

COMMITTENTE	<b>IBVI 5 S.R.L.</b>	
TIPO DOCUMENTO	<b>RAPPORTO TECNICO INDAGINI GEOFISICHE CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO E CALCOLO DEL PARAMETRO <math>V_{s,eq}</math> - D.M. 17.01.2018 -</b>	
OGGETTO	<b>PROGETTO DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO DA 231,599 MWP IN TERRITORIO DI CASTEL DI IUDICA E RAMACCA</b>	
		
DATA INDAGINE-	Ottobre 2021	IL TECNICO
		Dott. Geol. Domenico Boso

## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO .....</b>	<b>4</b>
2.1    Prospezione MASW .....	4
2.2    Strumentazione utilizzata .....	6
2.2.1    Bibliografia .....	6
2.3    Risultati delle prospezioni .....	7
2.4    Descrizione dei risultati .....	44
<b>3. PROSPEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA.....</b>	<b>46</b>
3.1    Cenni Teorici .....	46
3.2    Strumentazione utilizzata .....	48
3.3    Risultati delle prospezioni .....	49
3.4    Descrizione dei risultati .....	66
<b>4. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA.....</b>	<b>68</b>

## ALLEGATI:

Planimetria con ubicazione delle indagini – scala 1:12.500

## 1. PREMESSA

Nel presente documento sono illustrati i risultati di una campagna di indagini geognostiche e geofisiche effettuata su incarico della Società IBVI 5 s.r.l., a supporto dello studio geologico relativo al progetto di un impianto fotovoltaico da 231,599 MWp da realizzare nel territorio dei comuni di Castel di Iudica e Ramacca (CT).

La campagna di indagini, propedeutica alla realizzazione del layout dell'impianto, è stata effettuata a campione ed in maniera il più possibile rappresentativa nelle aree acquisite per il progetto; le indagini effettuate sono sia di tipo geofisico (prospezioni MASW e tomografie sismiche a rifrazione). Attraverso i risultati delle indagini e sulla base dell'analisi geologica e geomorfologica del territorio si avranno gli elementi necessari per la progettazione del campo fotovoltaico.

Sono state effettuate le seguenti indagini,

- N. 37 prospezioni MASW per la definizione della sismostratigrafia e della categoria del sottosuolo, ai sensi del D.M. 17.01.18;
- N. 17 prospezioni sismiche tomografiche a rifrazione per la definizione di sezioni bidimensionali ad elevata risoluzione del sottosuolo;

Le prove sono ubicate nell'allegata cartografia in scala 1:10.000.

## 2. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO

La nuova normativa tecnica sulle costruzioni, il D.M. 17.01.2018, a differenza delle precedenti (D.M. 14.01.08), di cui recepisce gran parte dei contenuti, introduce il concetto di “*velocità equivalente Vs*”, che viene calcolata attraverso l’espressione:

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

dove H rappresenta la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore ad 800 m/s. Per terreni con profondità H del substrato superiore o pari a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S30}$ , ottenuto ponendo H=30 nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati del terreno fino a quella profondità.

### 2.1 PROSPEZIONE MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. 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 (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) 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. Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo attivo e metodo passivo (Zywicki, D.J. 1999) o in una combinazione di entrambi. Nel metodo attivo le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Nel metodo passivo lo stendimento dei sensori può essere sia lineare, sia circolare e si misura il rumore ambientale di fondo esistente. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30m-50m, in funzione della rigidità del suolo. Il metodo passivo in genere consente di tracciare una velocità di fase apparente sperimentale compresa tra 0 Hz e

10Hz, quindi dà informazioni sugli strati più profondi del suolo, generalmente al di sotto dei 50 m, in funzione della rigidità del suolo. Nella presente indagine si effettua il metodo MASW attivo che consente la classificazione sismica dei suoli, perché fornisce il profilo di velocità entro i primi 30m di profondità. Il metodo passivo è più usato quando si ha interesse ad avere informazioni, comunque meno precise, sugli strati più profondi.

Il metodo MASW consiste in tre fasi (Roma, 2002):

1. calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale;
2. calcolo della velocità di fase apparente numerica;
3. individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ .

Quest'ultimo ed importante passaggio si ottiene modificando opportunamente lo spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio  $V_s$  e di compressione  $V_p$  (o in maniera alternativa alle velocità  $V_p$  è possibile assegnare il coefficiente di Poisson  $\nu$ ), la densità di massa  $\rho$  degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

Il modello di suolo e quindi il profilo di velocità delle onde di taglio verticali possono essere individuati con procedura manuale o con procedura automatica o con una combinazione delle due.

Generalmente si assegnano il numero di strati del modello, il coefficiente di Poisson  $\nu$ , la densità di massa  $\rho$  e si variano lo spessore  $h$  e la velocità  $V_s$  degli strati. Nella procedura manuale l'utente assegna per tentativi diversi valori delle velocità  $V_s$  e degli spessori  $h$ , cercando di avvicinare la curva di dispersione numerica alla curva di dispersione sperimentale. Nella procedura automatica (Roma, 2001-2, Joh, 1998) la ricerca del profilo di velocità ottimale è affidata ad un algoritmo di ricerca globale o locale che cerca di minimizzare l'errore tra la curva sperimentale e la curva numerica.

Per le prospezioni del presente lavoro è stata utilizzata una configurazione a 16 canali, step 2 m, offset 5 m, per una lunghezza totale dello stendimento pari a 30 m.

Nella restituzione dei risultati di ogni singola prova vengono allegati i seguenti grafici e tabelle:

- Curva di dispersione sperimentale e picking;
- Modello teorico della curva di dispersione calcolato dalle misure sperimentali;
- Grafico con modello 1-D delle  $V_s$  in sottosuolo;
- Tabella dei valori di velocità  $V_s$  ottenuti alle varie profondità e calcolo del parametro  $V_{s,eq}$  secondo il D.M. 17.01.2018.
- Tabelle riassuntive dei valori di  $V_{s,eq}$  e delle  $V_s$  relative ai primi tre intervalli di profondità (0-2 m, 2-5m, 5-8m).

In coda al documento è allegata la documentazione fotografica sintetica delle postazioni di prova.

## 2.2 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per la realizzazione delle prospezioni sismiche in oggetto è stato utilizzato un sismografo a memoria incrementale per sismica a rifrazione e riflessione della M.A.E. s.r.l., modello A6000-S a 24 canali con risoluzione del segnale a 24 bit per canale.

Nella tabella seguente sono riassunte le caratteristiche tecniche dell'attrezzatura utilizzata.

DATI TECNICI DELLA STRUMENTAZIONE IMPIEGATA		
MODELLO SISMOGRAFO <b>M.A.E. A-6000-S</b>	N. CANALI <b>24 (differenziali)</b>	
CONVERSIONE A/D <b>24 bit a singolo canale</b>	CAMPIONI PER CANALE <b>10.922</b>	
CAMPIONAMENTO <b>50-50.000 camp./sec.</b>	LARGHEZZA DI BANDA <b>0-25 KHz</b>	
BAND REJECT <b>110dB@50Hz</b>	AMPIEZZA MAX. IN INGRESSO <b>10Vpp,0dB</b>	
FORMATO DATI <b>SEG-2 standard</b>	SISTEMA OPERATIVO <b>Windows XP Embedded</b>	
IMPEDENZA D'INGRESSO <b>220 kOhm@0dB</b>	RUMORE <b>250nV/@2mS, 36dB</b>	

Per le operazioni di campo sono stati inoltre utilizzati i seguenti accessori

- N. 2 Cavi sismici multipolari in Purex da 60 metri, 12 take-out;
- N. 16 di 24 geofoni verticali, frequenza 4.5 Hz;
- Mazza battente strumentata con trigger e piastra di battuta in alufer;

### 2.2.1 Bibliografia

- Dorman, J., Ewing, M., 1962. Numerical inversion of seismic surface wave dispersion data and crust-mantle structure in the New York-Pennsylvania area. J.Geophys. Res. 67,5227-5241
- Louie, J., 2001. Faster, Better: Shear Wave Velocity to 100 meters Depth from Refraction Microtremor Arrays. Bulletin of the Seismological Society of America, 91, 2, 347-364 aprile
- Nakamura, Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on ground surface. QR Raylw.Tech. Res.Inst.,30, 25-33.
- Nazarian, S. e Stokoe, K. H., 1984. In situ shear wave velocities from spectral analysis of surface waves in Proceedings of the World Conference on Earthquake Engineering, vol.8, San Francisco, 21-28 luglio
- Park, C. B., R. D. Miller e Xia, J., 1999. Multi-channel analysis of surface waves, Geophys.64,800-808
- Rayleigh, W., 1885. On waves propagated along the plane surface of an elastic solid. London Mathematical Soc.Proc.,17:4-11
- Roma, V., 2006. Caratterizzazione sismica del sottosuolo con il metodo MASW.
- Romeo R.W., 2007. La risposta sismica locale per la progettazione strutturale. International Centre for Mechanical Sciences
- Dal Moro G., 2012. Onde di superficie nella Geofisica Applicata. Dario Flaccovio ed.

### 2.3 RISULTATI DELLE PROSPEZIONI

DENOMINAZIONE:  
 Profilo MW1

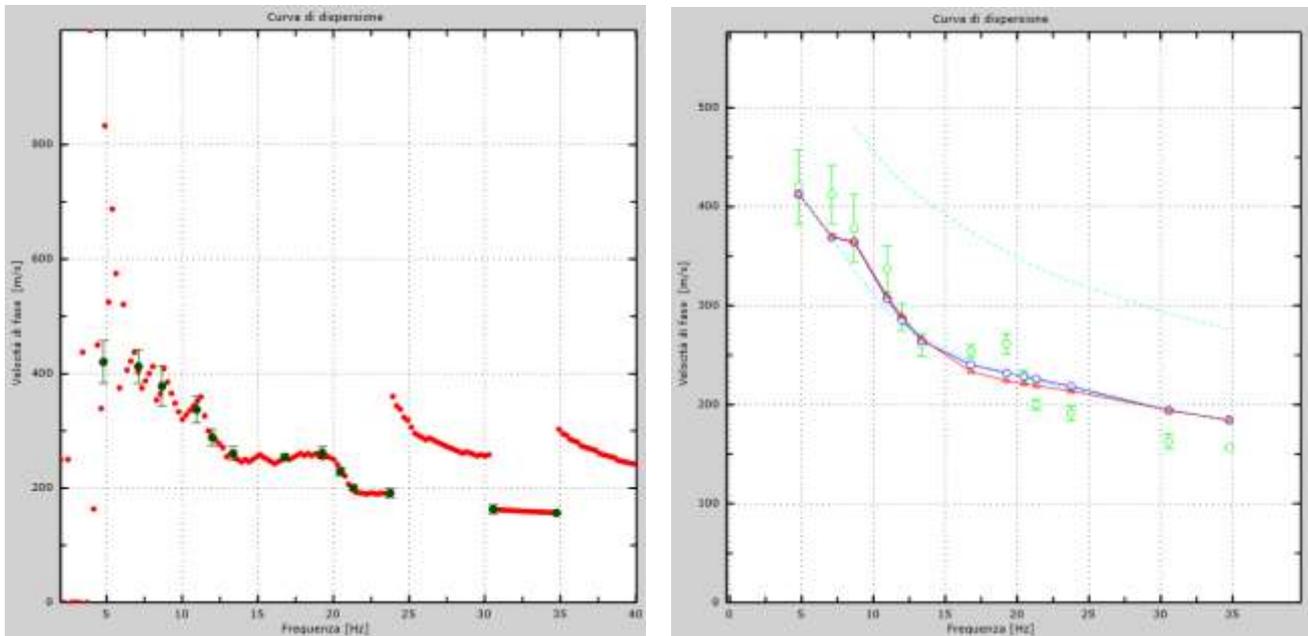
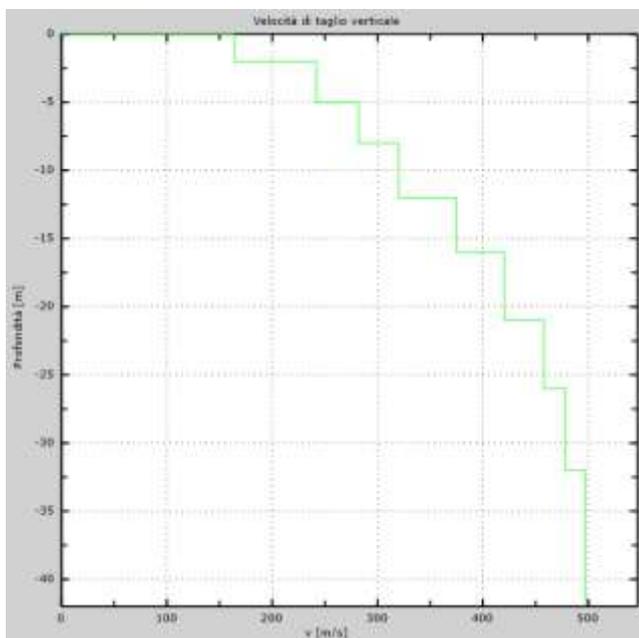


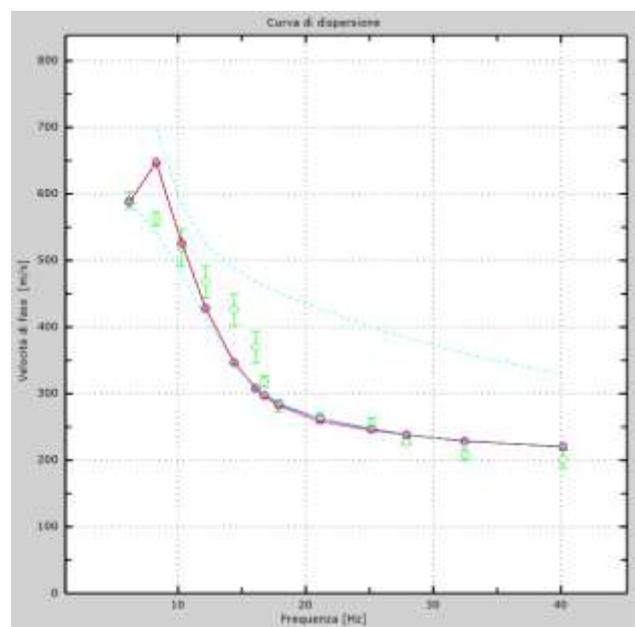
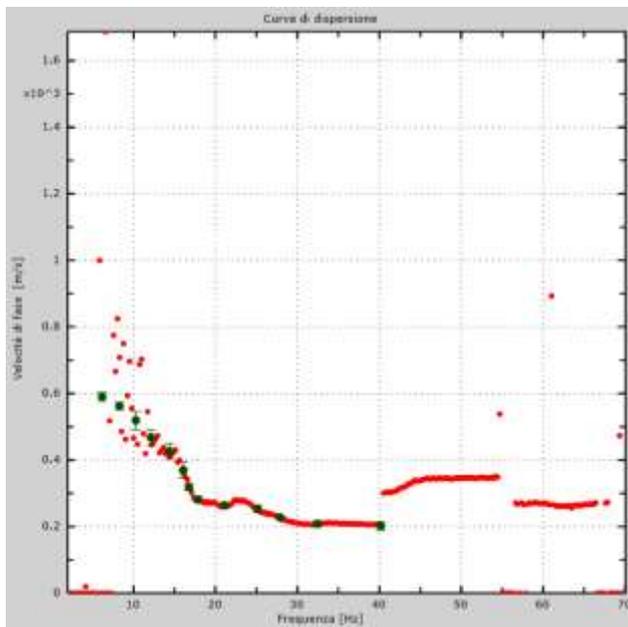
Figura 1 – Curva di dispersione sperimentale (sn.); modello teorico (dx.)



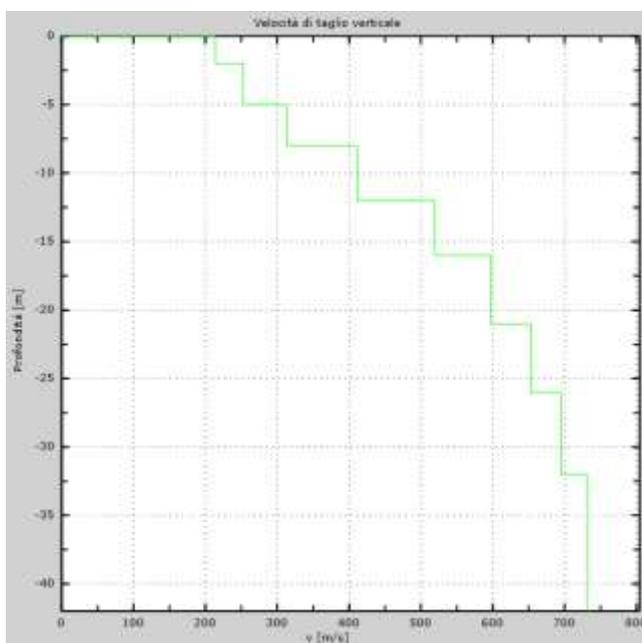
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	135	0,007
2	2.0-5.0	3,0	278	0,007
3	5.0-8.0	3,0	439	0,007
4	8.0-12.0	4,0	518	0,008
5	12.0-16.0	4,0	569	0,007
6	16.0-21.0	5,0	648	0,008
7	21.0-26.0	5,0	684	0,007
8	26.0-30.0	4,0	702	0,009
Σ	□	30,0	Σ	0,060
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>Vs,eq = 334,87</b>	

Figura 2 – Profilo Vs (sn.); tabella di calcolo Vs,eq (dx)

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW2**



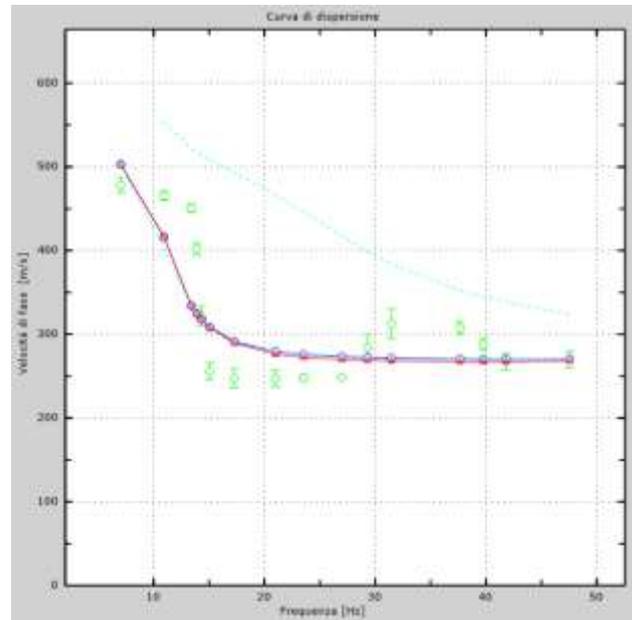
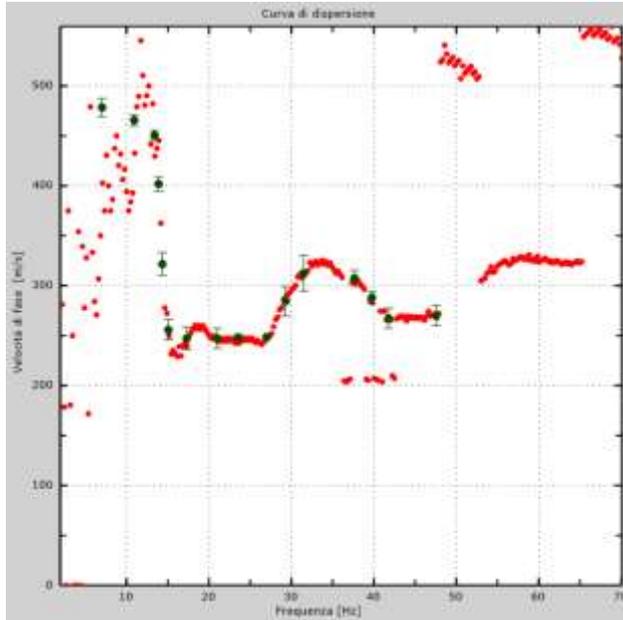
**Figura 3 – Curva di dispersione sperimentale (sn.); modello teorico (dx.)**



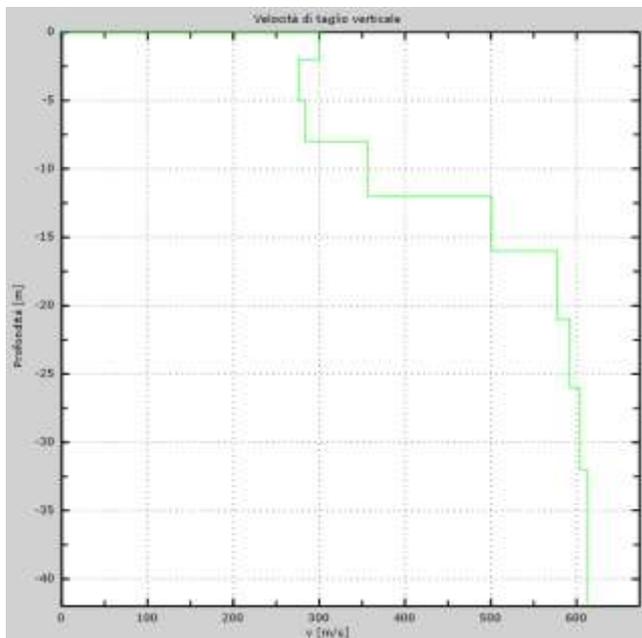
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	214	0,009
2	2.0-5.0	3,0	253	0,012
3	5.0-8.0	3,0	313	0,010
4	8.0-12.0	4,0	411	0,010
5	12.0-16.0	4,0	519	0,008
6	16.0-21.0	5,0	597	0,008
7	21.0-26.0	5,0	653	0,008
8	26.0-30.0	4,0	695	0,006
Σ	□	30,0	Σ	0,070
<b>Categoria sottosuolo: B</b>			<b>Vs,eq = 428,48</b>	

**Figura 4 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW3**



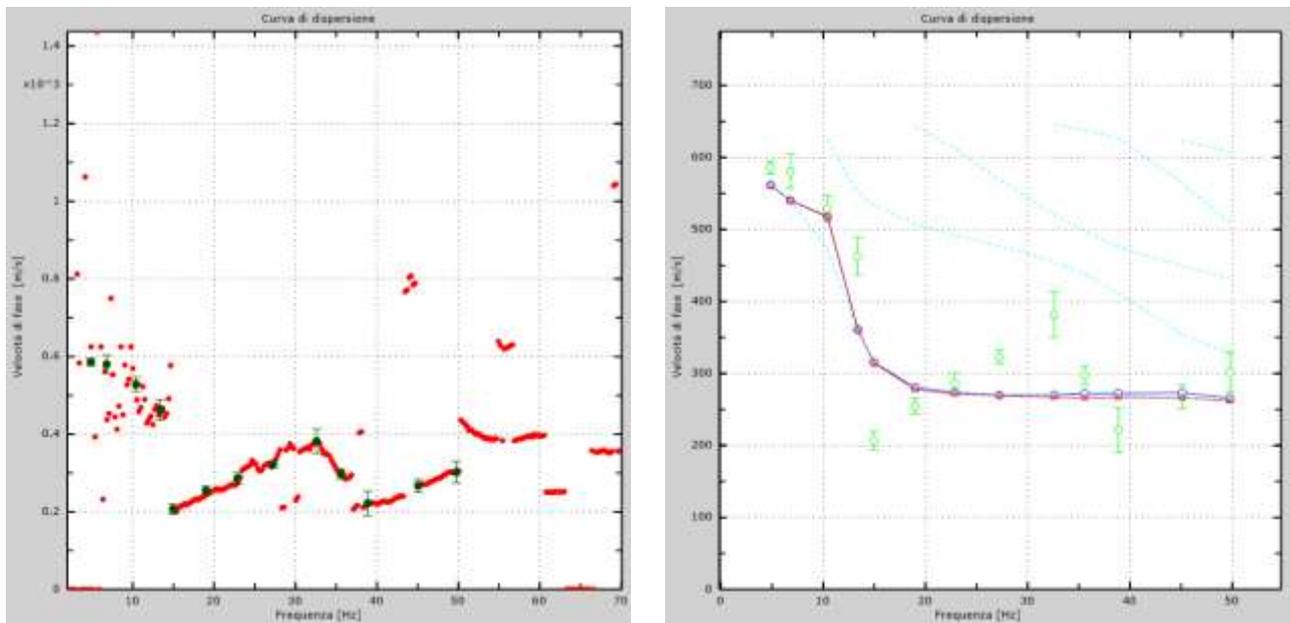
**Figura 5 – Curva di dispersione sperimentale (sn.); modello teorico (dx.)**



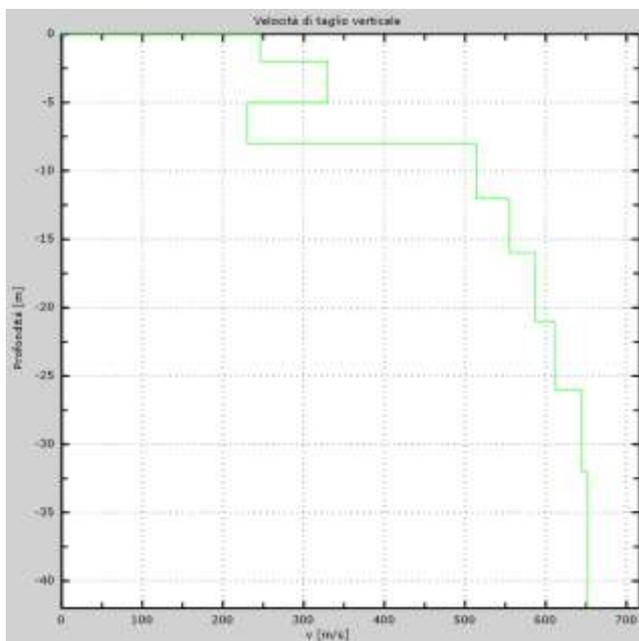
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	300	0,007
2	2.0-5.0	3,0	276	0,011
3	5.0-8.0	3,0	284	0,011
4	8.0-12.0	4,0	357	0,011
5	12.0-16.0	4,0	501	0,008
6	16.0-21.0	5,0	577	0,009
7	21.0-26.0	5,0	592	0,008
8	26.0-30.0	4,0	604	0,007
Σ	□	30,0	Σ	0,071
<b>Categoria sottosuolo: B</b>			<b>Vs,eq = 422,40</b>	

**Figura 6 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW4**



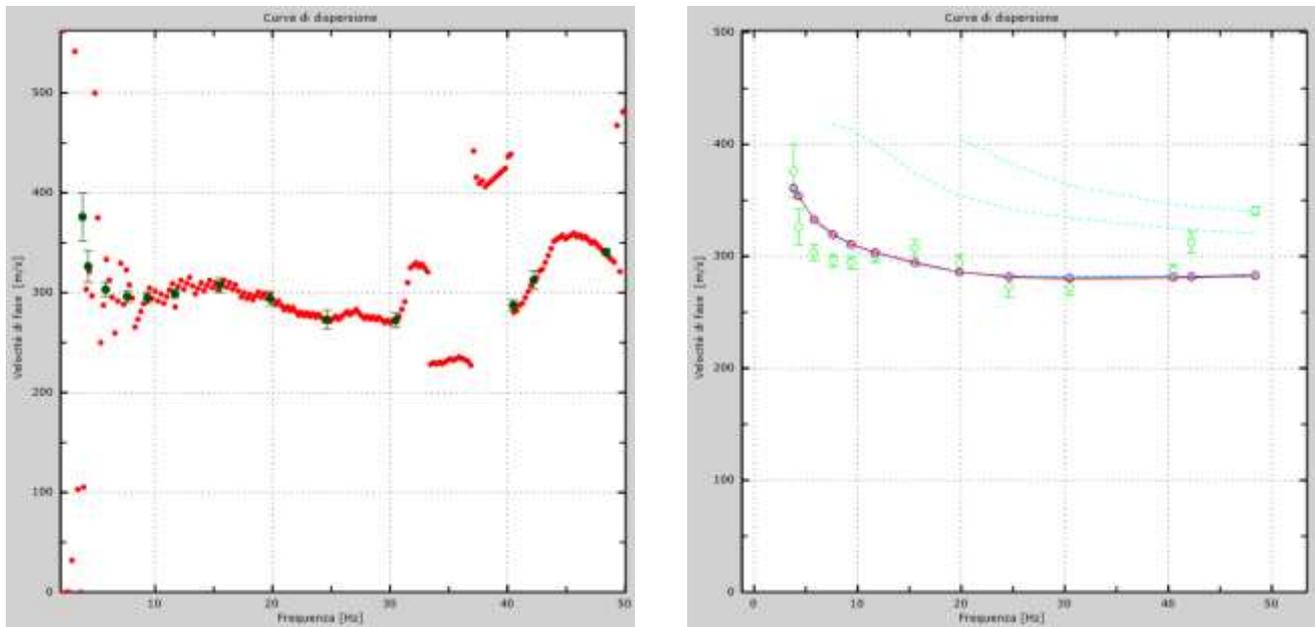
**Figura 7 – Curva di dispersione sperimentale (sn.); modello teorico (dx.)**



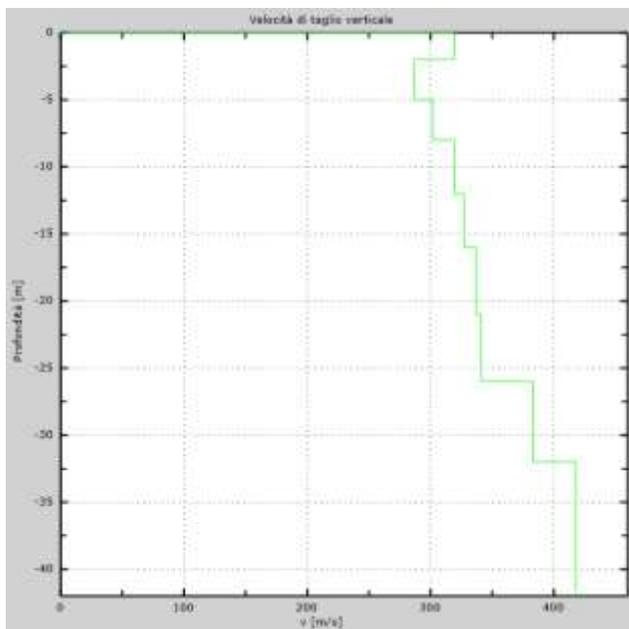
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	246	0,008
2	2.0-5.0	3,0	330	0,009
3	5.0-8.0	3,0	230	0,013
4	8.0-12.0	4,0	514	0,008
5	12.0-16.0	4,0	555	0,007
6	16.0-21.0	5,0	587	0,009
7	21.0-26.0	5,0	611	0,008
8	26.0-30.0	4,0	645	0,006
Σ	□	30,0	Σ	0,068
<b>Categoria sottosuolo: B</b>			<b>Vs,eq = 440,16</b>	

**Figura 8 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW5**



**Figura 9 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)**



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	319	0,006
2	2.0-5.0	3,0	287	0,010
3	5.0-8.0	3,0	302	0,010
4	8.0-12.0	4,0	319	0,013
5	12.0-16.0	4,0	327	0,012
6	16.0-21.0	5,0	337	0,015
7	21.0-26.0	5,0	341	0,015
8	26.0-30.0	4,0	383	0,010
Σ	□	30,0	Σ	0,091
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>Vs,eq = 328,33</b>	

**Figura 10 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW6**

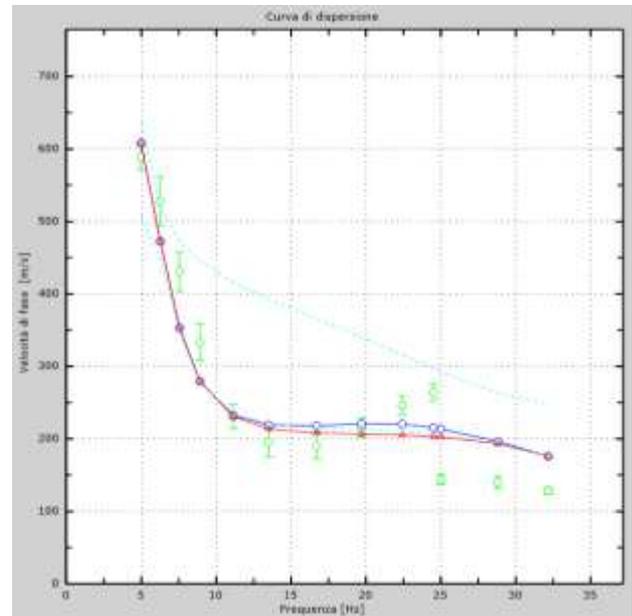
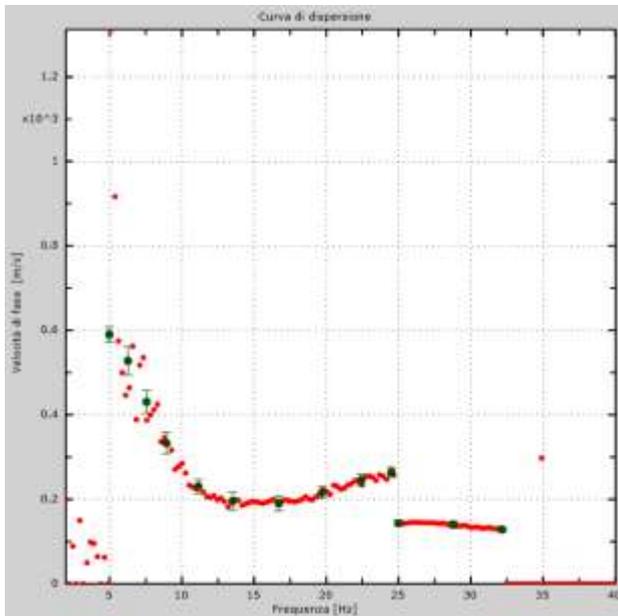
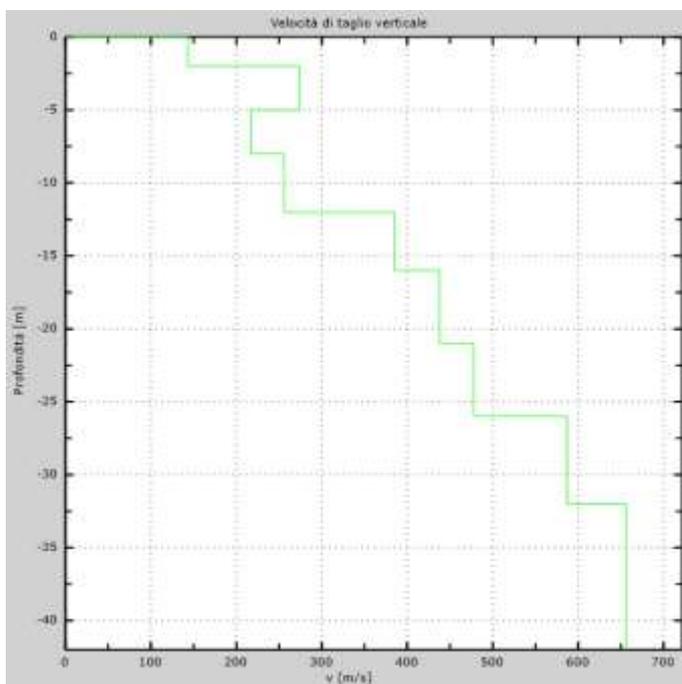


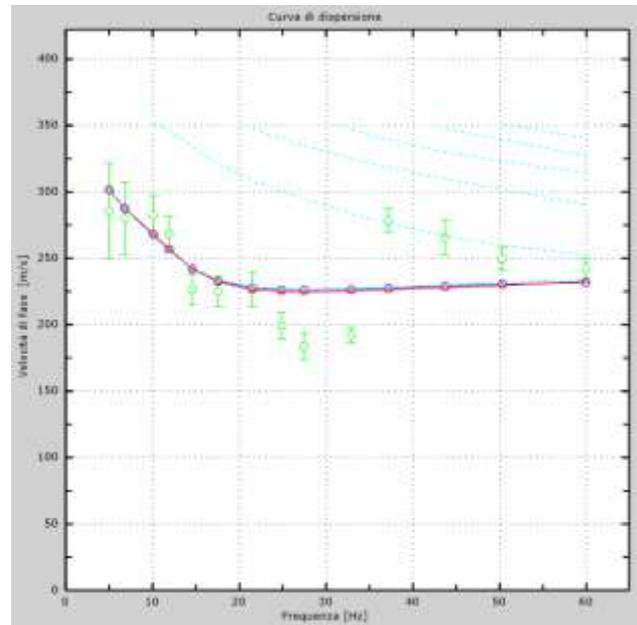
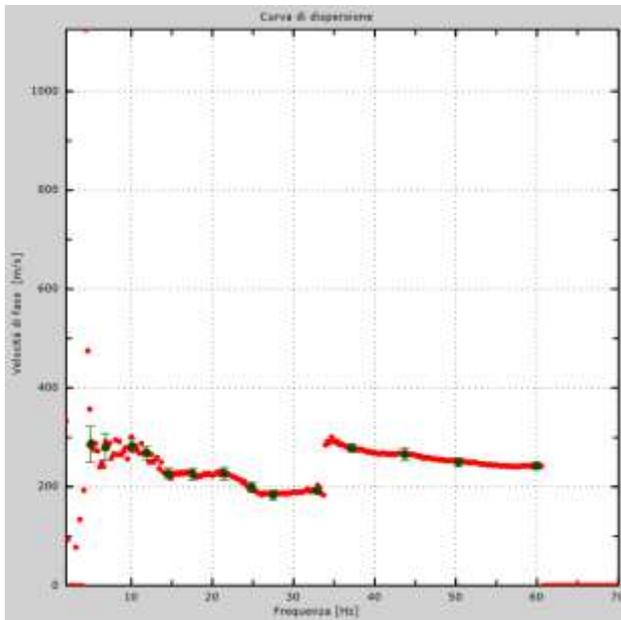
Figura 11 – Curva di dispersione sperimentale (sn.); modello teorico (dx.)



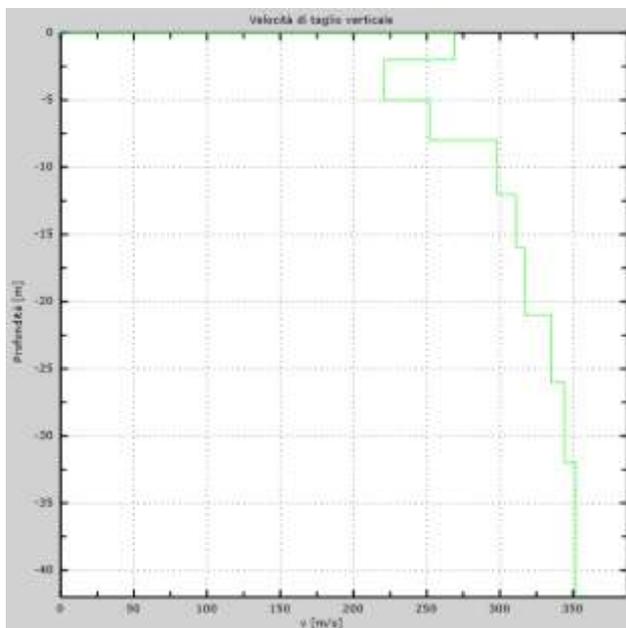
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	143	0,014
2	2.0-5.0	3,0	274	0,011
3	5.0-8.0	3,0	217	0,014
4	8.0-12.0	4,0	256	0,016
5	12.0-16.0	4,0	385	0,010
6	16.0-21.0	5,0	438	0,011
7	21.0-26.0	5,0	478	0,010
8	26.0-30.0	4,0	587	0,007
Σ	□	30,0	Σ	0,093
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>Vs,eq = 320,98</b>	

Figura 12 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs<sub>eq</sub> (dx)

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW7**



**Figura 13 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)**



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	269	0,007
2	2.0-5.0	3,0	221	0,014
3	5.0-8.0	3,0	252	0,012
4	8.0-12.0	4,0	298	0,013
5	12.0-16.0	4,0	311	0,013
6	16.0-21.0	5,0	317	0,016
7	21.0-26.0	5,0	335	0,015
8	26.0-30.0	4,0	344	0,012
Σ	□	30,0	Σ	0,102
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>V<sub>s,eq</sub> = 295,49</b>	

**Figura 14 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs<sub>eq</sub> (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW8**

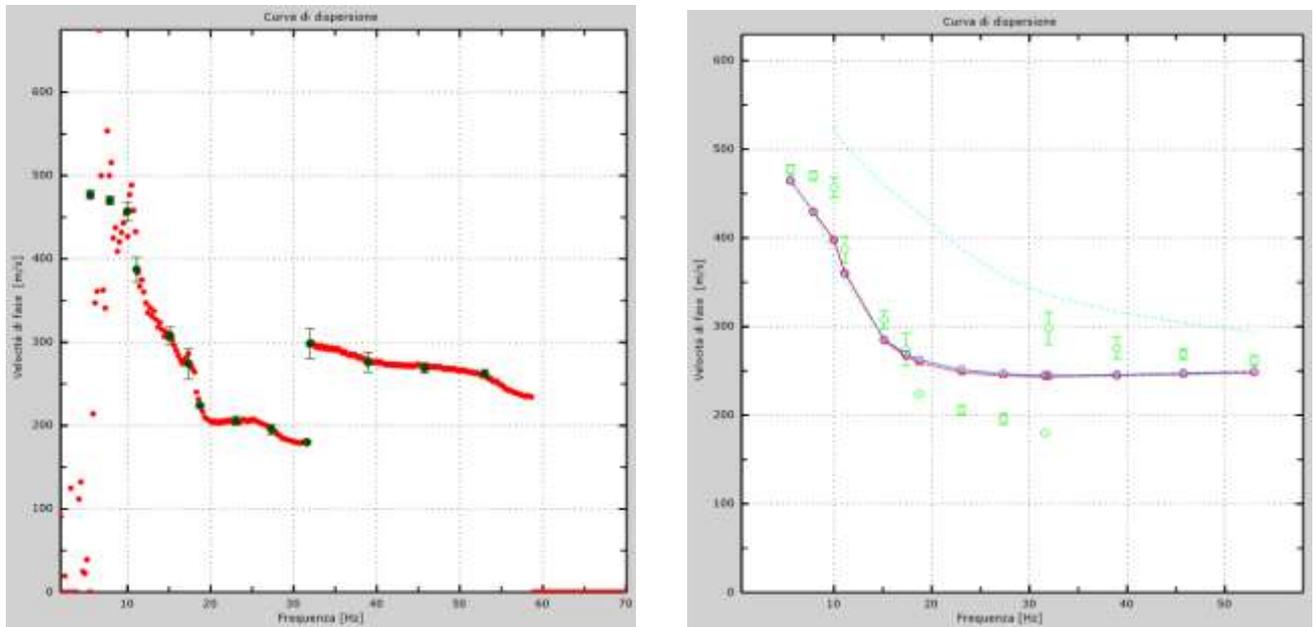
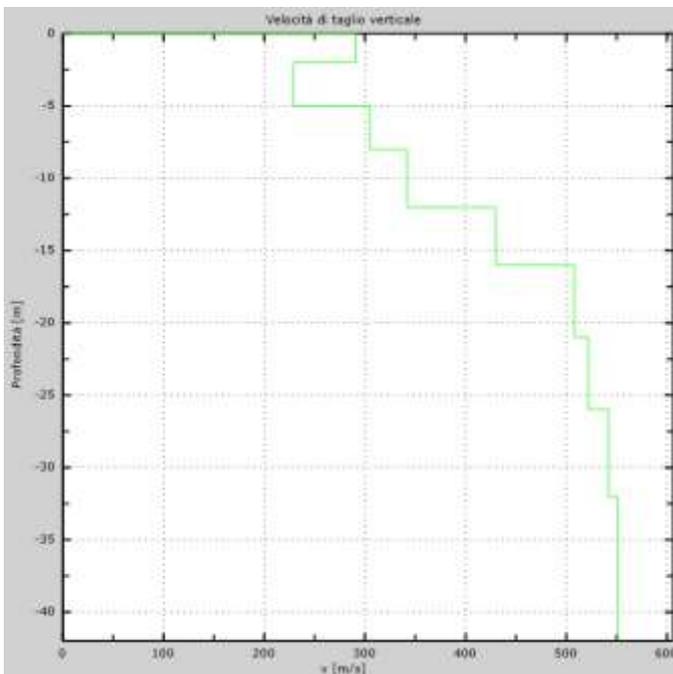


Figura 15 – Curva di dispersione sperimentale (sn.); modello teorico (dx.)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	291	0,007
2	2.0-5.0	3,0	229	0,013
3	5.0-8.0	3,0	305	0,010
4	8.0-12.0	4,0	342	0,012
5	12.0-16.0	4,0	430	0,009
6	16.0-21.0	5,0	508	0,010
7	21.0-26.0	5,0	522	0,010
8	26.0-30.0	4,0	542	0,007
Σ	□	30,0	Σ	0,078
<b>Categoria sottosuolo: B</b>			<b>V<sub>s,eq</sub> = 386,55</b>	

Figura 16 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW9**

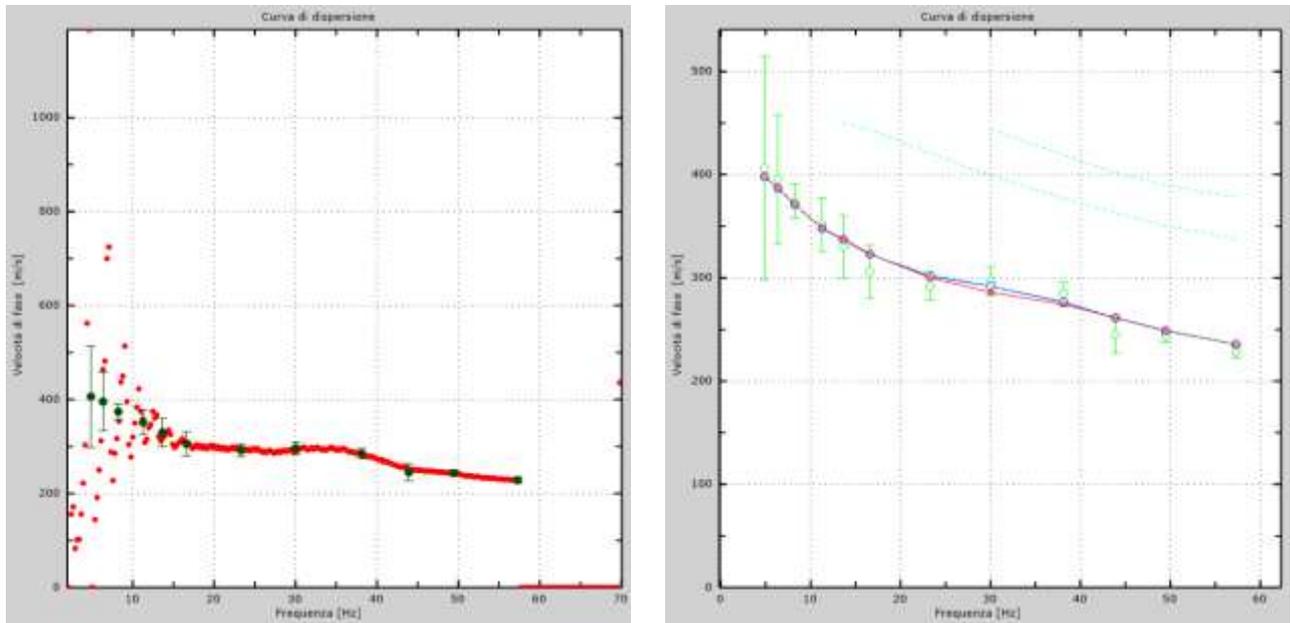
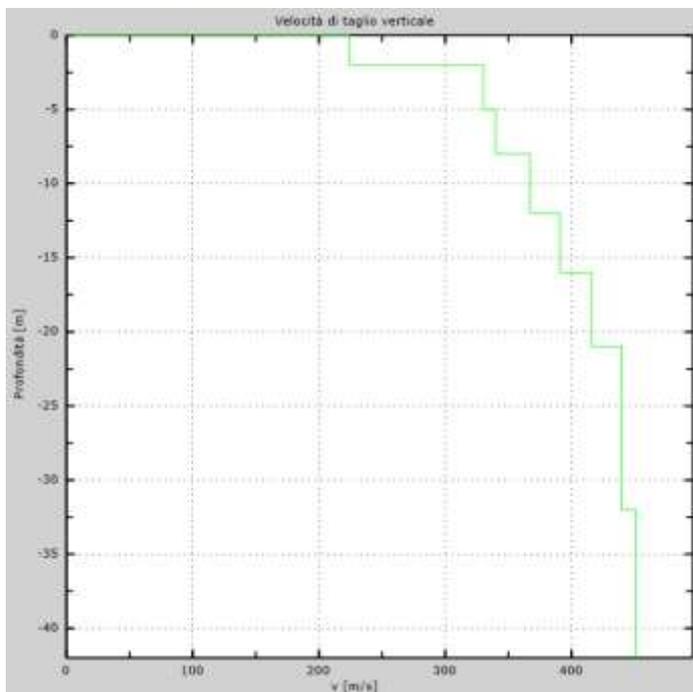


Figura 17 – Curva di dispersione sperimentale (sn.); modello teorico (dx.)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	224	0,009
2	2.0-5.0	3,0	330	0,009
3	5.0-8.0	3,0	340	0,009
4	8.0-12.0	4,0	367	0,011
5	12.0-16.0	4,0	391	0,010
6	16.0-21.0	5,0	416	0,012
7	21.0-26.0	5,0	440	0,011
8	26.0-30.0	4,0	440	0,009
Σ	□	30,0	Σ	0,080
<b>Categoria sottosuolo: B</b>			<b>V<sub>S,eq</sub> = 372,92</b>	

Figura 18 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW10**

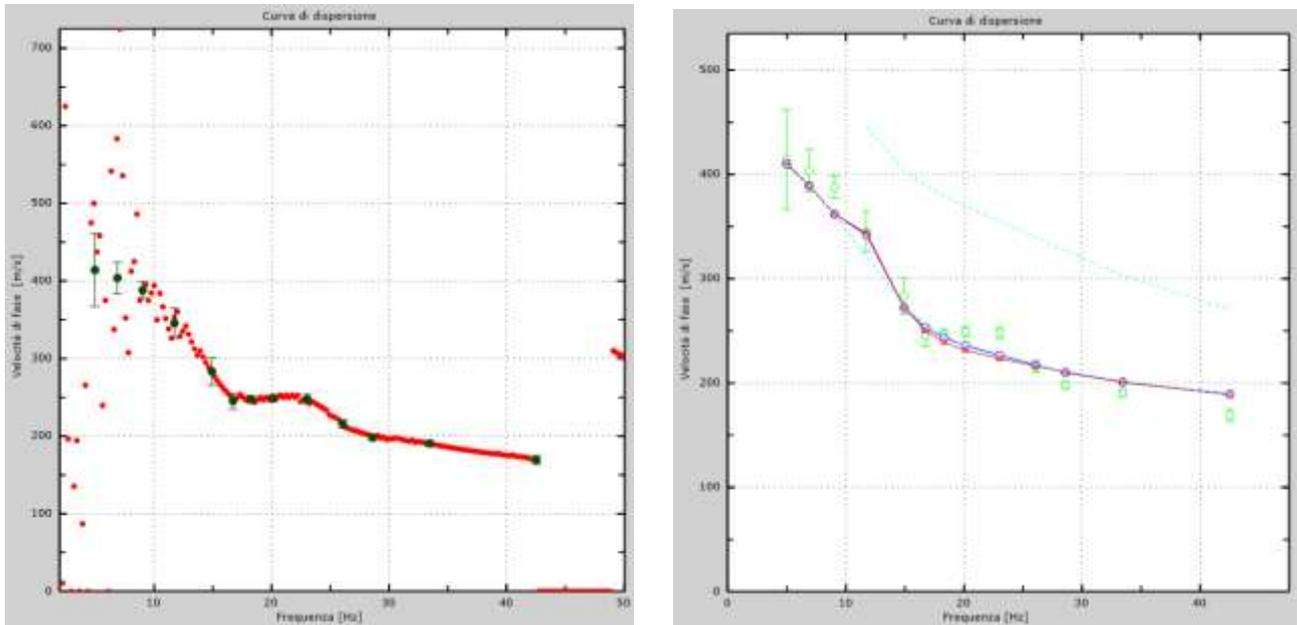
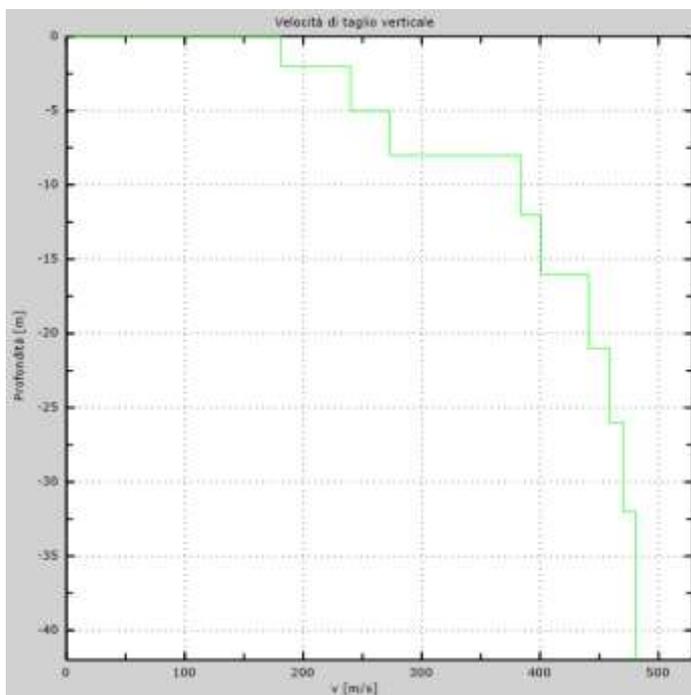


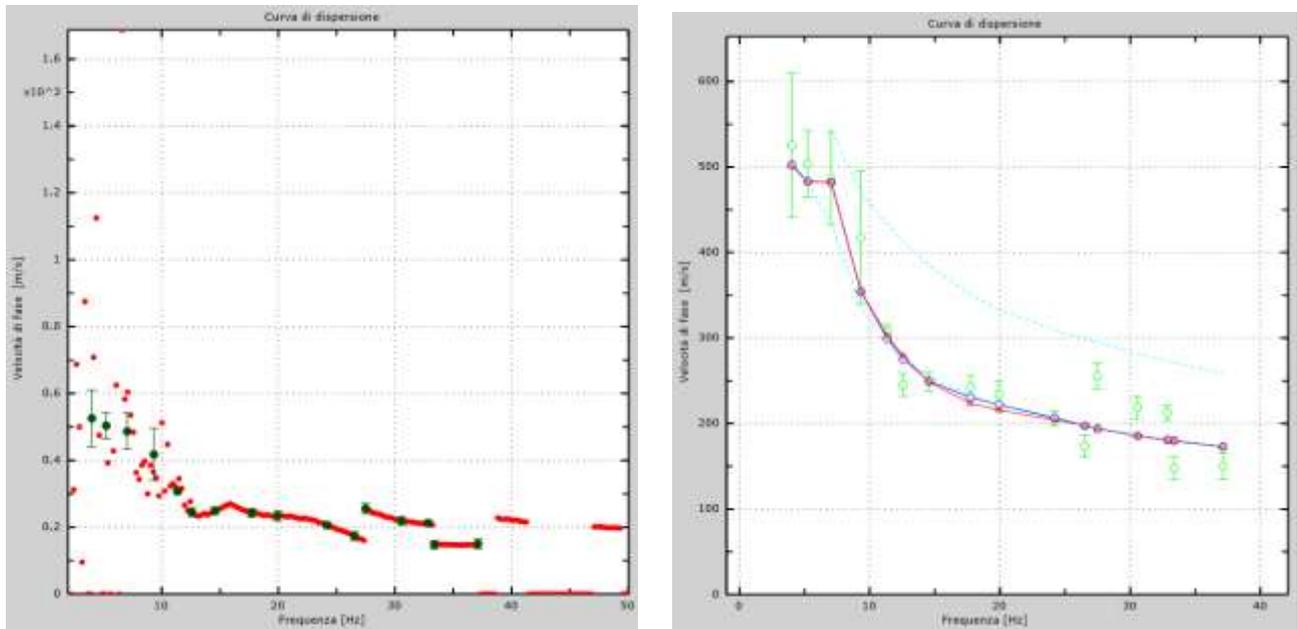
Figura 19 – Curva di dispersione sperimentale (sn.); modello teorico (dx.)



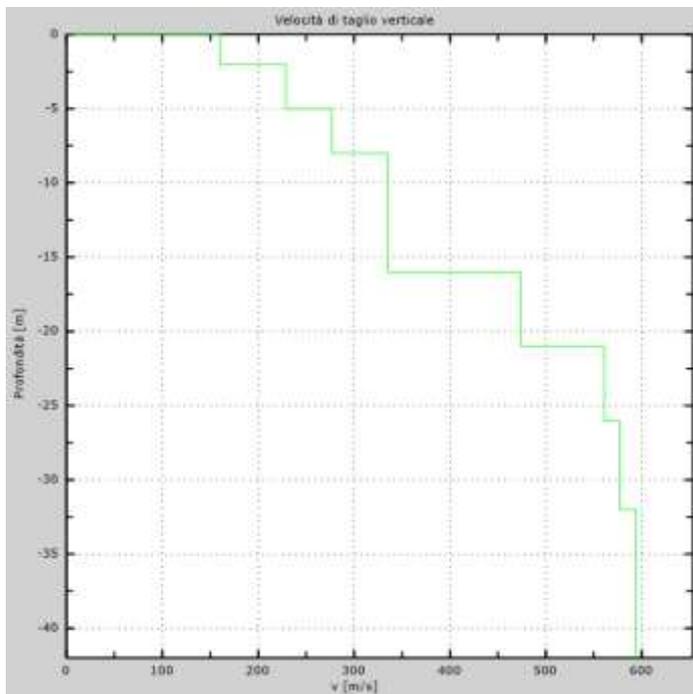
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	181	0,011
2	2.0-5.0	3,0	240	0,013
3	5.0-8.0	3,0	273	0,011
4	8.0-12.0	4,0	384	0,010
5	12.0-16.0	4,0	401	0,010
6	16.0-21.0	5,0	441	0,011
7	21.0-26.0	5,0	459	0,011
8	26.0-30.0	4,0	470	0,009
Σ	□	30,0	Σ	0,086
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>V<sub>S,eq</sub> =</b>	<b>350,17</b>

Figura 20 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs<sub>eq</sub> (dx)

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW11**



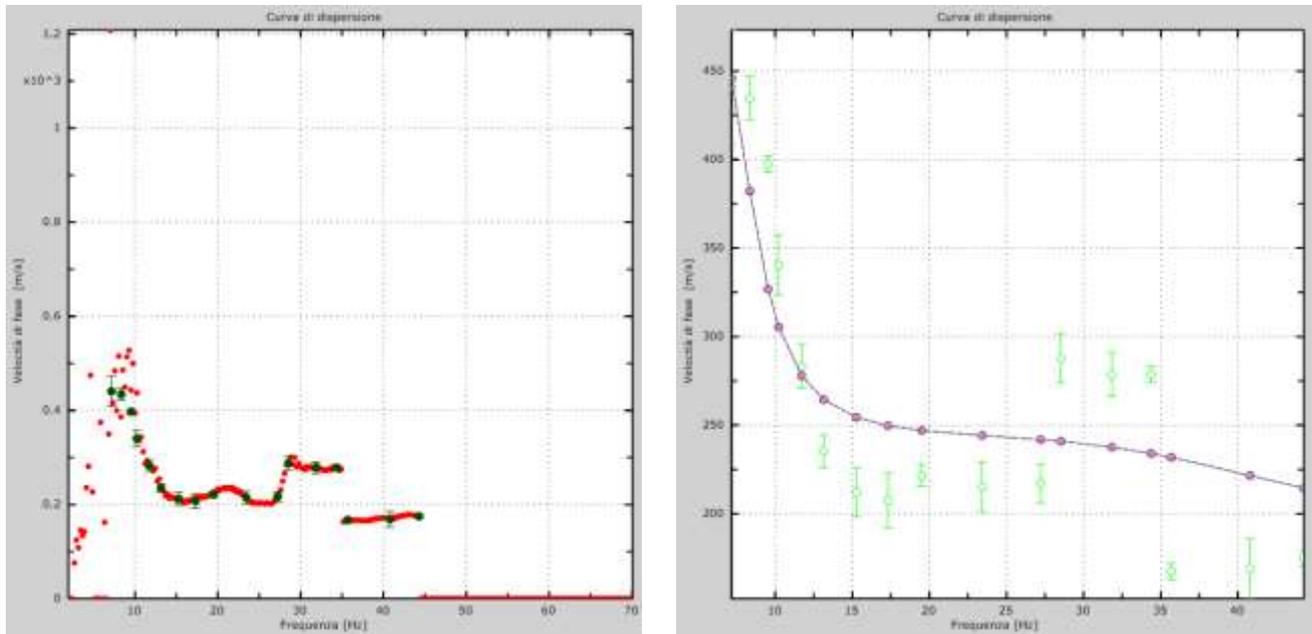
**Figura 21 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)**



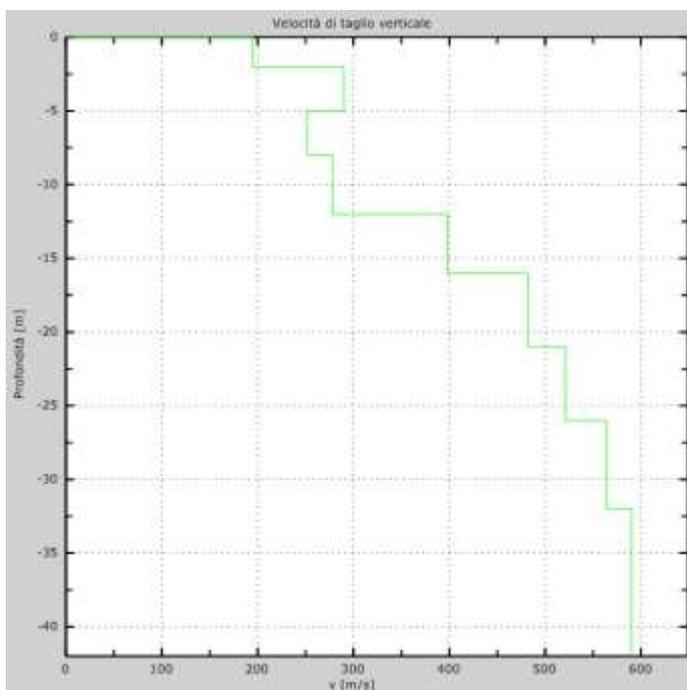
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	160	0,013
2	2.0-5.0	3,0	229	0,013
3	5.0-8.0	3,0	277	0,011
4	8.0-12.0	4,0	335	0,012
5	12.0-16.0	4,0	335	0,012
6	16.0-21.0	5,0	474	0,011
7	21.0-26.0	5,0	561	0,009
8	26.0-30.0	4,0	577	0,007
Σ	□	30,0	Σ	0,087
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>Vs,eq = 346,00</b>	

**Figura 22 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW12**



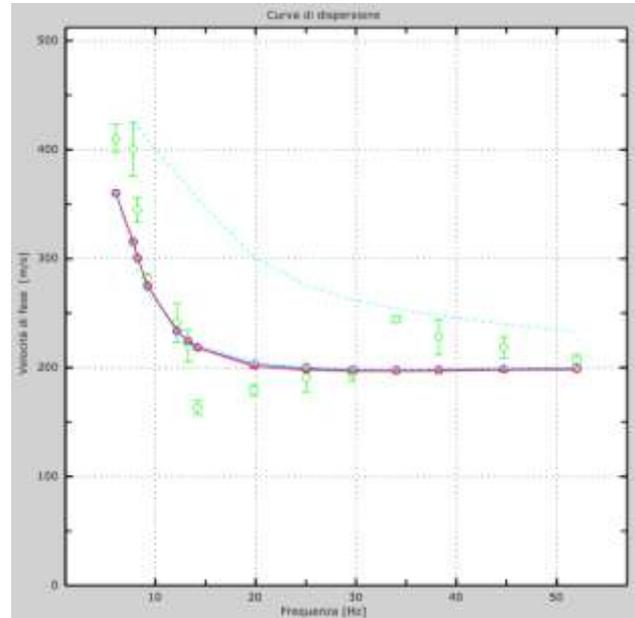
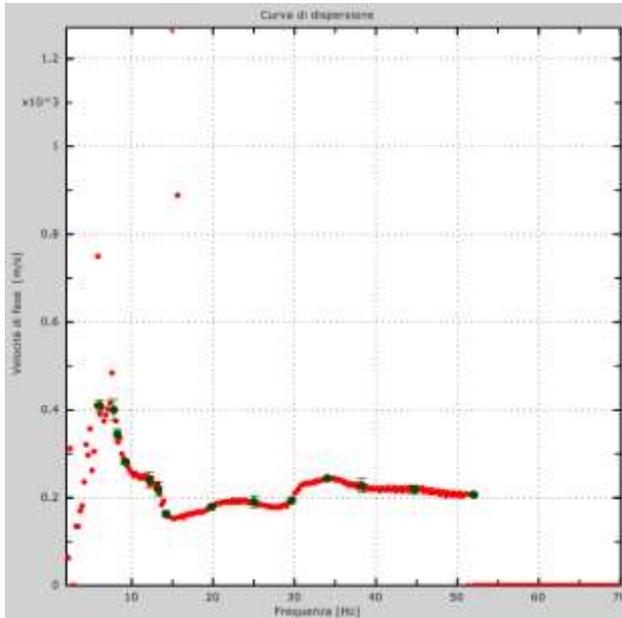
**Figura 23 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)**



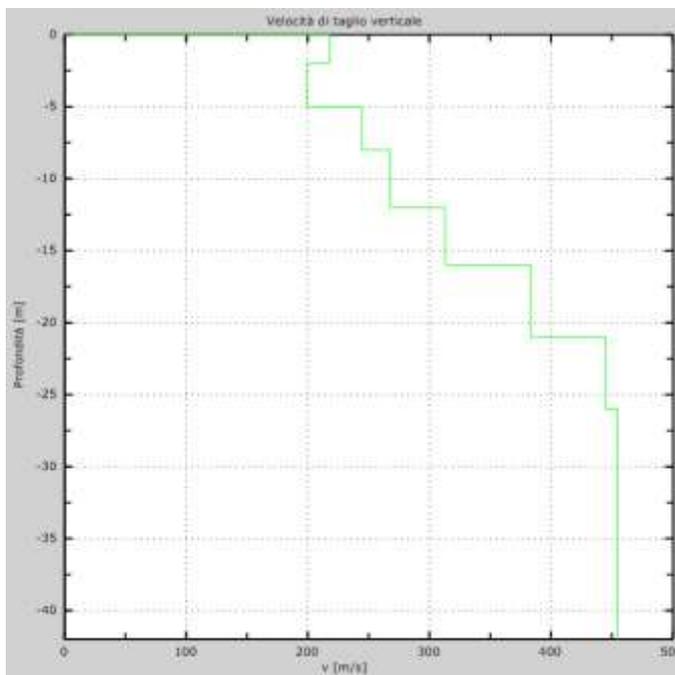
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	195	0,010
2	2.0-5.0	3,0	290	0,010
3	5.0-8.0	3,0	252	0,012
4	8.0-12.0	4,0	278	0,014
5	12.0-16.0	4,0	398	0,010
6	16.0-21.0	5,0	482	0,010
7	21.0-26.0	5,0	521	0,010
8	26.0-30.0	4,0	564	0,007
Σ	□	30,0	Σ	0,084
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>V<sub>S,eq</sub> = 357,11</b>	

**Figura 24 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW13**



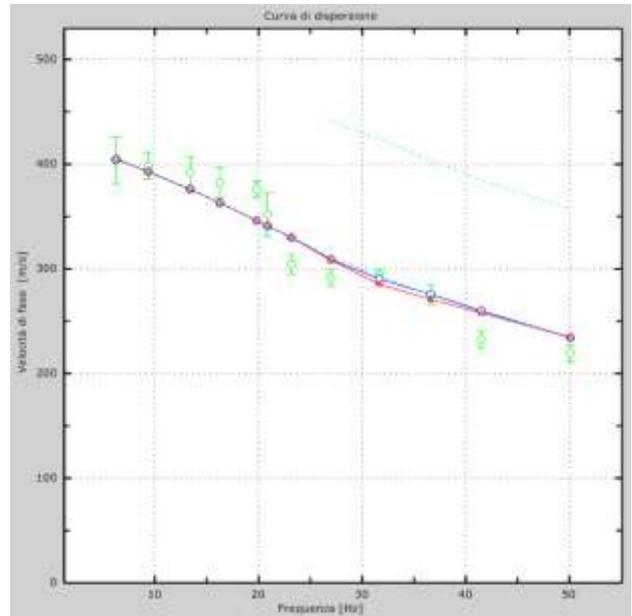
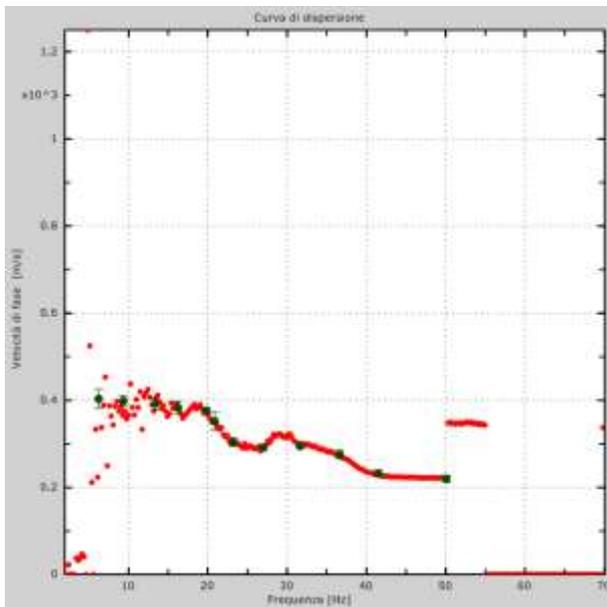
**Figura 25 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)**



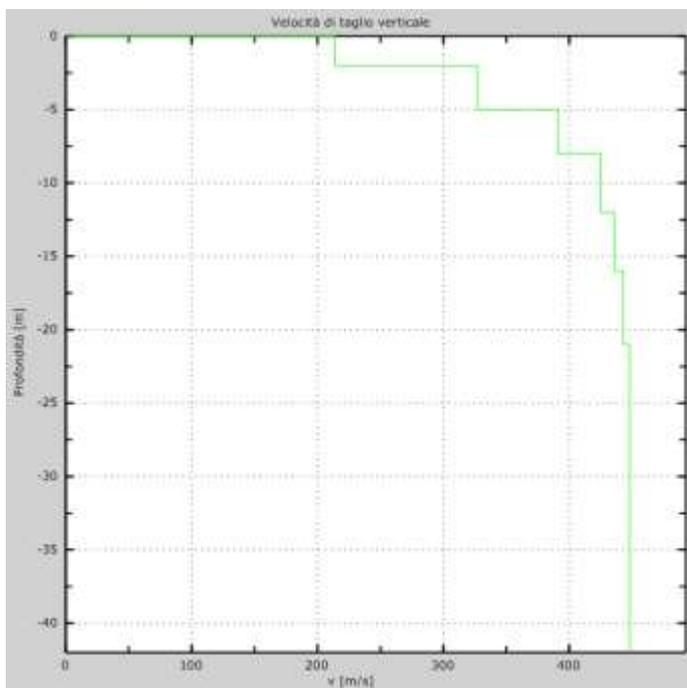
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	218	0,009
2	2.0-5.0	3,0	199	0,015
3	5.0-8.0	3,0	244	0,012
4	8.0-12.0	4,0	268	0,015
5	12.0-16.0	4,0	313	0,013
6	16.0-21.0	5,0	383	0,013
7	21.0-26.0	5,0	445	0,011
8	26.0-30.0	4,0	455	0,009
$\Sigma$	$\square$	30,0	$\Sigma$	0,097
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b><math>V_{s,eq} = 308,22</math></b>	

**Figura 26 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs<sub>eq</sub> (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW14**



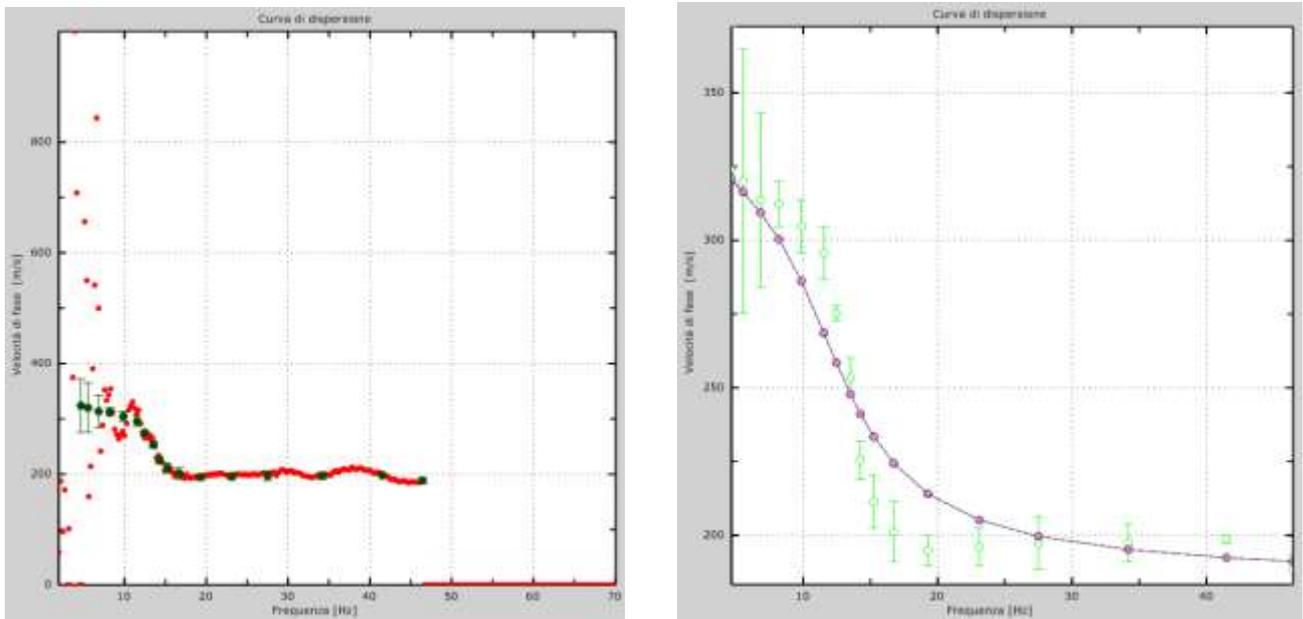
**Figura 27 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)**



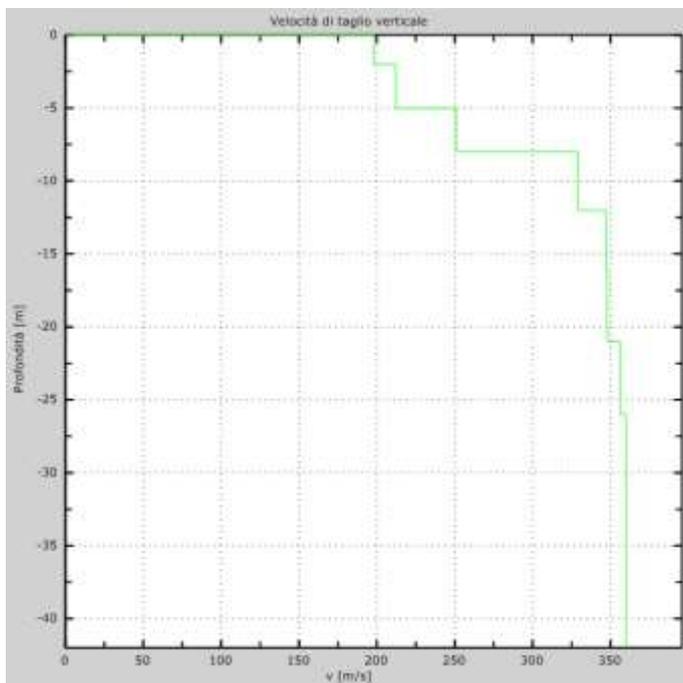
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	214	0,009
2	2.0-5.0	3,0	327	0,009
3	5.0-8.0	3,0	391	0,008
4	8.0-12.0	4,0	425	0,009
5	12.0-16.0	4,0	436	0,009
6	16.0-21.0	5,0	443	0,011
7	21.0-26.0	5,0	448	0,011
8	26.0-30.0	4,0	448	0,009
Σ	□	30,0	Σ	0,076
<b>Categoria sottosuolo: B</b>			<b>Vs,eq = 393,93</b>	

**Figura 28 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW15**



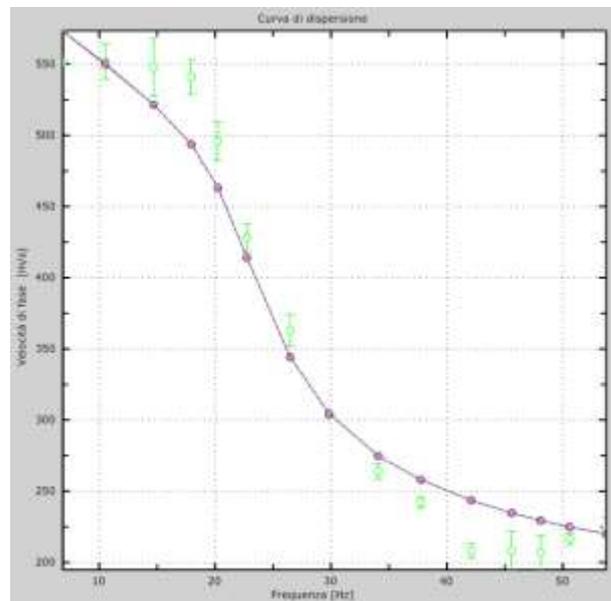
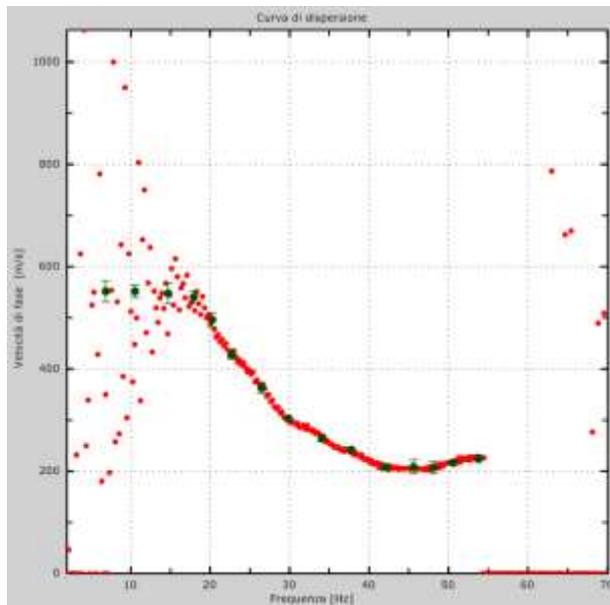
**Figura 29 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)**



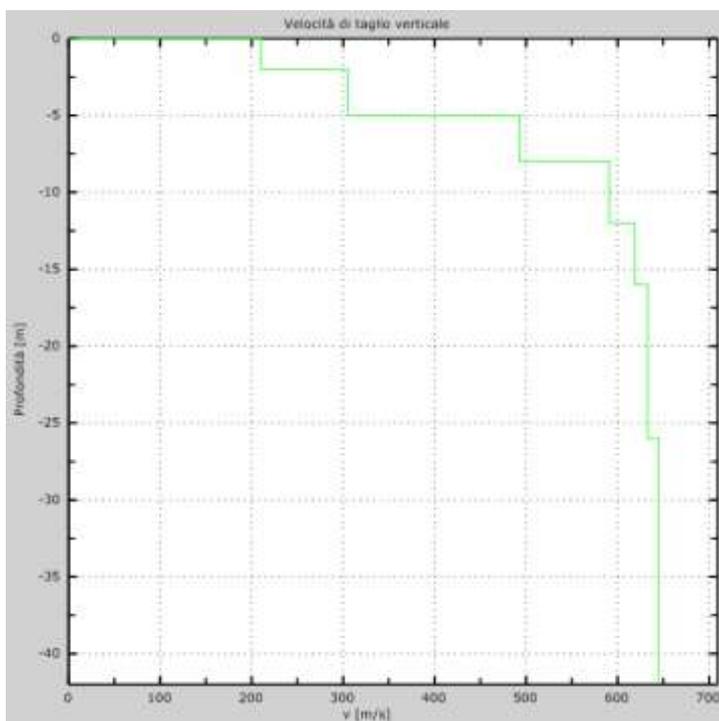
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	198	0,010
2	2.0-5.0	3,0	212	0,014
3	5.0-8.0	3,0	251	0,012
4	8.0-12.0	4,0	329	0,012
5	12.0-16.0	4,0	347	0,012
6	16.0-21.0	5,0	348	0,014
7	21.0-26.0	5,0	356	0,014
8	26.0-30.0	4,0	360	0,011
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>Vs,eq = 301,77</b>	

**Figura 30 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW16**



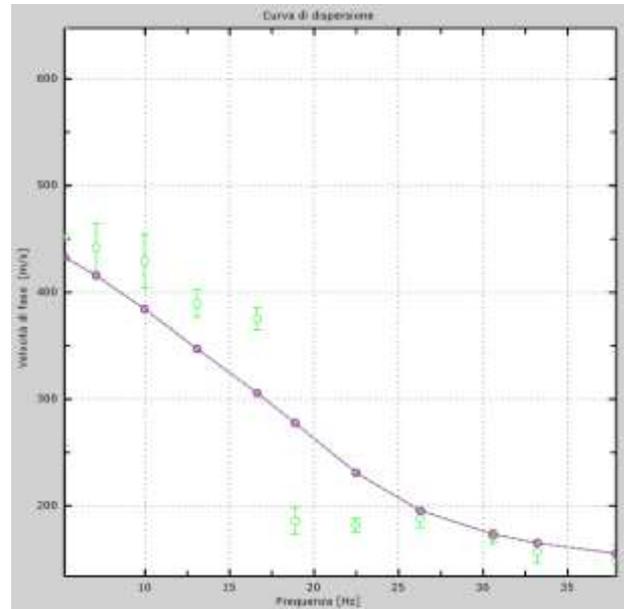
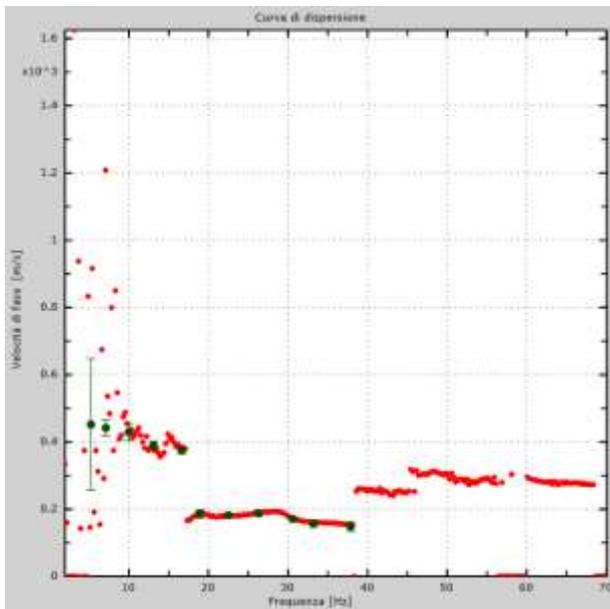
**Figura 31 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)**



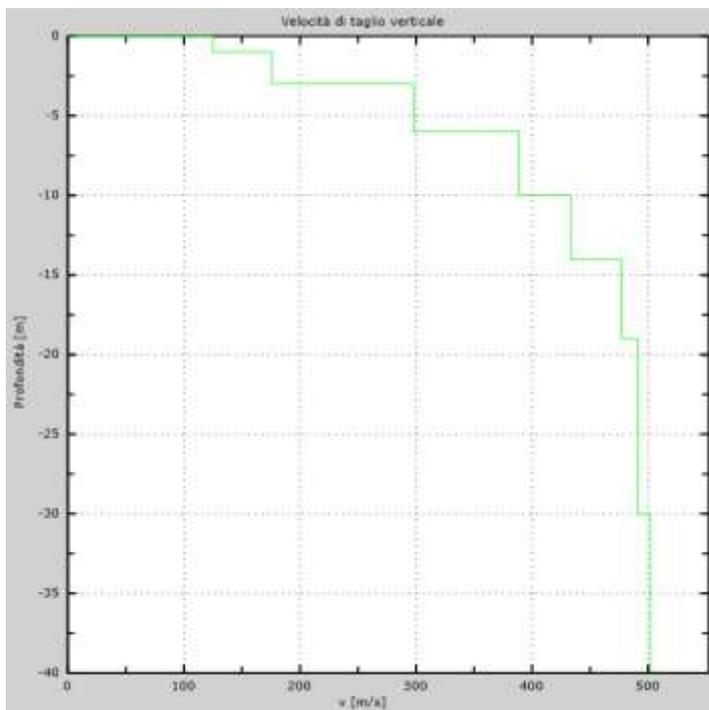
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	V <sub>s</sub> (m/s)	H/V <sub>s</sub>
1	0.0-2.0	2,0	210	0,010
2	2.0-5.0	3,0	305	0,010
3	5.0-8.0	3,0	493	0,006
4	8.0-12.0	4,0	591	0,007
5	12.0-16.0	4,0	619	0,006
6	16.0-21.0	5,0	633	0,008
7	21.0-26.0	5,0	633	0,008
8	26.0-30.0	4,0	645	0,006
Σ	□	30,0	Σ	0,061
<b>Categoria sottosuolo: B</b>			<b>V<sub>s,eq</sub> = 494,44</b>	

**Figura 32 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs<sub>eq</sub> (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW17**



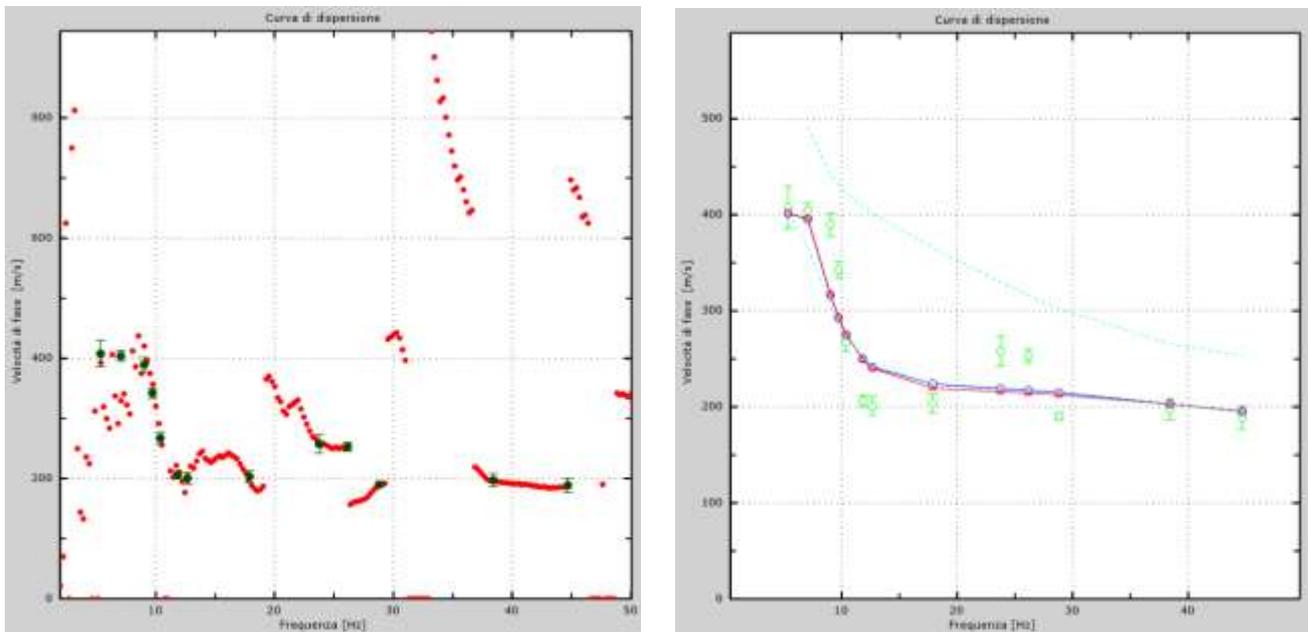
**Figura 33 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)**



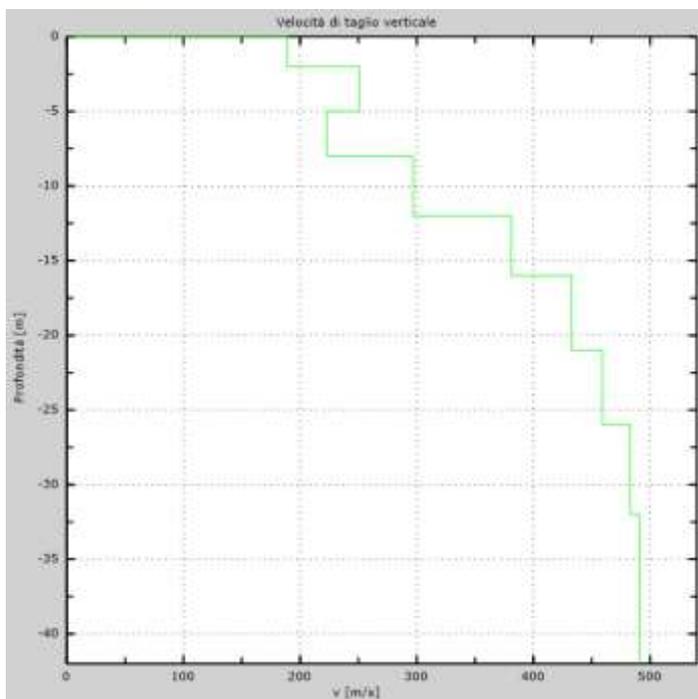
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	125	0,016
2	2.0-5.0	3,0	176	0,017
3	5.0-8.0	3,0	298	0,010
4	8.0-12.0	4,0	389	0,010
5	12.0-16.0	4,0	433	0,009
6	16.0-21.0	5,0	477	0,010
7	21.0-26.0	5,0	491	0,010
8	26.0-30.0	4,0	491	0,008
Σ	□	30,0	Σ	0,091
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>Vs,eq = 328,06</b>	

**Figura 34 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW18**



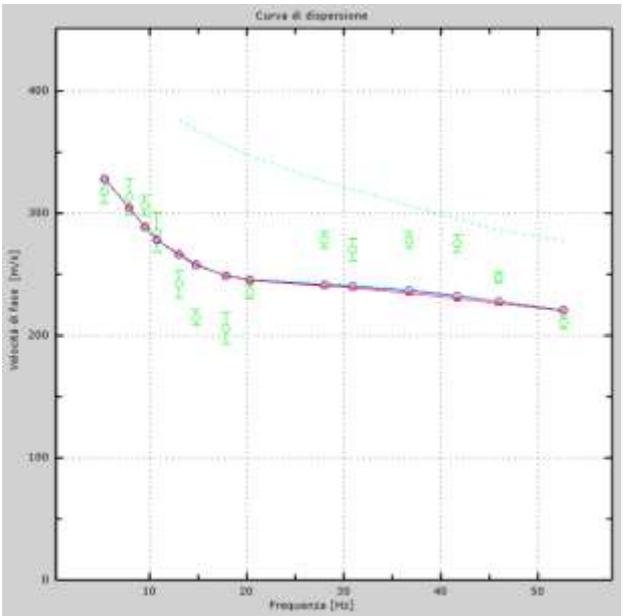
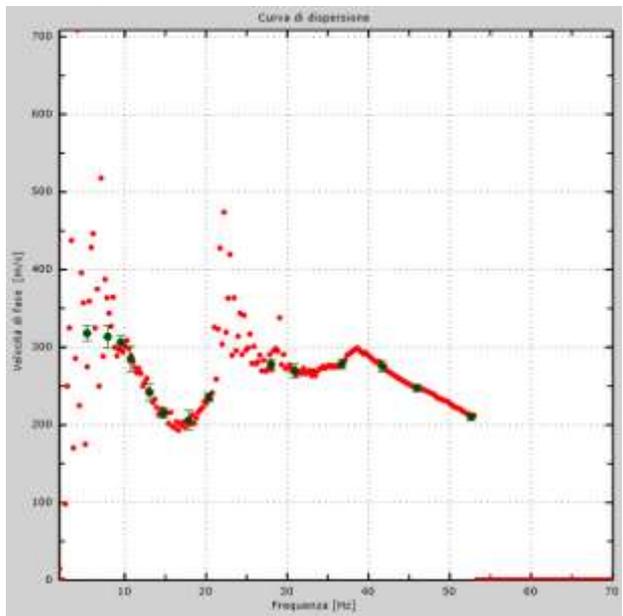
**Figura 35 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)**



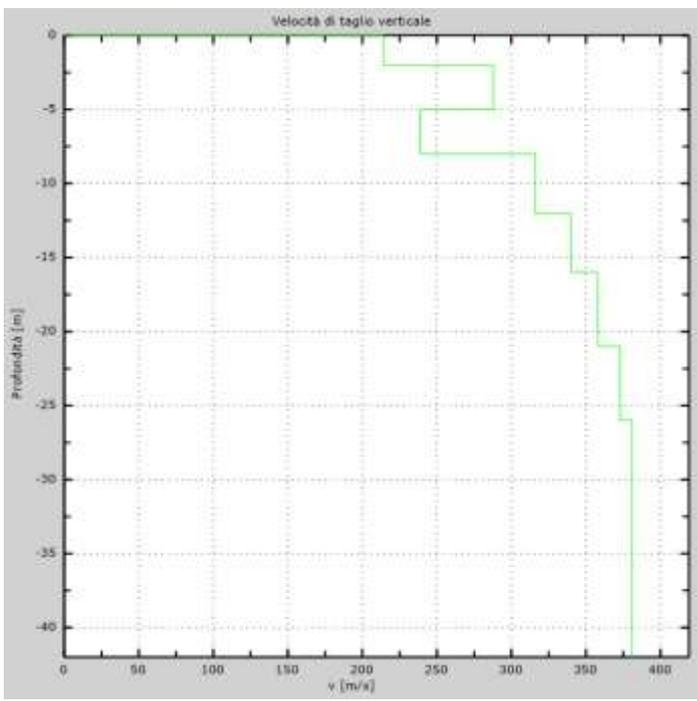
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	189	0,011
2	2.0-5.0	3,0	251	0,012
3	5.0-8.0	3,0	223	0,013
4	8.0-12.0	4,0	297	0,013
5	12.0-16.0	4,0	381	0,010
6	16.0-21.0	5,0	433	0,012
7	21.0-26.0	5,0	459	0,011
8	26.0-30.0	4,0	483	0,008
Σ	□	30,0	Σ	0,091
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>Vs,eq = 330,85</b>	

**Figura 36 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW19**



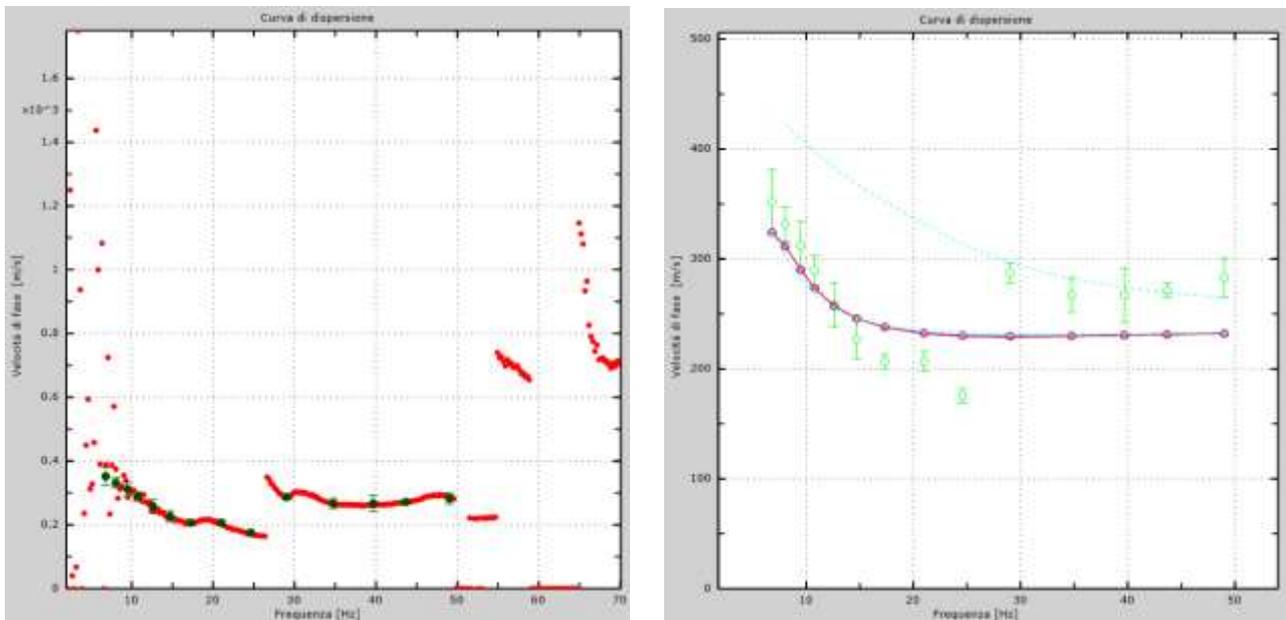
**Figura 37 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)**



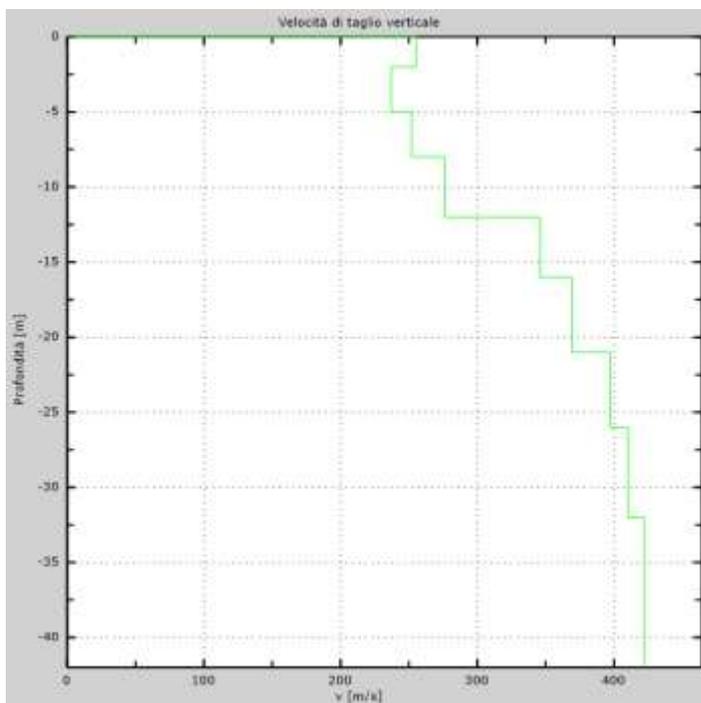
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	214	0,009
2	2.0-5.0	3,0	288	0,010
3	5.0-8.0	3,0	239	0,013
4	8.0-12.0	4,0	316	0,013
5	12.0-16.0	4,0	340	0,012
6	16.0-21.0	5,0	358	0,014
7	21.0-26.0	5,0	373	0,013
8	26.0-30.0	4,0	381	0,010
Σ	□	30,0	Σ	0,095
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>Vs,eq = 317,10</b>	

**Figura 38 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW20**



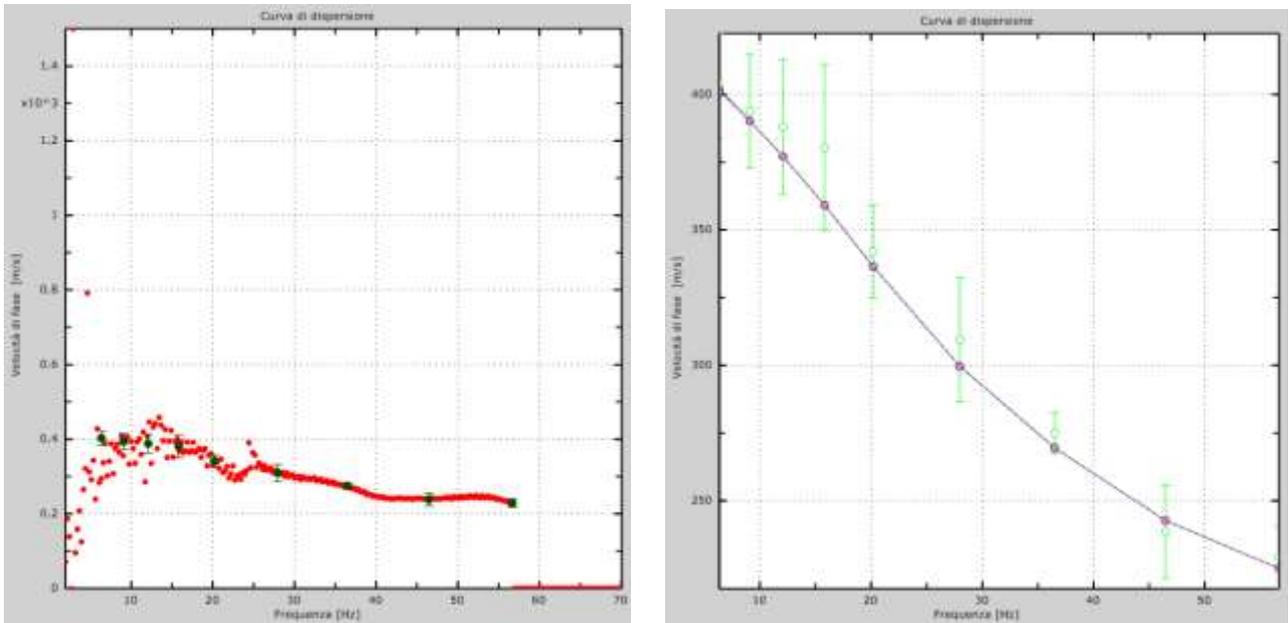
**Figura 39 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)**



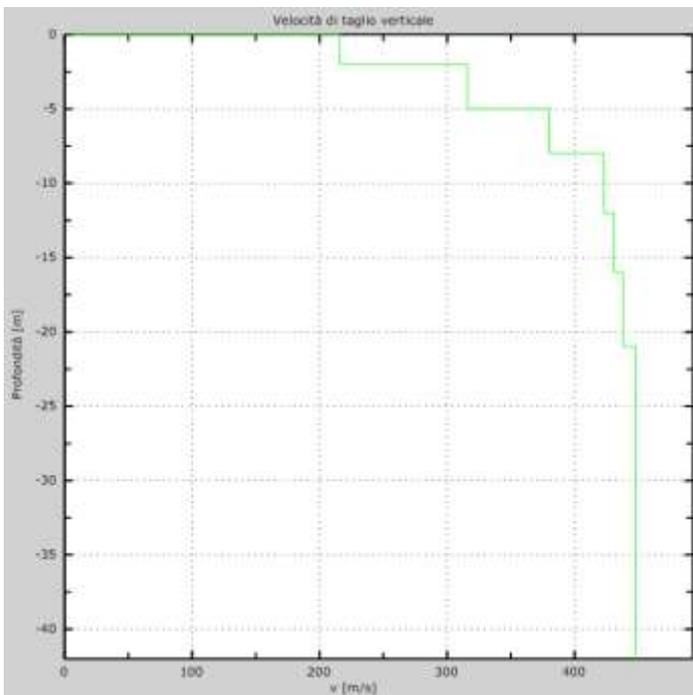
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	255	0,008
2	2.0-5.0	3,0	237	0,013
3	5.0-8.0	3,0	252	0,012
4	8.0-12.0	4,0	276	0,014
5	12.0-16.0	4,0	346	0,012
6	16.0-21.0	5,0	369	0,014
7	21.0-26.0	5,0	397	0,013
8	26.0-30.0	4,0	410	0,010
Σ	□	30,0	Σ	0,094
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>V<sub>s,eq</sub> = 317,93</b>	

**Figura 40 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs<sub>eq</sub> (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW21**



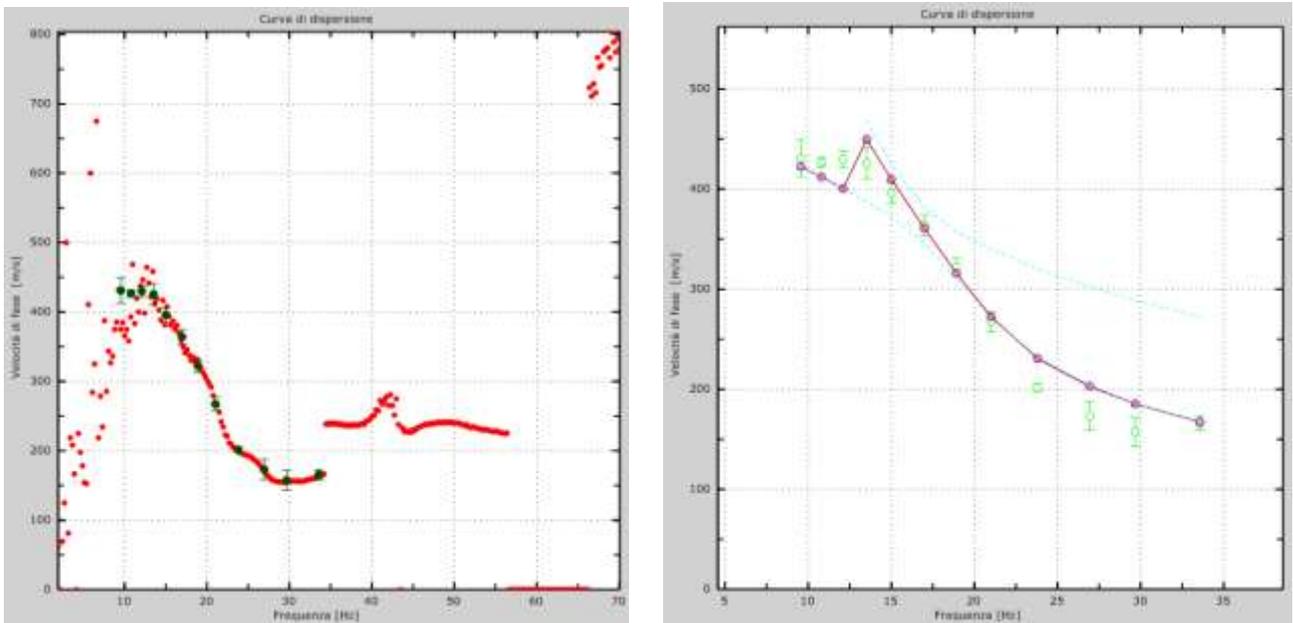
**Figura 41 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)**



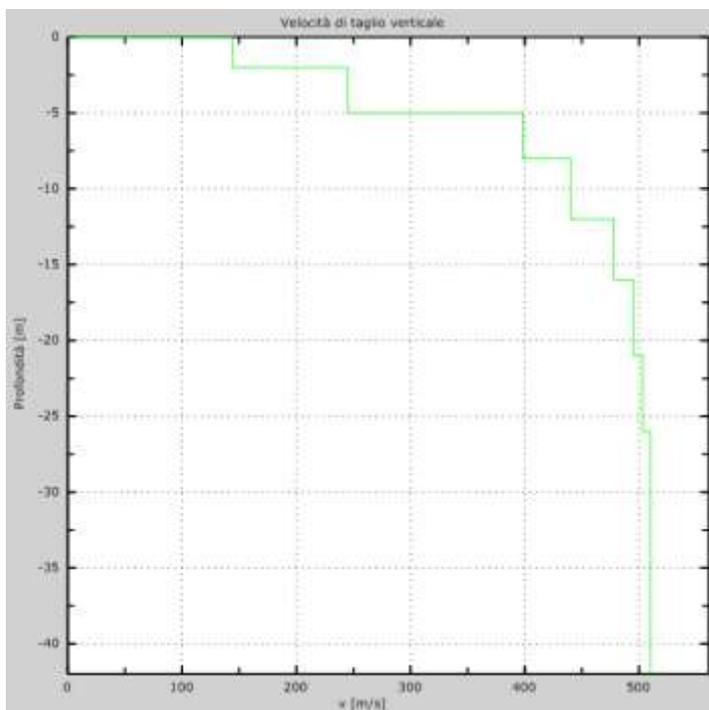
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	216	0,009
2	2.0-5.0	3,0	316	0,009
3	5.0-8.0	3,0	380	0,008
4	8.0-12.0	4,0	423	0,009
5	12.0-16.0	4,0	431	0,009
6	16.0-21.0	5,0	438	0,011
7	21.0-26.0	5,0	448	0,011
8	26.0-30.0	4,0	448	0,009
Σ	□	30,0	Σ	0,077
<b>Categoria sottosuolo: B</b>			<b>Vs,eq = 390,17</b>	

**Figura 42 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs<sub>eq</sub> (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW22**



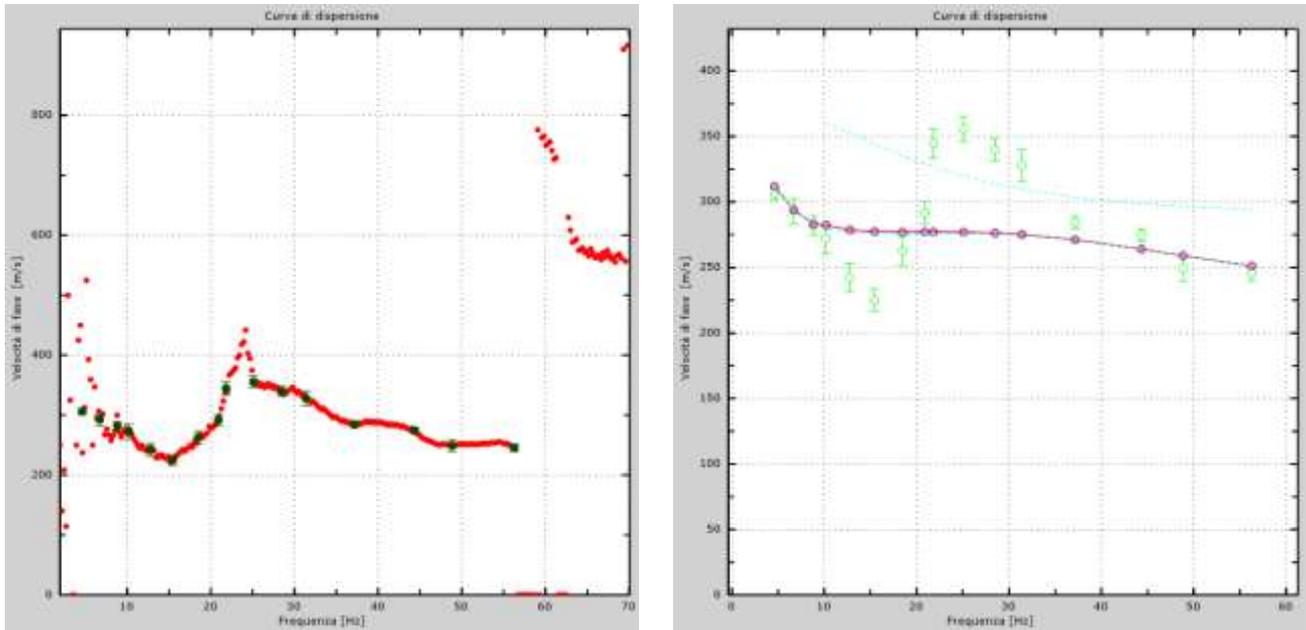
**Figura 43 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)**



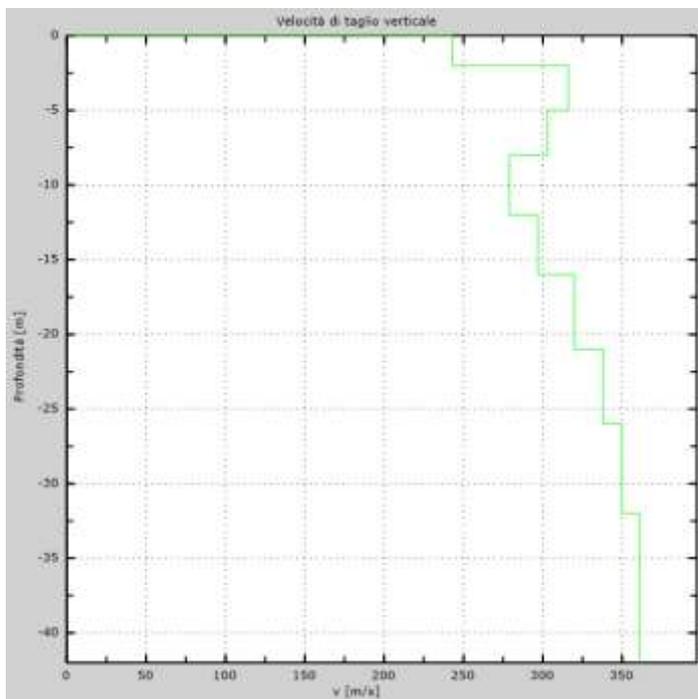
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-1.0	1,0	184	0,005
2	1.0-3.0	2,0	253	0,008
3	3.0-6.0	3,0	385	0,008
4	6.0-10.0	4,0	489	0,008
5	10.0-14.0	4,0	566	0,007
6	14.0-19.0	5,0	587	0,009
7	19.0-24.0	5,0	587	0,009
8	24.0-30.0	6,0	600	0,010
Σ	□	30,0	Σ	0,063
<b>Categoria sottosuolo: B</b>			<b>Vs,eq = 379,67</b>	

**Figura 44 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW23**



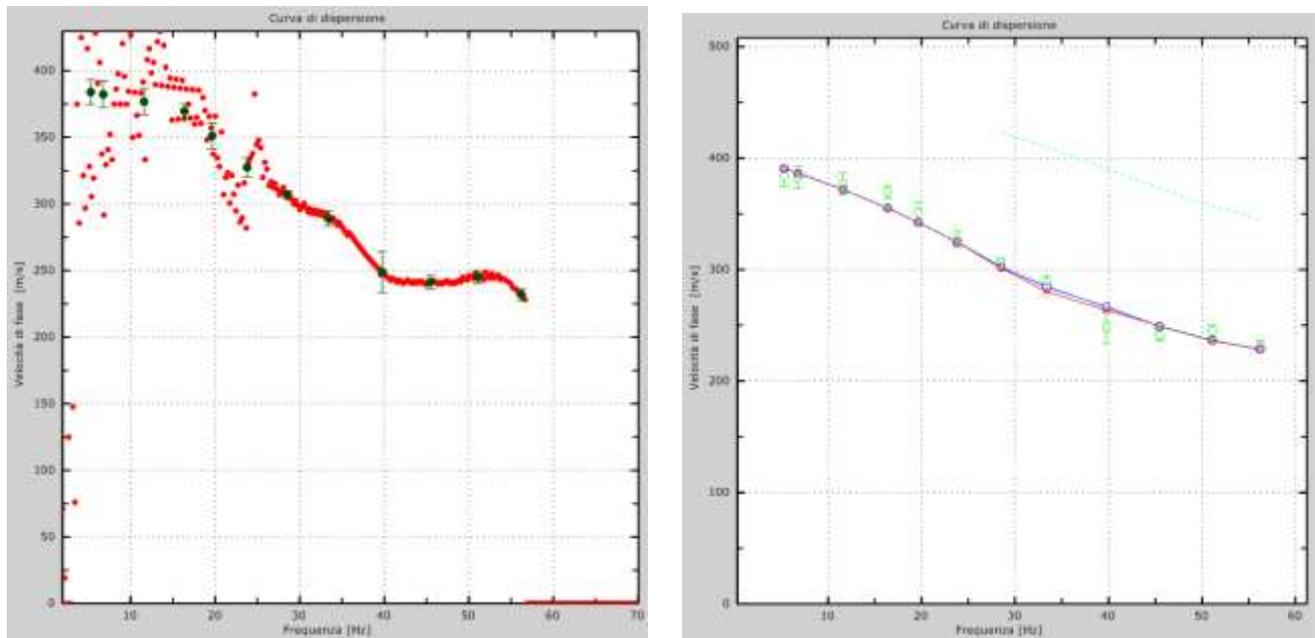
**Figura 45 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)**



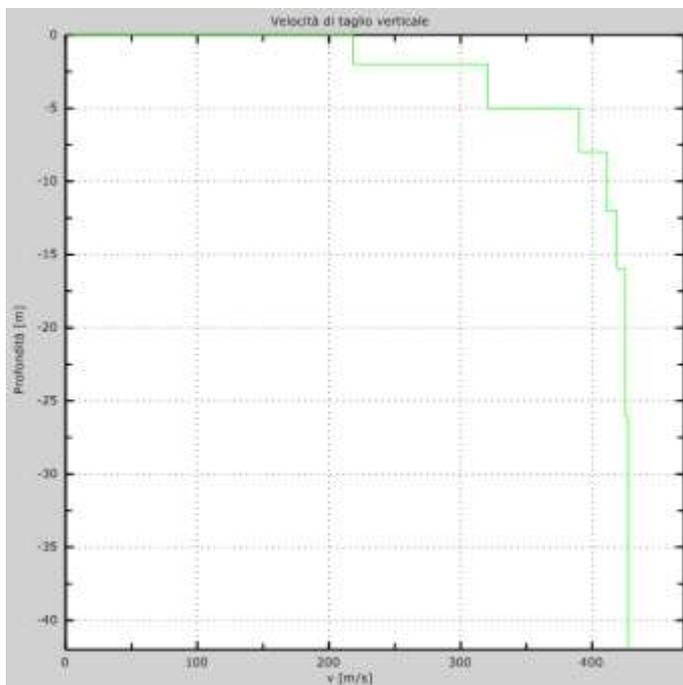
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	243	0,008
2	2.0-5.0	3,0	316	0,009
3	5.0-8.0	3,0	303	0,010
4	8.0-12.0	4,0	279	0,014
5	12.0-16.0	4,0	297	0,013
6	16.0-21.0	5,0	320	0,016
7	21.0-26.0	5,0	338	0,015
8	26.0-30.0	4,0	350	0,011
Σ	□	30,0	Σ	0,097
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>Vs,eq = 308,40</b>	

**Figura 46 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW24**



**Figura 47 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)**



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-1.0	1,0	177	0,006
2	1.0-3.0	2,0	232	0,009
3	3.0-6.0	3,0	266	0,011
4	6.0-10.0	4,0	321	0,012
5	10.0-14.0	4,0	488	0,008
6	14.0-19.0	5,0	524	0,010
7	19.0-24.0	5,0	534	0,009
8	24.0-30.0	6,0	545	0,011
Σ	□	30,0	Σ	0,076
<b>Categoria sottosuolo: B</b>			<b>V<sub>S,eq</sub> =</b>	<b>382,71</b>

**Figura 48 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs<sub>eq</sub> (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW25**

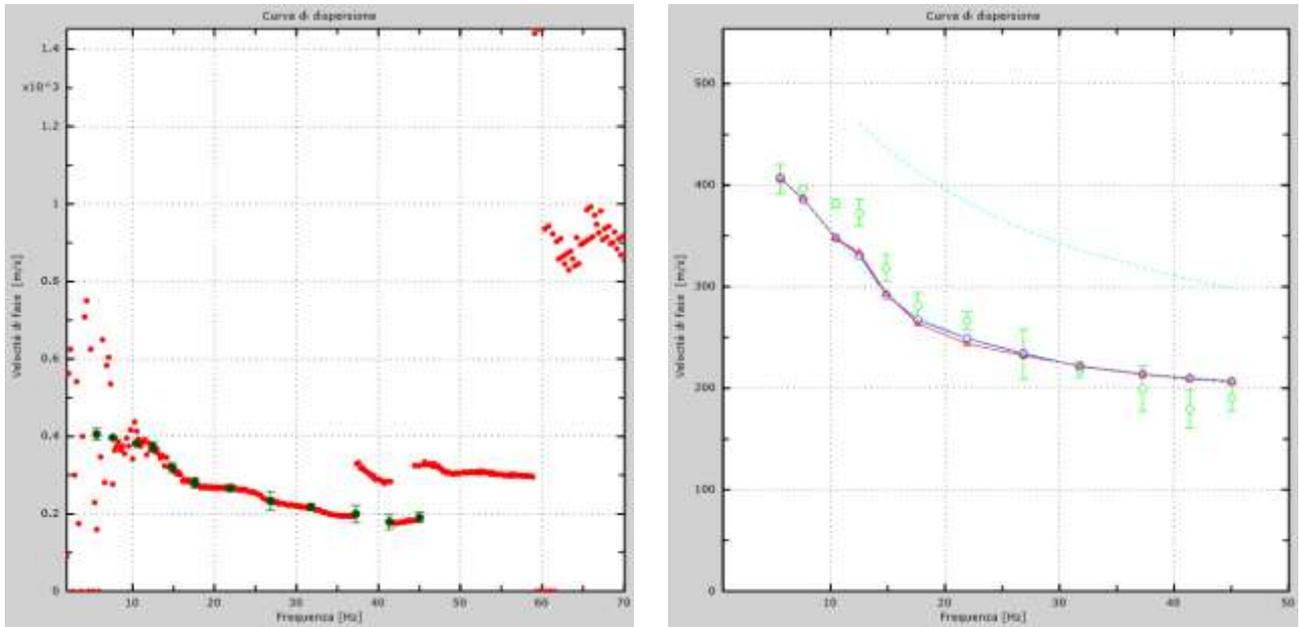
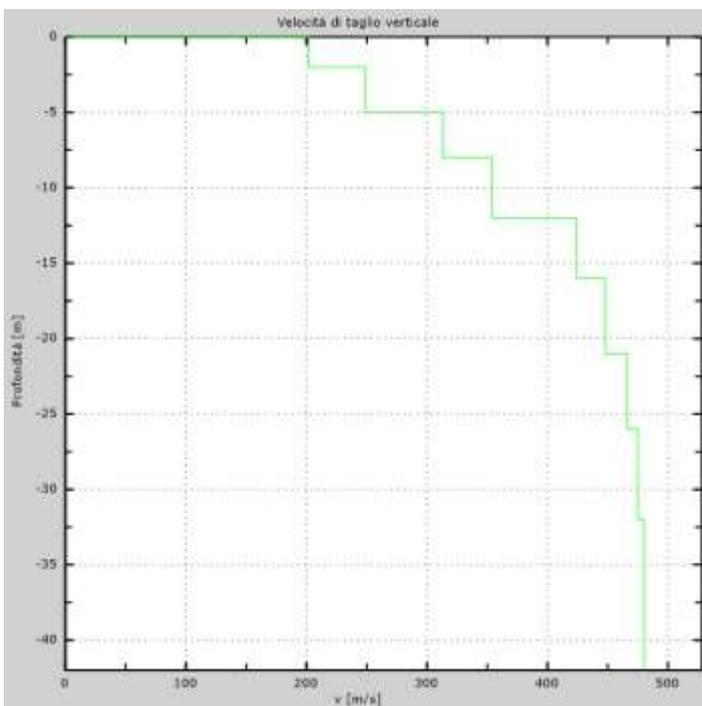


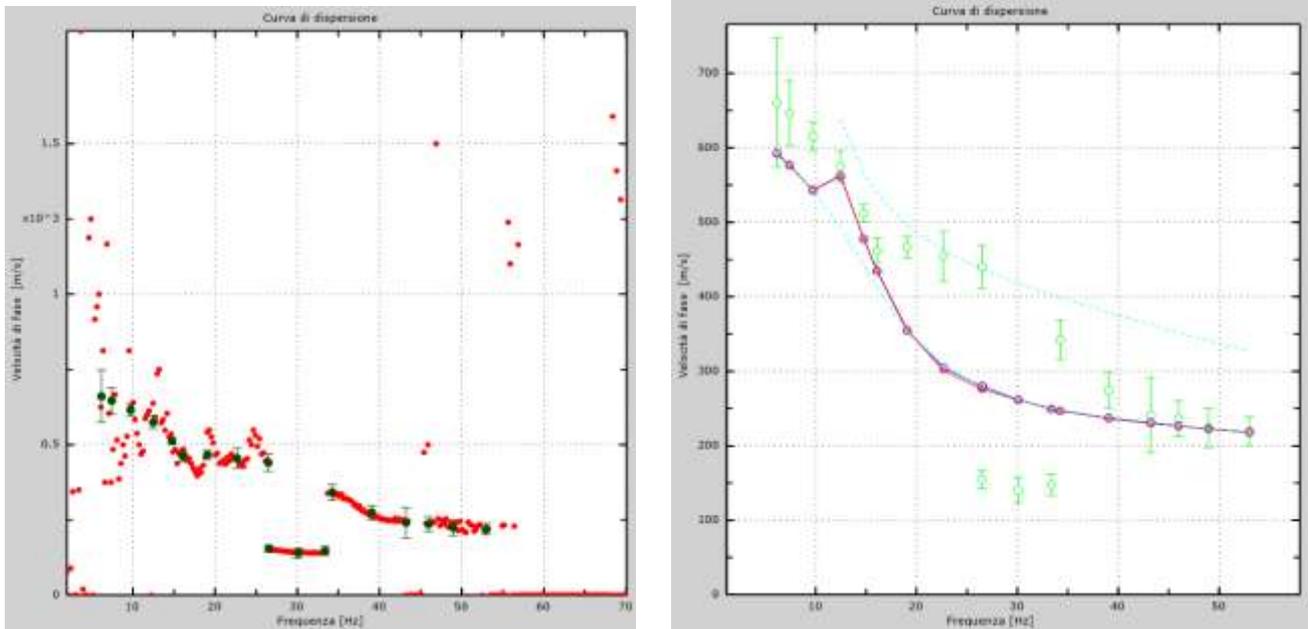
Figura 49 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



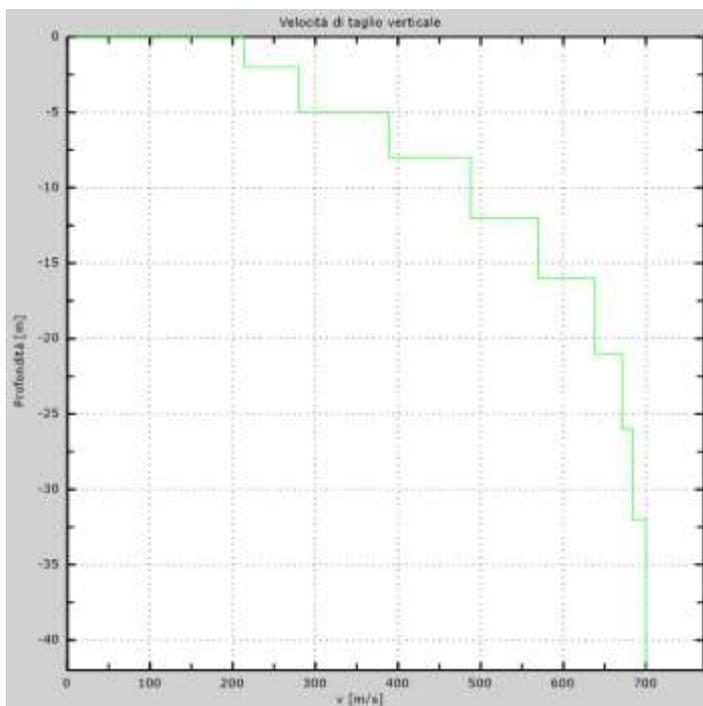
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	202	0,010
2	2.0-5.0	3,0	249	0,012
3	5.0-8.0	3,0	313	0,010
4	8.0-12.0	4,0	354	0,011
5	12.0-16.0	4,0	424	0,009
6	16.0-21.0	5,0	448	0,011
7	21.0-26.0	5,0	466	0,011
8	26.0-30.0	4,0	475	0,008
Σ	□	30,0	Σ	0,083
<b>Categoria sottosuolo: B</b>			<b>Vs,eq = 363,29</b>	

Figura 50 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW26**



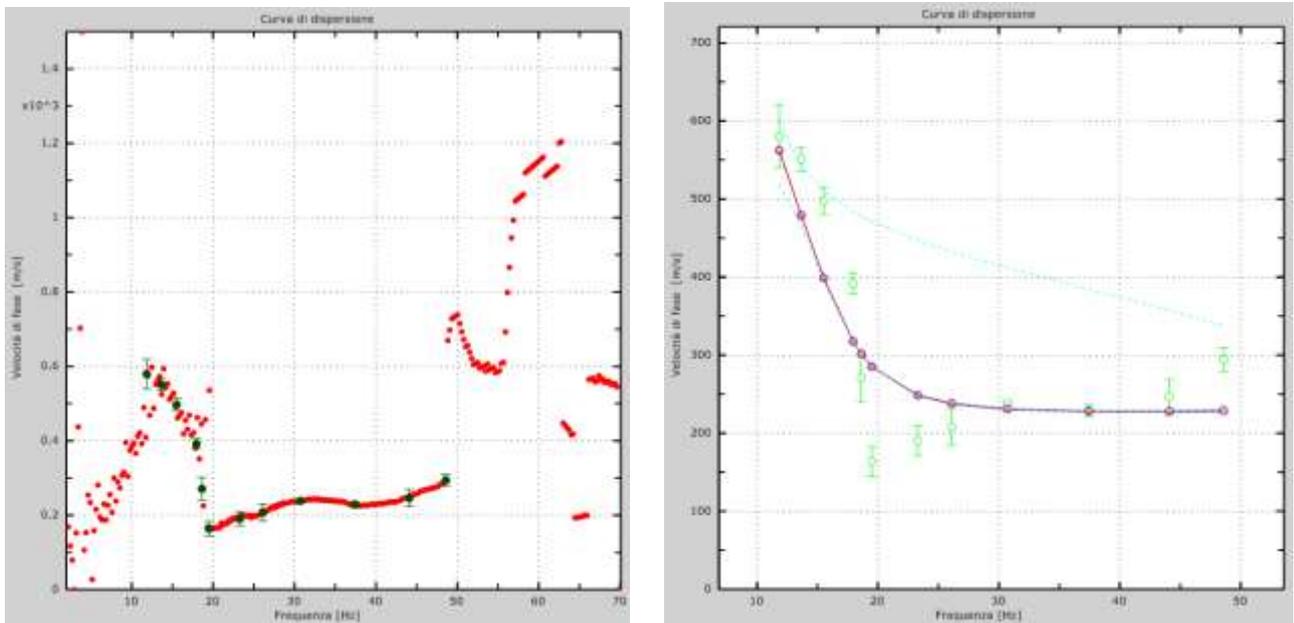
**Figura 51 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)**



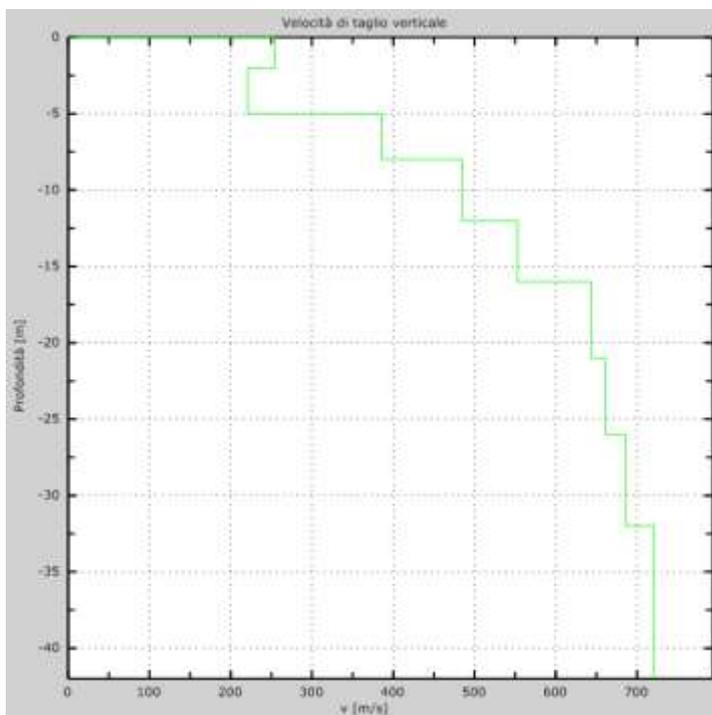
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-1.0	1,0	158	0,006
2	1.0-3.0	2,0	223	0,009
3	3.0-6.0	3,0	303	0,010
4	6.0-10.0	4,0	407	0,010
5	10.0-14.0	4,0	451	0,009
6	14.0-19.0	5,0	470	0,011
7	19.0-24.0	5,0	492	0,010
8	24.0-30.0	6,0	516	0,012
Σ	□	30,0	Σ	0,076
<b>Categoria sottosuolo: B</b>			<b>Vs,eq = 467,76</b>	

**Figura 52 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW27**



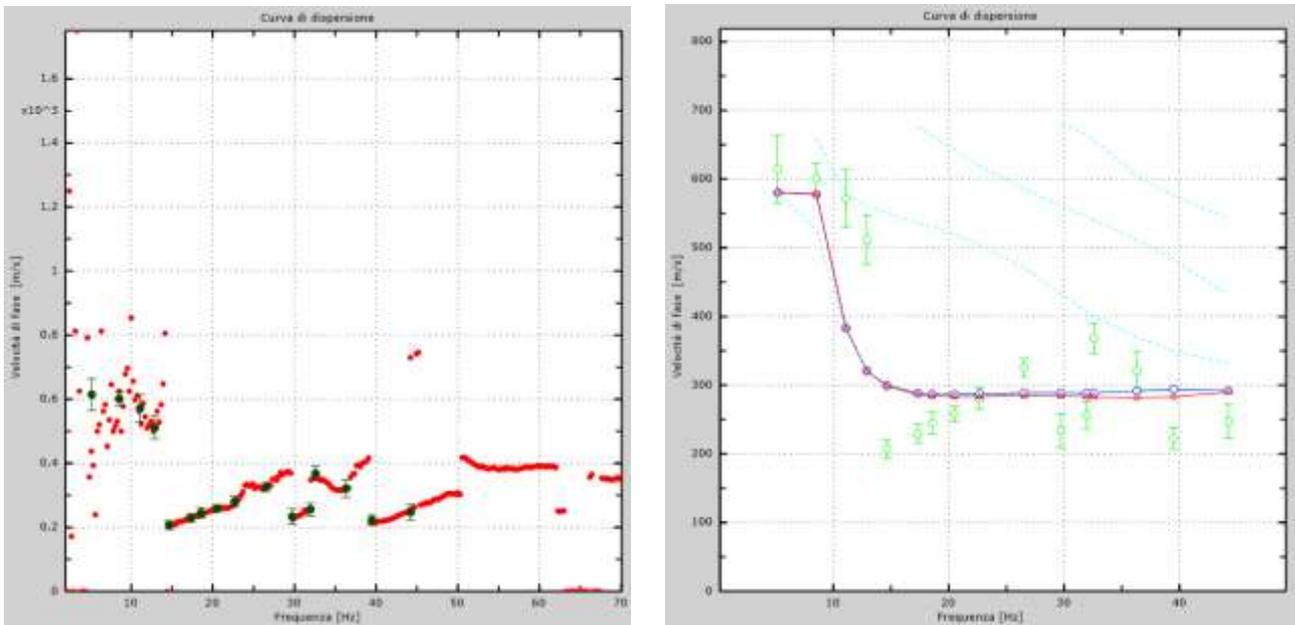
**Figura 53 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)**



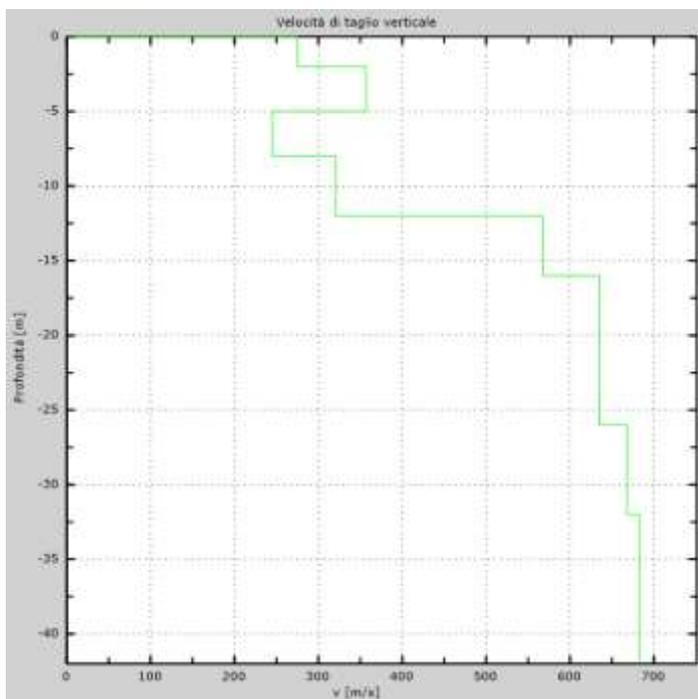
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	254	0,008
2	2.0-5.0	3,0	221	0,014
3	5.0-8.0	3,0	386	0,008
4	8.0-12.0	4,0	485	0,008
5	12.0-16.0	4,0	553	0,007
6	16.0-21.0	5,0	644	0,008
7	21.0-26.0	5,0	661	0,008
8	26.0-30.0	4,0	686	0,006
Σ	□	30,0	Σ	0,066
<b>Categoria sottosuolo: B</b>			<b>Vs,eq = 455,51</b>	

**Figura 54 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW28**



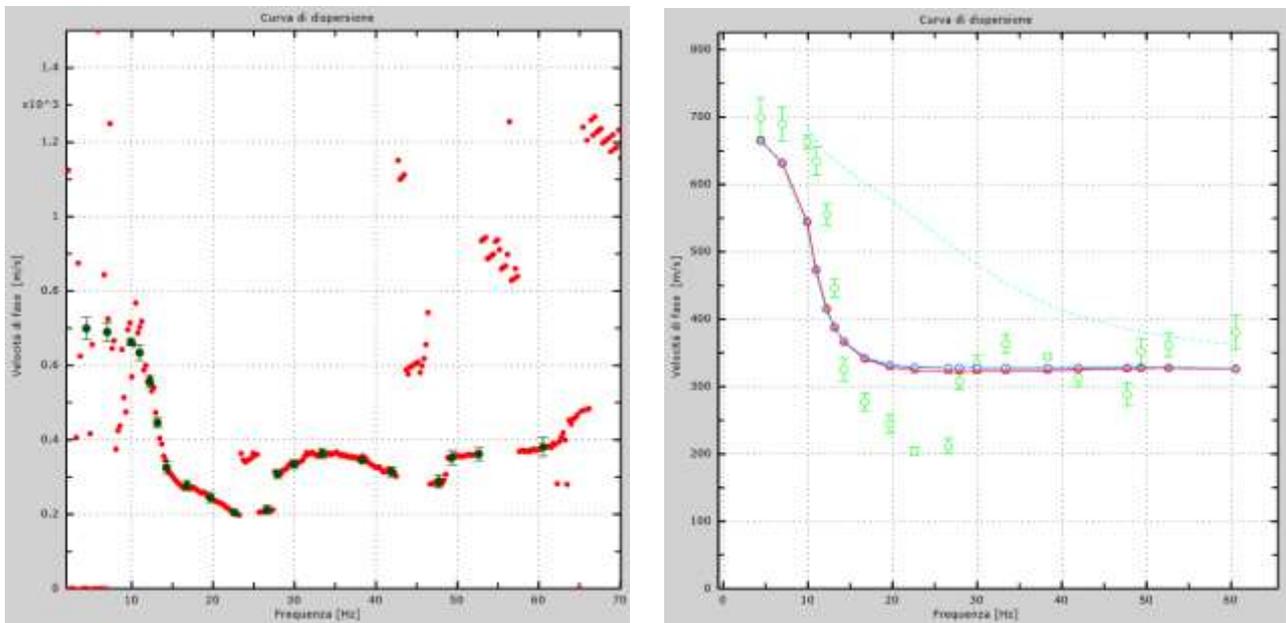
**Figura 55 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)**



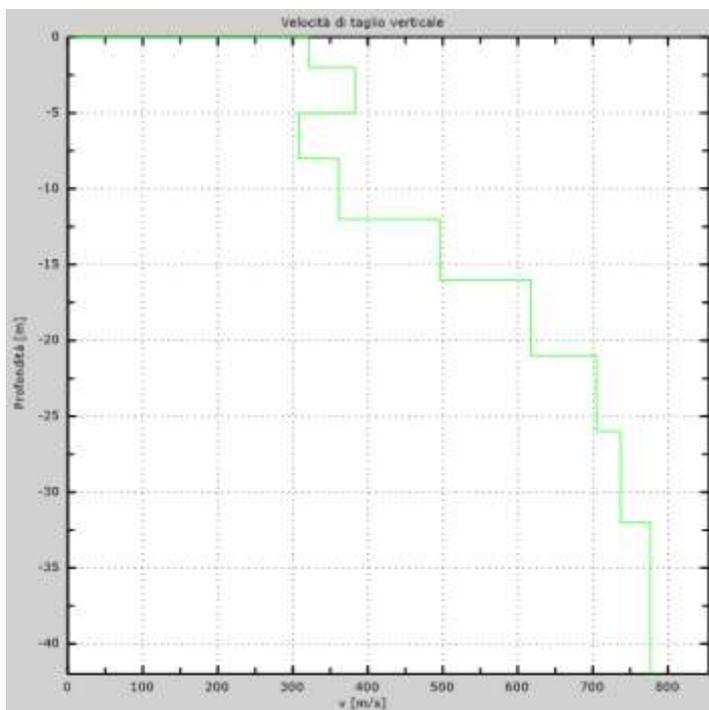
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	275	0,007
2	2.0-5.0	3,0	357	0,008
3	5.0-8.0	3,0	245	0,012
4	8.0-12.0	4,0	321	0,012
5	12.0-16.0	4,0	568	0,007
6	16.0-21.0	5,0	635	0,008
7	21.0-26.0	5,0	635	0,008
8	26.0-30.0	4,0	668	0,006
Σ	□	30,0	Σ	0,069
<b>Categoria sottosuolo: B</b>			<b>Vs,eq = 433,77</b>	

**Figura 56 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW29**



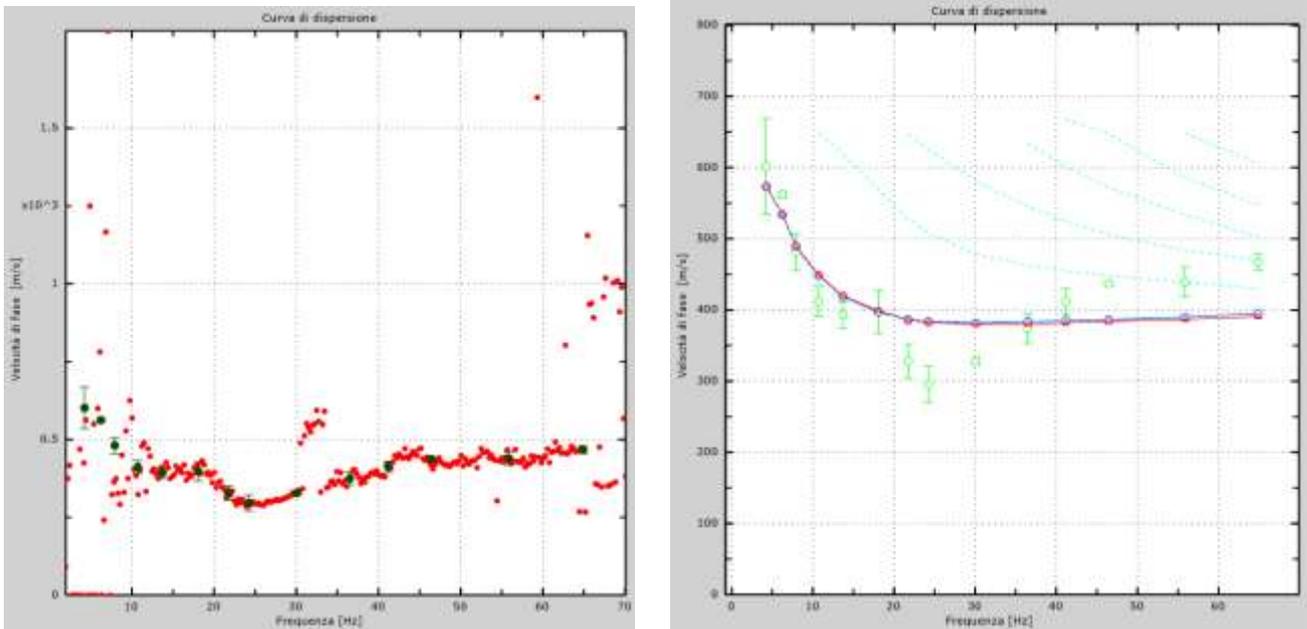
**Figura 57 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)**



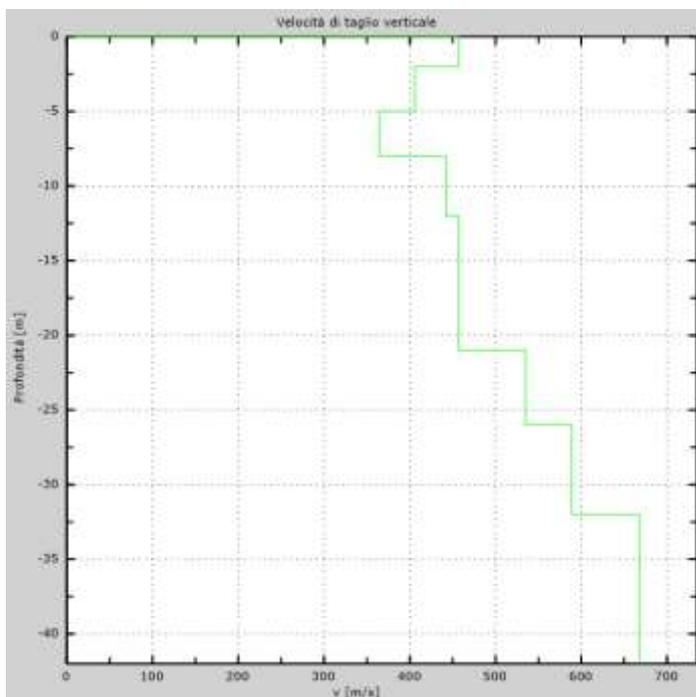
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	321	0,006
2	2.0-5.0	3,0	383	0,008
3	5.0-8.0	3,0	308	0,010
4	8.0-12.0	4,0	361	0,011
5	12.0-16.0	4,0	496	0,008
6	16.0-21.0	5,0	617	0,008
7	21.0-26.0	5,0	705	0,007
8	26.0-30.0	4,0	737	0,005
Σ	□	30,0	Σ	0,064
<b>Categoria sottosuolo: B</b>			<b>Vs,eq = 471,91</b>	

**Figura 58 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW30**



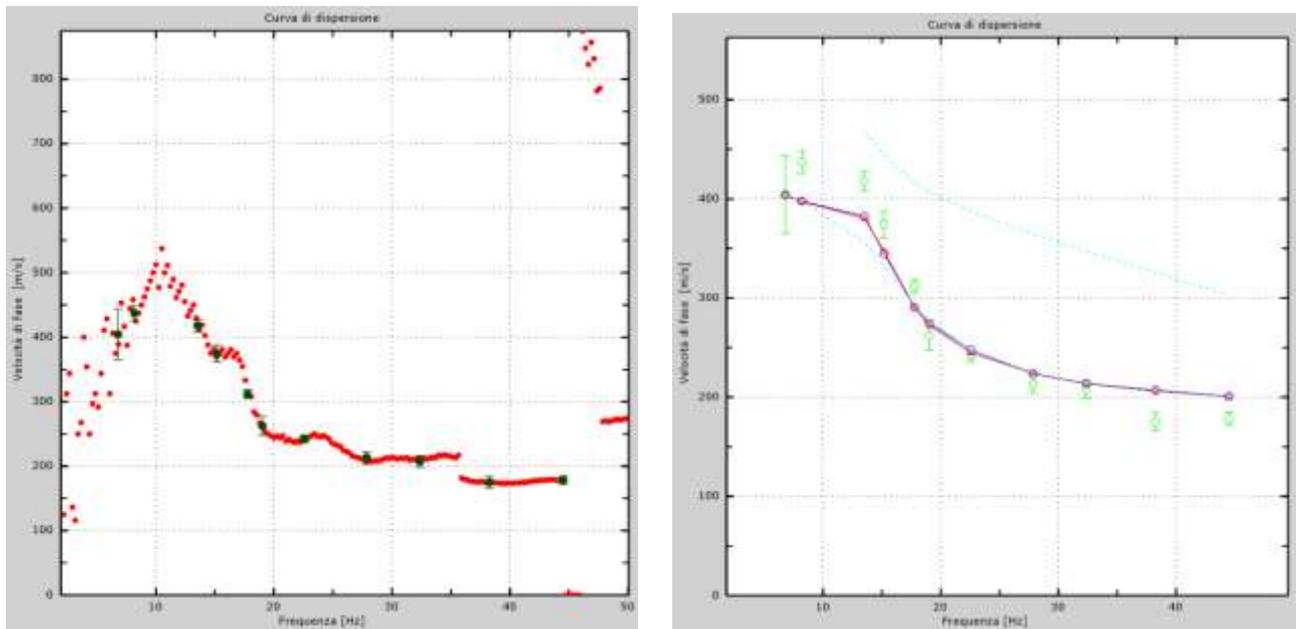
**Figura 59 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)**



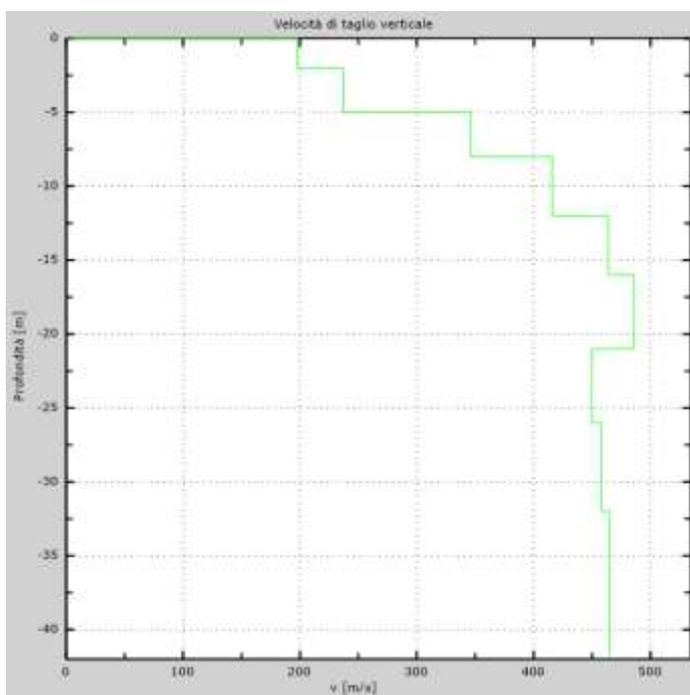
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-1.0	1,0	208	0,005
2	1.0-3.0	2,0	231	0,009
3	3.0-6.0	3,0	220	0,014
4	6.0-10.0	4,0	267	0,015
5	10.0-14.0	4,0	401	0,010
6	14.0-19.0	5,0	412	0,012
7	19.0-24.0	5,0	431	0,012
8	24.0-30.0	6,0	442	0,014
Σ	□	30,0	Σ	0,089
<b>Categoria sottosuolo: B</b>			<b>Vs,eq = 462,34</b>	

**Figura 60 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW31**



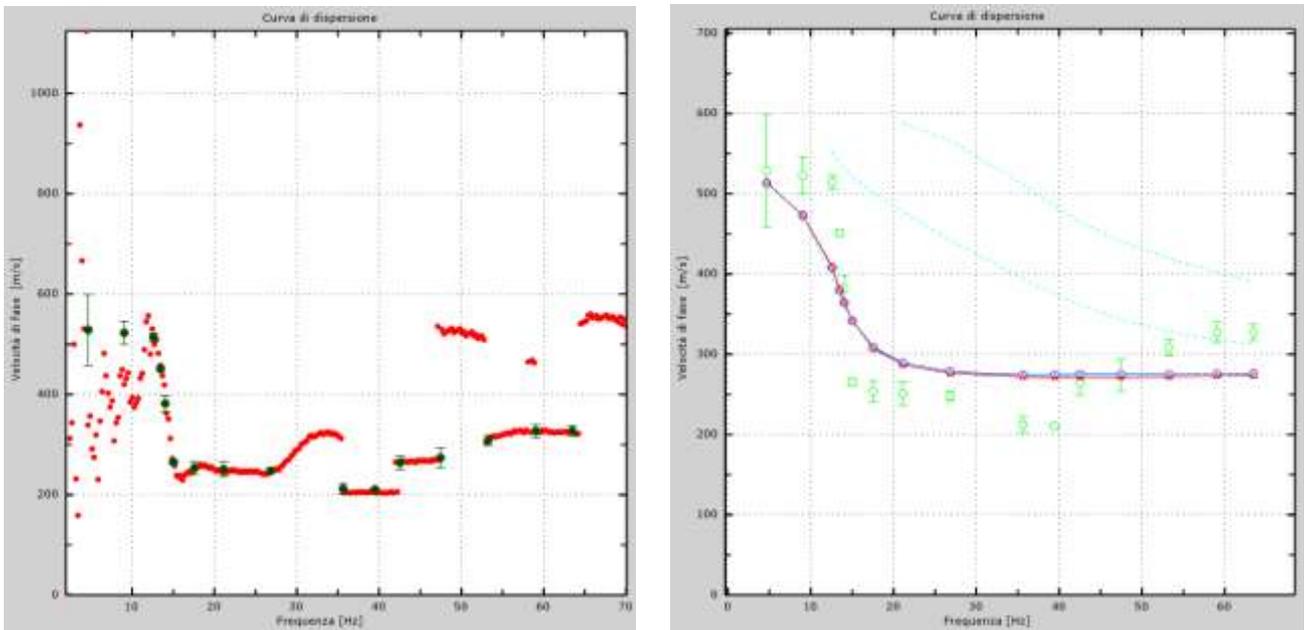
**Figura 61 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)**



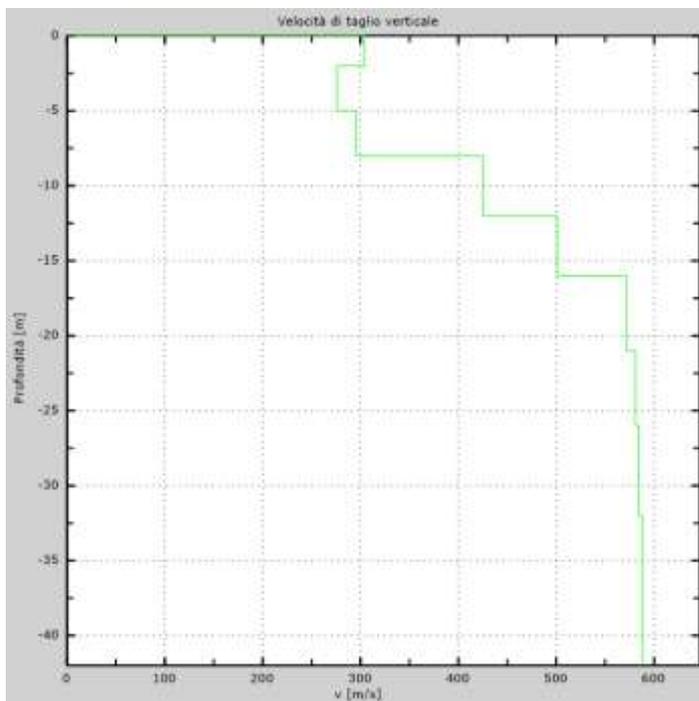
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	198	0,010
2	2.0-5.0	3,0	237	0,013
3	5.0-8.0	3,0	346	0,009
4	8.0-12.0	4,0	416	0,010
5	12.0-16.0	4,0	464	0,009
6	16.0-21.0	5,0	486	0,010
7	21.0-26.0	5,0	450	0,011
8	26.0-30.0	4,0	458	0,009
Σ	□	30,0	Σ	0,080
<b>Categoria sottosuolo: B</b>			<b>Vs,eq = 375,95</b>	

**Figura 62 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs<sub>eq</sub> (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW32**



**Figura 63 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)**



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-1.0	1,0	159	0,006
2	1.0-3.0	2,0	269	0,007
3	3.0-6.0	3,0	449	0,007
4	6.0-10.0	4,0	507	0,008
5	10.0-14.0	4,0	565	0,007
6	14.0-19.0	5,0	619	0,008
7	19.0-24.0	5,0	651	0,008
8	24.0-30.0	6,0	662	0,009
Σ	□	30,0	Σ	0,060
<b>Categoria sottosuolo: B</b>			<b>Vs,eq = 433,46</b>	

**Figura 64 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW33**

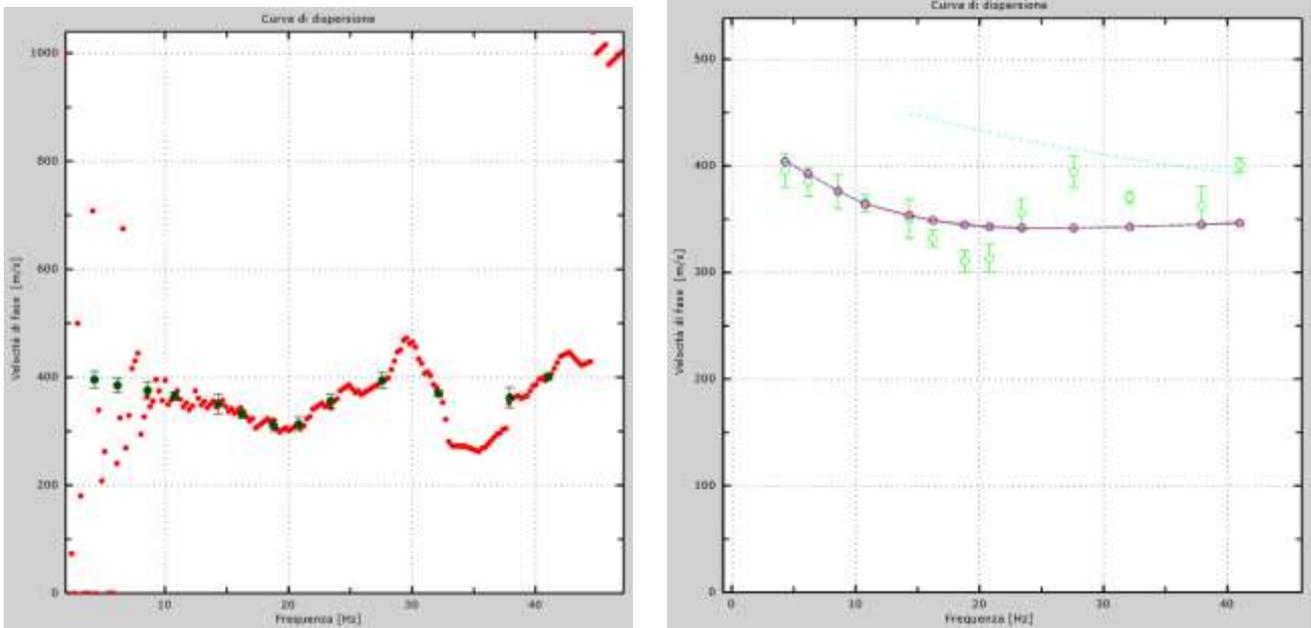
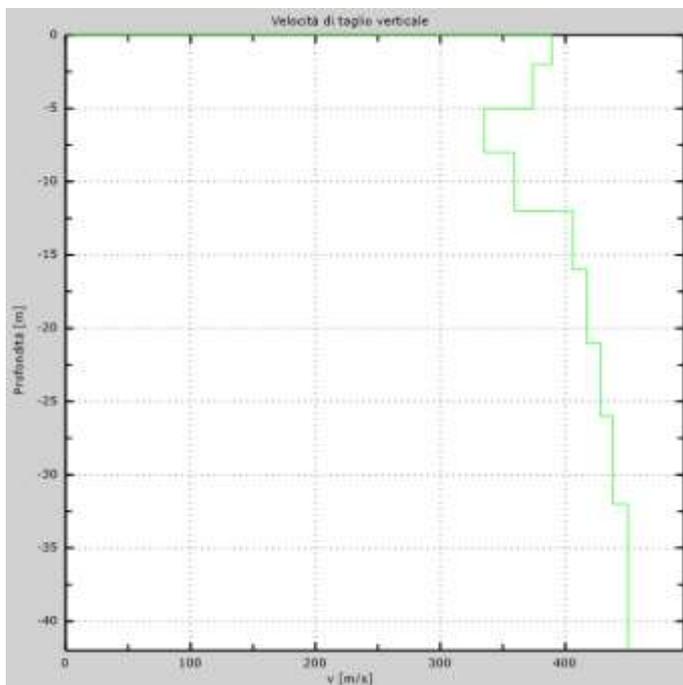


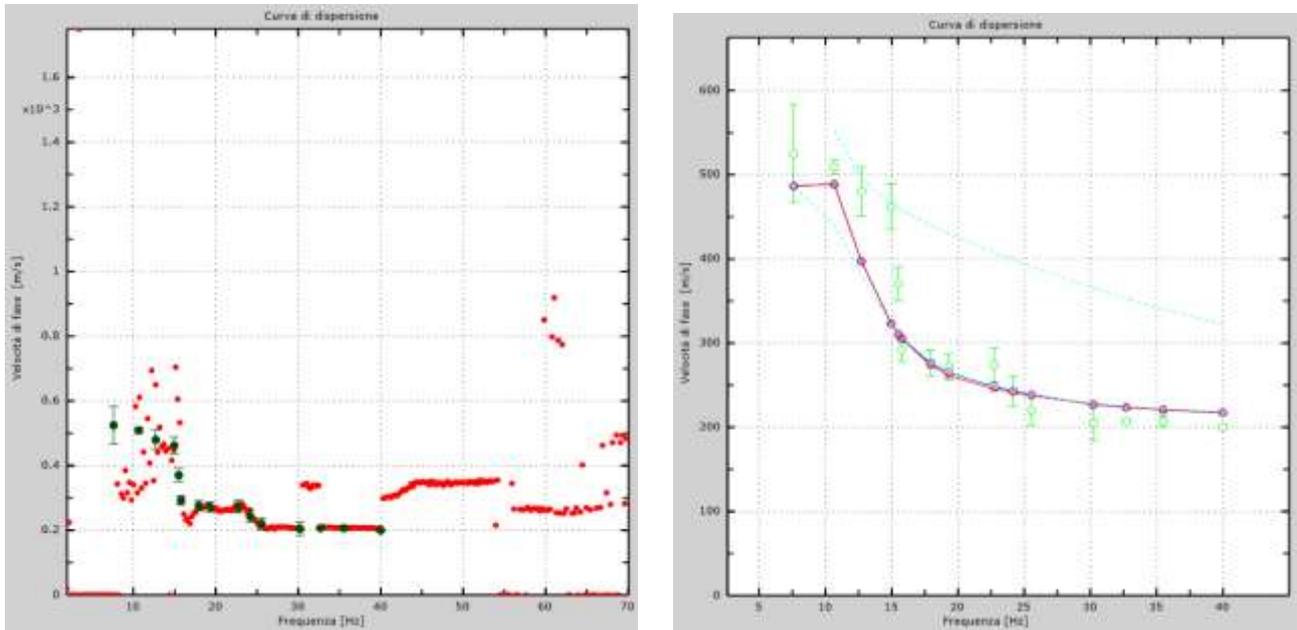
Figura 65 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



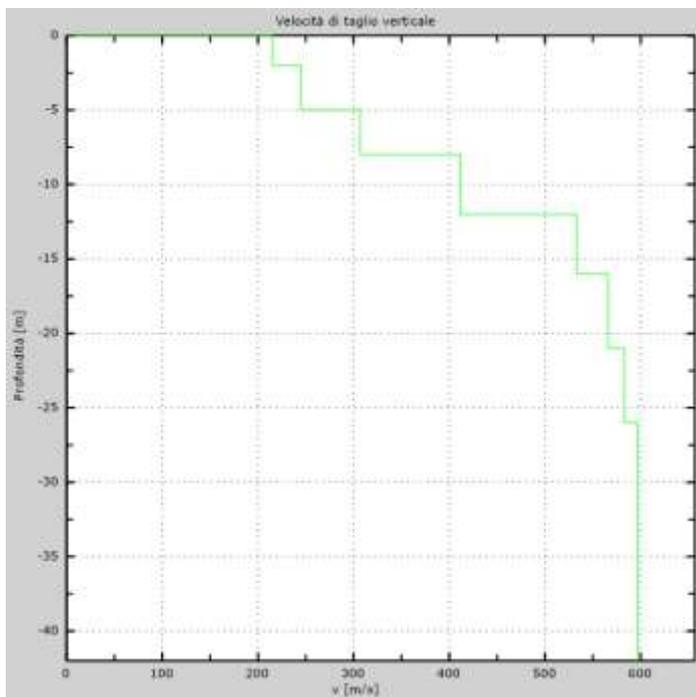
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-1.0	1,0	132	0,008
2	1.0-3.0	2,0	154	0,013
3	3.0-6.0	3,0	253	0,012
4	6.0-10.0	4,0	387	0,010
5	10.0-14.0	4,0	441	0,009
6	14.0-19.0	5,0	479	0,010
7	19.0-24.0	5,0	488	0,010
8	24.0-30.0	6,0	488	0,012
Σ	□	30,0	Σ	0,085
<b>Categoria sottosuolo: B</b>			<b>Vs,eq = 395,17</b>	

Figura 66 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW34**



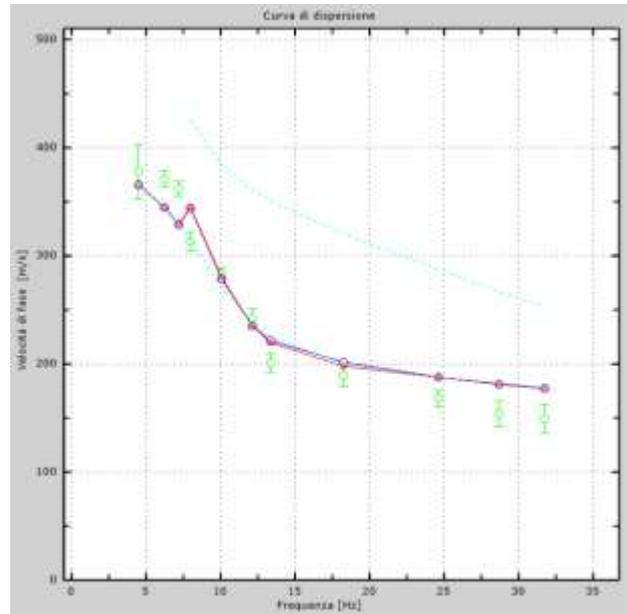
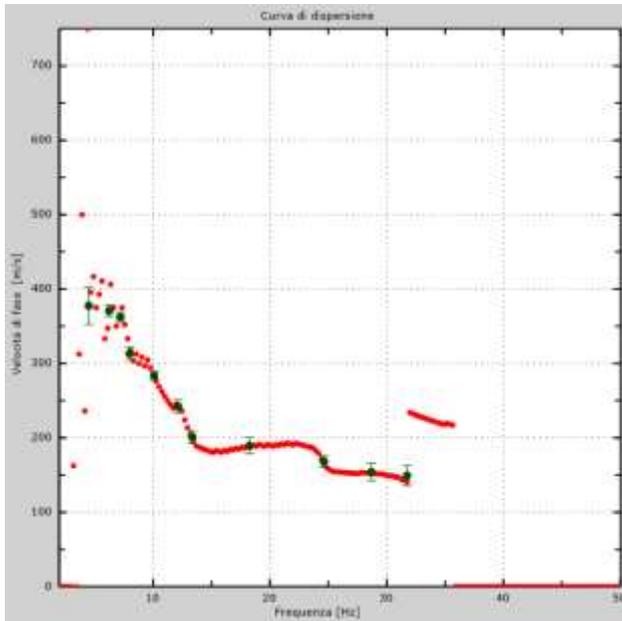
**Figura 67 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)**



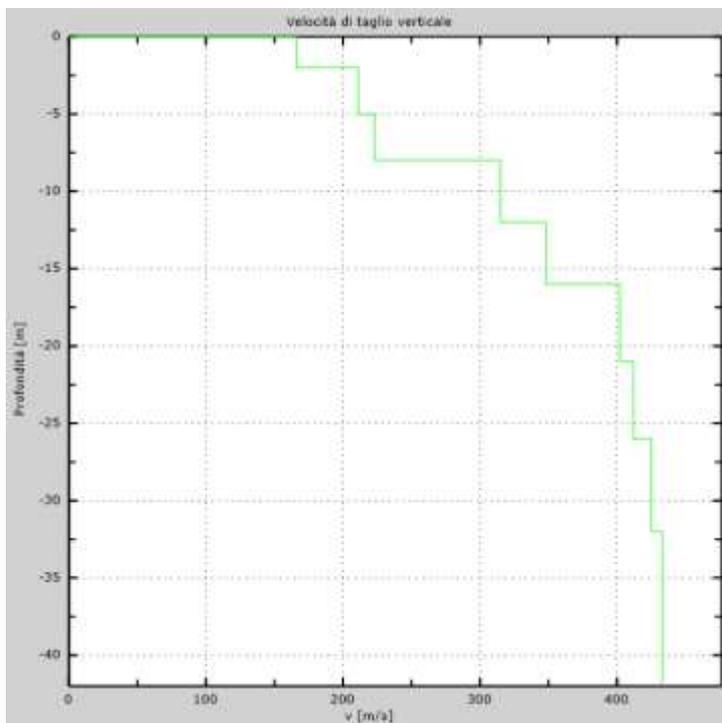
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	215	0,009
2	2.0-5.0	3,0	245	0,012
3	5.0-8.0	3,0	307	0,010
4	8.0-12.0	4,0	412	0,010
5	12.0-16.0	4,0	533	0,008
6	16.0-21.0	5,0	566	0,009
7	21.0-26.0	5,0	583	0,009
8	26.0-30.0	4,0	597	0,007
Σ	□	30,0	Σ	0,073
<b>Categoria sottosuolo: B</b>			<b>Vs,eq = 412,98</b>	

**Figura 68 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW35**



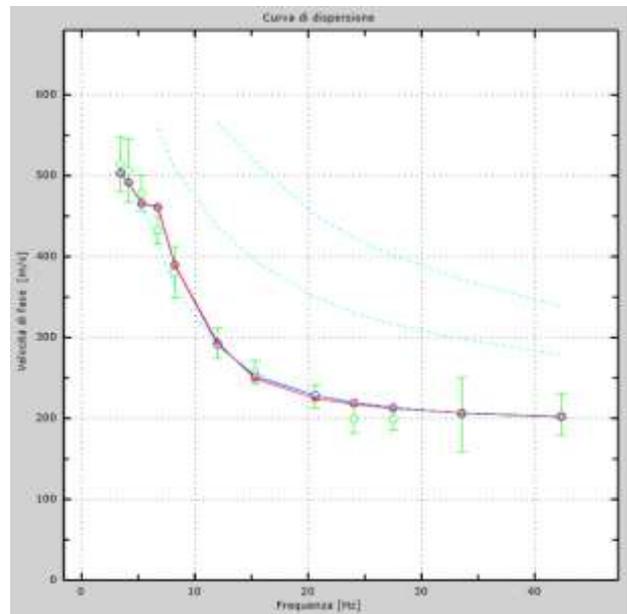
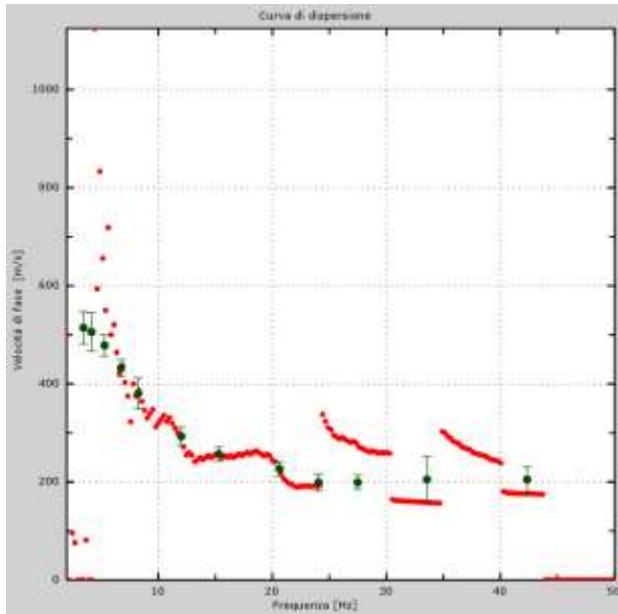
**Figura 69 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)**



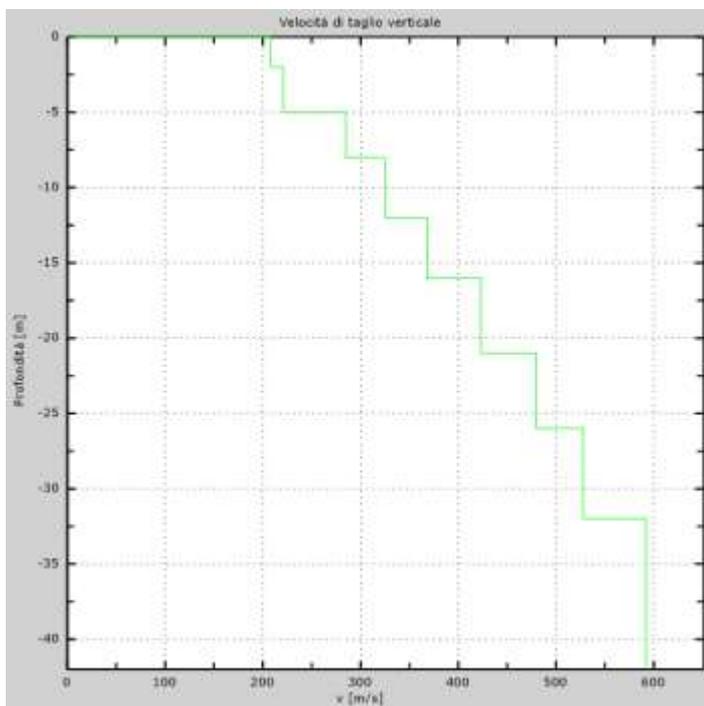
Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	166	0,012
2	2.0-5.0	3,0	211	0,014
3	5.0-8.0	3,0	223	0,013
4	8.0-12.0	4,0	315	0,013
5	12.0-16.0	4,0	348	0,011
6	16.0-21.0	5,0	402	0,012
7	21.0-26.0	5,0	412	0,012
8	26.0-30.0	4,0	425	0,009
Σ	□	30,0	Σ	0,098
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>Vs,eq = 306,44</b>	

**Figura 70 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW36**



**Figura 71 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)**



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	208	0,010
2	2.0-5.0	3,0	221	0,014
3	5.0-8.0	3,0	285	0,011
4	8.0-12.0	4,0	325	0,012
5	12.0-16.0	4,0	368	0,011
6	16.0-21.0	5,0	423	0,012
7	21.0-26.0	5,0	480	0,010
8	26.0-30.0	4,0	528	0,008
Σ	□	30,0	Σ	0,087
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>Vs,eq = 346,00</b>	

**Figura 72 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs<sub>eq</sub> (dx)**

DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW37**

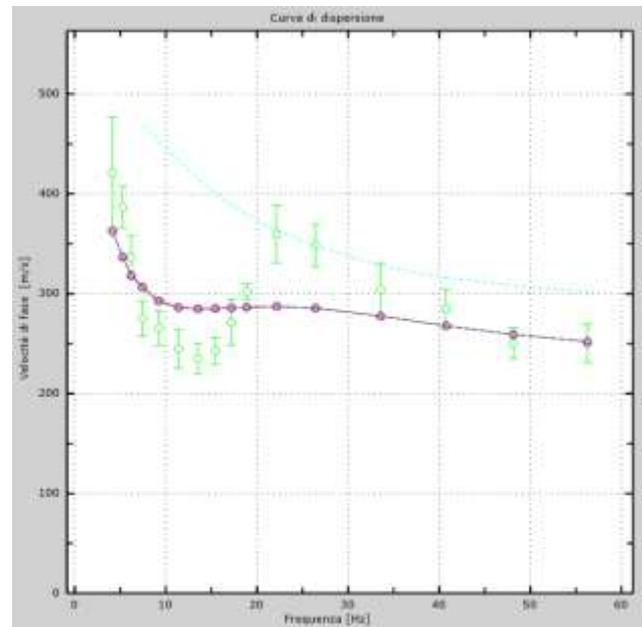
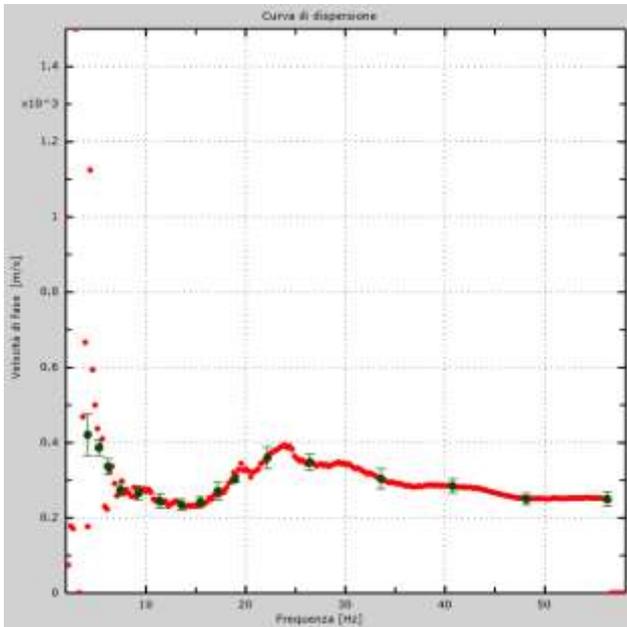
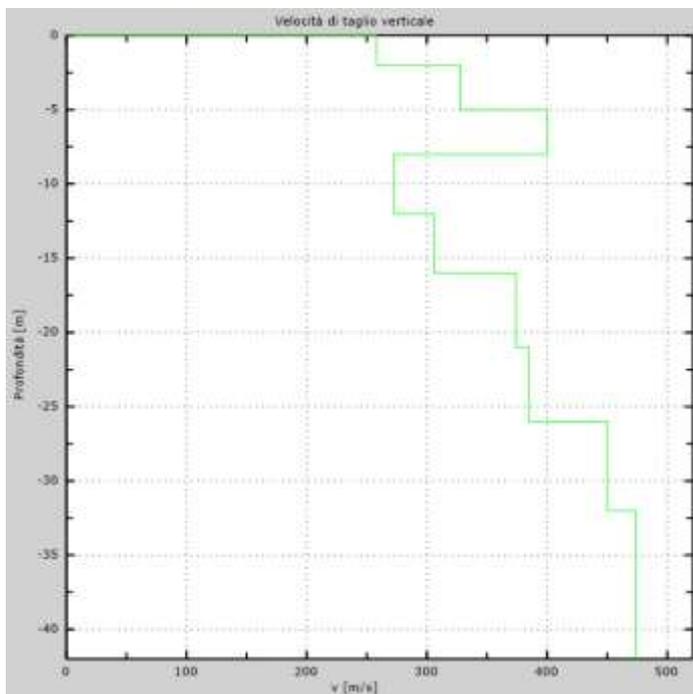


Figura 73 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	258	0,008
2	2.0-5.0	3,0	328	0,009
3	5.0-8.0	3,0	400	0,008
4	8.0-12.0	4,0	272	0,015
5	12.0-16.0	4,0	306	0,013
6	16.0-21.0	5,0	374	0,013
7	21.0-26.0	5,0	385	0,013
8	26.0-30.0	4,0	450	0,009
Σ	□	30,0	Σ	0,087
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>Vs,eq = 343,17</b>	

Figura 74 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)

## 2.4 DESCRIZIONE DEI RISULTATI

Di seguito viene presentata una tabella riassuntiva dei valori di  $V_{s,eq}$  ottenuti attraverso le prospezioni MASW. Oltre al valore del  $V_{s,eq}$  e della categoria di sottosuolo (D.M. 17.01.18), vengono riportati i valori di velocità delle onde di taglio nei primi sei metri di profondità secondo gli intervalli 0-2 m, 2-5 m e 5-8 m; per questi intervalli è indicata una stima della consistenza e dei parametri elasto-dinamici, in particolare i moduli di rigidità e di volume, nonché il modulo di elasticità sia dinamico che statico. I terreni ad elevata consistenza, con valore di  $V_s$  superiore a 600 m/s, presentano generalmente caratteristiche litoidi.

Consistenza/rigidezza del terreno	Bassa	Media	Medio-Elevata	Elevata
Velocità delle onde di taglio $V_s$	<180 m/s	180-300	300-600	>600
Modulo di Rigidità (Kg/cmq)	<526,0	526,0-1800,3	1800,3-7143,1	>7143,1
Modulo di Volume (Kg/cmq)	<1896,2	1896,2-26403,9	26403,9-36938,6	>36938,6
Modulo di elasticità dinamico (Kg/cmq)	<1444,44	1444,44-5280,8	5280,8-21107,8	>21107,8
Modulo di elasticità statico (Kg/cmq)	<37,38	37,38-282,5	282,5-2452,8	>2452,8

MASW n.	$V_{s,eq}$ (m/s)	Categoria sottosuolo (D.M. 17.01.18)	$V_s$ (m/s)	$V_s$ (m/s)	$V_s$ (m/s)
			0-2 m	2-5 m	5-8 m
1	334,87	C	164	242	282
2	428,48	B	214	253	313
3	422,40	B	300	276	284
4	440,16	B	246	330	230
5	328,33	C	319	287	302
6	320,98	C	143	274	217
7	295,49	C	269	221	252
8	386,55	B	291	229	305
9	372,92	B	224	330	340
10	350,17	C	181	240	273
11	346,00	C	160	229	277
12	357,11	C	195	290	252
13	308,22	C	218	199	244
14	393,93	B	214	327	391
15	301,77	C	198	212	251
16	494,44	B	210	305	493
17	328,06	C	125	176	298
18	330,85	C	189	251	223
19	317,10	C	214	288	239
20	317,93	C	255	237	252
21	390,17	B	216	316	380
22	379,67	B	144	245	398

23	308,40	C	243	316	303
24	382,71	B	218	321	390
25	363,29	B	202	249	313
26	467,76	B	214	280	389
27	455,51	B	254	221	386
28	433,77	B	275	357	245
29	471,91	B	321	383	308
30	462,34	B	457	406	364
31	375,95	B	198	237	346
32	433,46	B	304	276	295
33	395,17	B	389	374	335
34	412,98	B	215	245	307
35	306,44	C	166	211	223
36	346,00	C	208	221	285
37	343,17	C	258	328	400

Dalla tabella sopra esposta si vede che i terreni analizzati ricadono quasi in egual misura fra le categorie B e C, di cui alle N.T.C. 2018. Tendenzialmente, sono ricompresi nella categoria C la maggior parte dei terreni dei bassi versanti, per via di un maggior accumulo di depositi colluviali di versante, mentre in genere i terreni presenti più in quota o in presenza di formazioni più compatte sono ricaduti nella categoria B.

Di seguito è mostrato un istogramma con i valori di  $V_{s,eq}$  rilevati nelle varie prospezioni.

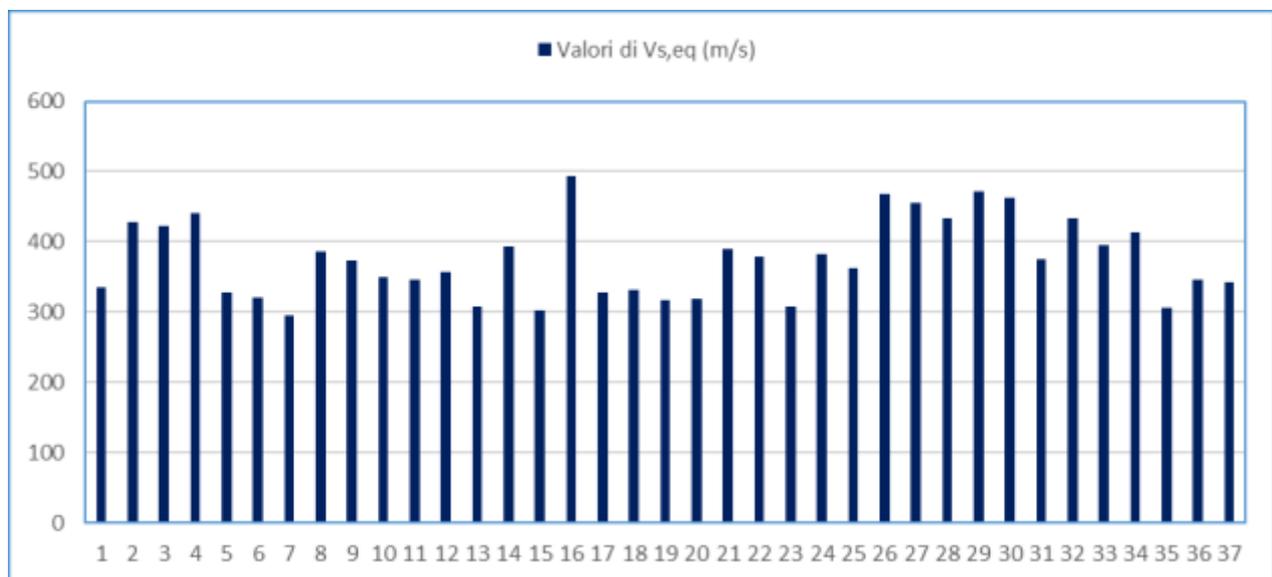


Tabella 1 – Valori di  $V_{s,eq}$

### 3. PROSPEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA

#### 3.1 CENNI TEORICI

Per la ricostruzione geometrica e la caratterizzazione fisica ( $V_p$ ) dei terreni interessati ai fini progettuali è stata eseguita una tomografia sismica assiale di superficie allo scopo di restituire la struttura del substrato come “immagine” bidimensionale di velocità delle onde sismiche longitudinali.

La tomografia sismica ha il compito di stabilire le proprietà dinamiche in sito dei terreni di fondazione, individuare eventuali discontinuità, cavità o strati particolarmente poco consistenti presenti nel sottosuolo, mediante la definizione della velocità e della direzione di propagazione delle onde elastiche generate da sorgenti artificiali.

La velocità di propagazione in un terreno è legata essenzialmente alle proprietà elastiche ed alla densità, che a sua volta dipende dalla porosità, dal grado di fratturazione, dal contenuto in acqua e dalla composizione chimica. Ogni variazione di questo fattore influenza il valore della densità provocandone, quindi, una corrispondente variazione della velocità di propagazione delle onde sismiche.

I dati sismici ottenuti (tempi d'arrivo delle onde longitudinali), sono stati trattati tomograficamente, al fine di ricostruire profili 2D lungo le sezioni sismiche investigate.

In fase di elaborazione dei dati è stato applicato il metodo di interpretazione dei dati noto come *Generalized Simulated-Annealing Optimization*.

Il G.S.A.O. è un modello di calcolo che consente una procedura **non lineare** dell'inversione dei tempi di primo arrivo delle fasi dirette e rifratte delle onde sismiche registrate durante una prospezione sismica superficiale a rifrazione.

Il vantaggio di tale tecnica è nell'assoluta indipendenza dal modello iniziale di velocità.

Le fasi di calcolo che vengono eseguite nel processo d'elaborazione dei dati, possono essere così sintetizzate:

- Calcolo dei travel - time attraverso un modello iniziale di velocità e determinazione dell'errore minimo quadrato ( $E_0 = \text{least-square error}$ ), tra il travel - time calcolato e quello osservato.

Per ogni iterazione  $i$  è possibile definire il “least-square error” secondo la formula:

$$E_i = \frac{1}{N} \left[ \sum_{j=1}^N (t_j^{obs} - t_j^{cal})^2 \right] \quad (1)$$

dove  $N$  è il numero di campioni,  $j$  denota ogni osservazione, e  $t^{obs}$  e  $t^{cal}$  sono rispettivamente il tempo osservato e calcolato.

- Perturbazione del modello di velocità mediante l’inserimento di una costante di velocità casuale, mantenendo la non linearità del sistema, e calcolo del nuovo “least – square error”  $E_1$ .
- Determinazione della probabilità  $P$  di ammettere il nuovo modello (cioè che il modello sia accettabile):

$$P = 1; \quad E_1 \leq E_0 \quad (2)$$

$$P = P_c = \exp\left[\frac{(E_{\min} - E_1)^q \Delta E}{T}\right]; \quad E_1 > E_0 \quad (3)$$

dove  $P_c$  è la probabilità di accettare la condizione,  $\Delta E = E_0 - E_1$ ,  $q$  è una costante d’integrazione (che si determina empiricamente), ed  $E_{\min}$  è il valore oggettivo della funzione dei minimi totali.

Teoricamente si ha  $E_{\min} = 0$ .

L’equazione (2), media tutti i valori accettati dal nuovo modello, laddove l’errore minimo quadrato (least – square error) è minore nell’iterazione prevista.

Ciò consente, durante l’inversione dei dati, di sfuggire dall’intorno dei minimi locali, andando alla ricerca del minimo globale.

- Ripetizione delle inversioni fino al raggiungimento della convergenza richiesta tra la differenza dell’errore minimo quadrato ed il successivo modello e la probabilità di accettare nuovi modelli di velocità a minimo errore.

### 3.2 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per la realizzazione delle prospezioni sismiche in oggetto è stato utilizzato un sismografo a memoria incrementale per sismica a rifrazione e riflessione della MAE, modello A6000-S a 24 canali con risoluzione del segnale a 24 bit per canale.

Nella tabella seguente sono riassunte le caratteristiche tecniche dell'attrezzatura utilizzata.

DATI TECNICI DELLA STRUMENTAZIONE IMPIEGATA	
MODELLO SISMOGRAFO <b>M.A.E. A-6000-S</b>	N. CANALI <b>24 (differenziali)</b>
CONVERSIONE A/D <b>24 bit a singolo canale</b>	CAMPIONI PER CANALE <b>10.922</b>
CAMPIONAMENTO <b>50-50.000 camp./sec.</b>	LARGHEZZA DI BANDA <b>0-25 KHz</b>
BAND REJECT <b>110dB@50Hz</b>	AMPIEZZA MAX. IN INGRESSO <b>10Vpp,0dB</b>
FORMATO DATI <b>SEG-2 standard</b>	SISTEMA OPERATIVO <b>Windows XP Embedded</b>
IMPEDEZA D'INGRESSO <b>220 kOhm@0dB</b>	RUMORE <b>250nV/@2mS, 36dB</b>



Per le operazioni di campo, inerenti l'esecuzione dell'indagine geofisica, sono stati inoltre utilizzati i seguenti accessori

- N. 2 Cavi sismici multipolari in Purex da 60 metri, 12 take-out, intervallo 5 metri;
- N. 12 geofoni verticali frequenza 14 Hz;
- Mazza battente strumentata con trigger e piastra di battuta in alufer;

### 3.3 RISULTATI DELLE PROSPEZIONI

DENOMINAZIONE: <b>Sezione sismica tomografica Ts1</b>				
N. GEOFONI:	STEP INTERGEOFONICO	N. SHOTS	LUNGHEZZA STENDIMENTO END-TO-END SHOT	PROFONDITÀ RAGGIUNTA
16	2 m	3	40 m	9 m

Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta	<p>Dromocrone osservate e calcolate</p>
1	420	0,8 – 2,0	Limi argillosi	
2	800	2,5-4	Argille limose a consistenza media	
3	1350		Argille a consistenza elevata	

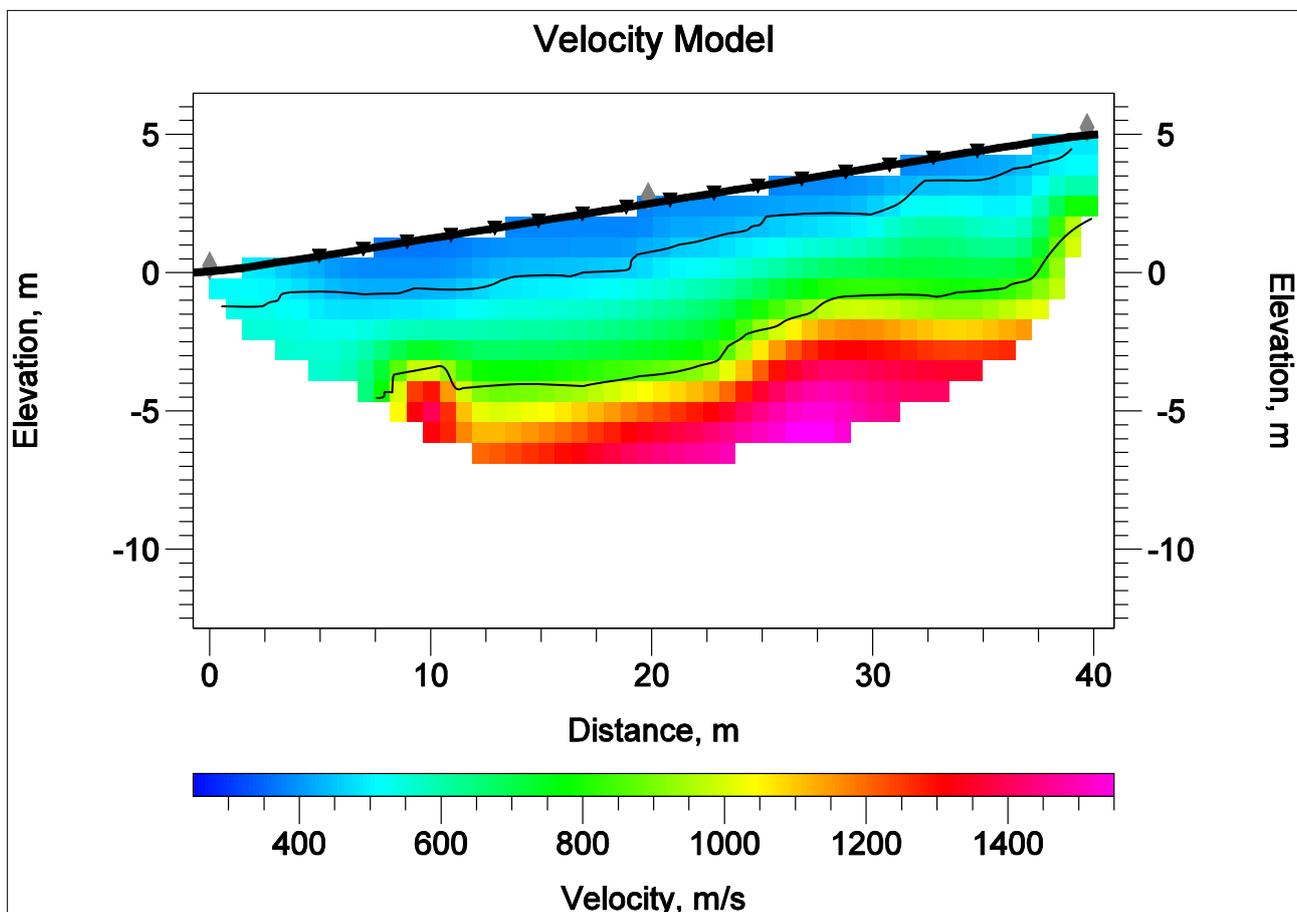
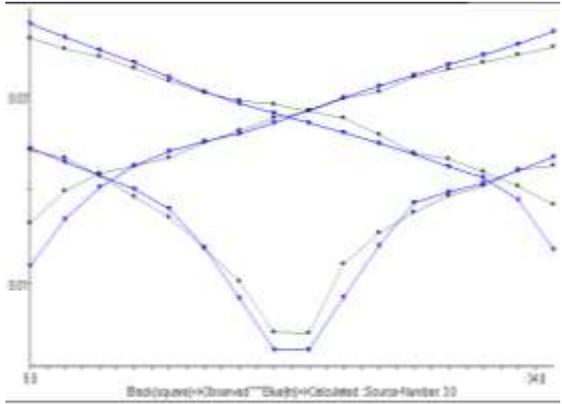


Figura 75 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

DENOMINAZIONE: <b>Sezione sismica tomografica Ts2</b>				
N. GEOFONI: <b>16</b>	STEP INTERGEOFONICO <b>2 m</b>	N. SHOTS <b>3</b>	LUNGHEZZA STENDIMENTO END-TO-END SHOT <b>40 m</b>	PROFONDITÀ RAGGIUNTA <b>8 m</b>

Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta
1	420	0,8 – 1,8	Limi argillosi
2	750	1,8-3,5	Argille limose mediamente consistenti
3	1400		Argille a consistenza elevata



Dromocrone osservate e calcolate

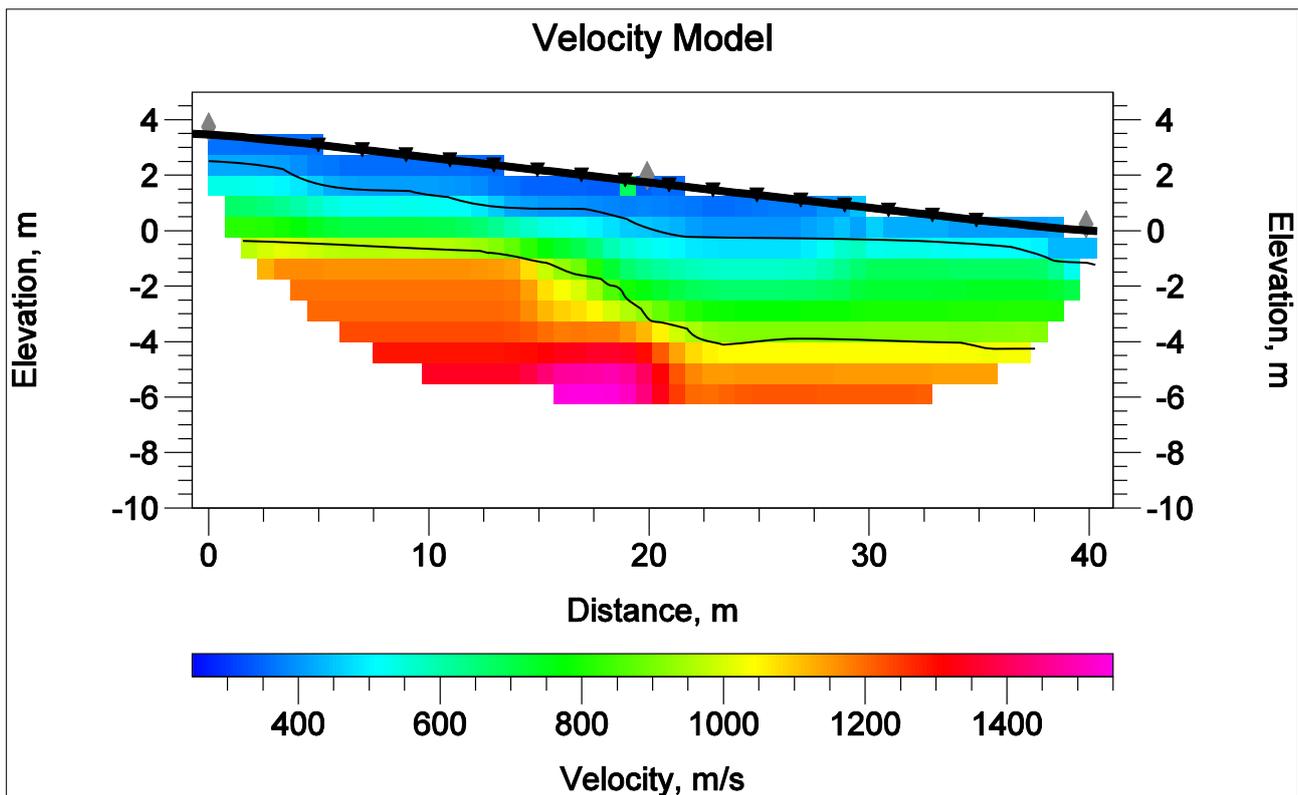
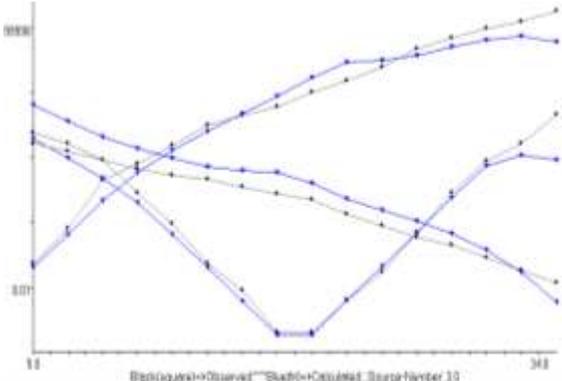


Figura 76 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

DENOMINAZIONE: <b>Sezione sismica tomografica Ts3</b>				
N. GEOFONI: <b>16</b>	STEP INTERGEOFONICO <b>2 m</b>	N. SHOTS <b>3</b>	LUNGHEZZA STENDIMENTO END-TO-END SHOT <b>40 m</b>	PROFONDITÀ RAGGIUNTA <b>8 m</b>

Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta
1	450	0,2 – 1,8	Sabbie e ghiaie di natura silicea
2	900	2,0-5,5	Argilliti silicee (F.ne Crisanti) scagliettate e fratturate
3	1500		Argilliti silicee (F.ne Crisanti) stratificate a consistenza lapidea



Dromocrone osservate e calcolate

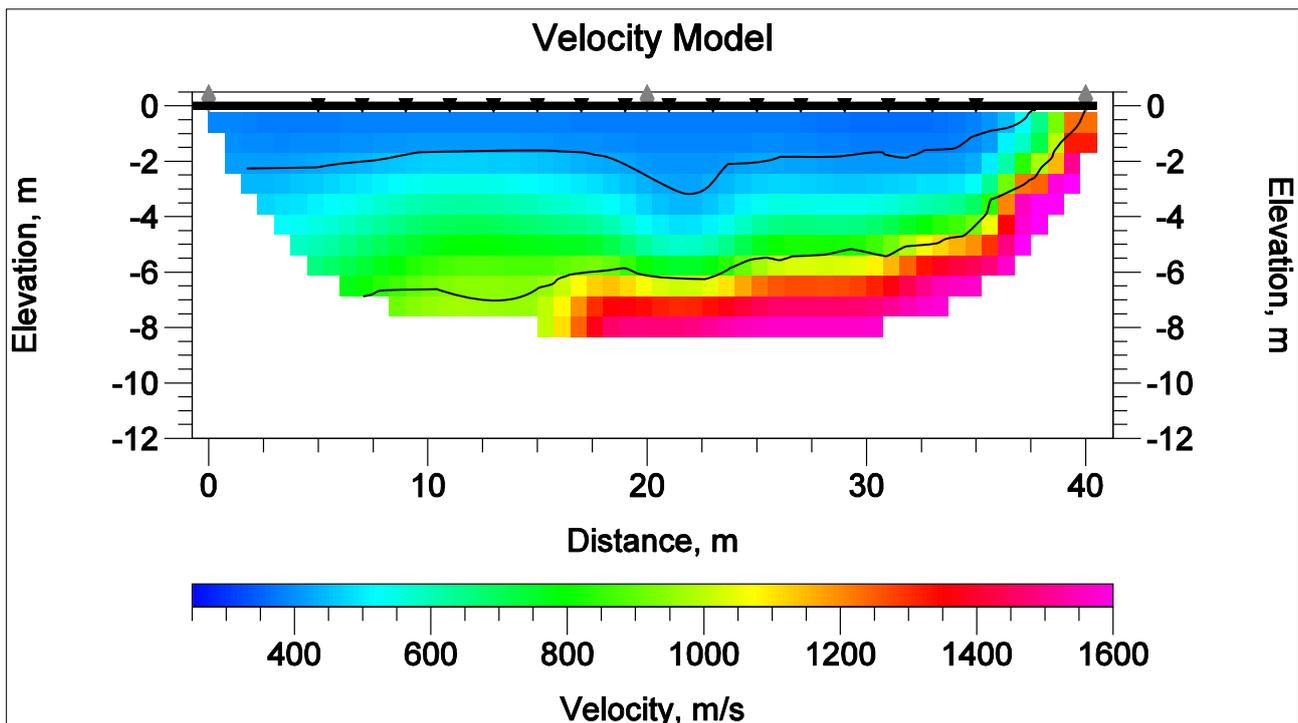


Figura 77 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

DENOMINAZIONE: <b>Sezione sismica tomografica Ts4</b>				
N. GEOFONI: <b>16</b>	STEP INTERGEOFONICO <b>2 m</b>	N. SHOTS <b>3</b>	LUNGHEZZA STENDIMENTO END-TO-END SHOT <b>40 m</b>	PROFONDITÀ RAGGIUNTA <b>8 m</b>

Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta	<p>Dromocrone osservate e calcolate</p>
1	450	0,2 – 1,8	Limi argillosi	
2	790	3,8-4,5	Argille limose mediamente consistenti	
3	1450		Argille a consistenza elevata	

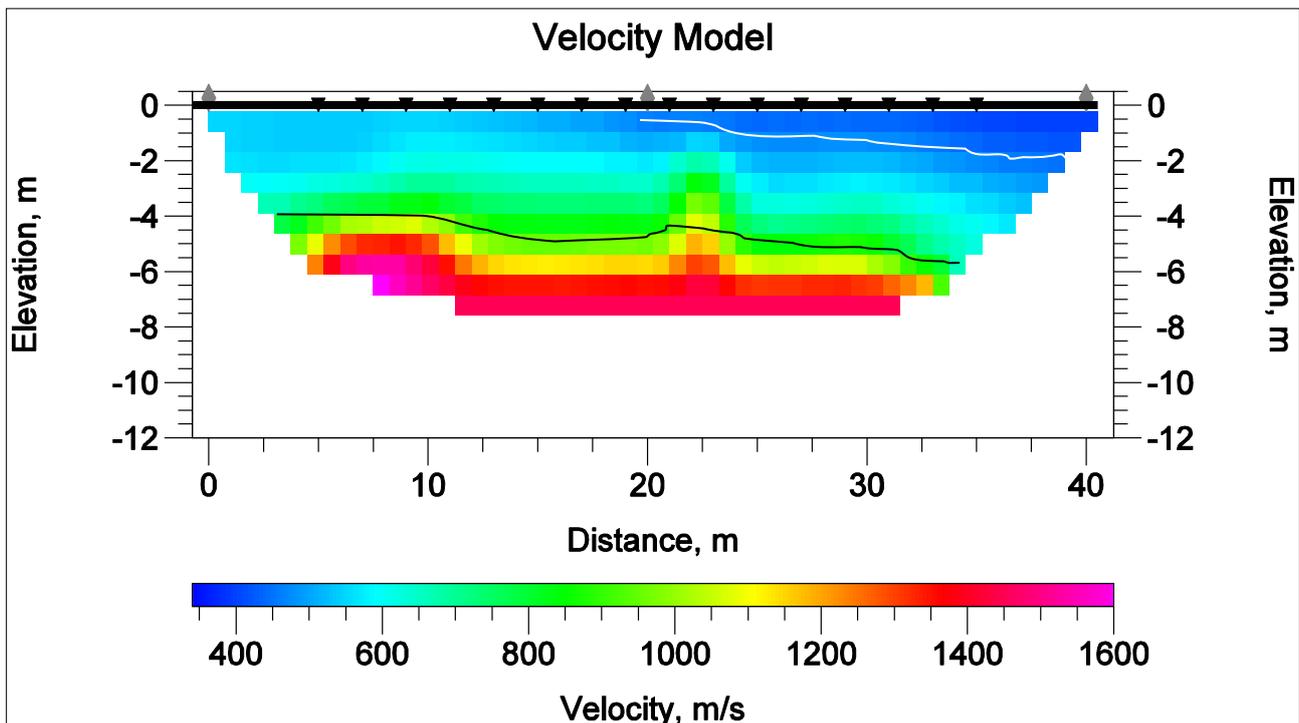


Figura 78 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

DENOMINAZIONE: <b>Sezione sismica tomografica Ts5</b>				
N. GEOFONI: <b>16</b>	STEP INTERGEOFONICO <b>2 m</b>	N. SHOTS <b>3</b>	LUNGHEZZA STENDIMENTO END-TO-END SHOT <b>40 m</b>	PROFONDITÀ RAGGIUNTA <b>10 m</b>

Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta
1	420	0,3 – 2,0	Limi argillosi
2	700	3,5 – 4,5	Argille limose mediamente consistenti
3	1100		Argille a consistenza medio-elevata

Dromocrone osservate e calcolate

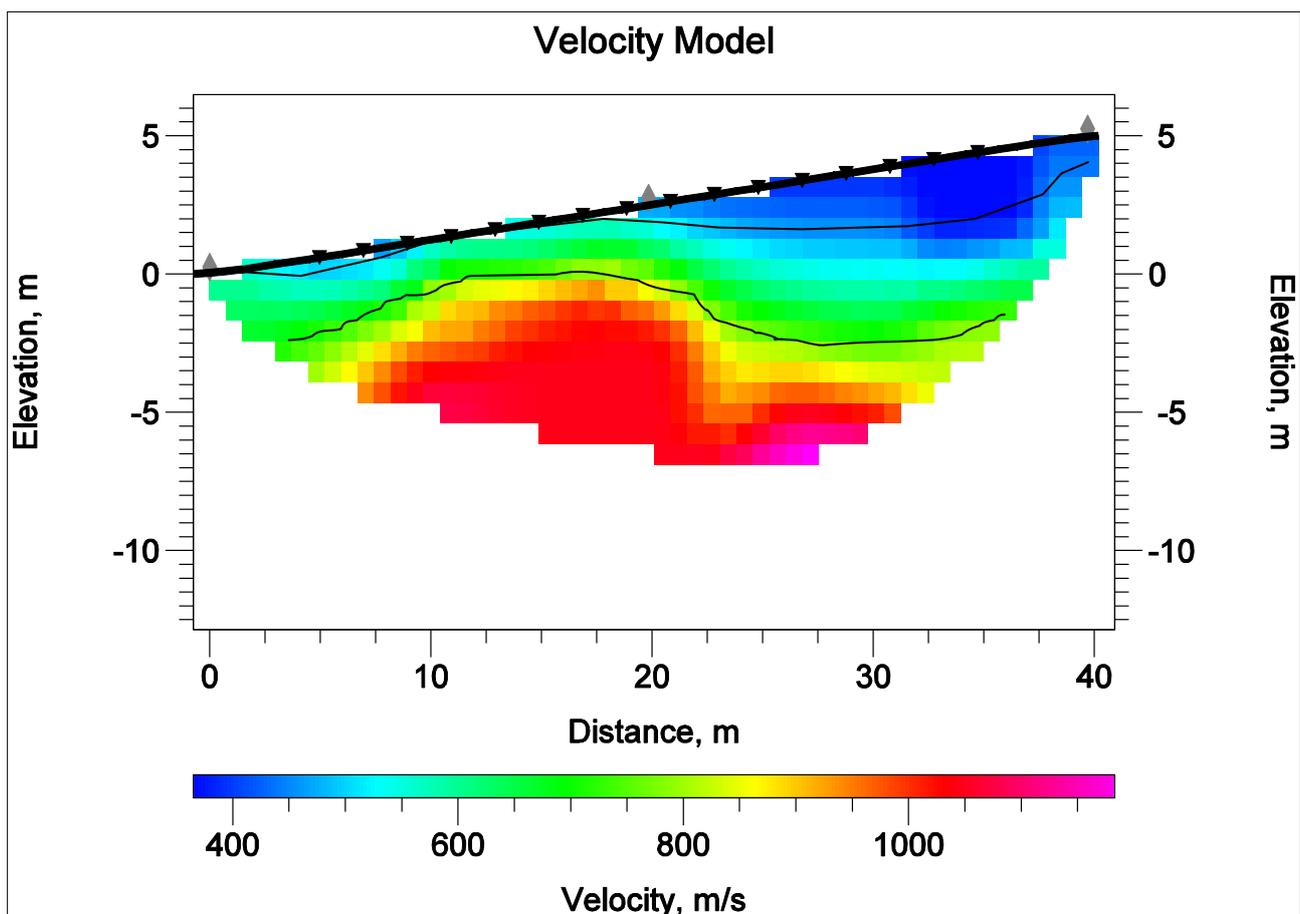
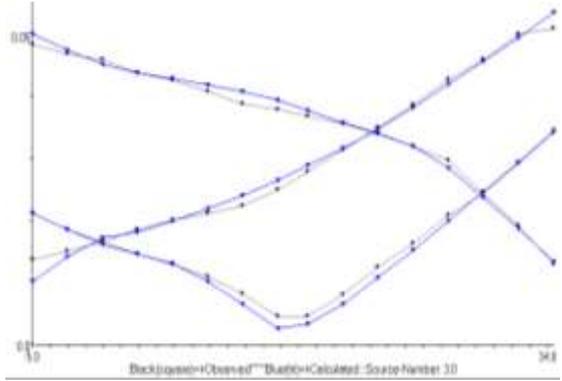


Figura 79 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

DENOMINAZIONE: <b>Sezione sismica tomografica Ts6</b>				
N. GEOFONI: <b>16</b>	STEP INTERGEOFONICO <b>2 m</b>	N. SHOTS <b>3</b>	LUNGHEZZA STENDIMENTO END-TO-END SHOT <b>40 m</b>	PROFONDITÀ RAGGIUNTA <b>7 m</b>

Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta
1	430	0,6 – 1,8	Limi argillosi
2	680	5,0 – 6,5	Argille limose a consistenza medio-bassa
3	1050		Argille a consistenza media



Dromocrone osservate e calcolate

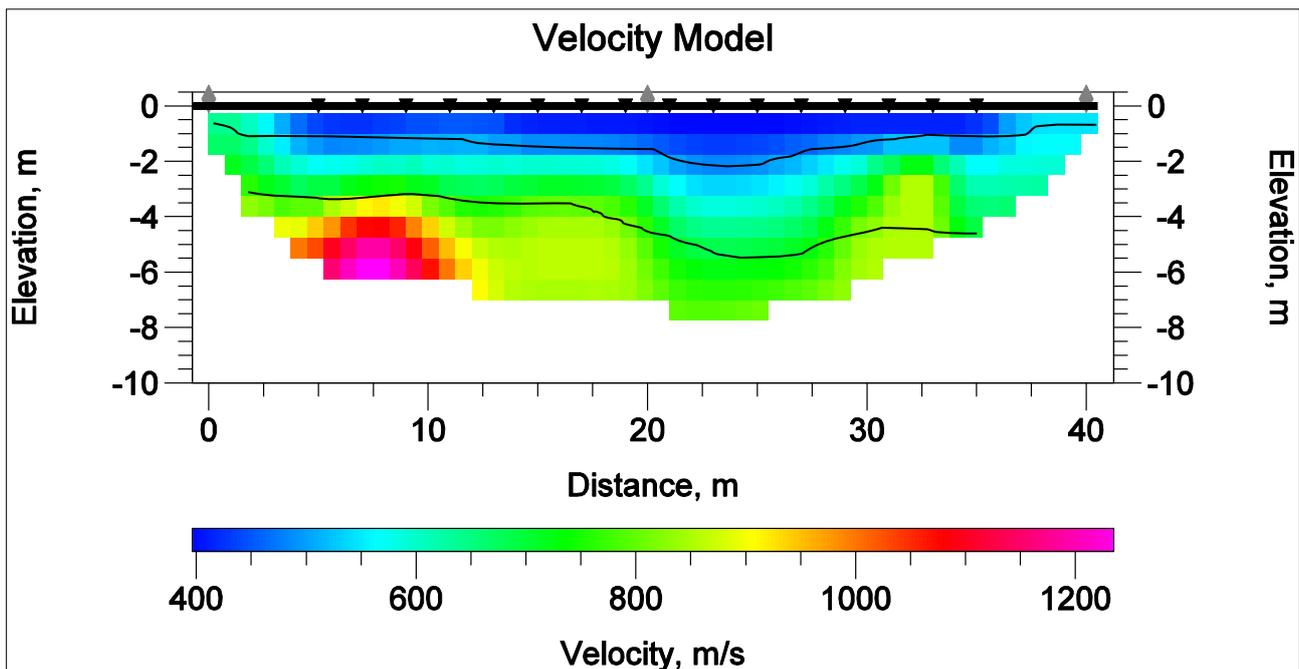
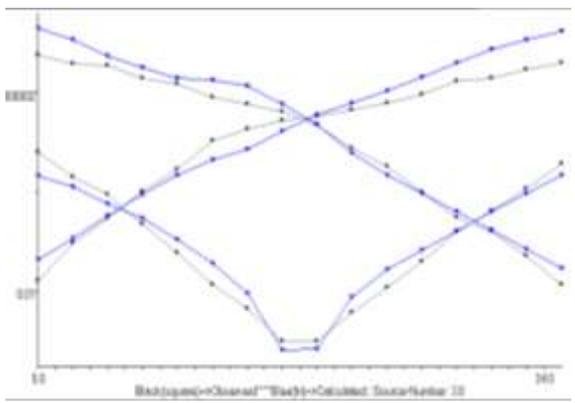


Figura 80 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

DENOMINAZIONE: <b>Sezione sismica tomografica Ts7</b>				
N. GEOFONI: <b>16</b>	STEP INTERGEOFONICO <b>2 m</b>	N. SHOTS <b>3</b>	LUNGHEZZA STENDIMENTO END-TO-END SHOT <b>40 m</b>	PROFONDITÀ RAGGIUNTA <b>9 m</b>

Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta
1	430	1,0 – 2,5	Limi argillosi
2	750	2,5 – 5,5	Argille limose mediamente consistenti
3	1300		Argille a consistenza medio-elevata



Dromocrone osservate e calcolate

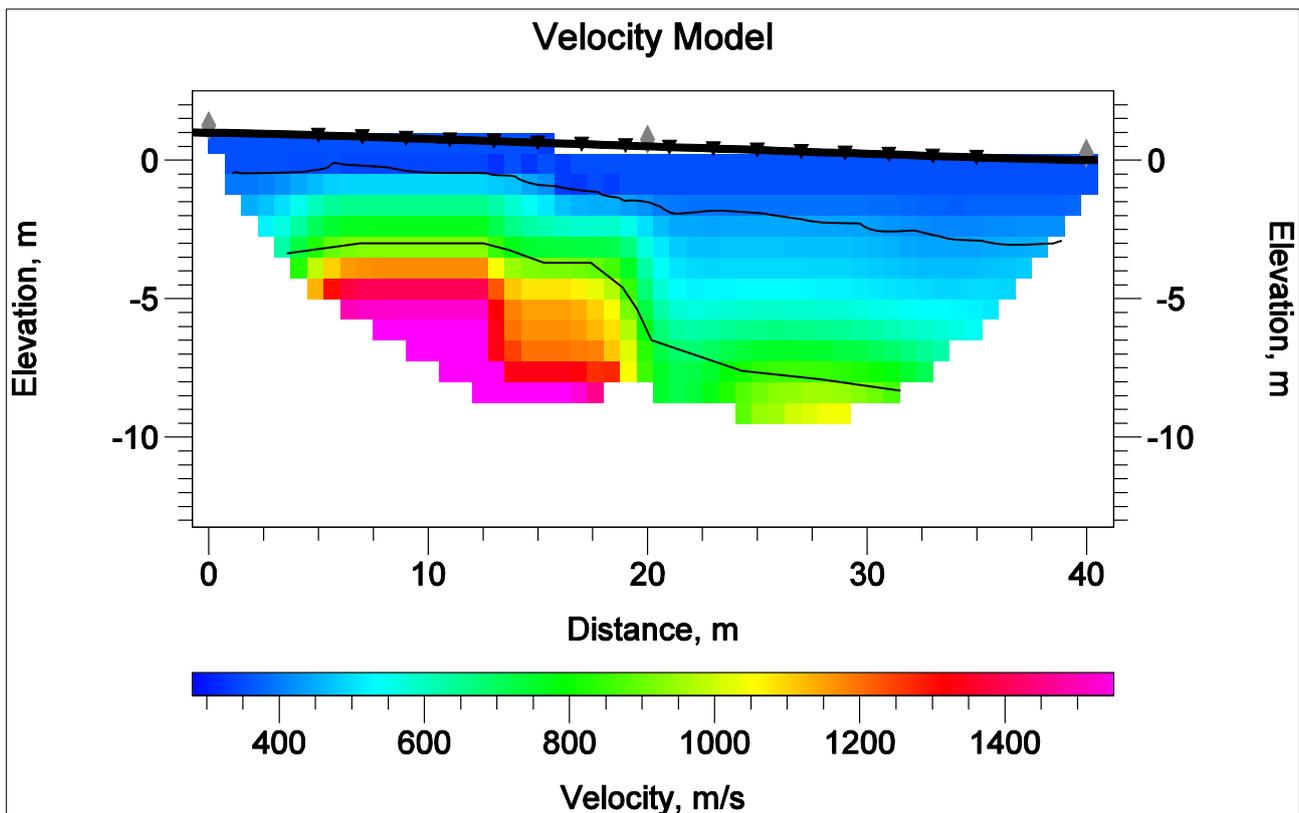


Figura 81 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

DENOMINAZIONE: <b>Sezione sismica tomografica Ts8</b>				
N. GEOFONI: <b>16</b>	STEP INTERGEOFONICO <b>2 m</b>	N. SHOTS <b>3</b>	LUNGHEZZA STENDIMENTO END-TO-END SHOT <b>40 m</b>	PROFONDITÀ RAGGIUNTA <b>8 m</b>

Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta	<p>Dromocrone osservate e calcolate</p>
1	460	0,3 – 1,8	Limi argillosi	
2	800	3,0- – 5,0	Argille limose mediamente consistenti	
3	1350		Argille a consistenza medio-elevata	

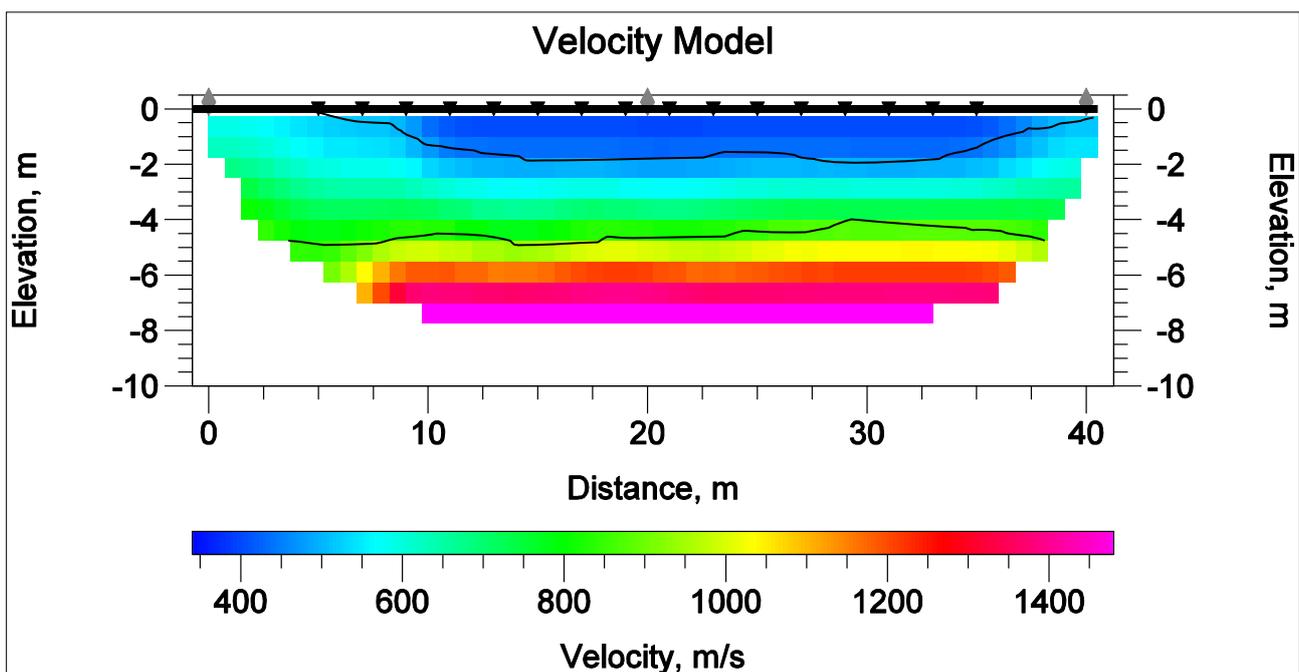


Figura 82 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

DENOMINAZIONE: <b>Sezione sismica tomografica Ts9</b>				
N. GEOFONI: <b>16</b>	STEP INTERGEOFONICO <b>2 m</b>	N. SHOTS <b>3</b>	LUNGHEZZA STENDIMENTO END-TO-END SHOT <b>40 m</b>	PROFONDITÀ RAGGIUNTA <b>6 m</b>

Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta	<p>Dromocroni osservate e calcolate</p>
1	450	0,3 - 1,8	Limi argillosi	
2	800	2,0 - 2,5	Argille mediamente consistenti	
3	1400		Argille a consistenza elevata	

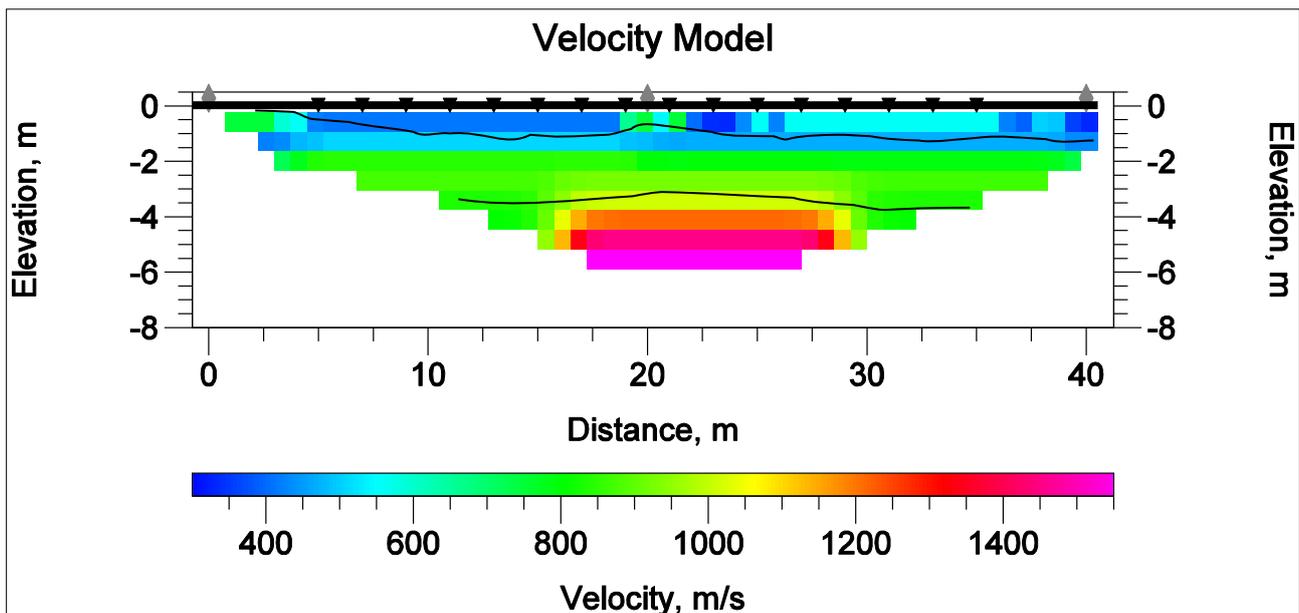
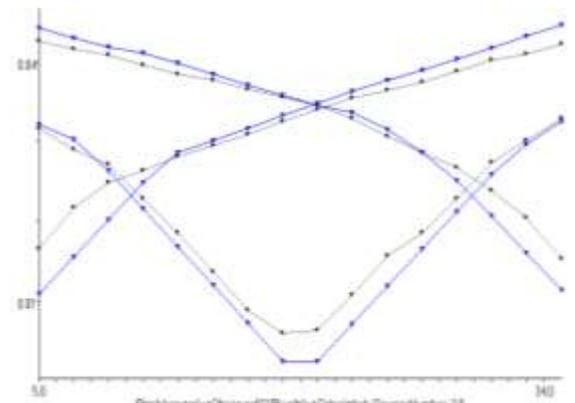


Figura 83 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

DENOMINAZIONE: <b>Sezione sismica tomografica Ts10</b>				
N. GEOFONI: <b>16</b>	STEP INTERGEOFONICO <b>2 m</b>	N. SHOTS <b>3</b>	LUNGHEZZA STENDIMENTO END-TO-END SHOT <b>40 m</b>	PROFONDITÀ RAGGIUNTA <b>6 m</b>

Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta
1	480	0,4 - 1,2	Limi argillosi
2	900	3,0 - 4,5	Argille mediamente consistenti
3	1400		Argille a consistenza elevata



Dromocrone osservate e calcolate

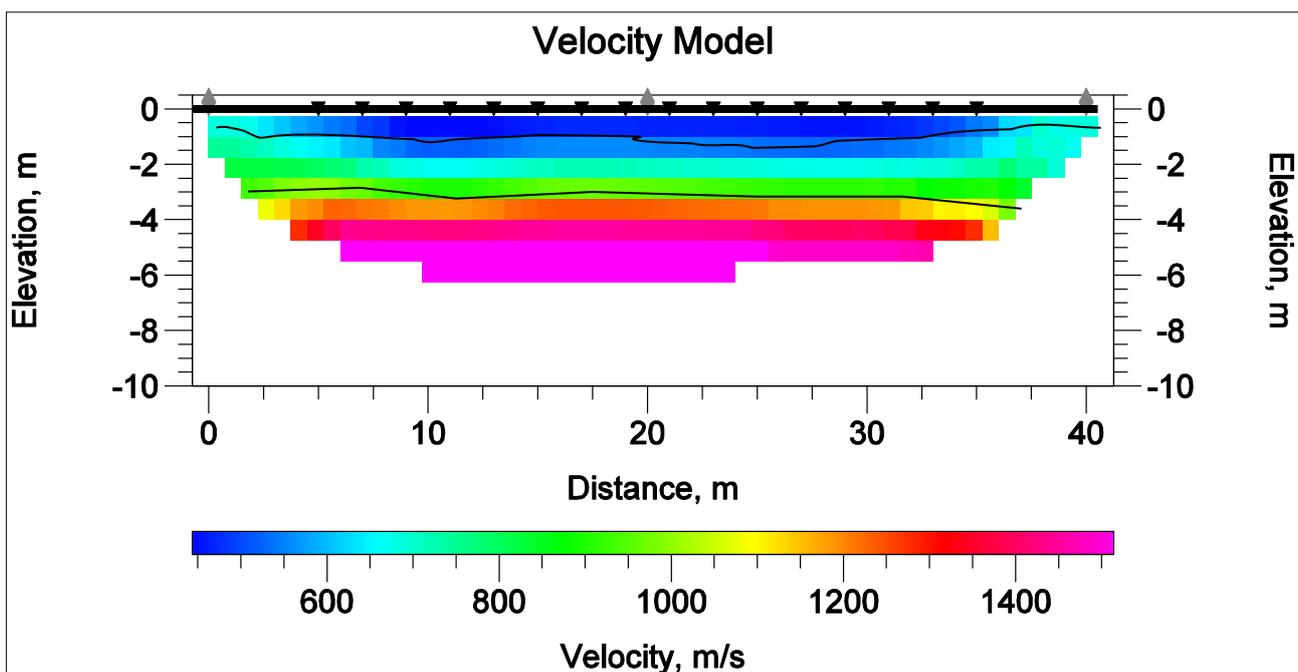
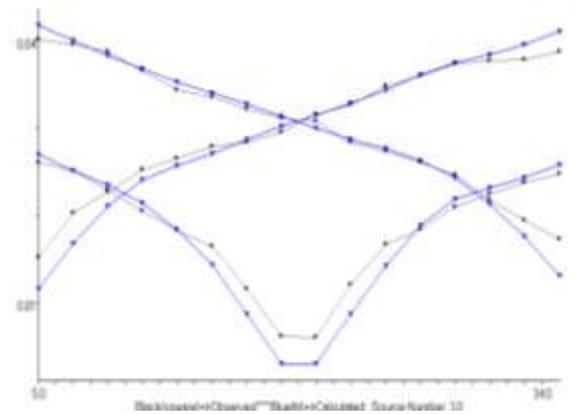


Figura 84 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

DENOMINAZIONE: <b>Sezione sismica tomografica Ts11</b>				
N. GEOFONI: <b>16</b>	STEP INTERGEOFONICO <b>2 m</b>	N. SHOTS <b>3</b>	LUNGHEZZA STENDIMENTO END-TO-END SHOT <b>40 m</b>	PROFONDITÀ RAGGIUNTA <b>6,5 m</b>

Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta
1	480	1,0 – 1,3	Limi argillosi
2	880	1,8 – 2,5	Argille mediamente consistenti
3	1400		Argille a consistenza elevata



Dromocrone osservate e calcolate

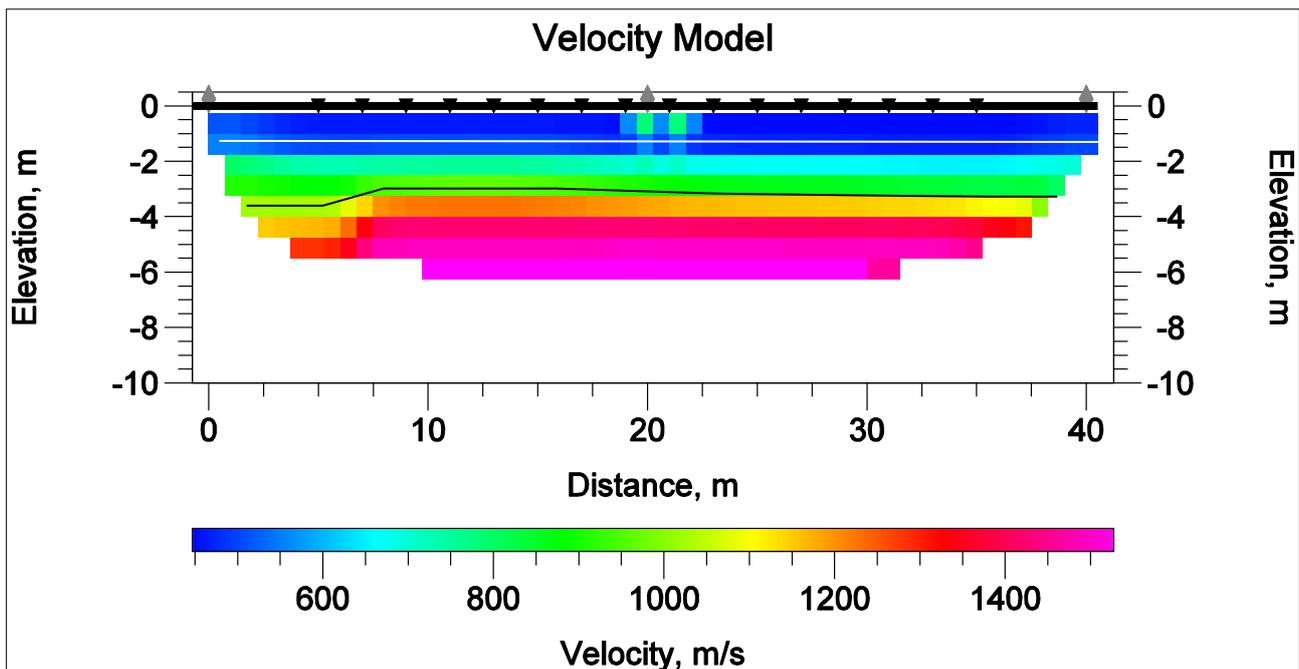
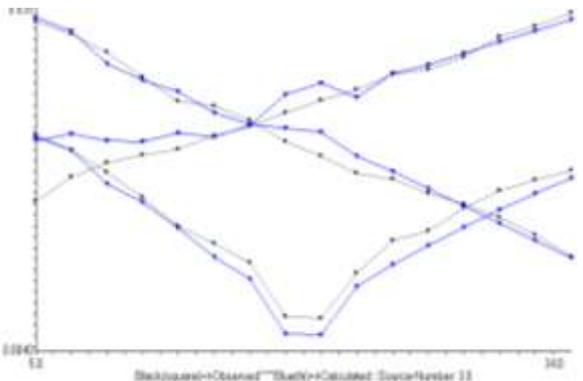


Figura 85 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

DENOMINAZIONE: <b>Sezione sismica tomografica Ts12</b>				
N. GEOFONI: <b>16</b>	STEP INTERGEOFONICO <b>2 m</b>	N. SHOTS <b>3</b>	LUNGHEZZA STENDIMENTO END-TO-END SHOT <b>40 m</b>	PROFONDITÀ RAGGIUNTA <b>9,5 m</b>

Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta
1	450	1,5 – 2,5	Depositi di natura colluviale- alluvionale
2	650	3,5 – 4,0	Limi argillosi a consistenza medio-bassa
3	1000		Argille limose a consistenza media



Dromocrone osservate e calcolate

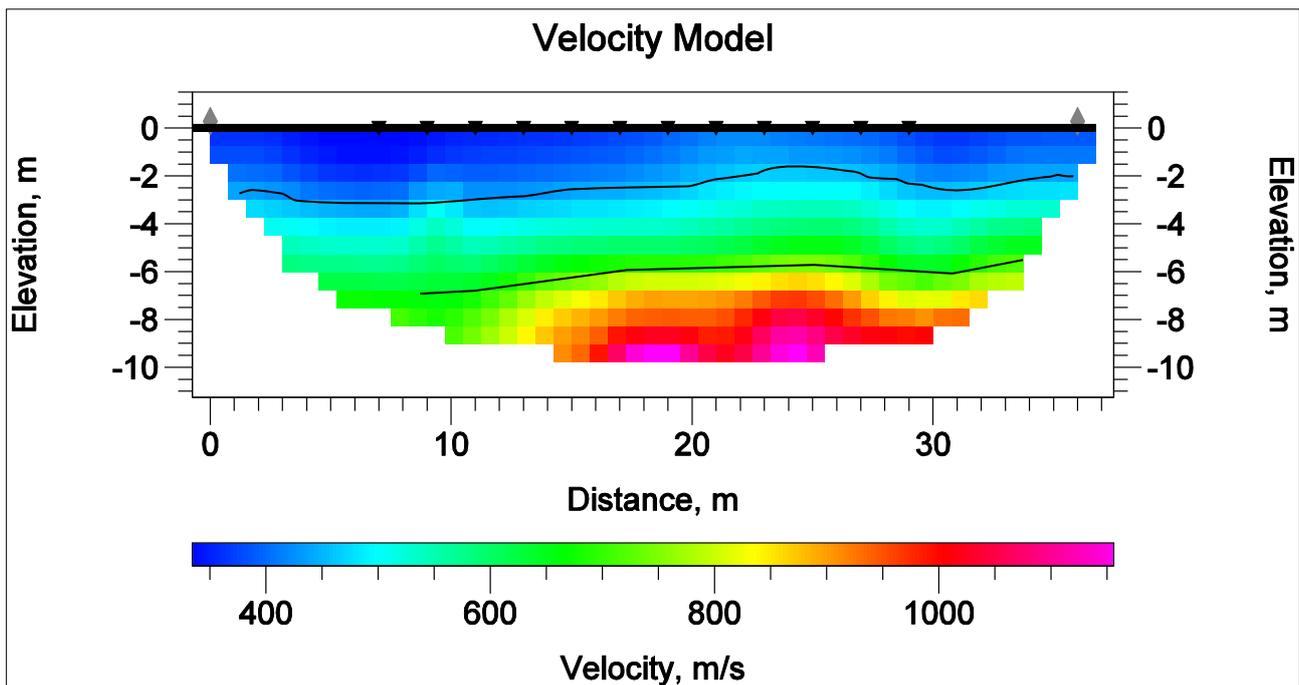
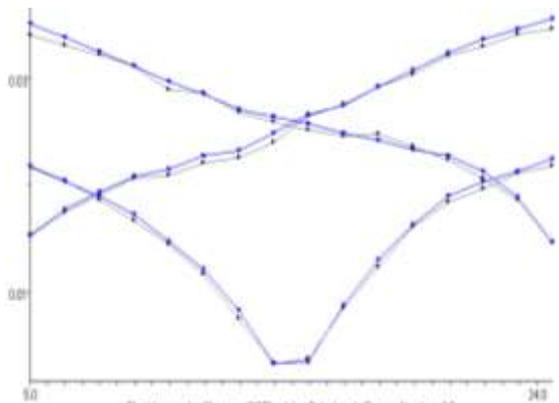


Figura 86 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

DENOMINAZIONE: <b>Sezione sismica tomografica Ts13</b>				
N. GEOFONI: <b>16</b>	STEP INTERGEOFONICO <b>2 m</b>	N. SHOTS <b>3</b>	LUNGHEZZA STENDIMENTO END-TO-END SHOT <b>40 m</b>	PROFONDITÀ RAGGIUNTA <b>8 m</b>

Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta
1	550	0,3 – 1,5	Limi argillosi moderatamente consistenti
2	760	3,0 – 4,0	Argille limose mediamente consistenti
3	1100		Argille a consistenza medio-elevata



Dromocrone osservate e calcolate

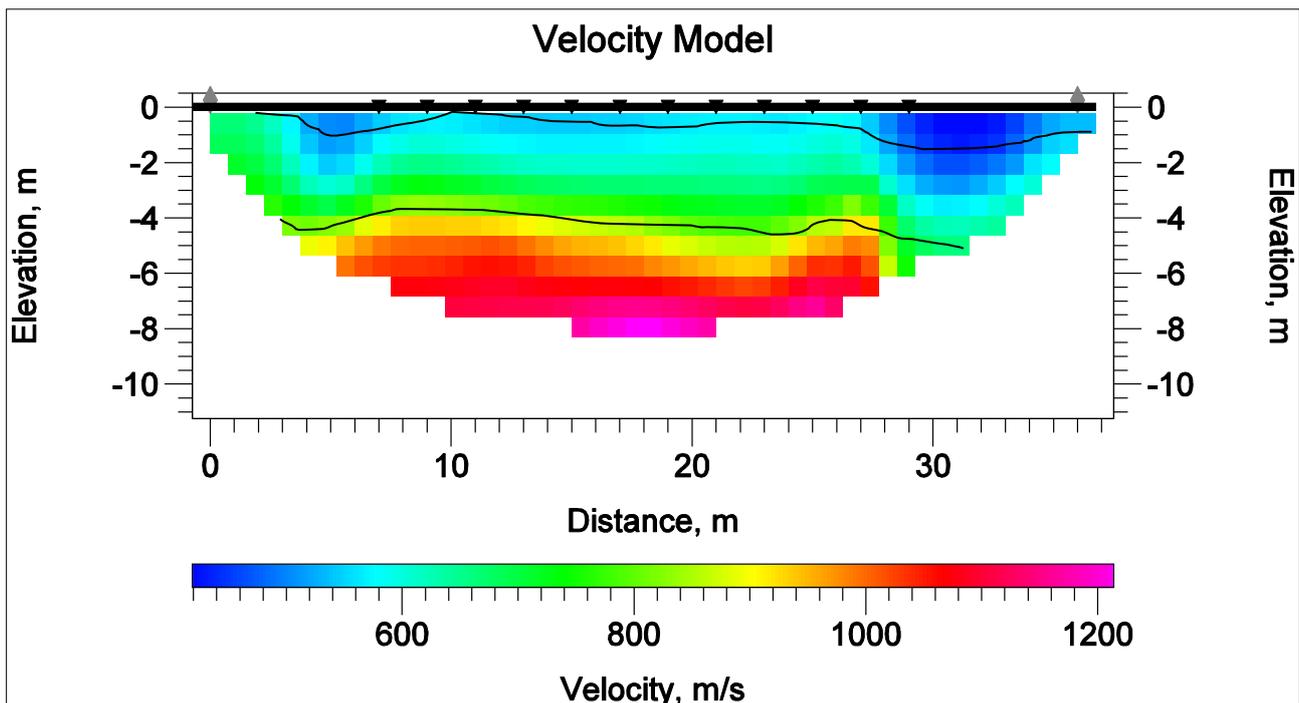


Figura 87 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

DENOMINAZIONE: <b>Sezione sismica tomografica Ts14</b>				
N. GEOFONI: <b>16</b>	STEP INTERGEOFONICO <b>2 m</b>	N. SHOTS <b>3</b>	LUNGHEZZA STENDIMENTO END-TO-END SHOT <b>40 m</b>	PROFONDITÀ RAGGIUNTA <b>6,5 m</b>

Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta
1	500	0,2 – 0,5	Limi argillosi moderatamente consistenti
2	900	3,0 – 4,0	Argille mediamente consistenti
3	1400		Argille a consistenza elevata

Dromocrone osservate e calcolate

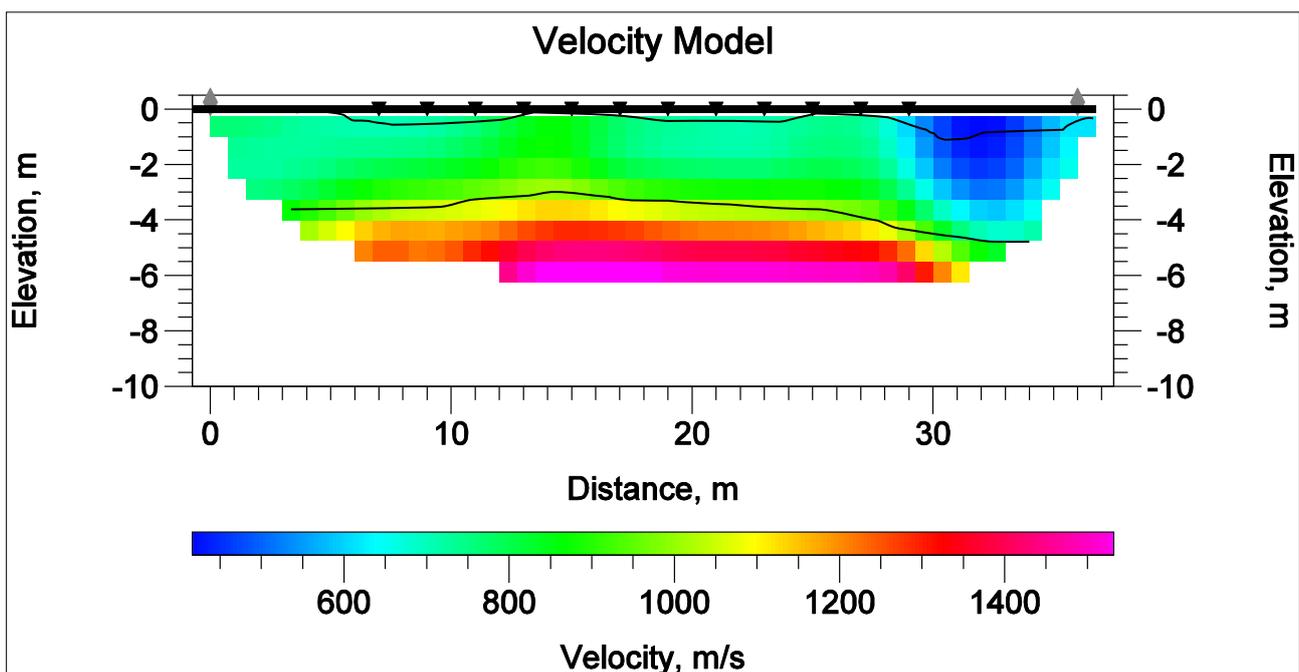
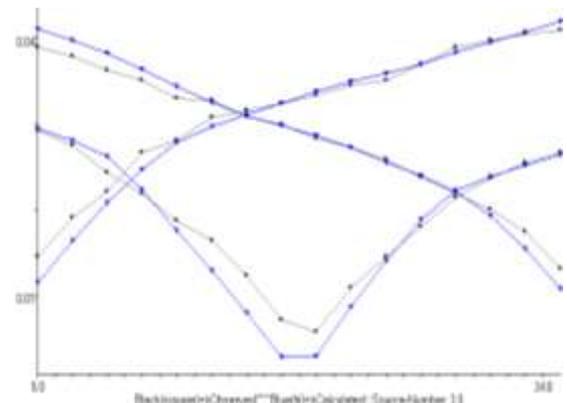


Figura 88 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

DENOMINAZIONE: <b>Sezione sismica tomografica Ts15</b>				
N. GEOFONI: <b>16</b>	STEP INTERGEOFONICO <b>2 m</b>	N. SHOTS <b>3</b>	LUNGHEZZA STENDIMENTO END-TO-END SHOT <b>40 m</b>	PROFONDITÀ RAGGIUNTA <b>10 m</b>

Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta
1	450	1,5 – 3,5	Depositi di natura colluviale-alluvionale
2	640	3,5 – 5,5	Limi argillosi a consistenza medio-bassa
3	950		Argille limose a consistenza media



Dromocrone osservate e calcolate

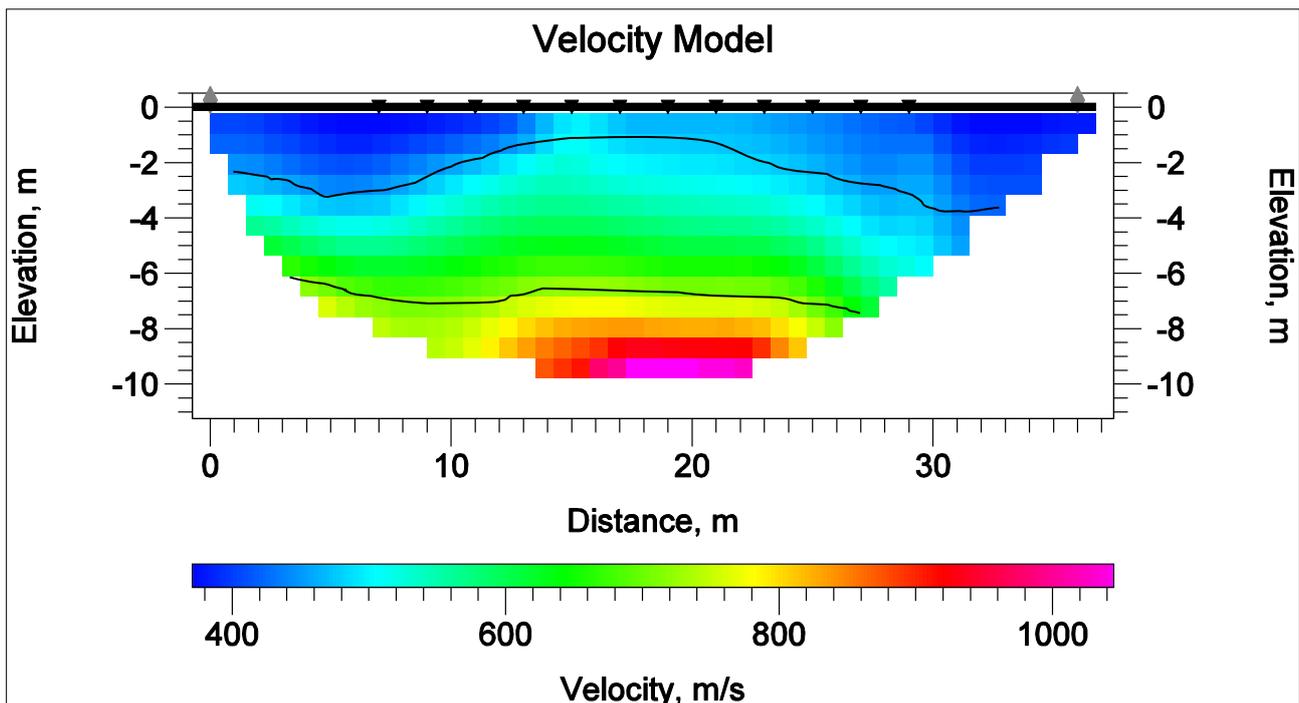
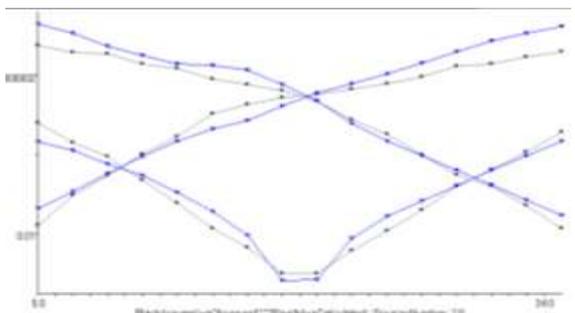


Figura 89 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

DENOMINAZIONE: <b>Sezione sismica tomografica Ts16</b>				
N. GEOFONI: <b>16</b>	STEP INTERGEOFONICO <b>2 m</b>	N. SHOTS <b>3</b>	LUNGHEZZA STENDIMENTO END-TO-END SHOT <b>40 m</b>	PROFONDITÀ RAGGIUNTA <b>8 m</b>

Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta
1	580	0,3 – 1,8	Limi argillosi moderatamente consistenti
2	1000	3,5 – 4,5	Argille limose mediamente consistenti
3	1550		Argille a consistenza medio-elevata



Dromocrone osservate e calcolate

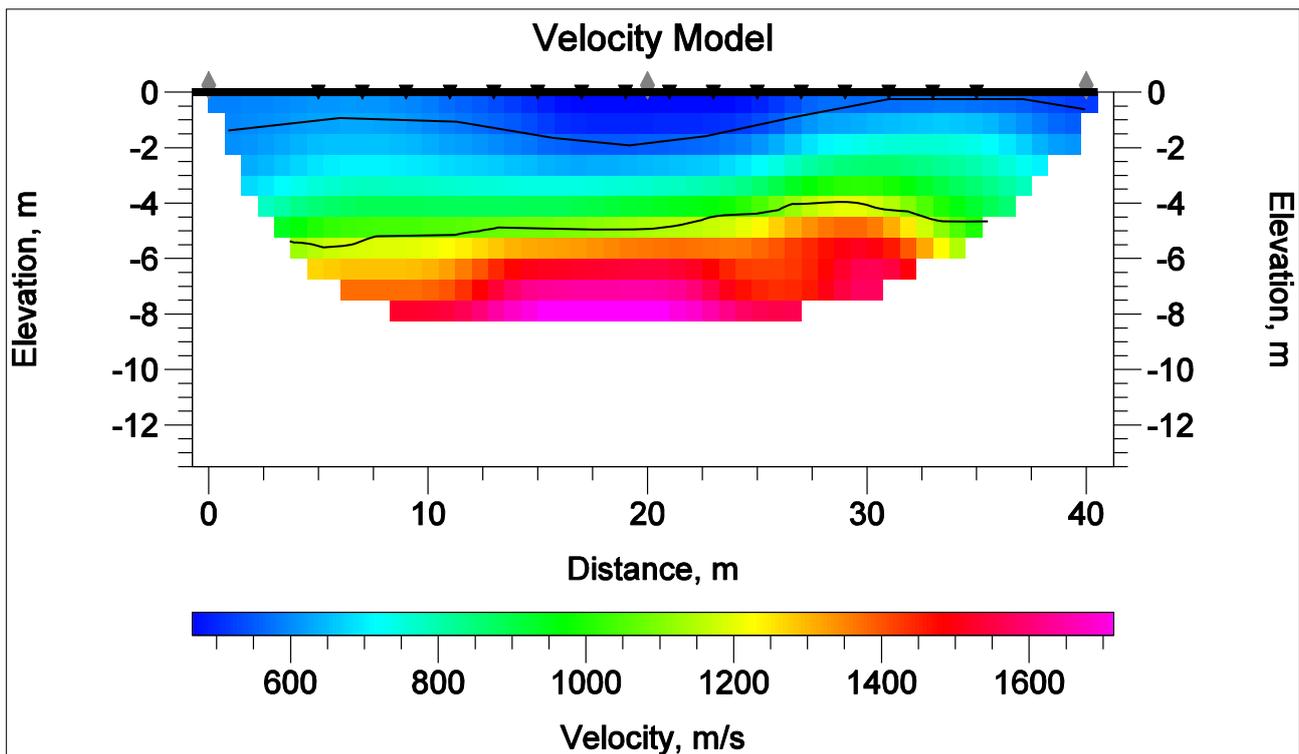
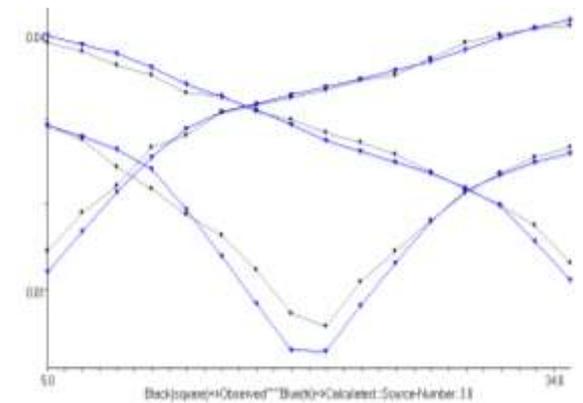


Figura 90 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

DENOMINAZIONE: <b>Sezione sismica tomografica Ts17</b>				
N. GEOFONI: <b>16</b>	STEP INTERGEOFONICO <b>2 m</b>	N. SHOTS <b>3</b>	LUNGHEZZA STENDIMENTO END-TO-END SHOT <b>40 m</b>	PROFONDITÀ RAGGIUNTA <b>12 m</b>

Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta
1	480	0,2 – 1,0	Limi argillosi
2	850	3,0 – 4,0	Argille limose mediamente consistenti
3	1500		Argille a consistenza elevata



Dromocroni osservate e calcolate

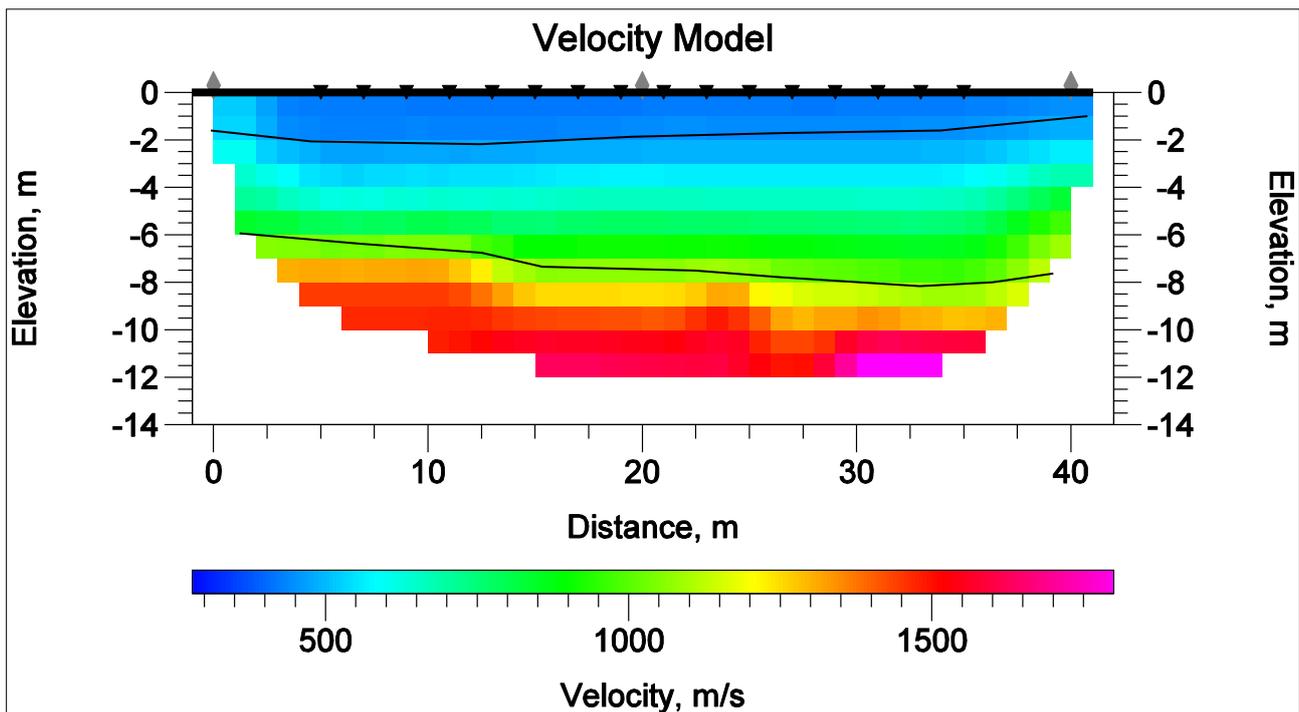


Figura 91 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

### 3.4 DESCRIZIONE DEI RISULTATI

Le prospezioni sismiche a rifrazione attraverso l'elaborazione tomografica hanno fornito una sezione bidimensionale del sottosuolo maggiormente dettagliata rispetto alle tradizionali traverse sismiche.

I modelli sismostratigrafici sono stati interpretati un modello a tre sismostrati, costituiti da un aerato di superficie, generalmente poco o scarsamente addensato, da un primo rifratore (a basso/medio grado di consistenza), e da un secondo rifratore (a consistenza generalmente elevata), evidenziando di volta in volta il range di spessore di ciascun sismostrato.

Le sezioni tomografiche sono state sempre localizzate in corrispondenza di estese aree morfologicamente uniformi, a morfologia subpianeggiante o comunque con acclività non eccessiva, allo scopo di caratterizzare le differenti condizioni litostratigrafiche in relazione alle finalità del progetto. Nella tabella seguente sono indicate (accanto al numero identificativo della prospezione), la formazione geologica affiorante e lo spessore dell'aerato superficiale a consistenza minore. La quasi totalità dei terreni interessati è costituita in affioramento dalle Argille ed Arenarie glauconitiche, appartenenti all'Unità di M. ludica, così come un sottile lembo della F.ne Crisanti, intercettata nella tomografia n. 3. Solo in due siti di prova sono stati riscontrati depositi di natura alluvionale o colluviale in affioramento.

**Tabella 2 – Elenco prospezioni sismiche tomografiche e formazione geologica di riferimento**

Tomografia sismica n.	Formazione geologica	Aerato superficiale limoso-argilloso a minore consistenza (m)
1	Argille e Arenarie glauconitiche	0,8 – 2,0
2	Argille e Arenarie glauconitiche	0,8 – 1,8
3	F.ne Crisanti	0,2 – 1,8
4	Argille e Arenarie glauconitiche	0,2 – 1,8
5	Argille e Arenarie glauconitiche	0,3 – 2,0
6	Argille e Arenarie glauconitiche	0,6 – 1,8
7	Argille e Arenarie glauconitiche	1,0 – 2,5
8	Argille e Arenarie glauconitiche	0,3 – 1,8
9	Argille e Arenarie glauconitiche	0,3 - 1,8
10	Argille e Arenarie glauconitiche	0,4 - 1,2
11	Argille e Arenarie glauconitiche	1,0 – 1,3
12	Depositi alluvionali	1,5 – 2,5
13	Argille e Arenarie glauconitiche	0,3 – 1,5
14	Argille e Arenarie glauconitiche	0,2 – 0,5
15	Depositi alluvionali	1,5 – 3,5
16	Argille e Arenarie glauconitiche	0,3 – 1,8
17	Argille e Arenarie glauconitiche	0,2 – 1,0

Le aree indagate evidenziano generalmente terreni coesivi con consistenza medio-elevata, raramente terreni di natura litoide, con una fascia di copertura di spessore variabile da pochi decimetri fino a qualche metro di terreno eluvio-colluviale a bassa consistenza, generalmente rimaneggiata in seguito alle arature stagionali e piuttosto alterata in seguito ai fenomeni di imbibizione/essiccamento nel corso dell'anno. La transizione fra primo e secondo rifratore, identificata nelle sezioni con una linea di separazione netta, in realtà è piuttosto graduale in quanto si passa progressivamente dal top della formazione argillosa, più alterato ed allentato, alla formazione argillosa di base più consistente ed inalterata. La correlazione fra velocità sismiche e litologia del sismostrato è solo presuntiva, effettuata sulla base dei terreni affioranti e delle caratteristiche geologiche desunte dalla cartografia specializzata.

Di seguito è allegata una sintetica documentazione fotografica dei siti di prova più significativi.

Il tecnico  
(Dott. Geol. Domenico Boso)

#### 4. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

