

**INDAGINE SISMICA M.A.S.W. - Re.Mi.**  
**Via Empolese - Comune di San Casciano in Val di Pesa**

COMMITTENTE Geol. Luca Cioni  
DATA INDAGINE 22 Marzo 2013

M149



**GEOLOGIA & AMBIENTE snc**  
di Naselli Gino & C.  
Via Panciatichi 11 - 51100 PISTOIA  
Tel. e Fax 0573-366497  
P.IVA 01427880479  
e-mail: geologiaeambiente@tiscalinet.it

**Premessa**

La presente relazione riporta i risultati di una campagna di prospezione geofisica su un'area ubicata nei pressi del Talente in Comune di San Casciano in Val di Pesa. Tale indagine è stata finalizzata alla determinazione del profilo verticale di velocità delle onde di taglio (Onde S) e al calcolo del parametro Vs30. L'indagine, svolta in data 22/03/2013, è stata condotta conformemente alla vigente normativa sismica e in particolare ai contenuti dell' O. P. C. M. n. 3274/2003 *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica* e s. m. i., al D. M. 14.01.2008 *Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni* e alla Circolare 02.02.2009 n. 617 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, contenente le Istruzioni per l'applicazione delle *Nuove norme tecniche per le costruzioni* di cui al D. M. 14.01.2008.

**DESCRIZIONE DELL'INDAGINE E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA**

Per la ricostruzione del profilo verticale di velocità delle onde S e per il calcolo del parametro Vs30 è stata eseguita 1 prospezione sismica superficiale mediante la tecnica **MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves) e **Re.Mi.** (Refraction Microtremor).

**Strumentazione utilizzata**

L'indagine è stata condotta mediante:

- sistema di energizzazione ad impatto verticale per le onde di Rayleigh, costituito da una mazza di 10 kg battente verticalmente su piastra rotonda in alluminio di 20 x 20 x 5 cm posta direttamente sul piano di campagna per la generazione di onde Rayleigh;
- un sistema di ricezione costituito da 12 geofoni verticali Geospace con frequenza propria di 4.5 Hz;
- un sistema di acquisizione dati costituito da un sismografo DoReMi di SARA s.r.l., un cavo sismico con 24 canali, un notebook PC Windows 7 con software di acquisizione P.A.S.I. a 24 canali, un sistema di trigger rappresentato da un geofono starter.

**METODOLOGIA E ACQUISIZIONE**

**Metodologia**

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio Vs, sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (nel caso specifico geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, nel senso che 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 mentre onde a bassa frequenza si propagano e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

I metodi di utilizzo delle MASW sono di tipo attivo e passivo. Nel primo caso si energizza verticalmente con i metodi tradizionali e si procede a 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 consente generalmente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze tra 5 - 10 Hz e 70 - 100 Hz, fornisce quindi informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30 - 50 metri, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente. Nel caso del metodo passivo, denominato anche NASW, MAM o Re.Mi. 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).

La bibliografia abbonda di documenti che discutono sul grado di dettaglio delle ricostruzioni stratigrafiche ottenute con questi metodi. Un dato comunque su cui c'è univoca concordanza è il buon grado di affidabilità nella determinazione delle Vs medie entro lo spessore indagato. In altre parole, indipendentemente dalla situazione stratigrafica, il valore medio delle onde superficiali, e quindi di quelle di taglio, all'interno del volume di sottosuolo indagato è da ritenersi valido. I fondamenti teorici del metodo MASW fanno riferimento a un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali, quindi una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a 20°, sia della topografia sia delle diverse discontinuità elastiche.

#### Acquisizione

La metodologia di acquisizione si sviluppa in quattro fasi:

- 1) acquisizione dei dati di campagna energizzando a più riprese e alternativamente ai due estremi dello stendimento geofonico;
- 2) determinazione dello spettro di velocità sperimentale dal campo di moto acquisito nel dominio spazio-tempo lungo lo stendimento;
- 3) calcolo della curva di dispersione attraverso il picking o la modellazione diretta;



4) inversione della curva di dispersione per l'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs e il parametro Vs30.

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software MASW (Vitantonio). Le acquisizioni sono state eseguite secondo le seguenti configurazioni spaziali e temporali:

PARAMETRI CONFIGURAZIONALI DELLO STENDIMENTO MASW		
CARATTERISTICHE SPAZIALI DELLO STENDIMENTO		
ORIENTAMENTO	WNW - ESE	
DISLIVELLO ALTIMETRICO TRA GLI ESTREMI	0	
LUNGHEZZA STENDIMENTO	24 m	
OFFSET INTERGEOFONICO	1 m	
OFFSET PUNTI ENERGIZZAZIONE	3 m	
IMPOSTAZIONI DI CAMPIONAMENTO		
	MASW	REMI
DURATA CAMPIONAMENTO	2 sec	60 sec
FREQUENZA ACQUISIZIONE	1000 Hz	500 Hz
INTERVALLO ACQUISIZIONE	1 µsec	5 msec

Durante il processo di elaborazione, al fine di minimizzare le possibili soluzioni e cercare la più sensata coerenza tra lo spettro di velocità sperimentale e le curve di dispersione teoriche che possono generare tale spettro, ci si è avvalsi sia dei dati derivanti dal rilevamento geologico eseguito in situ fornitici dalla Committenza.

#### ANALISI DEI RISULTATI

Nel complesso la prospezione geofisica eseguita, per mezzo delle analisi della prova MASW e ReMi, hanno permesso di ricavare sia il modello medio di distribuzione della velocità delle onde "S" che il parametro Vs30 relativi al sottosuolo del sito indagato. Nella tabella seguente si riporta il profilo verticale delle Onde S ricavato mediante elaborazione dei dati di campagna:

SPESSORE DELLO STRATO m	PROFONDITA' DELLA BASE DELLO STRATO m	Vs m/sec
2	-2	295
6	-8	405
8	-16	450
16	-32	495

La velocità media di propagazione delle onde di taglio entro i 30 metri di profondità Vs30 è calcolata con l'espressione  $Vs30 = 30/(h/V)$ . I profili MASW indicano una  $Vs30 = 455$  m/s.

Pistoia, 25/03/2013

Geologia & Ambiente  
**GEOLOGIA & AMBIENTE snc**  
di Naselli Ginò & C.  
Via Panciatichi 11 - 51100 PISTOIA  
Tel. e Fax 0573 366497  
P.IVA 01427880479  
e mail: geologiaeambiente@tiscalinet.it



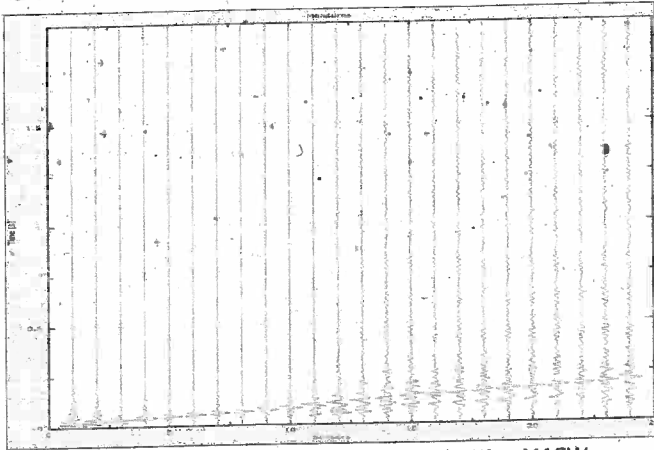


Figura 1: Tracce sperimentali tecnica attiva MASW

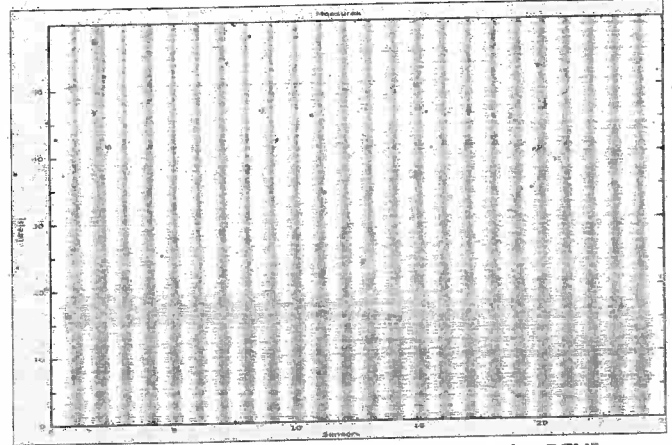


Figura 2: Tracce sperimentali tecnica passiva REMI

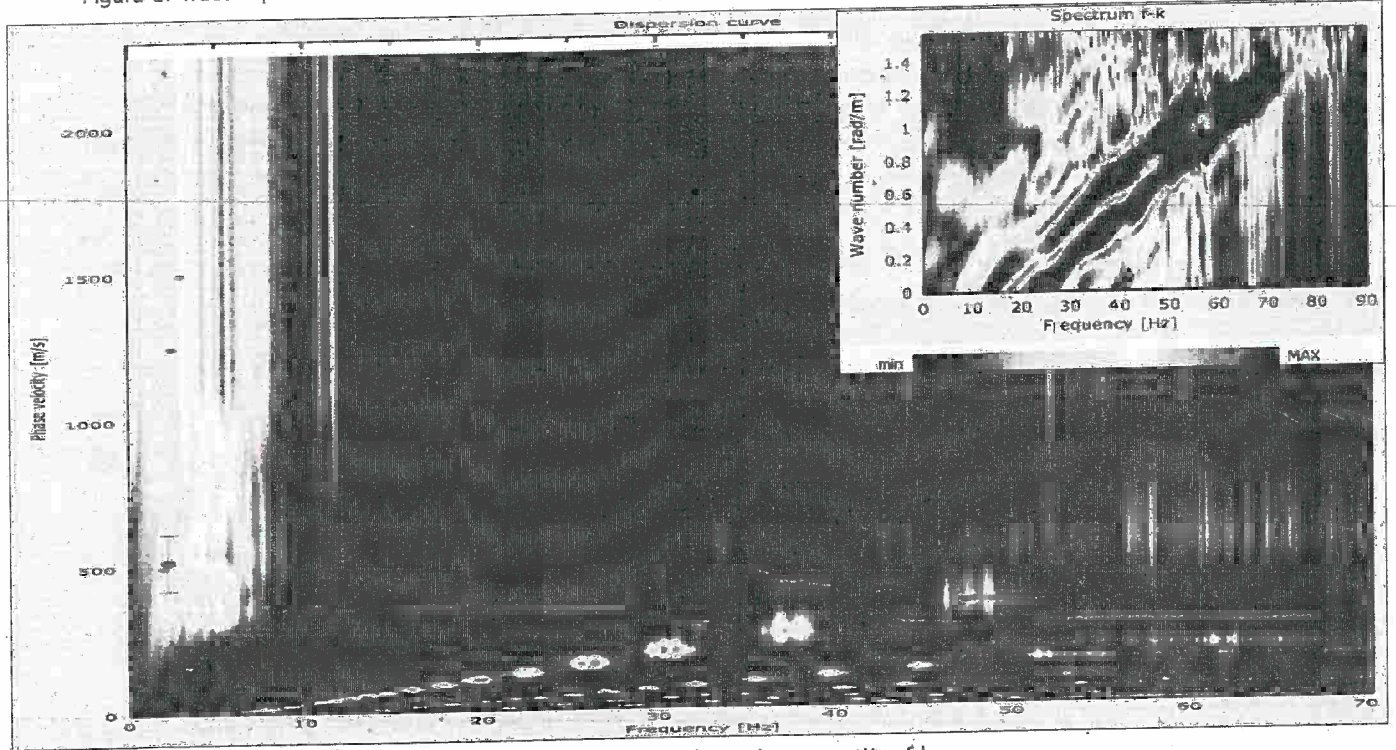


Figura 3: Curva di dispersione e spettro f-k

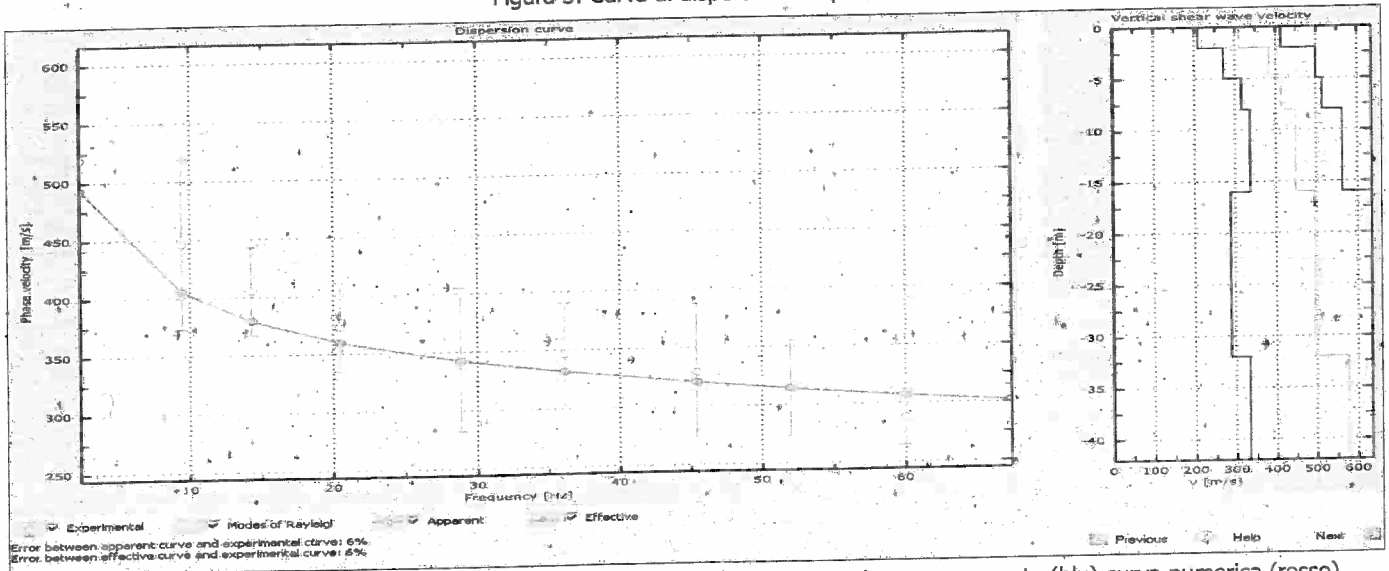


Figura 4: Velocità numeriche punti sperimentali (verde) modi di Rayleigh (ciano) curva apparente (blu) curva numerica (rosso)