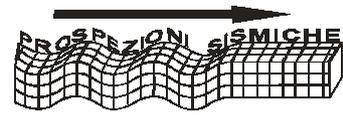


## INDICE

PREMESSA.....	pag.1
1. STUMENTAZIONE UTILIZZATA.....	pag.1
2. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA E UBICAZIONE PROVE.....	pag.2
3. GEOMETRIA DELLO STENDIMENTO.....	pag.11
3.1 STENDIMENTI SISMICI MASW.....	pag.11
3.2 STENDIMENTI DI SISMICA A RIFRAZIONE.....	pag.11
3.3 INDAGINI DOWN HOLE.....	pag.12
4. INDAGINI MASW: METODOLOGIA.....	pag.12
5. INDAGINI DI SISMICA A RIFRAZIONE: METODOLOGIA.....	pag.13
6. INDAGINI DOWN HOLE: METODOLOGIA.....	pag.14
7. INTERPRETAZIONE E RISULTATI.....	pag.15
7.1 INDAGINI SISMICHE MASW.....	pag.15
7.1.1 ELABORATI PROVE MASW.....	pag.17
7.2 STENDIMENTO DI SISMICA A RIFRAZIONE.....	pag.26
7.2.1 ELABORATI DELLA SISMICA A RIFRAZIONE.....	pag.28
7.2.2 MODULI ELASTICI DINAMICI.....	pag.39
7.3 INDAGINI DOWN HOLE.....	pag.40
7.3.1 ELABORATI DELL'INDAGINE DOWN HOLE.....	pag.44
7.3.2 MODULI ELASTICI DINAMICI.....	pag.47



## **PREMESSA**

La **società Alvania s.r.l.** ha dato incaricato agli scriventi di eseguire un piano di indagini geofisiche per valutare la categoria del terreno di fondazione per la realizzazione di un parco eolico secondo le N.T.C. D.M. 14/01/08 e per la ricostruzione del modello sismostratigrafico del sottosuolo. Il parco eolico sarà costituito da 23 aerogeneratori e sarà ubicato nel Comune di Genzano di Lucania. Le indagini svolte consistono in tre stendimenti sismici MASW lunghi 57 m, tre stendimenti di sismica a rifrazione lunghi 100 m e tre down hole spinti fino a 30 m.

Le prove sono state svolte tra i mesi di febbraio e marzo 2011 e l'ubicazione dei sondaggi sono state riportata nella tavola A.16.a.7 allegata al progetto di realizzazione del parco eolico.

## **1. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA**

L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata sono costituite da:

- sistema di energizzazione delle onde P: costituito da due mazze del peso 10 kg e 4 kg battenti su una piastra metallica del diametro di 25 cm posta direttamente sul p.c.; tale sistema genera prevalentemente onde di tipo P ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionabili;
- sistema di energizzazione delle onde S: costituito da da due mazze del peso 10 kg e 4 kg battenti su una traversa di legno posta direttamente sul p.c.; tale sistema genera prevalentemente onde di tipo S;
- un sistema di trigger: consiste in un geofono indipendente posto a fianco della piastra di battuta, che da il segnale di start al sismografo;
- un sistema di ricezione per stendimenti sismici: costituito da 16 geofoni verticali con frequenza propria a 4,5 Hz, collegati a 16 canali dotati di memoria e convertitori a/d in grado di digitalizzare il segnale già in corrispondenza del cavo (sismografo Do.Re.Mi della Sara); i canali a sua volta sono collegati ad un'unità di testa collegata ad un personal computer portatile.
- un sistema di ricezione per down hole: costituito da un geofono da pozzo 3D collegato a 3 canali dotati di memoria e convertitori a/d in grado di digitalizzare il segnale già in corrispondenza del cavo (sismografo Do.Re.Mi della Sara); i canali a

sua volta sono collegati ad un'unità di testa collegata ad un personal computer portatile.

## 2. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA E UBICAZIONE PROVE



Documentazione fotografica relativa alle prove MASW M1 e a rifrazione R1



Documentazione fotografica relativa alle prove MASW M2 e a rifrazione R2



Documentazione fotografica relativa alle prove MASW M3 e a rifrazione R3



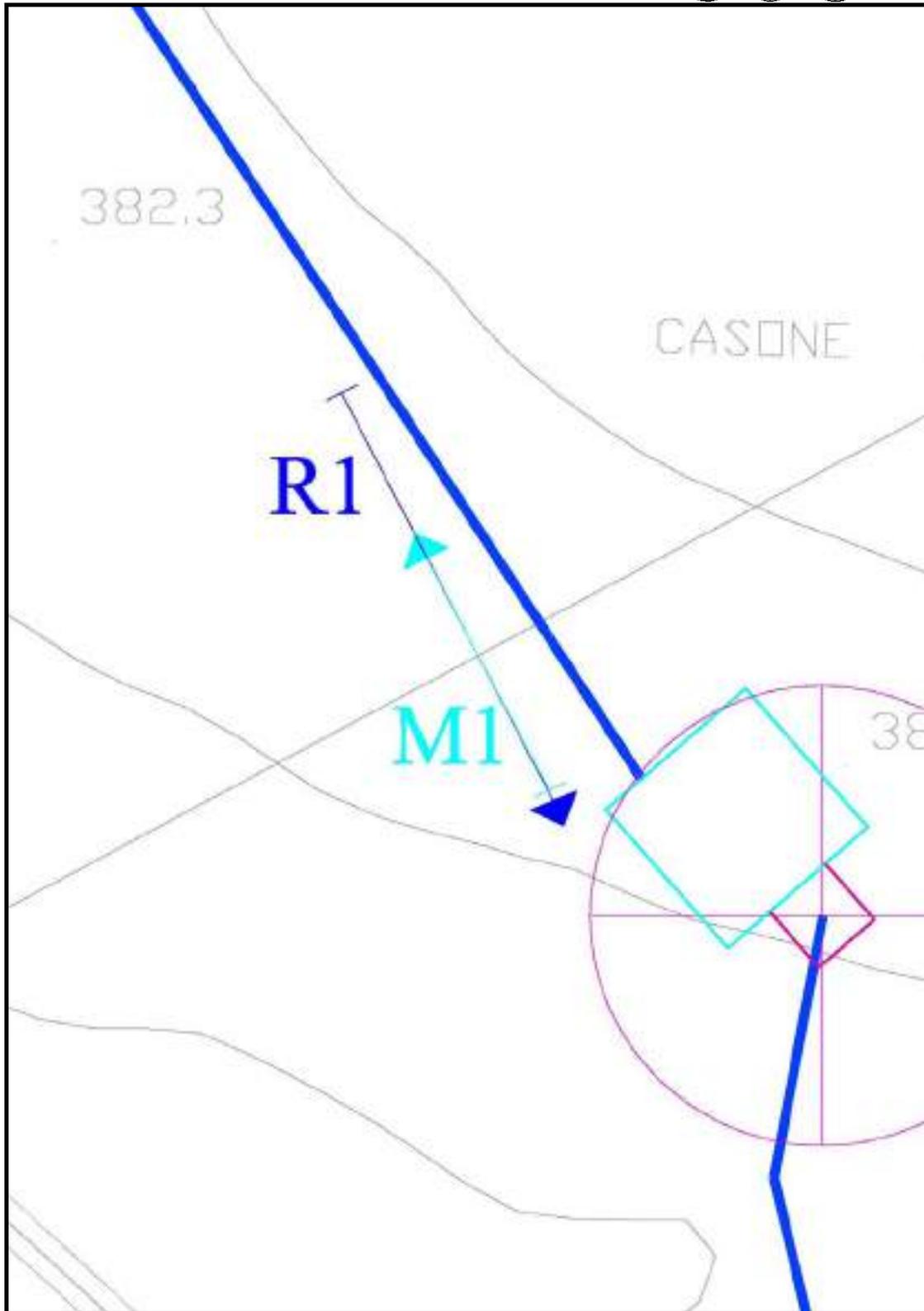
Documentazione fotografica relativa alle prove down hole DH1



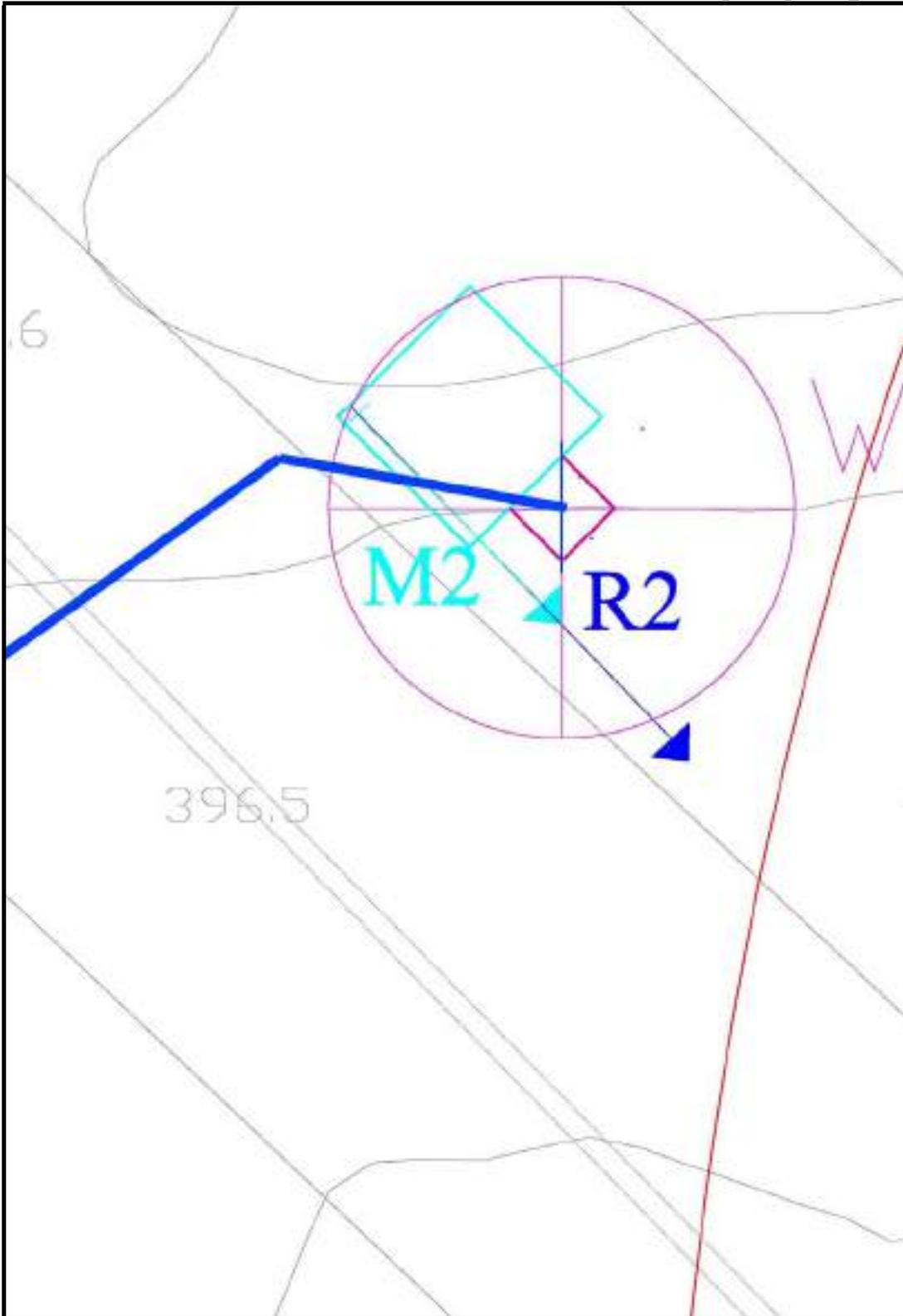
Documentazione fotografica relativa alle prove down hole DH2



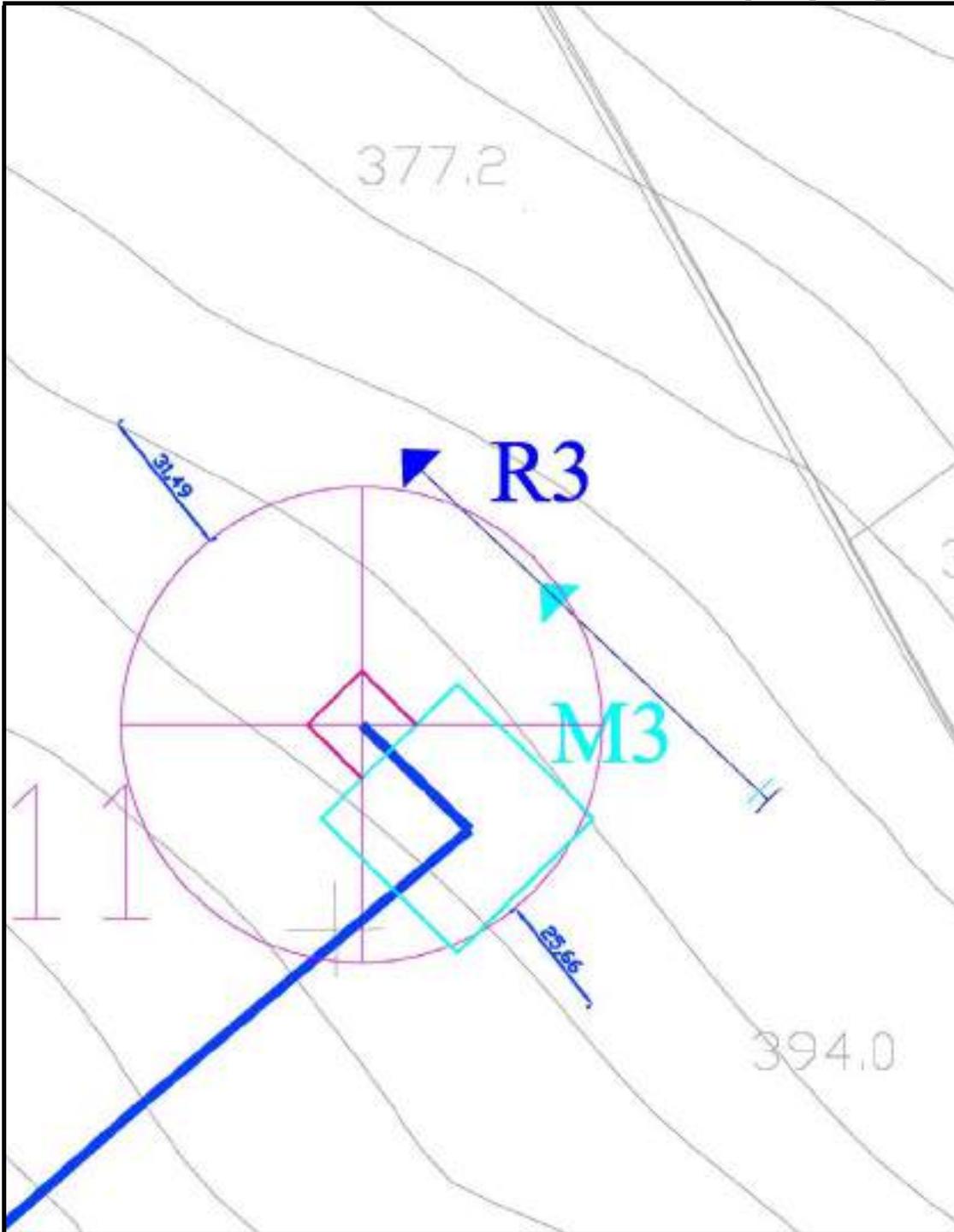
Documentazione fotografica relativa alle prove down hole DH3



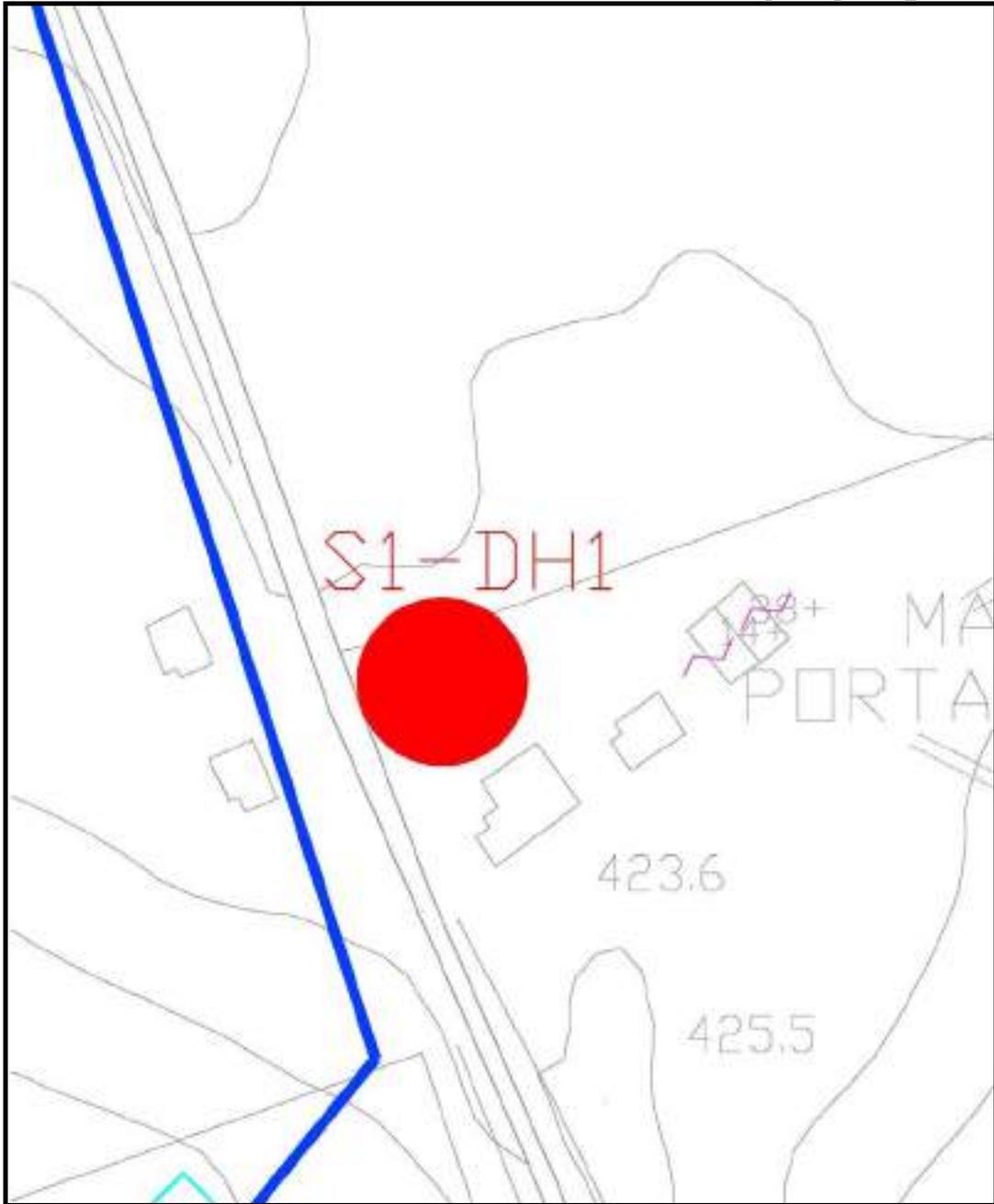
Ubicazione prove M1 e R1 (Scala 1/1.000)



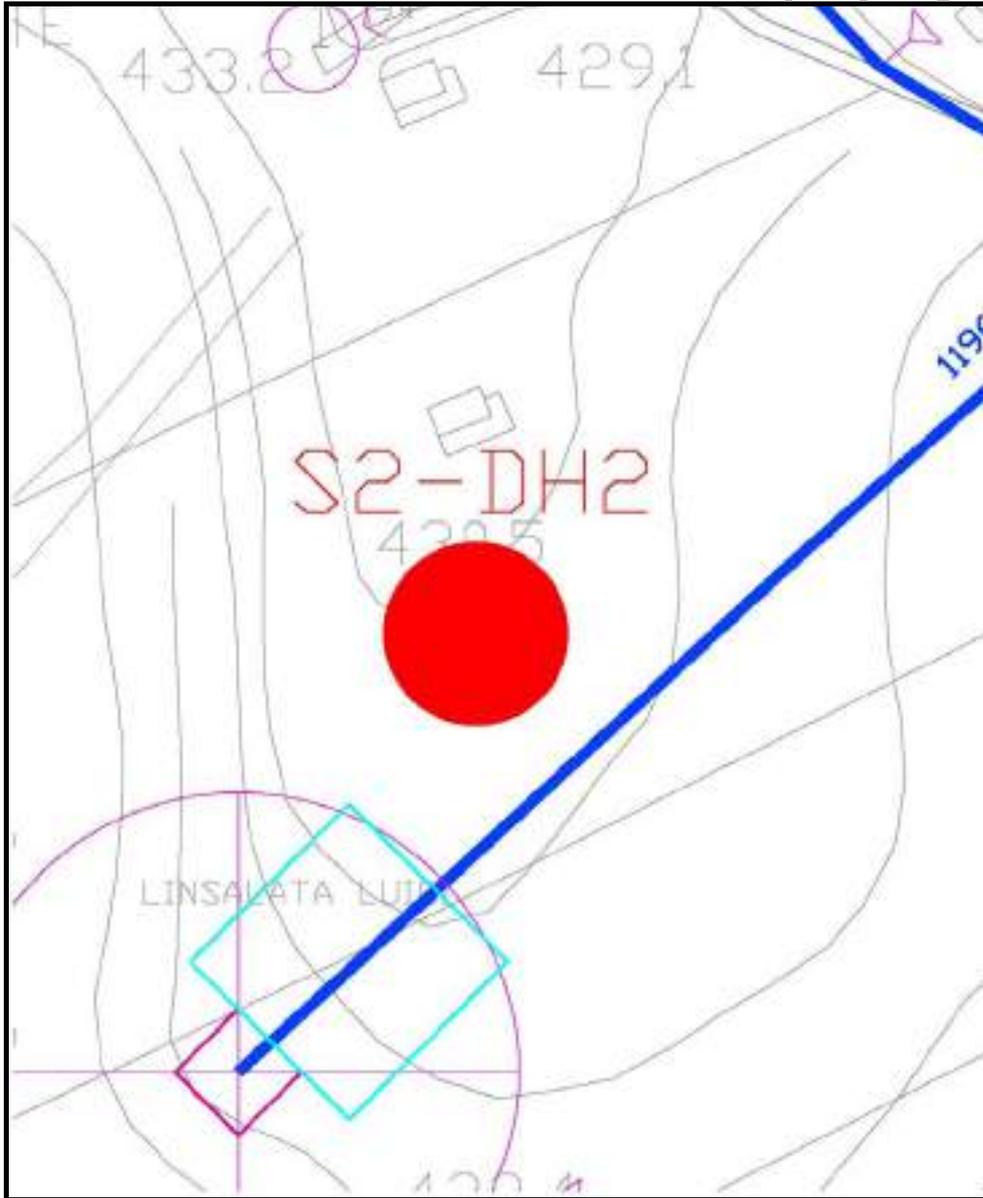
Ubicazione prove M2 e R2 (Scala 1/1.000)



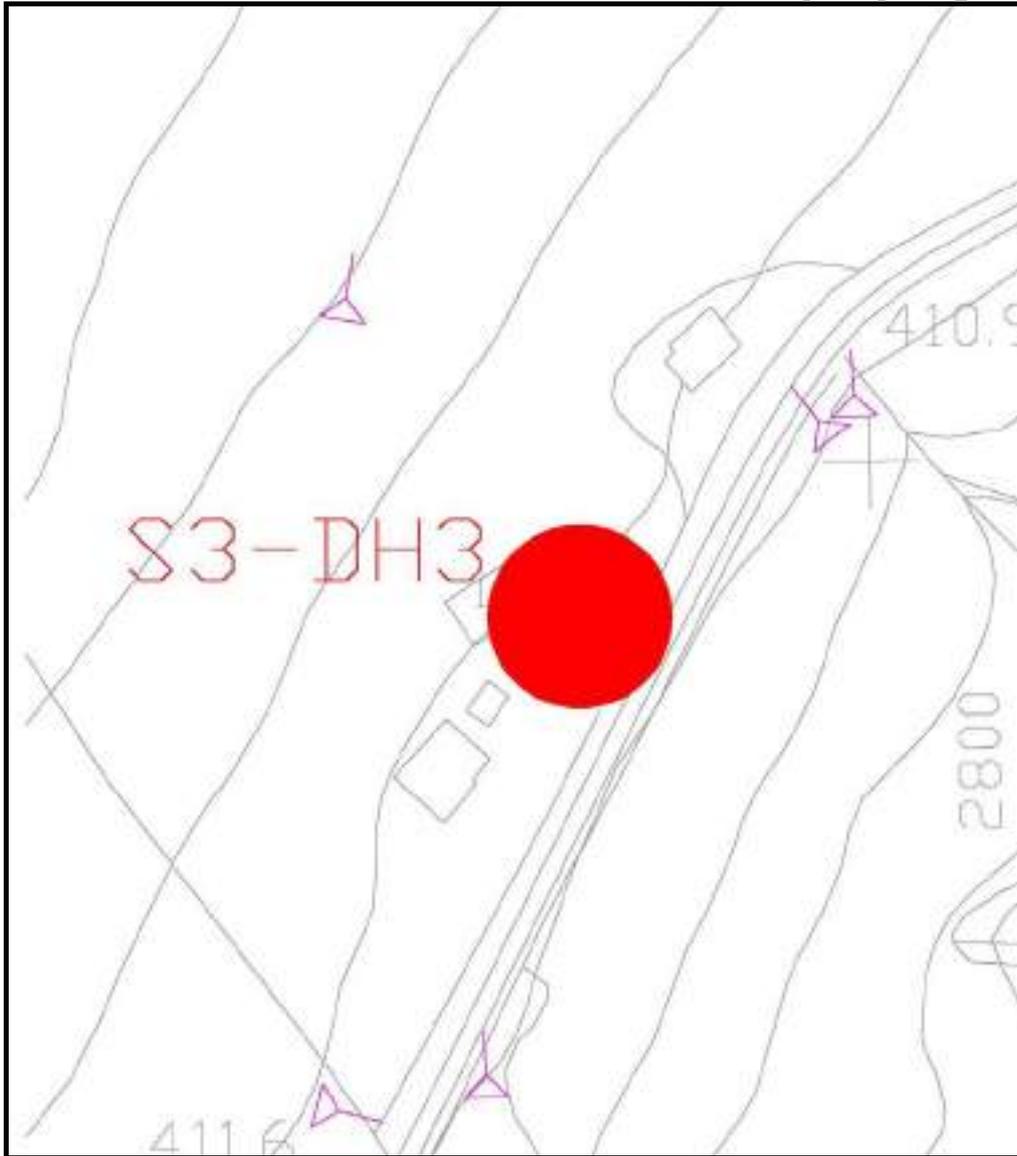
Ubicazione prove M3 e R3 (Scala 1/1.000)



Ubicazione prova DH1 ( Scala 1/1.000)



Ubicazione prova DH2 ( Scala 1/1.000)

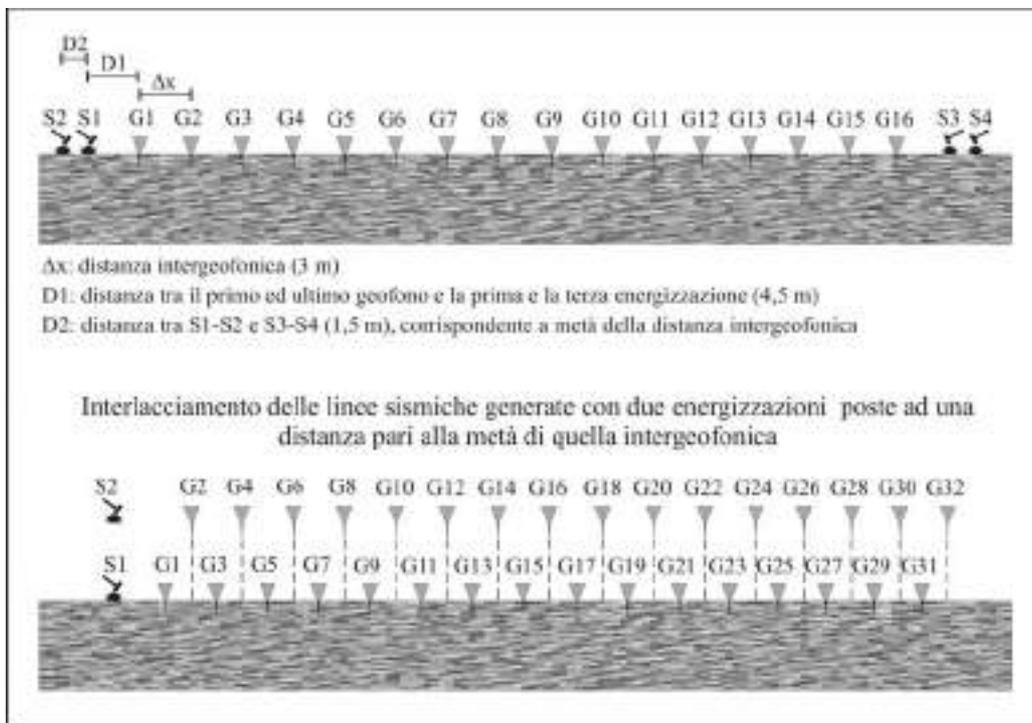


Ubicazione prova DH3 ( Scala 1/1.000)

### 3. GEOMETRIA DELLO STENDIMENTO SISMICO

#### 3.1 STENDIMENTI SISMICI MASW

I geofoni sono stati disposti lungo uno stendimento lineare con una distanza intergeofonica di 3 m (fig. 1). Due energizzazioni sono state fatte a 4,5 metri dal primo e dall'ultimo geofono, seguite da altre due energizzazioni a 1,5 m dalle precedenti (metà distanza intergeofonica). Con questo *array* dei geofoni è stato possibile combinare le tracce sismiche delle prime energizzazioni con quelle delle seconde, in modo tale da creare uno stendimento di 32 tracce sismiche (fig. 1). Lo stendimento sismico, in conclusione, è lungo 57 m con ricevitori posti ogni 1,5 m.

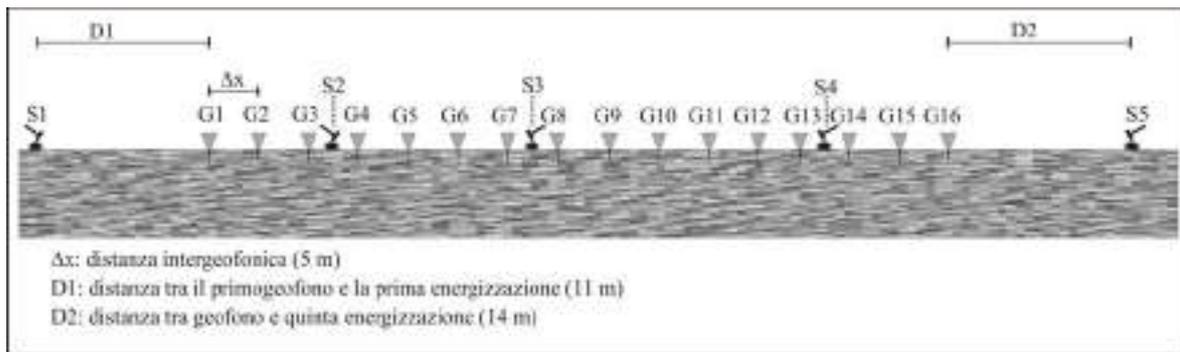


**Fig. 1 – Disposizione geometrica dello stendimento di sismica MASW.**

#### 3.2 STENDIMENTI DI SISMICI A RIFRAZIONE

Tre stendimenti di sismica a rifrazione sono stati eseguiti lungo lo stesso allineamento delle prove MASW.

I geofoni sono stati disposti lungo uno stendimento lineare con una distanza intergeofonica di 5 m (fig. 2). Una energizzazioni è stata fatta a 11 m dal primo geofono e un'altra a 14 m dall'ultimo geofono; altre due energizzazioni sono state fatte tra il terzo e il quarto geofono e tra il tredicesimo e il quattordicesimo geofono, infine una quinta energizzazione è stata fatta al centro dello stendimento.



**Fig. 2 –disposizione geometrica dello stendimento di sismica a rifrazione R1.**

### **3.2 INDAGINI DOWN HOLE**

Tre prove down hole sono state svolte all'interno di pozzi condizionati con tubi in pvc. La prova è stata svolta generando onde P e S e con rilevazioni fatte ogni 2 m. La prova denominata DH1 è stata eseguita nello foro del sondaggio S1, quella DH2 nel foro del sondaggio S2 e quella DH3 nel foro del sondaggio S3.

### **4. INDAGINI MASW: METODOLOGIA**

La tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), proposta da Park et al. (1999), è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo delle onde Vs, sulla base della misura delle onde superficiali registrate dai diversi geofoni posti sul p.c.; nel caso specifico sono state rilevate le onde superficiali di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. Nel caso in cui si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa con onde di Rayleigh. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo (fig. 3). Proprio la proprietà dispersiva delle onde di volume consente

di ricostruire il profilo verticale di velocità delle onde di taglio Vs. L'analisi spettrale del segnale registrato consente di produrre un grafico Frequenza/Velocità di Fase. Da questo grafico, per inversione, si ottiene il profilo verticale delle Vs.

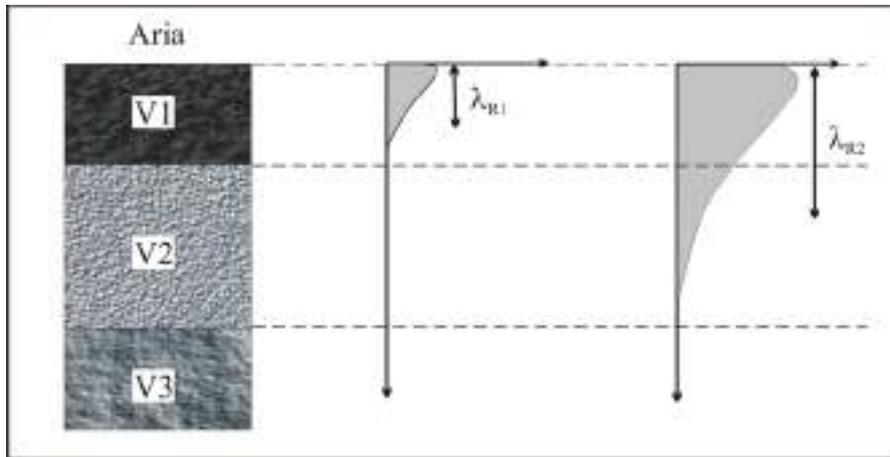


Fig. 3 - La profondità investigata dalle onde di Rayleigh dipende dalla lunghezza d'onda ( $\lambda_R$ ), dalla velocità delle onde di taglio Vs e dalla frequenza.

## 5. INDAGINI DI SISMICA A RIFRAZIONE: METODOLOGIA

La tecnica di sismica a rifrazione utilizzata si basa sulla rilevazione delle onde dirette e rifratte, che tra i diversi tipi di onde registrate dai geofoni sono le prime ad arrivare. La tecnica, ormai consolidata, si basa sull'individuazione dei primi arrivi sulle tracce sismiche, in modo tale da ricostruire la dromocrona nel piano spazio-tempo delle onde dirette e rifratte (fig. 4). Le rotture di pendenza (punti di ginocchio) della dromocrona delle onde dirette e rifratte evidenziano la presenza di una superficie di separazione tra due strati aventi diffe-

Fig. 4 – schema mostrante i percorsi delle onde dirette e rifratte e le relative dromocrone.



rente velocità di propagazione; in particolare, la velocità dello strato inferiore deve essere maggiore di quella dello strato superiore.

I raggi sismici che arrivano ai geofoni più vicini al punto di energizzazione sono quelli che hanno viaggiato orizzontalmente nello strato più superficiale; mentre i raggi che incontrano la superficie di separazione tra lo strato superficiale ed uno inferiore con velocità di propagazione superiore verranno riflessi e rifratti nel punto in cui l'angolo di incidenza con la normale alla superficie è pari all'angolo limite  $i_c$ ; il raggio incidente verrà rifratto a  $90^\circ$  secondo la legge di Snell:  $\sin i_c = V_1/V_2$ .

Il raggio rifratto viaggia lungo la superficie di discontinuità e rifrange continuamente verso l'alto energia elastica che ritorna in superficie. Nel caso in cui vi sono più di due sismostrati la dromocrona sarà caratterizzata da altri punti di ginocchio oltre a quello che separa le onde dirette da quelle rifratte (fig. 4).

#### **4. INDAGINE DOWN HOLE: METODOLOGIA**

La tecnica down hole si basa sulla misura del tempo di percorrenza delle onde P ed S nel tragitto tra la sorgente sismica, situata in superficie, e i ricevitori posti all'interno di un foro di sondaggio.

L'identificazione del primo arrivo delle onde P viene fatto nello stesso modo con cui si procede nella sismica a rifrazione, avendo generalmente tali onde un'energia superiore rispetto al rumore di fondo. Per quanto concerne le onde S la rilevazione del primo arrivo risulta più difficoltoso essendo più lente e spesso si sovrappongono alle onde P riflesse che hanno ampiezza confrontabile con le onde S. Per ovviare a questo problema si è ricorso alla tecnica dell'inversione di fase, che consiste nella generazione di onde di taglio polarizzate di  $180^\circ$  in un piano orizzontale. Da un punto di vista pratico si è proceduto generando due energizzazioni battendo la traversina di legno ai due diversi estremi. Successivamente i due sismogrammi generati sono stati sovrapposti, in modo tale da mettere in evidenza le onde S che risulteranno opposte nel medesimo istante.

## 7. INTERPRETAZIONE E RISULTATI

### 7.1. INDAGINI SISMICHE MASW

Tra le diverse registrazioni dell'indagine geosismica MASW M1 è stata individuata quella con il migliore rapporto segnale/rumore (S/N), che successivamente è stata elaborata ed interpretata. Il sismogramma sperimentale relativo ai profili M1, M2 e M3 corrisponde all'interlacciamento delle prime due energizzazioni (dirette). Queste tracce sono state elaborate ed interpretate utilizzando un software della Program Geo (GeoMASW 1.6). Ottenuti i grafici  $f/k$  (frequenza/numero d'onda) in 3D e 2D si è proceduto alla selezione dei punti di massima intensità del segnale (*picking*); tale operazione ha consentito di ottenere la curva di dispersione, dalla cui inversione si è giunti al profilo verticale delle  $V_s$ .

Il processo di inversione della curva di dispersione può portare a più di una soluzione e quindi a più di una sequenza sismostratigrafica, ma la velocità media ponderale calcolata fino a 30 m di profondità non si discosta in modo significativo. Pertanto, il valore di  $V_{s30}$  ottenuto è da considerarsi attendibile e valido, mentre la sequenza sismostratigrafica desunta risulta essere più variabile. Nel modulo riassuntivo sono riportate le sequenze sismostratigrafiche ottenute dal processo di elaborazione.

Per la stima del valore di  $V_{s30}$  è stata adottata la seguente formula:

$$V_{s30} = \frac{\sum_{i=1, M} h_i}{\sum_{i=1, M} \frac{h_i}{V_{Si}}}$$

dove:  $V_{S,i}$  è la velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato

$h_i$  è lo spessore dell'i-esimo strato

M numero di strati compresi nei primi 30 m

Per lo stendimento **M1** è stata calcolata la velocità di propagazione delle onde S entro i primi 30 m; inoltre, tenendo conto degli spessori degli strati è stato possibile valutare la  $V_{s30} = 271 \text{ m/s}$  (si veda gli elaborati della prova MASW). Tale dato permette di classificare il terreno di fondazione come **tipo C**.

Per lo stendimento **M2** è stata calcolata la velocità di propagazione delle onde S entro i primi 30 m; inoltre, tenendo conto degli spessori degli strati è stato possibile valutare la

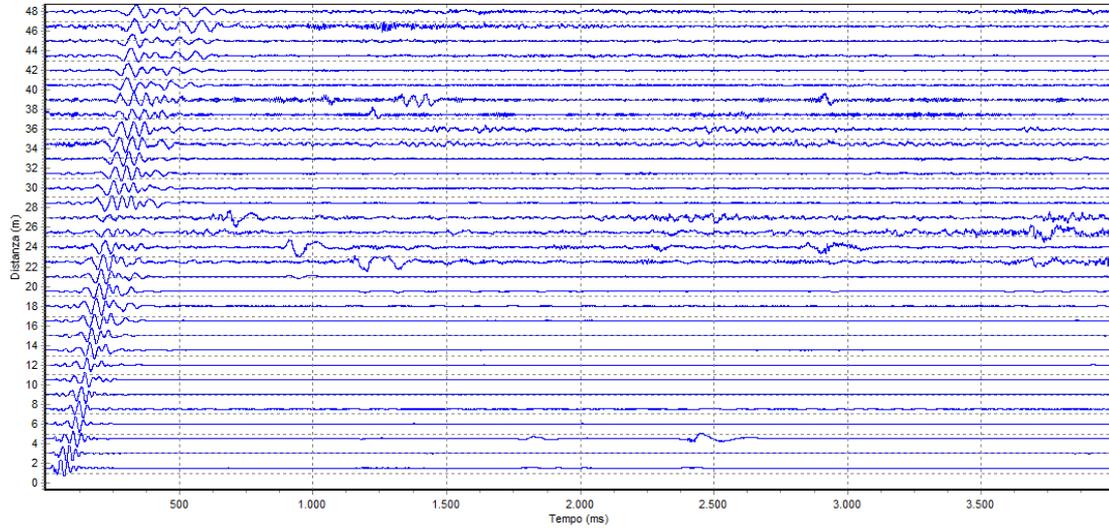


$V_{s30} = 379 \text{ m/s}$  (si veda gli elaborati della prova MASW). Tale dato permette di classificare il terreno di fondazione come **tipo B**.

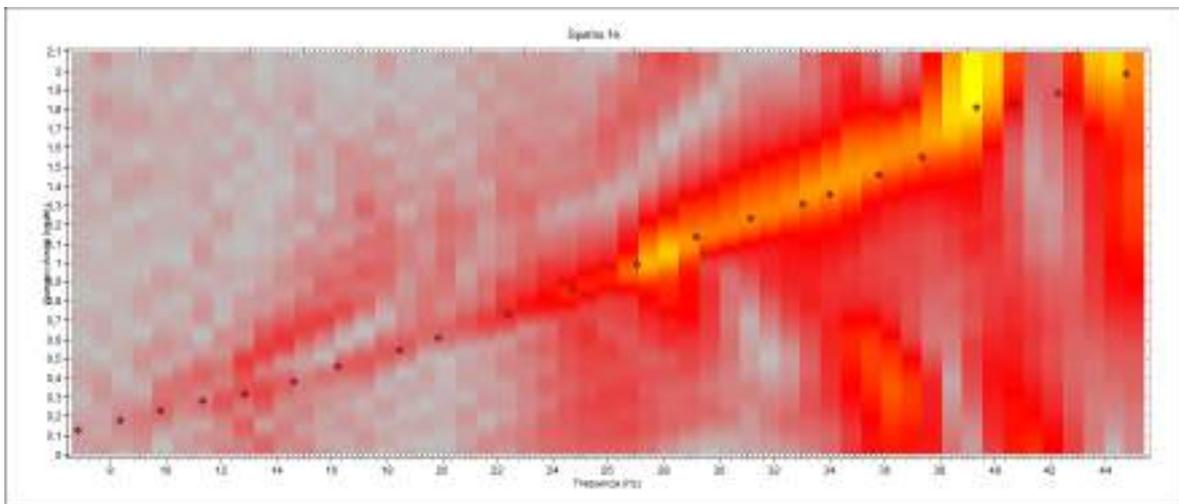
Per lo stendimento **M3** è stata calcolata la velocità di propagazione delle onde S entro i primi 30 m; inoltre, tenendo conto degli spessori degli strati è stato possibile valutare la  $V_{s30} = 260 \text{ m/s}$  (si veda gli elaborati della prova MASW). Tale dato permette di classificare il terreno di fondazione come **tipo C**.

**7.1.1. ELABORATI DELLA PROVA MASW**

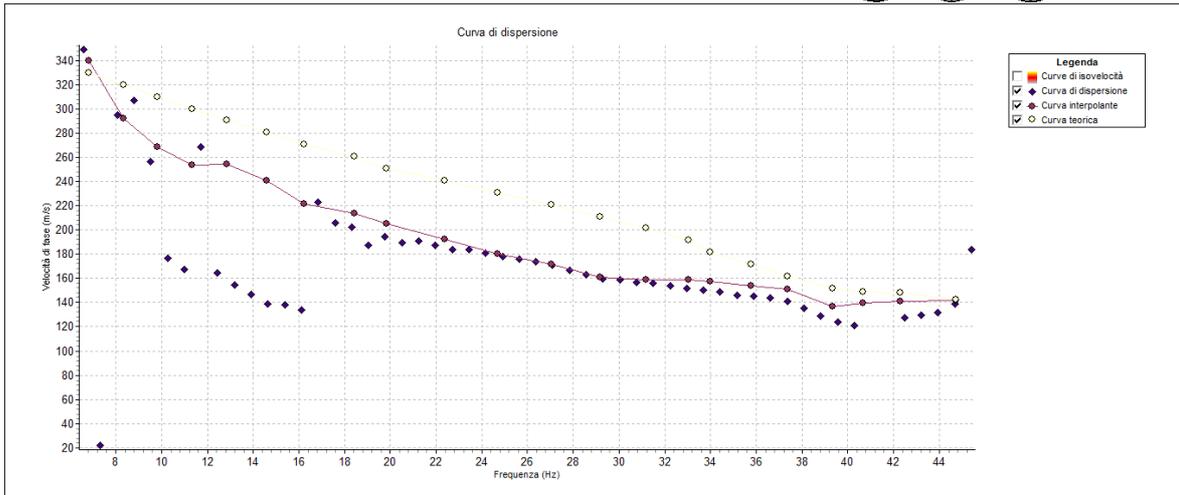
**MASW M1**



**Sismogramma interpretato.**



**Diagramma frequenza-numero d'onda.**

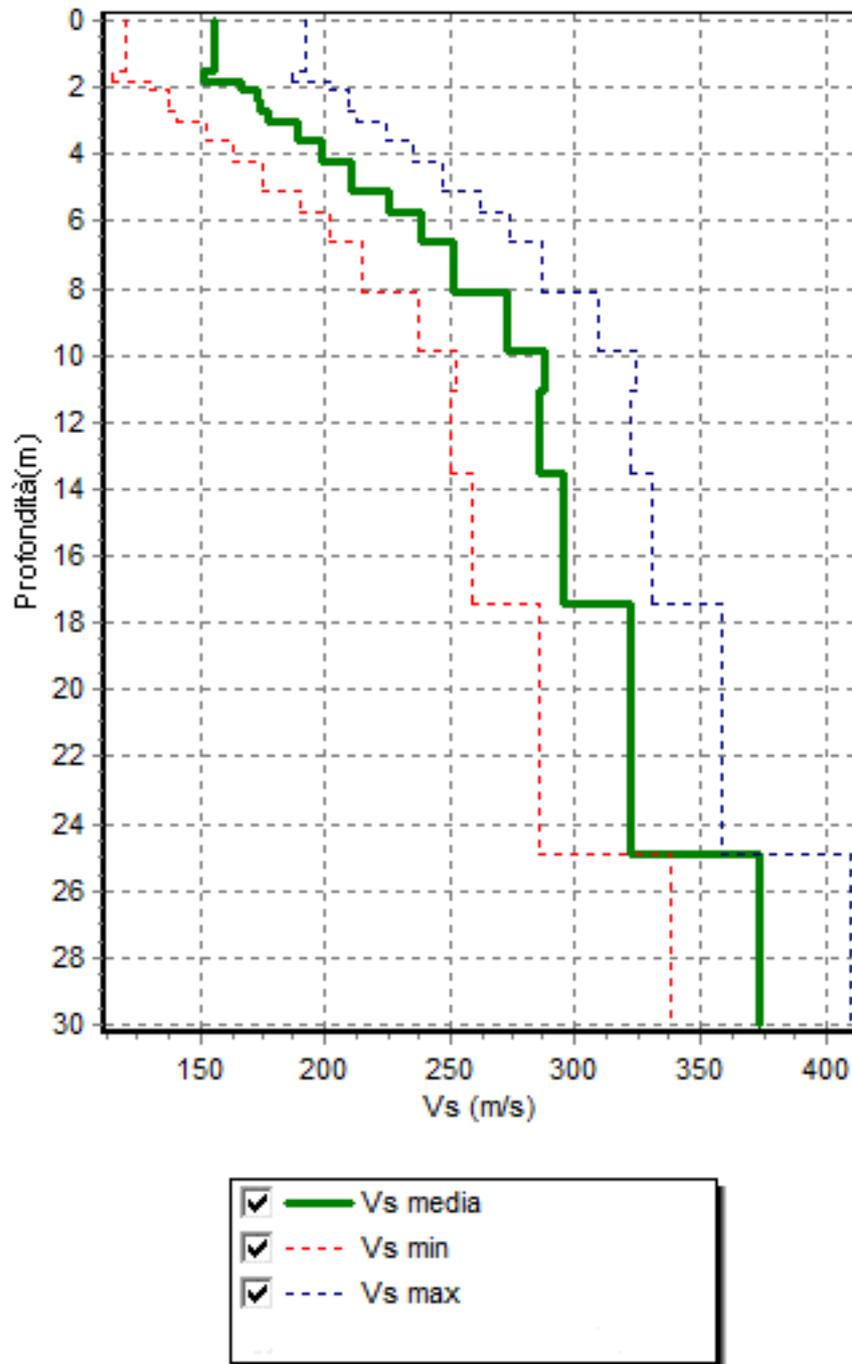


Curva di dispersione.



	Prof. (m)	Vs (m/s)
1	1,5	156,0
2	1,8	151,0
3	2,1	166,0
4	2,4	173,0
5	2,7	174,0
6	3,0	177,0
7	3,6	189,0
8	4,2	199,0
9	5,1	211,0
10	5,7	226,0
11	6,6	238,0
12	8,1	251,0
13	9,9	273,0
14	11,1	288,0
15	13,5	286,0
16	17,4	295,0
17	24,9	322,0
18	30,0	374,0

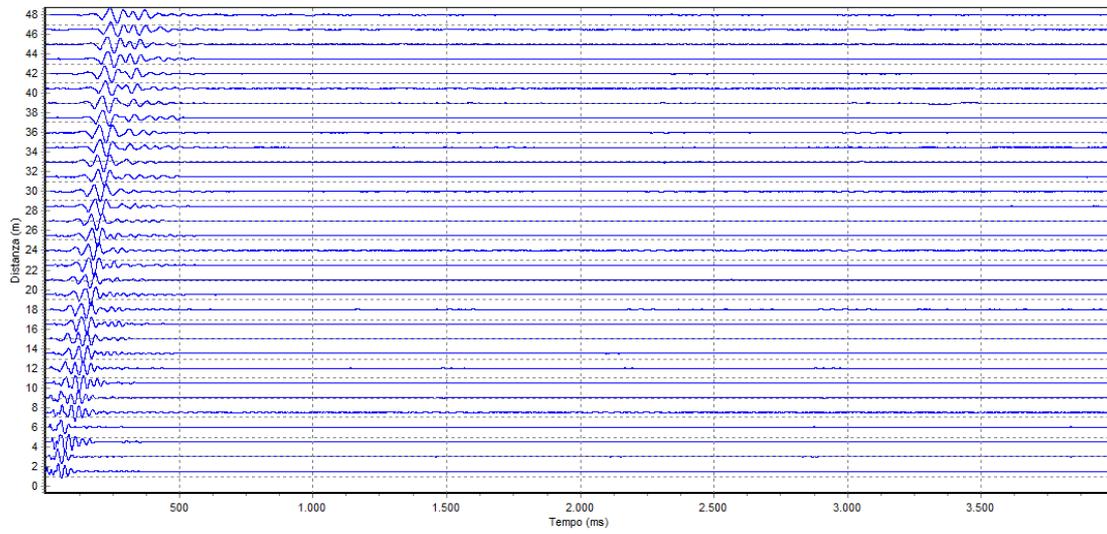
Valori della velocità delle onde di tipo S nei primi 30 m di profondità.



Classe sito: C - Vs30 (m/s) = 270,9

Profilo delle velocità delle onde di tipo S nei primi 30 m di profondità.

MASW M2



Sismogramma interpretato.

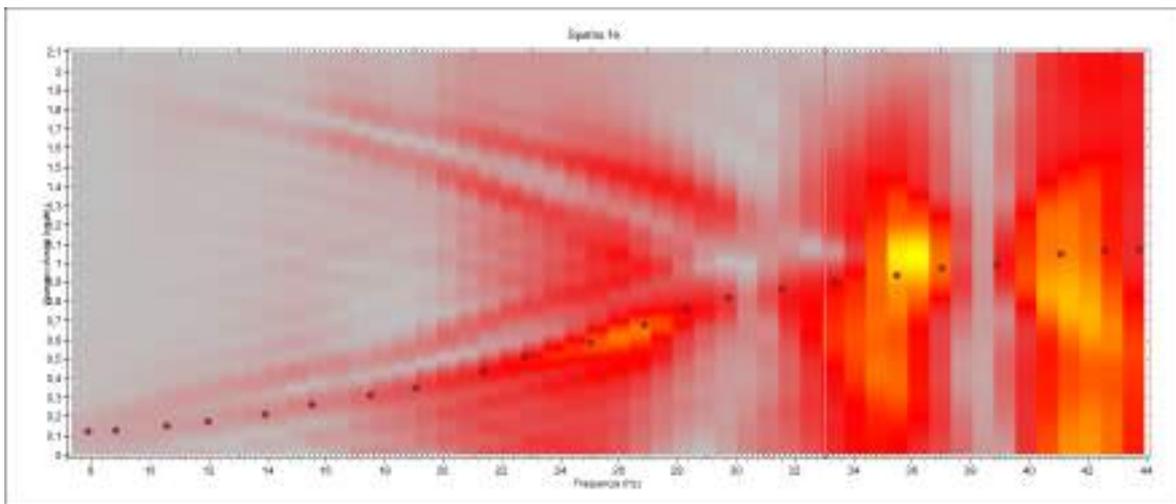
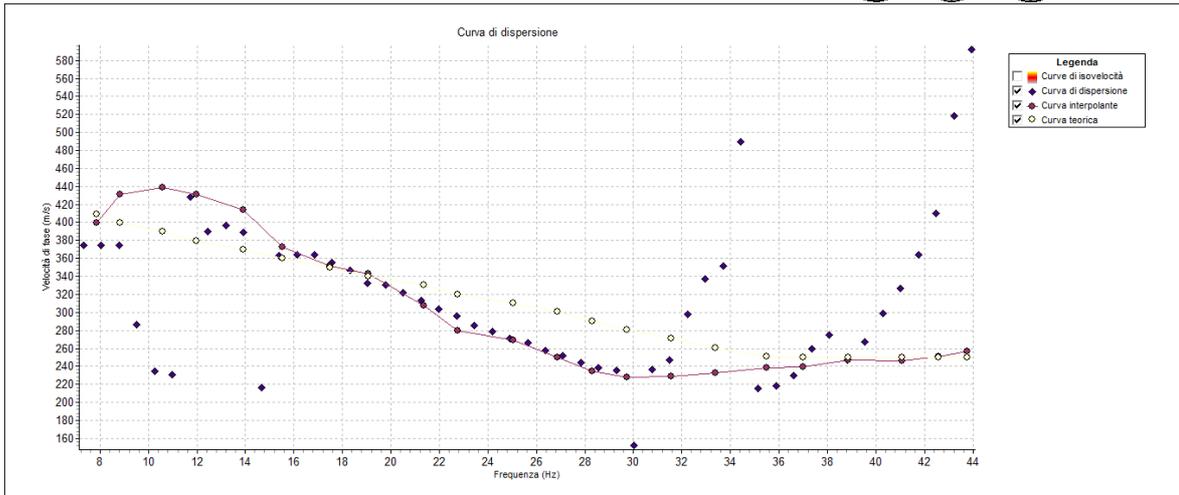


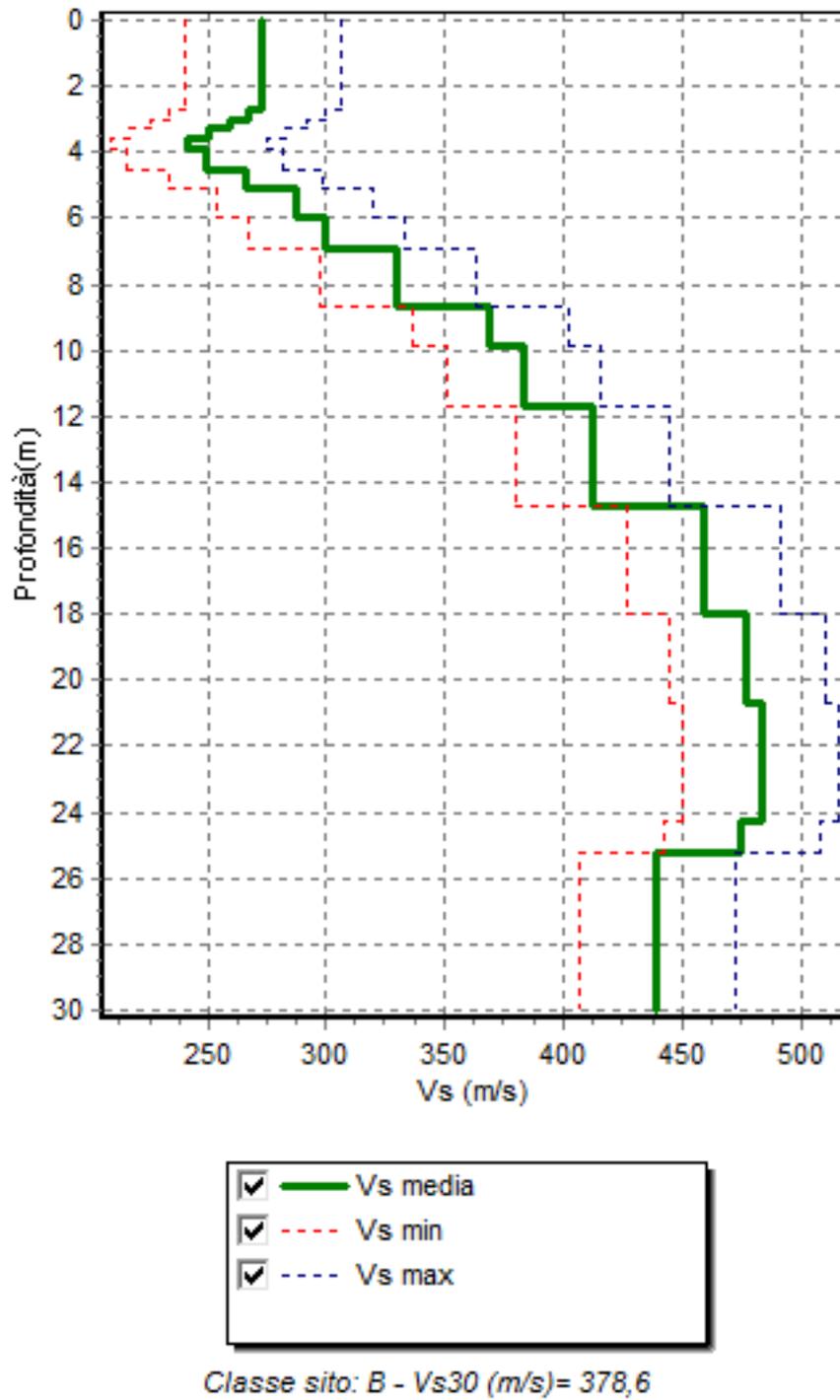
Diagramma frequenza-numero d'onda.



Curva di dispersione.

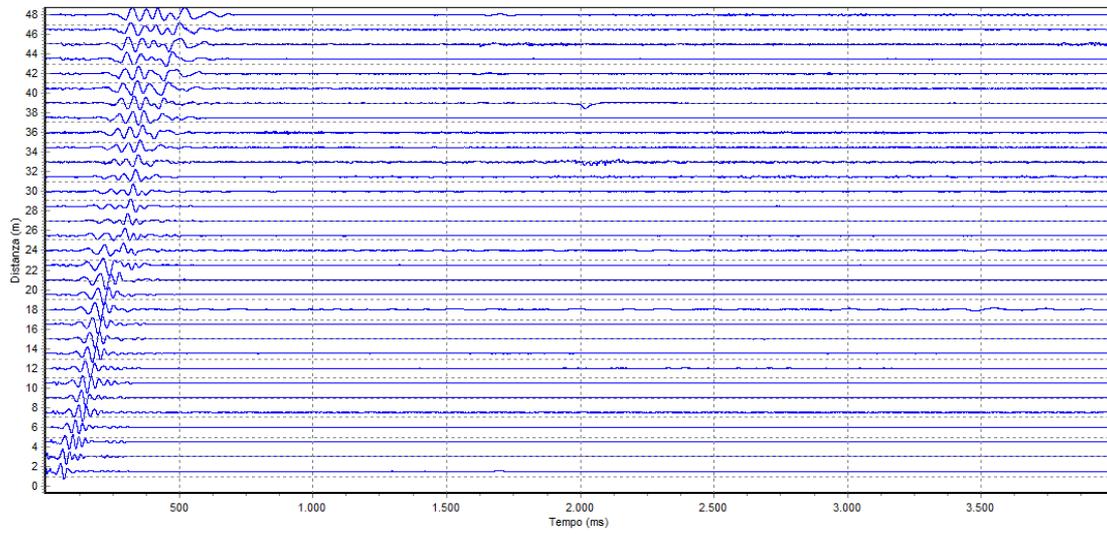
	Prof. (m)	Vs (m/s)
1	2,7	273,0
2	3,0	267,0
3	3,3	259,0
4	3,6	250,0
5	3,9	242,0
6	4,5	249,0
7	5,1	266,0
8	6,0	287,0
9	6,9	300,0
10	8,7	330,0
11	9,9	369,0
12	11,7	383,0
13	14,7	412,0
14	18,0	459,0
15	20,7	477,0
16	24,3	483,0
17	25,2	475,0
18	30,0	439,0

Valori della velocità delle onde di tipo S nei primi 30 m di profondità.



Profilo delle velocità delle onde di tipo S nei primi 30 m di profondità.

MASW M3



Sismogramma interpretato.

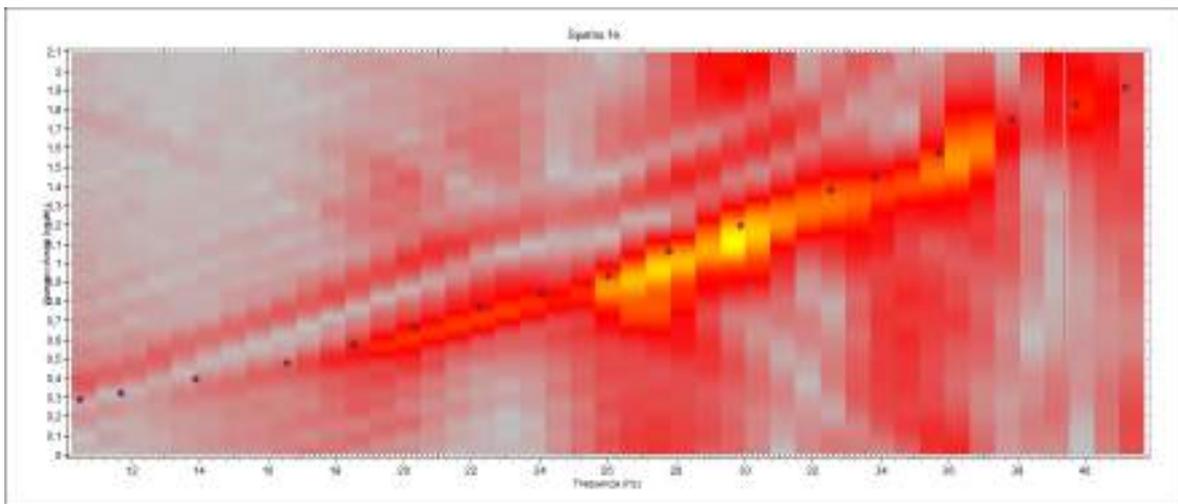
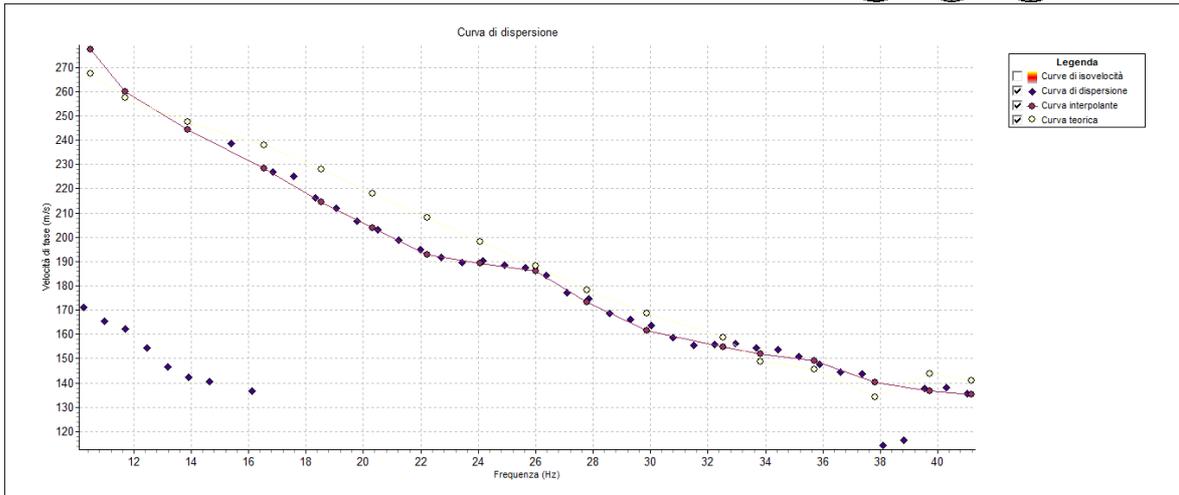


Diagramma frequenza-numero d'onda.

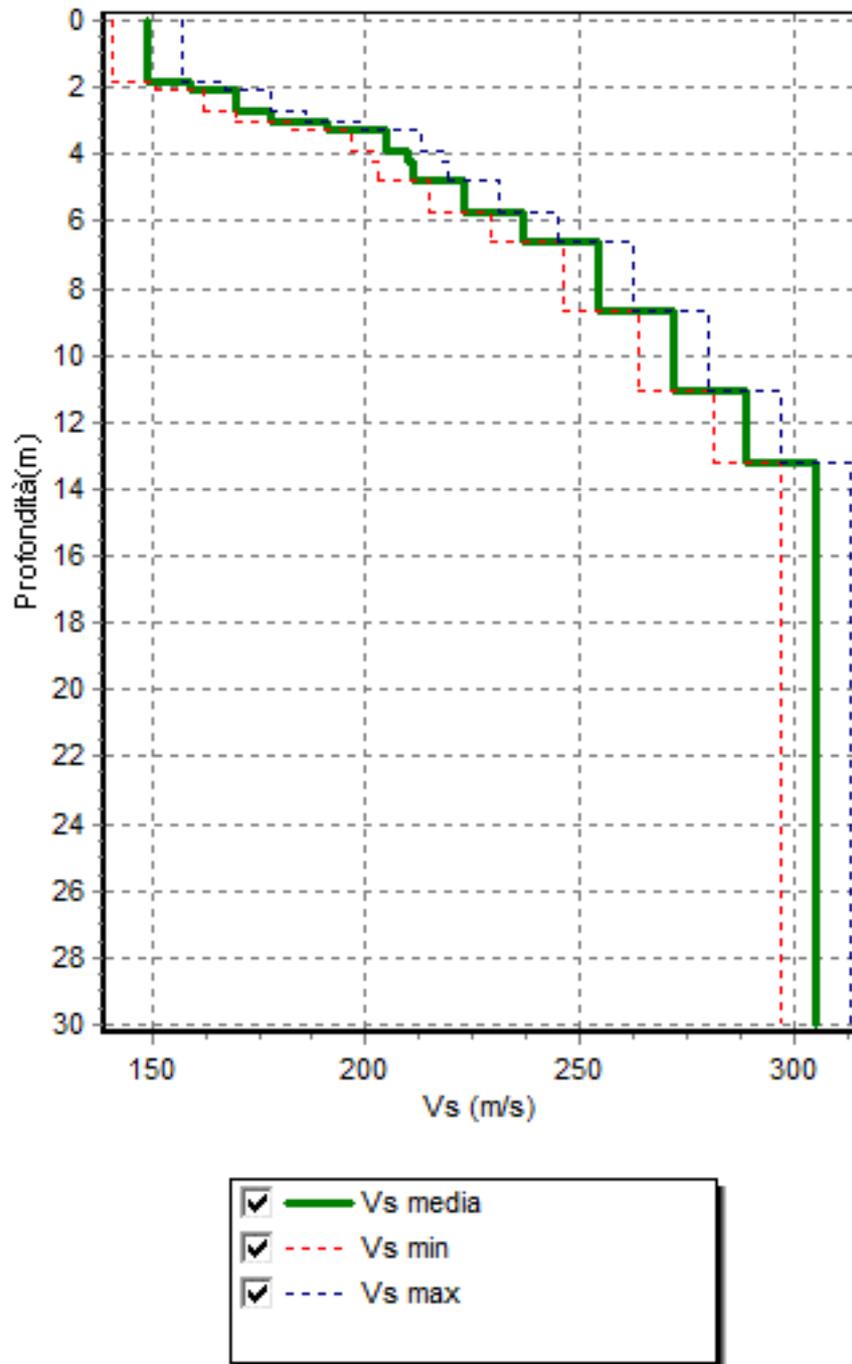


**Curva di dispersione.**



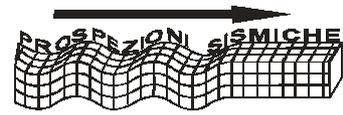
	Prof. (m)	Vs (m/s)
1	1,8	149,0
2	2,1	159,0
3	2,7	170,0
4	3,0	178,0
5	3,3	191,0
6	3,9	205,0
7	4,2	210,0
8	4,8	211,0
9	5,7	223,0
10	6,6	237,0
11	8,7	254,0
12	11,1	272,0
13	13,2	289,0
14	30,0	305,0
15	12,6	282,0

**Valori della velocità delle onde di tipo S nei primi 30 m di profondità.**



Classe sito: C - Vs30 (m/s) = 260,4

Profilo delle velocità delle onde di tipo S nei primi 30 m di profondità.



## **7.2 STENDIMENTI DI SISMICA A RIFRAZIONE**

La metodologia utilizzata nella prospezione di sismica a rifrazione consta di diverse fasi di elaborazione. Per primo sono stati individuati nei sismogrammi i primi arrivi corrispondenti alle onde dirette e rifratte. Dopo aver rilevato i tempi dei primi arrivi sono state tracciate le dromocrone nel diagramma distanza-tempo. Per la ricostruzione del modello sismostratigrafico è stato utilizzato un software della ProgramGeo (SismaCon 1.4) ed adottato il Metodo Reciproco Generalizzato (GRM), che si basa sulla ricerca, nel diagramma tempi-distanze, di una distanza intergeofonica XY ottimale; tale che i raggi generati in punti opposti arrivino al geofono posto in X e quello posto in Y a partire dallo stesso punto del rifrattore.

### **RIFRAZIONE R1**

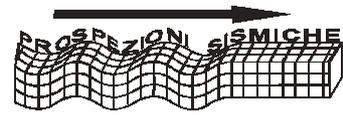
Il modello del terreno ricavato dal processo di elaborazione, dello stendimento R1, vede l'individuazione di tre sismostrati separati da chiari rifrattori. La velocità delle onde P rilevate sono le seguenti: nel primo sismostrato 398 m/s, nel secondo sismostrato 1286 m/s e nel terzo 1759 m/s.

I due rifrattori risultano essere sub-orizzontali e posti a circa 4 m di profondità il primo e a circa 11 m il secondo. Il primo sismostrato spesso circa 4 m è riconducibile alla coltre di alterazione, mentre il secondo sismostrato, spesso 7 m, è correlabile alla facies di transizione tra argille subappennine e le sovrastanti sabbie di Monte Marano. Infine, il terzo sismostrato è riconducibile alle argille subappennine.

### **RIFRAZIONE R2**

Il modello del terreno ricavato dal processo di elaborazione, dello stendimento R2, vede l'individuazione di tre sismostrati separati da chiari rifrattori. La velocità delle onde P rilevate sono le seguenti: nel primo sismostrato 589 m/s, nel secondo sismostrato 1812 m/s e nel terzo 2368 m/s.

I due rifrattori risultano essere inclinati verso l'inizio dello stendimento; tale inclinazione risulta più evidente per il secondo sismostrato. La profondità dei rifrattori risulta pertanto variabile per il primo da circa 3 m a circa 5 m, mentre per il secondo da circa 12 m a circa 22 m. Il primo sismostrato è riconducibile alla coltre eluvio-colluviale, mentre il secondo sismostrato è correlabile alla facies di transizione tra argille subappennine e le



sovrastanti sabbie di Monte Marano. Infine, il terzo sismostrato è riconducibile alle argille subappennine.

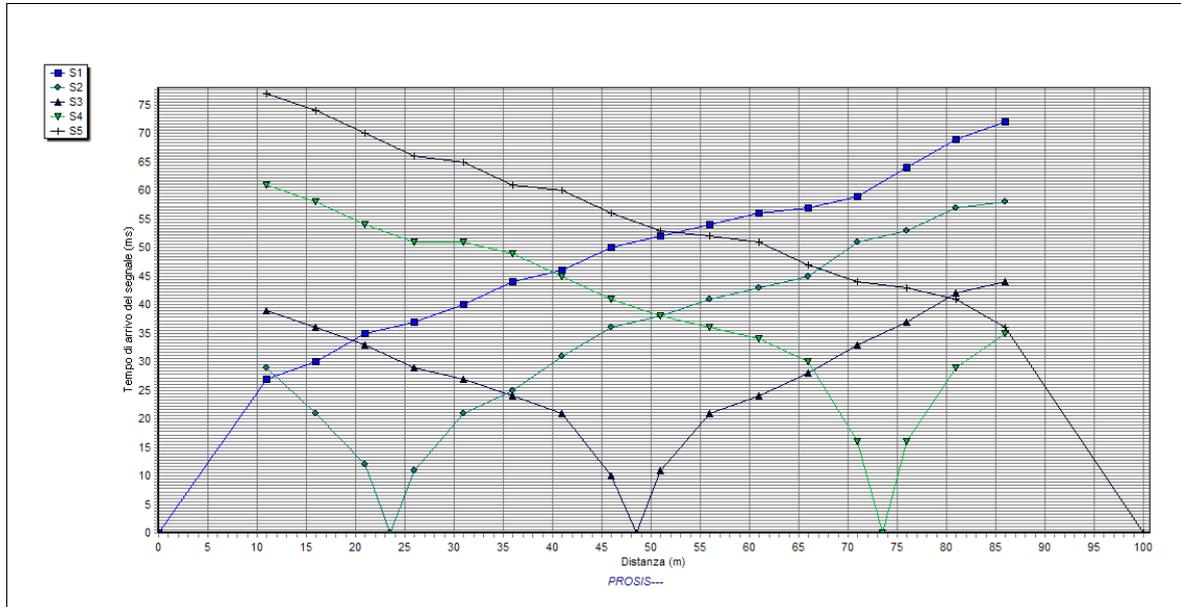
### **RIFRAZIONE R3**

Il modello del terreno ricavato dal processo di elaborazione, dello stendimento R1, vede l'individuazione di tre sismostrati separati da chiari rifrattori. La velocità delle onde P rilevate sono le seguenti: nel primo sismostrato 564 m/s, nel secondo sismostrato 975 m/s e nel terzo 2500 m/s.

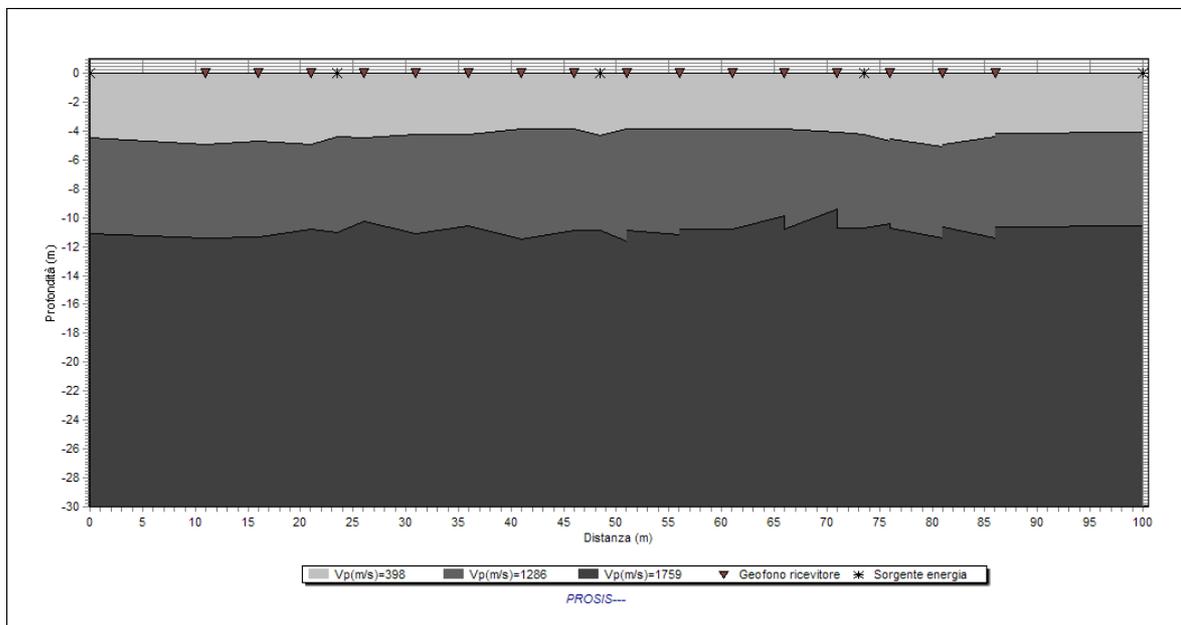
I due rifrattori risultano essere sub-orizzontali e posti a circa 4 m di profondità il primo e a circa 11 m il secondo. Il primo sismostrato spesso 2-4 m è riconducibile alla coltre di alterazione, mentre il secondo sismostrato, spesso 10-12 m, è correlabile alla parte alta delle argille subappennine. Infine, il terzo sismostrato è riconducibile alle argille subappennine poste più in profondità e di conseguenza più compatte.

**7.2.1. ELABORATI DELLA SISMICA A RIFRAZIONE**

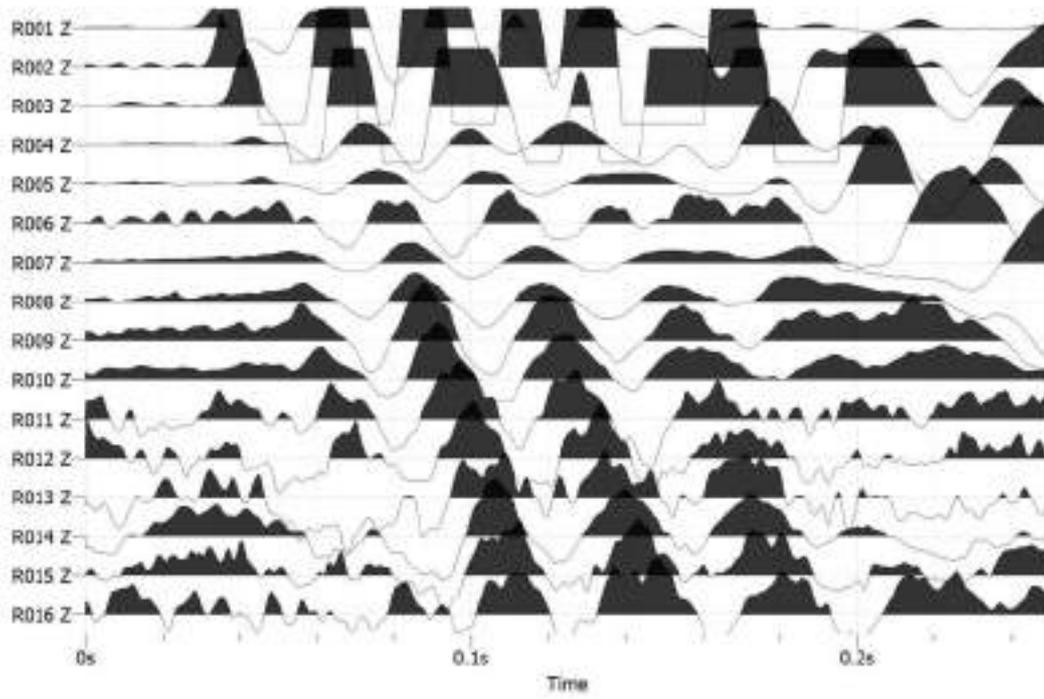
**RIFRAZIONE R1**



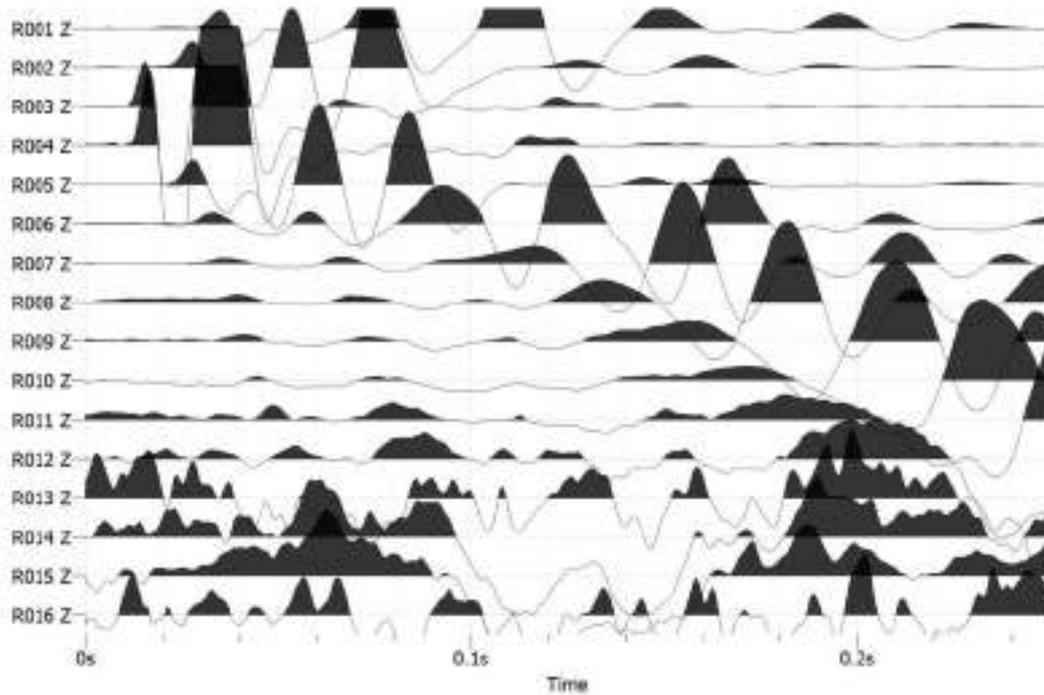
**Dromocrone ricavate dall'individuazione nei sismogrammi dei primi arrivi.**



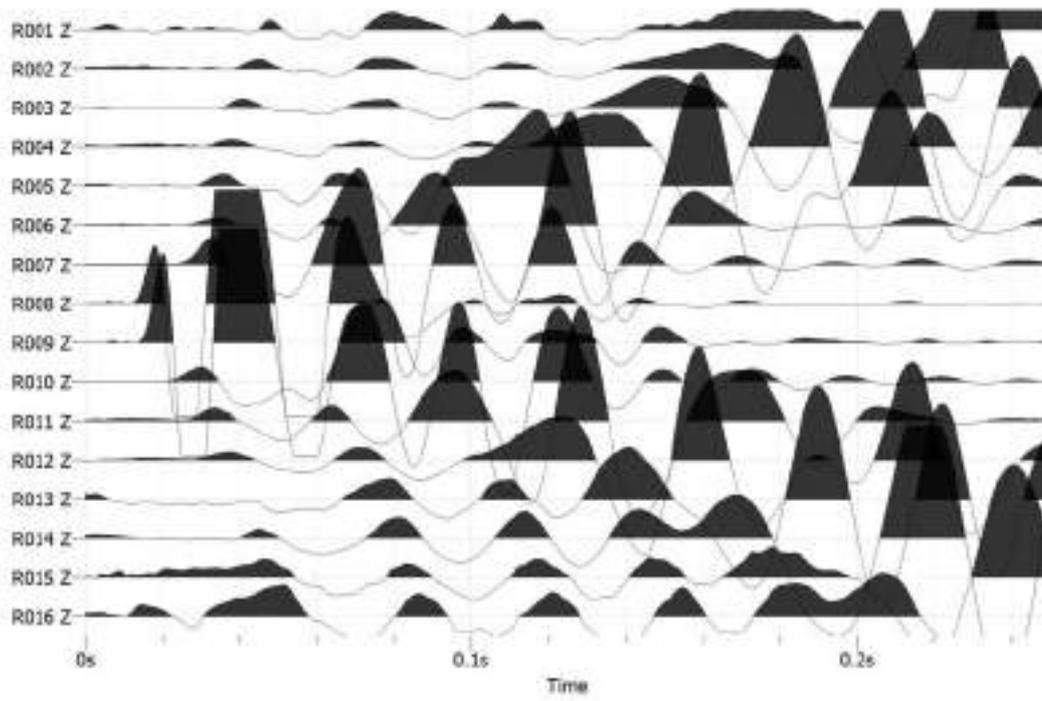
**Modello sismostratigrafico del sottosuolo (stendimento R1).**



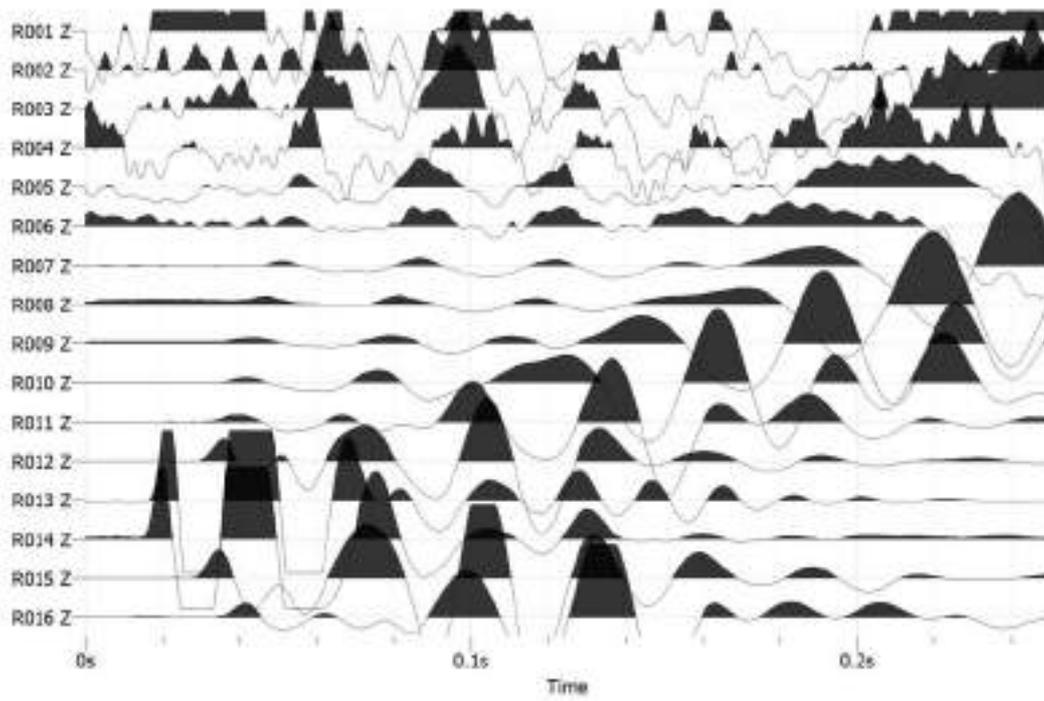
(a)



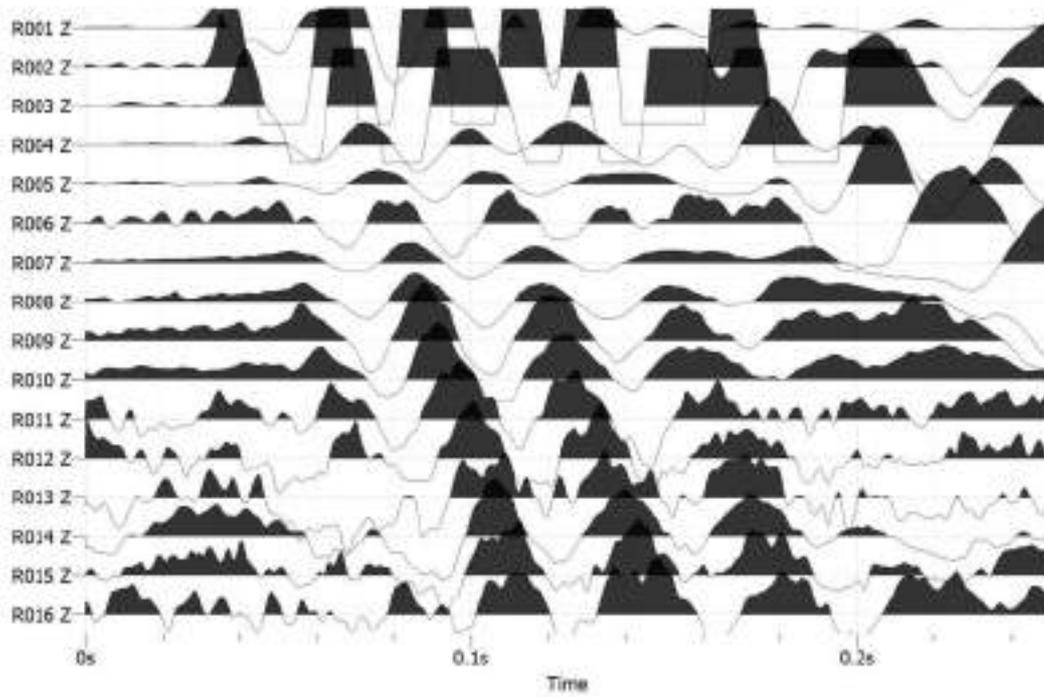
(b)



(c)



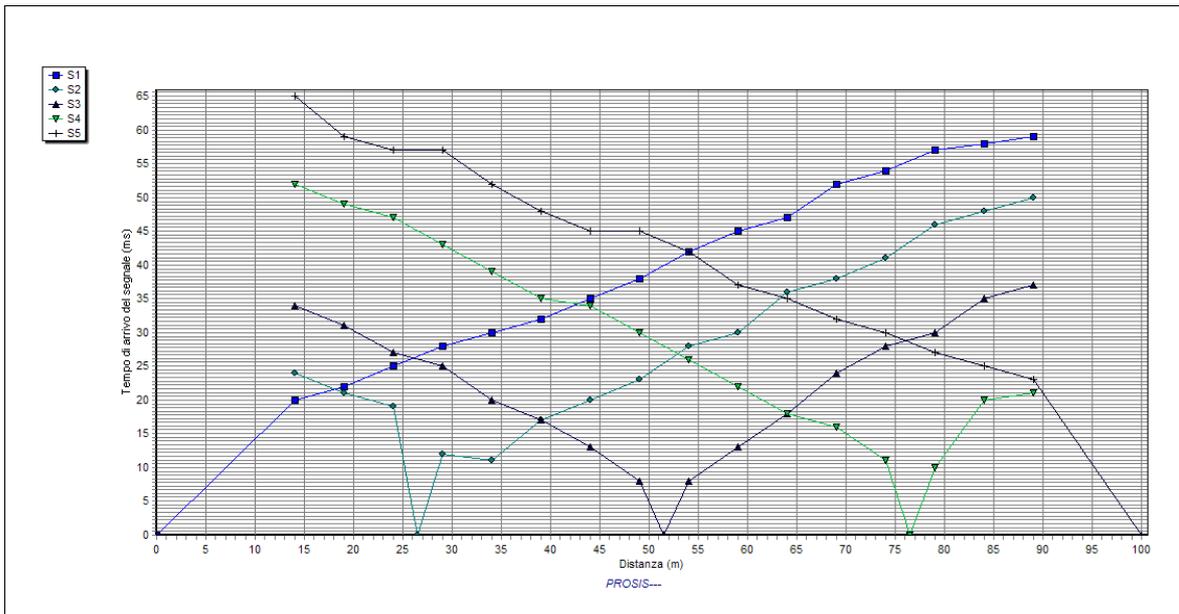
(d)



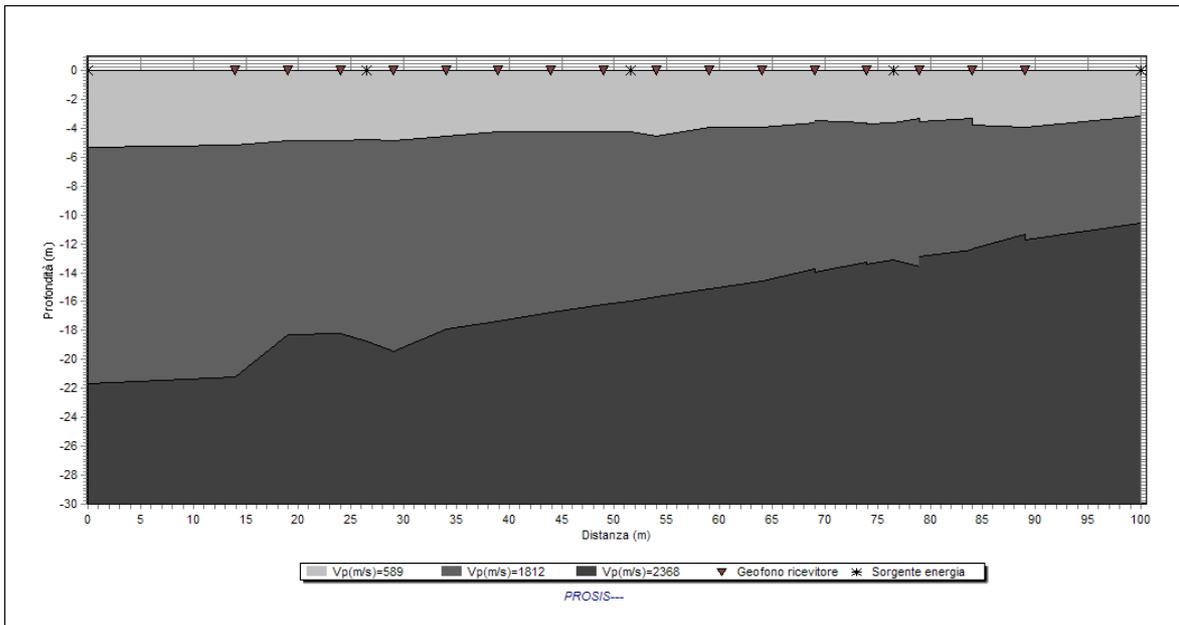
(e)

Sismogrammi: a) tiro diretto; b) tiro intermedio tra il terzo e il quarto geofono; c) tiro centrale; d) tiro tra il tredicesimo e il quattordicesimo geofono; e) tiro coniugato.

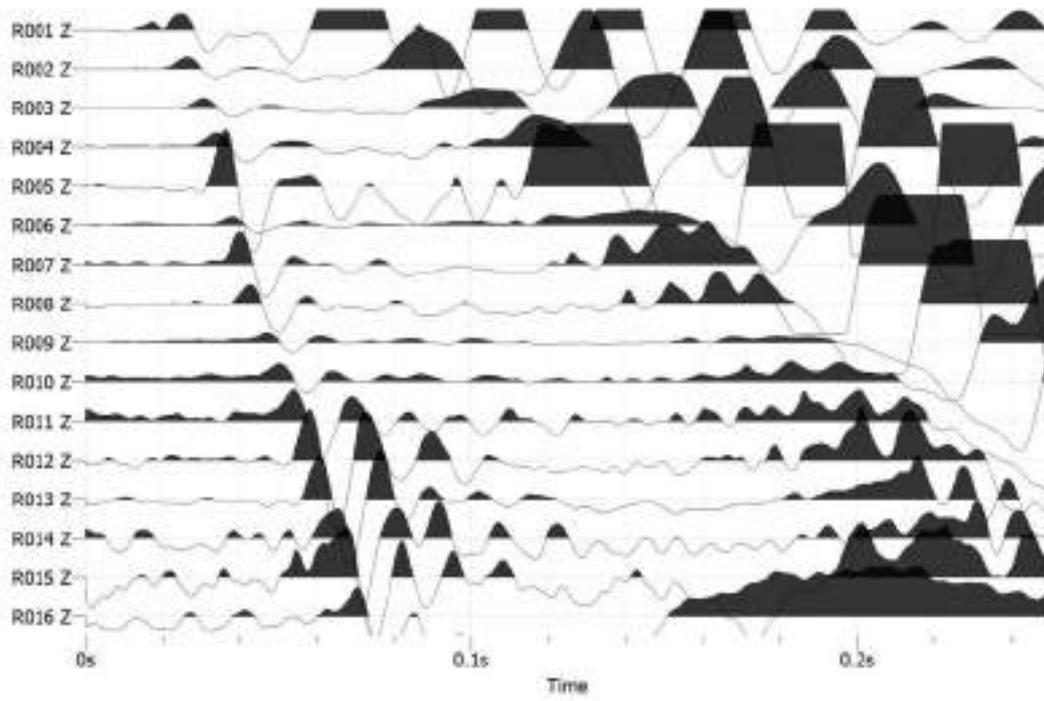
**RIFRAZIONE R2**



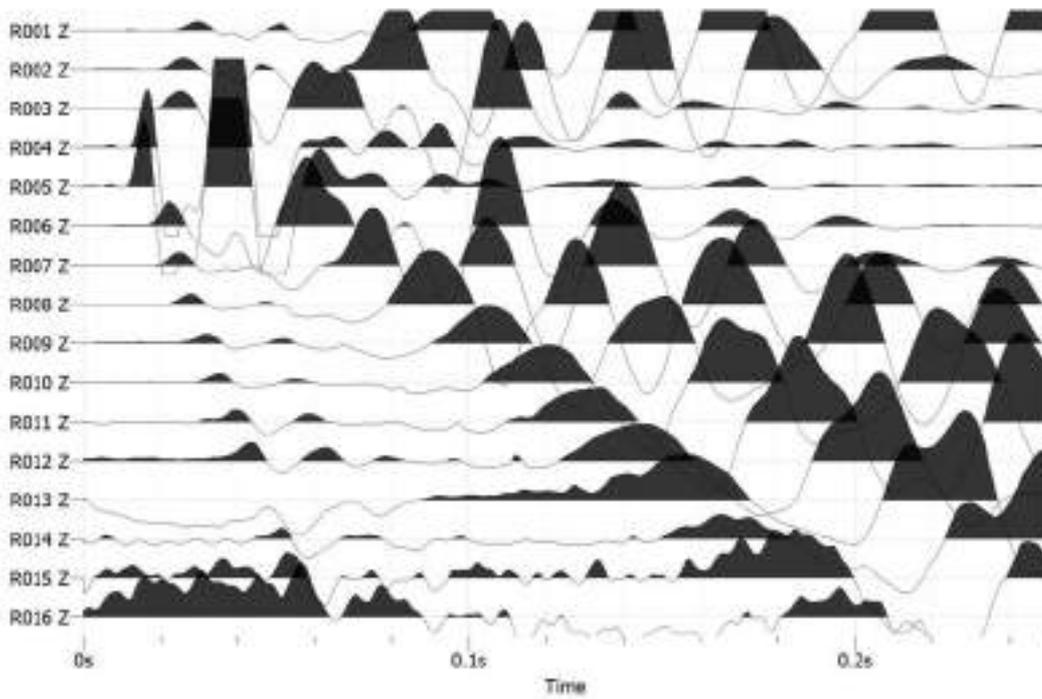
**Dromocrona ricavate dall'individuazione nei sismogrammi dei primi arrivi.**



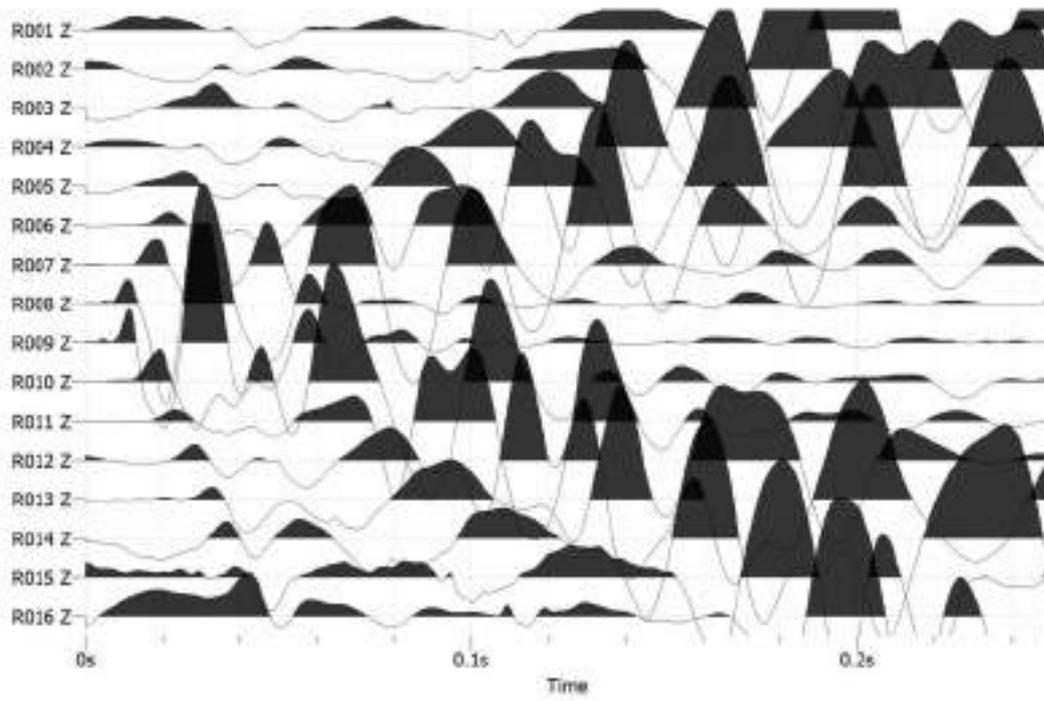
**Modello sismostratigrafico del sottosuolo (stendimento R2).**



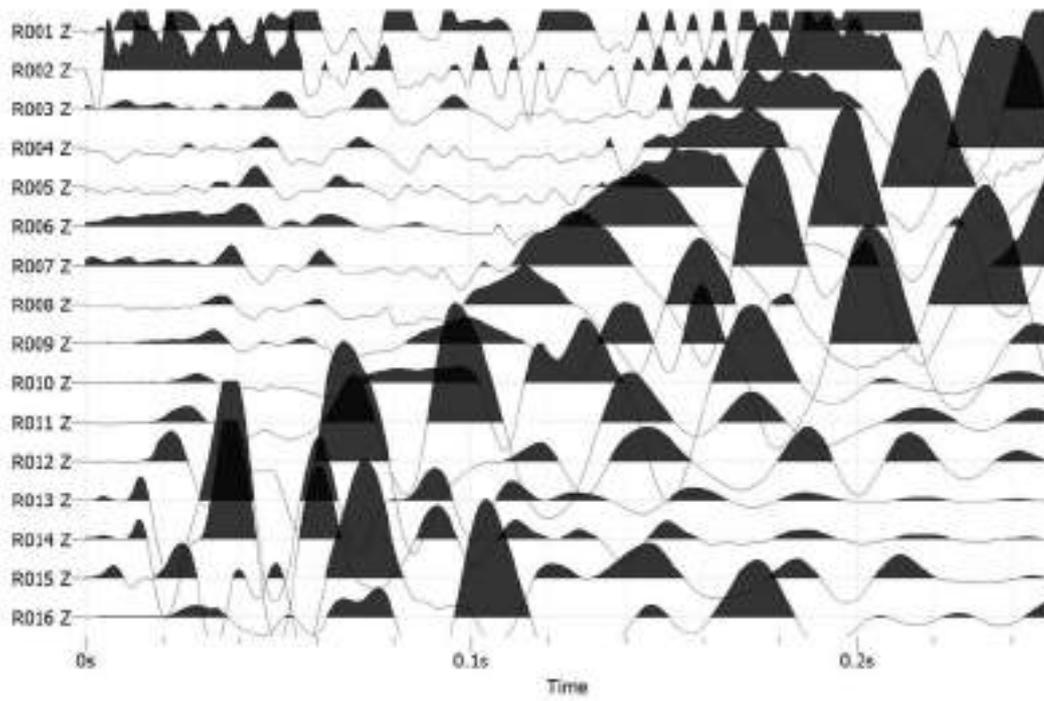
(a)



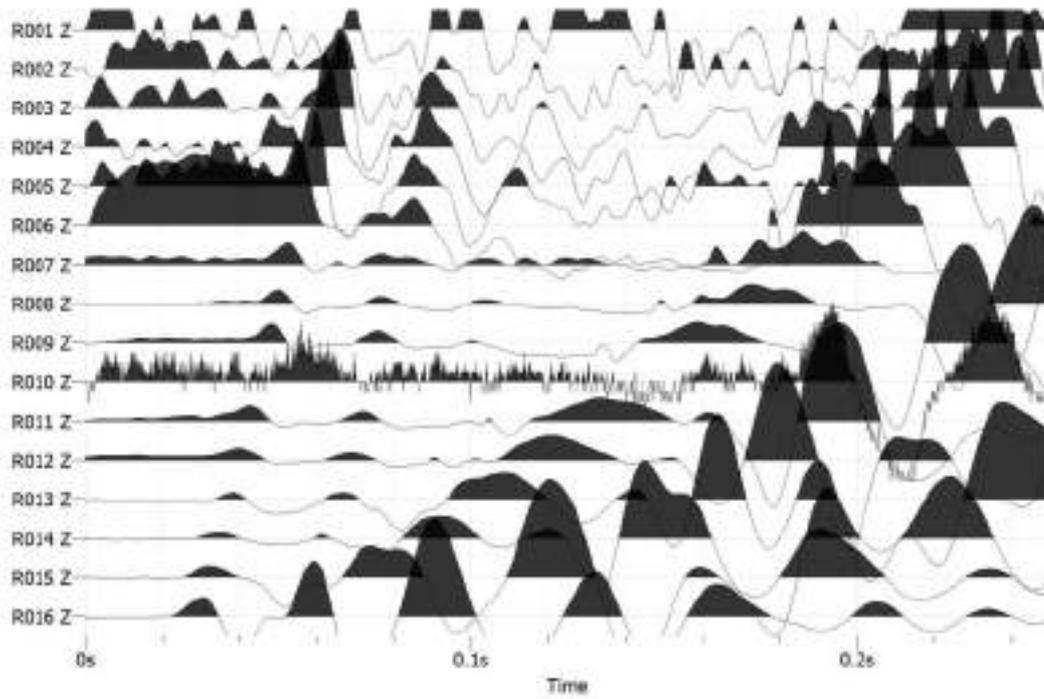
(b)



(c)



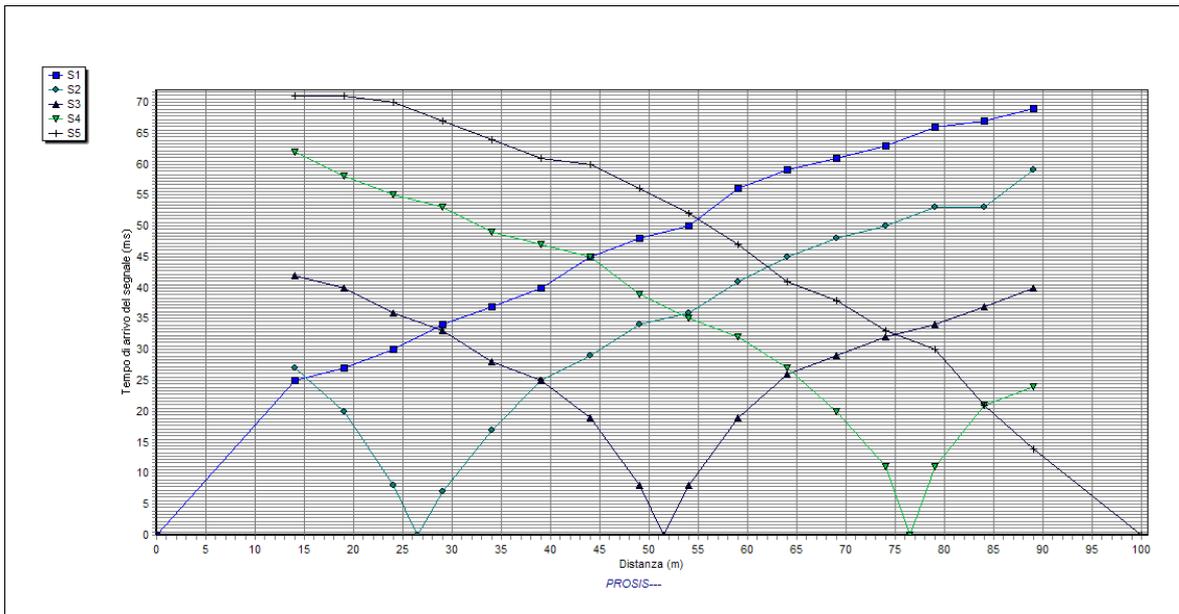
(d)



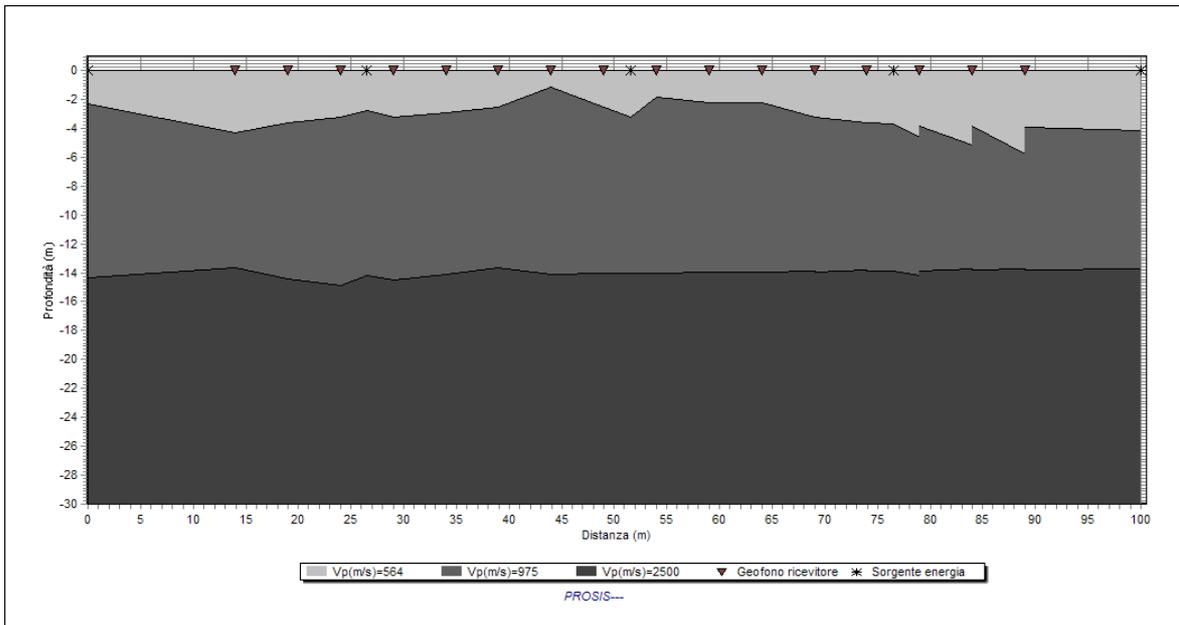
(e)

Sismogrammi: a) tiro diretto; b) tiro intermedio tra il terzo e il quarto geofono; c) tiro centrale; d) tiro tra il tredicesimo e il quattordicesimo geofono; e) tiro coniugato.

**RIFRAZIONE R3**



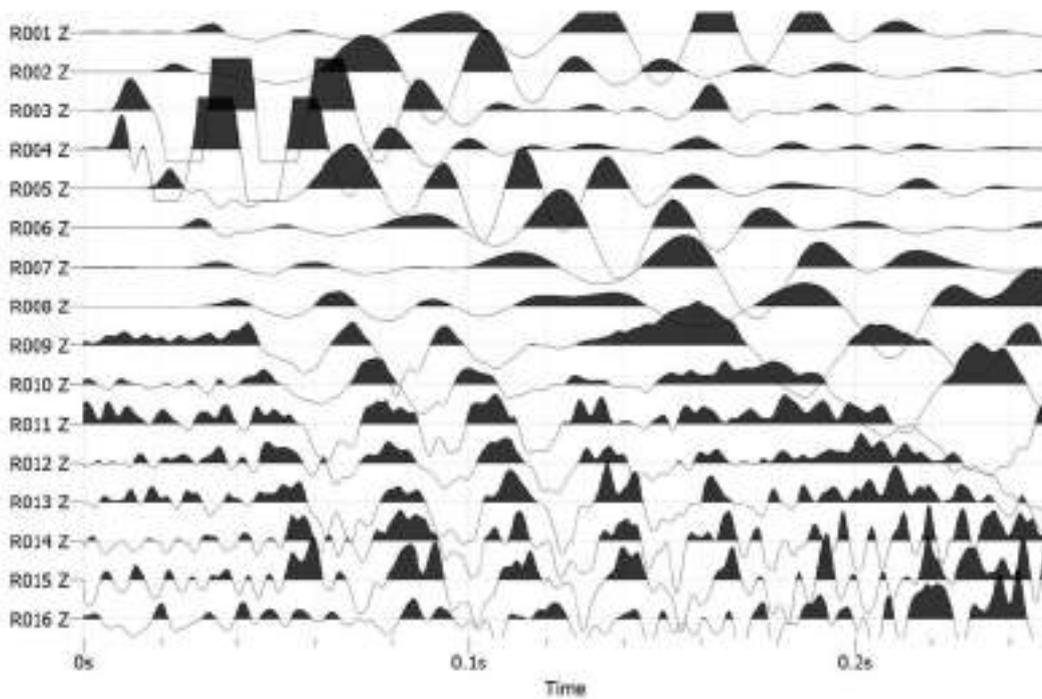
**Dromocrone ricavate dall'individuazione nei sismogrammi dei primi arrivi.**



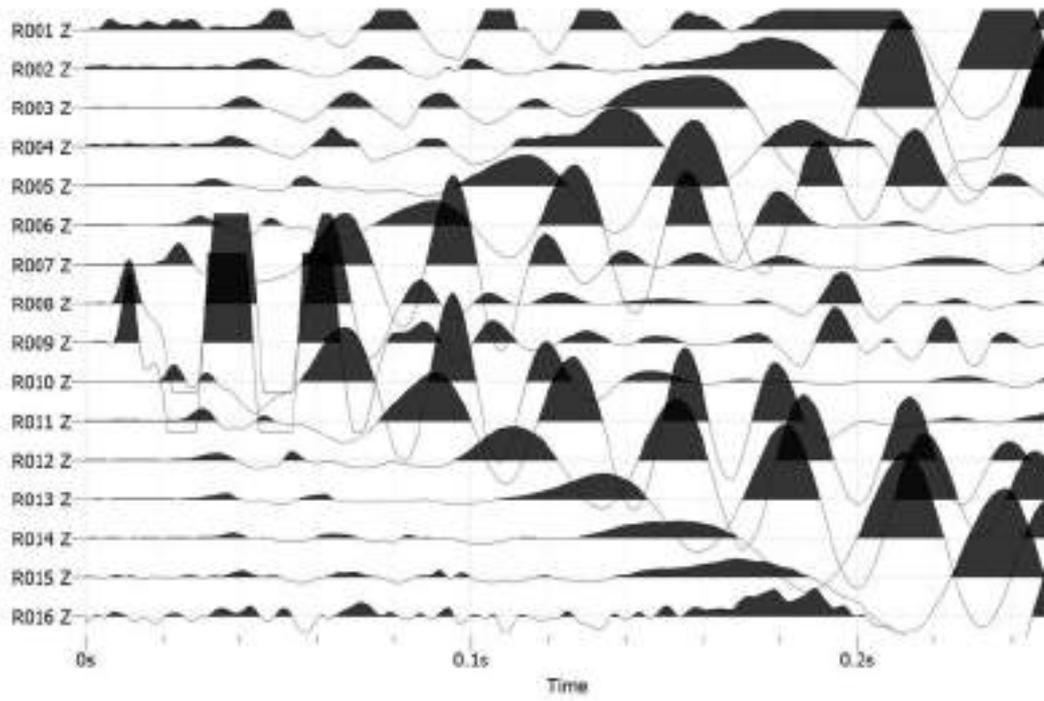
**Modello sismostratigrafico del sottosuolo (stendimento R3).**



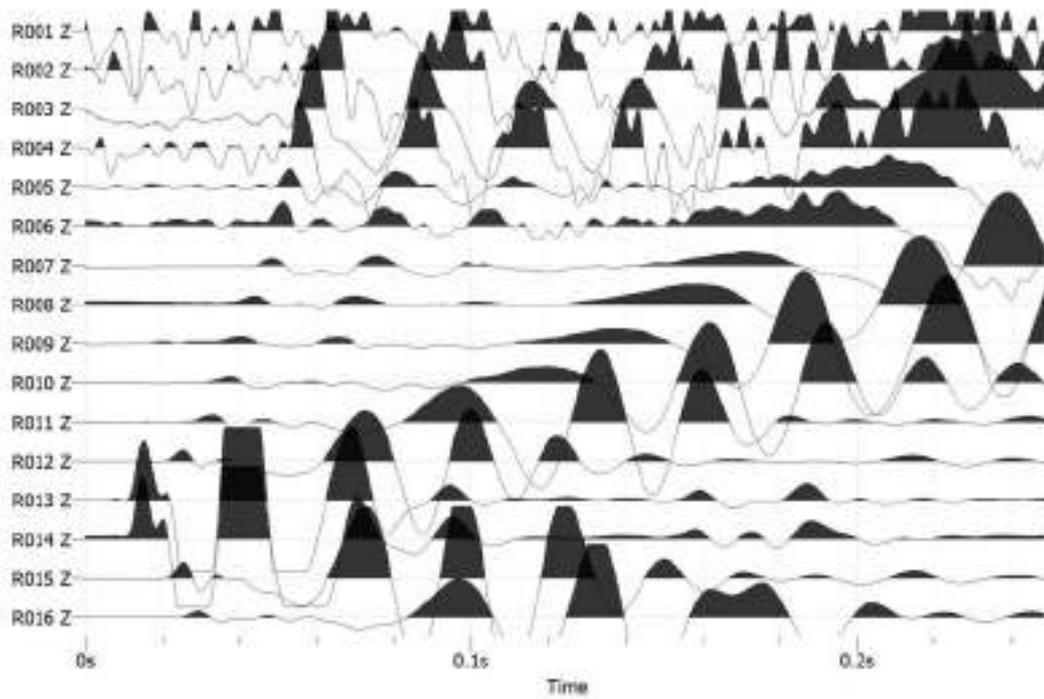
(a)



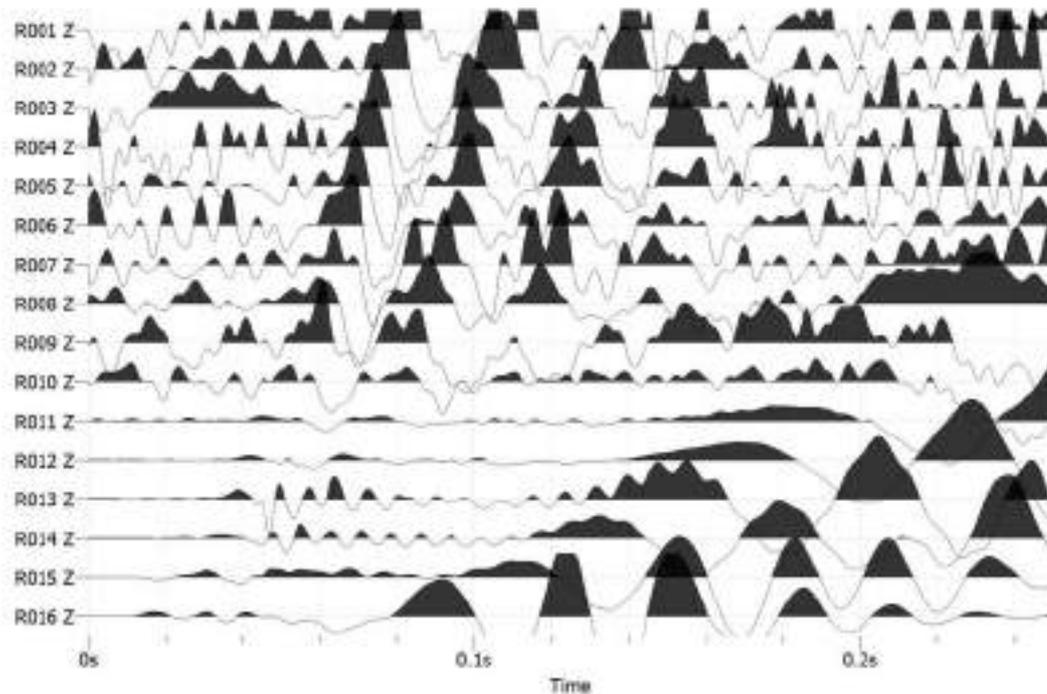
(b)



(c)



(d)



(e)

Sismogrammi: a) tiro diretto; b) tiro intermedio tra il terzo e il quarto geofono; c) tiro centrale; d) tiro tra il tredicesimo e il quattordicesimo geofono; e) tiro coniugato.

### 7.2.2. MODULI ELASTICI DINAMICI

Considerando i valori delle velocità delle onde sismiche P ed S, ricavati dalle prove MASW e di sismica a rifrazione, è stato possibile ricavare alcuni moduli elastici dinamici per i differenti sismostrati. I valori dei moduli elastici sono stati ricavati applicando formule riportate in letteratura (p.e. Carrara, Rapolla, Roberti, 1992) e tabellate:

#### Rifrazione R1

sismostrato	V <sub>p</sub> m/s	V <sub>s</sub> m/s	v	E kg/cm <sup>2</sup>	G kg/cm <sup>2</sup>	K kg/cm <sup>2</sup>	R
1	398	180	0,37	1812	661	2350	0,36
2	1286	250	0,48	3774	1275	32029	0,50
3	1759	340	0,48	6981	2358	59958	0,68

Legenda: V<sub>p</sub> (velocità onde sismiche p); V<sub>s</sub> (velocità onde sismiche S); v (modulo di Poisson); E (modulo di Young dinamico); G (modulo di taglio); K (modulo di incompressibilità); R (rigidità sismica, espressa in  $\frac{t \cdot km}{m^2 \cdot s}$ )

### Rifrazione R2

sismostrato	Vp m/s	Vs m/s	v	E kg/cm <sup>2</sup>	G kg/cm <sup>2</sup>	K kg/cm <sup>2</sup>	R
1	589	260	0,38	3802	1379	5237	0,52
2	1812	380	0,48	8699	2945	63034	0,76
3	2368	450	0,48	12235	4130	108853	0,9

Legenda: Vp (velocità onde sismiche p); Vs (velocità onde sismiche S); v (modulo di Poisson); E (modulo di Young dinamico); G (modulo di taglio); K (modulo di incompressibilità); R (rigidità sismica, espressa in  $\frac{t \cdot km}{m^2 \cdot s}$ )

### Rifrazione R3

sismostrato	Vp m/s	Vs m/s	v	E kg/cm <sup>2</sup>	G kg/cm <sup>2</sup>	K kg/cm <sup>2</sup>	R
1	564	165	0,45	1614	555	5747	0,33
2	975	240	0,47	3448	1174	17821	0,48
3	2500	340	0,49	7028	2358	124321	0,68

Legenda: Vp (velocità onde sismiche p); Vs (velocità onde sismiche S); v (modulo di Poisson); E (modulo di Young dinamico); G (modulo di taglio); K (modulo di incompressibilità); R (rigidità sismica, espressa in  $\frac{t \cdot km}{m^2 \cdot s}$ )

Per il calcolo dei moduli E, G e K è stata utilizzata una densità media del terreno di 2,00 kg/cm<sup>3</sup>; i valori risultanti per questi moduli sono stati approssimati alla cifra intera.

### 7.3 INDAGINI DOWN HOLE

Le prove down hole hanno permesso di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde S e P nei primi trenta metri di profondità.

L'elaborazione è stata fatta utilizzando diversi software tra cui GeoHole ver. 1.3 della ProgramGeo, DoReMi ver. 1.1.45 della Sara e Sismica di Corrao & Coco. In particolare, è stato utilizzato il metodo dell'intervallo modificato, che assume come sub-orizzontali i sismostrati e che le onde sismiche generate si propagano dalla sorgente ai ricevitori attraverso ogni strato, con velocità propria.

#### PROVA DOWN HOLE DH1

Dalla prova DH1 emerge un andamento irregolare della velocità delle onde S e P. Dal confronto con la stratigrafia del sondaggio si possono riconoscere degli strati significativi

che trovano riscontro anche nella prova down hole. Nei primi due metri si hanno delle velocità basse e ciò è correlabile al terreno vegetale. Dopo i primi due metri le velocità aumentano significativamente, questo è dovuto alla presenza di un'alternanza di limi sabbiosi, sabbie, arenarie e microconglomerati. A 12 m di profondità in corrispondenza del passaggio tra questi depositi e delle sottostanti sabbie limose le velocità diminuiscono in modo marcato; mentre a 15 m di profondità al passaggio con le argille grigio-azzurre le velocità aumentano, anche se l'aumento risulta significativo solo per le onde P.

La prova può essere riassunta nella seguente tabella:

Z (m)	tp (msec)	ts (msec)	tpc (msec)	tsc (msec)	Vp (m/s)	Vs (ms)
2	3,88	8,54	3,76	8,29	531,88	241,29
4	5,17	11,50	5,13	11,41	1462,18	640,55
6	7,11	14,86	7,08	14,81	1023,88	588,85
8	8,70	20,05	8,68	20,01	1248,75	384,30
10	9,80	24,15	9,79	24,12	1810,42	487,34
12	10,98	28,23	10,97	28,21	1688,18	488,80
14	14,80	35,29	14,79	35,27	524,37	283,29
16	19,38	46,06	19,37	46,04	436,30	185,67
18	21,05	54,61	21,04	54,58	1196,64	234,04
20	22,50	60,92	22,49	60,90	1378,28	316,60
22	23,60	65,90	23,59	65,88	908,81	200,83
24	24,50	70,30	24,49	70,28	1110,67	227,25
26	26,30	75,90	26,29	75,88	1110,73	357,04
28	28,20	84,70	28,19	84,68	1052,36	227,25
30	30,10	90,20	30,10	90,19	1052,40	363,55
					$\Sigma h_i/V_{si}$	<b>0,095508</b>
<b><math>V_{s30} = 314 \text{ m/s}</math> categoria dei suoli C</b>						

tp: tempo primi arrivi onde P; ts: empo primi arrivi onde S; tpc: tempo onde P corretto; tsc: tempo onde S corretto; Vp: velocità onde P; Vs: velocità onde S.

## PROVA DOWN HOLE DH2

Dalla prova DH2 emerge un andamento irregolare della velocità delle onde S e P. Dal confronto con la stratigrafia del sondaggio si possono riconoscere degli strati significativi che trovano riscontro anche nella prova down hole. Nei primi due metri si hanno delle ve-

locità basse e ciò è correlabile al terreno vegetale e alla coltre di alterazione. Dopo i primi due metri le velocità aumentano significativamente, questo è dovuto alla presenza di un'alternanza di conglomerati, sabbie e limi sabbiosi. A 14 m di profondità in corrispondenza del passaggio tra questi depositi e le sottostanti argille grigio-azzurre le velocità diminuiscono in modo marcato. Infine, a 20 m di profondità le velocità aumentano nuovamente; in particolare, l'aumento risulta molto marcato per le onde P.

La prova può essere riassunta nella seguente tabella:

Z (m)	tp (msec)	ts (msec)	tpc (msec)	tsc (msec)	Vp (m/s)	Vs (ms)
2	2,29	5,34	2,22	5,18	899,46	386,20
4	3,88	8,90	3,85	8,83	1232,66	547,99
6	5,60	12,46	5,58	12,41	1153,01	557,93
8	6,76	16,04	6,74	16,01	1719,42	556,05
10	8,32	20,46	8,31	20,44	1280,59	451,70
12	9,88	24,02	9,87	24,00	1281,38	561,37
14	10,92	26,69	10,91	26,67	1920,11	748,27
16	12,47	32,92	12,47	32,90	1282,16	321,08
18	14,03	40,93	14,03	40,91	1282,32	249,77
20	16,80	53,60	16,79	53,58	723,81	157,82
22	17,67	60,50	17,67	60,48	2281,32	289,85
24	18,55	65,65	18,55	65,64	2276,51	388,10
26	19,45	70,68	19,45	70,67	2221,16	397,52
28	20,38	76,00	20,38	75,99	2149,74	375,87
30	21,25	81,30	21,25	81,29	2298,06	377,30
					$\Sigma h_i/V_{si}$	0,081289
<b><math>V_{s30} = 369 \text{ m/s}</math> categoria dei suoli B</b>						

tp: tempo primi arrivi onde P; ts: tempo primi arrivi onde S; tpc: tempo onde P corretto; tsc: tempo onde S corretto; Vp: velocità onde P; Vs: velocità onde S.

### PROVA DOWN HOLE DH3

Dalla prova DH3 emerge un andamento irregolare della velocità delle onde S e P. Dal confronto con la stratigrafia del sondaggio si possono riconoscere degli strati significativi che trovano riscontro anche nella prova down hole. Nei primi due metri si hanno delle velocità basse e ciò è correlabile al terreno vegetale e alla coltre di alterazione. Dopo i primi

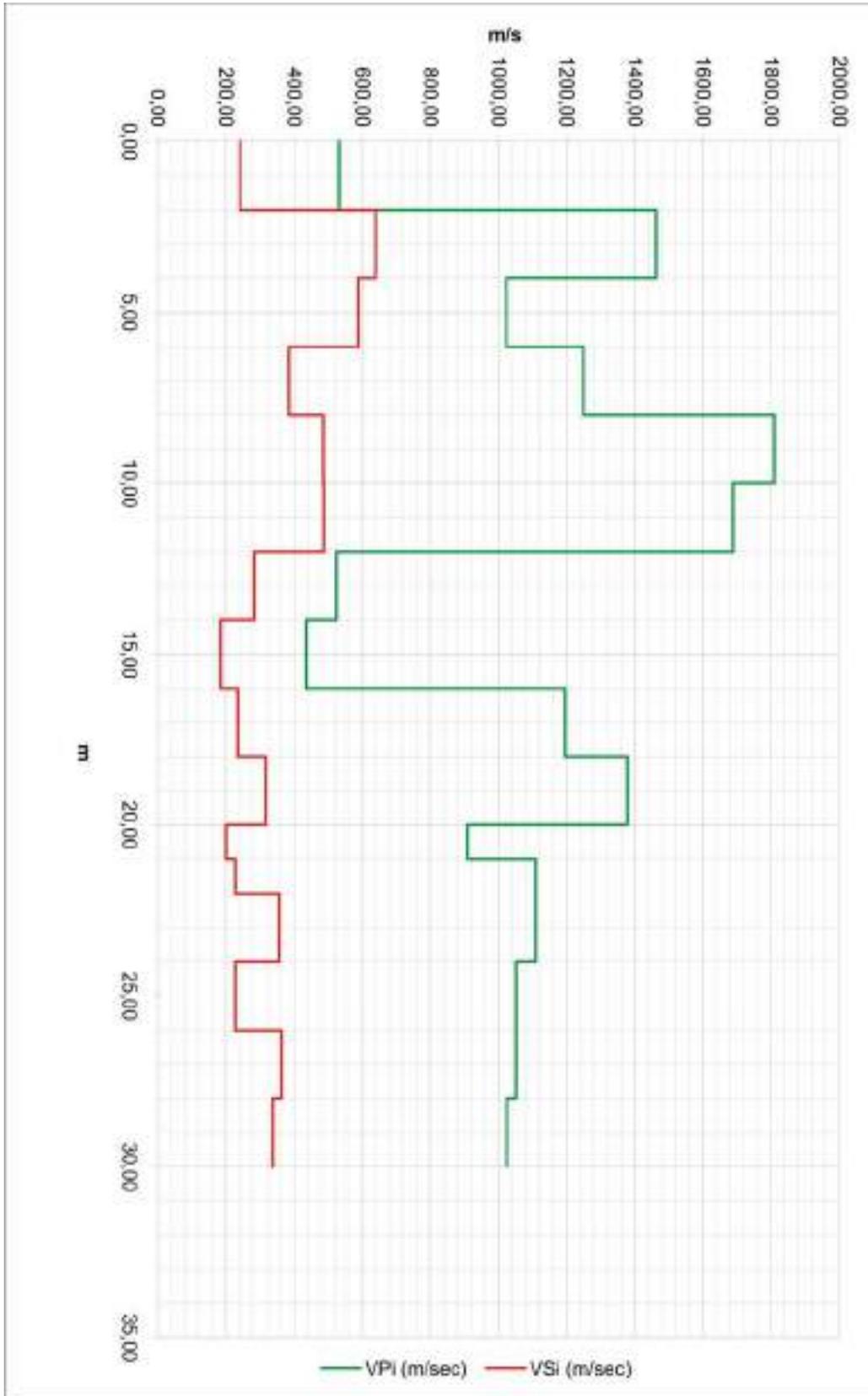
due metri le velocità aumentano significativamente, questo è dovuto alla presenza di un'alternanza di limi sabbiosi. A 10-12 m di profondità in corrispondenza del passaggio tra questi depositi e i sottostanti limi sabbiosi grigio-azzurri le velocità diminuiscono in modo marcato. A partire dai 12 le velocità aumentano gradualmente per poi diminuire in modo marcato a 20 m di profondità le velocità aumentano nuovamente; in particolare, questo vale per le onde P.

La prova può essere riassunta nella seguente tabella:

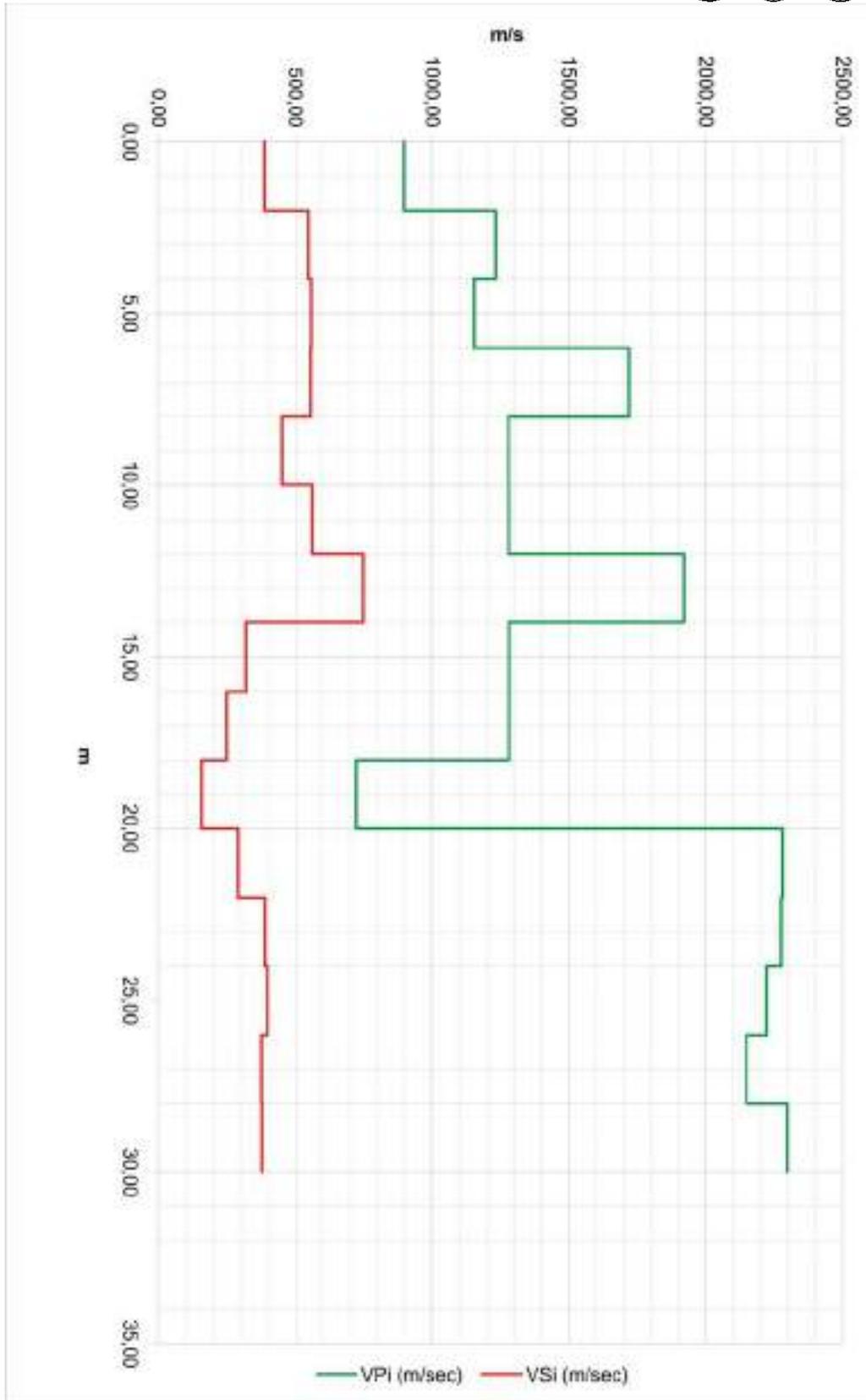
Z (m)	tp (msec)	ts (msec)	tpc (msec)	tsc (msec)	Vp (m/s)	Vs (ms)
2	2,08	11,89	2,02	11,53	991,61	173,43
4	3,12	17,46	3,09	17,32	1855,31	345,30
6	4,16	21,17	4,14	21,10	1907,08	529,57
8	5,00	33,28	4,99	33,22	2362,32	165,08
10	5,90	37,00	5,89	36,95	2216,37	535,10
12	7,28	40,12	7,27	40,08	1451,32	638,90
14	8,84	49,04	8,83	49,01	1282,32	224,03
16	10,34	55,72	10,33	55,69	1332,81	299,31
18	11,44	60,18	11,43	60,15	1818,79	448,33
20	12,27	63,16	12,27	63,14	2382,16	670,36
22	14,50	73,92	14,50	73,90	898,44	185,78
24	16,02	78,75	16,02	78,73	1315,56	413,99
26	17,21	85,00	17,21	84,98	1680,26	320,03
28	18,22	90,01	18,22	90,00	1979,65	398,93
30	19,71	95,98	19,71	95,97	1342,13	335,06
<b><math>V_{s30} = 313 \text{ m/s}</math> categoria dei suoli C</b>					$\Sigma h_i/V_{si}$	<b>0,095967</b>

tp: tempo primi arrivi onde P; ts: tempo primi arrivi onde S; tpc: tempo onde P corretto; tsc: tempo onde S corretto; Vp: velocità onde P; Vs: velocità onde S.

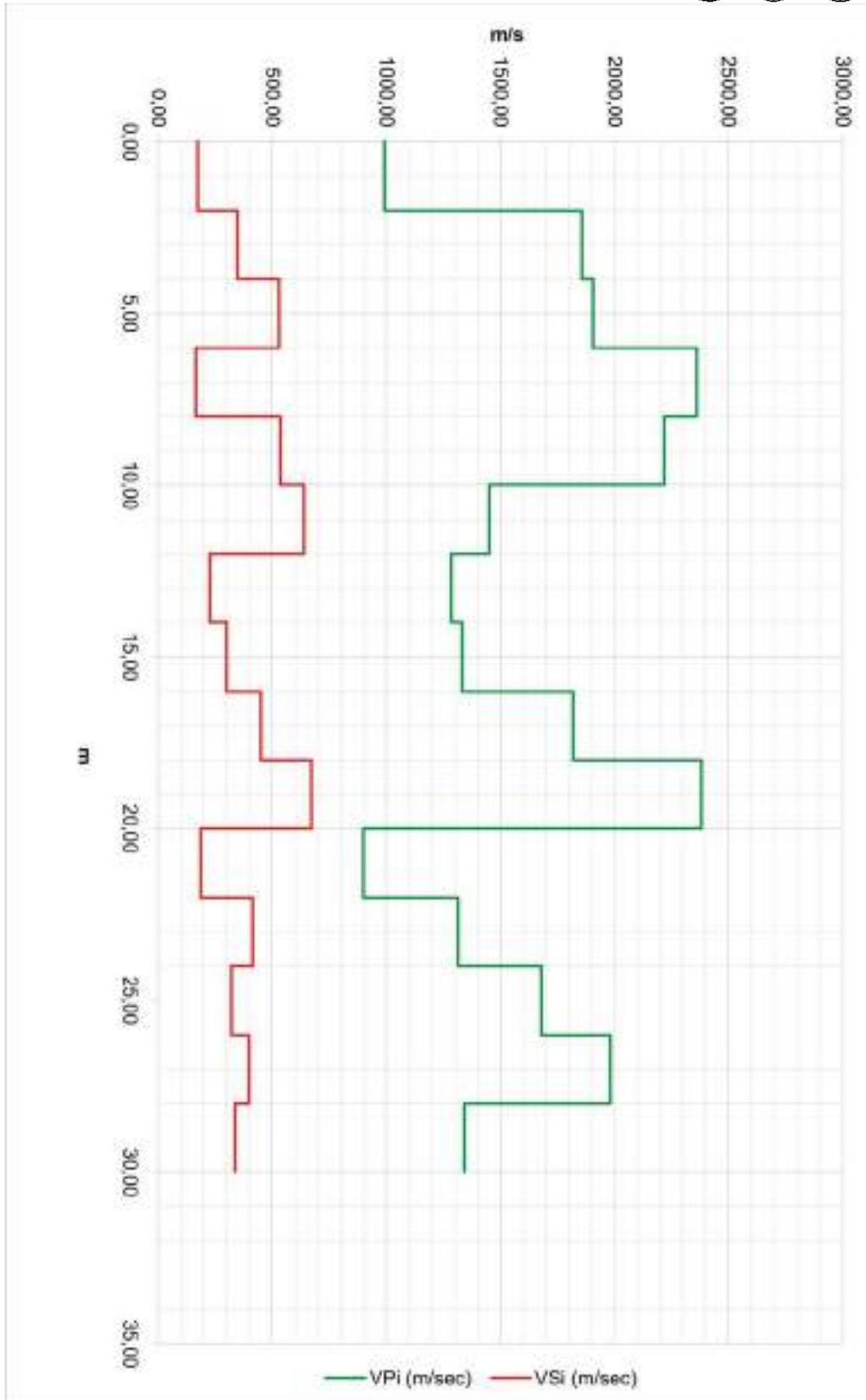
**7.3.1. ELABORATI DELL'INDAGINE DOWN HOLE**



**Profilo delle velocità delle onde di tipo S nei primi 30 m di profondità, down hole DH1.**



Profilo delle velocità delle onde di tipo S nei primi 30 m di profondità, down hole DH2.



Profilo delle velocità delle onde di tipo S nei primi 30 m di profondità, down hole DH3.

### 7.3.2. MODULI ELASTICI DINAMICI

Considerando i valori delle velocità delle onde sismiche P ed S, ricavati dalle prove down hole, è stato possibile ricavare alcuni moduli elastici dinamici per i differenti sismostrati. I valori dei moduli elastici sono stati ricavati applicando formule riportate in letteratura (p.e. Corrao & Coco, 2009) e tabellate:

#### Down hole DH1

Z (m)	V <sub>p</sub> m/s	V <sub>s</sub> m/s	v	E kg/cm <sup>2</sup>	G kg/cm <sup>2</sup>	K kg/cm <sup>2</sup>
2	531,88	241,29	0,37	2,7E+03	9,9E+02	3,5E+03
4	1462,18	640,55	0,38	2,3E+04	8,5E+03	3,3E+04
6	1023,88	588,85	0,25	1,7E+04	6,7E+03	1,1E+04
8	1248,75	384,30	0,45	8,6E+03	3,0E+03	2,7E+04
10	1810,42	487,34	0,46	1,5E+04	5,1E+03	6,4E+04
12	1688,18	488,80	0,45	1,5E+04	5,1E+03	5,4E+04
14	524,37	283,29	0,29	3,5E+03	1,4E+03	2,8E+03
16	436,30	185,67	0,39	1,6E+03	5,6E+02	2,4E+03
18	1196,64	234,04	0,48	3,2E+03	1,1E+03	2,7E+04
20	1378,28	316,60	0,47	6,0E+03	2,0E+03	3,6E+04
22	908,81	200,83	0,47	2,2E+03	7,6E+02	1,5E+04
24	1110,67	227,25	0,48	3,0E+03	1,0E+03	2,3E+04
26	1110,73	357,04	0,44	7,2E+03	2,5E+03	2,1E+04
28	1052,36	227,25	0,48	3,0E+03	1,0E+03	2,0E+04
<b>30</b>	<b>1052,40</b>	<b>363,55</b>	<b>0,43</b>	<b>7,3E+03</b>	<b>2,6E+03</b>	<b>1,8E+04</b>

Legenda: V<sub>p</sub> (velocità onde sismiche p); V<sub>s</sub> (velocità onde sismiche S); v (modulo di Poisson); E (modulo di Young dinamico); G (modulo di taglio); K (modulo di incompressibilità); R (rigidità sismica, espressa in  $\frac{t \cdot km}{m^2 \cdot s}$ )

### Down hole DH2

Z (m)	Vp m/s	Vs m/s	v	E kg/cm <sup>2</sup>	G kg/cm <sup>2</sup>	K kg/cm <sup>2</sup>
2	899,46	386,20	0,39	7,8E+03	2,8E+03	1,1E+04
4	1232,66	547,99	0,38	1,7E+04	6,0E+03	2,2E+04
6	1153,01	557,93	0,35	1,7E+04	6,1E+03	1,8E+04
8	1719,42	556,05	0,44	1,9E+04	6,6E+03	5,4E+04
10	1280,59	451,70	0,43	1,2E+04	4,1E+03	2,7E+04
12	1281,38	561,37	0,38	1,8E+04	6,3E+03	2,5E+04
14	1920,11	748,27	0,41	3,4E+04	1,2E+04	6,4E+04
16	1282,16	321,08	0,47	6,1E+03	2,1E+03	3,0E+04
18	1282,32	249,77	0,48	3,7E+03	1,3E+03	3,1E+04
20	723,81	157,82	0,48	1,3E+03	4,5E+02	8,8E+03
22	2281,32	289,85	0,49	5,6E+03	1,9E+03	1,1E+05
24	2276,51	388,10	0,49	1,0E+04	3,4E+03	1,1E+05
26	2221,16	397,52	0,48	1,0E+04	3,5E+03	1,1E+05
28	2149,74	375,87	0,48	9,3E+03	3,1E+03	9,8E+04
<b>30</b>	<b>2298,06</b>	<b>377,30</b>	<b>0,49</b>	<b>9,5E+03</b>	<b>3,2E+03</b>	<b>1,1E+05</b>

Legenda: Vp (velocità onde sismiche p); Vs (velocità onde sismiche S); v (modulo di Poisson); E (modulo di Young dinamico); G (modulo di taglio); K (modulo di incompressibilità); R (rigidità sismica, espressa in  $\frac{t \cdot km}{m^2 \cdot s}$ )

### Down hole DH3

Z (m)	Vp m/s	Vs m/s	v	E kg/cm <sup>2</sup>	G kg/cm <sup>2</sup>	K kg/cm <sup>2</sup>
2	991,61	173,43	0,48	1,7E+03	5,8E+02	1,8E+04
4	1855,31	345,30	0,48	7,6E+03	2,6E+03	7,1E+04
6	1907,08	529,57	0,46	1,8E+04	6,1E+03	7,1E+04
8	2362,32	165,08	0,50	1,8E+03	6,2E+02	1,3E+05
10	2216,37	535,10	0,47	1,9E+04	6,4E+03	1,0E+05
12	1451,32	638,90	0,38	2,3E+04	8,4E+03	3,2E+04
14	1282,32	224,03	0,48	3,0E+03	1,0E+03	3,2E+04
16	1332,81	299,31	0,47	5,3E+03	1,8E+03	3,4E+04
18	1818,79	448,33	0,47	1,3E+04	4,3E+03	6,5E+04
20	2382,16	670,36	0,46	3,0E+04	1,0E+04	1,1E+05
22	898,44	185,78	0,48	1,9E+03	6,5E+02	1,4E+04
24	1315,56	413,99	0,45	1,0E+04	3,5E+03	3,0E+04
26	1680,26	320,03	0,48	6,4E+03	2,2E+03	5,7E+04
28	1979,65	398,93	0,48	1,0E+04	3,5E+03	8,1E+04
<b>30</b>	<b>1342,13</b>	<b>335,06</b>	<b>0,47</b>	<b>6,7E+03</b>	<b>2,3E+03</b>	<b>3,3E+04</b>

Legenda: Vp (velocità onde sismiche p); Vs (velocità onde sismiche S); v (modulo di Poisson); E (modulo di Young dinamico); G (modulo di taglio); K (modulo di incompressibilità); R (rigidità sismica, espressa in  $\frac{t \cdot km}{m^2 \cdot s}$ )

Potenza, 11/04/2011

Dott. Geologo

**Claudio MARTINO**



Dott. Geologo

**Francesco ROMANIELLO**

