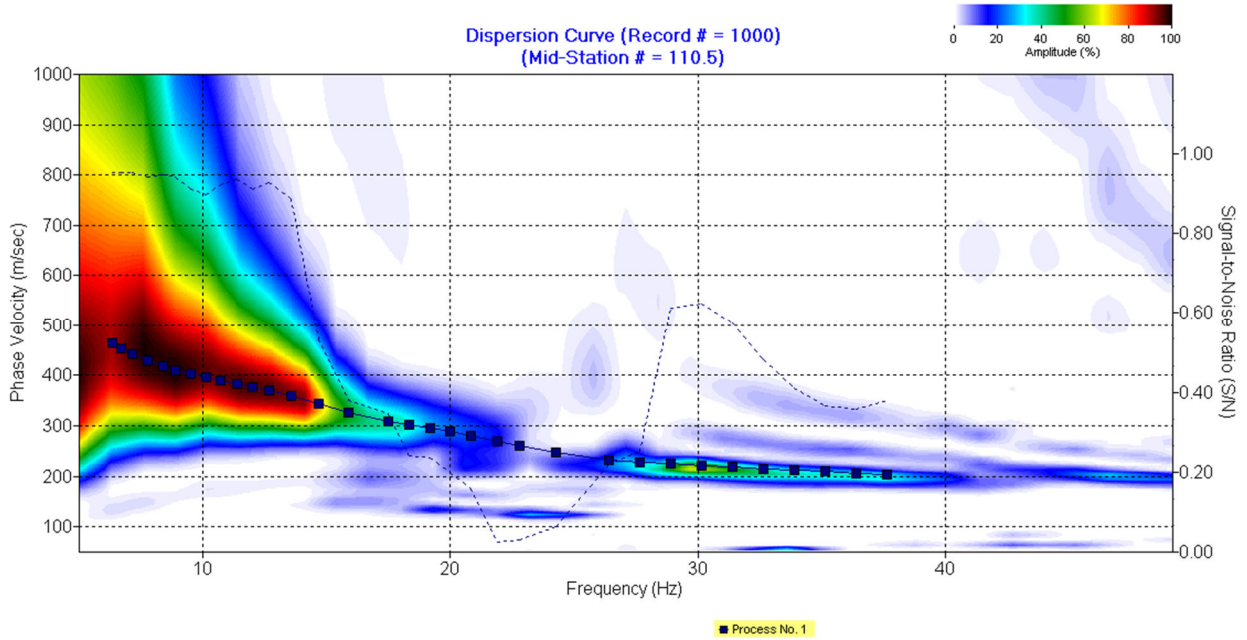
PERCORSO DEI RAGGI SISMICI -SR03-



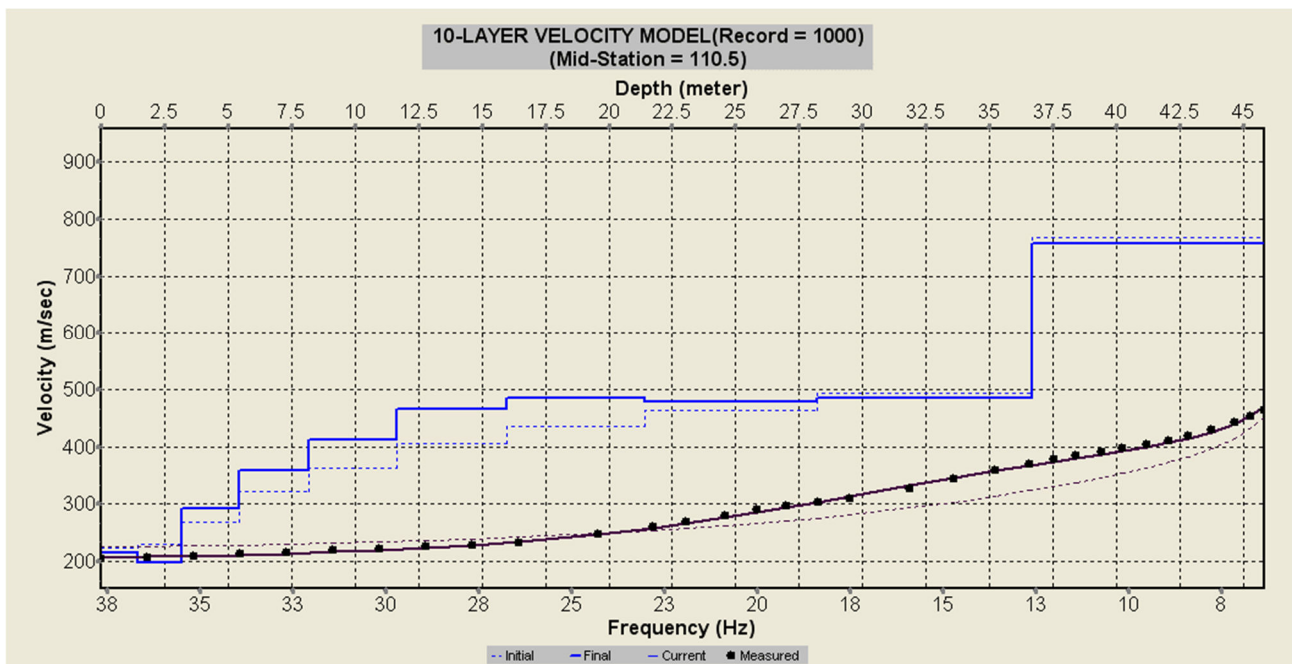
DROMOCRONE -SR03-



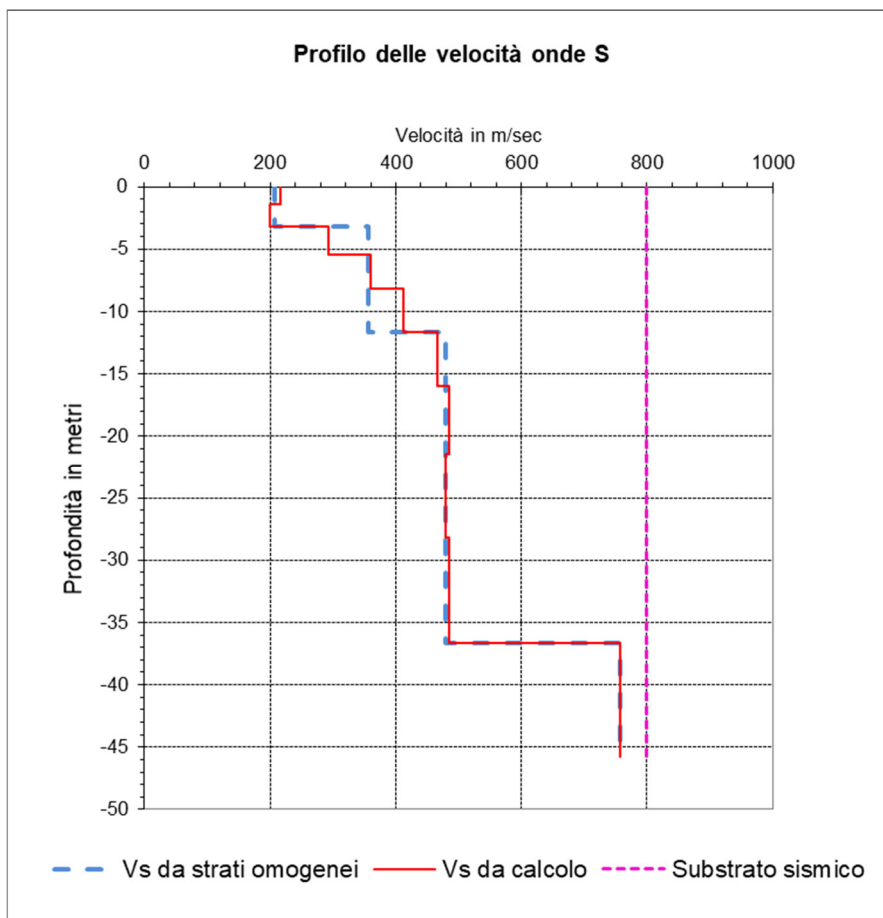
### MASW MW05



Curva di dispersione



Curve di inversione



<i>Profondità dal p.c. (metri)</i>	<i>Velocità delle onde S (m/sec)</i>	<i>Profondità della base degli orizzonti omogenei (metri)</i>	<i>Spessore dei sismostrati omogenei (metri)</i>	<i>Velocità delle onde S per orizzonti omogenei (m/sec)</i>
-1.421	215.978	3.20	3.20	206
-3.197	198.956			
-5.416	293.053	11.66	8.46	357
-8.191	359.285			
-11.66	412.728			
-15.995	466.296	36.66	25.00	480
-21.415	484.044			
-28.189	479.63			
-36.657	485.429			
-45.821	756.852	45.82	9.16	757

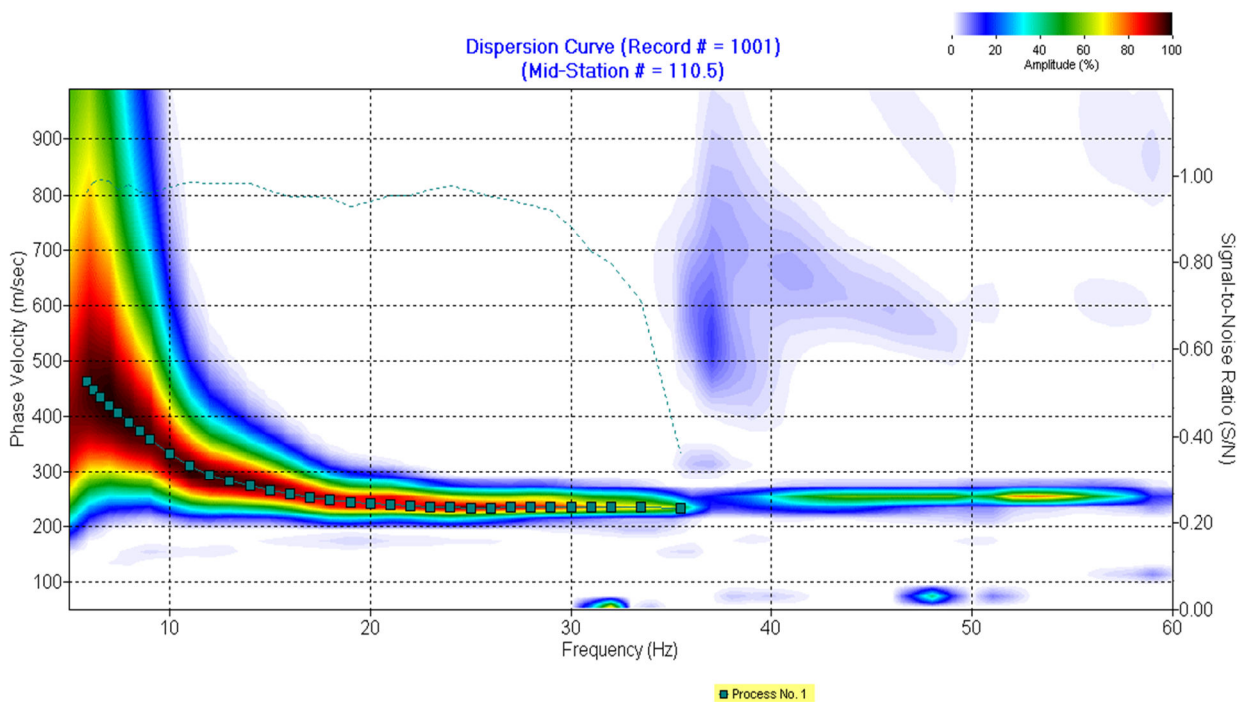
**Velocità equivalente ( $V_{s, eq}$ ) = 387 m/sec (riferimento al piano campagna)**

$$V_{s, eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

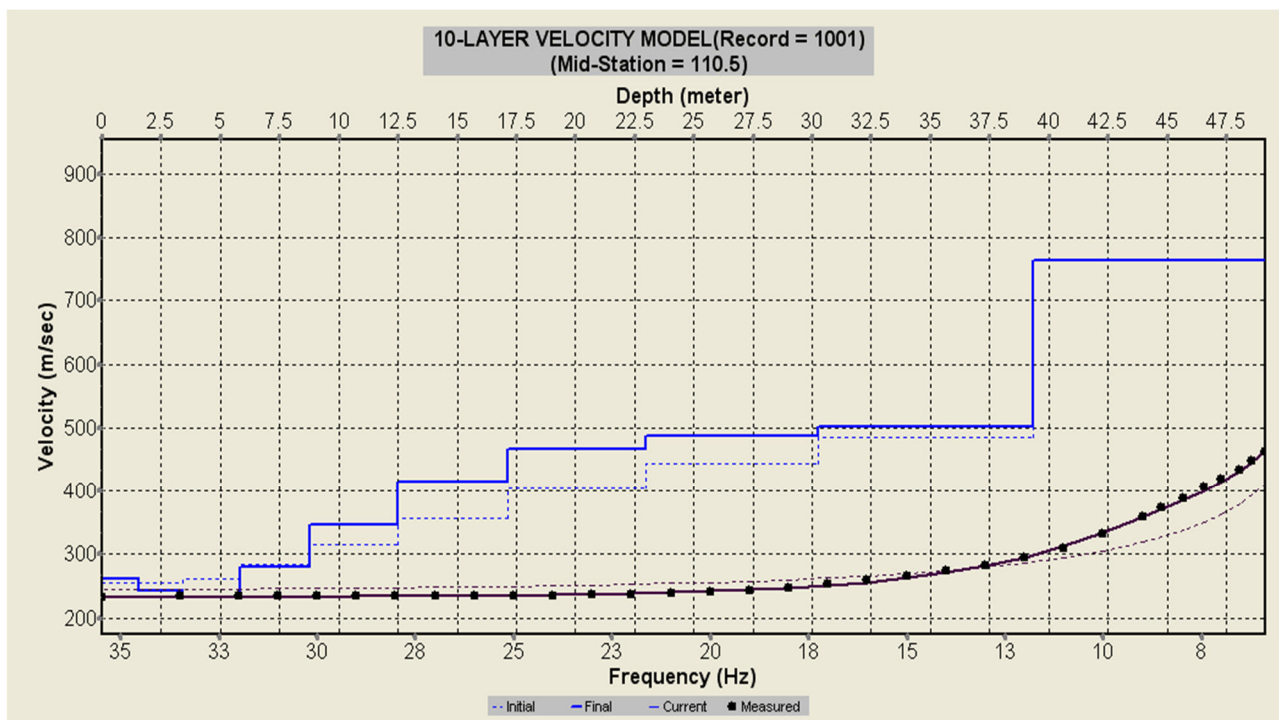
**Categoria sismica di suolo: B**



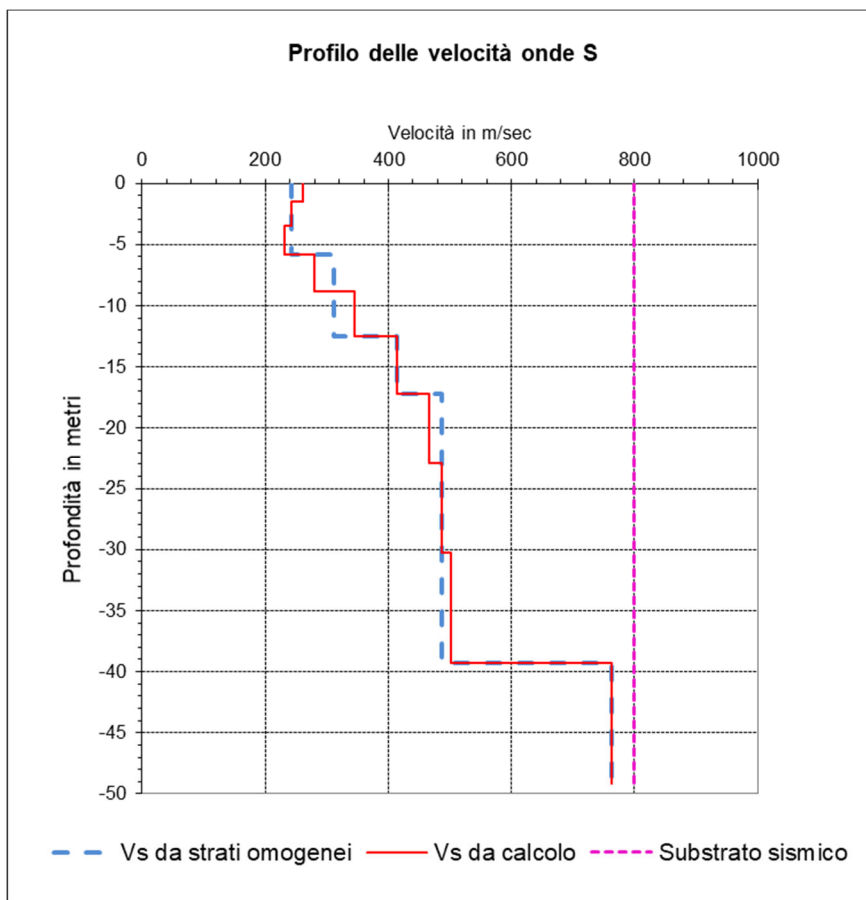
### MASW MW13



Curva di dispersione



Curve di inversione



<i>Profondità dal p.c. (metri)</i>	<i>Velocità delle onde S (m/sec)</i>	<i>Profondità della base degli orizzonti omogenei (metri)</i>	<i>Spessore dei sismostrati omogenei (metri)</i>	<i>Velocità delle onde S per orizzonti omogenei (m/sec)</i>
-1.188	219.784	5.81	5.81	242
-2.674	199.857			
-4.531	146.992			
-6.852	294.624	12.51	6.70	312
-9.753	367.956			
-13.38	383.056	17.16	4.65	414
-17.914	462.689			
-23.581	574.869	39.33	22.17	487
-30.664	635.243			
-38.33	803.54			

**Velocità equivalente ( $V_s, eq$ ) = 359 m/sec (riferimento al piano campagna)**

$$V_{s, eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

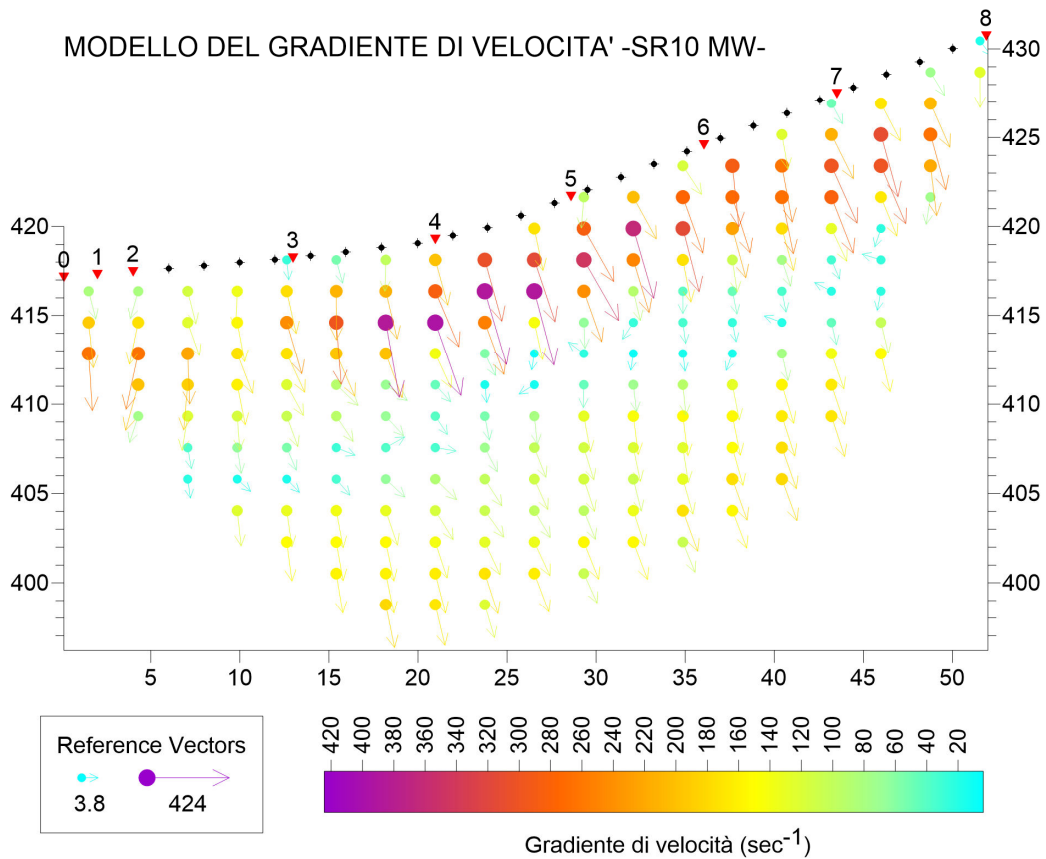
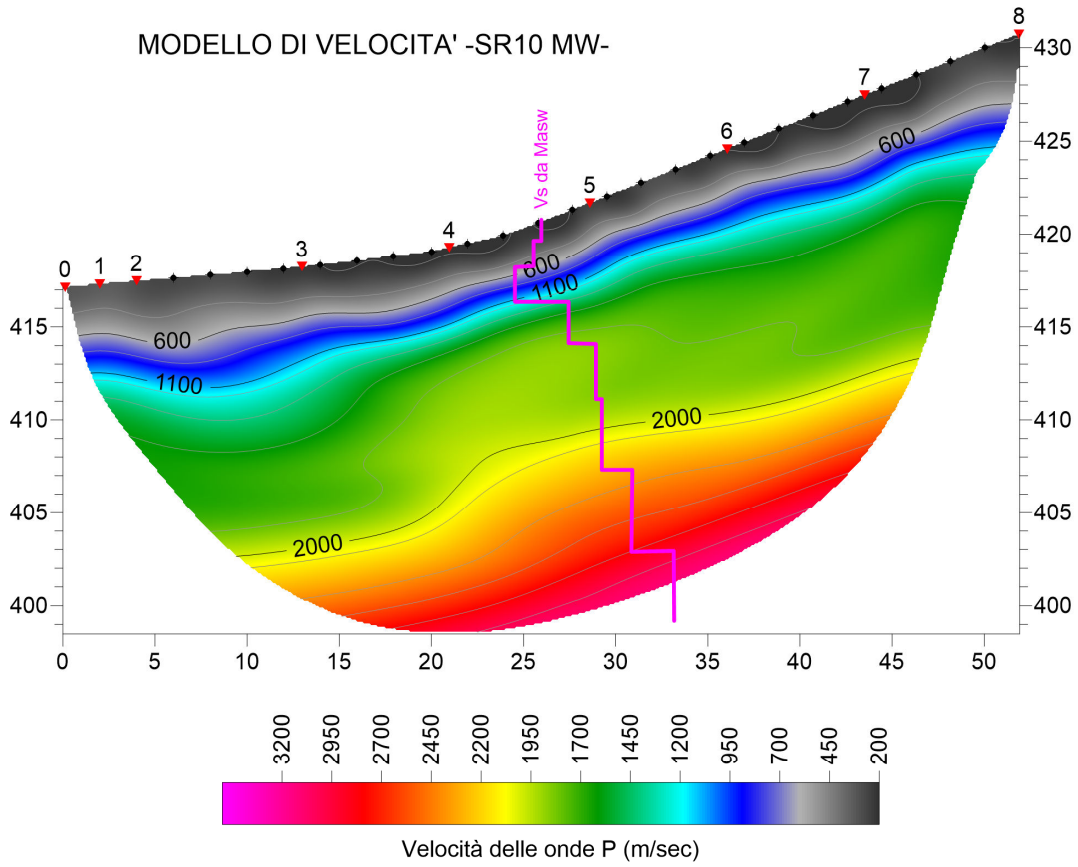
**Categoria sismica di suolo: C**

**Prospezione SR10MW.** L'indagine sismica combinata tra sismica a rifrazione e MASW (eseguita sulla stessa stesa geofonica) ricade circa 240 m a NE dell'indagine SR03. La base geofonica, costituita da 24 sensori geofonici intervallati di 2.0 m è stata realizzata sul versante sinistro di un impluvio, in direzione della sua massima pendenza, a partire dalla piccola sponda dell'incisione torrentizia. Il contesto stratigrafico è sempre da ascrivere ai depositi marini del Pliocene medio-superiore già descritti. Il modello di velocità delle onde P è caratterizzato da un orizzonte lento, attribuibile ad una coltre eluvio colluviale, spessa tra 3.5 e 4.5 m circa, con  $V_p$  media pari a 420 m/sec. Quindi si passa ad un orizzonte, riferibile al substrato pliocenico, caratterizzato da  $V_p$  ancora relativamente basse, con un valore medio di 780 m/sec. Complessivamente, questi due orizzonti possono essere accorpati in un unico strato sismico, con valore di  $V_s$  medio di 178 m/sec (coltre sciolta/poco consistente), con profondità di circa 4.5 m. Al di sotto di questo orizzonte superficiale si nota un graduale miglioramento dei caratteri elastici dinamici della compagine: fino a 6.8 m di profondità, con  $V_s$  pari a 295 m/sec, associabile a un orizzonte a medio addensamento/consistenza. Quindi gradualmente si riscontra una crescita continua sia delle  $V_p$ , che delle velocità delle onde di taglio, che denotano la presenza di terreni molto consistenti e/o addensati. Un salto di velocità più importante si riscontra a 30.6 m di profondità, dove il valore di  $V_s$  supera di poco gli 800 m/sec.

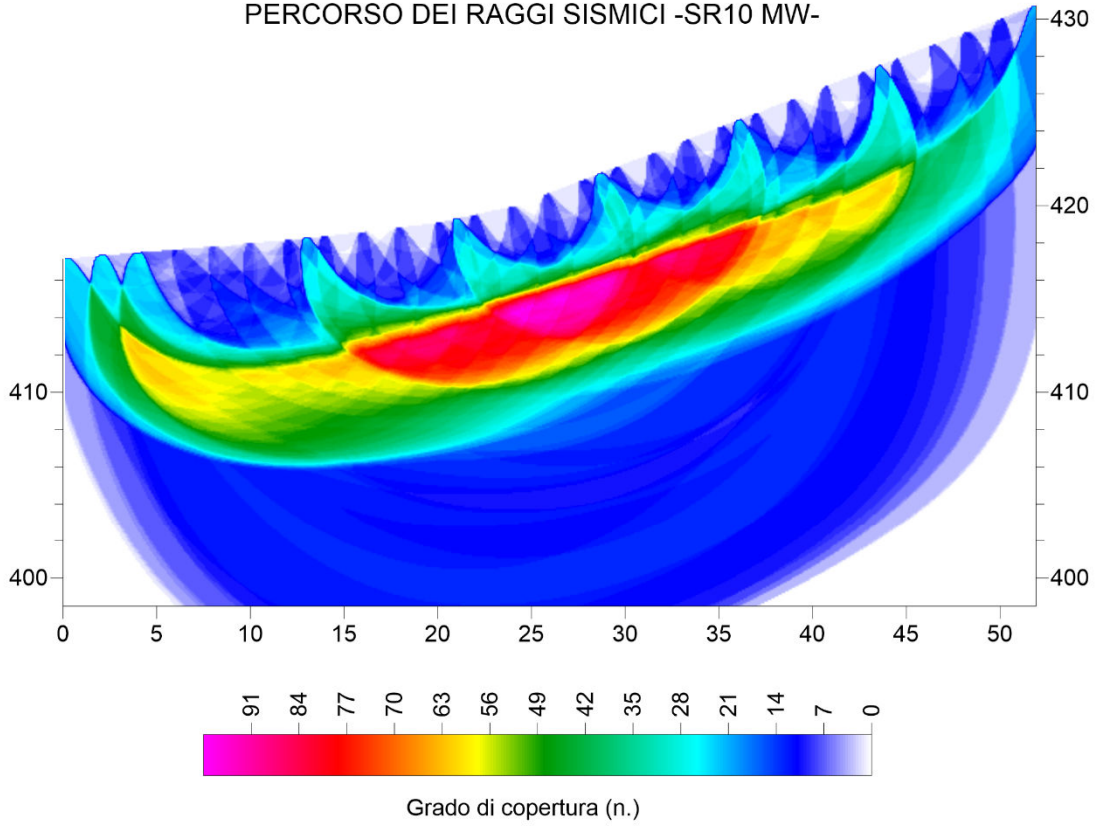
Tabella dei moduli elastici dinamici medi SR10-Mw

	<i>Coltre superficiale di forte alterazione</i>	<i>Alternanza pelitico-arenitica a media consistenza</i>	<i>Alternanza pelitico-arenitica molto consistente</i>	<i>Areniti prevalenti</i>
Coefficiente di Poisson $\mu$	0.442	0.421	0.431	0.427
Velocità onde longitudinali $V_p$ (m/sec)	550	800	1320	2250
Velocità onde trasversali $V_s$ (m/sec)	178	295	460	804
Peso di volume $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.85	2.00	2.20	2.20
Modulo di Young Edin (Mpa)	172.3	504.3	1358.0	4136.8
Modulo di Rigidità G (Mpa)	59.8	177.4	474.5	1449.7

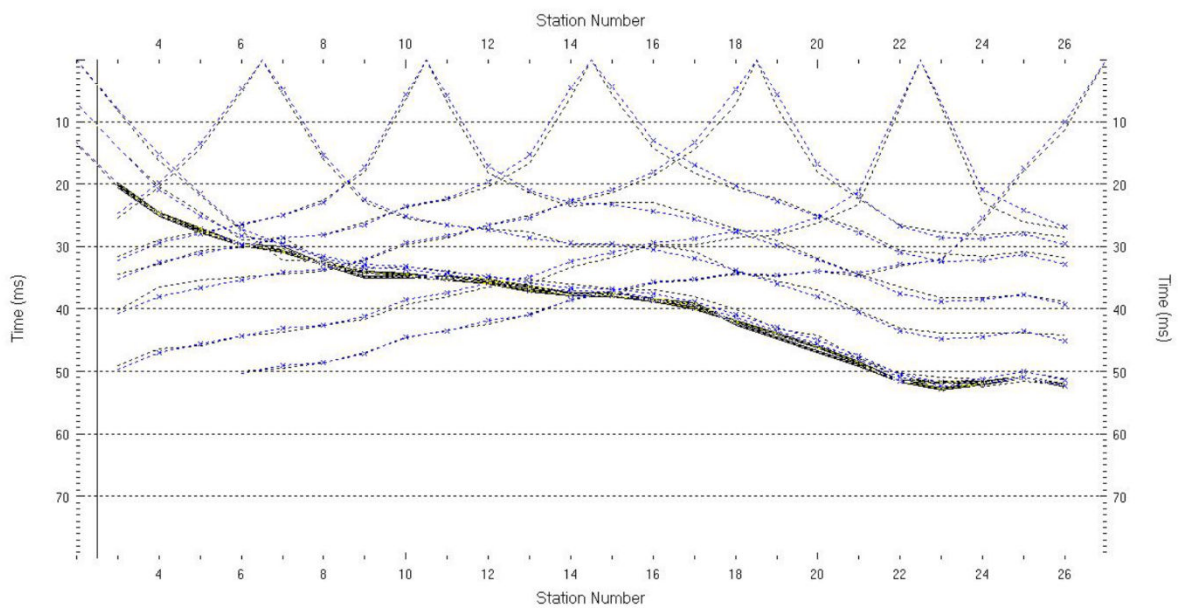
Nello stesso contesto geolitologico è stato realizzato l'indagine sismica MASW MW5, che riporta una distribuzione di velocità delle onde di taglio del tutto simile, con una riduzione degli strati di copertura a 2.7 m circa.



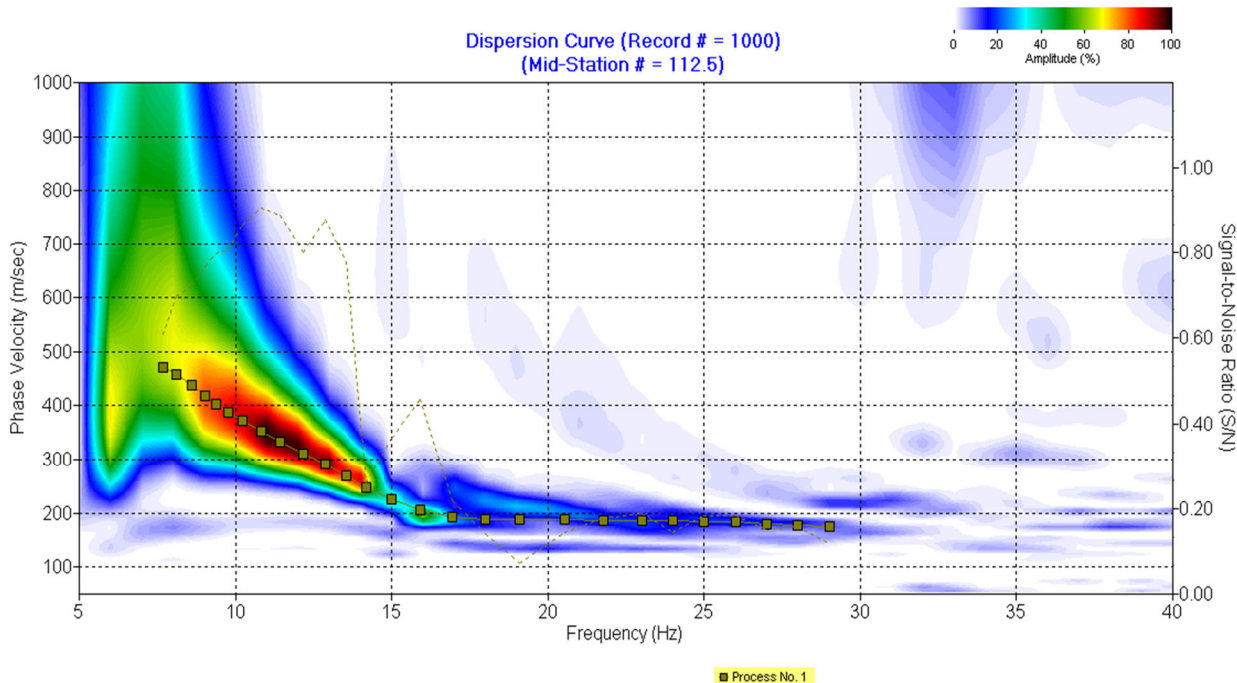
PERCORSO DEI RAGGI SISMICI -SR10 MW-



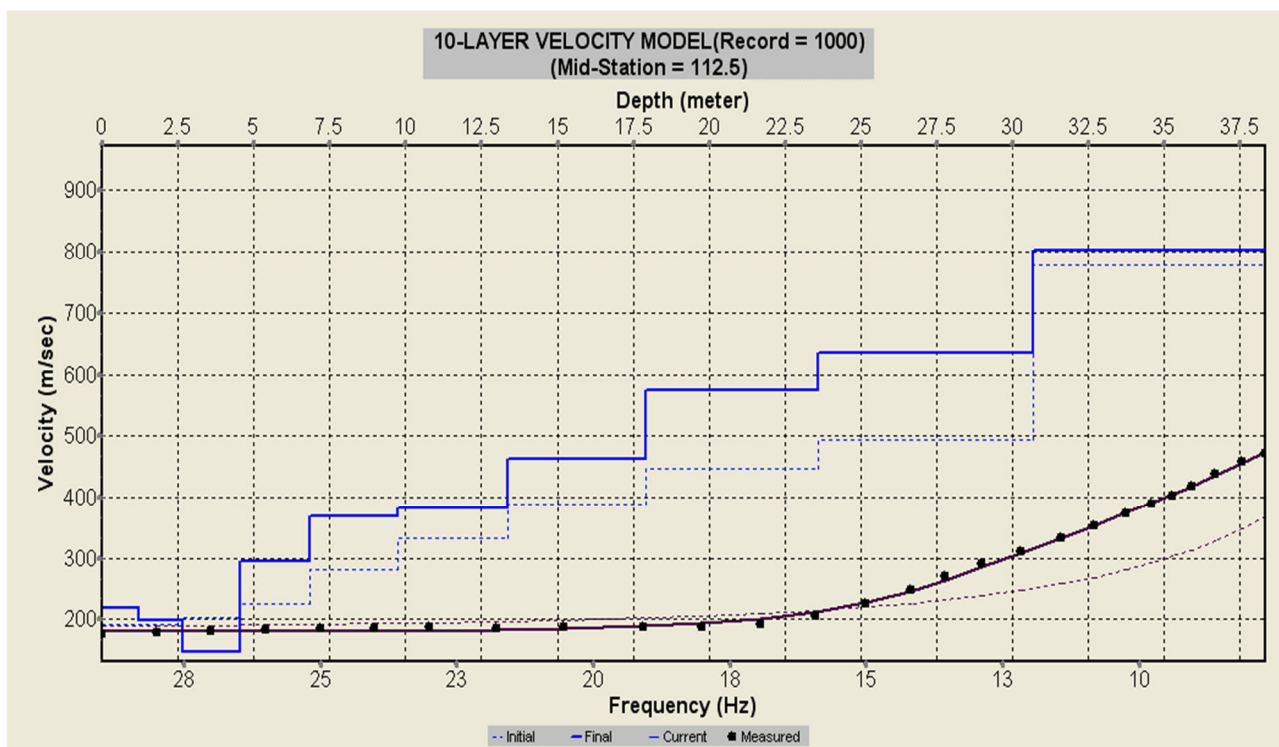
DROMOCRONE - SR10 MW -



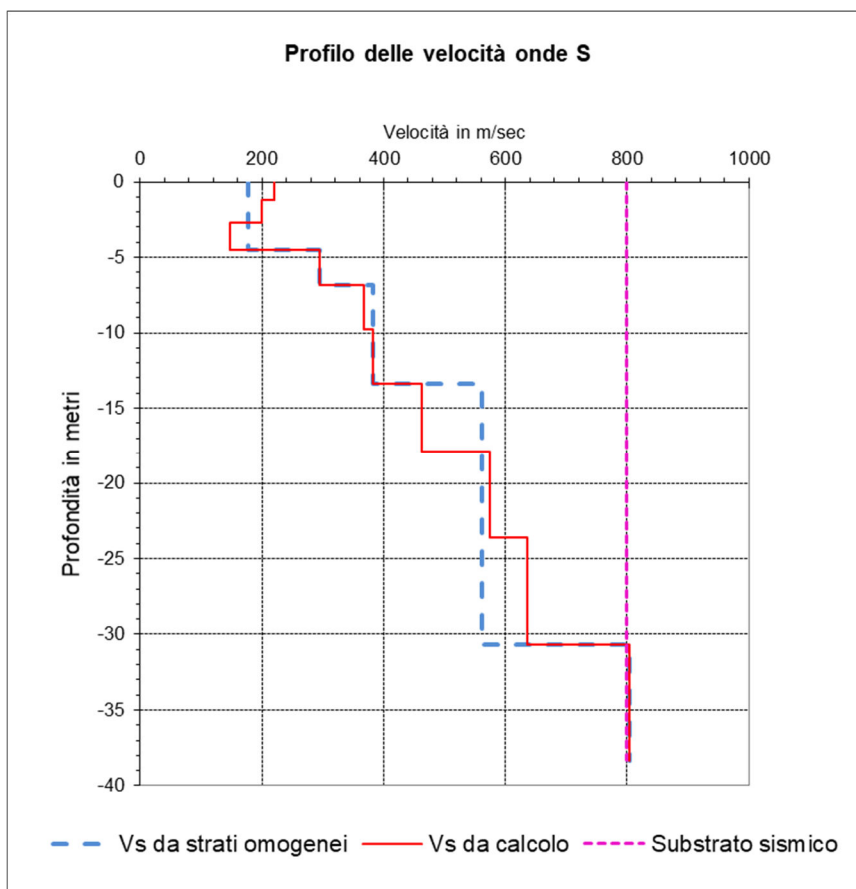
### MASW SR10MW



Curva di dispersione



Curve di inversione



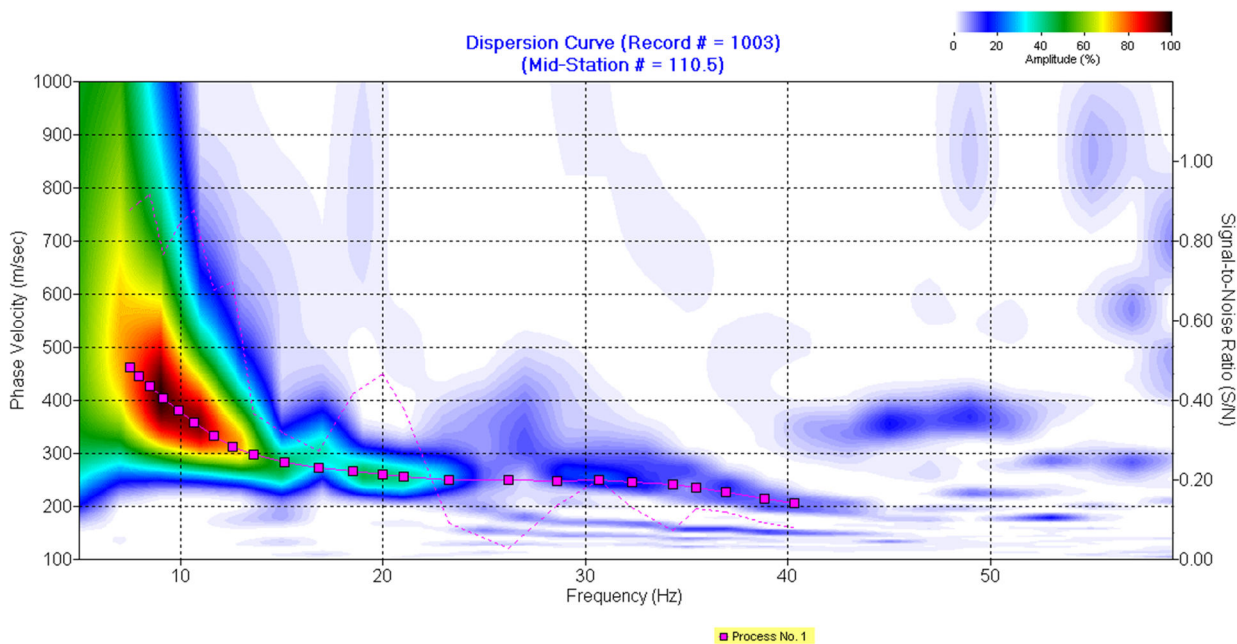
<i>Profondità dal p.c. (metri)</i>	<i>Velocità delle onde S (m/sec)</i>	<i>Profondità della base degli orizzonti omogenei (metri)</i>	<i>Spessore dei sismostrati omogenei (metri)</i>	<i>Velocità delle onde S per orizzonti omogenei (m/sec)</i>
-1.188	219.784	4.53	4.53	178
-2.674	199.857			
-4.531	146.992			
-6.852	294.624	6.85	2.32	295
-9.753	367.956	13.38	6.53	383
-13.38	383.056			
-17.914	462.689	30.66	17.28	561
-23.581	574.869			
-30.664	635.243			
-38.33	803.54	38.33	7.67	804

**Velocità equivalente ( $V_{s, eq}$ ) = 373 m/sec (riferimento al piano campagna)**

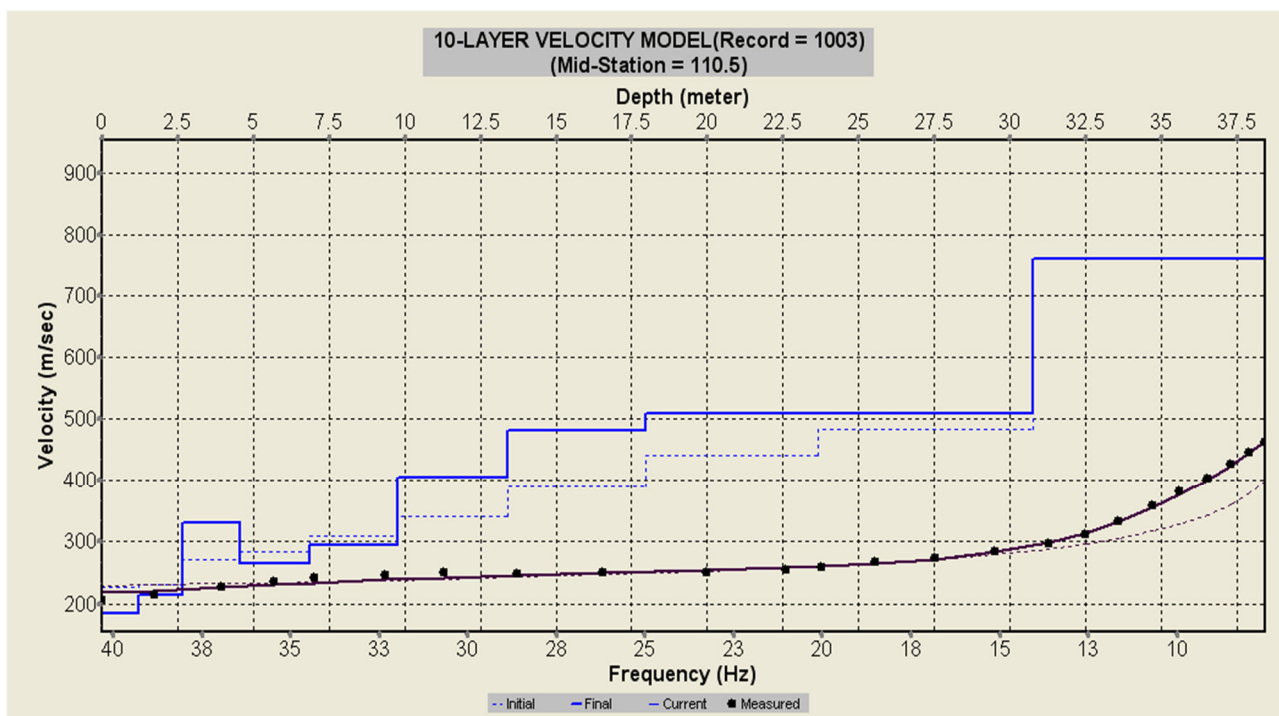
$$V_{s, eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

**Categoria sismica di suolo: B**

**MASW MW06**

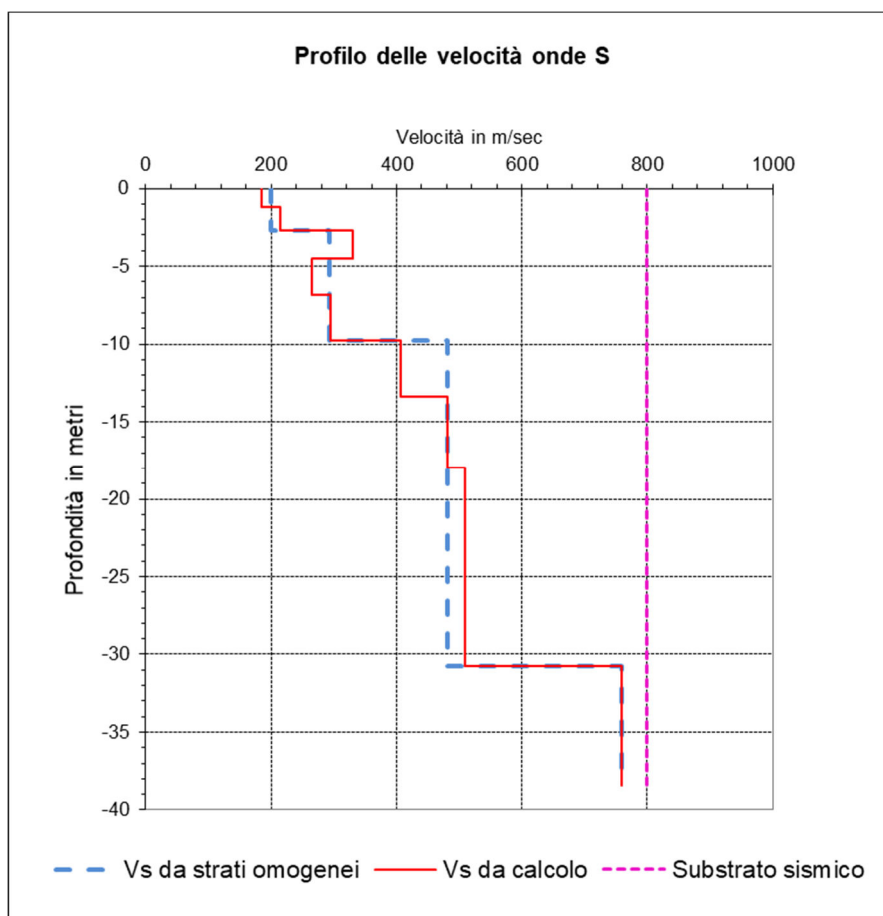


Curva di dispersione



Curve di inversione





<i>Profondità dal p.c. (metri)</i>	<i>Velocità delle onde S (m/sec)</i>	<i>Profondità della base degli orizzonti omogenei (metri)</i>	<i>Spessore dei sismostrati omogenei (metri)</i>	<i>Velocità delle onde S per orizzonti omogenei (m/sec)</i>
-1.192	184.872	2.68	2.68	200
-2.681	213.675			
-4.543	330.404	9.78	7.10	293
-6.871	265.392			
-9.78	295.107			
-13.417	405.89	30.75	20.67	482
-17.963	482.05			
-23.646	508.746			
-30.749	508.887			
-38.436	758.311	38.44	7.69	758

**Velocità equivalente ( $V_s, eq$ ) = 376 m/sec (riferimento al piano campagna)**

**Categoria sismica di suolo: B**

# ANAS Gruppo FS Italiane - Direzione Progettazione e Realizzazione Lavori

Itinerario "Salerno-Potenza-Bari" - Adeguamento delle sedi esistenti e tratti di nuova realizzazione IV tratta da zona industriale Vaglio a Svincolo S.P. Oppido - Progetto di Fattibilità tecnico-economica -

PROSPEZIONE SISMICA IN FORO (DOWN-HOLE)

SONDAGGIO: S12

STRUMENTAZIONE: Sismografo Geometrics Geode - Sei Sensori da foro 14 Hz.

Profondità investigata: 35 m

Intervallo di campionamento: 20  $\mu$ sec

Intervallo di misura: 1.0 m

Offset dal foro m: 2.0

Profondità metri	Tempi di arrivo onde P ed S				Velocità P e S		Moduli elastici dinamici				
	Tp ms	Ts ms	Tp' ms	Ts' ms	Vp m/s	Vs m/s	$\gamma$ g/cm <sup>3</sup>	$\nu$	E Mpa	G Mpa	K Mpa
1.0	6.17	15.00	2.76	6.71	363	149	1.80	0.398	111.9	40.0	183.4
2.0	6.80	16.82	4.80	11.89	488	193	1.80	0.408	188.3	66.9	340.1
3.0	8.10	20.29	6.74	16.88	517	200	1.80	0.412	204.1	72.3	384.4
4.0	9.50	24.48	8.49	21.89	570	200	1.80	0.430	205.4	71.8	490.0
5.0	10.98	28.48	10.19	26.44	588	220	1.80	0.419	246.5	86.9	505.5
6.0	12.47	32.49	11.83	30.82	613	229	2.00	0.419	296.6	104.5	612.8
7.0	13.77	36.05	13.24	34.66	707	260	2.00	0.421	385.6	135.6	818.3
8.0	15.12	39.87	14.67	38.68	700	249	2.00	0.428	352.8	123.6	815.5
9.0	16.20	42.54	15.81	41.53	873	351	2.00	0.403	692.4	246.7	1194.8
10.0	17.28	45.03	16.94	44.16	885	380	2.00	0.387	801.7	289.0	1180.4
11.0	18.18	47.30	17.89	46.54	1061	420	2.00	0.407	992.8	352.8	1782.0
12.0	19.08	49.53	18.82	48.85	1071	432	2.00	0.403	1047.8	373.5	1796.4
13.0	20.25	52.42	20.01	51.81	837	338	2.00	0.403	641.7	228.8	1097.6
14.0	21.15	54.82	20.94	54.27	1084	406	2.00	0.418	936.2	330.1	1908.0
15.0	21.83	56.78	21.63	56.28	1437	497	2.00	0.432	1416.4	494.6	3467.8
16.0	22.59	58.47	22.42	58.02	1279	576	2.00	0.373	1819.1	662.4	2387.2
17.0	23.31	60.25	23.15	59.84	1361	550	2.00	0.402	1695.8	604.6	2898.3
18.0	23.85	61.72	23.70	61.34	1806	665	2.00	0.422	2514.8	884.5	5342.1
19.0	24.48	63.28	24.35	62.93	1559	630	2.00	0.402	2226.5	793.8	3803.6
20.0	25.20	65.42	25.07	65.09	1371	463	2.00	0.436	1231.9	429.0	3186.7
21.0	25.97	67.51	25.85	67.20	1293	473	2.00	0.423	1275.7	448.4	2748.4
22.0	26.69	69.42	26.58	69.13	1375	517	2.00	0.417	1518.2	535.5	3066.2
23.0	27.45	71.20	27.35	70.93	1296	556	2.00	0.387	1717.4	619.1	2535.7
24.0	28.17	73.34	28.07	73.08	1378	465	2.00	0.436	1242.0	432.5	3219.0
25.0	28.80	74.94	28.71	74.70	1573	619	2.00	0.409	2155.8	765.2	3930.6
26.0	29.57	76.81	29.48	76.58	1299	532	2.00	0.400	1581.5	565.0	2623.1
27.0	30.24	78.59	30.16	78.37	1472	558	2.00	0.416	1764.7	623.1	3501.3
28.0	30.87	80.10	30.79	79.90	1577	656	2.00	0.395	2402.5	860.9	3825.0
29.0	31.41	81.39	31.34	81.20	1838	769	2.00	0.394	3293.6	1181.3	5182.7
30.0	31.91	82.73	31.83	82.54	2005	744	2.00	0.420	3142.0	1106.2	6564.7
31.0	32.49	84.28	32.42	84.11	1700	639	2.00	0.418	2313.0	815.7	4692.0
32.0	33.12	85.80	33.06	85.63	1580	658	2.00	0.395	2413.1	864.8	3839.8
33.0	33.62	87.04	33.55	86.88	2008	798	2.00	0.406	3579.2	1272.5	6369.9
34.0	34.16	88.38	34.10	88.22	1843	745	2.00	0.402	3114.9	1110.7	5311.6
35.0	34.65	89.89	34.59	89.74	2010	658	2.00	0.440	2495.9	866.7	6924.9

**Ve<sub>q</sub> = 363 m/sec** (Riferimento al piano campagna)



Argille di colore marrone

Argille di colore grigio, con struttura fogliettata

**Tp:** Tempo di arrivo onde longitudinali (P)

**Ts:** Tempo di arrivo onde trasversali (S)

**Tp':** Tempo di arrivo onde P corretto sulla verticale

**Ts':** Tempo di arrivo onde S corretto sulla verticale

**Vp Vs:** Velocità di intervallo onde P ed S

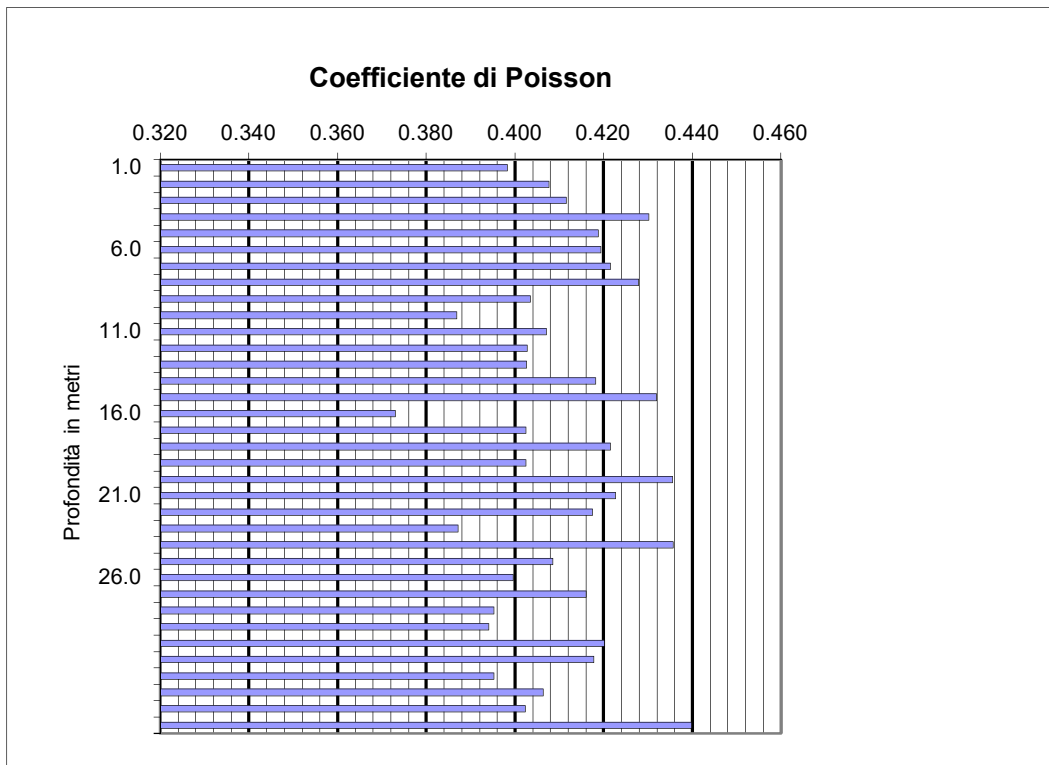
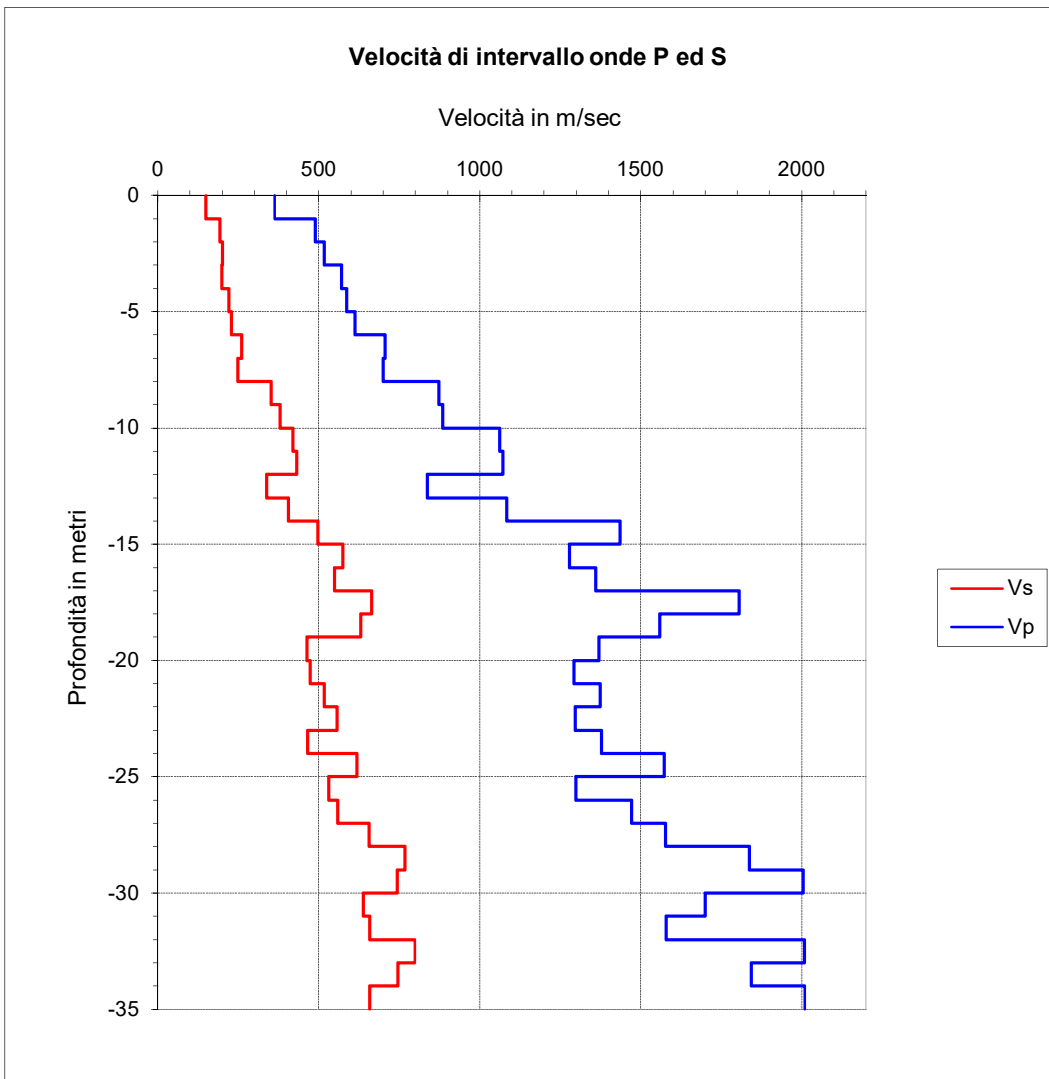
**$\nu$ :** Coefficiente di Poisson

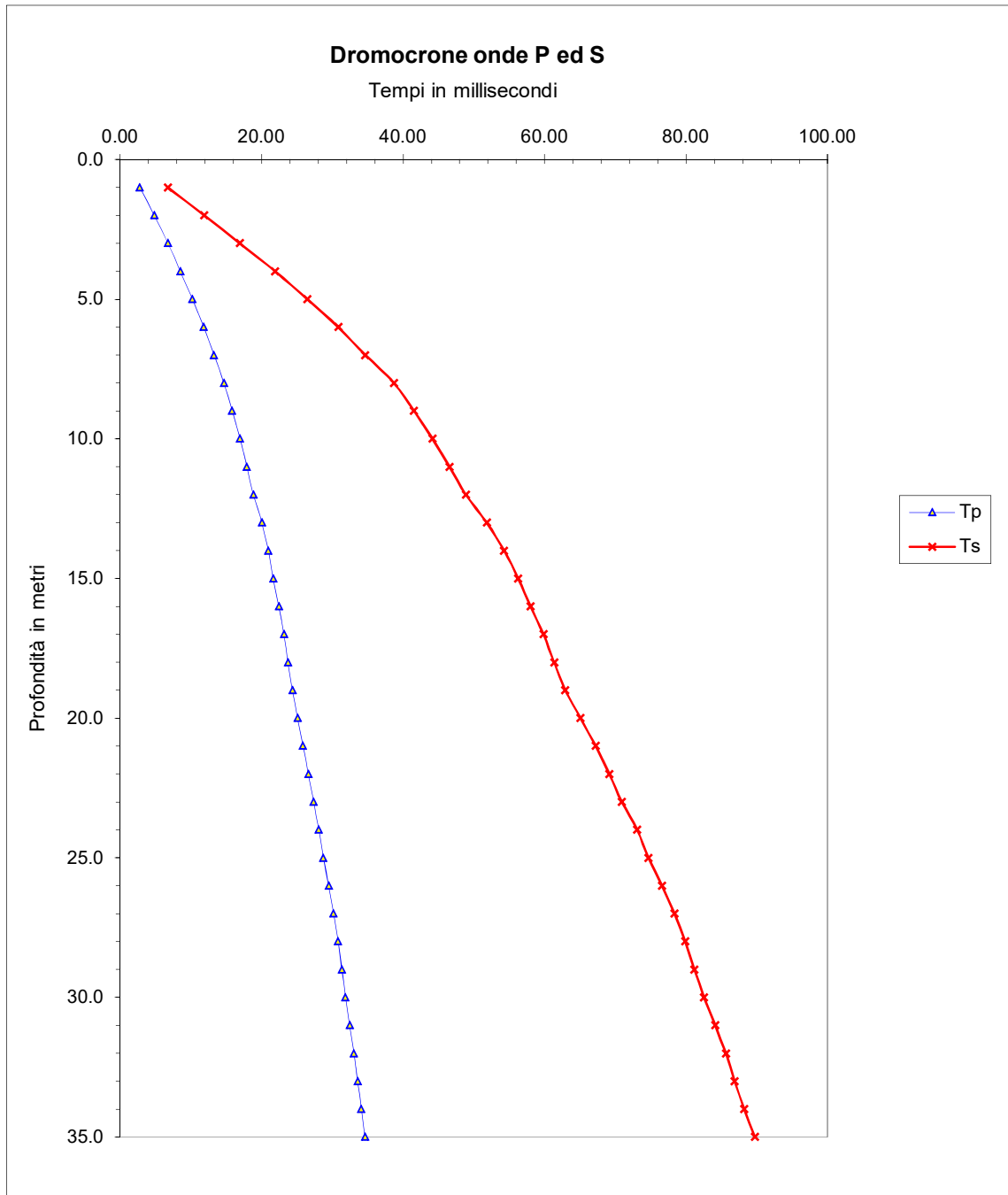
**E:** Modulo di Young

**G:** Modulo di taglio

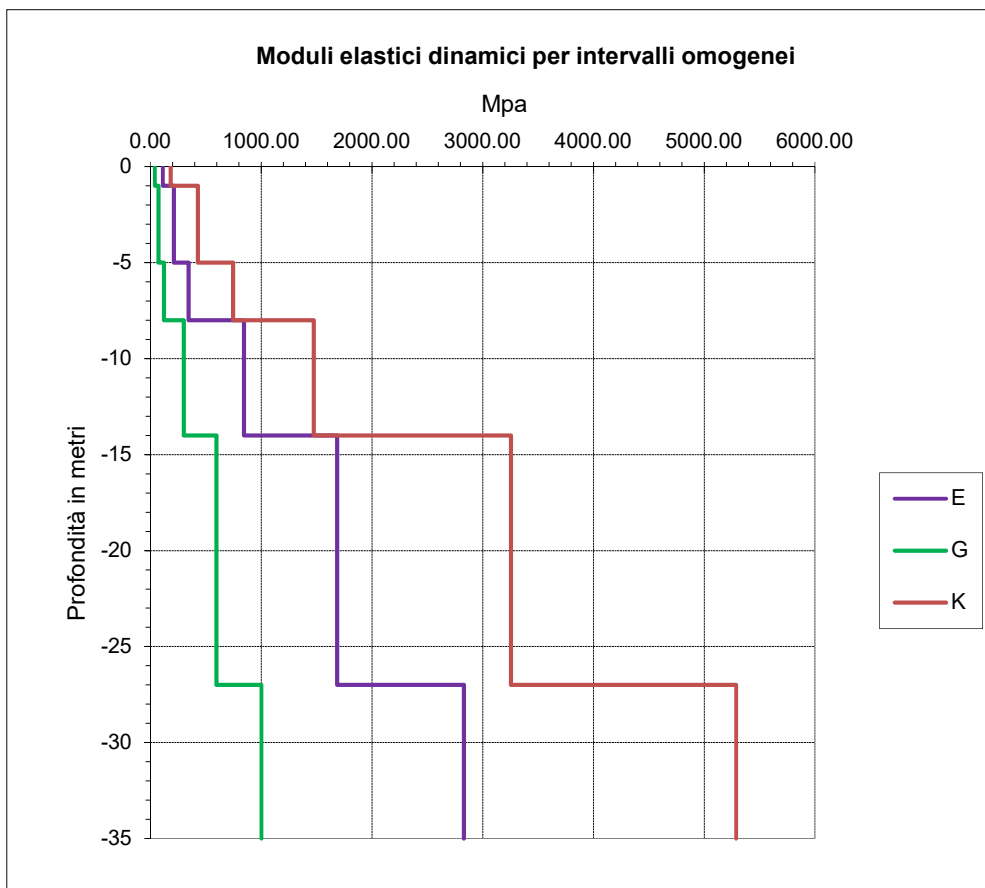
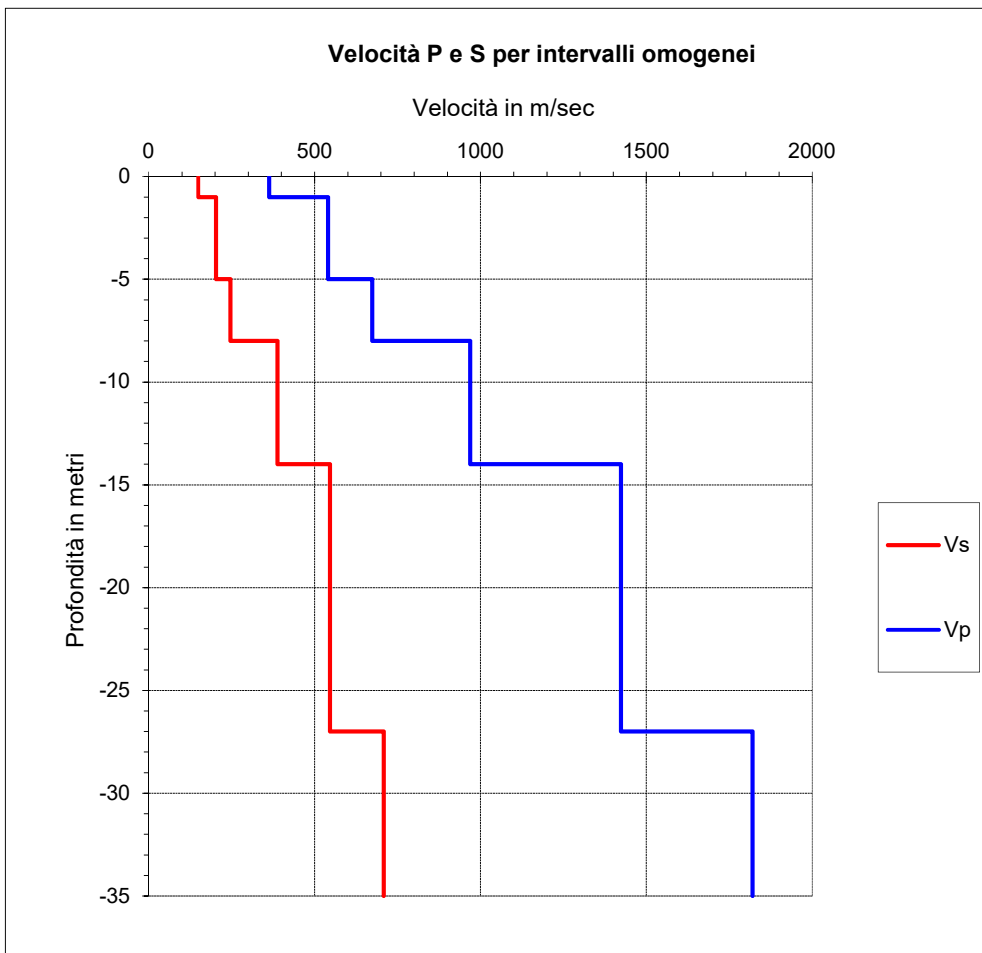
**$\gamma$ :** Peso di Volume

**K:** Modulo di incompressibilità





Intervalli omogenei di velocità			Moduli elastici dinamici				
Intervalli misure	Vp m/sec	Vs m/sec	$\gamma$ g/cm <sup>3</sup>	$\nu$	E Mpa	G Mpa	K Mpa
0 - 1	<b>363</b>	<b>149</b>	1.80	0.40	111.92	40.02	183.4
1 - 5	<b>541</b>	<b>203</b>	1.80	0.42	210.64	74.28	427.4
5 - 8	<b>673</b>	<b>246</b>	2.00	0.42	344.04	120.88	745.7
8 - 14	<b>968</b>	<b>388</b>	2.00	0.40	845.64	301.07	1474.5
14 - 27	<b>1423</b>	<b>546</b>	2.00	0.41	1687.25	596.80	3254.0
27 - 35	<b>1820</b>	<b>708</b>	2.00	0.41	2830.38	1003.11	5288.3



$$V_{s, eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

## TRATTO DEL “TORRENTE ALVO”

Sui versanti vallivi del *Torrente Alvo*, nel settore più settentrionale del tracciato Nord, sono state realizzate la prospezione SR04 (combinata in sismica a rifrazione e MASW), ricadente in destra idrografica, la prospezione sismica a rifrazione SR05, impostata sul versante sinistro, e infine, in prossimità del crinale, l'indagine sismica MASW MW12.

L'assetto geologico è caratterizzato dalla presenza di strutture tettoniche compressive, con un asse di anticlinale coincidente con l'alveo del *T.te Alvo* e due fronti di accavallamento tettonico che interessano la dorsale a Nord del torrente. I terreni interessati nelle prospezioni appartengono all'*Unità dei Bacini Intrappenninici – Sintema di Tolve*. Su entrambi i versanti, il substrato è costituito da una litofacies conglomeratica-sabbiosa di età medio-pliocenica, costituita da alternanze tra areniti e sabbie passanti verso l'alto a conglomerati. Ancora più verso l'alto, in zona di realizzazione dell'indagine sismica MASW MW12, si torna nuovamente a facies sabbioso-arenitiche. Sul versante destro (SR04) la *Formazione* è in contatto trasgressivo con le alternanze torbiditiche silicoclastiche mioceniche del *Flysch di Serra Palazzo*.

**Prospezione SR04.** La base sismica ricadente sul lato meridionale del *Torrente Alvo* è stata realizzata con 24 geofoni ad interdistanza di 3.0 m ed elaborata sia in sismica a rifrazione che in MASW. I due modelli risultanti dall'elaborazione mettono in luce la presenza di quattro orizzonti sismici. Il primo, con spessore compreso tra 4 e 5 m, ha velocità delle onde di compressione inferiori a 700 m/sec e  $V_s$  in media pari a 278 m/sec, riferibili ad un orizzonte alluvionale o a depositi eluvio-colluviali con addensamento medio-scarso.

Segue un orizzonte elastico in cui si osserva un rapido aumento del valore della velocità delle onde di compressione, che in pochi metri passa a oltre 1800 m/sec, riferibile alla formazione conglomeratico-arenitica del substrato, con grado di alterazione e degradazione rapidamente decrescente. L'orizzonte intermedio, in accordo con i caratteri litologici (alternanze), mostra una certa variazione sia lateralmente che in verticale, evidente sia nel modello ad onde P, che nell'istogramma delle  $V_s$  relative all'elaborazione Masw; il valore medio delle velocità delle onde di compressione è di circa 1820 m/sec, mentre lo spessore varia tra 9 e 12 m circa. Un ulteriore incremento di rigidità, sia per le  $V_s$  che per le  $V_p$ , si osserva intorno ai 16 m di profondità, dove è prevedibile un passaggio litologico o verso una condizione di maggiore integrità della stessa compagine. Nell'elaborazione

MASW, che ha permesso una maggiore profondità di investigazione, un ulteriore salto di velocità si osserva a 35 m da piano campagna, dove si raggiunge un valore di Vs di oltre 900 m/sec.

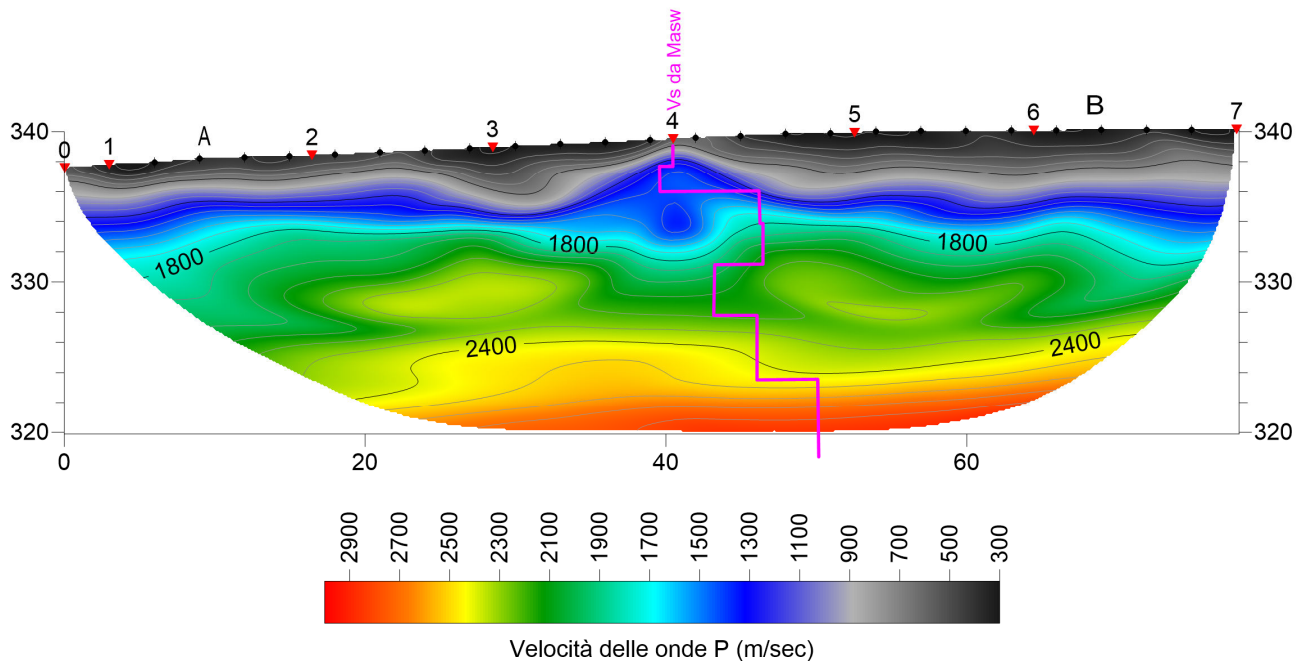
Tabella dei moduli elastici dinamici medi SR04 con relativo MASW

	<i>Coltre eluvio-colluviale</i>	<i>Alternanza arenaceo-conglomeratica fratturata</i>	<i>Alternanza arenaceo-conglomeratica</i>
Coefficiente di Poisson $\mu$	0.327	0.470	0.466
Velocità onde longitudinali Vp (m/sec)	550	1820	2440
Velocità onde trasversali Vs (m/sec)	279	431	615
Peso di volume $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.85	2.00	2.20
Modulo di Young Edin (Mpa)	389.5	1113.7	2487.1
Modulo di Rigidità G (Mpa)	146.8	378.7	848.2

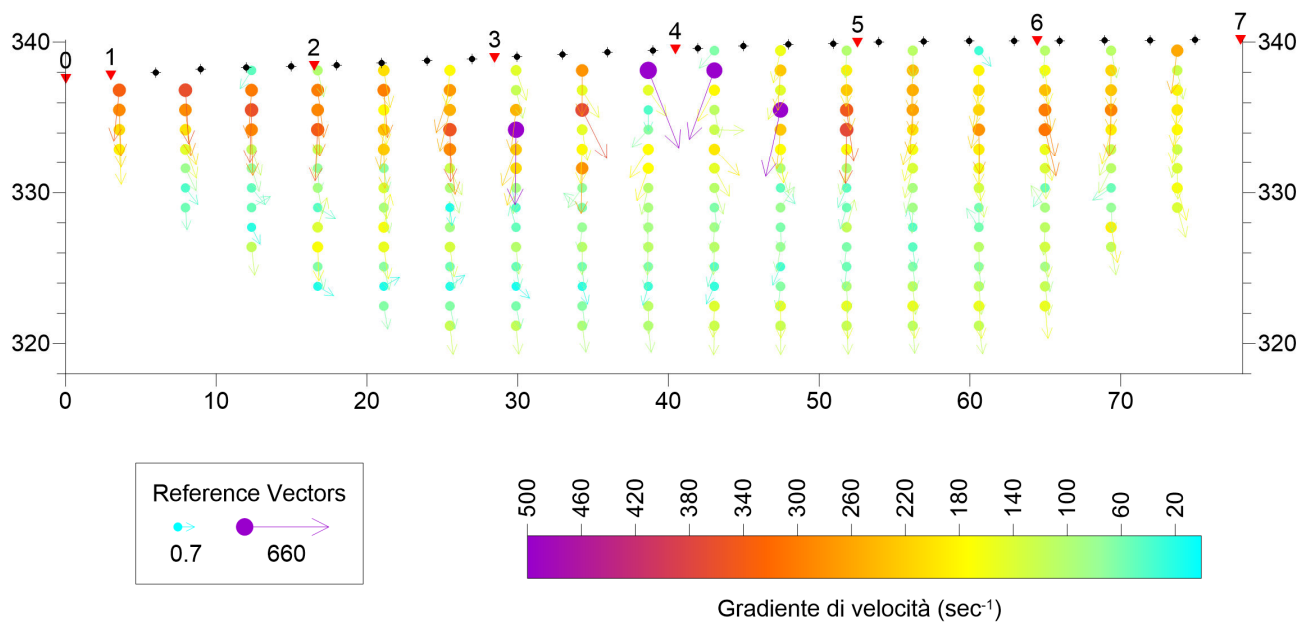
**Prospezione SR05.** Ricade sul basso versante settentrionale. Vi si riconosce un orizzonte attribuibile ad una coltre eluvio-colluviale con spessori compresi tra 3 e 4 m e velocità delle onde di compressione pari a 440 m/sec. Un orizzonte ancora di forte alterazione è quello sottostante, la cui base coincide con l'isolinea 1200 m/sec, con velocità media di 830 m/sec, posta alla profondità di 7-8 m nella parte iniziale del modello, mentre tende a sollevarsi a circa 5 m tra le progressive 38 e 40 m. Nei 4-5 m sottostanti si osserva un forte gradiente verticale, indicativo di un rapido miglioramento dei caratteri elastici della compagine. L'aumento di velocità al di sotto dell'isolinea 2300 è nettamente meno repentino, indizio della presenza di condizioni più o meno omogenee del terreno, per quanto interessato da un miglioramento graduale dei caratteri elastici dinamici con la profondità.

L'indagine sismica **MASW MW12**, rientra sempre sul versante sinistro della valle del *T.te Alvo*, ma sulla parte più alta. Il profilo di Vs vede la presenza di un primo orizzonte a bassa velocità, con Vs media di 169 m/sec, attribuibile ad una coltre di riporto o colluvio da sciolto a poco addensato, con spessore pari a 5.9 m. Segue un orizzonte in cui si riconosce un graduale aumento dei valori di Vs, che raggiunge i 310 m/sec a 17.4 m di profondità, con caratteri quindi di un deposito che da sciolto diviene mediamente addensato. Tra i 17.4 m di profondità e i 40 m circa, il valore della velocità delle onde di taglio è in media pari a 466 m/sec, attribuibile ad una compagine molto addensata/consistente. Lo stacco, evidente sull'istogramma ai 40 m di profondità, porta il valore di Vs a 711 m/sec.

**MODELLO DI VELOCITA -SR04-**

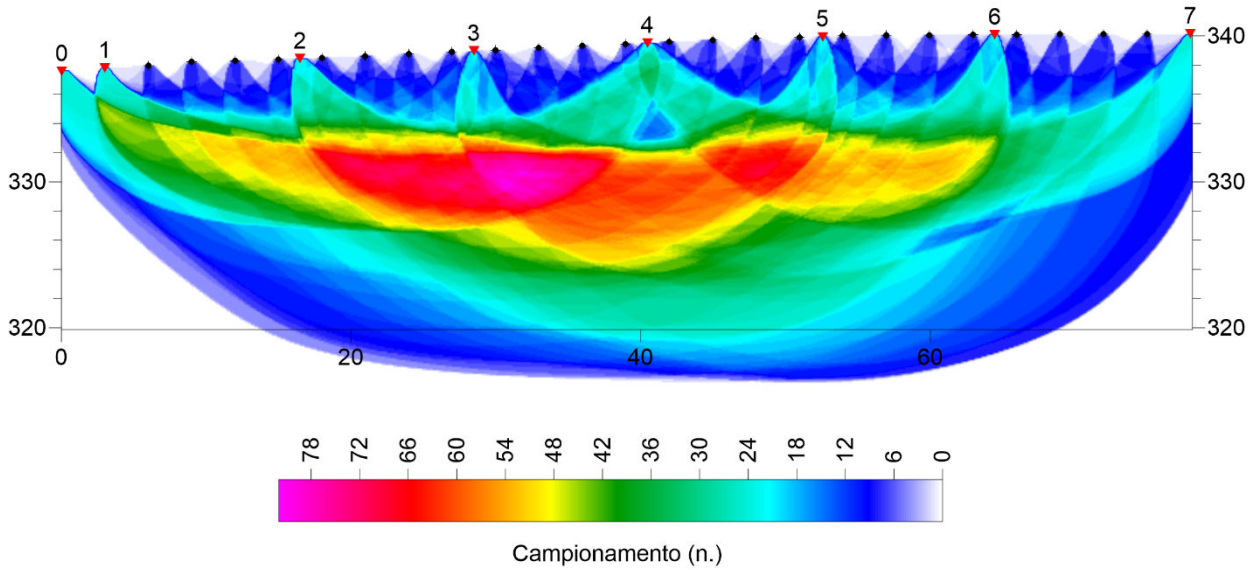


**MODELLO DEL GRADIENTE DI VELOCITA -SR04-**

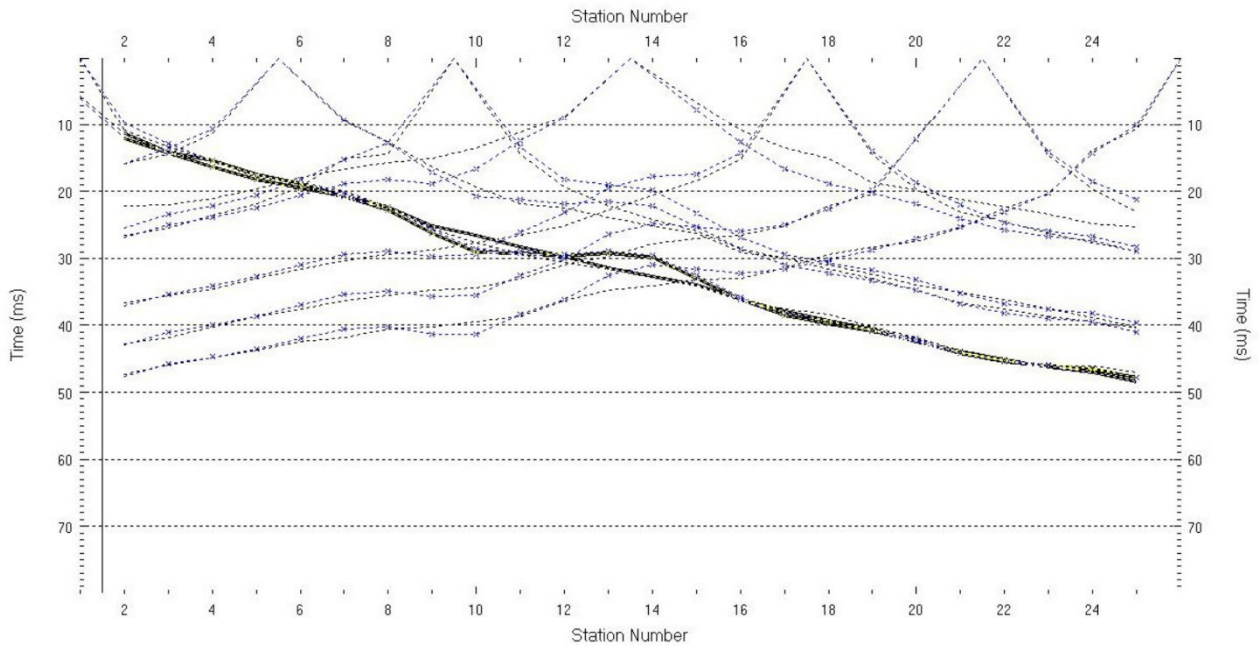




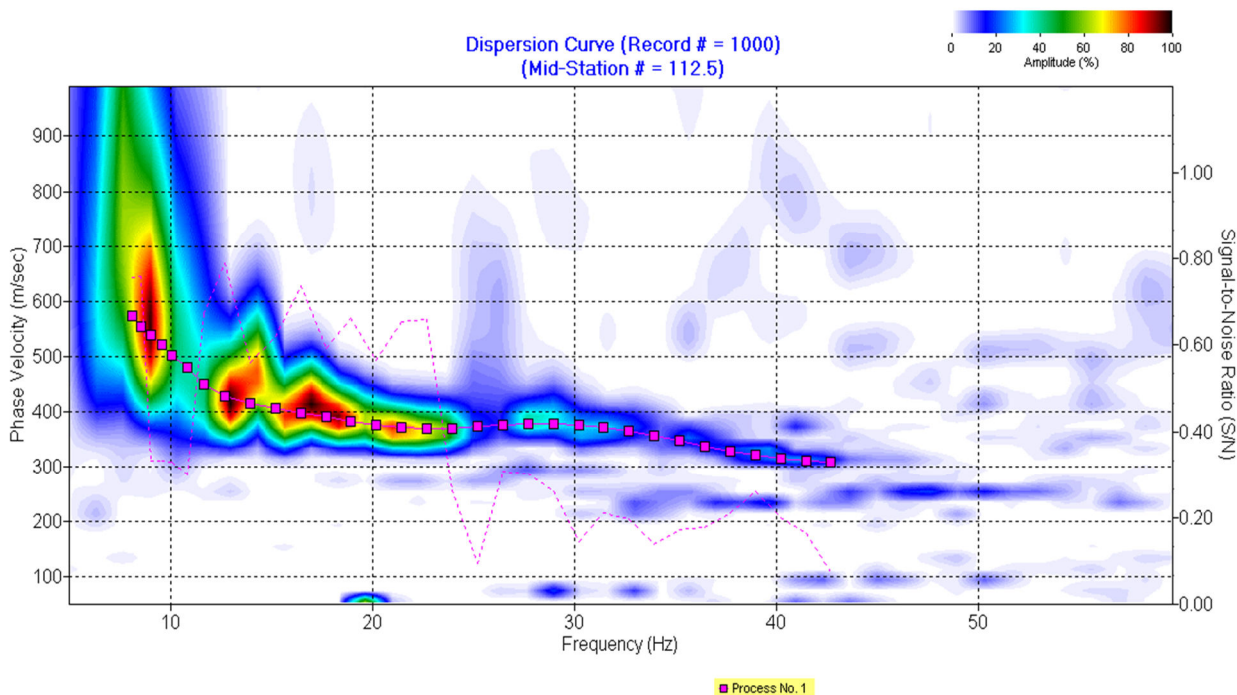
PERCORSO DEI RAGGI SISMICI -SR04-



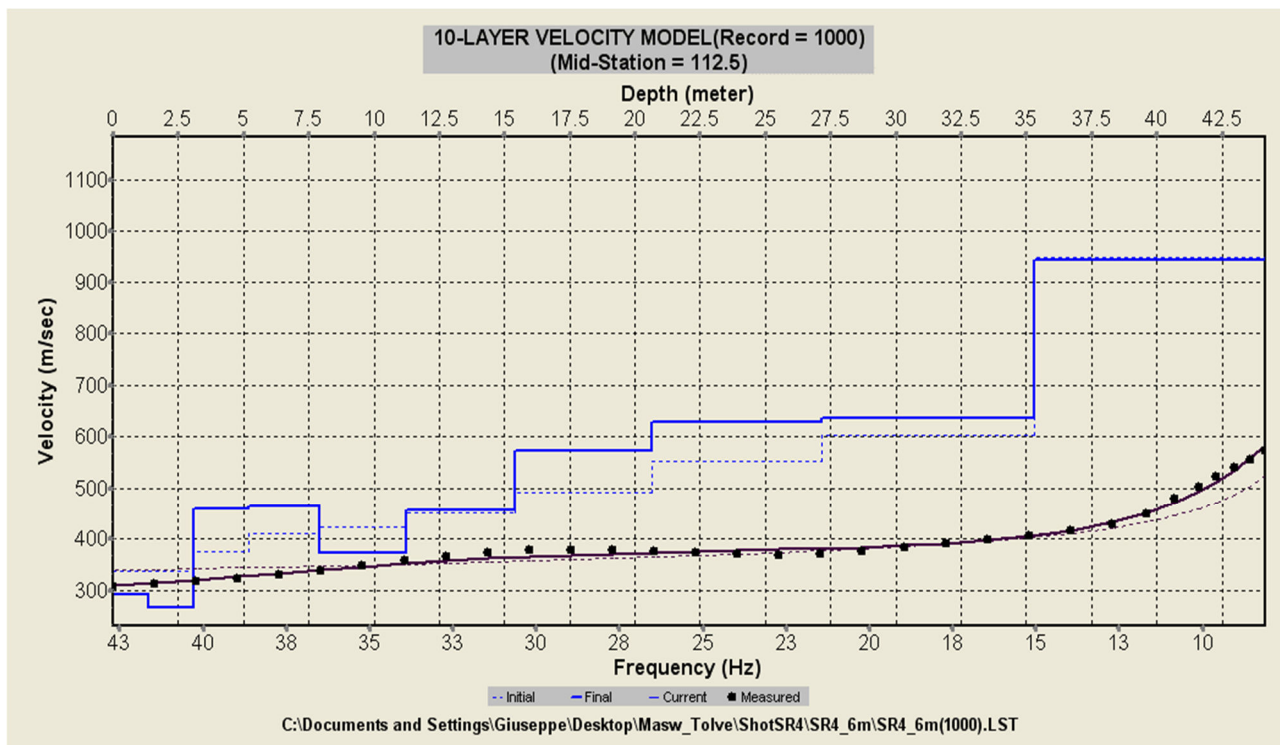
DROMOCRONE -SR04-



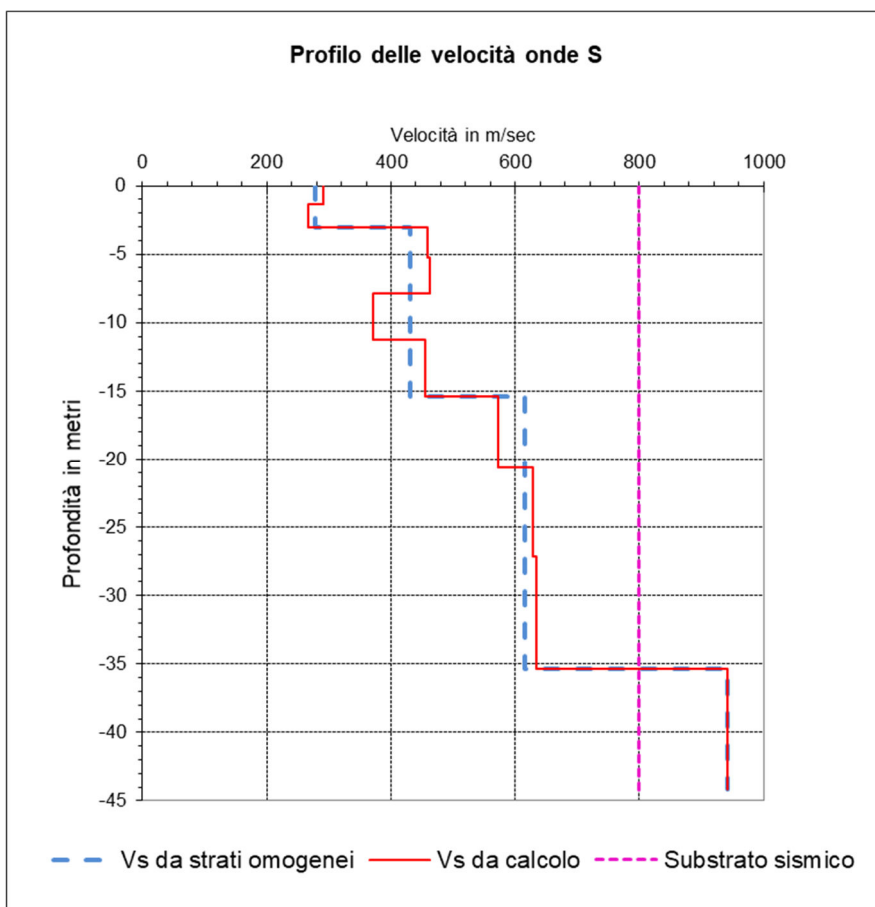
**MASW SR04**



Curva di dispersione



Curve di inversione



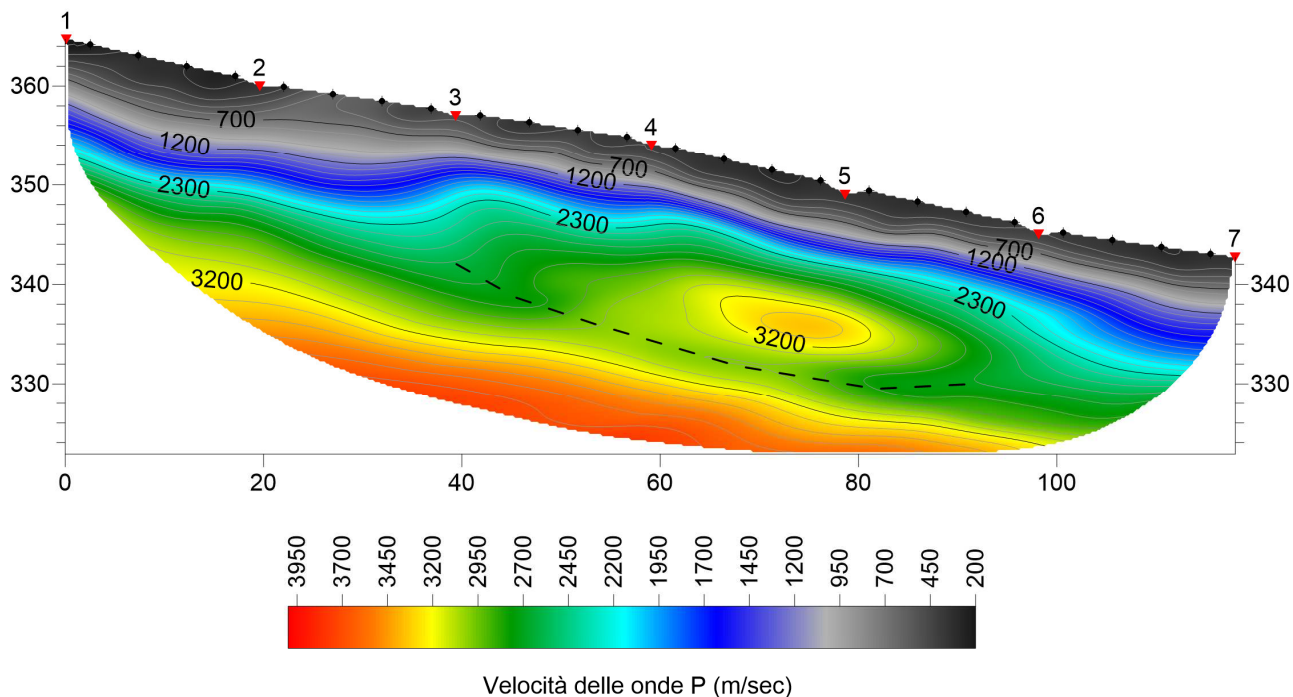
<i>Profondità dal p.c. (metri)</i>	<i>Velocità delle onde S (m/sec)</i>	<i>Profondità della base degli orizzonti omogenei (metri)</i>	<i>Spessore dei sismostrati omogenei (metri)</i>	<i>Velocità delle onde S per orizzonti omogenei (m/sec)</i>
-1.369	291.653	3.08	3.08	278
-3.081	267.241			
-5.22	458.382	14.42	15.416	431
-7.895	463.014			
-11.237	371.749			
-15.416	455.576			
-20.639	572.057	35.33	19.91	615
-27.168	629.244			
-35.33	634.947			
-44.162	941.191	44.16	8.83	941

**Velocità equivalente (Vs, eq) = 471 m/sec (riferimento al piano campagna)**

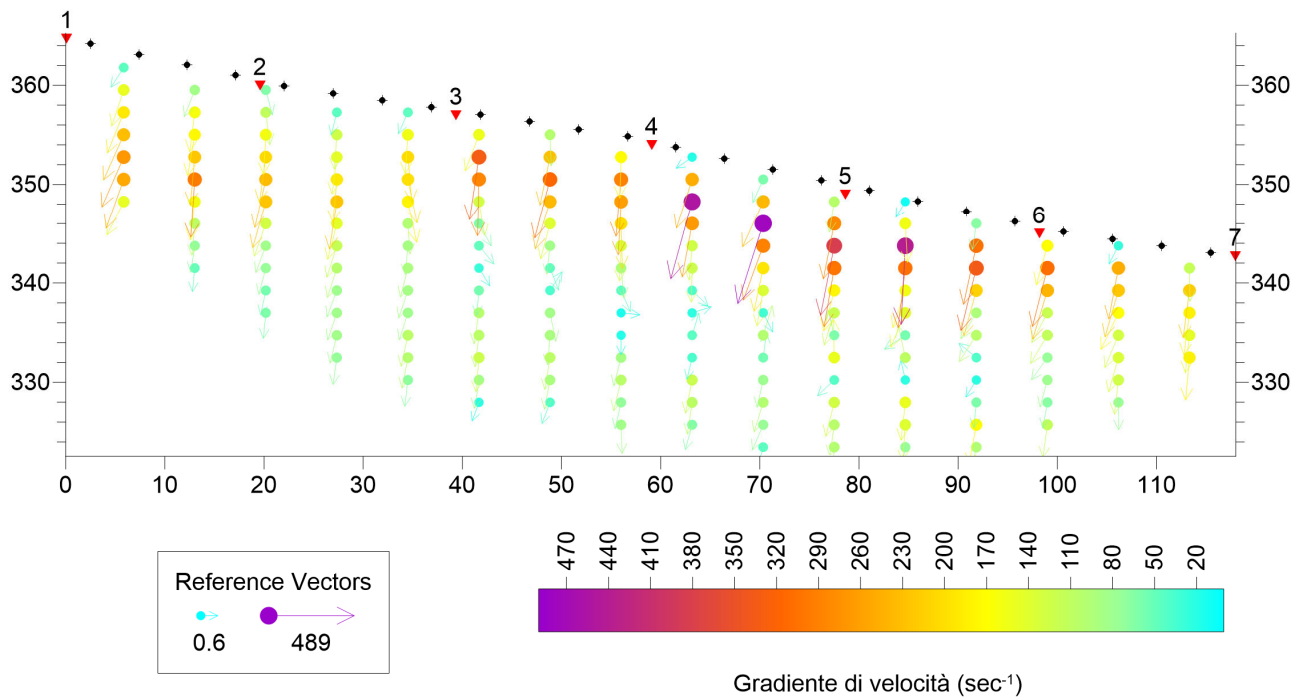
$$V_{s, eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

**Categoria sismica di suolo: B**

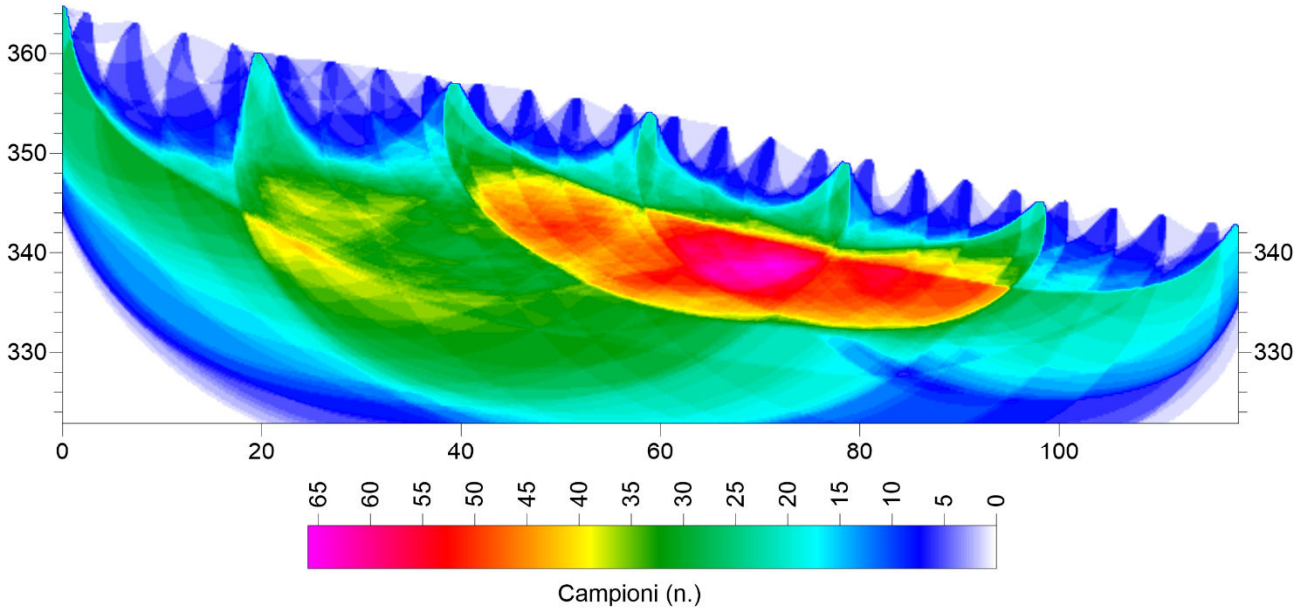
**MODELLO DI VELOCITA' -SR05-**



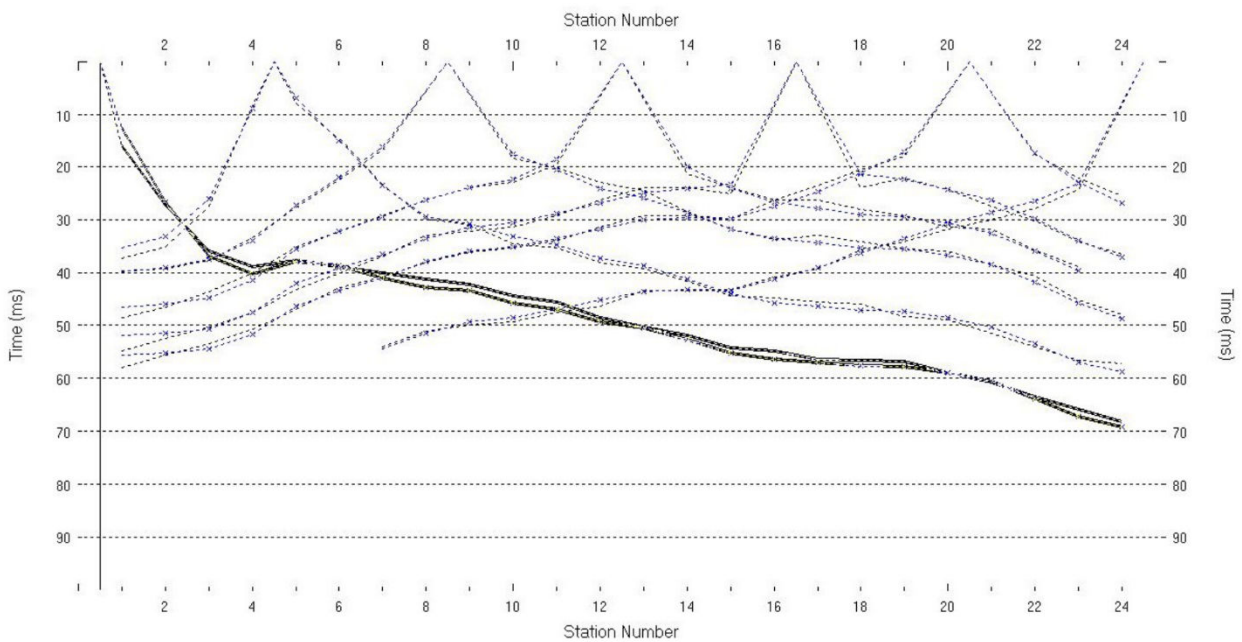
**MODELLO DEL GRADIENTE DI VELOCITA' -SR05-**



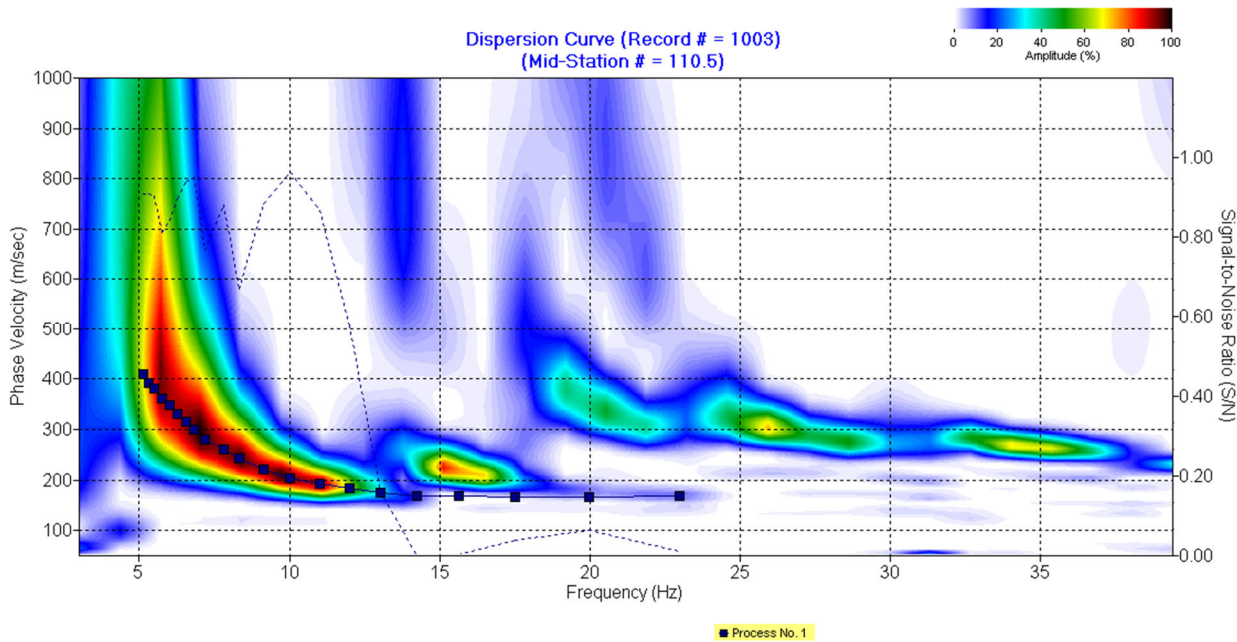
### PERCORSO DEI RAGGI SISMICI -SR05-



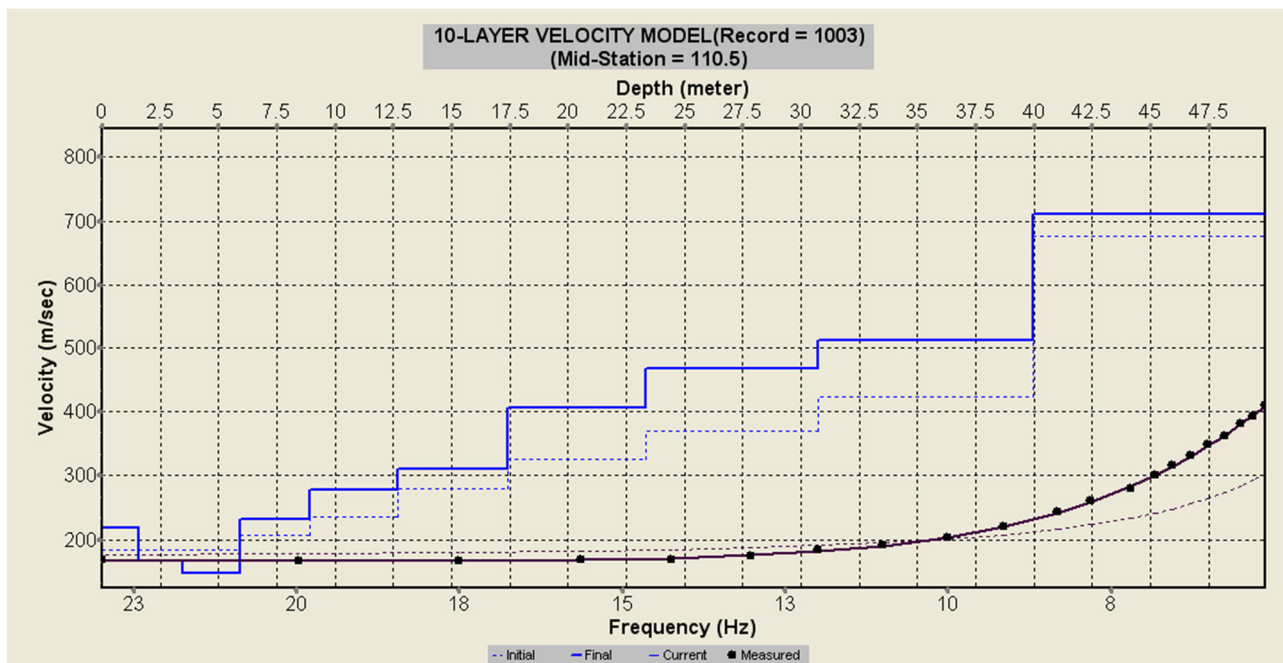
### DROMOCRONE -SR05-



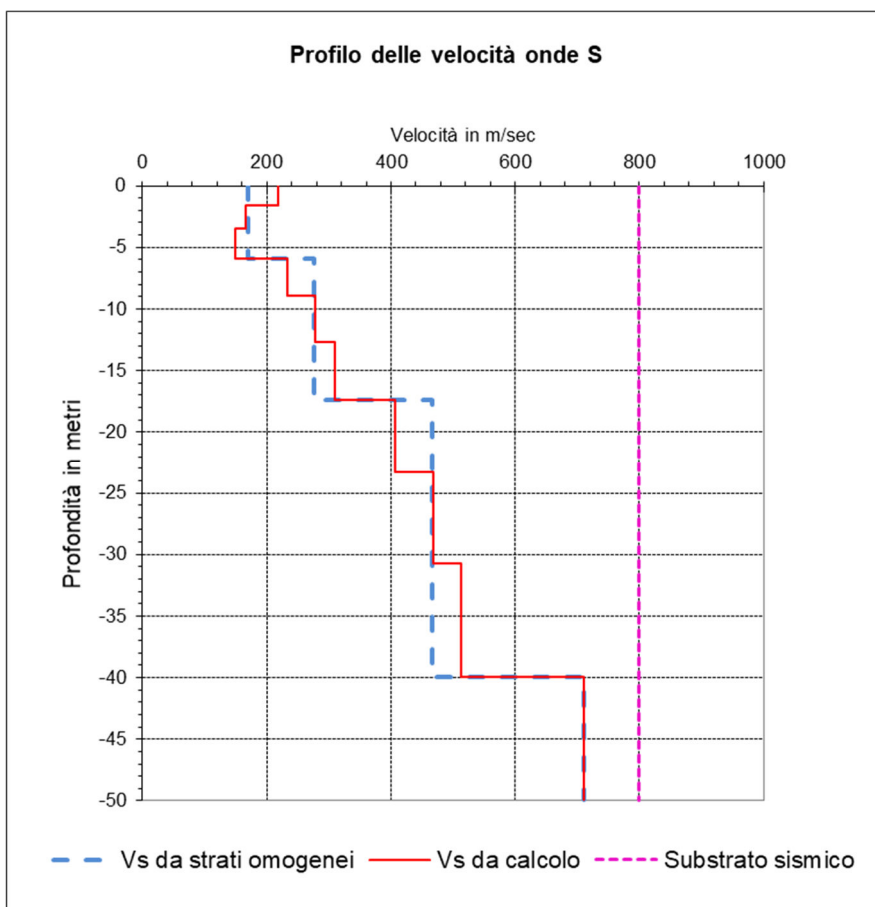
### MASW MW12



Curva di dispersione



Curve di inversione



<i>Profondità dal p.c. (metri)</i>	<i>Velocità delle onde S (m/sec)</i>	<i>Profondità della base degli orizzonti omogenei (metri)</i>	<i>Spessore dei sismostrati omogenei (metri)</i>	<i>Velocità delle onde S per orizzonti omogenei (m/sec)</i>
-1.548	218.941	5.90	5.90	169
-3.483	166.752			
-5.902	148.598			
-8.925	232.396	17.43	11.53	276
-12.705	278.302			
-17.429	310.154			
-23.334	407.139	39.94	22.51	466
-30.716	468.067			
-39.943	512.216			
-49.929	711.108	49.93	9.99	711

**Velocità equivalente ( $V_s, eq$ ) = 284 m/sec (riferimento al piano campagna)**

$$V_s, eq = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

**Categoria sismica di suolo: C**

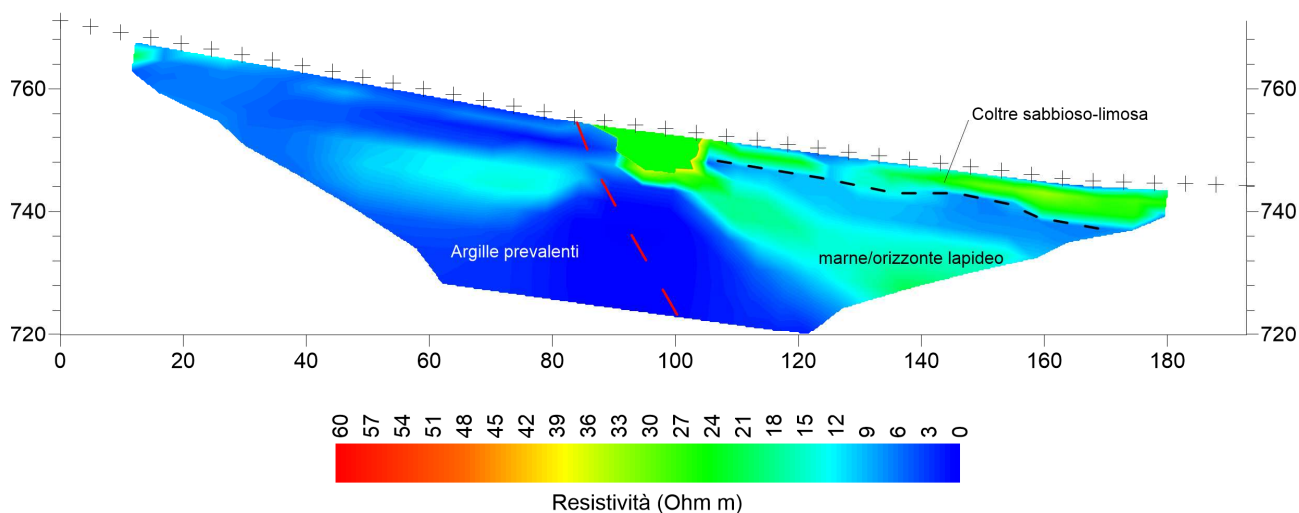
## ALTERNATIVA “TRACCIATO Sud-Est”

Lungo l’alternativa di tracciato che decorre più a sud rispetto alla precedente, è stata eseguita l’indagine di sismica a rifrazione SR09-M, combinata con l’elaborazione MASW sulla stessa base geofonica. Questa ricade nel tratto più settentrionale del tracciato, sul basso versante destro della *Fiumara di Tolve*. Nella stessa zona è stata realizzata anche la tomografia geoelettrica di resistività TE09. Altre due tomografie geoelettriche di resistività sono state eseguite nella zona intermedia del tracciato (TE04 e TE05).

**Tomografia di resistività TE04.** È stata realizzata in direzione della massima pendenza di un versante degradante a pendenza moderata in direzione SW. I terreni affioranti appartengono alla Formazione del Flysch Galestrino, interessato da una dislocazione trascorrente che lo mette a contatto, a NW, con la Formazione del Flysch Rosso. I dati acquisiti mostrano un certo disturbo nella parte centrale del profilo, presumibilmente causate da una tubazione conduttiva (acquedotto), tra l’altro riportata anche sulla cartografia geologica. I dati sono stati filtrati dalle componenti più disturbate e quindi oggetto di elaborazione. Il modello risultante vede due porzioni con distribuzione delle resistività differenziate: la parte iniziale è sostanzialmente caratterizzata da bassi valori di resistività, con una distribuzione piuttosto omogenea, con valori compresi tra 0.5 e 5.0  $\Omega\text{m}$ , riconducibili ad argille, lievemente siltose o marnose nei valori più elevati. Una fascia più alto-resistiva (10-15  $\Omega\text{m}$ ) è riconducibile a litologie marnose. La seconda metà del modello mostra un pattern della distribuzione delle resistività differente, caratterizzato dall’alternarsi di orizzonti basso resistivi (argille e argille marnose) e fasce a resistività più elevata (15-35  $\Omega\text{m}$ ) riconducibili a marne o a orizzonti caratterizzati dalla presenza di livelli litoidi. Tra le due porzioni del profilo è stata quindi ipotizzata la dislocazione tettonica, come da cartografia CARG, che mette a contatto i terreni del *Flysch Galestrino* a Sud con quelli del *Flysch Rosso* (più prettamente pelitico) a Nord.



**MODELLO DI RESISTIVITA' -TE04-**

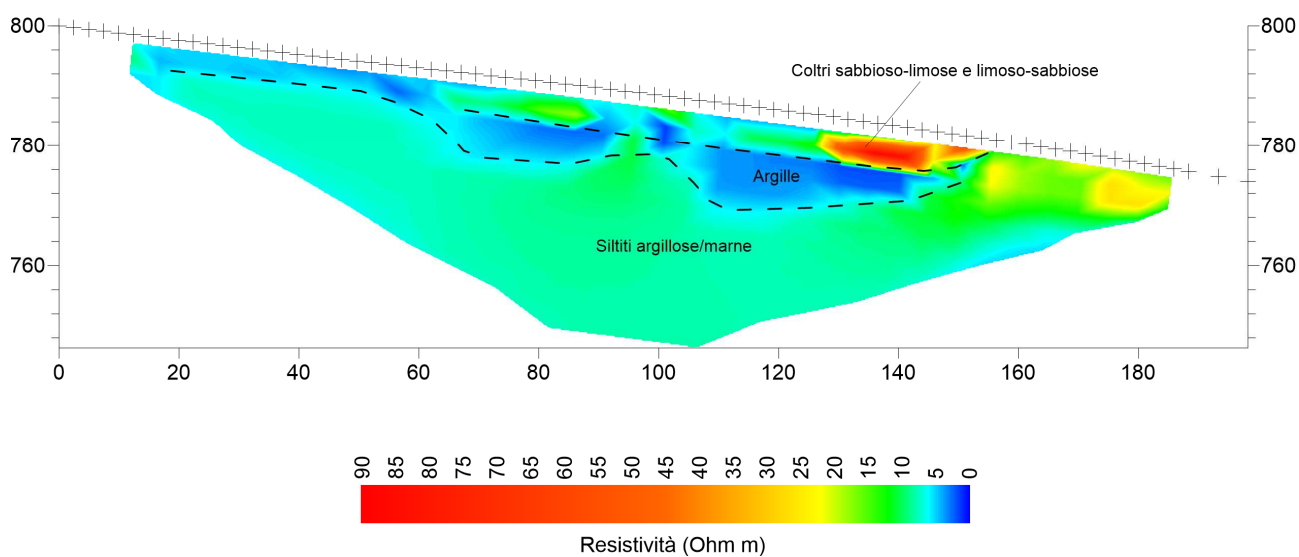


**Acquisizione dati profilo geoelettrico TE04**

**Tomografia di resistività TE05.** La stesa elettrodica, sempre con lunghezza di 200m, decorre a lato di una piccola incisione torrentizia presente lungo un versante che degrada in direzione NE. I terreni affioranti appartengono alla Formazione del Flysch Galestrino, anche qui in corrispondenza di una dislocazione a carattere trascorrente destra (stessa struttura vista nella prospezione TE04). Nel

modello si rinviene una distribuzione molto irregolare dei valori di resistività reale, almeno nei primi 10-15 m di profondità, con nuclei basso-resistivi ( $0.5-5 \Omega\text{m}$ ), riferibili ad argille più o meno siltose, e zone irregolari a resistività più elevata ( $20-30 \Omega\text{m}$ ). È probabile che questa condizione sia dovuta ad una forte tettonizzazione della compagine, causata dalla citata dislocazione che decorre parallela alla linea elettrodica, che presenta quindi una scarsa continuità laterale degli orizzonti litologici.

MODELLO DI RESISTIVITA' -TE05-

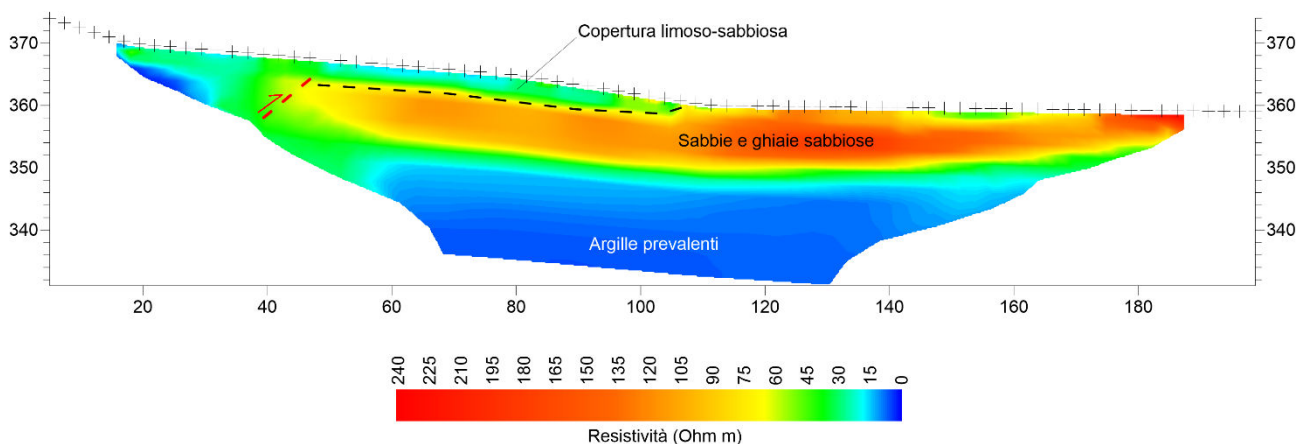


Acquisizione dati profilo geoelettrico TE05

**Prospezione sismica combinata MW09-R e tomografia di resistività TE09.** Ricadono sul basso versante destro della Fiumara di Tolve. L'area è caratterizzata dalla presenza di un sovrascorrimento che mette in contatto la *Formazione del Flysch Numidico (Falda Tettonica di Vaglio B.)* con i più recenti termini del *Sintema di Pezza Chiarella*, caratterizzate da litologie prevalentemente grossolane (sabbie, ghiaie sabbiose e conglomerati).

Il modello tomografico di resistività (TE09) mostra caratteri di buona continuità laterale in gran parte del suo sviluppo. Questo è caratterizzato da un orizzonte superficiale, con spessore di circa 10 m, riferibile a depositi prevalentemente grossolani (sabbie e ghiaie sabbiose) poggianti su un basamento elettrico basso-resistivo, con valori della resistenza elettrica specifica inferiore a 15  $\Omega$ m, riferibile a limi argillosi. Nella prima metà del modello si osserva la presenza di una coltre limoso-sabbiosa (presumibilmente colluviale), che “copre” l'orizzonte sabbioso-conglomeratico, che rimane in un assetto sub-orizzontale. Nella porzione iniziale, intorno alla progressiva 40 m, si osserva un'interruzione della continuità laterale degli orizzonti elettrici, presumibilmente in corrispondenza di una dislocazione tettonica (ipotizzata come faglia inversa/sovrascorrimento).

MODELLO DI RESISTIVITA' -TE09-



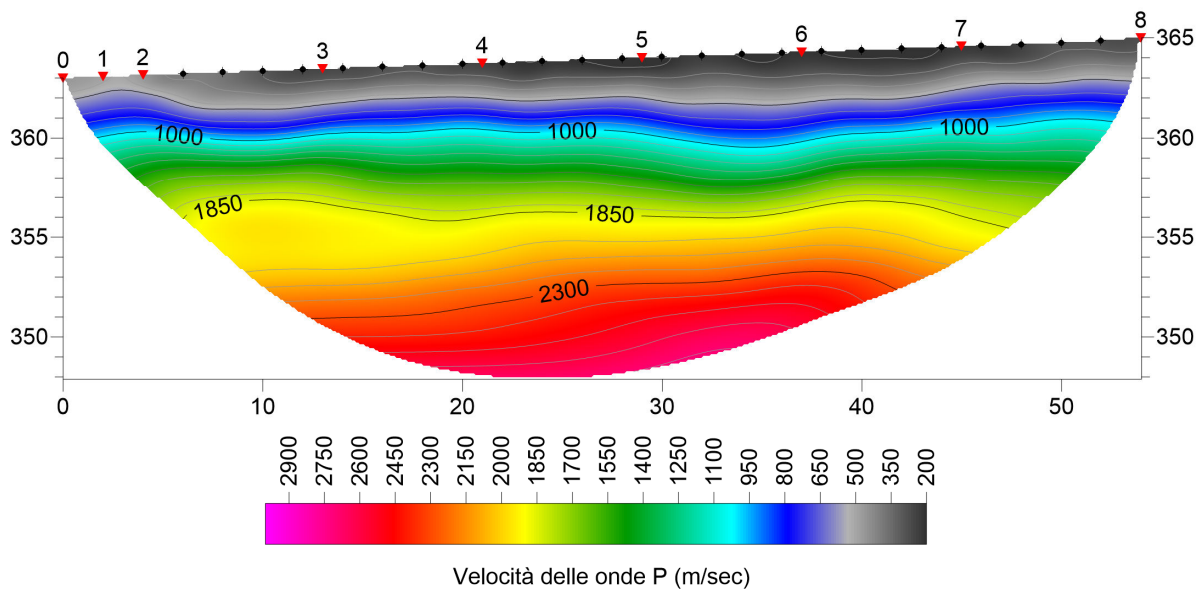
Il modello dell'elaborazione della sismica a rifrazione e del MASW associato (**MW09-R**) si mostra coerente con quello di resistività, con una buona continuità laterale degli orizzonti sismici. Si riconosce un primo orizzonte con spessore di 5-6 m, caratterizzato da valori di  $V_p$  gradualmente crescenti con la profondità da 250 m/sec, a circa 1000 m/sec e  $V_s$  (da MASW), riferibili ad una compagine granulare con medio stato di addensamento ( $V_s=288$  m/sec). Un importante salto di

velocità di osserva a 8-10 m di profondità, dove il valore delle velocità delle onde di taglio passa a 475 m/sec, indicante la presenza di depositi molto addensati/consistenti. Un ulteriore salto di velocità delle onde di taglio si riscontra a circa 40 m di profondità, dove si portano a 888 m/sec (substrato sismico).

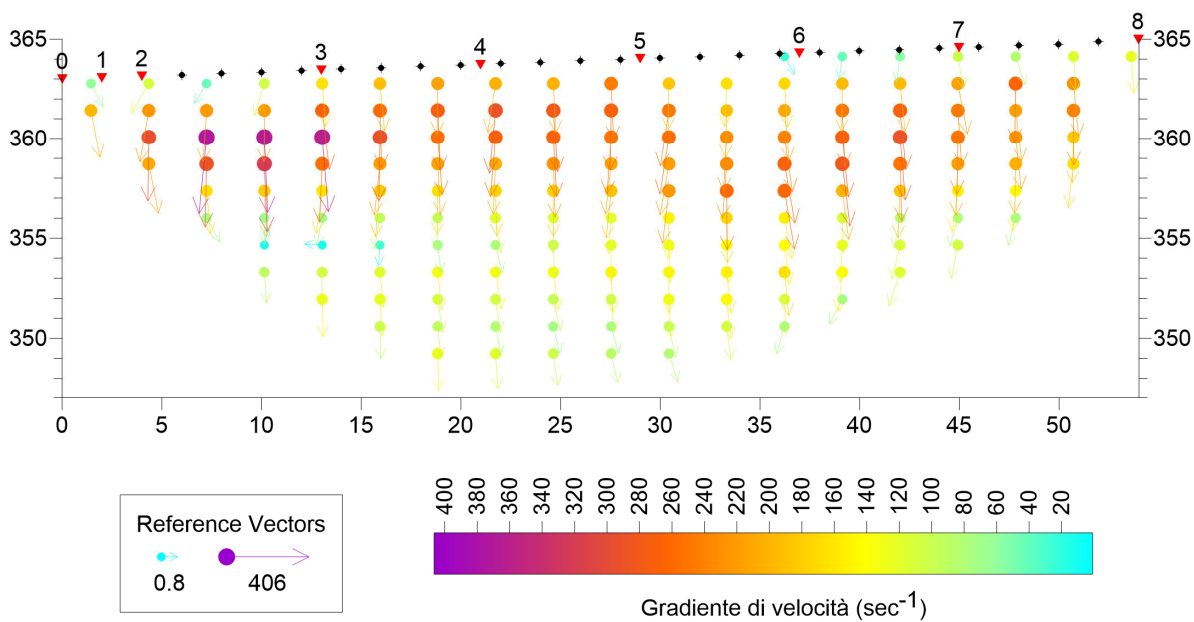
Tabella dei moduli elastici dinamici medi MW09 R (Combinata Rifrazione/Masw)

	<i>Coltre sabbioso-ghiaiosa</i>	<i>Argille e limi consistenti</i>	<i>Argille e limi molto consistenti</i>
Coefficiente di Poisson $\mu$	0.327	0.470	0.466
Velocità onde longitudinali Vp (m/sec)	550	1820	2440
Velocità onde trasversali Vs (m/sec)	279	431	615
Peso di volume $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.85	2.00	2.20
Modulo di Young Edin (Mpa)	389.5	1113.7	2487.1
Modulo di Rigidità G (Mpa)	146.8	378.7	848.2

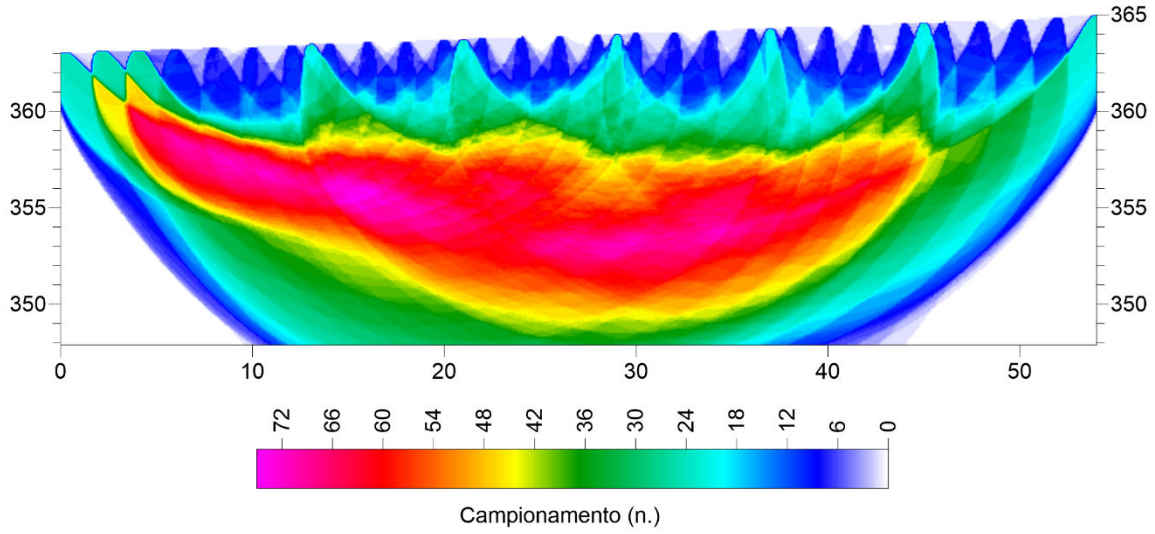
**MODELLO DI VELOCITA' -MW09 R-**



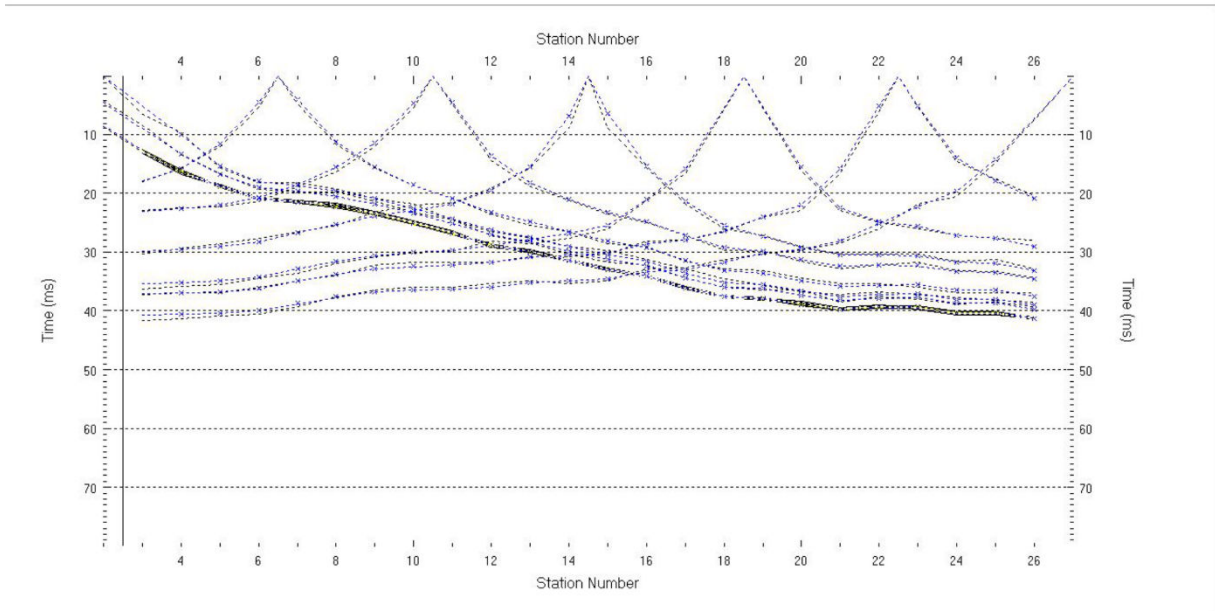
**MODELLO DEL GRADIENTE DI VELOCITA' -MW09 R-**



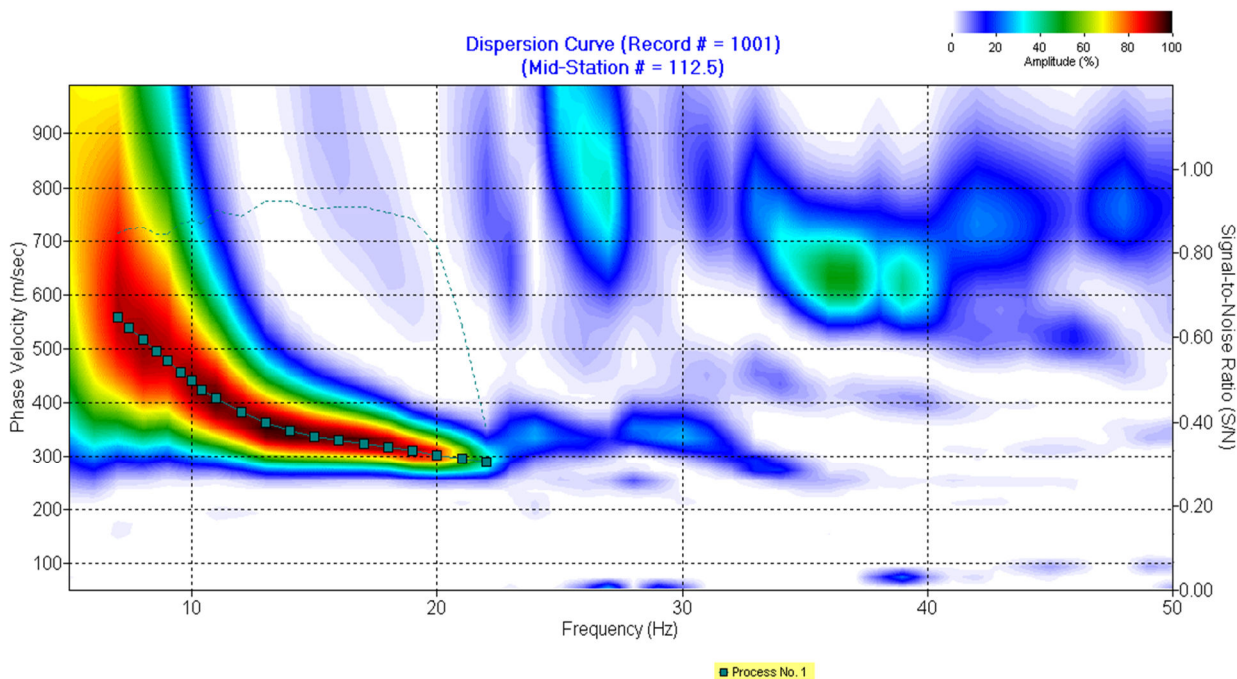
### PERCORSO DEI RAGGI SISMICI -MW09 R-



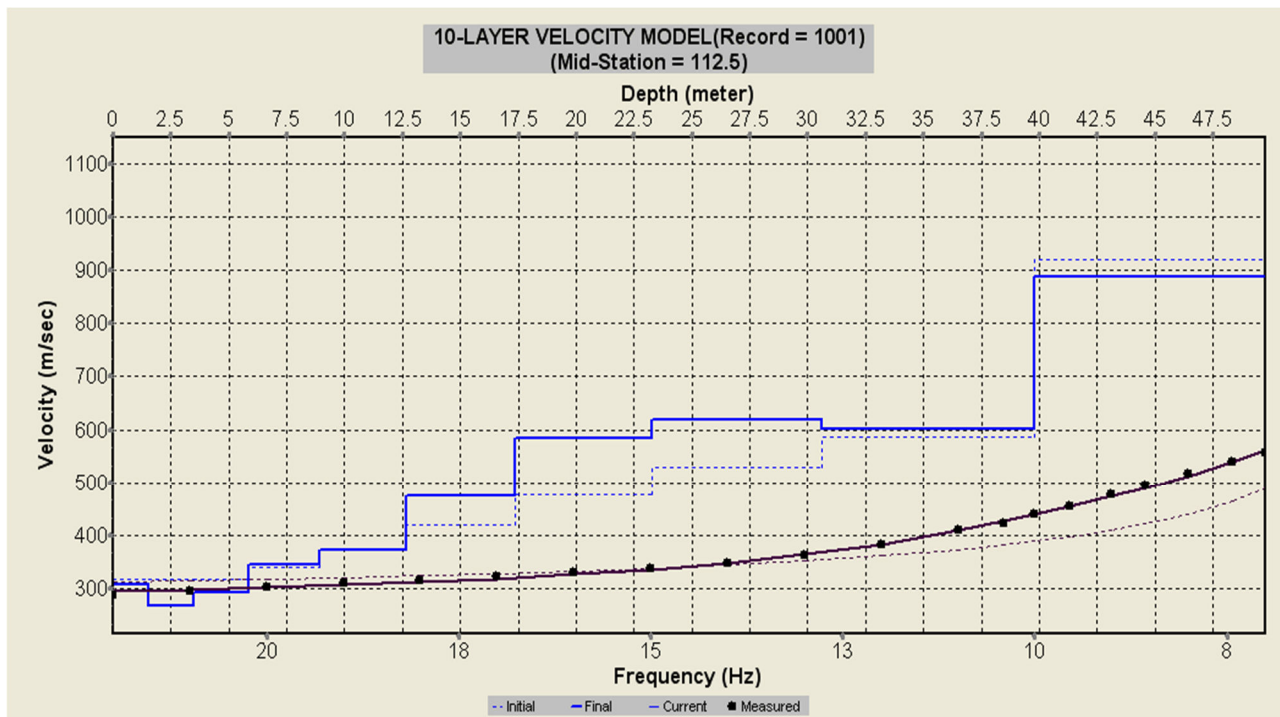
### DROMOCRONE - MW09 R -



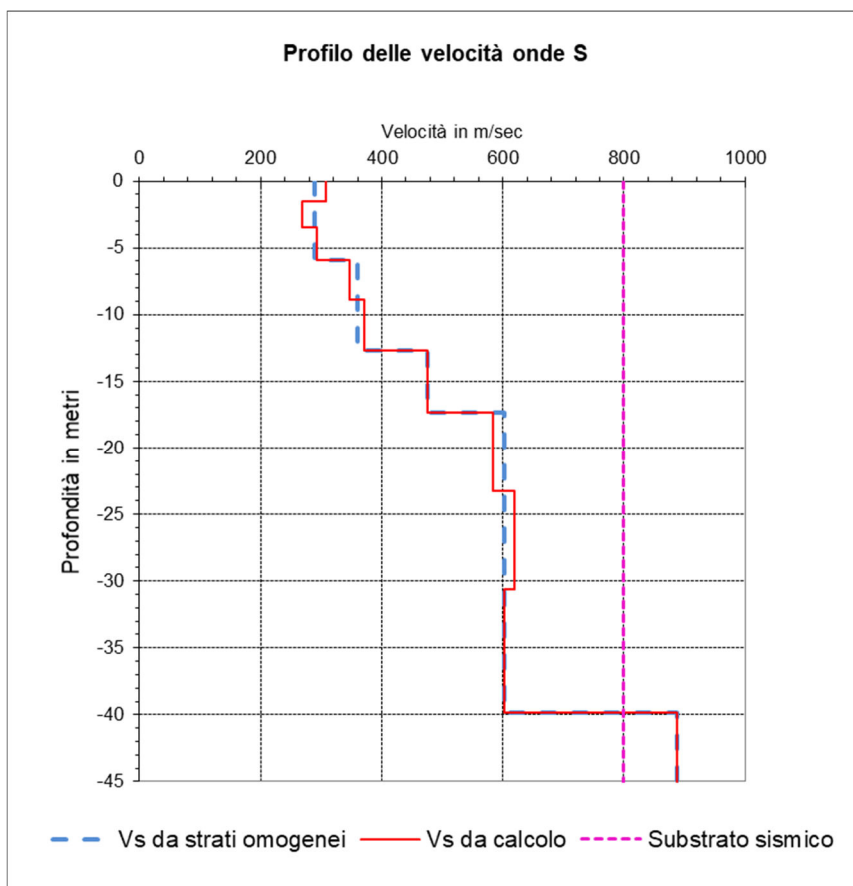
### MASW MW09



Curva di dispersione



Curve di inversione



<i>Profondità dal p.c. (metri)</i>	<i>Velocità delle onde S (m/sec)</i>	<i>Profondità della base degli orizzonti omogenei (metri)</i>	<i>Spessore dei sismostrati omogenei (metri)</i>	<i>Velocità delle onde S per orizzonti omogenei (m/sec)</i>
-1.543	307.39	5.88	5.88	288
-3.472	269.361			
-5.883	292.92			
-8.897	346.047	12.66	6.78	360
-12.664	371.826	17.37	4.71	475
-17.373	475.185			
-23.26	583.805	39.82	22.44	603
-30.618	619.439			
-39.816	602.271			
-49.769	887.599	49.77	9.95	888

**Velocità equivalente ( $V_{s, eq}$ ) = 428 m/sec (riferimento al piano campagna)**

$$V_{s, eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

**Categoria sismica di suolo: B**