

COMMITTENTE



**GRV Wind Sardegna 5 s.r.l.**  
 Via Durini, 9 Tel. +39.02.5004315920122  
 Milano PEC:  
[grwindsardegna5@legalmail.it](mailto:grwindsardegna5@legalmail.it)

**GRV WIND SARDEGNA 5 S.r.l.**  
 Via Durini, 9  
 20122 Milano (MI)  
 P. IVA 1875460963

PROGETTISTI

Progettisti:  
 ing. Mariano Marseglia  
 ing. Giuseppe Federico Zingarelli

**M&M ENGINEERING S.r.l.**  
 Sede Operativa:  
 Via I Maggio, n.4 Tel./fax +39.0885.791912  
 Orta Nova (FG) Mail: [ing.marianomarseglia@gmail.com](mailto:ing.marianomarseglia@gmail.com)

Consulente:  
 Geol. MARIO NONNE



REGIONE AUTONOMA  
 DELLA SARDEGNA



PROVINCIA  
 SASSARI



COMUNE ERULA



COMUNE TULA

PROGETTO

**PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO  
 DENOMINATO "SA FIURIDA" COMPOSTO DA 5 AEROGENERATORI DA 6,3 MW,  
 PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 31,5 MW SITO NEL COMUNE DI ERULA (SS),  
 CON OPERE DI CONNESSIONE NEL COMUNE DI ERULA E TULA (SS)**

ELABORATO

Titolo:

**RELAZIONE GEOLOGICA - SISMICA**

Tav./Doc.:

**GEO-02**

Codice elaborato:

**GEO-02**

Scala/Formato:

**A4**

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ELABORAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE
0	Maggio/2022	Prima emissione	M&M	M&M	GRVALUE



# COMUNE DI ERULA

PROVINCIA DI SASSARI

## PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO NEL TERRITORIO DI ERULA (SS)

**ELABORATO:      RELAZIONE PROVE GEOFISICHE**

ALLEGATO:

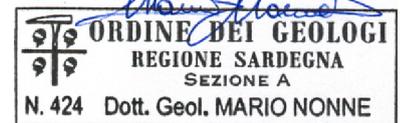
DATA:      aprile 2022

### COMMITTENZA

Ditta M&M Engineering s.r.l.

### PROGETTAZIONE

Geologo Mario Nonne



VISTI

## SOMMARIO

1) INTRODUZIONE.....	2
2) PROSPEZIONE SISMICA.....	2
3) INDAGINI SISMICHE MEDIANTE ONDE DI SUPERFICIE.....	3
3.1) Metodologia MASW.....	3
4) STENDIMENTI MASW.....	4
4.1) MASW 1.....	5
4.2) MASW 2.....	8
5) PARAMETRI CORRELATI.....	11
6) CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO (D.M. 17.01.2018).....	16
7) ALLEGATO FOTOGRAFICO.....	18

## 1) INTRODUZIONE

La presente relazione, commissionata dalla Ditta M & M Engineering s.r.l - Sede operativa: Via I Maggio, 4 - 1045 Orta Nova (FG), illustra il risultato di due indagini geofisiche di tipo sismico eseguita nel mese di aprile 2022 nell'ambito del "Progetto di realizzazione di un Parco Eolico nel territorio di Erula (SS)". Le prove, con localizzazione presente in allegato, hanno visto l'esecuzione di due stendimenti sismici con tecnica MASW (Multichannels Analysis Surface Waves). Le prospezioni hanno avuto come fine principale quello di definire le Vs equivalenti nelle more delle NTC 2018.

## 2) PROSPEZIONE SISMICA

La prova ha visto l'esecuzione di uno stendimento sismico con tecnica MASW (Multichannels Analysis Surface Waves). Il fine principale è quello di definire le Vs equivalenti nelle more delle NTC 2018. Si tratta di uno dei metodi attualmente tra i più utilizzati per l'esplorazione in profondità del sottosuolo e comporta il creare delle onde artificiali nel terreno che vengono registrate da geofoni verticali infissi nel terreno e collegati ad un sismografo. Le indagini geognostiche che utilizzano le metodologie sismiche sfruttano le proprietà dei terreni di farsi attraversare dalle onde sismiche a diversa velocità, dipendente da molti fattori, quali la natura mineralogica della roccia, il grado di cementazione e di fratturazione, la porosità, il contenuto in acqua o in gas, la possibile presenza di vuoti ecc.

La strumentazione utilizzata è costituita da un Sismografo DAQLink III (Seismic Source U.S.A.) con convertitore A/D a 24 bit, 24 canali, range dinamico 144db e output dei dati in SEG-Y o SEG-2, l'intero sistema di acquisizione è conforme alle specifiche ASTM D5777-00 (2006) (Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation). L'energizzazione del terreno è stata effettuata mediante l'utilizzo di una massa battente (mazza di 10 kg con starter) su piattello di battuta in alluminio. Per la ricezione delle onde di superficie di Rayleigh, durante l'indagine sismica, sono stati usati geofoni verticali a corto periodo (4,5 Hz).



Fig. 1 - Sistema di ricezione e elaborazione - sistema di battuta

### 3) INDAGINI SISMICHE MEDIANTE ONDE DI SUPERFICIE

Le NTC 2018 prescrivono la stima della velocità di propagazione delle onde S nel sottosuolo. Tra le indagini indirette, di maggiore diffusione si annoverano le tecniche basate sull'analisi della dispersione delle onde di superficie (Rayleigh e Love). La dispersione rappresenta una deformazione di un treno d'onde dovuta ad una variazione di propagazione di velocità con la frequenza. In un mezzo stratificato le varie componenti (lunghezza d'onda, quindi frequenza  $\lambda = v/f$ ) del segnale sismico si propagano ad una velocità diversa in funzione delle caratteristiche del mezzo. Le componenti a frequenza minore (lunghezza d'onda maggiore) penetrano più in profondità e sono quindi influenzate dagli strati più profondi rispetto a quelle a frequenza maggiore (lunghezza d'onda minore) che risentono delle proprietà fisiche dei livelli superficiali, e presentano normalmente più elevate velocità di fase.

#### 3.1) Metodologia MASW

La tecnica MASW consente di misurare la velocità delle onde di taglio  $V_s$  sfruttando il carattere dispersivo delle onde di Rayleigh quando queste si propagano in un mezzo stratificato. La dispersione consiste nella variazione della velocità di fase a diverse frequenze, con l'aumento della lunghezza d'onda (abbassamento di frequenza) la profondità coinvolta dalla propagazione dell'onda è via via maggiore. È quindi possibile, impiegando onde di un certo intervallo di frequenza, caratterizzare le proprietà acustiche dei terreni sino ad una certa profondità. Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo è composto da tre fasi consecutive:

- acquisizione delle onde superficiali (ground roll);
- costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle  $V_s$ .

Il range di frequenza utilizzato si sviluppa comunemente tra i 5 Hz e i 60Hz, fornendo informazioni sino alla profondità massima di penetrazione, determinata dalla relazione fra velocità di propagazione dell'onda e la più bassa frequenza identificabile.

Questa tipologia di prospezione si realizza solitamente con uno stendimento sismico costituito da 12/24 geofoni allineati a distanza intergeofonica variabile tipicamente fra 1 e 5 m che registrano le

onde sismiche generate in corrispondenza di X punti di energizzazione effettuati tipicamente ad una distanza compresa fra 2 m e 20 m dal primo geofono.

L'obiettivo della registrazione è quindi l'individuazione del treno di onde superficiali (Rayleigh), che a causa della stratificazione del mezzo subisce una dispersione le cui modalità sono direttamente correlate alla velocità delle onde di taglio S. L'acquisizione delle onde di Rayleigh può essere fatta mediante geofoni verticali (come nel nostro caso), oppure mediante geofoni orizzontali con asse posto parallelo (radiale) allo stendimento (in entrambi i casi si utilizza una sorgente verticale - piastra-martello).

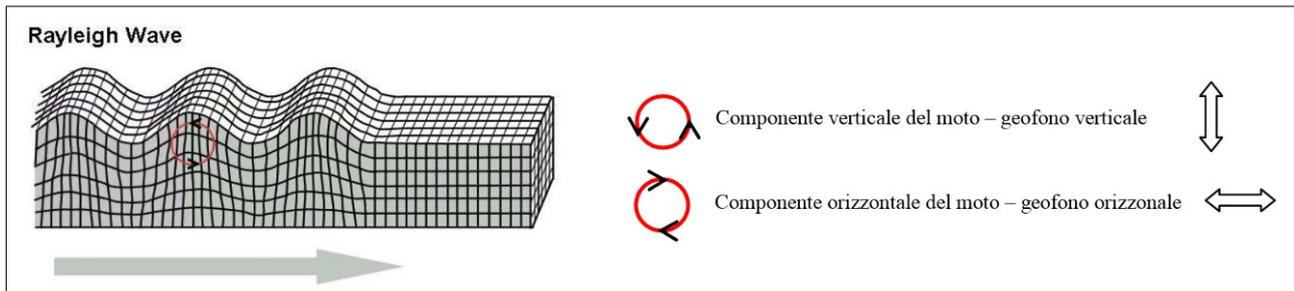


Fig. 2 - Rappresentazione onde superficiali

#### 4) STENDIMENTI MASW

L'indagine hanno visto l'esecuzione di due stendimenti posizionati dietro indicazione della committenza. Le analisi sono stata eseguite adottando la seguente configurazione:

- N° geofoni: 24 con frequenza propria di risonanza 4,5 Hz;
- Distanza intergeofonica: 2,0 m per complessivi 46 m di stendimento;
- Offset di battuta stendimento 1: disposta a 6 metri e 2 metri esternamente dal geofono 1;
- Offset di battuta stendimento 1: disposta a 4 metri e 2 metri esternamente dal geofono 1;

Per quanto riguarda l'acquisizione sono state utilizzate le seguenti impostazioni:

- Tempo di acquisizione: 1 s;
- Frequenza di campionamento: 1000 Hz;
- Periodo di campionamento: 1.0 ms.

I dati acquisiti sono stati elaborati attraverso le seguenti fasi:

- 1) Calcolo dello spettro di velocità;
- 2) Individuazione del modo fondamentale e degli eventuali superiori;
- 3) Calcolo della curva di dispersione mediante modellazione diretta, cioè attribuzione degli spessori e delle velocità relative, sulla base di dati riguardanti il sito acquisiti precedentemente tramite indagini dirette o bibliografia. In alternativa picking della curva di dispersione, cioè selezione dei punti che si ritengono appartenere ad un determinato modo;
- 4) Inversione della curva di dispersione e conseguente individuazione del profilo di velocità Vs.

Gli spettri di velocità risultano dominati dal modo fondamentale delle onde di Rayleigh.

#### 4.1) MASW 1

L'indagine è stata eseguita al bordo di uno stradello con direzione NNE - SSW.

STENDIMENTO MASW COORDINATE WGS		
Geofono 1	40.763226°	8.916912°
Geofono 24	40.762839°	8.917121°

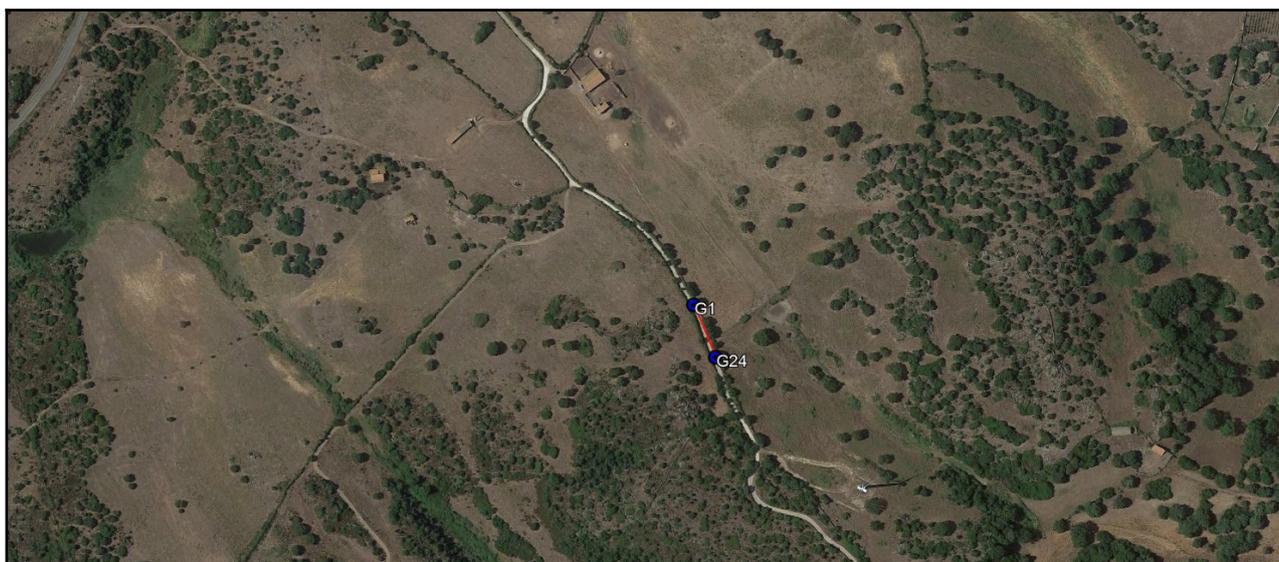


Fig. 3 - Localizzazione MASW

L'analisi del profilo sismico per il calcolo delle Vs equivalenti è stata effettuata utilizzando un modello semplificato composto da 7 sismostrati con il raggiungimento del substrato sismico alla profondità di 6,7 metri dal p.c..

Strati	Profondità (m)	Spessore strato (m)	Vs (m/sec)
A	1,7	1,7	349
B	4,1	2,4	400
C	6,7	2,6	720
D	10,2	3,5	959
E	14,2	4,0	1070
F	19,2	5,0	1049
G	-	-	980

Nel calcolo della "Velocità equivalente"  $V_{s_{eq}}$  si è tenuto conto dei tre sismostrati rilevati con velocità inferiore agli 800 m/sec sino alla profondità di 6,7 metri dal p.c..

La  $V_{s_{eq}}$  rappresenta, dunque, la media ponderata della distribuzione delle velocità di taglio per una profondità H sotto il piano di fondazione e si ottiene applicando la seguente formula:

$$V_{s_{eq}} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h_{(strato)}}{V_{s_{(strato)}}}}$$

**Progetto di realizzazione di un Parco Eolico  
Erula (SS) - indagini geofisiche**

Dove:

- N è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore h(strato) e dalla velocità delle onde S Vs(strato);
- H è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Il parametro Vseq consente di stabilire la classe di suolo come da indicazioni delle NTC del 2018.

<b>A</b>	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.
<b>B</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 e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
<b>C</b>	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.
<b>D</b>	Depositi 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.
<b>E</b>	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.

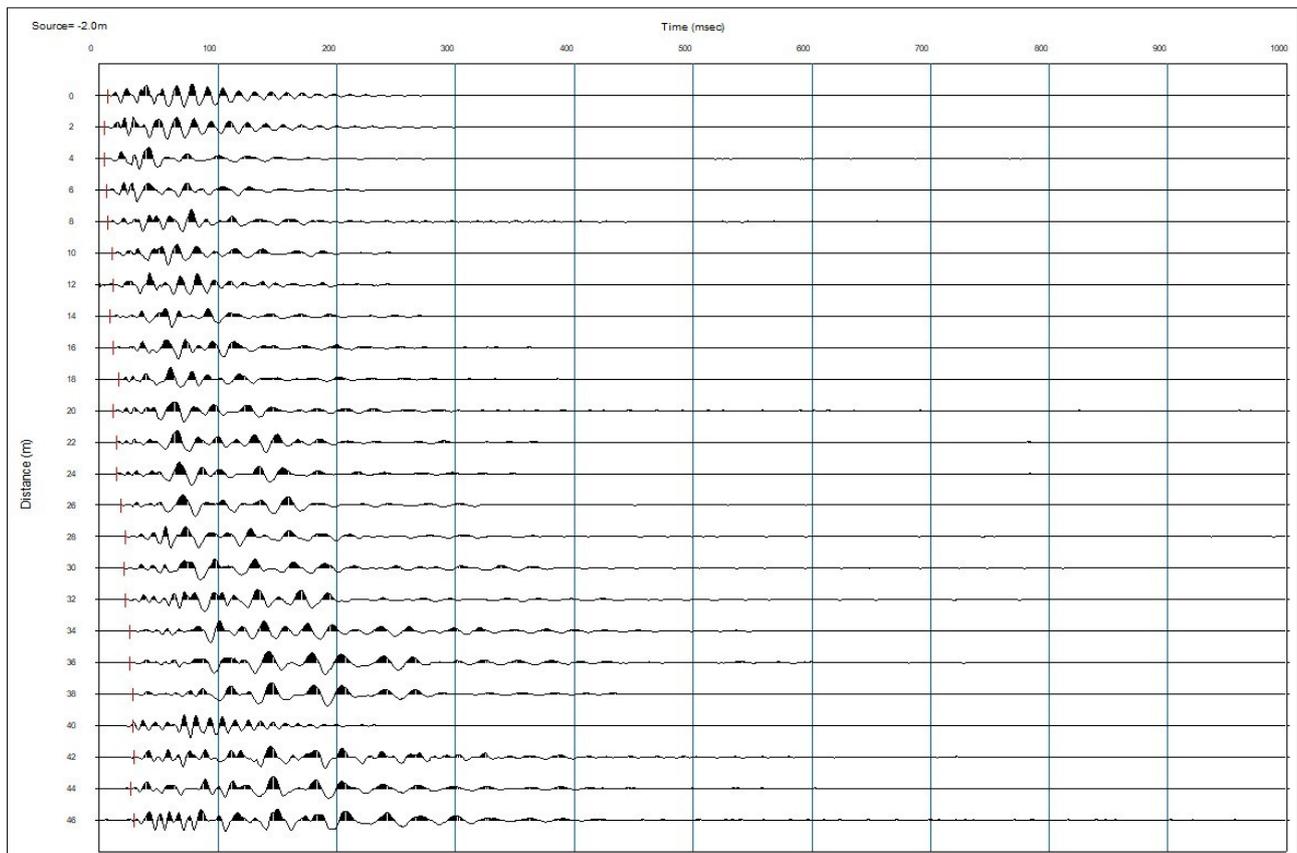


Fig. 4 – Sismogramma in acquisizione

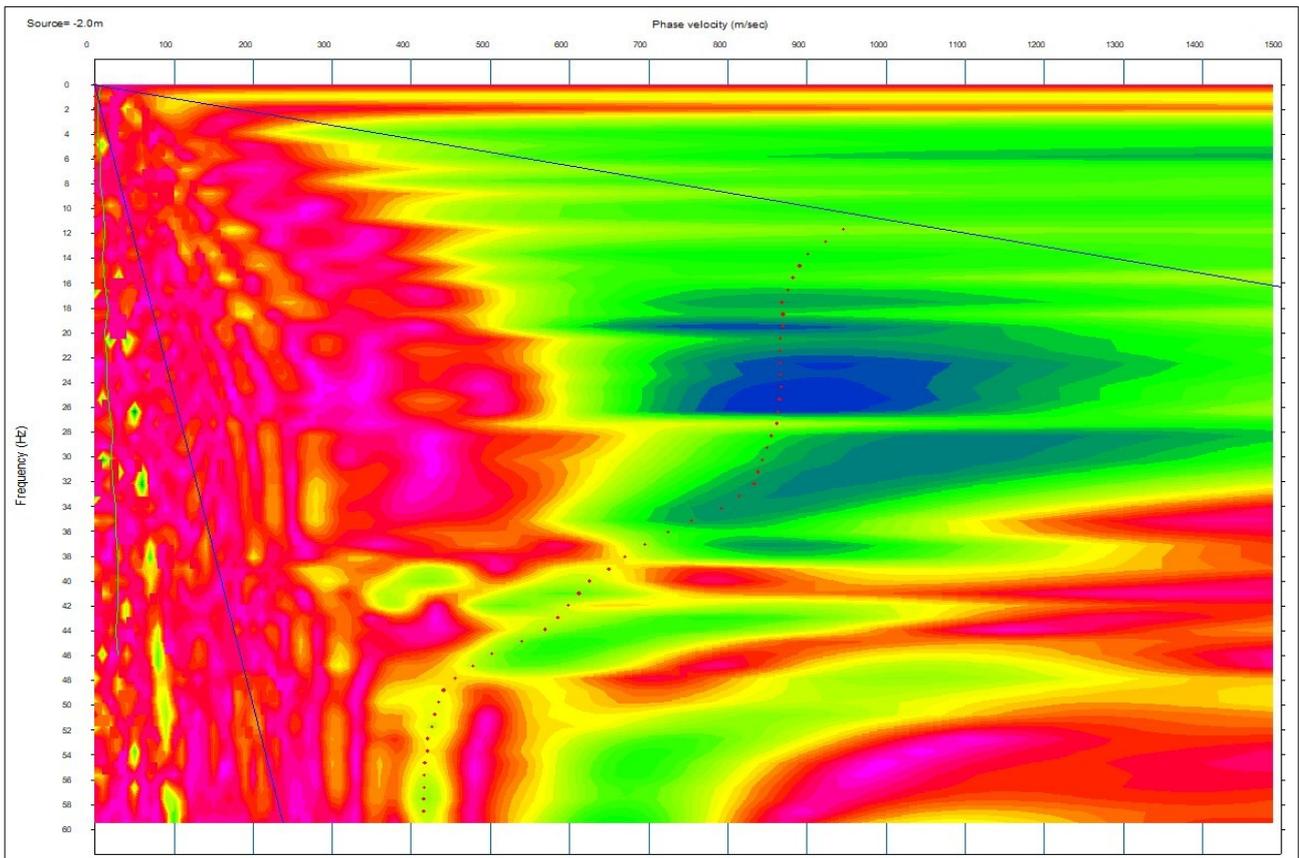


Fig. 5 - Curva di dispersione

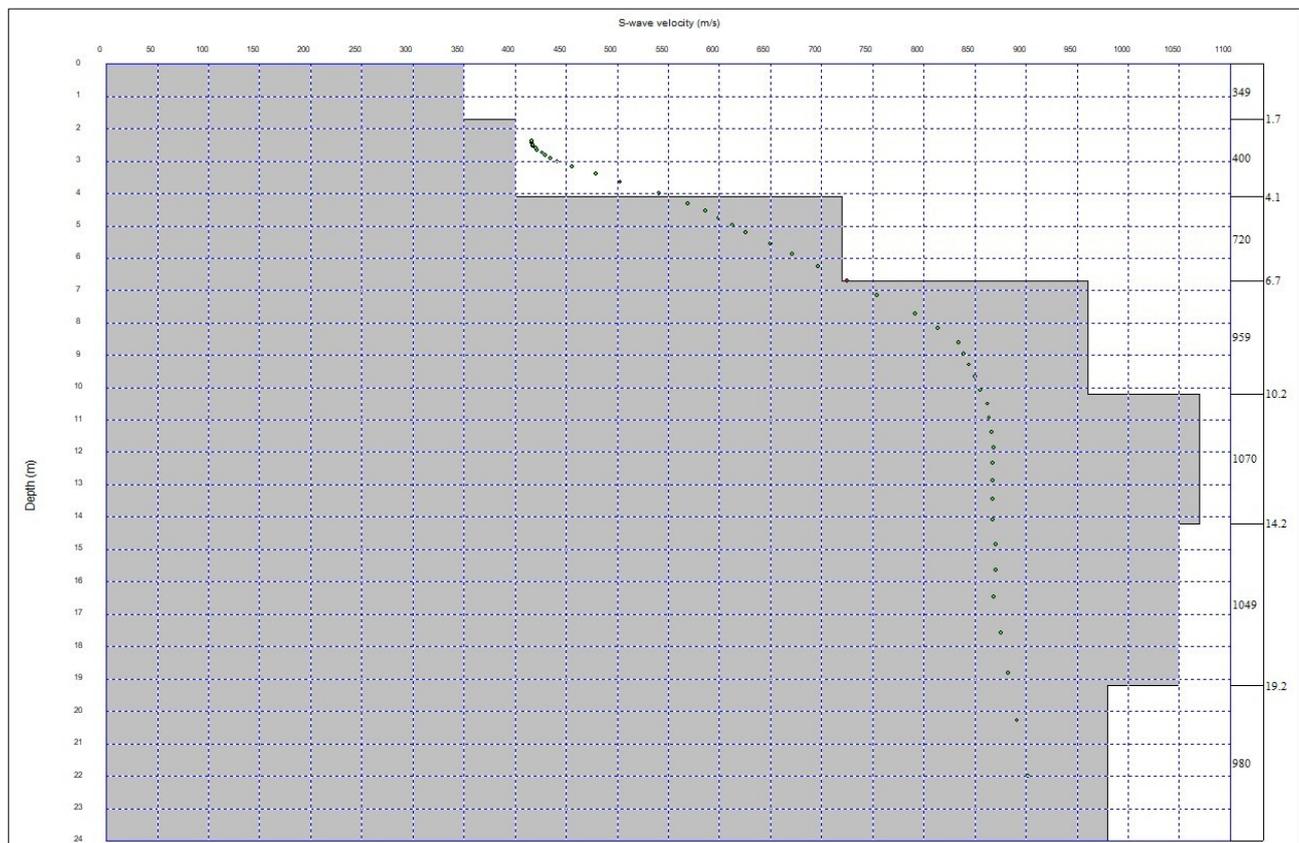


Fig. 6 - modello stratigrafico delle Vs

Considerando la stratigrafia ottenuta dall'elaborazione dello spettro di dispersione, la  $V_{s_{eq}}$  (NTC 2018), risultano pari a **462,64 m/s**.

Tali caratteristiche classificano il terreno di fondazione (NTC 2018) alla **categoria B**.

Resta sempre in capo al progettista l'utilizzo della categoria di sottosuolo di riferimento da utilizzare in funzione delle scelte progettuali.

#### 4.2) MASW 2

L'indagine è stata eseguita al lato di uno stradello con direzione NNE - SSW.

STENDIMENTO MASW COORDINATE WGS		
Geofono 1	40.771207°	8.950310°
Geofono 24	40.770798°	8.950422°

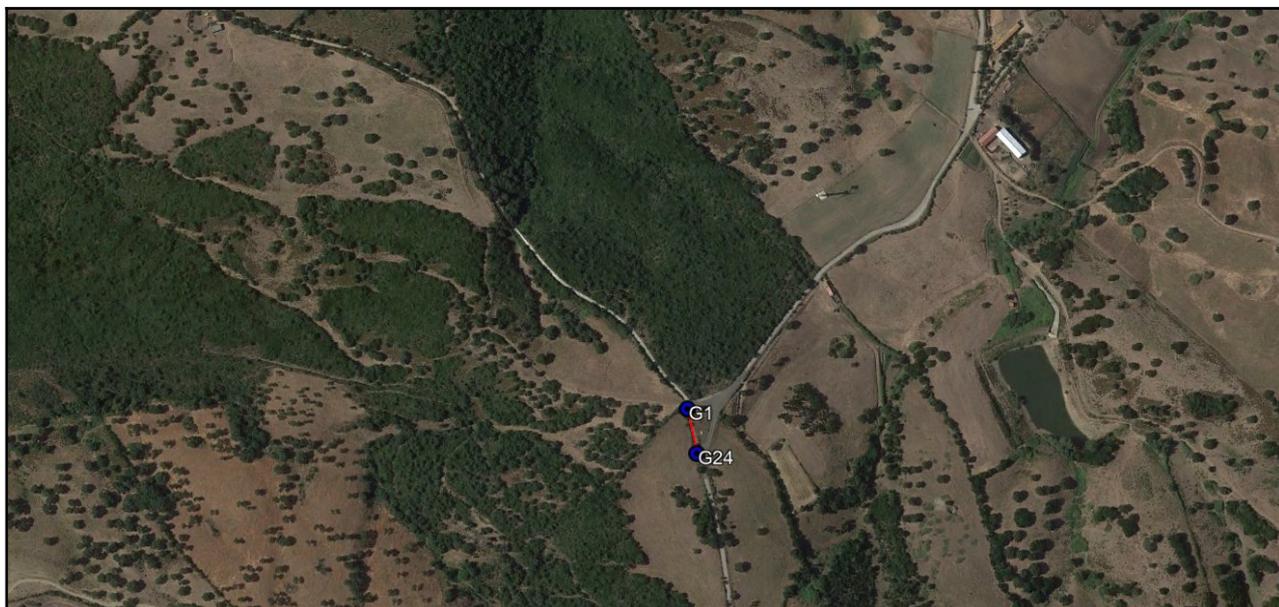


Fig. 7 - Localizzazione MASW

L'analisi del profilo sismico per il calcolo delle  $V_s$  equivalenti è stata effettuata utilizzando un modello semplificato composto da 7 sismostrati con il raggiungimento del substrato sismico alla profondità di 6,3 metri dal p.c..

Strati	Profondità (m)	Spessore strato (m)	$V_s$ (m/sec)
A	1,6	1,6	397
B	3,7	2,1	482
C	6,3	2,6	771
D	9,4	3,1	868
E	13,1	3,7	862
F	17,3	4,2	1033
G	-	-	1225

Nel calcolo della "Velocità equivalente"  $V_{s_{eq}}$  si è tenuto conto dei tre sismostrati rilevati con velocità inferiore agli 800 m/sec sino alla profondità di 6,3 metri dal p.c..

La  $V_{s_{eq}}$  rappresenta, dunque, la media ponderata della distribuzione delle velocità di taglio per una profondità  $H$  sotto il piano di fondazione e si ottiene applicando la seguente formula:

$$V_{s_{eq}} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h_{(strato)}}{V_{s_{(strato)}}}}$$

Dove:

- $N$  è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore  $h_{(strato)}$  e dalla velocità delle onde  $S$   $V_{s_{(strato)}}$ ;
- $H$  è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Il parametro  $V_{seq}$  consente di stabilire la classe di suolo come da indicazioni delle NTC del 2018.

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.
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 e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
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.
D	Depositi 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	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.

Progetto di realizzazione di un Parco Eolico  
Erula (SS) - indagini geofisiche

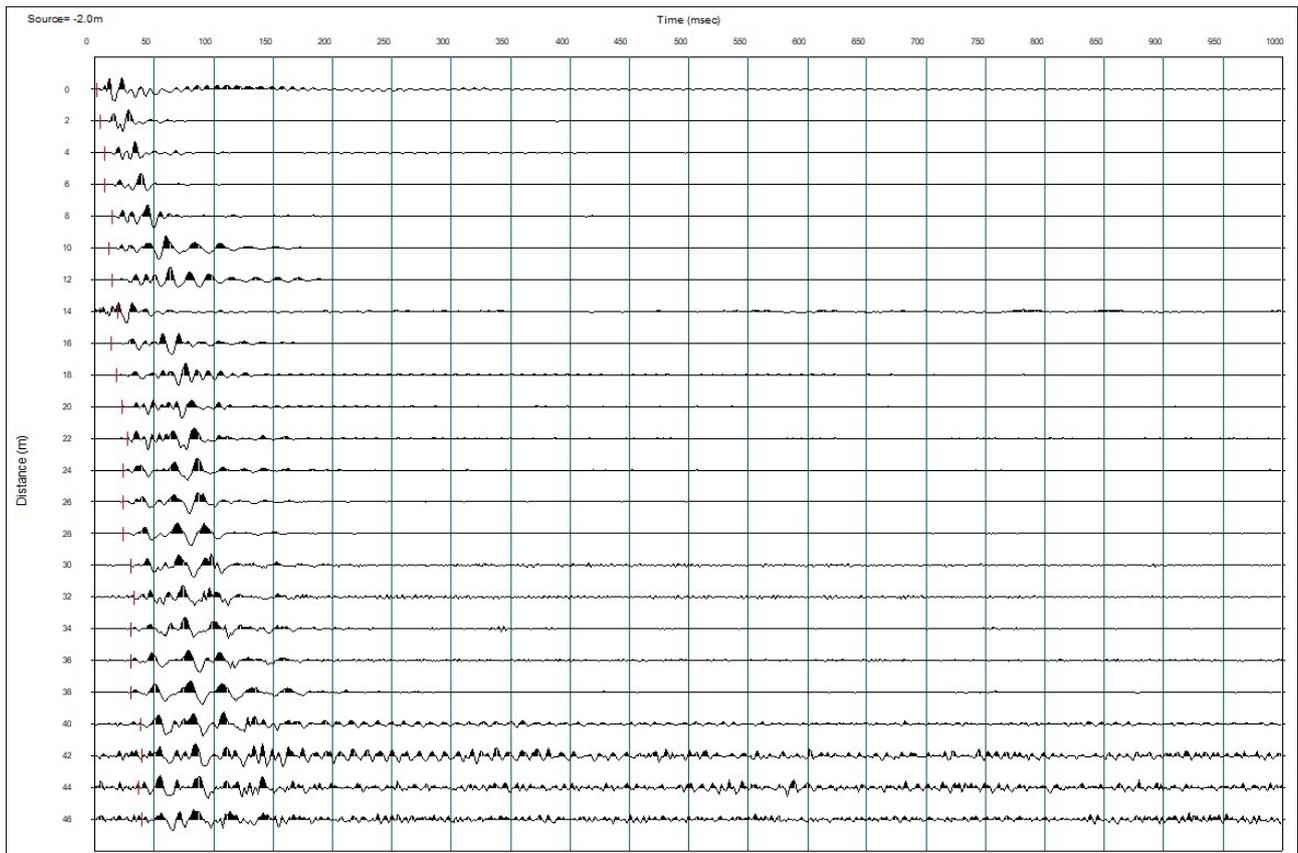


Fig. 8 – Sismogramma in acquisizione

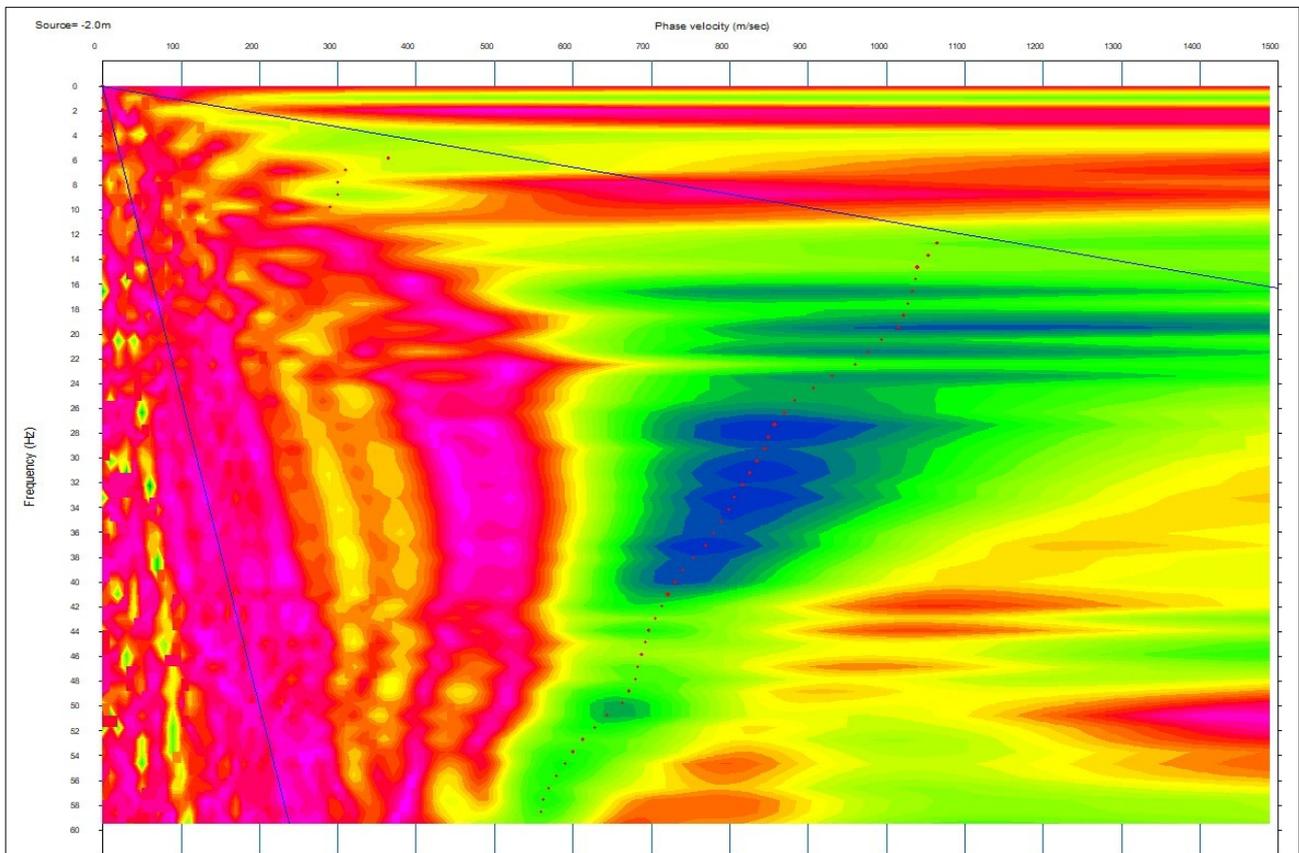


Fig. 9 – Curva di dispersione

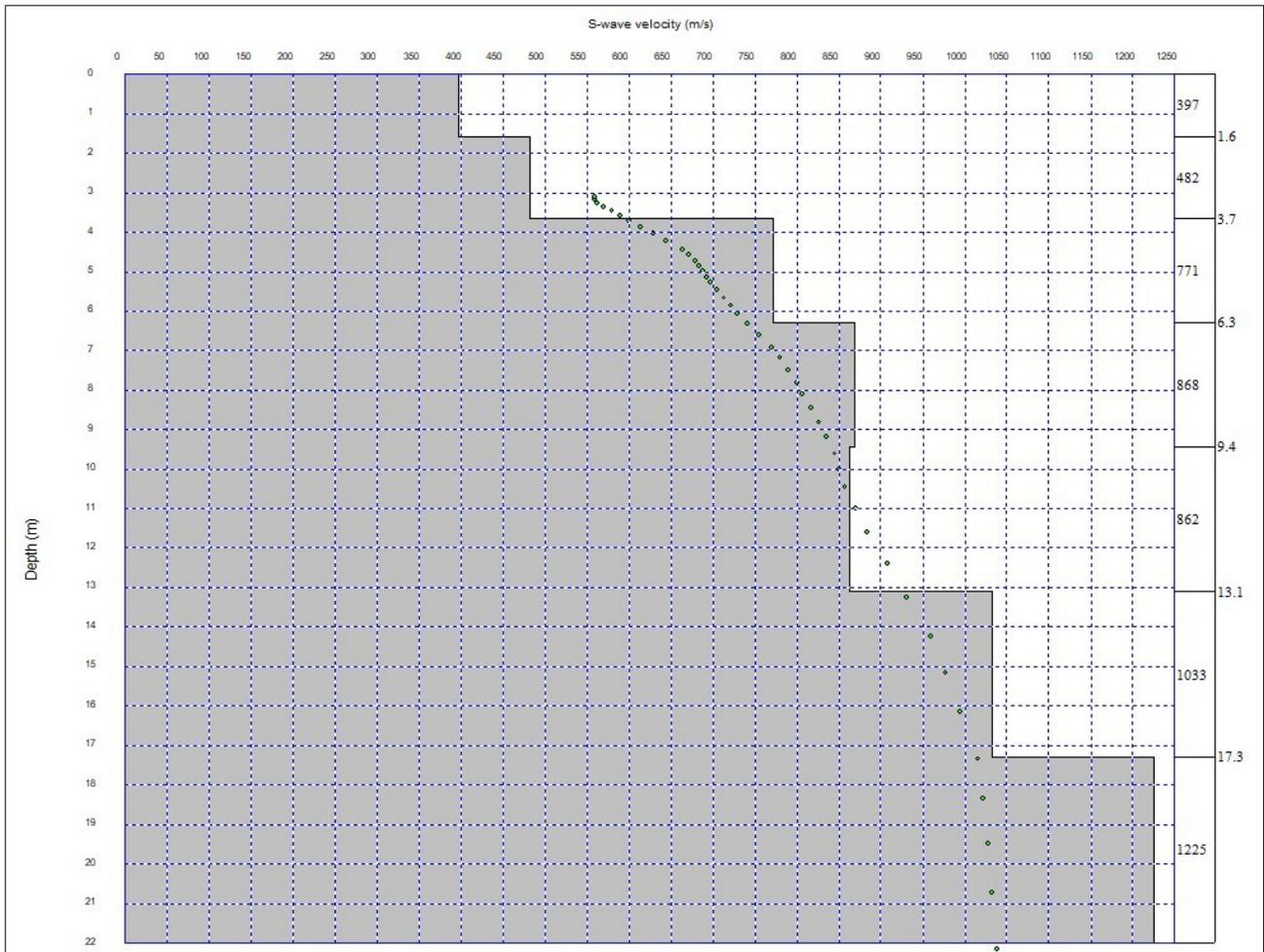


Fig. 10 - modello stratigrafico delle Vs

Considerando la stratigrafia ottenuta dall'elaborazione dello spettro di dispersione, la  $V_{s_{eq}}$  (NTC 2018), risultano pari a **535,75 m/s**.

Tali caratteristiche classificano il terreno di fondazione (NTC 2018) alla **categoria B**.

Resta sempre in capo al progettista l'utilizzo della categoria di sottosuolo di riferimento da utilizzare in funzione delle scelte progettuali.

## 5) PARAMETRI CORRELATI

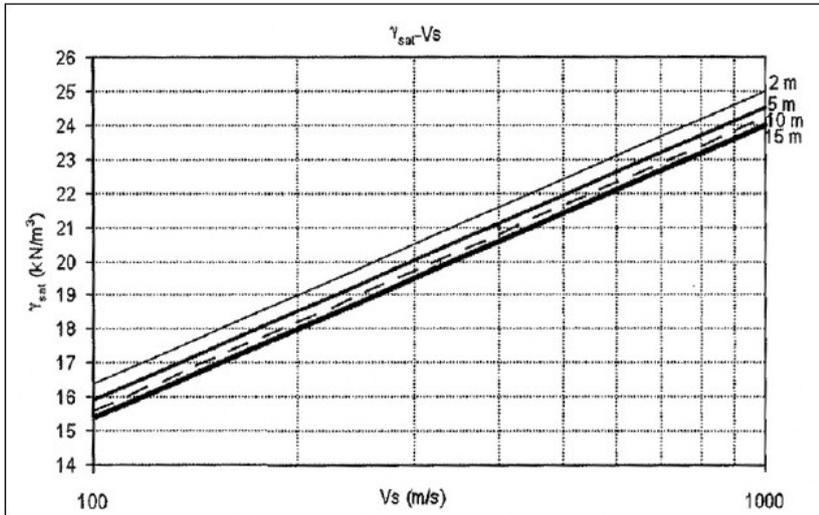
La prove MASW hanno evidenziato nei primi 6 metri delle velocità basse associabili a litologie della copertura o formazioni alterate. Al di sotto di questo livello si ha un incremento graduale, con l'aumentare della profondità, delle Vs associabile al basamento vulcanico nel primo caso e al basamento metamorfico nel secondo caso, con grado di alterazione e/o fratturazione che diminuisce con l'aumentare della profondità.

In via preliminare si può utilizzare le velocità sismica Vs e Vp correlata per estrapolare dei valori geotecnici correlati. Le correlazioni utilizzate sono state attinte da "Stima dei parametri geotecnici in geofisica applicata" di Roccaforte-Cucinotta - Dario Flaccovio editore.

### Correlazione $\gamma$ -Vs

Esistono diverse correlazioni tra peso specifico e Vs e Vp, correlazioni che mettono in diretto contatto le velocità sismiche alla densità del materiale attraversato. La correlazione utilizzata nello studio è quella di

Keceli (2012) con  $\gamma = 4,3 \cdot Vs^{0,25}$



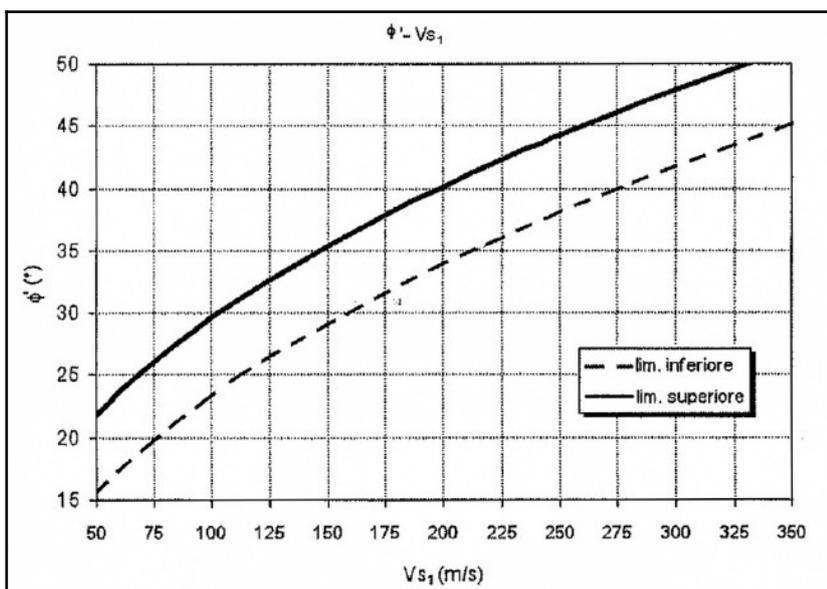
### Correlazione $\phi$ -Vs

La correlazione per il calcolo dell'angolo di resistenza al taglio direttamente in funzione di Vs, valore normalizzato per la pressione litostatica, è ripresa da Uzielli et al. (2013) e Mayne (2014) e consente di definire il range dei valori di picco:

limite superiore:  $\phi = 3,9 \cdot Vs^{0,44}$

limite inferiore:  $\phi = (3,9 \cdot Vs^{0,44}) - 6,2$

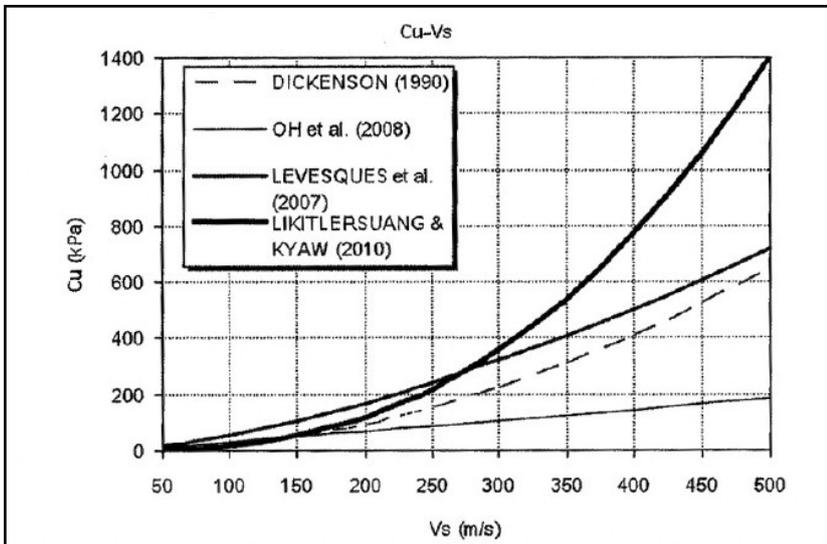
in via cautelativa si suggerisce l'utilizzo del limite inferiore.



### Correlazione Cu-Vs

La correlazione per il calcolo della coesione non drenata ( $C_u$  in kPa) può essere calcolata con la formula di Dickenson (1990) valida per argille tenere:

$$C_u = (V_s/23)^{1/0.475}$$



### Coefficiente di Poisson

Indica la misura del cambiamento geometrico di un corpo. E' definito dalla relazione

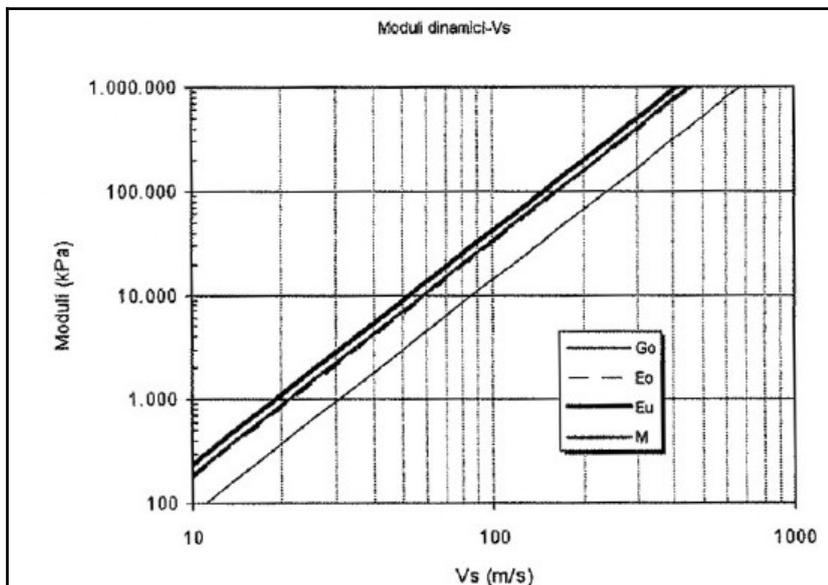
$$\nu = (V_p^2 - 2V_s^2) / (V_p^2 - V_s^2)$$

### Modulo di deformazione al taglio

Per il calcolo del modulo di taglio iniziale o a piccole deformazioni si usa generalmente la nota relazione:

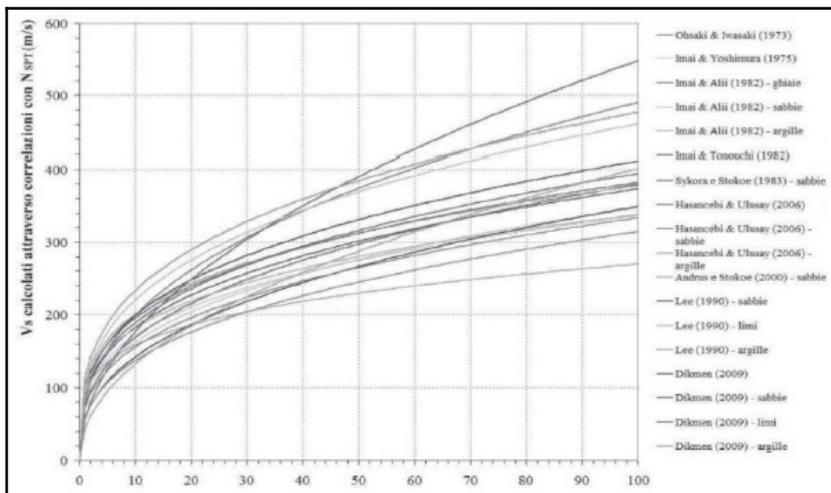
$$G_0 = (\gamma/g) V_s^2$$

dove  $\gamma$  è il peso specifico e  $g$  l'accelerazione di gravità.



### Correlazioni Nspt – Vs

In letteratura esistono diverse correlazioni tra Vs e i risultati di diverse prove penetrometriche, in particolare NSPT e qc (resistenza alla punta della prova CPT). Tali correlazioni sono tuttavia poco affidabili e devono essere tarate localmente, fatto per cui qualsiasi riferimento tra NSPT e Vs è stato eliminato dalle NTC 2018.



Ciononostante le correlazioni geotecniche con le Vs costituiscono un riferimento di massima in assenza di indagini specifiche di tipo diretto.

Le principali correlazioni sono di tipo esponenziale con i coefficienti *a* e *b* variabili in funzione del tipo di terreno) e valide per tutti i tipi di terreno, solo per terreni granulari o solo per terreni coesivi:

$$Vs = a \times NSPT^b$$

$$Vs = 82,1 \times NSPT^{0,35} \text{ Ohta e Goto(1978)}$$

$$Vs = 93,7 \times NSPT^{0,31} \text{ Imai e Tonouchi (1982)}$$

$$Vs = 20,0 \times NSPT^{0,85} \text{ Jafari et al (1982)}$$

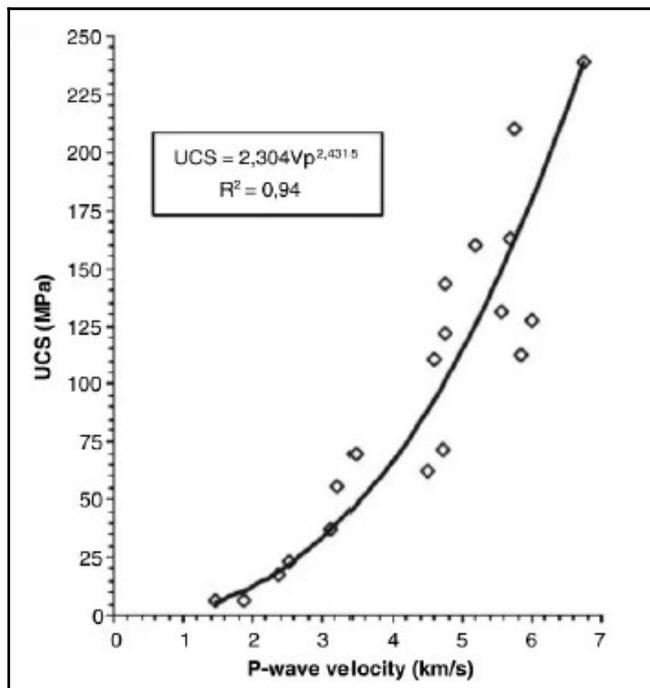
CONSISTENZA	N <sub>SPT</sub>	Densità relativa Dr	Angolo di attrito Φ
Terreno incoerente			
Molto sciolto	<4	<0.2	<30°
Sciolto	4÷10	0.2÷0.4	30°÷35°
Medio	10÷30	0.4÷0.6	35°÷40°
Denso	30÷50	0.6÷0.8	40°÷45°
Molto denso	>50	>0.8	>45°

Valutando la relazione di Jafari, quella in genere più cautelativa, i primi metri di terreno hanno un valore di NSPT minimo tra 16 e 19. A giudicare dalle velocità sismiche si tratta di terreni a medio addensamento. In tutti i casi le correlazioni tra le Vs e i parametri dinamici e geotecnici sono da utilizzare con cautela.

### Correlazioni UCS- Vp

In letteratura esistono diverse correlazioni tra la resistenza alla compressione uniassiale e la velocità di onde di compressione indotte in laboratorio con ultrasuoni. I vari tipo di test sono standardizzati come suggerito dalla Society for Rock Mechanics and Rock Engineering (ISRM). Esistono diversi autori che hanno fornito delle correlazioni tra le Vp e la resistenza alla compressione uniassiale in differenti condizioni di saturazione. La relazione che fornisce una buona correlazione in condizioni dry per terreni di tipo arenaceo (Kiliç, A.; Teymen, A. Determination of mechanical properties of rocks using simple methods, 2008) è:

$$UCS = 2,304 \times VP^{2,4315}$$



I valori tabellati di seguito per UCS derivano da una doppia correlazione visto che non sono state eseguite delle sismiche a rifrazione ad onde P con attendibilità tutta da verificare.

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva delle correlazioni.

MASW 1													
INTERPRETAZIONE SISMICA	P	H	Vp	Vs	p	v	G	E	Ev	Nspt	UCS	Fi	
	[m]	[m]	[m/s]	[m/s]	[kN/m3]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	Jafari	Mpa	[°]	
1° SISOSTRATO	Materiale della copertura	4,1	4,1	800	360	18,7	0,37	248	680	892	30	1,3	45,8
2° SISOSTRATO	Bedrock alterato e/o fratturato	6,7	2,6	1600	720	22,3	0,37	1177	3233	4245	Rifiuto	7,2	64,3
3° SISOSTRATO	Bedrock	24	17,3	2100	980	24,1	0,36	2356	6412	7677	Rifiuto	14,0	74,6

MASW 2													
INTERPRETAZIONE SISMICA	P	H	Vp	Vs	p	v	G	E	Ev	Nspt	UCS	Fi	
	[m]	[m]	[m/s]	[m/s]	[kN/m3]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	Jafari	Mpa	[°]	
1° SISOSTRATO	terreni della copertura	1,6	1,6	700	397	19,2	0,26	308	779	548	34	1,0	48,1
2° SISOSTRATO	Bedrock alterato e/o fratturato	3,7	2,1	563	482	20,1	-0,88	477	113	14	42	0,6	52,9
3° SISOSTRATO	Bedrock alterato e/o fratturato	13,1	9,4	1700	860	23,3	0,33	1756	4664	4521	Rifiuto	8,4	70,1
4° SISOSTRATO	Bedrock	22	8,9	2400	1033	24,4	0,39	2653	7355	10781	Rifiuto	19,4	76,5

Ollolai, 14/04/2022



IL TECNICO  
Geologo Mario Nonne

6) CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO (D.M. 17.01.2018)

Località	Erula (SS) - Progetto di realizzazione di un Parco Eolico nel territorio di Erula (SS)
Nome Prova	MASW1
Metodo indagine	MASW ZVF forza verticale
Strumentazione	Sismografo DAQLink III (Seismic Source U.S.A.), 24 canali, 24 bits
Geometria stendimento	24 geofoni interasse 2,0 m - sorgente esterna a 2,0 m da G1

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

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

Sulla base del valore calcolato di  $V_s$  vengono identificate 5 classi, A, B, C, D ed E alle quali corrispondono un differente spettro di risposta elastico. Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, 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	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine 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	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine 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	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.

I dati evidenziano che il tratto in progetto risulta rispondere alle caratteristiche di suolo di tipo B con  $V_{s,eq}$  pari a 462,64 m/s.

Località	Erula (SS) - Progetto di realizzazione di un Parco Eolico nel territorio di Erula (SS)
Nome Prova	MASW2
Metodo indagine	MASW ZVF forza verticale
Strumentazione	Sismografo DAQLink III (Seismic Source U.S.A.), 24 canali, 24 bits
Geometria stendimento	24 geofoni interasse 2,0 m - sorgente esterna a 2,0 m da G1

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

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

Sulla base del valore calcolato di  $V_s$  vengono identificate 5 classi, A, B, C, D ed E alle quali corrispondono un differente spettro di risposta elastico. Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, 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	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine 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	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine 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	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.

I dati evidenziano che il tratto in progetto risulta rispondere alle caratteristiche di suolo di tipo B con  $V_{S_{eq}}$  pari a 535,75 m/s.

7) ALLEGATO FOTOGRAFICO



MASW 1



MASW 2

