

STUDIO TECNICO PROGETTAZIONE & CONSULENZA
ING. PIERGIUSEPPE SECHI
Via Garibaldi n° 59 - 09170 Oristano - Tel/Fax 0783 303968
email: ST.progettazioneeconsulenza@gmail.com
pec:piergiuseppe.sechi@ingpec.eu



COMUNE DI ORISTANO

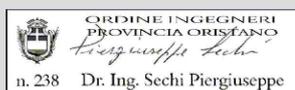
Progettista

Ing. Piergiuseppe Sechi

Progettista

Dott. Giovanni Mele

Timbro e Firma



Timbro e Firma

Committente

SIMACAR srl
Indirizzo: ProL. V. Marrocu S.P. N. 70 - Loc. Fenosu
P. IVA: 01217890951
Indirizzo mail: amministrazione@simacar.it

Firma del Committente

Progetto

PIANO ATTUATIVO IN ZONA "D2" LOCALITA' FENOSU S.P. N.70

Oggetto Tavola

RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Collaboratore

Geom. Sergio Naitza

Disegnatore

Geom. Davide Pulisci

Elaborato

All.D c

Codice Documento

Prog. Urb. 1_2020

Scala di Progetto

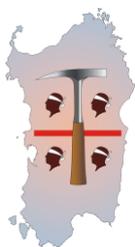
Data emissione

Gennaio 2020

COMUNE DI ORISTANO

PROVINCIA DI ORISTANO

PROGETTAZIONE DI UNA STRUTTURA
COMMERCIALE
IN VIA MARROCU



Studio di Geologia Tecnica e Ambientale
Dott. Geol. Giancarlo Carboni

Via Nazionale 277
09039 Villacidro (SU)
Tel. 070 2332144 cell. 329 4177709
e-mail: info@geosardegna
www.geosardegna.it

IL GEOLOGO INCARICATO

Dott. Geol. Giancarlo CARBONI
Ordine dei Geologi della Sardegna n° 497



Il committente:

DOTT. GEOL. GIOVANNI MELE

Oggetto:

Indagini geofisiche mediante metodologia MASW e Remi per calcolo della categoria di sottosuolo.
D.M. 17.01.2018

Villacidro, li 10/12/2019

INDICE

Premessa	1
Prospezione sismica	1
Caratteristiche strumentali	2
Generalità sulle indagini sismiche mediante onde di superficie	2
Metodologia MASW	3
Schema operativo acquisizioni MASW	4
Metodologia Remi	5
Schema operativo acquisizioni Remi	5
Rigidità sismica (R)	6
Frequenza fondamentale di Nakamura (F_0)	6
Categorie del sottosuolo di fondazione	6
Risultati delle indagini sismiche	8



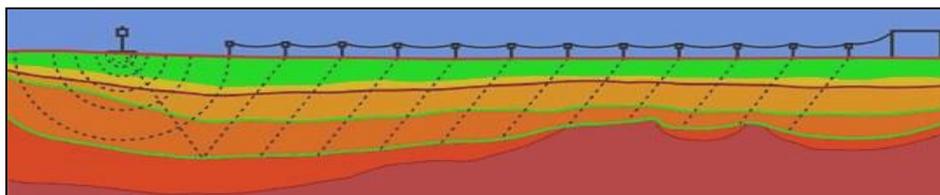
PREMESSA

Su incarico conferito dal Dott. Geol. Giovanni Mele in qualità di geologo incaricato per gli studi geologici e geotecnici relativi alla progettazione di una struttura commerciale in Via Marrocu ad Oristano, 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) e Remi (Refraction Microtremor) 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 e con la metodologia HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura per la determinazione della frequenza di risonanza propria del terreno.

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



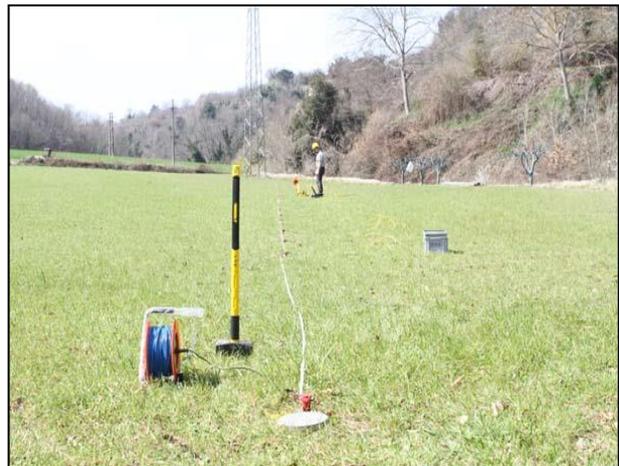
Caratteristiche strumentali

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) pe-



netrano 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.

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 comu-



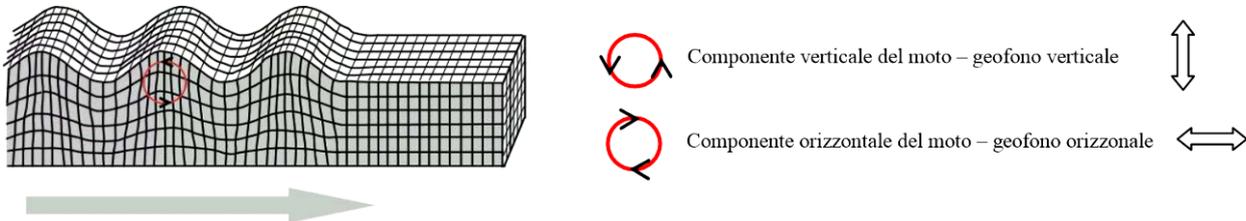
nemente tra i 5 Hz e i 70Hz, fornendo informazioni sino a profondità di circa 30 m a seconda della rigidità del suolo: la profondità massima di penetrazione è determinata dalla relazione fra velocità di propagazione dell'onda e più bassa frequenza identificabile.

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



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: 2.5 m per complessivi 57.5 m di stendimento;
- Offset di battuta: n° 1 battuta disposta a 6 m 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.



Metodologia Remi

Nel metodo REMI, "Refraction Microtremor", si registra il segnale relativo a microtremori spontaneamente presenti nell'ambiente (cioè sollecitazioni di qualsiasi origine, anche antropica), provenienti da sorgenti ignote e isotropiche (disposte in tutte le direzioni) rispetto allo stendimento geofonico. L'analisi dei microtremori viene effettuata utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno con array lineare, da 24 a 48 geofoni; per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni con bassa frequenza di risonanza (4 Hz raccomandati), è indispensabile allungare il tempo di registrazione (15-30s) rispetto alla sismica a rifrazione tradizionale. Per evidenziare la dispersione delle onde di Rayleigh alle basse frequenze abbiamo inoltre bisogno di stendimenti sismici abbastanza lunghi (da 60 a 200 m).

L'analisi è stata effettuata utilizzando il software Seisimager della Geometrics (U.S.A.) con il modulo WaveEq, in grado di eseguire analisi delle onde di superficie mediante metodologia MASW in 1D e 2D, nonché analisi di microtremori con metodologia Remi e HVSR.

Schema operativo acquisizioni Remi

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: 22 con frequenza propria di risonanza 4,5 Hz;
- Distanza intergeofonica: 1.5 m per complessivi 33 m di stendimento;

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

- Tempo di acquisizione: 30 s;
- Frequenza di campionamento: 1000 Hz;
- Periodo di campionamento: 1 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" $V_{s_{eq}}$ si è tenuto conto di tutti gli strati rilevati nei profili completi riportati in precedenza. La $V_{s_{eq}}$ 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:

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



Dove N è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore $h(\text{strato})$ e dalla velocità delle onde $S V_s(\text{strato})$.

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 $V_{s,eq}$ 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





RISULTATI DELLE INDAGINI SISMICHE

L'analisi del profilo sismico per il calcolo delle Vs equivalenti è stata effettuata utilizzando un modello semplificato composto da 4 sismostrati.

Stratigrafia Vs						
Strati	Spessore strato (m)	γ (kN/m ³)	Vs (m/s)	R (kPa)	F (Hz)	T (s)
A	3.7	16.3	209	3417	193	0.071
B	6.3	16.5	218	3602	343	0.116
C	8.7	18.8	367	6907	798	0.095
D	-	18.5	341	6301	-	-

Non avendo individuato un basamento rigido caratterizzato da velocità delle Vs > 800 m/s la Vs equivalente viene calcolata sulla base delle velocità misurate fino a 30 m di profondità.

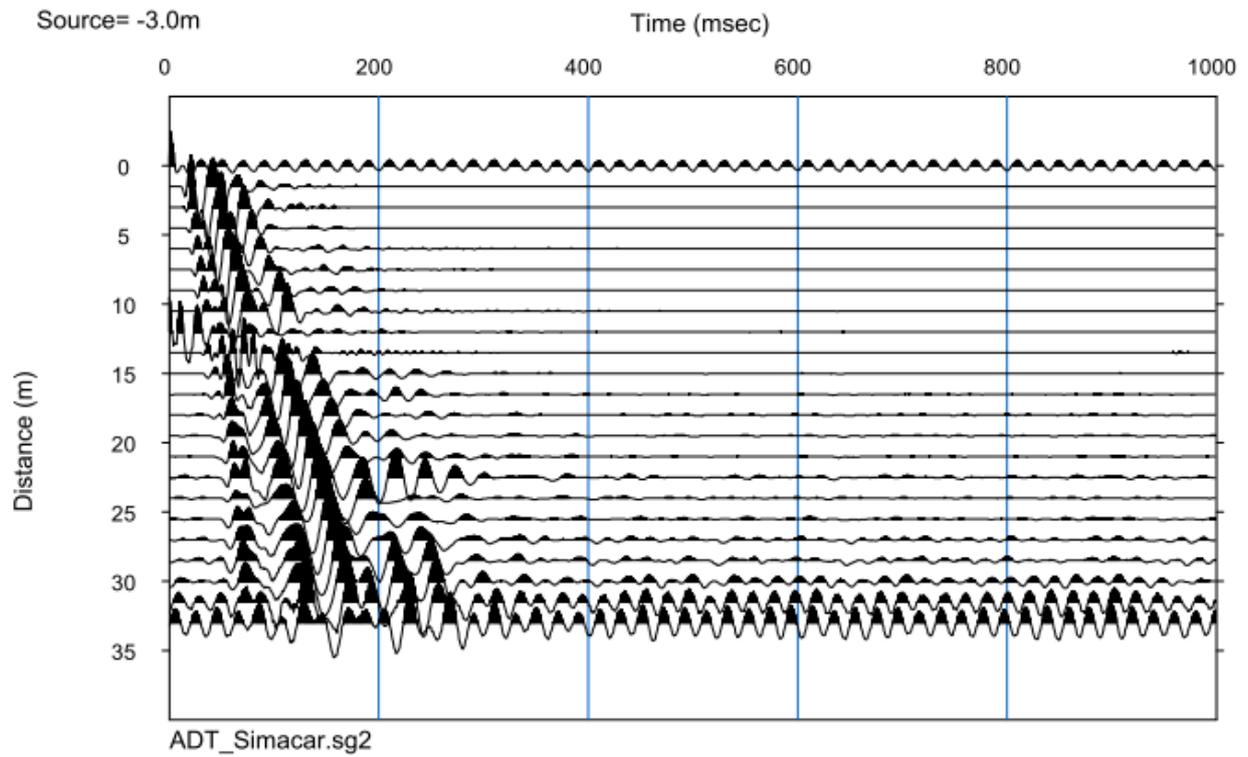
Sulla base della stratigrafia ottenuta la Vs eq risultante risulta pari a **290 m/s**.

Tali caratteristiche classificano il terreno di fondazione alla categoria C.

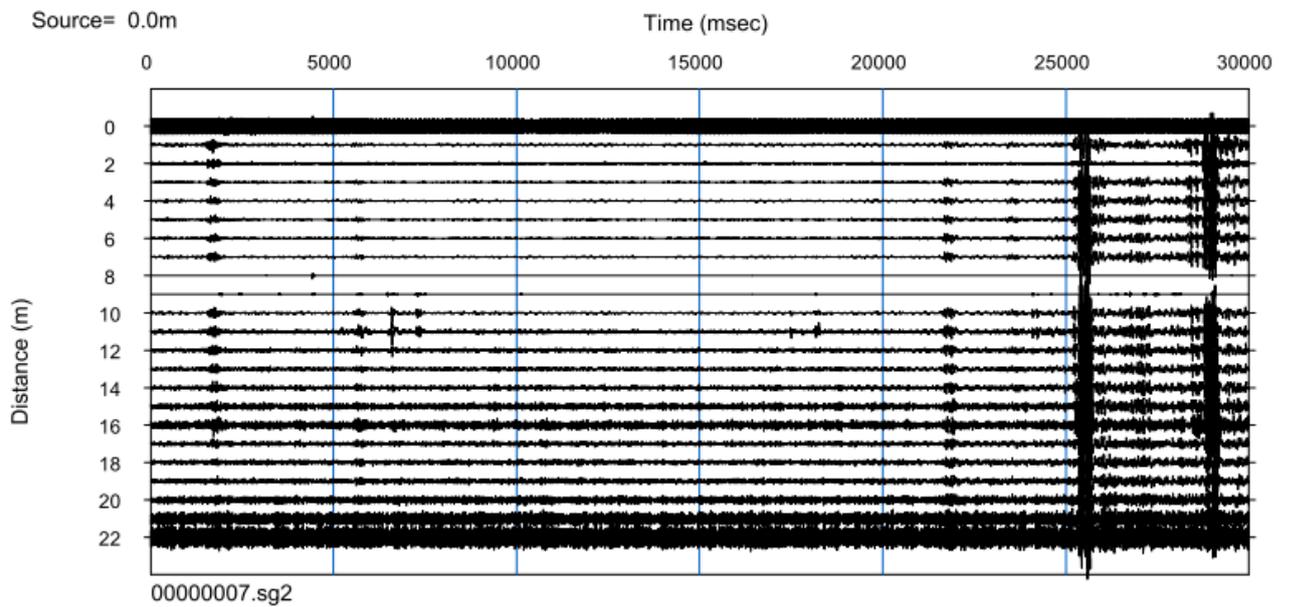
Resta sempre in capo al progettista l'utilizzo della categoria di sottosuolo di riferimento da utilizzare in funzione delle scelte progettuali.



Sismogramma MASW

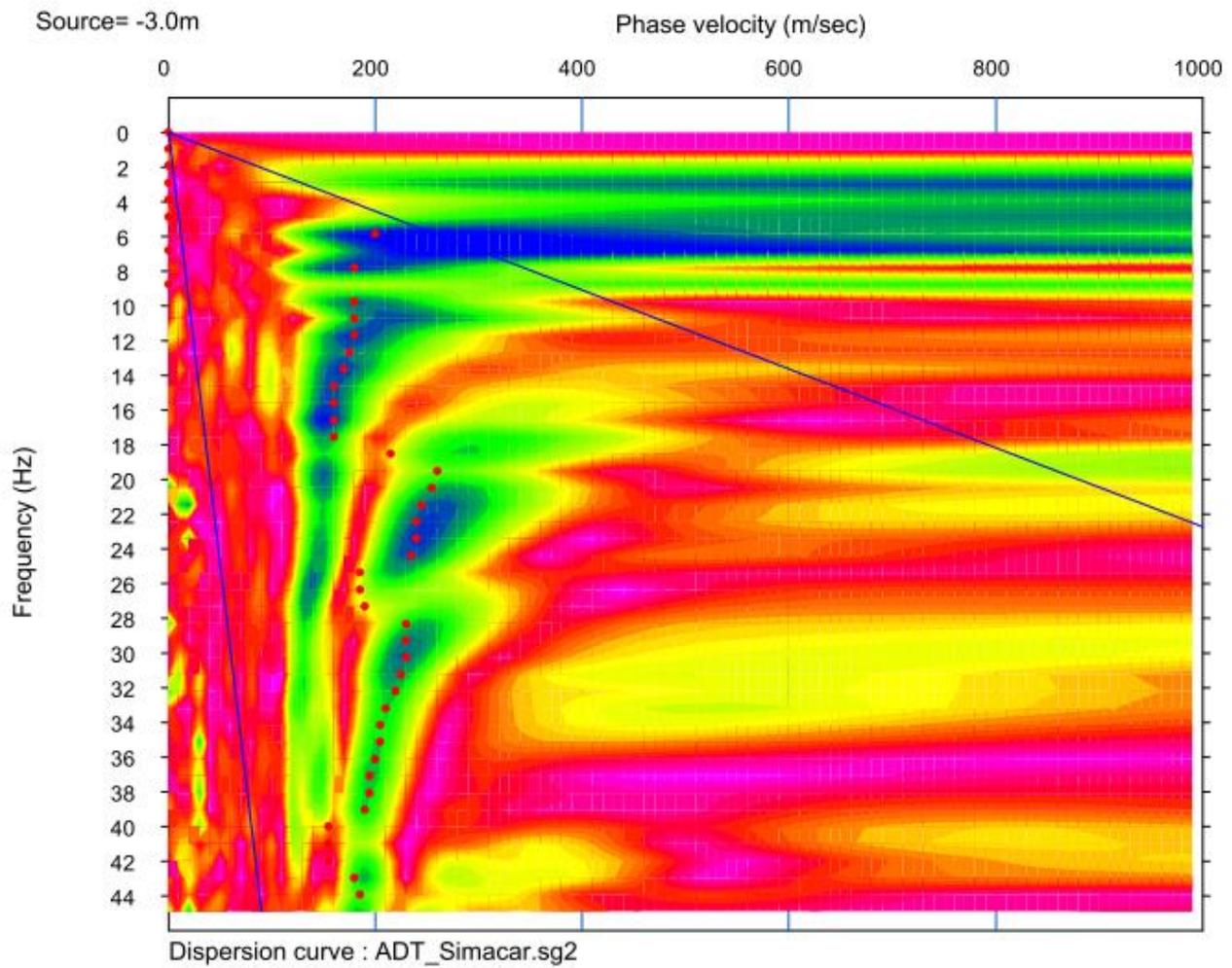


Sismogramma REMI

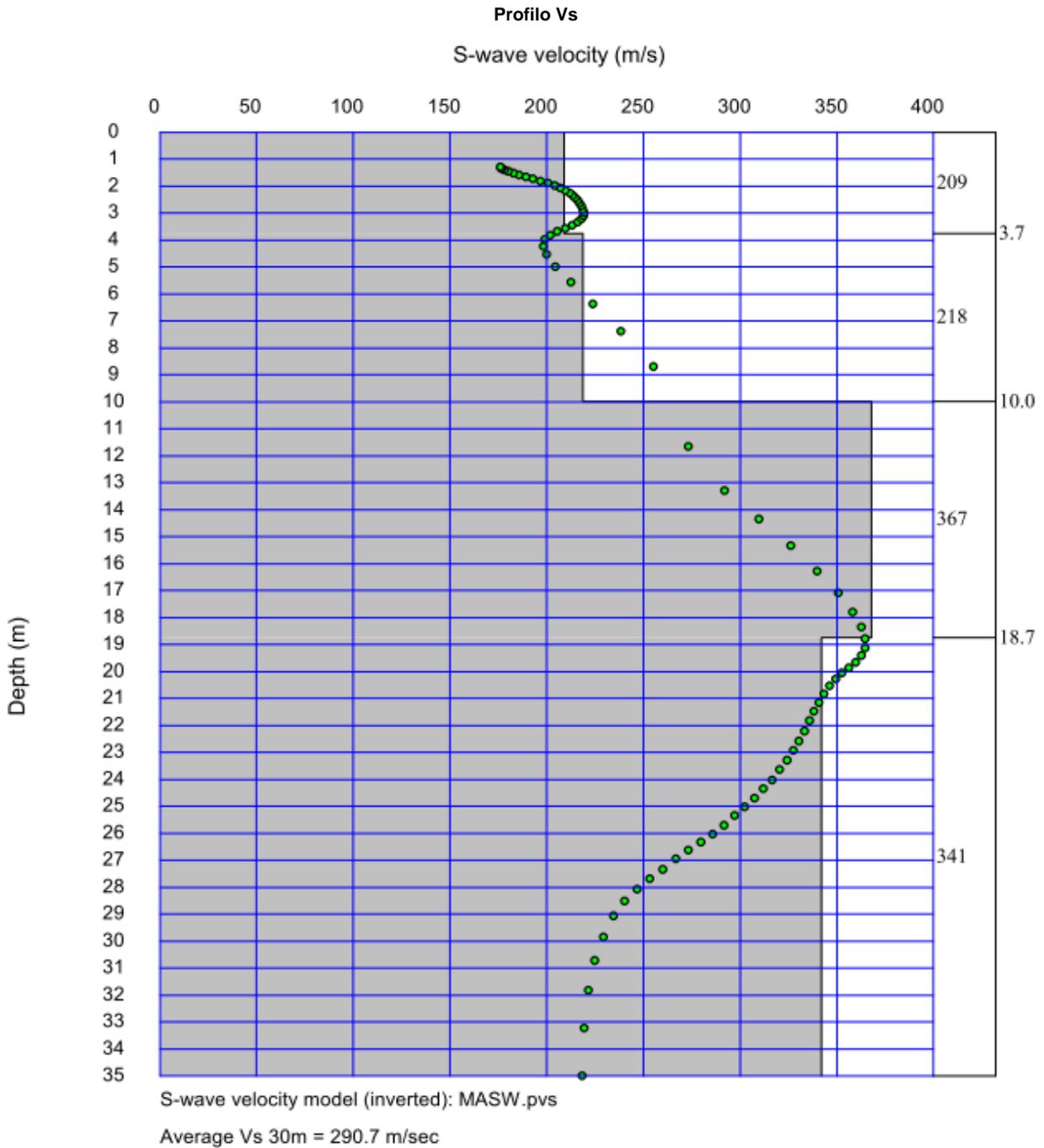




Spettro di dispersione



Spettro di dispersione REMI



Villacidro, 10.12.2019

