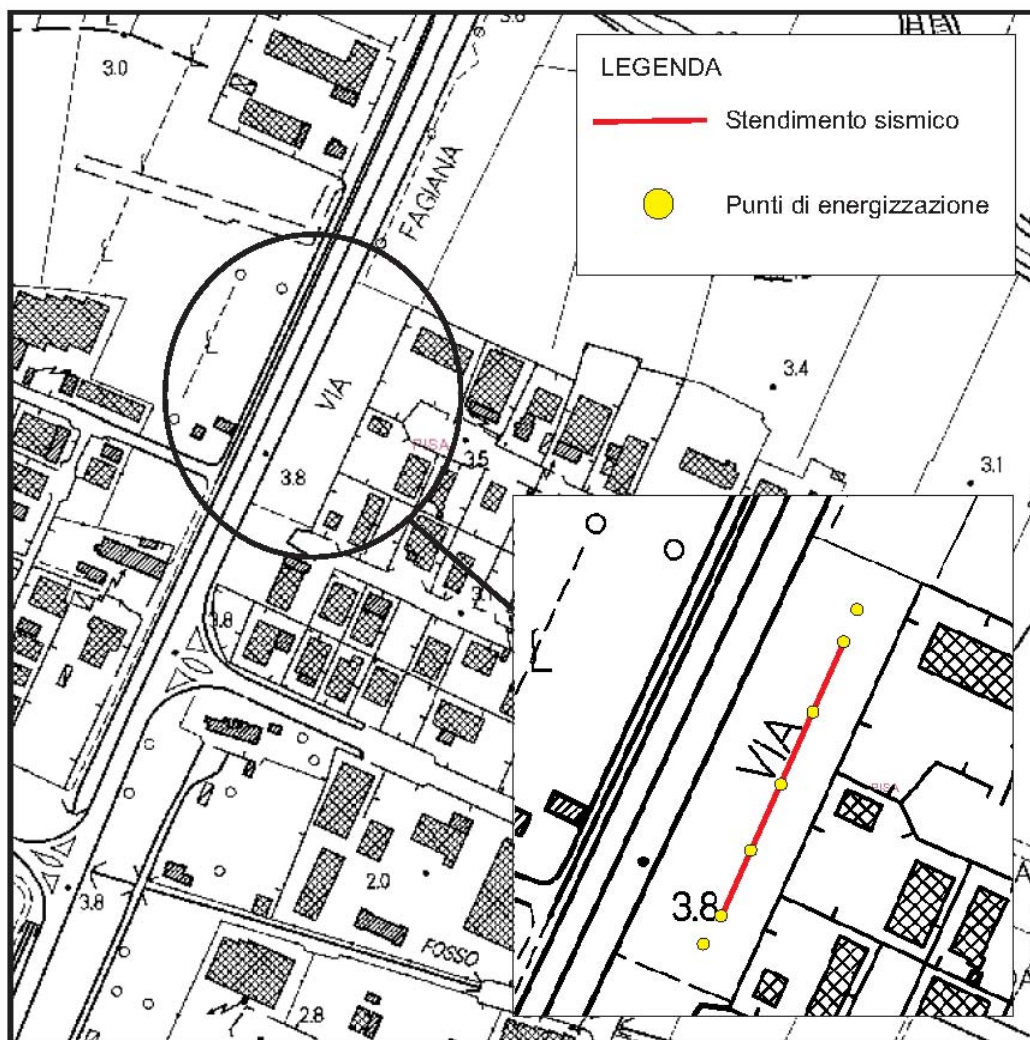


1. PREMESSA

Su incarico di _____, è stata eseguita un'indagine geofisica, su di un terreno all'interno del quale verrà realizzato l'intervento, sito in Comune di Pisa.



3. INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE

Il metodo sismico a rifrazione si basa sul concetto della bi-rifrazione delle onde elastiche a seguito del fronte d'onda conico. Data una sorgente di onde elastiche e uno stendimento di geofoni lungo un profilo giungeranno in superficie ai geofoni onde dirette, onde riflesse e onde coniche o birifratte (head wave). Le onde analizzate sono quelle birifratte, ovvero quelle che giungono sulla superficie di separazione con angolo di incidenza critico (secondo la legge di Snell) e che quindi, vengono rifratte con un angolo di 90° propagandosi parallelamente alla superficie rifrangente e venendo nuovamente rifratte verso la superficie con lo stesso angolo di incidenza.

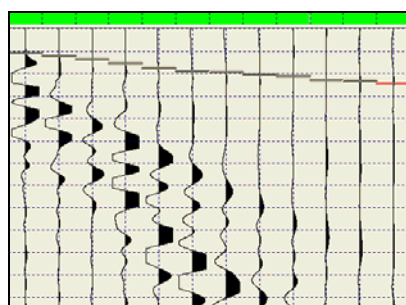
I contrasti di proprietà possono essere legati a cause stratigrafiche, strutturali o idrogeologiche. La profondità totale di indagine è legata alla lunghezza dello stendimento di ricevitori.

L'interpretazione e stima del profilo di velocità delle onde P è articolata nelle seguenti fasi:

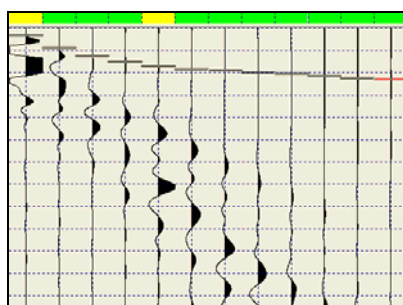
- Individuazione dei primi arrivi attraverso l'osservazione dei sismogrammi e l'operazione di picking;
- Ricostruzione delle domocrome;
- Linearizzazione delle domocrome e calcolo della velocità di propagazione delle onde elastiche analizzate e dei relativi tempi di intercetta;
- Ricostruzione del modello di sottosuolo.

Per le analisi interpretative è stato utilizzato il software InterSism 2.1 geo&soft International.

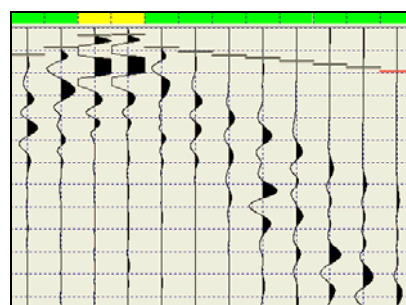
L'indagine è stata eseguita mediante uno stendimento in direzione nord-sud di lunghezza pari a 36 m lungo il quale sono stati collegati 12 geofoni con distanza intergeofonica di 3.0 m. La configurazione scelta per il sito in oggetto è a 7 shots: 2 shots posti rispettivamente a -1.5 e -3.0 m dal primo geofono, 2 shots posti rispettivamente a +1.5 e +3.0 m dall'ultimo geofono, 1 shots intermedio fra il 3° e il 4° geofono, 1 shots intermedio fra il 6° e il 7° geofono, 1 shots intermedio fra il 9° e il 10° geofono.



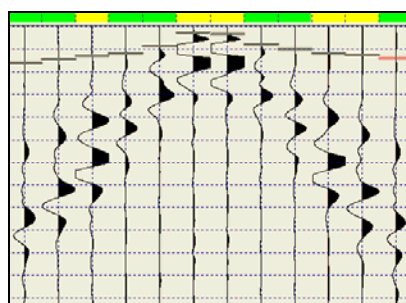
Shot n.1



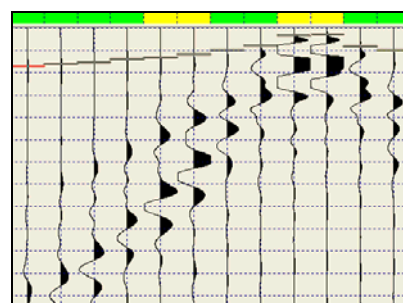
Shot n.2



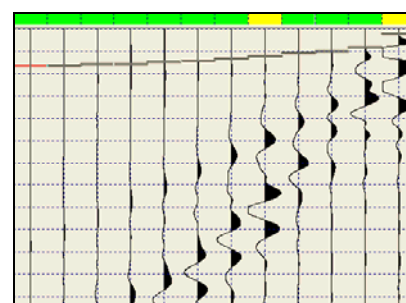
Shot n.3



Shot n.4



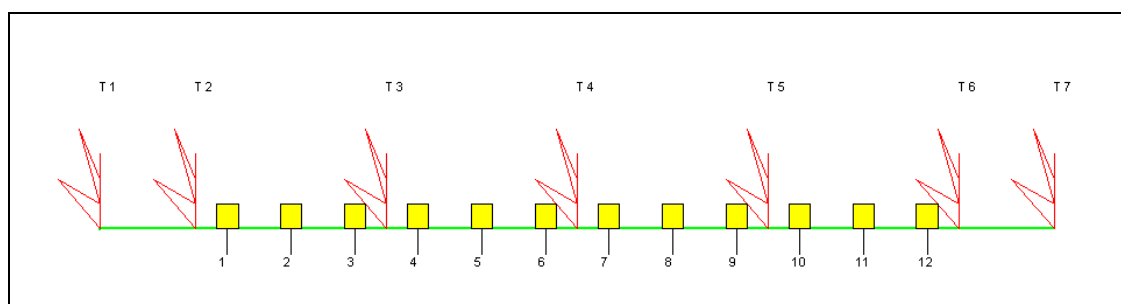
Shot n.5

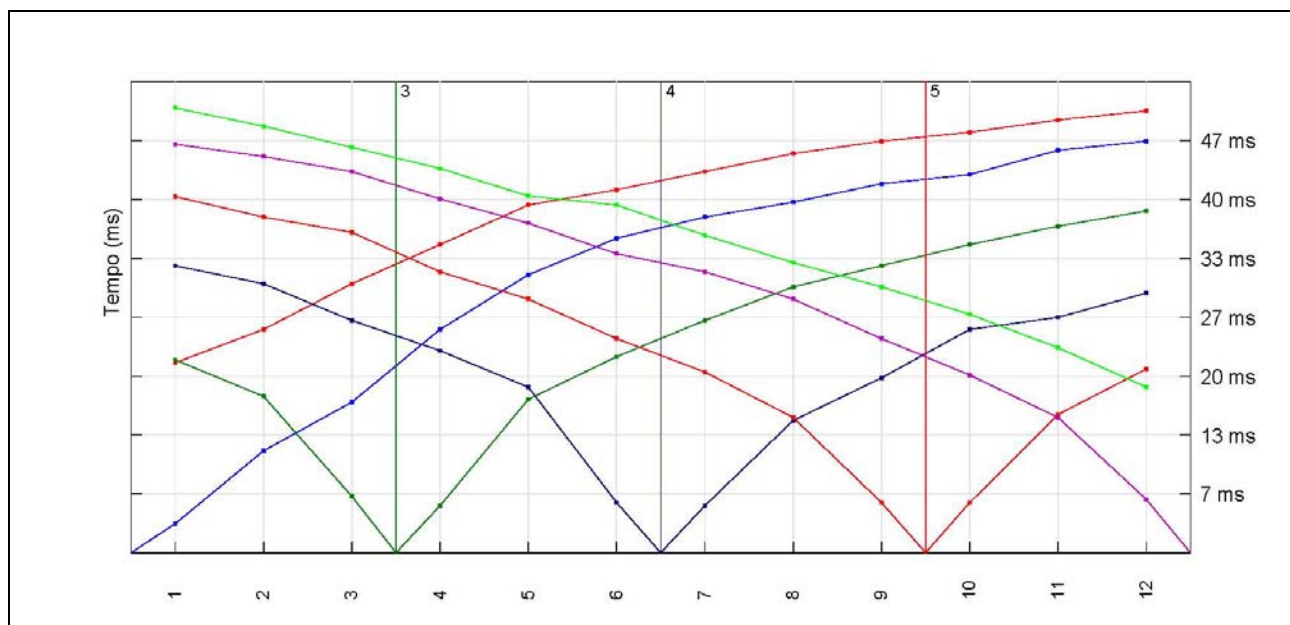


Shot n.6

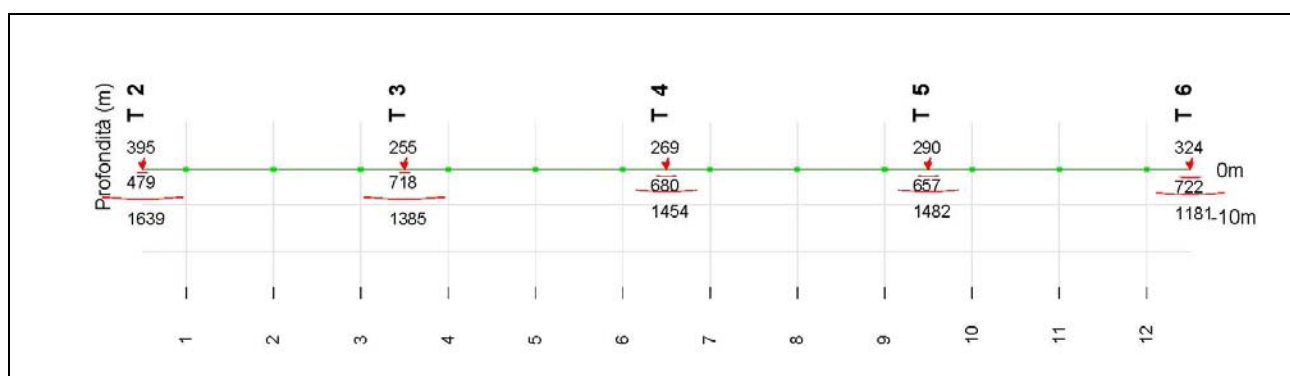


Shot n.7





Ricostruzione domocrome



Sezione sismica

4. INDAGINE MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva, che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali (onde di Rayleigh) fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il metodo di indagine MASW si distingue in attivo e passivo o in una combinazione di entrambi. Nel metodo attivo le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori, mentre nel metodo passivo lo stendimento di sensori può essere sia lineare che circolare e si misura il rumore ambientale di fondo esistente.

Per la classificazione sismica dei suoli, secondo normativa, viene utilizzato il metodo attivo, in quanto consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenza tra 70 e 100 Hz quindi fornisce il profilo di velocità della parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30-50 m di profondità.

La metodologia utilizzata consiste nelle seguenti fasi:

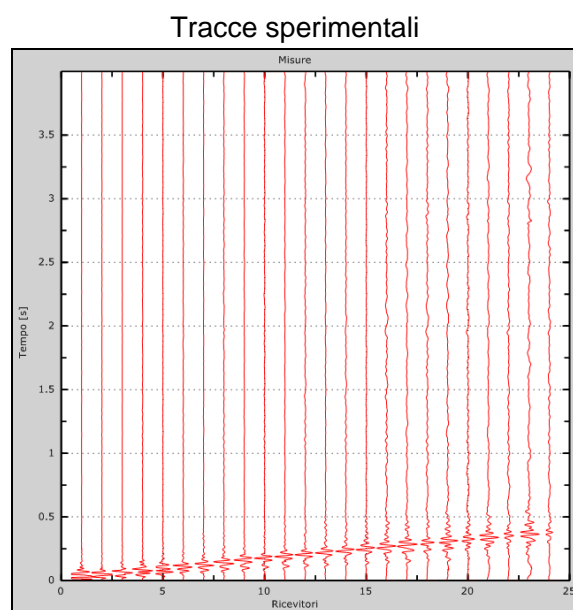
- Calcolo della curva di dispersione sperimentale;
- Calcolo della curva di dispersione apparente numerica con il metodo di Roma (2001);
- Calcolo della curva di dispersione effettiva numerica mediante il metodo di Lai-Rix (1998);
- Individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_{sv} , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio e di compressione (o in alternativa il coefficiente di Poisson), la densità di massa degli strati, fino al raggiungimento di una sovrapposizione ottimale della curva di dispersione sperimentale e quella numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

L'elaborazione è stata sviluppata con il software MASW.

L'indagine è stata eseguita mediante uno stendimento di lunghezza di 36 m lungo il quale sono stati collegati 12+12 geofoni da 4.5 Hz, con distanza intergeofonica di 1.5 m. Sono stati utilizzati due punti di energizzazione posti rispettivamente a -1.5 m e -3.0 m dai geofoni esterni.

Dati sperimentali

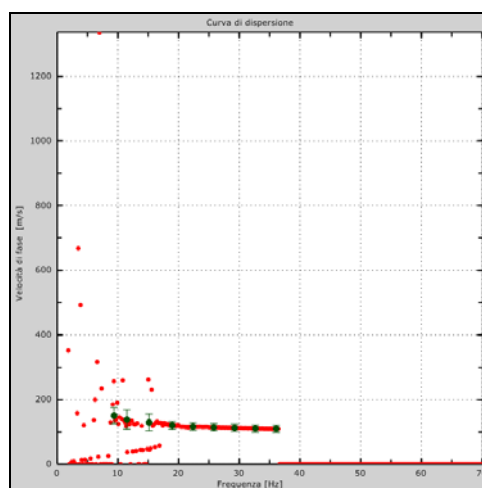
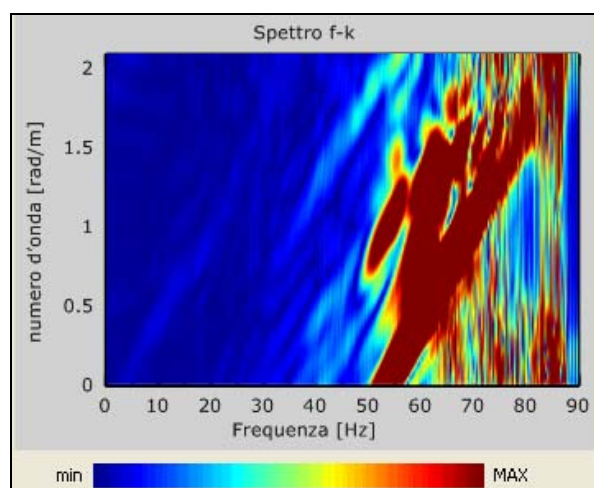
Numero di ricevitori	24
Numero di campioni temporali	12000
Passo temporale di acquisizione	0.333333ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi	24



Risultati delle analisi

Frequenza finale	70Hz
Frequenza iniziale	2Hz

Curva dello spettro f-k e curva di dispersione



Profilo in sito

Spaziatura ricevitori [m]	1.5m
Numero ricevitori	12
Massimo errore [%]	5.00e-002

Strato 1

h [m]	2.8
z [m]	-2.8
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson	0.48
Vs [m/s]	112
Vp [m/s]	571
Vs min [m/s]	61
Vs max [m/s]	168
Vs fin.[m/s]	112

Strato 2

h [m]	4.5
z [m]	-7.3
Densità [kg/m ³]	1800
Poisson	0.48
Vs [m/s]	143
Vp [m/s]	732
Vs min [m/s]	71
Vs max [m/s]	287
Vs fin.[m/s]	143

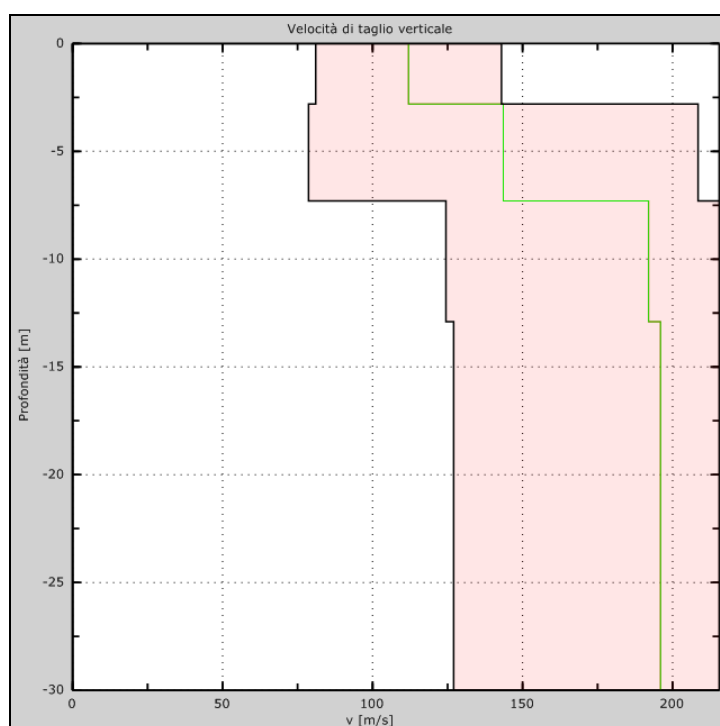
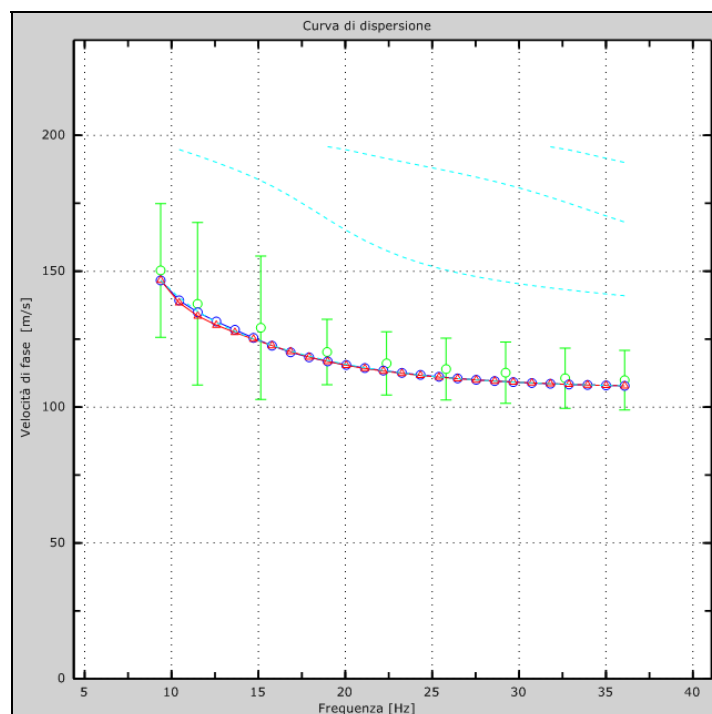
Strato 3

h [m]	5.6
z [m]	-12.9
Densità [kg/m ³]	1850
Poisson	0.48
Vs [m/s]	192
Vp [m/s]	979
Vs min [m/s]	83
Vs max [m/s]	288
Vs fin.[m/s]	192

Strato 4

h [m]	0
z [m]	-00
Densità [kg/m ³]	1900
Poisson	0.35
Vs [m/s]	196
Vp [m/s]	920
Vs min [m/s]	83
Vs max [m/s]	294
Vs fin.[m/s]	196

Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano),
curva apparente (blu), curva numerica (rosso)



bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

S2 – Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, non classificabile nei tipi precedenti.

Il valore delle V_{s30} , velocità media di propagazione delle onde di taglio entro i 30 metri di profondità, è calcolata con la seguente relazione:

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

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori.

Nel caso specifico, il valore calcolato di $V_{s30} = 173 \text{ m/s}$ risulta compatibile con la **categoria di suolo D**, che individua profili stratigrafici di terreni costituiti da *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di 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.*

Spessori m	Vs m/s	Vp m/s	γ t/m ³	G t/m ²	Vp/Vs	ν	Ed t/m ²	R m/s*t/m ³	F Hz	T s
2.8	112	571	1.8	2302	5.10	0.48	6813	202	78	0.10
4.5	143	732	1.8	3752	5.12	0.48	11106	257	161	0.13
5.6	192	979	1.85	6952	5.10	0.48	20578	355	269	0.12
17.1	196	920	1.9	7440	4.69	0.35	20089	372	838	0.35

G = Modulo di Taglio (t/m²)

Ed = Modulo di Yong (t/m²)

ν = Coefficiente di Poisson

R = Rigidità sismica (m/s*t/m³)

F = Frequenza fondamentale dello strato (Hz)

T = Periodo fondamentale dello strato (s)

Pistoia, 30/04/2010