



Indagini geognostiche e geofisiche – Consolidamenti – Pali – Micropali
Via Aldo Moro, 2 - 81050 Pastorano (CE) - tel - fax 0823/879116; cell. 338/1534202. E-Mail:
igeo2004@virgilio.it – P.IVA: 01956710618
ISO 9001:2015 QMS-05065959-19 - Attestazione SOA n. 5797/66/02 OS 20-B Class. I - Indagini
Geognostiche valida fino al 21/01/2024 rilasciata da IMPRESOA SpA

REPORT SULLE INDAGINI ESEGUITE

- **Committente:** *ENGIE OPPIDO S.R.L*
- **Oggetto:** *Indagini geognostiche*
- **Località:** *Oppido Lucano (Pz)*
- **Data:** *Ottobre 2023*

Indagini eseguite:

- ✓ *Prova penetrometrica dinamica pesante DPSH;*
- ✓ *Indagine geofisica MASW;*

I.GEO S.a.s.
di D'ONOFRIO GIUSEPPE & C.
Via Aldo Moro, 2 PASTORANO (CE)
Part.Iva e C.c.g. Fisc.01956710618



Per incarico ricevuto dalla Soc. ENGIE OPPIDO S.R.L, è stata eseguita dalla ditta I.GEO s.a.s., una campagna di indagini geognostiche, nel territorio comunale di Oppido Lucano (PZ).

Gli interventi realizzati hanno previsto l'esecuzione delle attività di seguito indicate:

- **N.1** Prova penetrometrica dinamica pesante DPSH;
- **N.1** Indagine geofisica MASW;

La campagna di indagini geognostiche ha avuto luogo nel mese di Novembre 2023, ed è stata eseguita dalla ditta specializzata **I.GEO. s.a.s.**, con sede in Pastorano (CE). Nelle pagine successive vengono riportate le risultanze dell'indagine geofisica e della DPSH.

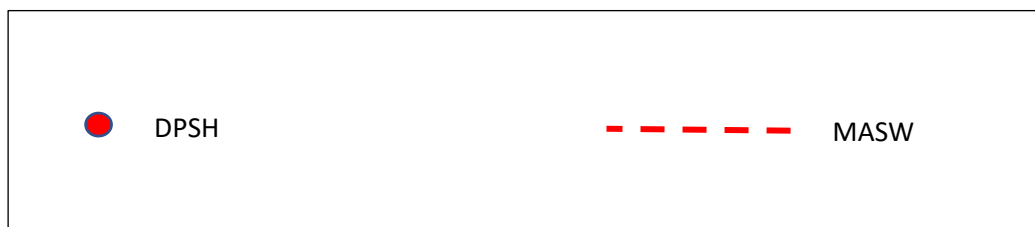
Pastorano (CE) lì Ottobre 2023

I.GEO. s.a.s.

Il Direttore Tecnico

I.GEO S.a.s.
di DONOFRIO GIUSEPPE & C.
Via Aldo Moro 2 PASTORANO (CE)
Part.Iva E Cod. Fisc. 01959710618

UBICAZIONI DELLE INDAGINI ESEGUITE





Indagini geognostiche e geofisiche – Consolidamenti – Pali – Micropali
Via Aldo Moro, 2 - 81050 Pastorano (CE) - tel - fax 0823/879116 ; cell. 338/1534202. E-Mail:
igeo2004@virgilio.it – P.Iva : 01956710618
ISO 9001:2015 QMS-05065959-19 - Attestazione SOA n. 5797/66/02 OS 20-B Class. I - Indagini
Geognostiche valida fino al 21/01/2024 rilasciata da IMPRESOA SpA

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE DPSH

- **Committente:** *ENGIE OPPIDO S.R.L*
- **Oggetto:** *Indagini geognostiche*
- **Località:** *Oppido Lucano (Pz)*
- **Data:** *Ottobre 2023*

PROVA PENETROMETRICA DINAMICAE PESANTE DPSH

La penetrometria è stata spinta alla seguente profondità dal p.c.:

$$P1 = 8.80 \text{ m}$$

Esse sono state effettuate mediante l'utilizzo di un penetrometro dinamico PAGANI TG 63-200 KN avente le seguenti caratteristiche :

- maglio di battuta da 63.5 Kg;
- altezza di caduta = 0.75 m;
- lunghezza aste = 1.00 m;
- peso aste = 5.1 Kg;
- diametro interno aste = 16 mm;
- diametro esterno aste = 32 mm;
- diametro punta conica = 50.5 mm;
- angolo di apertura punta = 60°;

Nel corso della prova sono stati rilevati, per ogni 20 cm di avanzamento delle aste, il numero dei colpi necessari per l'infissione della punta conica. I valori registrati sono stati riportati in un diagramma profondità/numero di colpi: sulle ordinate sono state poste le profondità dal piano campagna, mentre sulle ascisse il numero di colpi registrati.

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE DPSH

COMMITTENTE:	ENGIE OPPIDO S.R.L			LAT: 40°45'51.44"N Long: 16° 1'16.94"E	
OGGETTO:	Indagini geognostiche			N° Certificato	1460/23
LOCALITA':	Oppido Lucano (PZ)			Sigla Prova	DPSH 1
MODELLO SONDA: TG63-200 KN	PESO ASTE: 6,5 Kg	APERTURA DELLA PUNTA: 90°		Data emissione	31/10/2023
DATA ESECUZIONE PROVA:	31/10/2023	campione indisturbato (m)			

Prof.	num. Colpi	Prof.	num. Colpi	Prof.	num. Colpi	Prof.	num. Colpi
0,00	0	8,20	51				
0,20	1	8,40	52				
0,40	1	8,60	55				
0,60	1	8,80	60				
0,80	1						
1,00	2						
1,20	2						
1,40	4						
1,60	3						
1,80	2						
2,00	1						
2,20	1						
2,40	4						
2,60	5						
2,80	6						
3,00	8						
3,20	8						
3,40	10						
3,60	12						
3,80	11						
4,00	10						
4,20	10						
4,40	15						
4,60	15						
4,80	16						
5,00	19						
5,20	21						
5,40	24						
5,60	39						
5,80	36						
6,00	36						
6,20	41						
6,40	39						
6,60	25						
6,80	26						
7,00	26						
7,20	26						
7,40	34						
7,60	34						
7,80	34						
8,00	49						

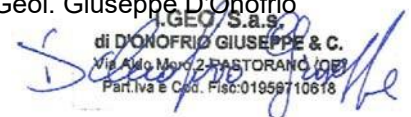


LEGENDA

Prof. = profondità dal piano campagna (m)
num. colpi. = numero di colpi

Il direttore tecnico
Dott. Geol. Giuseppe D'Onofrio

I.GEO S.a.s.
di DONOFRIO GIUSEPPE & C.
Via Aldo Moro, 2 - PASTORANO (CE)
Part.Iva e Cod. Fisc. 01956710618





Indagini geognostiche e geofisiche – Consolidamenti – Pali – Micropali
Via Aldo Moro, 2 - 81050 Pastorano (CE) - tel - fax 0823/879116 ; cell.
338/1534202

E-Mail: igeo2004@virgilio.it – P.Iva : 01956710618

ISO 9001:2015 QMS-05065959-19

Attestazione SOA n. 5797/66/02 OS 20-B Class. I - Indagini
Geognostiche

valida fino al 21/01/2024 rilasciata da IMPRESOA SpA

CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SUOLO

METODO MASW

(Multi-channel Analysis of Surface Waves)

Committente: ENGIE OPPIDO S.R.L

Oggetto: Indagini geognostiche

Località: Oppido Lucano (Pz)

Data: Ottobre 2023

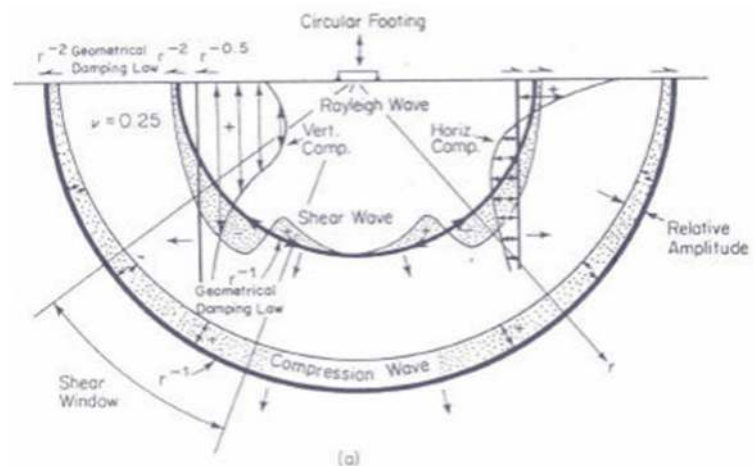
Il consulente

I.GEO S.a.s.
di D'ONOFRIO GIUSEPPE & C.
Via Aldo Moro 2 PASTORANO (CE)
Part.Iva E Cod. Fisc.01956710618

FONDAMENTI TEORICI DEL METODO 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 V_s , 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 rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, ossia 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). 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. Quando si energizza il sito in un punto della sua superficie libera si generano i diversi tipi di onde. Se la sorgente è perpendicolare alla superficie libera si generano onde appartenenti al piano verticale: onde P, onde SV, onde Rayleigh, onde rifratte. Se la sorgente è parallela alla superficie libera si generano onde appartenenti al piano orizzontale: onde SH, onde di Love. Nel metodo MASW si usano le sole onde di Rayleigh e si trascurano gli effetti dovuti alle onde P e SV. Sebbene una sorgente puntiforme verticale generi anche le onde P e le onde S oltre alle onde Rayleigh, intervengono due aspetti che rendono il contributo delle onde di Rayleigh prevalente sul contributo delle onde P e SV. Il primo aspetto è che le onde Rayleigh trasportano circa i due terzi dell'energia generata dalla sorgente. Il secondo aspetto è che allontanandosi dalla sorgente le onde di Rayleigh subiscono un'attenuazione geometrica inferiore rispetto alle onde P e SV, perchè le onde Rayleigh si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, invece le onde P e SV si propaga

Fig. 1: Onde generate da una sorgente armonica verticale sulla superficie libera di un semispazio omogeneo e ripartizione dell'energia tra onde P, S e Rayleigh per coefficiente di Poisson $\nu=0,25$. (Richart et al., 1970).



Quando si misurano le onde superficiali lungo uno stendimento di ricevitori sulla superficie di un sito energizzato in un punto, si dispone del campo di moto, spostamenti o velocità o accelerazioni, nel dominio spazio-tempo. La perturbazione generata dalla energizzazione contiene al suo interno tutti i diversi modi o onde di Rayleigh, che formano un unico treno d'onda e non si sono ancora separati o dispersi. Affinché il fenomeno di dispersione dei diversi modi di Rayleigh abbia luogo occorre porsi ad una distanza sufficiente dalla sorgente. Quando si trasforma il campo di moto dal dominio spazio-tempo al dominio frequenza-numero d'onda oppure in maniera equivalente al dominio velocità di fase-frequenza per rappresentare la relazione di dispersione, allora si scopre che non è in genere possibile misurare separatamente le curve modali previste dalla teoria. Anziché ottenere le curve modali separate si ottiene un'unica curva denominata curva apparente o effettiva. La curva apparente o effettiva che si ottiene dalle tracce misurate in sito è il risultato dell'interazione tra tutti i modi di Rayleigh e lo stesso sistema di misura costituito dai ricevitori. La configurazione dei ricevitori nello stendimento può influenzare il valore che la curva di dispersione apparente assume a certe frequenze. Indipendentemente dal disturbo apportato dal sistema di misura, la curva apparente è comunque data dall'interazione dei diversi modi di Rayleigh. In funzione delle caratteristiche geometriche (spessori) e meccaniche (V_s , V_p , densità di massa) degli strati di terreno alcuni modi di Rayleigh possono risultare predominanti rispetto agli altri modi in certi intervalli di frequenza. Generalmente quando la rigidità degli strati aumenta gradualmente con la profondità il modo fondamentale di Rayleigh risulta predominante a tutte le frequenze.

Il metodo MASW consiste in tre fasi (Roma, 2002):

(1) la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale,

(2) la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica,

(3) la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , 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 ν), la densità di massa ρ 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.

INDAGINI ESEGUITE

Su incarico della Soc. ENGIE OPPIDO S.R.L, in merito all'esecuzione di indagini geognostiche, è stata eseguita una campagna di indagine geofisica che ha previsto l'esecuzione di n° 1 MASW, nel territorio comunale di Oppido Lucano (PZ), al fine di comprendere i rapporti sismo-stratigrafici dei principali litotipi costituenti il sottosuolo dell'area di studio ottemperando a quanto previsto dal D. M. del 17 gennaio 2018.

L'indagine è stata eseguita utilizzando un sismografo multicanale M.A.E. X820S, avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- capacità di campionamento dei segnali tra 0.002 e 0.00005 sec;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time break)
- filtri High Pass e Band Reject
- "Automatic Gain Control"
- convertitore A/D a 24 bit
- 24 geofoni verticali (P) con periodo proprio di 4.5 Hz
- Power 12 V

Il trigger è dato da un geofono starter esterno, con possibilità di pre-trigger (0-10 ms). Sono stati utilizzati 12 ricevitori (geofoni) da 4,5 Hz capaci di misurare il campo di moto della direzione verticale, e come sorgente energizzante, una massa battente (martello) da 8 Kg battuta su una piastra metallica.



Fig.2 – Sismografo M.A.E. X820S.

METODOLOGIA OPERATIVA ED INTERPRETATIVA

Per quanto riguarda la metodologia operativa, il profilo MASW è stato eseguito utilizzando n° 12 geofoni allineati sul terreno con un'inter-distanza di 2 metri; i punti di scoppio sono stati posizionati ad una delle estremità del profilo a distanze di 4,00 m, 6,00 m e 8,00 m dal geofono n° 1. La scelta dei tre scoppi è stata effettuata per avere la certezza di generare la dispersione delle onde superficiali a prescindere dai differenti litotipi presenti nel sottosuolo dell'area investigata.

Per quanto riguarda, invece, la metodologia interpretativa, il software EASY MASW consente di analizzare dati sismici (common-shot gathers acquisiti in campagna) in modo tale da poter ricavare il profilo verticale della V_s (velocità delle onde di taglio). Tale risultato è ottenuto tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh, determinate tramite la tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves).

La procedura si sviluppa in quattro operazioni svolte in successione:

- **Fase 1:** inserimento della curva apparente di dispersione sperimentale del terreno o determinazione della stessa a partire dalle tracce misurate in sito
- **Fase 2:** simulazione numerica della curva apparente di dispersione del terreno a partire da un profilo di velocità delle onde di taglio V_s di primo tentativo (profilo iniziale)
- **Fase 3:** determinazione del profilo di velocità finale delle onde di taglio V_s , che rende ottimale la sovrapposizione della curva apparente di dispersione sperimentale e della curva apparente di dispersione simulata numericamente
- **Fase 4:** caratterizzazione geotecnica sismica e determinazione del tipo di suolo sulla base del profilo di velocità finale delle onde di taglio V_s .

Il software EASY MASW è caratterizzato dai seguenti aspetti:

- Consente di considerare i modi superiori (fino a 50 modi) delle onde di Rayleigh.
- Consente di eseguire sia una ricerca manuale sia una ricerca automatica del profilo di velocità delle onde di taglio V_s .
- Consente di elaborare le tracce misurate per determinare la curva di dispersione sperimentale.
- Consente di calcolare la V_{seq} del sito esaminato.
- Consente di stimare un errore del profilo di velocità V_s sulla base del grado di incertezza dei dati misurati in sito.

- Consente di analizzare siti inversamente dispersivi con forti contrasti di rigidità tra i diversi strati di terreno e/o roccia.
- Consente di considerare l'influenza della falda.
- Consente di mantenere costanti le velocità V_s di alcuni strati e di variare le V_s degli altri strati del profilo stratigrafico.

Di seguito vengono riportate le risultanze dell'indagine eseguita.

VISUALIZZAZIONE FORMA D'ONDA

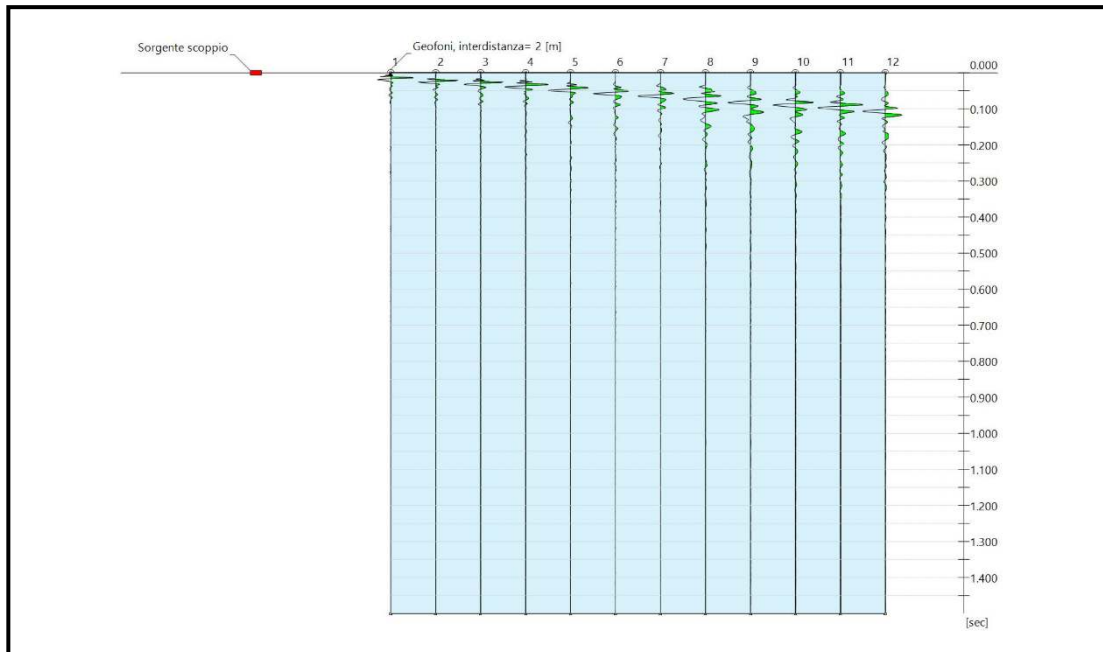


Fig.4 – Tracce acquisite in sito

VISUALIZZAZIONE SPETTRO F-K

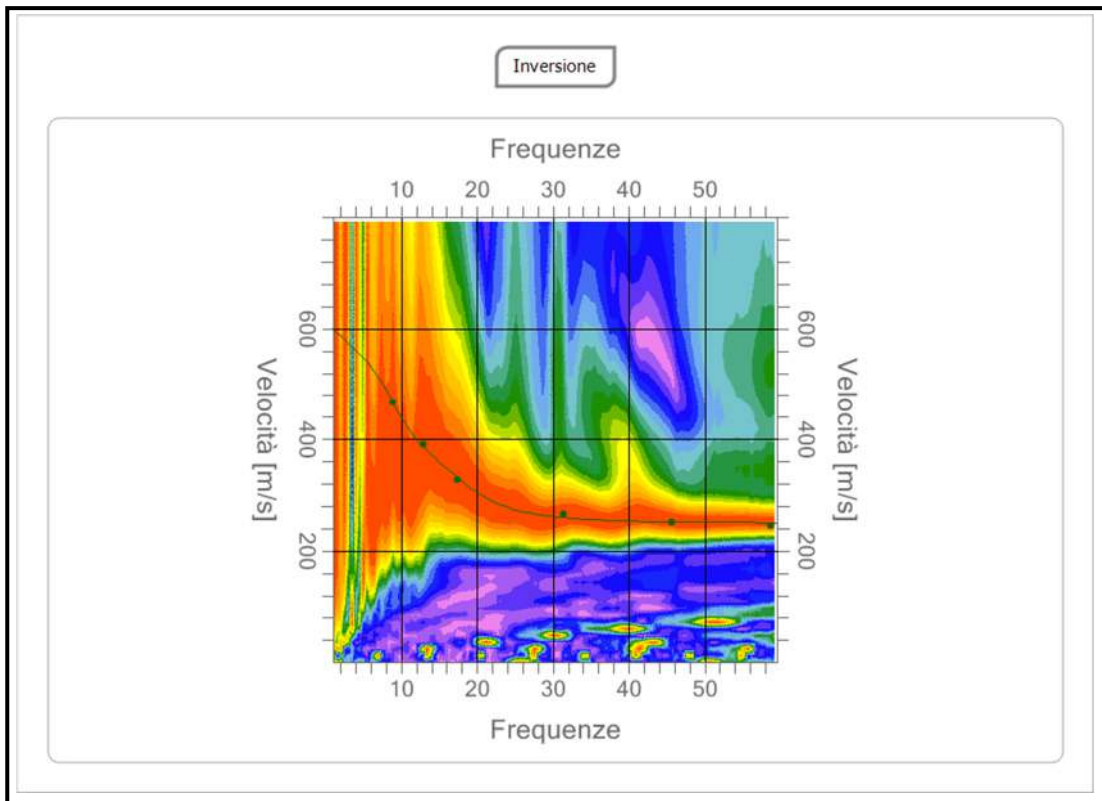


Fig.5 – Spettro f-k del segnale sismico acquisito

GRAFICO VELOCITA' V_s

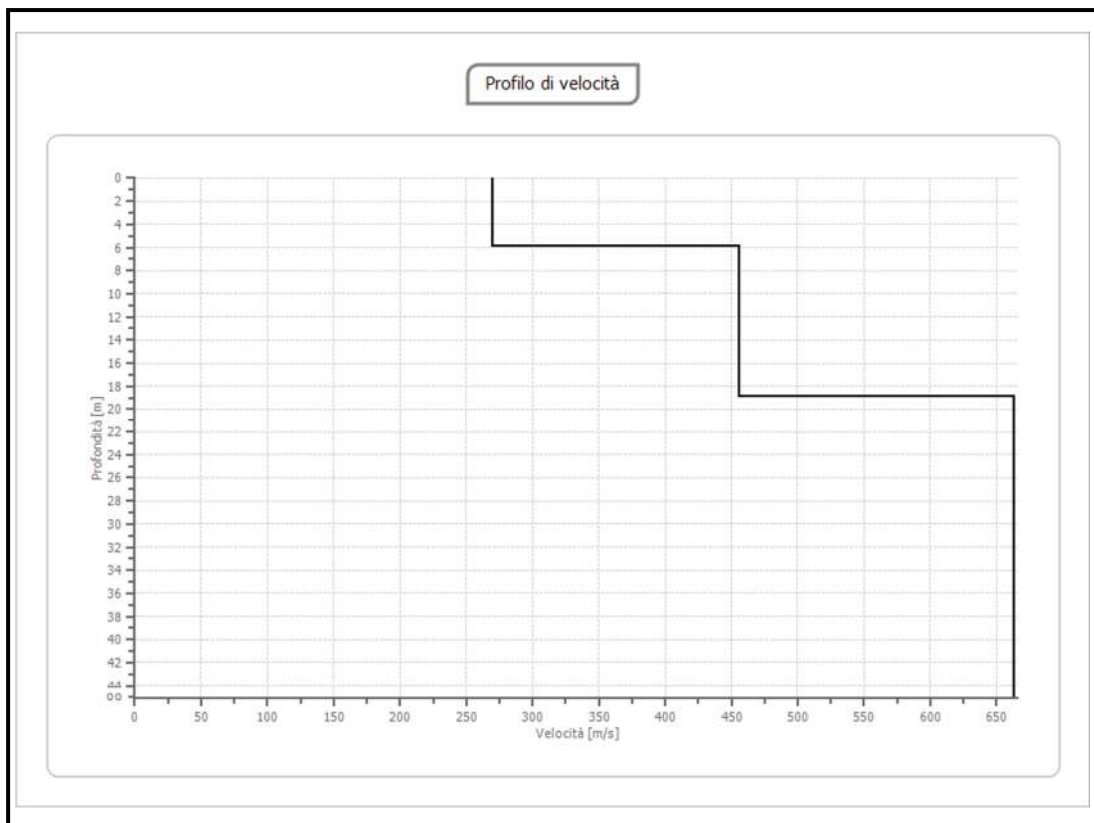


Fig.6 - Profilo di velocità V_s iniziale e finale rappresentati graficamente e riportate numericamente nella pagina successiva.

RISULTATI

Sono stati individuati *n.* 4 sismo-strati principali alle seguenti profondità e alle rispettive velocità delle onde S:

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	V_p [m/sec]	V_s [m/sec]
1	6.00	5.86	1500	0.33	504	269
2	19.00	13.03	1600	0.32	853	456
3	oo	oo	1700	0.30	1240	663

Percentuale di errore

0.013 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.014

Gli spessori rilevati e le relative velocità delle onde S hanno portato alla seguente determinazione della V_{sEQ} a partire dal piano di riferimento: $z = 0$

$V_{sEQ} =$	30	447	m/s
	$\Sigma h_i/V_i$		

Categoria di suolo tipo: **B**

APPENDICE

Tipo di suolo

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.

Tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità di valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Tipo C: Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti con la profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi 180 m/s e 360 m/s.

Tipo D: Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, 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 m/s e 180 m/s.

Tipo E: Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Pastorano, Novembre 2023

I.GEO S.a.s.
di D'ONOFRIO GIUSEPPE & C.
Via Aldo Moro 2 PASTORANO (CE)
Part. Iva e C.a.d. Fisc. 01959710618



DPSH N.1



MASW