

COMUNE DI SAN CASCIANO IN VAL DI PESA (FI)
 RISULTATI DELLE INDAGINI MASW ESEGUITE PRESSO LA FATTORIA DI VILLA
 BARBERINO LOC. CAMPOLI - MERCATALE V.P.

PREMESSE

La presente relazione sintetizza e illustra i risultati di un'indagine sismica condotta mediante il metodo MASW, effettuata in comune di San Casciano V.P., presso una proprietà a destinazione ricettiva, dove si prevedono interventi su edificio esistente.

L'indagine MASW è stata effettuata per la caratterizzazione della velocità delle onde SH dei terreni presenti, per determinare il parametro V_{S30} , necessario al fine della classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto, come richiesto dalle "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 14/01/2008).

L'interpretazione dei dati acquisiti in campagna ha consentito di ricavare una sequenza sismo-stratigrafica relativamente all'area di indagine, con suddivisione in strati aventi analoghe caratteristiche delle velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali.

GENERALITÀ SUL METODO MASW

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);
- l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s .

Per ottenere un profilo V_s bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarle minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

Dai valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale V_s dalla curva di dispersione e vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali.

Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh vengono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (*back scattered*) dalla disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane.

Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni).

Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane.

Le onde superficiali riverberate (*back scattered*) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno.

La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza indipendentemente dalla distanza dalla sorgente. La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione.

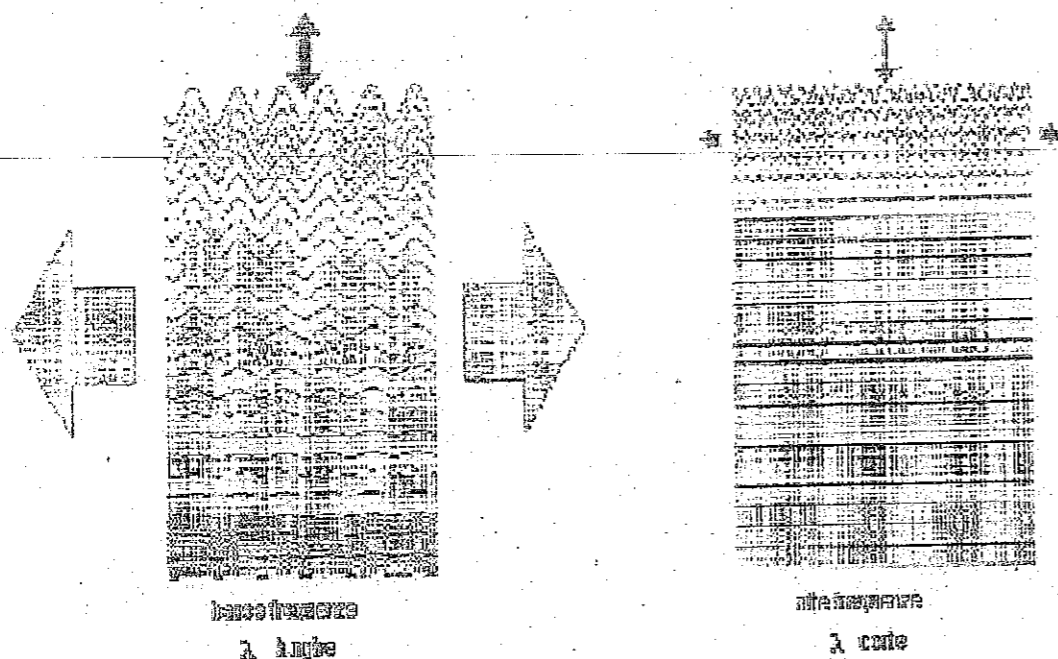
La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale.

Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza.

La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x ; y), il cui legame costituisce la curva di dispersione. E' anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma. In questo caso MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda

ed elevati rapporti S/N. Un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di indagine del profilo Vs di inversione.

Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a riflessione (CMP). Però alcune regole operative per MASW sono incompatibili con l'ottimizzazione della riflessione. Questa similitudine permette di ottenere, con la procedura MASW, delle sezioni superficiali di velocità che possono essere utilizzate per accurate correzioni statiche dei profili a riflessione. MASW può essere efficace con anche solo dodici canali di registrazione collegati a geofoni singoli a bassa frequenza (<10Hz).



L'illustrazione mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (Vs) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione:

ATTREZZATURA E METODOLOGIE IMPIEGATE

Per l'indagine in oggetto si è impiegata un'attrezzatura AMBROGEO "ECHO 2-24/2002 Sismic Unit", avente le seguenti caratteristiche:

- numero di canali: 24
- sampler interval: 0,296 msec
- A/D conversion: 16 bit
- input impedance: 1KOhm
- Gain: 10 dB - 100 dB (step 1 dB)
- saturation tension: +/- 2,3 V
- saturation level: 100 dB
- distortion: 0,01%
- samplers:
 - 25 msec (191 punti)
 - 50 msec (383 punti)
 - 100 msec (1530 punti)
 - 200 msec (3060 punti)
 - 400 msec (6121 punti)
 - 1000 msec
- sampling: 130 micro/sec
- filter low pass: 50/950 Hz, step 1 Hz
- digital filter low pass: 1000-50
- digital filter high pass: 0-250
- frequency response: 7-950 Hz, filter at 950 Hz
- dynamic range: 93 dB
- noise: 0,66 uV RMS, gain = 55 dB
- crosstalk: 52 dB, gain = 55 dB
- power: 12 V.

Il software di acquisizione dati è "ECHO 2002" vers. 7.0.

L'attrezzatura è completata da 2 cavi sismici a 12 takes out spazati a 5 m, con connettori cannon, montati su rullo, geofoni orizzontali "Geospace" a 4,5 Hz, cannoncino con geofono starter, martello con trigger e cavo trigger da 200 m montato su rullo.

Lo stendimento impiegato per il profilo MASW in oggetto ha le seguenti caratteristiche:

- n. geofoni: 24
- spaziatura fra i geofoni: 2 m
- n. shots: 2, con offset minimo rispettivamente di 5 e 7 metri.

Come fonte di energizzazione è stata utilizzata una mazza di battuta da 5 Kg con geofono starter.

L'indagine è stata svolta in corrispondenza dell'olivata posta a lato dell'edificio, su pendio con leggerissimo declivio.

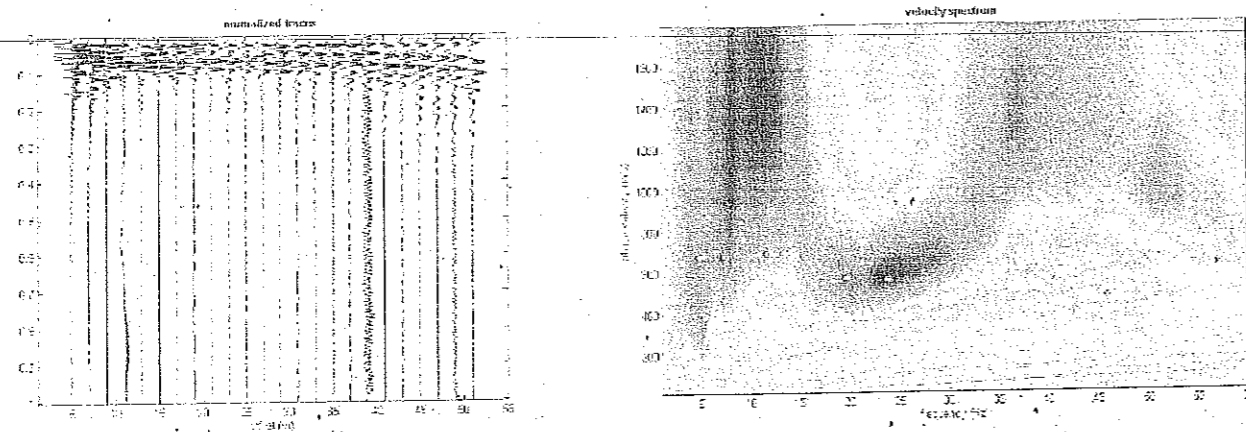
Il profilo in oggetto è da considerarsi praticamente orizzontale, in quanto i dislivelli lungo lo stendimento, realizzato su un piano orizzontale, sono contenuti nell'ordine di decimetri e si sviluppano in modo progressivo in assenza di salti e

rottore di pendio.

INTERPRETAZIONE DEI DATI

Per l'interpretazione dei dati è stato utilizzato il software *winMASW*, il quale consente la determinazione di profili verticali della velocità delle onde di taglio Vs tramite l'inversione delle curve di dispersione ottenute, effettuata con algoritmi "genetici". Tale programma è in grado di operare direttamente sui records in formato *SGY* prodotti dalla strumentazione utilizzata per l'acquisizione, secondo la procedura specifica descritta nel capitolo introduttivo.

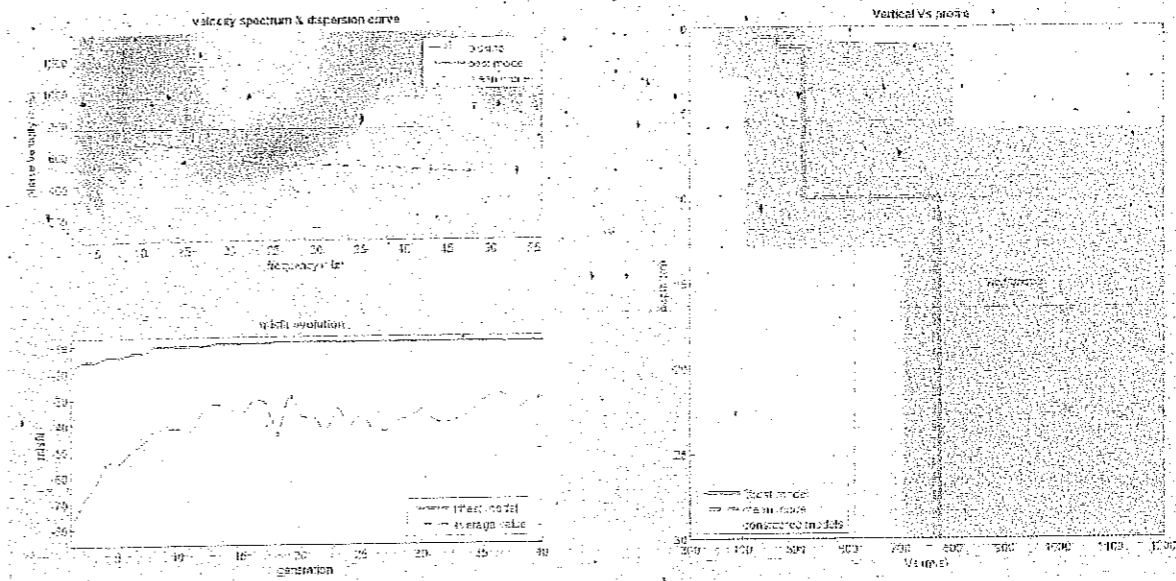
E' stata utilizzata la curva di dispersione relativa allo "shot" con offset di 5 m dalla linea geofonica. La rappresentazione dei file dei dati acquisiti ("common-shot gather" - segnale per i vari geofoni nel tempo di acquisizione di 1000 msec) è la seguente:



Il secondo grafico rappresenta lo spettro di velocità (velocità di fase in funzione della frequenza), con relativo picking della curva di dispersione delle onde di superficie, cioè la determinazione dei punti che si ritengono appartenere, in questo caso, al modo fondamentale di propagazione dell'onda superficiale di Rayleigh.

Per dare uno spazio di ricerca significativo al processo di inversione ci si è basati anche sul contesto geolitologico locale desumibile dalle indagini meccaniche. E' stato impostato un modello geofisico di partenza, utilizzando il dataset più chiaro tra quelli ottenuti dai singoli shots, tra l'altro molto simili tra loro, basato sulle indicazioni stratigrafiche risultanti dal saggio geognostico eseguito in sito, che ha consentito di guidare l'interpretazione nei primi m dal p.c., dove si rileva la presenza di circa 2 m di detrito di alterazione su formazione argillitica di Sillano-Vallina.

Il report con i dati salienti relativi al procedimento di elaborazione ed inversione è allegato alla presente relazione. Il risultato dell'inversione è il seguente:



Sono stati cioè individuati 3 strati a diversa velocità Vsh, con riferimento alla mezzeria dello standimento sismico, e precisamente:

☐ secondo il MODELLO MEDIO:

strato	1	2	3
VSh (m/sec)	461	516	763
spessore (m)	1,2	8,9	semispazio

☐ secondo il MODELLO MIGLIORE:

strato	1	2	3
VSh (m/sec)	465	514	773
spessore (m)	1,2	8,9	semispazio

Con i dati ottenuti, per la zona di indagine e con riferimento al piano di campagna, si ha:

- ☐ VS30 del modello medio: 654 m/sec
- ☐ VS30 del modello migliore: 658 m/sec.