

PROPONENTE:

K4 ENERGY s.r.l.

Sede in: Via Vecchia Ferriera, 22
36100 Vicenza (VI) - ITALIA
Pec: k4-energy-srl-vi@pec.it

K4 ENERGY



PROVINCIA DI ORISTANO



COMUNE DI NARBOLIA



COMUNE DI SAN VERO MILIS



REGIONE SARDEGNA

OGGETTO:

PROGETTO DEFINITIVO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO E RELATIVE
OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN CON POTENZA COMPLESSIVA DI
23,8 MW NEI COMUNI DI SAN VERO MILIS (OR) E NARBOLIA (OR)

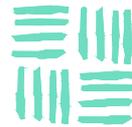
NOME ELABORATO:

CARATTERIZZAZIONE SISMICA

PROGETTO SVILUPPATO DA:

AGREENPOWER s.r.l.

Sede legale: Via Serra, 44
09038 Serramanna (SU) - ITALIA
Email: info@agreenpower.it



agreenpower s.r.l.

GRUPPO DI LAVORO:

Ing. Simone Abis
Ing. Giovanni Cis
Dott. Gianluca Fadda
Ing. Federico Micheli

COLLABORATORI:

Ing. Federico Miscali
Dott. Agr. Vincenzo Satta
Dott.ssa Archeol. Anna Luisa Sanna
Ing. Michele Pigliaru
Dott. Geol. Giovanni Mele
Per.Ind. Alberto Laudadio
Geom. Mario Dessì

TIMBRO E FIRMA:

SCALA:	CODICE ELABORATO	TIPOLOGIA	FASE PROGETTUALE			
-	RELO7ter	IMPIANTO AGRIVOLTAICO	DEFINITIVO			
FORMATO:						
-						
3						
2						
1						
0	Prima emissione	Luglio 2023	Giovanni Mele	AGREENPOWER	AGREENPOWER	
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	

INDICE

Premessa	1
Prospezione sismica	1
Caratteristiche strumentali	1
Generalità sulle indagini sismiche mediante onde di superficie	2
Metodologia MASW	2
Schema operativo acquisizioni MASW	4
Rigidità sismica (R)	4
Frequenza fondamentale di Nakamura (F_0)	4
Categorie del sottosuolo di fondazione	5
Risultati delle indagini sismiche	7
Correlazioni geotecniche	10
Correlazione ϕ -Vs	10
Correlazione Cu-Vs	10
Portanza	10
Risultati della sismica a rifrazione	11
Scavabilità del substrato	12
Moduli dinamici	13



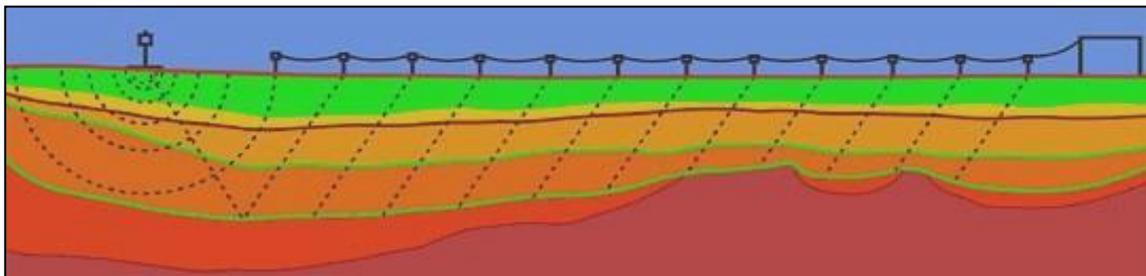
PREMESSA

Su incarico conferito dal dott. Geol. Giovanni Mele, nell'ambito della progettazione di un campo fotovoltaico nell'agro del Comune di San Vero Milis (OR), presso l'azienda agricola Guiso, allo scrivente Dott. Geol. Giancarlo Carboni, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Sardegna con il n° 497, con Studio Tecnico in Via Nazionale n° 277 – Villacidro (SU), è stata realizzata una indagine geofisica con la metodologia MASW (Multichannels Analysis Surface Waves) allo scopo di definire le caratteristiche stratigrafiche del terreno interessato dal progetto e misurare la velocità media delle onde Vs fino ad una profondità adeguata per la definizione dell'interazione della struttura sul terreno di fondazione in relazione alla risposta sismica locale nelle more delle NTC 2018.

PROSPEZIONE SISMICA

L'esecuzione di indagini sismiche ha lo scopo di ottenere informazioni di tipo geotecnico sul comportamento fisico-meccanico dei corpi geologici investigati, attraverso la determinazione dei relativi parametri, ed informazioni di tipo geologico sui caratteri strutturali e stratigrafici del volume del sottosuolo indagato.

Si tratta di uno dei metodi attualmente più utilizzati per l'esplorazione in profondità del sottosuolo e consiste nel creare delle onde artificiali nel terreno (energizzazione) battendo una piastra poggiata a terra con una mazza. Le indagini geognostiche che utilizzano le metodologie sismiche sfruttano le proprietà dei terreni di farsi attraversare dalle onde sismiche a diversa velocità; questa dipende da molti fattori, quali la natura mineralogica della roccia, il grado di cementazione e di fatturazione, la porosità, il contenuto in acqua o in gas, ecc.



Rappresentazione schematica di una tipica prospezione sismica

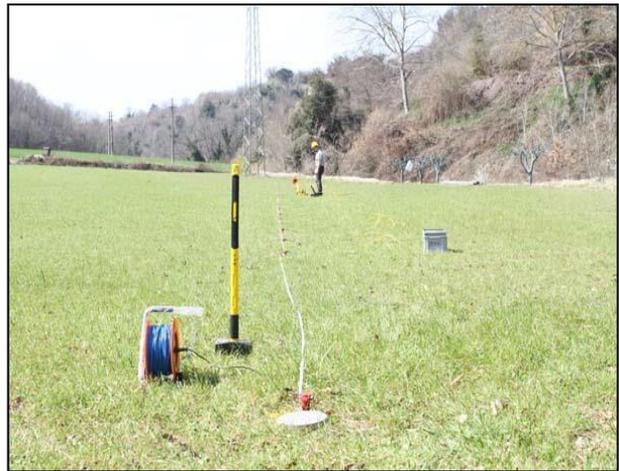
Caratteristiche strumentali

La strumentazione utilizzata è costituita da un Sismografo DAQLink III (Seismic Source U.S.A.) con convertitore A/D a 24 bit, numero di canali da 3 a 24, ampio range dinamico 144db, output dei dati in SEG-Y, SEG-2 o ASCII, opzione per test dei geofoni ed accelerometri, lunghezza di registrazione fino a 4 mld di campioni, intervalli di campionamento: 0.0208, 0.0625, 0.125, 0.250, 0.500, 1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 16.00 ms. 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).

Per la ricezione delle onde longitudinali (P), durante l'indagine sismica, sono stati usati geofoni verticali a lungo periodo (4.5 Hz).



Sismografo DaqLinkIII



Operazioni di acquisizione

GENERALITÀ SULLE INDAGINI SISMICHE MEDIANTE ONDE DI SUPERFICIE

La necessità dettata dalle NTC2018 di fornire una solida stima della velocità di propagazione delle onde S nel sottosuolo ha dato un forte slancio alla diffusione di 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.

In questo caso, poiché il lotto in esame aveva una superficie piuttosto limitata, non è stato possibile eseguire una indagine MASW con una lunghezza tale dello stendimento in grado di poter esplorare il sottosuolo con una profondità teorica adeguata agli scopi dell'indagine. Pertanto è stata integrata con una indagine a microtremiti HVSR, la quale è notoriamente meno dettagliata, ma in grado di poter rilevare discontinuità stratigrafiche fino a diverse decine metri di profondità. L'analisi combinata di queste due metodologie ha permesso di raggiungere una profondità d'indagine adeguata agli scopi.

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.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

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 comprende tre passi successivi: L'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s .

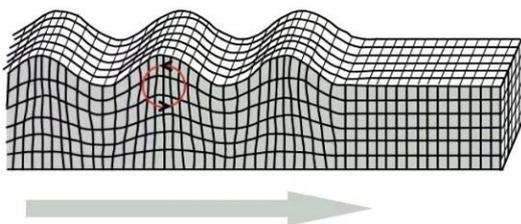
Il metodo si sviluppa attraverso la determinazione delle proprietà dispersive del mezzo individuabili dall'analisi dello spettro di velocità dei dati. Il range di frequenza si sviluppa comunemente tra i 5 Hz e i 70Hz, fornendo informazioni sino a profondità di circa 30 m a seconda della rigidità del suolo: la profondità massima di penetrazione è determinata dalla relazione fra velocità di propagazione dell'onda e più bassa frequenza identificabile.

Questa tipologia di prospezione si realizza con uno stendimento sismico costituito da 12/24 o più geofoni allineati a distanza intergeofonica variabile tipicamente fra 1 e 5 m (la lunghezza dello stendimento incide sulla focalizzazione del segnale nello spettro di velocità) 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).

Rayleigh Wave



Componente verticale del moto – geofono verticale



Componente orizzontale del moto – geofono orizzonale





Schema operativo acquisizioni MASW

Sulla base delle caratteristiche morfologiche del sito, è stato posizionato lo stendimento sismico, in parte nell'area d'ingombro della struttura. L'analisi è stata eseguita adottando la seguente configurazione:

- N° geofoni: 24 con frequenza propria di risonanza 4,5 Hz;
- Distanza intergeofonica: 3.0 m per complessivi 69 m di stendimento;
- Offset di battuta: n° 1 battuta disposta a 2.0 m di distanza dal primo geofono.

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.

L'analisi dei dati acquisiti dalla metodologia avviene 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 V_s .

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

Nella Tabella e nelle Figure sottostanti vengono riportati: l'andamento del profilo di velocità; gli spessori; le relative velocità V_s (dalle onde di Rayleigh) e la densità stimati, ricordando che, come in tutti i metodi geofisici, può essere ottenuta solo una stima del modello sismostratigrafico a causa del problema della non univocità.

La rappresentazione grafica dei risultati dell'indagine Masw viene rappresentata attraverso i diagrammi dello spettro di dispersione, il quale indica come le onde di superficie si disperdono nel terreno individuando anche i "modi superiori", dovuti generalmente alla presenza di discontinuità stratigrafiche.

L'andamento stratigrafico delle V_s viene rappresentato con un digramma dove sono indicate alle diverse profondità investigate le rispettive velocità V_s a cui si sovrappone l'andamento della curva di dispersione data da una secessione di pallini verdi.

Rigidità sismica (R)

La rigidità sismica è un parametro legato all'amplificazione sismica locale; tanto più alto risulta R tanto minore sarà l'incidenza del danno dovuto al sisma;

$$R = \gamma \cdot V_s$$

- γ = peso di volume naturale
- V_s = Velocità di taglio.

Frequenza fondamentale di Nakamura (F_0)

In cui:

$$F_0 = \frac{V_s}{4 \cdot H}$$

- H = spessore dello strato.
- Velocità delle onde longitudinali (V_s)



Categorie del sottosuolo di fondazione

Nei paragrafi che si riportano nel seguito sono riassunti i dati medi principali desunti dall'indagine. Nel calcolo della "Velocità equivalente" V_{Seq} si è tenuto conto di tutti gli strati rilevati nei profili completi riportati in precedenza. La V_{Seq} rappresenta 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:

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

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).

Per H si intende 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.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

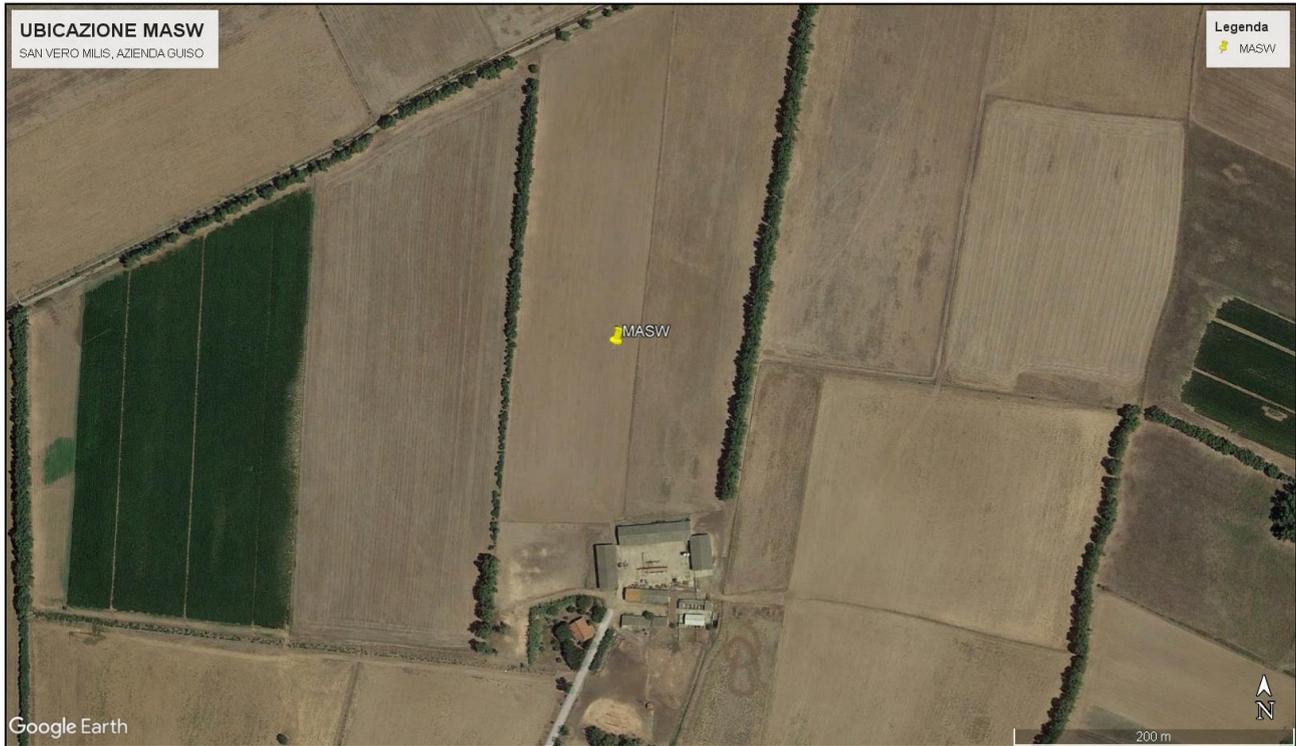
Il parametro V_{Seq} consente di stabilire la classe di suolo come stabilito alle NTC del 2018 e sono riportate nella tabella che segue.

CATEGORIE DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE SECONDO LE NTC DEL 2018

CATEGORIA	DESCRIZIONE
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 con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositati 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	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.
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 30m.



Ortofoto del punto d'indagine



Esecuzione indagini sismiche





RISULTATI DELLE INDAGINI SISMICHE

L'analisi del profilo sismico per il calcolo delle Vs equivalenti è stata effettuata utilizzando un modello composto da 7 sismostrati di seguito rappresentati in tabella.

Stratigrafia Vs MASW+HVSR						
Strati	Spessore strato (m)	γ^1 (kN/m³)	Vs (m/s)	R (kPa)	F (Hz)	T (s)
1	1.7	16,5	217	3581	92	0,031
2	2	17,4	269	4684	141	0,031
3	2.5	17,4	270	4706	169	0,037
4	3	17,5	275	4815	199	0,042
5	3.3	17,8	296	5279	244	0,045
6	3.7	18,1	317	5752	293	0,047
7	4.2	18,5	340	6278	357	0,049
8	4.6	18,6	351	6533	404	0,052
9	-	18,8	368	6931	-	-

L'indagine eseguita non ha riscontrato la presenza di un substrato rigido con Vs>800 m/s entro i primi 30 m di profondità, pertanto la velocità della Vs equivalente è stata calcolata utilizzando le Vs misurate fino alla profondità di 30 m, coerentemente con le prescrizioni delle NTC 2018.

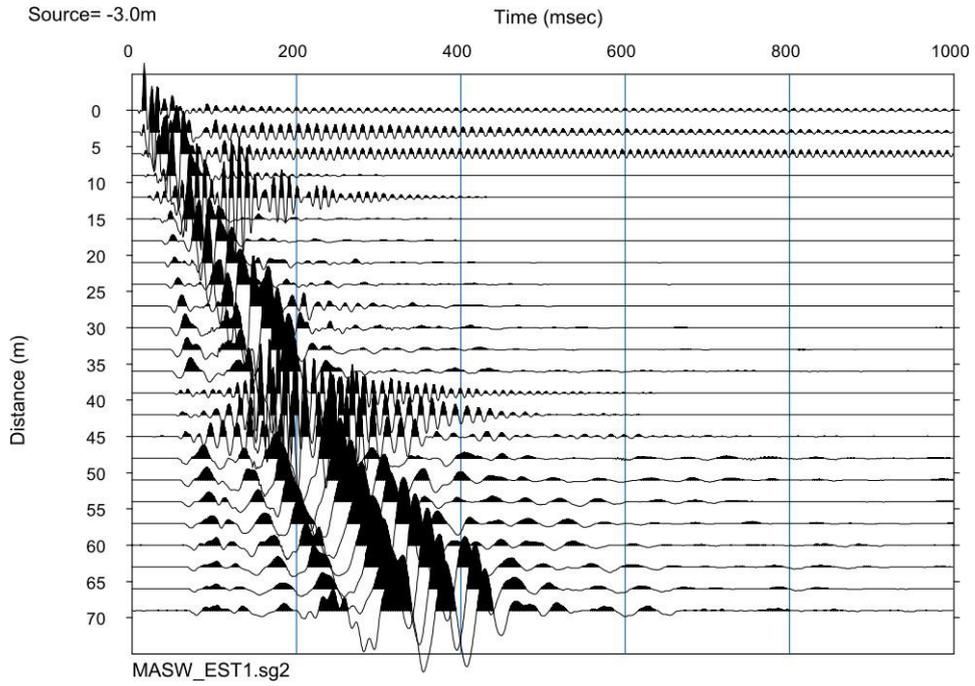
Secondo la stratigrafia riscontrata la Vs equivalente misurata è pari a 308 m/s e la categoria di sottosuolo corrispondente è la C.

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

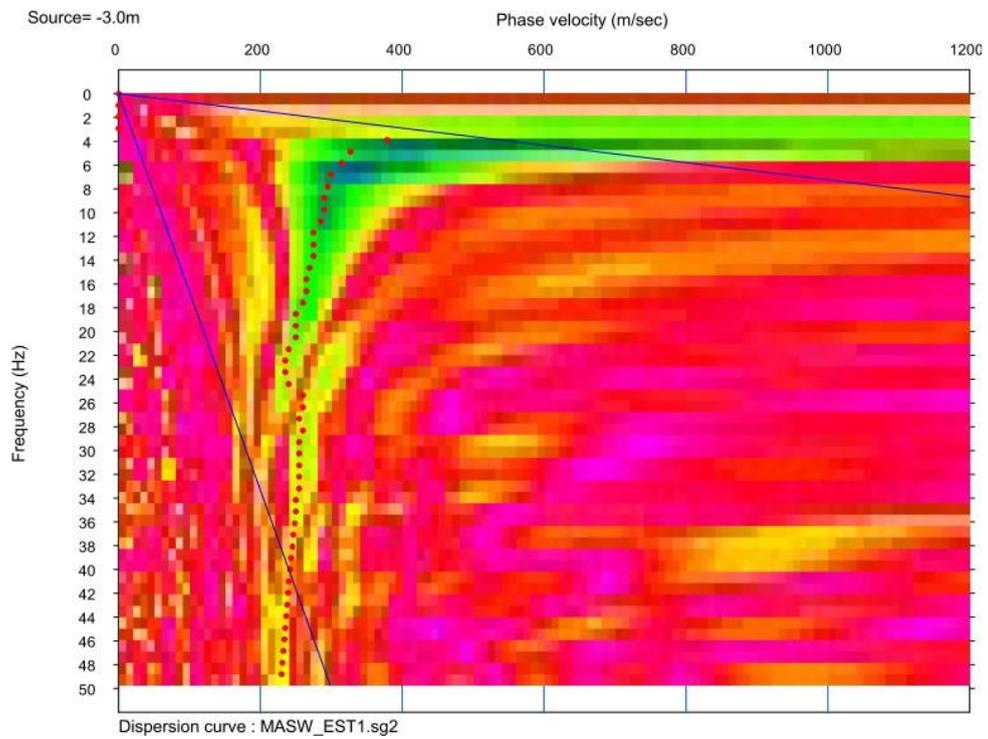
¹ Keceli (2012) $\gamma = 4,3 \cdot Vs^{0,25}$



Sismogrammi MASW

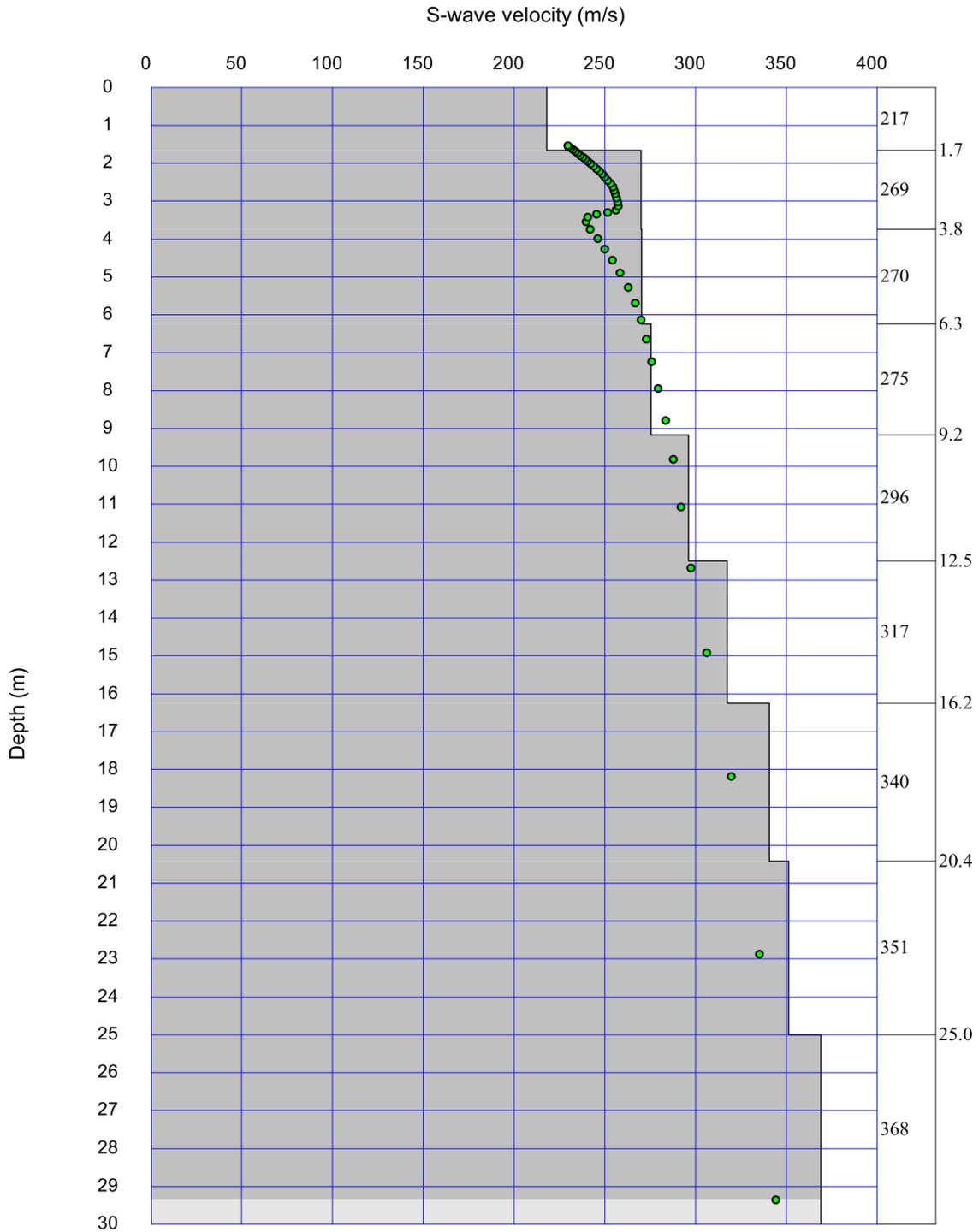


Spettri di dispersione MASW





Profilo Vs





CORRELAZIONI GEOTECNICHE

In via assolutamente preliminare e puramente indicativa è possibile utilizzare i valori di velocità delle Vs per estrapolare dei parametri geotecnici. Utili in una prima fase di dimensionamento e verifica delle opere².

Correlazione ϕ -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:

$$\begin{aligned} \text{limite superiore:} & \quad \phi = 3,9 \cdot Vs^{0,44} \\ \text{limite inferiore:} & \quad \phi = 3,9 \cdot (Vs^{0,44}) - 6,2 \end{aligned}$$

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

Correlazione Cu-Vs

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

$$Cu = (Vs/23)^{1/0,475}$$

Portanza

La capacità portante dei terreni di fondazione (q_{ult} in kPa) in funzione di Vs si può calcolare secondo Keceli (2012)

$$q_{ult} = 0,43 \cdot Vs^{1,25}$$

il carico ammissibile si stima in base ad un fattore di sicurezza Fs applicato nella formula precedente che porta:

$$\begin{aligned} q_{amm} &= 0,123 \cdot Vs^{1,25} && \text{per } Vs < 400 \text{ m/s} \\ q_{amm} &= 0,143 \cdot Vs^{1,25} && 400 \text{ m/s} < Vs < 700 \text{ m/s} \end{aligned}$$

P	Vs	ϕ_{min}	ϕ_{max}	Cu	q_{ult}	q_{amm}
[m]	[m/s]	[°]	[°]	kPa	[kN/m ²]	[kN/m ²]
1.7	217	35,4	41,6	113	358	102
3.7	269	39,5	45,7	177	468	156
6.2	270	39,6	45,8	179	471	157
9.2	275	40,0	46,2	186	482	160
12.5	296	41,5	47,7	217	528	176
16.2	317	43,0	49,2	250	575	191
20.4	340	44,5	50,7	290	628	209
25	351	45,2	51,4	310	653	217
-	368	46,3	52,5	343	693	230

² Tratto da "Stima dei parametri geotecnici in geofisica applicata" di Roccaforte-Cucinotta – Ed. Dario Flaccovio



RISULTATI DELLA SISMICA A RIFRAZIONE

Mediante l'analisi dei primi arrivi è possibile elaborare una sismostratigrafia mediante onde Vp, con la semplificazione di una stratigrafia piano parallela.

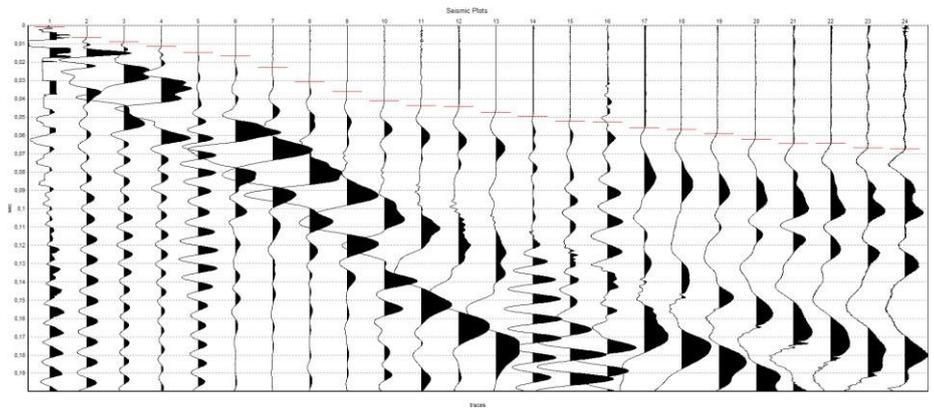
In questo modo si sono potuti ottenere ulteriori parametri utili per la caratterizzazione del sito in studio³:

Tipologia substrato interpretato	Velocità Vp (m/s)	Profondità strato
Suolo agrario	450	0.0 – 0.7 m
Depositi alluvionali	715	0.7 – 10.1 m
Depositi alluvionali molto addensati	1630	10.1 m –

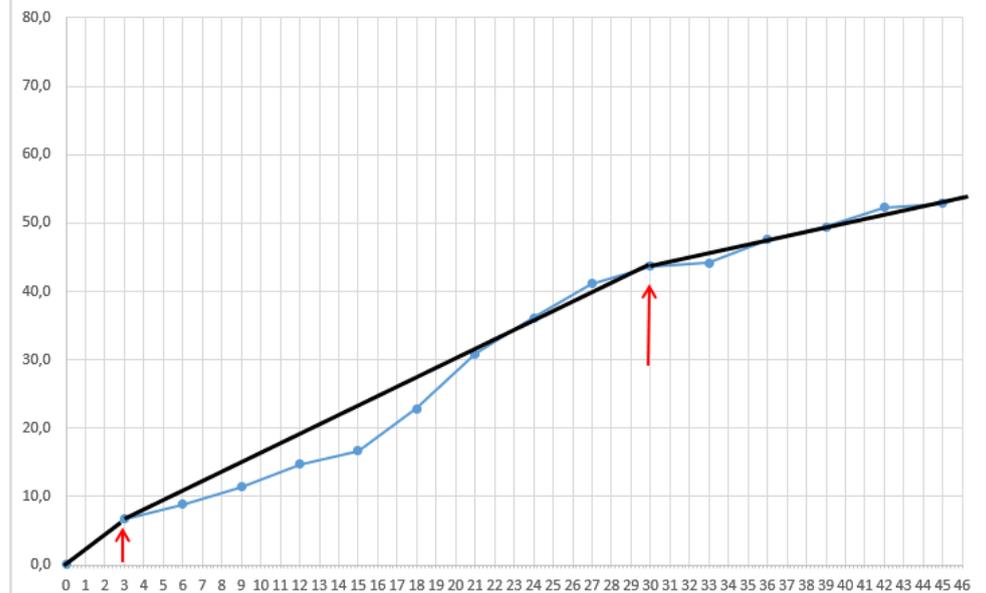
tempi primi arrivi

Geofono (m)	Tempo (ms)
0	0,1
3	6,7
6	8,9
9	11,4
12	14,7
15	16,7
18	22,8
21	30,9
24	36,1
27	41,1
30	43,6
33	44,2
36	47,5
39	49,5
42	52,3
45	52,8
48	55,9
51	56,7
54	59,2
57	62,3
60	64,5
63	64,2
66	66,7

Sismogramma



Dromocrona sismica rifrazione



$$^3 V_x = m_x = d_x - d_0 / t_x - t_0$$

V_x = velocità dell'orizzonte sismico; m = coefficiente angolare curva di interpolazione lineare della dromocrona di riferimento; d₀ e d_x distanze geofoniche iniziale e finale di registrazione della dromocrona di riferimento; t₀ e t_x tempi di ritardo iniziale e finale della dromocrona di riferimento.

$$H_x = d_x / 2 \cdot (V_x - V_0 / V_x + V_0)^{0.5}$$

H_x = spessore dell'orizzonte sismico; d_x distanza geofonica al punto di "ginocchio"; V_x e V₀ velocità del primo e secondo orizzonte sismico.



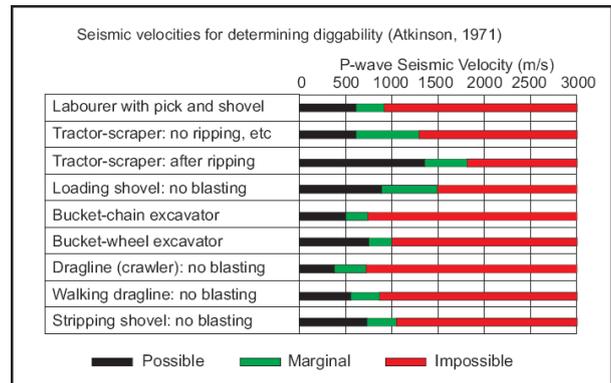
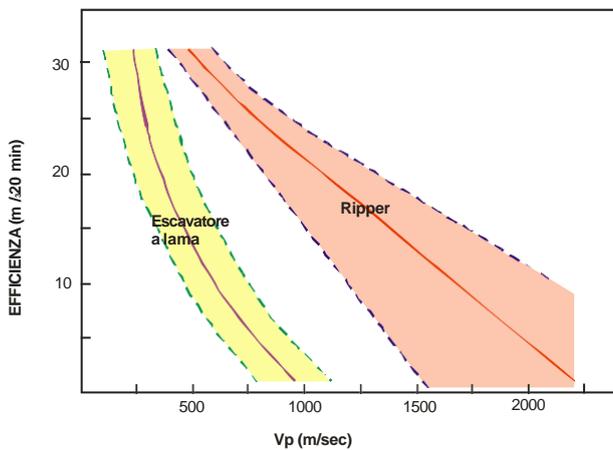
SCAVABILITÀ DEL SUBSTRATO

Attraverso l'utilizzo di tabelle note in letteratura, che correlano la velocità delle onde P e il grado di rippabilità e scavabilità delle formazioni si può determinare il grado di approfondimento senza l'ausilio di esplosivo.

Esiste una significativa correlazione tra la velocità con cui le onde sismiche attraversano la roccia e l'efficienza di scavo delle macchine utilizzate.

La figura mostra un diagramma per determinare l'efficienza di scavo (volume scavato in m³/20 min) in relazione alla velocità delle onde di compressione (Shimoto et alii, 1970, da OYO Corporation 1978).

La comparazione mostra che l'efficienza di scavo di una pala o del ripper diminuisce in funzione dell'aumento di velocità delle onde di compressione.



Con l'utilizzo di un escavatore con pala a cucchiaio la scavabilità dei terreni è possibile, indipendentemente dalla formazione per quei sismo-strati che hanno velocità massime di 900 m/sec. Al di sopra di questa velocità e per valori massimi di 1.400 m/sec si deve far utilizzo di martelloni pneumatici.



MODULI DINAMICI

Per la caratterizzazione del sito e del terreno in esame, specialmente in termini di deformabilità dei materiali in associazione ai dati geotecnici, può essere utile fornire ulteriori parametri che le prove eseguite sono in grado di ricavare, oltre ai dati delle velocità di propagazione delle onde sismiche (V_p e V_s) nel sottosuolo. I moduli elastici dinamici del terreno possono infatti contribuire ad una migliore definizione dei carichi e delle spinte da parte di manufatti sul terreno di fondazione.

Le principali costanti elastiche legate alle velocità di propagazione delle onde sismiche sono:

Modulo di Young (E): esprime la resistenza di un corpo alla deformazione lineare quando lo si sottopone ad uno sforzo di dilatazione o compressione, esso è pari a:

$$E = V_s^2 \rho \cdot \frac{(3V_p^2 - 4V_s^2)}{(V_p^2 - V_s^2)}$$

Modulo di Taglio o di Rigidità (G): esprime la resistenza di un corpo alle variazioni lineari di forma quando lo si sottopone ad uno sforzo di taglio puro, esso è pari a:

$$G = \rho V_s^2$$

Modulo compressibilità volumetrica (E_v): esprime la resistenza di un corpo alla deformazione volumetrica quando lo si sottopone ad uno sforzo di dilatazione o compressione, esso è pari a:

$$E_v = \rho \cdot (V_p^2 - \frac{4}{3}V_s^2)$$

Coefficiente di Poisson (ν): esprime la misura della deformazione totale subita da un corpo, esso è pari a:

$$\nu = 0.5 \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1}$$

Il coefficiente di Poisson è fondamentale; esso è un parametro adimensionale che offre un criterio di valutazione della deformazione totale che può subire una roccia o un terreno, ed è legato al grado di litificazione, alla porosità ed al grado di saturazione della roccia stessa.

In linea di massima, una roccia massiccia può avere un rapporto di Poisson da circa 0.15 sino a 0.30 (valori tipici attorno a 0.25), mentre materiali inconsolidati (silt ed argille) hanno tipicamente valori tra 0.35 e 0.45. Le sabbie presentano valori molto variabili (da 0.3 sino quasi al valore massimo teorico di 0.5). L'idea di massima è che tanto più "sciolto" ed "in-consistente" è un materiale tanto più alto è il valore del modulo di Poisson (sino appunto al massimo teorico di 0.5 – valore valido per i fluidi).



Tabella dei moduli dinamici misurati

P [m]	Vp [m/s]	Vs [m/s]	E [MPa]	G [MPa]	Ev [MPa]	v
1.7	450	217	214	79	235	0,35
3.7	715	269	364	128	736	0,42
6.2	715	270	367	130	736	0,42
9.2	715	275	382	135	733	0,41
12.5	1630	296	473	159	4620	0,48
16.2	1630	317	550	186	4668	0,48
20.4	1700	340	644	218	5151	0,48
25	1700	351	691	234	5173	0,48
-	1750	368	768	260	5535	0,48

Villacidro 21.07.2021

