
PROSPEZIONE GEOFISICA M.A.S.W. ESEGUITA A SUPPORTO DELLO STUDIO GEOLOGICO-TECNICO PER LA COSTRUZIONE DI UN EDIFICIO PER CIVILE ABITAZIONE

INDICE	pag.
1. INTRODUZIONE	1-2
2. PROVA SISMICA MULTICANALE MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)	2-3
<i>Premessa</i>	2-3
<i>Strumentazione e configurazione geometrica utilizzata</i>	2-3
<i>Elaborazione dati</i>	2-4
3. RISULTATI	3-5
4. DEFINIZIONE SUOLO TIPO	4-7
5. CONCLUSIONI	5-9

1. INTRODUZIONE

La prova geofisica oggetto del presente rapporto è stata eseguita per conto della Ditta ***** ed ha riguardato la valutazione della velocità di propagazione delle onde sismiche longitudinali e trasversali dei terreni interessati dal progetto di “Costruzione di un edificio per civile abitazione sito *****)”. Ciò al fine della definizione della V_{S30} secondo quanto previsto dall’OPCM 3274 e il DM 19.09.2005.

Per il caso oggetto di studio è stata realizzata una prova sismica attiva del tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), la quale si sulla misurazione e sull’analisi delle onde di Rayleigh in un semispazio stratificato.

2. PROVA SISMICA MULTICANALE MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Premessa

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che si trasmettono 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, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione, cioè sono onde la cui velocità dipende dalla frequenza.

Strumentazione e configurazione geometrica utilizzata

La strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo multicanale M.A.E. A6000S, avente le seguenti caratteristiche tecniche :

- capacità di campionamento dei segnali tra 0.002 e 0.00005 sec;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del “tempo zero” (time break)
- filtri High Pass e Band Reject
- “Automatic Gain Control”
- convertitore A/D a 24 bit
- 24 geofoni verticali (P) con periodo proprio di 4.5 Hz;
- massa battente pesante di 10 Kg.

La configurazione spaziale in sito è equivalente ad un dispositivo geometrico punto di scoppio-geofoni "base distante in linea". In particolare è stato utilizzato il seguente set-up:

- 24 geofoni con interspazio (G_x) di 1.0 metri;
- n. 3 energizzazioni ad offset (S_x) 5 m - 10 m , 15 m;
- passo di campionatura pari a 1000 Hz;
- lunghezza delle tracce sismiche pari a 4.096 sec.

Tale configurazione ha consentito di mitigare gli effetti near-field dovuti alle onde di volume ed ha altresì consentito di avere le seguenti risoluzioni spazio-temporali: lungo i numeri d'onda k la risoluzione è di 0.261, mentre la risoluzione in frequenza è pari a 0.488 Hz.

Elaborazione dati

L'analisi MASW può essere ricondotta in quattro fasi :

- la prima fase prevede la trasformazione delle serie temporali (fig. 1) nel dominio frequenza f – numero d'onda K ;

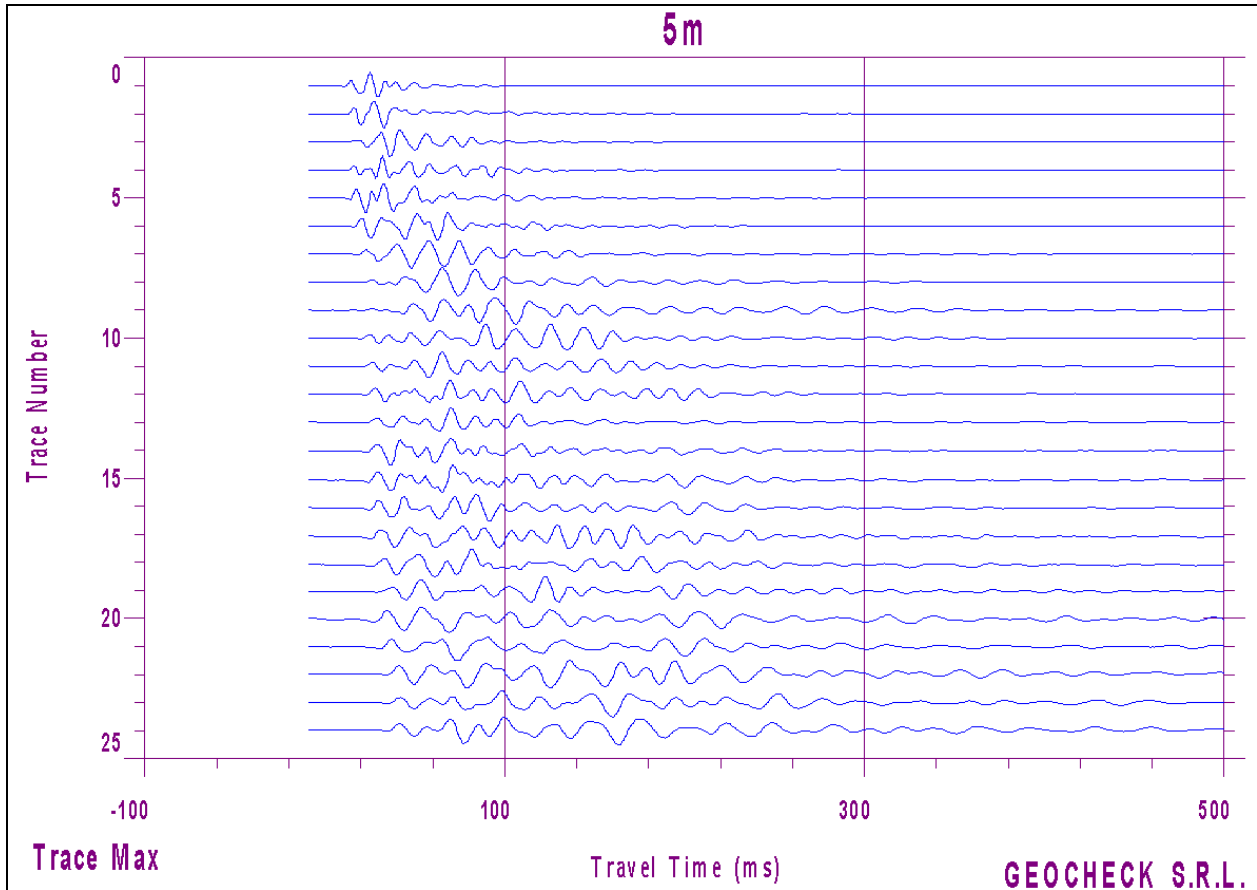


Fig. 1 – Sismogrammi ottenuti per sommatoria di n. 5 energizzazioni -.

- la seconda fase consiste nella individuazione delle coppie f - k cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (densità spettrale) consentono di risalire alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel piano V_{fase} (m/sec) – frequenza (**lentezza** (s/m) – **frequenza** (Hz) (fig.2).
- la terza fase consiste nel calcolo della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p , la densità di massa ρ degli strati che costituiscono il modello del suolo (fig. 3);
- la quarta ed ultima fase consiste nella modifica della curva teorica fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo (fig. 4)

3. RISULTATI¹

La velocità di fase risulta dispersa nel piano velocità (sec/m)-frequenza (Hz) in un intervallo di frequenza compreso tra 15 Hz e 35 Hz. La corrispondente velocità di fase apparente è compresa, rispettivamente, tra 790 m/sec e 350 m/sec (Fig.2).

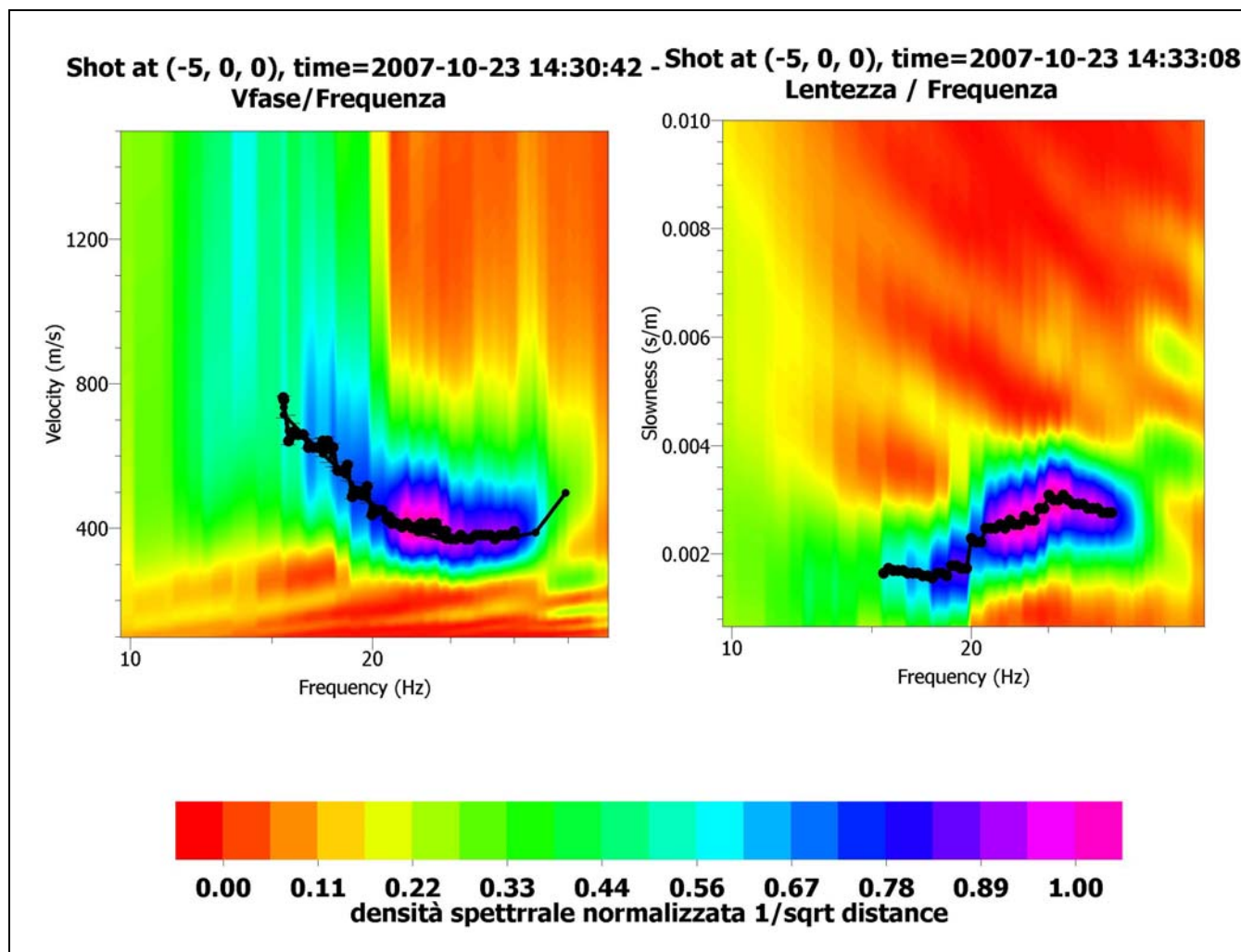


Fig. 2 – Densità spettrale normalizzata nei piani Velocità di fase apparente /frequenza e Lentezza/frequenza

La curva di dispersione teorica calcolata attraverso l'*inversione* del modello di velocità di Fig.3 (valori in tab.1) evidenzia un buon accordo (99.9 %) con la curva di dispersione sperimentale.

¹ I valori massimi di energia scaturiti dall'analisi FK sono identificati dalle colorazioni blu e viola.
Report_MASW.doc Adrano_CT

MODELLO DI VELOCITA' FINALE

	Spessore (m)	VP(Km/sec)	VS(Km/sec)
	1.0	0.2624	0.1312
	3.0	1.1673	0.5448
	4.0	0.7436	0.3346
	5.0	2.0498	0.9738
	4.0	1.3181	0.5931
	semispazio	2.251	1.069

Dispersion fit (vel)		std err :	0.0118 (km/s)
Dispersion fit (vel)		mean residual :	-0.0002 (km/s)
Dispersion fit (vel)		avg residual :	0.0090 (km/s)
Percent of Signal Power Fit (Disp)			99.94238% for 62 SW Obs
ready			
6			
RMS change in S-wave velocity model			0.0003 km/sec
ITERATION 20 done: UPDATING V			

TAB.1 – Parametri di inversione e di fit tra la curva teorica e quella sperimentale

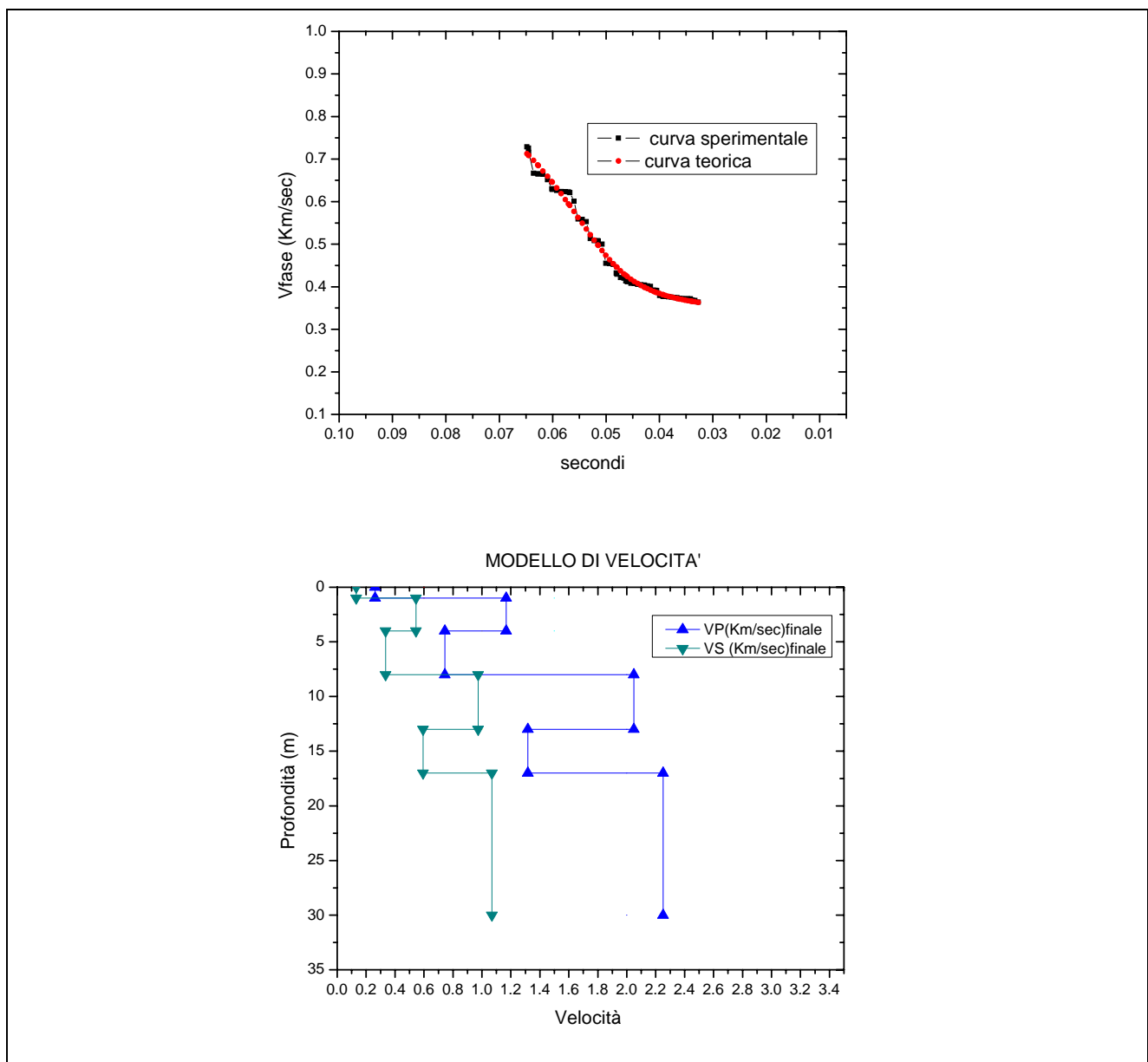


Fig. 3 – Curva di dispersione teorica calcolata attraverso il modello di velocità teorico del sottosuolo.

4. DEFINIZIONE SUOLO TIPO

La nuova normativa sismica italiana OPCM, così come il nuovo DM 15/09/2005 “Testo Unico sulle Costruzioni” definiscono l’azione sismica di progetto, in assenza di analisi specifiche, sulla base della zona sismica di appartenenza del sito e la categoria sismica di suolo su cui sarà realizzata l’opera. La norma suddivide il territorio nazionale fino in 4 zone sismiche, contraddistinte dal valore a_g dell’accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all’accelerazione di gravità. I valori convenzionali di a_g assegnati nelle 4 zone sismiche fanno riferimento all’accelerazione di picco in superficie per suolo di tipo A, cioè roccia affiorante o suolo omogeneo molto rigido (vedi **tabella 2.**), per il quale il moto sismico al bedrock non subisce variazioni sostanziali.

Suolo	Descrizione geotecnica	V_{s30} (m/s)
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s30} > 800$ m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5m	> 800
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s	360÷800 ($N_{spt} > 50$) ($C_u > 250$ kPa)
C	Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s	180÷360 ($15 < N_{spt} < 50$) ($70 < C_u < 250$ kPa)
D	Depositi di granulari da sciolti a poco addensati o coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 180$ m/s	< 180 ($N_{spt} < 15$) ($C_u < 70$ kPa)
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di V_s simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 m e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_s > 800$ m/s	
S1	Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ($IP > 40$) e contenuto d’acqua, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/s	< 100 ($10 < C_u < 20$ kPa)
S2	Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti	

Tabella 1 - “Range” V_{s30} da normativa 3274/2003.

In presenza di suoli di tipo B, C, D, E, S1, S2 il moto sismico in superficie in genere risulta modificato rispetto al moto sismico al bedrock, in funzione dell’intensità e del contenuto in

Report_MASW.doc Adrano_CT

frequenza dell'input sismico e delle caratteristiche geotecniche sismiche e dello spessore del suolo attraversato dalle onde sismiche per giungere in superficie.

In assenza di una specifica analisi di amplificazione sismica locale per il suolo in esame, per valutare l'accelerazione sismica spettrale in presenza di suoli di tipo B, C, D E la normativa introduce un fattore di amplificazione S e i periodi T che definiscono lo spettro di risposta di un oscillatore semplice con smorzamento pari al 5%. In presenza di suoli speciali di tipo S1 e S2 la normativa impone uno studio specifico per determinare gli effetti di amplificazione sismica locale. La classificazione del suolo è convenzionalmente eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30m di profondità:

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

dove

V_i e h_i sono la velocità delle onde di taglio verticali e lo spessore dello strato i-esimo.

Per il caso in esame, utilizzando i valori del modello di velocità relativo alle onde di taglio ed estendendo il semispazio fino alla profondità di 30 metri, risulta che il suolo è di **tipo B**

CALCOLO DI V_{s30} E DEFINIZIONE DEI SUOLI TIPO				
Sismostrato	SPESSORI (h)	V_s (m/s)	h/V_s	V_{s30}
1	1.0	131.2	0.0076	599.39
2	3.0	544.8	0.0055	
3	4.0	334.6	0.0120	
4	5.0	973.8	0.0051	
5	4.0	593.1	0.0067	
semispazio	14.0	1069.6	0.0131	
	Suolo tipo A	$V_{s30} > 800$ m/s		
	Suolo tipo B	360 m/s < V_{s30} < 800 m/s		
	Suolo tipo C	180 m/s < V_{s30} < 360 m/s		
	Suolo tipo D	$V_{s30} < 180$ m/s		
	Suolo tipo E	$V_s < 360$ m/s spess. 5 - 20 m giacenti su di un substrato $V_s > 800$ m/sec		

5. CONCLUSIONI

Il presente lavoro ha avuto come scopo quello della definizione della velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio per la definizione del suolo tipo secondo l'ordinanza **3274/2003**.

I principali risultati possono così essere sintetizzati:

- La curva di dispersione risulta dispersa nel piano Velocità/frequenza tra 14 e 35 Hz con velocità di fase apparenti comprese tra 790 m/sec e 350 m/sec;
- Il modello di velocità del sottosuolo è riconducibile a cinque sismostrati sovrastanti un semispazio, aventi i seguenti valori di velocità e di spessore:

Profondità dal p.c (m)	Spessore (m)	VP (Km/sec)	VS (Km/sec)
1	1.0	0.2624	0.1312
4	3.0	1.1673	0.5448
8	4.0	0.7436	0.3346
13	5.0	2.0498	0.9738
17	4.0	1.3181	0.5931
	semispazio	2.251	1.069

- Il valore VS30 è di 599.39 m/sec \Rightarrow suolo B.