

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	1
<b>2</b>	<b>INDAGINI EFFETTUATE</b>	1
<b>3</b>	<b>ANALISI MULTICANALE DELLE ONDE SUPERFICIALI</b>	2
<b>4</b>	<b>RISULTATI</b>	11

## ALLEGATI

<b>AII. 1</b>	<b>UBICAZIONE DELLE PROVE</b>
<b>AII. 2</b>	<b>PROVE MASW da M1 ad M10</b>
<b>AII. 3</b>	<b>DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA</b>

## 1 PREMESSA

Facendo seguito ai contenuti espressi nella Determinazione del Comune di Concorezzo n°78 del 05/02/2009 inerente l'affidamento dell'incarico per la redazione del Piano di Governo del Territorio riportante l'approvazione dei preventivi per le indagini supplementari, in particolare per quanto attiene l'indagine geosismica attraverso tecniche MASW viene presentata la presente relazione tecnica di indagine.

## 2 INDAGINI EFFETTUATE

I giorni 3 e 4 giugno 2009 è stata eseguita un'indagine geofisica mediante una serie di 10 prove MASW per il calcolo del valore Vs30.

Lo scopo dell'indagine era di ottenere la stratigrafia di velocità delle onde trasversali Vs da cui ricavare il parametro Vs30 necessario per la perimetrazione della pericolosità sismica locale (PSL) così come richiesto dalla DGR 8/7374 del 28/05/2008 per la definizione delle componenti geologiche, idrogeologiche e sismiche in attuazione dell'art. 57 della LR 12/2005.

Sul territorio comunale sono state ubicate uniformemente 10 prove come da figura sotto riportata.

Le caratteristiche delle prove sono:

<i>Nome</i>	<i>Stendimento geofonico (m)</i>	<i>Energizzaz.</i>	<i>Geofoni</i>
M1	46	2	24
M2	46	2	24
M3	46	2	24
M4	46	2	24
M5	46	2	24
M6	46	2	24
M7	46	2	24
M8	46	2	24
M9	46	2	24
M10	46	2	24

### 3 ANALISI MULTICANALE DELLE ONDE SUPERFICIALI

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  $V_s$ .

Per ottenere un profilo  $V_s$  bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo 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 modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

Dei 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 Reyleigh, 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) dalle 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 dipendentemente 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.

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).

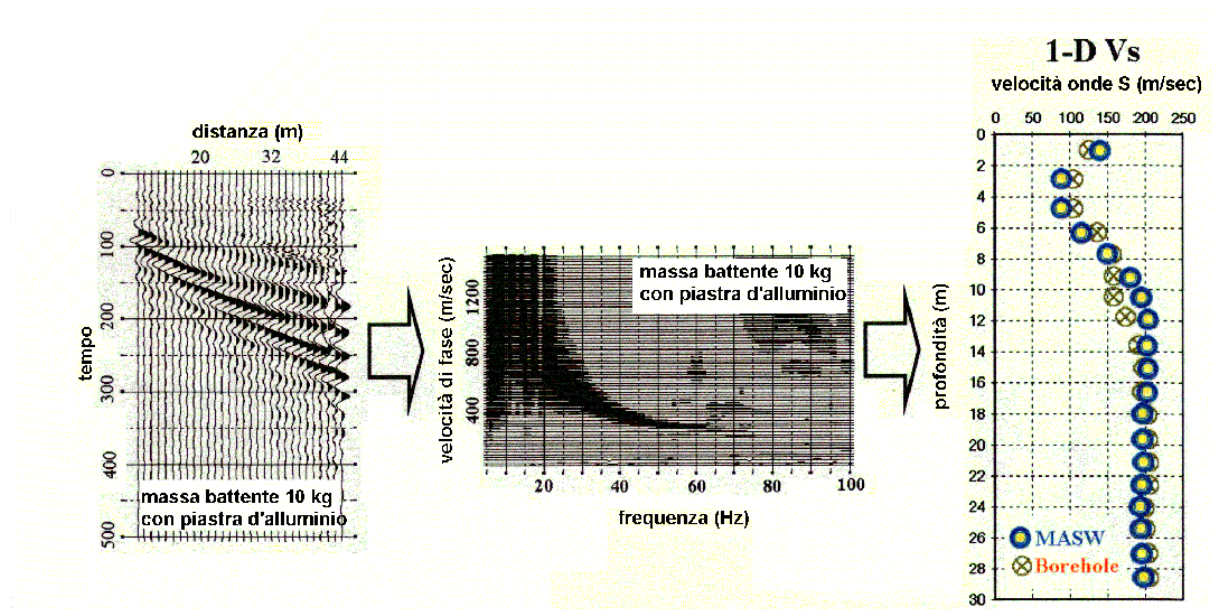
Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi 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 ( $V_s$ ) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

## STRUMENTAZIONE

La strumentazione utilizzata è costituita da :

- un sismografo EEG BR24 24 canali
- 24 geofoni a 4.5Hz
- fucile sismico

## DESCRIZIONE GENERALE DELLA PROCEDURA MASW



La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

- 1- acquisizione dei dati di campo;
- 2- estrazione della curva di dispersione;
- 3- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs (profilo 1-D) che descrive la variazione di Vs con la profondità

## 4 RISULTATI

In allegato sono riportati i risultati delle 10 prove MASW eseguite.

Nel riquadro in alto a sinistra è riportata l'immagine di dispersione dell'energia sismica. Al di sotto è riportata l'estrazione della curva di dispersione eseguita sull'immagine precedente.

Ancora sotto sono riportati i grafici relativi al modello del terreno, sia sotto forma di stratificazione  $V_s$  (spezzata di colore blu) che di Modulo di Taglio (spezzata verde). Per il calcolo del modulo di taglio è stata usata una formula approssimata per la valutazione della densità, non nota. La formula utilizzata è la seguente:

$$\text{Densità} = 1,5 + V_s/1000$$

Poiché il valore del modulo di taglio  $G$  in MegaPascal si ottiene dalla formula

$$G = V_s \times V_s \times \text{Densità} / 10^3$$

è facile ricalcolare il modulo  $G$  esatto quando si disponesse di valori più precisi di densità.

Con una curva di colore rosso è stato tracciato il valore di  $V_s$  progressiva.

Dalla curva si può quindi ricavare il valore di  $V_{s10}$ ,  $V_{s20}$  e così via, e quindi anche il valore di  $V_{s30}$ , quest'ultimo ovviamente alla profondità 30.

A destra è visibile il sismogramma mentre in basso è riportato il valore del parametro  $V_{s30}$  calcolato utilizzando la stratigrafia  $V_s$  e la formula

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

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (m/s) dello strato  $i$  – esimo, per un total e di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

Il sito è stato classificato sulla base del valore di  $V_{S30}$  come riportato nella seguente tabella:

<b>Grado</b>	<b>Classe</b>	<b>Velocità sismica (m/s)</b>
Molto buono	A	$V_{S30} > 800$
Buono	B	$360 < V_{S30} < 800$
Discreto	C	$180 < V_{S30} < 360$
Sufficiente	D	$V_{S30} < 180$
Insufficiente	E	Strati sup. all. (5 – 20 m) tipo C e D soprastanti substrato tipo A
Scadente	S1	$V_{S30} < 100$
Pessimo	S2	$V_{S30} < 50$

La stratigrafia  $V_s$  riportata nelle tavole allegate è quella utilizzata per il calcolo del  $V_{S30}$  ed è sismicamente equivalente e ragionevolmente prossima alla stratigrafia reale ma probabilmente non esattamente coincidente.

I terreni investigati appartengono tutti alla classe B con velocità comprese tra i 360 m/s e gli 800 m/s.

Milano, 10 giugno 2009

dott. geol. Fabrizio Zambra

Allegati:

1. Fascicolo Fotografico
2. Prove sismiche VS30





Fotografia 1: Acquisitore onde sismiche



Fotografia 2: Posizione MASW 1





**Fotografia 3: Posizione MASW 2**



**Fotografia 4: Posizione MASW 3**





**Fotografia 5: Posizione MASW 4**



**Fotografia 6: Posizione MASW 5**





**Fotografia 7: Posizione MASW 6**



**Fotografia 8: Posizione MASW 7**





**Fotografia 9: Posizione MASW 8**



**Fotografia 10: Posizione MASW 9**





**Fotografia 11: Posizione MASW 10**

Allegato 2  
PROVE SISMICHE VS30

All. 2/a MASW 1  
All. 2/b MASW 2  
All. 2/c MASW 3  
All. 2/d MASW 4  
All. 2/e MASW 5  
All. 2/f MASW 6  
All. 2/g MASW 7  
All. 2/h MASW 8  
All. 2/i MASW 9  
All. 2/l MASW 10