



Progetto:

## Progetto «Mirabella»

Impianto fotovoltaico per una potenza nominale di 120 MW ed una potenza in immissione di 96 MW.

### PROGETTAZIONE DEFINITIVA

Procedura:

Valutazione di impatto ambientale ex art. 23, 24 e 25 Dlgs 152/2006

Ubicazione:

Piazza Armerina (EN), Mirabella Imbaccari (CT), Caltagirone (CT), San Michele di Ganzaria (CT) - SICILIA

Committente:



**IBVI 12 s.r.l.**

Viale Amedeo Duca D'Aosta, n. 76  
39100 Bolzano(BZ)  
ibvi12srl@pec.it

Titolo:

## Relazione Indagini Geofisiche e Geotecniche

Codice elaborato:

FVMIR-CT-RELO05A0

N. elaborato:

GE01.1

Visti/ Firme /Timbri:

#### Revisioni

Data	Rev.	Descrizione	Elaborato da:	Controllato da:	Approvato da:
28.12.2023	0	1° Emissione	Dott. Geol. Domenico Boso	Arcadia s.r.l.	IBVI 12 s.r.l.

Proprietà esclusiva delle società sopra indicate, utilizzo e duplicazione vietate senza autorizzazione scritta



## 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
2.3 Risultati delle prospezioni.....	8
2.4 Analisi dei risultati .....	28
<b>3. Prospezione Sismica tomografica.....</b>	<b>30</b>
3.1 Cenni Teorici .....	30
3.2 Risultati delle prospezioni.....	31
3.3 Analisi dei risultati .....	41
<b>4. Prove geotecniche in situ.....</b>	<b>45</b>
4.1 Cenni teorici.....	46
4.2 Risultati delle indagini .....	53
4.3 Analisi dei risultati .....	74



## 1. PREMESSA

Su incarico della società di IBVI\_12 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 120 MW e delle rispettive aree di connessione, ricadente nei comuni di S. Michele di Ganzaria, Mirabella Imbaccari e Piazza Armerina denominato <sup>66</sup>MIRABELLA<sup>99</sup>. Il proponente dell'iniziativa è la società *IBVI\_12 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. 20 prospezioni MASW per la definizione della sismostratigrafia e della categoria del sottosuolo, ai sensi del D.M. 17.01.18;
- N. 10 prospezioni sismiche tomografiche a rifrazione per la definizione di sezioni bidimensionali ad elevata risoluzione del sottosuolo;
- N. 4 prove penetrometriche dinamiche per la valutazione semiquantitativa dei parametri geomeccanici del terreno.

Le prove sono ubicate nella cartografia in scala 1:10.000 allegata 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 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):

calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale;

calcolo della velocità di fase apparente numerica;

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 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 <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>
IMPEDEZZA 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;



---

## 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**

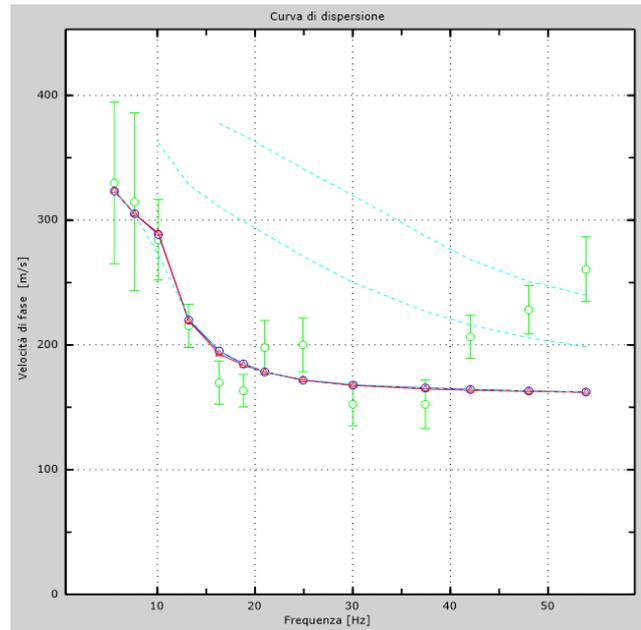
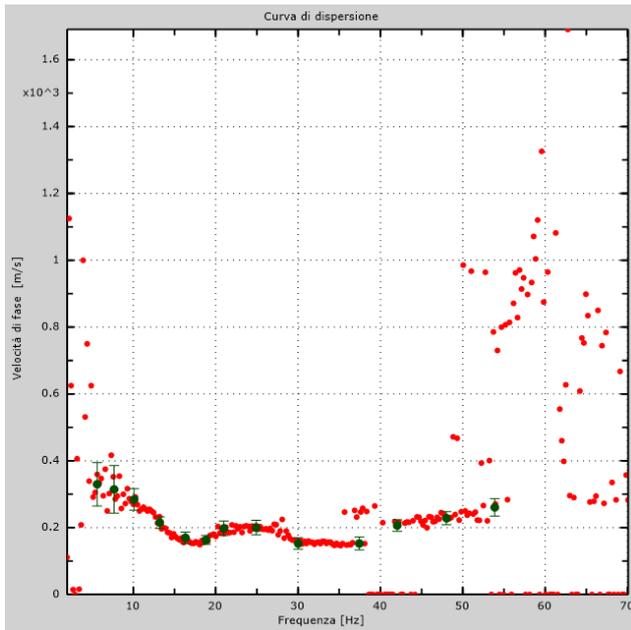
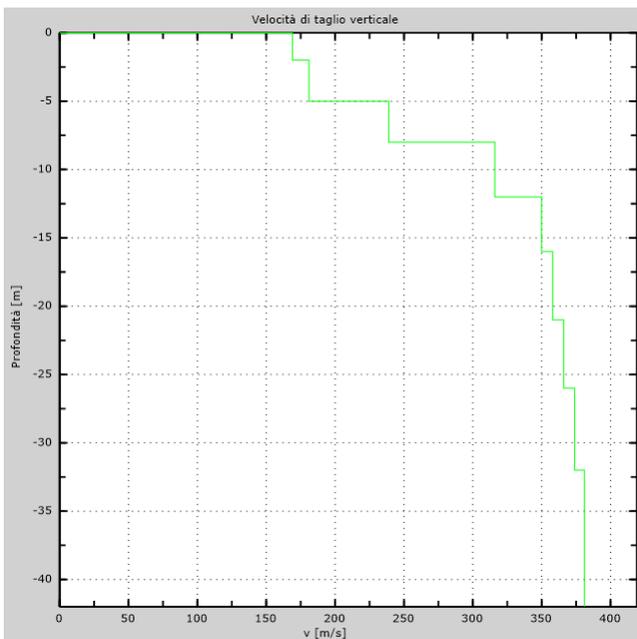


Figura 1 – Curva di dispersione sperimentale (sn.); modello teorico (dx.)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	169	0,012
2	2.0-5.0	3,0	181	0,017
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	350	0,011
6	16.0-21.0	5,0	358	0,014
7	21.0-26.0	5,0	366	0,014
8	26.0-30.0	4,0	374	0,011
Σ	∑	30,0	Σ	0,103
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>V<sub>s,eq</sub> = 290,22</b>	

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



DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW2**

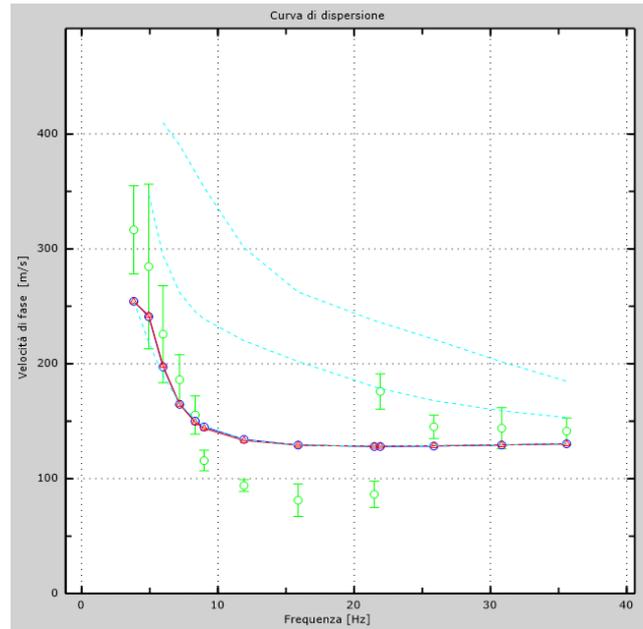
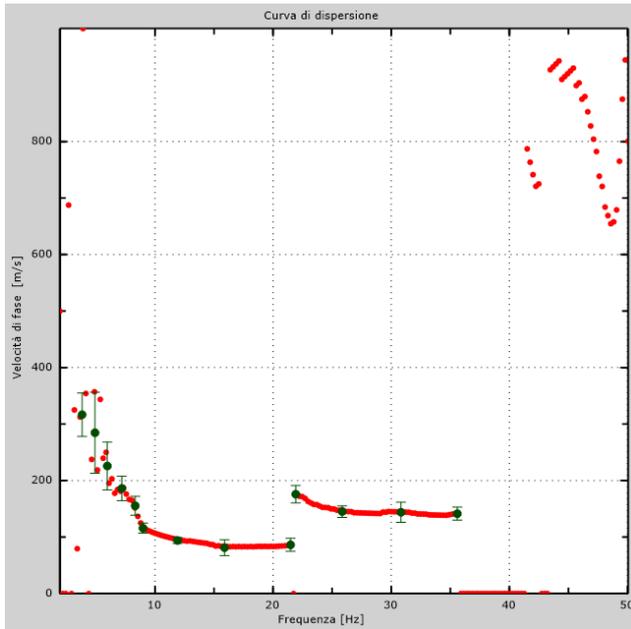
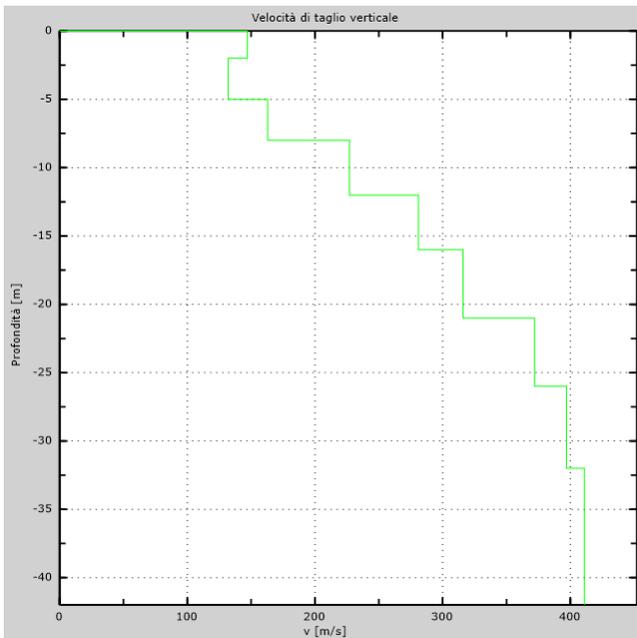


Figura 3 – Curva di dispersione sperimentale (sn.); modello teorico (dx.)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	147	0,014
2	2.0-5.0	3,0	132	0,023
3	5.0-8.0	3,0	163	0,018
4	8.0-12.0	4,0	227	0,018
5	12.0-16.0	4,0	281	0,014
6	16.0-21.0	5,0	316	0,016
7	21.0-26.0	5,0	372	0,013
8	26.0-30.0	4,0	397	0,010
Σ	∅	30,0	Σ	0,126
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>V<sub>s,eq</sub> = 238,22</b>	

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



DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW3**

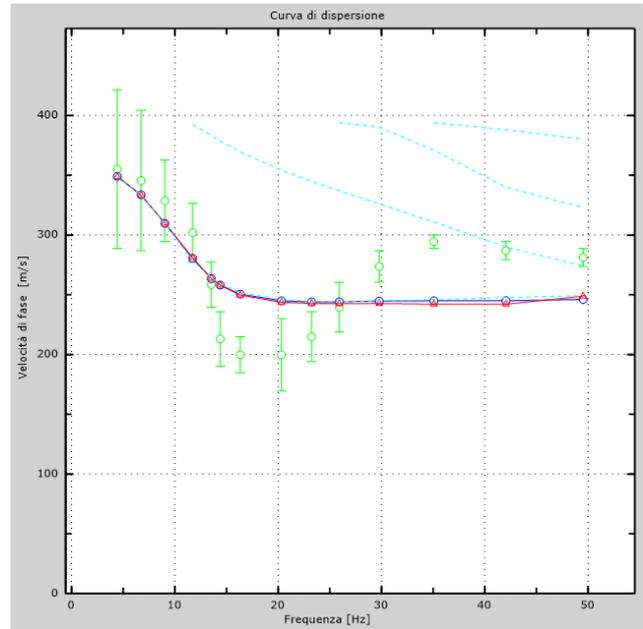
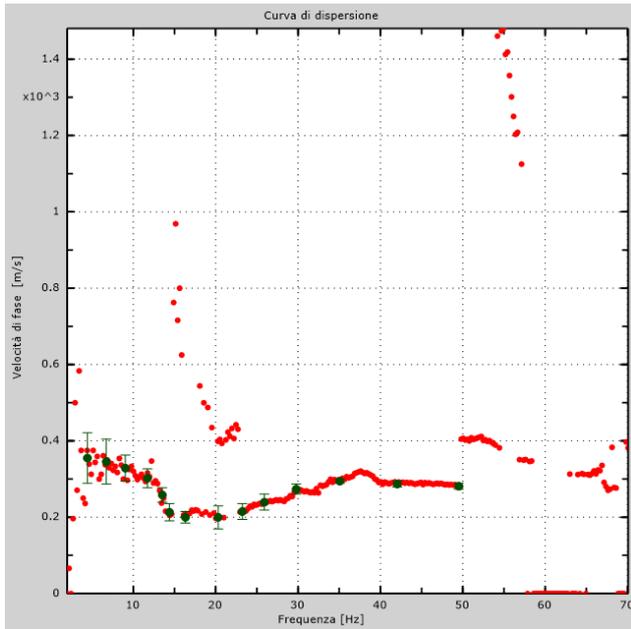
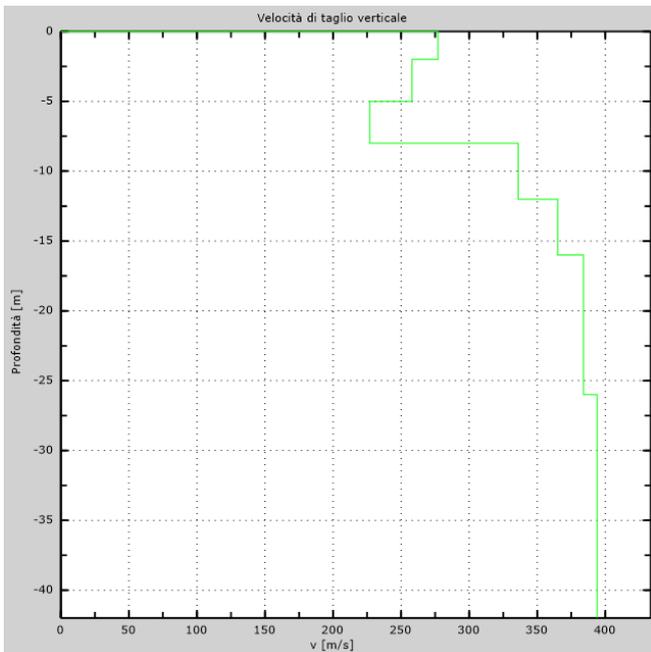


Figura 5 – Curva di dispersione sperimentale (sn.); modello teorico (dx.)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	277	0,007
2	2.0-5.0	3,0	258	0,012
3	5.0-8.0	3,0	227	0,013
4	8.0-12.0	4,0	336	0,012
5	12.0-16.0	4,0	365	0,011
6	16.0-21.0	5,0	384	0,013
7	21.0-26.0	5,0	384	0,013
8	26.0-30.0	4,0	394	0,010
Σ	∅	30,0	Σ	0,091
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>V<sub>s,eq</sub> = 329,23</b>	

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



DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW4**

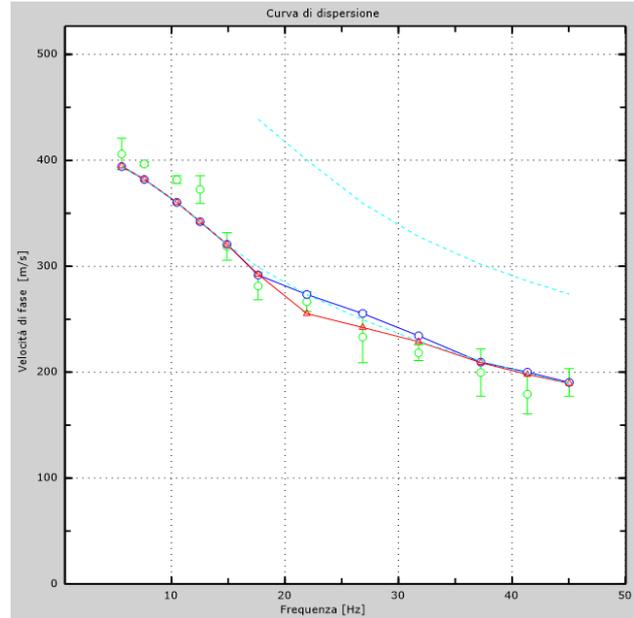
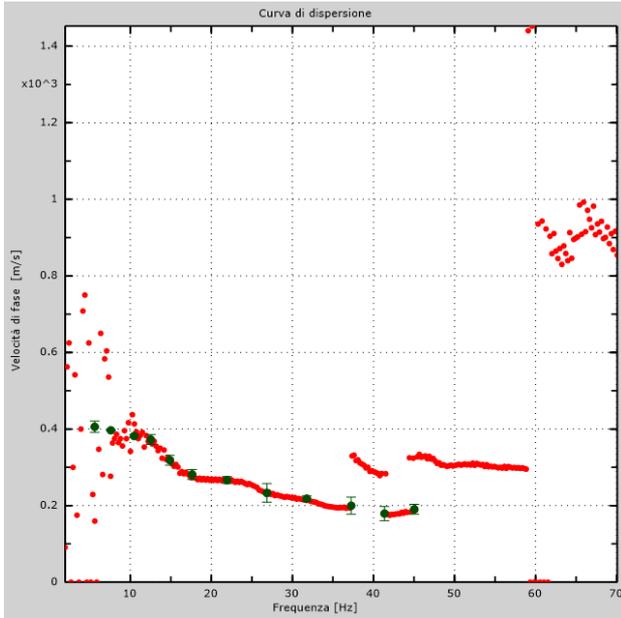
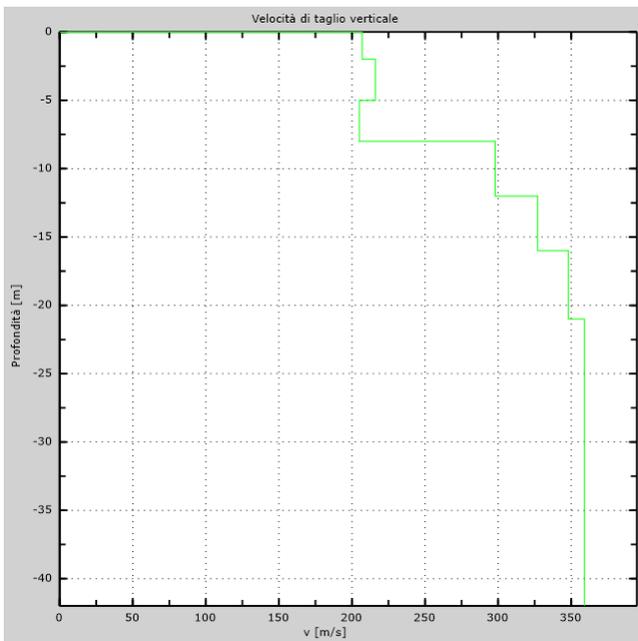


Figura 7 – Curva di dispersione sperimentale (sn.); modello teorico (dx.)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	207	0,010
2	2.0-5.0	3,0	216	0,014
3	5.0-8.0	3,0	205	0,015
4	8.0-12.0	4,0	298	0,013
5	12.0-16.0	4,0	327	0,012
6	16.0-21.0	5,0	348	0,014
7	21.0-26.0	5,0	359	0,014
8	26.0-30.0	4,0	359	0,011
Σ	Σ	30,0	Σ	0,103
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>Vs,eq = 290,48</b>	

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



DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW5**

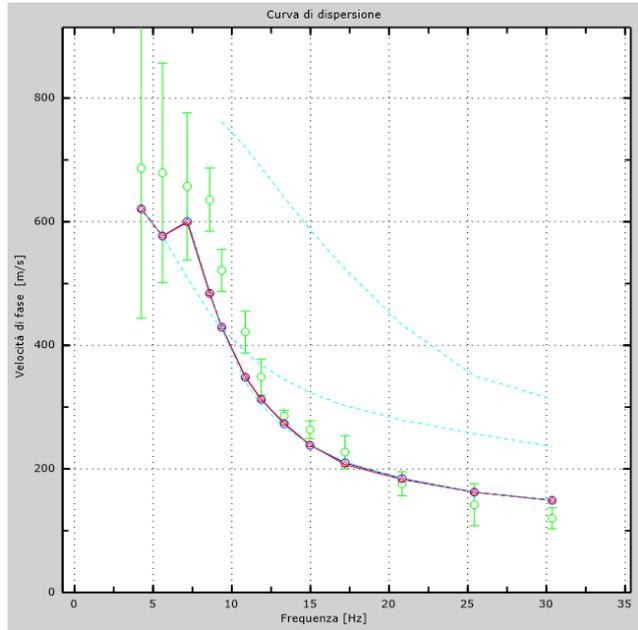
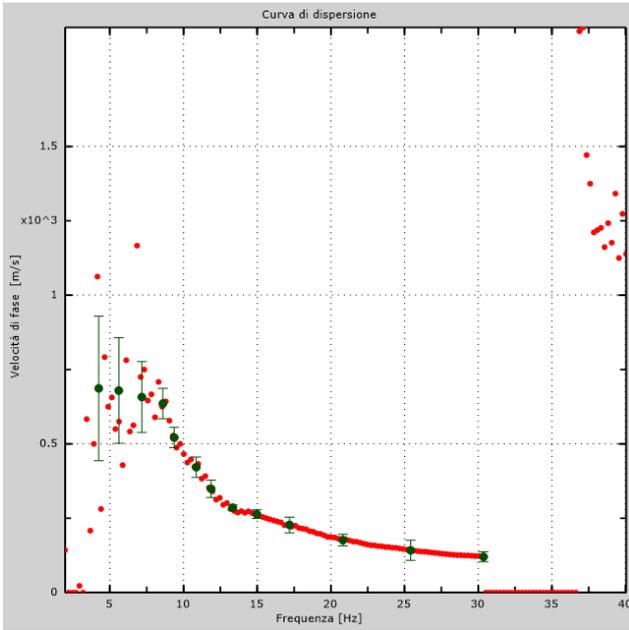
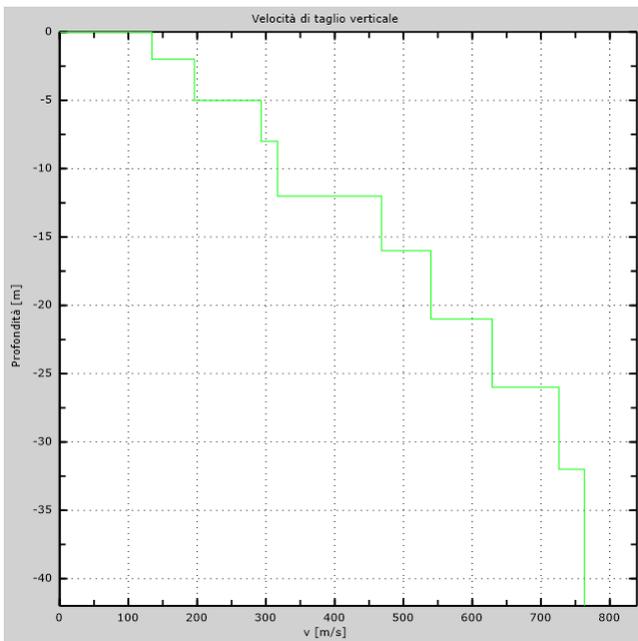


Figura 9 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	134	0,015
2	2.0-5.0	3,0	196	0,015
3	5.0-8.0	3,0	293	0,010
4	8.0-12.0	4,0	317	0,013
5	12.0-16.0	4,0	468	0,009
6	16.0-21.0	5,0	540	0,009
7	21.0-26.0	5,0	629	0,008
8	26.0-30.0	4,0	726	0,006
Σ	Σ	30,0	Σ	0,084
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>Vs<sub>eq</sub> = 355,65</b>	

Figura 10 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs<sub>eq</sub> (dx)



DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW6**

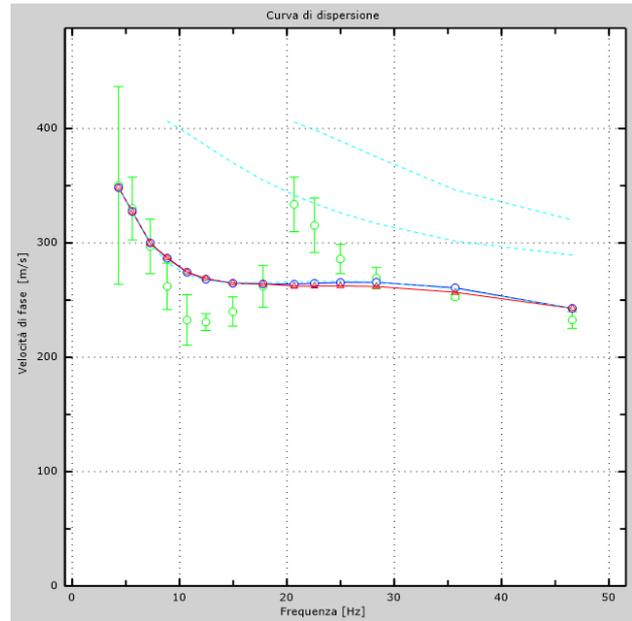
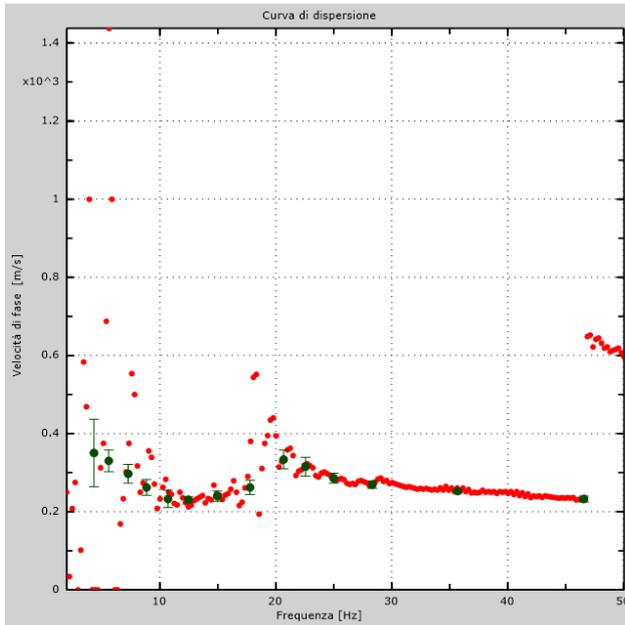


Figura 11 – Curva di dispersione sperimentale (sn.); modello teorico (dx.)

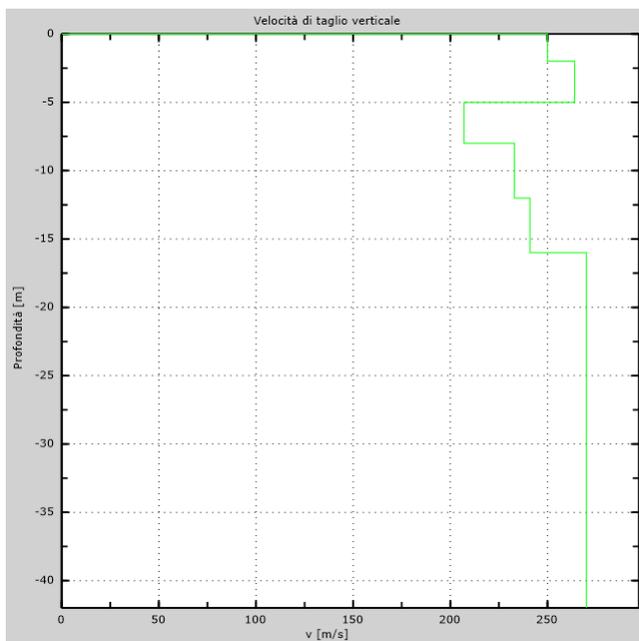


Figura 12 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)

Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	250	0,008
2	2.0-5.0	3,0	264	0,011
3	5.0-8.0	3,0	207	0,014
4	8.0-12.0	4,0	233	0,017
5	12.0-16.0	4,0	241	0,017
6	16.0-21.0	5,0	270	0,019
7	21.0-26.0	5,0	270	0,019
8	26.0-30.0	4,0	270	0,015
Σ	?	30,0	Σ	0,119
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>Vs,eq = 251,10</b>	



DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW7**

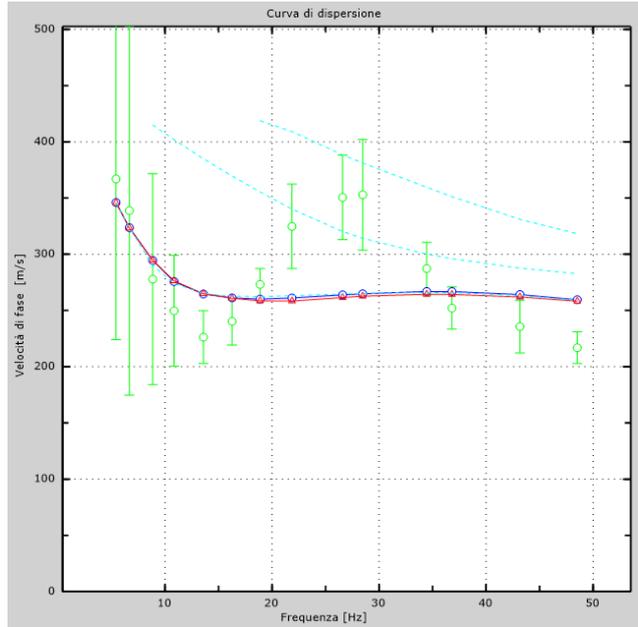
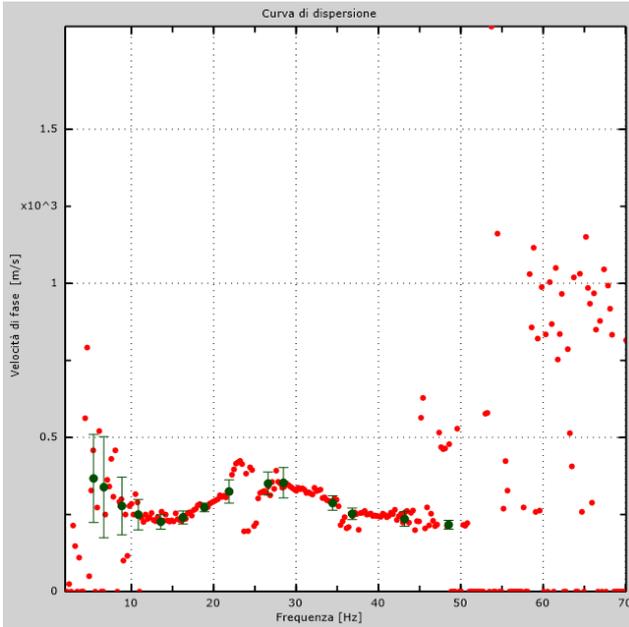
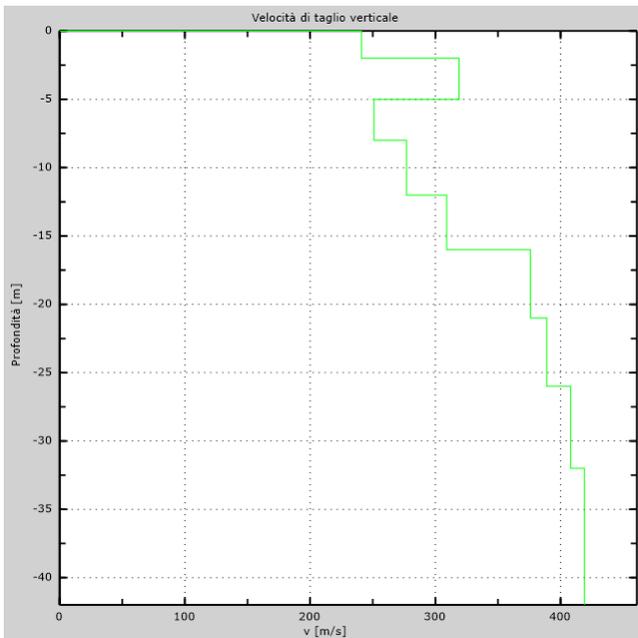


Figura 13 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	241	0,008
2	2.0-5.0	3,0	319	0,009
3	5.0-8.0	3,0	251	0,012
4	8.0-12.0	4,0	277	0,014
5	12.0-16.0	4,0	309	0,013
6	16.0-21.0	5,0	376	0,013
7	21.0-26.0	5,0	389	0,013
8	26.0-30.0	4,0	408	0,010
Σ	∅	30,0	Σ	0,093
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>Vs,eq = 322,59</b>	

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



DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW8**

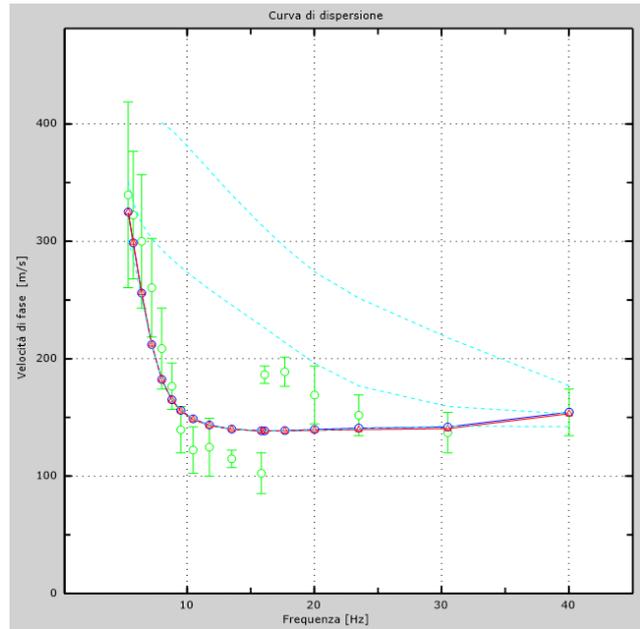
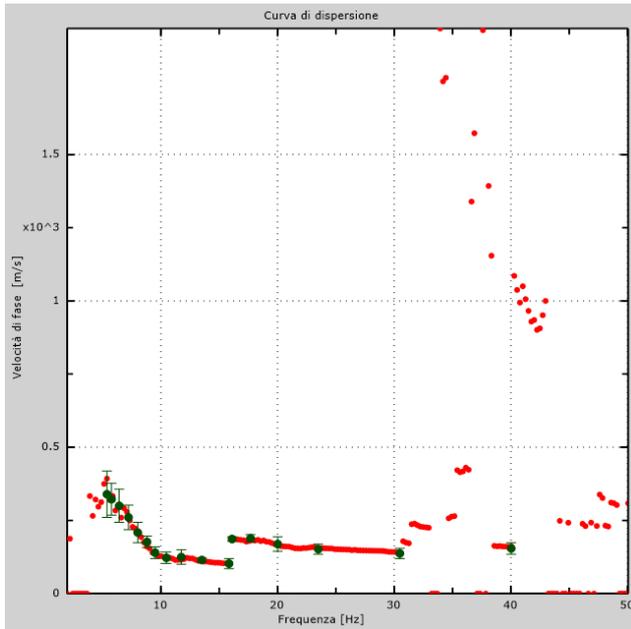
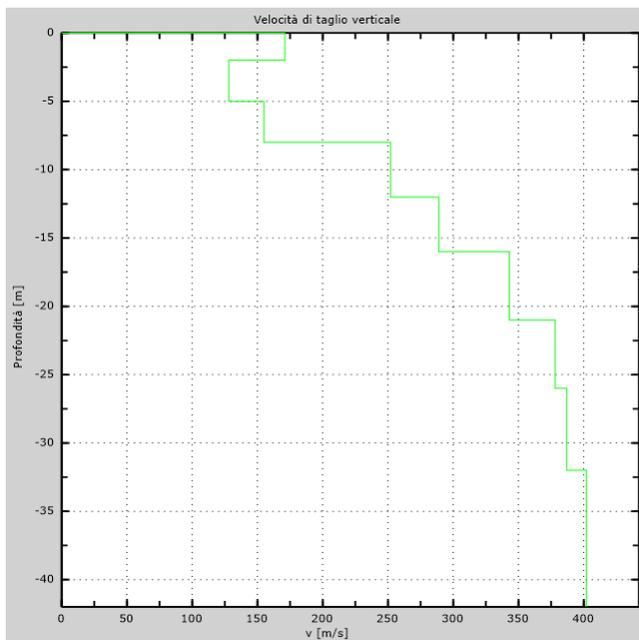


Figura 15 – Curva di dispersione sperimentale (sn.); modello teorico (dx.)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	171	0,012
2	2.0-5.0	3,0	128	0,023
3	5.0-8.0	3,0	155	0,019
4	8.0-12.0	4,0	252	0,016
5	12.0-16.0	4,0	289	0,014
6	16.0-21.0	5,0	343	0,015
7	21.0-26.0	5,0	378	0,013
8	26.0-30.0	4,0	387	0,010
Σ	∅	30,0	Σ	0,122
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>V<sub>S,eq</sub> = 245,21</b>	

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



DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW9**

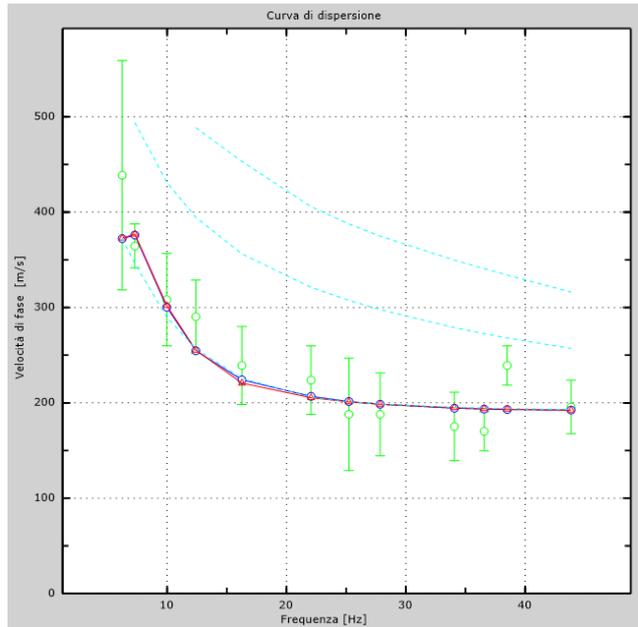
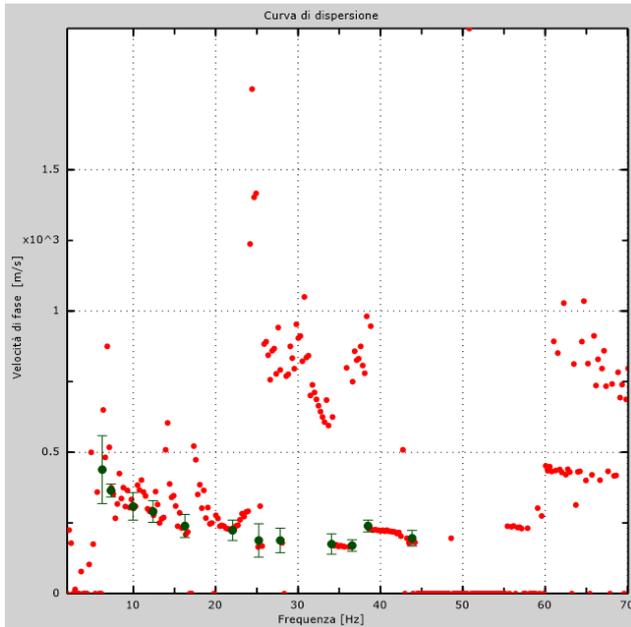
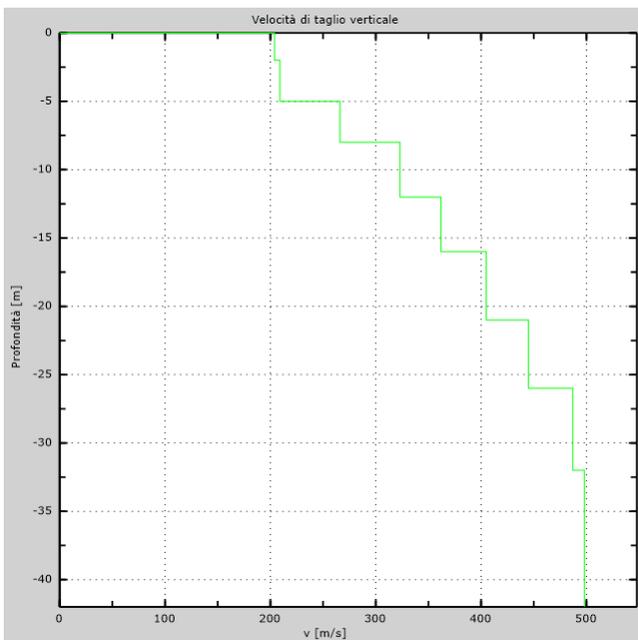


Figura 17 – Curva di dispersione sperimentale (sn.); modello teorico (dx.)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	204	0,010
2	2.0-5.0	3,0	209	0,014
3	5.0-8.0	3,0	266	0,011
4	8.0-12.0	4,0	323	0,012
5	12.0-16.0	4,0	362	0,011
6	16.0-21.0	5,0	405	0,012
7	21.0-26.0	5,0	445	0,011
8	26.0-30.0	4,0	487	0,008
Σ	∅	30,0	Σ	0,091
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>V<sub>s,eq</sub> = 330,89</b>	

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



DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW10**

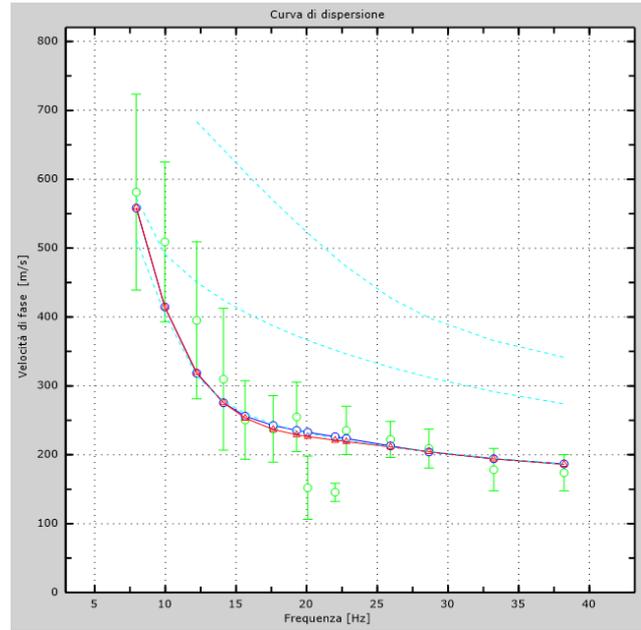
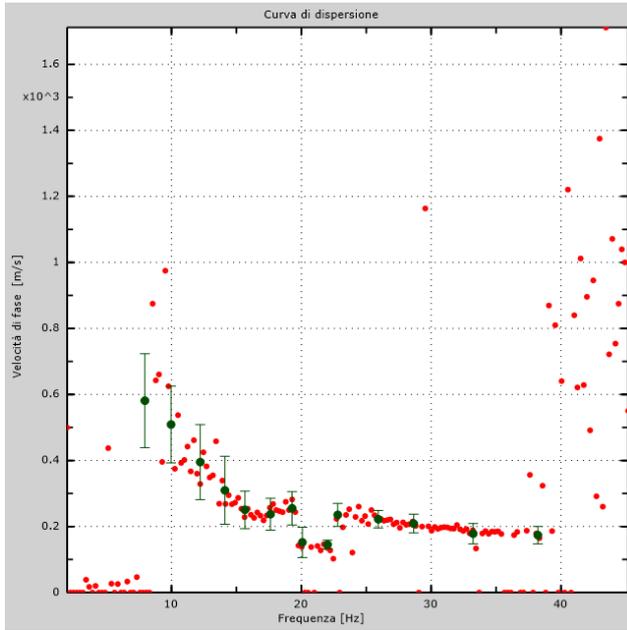
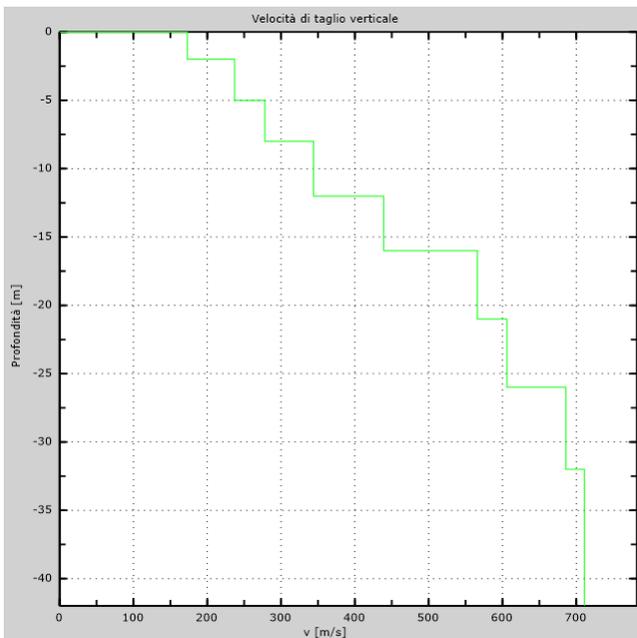


Figura 19 – Curva di dispersione sperimentale (sn.); modello teorico (dx.)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	173	0,012
2	2.0-5.0	3,0	237	0,013
3	5.0-8.0	3,0	278	0,011
4	8.0-12.0	4,0	344	0,012
5	12.0-16.0	4,0	439	0,009
6	16.0-21.0	5,0	566	0,009
7	21.0-26.0	5,0	606	0,008
8	26.0-30.0	4,0	686	0,006
Σ	∅	30,0	Σ	0,079
<b>Categoria sottosuolo: B</b>			<b>Vs,eq = 381,36</b>	

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



DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW11**

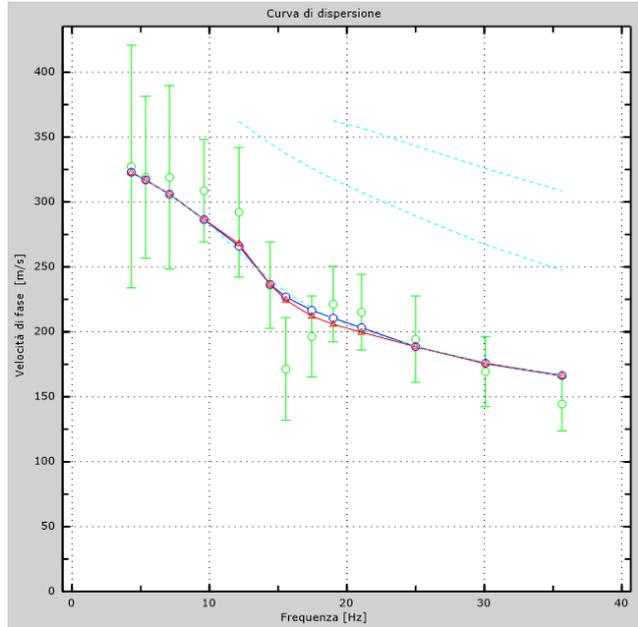
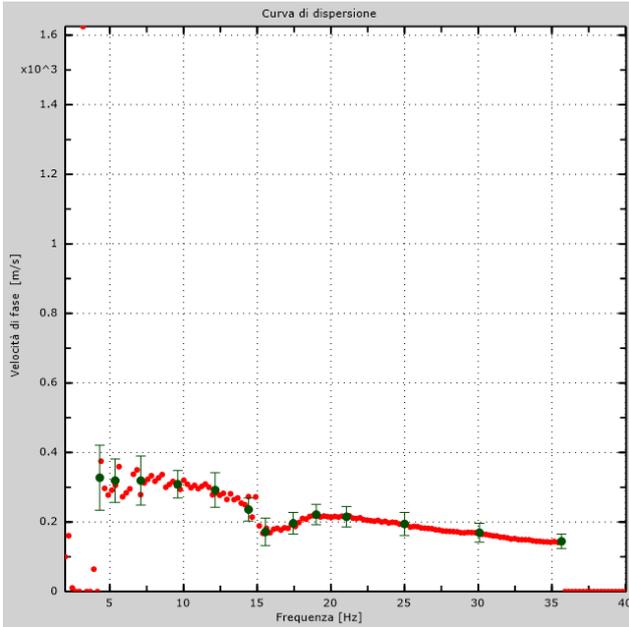


Figura 21 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)

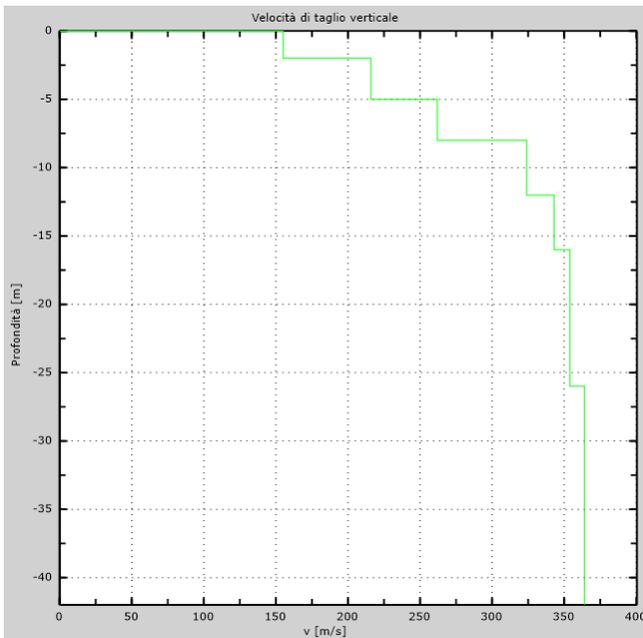


Figura 22 – Profilo  $V_s$  (sn); tabella di calcolo  $V_{s,eq}$  (dx)

Intervallo	Profondità (m)	H (m)	$V_s$ (m/s)	H/ $V_s$
1	0.0-2.0	2,0	155	0,013
2	2.0-5.0	3,0	216	0,014
3	5.0-8.0	3,0	262	0,011
4	8.0-12.0	4,0	324	0,012
5	12.0-16.0	4,0	343	0,012
6	16.0-21.0	5,0	354	0,014
7	21.0-26.0	5,0	354	0,014
8	26.0-30.0	4,0	364	0,011
$\Sigma$	$\varnothing$	30,0	$\Sigma$	0,101
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			$V_{s,eq} =$	<b>295,60</b>



DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW12**

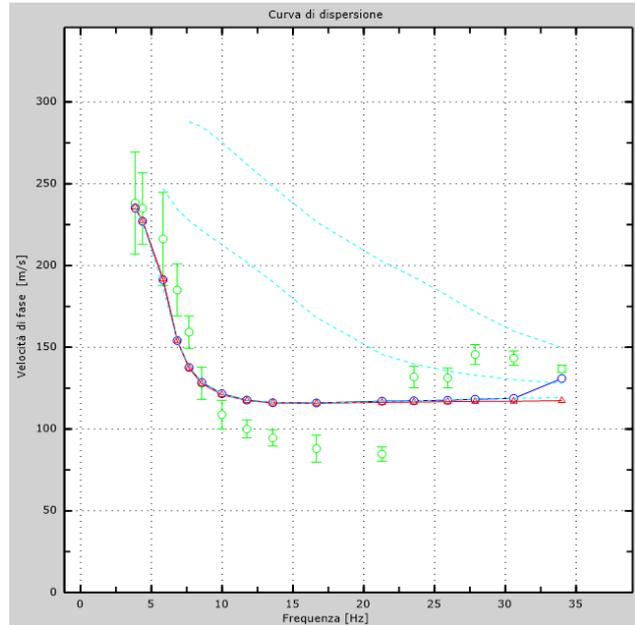
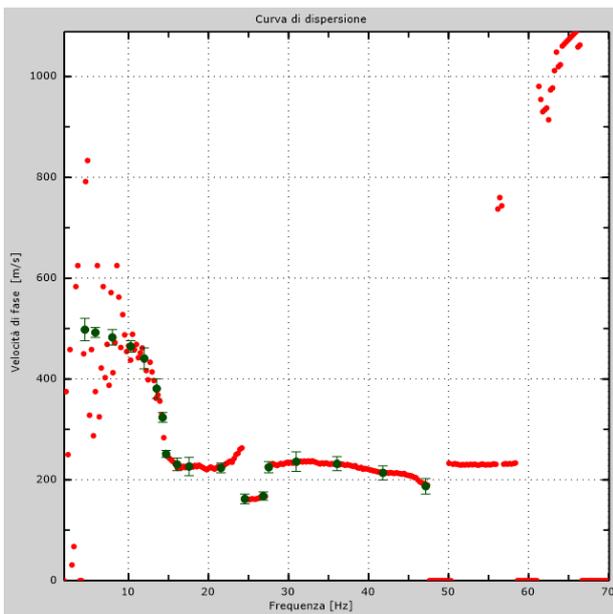
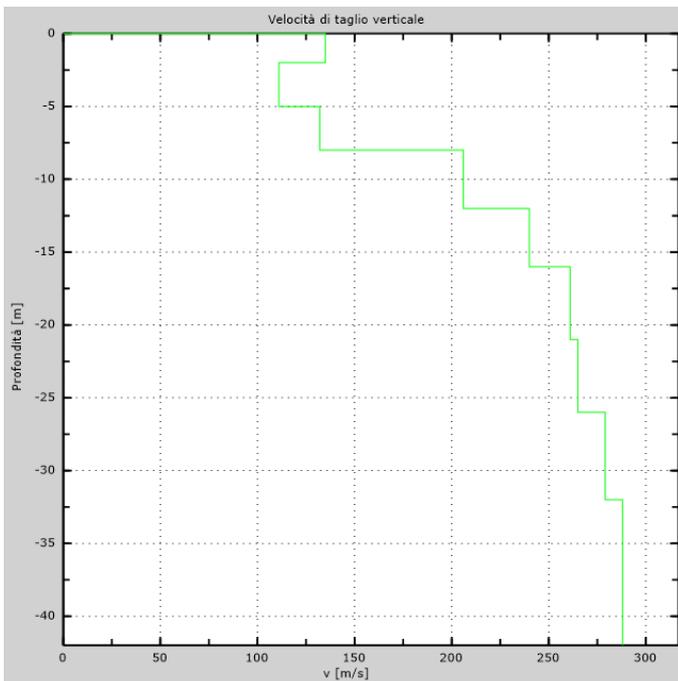


Figura 23 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	135	0,015
2	2.0-5.0	3,0	111	0,027
3	5.0-8.0	3,0	132	0,023
4	8.0-12.0	4,0	206	0,019
5	12.0-16.0	4,0	240	0,017
6	16.0-21.0	5,0	261	0,019
7	21.0-26.0	5,0	265	0,019
8	26.0-30.0	4,0	279	0,014
Σ	∑	30,0	Σ	0,153
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>Vs<sub>eq</sub> = 196,06</b>	

Figura 24 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs<sub>eq</sub> (dx)



DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW13**

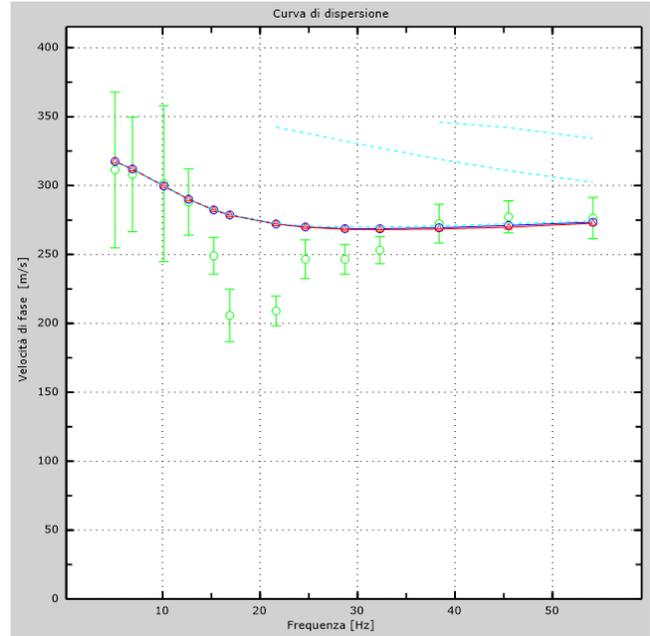
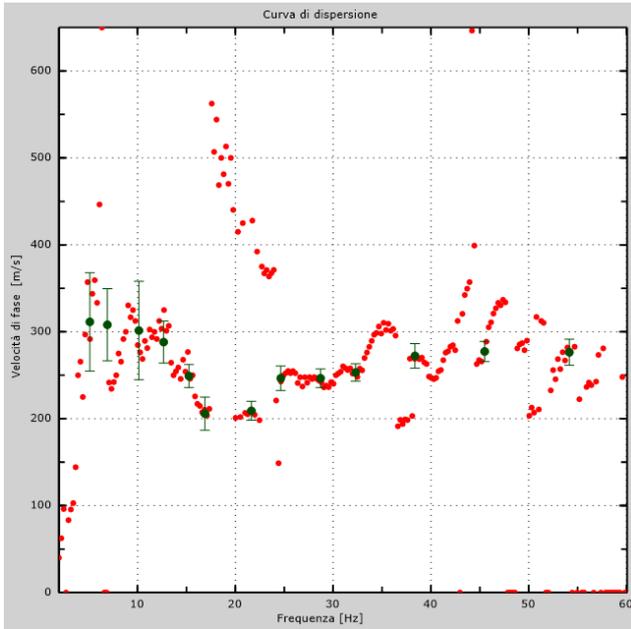
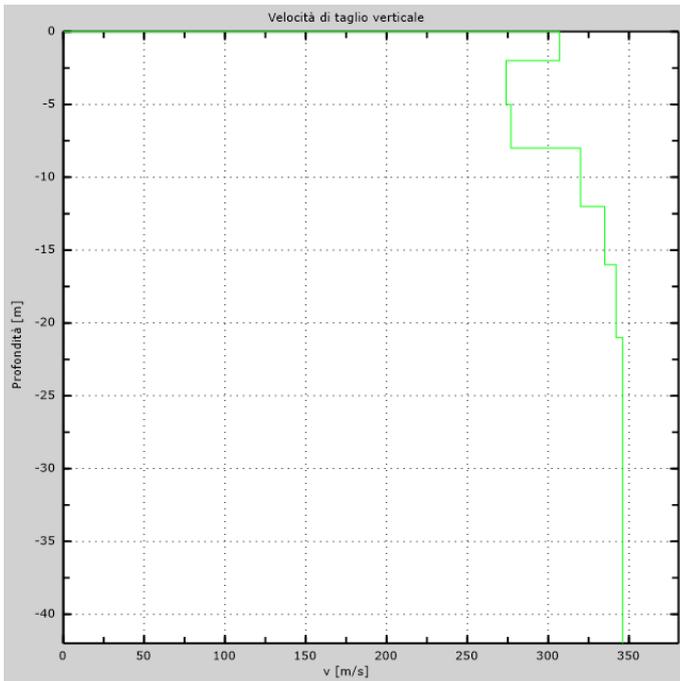


Figura 25 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)



Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	307	0,007
2	2.0-5.0	3,0	274	0,011
3	5.0-8.0	3,0	277	0,011
4	8.0-12.0	4,0	320	0,013
5	12.0-16.0	4,0	335	0,012
6	16.0-21.0	5,0	342	0,015
7	21.0-26.0	5,0	346	0,014
8	26.0-30.0	4,0	346	0,012
Σ	∅	30,0	Σ	0,093
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>V<sub>s,eq</sub> = 321,32</b>	

Figura 26 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)



DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW14**

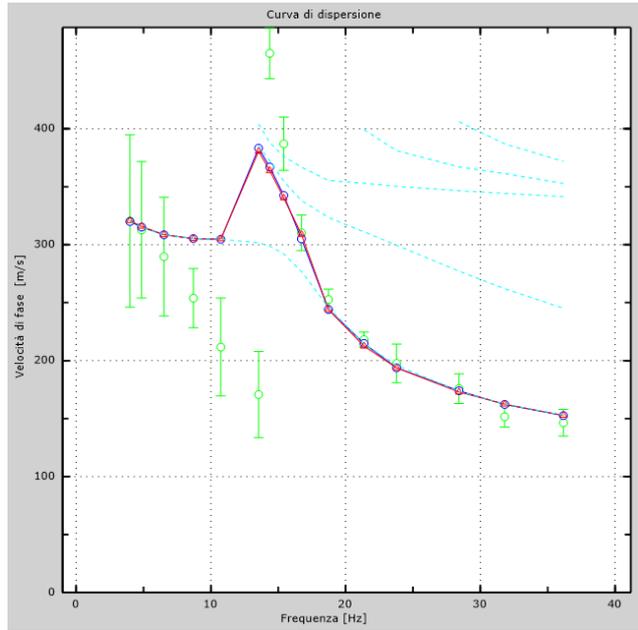
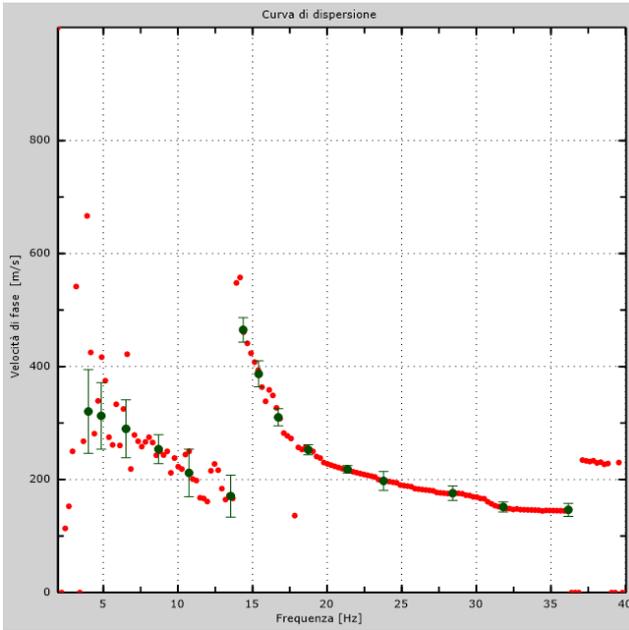


Figura 27 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)

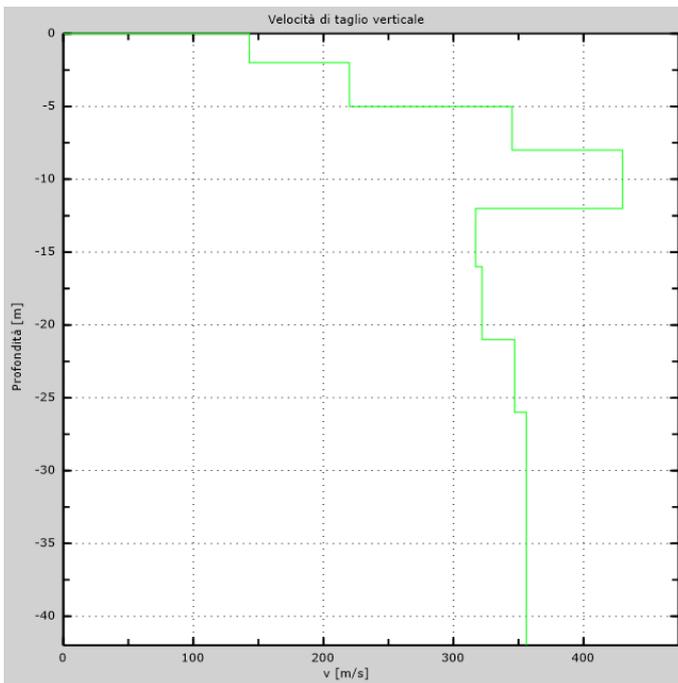


Figura 28 – Profilo  $V_s$  (sn); tabella di calcolo  $V_{s,eq}$  (dx)

Intervallo	Profondità (m)	H (m)	$V_s$ (m/s)	H/ $V_s$
1	0.0-2.0	2,0	143	0,014
2	2.0-5.0	3,0	220	0,014
3	5.0-8.0	3,0	345	0,009
4	8.0-12.0	4,0	430	0,009
5	12.0-16.0	4,0	317	0,013
6	16.0-21.0	5,0	322	0,016
7	21.0-26.0	5,0	347	0,014
8	26.0-30.0	4,0	356	0,011
$\Sigma$	$\varnothing$	30,0	$\Sigma$	0,099
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b><math>V_{s,eq} = 301,78</math></b>	



DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW15**

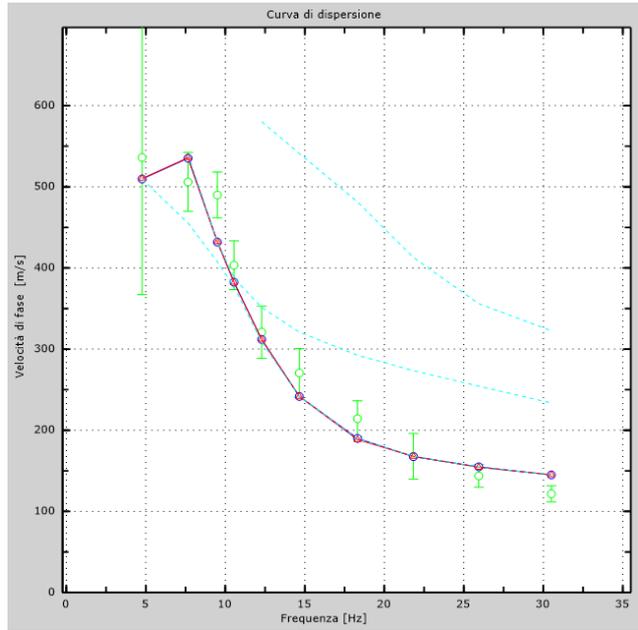
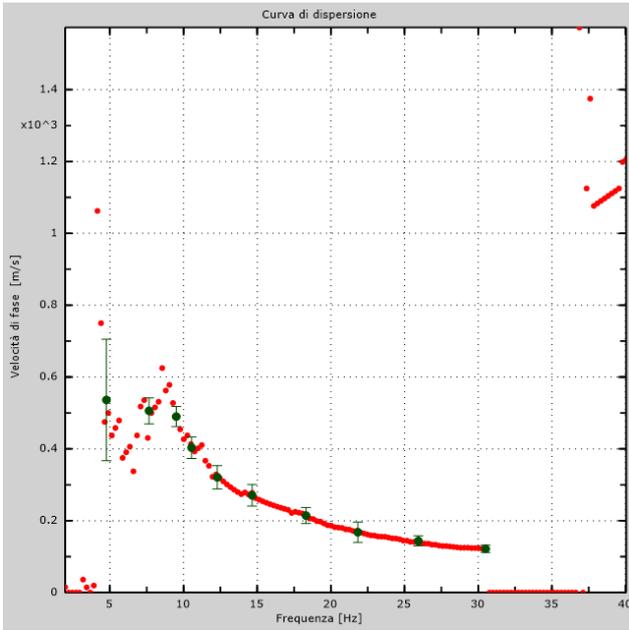


Figura 29 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)

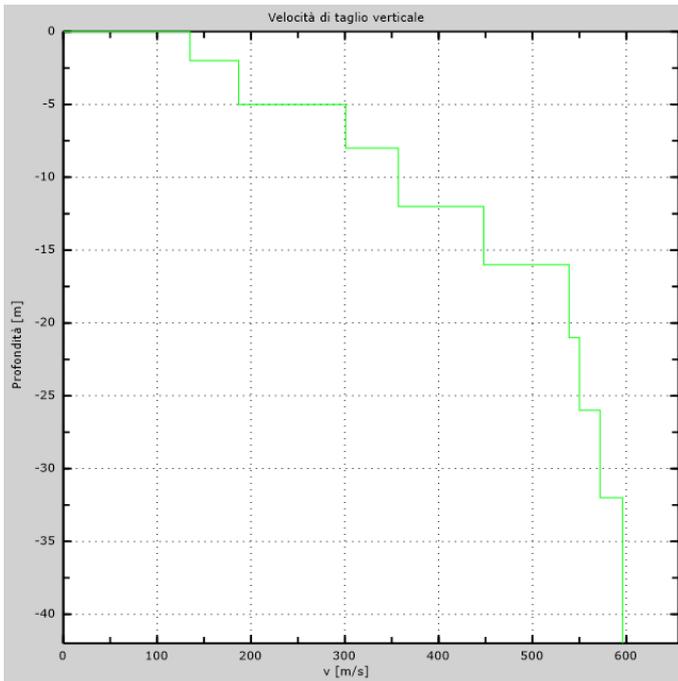


Figura 30 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)

Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	135	0,015
2	2.0-5.0	3,0	187	0,016
3	5.0-8.0	3,0	301	0,010
4	8.0-12.0	4,0	357	0,011
5	12.0-16.0	4,0	448	0,009
6	16.0-21.0	5,0	539	0,009
7	21.0-26.0	5,0	550	0,009
8	26.0-30.0	4,0	572	0,007
Σ	∅	30,0	Σ	0,086
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>Vs,eq = 347,55</b>	



DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW16**

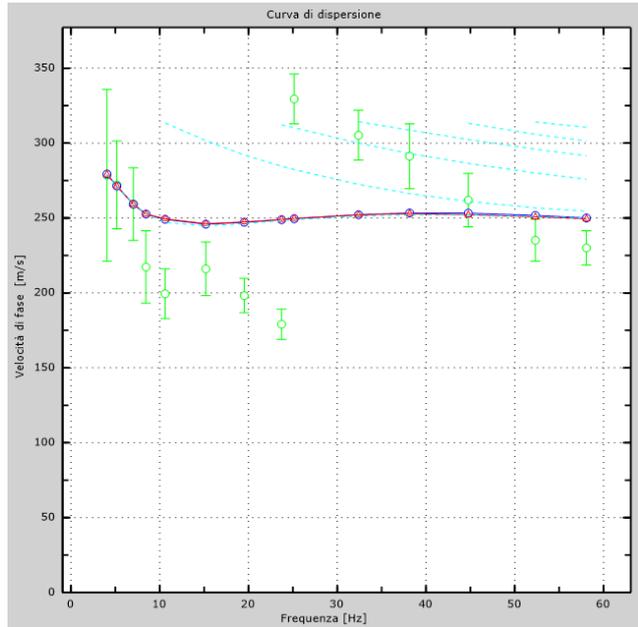
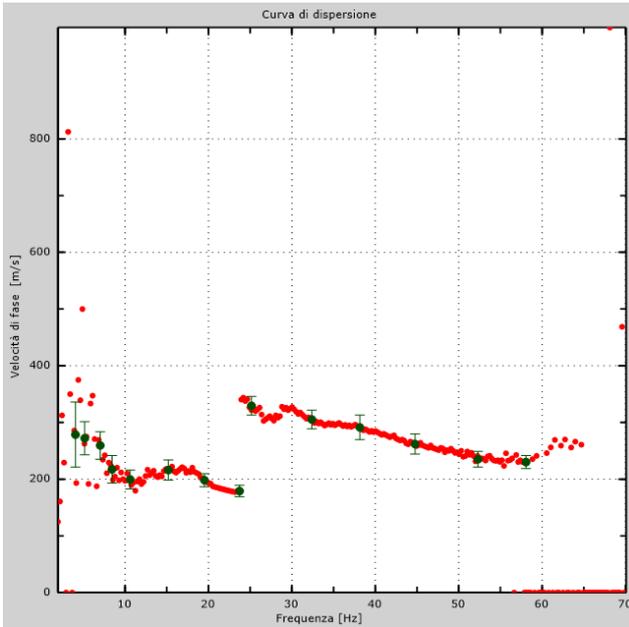


Figura 31 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)

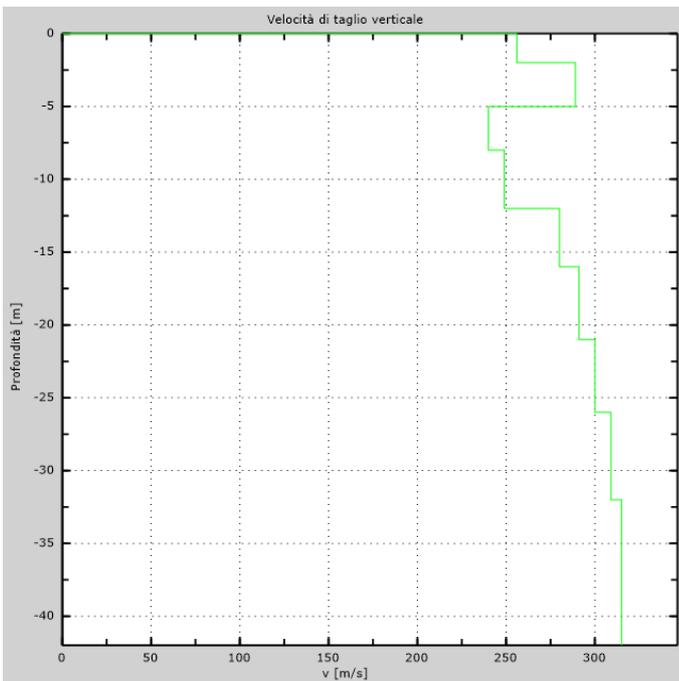


Figura 32 – Profilo  $V_s$  (sn); tabella di calcolo  $V_{s,eq}$  (dx)

Intervallo	Profondità (m)	H (m)	$V_s$ (m/s)	H/ $V_s$
1	0.0-2.0	2,0	256	0,008
2	2.0-5.0	3,0	289	0,010
3	5.0-8.0	3,0	240	0,013
4	8.0-12.0	4,0	249	0,016
5	12.0-16.0	4,0	280	0,014
6	16.0-21.0	5,0	291	0,017
7	21.0-26.0	5,0	300	0,017
8	26.0-30.0	4,0	309	0,013
$\Sigma$	$\bar{\square}$	30,0	$\Sigma$	0,108
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			$V_{s,eq} =$	<b>278,20</b>



DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW17**

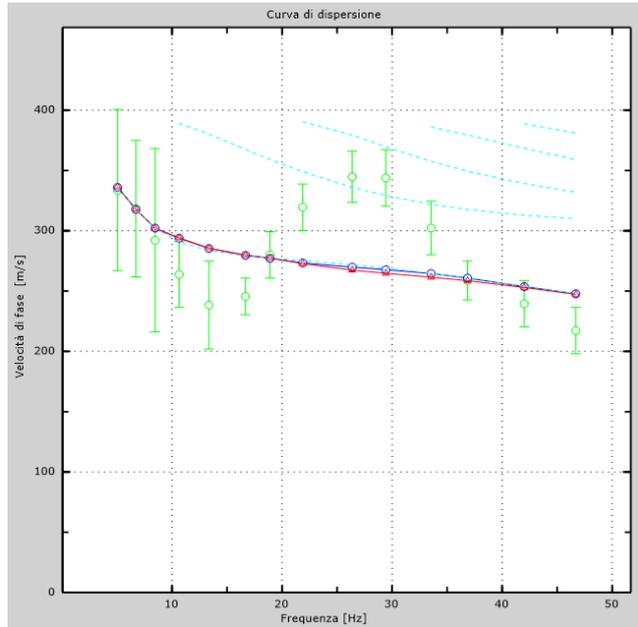
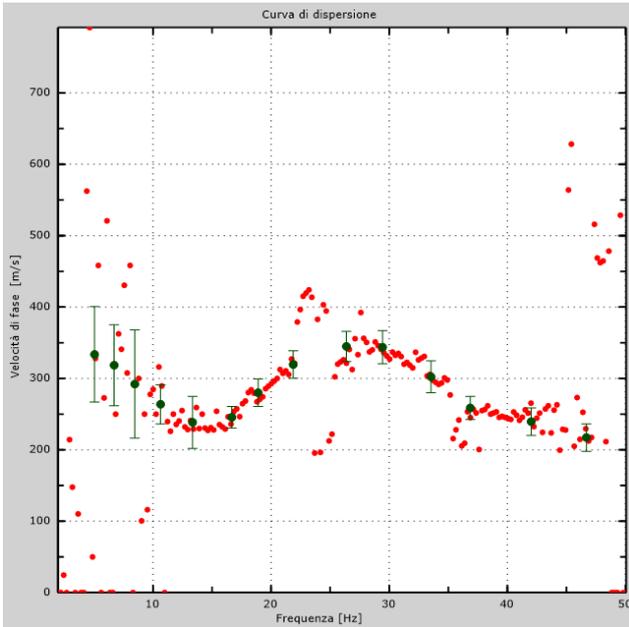


Figura 33 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)

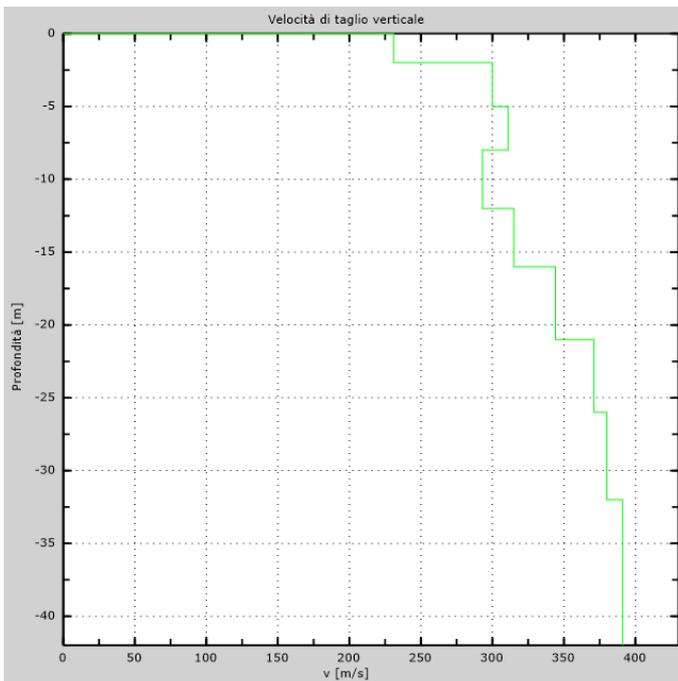


Figura 34 – Profilo  $V_s$  (sn); tabella di calcolo  $V_{s,eq}$  (dx)

Intervallo	Profondità (m)	H (m)	$V_s$ (m/s)	H/ $V_s$
1	0.0-2.0	2,0	231	0,009
2	2.0-5.0	3,0	300	0,010
3	5.0-8.0	3,0	311	0,010
4	8.0-12.0	4,0	293	0,014
5	12.0-16.0	4,0	315	0,013
6	16.0-21.0	5,0	344	0,015
7	21.0-26.0	5,0	371	0,013
8	26.0-30.0	4,0	380	0,011
$\Sigma$	$\varnothing$	30,0	$\Sigma$	0,093
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b><math>V_{s,eq} = 321,91</math></b>	



DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW18**

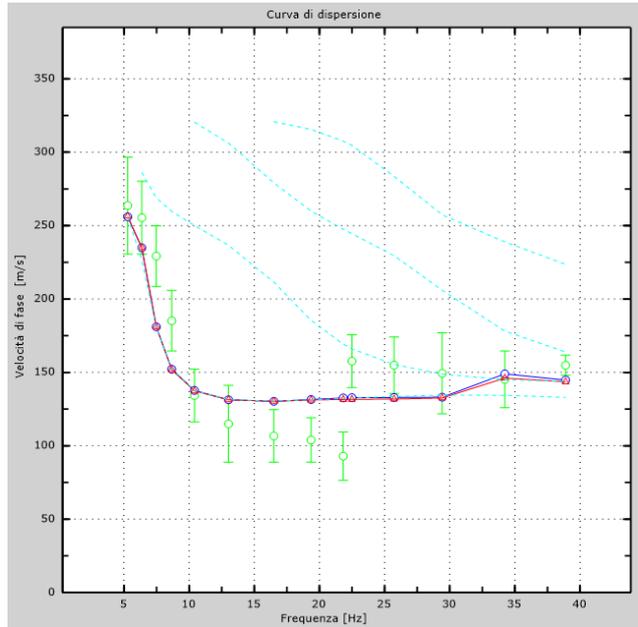
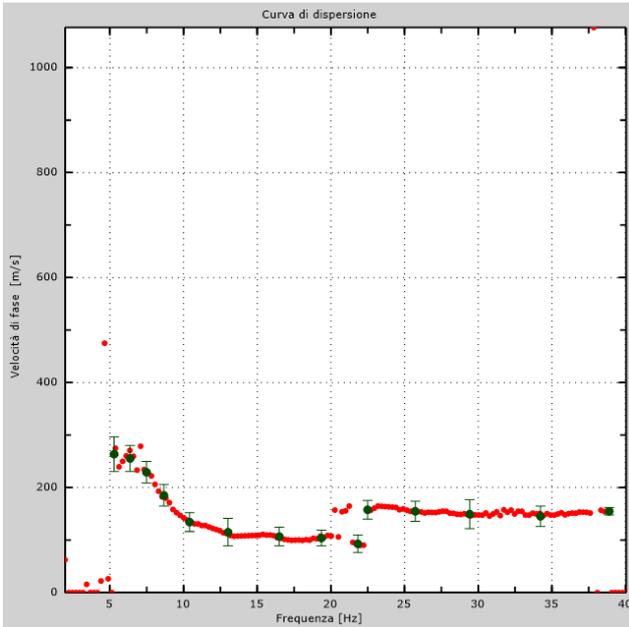


Figura 35 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)

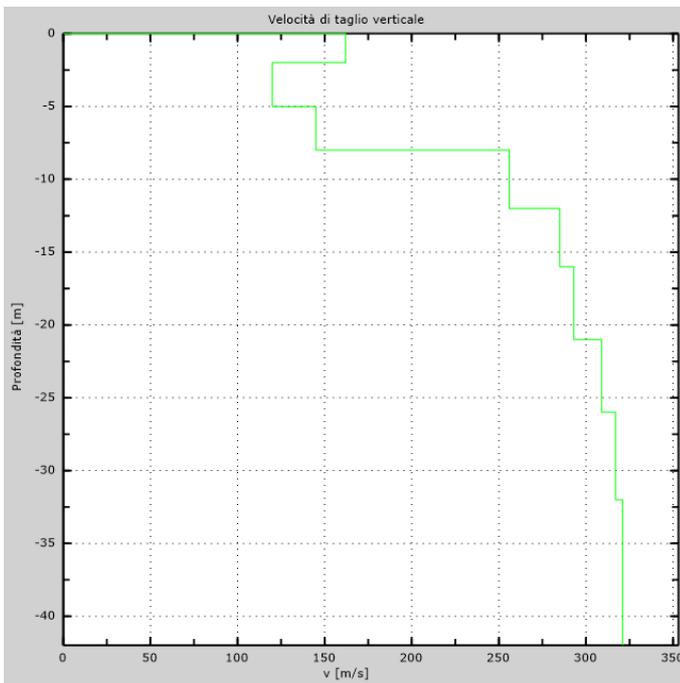


Figura 36 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)

Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	162	0,012
2	2.0-5.0	3,0	120	0,025
3	5.0-8.0	3,0	145	0,021
4	8.0-12.0	4,0	256	0,016
5	12.0-16.0	4,0	285	0,014
6	16.0-21.0	5,0	293	0,017
7	21.0-26.0	5,0	309	0,016
8	26.0-30.0	4,0	317	0,013
Σ	∅	30,0	Σ	0,134
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>Vs,eq = 224,62</b>	



DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW19**

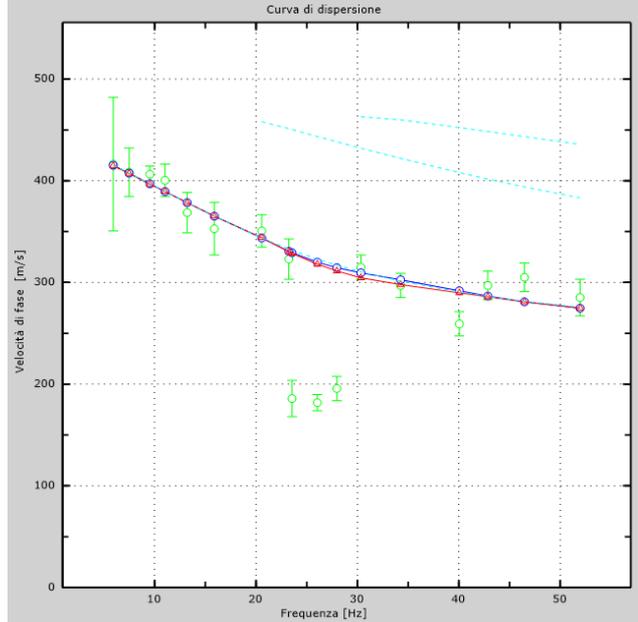
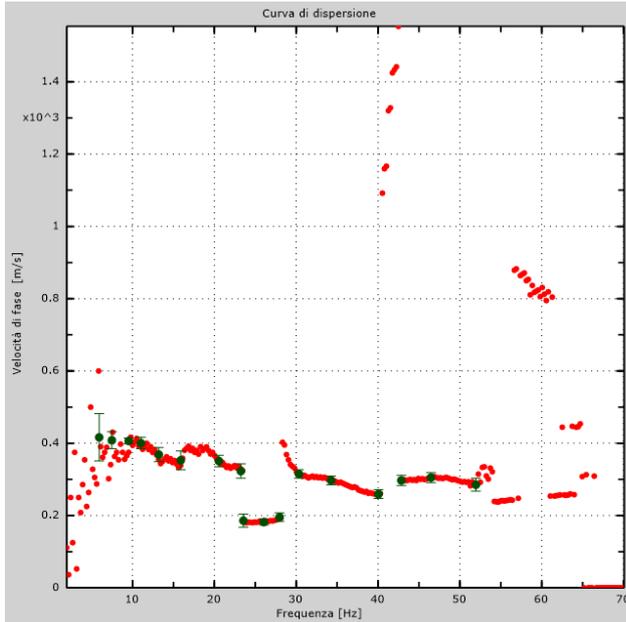


Figura 37 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)

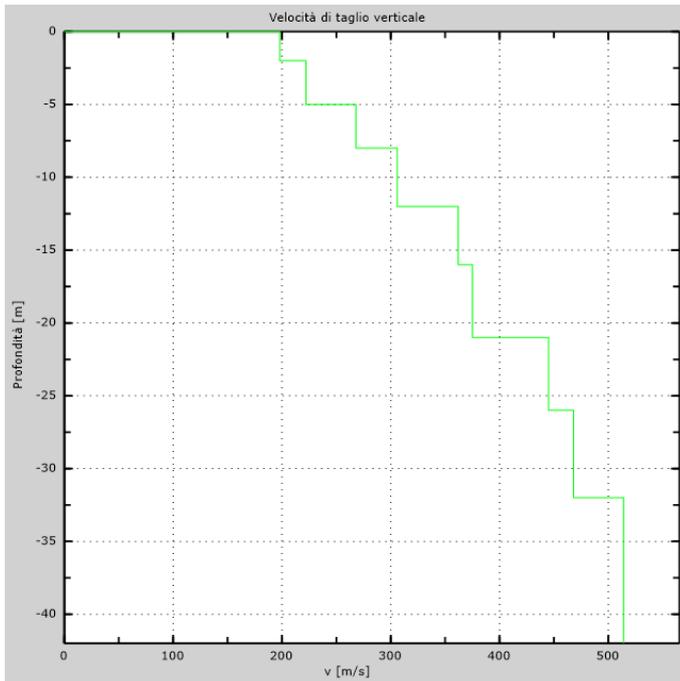


Figura 38 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)

Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	198	0,010
2	2.0-5.0	3,0	222	0,014
3	5.0-8.0	3,0	268	0,011
4	8.0-12.0	4,0	306	0,013
5	12.0-16.0	4,0	362	0,011
6	16.0-21.0	5,0	375	0,013
7	21.0-26.0	5,0	445	0,011
8	26.0-30.0	4,0	468	0,009
Σ	?	30,0	Σ	0,092
<b>Categoria sottosuolo: C</b>			<b>Vs,eq =</b>	<b>325,92</b>



DENOMINAZIONE:  
**Profilo MW20**

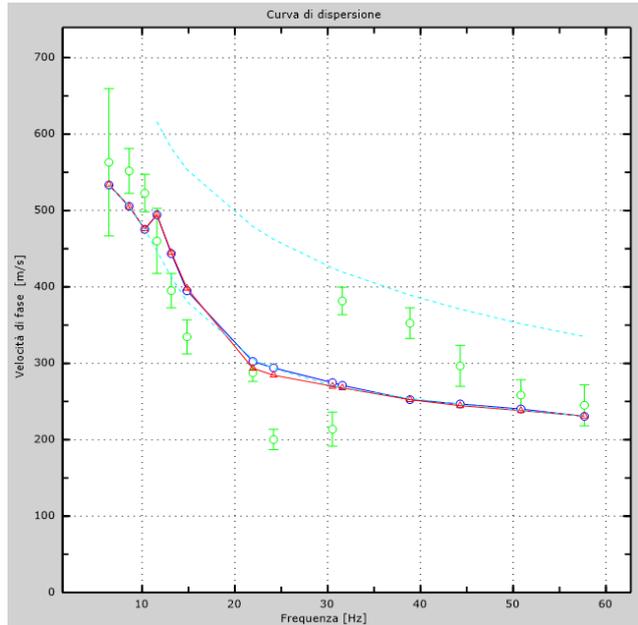
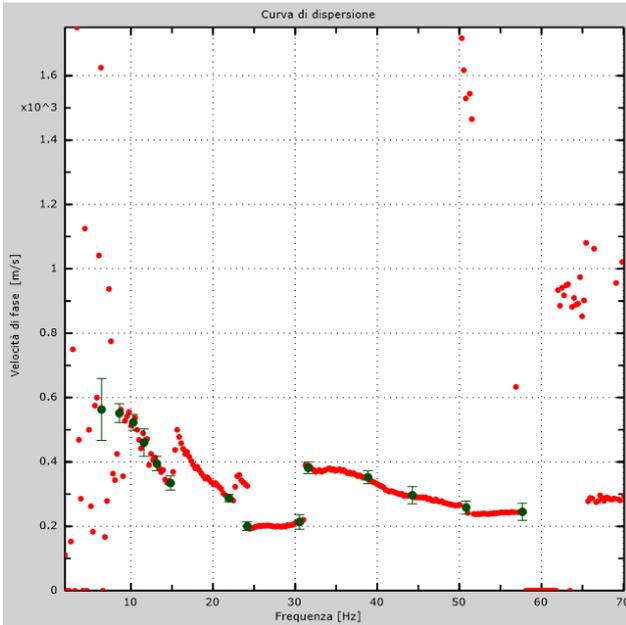


Figura 39 – Curva di dispersione sperimentale (sn); modello teorico (dx)

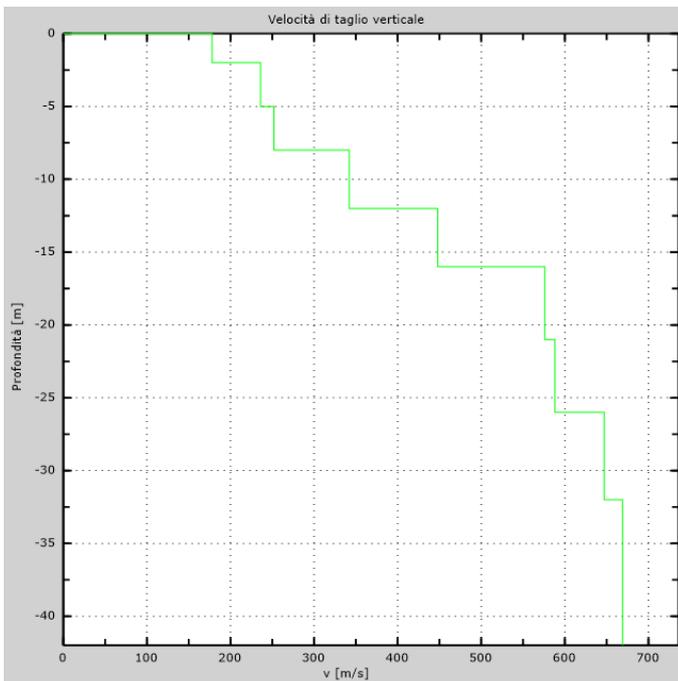


Figura 40 – Profilo Vs (sn); tabella di calcolo Vs,eq (dx)

Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-2.0	2,0	178	0,011
2	2.0-5.0	3,0	236	0,013
3	5.0-8.0	3,0	252	0,012
4	8.0-12.0	4,0	342	0,012
5	12.0-16.0	4,0	448	0,009
6	16.0-21.0	5,0	576	0,009
7	21.0-26.0	5,0	588	0,009
8	26.0-30.0	4,0	647	0,006
Σ	∅	30,0	Σ	0,080
<b>Categoria sottosuolo: B</b>			<b>Vs,eq = 375,74</b>	

## 2.4 Analisi dei risultati

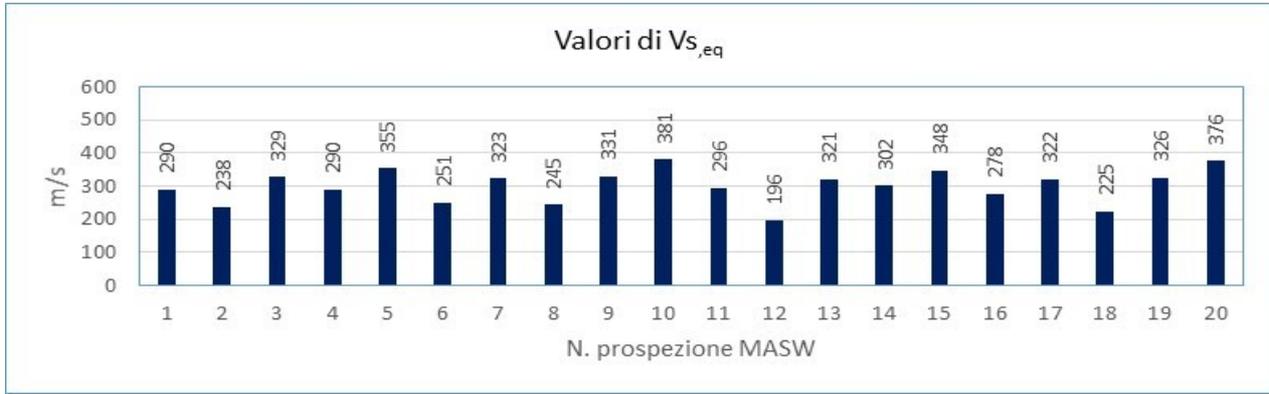
Di seguito viene presentata una tabella riassuntiva dei valori di  $V_{s,eq}$  ottenuti attraverso le prospezioni MASW. Oltre al valore di  $V_{s,eq}$  e della categoria di sottosuolo (D.M. 17.01.18), vengono riportati i valori di velocità delle onde di taglio nei primi otto metri di profondità secondo 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	301-600	>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

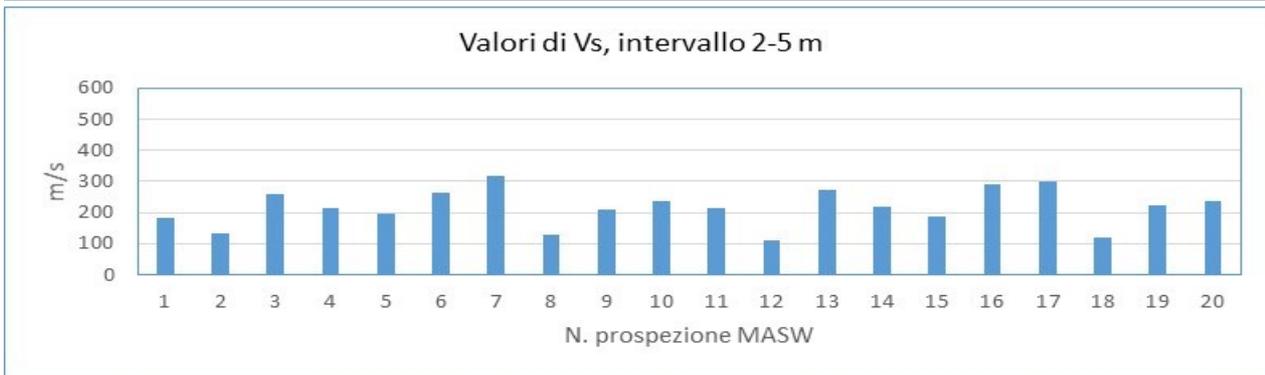
MASW n.	$V_{s,eq}$ (m/s)	Categoria sottosuolo (D.M. 17.01.18)	Formazione affiorante	$V_s$ (m/s)	$V_s$ (m/s)	$V_s$ (m/s)
				0-2 m	2-5 m	5-8 m
1	290	C	Argille Scagliose	169	181	239
2	238	C	Argille Scagliose	147	132	163
3	329	C	Argille Scagliose	277	258	227
4	290	C	Argille Scagliose	207	216	205
5	355	C	Argille Scagliose	134	196	293
6	251	C	Marne argillose	250	264	207
7	323	C	Argille Scagliose	241	319	251
8	245	C	Marne Tripolacee	171	128	155
9	331	C	Argille Scagliose	204	209	266
10	381	B	Argille Scagliose	173	237	278
11	296	C	Argille Scagliose	155	216	262
12	196	C	Argille Scagliose	135	111	132
13	321	C	Argille Scagliose	307	274	277
14	302	C	Argille Scagliose	143	220	345
15	348	C	Argille Scagliose	135	187	301
16	278	C	Marne Tripolacee	256	289	240
17	322	C	Argille Scagliose	231	300	311
18	225	C	Argille Scagliose	162	120	145
19	326	C	Argille Scagliose	198	222	268
20	376	B	Argille Scagliose	178	236	252

Dalla tabella sopra esposta si vede che i terreni analizzati ricadono in gran parte nella **Categoria C** e solamente in due casi nella **B**, di cui alle N.T.C. 2018

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



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  $V_s$  esposti nella precedente tabella, e precisamente per gli intervalli 0-2 m, 2-5 m ed infine 5-8 m.





### 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  $t_j^{obs}$  e  $t_j^{cal}$  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 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 5 m

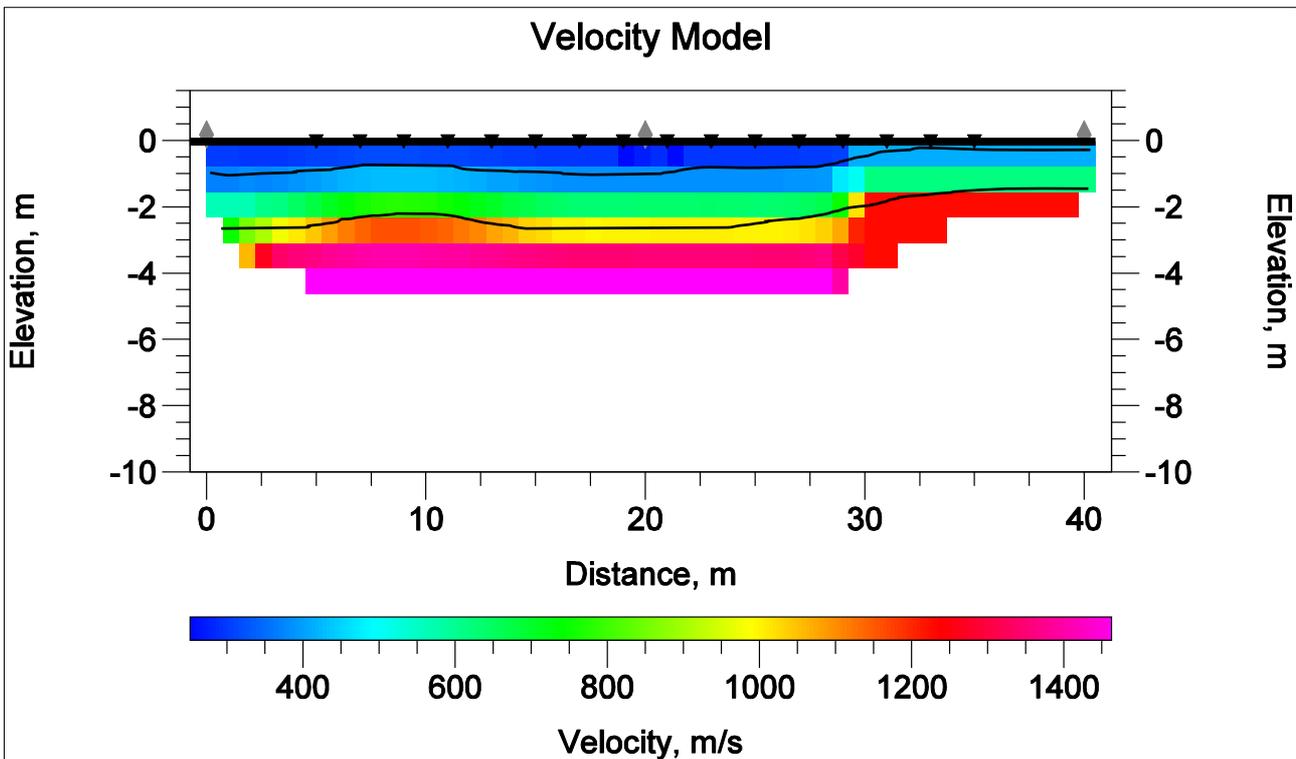
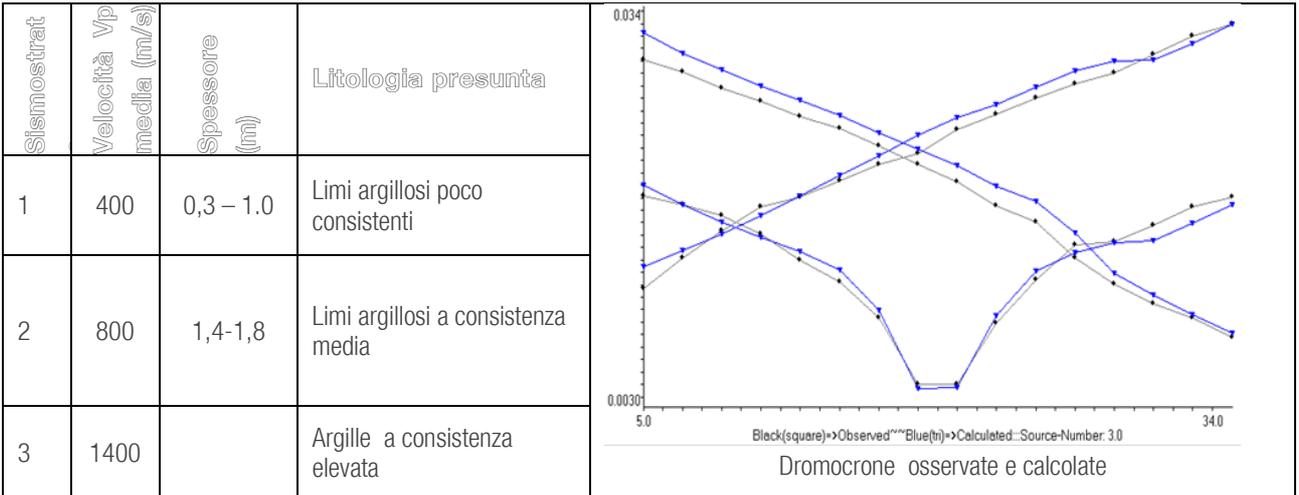
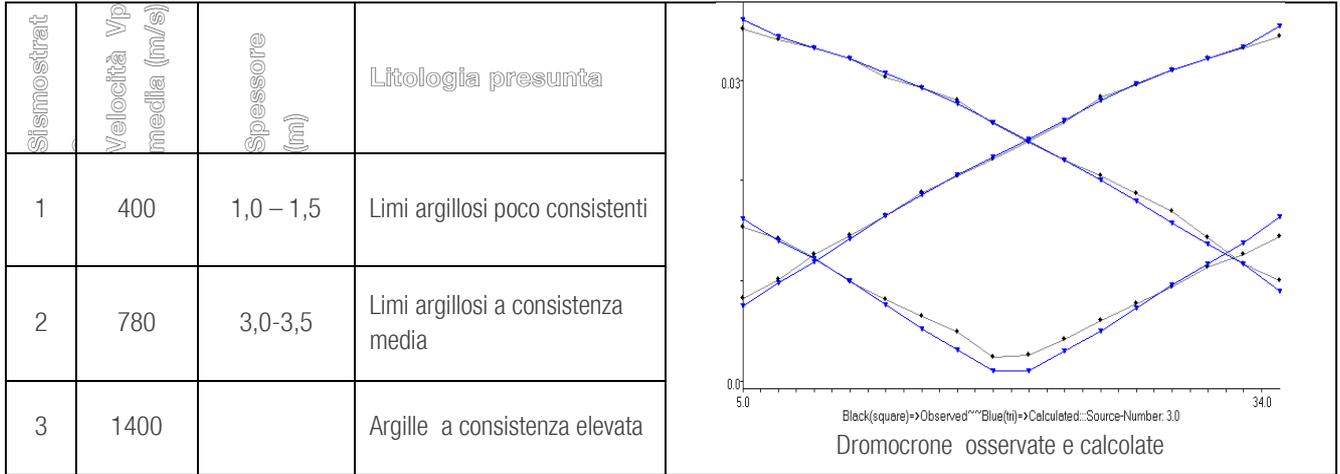


Figura 41 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo



Denominazione: Sezione sismica tomografica Ts2				
N. Geofoni: 16	Step Intergeofonico 2 m	N. Shots 3	Lunghezza Stendimento end-to-end shot 40 m	Profondità raggiunta 8 m



### Velocity Model

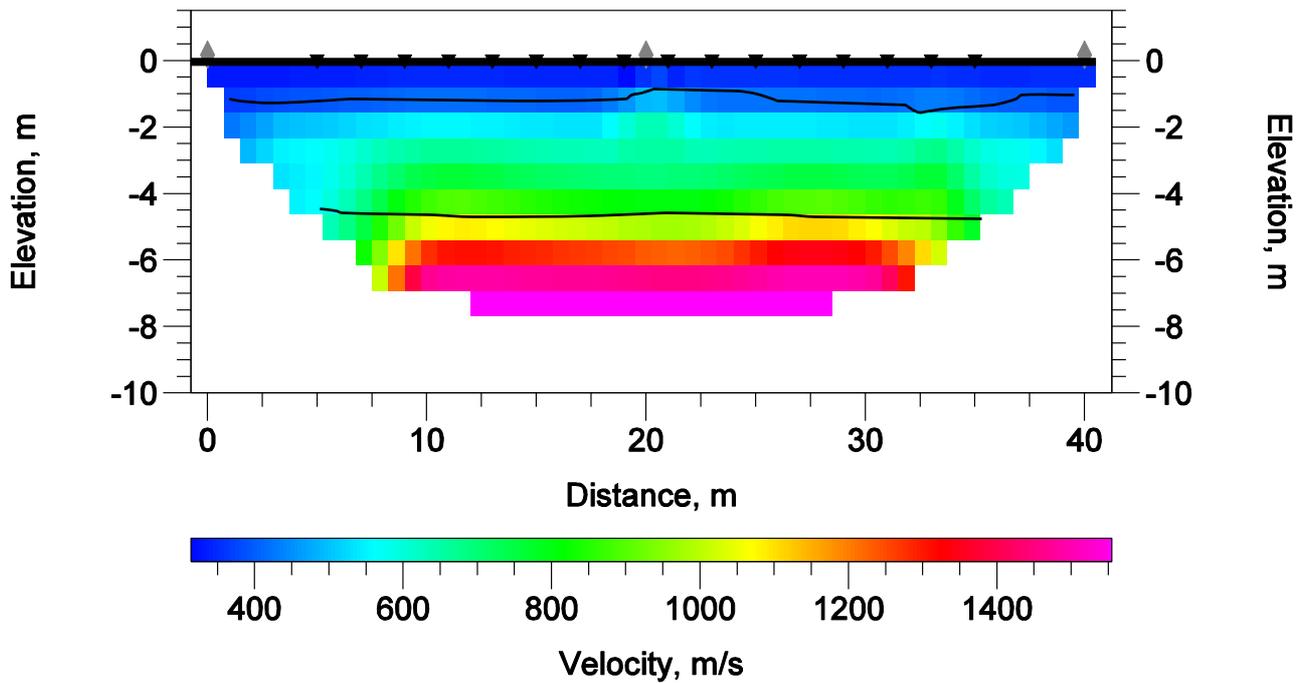
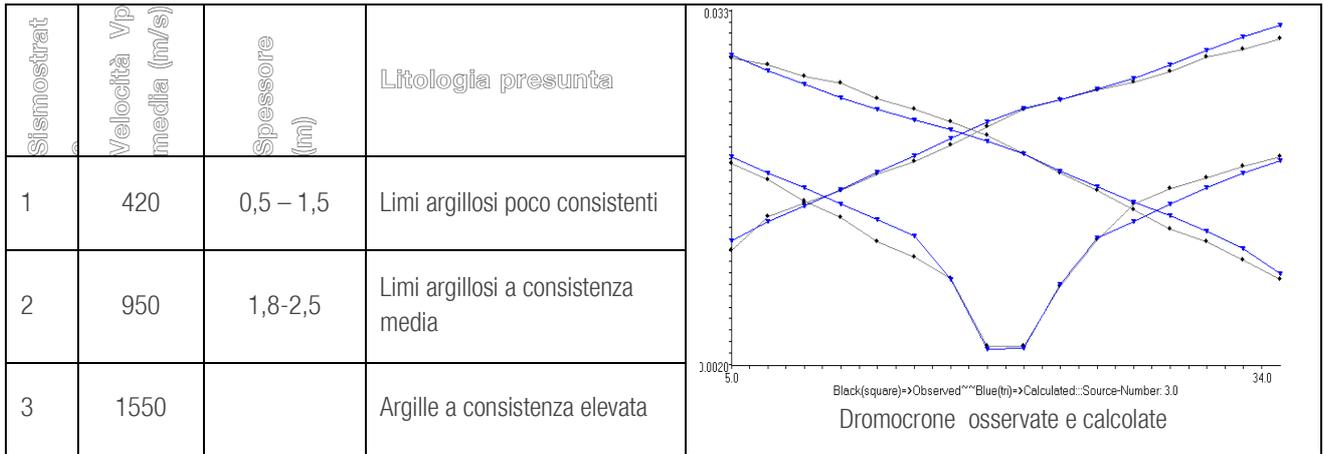


Figura 42 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo



Denominazione: Sezione sismica tomografica Ts3				
N. Geofoni: 16	Step Intergeofonico 2 m	N. Shots 3	Lunghezza Stendimento end-to-end shot 40 m	Profondità raggiunta 7 m



### Velocity Model

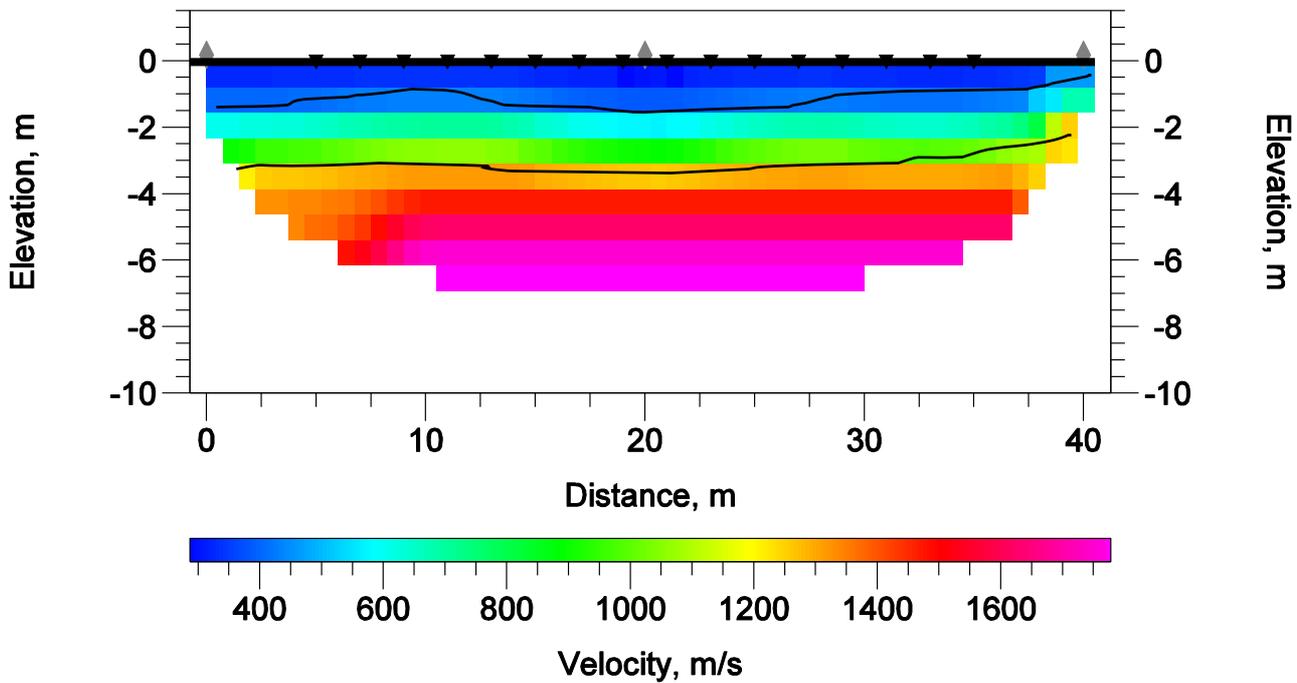
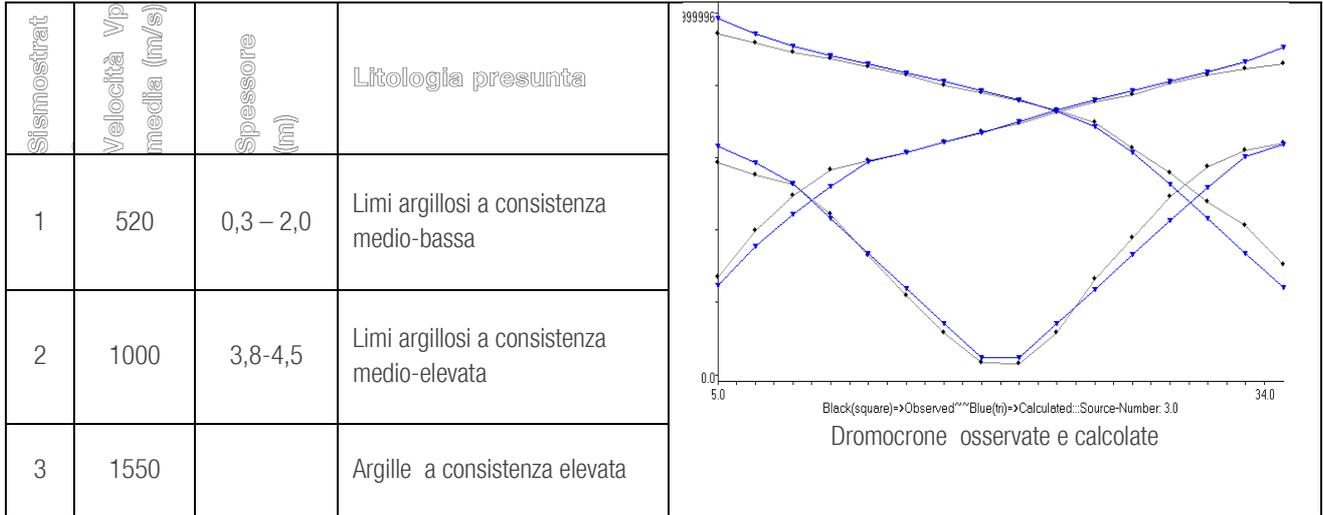


Figura 43 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo



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 8,5 m



### Velocity Model

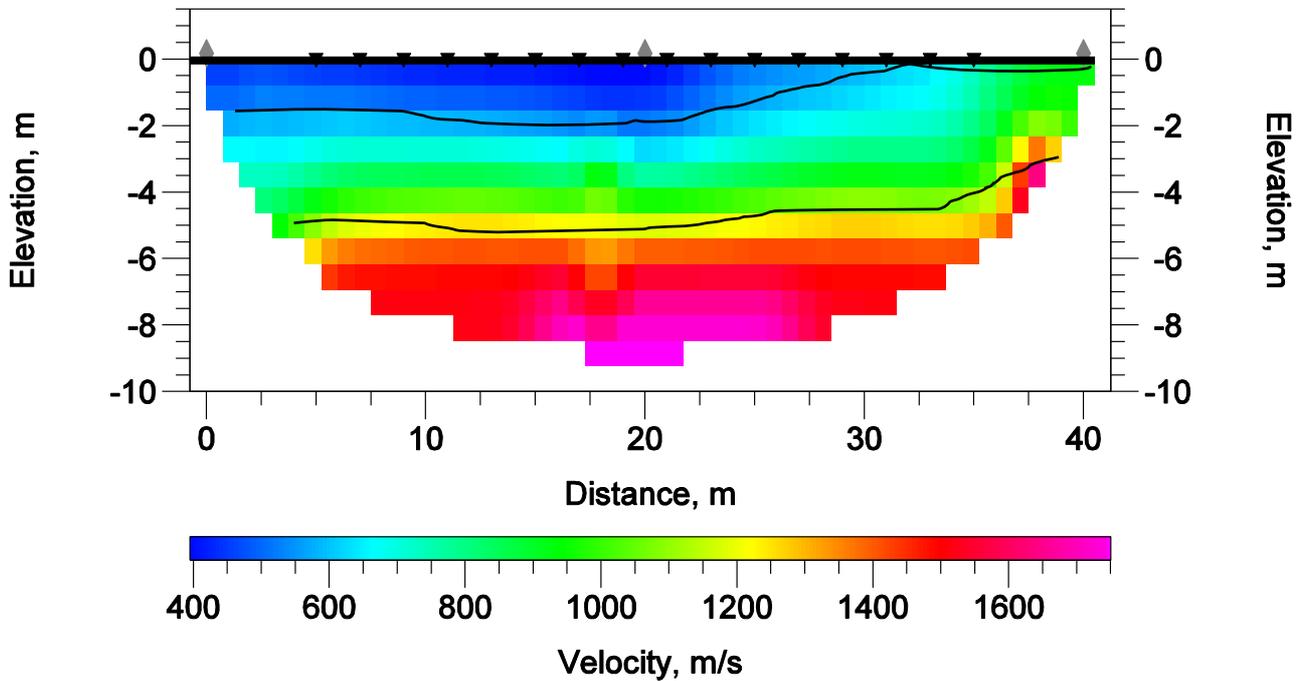
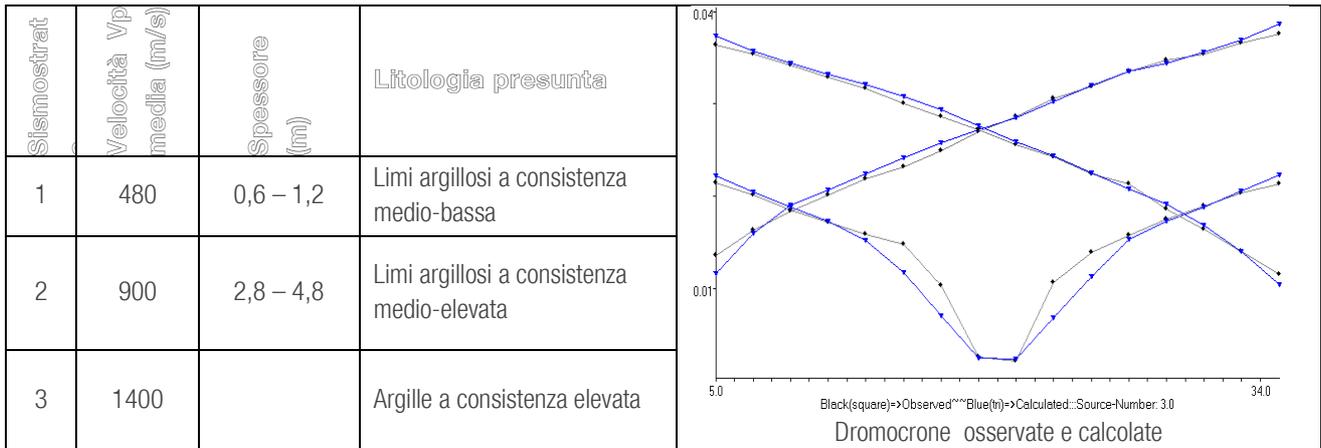


Figura 44 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo



Denominazione: Sezione sismica tomografica Ts5				
N. Geofoni: 16	Step Intergeofonico 2 m	N. Shots 3	Lunghezza Stendimento end-to-end shot 40 m	Profondità raggiunta 8 m



### Velocity Model

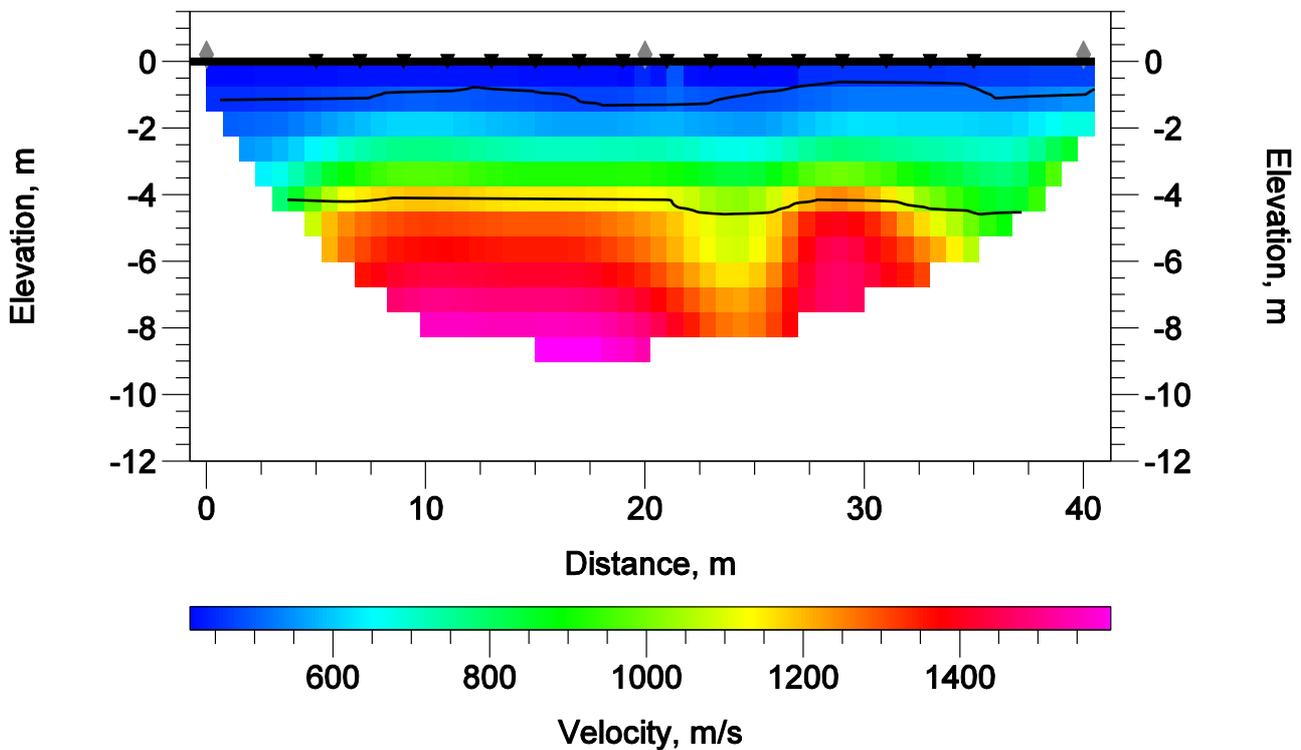


Figura 45 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo



Denominazione: Sezione sismica tomografica Ts6				
N. Geofoni: 16	Step Intergeofonico 2 m	N. Shots 3	Lunghezza Stendimento end-to-end shot 40 m	Profondità raggiunta 10,0 m

Sismostrat	Velocità Vp media (m/s)	Spessore (m)	Litologia presunta
1	400	2,5 – 3,0	Depositi alluvionali limoso-sabbiosi poco consistenti
2	730	2,5 – 3,0	Depositi alluvionali limoso-sabbiosi mediamente consistenti
3	1300		Limi argillosi a consistenza medio-elevata

Dromocrono osservate e calcolate

### Velocity Model

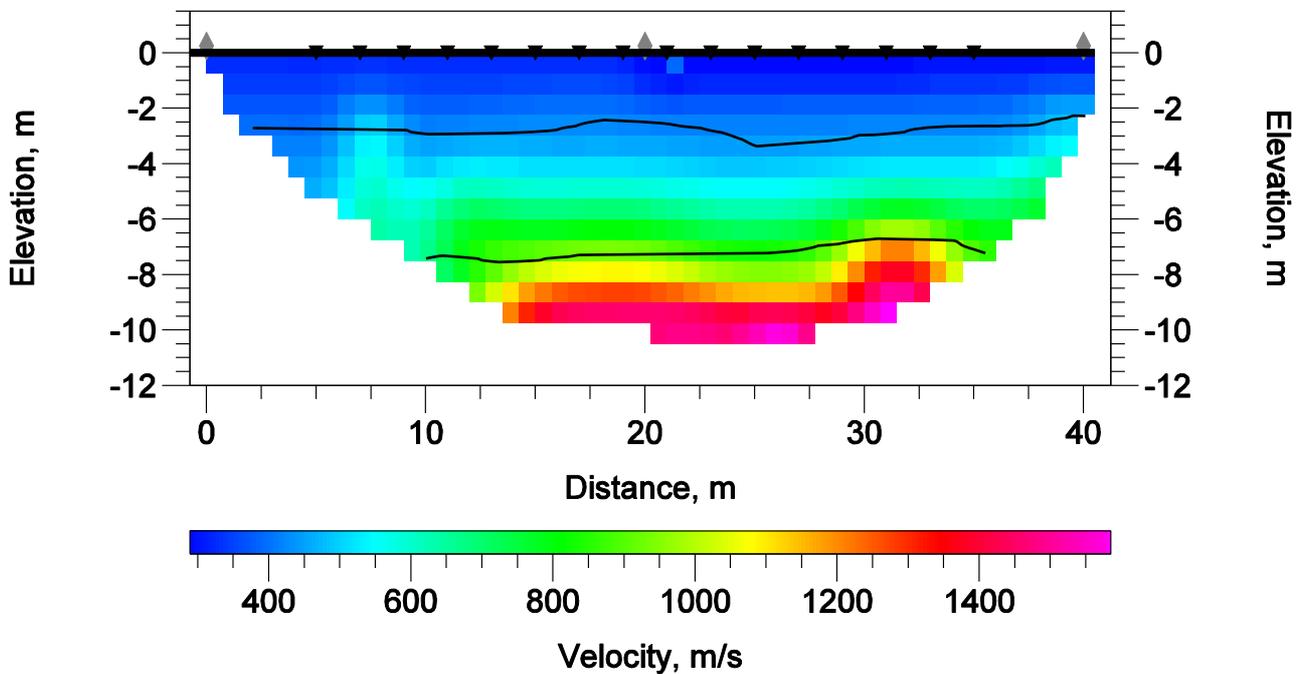
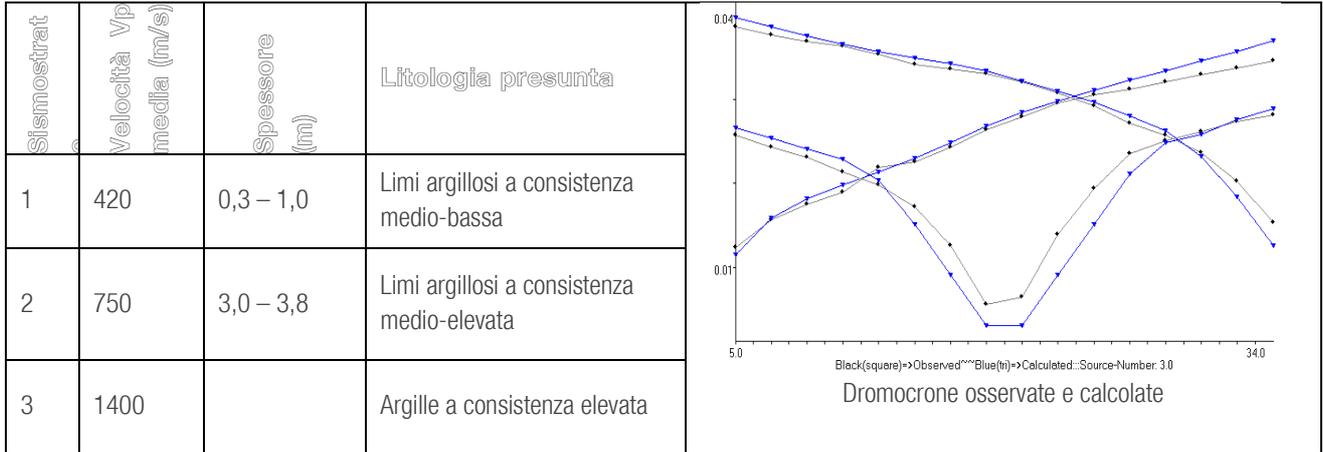


Figura 46 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo



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 6 m



### Velocity Model

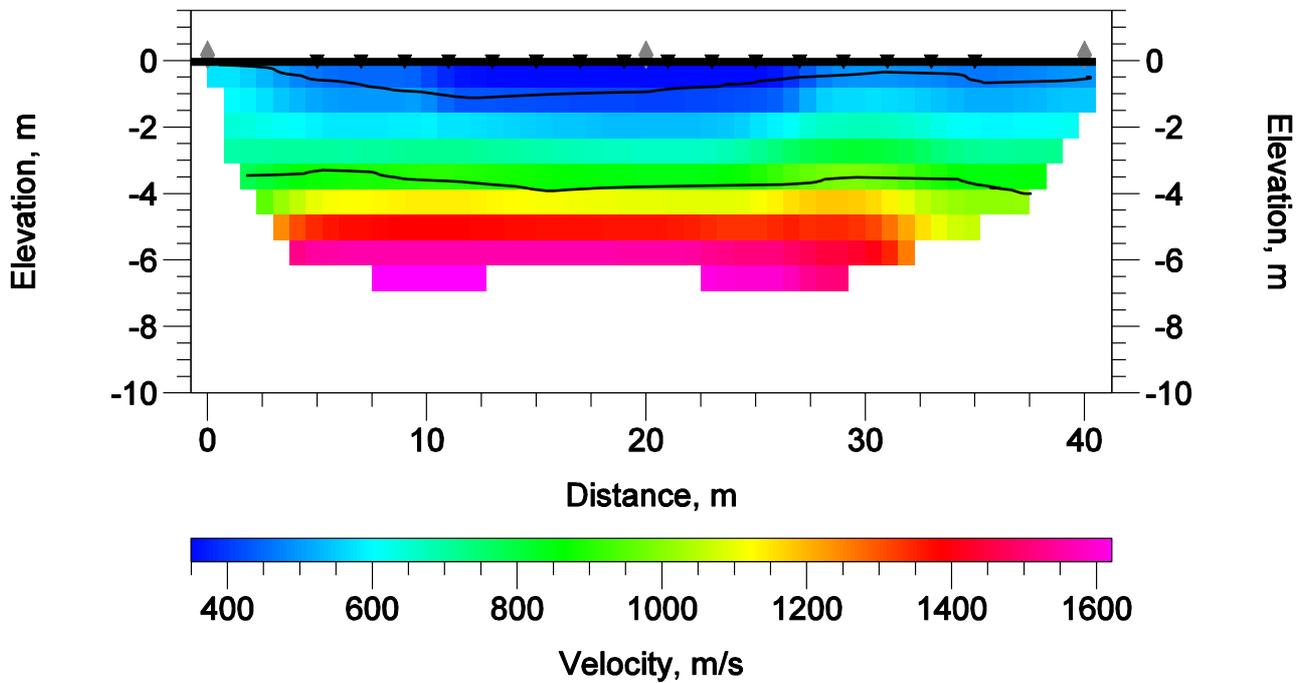
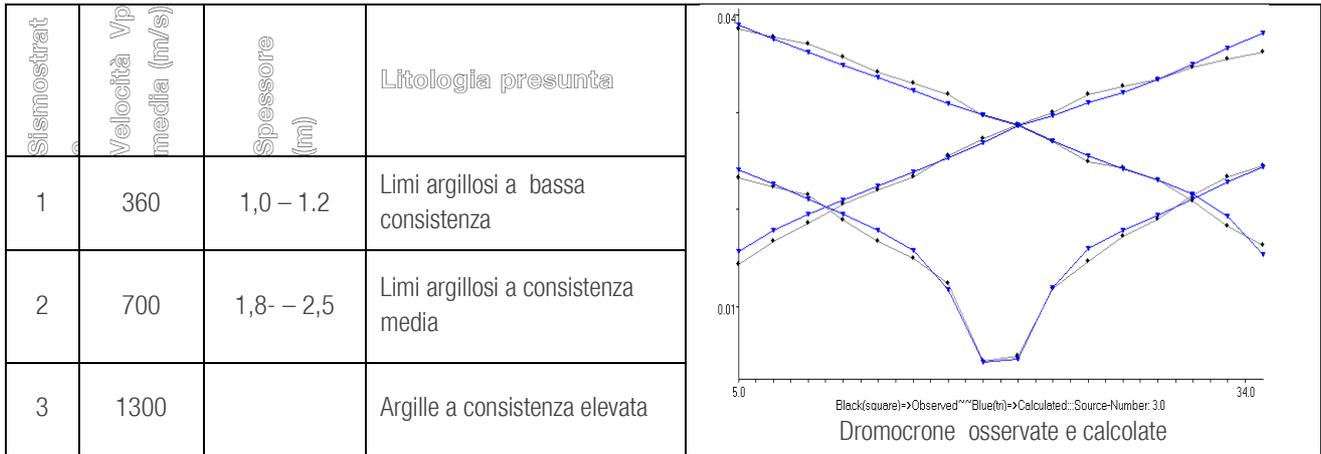


Figura 47 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo



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>6,5 m</b>



### Velocity Model

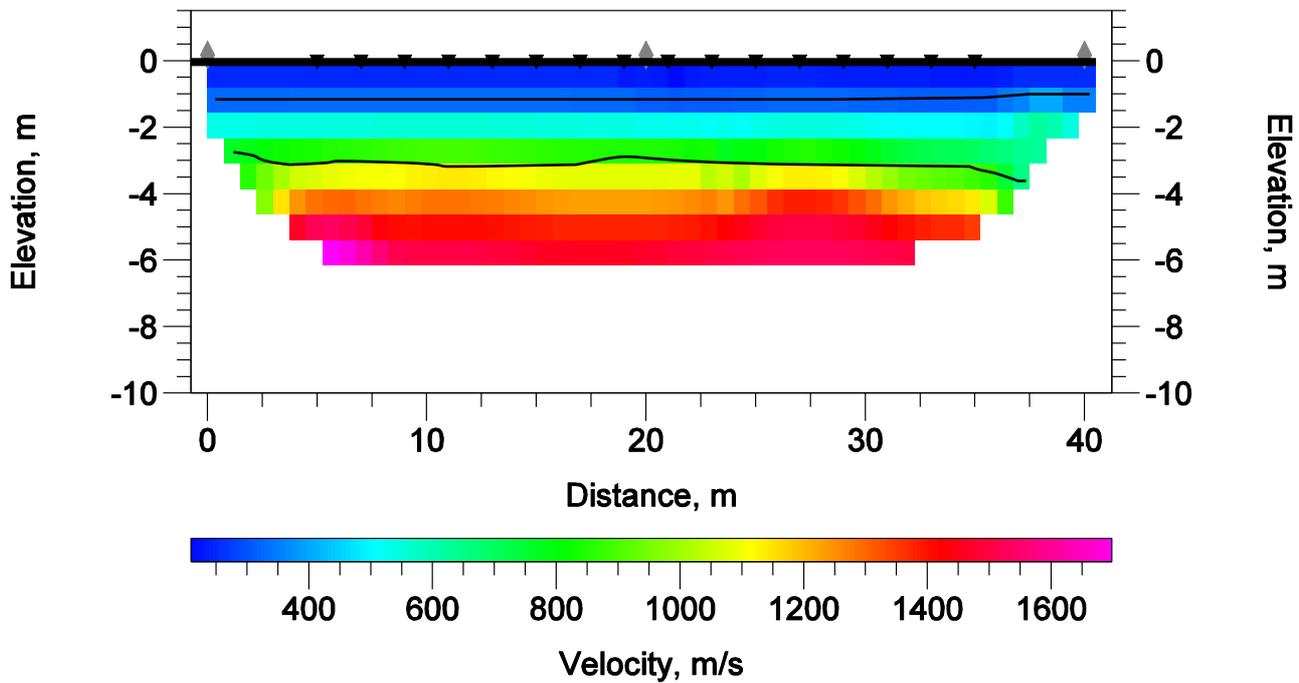
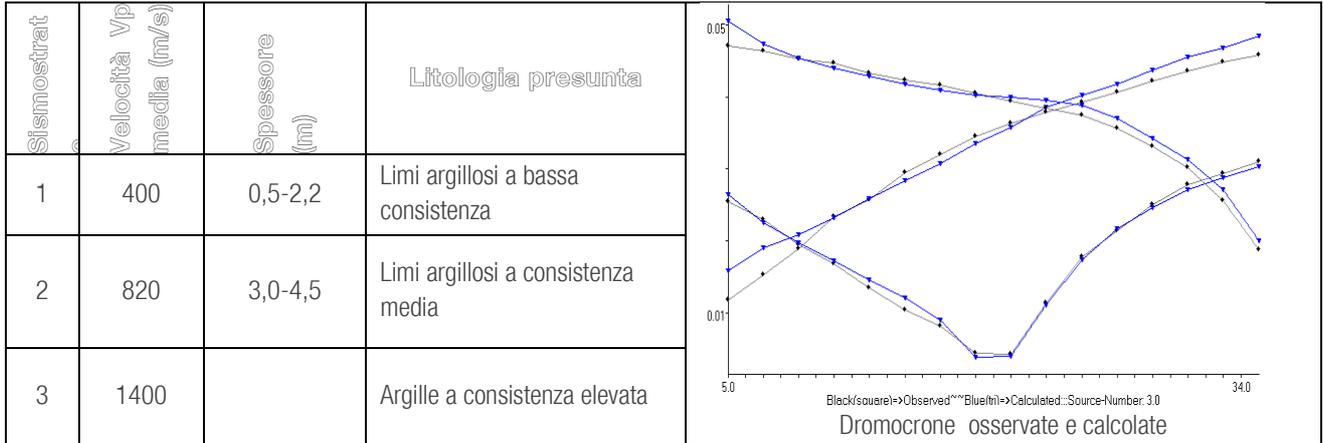


Figura 48 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo



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 7,5 m



### Velocity Model

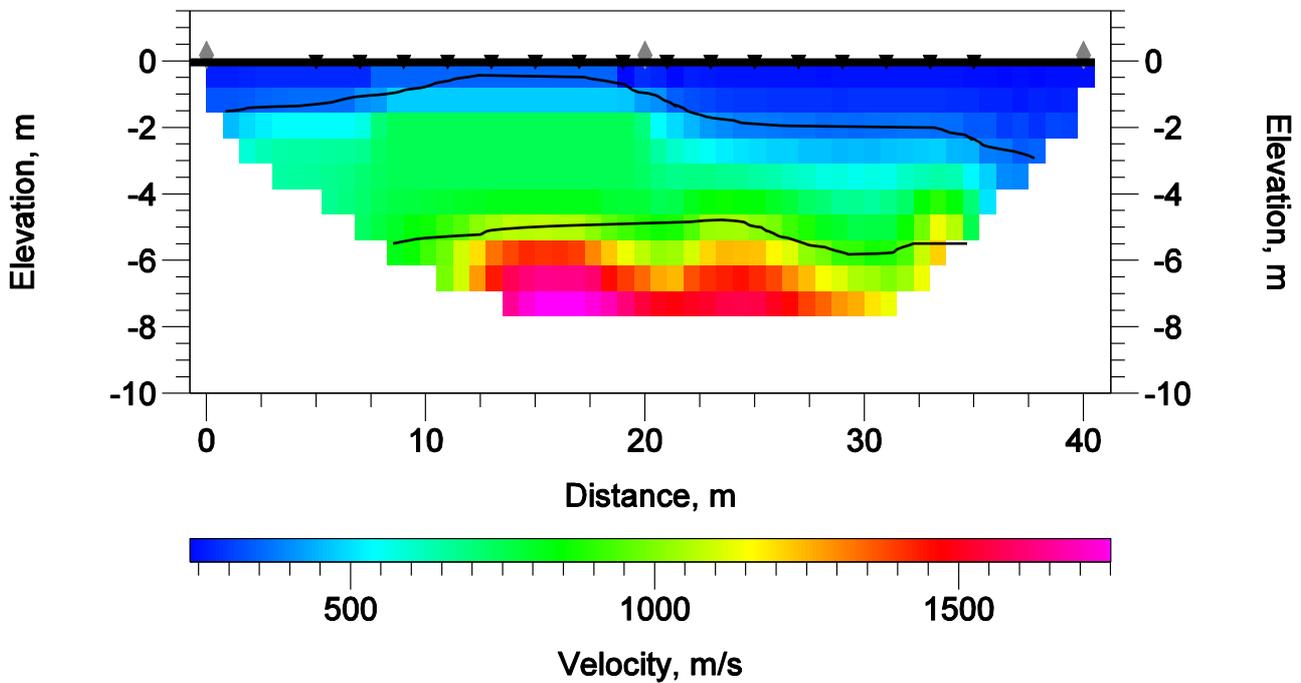
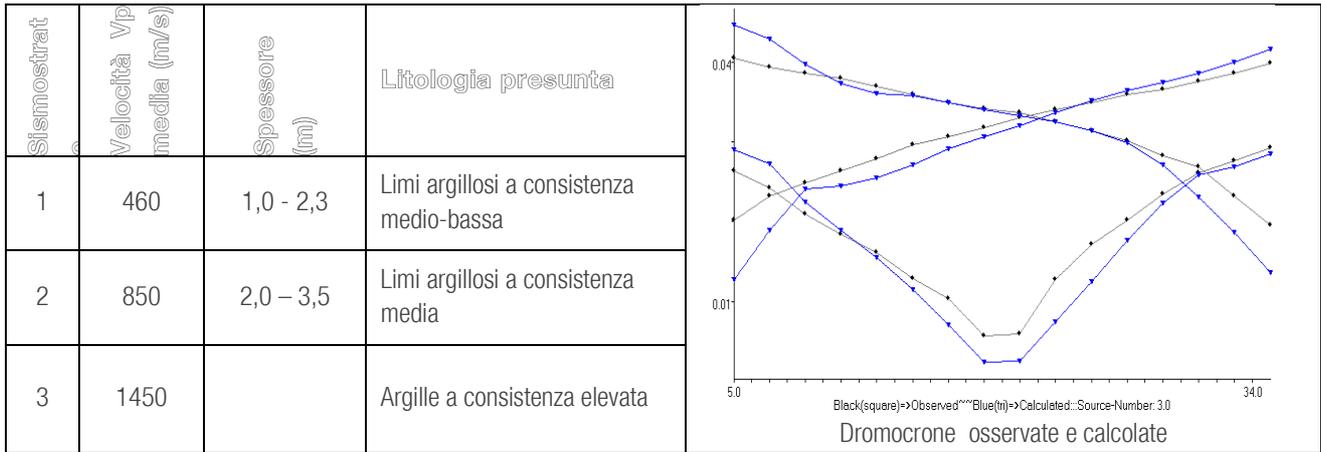


Figura 49 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo



Denominazione: Sezione sismica tomografica Ts10				
N. Geofoni: 16	Step Intergeofonico 2 m	N. Shots 3	Lunghezza Stendimento end-to-end shot 40 m	Profondità raggiunta 8 m



### Velocity Model

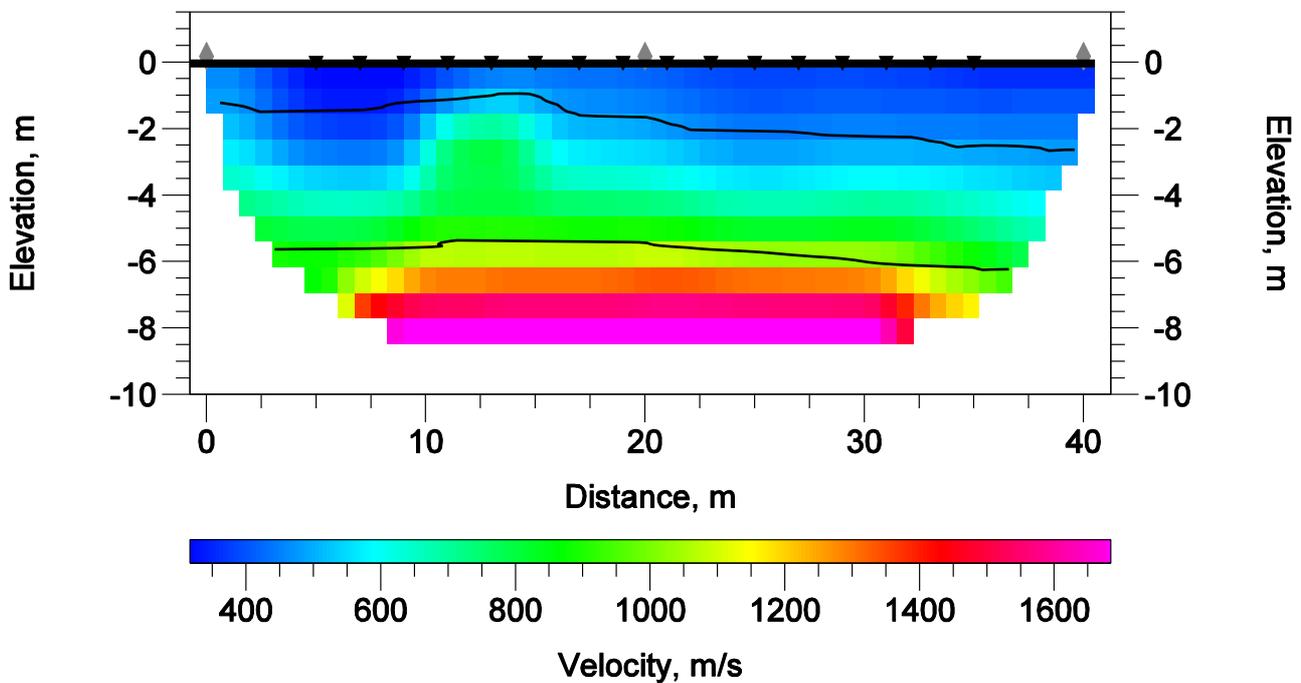


Figura 50 – Modello sismostratigrafico del sottosuolo



### 3.3 Analisi 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 1 – Elenco prospezioni sismiche tomografiche e formazione geologica di riferimento

Tomografi a sismica n.	Formazione geologica	Aerato superficiale a minore consistenza (m)	Vp media (m/s)
1	Argille Scagliose	0,3 – 1,0	400
2	Argille Scagliose	1,0 – 1,5	400
3	Argille Scagliose	0,5 – 1,5	420
4	Argille Scagliose	0,3 – 2,0	520
5	Argille Scagliose	0,6 – 1,2	480
6	Marne argillose	2,5 – 3,0	400
7	Argille Scagliose	0,3 – 1,0	420
8	Marne Tripolacee	1,0 – 1,2	360
9	Argille Scagliose	0,5-2,2	400
10	Argille Scagliose	1,0 - 2,3	460

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



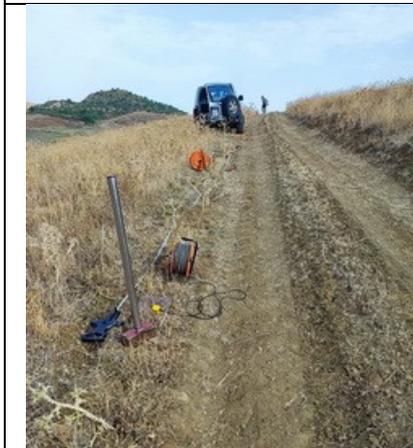
*Ts-mw1*



*Ts-mw2*



*Ts-mw3*



*Ts-mw4*



*Ts-mw5*



*Ts-mw6*



*Ts-mw7*



*Ts-mw8*



*Ts-mw9*



*Ts-mw10*



*Mw11*



*Mw12*



*Mw13*



*Mw14*



*Mw15*



*Mw16*



*Mw17*



*Mw18*



Mw19



Mw20

## 4. PROVE GEOTECNICHE IN SITU

Sono state effettuate le seguenti indagini:

N. 4 prove penetrometriche dinamiche continue (DP) per la definizione della stratigrafia e dei parametri geotecnici quali densità relativa, compressibilità, resistenza al taglio, consistenza, ecc.

Le prove sono state effettuate ad una quota compresa tra 296 e 348 m s.l.m. (Fig1). Dal punto di vista cartografico, l'area d'indagine rientra nelle Tavole F° 272 I NE e F° 273 IV NO, denominate rispettivamente "Mirabella Imbaccari" e "Monte Frasca", edita dall'Istituto Geografico Militare (I.G.M.) a scala 1:25000.

Sotto il profilo geolitologico nell'area di interesse affiorano:

Prove 1, 2 e 4 - Argille Scagliose brune (Miocene medio - Oligocene Sup.)

Prova 3 - Formazione Marnoso-argillosa (Calabriano – Pliocene sup.)

L'ubicazione delle prove è illustrata nella seguente immagine.



Figura 51 - Inquadramento geografico dell'Area di Studio su Tavoleta I.G.M. in scala 1:25000 (sopra) e ubicazione indagini su immagine Google Earth in scala 1:5000



## 4.1 Cenni teorici

Le prove penetrometriche appartengono alla categoria d'indagini geotecniche in situ e permettono, attraverso l'infissione di una punta nel terreno, di caratterizzare il sottosuolo.

Le prove penetrometriche si possono comunemente distinguere in:

Prove penetrometriche statiche (CPT);  
Prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU);  
Prove penetrometriche dinamiche (DPSH, DPH, DPL, DPM);  
Standard penetration test (SPT);  
Prove dilatometriche.

Per effettuare queste tipologie di prove viene utilizzato uno strumento noto come penetrometro. Esso, in base alle dimensioni e le sue caratteristiche, può essere portatile, semimovente, installato su piccoli cingolati, oppure su camion. Il penetrometro è costituito da una cella di carico, il quale permette d'infingere punta e aste nel terreno con una forza che varia a seconda della tipologia di strumento.

La profondità alla quale viene spinta la prova dipende dal "target d'interesse" o dal "volume d'interesse", cioè quella porzione di terreno che sarà soggetta ai carichi dovuti alla messa in opera di un manufatto. La tipologia di prova da effettuare viene determinata in funzione dell'opera progettuale e soprattutto delle caratteristiche del terreno.

Le prove penetrometriche statiche sono prove che in genere vengono effettuate in aree caratterizzate dalla presenza di terreni argillosi e sabbiosi, in quanto i terreni ghiaiosi presentano una resistenza tale da impedire l'infissione della punta. Le prove dinamiche, al contrario possono essere eseguite su qualunque tipologia di terreno.

### Prove penetrometriche dinamiche continue

La prova penetrometrica dinamica continua DP consiste nell'infingere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi ( $\delta$ ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione. La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica. La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M;
- altezza libera caduta H;
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura  $\alpha$ );
- avanzamento (penetrazione)  $\delta$ ;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente):

- tipo LEGGERO (DPL)
- tipo MEDIO (DPM)
- tipo PESANTE (DPH)



- tipo SUPERPESANTE (DPSH)

Nella tabella seguente è indicata la classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	Peso della massa M (kg)	Prof.max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante(Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) - (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)

massa battente  $M = 30$  kg, altezza di caduta  $H = 0.20$  m, avanzamento  $d = 10$  cm, punta conica ( $\alpha = 60-90^\circ$ ), diametro  $D = 35.7$  mm, area base cono  $A = 10$  cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico: talora previsto;

DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) - (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)

massa battente  $M = 20$  kg, altezza di caduta  $H = 0.20$  m, avanzamento  $d = 10$  cm, punta conica ( $\alpha = 60-90^\circ$ ), diametro  $D = 35.7$  mm, area base cono  $A = 10$  cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico: talora previsto;

DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)

massa battente  $M = 73$  kg, altezza di caduta  $H = 0.75$  m, avanzamento  $d = 30$  cm, punta conica ( $\alpha = 60^\circ$ ), diametro  $D = 50.8$  mm, area base cono  $A = 20.27$  cm<sup>2</sup> rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)

massa battente  $M = 63.5$  kg, altezza caduta  $H = 0.75$  m, avanzamento  $d = 20-30$  cm, punta conica conica ( $\alpha = 60^\circ-90^\circ$ ) diametro  $D = 50.5$  mm, area base cono  $A = 20$  cm<sup>2</sup>, rivestimento / fango bentonitico: talora previsto.

#### Correlazioni con $N_{stp}$

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi  $N_{spt}$  ottenuto con la suddetta prova<sup>1</sup>, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con  $N_{spt}$ . Il passaggio viene dato da:

$$N_{spt} = bt N$$

Dove:

$$\beta_i = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui  $Q$  è l'energia specifica per colpo e  $Q_{spt}$  è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

In cui:

$M$  = peso massa battente;

$M'$  = peso aste;

$H$  = altezza di caduta;

$A$  = area base punta conica;

$d$  = passo di avanzamento.

<sup>1</sup> Vannelli and Benassi, 1983

### Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

L'Rpd (resistenza di rottura dinamica alla punta), parametro dello stato di addensamento di un terreno incoerente e della consistenza di un terreno coesivo<sup>2</sup>, è valutabile con la nota "formula degli Olandesi":

$$Rpd = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

Dove:

Rpd = resistenza dinamica punta (area A);

e = infissione media per colpo (d/ N);

M = peso massa battente (altezza caduta H);

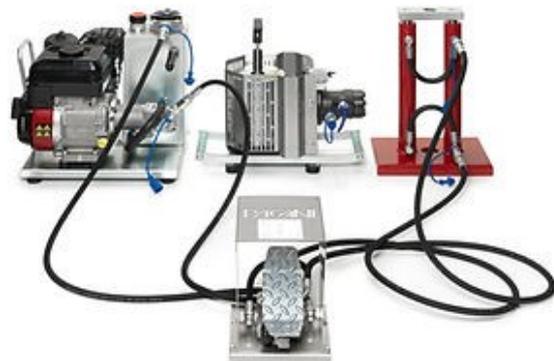
P = peso totale aste e sistema battuta.

### Strumentazione utilizzata

Per l'esecuzione delle prove penetrometriche è stato utilizzato un penetrometro portatile DPM 30 prodotto dalla Pagani Geotechnical Equipment, il quale, tramite un sistema idraulico, consente di far cadere in maniera costante e continua un maglio di 30kg da un'altezza di 20 cm. Il sistema idraulico è azionato da un motore a termico a benzina 4 Hp. Per l'estrazione di aste, tubi di rivestimento e campionatori viene utilizzato un apposito estrattore idraulico. Infine, il penetrometro viene comandato interamente attraverso un distributore idraulico a pedale.

#### dati tecnici della strumentazione impiegata

Rif. NorDIN 4094			
Peso Massa battente	30	Kg	
Altezza di caduta libera	0,20	m	
Peso sistema di battuta	21	Kg	
Diametro punta conica	35,68	mm	
Area di base punta	10	cm <sup>2</sup>	
Lunghezza delle aste	1	m	
Peso aste a metro	2,5	Kg/m	
Profondità giunzione prima asta	1,00	m	
Avanzamento punta	0,10	m	
Numero colpi per punta	N (10)		
Coeff. Correlazione	0,761		
Rivestimento/fanghi	Si		
Angolo di apertura punta	60°		



### Elaborazione dati

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo che permette di determinare il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT); ciò avviene tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981. Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche<sup>3</sup>.

L'esperienza acquisita, unitamente ad una corretta interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare, consente di ottenere informazioni su:

<sup>2</sup> Cestelli Guidi, 1980; Scesi and Papini, 1994

<sup>3</sup> Pasqualini, 1983



l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,  
la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,  
i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e della resistenza alla punta.

### Valutazioni statistiche e correlazioni

#### Elaborazione statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono:

Media Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio: Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media + s Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media - s Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 mt. ed immersione  $d = 1$  mt.

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati  $N_{spt}$  il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi). Attraverso la relazione di SHI-MING (1982), applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se  $N_{spt}$  dello strato considerato risulta inferiore a  $N_{spt}$  critico calcolato con l'elaborazione di SHI-MING.

Correzione  $N_{spt}$  in presenza di falda

$$N_{spt} \text{ corretto} = 15 + 0.5 \times (N_{spt} - 15)$$

$N_{spt}$  è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

Angolo di Attrito

Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)

Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).

Sowers (1961) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda)  $s > 5$  t/mq.

De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38°.

Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m. e per valori di angolo di attrito < 38°).

Schmertmann 1977- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da  $D_r$  %.

Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda)  $s > 15$  t/mq.

Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONAL RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.

Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. >



8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda)  $s > 15$  t/mq.

Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per **sabbie** con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.

Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per **ghiaie** Dr viene sovrastimato, per **limi** sottostimato.

Skempton (1986) elaborazione valida per **limi** e **sabbie** e **sabbie da fini a grossolane** NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Meyerhof (1957) Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC, metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo di Young (Ey)

Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.

Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici.

Schultze-Menzenbach, correlazione valida per vari tipi litologici.

D'Appollonia ed altri (1970), correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia

Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia

Buisman-Sanglerat, correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.

Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).

Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume ( )

Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948-1967. Correlazione valida per peso specifico del materiale pari a circa  $g = 2,65$  t/mc e per peso di volume secco variabile da 1,33 (Nspt = 0) a 1,99 (Nspt = 95)

Modulo di poisson

Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

Seed-Idriss 1978-1981. Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio  $t$  e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio Vs (m/sec)

Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio (G)

Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.

Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Modulo di reazione (Ko)

Navfac 1971-1982 - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Qc)

Robertson 1983 Qc

#### Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983.



Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con  $N_{spt} < 8$ , argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.

Terzaghi-Peck (1948).  $C_u$  min-max.

Sanglerat, da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi, tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività  $> 5$ , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.

Sanglerat, (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche  $< 10$  colpi, per resistenze penetrometriche  $> 10$  l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche" di Sanglerat.

(U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità, ( $C_u$ - $N_{spt}$ -grado di plasticità).

Schmertmann 1975  $C_u$  (Kg/cmq) (valori medi), valida per argille e limi argillosi con  $N_c=20$  e  $Q_c/N_{spt}=2$ .

Schmertmann 1975  $C_u$  (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC.

Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago). Coesione non drenata  $C_u$  (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.

Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.

Shioi-Fukuni 1982, valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.

Begemann.

De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico ( $Q_c$ )

Robertson 1983  $Q_c$

Modulo Edometrico-Confinato ( $M_o$ )

Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.

Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ) - da esperienze su argille glaciali.

Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).

Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - $M_o$  (Eed) (Kg/cmq) -, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto  $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$ ).

Buisman- Sanglerat, valida per argille compatte ( $N_{spt} < 30$ ) medie e molli ( $N_{spt} < 4$ ) e argille sabbiose ( $N_{spt}=6-12$ ).

Modulo di Young (EY)

Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P.  $> 15$

D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume ( )

Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Peso di volume saturo

Correlazione Bowles (1982), Terzaghi-Peck (1948-1967), valida per condizioni specifiche: peso specifico del materiale pari a circa  $G=2,70$  (t/mc) e per indici dei vuoti variabili da 1,833 ( $N_{spt}=0$ ) a 0,545 ( $N_{spt}=28$ )



#### BIBLIOGRAFIA

Carbone, S., Catalano, S., Grasso, M., Lentini, F., & Monaco, C. (1990). Carta geologica della Sicilia centro-orientale, scala 1: 50,000. S. EL. CA., Università di Catania.

Cestelli Guidi, C. (1980) – Geotecnica e tecnica delle fondazioni. Volumi 1 e 2. Ed Hoepli.

Lentini, F., Carbone, S., Catalano, S., Grasso, M., & Monaco, C. (1991). Presentazione della carta geologica della Sicilia centro-orientale. Memorie della Società Geologica Italiana, 47, 145-156.

Pasqualini, E. (1983): Standard Penetration Test – Atti dell'istituto di Scienza delle Costruzioni – Politecnico di Torino

Scesi, L., Papini, M. (2006). Il rilevamento geologico-tecnico, Torino, Città studi.

Vanelli, F. And Benassi, E.: (1983), Penetrómetro Dinámico Sunda DL030, Studio d Geologia e Meccanica dei Terreni, Bologna, Italia.

## 4.2 Risultati delle indagini

DENOMINAZIONE: <b>PROVA DP1</b>				
PROFONDITÀ RAGGIUNTA 5.50m	FALDA Non rilevata	PESO MAGLIO 30 kg	CORSA MAGLIO 20 cm	QUOTA 413 m. s.l.m.

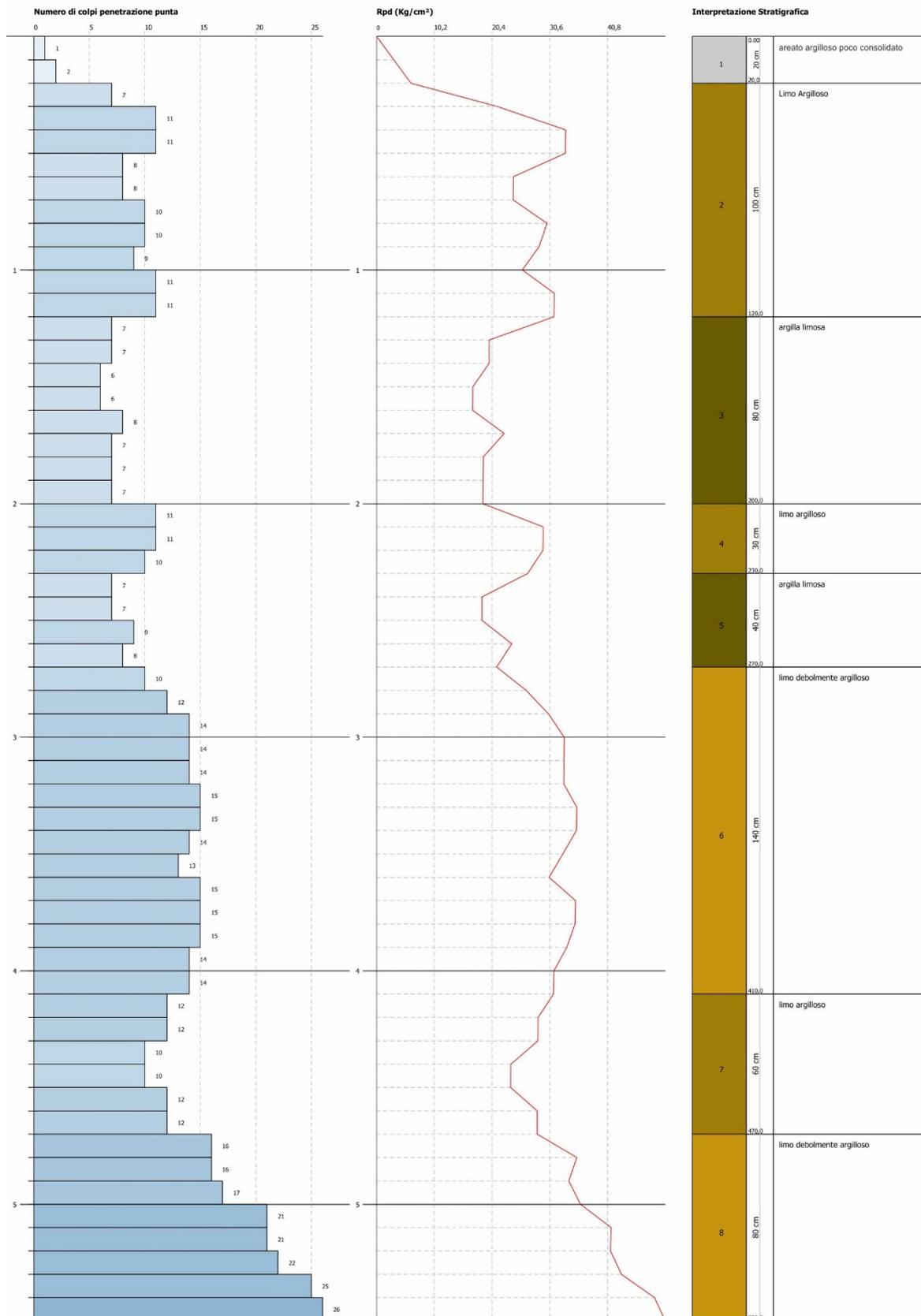


Figura 52 – Fase di esecuzione della prova penetrometrica DP1.



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DP1  
Strumento utilizzato... DL-30 (60°)  
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd

Scale 1:23





Strumento utilizzato...  
Prova eseguita in data  
Profondità prova

DL-30 (60°)  
12/10/2023  
5,50 mt

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,10	1	0,857	3,06	3,57	0,15	0,18
0,20	2	0,855	6,10	7,14	0,31	0,36
0,30	7	0,853	21,32	25,00	1,07	1,25
0,40	11	0,851	33,42	39,29	1,67	1,96
0,50	11	0,849	33,35	39,29	1,67	1,96
0,60	8	0,847	24,20	28,57	1,21	1,43
0,70	8	0,845	24,15	28,57	1,21	1,43
0,80	10	0,843	30,12	35,71	1,51	1,79
0,90	10	0,842	28,69	34,09	1,43	1,70
1,00	9	0,840	25,77	30,68	1,29	1,53
1,10	11	0,838	31,42	37,50	1,57	1,88
1,20	11	0,836	31,36	37,50	1,57	1,88
1,30	7	0,835	19,92	23,86	1,00	1,19
1,40	7	0,833	19,88	23,86	0,99	1,19
1,50	6	0,831	17,00	20,45	0,85	1,02
1,60	6	0,830	16,97	20,45	0,85	1,02
1,70	8	0,828	22,58	27,27	1,13	1,36
1,80	7	0,826	19,72	23,86	0,99	1,19
1,90	7	0,825	18,83	22,83	0,94	1,14
2,00	7	0,823	18,79	22,83	0,94	1,14
2,10	11	0,822	29,47	35,87	1,47	1,79
2,20	11	0,820	29,42	35,87	1,47	1,79
2,30	10	0,819	26,69	32,61	1,33	1,63
2,40	7	0,817	18,65	22,83	0,93	1,14
2,50	7	0,816	18,62	22,83	0,93	1,14
2,60	9	0,814	23,90	29,35	1,19	1,47
2,70	8	0,813	21,20	26,09	1,06	1,30
2,80	10	0,811	26,46	32,61	1,32	1,63
2,90	12	0,810	30,38	37,50	1,52	1,88
3,00	14	0,759	33,19	43,75	1,66	2,19
3,10	14	0,757	33,13	43,75	1,66	2,19
3,20	14	0,756	33,08	43,75	1,65	2,19
3,30	15	0,755	35,38	46,88	1,77	2,34
3,40	15	0,753	35,32	46,88	1,77	2,34
3,50	14	0,752	32,91	43,75	1,65	2,19
3,60	13	0,751	30,50	40,63	1,53	2,03
3,70	15	0,750	35,14	46,88	1,76	2,34
3,80	15	0,748	35,08	46,88	1,75	2,34
3,90	15	0,747	33,62	45,00	1,68	2,25
4,00	14	0,746	31,33	42,00	1,57	2,10
4,10	14	0,745	31,28	42,00	1,56	2,10
4,20	12	0,794	28,57	36,00	1,43	1,80
4,30	12	0,793	28,53	36,00	1,43	1,80
4,40	10	0,791	23,74	30,00	1,19	1,50
4,50	10	0,790	23,71	30,00	1,19	1,50
4,60	12	0,789	28,41	36,00	1,42	1,80
4,70	12	0,788	28,37	36,00	1,42	1,80
4,80	16	0,737	35,38	48,00	1,77	2,40
4,90	16	0,736	33,97	46,15	1,70	2,31
5,00	17	0,735	36,04	49,04	1,80	2,45
5,10	21	0,684	41,44	60,58	2,07	3,03
5,20	21	0,683	41,37	60,58	2,07	3,03
5,30	22	0,682	43,28	63,46	2,16	3,17
5,40	25	0,681	49,11	72,12	2,46	3,61
5,50	26	0,680	51,01	75,00	2,55	3,75

#### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPI



## TERRENI COESIVI

### Coesione non drenata

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	1,14	0,20	Terzaghi-Peck	0,07
Strato 2	7,31	1,20	Terzaghi-Peck	0,46
Strato 3	5,24	2,00	Terzaghi-Peck	0,33
Strato 4	8,12	2,30	Terzaghi-Peck	0,55
Strato 5	5,9	2,70	Terzaghi-Peck	0,37
Strato 6	10,55	4,10	Terzaghi-Peck	0,71
Strato 7	8,62	4,70	Terzaghi-Peck	0,58
Strato 8	15,6	5,50	Terzaghi-Peck	1,05

### Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	1,14	0,20	Robertson (1983)	2,28
Strato 2	7,31	1,20	Robertson (1983)	14,62
Strato 3	5,24	2,00	Robertson (1983)	10,48
Strato 4	8,12	2,30	Robertson (1983)	16,24
Strato 5	5,9	2,70	Robertson (1983)	11,80
Strato 6	10,55	4,10	Robertson (1983)	21,10
Strato 7	8,62	4,70	Robertson (1983)	17,24
Strato 8	15,6	5,50	Robertson (1983)	31,20

### Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	1,14	0,20	Stroud e Butler (1975)	5,23
Strato 2	7,31	1,20	Stroud e Butler (1975)	33,54
Strato 3	5,24	2,00	Stroud e Butler (1975)	24,04
Strato 4	8,12	2,30	Stroud e Butler (1975)	37,26
Strato 5	5,9	2,70	Stroud e Butler (1975)	27,07
Strato 6	10,55	4,10	Stroud e Butler (1975)	48,40
Strato 7	8,62	4,70	Stroud e Butler (1975)	39,55
Strato 8	15,6	5,50	Stroud e Butler (1975)	71,57

### Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	1,14	0,20	Apollonia	11,40
Strato 2	7,31	1,20	Apollonia	73,10
Strato 3	5,24	2,00	Apollonia	52,40
Strato 4	8,12	2,30	Apollonia	81,20
Strato 5	5,9	2,70	Apollonia	59,00
Strato 6	10,55	4,10	Apollonia	105,50
Strato 7	8,62	4,70	Apollonia	86,20
Strato 8	15,6	5,50	Apollonia	156,00

### Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	1,14	0,20	Classificaz. A.G.I. (1977)	PRIVO DI CONSISTENZA
Strato 2	7,31	1,20	Classificaz. A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato 3	5,24	2,00	Classificaz. A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato 4	8,12	2,30	Classificaz. A.G.I. (1977)	CONSISTENTE



Strato 5	5,9	2,70	Classificaz. A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato 6	10,55	4,10	Classificaz. A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
Strato 7	8,62	4,70	Classificaz. A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
Strato 8	15,6	5,50	Classificaz. A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

#### Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	1,14	0,20	Meyerhof ed altri	1,49
Strato 2	7,31	1,20	Meyerhof ed altri	1,87
Strato 3	5,24	2,00	Meyerhof ed altri	1,77
Strato 4	8,12	2,30	Meyerhof ed altri	1,90
Strato 5	5,9	2,70	Meyerhof ed altri	1,81
Strato 6	10,55	4,10	Meyerhof ed altri	1,98
Strato 7	8,62	4,70	Meyerhof ed altri	1,92
Strato 8	15,6	5,50	Meyerhof ed altri	2,07

#### Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	1,14	0,20	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,84
Strato 2	7,31	1,20	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,90
Strato 3	5,24	2,00	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,88
Strato 4	8,12	2,30	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,91
Strato 5	5,9	2,70	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,89
Strato 6	10,55	4,10	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	---
Strato 7	8,62	4,70	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	---
Strato 8	15,6	5,50	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	---



DENOMINAZIONE: PROVA DP2				
PROFONDITÀ RAGGIUNTA 4.50 m	FALDA Non rilevata	PESO MAGLIO 30 kg	CORSA MAGLIO 20 cm	QUOTA 408 m. s.l.m.



Figura 53 Fase di acquisizione della prova penetrometrica DP2.

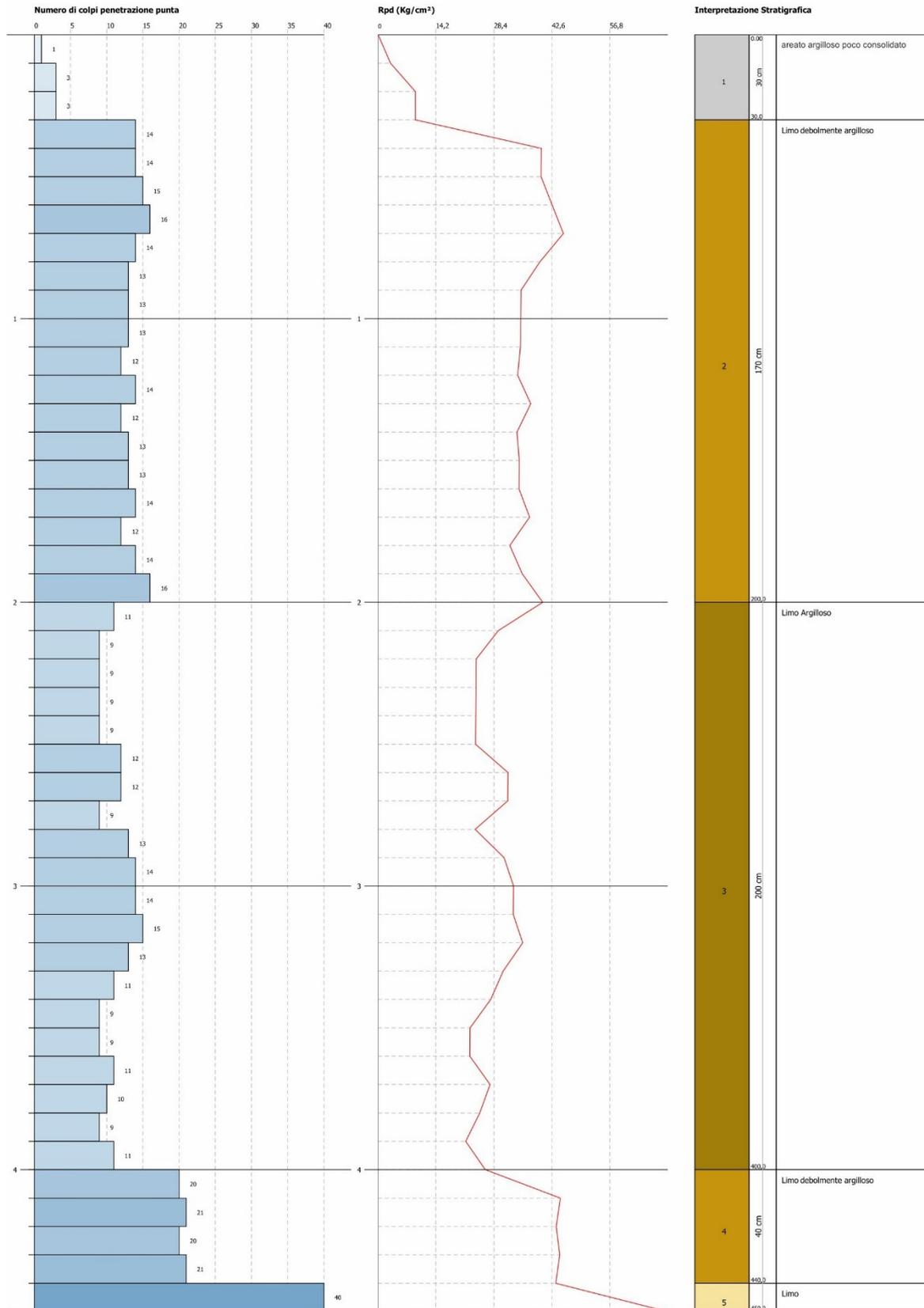


**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DP2**  
Strumento utilizzato... DL-30 (60°)  
**DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd**

Committente :  
Cantiere :  
Località :

Data :12/10/2023

Scala 1:19





Strumento utilizzato... DL-30 (60°)  
Prova eseguita in data 12/10/2023  
Profondità prova 4,50 mt

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,10	1	0,857	3,06	3,57	0,15	0,18
0,20	3	0,855	9,16	10,71	0,46	0,54
0,30	3	0,853	9,14	10,71	0,46	0,54
0,40	14	0,801	40,04	50,00	2,00	2,50
0,50	14	0,799	39,94	50,00	2,00	2,50
0,60	15	0,797	42,70	53,57	2,13	2,68
0,70	16	0,795	45,44	57,14	2,27	2,86
0,80	14	0,793	39,67	50,00	1,98	2,50
0,90	13	0,792	35,08	44,32	1,75	2,22
1,00	13	0,790	35,00	44,32	1,75	2,22
1,10	13	0,788	34,92	44,32	1,75	2,22
1,20	12	0,836	34,21	40,91	1,71	2,05
1,30	14	0,785	37,44	47,73	1,87	2,39
1,40	12	0,833	34,07	40,91	1,70	2,05
1,50	13	0,781	34,62	44,32	1,73	2,22
1,60	13	0,780	34,55	44,32	1,73	2,22
1,70	14	0,778	37,13	47,73	1,86	2,39
1,80	12	0,826	33,80	40,91	1,69	2,05
1,90	14	0,775	35,37	45,65	1,77	2,28
2,00	16	0,773	40,34	52,17	2,02	2,61
2,10	11	0,822	29,47	35,87	1,47	1,79
2,20	9	0,820	24,07	29,35	1,20	1,47
2,30	9	0,819	24,02	29,35	1,20	1,47
2,40	9	0,817	23,98	29,35	1,20	1,47
2,50	9	0,816	23,94	29,35	1,20	1,47
2,60	12	0,814	31,86	39,13	1,59	1,96
2,70	12	0,813	31,81	39,13	1,59	1,96
2,80	9	0,811	23,81	29,35	1,19	1,47
2,90	13	0,760	30,88	40,63	1,54	2,03
3,00	14	0,759	33,19	43,75	1,66	2,19
3,10	14	0,757	33,13	43,75	1,66	2,19
3,20	15	0,756	35,44	46,88	1,77	2,34
3,30	13	0,755	30,66	40,63	1,53	2,03
3,40	11	0,803	27,62	34,38	1,38	1,72
3,50	9	0,802	22,56	28,13	1,13	1,41
3,60	9	0,801	22,52	28,13	1,13	1,41
3,70	11	0,800	27,49	34,38	1,37	1,72
3,80	10	0,798	24,95	31,25	1,25	1,56
3,90	9	0,797	21,52	27,00	1,08	1,35
4,00	11	0,796	26,27	33,00	1,31	1,65
4,10	20	0,745	44,69	60,00	2,23	3,00
4,20	21	0,694	43,70	63,00	2,19	3,15
4,30	20	0,743	44,55	60,00	2,23	3,00
4,40	21	0,691	43,56	63,00	2,18	3,15
4,50	40	0,590	70,84	120,00	3,54	6,00



## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DP2

### TERRENI COESIVI

#### Coesione non drenata

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	1,76	0,30	Terzaghi-Peck	0,11
Strato 2	10,33	2,00	Terzaghi-Peck	0,70
Strato 3	8,29	4,00	Terzaghi-Peck	0,56
Strato 4	15,52	4,40	Terzaghi-Peck	1,25

#### Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	1,76	0,30	Robertson (1983)	3,52
Strato 2	10,33	2,00	Robertson (1983)	20,66
Strato 3	8,29	4,00	Robertson (1983)	16,58
Strato 4	15,52	4,40	Robertson (1983)	36,94

#### Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	1,76	0,30	Stroud e Butler (1975)	8,08
Strato 2	10,33	2,00	Stroud e Butler (1975)	47,39
Strato 3	8,29	4,00	Stroud e Butler (1975)	38,04
Strato 4	15,52	4,40	Stroud e Butler (1975)	84,74

#### Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	1,76	0,30	Apollonia	17,60
Strato 2	10,33	2,00	Apollonia	103,30
Strato 3	8,29	4,00	Apollonia	82,90
Strato 4	15,52	4,40	Apollonia	184,70

#### Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	1,76	0,30	Classificaz. A.G.I. (1977)	PRIVO DI CONSISTENZA
Strato 2	10,33	2,00	Classificaz. A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
Strato 3	8,29	4,00	Classificaz. A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
Strato 4	15,52	4,40	Classificaz. A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

#### Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	1,76	0,30	Meyerhof ed altri	1,54
Strato 2	10,33	2,00	Meyerhof ed altri	1,98
Strato 3	8,29	4,00	Meyerhof ed altri	1,91
Strato 4	15,52	4,40	Meyerhof ed altri	2,09



### Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	1,76	0,30	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1,85
Strato 2	10,33	2,00	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	---
Strato 3	8,29	4,00	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	---
Strato 4	15,52	4,40	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	---

### TERRENI INCOERENTI

#### Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 5	30,28	4,50	30,28		0

#### Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 5	30,28	4,50	30,28		

#### Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 5	30,28	4,50	30,28		---

#### Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 5	30,28	4,50	30,28		---

#### Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 5	30,28	4,50	30,28		

#### Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m <sup>3</sup> )
Strato 5	30,28	4,50	30,28		---

#### Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 5	30,28	4,50	30,28		---

#### Modulo di Poisson

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 5	30,28	4,50	30,28		0



#### Modulo di deformazione a taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 5	30,28	4,50	30,28		---

#### Velocità onde

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde m/s
Strato 5	30,28	4,50	30,28		0

#### Liquefazione

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Potenziale Liquefazione
Strato 5	30,28	4,50	30,28		

#### Modulo di reazione Ko

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
Strato 5	30,28	4,50	30,28		---

#### Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 5	30,28	4,50	30,28		---



DENOMINAZIONE: <b>PROVA DP3</b>				
PROFONDITÀ RAGGIUNTA <b>6.50 m</b>	FALDA <b>Non rilevata</b>	PESO MAGLIO <b>30 kg</b>	CORSA MAGLIO <b>20 cm</b>	QUOTA <b>389 m. s.l.m.</b>

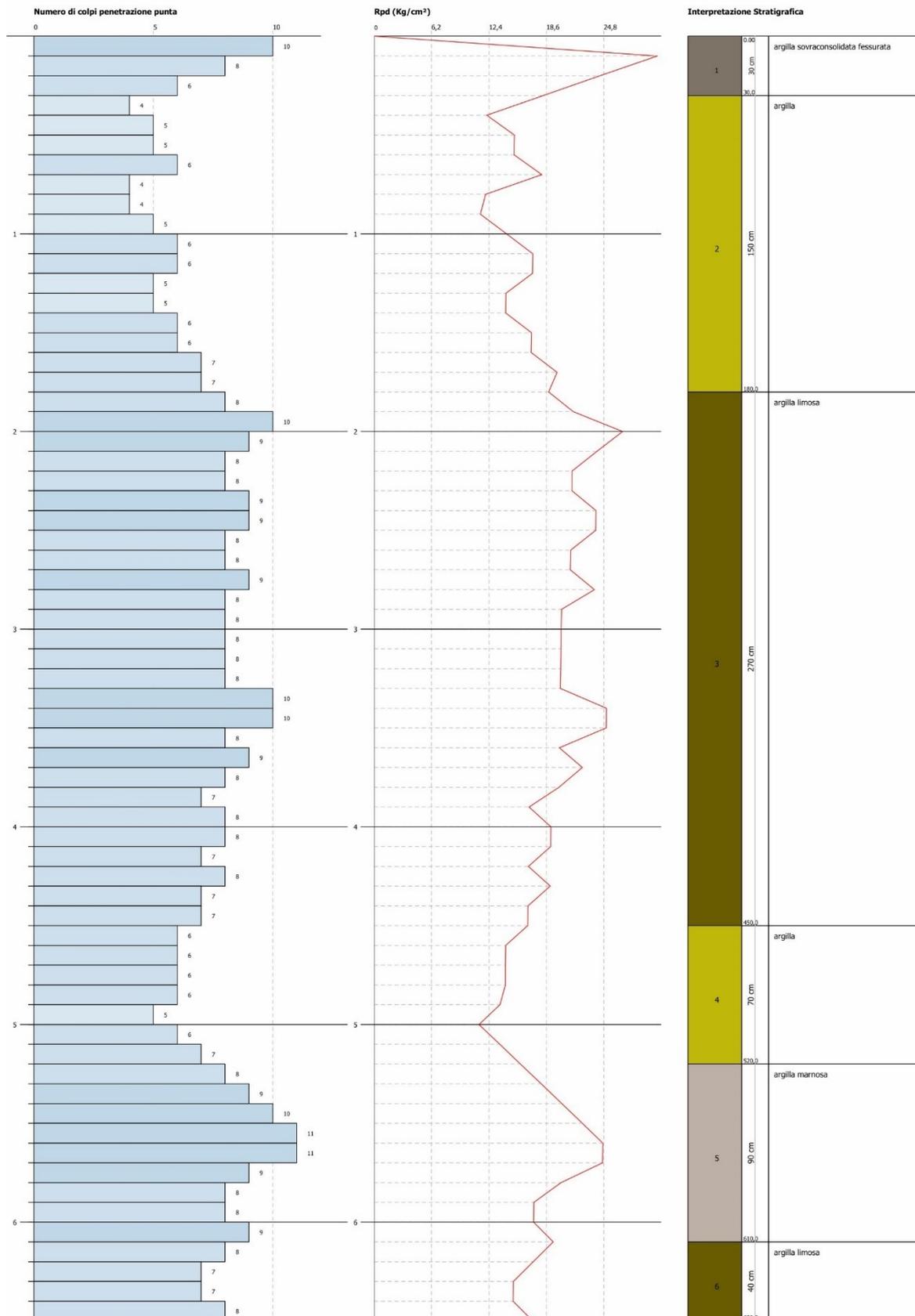


Figura 54 – Fase di esecuzione della prova penetrometrica DP3.



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DP3  
Strumento utilizzato... DL-30 (60°)  
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd

Scale 1:27





Strumento utilizzato... DL-30 (60°)  
Prova eseguita in data 12/10/2023  
Profondità prova 6,50 mt

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,10	10	0,857	30,59	35,71	1,53	1,79
0,20	8	0,855	24,42	28,57	1,22	1,43
0,30	6	0,853	18,27	21,43	0,91	1,07
0,40	4	0,851	12,15	14,29	0,61	0,71
0,50	5	0,849	15,16	17,86	0,76	0,89
0,60	5	0,847	15,13	17,86	0,76	0,89
0,70	6	0,845	18,11	21,43	0,91	1,07
0,80	4	0,843	12,05	14,29	0,60	0,71
0,90	4	0,842	11,48	13,64	0,57	0,68
1,00	5	0,840	14,31	17,05	0,72	0,85
1,10	6	0,838	17,14	20,45	0,86	1,02
1,20	6	0,836	17,11	20,45	0,86	1,02
1,30	5	0,835	14,23	17,05	0,71	0,85
1,40	5	0,833	14,20	17,05	0,71	0,85
1,50	6	0,831	17,00	20,45	0,85	1,02
1,60	6	0,830	16,97	20,45	0,85	1,02
1,70	7	0,828	19,76	23,86	0,99	1,19
1,80	7	0,826	19,72	23,86	0,99	1,19
1,90	8	0,825	21,52	26,09	1,08	1,30
2,00	10	0,823	26,84	32,61	1,34	1,63
2,10	9	0,822	24,11	29,35	1,21	1,47
2,20	8	0,820	21,39	26,09	1,07	1,30
2,30	8	0,819	21,36	26,09	1,07	1,30
2,40	9	0,817	23,98	29,35	1,20	1,47
2,50	9	0,816	23,94	29,35	1,20	1,47
2,60	8	0,814	21,24	26,09	1,06	1,30
2,70	8	0,813	21,20	26,09	1,06	1,30
2,80	9	0,811	23,81	29,35	1,19	1,47
2,90	8	0,810	20,25	25,00	1,01	1,25
3,00	8	0,809	20,22	25,00	1,01	1,25
3,10	8	0,807	20,18	25,00	1,01	1,25
3,20	8	0,806	20,15	25,00	1,01	1,25
3,30	8	0,805	20,12	25,00	1,01	1,25
3,40	10	0,803	25,11	31,25	1,26	1,56
3,50	10	0,802	25,07	31,25	1,25	1,56
3,60	8	0,801	20,02	25,00	1,00	1,25
3,70	9	0,800	22,49	28,13	1,12	1,41
3,80	8	0,798	19,96	25,00	1,00	1,25
3,90	7	0,797	16,74	21,00	0,84	1,05
4,00	8	0,796	19,10	24,00	0,96	1,20
4,10	8	0,795	19,08	24,00	0,95	1,20
4,20	7	0,794	16,67	21,00	0,83	1,05
4,30	8	0,793	19,02	24,00	0,95	1,20
4,40	7	0,791	16,62	21,00	0,83	1,05
4,50	7	0,790	16,60	21,00	0,83	1,05
4,60	6	0,789	14,21	18,00	0,71	0,90
4,70	6	0,788	14,19	18,00	0,71	0,90
4,80	6	0,787	14,17	18,00	0,71	0,90
4,90	6	0,786	13,60	17,31	0,68	0,87
5,00	5	0,785	11,32	14,42	0,57	0,72
5,10	6	0,784	13,57	17,31	0,68	0,87



5,20	7	0,783	15,81	20,19	0,79	1,01
5,30	8	0,782	18,05	23,08	0,90	1,15
5,40	9	0,781	20,28	25,96	1,01	1,30
5,50	10	0,780	22,50	28,85	1,13	1,44
5,60	11	0,779	24,72	31,73	1,24	1,59
5,70	11	0,778	24,69	31,73	1,23	1,59
5,80	9	0,777	20,18	25,96	1,01	1,30
5,90	8	0,776	17,25	22,22	0,86	1,11
6,00	8	0,775	17,23	22,22	0,86	1,11
6,10	9	0,775	19,36	25,00	0,97	1,25
6,20	8	0,774	17,19	22,22	0,86	1,11
6,30	7	0,773	15,03	19,44	0,75	0,97
6,40	7	0,772	15,01	19,44	0,75	0,97
6,50	8	0,771	17,14	22,22	0,86	1,11

### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DP3

#### TERRENI COESIVI

##### Coesione non drenata

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	6,09	0,30		---
Strato 2	4,11	1,80		---
Strato 3	6,29	4,50		---
Strato 4	4,57	5,20		---
Strato 5	7,02	6,10		---
Strato 6	5,71	6,50		---

##### Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	6,09	0,30		---
Strato 2	4,11	1,80		---
Strato 3	6,29	4,50		---
Strato 4	4,57	5,20		---
Strato 5	7,02	6,10		---
Strato 6	5,71	6,50		---

##### Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	6,09	0,30		---
Strato 2	4,11	1,80		---
Strato 3	6,29	4,50		---
Strato 4	4,57	5,20		---
Strato 5	7,02	6,10		---
Strato 6	5,71	6,50		---



### Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	6,09	0,30		---
Strato 2	4,11	1,80		---
Strato 3	6,29	4,50		---
Strato 4	4,57	5,20		---
Strato 5	7,02	6,10		---
Strato 6	5,71	6,50		---

### Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	6,09	0,30		
Strato 2	4,11	1,80		
Strato 3	6,29	4,50		
Strato 4	4,57	5,20		
Strato 5	7,02	6,10		
Strato 6	5,71	6,50		

### Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	6,09	0,30		---
Strato 2	4,11	1,80		---
Strato 3	6,29	4,50		---
Strato 4	4,57	5,20		---
Strato 5	7,02	6,10		---
Strato 6	5,71	6,50		---

### Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	6,09	0,30		---
Strato 2	4,11	1,80		---
Strato 3	6,29	4,50		---
Strato 4	4,57	5,20		---
Strato 5	7,02	6,10		---
Strato 6	5,71	6,50		---



DENOMINAZIONE: <b>PROVA DP4</b>				
PROFONDITÀ RAGGIUNTA <b>6.50 m</b>	FALDA <b>Non rilevata</b>	PESO MAGLIO <b>30 kg</b>	CORSA MAGLIO <b>20 cm</b>	QUOTA <b>355 m. s.l.m.</b>

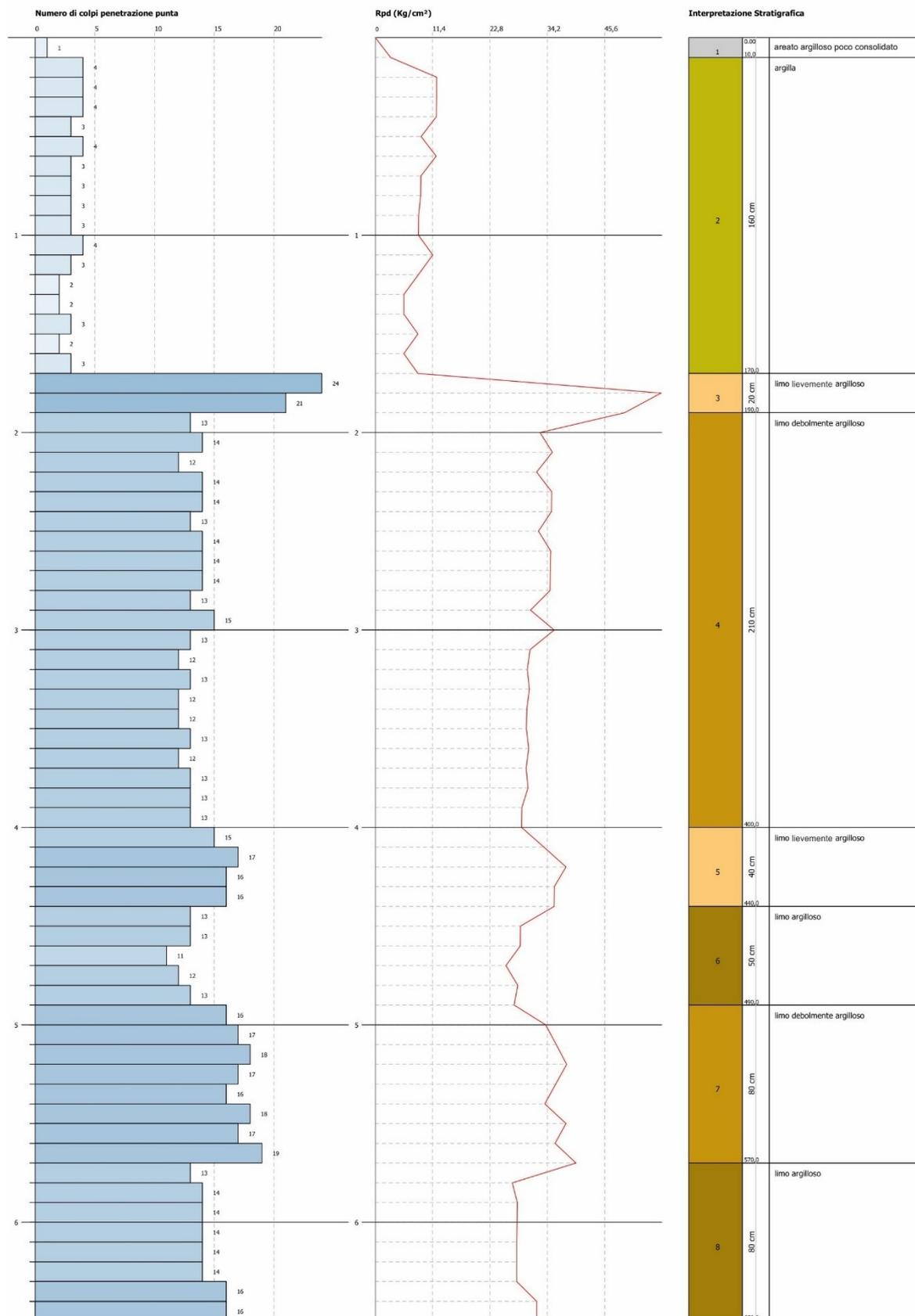


*Figura 55 – Fase di esecuzione della prova penetrometrica DP4.*



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DP4  
Strumento utilizzato... DL-30 (60°)  
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd

Scala 1:27





Strumento utilizzato... DL-30 (60°)  
Prova eseguita in data 12/10/2023  
Profondità prova 6,50 mt

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,10	1	0,857	3,06	3,57	0,15	0,18
0,20	4	0,855	12,21	14,29	0,61	0,71
0,30	4	0,853	12,18	14,29	0,61	0,71
0,40	4	0,851	12,15	14,29	0,61	0,71
0,50	3	0,849	9,10	10,71	0,45	0,54
0,60	4	0,847	12,10	14,29	0,61	0,71
0,70	3	0,845	9,06	10,71	0,45	0,54
0,80	3	0,843	9,04	10,71	0,45	0,54
0,90	3	0,842	8,61	10,23	0,43	0,51
1,00	3	0,840	8,59	10,23	0,43	0,51
1,10	4	0,838	11,43	13,64	0,57	0,68
1,20	3	0,836	8,55	10,23	0,43	0,51
1,30	2	0,835	5,69	6,82	0,28	0,34
1,40	2	0,833	5,68	6,82	0,28	0,34
1,50	3	0,831	8,50	10,23	0,43	0,51
1,60	2	0,830	5,66	6,82	0,28	0,34
1,70	3	0,828	8,47	10,23	0,42	0,51
1,80	24	0,726	59,43	81,82	2,97	4,09
1,90	21	0,725	49,63	68,48	2,48	3,42
2,00	13	0,773	32,78	42,39	1,64	2,12
2,10	14	0,772	35,23	45,65	1,76	2,28
2,20	12	0,820	32,09	39,13	1,60	1,96
2,30	14	0,769	35,09	45,65	1,75	2,28
2,40	14	0,767	35,02	45,65	1,75	2,28
2,50	13	0,766	32,46	42,39	1,62	2,12
2,60	14	0,764	34,89	45,65	1,74	2,28
2,70	14	0,763	34,82	45,65	1,74	2,28
2,80	14	0,761	34,76	45,65	1,74	2,28
2,90	13	0,760	30,88	40,63	1,54	2,03
3,00	15	0,759	35,56	46,88	1,78	2,34
3,10	13	0,757	30,77	40,63	1,54	2,03
3,20	12	0,806	30,23	37,50	1,51	1,88
3,30	13	0,755	30,66	40,63	1,53	2,03
3,40	12	0,803	30,13	37,50	1,51	1,88
3,50	12	0,802	30,08	37,50	1,50	1,88
3,60	13	0,751	30,50	40,63	1,53	2,03
3,70	12	0,800	29,99	37,50	1,50	1,88
3,80	13	0,748	30,40	40,63	1,52	2,03
3,90	13	0,747	29,14	39,00	1,46	1,95
4,00	13	0,746	29,09	39,00	1,45	1,95
4,10	15	0,745	33,52	45,00	1,68	2,25
4,20	17	0,744	37,93	51,00	1,90	2,55
4,30	16	0,743	35,64	48,00	1,78	2,40
4,40	16	0,741	35,59	48,00	1,78	2,40
4,50	13	0,740	28,87	39,00	1,44	1,95
4,60	13	0,739	28,83	39,00	1,44	1,95
4,70	11	0,788	26,01	33,00	1,30	1,65
4,80	12	0,787	28,34	36,00	1,42	1,80
4,90	13	0,736	27,60	37,50	1,38	1,88
5,00	16	0,735	33,92	46,15	1,70	2,31
5,10	17	0,734	35,99	49,04	1,80	2,45



5,20	18	0,733	38,06	51,92	1,90	2,60
5,30	17	0,732	35,90	49,04	1,79	2,45
5,40	16	0,731	33,74	46,15	1,69	2,31
5,50	18	0,730	37,91	51,92	1,90	2,60
5,60	17	0,729	35,76	49,04	1,79	2,45
5,70	19	0,728	39,91	54,81	2,00	2,74
5,80	13	0,727	27,27	37,50	1,36	1,88
5,90	14	0,726	28,25	38,89	1,41	1,94
6,00	14	0,725	28,21	38,89	1,41	1,94
6,10	14	0,725	28,18	38,89	1,41	1,94
6,20	14	0,724	28,14	38,89	1,41	1,94
6,30	14	0,723	28,11	38,89	1,41	1,94
6,40	16	0,722	32,09	44,44	1,60	2,22
6,50	0	0,771	32,09	44,44	1,60	2,22

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DP4

### TERRENI COESIVI

#### Coesione non drenata

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	0,76	0,10		---
Strato 2	2,37	1,70		---
Strato 3	17,12	1,90		---
Strato 4	10	4,00		---
Strato 5	12,18	4,40		---
Strato 6	9,39	4,90		---
Strato 7	13,06	5,70		---
Strato 8	9,37	6,50		---

#### Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	0,76	0,10		---
Strato 2	2,37	1,70		---
Strato 3	17,12	1,90		---
Strato 4	10	4,00		---
Strato 5	12,18	4,40		---
Strato 6	9,39	4,90		---
Strato 7	13,06	5,70		---
Strato 8	9,37	6,50		---

#### Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	0,76	0,10		---
Strato 2	2,37	1,70		---
Strato 3	17,12	1,90		---
Strato 4	10	4,00		---
Strato 5	12,18	4,40		---
Strato 6	9,39	4,90		---
Strato 7	13,06	5,70		---
Strato 8	9,37	6,50		---



### Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	0,76	0,10		---
Strato 2	2,37	1,70		---
Strato 3	17,12	1,90		---
Strato 4	10	4,00		---
Strato 5	12,18	4,40		---
Strato 6	9,39	4,90		---
Strato 7	13,06	5,70		---
Strato 8	9,37	6,50		---

### Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	0,76	0,10		
Strato 2	2,37	1,70		
Strato 3	17,12	1,90		
Strato 4	10	4,00		
Strato 5	12,18	4,40		
Strato 6	9,39	4,90		
Strato 7	13,06	5,70		
Strato 8	9,37	6,50		

### Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	0,76	0,10		---
Strato 2	2,37	1,70		---
Strato 3	17,12	1,90		---
Strato 4	10	4,00		---
Strato 5	12,18	4,40		---
Strato 6	9,39	4,90		---
Strato 7	13,06	5,70		---
Strato 8	9,37	6,50		---

### Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	0,76	0,10		---
Strato 2	2,37	1,70		---
Strato 3	17,12	1,90		---
Strato 4	10	4,00		---
Strato 5	12,18	4,40		---
Strato 6	9,39	4,90		---
Strato 7	13,06	5,70		---
Strato 8	9,37	6,50		---

### 4.3 Analisi dei risultati

Le prove penetrometriche dinamiche eseguite hanno permesso ricostruire dei modelli stratigrafici in linea con la geologia presente in letteratura.

Per permettere un più agevole confronto, i diagrammi Rpd delle prove sono stati riuniti all'interno del medesimo grafico per avere una visione d'insieme.

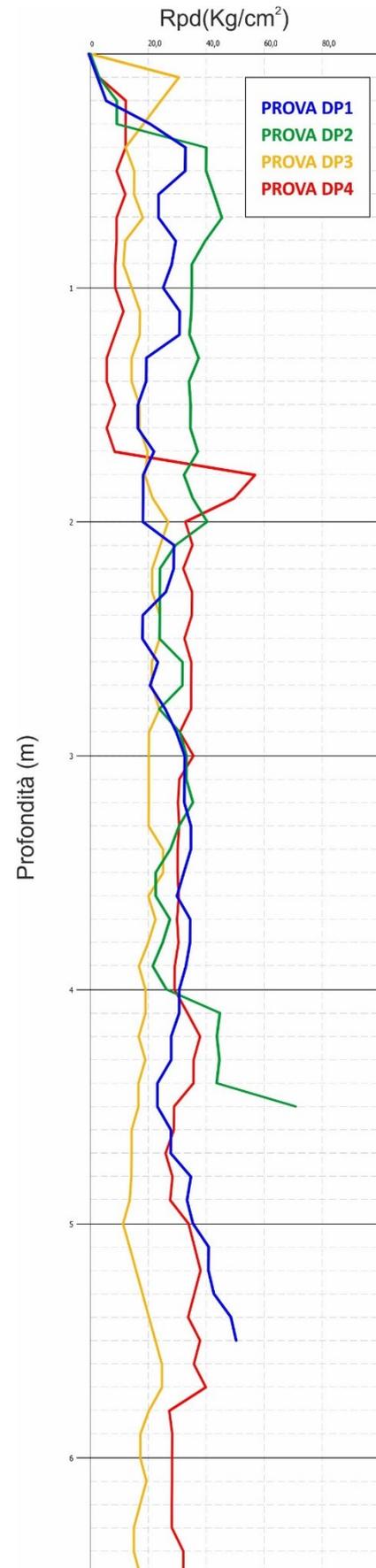
Le prove DP1, DP2 e DP4 sono contraddistinte da un areato di superficie poco consolidato con spessore compreso tra 0,10 e 0,30 m e con valori di Rpd inferiori a 20 Kg/cm<sup>2</sup>, costituito per lo più da una matrice argillosa-limosa alterata, talora frammista ad una componente organica. Nella prova DP3, invece, si riscontra uno strato superficiale spesso 0,30 m, caratterizzato dalla presenza di argille ben consolidate.

Come si può evincere dall'esame del diagramma, fino a circa 2,00 m di profondità dal piano campagna, le prove eseguite sono contraddistinte da valori di Rpd poco affini tra loro e che si attestano in un range compreso tra 5 e 60 Kg/cm<sup>2</sup>; questa discrepanza di valori è correlabile alla presenza o meno di una componente limosa in una matrice perlopiù argillosa. A partire da circa 2,00 m e fino a 4,00 m da p.c. in tutte le prove si osserva un buon grado di confidenza, con valori di Rpd che si attestano tra 20 e 40 Kg/cm<sup>2</sup>, valori correlabili alla compresenza di limo e argille. A partire da 4,00 m dal p.c. i valori di Rpd ricadono nuovamente in un range di valori ampio, tra 10 e 70 Kg/cm<sup>2</sup>.

La prova DP3 è quella caratterizzata da valori più bassi, mediamente intorno ai 20 Kg/cm<sup>2</sup>, indice di terreni prevalentemente argillosi e probabilmente distinti da una componente marnosa. La prova DP2 invece giunge a valori >40 Kg/cm<sup>2</sup> già a partire da 4,10 m da p.c., fino a giungere a valori prossimi a 75 Kg/cm<sup>2</sup> a 4,40 m da p.c., ciò è correlabile alla presenza di una prevalente componente limosa talora incoerente. Le prove DP1 e DP4, seppur geograficamente distanti tra loro, mantengono invece valori pressoché simili (già a partire da 3 m da p.c.), con valori di Rpd che si attestano intorno ai 35 Kg/cm<sup>2</sup>, ciò indica la presenza di terreni caratterizzati da una componente limosa frammista ad una argillosa.

Nella tabella seguente si riportano e si evidenziano i principali parametri geotecnici calcolati per i singoli strati delle relative prove, e le connesse interpretazioni.

Tabella 2 - Parametri geotecnici e strati correlati.





Prova Penetrometrica Dinamica DP1											
Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m <sup>3</sup> )	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )	Fi (°)	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Edometrico (kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Elastico (kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Poisson	Mod. di Taglio G (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,2	1,14	Coesivo	1,49	1,84	0	0,07	5,23	11,4	0	0
2	1,2	7,31	Coesivo	1,87	1,9	0	0,46	33,54	73,1	0	0
3	2	5,24	Coesivo	1,77	1,88	0	0,33	24,04	52,4	0	0
4	2,3	8,12	Coesivo	1,9	1,91	0	0,55	37,26	81,2	0	0
5	2,7	5,9	Coesivo	1,81	1,89	0	0,37	27,07	59	0	0
6	4,1	10,55	Coesivo	1,98	0	0	0,71	48,4	105,5	0	0
7	4,7	8,62	Coesivo	1,92	0	0	0,58	39,55	86,2	0	0
8	5,5	15,6	Coesivo	2,07	0	0	1,05	71,57	156	0	0
Prova Penetrometrica Dinamica DP2											
Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m <sup>3</sup> )	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )	Fi (°)	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Edometrico (kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Elastico (kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Poisson	Mod. di Taglio G (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,3	1,76	Coesivo	1,54	1,85	0	0,11	8,08	17,6	0	0
2	2	10,33	Coesivo	1,98	0	0	0,7	47,39	103,3	0	0
3	4	8,29	Coesivo	1,91	0	0	0,56	38,04	82,9	0	0
4	4,4	15,52	Coesivo	2,07	0	0	1,05	71,21	155,2	0	0
5	4,5	30,28	Incoerente	2,14	0	39,73	0	89,66	226,4	0,29	1603,98
Prova Penetrometrica Dinamica DP3											
Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m <sup>3</sup> )	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )	Fi (°)	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Edometrico (kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Elastico (kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Poisson	Mod. di Taglio G (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,3	6,09	Coesivo	1,82	1,89	0	0,38	27,94	60,9	0	0
2	1,8	4,11	Coesivo	1,71	1,87	0	0,26	18,86	41,1	0	0
3	4,5	6,29	Coesivo	1,83	1,89	0	0,39	28,86	62,9	0	0
4	5,2	4,57	Coesivo	1,73	1,87	0	0,29	20,97	45,7	0	0
5	6,1	7,02	Coesivo	1,86	1,9	0	0,44	32,21	70,2	0	0
6	6,5	5,71	Coesivo	1,8	1,88	0	0,36	26,2	57,1	0	0
Prova Penetrometrica Dinamica DP4											
Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m <sup>3</sup> )	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )	Fi (°)	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Edometrico (kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Elastico (kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Poisson	Mod. di Taglio G (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,1	0,76	Coesivo	1,46	1,84	0	0,05	3,49	7,6	0	0
2	1,7	2,37	Coesivo	1,59	1,86	0	0,15	10,87	23,7	0	0
3	1,9	17,12	Coesivo	2,09	0	0	1,16	78,55	171,2	0	0
4	4	10	Coesivo	1,97	0	0	0,68	45,88	100	0	0
5	4,4	12,18	Coesivo	2,02	0	0	0,82	55,88	121,8	0	0
6	4,9	9,39	Coesivo	1,95	0	0	0,63	43,08	93,9	0	0
7	5,7	13,06	Coesivo	2,04	0	0	0,88	59,92	130,6	0	0
8	6,5	9,37	Coesivo	1,95	0	0	0,63	42,99	93,7	0	0

I valori medi di coesione della prova DP1 variano tra un minimo di 0,07 Kg/cm<sup>2</sup> (strato 1) e un massimo di 1,05 Kg/cm<sup>2</sup> (strato 8). In questo range di valori, rientrano le argille miste a limi coesivi. Secondo i criteri della Classificazione AGI, questi strati sono costituiti da terreni privi di consistenza (areato di superficie), a consistenza moderata (strati 2,3 e 5), consistenti (strati 4 e 7) e molto consistenti (strato 8).

Per quanto riguarda la prova DP2, si individuano strati con parametri correlabili a terreni di natura coesiva, sovrastanti uno di natura incoerente (strato 5). Lo strato 1 (areato di superficie), con valori di coesione pari a 0,11 Kg/cm<sup>2</sup>, è costituito per lo più da argille poco rimaneggiate talora frammiste ad una componente organica. Lo strato 2, i cui valori di coesione si attestano intorno 0,07 Kg/cm<sup>2</sup>, è composto da limo coesivo debolmente argilloso. I valori di coesione dello strato 3 (0,56 Kg/cm<sup>2</sup>) indicano un incremento della componente argillosa a discapito di quella limosa. Nello strato 4, dunque a 4 m dal p.c., si osservano valori di coesione >1 Kg/cm<sup>2</sup>, indicatore di una netta crescita della componente limosa. Lo strato 5, con valori di Nstp 30,28, evidenzia la presenza di terreni incoerenti, nello specifico limi, con valori di angolo pari a 39,73°. Secondo i criteri della Classificazione AGI, l'areato di superficie (strato 1) è privo di consistenza, gli strati 2 e 3 sono consistenti e lo strato 4 è molto consistente; per quanto riguarda lo strato incoerente, dunque l'ultimo, questo viene classificato come addensato.

Nella prova DP3, a differenza delle altre 3 prove, l'areato di superficie (strato 1) è costituito da argille consolidate fessurate (mud crack), spesso circa 0,30 m e con valori di coesione che si attestano a 0,38 Kg/cm<sup>2</sup>. Negli strati a seguire vi si trovano valori di coesione compresi tra 0,26 Kg/cm<sup>2</sup> e 0,44 Kg/cm<sup>2</sup>, correlabili a terreni argillosi, talora interessati dalla presenza di una componente limosa e/o marnosa. Per i criteri della Classificazione AGI, tutti gli strati sono classificati come moderatamente consistenti.

La prova DP4, come visto nelle prove DP1 e DP2, è caratterizzato da uno strato superficiale areato, spesso 0,10 m e di natura argillosa; nonostante sia soggetto anch'esso al fenomeno del mud crack, presenta valori di coesione pari a 0,05 Kg/cm<sup>2</sup>. Fino a 1,5 m da p.c. (strato 2) i valori di coesione si mantengono abbastanza bassi (0,15 Kg/cm<sup>2</sup>), ad evidenza del fatto che vi sono terreni di natura argillosa. Gli strati a seguire mostrano invece valori di coesione più elevati, compresi tra un minimo di 0,63



Kg/cm<sup>2</sup> e un massimo di 1,16 Kg/cm<sup>2</sup>. In particolare, i valori massimi di coesione si riscontrano nello strato 3, dunque tra 1,7 e 1,9 m da p.c.; ciò è riconducibile alla presenza di un livello limoso. Negli strati a seguire, i valori di coesione scendono sotto 1,00 Kg/cm<sup>2</sup>; tuttavia, i valori riscontrati indicano la compresenza di limi e argille e dunque discreti valori di coesione. Secondo i criteri della Classificazione AGI, l'areato di superficie (strato 1) è privo di consistenza, lo strato 2 è poco consistente, lo strato 3 è molto consistente e quelli a seguire (da strato 4 a strato 8) sono consistenti.

Il tecnico  
(Dott. Geol. Domenico Boso)