

CALITÀ	COMUNI DI MINEO E RAMACCA (CT), AIDONE (EN)	
COMMITTENTE	<i>IBVI 22 S.R.L.</i>	
TIPO DOCUMENTO	Rapporto Tecnico indagini geofisiche CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO E CALCOLO DEL PARAMETRO $V_{S,eq}$ - D.M. 17.01.2018 -	
OGGETTO	PROGETTO DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO DA 260 MWP DENOMINATO “MINEO”	
		
DATA INDAGINE:	Novembre-Dicembre 2022	IL TECNICO Geol. Domenico Boso

SOMMARIO

1. PREMESSA.....	3
2. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO.....	4
2.1 Prospezione MASW	4
2.2 Strumentazione utilizzata	6
2.3 Risultati delle prospezioni	8
1.1 Descrizione dei risultati.....	44
2 PROSPEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA	47
2.1 Cenni Teorici.....	47
2.2 Risultati delle prospezioni	48
2.3 Descrizione dei risultati.....	66

1. PREMESSA

Su incarico della società di IBVI_22 Srl è stata realizzata una campagna di indagini a supporto dello studio geologico dell'area interessata dalla progettazione di un impianto agrovoltaiico della potenza di 260 MW e delle rispettive aree di connessione, ricadente nei comuni di Mineo, Ramacca (provincia di Catania) ed Aidone (provincia di Enna), denominato "MINEO". Il proponente dell'iniziativa è la società **IBVI_22 S.R.L.**

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 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 sono stati ottenute le informazioni necessarie per la progettazione del campo fotovoltaico.

Sono state effettuate le seguenti indagini,

- N. 36 prospezioni MASW per la definizione della sismostratigrafia e della categoria del sottosuolo, ai sensi del D.M. 17.01.18;
- N. 18 prospezioni sismiche tomografiche a rifrazione per la definizione di sezioni bidimensionali ad elevata risoluzione del sottosuolo;

Le prove sono ubicate nella cartografia in scala 1:25.000 allagata alla relazione geologica.

2. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO

La nuova normativa tecnica sulle costruzioni, il D.M. 17.01.2018, a differenza della precedente (D.M. 14.01.08), di cui recepisce gran parte dei contenuti, introduce il concetto di “*velocità equivalente V_s* ”, 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 V_s 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 V_s , 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 ν), la densità di massa ρ 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 ν , la densità di massa ρ 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 e grafici riassuntivi dei valori di $V_{s,eq}$ e delle V_s relative ai primi tre intervalli di profondità (0-1 m, 1-3m, 3-6m).

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



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;

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. *Bullettin 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

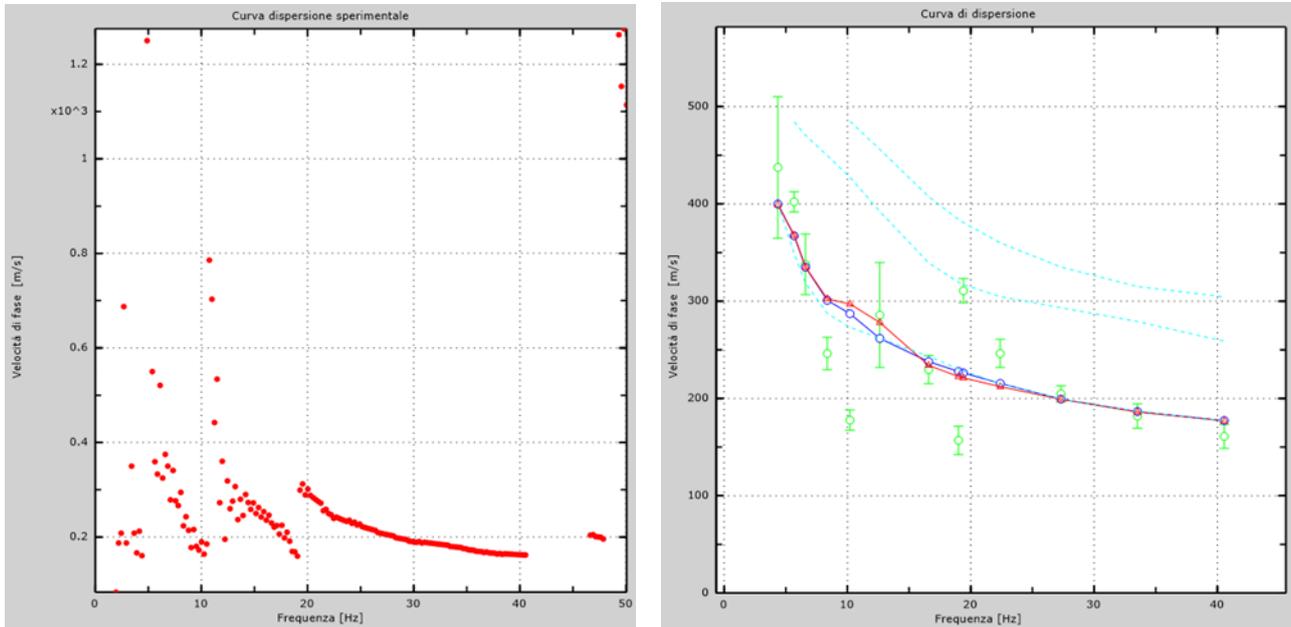
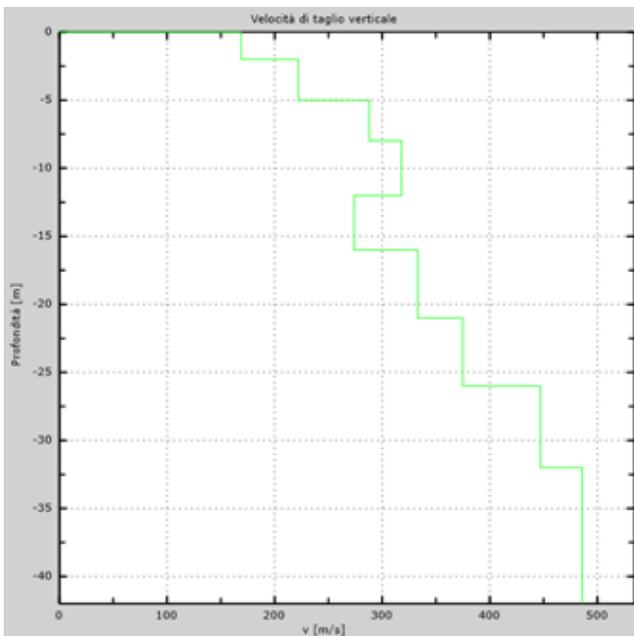


Figura 1 – Curva di dispersione sperimentale (sn.); modello teorico (dx.)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	169	0,012
2	2.0-5.0	3,0	222	0,014
3	5.0-8.0	3,0	288	0,010
4	8.0-12.0	4,0	318	0,013
5	12.0-16.0	4,0	274	0,015
6	16.0-21.0	5,0	333	0,015
7	21.0-26.0	5,0	375	0,013
8	26.0-30.0	4,0	447	0,009
Σ	□	30,0	Σ	0,100
Categoria sottosuolo: C			Vs_{eq} = 299,29	

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

DENOMINAZIONE:
Profilo MW2

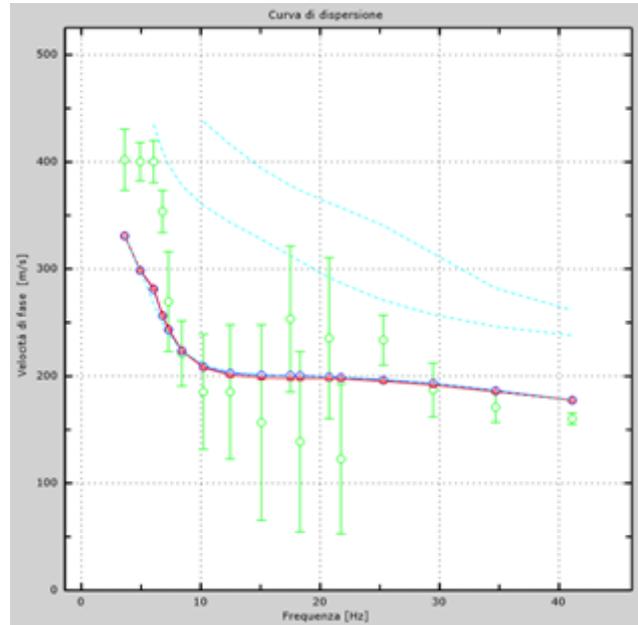
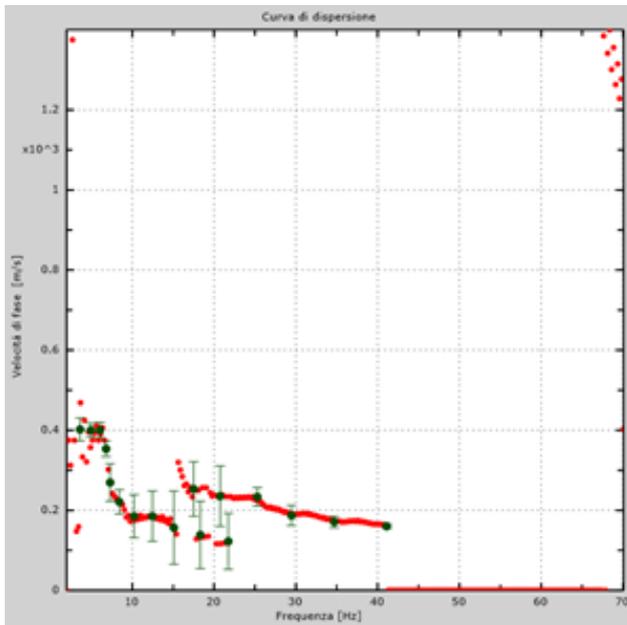
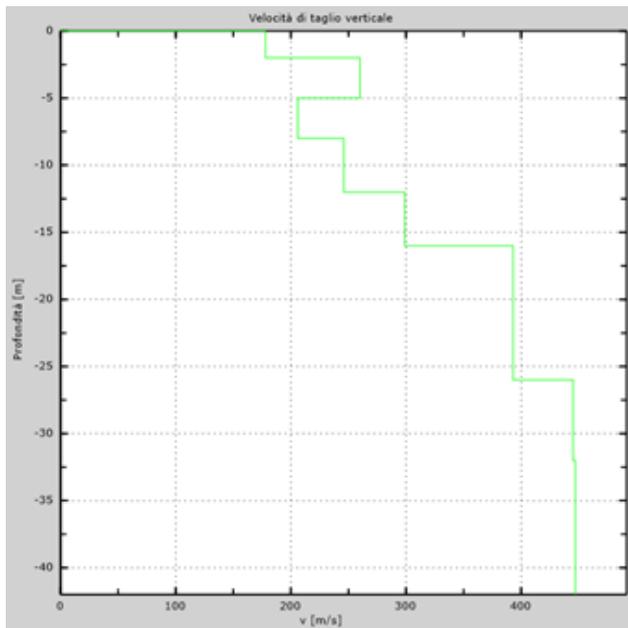


Figura 3 – Curva di dispersione sperimentale (sn.); modello teorico (dx.)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	178	0,011
2	2.0-5.0	3,0	260	0,012
3	5.0-8.0	3,0	206	0,015
4	8.0-12.0	4,0	246	0,016
5	12.0-16.0	4,0	299	0,013
6	16.0-21.0	5,0	393	0,013
7	21.0-26.0	5,0	393	0,013
8	26.0-30.0	4,0	445	0,009
Σ	□	30,0	Σ	0,101
Categoria sottosuolo: C			Vs,eq = 295,83	

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

DENOMINAZIONE:
Profilo MW3

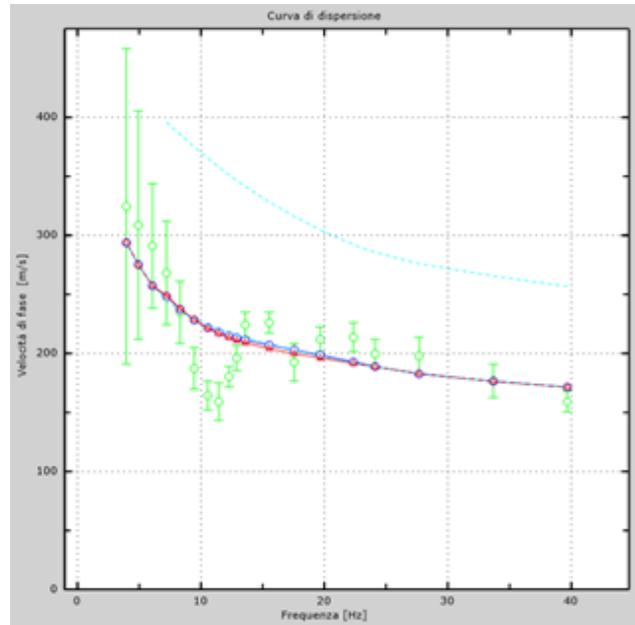
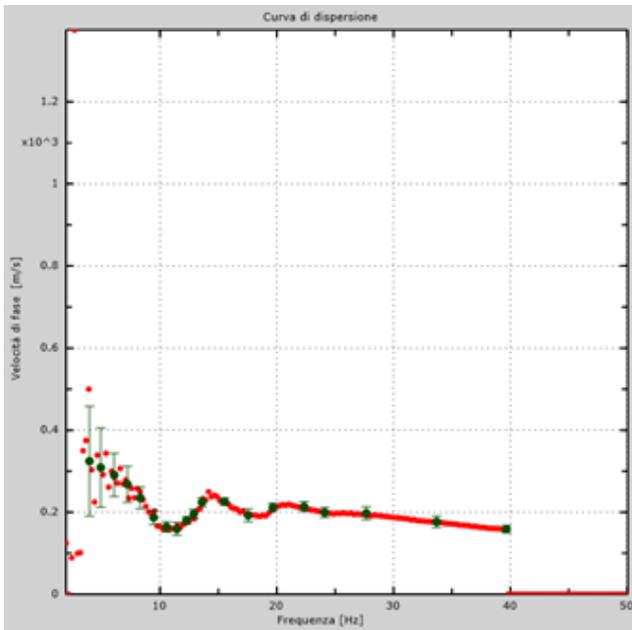
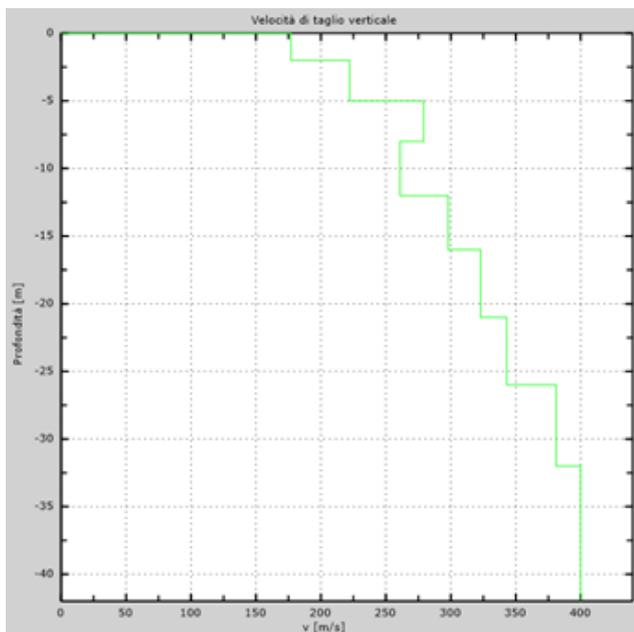


Figura 5 – Curva di dispersione sperimentale (sn.); modello teorico (dx.)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	177	0,011
2	2.0-5.0	3,0	222	0,014
3	5.0-8.0	3,0	279	0,011
4	8.0-12.0	4,0	261	0,015
5	12.0-16.0	4,0	298	0,013
6	16.0-21.0	5,0	323	0,015
7	21.0-26.0	5,0	343	0,015
8	26.0-30.0	4,0	381	0,010
Σ	□	30,0	Σ	0,105
Categoria sottosuolo: C			Vs,eq = 286,07	

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

DENOMINAZIONE:
Profilo MW4

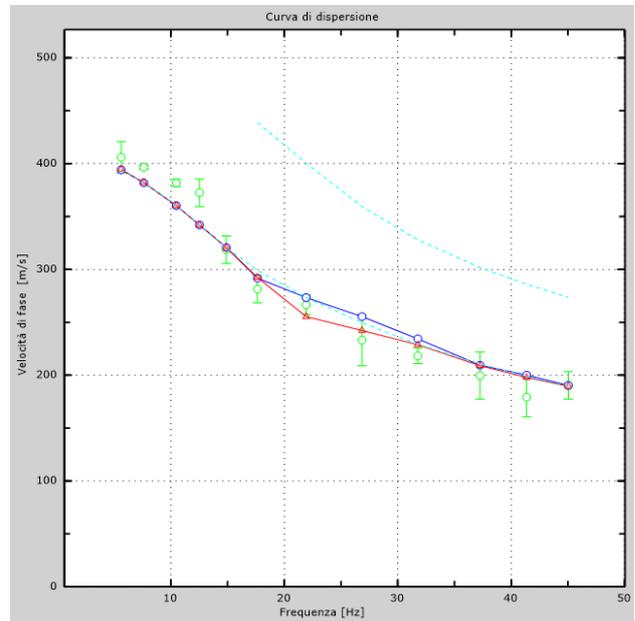
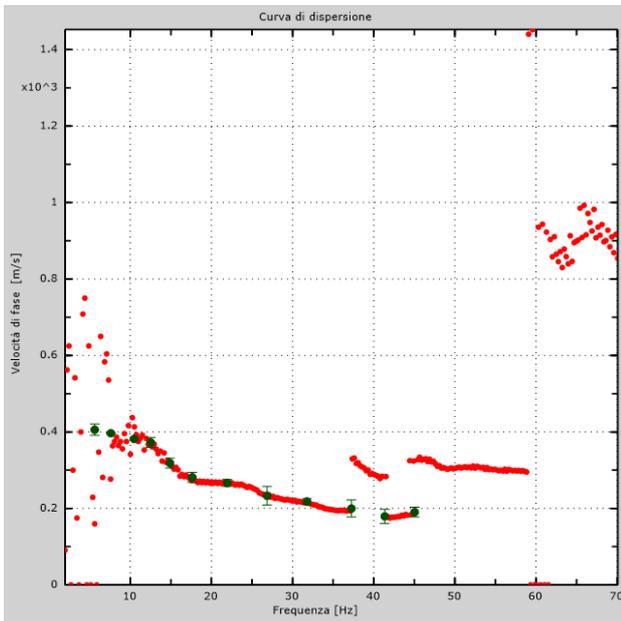
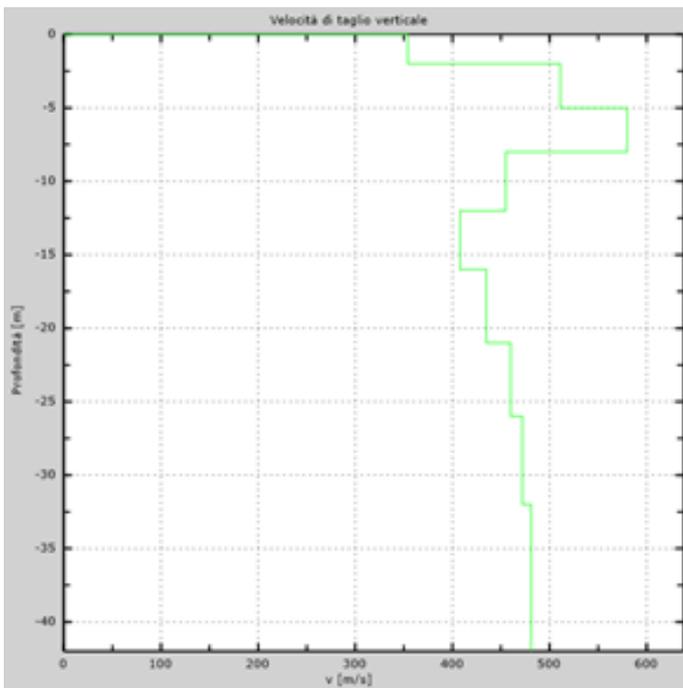


Figura 7 – Curva di dispersione sperimentale (sn.); modello teorico (dx.)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	354	0,006
2	2.0-5.0	3,0	511	0,006
3	5.0-8.0	3,0	580	0,005
4	8.0-12.0	4,0	455	0,009
5	12.0-16.0	4,0	408	0,010
6	16.0-21.0	5,0	435	0,011
7	21.0-26.0	5,0	460	0,011
8	26.0-30.0	4,0	472	0,008
Σ	□	30,0	Σ	0,066
Categoria sottosuolo: B			Vs,eq = 453,68	

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

DENOMINAZIONE:
Profilo MW5

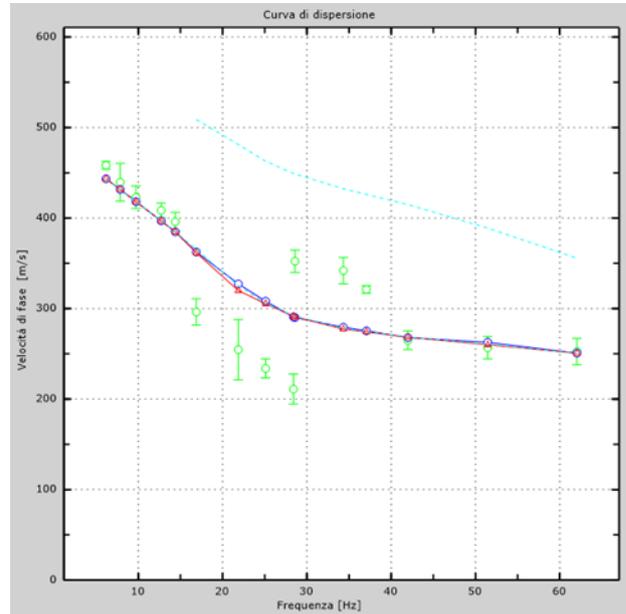
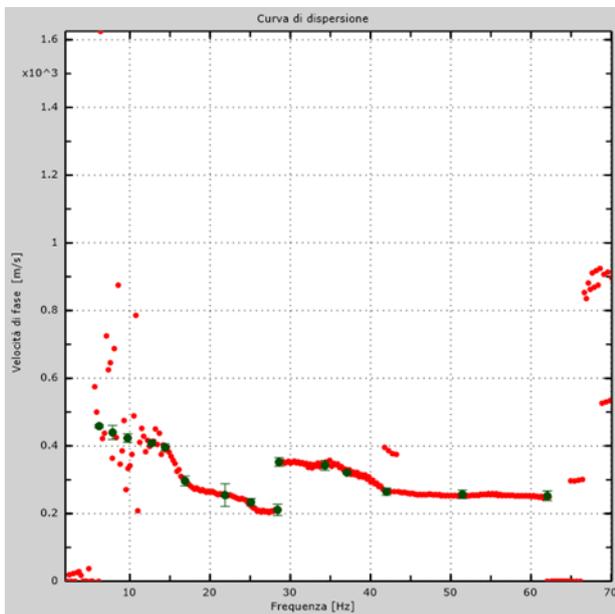
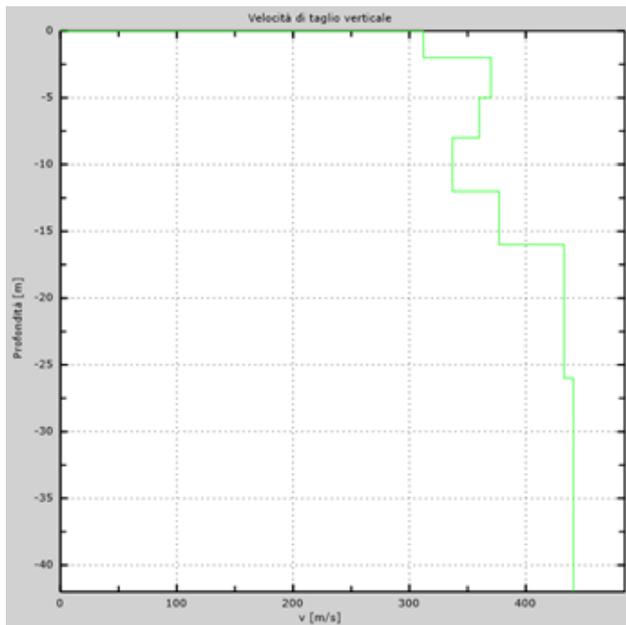


Figura 9 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	312	0,006
2	2.0-5.0	3,0	370	0,008
3	5.0-8.0	3,0	360	0,008
4	8.0-12.0	4,0	337	0,012
5	12.0-16.0	4,0	377	0,011
6	16.0-21.0	5,0	433	0,012
7	21.0-26.0	5,0	433	0,012
8	26.0-30.0	4,0	441	0,009
Σ	□	30,0	Σ	0,077
Categoria sottosuolo: B			Vs,eq = 387,12	

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

DENOMINAZIONE:
Profilo MW6

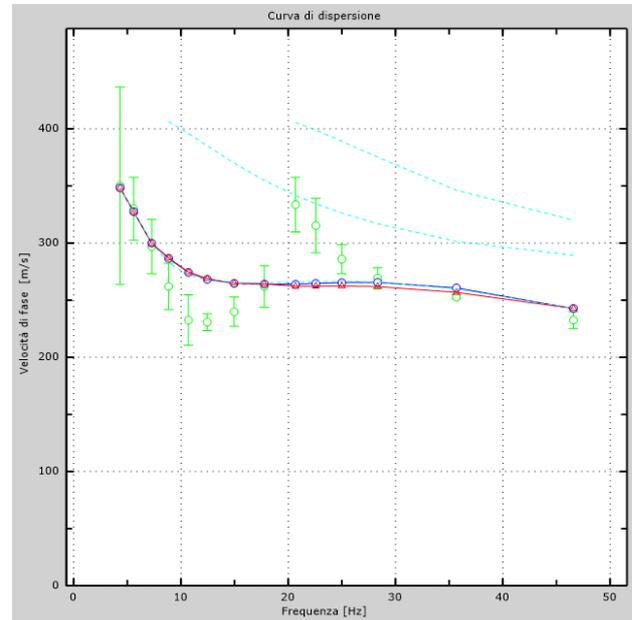
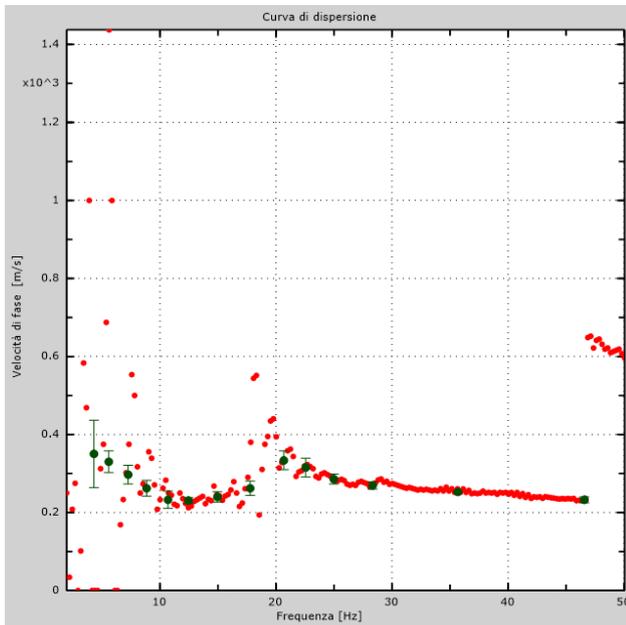
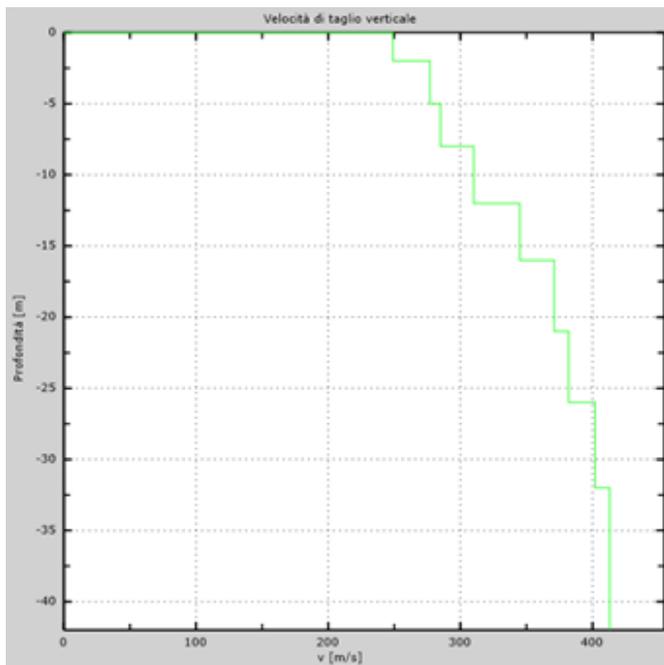


Figura 11 – Curva di dispersione sperimentale (sn.); modello teorico (dx.)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	249	0,008
2	2.0-5.0	3,0	277	0,011
3	5.0-8.0	3,0	285	0,011
4	8.0-12.0	4,0	310	0,013
5	12.0-16.0	4,0	345	0,012
6	16.0-21.0	5,0	371	0,013
7	21.0-26.0	5,0	382	0,013
8	26.0-30.0	4,0	402	0,010
Σ	□	30,0	Σ	0,090
Categoria sottosuolo: C			Vs,eq = 331,85	

Figura 12 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)

DENOMINAZIONE:
Profilo MW7

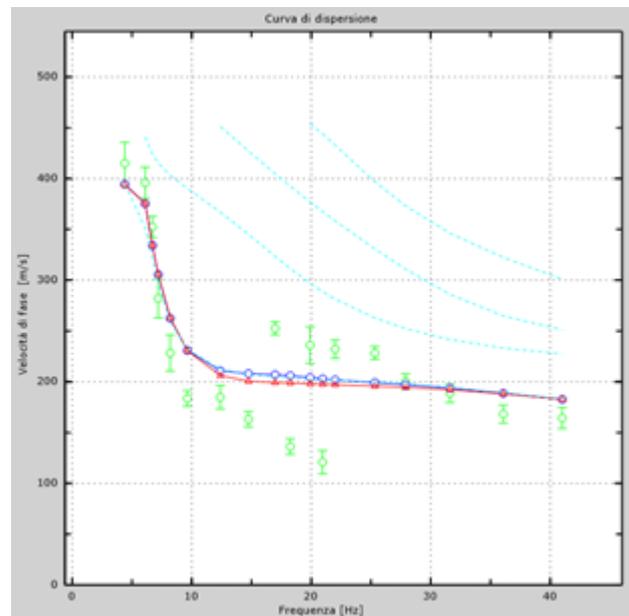
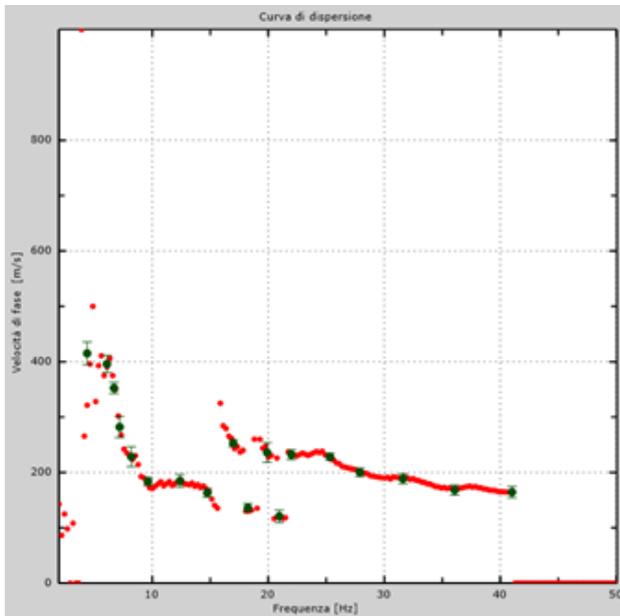
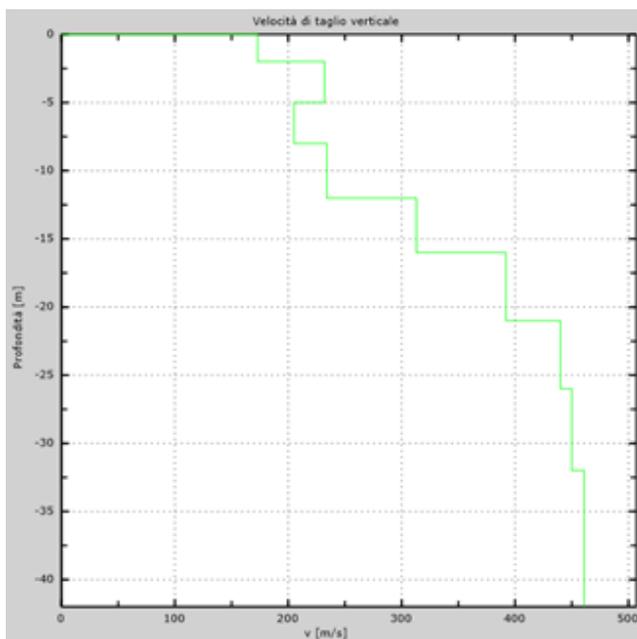


Figura 13 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	173	0,012
2	2.0-5.0	3,0	232	0,013
3	5.0-8.0	3,0	205	0,015
4	8.0-12.0	4,0	234	0,017
5	12.0-16.0	4,0	313	0,013
6	16.0-21.0	5,0	392	0,013
7	21.0-26.0	5,0	440	0,011
8	26.0-30.0	4,0	450	0,009
Σ	□	30,0	Σ	0,102
Categoria sottosuolo: C			V_{s,eq} = 294,10	

Figura 14 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)

DENOMINAZIONE:
Profilo MW8

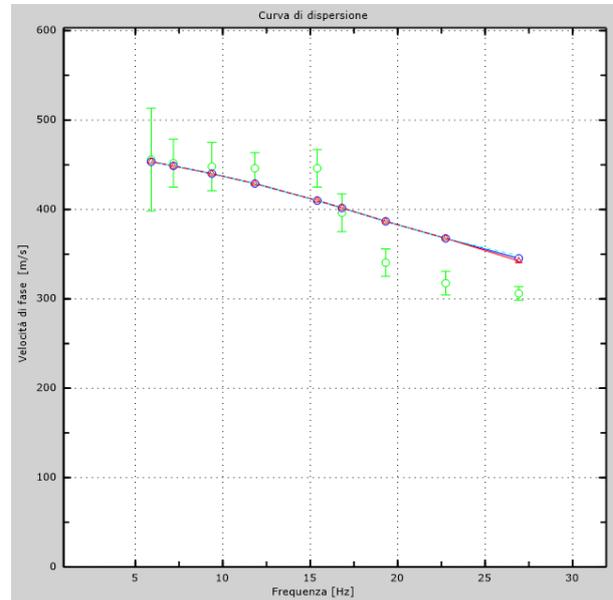
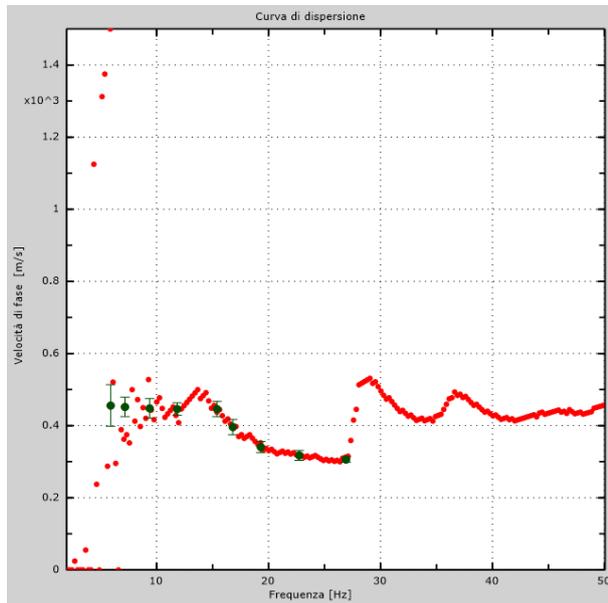
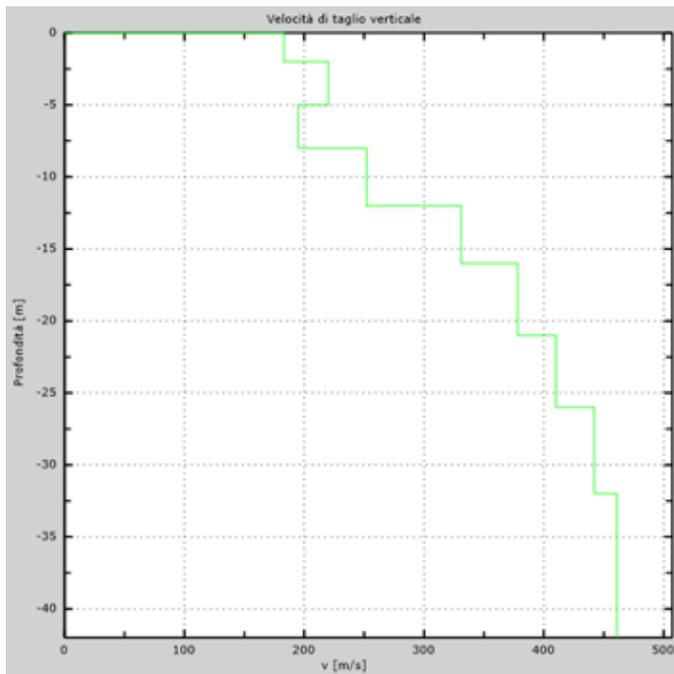


Figura 15 – Curva di dispersione sperimentale (sn.); modello teorico (dx.)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	183	0,011
2	2.0-5.0	3,0	220	0,014
3	5.0-8.0	3,0	195	0,015
4	8.0-12.0	4,0	252	0,016
5	12.0-16.0	4,0	331	0,012
6	16.0-21.0	5,0	378	0,013
7	21.0-26.0	5,0	410	0,012
8	26.0-30.0	4,0	442	0,009
Σ	□	30,0	Σ	0,102
Categoria sottosuolo: C			V_{s,eq} =	293,03

Figura 16 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs_{eq} (dx)

DENOMINAZIONE:
Profilo MW9

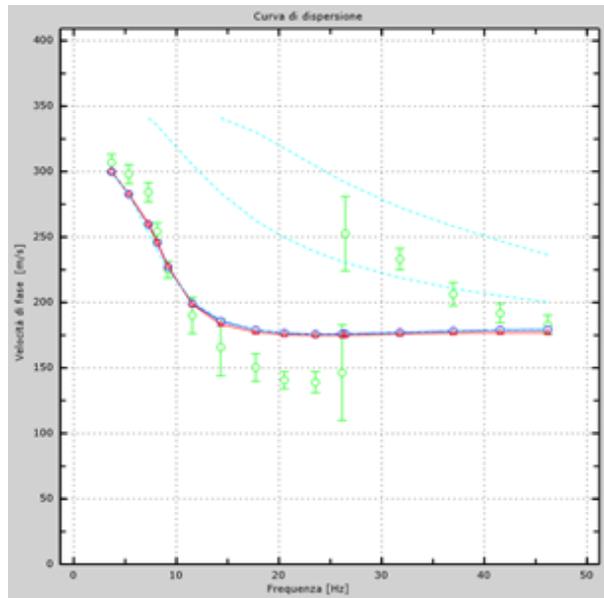
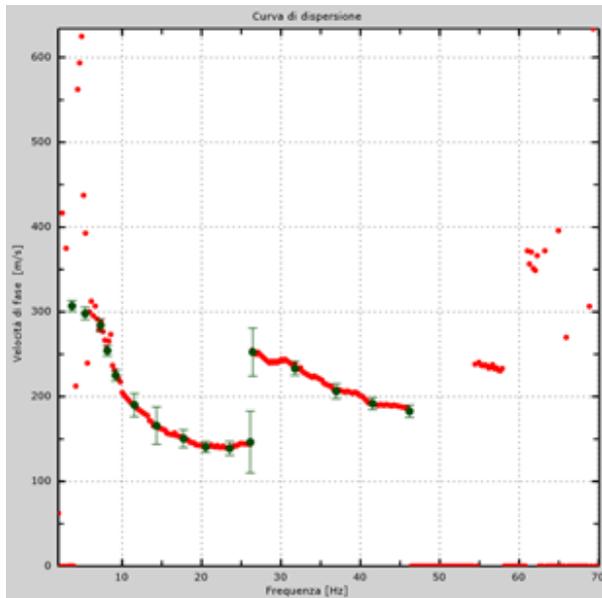
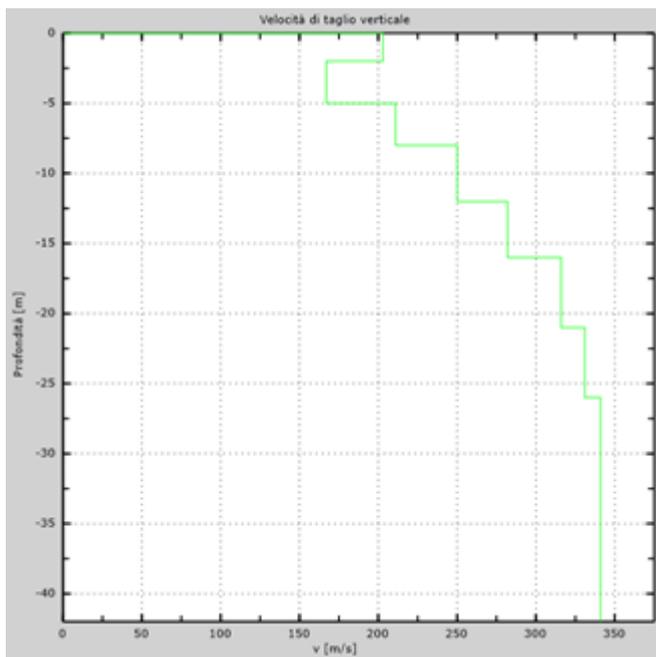


Figura 17 – Curva di dispersione sperimentale (sn.); modello teorico (dx.)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	203	0,010
2	2.0-5.0	3,0	167	0,018
3	5.0-8.0	3,0	211	0,014
4	8.0-12.0	4,0	250	0,016
5	12.0-16.0	4,0	282	0,014
6	16.0-21.0	5,0	316	0,016
7	21.0-26.0	5,0	331	0,015
8	26.0-30.0	4,0	341	0,012
Σ	□	30,0	Σ	0,115
Categoria sottosuolo: C			V_{S,eq} =	261,15

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

DENOMINAZIONE:
Profilo MW10

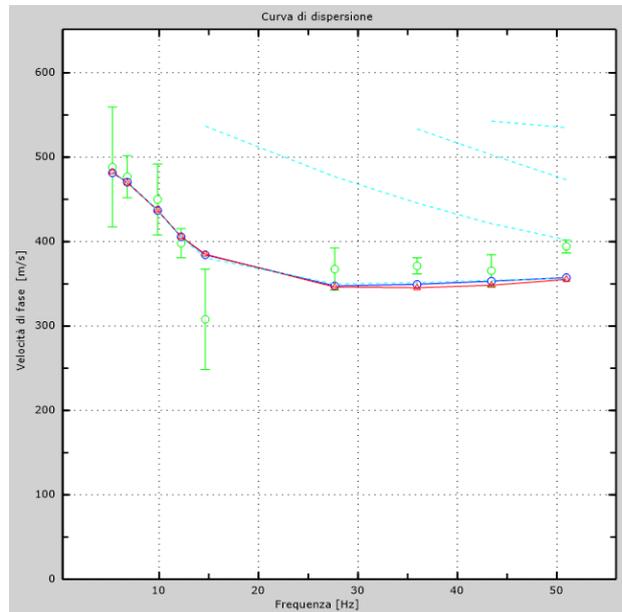
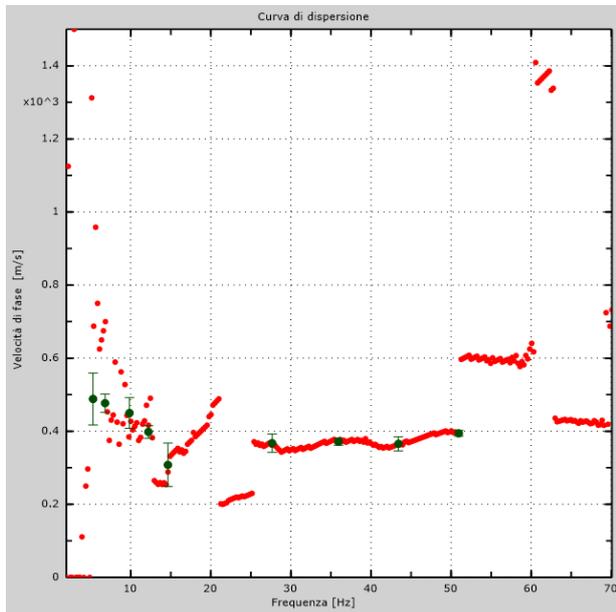
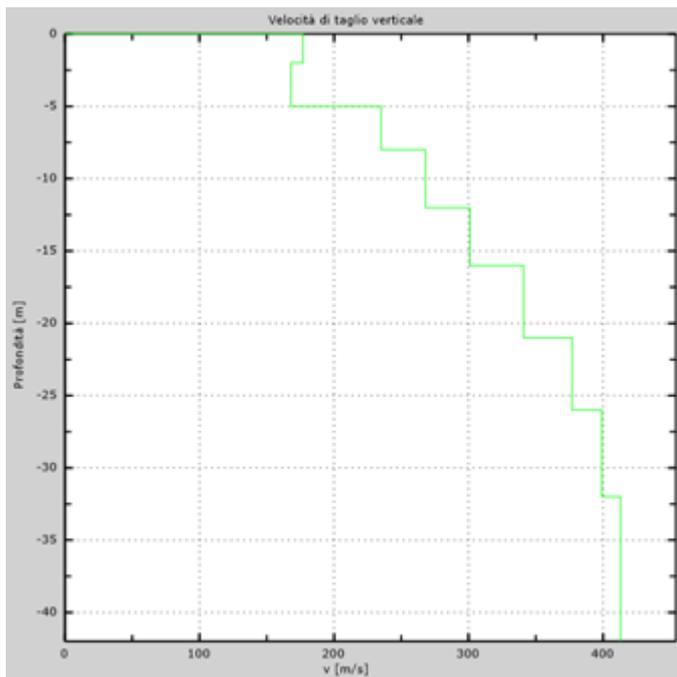


Figura 19 – Curva di dispersione sperimentale (sn.); modello teorico (dx.)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	177	0,011
2	2.0-5.0	3,0	168	0,018
3	5.0-8.0	3,0	235	0,013
4	8.0-12.0	4,0	268	0,015
5	12.0-16.0	4,0	301	0,013
6	16.0-21.0	5,0	341	0,015
7	21.0-26.0	5,0	377	0,013
8	26.0-30.0	4,0	399	0,010
Σ	□	30,0	Σ	0,108
Categoria sottosuolo: C			V_{S,eq} =	277,55

Figura 20 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)

DENOMINAZIONE:
Profilo MW11

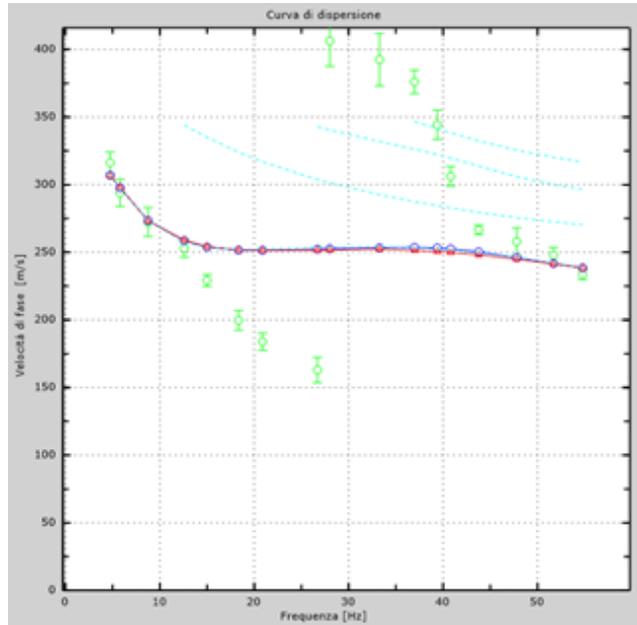
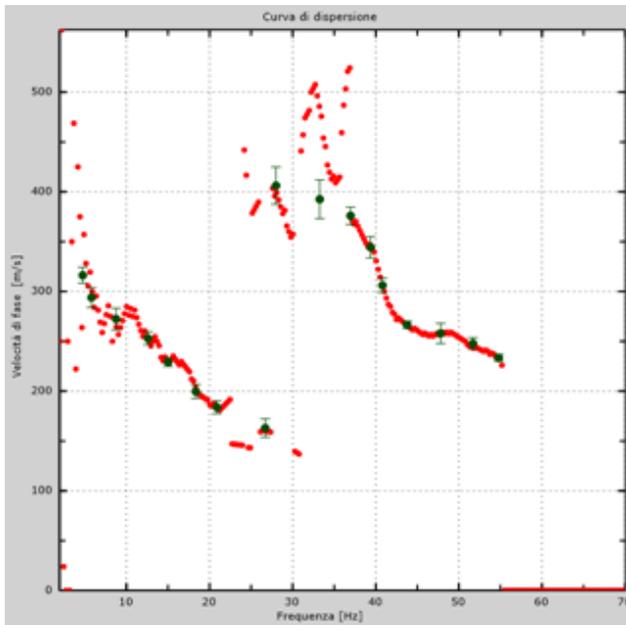


Figura 21 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)

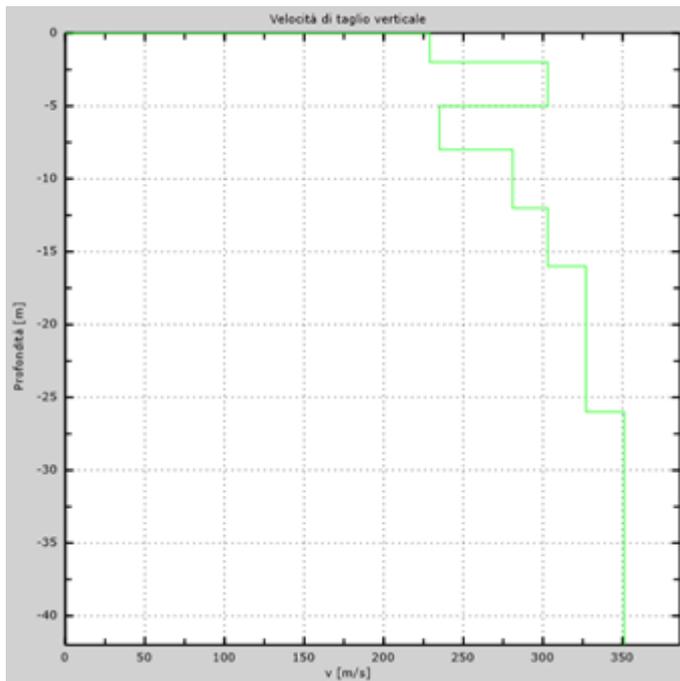


Figura 22 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)

Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	229	0,009
2	2.0-5.0	3,0	303	0,010
3	5.0-8.0	3,0	235	0,013
4	8.0-12.0	4,0	281	0,014
5	12.0-16.0	4,0	303	0,013
6	16.0-21.0	5,0	327	0,015
7	21.0-26.0	5,0	327	0,015
8	26.0-30.0	4,0	351	0,011
Σ	□	30,0	Σ	0,101
Categoria sottosuolo: C			Vs,eq = 297,58	

DENOMINAZIONE:
Profilo MW12

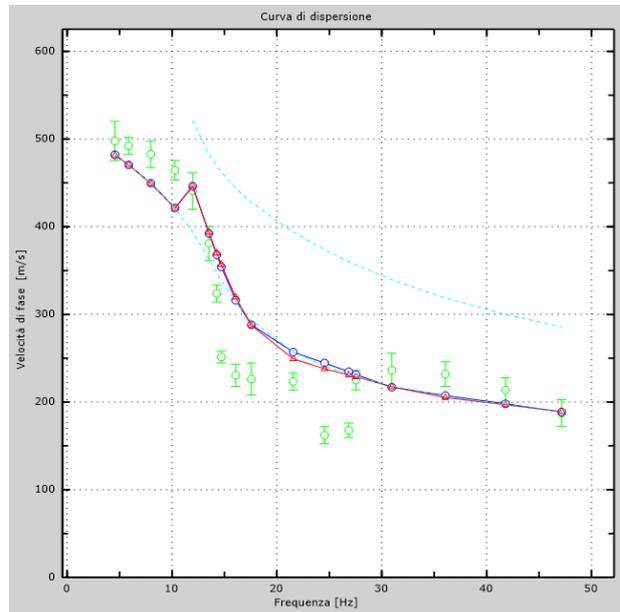
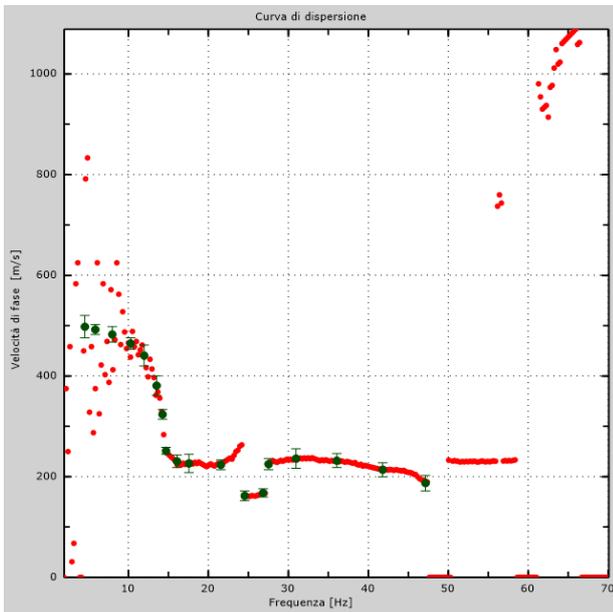
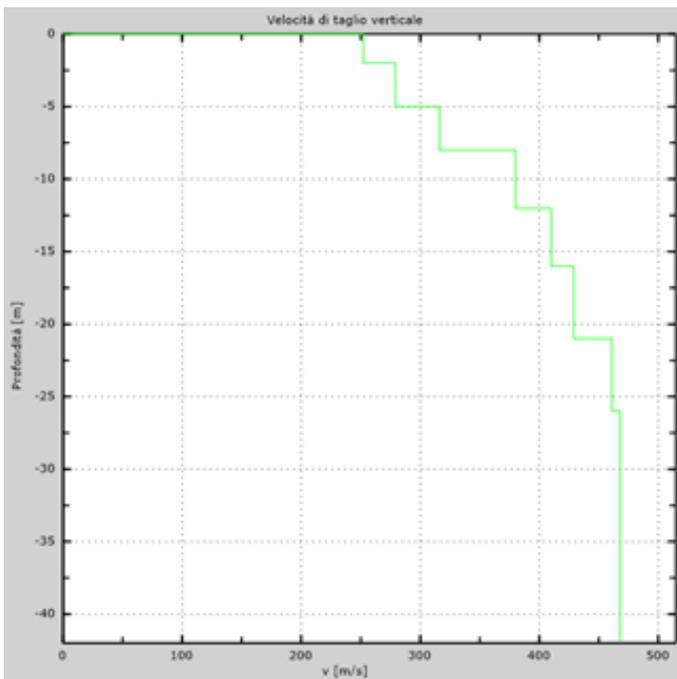


Figura 23 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	252	0,008
2	2.0-5.0	3,0	279	0,011
3	5.0-8.0	3,0	316	0,009
4	8.0-12.0	4,0	380	0,011
5	12.0-16.0	4,0	410	0,010
6	16.0-21.0	5,0	429	0,012
7	21.0-26.0	5,0	461	0,011
8	26.0-30.0	4,0	468	0,009
Σ	□	30,0	Σ	0,080
Categoria sottosuolo: B			V_{s,eq} = 377,30	

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

DENOMINAZIONE:
Profilo MW13

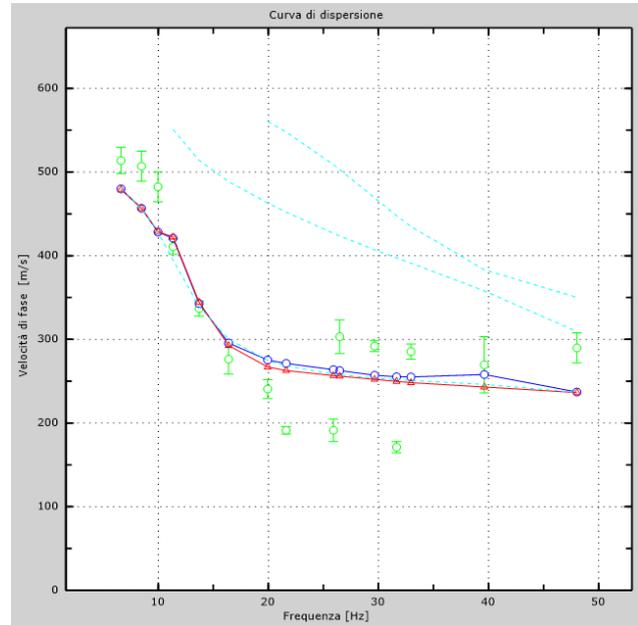
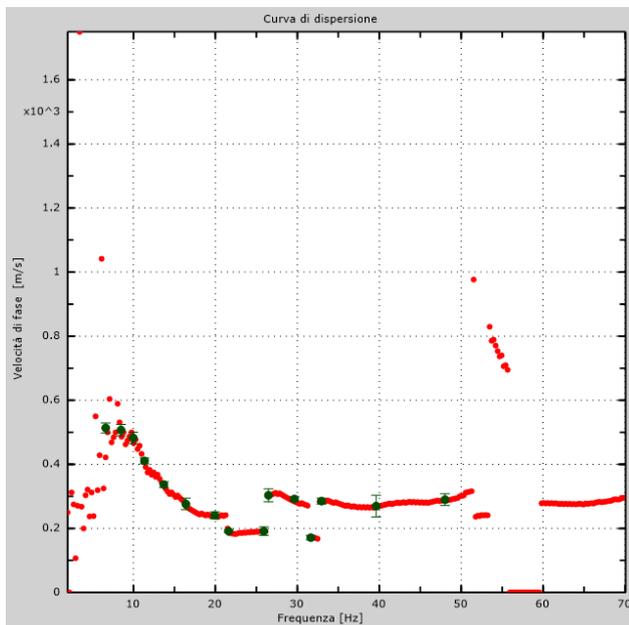
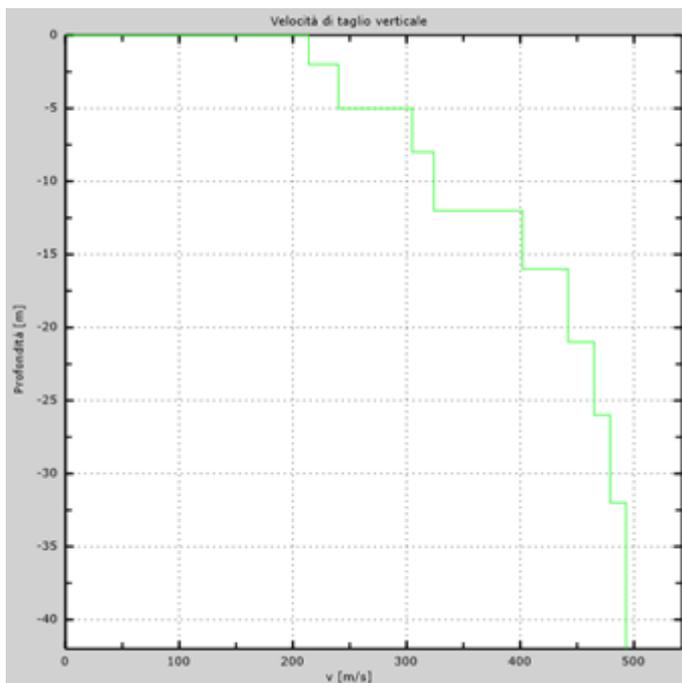


Figura 25 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	214	0,009
2	2.0-5.0	3,0	240	0,013
3	5.0-8.0	3,0	305	0,010
4	8.0-12.0	4,0	324	0,012
5	12.0-16.0	4,0	402	0,010
6	16.0-21.0	5,0	442	0,011
7	21.0-26.0	5,0	465	0,011
8	26.0-30.0	4,0	479	0,008
Σ	□	30,0	Σ	0,084
Categoria sottosuolo: C			V_{s,eq} = 355,48	

Figura 26 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs_{eq} (dx)

DENOMINAZIONE:
Profilo MW14

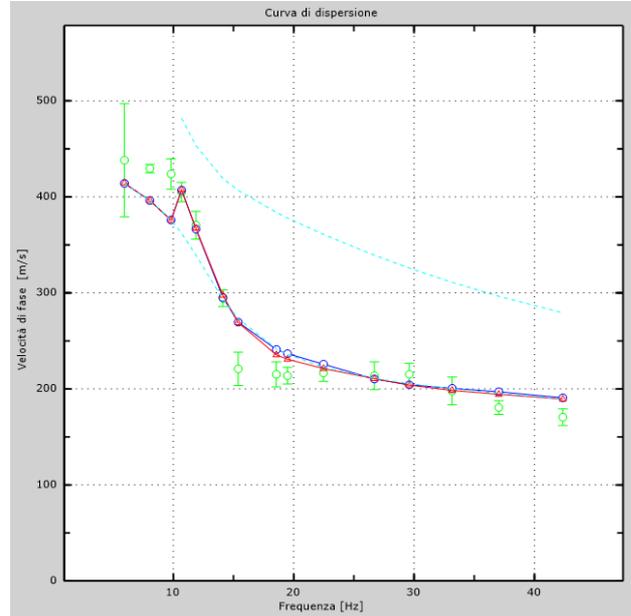
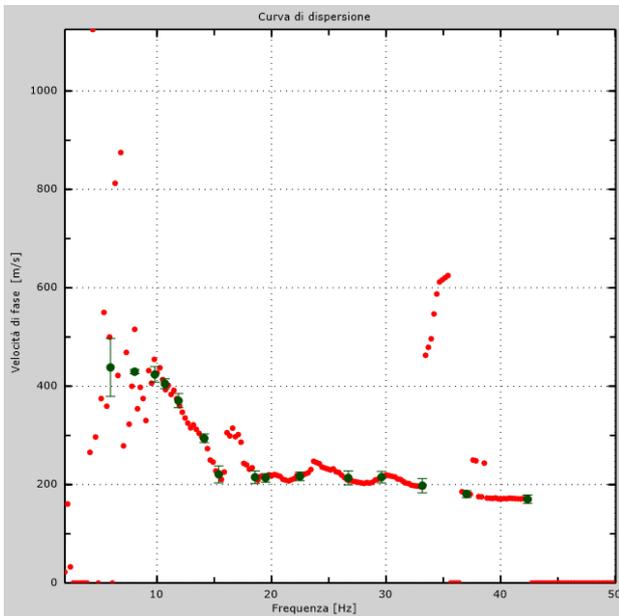
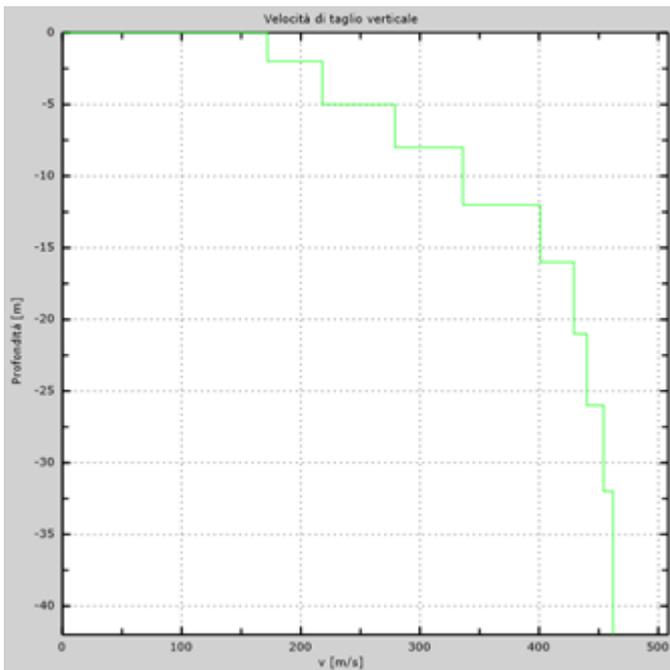


Figura 27 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	172	0,012
2	2.0-5.0	3,0	218	0,014
3	5.0-8.0	3,0	279	0,011
4	8.0-12.0	4,0	336	0,012
5	12.0-16.0	4,0	401	0,010
6	16.0-21.0	5,0	429	0,012
7	21.0-26.0	5,0	440	0,011
8	26.0-30.0	4,0	454	0,009
Σ	□	30,0	Σ	0,090
Categoria sottosuolo: C			Vs,eq = 333,89	

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

DENOMINAZIONE:
Profilo MW15

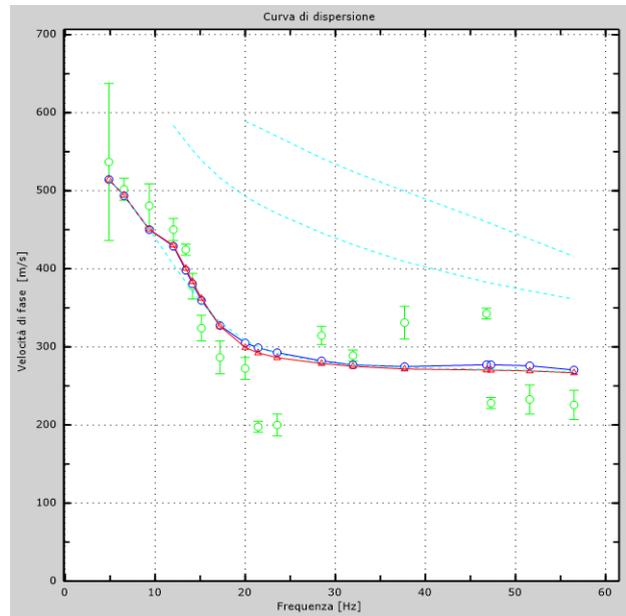
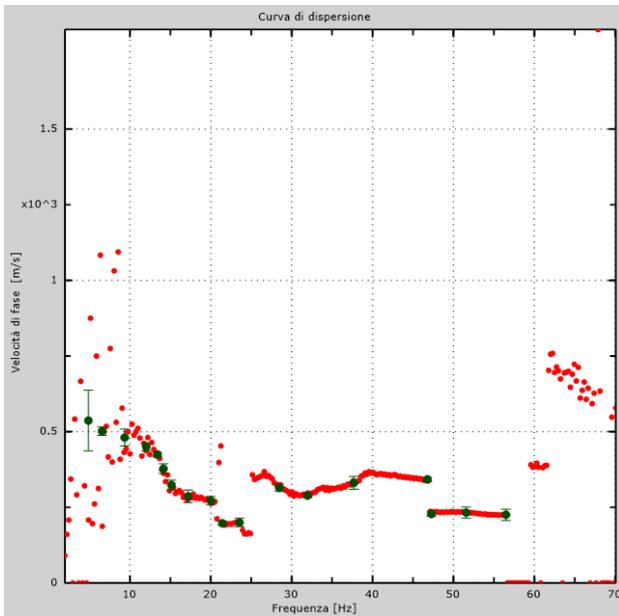
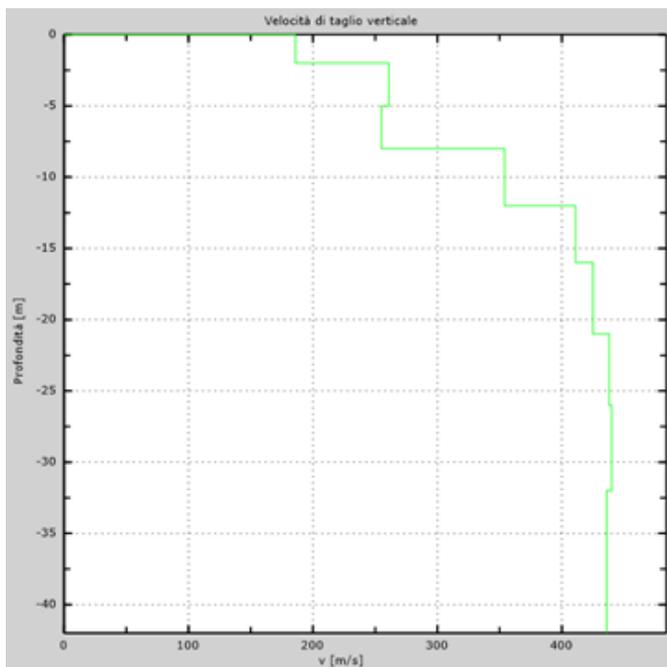


Figura 29 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	186	0,011
2	2.0-5.0	3,0	261	0,011
3	5.0-8.0	3,0	255	0,012
4	8.0-12.0	4,0	354	0,011
5	12.0-16.0	4,0	411	0,010
6	16.0-21.0	5,0	425	0,012
7	21.0-26.0	5,0	438	0,011
8	26.0-30.0	4,0	440	0,009
Σ	□	30,0	Σ	0,087
Categoria sottosuolo: C			Vs,eq = 343,59	

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

DENOMINAZIONE:
Profilo MW16

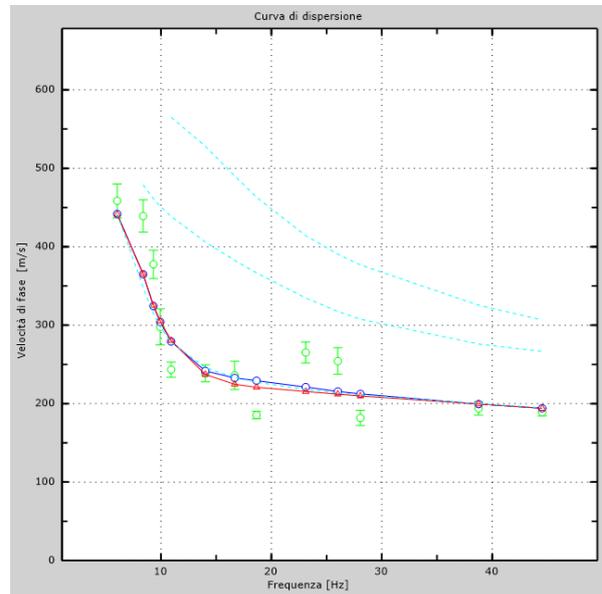
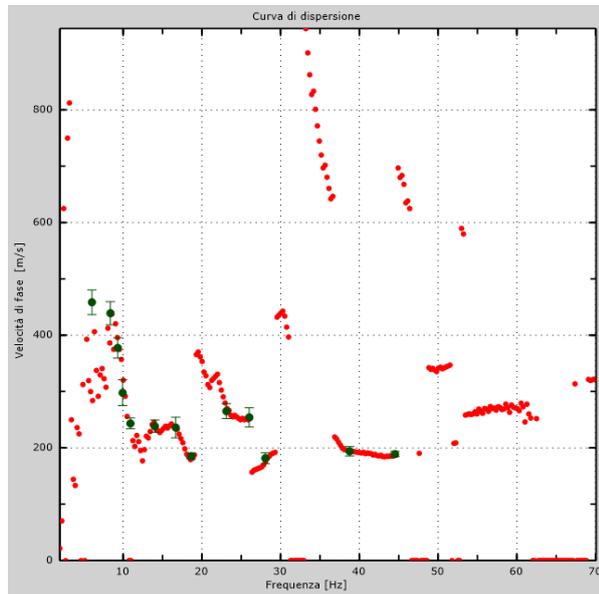
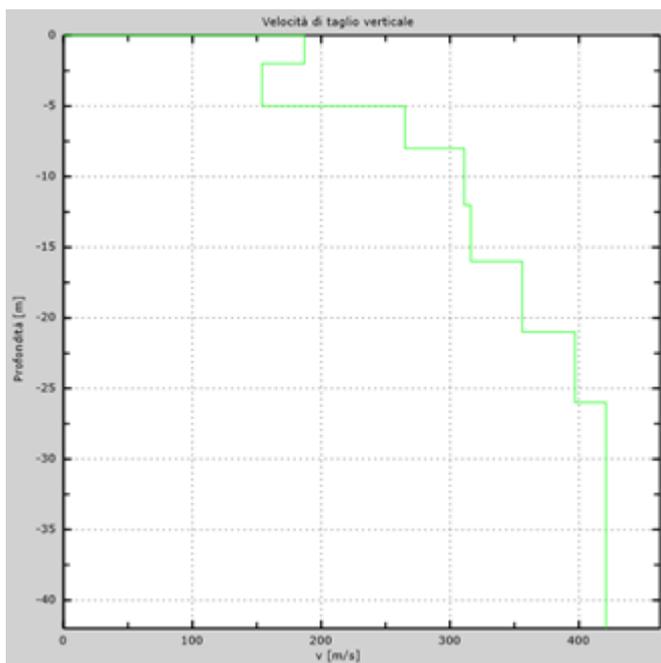


Figura 31 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	187	0,011
2	2.0-5.0	3,0	154	0,019
3	5.0-8.0	3,0	265	0,011
4	8.0-12.0	4,0	311	0,013
5	12.0-16.0	4,0	316	0,013
6	16.0-21.0	5,0	356	0,014
7	21.0-26.0	5,0	397	0,013
8	26.0-30.0	4,0	421	0,010
Σ	□	30,0	Σ	0,103
Categoria sottosuolo: C			Vs,eq = 290,82	

Figura 32 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)

DENOMINAZIONE:
Profilo MW17

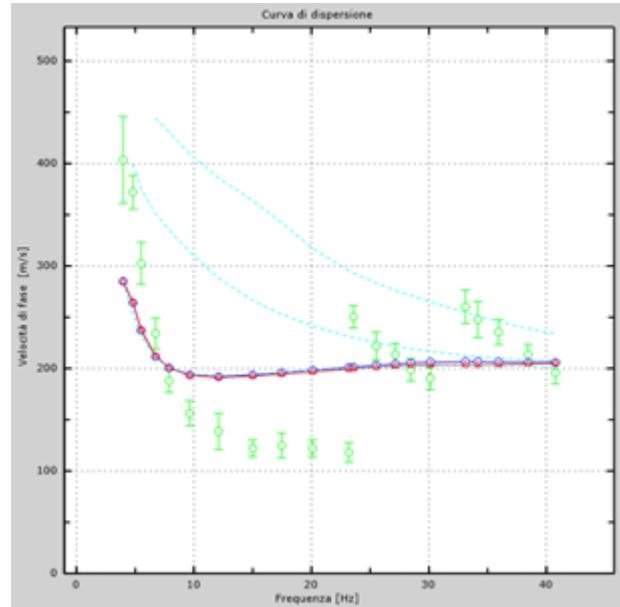
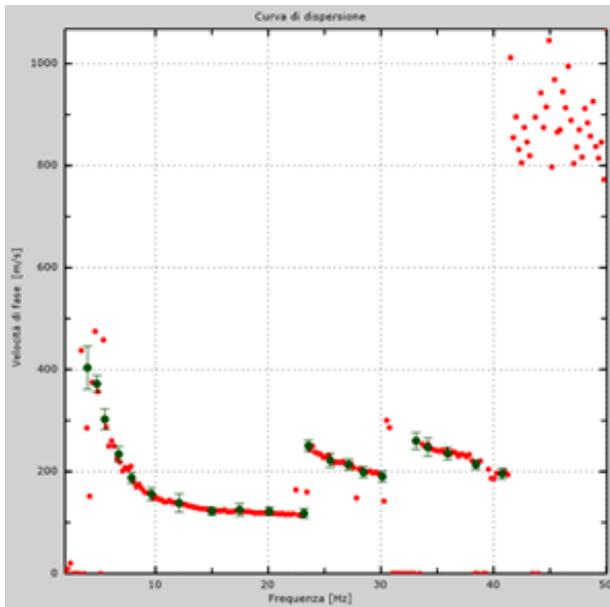
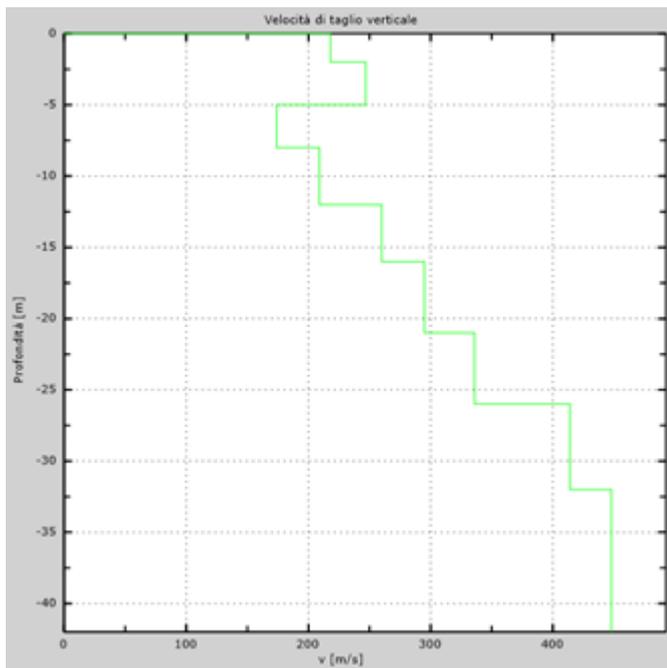


Figura 33 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	218	0,009
2	2.0-5.0	3,0	247	0,012
3	5.0-8.0	3,0	174	0,017
4	8.0-12.0	4,0	209	0,019
5	12.0-16.0	4,0	260	0,015
6	16.0-21.0	5,0	295	0,017
7	21.0-26.0	5,0	336	0,015
8	26.0-30.0	4,0	414	0,010
Σ	□	30,0	Σ	0,115
Categoria sottosuolo: C			V_{s,eq} = 261,83	

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

DENOMINAZIONE:
Profilo MW18

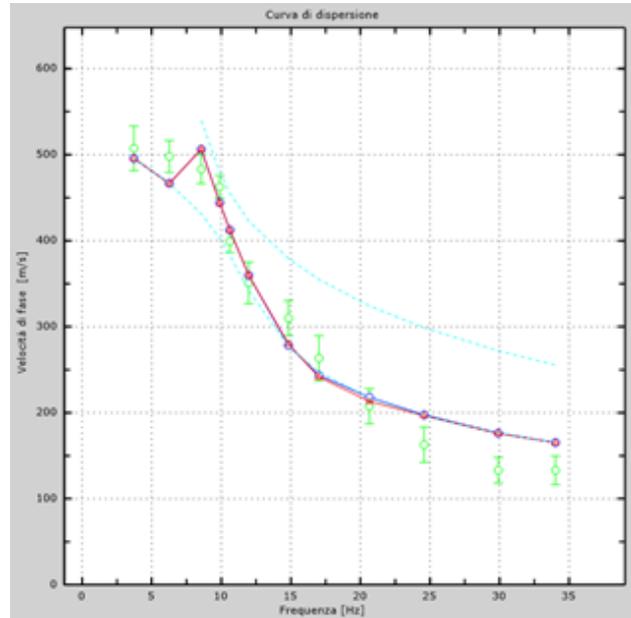
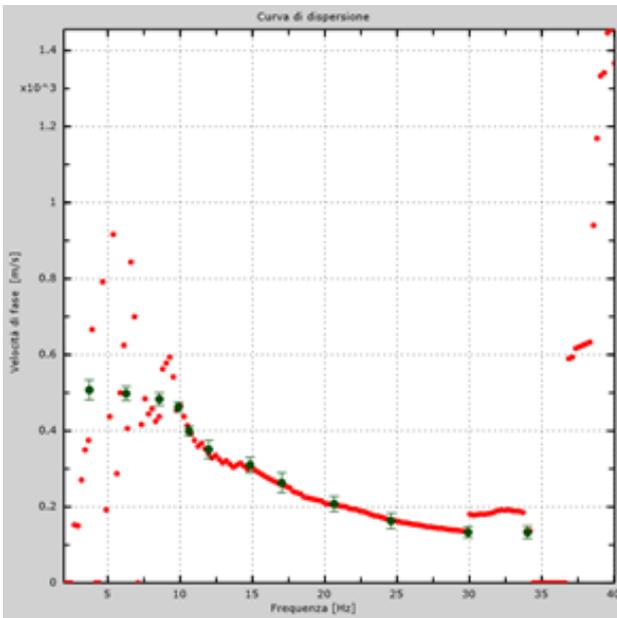
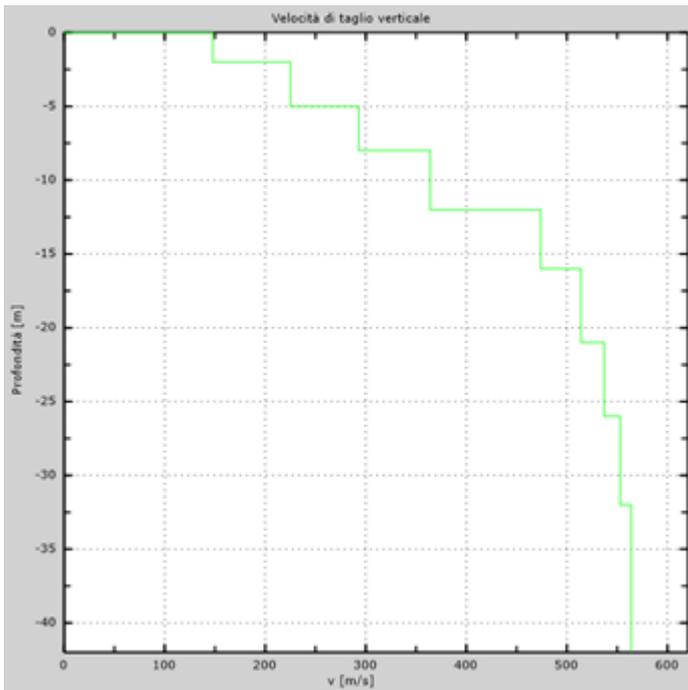


Figura 35 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	148	0,014
2	2.0-5.0	3,0	225	0,013
3	5.0-8.0	3,0	293	0,010
4	8.0-12.0	4,0	364	0,011
5	12.0-16.0	4,0	474	0,008
6	16.0-21.0	5,0	514	0,010
7	21.0-26.0	5,0	537	0,009
8	26.0-30.0	4,0	553	0,007
Σ	□	30,0	Σ	0,083
Categoria sottosuolo: B			Vs,eq = 362,38	

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

DENOMINAZIONE:
Profilo MW19

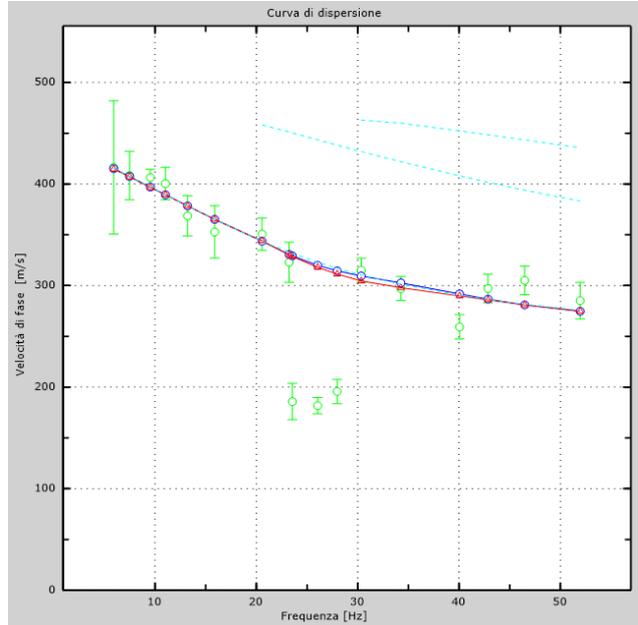
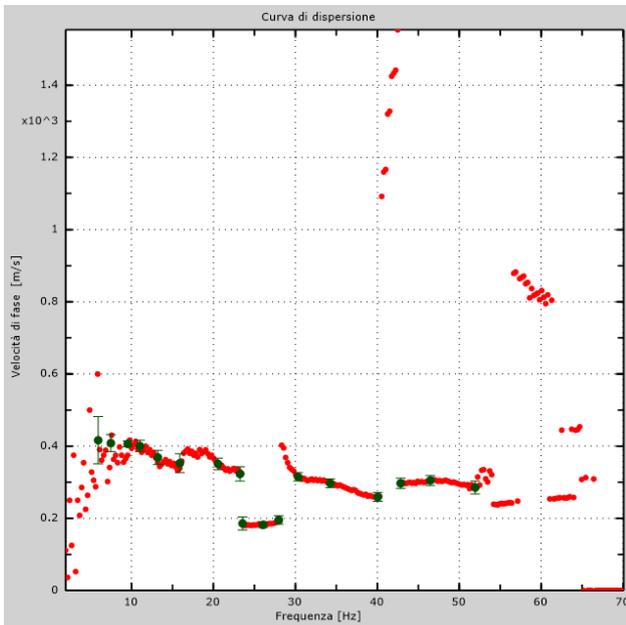
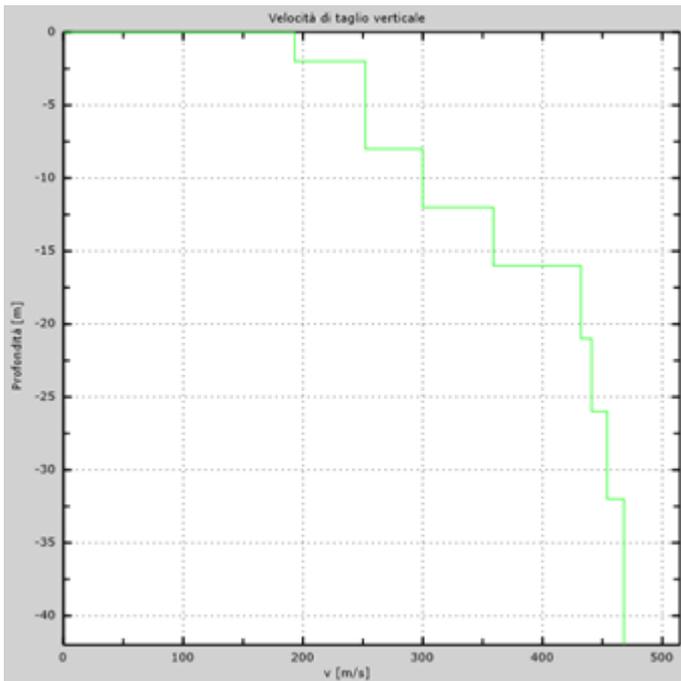


Figura 37 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	193	0,010
2	2.0-5.0	3,0	252	0,012
3	5.0-8.0	3,0	252	0,012
4	8.0-12.0	4,0	300	0,013
5	12.0-16.0	4,0	359	0,011
6	16.0-21.0	5,0	432	0,012
7	21.0-26.0	5,0	441	0,011
8	26.0-30.0	4,0	454	0,009
Σ	□	30,0	Σ	0,090
Categoria sottosuolo: C			Vs,eq = 331,97	

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

DENOMINAZIONE:
Profilo MW20

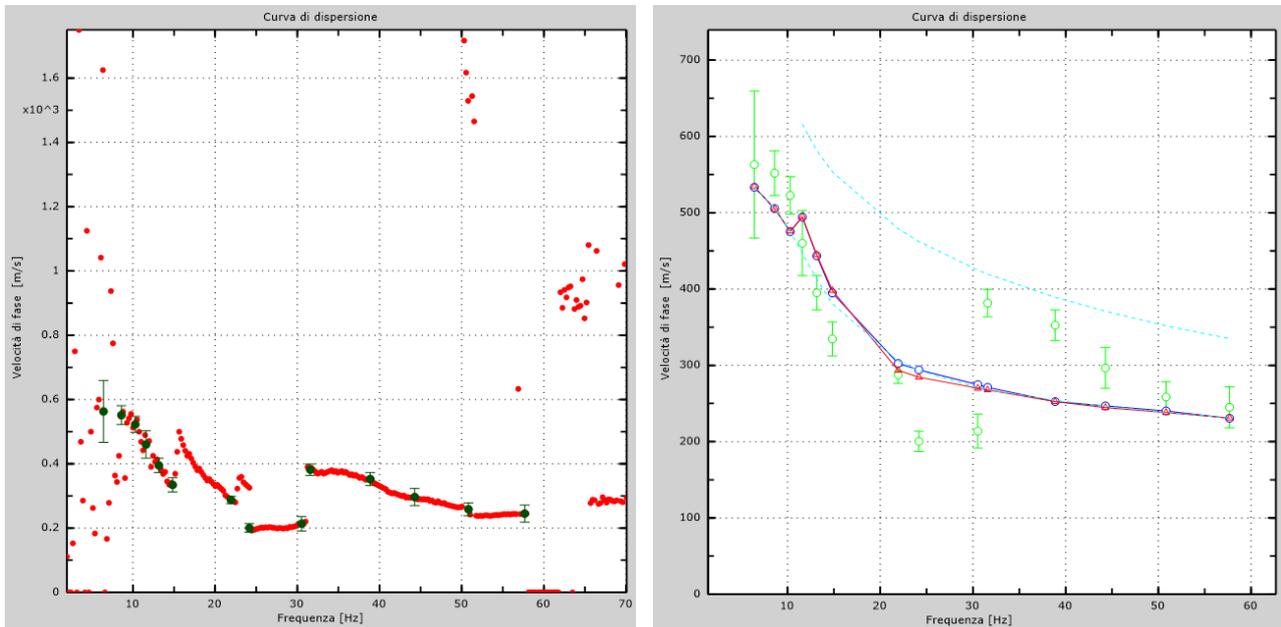


Figura 39 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)

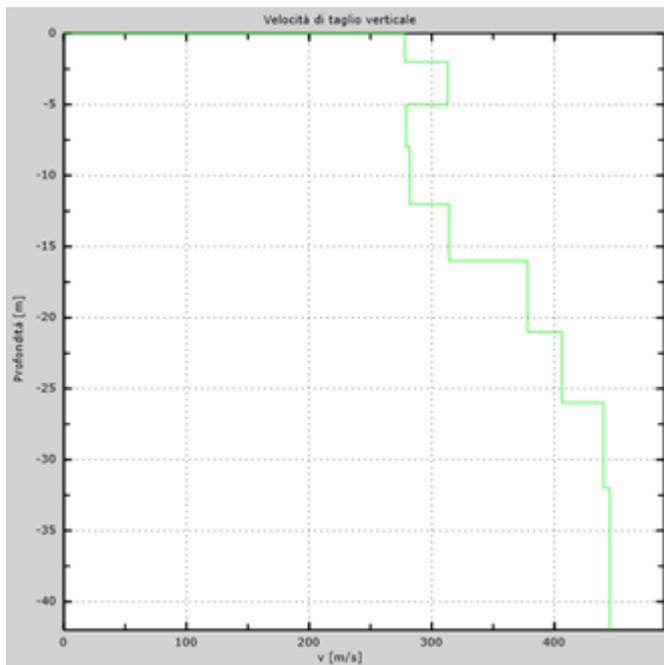


Figura 40 – Profilo V_s (sn); tabella di calcolo $V_{s,eq}$ (dx)

Intervallo	Profondità (m)	H (m)	V_s (m/s)	H/ V_s
1	0.0-2.0	2,0	278	0,007
2	2.0-5.0	3,0	313	0,010
3	5.0-8.0	3,0	279	0,011
4	8.0-12.0	4,0	282	0,014
5	12.0-16.0	4,0	314	0,013
6	16.0-21.0	5,0	378	0,013
7	21.0-26.0	5,0	406	0,012
8	26.0-30.0	4,0	440	0,009
Σ	\square	30,0	Σ	0,089
Categoria sottosuolo: B			$V_{s,eq} = 336,74$	

DENOMINAZIONE:
Profilo MW21

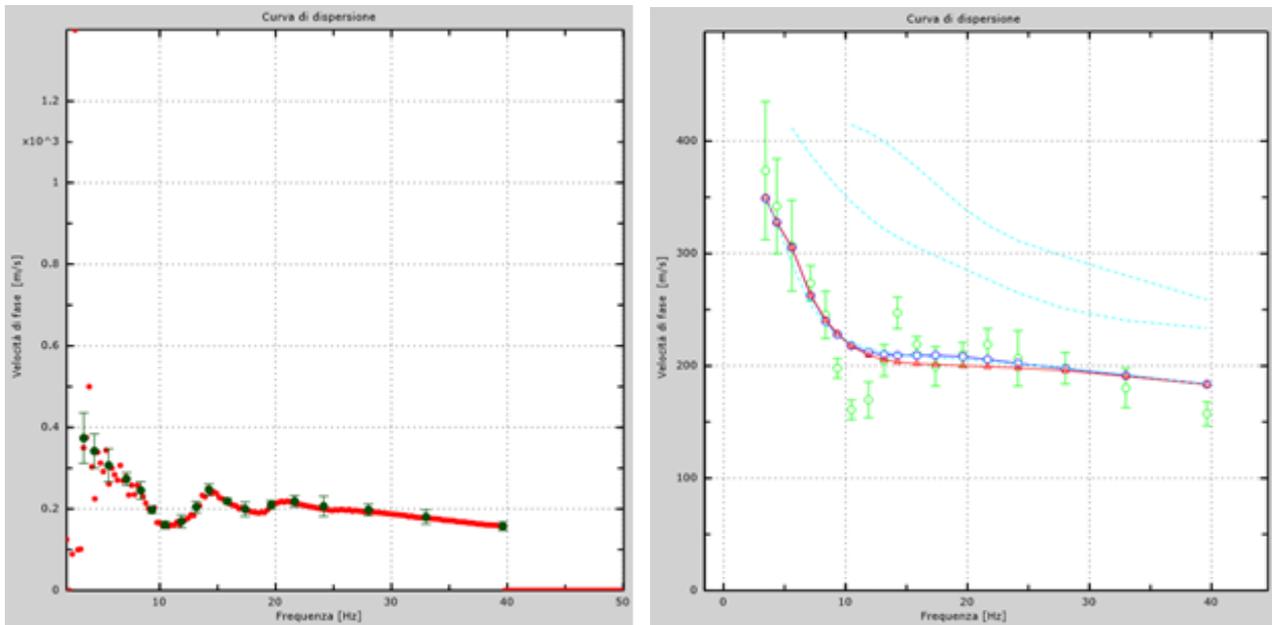


Figura 41 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)

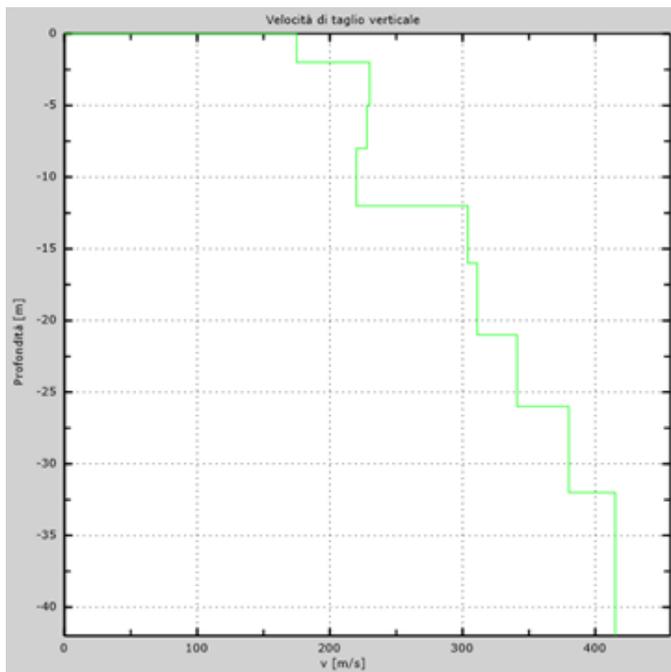


Figura 42 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)

Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	175	0,011
2	2.0-5.0	3,0	230	0,013
3	5.0-8.0	3,0	228	0,013
4	8.0-12.0	4,0	220	0,018
5	12.0-16.0	4,0	304	0,013
6	16.0-21.0	5,0	311	0,016
7	21.0-26.0	5,0	341	0,015
8	26.0-30.0	4,0	380	0,011
Σ	□	30,0	Σ	0,110
Categoria sottosuolo: C			Vs,eq = 272,14	

DENOMINAZIONE:
Profilo MW22

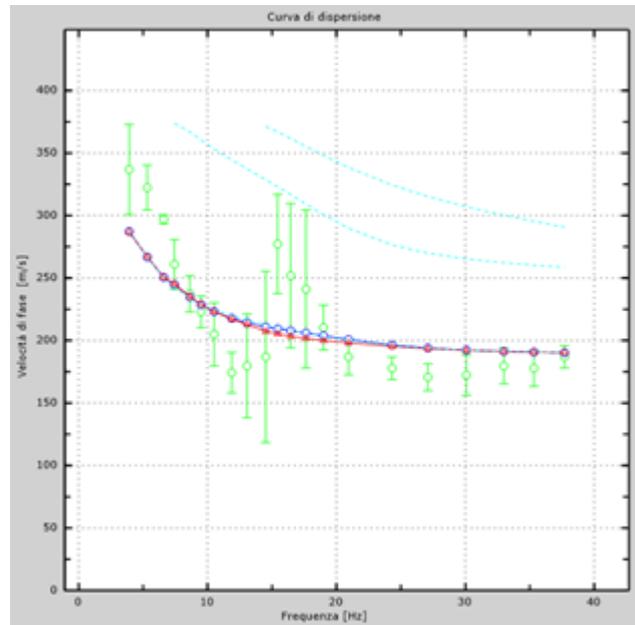
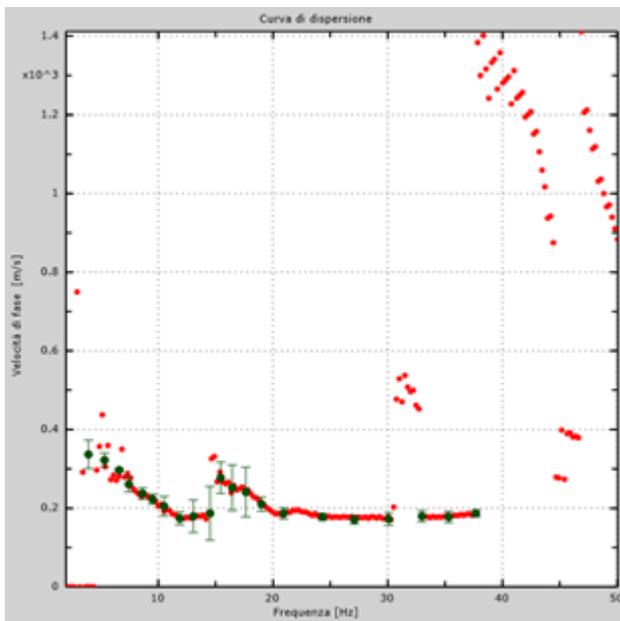
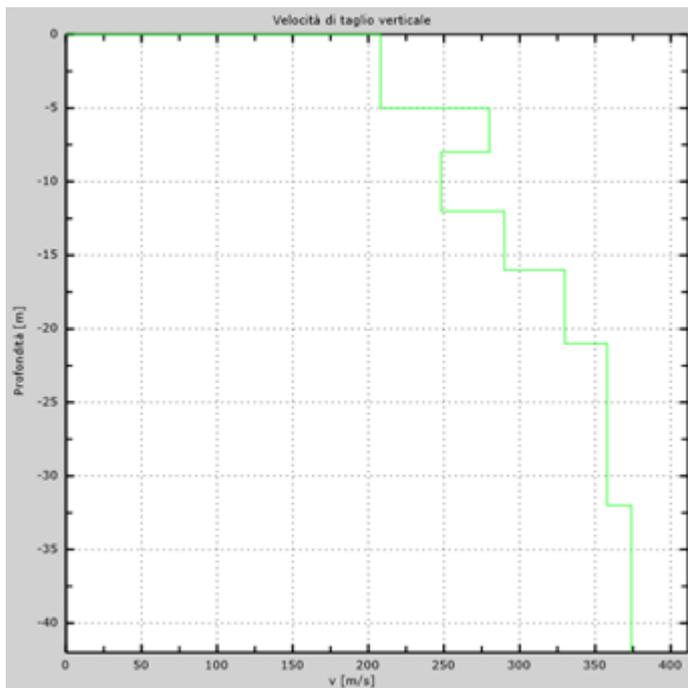


Figura 43 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	208	0,010
2	2.0-5.0	3,0	208	0,014
3	5.0-8.0	3,0	280	0,011
4	8.0-12.0	4,0	248	0,016
5	12.0-16.0	4,0	290	0,014
6	16.0-21.0	5,0	330	0,015
7	21.0-26.0	5,0	358	0,014
8	26.0-30.0	4,0	358	0,011
Σ	□	30,0	Σ	0,105
Categoria sottosuolo: C			Vs,eq = 473,07	

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

DENOMINAZIONE:
Profilo MW23

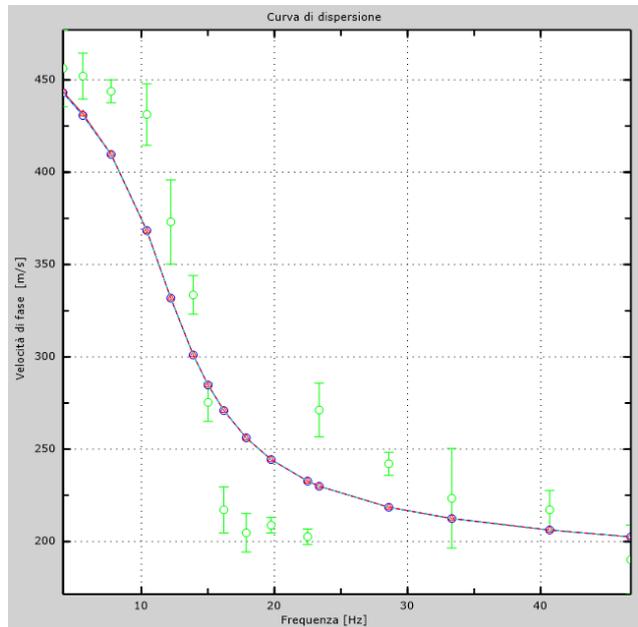
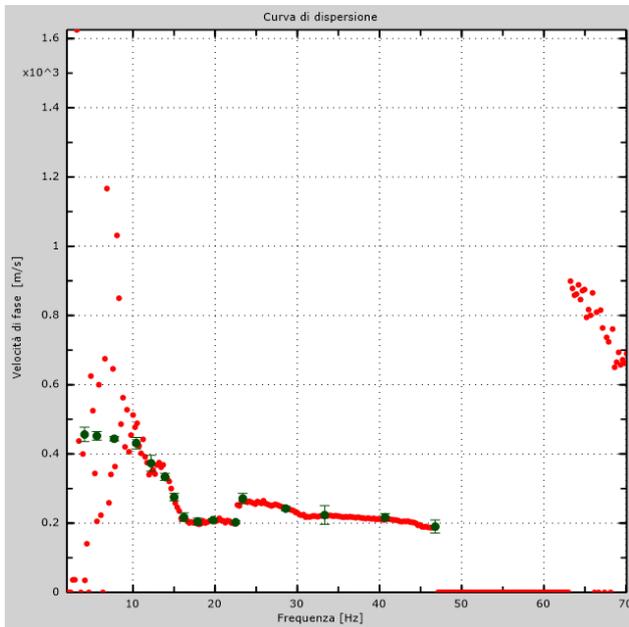
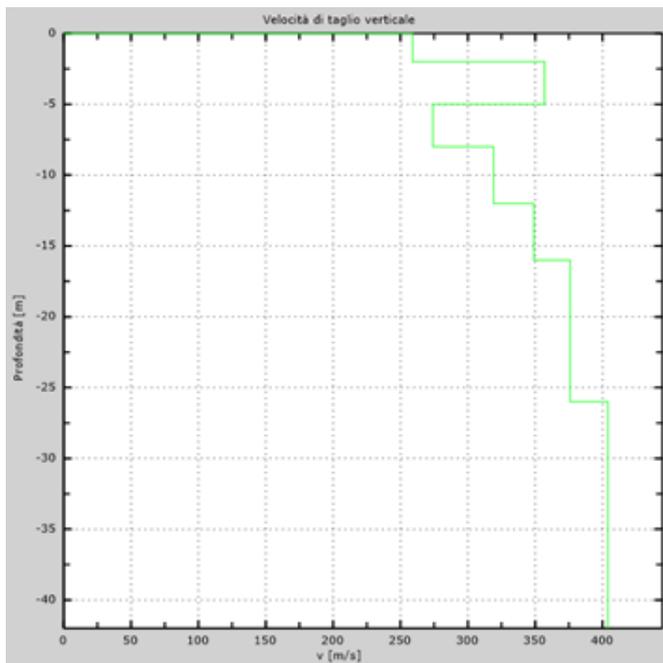


Figura 45 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	259	0,008
2	2.0-5.0	3,0	357	0,008
3	5.0-8.0	3,0	274	0,011
4	8.0-12.0	4,0	319	0,013
5	12.0-16.0	4,0	349	0,011
6	16.0-21.0	5,0	376	0,013
7	21.0-26.0	5,0	376	0,013
8	26.0-30.0	4,0	404	0,010
Σ	□	30,0	Σ	0,088
Categoria sottosuolo: C			Vs,eq = 342,58	

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

DENOMINAZIONE:
Profilo MW24

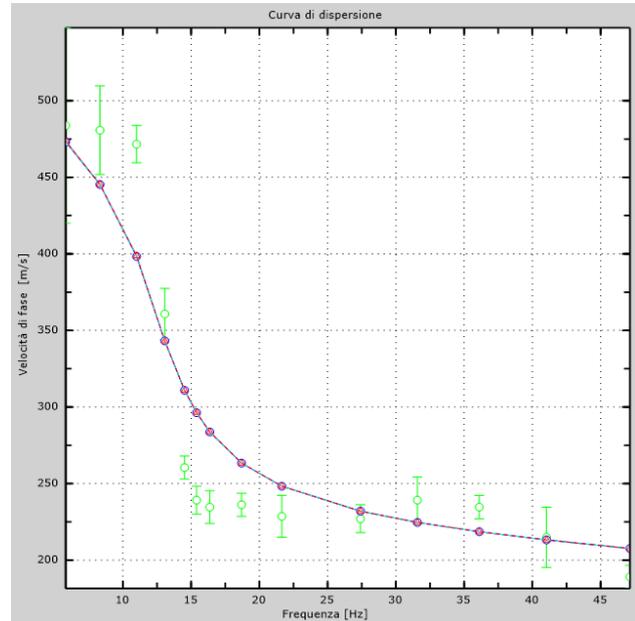
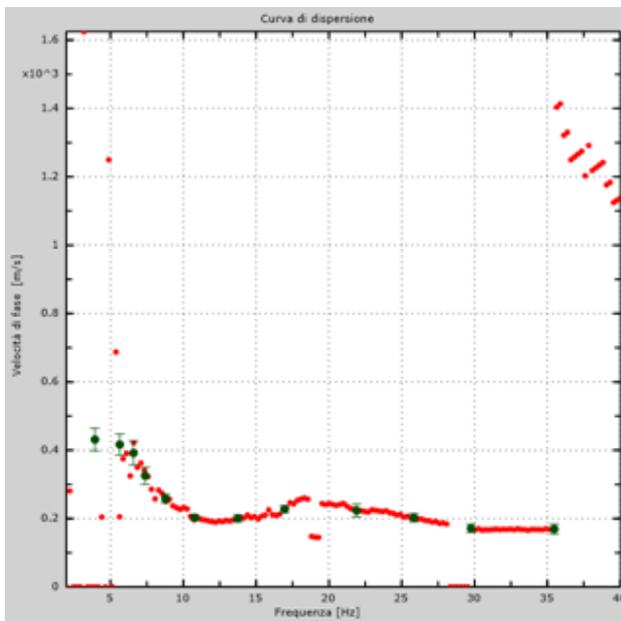
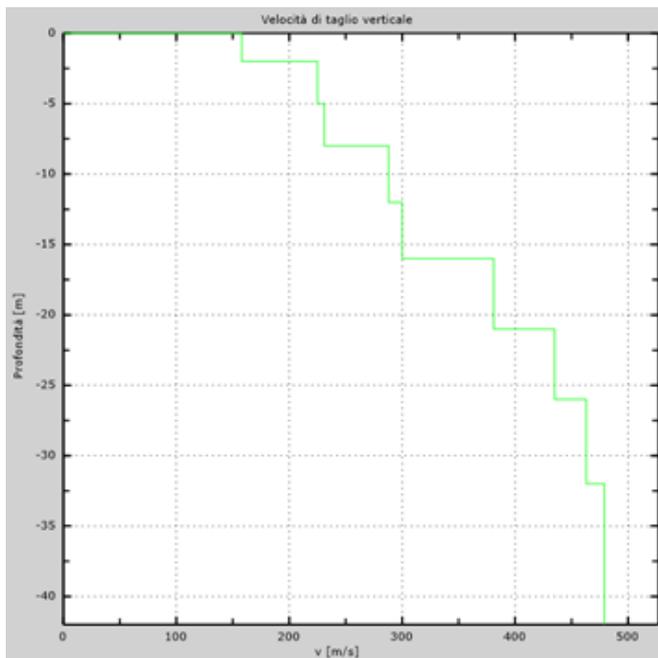


Figura 47 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	158	0,013
2	2.0-5.0	3,0	225	0,013
3	5.0-8.0	3,0	231	0,013
4	8.0-12.0	4,0	288	0,014
5	12.0-16.0	4,0	300	0,013
6	16.0-21.0	5,0	381	0,013
7	21.0-26.0	5,0	435	0,011
8	26.0-30.0	4,0	463	0,009
Σ	□	30,0	Σ	0,099
Categoria sottosuolo: C			V_{S,eq} = 301,64	

Figura 48 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)

DENOMINAZIONE:
Profilo MW25

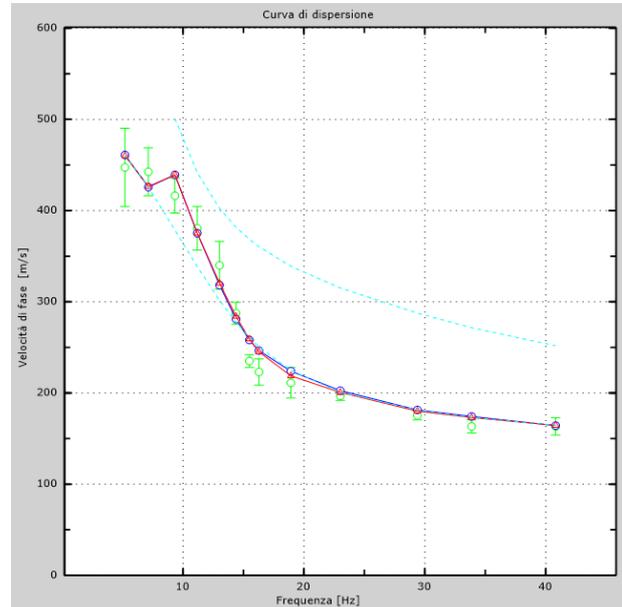
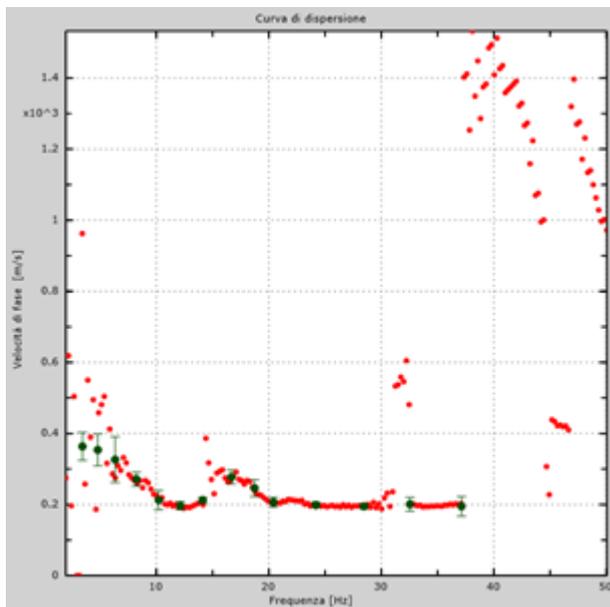
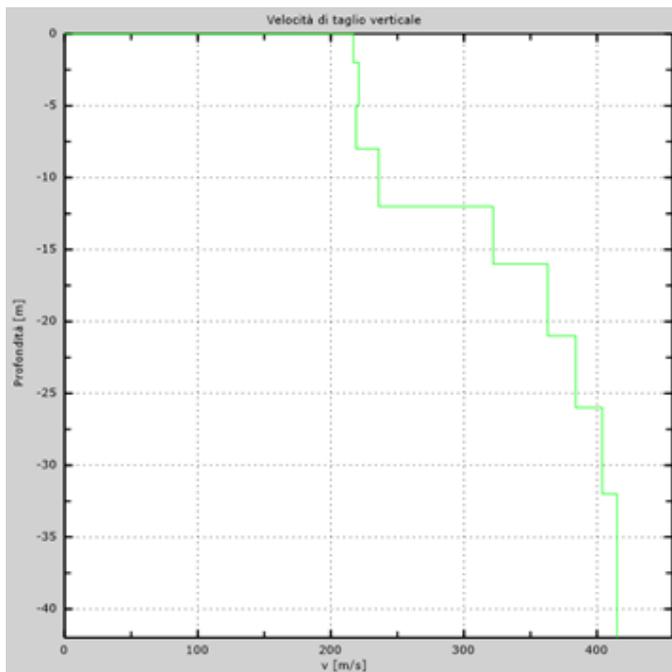


Figura 49 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	217	0,009
2	2.0-5.0	3,0	221	0,014
3	5.0-8.0	3,0	219	0,014
4	8.0-12.0	4,0	236	0,017
5	12.0-16.0	4,0	322	0,012
6	16.0-21.0	5,0	363	0,014
7	21.0-26.0	5,0	384	0,013
8	26.0-30.0	4,0	404	0,010
Σ	□	30,0	Σ	0,103
Categoria sottosuolo: C			V_{s,eq} = 292,52	

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

DENOMINAZIONE:
Profilo MW26

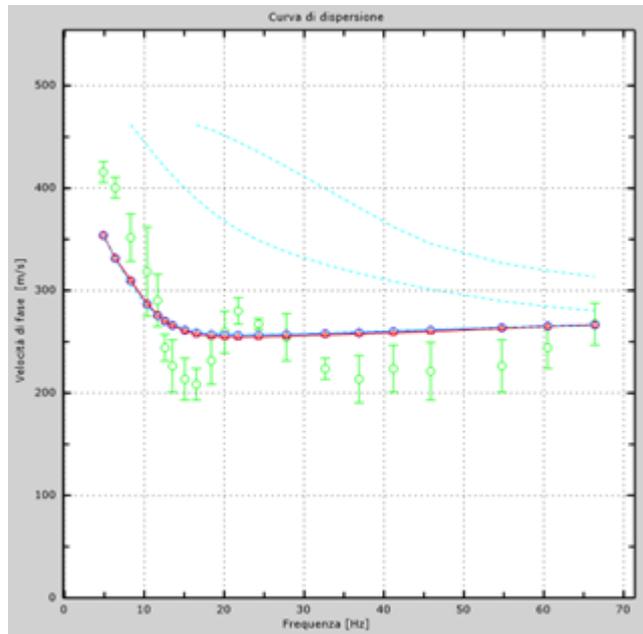
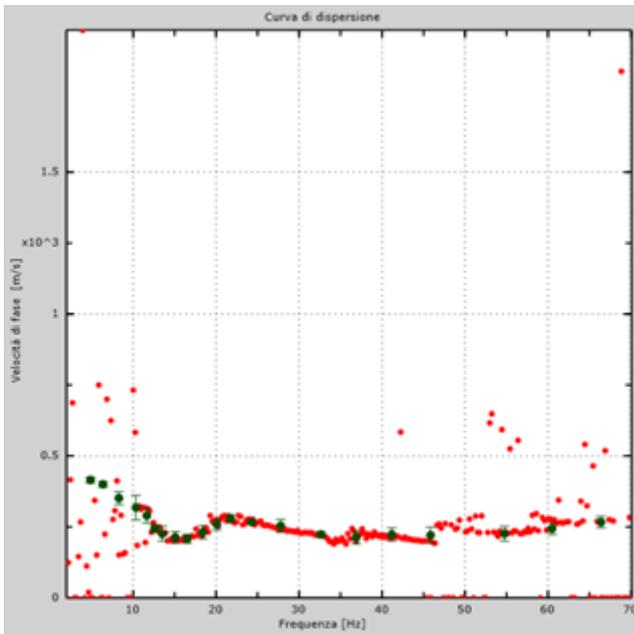
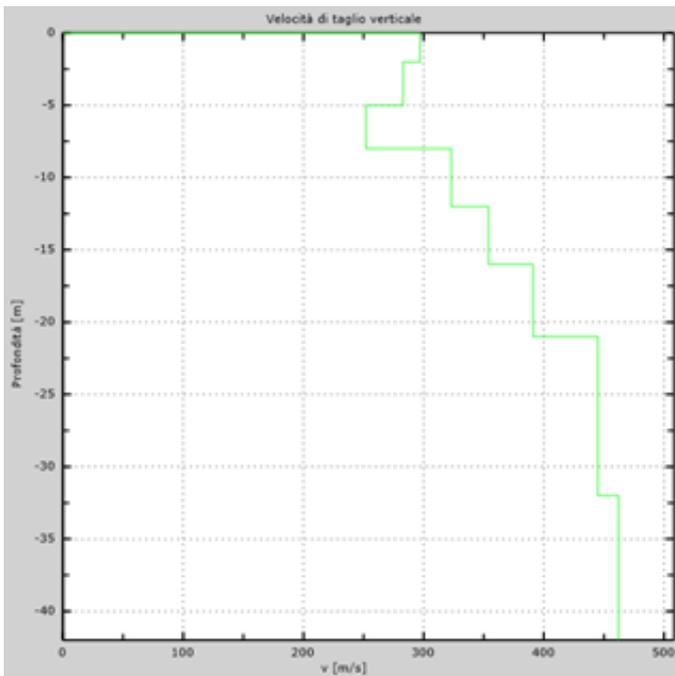


Figura 51 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	297	0,007
2	2.0-5.0	3,0	283	0,011
3	5.0-8.0	3,0	252	0,012
4	8.0-12.0	4,0	323	0,012
5	12.0-16.0	4,0	354	0,011
6	16.0-21.0	5,0	391	0,013
7	21.0-26.0	5,0	445	0,011
8	26.0-30.0	4,0	445	0,009
Σ	□	30,0	Σ	0,086
Categoria sottosuolo: C			Vs,eq = 349,10	

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

DENOMINAZIONE:
Profilo MW27

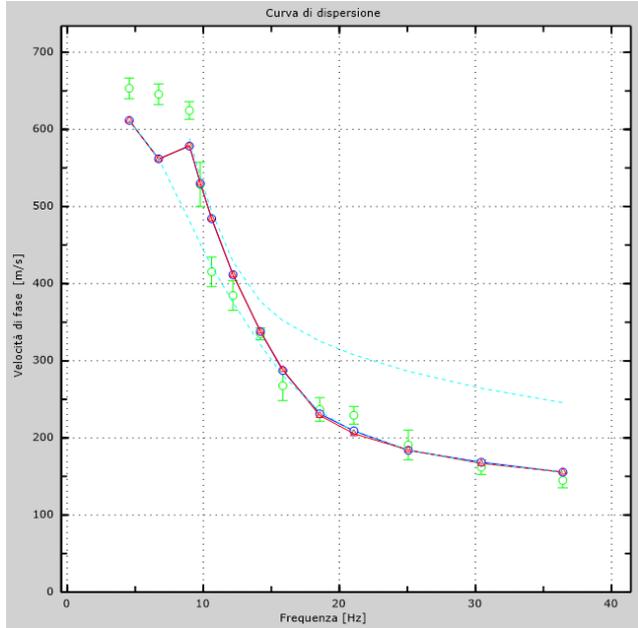
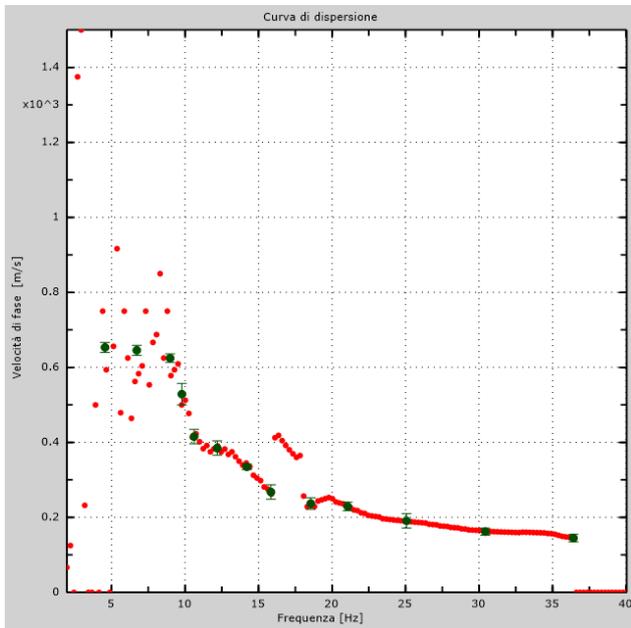
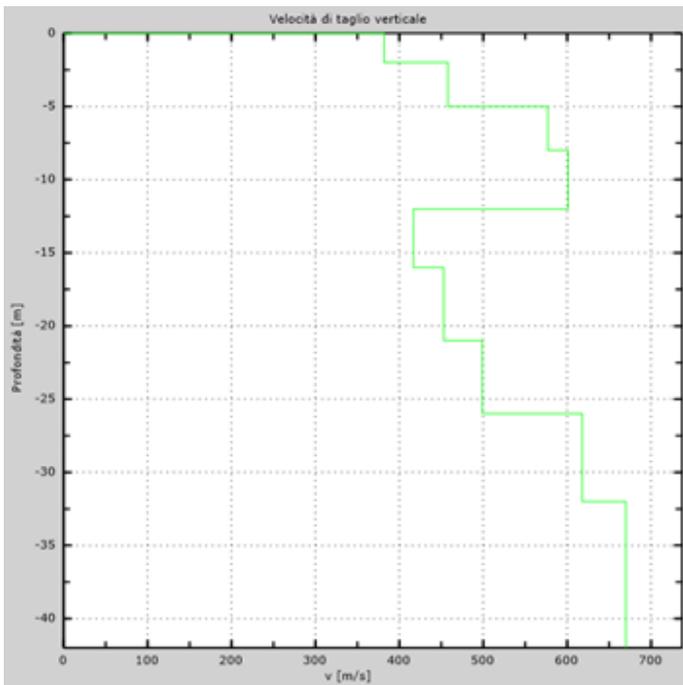


Figura 53 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	382	0,005
2	2.0-5.0	3,0	458	0,007
3	5.0-8.0	3,0	577	0,005
4	8.0-12.0	4,0	601	0,007
5	12.0-16.0	4,0	417	0,010
6	16.0-21.0	5,0	453	0,011
7	21.0-26.0	5,0	499	0,010
8	26.0-30.0	4,0	618	0,006
Σ	□	30,0	Σ	0,061
Categoria sottosuolo: B			V_{s,eq} = 493,72	

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

DENOMINAZIONE:
Profilo MW28

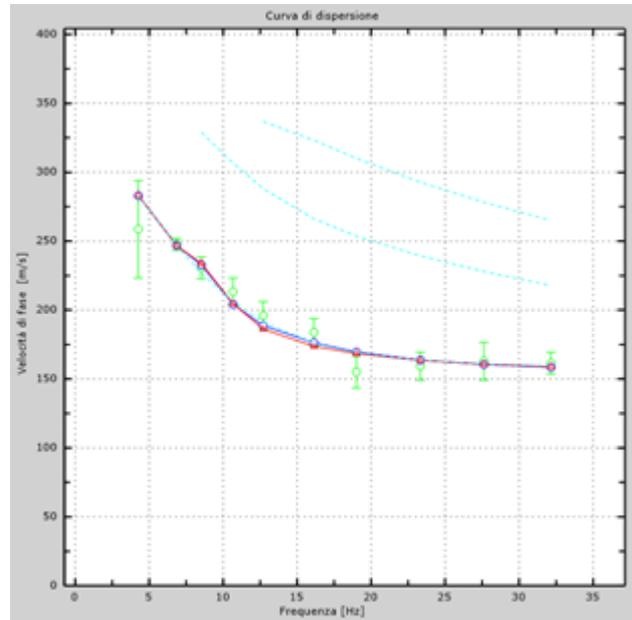
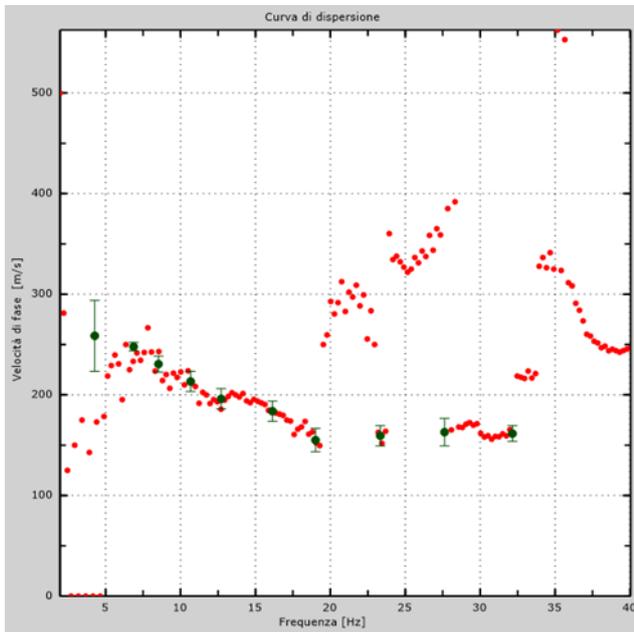
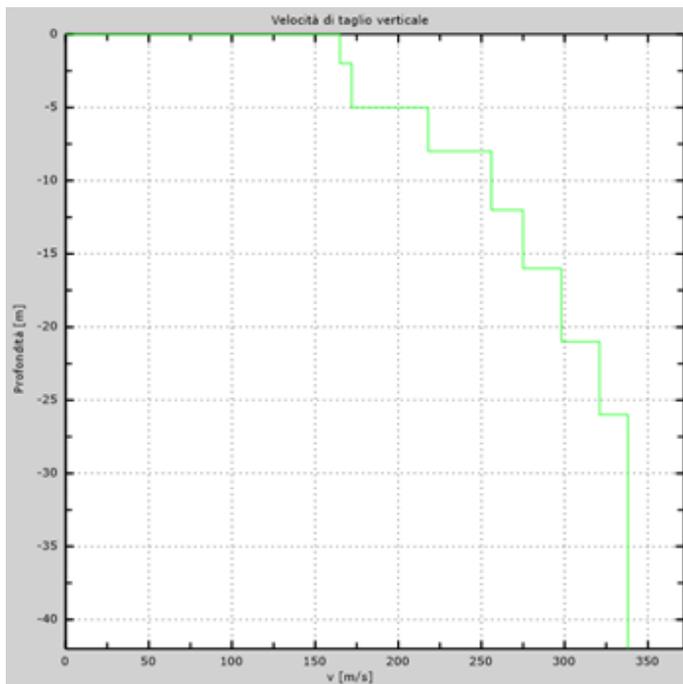


Figura 55 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	165	0,012
2	2.0-5.0	3,0	172	0,017
3	5.0-8.0	3,0	218	0,014
4	8.0-12.0	4,0	256	0,016
5	12.0-16.0	4,0	275	0,015
6	16.0-21.0	5,0	298	0,017
7	21.0-26.0	5,0	321	0,016
8	26.0-30.0	4,0	338	0,012
Σ	□	30,0	Σ	0,118
Categoria sottosuolo: C			Vs,eq = 254,92	

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

DENOMINAZIONE:
Profilo MW29

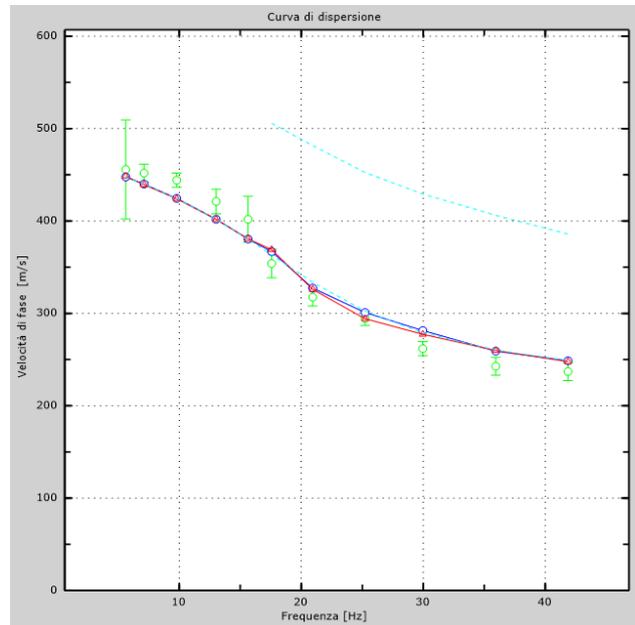
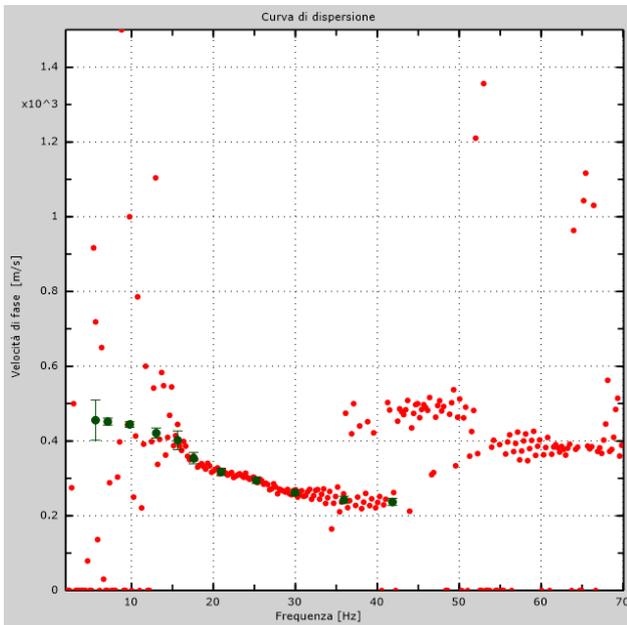
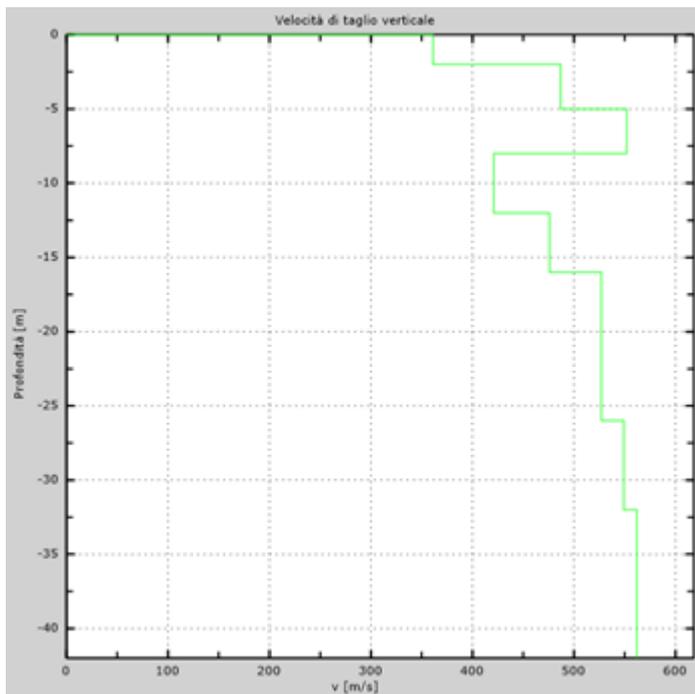


Figura 57 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	361	0,006
2	2.0-5.0	3,0	487	0,006
3	5.0-8.0	3,0	552	0,005
4	8.0-12.0	4,0	421	0,010
5	12.0-16.0	4,0	476	0,008
6	16.0-21.0	5,0	527	0,009
7	21.0-26.0	5,0	527	0,009
8	26.0-30.0	4,0	549	0,007
Σ	□	30,0	Σ	0,061
Categoria sottosuolo: B			Vs,eq = 489,39	

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

DENOMINAZIONE:
Profilo MW30

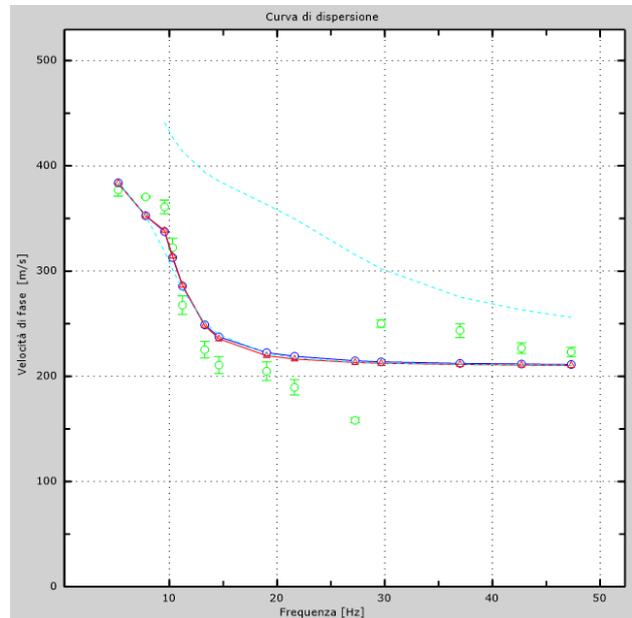
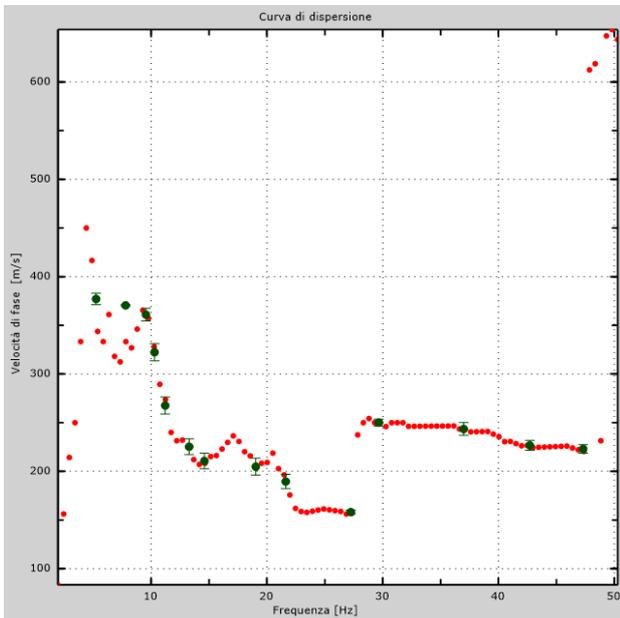
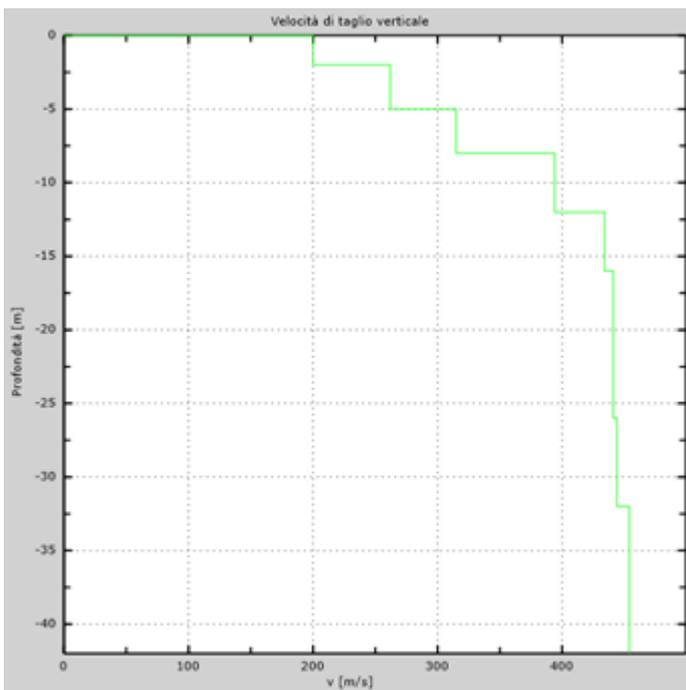


Figura 59 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	200	0,010
2	2.0-5.0	3,0	262	0,011
3	5.0-8.0	3,0	315	0,010
4	8.0-12.0	4,0	394	0,010
5	12.0-16.0	4,0	434	0,009
6	16.0-21.0	5,0	441	0,011
7	21.0-26.0	5,0	441	0,011
8	26.0-30.0	4,0	444	0,009
Σ	□	30,0	Σ	0,082
Categoria sottosuolo: B			Vs,eq = 365,73	

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

DENOMINAZIONE:
Profilo MW31

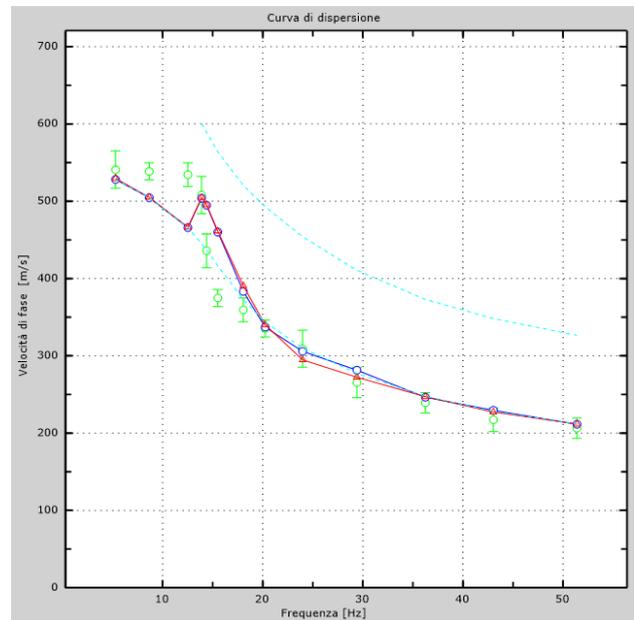
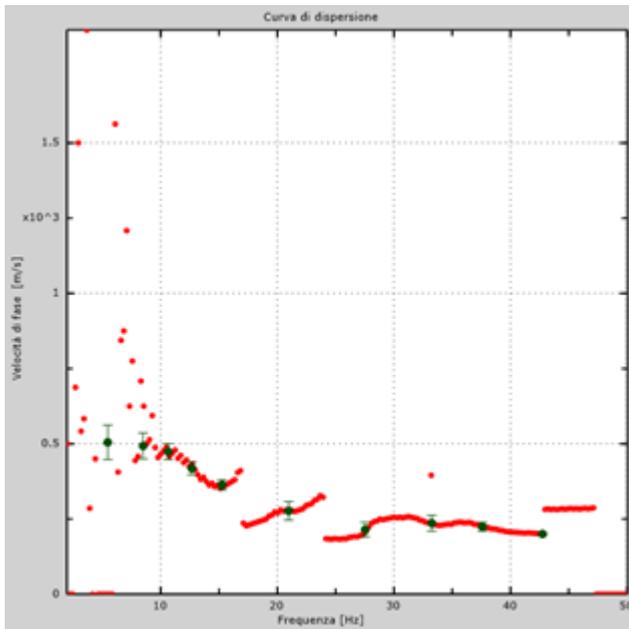
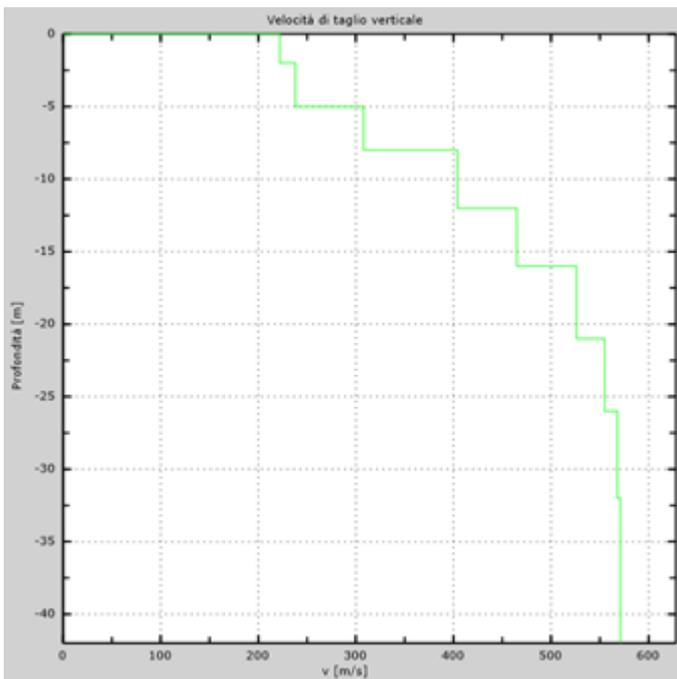


Figura 61 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	222	0,009
2	2.0-5.0	3,0	238	0,013
3	5.0-8.0	3,0	308	0,010
4	8.0-12.0	4,0	404	0,010
5	12.0-16.0	4,0	465	0,009
6	16.0-21.0	5,0	526	0,010
7	21.0-26.0	5,0	555	0,009
8	26.0-30.0	4,0	568	0,007
Σ	□	30,0	Σ	0,075
Categoria sottosuolo: B			Vs,eq = 397,80	

Figura 62 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)

DENOMINAZIONE:
Profilo MW32

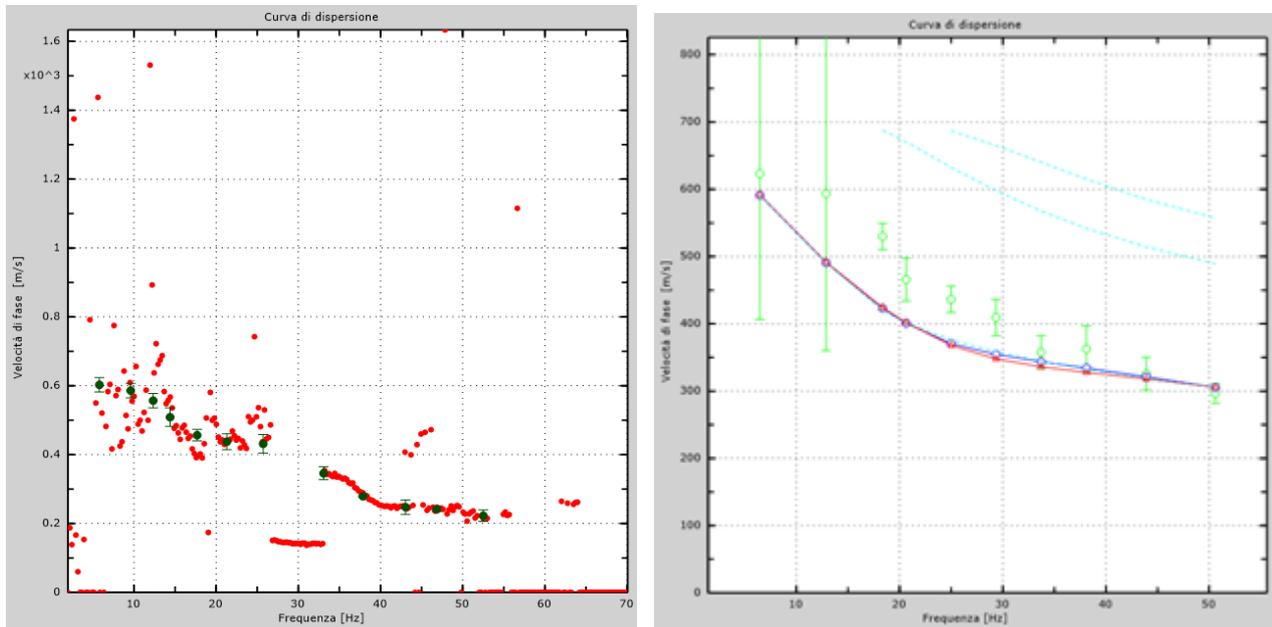
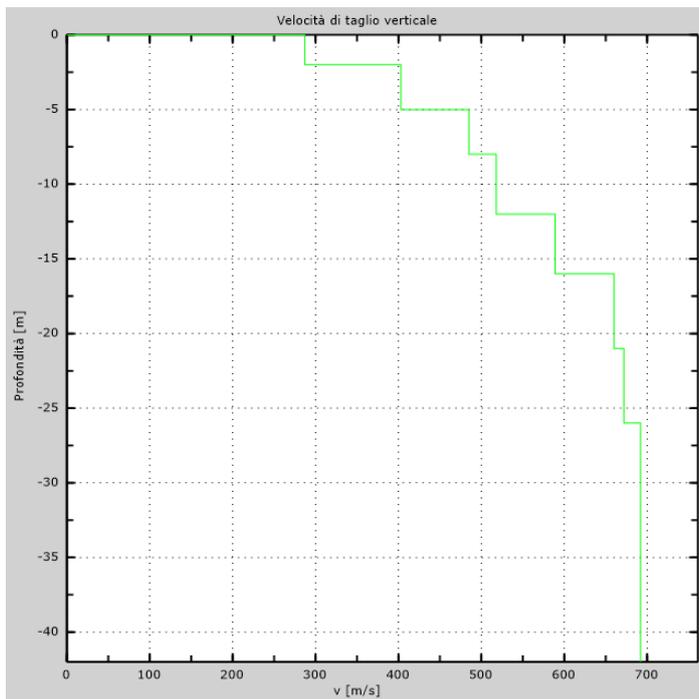


Figura 63 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	287	0,007
2	2.0-5.0	3,0	403	0,007
3	5.0-8.0	3,0	485	0,006
4	8.0-12.0	4,0	518	0,008
5	12.0-16.0	4,0	589	0,007
6	16.0-21.0	5,0	660	0,008
7	21.0-26.0	5,0	672	0,007
8	26.0-30.0	4,0	692	0,006
Σ	□	30,0	Σ	0,056
Categoria sottosuolo: B			Vs,eq = 536,59	

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

DENOMINAZIONE:
Profilo MW33

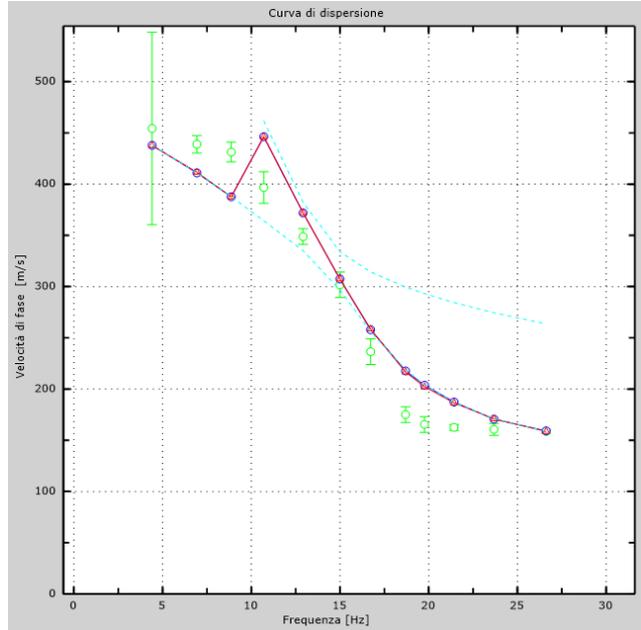
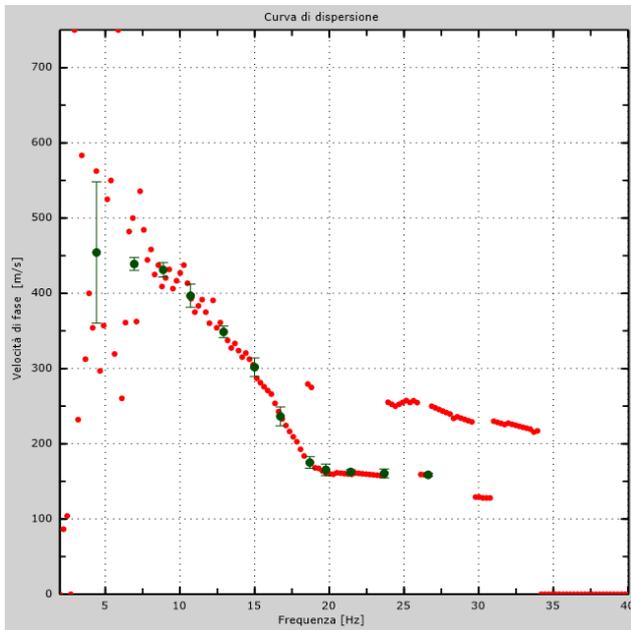
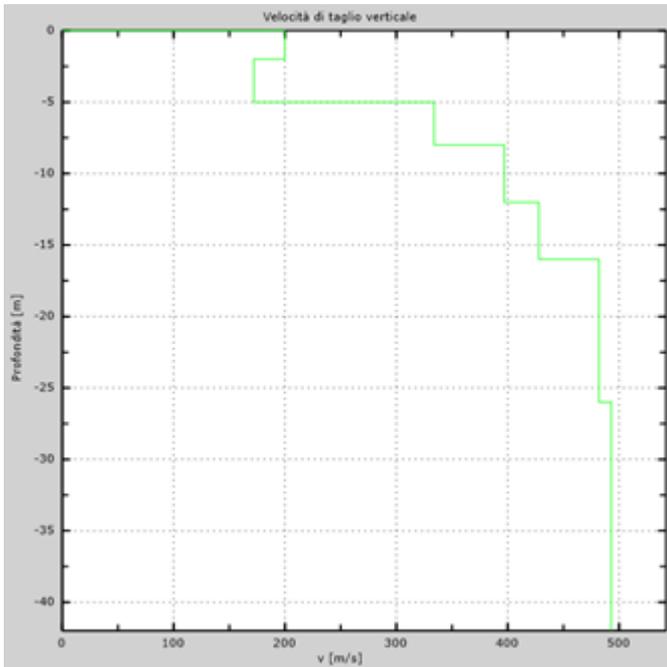


Figura 65 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	200	0,010
2	2.0-5.0	3,0	172	0,017
3	5.0-8.0	3,0	334	0,009
4	8.0-12.0	4,0	397	0,010
5	12.0-16.0	4,0	428	0,009
6	16.0-21.0	5,0	482	0,010
7	21.0-26.0	5,0	482	0,010
8	26.0-30.0	4,0	493	0,008
Σ	□	30,0	Σ	0,085
Categoria sottosuolo: C			Vs,eq = 354,17	

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

DENOMINAZIONE:
Profilo MW34

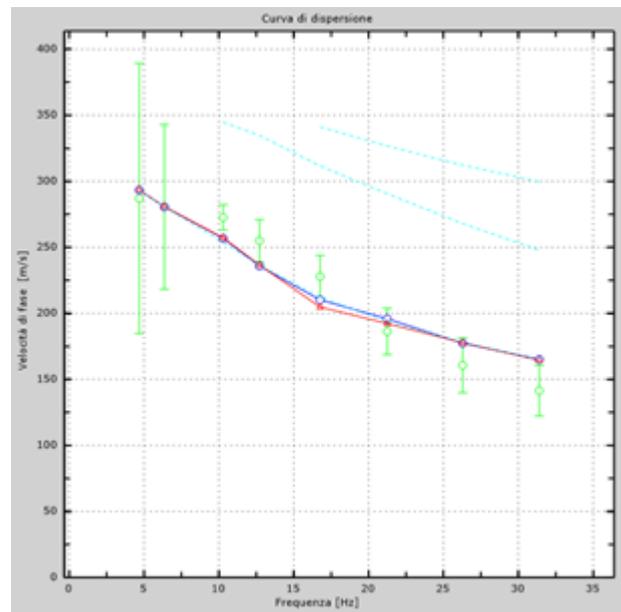
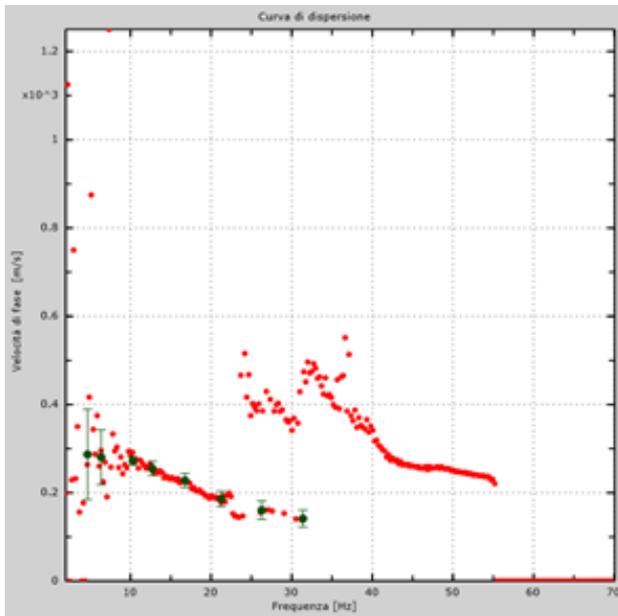
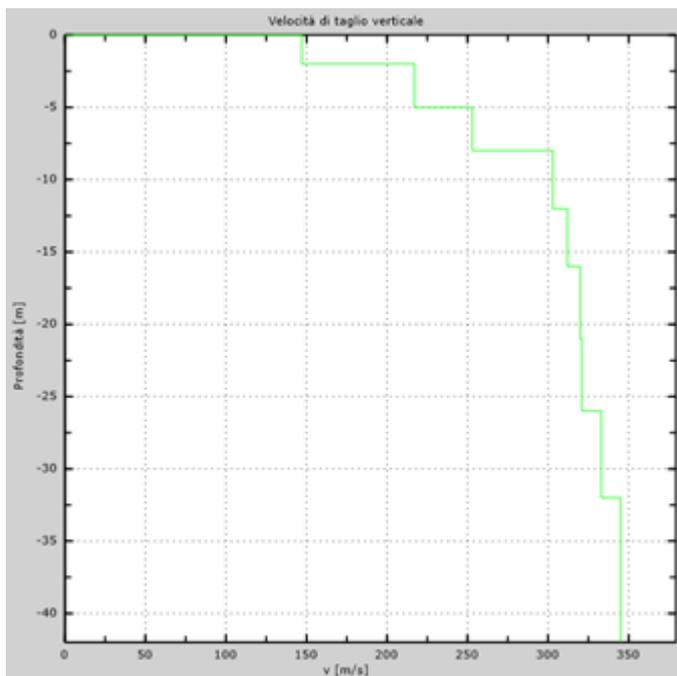


Figura 67 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	147	0,014
2	2.0-5.0	3,0	217	0,014
3	5.0-8.0	3,0	253	0,012
4	8.0-12.0	4,0	303	0,013
5	12.0-16.0	4,0	312	0,013
6	16.0-21.0	5,0	320	0,016
7	21.0-26.0	5,0	321	0,016
8	26.0-30.0	4,0	333	0,012
Σ	□	30,0	Σ	0,109
Categoria sottosuolo: C			Vs,eq = 276,44	

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

DENOMINAZIONE:
Profilo MW35

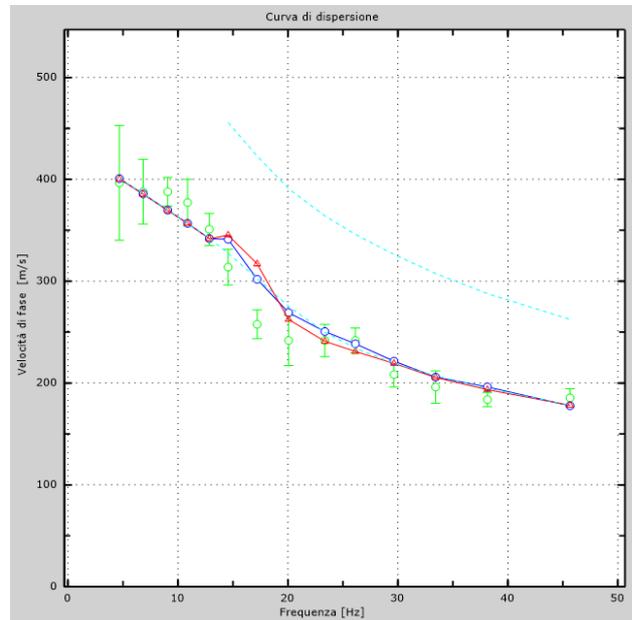
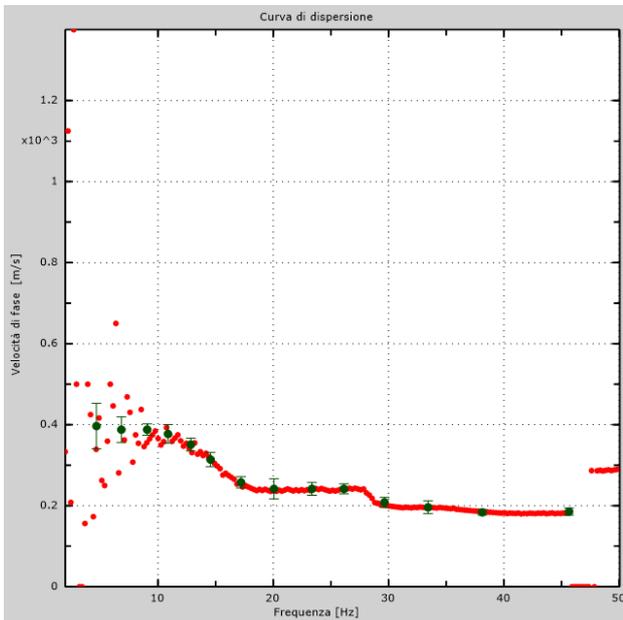


Figura 69 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)

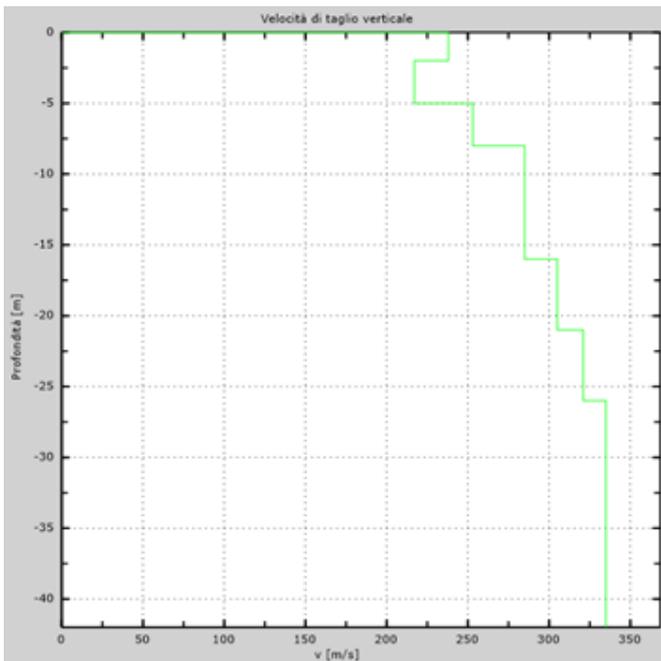


Figura 70 – Profilo V_s (sn); tabella di calcolo $V_{s,eq}$ (dx)

Intervallo	Profondità (m)	H (m)	V_s (m/s)	H/ V_s
1	0.0-2.0	2,0	238	0,008
2	2.0-5.0	3,0	217	0,014
3	5.0-8.0	3,0	253	0,012
4	8.0-12.0	4,0	285	0,014
5	12.0-16.0	4,0	285	0,014
6	16.0-21.0	5,0	305	0,016
7	21.0-26.0	5,0	321	0,016
8	26.0-30.0	4,0	335	0,012
Σ	\square	30,0	Σ	0,106
Categoria sottosuolo: C			$V_{s,eq} = 282,54$	

DENOMINAZIONE:
Profilo MW36

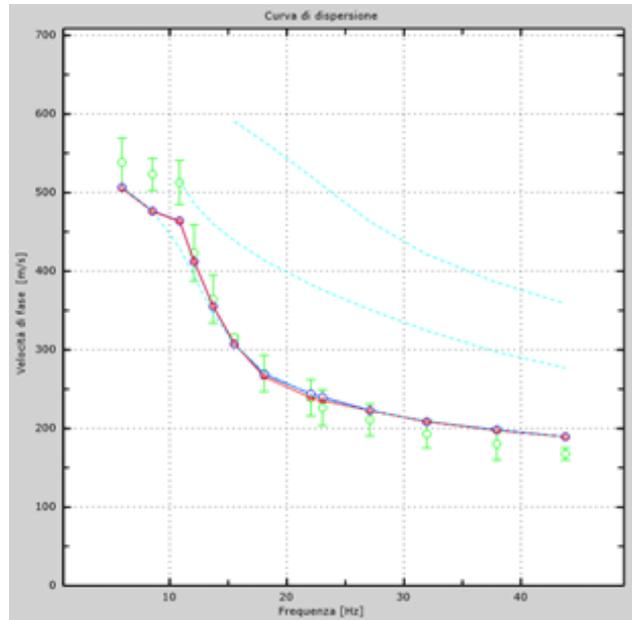
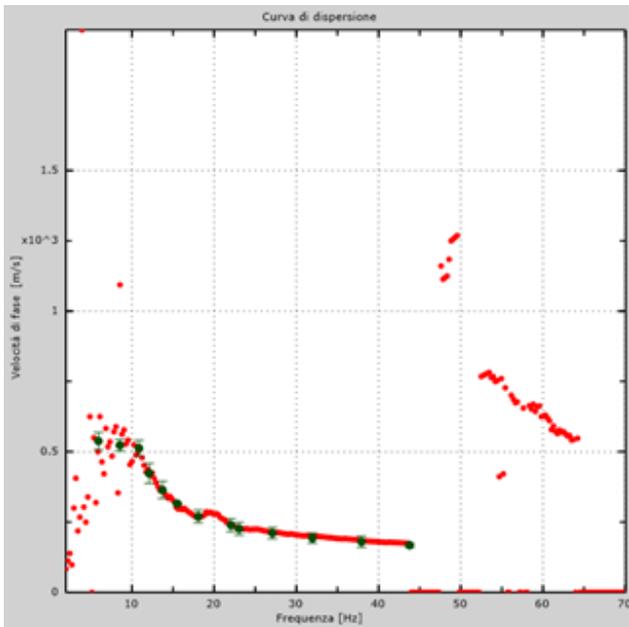
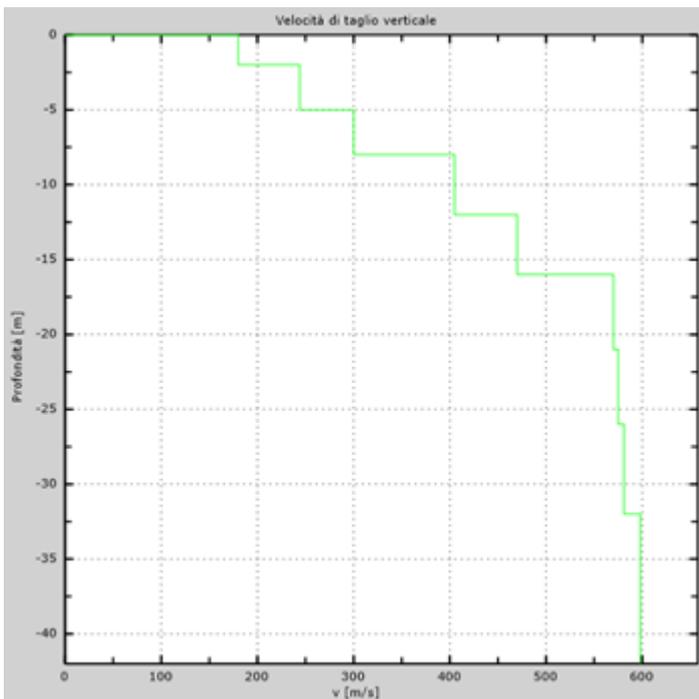


Figura 71 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	180	0,011
2	2.0-5.0	3,0	244	0,012
3	5.0-8.0	3,0	300	0,010
4	8.0-12.0	4,0	405	0,010
5	12.0-16.0	4,0	470	0,009
6	16.0-21.0	5,0	570	0,009
7	21.0-26.0	5,0	575	0,009
8	26.0-30.0	4,0	581	0,007
Σ	□	30,0	Σ	0,076
Categoria sottosuolo: B			Vs,eq = 393,98	

Figura 72 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)

1.1 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 otto 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)	Formazione affiorante	V_s (m/s)	V_s (m/s)	V_s (m/s)
				0-2 m	2-5 m	5-8 m
1	299	C	Terravecchia	169	222	288
2	295	C	Terravecchia	178	260	206
3	286	C	Terravecchia	177	222	279
4	453	B	Gessi	354	511	580
5	387	B	Terravecchia	312	370	360
6	331	C	Terravecchia	249	277	285
7	294	C	Terravecchia	173	232	205
8	293	C	Terravecchia	183	220	195
9	261	C	Terravecchia	203	167	211
10	277	C	Terravecchia	177	168	235
11	297	C	Terravecchia	229	303	235
12	377	B	Terravecchia	252	279	316
13	355	C	F. Numidico	214	240	305
14	333	C	F. Numidico	172	218	279
15	343	C	F. Numidico	186	261	255
16	290	C	Terravecchia	187	154	265
17	261	C	Terravecchia	218	247	174
18	362	B	F. Numidico	148	225	293
19	331	C	Terravecchia	193	252	252
20	336	C	F. Numidico	278	313	279
21	272	C	Terravecchia	175	230	228
22	285	C	Terravecchia	208	208	280
23	342	C	F. Numidico	259	357	274
24	301	C	Terravecchia	158	225	231

25	292	C	Terravecchia	217	221	219
26	349	C	Terravecchia	297	283	252
27	493	B	Gessi	382	458	577
28	254	C	Terravecchia	165	172	218
29	489	B	Gessi	361	487	552
30	365	B	Arg. brecciate	200	262	315
31	397	B	Terravecchia	222	238	308
32	536	B	Gessi	287	403	485
33	354	C	Terravecchia	200	172	334
34	276	C	Terravecchia	147	217	253
35	282	C	Arg. brecciate	238	217	253
36	393	B	Terravecchia	180	244	300

Dalla tabella sopra esposta si vede che i terreni analizzati ricadono in gran parte nella Categoria B ed in minor misura nella C, di cui alle N.T.C. 2018

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

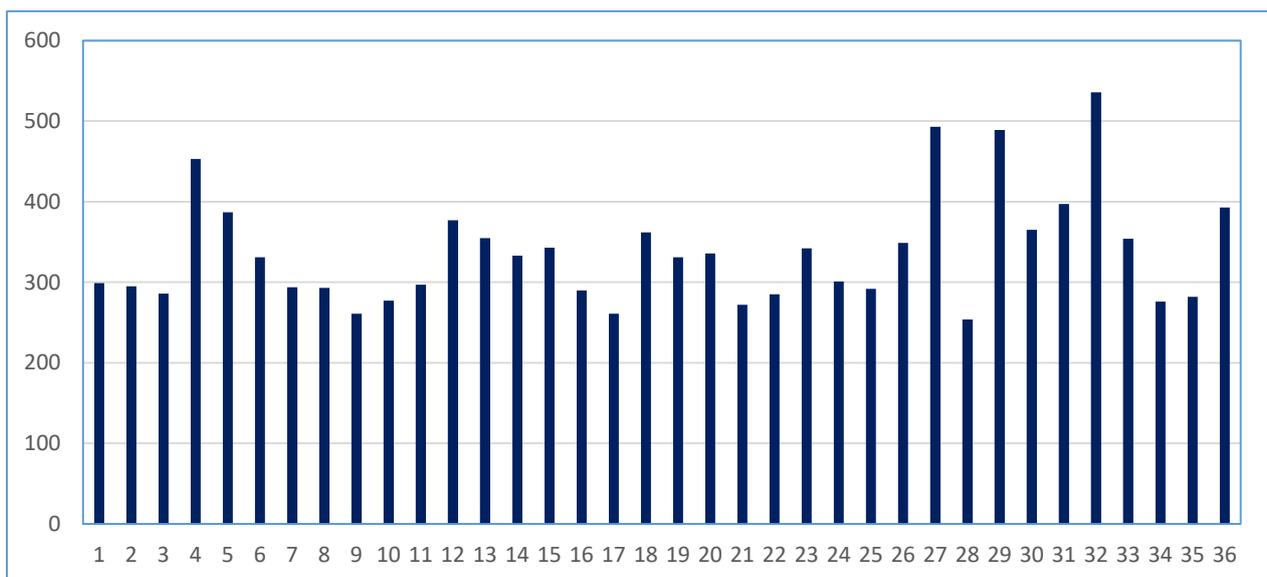
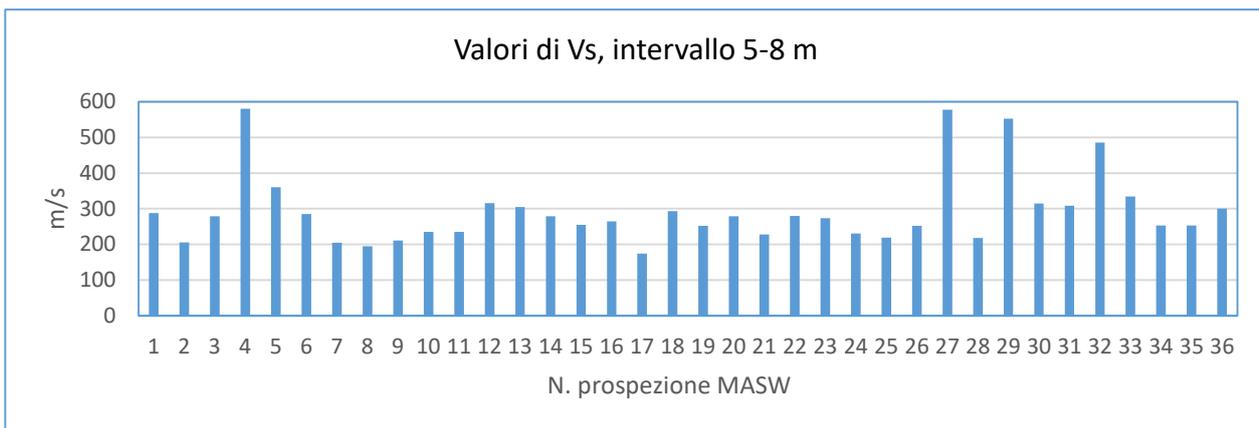
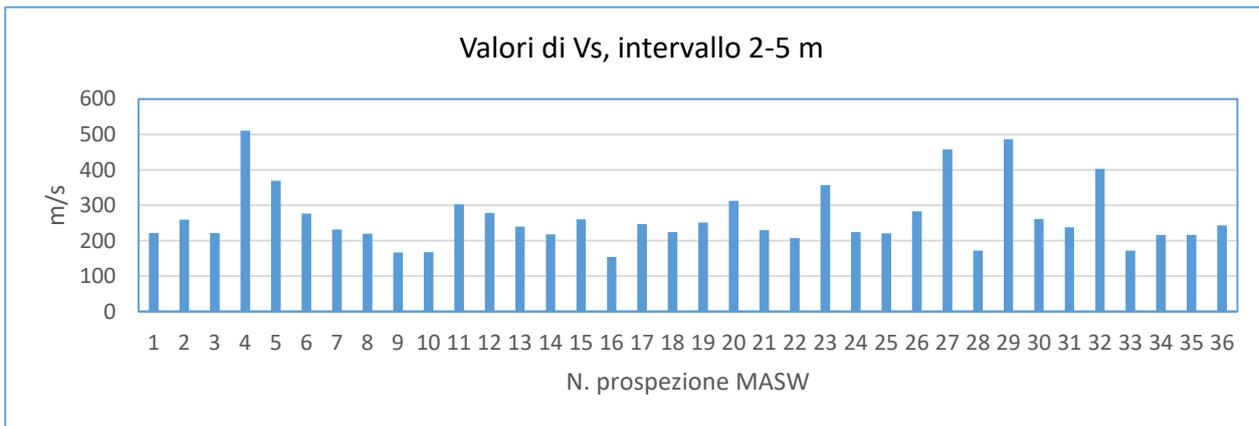
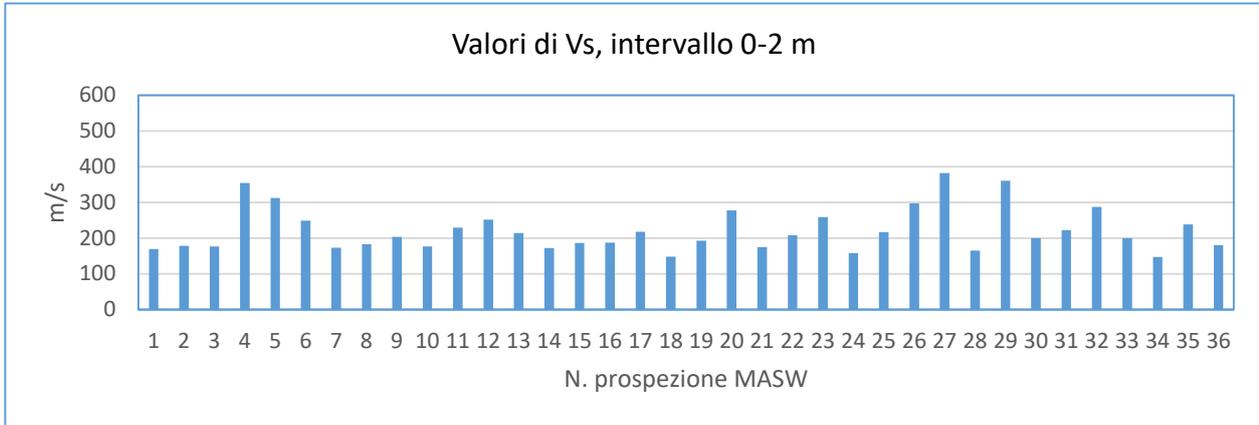


Tabella 1 – Valori di $V_{s,eq}$

Al fine di caratterizzare al meglio i terreni superficiali, in particolare fino a 8 m di profondità, sono stati ricavati anche i grafici relativi ai valori di Vs esposti nella precedente tabella, e precisamente per gli intervalli 0-2 m, 2-5 m ed infine 5-8 m.



2 PROSPEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA

2.1 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 $E_{min} = 0$.

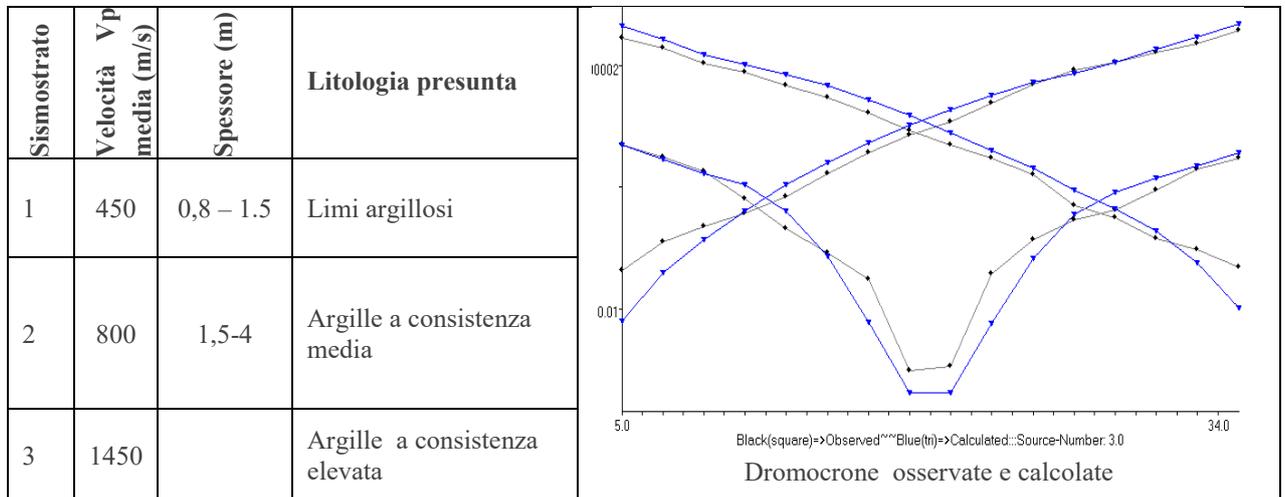
L’equazione (2), media tutti i valori accettati dal nuovo modello, laddove l’errore minimo quadrato (least – square error) è minore nell’iterazione prevista.

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.

2.2 Risultati delle prospezioni

Denominazione: Sezione sismica tomografica Ts1				
N. Geofoni: 16	Step Intergeofonico 2 m	N. Shots 3	Lunghezza Stendimento end-to-end shot 40 m	Profondità raggiunta 8 m



Velocity Model

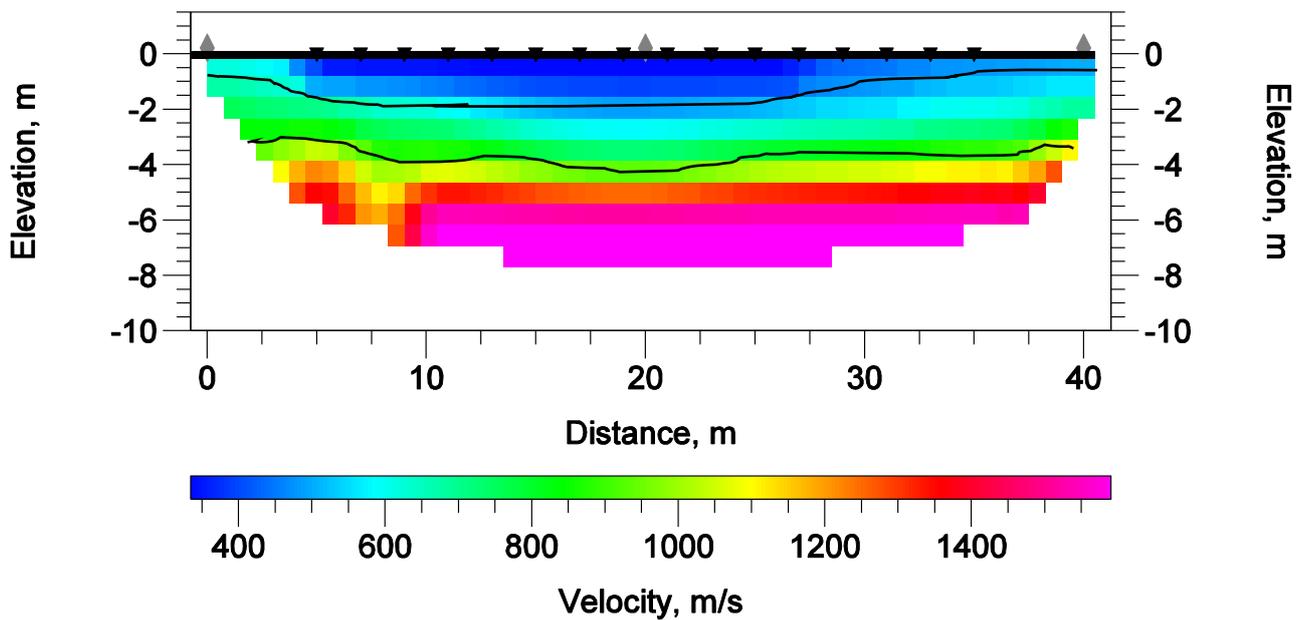


Figura 73 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

Denominazione: Sezione sismica tomografica Ts4				
N. Geofoni: 16	Step Intergeofonico 2 m	N. Shots 3	Lunghezza Stendimento end-to-end shot 40 m	Profondità raggiunta 8 m

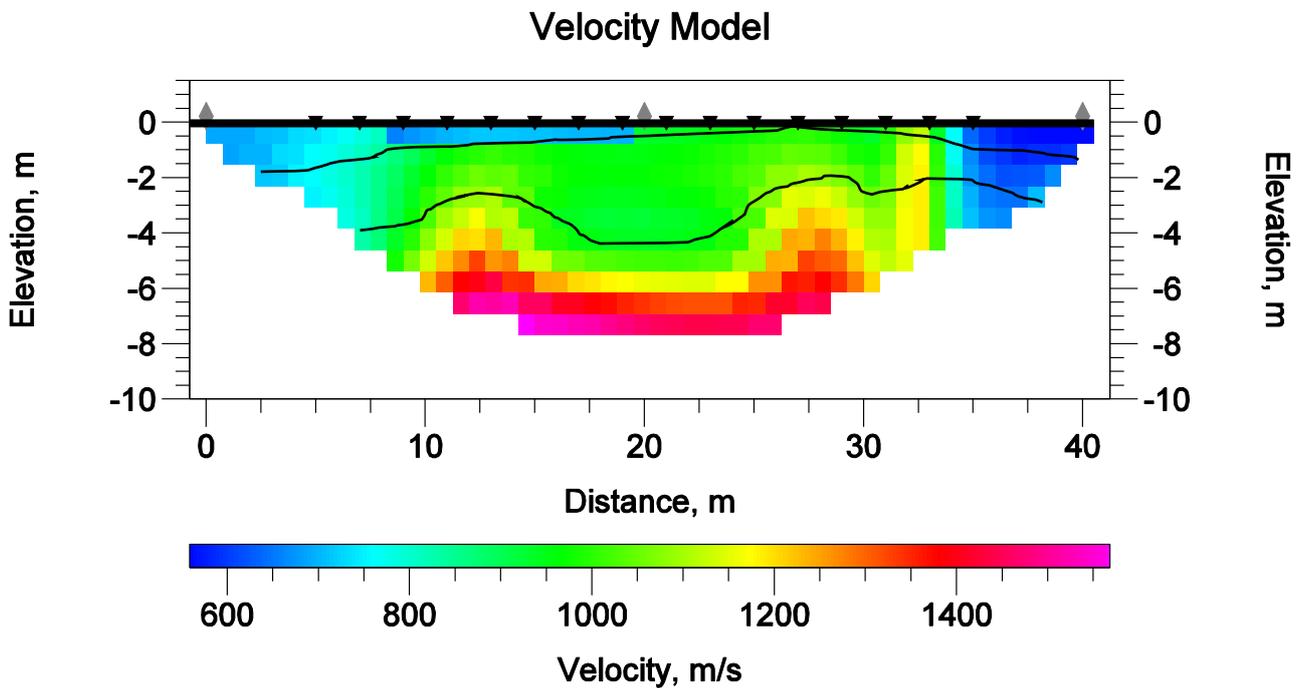
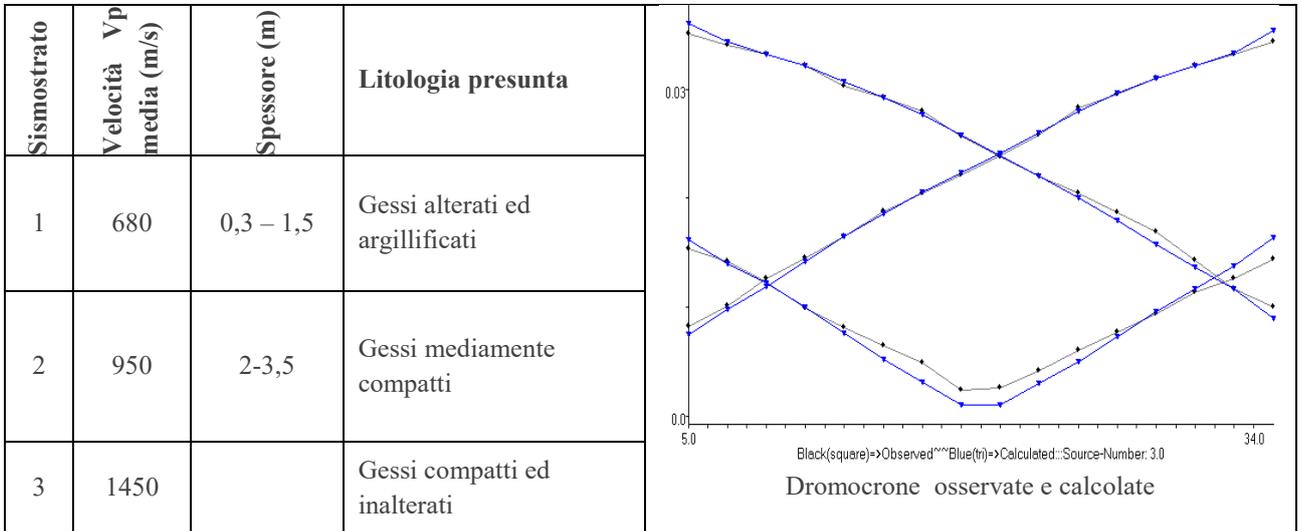
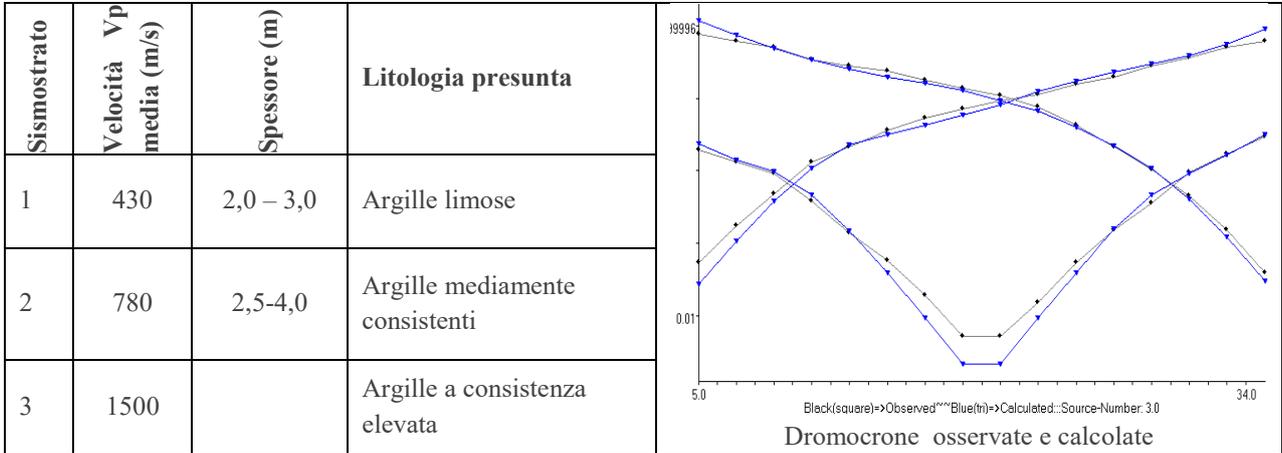


Figura 74 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

Denominazione: Sezione sismica tomografica Ts7				
N. Geofoni: 16	Step Intergeofonico 2 m	N. Shots 3	Lunghezza Stendimento end-to-end shot 40 m	Profondità raggiunta 10 m



Velocity Model

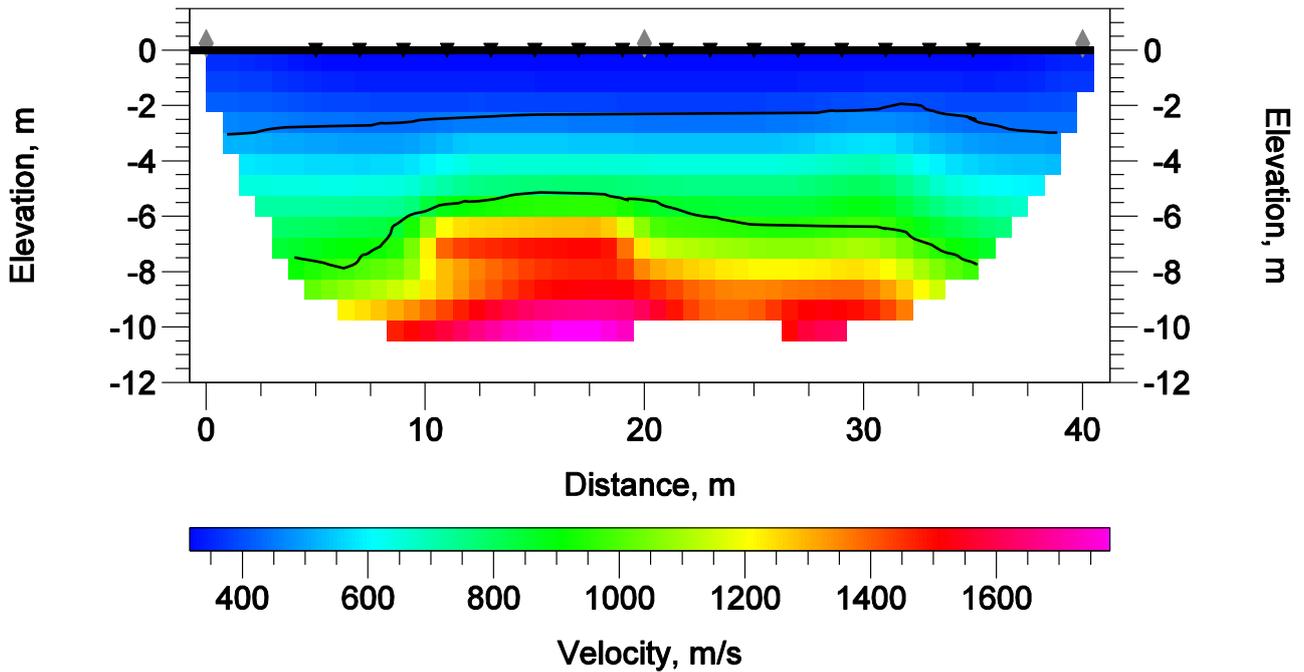


Figura 75 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

Denominazione: Sezione sismica tomografica Ts9				
N. Geofoni: 16	Step Intergeofonico 2 m	N. Shots 3	Lunghezza Stendimento end-to-end shot 40 m	Profondità raggiunta 8,5 m

Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta
1	480	1,0 – 2,0	Argille limose poco consistenti
2	600	1,8-2,5	Argille mediamente consistenti
3	1200		Argille a consistenza medio-elevata

Velocity Model

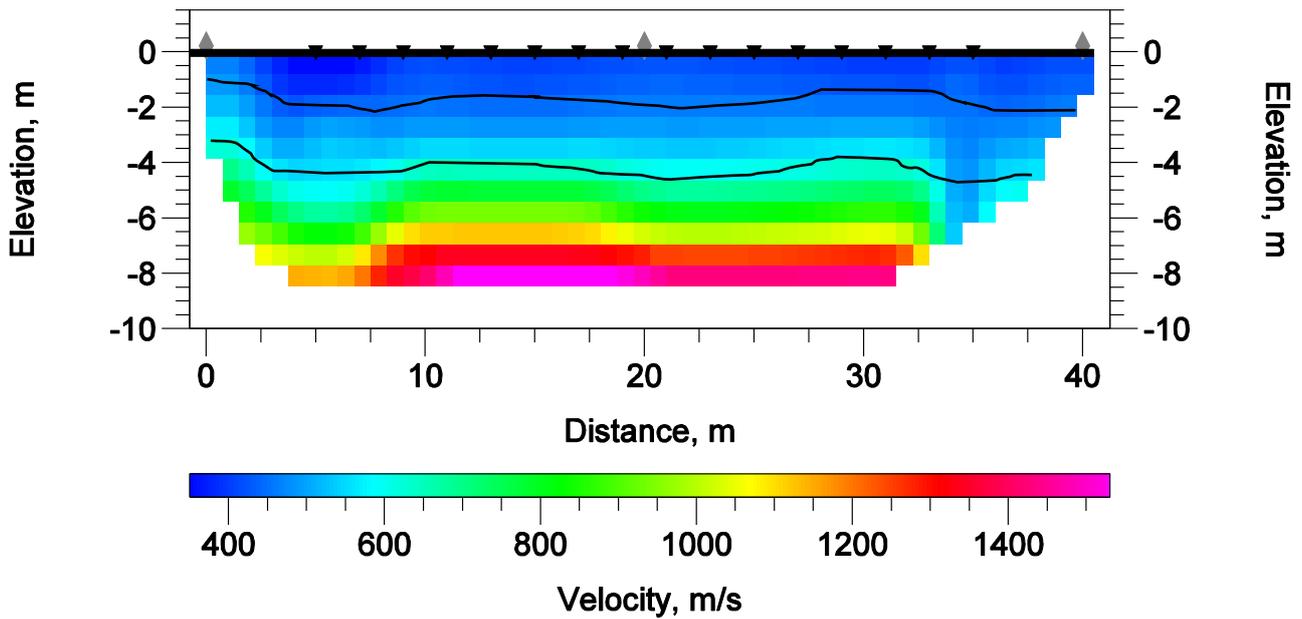
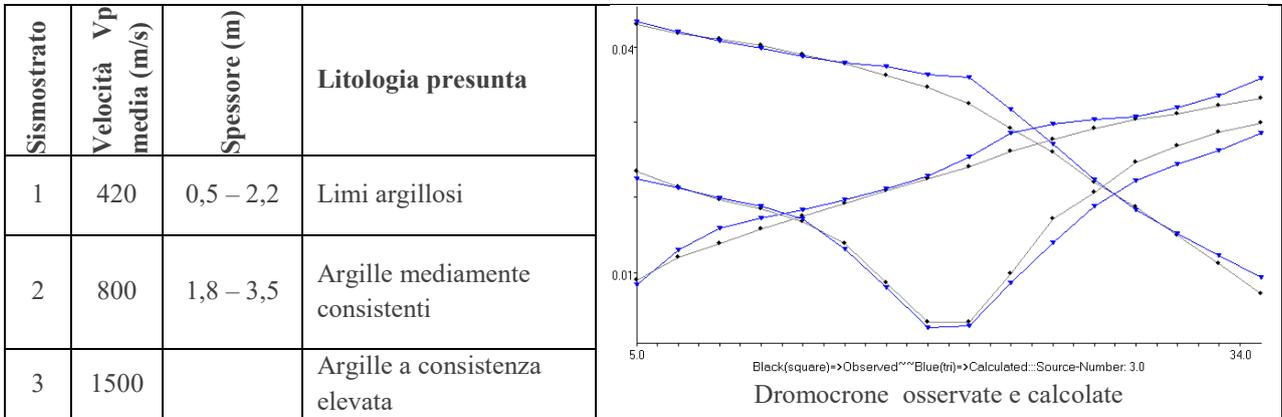


Figura 76 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

Denominazione: Sezione sismica tomografica Ts11				
N. Geofoni: 16	Step Intergeofonico 2 m	N. Shots 3	Lunghezza Stendimento end-to-end shot 40 m	Profondità raggiunta 7 m



Velocity Model

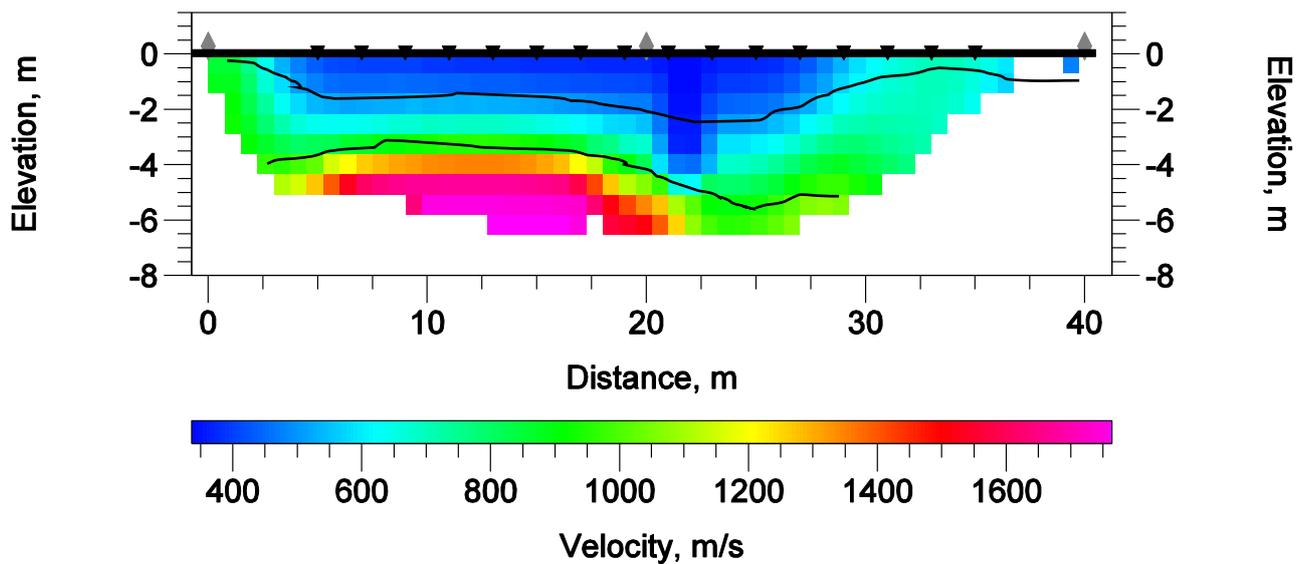
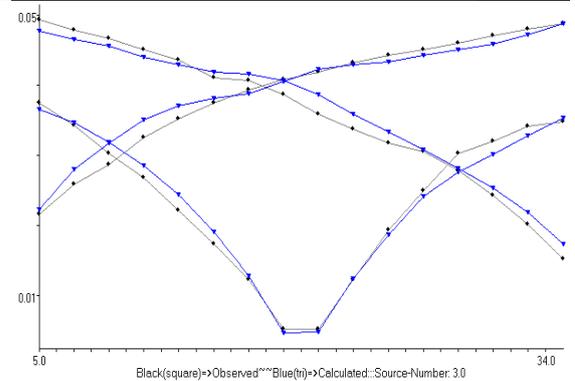


Figura 77 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

Denominazione: Sezione sismica tomografica Ts12				
N. Geofoni: 16	Step Intergeofonico 2 m	N. Shots 3	Lunghezza Stendimento end-to-end shot 40 m	Profondità raggiunta 8,5 m

Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta
1	400	1,0 – 2,5	Limi argillosi
2	750	2,5 – 3,0	Argille mediamente consistenti
3	1400		Argille a consistenza elevata



Dromocroni osservate e calcolate

Velocity Model

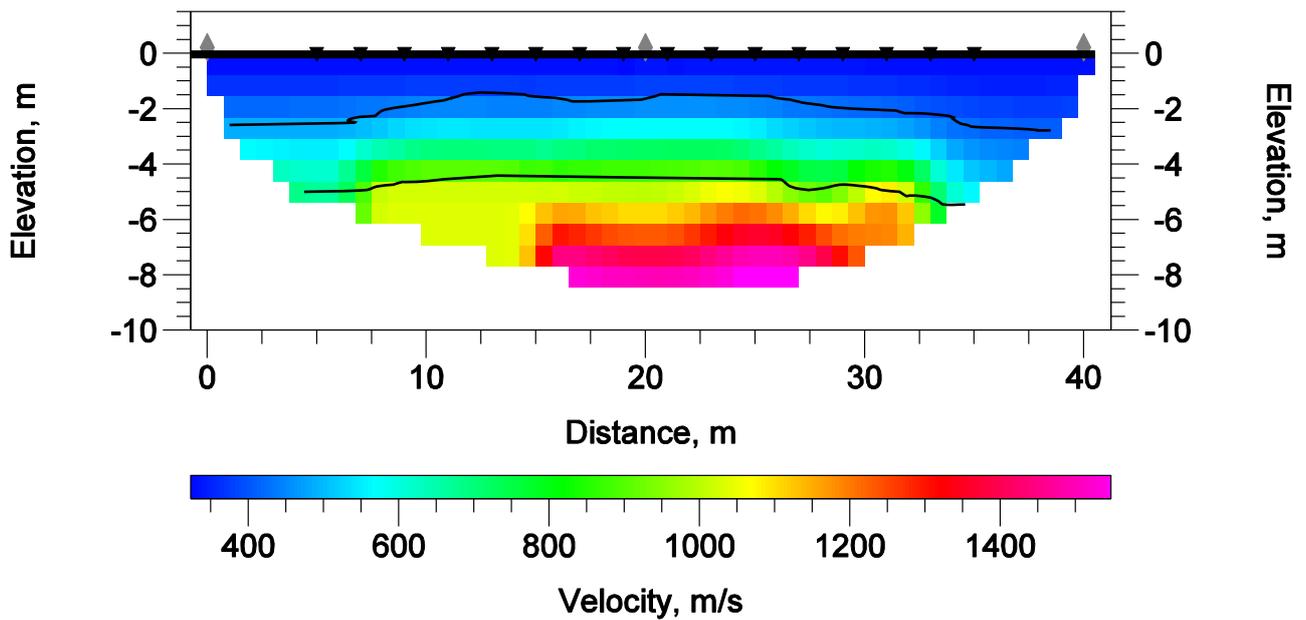
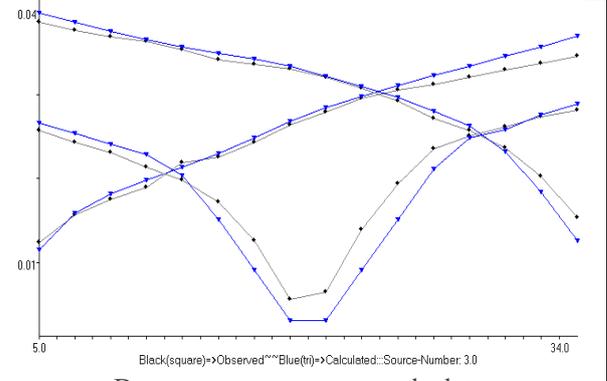


Figura 78 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

Denominazione: Sezione sismica tomografica Ts13				
N. Geofoni: 16	Step Intergeofonico 2 m	N. Shots 3	Lunghezza Stendimento end-to-end shot 40 m	Profondità raggiunta 7,5 m

Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta
1	450	0,5 – 2,0	Argille limose
2	680	2,5 – 3,8	Argille mediamente consistenti
3	1500		Argille a consistenza elevata



Velocity Model

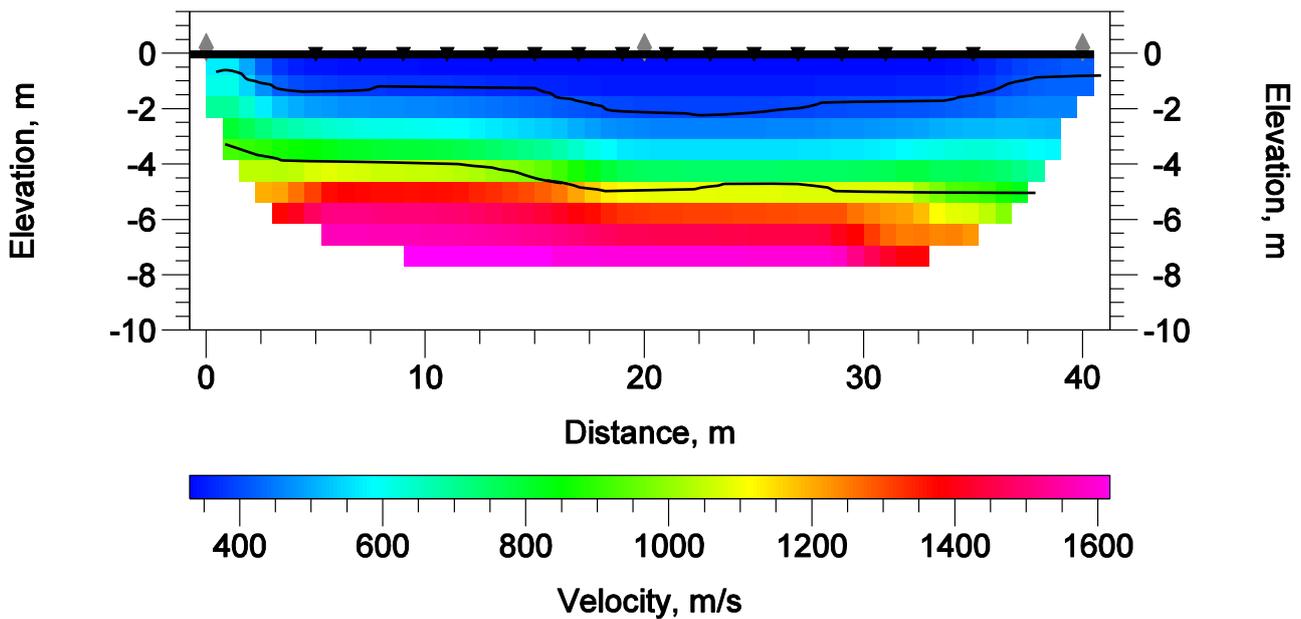
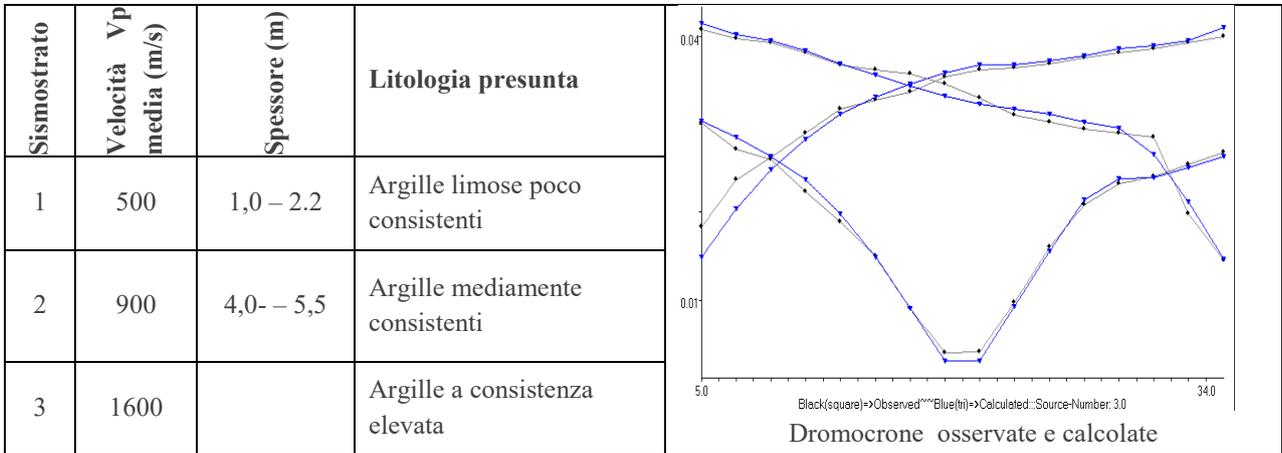


Figura 79 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

Denominazione: Sezione sismica tomografica Ts15				
N. Geofoni: 16	Step Intergeofonico 2 m	N. Shots 3	Lunghezza Stendimento end-to-end shot 40 m	Profondità raggiunta 8,5 m



Velocity Model

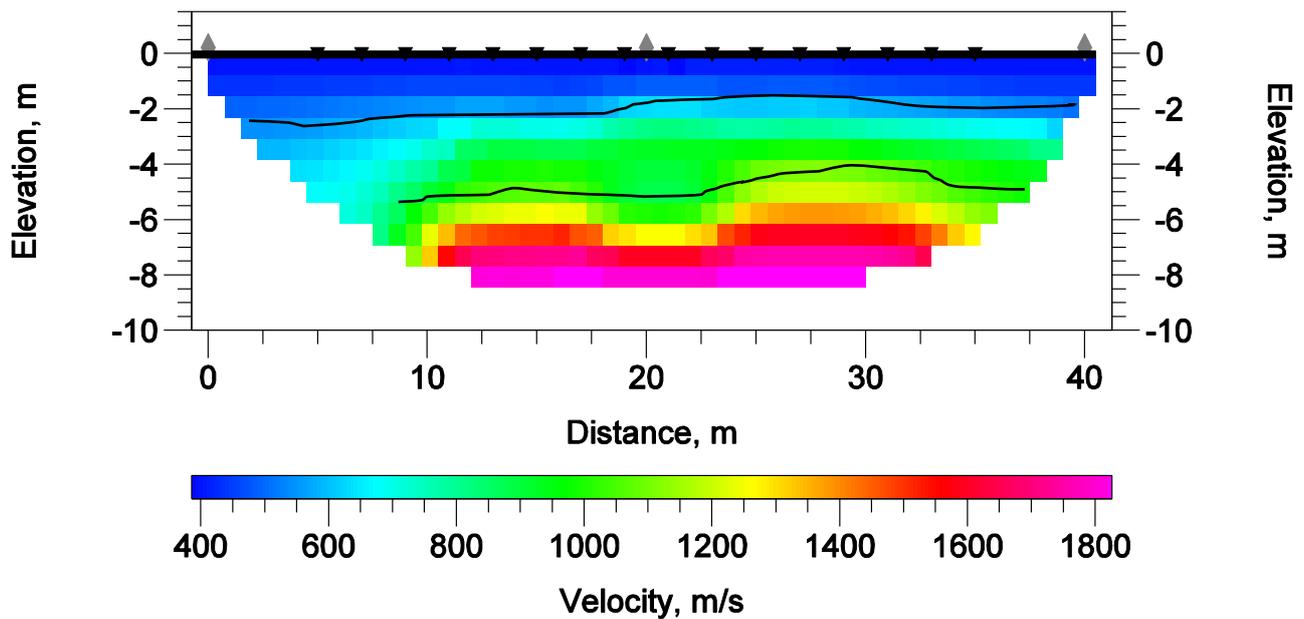
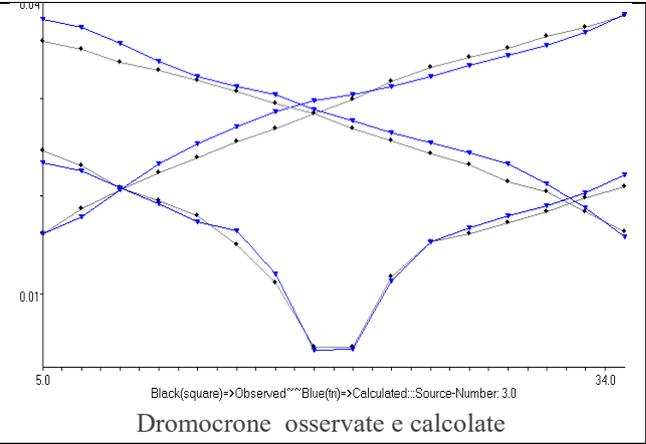


Figura 80 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

Denominazione: Sezione sismica tomografica Ts17				
N. Geofoni: 16	Step Intergeofonico 2 m	N. Shots 3	Lunghezza Stendimento end-to-end shot 40 m	Profondità raggiunta 6 m

Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta
1	400	0,8-1,6	Limi argillosi
2	750	1,5-3,0	Argille mediamente consistenti
3	1550		Argille a consistenza elevata



Velocity Model

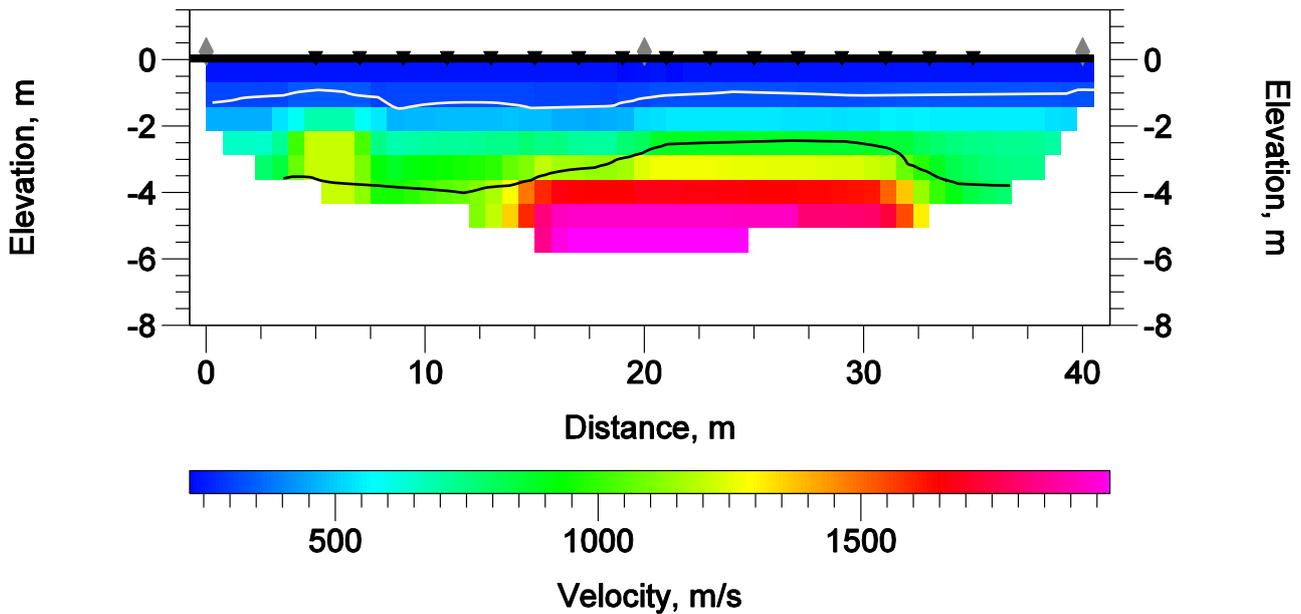


Figura 81 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

Denominazione: Sezione sismica tomografica Ts19				
N. Geofoni: 16	Step Intergeofonico 2 m	N. Shots 3	Lunghezza Stendimento end-to-end shot 40 m	Profondità raggiunta 8 m

Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta
1	400	0,8 - 1,5	Limi argillosi
2	680	2,0 - 3,5	Argille mediamente consistenti
3	1400		Argille a consistenza elevata

Dromocroni osservate e calcolate

Velocity Model

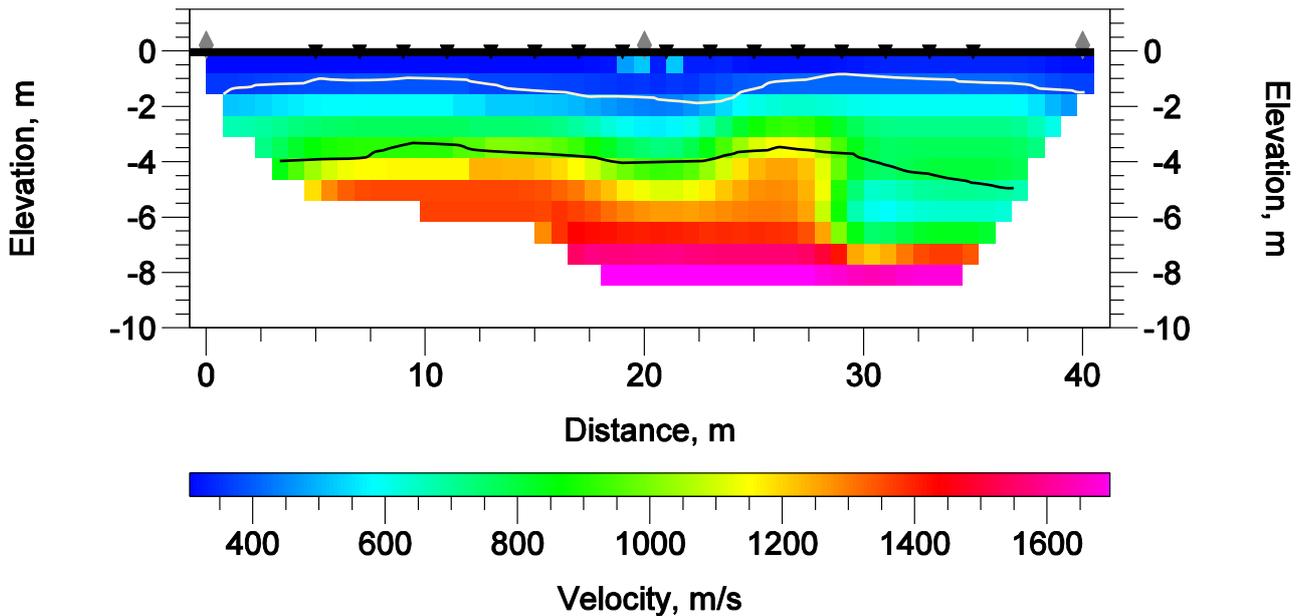


Figura 82 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

Denominazione: Sezione sismica tomografica Ts22				
N. Geofoni: 16	Step Intergeofonico 2 m	N. Shots 3	Lunghezza Stendimento end-to-end shot 40 m	Profondità raggiunta 10 m

Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta
1	500	1,0 – 2,8	Argille limose
2	1100	2,5 – 3,5	Argille a consistenza medio-elevata
3	1700		Argille a consistenza elevata

Velocity Model

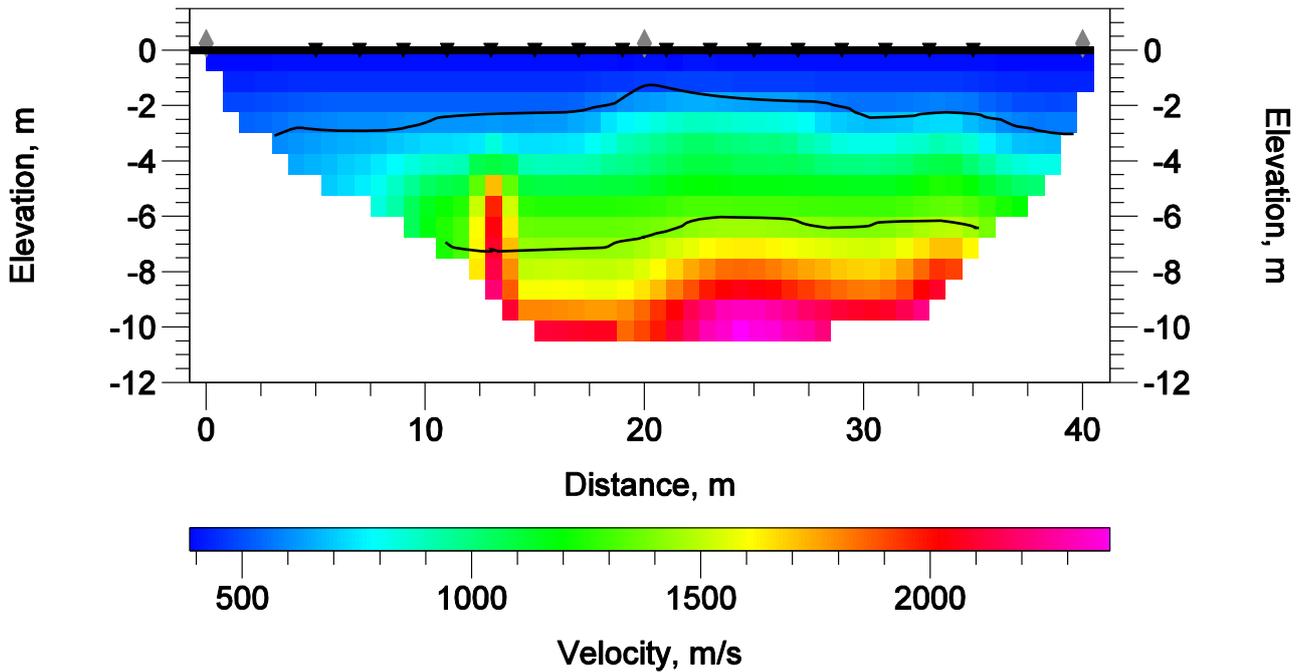
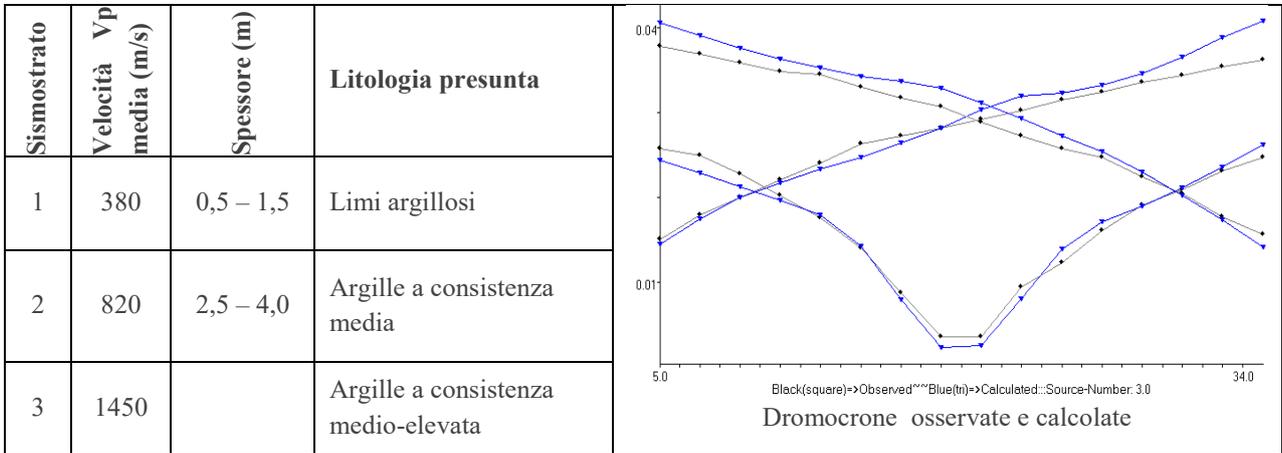


Figura 83 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

Denominazione: Sezione sismica tomografica Ts23				
N. Geofoni: 16	Step Intergeofonico 2 m	N. Shots 3	Lunghezza Stendimento end-to-end shot 40 m	Profondità raggiunta 8 m



Velocity Model

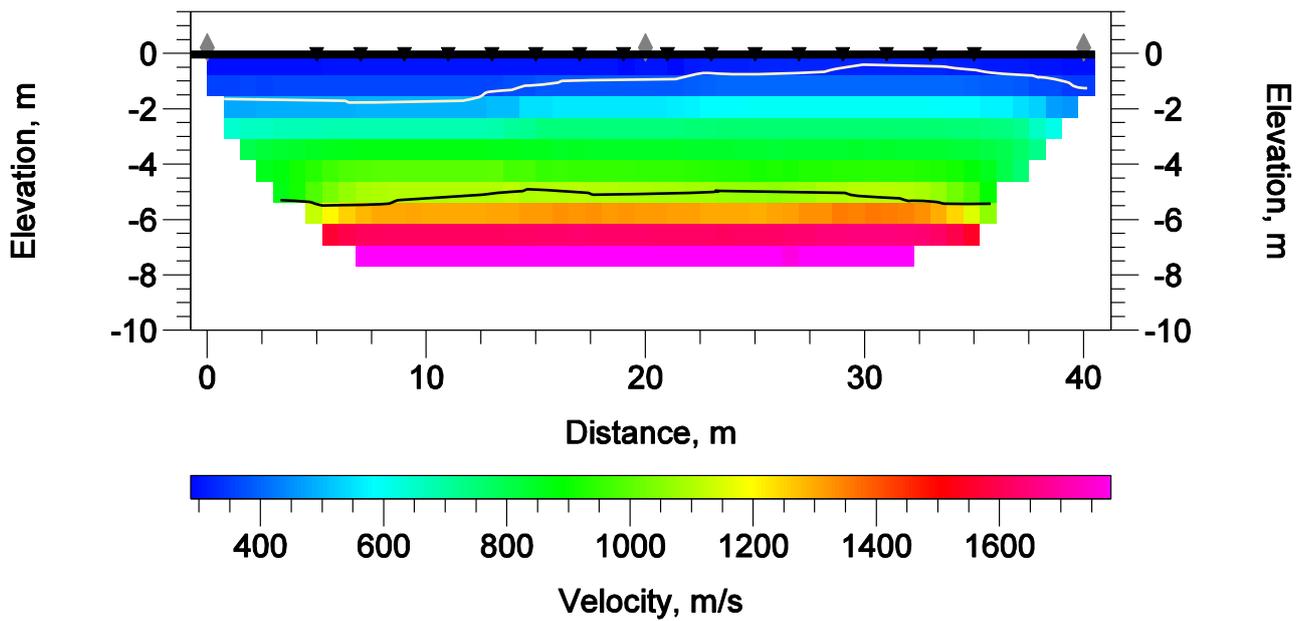


Figura 84 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

Denominazione: Sezione sismica tomografica Ts26				
N. Geofoni: 16	Step Intergeofonico 2 m	N. Shots 3	Lunghezza Stendimento end-to-end shot 40 m	Profondità raggiunta 9 m

Sismostrat	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta
1	400	1,5 – 2,2	Limi argillosi
2	680	2,5 – 3,5	Argille a consistenza medio-bassa
3	1350		Argille a consistenza medio-elevata

Velocity Model

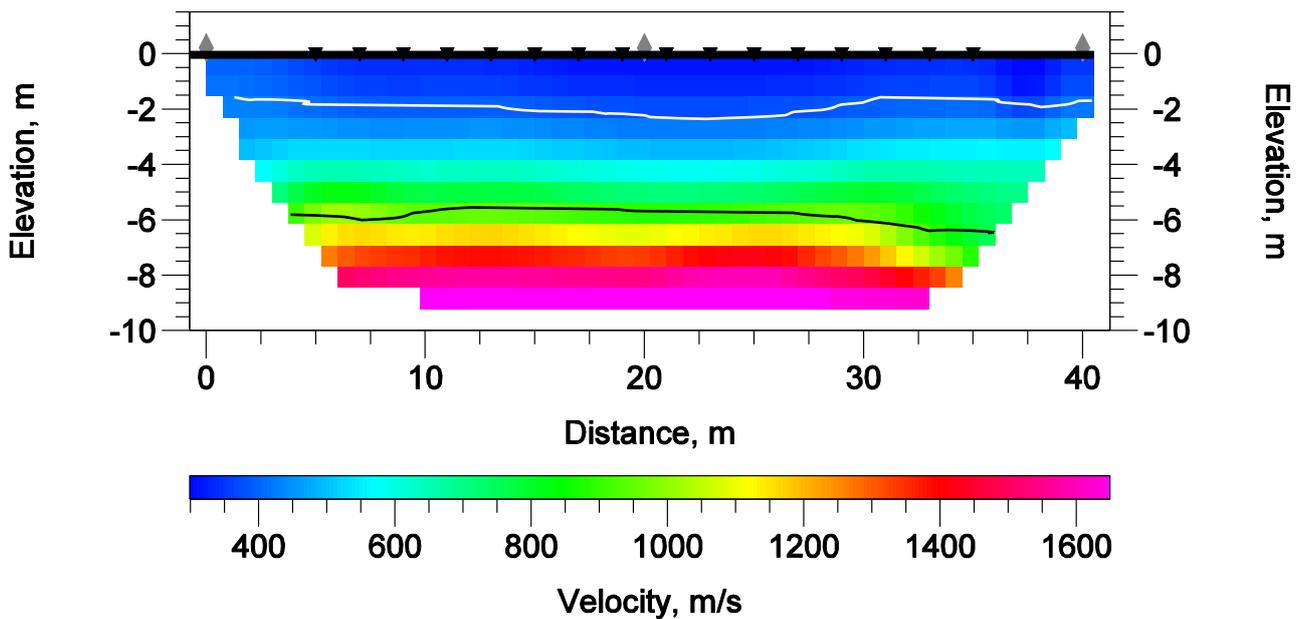


Figura 85 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

Denominazione: Sezione sismica tomografica Ts28				
N. Geofoni: 16	Step Intergeofonico 2 m	N. Shots 3	Lunghezza Stendimento end-to-end shot 40 m	Profondità raggiunta 8,5 m

Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta
1	450	1,8 – 2,5	Limi argillosi
2	750	3,5 – 5,0	Argille mediamente consistenti
3	1500		Argille a consistenza elevata

Velocity Model

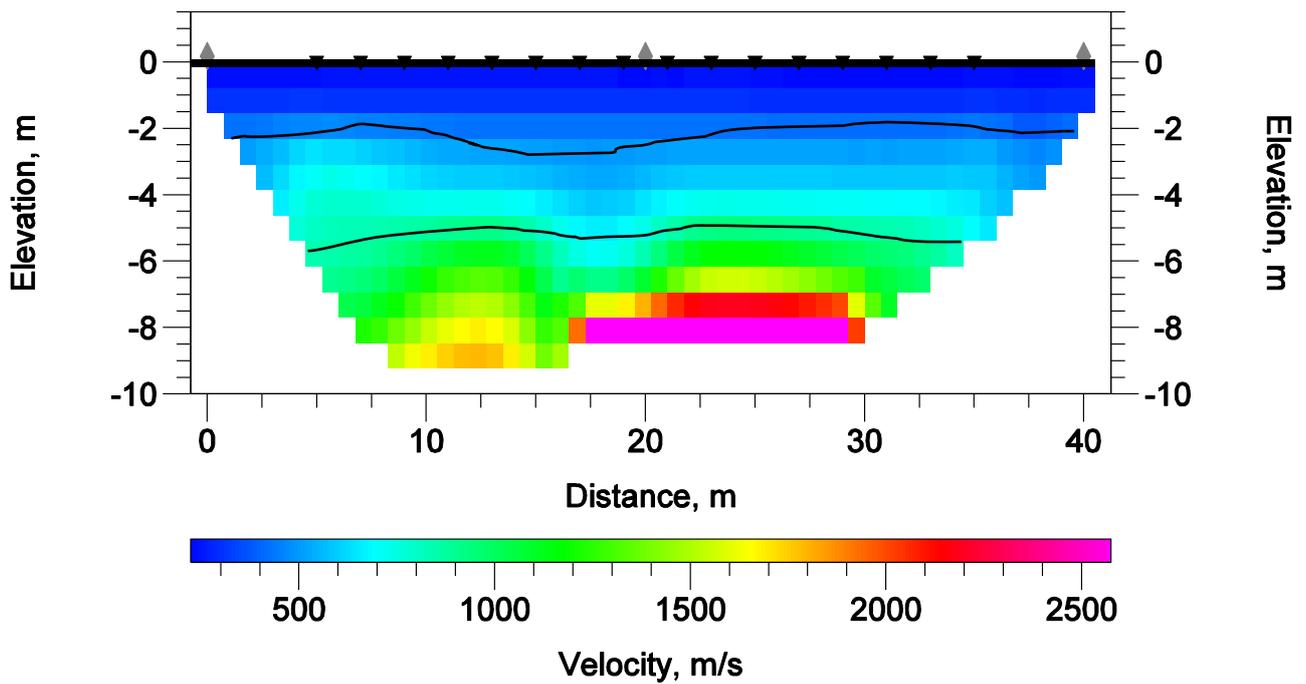


Figura 86 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

Denominazione: Sezione sismica tomografica Ts31				
N. Geofoni: 16	Step Intergeofonico 2 m	N. Shots 3	Lunghezza Stendimento end-to-end shot 40 m	Profondità raggiunta 8 m

Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta
1	430	0,5 – 2,0	Limi argillosi
2	700	2,0 – 3,0	Argille mediamente consistenti
3	1300		Argille a consistenza elevata

Dromocroni osservate e calcolate

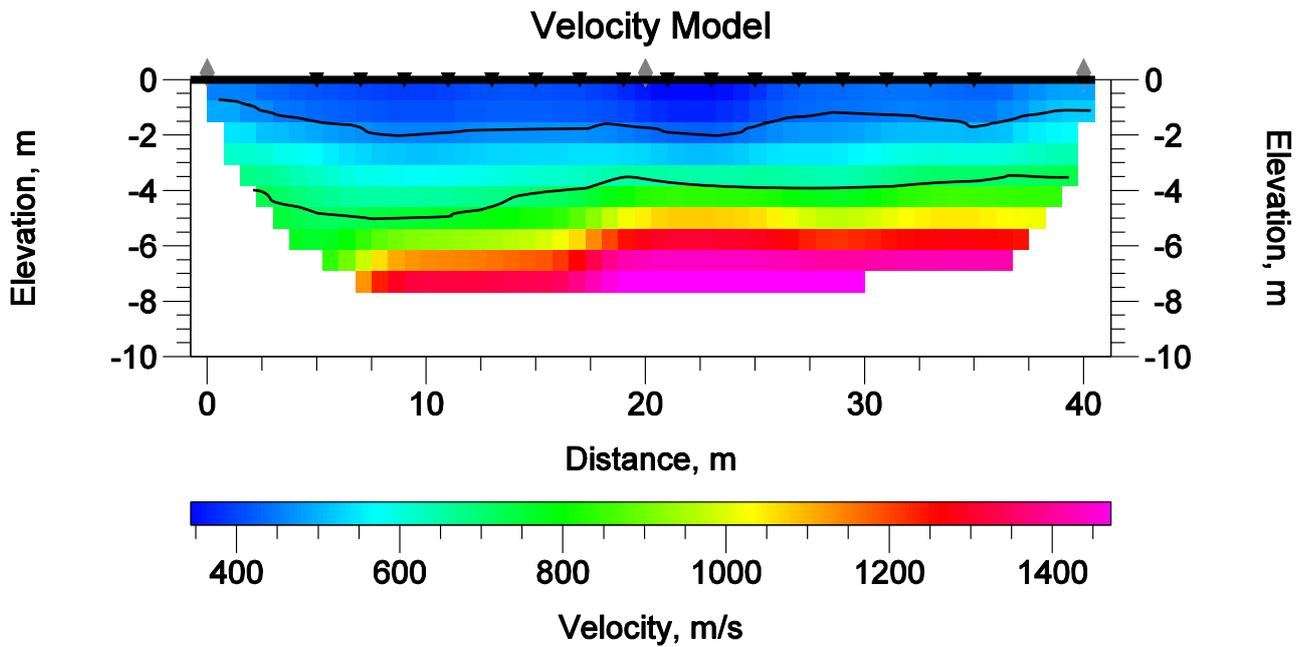


Figura 87 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

Denominazione: Sezione sismica tomografica Ts32					
N. Geofoni: 16		Step Intergeofonico 2 m	N. Shots 3	Lunghezza Stendimento end-to-end shot 40 m	Profondità raggiunta 10 m
Sismostrato	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta	<p>Dromocroni osservate e calcolate</p>	
1	560	0,3 – 2,0	Gessi alterati ed argillificati		
2	950	2,2 - 5,0	Gessi mediamente compatti		
3	1300		Gessi compatti ed inalterati		

Velocity Model

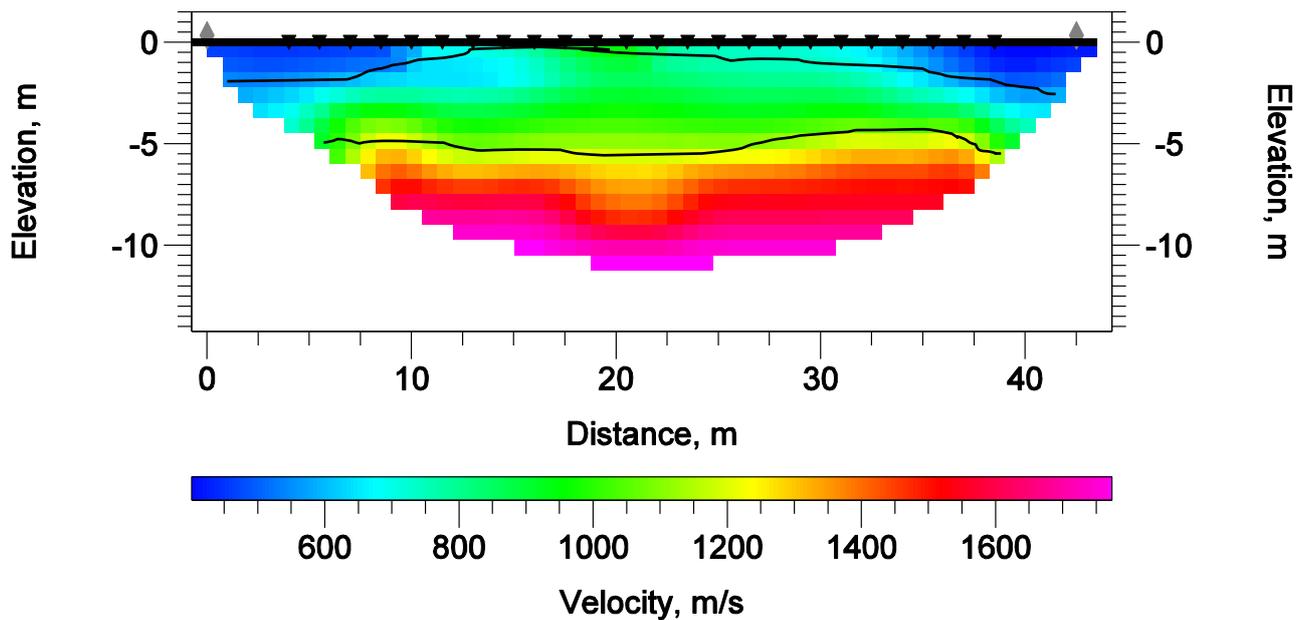
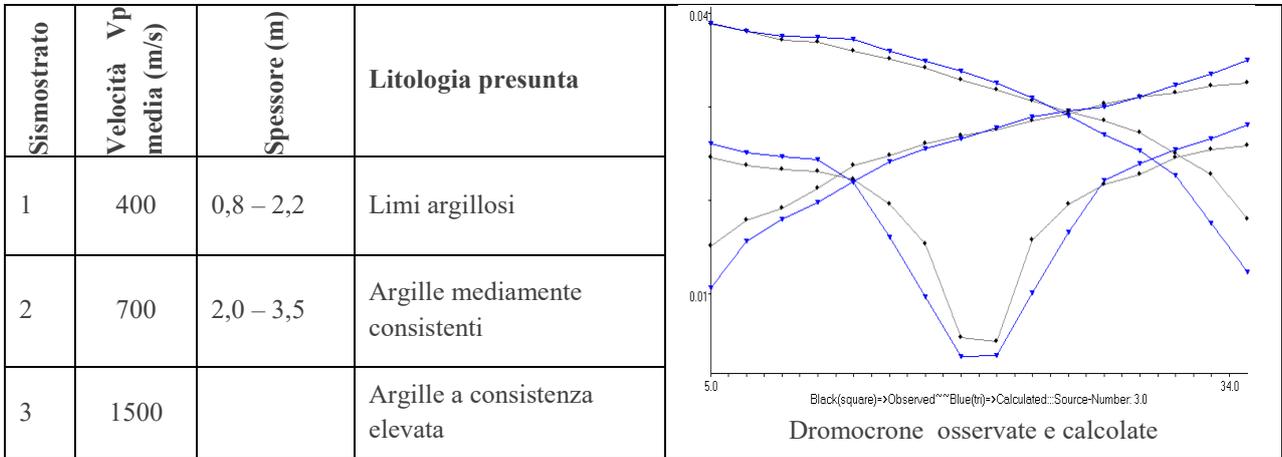


Figura 88 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

Denominazione: Sezione sismica tomografica Ts35				
N. Geofoni: 16	Step Intergeofonico 2 m	N. Shots 3	Lunghezza Stendimento end-to-end shot 40 m	Profondità raggiunta 8 m



Velocity Model

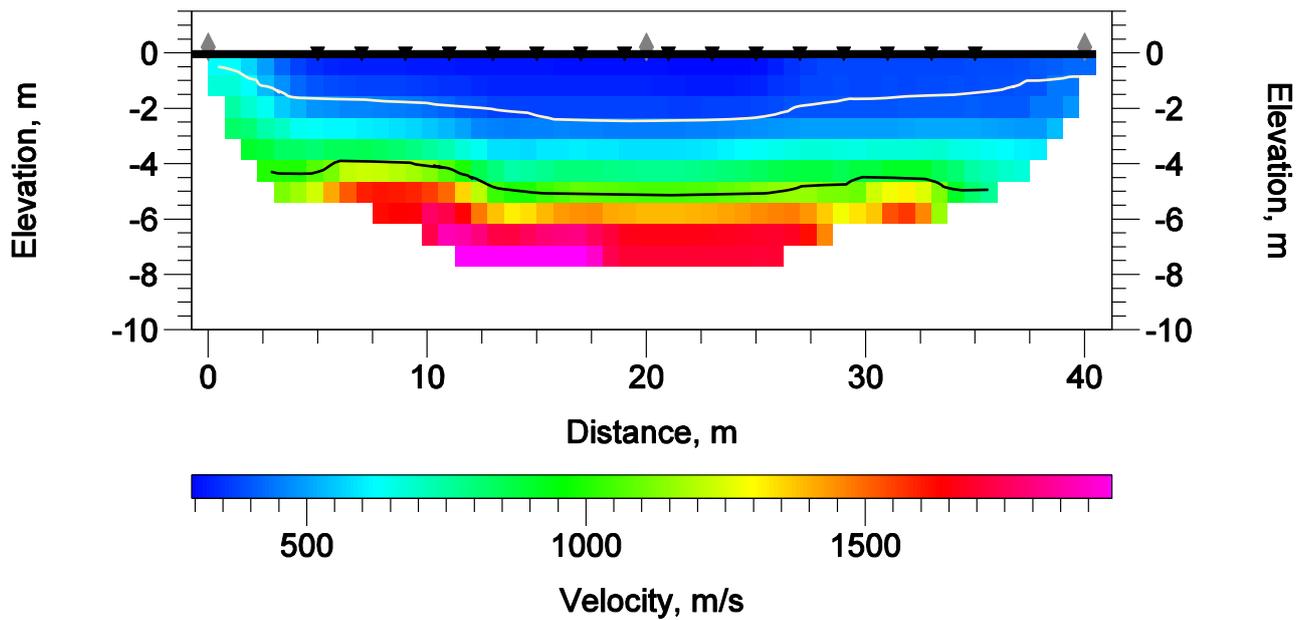
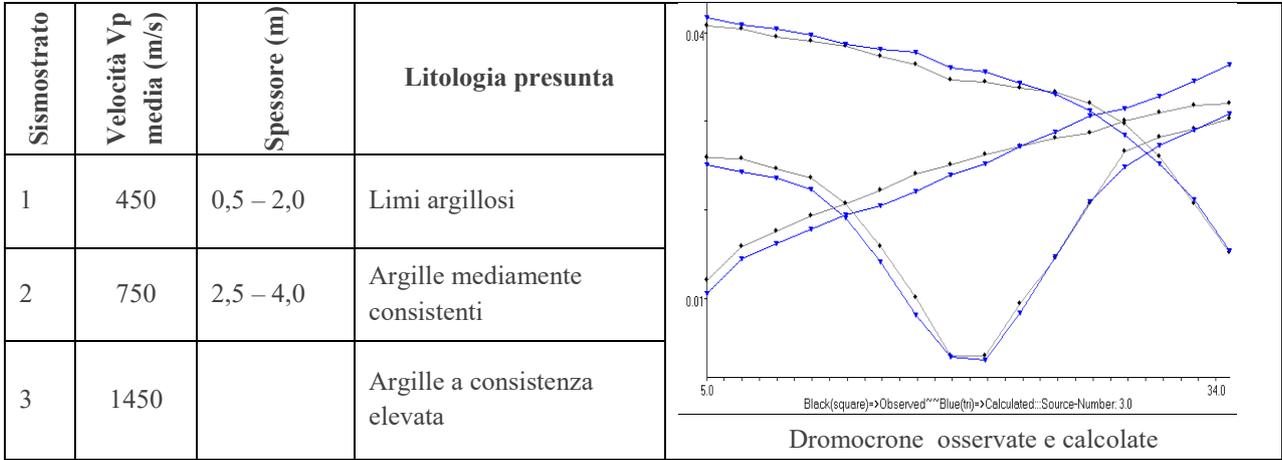


Figura 89 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

Denominazione: Sezione sismica tomografica Ts36				
N. Geofoni: 16	Step Intergeofonico 2 m	N. Shots 3	Lunghezza Stendimento end-to-end shot 40 m	Profondità raggiunta 6 m



Velocity Model

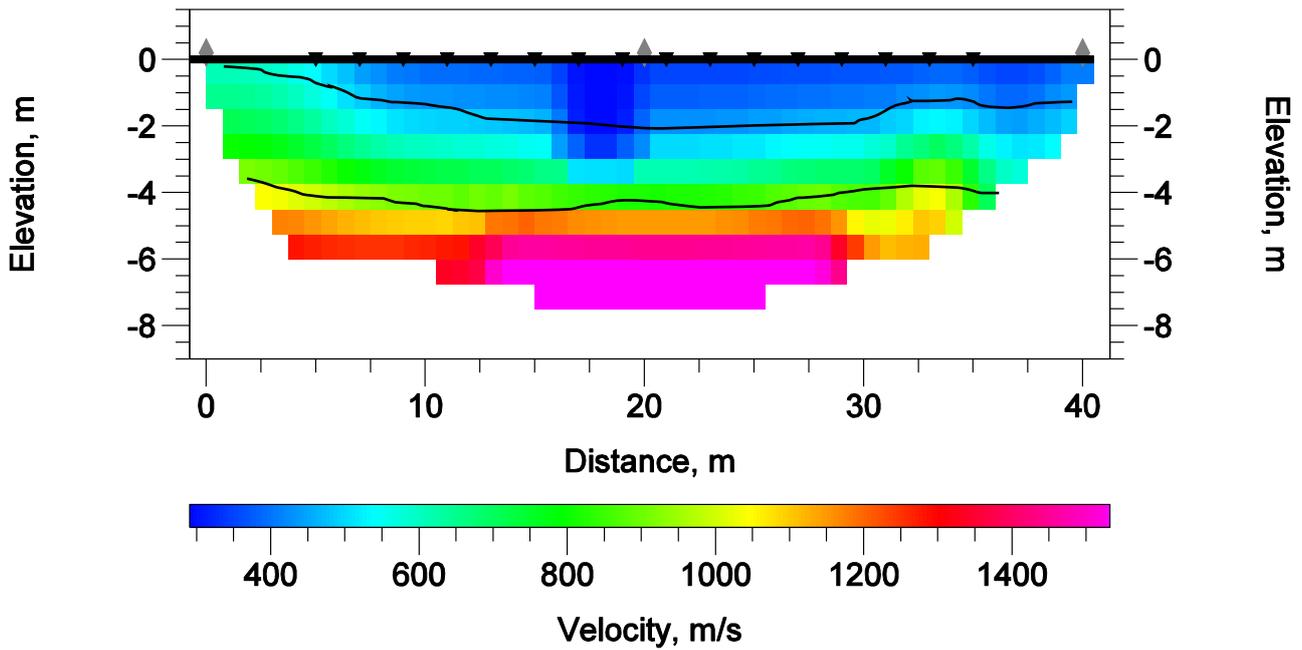


Figura 90 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo

2.3 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 sempre stati sviluppati in un aerato di superficie, generalmente a minore consistenza, in un primo rifratore (a basso/medio grado di consistenza), ed 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 a modesta acclività, 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.

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

Tomografia sismica n.	Formazione geologica	Aerato superficiale a minore consistenza (m)	Vp media (m/s)
1	Argille della F.ne Terravecchia	0,8 – 1,5	450
4	Gessi della serie evaporitica	0,3 – 1,5	680
7	Argille della F.ne Terravecchia	2,0 – 3,0	430
9	Argille della F.ne Terravecchia	1,0 – 2,0	480
11	Argille della F.ne Terravecchia	0,5 – 2,2	420
12	Argille della F.ne Terravecchia	1,0 – 2,5	400
13	Argille del Flysch Numidico	0,5 – 2,0	450
15	Argille del Flysch Numidico	1,0 – 2,2	500
17	Argille della F.ne Terravecchia	0,8 - 1,6	400
19	Argille della F.ne Terravecchia	0,8 - 1,5	400
22	Argille della F.ne Terravecchia	1,0 – 2,8	500
23	Argille del Flysch Numidico	0,5 – 1,5	380
26	Argille della F.ne Terravecchia	1,5 – 2,2	400
28	Argille della F.ne Terravecchia	1,8 – 2,5	450
31	Argille della F.ne Terravecchia	0,5 – 2,0	430
32	Gessi della serie evaporitica	0,3 – 2,0	560
35	Argille Brecciate	0,8 – 2,2	400
36	Argille della F.ne Terravecchia	0,5 – 2,0	450

Le aree indagate evidenziano generalmente terreni con consistenza da media ad elevata, con una parte apicale di spessore variabile da pochi dm fino a 2 m, più raramente fino a 3 m, a consistenza più bassa, con copertura di natura eluvio-colluviale a scarsa consistenza, generalmente rimaneggiata in seguito alle arature stagionali e piuttosto alterate in seguito ai fenomeni di imbibizione/essiccamento nel corso dell'anno. 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. Gli spessori minori di aerato superficiale sono localizzati generalmente in corrispondenza dei versanti più acclivi, mentre alla base degli stessi, in presenza di minore acclività, lo spessore della coltre colluviale è generalmente maggiore. Anche la transizione fra il primo ed il secondo rifratore, indicata con un limite netto di separazione, è in realtà piuttosto graduale e separa il top della formazione argillosa, più alterato ed allentato, dalla formazione di base inalterata e più consistente. In tabella è indicata anche la Vp media dell'aerato di superficie, in modo da poter individuare situazioni con possibili criticità geotecniche (basse Vp, elevato spessore), dalle situazioni di accertata stabilità con Vp da 500 m/s a salire, indici di buona consistenza e compattezza del primo sottosuolo.

Appendice fotografica sintetica delle prospezioni sismiche



