



# REGIONE SICILIA



**COMMITTENTE:  
LIBERO CORSORZIO COMUNALE DI ENNA**

Studio di fattibilità ai sensi del D. Lgs. 50/2016 e ss. mm.  
ii. relativo all'adeguamento sismico dell' I.T.C.G. di Nicosia



## STUDIO DI FATTIBILITA'

### PROGETTISTI

Dott. Ing. Sergio Berti  
Dott. Ing. Roberto Rampagni

### COLLABORATORI

Dott. Ing. Alessia Tiranti  
Dott. Ing. Chiara Brustenga  
Dott. Ing. Michele Frustagatti  
Dott. Eleonora Grappasonni

## RELAZIONE GEOFISICA

### Progettista e DL

Dott. Ing. Sergio Berti

### Responsabile del procedimento

Arch. Rosalba Felice

Commessa  
1814

Prestazione  
sf

Elaborato  
css

Data  
180626

A TERMINE DI LEGGE SI RISERVA LA PROPRIETA' DI QUESTA RELAZIONE CON DIVIETO DI RIPRODURLA O RENDERLA COMUNQUE NOTA SENZA AUTORIZZAZIONE SCRITTA

Rev.	Descrizione	File	Data	Redatto	Verificato	Approvato
A	Prima emissione	1814_SF_ST_T1_g_A_180626.doc	26/06/2018	Ing. C. Brustenga	Ing. A. Tiranti	Ing.S.Berti
B						
C						
D						



TEKNOS s.r.l.

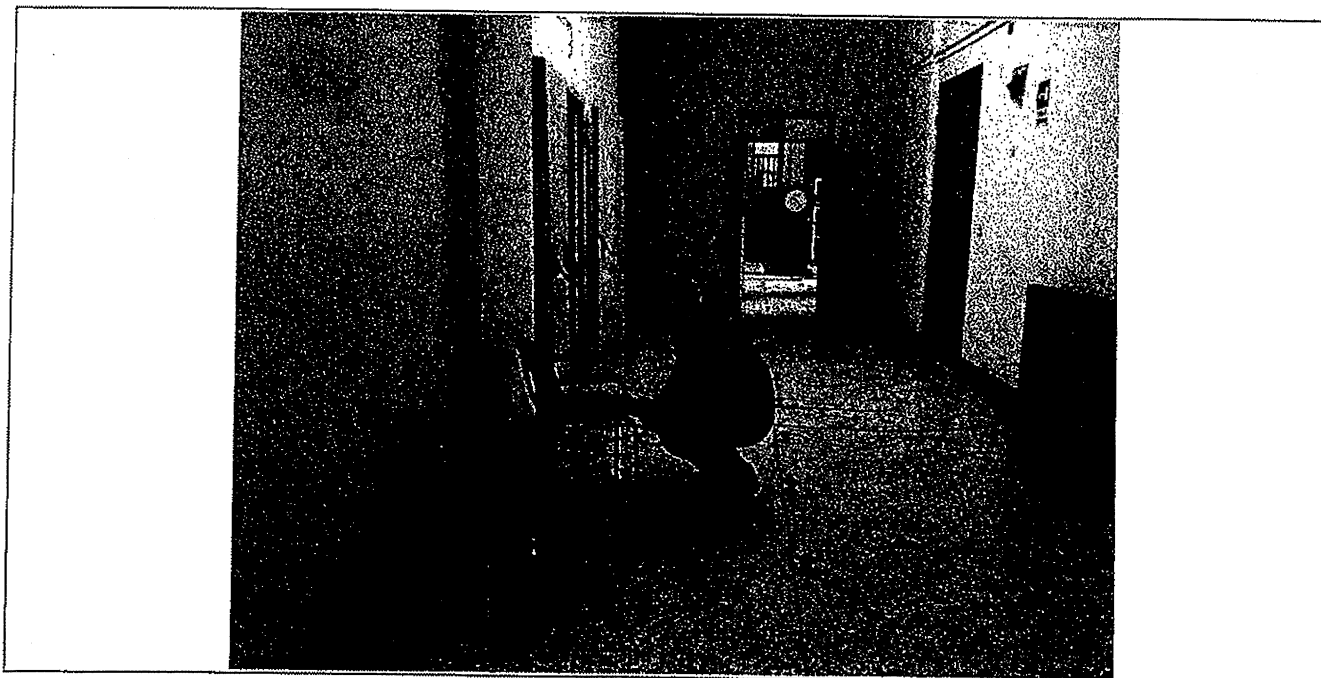
Uffici e Sede Legale: Via XX Settembre, 116 - 06124 Perugia  
Tel.075 5011815 – Fax 075 5053672 - E-mail: tekнос@tekнос.perugia.it - tekнос@pec.tekнос.perugia.it

# Teknos S.r.l.

Via XX Settembre n. 116  
06124 Perugia

Verifiche tecniche dei livelli di sicurezza sismica, ai sensi dell'O.P.C.M. n.3274/2003 e ss.mm.ii., relative all'edificio rilevante ai fini di protezione civile in conseguenza di eventuale collasso, denominato "ISTITUTO TECNICO COMMERCIALE E PER GEOMETRI DI NICOSIA", adibito a scuola, ubicato in viale Vittorio Veneto n. 59 Comune di Enna, di proprietà della Provincia Regionale di Enna.

## PROVE SISMICHE DI SUPERFICIE (MASW)



## RAPPORTO TECNICO DI PROVA

REV.	DESCRIZIONE - DESCRIPTION	REDATTO PREP'D	CONTR. CHK'D	APPR. APPR'D	COMM-JOB:
0	Rapporto di prova	Dott. Salvatore Caruso	Ing. Salvatore Ogliaro	Dott. Stefano Vinci	RDP n° 344/CT12 COMMESSA: IG 400

**L&R Laboratori e Ricerche S.r.l.**  
Capitale Sociale € 10.000  
Codice Fiscale, RIVA e Iscrizione al Reg.  
delle Imprese di Catania n. 04053900876  
Iscritta al R.E.A. 270647

**Uffici e sede legale**  
via Novatiuce, 65/67 (1ª traversa privata)  
95030 Tremestieri Etneo (CT)  
info@lr-srl.it

Laboratorio Aut. L. 1088/71  
Zona Industriale, Capannone n.5  
94010 Catenanuova (EN)  
laboratorio@lr-srl.it



**Teknos s.r.l.**  
 Via XX Settembre n. 116  
 06124 Perugia

Verifiche tecniche dei livelli di sicurezza sismica, ai sensi dell'O.P.C.M. n.3274/2003 e ss.mm.ii., relative all'edificio rilevante ai fini di protezione civile in conseguenza di eventuale collasso, denominato "ISTITUTO TECNICO COMMERCIALE E PER GEOMETRI DI NICOSIA", adibito a scuola, ubicato in viale Vittorio Veneto n. 59 Comune di Enna, di proprietà della Provincia Regionale di Enna.

**PROVE SISMICHE DI SUPERFICIE (MASW)**



**RAPPORTO TECNICO DI PROVA**

REV.	DESCRIZIONE - DESCRIPTION	REDATTO PREP'D	CONTR. CHK'D	APPR. APPR'D	COMM.-JOB:
0	Rapporto di prova	Dott. Salvatore Caruso	Ing. Salvatore Ognibene	Dott. Stefano Vinci	RDP n° 344/CT12 COMMESSA: IG 400

**Teknos s.r.l.**  
*Via XX Settembre n. 116*  
*06124 Perugia*

**Verifiche tecniche dei livelli di sicurezza sismica, ai sensi dell'O.P.C.M. n.3274/2003 e ss.mm.ii., relative all'edificio rilevante ai fini di protezione civile in conseguenza di eventuale collasso, denominato "ISTITUTO TECNICO COMMERCIALE E PER GEOMETRI DI NICOSIA", adibito a scuola, ubicato in viale Vittorio Veneto n. 59 Comune di Enna, di proprietà della Provincia Regionale di Enna.**

**PROVE SISMICHE DI SUPERFICIE**

INDICE	pag.
INTRODUZIONE	3
1. GENERALITÀ SULLA PROVA	3
2. APPARECCHIATURA DI PROVA	5
3. MODALITÀ ESECUTIVE	5
4. POST-ELABORAZIONE	6
5. RISULTATI DELLA PROVA	8
6. CONCLUSIONI	9
7. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	10

## INTRODUZIONE

Le prove di cui il presente rapporto, commissionate dalla Teknos S.r.l., sono state eseguite nell'ambito delle verifiche tecniche dei livelli di sicurezza sismica, ai sensi dell'O.P.C.M. n.3274/2003 e ss.mm.ii., relative all'edificio rilevante ai fini di protezione civile in conseguenza di eventuale collasso, denominato "ISTITUTO TECNICO COMMERCIALE E PER GEOMETRI DI NICOSIA", adibito a scuola, ubicato in viale Vittorio Veneto n. 59 Comune di Enna, di proprietà della Provincia Regionale di Enna.

### 1. GENERALITÀ SULLA PROVA

L'O.P.C.M. 3274 e norme successive sino al più recente D.M. 14/01/2008, hanno definito la nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica dove, oltre alle nuove metodologie di calcolo ingegneristico, è stata introdotta la classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto sulla base del parametro  $V_{s30}$ . Questo rappresenta la velocità equivalente di propagazione delle onde S ed è calcolato mediante la seguente espressione:

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

dove  $h_i$  e  $V_{s_i}$  indicano rispettivamente lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei primi 30 metri di sottosuolo.

Il  $V_{s30}$ , così calcolato, consente la determinazione del "tipo di sotto-suolo" secondo le prescrizioni di cui alle tabelle 3.2.II e 3.2.III del succitato D.M. 14/01/2008, riproposte nel seguente prospetto:

**Tabella 3.2.II del D.M. 14/01/2008**

CATEGORIA	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 mt.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 m, 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 (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $cu_{30} > 250$ Kpa nei terreni a grana fine)

C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{30} < 250$ Kpa nei terreni a grana fine)
D	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 $V_{s30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{30} < 250$ Kpa nei terreni a grana fine)
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s)

**Tabella 3.2.III del D.M. 14/01/2008**

CATEGORIA	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < cu_{30} < 20$ Kpa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

A tal fine, l'indagine MASW (Multichannel analysis of surface waves), eseguita mediante sismica di superficie con l'impiego di geofoni verticali, consente la determinazione del parametro di riferimento  $V_{s30}$  che, a sua volta, consente la definizione del tipo di sottosuolo secondo le suddette tabelle.

In questo caso, il profilo verticale delle  $V_s$  è ricavato per inversione diretta della curva di dispersione delle onde di Rayleigh (Dorman e Ewing, 1962).

In particolare, un'analisi spettrale specifica (overtone analysis) produce un grafico velocità di fase – frequenza – energia (quadrato di ampiezze), in cui si può distinguere il modo fondamentale delle onde di superficie attraverso il piccaggio dei massimi energetici. Tale procedura consente la determinazione della curva di dispersione sperimentale ed il profilo 1D delle  $V_s$  per successiva inversione.

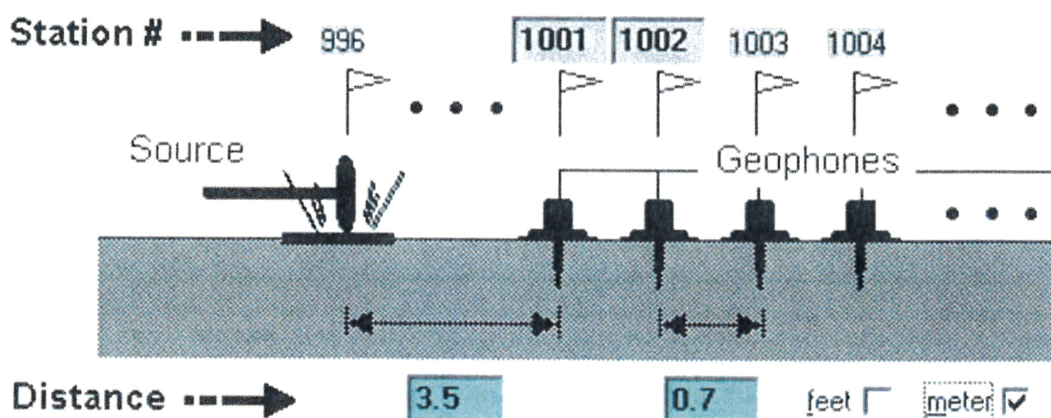
## 2. APPARECCHIATURA DI PROVA

Per l'esecuzione dei sondaggi sismici è stato utilizzato il sismografo DAQ Link III (della Seismic Source, made in USA), con seriale numero 1029, a 24 canali e cumulabilità di impulsi, dotato per ogni canale di:

- selettori di frequenza nel campo 0-10000 Hz;
- amplificatore DIFP a 144 db (118 db misurati a 2 msec);
- A/D converter a 24 bit;
- porta di rete per trasferimento dati OUTPUT;
- porta per gestione integrata GPS;
- intervallo di campionamento da 0,0208 a 16 millisecondi;
- frequenza di campionamento da 48000 a 62,5 campioni al secondo.
- N. 24 geofoni verticali da 4,5 hz OYO;
- N. 1 piastra con mazza da 6 Kg a contatto elettrico;
- Accessori vari (cavi, connettori, ecc.)

## 3. MODALITÀ ESECUTIVE

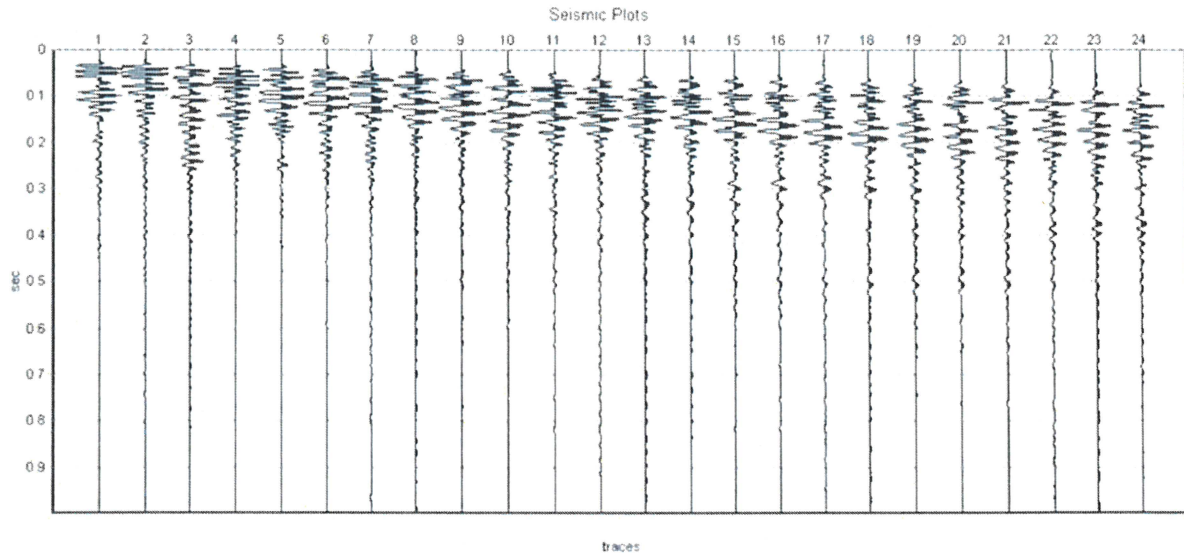
Le acquisizioni sono state effettuate utilizzando array lineari con distanza intergeofonica di 0,7 m composto da 24 geofoni. La sorgente è stata collocata ad una distanza di 2.1, 3.5 e 4.9 metri dal primo geofono, esternamente all'array (vedi schema seguente).



**MASW – Configurazione da campo con il tiro a 3.5 mt dal primo geofono**

Il tempo di campionamento utilizzato è di 0,5 millisecondi (ovvero la frequenza di campionamento è stata di 2000 Hz), con durata di acquisizione pari ad un secondo. I dati relativi all'acquisizione MASW sono stati salvati in formato SEG-2 per le successive fasi di elaborazione.

Si riporta di seguito la registrazione, eseguita con offset di 6,3 mt, che ben evidenzia il treno d'onda Rayleigh, con buona e regolare emersione del segnale in rapporto al rumore ambientale abbastanza contenuto.



#### 4. POST-ELABORAZIONE

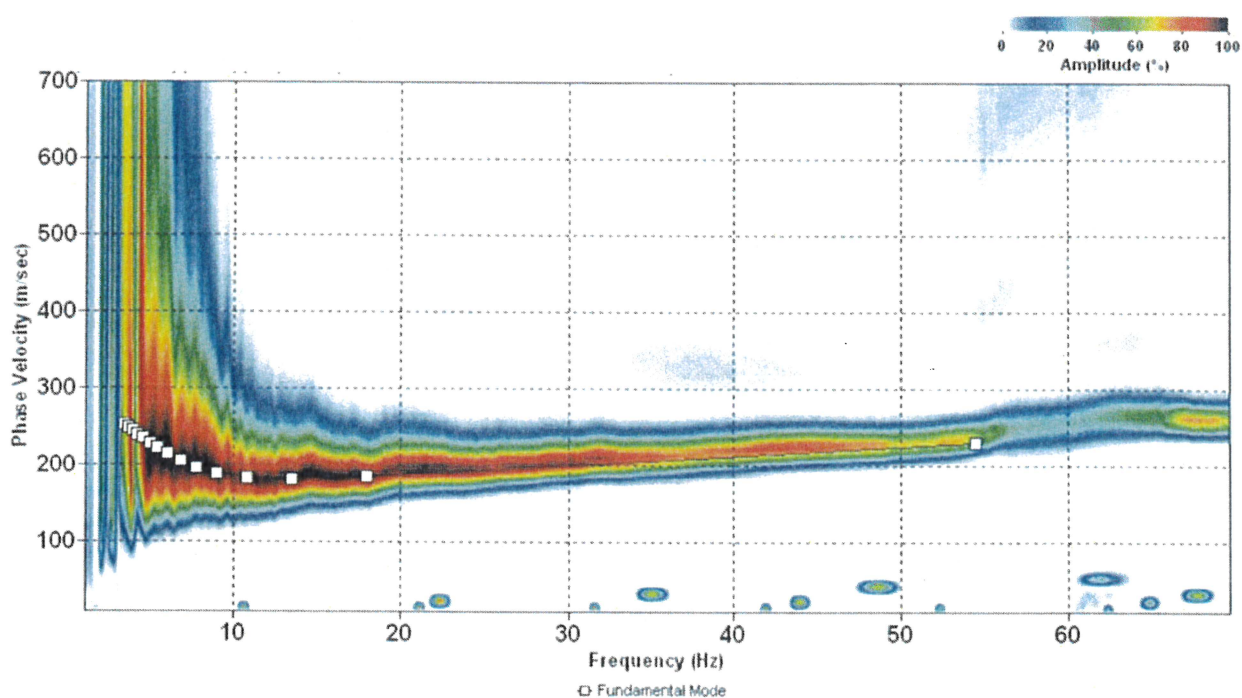
Per l'interpretazione dei dati sono state eseguite le procedure di post-elaborazione, come di seguito prospettato:

1. Collegamento dei file contenenti i dati da elaborare al progetto creato con procedure di esportazione in formato SEG2.
2. Fase di pre-processing con acquisizione delle tracce nel software di elaborazione e definizione dell'array.
3. Passaggio del sismogramma al dominio delle frequenze (analysis Overtone) e creazione di immagini costituite da spettri in potenza frequenza – velocità di fase (F-V).
4. Combinazione delle immagini migliori al fine di rafforzare i massimi energetici alle varie frequenze.
5. Estrazione della curva di dispersione sperimentale mediante interpretazione dell'immagine Overtone e piccaggio assistito dal software.
6. Fase di inversione, ovvero generazione di una curva di dispersione sintetica, associata al profilo verticale di velocità delle onde S, che meglio approssima la curva di dispersione sperimentale ricavata dalle immagini di cui ai punti 4 e 5.
7. Calcolo del  $V_{s30}$  dai risultati della superiore successione.



Per l'elaborazione del progetto MASW è stato utilizzato il software SurfSeis 3.06, della Kansas Geological Survey, in licenza con n. seriale 3A1833, che ha consentito l'esecuzione delle procedure specificate nei superiori punti.

Acquisito il sismogramma in formato SEG2, dopo i passaggi di conversione nei formati del software e definizione della geometria della stesa, viene riprodotta l'immagine overtone delle MASW eseguite. Le seguenti immagini mostrano la curva di dispersione estratta attraverso lo spettro F-V, realizzata con il tiro a 3,5 mt. I tiri a diversa distanza rispetto quella assegnata nei seguenti spettri, hanno fornito immagini OT ad alta dominanza di modi superiori che sono stati scartati per le successive fasi di elaborazione.



**MASW – Spettro FV con curva di dispersione sul modo fondamentale**

La suddetta figura mostra il modo fondamentale ben definito già nella fase iniziale, a frequenze maggiori di 4 Hz, sino al termine della finestra spettrale di interesse. I modi superiori non interferiscono né obliterano il modo fondamentale con le relative aree interessate dalle successive fasi di elaborazione.

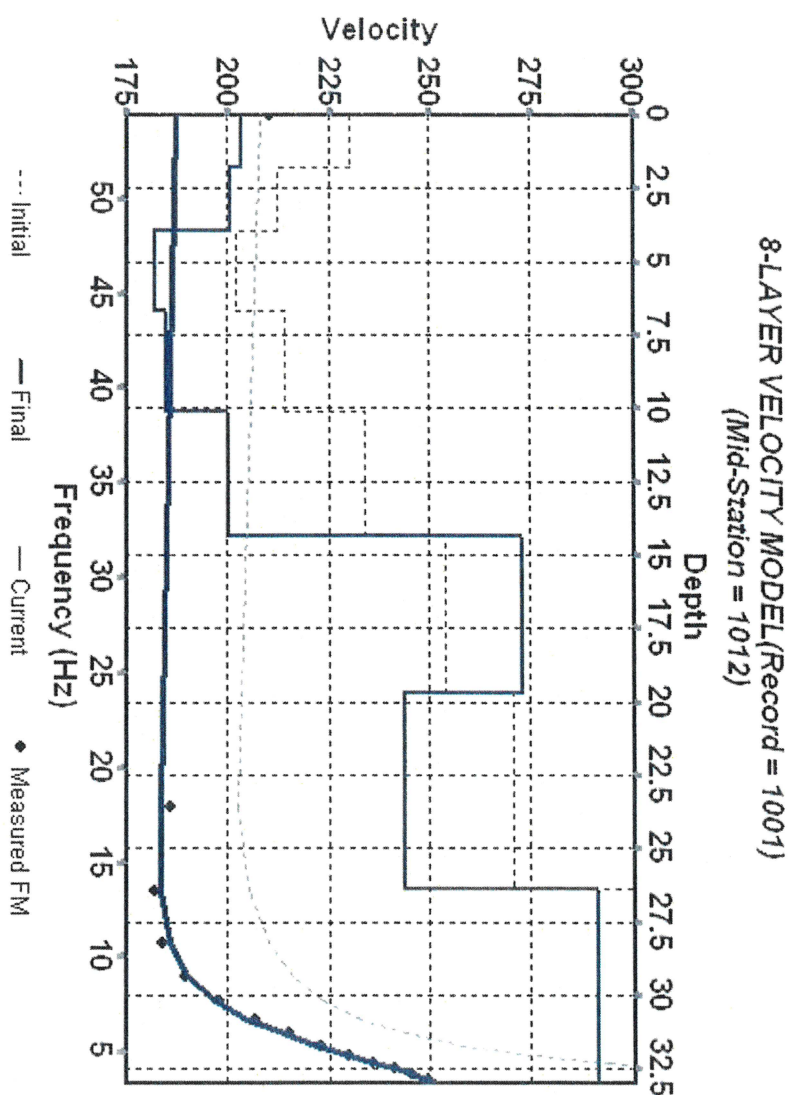
La stessa immagine spettrale F-V (frequenza – velocità di fase) riporta la ricostruzione della rispettiva curva di dispersione da assegnare alle successive fasi relative al processo di inversione sul modo fondamentale di vibrare.

## 5. RISULTATI DELLA PROVA

Il processo di inversione consiste nella generazione di una curva di dispersione sintetica (linea continua), associata al modello monodimensionale (1-D) del profilo verticale di velocità delle onde S (spezzata blu), che approssima la curva di dispersione sperimentale (tratto a punti) ricavata dalle elaborazioni spettrali suddette.

Il processo di inversione è stato avviato con un modello di velocità a 8 strati, al fine di ottimizzare il processo di fittaggio della curva sperimentale.

Il profilo verticale di velocità, nonché la curva di dispersione sintetica e sperimentale, sono rappresentati nei seguenti elaborati grafici.



MASW – Profilo verticale 1-D delle onde S

I valori numerici del grafico suddetto sono di seguito esposti:

<b>MASW</b>					
Strato	Profondità Letto (m)	Spessore (m)	V <sub>s</sub> (m/s)	H / V <sub>s</sub>	RMSE
1	1.75	1.75	202.9	0.008631	1.83
2	3.94	2.19	200.5	0.010919	1.76
3	6.68	2.74	181.9	0.015040	1.64
4	10.10	3.42	184.6	0.018528	1.64
5	14.37	4.28	200.0	0.021376	1.62
6	19.72	5.34	273.0	0.019573	1.76
7	26.40	6.68	243.4	0.027443	1.71
8	32.99	6.60	291.4	0.022649	1.40
			V <sub>s30</sub> (m/s) = <b>224.1</b>		

Dai suddetti valori, quindi, è stato possibile estrarre il parametro Vs30, per troncamento alla profondità di 30 mt del valore di Vs dell'ultimo strato, mediante la nota relazione:

$$\text{MASW } V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s_i}}} = \mathbf{224.1 \text{ m/s}}$$

## 6. CONCLUSIONI

L'indagine MASW condotta nel sito di stretto interesse mostra un risultato di  $V_{s30} = 224.1 \text{ m/s}$ .

Pertanto, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, i terreni oggetto dell'indagine sono classificabili, ai sensi della tabella 3.2.II del D.M. 14/01/08, come sottosuoli di categoria "C".

## 7. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

