

# L&R LABORATORI E RICERCHE S.R.L.

## COMUNE DI CATANIA

### INDAGINI DIAGNOSTICHE, GEOFISICHE E CONOSCITIVE PROPEDEUTICHE ALLA PROGETTAZIONE ESECUTIVA

*Riqualificazione integrata del museo civico di Castello Ursino*



#### INDAGINI GEOFISICHE

REV.	DESCRIZIONE - DESCRIPTION	DATA	REDATTO PREP'D	CONTR. CHK'D	APPR. APPR'D	N° DOCUMENTO COMMESSA
0	RAPPORTO DI PROVA	22/06/2020	Dott. Giuseppe Cocco	Ing. Salvatore Ogibone	Dott. Benedetto Spanò	Rdp 0670-2/19

#### L&R Laboratori e Ricerche S.r.l.

Capitale Sociale: € 10.000  
Codice Fiscale, P. IVA e Iscrizione al Reg. delle Imprese di Catania n. 04053900975  
iscritta al R.E.A., 270547

[www.LR-SRL.it](http://www.LR-SRL.it)  
[lrcertificata@pec.it](mailto:lrcertificata@pec.it)

#### Uffici e Sede legale

Via Pablo Picasso n. 2  
95037 San Giovanni La Punta (CT)  
[info@lr-srl.it](mailto:info@lr-srl.it)

Tel. +39 095 336490  
Fax +39 095 7336297

#### Laboratorio Aut. L. 1086/71

Zona Industriale, Capannone n.5  
94010 Catenanuova (EN)  
[laboratorio@lr-srl.it](mailto:laboratorio@lr-srl.it)

Tel. +39 0935 75860  
Fax. +39 0935 75860

---

# PROSPEZIONI GEOFISICHE

## PROVA SISMICA MASW -

INDICE	pag.
<b>1. INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
<b>2. PROVA SISMICA MASW PRELIMINARE</b>	<b>4</b>
<b>2 PROVA SISMICA MULTICANALE MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)</b>	<b>5</b>
2.1 <i>Premessa</i>	5
2.2 - <i>Strumentazione e configurazione geometrica</i>	5
2.3 - <i>Elaborazione Dati</i>	6
2.4 - <i>Risultati prove MASW</i>	7
<b>3. MASW 1-</b>	<b>8</b>
<b>4. MASW 2</b>	<b>10</b>
<b>5. MASW_3</b>	<b>12</b>

## 1. INTRODUZIONE

Il presente Rapporto di Prova ha per oggetto le indagini geofisiche a supporto della Progettazione esecutiva dei “*lavori di riqualificazione integrata del museo civico di Castello Ursino*” sito in Piazza Federico di Svevia, nel Comune di Catania.



Fig.1: Edificio oggetto delle indagini

Gli accertamenti strutturali di che trattasi, sono stati affidati dal Comune di Catania alla scrivente L&R Laboratori e Ricerche s.r.l. con sede in via Pablo Picasso 2 – San Giovanni La Punta (CT), in qualità di impresa aggiudicataria delle indagini e sono state eseguite il giorno 30 ottobre dai tecnici L&R, con la supervisione del dott. Geol. Giuseppe Coco.

Le indagini geofisiche stabilite constano di n. 3 indagini MASW.

## 2. PROVA SISMICA MASW PRELIMINARE

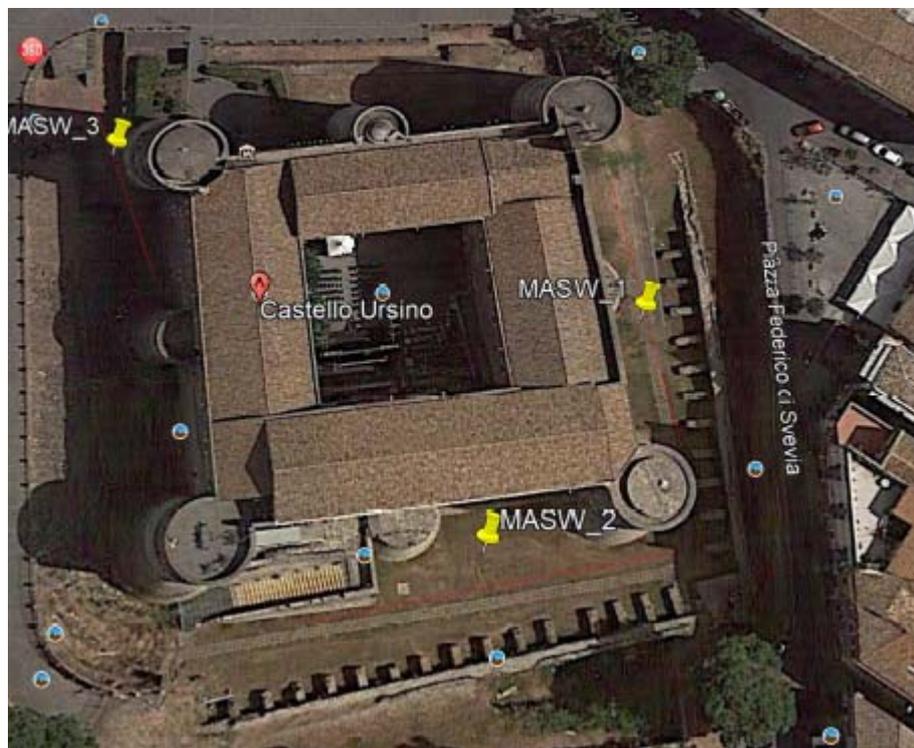
Sono state eseguite prove geofisiche non invasive basate sulla propagazione di onde superficiali di Rayleigh (surface wave method – SWM) di tipo attivo (MASW). Tali prove sono state eseguite per definire in profilo di velocità delle onde di taglio per il calcolo del parametro Vs30 secondo quanto previsto dal DM del 17.01.2018.

In totale sono state eseguite nr. 3 prove sismiche M.A.S.W. in accordo con le disposizioni tecniche contenute nel documento ASTM D6429-99: “Standard Guide for Selecting Surface Geophysical Methods”.

Per ogni prova M.A.S.W. eseguita si riportano:

- 1) Documentazione fotografica
- 2) La curva di dispersione sperimentale.
- 3) Il modello 1D di velocità delle onde di taglio (Vs)
- 4) La sovrapposizione tra la curva sperimentale e la curva teorica
- 5) Il calcolo del Parametro Vseq.

Di seguito si riporta la ubicazione delle prove eseguite



## **2 PROVA SISMICA MULTICANALE MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)**

### **2.1 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 rigidezza 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.

### **2.2 - Strumentazione e configurazione geometrica**

La strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo multicanale MAE A6000S, avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- Velocità di campionamento dei segnali compresa tra 0.002 e 0.000033 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.

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:

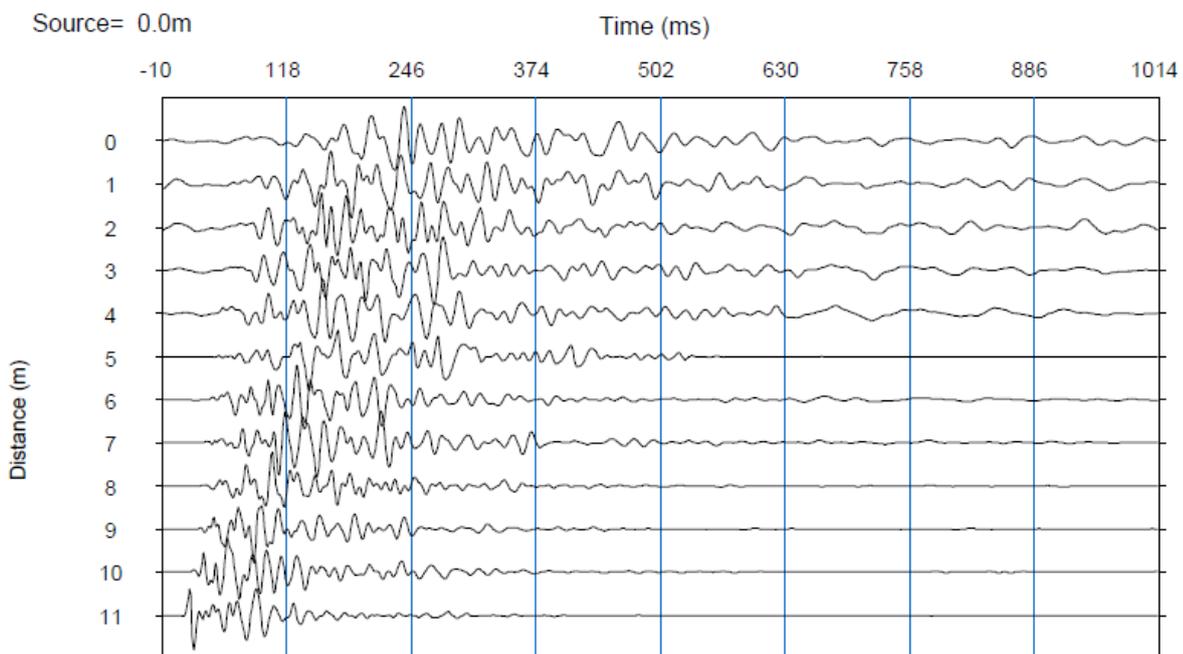
- n. 2 energizzazioni ad offset ( $S_x$ ) variabile come multiplo del  $G_x$  in A/R (3 – 6 m);
- lunghezza delle tracce sismiche pari a 4.096 sec.;
- massa battente pesante di 10 Kg.

Le configurazioni adottate hanno 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 stata pari a  $0.174 \text{ m}^{-1}$ , mentre la risoluzione in frequenza è stata pari a 0.244 Hz.

### 2.3 - Elaborazione Dati

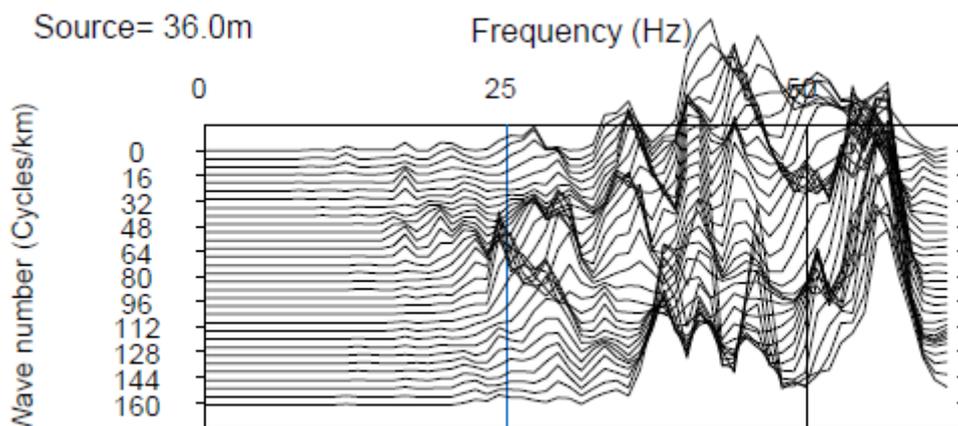
L'analisi MASW può essere riassunta in quattro fasi:

- la prima fase prevede la trasformazione delle serie temporali (fig. 1) nel dominio frequenza  $f$  – numero d'onda  $K$  (fig. 2);



3r.sg2

**Figura 1. Serie Temporali**



3r.sg2

**Figura 2. Analisi frequenza/numero d'onda**

- la seconda fase consiste nella individuazione delle coppie  $f$ - $k$  cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (densità spettrale). Attraverso tali punti applicando

la (1) si ottiene la curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel piano  $V_{fase}$  (m/sec) – frequenza (Hz) (fig. 3 e similari).

$$V_R(\omega) = \frac{2\pi f}{k_{MAX}} \quad (1)$$

- 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  $V_p$  e la densità di massa  $\rho$  degli strati che costituiscono il modello del suolo.
- la quarta ed ultima fase consiste nella modifica della curva teorica fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase sperimentale (o curva di dispersione) e la velocità di fase numerica (o curva di dispersione) corrispondente al modello di suolo.

Le operazioni suddette sono state ripetute per tutte le registrazioni relative agli scoppi.

#### **2.4 - Risultati prove MASW 1**

I risultati della prova MASW consistono nella stima della curva di dispersione e nel calcolo del modello di velocità. Di seguito si riportano la curva di dispersione sperimentale, il modello di velocità finale calcolato, la sovrapposizione della curva sperimentale con quello teorica ed il calcolo del parametro  $V_{Seq}$  (2) per l'attribuzione della categoria del sottosuolo.

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad (2)$$

---

<sup>1</sup> Il valore del VS30 è stato calcolato dal piano campagna.

Suolo tipo	Tipologia sismostratigrafica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Tabella 2 “Range” VsEQ da normativa NTC 2018 – Approccio semplificato

### 3. MASW 1-

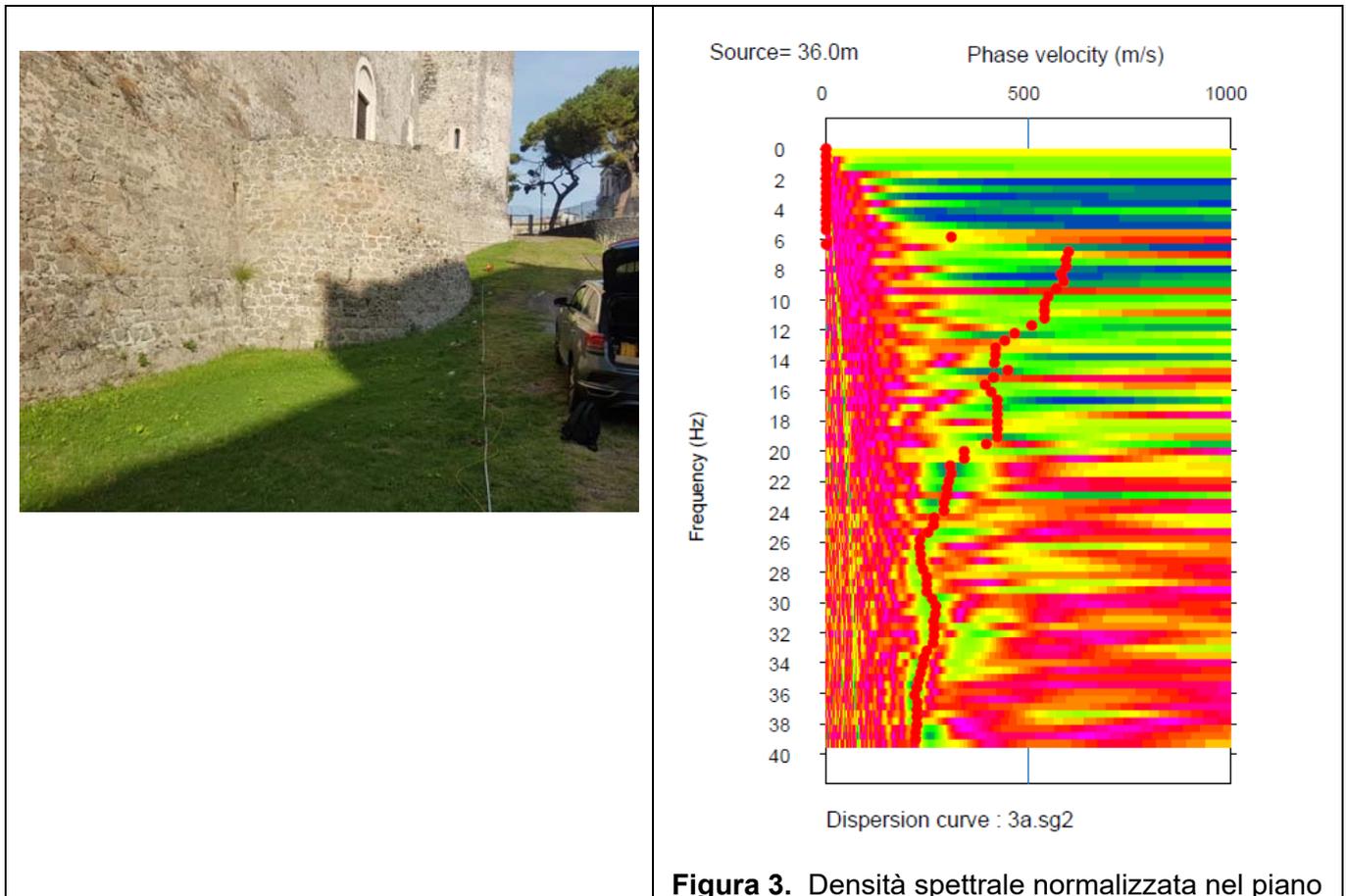


Figura 3. Densità spettrale normalizzata nel piano

Velocità di fase apparente /frequenza

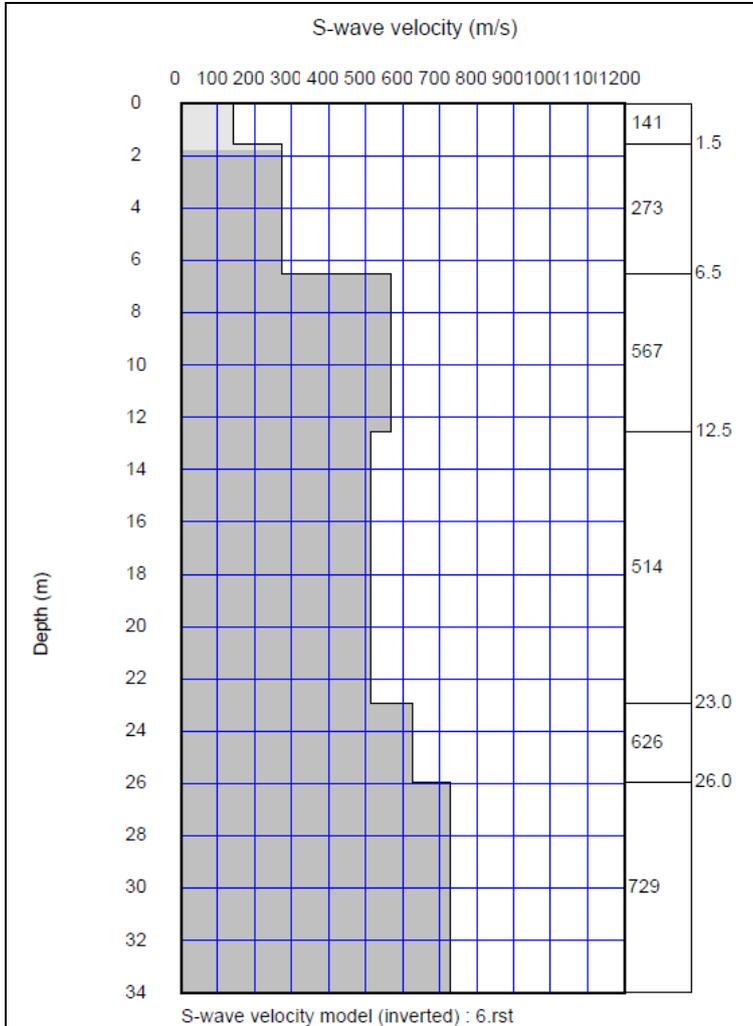


Figura 4. Modello di velocità del sottosuolo.

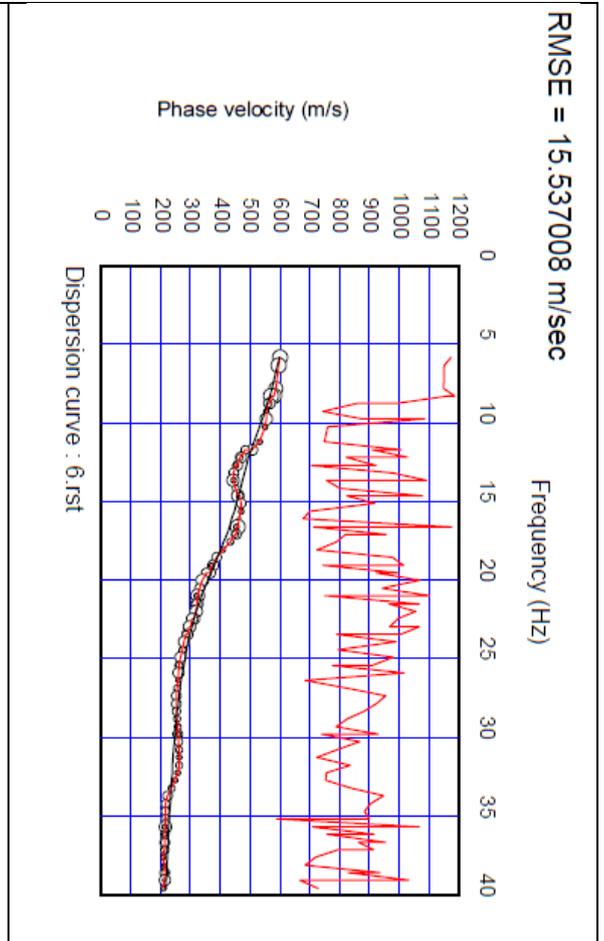
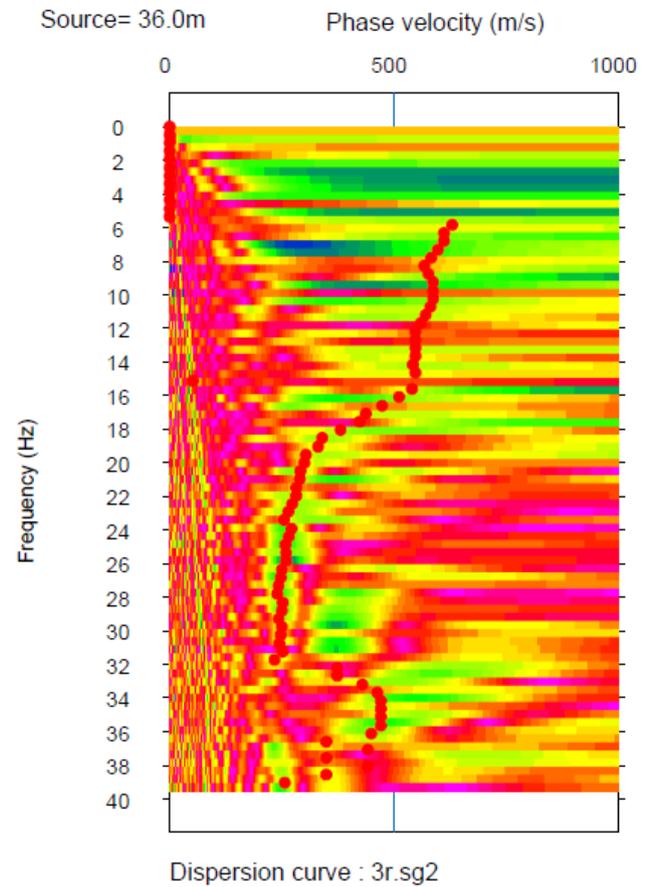


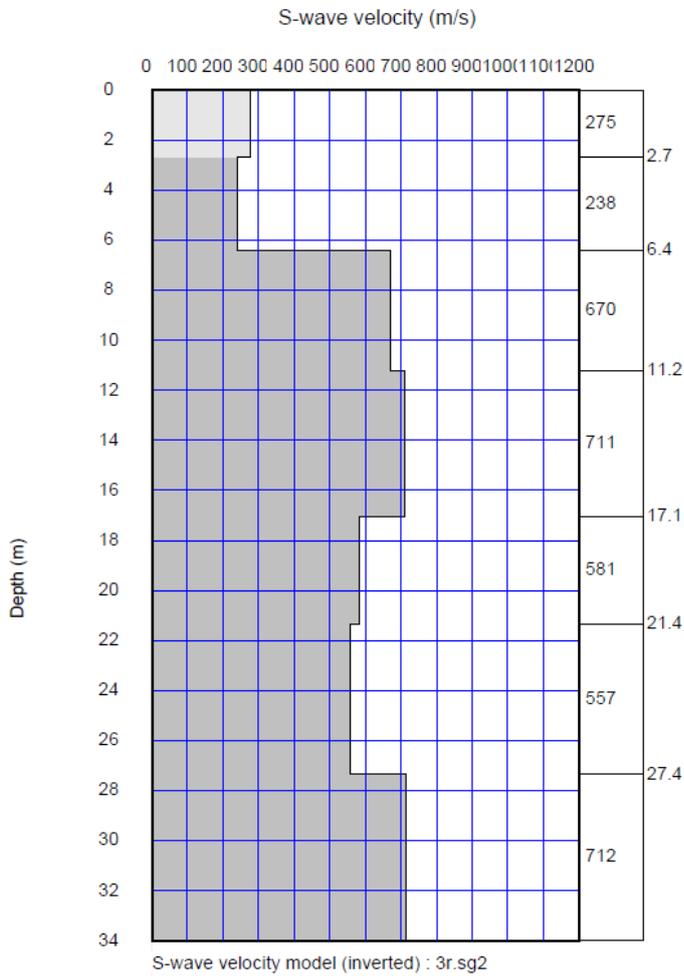
Figura 5. Confronto tra curva di dispersione teorica (curva nera) con la curva sperimentale (curva rossa).

Sismostrato	Profondità (m-)	Spessore30 - h -(m-)	V <sub>s</sub> (m/s)	h/V <sub>s</sub> (sec <sup>-1</sup> )	V <sub>seq</sub> (m/s)
1.00	0.00	1.54	141.27	0.0109	426.82
2.00	1.54	4.97	273.74	0.0182	
3.00	6.51	6.02	567.77	0.0106	
4.00	12.53	10.43	514.06	0.0203	
5.00	22.96	3.00	626.23	0.0048	
6.00	25.96	4.04	729.03	0.0055	

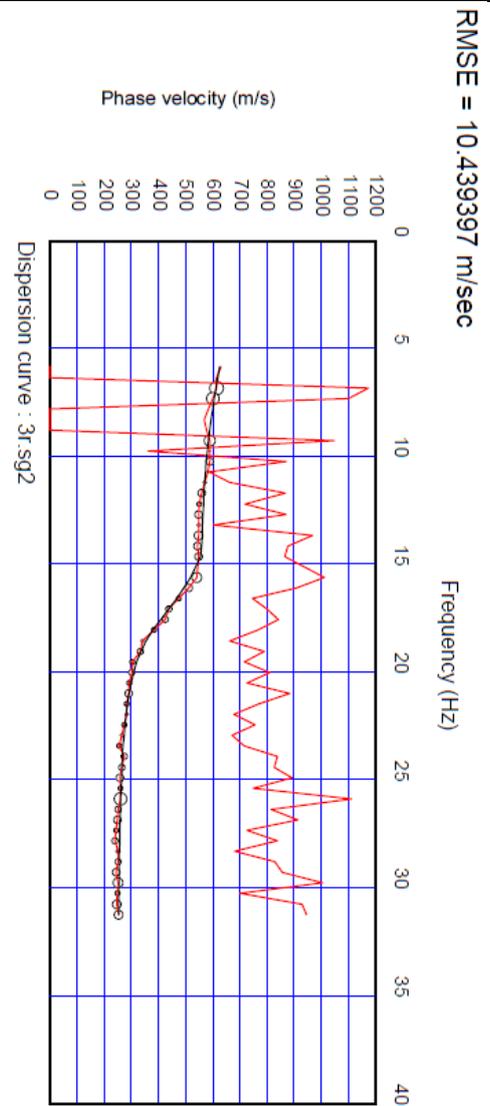
#### 4. MASW 2



**Figura 6.** Densità spettrale normalizzata nel piano Velocità di fase apparente /frequenza



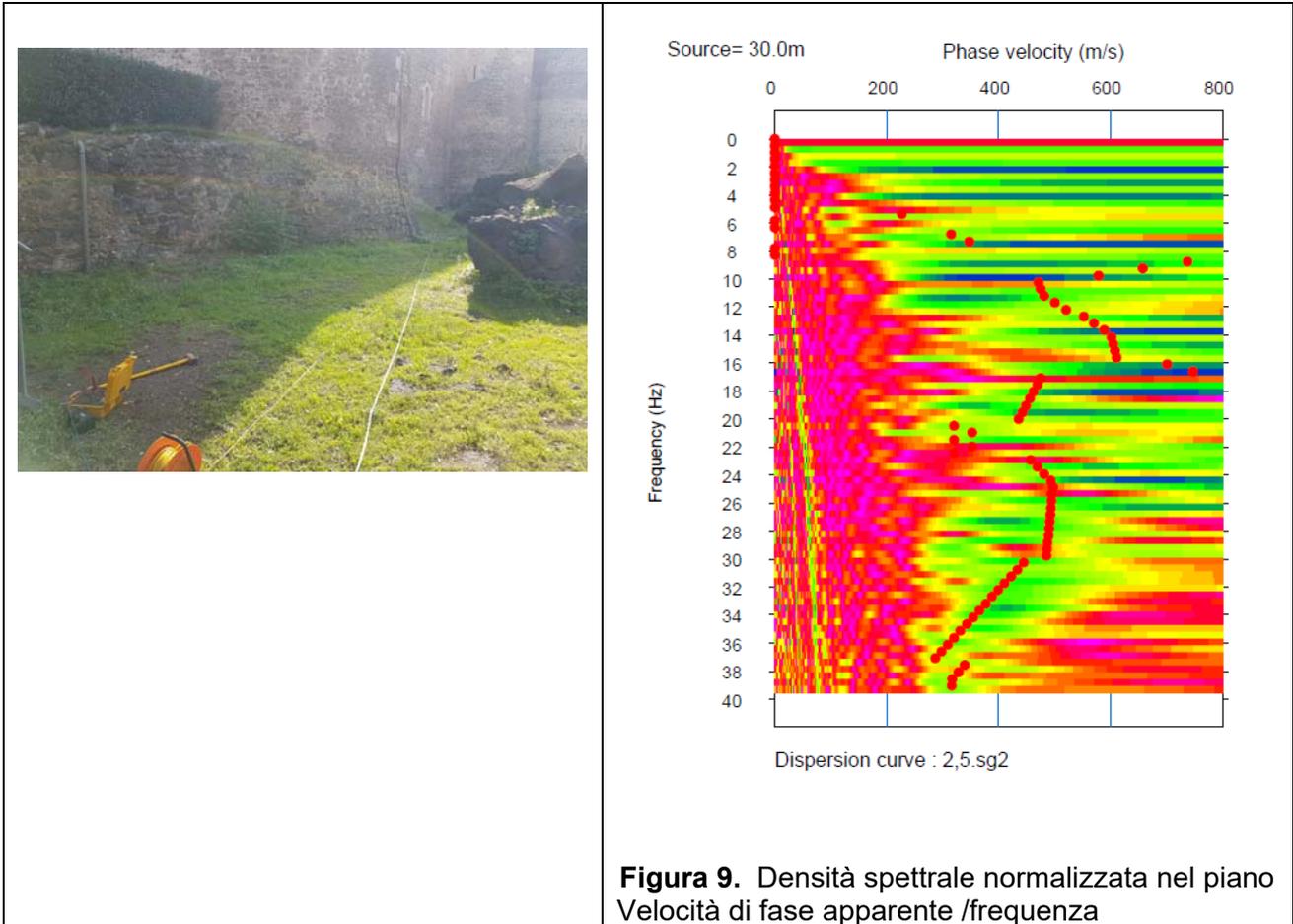
**Figura 7.** Modello di velocità del sottosuolo.



**Figura 8.** Confronto tra curva di dispersione teorica (curva nera) e sperimentale (curva rossa).

Sismostrato	Profondità (m-)	Spessore30 - h -(m-)	$V_s$ (m/s)	$h/V_s$ (sec <sup>-1</sup> )	$V_{seq}$ (m/s)
1.00	0.00	2.67	275.63	0.0097	<b>479.60</b>
2.00	2.67	3.73	238.90	0.0156	
3.00	6.40	4.80	670.42	0.0072	
4.00	11.20	5.87	711.76	0.0082	
5.00	17.07	4.30	581.85	0.0074	
6.00	21.37	6.00	557.45	0.0108	
7.00	27.37	2.63	712.86	0.0037	

## 5. MASW\_3



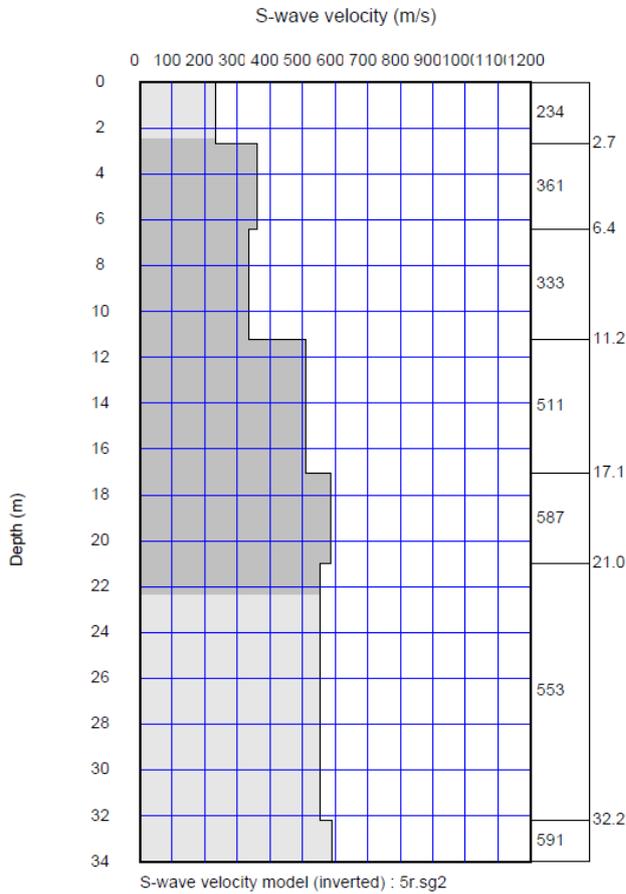


Figura 10. Modello di velocità del sottosuolo.

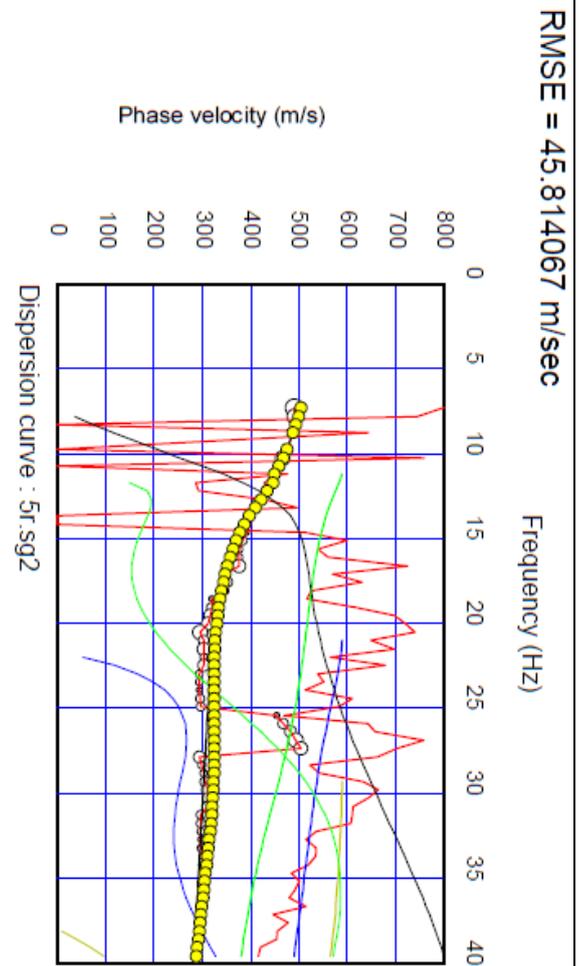


Figura 11. Confronto tra curva di dispersione teorica calcolata (curva nera) e curva sperimentale (curva rossa).

Sismostrato	Profondità (m-)	Spessore30 - h -(m-)	$V_s$ (m/s)	$h/V_s$ (sec <sup>-1</sup> )	$V_{seq}$ (m/s)
1.00	0.00	2.67	253.01	0.0105	428.1
2.00	2.67	3.73	344.01	0.0109	
3.00	6.40	4.80	335.31	0.0143	
4.00	11.20	5.87	525.29	0.0112	
5.00	17.07	3.93	589.18	0.0067	
6.00	21.00	9.00	544.58	0.0165	
7.00	32.20		589.18		