



**REGIONE EMILIA ROMAGNA**

**PROVINCIA REGGIO EMILIA**

**COMUNE DI CAMPAGNOLA EMILIA**

---

**INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE MASW  
ED ACQUISIZIONE DI MICROTREMORE A STAZIONE  
SINGOLA CON ELABORAZIONE HVSR**

**Zona Artigianale**

**RELAZIONE TECNICA**

GEO-V SRL  
STRADA CAVEDOLE 12/C  
41126 PORTILE - MO



APRILE 2022

## **INDAGINE SISMICA**

Su incarico dello Studio Rivi srl, è stata eseguita nei pressi di un'area situata nei pressi della zona artigianale di Campagnola Emilia, una campagna di indagine geofisica consistita in:

- Indagine sismica a rifrazione con metodo Masw
- Acquisizione di microtremore a stazione singola con elaborazione HVSR

L'elaborazione congiunta Masw e HVSR ha permesso di determinare la velocità ponderata delle onde sismiche di taglio Vs, in riferimento alle NTC 2018 del 17/01/2018.

Di seguito si riportano la metodologia della ricerca e i risultati delle indagini eseguite.

### **Indagine Masw**

#### **Metodo d'Indagine**

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un sismografo multicanale "PASI 16S24-U", dotato di 24 geofoni verticali PASI con frequenza propria di 4,5 Hz, collegati allo strumento tramite cavi elettrici schermati.

Nella campagna di indagine del lavoro in oggetto è stato eseguito uno stendimento di 24 geofoni con spaziatura tra i geofoni di 2.0 metri per una lunghezza della linea sismica di 46 metri.

L'energizzazione è stata eseguita a 2, 5 e 10 metri dal primo geofono.

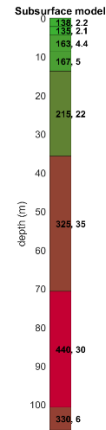
L'elaborazione è stata effettuata con un software dedicato (*Winmasw 2018 – EliaSoft*) in grado di gestire le fasi di preparazione, analisi, modellizzazione e restituzione finale.

#### **Risultati–Determinazione delle categoria del suolo di fondazione**

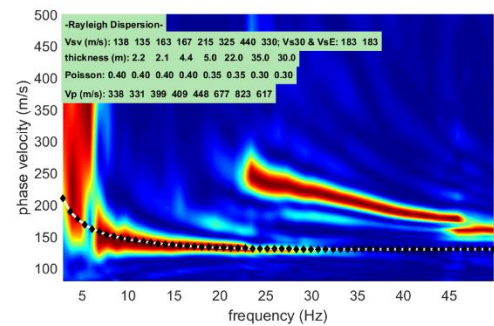
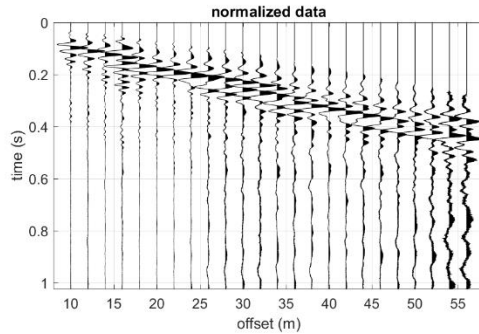
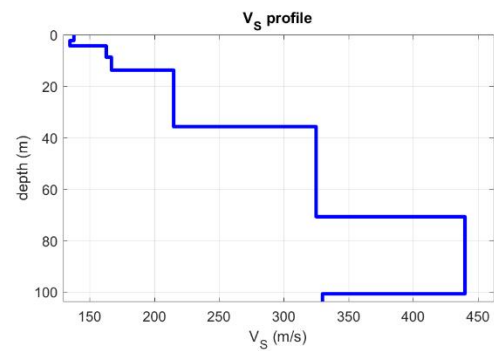
L'analisi delle onde di taglio (Vs) tramite metodo MASW, ha consentito di determinare gli spessori dei sismostrati e le relative velocità di taglio, come riportato in tabella e relativo diagramma, permettendo di calcolare il valore Vseq per la sezione indagata.

Per l'elaborazione è stata eseguita una correlazione tra i dati sismici e le caratteristiche geologico stratigrafiche dalle indagini eseguite integrati con dati reperiti in bibliografia.

PROFONDITA'	SPESSORE	Vs
m	m	m/s
2.2	2.2	138
4.3	2.1	135
8.7	4.4	163
13.7	5	167
35.7	22	215
70.7	35	325
82.95	12.25	440
82.95	25	330
107.95	60	540



[www.winmasw.com](http://www.winmasw.com)





## **Indagine HVSR**

L'indagine HVSR è stata eseguita utilizzando un acquisitore Geobox della Sarah Instruments.

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo  $V_{seq}$  attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione è stata effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata di 30 minuti.

E' stata eseguita un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente sono stati presi in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette

quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo  $V_{seq}$ .



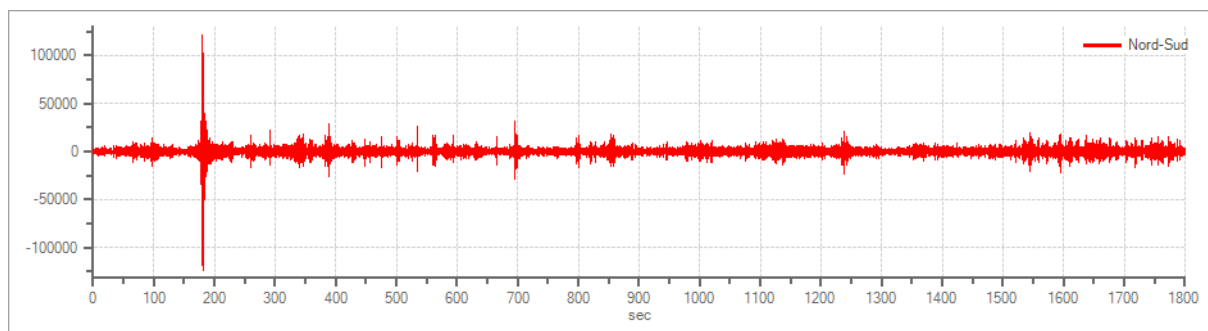
Cantiere:	Comparto Campagnola
Località:	Campagnola Emilia
Latitudine:	44.835584
Longitudine:	10.774385



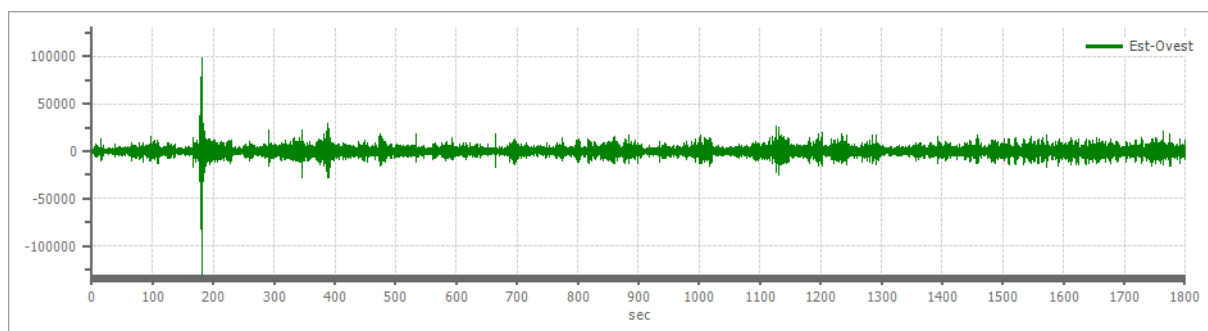
Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1800 s
Frequenza di campionamento:	300.00 Hz
Numero campioni:	540000
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

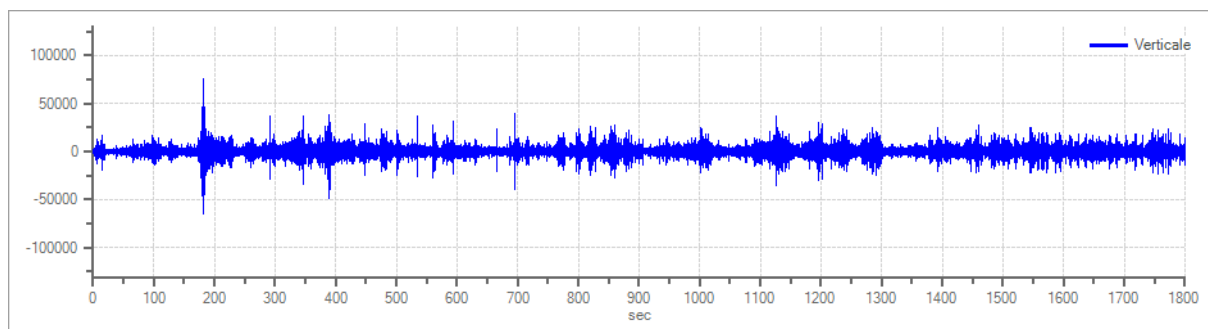
### Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

### **Finestre selezionate**

#### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 52  
Numero finestre incluse nel calcolo: 52  
Dimensione temporale finestre: 30.000 s  
Tipo di lisciamiento: Konno & Ohmachi  
Percentuale di lisciamiento: 10.00 %  
Coefficiente di banda: 40.00

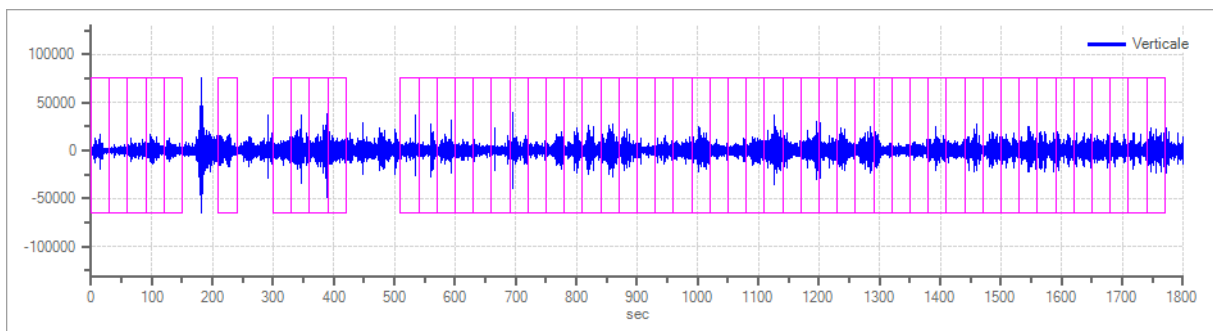
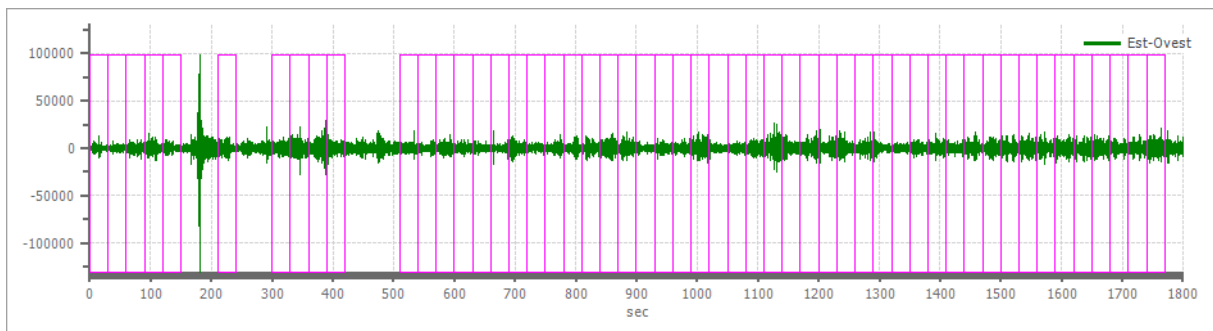
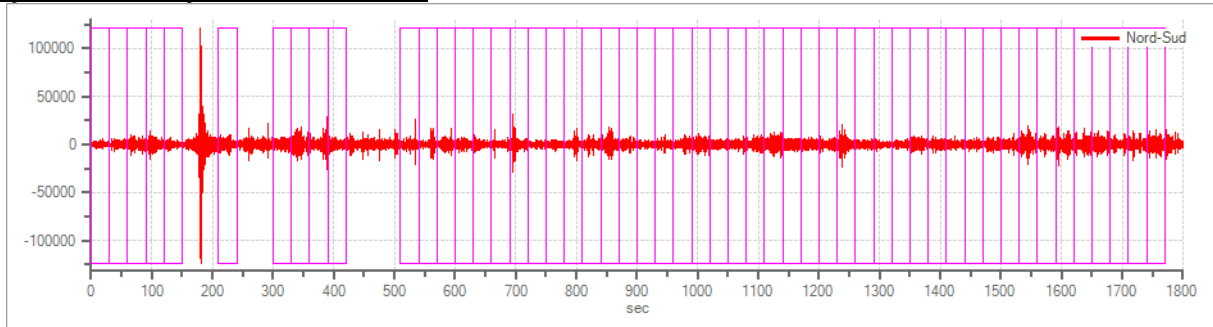
#### Tabella finestre:

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	30	Inclusa
2	30	60	Inclusa
3	60	90	Inclusa
4	90	120	Inclusa
5	120	150	Inclusa

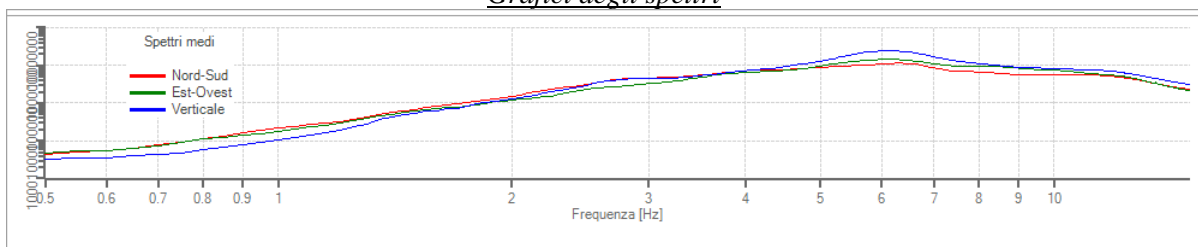


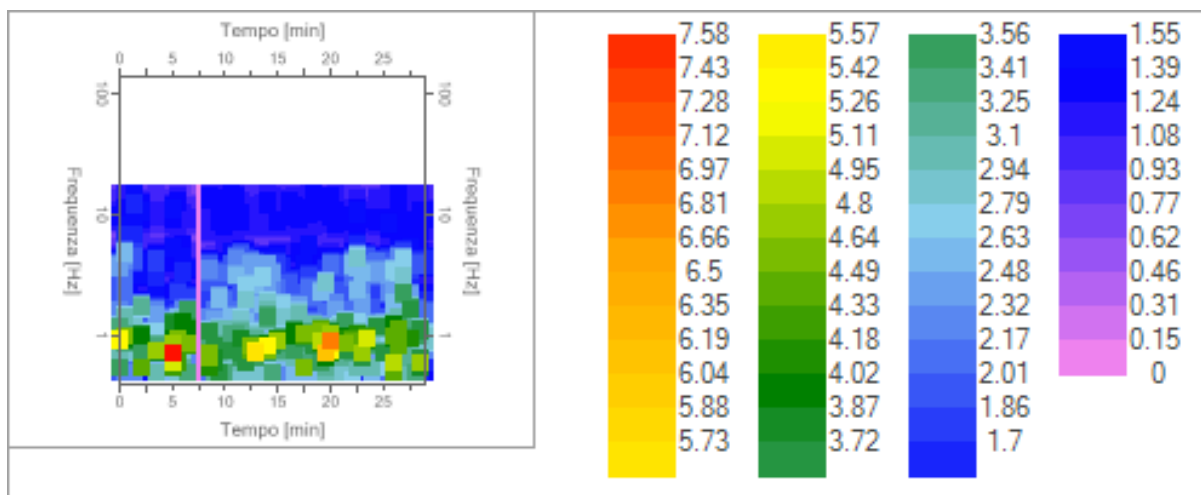
6	210	240	Inclusa
7	300	330	Inclusa
8	330	360	Inclusa
9	360	390	Inclusa
10	390	420	Inclusa
11	510	540	Inclusa
12	540	570	Inclusa
13	570	600	Inclusa
14	600	630	Inclusa
15	630	660	Inclusa
16	660	690	Inclusa
17	690	720	Inclusa
18	720	750	Inclusa
19	750	780	Inclusa
20	780	810	Inclusa
21	810	840	Inclusa
22	840	870	Inclusa
23	870	900	Inclusa
24	900	930	Inclusa
25	930	960	Inclusa
26	960	990	Inclusa
27	990	1020	Inclusa
28	1020	1050	Inclusa
29	1050	1080	Inclusa
30	1080	1110	Inclusa
31	1110	1140	Inclusa
32	1140	1170	Inclusa
33	1170	1200	Inclusa
34	1200	1230	Inclusa
35	1230	1260	Inclusa
36	1260	1290	Inclusa
37	1290	1320	Inclusa
38	1320	1350	Inclusa
39	1350	1380	Inclusa
40	1380	1410	Inclusa
41	1410	1440	Inclusa
42	1440	1470	Inclusa
43	1470	1500	Inclusa
44	1500	1530	Inclusa
45	1530	1560	Inclusa
46	1560	1590	Inclusa
47	1590	1620	Inclusa
48	1620	1650	Inclusa
49	1650	1680	Inclusa
50	1680	1710	Inclusa
51	1710	1740	Inclusa
52	1740	1770	Inclusa

### Grafici tracce con finestre selezionate:

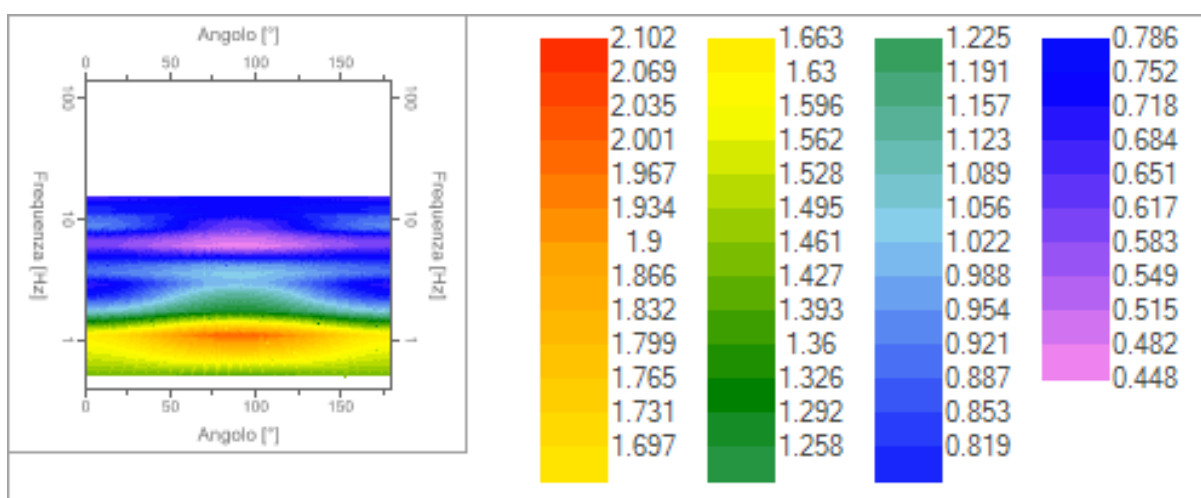


### Grafici degli spettri





Mapa della stazionarietà degli spettri



Mapa della direzionalità degli spettri

## Rapporto spettrale H/V

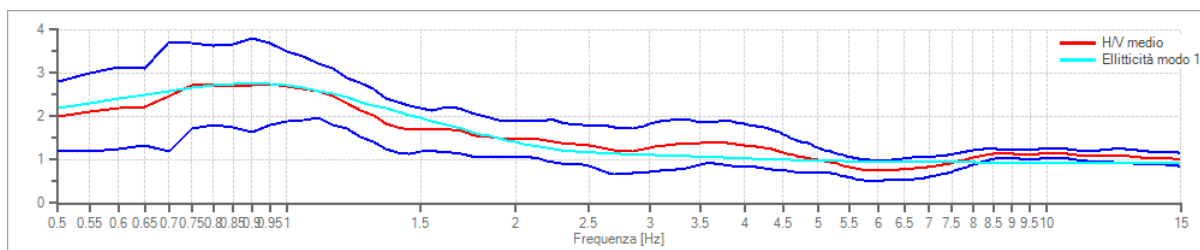
### Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 15.00 Hz  
 Frequenza minima: 0.50 Hz  
 Passo frequenze: 0.05 Hz  
 Tipo lisciamento:: Konno & Ohmachi  
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media geometrica

### Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 0.95 Hz  $\pm$  0.34 Hz

### Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Non superato
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Non superato
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

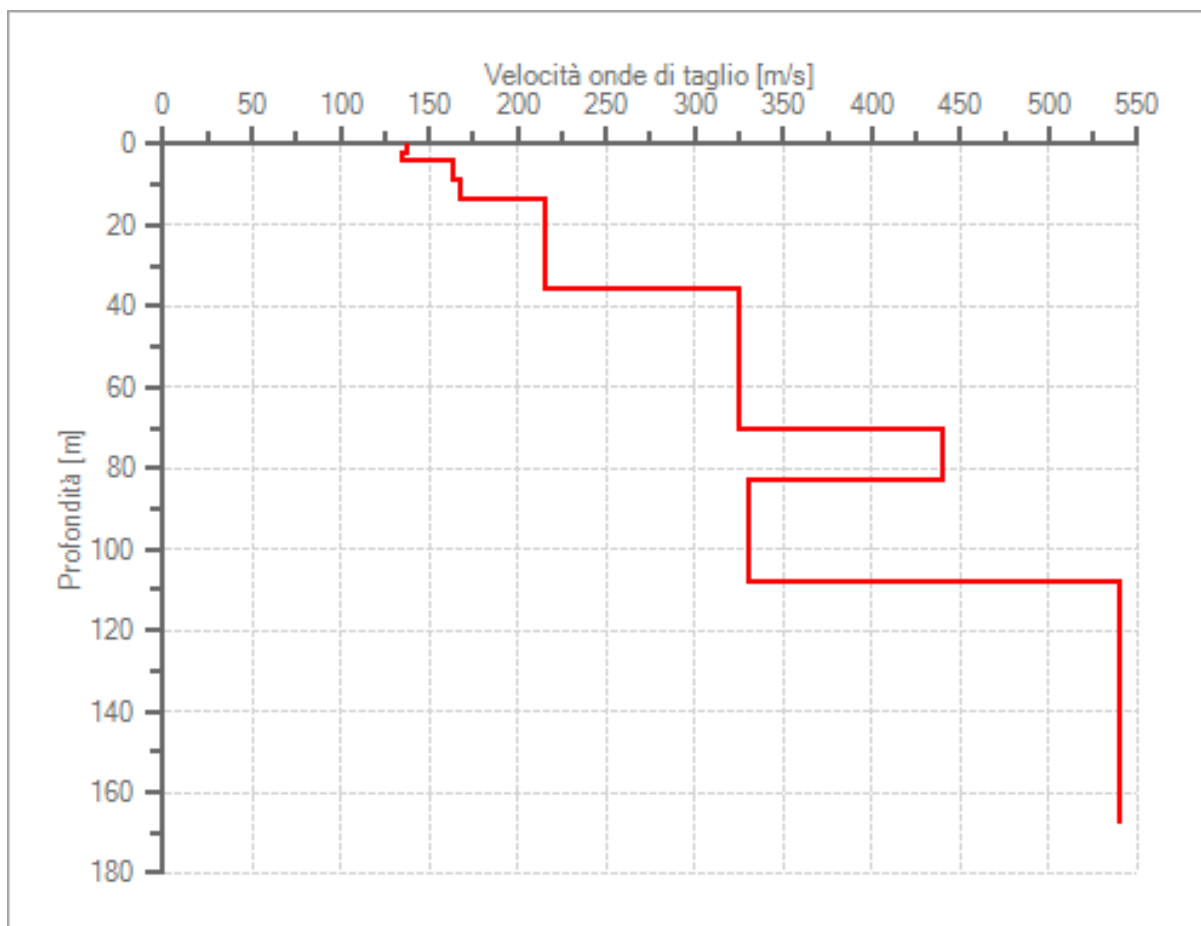
**Modello stratigrafico**

Dati riepilogativi:

Numero strati:	9
Frequenza del picco dell'ellitticità:	0.90 Hz
Valore di disadattamento:	0.14
Valore Vseq:	182.65 m/s

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	2.2	18	0.4	138
2	2.2	2.1	18	0.4	135
3	4.3	4.4	18	0.4	163
4	8.7	5	18	0.4	167
5	13.7	22	19	0.35	215
6	35.7	35	20	0.35	325
7	70.7	12.25	21	0.3	440
8	82.95	25	21	0.3	330
9	107.95	60	22	0.3	540



Profilo delle velocità delle onde di taglio.



