



commessa 23194

INDAGINE SISMICA MASW

Committente: Comune di Monteverdi Marittimo (PI)

Sito: Via della Fonte, Canneto



DATA: Gennaio 2024

INDICE

1. - Presentazione e finalità del progetto
2. - Metodo di acquisizione
3. - Descrizione della strumentazione utilizzata
4. - Metodo di elaborazione ed analisi dei dati sismici
5. - Parametri di acquisizione
6. - Risultati ottenuti

RELAZIONE TECNICA

1. Presentazione e finalità del progetto

Nell'ambito delle indagini di microzonazione sismica del Comune di Monteverdi Marittimo è stata realizzata la seguente indagine sismica condotta conformemente alla vigente normativa sismica e geognostica ed in particolare ai contenuti dell'O.P.C.M. n. 3274/2003, al D.M. 17/01/2018, alla Circolare n. 617 del 02/02/2009, contenente le istruzioni per l'applicazione del precedente decreto ed al DPGR 1/R del 2022.

Per la definizione del parametro V_{seq} e della categoria di sottosuolo è stato quindi eseguito, in data 28/12/2023, n.1 stendimento sismico di lunghezza pari a 46 m utilizzando la tecnica di indagine M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves).

Lo stendimento è stato effettuato in corrispondenza dell'area di intervento considerando sia l'assetto geometrico della futura struttura che la risposta sismica verificata in fase di sopralluogo (considerando il rumore di fondo), sia lo spazio a disposizione.

Nella presente relazione tecnica verrà illustrato il metodo di acquisizione, elaborazione ed i risultati ottenuti.

2. Metodo di acquisizione

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 e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o, detto in maniera equivalente, la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo; onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo. I metodi di utilizzo delle MASW sono di tipo attivo e passivo; nel primo caso il concetto è quello di energizzare verticalmente con i metodi tradizionali e procedere ad un'analisi del segnale non più nel campo nel tempo, come si fa abitualmente con la rifrazione, ma nel dominio della frequenza. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5/10 Hz e 70/100 Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiali del suolo, generalmente compresa nei primi 30m-50m, in funzione della rigidezza del suolo e delle caratteristiche della sorgente. Nel caso invece del metodo passivo, denominato anche MASW o ReMI a seconda degli autori, l'analisi delle frequenze viene condotta su registrazioni, che in questo caso devono essere prolungate per un tempo sufficientemente lungo, dei "naturali" rumori di fondo. I principali vantaggi pratici nell'utilizzo di queste tecniche sono evidentemente nella semplicità di acquisizione rispetto alla sismica a rifrazione; le onde di taglio infatti non sempre possono essere rilevate in modo soddisfacente sia per il basso rapporto segnale/rumore, sia per la mancanza degli spazi necessari per effettuare profili di lunghezza adeguata.

Il metodo passivo risulta inoltre particolarmente indicato in situazioni di elevato rumore di fondo caratteristico delle aree urbane, anche se può risentire negativamente di fonti di rumore orientate (fonti industriali).

Le tecniche di indagine M.A.S.W. (Multichannel analysis of surface waves) derivano da sperimentazioni condotte, alla fine degli anni '90, da ricercatori del Kansas Geological Survey. Tali indagini risultano fra le più utilizzate nel mondo poiché consentono di determinare una classificazione del suolo in modo speditivo e non invasivo generando, mediante una sorgente artificiale (generalmente una mazza battente su piastra), onde che si propagano lungo un piano verticale. Come nella prospezione sismica a rifrazione, tali energizzazioni possono essere ripetute più volte nello stesso punto, sommando in modo aritmetico i segnali per ottenere un aumento del rapporto segnale/rumore.

Data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 20 Hz), vengono utilizzati geofoni ad asse verticale con frequenza di taglio non superiore a 4,5 Hz.

Le acquisizioni sono eseguite con array lineari, in cui la distanza intergeofonica è costante.

L'analisi delle onde "S" mediante tecnica MASW viene eseguita attraverso la trattazione spettrale del sismogramma, cioè a seguito di una trasformata di Fourier che restituisce lo spettro del segnale nel dominio trasformato. L'osservazione dello spettro consente di notare che l'onda "S" si propaga a velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa: questo fenomeno è detto dispersione ed è caratteristico di questo tipo di onde.

La teoria sviluppata suggerisce di caratterizzare tale fenomeno mediante una funzione detta curva di dispersione, che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda. Tale curva è facilmente estraibile dallo spettro del segnale poiché approssimativamente posa sui massimi del valore assoluto dello spettro.

La curva di dispersione sperimentale viene confrontata con quella relativa ad un modello sintetico che verrà successivamente modificato in base alle differenze riscontrate tra le due curve. Ciò è finalizzato all'ottenimento di un modello sintetico che approssima nel miglior modo possibile la curva sperimentale a quella teorica. Questa delicata seconda fase di interpretazione è comunemente detta "fase di inversione".

3. Descrizione della strumentazione utilizzata

L'apparecchiatura utilizzata per l'indagine sismica si compone di:

- **SISTEMA DI ACQUISIZIONE DATI**

- n.1 sismografo analogico a 24 canali "SYSMATRACK" della ditta M.A.E. S.r.l., perfettamente idoneo per sismica a rifrazione, acquisizione dati per calcolo di V_{s30} , monitoraggio di vibrazioni, applicazioni sismologiche Down-Hole e VSP.
- n.1 PC portatile Acer per il salvataggio dei dati acquisiti.

- **SISTEMA DI RICEZIONE**

- n.24 geofoni ad asse verticale con frequenza pari a 4,5 Hz, collegati al sistema di acquisizione tramite due cavi paralleli ognuno avente 12 connessioni spaziate 5 m.

- **SISTEMA DI ENERGIZZAZIONE e STARTER**

- n.1 mazza da 8 Kg
- n.1 piastra di diametro pari a 20 cm.
- n.1 geofono starter collegato al sismografo tramite un cavo elettrico.

- **PENETROMETRO DINAMICO MEDIO "PENNY 30".**

4. Metodo di elaborazione ed analisi dei dati sismici

Per l'interpretazione dei dati sperimentali relativi alle indagini sismiche MASW sono stati utilizzati i software di elaborazione Geopsy e Dinver.

L'elaborazione del segnale consiste nell'operare una trasformata bidimensionale *velocity-frequency*, che consente di analizzare l'energia di propagazione del rumore in un'unica direzione della linea sismica rappresentando poi lo spettro di frequenza su un grafico che mette in relazione la velocità e la frequenza dell'onda.

Dallo spettro così ottenuto viene eseguito un pickingi cui valori sono poi riportati sul software Dinver per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo.

Variando la geometria del modello interpretativo ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva di dispersione calcolata in modo da ottenere un buon *fitting* (indicato dal valore di RMS, *Root Mean Squared Error*) con i valori sperimentali assumendo tale modello come interpretativo.

Al fine di ridurre i casi di equivalenza, quando possibile, si opera introducendo nell'interpretazione, come inamovibili, elementi quali: le densità dei litotipi dell'area indagata ed il numero degli strati con la loro rispettiva potenza. Lo studio dello spettro di potenza permette in definitiva la ricostruzione di un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, con le velocità delle onde di superficie S e la profondità.

5. Parametri di acquisizione

Nella tabella sottostante sono riportati i dati tecnici utilizzati durante l'esecuzione della prova in campagna:

Lunghezza stendimento	46 m
N° geofoni	24
Frequenza geofoni	4,5Hz
Spaziatura intergeofonica	2.0 m
N° energizzazioni	6
Frequenza campionamento	1000 camp./s
Tempo passo di campionamento	1,0 ms
Tempo registrazione	2,05 s

6. Risultati ottenuti

L'elaborazione dei dati ottenuti dall'indagine MASW in base a quanto descritto fin ora, ha consentito di ricavare sia il modello medio di distribuzione della velocità delle onde "S" che il parametro $V_{S,eq}$ - equivalente relativi al sottosuolo del sito.

Inoltre, suddividendo gli strati secondo i valori della velocità delle onde S (sismostrati) è possibile ipotizzare una successione stratigrafica riportata nella tabella sottostante

Spessore strato (m)	V _s misurata in situ (m/s)	Rapporto spessore velocità	Tempi parziali-onda S misurata (sec)
3,0	319	h_1/V_1	0,009
1,4	446	h_2/V_2	0,003
2,4	590	h_3/V_3	0,004
2,8	759	h_4/V_4	0,004

Ricordiamo che l'interpretazione, ovvero la definizione dei sismostrati, sopra riportata, è soggettiva e può essere modificata dal geologo incaricato sotto la sua esclusiva responsabilità. In allegato è riportato il modello scaturito dall'elaborazione dei dati che può essere usato come punto di partenza per una successiva interpretazione.

Il calcolo della velocità equivalente V_{s30} di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità è stato effettuato mediante la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}} ;$$

dove h_i e V_i indicano rispettivamente lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei primi 30 metri di profondità.

In questo caso, avendo incontrato il bedrock sismico alla profondità di 9,6 m., è stato posto 9,6 alla base della formula precedente.

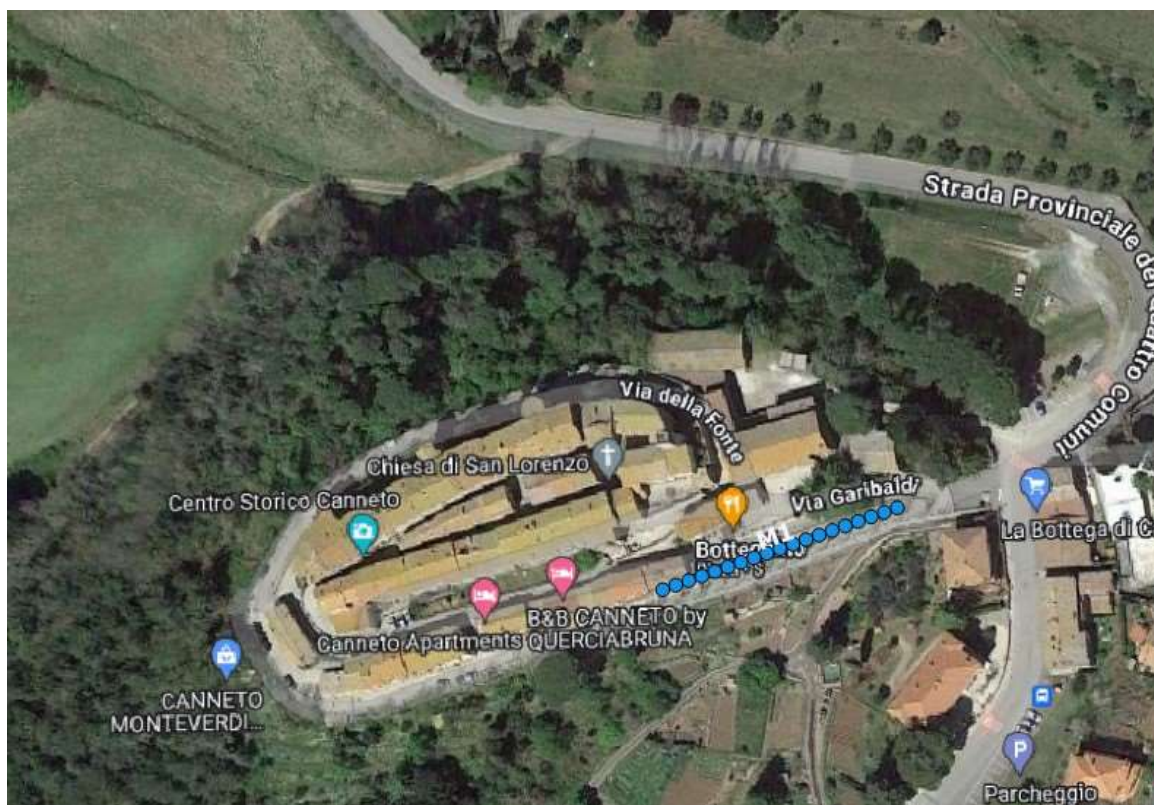
Il valore del parametro $V_{s9,6}$ riportato per convenzione al centro del relativo stendimento geofonico, è pari a:

$V_{s9,6}$	473 m/s
------------------------------	----------------

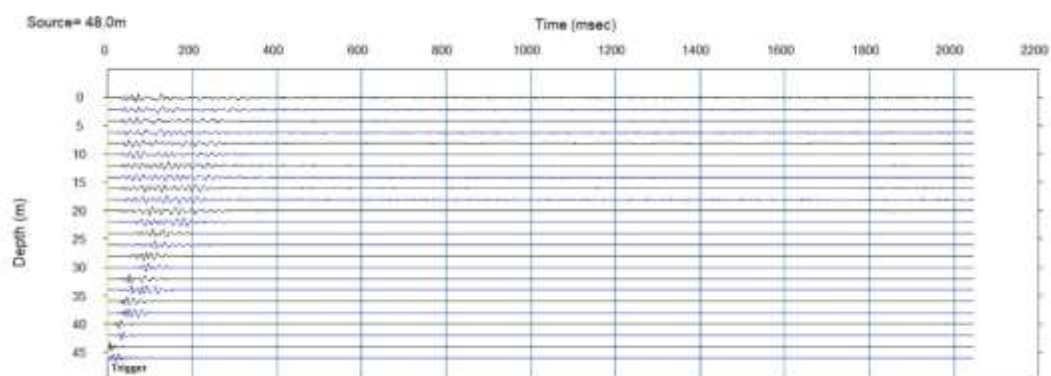
Di seguito vengono riportati l'ubicazione delle prove, la curva di dispersione, la curva teorica sovrapposta a quella calcolata e il modello originale ottenuto dall'elaborazione dei dati acquisiti.

Lucca, 12/01/2024

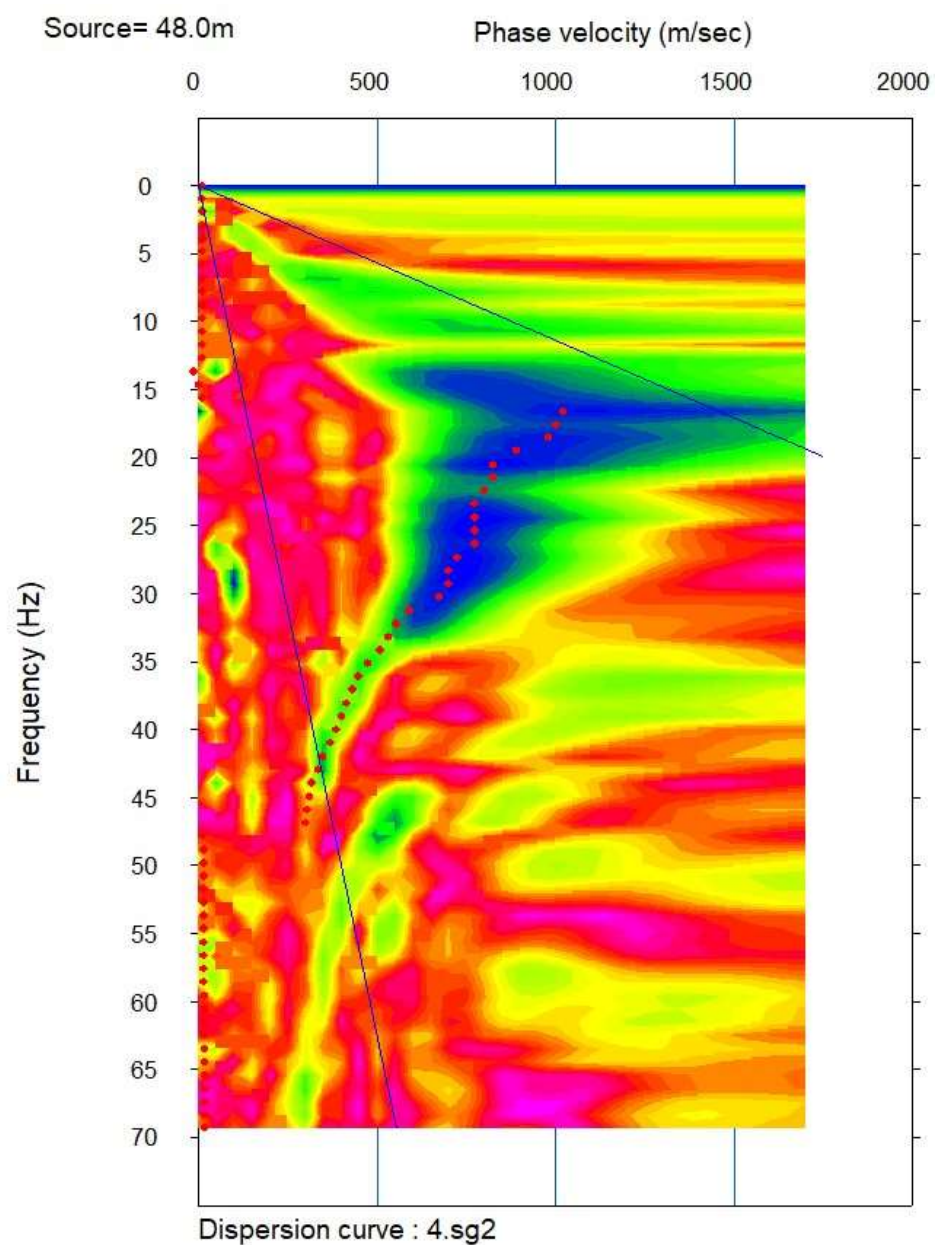
Dott. Geologo
Roberto Maggiore



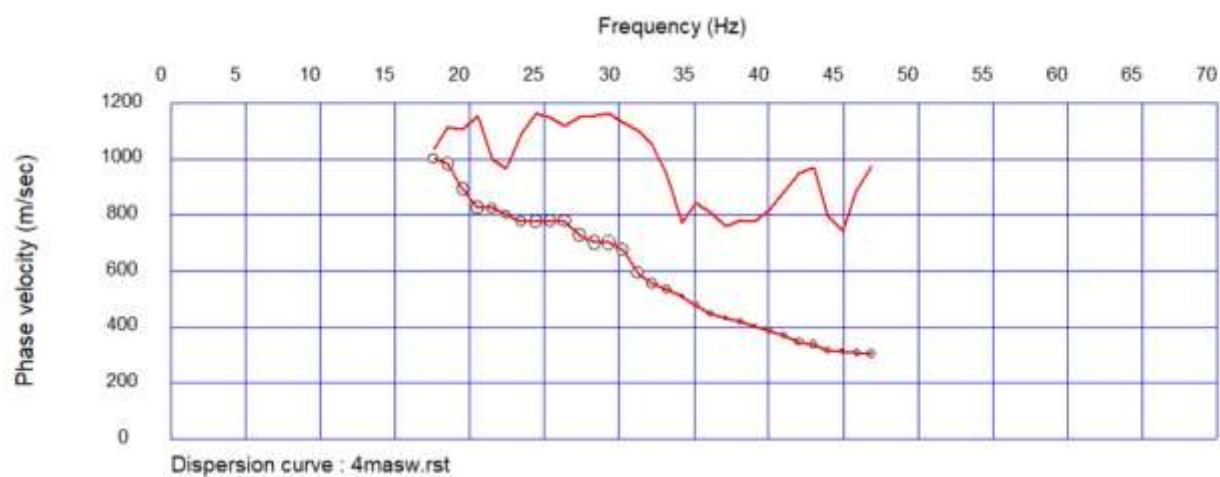
Ubicazione indagini: la linea azzurra indica lo stendimento sismico.



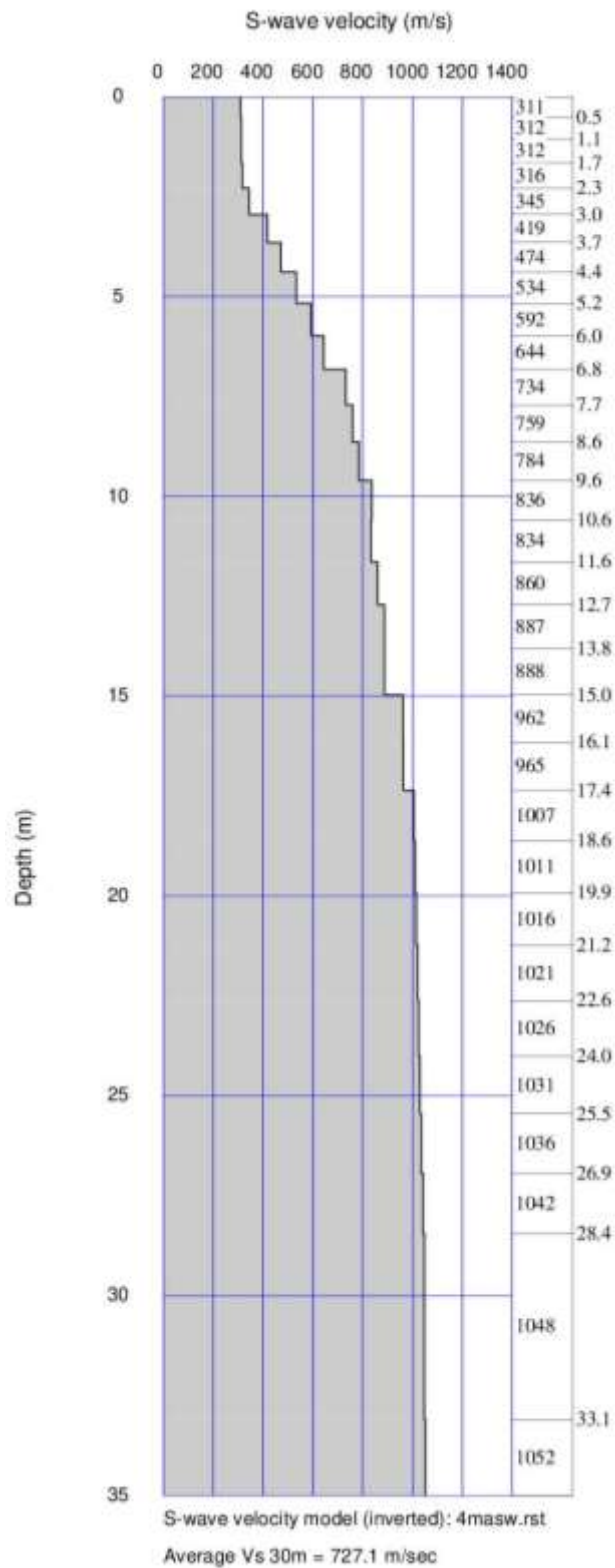
Sismogramma del segnale acquisito



Curva di dispersione



*Sovrapposizione della Curva calcolata
e del picking effettuato*



Modello di velocità