

# Nuovo collegamento stradale tra la tangenziale sud di Vicenza e la viabilità ordinaria dei comuni di Arcugnano e Altavilla in provincia di Vicenza

## PROGETTO DEFINITIVO

DATA	Febbraio 2022
CUP	G91B07000410005
WBS	B26.ARCUGN

Responsabile Unico  
del Procedimento  
Arch. Roberto Beaco

**AUTOSTRADA BRESCIA-VERONA-VICENZA-PADOVA S.p.A**  
Funzione Costruzioni Autostradali

Direttore di Esecuzione  
del Contratto  
Arch. Mirco Panarotto

R.T.I.



Archeologo



Stefano TUZZATO

PROGETTISTA E RESPONSABILE INTEGRAZIONE TRA LE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE: Ing. Francesco Nicchiarelli

CAPO PROGETTO: Ing. Umberto Lugli

ELABORATO **GEOLOGIA, GEOTECNICA E SISMICA**  
**CAMPAGNE DI INDAGINE GEOGNOSTICA ED AMBIENTALE**  
Campagna 2022 - Indagini geofisiche

SCALA	-
NOME FILE	ARCUGN-VNHT-HGT-S0_ZZ-ZZ00_Z-TR-VT-0009

Project	Originator	Volume	Location	Type	Role	Number	Suitability	Revision
ARCUGN	VNHT	HGT	S0_ZZZZZ00_Z	TR	VT	0009	D00S4	P01

Rev.	Data	Descrizione	Redazione	Controllo	Approvazione
P01	17-02-2022	Emissione	M. LANZINI	L. MARCANIO	F. NICCHIARELLI

SOGGETTO ATTUATORE:



**SERVIZI DI PROGETTAZIONE DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA, DEFINITIVA ED ESECUTIVA, PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:  
"NUOVO COLLEGAMENTO STRADALE TRA LA TANGENZIALE SUD DI VICENZA E LA VIABILITÀ ORDINARIA DEI COMUNI DI ARCUGNANO E ALTAVILLA IN PROVINCIA DI VICENZA".  
CODICE CIG: 82111528FB CUP: G91B07000410005**

## INDAGINI GEOGNOSTICHE ED AMBIENTALI

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Arch. Roberto Beaco

PROGETTAZIONE: R.T.I.



## INDAGINI GEOFISICHE SISMICHE: DOWN HOLE – M.A.S.W.

### DATA

Dicembre 2021

Dott. Ing. **Davide Splendore**

Albo degli ingegneri

della Provincia di Padova N. 4933



## SOMMARIO

1.	PREMESSA.....	3
2.	PROVA DOWN HOLE.....	4
2.1	Modalità esecutive .....	5
2.2	Risultati .....	5
3.	MASW .....	13
3.1	Modalità esecutive .....	14
3.2	Interpretazione geofisica e risultati.....	16

## ALLEGATI

Allegato 1 – Atlante fotografico

## 1. PREMESSA

La campagna di indagini geofisiche ha compreso l'esecuzione di:

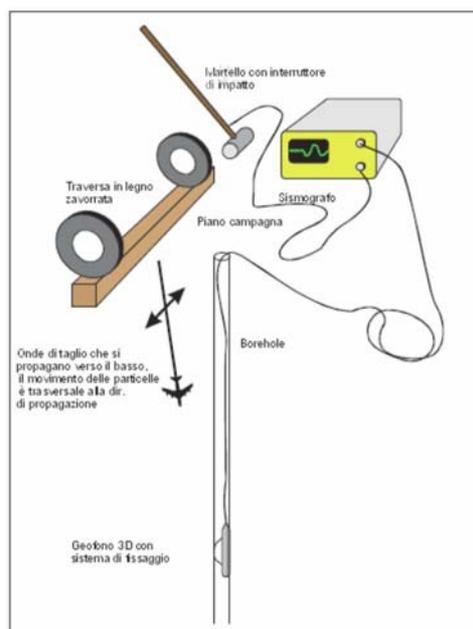
- N° 1 prova sismica di tipo Down hole in corrispondenza del sondaggio S02-DH
- N° 5 misure di sismica superficiale con metodologia attiva MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*).



Foto aerea con ubicazione DH e MASW

## 2. PROVA DOWN HOLE

La prova consiste nella misura del tempo necessario per le onde P e S di spostarsi tra una sorgente sismica, posta in superficie in prossimità della bocca foro e i ricevitori, posti all'interno del foro di sondaggio.



*Configurazione utilizzata per le misure effettuate, relativamente alle onde di taglio*

Le componenti indispensabili per una misura DH accurata consistono in:

- una sorgente meccanica (massa battente) in grado di generare onde elastiche ricche di energia e direzionali;
- un geofono tridimensionale (o a più componenti), con appropriata risposta in frequenza, dotato di un sistema di ancoraggio alle pareti del tubo-foro;
- un sismografo multicanale, in grado di registrare le forme d'onda in modo digitale su memoria di massa;
- un trasduttore (trigger) alloggiato nella sorgente necessario per l'identificazione dell'istante di partenza della sollecitazione dinamica mediante massa battente.

## 2.1 Modalità esecutive

Per le misure in questione è stato utilizzato:

- un sismografo a ECHO 24-48 2010 della AMBROGEO srl caratterizzato da 24-48 canali di acquisizione digitale con dinamica a 24 bit, campionamento del segnale ad intervalli compresi tra 64-956 millisecondi e filtro analogico Low Pass a 50 Hz.
- 1 geofono 3D con Vp1, VSx e VSy con frequenza propria 14 Hz.
- 1 massa battente del peso di 8 kg con linea trigger (dispositivo hammer-switch).
- 1 massa battente con pendolo del peso di 15 kg per energizzazione in onde SH, con linea trigger (dispositivo hammer-switch), che consiste nel colpire lateralmente una piastra (nella fattispecie, una trave di legno posta ortogonale al profilo sismico).

In corrispondenza della verticale indagata sono state effettuate separatamente energizzazioni e registrazioni per onde P e per onde S con spaziatura di 1 m tra misure successive con tiri (scoppi) a 3.0 metri dal foro.

La prova è stata spinta sino alla profondità massima di 40 metri p.c. per un totale di 120 acquisizioni a foro (40 acquisizioni onde P, 40 geofono SHx e 40 geofono SHy).

## 2.2 Risultati

L'analisi dei dati sismici è stata eseguita con il metodo a velocità intervallari che consiste nel diagrammare le velocità di ciascun metro in funzione della profondità z.

Le velocità di intervallo vengono calcolate con l'espressione:

$$V_{p,s} = (r_2 - r_1) / (t_{2corr} - t_{1corr})$$

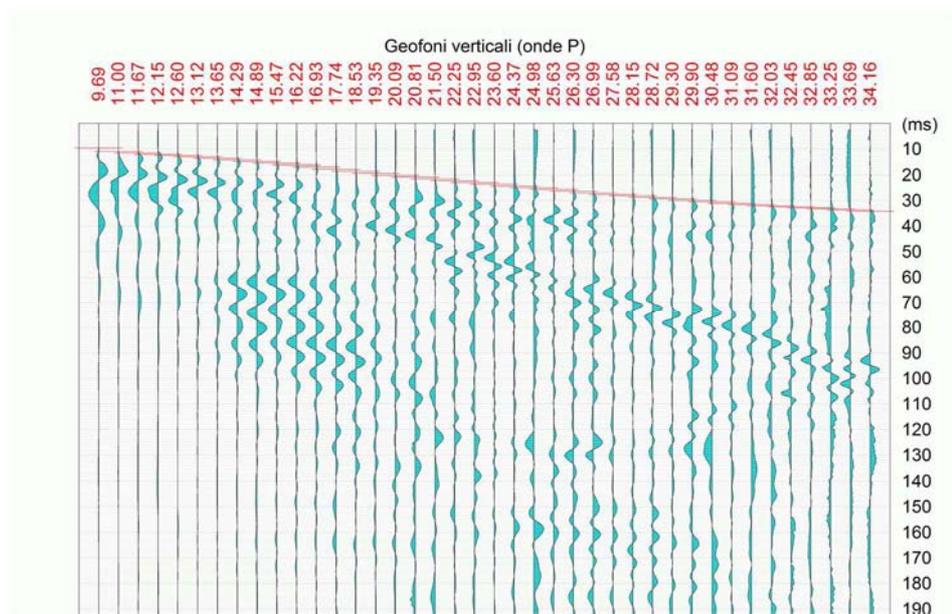
dove

$r_2, r_1$  sono le distanze tra sorgente e geofono

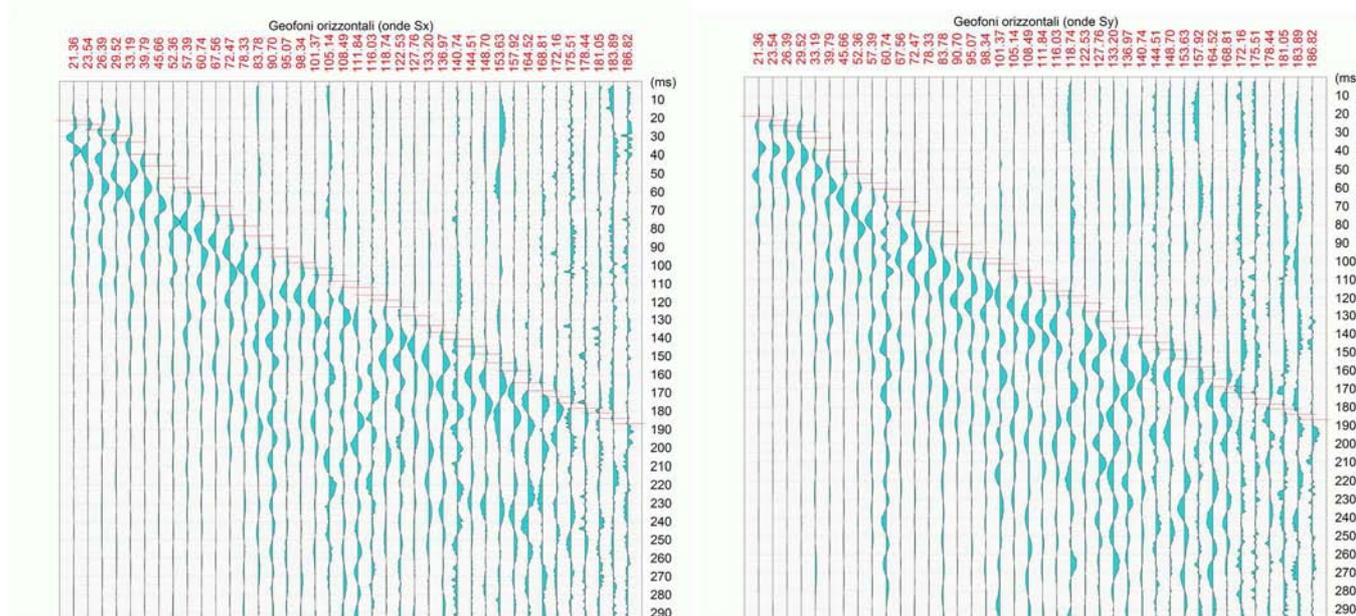
$t_{2corr}, t_{1corr}$  sono i tempi di tragitto misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore che tengono conto dell'inclinazione del percorso delle onde (dal momento che il punto di battuta non coincide con il ricevitore).

Dopo aver verificato l'andamento dei tempi in funzione della profondità, si sono diagrammate le velocità sia in modalità puntuale che intervallare, tenendo conto dei tempi di tragitto dell'onda sismica misurati fra i ricevitori.

L'elaborazione ha previsto un picking delle onde P e S.

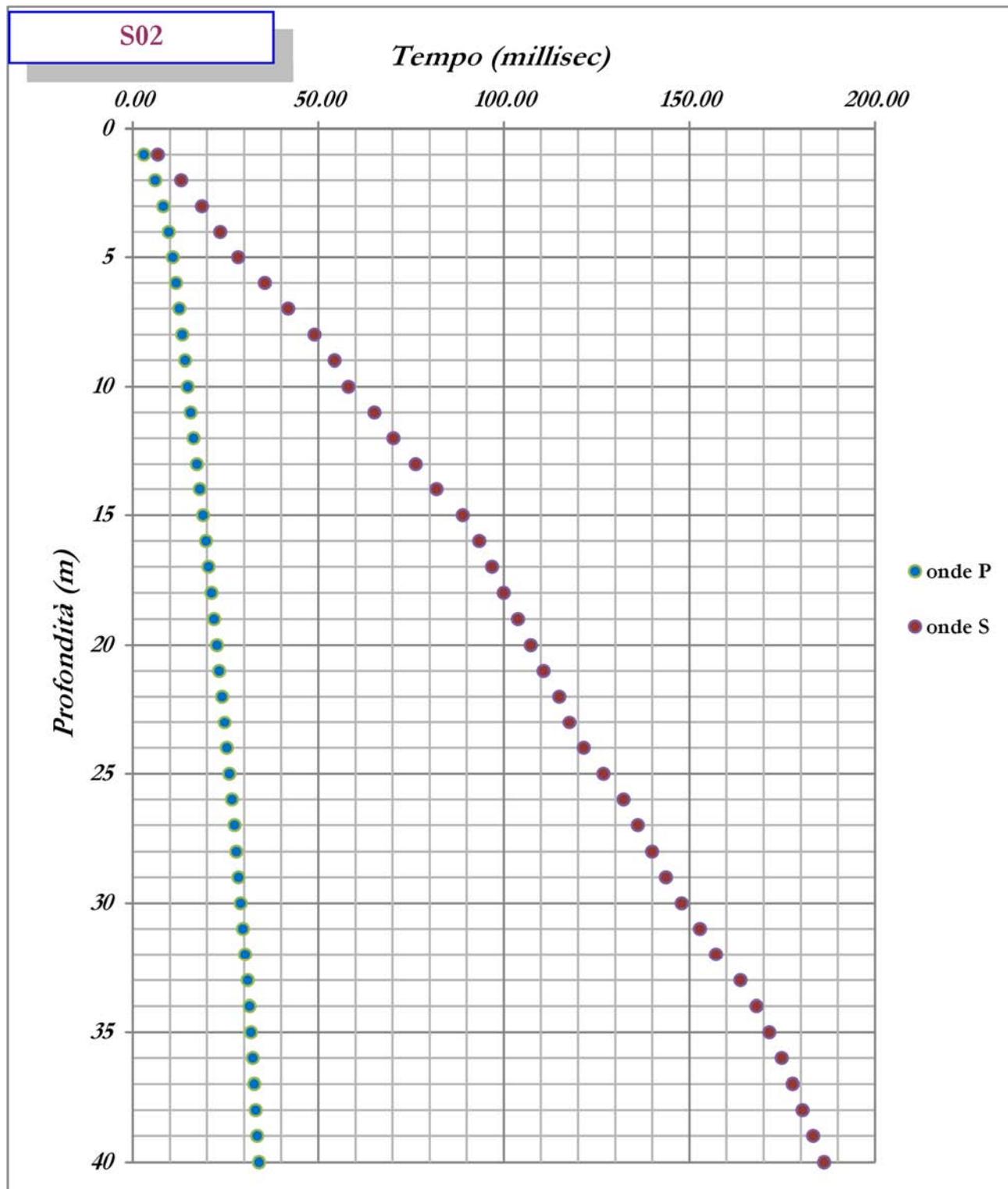


Picking onde P



Picking onde Sx e Sy

Interpretazione DH con metodo a velocità intervallari e  $V_s_{EQ}$

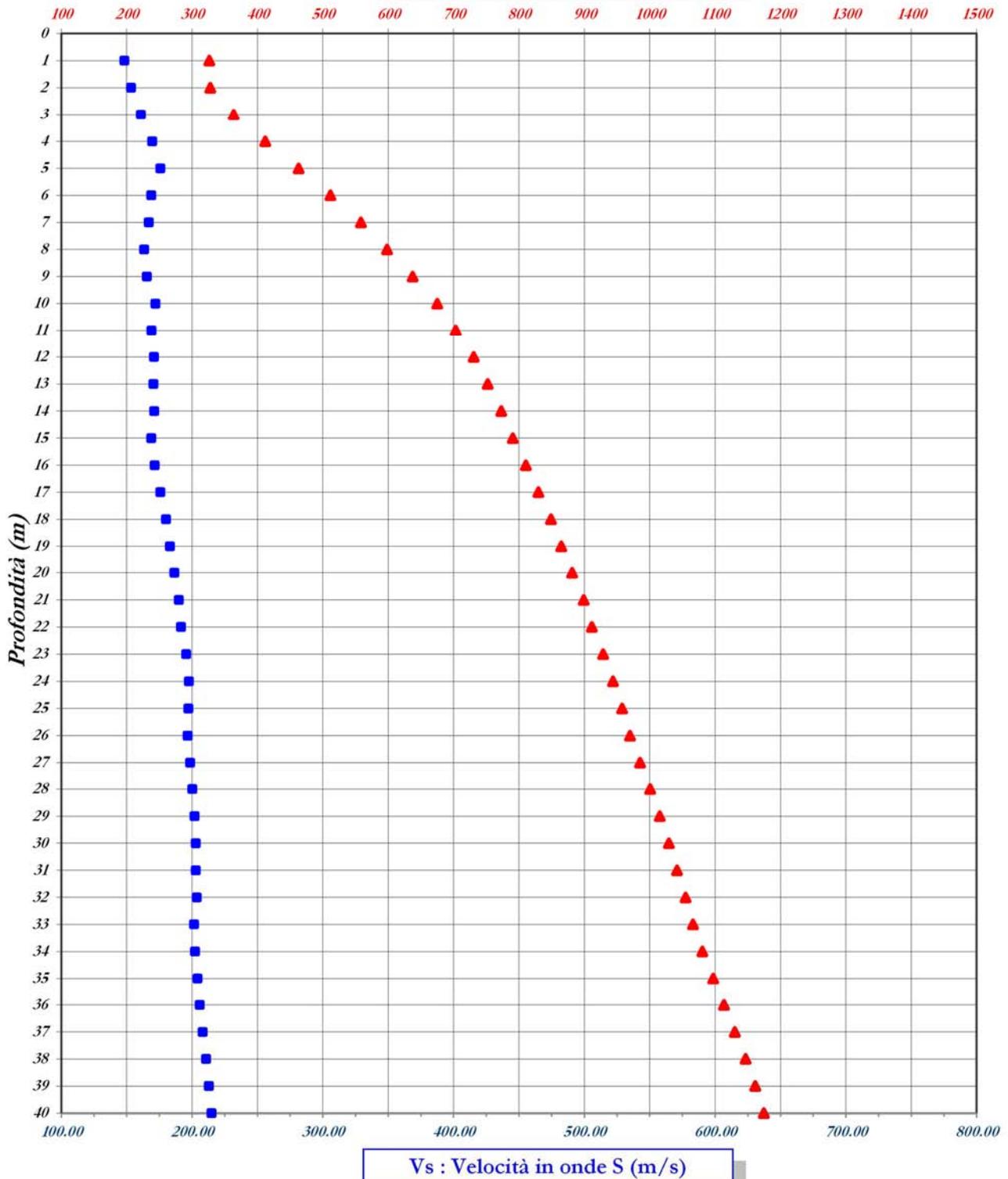


Andamento "tempi-profondità" metro per metro (Dromocrone).

S02

**Velocità Puntuali**

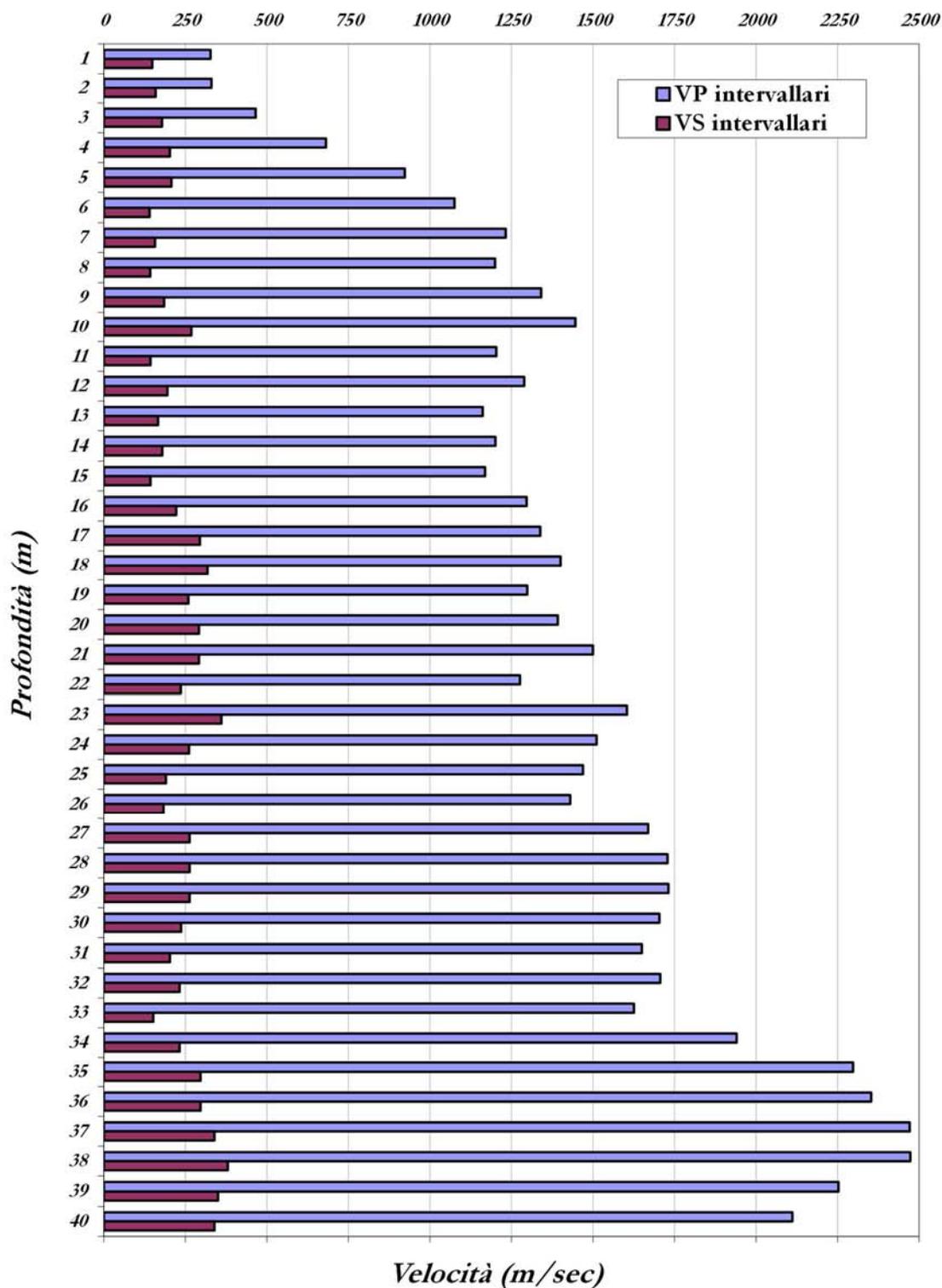
Vp : Velocità in onde P (m/s)



Andamento delle Vp e Vs, rappresentanti le velocità puntuali metro per metro.

**S02**

*Velocità Intervallari*



Andamento delle Vp e Vs, rappresentanti le velocità intervallari metro per metro.

## ANALISI SISMICA: ELABORAZIONE PRIMI ARRIVI

DISTANZA DELLO SPARO DA BOCCA FORO = 3.00 [m]

N° Geof.	Profondità [m]	Onde P [ms]	Onde S (X) [ms]	Onde S (Y) [ms]	Onde P (corretti)[ms]	Onde S (X) (corretti)[ms]	Onde S (Y) (corretti)[ms]
1	1	9.69	21.36	21.36	3.06	6.75	6.75
2	2	11.00	23.54	23.54	6.10	13.06	13.06
3	3	11.67	26.39	26.39	8.25	18.66	18.66
4	4	12.15	29.52	29.52	9.72	23.62	23.62
5	5	12.60	33.19	33.19	10.80	28.46	28.46
6	6	13.12	39.79	39.79	11.73	35.59	35.59
7	7	13.65	45.66	45.66	12.55	41.97	41.97
8	8	14.29	52.36	52.36	13.38	49.03	49.03
9	9	14.89	57.39	57.39	14.13	54.44	54.44
10	10	15.47	60.74	60.74	14.82	58.18	58.18
11	11	16.22	67.56	67.56	15.65	65.18	65.18
12	12	16.93	72.47	72.47	16.42	70.31	70.31
13	13	17.74	78.33	78.33	17.29	76.32	76.32
14	14	18.53	83.78	83.78	18.12	81.92	81.92
15	15	19.35	90.70	90.70	18.97	88.94	88.94
16	16	20.09	95.07	95.07	19.75	93.44	93.44
17	17	20.81	98.34	98.34	20.49	96.84	96.84
18	18	21.50	101.37	101.37	21.21	99.99	99.99
19	19	22.25	105.14	105.14	21.98	103.85	103.85
20	20	22.95	108.49	108.49	22.70	107.29	107.29
21	21	23.60	111.84	111.84	23.36	110.72	110.72
22	22	24.37	116.03	116.03	24.15	114.97	114.97
23	23	24.98	118.74	118.74	24.77	117.74	117.74
24	24	25.63	122.53	122.53	25.43	121.58	121.58
25	25	26.30	127.76	127.76	26.11	126.85	126.85
26	26	26.99	133.20	133.20	26.81	132.32	132.32
27	27	27.58	136.97	136.97	27.41	136.13	136.13
28	28	28.15	140.74	140.74	27.99	139.94	139.94
29	29	28.72	144.51	144.51	28.57	143.74	143.74
30	30	29.30	148.70	148.70	29.15	147.96	147.96
31	31	29.90	153.63	153.63	29.76	152.92	152.92
32	32	30.48	157.92	157.92	30.35	157.23	157.23
33	33	31.09	164.52	164.52	30.96	163.84	163.84
34	34	31.60	168.81	168.81	31.48	168.16	168.16
35	35	32.03	172.16	172.16	31.91	171.53	171.53
36	36	32.45	175.51	175.51	32.34	174.90	174.90
37	37	32.85	178.44	178.44	32.74	177.86	177.86
38	38	33.25	181.05	181.05	33.15	180.49	180.49
39	39	33.69	183.89	183.89	33.59	183.35	183.35
40	40	34.16	186.82	186.82	34.06	186.30	186.30

VELOCITA' ONDE P - Sx - Sy				
Strato	Velocità Vp [m/s] puntuali	Velocità Vp[m/s] intervallari	Velocità Vs [m/s] puntuali	Velocità Vs [m/s] intervallari
1	326.34	326.34	148.05	148.05
2	327.78	329.22	153.17	158.65
3	363.55	465.07	160.77	178.48
4	411.52	681.17	169.38	201.80
5	462.77	922.16	175.68	206.43
6	511.30	1074.72	168.59	140.27
7	557.93	1232.37	166.79	156.77
8	597.90	1199.31	163.18	141.68
9	637.13	1340.93	165.30	184.54
10	674.87	1445.76	171.89	267.85
11	702.94	1203.52	168.76	142.84
12	730.62	1288.59	170.68	195.05
13	752.07	1161.19	170.33	166.17
14	772.68	1200.51	170.90	178.69
15	790.55	1168.83	168.66	142.48
16	810.29	1295.90	171.23	222.07
17	829.54	1337.89	175.54	293.95
18	848.76	1400.32	180.02	317.75
19	864.51	1298.27	182.95	258.89
20	881.21	1392.05	186.41	291.01
21	898.86	1499.88	189.67	291.86
22	911.10	1275.96	191.36	235.29
23	928.54	1603.47	195.34	360.15
24	943.69	1510.79	197.39	260.34
25	957.39	1469.34	197.08	189.89
26	969.71	1429.70	196.49	182.74
27	984.99	1668.87	198.34	262.45
28	1000.36	1728.64	200.09	262.69
29	1015.14	1730.87	201.75	262.89
30	1029.00	1703.46	202.75	237.02
31	1041.63	1649.14	202.73	201.87
32	1054.47	1706.58	203.52	231.75
33	1065.81	1624.99	201.41	151.20
34	1080.13	1940.30	202.19	231.89
35	1096.73	2297.37	204.04	296.35
36	1113.24	2353.35	205.83	296.50
37	1130.03	2471.34	208.03	338.69
38	1146.41	2473.32	210.54	379.93
39	1161.03	2252.75	212.71	349.66
40	1174.25	2111.65	214.71	339.16

VELOCITA' MEDIE VS<sub>EQ</sub> (intervallari metro per metro)

Geofono	VS <sub>30</sub> [m/s]	VS <sub>EQ</sub> [m/s]	VS <sub>40</sub> [m/s]
orizzontale Sx/Sy	<b>202.75</b>	<b>202.75</b>	<b>214.71</b>

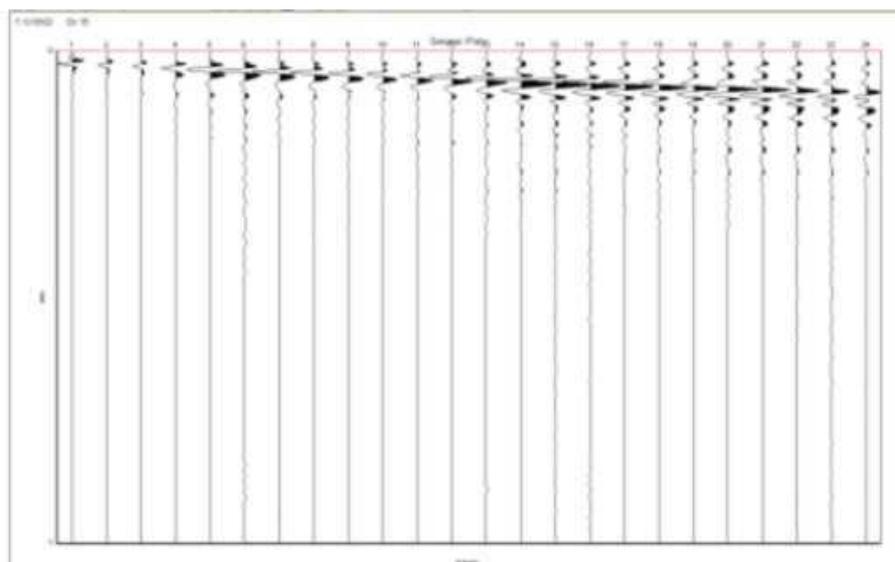
**N.B.:** Le Velocità medie sono calcolate in base ai valori delle Velocità Intervallari.

### PARAMETRI DINAMICI VS EQ

Prof. (m p.c.)	VP (m/s)	VS (m/s)	$\gamma$ (t/mc)	Poisson	Mod. di taglio Go (MPa)	Mod. elasticità Ed (MPa)	Mod. di Lamè $\lambda$ (MPa)	Mod. di Bulk k (MPa)
1	326.34	148.05	1.53	0.37	33.54	91.92	95.89	118.24
2	329.22	158.65	1.53	0.35	38.58	104.07	88.96	114.68
3	465.07	178.48	1.64	0.41	52.13	147.40	249.71	284.47
4	681.17	201.80	1.76	0.45	71.66	208.09	673.18	720.95
5	922.16	206.43	1.87	0.47	79.43	234.11	1426.22	1479.18
6	1074.72	140.27	1.92	0.49	37.76	112.62	2140.97	2166.14
7	1232.37	156.77	1.97	0.49	48.40	144.41	2894.42	2926.69
8	1199.31	141.68	1.96	0.49	39.33	117.44	2739.62	2765.84
9	1340.93	184.54	2.00	0.49	68.16	203.17	3462.39	3507.83
10	1445.76	267.85	2.03	0.48	145.66	431.79	3952.31	4049.42
11	1203.52	142.84	1.96	0.49	40.00	119.44	2760.00	2786.67
12	1288.59	195.05	1.99	0.49	75.57	224.94	3147.06	3197.44
13	1161.19	166.17	1.95	0.49	53.77	160.20	2518.26	2554.11
14	1200.51	178.69	1.96	0.49	62.58	186.31	2699.33	2741.05
15	1168.83	142.48	1.95	0.49	39.58	118.16	2584.63	2611.02
16	1295.90	222.07	1.99	0.48	98.06	291.23	3143.18	3208.56
17	1337.89	293.95	2.00	0.47	172.86	509.81	3235.17	3350.41
18	1400.32	317.75	2.02	0.47	203.74	600.16	3549.50	3685.32
19	1298.27	258.89	1.99	0.48	133.32	394.44	3086.07	3174.95
20	1392.05	291.01	2.02	0.48	170.70	504.30	3564.61	3678.41
21	1499.88	291.86	2.05	0.48	174.16	515.62	4251.00	4367.10
22	1275.96	235.29	1.98	0.48	109.76	325.42	3008.31	3081.49
23	1603.47	360.15	2.07	0.47	268.57	791.44	4786.53	4965.57
24	1510.79	260.34	2.05	0.48	138.75	412.02	4395.39	4487.89
25	1469.34	189.89	2.04	0.49	73.43	219.05	4249.80	4298.75
26	1429.70	182.74	2.03	0.49	67.66	201.85	4005.78	4050.89
27	1668.87	262.45	2.09	0.49	143.71	427.49	5523.36	5619.17
28	1728.64	262.69	2.10	0.49	144.93	431.37	5986.39	6083.01
29	1730.87	262.89	2.10	0.49	145.20	432.16	6003.57	6100.37
30	1703.46	237.02	2.10	0.49	117.66	350.66	5842.43	5920.87
31	1649.14	201.87	2.08	0.49	84.83	253.21	5491.72	5548.27
32	1706.58	231.75	2.10	0.49	112.53	335.49	5877.14	5952.16
33	1624.99	151.20	2.08	0.50	47.46	141.95	5386.47	5418.11
34	1940.30	231.89	2.15	0.49	115.45	344.68	7851.89	7928.86
35	2297.37	296.35	2.22	0.49	194.71	580.82	11311.62	11441.42
36	2353.35	296.50	2.23	0.49	195.79	584.21	11942.86	12073.39
37	2471.34	338.69	2.25	0.49	257.86	768.64	13213.57	13385.48
38	2473.32	379.93	2.25	0.49	324.53	965.74	13104.42	13320.78
39	2252.75	349.66	2.21	0.49	270.04	803.46	10668.95	10848.98
40	2111.65	339.16	2.18	0.49	250.97	746.27	9226.66	9393.97

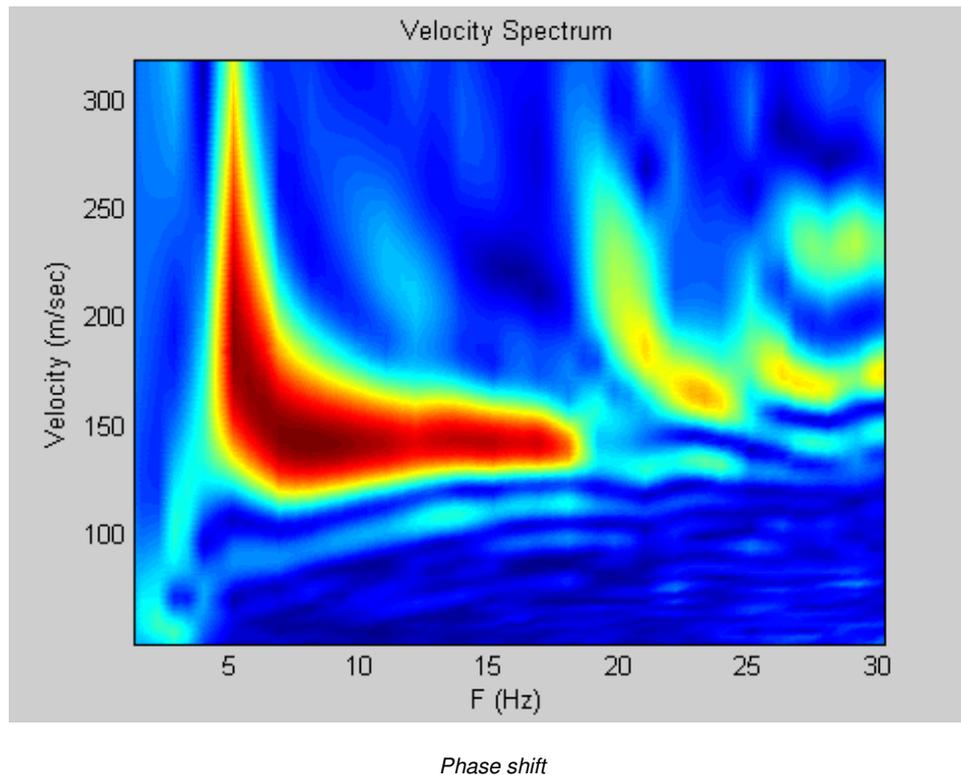
### 3. MASW

La procedura Masw è basata sulla determinazione della velocità delle onde di superficie. Considerando che le onde di Rayleigh campionano uno spessore di sottosuolo proporzionale alla lunghezza d'onda  $\lambda$ , è ragionevole ritenere di poter risalire alla rigidità dei terreni dalla legge di variazione della  $V_r$  con  $\lambda$  (curva di dispersione). Dal punto di vista sperimentale l'acquisizione masw viene eseguita con una metodologia simile alla tecnica sismica a rifrazione. La differenza sostanziale viene dalla configurazione geometrica dei ricevitori, in genere i geofoni (minimo 12-24) vengono spazati di 1, 2 o 3 metri, aventi una frequenza di campionamento pari a 4.5 Hz. Essendo una tecnica attiva in presenza di una sorgente polarizzata, l'acquisizione masw risulta comunque possibile, essendo un metodo che utilizza una generazione energetica attiva per creare le onde sismiche, applicando le migliori metodologie di acquisizione sismica (filtri ecc.) che i moderni sismografi consentono.



Esempio acquisizione MASW

Il primo passo nell'elaborazione prevede la definizione della curva di dispersione la quale gode di una certa "variabilità" giustificata nell'influenza sulle misure dalla distanza dei ricevitori, posizione della sorgente e il volume di terreno campionato. Il secondo passo consiste nell'inversione della curva di dispersione, al fine di individuare quale sia il profilo di rigidità che riproduce la curva sperimentale. I modelli di analisi adoperati sono molteplici, mentre il metodo utilizzato per ottenere lo spettro delle velocità e l'inversione della curva di dispersione si basano sul metodo *phase shift* utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.



### 3.1 Modalità esecutive

I profili sismici vengono eseguiti disponendo sul terreno una serie di sensori (*geofoni*), posti ad intervallo costante, collegati ad un sismografo mediante un cavo multipolare.

Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si provvede a generare artificialmente (sismica attiva), vibrazioni impulsive in corrispondenza di punti prestabiliti lungo i profili: nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (*trigger*). Da questo istante inizia l'acquisizione digitale, con campionamento ad intervallo costante e predeterminato, dei segnali ricevuti dai sensori.

Le misure di campagna sono state eseguite nel mese di novembre 2021 ed hanno compreso n° 5 stendimenti, con le seguenti caratteristiche:

- a) **Sismografo utilizzato:** sismografo digitale ECHO 12-24 2002 della AMBROGEO srl caratterizzato da 24 canali di acquisizione digitale con dinamica a 24 bit e campionamento del segnale ad intervalli di 130 microsecondi e filtro analogico Low Pass a 50 Hz.
- b) **Numero geofoni:** 24 cad. con frequenza propria 4.5 Hz distanza geofonica 1.0 m;

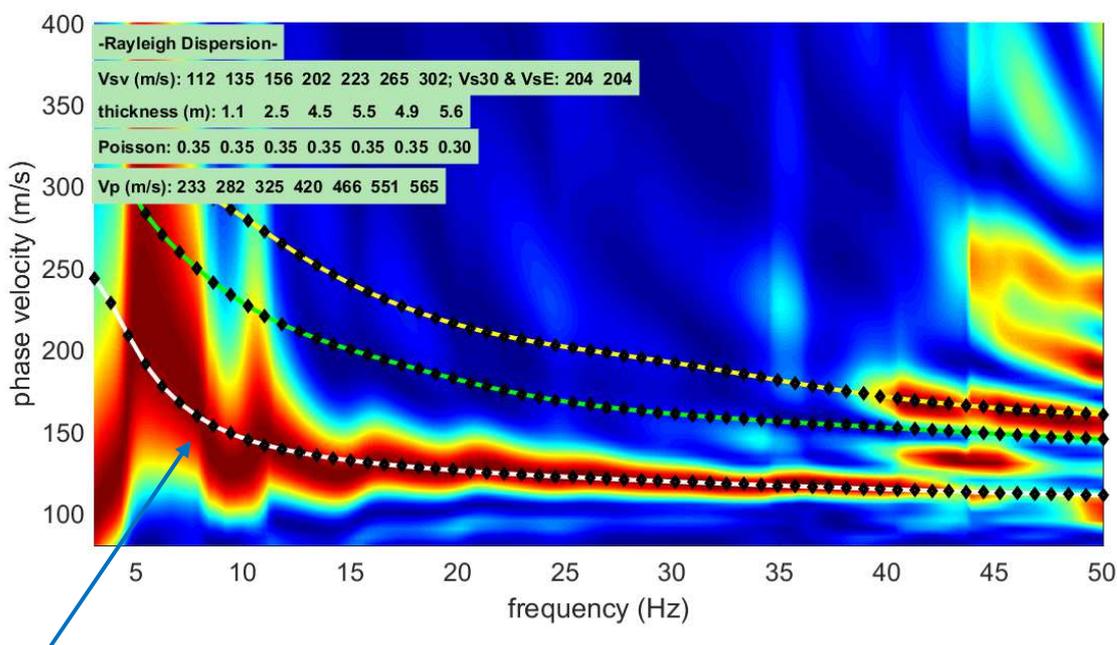
- c) **Acquisizione** a 7651 Hz per 1 sec.
- d) **Numero profili:** 5 MASW;
- e) **Tiri:** n. 5 cad profilo MASW
  - i. Tiro n. 1 eseguito – 2.0 metri dal geofono n. 1 con finestra di acquisizione pari a 1000 millisecondi;
  - ii. Tiro n. 2 eseguito – 4.0 metri dal geofono n. 1 con finestra di acquisizione pari a 1000 millisecondi
  - iii. Tiro n. 3 eseguito – 6.0 metri dal geofono n. 1 con finestra di acquisizione pari a 1000 millisecondi
  - iv. Tiro n. 4 eseguito – 8.0 metri dal geofono n. 1 con finestra di acquisizione pari a 1000 millisecondi
  - v. Tiro n. 5 eseguito – 10.0 metri dal geofono n. 1 con finestra di acquisizione pari a 1000 millisecondi
- f) **Lunghezza singolo profilo:** 23+10 metri;
- g) **Sorgente utilizzata:** Mazza battente kg 10 con trigger (dispositivo per il comando di avvio della registrazione);
- h) **Energia utilizzata:** numero 1 colpo (masw) di mazza per tiro;

### 3.2 Interpretazione geofisica e risultati

**Profilo MASW 01:** Numero geofoni utilizzati: 24 verticali, lunghezza profilo 23+10 m

Per ogni acquisizione è stata eseguita un'analisi  $\omega$ -p (trasformata  $\tau$ -p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh. L'inversione della curva di dispersione è stata ottenuta con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

Si riportano i grafici ad isolinee sui quali è identificata la curva di dispersione delle onde di Rayleigh.

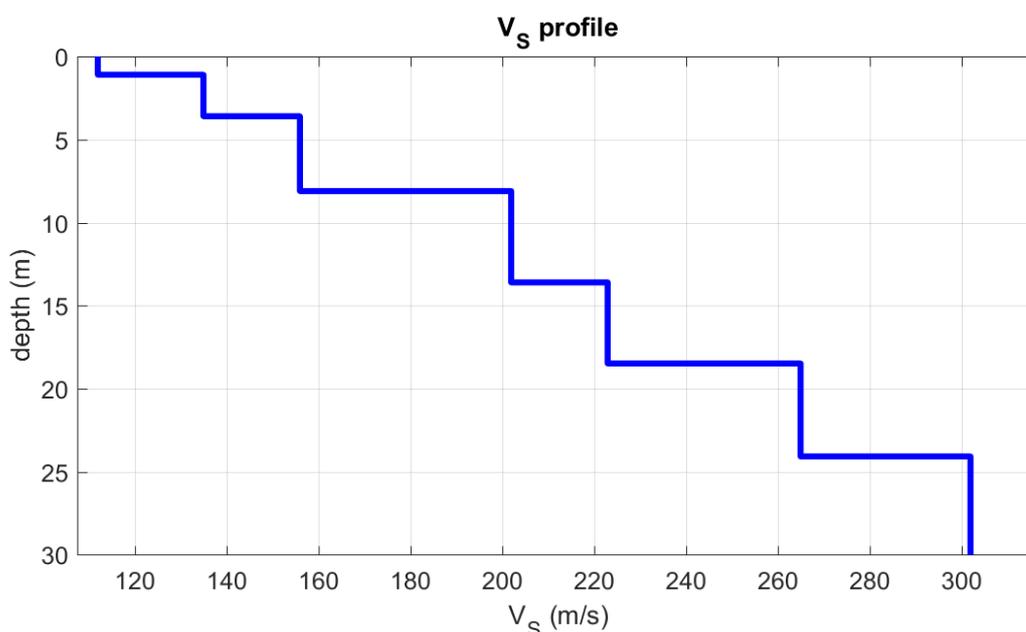


Modo fondamentale

MASW 01 - Grafici a isolinee nel dominio velocità di fase – frequenza

### Analisi curva di dispersione:

La modellazione numerica della curva di dispersione prevede che alla base del modello sia posto un semispazio a spessore infinito. Di seguito si riporta il profilo di velocità delle onde S associato alla curva teorica.



*Profilo di velocità delle onde S stimato nel sito in esame.*

In ottemperanza alla nuova normativa NTC 2018, il terreno di fondazione viene classificato in base al valore  $V_{SH}$  corrispondente alla “velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio S” entro una profondità pari ad H, ovvero corrispondente alla profondità del bedrock sismico (substrato caratterizzato da velocità  $V_s$  maggiori di 800 m/s):

$$V_{SH} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N h_i/V_{Si}}$$

con  $h_i$  e  $V_{Si}$  rispettivamente lo spessore e la velocità delle onde S dello strato i-esimo per un totale di N strati.

Strato	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Spessore
1	233	112	1.10
2	282	135	2.50
3	325	156	4.50
4	420	202	5.50
5	466	223	4.90
6	551	265	5.60
7	565	302	Inf.

**Modello di velocità delle onde S per il sito in esame.**

**VS<sub>eq</sub> = 204 m/s**

**Suolo di tipo C**

La dicitura “infinito” indica che è stata raggiunta la profondità massima di indagine, mentre con il programma Deepsoil v.3.5 dell’Università dell’Illinois è stato calcolato il bedrock o meglio il bedrock-like (700 m/s). Esso risulta rilevante ai fini degli effetti di sito, perché tale strato presenta forti contrasti di impedenza rispetto ai terreni sovrastanti, potendo così determinare in questi ultimi l'intrappolamento delle onde sismiche e dunque l'amplificazione del moto del suolo in caso di terremoto.

N.B. Le velocità sismiche Vp sono ottenute da formule empiriche.

### PARAMETRI DINAMICI “Moduli elastici”

**VS (m/sec)** : 112 135 156 202 223 265 302

**Spessori (m)**: 1.1, 2.5, 4.5, 5.5, 4.9, 5.6

**Stima VP (m/sec)**: 233 282 325 420 466 551 565

**Stima densità (gr/cm<sup>3</sup>)**: 1.70 1.75 1.78 1.84 1.87 1.91 1.92

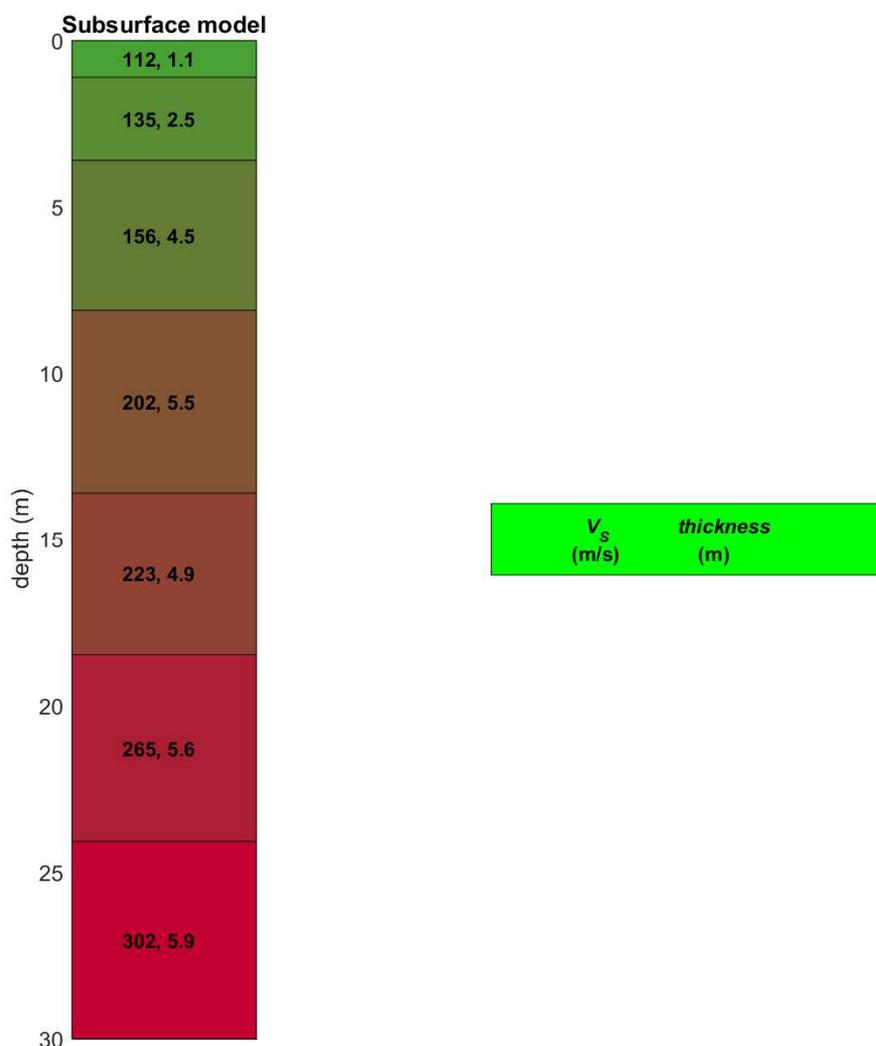
**Stima modulo di Poisson**: 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.30

**Stima modulo di taglio (MPa)**: 21 32 43 75 93 134 175

**Stima modulo di compressione (MPa)**: 64 97 130 224 282 401 379

**Stima modulo di Young (MPa)**: 58 86 117 203 251 362 455

**Stima modulo di Lamé (MPa)**: 50 75 101 174 220 312 263

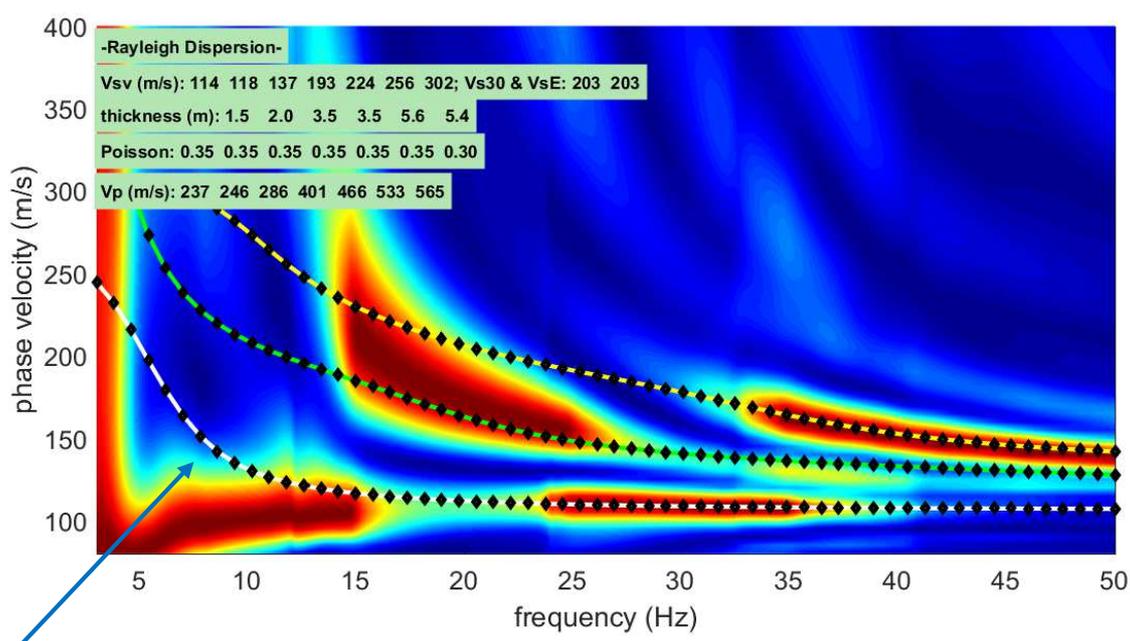


Stratigrafia dei terreni.

**Profilo MASW 02:** Numero geofoni utilizzati: 24 verticali, lunghezza profilo 23+10 m

Per ogni acquisizione è stata eseguita un'analisi  $\omega$ -p (trasformata  $\tau$ -p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh. L'inversione della curva di dispersione è stata ottenuta con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

Si riportano i grafici ad isolinee sui quali è identificata la curva di dispersione delle onde di Rayleigh.

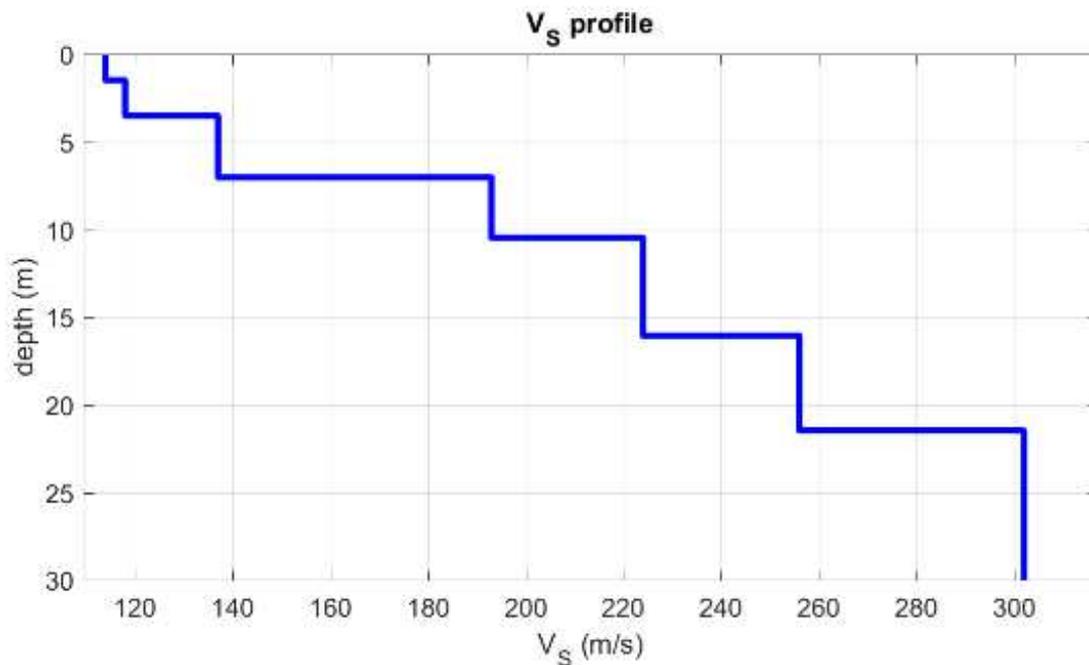


Modo fondamentale

MASW 02 - Grafici a isolinee nel dominio velocità di fase – frequenza

### Analisi curva di dispersione:

La modellazione numerica della curva di dispersione prevede che alla base del modello sia posto un semispazio a spessore infinito. Di seguito si riporta il profilo di velocità delle onde S associato alla curva teorica.



*Profilo di velocità delle onde S stimato nel sito in esame.*

In ottemperanza alla nuova normativa NTC 2018, il terreno di fondazione viene classificato in base al valore  $V_{SH}$  corrispondente alla “velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio S” entro una profondità pari ad  $H$ , ovvero corrispondente alla profondità del bedrock sismico (substrato caratterizzato da velocità  $V_s$  maggiori di 800 m/s):

$$V_{SH} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N h_i/V_{Si}}$$

con  $h_i$  e  $V_{Si}$  rispettivamente lo spessore e la velocità delle onde S dello strato  $i$ -esimo per un totale di  $N$  strati.

Strato	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Spessore
1	237	114	1.50
2	246	118	2.00
3	286	137	3.50
4	401	193	3.50
5	466	224	5.60
6	533	256	5.40
7	565	302	Inf.

**Modello di velocità delle onde S per il sito in esame.**

**VS<sub>eq</sub> = 203 m/s**

**Suolo di tipo C**

La dicitura “infinito” indica che è stata raggiunta la profondità massima di indagine, mentre con il programma Deepsoil v.3.5 dell’Università dell’Illinois è stato calcolato il bedrock o meglio il bedrock-like (700 m/s). Esso risulta rilevante ai fini degli effetti di sito, perché tale strato presenta forti contrasti di impedenza rispetto ai terreni sovrastanti, potendo così determinare in questi ultimi l'intrappolamento delle onde sismiche e dunque l'amplificazione del moto del suolo in caso di terremoto.

N.B. Le velocità sismiche Vp sono ottenute da formule empiriche.

## PARAMETRI DINAMICI “Moduli elastici”

**VS (m/sec)** : 114 118 137 193 224 256 302

**Spessori (m)**: 1.5, 2.0, 3.5, 3.5, 5.6, 5.4

**Stima VP (m/sec)**: 237 246 286 401 466 533 565

**Stima densità (gr/cm<sup>3</sup>)**: 1.71 1.72 1.75 1.83 1.87 1.90 1.92

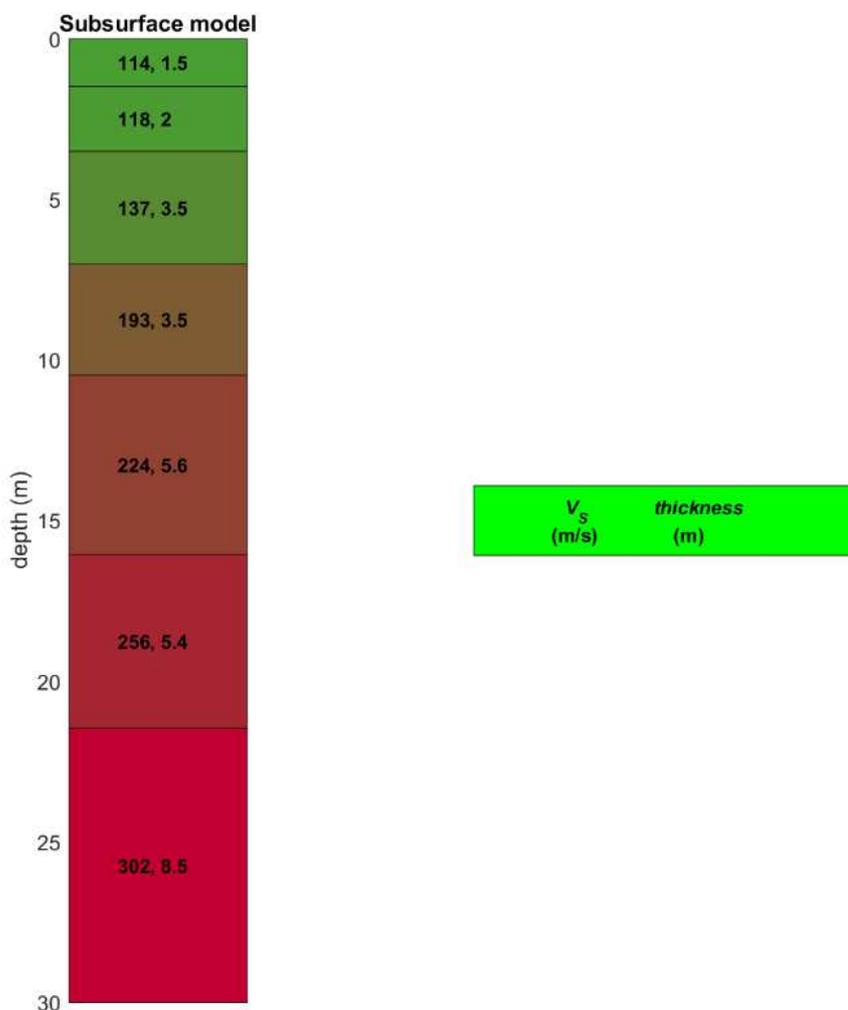
**Stima modulo di Poisson**: 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.30

**Stima modulo di taglio (MPa)**: 22 24 33 68 94 125 175

**Stima modulo di compressione (MPa)**: 66 72 99 203 281 374 379

**Stima modulo di Young (MPa)**: 60 65 89 184 253 336 455

**Stima modulo di Lamé (MPa)**: 52 56 77 158 218 291 263

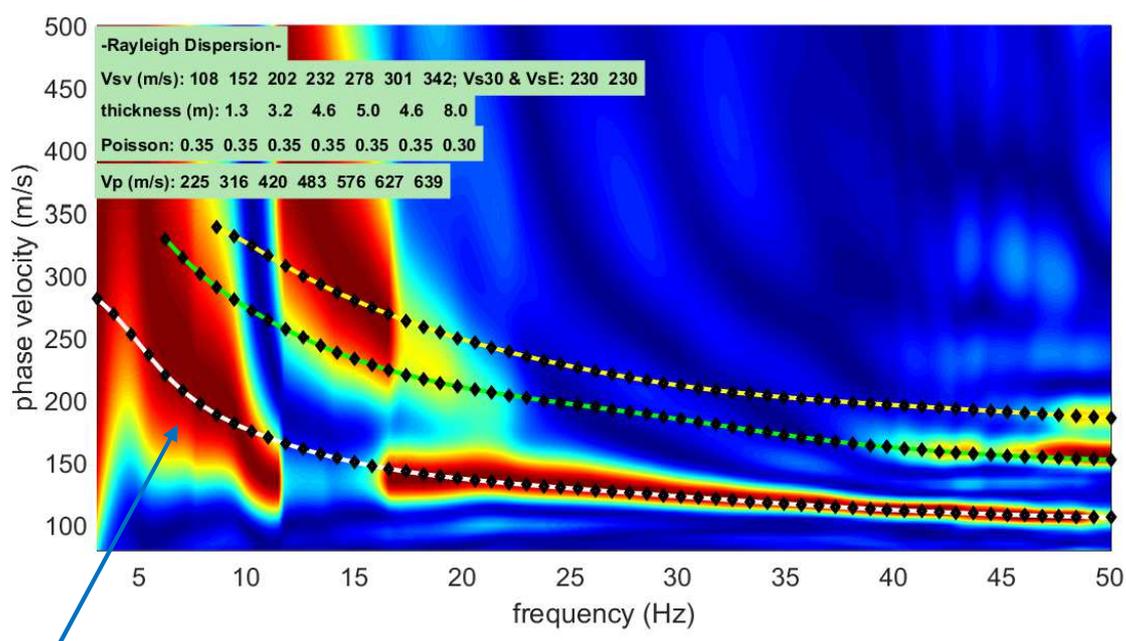


Stratigrafia dei terreni.

**Profilo MASW 03:** Numero geofoni utilizzati: 24 verticali, lunghezza profilo 23+10 m

Per ogni acquisizione è stata eseguita un'analisi  $\omega$ -p (trasformata  $\tau$ -p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh. L'inversione della curva di dispersione è stata ottenuta con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

Si riportano i grafici ad isolinee sui quali è identificata la curva di dispersione delle onde di Rayleigh.

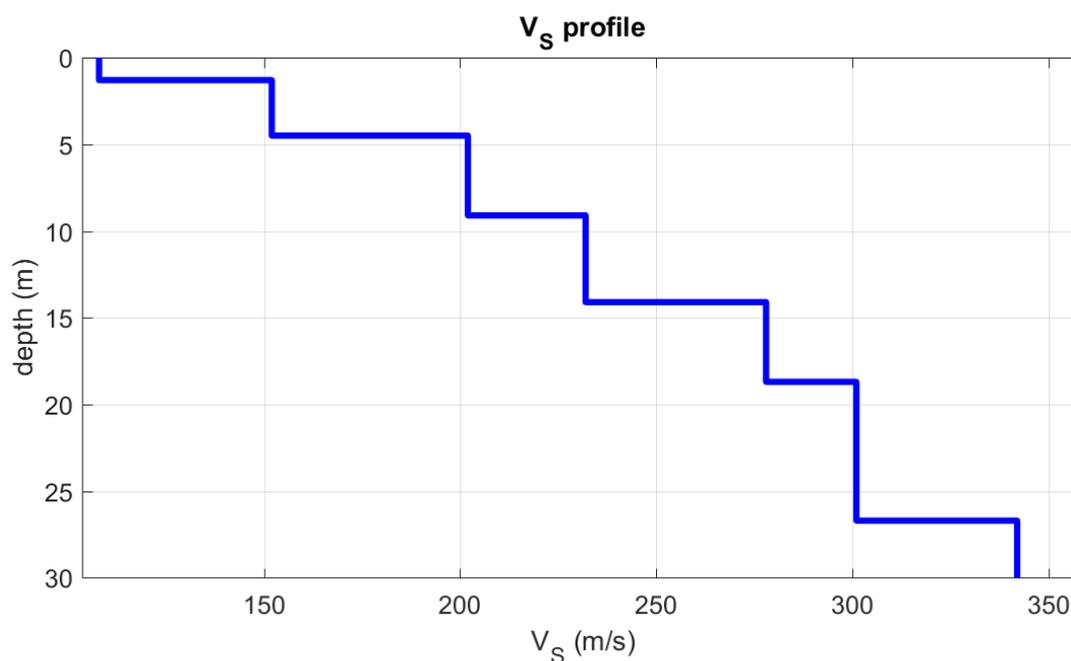


Modo fondamentale

MASW 03 - Grafici a isolinee nel dominio velocità di fase – frequenza

### Analisi curva di dispersione:

La modellazione numerica della curva di dispersione prevede che alla base del modello sia posto un semispazio a spessore infinito. Di seguito si riporta il profilo di velocità delle onde S associato alla curva teorica.



*Profilo di velocità delle onde S stimato nel sito in esame.*

In ottemperanza alla nuova normativa NTC 2018, il terreno di fondazione viene classificato in base al valore V<sub>SH</sub> corrispondente alla “velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio S” entro una profondità pari ad H, ovvero corrispondente alla profondità del bedrock sismico (substrato caratterizzato da velocità V<sub>s</sub> maggiori di 800 m/s):

$$V_{SH} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N h_i/V_{S_i}}$$

con h<sub>i</sub> e V<sub>S<sub>i</sub></sub> rispettivamente lo spessore e la velocità delle onde S dello strato i-esimo per un totale di N strati.

Strato	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Spessore
1	225	108	1.30
2	316	152	3.20
3	420	202	4.60
4	483	232	5.00
5	576	278	4.60
6	627	301	8.00
7	639	342	Inf.

**Modello di velocità delle onde S per il sito in esame.**

**$V_{S_{eq}} = 230 \text{ m/s}$**

**Suolo di tipo C**

La dicitura "infinito" indica che è stata raggiunta la profondità massima di indagine, mentre con il programma Deepsoil v.3.5 dell'Università dell'Illinois è stato calcolato il bedrock o meglio il bedrock-like (700 m/s). Esso risulta rilevante ai fini degli effetti di sito, perché tale strato presenta forti contrasti di impedenza rispetto ai terreni sovrastanti, potendo così determinare in questi ultimi l'intrappolamento delle onde sismiche e dunque l'amplificazione del moto del suolo in caso di terremoto.

N.B. Le velocità sismiche Vp sono ottenute da formule empiriche.

## PARAMETRI DINAMICI “Moduli elastici”

**VS (m/sec)** : 108 152 202 232 278 301 342

**Spessori (m)**: 1.3, 3.2, 4.6, 5.0, 4.6, 8.0

**Stima VP (m/sec)**: 225 316 420 483 576 627 639

**Stima densità (gr/cm<sup>3</sup>)**: 1.69 1.78 1.84 1.88 1.92 1.94 1.95

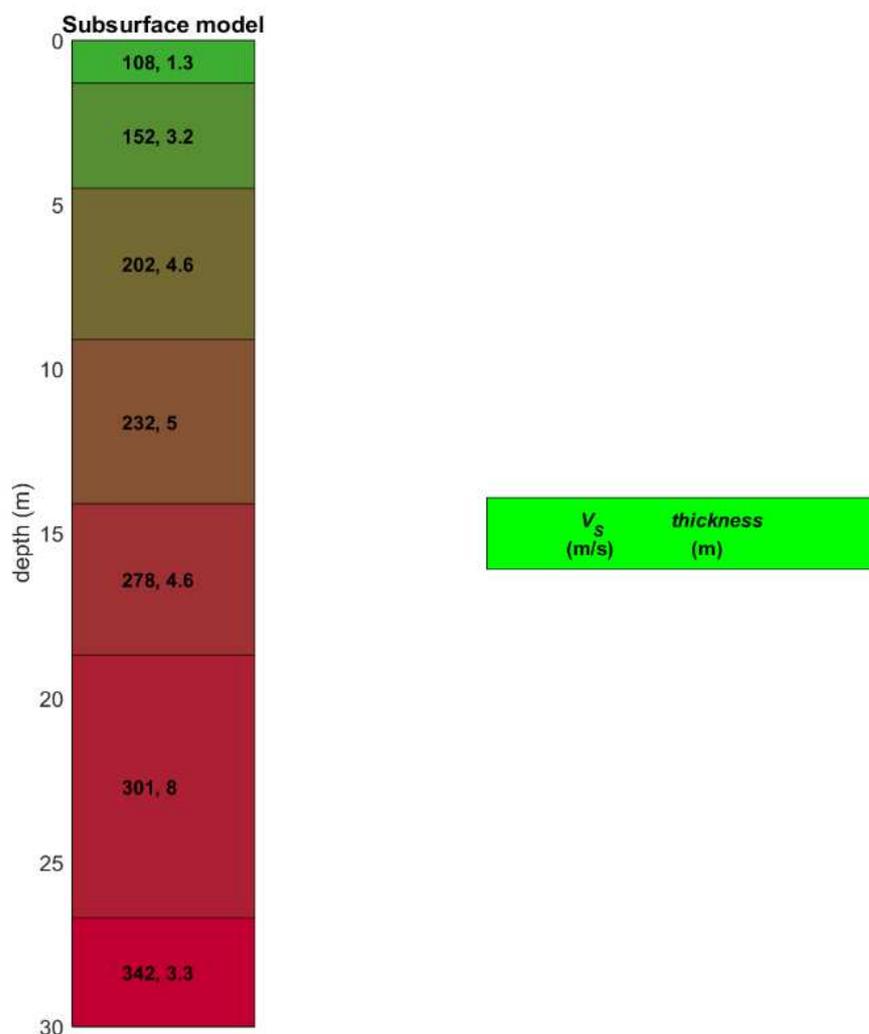
**Stima modulo di Poisson**: 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.30

**Stima modulo di taglio (MPa)**: 20 41 75 101 148 176 228

**Stima modulo di compressione (MPa)**: 59 123 224 304 439 528 492

**Stima modulo di Young (MPa)**: 53 111 203 273 400 475 593

**Stima modulo di Lamé (MPa)**: 46 95 174 236 340 411 340

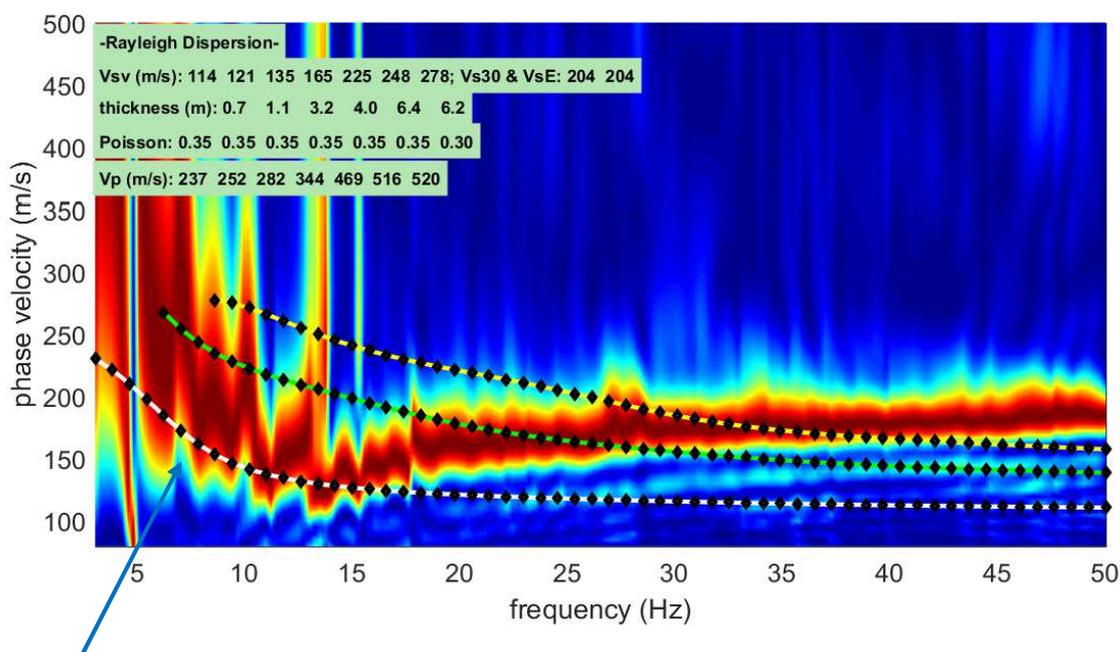


Stratigrafia dei terreni.

**Profilo MASW 04:** Numero geofoni utilizzati: 24 verticali, lunghezza profilo 23+10 m

Per ogni acquisizione è stata eseguita un'analisi  $\omega$ -p (trasformata  $\tau$ -p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh. L'inversione della curva di dispersione è stata ottenuta con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

Si riportano i grafici ad isolinee sui quali è identificata la curva di dispersione delle onde di Rayleigh.

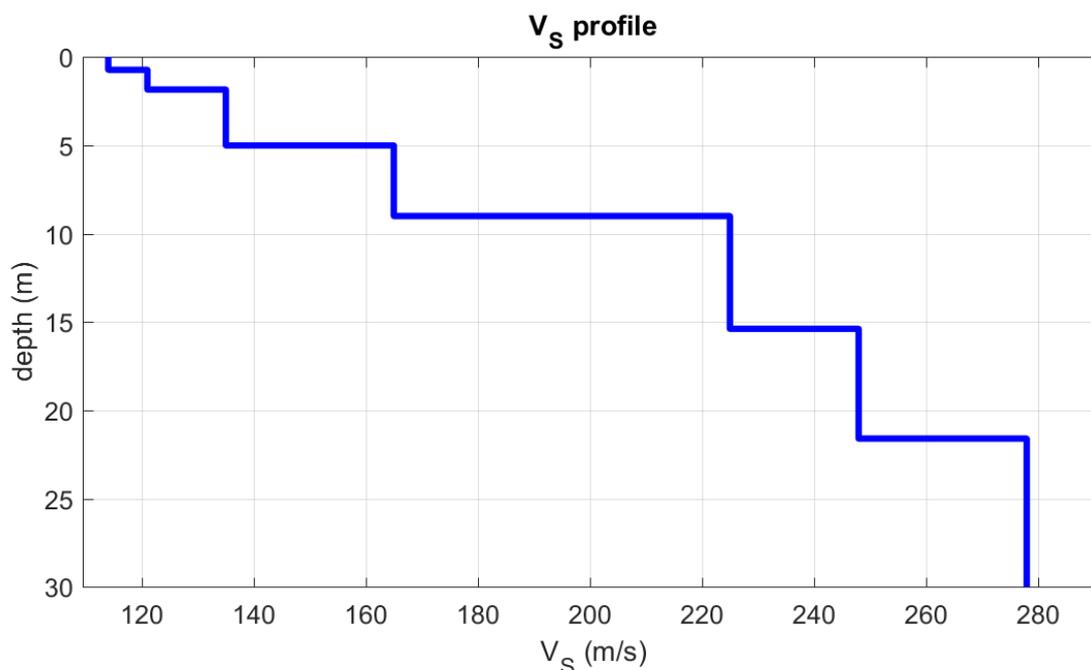


Modo fondamentale

MASW 04 - Grafici a isolinee nel dominio velocità di fase – frequenza

### Analisi curva di dispersione:

La modellazione numerica della curva di dispersione prevede che alla base del modello sia posto un semispazio a spessore infinito. Di seguito si riporta il profilo di velocità delle onde S associato alla curva teorica.



*Profilo di velocità delle onde S stimato nel sito in esame.*

In ottemperanza alla nuova normativa NTC 2018, il terreno di fondazione viene classificato in base al valore  $V_{SH}$  corrispondente alla “velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio S” entro una profondità pari ad H, ovvero corrispondente alla profondità del bedrock sismico (substrato caratterizzato da velocità  $V_s$  maggiori di 800 m/s):

$$V_{SH} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N h_i/V_{Si}}$$

con  $h_i$  e  $V_{Si}$  rispettivamente lo spessore e la velocità delle onde S dello strato i-esimo per un totale di N strati.

Strato	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Spessore
1	237	114	0.70
2	252	121	1.10
3	282	135	3.20
4	344	165	4.00
5	469	225	6.40
6	516	248	6.20
7	520	278	Inf.

**Modello di velocità delle onde S per il sito in esame.**

**VS<sub>eq</sub> = 204 m/s**

**Suolo di tipo C**

La dicitura “infinito” indica che è stata raggiunta la profondità massima di indagine, mentre con il programma Deepsoil v.3.5 dell’Università dell’Illinois è stato calcolato il bedrock o meglio il bedrock-like (700 m/s). Esso risulta rilevante ai fini degli effetti di sito, perché tale strato presenta forti contrasti di impedenza rispetto ai terreni sovrastanti, potendo così determinare in questi ultimi l'intrappolamento delle onde sismiche e dunque l'amplificazione del moto del suolo in caso di terremoto.

N.B. Le velocità sismiche Vp sono ottenute da formule empiriche.

## PARAMETRI DINAMICI “Moduli elastici”

**VS (m/sec)** : 114 121 135 165 225 248 278

**Spessori (m)**: 0.7, 1.1, 3.2, 4.0, 6.4, 6.2

**Stima VP (m/sec)**: 237 252 282 344 469 516 520

**Stima densità (gr/cm<sup>3</sup>)**: 1.71 1.72 1.75 1.80 1.87 1.89 1.90

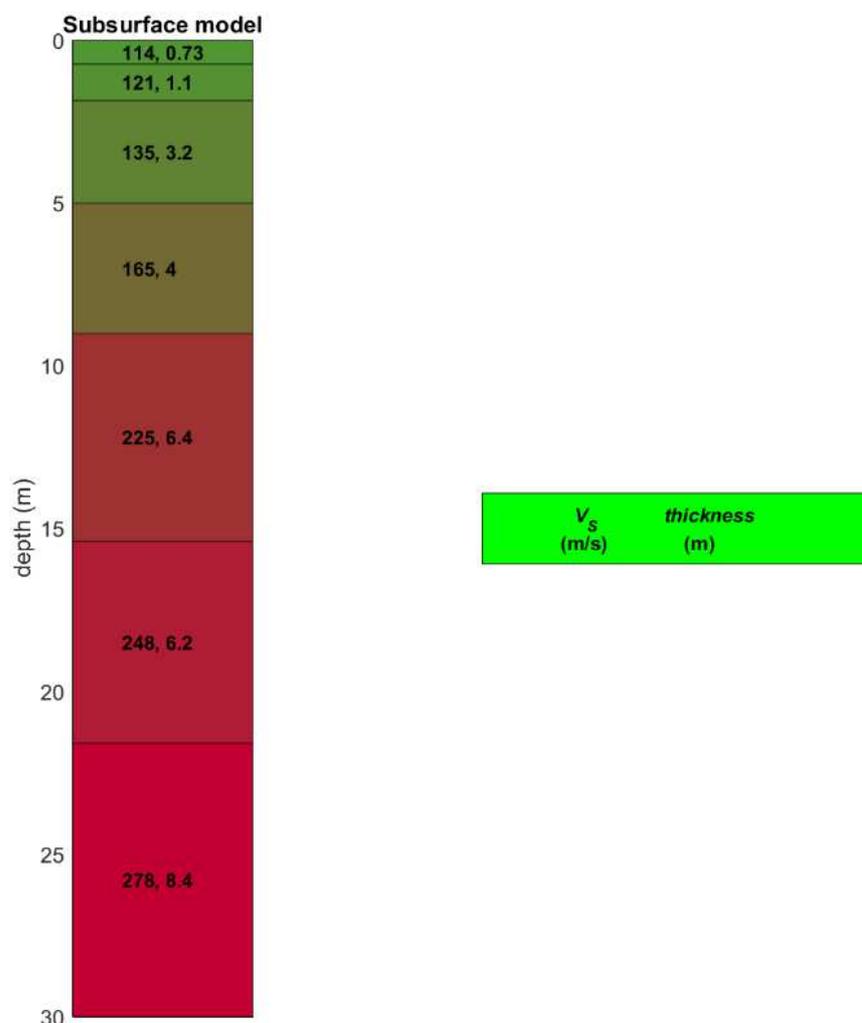
**Stima modulo di Poisson**: 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.30

**Stima modulo di taglio (MPa)**: 22 25 32 49 95 116 147

**Stima modulo di compressione (MPa)**: 66 76 97 148 285 348 318

**Stima modulo di Young (MPa)**: 60 68 86 132 256 314 382

**Stima modulo di Lamé (MPa)**: 52 59 75 115 222 271 220

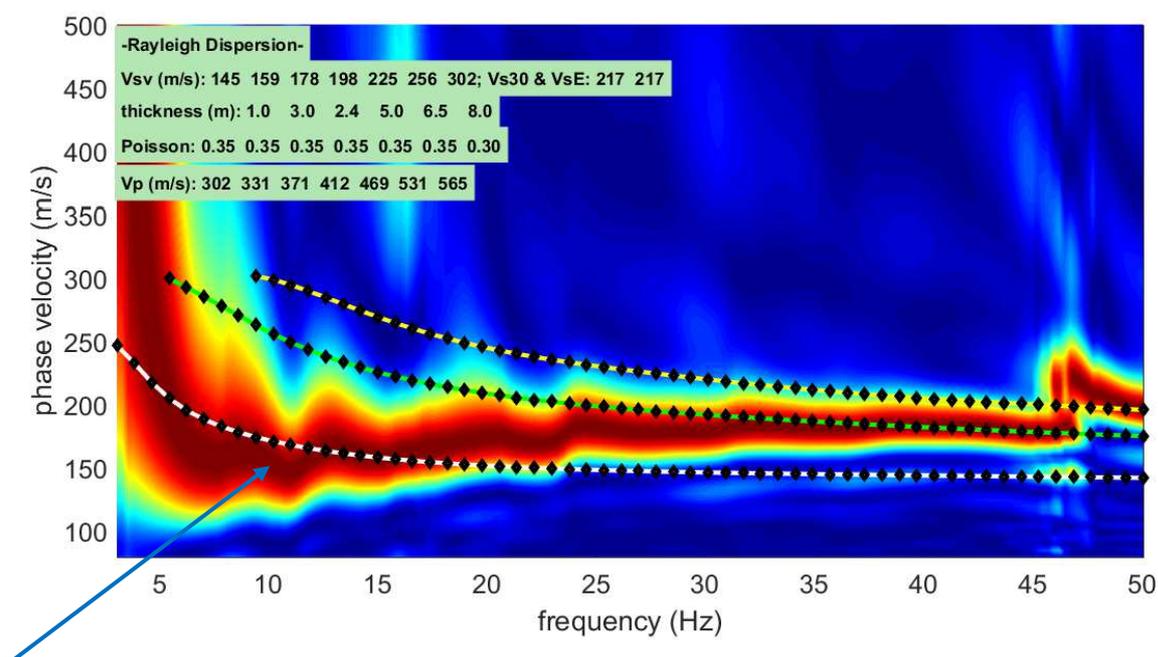


Stratigrafia dei terreni.

**Profilo MASW 05:** Numero geofoni utilizzati: 24 verticali, lunghezza profilo 23+10 m

Per ogni acquisizione è stata eseguita un'analisi  $\omega$ -p (trasformata  $\tau$ -p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh. L'inversione della curva di dispersione è stata ottenuta con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

Si riportano i grafici ad isolinee sui quali è identificata la curva di dispersione delle onde di Rayleigh.

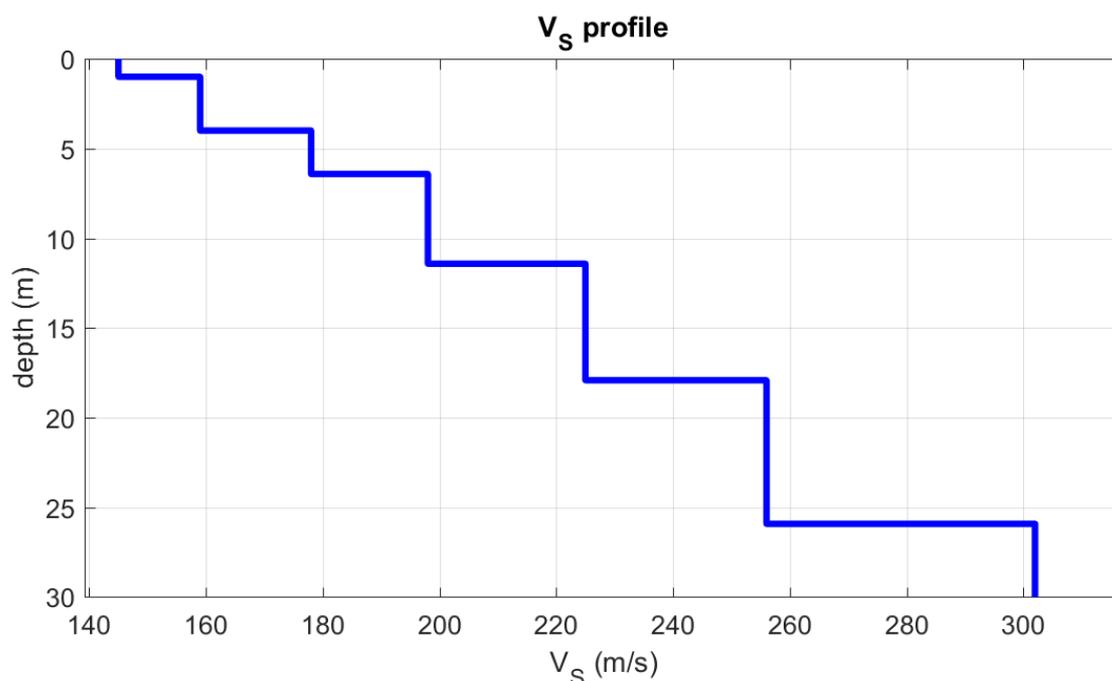


Modo fondamentale

MASW 05 - Grafici a isolinee nel dominio velocità di fase – frequenza

### Analisi curva di dispersione:

La modellazione numerica della curva di dispersione prevede che alla base del modello sia posto un semispazio a spessore infinito. Di seguito si riporta il profilo di velocità delle onde S associato alla curva teorica.



Profilo di velocità delle onde S stimato nel sito in esame.

In ottemperanza alla nuova normativa NTC 2018, il terreno di fondazione viene classificato in base al valore V<sub>SH</sub> corrispondente alla “velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio S” entro una profondità pari ad H, ovvero corrispondente alla profondità del bedrock sismico (substrato caratterizzato da velocità V<sub>s</sub> maggiori di 800 m/s):

$$V_{SH} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N h_i/V_{S_i}}$$

con h<sub>i</sub> e V<sub>S<sub>i</sub></sub> rispettivamente lo spessore e la velocità delle onde S dello strato i-esimo per un totale di N strati.

Strato	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Spessore
1	302	145	1.00
2	331	159	3.00
3	371	178	2.40
4	412	198	5.00
5	469	225	6.50
6	531	256	8.00
7	565	302	Inf.

**Modello di velocità delle onde S per il sito in esame.**

**VS<sub>eq</sub> = 217 m/s**

**Suolo di tipo C**

La dicitura “infinito” indica che è stata raggiunta la profondità massima di indagine, mentre con il programma Deepsoil v.3.5 dell’Università dell’Illinois è stato calcolato il bedrock o meglio il bedrock-like (700 m/s). Esso risulta rilevante ai fini degli effetti di sito, perché tale strato presenta forti contrasti di impedenza rispetto ai terreni sovrastanti, potendo così determinare in questi ultimi l'intrappolamento delle onde sismiche e dunque l'amplificazione del moto del suolo in caso di terremoto.

N.B. Le velocità sismiche Vp sono ottenute da formule empiriche.

## PARAMETRI DINAMICI “Moduli elastici”

**VS (m/sec)** : 145 159 178 198 225 256 302

**Spessori (m)**: 1.0, 3.0, 2.4, 5.0, 6.5, 8.0

**Stima VP (m/sec)**: 302 331 371 412 469 531 565

**Stima densità (gr/cm<sup>3</sup>)**: 1.76 1.79 1.81 1.84 1.87 1.90 1.92

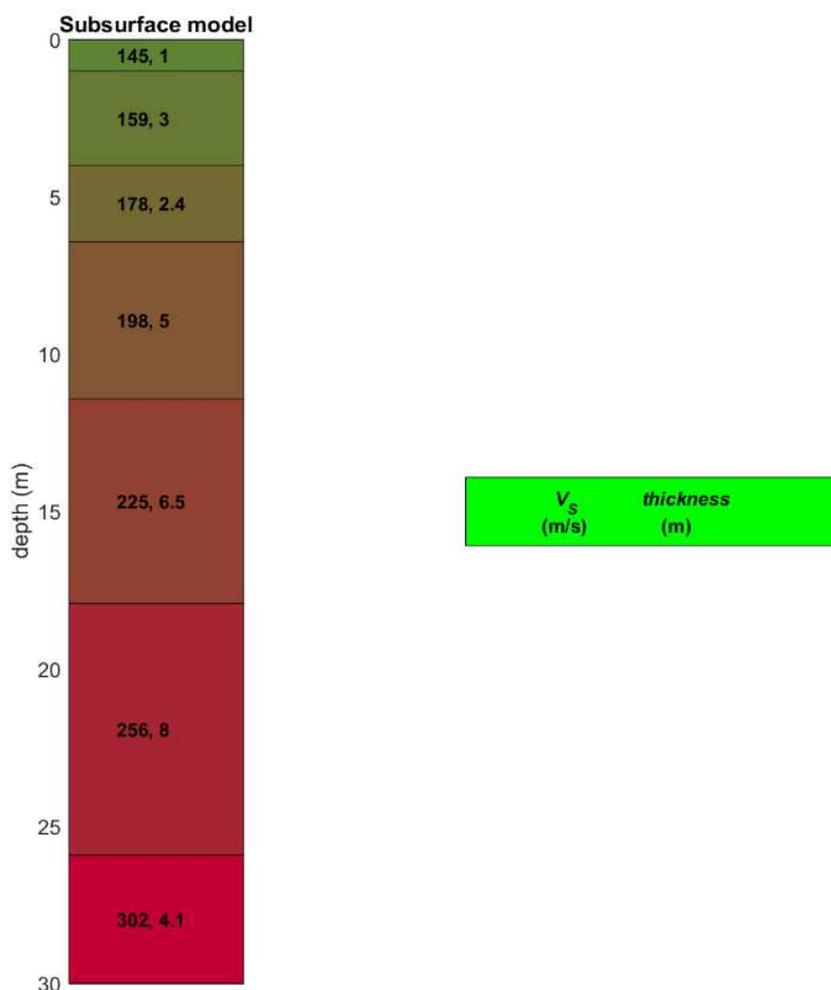
**Stima modulo di Poisson**: 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.30

**Stima modulo di taglio (MPa)**: 37 45 57 72 95 125 175

**Stima modulo di compressione (MPa)**: 111 136 173 216 285 370 379

**Stima modulo di Young (MPa)**: 100 122 155 195 256 336 455

**Stima modulo di Lamé (MPa)**: 87 106 134 168 222 287 263



Stratigrafia dei terreni.

## Fattori di Frequenza:

L'andamento della funzione di amplificazione di un sito, è periodica ed assume sempre valori maggiori o uguali all'unità, cioè l'ampiezza dello spostamento alla superficie dello strato è sempre almeno pari a quella in corrispondenza della formazione rocciosa (secondo normativa vigente  $V_s > 800$  m/s). La *frequenza naturale* ( $F_n$ ) di vibrazione dello strato di terreno corrisponde ai massimi della funzione di amplificazione:  $F_n = \omega_n / 2\pi = (V_s / 4H) * (2n - 1)$

La situazione più pericolosa in termini di fenomeni di amplificazione si verifica quando la frequenza dell'eccitazione armonica ( $\omega$ ) è pari ad una delle frequenze fondamentali dello strato ( $\omega_n$ ). Quando si verifica tale condizione ( $\omega = \omega_n$ ) si ha la **risonanza** dello strato, ed il fattore di amplificazione è teoricamente infinito.

**Frequenza risonanza superficie formazione bedrock-like MASW 01: 2.5 Hz**

**Frequenza risonanza superficie formazione bedrock-like MASW 02: 2.8 Hz**

**Frequenza risonanza superficie formazione bedrock-like MASW 03: 2.9 Hz**

**Frequenza risonanza superficie formazione bedrock-like MASW 04: 3.0 Hz**

**Frequenza risonanza superficie formazione bedrock-like MASW 05: 2.4 Hz**

Nel caso che una sollecitazione si prolunghi nel tempo essa può diventare particolarmente pericolosa per l'edificio, progettato come elastico, quando il terreno trasmette una componente del segnale sismico che abbia la stessa frequenza di oscillazione della struttura:

- Frequenza di oscillazione del terreno <  $F_n$  frequenza naturale di oscillazione della struttura  
→ i danni sono "limitati"
- Frequenza di oscillazione del terreno =  $F_n$  frequenza naturale di oscillazione della struttura  
→ i danni sono "illimitati".

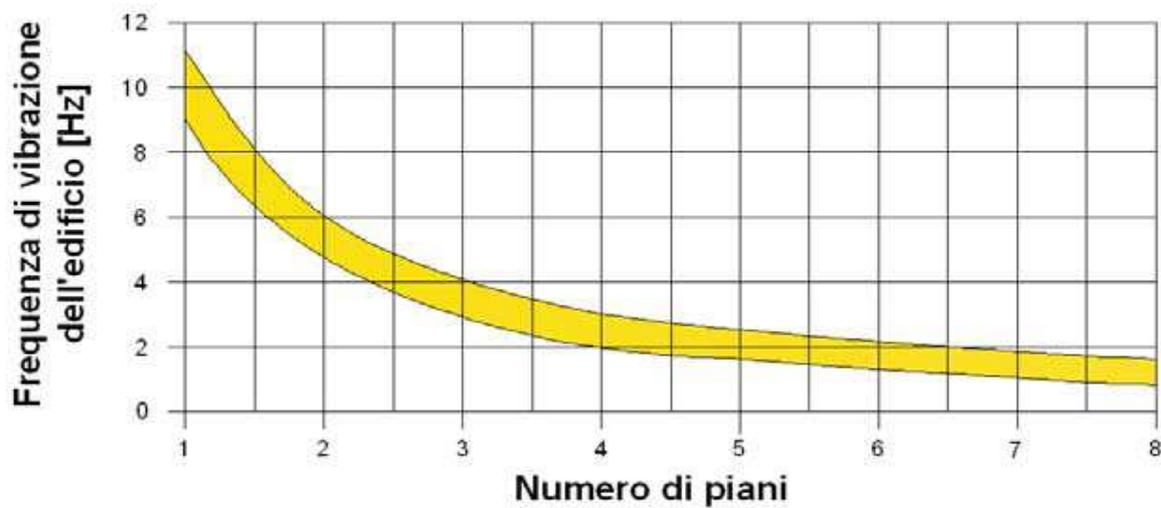
Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

**freq. Naturale edificio  $\approx 10$  Hz / numero piani**

È la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

**freq. naturale edificio  $\approx$  freq. fondamentale di risonanza del sito**

ad essere particolarmente pericolosa, poiché dà luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.



**Parametri sismici MASW01-MASW02-MASW04- DH 02:**

Categoria sottosuolo:	C	Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	75 anni	Coefficiente cu:	1,5

**Operatività (SLO):**

Probabilità di superamento:	81	%		
Tr:	45 [anni]	ag:	0,048 g	
Fo:	2,463	Tc*:	0,256 [s]	

**Danno (SLD):**

Probabilità di superamento:	63	%		
Tr:	75 [anni]	ag:	0,063 g	
Fo:	2,491	Tc*:	0,264 [s]	

**Salvaguardia della vita (SLV):**

Probabilità di superamento:	10	%		
Tr:	712 [anni]	ag:	0,167 g	
Fo:	2,437	Tc*:	0,287 [s]	

**Prevenzione dal collasso (SLC):**

Probabilità di superamento:	5	%		
Tr:	1462 [anni]	ag:	0,216 g	
Fo:	2,425	Tc*:	0,292 [s]	

**Coefficienti Sismici**

**SLO:**

Ss:	1,500	Cc:	1,650	St:	1,000		
Kh:	0,015	Kv:	0,007	Amax:	0,713	Beta:	0,200

**SLD:**

Ss:	1,500	Cc:	1,630	St:	1,000		
Kh:	0,019	Kv:	0,009	Amax:	0,925	Beta:	0,200

**SLV:**

Ss:	1,460	Cc:	1,580	St:	1,000		
Kh:	0,058	Kv:	0,029	Amax:	2,385	Beta:	0,240

**SLC:**

Ss:	1,390	Cc:	1,580	St:	1,000		
Kh:	0,084	Kv:	0,042	Amax:	2,943	Beta:	0,280

**Parametri sismici MASW03:**

Categoria sottosuolo: C                      Categoria topografica: T1  
Periodo di riferimento: 75anni Coefficiente cu: 1,5

**Operatività (SLO):**

Probabilità di superamento: 81 %  
Tr: 45 [anni]                      ag: 0,048 g  
Fo: 2,465                      Tc\*: 0,256 [s]

**Danno (SLD):**

Probabilità di superamento: 63 %  
Tr: 75 [anni]                      ag: 0,063 g  
Fo: 2,492                      Tc\*: 0,265 [s]

**Salvaguardia della vita (SLV):**

Probabilità di superamento: 10 %  
Tr: 712 [anni]                      ag: 0,166 g  
Fo: 2,437                      Tc\*: 0,288 [s]

**Prevenzione dal collasso (SLC):**

Probabilità di superamento: 5 %  
Tr: 1462 [anni]                      ag: 0,215 g  
Fo: 2,425                      Tc\*: 0,292 [s]

**Coefficienti Sismici**

**SLO:**

Ss: 1,500                      Cc: 1,650                      St: 1,000  
Kh: 0,014                      Kv: 0,007                      Amax: 0,710                      Beta: 0,200

**SLD:**

Ss: 1,500                      Cc: 1,630                      St: 1,000  
Kh: 0,019                      Kv: 0,009                      Amax: 0,920                      Beta: 0,200

**SLV:**

Ss: 1,460                      Cc: 1,580                      St: 1,000  
Kh: 0,058                      Kv: 0,029                      Amax: 2,373                      Beta: 0,240

**SLC:**

Ss: 1,390                      Cc: 1,580                      St: 1,000  
Kh: 0,084                      Kv: 0,042                      Amax: 2,928                      Beta: 0,280

**Parametri sismici MASW05:**

Categoria sottosuolo:	C	Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	75 anni	Coefficiente cu:	1,5

**Operatività (SLO):**

Probabilità di superamento:	81	%		
Tr:	45 [anni]	ag:	0,048 g	
Fo:	2,471	Tc*:	0,256 [s]	

**Danno (SLD):**

Probabilità di superamento:	63	%		
Tr:	75 [anni]	ag:	0,062 g	
Fo:	2,493	Tc*:	0,265 [s]	

**Salvaguardia della vita (SLV):**

Probabilità di superamento:	10	%		
Tr:	712 [anni]	ag:	0,164 g	
Fo:	2,437	Tc*:	0,288 [s]	

**Prevenzione dal collasso (SLC):**

Probabilità di superamento:	5	%		
Tr:	1462 [anni]	ag:	0,212 g	
Fo:	2,426	Tc*:	0,292 [s]	

**Coefficienti Sismici**

**SLO:**

Ss:	1,500	Cc:	1,650	St:	1,000		
Kh:	0,014	Kv:	0,007	Amax:	0,701	Beta:	0,200

**SLD:**

Ss:	1,500	Cc:	1,630	St:	1,000		
Kh:	0,019	Kv:	0,009	Amax:	0,909	Beta:	0,200

**SLV:**

Ss:	1,460	Cc:	1,580	St:	1,000		
Kh:	0,057	Kv:	0,029	Amax:	2,342	Beta:	0,240

**SLC:**

Ss:	1,390	Cc:	1,580	St:	1,000		
Kh:	0,083	Kv:	0,041	Amax:	2,890	Beta:	0,280

Rev.	DATA	CERTIFICATO	DIRETTORE
1	03/04/2014	cerftd001cm15521	Dr. Ing. Davide Splendore

**COMMITTENTE:** Autostrada BS-VR-VI-PD S.p.A.

**PROGETTO:** Nuovo collegamento tra la tangenziale sud di Vicenza e la viabilità ordinaria di Arcugnano e Altavilla

**PUNTO DI INDAGINE:** S02-DH **INDAGINE DOWN HOLE** DATA 09/12/2021



**PUNTO DI INDAGINE:** MASW 01 **INDAGINE MASW** DATA 09/11/2021



Rev.	DATA	CERTIFICATO	DIRETTORE
1	03/04/2014	cerftd001cm15521	Dr. Ing. Davide Splendore

**COMMITTENTE:** Autostrada BS-VR-VI-PD S.p.A.

**PROGETTO:** Nuovo collegamento tra la tangenziale sud di Vicenza e la viabilità ordinaria di Arcugnano e Altavilla

**PUNTO DI INDAGINE:** MASW 02 **INDAGINE MASW** DATA 09/11/2021



**PUNTO DI INDAGINE:** MASW 03 **INDAGINE MASW** DATA 09/11/2021



Rev.	DATA	CERTIFICATO	DIRETTORE
1	03/04/2014	cerftd001cm15521	Dr. Ing. Davide Splendore

**COMMITTENTE:** Autostrada BS-VR-VI-PD S.p.A.

**PROGETTO:** Nuovo collegamento tra la tangenziale sud di Vicenza e la viabilità ordinaria di Arcugnano e Altavilla

**PUNTO DI INDAGINE:** MASW 04 **INDAGINE MASW** DATA 09/11/2021



**PUNTO DI INDAGINE:** MASW 05 **INDAGINE GEORADAR** DATA 09/11/2021

