



COMUNE DI META
(Città Metropolitana di Napoli)

Amministrazione Comunale
di Meta

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO (PUA) N° 1

TAVOLA 06

**RELAZIONE SULLA ELABORAZIONE
DELLE PROSPEZIONI SISMICHE MASW**

Ufficio Pianificazione Territoriale del Comune di Meta

Responsabile: Arch. Maria Rosaria Visciano

Collaboratore: Ing. Giuseppe Maresca

Consulente: Dr. Geol. Francesco Ruocco*

Collaboratore: Dr. Geol. Giuseppe Di Crescenzo^

* 80063 Piano di Sorrento (NA) - Via Cavoniello n° 8 - +39 0813501990 - +39 0818071679 - +39 3388669444

geol.francescoruocco@alice.it - francescoruocco@pec.it - <http://it.linkedin.com/in/geologofrancescoruocco>

^ 84010 Cetara (SA) - Via Salvo D'Acquisto n° 6 - +39 089261660 - +39 3283340032 - g.di.crescenzo@alice.it

SCALA:

FILE: Studio geologico-tecnico PUA1 Meta

ARCHIVIO: C:\Documenti\Lavori 2017

00	Dicembre 2017	Emissione			
REVISIONE	DATA	OGGETTO	REDATTO	APPROVATO	AUTORIZZATO

INDICE

1. PREMESSA	3
2. PROSPEZIONI SISMICHE BASATE SULL'ANALISI DELLE ONDE SUPERFICIALI DI RAYLEIGH	6
3. PROSPEZIONI SISMICHE MASW.....	9
4. INDAGINE ESEGUITA.....	15
5. ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI.....	16
6. INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI.....	35
7. CONCLUSIONI	37

1. PREMESSA

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Meta, nell'ambito dello studio geologico-tecnico per la redazione del PUA n° 1, sono state effettuate tre prospezioni sismiche M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh) in località *Alimuri* e *Marina di Meta* nel territorio comunale di Meta (NA) (cfr. Foto nn. 1÷3), al fine di definire le caratteristiche sismostratigrafiche del sottosuolo secondo la vigente normativa di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

È stata inoltre condotta un'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. 14 gennaio 2008).

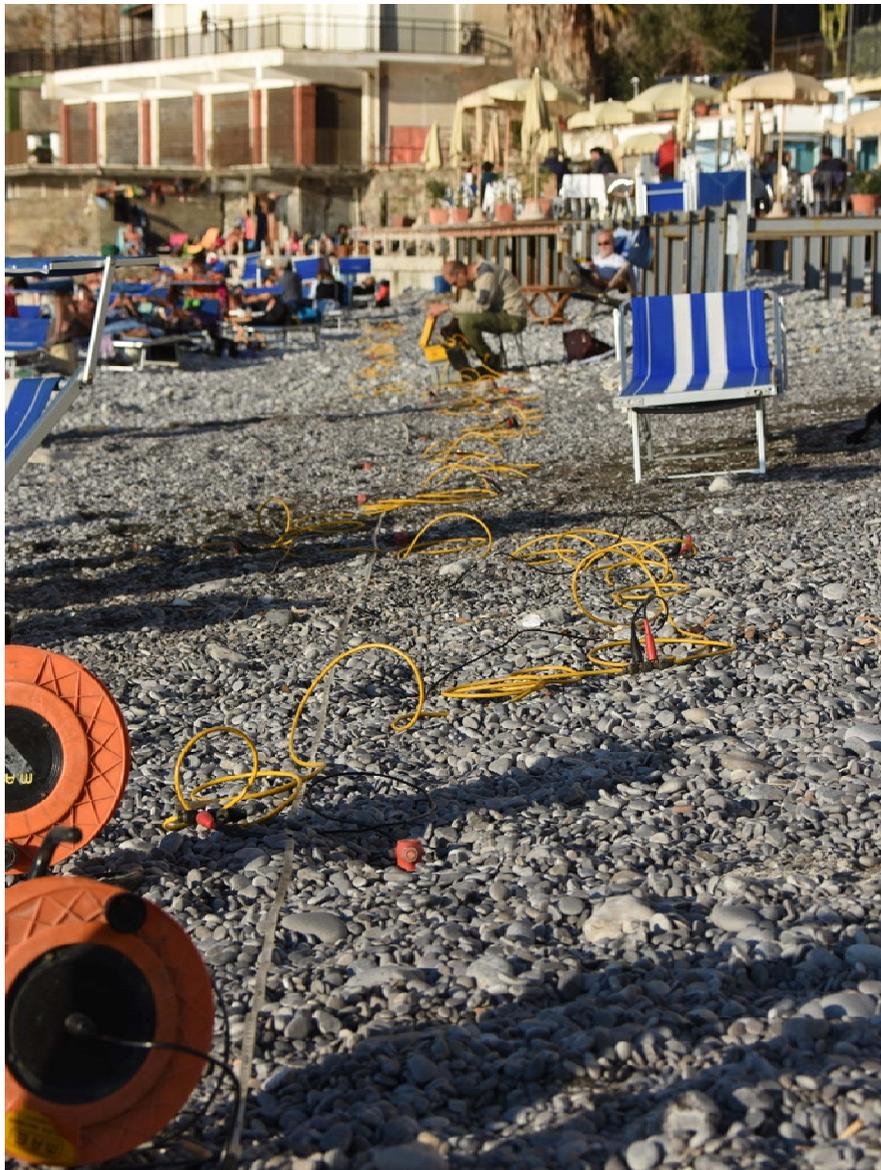


Figura 1: Stendimento sismico MASW n.1.



Figura 2: Stendimento sismico MASW n.2.



Figura 3: Stendimento sismico MASW n.3.

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

Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale (*cf.* Figura 4) 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).

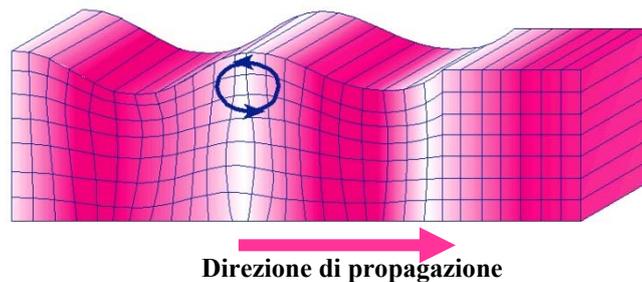


Figura 4: Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto alla direzione di propagazione dell'onda.

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). 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 5).

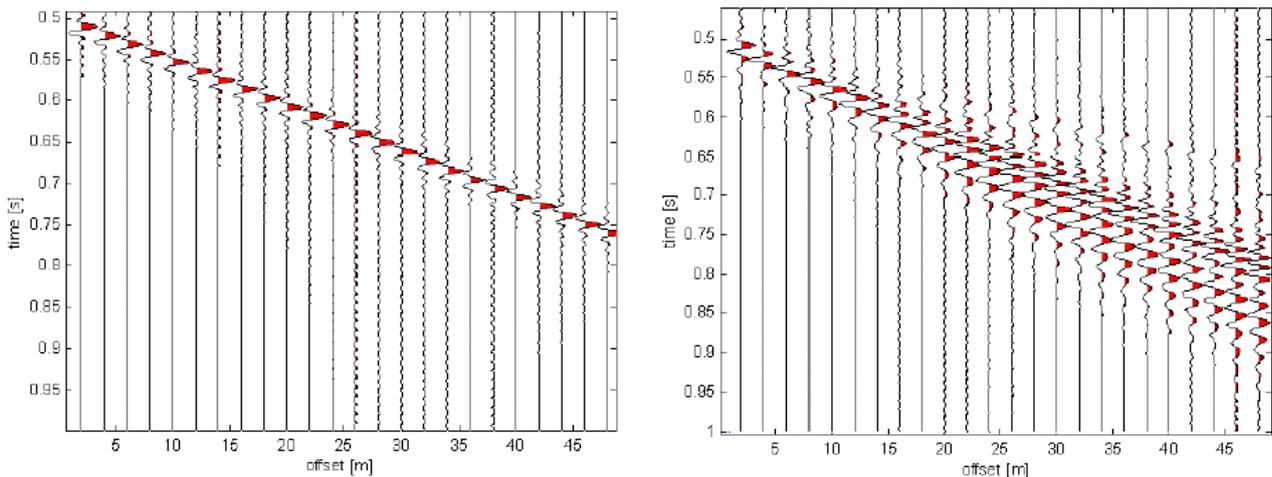


Figura 5: Segnali sismici che evidenziano (in rosso) le onde superficiali di Rayleigh in un mezzo non stratificato (a sinistra) e in un mezzo stratificato (a destra). Risulta evidente il fenomeno della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato.

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 6).

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 $V_S < 15\%$.

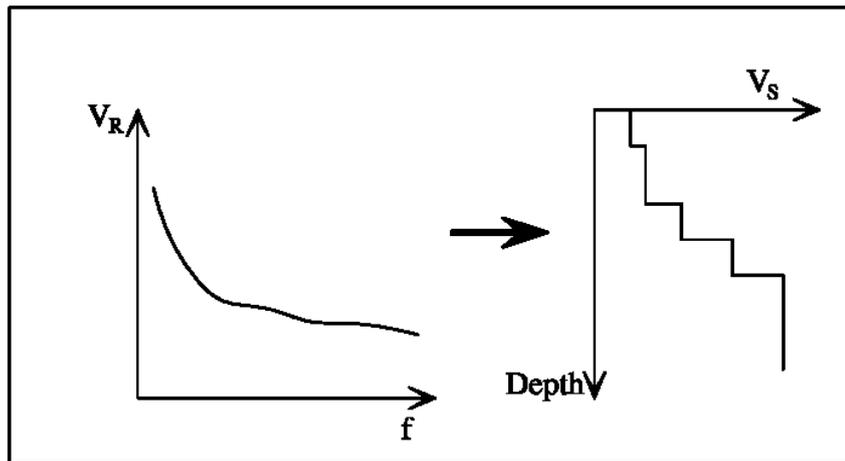


Figura 6: Velocità delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza (a sinistra) e profilo di velocità delle onde di taglio in funzione della profondità (a destra) ricavato tramite processo d'inversione.

La modellazione del sottosuolo mediante l'impiego di comuni geofoni verticali a 4.5Hz 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 (<30m) 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 7), generati da una sorgente energizzante artificiale (maglio battente su piastra in alluminio), lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni (cfr. Figura 8);

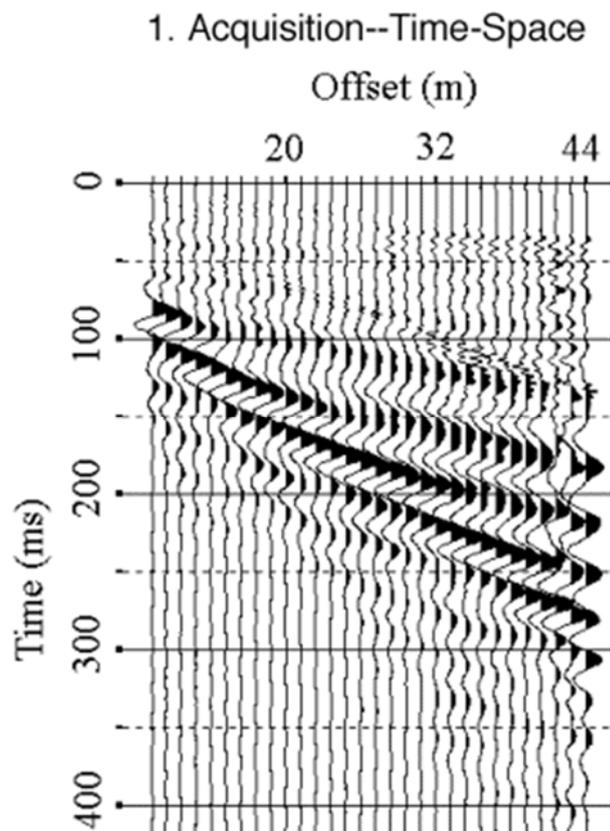


Figura 7: Segnali sismici acquisiti dai geofoni lungo uno stendimento.

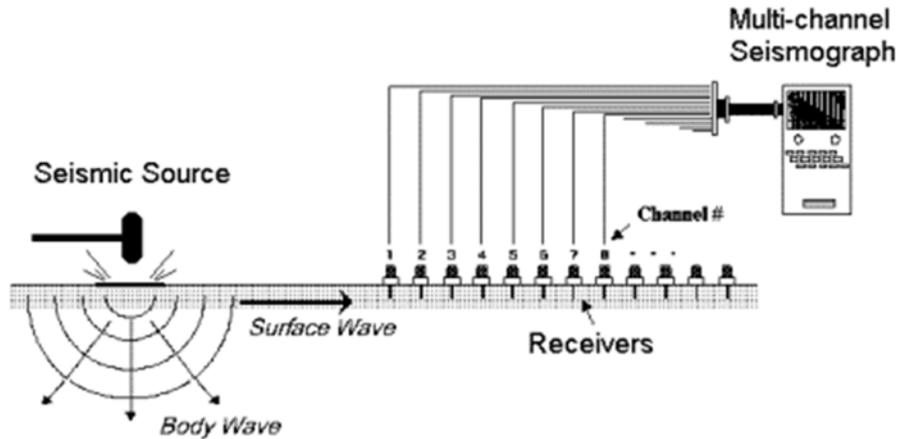


Figura 8: Schema di acquisizione dei segnali sismici con metodo MASW.

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 9);

2. Dispersion Curve Extraction--Frequency-Phase Velocity

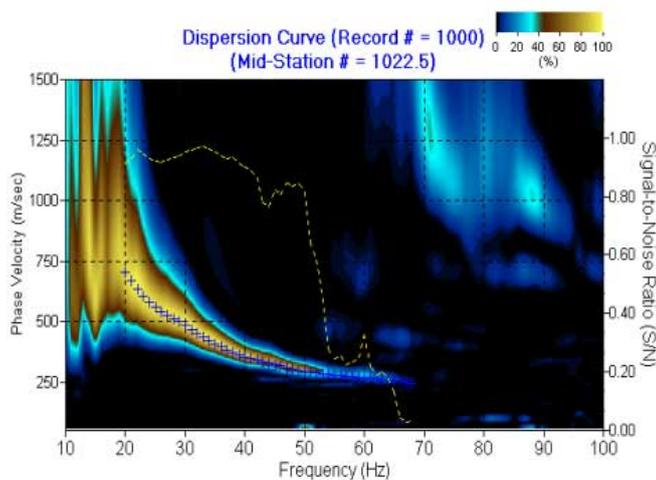


Figura 9: Curva di dispersione della velocità di fase in funzione della frequenza delle onde superficiali di Rayleigh.

3. Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle V_s (cfr. Figura 10) (un profilo verticale per ogni curva di dispersione, posizionato nel punto medio di ogni stendimento geofonico);

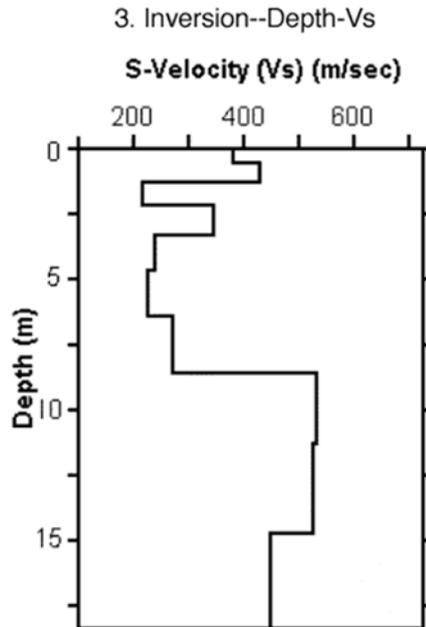


Figura 10: Modello di velocità delle onde di taglio (V_S) ottenuto dalla curva di dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh attraverso l'inversione di un modello multistrato di terreno. La velocità delle onde di taglio è approssimativamente pari a $1.1V_R$ (V_R =velocità delle onde di Rayleigh) e la profondità è pari a circa 0.4λ (λ =lunghezza d'onda).

4. Ricostruzione di una sezione (modello 2D) delle V_S dei terreni con approccio multicanale (cfr. Figura 11).

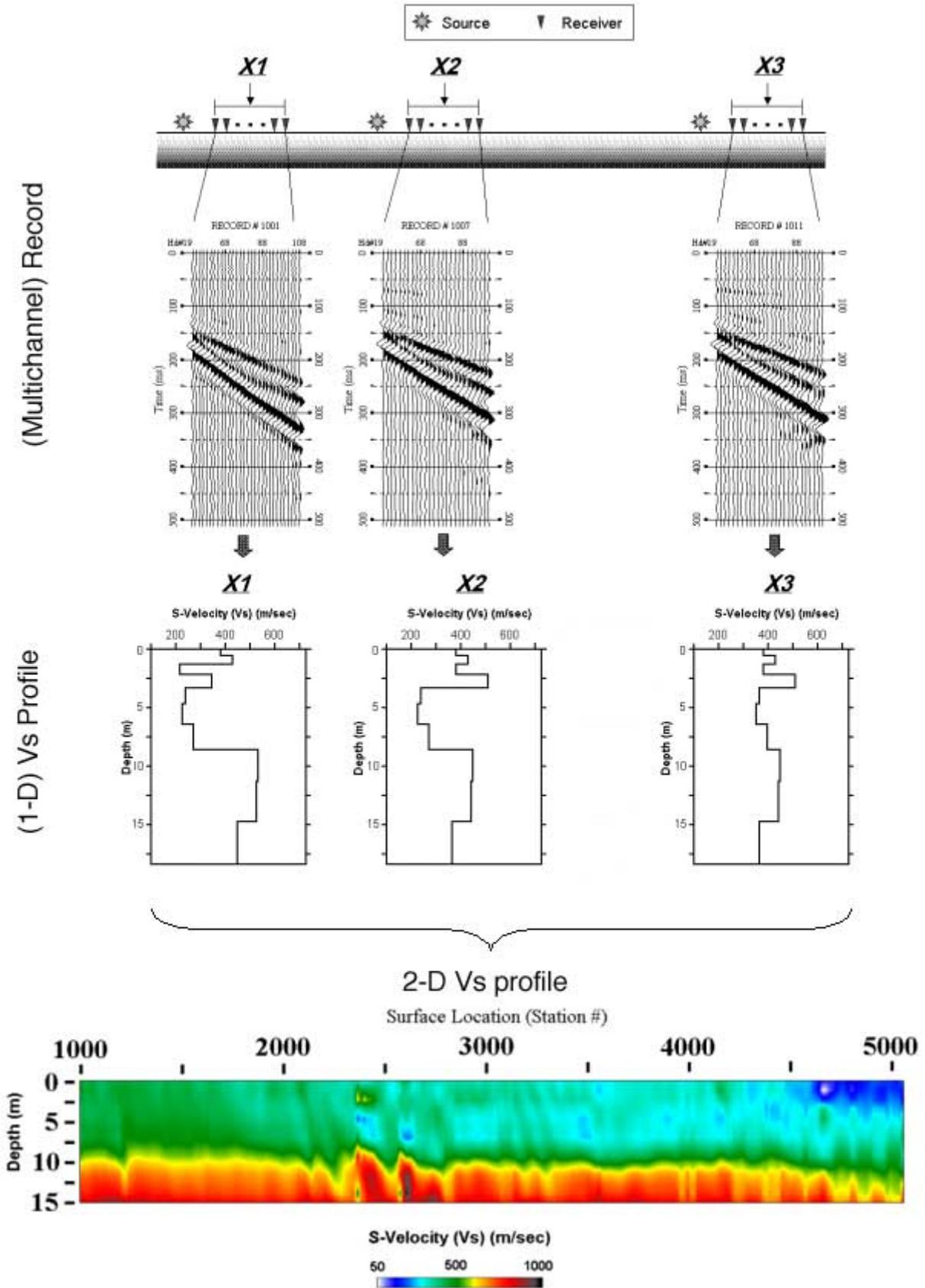


Figura 11: Modello 2D di velocità delle onde di taglio (V_s) ottenuto dalle inversioni delle curve di dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh.

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 12).

Inoltre, vengono quasi sempre rilevate vibrazioni da rumore ambientale proveniente dal traffico veicolare, dall'attività industriale e, in generale, dall'attività umana (cfr. Figura 12).

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.

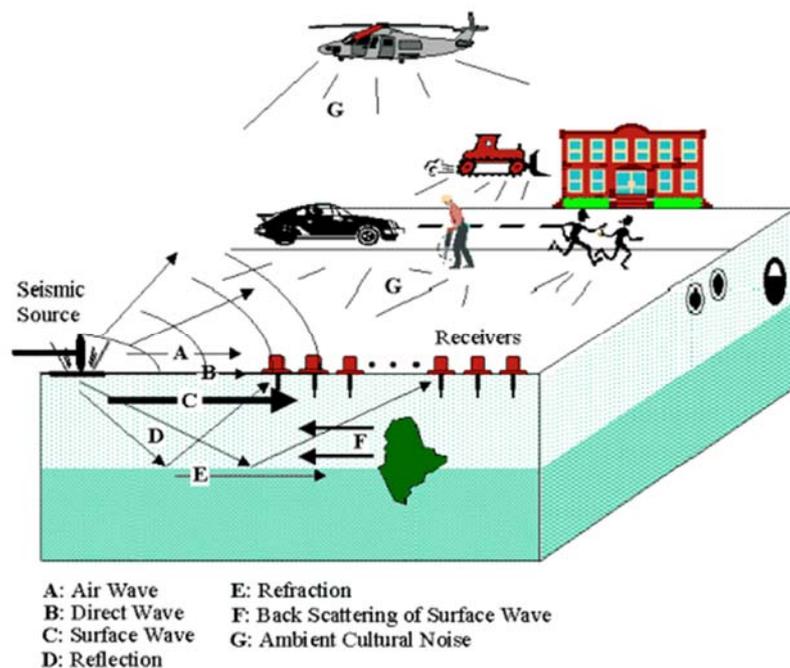


Figura 12: Schematizzazione dei vari tipi di onde (di volume e superficiali) e di alcune possibili sorgenti di rumore ambientale.

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 13) in una immagine dove un modello di dispersione è riconosciuto nella distribuzione dell'energia trasformata in oscillazioni (cfr. Figura 14).

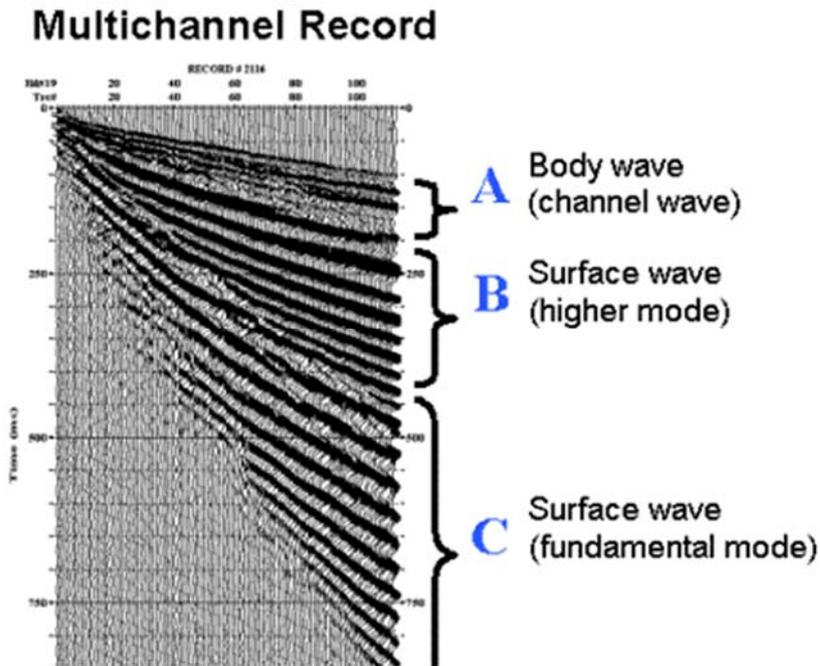


Figura 13: Segnali sismici con acquisizione multicanale e riconoscimento delle varie fasi sismiche (onde di volume, modo fondamentale e modi superiori delle onde superficiali).

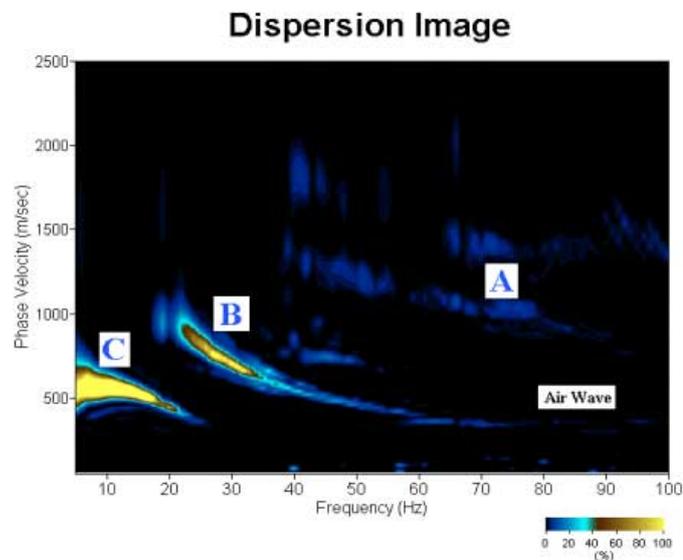


Figura 14: Curva di dispersione della velocità di fase in funzione della frequenza delle onde superficiali di Rayleigh relativa ai segnali sismici in Figura 13. Il picco energetico in corrispondenza di C rappresenta, nel modello della dispersione, il modo fondamentale da estrarre. Il picco energetico 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

Al fine di caratterizzare sismicamente il suolo nell'area oggetto di studio, sono state eseguite tre prospezioni sismiche MASW (cfr. *Figure 1 ÷ 3*), con le seguenti caratteristiche (*Tabella 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 352° E</i>	<i>40.650225°</i>	<i>14.408982°</i>
<i>MASW n. 2</i>	<i>50.0</i>	<i>2.0</i>	<i>N 216° E</i>	<i>40.646744°</i>	<i>14.407418°</i>
<i>MASW n. 3</i>	<i>37.5</i>	<i>1.5</i>	<i>N 36° E</i>	<i>40.645037°</i>	<i>14.407252°</i>

Tabella 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 15*) 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 risultava netta o veniva colpita due volte erroneamente, la prova veniva ripetuta.

La sorgente è stata posizionata all'inizio e alla fine di ogni stendimento geofonico, con offset predefiniti, 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 predefinito (cfr. *Figure 1 - 3, 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 35.1m 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.



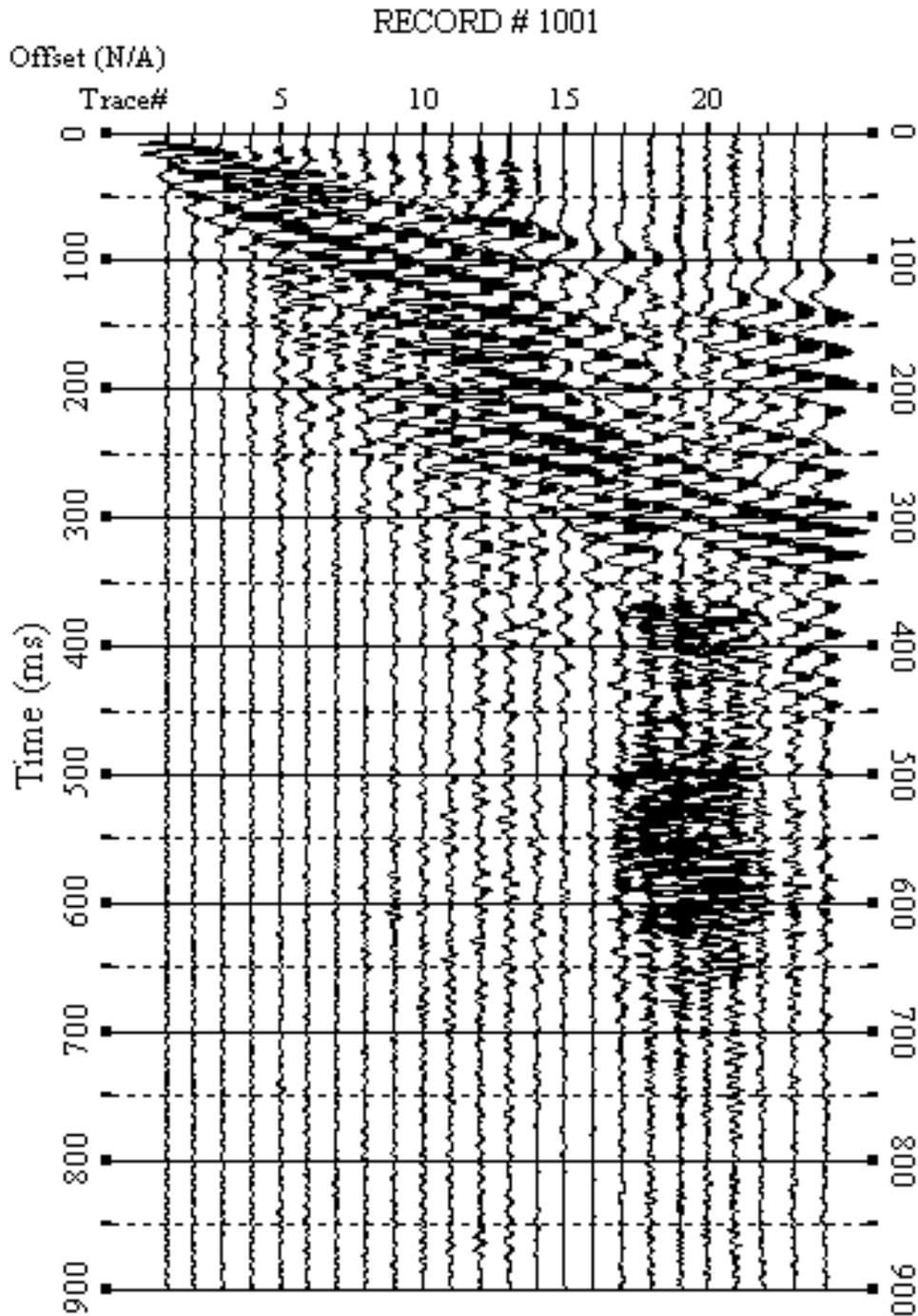
Figura 15: Sorgente energizzante, costituita da massa battente su piastra di alluminio. Lo starter/trigger è un geofono verticale Geospace a 14Hz.

5. ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

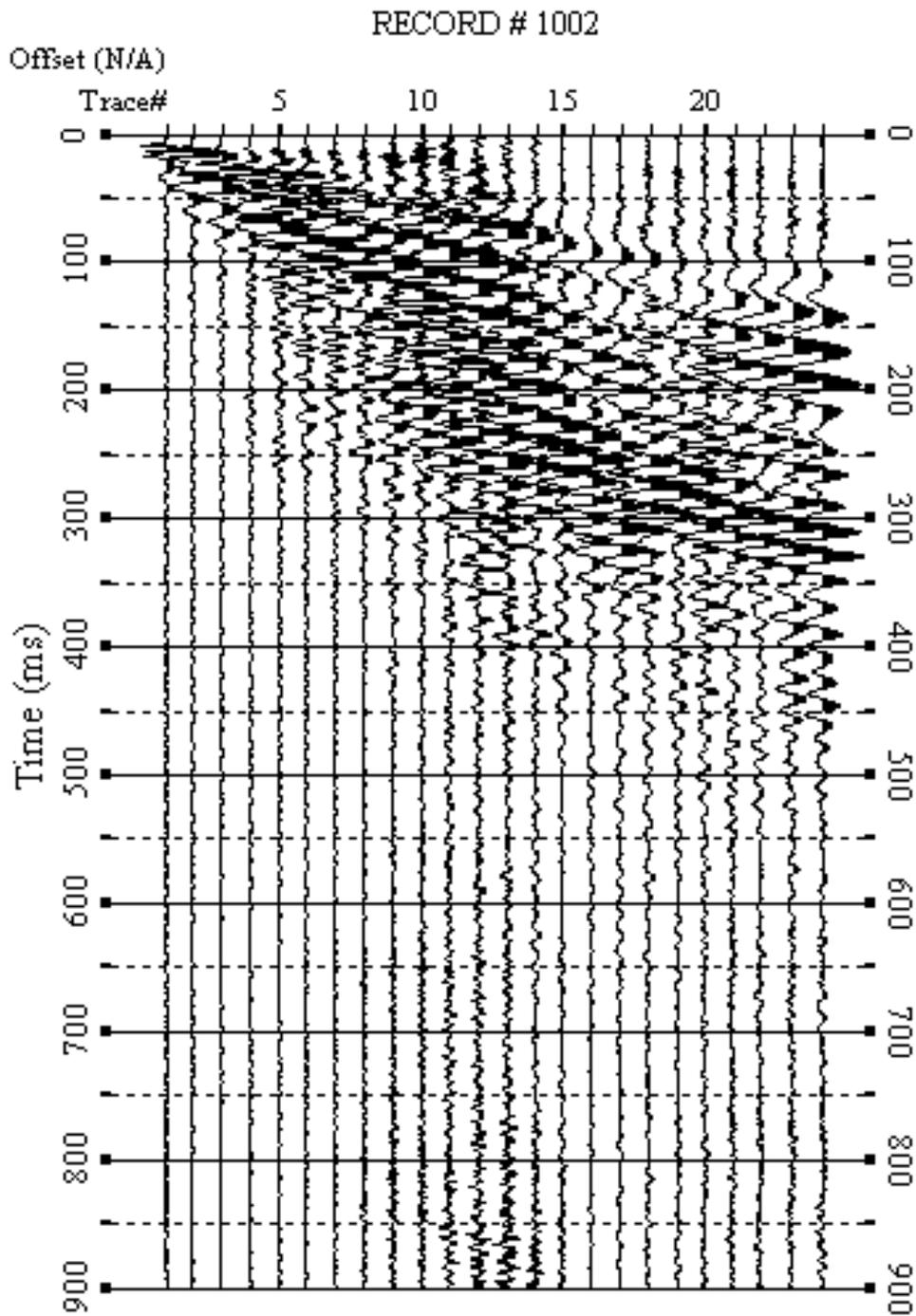
Le acquisizioni dei segnali, di lunghezza temporale $T=2.048s$, sono state effettuate con passo di campionamento $dt=0.5ms$. La frequenza di campionamento è data da: $f_{campionamento}=1/dt=2000Hz$. La frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di Nyquist, è data da: $f_{Nyquist}=1/2dt=1000Hz$.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

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° 3 sezioni sismostratigrafiche 2D delle V_s .

Gli elaborati relativi alle prove effettuate sono di seguito riportati (cfr. Figure 16 ÷ 42).



**Figura 16: Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW n. 1.
Acquisizione n. 1. Finestra temporale [0-900]ms.**



**Figura 17: Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW n. 1.
Acquisizione n. 2. Finestra temporale [0-900]ms.**

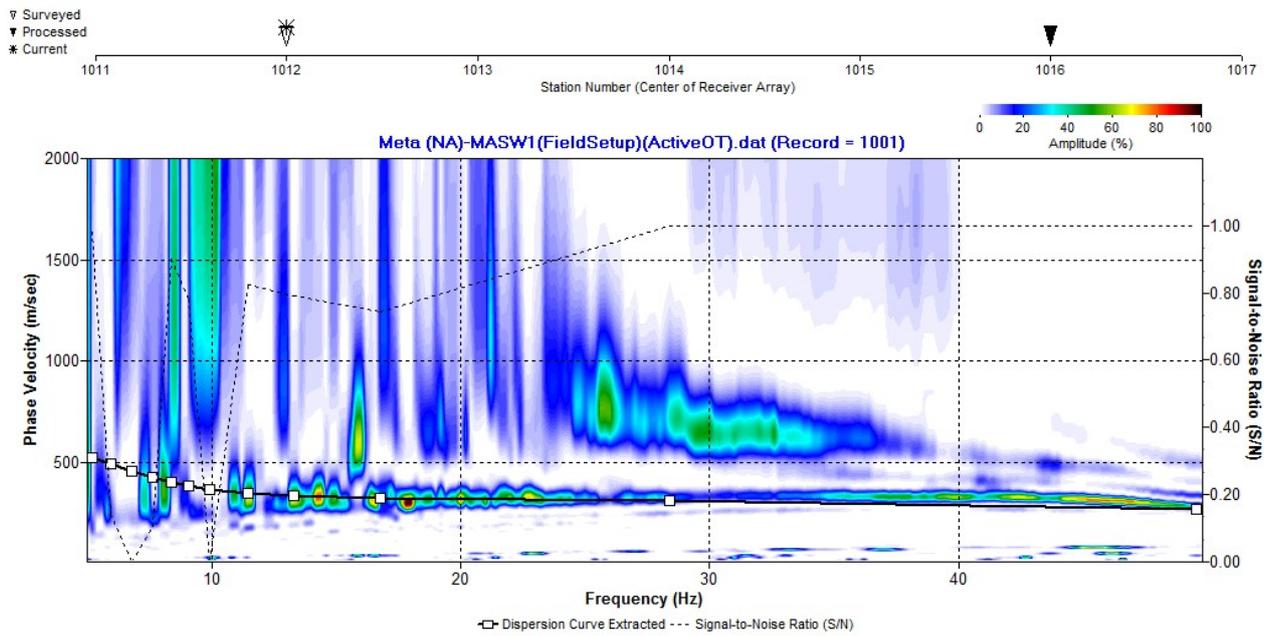


Figura 18: Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW n. 1: acquisizione n. 1.

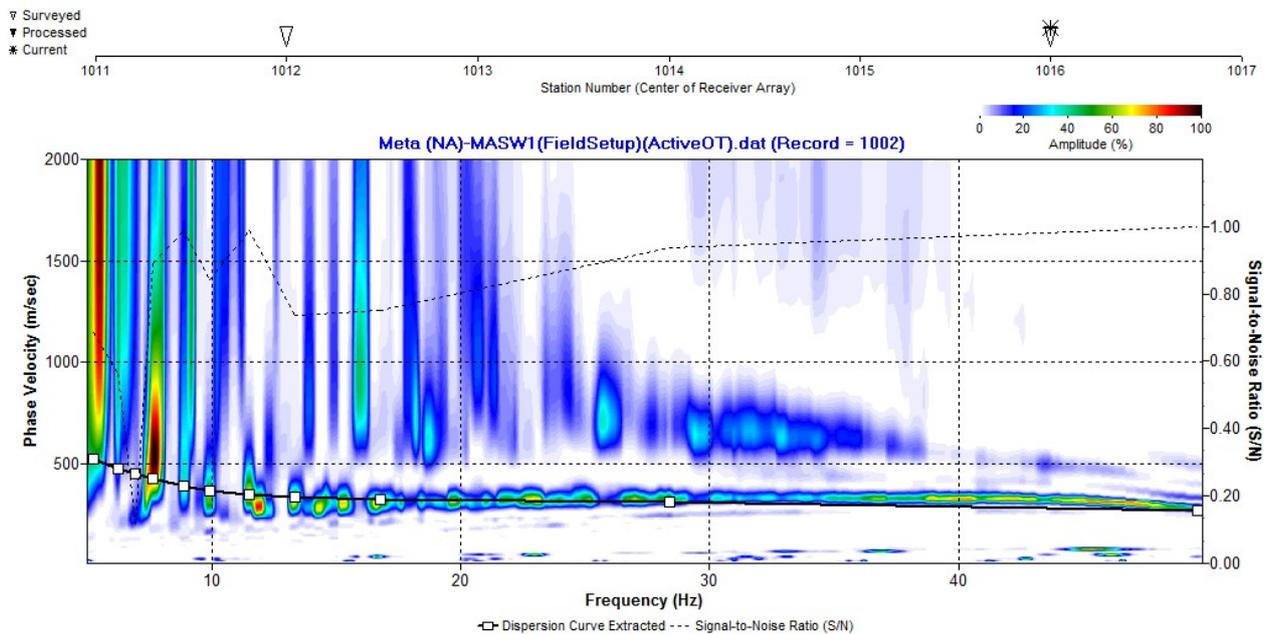


Figura 19: Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW n. 1: acquisizione n. 2.

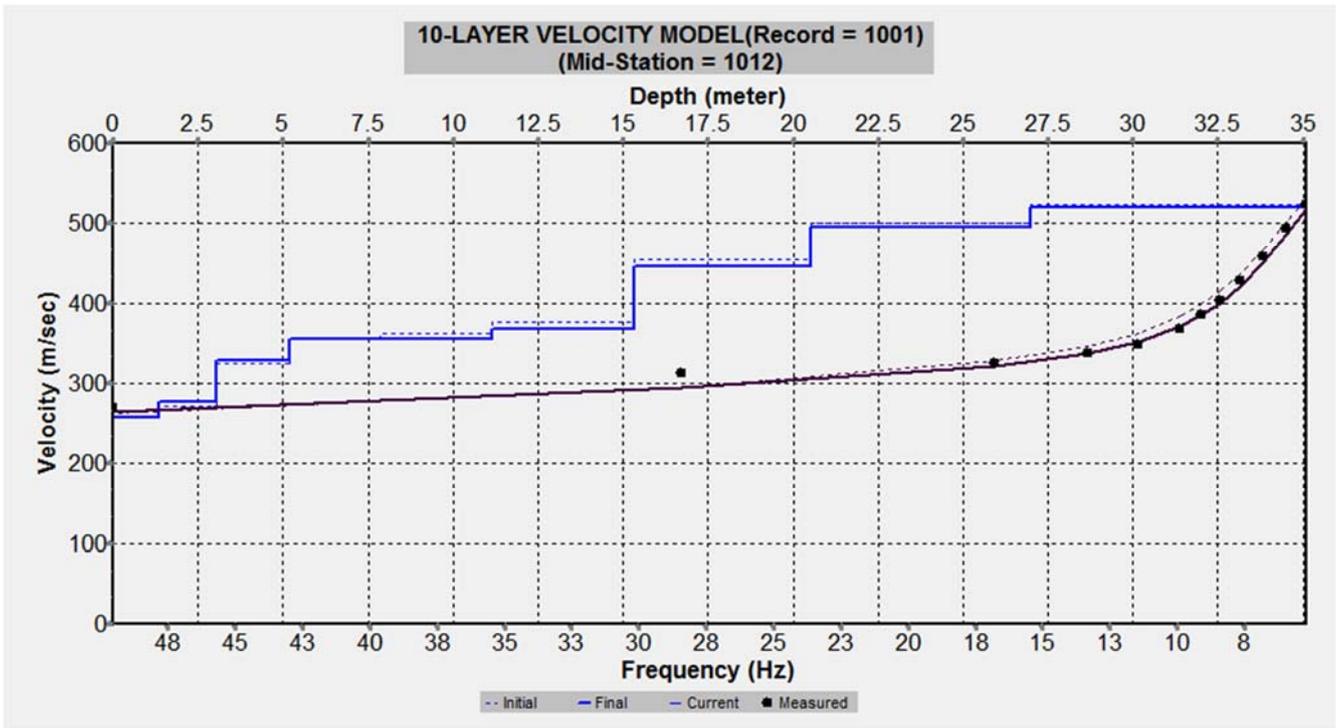


Figura 20: Profilo verticale 1D delle V_s ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh. MASW n. 1. Acquisizione n. 1.

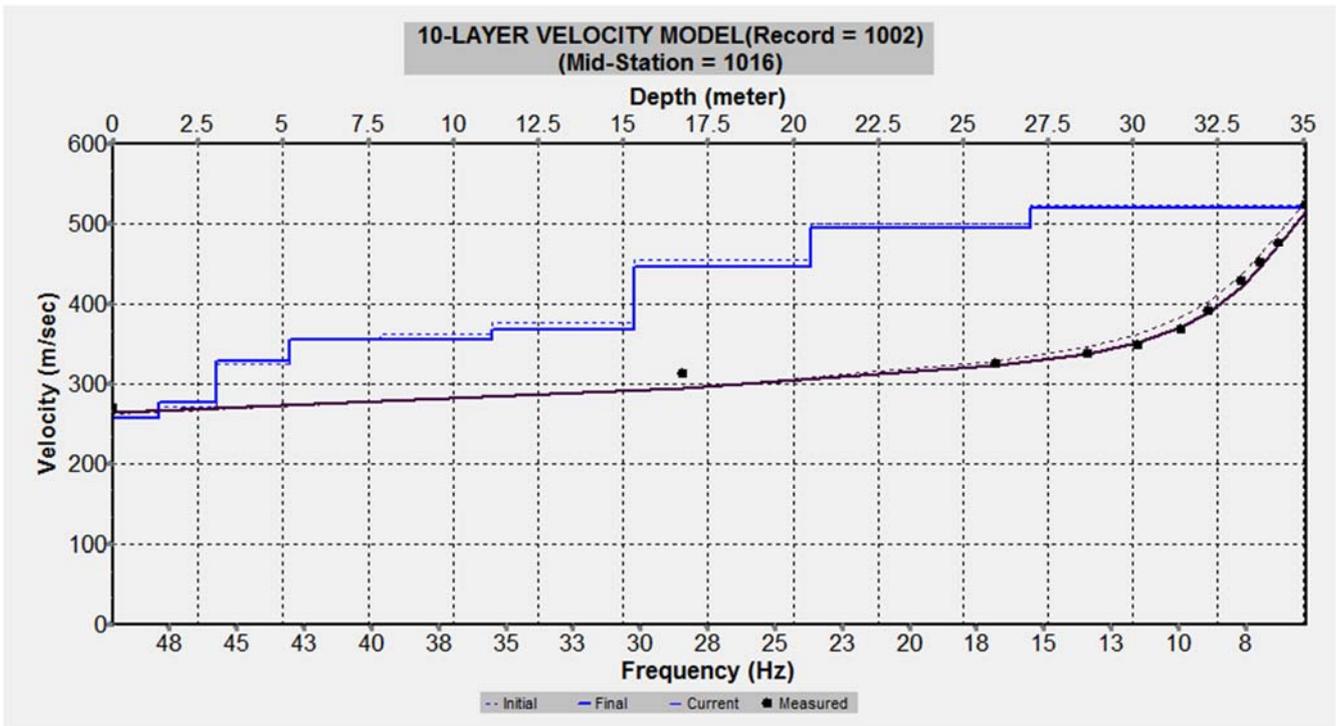


Figura 21: Profilo verticale 1D delle V_s ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh. MASW n. 1. Acquisizione n. 2.

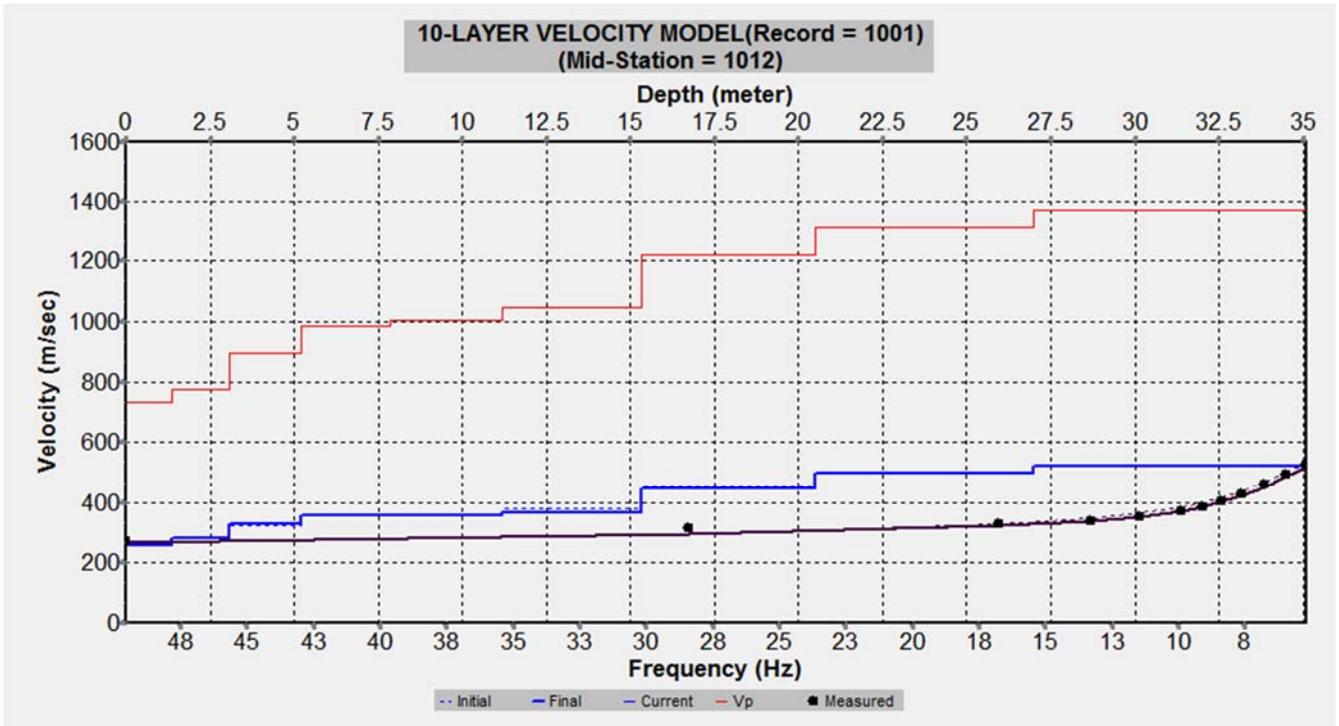


Figura 22: Profili verticali 1D delle V_p e delle V_s ottenuti dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh. MASW n. 1. Acquisizione n. 1.

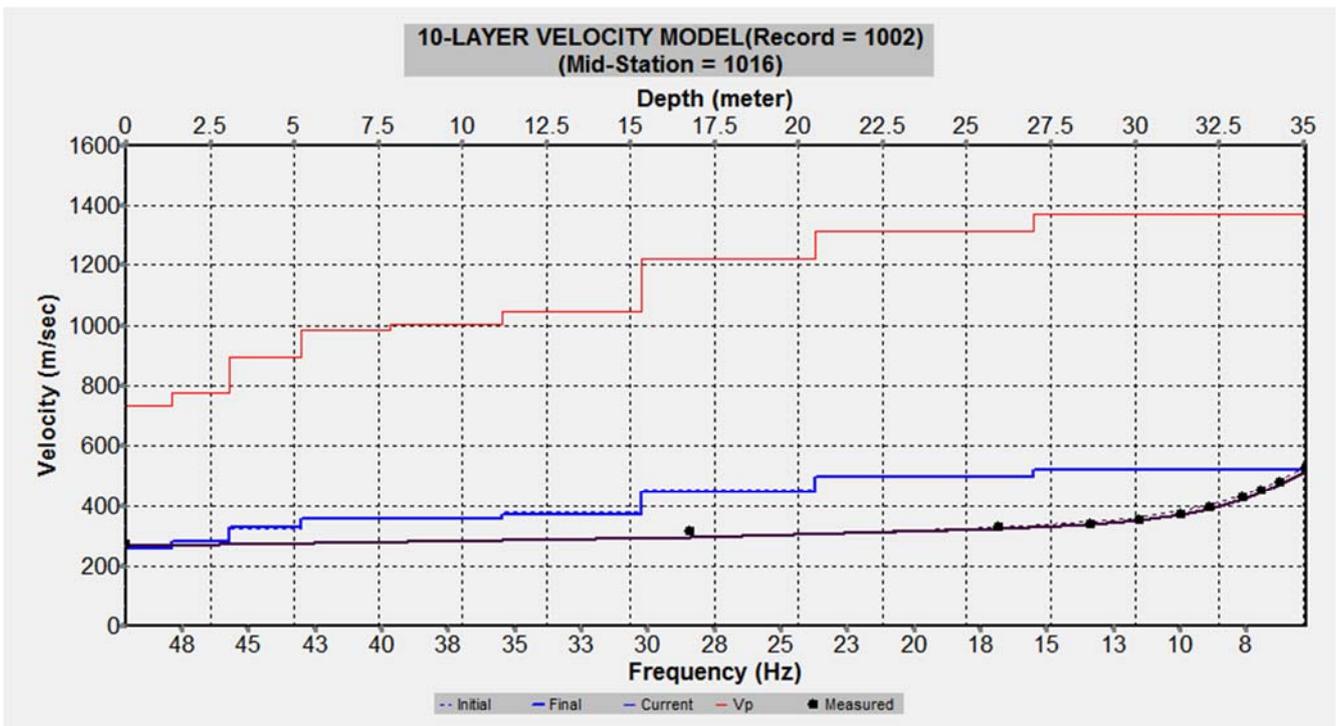


Figura 23: Profili verticali 1D delle V_p e delle V_s ottenuti dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh. MASW n. 1. Acquisizione n. 2.

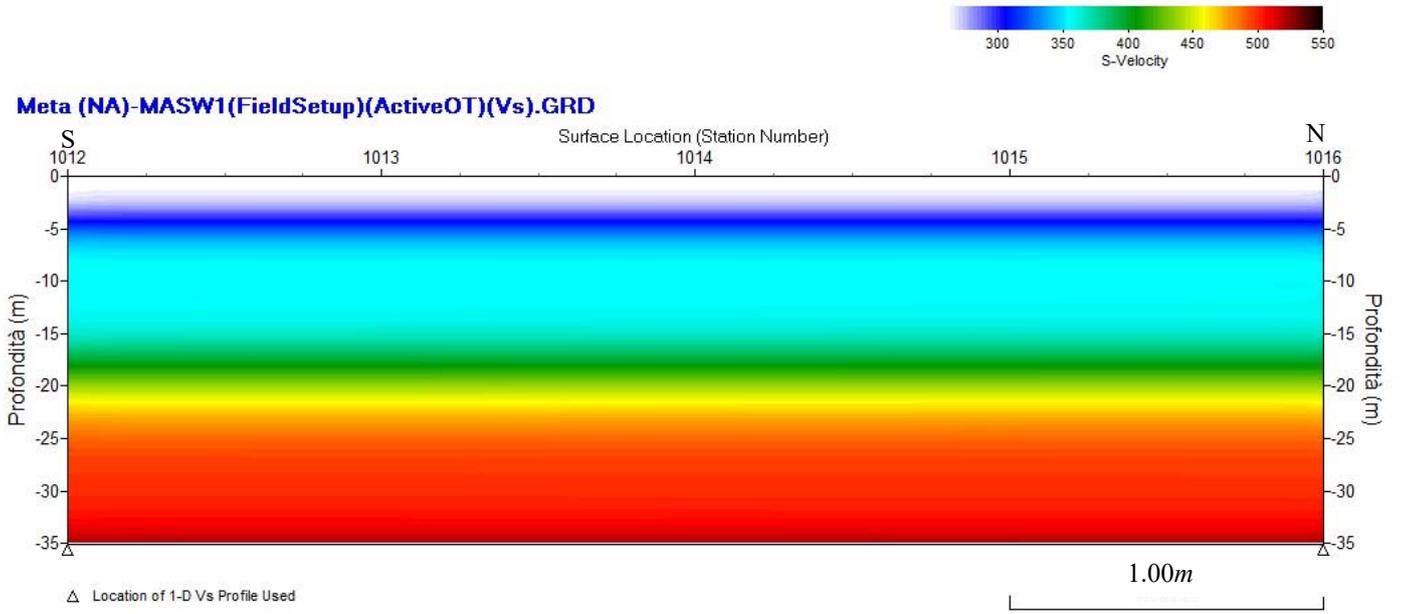
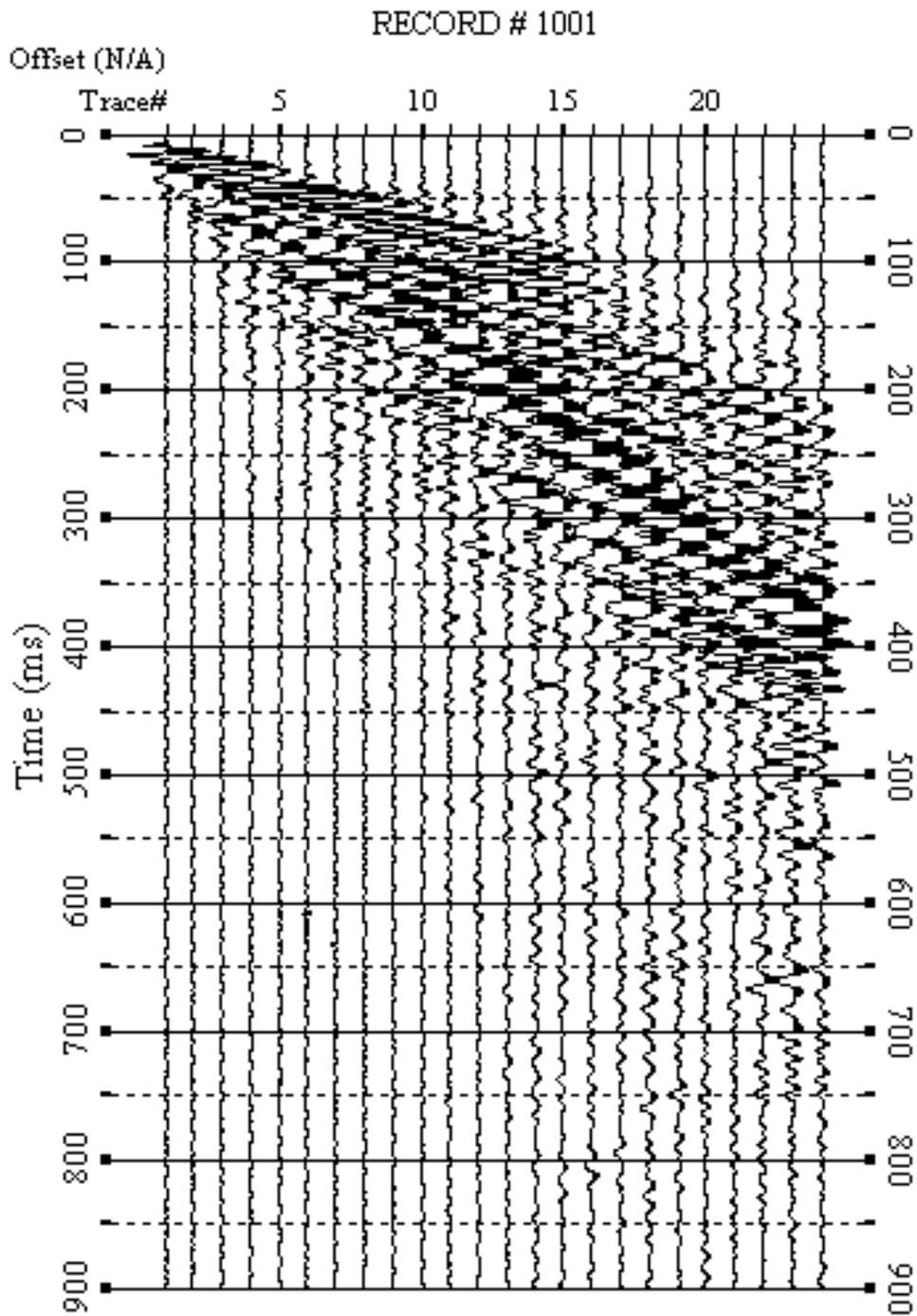
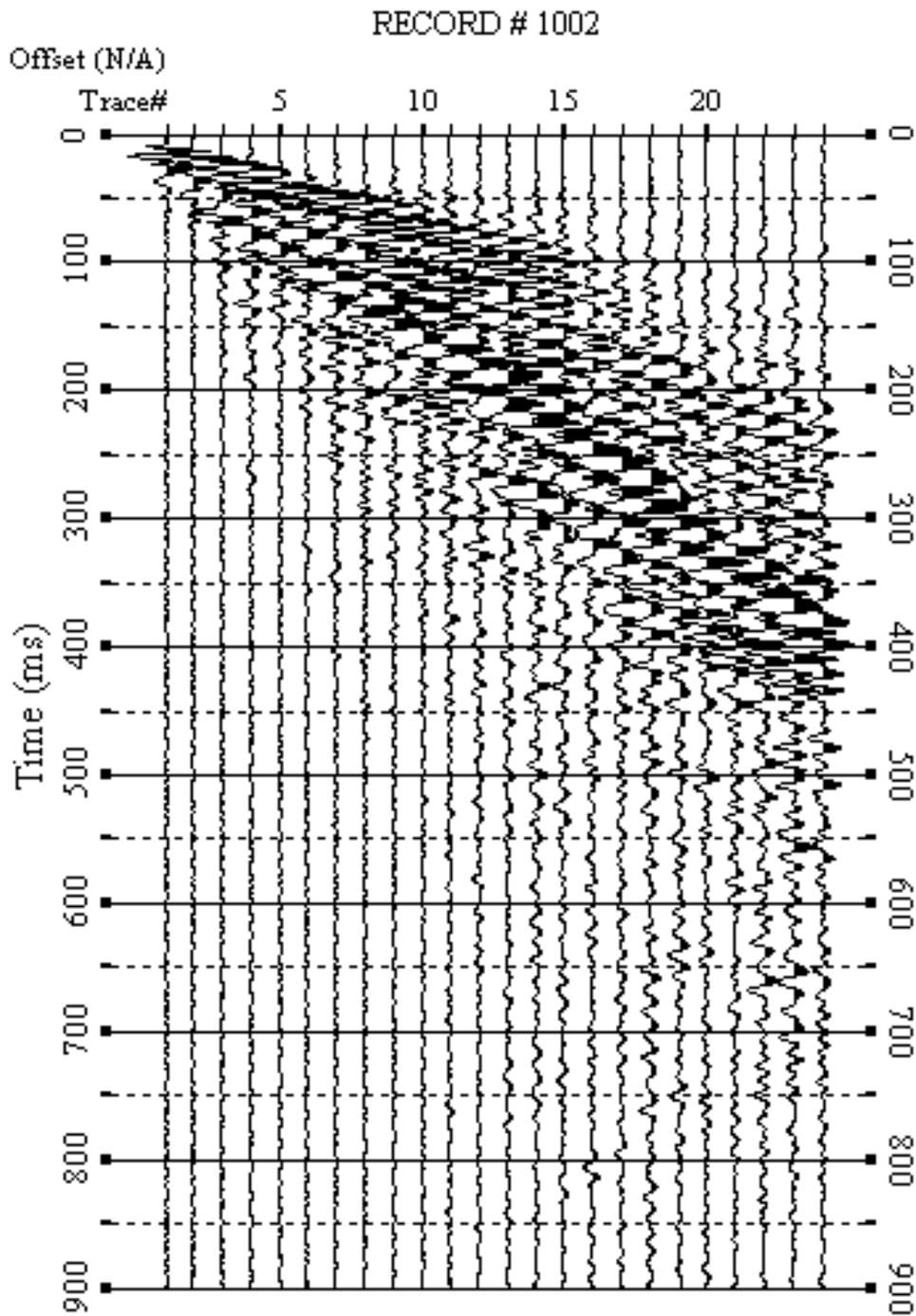


Figura 24: Modello sismostratigrafico 2D delle V_s ottenuto dall'indagine sismica MASW n. 1.



**Figura 25: Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW n. 2.
Acquisizione n. 1. Finestra temporale [0-900]ms.**



**Figura 26: Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW n. 2.
Acquisizione n. 2. Finestra temporale [0-900]ms.**

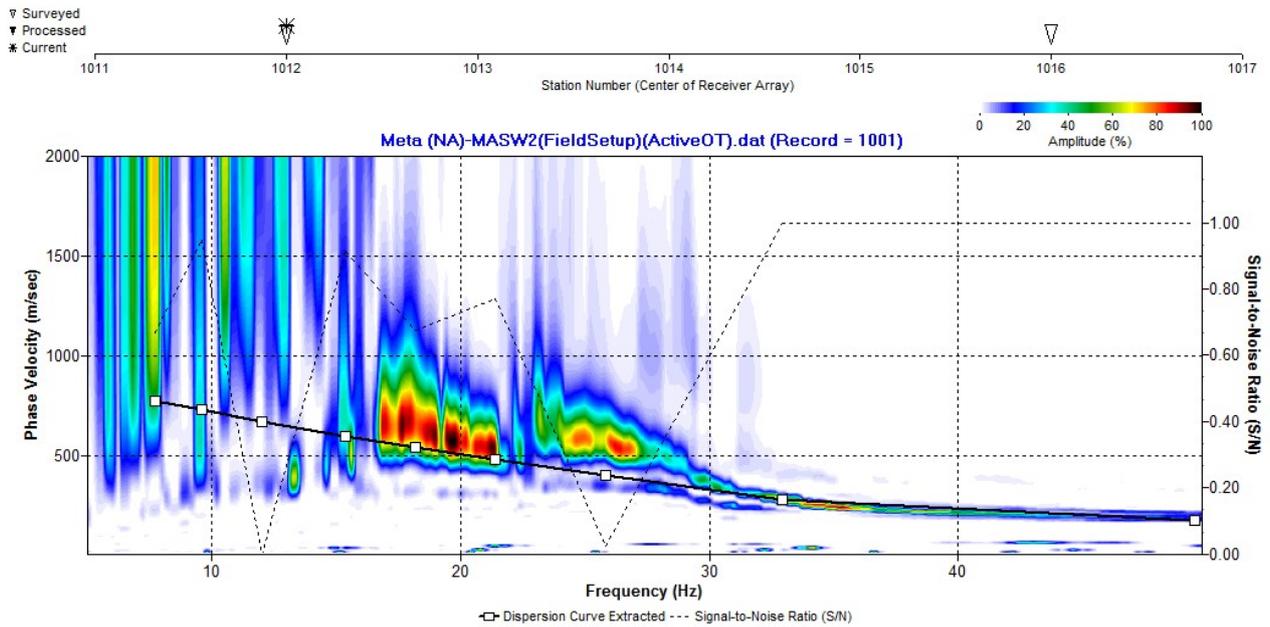


Figura 27: Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW n. 2: acquisizione n. 1.

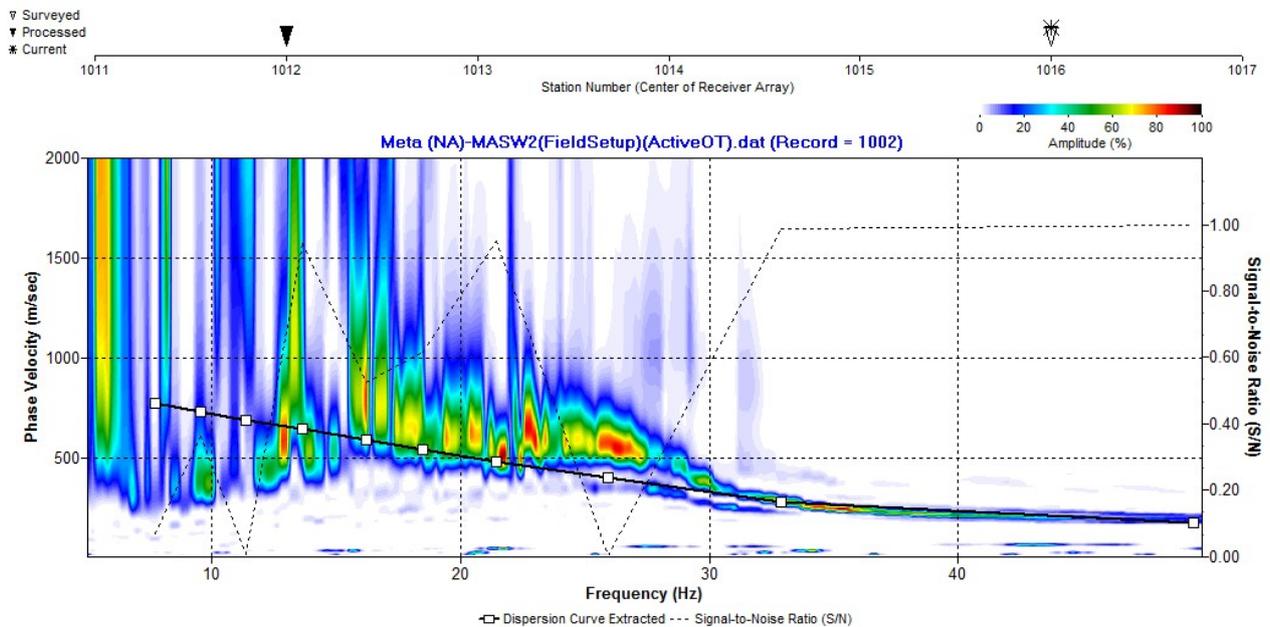


Figura 28: Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW n. 2: acquisizione n. 2.

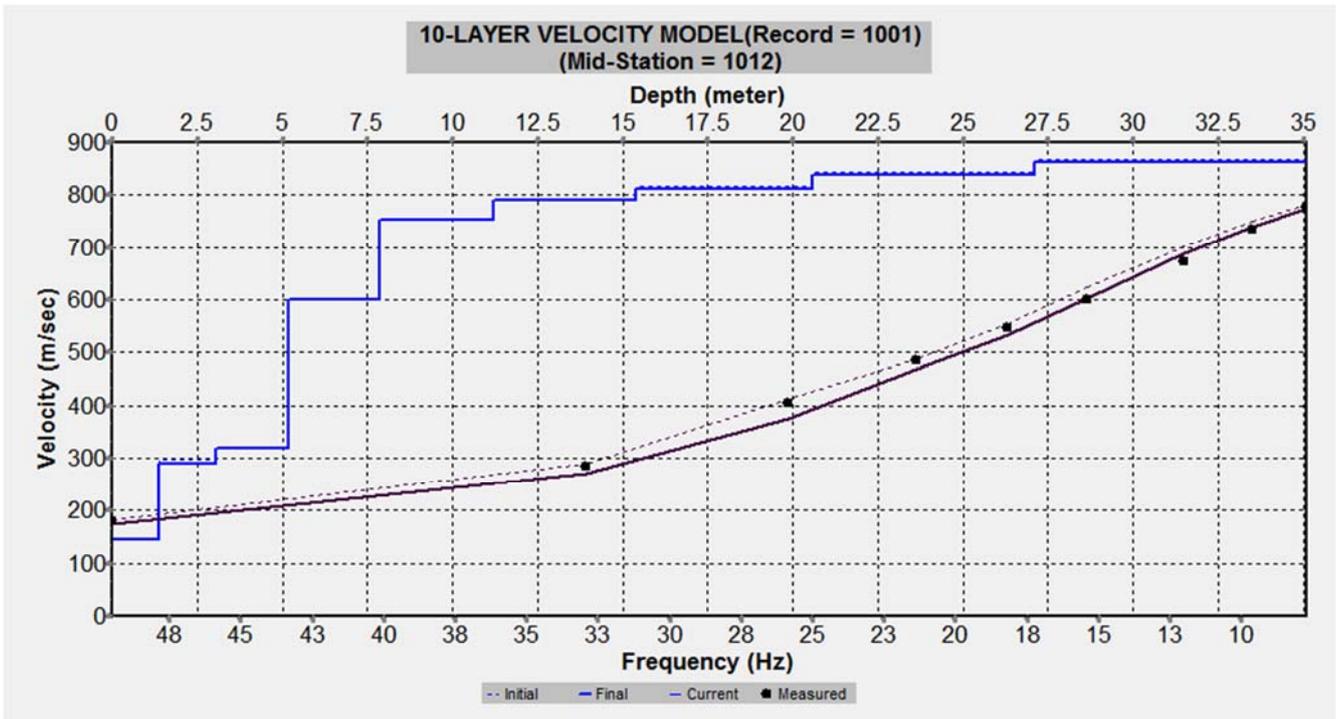


Figura 29: Profilo verticale 1D delle V_s ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh. MASW n. 2. Acquisizione n. 1.

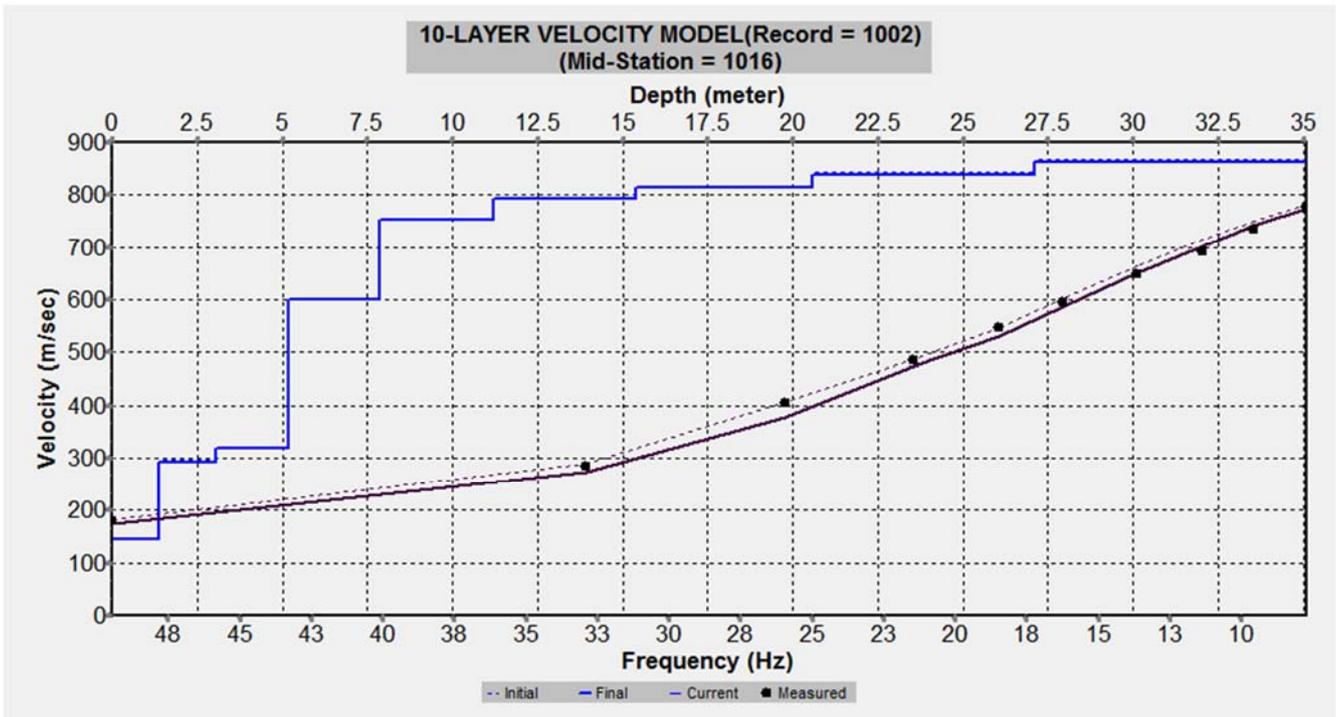


Figura 30: Profilo verticale 1D delle V_s ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh. MASW n. 2. Acquisizione n. 2.

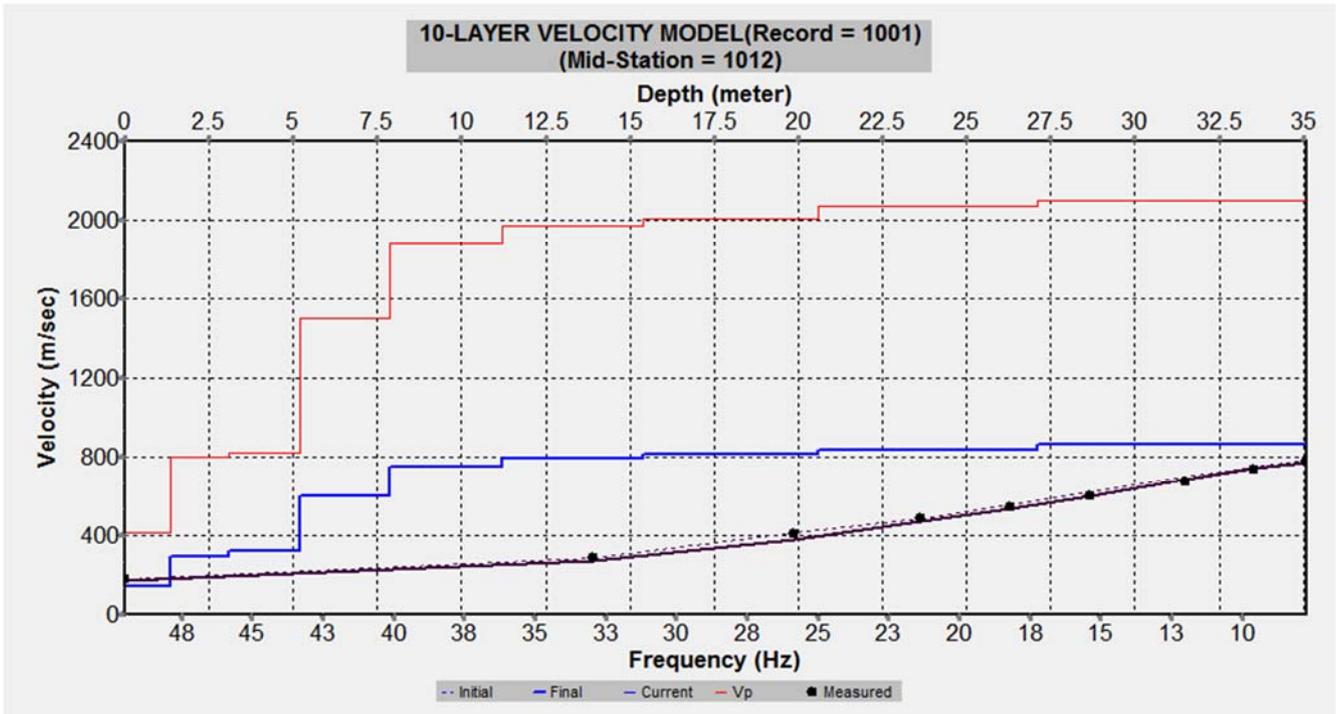


Figura 31: Profili verticali 1D delle V_P e delle V_S ottenuti dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh. MASW n. 2. Acquisizione n. 1.

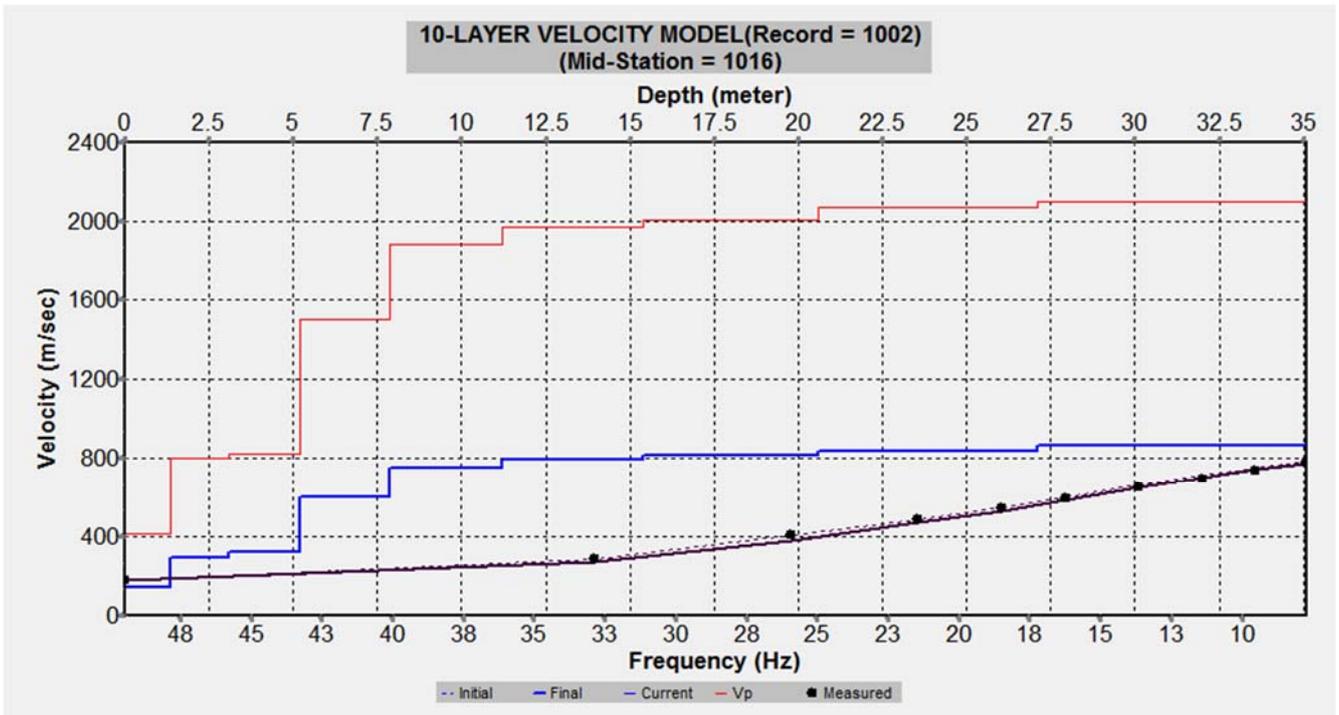


Figura 32: Profili verticali 1D delle V_P e delle V_S ottenuti dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh. MASW n. 2. Acquisizione n. 2.

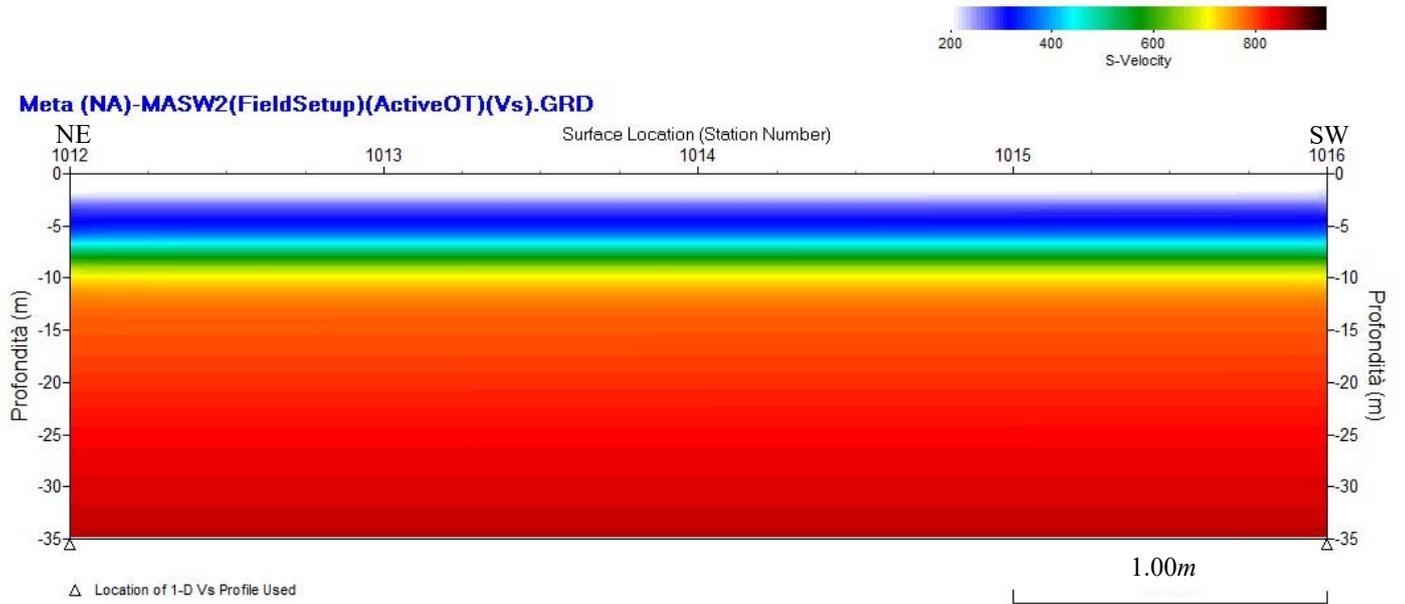
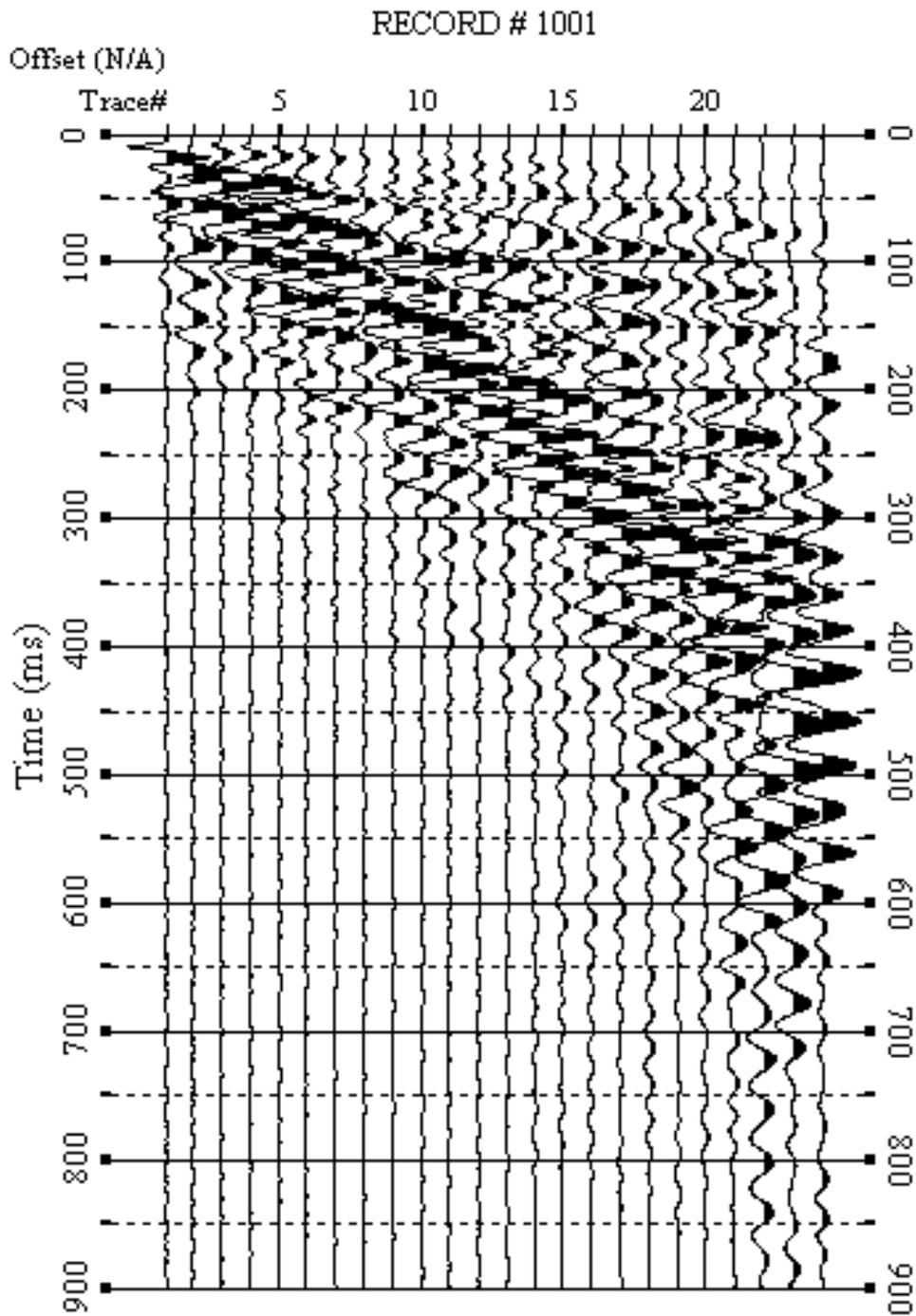
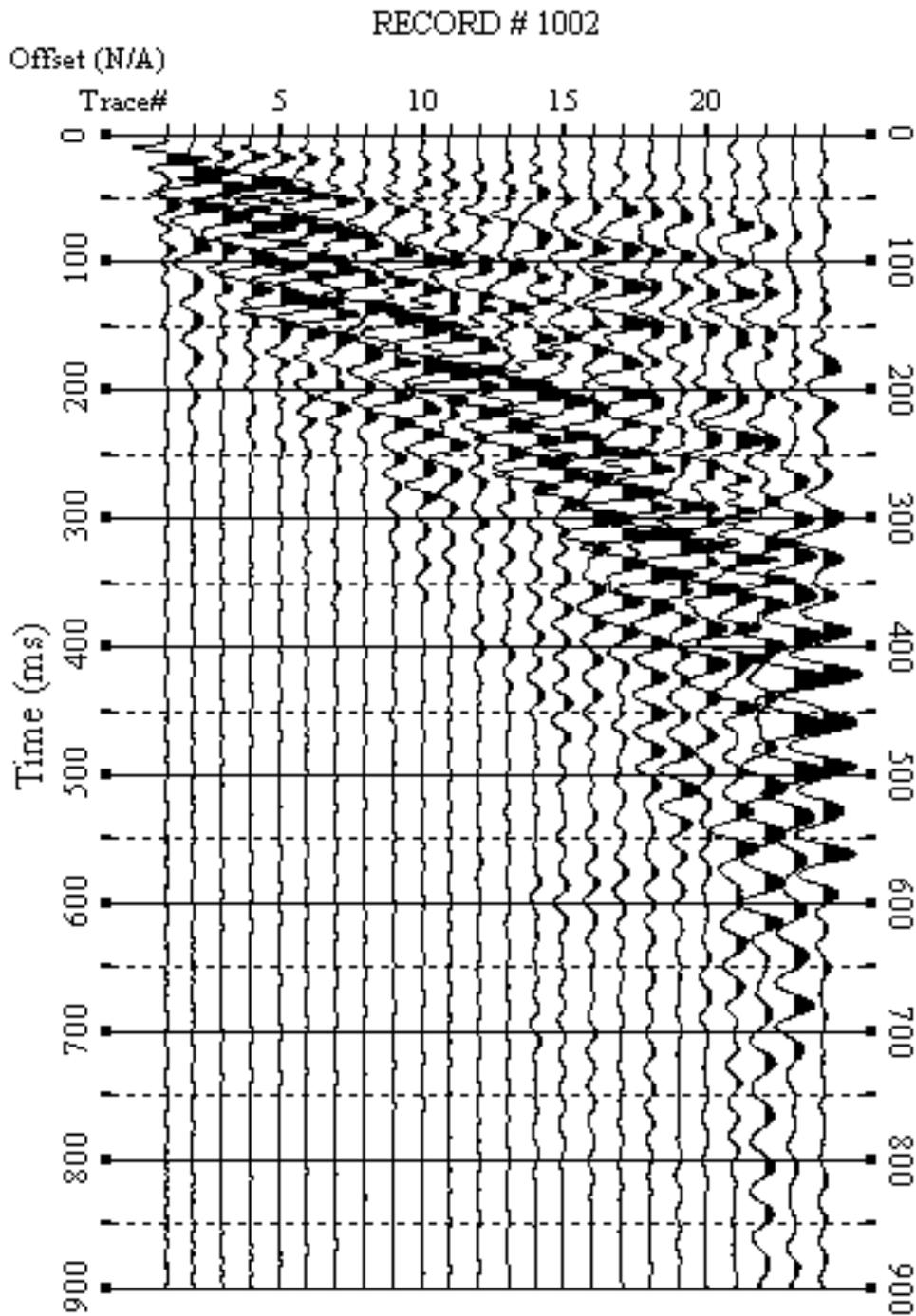


Figura 33: Modello sismostratigrafico 2D delle V_s ottenuto dall'indagine sismica MASW n. 2.



**Figura 34: Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW n. 3.
Acquisizione n. 1. Finestra temporale [0-900]ms.**



**Figura 35: Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW n. 3.
Acquisizione n. 2. Finestra temporale [0-900]ms.**

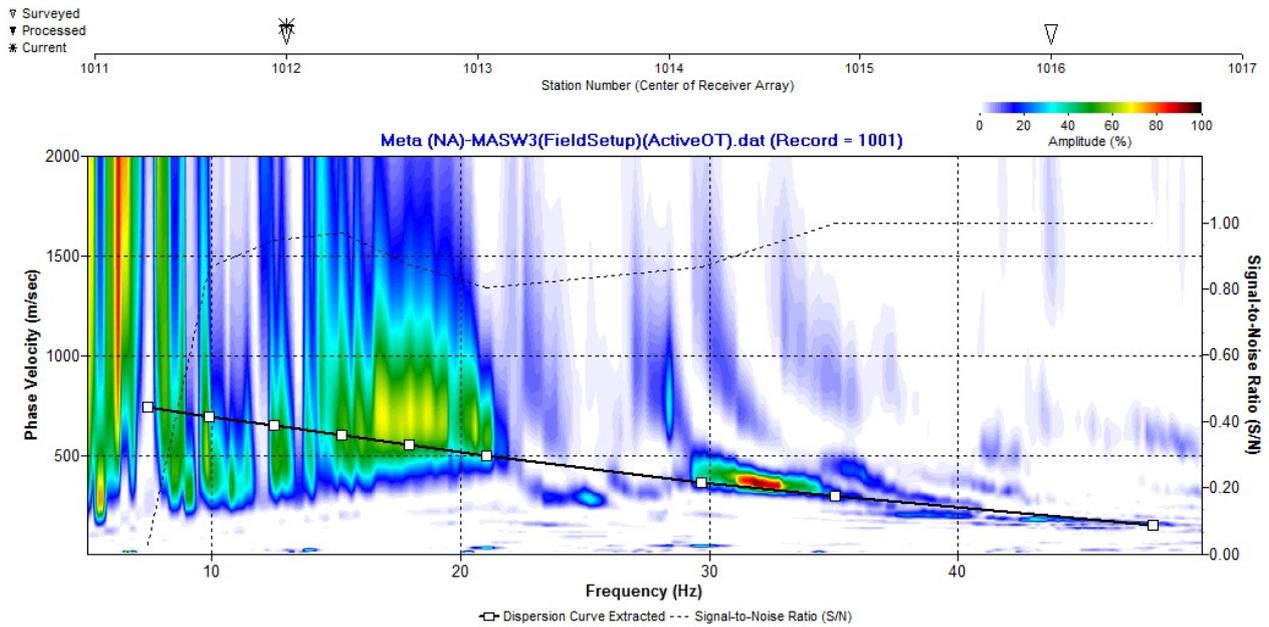


Figura 36: Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW n. 3: acquisizione n. 1.

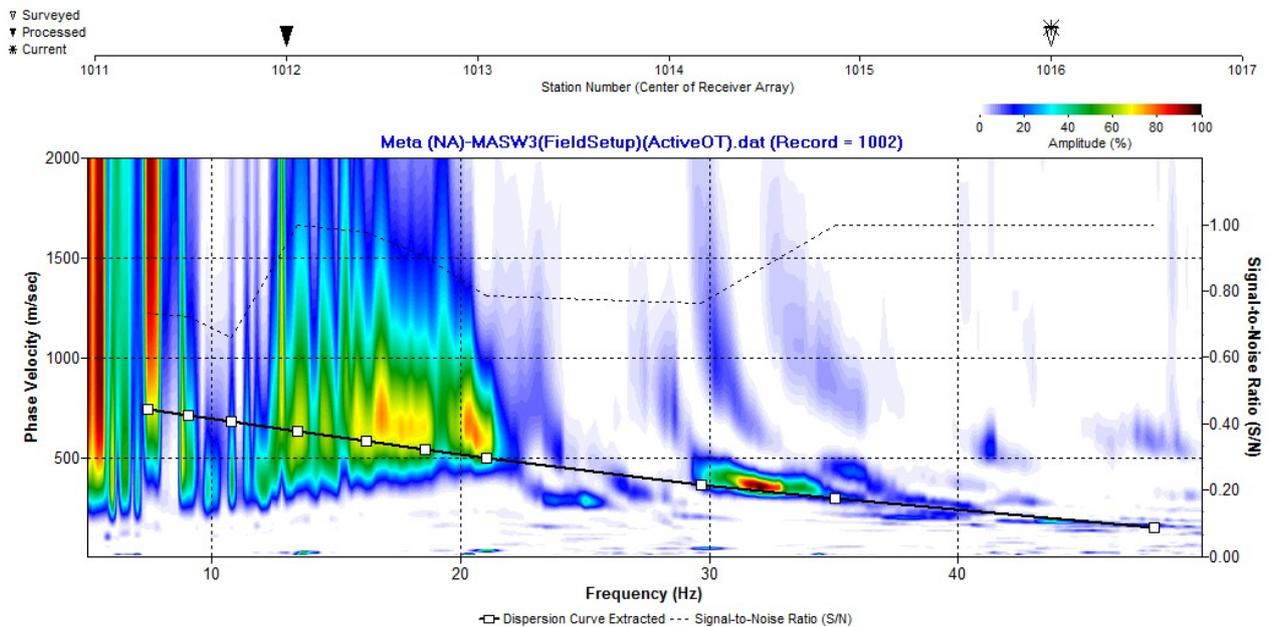


Figura 37: Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW n. 3: acquisizione n. 2.

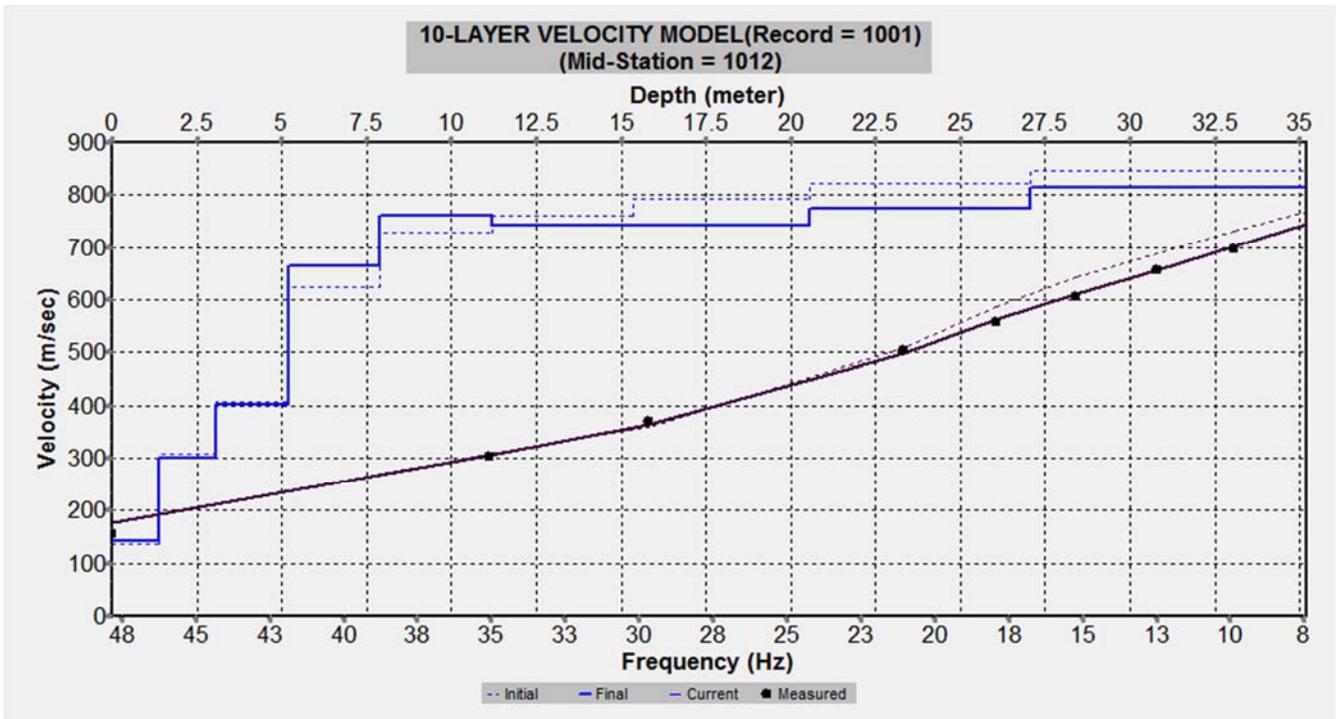


Figura 38: Profilo verticale 1D delle V_s ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh. MASW n. 3. Acquisizione n. 1.

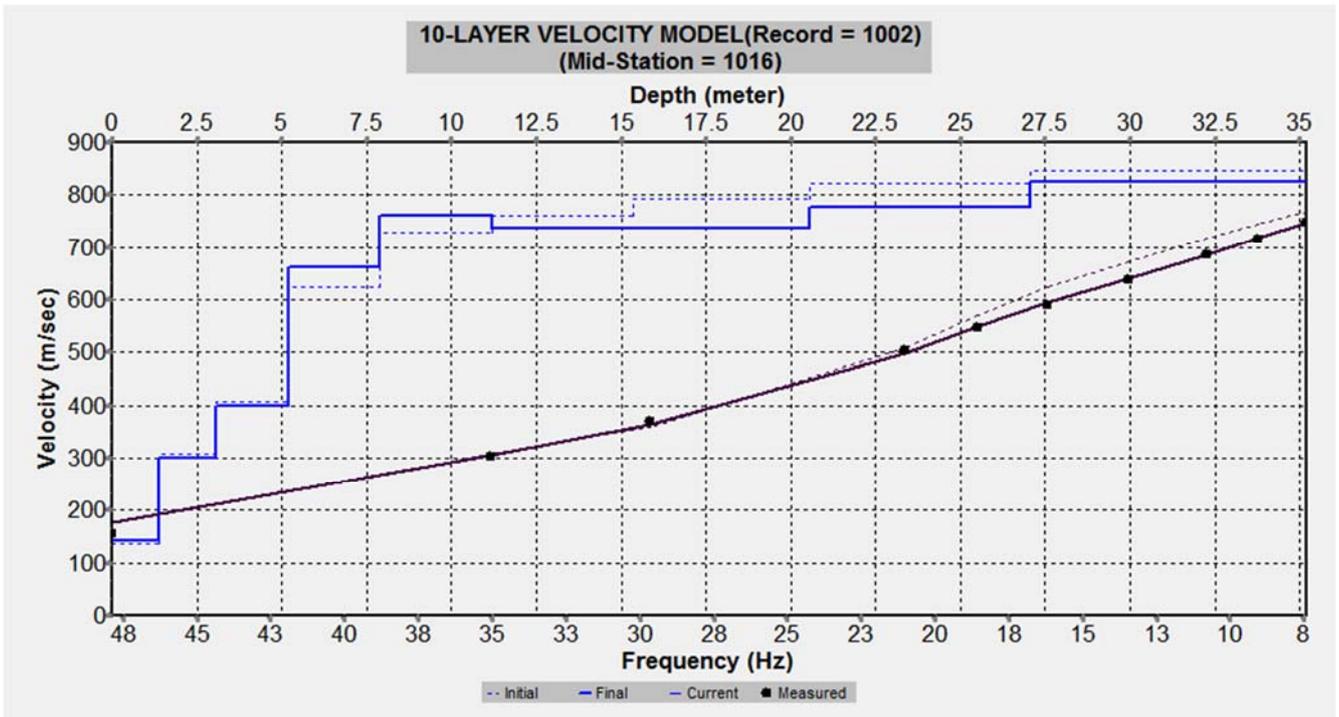


Figura 39: Profilo verticale 1D delle V_s ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh. MASW n. 3. Acquisizione n. 2.

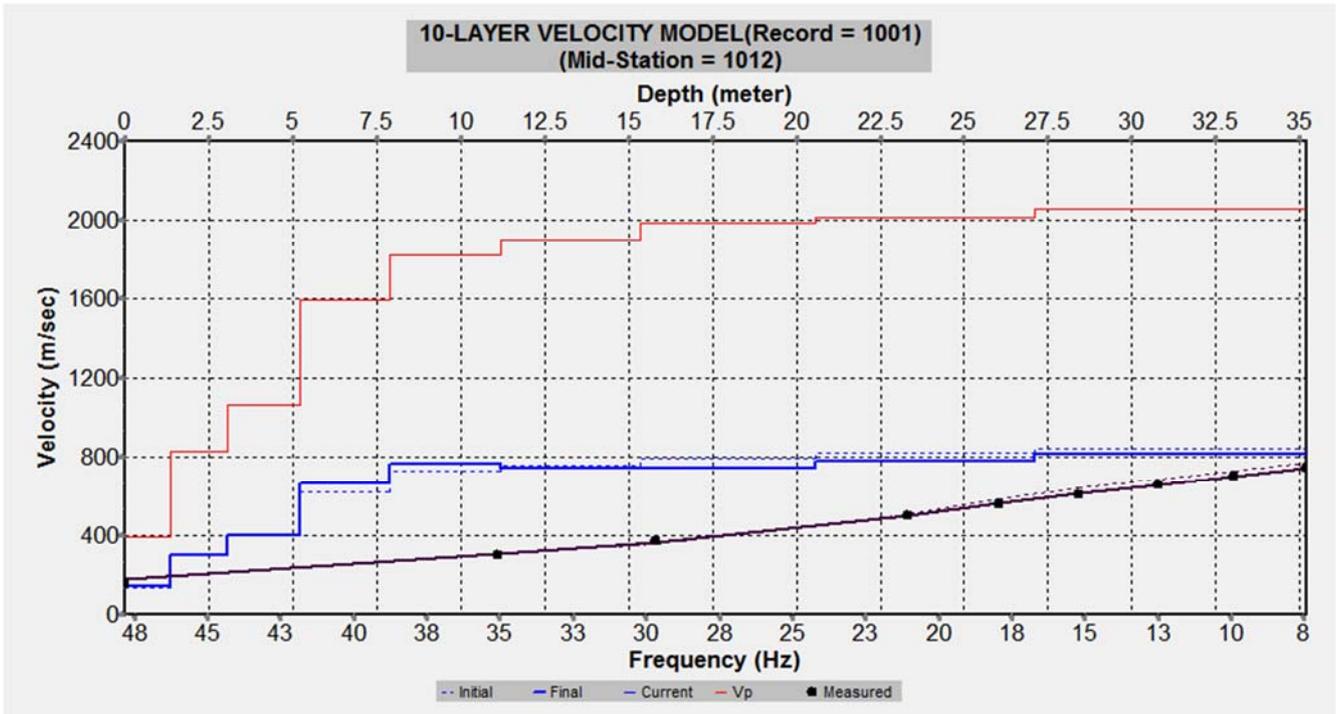


Figura 40: Profili verticali 1D delle V_P e delle V_S ottenuti dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh. MASW n. 3. Acquisizione n. 1.

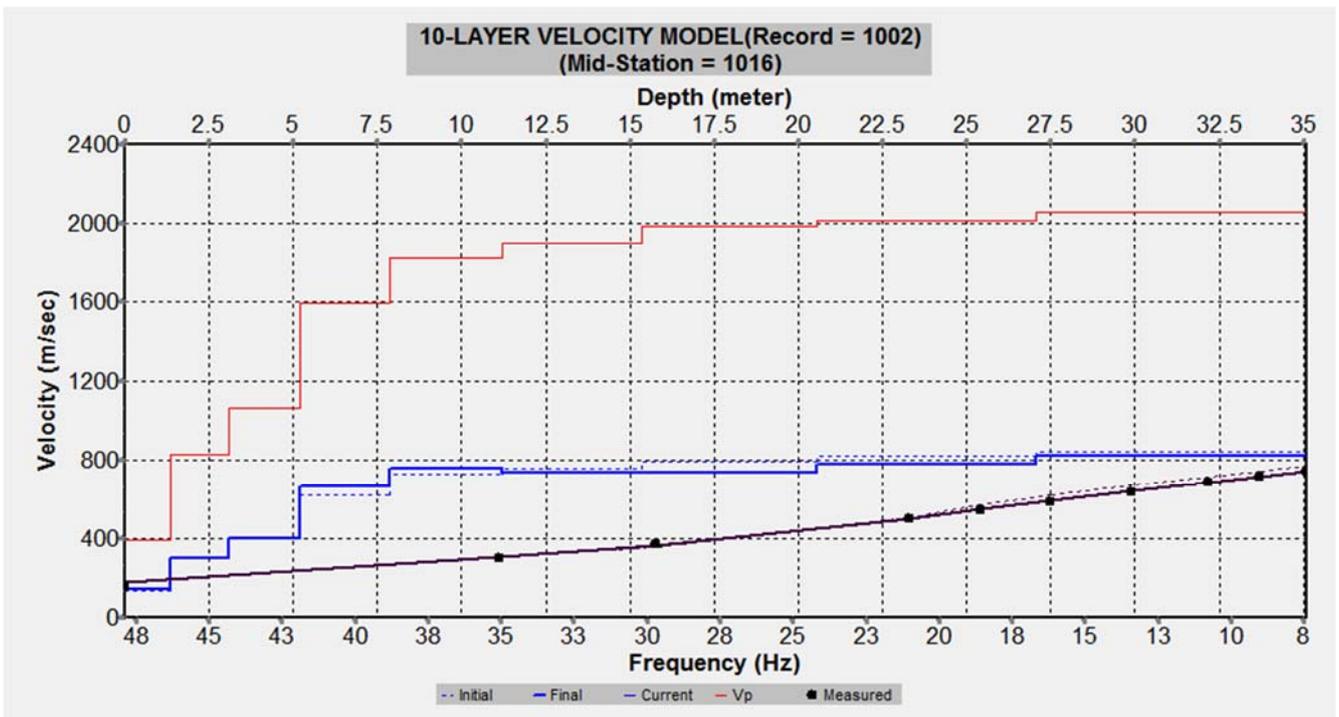


Figura 41: Profili verticali 1D delle V_P e delle V_S ottenuti dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh. MASW n. 3. Acquisizione n. 2.

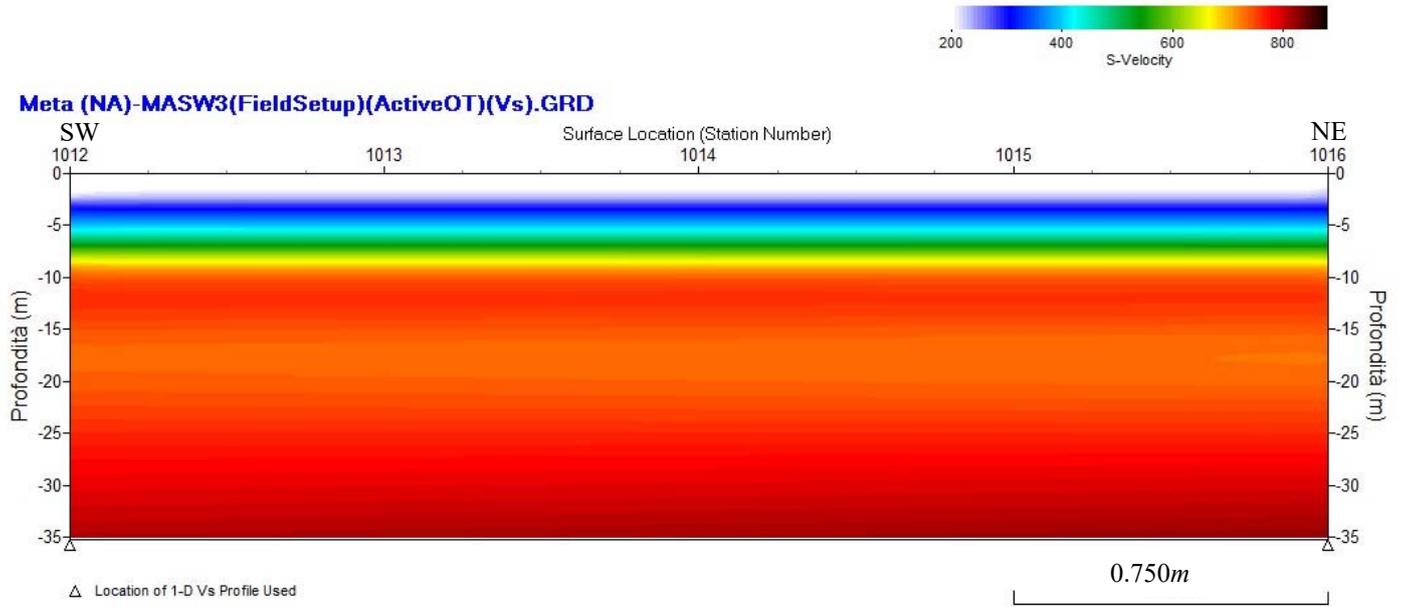


Figura 42: Modello sismostratigrafico 2D delle V_s ottenuto dall'indagine sismica MASW n. 3.

6. INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI

Le indagini sismiche MASW effettuate, considerando la sismostratigrafia fino alla profondità di 30m (0m-30m) dal p.c., hanno fornito risultati che collocano i terreni oggetto d'indagine nella categoria **B** del D.M. 14 gennaio 2008 (cfr. Tabelle 2 e 3). Questa categoria è stata ricavata, come da normativa, dalla relazione:

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

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 nei primi 30 metri di profondità al di sotto del piano fondale.

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ 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 suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Tabella 2: Categorie dei suoli di fondazione (D.M. 14 gennaio 2008).

<i>Prospezione sismica</i>	<i>V_{S 0-30} (m/s)</i>	<i>Categoria Suoli di Fondazione (D.M. 14/01/2008)</i>
<i>MASW n.1</i>	<i>392</i>	<i>B</i>
<i>MASW n.2</i>	<i>557 ÷ 559</i>	<i>B</i>
<i>MASW n.3</i>	<i>558</i>	<i>B</i>

Tabella 3: Categorie di sottosuolo ottenute dalle prospezioni sismiche.

Categoria di suolo di fondazione B = Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} compresi tra 360m/s e 800m/s (ovvero N_{SPT.30} > 50 nei terreni a grana grossa e cu₃₀ > 250kPa nei terreni a grana fina).

Categoria topografica T₁ = Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.

7. CONCLUSIONI

Il territorio comunale di Meta (NA), a seguito della riclassificazione sismica del 2002 effettuata dalla Regione Campania, ricade in III categoria S=6, $a_g=0.15g$ (cfr. Figura 43).

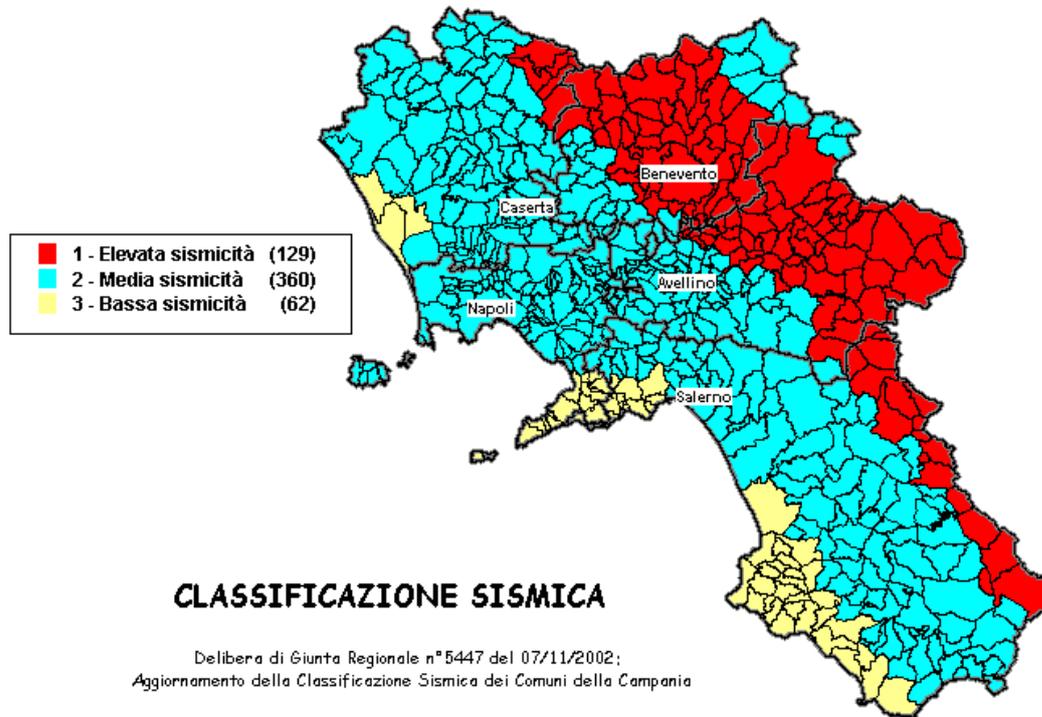


Figura 43: Classificazione dei comuni della regione Campania. Zona 1, valore di $a_g=0.35g$; Zona 2, valore di $a_g=0.25g$; Zona 3, valore di $a_g=0.15g$.

Inoltre, la mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale (cfr. Figura 44), disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, redatta secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008), indica che il territorio comunale di Meta (NA) rientra nelle celle contraddistinte da valori di a_g di riferimento compresi tra 0.075 e 0.100 (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).

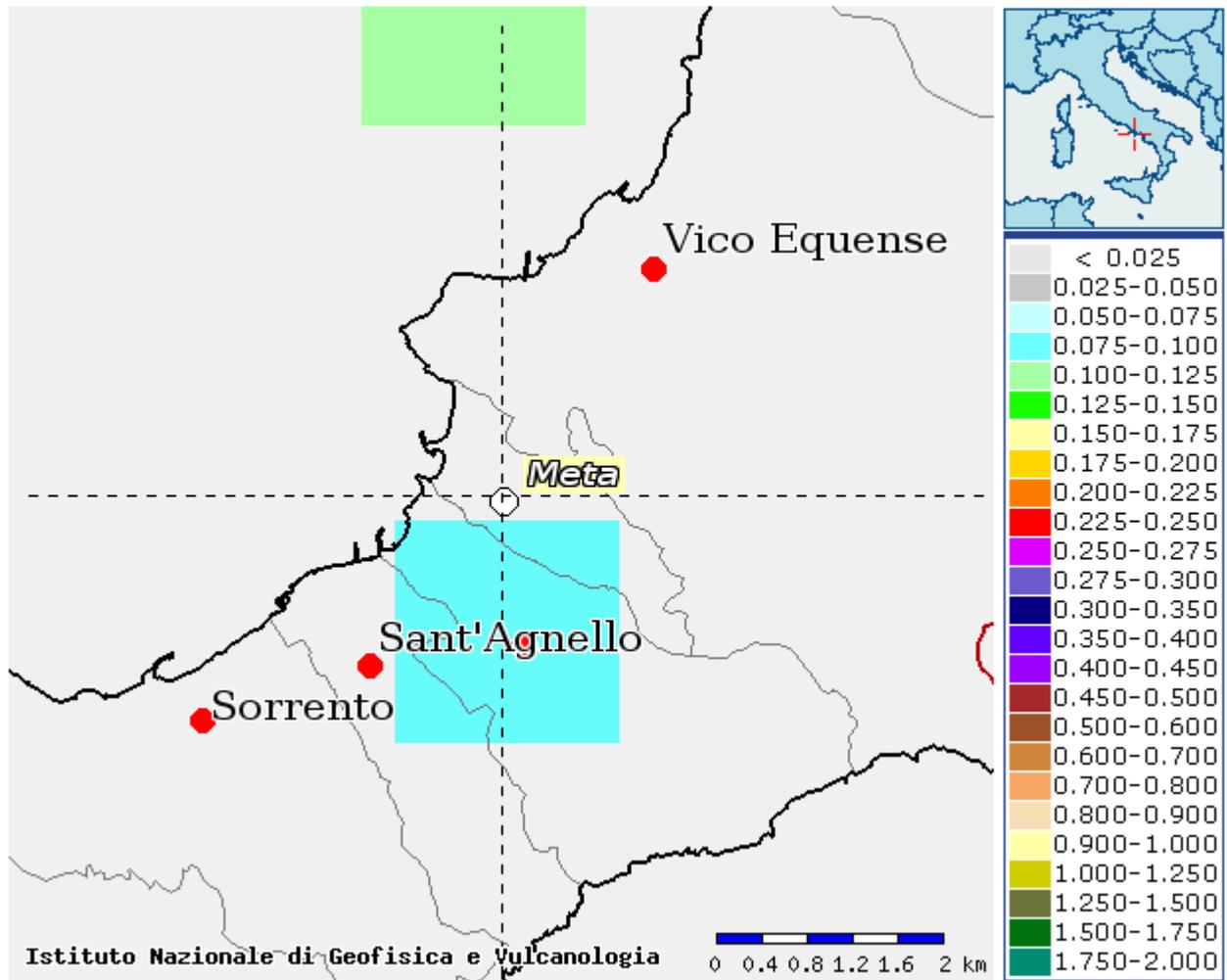


Figura 44: Mappa della pericolosità sismica redatta dall'INGV di Milano secondo le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008) - Punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento ag; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50.

Di seguito si riportano i valori di V_S e di V_P per i sismostrati rilevati dalle prospezioni sismiche MASW (cfr. Tabelle 11 ÷ 13).

<i>Sismostrato</i>	<i>Profondità (m)</i>	<i>V_S (m/s) acquisizione n.1</i>	<i>V_S (m/s) acquisizione n.2</i>	<i>V_P (m/s) acquisizione n.1</i>	<i>V_P (m/s) acquisizione n.2</i>
S1	0.0 – 1.4	257	258	733	734
S2	1.4 – 3.1	277	277	776	776
S3	3.1 – 5.2	329	329	897	898
S4	5.2 – 7.8	354	355	983	984
S5	7.8 – 11.2	355	356	1002	1001
S6	11.2 – 15.3	367	367	1044	1044
S7	15.3 – 20.5	446	446	1222	1223
S8	20.5 – 27.0	495	495	1314	1315
S9	27.0 – 35.1	520	520	1375	1375

Tabella 11: Prospetto dei valori di V_S e di V_P per i sismostrati desunti dall'indagine sismica MASW n.1.

<i>Sismostrato</i>	<i>Profondità (m)</i>	<i>V_S (m/s) acquisizione n.1</i>	<i>V_S (m/s) acquisizione n.2</i>	<i>V_P (m/s) acquisizione n.1</i>	<i>V_P (m/s) acquisizione n.2</i>
S1	0.0 – 1.4	143	144	411	410
S2	1.4 – 3.1	289	292	797	797
S3	3.1 – 5.2	318	320	822	823
S4	5.2 – 7.9	599	599	1502	1502
S5	7.9 – 11.2	753	753	1876	1877
S6	11.2 – 15.4	791	792	1970	1971
S7	15.4 – 20.6	812	813	2004	2004
S8	20.6 – 27.1	838	838	2070	2072
S9	27.1 – 35.1	862	862	2100	2101

Tabella 12: Prospetto dei valori di V_S e di V_P per i sismostrati desunti dall'indagine sismica MASW n.2.

<i>Sismostrato</i>	<i>Profondità (m)</i>	<i>V_S (m/s) acquisizione n.1</i>	<i>V_S (m/s) acquisizione n.2</i>	<i>V_P (m/s) acquisizione n.1</i>	<i>V_P (m/s) acquisizione n.2</i>
S1	0.0 – 1.4	141	141	391	390
S2	1.4 – 3.1	299	300	829	829
S3	3.1 – 5.2	401	399	1065	1066
S4	5.2 – 7.9	663	663	1595	1595
S5	7.9 – 11.2	761	761	1822	1823
S6	11.2 – 15.4	741	736	1902	1902
S7	15.4 – 20.6	742	737	1987	1986
S8	20.6 – 27.1	775	778	2013	2014
S9	27.1 – 35.1	814	824	2055	2056

Tabella 13: Prospetto dei valori di V_S e di V_P per i sismostrati desunti dall'indagine sismica MASW n.3.

Le onde di volume P ed S , che attraversano un mezzo omogeneo e isotropo (condizioni ideali) hanno ben definite equazioni di moto. Note le velocità V_P e V_S per i sismostrati riscontrati nelle prospezioni sismiche MASW (cfr. Tabelle 11 ÷ 13) e attribuiti i valori di densità desunti da dati ricavati da bibliografia, da sondaggi geognostici effettuati in prossimità dell'area di interesse e da rilevamento geologico effettuato in situ, sono state ricavate, per i sismostrati individuati, alcune proprietà meccaniche, quali il modulo di Young o modulo elastico E , il modulo di taglio G o modulo di rigidità μ , il coefficiente di Poisson ν e il modulo di incompressibilità o bulk k (cfr. Tabelle 14 ÷ 16). Le relative equazioni sono le seguenti:

$$\nu = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \left\{ 1 - \left[\frac{V_s^2}{(V_p^2 - V_s^2)} \right] \right\}$$

poiché nei fluidi $V_S=0$, ν risulta uguale a 0.5. Nei solidi, il valore ν varia generalmente da 0.1 a 0.4. Pertanto, valori più elevati di ν possono essere indicativi della presenza di frazioni di liquido nel mezzo attraversato.

$$E = \frac{\rho V_p^2 (1 - 2\nu)(1 + \nu)}{1 - \nu}$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

$$k = \frac{E}{3(1 - 2\nu)}$$

<i>Sismostrato</i>	<i>Profondità (m)</i>	<i>V_P (m/s)</i>	<i>V_S (m/s)</i>	<i>Densità P (kg/m³)</i>	<i>Coefficiente di Poisson ν(ad)</i>	<i>Modulo di taglio G (kPa)</i>	<i>Modulo di Young E (kPa)</i>	<i>Modulo di incompressibilità K (kPa)</i>
S1	0.0 – 3.1	755	267	1800	0.43	128320	366619	854951
S2	3.1 – 15.3	982	352	1900	0.43	235418	671545	1518325
S3	15.3– 35.1	1304	487	1900	0.42	450621	1278825	2629962

Tabella 14: Prospetto dei valori di V_S e V_P e dei moduli dinamici dei sismostrati desunti dalla MASW n.1.

<i>Sismostrato</i>	<i>Profondità (m)</i>	<i>V_P (m/s)</i>	<i>V_S (m/s)</i>	<i>Densità P (kg/m³)</i>	<i>Coefficiente di Poisson ν(ad)</i>	<i>Modulo di taglio G (kPa)</i>	<i>Modulo di Young E (kPa)</i>	<i>Modulo di incompressibilità K (kPa)</i>
S1	0.0 – 1.4	411	144	1800	0.43	37325	106751	254291
S2	1.4 – 5.2	810	305	1500	0.42	139538	395560	798100
S3	5.2 – 7.9	1502	599	1400	0.41	502321	1411965	2488644
S4	7.9 – 11.2	1877	753	1400	0.40	793813	2229178	3873964
S5	11.2 – 35.1	2037	826	2000	0.40	1364552	3825131	6479335

Tabella 15: Prospetto dei valori di V_S e V_P e dei moduli dinamici dei sismostrati desunti dalla MASW n.2.

<i>Sismostrato</i>	<i>Profondità (m)</i>	<i>V_P (m/s)</i>	<i>V_S (m/s)</i>	<i>Densità P (kg/m³)</i>	<i>Coefficiente di Poisson ν(ad)</i>	<i>Modulo di taglio G (kPa)</i>	<i>Modulo di Young E (kPa)</i>	<i>Modulo di incompressibilità K (kPa)</i>
S1	0.0 – 1.4	391	141	1800	0.43	35786	102008	227471
S2	1.4 – 3.1	829	300	1500	0.42	135000	384656	850862
S3	3.1 – 5.2	1066	400	1400	0.42	224000	635292	1292232
S4	5.2 – 7.9	1595	663	1400	0.40	615397	1717649	2741106
S5	7.9 – 27.1	1931	754	2000	0.41	1137032	3206548	5941479
S6	27.1 – 35.1	2056	819	2000	0.41	1341522	3771544	6665576

Tabella 16: Prospetto dei valori di V_S e V_P e dei moduli dinamici dei sismostrati desunti dalla MASW n.3.

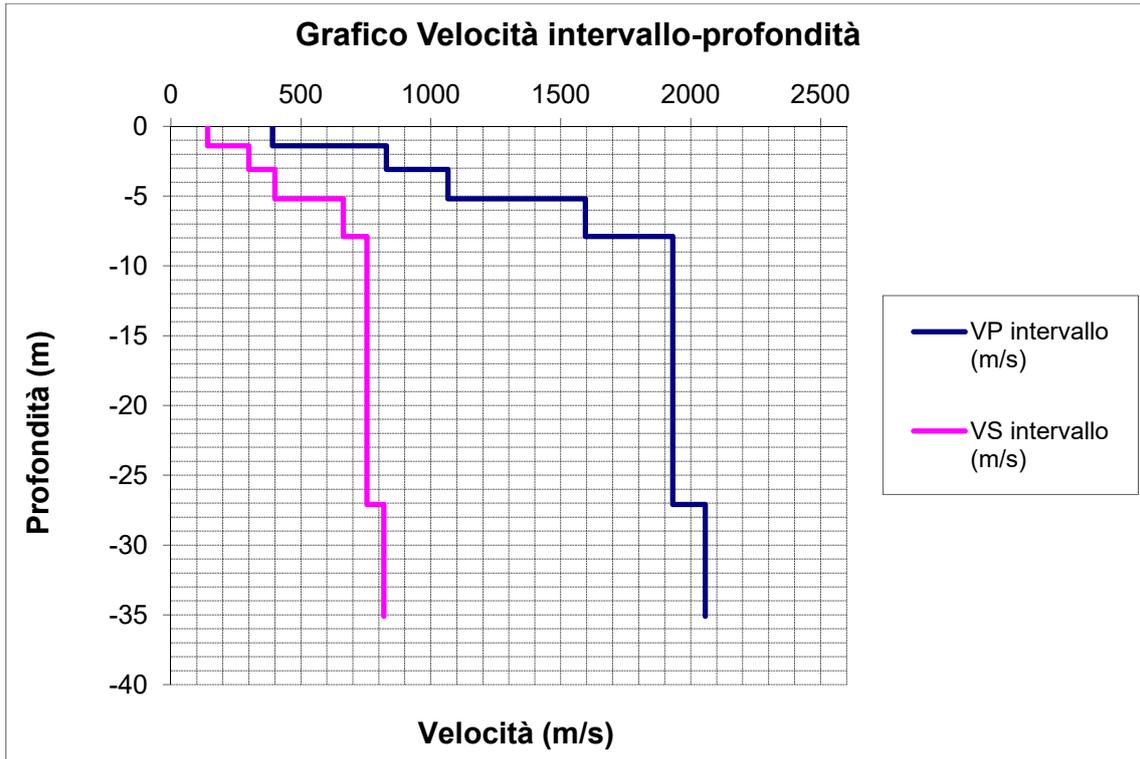


Figura 45: Grafico dei valori medi di V_S e V_P per i sismostrati desunti dall'indagine sismica MASW n.1.

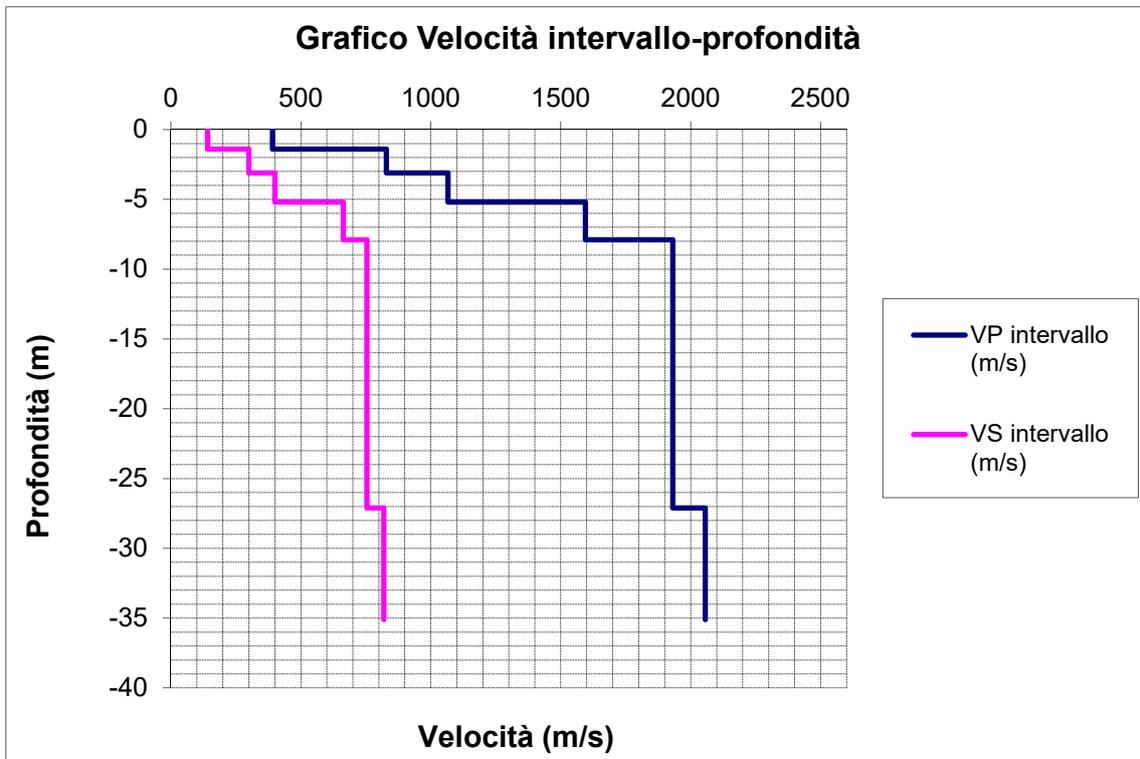


Figura 46: Grafico dei valori medi di V_S e V_P per i sismostrati desunti dall'indagine sismica MASW n.2.

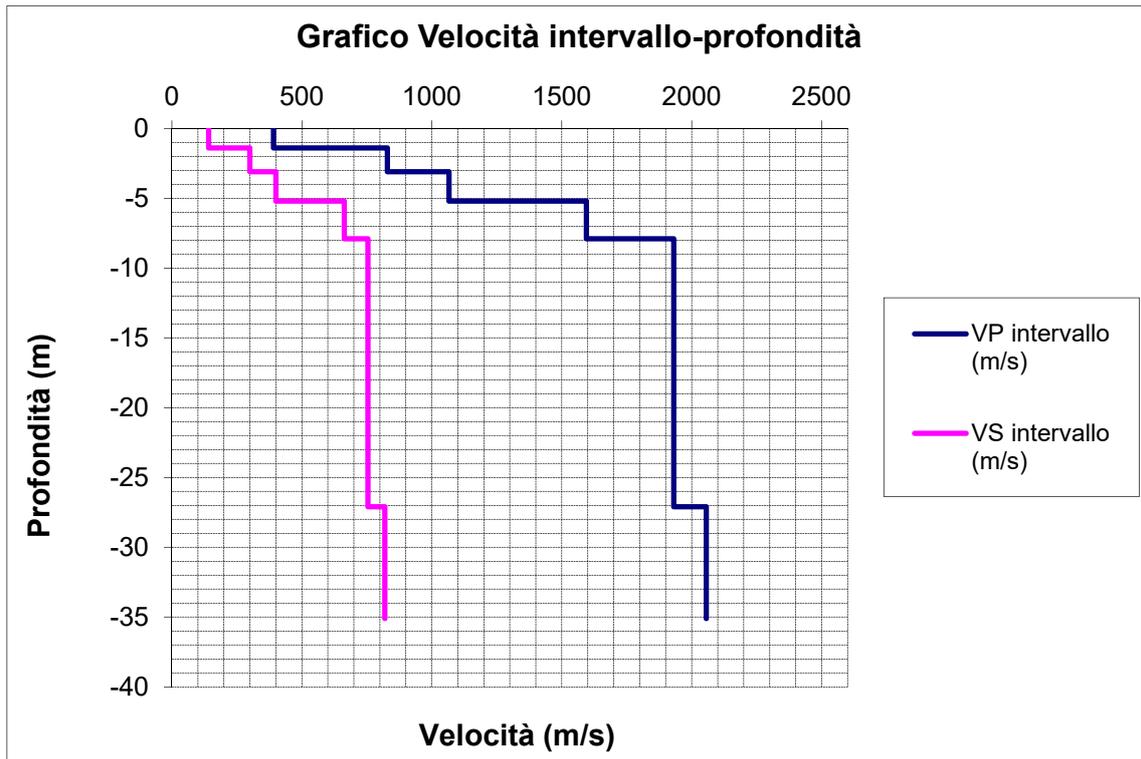


Figura 47: Grafico dei valori medi di V_S e V_P per i sismostrati desunti dall'indagine sismica MASW n.3.

Piano di Sorrento, dicembre 2017

Il Tecnico
Dr. Geol. Francesco Ruocco