



Ambito Distrettuale Sarnese Vesuviano  
*Legge 02/12/2015*



PROTOCOLLO D'INTESA REGIONE CAMPANIA, COMUNE DI NOCERA INFERIORE,  
 ENTE D'AMBITO SARNESE-VESUVIANO, GORI SpA  
 PROT. N. 17853 DEL 19/04/2018



**COMUNE DI NOCERA INFERIORE  
 COMPLETAMENTO DELLA RETE FOGNARIA  
 1° LOTTO - STRALCIO A**



INT 7308

PROGETTO ESECUTIVO

INGEGNERIA

Il Responsabile  
 ing. Domenico Cesare

Elaborato:

B7

Titolo:

**RELAZIONE GEOFISICA SULLE  
 ELABORAZIONI DELLE  
 PROSPEZIONI SISMICHE MASW E  
 MODELLAZIONE SISMICA DEI SITI**

Scala:

//

COLLABORATORI

CONSULENZA

Dott. Geol. Francesco Ruocco

Revisione

0

Motivo della revisione

EMISSIONE PER APPROVAZIONE

Data

Settembre 2019

IL PROGETTISTA  
 ing. Domenico Cesare

IL RUP

## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. PROSPEZIONI SISMICHE BASATE SULL'ANALISI DELLE ONDE SUPERFICIALI DI RAYLEIGH.....</b>	<b>8</b>
<b>3. PROSPEZIONI SISMICHE MASW.....</b>	<b>11</b>
<b>4. INDAGINI ESEGUITE .....</b>	<b>17</b>
<b>5. ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI.....</b>	<b>18</b>
<b>6. INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI.....</b>	<b>44</b>
<b>7. RISPOSTA SISMICA LOCALE .....</b>	<b>46</b>
<b>8. CONCLUSIONI .....</b>	<b>61</b>

## 1. PREMESSA

Su incarico della GORI S.P.A. sono state effettuate, dal dr. geol. Francesco Cuccurullo di Pagani, n. 5 prospezioni sismiche MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh) finalizzate alla redazione della presente relazione sulla modellazione sismica di sito inerente il progetto di completamento della rete fognaria – 1° Lotto – del Comune di Nocera Inferiore (SA) (cfr. Foto nn. 1 ÷ 5). Dette indagini hanno consentito di definire le caratteristiche sismostratigrafiche del sottosuolo secondo la normativa vigente di settore (D.M. 17 gennaio 2018).

È stata condotta, inoltre, l'analisi della risposta sismica del suolo fornendo il calcolo degli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto (D.M. 17 gennaio 2018).



**Foto n. 1: Stendimento sismico MASW n. 1 in via Solimena**



**Foto n. 2: Stendimento sismico MASW n. 2 in via Pucci**



**Foto n. 3: Stendimento sismico MASW n. 3 in via Martinez y Cabrera**



**Foto n. 4: Stendimento sismico MASW n. 4 in via Spera**

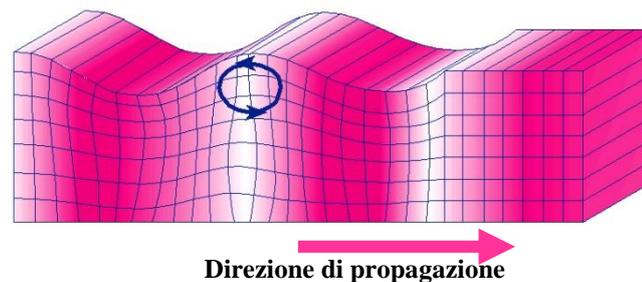


**Foto n. 5: Stendimento sismico MASW n. 5 lungo la SP81**

## 2. PROSPEZIONI SISMICHE BASATE SULL'ANALISI DELLE ONDE SUPERFICIALI DI RAYLEIGH

Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale (*cf.* Figura 6) e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera. L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado rispetto alla direzione di propagazione delle onde che vengono generate.

Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a  $0.92V_s$ . In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e  $0.92V_s$ . La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).



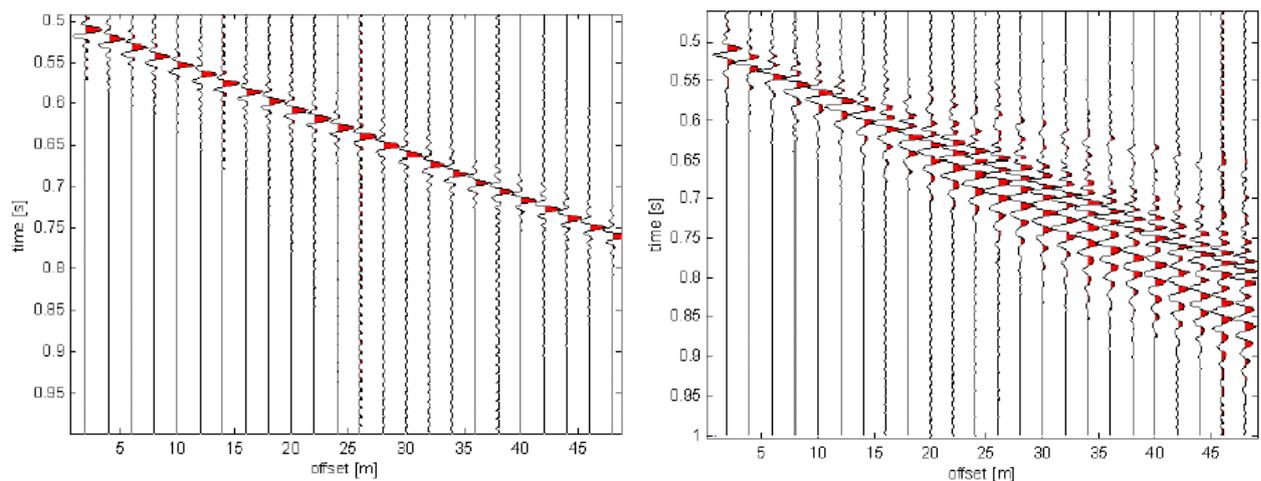
**Figura 6: Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto alla direzione di propagazione dell'onda.**

La determinazione della velocità delle onde di taglio  $V_s$  tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde  $P$  (7%) ed  $S$  (26%). Inoltre l'ampiezza delle onde superficiali dipende da  $\sqrt{r}$  e non da  $r$  come per le onde di volume.

I metodi basati sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh forniscono una buona risoluzione e non sono limitati, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità. Inoltre la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla  $V_p$  e dalla densità, è funzione innanzitutto della  $V_s$ , parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione geotecnica di un sito secondo quanto previsto dalle recenti normative antisismiche (O.P.C.M. 3274/03; O.P.C.M. 3431/05;

D.M. 14 gennaio 2008; D.M. 17 gennaio 2018). Infatti, mentre la velocità delle onde  $P$  misurata in terreni saturi dipende in maniera sostanziale dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, la velocità delle onde  $S$  è caratteristica delle vibrazioni trasmesse dal solo scheletro solido e, pertanto, a differenza delle onde  $P$ , risulta rappresentativa delle reali proprietà meccaniche del terreno.

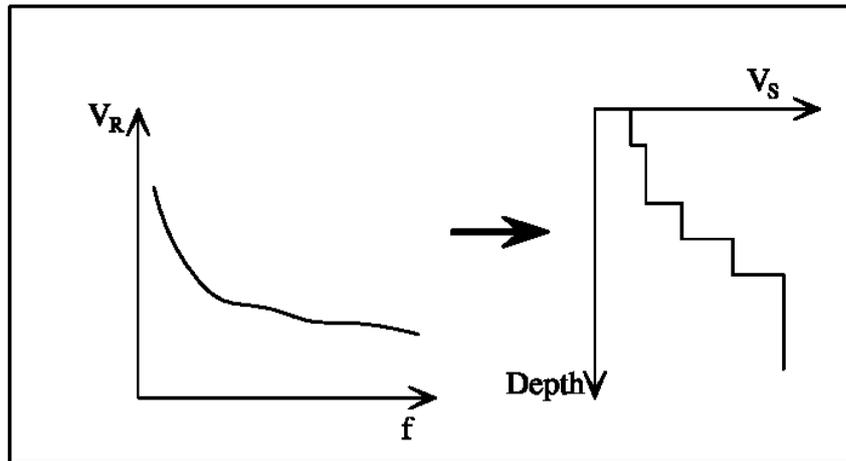
La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle  $V_S$ , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati (cfr. Figura 7).



**Figura 7: Segnali sismici che evidenziano (in rosso) le onde superficiali di Rayleigh in un mezzo non stratificato (a sinistra) e in un mezzo stratificato (a destra). Risulta evidente il fenomeno della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato.**

Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione della velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite processo di inversione (cfr. Figura 8).

La velocità delle onde di Rayleigh ( $V_R$ ) è pari a circa il 90% delle onde di taglio ( $V_S$ ). Le tecniche di analisi delle onde di Rayleigh vengono realizzate con procedure operative meno onerose della comune sismica a rifrazione e delle prove in foro e hanno un grado di incertezza nella determinazione delle  $V_S < 15\%$ .



**Figura 8: Velocità delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza (a sinistra) e profilo di velocità delle onde di taglio in funzione della profondità (a destra) ricavato tramite processo d’inversione.**

La modellazione del sottosuolo mediante l’impiego di comuni geofoni verticali a  $4.5\text{Hz}$  e l’analisi delle onde superficiali di Rayleigh viene ottenuta con le seguenti metodologie: ReMi (Refraction Microtremor), FTAN (Frequency Time ANalysis), SASW (Spectral Analysis of Surface Waves), MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).

La tecnica ReMi consente di raggiungere profondità ragguardevoli fornendo un profilo verticale medio delle  $V_S$  relative al sottosuolo sotteso dallo stendimento messo in opera. Questa tecnica viene estensivamente utilizzata negli Stati Uniti nell’ambito del NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Program) tanto che il software fornisce anche direttamente il valore di  $V_{S30}$  e la categoria della classificazione del sottosuolo secondo la normativa americana.

Il metodo FTAN per la determinazione delle  $V_{S30}$  (basato sull’analisi della velocità di gruppo delle onde superficiali di Rayleigh) ha bisogno di un solo ricevitore e permette la definizione di un profilo medio su distanze di decine-centinaia di metri. Inoltre il metodo fornisce valori di velocità delle onde di taglio in buon accordo con le misure in foro.

Il metodo SASW (basato sull’analisi della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh) viene generalmente impiegato per la determinazione delle  $V_S$  di strati superficiali ( $<30\text{m}$ ) e per la determinazione delle proprietà elastiche di strade e pavimentazioni (Stokoe & Nazarian, 1985) e, pertanto, sembra essere tra i metodi non invasivi quello più popolare tra gli ingegneri.

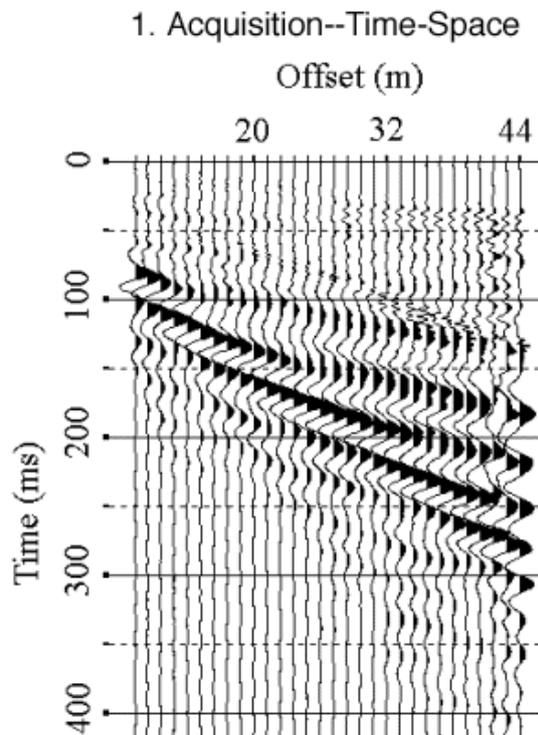
La tecnica MASW, fondata sulla tecnica SASW, consente una dettagliatissima ricostruzione della distribuzione della velocità delle onde  $S$  nel sottosuolo.

### 3. PROSPEZIONI SISMICHE MASW

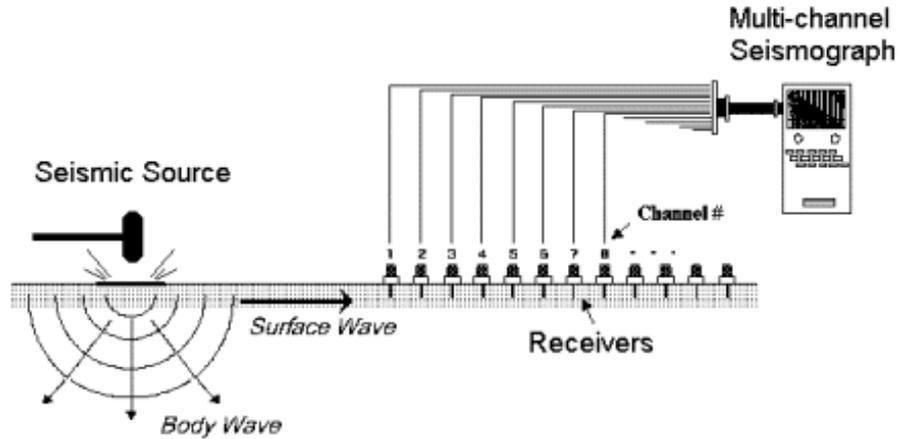
L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una efficiente ed accreditata metodologia sismica per la determinazione delle velocità delle onde di taglio  $V_s$ . Tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un comune sismografo multicanale. Le onde superficiali di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni e vengono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali, simili alla tecnica SASW, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

La metodologia per la realizzazione di una indagine sismica MASW prevede 4 passi fondamentali:

1. Ripetute acquisizioni multicanale dei segnali sismici (cfr. Figura 9), generati da una sorgente energizzante artificiale (maglio battente su piastra in alluminio), lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni (cfr. Figura 10);



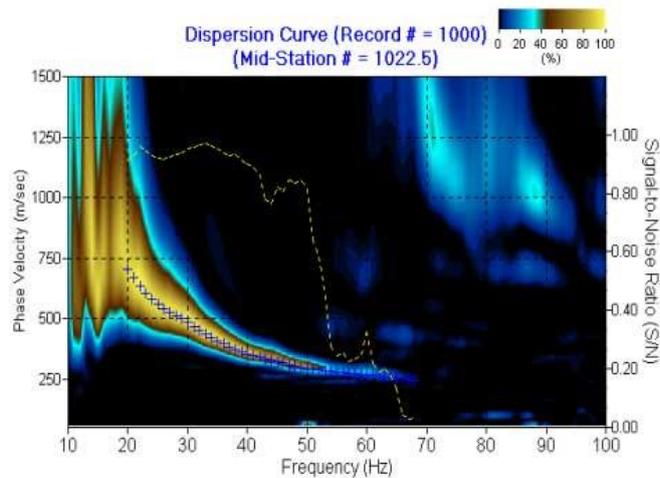
**Figura 9:** Segnali sismici acquisiti dai geofoni lungo uno stendimento.



**Figura 10:** Schema di acquisizione dei segnali sismici con metodo MASW.

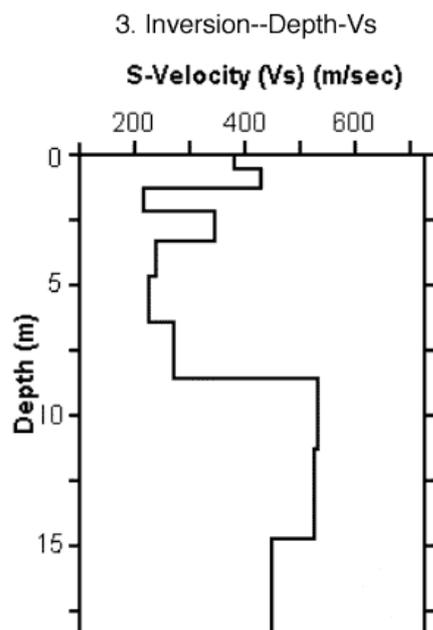
2. Estrazione del modo fondamentale di oscillazione dalle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh (una curva per ogni acquisizione) (cfr. Figura 11);

#### 2. Dispersion Curve Extraction--Frequency-Phase Velocity



**Figura 11:** Curva di dispersione della velocità di fase in funzione della frequenza delle onde superficiali di Rayleigh.

3. Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle  $V_s$  (cfr. Figura 12) (un profilo verticale per ogni curva di dispersione, posizionato nel punto medio di ogni stendimento geofonico);



**Figura 12:** Modello di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) ottenuto dalla curva di dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh attraverso l'inversione di un modello multistrato di terreno. La velocità delle onde di taglio è approssimativamente pari a  $1.1V_R$  ( $V_R$ =velocità delle onde di Rayleigh) e la profondità è pari a circa  $0.4\lambda$  ( $\lambda$ =lunghezza d'onda).

4. Ricostruzione di una sezione (modello 2D) delle  $V_s$  dei terreni con approccio multicanale (cfr. Figura 13).

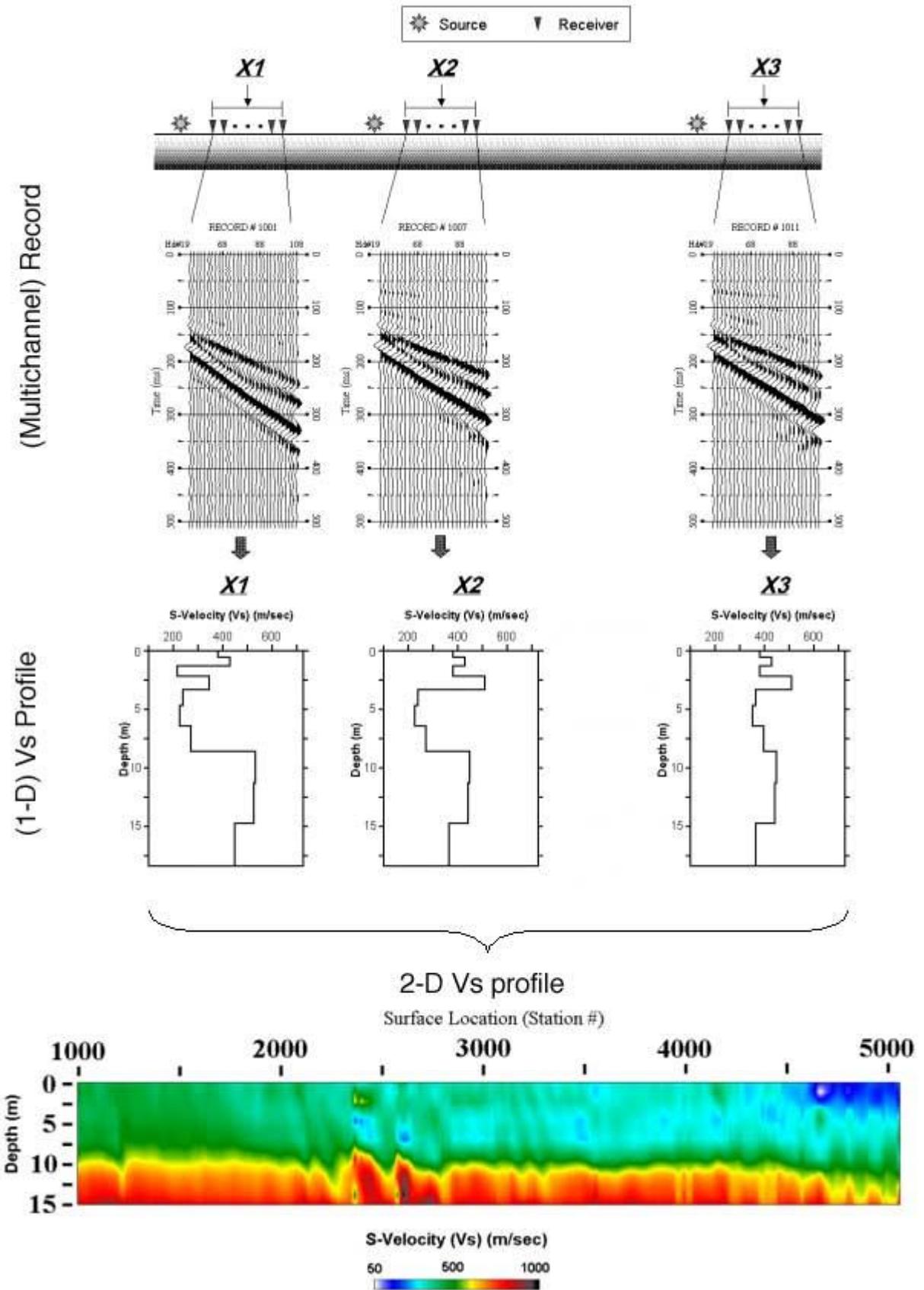
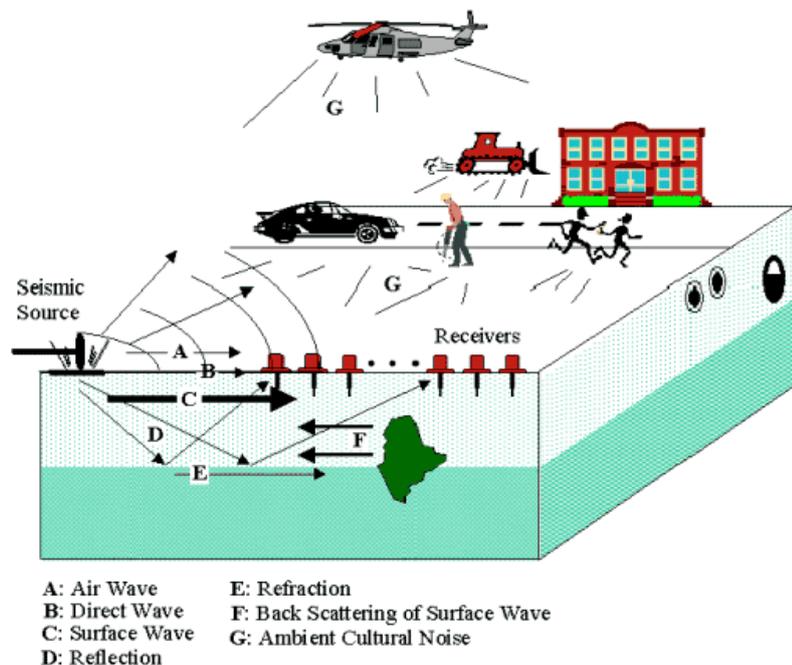


Figura 13: Modello 2D di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) ottenuto dalle inversioni delle curve di dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh.

Quando vengono generate onde sismiche usando una sorgente impattante come un martello su una piastra vengono generate sia onde di volume ( $P$  ed  $S$ ), sia onde di superficie (Rayleigh e Love), che si propagano in tutte le direzioni. Alcune di queste onde vengono riflesse e disperse quando incontrano oggetti superficiali o poco profondi (ad esempio, fondazioni di edifici, canali sotterranei, trovanti lapidei, ecc.) e diventano rumore (cfr. Figura 14).

Inoltre, vengono quasi sempre rilevate vibrazioni da rumore ambientale proveniente dal traffico veicolare, dall'attività industriale e, in generale, dall'attività umana (cfr. Figura 14).

Il vantaggio principale dell'approccio multicanale della tecnica MASW sta nella sua intrinseca capacità di distinguere tutte queste onde dovute al rumore e di isolarle dalle onde superficiali di Rayleigh evidenziando solo il modo fondamentale di oscillazione dei terreni. L'isolamento del modo fondamentale di oscillazione si basa su molteplici caratteristiche sismiche dei segnali.



**Figura 14: Schematizzazione dei vari tipi di onde (di volume e superficiali) e di alcune possibili sorgenti di rumore ambientale.**

Le proprietà della dispersione di tutti i tipi di onde (di volume e superficiali) sono visualizzate attraverso un metodo di trasformazione (basato sull'analisi spettrale dei segnali sismici) del campo d'onda che converte direttamente i segnali sismici acquisiti (cfr. Figura 15) in una immagine dove un modello di dispersione è riconosciuto nella distribuzione dell'energia trasformata in oscillazioni (cfr. Figura 16).

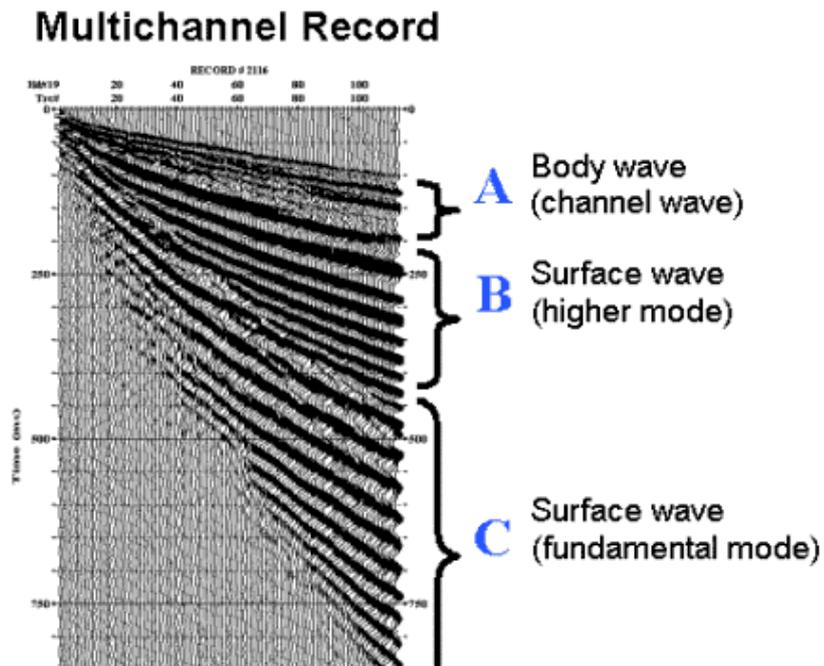


Figura 15: Segnali sismici con acquisizione multicanale e riconoscimento delle varie fasi sismiche (onde di volume, modo fondamentale e modi superiori delle onde superficiali).

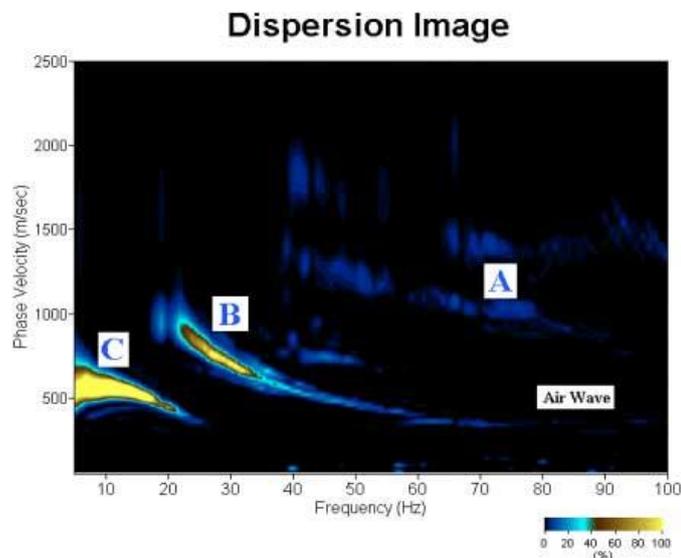


Figura 16: Curva di dispersione della velocità di fase in funzione della frequenza delle onde superficiali di Rayleigh relativa ai segnali sismici in Figura 15. Il picco energetico in corrispondenza di C rappresenta, nel modello della dispersione, il modo fondamentale da estrarre. Il picco energetico in B rappresenta il primo modo mentre quello in A, poco evidente, rappresenterebbe il secondo modo.

Successivamente, il modo fondamentale (proprietà fondamentale della dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh) viene estratto da un modello specifico. Tutte le altre onde (riflesse, disperse, modi superiori delle onde superficiali, noise ambientale) vengono quindi rimosse durante il processo di elaborazione.

#### 4. INDAGINI ESEGUITE

Per la caratterizzazione sismica del sottosuolo oggetto di indagine, sono state eseguite n. 5 prospezioni sismiche MASW (cfr. Foto nn. 1 ÷ 5), la cui ubicazione è riportata sulla Tavola B3 – Stralcio aerofotogrammetrico con ubicazione delle indagini in situ.

Le caratteristiche degli stendimenti sismici sono riportati nella seguente tabella 4.1.

<i>Prospezione sismica</i>	<i>Lunghezza complessiva dello stendimento (m)</i>	<i>Offset e spacing (m)</i>	<i>Direzione</i>	<i>Coordinate Geografiche WGS84</i>	
				<i>N</i>	<i>E</i>
<i>MASW n. 1</i>	<i>50.0</i>	<i>2.0</i>	<i>N 108° E</i>	<i>40.747241°</i>	<i>14.641137°</i>
<i>MASW n. 2</i>	<i>50.0</i>	<i>2.0</i>	<i>N 100° E</i>	<i>40.745022°</i>	<i>14.644799°</i>
<i>MASW n. 3</i>	<i>50.0</i>	<i>2.0</i>	<i>N 254° E</i>	<i>40.744188°</i>	<i>14.644092°</i>
<i>MASW n. 4</i>	<i>50.0</i>	<i>2.0</i>	<i>N 352° E</i>	<i>40.740679°</i>	<i>14.648810°</i>
<i>MASW n. 5</i>	<i>50.0</i>	<i>2.0</i>	<i>N 95° E</i>	<i>40.745820°</i>	<i>14.651740°</i>

**Tabella 4.1: Caratteristiche degli stendimenti geofonici.**

Le indagini sono state condotte mediante l'utilizzo di sismografo M.A.E. A6000-S 24 bit 24 canali, strumento compatto e versatile progettato e realizzato appositamente per eseguire indagini di prospezione sismica convenzionali (rifrazione, riflessione) e non convenzionali [Re.Mi. (Refraction Microtremor), M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves), S.A.S.W. (Spectral Analysis of Surface Waves)].

L'elevata dinamica (24 bit di risoluzione) unita alla notevole memoria per l'acquisizione, ne consente l'utilizzo per tecniche di indagine di tipo non convenzionale. Tali indagini risultano particolarmente adatte in aree fortemente antropizzate (aree urbane e industriali) con notevole presenza di rumore di fondo (noise).

La gestione dell'apparecchiatura è notevolmente semplificata dall'interfaccia grafica e dall'interazione con essa tramite il sistema di puntamento touch-screen, che consente di eseguire tutte le operazioni toccando con un pennino gli oggetti interessati direttamente sullo schermo.

L'ambiente operativo dello strumento è quello di Microsoft Windows XP embedded.

La sorgente sismica (cfr. Figura 17) è costituita da un impatto transiente verticale (maglio dal peso di 6kg che batte su una piastra circolare in alluminio). Come trigger/starter è stato utilizzato un geofono verticale Geospace a 14Hz, posto in prossimità della piastra.

Quando la battuta sulla superficie della piastra non è risultata netta o viene colpita due volte erroneamente, la prova è stata ripetuta.

La sorgente è stata posizionata all’inizio e alla fine di ogni stendimento geofonico, con offset pari a 2.00m, in modo tale da ottenere profili sismici diretti ed inversi. Le oscillazioni del suolo sono state rilevate da 24 geofoni verticali (Geospace – 4.5Hz) posizionati lungo i profili di indagine con spacing predefiniti (cfr. Foto nn. 1 ÷ 5, Tabella 1). La lunghezza complessiva di ogni stendimento geofonico è stata sufficiente a determinare la sismostratigrafia 2D dei terreni nel sito prescelto fino alla profondità di 37.0 m dal p.c..

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con apposito programma (SurfSeis 2.05 della Kansas Geological Survey) per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.



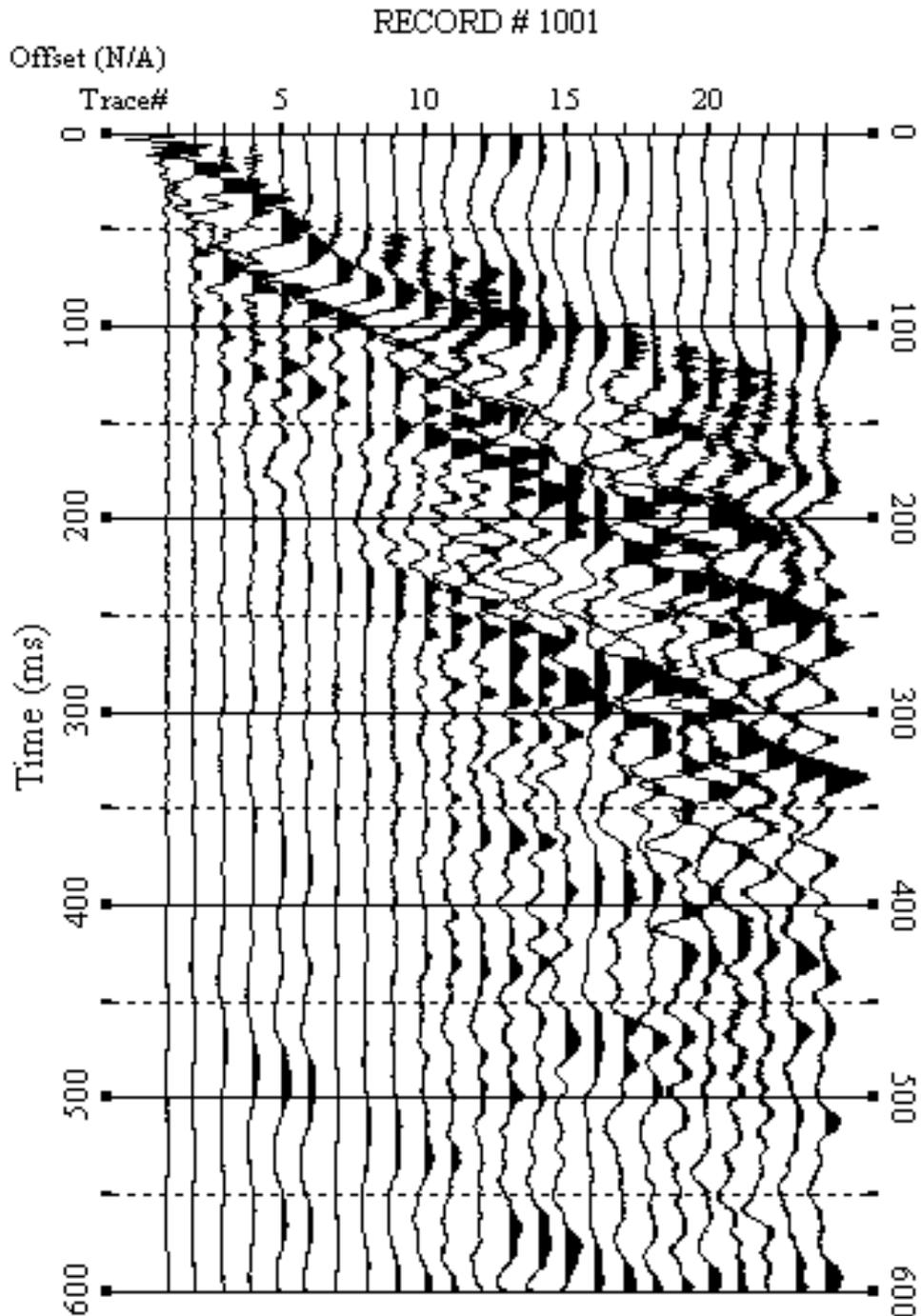
**Figura 17: Sorgente energizzante, costituita da massa battente su piastra di alluminio. Lo starter/trigger è un geofono verticale Geospace a 14Hz.**

## **5. ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI**

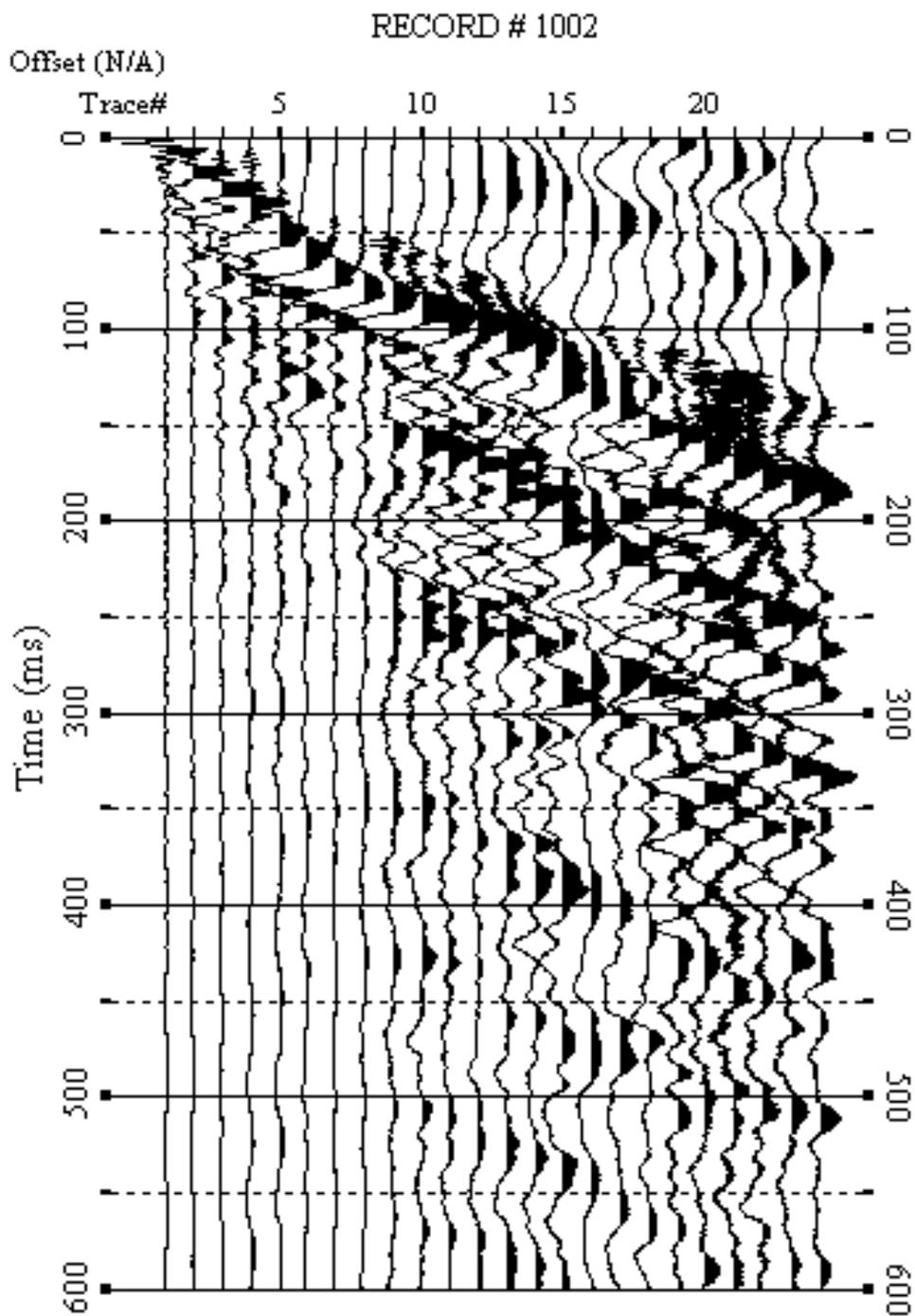
Le acquisizioni dei segnali, di lunghezza temporale  $T=2.048s$ , sono state effettuate con passo di campionamento  $dt=0.5ms$ . La frequenza di campionamento è data da:  $f_{\text{campionamento}}=1/dt=2000Hz$ . La frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di Nyquist, è data da:  $f_{\text{Nyquist}}=1/2dt=1000Hz$ . La frequenza minima dei segnali è data da:  $f_{\text{min}}=1/T=0.488Hz$ .

L'elaborazione dei dati e l'inversione delle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh sono state effettuate con il programma SurfSeis 2.05 della Kansas Geological Survey che ha permesso di eseguire l'intero processo di elaborazione di n. 5 sezioni sismostratigrafiche 2D delle  $V_s$ .

Gli elaborati delle prove effettuate sono di seguito riportati (cfr. Figure 18 ÷ 52).



**Figura 18: Sismogrammi relativi all'indagine sismica MASW n. 1; acquisizione n. 1. Finestra temporale [0-600]ms.**



**Figura 19:** Sismogrammi relativi all'indagine sismica MASW n. 1; acquisizione n. 2.  
Finestra temporale [0-600]ms.

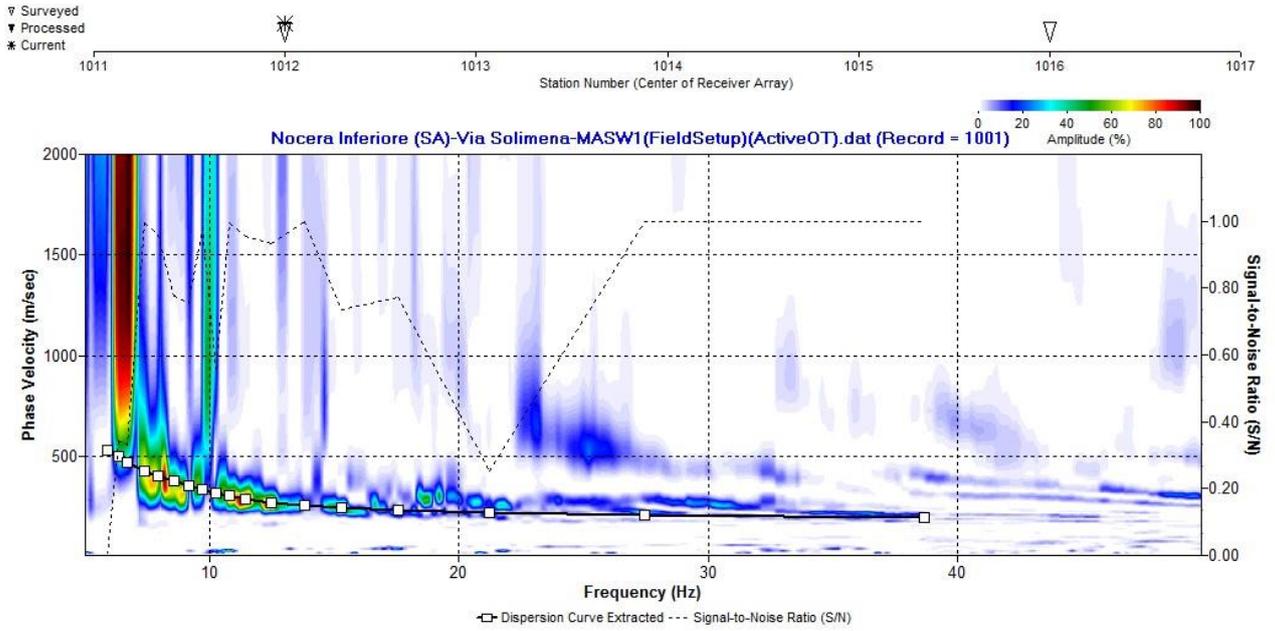


Figura 20: Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine sismica MASW n. 1; acquisizione n. 1.

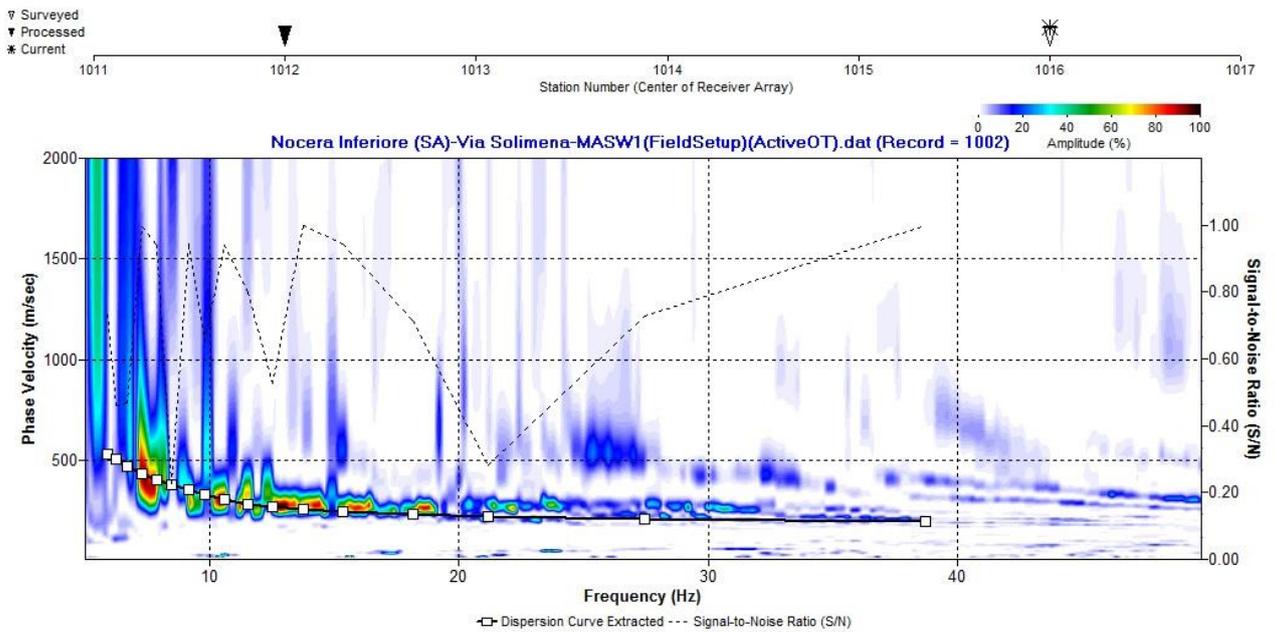


Figura 21: Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine sismica MASW n. 1; acquisizione n. 2.

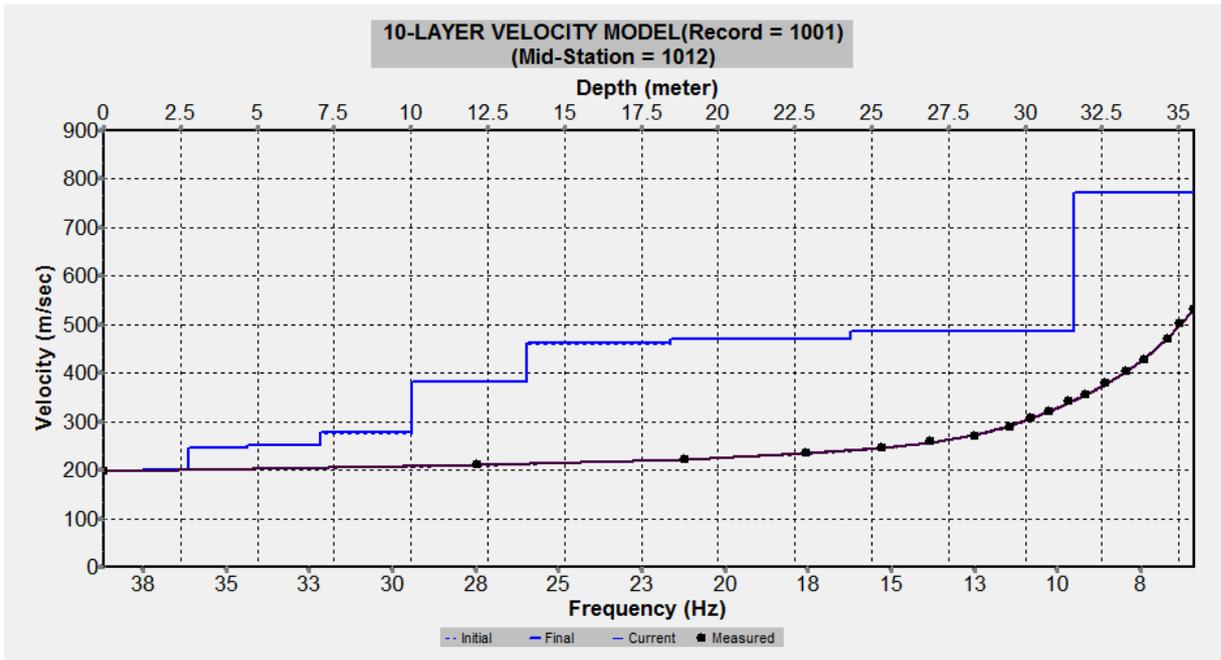


Figura 22: Profilo verticale 1D delle  $V_s$  ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh. MASW n. 1 - acquisizione n. 1.

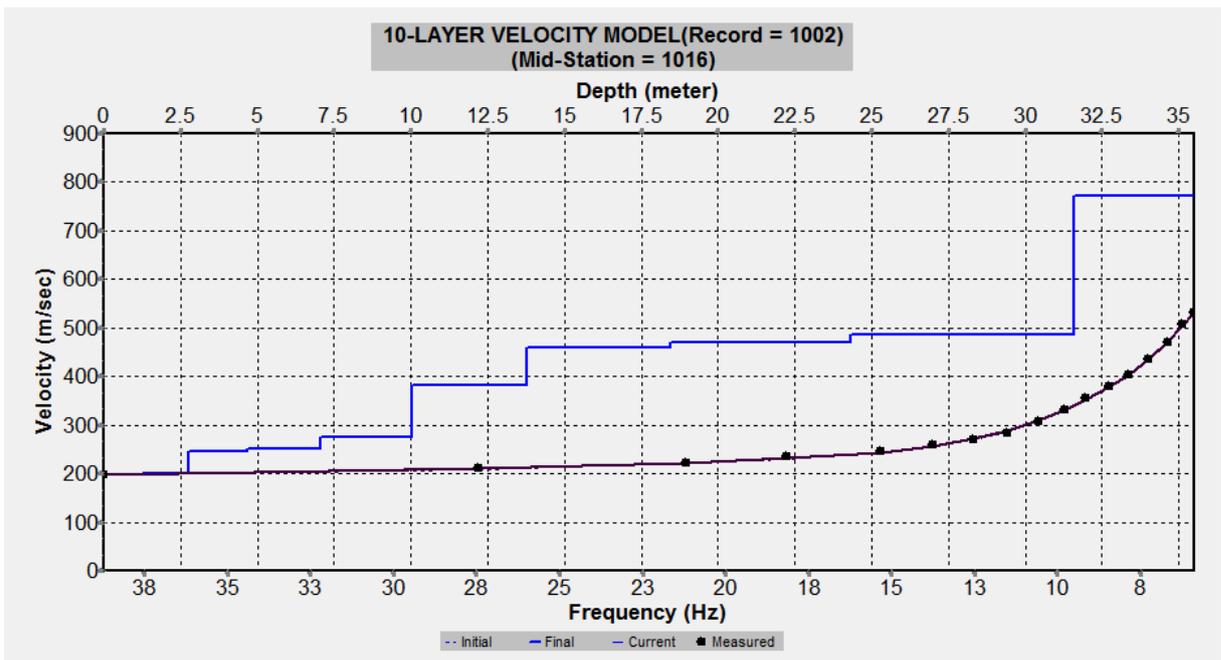
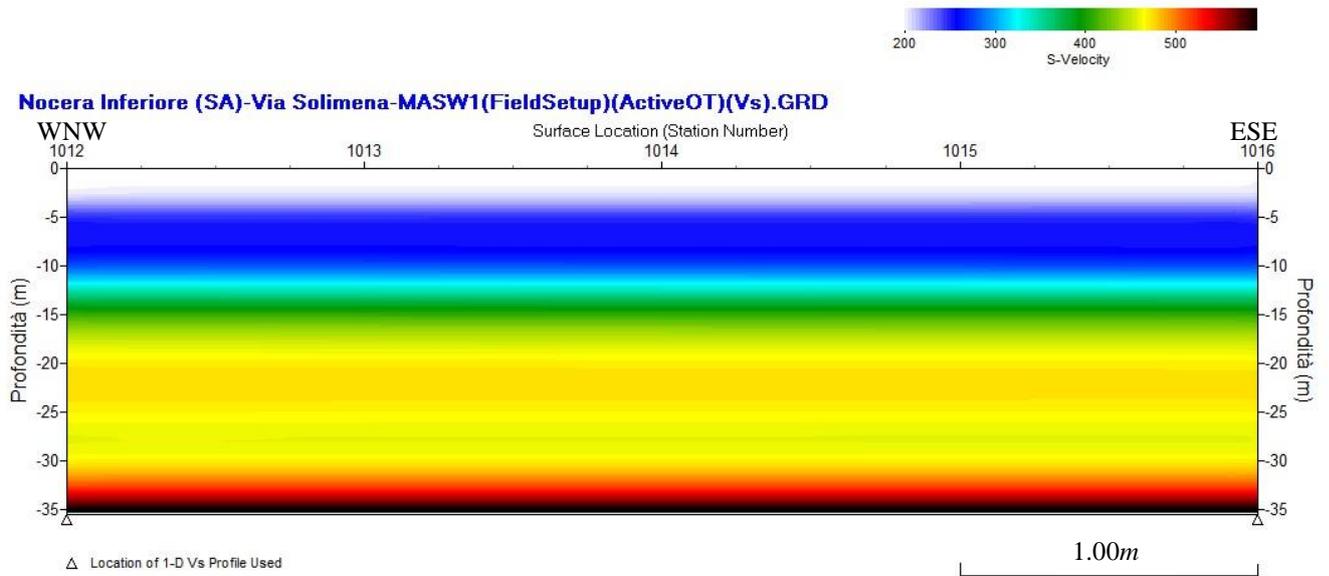
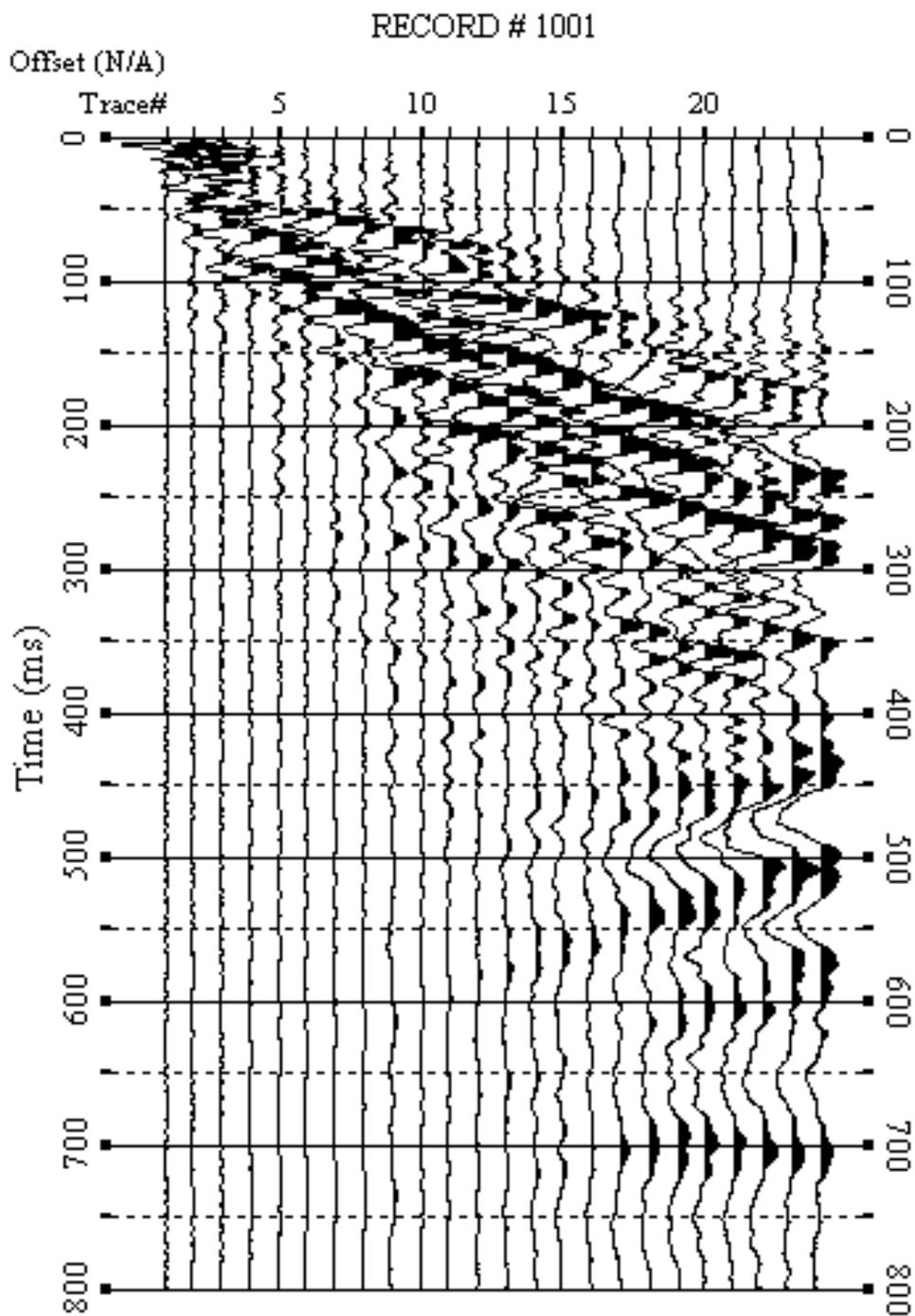


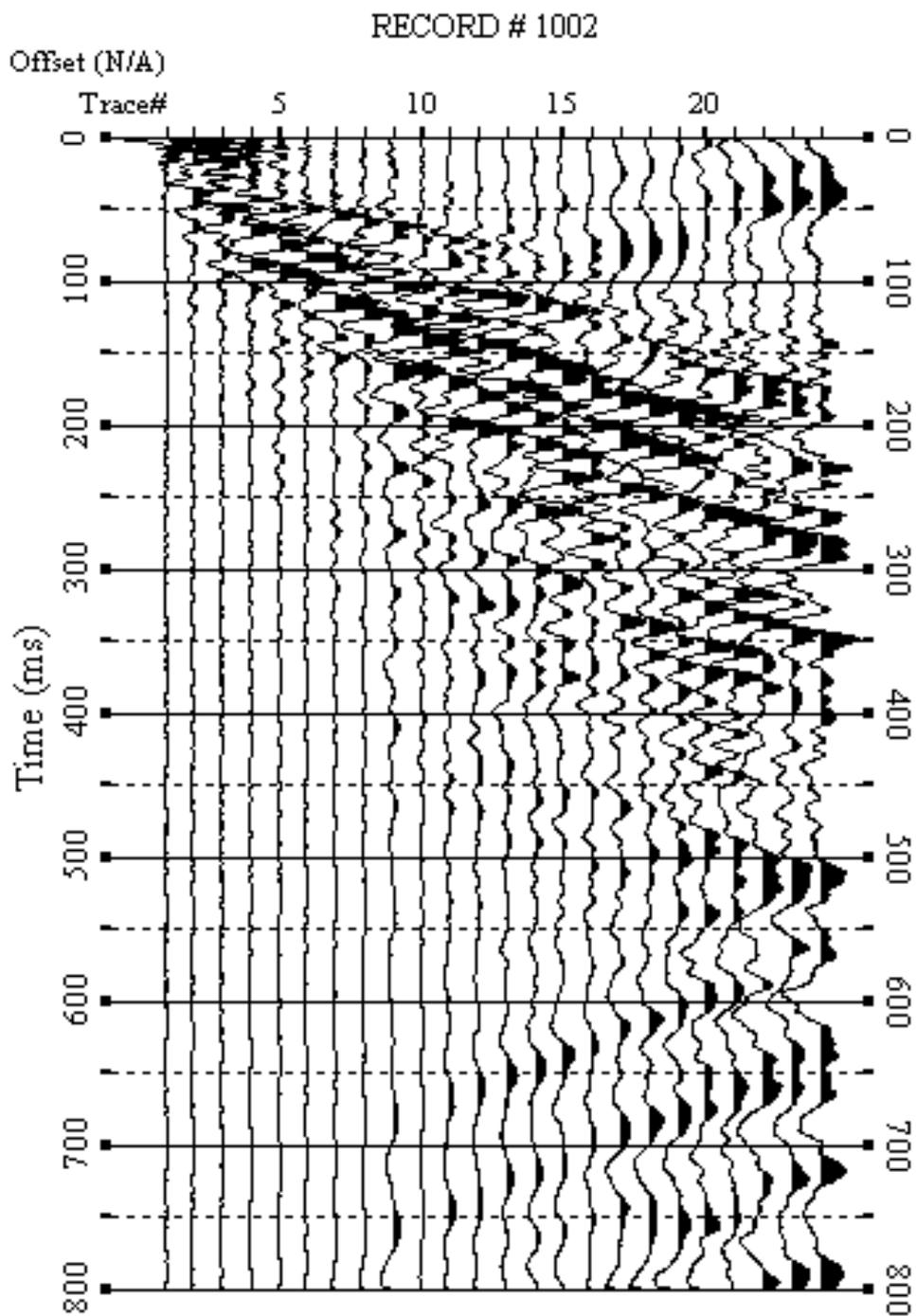
Figura 23: Profilo verticale 1D delle  $V_s$  ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh. MASW n. 1 - acquisizione n. 2.



**Figura 24: Modello sismostratigrafico 2D delle  $V_s$  ottenuto dall'indagine sismica MASW n. 1.**



**Figura 25: Sismogrammi relativi all'indagine sismica MASW n. 2; acquisizione n. 1. Finestra temporale [0-800]ms.**



**Figura 26: Sismogrammi relativi all'indagine sismica MASW n. 2; acquisizione n. 2.  
Finestra temporale [0-800]ms.**

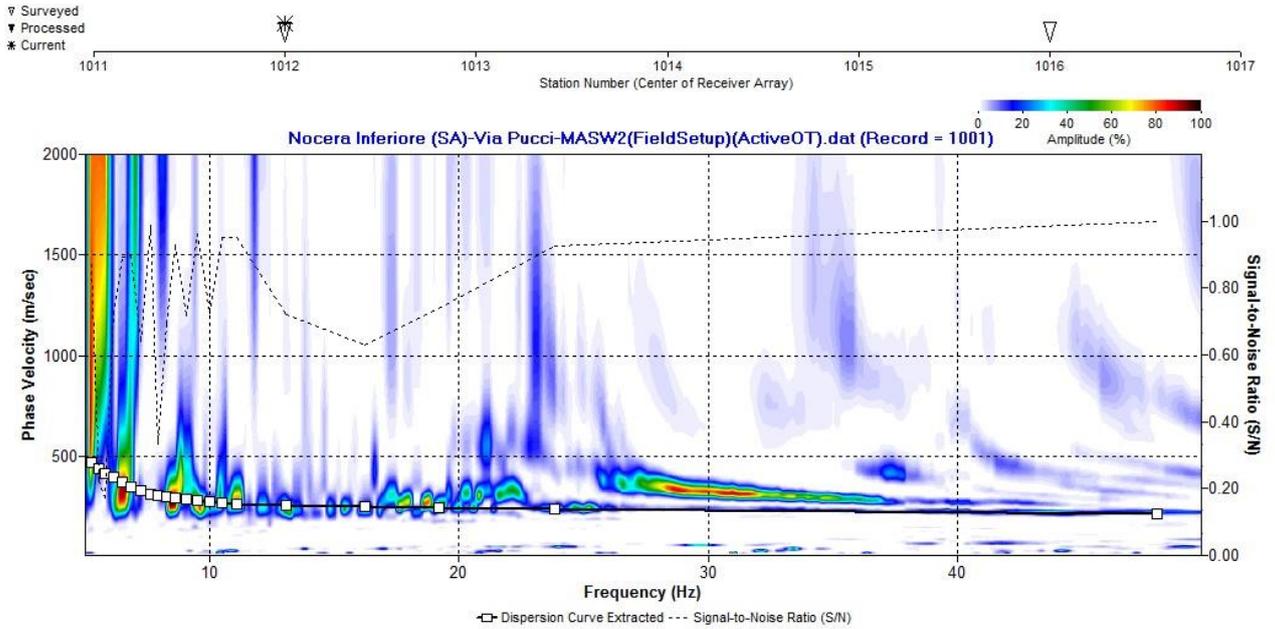


Figura 27: Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine sismica MASW n. 2; acquisizione n. 1.

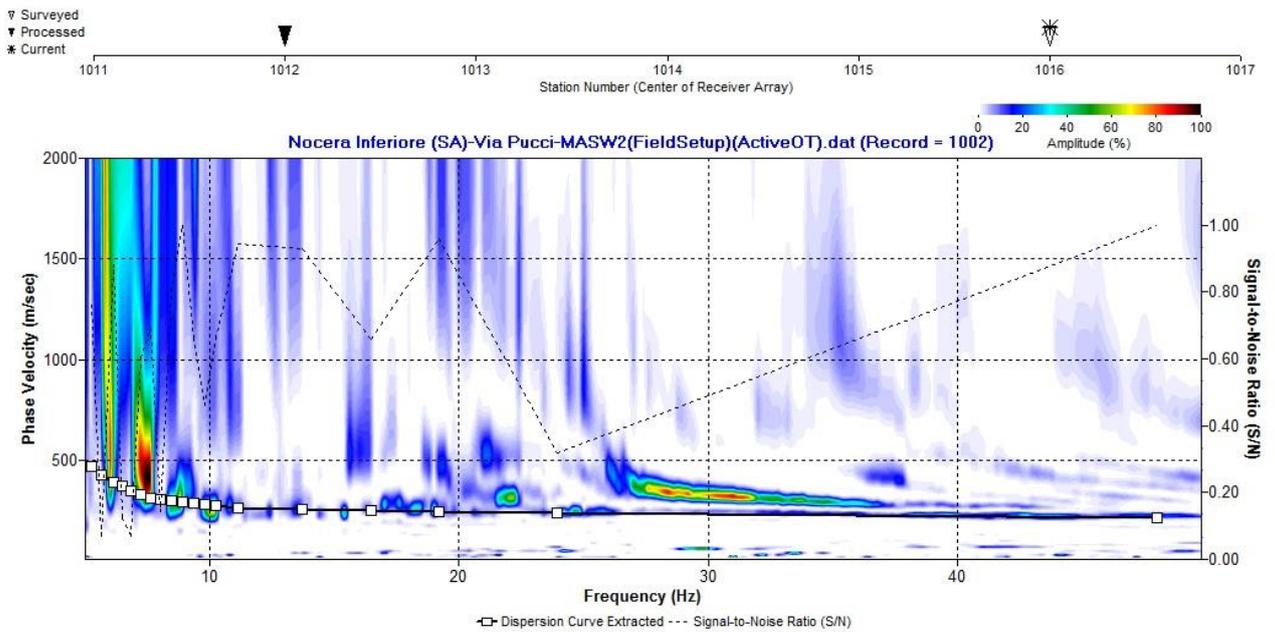


Figura 28: Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine sismica MASW n. 2; acquisizione n. 2.

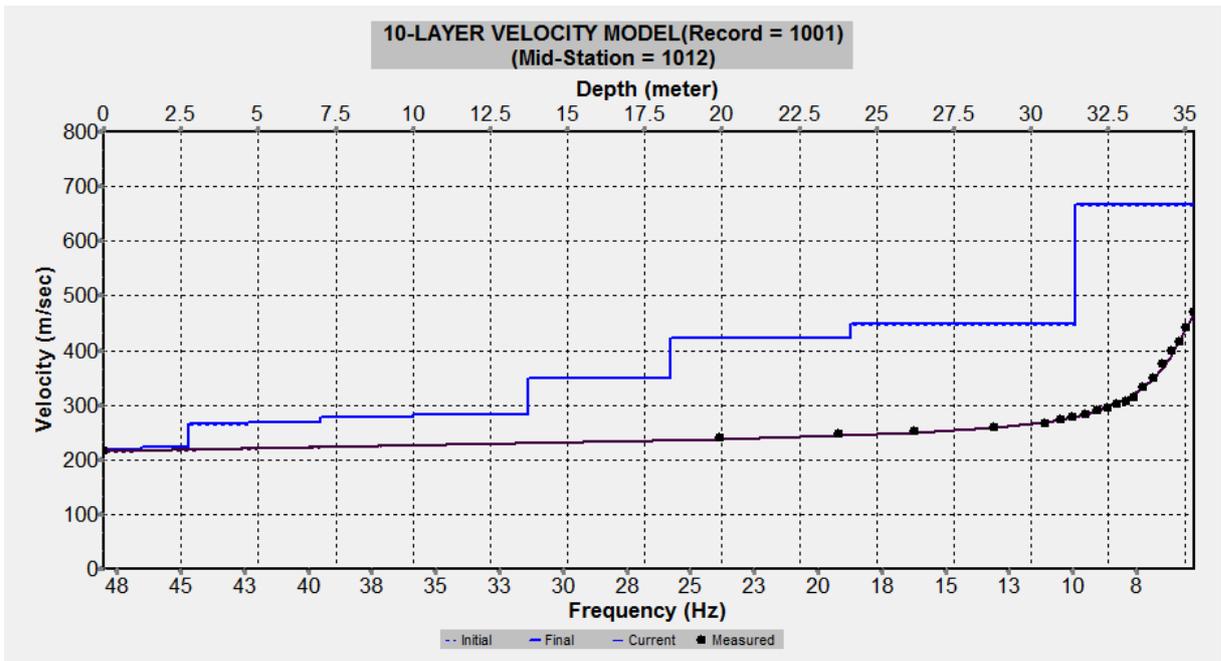


Figura 29: Profilo verticale 1D delle  $V_s$  ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh. MASW n. 2 - acquisizione n. 1.

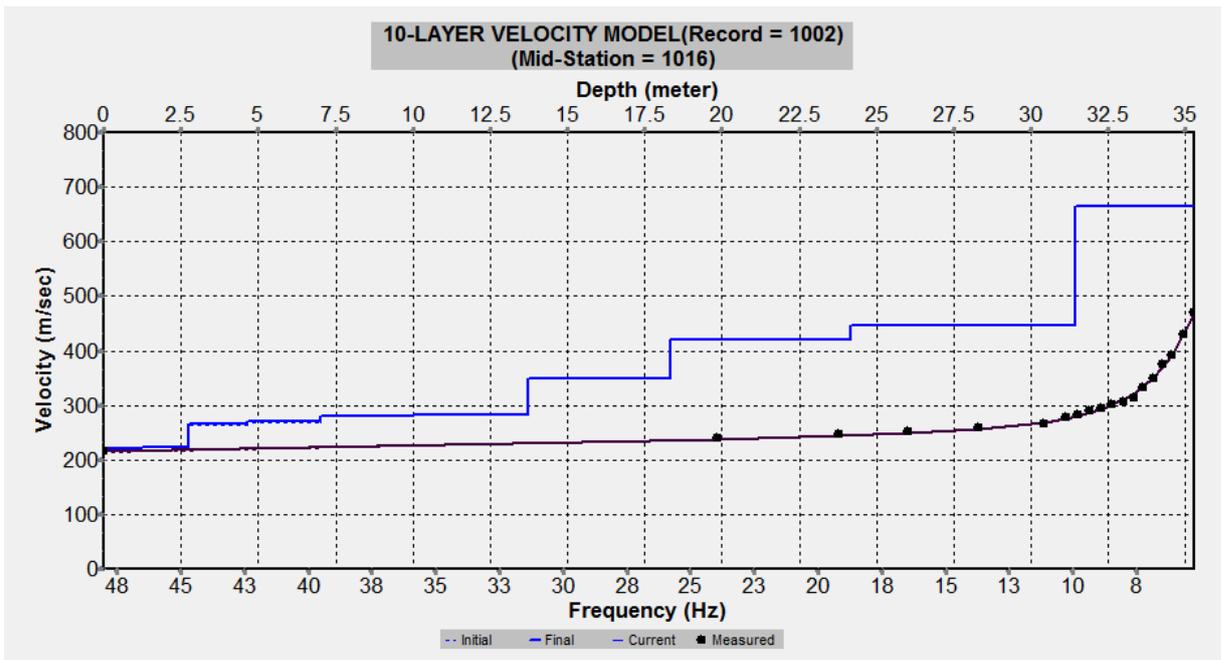
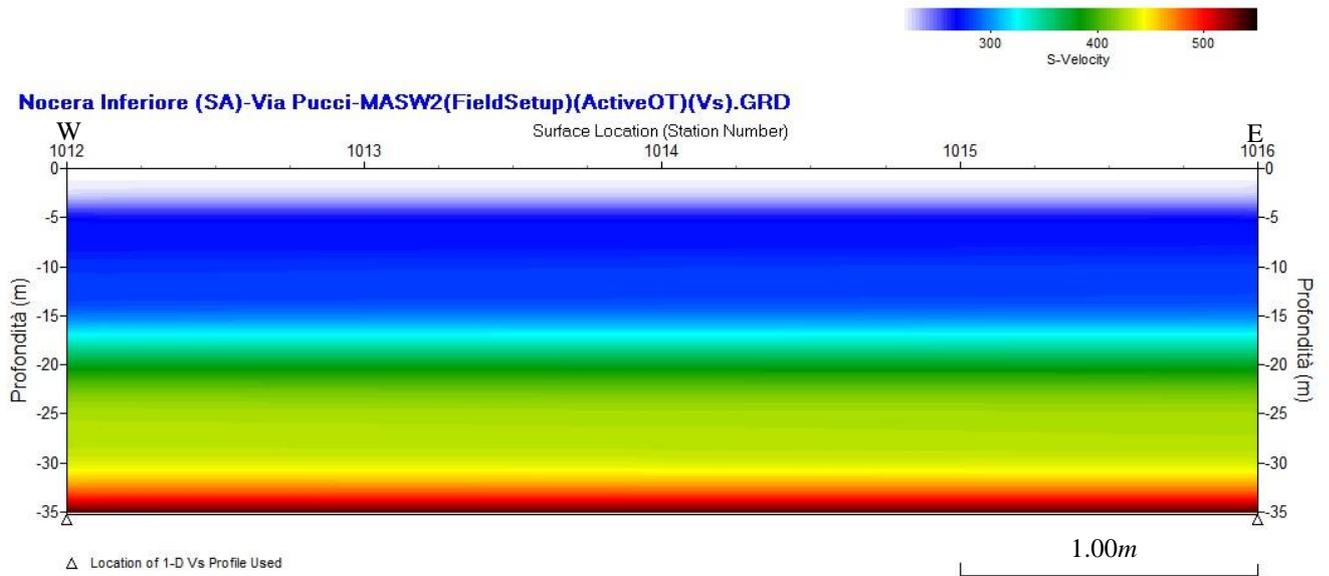
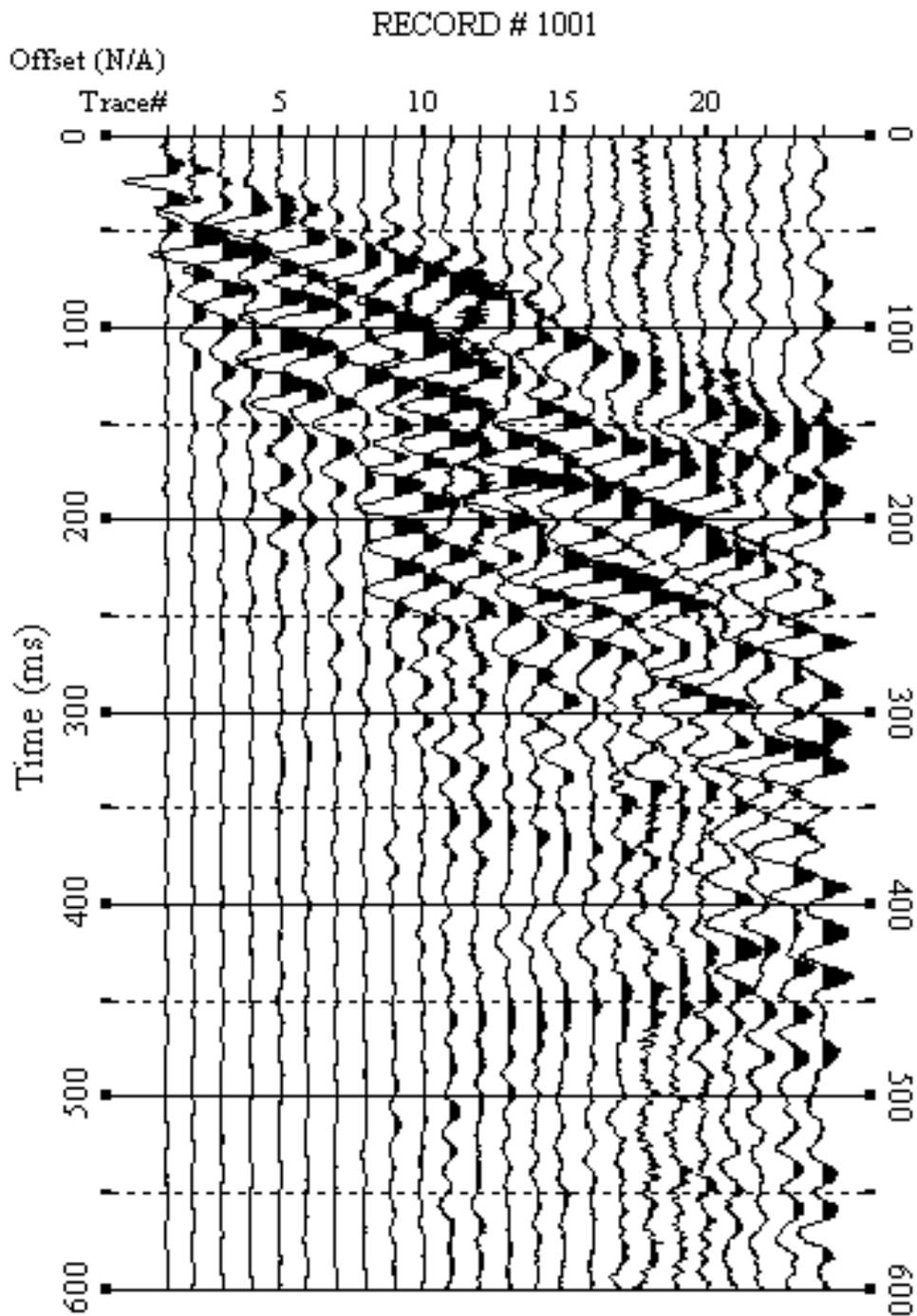


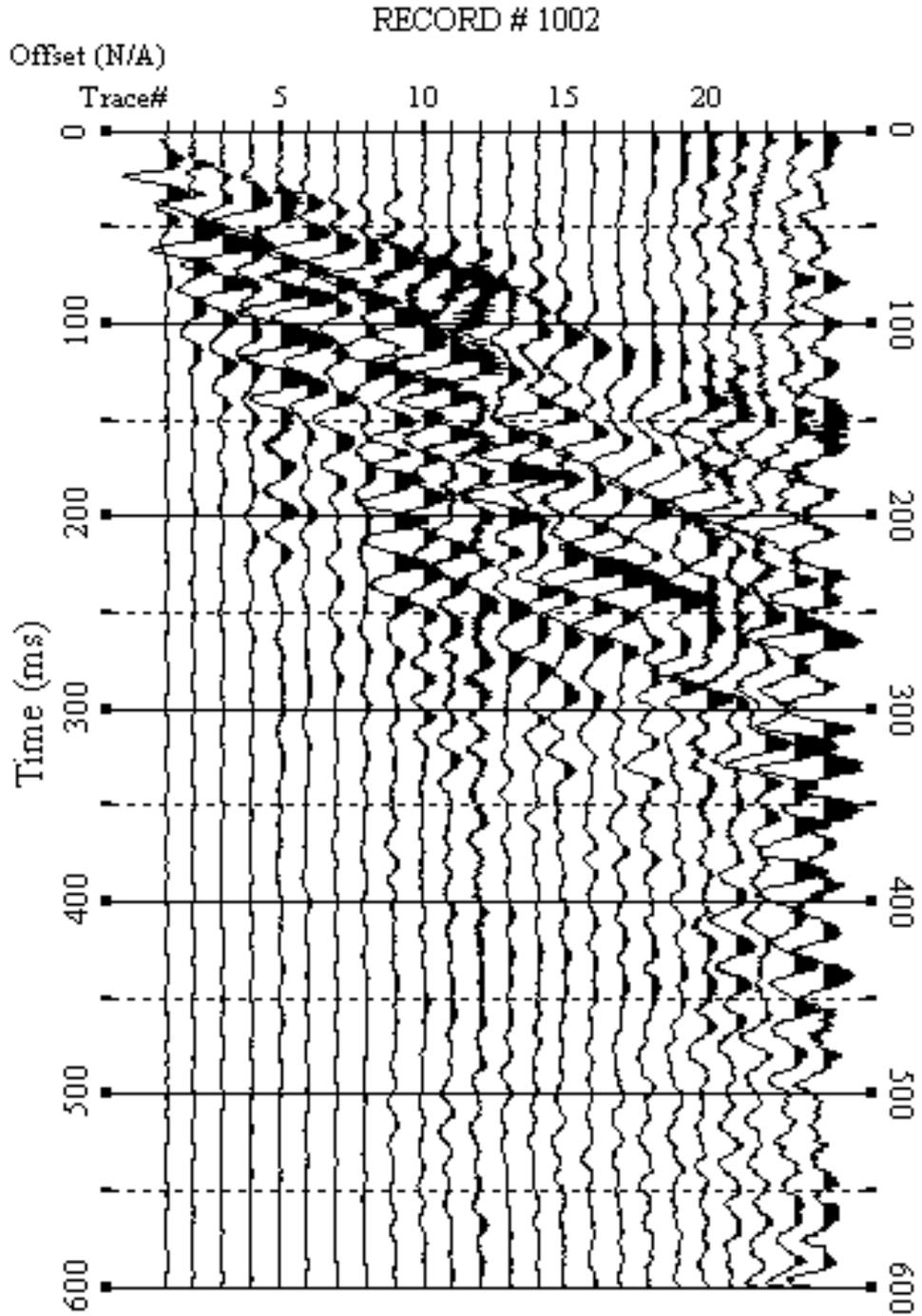
Figura 30: Profilo verticale 1D delle  $V_s$  ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh. MASW n. 2 - acquisizione n. 2.



**Figura 31: Modello sismostratigrafico 2D delle  $V_s$  ottenuto dall'indagine sismica MASW n. 2.**



**Figura 32: Sismogrammi relativi all'indagine sismica MASW n. 3; acquisizione n. 1. Finestra temporale [0-600]ms.**



**Figura 33: Sismogrammi relativi all'indagine sismica MASW n. 3; acquisizione n. 2.  
Finestra temporale [0-600]ms.**

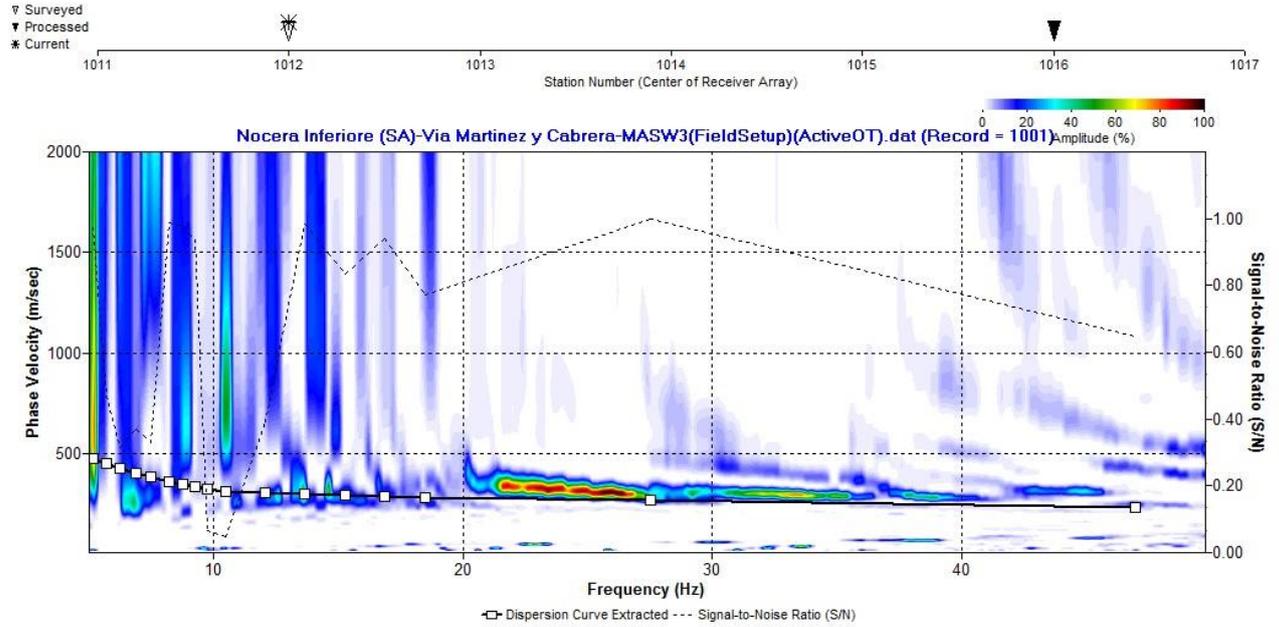


Figura 34: Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine sismica MASW n. 3; acquisizione n. 1.

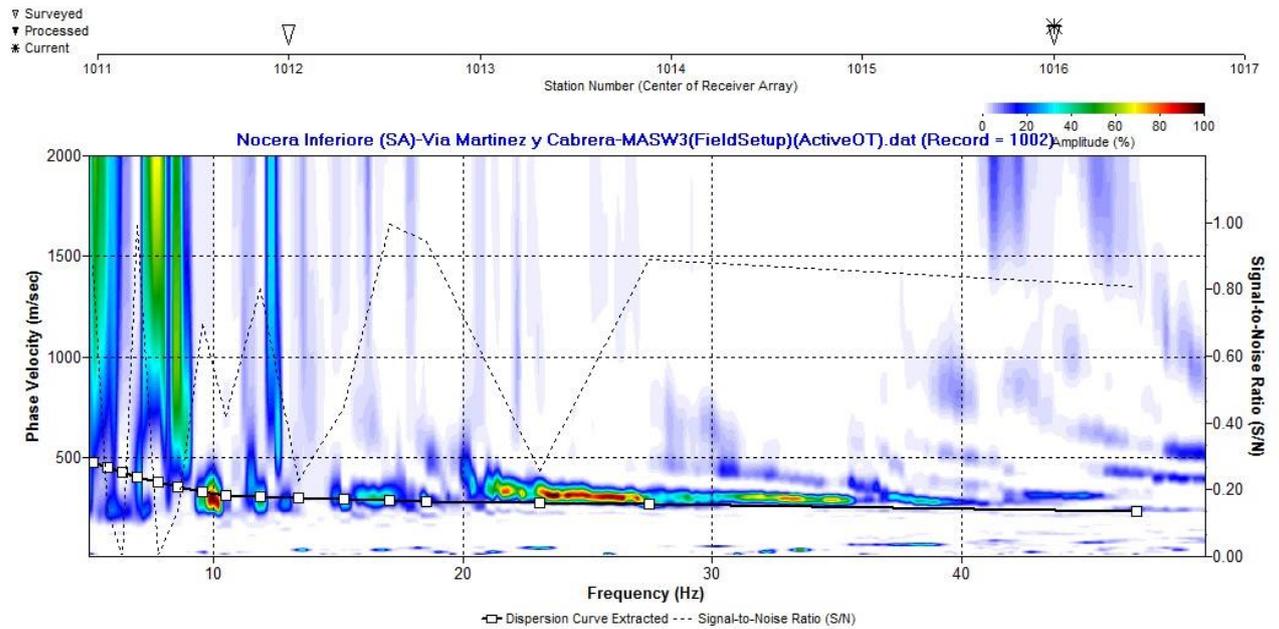


Figura 35: Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine sismica MASW n. 3; acquisizione n. 2.

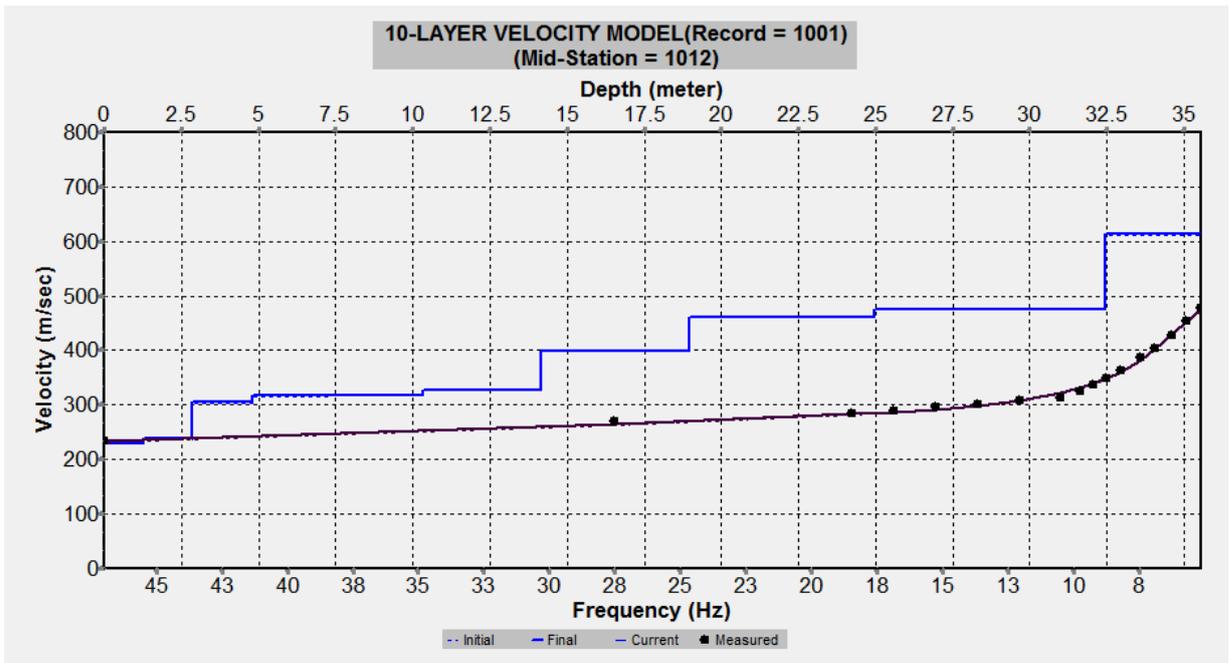


Figura 36: Profilo verticale 1D delle  $V_s$  ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh. MASW n. 3 - acquisizione n. 1.

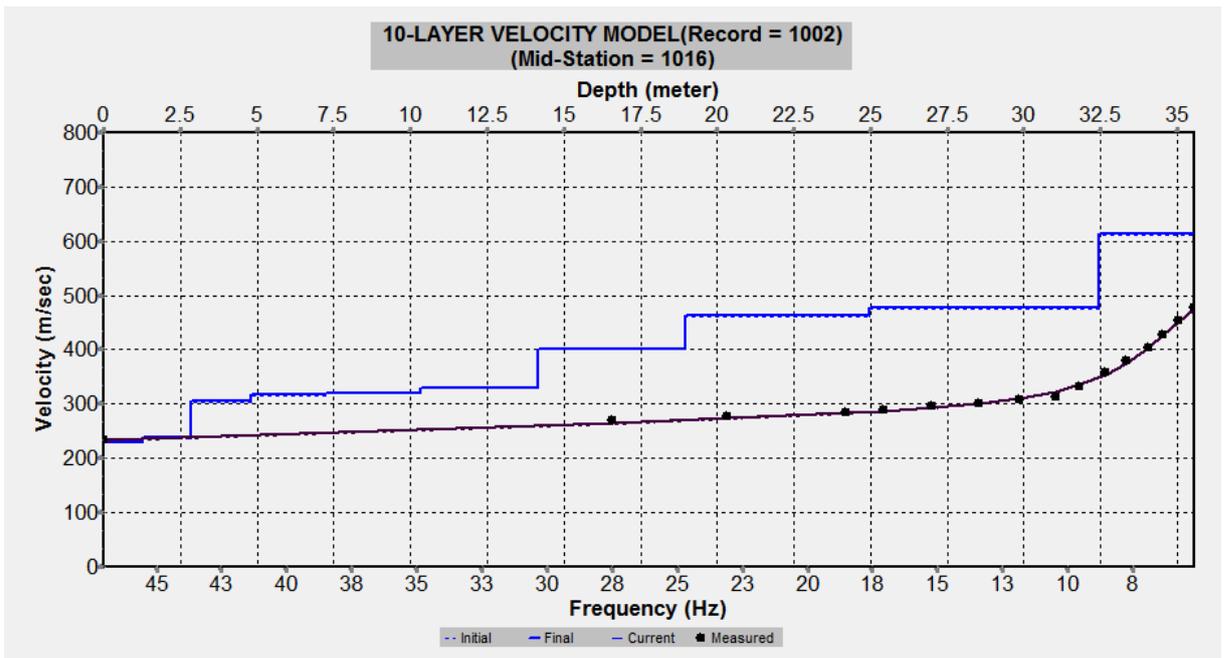
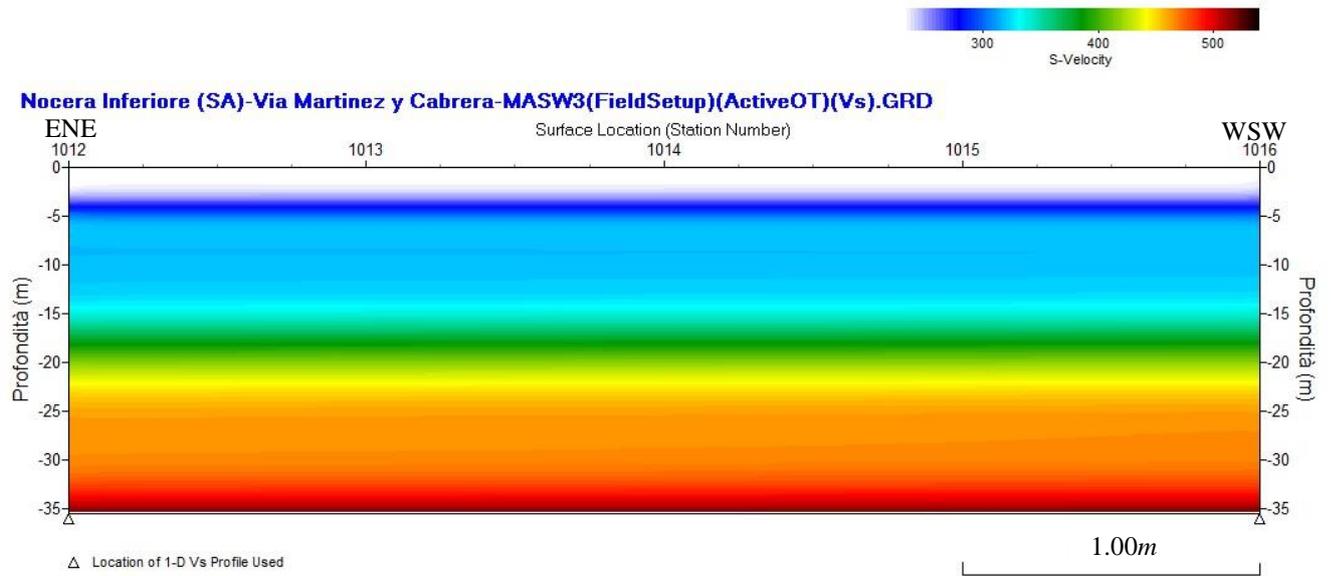
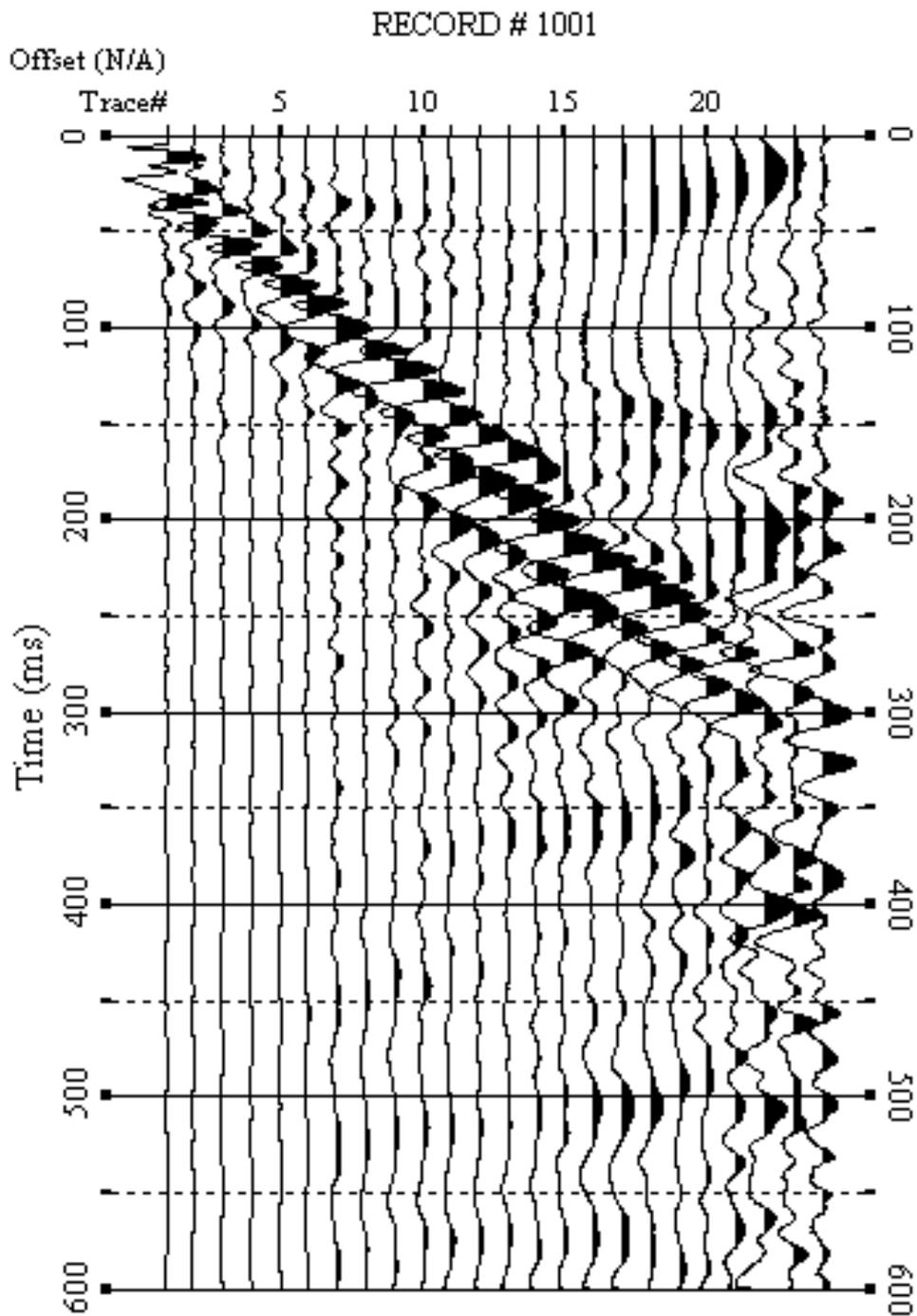


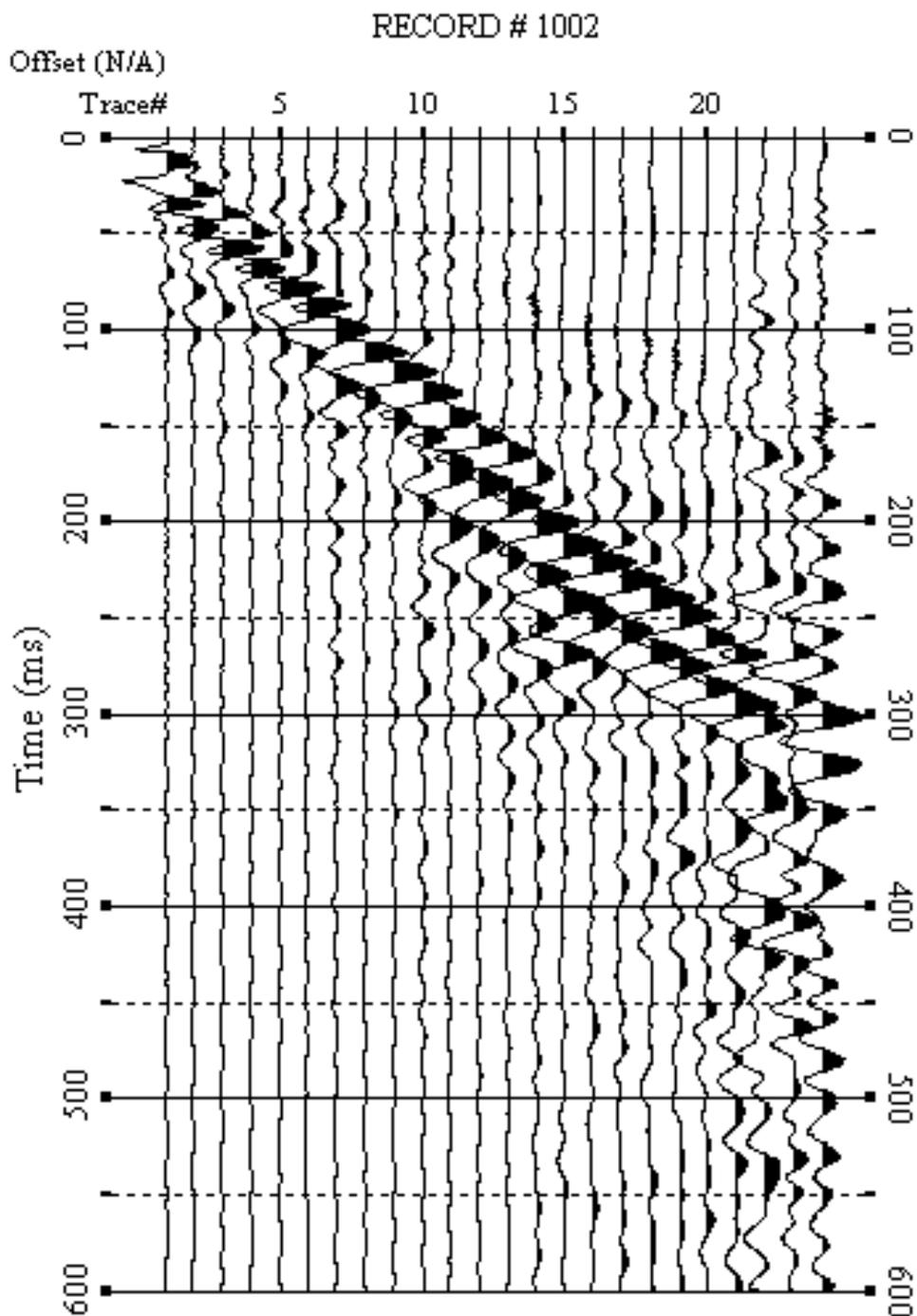
Figura 37: Profilo verticale 1D delle  $V_s$  ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh. MASW n. 3 - acquisizione n. 2.



**Figura 38 – Modello sismostratigrafico 2D delle  $V_s$  ottenuto dall'indagine sismica MASW n. 3.**



**Figura 39: Sismogrammi relativi all'indagine sismica MASW n. 4: acquisizione n. 1. Finestra temporale [0-600]ms.**



**Figura 40: Sismogrammi relativi all'indagine sismica MASW n. 4; acquisizione n. 2.  
Finestra temporale [0-600]ms.**

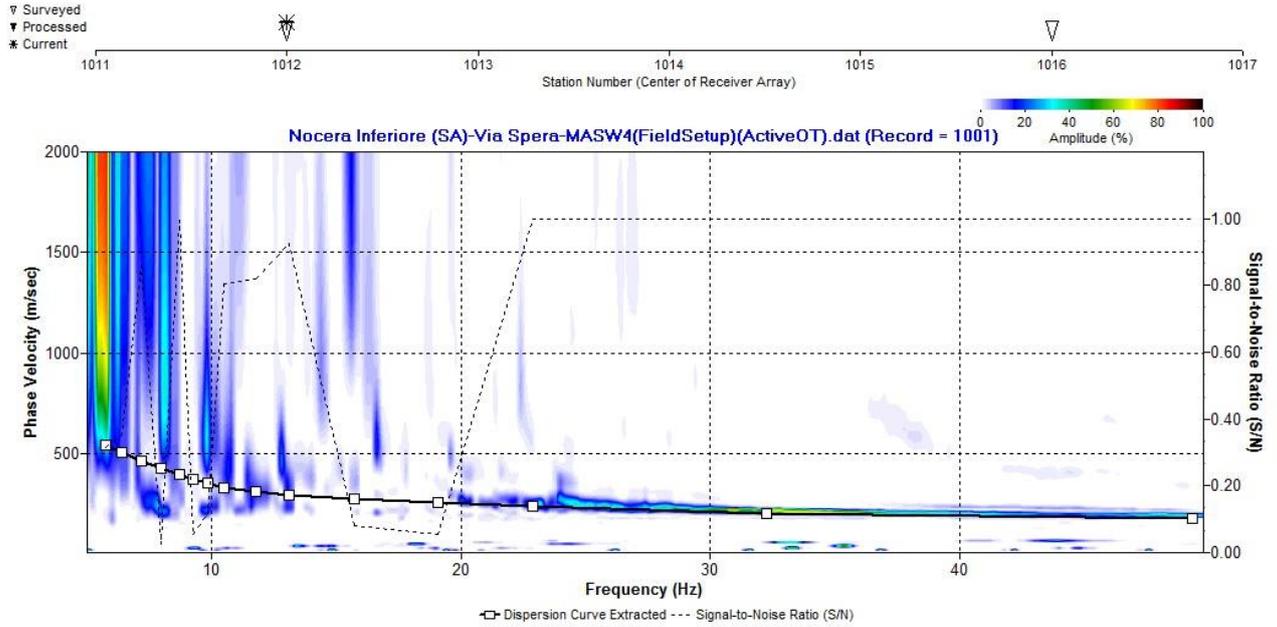


Figura 41: Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine sismica MASW n. 4: acquisizione n. 1.

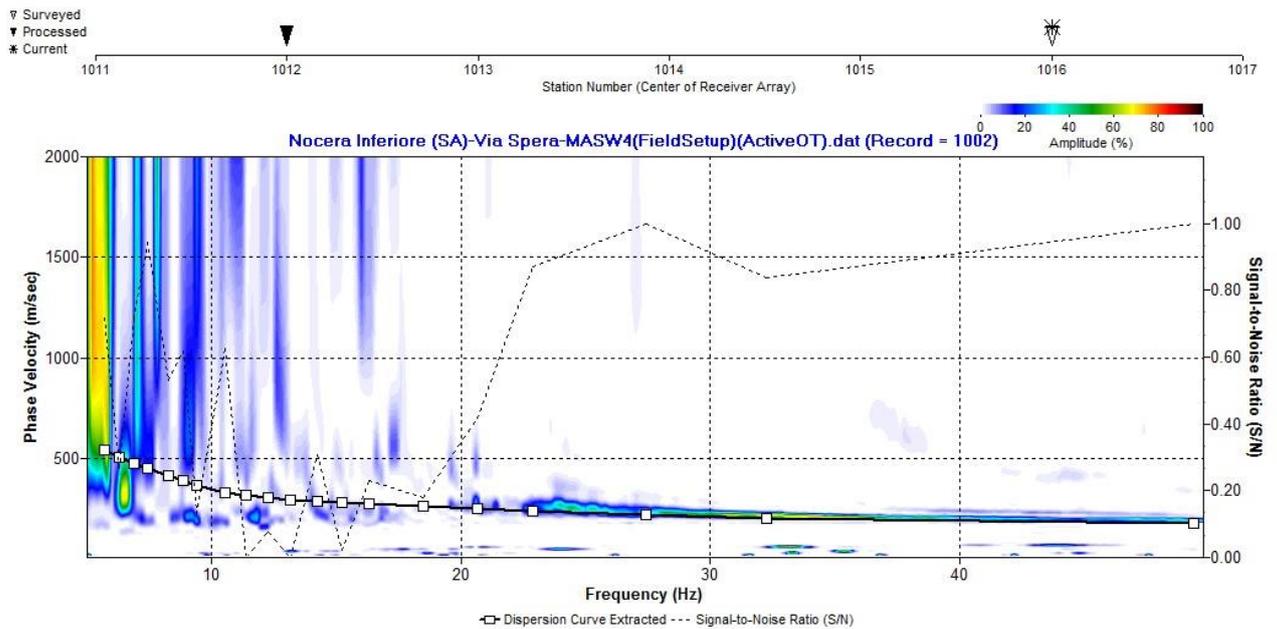


Figura 42: Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine sismica MASW n. 4; acquisizione n. 2.

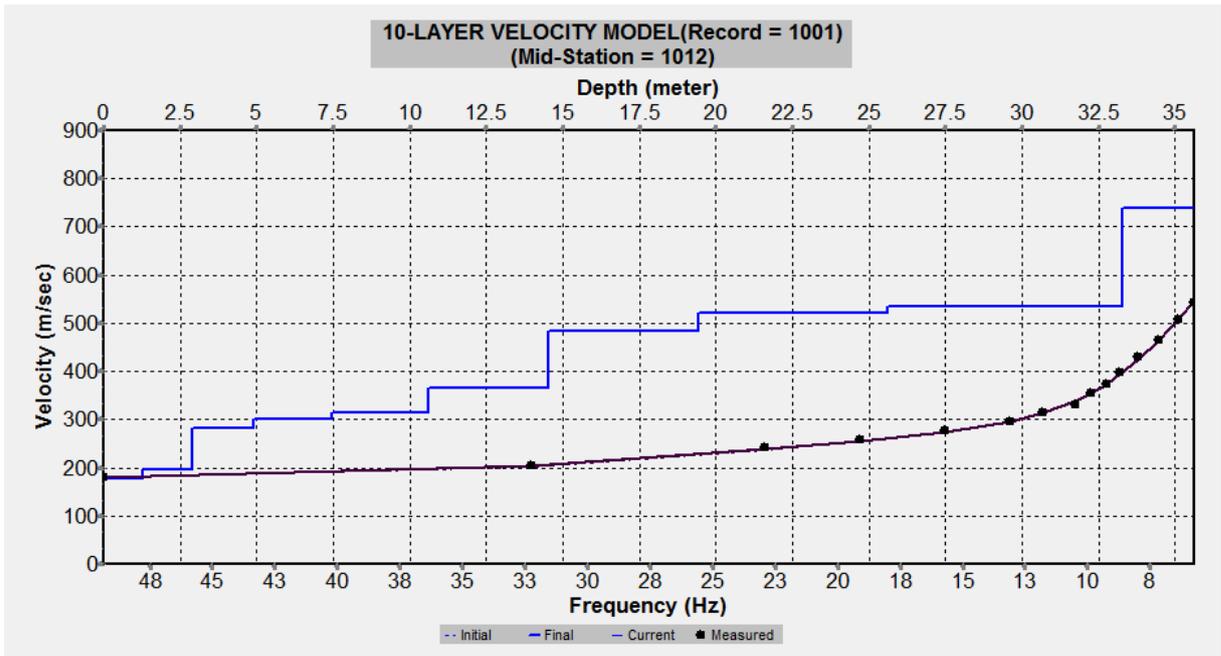


Figura 43: Profilo verticale 1D delle  $V_s$  ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh. MASW n. 4 - acquisizione n. 1.

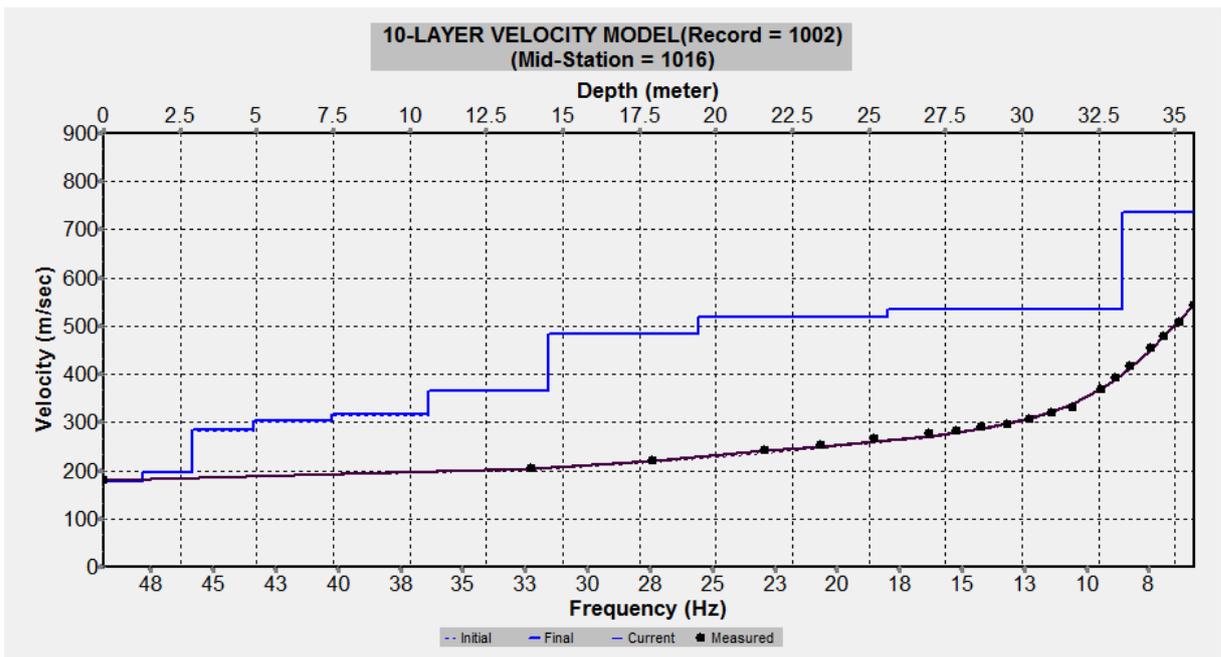
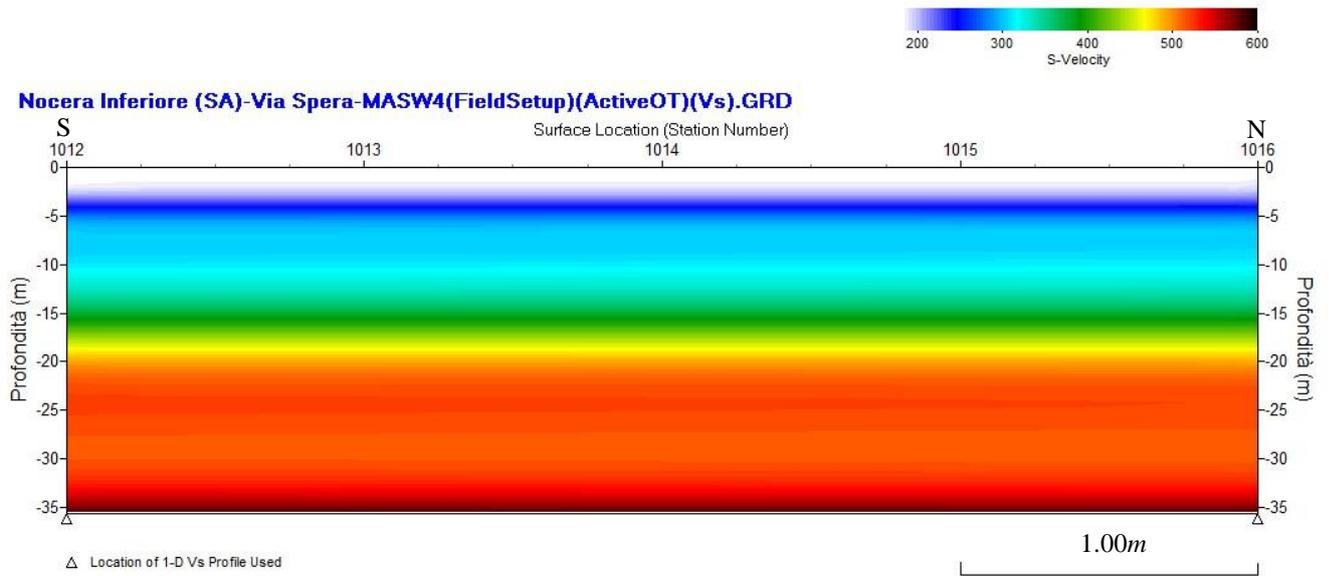
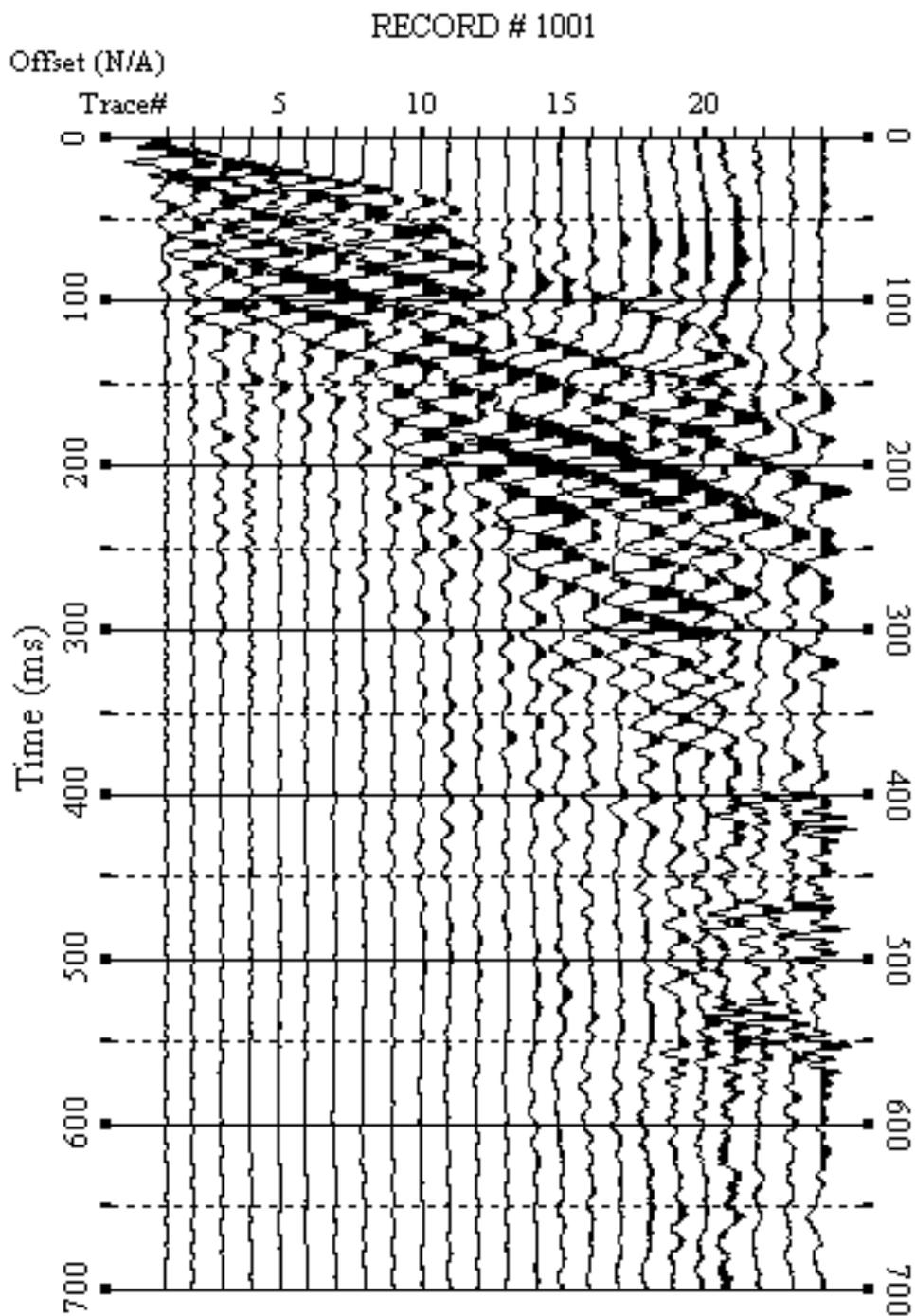


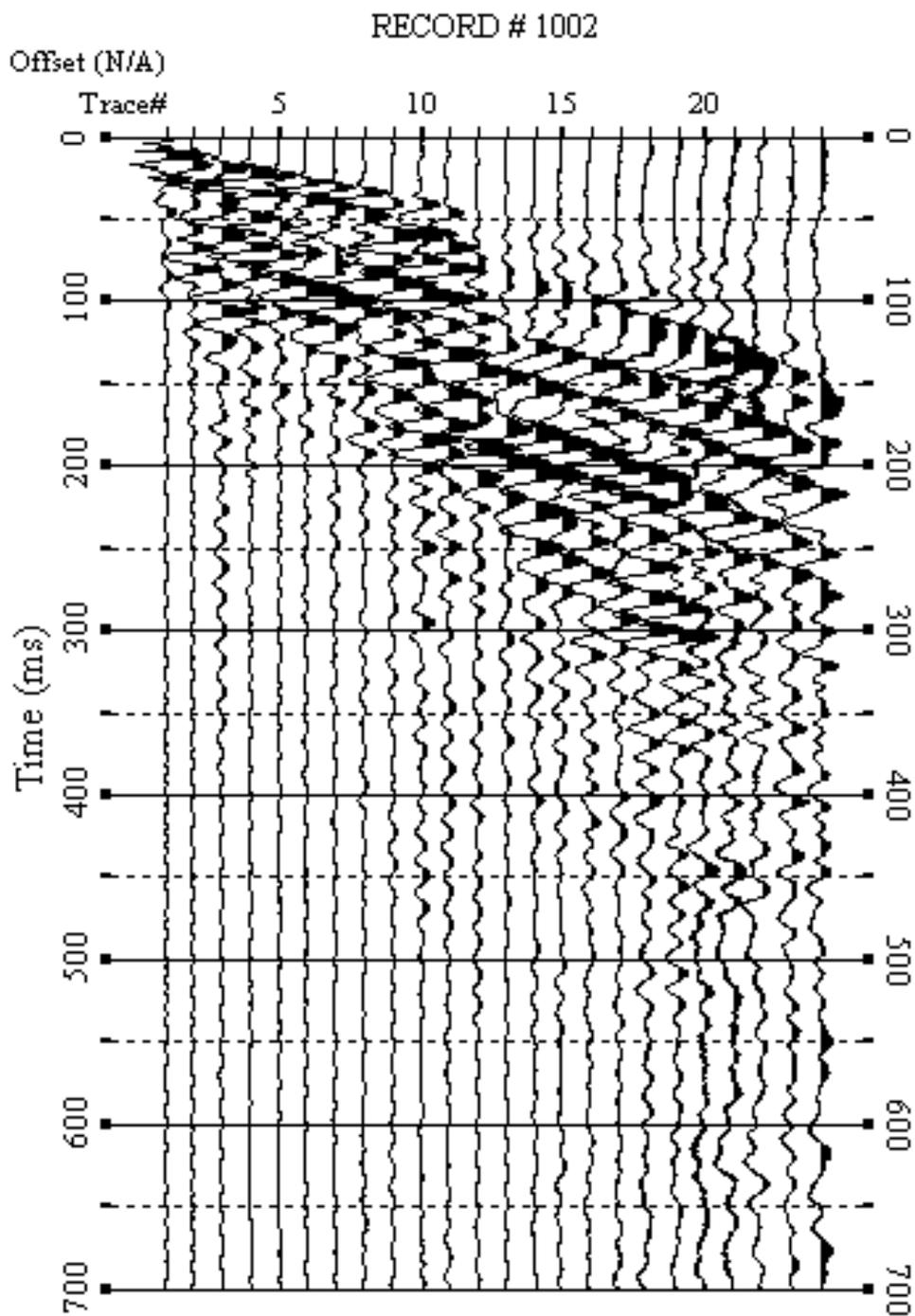
Figura 44: Profilo verticale 1D delle  $V_s$  ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh. MASW n. 4 - acquisizione n. 2.



**Figura 45: Modello sismostratigrafico 2D delle  $V_s$  ottenuto dall'indagine sismica MASW n. 4.**



**Figura 46: Sismogrammi relativi all'indagine sismica MASW n. 5; acquisizione n. 1. Finestra temporale [0-700]ms.**



**Figura 47: Sismogrammi relativi all'indagine sismica MASW n. 5; acquisizione n. 2.  
Finestra temporale [0-700]ms.**

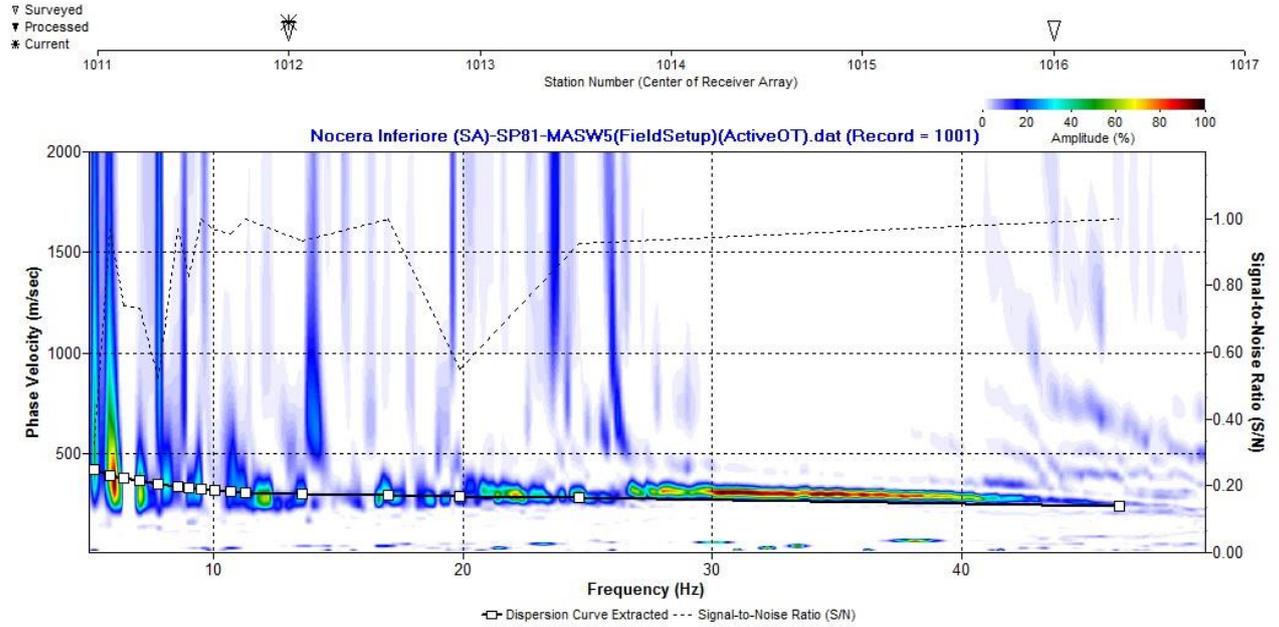


Figura 48: Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine sismica MASW n. 5; acquisizione n. 1.

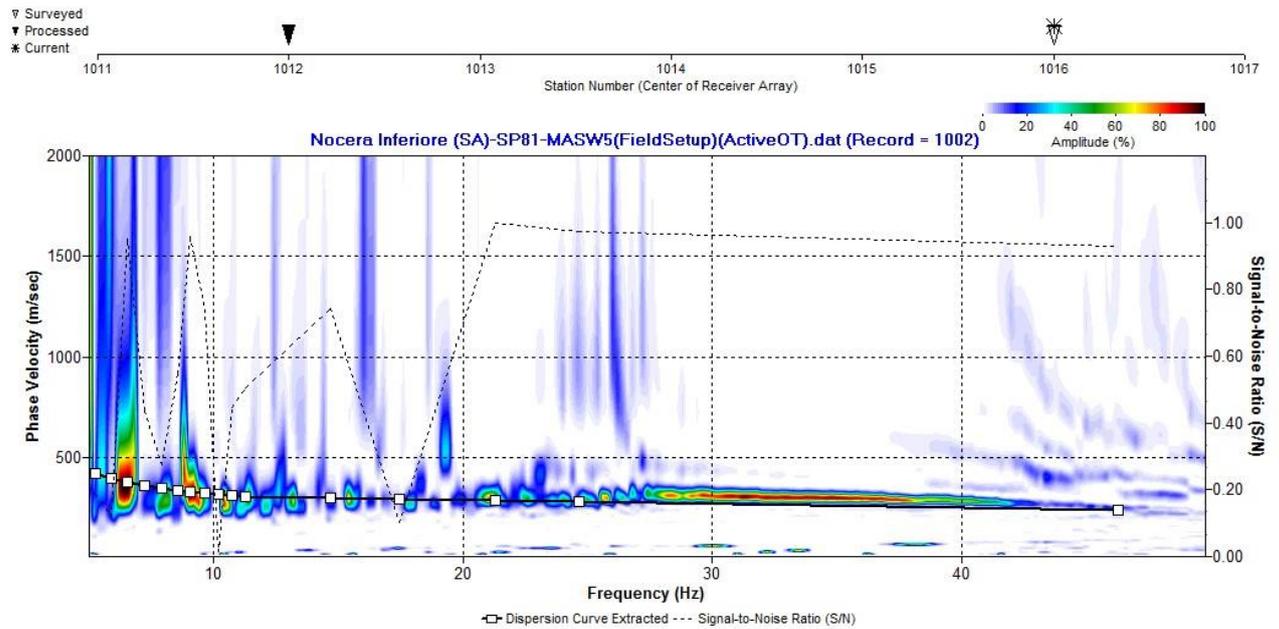


Figura 49: Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine sismica MASW n. 5; acquisizione n. 2.

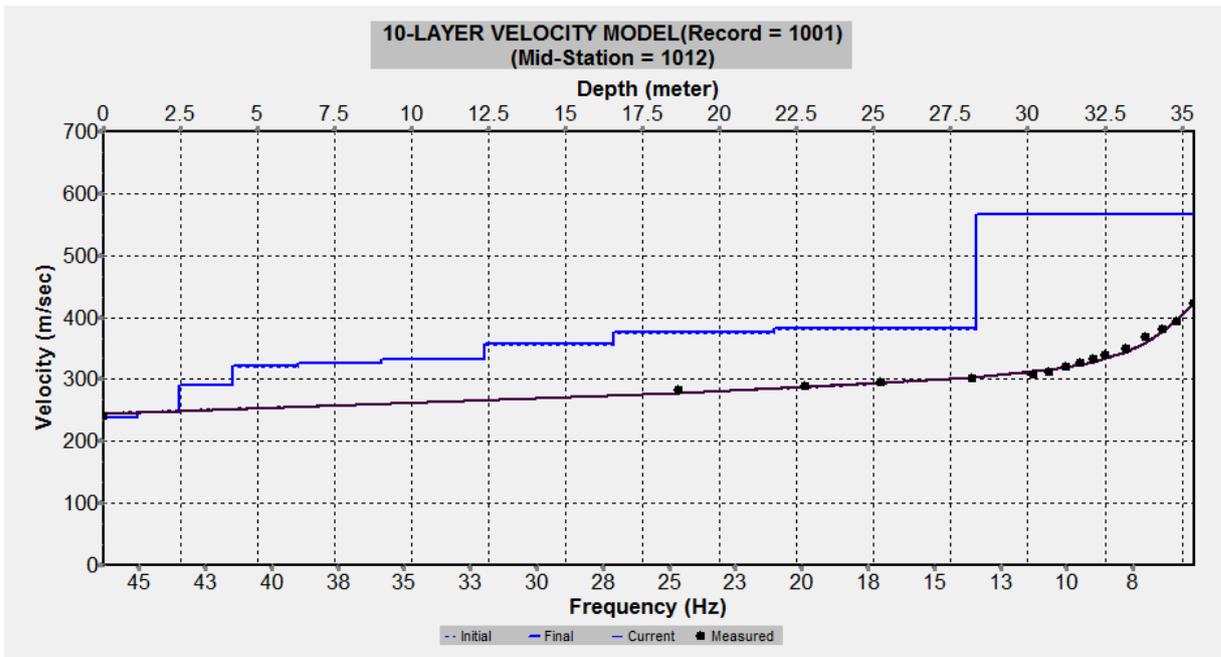


Figura 50: Profilo verticale 1D delle  $V_s$  ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh. MASW n. 5 - acquisizione n. 1.

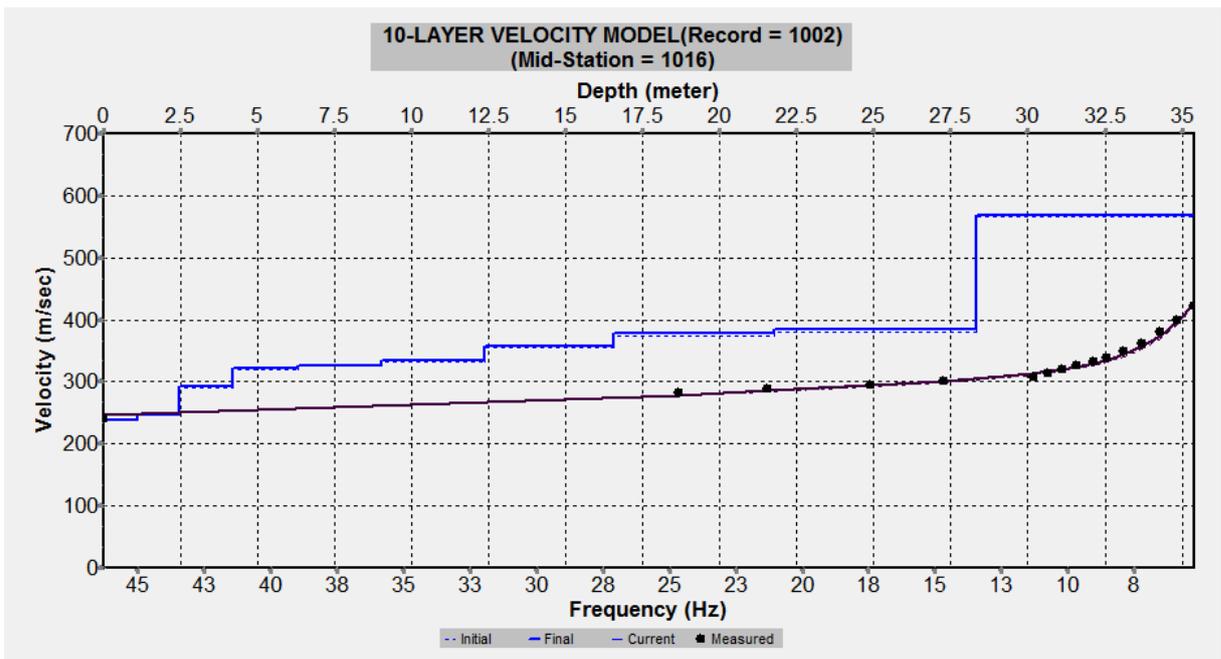
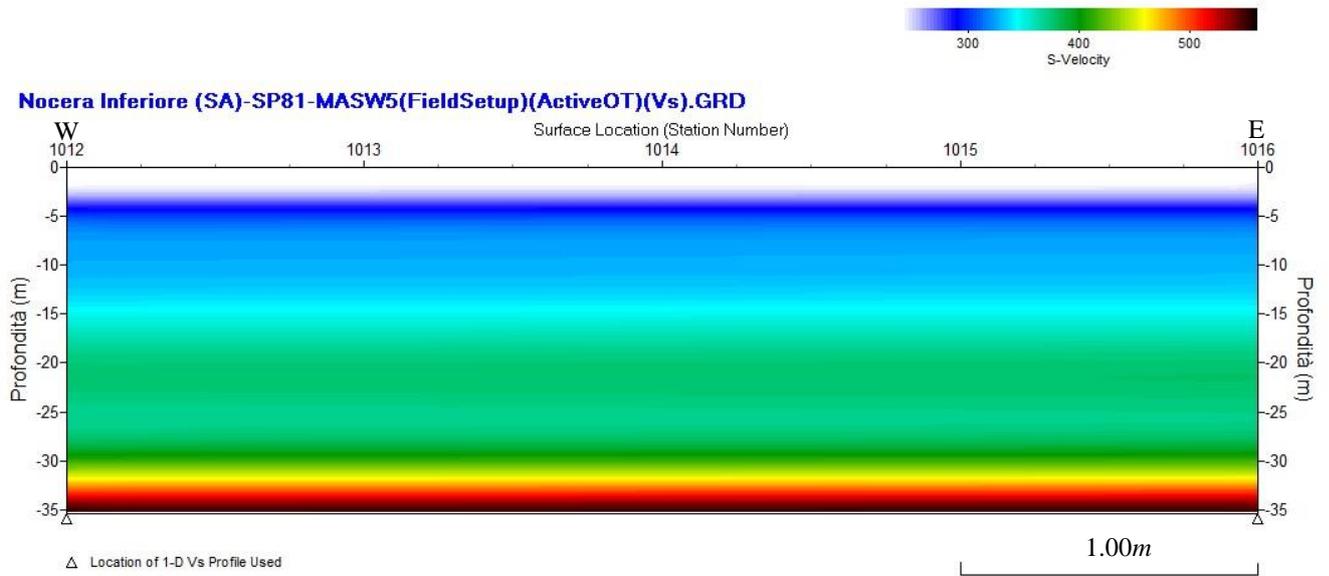


Figura 51: Profilo verticale 1D delle  $V_s$  ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh. MASW n. 5 - acquisizione n. 2.



**Figura 52: Modello sismostratigrafico 2D delle  $V_s$  ottenuto dall'indagine sismica MASW n. 5.**

## 6. INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI

Le prospezioni sismiche esperite, considerando la sismostratigrafia registrata fino alla profondità di 30m (0m ÷ 30m) dal p.c. e fino alla profondità di 30 metri dal piano di posa delle fondazioni delle opere a farsi, hanno fornito risultati che collocano i terreni investigati nelle categorie B e C di cui alla Tabella 3.2.II del D.M. 17 gennaio 2018 (cfr. Tabella 6.1 e Tabella 6.2).

CATEGORIA	DESCRIZIONE
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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.
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti,</i> 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.
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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.
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti,</i> 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.
<b>E</b>	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D,</i> con profondità del substrato non superiore a 30 m.

**Tabella 6.1: Categorie di sottosuolo (Tabella 3.2.II del D.M. 17 gennaio 2018)**

Prospezione sismica	$V_S(0\div30)$ (m/s)	$V_{S(3.2\div33.2)}$ (m/s)	$V_{S(4.2\div34.2)}$ (m/s)	$V_{S(4.8\div34.8)}$ (m/s)	$V_{S(7\div37)}$ (m/s)	Categorie sottosuolo
MASW n. 1	349	-	410 ÷ 411	-	-	C/B
MASW n. 2	325	396	-	-	-	C/B
MASW n. 3	350 ÷ 351	-	-	397 ÷ 398	-	C/B
MASW n. 4	354 ÷ 355	-	-	-	460	C/B
MASW n. 5	346 ÷ 347	-	383 ÷ 384	-	-	C/B

**Tabella 6.2: Categorie di sottosuolo desunte dalle prospezioni sismiche.**

Le susedposte categorie sono state ricavate, come da normativa, dalla relazione:

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

dove  $h_i$  e  $V_i$  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 fino ad individuare il bedrock sismico, o qualora non individuato nei primi 30 metri di profondità al di sotto del piano fondale.

Il coefficiente topografico, nel caso di specie, con riferimento alla seguente Tabella 6.3 (NTC 2018) appartiene in tutti i casi alla categoria  $T_1$ .

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
<b>T<sub>1</sub></b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
<b>T<sub>2</sub></b>	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
<b>T<sub>3</sub></b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
<b>T<sub>4</sub></b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

**Tabella 6.3: Categorie topografiche (Tabella 3.2.III del D.M. 17 gennaio 2018)**

## **7. RISPOSTA SISMICA LOCALE**

È noto da tempo che i danni che si manifestano durante un terremoto possono avere dimensioni molto diverse in località tra loro vicine a causa di una differente risposta sismica locale; ad esempio, per lo stesso sisma registrato da strumenti identici e a breve distanza reciproca, uno posto su di una coltre alluvionale di 200m di spessore, l'altro su rocce cristalline, fu rilevato un rapporto di ampiezza pari a 5 corrispondente a circa 2 unità della scala sismica delle intensità (Carrara et al., 1992). D'altra parte, lo stesso concetto di magnitudo tiene conto di ciò, legando la sua valutazione all'ampiezza del moto del suolo normalizzata sia mediante una funzione di attenuazione con la distanza, sia mediante un coefficiente di stazione e quest'ultimo è legato, appunto, alla diversa risposta dei siti di registrazione ad uno stesso evento sismico.

Questo fenomeno fu notato per la prima volta un secolo fa quando, durante il tristemente noto terremoto di S. Francisco del 1906, edifici praticamente identici per forma, dimensioni e materiali impiegati, subirono danni sensibilmente diversi (alcuni edifici subirono crolli totali mentre altri subirono danni praticamente trascurabili).

È ormai assodato che le caratteristiche con cui si presenta un sisma in un dato sito sono fortemente dipendenti oltre che dalle caratteristiche della sorgente, dalle modalità di emissione dell'energia e dalla distanza ipocentrale, soprattutto da fattori di risposta locale che modificano la composizione spettrale del sisma.

In sostanza la risposta sismica locale è l'azione di filtro e d'amplificatore esercitata localmente dagli strati più superficiali del terreno sovrapposti ad un basamento roccioso; essa è l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo a una formazione rocciosa di base (substrato o bedrock), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti (deposito di copertura) fino alla superficie.

Per una corretta valutazione della risposta sismica locale è quindi indispensabile calcolare gli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto.

La valutazione della risposta sismica locale è stata effettuata secondo i dettami del recente D.M. del 17 gennaio 2018, tramite l'utilizzo del software sperimentale SPETTRI NTC 1.0.3 sviluppato a cura del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ed utilizzando le risultanze della prospezione sismica MASW precedentemente descritta.

Gli spettri di risposta ottenuti sono relativi allo Stato Limite di Esercizio SLD (Stato Limite di Danno) e allo Stato Limite Ultimo SLV (Stato Limite di Salvaguardia della Vita).

In una prima fase è stata individuata la pericolosità del sito sulla base dei risultati del progetto S1 dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) (cfr. Tabella 7.1, Figura 53).

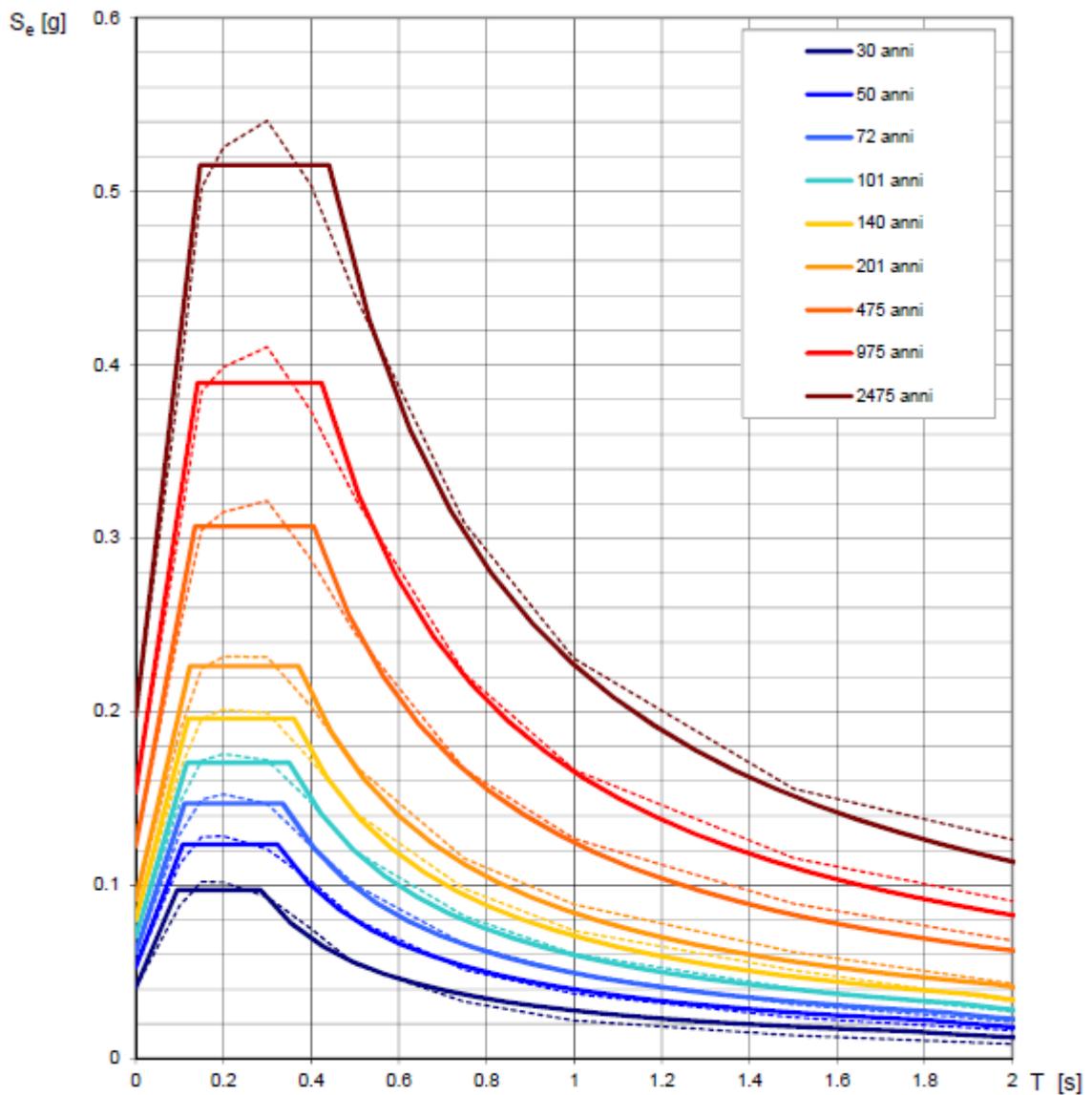
Successivamente sono stati calcolati gli spettri di risposta elastici relativi alla strategia di progettazione prescelta (Vita nominale della costruzione -  $V_N \geq 50$  anni; Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U = 1$  – Classe d'uso della costruzione II) ed all'azione di progetto di riferimento (SLD e SLV).

Gli spettri di risposta elastici ottenuti sono rappresentativi delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto per le tipologie di sito (categorie di suolo **B** e **C** – categoria topografica **T1**).

**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER PERIODI DI RITORNO DI RIFERIMENTO  
PER CATEGORIA DI SUOLO A  
PUNTO DI COORDINATE LONG. 14.644799 – LAT. 40.745022 (IN GRADI DECIMALI)**

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0.041	2.386	0.284
50	0.052	2.359	0.323
72	0.061	2.417	0.335
101	0.070	2.432	0.350
140	0.080	2.461	0.361
201	0.091	2.484	0.371
475	0.122	2.509	0.406
975	0.153	2.540	0.424
2475	0.197	2.614	0.441

**Tabella 7.1: Prospetto dei valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento.  $a_g$  = accelerazione orizzontale massima al sito;  $F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;  $T_C$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.**



NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

**Figura 53: Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno  $T_r$  di riferimento per categoria di suolo A**

**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER CATEGORIA DI SUOLO B  
E PER CATEGORIA TOPOGRAFICA T1  
PUNTO DI COORDINATE LONG. 14.644799 – LAT. 40.745022 (IN GRADI DECIMALI)**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLD
$a_g$	0.052 g
$F_0$	2.360
$T_C$	0.323 s
$S_S$	1.200
$C_C$	1.379
$S_T$	1.000
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.200
$\eta$	1.000
$T_B$	0.148 s
$T_C$	0.445 s
$T_D$	1.810 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_S \cdot S_T$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q$$

$$T_B = T_C / 3$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^*$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6$$

**Espressioni dello spettro di risposta**

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura.

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.063
$T_B \leftarrow$	0.148	0.149
$T_C \leftarrow$	0.445	0.149
	0.510	0.130
	0.575	0.115
	0.640	0.103
	0.705	0.094
	0.770	0.086
	0.835	0.079
	0.900	0.074
	0.965	0.069
	1.030	0.064
	1.095	0.060
	1.160	0.057
	1.225	0.054
	1.290	0.051
	1.355	0.049
	1.420	0.047
	1.485	0.045
	1.550	0.043
	1.615	0.041
	1.680	0.039
	1.745	0.038
$T_D \leftarrow$	1.810	0.037
	1.914	0.033
	2.018	0.029
	2.123	0.027
	2.227	0.024
	2.331	0.022
	2.436	0.020
	2.540	0.019
	2.644	0.017
	2.748	0.016
	2.853	0.015
	2.957	0.014
	3.061	0.013
	3.166	0.012
	3.270	0.011
	3.374	0.011
	3.479	0.010
	3.583	0.009
	3.687	0.009
	3.791	0.008
	3.896	0.008
	4.000	0.007

**Tabella 7.2: Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLD. Categoria di sottosuolo B. Categoria topografica T1. Vita nominale della costruzione -  $V_N \geq 50$  anni; Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U = 1$  – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura  $q = 1.5$ .**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLD
$a_{gv}$	0.016 g
$S_S$	1.000
$S_T$	1.000
$q$	1.500
$T_B$	0.050 s
$T_C$	0.150 s
$T_D$	1.000 s

**Parametri dipendenti**

$F_v$	0.730
$S$	1.000
$\eta$	0.667

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_S \cdot S_T$$

$$\eta = 1/q$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0,5}$$

**Espressioni dello spettro di risposta**

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

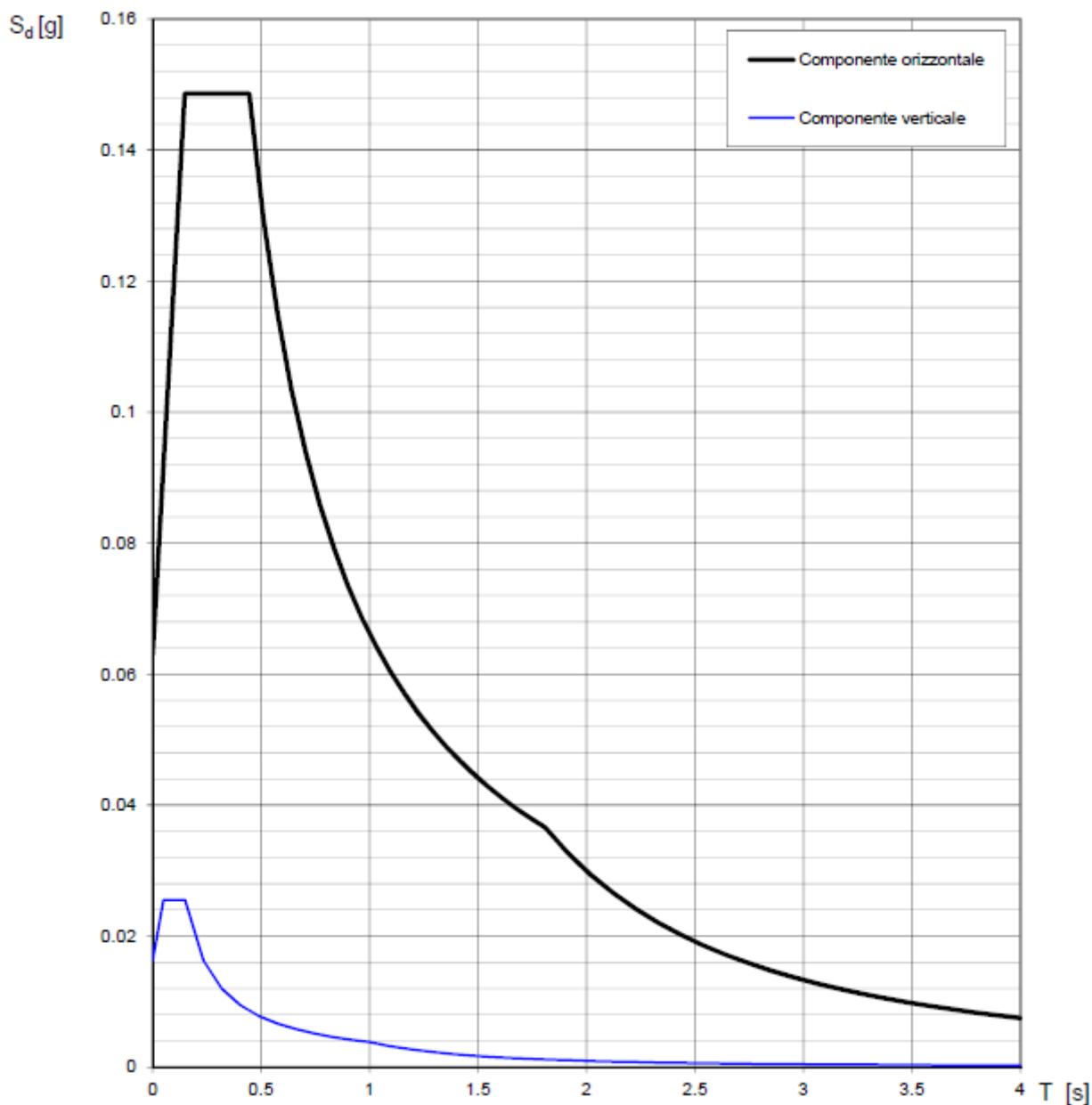
$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.016
$T_B \leftarrow$	0.050	0.026
$T_C \leftarrow$	0.150	0.026
	0.235	0.016
	0.320	0.012
	0.405	0.009
	0.490	0.008
	0.575	0.007
	0.660	0.006
	0.745	0.005
	0.830	0.005
	0.915	0.004
$T_D \leftarrow$	1.000	0.004
	1.094	0.003
	1.188	0.003
	1.281	0.002
	1.375	0.002
	1.469	0.002
	1.563	0.002
	1.656	0.001
	1.750	0.001
	1.844	0.001
	1.938	0.001
	2.031	0.001
	2.125	0.001
	2.219	0.001
	2.313	0.001
	2.406	0.001
	2.500	0.001
	2.594	0.001
	2.688	0.001
	2.781	0.000
	2.875	0.000
	2.969	0.000
	3.063	0.000
	3.156	0.000
	3.250	0.000
	3.344	0.000
	3.438	0.000
	3.531	0.000
	3.625	0.000
	3.719	0.000
	3.813	0.000
	3.906	0.000
	4.000	0.000

**Tabella 7.3: Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLD. Categoria di sottosuolo B. Categoria topografica T1. Vita nominale della costruzione -  $V_N \geq 50$  anni; Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U = 1$  – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura  $q = 1.5$ .**



**Figura 54: Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLD – Categoria di sottosuolo B. Categoria topografica T1. Vita nominale della costruzione -  $V_N \geq 50$  anni; Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U = 1$  – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura  $q = 1.5$ .**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.122 g
$F_0$	2.509
$T_C$	0.408 s
$S_S$	1.200
$C_C$	1.318
$S_T$	1.000
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.200
$\eta$	1.000
$T_B$	0.178 s
$T_C$	0.534 s
$T_D$	2.089 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_S \cdot S_T$$

$$\eta = \sqrt{10/(S + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q$$

$$T_B = T_C / 3$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^*$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6$$

**Espressioni dello spettro di risposta**

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura.

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.147
$T_B \leftarrow$	0.178	0.368
$T_C \leftarrow$	0.534	0.368
	0.608	0.323
	0.682	0.288
	0.756	0.260
	0.831	0.237
	0.905	0.217
	0.979	0.201
	1.053	0.187
	1.127	0.175
	1.201	0.164
	1.275	0.154
	1.349	0.146
	1.423	0.138
	1.497	0.131
	1.571	0.125
	1.645	0.120
	1.719	0.114
	1.793	0.110
	1.867	0.105
	1.941	0.101
	2.015	0.098
$T_D \leftarrow$	2.089	0.094
	2.180	0.086
	2.271	0.080
	2.362	0.074
	2.453	0.068
	2.544	0.063
	2.635	0.059
	2.726	0.055
	2.817	0.052
	2.908	0.049
	2.999	0.046
	3.090	0.043
	3.181	0.041
	3.272	0.038
	3.363	0.036
	3.454	0.034
	3.545	0.033
	3.636	0.031
	3.727	0.030
	3.818	0.028
	3.909	0.027
	4.000	0.026

**Tabella 7.4: Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV. Categoria di sottosuolo B. Categoria topografica T1. Vita nominale della costruzione -  $V_N \geq 50$  anni; Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U = 1$  - Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura  $q = 1.5$ .**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_{gv}$	0.058 g
$S_S$	1.000
$S_T$	1.000
$q$	1.500
$T_B$	0.050 s
$T_C$	0.150 s
$T_D$	1.000 s

**Parametri dipendenti**

$F_v$	1.184
$S$	1.000
$\eta$	0.667

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_S \cdot S_T$$

$$\eta = 1/q$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0,5}$$

**Espressioni dello spettro di risposta**

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

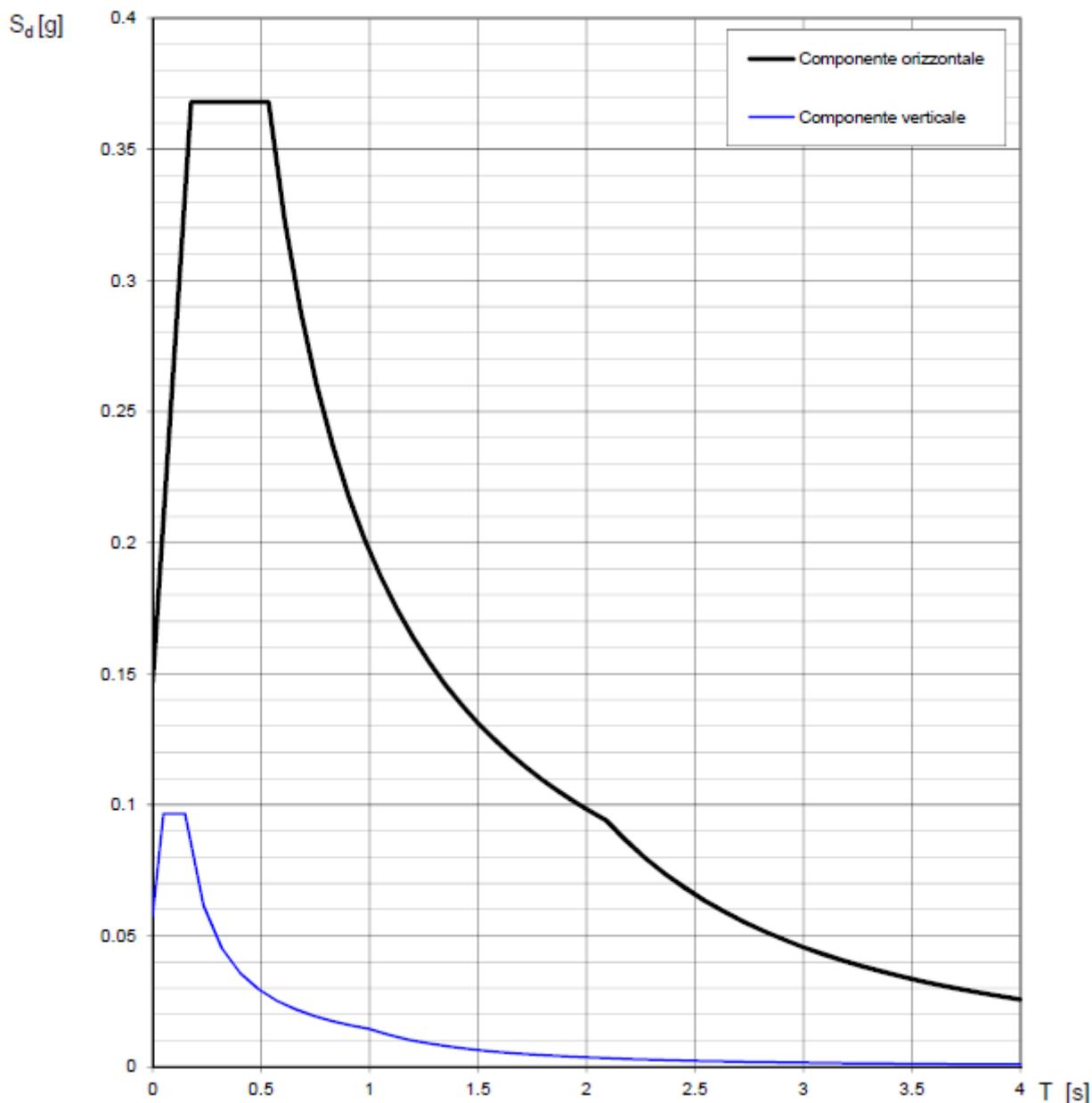
$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.058
$T_B \leftarrow$	0.050	0.097
$T_C \leftarrow$	0.150	0.097
	0.235	0.082
	0.320	0.045
	0.405	0.036
	0.490	0.030
	0.575	0.025
	0.660	0.022
	0.745	0.019
	0.830	0.017
	0.915	0.016
$T_D \leftarrow$	1.000	0.014
	1.094	0.012
	1.188	0.010
	1.281	0.009
	1.375	0.008
	1.469	0.007
	1.563	0.006
	1.656	0.005
	1.750	0.005
	1.844	0.004
	1.938	0.004
	2.031	0.004
	2.125	0.003
	2.219	0.003
	2.313	0.003
	2.406	0.003
	2.500	0.002
	2.594	0.002
	2.688	0.002
	2.781	0.002
	2.875	0.002
	2.969	0.002
	3.063	0.002
	3.156	0.001
	3.250	0.001
	3.344	0.001
	3.438	0.001
	3.531	0.001
	3.625	0.001
	3.719	0.001
	3.813	0.001
	3.906	0.001
	4.000	0.001

**Tabella 7.8: Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLV. Categoria di sottosuolo B. Categoria topografica T1. Vita nominale della costruzione -  $V_N \geq 50$  anni; Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U = 1$  – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura  $q = 1.5$ .**



**Figura 55: Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLV – Categoria di sottosuolo B. Categoria topografica T1. Vita nominale della costruzione -  $V_N \geq 50$  anni; Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U = 1$  – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura  $q = 1.5$ .**

**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER CATEGORIA DI SUOLO C  
E PER CATEGORIA TOPOGRAFICA T1  
PUNTO DI COORDINATE LONG. 14.644799 – LAT. 40.745022 (IN GRADI DECIMALI)**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLD
$a_g$	0.052 g
$F_0$	2.360
$T_C$	0.323 s
$S_S$	1.500
$C_C$	1.525
$S_T$	1.000
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.500
$\eta$	1.000
$T_B$	0.164 s
$T_C$	0.492 s
$T_D$	1.810 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_S \cdot S_T$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \eta - 1/q$$

$$T_B = T_C / 3$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^*$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6$$

**Espressioni dello spettro di risposta**

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura.

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.079
$T_B$ ←	0.164	0.188
$T_C$ ←	0.492	0.188
	0.555	0.165
	0.618	0.148
	0.681	0.134
	0.743	0.123
	0.806	0.113
	0.869	0.105
	0.932	0.098
	0.994	0.092
	1.057	0.087
	1.120	0.082
	1.183	0.077
	1.245	0.073
	1.308	0.070
	1.371	0.067
	1.433	0.064
	1.496	0.061
	1.559	0.059
	1.622	0.056
	1.684	0.054
	1.747	0.052
$T_D$ ←	1.810	0.051
	1.914	0.045
	2.018	0.041
	2.123	0.037
	2.227	0.033
	2.331	0.030
	2.436	0.028
	2.540	0.026
	2.644	0.024
	2.748	0.022
	2.853	0.020
	2.957	0.019
	3.061	0.018
	3.166	0.017
	3.270	0.015
	3.374	0.015
	3.479	0.014
	3.583	0.013
	3.687	0.012
	3.791	0.012
	3.896	0.011
	4.000	0.010

**Tabella 7.9: Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLD. Categoria di sottosuolo C. Categoria topografica T1. Vita nominale della costruzione -  $V_N \geq 50$  anni; Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U = 1$  - Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura  $q = 1.5$ .**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLD
$a_{qv}$	0.016 g
$S_S$	1.000
$S_T$	1.000
$q$	1.500
$T_B$	0.050 s
$T_C$	0.150 s
$T_D$	1.000 s

**Parametri dipendenti**

$F_v$	0.730
$S$	1.000
$\eta$	0.667

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_S \cdot S_T$$

$$\eta = 1/q$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0,5}$$

**Espressioni dello spettro di risposta**

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

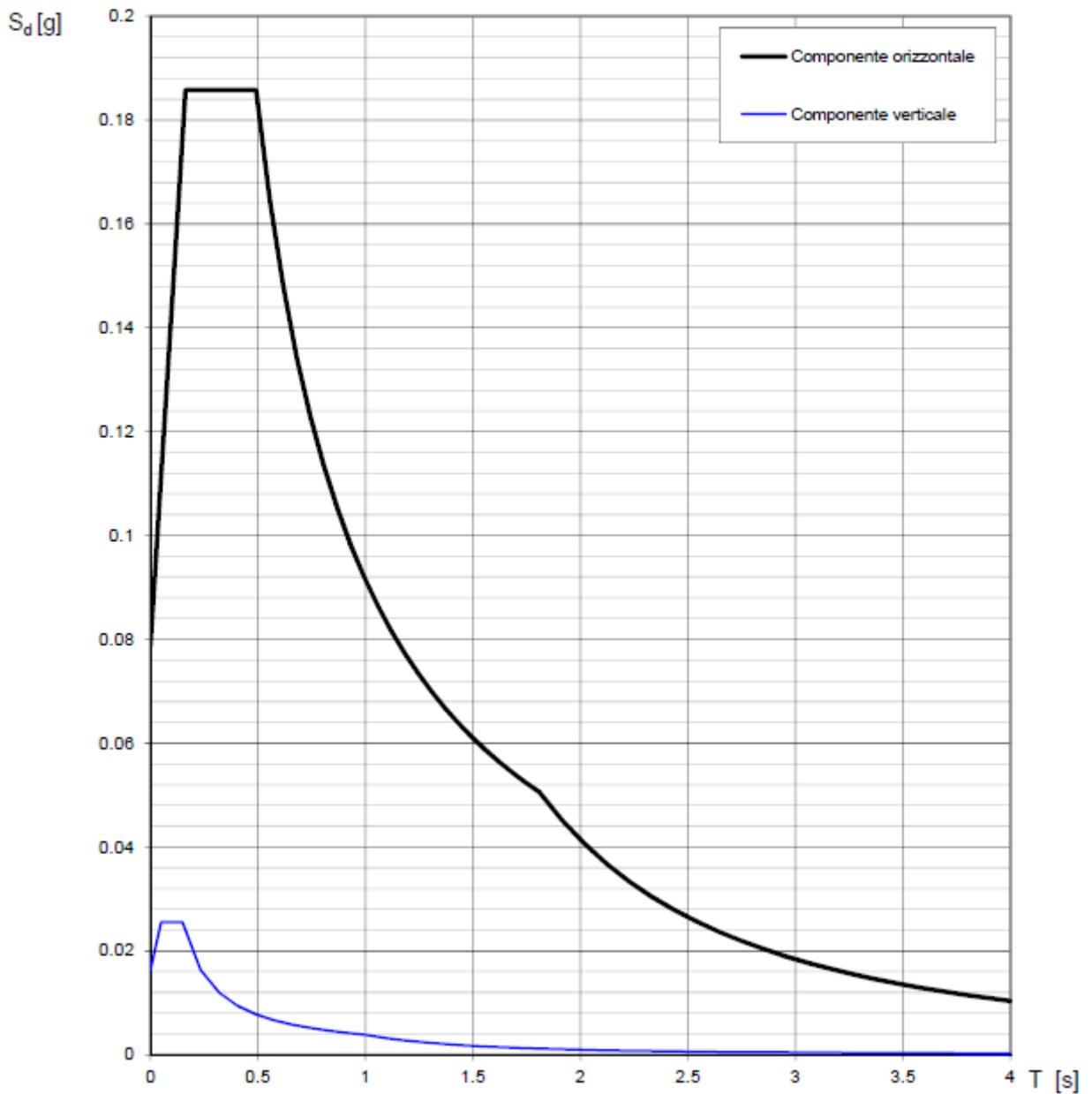
$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.016
$T_B \leftarrow$	0.050	0.026
$T_C \leftarrow$	0.150	0.026
	0.235	0.016
	0.320	0.012
	0.405	0.009
	0.490	0.008
	0.575	0.007
	0.660	0.006
	0.745	0.005
	0.830	0.005
	0.915	0.004
$T_D \leftarrow$	1.000	0.004
	1.094	0.003
	1.188	0.003
	1.281	0.002
	1.375	0.002
	1.469	0.002
	1.563	0.002
	1.656	0.001
	1.750	0.001
	1.844	0.001
	1.938	0.001
	2.031	0.001
	2.125	0.001
	2.219	0.001
	2.313	0.001
	2.406	0.001
	2.500	0.001
	2.594	0.001
	2.688	0.001
	2.781	0.000
	2.875	0.000
	2.969	0.000
	3.063	0.000
	3.156	0.000
	3.250	0.000
	3.344	0.000
	3.438	0.000
	3.531	0.000
	3.625	0.000
	3.719	0.000
	3.813	0.000
	3.906	0.000
	4.000	0.000

**Tabella 7.10: Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLD. Categoria di sottosuolo C. Categoria topografica T1. Vita nominale della costruzione -  $V_N \geq 50$  anni; Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U = 1$  - Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura  $q = 1.5$ .**



**Figura 56: Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLD – Categoria di sottosuolo C. Categoria topografica T1. Vita nominale della costruzione -  $V_N \geq 50$  anni; Coefficiente d’uso della costruzione -  $C_U = 1$  – Classe d’uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura  $q = 1.5$ .**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.122 g
$F_0$	2.509
$T_C$	0.408 s
$S_S$	1.500
$C_C$	1.414
$S_T$	1.000
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.500
$\eta$	1.000
$T_B$	0.191 s
$T_C$	0.574 s
$T_D$	2.089 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_S \cdot S_T$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q$$

$$T_B = T_C / 3$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^*$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6$$

**Espressioni dello spettro di risposta**

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura.

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.183
$T_B$ ←	0.191	0.460
$T_C$ ←	0.574	0.460
	0.646	0.409
	0.718	0.368
	0.790	0.334
	0.862	0.306
	0.934	0.282
	1.007	0.262
	1.079	0.245
	1.151	0.229
	1.223	0.216
	1.295	0.204
	1.367	0.193
	1.440	0.183
	1.512	0.175
	1.584	0.167
	1.656	0.159
	1.728	0.153
	1.800	0.147
	1.872	0.141
	1.945	0.136
	2.017	0.131
$T_D$ ←	2.089	0.126
	2.180	0.116
	2.271	0.107
	2.362	0.099
	2.453	0.092
	2.544	0.085
	2.635	0.079
	2.726	0.074
	2.817	0.069
	2.908	0.065
	2.999	0.061
	3.090	0.058
	3.181	0.054
	3.272	0.051
	3.363	0.049
	3.454	0.046
	3.545	0.044
	3.636	0.042
	3.727	0.040
	3.818	0.038
	3.909	0.036
	4.000	0.034

**Tabella 7.11: Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV. Categoria di sottosuolo C. Categoria topografica T1. Vita nominale della costruzione -  $V_N \geq 50$  anni; Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U = 1$  – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura  $q = 1.5$ .**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_{qv}$	0.058 g
$S_S$	1.000
$S_T$	1.000
$q$	1.500
$T_B$	0.050 s
$T_C$	0.150 s
$T_D$	1.000 s

**Parametri dipendenti**

$F_v$	1.184
$S$	1.000
$\eta$	0.667

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_S \cdot S_T$$

$$\eta = 1/q$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0,5}$$

**Espressioni dello spettro di risposta**

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

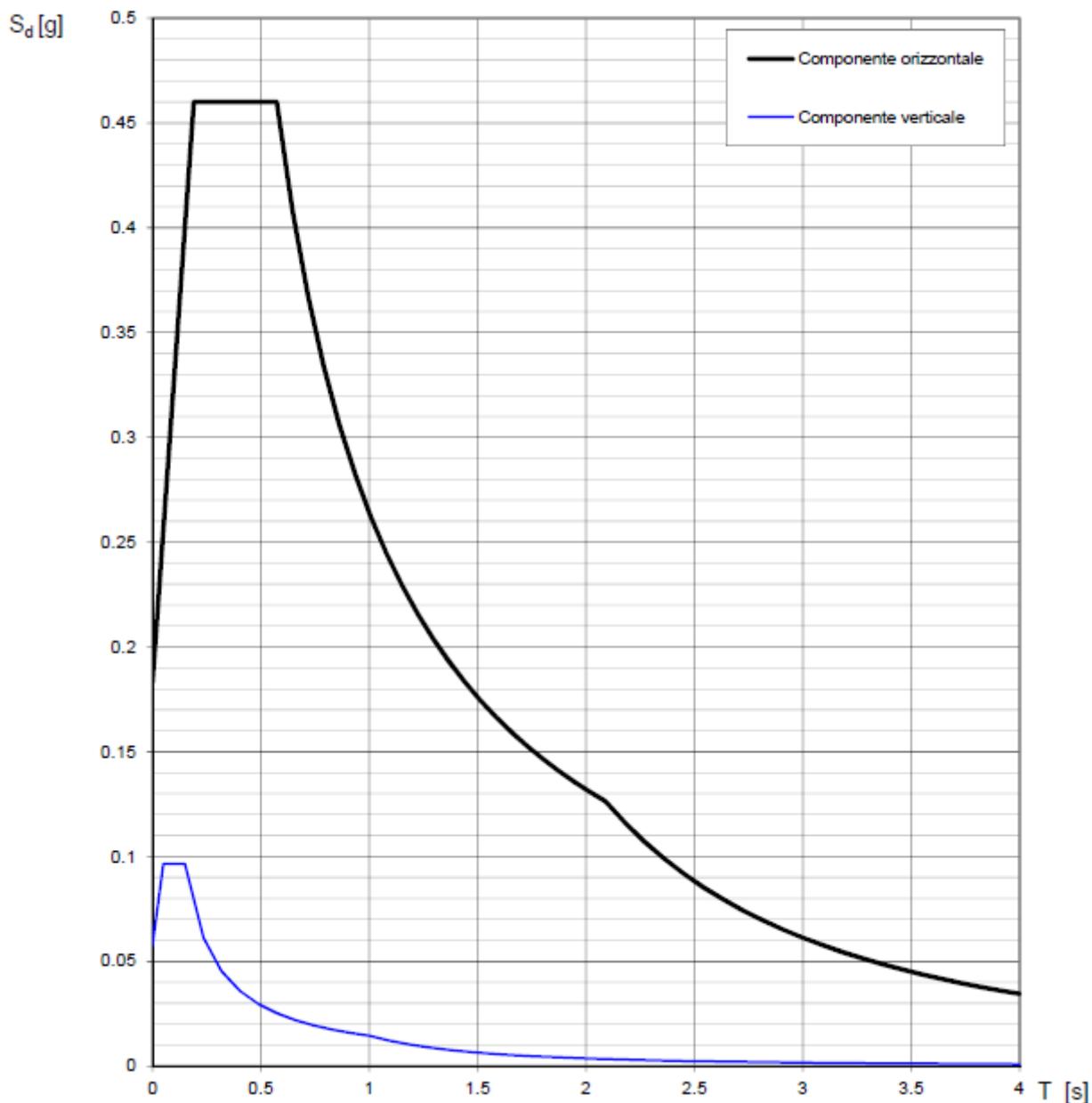
$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.058
$T_B \leftarrow$	0.050	0.097
$T_C \leftarrow$	0.150	0.097
	0.235	0.062
	0.320	0.045
	0.405	0.036
	0.490	0.030
	0.575	0.025
	0.660	0.022
	0.745	0.019
	0.830	0.017
	0.915	0.016
$T_D \leftarrow$	1.000	0.014
	1.094	0.012
	1.188	0.010
	1.281	0.009
	1.375	0.008
	1.469	0.007
	1.563	0.006
	1.656	0.005
	1.750	0.005
	1.844	0.004
	1.938	0.004
	2.031	0.004
	2.125	0.003
	2.219	0.003
	2.313	0.003
	2.406	0.003
	2.500	0.002
	2.594	0.002
	2.688	0.002
	2.781	0.002
	2.875	0.002
	2.969	0.002
	3.063	0.002
	3.156	0.001
	3.250	0.001
	3.344	0.001
	3.438	0.001
	3.531	0.001
	3.625	0.001
	3.719	0.001
	3.813	0.001
	3.906	0.001
	4.000	0.001

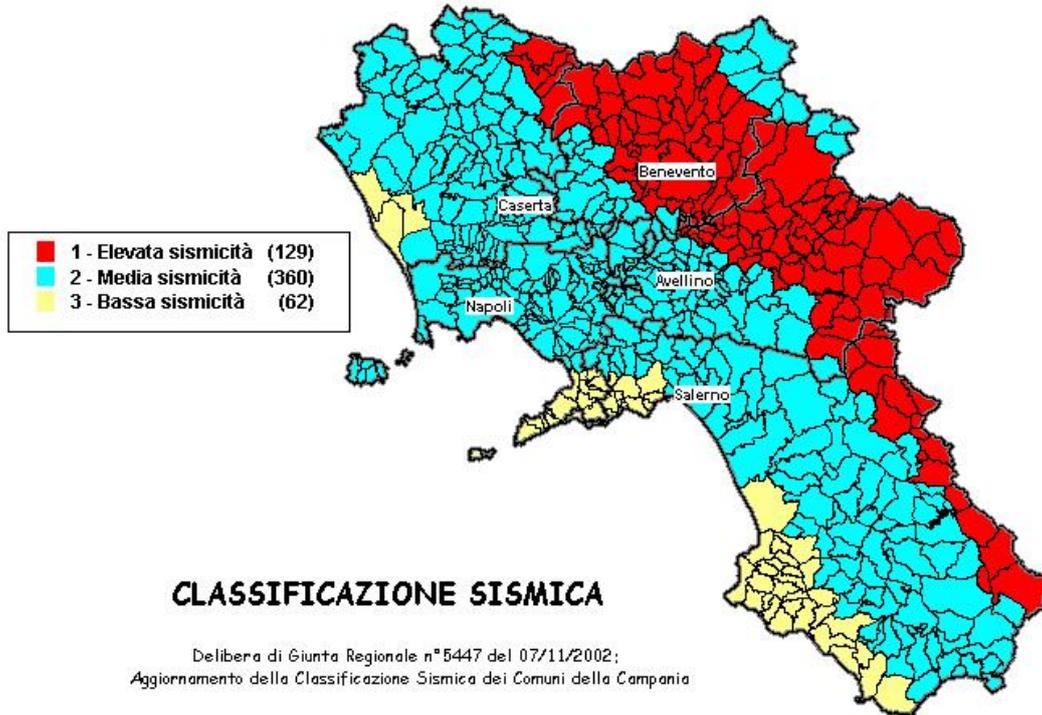
**Tabella 7.12: Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLV. Categoria di sottosuolo C. Categoria topografica T1. Vita nominale della costruzione -  $V_N \geq 50$  anni; Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U = 1$  – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura  $q = 1.5$ .**



**Figura 57: Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLV – Categoria di sottosuolo C. Categoria topografica T1. Vita nominale della costruzione -  $V_N \geq 50$  anni; Coefficiente d’uso della costruzione -  $C_U = 1$  – Classe d’uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura  $q = 1.5$ .**

## 8. CONCLUSIONI

Il territorio comunale di Nocera Inferiore, a seguito della riclassificazione sismica effettuata dalla Regione Campania nel 2002, è ricade in II categoria  $S = 9$ ,  $a_g = 0.25g$  (cfr. Figura 58).



**Figura 58: Classificazione dei comuni della Regione Campania.**  
(Zona 1, valore di  $a_g = 0.35g$ ; Zona 2, valore di  $a_g = 0.25g$ ; Zona 3, valore di  $a_g = 0.15g$ )

Inoltre, la mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica (cfr. Figura 59), disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, indica che il territorio comunale di Nocera Inferiore (SA) rientra nelle celle contraddistinte da valori di  $a_g$  di riferimento compresi tra 0.100 e 0.150 (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento  $a_g$ ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).

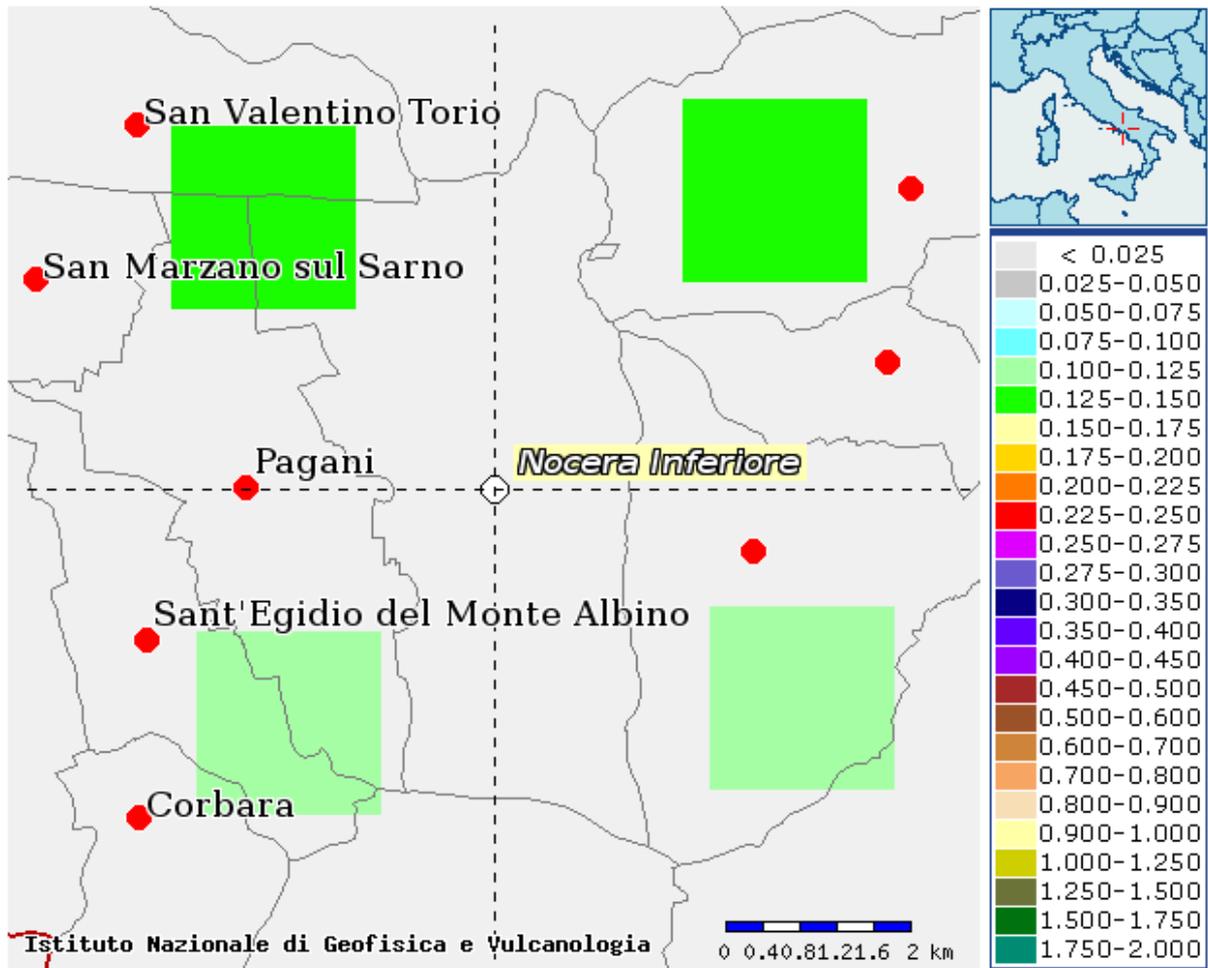


Figura 59: Mappa di pericolosità sismica redatta dall'INGV di Milano - Punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento  $a_g$ ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50.

I risultati ottenuti dalle indagini sismiche MASW hanno permesso di definire le categorie di sottosuolo dei 5 siti di indagine che rientrano nelle categoria **B** e **C** (cfr. § 6) in funzione delle diverse profondità di calcolo del parametro  $V_{S,eq}$  per come riportato nella seguente Tabella 8.1.

Prospezione sismica	$V_S (0\div 30)$ (m/s)	$V_S (3.2\div 33.2)$ (m/s)	$V_S (4.2\div 34.2)$ (m/s)	$V_S (4.8\div 34.8)$ (m/s)	$V_S (7\div 37)$ (m/s)
MASW n. 1	349	-	410 ÷ 411	-	-
MASW n. 2	325	396	-	-	-
MASW n. 3	350 ÷ 351	-	-	397 ÷ 398	-
MASW n. 4	354 ÷ 355	-	-	-	460
MASW n. 5	346 ÷ 347	-	383 ÷ 384	-	-

Tabella 8.1: Valori di  $V_{S,eq}$  calcolati dalle prospezioni sismiche.

In funzione delle categorie di suolo **B** e **C** e della categoria topografica **T1** sono stati ricavati tutti i parametri d'interesse ingegneristico, quali gli spettri di risposta elastici (cfr. § 7).

Il calcolo degli spettri di risposta elastici è stato effettuato con la seguente strategia di progettazione:

- Vita nominale della costruzione -  $V_N \geq 50$  anni;
- Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U = 1$  – Classe d'uso della costruzione

II.

Il computo ha fornito valori massimi di  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima al suolo) e  $S_e$  [g] (accelerazione orizzontale corrispondente ai periodi compresi tra  $T_B$  e  $T_C$ ) (cfr. Tabella 8.2), relativamente agli stati limite SLD (Stato Limite di Danno) e SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita) pari a:

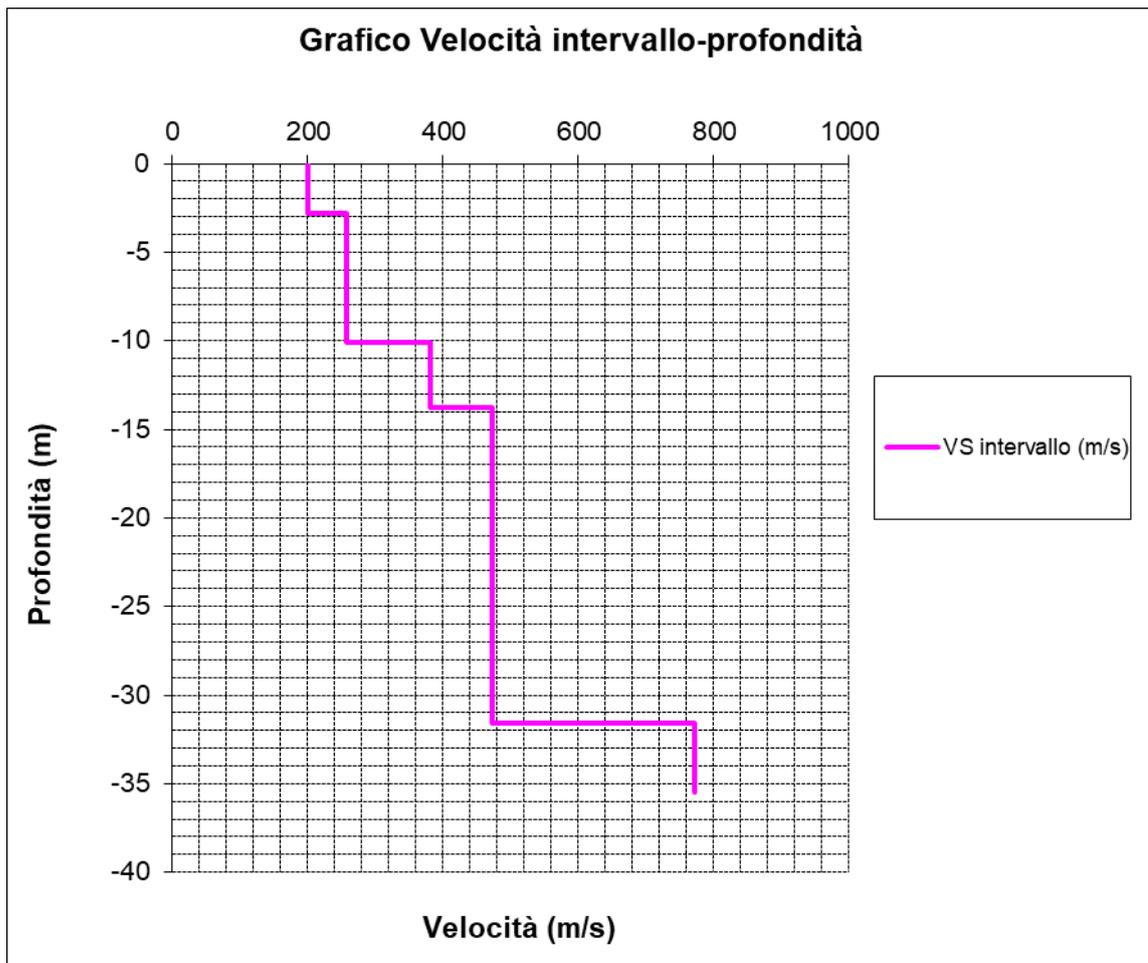
<i>Categoria di sottosuolo</i>	<i><math>a_g</math> SLD</i>	<i><math>a_g</math> SLV</i>	<i><math>S_e</math> [g] SLD</i>	<i><math>S_e</math> [g] SLV</i>
<b>B</b>	<b>[0.052]</b>	<b>[0.122]</b>	<b>[0.149]</b>	<b>[0.368]</b>
<b>C</b>	<b>[0.052]</b>	<b>[0.122]</b>	<b>[0.186]</b>	<b>[0.460]</b>

**Tabella 8.2: Valori massimi di  $a_g$  e  $S_e$  [g] relativamente agli stati limite SLD e SLV – componenti orizzontali degli spettri di risposta elastici. Vita nominale della costruzione -  $V_N \geq 50$  anni; Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U = 1$  – Classe d'uso della costruzione II; smorzamento 5%, fattore di struttura  $q = 1.5$ .**

Di seguito si riportano i valori di  $V_s$  per i vari sismostrati rilevati dalle prospezioni sismiche MASW ed i relativi grafici  $V_s$ /Profondità (cfr. Tabelle 8.3 ÷ 8.7 e Figure 60 ÷ 64).

<i>Sismostrato</i>	<i>Profondità (m)</i>	<i><math>V_s</math> (m/s) acquisizione n.1</i>	<i><math>V_s</math> (m/s) acquisizione n.2</i>
S1	0.0 – 2.8	200	200
S2	2.8 – 10.1	258	257
S3	10.1 – 13.8	383	381
S4	13.8 – 31.6	473	472
S5	31.6 – 35.5	772	772

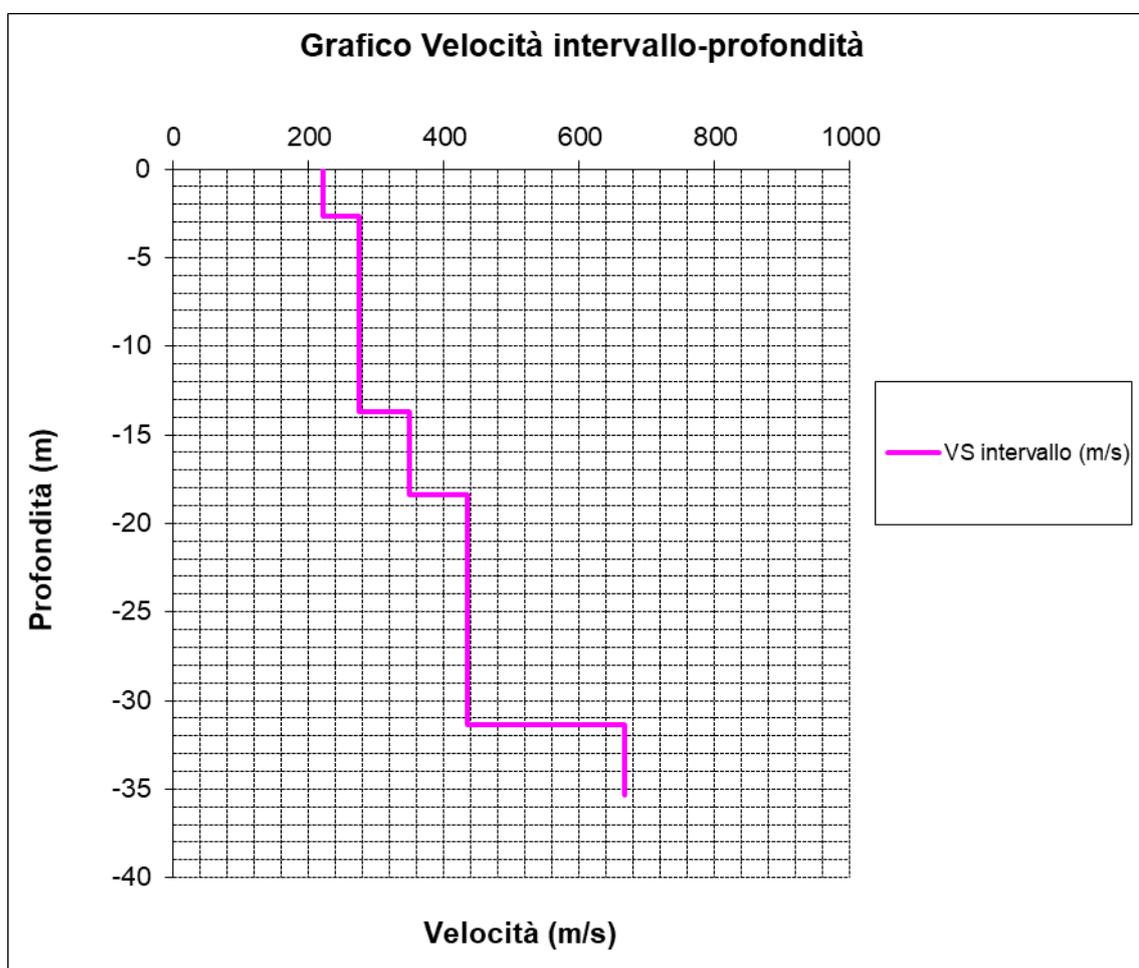
**Tabella 8.3: Valori di  $V_s$  desunti dalla MASW n. 1**



**Figura 60: Grafico dei valori medi di  $V_s$  relativo alla MASW n.1**

<i>Sismostrato</i>	<i>Profondità (m)</i>	<i>V<sub>s</sub> (m/s) acquisizione n.1</i>	<i>V<sub>s</sub> (m/s) acquisizione n.2</i>
S1	0.0 – 2.7	221	222
S2	2.7 – 13.7	274	275
S3	13.7 – 18.4	349	349
S4	18.4 – 31.4	435	434
S5	31.4 – 35.3	666	666

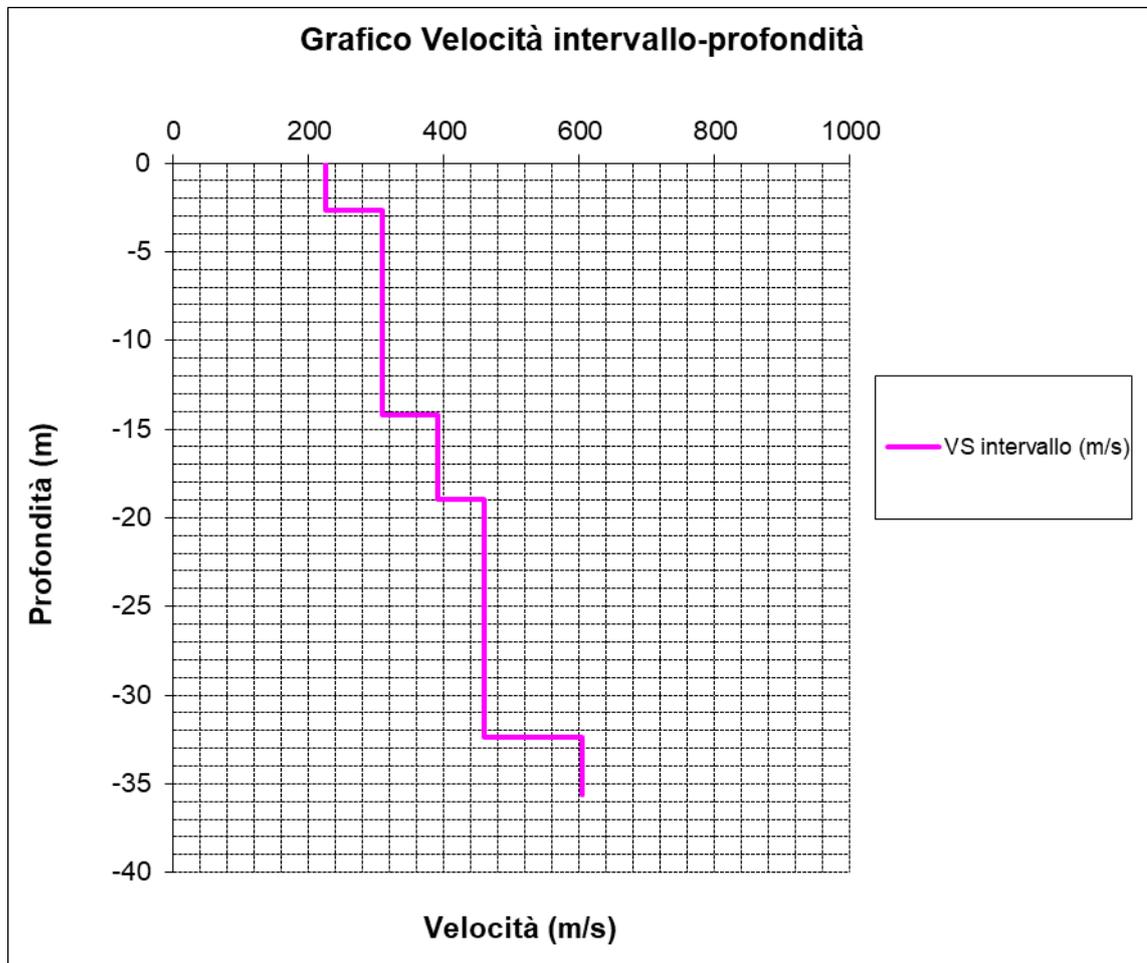
**Tabella 8.4: Valori di V<sub>s</sub> desunti dalla MASW n. 2**



**Figura 61: Grafico dei valori medi di V<sub>s</sub> relativo alla MASW n.2**

<i>Sismostrato</i>	<i>Profondità (m)</i>	<i>V<sub>s</sub> (m/s) acquisizione n.1</i>	<i>V<sub>s</sub> (m/s) acquisizione n.2</i>
S1	0.0 – 2.8	224	225
S2	2.8 – 14.2	307	308
S3	14.2 – 19.0	389	391
S4	19.0 – 32.4	459	460
S5	32.4 – 35.6	604	604

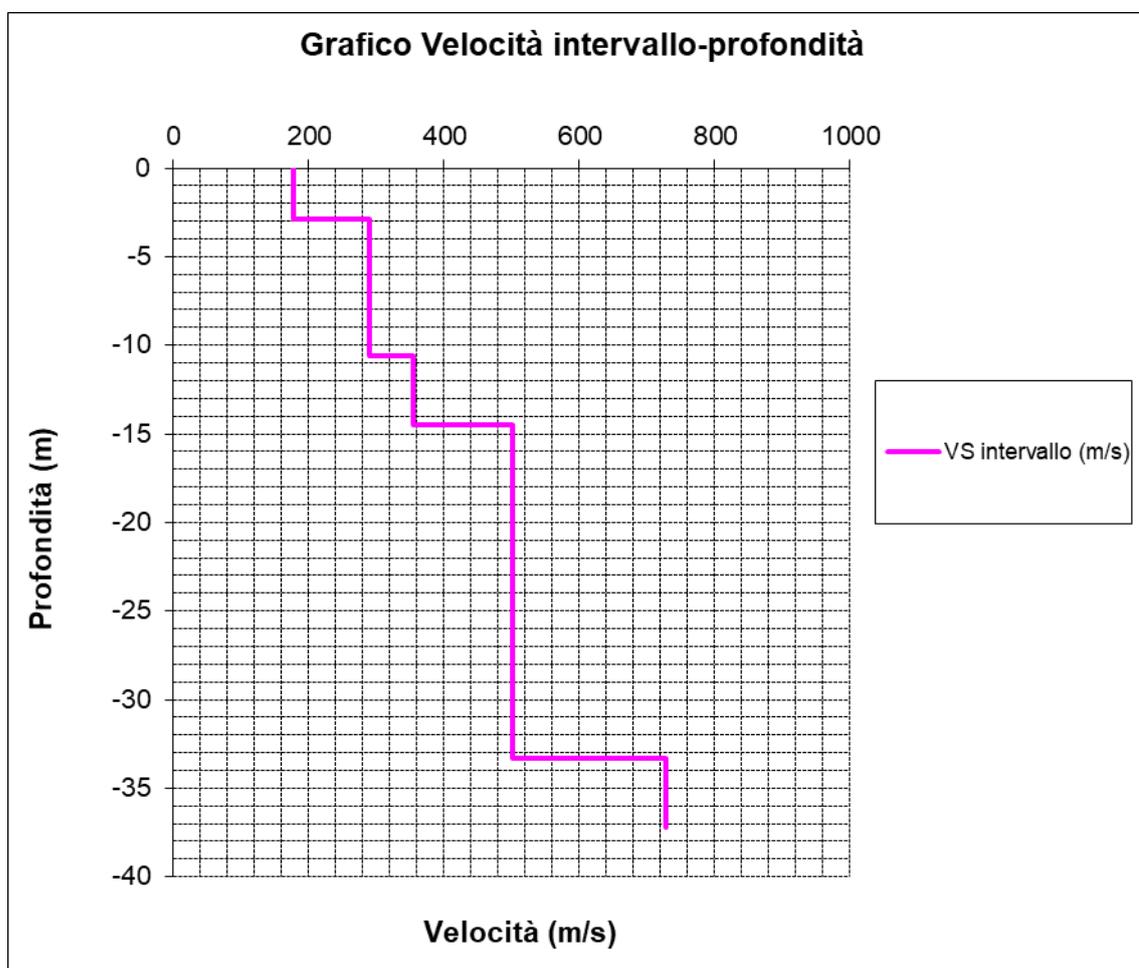
**Tabella 8.5: Valori di V<sub>s</sub> desunti dalla MASW n. 3**



**Figura 62: Grafico dei valori medi di V<sub>s</sub> relativo alla MASW n. 3**

<i>Sismostrato</i>	<i>Profondità (m)</i>	<i>V<sub>s</sub> (m/s) acquisizione n.1</i>	<i>V<sub>s</sub> (m/s) acquisizione n.2</i>
S1	0.0 – 2.9	177	177
S2	2.9 – 10.6	289	291
S3	10.6 – 14.5	354	354
S7	14.5 – 33.3	503	502
S10	33.3 – 37.2	728	726

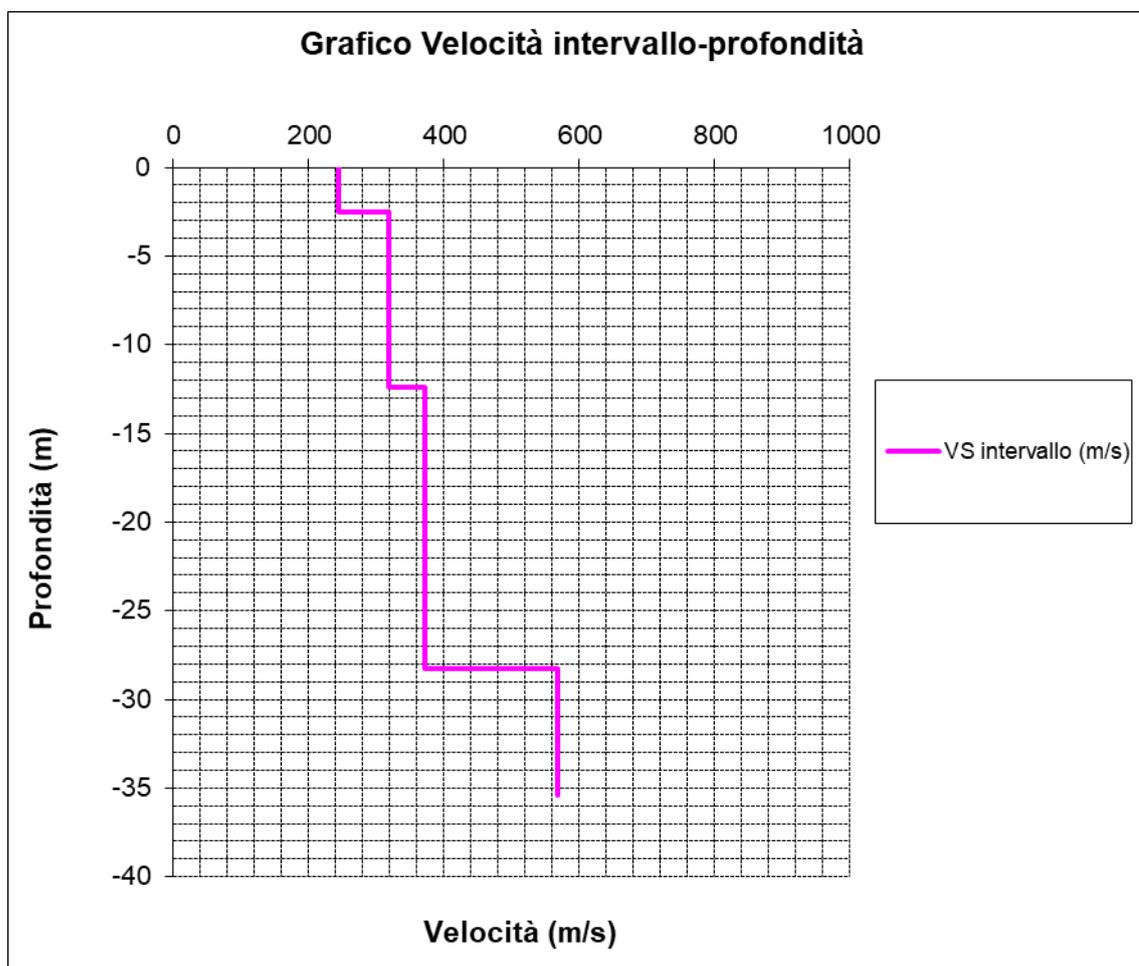
**Tabella 8.6: Valori di V<sub>s</sub> desunti dalla MASW n. 4**



**Figura 63: Grafico dei valori medi di V<sub>s</sub> relativo alla MASW n. 4**

<i>Sismostrato</i>	<i>Profondità (m)</i>	<i>V<sub>s</sub> (m/s) acquisizione n.1</i>	<i>V<sub>s</sub> (m/s) acquisizione n.2</i>
S1	0.0 – 2.5	243	243
S2	2.5 – 12.4	318	319
S3	12.4 – 28.3	372	373
S4	28.3 – 35.4	566	568

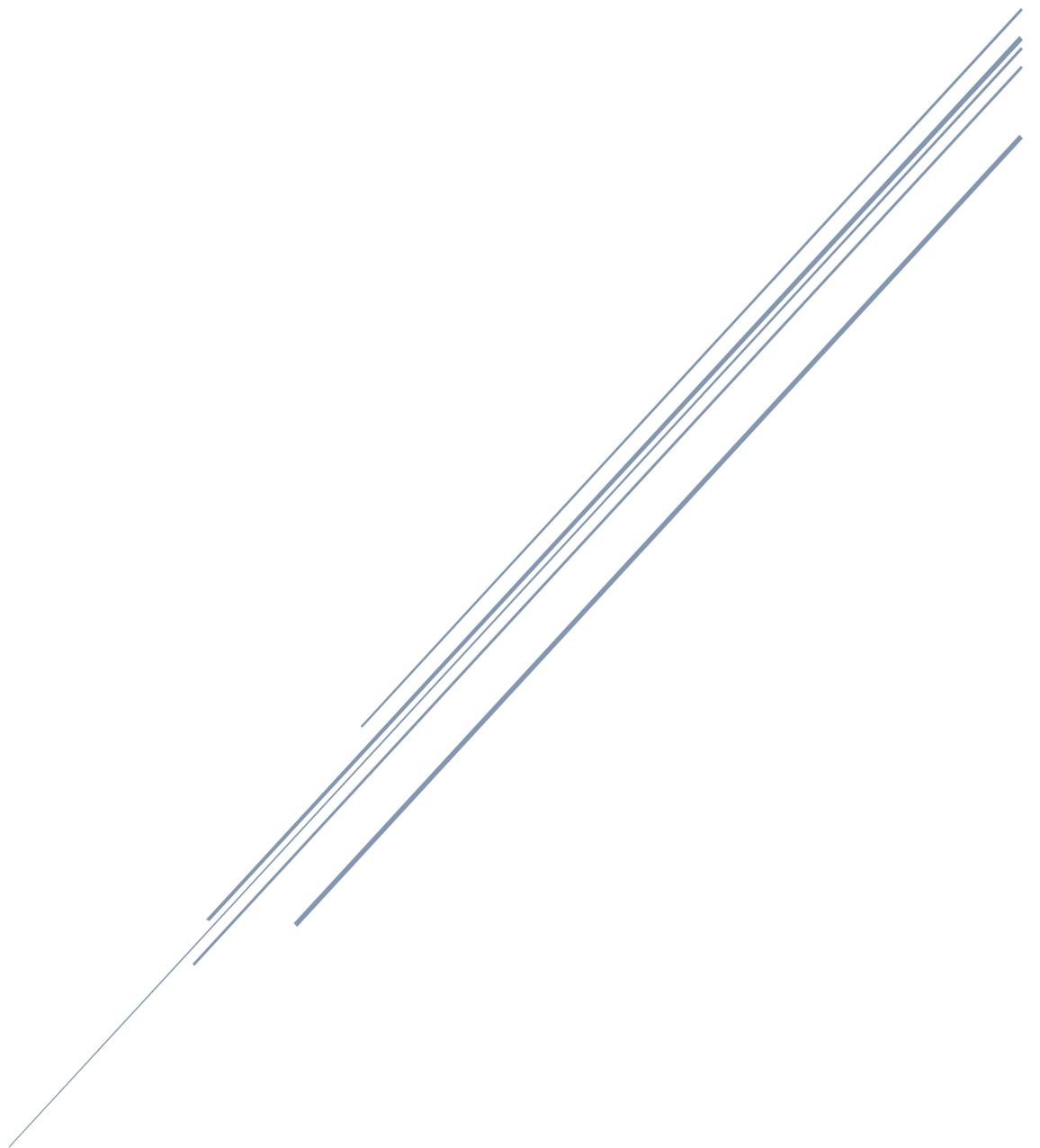
**Tabella 8.7: Valori di V<sub>s</sub> desunti dalla MASW n. 5**



**Figura 64: Grafico dei valori medi di V<sub>s</sub> relativo alla MASW n. 5**

*Piano di Sorrento,*

*Il Geologo  
Dr. Francesco Ruocco*

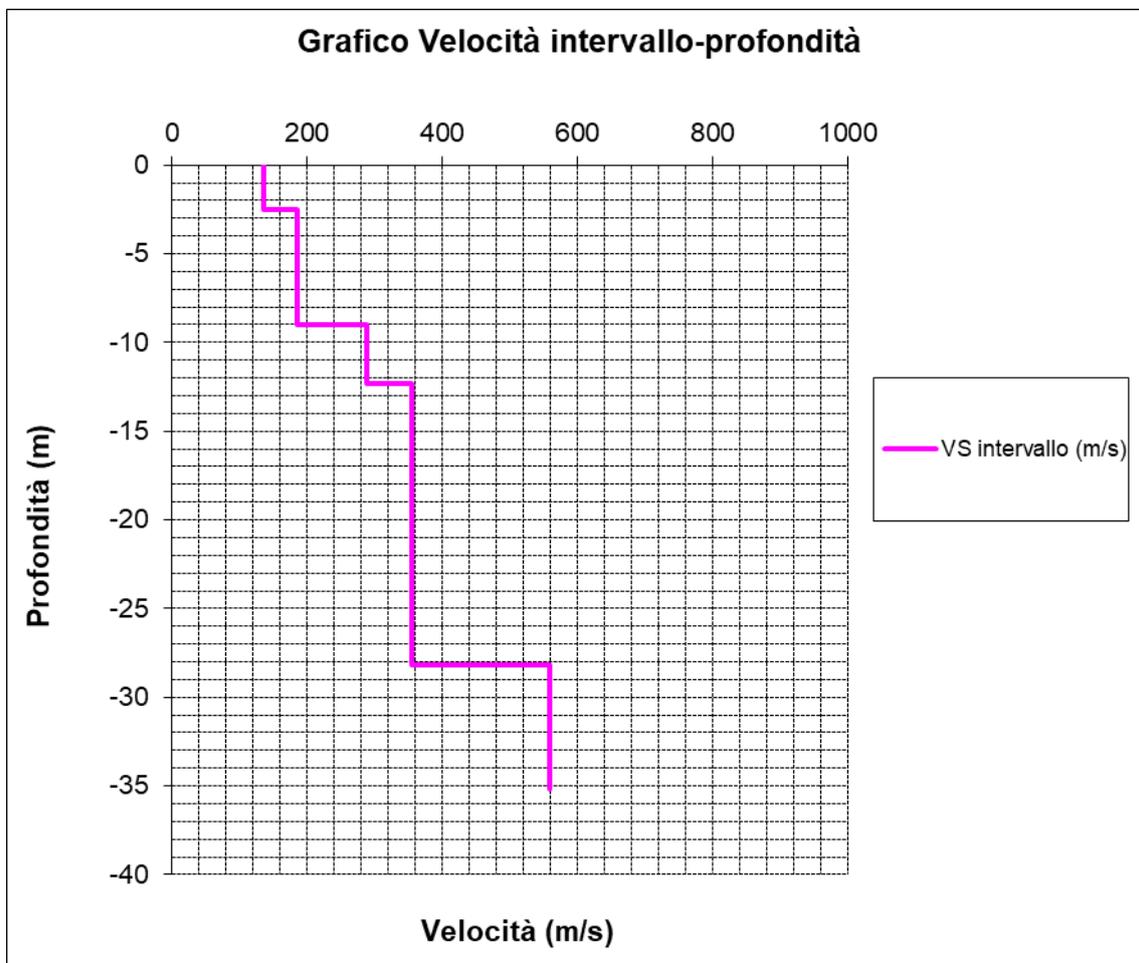


RISULTATI DELLE PROSPEZIONI SISMICHE PREGRESSE

### MASW MW<sub>A</sub>

<i>Sismostrato</i>	<i>Profondità (m)</i>	<i>V<sub>s</sub> (m/s) acquisizione n.1</i>	<i>V<sub>s</sub> (m/s) acquisizione n.2</i>
S1	0.0 – 2.5	137	137
S2	2.5 – 9.0	189	186
S3	9.0 – 12.3	292	286
S4	12.3 – 28.2	357	353
S5	28.2 – 35.2	560	560

**Tabella 1: Valori di V<sub>s</sub> desunti dall'indagine sismica MASW MWA**



**Figura 1: Grafico dei valori medi di V<sub>s</sub> desunti dall'indagine sismica MASW MWA**

## MASW MWB

<i>Sismostrato</i>	<i>Profondità (m)</i>	<i><math>V_s</math> (m/s) acquisizione n.1</i>	<i><math>V_s</math> (m/s) acquisizione n.2</i>
S1	0.0 – 1.2	146	146
S2	1.2 – 13.0	200	200
S3	13.0 – 29.7	380	383
S4	29.7 – 35.1	594	594

Tabella 2: Valori di  $V_s$  desunti dall'indagine sismica MASW MWB.

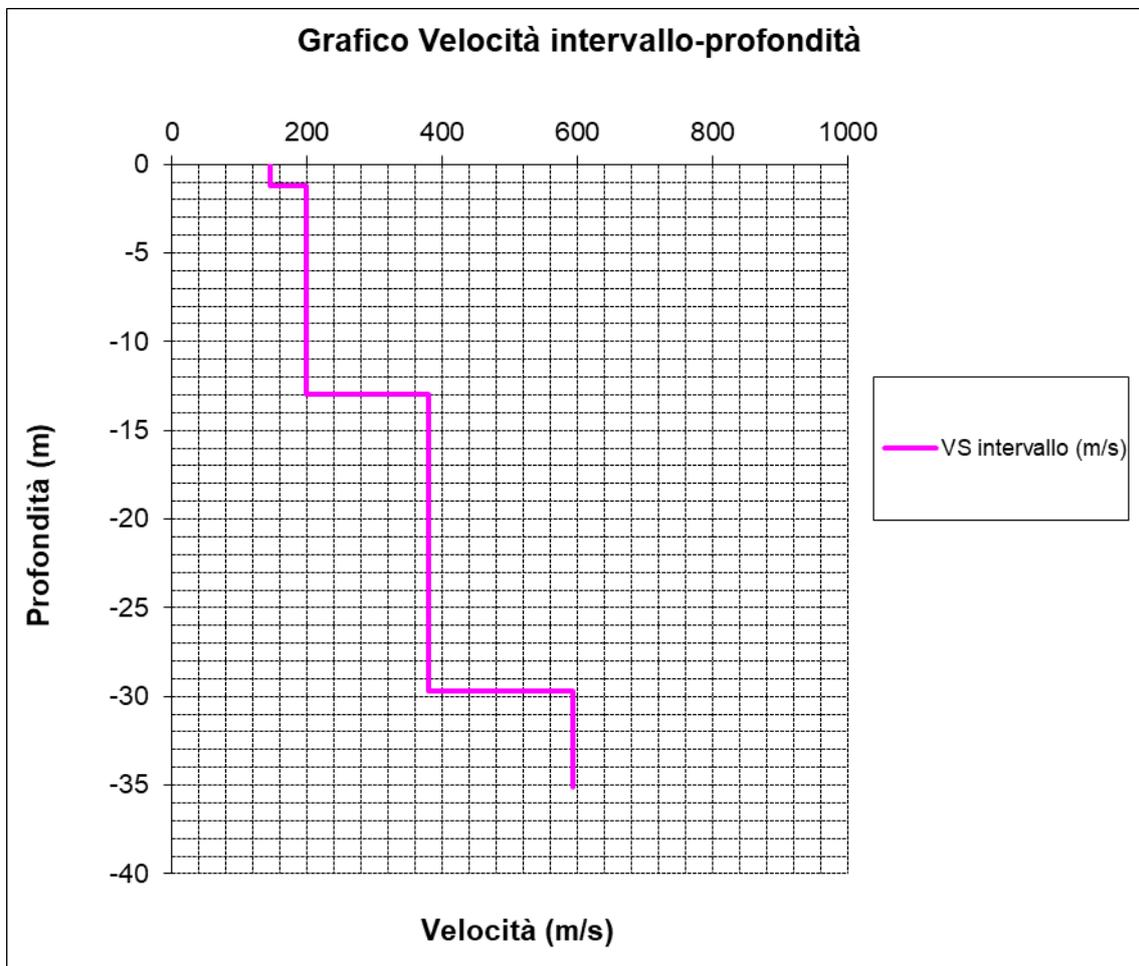
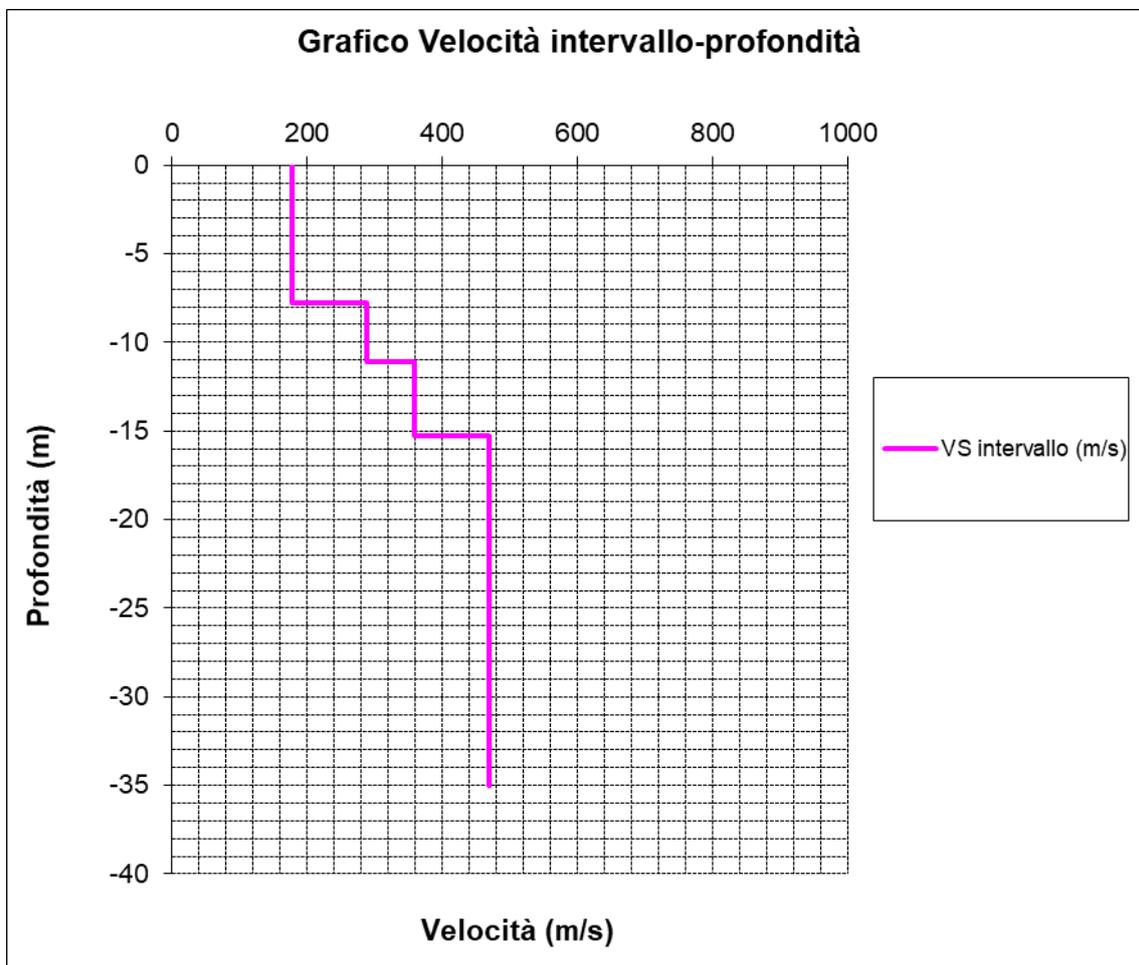


Figura 2: Grafico dei valori medi di  $V_s$  desunti dall'indagine sismica MASW MWB.

### MASW MWC

<i>Sismostrato</i>	<i>Profondità (m)</i>	<i>V<sub>s</sub> (m/s) acquisizione n.1</i>	<i>V<sub>s</sub> (m/s) acquisizione n.2</i>
S1	0.0 – 7.8	180	179
S2	7.8 – 11.1	289	289
S3	11.1 – 15.3	360	359
S4	15.3 – 35.0	471	470

**Tabella 3: Valori di V<sub>s</sub> desunti dall'indagine sismica MASW MWC**

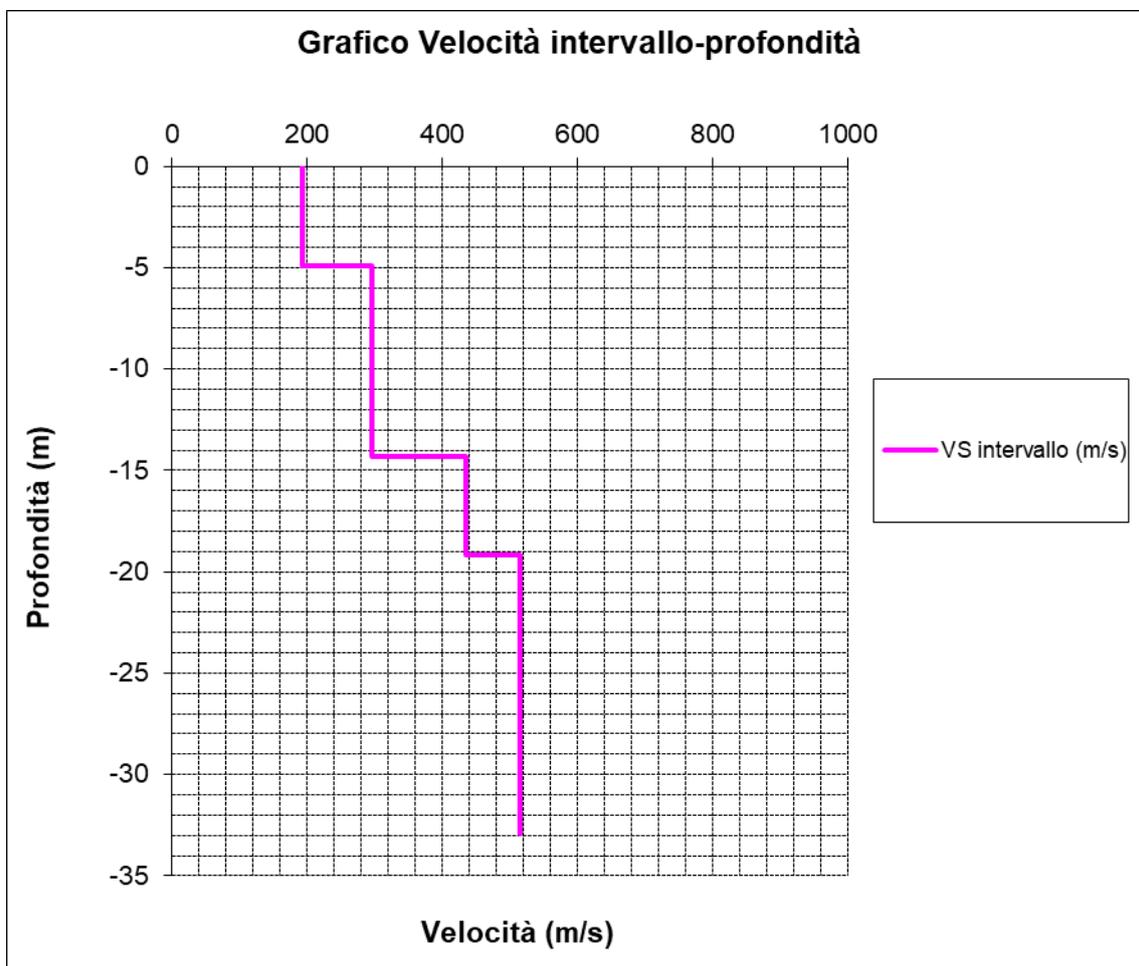


**Figura 3: Grafico dei valori medi di V<sub>s</sub> desunti dall'indagine sismica MASW MWC**

### MASW MWD

<i>Sismostrato</i>	<i>Profondità (m)</i>	<i>V<sub>s</sub> (m/s) acquisizione n.1</i>	<i>V<sub>s</sub> (m/s) acquisizione n.2</i>
S1	0.0 – 4.9	193	195
S2	4.9 – 14.3	297	298
S3	14.3 – 19.2	434	439
S4	19.2 – 32.9	510	517

**Tabella 4: Valori di V<sub>s</sub> desunti dall'indagine sismica MASW MWD**



**Figura 4: Grafico dei valori medi di V<sub>s</sub> desunti dall'indagine sismica MASW MWD**

## MASW MWE

<i>Sismostrato</i>	<i>Profondità (m)</i>	<i>V<sub>s</sub> (m/s) acquisizione n.1</i>	<i>V<sub>s</sub> (m/s) acquisizione n.2</i>
S1	0.0 – 6.5	174	176
S2	6.5 – 9.3	373	264
S3	9.3 – 17.0	196	246
S4	17.0 – 29.1	508	421
S5	29.1 – 33.0	823	724

Tabella 5: Valori di V<sub>s</sub> desunti dall'indagine sismica MASW MWE

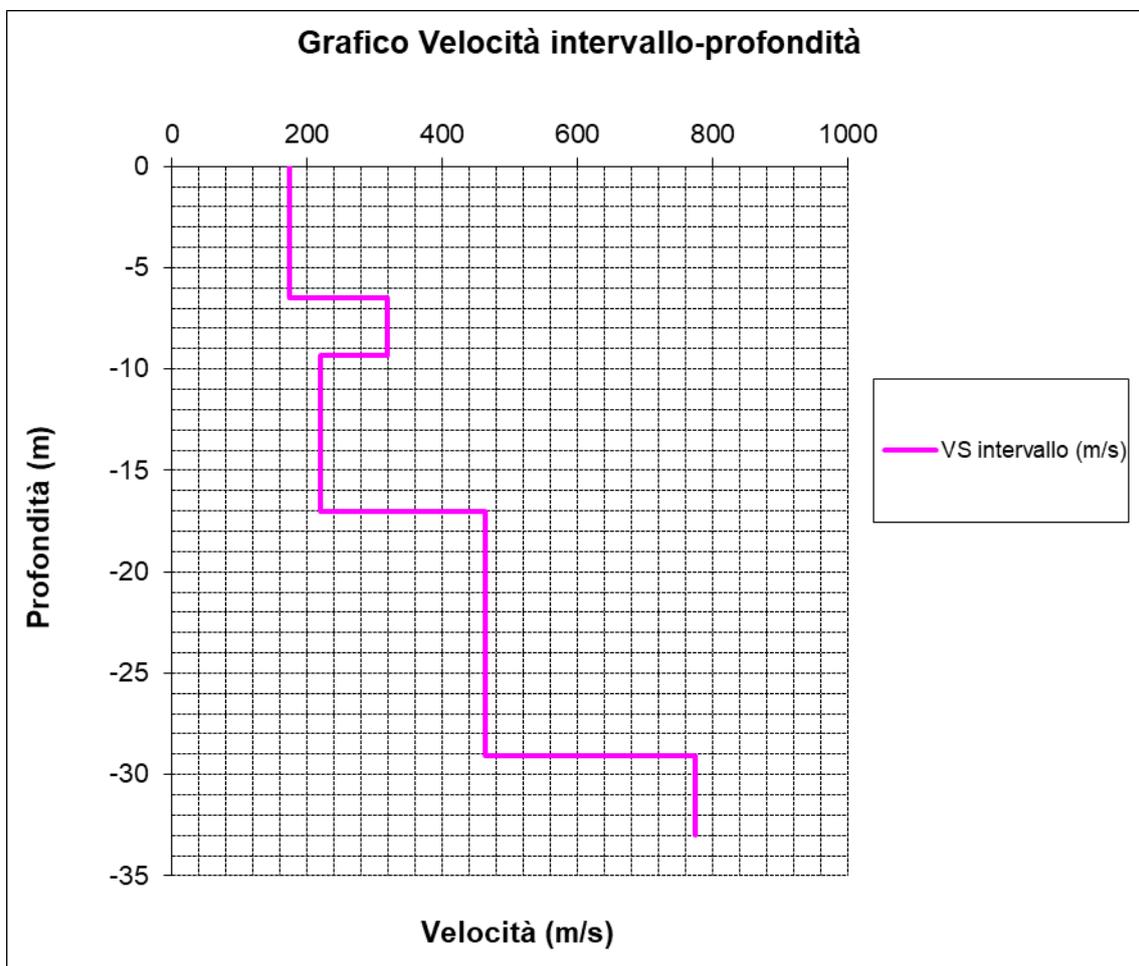
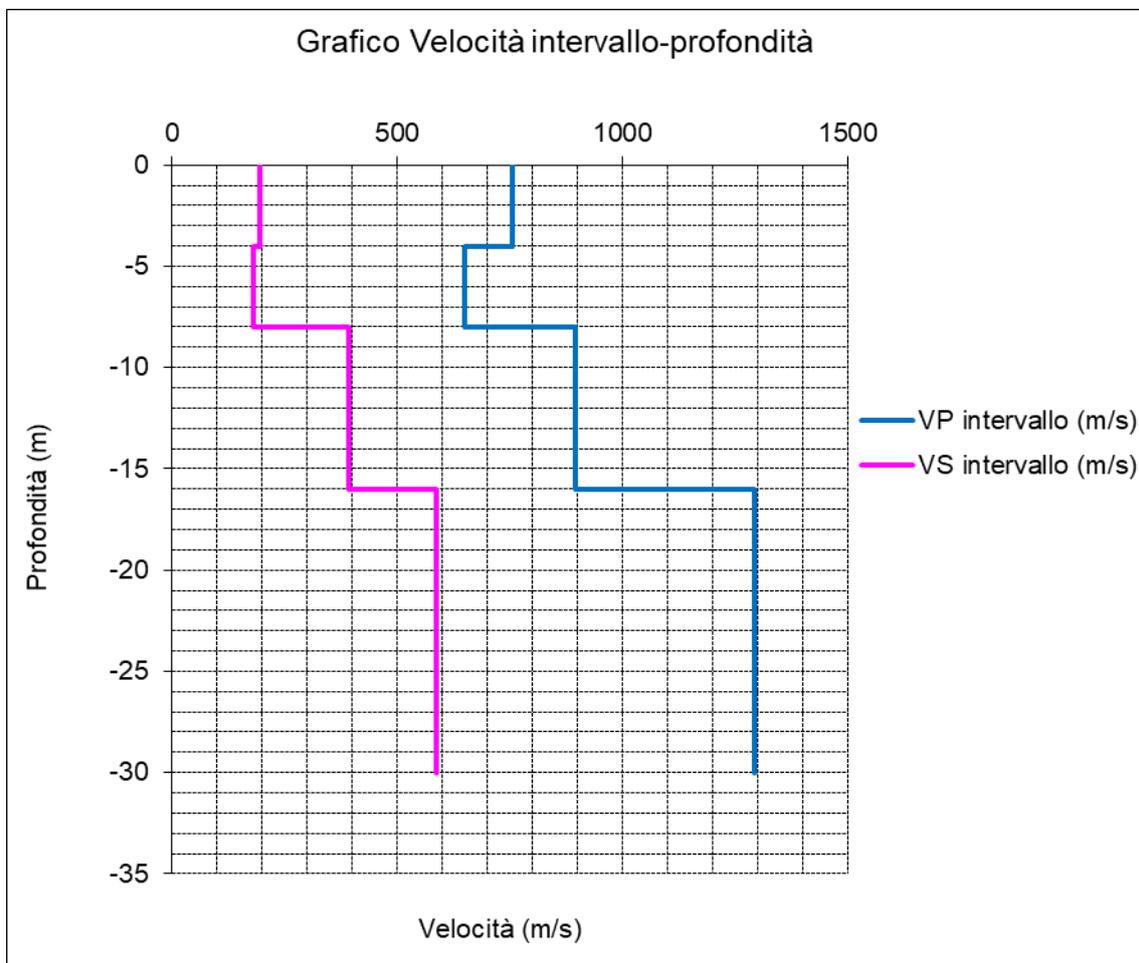


Figura 5: Grafico dei valori medi di V<sub>s</sub> desunti dall'indagine sismica MASW MWE

## DOWN HOLE DHa

<i>Sismostrato</i>	<i>Profondità (m)</i>	<i>V<sub>P</sub> (m/s)</i>	<i>V<sub>S</sub> (m/s)</i>
S1	0.0 – 4.0	757	196
S2	4.0 – 8.0	650	182
S3	8.0 – 16.0	895	393
S4	16.0 – 30.0	1292	589

**Tabella 6:** Valori di  $V_P$  e  $V_S$  desunti dall'indagine sismica DHa

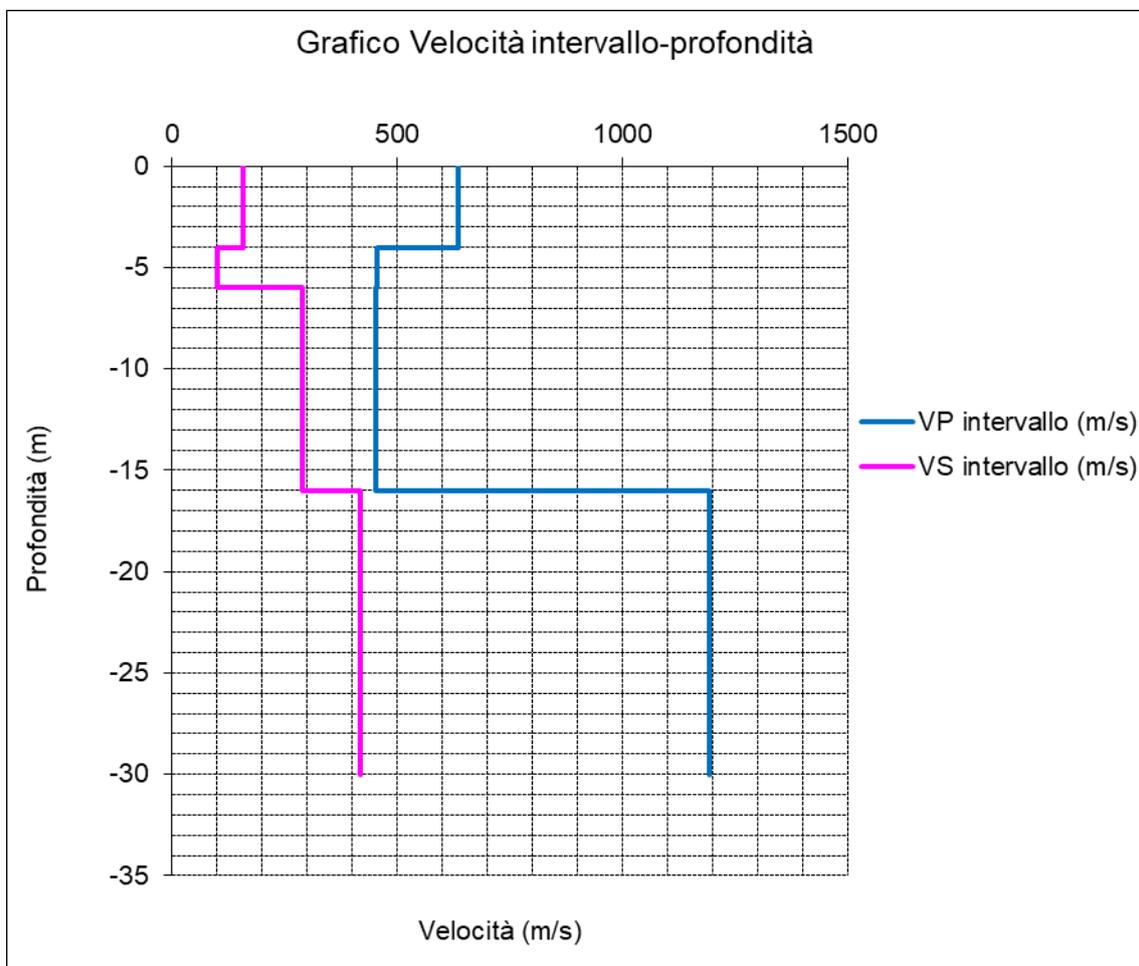


**Figura 6:** Grafico dei valori medi di  $V_P$  e  $V_S$  desunti dall'indagine sismica DHa

## DOWN HOLE DH1

<i>Sismostrato</i>	<i>Profondità (m)</i>	<i>V<sub>P</sub> (m/s)</i>	<i>V<sub>S</sub> (m/s)</i>
S1	0.0 – 4.0	636	158
S2	4.0 – 6.0	456	102
S3	6.0 – 16.0	454	291
S4	16.0 – 30.0	1193	419

**Tabella 7: Valori di  $V_P$  e  $V_S$  desunti dall'indagine sismica DH1**



**Figura 7: Grafico dei valori medi di  $V_P$  e  $V_S$  desunti dall'indagine sismica DH1.**

## PROSPEZIONE SISMICA A STAZIONE SINGOLA HVSR1

<i>Sismostrato</i>	<i>Profondità (m)</i>	<i>V<sub>s</sub> (m/s) acquisizione n.1</i>
S1	0.0 – 16.0	225
S2	16.0 – 30.0	600

Tabella 8: Valori di  $V_s$  desunti dall'indagine sismica HVSR1

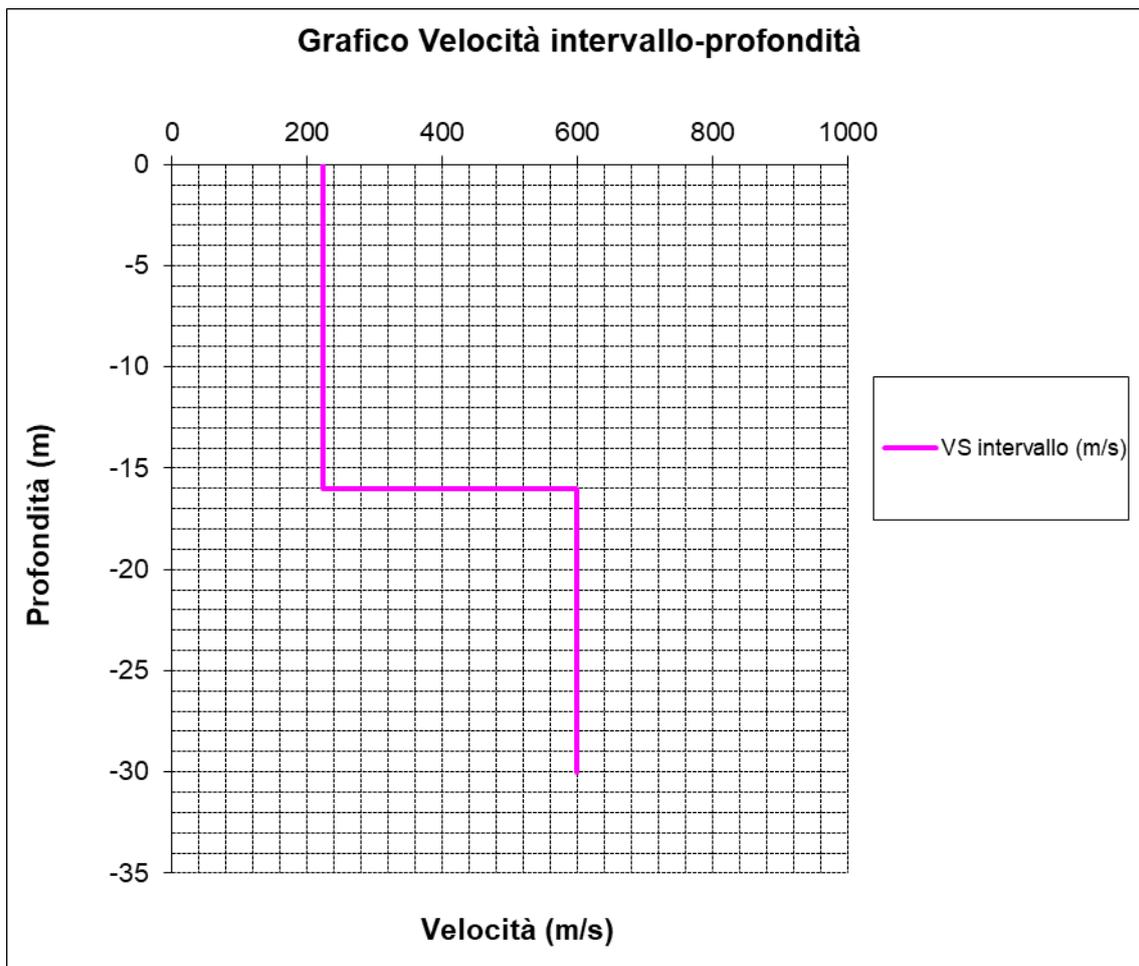


Figura 8: Grafico dei valori medi di  $V_s$  desunti dall'indagine sismica HVSR1.

<i>Prospezione sismica</i>	<i><math>V_{S\ 0-30}</math> (m/s)</i>	<i>Categoria sottosuolo (D.M. 17/01/2018)</i>
<i>MASW MWA</i>	<i>[267 ÷ 271]</i>	<i>C</i>
<i>MASW MWB</i>	<i>[272 ÷ 273]</i>	<i>C</i>
<i>MASW MWC</i>	<i>[307 ÷ 308]</i>	<i>C</i>
<i>MASW MWD</i>	<i>[336 ÷ 339]</i>	<i>C</i>
<i>MASW MWE</i>	<i>[251 ÷ 263]</i>	<i>C</i>
<i>DHa</i>	<i>[346]</i>	<i>C</i>
<i>DH1</i>	<i>[265]</i>	<i>C</i>
<i>HVSRI</i>	<i>[317]</i>	<i>C</i>

**Tabella 9: Categorie dei sottosuoli ottenute dalle prospezioni sismiche**