



**COMUNE DI BRINDISI**  
Provincia di Brindisi



**COMUNE DI MESAGNE**  
Provincia di Brindisi

**RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE**

**PROSPEZIONE SISMICA MASW**  
**(Multichannel Analysis of Surface Waves)**



**Committente:** SCM INGEGNERIA SRL

**Località:** Corciolo, Brindisi - Mesagne (BR)

**Data:** Febbraio 2022

**Il Tecnico Prospettore:** dott. Stefano SGRO'

**GeoSGRO'** di Stefano Sgrò  
Via Ariella, 70; 89038 Marina di Palizzi (RC)  
P.IVA. 02214640803 - REA RC N. 176219

**GeoSGRO'**  
**SERVIZI PER LA GEOLOGIA**

GeoSGRO' di Stefano Sgrò  
Via Ariella, 70;  
89038 Marina di Palizzi (RC)  
C.F.: SGRSFN73C21H224Q  
Partita IVA: 02214640803

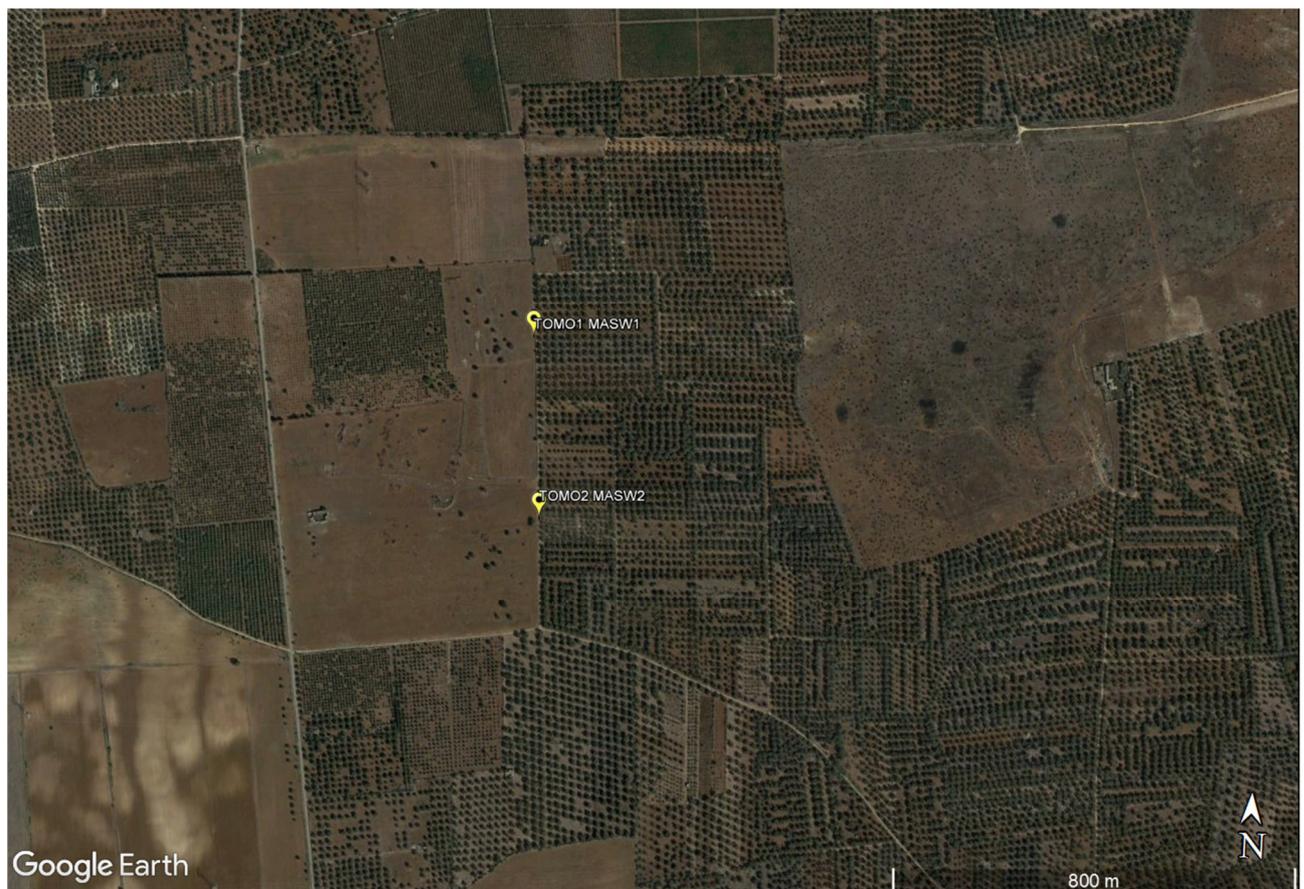
cell. 347 9623327  
pec: geosgro@pec.it  
www.geosgro.it - geosgro@gmail.com  
Iscrizione REA N. 176219  
Albo Imprese Artigiane N. 46984

## 1. PREMESSA

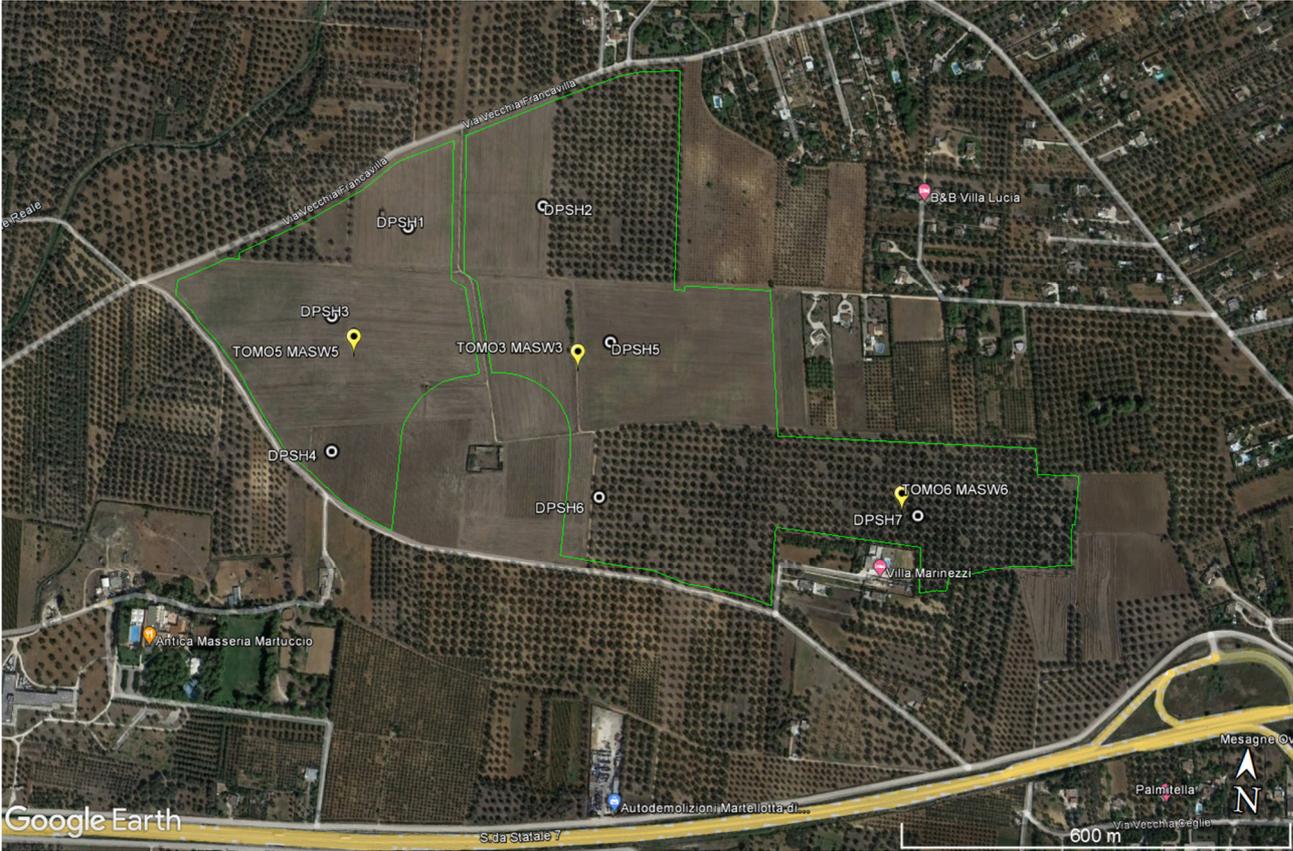
A seguito dell'incarico conferito dalla SCM INGEGNERIA SRL, è stata condotta una campagna d'indagine geognostica attraverso l'esecuzione di N. 6 prospezioni sismiche Masw (Multichannel Analysis of Surface Waves). Tale campagna d'indagine è stata eseguita nell'ambito della costruzione di un impianto fotovoltaico in località Corciolo nei Comune di Brindisi e Mesagne (BR). L'ubicazione della base sismica è stata disposta dal tecnico cui è stata affidata la progettazione e la Direzione Lavori delle indagini geognostiche.

La campagna d'indagine geofisica, condotta nel rispetto dello stato dell'arte e delle linee guida dettate dalla letteratura scientifica, è conforme alla vigente normativa sismica e in particolare ai contenuti dell'O.P.C.M. n. 3274/2003 *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"* e s.m.i. e al D.M. 17 gennaio 2018 *"Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni"* (NTC 2018) pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n° 42 del 20.2.2018.

## 2. UBICAZIONE INDAGINE



Vista aerea con ubicazione indagini



Vista aerea con ubicazione indagini



Vista aerea con ubicazione indagini

### 3. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Vista ubicazione base sismica MASW 1



Vista ubicazione base sismica MASW 2



Vista ubicazione base sismica MASW 3



Vista ubicazione base sismica MASW 4



Vista ubicazione base sismica MASW 5



Vista ubicazione base sismica MASW 6

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

Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale 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. In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda. La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).

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%).

I metodi basati sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh forniscono una buona risoluzione e non sono limitati 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 (D.M. 17.01.2018 Aggiornamento delle "Norme tecniche per le Costruzioni").

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.

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.

Le tecniche di analisi delle onde di Rayleigh vengono realizzate con procedure operative poco onerose ed hanno un grado di incertezza nella determinazione delle  $V_s$  <15%.

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).

## 5. PROSPEZIONI SISMICHE MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Il metodo MASW (Park et al., 1999), sviluppato in parte per superare le difficoltà dell'applicazione del SASW in ambienti rumorosi, è una efficiente ed accreditata metodologia sismica per la determinazione delle velocità delle onde 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.

L'analisi delle onde S, mediante tecnica MASW, viene eseguita attraverso la trattazione spettrale del sismogramma, a seguito di una trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale. In questo dominio, detto dominio trasformato, è semplice andare a separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale. L'osservazione dello spettro consente di notare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa, questo fenomeno è detto dispersione, ed è caratteristico di questo tipo di onde. La registrazione simultanea di 24 canali, separati da 0,5m a 10m, fornisce una ridondanza statistica delle misure di velocità di fase e ne avvalorata la veridicità. Il salvataggio delle tracce nel dominio temporale, previsto dal metodo, permette inoltre di distinguere e evidenziare, durante l'analisi, le onde di Rayleigh presenti nel record che, normalmente, sono caratterizzate da un'elevata ampiezza di segnale (circa il 60% dell'energia prodotta dalla sorgente artificiale si distribuisce in onde di superficie). Una particolare analisi spettrale, permette di distinguere il modo fondamentale delle onde di superficie da cui ricavare la curva di dispersione ed il profilo delle Vs per successiva inversione 1-D.

La teoria sviluppata suggerisce di caratterizzare tale fenomeno mediante una funzione detta curva di dispersione, che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda. Tale curva è facilmente estraibile dallo spettro del segnale poiché essa approssimativamente posa sui massimi del valore assoluto dello spettro. La curva di dispersione in realtà può non essere così facile da estrarre, questo perché dipende molto dalla pulizia dei dati e da quanto disturbano gli altri segnali presenti nel sismogramma. Ecco perché questa fase in realtà deve essere considerata una interpretazione, e per questo i migliori software di analisi di dati MASW consentono di modificare anche manualmente la curva di dispersione per soddisfare le esigenze che derivano dal contesto geologico locale. La curva di dispersione sperimentale deve essere confrontata con quella relativa ad un modello sintetico che verrà successivamente alterato in base alle differenze riscontrate tra le due curve, fino ad ottenere un modello sintetico a cui è associata una curva di dispersione sperimentale approssimativamente coincidente con la curva sperimentale. Questa delicata seconda fase di interpretazione è comunemente detta fase di inversione, e indipendentemente dal software usato, può anch'essa avvenire in maniera automatica e/o manuale. Entrambe le due fasi di interpretazione, per quanto debbano seguire le linee guida dettate dalla teoria, devono rigorosamente essere controllate accuratamente dall'utente poiché non è possibile affidarsi completamente ad un sistema automatico che lavora alla ricerca della soluzione matematicamente migliore, infatti quasi mai questa coincide con la soluzione geologicamente migliore.

## 6. DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE

Il sismografo DoReMi a 24 canali della SARA electronic instruments s.r.l., ha le seguenti caratteristiche strumentali:

<b>Campionamento</b>	
Memoria:	64 kByte (>30000 campioni)
Frequenze in Hz:	200,300,400,500,800,1000,2000,3000,4000,8000,10000,20000
pari ad intervalli in ms di:	5, 3.33, 2.5, 2, 1,25, 1, 0.5, 0.33, 0.25, 0.125, 0.1, 0.05
<b>Dinamica del sistema</b>	
Risoluzione con guadagno 10x:	7.600 $\mu$ V
Risoluzione con guadagno 1000x:	0.076 $\mu$ V
Dinamica di base:	96dB (16 bit)
Dinamica massima del preamplificatore:	80dB
Signal to Noise Ratio RMS fra 0.5 e 30Hz:	>90dB
Full range a 10x:	0.5V p-p
Risoluzione RMS a 1000x e 4000SPS:	0.0000002V p-p
Dinamica totale teorica:	155dB
Dinamica totale senza postprocessing:	> 127dB (a qualsiasi frequenza di campionamento)
Dinamica totale in postprocessing:	>140dB
<b>Convertitore A/D</b>	
Tipologia:	SAR
Risoluzione:	16 bit
Dinamica:	96 dB
<b>Preamplificatore</b>	
Tipologia:	ultra-low noise con ingresso differenziale
Filtri:	3Hz passa alto 1 polo, 200Hz passa basso 4 poli
Guadagni:	da 10x a 8000x
Reiezione di modo comune:	>80dB
Impedenza d'ingresso:	>100k $\Omega$

## 7. MODALITA' ESECUTIVE DELLA PROVA E ACQUISIZIONE DATI

Le prospezioni sismiche Masw sono state condotte con uno stendimento geofonico di 48m. Le oscillazioni del suolo sono state rilevate da 24 geofoni verticali (Geospace – 4.5Hz) posizionati lungo il profilo di indagine con offset di 2.00m. Come sorgente sismica è stata utilizzata una mazza da 8kg che impatta verticalmente su una piastra circolare in alluminio. Al fine di avere più *dataset*, sono state eseguite più acquisizioni con diversi *offset minimi* (2X; 4X; ... ).

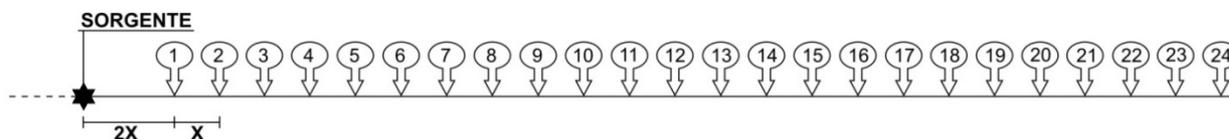


Figura 1: schema stendimento base sismica MASW

## 8. ELABORAZIONE DATI

L'intero processo di elaborazione dei dati e dell'inversione delle curve di dispersione è stato effettuato con il programma winMASW 2018 PRO della Eliosoft (licenza d'uso: Geosgrò di Stefano Sgrò). Gli elaborati relativi alla prova effettuata sono riportati di seguito:

## 9. MASW 1

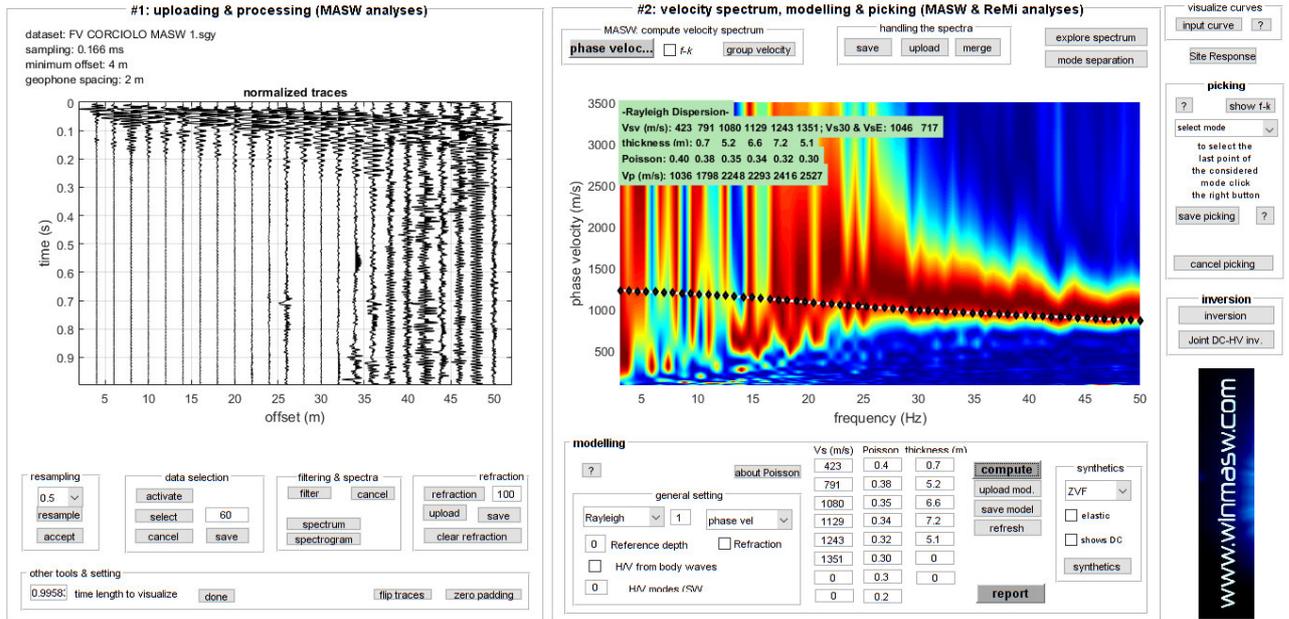


Figura 2: Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità calcolato

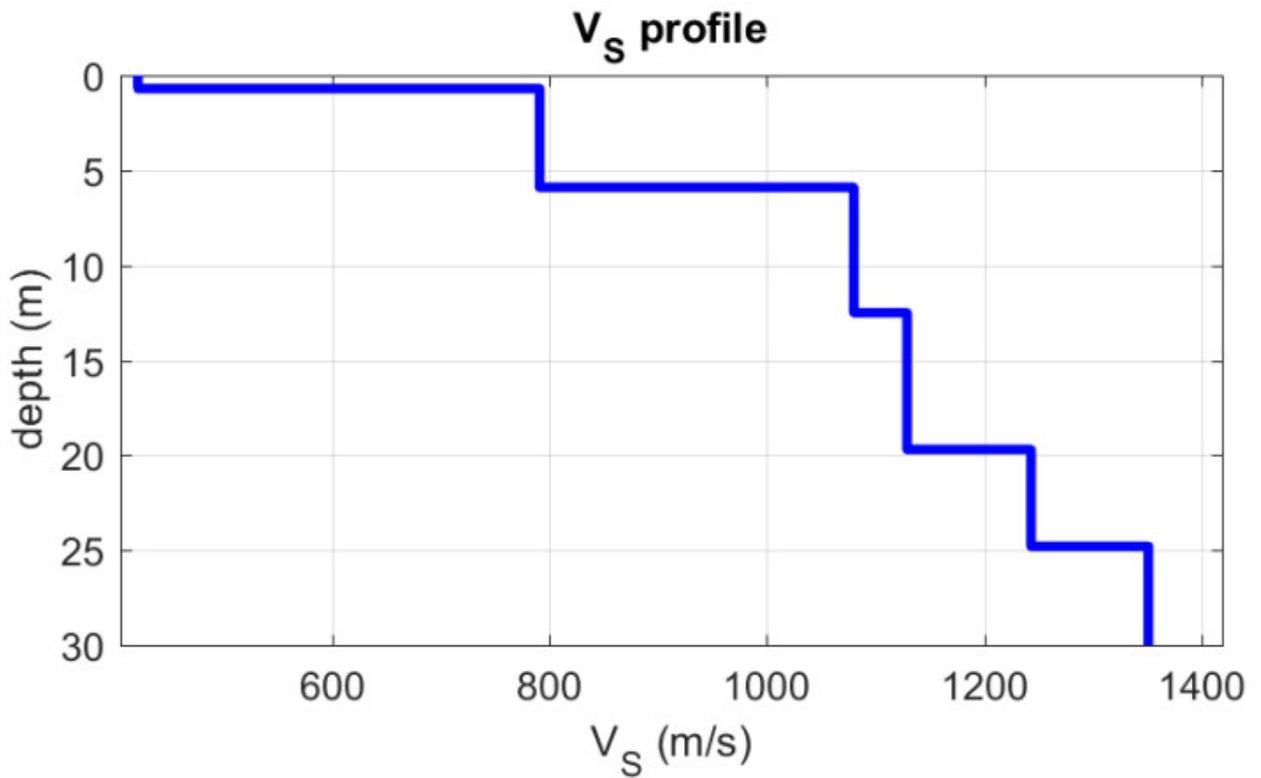


Figura 3: Profilo verticale Vs identificato

### 10. SISMOSTRATIGRAFIA MASW 1

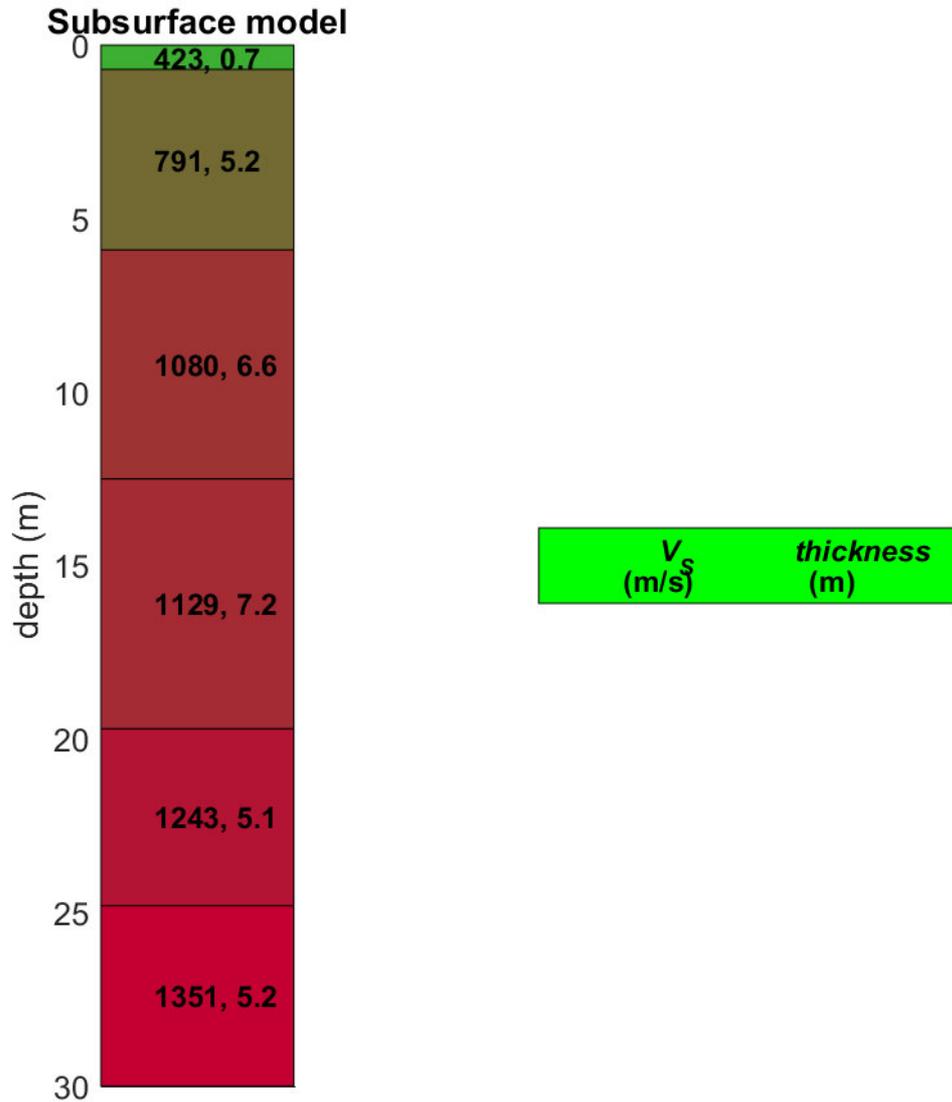


Figura 4: Sismostratigrafia a partire dal piano campagna.

### 11. MODELLO MEDIO MASW 1

Facendo riferimento al modello medio ( $V_s$  e spessore degli strati), ottenuto dal processo di inversione, di seguito si riporta un quadro con la stima della  $V_p$ , della densità e di alcuni Moduli elastici.

N. STRATO	SPESSORE (Thickness) (m)	$V_s$ (m/s)	DENSITA' (gr/cm <sup>3</sup> )	MODULO di TAGLIO (MPa)	$V_p$ (m/s)	POISSON
1	0.7	423	2.06	369	1036	0.40
2	5.2	791	2.20	1374	1798	0.38
3	6.6	1080	2.25	2626	2248	0.35
4	7.2	1129	2.26	2875	2293	0.34
5	5.1	1243	2.27	3505	2416	0.32
6	Semi-Spazio	1351	2.28	4161	2527	0.30

## 12. MASW 2

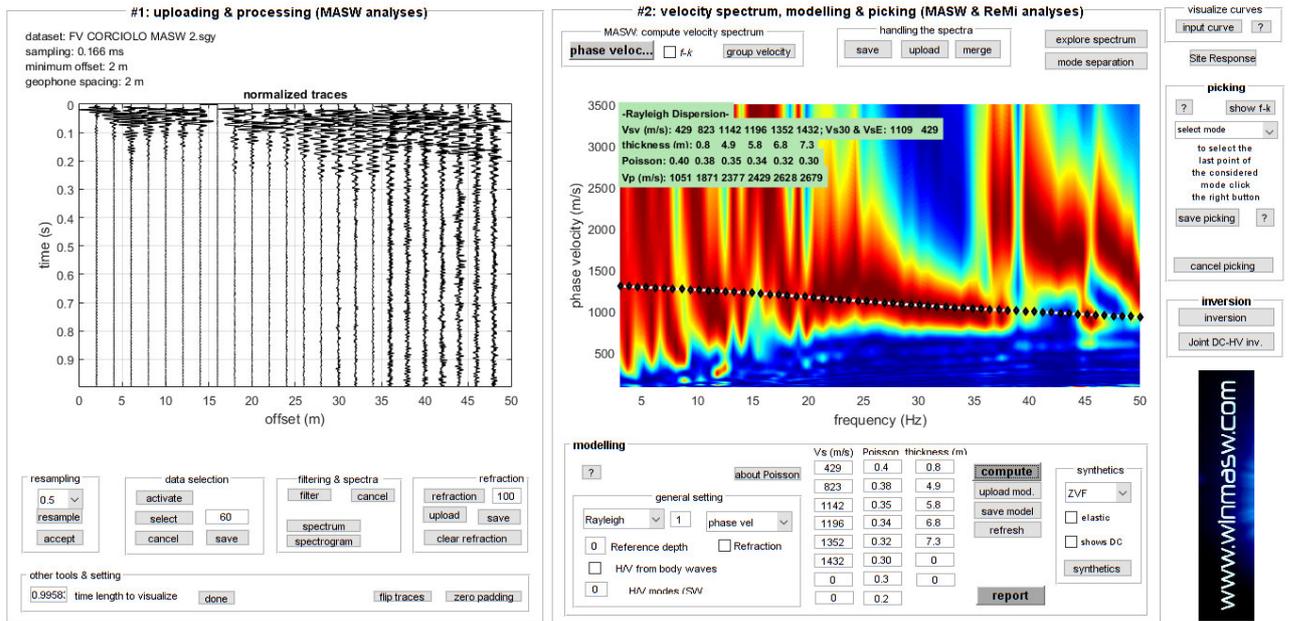


Figura 5: Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità calcolato

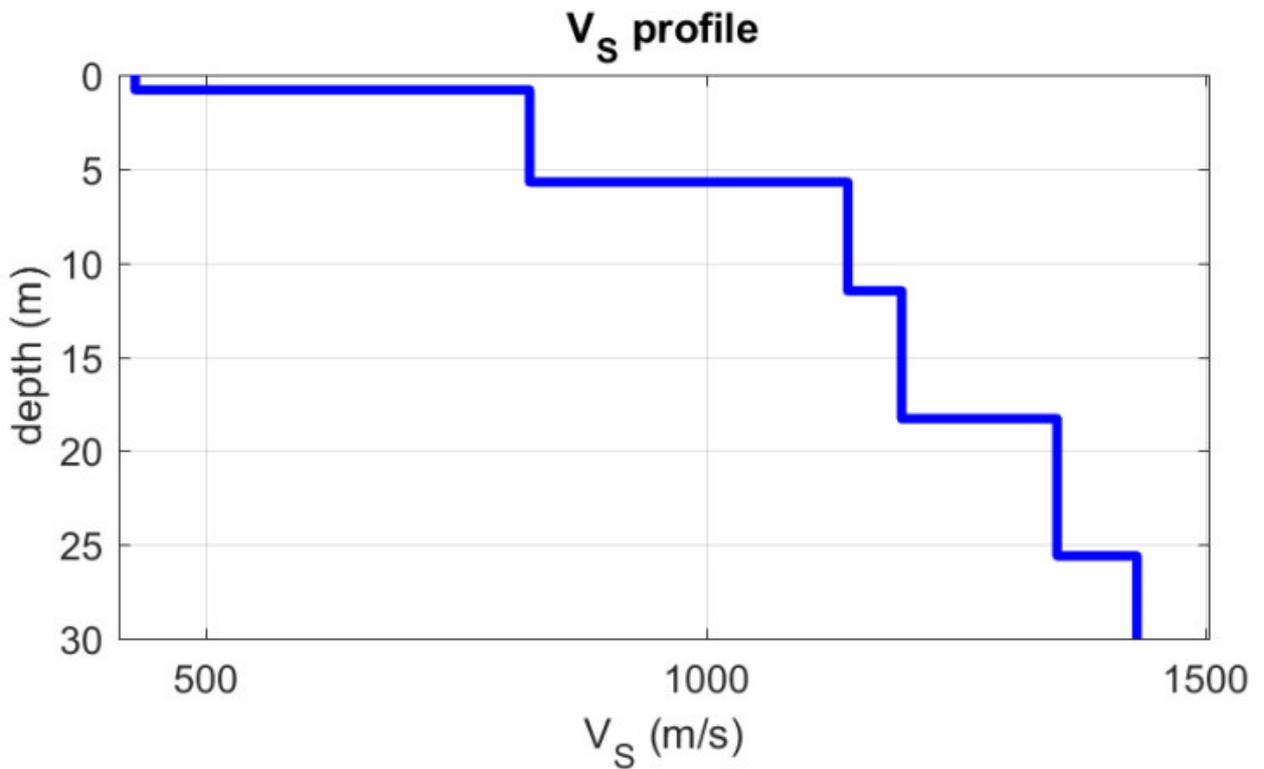


Figura 6: Profilo verticale Vs identificato

### 13. SISMOSTRATIGRAFIA MASW 2

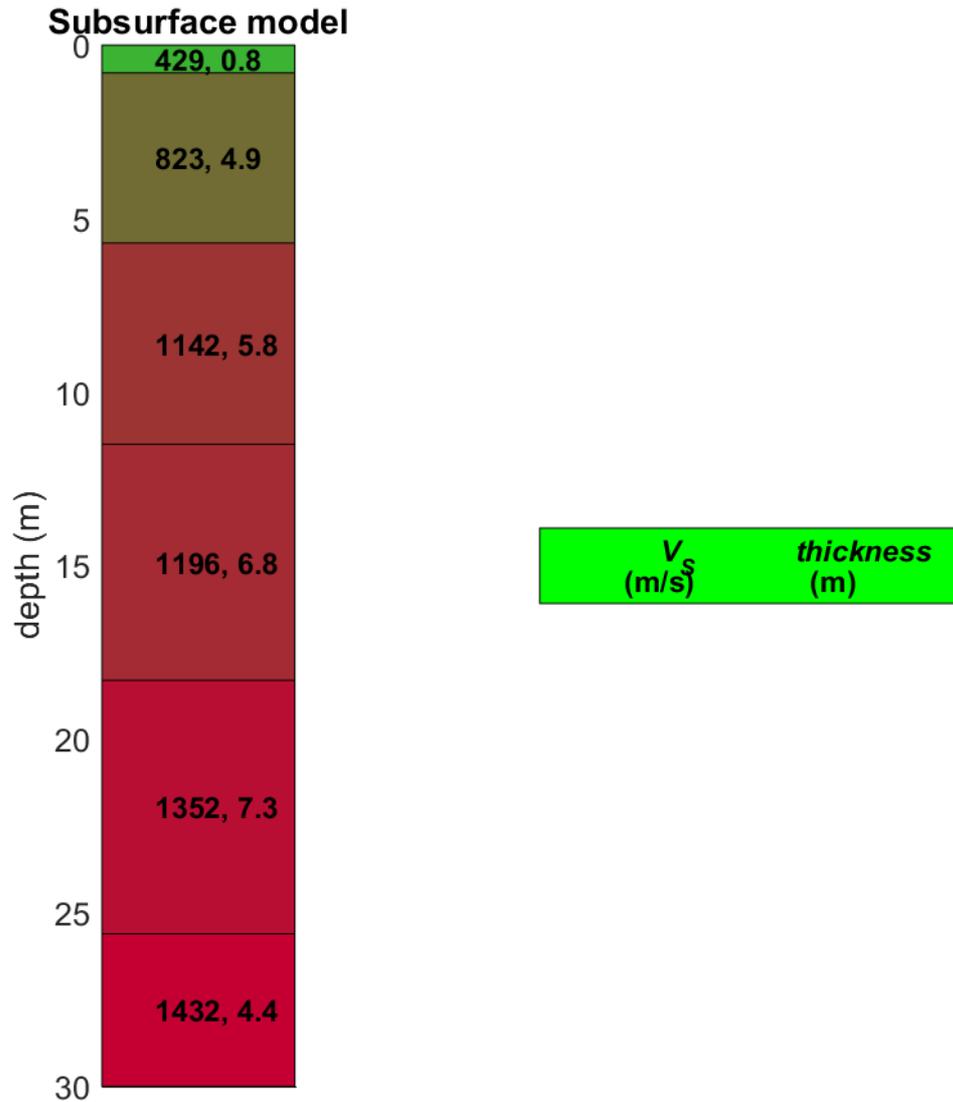


Figura 7: Sismostratigrafia a partire dal piano campagna.

### 14. MODELLO MEDIO MASW 2

Facendo riferimento al modello medio ( $V_s$  e spessore degli strati), ottenuto dal processo di inversione, di seguito si riporta un quadro con la stima della  $V_p$ , della densità e di alcuni Moduli elastici.

N. STRATO	SPESSORE (Thickness) (m)	$V_s$ (m/s)	DENSITA' (gr/cm <sup>3</sup> )	MODULO di TAGLIO (MPa)	$V_p$ (m/s)	POISSON
1	0.8	429	2.07	380	1051	0.40
2	4.9	823	2.21	1494	1871	0.38
3	5.8	1142	2.26	2953	2377	0.35
4	6.8	1196	2.27	3247	2429	0.34
5	7.3	1352	2.29	4184	2628	0.32
6	Semi-Spazio	1432	2.29	4704	2679	0.30

### 15. MASW 3

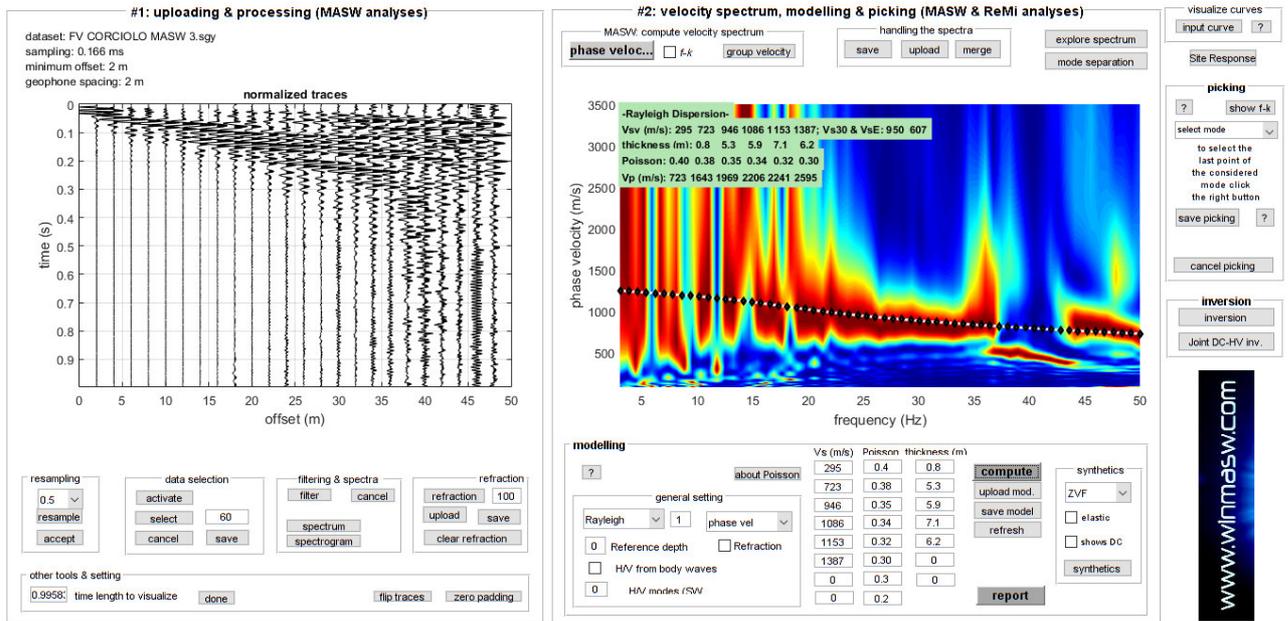


Figura 8: Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità calcolato

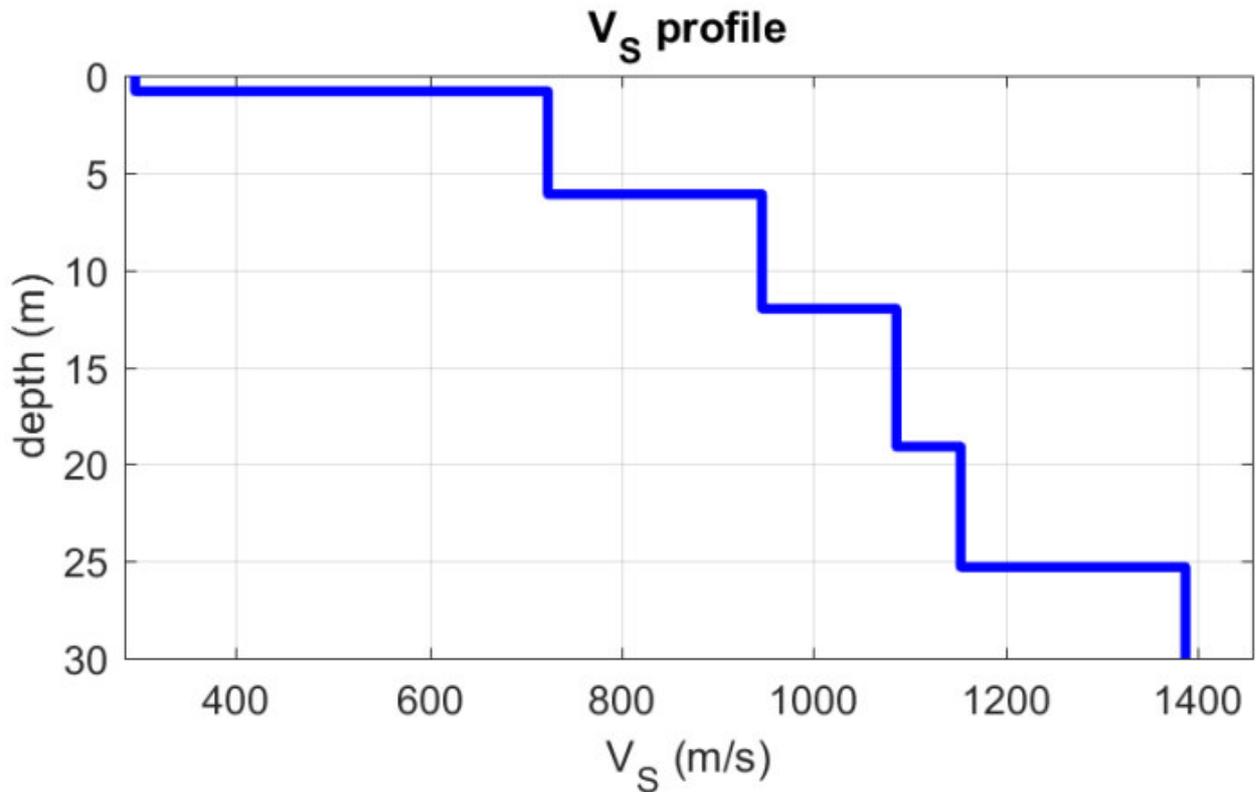


Figura 9: Profilo verticale Vs identificato

### 16. SISMOSTRATIGRAFIA MASW 3

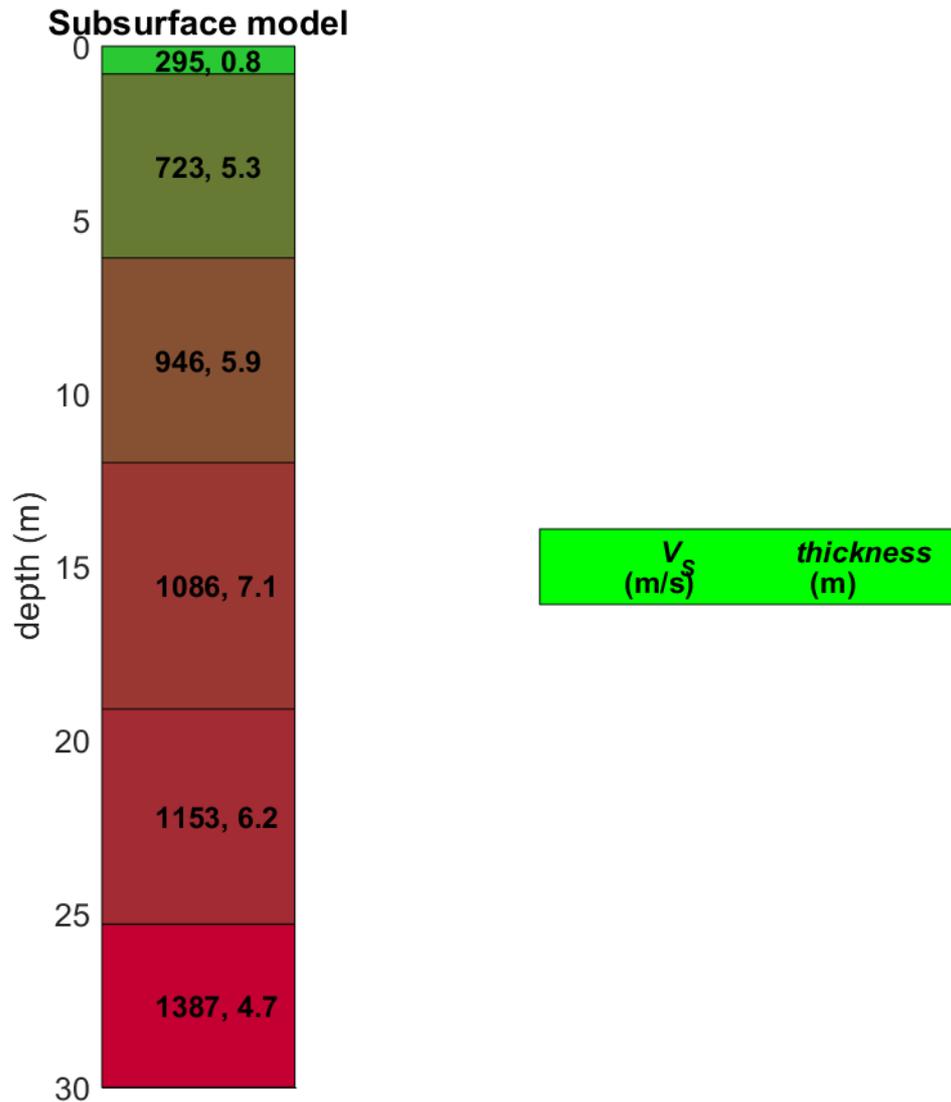


Figura 10: Sismostratigrafia a partire dal piano campagna.

### 17. MODELLO MEDIO MASW 3

Facendo riferimento al modello medio (Vs e spessore degli strati), ottenuto dal processo di inversione, di seguito si riporta un quadro con la stima della Vp, della densità e di alcuni Moduli elastici.

N. STRATO	SPESSORE (Thickness) (m)	Vs (m/s)	DENSITA' (gr/cm <sup>3</sup> )	MODULO di TAGLIO (MPa)	Vp (m/s)	POISSON
1	0.8	295	1.98	172	723	0.40
2	5.3	723	2.17	1137	1643	0.38
3	5.9	946	2.22	1986	1969	0.35
4	7.1	1086	2.25	2649	2206	0.34
5	6.2	1153	2.25	2991	2241	0.32
6	Semi-Spazio	1387	2.29	4398	2595	0.30

18. MASW 4

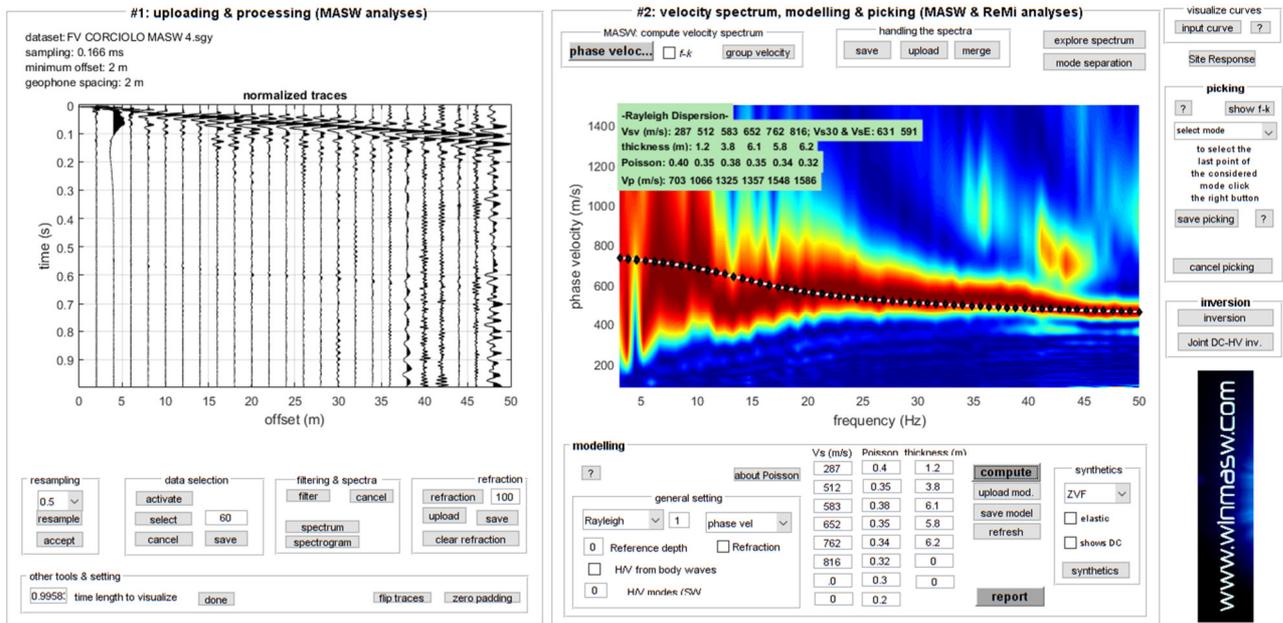


Figura 11: Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità calcolato

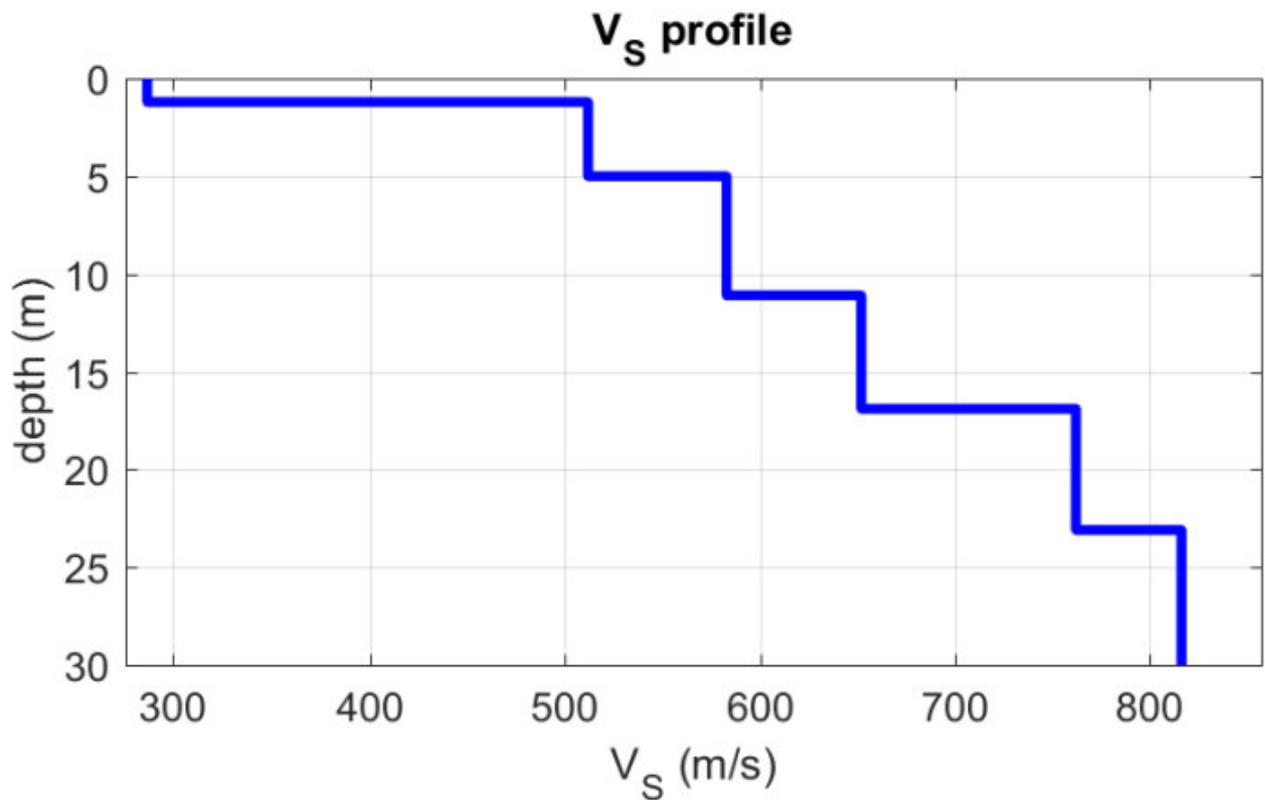


Figura 12: Profilo verticale Vs identificato

19. SISMOSTRATIGRAFIA MASW 4

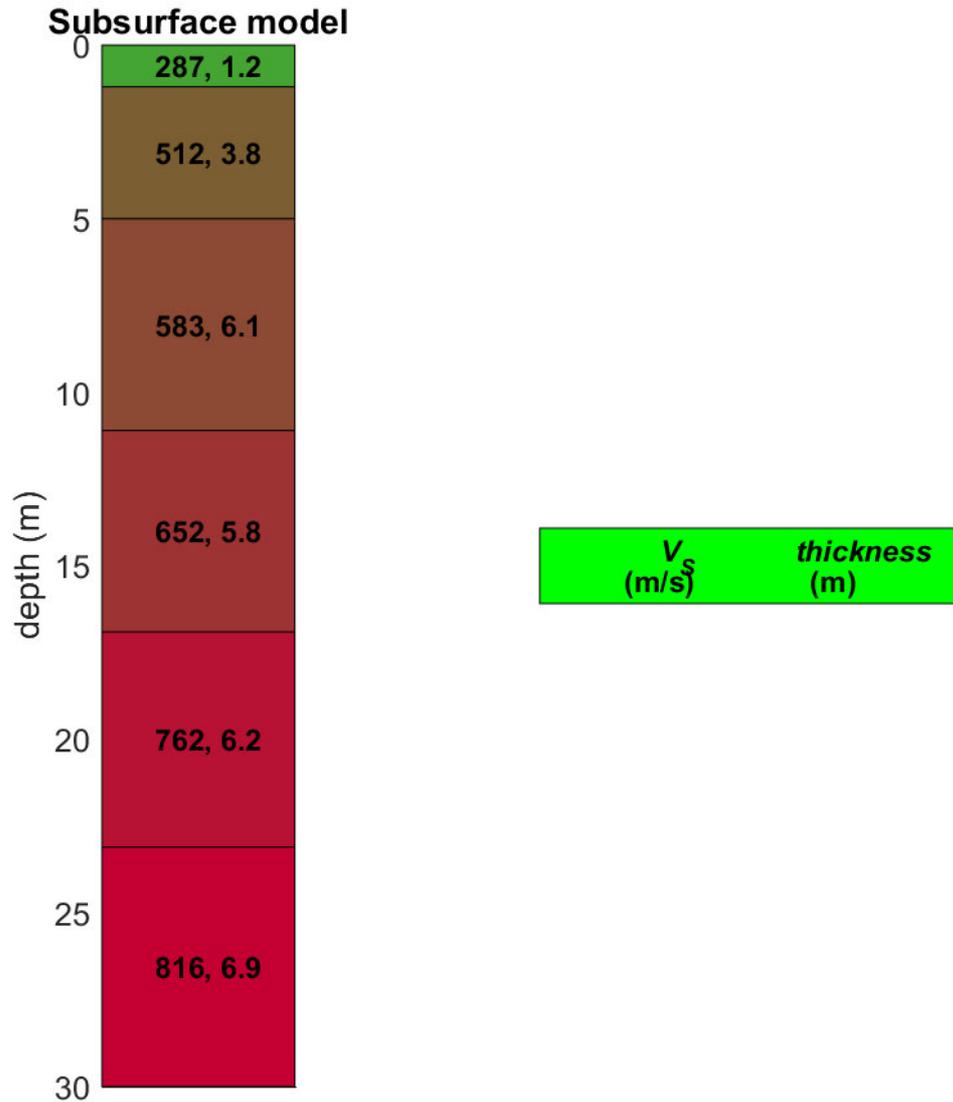


Figura 13: Sismostratigrafia a partire dal piano campagna.

20. MODELLO MEDIO MASW 4

Facendo riferimento al modello medio ( $V_s$  e spessore degli strati), ottenuto dal processo di inversione, di seguito si riporta un quadro con la stima della  $V_p$ , della densità e di alcuni Moduli elastici.

N. STRATO	SPESSORE (Thickness) (m)	$V_s$ (m/s)	DENSITA' (gr/cm <sup>3</sup> )	MODULO di TAGLIO (MPa)	$V_p$ (m/s)	POISSON
1	1.2	287	1.97	162	703	0.40
2	3.8	512	2.07	542	1066	0.35
3	6.1	583	2.12	721	1325	0.38
4	5.8	652	2.13	905	1357	0.35
5	6.2	762	2.16	1254	1548	0.34
6	Semi-Spazio	816	2.17	1442	1586	0.32

## 21. MASW 5

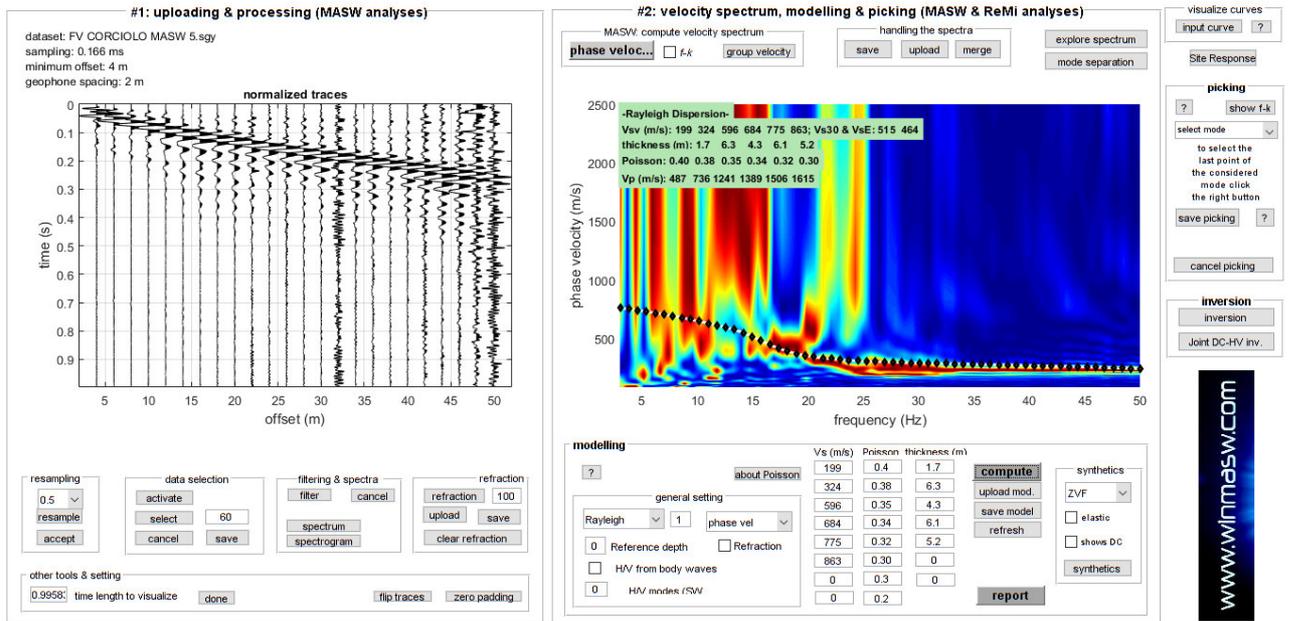


Figura 14: Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità calcolato

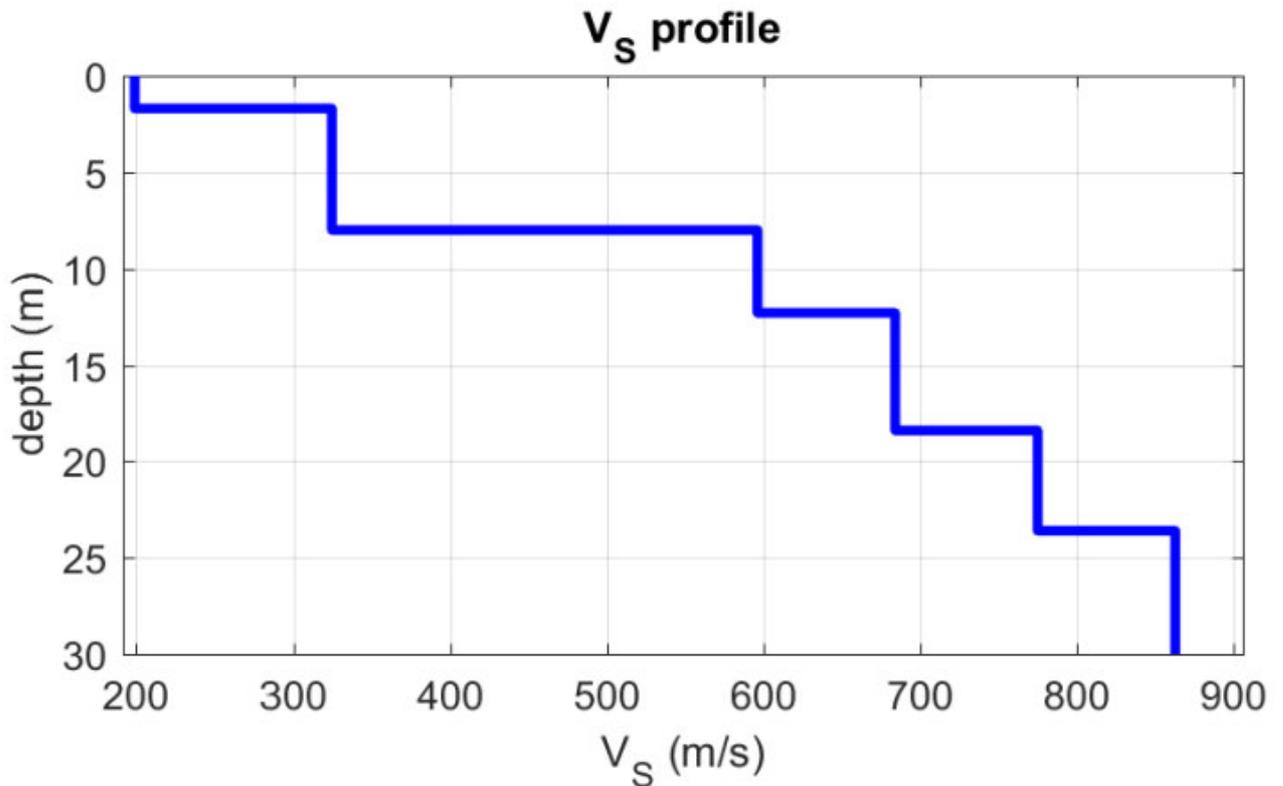
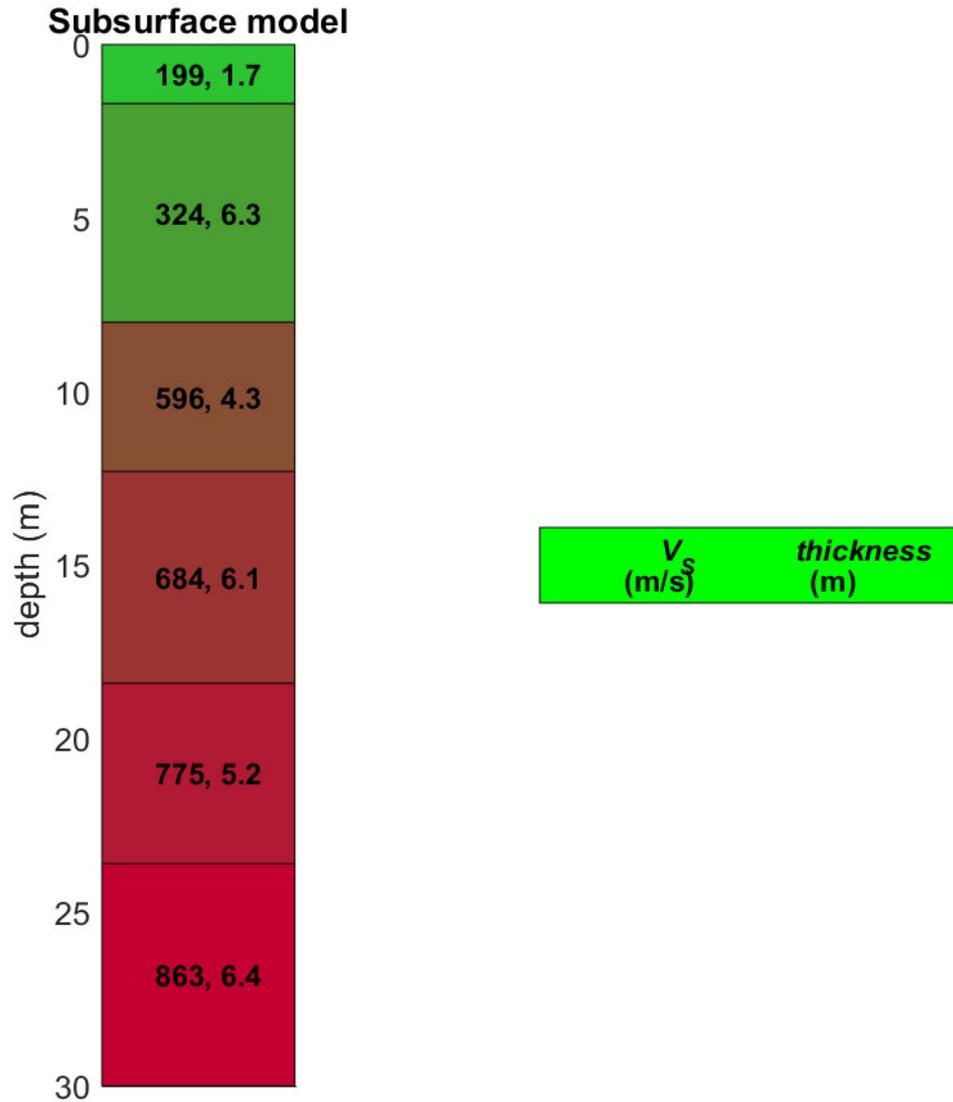


Figura 15: Profilo verticale Vs identificato

## 22. SISMOSTRATIGRAFIA MASW 5



**Figura 16:** Sismostratigrafia a partire dal piano campagna.

## 23. MODELLO MEDIO MASW 5

Facendo riferimento al modello medio ( $V_s$  e spessore degli strati), ottenuto dal processo di inversione, di seguito si riporta un quadro con la stima della  $V_p$ , della densità e di alcuni Moduli elastici.

N. STRATO	SPESSORE (Thickness) (m)	$V_s$ (m/s)	DENSITA' (gr/cm <sup>3</sup> )	MODULO di TAGLIO (MPa)	$V_p$ (m/s)	POISSON
1	1.7	199	1.88	74	487	0.40
2	6.3	324	1.98	208	736	0.38
3	4.3	596	2.11	748	1241	0.35
4	6.1	684	2.13	998	1389	0.34
5	5.2	775	2.15	1293	1506	0.32
6	Semi-Spazio	863	2.17	1616	1615	0.30

24. MASW 6

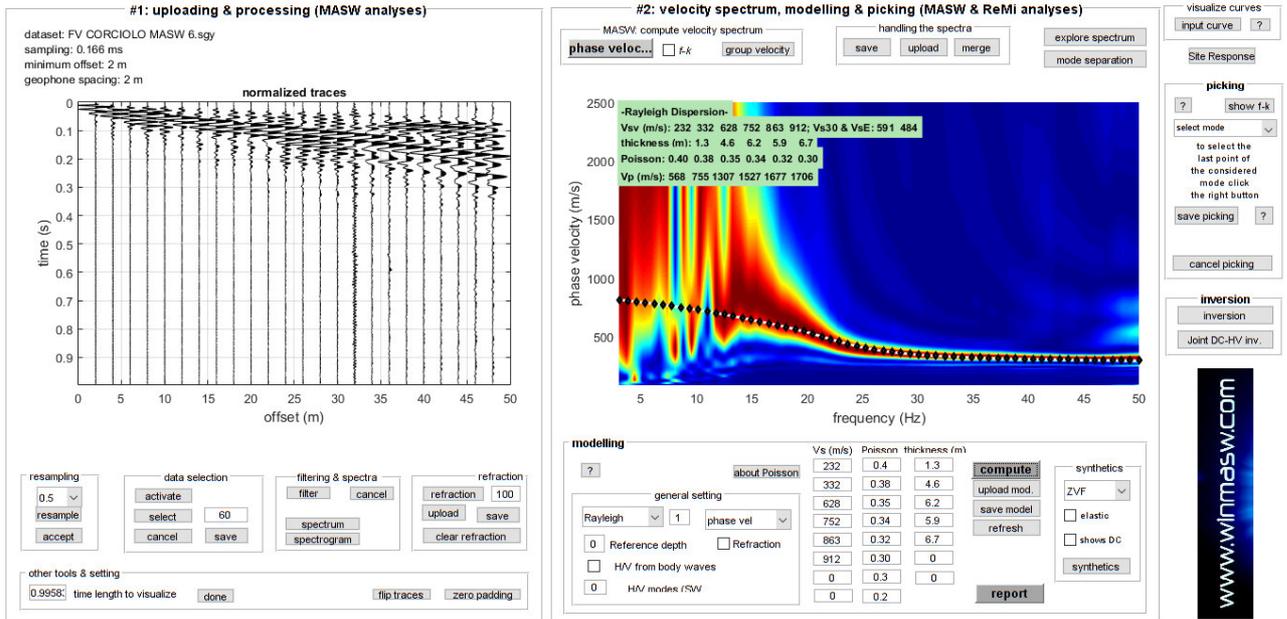


Figura 17: Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità calcolato

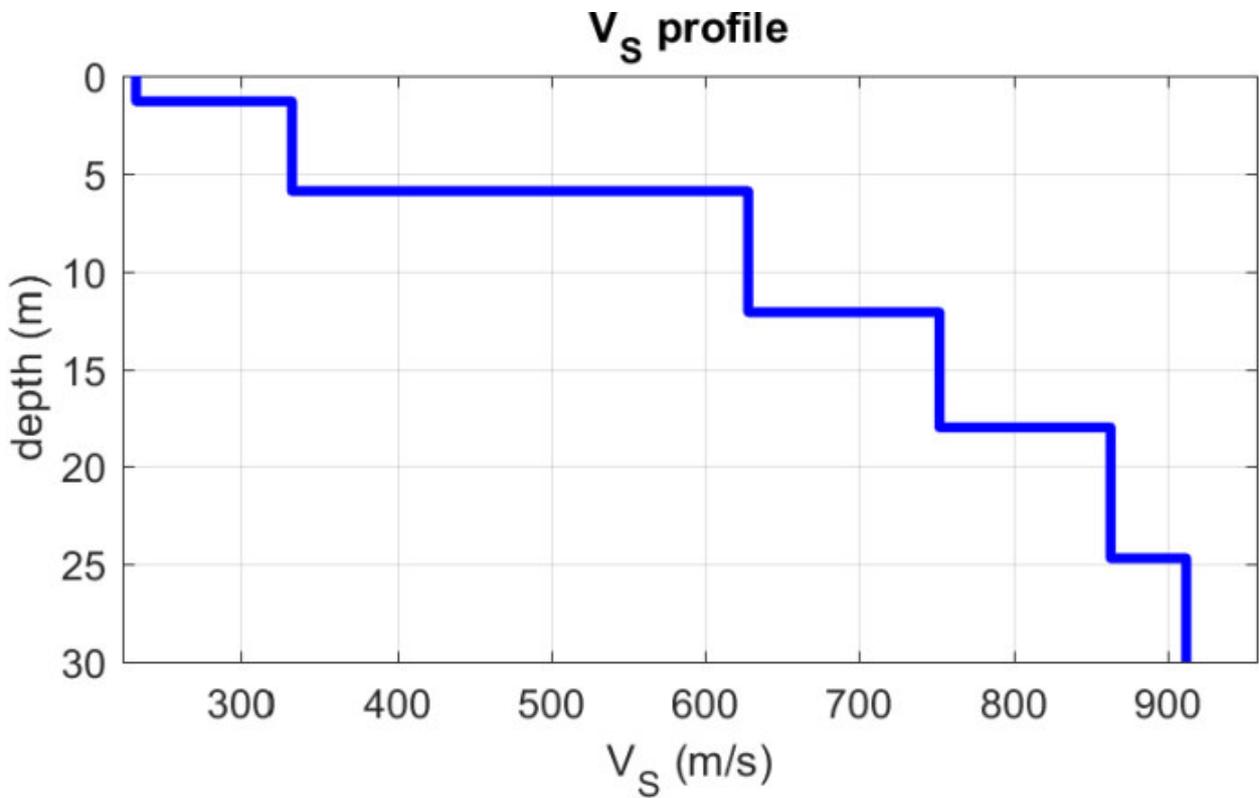
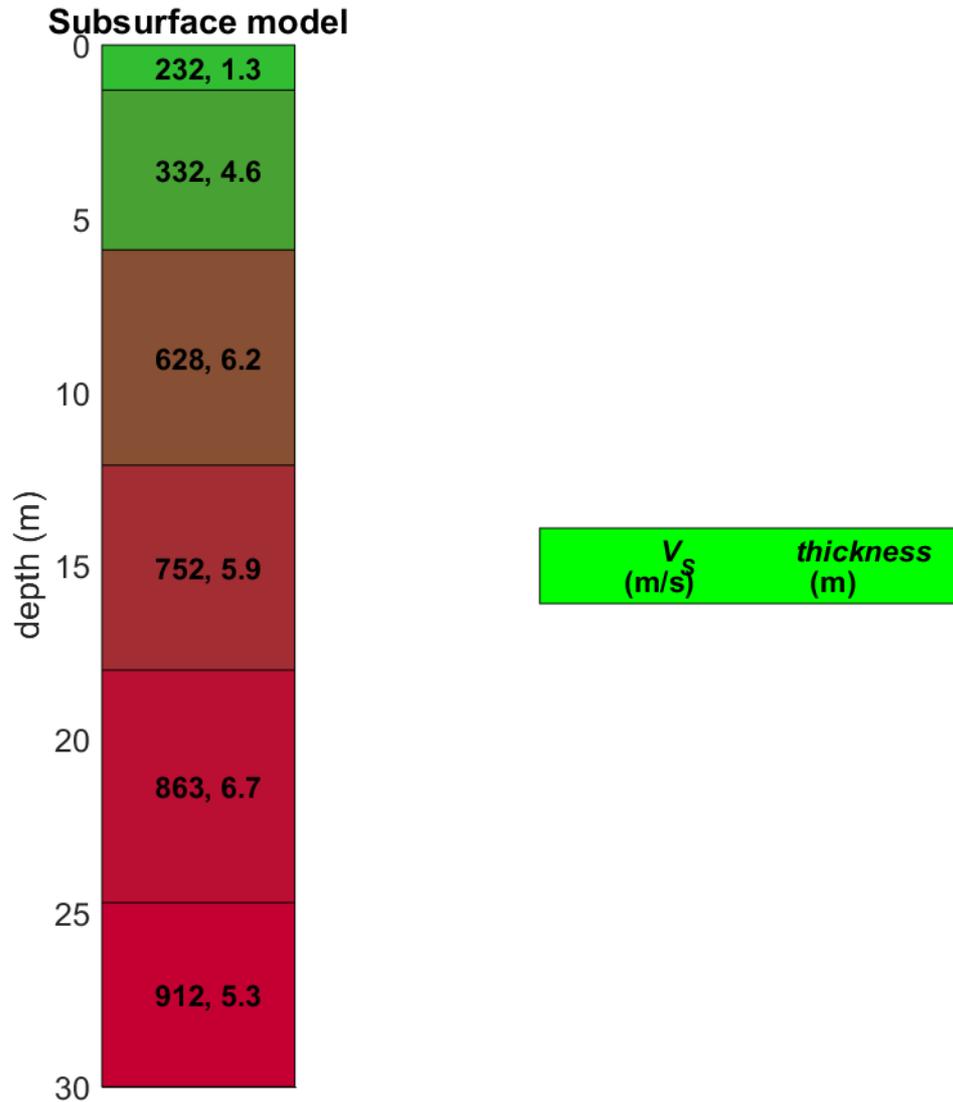


Figura 18: Profilo verticale Vs identificato

**25. SISMOSTRATIGRAFIA MASW 6**



**Figura 19:** Sismostratigrafia a partire dal piano campagna.

**26. MODELLO MEDIO MASW 6**

Facendo riferimento al modello medio (Vs e spessore degli strati), ottenuto dal processo di inversione, di seguito si riporta un quadro con la stima della Vp, della densità e di alcuni Moduli elastici.

N. STRATO	SPESSORE (Thickness) (m)	Vs (m/s)	DENSITA' (gr/cm <sup>3</sup> )	MODULO di TAGLIO (MPa)	Vp (m/s)	POISSON
1	1.3	232	1.92	103	568	0.40
2	4.6	332	1.99	219	755	0.38
3	6.2	628	2.12	836	1307	0.35
4	5.9	752	2.16	1220	1527	0.34
5	6.7	863	2.18	1623	1677	0.32
6	Semi-Spazio	912	2.18	1816	1706	0.30

**27. CALCOLO  $V_{s,eq}$  (D.M. 17/01/2018 NTC 2018)**

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (m/s), viene calcolata con la seguente espressione (§ 3.2.2 NTC 2018):

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

dove:  $h_i$  = spessore dello strato  $i$ -esimo;

$V_{s,i}$  = velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;

$N$  = numero di strati;

$H$  = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/sec;

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Il valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ( $V_{s,eq}$ ), ottenuto dal Modello Medio dell'elaborazione dei dati acquisiti attraverso la base sismica, è risultato essere in riferimento al piano campagna:

- per la base sismica MASW 1       **$V_{s,eq} = 717$  m/s**
- per la base sismica MASW 2       **$V_{s,eq} = 429$  m/s**
- per la base sismica MASW 3       **$V_{s,eq} = 607$  m/s**
- per la base sismica MASW 4       **$V_{s,eq} = 591$  m/s**
- per la base sismica MASW 5       **$V_{s,eq} = 464$  m/s**
- per la base sismica MASW 6       **$V_{s,eq} = 484$  m/s**

Marina di Palizzi (RC), febbraio 2022

Il Tecnico Prospettore - dott. Stefano Sgrò

**GeoSGRO'** di Stefano Sgrò  
Via Anella, 70 - 89038 Marina di Palizzi (RC)  
P.IVA. 02214340803 - REA RC N. 176219