



**GEOGNOSTICA  
FIORENTINA S.R.L.**

PROVINCIA DI FIRENZE  
COMUNE DI SAN CASCIANO IN VAL DI PESA

Indagine geofisica di superficie mediante  
metodologia MASW,  
per Calcolo Vs30 - D.M. 14/01/2008

Via I Maggio n.14 – Loc. Romola  
San Casciano in Val di Pesa (FI)

RELAZIONE TECNICA

Marzo 2012

## Introduzione

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati dell'indagine sismica eseguita mediante metodologia MASW in data 20 marzo 2012, come concordato con la Committenza e con il Dott. Geol. Alessandro Grigioni, in Via I Maggio n.14, Loc. Romola – Comune di San Casciano in Val di Pesa (FI).

E' stata eseguita una campagna geofisica mediante acquisizione MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves), analisi della dispersione delle onde di Rayleigh e Love da misure di sismica attiva, al fine di caratterizzare la risposta sismica del sito in esame, ed in particolare i valori di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 m (cosiddette Vs30), così come previsto dal D.M. 14/01/2008 Testo Unico - Norme Tecniche per le Costruzioni. La classificazione dei terreni è ottenuta sulla base del valore della Vs30 (il valore medio della Vs nei primi 30 m di profondità) definita dalla relazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

Di seguito vengono descritte: la metodologia d'indagine, lo schema operativo, le operazioni di campagna, le strumentazioni e le modalità di analisi dei dati, ed infine l'interpretazione dei dati elaborati.

## MASW: metodologia d'indagine

La tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di prospezione sismica che, attraverso la registrazione della propagazione delle onde di superficie (Rayleigh e/o Love), permette di risalire alla velocità di propagazione delle onde di taglio S nel sottosuolo, portando quindi a determinare anche il parametro Vs30 (velocità media delle onde S nei primi 30m).

In un mezzo stratificato le onde di superficie (Rayleigh e Love) danno vita al fenomeno della dispersione, cioè lunghezze d'onda diverse si propagano con diverse velocità di fase e gruppo: le componenti ad alta frequenza (con piccola lunghezza d'onda) "sentono" solamente gli strati più superficiali del suolo, mentre le componenti a più bassa frequenza "sentono" anche gli strati più profondi consentendo quindi di determinarne le caratteristiche.

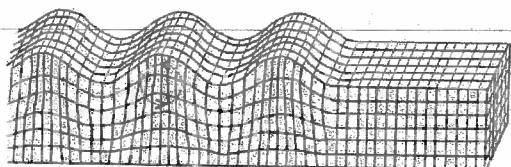
Il metodo si sviluppa attraverso la determinazione delle proprietà dispersive del mezzo individuabili dall'analisi dello spettro di velocità dei dati. Il range di frequenza si sviluppa comunemente tra i 5Hz e i 70Hz, fornendo informazioni sino a profondità di circa 30m a seconda della rigidità del suolo: la profondità massima di penetrazione è determinata dalla relazione fra velocità di propagazione dell'onda e la 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 e 20 m dal primo geofono.

L'obiettivo della registrazione è quindi l'individuazione del treno di onde superficiali (Rayleigh e/o Love), 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, intercettando nel moto delle particelle lo spostamento verticale; oppure mediante geofoni orizzontali con asse posto parallelo (radiale) allo stendimento, intercettando lo spostamento orizzontale. In entrambi i casi si utilizza una sorgente verticale - piastra-martello.

#### Rayleigh Wave



Componente verticale del moto – geofono verticale

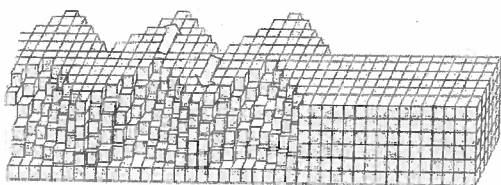


Componente orizzontale del moto – geofono orizzontale



Per le onde di Love il moto delle particelle risulta orizzontale ed ortogonale allo spostamento, si utilizza pertanto una sorgente di taglio (martello-trave di legno, ortogonale alla linea) con geofoni orizzontali ad asse perpendicolare allo stendimento.

#### Love Wave



Componente orizzontale del moto (perpendicolare allo spostamento) – geofono orizzontale anch'esso ortogonale allo stendimento.



### Schema operativo

In ALLEGATO 1, è stato riportato un inquadramento dell'area con inserita la traccia della sezione sismica eseguita.

Dopo una prima analisi dell'area ed in considerazione degli spazi a disposizione è stato deciso di adottare la seguente configurazione:

- n° geofoni: 12
- distanza intergeofonica di 2.0 m
- n° 3 offset (distanza tra i punti di energizzazione e il primo o l'ultimo geofono) a 4 m dal primo; e a 1 m dall'ultimo geofono.

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

- tempo di acquisizione: 1.0 s
- frequenza di campionamento 2000 Hz
- periodo di campionamento 500  $\mu$ s.

### Strumentazione impiegata

Un sistema digitale di acquisizione dati in sismica, è costituito sostanzialmente da geofoni, amplificatori, filtri, convertitori A/D e supporti per la memorizzazione dei dati digitali. Nel nostro caso è stato utilizzato un sismografo costituito da un sistema a più canali a conversione digitale tra loro in catena, ciascuno con un proprio ID, e pilotati da PC. Il modello è denominato DOREMI (della SARA electronic instruments), con risoluzione di acquisizione pari a 16 bit. Per quel che riguarda i sensori, sono stati utilizzati 24 geofoni del tipo elettromagnetico a bobina mobile, con frequenza caratteristica di 4.5 Hz.

Come sorgente di energia sismica per le onde di Rayleigh si è fatto uso di una mazza con maglio da 10 kg battente su una piastra di alluminio posta sul suolo in linea con lo stendimento (*array*). Per le onde di Love come sistema di energizzazione si è fatto uso di una mazza con maglio da 10 kg battente orizzontalmente su una trave in legno sovraccaricata, posta ortogonalmente all'*array* e parallelamente alla direzione di oscillazione dei geofoni.

L'inizio della registrazione è stato dato tramite un *trigger* che consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la massa battente colpisce la piastra (nel nostro caso si è usato quello un geofono starter) e l'impulso generato, inviato al sistema di acquisizione, consente di fissare il tempo zero di riferimento per il calcolo dei tempi di percorso delle onde generate.

### Analisi e risultati dell'indagine

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  $V_s$ .

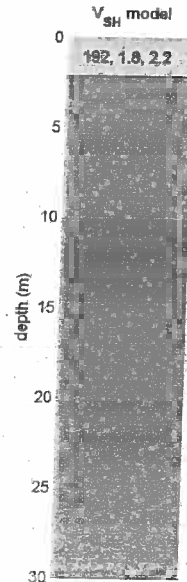
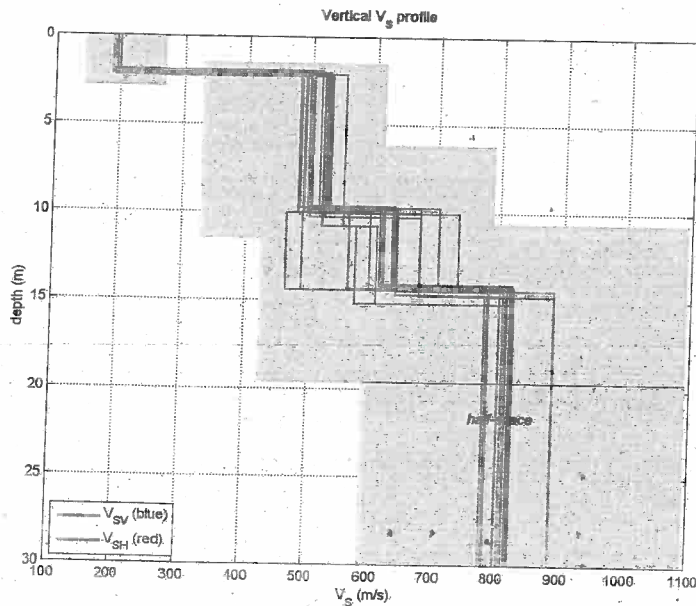
I risultati dell'elaborazione sono riportati in ALLEGATO 2 - 3. Gli spettri di velocità risultano dominati dal modo fondamentale sia nella componente di Rayleigh che di Love.

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.

Spessore (m)	Vsh (m/s)
2.2	192
8.0	500
4.5	614
semi-spazio	810

**Modello medio individuato  
(Vsh30 del modello medio dal p.c.: 563 m/s)**

Profilo verticale della Vsh  
Nella colonna: Vsh (m/s),  
densità ( $\text{gr/cm}^3$ ) e spessore (m).



L'analisi della dispersione delle onde superficiali ha consentito di determinare il profilo verticale della  $V_s$  e di conseguenza del parametro  $V_{s30}$ , risultato – per il modello medio – pari a **563 m/s** (considerando come riferimento il piano campagna).

In base al valore di Vs30 ottenuto, il sito potrebbe essere compatibile con la **categoria B**. Sarà però cura del progettista, in base alle caratteristiche dell'opera da realizzare, alla profondità di imposta delle fondazioni, al modello sismostratigrafico riportato con il conseguente profilo verticale della Vs, ed a tutte le considerazioni del caso che riterrà opportune, confermare o attribuire il definitivo valore di Vs30 e conseguentemente la categoria di suolo secondo il DM 14 gennaio 2008 - Tabella 3.2.II, riportata in ALLEGATO 4.

Scandicci, lì 28/03/2012

I Tecnici

Dott. Santi Accetta



Dott. Silvio Brenna



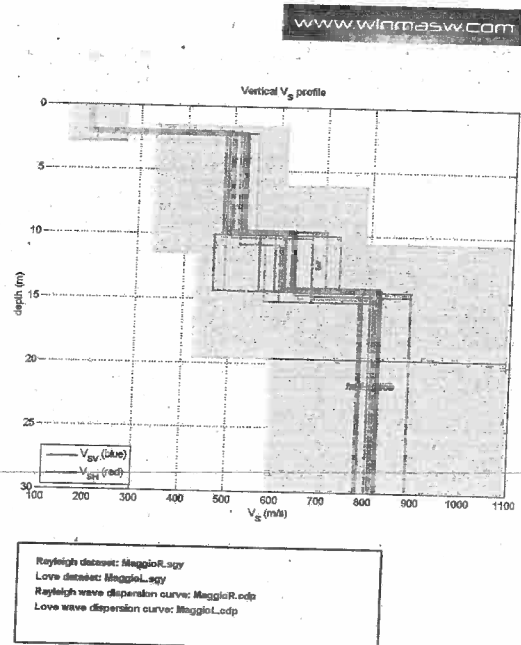
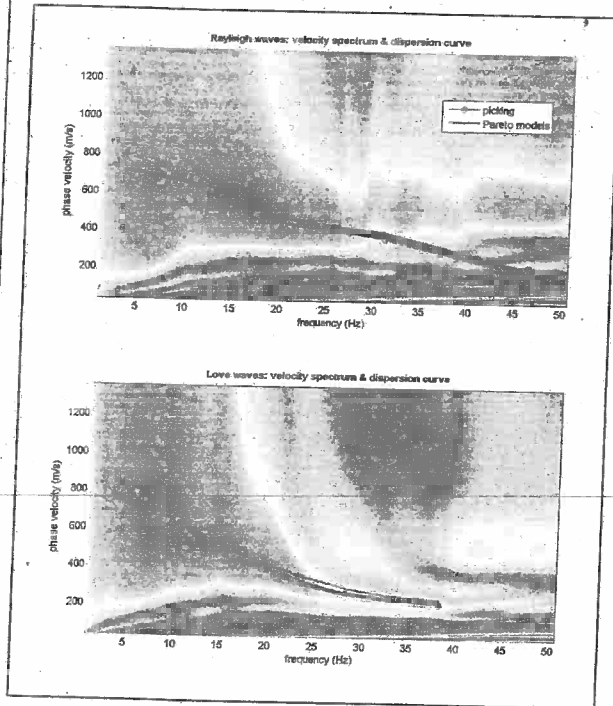




G1--G22 (12 m) linea sismica MASW



**ALLEGATO 1**



Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi di dati MASW. A sinistra: spettri osservati, curve di dispersione (da picking) in magenta e curve del modello individuato dall'inversione in blu. Sulla destra il profilo verticale  $V_s$  identificato (vedi anche Tabella 1). L'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli Algoritmi Genetici – Dal Moro et al., 2007.