

REGIONE
BASILICATA



Comune
FORENZA



Comune
PALAZZO
SAN GERVASIO



Provincia
POTENZA



**PROGETTO DEFINITIVO RELATIVO ALLA REALIZZAZIONE DI UN
IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 7 AEROGENERATORI E
DALLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA R.T.N.**

INDAGINI GEOFISICHE

ELABORATO

A.2.7

PROPONENTE:



SKI W A9 s.r.l.
via Caradosso n.9
Milano 20123
P.Iva 12655800964
skiwa9@unapec.it

PROGETTO E SIA:



ATECH srl
Via Caduti di Nassiryia, 55
70124- Bari (BA)
pec: atechsrl@legalmail.it
Ing. Alessandro Antezza



Il DIRETTORE TECNICO
Ing. Orazio Tricarico



CONSULENZA:



SOLARITES s.r.l.
piazza V.Emanuele II n.14
Ceva (CN) 12073

0	Novembre 2023	G.A.	G.A.	G.A.	Progetto Definitivo
EM./REV	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	DESCRIZIONE

SOMMARIO

1. PREMESSA.....	2
2. PROSPEZIONI INDIRETTE	6
3. INTERPRETAZIONE DEI DATI ACQUISITI	9

1. PREMESSA

Le analisi geofisiche effettuate nel seguente lavoro sono relative ai lavori di realizzazione di un parco eolico nel comune di Forenza (PZ).

La campagna di investigazioni, che è stata effettuata per ricostruire le caratteristiche sismiche del sottosuolo, nonché per la caratterizzazione del suolo di fondazione così come previsto dal DL 18/01/2018 Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

La campagna di indagini è stata realizzata per mezzo di n. 7 indagini MASW.

L'indagine MASW permette di stimare l'andamento delle onde di taglio in profondità e di definire la velocità equivalente (V_{seq}) per i primi 30 m dal p.c. e la categoria di suolo di fondazione del sito, così come previsto dalle NTC 2018.

La velocità equivalente delle onde di taglio V_{seq} è definita dall'espressione:

$$V_{s, eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

dove:

- h_i spessore (in metri) dell' i -esimo strato;
- $V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;
- N numero di strati compresi nei primi 30 m di profondità;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

In base ai valori velocità che si ottengono, si individuano 5 classi di terreno: A, B, C, D ed E, ad ognuna delle quali è associato un determinato spettro di risposta elastico (Tab.1).

Classe	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tab.1 Categorie di suolo di fondazione secondo le NTC2018

L'indagine sismica MASW permette, di stimare la velocità equivalente delle onde S relativamente al volume di suolo sotteso dallo stendimento realizzato, analizzando la velocità delle onde di Rayleigh.

Infatti le onde superficiali di Rayleigh si trasmettono sulla superficie della crosta terrestre con una velocità leggermente inferiore a quella delle onde S con rapporto VR/VS variabile tra 0.874 e 0.955 in funzione del valore del coefficiente di Poisson (Richart et al. mod., 1970).

Le onde superficiali di Rayleigh sono il risultato dell'interferenza tra le onde longitudinali (P) e le onde di taglio (S).

La natura dispersiva di queste onde fa sì che le onde ad alta frequenza si propaghino negli strati più superficiali, mentre quelle a bassa frequenza si propaghino negli strati più profondi.

Il metodo MASW è un metodo attivo e per la sua esecuzione è necessario eseguire uno o più scoppi ad uno dei vertici di uno stendimento lineare di geofoni, in modo da produrre un'onda che si propagerà nel suolo con una sua velocità di fase in un range di frequenze comprese tra 2 Hz e 70 Hz.

L'elaborazione dei dati sperimentali in un'indagine MASW si sviluppa in due momenti: in un primo momento, partendo dallo spettro di velocità si effettua il calcolo della curva di dispersione sperimentale, successivamente si effettua un processo di inversione, ossia si calcola la velocità di fase numerica che fitta (approssima) meglio quella sperimentale (Fig. 1).

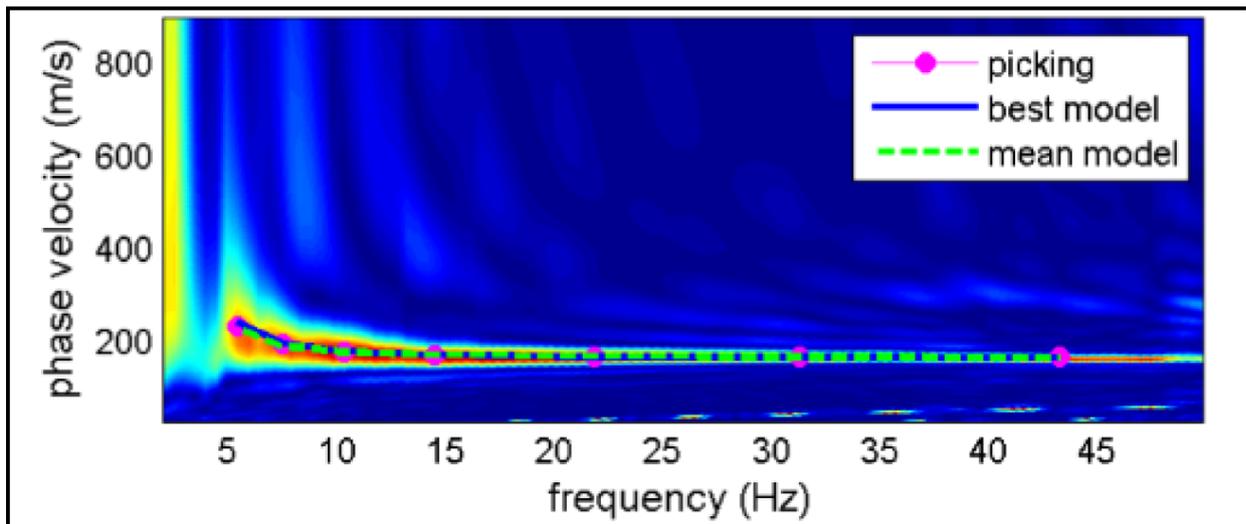


Fig. 1 Spettro delle velocità e curva di dispersione

Questo processo si esegue attraverso un sistema di prove trial and error nel quale, modificando opportunamente i parametri a contorno, si minimizza l'errore e dunque si ottiene la migliore sovrapposizione tra le due curve a confronto (Fig. 1) avvicinandosi il più possibile al valore reale.

In definitiva, l'indagine permette di ricavare il profilo delle velocità delle onde S per i primi 30 m dal piano campagna considerato convenzionalmente nella parte centrale dello stendimento (Fig.2).

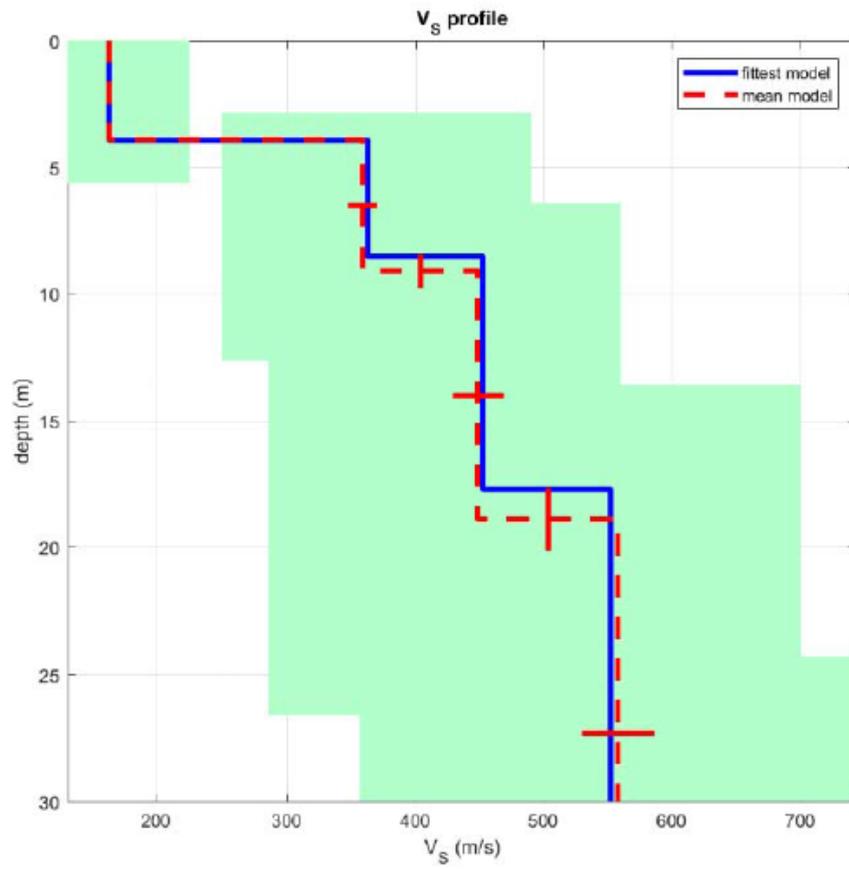


Fig. 2 Esempio di profilo verticale della velocità delle onde S

2. PROSPEZIONI INDIRETTE

Le indagini sono state effettuate secondo lo schema sotto riportato (Fig. 3), utilizzando come strumento di misura un sismografo a 24 canali Mod. M.A.E. Sysmatrack.

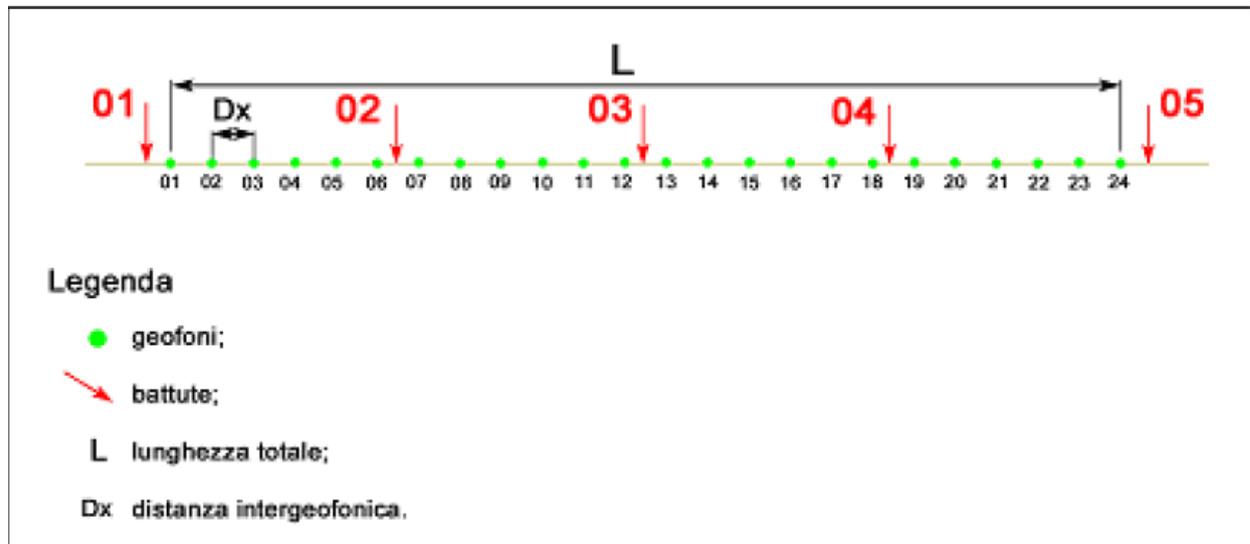


Fig. 3 - Schema del profilo sismico

Come apparato di ricezione delle onde P sono stati utilizzati n. 24 geofoni verticali da 4,5 Hz. L'elaborazione dei dati sperimentali in un'indagine MASW si sviluppa in due momenti: in un primo momento si effettua il calcolo della curva di dispersione sperimentale della velocità di fase (Fig.4 a sinistra), successivamente si calcola la velocità di fase numerica che fitta (approssima) meglio quella sperimentale (Fig.a destra e Tab.2).

Questo processo si esegue attraverso un sistema di prove trial and error nel quale modificando opportunamente i parametri a contorno si minimizza l'errore e dunque si ottiene la migliore sovrapposizione tra le due curve a confronto (Fig. 5) avvicinandosi il più possibile al valore reale. Come riportato la registrazione in campagna è stata eseguita con un sismografo M.A.E. Mod. Sysmatrack con risoluzione a 24 bit, come sensori di misura si è utilizzato un set di 24 geofoni da 4.5 Hz, il tempo di acquisizione è stato di 4 secondi con intervallo di campionamento di 1 millisecondo per un totale di 4000 campioni acquisiti. Per una più corretta analisi dei dati sono stati effettuati 3 scoppi per lato dello stendimento e di tutti gli scoppi eseguiti è stato scelto quello più rappresentativo.

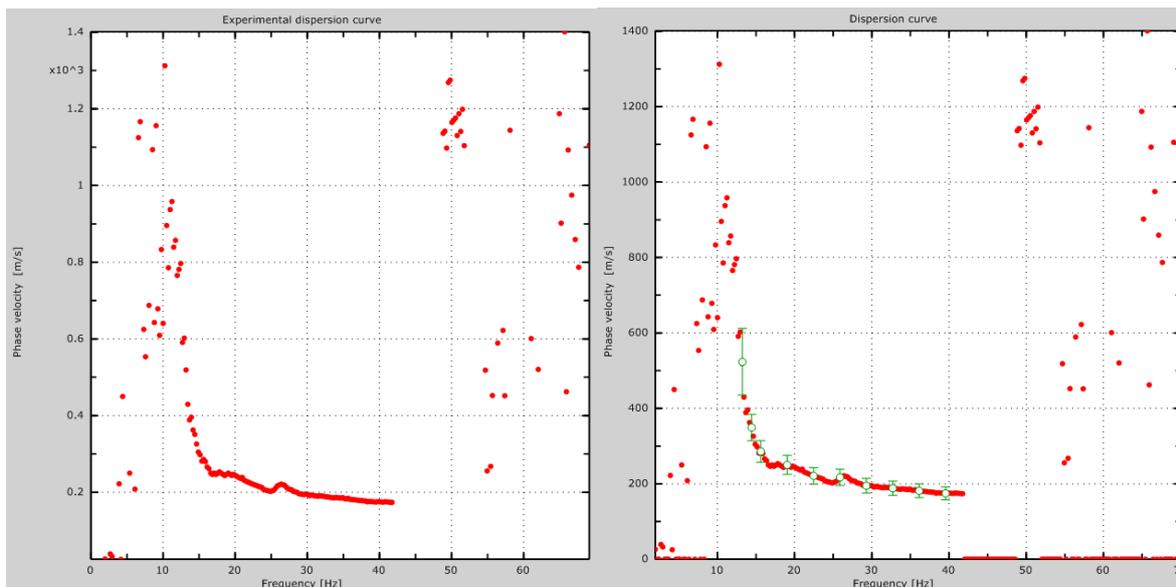


Fig. 4 - Curva di dispersione sperimentale

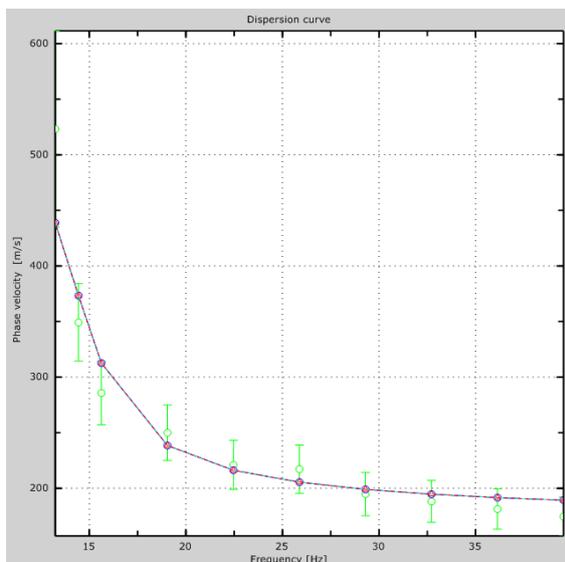


Fig. 5 - Relazione tra la velocità di fase sperimentale e quella numerica

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]
13.236	523.259
14.4401	349.201
15.625	285.714
19.043	250
22.4609	221.154
25.8789	217.213
29.2969	194.805
32.7148	188.202
36.1328	181.373
39.5508	174.569

Tab. 3 - Valori della curva di dispersione

In definitiva l'indagine permette di ricavare il profilo delle velocità delle onde S per i primi 30 m dal piano campagna (Fig.6)

L'analisi dei dati registrati in campagna, è stata eseguita con il software di inversione MASW messo a punto dall'Ing. Roma.

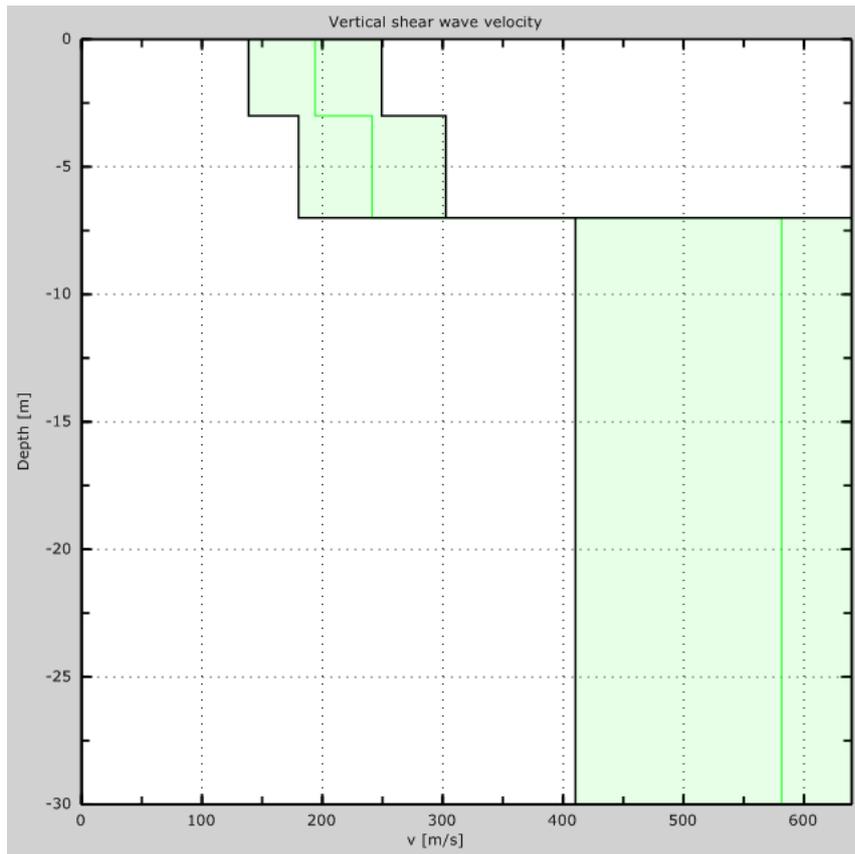


Fig. 6 - Profilo delle velocità delle onde S

3. INTERPRETAZIONE DEI DATI ACQUISITI

Le indagini Masw in oggetto sono state eseguite utilizzando 24 geofoni da 4,5 Hz con distanza intergeofonica di 2,00 m per una lunghezza pari a 46 m.

Dette indagini hanno fornito i seguenti risultati

MASW 01

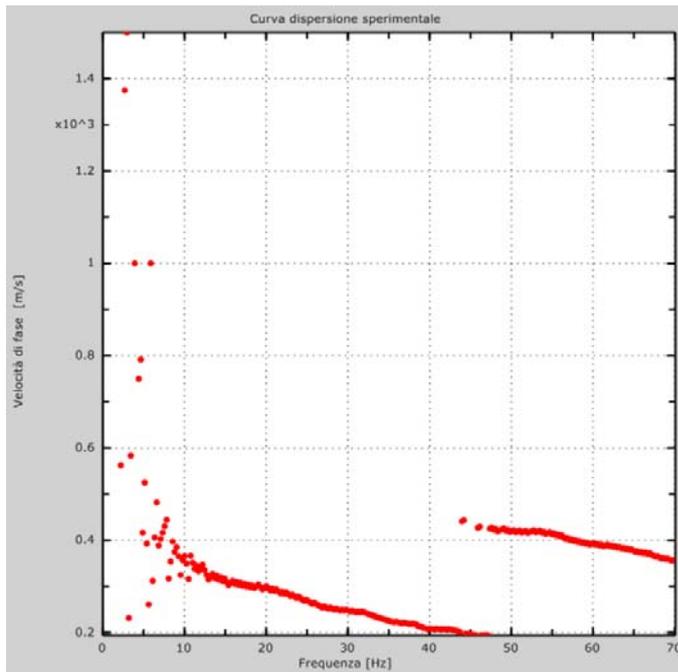


Fig. 7A - Curva di dispersione sperimentale con rispettivi valori in forma tabellare.

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]
6.14741	483.36
8.89674	386.891
12.207	347.222
15.625	307.692
19.043	304.687
22.4609	287.5
25.8789	265
29.2969	250
32.7148	239.286
36.1328	222.892
39.5508	208.763
42.9688	205.607

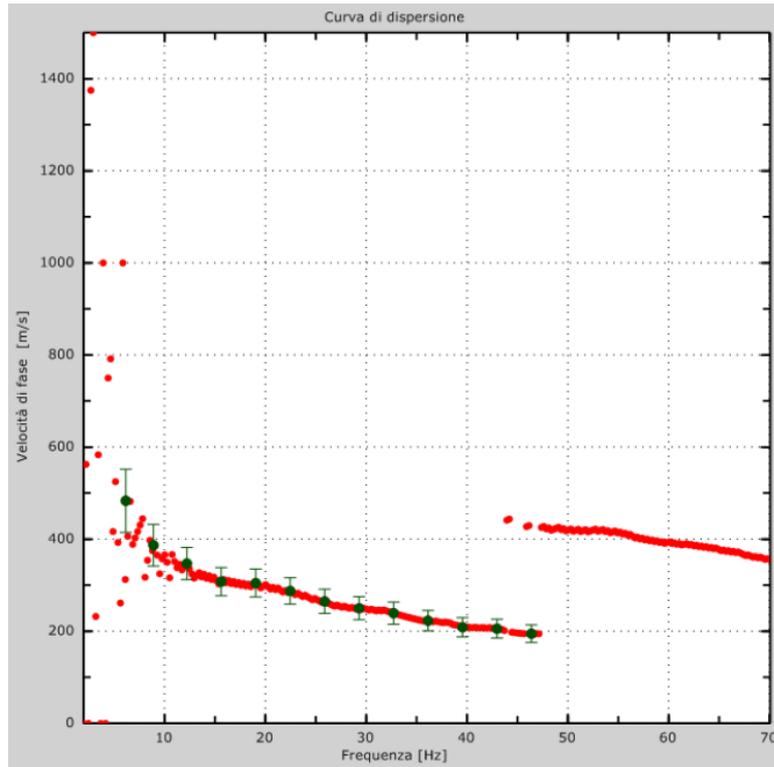


Fig. 7B - Curva di dispersione

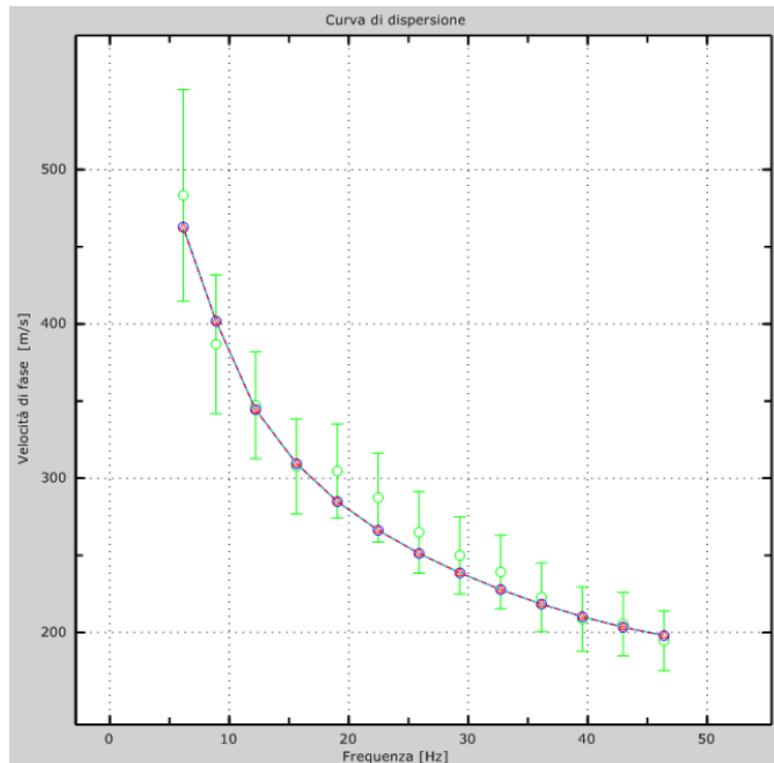


Fig. 1C - Relazione tra la velocità di fase sperimentale e quella numerica

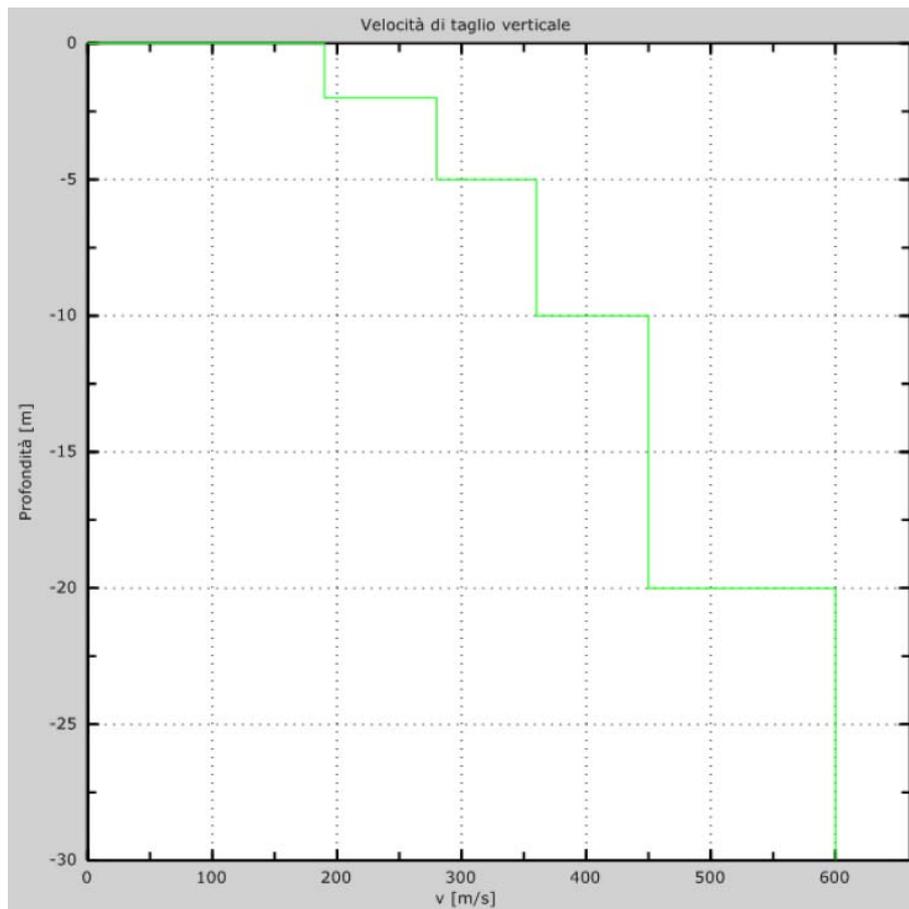


Fig. 7D - Profilo delle velocità delle onde S

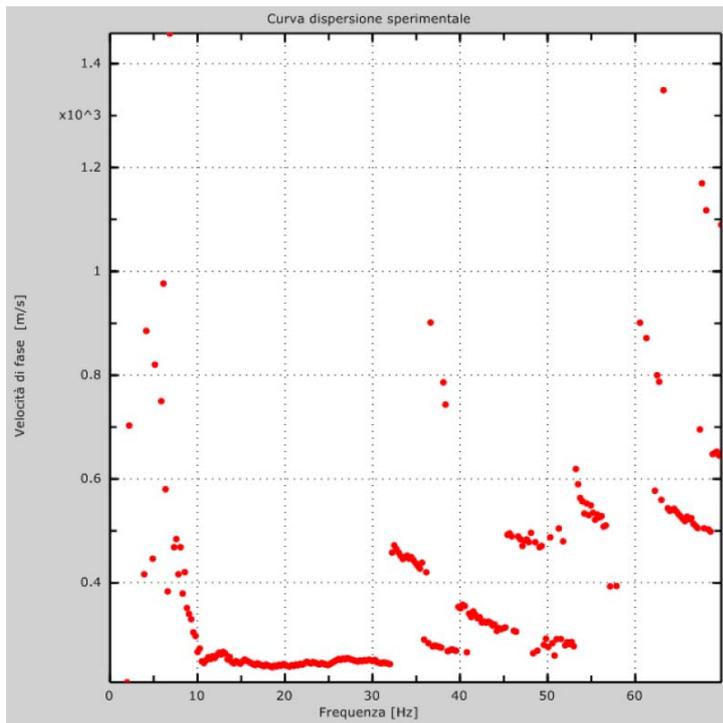
Profondità (m)	Spessore dello strato (m)	Velocità onde S (m/s)
2	2	190
5	3	280
10	5	360
20	10	450
indefinito	indefinito	600

sismostratigrafia delle onde di superficie

L'analisi dei dati ha consentito di stimare un valore di **Vs30**, al piano campagna, pari a **405 m/s**.

La velocità determinata definisce il suolo di sedime, classificandolo nella **tipologia B**.

MASW 02



Freq. [Hz]	V. fase [m/s]
7.2275	456.817
8.78906	351.562
12.207	260.417
15.625	250
19.043	238.971
22.4609	247.845
25.8789	250.947
29.2969	250
31.7751	247.8

Fig. 8A - Curva di dispersione sperimentale con rispettivi valori in forma tabellare.

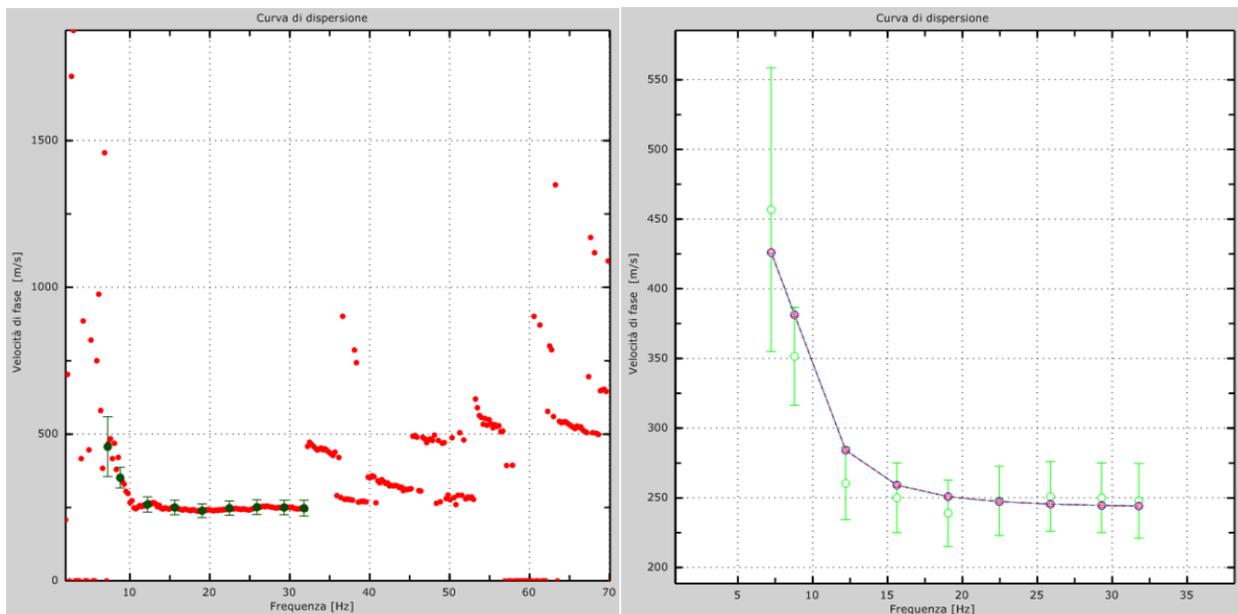


Fig.8B - Curva di dispersione e relazione tra la velocità di fase sperimentale e quella numerica

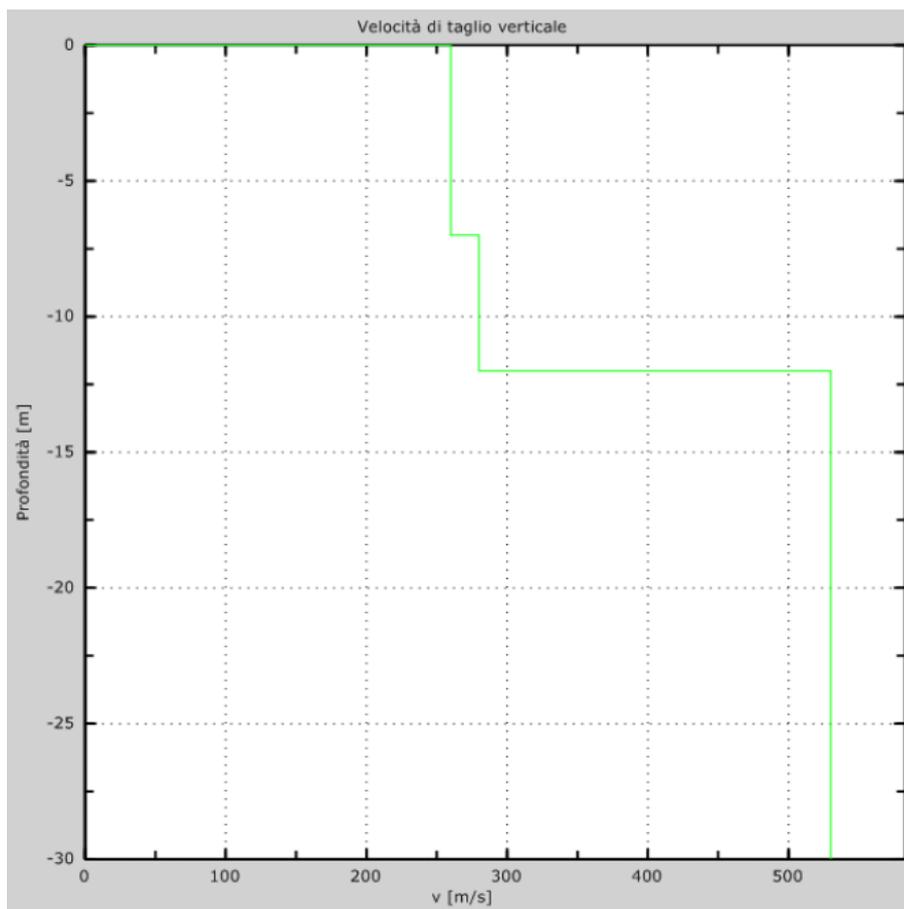


Fig. 8C - Profilo delle velocità delle onde S

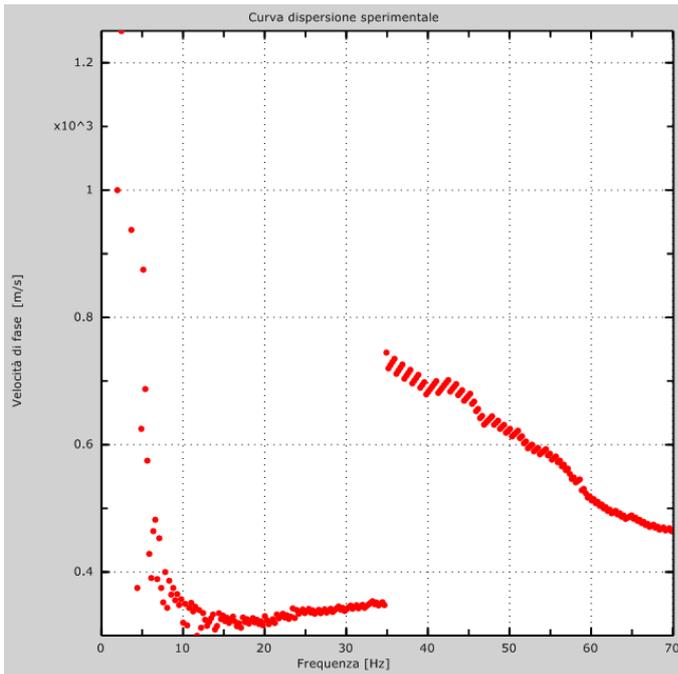
Profondità (m)	Spessore dello strato (m)	Velocità onde S (m/s)
7	7	260
12	5	280
indefinito	indefinito	530

sismostratigrafia delle onde di superficie

L'analisi dei dati ha consentito di stimare un valore di **Vs30**, al piano campagna, pari a **380 m/s**.

La velocità determinata definisce il suolo di sedime, classificandolo nella **tipologia B**.

MASW 03



Freq. [Hz]	V. fase [m/s]
4.67455	628.948
6.63836	441.369
8.78906	375
12.2352	343.827
15.625	320
19.043	325
22.4609	328.571
25.8789	339.744
29.2969	340.909
32.7148	348.958
4.67455	628.948

Fig. 9A - Curva di dispersione sperimentale con rispettivi valori in forma tabellare.

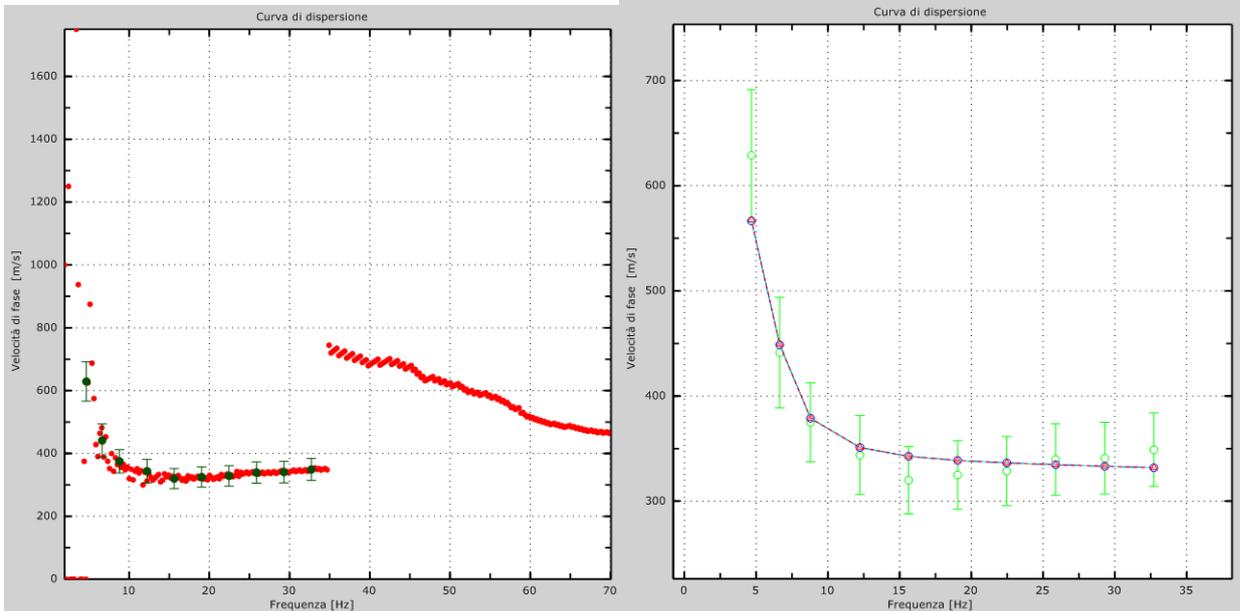


Fig.9B - Curva di dispersione e relazione tra la velocità di fase sperimentale e quella numerica

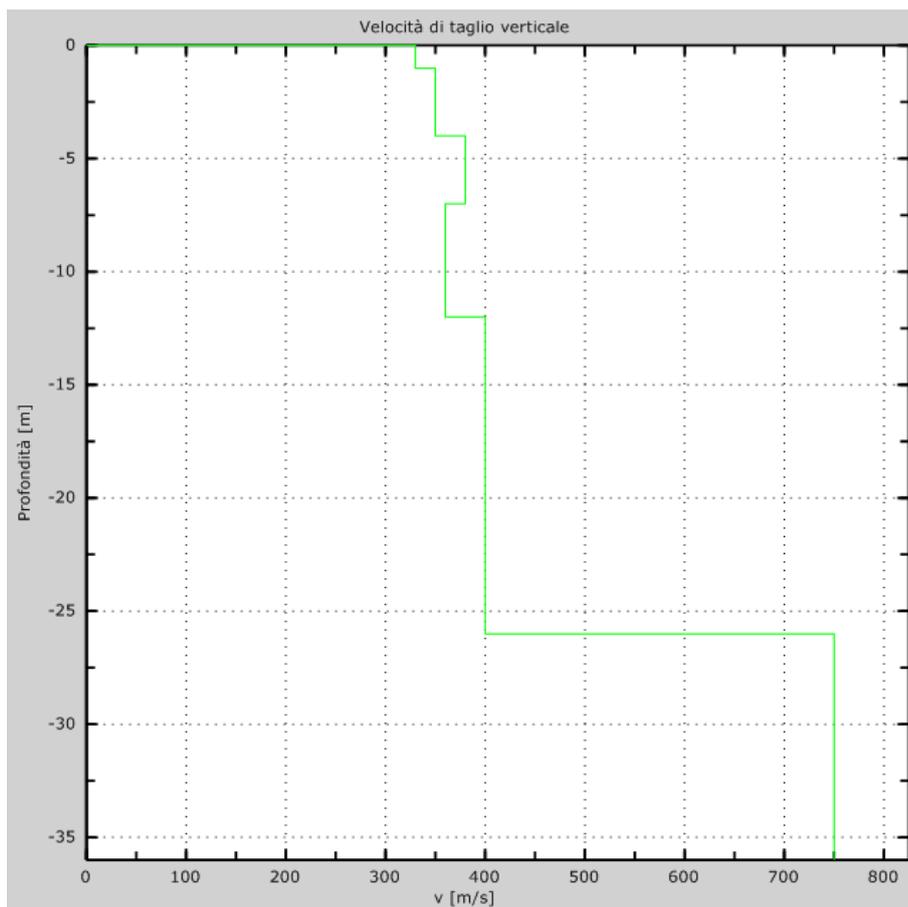


Fig. 9C - Profilo delle velocità delle onde S

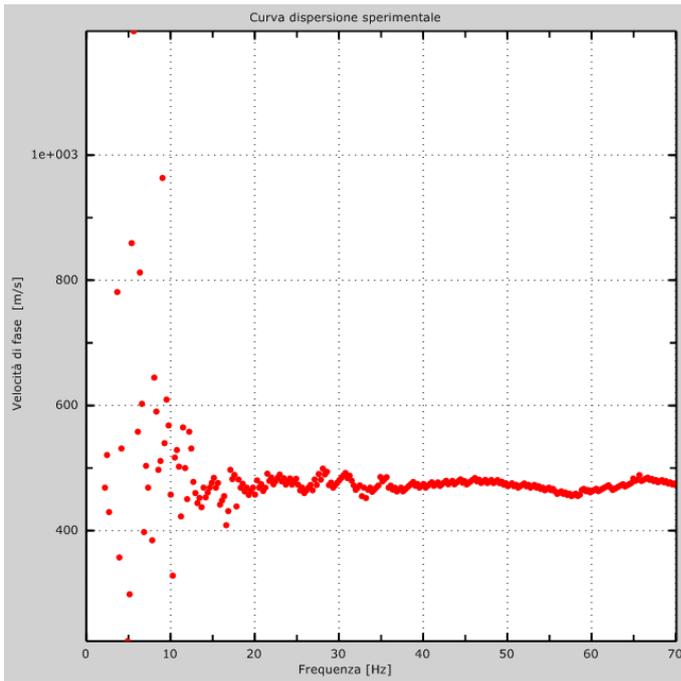
Profondità (m)	Spessore dello strato (m)	Velocità onde S (m/s)
1	1	330
4	3	350
7	3	380
12	5	360
26	14	400
indefinito	indefinito	750

sismostratigrafia delle onde di superficie

L'analisi dei dati ha consentito di stimare un valore di **Vs30**, al piano campagna, pari a **406 m/s**.

La velocità determinata definisce il suolo di sedime, classificandolo nella **tipologia B**.

MASW 04



Freq. [Hz]	V. fase [m/s]
7.52207	580.083
11.6461	531.849
15.625	476.19
19.043	468.75
22.4609	479.167
25.8789	460.069
29.2969	468.75
32.7148	455.163
36.1328	471.939
39.5508	468.75
42.9688	474.138
46.3867	478.831
49.8047	475.746
53.2227	473.09
56.6406	458.861
60.0586	463.102
63.4766	472.384
66.8945	481.039

Fig. 10A - Curva di dispersione sperimentale con rispettivi valori in forma tabellare.

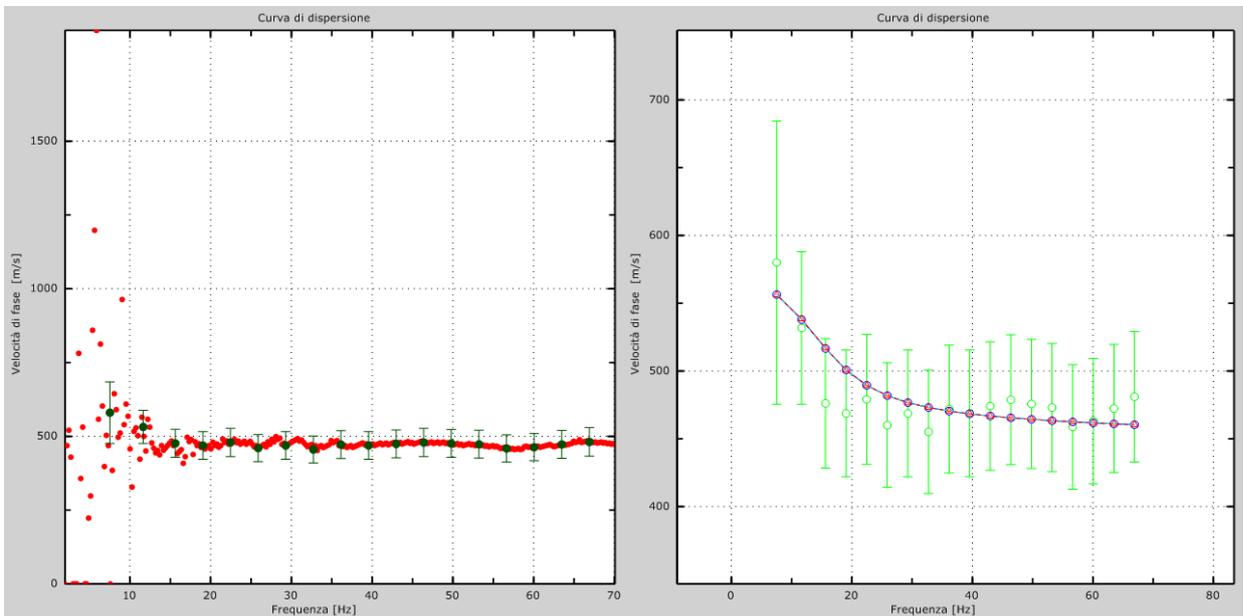


Fig.10B - Curva di dispersione e relazione tra la velocità di fase sperimentale e quella numerica

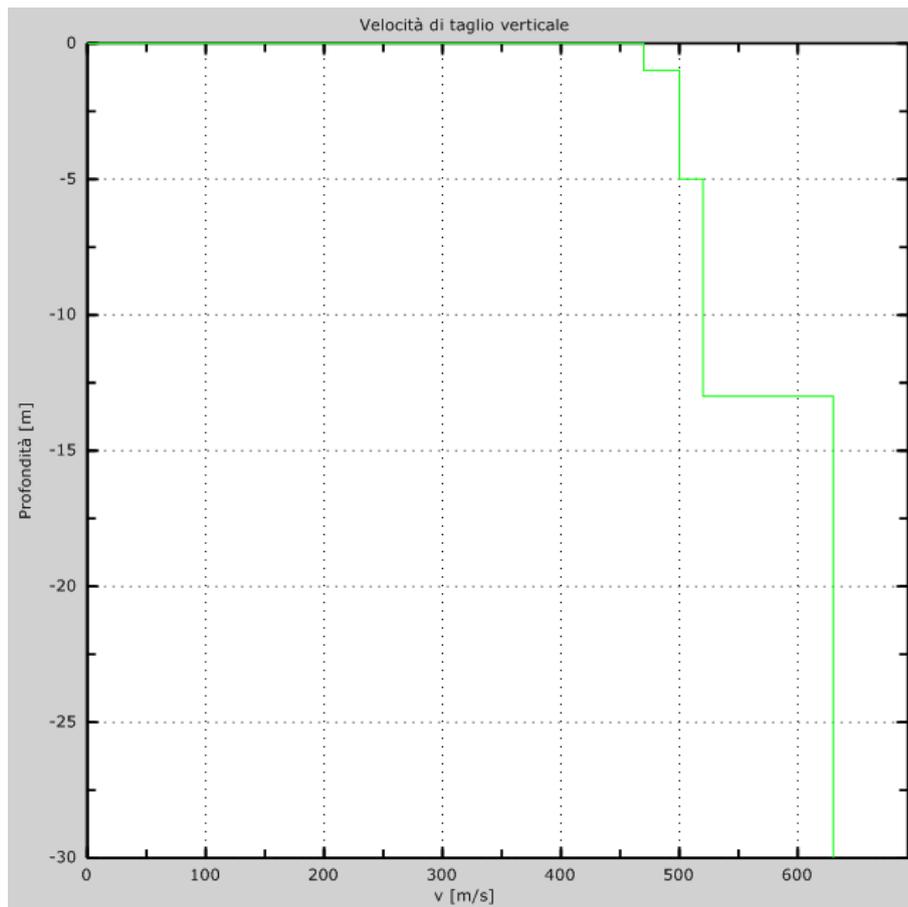


Fig. 10C - Profilo delle velocità delle onde S

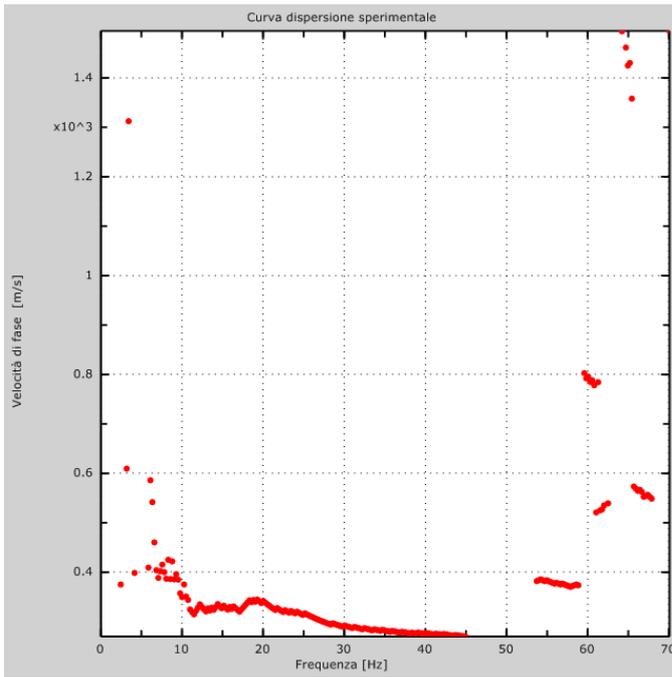
Profondità (m)	Spessore dello strato (m)	Velocità onde S (m/s)
1	1	470
5	4	500
13	8	520
indefinito	indefinito	620

sismostratigrafia delle onde di superficie

L'analisi dei dati ha consentito di stimare un valore di **Vs30**, al piano campagna, pari a **571 m/s**.

La velocità determinata definisce il suolo di sedime, classificandolo nella **tipologia B**.

MASW 05



Freq. [Hz]	V. fase [m/s]
6.63836	490.41
8.78906	421.875
12.207	334.821
15.625	324.324
19.043	340.116
22.4609	319.444
25.8789	310.547
29.2969	292.208
32.7148	285.511
36.1328	280.303
39.5508	276.136
42.9688	272.727

Fig. 11A - Curva di dispersione sperimentale con rispettivi valori in forma tabellare.

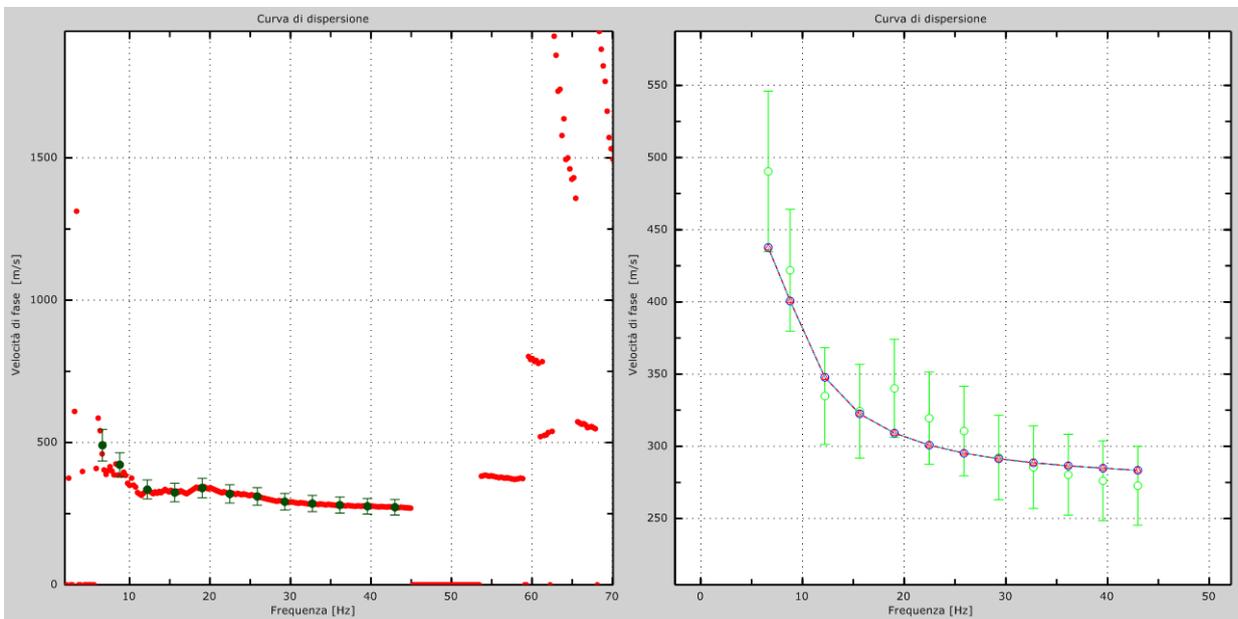


Fig. 11B - Curva di dispersione e relazione tra la velocità di fase sperimentale e quella numerica

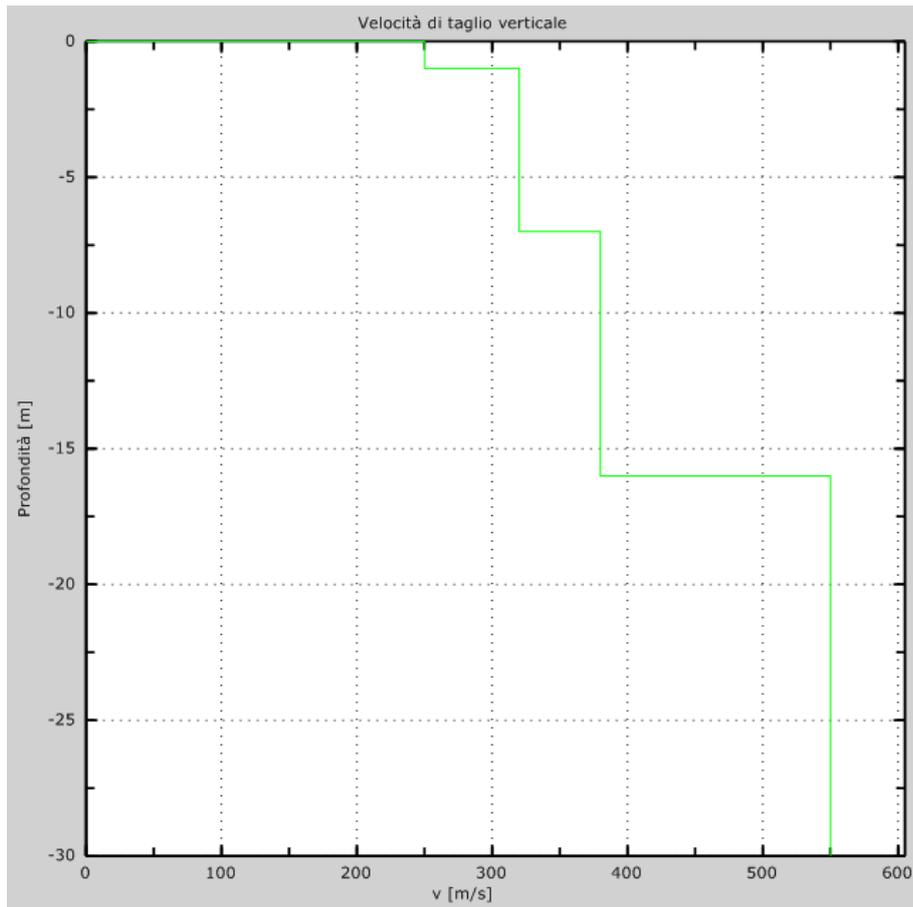


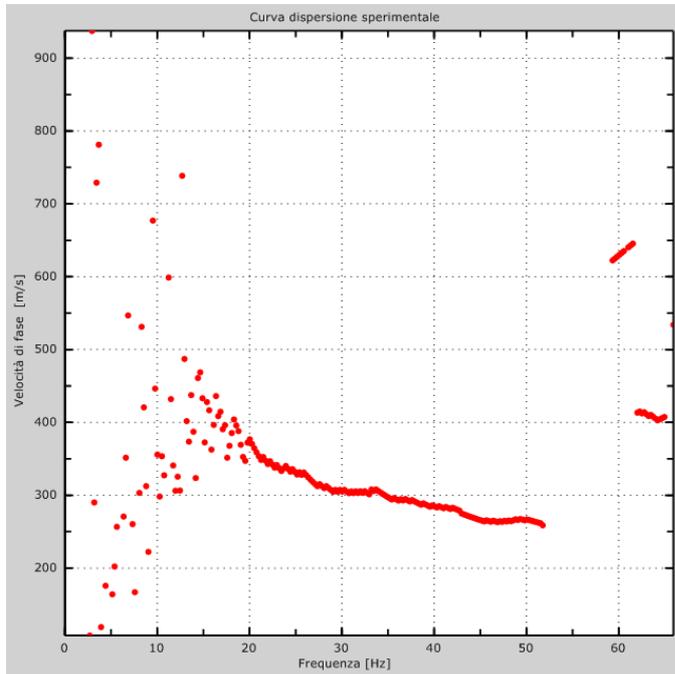
Fig. 11C - Profilo delle velocità delle onde S

Profondità (m)	Spessore dello strato (m)	Velocità onde S (m/s)
1	1	250
7	6	320
16	9	380
indefinito	indefinito	550

sismostratigrafia delle onde di superficie

L'analisi dei dati ha consentito di stimare un valore di **Vs30** pari a circa **417 m/s**. La velocità determinata definisce il suolo di sedime, classificandolo nella **tipologia B**.

MASW 06



Freq. [Hz]	V. fase [m/s]
12.2352	481.17
15.625	416.667
19.043	369.318
22.4609	342.262
25.8789	331.25
29.2969	307.377
32.7148	303.442
36.1328	292.722
39.5508	284.41
42.9688	275
46.3867	265.067
49.8047	265.625

Fig. 12A - Curva di dispersione sperimentale con rispettivi valori in forma tabellare

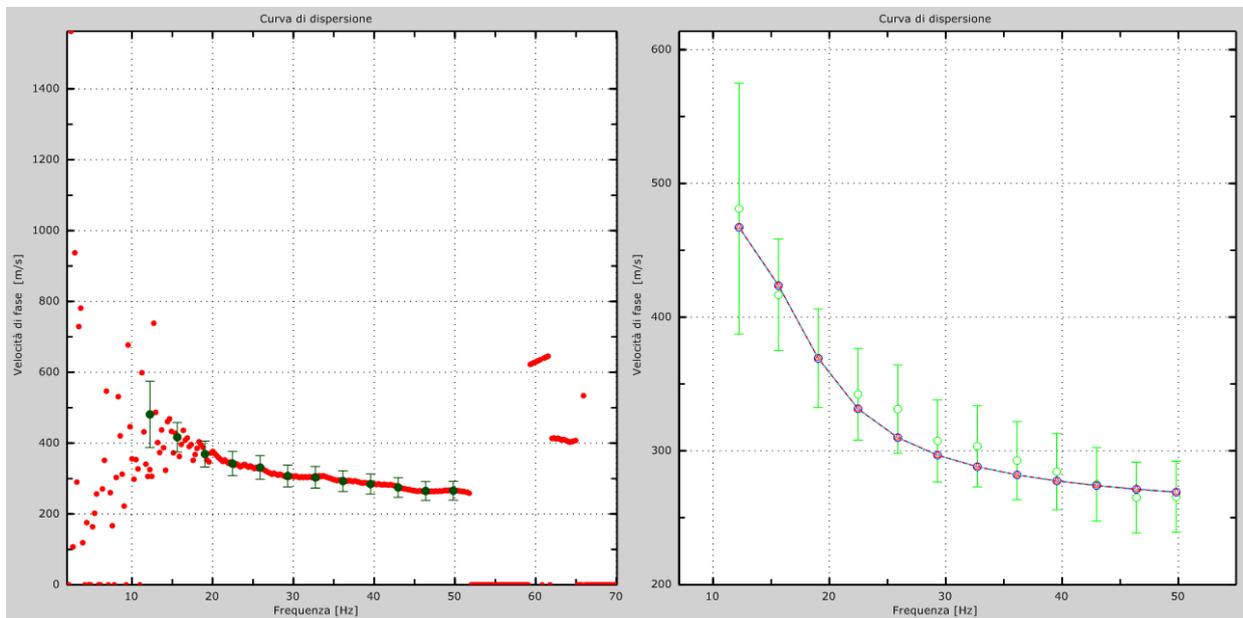


Fig.12B - Curva di dispersione e relazione tra la velocità di fase sperimentale e quella numerica

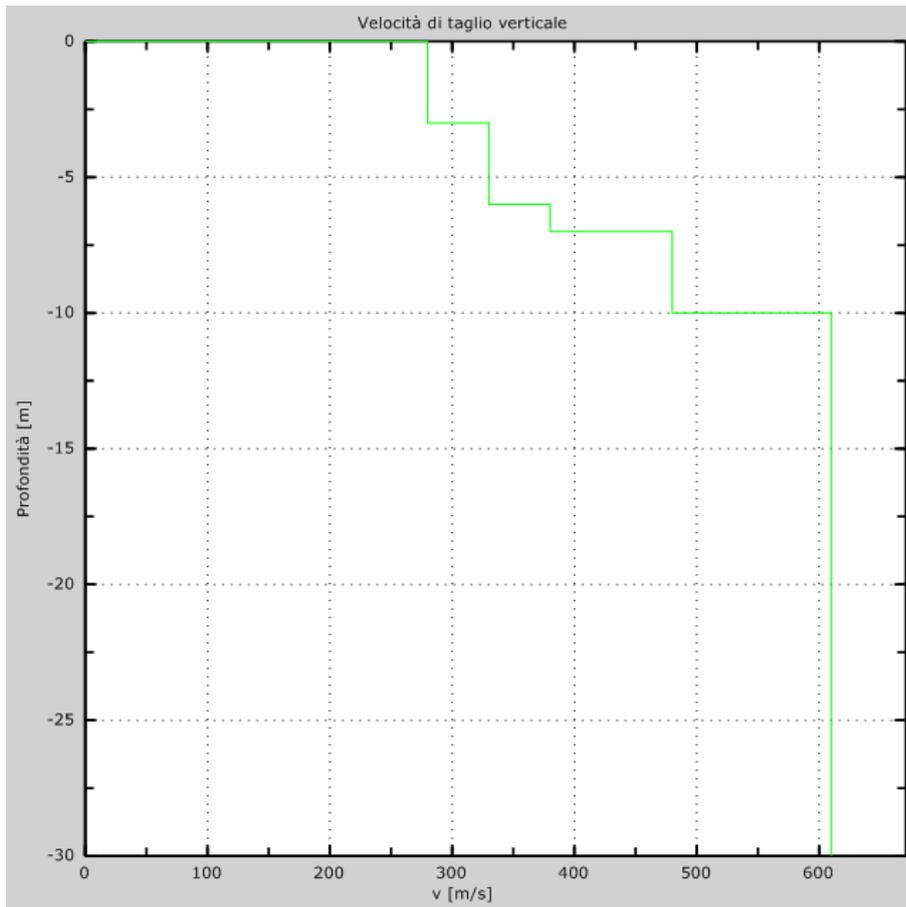


Fig. 12C - Profilo delle velocità delle onde S

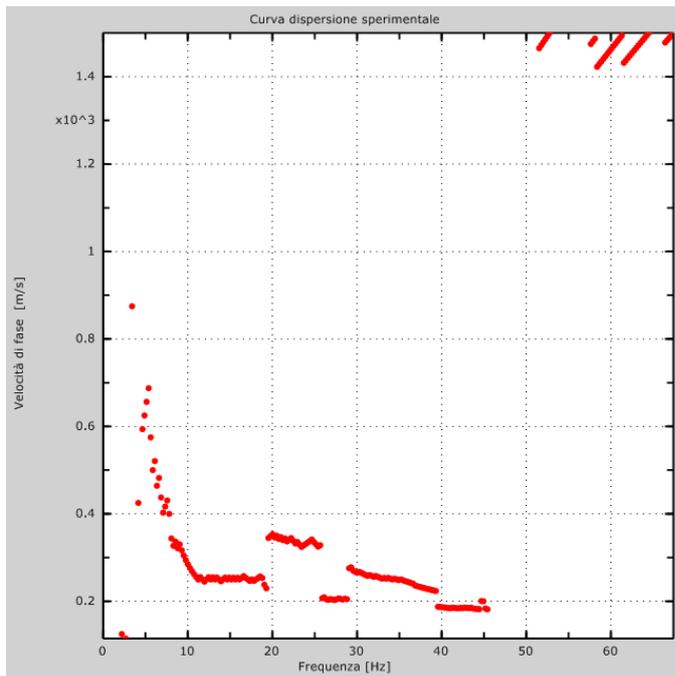
Profondità (m)	Spessore dello strato (m)	Velocità onde S (m/s)
3	3	280
6	3	330
7	1	380
10	3	480
indefinito	indefinito	610

sismostratigrafia delle onde di superficie

L'analisi dei dati ha consentito di stimare un valore di **Vs30**, al piano campagna, pari a **488 m/s**.

La velocità determinata definisce il suolo di sedime, classificandolo nella **tipologia B**.

MASW 07



Freq. [Hz]	V. fase [m/s]
6.34379	477.855
8.60217	340.565
10.2714	280.986
12.207	250
15.625	250
17.3411	249.901
19.043	237.805
25.8789	207.031
27.4547	208.455
28.633	208.455
39.5508	187.5
41.2996	187.732
42.9688	184.874

Fig. 13A - Curva di dispersione sperimentale con rispettivi valori in forma tabellare

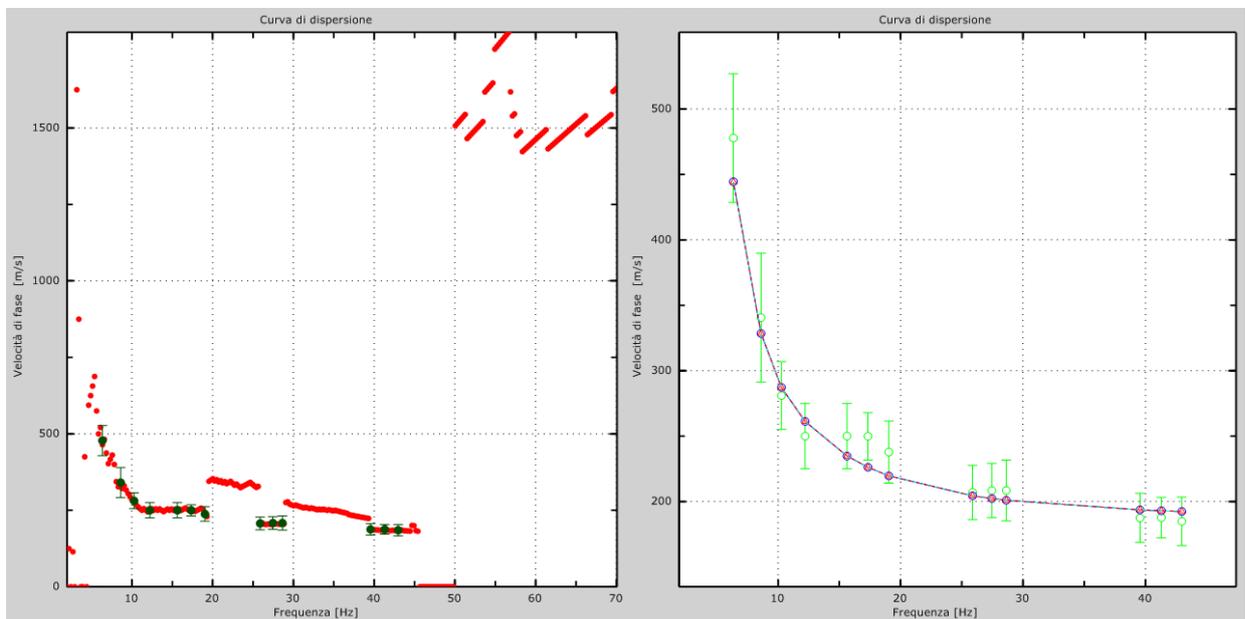


Fig. 13B - Curva di dispersione e relazione tra la velocità di fase sperimentale e quella numerica

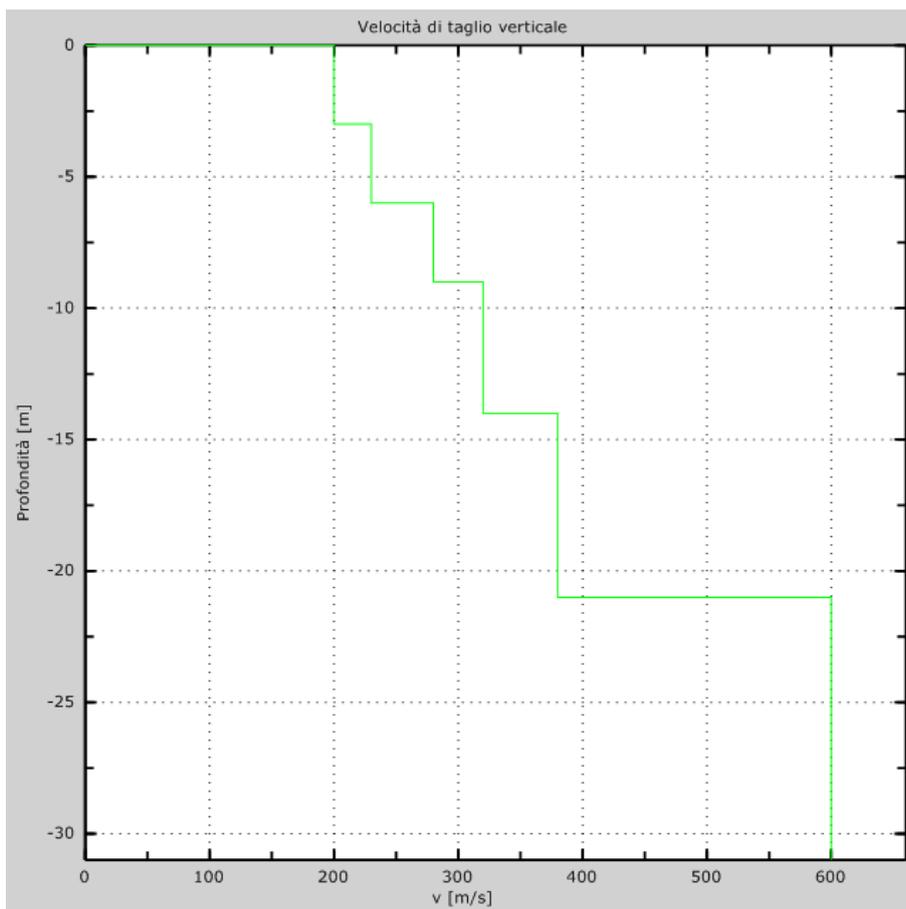


Fig. 13C - Profilo delle velocità delle onde S

Profondità (m)	Spessore dello strato (m)	Velocità onde S (m/s)
3	3	200
6	3	230
9	3	280
14	5	320
21	7	380
indefinito	indefinito	600

sismostratigrafia delle onde di superficie

L'analisi dei dati ha consentito di stimare un valore di **Vs30**, al piano campagna, pari a **341 m/s**.

La velocità determinata definisce il suolo di sedime, classificandolo nella **categoria C**.