

1 INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Il metodo MASW (*Multichannel Acquisition Surf Wave*), messo a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999), permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh. Questo tipo di indagine consente di ricostruire il profilo sismostratigrafico di un sito, valutando in particolare la distribuzione della velocità delle onde "S" per la definizione in situ della Vs30.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P-Longitudinale:** onda profonda di compressione;
- **S-Trasversale:** onda profonda di taglio;
- **L-Love:** onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R-Rayleigh:** onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – "R"

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (onde P, onde S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Il metodo di indagine MASW utilizzato è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con mazza battente allineata all'array geofonico) e misurate da uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5-10 Hz e 70-100 Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30m-50m, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

1.1 STRUMENTAZIONE E SCHEMA ARRAY SISMICO

Le prospezioni sismiche MASW sono state eseguite impiegando un sismografo multicanale a trasmissione digitale del segnale "DOREMI", a 16 bit, della SARA electronic instruments s.r.l. e utilizzando come sistema di energizzazione una mazza di 5 Kg, battente su piastra metallica in duralluminio di diametro 18 cm, spessore 4 cm e peso 2kg.

Sono stati realizzati 2 stendimenti sismici lineari, **MASW 01 MASW 02**, la cui ubicazione è riportata nella tavola allegata, disposti sul terreno secondo un array lineare costituito da **12** geofoni verticali, a **4,5** Hz; di lunghezza di **22** m con geofoni intervallati a **2,0** m di distanza ponendo il Sensore di trigger, per l'innescio della registrazione del sistema DoReMi, ad una distanza di **2** m dal geofono n. 1.

L'acquisizione dei dati è stata effettuata mediante il software DoReMi V.1.1.45 della SARA electronic instruments s.r.l. I dati acquisiti in campagna sono stati memorizzati su supporto magnetico e successivamente elaborati tramite software Easy MASW.

1.2 CODICE DI CALCOLO

Il processing dei dati acquisiti è stato sviluppato utilizzando un elaboratore elettronico con processore: Intel(R) Core™2 Quad CPU Q6600, impiegando il programma di calcolo così identificato:

Nome del software	Easy MASW
Versione	2018.26.5.632
Caratteristiche del software	Software per l'interpretazione e l'archiviazione dei dati sismici con il metodo MASW(Multi-Channel Analysis of Surface Waves) in ambiente Windows
Produzione e distribuzione	GEOSTRU SOFTWARE Bianco (RC) - Via Lungomare 89032 Bianco (RC) ITALY Rende (CS) - zona industriale c.da Lecco Via Pedro Alvarez Cabrai, palazzo Manhattan
Licenza d'uso in concessione al Geol. Marco Iti	

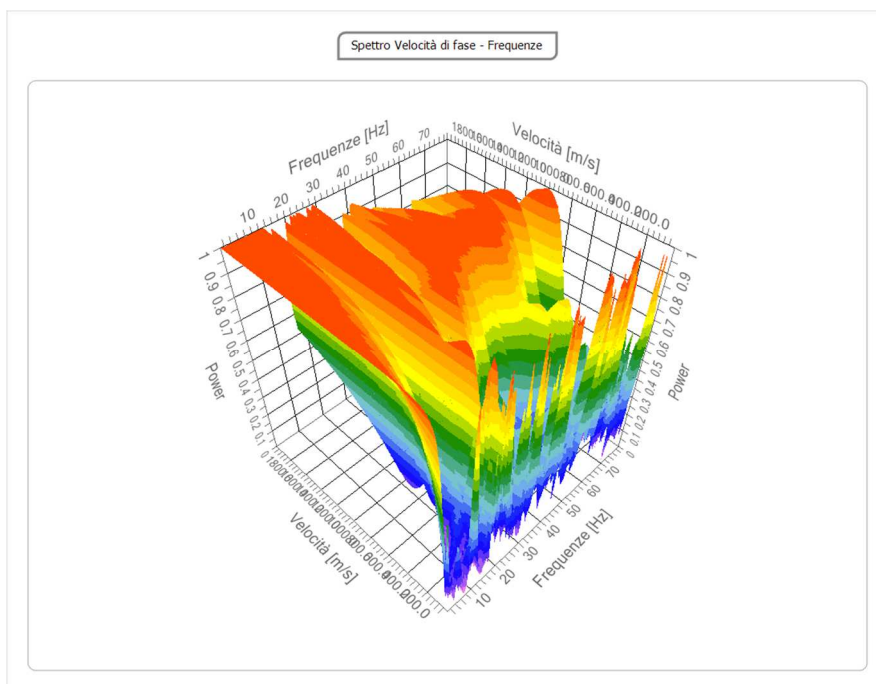
1.3 MASW 01

Tracce

N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	2000.0
Interdistanza geofoni [m]	2.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00

Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	80
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	2000
Intervallo velocità [m/sec]	1



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	37.9	1172.0	0
2	38.7	1169.1	0
3	39.6	1170.0	0
4	40.4	1172.5	0
5	41.3	1175.9	0
6	42.1	1179.7	0
7	43.0	1183.2	0
8	43.8	1186.2	0
9	44.7	1188.2	0
10	45.5	1189.1	0
11	46.4	1188.6	0
12	47.2	1186.8	0
13	48.1	1183.8	0
14	48.9	1179.5	0
15	49.8	1174.2	0
16	50.6	1167.4	0
17	51.4	1154.5	0

OGGETTO: COMPLETAMENTO DELLE OPERE PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO LUNGO IL VERSANTE DEL CENTRO STORICO DI ROCCAGIOVINE	COMUNE: ROCCAGIOVINE (RM)	DATA: AGOSTO 2019 PROGETTO ESECUTIVO
---	----------------------------------	---

18	52.3	1141.3	0
19	53.1	1128.5	0
20	54.0	1116.7	0
21	54.8	1106.7	0
22	55.7	1099.1	0
23	56.5	1094.2	0
24	57.4	1092.4	0
25	58.2	1093.0	0
26	59.1	1095.3	0
27	59.9	1098.8	0
28	60.8	1103.1	0
29	61.6	1107.8	0
30	62.4	1111.7	0

Inversione

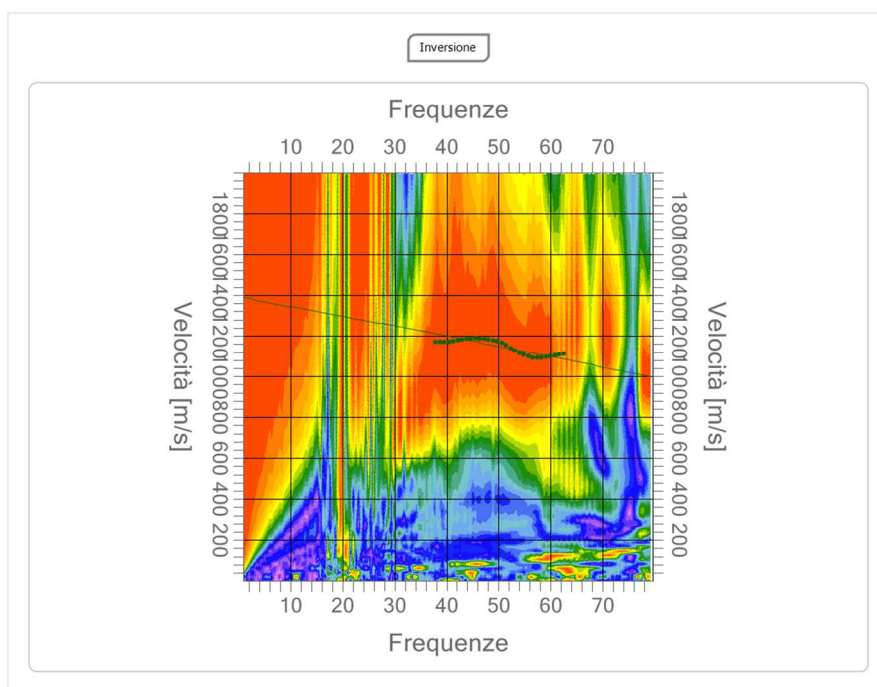
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		3.00	3.00	1800.0	0.2	No	1283.8	786.2
2		7.96	4.96	1800.0	0.2	No	2214.6	1356.2
3		14.96	7.00	1800.0	0.2	No	2498.2	1529.9
4		oo	oo	1800.0	0.2	No	2498.8	1530.2

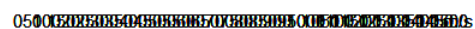
Percentuale di errore

0.030 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.017





OGGETTO: COMPLETAMENTO DELLE OPERE PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO LUNGO IL VERSANTE DEL CENTRO STORICO DI ROCCAGIOVINE	COMUNE: ROCCAGIOVINE (RM)	DATA: AGOSTO 2019 PROGETTO ESECUTIVO
---	----------------------------------	---

Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.30
Vs,eq [m/sec] (H=2.70 m)	1356.17
Categoria del suolo	A

Suolo di tipo A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi 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.

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	3.00	3.00	786.16	1283.80	1800.00	0.20	1112.49	2966.64	1483.32	2669.98	N/A	N/A
2	7.96	4.96	1356.17	2214.62	1800.00	0.20	3310.55	8828.14	4414.07	7945.33	N/A	N/A
3	14.96	7.00	1529.85	2498.24	1800.00	0.20	4212.80	11234.13	5617.06	10110.71	N/A	N/A
4	oo	oo	1530.19	2498.79	1800.00	0.20	4214.66	11239.11	5619.55	10115.20	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio; Ed: Modulo edometrico; M0: Modulo di compressibilità volumetrica; Ey: Modulo di Young
(Valori Indicativi)

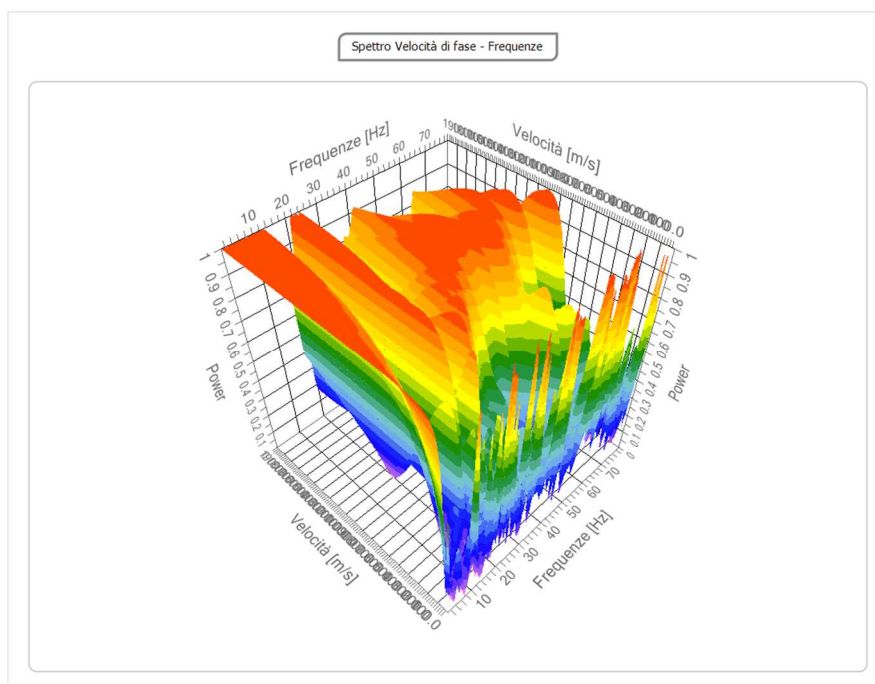
1.4 MASW 02

Tracce

N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	2000.0
Interdistanza geofoni [m]	2.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00

Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	80
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	2000
Intervallo velocità [m/sec]	1



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	41.3	1229.2	0
2	42.0	1211.1	0
3	42.7	1202.4	0
4	43.4	1199.9	0
5	44.1	1200.3	0
6	44.9	1201.2	0
7	45.6	1201.8	0
8	46.3	1201.4	0

OGGETTO: COMPLETAMENTO DELLE OPERE PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO LUNGO IL VERSANTE DEL CENTRO STORICO DI ROCCAGIOVINE	COMUNE: ROCCAGIOVINE (RM)	DATA: AGOSTO 2019 PROGETTO ESECUTIVO
---	----------------------------------	---

9	47.0	1199.4	0
10	47.7	1192.4	0
11	48.4	1182.1	0
12	49.2	1168.5	0
13	49.9	1152.3	0
14	50.6	1134.2	0
15	51.3	1115.1	0
16	52.0	1096.0	0
17	52.7	1078.1	0
18	53.5	1062.5	0
19	54.2	1050.2	0
20	54.9	1042.1	0
21	55.6	1038.8	0
22	56.3	1039.8	0
23	57.0	1043.5	0
24	57.7	1049.5	0
25	58.5	1057.3	0
26	59.2	1066.1	0
27	59.9	1074.7	0
28	60.6	1081.3	0
29	61.3	1083.9	0
30	62.0	1079.6	0

Inversione

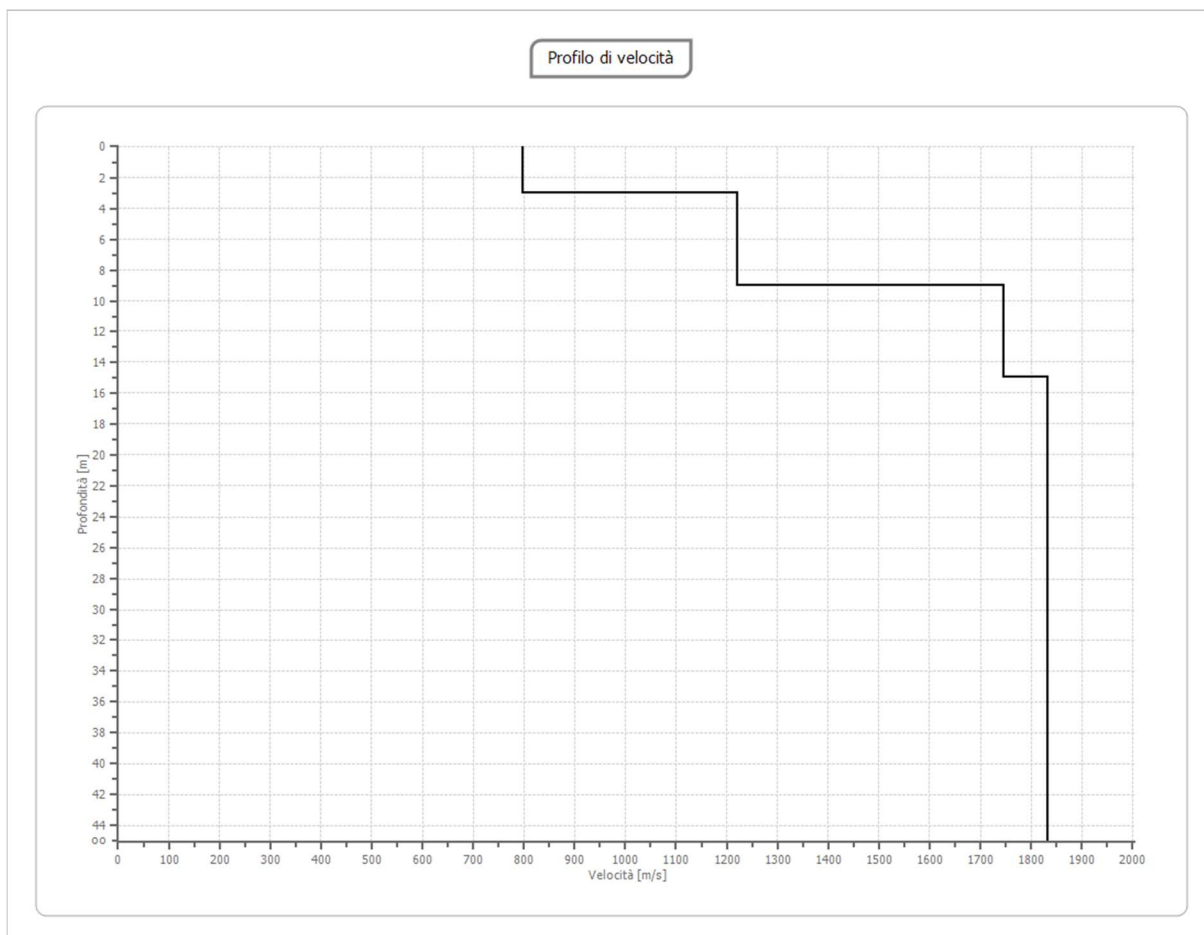
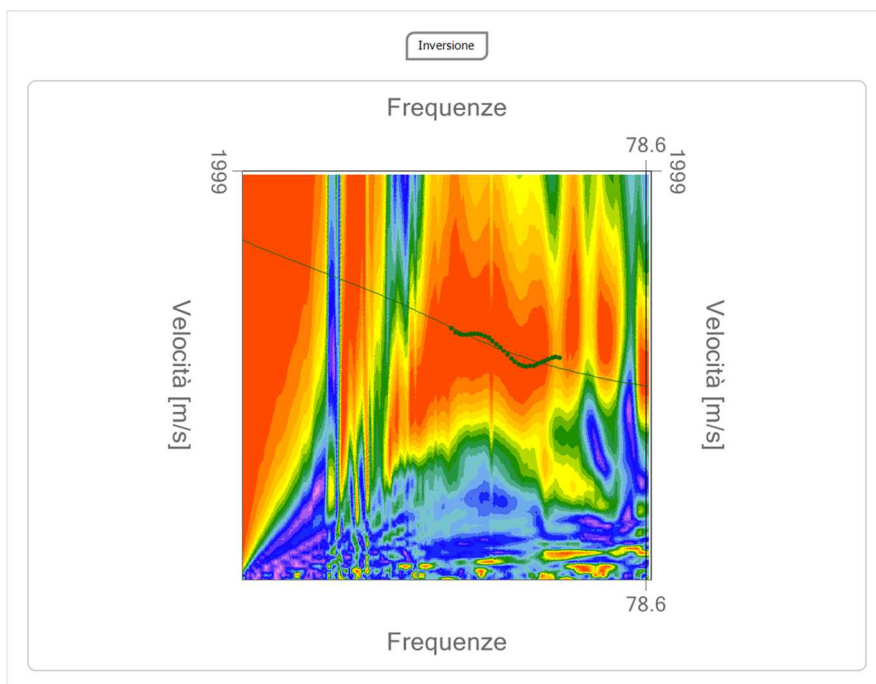
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		3.00	3.00	1800.0	0.2	No	1300.5	796.4
2		9.00	6.00	1800.0	0.2	No	1992.5	1220.2
3		14.98	5.98	1800.0	0.2	No	2851.6	1746.2
4		oo	oo	1800.0	0.2	No	2992.1	1832.3

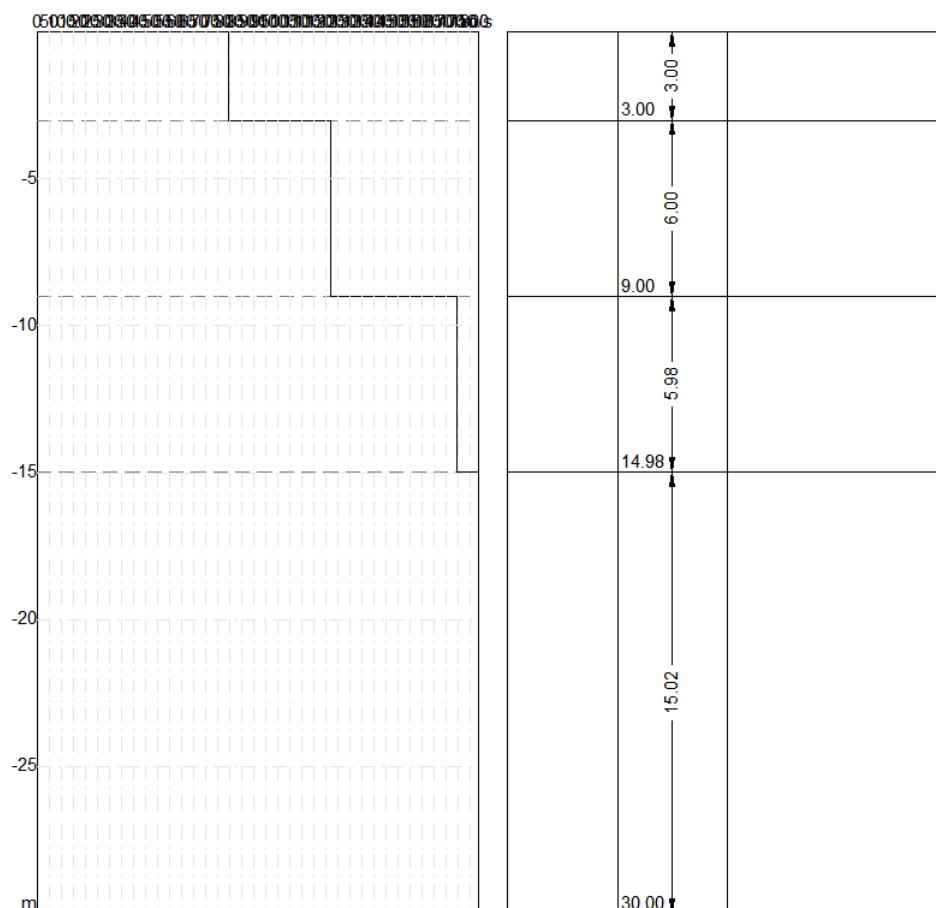
Percentuale di errore

0.062 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.026





Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.30
Vs,eq [m/sec] (H=2.70 m)	1220.16
Categoria del suolo	A

Suolo di tipo A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi 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.

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	3.00	3.00	796.38	1300.49	1800.00	0.20	1141.61	3044.29	1522.15	2739.87	N/A	N/A
2	9.00	6.00	1220.16	1992.52	1800.00	0.20	2679.83	7146.22	3573.11	6431.60	N/A	N/A
3	14.98	5.98	1746.22	2851.56	1800.00	0.20	5488.70	14636.53	7318.27	13172.88	N/A	N/A
4	oo	oo	1832.29	2992.12	1800.00	0.20	6043.13	16115.02	8057.51	14503.52	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio; Ed: Modulo edometrico; M0: Modulo di compressibilità volumetrica; Ey: Modulo di Young (Valori Indicativi)