

NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT)



Tavola / Elaborato

Nome Elaborato:

Scala:

R.G.5c

Fascicolo delle indagini geofisiche

Data:

Marzo 2025



Sede Firenze Via de Sanctis, 49 Cod. Fiscale e P.I. 06111950488

Organizzazione dotata di Sistema di Gestione Integrato certificato in conformità alla normativa ISO9001 - ISO14001 - OHSAS18001 - SA8000

PROGETTISTI :

RESPONSABILE COMMESSA E PROGETTO:

Dott. Ing. Luca DEL BIMBO

GEOLOGIA:

Dott. Geol. Filippo LANDINI

COLLABORATORI

indagini geologiche: Dott. Lorenzo PORAZZINI

opere civili ed edili: Dott. Ing. Lorenzo DEGL'INNOCENTI

opere idrauliche e sanitarie: Dott. Ing. Valentina CAMICI

opere elettriche: P.I. Luca ANGELI

modellazione processi: Dott. Ing. Alice BALDUCCI

CONSULENTI TECNICI

opere architettoniche e paesaggistiche: Arch. Riccardo BONECHI

geologia: Geol. Filippo SOTTANI
Geol. Daniele PITTARO

opere elettriche: Tecnoengineering s.r.l.

opere civili ed edili: Dott. Ing. Marco BENVENUTO

COMMESSA I.T. :

INGT-TPLPE-PBADI165

COORDINATORE DELLA SICUREZZA :

Dott. Ing. Lorenzo PUCCIONI

RESPONSABILE COMMITTENTE :

Ing. Cristiano AGOSTINI

DIRETTORE TECNICO INGEGNERIE TOSCANE :

Dott. Ing. Giovanni SIMONELLI

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO :

P.I. Armando MINIATI

Rev.	Data	Descrizione / Motivo della revisione	Redatto	Controllato / Approvato
01	Marzo 2025	Richiesta integrazione verifica assoggettabilità VIA	PORAZZINI	FERRI / LANDINI
00	Gennaio 2020	Emissione progetto Esecutivo	PORAZZINI	LANDINI

FASCICOLO R.G.2.c
INDAGINI GEOFISICHE

Direzione Operativa / CSE: Dott. Geol. LORENZO PORAZZINI

Riepilogo eseguiti:

- n.1 indagine di tipo MASW
- n.1 indagine di tipo HVSR
- n.3 sezioni tomografiche a rifrazione
- n.1 prospezione sismica in foro Down-Hole 35m in S4

Indice fascicolo:

1. Planimetria generale ubicazione indagini
2. Certificati - Allegati

FASCICOLI INDAGINI GEOGNOSTICHE

Prog. Esecutivo NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT)

R.G.2.a - PROVE PENETROMETRICHE

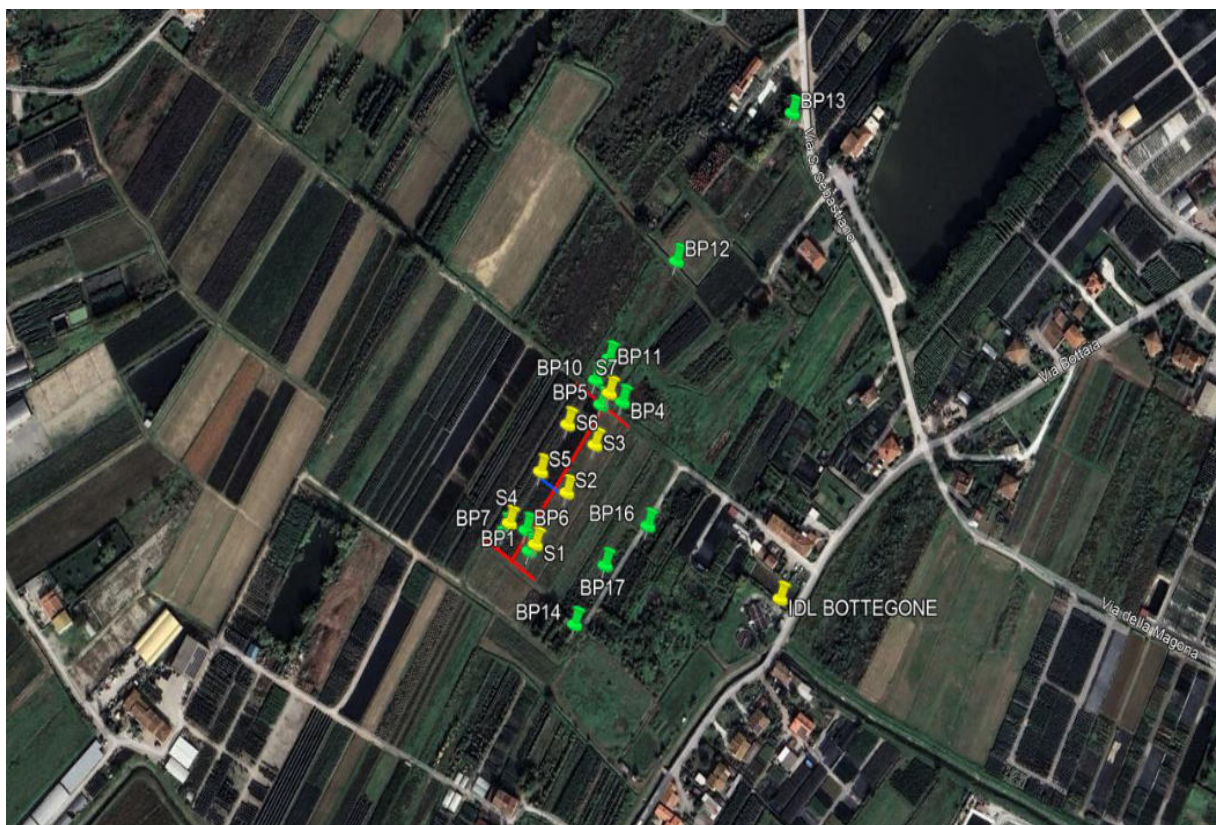
R.G.2.b - SONDAGGI GEOGNOSTICI A CAROTAGGIO CONTINUO

R.G.2.c - INDAGINI GEOFISICHE

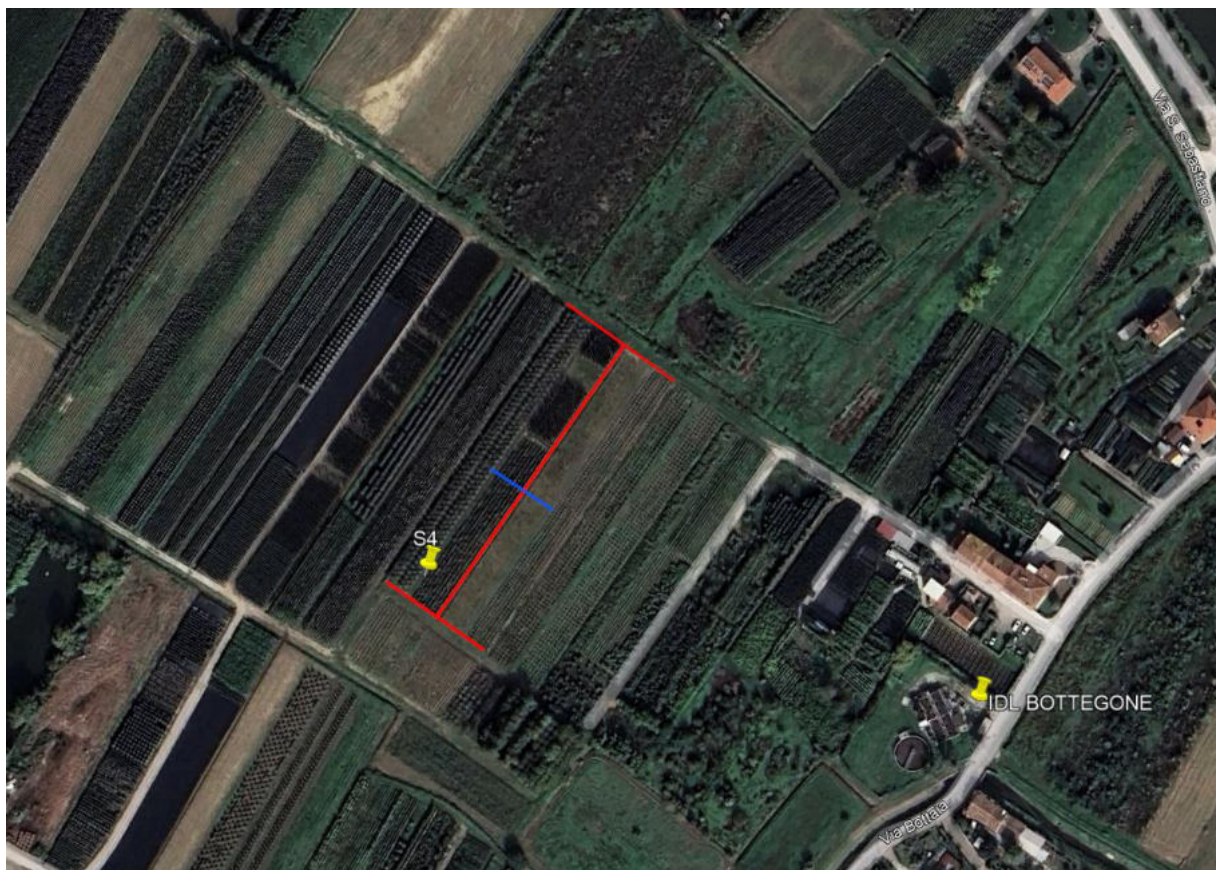
R.G.2.d - PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO

R.G.2.e - ANALISI AMBIENTALI ROCCE E TERRE DA SCAVO

Planimetria generale ubicazione indagini



Ubicazione indagini geofisiche





**Progetto definitivo “Nuovo depuratore BOTTEGONE –
Pistoia”**
Report prospezioni geofisiche

OGGETTO: Realizzazione di indagini geotecniche e geologiche. gara n°70/2878 –
CIG 6824790ADD

COMMITTENTE: Publiacqua S.p.A.

CANTIERE: Comune di Pistoia

Terranova da Sibari, 27/08/2018

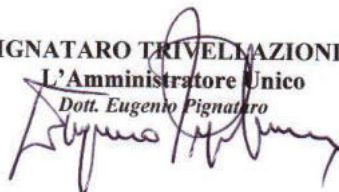
L'Impresa

(Pignataro Trivellazioni S.r.l. - Eugenio Pignataro)

PIGNATARO TRIVELLAZIONI S.R.L.

L'Amministratore Unico

Dott. Eugenio Pignataro



Sommario

Premessa	3
1 – Prospezioni sismiche a rifrazione.....	5
1.1 – Metodologia.....	5
1.2 – Sezione sismostratigrafica TOMO1	7
1.3 – Sezione sismostratigrafica TOMO2	8
1.4 – Sezione sismostratigrafica TOMO3	9
2 – Misura dei microtremori a stazione singola HVSR.....	10
2.1 – Metodologia.....	10
1.2 – Frequenza di risonanza di sito HVSR.....	12
3 – Prospezione sismica m.a.s.w.....	16
3.1 – Metodologia.....	16
3.2 – Determinazione della categoria di sottosuolo di fondazione	18
4 – Prospezione sismica in foro down-hole	20
4.1 – Metodologia.....	20

Premessa

Su incarico della Ditta PUBLIACQUA S.p.A., nell'ambito del progetto *“lavori di realizzazione di indagini geotecniche e geologiche, prospezioni geognostiche, nei Comuni appartenenti alle Province di Firenze, Prato, Pistoia, Arezzo”*, relativamente all'intervento: **“Nuovo depuratore BOTTEGONE”**, ricadente nel comune di Pistoia (Fig.1), è stata eseguita una campagna di indagine geofisica (Fig.2 *“Planimetria indagini geofisiche”*), consistente in:

- n°03 prospezioni sismiche a rifrazione (tomografie sismiche);
- n°01 misura dei microtrempi a stazione singola – HVSr;
- n°01 prospezione sismica di tipo m.a.s.w;
- n°01 prospezione sismica in foro down-hole.



Fig.1 – Ubicazione area di intervento

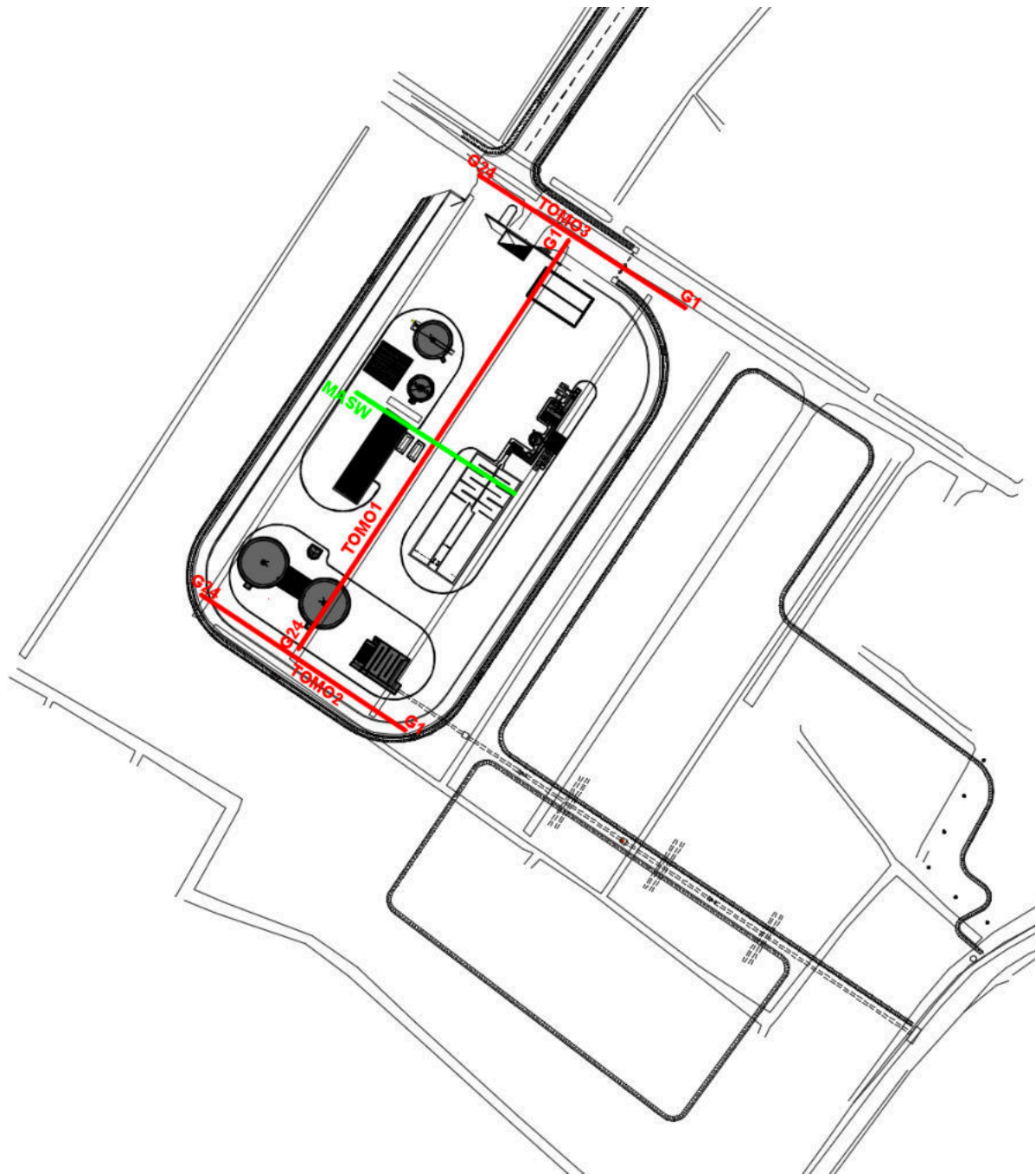






Fig.2 – Planimetria indagini geofisiche

Legenda

-  Prospezioni sismiche a rifrazione
-  Prospezione sismica masw
-  Misura dei microtremori HVSR
-  Sismica in foro down-hole

1 – Prospezioni sismiche a rifrazione

1.1 – Metodologia

Nella prospezione sismica a rifrazione si sfrutta la diversa velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P o "di compressione e dilatazione"), che sono le più veloci fra le diverse onde elastiche, o trasversali (onde SH o "di taglio") per determinare spessori e andamento dei livelli presenti. La prospezione consiste nel generare un'onda sismica di compressione o di taglio nel terreno attraverso una determinata sorgente di energia (colpo di mazza o di maglio, esplosivo etc.) e nel misurare il tempo impiegato da questa a compiere il percorso nel sottosuolo dal punto di energizzazione fino agli apparecchi di ricezione (geofoni) seguendo le leggi di rifrazione dell'ottica (Legge di *Snell*), cioè rifrangendosi sulle superfici di separazione tra due strati sovrapposti di densità (o meglio di modulo elastico) crescente. L'apparecchiatura necessaria per le prospezioni è costituita da una serie di ricevitori (geofoni) che vengono spazati lungo un determinato allineamento (base sismica) e da un sismografo che registra l'istante di inizio della perturbazione elastica ed i tempi di primo arrivo delle onde a ciascun geofono. Così, osservando i primi arrivi su punti posti a distanze diverse dalla sorgente energizzante, è possibile costruire una curva tempo-distanza (dromocrona) rappresentante la variazione del minimo percorso in funzione del tempo. Attraverso metodi analitici si ricavano quindi le velocità delle onde elastiche longitudinali (V_p) o trasversali (V_s) dei mezzi attraversati ed il loro spessore. La velocità di propagazione delle onde elastiche nel suolo è compresa tra larghi limiti; per lo stesso tipo di roccia essa diminuisce col grado di alterazione, di fessurazione e/o di fratturazione; aumenta per contro con la profondità e l'età geologica. Sensibili differenze si possono avere, in rocce stratificate, tra le velocità rilevate lungo i piani di strato e quelle rilevate perpendicolarmente a questi. La velocità delle onde compressionali, diversamente da quelle trasversali che non si trasmettono nell'acqua, è fortemente influenzata dalla presenza della falda acquifera e dal grado di saturazione. Questo comporta che anche litotipi differenti possano avere uguali velocità delle onde sismiche compressionali, per cui non necessariamente l'interpretazione sismostratigrafica corrisponderà con la reale situazione geologico-stratigrafica.

Il metodo sismico a rifrazione è soggetto inoltre alle seguenti limitazioni:

- un livello potrà essere evidenziato soltanto se la velocità di trasmissione delle onde sismiche in esso risulterà superiore a quella dei livelli soprastanti (effetto della inversione di velocità);
 - un livello di spessore limitato rispetto al passo dei geofoni e alla sua profondità può non risultare rilevabile;
 - un livello di velocità intermedia compreso tra uno strato sovrastante a velocità minore ed uno sottostante a velocità sensibilmente maggiore può non risultare rilevabile perché mascherato dagli "arrivi" dallo strato sottostante (effetto dello strato nascosto e "zona oscura");
 - aumentando la spaziatura tra i geofoni aumenta la profondità di investigazione, ma può ovviamente ridursi la precisione nella determinazione della profondità dei limiti di passaggio tra i diversi livelli individuati.

Il metodo della tomografia sismica è una tecnica di indagine che permette l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un alto potere risolutivo, offrendo la possibilità di ricostruire anomalie e discontinuità stratigrafiche anche particolarmente complesse. Questa tecnica fornisce l'immagine della distribuzione delle onde sismiche sotto la superficie, basate sui tempi di primo arrivo (come nella normale sismica a rifrazione) e sulla geometria di acquisizione. Si ricostruisce in tal modo un modello di velocità, che può essere migliorato attraverso successive iterazioni: la fase di calcolo si conclude quando si ha la migliore sovrapposizione fra i tempi di primo arrivo calcolati e quelli misurati.

Il processing dei dati, qui eseguito con il software *RAYFRAC*T prosegue con la fase di inversione tomografica detta *WET* (*Wavepath Eikonal Traveltime*), che permette il calcolo delle traiettorie d'onda (*wavepath*) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'equazione che esprime le modalità di propagazione di un'onda in un mezzo isotropo. Successivamente, con la fase di imaging, si otterrà con un software dedicato (*SURFER*) l'immagine della sezione tomografica.

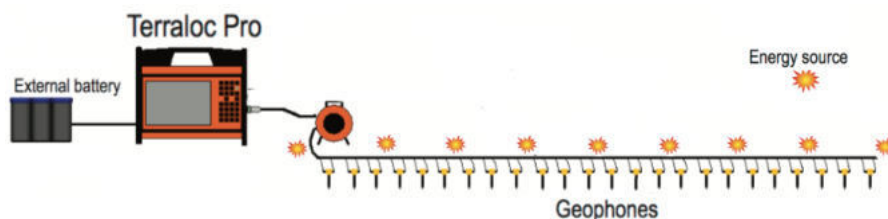
Sistema di acquisizione

Le indagini sono state condotte mediante l'utilizzo di un sismografo **ABEM Terraloc Pro**, con le seguenti caratteristiche tecniche:

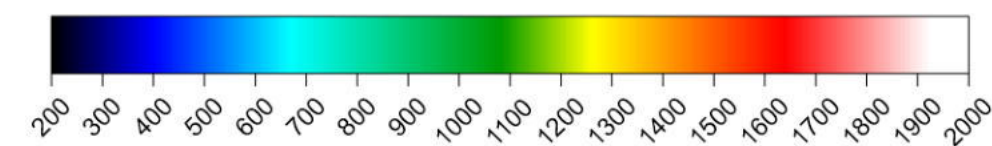
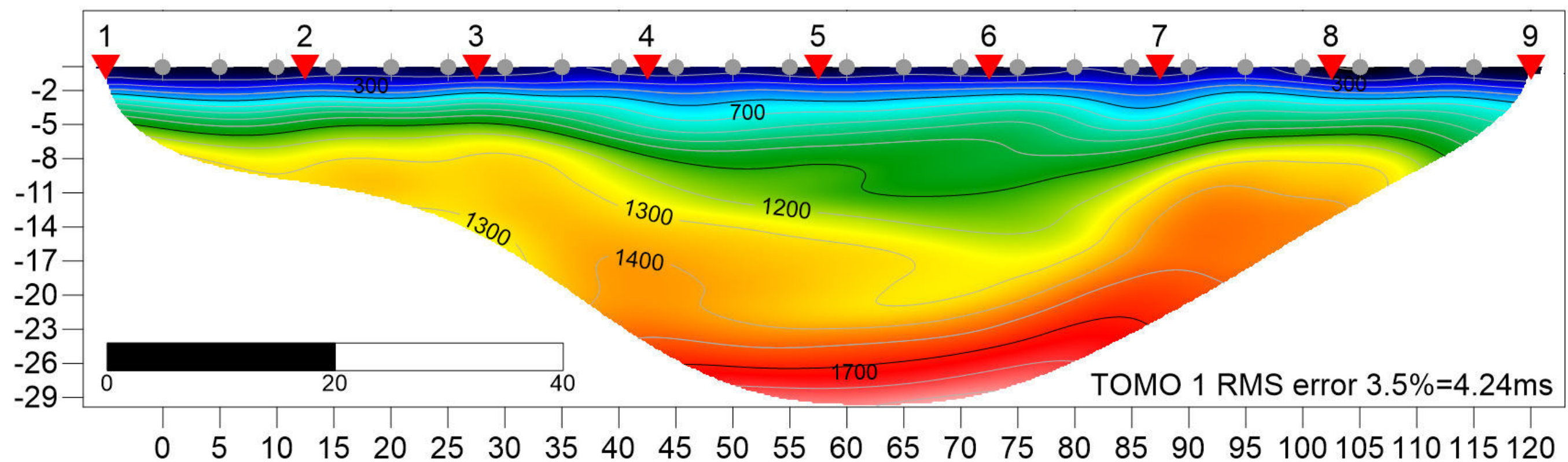
- Numero di Canali: 24/48
- Passo di campionamento: da 4 a 0,021 ms
- Fino a 480 k campioni per canale equivalenti a 9,6 sec - 32 min
- Conversione A/D a 24 bits
- Range dinamico teorico/misurato: 144/120 dB
- Alimentazione: da 10 a 30 V esterna; batteria interna 12 V
- GPS integrato
- Filtri analogici
- Collegamento Ethernet
- Processore Intel Atom 1,6 GHz
- Sistema operativo Windows XP
- 2 Gb RAM
- Hard disk 200GB



La sorgente sismica è costituita da una massa battente (mazza dal peso di 8kg) che batte su una piastra di alluminio. Il martello funge contemporaneamente da starter poiché collegato a mezzo di trigger al sismografo. Le oscillazioni del suolo sono state rilevate da 24 geofoni verticali da 4.5 Hz secondo la geometria di seguito riportata:



1.2 – Sezione sismostratigrafica TOMO1



Interdistanza geofonica	Lunghezza stendimento	N° shots
5.00 metri	120 metri	9

Foto stendimento TOMO1

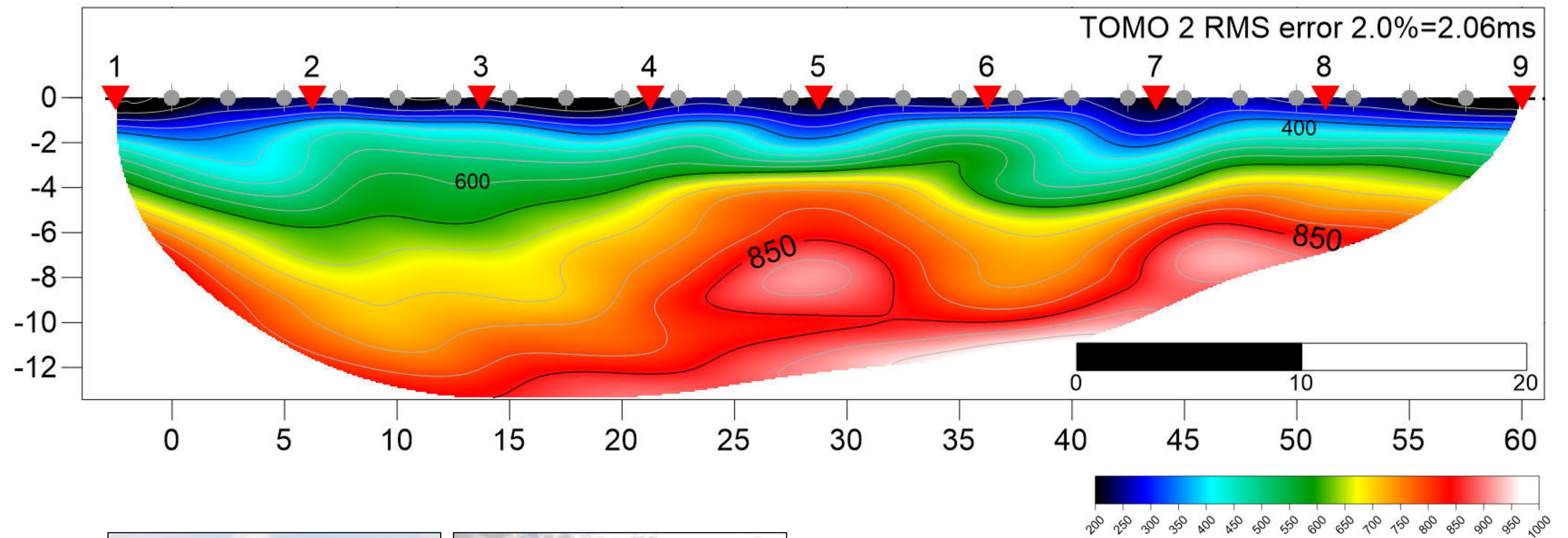


Foto stendimento TOMO2

Interdistanza geofonica	Lunghezza stendimento	N° shots
2.50 metri	60 metri	9

1.4 – Sezione sismostratigrafica TOMO3

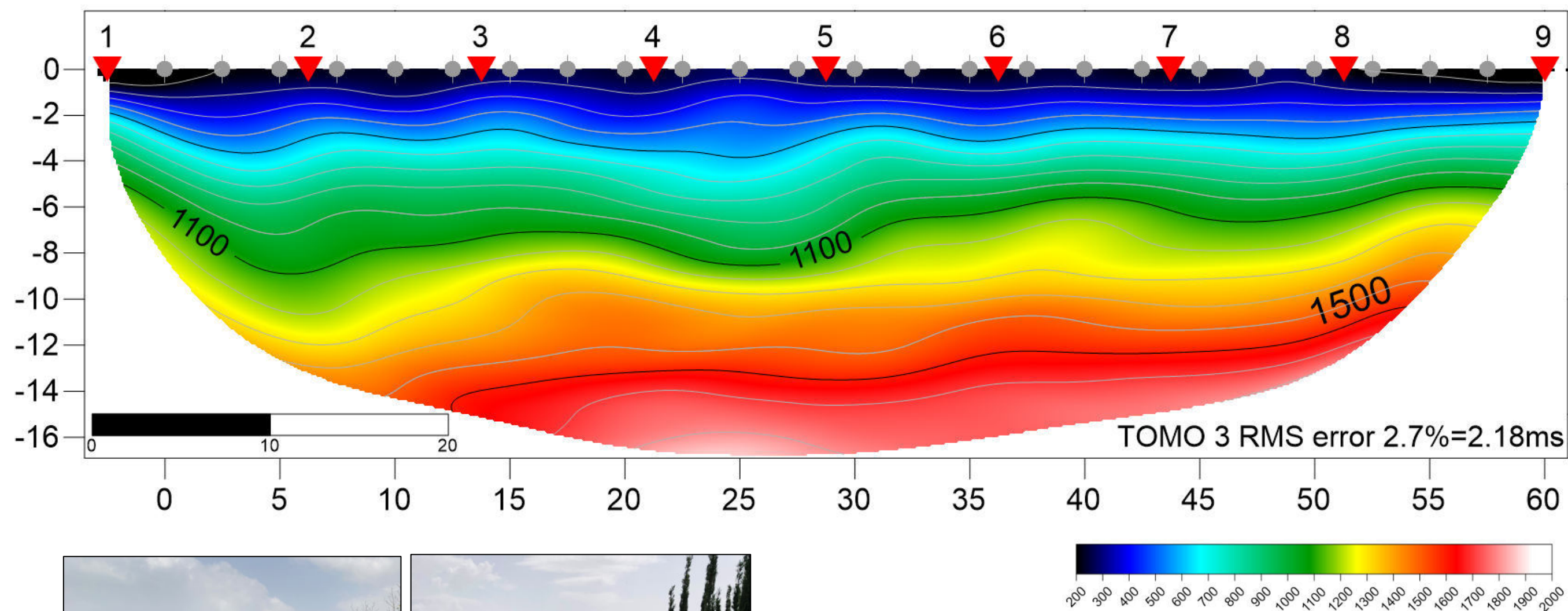


Foto stendimento TOMO3

Interdistanza geofonica	Lunghezza stendimento	N° shots
2.50 metri	60 metri	9

2 – Misura dei microtremori a stazione singola HVSR

2.1 – Metodologia

La prova in questione è nota semplicemente con il nome H/V e fu sperimentata per la prima volta da *Nogoshi e Igarashi nel 1970*, ma è stata poi diffusa successivamente, nel 1989, da *Nakamura* (infatti la prova viene anche definita come *metodo di Nakamura*). La prova consiste in una valutazione sperimentale del rapporto di ampiezza esistente tra la media delle componenti orizzontali e di quella verticale delle vibrazioni ambientali (sismica passiva) misurate in un determinato punto della superficie terrestre tramite un sismometro a tre componenti (due orizzontali perpendicolari tra loro ed una verticale). Da quanto detto si capisce anche perché il metodo venga definito come prova *HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)* oppure *HVSNR (Horizontal to Vertical Spectral Noise Ratio)*. Le vibrazioni che vengono misurate sono i cosiddetti microtremori e sono l'effetto di una molteplicità di sorgenti le quali sono attive per una molteplicità di frequenze, anche se quelle che interessano a fini ingegneristici sono generalmente quelle comprese nell'intervallo 0,5 – 20 Hz. Le principali sorgenti sono sia di origine antropica (traffico veicolare, attività industriale, rumore urbano in genere, ...) che naturale (onde marine, perturbazioni atmosferiche, cicloni oceanici, tremori vulcanici, ...). Durante l'acquisizione dei dati vanno rispettate una precisa metodologia ed alcune accortezze per fare in modo che il dato sia statisticamente corretto.

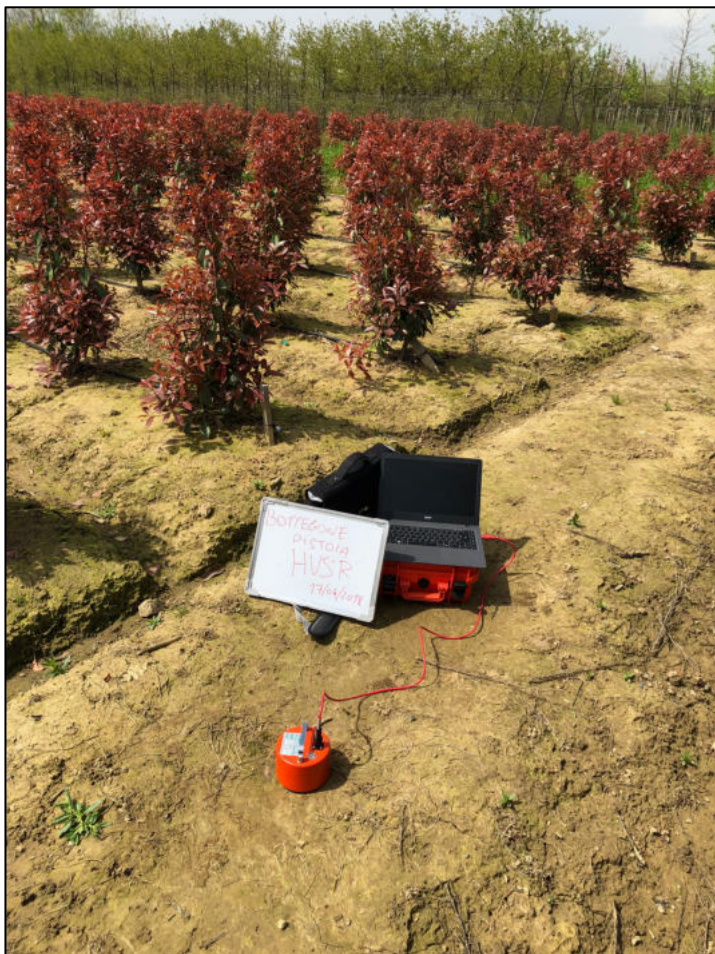
Le misure sono state effettuate con lo strumento denominato *Gemini 2* prodotto dalla ditta *Pasi* di Torino. *Il Gemini 2* è un acquisitore dati *HVSR* costituito da una terna di geofoni con frequenza di risonanza di 2 Hz, accoppiati sia meccanicamente che elettricamente e da un acquisitore di dati a 24 bit reali appositamente progettato. Per il suo funzionamento in campagna il *Gemini 2* viene collegato ad un computer portatile tramite un'interfaccia USB. Come già detto i tre geofoni interni sono orientati secondo una terna di assi cartesiani, assumendo la convenzione descritta nelle linee guida del Progetto *S.E.S.A.M.E.**: l'asse Z corrisponde al geofono verticale (direzione Up-Down), l'asse X e l'asse Y corrispondono rispettivamente al geofono orizzontale (direzione East-West) e al geofono orizzontale (direzione North-South).

Esistono delle linee guida (progetto *S.E.S.A.M.E.* citato in precedenza) che danno precise raccomandazioni sia sul metodo di acquisizione che sull'interpretazione delle misure H/V (<http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>).

Al fine di caratterizzare il sito in esame dal punto di vista della frequenza di risonanza di sito, sono state eseguite due misure di microtremori atte ad analizzare il rapporto spettrale H/V (*Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio - HVSR*) utile a definire eventuali risonanze di sito. Nel

* Il Progetto *Sesame (Site EffectS assessment using AMbient Excitations)* si è occupato della stima del rischio sismico specie in riferimento alle aree urbane e si è focalizzato su studi a basso costo uno dei quali è appunto il cosiddetto metodo di *Nakamura*.

loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni del DM 14 gennaio 2008 (ex DM 14/09/2005). Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito (quindi l'eventuale amplificazione dello scuotimento del suolo in caso di sisma).



Postazione HVSr

1.2 – Frequenza di risonanza di sito HVSR

DATA ACQUISITION

Date and time: 17/04/2018 12:46

DATA PROCESSING

Date: 20/04/2018

Time: 12:46

Sampling frequency (Hz): 64

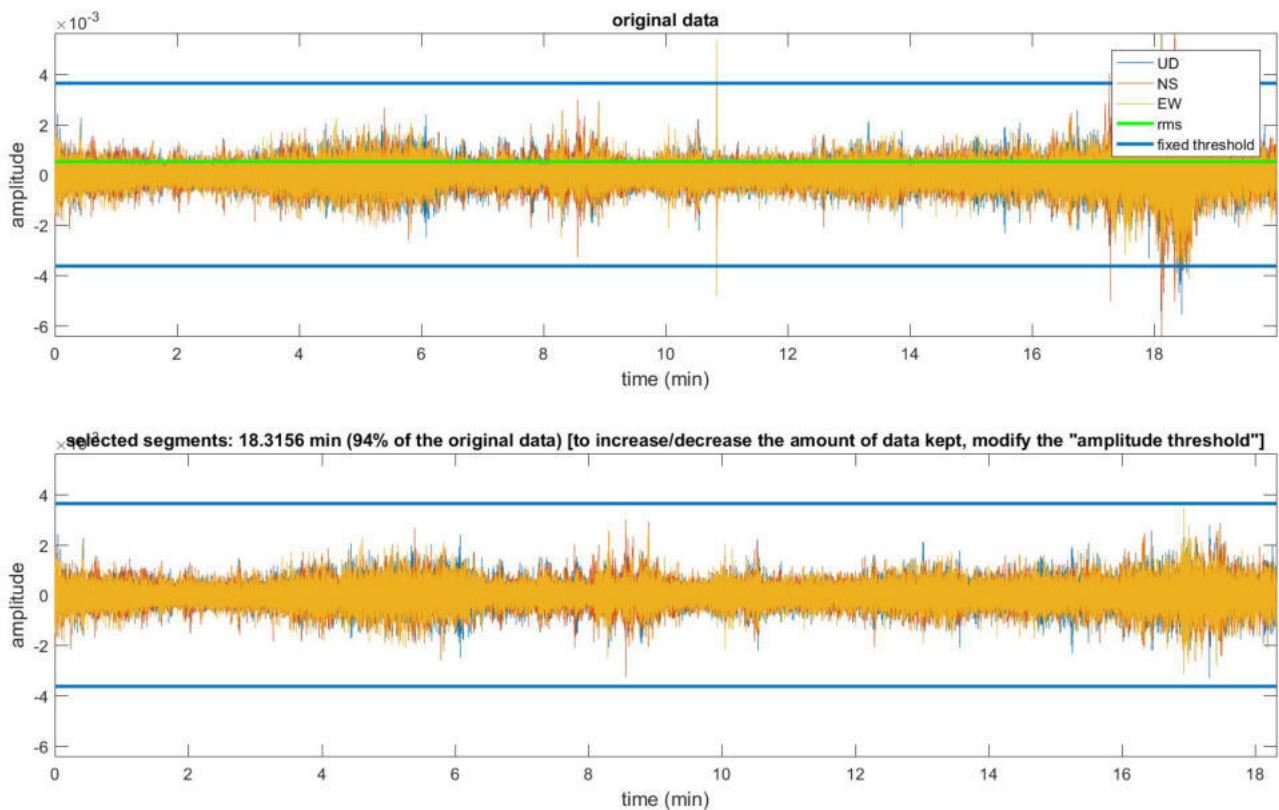
Window length (sec): 18

Minimum frequency soundly determined [5 cycles]: 0.27778Hz

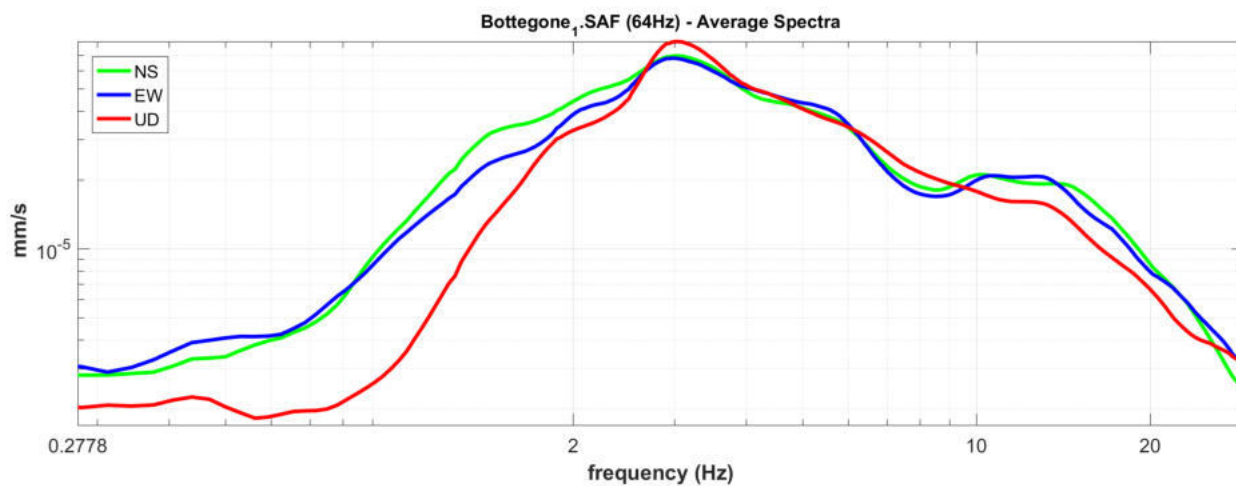
Length of analysed dataset (min): 20.0

Tapering (%): 5

Smoothing (%): 10



Data set originale e filtrato



Criteria for a reliable H/V curve

#1: OK

#2: OK

#3: OK

Criteria for a clear H/V peak [0.97 Hz]

#1: OK

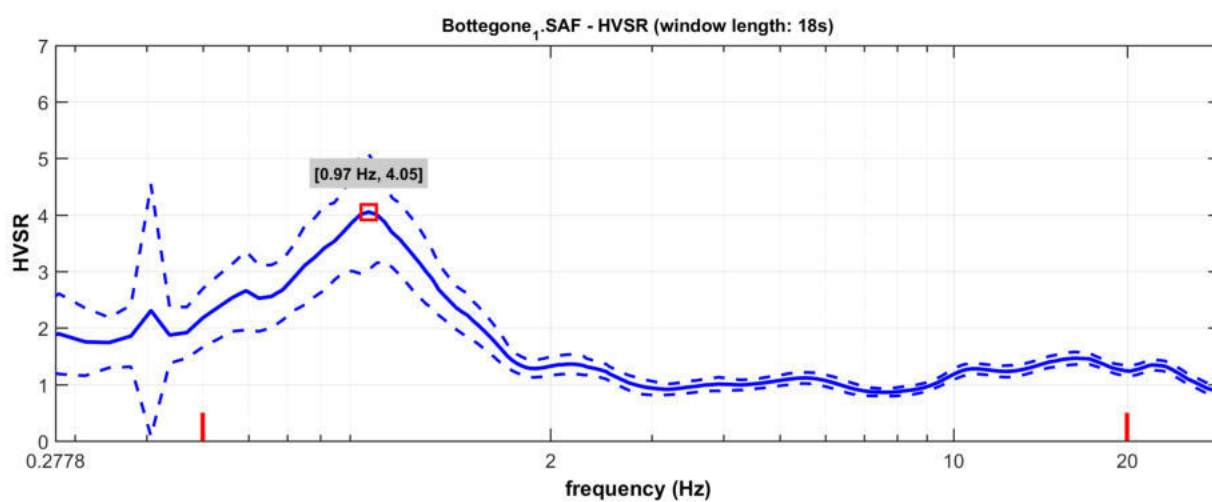
#2: OK

#3: OK

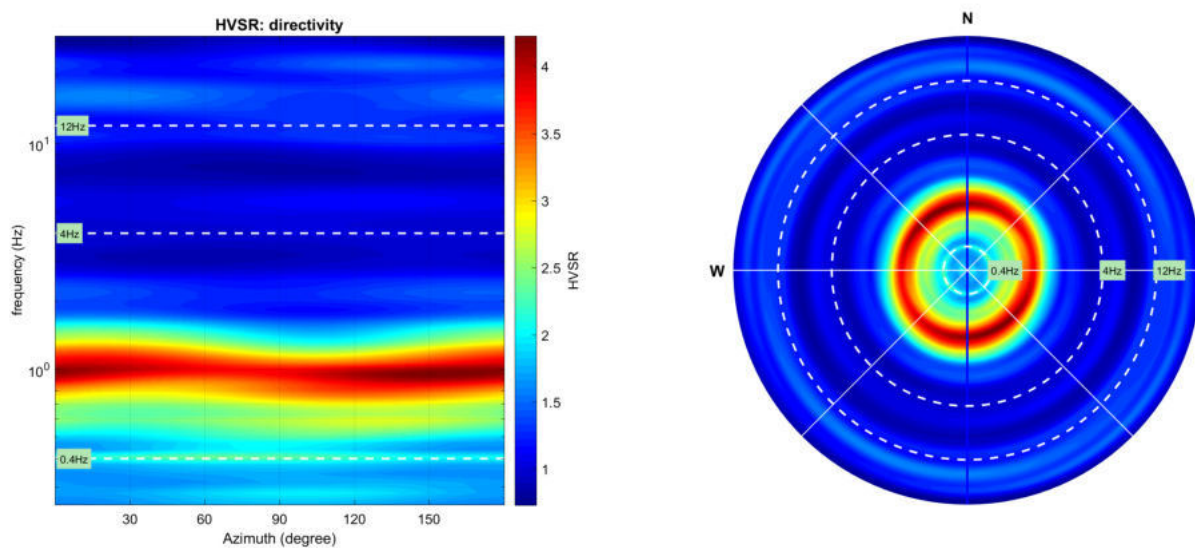
#4: NO

#5: NO

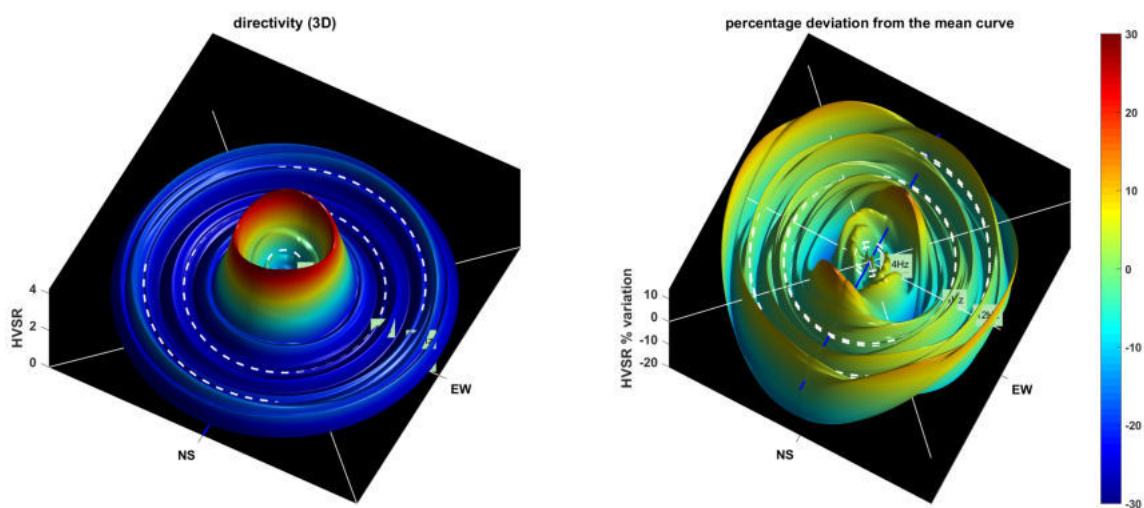
#6: OK



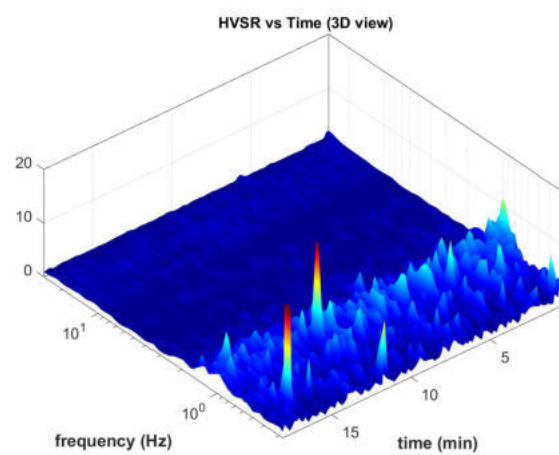
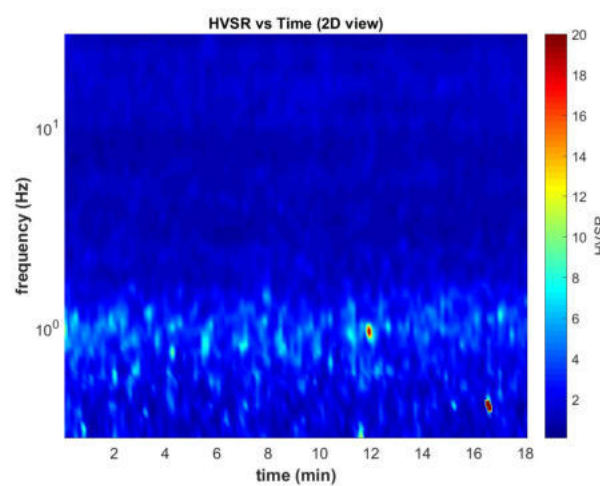
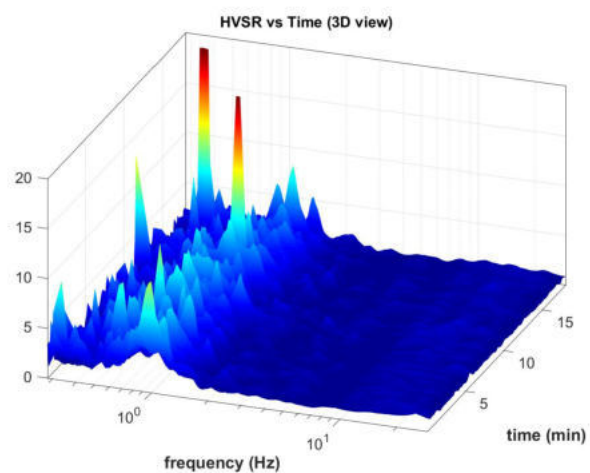
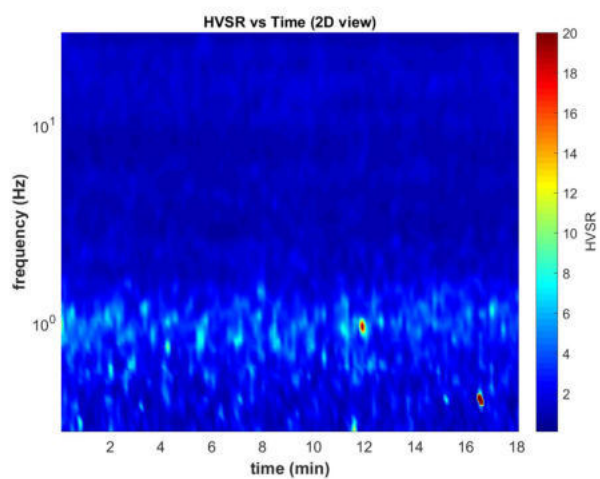
HVSR e spettri medi d'ampiezza delle singole componenti per il sito in esame



Direttività delle misure HVSR effettuate



Direttività delle misure HVSR effettuate (3D)



Continuità nel tempo delle misure HVSR

3 – Prospezione sismica m.a.s.w.

3.1 – Metodologia

L'analisi multicanale delle onde superficiali di *Rayleigh – M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves)* – è un efficiente metodologia sismica per la determinazione delle velocità delle onde di taglio V_s . Tale metodo utilizza le onde superficiali di *Rayleigh* registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un comune sismografo multicanale. Le onde di *Rayleigh*, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni e vengono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali, simili alla tecnica *S.A.S.W.*, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

L'intera procedura per una *M.A.S.W.* consiste di 4 passi fondamentali:

- ripetute acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale (mazza battente su piastra), lungo uno stendimento rettilineo di sorgente geofoni che viene spostato lungo la linea dello stendimento stesso dopo ogni acquisizione;
- estrazione del modo fondamentale dalle curve di dispersione delle velocità di fase delle onde superficiali di *Rayleigh* (una curva per ogni acquisizione);
- inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle V_s (un profilo verticale per ogni curva di dispersione, posizionato nel punto medio di ogni stendimento geofonico);
- ricostruzione di una sezione (modello 2D) delle V_s dei terreni con approccio multicanale.

Quando vengono generate onde sismiche usando una sorgente impattante come un martello su una piastra vengono generate sia onde di volume (P e S), sia onde di superficie (*Rayleigh* e *Love*), che si propagano in tutte le direzioni. Alcune di queste onde vengono riflesse e disperse quando incontrano oggetti superficiali o poco profondi (fondazioni di edifici, canali sotterranei, trovanti lapidei, ecc.) e diventano rumore. Inoltre, vengono quasi sempre rilevate vibrazioni da rumore ambientale proveniente dal traffico veicolare e dall'attività umana. Il vantaggio dell'approccio multicanale della tecnica *M.A.S.W.* sta nella sua intrinseca capacità di distinguere tutte queste onde dovute al rumore e di isolarle dalle onde superficiali di *Rayleigh* evidenziando solo il modo fondamentale di oscillazione dei terreni.

Le proprietà della dispersione di tutti i tipi di onde (di volume e superficiali) sono visualizzate attraverso un metodo di trasformazione (basato sull'analisi spettrale dei segnali sismici) del campo d'onda che converte direttamente i segnali sismici acquisiti in una immagine dove un modello di dispersione è riconosciuto nella distribuzione dell'energia trasformata in oscillazioni.

Successivamente, il modo fondamentale (proprietà fondamentale della dispersione della velocità di fase delle onde di *Rayleigh*) viene estratto da un modello specifico. Tutte le altre onde (riflesse, disperse, modi superiori delle onde superficiali, noise ambientale) vengono quindi rimosse durante il processo di elaborazione.

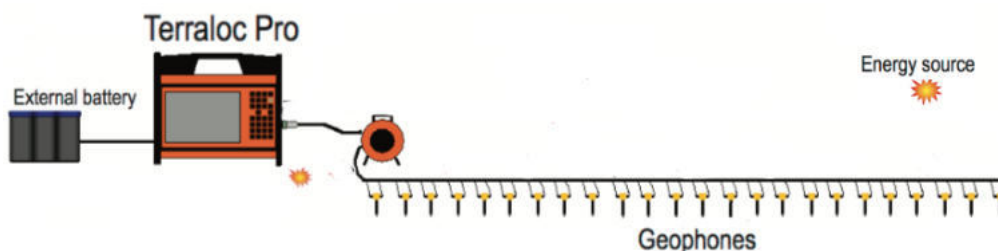
Sistema di acquisizione

Le indagini sono state condotte mediante l'utilizzo di un sismografo **ABEM Terraloc Pro**, con le seguenti caratteristiche tecniche:

- Numero di Canali: 24/48
- Passo di campionamento: da 4 a 0,021 ms
- Fino a 480 k campioni per canale equivalenti a 9,6 sec - 32 min
- Conversione A/D a 24 bits
- Range dinamico teorico/misurato: 144/120 dB
- Alimentazione: da 10 a 30 V esterna; batteria interna 12 V
- GPS integrato
- Filtri analogici
- Collegamento Ethernet
- Processore Intel Atom 1,6 GHz
- Sistema operativo Windows XP
- 2 Gb RAM
- Hard disk 200GB



La sorgente sismica è costituita da una massa battente (mazza dal peso di 8kg) che batte su una piastra di alluminio. Il martello funge contemporaneamente da starter poiché collegato a mezzo di trigger al sismografo. Le oscillazioni del suolo sono state rilevate da 24 geofoni verticali da 4.5 Hz secondo la geometria di seguito riportata:

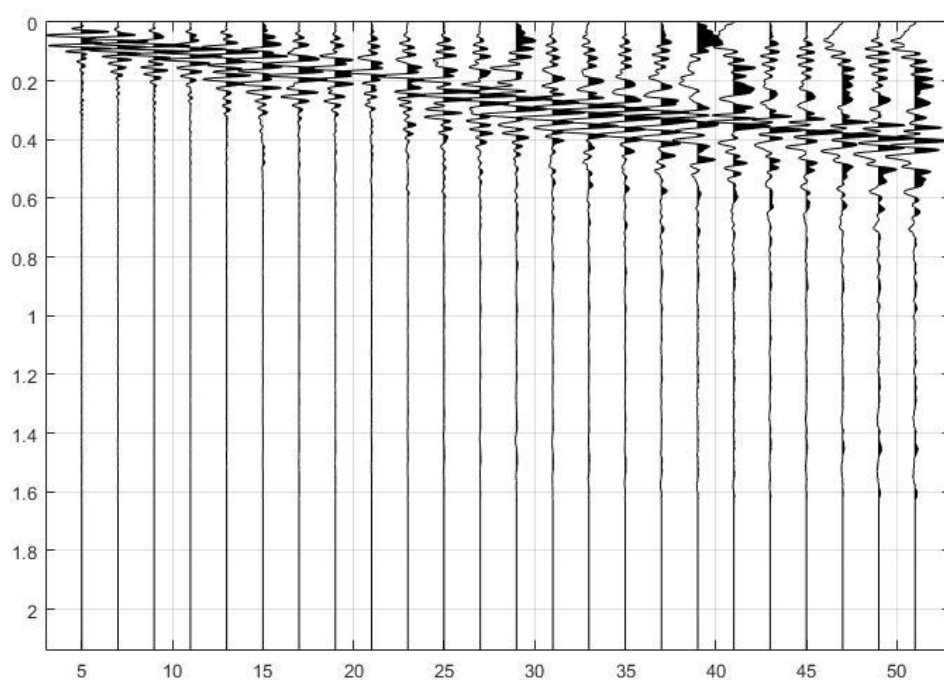


3.2 – Determinazione della categoria di sottosuolo di fondazione

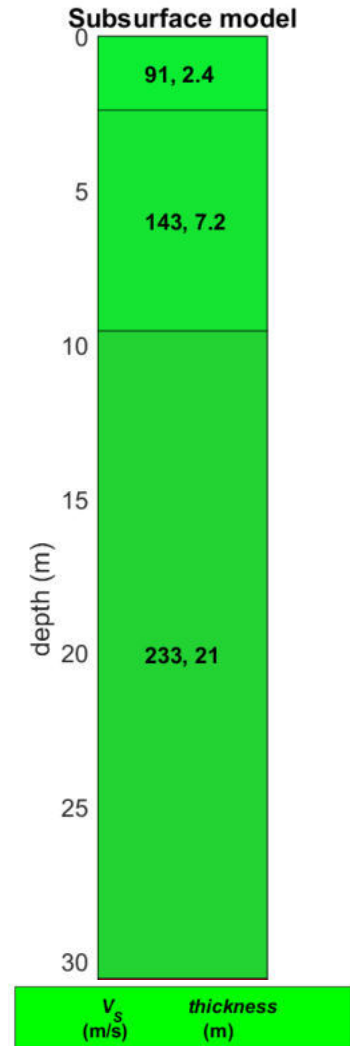
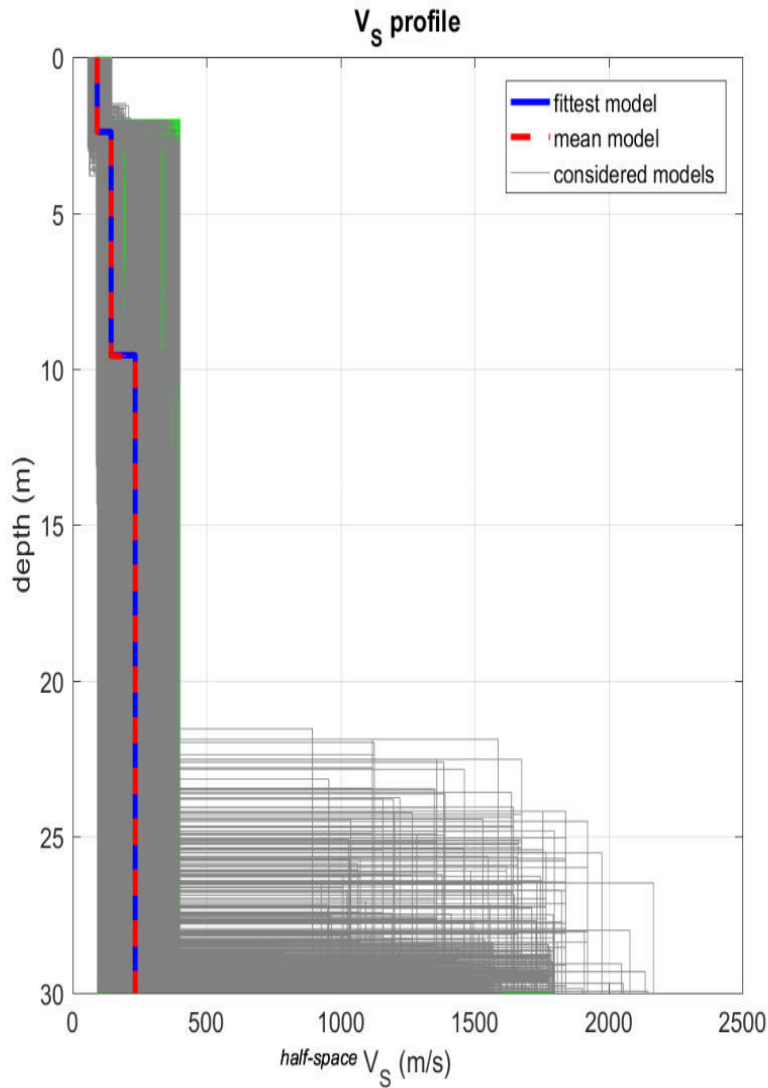
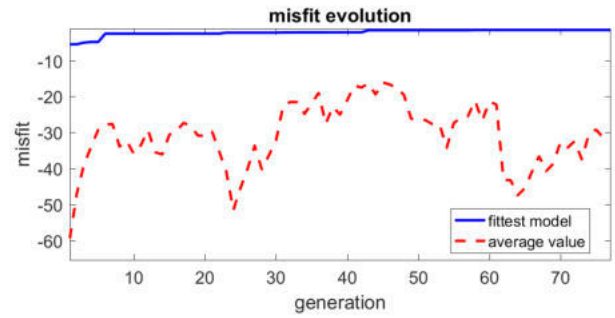
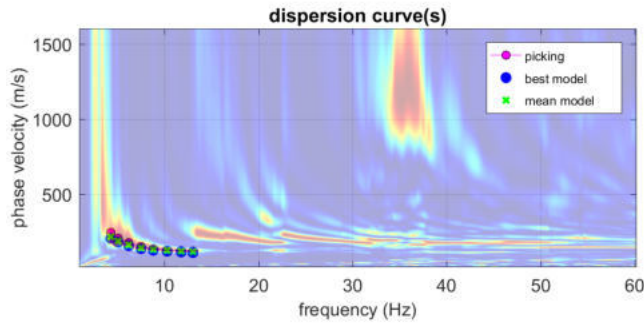
E' stata realizzata n°1 prospezione sismica di tipo M.A.S.W. con stendimento di lunghezza pari a 46.00 metri e con spaziatura intergeofonica di 2.00 metri con punti di offset a 2.00 e 5.00 metri esterni al geofono 1.



Stendimento sismico



Tracce normalizzate



Elaborazione dati Modello medio - Tipo di analisi: onde di Rayleigh

Strati	Profondità	Spessori (m)	V_s (m/s)
1	1.00	1.00	318
2	16.00	15.00	474
3	28.00	12.00	634

VS_{30} (m/s)
183
Categoria di suolo
C

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

4 – Prospezione sismica in foro down-hole

4.1 – Metodologia

Le prove sismiche in foro di tipo *Down-Hole* vengono realizzate, in fori di sondaggio appositamente predisposti, con l'uso di geofoni da pozzo di tipo tridimensionale ed opportuni sistemi di energizzazione. Il metodo down-hole prevede la sorgente energetica in superficie ed i sensori all'interno del perforo (Fig.1). Si adoperano geofoni particolarmente assemblati per essere calati e fissati a profondità via via crescenti contro la parete di un perforo opportunamente condizionato; energizzando il terreno in superficie e misurando i tempi di arrivo del primo impulso ai geofoni, si ha la possibilità di determinare il profilo di velocità delle onde sismiche di compressione, P, e di taglio S, nonché moduli elastici dei litotipi riscontrati durante la verticale stratigrafica.

L'attrezzatura utilizzata per l'esecuzione delle prospezioni in foro *down-hole* è rappresentata da:

Sistema di acquisizione

rappresentato dall'utilizzo di un sismografo **ABEM Terraloc Pro**, con le seguenti caratteristiche tecniche:

- Numero di Canali: 24/48
- Passo di campionamento: da 4 a 0,021 ms
- Fino a 480 k campioni per canale equivalenti a 9,6 sec - 32 min
- Conversione A/D a 24 bits
- Range dinamico teorico/misurato: 144/120 dB
- Alimentazione: da 10 a 30 V esterna; batteria interna 12 V
- GPS integrato
- Filtri analogici
- Collegamento Ethernet
- Processore Intel Atom 1,6 GHz
- Sistema operativo Windows XP
- 2 Gb RAM
- Hard disk 200GB



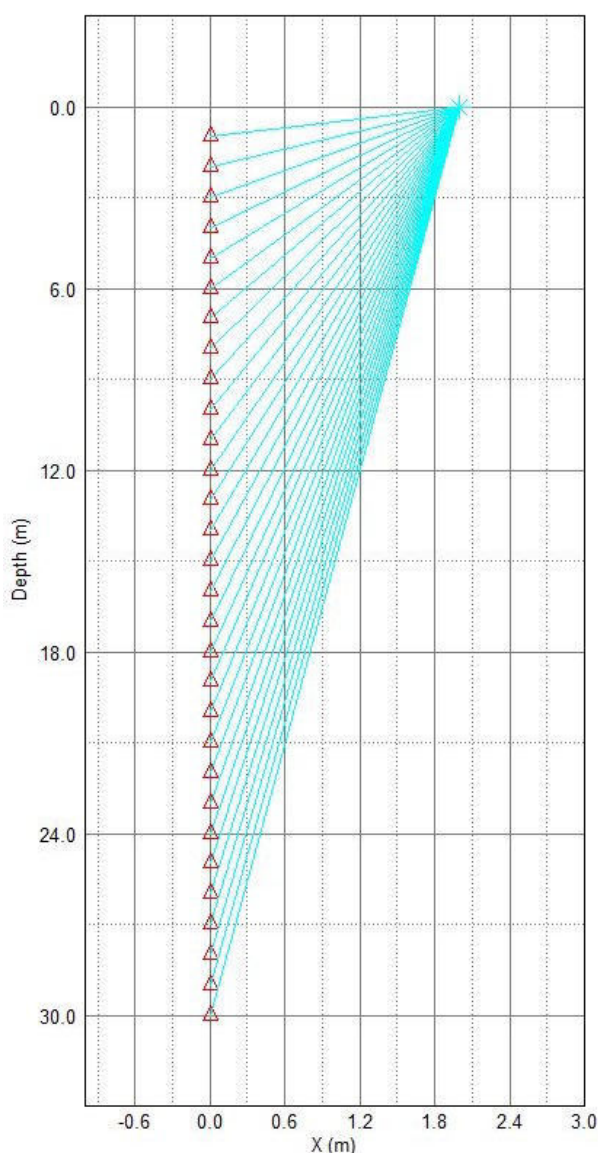
Sistema di ricezione

ovvero da un geofono 3D da foro **PASI GFA 50**, costruito utilizzando 3 sensori geofonici ad alta sensibilità orientati secondo una terna di assi cartesiani ortogonali XYZ (freq. naturale di 10 Hz - 1 sensore verticale e 2 orizzontali).

Sorgenti di energizzazione

Costituiti da una sorgente di onde S, rappresentata da una trave in legno con una placca in alluminio forgiata in modo da garantire la perfetta aderenza e da un piattello sempre in alluminio che funge da sorgente di onde P; per entrambe le sorgenti l'energizzazione è data da un martello di 8 Kg che impatta sulle piastre di alluminio.

Una volta verificato che il foro è completamente libero e misurata la profondità del sondaggio, viene posizionata la terna di geofoni a fondo foro e orientati in modo che uno dei due trasduttori orizzontali di ciascun geofono sia diretto perpendicolarmente alla longarina, precedentemente posizionata a una distanza compresa tra 1.5 e 3 m, trasversalmente rispetto al foro e aderente al suolo. Quindi i geofoni vengono bloccati alle pareti del foro e vengono eseguite tre battute orizzontali destre, tre battute orizzontali sinistre e tre battute verticali. Per ciascuna tripletta viene acquisita la media. Successivamente vengono sbloccati i geofoni e fatti avanzare di un metro, controllando che l'orientazione rispetto alla sorgente non venga modificata e la prova viene ripetuta, fino ad arrivare alla superficie.

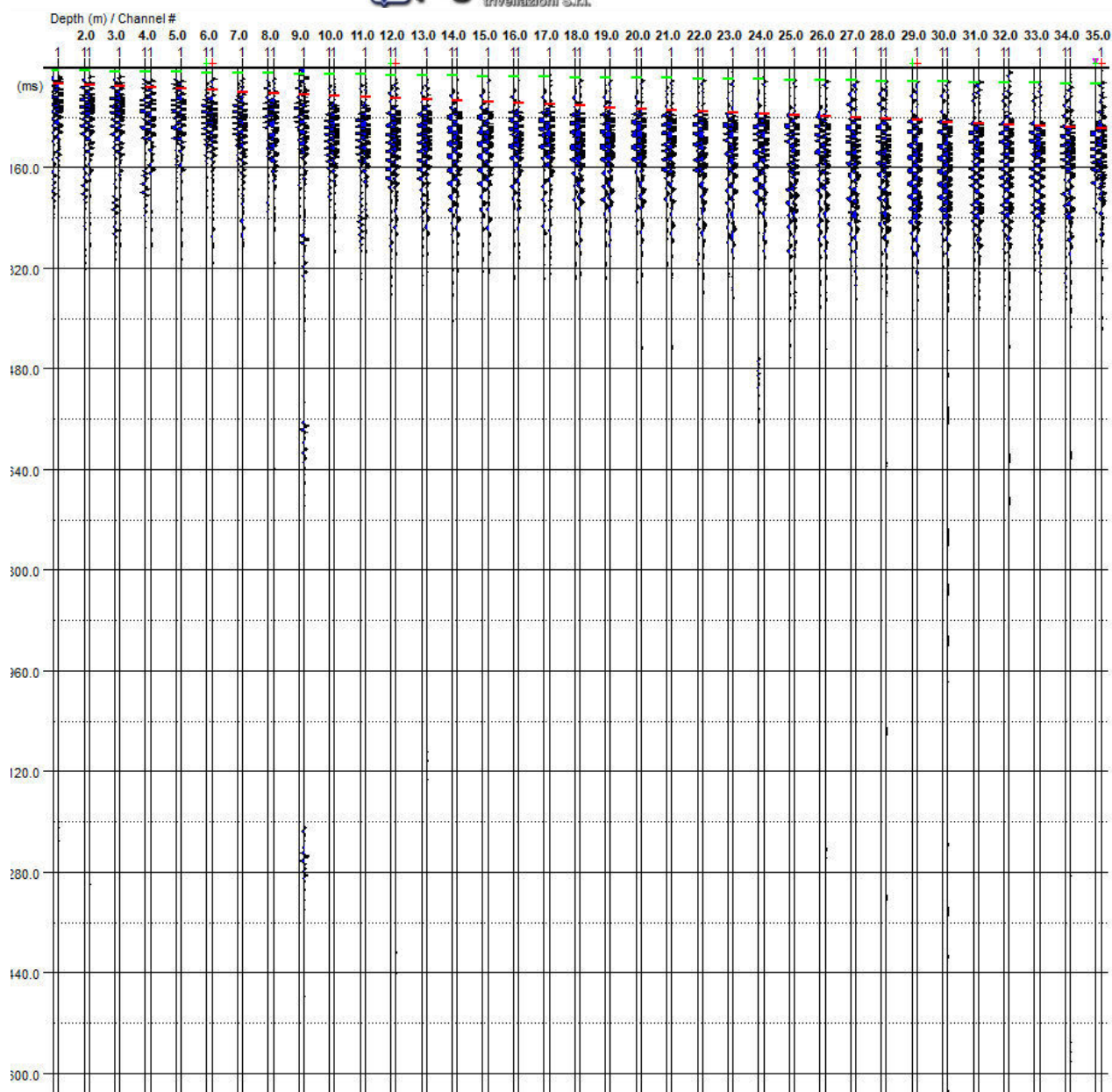


Geometria di acquisizione della prova down-hole

Elaborazione dei dati

Il processing dei dati è stato condotto mediante l'utilizzo del software **PS Log** (*GEOGIGA TECHNOLOGY CORP.*). L'interpretazione delle misure ai fini della determinazione del profilo della velocità delle onde S e delle onde P, per le registrazioni effettuate in sito a ciascuna profondità e per ciascun tipo di energizzazione (P, S1 e S2) dai tre trasduttori, vengono per prima cosa filtrate e visualizzate nell'insieme per poterne determinare i primi arrivi (Fig.2 -*picking*). Successivamente si assegnano i *layer* per l'intera profondità della verticale investigata per ricavare i profili VS, VP e μ (*Poisson*). Inoltre indicando il valore della densità dei materiali attraversati il programma determina i moduli elastici dei litotipi investigati (Tab.1). Infine il software calcola la velocità media delle onde S nei 30 metri profondità ovvero la Vs30 (Tab.2).





Picking dei primi arrivi per le onde P, S1 e S2

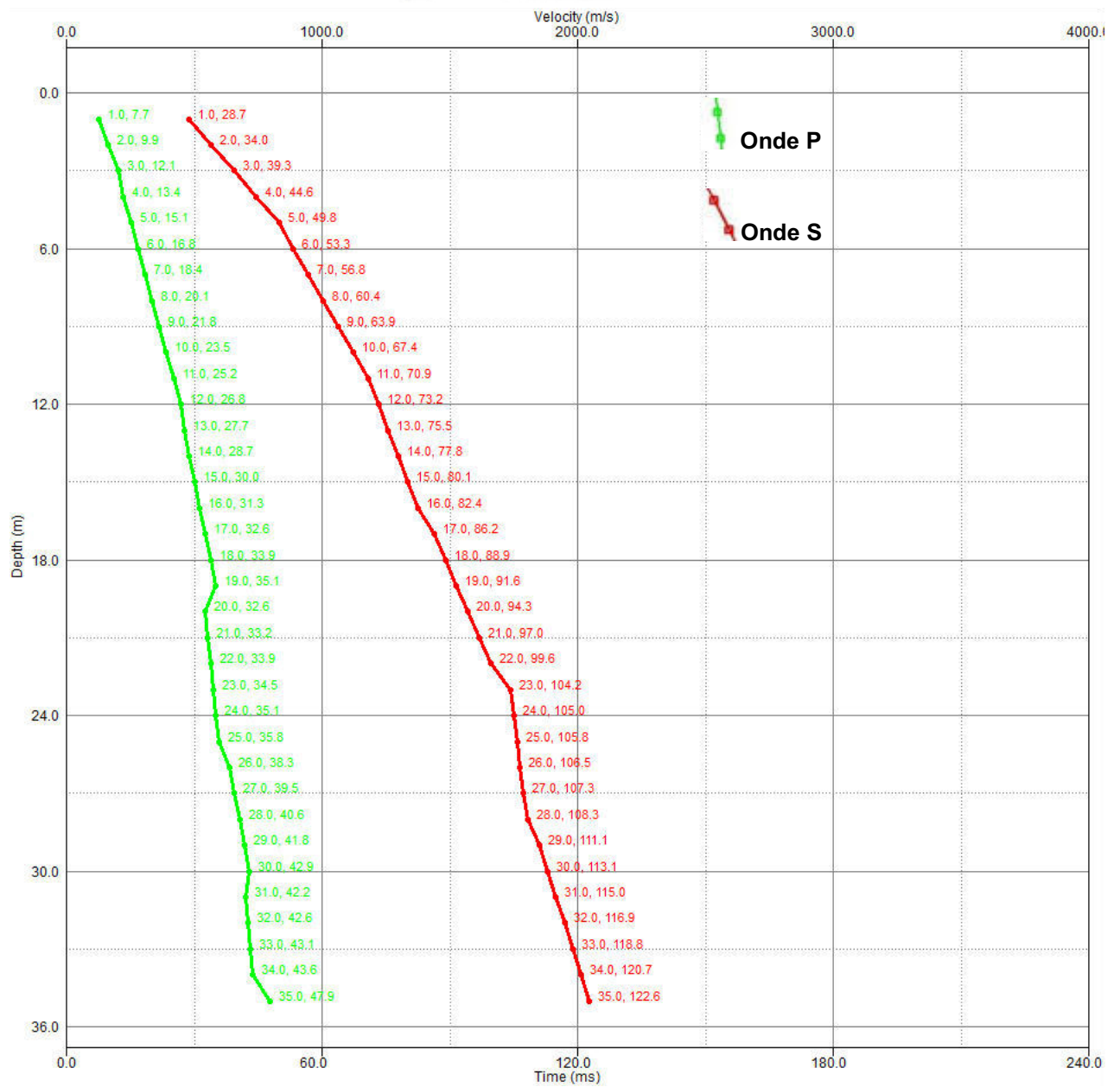
Average Velocity Above 35 m ---- Vs:285.4, Vp:668.6

Depth	Ts Pick	Ts Vertical	Vs Interval	Vs Average	Tp Pick	Tp Vertical	Vp Interval	Vp Average	Nu	G	E	K
1.00	28.744	28.744	34.8	34.8	7.665	7.665	130.5	130.5	0.462	0.002	0.006	0.025
2.00	34.014	34.014	189.8	58.8	9.876	9.876	452.3	202.5	0.393	0.058	0.162	0.252
3.00	39.283	39.283	189.8	76.4	12.087	12.087	452.3	248.2	0.393	0.058	0.162	0.252
4.00	44.553	44.553	189.8	89.8	13.414	13.414	753.8	298.2	0.466	0.058	0.170	0.837
5.00	49.823	49.823	189.8	100.4	15.091	15.091	596.4	331.3	0.444	0.058	0.167	0.495
6.00	53.336	53.336	284.6	112.5	16.767	16.767	596.4	357.8	0.353	0.130	0.353	0.399
7.00	56.849	56.849	284.6	123.1	18.444	18.444	596.4	379.5	0.353	0.139	0.375	0.424
8.00	60.362	60.362	284.6	132.5	20.121	20.121	596.4	397.6	0.353	0.139	0.375	0.424
9.00	63.875	63.875	284.6	140.9	21.797	21.797	596.4	412.9	0.353	0.139	0.375	0.424
10.00	67.388	67.388	284.6	148.4	23.474	23.474	596.4	426.0	0.353	0.139	0.375	0.424
11.00	70.902	70.902	284.6	155.1	25.151	25.151	596.4	437.4	0.353	0.139	0.375	0.424
12.00	73.201	73.201	434.9	163.9	26.828	26.828	596.4	447.3	-0.068	0.323	0.603	0.177
13.00	75.501	75.501	434.9	172.2	27.679	27.679	1174.2	469.7	0.421	0.323	0.919	1.926
14.00	77.800	77.800	434.9	179.9	28.744	28.744	939.3	487.1	0.364	0.323	0.882	1.078
15.00	80.100	80.100	434.9	187.3	30.021	30.021	782.8	499.6	0.277	0.323	0.826	0.617
16.00	82.399	82.399	434.9	194.2	31.299	31.299	782.8	511.2	0.277	0.380	0.971	0.725
17.00	86.232	86.232	260.9	197.1	32.576	32.576	782.8	521.9	0.438	0.137	0.393	1.049
18.00	88.914	88.914	372.8	202.4	33.854	33.854	782.8	531.7	0.353	0.279	0.756	0.859
19.00	91.597	91.597	372.8	207.4	35.131	35.131	782.8	540.8	0.353	0.279	0.756	0.859
20.00	94.280	94.280	372.8	212.1	32.576	32.576	790.2	541.2	0.354	0.279	0.756	0.859
21.00	96.963	96.963	372.8	216.6	33.215	33.215	1565.5	576.8	0.470	0.279	0.821	4.554
22.00	99.645	99.645	372.8	220.8	33.854	33.854	1565.5	593.8	0.470	0.279	0.821	4.554
23.00	104.244	104.244	217.4	220.6	34.493	34.493	1565.5	610.3	0.490	0.095	0.283	4.800
24.00	105.011	105.011	1304.6	228.5	35.131	35.131	1565.6	626.2	0.636	3.421	2.488	0.365
25.00	105.777	105.777	1304.6	236.3	35.770	35.770	1565.5	641.6	0.636	3.421	2.488	0.365
26.00	106.544	106.544	1304.6	244.0	38.325	38.325	391.4	626.2	1.049	3.421	14.023	0.365
27.00	107.310	107.310	1304.6	251.6	39.475	39.475	869.8	632.8	1.400	3.421	16.421	0.365
28.00	108.269	108.269	1043.7	258.6	40.625	40.625	869.8	639.0	2.136	2.189	13.734	1.026
29.00	111.143	111.143	347.9	260.9	41.774	41.774	869.8	644.9	0.405	0.243	0.684	1.196
30.00	113.059	113.059	521.9	265.3	42.924	42.924	869.8	650.5	0.219	0.547	1.334	0.791
31.00	114.975	114.975	521.8	269.6	42.158	42.158	870.0	650.5	0.219	0.547	1.505	0.892
32.00	116.892	116.892	521.8	273.8	42.637	42.637	2087.4	679.8	0.467	0.547	1.606	8.028
33.00	118.808	118.808	521.9	277.8	43.116	43.116	2087.4	693.9	0.467	0.547	1.606	8.028
34.00	120.724	120.724	521.8	281.6	43.595	43.595	2087.4	707.8	0.467	0.547	1.606	8.028
35.00	122.640	122.640	521.8	285.4	47.906	47.906	231.9	668.6	1.123	0.547	2.324	8.028

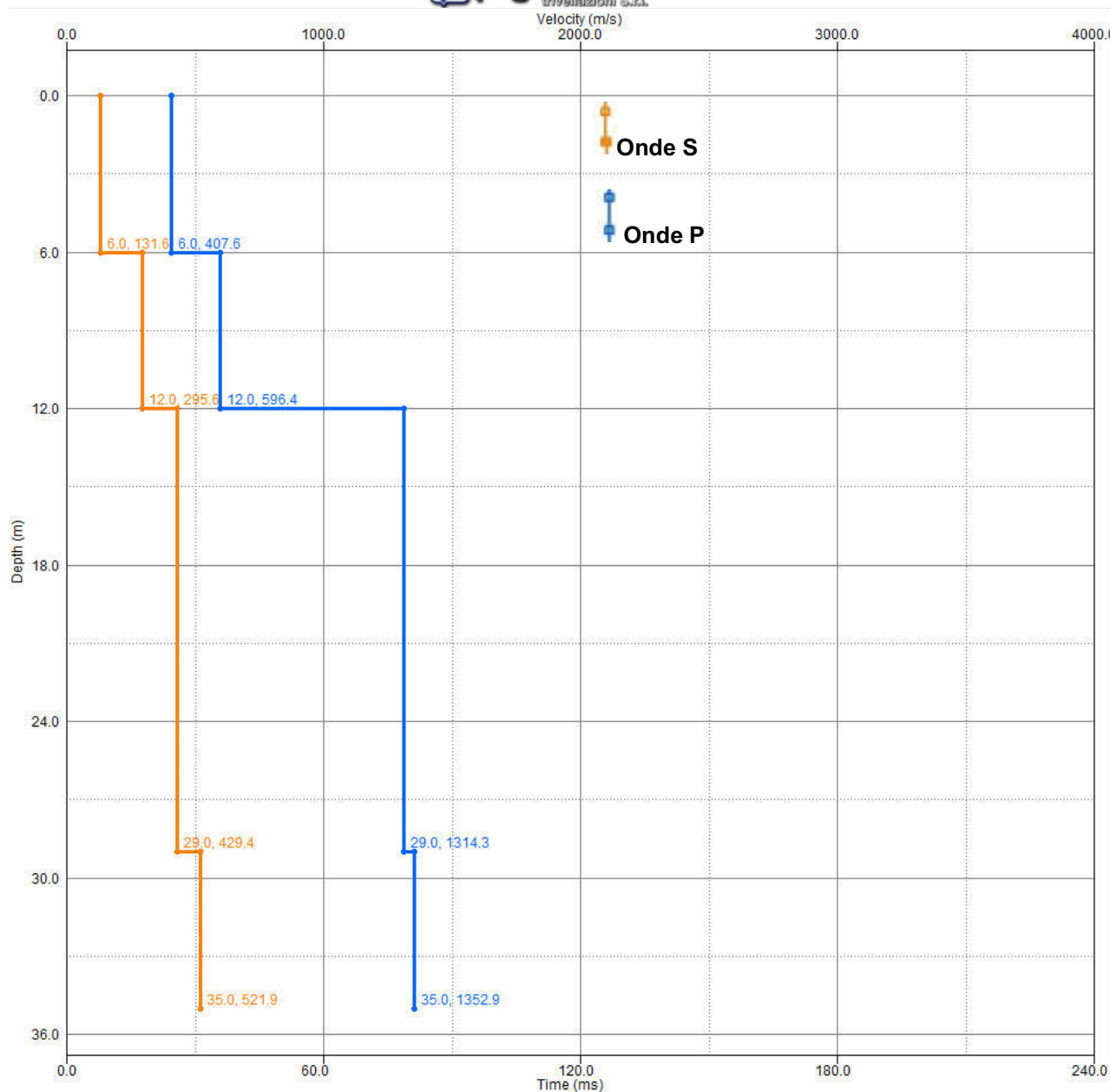
Tempi di arrivo e moduli elastici dinamici

Parametro:	Descrizione
<i>Ts Pick:</i>	Tempo di arrivo onde trasversali S
<i>Ts Vertical:</i>	Tempo di arrivo delle onde S corretto sulla verticale
<i>Vs Interval:</i>	Velocità delle onde S al singolo intervallo
<i>Tp Pick:</i>	Tempo di arrivo delle onde longitudinali P
<i>Tp Vertical:</i>	Tempo di arrivo delle onde P corretto sulla verticale
<i>Vp Interval:</i>	Velocità delle onde P al singolo intervallo
<i>Poisson:</i>	Coefficiente di Poisson
<i>G (GPa):</i>	Modulo di taglio
<i>E (GPa):</i>	Modulo di Young
<i>K (GPa):</i>	Modulo di incompressibilità

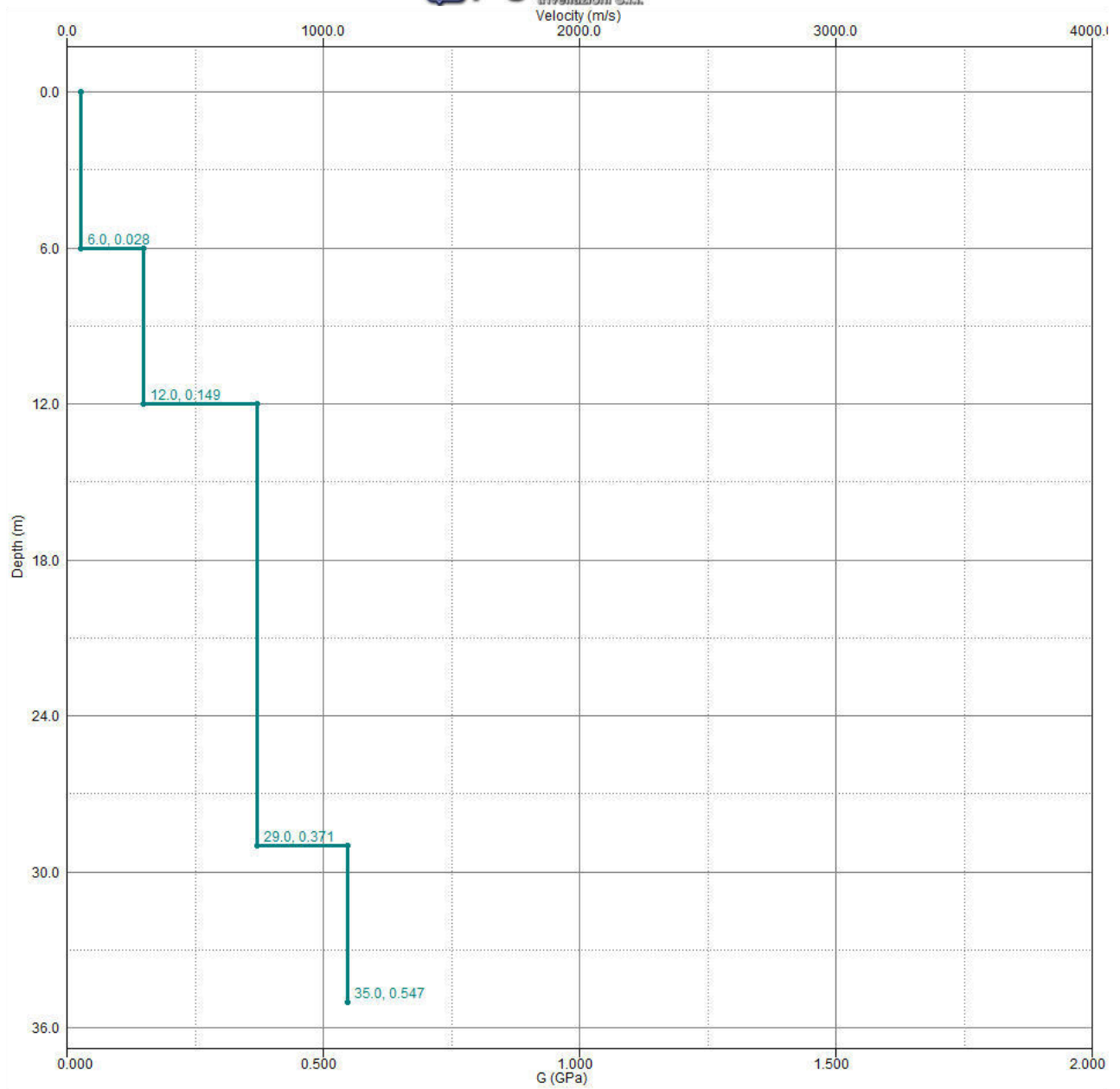
Loc. Donnangelo - 87010 Terranova da Sibari (CS)



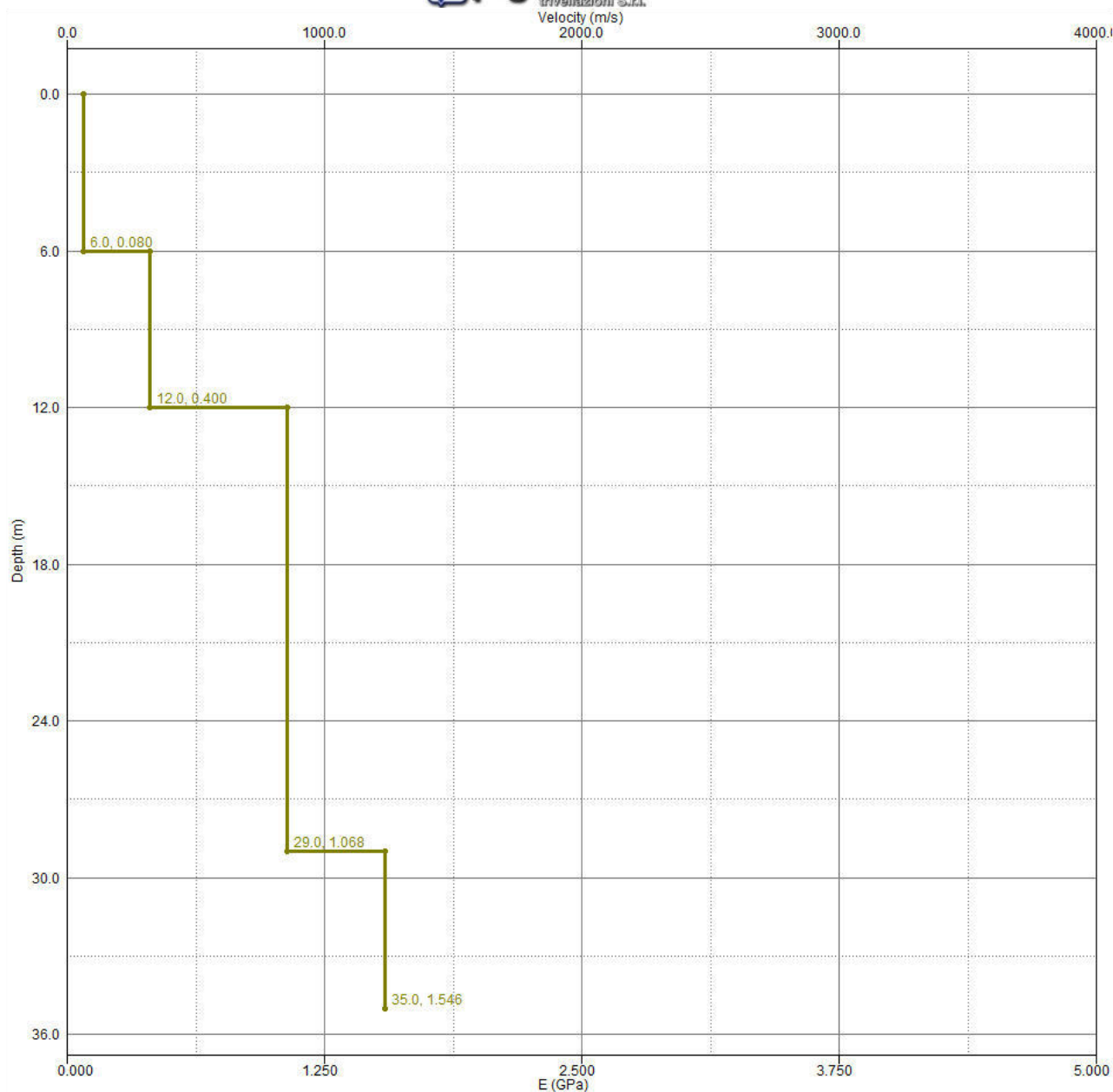
Dromocrone onde P ed S (tempi in millisecondi)



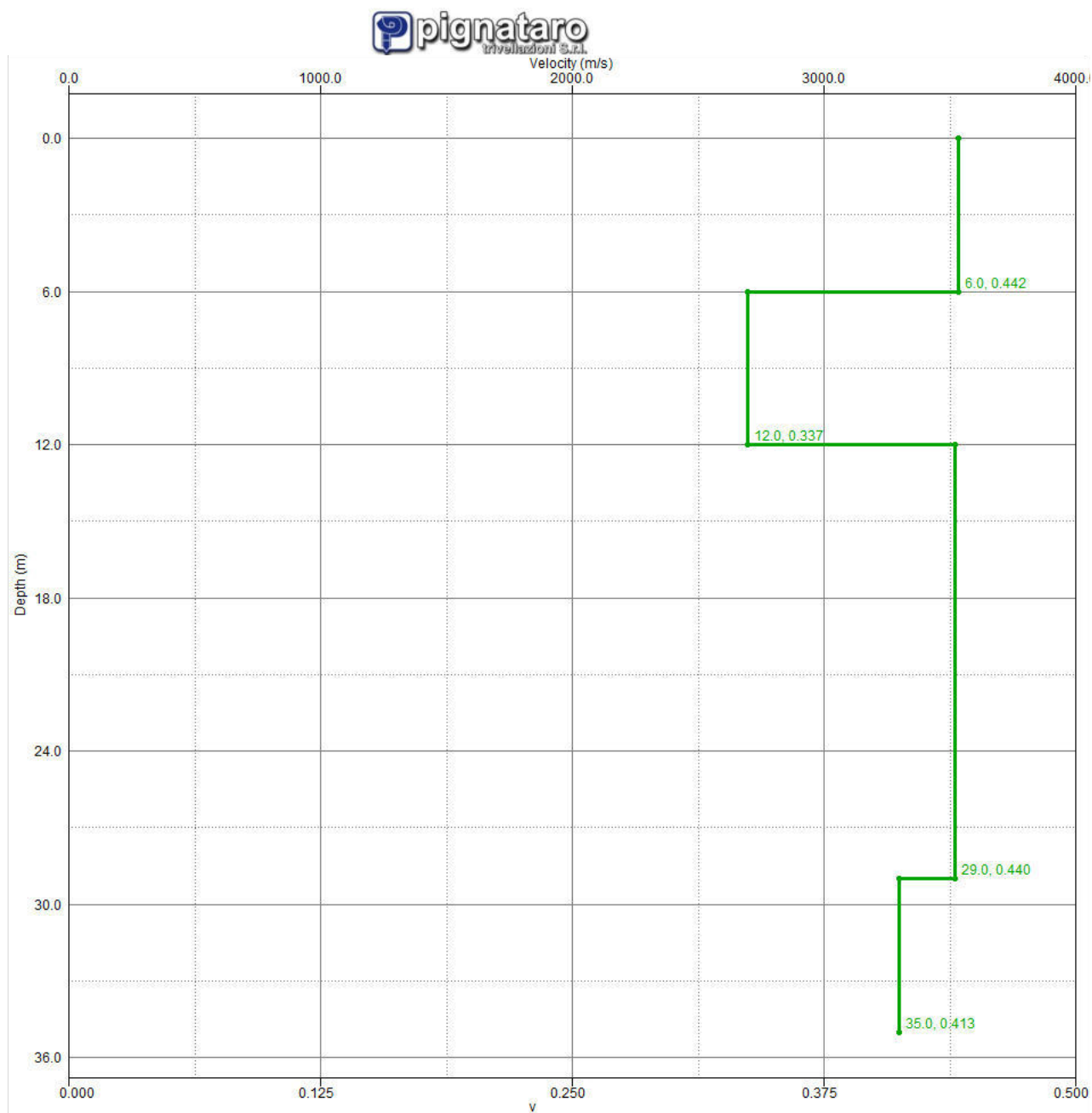
Profili delle velocità per singoli intervalli (tempi in millisecondi)



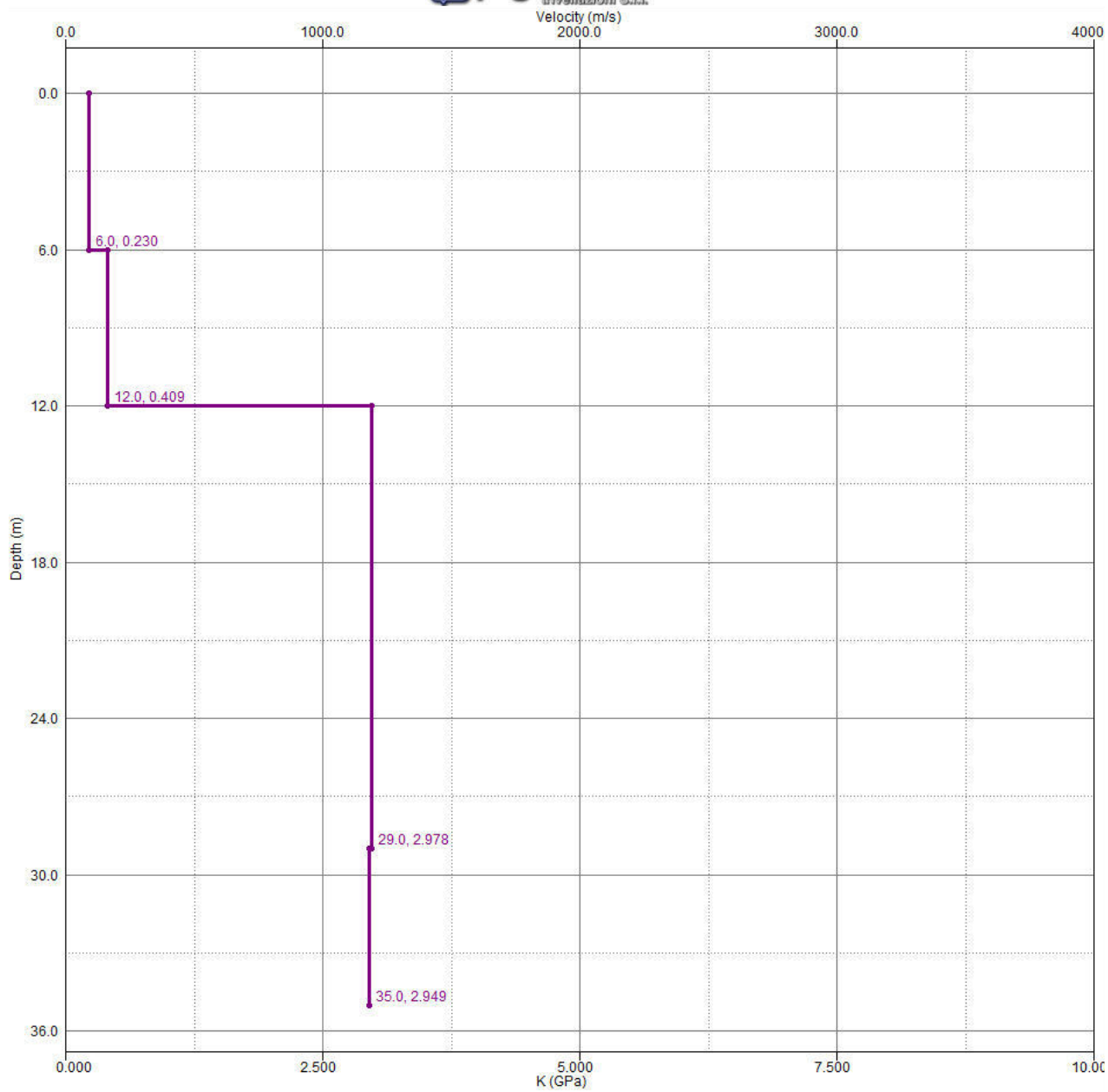
Profilo dei valori del modulo di Taglio G per gli strati assegnati (GPa)



Profilo dei valori del modulo di Young E per gli strati assegnati (GPa)



Profilo dei valori del coefficiente di Posson per gli strati assegnati



Profilo dei valori del modulo di Incompressibilità K (GPa)

Depth (m)	Vs Average	Vp Average	Poisson	G (GPa)	E (GPa)	K (GPa)
6.00	131.6	407.6	0.442	0.028	0.080	0.230
12.00	295.6	596.4	0.337	0.149	0.400	0.409
29.00	492.4	1341.3	0.440	0.371	1.068	2.978
35.00	521.9	1352.9	0.413	0.547	1.546	2.949

Tab.2- velocità delle onde P ed S e moduli elastici dinamici per intervalli omogenei

La velocità pesata di propagazione delle onde di taglio Vs, calcolata entro 30 m di profondità, con la seguente equazione:

$$V_{s30} = \sum_{i=1,N} \frac{30}{h_i} \cdot V_i = (\text{m/s})$$

ha permesso di determinare, ai fini dell'azione sismica di progetto, la categoria di sottosuolo di fondazione del sito, classificata rispettivamente secondo la normativa vigente (NTC 2018) e riportata in tab. 4.

Vs30 (m/s)	categoria di sottosuolo NTC 2018
299.20	C

Tab. 3- Tabella categoria di sottosuolo

C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.