

“VILLAROSA”

Progetto di impianto di accumulo idroelettrico

Comuni di Calascibetta, Enna e Villarosa (EN)

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE

STRATEGIES FOR WATER



Progettista: Ing. Luigi Lorenzo Papetti

MASW

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	PRIMA EMISSIONE		G. Barreca	C. Pasqua	L. Papetti

Codice commessa: 1388

Codifica documento: 1388-A-CT-A-06-0

 s.r.l. ISTITUTO DI RICERCA E SPERIMENTAZIONE C.F. - Iscr.C.C.I.A.A. di Caltanissetta: 01754820874 P.I.V.A.: 01479620856 Capitale Sociale: € 102.774,92 i.v.	Timbro a secco	Accettazione	
		Certificato	In bozza
		Data prova	06/06/2022

1.0 Premessa

Nell'ambito delle "Indagini geognostiche e geofisiche nel Comune di Villarosa (EN)" è stata programmata e condotta una prova di sismica attiva di tipo M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Waves*), la quale si basa sulla registrazione e sull'analisi delle onde di Rayleigh in un semispazio stratificato. In particolare è stata eseguita la seguente tipologia di indagine:

Indagine		Coordinate UTM	Lunghezza stendimento (m)	Step - Geofoni (m)	*Offset (m)	Intervallo campionamento (msec)	Tempo di acquisizione (sec)
MASW1	G1	431138.30 mE 4163431.36 mN	55.0	5.0	5.0	0.956	1.0
	G12	431165.40mE 4163382.98mN					

In Figura 1 viene riportata l'ubicazione delle indagini geofisiche effettuate.

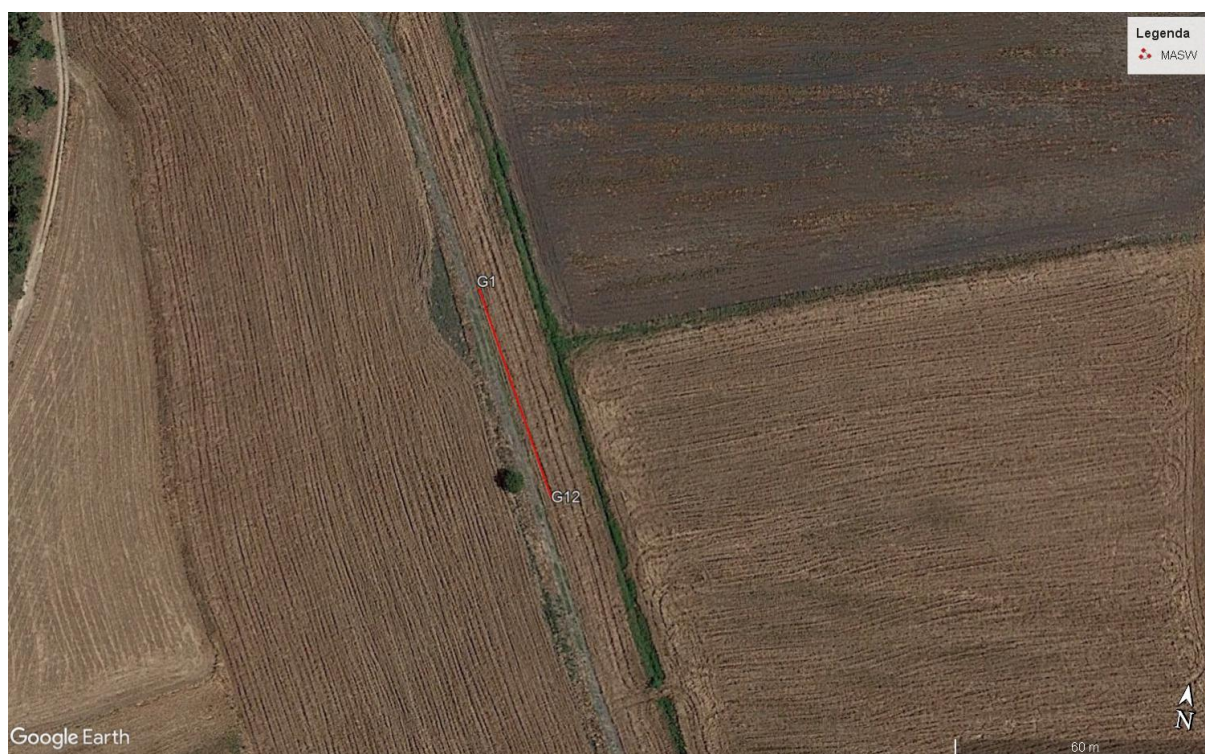


Figura 1: Ubicazione indagini effettuate, con in rosso lo stendimento MASW.

 <small>s.r.l.</small> <small>ISTITUTO DI RICERCA E SPERIMENTAZIONE</small> <small>C.F. – Iscr.C.C.I.A.A. di Caltanissetta: 01754820874</small> <small>P.I.V.A.: 01479620856 Capitale Sociale: € 102.774,92 i.v.</small>	<i>Timbro a secco</i>	Accettazione	
		Certificato	In bozza
		Data prova	06/06/2022

2.0 DESCRIZIONE E FINALITA' DELLA METODOLOGIA DI INDAGINE "MASW"

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che individua (al centro dello stendimento) 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, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase, anche se influenzate dalla V_p (Velocità delle onde P) e della densità, esse sono strettamente correlate alla V_s (parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito e negli studi di amplificazione dello scuotimento sismico).

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile dal 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.

In questo metodo le onde superficiali generate in un punto, sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Che permettono di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5 Hz e 70 Hz, dando così, informazioni sui primi 30 m-50 m di profondità di indagine, in funzione della rigidezza del suolo.

2.1 Attrezzatura utilizzata e metodologia d'esecuzione

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati è un sismografo a 24 canali Doremi della "Sara Electronics Instruments", con n° 12 geofoni verticali aventi un periodo proprio di 4,5 Hz, una mazza battente di 8 kg, a sua volta dotata di uno starter da accoppiare al circuito trigger del sismografo.

La prova è consistita nel produrre sulla superficie del terreno, in prossimità del sito da investigare, sollecitazioni dinamiche verticali, per la generazione delle onde P, e nel registrare le vibrazioni prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate mediante sensori (geofoni) a componente verticale (Fig. 2). Per ogni prova sono stati effettuati N° 2 energizzazioni, con un offset di 5 m.

 <small>s.r.l.</small> <small>ISTITUTO DI RICERCA E SPERIMENTAZIONE</small> <small>C.F. – Iscr.C.C.I.A.A. di Caltanissetta: 01754820874</small> <small>P.I.V.A.: 01479620856 Capitale Sociale: € 102.774,92 i.v.</small>	Timbro a secco	Accettazione	
		Certificato	In bozza
		Data prova	06/06/2022

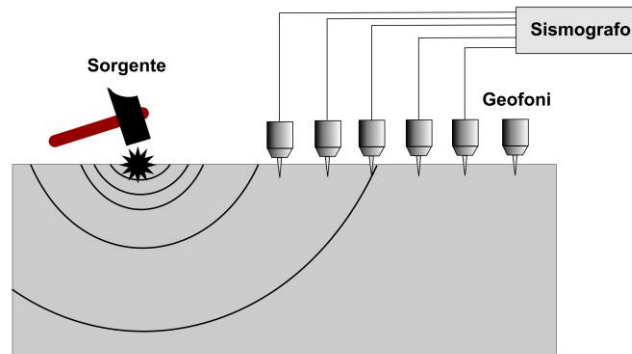


Figura 2: Sollecitazioni dinamiche verticali, per la generazione delle onde P e delle onde di Rayleigh

2.2 Elaborazione dati

L'analisi M.A.S.W. può essere ricondotta in quattro fasi:

- la prima fase prevede la trasformazione delle serie temporali mediante il metodo *phase-shift*, il quale consente di ottenere un grafico della velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza e del contenuto di energia;
- la seconda fase consiste nella individuazione delle coppie $f-V_{\text{fase}}$ (*picking*) cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (densità spettrale) che consentono di risalire alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel piano V_{fase} (m/s) - frequenza (Hz), oppure nella definizione di un modello stratigrafico teorico (variandone spessori, V_s e coefficiente di Poisson) in cui la curva di dispersione teorica approssima al meglio quella sperimentale osservata;
- la terza fase consiste nel calcolo della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s ;
- la quarta ed ultima fase consiste nella modifica della curva teorica; vengono variati opportunamente lo spessore H , la velocità delle onde di taglio V_s e la densità di massa ρ degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino al raggiungimento di 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.

2.3 Calcolo parametro V_{s30}

L'individuazione della categoria di sottosuolo di riferimento attraverso la misura delle V_{s30} o di altri parametri geotecnici (Tabella 1) rappresenta l'approccio semplificato per variare l'azione sismica individuata in prima analisi dai valori di accelerazione orizzontale massima a_g (e dei parametri F_0 , T_c^* etc.) che permettono di definire gli spettri di risposta, ai sensi delle NTC 2018, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale (categ. A), in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i

 <small>s.r.l.</small> <small>ISTITUTO DI RICERCA E SPERIMENTAZIONE</small> <small>C.F. - Iscr.C.C.I.A.A. di Caltanissetta: 01754820874</small> <small>P.I.V.A.: 01479620856 Capitale Sociale: € 102.774,92 i.v.</small>	<i>Timbro a secco</i>	Accettazione	
		Certificato	In bozza
		Data prova	06/06/2022

cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (la rete nazionale è definita da nodi che non distano più di 10 km).

Tale variazione infatti tiene conto delle modifiche prodotte dalle condizioni stratigrafiche locali del sottosuolo del sito indagato e della morfologia della superficie. Questa modifica rappresenta la Risposta Sismica Locale (RSL).

Una volta definito il Modello Geologico di Riferimento, a seconda delle condizioni geologico - stratigrafiche, strutturali, dalla presenza di effetti di sito e in funzione dell'importanza del progetto, si dovrà optare per questo approccio semplificato o per un'analisi di risposta sismica locale (definizione degli specifici spettri di risposta di sito e di progetto).

In seguito all'emanazione in data 20 febbraio 2018 del nuovo quadro normativo ovvero del nuovo D.M. 17 gennaio 2018, "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni", la modalità di definizione della categoria di sottosuolo subisce delle modifiche. Tali modifiche si riferiscono alla profondità da utilizzare per la definizione della categoria di sottosuolo. In particolare secondo le nuove disposizioni normative la velocità delle onde di taglio V_s non devono più essere riferite sempre alla profondità di 30 m da p.c., ma alla profondità (H) a cui si trova il substrato, di cui si dà in seguito definizione. Conseguentemente non si farà più riferimento alla $V_{s,30}$ ma alla $V_{s,eq}$, secondo la seguente formula:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove:

h_i = spessore dell'i-esimo strato

$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio dell'i-esimo strato

N= numero di strati

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.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali.

Per depositi con profondità H del substrato superiori ai 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo H=30 m e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Ne consegue che secondo il D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni", le categorie di sottosuolo sono classificate secondo la seguente tabella (Tab. 2.3):

 <small>s.r.l.</small> <small>ISTITUTO DI RICERCA E SPERIMENTAZIONE</small> <small>C.F. – Iscr.C.C.I.A.A. di Caltanissetta: 01754820874</small> <small>P.I.V.A.: 01479620856 Capitale Sociale: € 102.774,92 i.v.</small>	Timbro a secco	Accettazione	
		Certificato	In bozza
		Data prova	06/06/2022

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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>Deposit</i> i di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente 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 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Deposit</i> i 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 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.

Tabella 2.3: Categorie di sottosuolo di fondazione (N.T.C. 2018)

3.0 RISULTATI DELL'INDAGINE GEOFISICA

I dati acquisiti sono stati elaborati con il software Easy MASW (determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime) per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (V_s).

Dall'analisi spettrale del segnale sismico acquisito mediante il metodo *phase-shift* è stato ricavato il grafico dell'ampiezza spettrale - velocità di fase - frequenza (Fig.3.0.a). Dal grafico si può osservare la curva di dispersione del modo fondamentale individuata dal modello teorico applicato per il caso in esame.

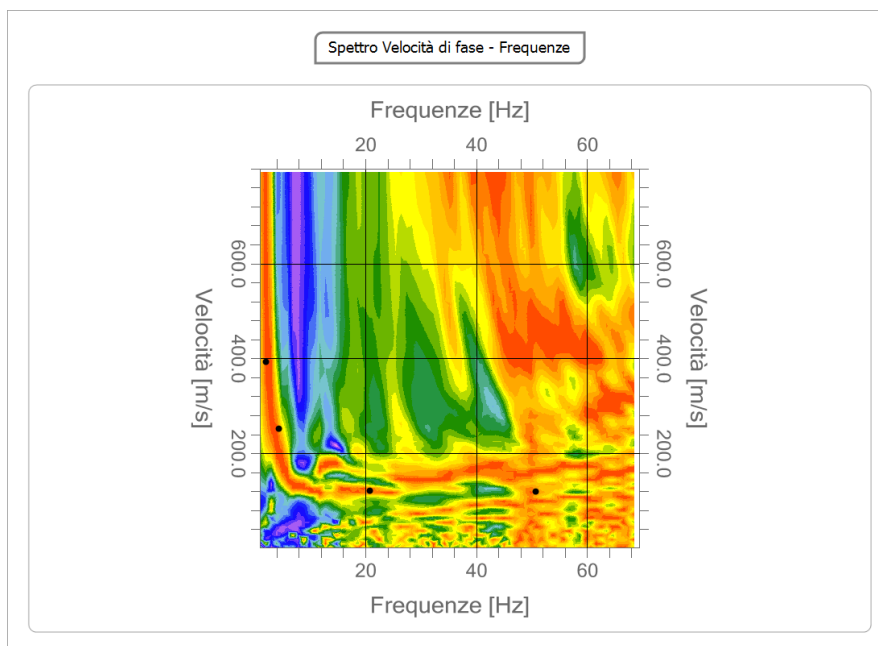


Figura 3.0.a: Grafico dello spettro in ampiezza della velocità di fase in funzione della frequenza

 <small>s.r.l.</small> <small>ISTITUTO DI RICERCA E SPERIMENTAZIONE</small> <small>C.F. – Iscr.C.C.I.A.A. di Caltanissetta: 01754820874</small> <small>P.I.V.A.: 01479620856 Capitale Sociale: € 102.774,92 i.v.</small>	<i>Timbro a secco</i>	Accettazione	
		Certificato	In bozza
		Data prova	06/06/2022

Il modello sismostratigrafico teorico utilizzato per l’inversione della curva di dispersione sperimentale consiste in **cinque** sismostrati sovrastanti un semispazio.

Di seguito vengono presentati i risultati dell’inversione che hanno mostrato la percentuale minima di errore con il grafico delle curve di dispersione teoriche ottenute (Fig.3.0.b), il profilo di velocità delle onde S nei primi 30 metri (Fig.3.0.c), il modello sismostratigrafico del sottosuolo (Fig.3.0.d) e due tabelle riassuntive con una stima dei parametri geotecnici medi per ciascun sismostrato (Tab.3.0.a) e con i risultati dell’indagine MASW (Tab.3.0.b).

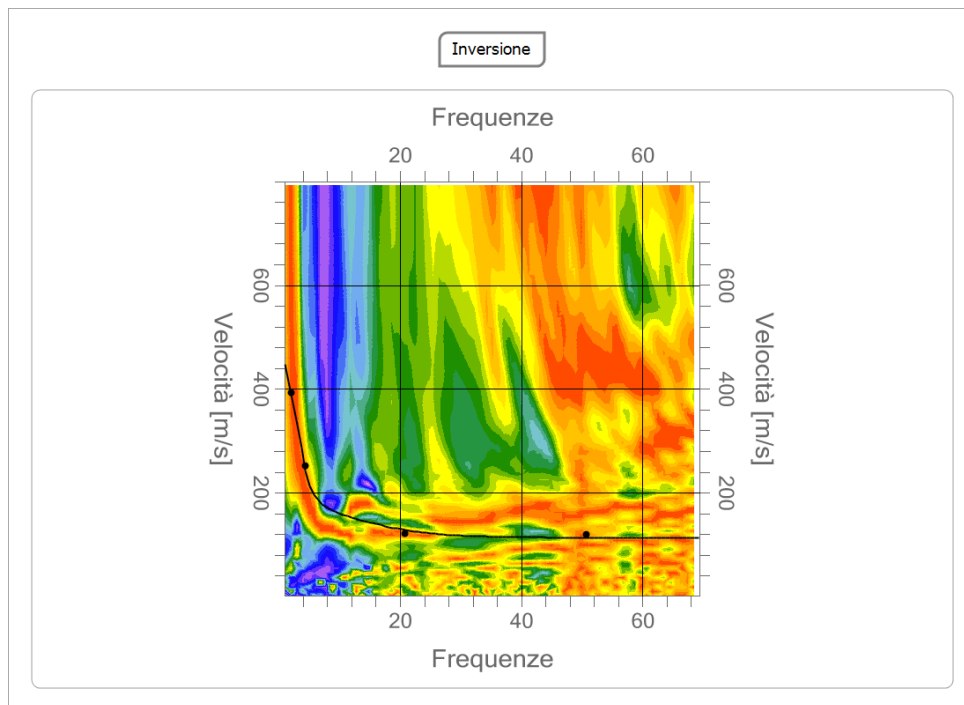


Figura 3.0.b: Curve di dispersione teoriche ottenute dal modello teorico del sottosuolo



Accettazione	
Certificato	In bozza
Data prova	06/06/2022

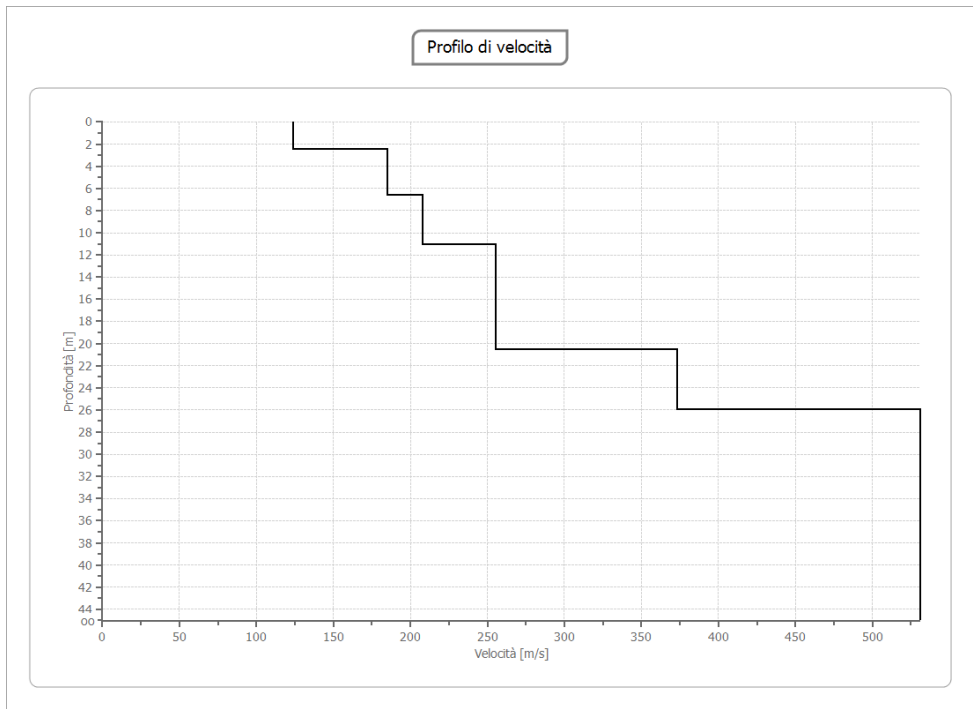


Figura 3.0.c: Profilo di velocità della V_s nei primi 30 metri (in nero)

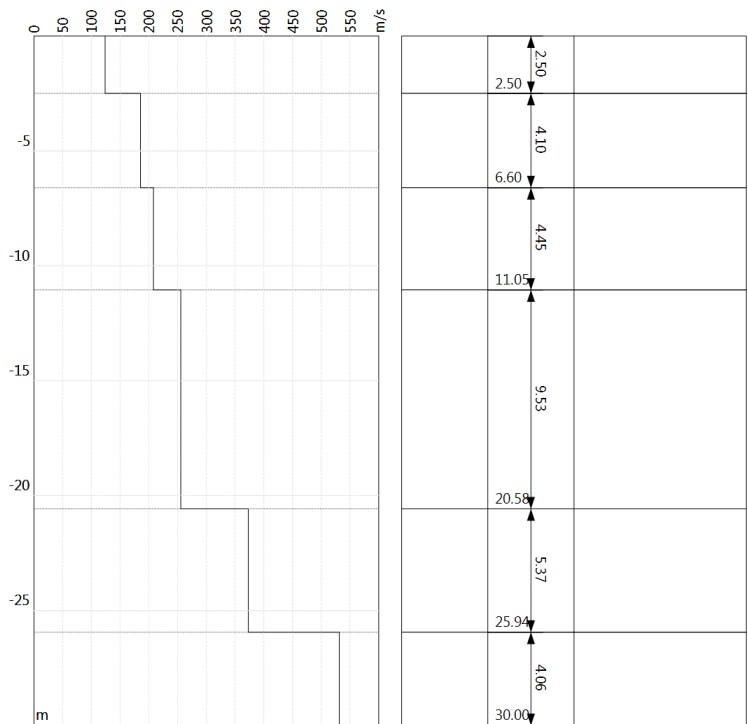


Figura 3.0.d: Modello sismostratigrafico del sottosuolo

 <small>s.r.l.</small> <small>ISTITUTO DI RICERCA E SPERIMENTAZIONE</small> <small>C.F. - Iscr.C.C.I.A.A. di Caltanissetta: 01754820874</small> <small>P.I.V.A.: 01479620856 Capitale Sociale: € 102.774,92 i.v.</small>	Timbro a secco	Accettazione	
		Certificato	In bozza
		Data prova	06/06/2022

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	2.50	2.50	123.82	202.19	1800.00	0.20	27.60	73.59	36.79	66.23
2	6.60	4.10	185.29	302.58	1800.00	0.20	61.80	164.80	82.40	148.32
3	11.05	4.45	208.03	339.71	1800.00	0.20	77.90	207.73	103.87	186.96
4	20.58	9.53	255.60	417.39	1800.00	0.20	117.59	313.58	156.79	282.22
5	25.94	5.37	372.98	609.07	1800.00	0.20	250.41	667.75	333.87	600.97
6	-	-	531.38	867.75	1800.00	0.20	508.27	1355.37	677.69	1219.84

Tabella 3.0.a: Parametri geotecnici medi (G0: Modulo di taglio; Ed: Modulo edometrico; M0: Modulo di compressibilità volumetrica; Ey: Modulo di Young)

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Vs eq. [m/s]	Categoria di sottosuolo
1	2.50	2.50	123.82	202.19	243.88	C
2	6.60	4.10	185.29	302.58		
3	11.05	4.45	208.03	339.71		
4	20.58	9.53	255.60	417.39		
5	25.94	5.37	372.98	609.07		
6	-	-	531.38	867.75		

Tabella 3.0.b: Risultati prova MASW

 <small>s.r.l.</small> <small>ISTITUTO DI RICERCA E SPERIMENTAZIONE</small> <small>C.F. – Iscr.C.C.I.A.A. di Caltanissetta: 01754820874</small> <small>P.I.V.A.: 01479620856 Capitale Sociale: € 102.774,92 i.v.</small>	<i>Timbro a secco</i>	Accettazione	
		Certificato	In bozza
		Data prova	06/06/2022

4. CONCLUSIONI

Il presente lavoro ha avuto come scopo quello definire il suolo tipo secondo la normativa sismica vigente (D.M. NTC 2018).

Il risultato ottenuto dall'indagine MASW può così essere sintetizzato:

- *Il modello di velocità del sottosuolo è riconducibile a n.5 sismostrati sovrastanti un semispazio;*
- *L'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh a partire da dati di sismica attiva (MASW) ha consentito di determinare il profilo verticale della V_s e, di conseguenza, del parametro V_{seq} , risultato per il modello medio pari a $V_{seq} = 243.88$ m/s calcolata da -0,0 m dal p.c.;*

Rispetto le norme tecniche per le costruzioni (N.T.C. 2018) il sottosuolo ricade nella categoria **C** “*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente 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 180 m/s e 360 m/s*” per la prospezione eseguita.

 <p>SIDERCem[®] s.r.l. ISTITUTO DI RICERCA E SPERIMENTAZIONE</p> <p>C.F. – Iscr.C.C.I.A.A. di Caltanissetta: 01754820874 P.I.V.A.: 01479620856 Capitale Sociale: € 102.774,92 i.v.</p>	<p><i>Timbro a secco</i></p>	Accettazione	
		Certificato	In bozza
		Data prova	06/06/2022

Documentazione Fotografica



Esecuzione della prova MASW