



COMUNE DI CASCINA  
(PROVINCIA DI PISA)

SCHEDE DEI DATI DI BASE

Numero: 484-489+M484

Località: Marciana, via Grillai

Tipo e numero: n. 6 prove penetrometriche statiche CPT  
n. 1. indagine sismica MASW

Fonte: Comune di Cascina

## 5. ANALISI DEI DATI ED INTERPRETAZIONE

L'acquisizione è stata fatta su n.2 punti di energizzazione esterni allo stendimento effettuando 6 "shots" su ciascun punto. Tra i dati acquisiti è stato elaborato lo shot n.8 inverso (geofono G24 lato est), il quale presentava il miglior spettro frequenza-numero d'onda F-K.

Il sismogramma relativo è visualizzato nella fig. 9 sotto riportata.

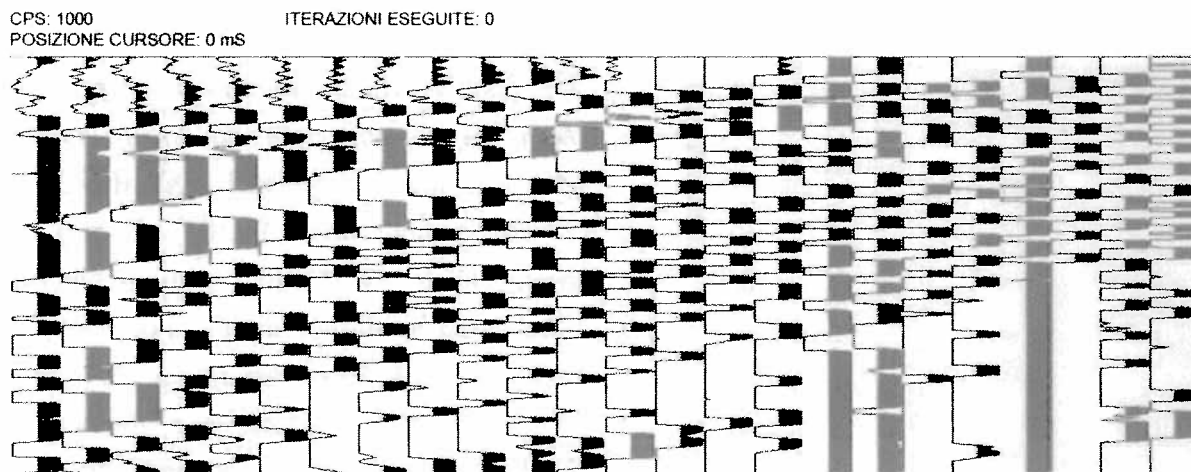


Fig. 9 – Sismogramma shot n. 8 offset G24 (t=512 msec)

L'elaborazione dei file .sg2 acquisiti in campagna dal sismografo Sysmatrack M.A.E. è stata effettuata con i moduli *Geopsy* e *Dinver* del pacchetto software Sesarray sviluppato e coordinato dall'Università di Grenoble e da altri atenei nell'ambito dell'European project n°EVG1-CT-2000-00026 "SESAME" (Site Effects assessment using Ambient Excitations).

In particolare con il software *Geopsy* sono stati definiti gli spettri di energia nel dominio F-k (frequenza-numero d'onda), nonché la curva corrispondente al modo fondamentale (modo "0"). Con l'ausilio del modulo *Dinver* si è proceduto all'inversione della curva che meglio approssima i dati sperimentali al fine di determinare il modello di sottosuolo che combacia con i dati acquisiti.

Il numero d'onda "k" è per definizione correlato alla lunghezza d'onda ( $\lambda = 2\pi/k$ ) analogamente a quanto la frequenza angolare  $\omega$  è correlata al periodo ( $T = 2\pi/\omega$ ). La ricerca delle soluzioni o radici dell'equazione di Rayleigh, che descrive il moto nella materia di un'onda piana ed armonica, è eseguita numericamente, fissando una frequenza e ricercando i numeri d'onda "k" che soddisfano l'equazione stessa. In un semispazio stratificato, o comunque disomogeneo come il sottosuolo, la soluzione dell'equazione o curva di dispersione delle onde di Rayleigh è multivalore, ossia ad una data frequenza corrispondono più valori del numero d'onda "k". Ogni coppia di valori f-k rappresenta un'onda semplice,

detta *modo di Rayleigh*. Fissata una frequenza circolare  $\omega_0=2\pi f_0$ , il primo modo, o modo fondamentale delle onde di Rayleigh, corrisponde al numero d'onda più grande  $k_0$ .

Se tracciamo la curva di dispersione nel dominio frequenza/numero d'onda F-k, si può osservare che a basse frequenze esiste solo il modo fondamentale. Per frequenze più alte di circa 25Hz può comparire il secondo modo di Rayleigh e così via per i modi superiori a frequenze più alte. Praticamente ogni modo superiore di Rayleigh appare sopra una frequenza minima di “cut-off”, ossia non esiste sotto la cosiddetta “cut-off frequency”.

L'analisi dello spettro di dispersione nel campo frequenza-numero d'onda F-k consente una buona identificazione del *modo fondamentale* di Rayleigh, almeno fino a 60 Hz (cfr. fig. 10). Il modo fondamentale è, infatti, definito all'interno della fascia continua color fucsia visibile in basso nello spettro di energia, sulla quale è sovrappreso il “picking” con cerchietti gialli. Oltre i 40 Hz è chiaramente visibile sullo spettro F-k il modo superiore sopra il modo fondamentale, che è tuttavia chiaramente identificabile.

Nel trattamento successivo dei dati, coerentemente agli assunti teorici, è stata quindi adottata una frequenza di *cut-off* di 60Hz, che risulta graficamente visualizzata anche nella fig. 11, rappresentativa delle curve di dispersione.

Il modo fondamentale di Rayleigh definito sullo spettro F-k può essere rappresentato, infatti, anche come variazione della velocità di fase (o della “lentezza”, che è il suo inverso) in funzione della frequenza, ottenendo così la curva di dispersione sperimentale rappresentata nella seguente figura 11, la quale denota una ottima aderenza alla curva teorica visualizzata in rosso, con percentuali medie di errore o “misfit value” attorno all'1,5%.

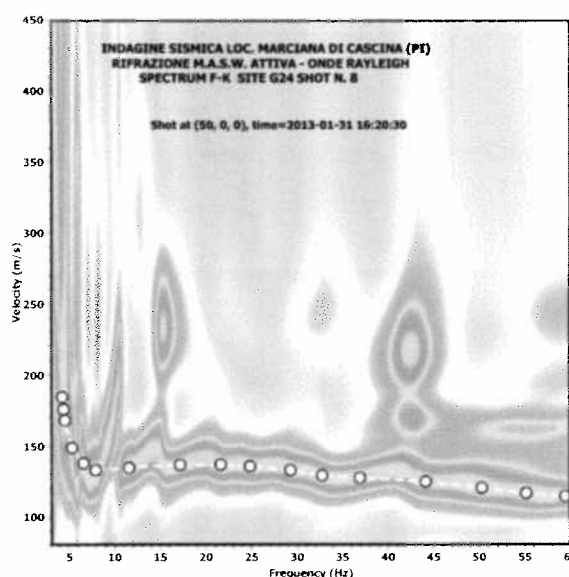


Fig. 10 – Spettro shot n.8 offset G24 con individuazione del modo fondamentale

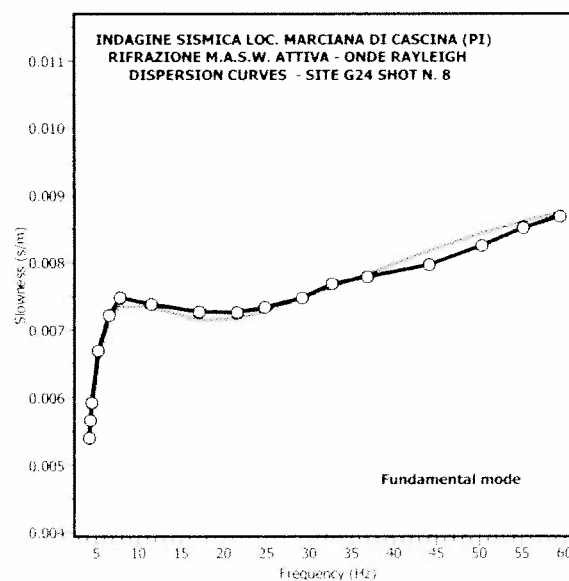


Fig. 11 – Fitting tra curva di dispersione sperimentale e teorica (Shot n. 8 site G24)

Continuando con la procedura di inversione si risale infine al modello che esprime l'andamento di velocità delle onde Vs nel sottosuolo rappresentato nella seguente fig. 12.

INDAGINE SISMICA LOC. MARCIANA DI CASCINA (PI)  
RIFRAZIONE M.A.S.W. ATTIVA - ONDE RAYLEIGH  
GROUND PROFILES Vp-Vs SITE G24 SHOT N. 8

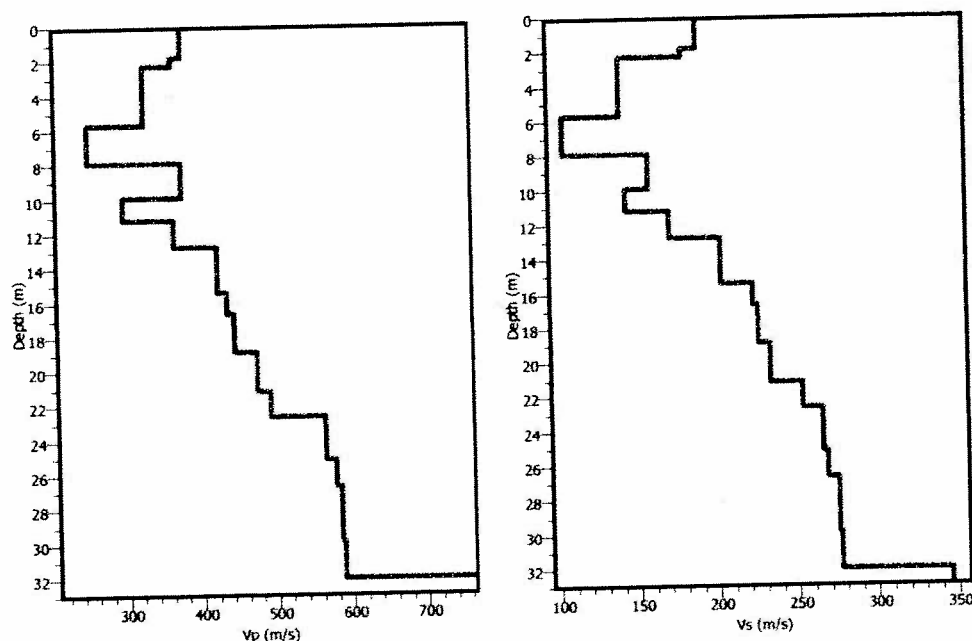


Fig. 12 – Profilo della velocità Vs nel sottosuolo (Shot n. 8 site G24)

Il profilo delle Vs risultante dall'inversione della curva sperimentale è evidenziato dalla linea rossa di "minimum misfit" rappresentata nel grafico a destra sopra riportato. A causa dell'alternanza di sedimenti sciolti di diversa consistenza, la Vs è lenta ed oscillante nei primi 11 metri di sottosuolo, dove varia tra 107 m/s e 180 m/s. Negli strati più profondi cresce progressivamente rimanendo nel range tra 170 m/s e 280 m/s circa. Non si riscontra substrato sismico di riferimento nè ad elevato differenziale di impedenza sismica nei primi 30-32 metri di profondità, in accordo alle conoscenze geologiche sulla zona.

## 6. CATEGORIA DI SUOLO DEL SITO

La categoria di sottosuolo è stata ricavata, come da normativa, dalla relazione:

$$V_{s30} = 30 / \sum(h_i / V_i)$$

dove:

$V_{s30}$  = Velocità media delle onde di taglio nei primi 30m di substrato

$h_i$  = Spessore in metri dello strato i-esimo

$V_i$  = Velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo

Progetto n. 3 edifici residenziali Comparto 1 loc. Marciana

Nella tabella sottostante sono riportati i valori medi della velocità  $V_s$  per ciascun strato definito dalla linea rossa di *minimum misfit* nel modello interpretativo della fig. 12:

Layer	Thickness (m)	Depth (m)	Shot8 G24 $V_{s30}$ (m/s)
1	1.8	1.8	189
2	0.5	2.3	180
3	3.4	5.7	141
4	2.1	7.8	104
5	2.1	9.9	158
6	1.3	11.2	143
7	1.5	12.7	171
8	2.7	15.4	203
9	1.3	16.7	223
10	2.2	18.9	226
11	2.2	21.1	233
12	1.5	22.6	254
13	2.5	25.1	266
14	1.6	26.7	269
15	3.3	30.0	276
			$V_{s30}=188,4 \text{ m/s}$

La media pesata dei valori di  $V_s$  consente di quantificare una  $V_{s30} \approx 188 \text{ m/sec}$ . Il dato consente quindi di attribuire al **terreno di fondazione la categoria di sottosuolo "C"** (cfr. Tab. 3.2.II NTC2008).

Tabella 3.2.II

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti e terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3 m
B	Rocce tenere e depositi a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina).
C	<b>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero <math>15 &lt; N_{SPT,30} &lt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>70 &lt; c_{u,30} &lt; 250 \text{ kPa}</math> nei terreni a grana fina).</b>
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_{s,30} > 800 \text{ m/s}$ ).

Cascina, 4/2/2013

Il geologo

