

COMMITTENTE:



DIREZIONE INVESTIMENTI
PROGETTI PALERMO

SOGGETTO TECNICO:



DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO
S.O. INGEGNERIA

PROGETTAZIONE:

SINTAGMA S.r.l. - ITALIANA SISTEMI S.r.l.

TIMBRO E FIRMA DEL PROGETTISTA



PROGETTO DEFINITIVO

CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016

**Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento
per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo**

GEOLOGIA, GEOTECNICA E IDROGEOLOGIA
GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA

Indagini geofisiche progetto preliminare: tomografie elettriche e sismiche

SCALA -

Foglio - di -

PROGETTO/ANNO	SOTTOPR.	LIVELLO	NOME DOC.	PROGR.OP.	FASE FUNZ.	NUMERAZ.
3 0 4 8 1 7	S 0 1	P D	T G - -	0 2	0 0 0	E 0 0 0 9

Revis.	Descrizione	Progettista	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione	Ing. Granieri	OTT. 18	Ing. Sorce		Ing. Martinelli		Ing. Martinelli	

LINEA

--	--	--	--

SEDE TECN.

--	--	--	--	--	--

NOME DOC.

--	--	--	--

NUMERAZ.

--	--	--	--

Verificato e trasmesso	Data	Convalidato	Data	Archiviato	Data

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



SOGGETTO TECNICO:



PROGETTO PRELIMINARE

Linea: PALERMO-TRAPANI
PROGETTO 0314 - POTENZIAMENTO PALERMO - TRAPANI (VIA MILO)
GEOLOGIA

Titolo elaborato:

RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE-MASW

SCALA

ELAB.

PROGETTO/ANNO

0 3 1 4 1 6

SOTTOPR.

S 0 1

LIVELLO

P P

NOME DOC.

T G G E

PROGR.OP.

0 0

FASE FUNZ.

0 0

NUMERAZ.

0 0 0 0 6

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione per approvazione	Geo plants	11/2016	Tamburello	11/2016	Vitellaro	11/2016	Palazzo	11/2016
		C.da San Pietro 11, 92100 AGRIGENTO Cassa Postale 136 Partita IVA 02614170949							

POSIZIONE ARCHIVIO

LINEA

2 0 6

SEDE TECN.

NOME DOC.

NUMERAZ.

0 0 0 0 0

Verificato e trasmesso	Data	Convalidato	Data	Archiviato	Data

File:

INDICE	Pagina
1. PREMESSA.....	2
2. METODO D'INDAGINE MASW.....	2
3. PRINCIPI DEL METODO DI PROVA.....	3
4. ANALISI DEI DATI.....	4
5. CURVA DI DISPERSIONE.....	4
6. INVERSIONE DELLA CURVA DI DISPERSIONE.....	5
7. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E GEOMETRIA DELLO STRUMENTO.....	5
8. ELABORAZIONE DATI.....	7
9. RIEPILOGO DATI.....	11
10. CALCOLO MODULI ELASTICI.....	109
11. CONCLUSIONI.....	110

1. PREMESSA

Su incarico conferitoci da **RFI SPA**, in riferimento allo studio geologico-tecnico inerente al “*Indagini Geognostiche finalizzate a supporto di attività di progettazione di lavori ricadenti nell’ambito della DTP di Palermo*”. è stata effettuata, al fine di caratterizzare la risposta sismica del sito in esame, una campagna d’indagine con l’esecuzione di n°18 acquisizioni sismiche tipo masw (multi-channel analysis of surface waves, analisi della dispersione delle onde di Love e/o Rayleigh da misure di sismica attiva), tale acquisizione risulta utile a definire il profilo verticale della vs (velocità di propagazione delle onde di taglio) e, tramite modellazione del rapporto spettrale h/v, stimare il periodo proprio di sito. Nel suo insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni dm 14 gennaio 2008 (ex dm 14/09/2005) e sua circolare esplicativa (2 febbraio 2009, n. 617 - istruzioni per l'applicazione delle "nuove norme tecniche per le costruzioni"; di cui al d.m. 14 gennaio 2008). Queste, in buona misura, fanno risalire alla stima dell’effetto di sito dalle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (vs). l’analisi dei dati ha consentito di definire i valori del profilo verticale vs (quindi del parametro vs30) ed ottenere una stima della frequenza di risonanza del sito esaminato dovuta all’amplificazione litologica attraverso la valutazione del rapporto spettrale h/v modellato.

2. METODO D’INDAGINE MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva per la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, che si basa sulla misura delle onde superficiali sia di Rayleigh che di Love (nel dominio del tempo) in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo e la successiva analisi nel dominio della frequenza. Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo *attivo* e metodo *passivo* (Zywicki, D.J. 1999) o in una combinazione di entrambi. Nel metodo *attivo* le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo con masse battenti, sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Nel metodo *passivo* (REMI) lo

stendimento dei sensori può essere sia lineare, sia circolare e si misura il rumore ambientale di fondo esistente.

3. PRINCIPI DEL METODO DI PROVA

Come detto sopra questa metodologia consente di determinare il profilo di velocità delle onde di taglio verticali VS, basandosi sulla misura delle onde superficiali. In particolare, quelle con bassi valori di lunghezze d'onda (alte frequenze) interessano gli strati superficiali mentre quelle a maggior lunghezza d'onda (minore frequenza) interessano anche gli strati più profondi (fig. 1). Le onde di Rayleigh in un semispazio omogeneo sono non dispersive, mentre in presenza di un mezzo stratificato, l'avanzamento di un fronte d'onda si deforma in rapporto alla velocità di propagazione (nel singolo strato) in funzione della frequenza, quindi, in altre parole, differenti frequenze hanno velocità di propagazione diverse (comportamento dispersivo).

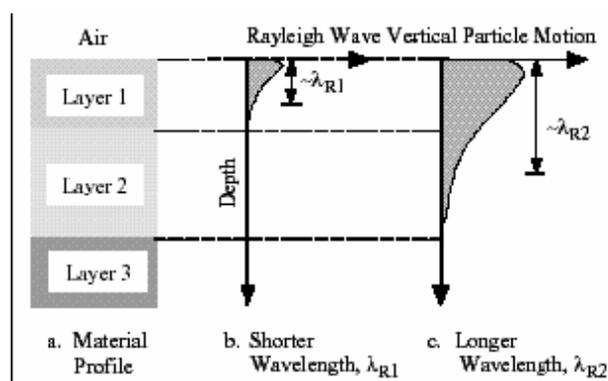


fig. 1

La velocità di propagazione delle onde di Rayleigh (V_r) e delle onde i taglio (V_s) sono dipendenti e sono legati dalla relazione (Richart et al. 1970):

$$V_r^6 - 8V_s^2 V_r^4 + (24 - 16V_s^2/V_p^2) V_s^4 V_r^2 + (16V_s^6/V_p^6 - 1) V_s^6 = 0$$

In altre parole, la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh (V_r) è leggermente inferiore alla velocità delle onde di taglio (V_s), ovvero seguendo Achenbach (1999):

$$V_r = (0.862 + 1.14 \nu / (1 + \nu)) V_s$$

ν = modulo di poisson

che significa che al variare di ν , la V_r è inferiore rispetto alla V_s di un valore compreso tra 0.862 e 0.955 traducendosi nel fatto che misurando la V_r si ottiene la V_s con un errore di calcolo del tutto trascurabile potendosi così scrivere la relazione $V_r = 0.91 V_s \pm 0.046$.

4. ANALISI DEI DATI

L'analisi dei dati è suddivisa in due stadi: la determinazione della "curva di dispersione" (calcolo della velocità di fase) ed l'inversione della curva per ottenere un modello 1D velocità/profondità.

5. CURVA DI DISPERSIONE

La "Curva di dispersione" si ottiene da un'analisi spettrale del sismogramma che trasforma il moto misurato, dal dominio "spazio-tempo" al dominio frequenza-numero d'onda" e parallelamente al dominio "velocità di fase- frequenza" (fig 2)

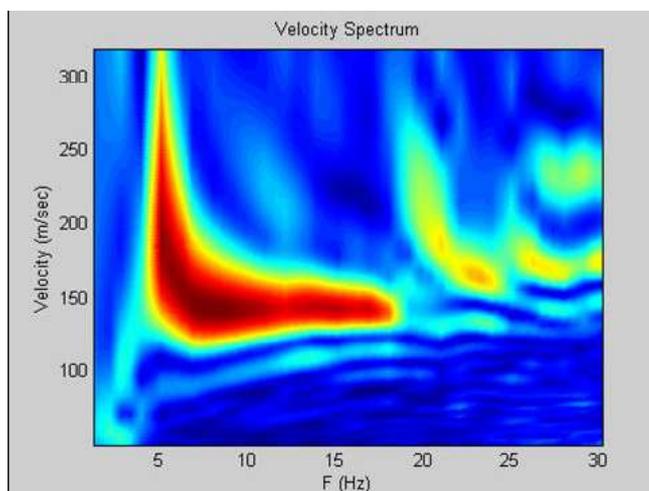


fig2

Sul diagramma di fig. 2 bisogna ricostruire la curva di dispersione sperimentale interpretando l'andamento delle massime ampiezze del modo fondamentale delle onde di Rayleigh (Ivanov et al., 2001), discriminando le riflessioni indotte da orizzonti più rigidi, riflessioni multiple, onde d'aria e onde guidate (Baker, 1999) che possono provocare gravi errori interpretativi.

6. INVERSIONE DELLA CURVA DI DISPERSIONE

Successivamente al riconoscimento e, quindi, al tracciamento della curva di dispersione, si passa alla ricostruzione della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s . Il modello di inversione verrà vincolato attraverso l'inserimento di un range di possibili spessori, di velocità delle onde VS e di coefficienti di Poisson (ν). L'ultima fase consiste nella modifica della curva teorica fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo. Il prodotto conclusivo sarà un diagramma che esprimerà valori delle velocità delle onde di taglio (S) associati a spessori e profondità di un mezzo stratificato. La profondità d'indagine è direttamente dipendente dalla minima frequenza riconoscibile nella curva di dispersione.

7. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E GEOMETRIA DELLO STRUMENTO

Per eseguire la prova sono state utilizzate le seguenti attrezzature:

- SISMOGRAFO - ECHO 48/2012 48 CANALI

Numero di canali: 48 + 1 con ingresso differenziale

A / D Conversione: 24 bit

Gamma dinamica: 130dB @ 1ms PG = 0dB 120dB @ 1ms PG = 18dB

Crosstalk: > 90 dB

Preamplificazione Guadagno: 0dB, 6dB, 12dB, 18dB, 24dB, 30dB, 36dB, 42dB, 48dB, 54dB, 60dB, 66dB, 72dB

Risposta in frequenza: 0 - 6KHz (30kSPS), 0 - 4,8KHz (15kSPS), 0 - 3KHz (7,5kSPS), 0 - 1,5 kHz (3,5kSPS), 0 - 800Hz (2kSPS),

0 - 400Hz (1kSPS)

Acquisizione e Filtro di visualizzazione: Allow Cut Out (10, 15, 25, 35, 50, 70, 100, 200, 280, 400 Hz)

Intervallo di campionamento: 32 ms, 64 microsiemens, 128 microsiemens, 256 microsiemens, 480 microsiemens, 960 microsiemens

Record Lunghezza: 16.000 campioni

Stacking trigger Precisione: 1/32 di intervallo di campionamento

Distorsione (THD): 0,0004%

Max Ingresso segnale: 5Vpp, 0dB

CMR: 110dB (FCM = 60 Hz. FDATA = 30kSPS)

Rumore: 0,25 μ V, 2ms, 36dB

Pre-trigger dati: 524ms @ 32 μ s intervallo di campionamento

Ritardo: 0-15kSPS sec (max 16000 campioni)

Escursione termica: - 30 ° C / + 70 ° C

Energia: 12 V

Letture in Continuo: sì

Formato di output: SEG-Y, SEG-2, SAF (SESAME formato ASCII)

- 24 Trasduttori di velocità del moto del suolo a componente verticale con frequenza propria = 4,5 Hz (geofoni);
- Sistema di energizzazione costituito da massa battente di 9 kg dotata di starter piezoelettrico e piastra di battuta.

La configurazione spaziale in sito è equivalente ad un dispositivo geometrico punto di scoppio-geofoni "base distante in linea".

In particolare è stato utilizzato il seguente set-up:

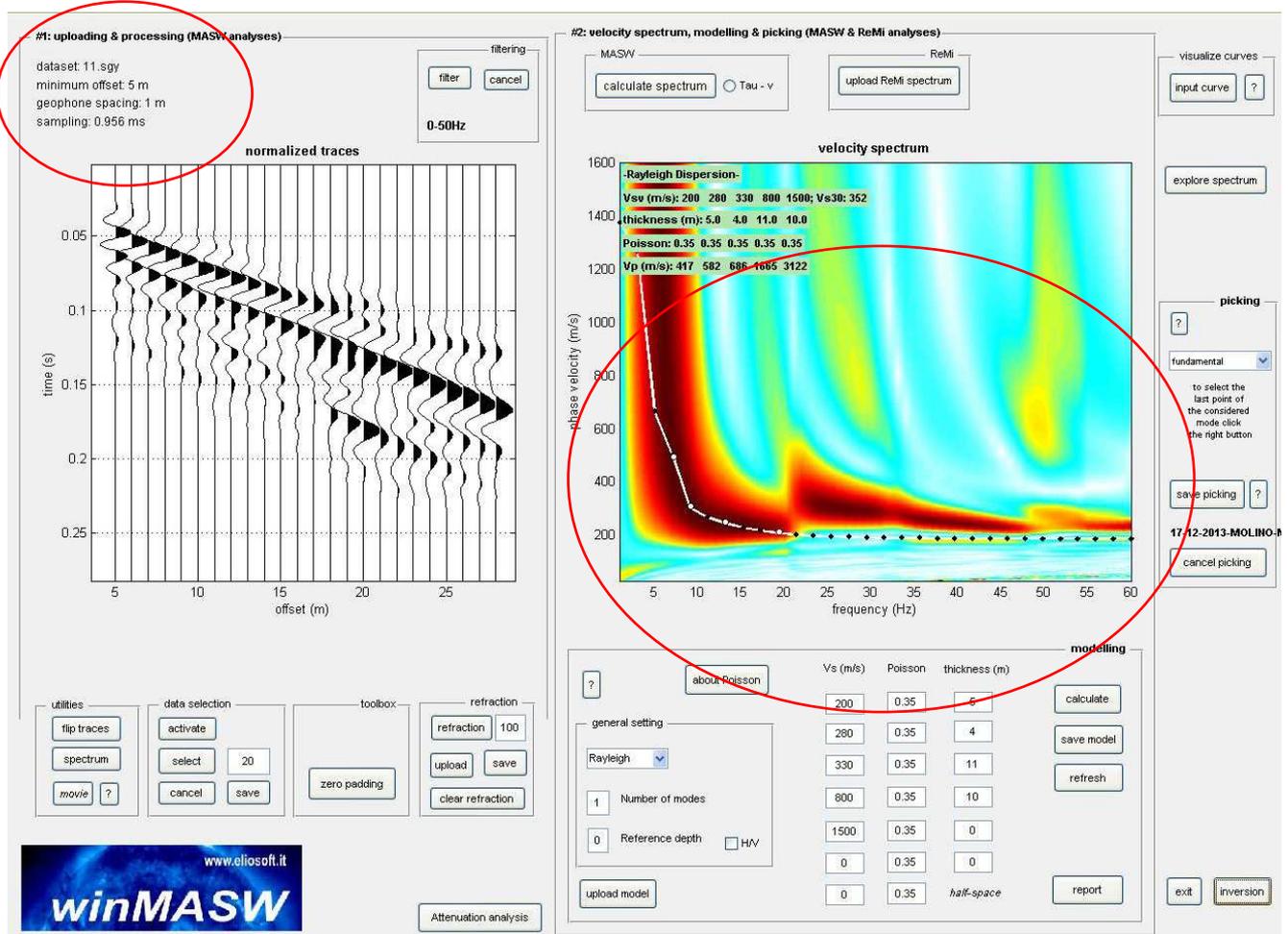
- 2 geofoni con interspazio (Gx) di 1.0 metri;
- n. 1 energizzazioni ad offset (Sx) -2 m;

- passo temporale di campionamento pari a 1 msec ;
- tempo di acquisizione 1094 ms

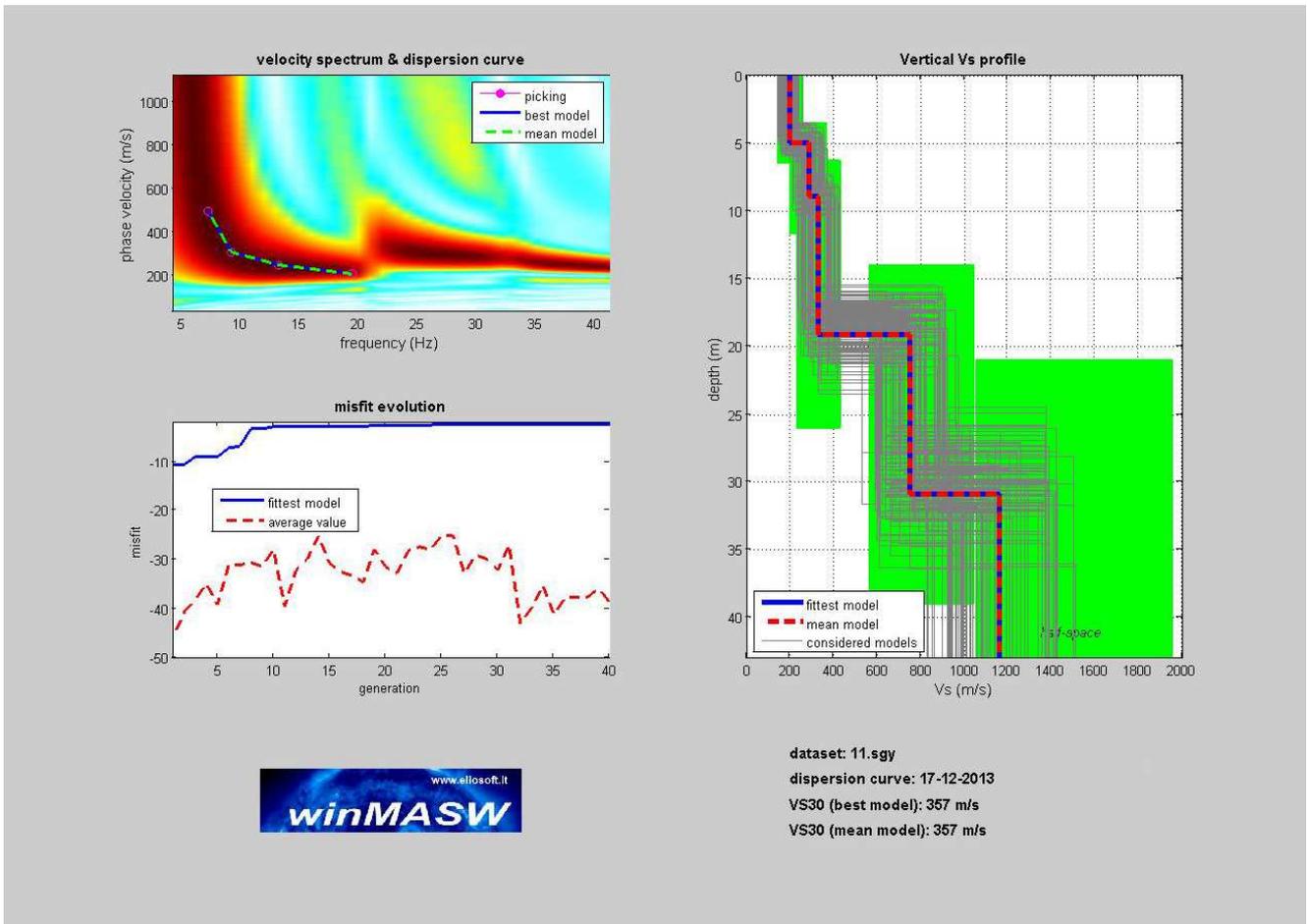
8. ELABORAZIONE DATI

Per l'elaborazione della prova è stato utilizzato il software "WinMASW4.1 Pro" della Eliosoft. I dati MASW sono stati elaborati (determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione di queste ultime) per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (VS) dal quale, attraverso la modellazione del rapporto spettrale H/V si è anche stimato il periodo proprio del sito.

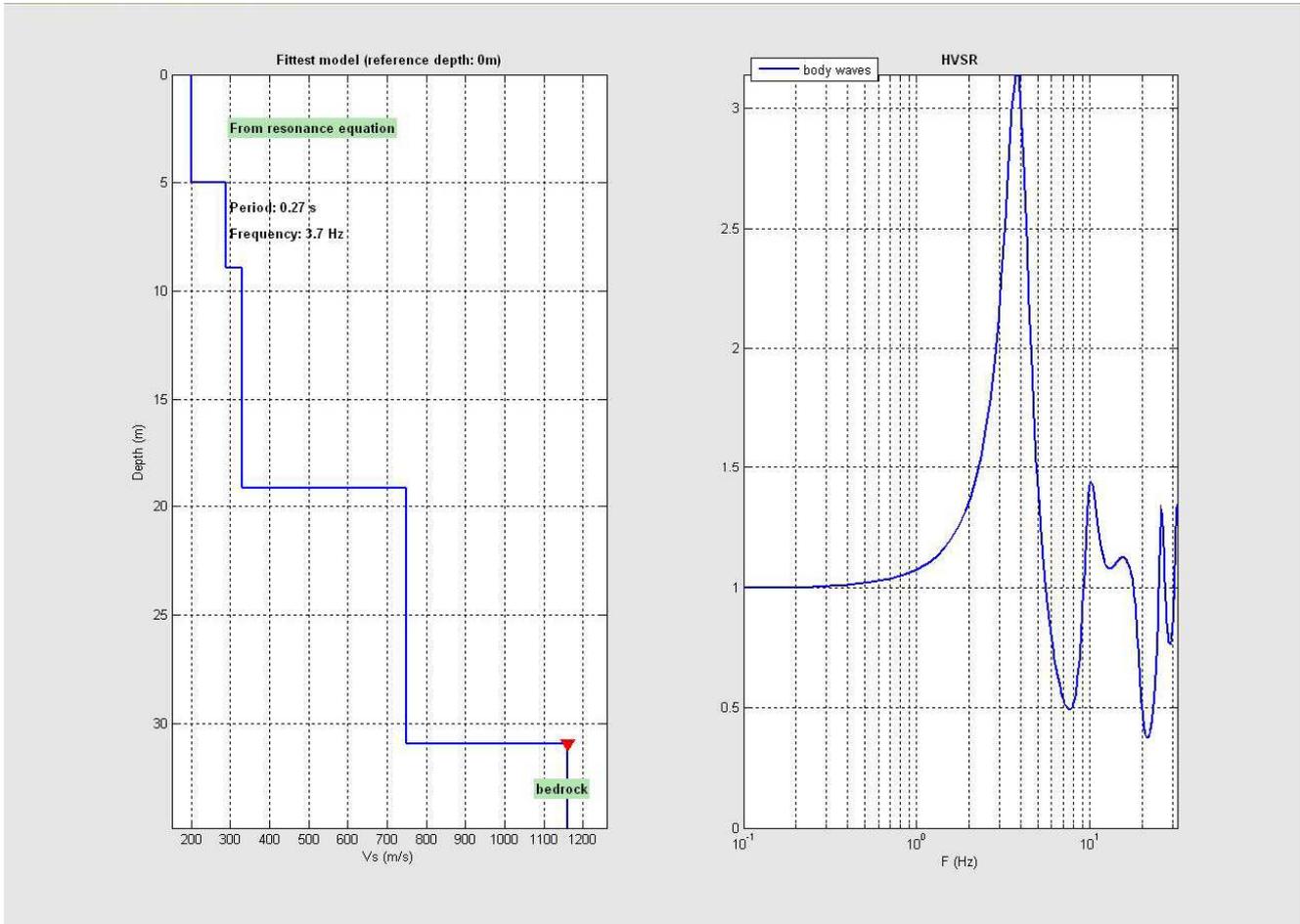
MASW I



Sulla sinistra i dati di campagna, sulla destra, lo spettro di velocità con la curva di dispersione identificata.



Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato (vedi anche Tabella 1) (modello "migliore" e medio sono tipicamente assolutamente analoghi). In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli *Algoritmi Genetici*).



Modellazione del rapporto spettrale H/V a partire dal profilo verticale della VS individuato.

Spessore (m)	Vs (m/s)	Modulo di taglio (MPa)
5.0	200	
3.9	288	
10.2	330	
11.8	749	
Semi-spazio	1160	

tab n° 1

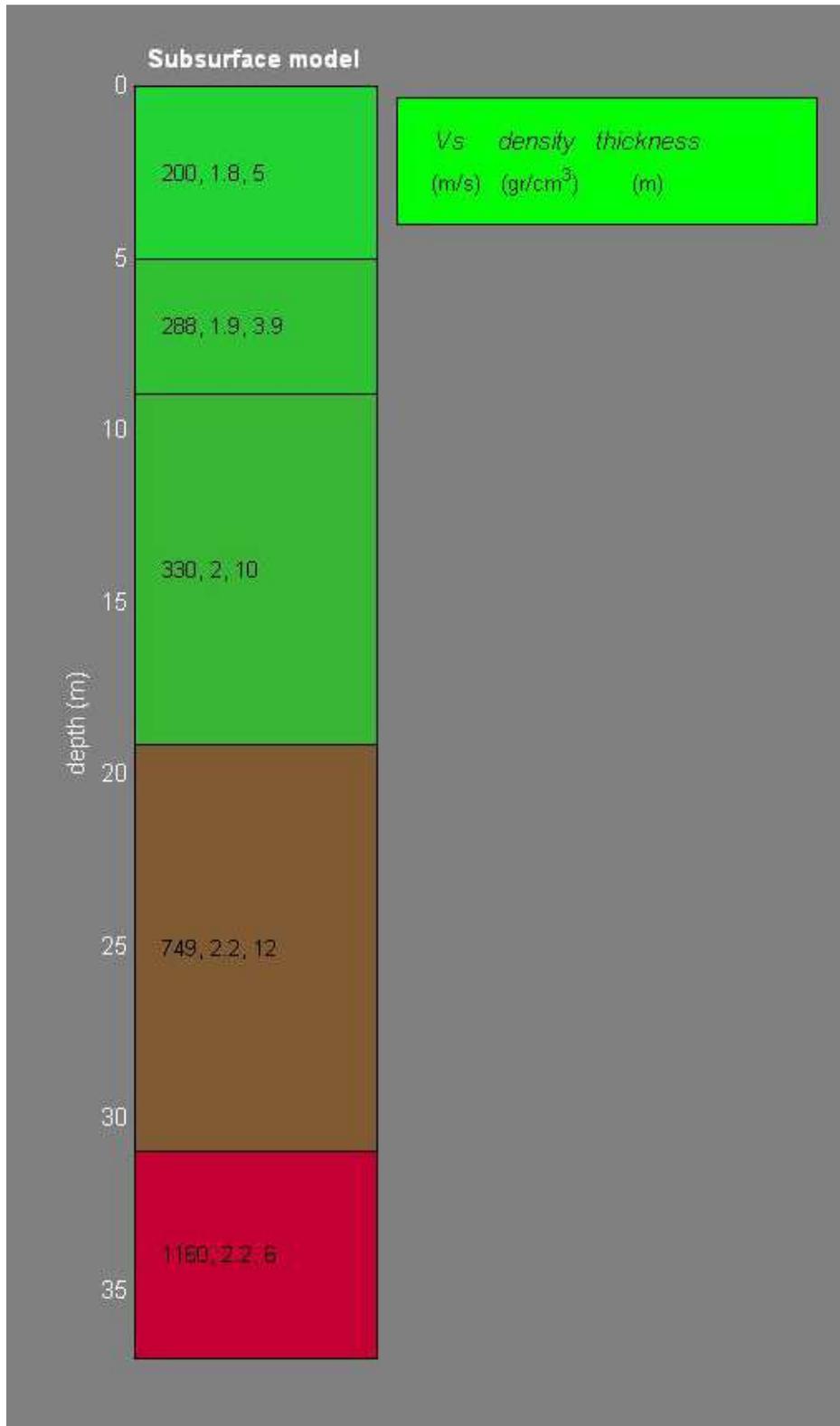


Plants s.r.l.

C.da San Pietro II trav. - 92100 AGRIGENTO
Casella Postale 135 - Tel./Fax: 0922 437950
www.geoplants.it - info@geoplants.it
Partita IVA 0261417 084 9

Sondaggi - Consolidamenti - Impianti

MODULO RDP - RAPPORTO DI PROVA



9. RIEPILOGO DATI

Mean model

Vs (m/s): 200, 288, 330, 749, 1160

Thickness (m): 5.0, 3.9, 10.2, 11.8

Density (gr/cm³): 1.85, 1.93, 1.96, 2.17, 2.25

Shear modulus (MPa): 74, 160, 214, 1215, 3024

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and elastic moduli (please, see manual)

Vp (m/s): 428, 591, 681, 1582, 2215

Poisson: 0.36, 0.34, 0.35, 0.36, 0.31

Bulk modulus (MPa): 240, 460, 625, 3800, 6994

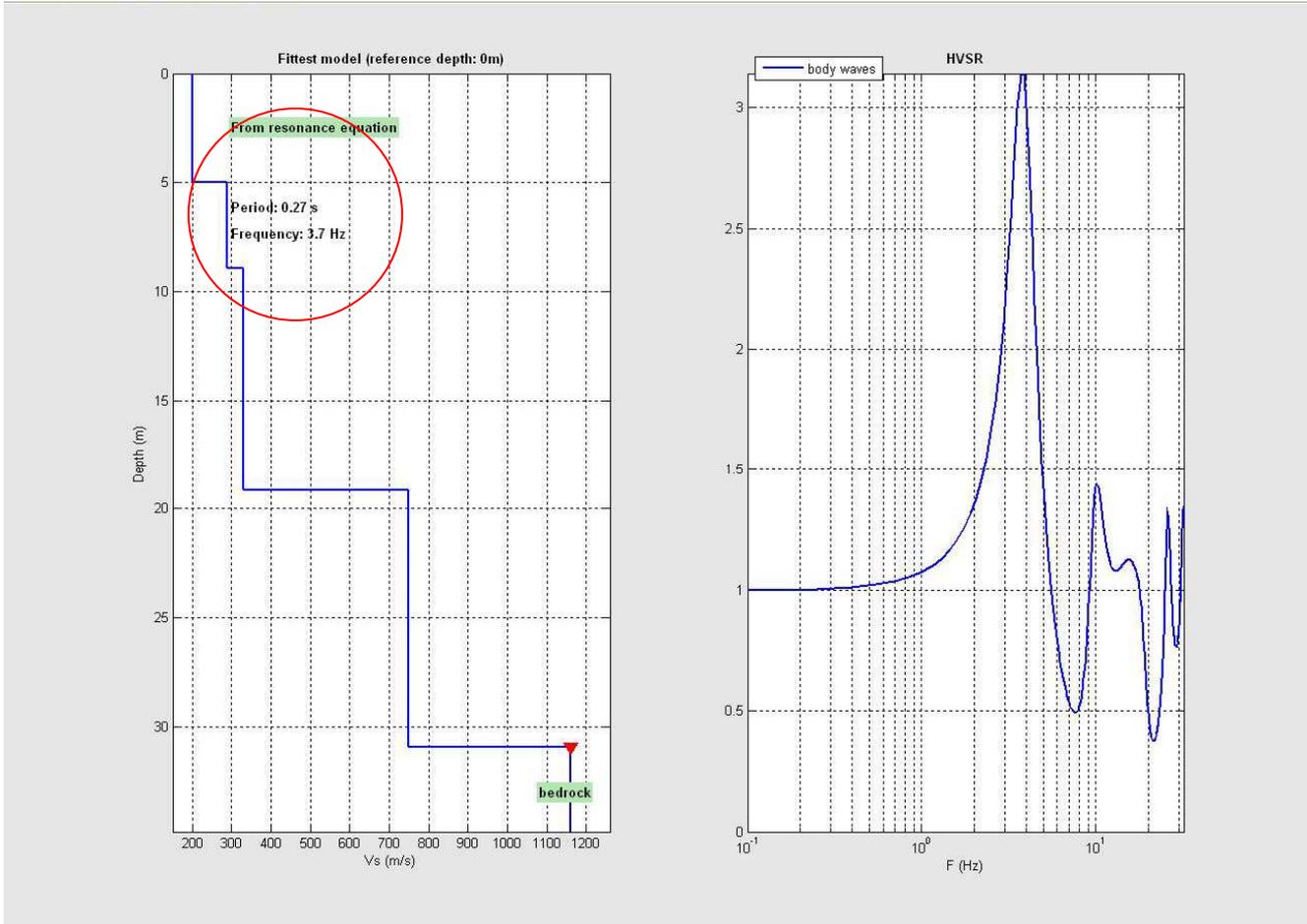
Young's modulus (MPa): 201, 430, 575, 3293, 7929

Lamé (MPa): 191, 353, 482, 2990, 4978

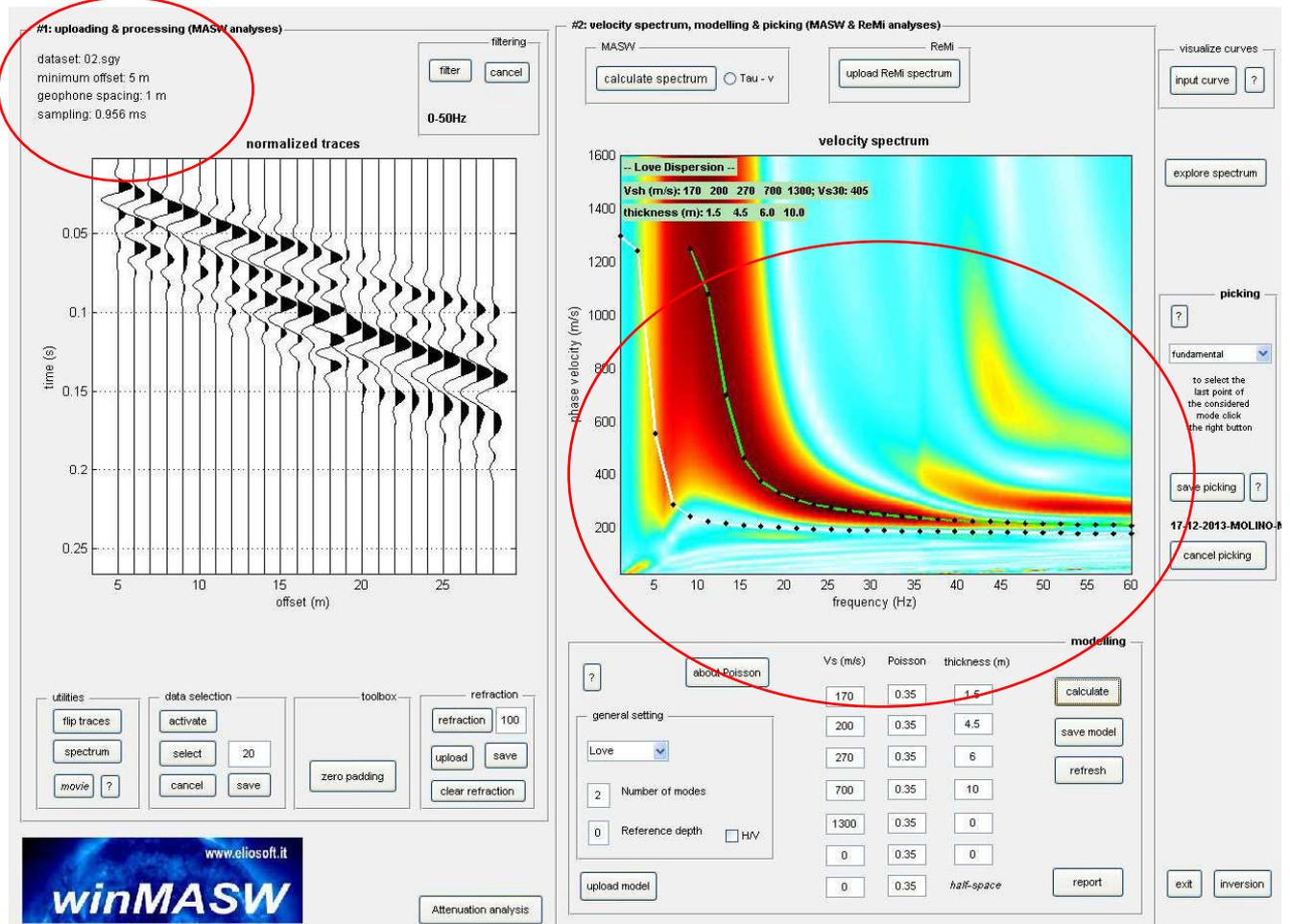
VS30 (m/s): 357 (velocità riferita al piano di campagna)

In accordo con la Normativa vigente, il valore di V_{s30} deve riferirsi alla profondità del piano di posa delle fondazioni. Nel progetto in esame, con la D.L. è stato ipotizzato un piano di posa delle fondazioni coincidente col piano di campagna, in conseguenza di ciò è stato ottenuto il seguente risultato:

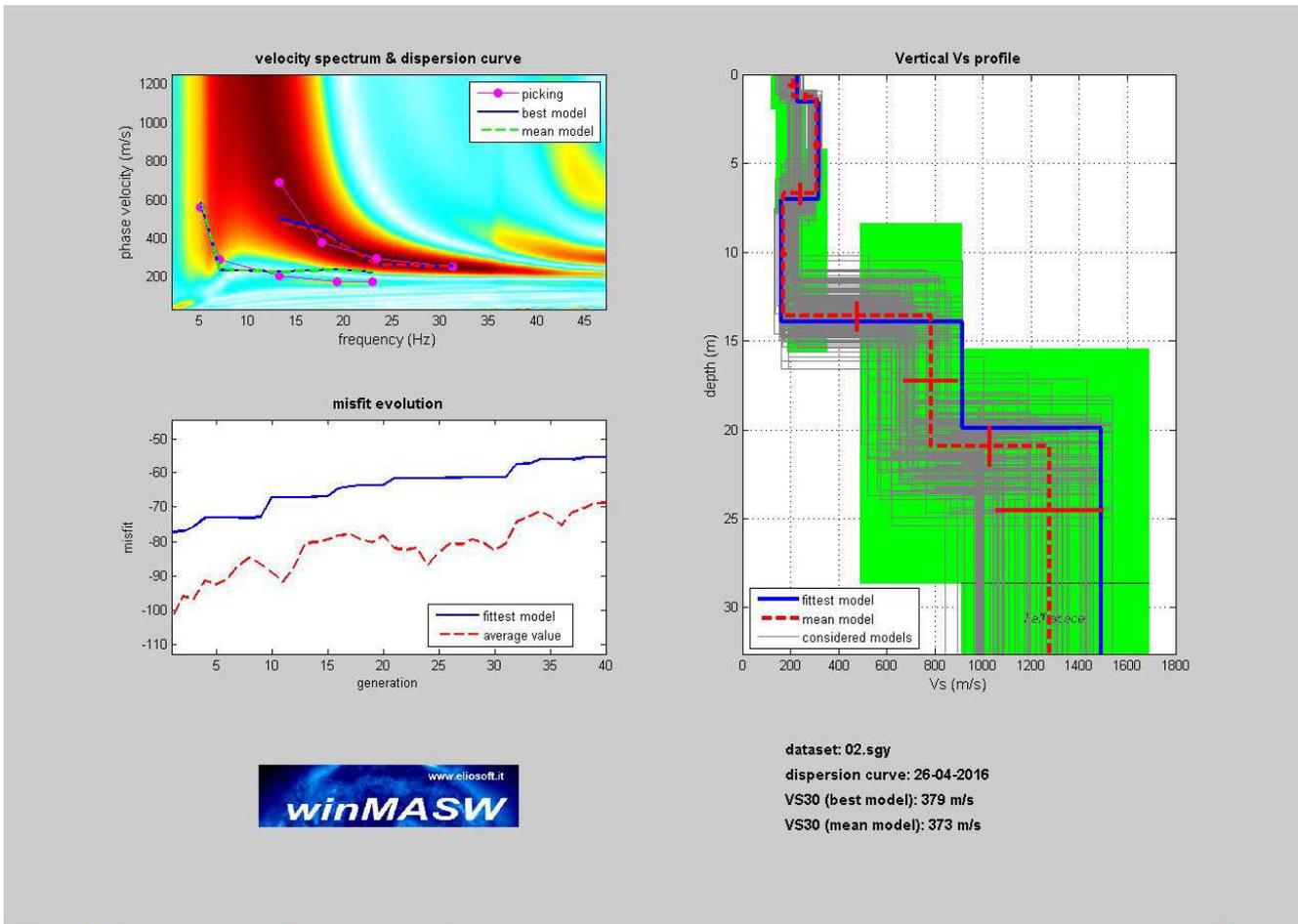
piano di posa delle fondazioni = 0.00mt, V_{s30} = 357m/s, Periodo = 0.27s, Frequenza 3.7Hz



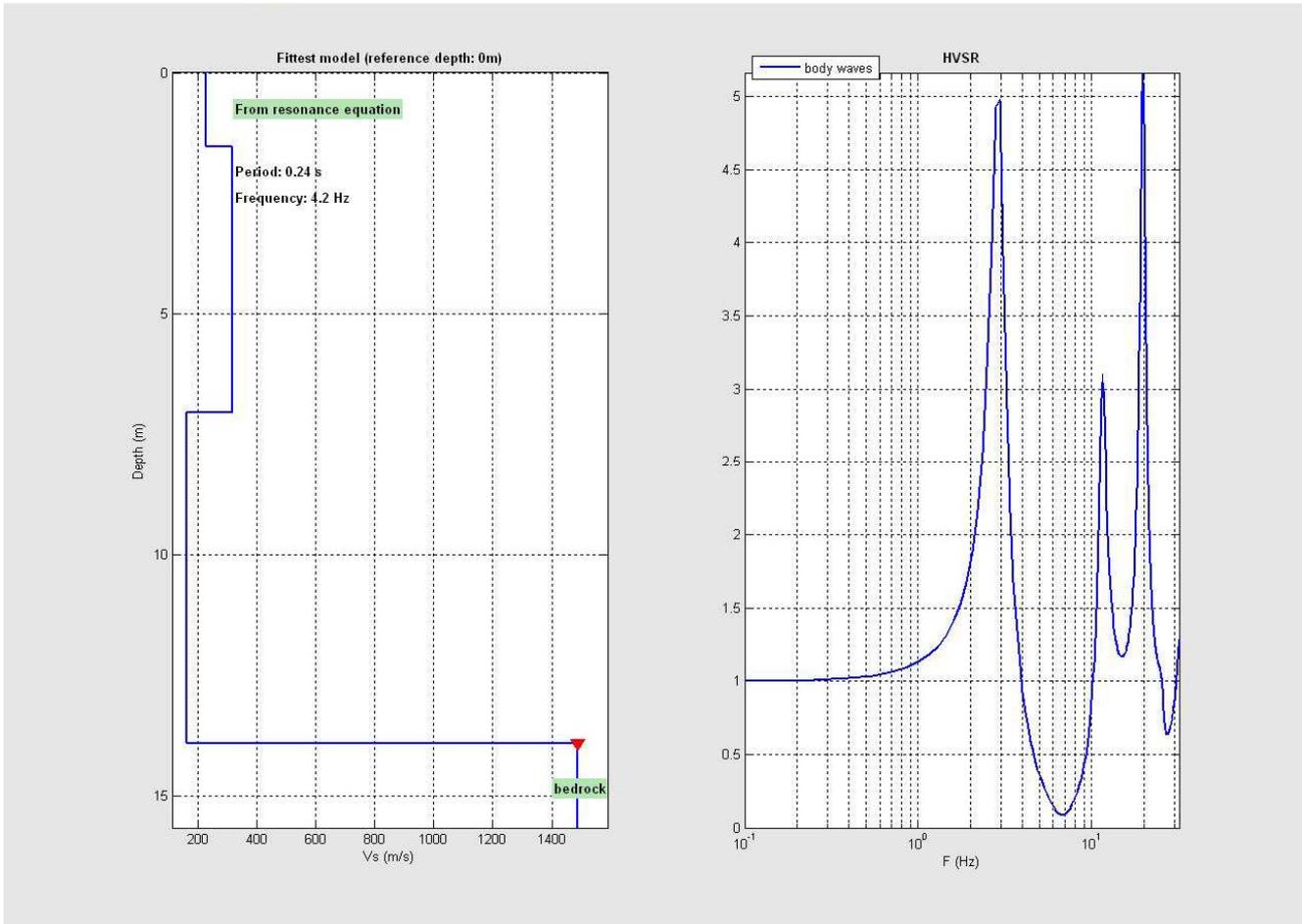
MASW 2



Sulla sinistra i dati di campagna, sulla destra, lo spettro di velocità con la curva di dispersione identificata.



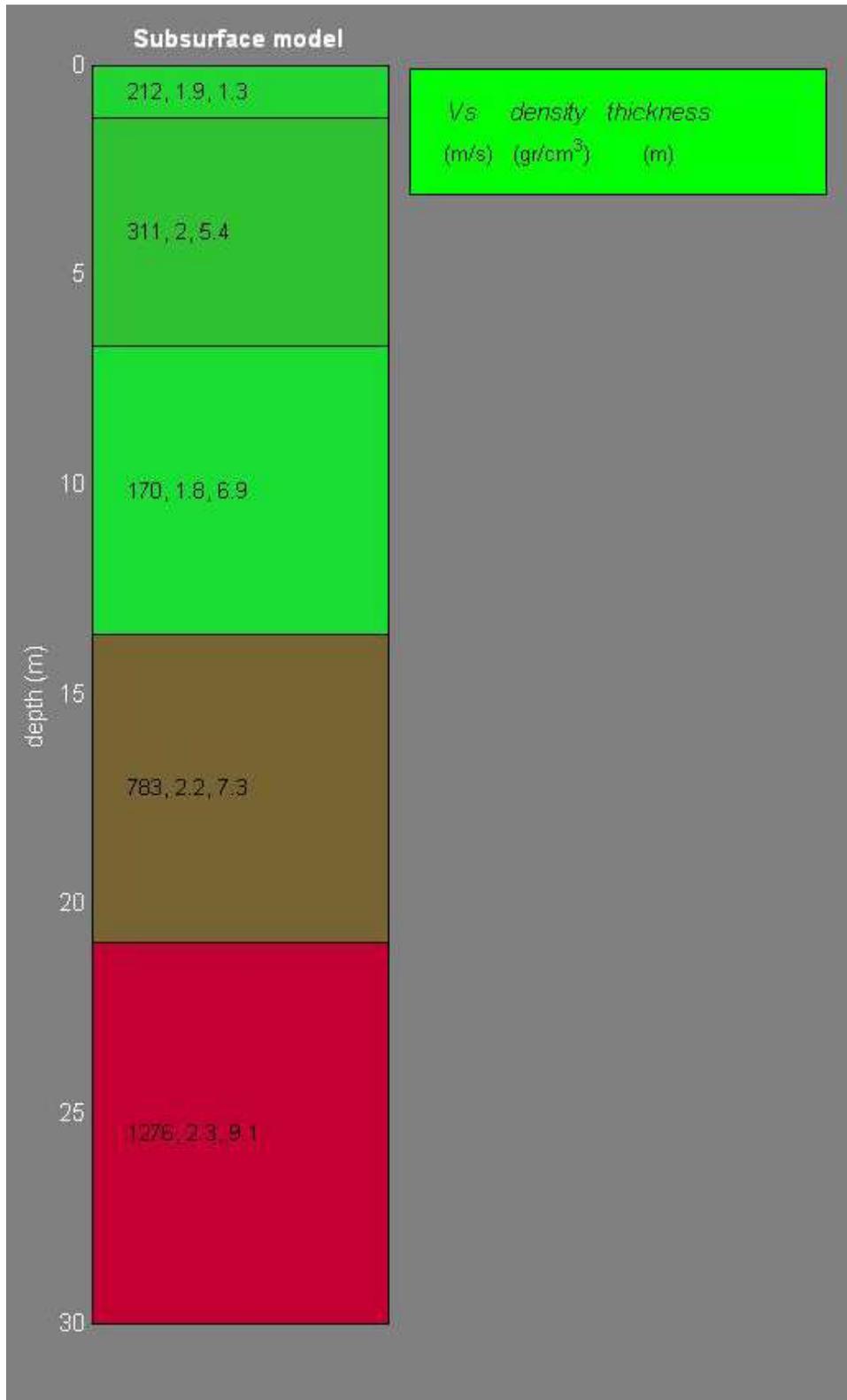
Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato (vedi anche Tabella 1) (modello "migliore" e medio sono tipicamente assolutamente analoghi). In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli *Algoritmi Genetici*).



Modellazione del rapporto spettrale H/V a partire dal profilo verticale della VS individuato.

Spessore (m)	Vs (m/s)	Modulo di taglio (MPa)
1.3	212	
5.4	311	
6.9	170	
7.3	783	
Semi-spazio	1276	

tab n° 1



10. RIEPILOGO DATI

Mean model

Vs (m/s): 212, 311, 170, 783, 1276

Standard deviations (m/s): 23, 13, 12, 112, 224

Thickness (m): 1.3, 5.4, 6.9, 7.3

Standard deviations (m/s): 0.2, 0.6, 0.8, 1.2

Density (gr/cm³): 1.88, 1.97, 1.81, 2.21, 2.31

Shear modulus (MPa): 85, 190, 52, 1357, 3757

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and elastic moduli (please, see manual)

Vp (m/s): 490, 696, 358, 1925, 2831

Poisson: 0.38, 0.38, 0.35, 0.40, 0.37

Bulk modulus (MPa): 339, 699, 162, 6392, 13483

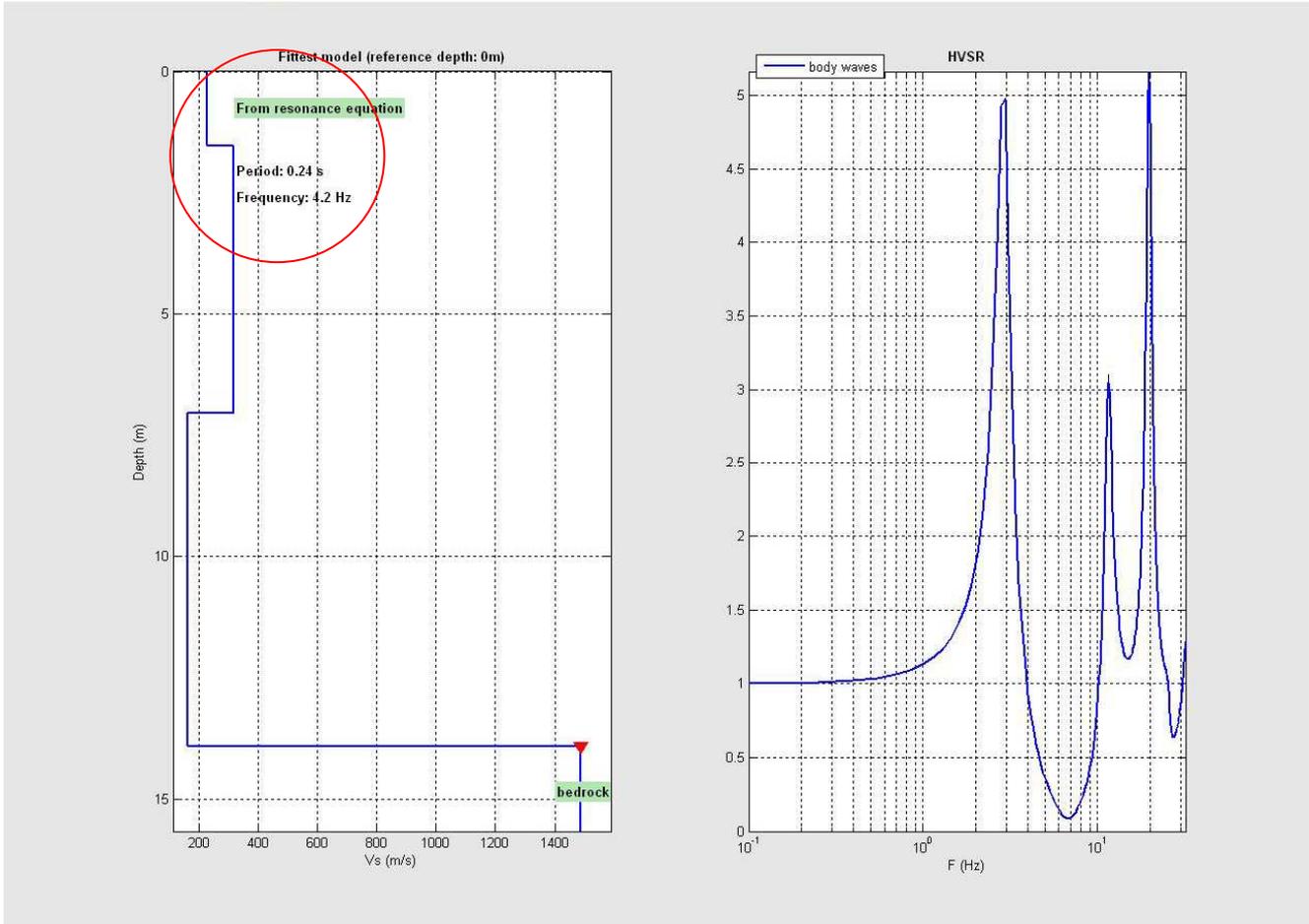
Young's modulus (MPa): 234, 523, 141, 3802, 10312

Lamé (MPa): 283, 572, 127, 5487, 10979

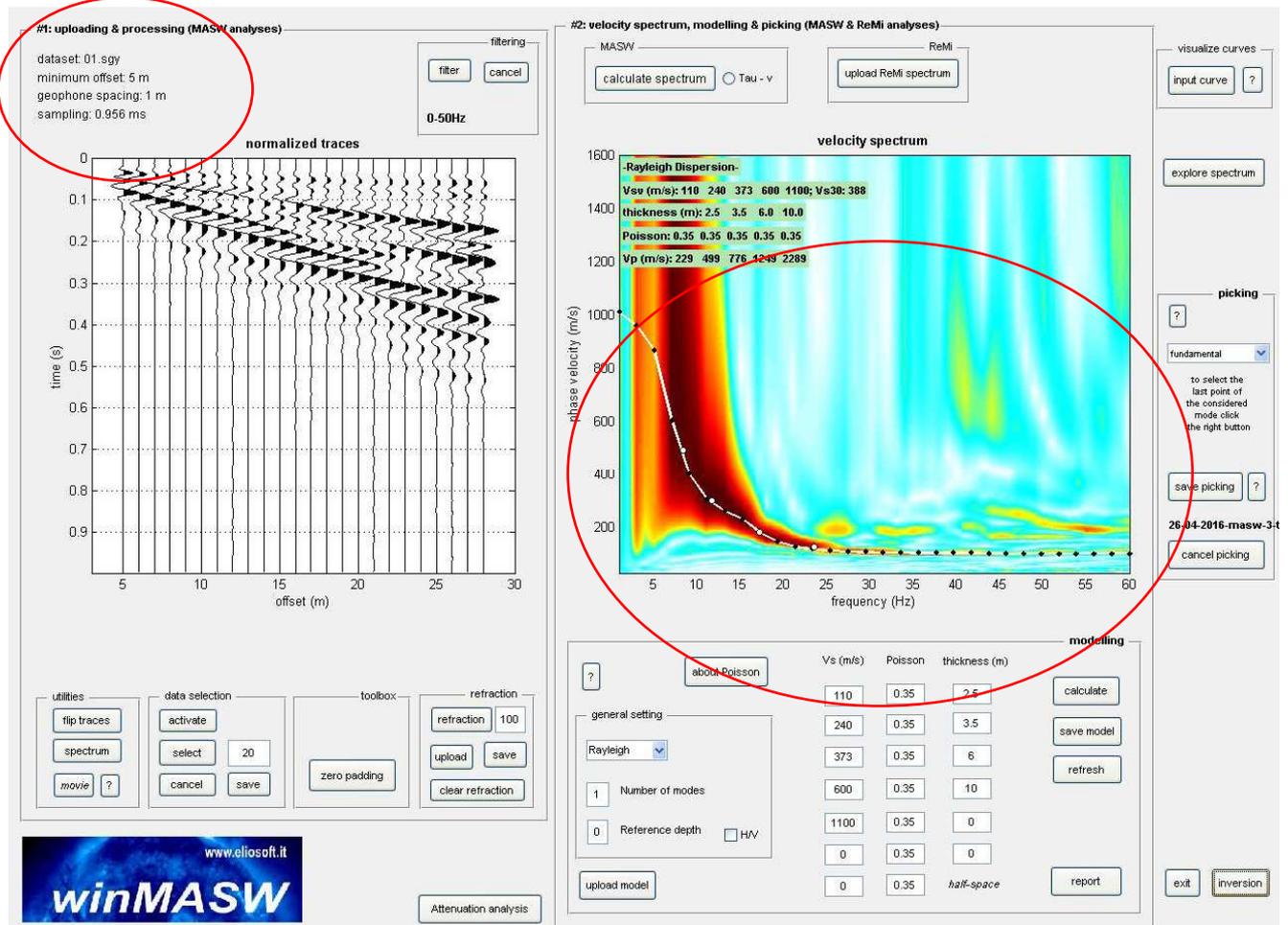
VS30 (m/s): 373 (velocità riferita al piano di campagna)

In accordo con la Normativa vigente, il valore di V_{s30} deve riferirsi alla profondità del piano di posa delle fondazioni. Nel progetto in esame, con la D.L. è stato ipotizzato un piano di posa delle fondazioni coincidente col piano di campagna, in conseguenza di ciò è stato ottenuto il seguente risultato:

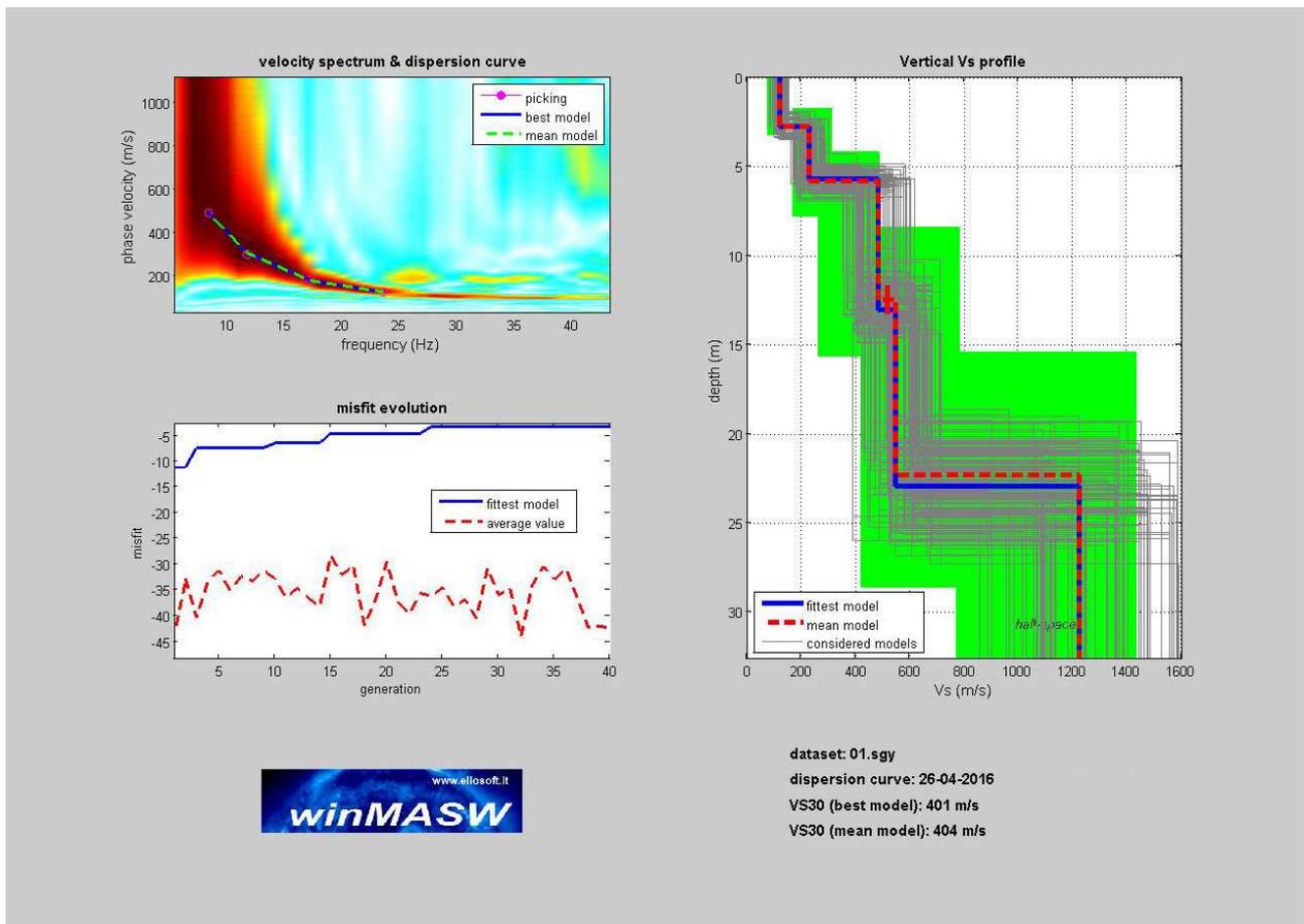
piano di posa delle fondazioni = 0.00mt, V_{s30} = 373m/s, Periodo = 0.24s, Frequenza 4.2Hz



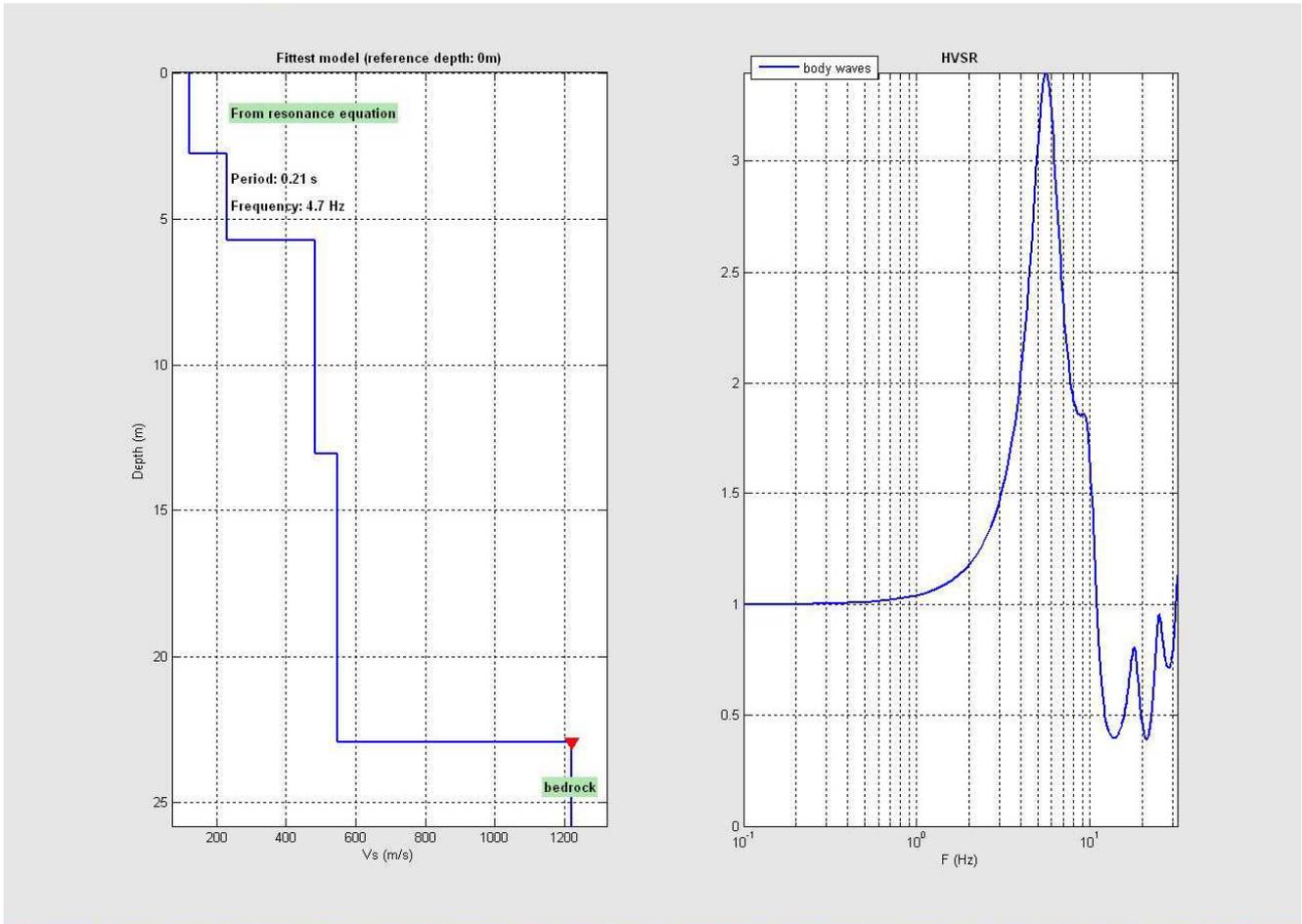
MASW 3



Sulla sinistra i dati di campagna, sulla destra, lo spettro di velocità con la curva di dispersione identificata.



Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato (vedi anche Tabella 1) (modello "migliore" e medio sono tipicamente assolutamente analoghi). In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli *Algoritmi Genetici*).



Modellazione del rapporto spettrale H/V a partire dal profilo verticale della VS individuato.

Spessore (m)	Vs (m/s)	Modulo di taglio (MPa)
2.8	121	
3.0	230	
6.7	483	
9.9	548	
Semi-spazio	1221	

tab n° 1

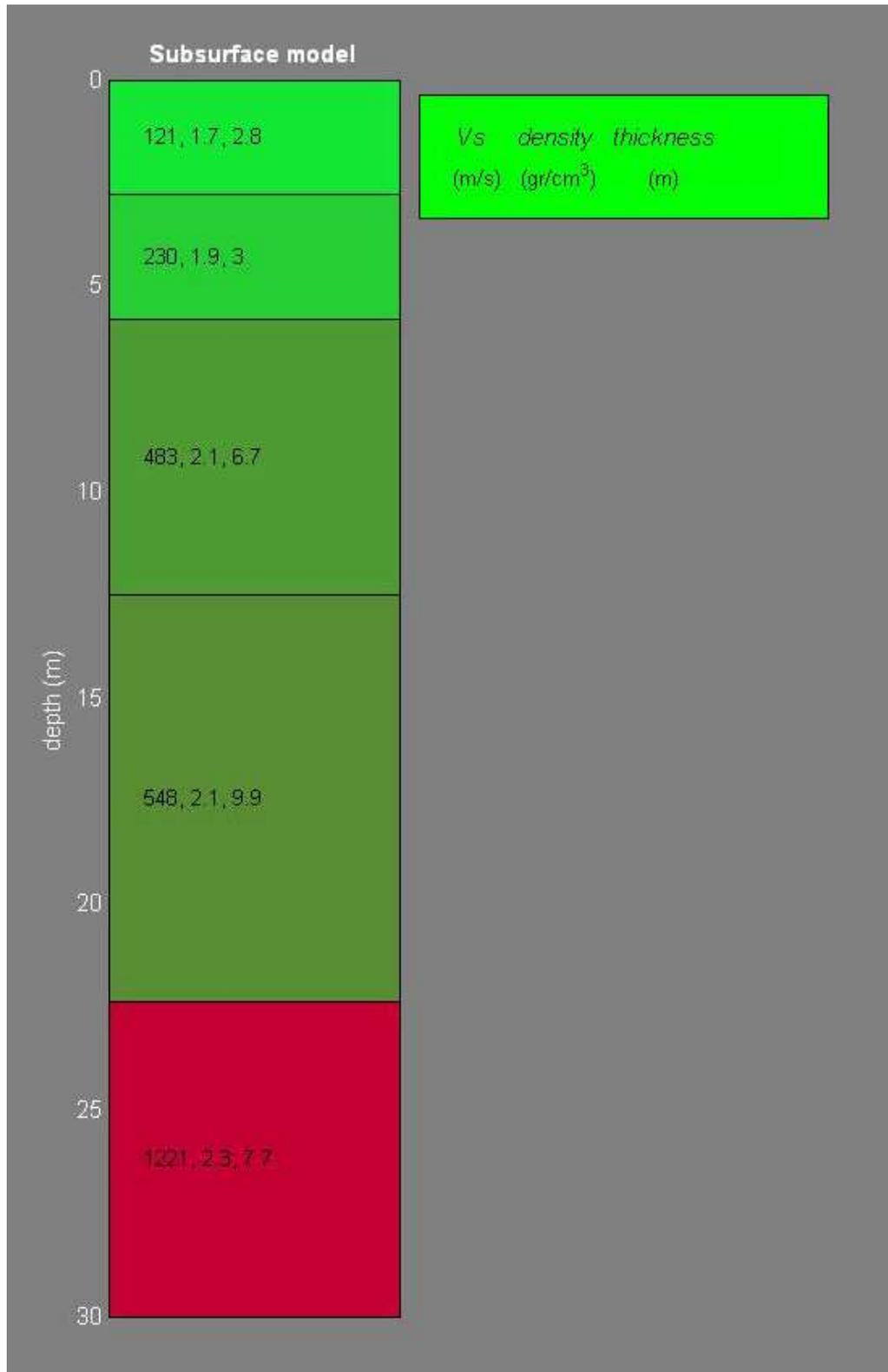


Plants s.r.l.

C.da San Pietro Il trav. - 92100 AGRIGENTO
Casella Postale 135 - Tel./Fax: 0922 437950
www.geoplants.it - info@geoplants.it
Partita IVA 0261417 084 9

Sondaggi - Consolidamenti - Impianti

MODULO RDP - RAPPORTO DI PROVA



11. RIEPILOGO DATI

Mean model

Vs (m/s): 121, 230, 483, 548, 1221

Thickness (m): 2.8, 3.0, 6.7, 9.9

Standard deviations (m/s): 0.0, 0.1, 0.8, 0.0

Density (gr/cm³): 1.72, 1.87, 2.05, 2.09, 2.26

Shear modulus (MPa): 25, 99, 479, 628, 3370

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and elastic moduli (please, see manual)

Vp (m/s): 256, 462, 1001, 1170, 2337

Poisson: 0.36, 0.34, 0.35, 0.36, 0.31

Bulk modulus (MPa): 79, 267, 1419, 2026, 7853

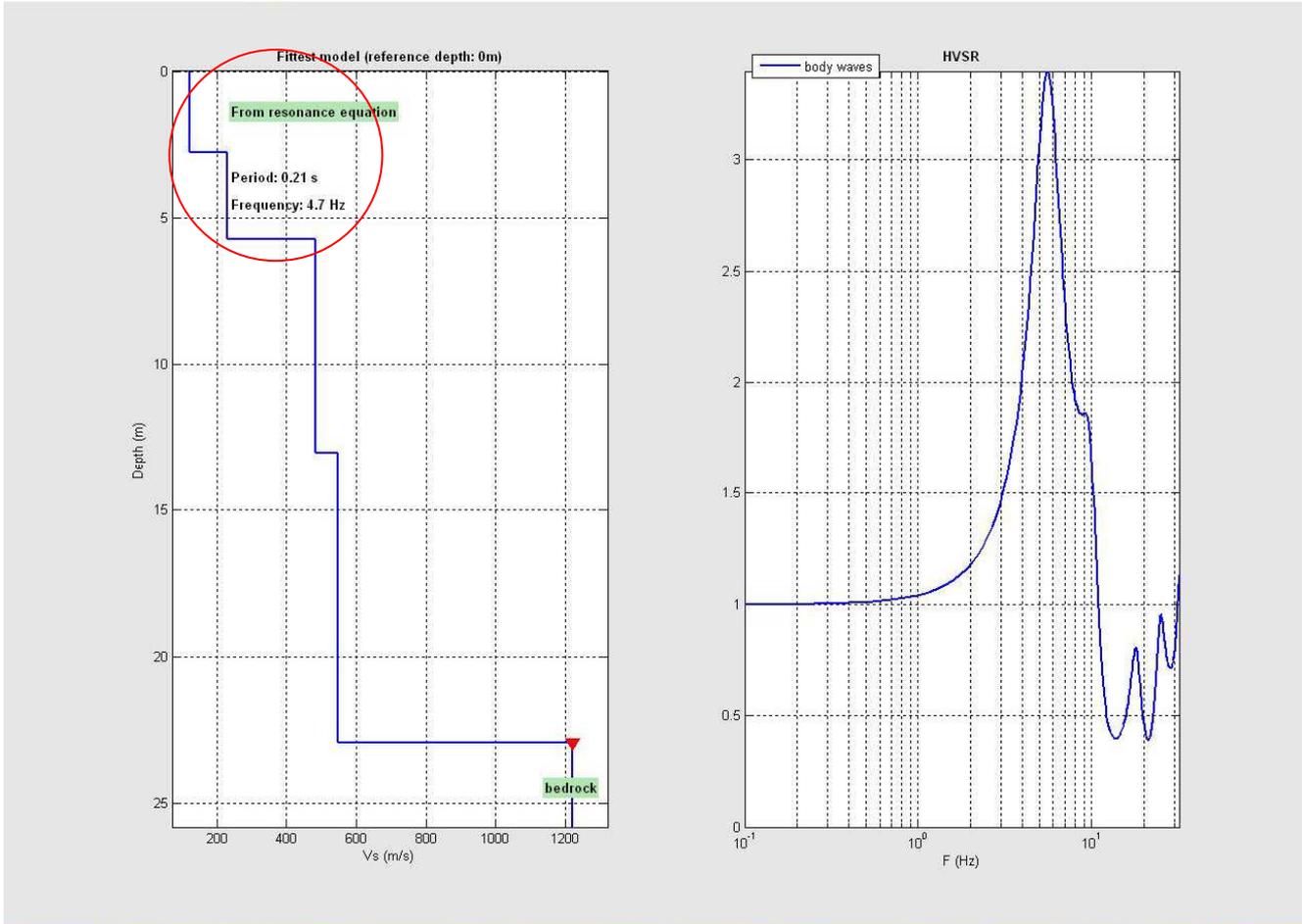
Young's modulus (MPa): 68, 264, 1292, 1708, 8845

Lamé (MPa): 63, 201, 1100, 1607, 5606

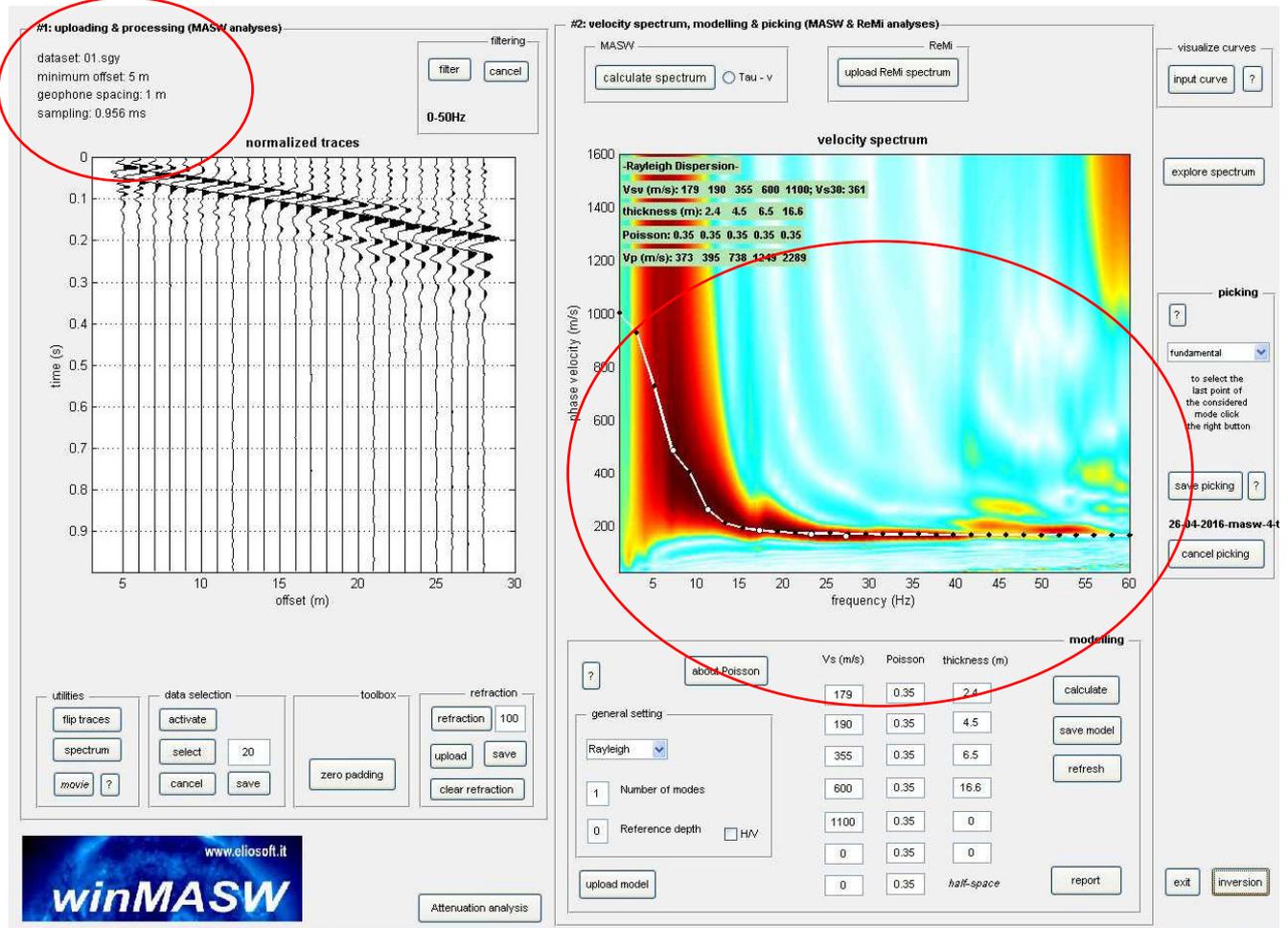
VS30 (m/s): 404 (velocità riferita al piano di campagna)

In accordo con la Normativa vigente, il valore di V_{s30} deve riferirsi alla profondità del piano di posa delle fondazioni. Nel progetto in esame, con la D.L. è stato ipotizzato un piano di posa delle fondazioni coincidente col piano di campagna, in conseguenza di ciò è stato ottenuto il seguente risultato:

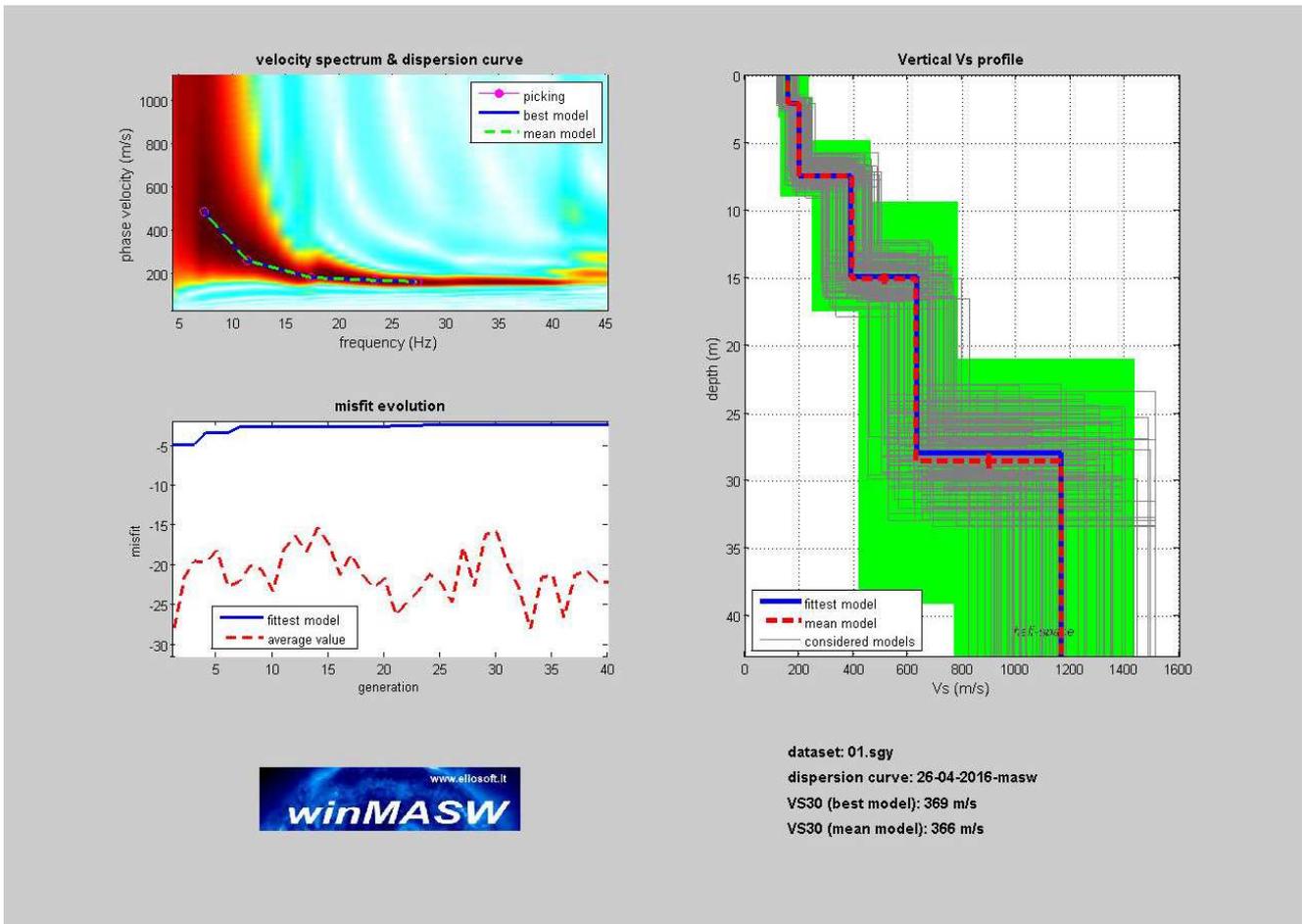
piano di posa delle fondazioni = 0.00mt, V_{s30} = 404m/s, Periodo = 0.21s, Frequenza 4.7Hz



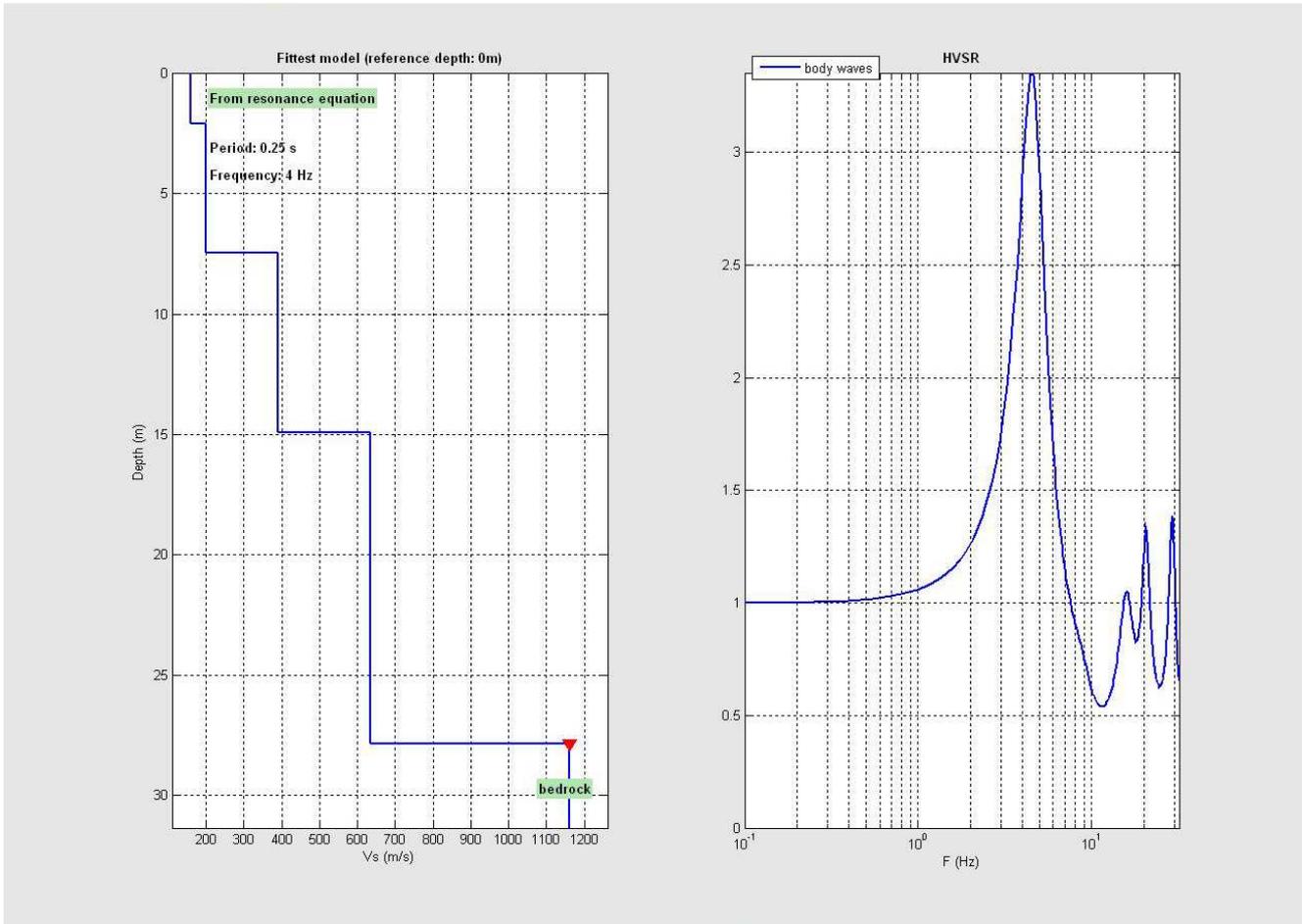
MASW 4



Sulla sinistra i dati di campagna, sulla destra, lo spettro di velocità con la curva di dispersione identificata.



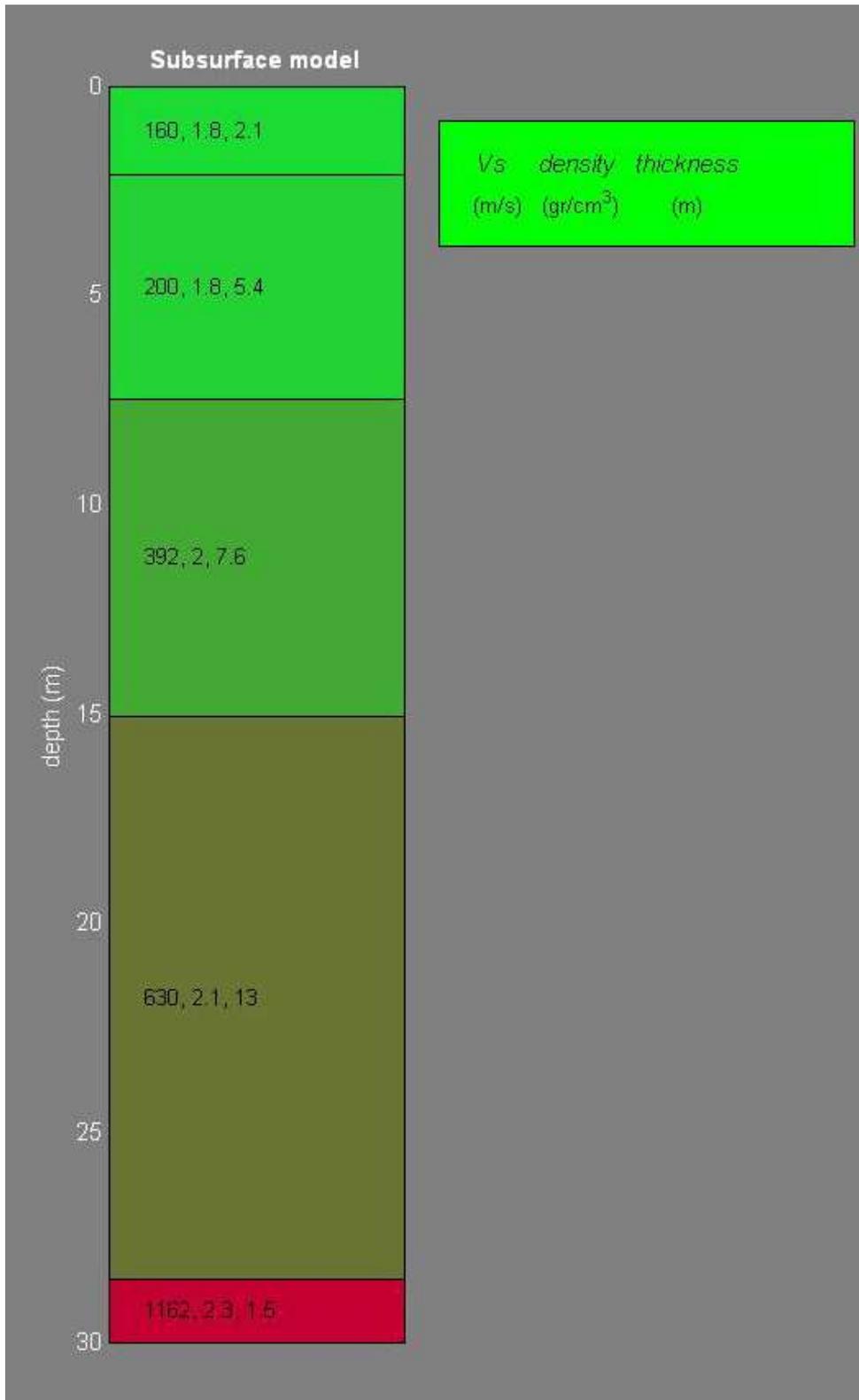
Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato (vedi anche Tabella 1) (modello "migliore" e medio sono tipicamente assolutamente analoghi). In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli *Algoritmi Genetici*).



Modellazione del rapporto spettrale H/V a partire dal profilo verticale della VS individuato.

Spessore (m)	Vs (m/s)	Modulo di taglio (MPa)
2.1	160	
5.4	200	
7.6	392	
13.4	630	
Semi-spazio	1162	

tab n° 1



12. RIEPILOGO DATI

Mean model

Vs (m/s): 160, 200, 392, 630, 1162

Standard deviations (m/s): 0, 1, 3, 10, 0

Thickness (m): 2.1, 5.4, 7.6, 13.4

Standard deviations (m/s): 0.1, 0.0, 0.4, 0.6

Density (gr/cm³): 1.78, 1.84, 2.01, 2.12, 2.25

Shear modulus (MPa): 46, 74, 310, 840, 3039

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and elastic moduli (please, see manual)

Vp (m/s): 321, 417, 850, 1299, 2244

Poisson: 0.33, 0.35, 0.36, 0.35, 0.32

Bulk modulus (MPa): 123, 222, 1043, 2452, 7281

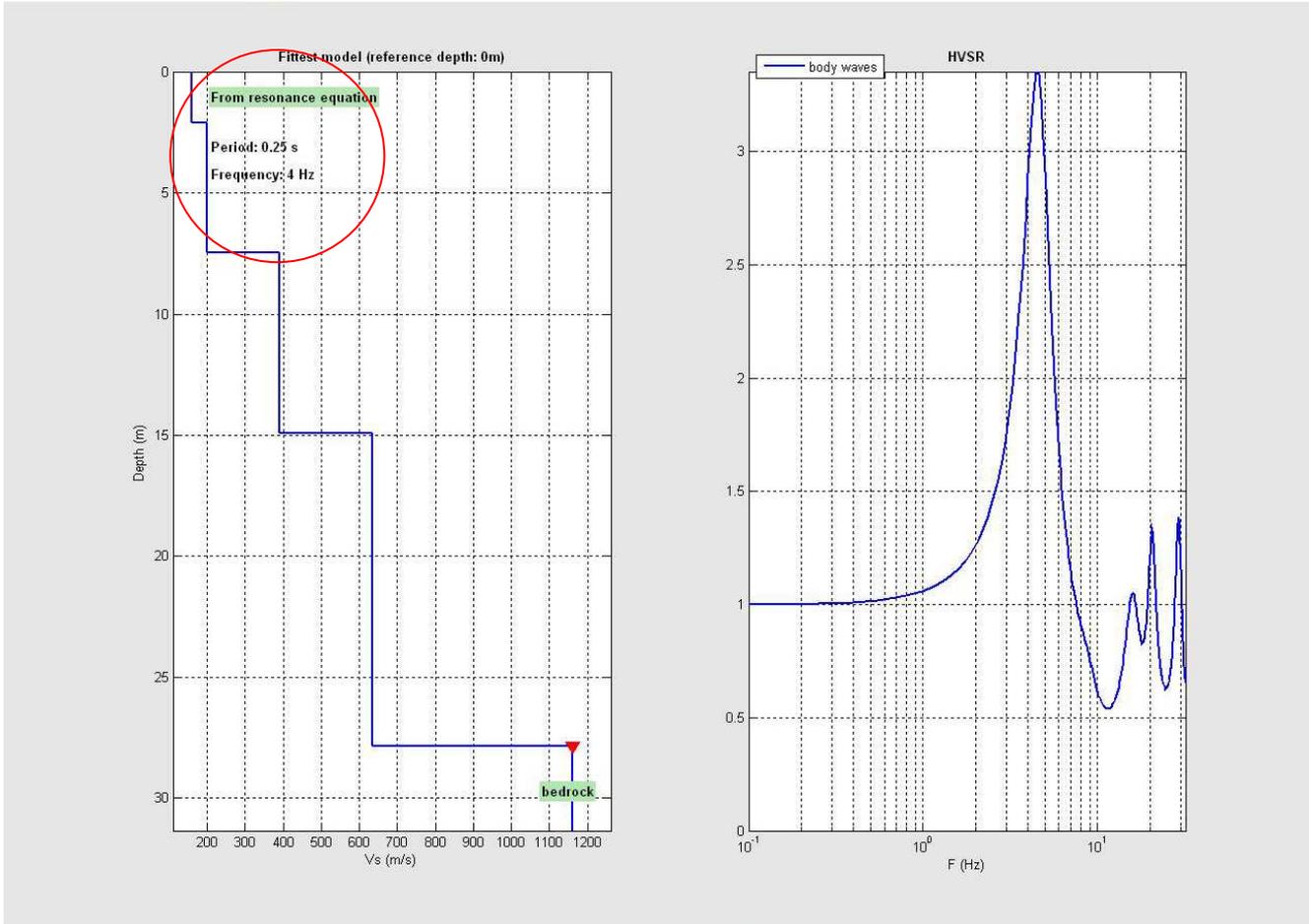
Young's modulus (MPa): 122, 199, 845, 2263, 8003

Lamé (MPa): 92, 173, 836, 1892, 5255

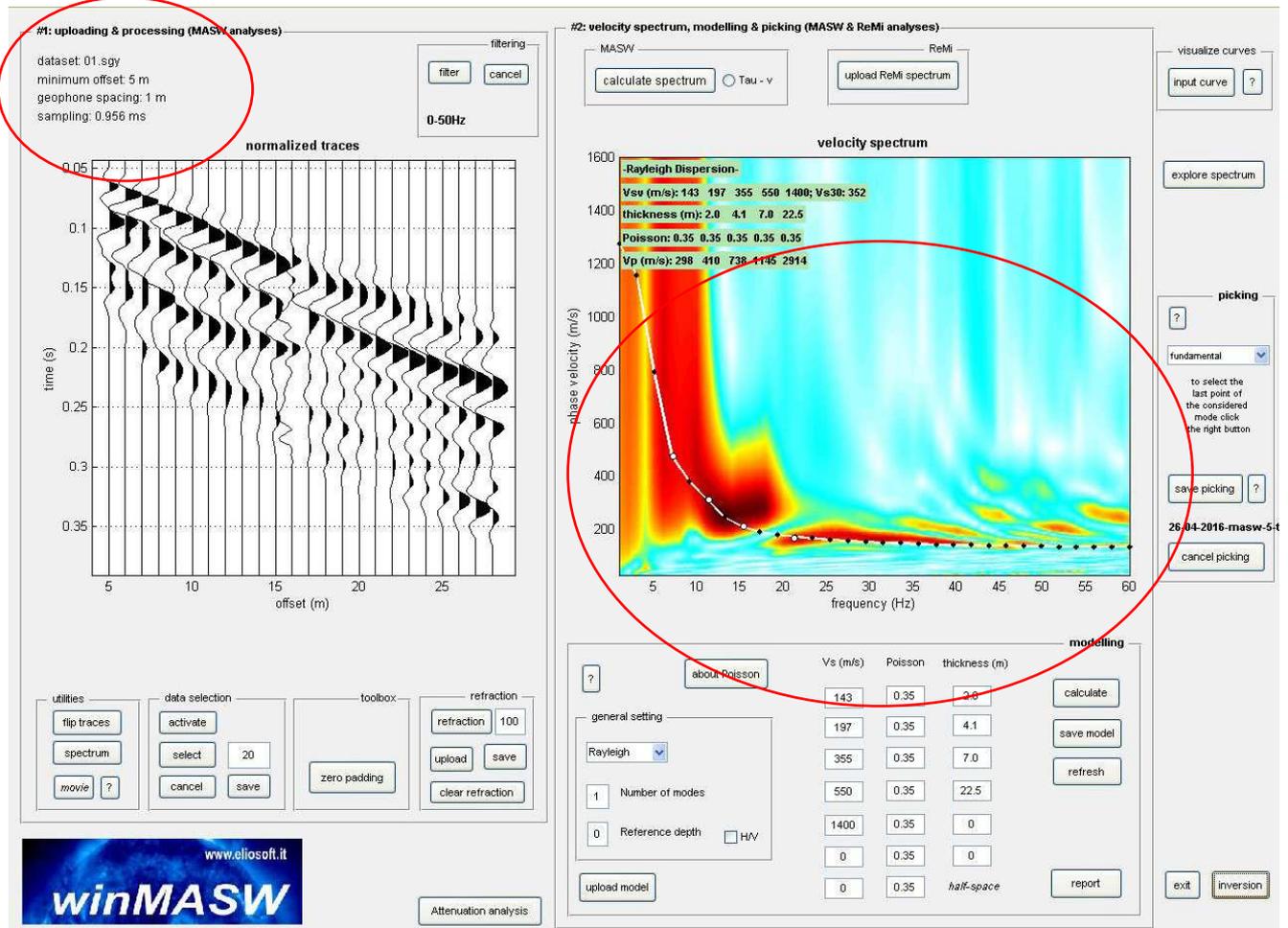
VS30 (m/s): 366 (velocità riferita al piano di campagna)

In accordo con la Normativa vigente, il valore di V_{s30} deve riferirsi alla profondità del piano di posa delle fondazioni. Nel progetto in esame, con la D.L. è stato ipotizzato un piano di posa delle fondazioni coincidente col piano di campagna, in conseguenza di ciò è stato ottenuto il seguente risultato:

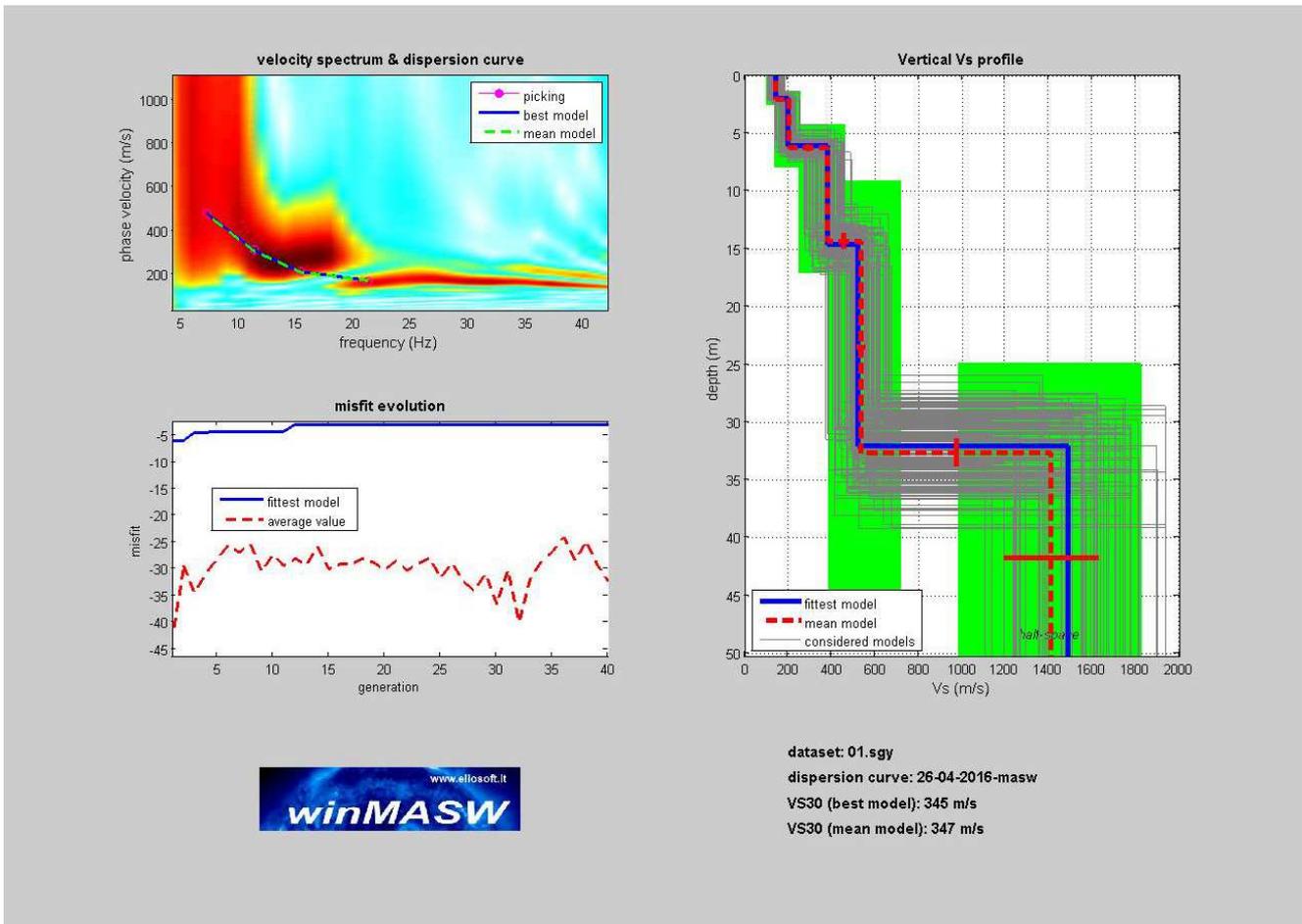
piano di posa delle fondazioni = 0.00mt, V_{s30} = 366m/s, Periodo = 0.25s, Frequenza 4.0Hz



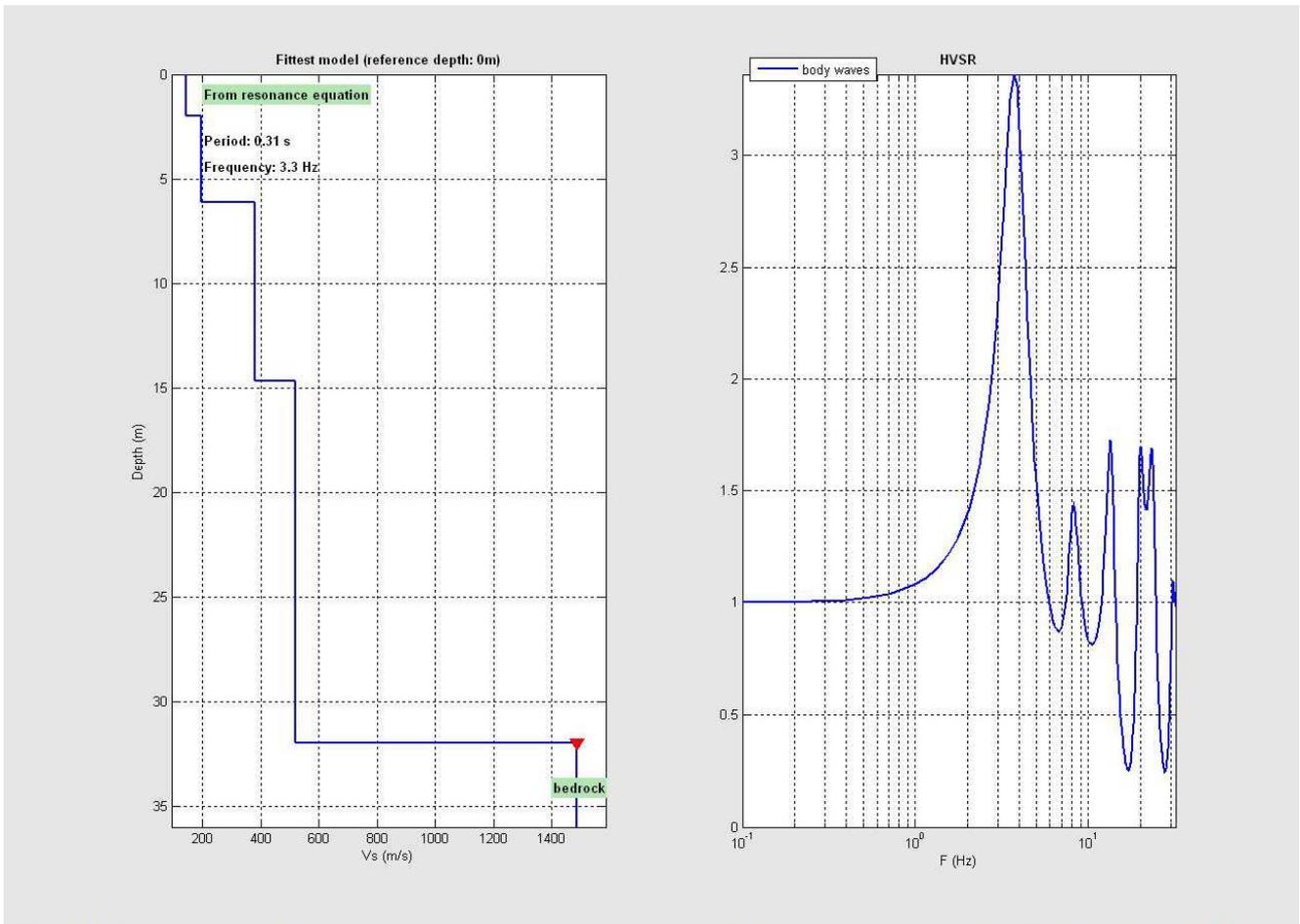
MASW 5



Sulla sinistra i dati di campagna, sulla destra, lo spettro di velocità con la curva di dispersione identificata.



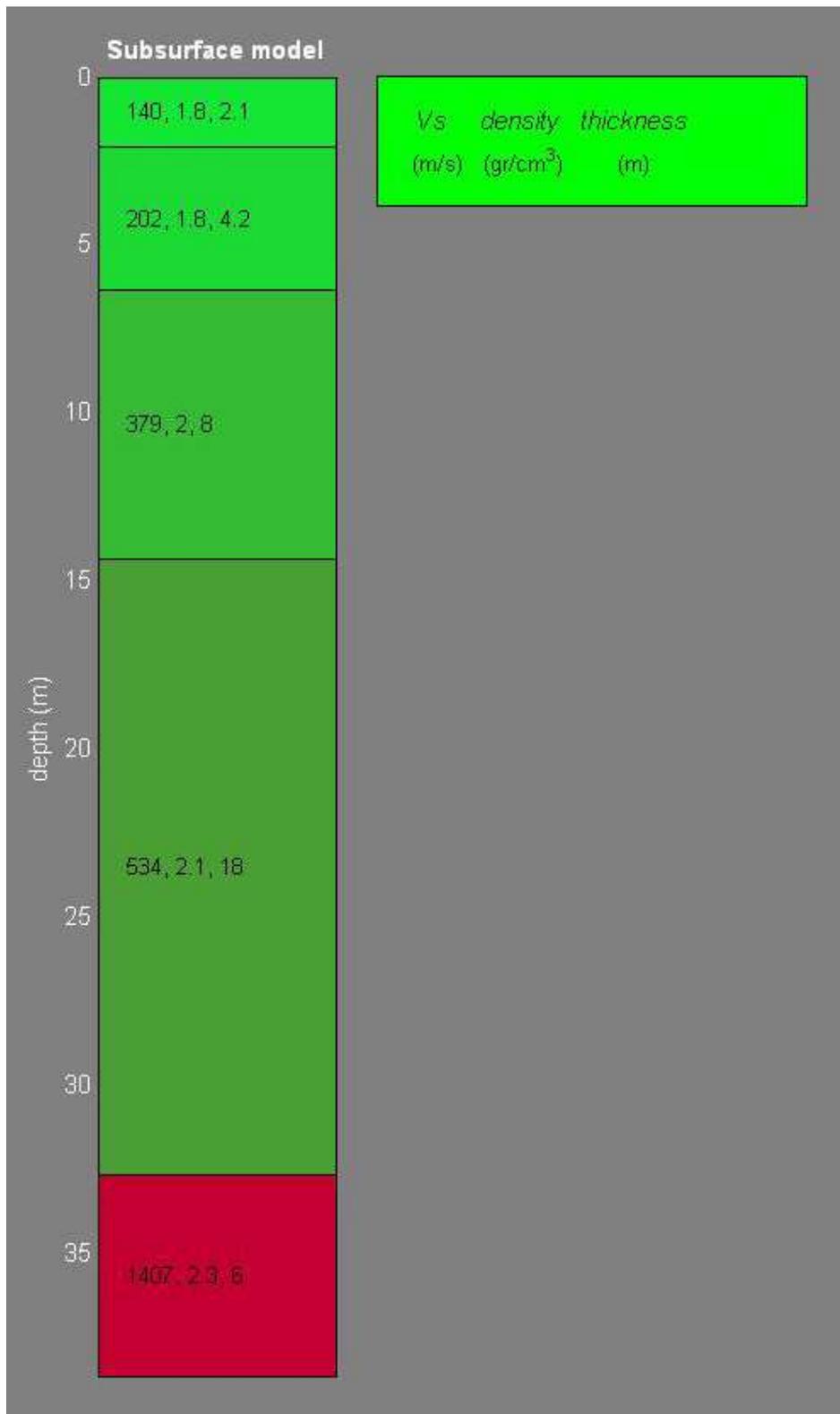
Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato (vedi anche Tabella 1) (modello "migliore" e medio sono tipicamente assolutamente analoghi). In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli *Algoritmi Genetici*).



Modellazione del rapporto spettrale H/V a partire dal profilo verticale della VS individuato.

Spessore (m)	Vs (m/s)	Modulo di taglio (MPa)
2.1	140	
4.2	202	
8.0	379	
18.3	534	
Semi-spazio	1407	

tab n° 1



13. RIEPILOGO DATI

Mean model

Vs (m/s): 140, 202, 379, 534, 1407

Standard deviations (m/s): 6, 7, 4, 19, 216

Thickness (m): 2.1, 4.2, 8.0, 18.3

Standard deviations (m/s): 0.2, 0.3, 0.6, 1.2

Density (gr/cm³): 1.76, 1.84, 2.00, 2.07, 2.30

Shear modulus (MPa): 34, 75, 287, 589, 4563

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and elastic moduli (please, see manual)

Vp (m/s): 293, 419, 804, 1047, 2804

Poisson: 0.35, 0.35, 0.36, 0.32, 0.33

Bulk modulus (MPa): 105, 223, 910, 1479, 12038

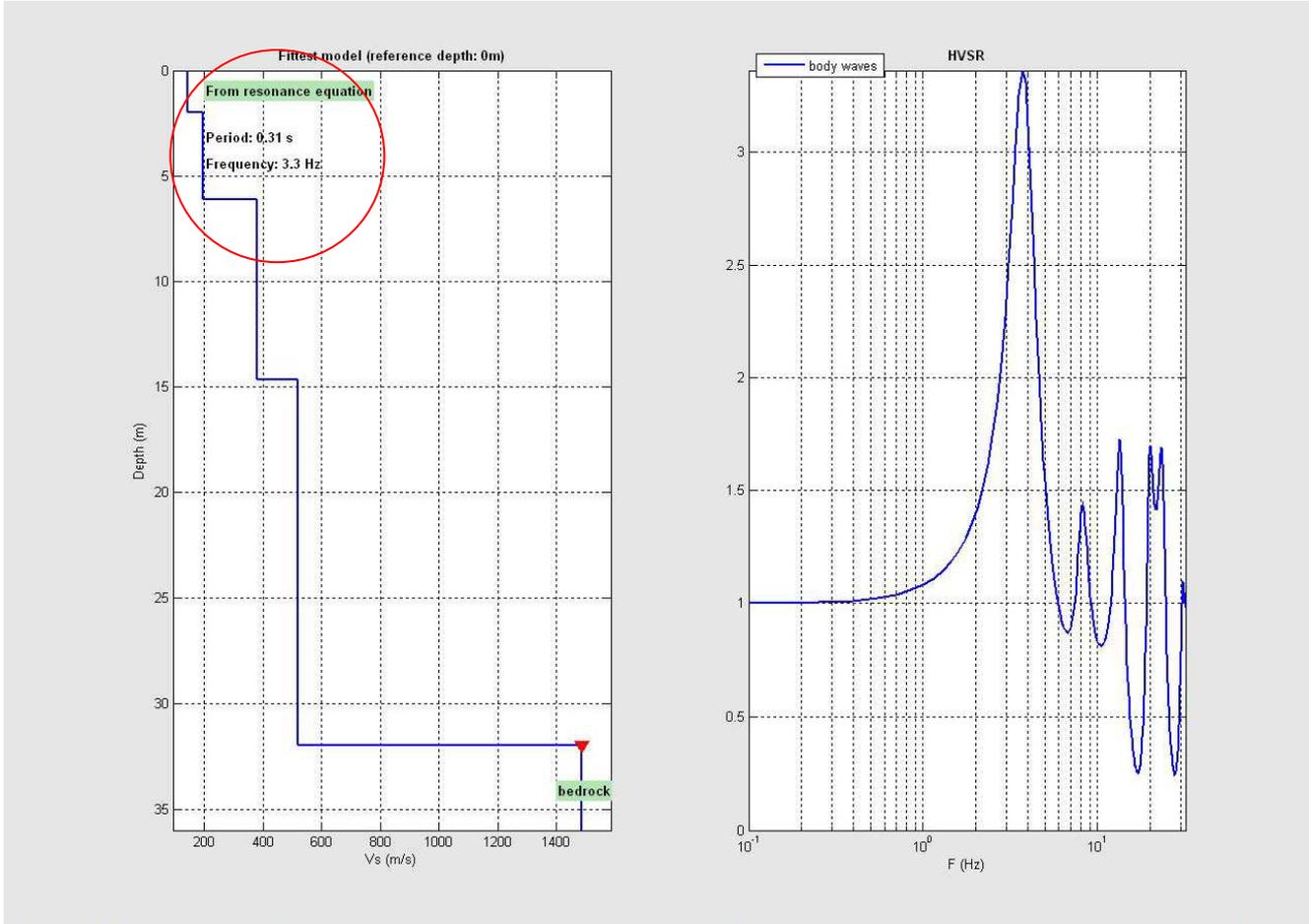
Young's modulus (MPa): 93, 203, 780, 1560, 12153

Lamé (MPa): 82, 173, 719, 1086, 8996

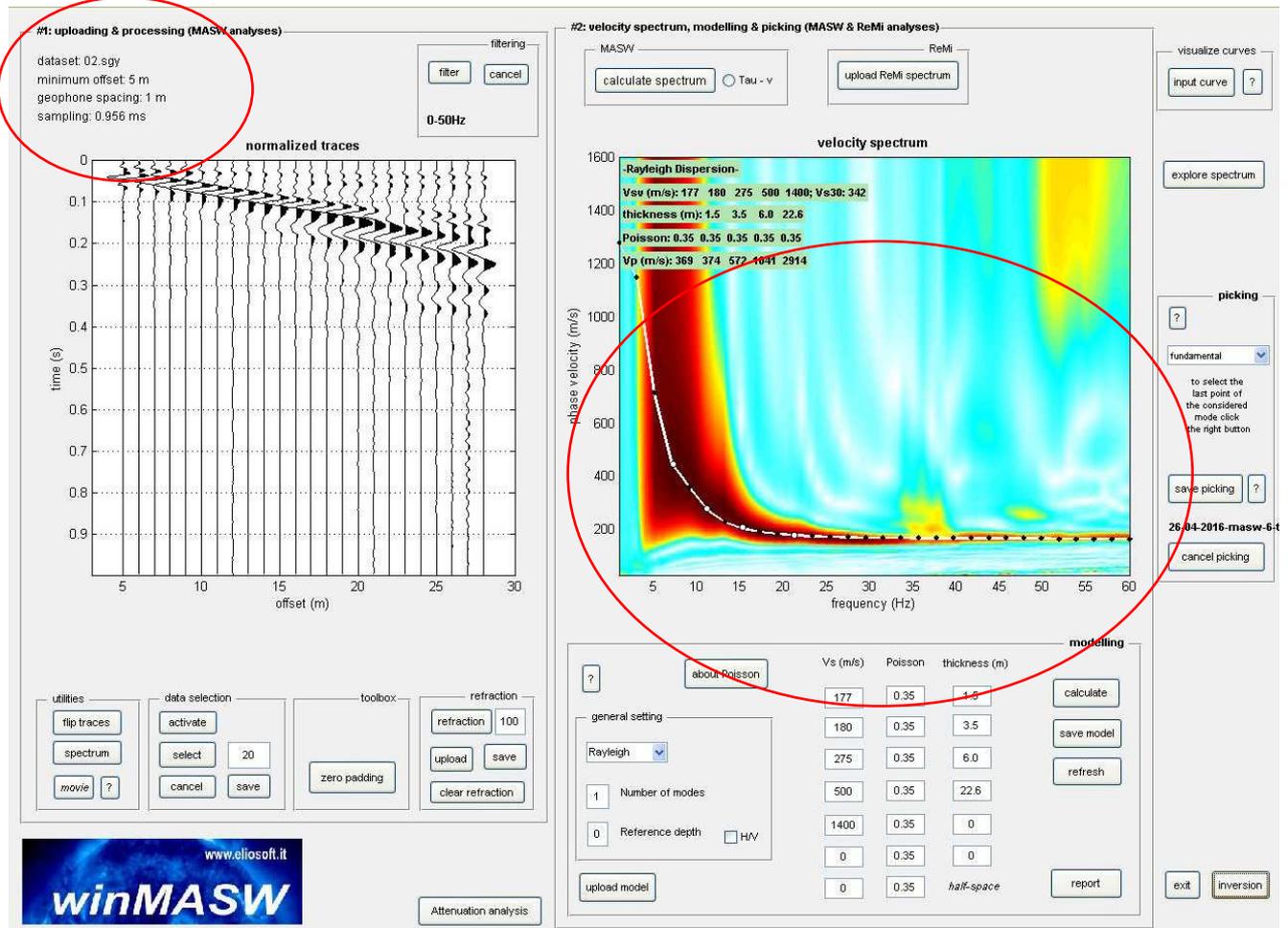
VS30 (m/s): 347 (velocità riferita al piano di campagna)

In accordo con la Normativa vigente, il valore di V_{s30} deve riferirsi alla profondità del piano di posa delle fondazioni. Nel progetto in esame, con la D.L. è stato ipotizzato un piano di posa delle fondazioni coincidente col piano di campagna, in conseguenza di ciò è stato ottenuto il seguente risultato:

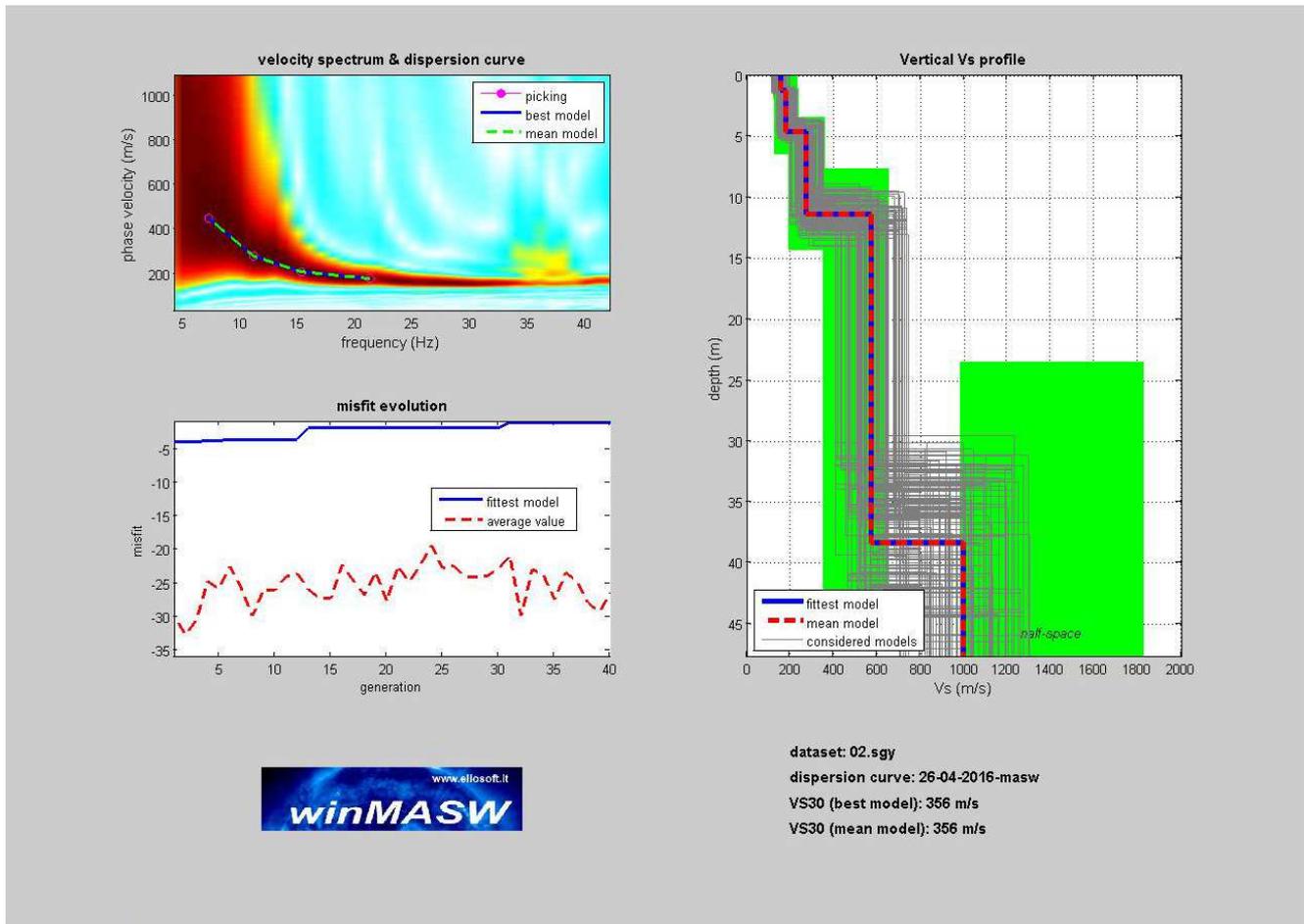
piano di posa delle fondazioni = 0.00mt, V_{s30} = 347m/s, Periodo = 0.31s, Frequenza 3.3Hz



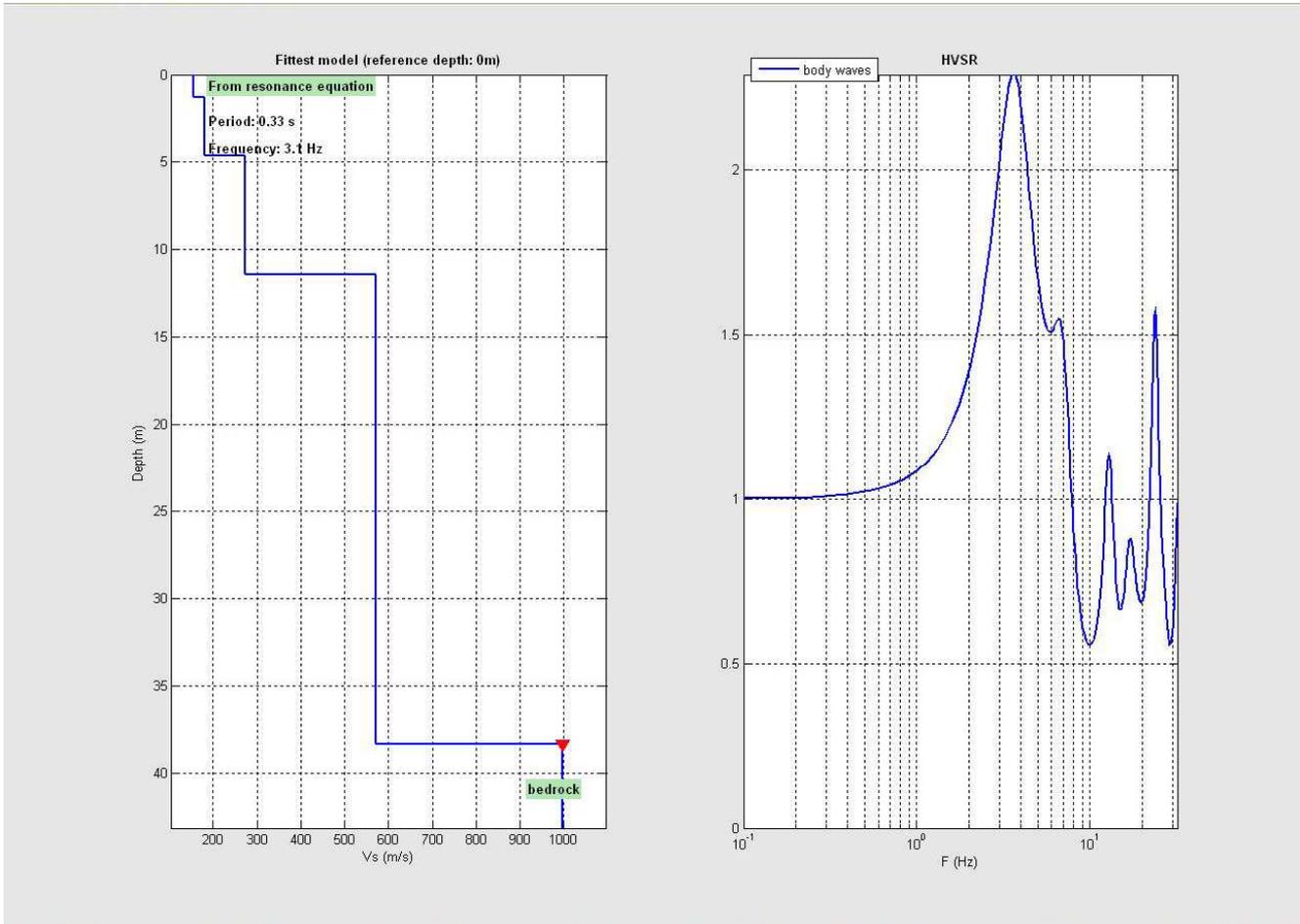
MASW 6



Sulla sinistra i dati di campagna, sulla destra, lo spettro di velocità con la curva di dispersione identificata.



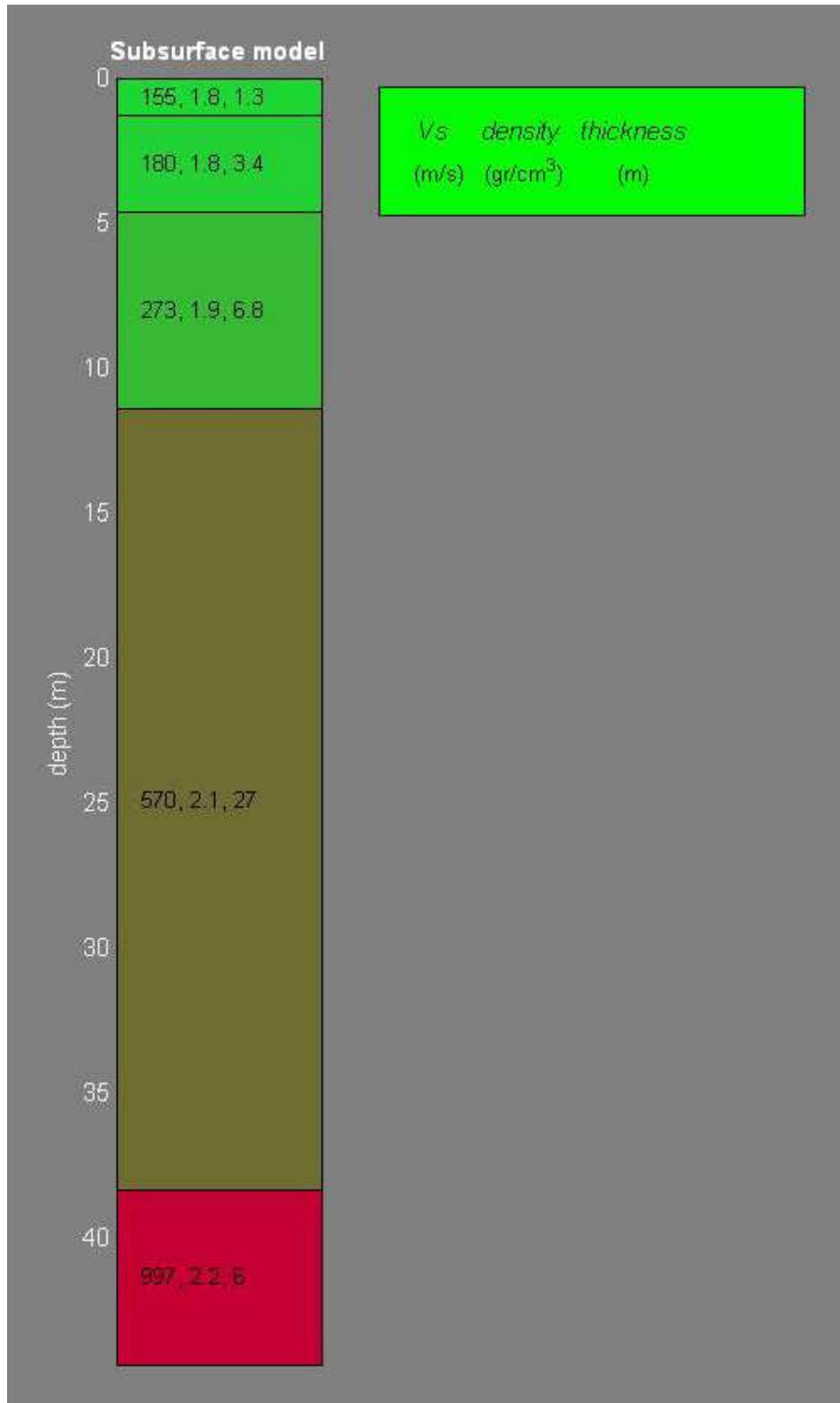
Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato (vedi anche Tabella 1) (modello "migliore" e medio sono tipicamente assolutamente analoghi). In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli *Algoritmi Genetici*).



Modellazione del rapporto spettrale H/V a partire dal profilo verticale della VS individuato.

Spessore (m)	Vs (m/s)	Modulo di taglio (MPa)
1.3	155	
3.4	180	
6.8	273	
26.9	570	
Semi-spazio	997	

tab n° 1



14. RIEPILOGO DATI

Mean model

Vs (m/s): 155, 180, 273, 570, 997

Thickness (m): 1.3, 3.4, 6.8, 26.9

Density (gr/cm³): 1.80, 1.82, 1.91, 2.10, 2.21

Shear modulus (MPa): 43, 59, 142, 683, 2194

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and elastic moduli (please, see manual)

Vp (m/s): 348, 382, 553, 1215, 1878

Poisson: 0.38, 0.36, 0.34, 0.36, 0.30

Bulk modulus (MPa): 160, 187, 394, 2192, 4859

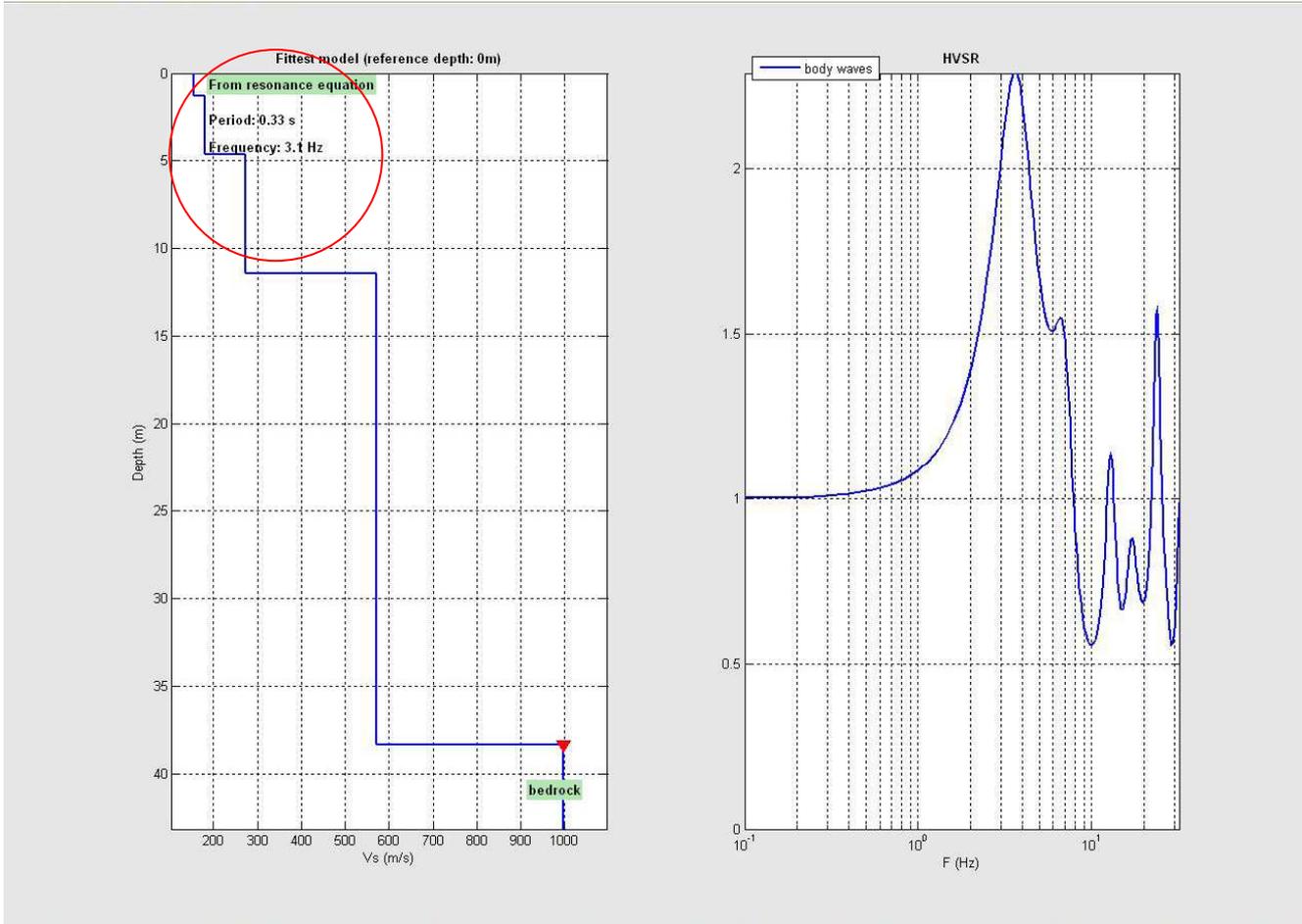
Young's modulus (MPa): 119, 160, 381, 1855, 5721

Lamé (MPa): 131, 148, 299, 1736, 3396

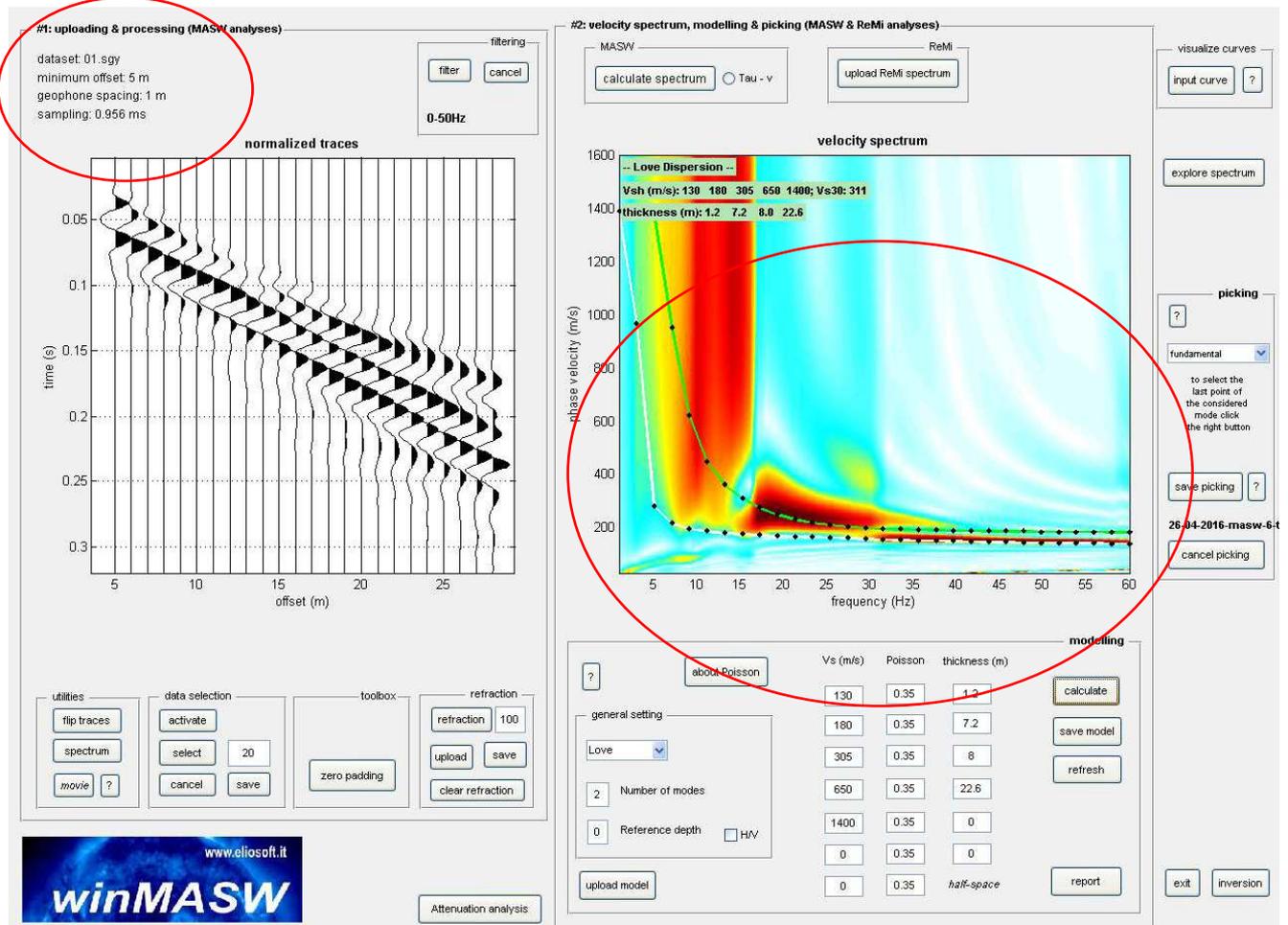
VS30 (m/s): 356 (velocità riferita al piano di campagna)

In accordo con la Normativa vigente, il valore di V_{s30} deve riferirsi alla profondità del piano di posa delle fondazioni. Nel progetto in esame, con la D.L. è stato ipotizzato un piano di posa delle fondazioni coincidente col piano di campagna, in conseguenza di ciò è stato ottenuto il seguente risultato:

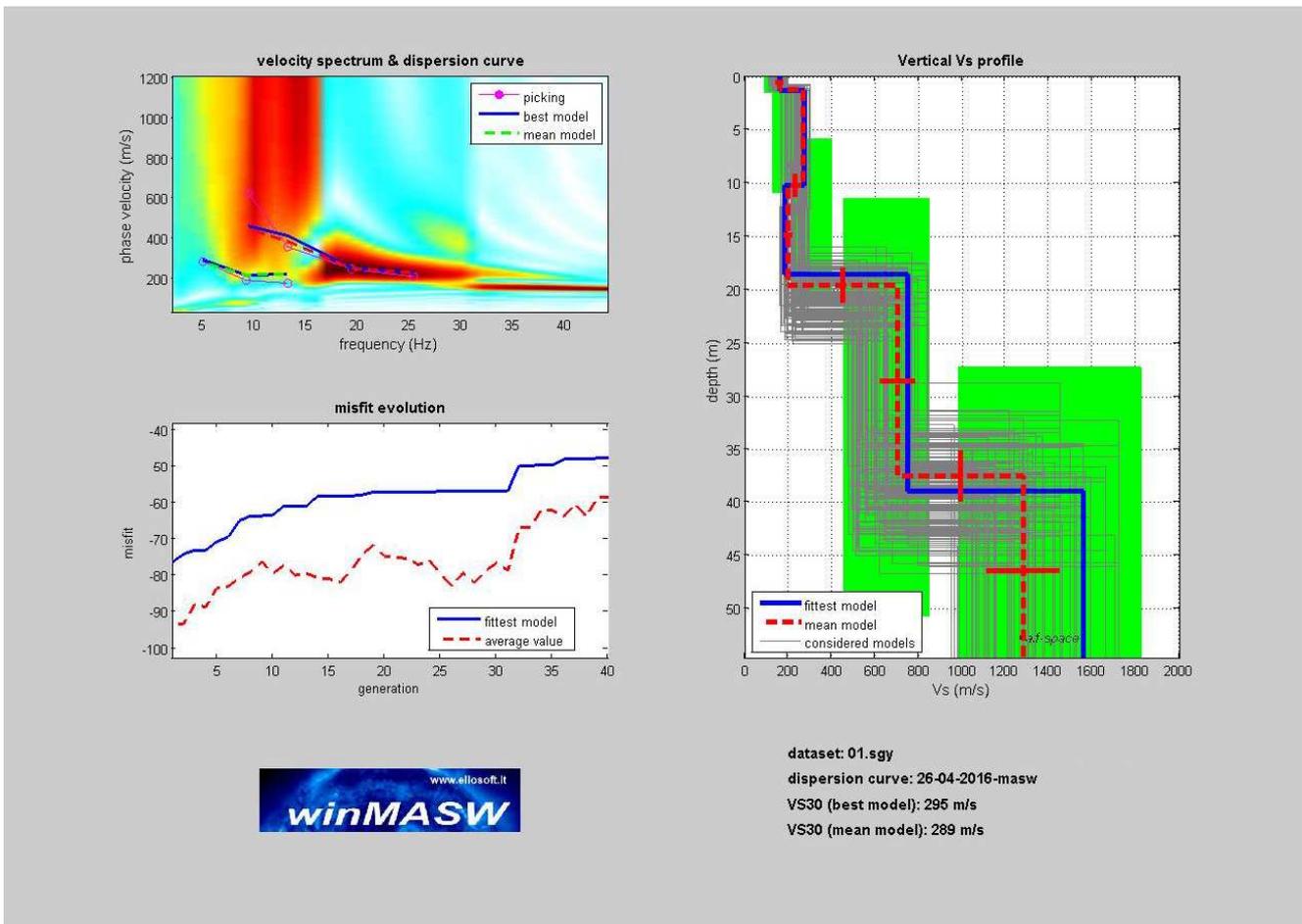
piano di posa delle fondazioni = 0.00mt, V_{s30} = 356m/s, Periodo = 0.33s, Frequenza 3.1Hz



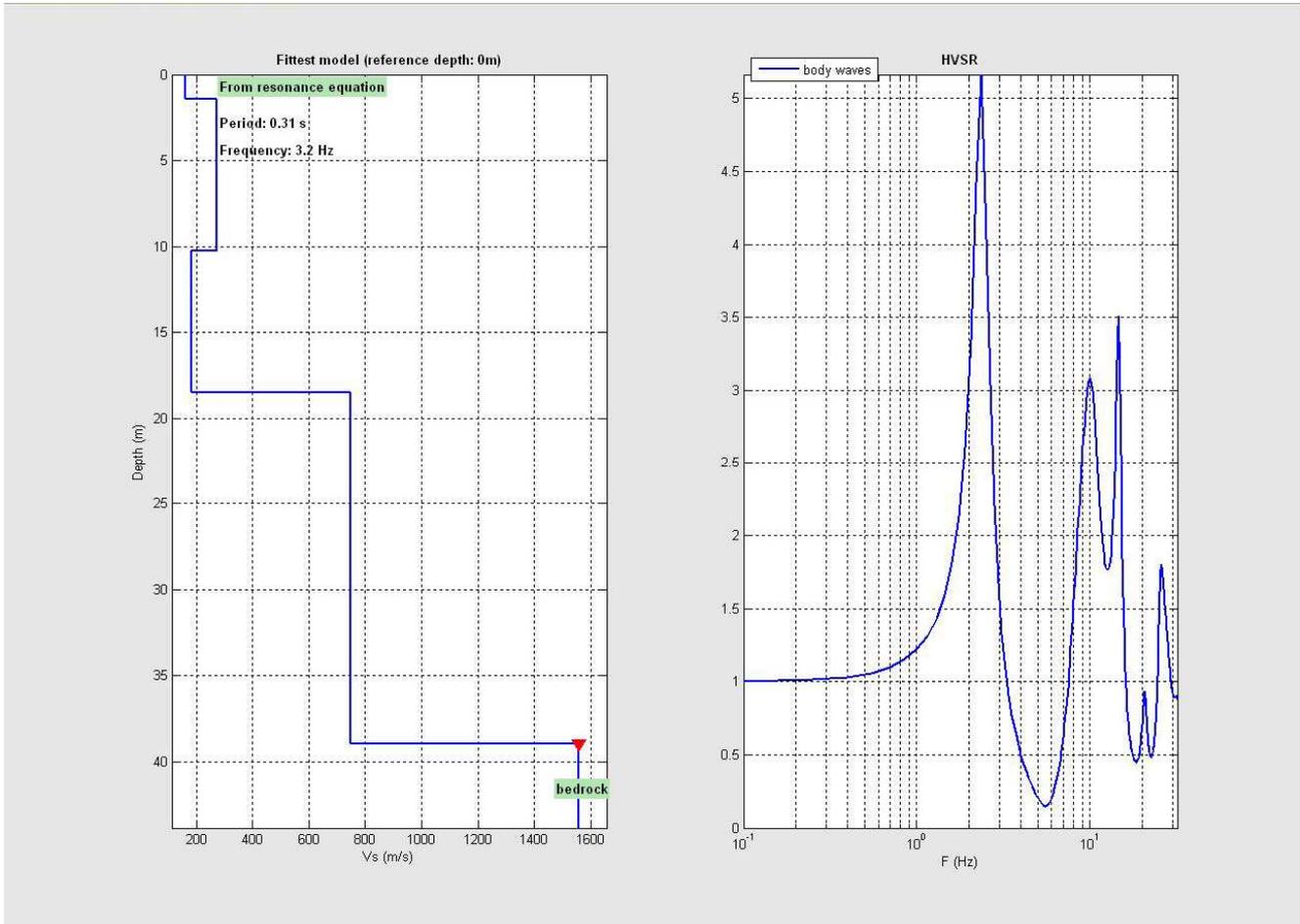
MASW 7



Sulla sinistra i dati di campagna, sulla destra, lo spettro di velocità con la curva di dispersione identificata.



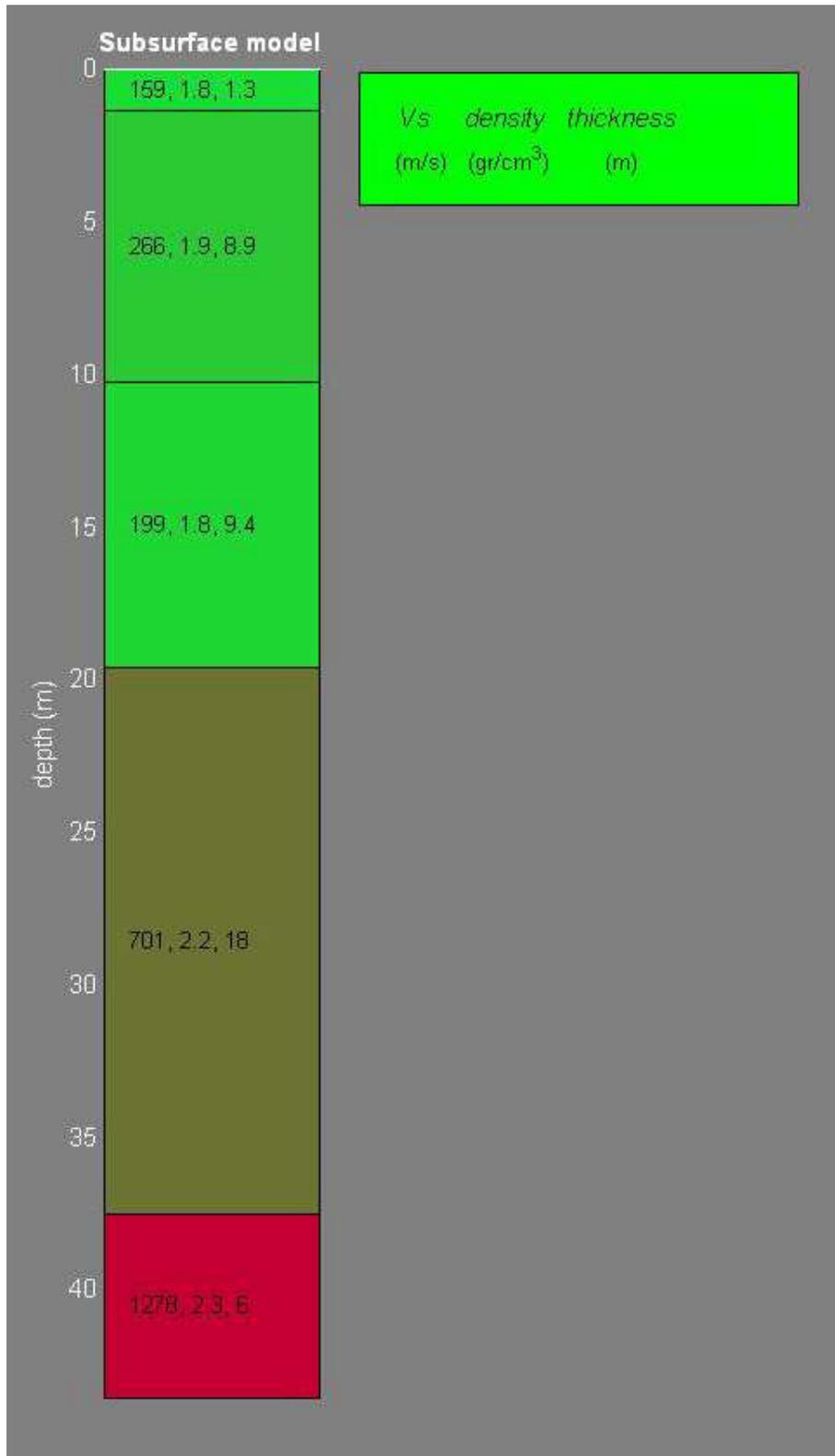
Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato (vedi anche Tabella 1) (modello "migliore" e medio sono tipicamente assolutamente analoghi). In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli *Algoritmi Genetici*).



Modellazione del rapporto spettrale H/V a partire dal profilo verticale della VS individuato.

Spessore (m)	Vs (m/s)	Modulo di taglio (MPa)
1.3	159	
8.9	266	
9.4	199	
17.9	701	
Semi-spazio	1278	

tab n° 1



15. RIEPILOGO DATI

Mean model

Vs (m/s): 159, 266, 199, 701, 1278

Standard deviations (m/s): 15, 8, 17, 78, 167

Thickness (m): 1.3, 8.9, 9.4, 17.9

Standard deviations (m/s): 0.1, 1.0, 1.6, 2.4

Density (gr/cm³): 1.79, 1.94, 1.84, 2.17, 2.32

Shear modulus (MPa): 45, 137, 73, 1066, 3786

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and elastic moduli (please, see manual)

Vp (m/s): 338, 615, 412, 1603, 2959

Poisson: 0.36, 0.38, 0.35, 0.38, 0.39

Bulk modulus (MPa): 144, 550, 215, 4152, 15248

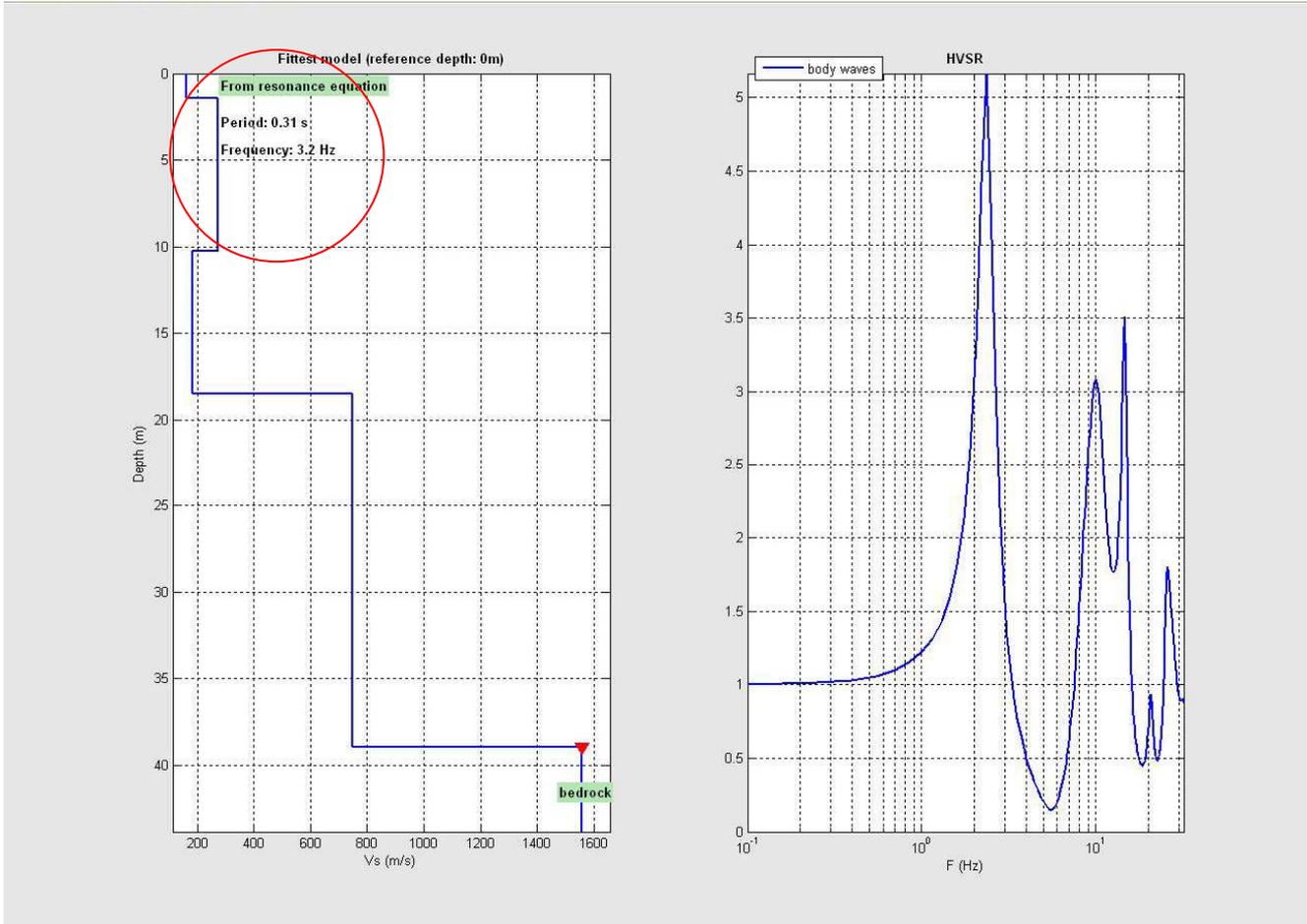
Young's modulus (MPa): 123, 379, 196, 2945, 10490

Lamé (MPa): 114, 458, 167, 3441, 12724

VS30 (m/s): 289 (velocità riferita al piano di campagna)

In accordo con la Normativa vigente, il valore di V_{s30} deve riferirsi alla profondità del piano di posa delle fondazioni. Nel progetto in esame, con la D.L. è stato ipotizzato un piano di posa delle fondazioni coincidente col piano di campagna, in conseguenza di ciò è stato ottenuto il seguente risultato:

piano di posa delle fondazioni = 0.00mt, V_{s30} = 289m/s, Periodo = 0.31s, Frequenza 3.2Hz



MASW 7bis

#1: uploading & processing (MASW analyses)

dataset: 12.sgy
 minimum offset: 4 m
 geophone spacing: 1 m
 sampling: 0.956 ms

filtering:

normalized traces

time (s) vs offset (m)

utilities:

data selection: 20

toolbox:

refraction: 100

winMASW www.eliosoft.it

Attenuation analysis

#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW & ReMi analyses)

MASW Tau - v ReMi

visualize curves:

velocity spectrum

-Rayleigh Dispersion-
 Vsw (m/s): 210 250 550 700 700; Vs30: 428
 thickness (m): 5.5 3.0 3.0 15.0
 Poisson: 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35
 Vp (m/s): 437 520 1146 1487 1487

phase velocity (m/s) vs frequency (Hz)

picking:

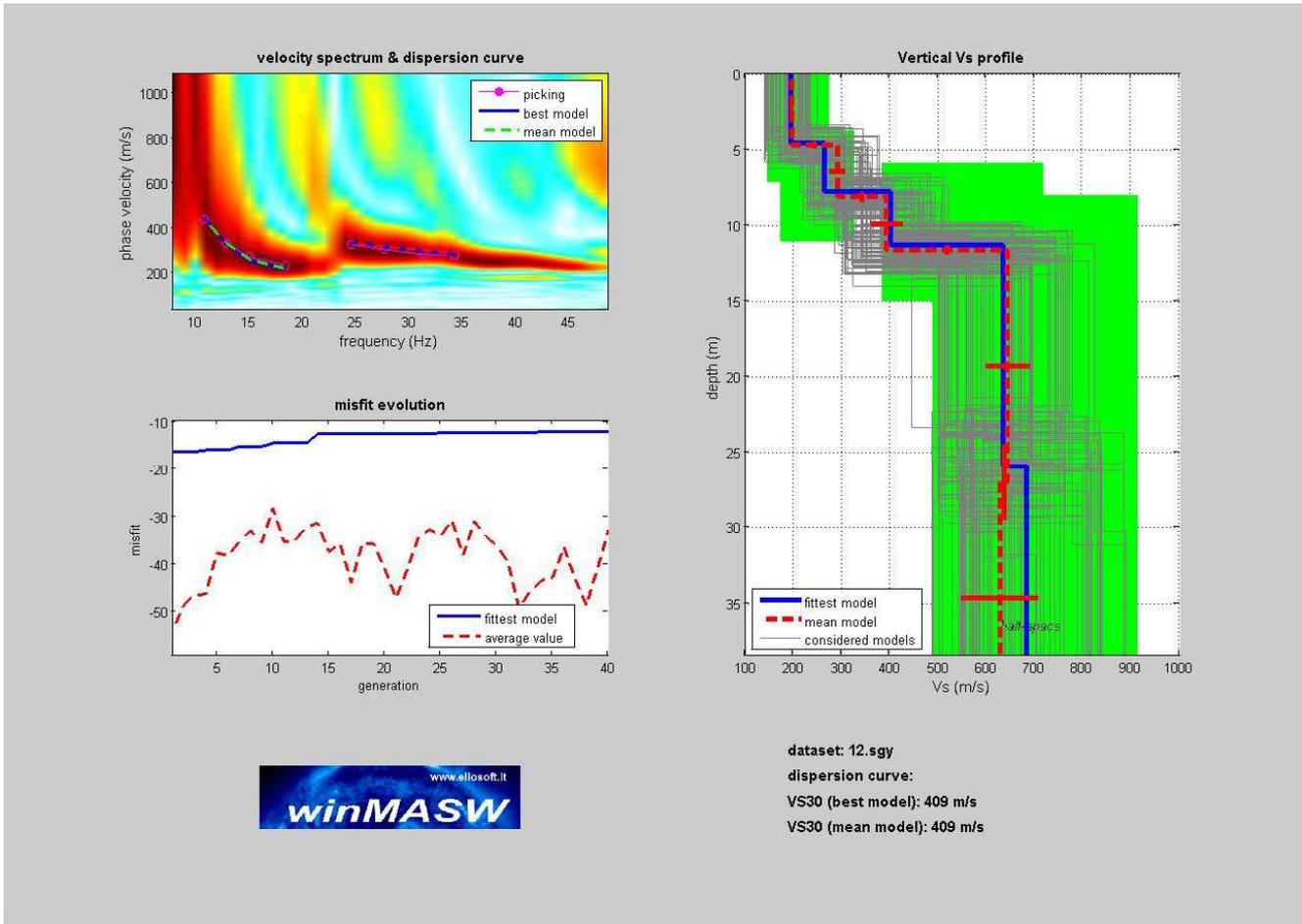
26.04.2016-masw-15

modelling

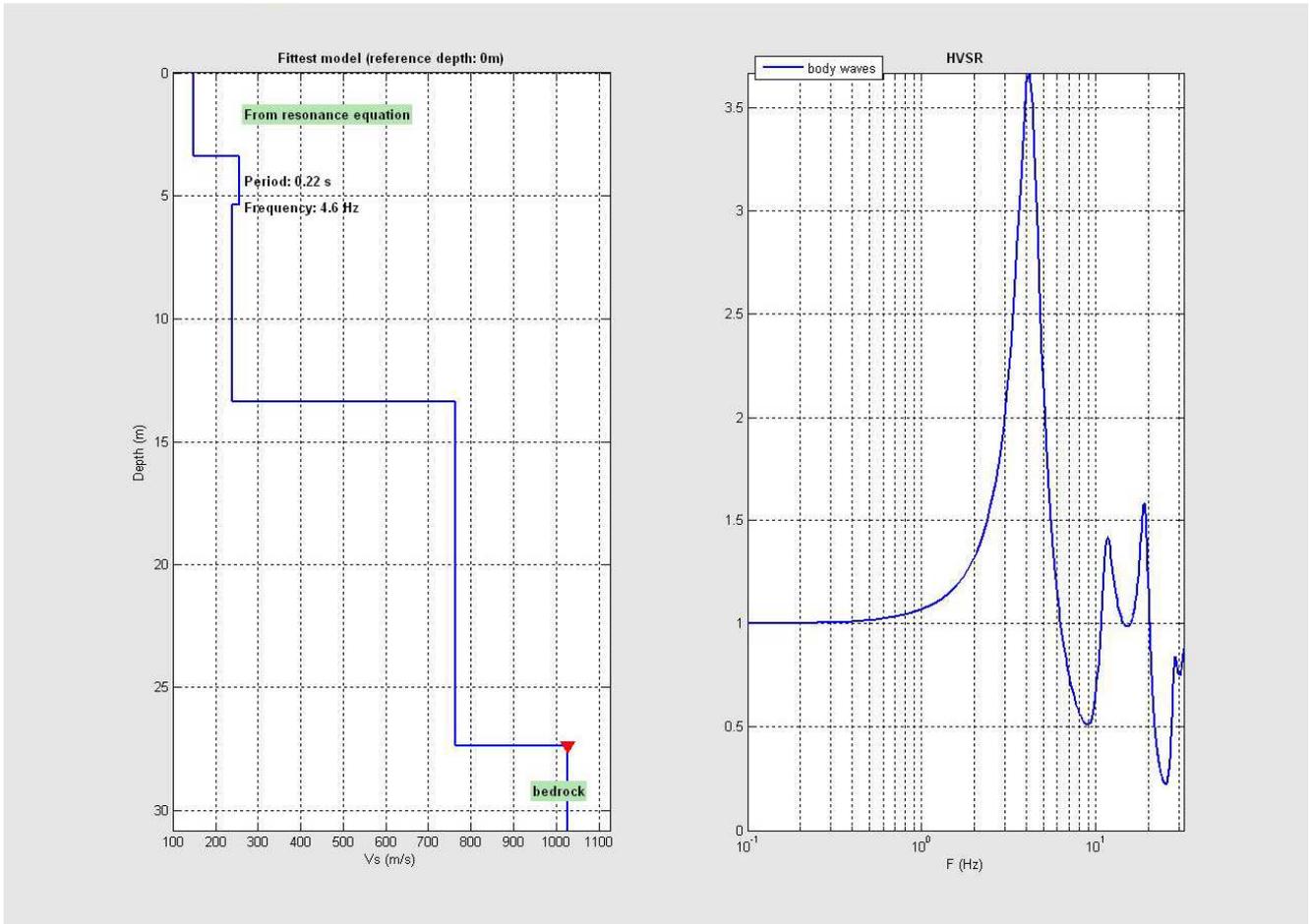
Vs (m/s)	Poisson	thickness (m)
210	0.35	5.5
250	0.35	3
550	0.35	3
700	0.35	15
700	0.35	0
0	0.35	0
0	0.35	half-space

general setting: 2 0 HV

Sulla sinistra i dati di campagna, sulla destra, lo spettro di velocità con la curva di dispersione identificata.



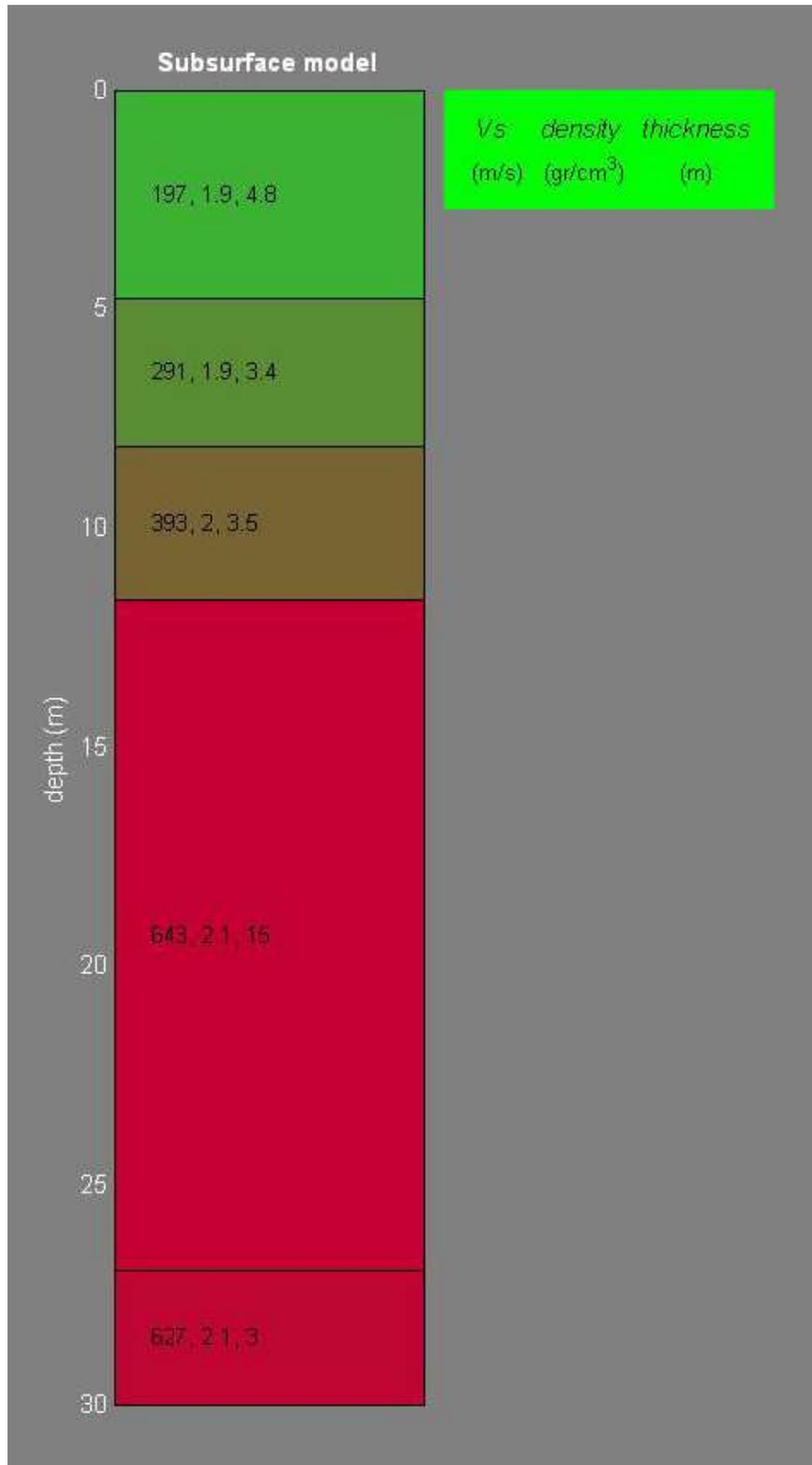
Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato (vedi anche Tabella 1) (modello "migliore" e medio sono tipicamente assolutamente analoghi). In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli *Algoritmi Genetici*).



Modellazione del rapporto spettrale H/V a partire dal profilo verticale della VS individuato.

Spessore (m)	Vs (m/s)	Modulo di taglio (MPa)
4.8	197	
3.4	291	
3.5	393	
15.3	643	
Semi-spazio	627	

tab n° 1



16. RIEPILOGO DATI

Mean model

Vs (m/s): 197, 291, 393, 643, 627

Standard deviations (m/s): 3, 16, 32, 45, 79

Thickness (m): 4.8, 3.4, 3.5, 15.3

Standard deviations (m/s): 0.2, 0.3, 0.2, 2.5

Density (gr/cm³): 1.85, 1.91, 2.02, 2.12, 2.12

Shear modulus (MPa): 72, 162, 311, 877, 832

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and elastic moduli (please, see manual)

Vp (m/s): 431, 563, 854, 1316, 1292

Poisson: 0.37, 0.32, 0.37, 0.34, 0.35

Bulk modulus (MPa): 248, 391, 1055, 2503, 2423

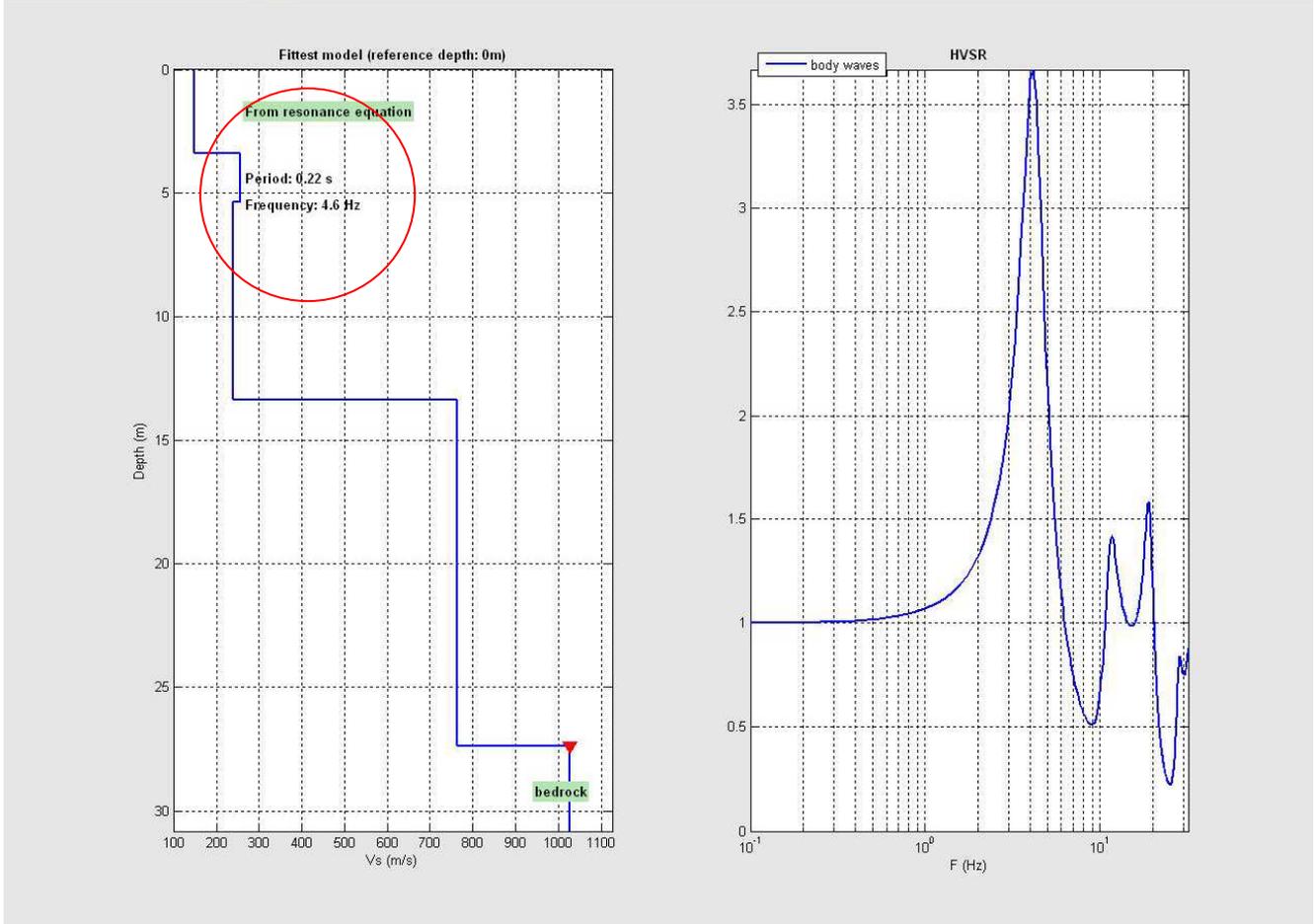
Young's modulus (MPa): 196, 427, 850, 2355, 2239

Lamé (MPa): 200, 283, 847, 1919, 1869

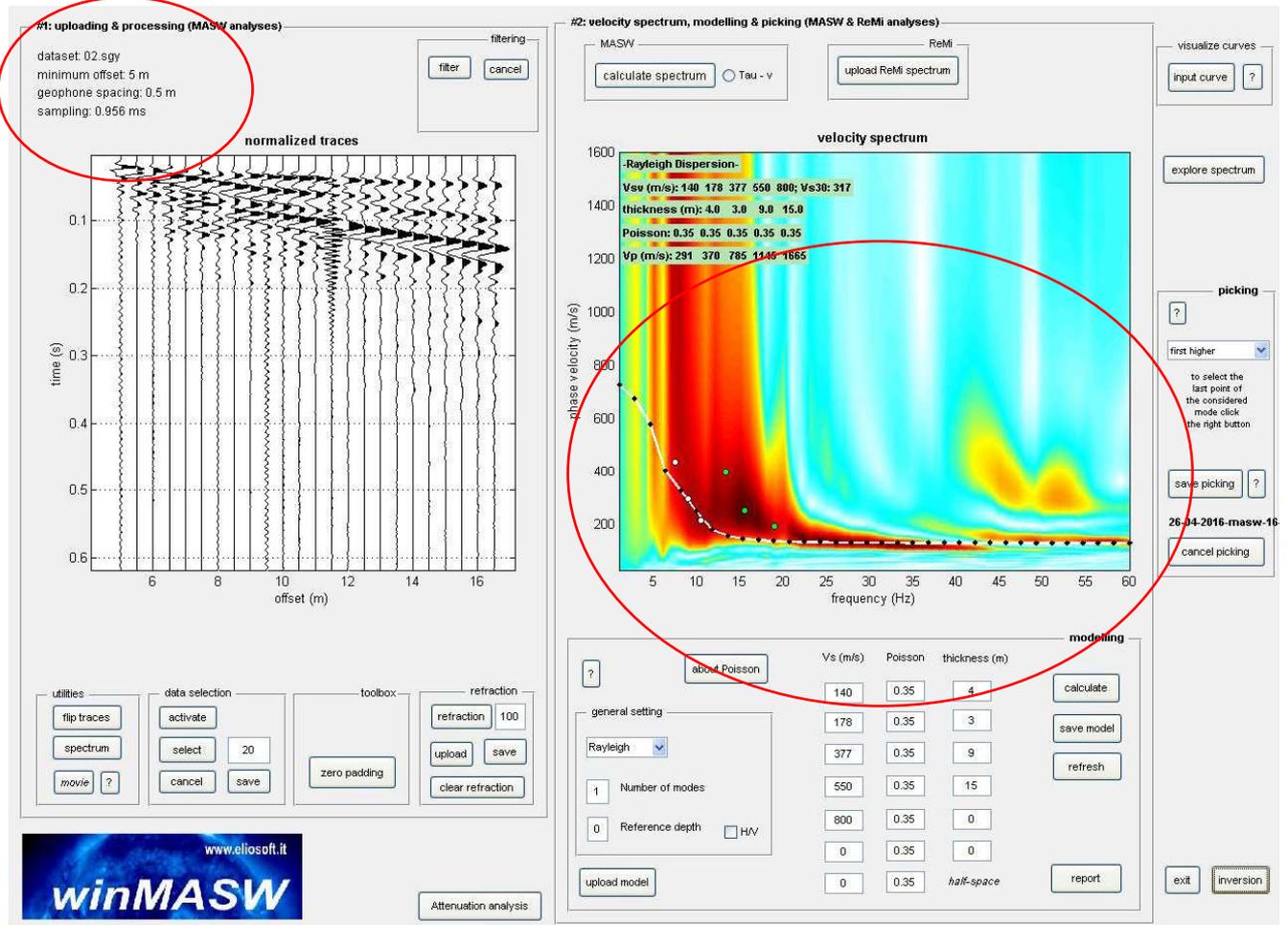
VS30 (m/s): 409 (velocità riferita al piano di campagna)

In accordo con la Normativa vigente, il valore di V_{s30} deve riferirsi alla profondità del piano di posa delle fondazioni. Nel progetto in esame, con la D.L. è stato ipotizzato un piano di posa delle fondazioni coincidente col piano di campagna, in conseguenza di ciò è stato ottenuto il seguente risultato:

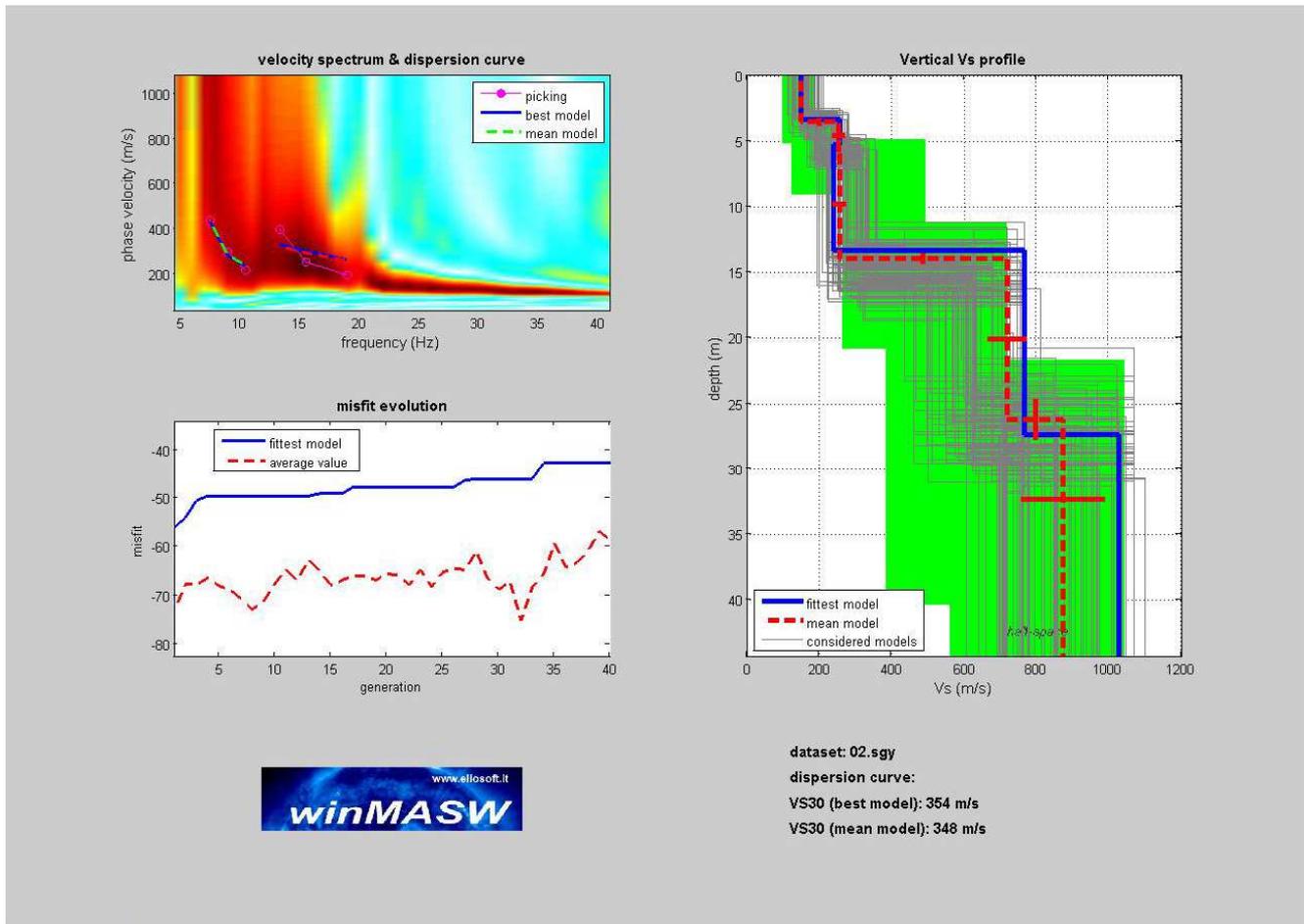
piano di posa delle fondazioni = 0.00mt, V_{s30} = 409m/s, Periodo = 0.22s, Frequenza 4.6Hz



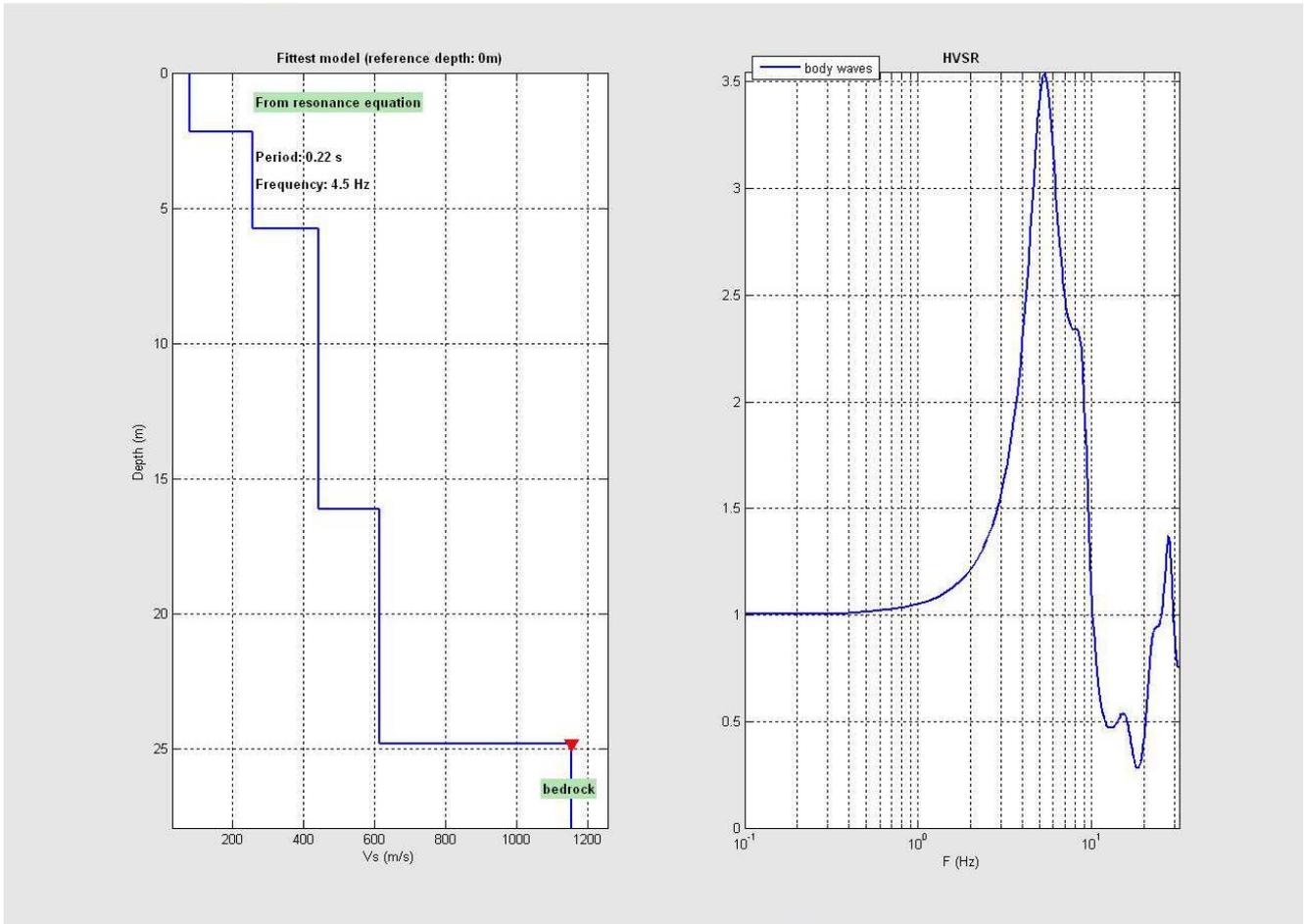
MASW 8



Sulla sinistra i dati di campagna, sulla destra, lo spettro di velocità con la curva di dispersione identificata.



Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati *MASW*. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato (vedi anche Tabella 1) (modello "migliore" e medio sono tipicamente assolutamente analoghi). In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli *Algoritmi Genetici*).



Modellazione del rapporto spettrale H/V a partire dal profilo verticale della VS individuato.

Spessore (m)	Vs (m/s)	Modulo di taglio (MPa)
3.6	150	
2.1	252	
8.3	255	
12.2	718	
Semi-spazio	871	

tab n° 1

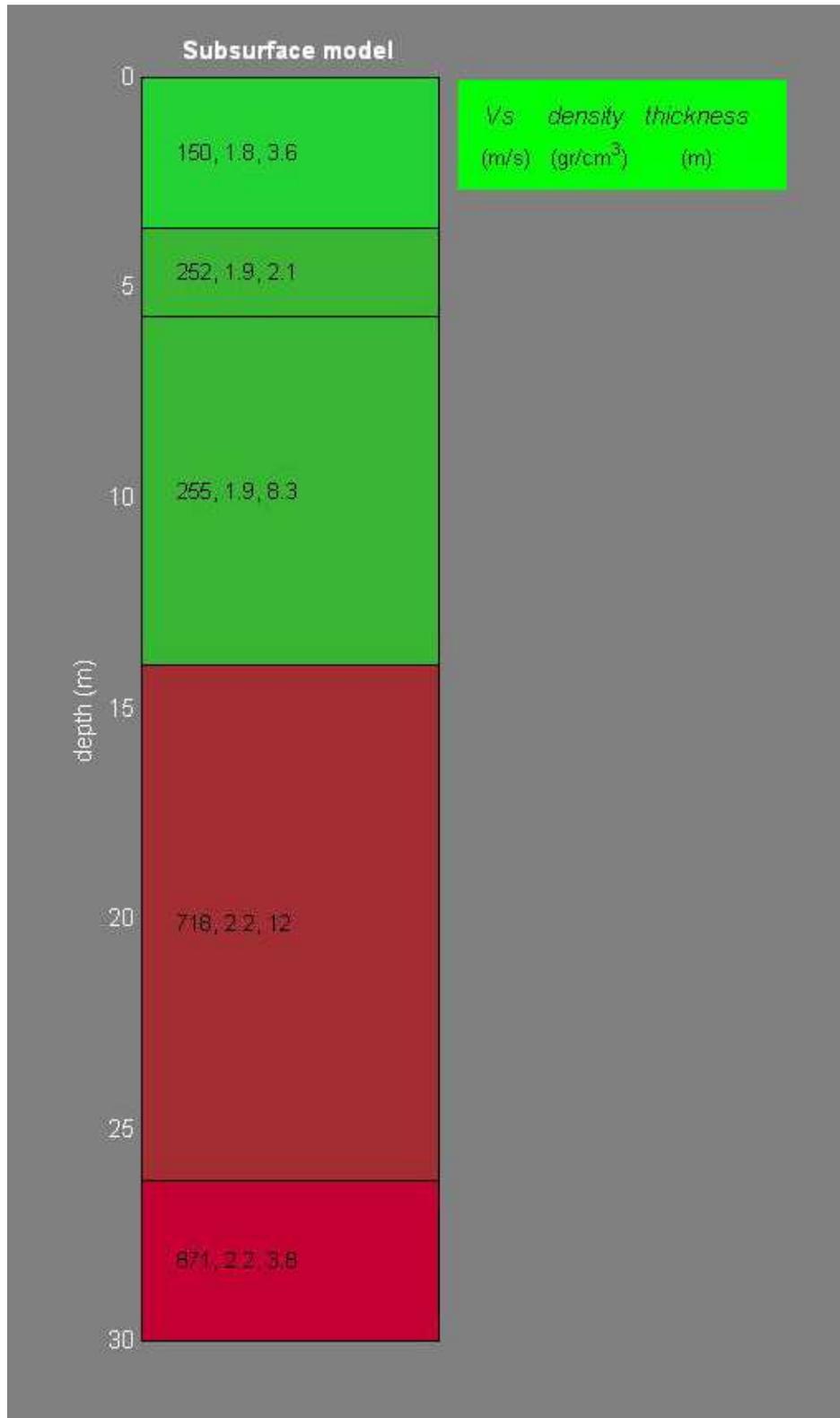


Plants s.r.l.

C.da San Pietro Il trav. - 92100 AGRIGENTO
Casella Postale 135 - Tel./Fax: 0922 437950
www.geoplants.it - info@geoplants.it
Partita IVA 0261417 084 9

Sondaggi - Consolidamenti - Impianti

MODULO RDP – RAPPORTO DI PROVA



17. RIEPILOGO DATI

Mean model

Vs (m/s): 150, 252, 255, 718, 871

Standard deviations (m/s): 4, 17, 18, 54, 114

Thickness (m): 3.6, 2.1, 8.3, 12.2

Standard deviations (m/s): 0.3, 0.2, 0.4, 1.5

Density (gr/cm³): 1.78, 1.90, 1.90, 2.17, 2.21

Shear modulus (MPa): 40, 121, 123, 1120, 1679

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and elastic moduli (please, see manual)

Vp (m/s): 328, 539, 527, 1629, 1920

Poisson: 0.37, 0.36, 0.35, 0.38, 0.37

Bulk modulus (MPa): 138, 392, 363, 4272, 5918

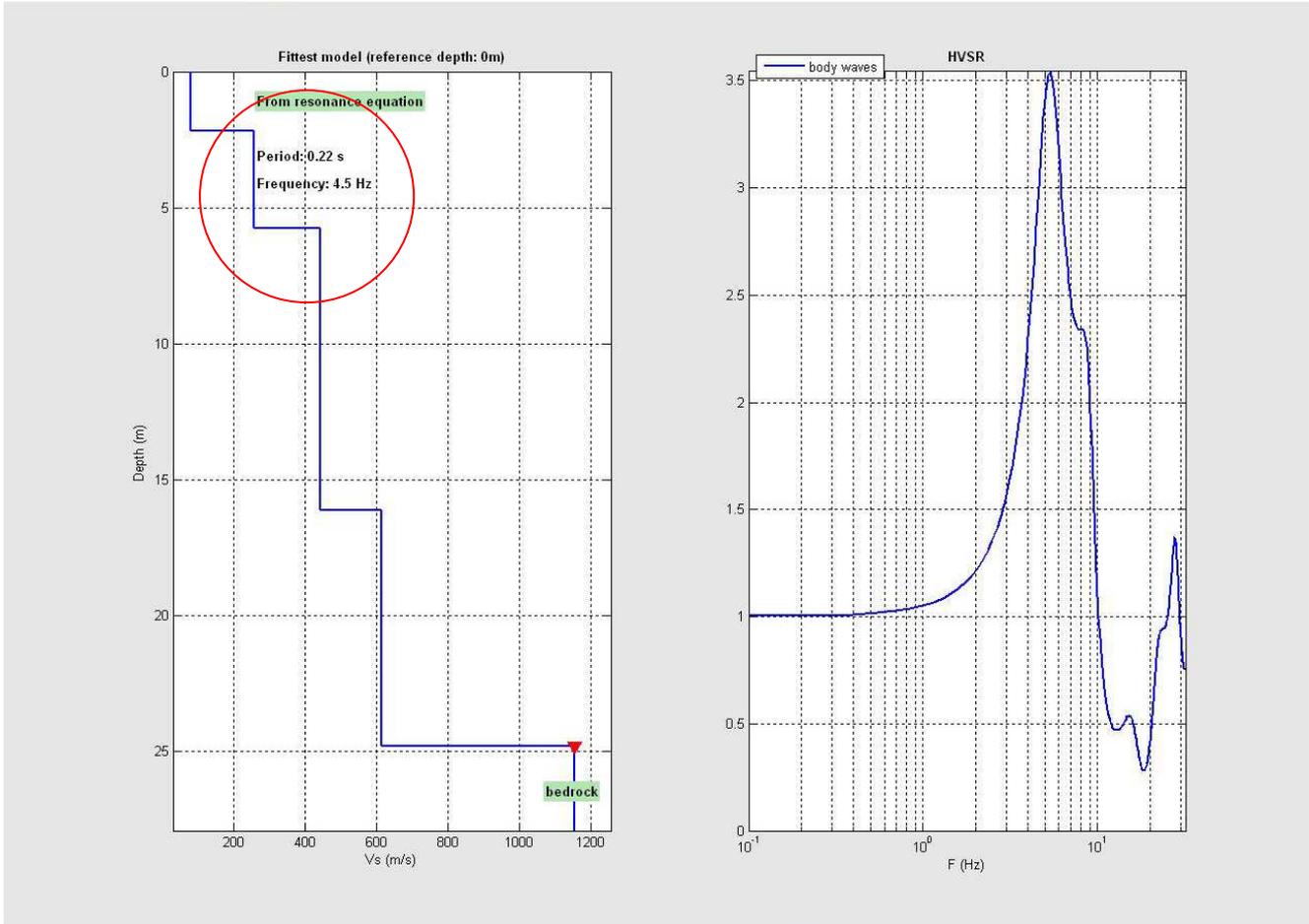
Young's modulus (MPa): 110, 329, 333, 3090, 4601

Lamé (MPa): 112, 311, 280, 3525, 4799

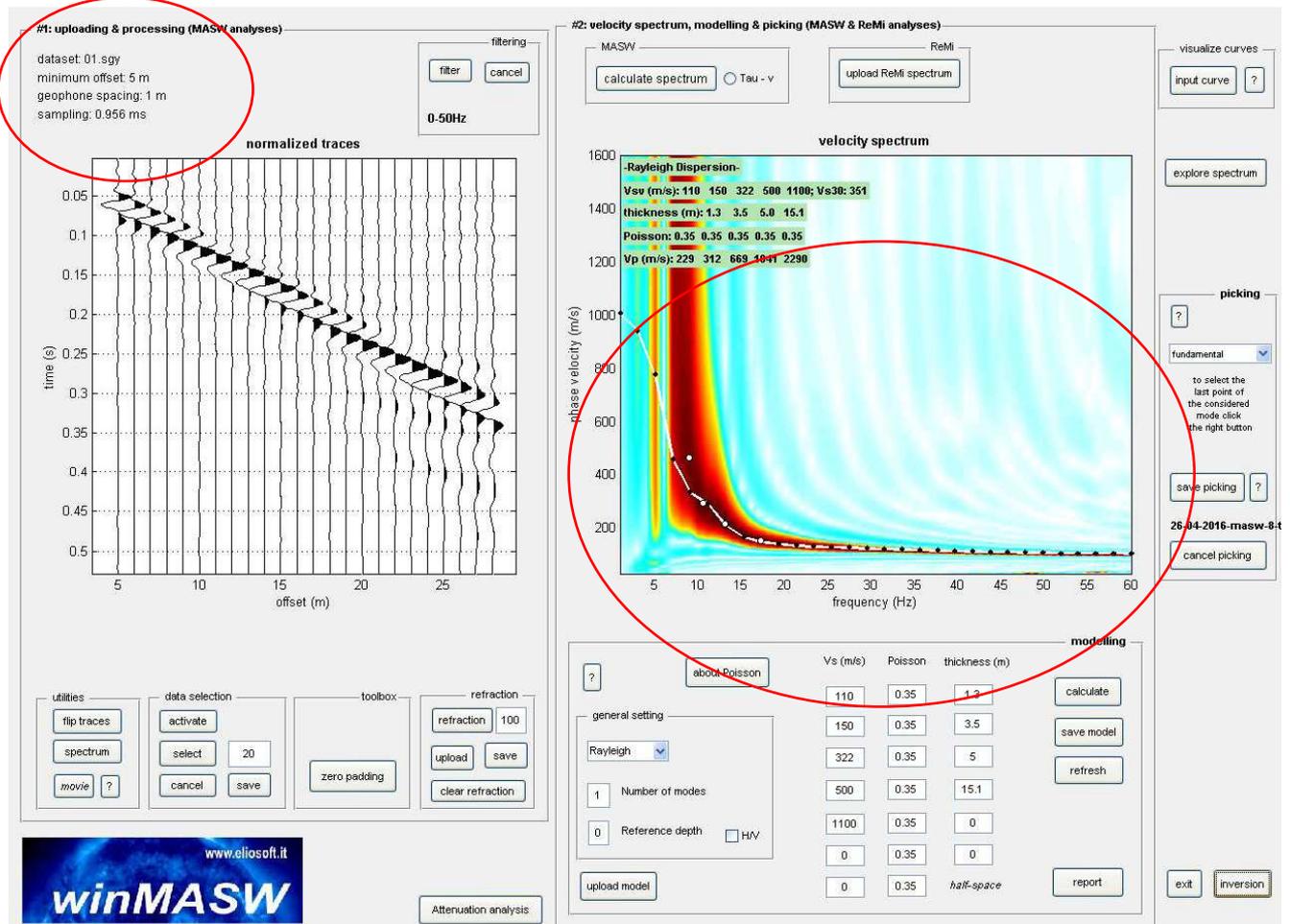
VS30 (m/s): 348 (velocità riferita al piano di campagna)

In accordo con la Normativa vigente, il valore di V_{s30} deve riferirsi alla profondità del piano di posa delle fondazioni. Nel progetto in esame, con la D.L. è stato ipotizzato un piano di posa delle fondazioni coincidente col piano di campagna, in conseguenza di ciò è stato ottenuto il seguente risultato:

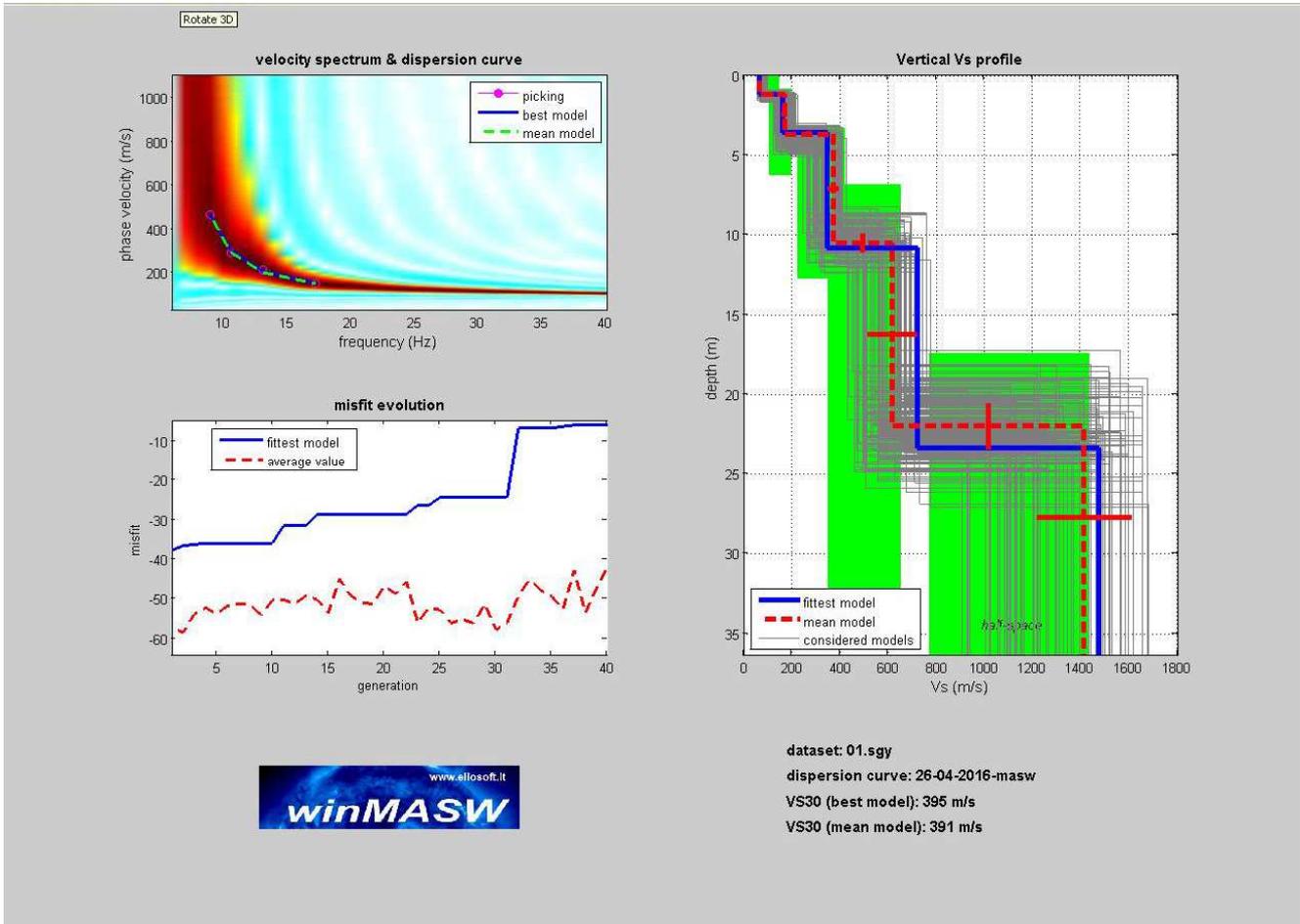
piano di posa delle fondazioni = 0.00mt, V_{s30} = 348m/s, Periodo = 0.22s, Frequenza 4.5Hz



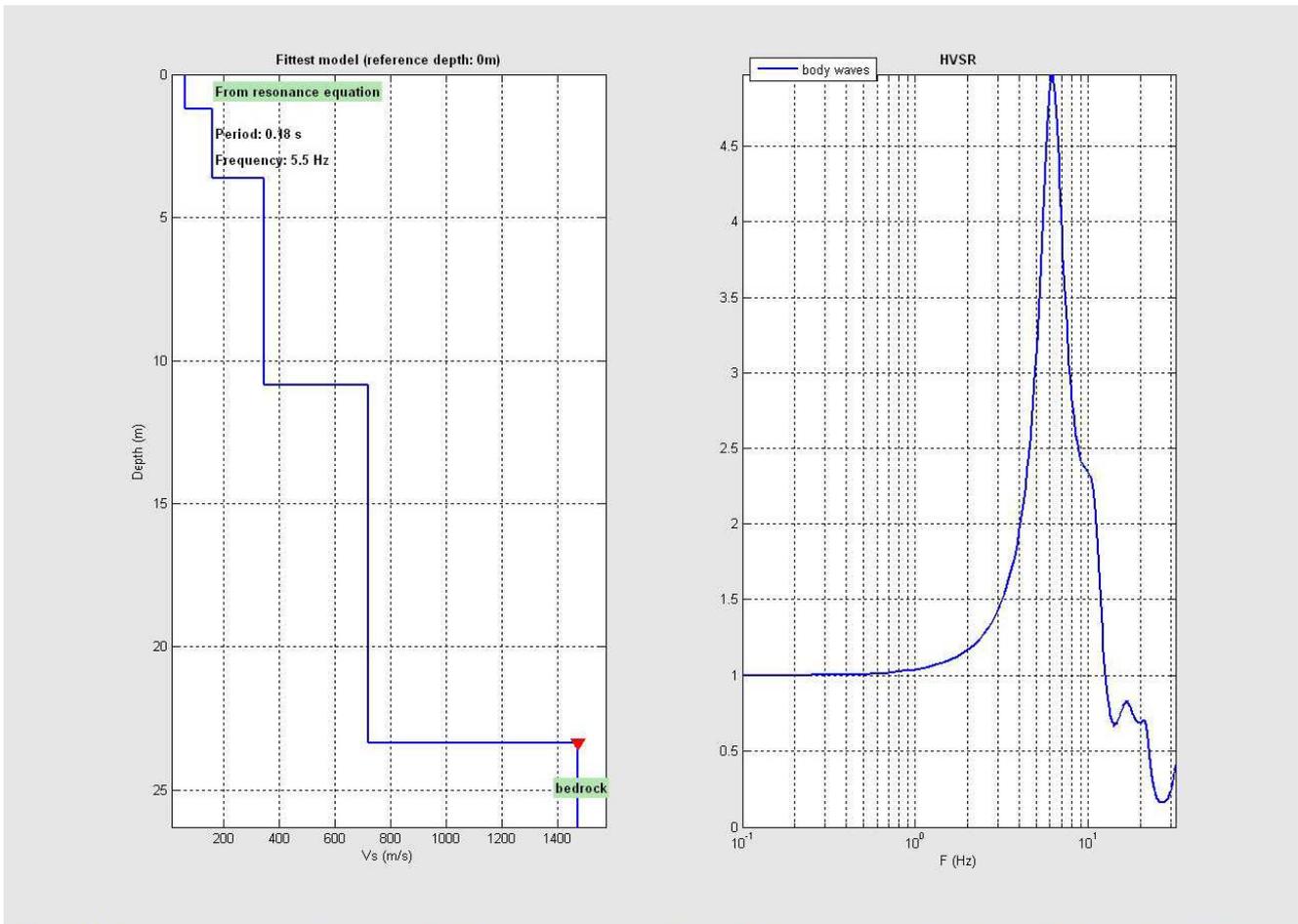
MASW 9



Sulla sinistra i dati di campagna, sulla destra, lo spettro di velocità con la curva di dispersione identificata.



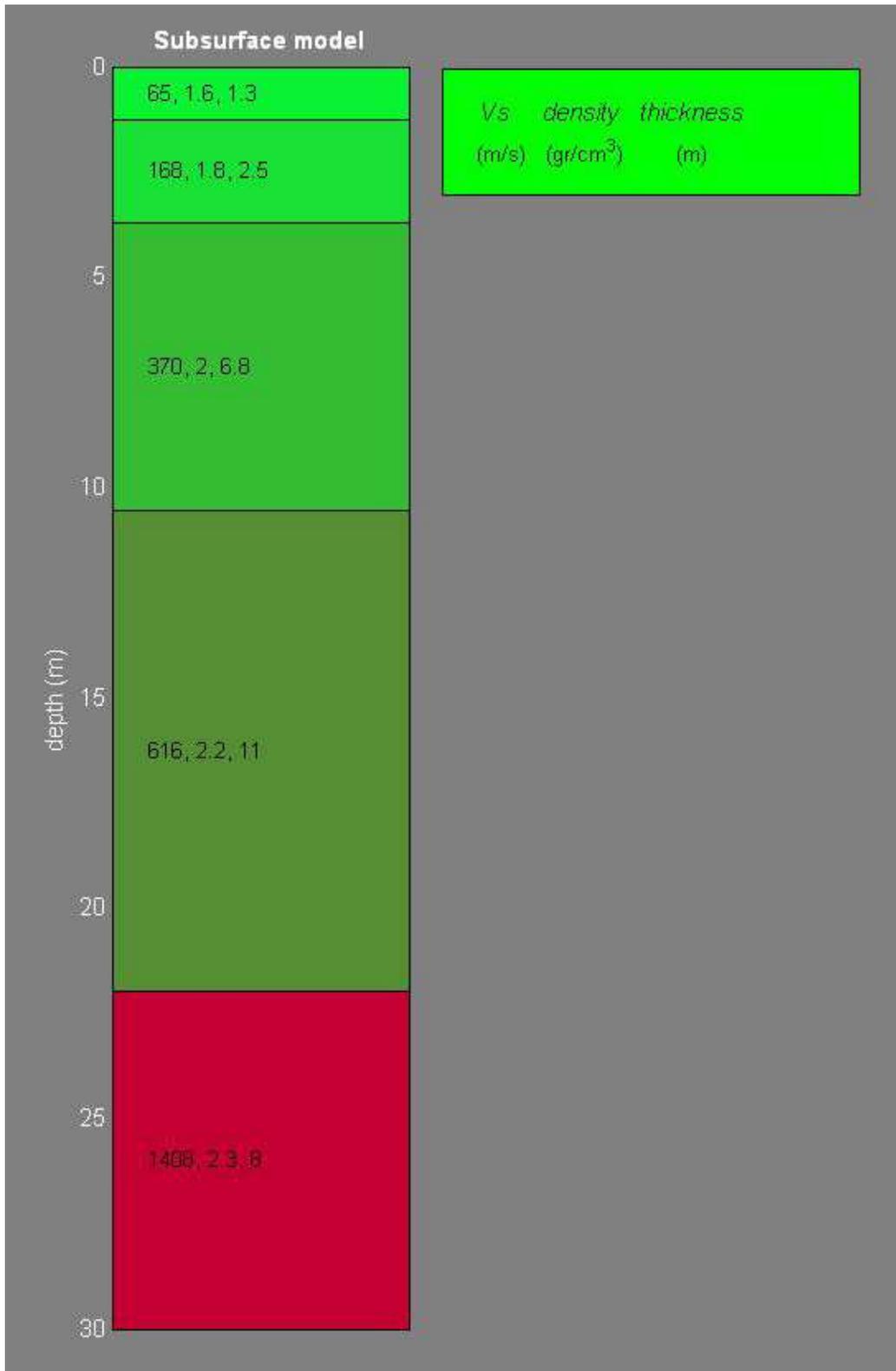
Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato (vedi anche Tabella 1) (modello "migliore" e medio sono tipicamente assolutamente analoghi). In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli *Algoritmi Genetici*).



Modellazione del rapporto spettrale H/V a partire dal profilo verticale della VS individuato.

Spessore (m)	Vs (m/s)	Modulo di taglio (MPa)
1.3	65	
2.5	168	
6.8	370	
11.4	616	
Semi-spazio	1408	

tab n° 1



18. RIEPILOGO DATI

Mean model

Vs (m/s): 65, 168, 370, 616, 1408

Standard deviations (m/s): 1, 12, 20, 101, 195

Thickness (m): 1.3, 2.5, 6.8, 11.4

Standard deviations (m/s): 0.1, 0.2, 0.6, 1.4

Density (gr/cm³): 1.58, 1.79, 1.98, 2.16, 2.30

Shear modulus (MPa): 7, 50, 271, 820, 4562

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and elastic moduli (please, see manual)

Vp (m/s): 139, 332, 742, 1545, 2760

Poisson: 0.36, 0.33, 0.33, 0.41, 0.32

Bulk modulus (MPa): 22, 130, 729, 4063, 11446

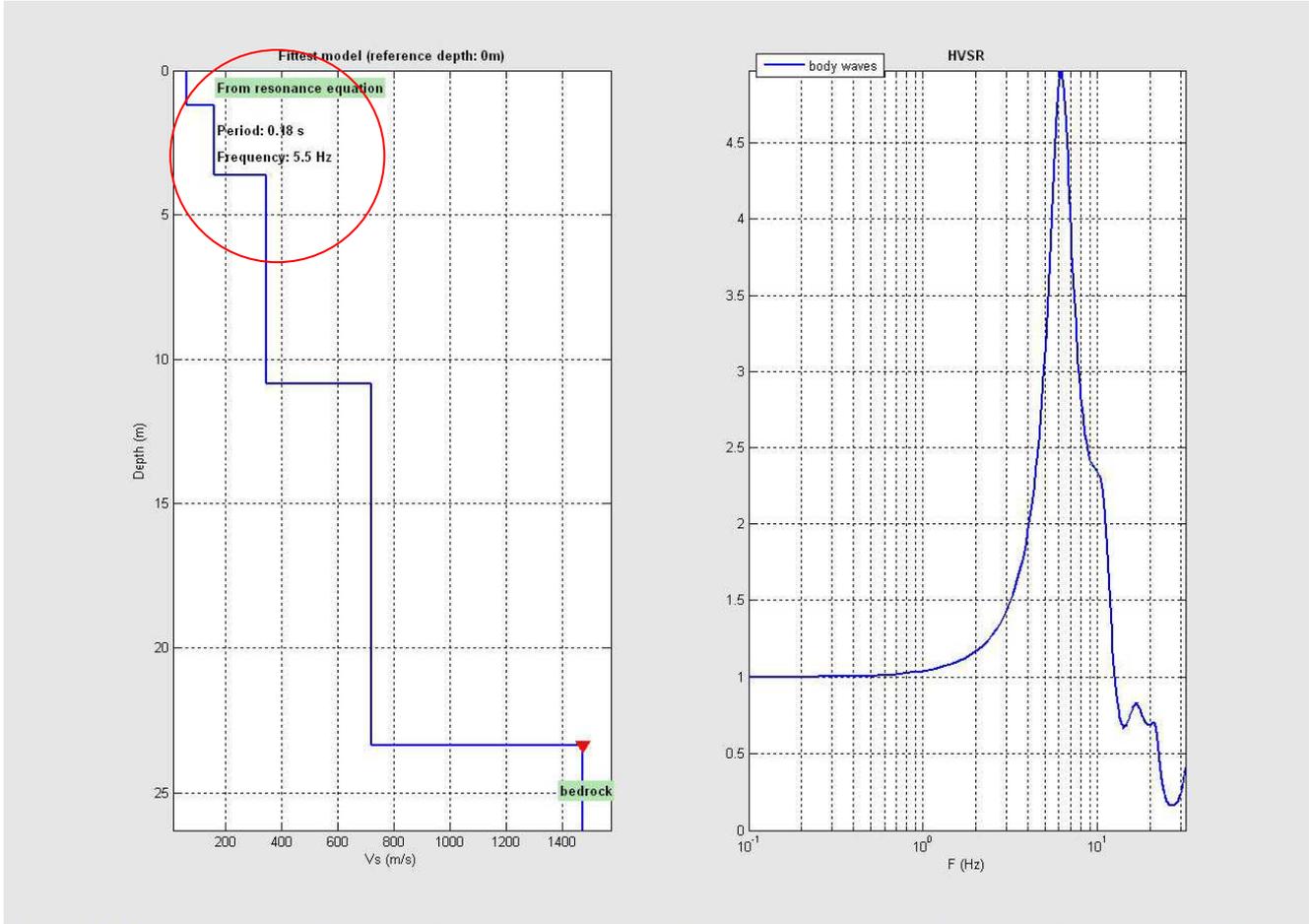
Young's modulus (MPa): 18, 134, 724, 2304, 12081

Lamé (MPa): 17, 96, 548, 3516, 8405

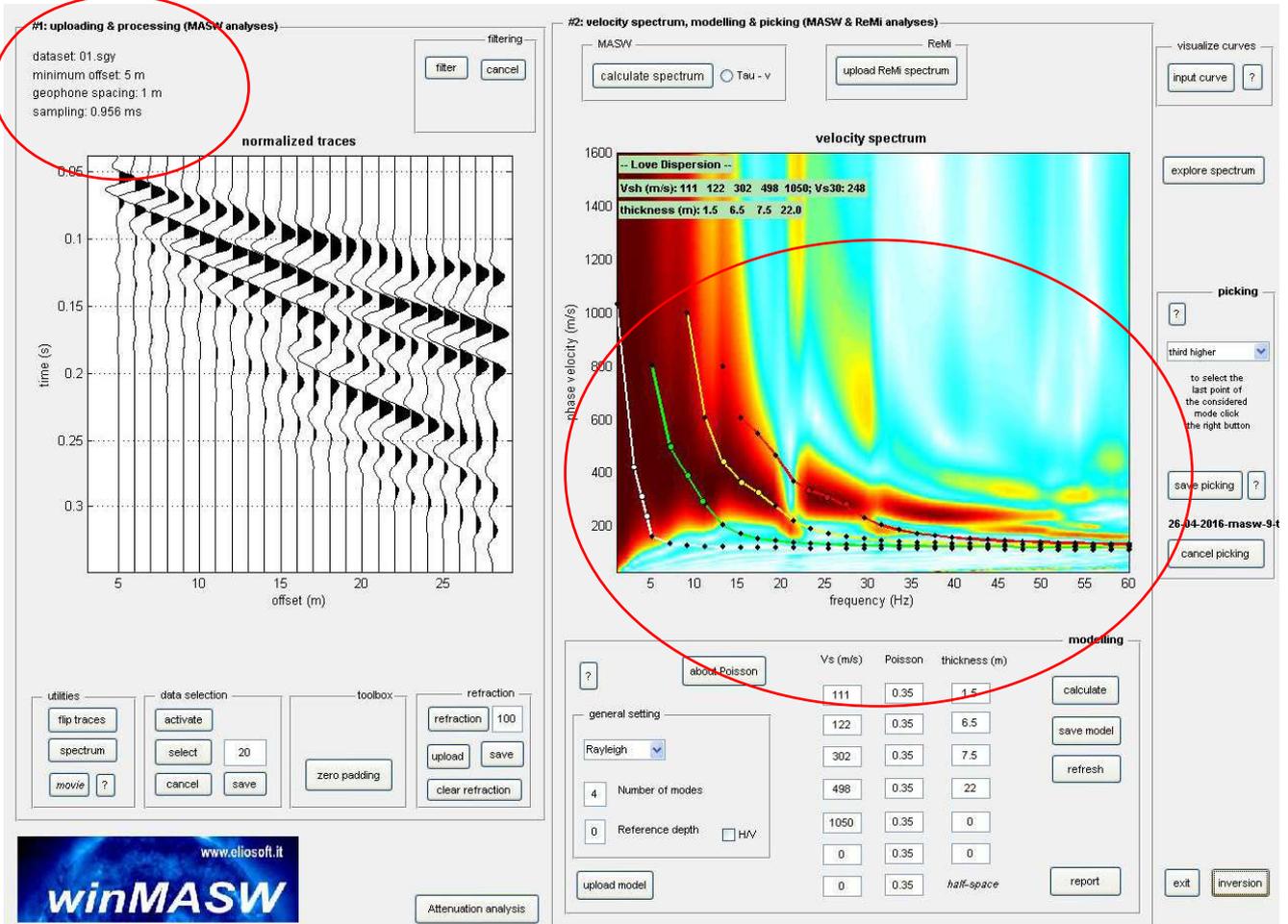
VS30 (m/s): 391 (velocità riferita al piano di campagna)

In accordo con la Normativa vigente, il valore di V_{s30} deve riferirsi alla profondità del piano di posa delle fondazioni. Nel progetto in esame, con la D.L. è stato ipotizzato un piano di posa delle fondazioni coincidente col piano di campagna, in conseguenza di ciò è stato ottenuto il seguente risultato:

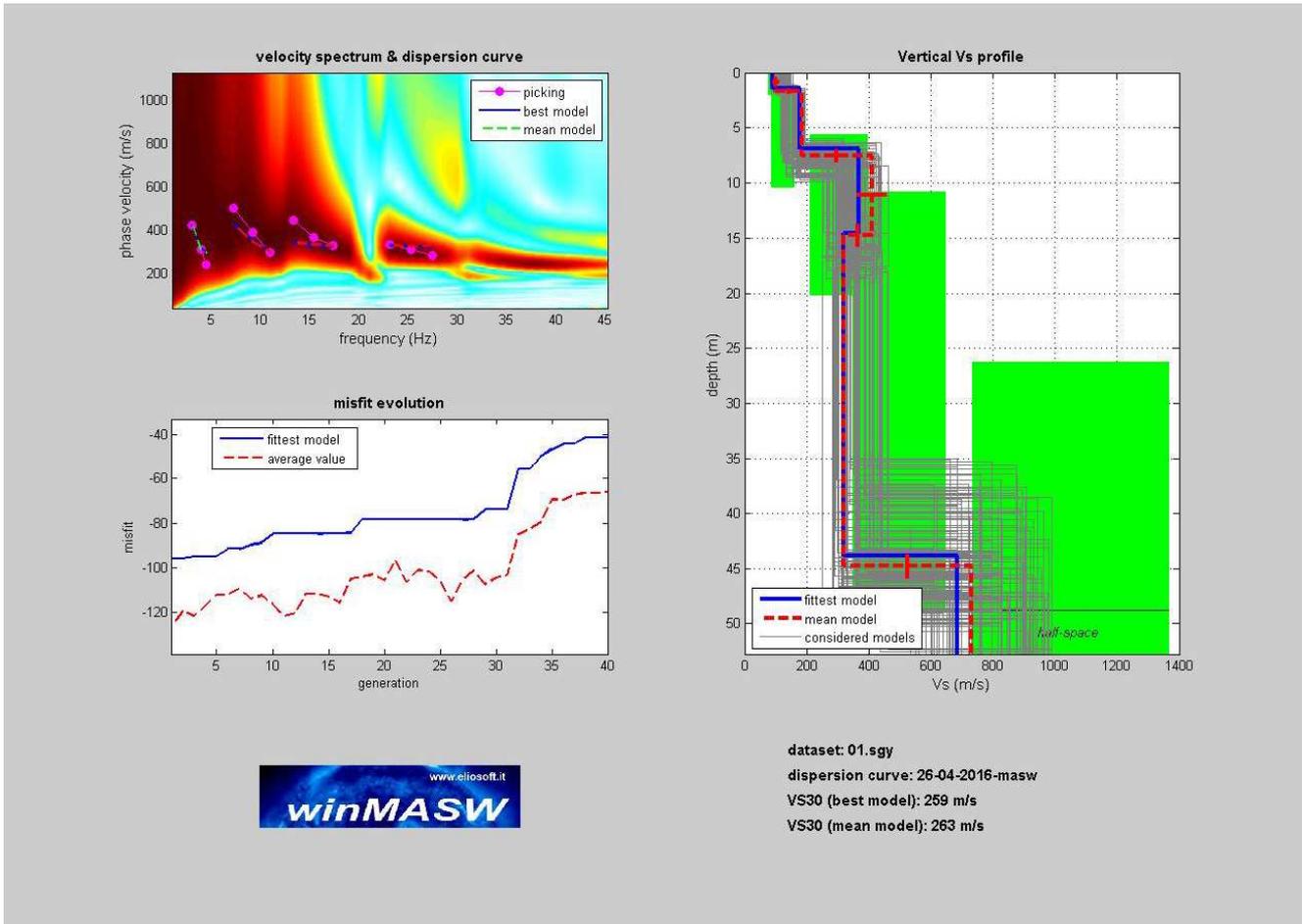
piano di posa delle fondazioni = 0.00mt, V_{s30} = 272m/s, Periodo = 0.38s, Frequenza 5.5Hz



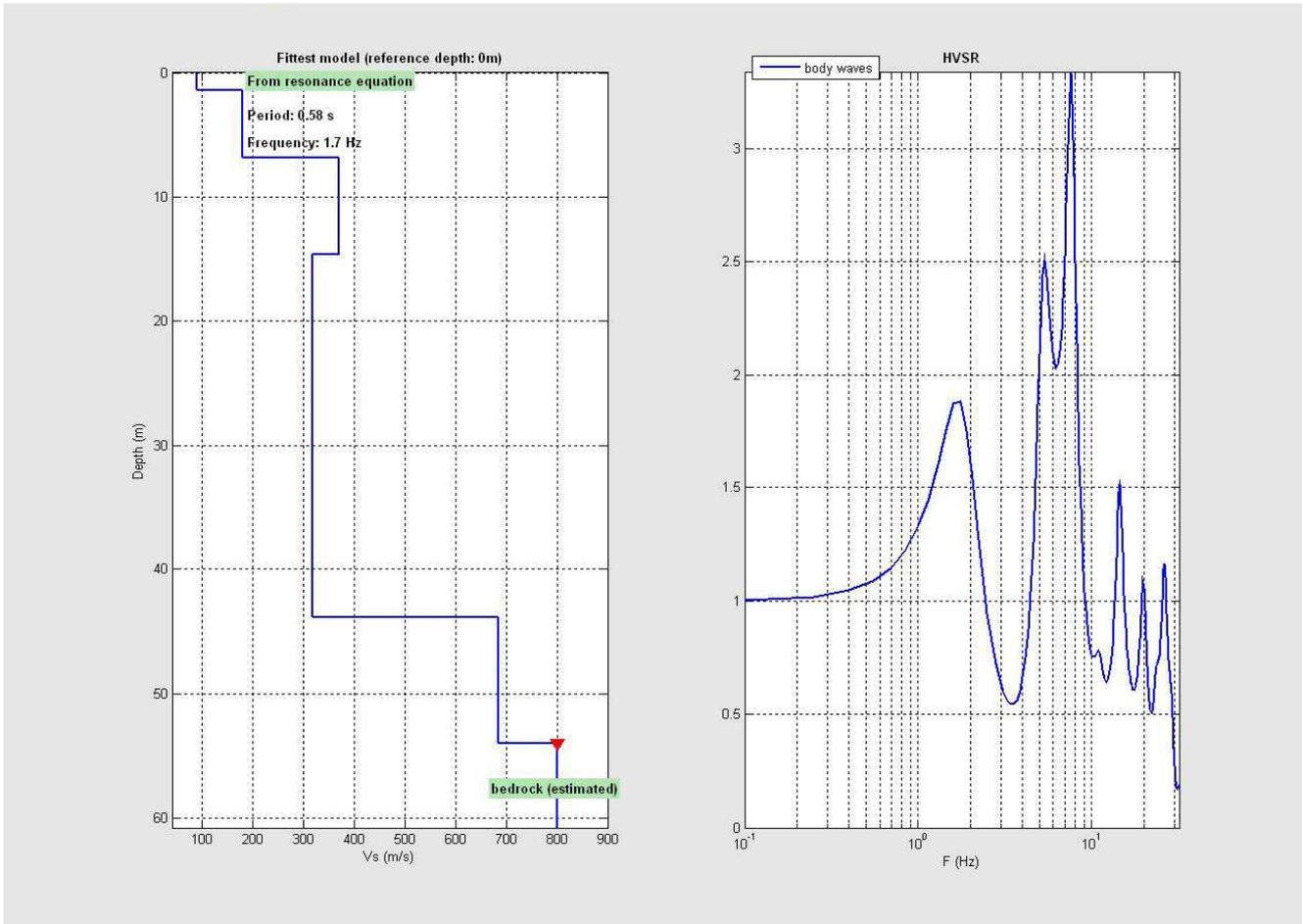
MASW 10



Sulla sinistra i dati di campagna, sulla destra, lo spettro di velocità con la curva di dispersione identificata.



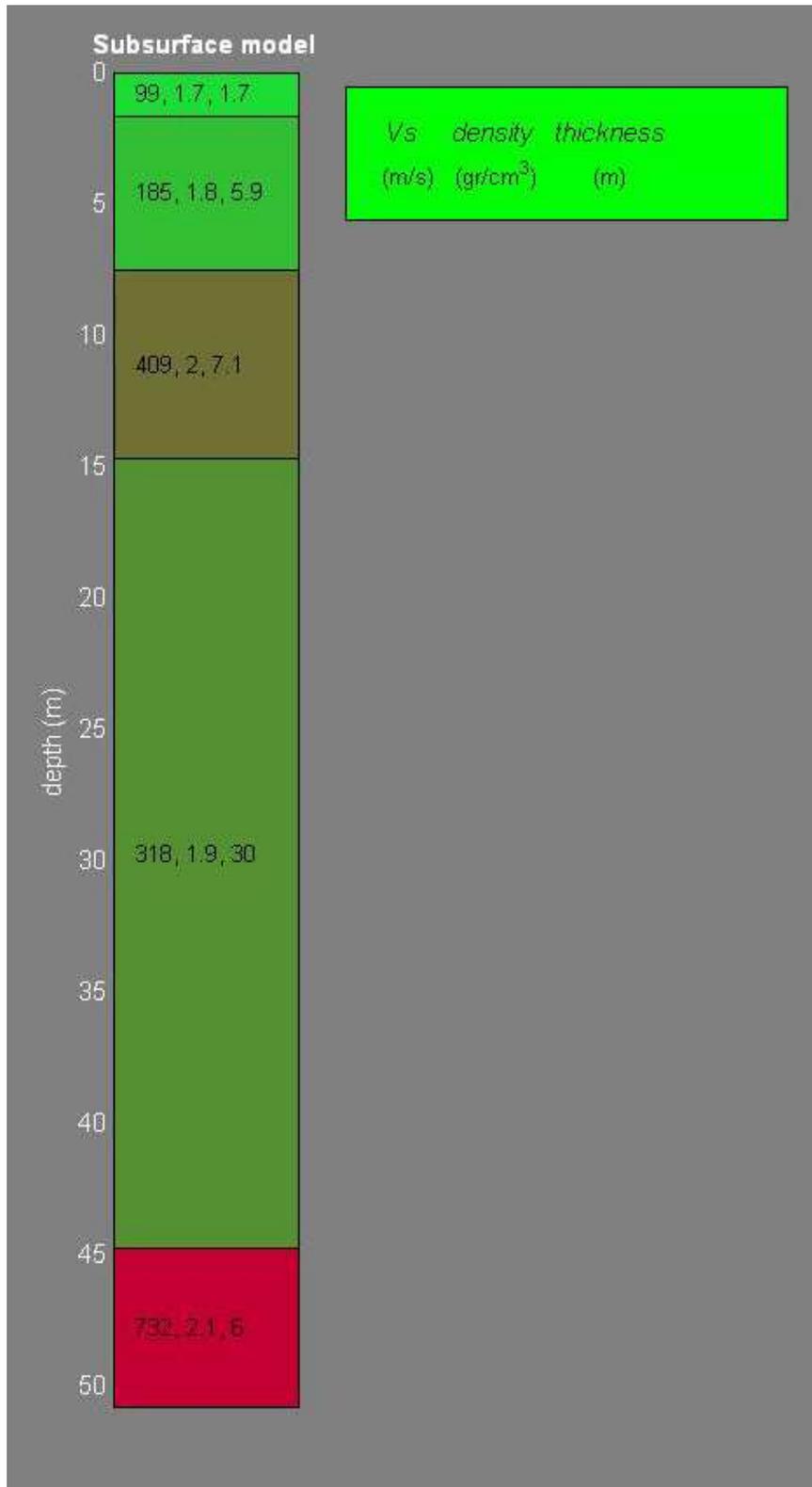
Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato (vedi anche Tabella 1) (modello "migliore" e medio sono tipicamente assolutamente analoghi). In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli *Algoritmi Genetici*).



Modellazione del rapporto spettrale H/V a partire dal profilo verticale della VS individuato.

Spessore (m)	Vs (m/s)	Modulo di taglio (MPa)
1.7	99	
5.9	185	
7.1	409	
30.1	318	
Semi-spazio	732	

tab n° 1



19. RIEPILOGO DATI

Mean model

Vs (m/s): 99, 185, 409, 318, 732

Standard deviations (m/s): 9, 7, 49, 4, 56

Thickness (m): 1.7, 5.9, 7.1, 30.1

Standard deviations (m/s): 0.2, 0.5, 1.0, 1.0

Density (gr/cm³): 1.66, 1.83, 2.00, 1.95, 2.12

Shear modulus (MPa): 16, 62, 334, 197, 1134

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and elastic moduli (please, see manual)

Vp (m/s): 192, 389, 794, 649, 1292

Poisson: 0.32, 0.35, 0.32, 0.34, 0.26

Bulk modulus (MPa): 39, 193, 814, 558, 2021

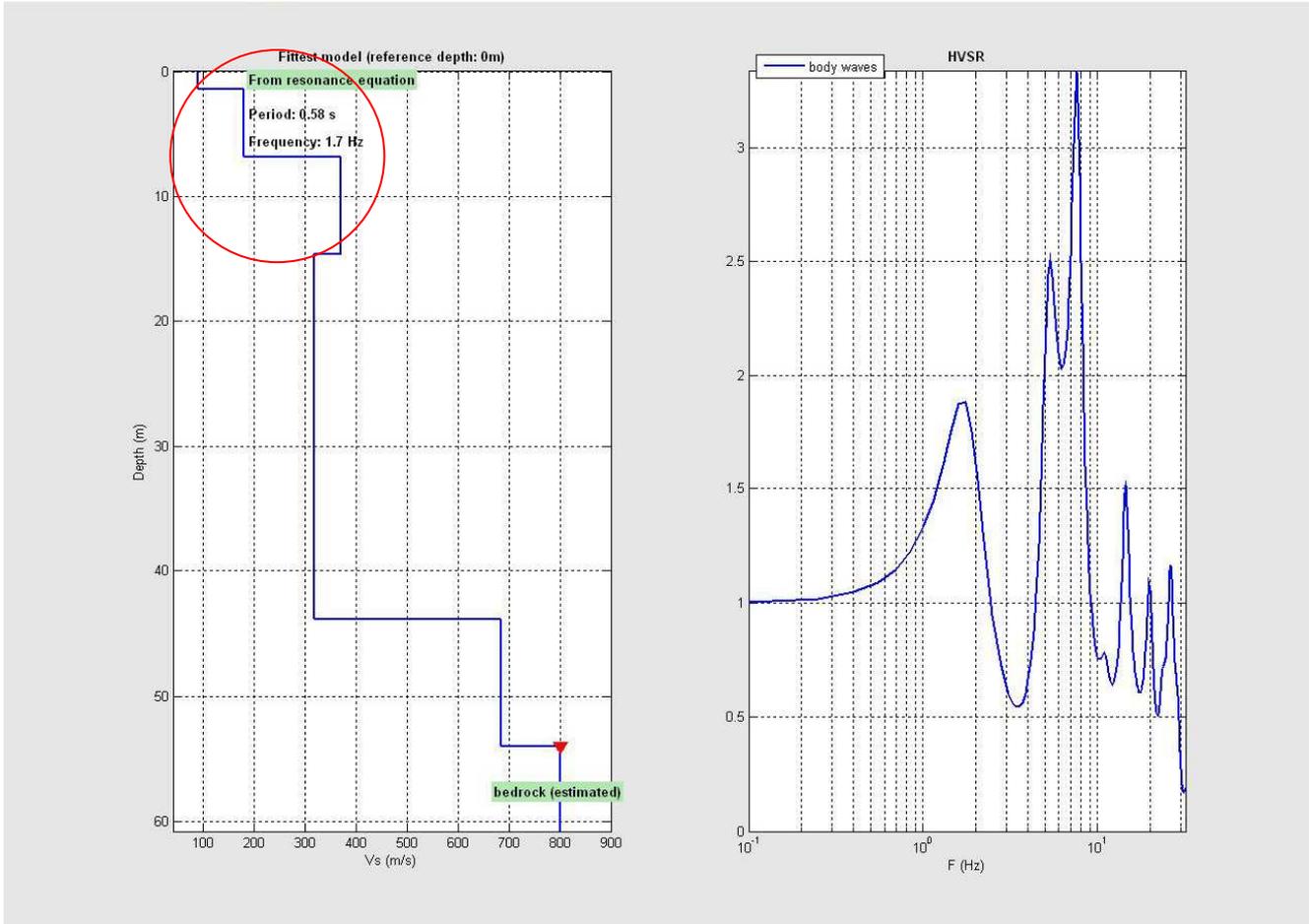
Young's modulus (MPa): 43, 169, 882, 529, 2866

Lamé (MPa): 29, 151, 591, 427, 1265

VS30 (m/s): 263 (velocità riferita al piano di campagna)

In accordo con la Normativa vigente, il valore di V_{s30} deve riferirsi alla profondità del piano di posa delle fondazioni. Nel progetto in esame, con la D.L. è stato ipotizzato un piano di posa delle fondazioni coincidente col piano di campagna, in conseguenza di ciò è stato ottenuto il seguente risultato:

piano di posa delle fondazioni = 0.00mt, V_{s30} = 263m/s, Periodo = 0.58s, Frequenza 1.7Hz



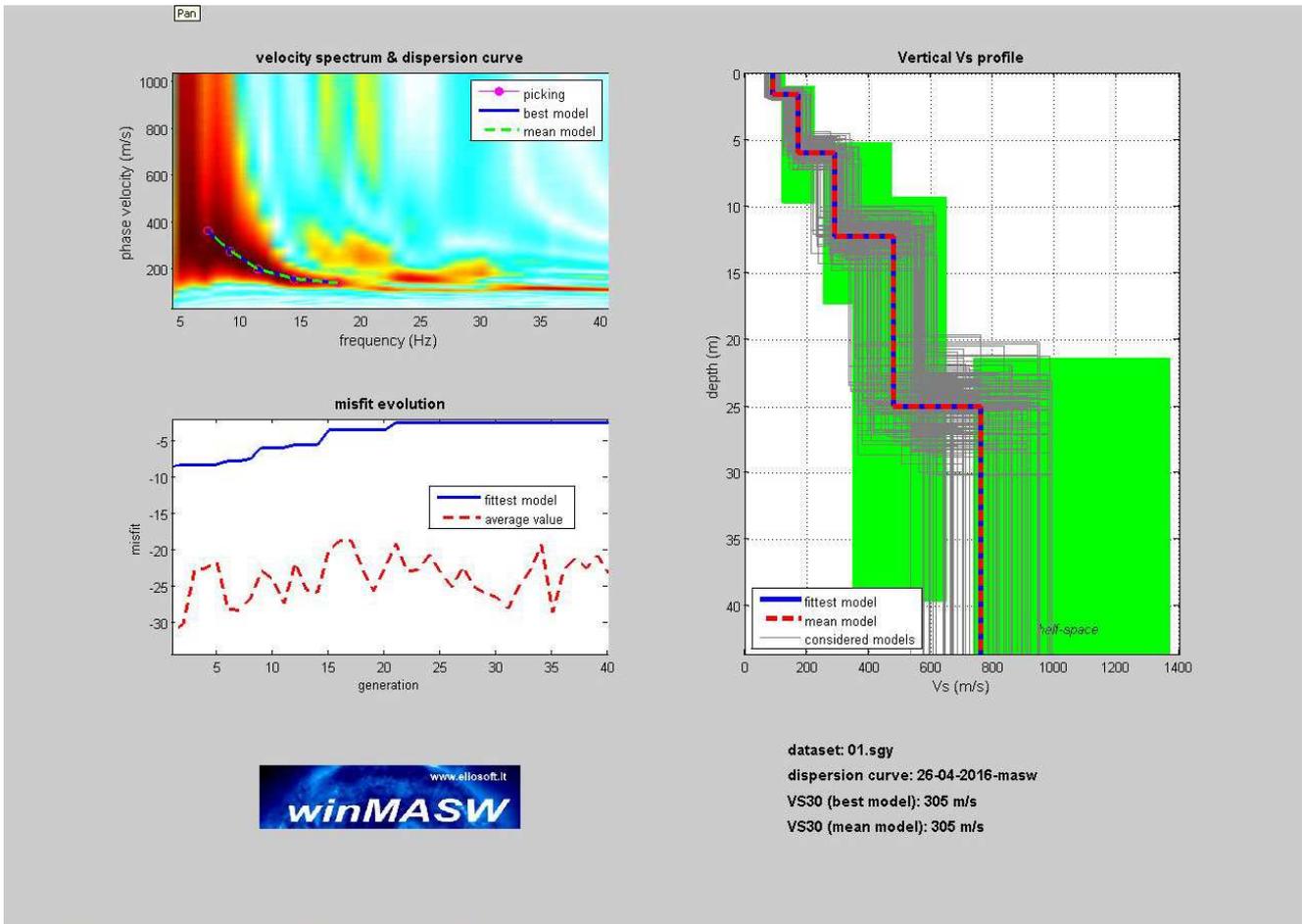
MASW I I

The screenshot displays the winMASW software interface, divided into two main sections:

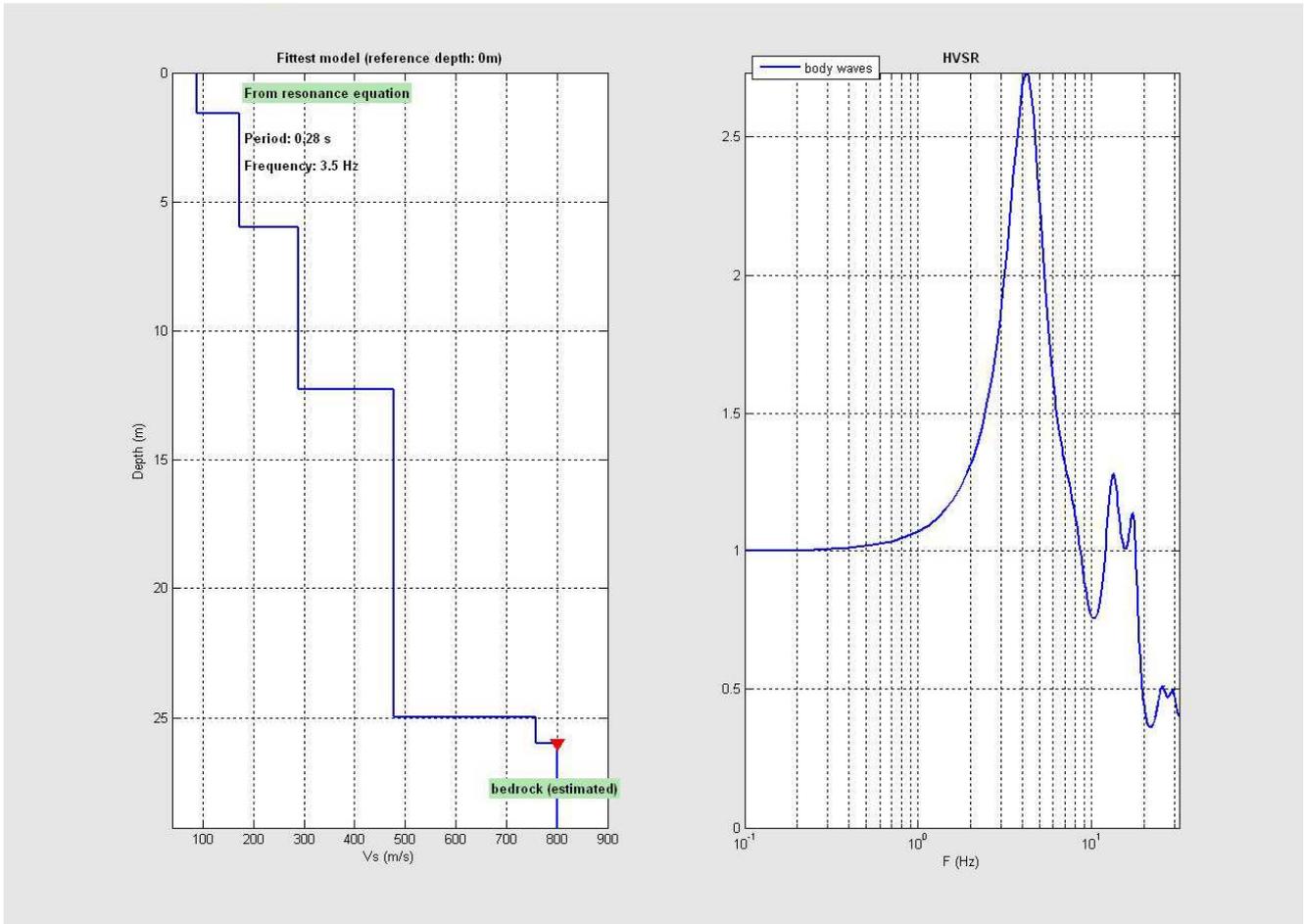
- #1: uploading & processing (MASW analyses)**: This section on the left shows the 'normalized traces' plot with time (s) on the y-axis (0 to 0.9) and offset (m) on the x-axis (5 to 30). It includes a 'filtering' panel with 'filter' and 'cancel' buttons, and a '0-50Hz' filter setting. Below the plot are utility buttons like 'flip traces', 'spectrum', and 'movie', along with 'data selection' and 'refraction' options.
- #2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW & ReMi analyses)**: This section on the right features a 'velocity spectrum' heatmap with phase velocity (m/s) on the y-axis (200 to 1600) and frequency (Hz) on the x-axis (5 to 60). A red circle highlights the identified Rayleigh dispersion curve. Text overlays on the heatmap provide parameters: **V_{sw} (m/s): 100 172 362 498 1050; Vs30: 302**, **thickness (m): 1.5 6.0 5.8 17.2**, and **Poisson: 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35**. Below the heatmap is a 'modelling' table and a 'picking' section.

	V _s (m/s)	Poisson	thickness (m)
1	100	0.35	1.5
2	172	0.35	6
3	362	0.35	5.8
4	498	0.35	17.2
5	1050	0.35	0
6	0	0.35	0
7	0	0.35	0
8	0	0.35	half-space

Sulla sinistra i dati di campagna, sulla destra, lo spettro di velocità con la curva di dispersione identificata.



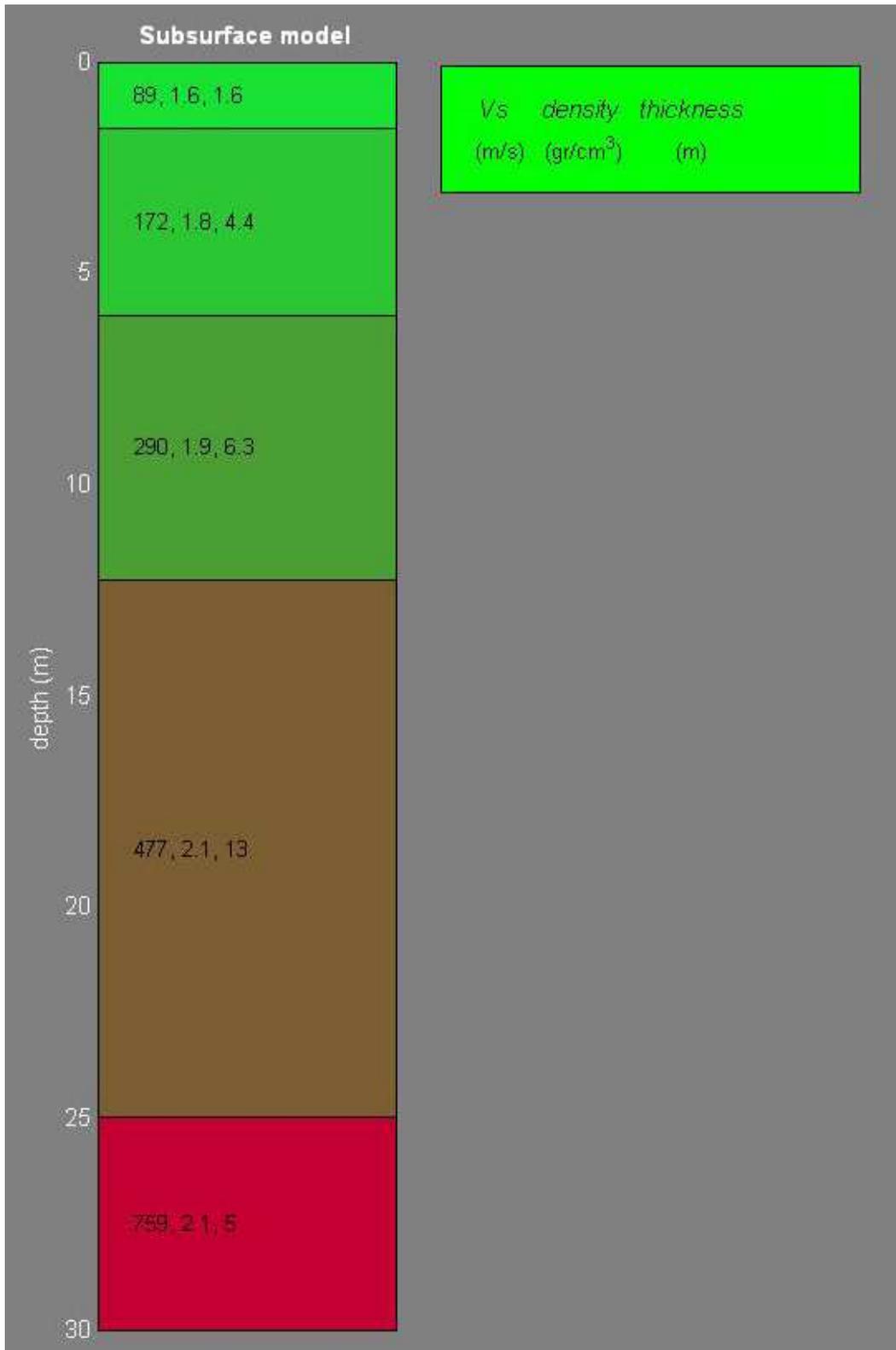
Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato (vedi anche Tabella 1) (modello "migliore" e medio sono tipicamente assolutamente analoghi). In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli *Algoritmi Genetici*).



Modellazione del rapporto spettrale H/V a partire dal profilo verticale della VS individuato.

Spessore (m)	Vs (m/s)	Modulo di taglio (MPa)
1.6	89	
4.4	172	
6.3	290	
12.7	477	
Semi-spazio	759	

tab n° 1



20. RIEPILOGO DATI

Mean model

Vs (m/s): 89, 172, 290, 477, 759

Standard deviations (m/s): 0, 0, 2, 0, 0

Thickness (m): 1.6, 4.4, 6.3, 12.7

Density (gr/cm³): 1.65, 1.80, 1.93, 2.06, 2.14

Shear modulus (MPa): 13, 53, 163, 468, 1235

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and elastic moduli (please, see manual)

Vp (m/s): 186, 353, 612, 1012, 1449

Poisson: 0.35, 0.34, 0.36, 0.36, 0.31

Bulk modulus (MPa): 40, 153, 508, 1483, 2855

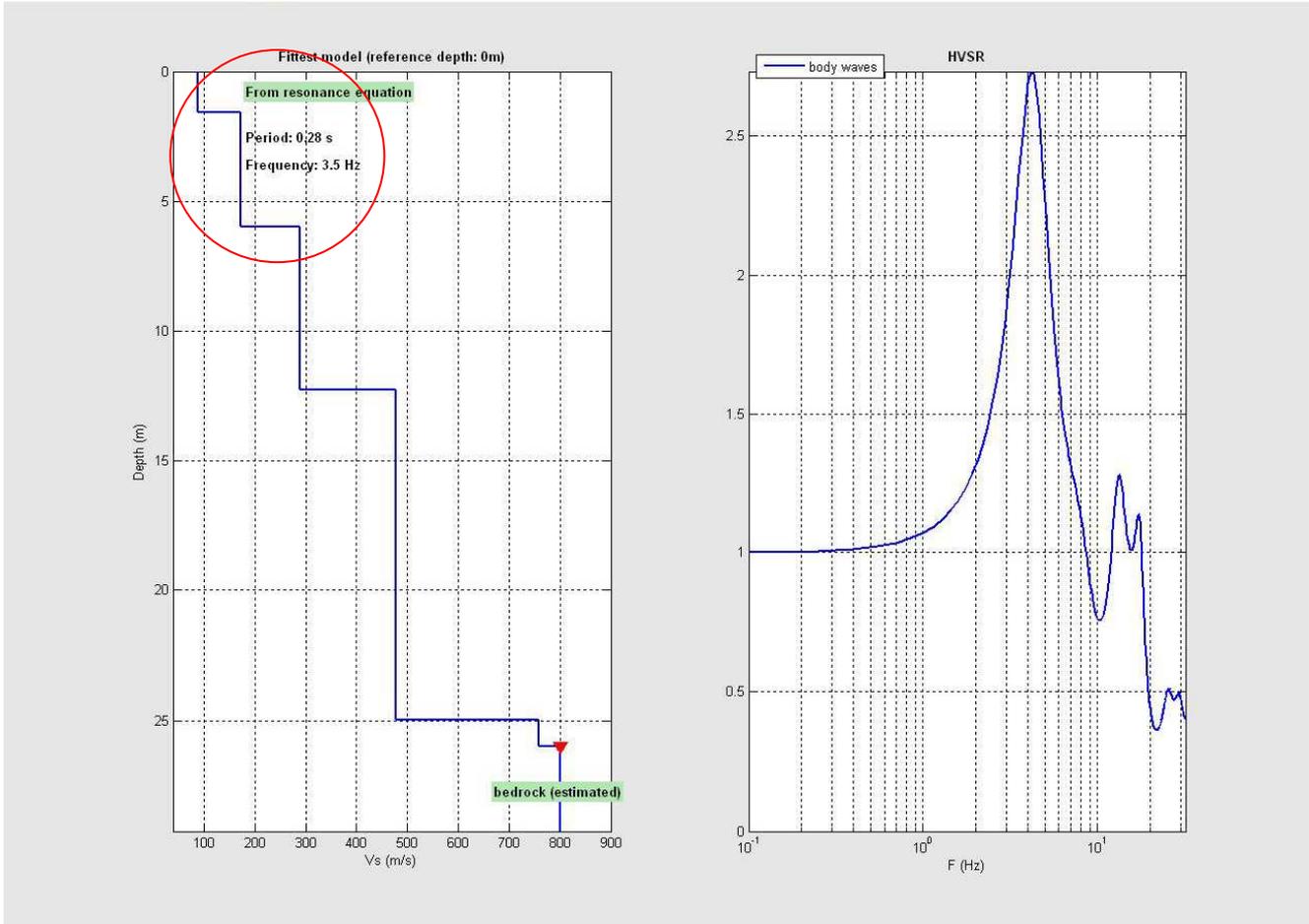
Young's modulus (MPa): 35, 143, 441, 1270, 3238

Lamé (MPa): 31, 118, 399, 1171, 2031

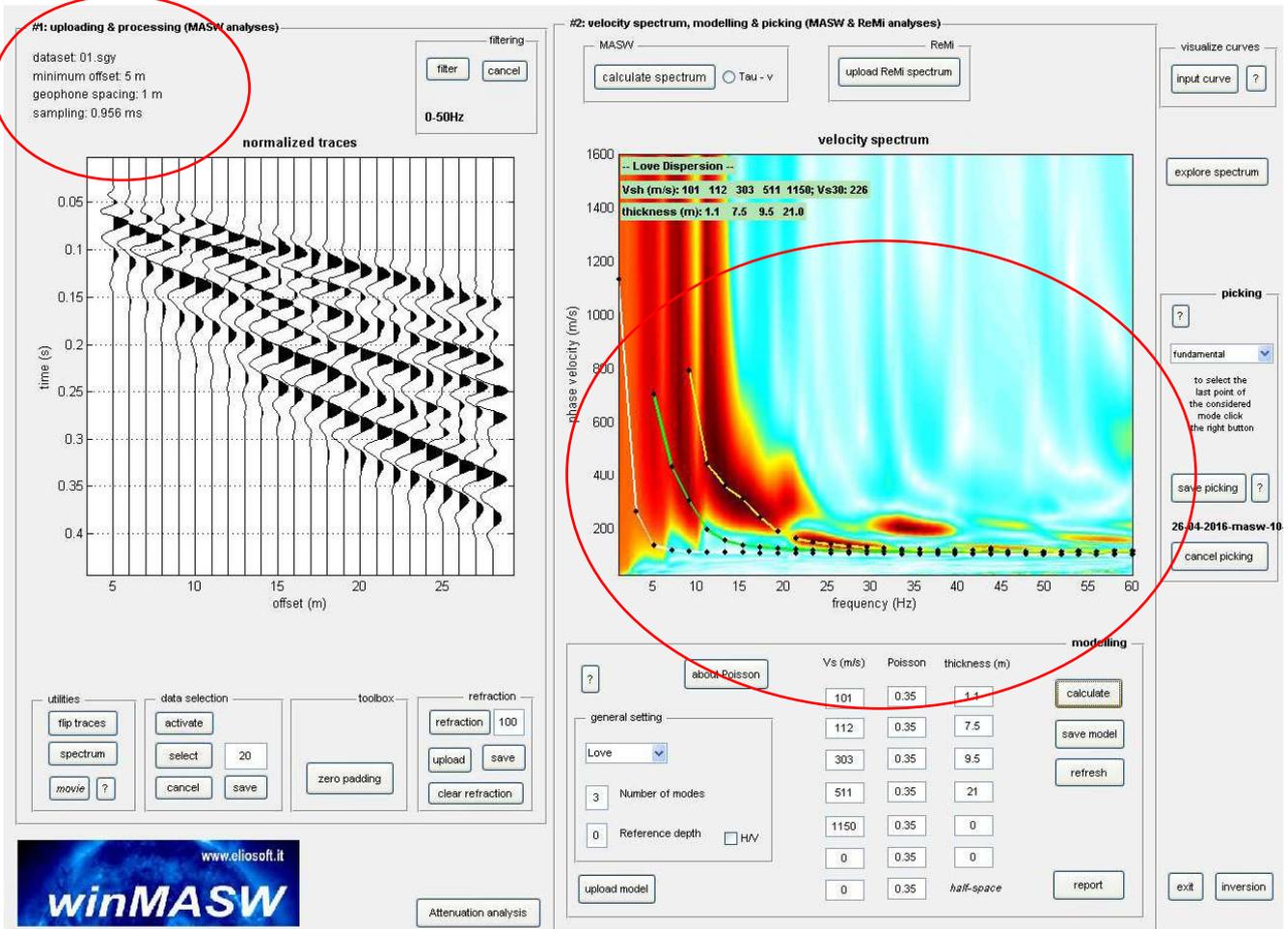
VS30 (m/s): 305 (velocità riferita al piano di campagna)

In accordo con la Normativa vigente, il valore di V_{s30} deve riferirsi alla profondità del piano di posa delle fondazioni. Nel progetto in esame, con la D.L. è stato ipotizzato un piano di posa delle fondazioni coincidente col piano di campagna, in conseguenza di ciò è stato ottenuto il seguente risultato:

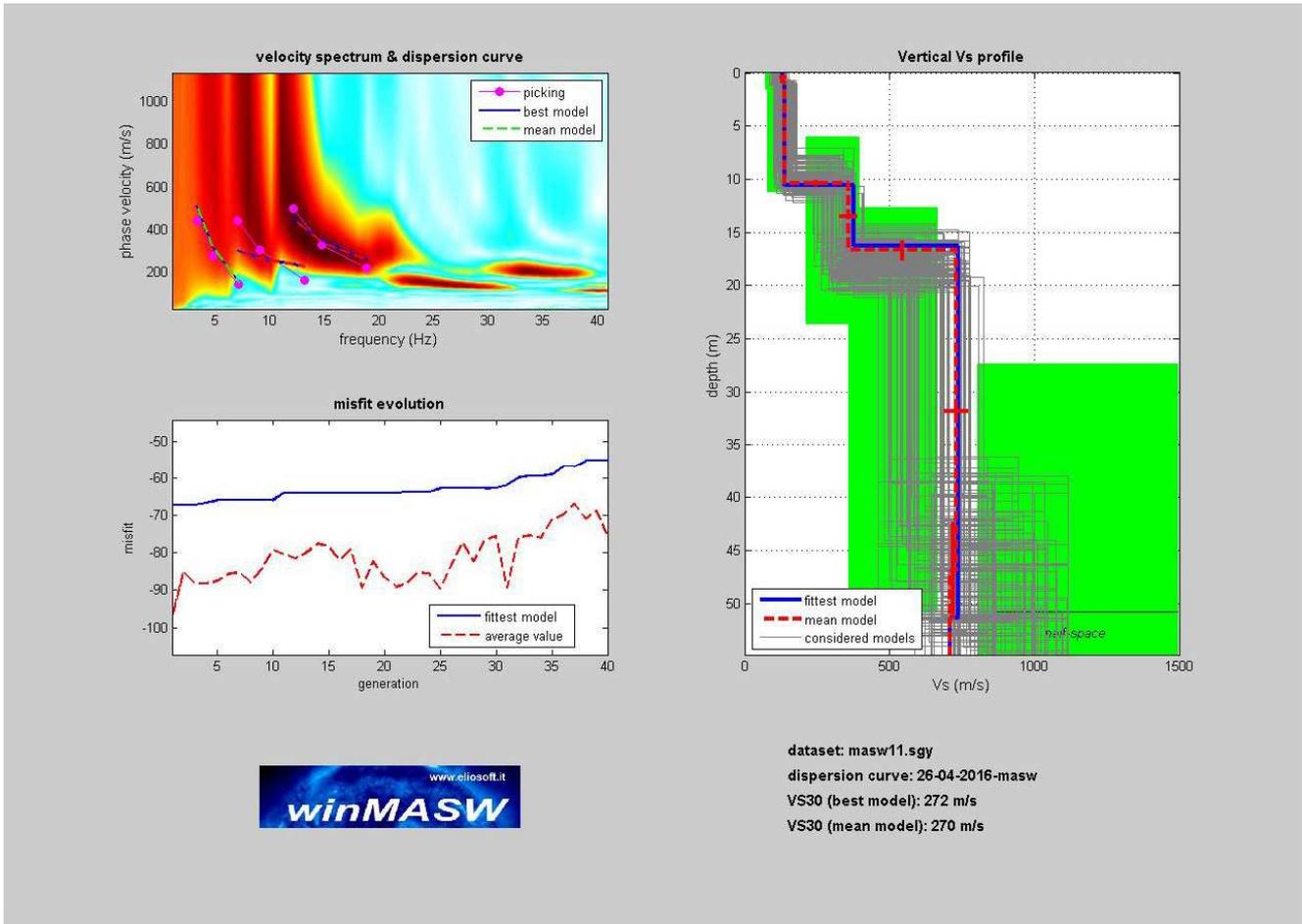
piano di posa delle fondazioni = 0.00mt, V_{s30} = 305m/s, Periodo = 0.28s, Frequenza 3.5Hz



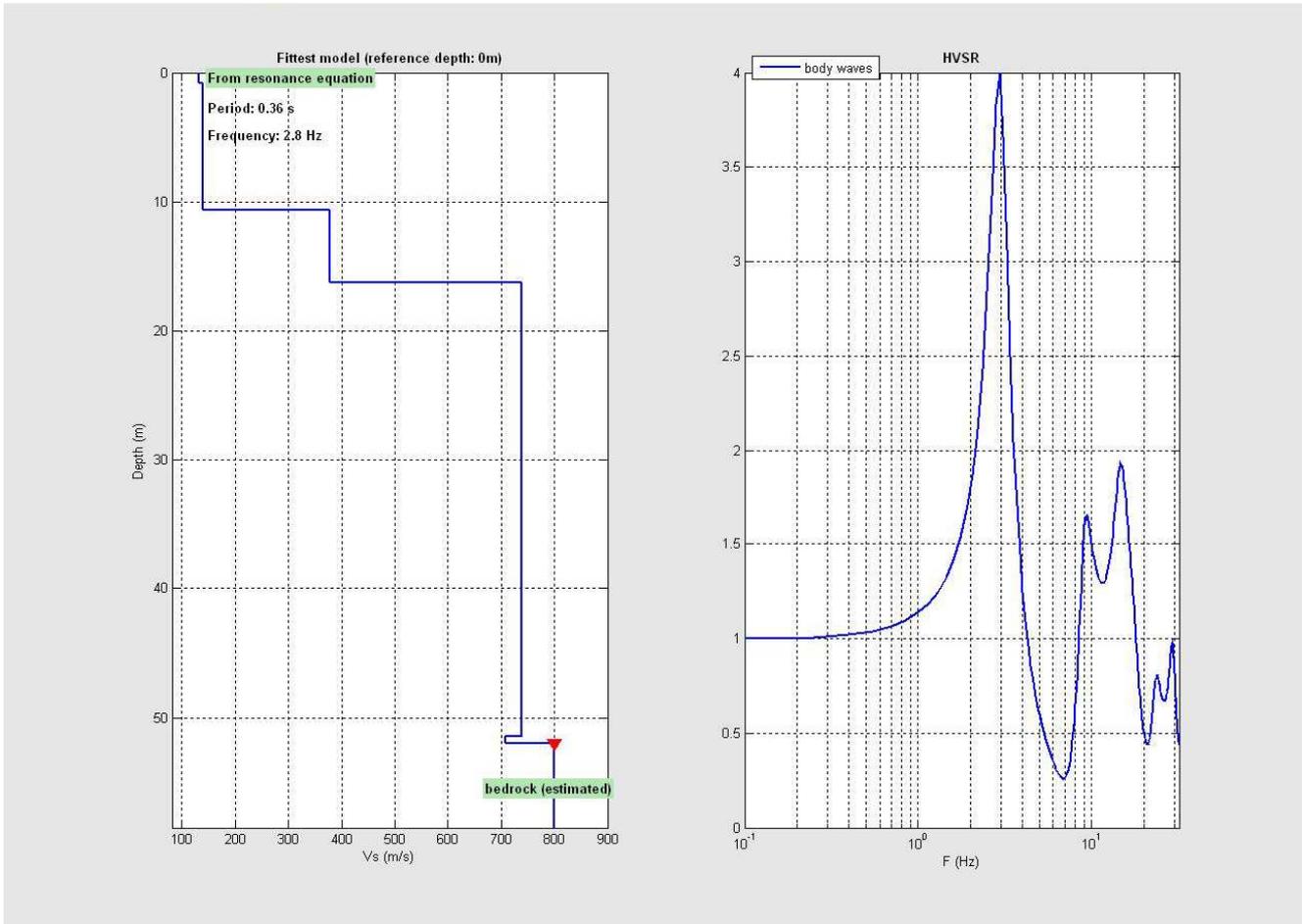
MASW 12



Sulla sinistra i dati di campagna, sulla destra, lo spettro di velocità con la curva di dispersione identificata.



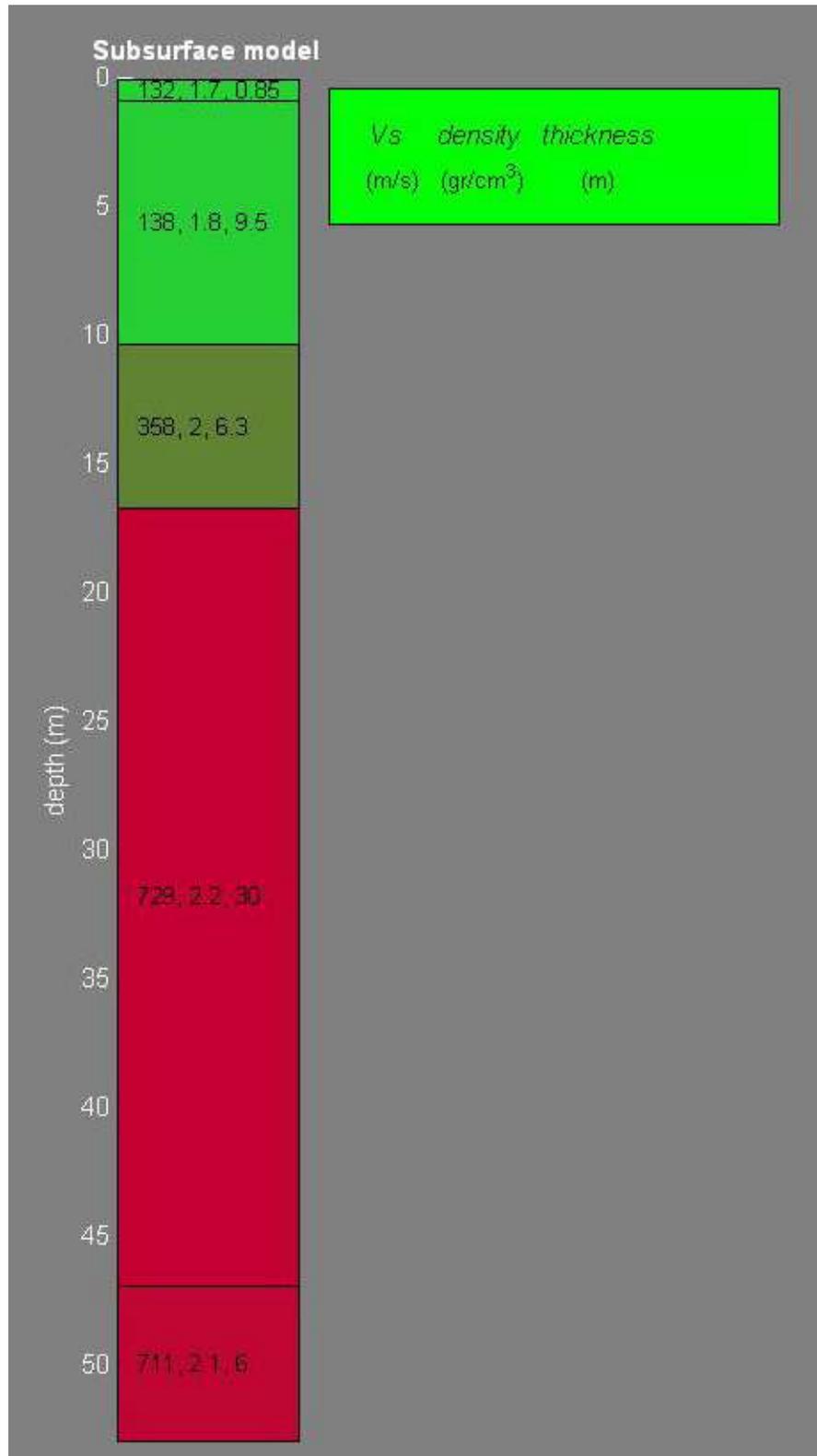
Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato (vedi anche Tabella 1) (modello "migliore" e medio sono tipicamente assolutamente analoghi). In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli *Algoritmi Genetici*).



Modellazione del rapporto spettrale H/V a partire dal profilo verticale della VS individuato.

Spessore (m)	Vs (m/s)	Modulo di taglio (MPa)
0.8	132	
9.5	138	
6.3	358	
30.2	729	
Semi-spazio	711	

tab n° 1



21. RIEPILOGO DATI

Mean model

Vs (m/s): 132, 138, 358, 729, 711

Standard deviations (m/s): 10, 5, 30, 39, 80

Thickness (m): 0.8, 9.5, 6.3, 30.2

Standard deviations (m/s): 0.1, 0.3, 0.9, 4.5

Density (gr/cm³): 1.75, 1.77, 2.00, 2.16, 2.12

Shear modulus (MPa): 30, 34, 257, 1149, 1072

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and elastic moduli (please, see manual)

Vp (m/s): 279, 313, 813, 1557, 1313

Poisson: 0.36, 0.38, 0.38, 0.36, 0.29

Bulk modulus (MPa): 95, 129, 982, 3709, 2226

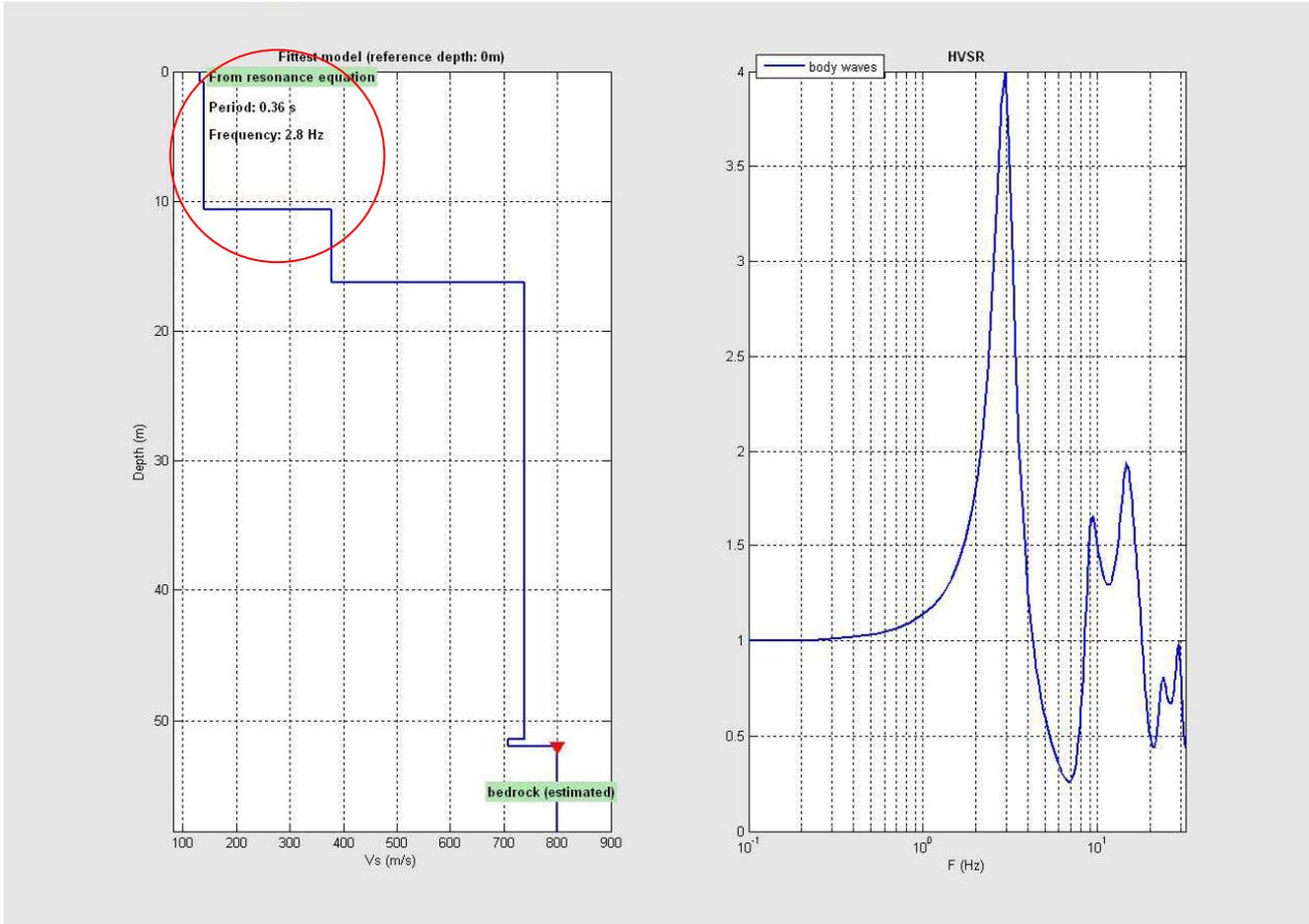
Young's modulus (MPa): 82, 93, 709, 3124, 2771

Lamé (MPa): 75, 106, 811, 2943, 1511

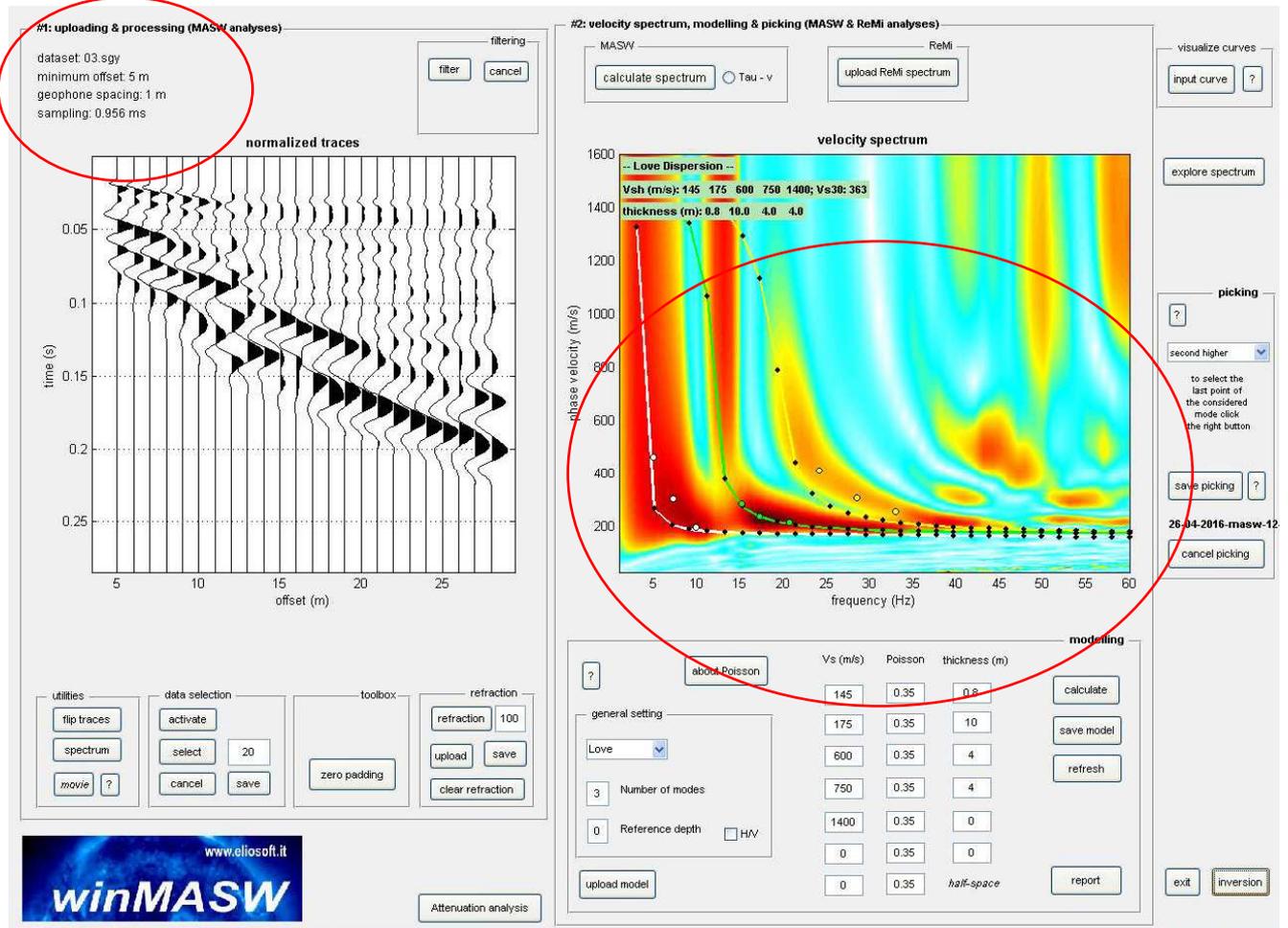
VS30 (m/s): 270 (velocità riferita al piano di campagna)

In accordo con la Normativa vigente, il valore di V_{s30} deve riferirsi alla profondità del piano di posa delle fondazioni. Nel progetto in esame, con la D.L. è stato ipotizzato un piano di posa delle fondazioni coincidente col piano di campagna, in conseguenza di ciò è stato ottenuto il seguente risultato:

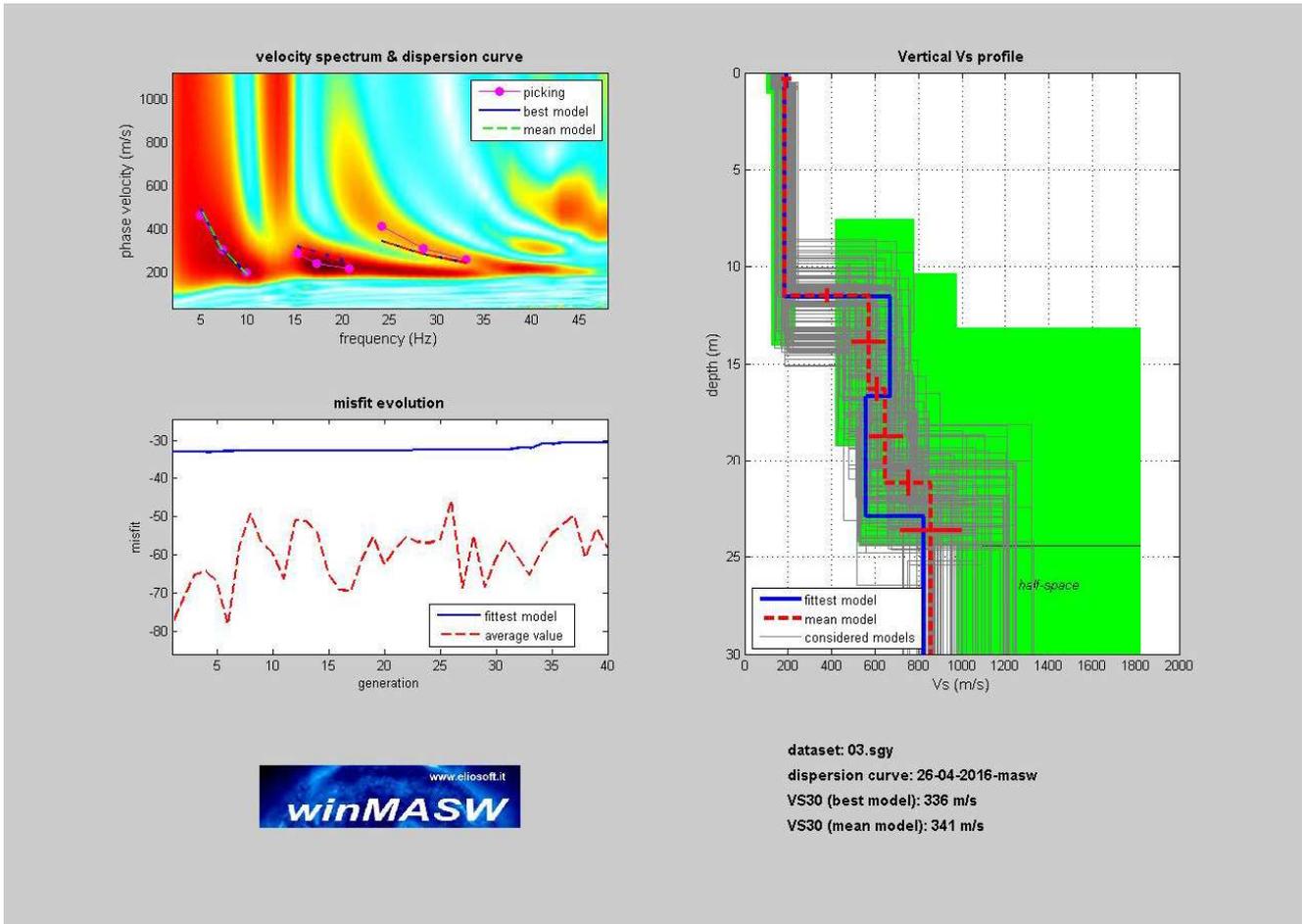
piano di posa delle fondazioni = 0.00mt, V_{s30} = 270m/s, Periodo = 0.36s, Frequenza 2.8Hz



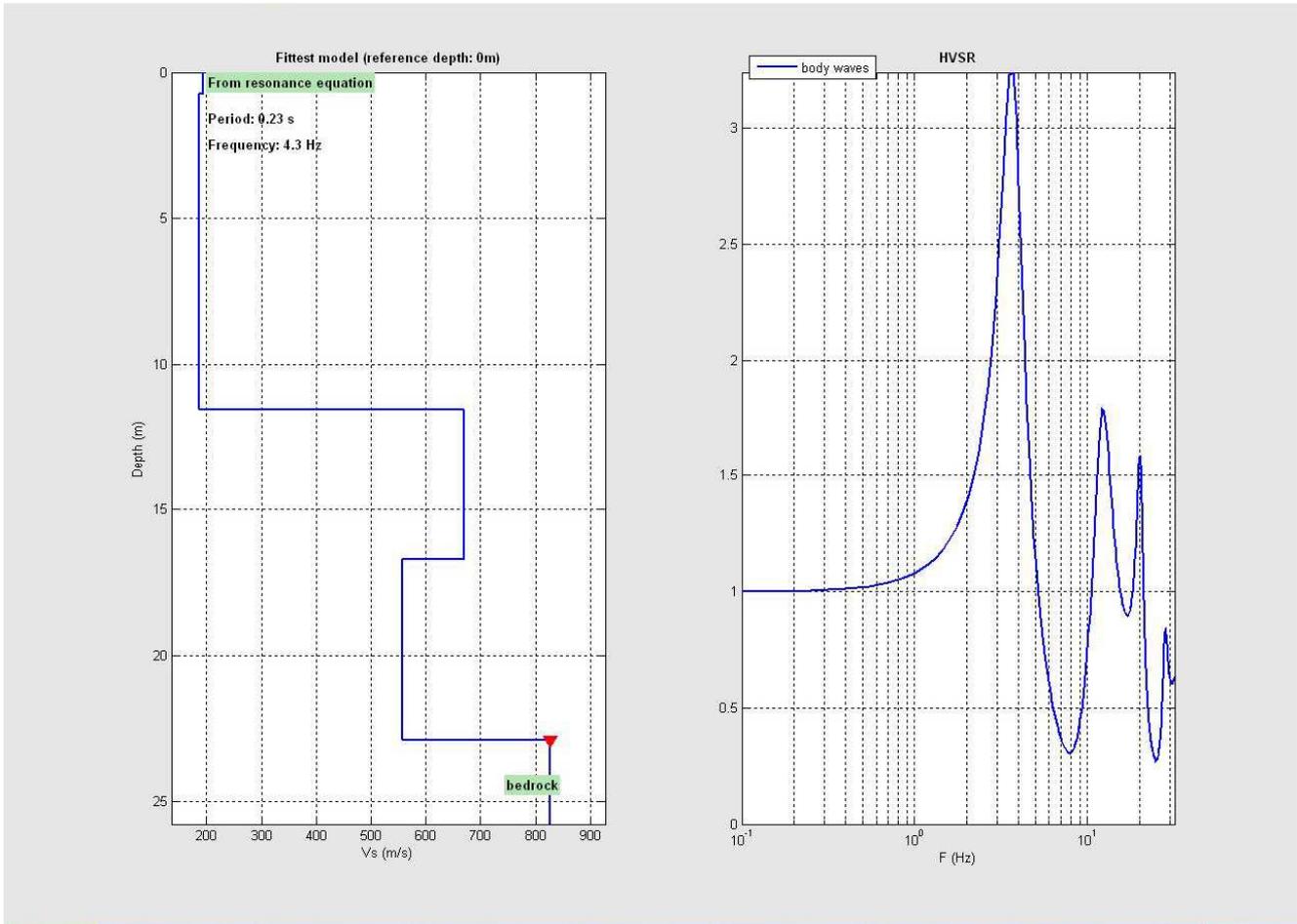
MASW 13



Sulla sinistra i dati di campagna, sulla destra, lo spettro di velocità con la curva di dispersione identificata.



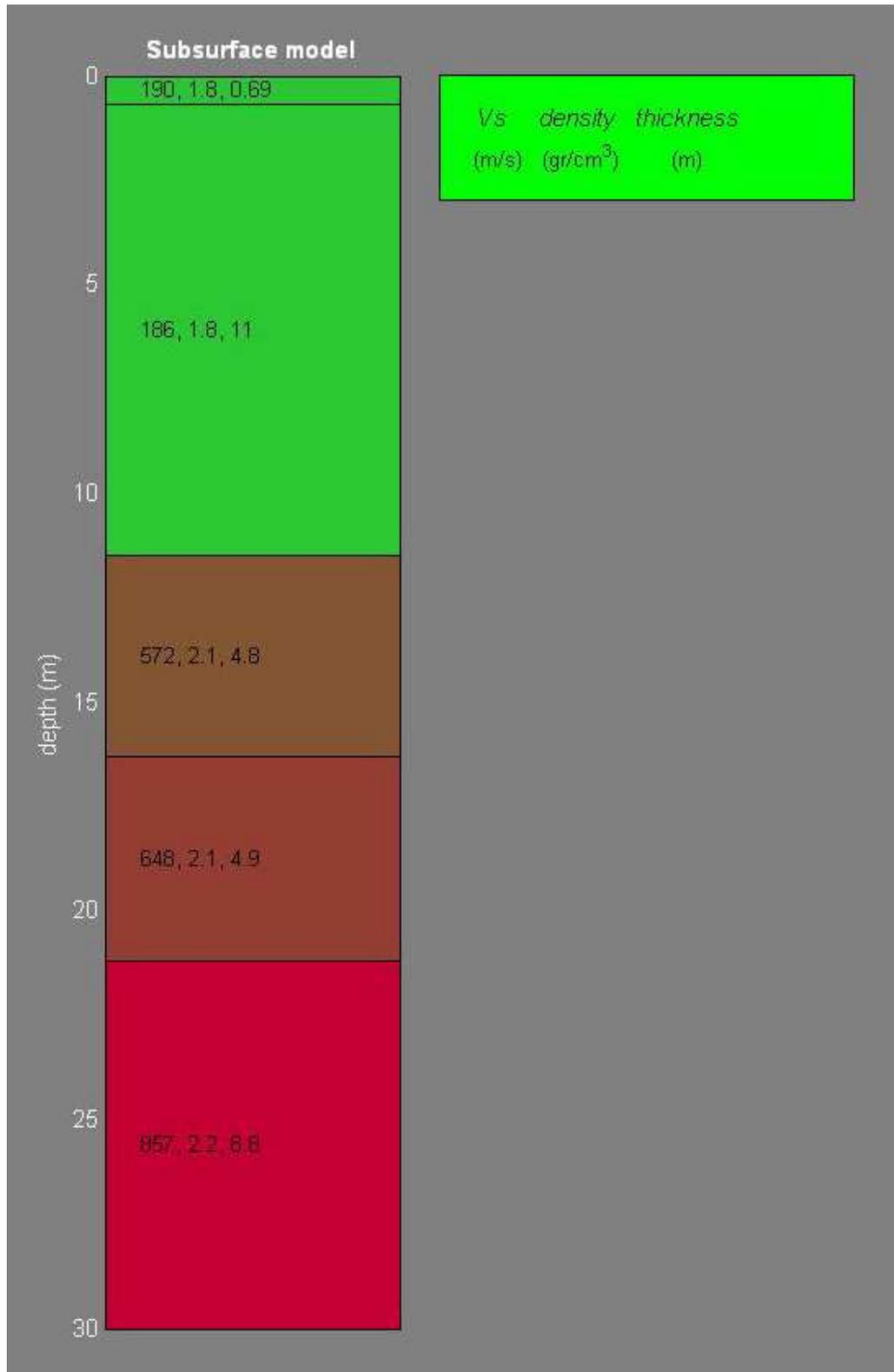
Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato (vedi anche Tabella 1) (modello "migliore" e medio sono tipicamente assolutamente analoghi). In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli *Algoritmi Genetici*).



Modellazione del rapporto spettrale H/V a partire dal profilo verticale della VS individuato.

Spessore (m)	Vs (m/s)	Modulo di taglio (MPa)
0.7	190	
10.8	186	
4.8	572	
4.9	648	
Semi-spazio	857	

tab n° 1



22. RIEPILOGO DATI

Mean model

Vs (m/s): 190, 186, 572, 648, 857

Standard deviations (m/s): 21, 3, 77, 77, 141

Thickness (m): 0.7, 10.8, 4.8, 4.9

Standard deviations (m/s): 0.1, 0.3, 0.6, 0.6

Density (gr/cm³): 1.84, 1.83, 2.14, 2.09, 2.16

Shear modulus (MPa): 66, 63, 699, 877, 1587

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and elastic moduli (please, see manual)

Vp (m/s): 413, 392, 1398, 1150, 1554

Poisson: 0.37, 0.35, 0.40, 0.27, 0.28

Bulk modulus (MPa): 225, 197, 3242, 1592, 3103

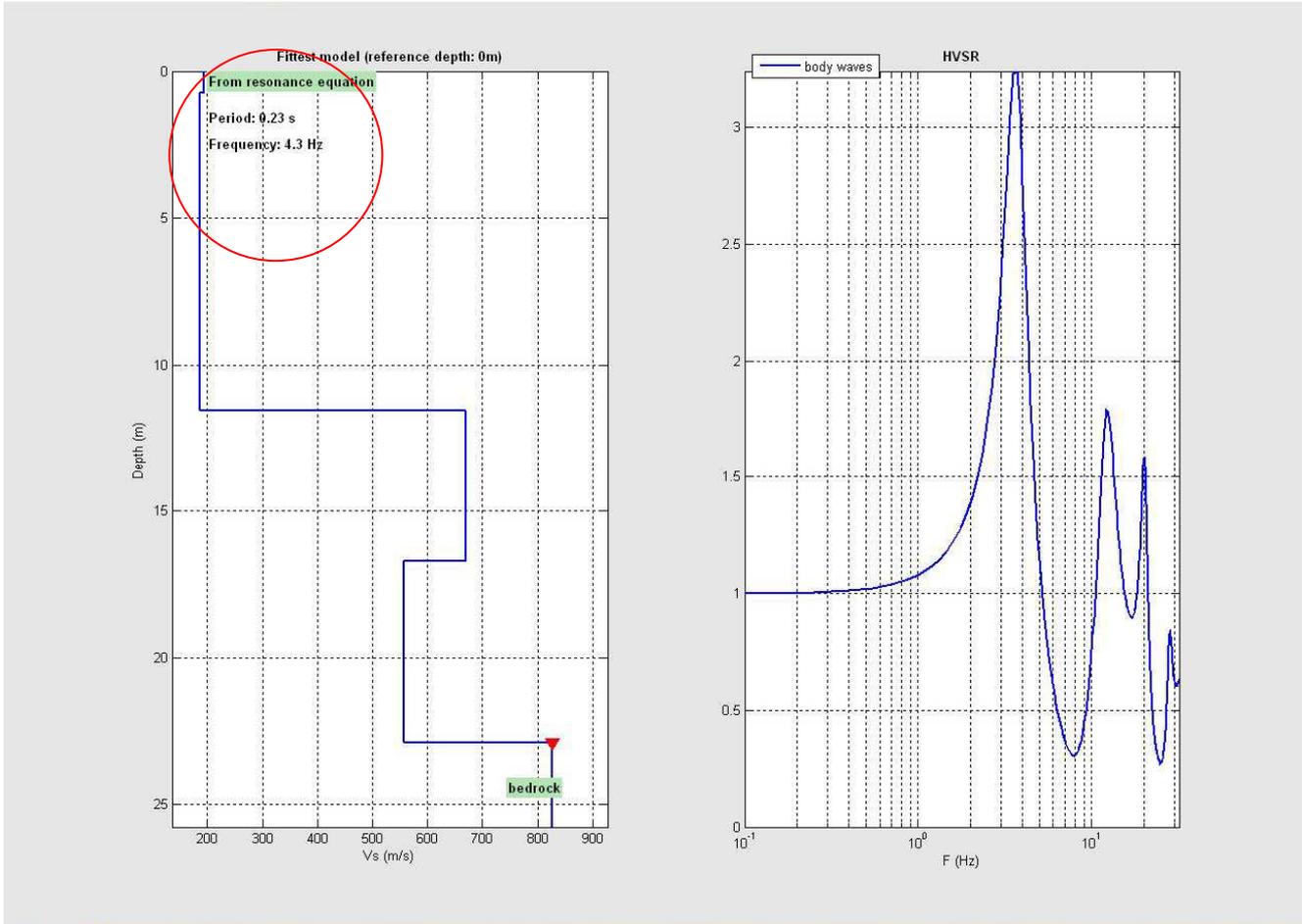
Young's modulus (MPa): 181, 171, 1955, 2222, 4068

Lamé (MPa): 181, 154, 2776, 1008, 2044

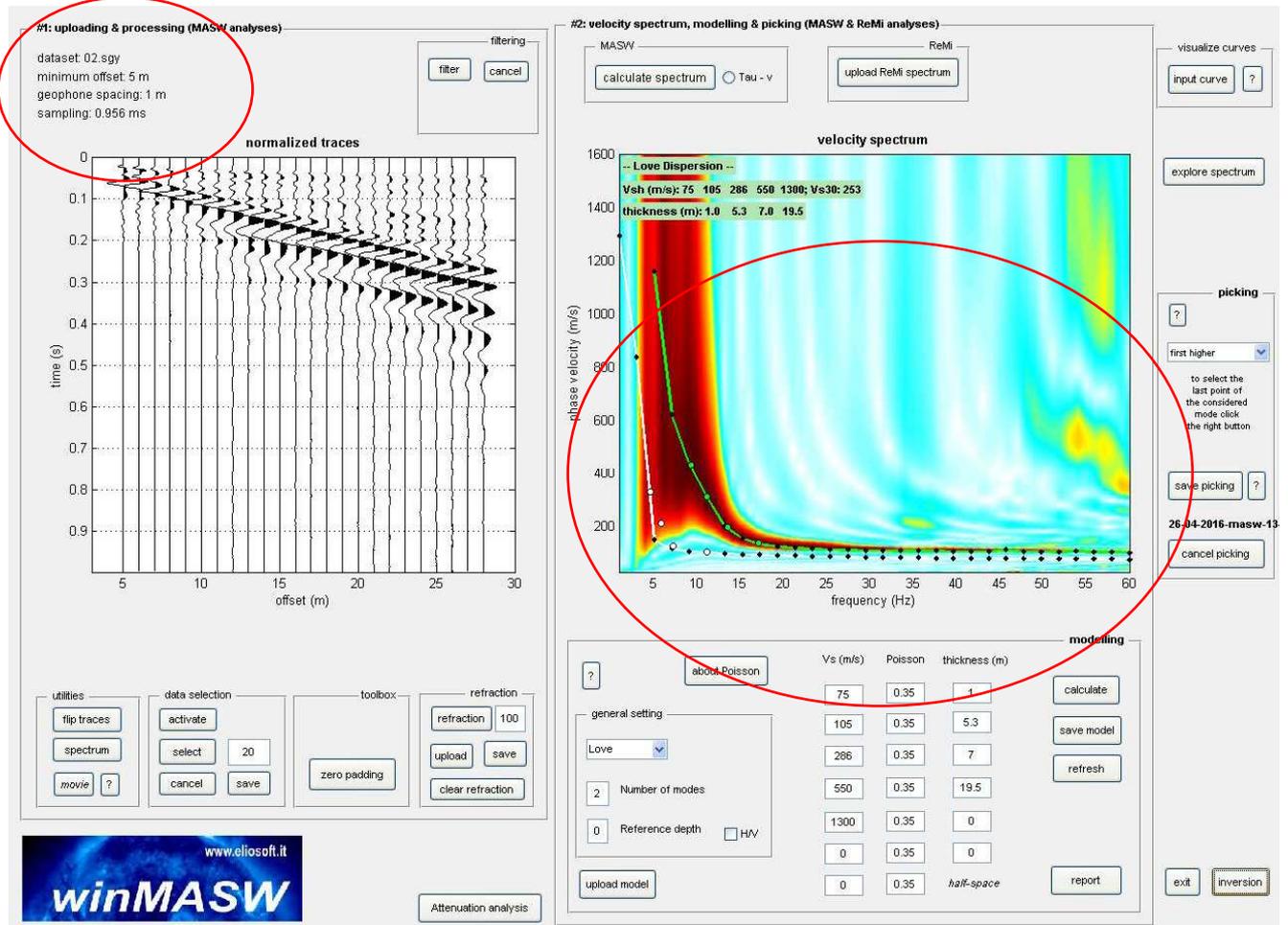
VS30 (m/s): 341 (velocità riferita al piano di campagna)

In accordo con la Normativa vigente, il valore di V_{s30} deve riferirsi alla profondità del piano di posa delle fondazioni. Nel progetto in esame, con la D.L. è stato ipotizzato un piano di posa delle fondazioni coincidente col piano di campagna, in conseguenza di ciò è stato ottenuto il seguente risultato:

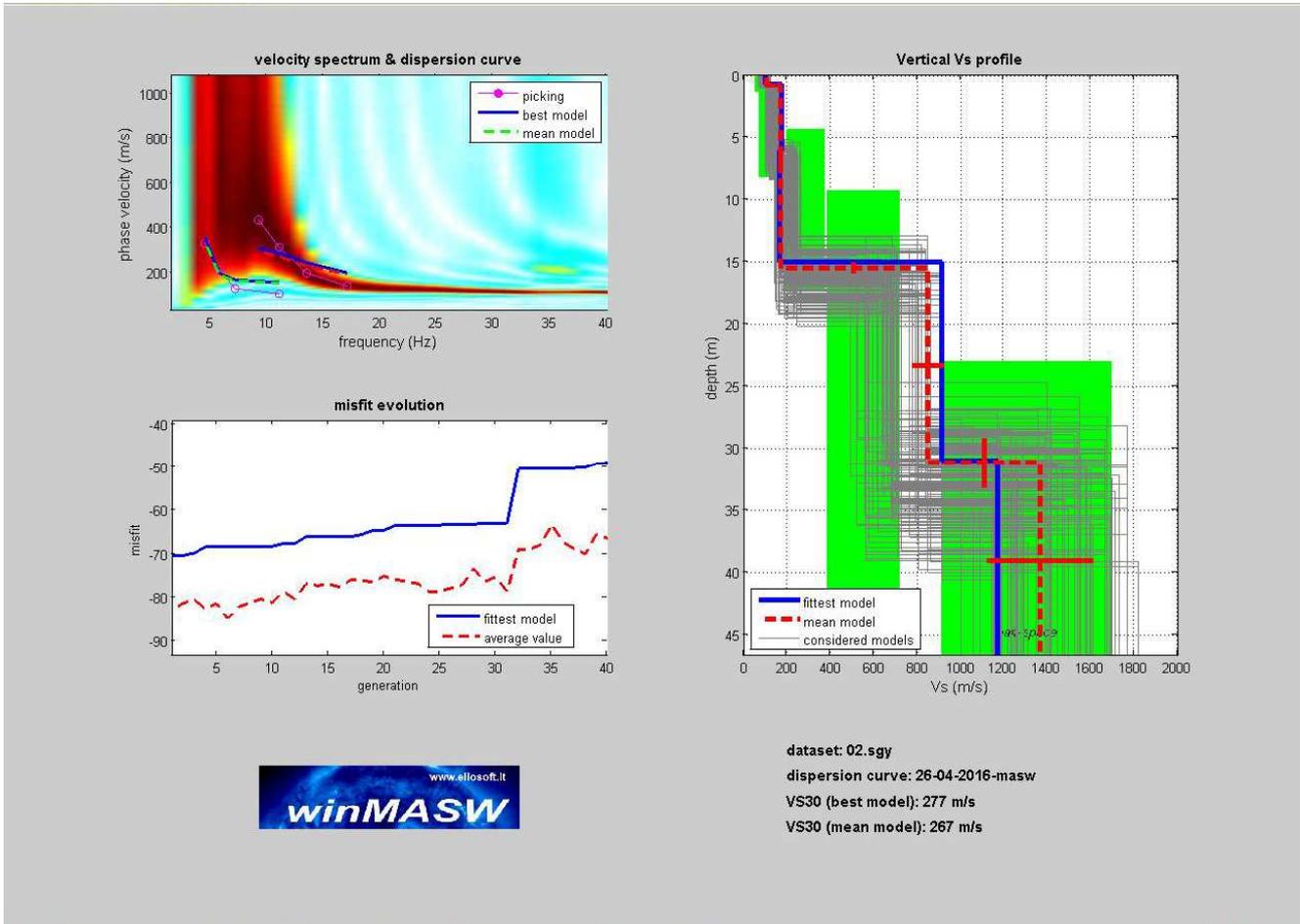
piano di posa delle fondazioni = 0.00mt, V_{s30} = 341 m/s, Periodo = 0.23s, Frequenza 4.3Hz



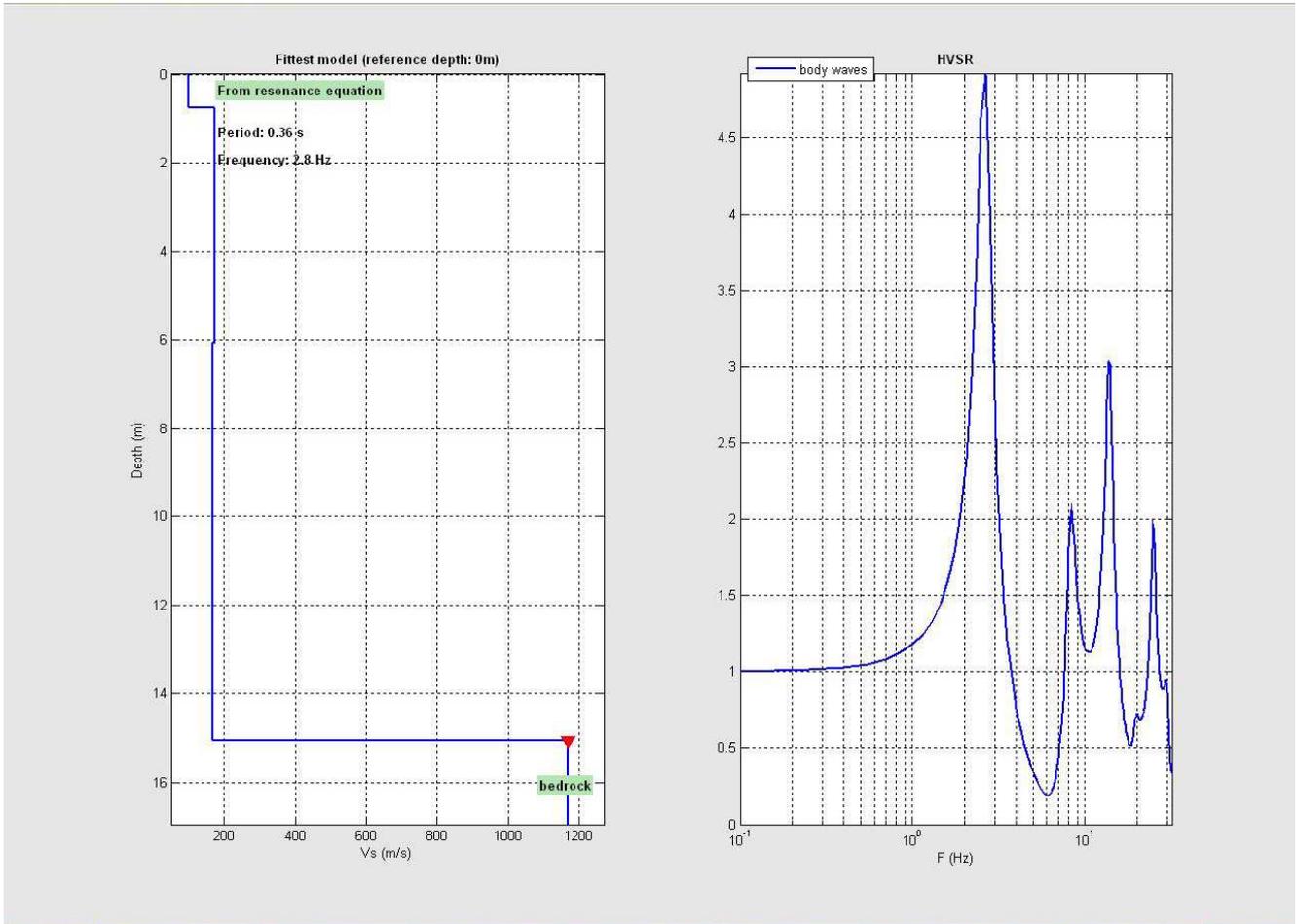
MASW I 4



Sulla sinistra i dati di campagna, sulla destra, lo spettro di velocità con la curva di dispersione identificata.



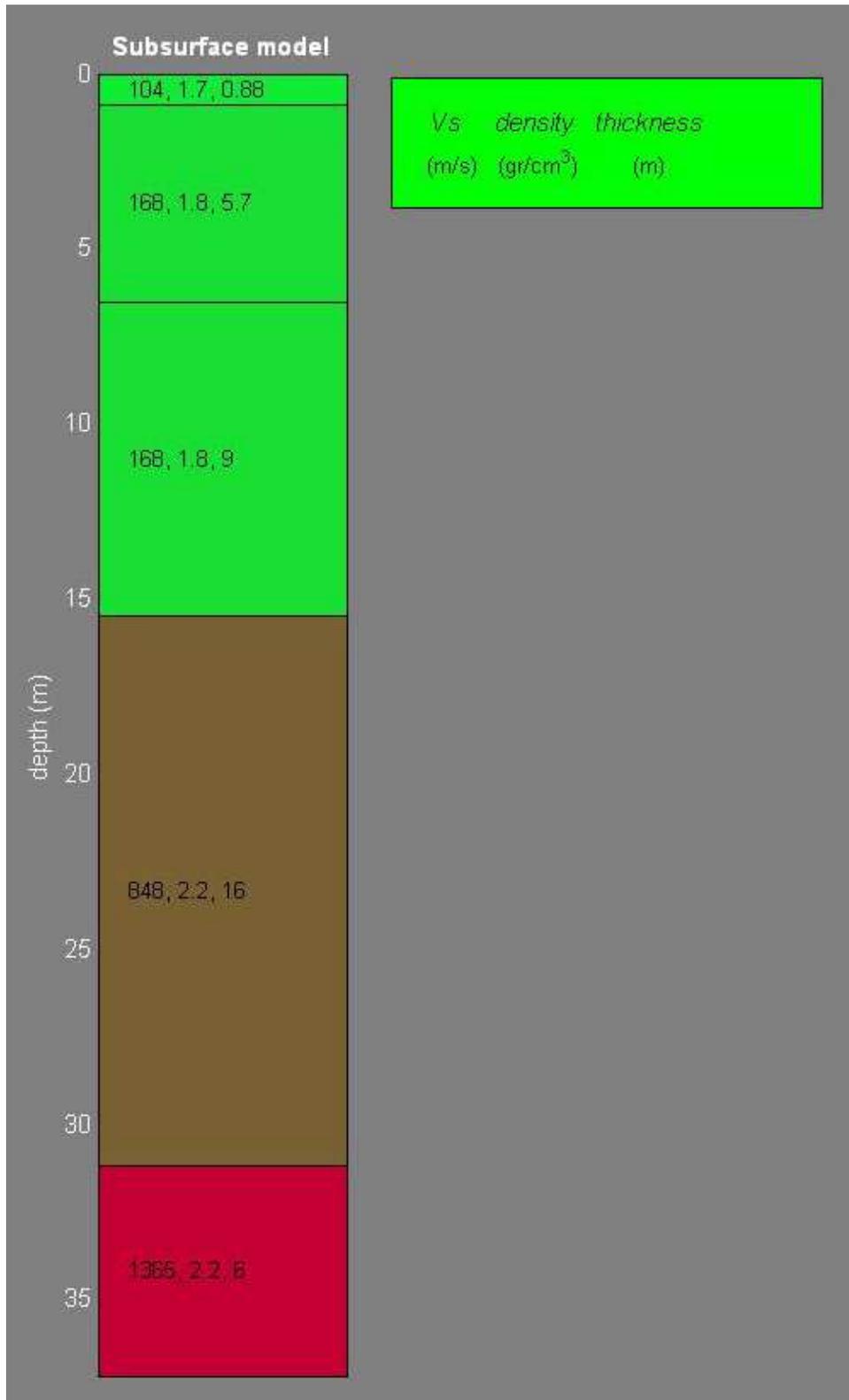
Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato (vedi anche Tabella 1) (modello "migliore" e medio sono tipicamente assolutamente analoghi). In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli *Algoritmi Genetici*).



Modellazione del rapporto spettrale H/V a partire dal profilo verticale della VS individuato.

Spessore (m)	Vs (m/s)	Modulo di taglio (MPa)
0.9	104	
5.7	168	
9.0	168	
15.7	848	
Semi-spazio	1365	

tab n° 1



23. RIEPILOGO DATI

Mean model

Vs (m/s): 104, 168, 168, 848, 1365

Standard deviations (m/s): 8, 6, 4, 74, 243

Thickness (m): 0.9, 5.7, 9.0, 15.7

Standard deviations (m/s): 0.1, 0.5, 0.4, 1.9

Density (gr/cm³): 1.67, 1.82, 1.82, 2.21, 2.25

Shear modulus (MPa): 18, 51, 51, 1591, 4188

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and elastic moduli (please, see manual)

Vp (m/s): 206, 382, 373, 1925, 2218

Poisson: 0.33, 0.38, 0.37, 0.38, 0.20

Bulk modulus (MPa): 47, 197, 184, 6079, 5474

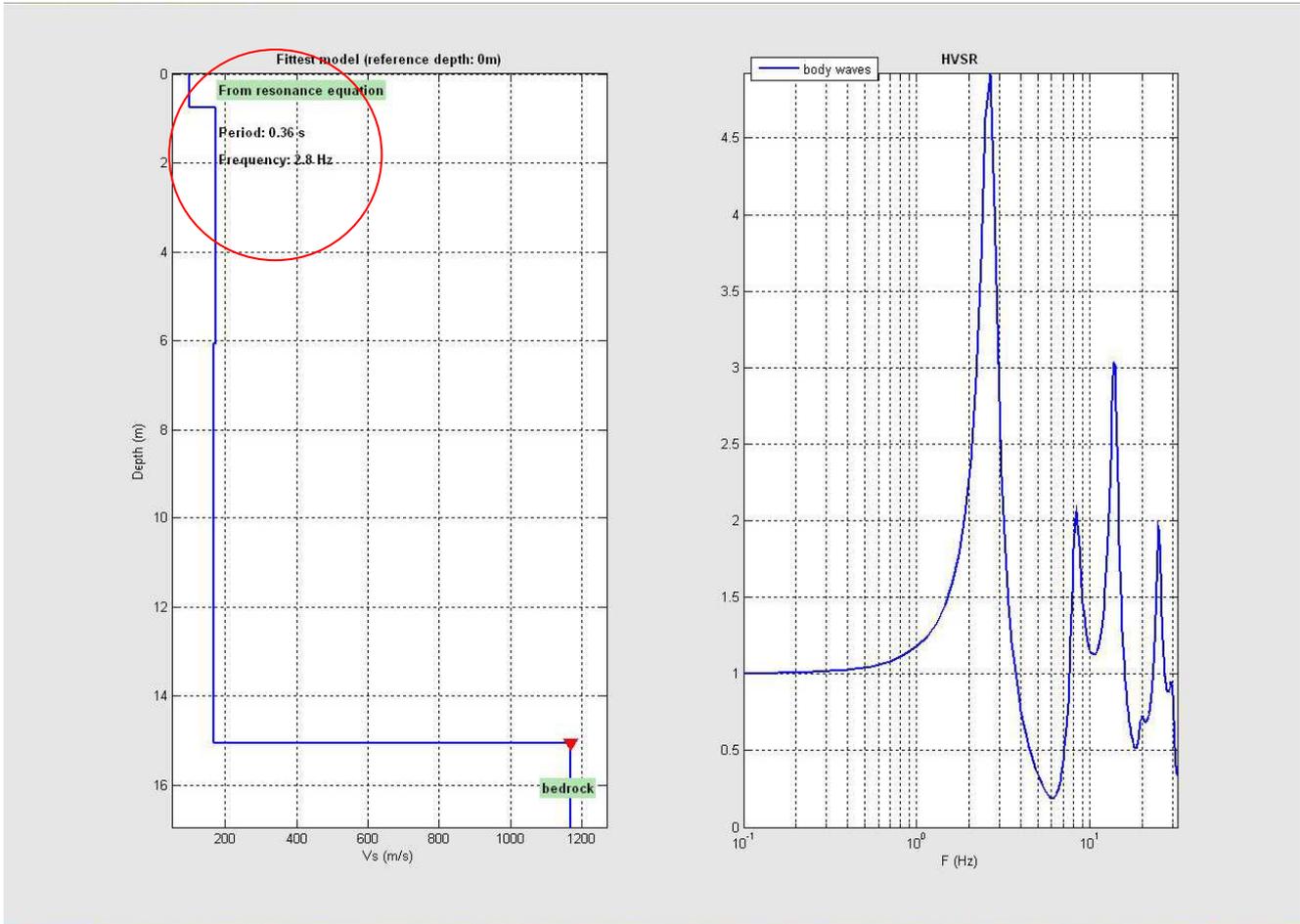
Young's modulus (MPa): 48, 142, 141, 4391, 10011

Lamé (MPa): 35, 163, 150, 5018, 2682

VS30 (m/s): 267 (velocità riferita al piano di campagna)

In accordo con la Normativa vigente, il valore di V_{s30} deve riferirsi alla profondità del piano di posa delle fondazioni. Nel progetto in esame, con la D.L. è stato ipotizzato un piano di posa delle fondazioni coincidente col piano di campagna, in conseguenza di ciò è stato ottenuto il seguente risultato:

piano di posa delle fondazioni = 0.00mt, V_{s30} = 267m/s, Periodo = 0.36s, Frequenza 2.8Hz



MASW 15

#1: uploading & processing (MASW analyses)

dataset: masw14.sgy
 minimum offset: 5 m
 geophone spacing: 1 m
 sampling: 0.956 ms

filtering:

normalized traces

time (s): 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35

offset (m): 5, 10, 15, 20, 25

utilities: ?

data selection: 20

toolbox:

refraction: 100

Attenuation analysis:

www.eliosoft.it
winMASW

#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW & ReMi analyses)

MASW Tau - v ReMi

visualize curves: ?

velocity spectrum

-- Love Dispersion --
 Vsh (m/s): 105 155 236 650 1400; Vs30: 350
 thickness (m): 0.0 2.2 5.0 22.0

phase velocity (m/s): 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600

frequency (Hz): 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60

picking: ? ?

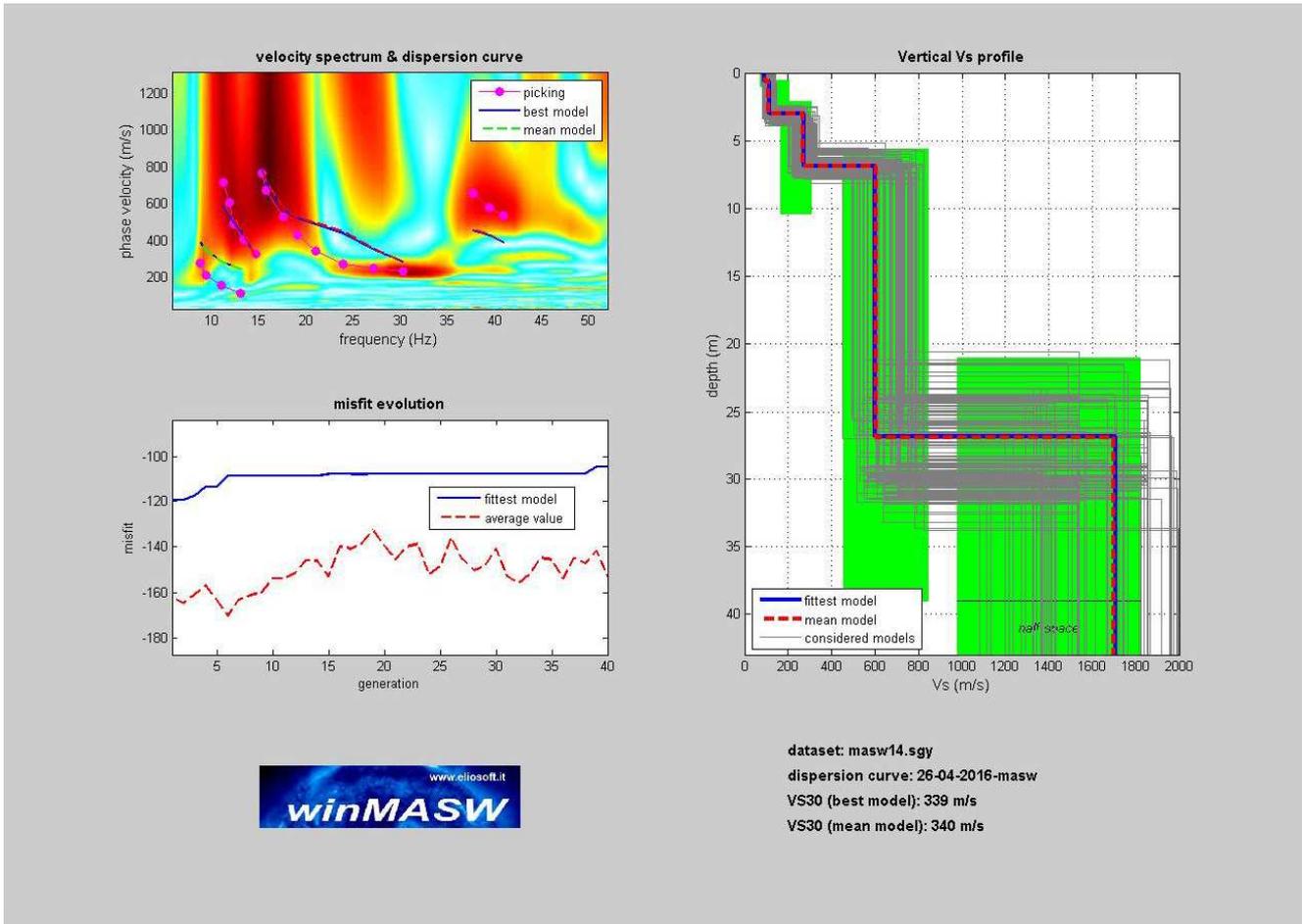
26.04.2016-masw-14

modelling

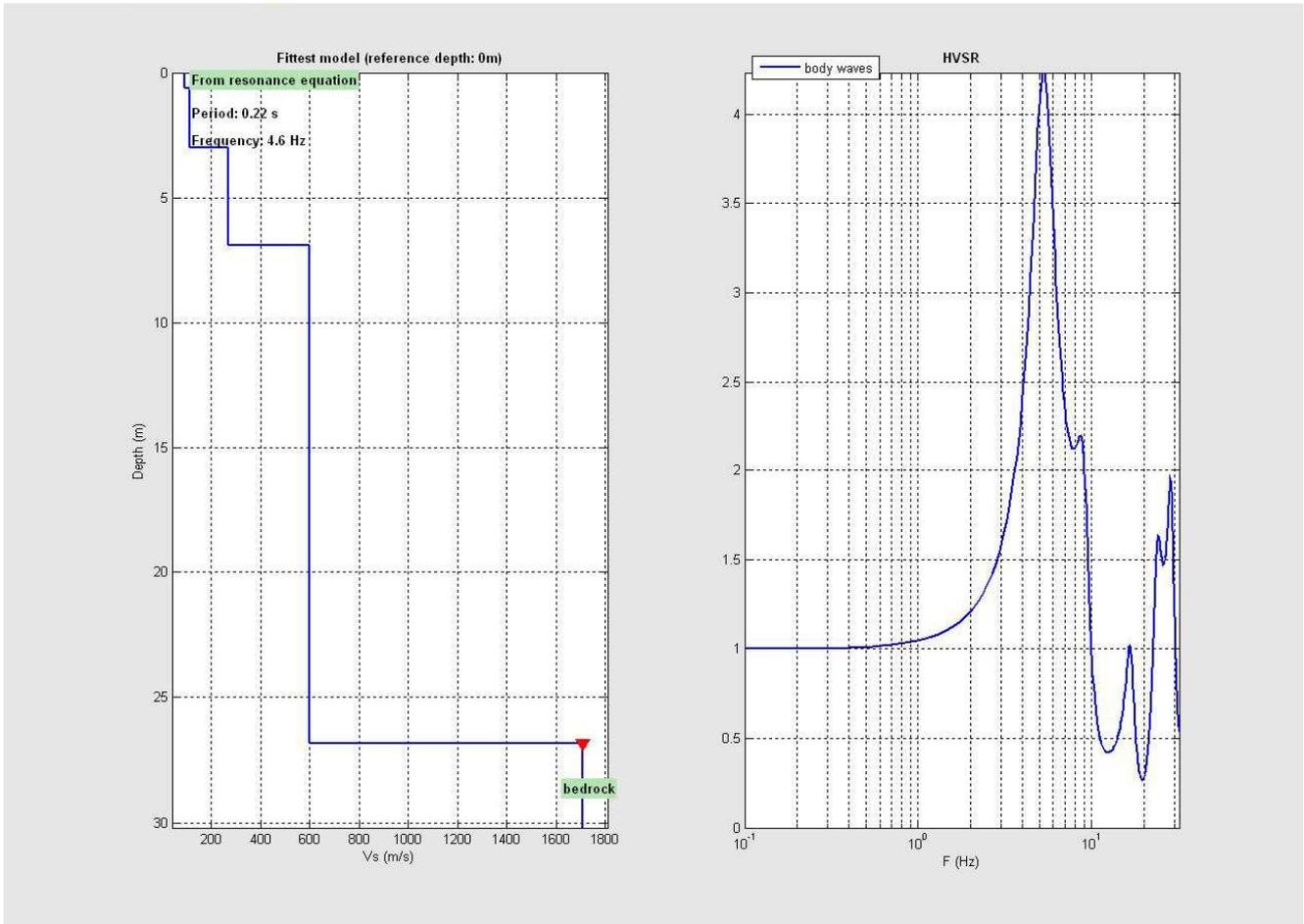
about Poisson

	Vs (m/s)	Poisson	thickness (m)
general setting	105	0.35	0.0
Love	155	0.35	2.2
	236	0.35	5
4 Number of modes	650	0.35	22
0 Reference depth	1400	0.35	0
	0	0.35	0
	0	0.35	half-space

Sulla sinistra i dati di campagna, sulla destra, lo spettro di velocità con la curva di dispersione identificata.



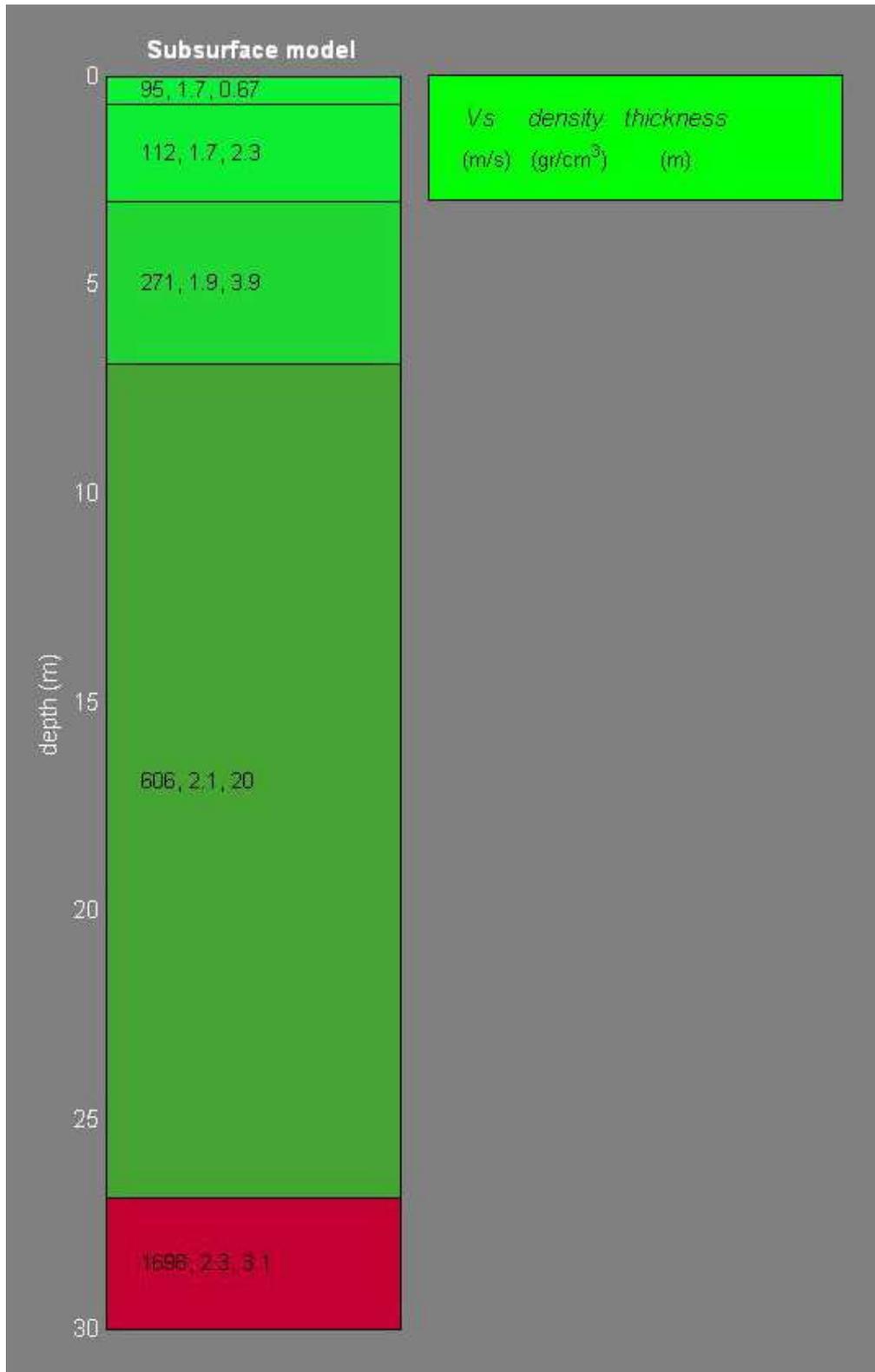
Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato (vedi anche Tabella 1) (modello "migliore" e medio sono tipicamente assolutamente analoghi). In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli *Algoritmi Genetici*).



Modellazione del rapporto spettrale H/V a partire dal profilo verticale della VS individuato.

Spessore (m)	Vs (m/s)	Modulo di taglio (MPa)
0.7	95	
2.3	112	
3.9	271	
20.0	606	
Semi-spazio	1698	

tab n° 1



24. RIEPILOGO DATI

Mean model

Vs (m/s): 95, 112, 271, 606, 1698

Thickness (m): 0.7, 2.3, 3.9, 20.0

Density (gr/cm³): 1.66, 1.72, 1.91, 2.11, 2.34

Shear modulus (MPa): 15, 22, 140, 773, 6737

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and elastic moduli (please, see manual)

Vp (m/s): 196, 252, 551, 1240, 3192

Poisson: 0.35, 0.38, 0.34, 0.34, 0.30

Bulk modulus (MPa): 44, 81, 393, 2207, 14825

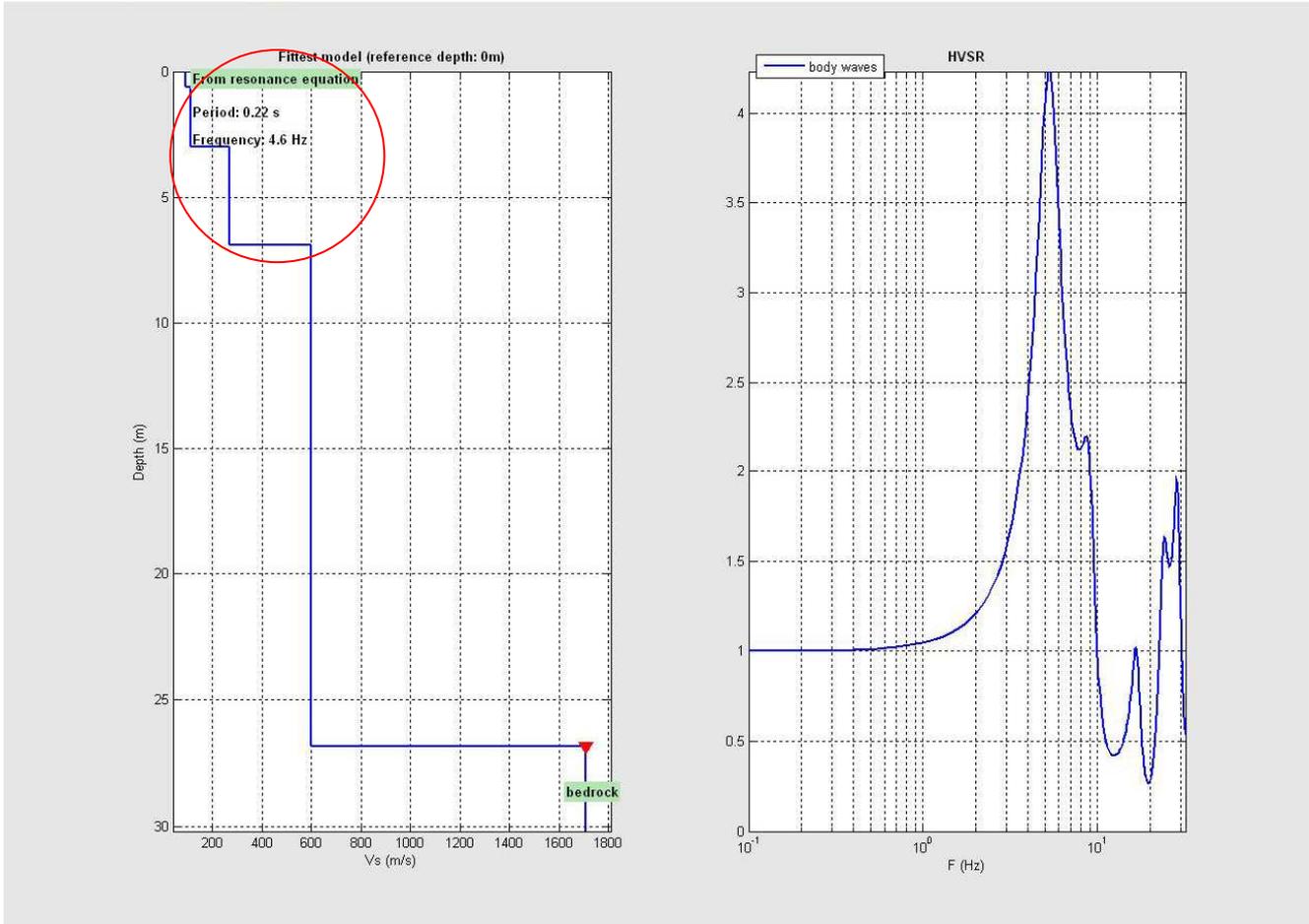
Young's modulus (MPa): 40, 59, 376, 2078, 17552

Lamé (MPa): 34, 66, 299, 1691, 10333

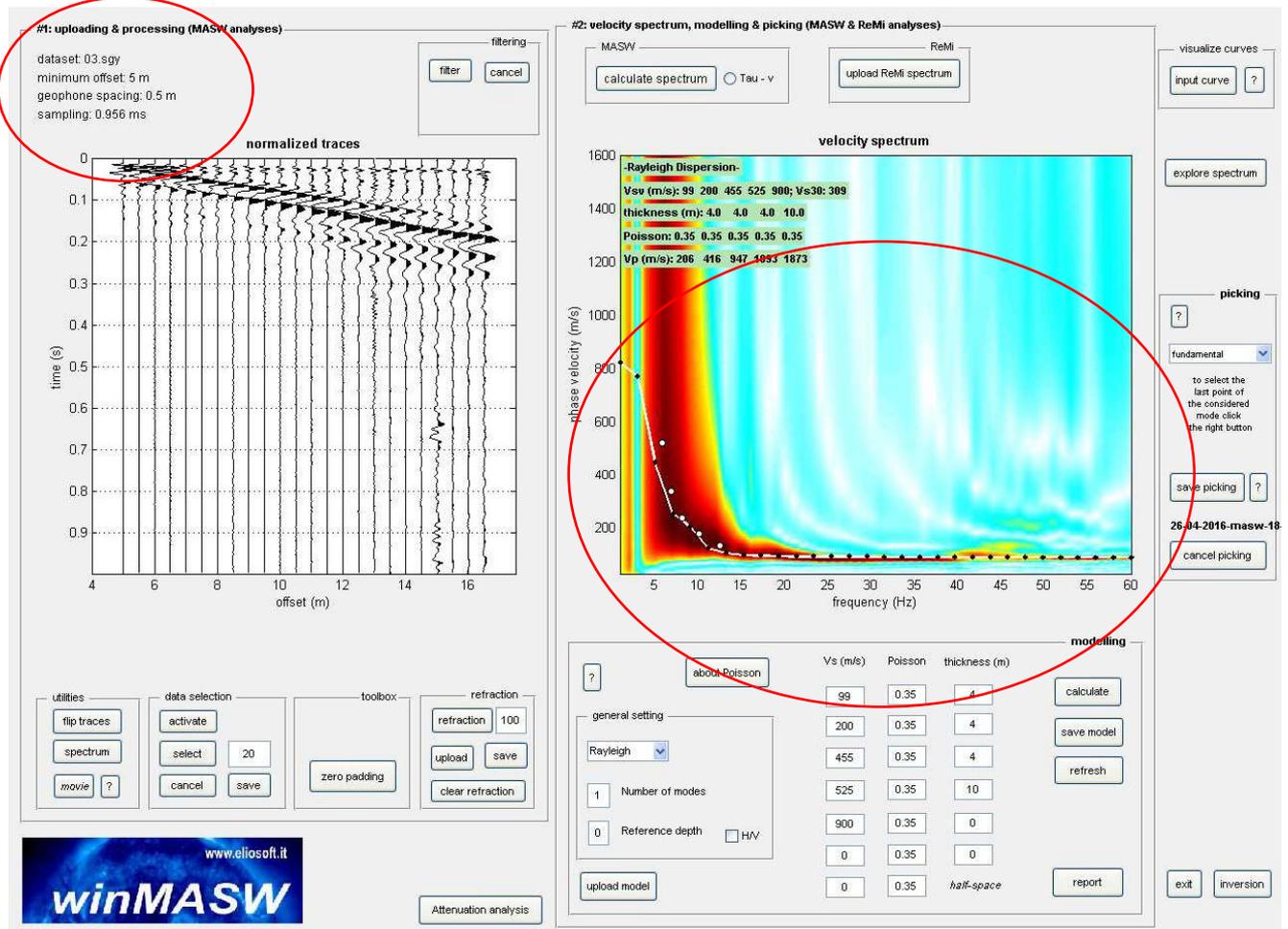
VS30 (m/s): 340 (velocità riferita al piano di campagna)

In accordo con la Normativa vigente, il valore di V_{s30} deve riferirsi alla profondità del piano di posa delle fondazioni. Nel progetto in esame, con la D.L. è stato ipotizzato un piano di posa delle fondazioni coincidente col piano di campagna, in conseguenza di ciò è stato ottenuto il seguente risultato:

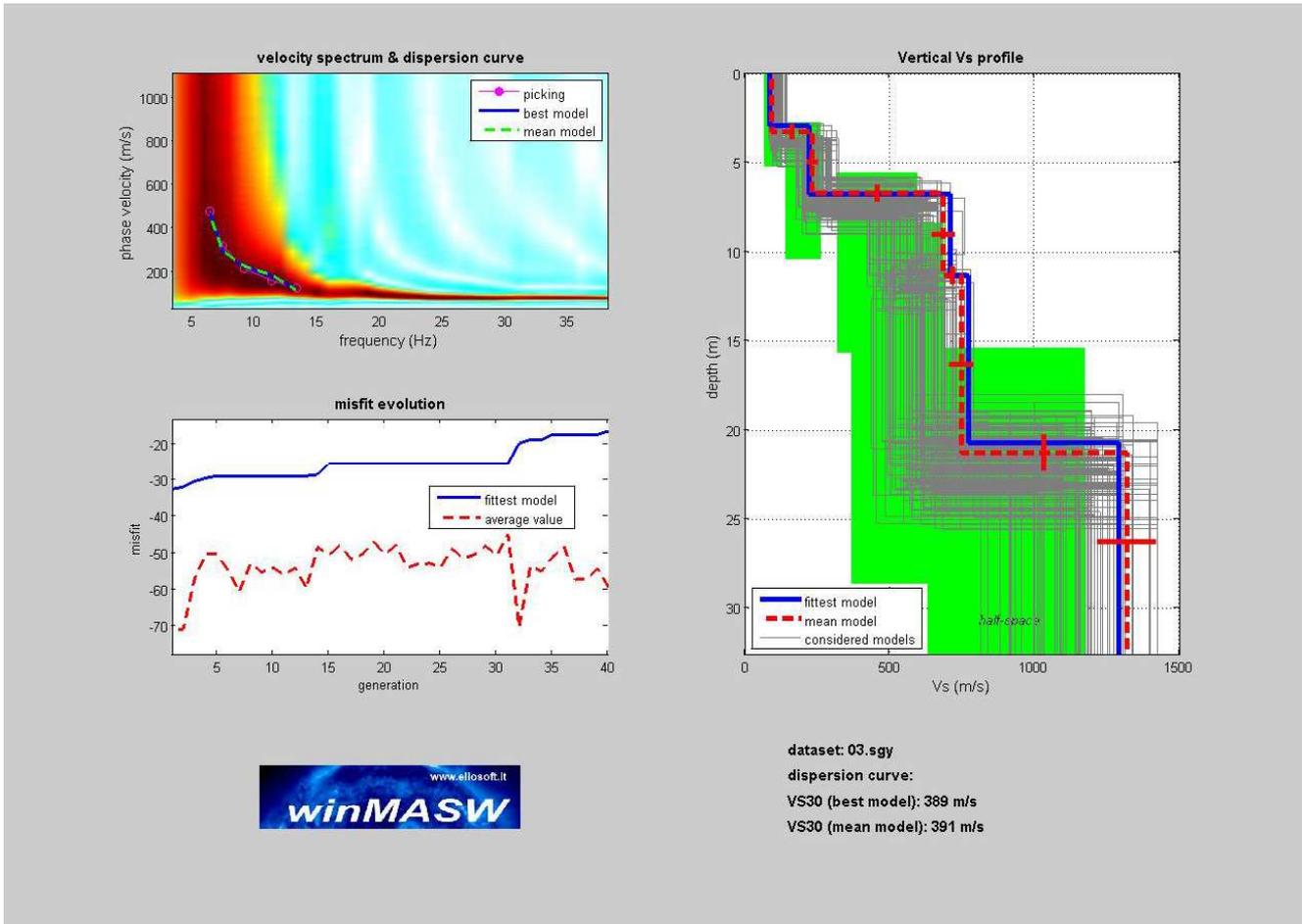
piano di posa delle fondazioni = 0.00mt, V_{s30} = 340m/s, Periodo = 0.22s, Frequenza 4.6Hz



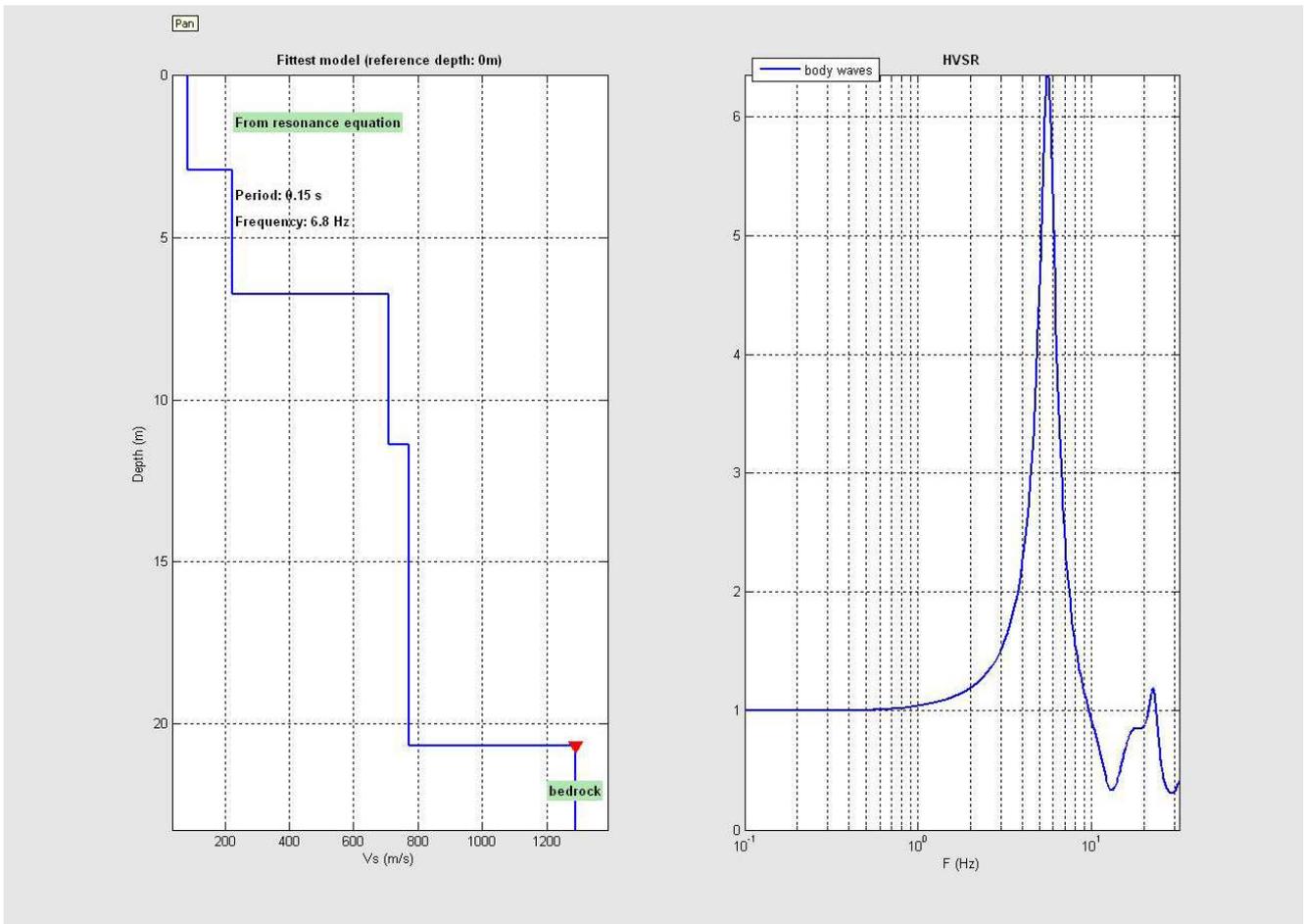
MASW 16



Sulla sinistra i dati di campagna, sulla destra, lo spettro di velocità con la curva di dispersione identificata.



Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato (vedi anche Tabella 1) (modello "migliore" e medio sono tipicamente assolutamente analoghi). In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli *Algoritmi Genetici*).



Modellazione del rapporto spettrale H/V a partire dal profilo verticale della VS individuato.

Spessore (m)	Vs (m/s)	Modulo di taglio (MPa)
3.3	93	
3.5	233	
4.6	683	
10.0	746	
Semi-spazio	1316	

tab n° 1

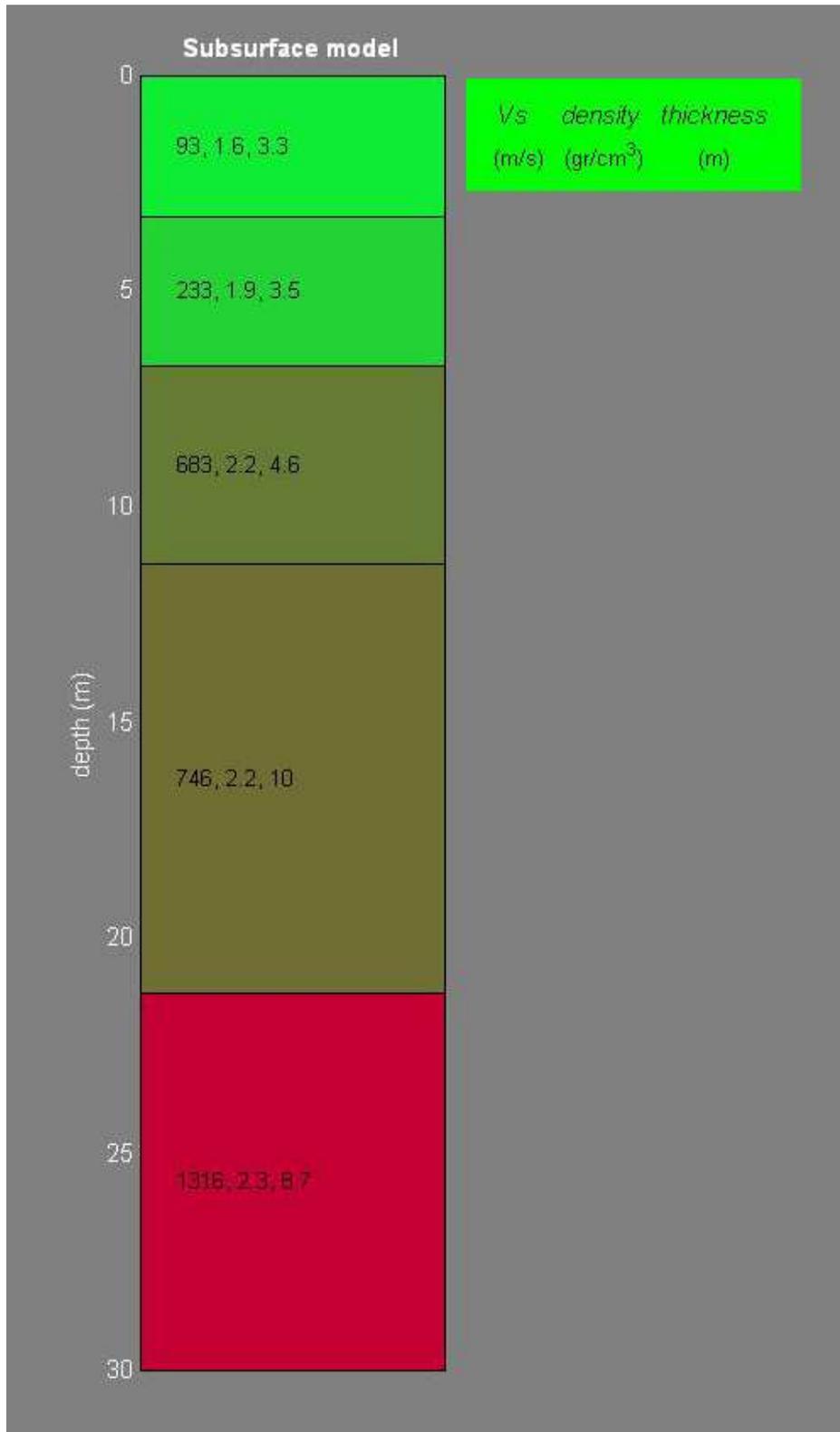


Plants s.r.l.

C.da San Pietro II trav. - 92100 AGRIGENTO
Casella Postale 135 - Tel./Fax: 0922 437950
www.geoplants.it - info@geoplants.it
Partita IVA 0261417 084 9

Sondaggi - Consolidamenti - Impianti

MODULO RDP – RAPPORTO DI PROVA



25. RIEPILOGO DATI

Mean model

Vs (m/s): 93, 233, 683, 746, 1316

Standard deviations (m/s): 8, 17, 39, 41, 100

Thickness (m): 3.3, 3.5, 4.6, 10.0

Standard deviations (m/s): 0.4, 0.5, 0.5, 1.0

Density (gr/cm³): 1.65, 1.88, 2.16, 2.18, 2.28

Shear modulus (MPa): 14, 102, 1006, 1211, 3940

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and elastic moduli (please, see manual)

Vp (m/s): 187, 496, 1520, 1651, 2483

Poisson: 0.34, 0.36, 0.37, 0.37, 0.30

Bulk modulus (MPa): 39, 327, 3640, 4316, 8774

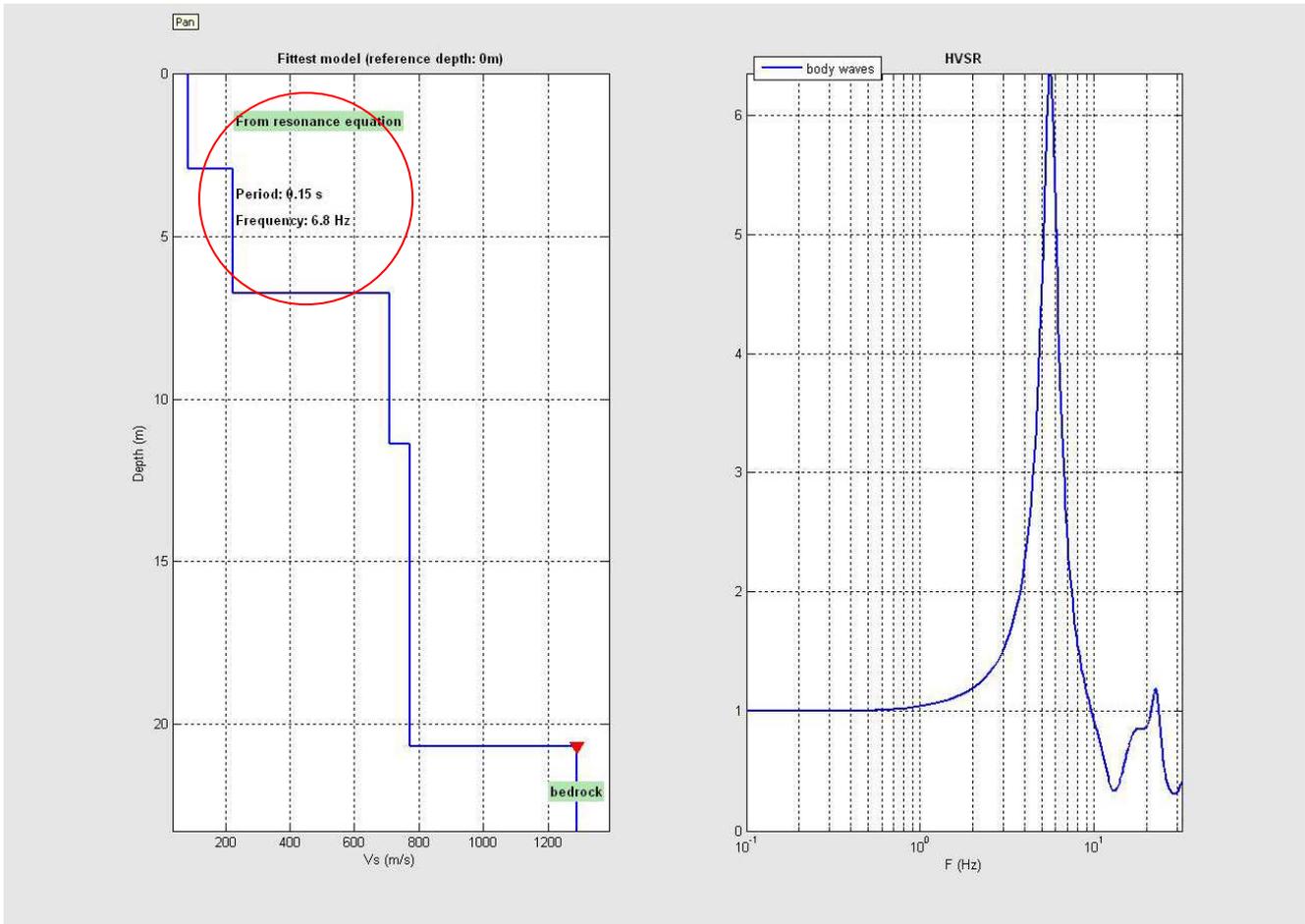
Young's modulus (MPa): 38, 278, 2762, 3322, 10282

Lamé (MPa): 29, 259, 2969, 3509, 6147

VS30 (m/s): 391 (velocità riferita al piano di campagna)

In accordo con la Normativa vigente, il valore di V_{s30} deve riferirsi alla profondità del piano di posa delle fondazioni. Nel progetto in esame, con la D.L. è stato ipotizzato un piano di posa delle fondazioni coincidente col piano di campagna, in conseguenza di ciò è stato ottenuto il seguente risultato:

piano di posa delle fondazioni = 0.00mt, V_{s30} = 391 m/s, Periodo = 0.15s, Frequenza 6.8Hz



26. CALCOLO MODULI ELASTICI

Il software “WinMASW4.1 Pro” della Eliosoft permette di calcolare una serie di moduli elastici a partire dai valori V_p , V_s e densità. Si ricorda che la V_p stimata da analisi MASW non è da considerare poiché dipende in larga misura dal valore di Poisson impostati prima del lancio dell’inversione. L’unico modulo che possiamo considerare come una buona stima del valore reale è il modulo di taglio, tutti gli altri moduli possono essere considerati solo se:

- In fase di elaborazione vengono inserite le V_p ricavate da altri metodi d’indagine;
- In fase di elaborazione viene inserito il valore del Modulo di Poisson ricavato da prove di laboratorio.

Modulo di Poisson

$$(V_p^2 - 2 V_s^2) / [2(V_p^2 - V_s^2)]$$

Modulo di Young

$$\rho V_s^2 (4 - 3k^2) / (1 - k^2)$$

Modulo di Taglio

$$\rho V_s^2$$

Modulo di Lamè

$$\rho V_s^2 (k^2 - 2)$$

Modulo di Compressione

$$\rho V_s^2 (k^2 - 4/3)$$

$K = V_p/V_s$ (adimensionale)

$\rho =$ densità (Kg/m³)

V_p e $V_s =$ velocità delle onde di taglio e compressionali in m/s

27. CONCLUSIONI

L'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh a partire da dati di sismica attiva (MASW) ha consentito di determinare il profilo verticale della VS (del modulo di taglio) e di conseguenza, del parametro Vs30; il piano di posa della fondazione in questo caso coincide col piano di campagna, in conseguenza di ciò il Vs30 calcolato risulta per:

MASW n°1 (VS30 = 357m/s,

MASW n°2 (VS30 = 373m/s,

MASW n°3 (VS30 = 404m/s,

MASW n°4 (VS30 = 366m/s,

MASW n°5 (VS30 = 347m/s,

MASW n°6 (VS30 = 356m/s,

MASW n°7 (VS30 = 289m/s,

MASW n°7bis (VS30 = 409m/s,

MASW n°8 (VS30 = 348m/s,

MASW n°9 (VS30 = 391 m/s,

MASW n°10 (VS30 = 263m/s,

MASW n°11 (VS30 = 305m/s,

MASW n°12 (VS30 = 270m/s,

MASW n°13 (VS30 = 341 m/s,

MASW n°14 (VS30 = 267m/s,

MASW n°15 (VS30 = 340m/s,

MASW n°16 (VS30 = 391 m/s.

In accordo con le norme tecniche per le costruzioni (DM 14 gennaio 2008, ex DM 14/09/2005) i siti in esame, prendendo in considerazione la Vs30 calcolata rispetto al piano di campagna, (come da norma disposto), rientrano nella categoria:

MASW n°1 – categoria C;

MASW n°2 – categoria B;

MASW n°3 – categoria B;

MASW n°4 – categoria C/B;

MASW n°5 – categoria C;

MASW n°6 – categoria C;

MASW n°7 – categoria C;

MASW n°7bis – categoria B;

MASW n°8 – categoria C;

MASW n°9 – categoria B;

MASW n°10 – categoria C;

MASW n°11 – categoria C;

MASW n°12 – categoria C;

MASW n°13 – categoria C;

MASW n°14 – categoria C;

MASW n°15 – categoria C;

MASW n°16 – categoria B;

L'utilizzo della modellazione del rapporto spettrale H/V ha anche consentito di stimare il periodo proprio del sito (per il piano di posa attestato a 0.00mt dal p.c.); i nostri calcoli ci hanno restituito un periodo proprio di:

MASW n°1 - Periodo = 0.27s, Frequenza 3.7Hz;

MASW n°2 - Periodo = 0.24s, Frequenza 4.2Hz;

MASW n°3 - Periodo = 0.21s, Frequenza 4.7Hz;

MASW n°4 - Periodo = 0.25s, Frequenza 4.0Hz;

MASW n°5 - Periodo = 0.31s, Frequenza 3.3Hz;

MASW n°6 - Periodo = 0.33s, Frequenza 3.1Hz;

MASW n°7 - Periodo = 0.31s, Frequenza 3.2Hz;

MASW n°7bis - Periodo = 0.22s, Frequenza 4.6Hz;

MASW n°8 - Periodo = 0.22s, Frequenza 4.5Hz;

MASW n°9 - Periodo = 0.38s, Frequenza 5.5Hz;

MASW n°10 - Periodo = 0.58s, Frequenza 1.7Hz;

MASW n°11 - Periodo = 0.28s, Frequenza 3.5Hz;

MASW n°12 - Periodo = 0.36s, Frequenza 2.8Hz;

MASW n°13 - Periodo = 0.23s, Frequenza 4.3Hz;

MASW n°14 - Periodo = 0.36s, Frequenza 2.8Hz;

MASW n°15 - Periodo = 0.22s, Frequenza 4.6Hz;

MASW n°16 - Periodo = 0.15s, Frequenza 6.8Hz;

Allegati

- Ortofoto
- Documentazione fotografica
- Appendice

Favara li XX/XX/2016

La Ditta



Sondaggi - Consolidamenti - Impianti

C.da San Pietro II trav. - 92100 AGRIGENTO
Casella Postale 135 - Tel./Fax: 0922 437950
www.geoplants.it - info@geoplants.it
Partita IVA 0261417 084 9

MODULO RDP – RAPPORTO DI PROVA

ALLEGATI

Foto area investigata n° 1



Foto area investigata n°2



Foto area investigata n°3



Foto area investigata n°4



Foto area investigata n°5





C.da San Pietro II trav. - 92100 AGRIGENTO
Casella Postale 135 - Tel./Fax: 0922 437950
www.geoplants.it - info@geoplants.it
Partita IVA 0261417 084 9

MODULO RDP – RAPPORTO DI PROVA

Foto area investigata n°6

Foto dimenticata

Foto area investigata n°7





C.da San Pietro II trav. - 92100 AGRIGENTO
Casella Postale 135 - Tel./Fax: 0922 437950
www.geoplants.it - info@geoplants.it
Partita IVA 0261417 084 9

MODULO RDP – RAPPORTO DI PROVA

Foto area investigata n°7bis

Foto dimenticata

Foto area investigata n°8



Foto area investigata n°9

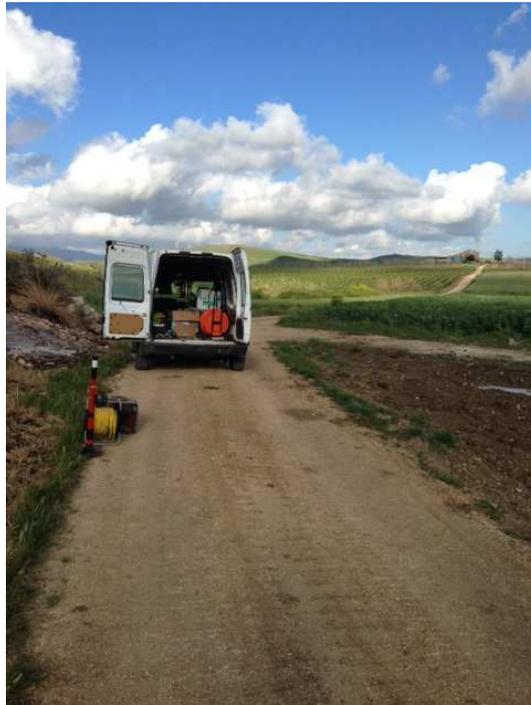


Foto area investigata n°10



Foto area investigata n°1 I



Foto area investigata n°1 2



Foto area investigata n°13



Foto area investigata n° 4



Foto area investigata n°15



Foto area investigata n°16





Geo Plants s.r.l.

Sondaggi - Consolidamenti - Impianti

C.da San Pietro Il trav. - 92100 AGRIGENTO
Casella Postale 135 - Tel./Fax: 0922 437950
www.geoplants.it - info@geoplants.it
Partita IVA 0261417 084 9

MODULO RDP – RAPPORTO DI PROVA

Foto area investigata n°17



Appendice

Tipo di suolo

Dalla normativa (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n° 29 del 04/02/2008):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e $cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

C - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT30 < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT30 < 15$ nei terreni a grana grossa e $cu_{30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).

E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).

S1 - Depositati di terreni caratterizzati da valori di VS30 inferiori 100 m/s (ovvero $10 < cu_{30} < 20$ kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includano almeno 3 m di torba o argille altamente organiche.

S2 - Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Foto MASW n°1

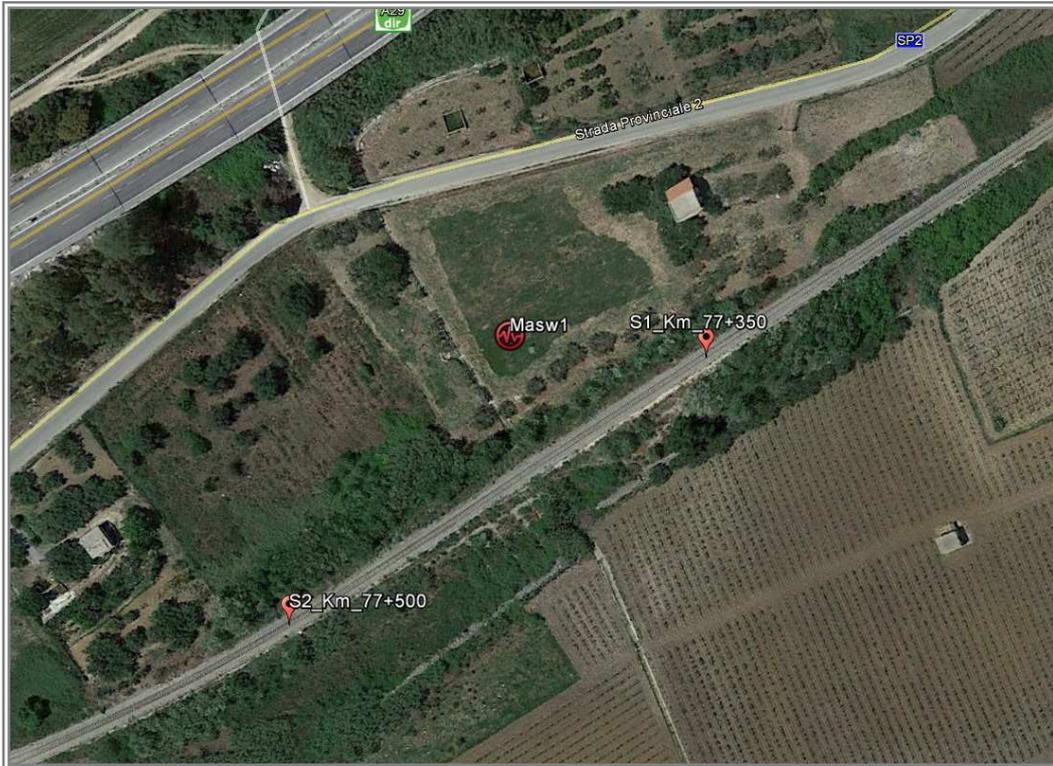


Foto MASW n°2

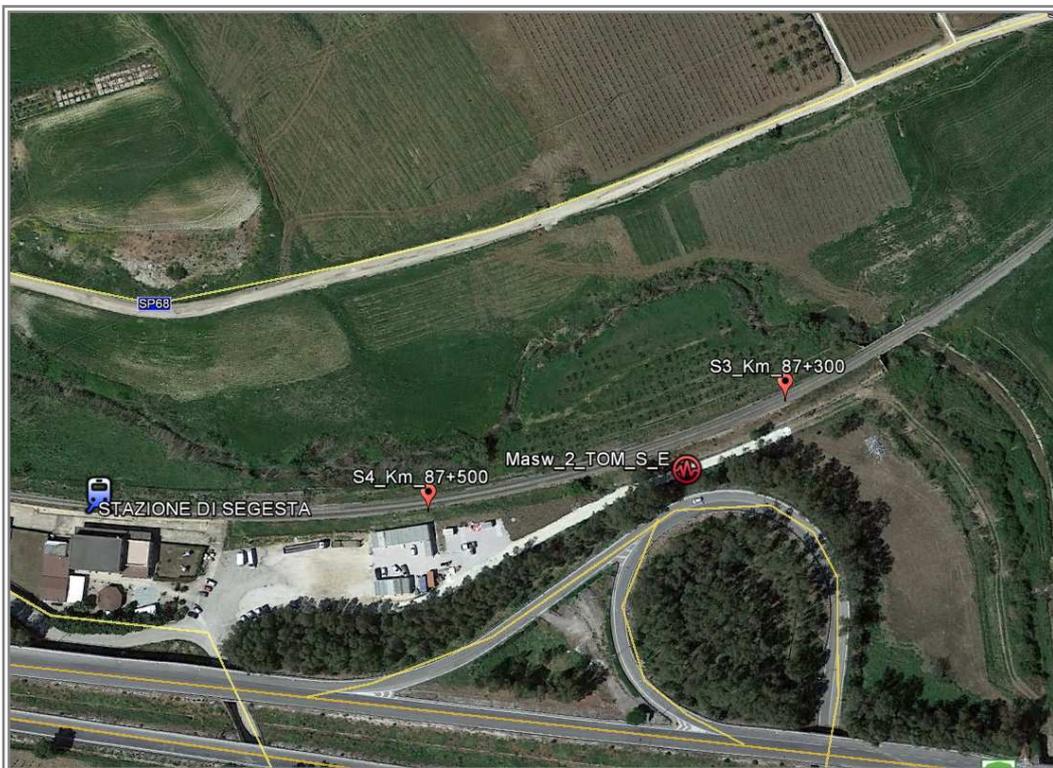


Foto MASW n°3

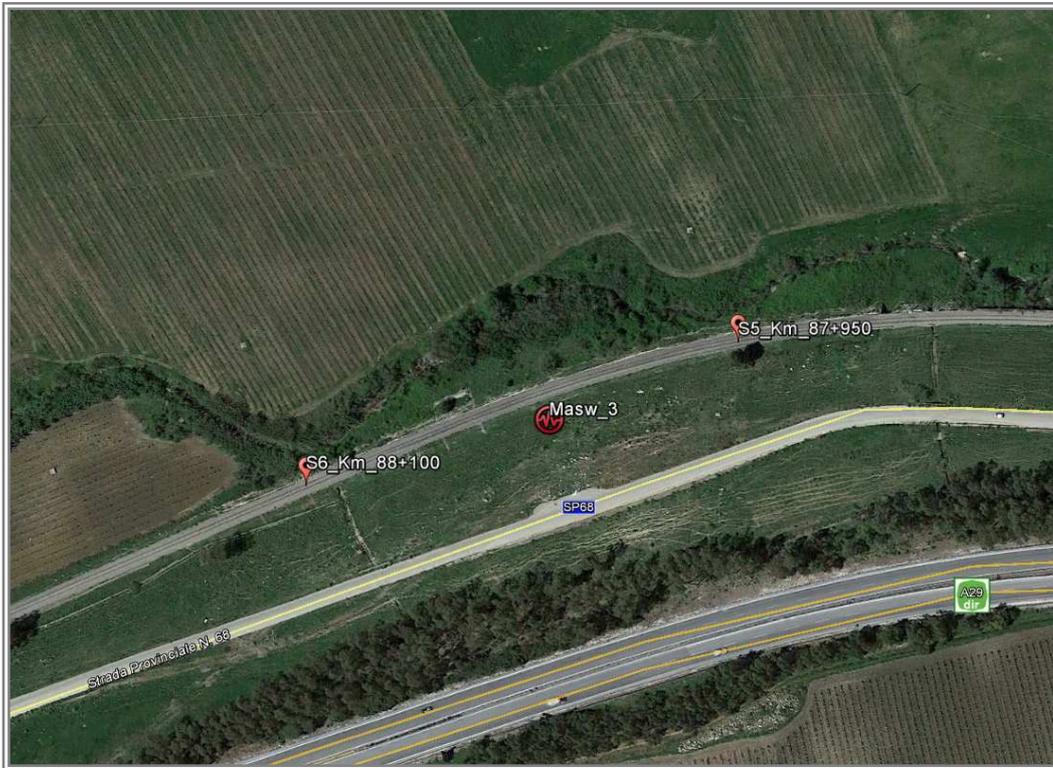


Foto MASW n°4

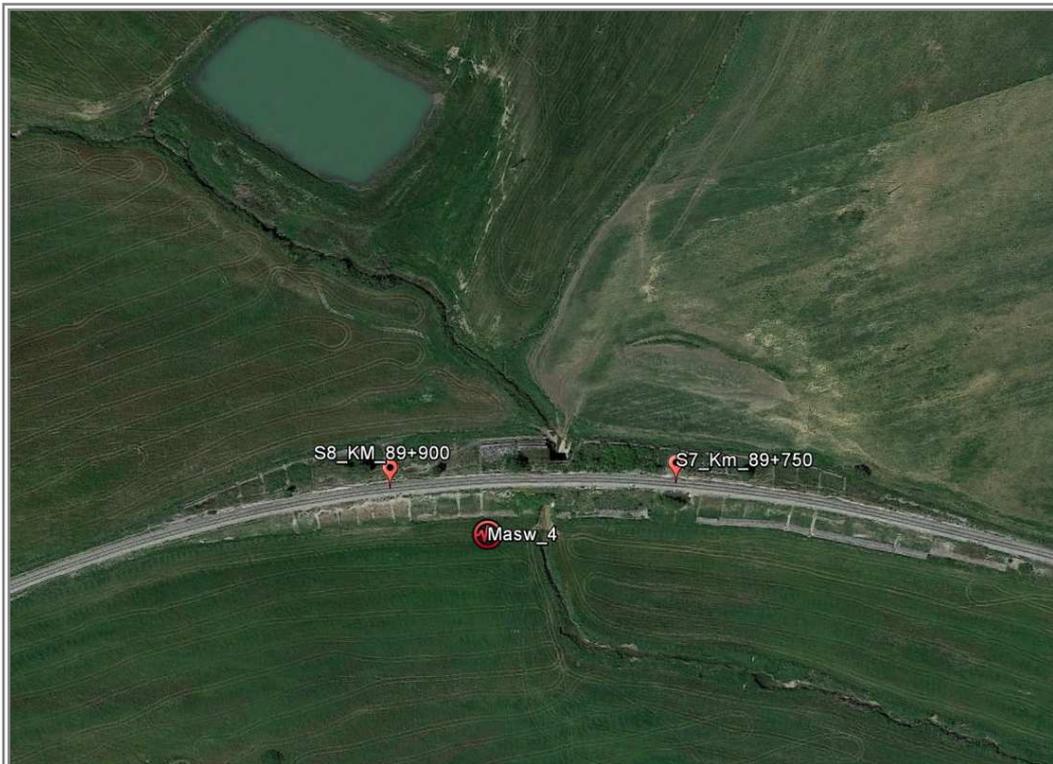


Foto MASW n°5

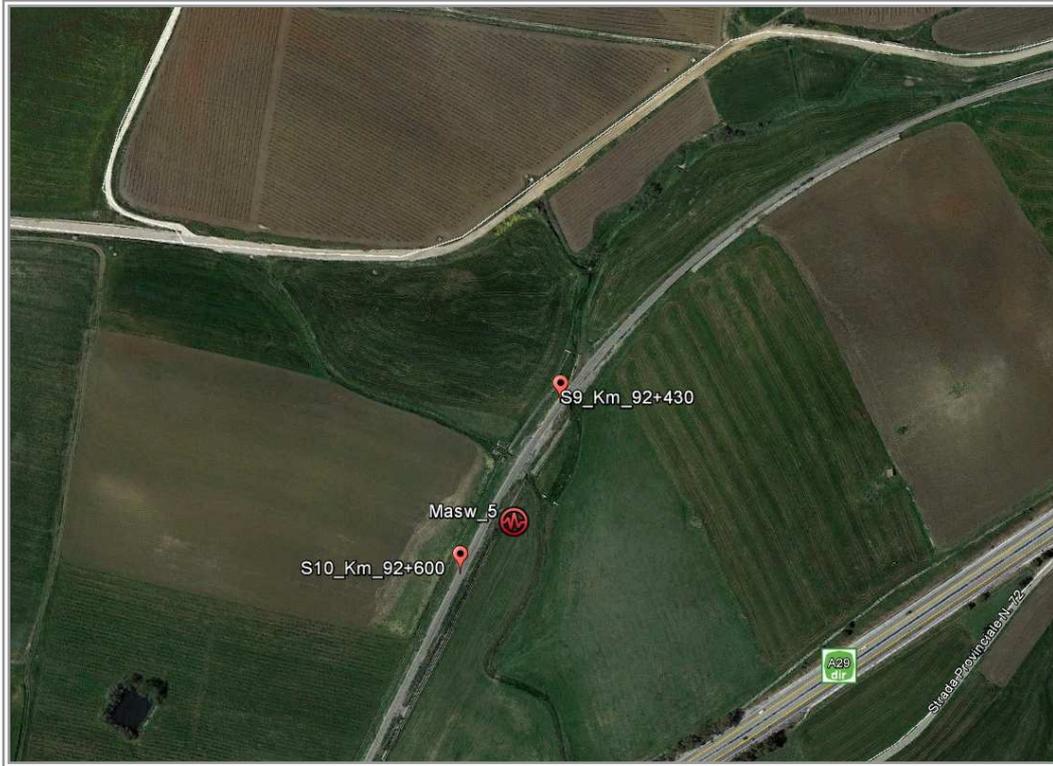


Foto MASW n°6

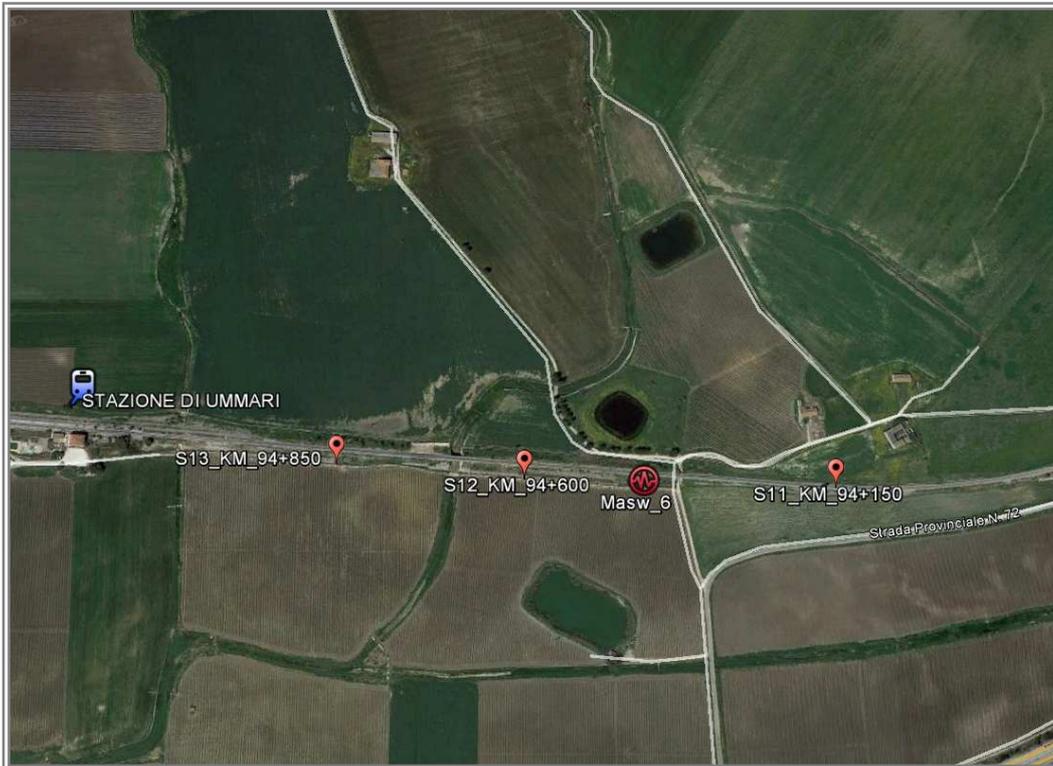


Foto MASW n°7

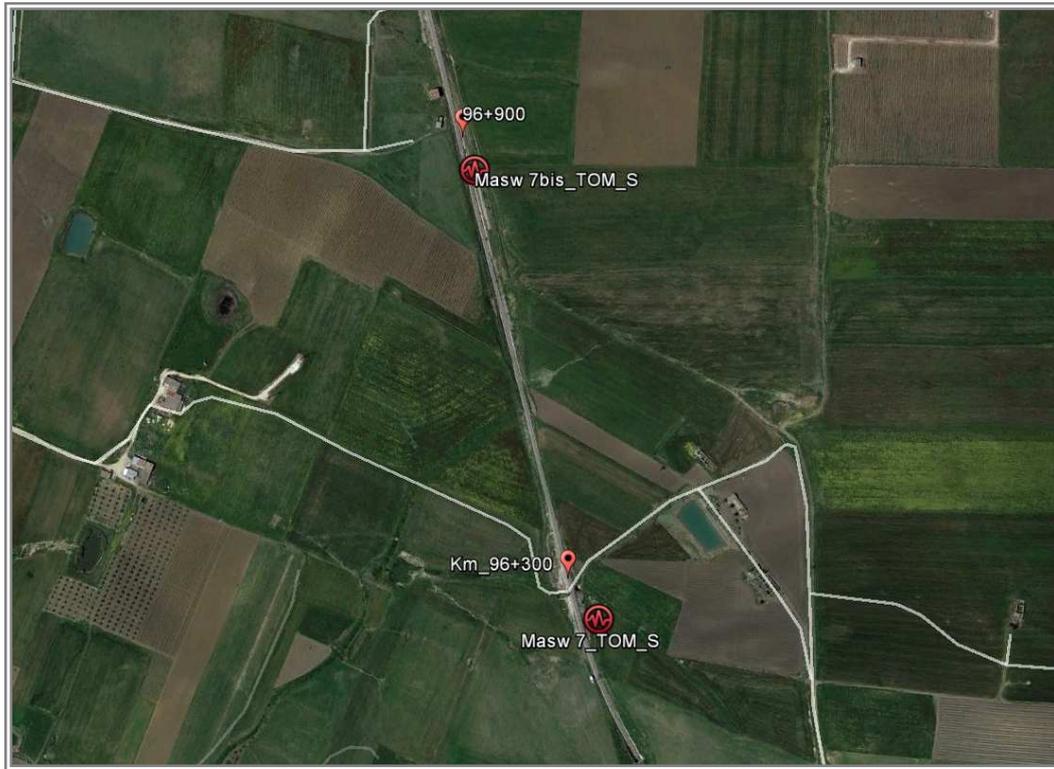


Foto MASW n°8

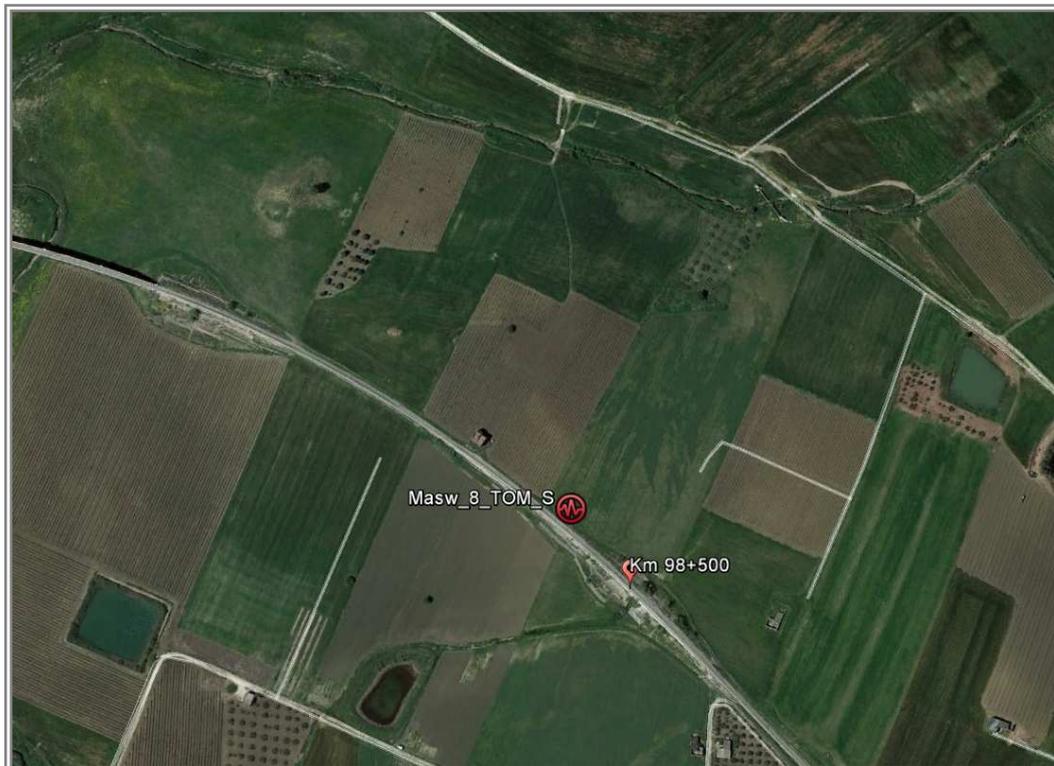


Foto MASW n°9

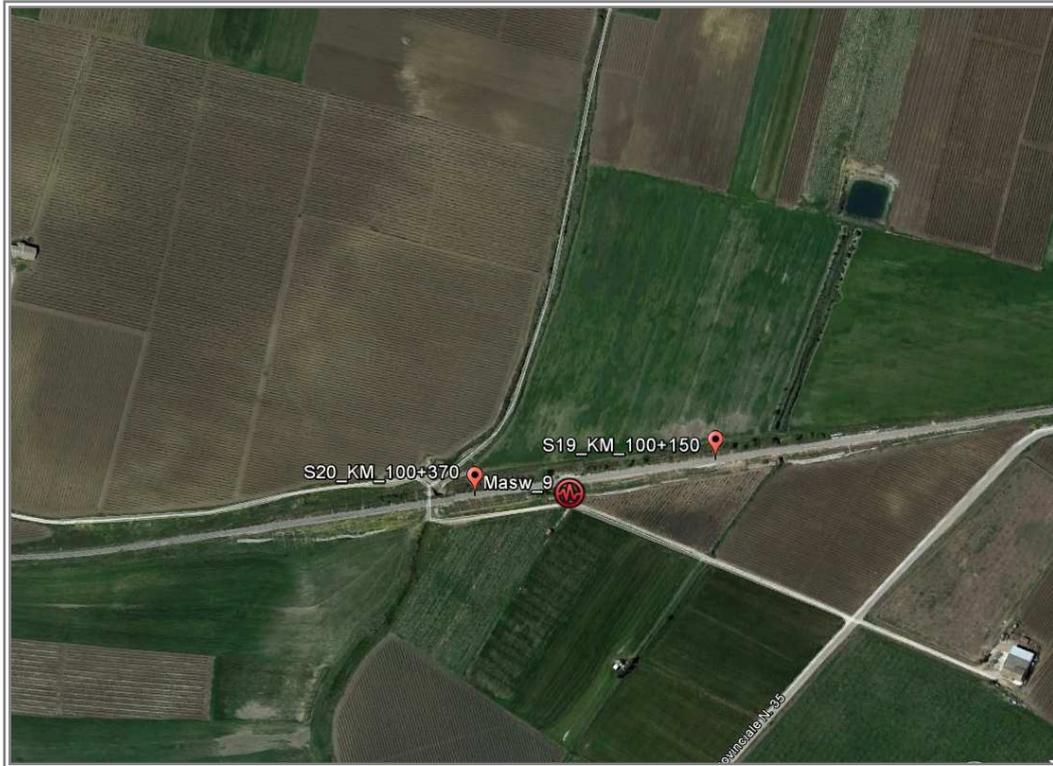


Foto MASW n°10

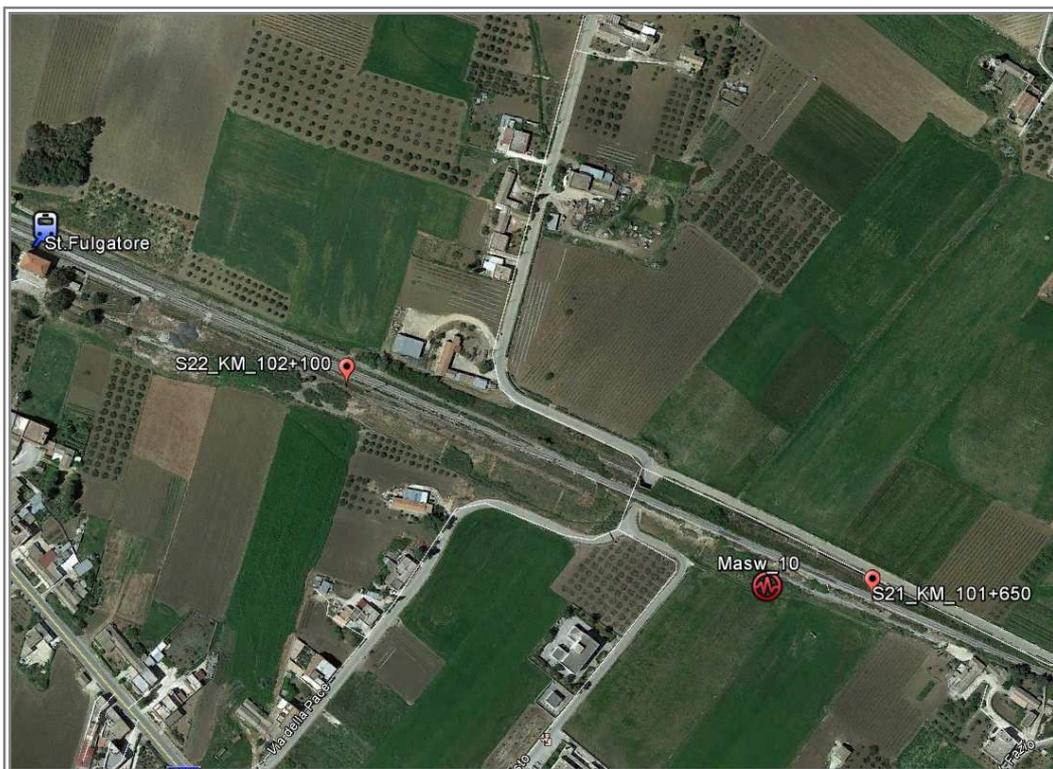


Foto MASW n° 1 1

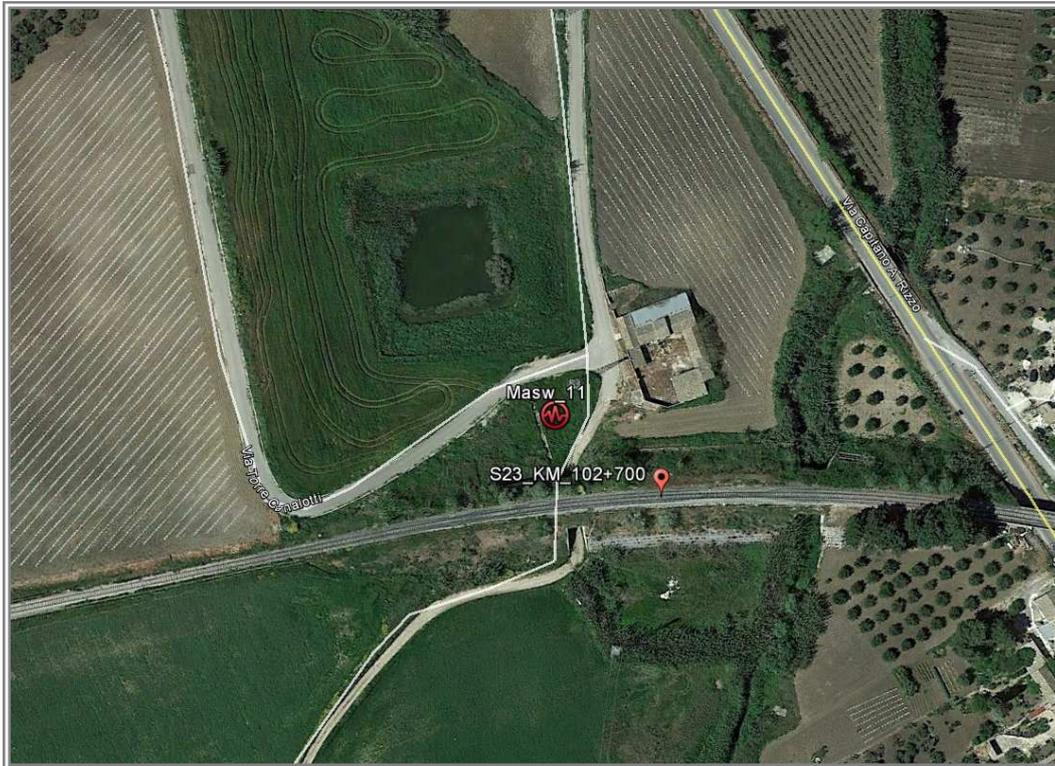


Foto MASW n° 1 2

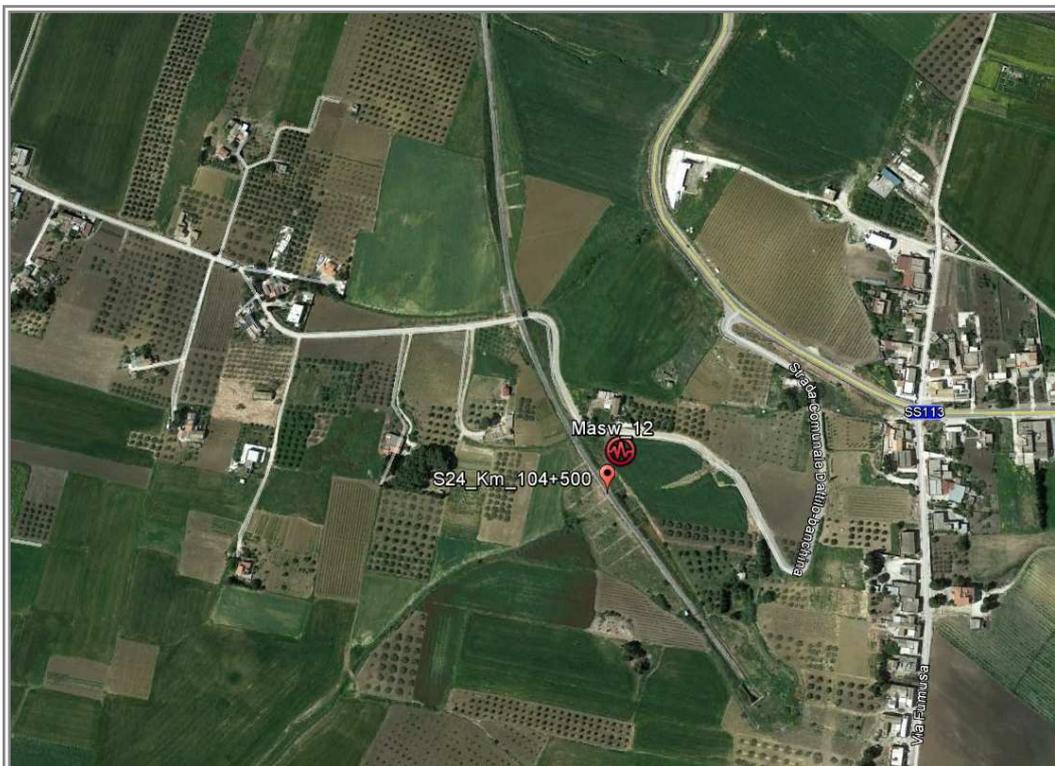


Foto MASW n° 13

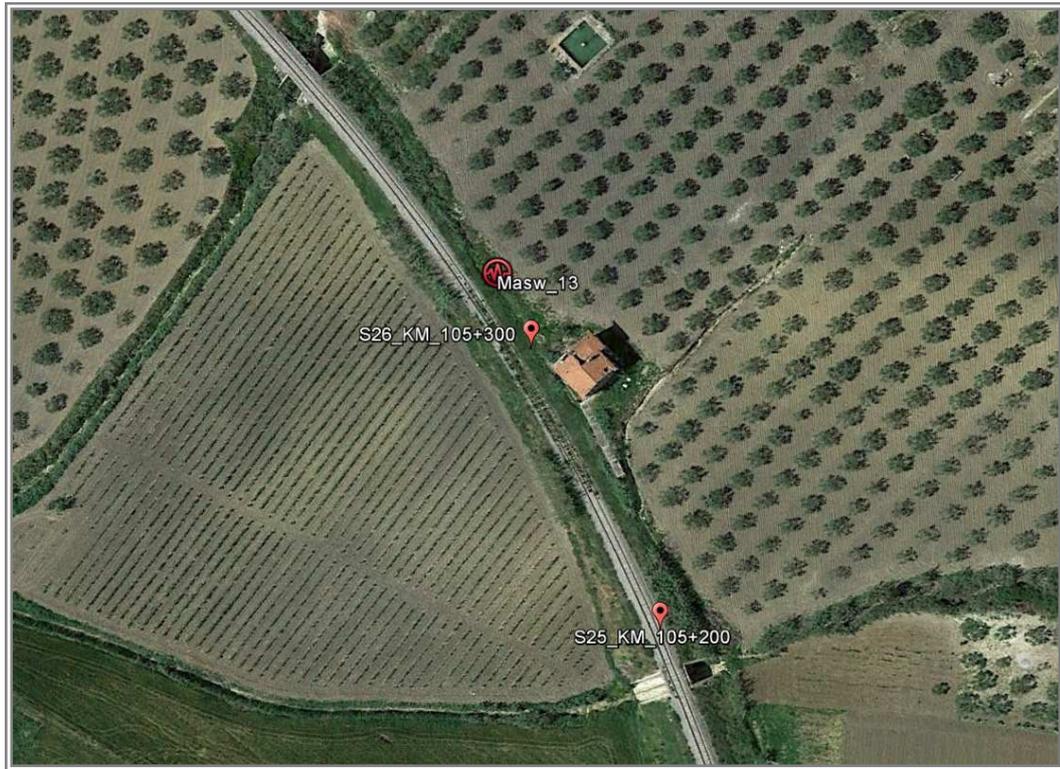


Foto MASW n° 14

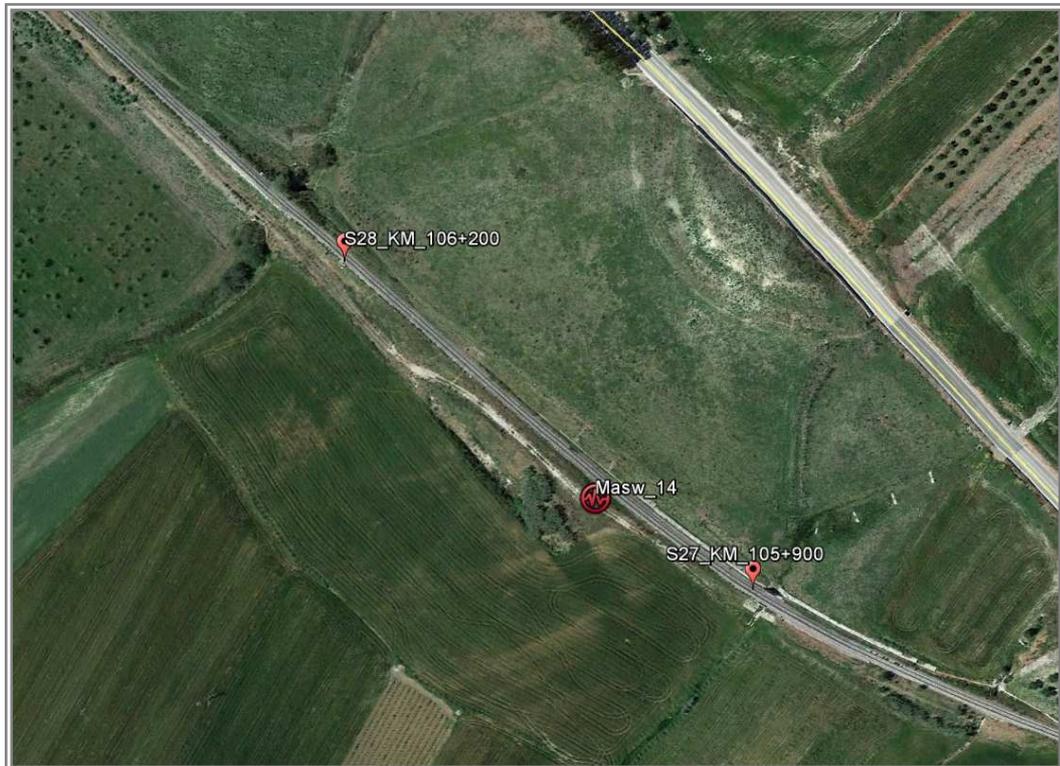


Foto MASW n° 15

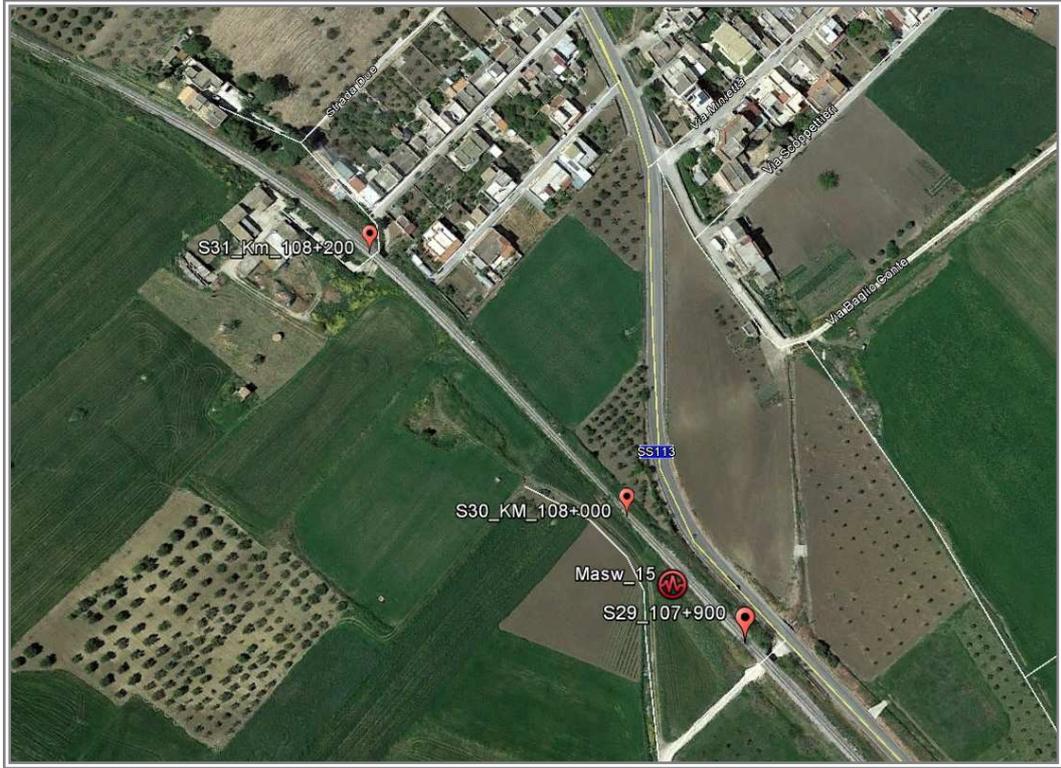


Foto MASW n° 16





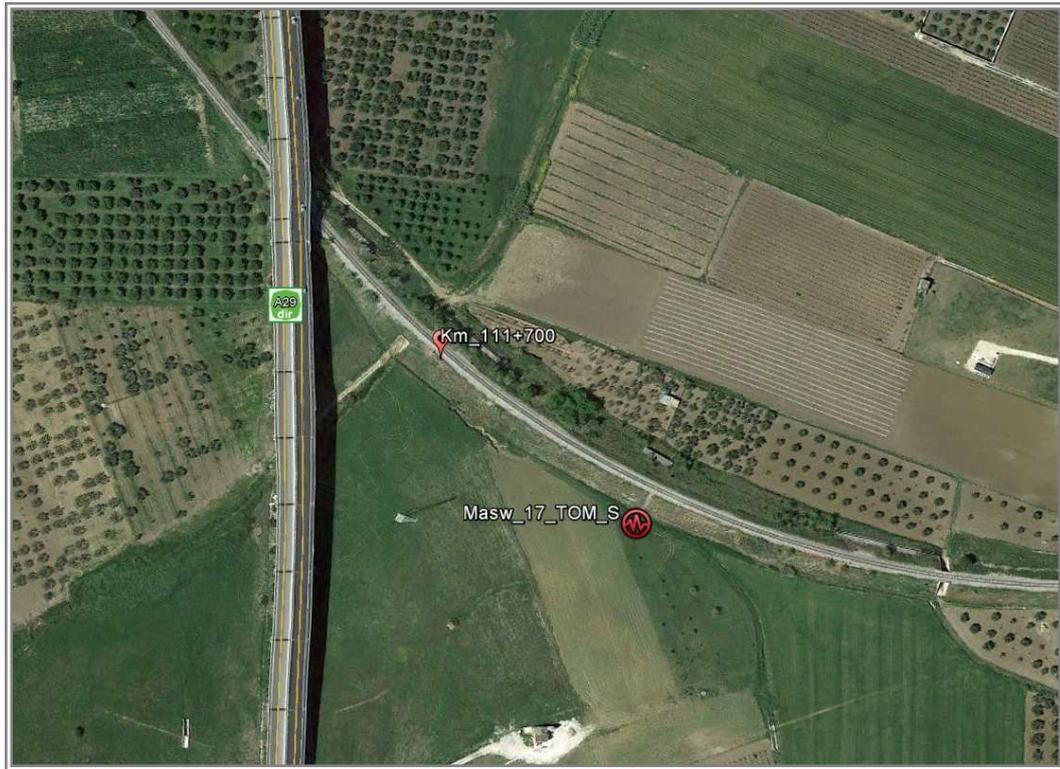
Plants s.r.l.

Sondaggi - Consolidamenti - Impianti

C.da San Pietro Il trav. - 92100 AGRIGENTO
Casella Postale 135 - Tel./Fax: 0922 437950
www.geoplants.it - info@geoplants.it
Partita IVA 0261417 084 9

MODULO RDP – RAPPORTO DI PROVA

Foto MASW n° 17



COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



SOGGETTO TECNICO:



PROGETTO PRELIMINARE

LINEA PALERMO – TRAPANI
 PROGETTO DI RIAPERTURA DELLA LINEA PALERMO-TRAPANI (VIA MILO)
 GEOLOGIA

Titolo elaborato:

Relazione indagini geofisiche – tomografie sismiche

SCALA:

Foglio: 1 di: 035

PROGETTO/ANNO: 031415 SOTTOPR. S01 LIVELLO PP NOME DOC. TG Progr.OP. 00 FASE FUNZ. 00 NUMERAZ. 0233

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione per approvazione		05/2017	Tambarello	05/2017	Martinelli	05/2017	Martinelli	05/2017

POSIZIONE ARCHIVIO:	LINEA	SEDE TECN.	NOME DOC.	NUMERAZ.		
	Verificato e trasmesso	Data	Convalidato	Data	Archiviato	Data

Nome File: 031415_S01_PP_TG_00_00_0233_Relazione_indagini_geofisiche_tom_sismiche



Indice	PAGINA
1. PREMESSA.....	2
2. METODO SISMICO	2
SISMICA A RIFRAZIONE: PRINCIPI DEL METODO DI PROVA.....	2
METODO DELLA TOMOGRAFIA SISMICA.....	4
3. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	5
4. ESECUZIONE DELLE MISURE	6
5. ANALISI DEI RISULTATI E CONCLUSIONI	6



1. PREMESSA

Su incarico conferito da RFI SPA nell'ambito dei lavori di "Indagini Geognostiche finalizzate a supporto di attività di progettazione di lavori ricadenti nell'ambito della DTP di Palermo" la ditta GEOPLANTS s.r.l. ha condotto una campagna di prove in sito volte alla determinazione dei parametri geofisici dei terreni interessati dal progetto di che trattasi.

Sono state quindi compiute,

Prospezioni Geofisiche:

n° 5 prospezioni di sismica a rifrazione (restituzione tomografica) in onde P ,al fine di: individuazione delle anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche e da queste ricostruire, con elevato grado di qualità, le anomalie stratigrafiche riscontrate.

Le prospezioni sismiche sono state effettuate , nel territorio comunale di Trapani.

2. METODO SISMICO

Sismica a rifrazione: principi del metodo di prova

Il metodo sismico a rifrazione, permette di determinare la velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P) e trasversali (onde S) nel sottosuolo (Le onde di taglio, conosciute anche come secondarie o onde S viaggiano più lentamente di circa il 50- 70 % della velocità delle onde P).

Tali onde, generate ogni qualvolta il terreno è sottoposto a sollecitazioni sia di tipo naturale, sia artificiale (esplosioni, mazze battenti, ecc.) si rifrangono su superfici di discontinuità quali possono essere ad esempio stratificazioni e giunti.

Data una sorgente di onde elastiche e uno stendimento di geofoni lungo un profilo giungeranno in superficie ai geofoni onde dirette, onde riflesse ed onde coniche o birifratte (head wave): le onde analizzate sono quelle birifratte, cioè quelle che giungono sulla superficie di separazione con un angolo d'incidenza critico (secondo la legge di Snell) e che quindi vengono rifratte con un angolo di 90° propagandosi parallelamente alla superficie rifrangente e venendo nuovamente rifratte verso la superficie con lo stesso angolo di incidenza. Poiché il metodo è basato sulla birifrazione delle onde elastiche, la condizione essenziale è che la velocità di queste cresce con la profondità

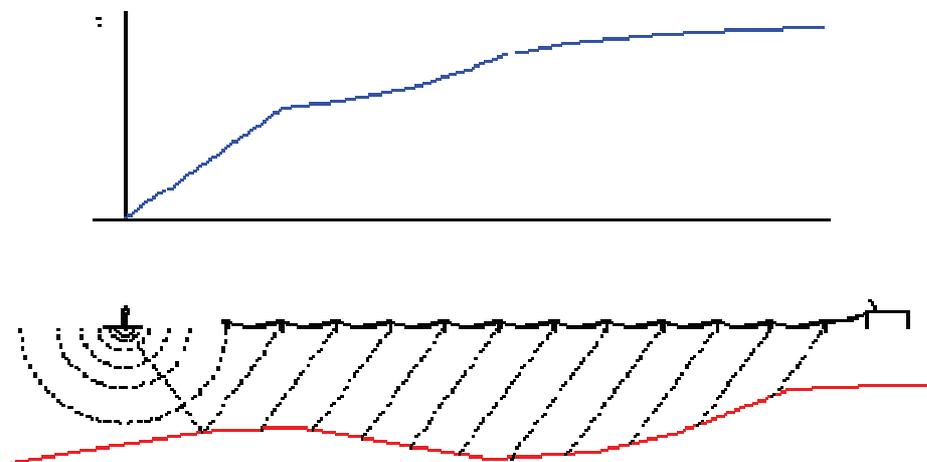


fig. 1

Utilizzando quindi le distanze tra il punto di scoppio e quello di ricezione e i tempi di primo arrivo dei segnali sismici, sono ricavate le dromocrone (curve tempi-distanze- fig 2), dalle quali si risale, tramite opportuni programmi di calcolo, alle velocità reali nei singoli strati, al loro spessore, profondità, forma ed inclinazione.

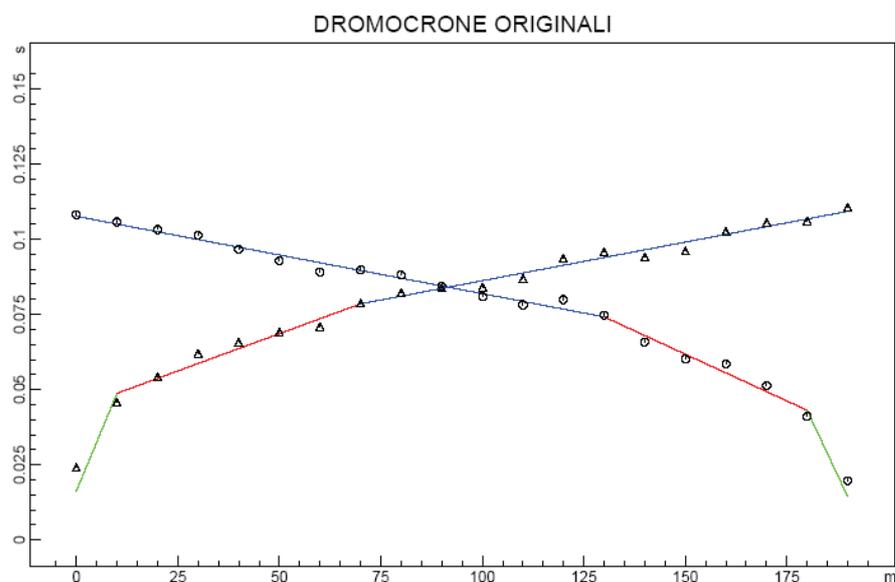


fig. 2



L'interpretazione dei segnali rilevati e la conseguente stima del profilo di velocità delle onde P è articolata nelle seguenti fasi fondamentali:

- 1) individuazione dei primi arrivi attraverso l'osservazione dei sismogrammi e l'operazione di picking, previa elaborazione dei segnali ed operazioni di filtraggio anche con diverse tipologie di filtri digitali
- 2) ricostruzione delle dromocrone in P e scelta del modello di sottosuolo da utilizzare nell'interpretazione;
- 3) linearizzazione delle dromocrone e calcolo delle velocità di propagazione delle onde elastiche analizzate.
- 4) Ricostruzione del modello del sottosuolo (geometria dei rifrattori) con calcolo della profondità di ciascun strato omogeneo, continuo ed isotropo, attraverso vari metodi di interpretazione quale possono essere il metodo GRM, il CMP, il Plus-Minus e il Wavefront.

3. METODO DELLA TOMOGRAFIA SISMICA

Il metodo della tomografia sismica è una tecnica di indagine che permette l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un alto potere risolutivo, offrendo la possibilità di ricostruire anomalie e discontinuità stratigrafiche anche particolarmente complesse. Questa tecnica migliora i risultati ottenibili con la sismica a rifrazione tradizionale e limita i problemi interpretativi dovuti agli strati ad inversione di velocità (orizzonte fantasma) o di ridotti spessori. In poche parole la differenza tra una sismica a rifrazione tradizionale e una tomografia sismica consiste principalmente nell'elaborazione dei dati. Per la tomografia sismica si cerca essenzialmente la risoluzione di un problema inverso a partire da una griglia bidimensionale di celle a cui è possibile attribuire una velocità sismica iniziale. Modificando i valori di velocità di ciascuna cella, si cerca di ridurre in modo interattivo, la differenza esistente fra i dati calcolati e quelli realmente misurati sul terreno. Il risultato finale è costituito da un modello di velocità sismiche del terreno, che meglio risponde alle misure sperimentali. Per eseguire ciò, mediante l'utilizzo di software adeguati e partendo dal picking dei primi arrivi, si costruisce con tecniche di Ray Tracing, un modello iniziale del gradiente $1/D$ esteso a tutto il profilo. Il modello iniziale, attraverso successive interazioni, verrà ottimizzato in maniera tale da ottenere il miglior fit fra i tempi di primo arrivo calcolati e quelli misurati. Il processing dei dati acquisiti in questo lavoro è stato effettuato con il software "RAYFRACT" della Intelligent Resources Inc. Tale software utilizza, per la fase di inversione tomografica, la tecnica detta WET (Wavepath Eikonal Traveltime), permettendo il calcolo delle traiettorie d'onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'equazione che



esprime le modalità di propagazione di un'onda in un mezzo isotropo. Successivamente, con la fase di imaging, si otterrà attraverso il software dedicato (SURFER) l'immagine della sezione tomografica, consentendo così di distinguere, con rappresentazioni a "countour line" di isovelocità le variazioni di velocità delle onde sismiche nel sottosuolo.

4. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per eseguire le misure è stata utilizzata la seguente attrezzatura:

- SISMOGRAFO - ECHO 48/2012 48 CANALI

Numero di canali: 48 + 1 con ingresso differenziale

A / D Conversione: 24 bit

Gamma dinamica: 130dB @ 1ms PG = 0dB 120dB @ 1ms PG = 18dB

Crosstalk: > 90 dB

Preamplificazione Guadagno: 0dB, 6dB, 12dB, 18dB, 24dB, 30dB, 36dB, 42dB, 48dB, 54dB, 60dB, 66dB, 72dB

Risposta in frequenza: 0 - 6KHz (30kSPS), 0 - 4,8KHz (15kSPS), 0 - 3KHz (7,5kSPS), 0 - 1,5 kHz (3,5kSPS), 0 - 800Hz (2kSPS),

0 - 400Hz (1ksps)

Acquisizione e Filtro di visualizzazione: A low Cut Out (10, 15, 25, 35, 50, 70, 100, 200, 280, 400 Hz)

Intervallo di campionamento: 32 ms, 64 microsiemens, 128 microsiemens, 256 microsiemens, 480 microsiemens, 960 microsiemens

Record Lunghezza: 16.000 campioni

Stacking trigger Precisione: 1/32 di intervallo di campionamento

Distorsione (THD): 0,0004%

Max Ingresso segnale: 5Vpp, 0dB

CMR: 110dB (FCM = 60 Hz. FDATA = 30kSPS)

Rumore: 0,25µV, 2ms, 36dB

Pre-trigger dati: 524ms @ 32µs intervallo di campionamento

Ritardo: 0-15kSPS sec (max 16000 campioni)

Escursione termica: - 30 ° C / + 70 ° C

Energia: 12 V

Letture in Continuo: sì

Formato di output: SEG-Y, SEG-2, SAF (SESAME formato ASCII)

- 24 Trasduttori di velocità del moto del suolo a componente verticale con frequenza propria = 4,5 Hz (geofoni);
- Sistema di energizzazione costituito da massa battente di 9 kg dotata di starter piezoelettrico e piastra di battuta.

La configurazione spaziale in sito è equivalente ad un dispositivo geometrico punto di



scoppio-geofoni "base distante in linea".

In particolare è stato utilizzato il seguente set-up:

- 24 geofoni con interspazio (Gx) di 1.0 metri;
- n. 9 energizzazioni ad offset equidistante;
- passo temporale di campionamento pari a 250usec ;
- tempo di acquisizione 250 ms

5. ESECUZIONE DELLE MISURE

• A seguito delle indicazioni impartite dalla D.L. sulla base di considerazioni legate alla profondità d'indagine da raggiungere e legate alla morfologia plano altimetrica dell'aria da indagare, sono state effettuate n° 4 linee di acquisizione sismica con lunghezza uguale e pari a 92 m. La configurazione spaziale utilizzata per tutte le basi acquisite è equivalente ad un dispositivo geometrico punto di scoppio-geofoni "base distante in linea". Riassumendo sono stati eseguiti n° 5 stendimenti la cui geometria e nomenclatura è di seguito riportata:

- Tomografia sismica 1 – spaz. geofonica = 4.00m; n° geof. 24; lungh. =92.00m; n° di shot= 9;
- Tomografia sismica 2 – spaz. geofonica = 4.00m; n° geof. 24; lungh. =92.00m; n° di shot= 9;
- Tomografia sismica 3 – spaz. geofonica = 4.00m; n° geof. 24; lungh. =92.00m; n° di shot= 9;
- Tomografia sismica 4 – spaz. geofonica = 4.00m; n° geof. 24; lungh. =92.00m; n° di shot= 9;
- Tomografia sismica 5 – spaz. geofonica = 4.00m; n° geof. 24; lungh. =92.00m; n° di shot= 9;

Per l'esatta ubicazione vedere la planimetria allegata

6. ANALISI DEI RISULTATI E CONCLUSIONI

Dopo aver elaborato le misure effettuate attraverso l'utilizzo del software "Rayfract", così come descritto ai paragrafi precedenti, abbiamo ottenuto dei modelli della distribuzione di velocità che andremo di seguito ad analizzare. Da un'attenta osservazione d'insieme dei risultati ottenuti è possibile elaborare delle conclusioni sulle aree oggetto di studio.

L'analisi delle misure effettuate (Tomografia sismica 1, Tomografia sismica 2, Tomografia sismica 3, Tomografia sismica 4, Tomografia sismica 5), mostrano un range di velocità che varia da un minimo di 200 ad un massimo di 5400m/sec. circa (velocità all'incirca simili per ogni stendimento acquisito, gli stendimenti Tomografici 2 e 4 registrano velocità maggiori perché maggiori sono le profondità raggiunte). La distribuzione del gradiente delle isovelocità



mostra, fino ad un certo punto, un andamento lievemente non uniforme in senso verticale per poi regolarizzarsi da una certa profondità in poi. Nel dettaglio rispettivamente:

Tomografia sismica 1 – sviluppo irregolare del gradiente delle isovelocità fino alla profondità si circa 19.00m

Tomografia sismica 2 – sviluppo irregolare del gradiente delle isovelocità fino alla profondità si circa 23.00m

Tomografia sismica 3 – sviluppo irregolare del gradiente delle isovelocità fino alla profondità si circa 47.00m

Tomografia sismica 4 – sviluppo irregolare del gradiente delle isovelocità fino alla profondità si circa 22.00m

Tomografia sismica 5 – sviluppo irregolare del gradiente delle isovelocità fino alla profondità si circa 45.00m

In prima analisi, è possibile presupporre che, su queste aree vi sia la presenza di porzioni +/- caotizzate rispetto ad un substrato d'appoggio più uniforme. Analizzando in dettaglio le sezioni ottenute è possibile effettuare le seguenti considerazioni:

Tomografia sismica 1

In questa sezione è possibile notare un range di velocità che varia dai 200 ai 2000 m/sec, si evidenzia un aumento del gradiente delle isovelocità con l'aumento della profondità, la sua distribuzione mostra un andamento lineare in senso verticale, le isovelocità si raffittiscono dai 700ms in giù per poi distanziarsi nuovamente dall'isovelocità con valore 1500ms fino a fine elaborato. Il gradiente ha la tendenza a regolarizzarsi andando più in profondità, questa attenuazione è più evidente in prossimità della 17.00m dal p.c. Per quanto sopra esposto l'area oggetto di studio fa presupporre la presenza di un sismostrato non molto consistente, poggiante su di un substrato più compatto sottostante.

La profondità massima raggiunta è stata di 19 m circa.

Tomografia sismica 2

In questa sezione è possibile notare un range di velocità che varia dai 200 ai 2400 m/sec, si evidenzia un aumento del gradiente delle isovelocità con l'aumento della profondità, il suo sviluppo mostra un andamento lievemente non lineare, in senso orizzontale. Le isovelocità hanno la tendenza ad assumere un andamento più lineare andando verso in profondità, questa attenuazione si intravede a fine elaborato (isovelocità 1900ms) alla profondità di 18.00m circa dal p.c. Per quanto sopra esposto l'area oggetto di studio fa presupporre la presenza di un sismostrato non molto consistente, poggiante su di un substrato più compatto sottostante.

La profondità massima raggiunta è stata di 22 m circa.



Tomografia sismica 3

In questa sezione è possibile notare un range di velocità che varia dai 200 ai 5400 m/sec, si evidenzia un aumento del gradiente delle isovelocità con l'aumento della profondità, la sua distribuzione mostra un andamento lievemente non lineare sia in senso verticale che orizzontale nella parte centrale della linea di acquisizione. Il gradiente ha la tendenza a regolarizzarsi andando più in profondità, questa attenuazione è più evidente alla profondità di 40.00m (isovelocità 4000ms) circa dal p.c. Per quanto sopra esposto l'area oggetto di studio fa presupporre la presenza di un sismostrato non molto consistente, poggiante su di un substrato più compatto.

La profondità massima raggiunta è stata di 47 m circa.

Tomografia sismica 4

In questa sezione è possibile notare un range di velocità che varia dai 200 ai 2400 m/sec, si evidenzia un aumento del gradiente delle isovelocità con l'aumento della profondità, il suo sviluppo mostra un andamento non lineare, soprattutto concentrato nella parte centrale, sia in senso orizzontale che verticale (vedi figura). Le isovelocità hanno la tendenza ad assumere un andamento più lineare andando verso in profondità, questa attenuazione si intravede a fine elaborato (isovelocità 2100ms) alla profondità di 20.00m circa dal p.c. Per quanto sopra esposto l'area oggetto di studio fa presupporre la presenza di un sismostrato non molto consistente, lievemente caotizzato poggiante su di un substrato più compatto ed uniforme sottostante. L'area centrale dello stendimento mostra possibili/potenziali movimenti subverticali.

La profondità massima raggiunta è stata di 23 m circa.

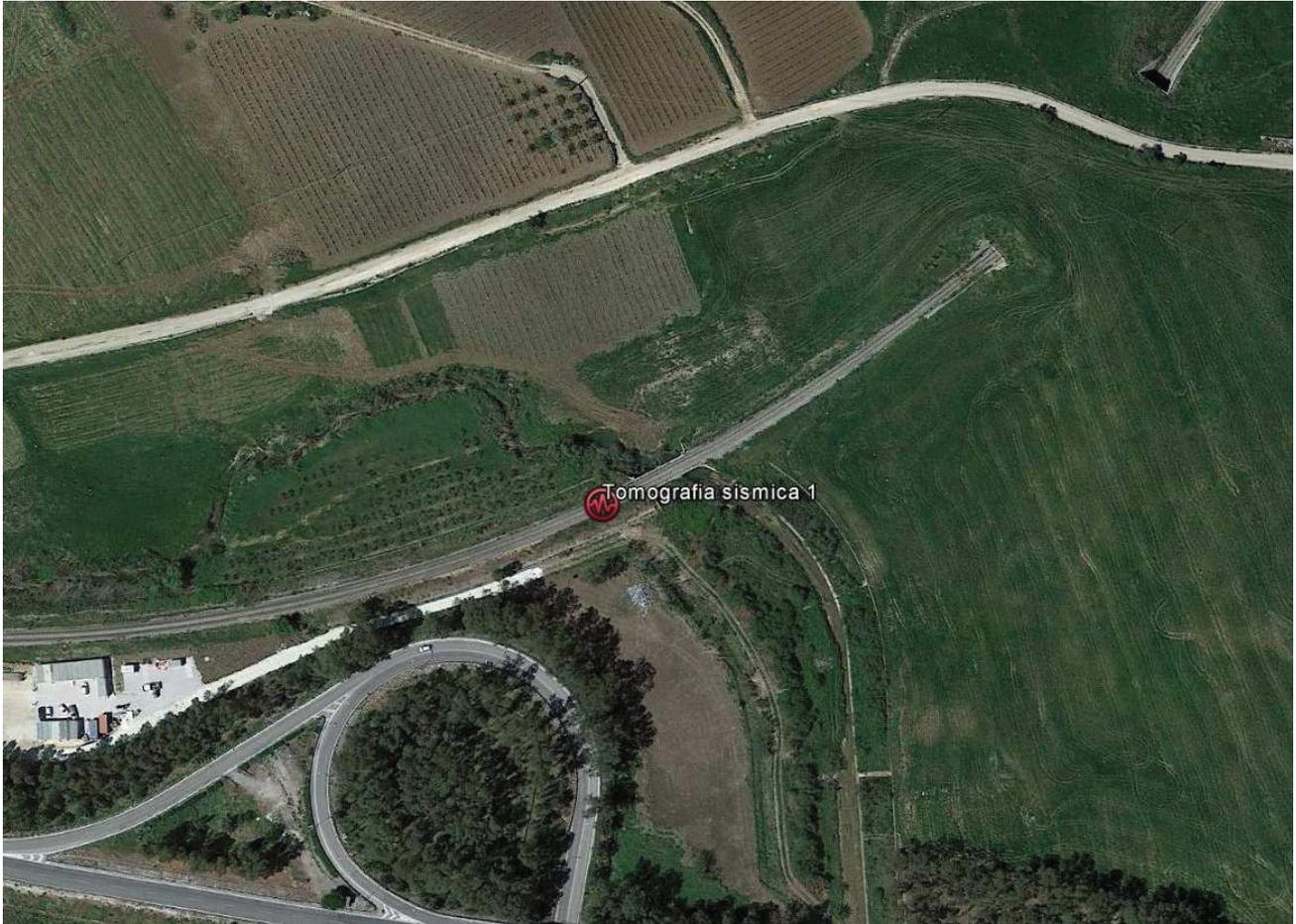
Tomografia sismica 5

In questa sezione è possibile notare un range di velocità che varia dai 200 ai 3400 m/sec, si evidenzia un aumento del gradiente delle isovelocità con l'aumento della profondità, il suo sviluppo mostra un andamento caotico e non lineare, nella porzione superficiale (fino a circa 10.00mt di profondità), per tutta la lunghezza dello stendimento. Lo sviluppo caotico delle isovelocità continua, ma solo nella parte centrale dello stendimento, fino alla profondità di 25.00mt circa per poi assumere un andamento più lineare alle maggiori profondità, questa attenuazione si evidenzia a circa -30.00mt dal p.c. (isovelocità 1900ms). Per quanto sopra esposto l'area oggetto di studio fa presupporre la presenza di un sismostrato non molto consistente, lievemente caotizzato poggiante su di un substrato più compatto ed uniforme sottostante.

La profondità massima raggiunta è stata di 45 m circa.

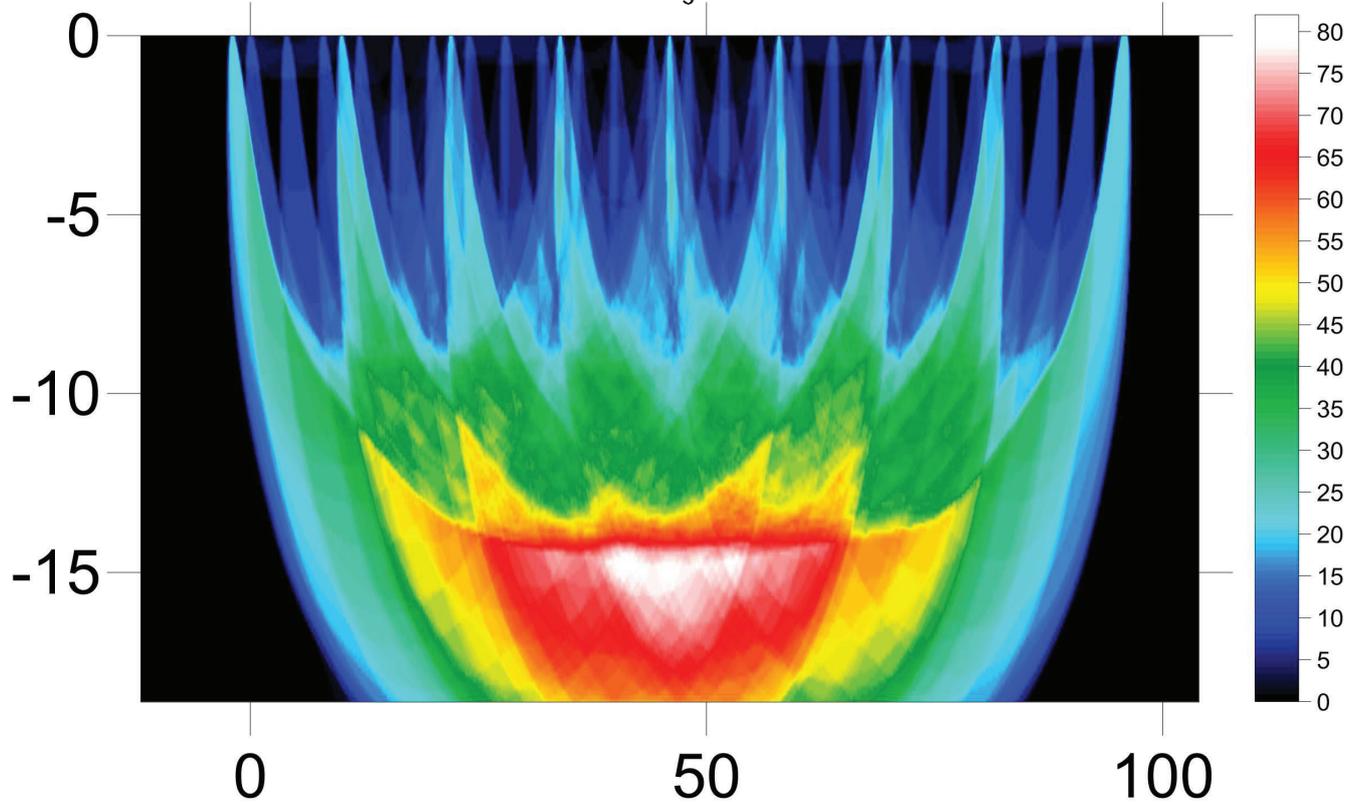


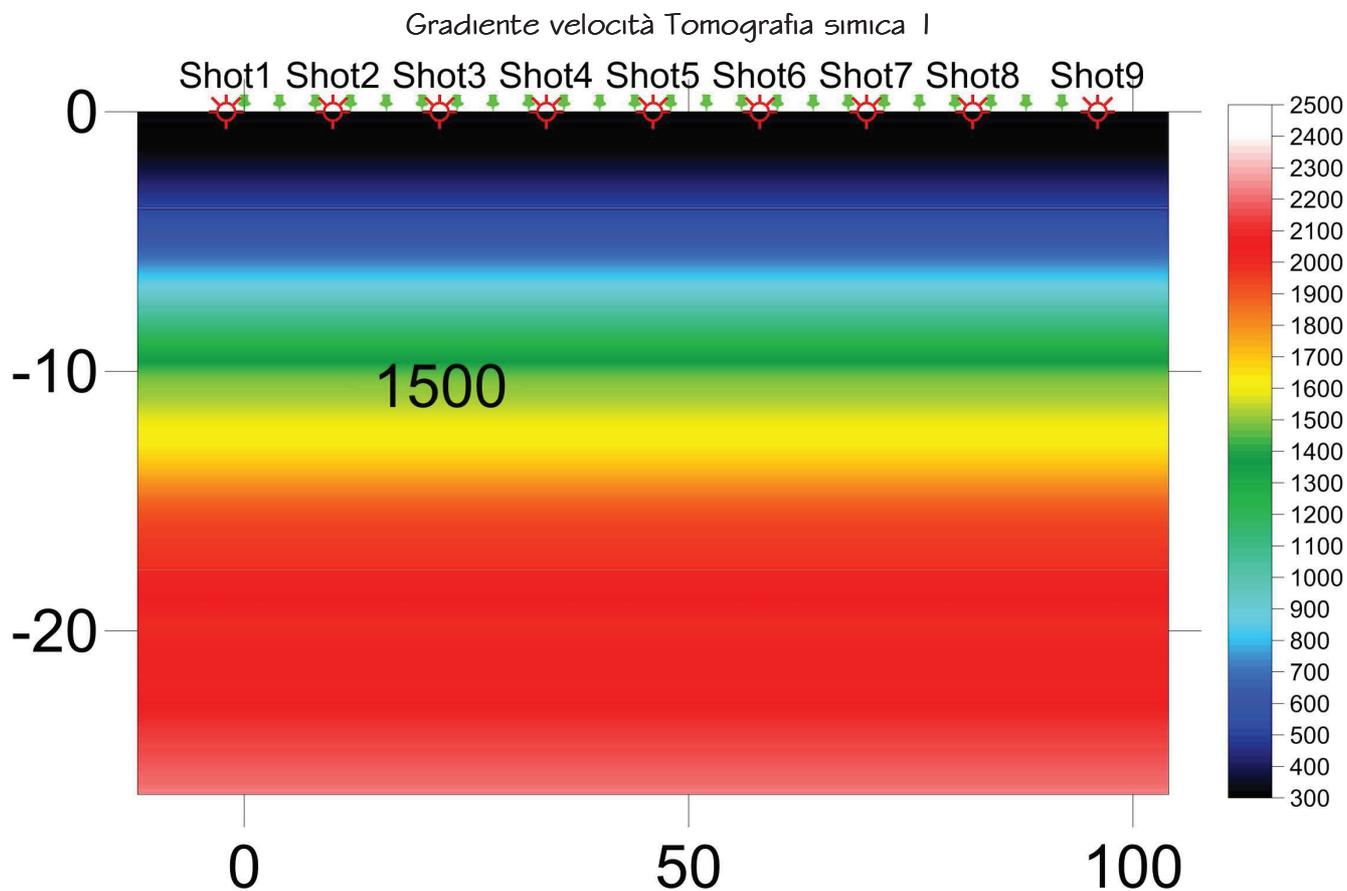
Elaborati allegati
Ubicazione area investigata I





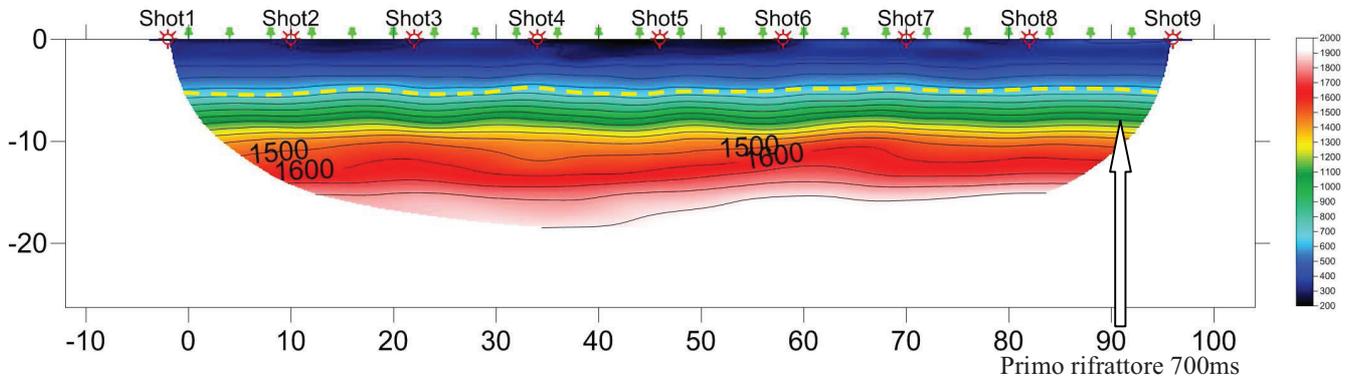
Wave Path Tomografia sismica I





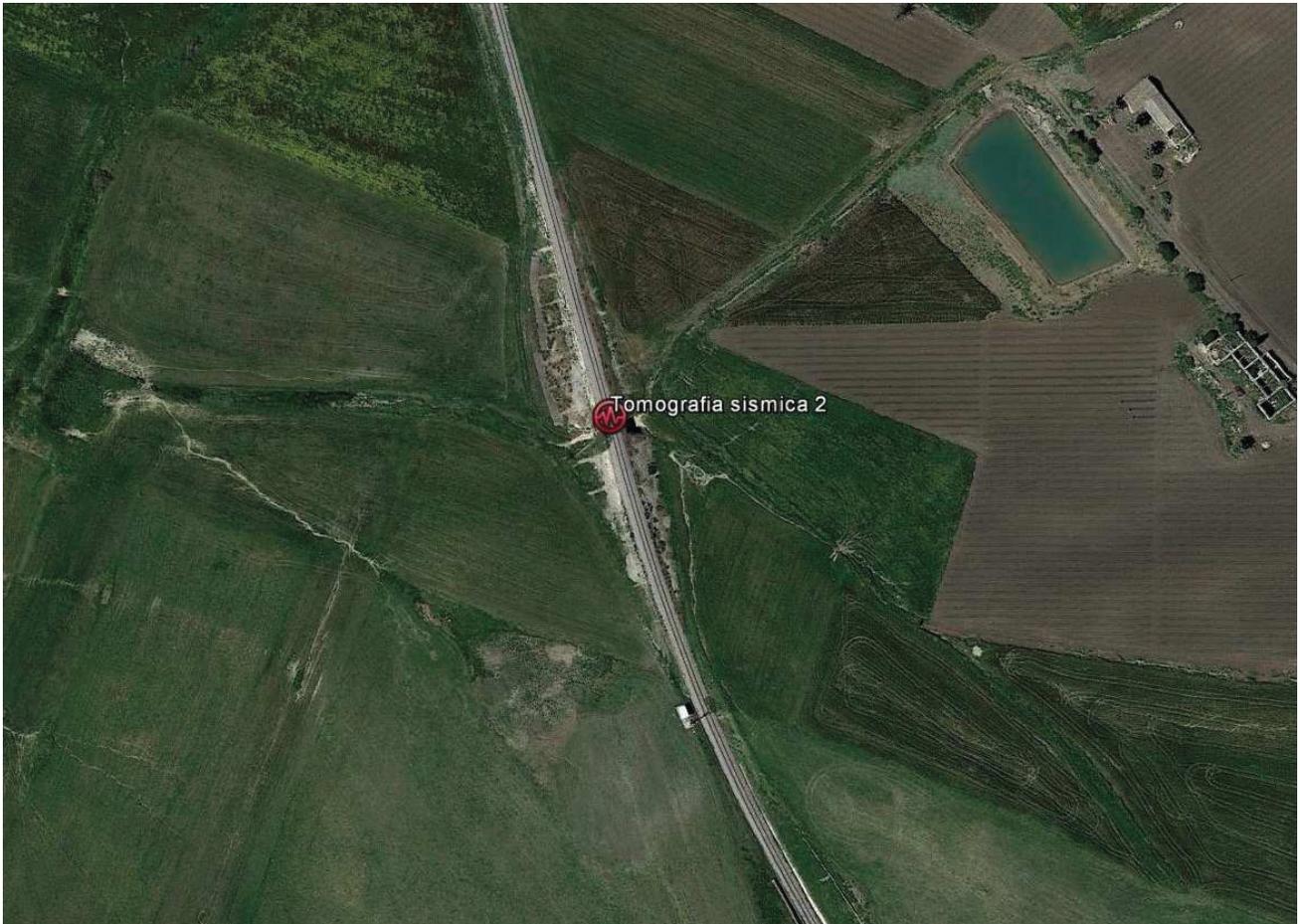


Modello tomografico Tomografia sismica I



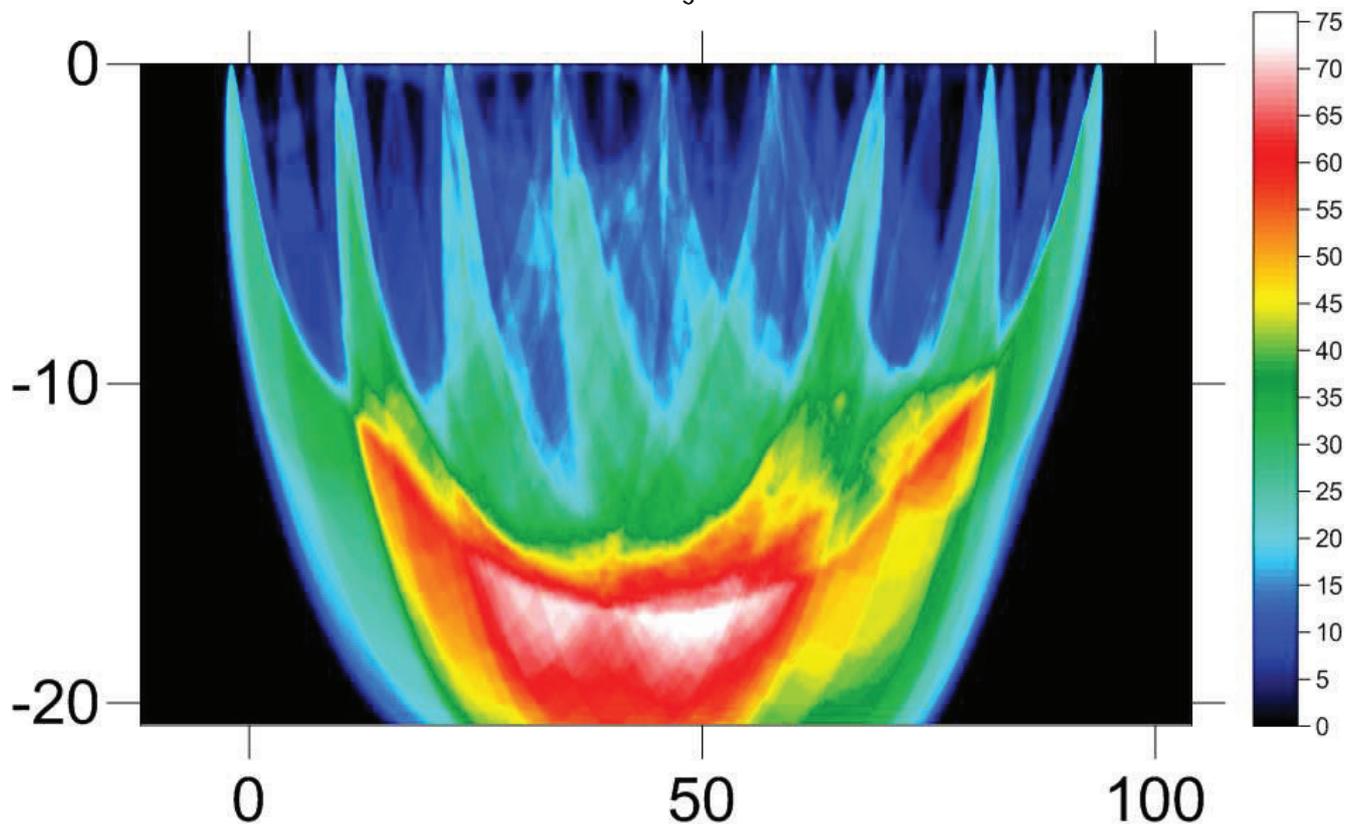


Ubicazione area investigata 2



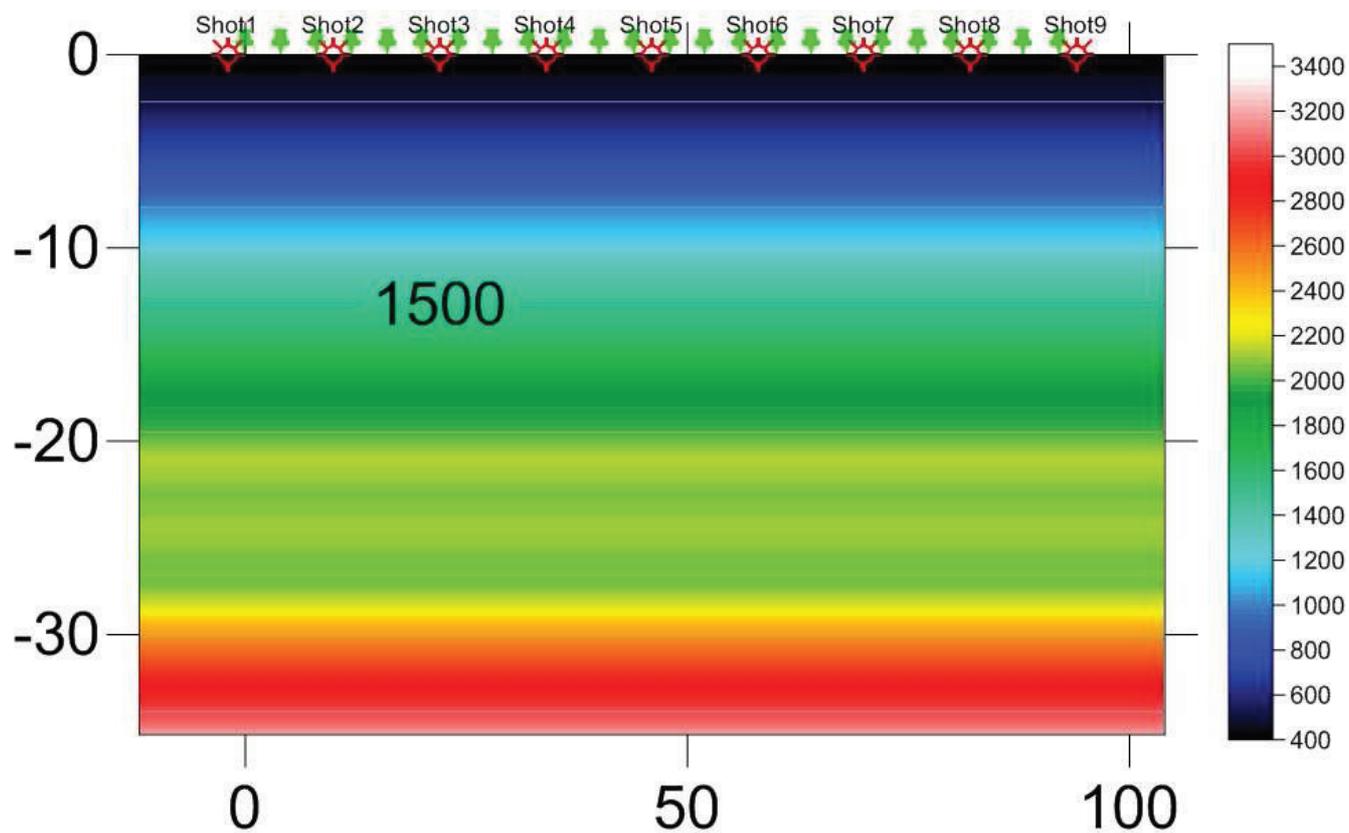


Wave Path Tomografia sismica 2



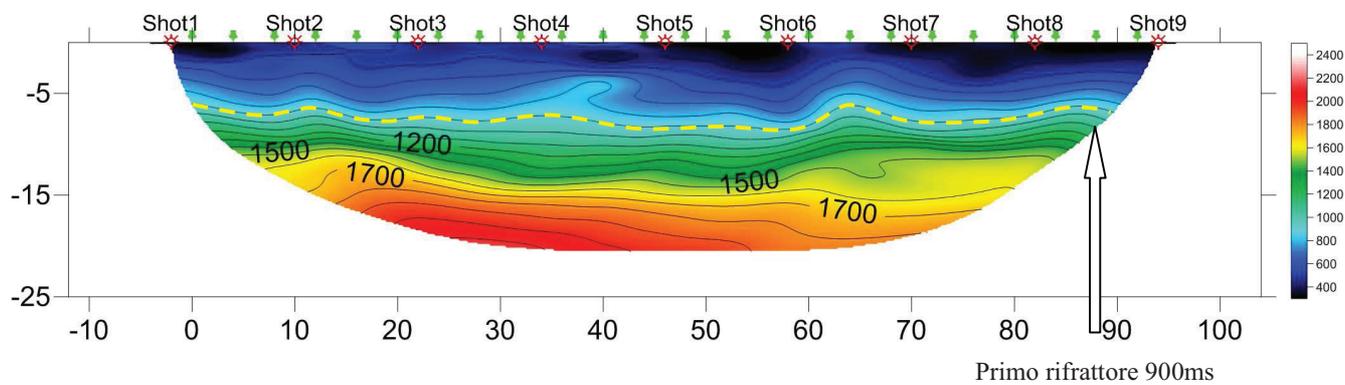


Gradiente velocità Tomografia sismica 2



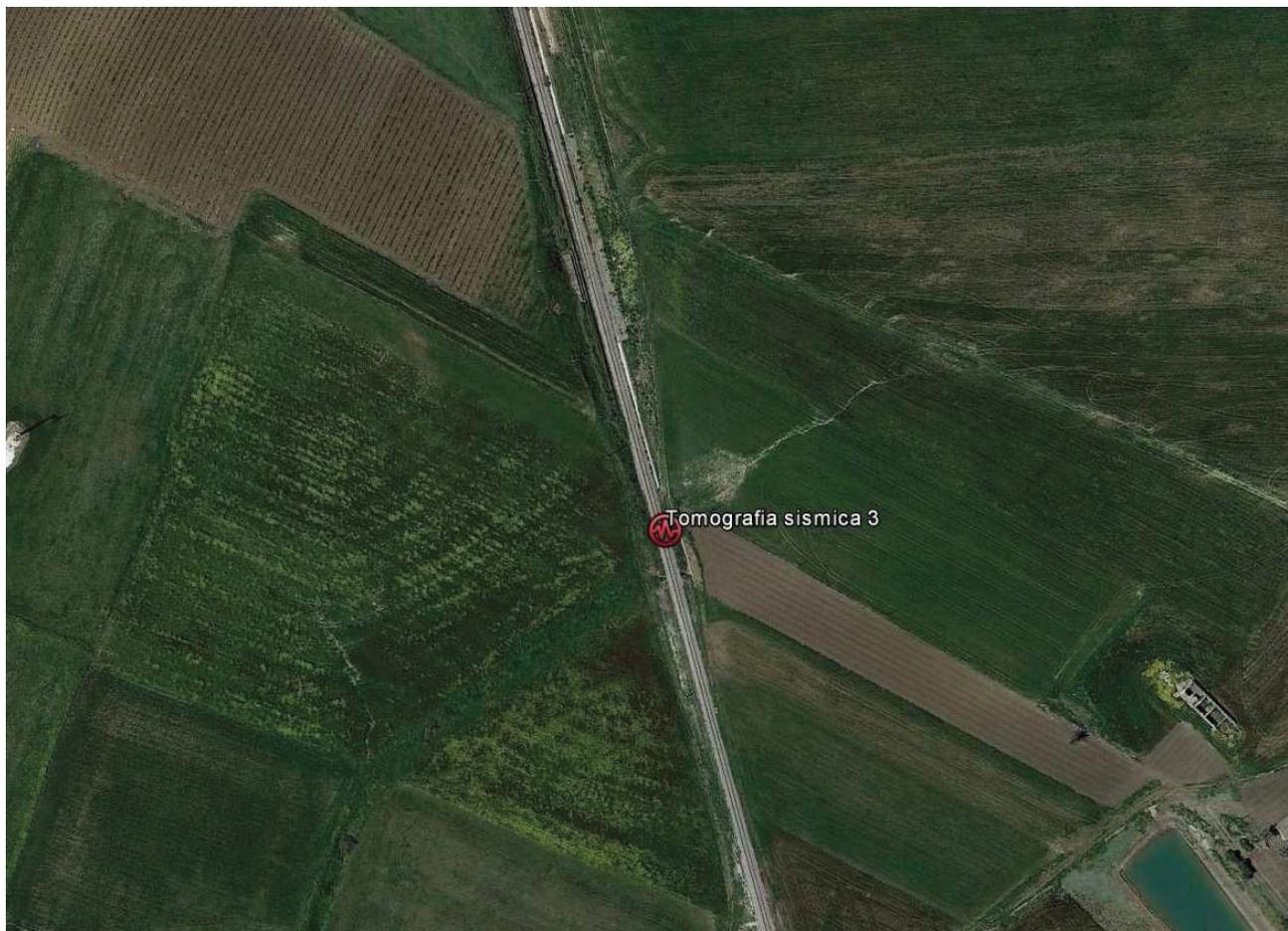


Modello tomografico Tomografia sismica 2



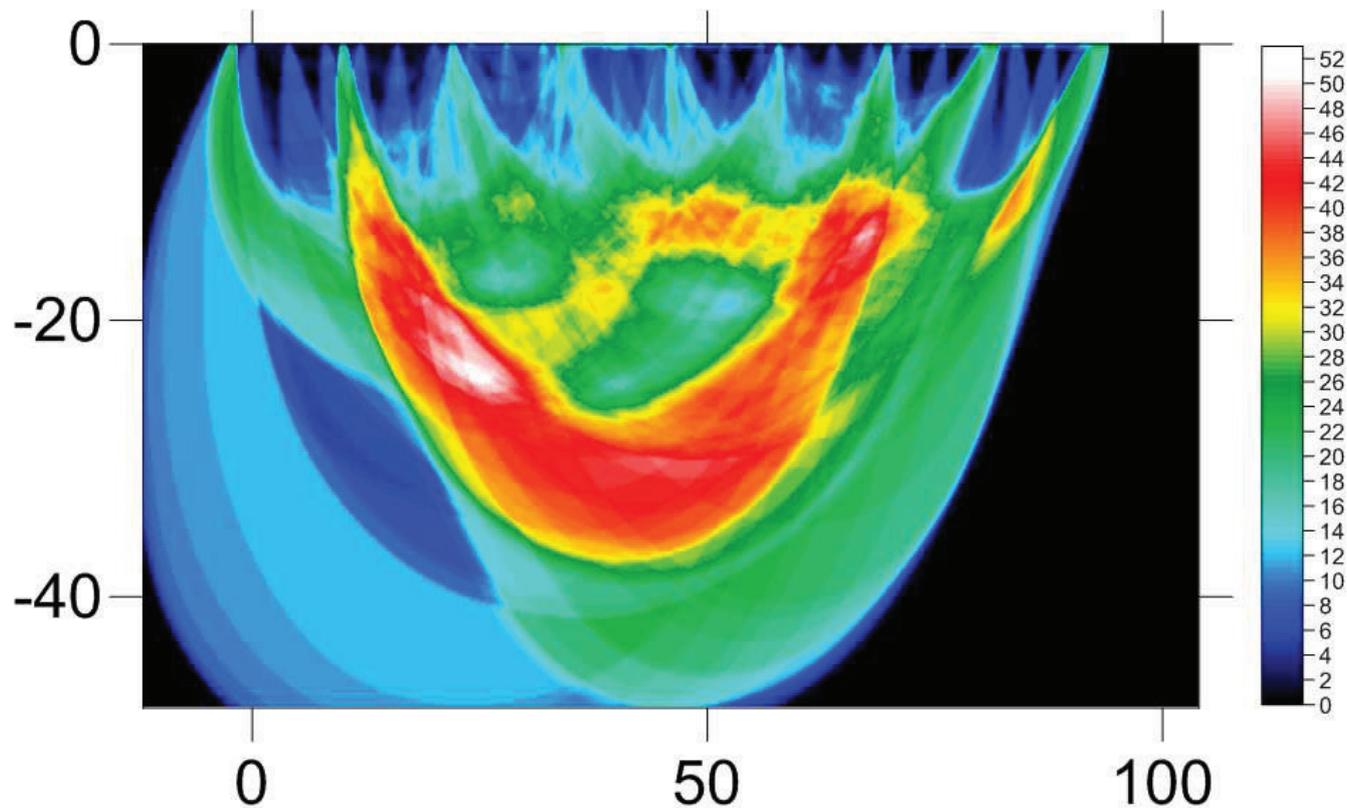


Ubicazione area investigata 3



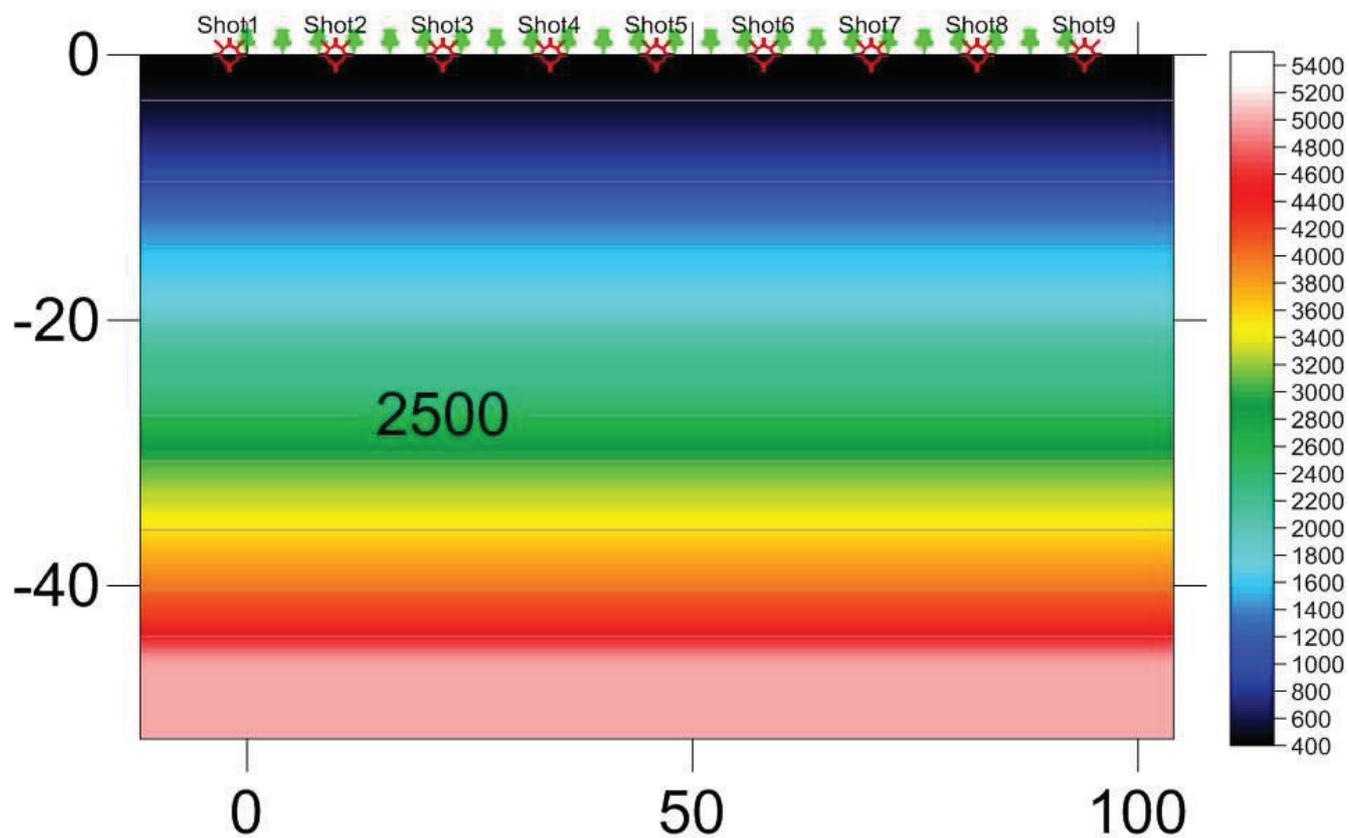


Wave Path Tomografia sismica 3



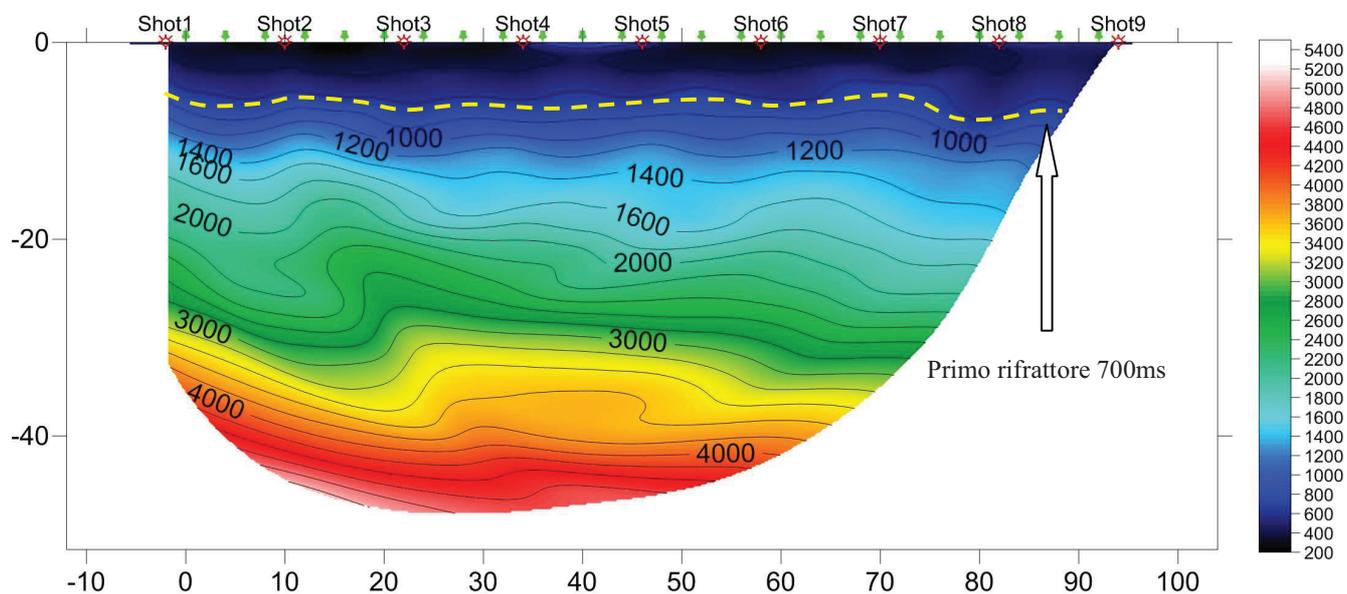


Gradiente velocità Tomografia sismica 3



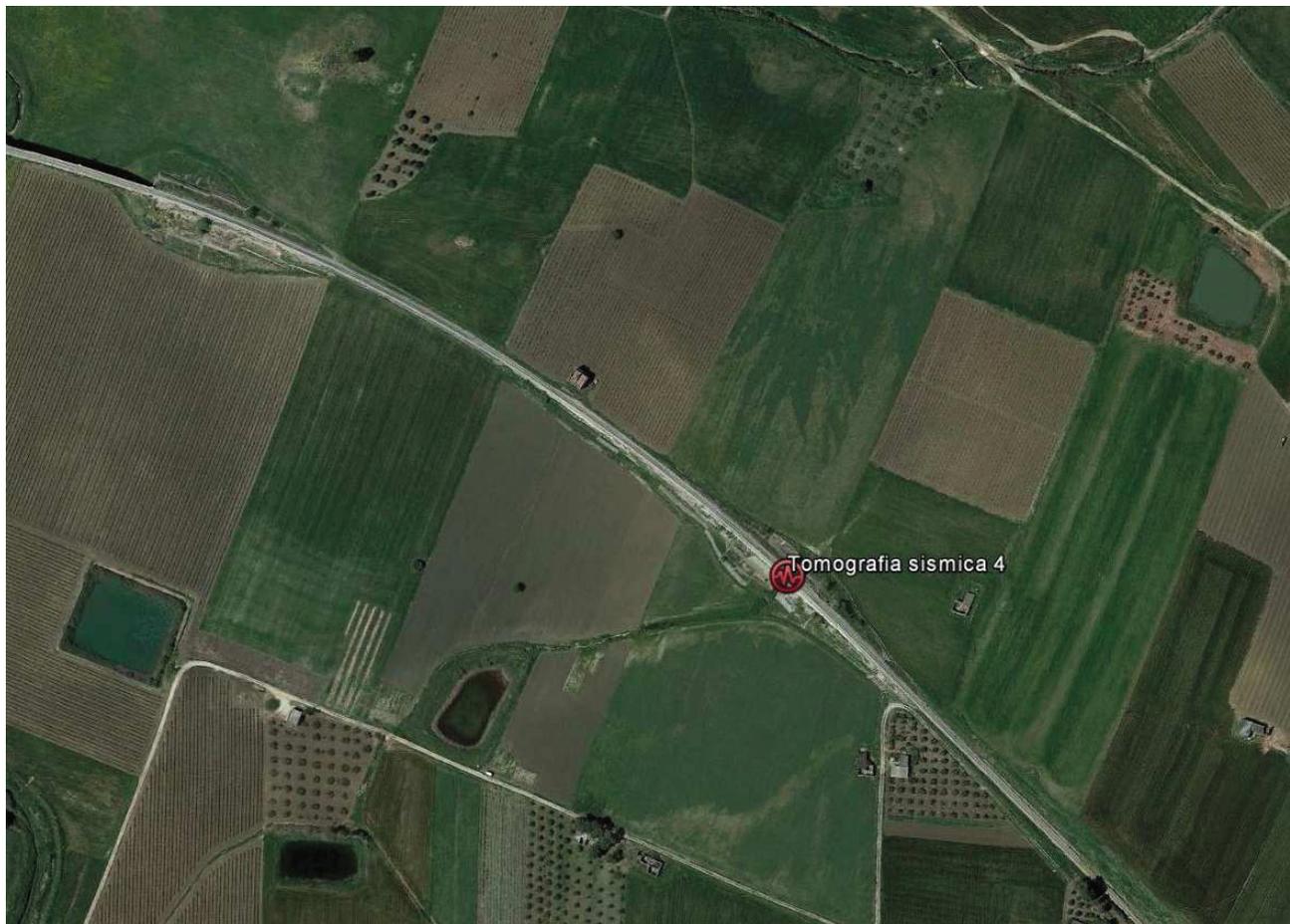


Modello tomografico Tomografia sismica 3



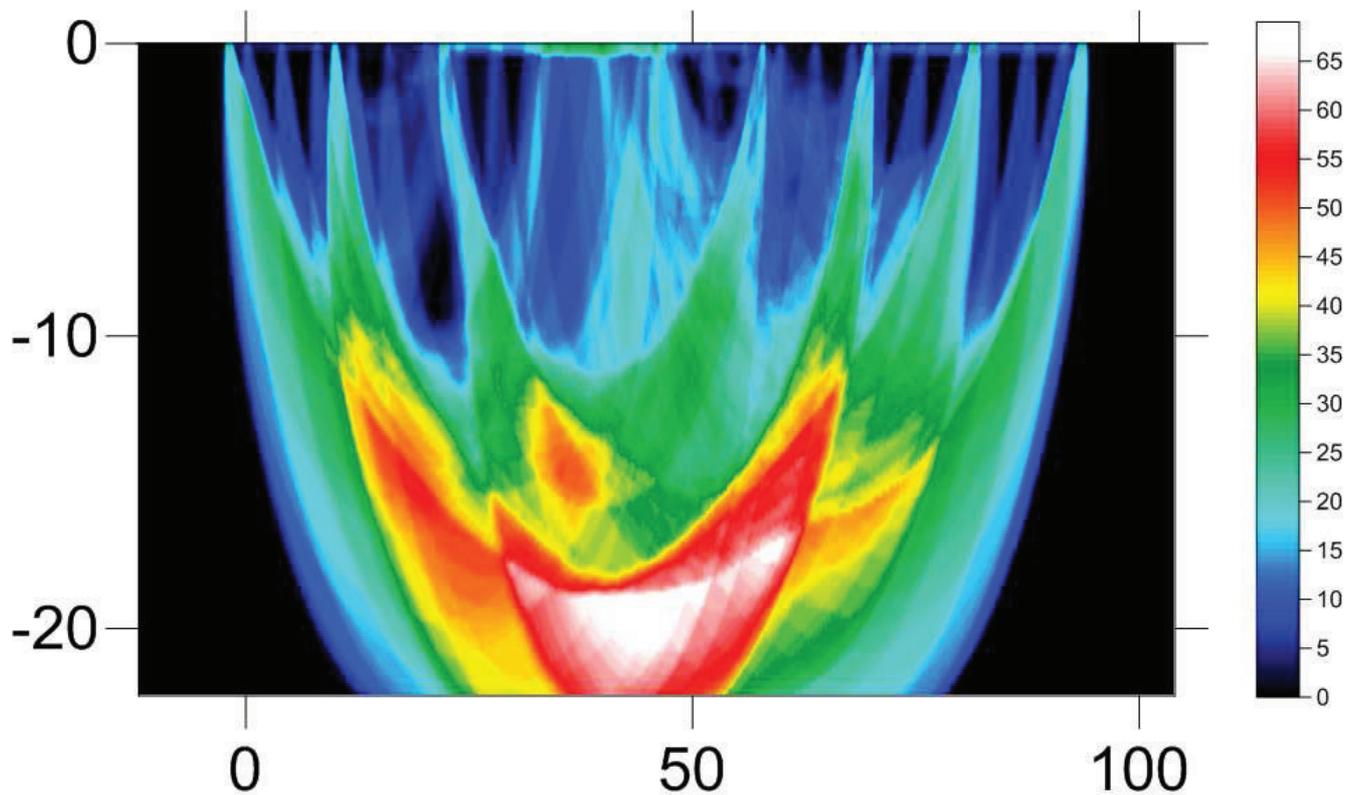


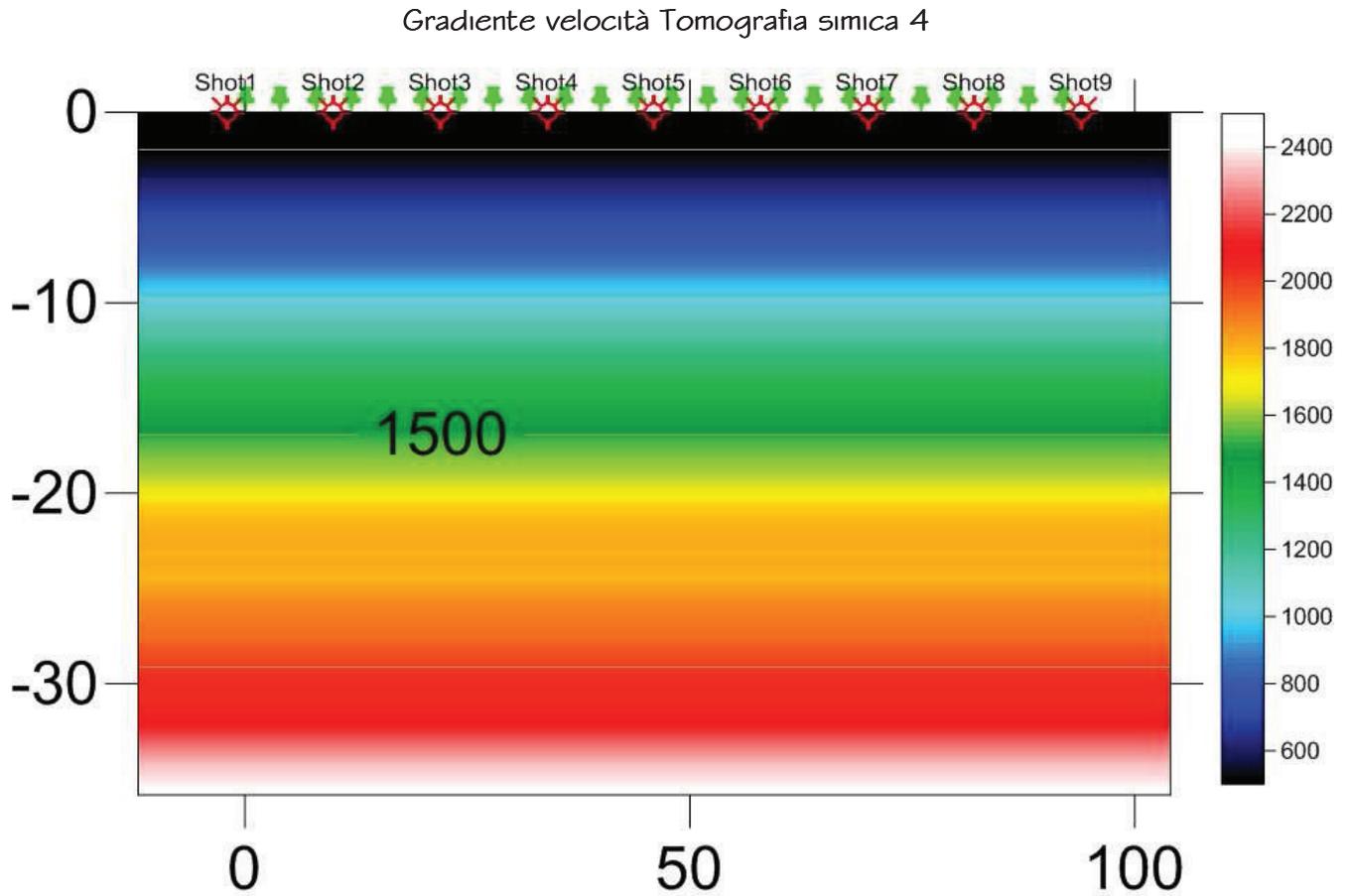
Ubicazione area investigata 4





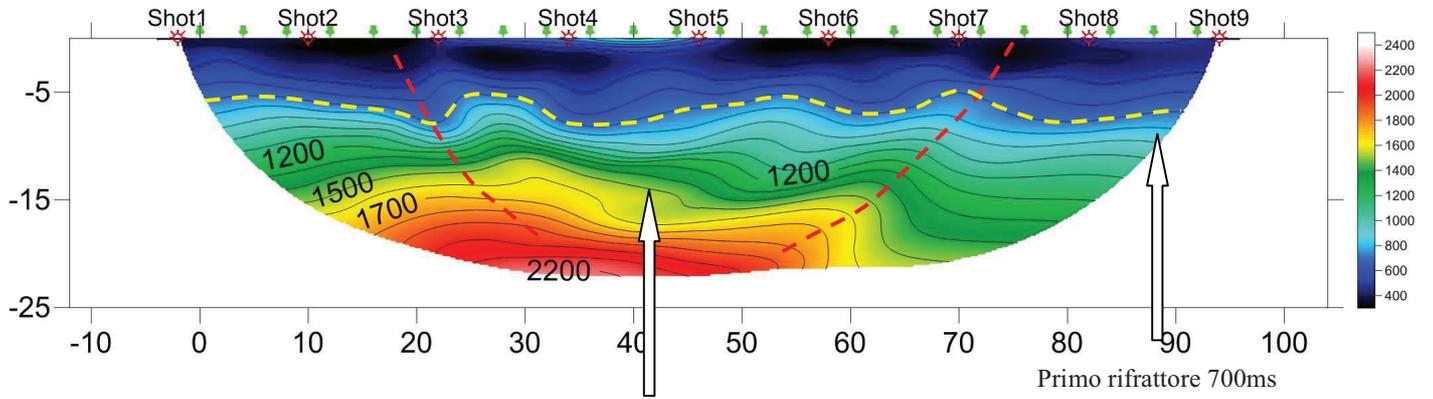
Wave Path Tomografia sismica 4







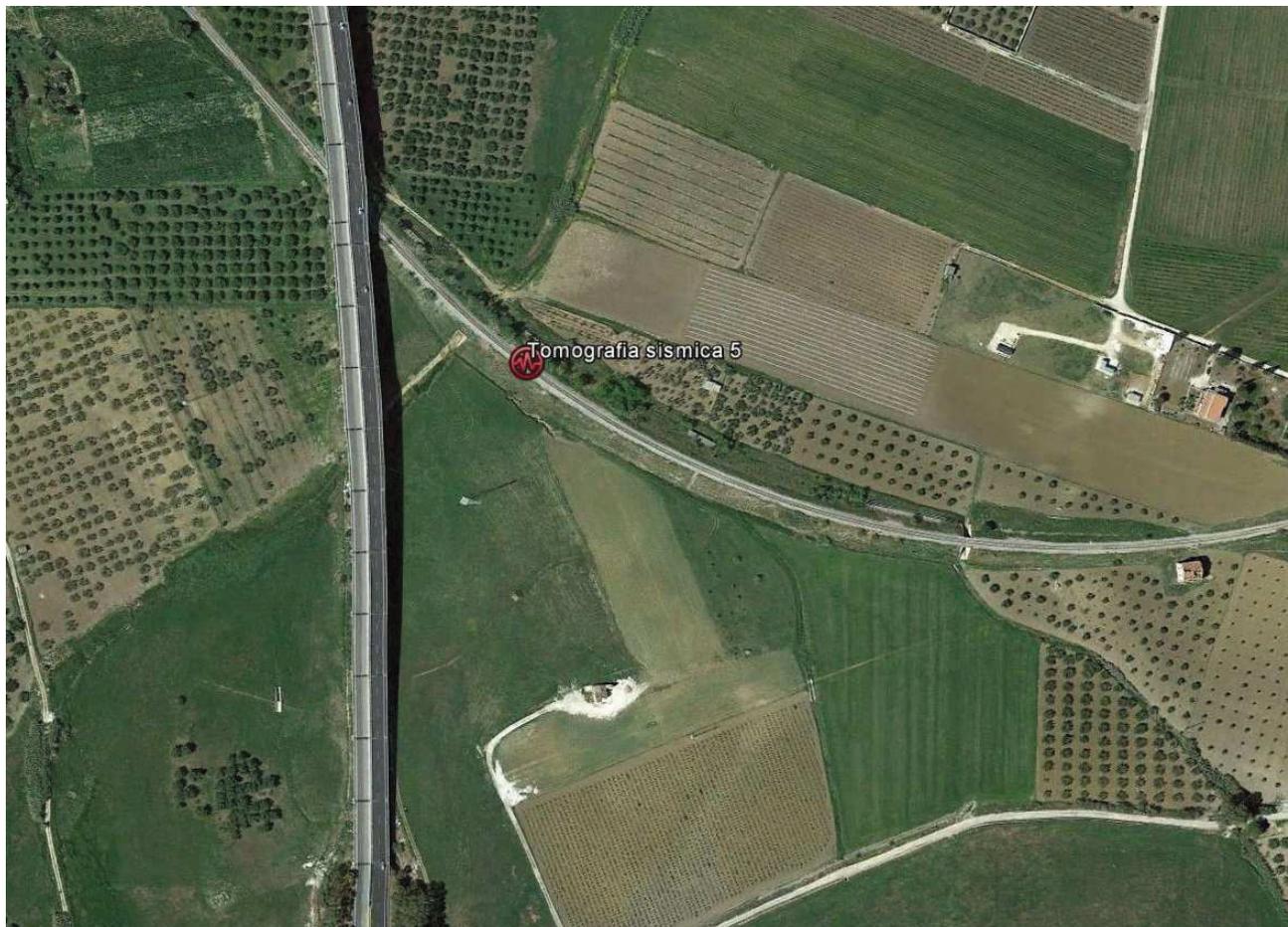
Modello tomografico Tomografia sismica 4



Area soggetta a movimento

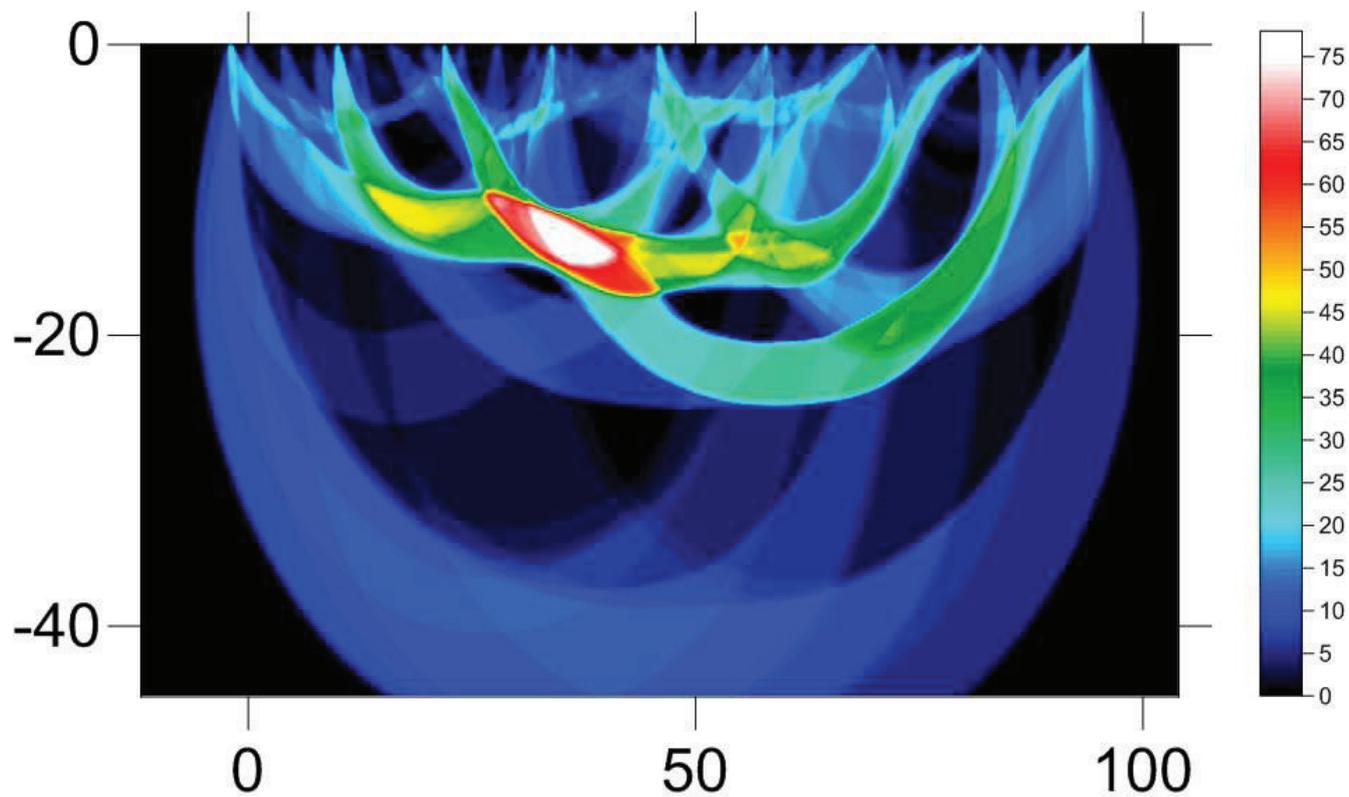


Ubicazione area investigata 5



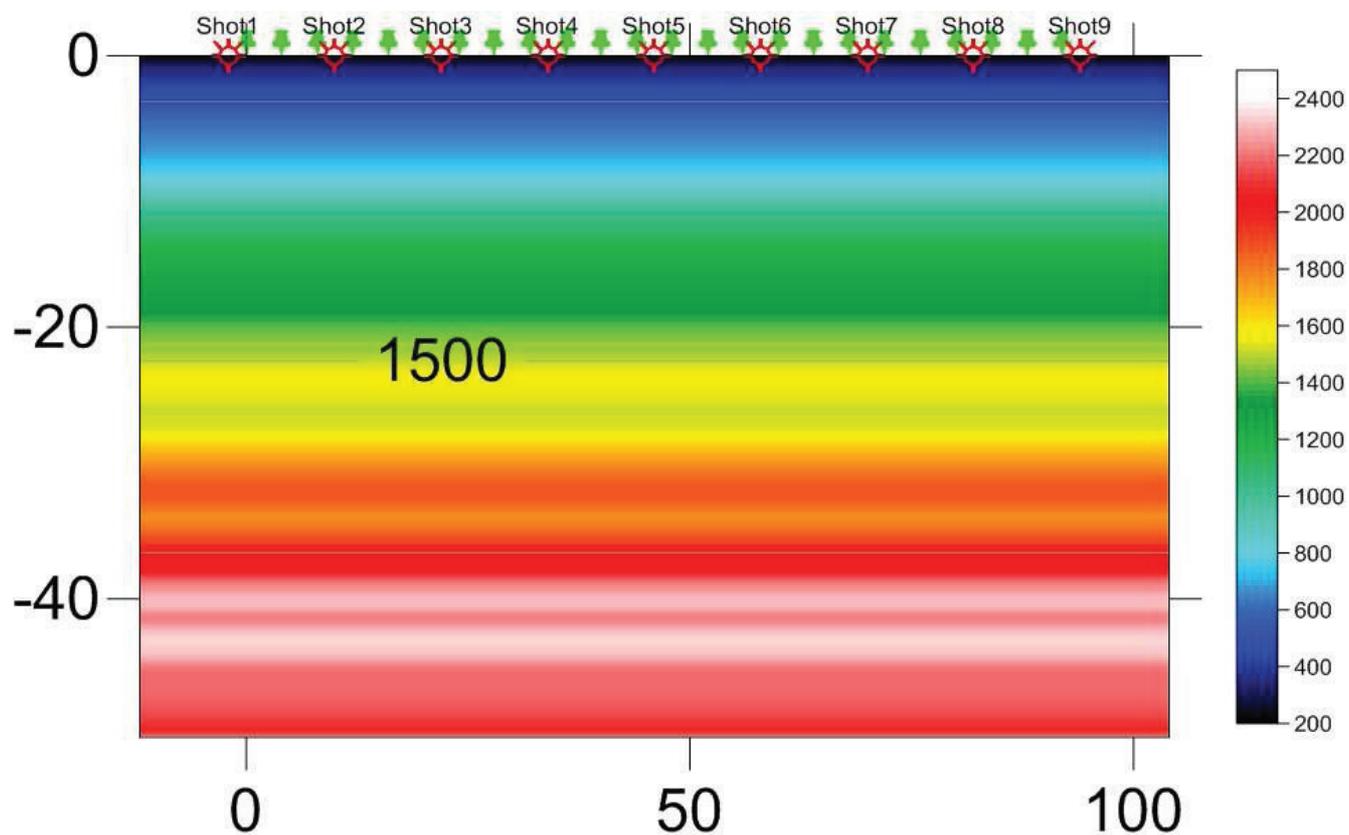


Wave Path Tomografia sismica 5



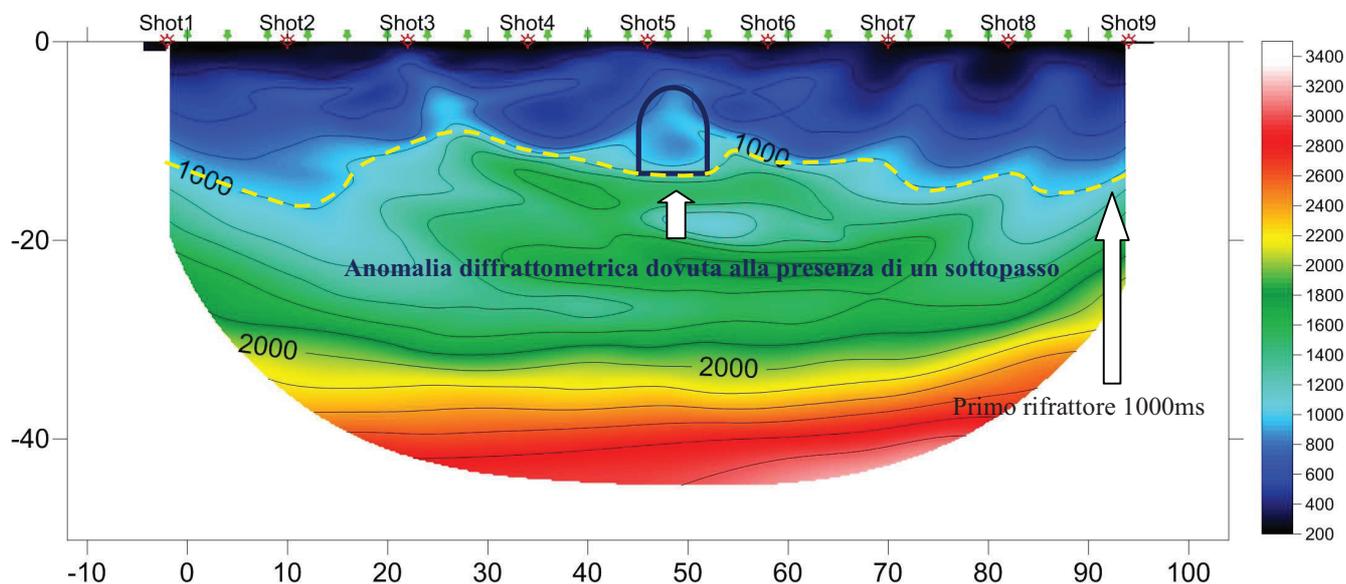


Gradiente velocità Tomografia simica 5





Modello tomografico Tomografia sismica 5



In conclusione l'indagine effettuata ha permesso di ricostruire, per quanto possibile, l'assetto stratigrafico delle aree indagate secondo l'interpretazione dello scrivente che analizzando i modelli della distribuzione dei parametri fisici misurati ha cercato di adattarli al contesto geologico locale.

Per ulteriori approfondimenti si rimanda agli elaborati tecnici allegati



Sondaggi - Consolidamenti - Impianti

C.da San Pietro Il trav. - 92100 AGRIGENTO
Casella Postale 135 - Tel./Fax: 0922 437950
www.geoplants.it - info@geoplants.it
Partita IVA 0261417 084 9



ALLEGATI



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Tomografia sismica I





Tomografia sismica 2





Sondaggi - Consolidamenti - Impianti

C.da San Pietro Il trav. - 92100 AGRIGENTO
Casella Postale 135 - Tel./Fax: 0922 437950
www.geoplants.it - info@geoplants.it
Partita IVA 0261417 084 9



Tomografia sismica 3

foto dimenticata



Tomografia sismica 4





Tomografia sismica 5



COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



SOGGETTO TECNICO:



PROGETTO PRELIMINARE

LINEA PALERMO – TRAPANI
PROGETTO DI RIAPERTURA DELLA LINEA PALERMO-TRAPANI (VIA MILO)
GEOLOGIA

Titolo elaborato:

Relazione indagini geofisiche – tomografie elettriche

SCALA:

Foglio: 1 di: 0 1 5

PROGETTO/ANNO: 0 3 1 4 1 5 SOTTOPR. S 0 1 LIVELLO P P NOME DOC. T G Progr.OP. 0 0 FASE FUNZ. 0 0 NUMERAZ. 0 2 3 2

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione per approvazione	 C.de San Pietro / 135 - 92100-AGRIGENTO Cassa: Prato 135 Partita IVA 02614170849	05/2017	Tamburello	05/2017	Martinelli	05/2017	Martinelli	05/2017

POSIZIONE ARCHIVIO:

LINEA	SEDE TECN.	NOME DOC.	NUMERAZ.
Verificato e trasmesso	Data	Convalidato	Data

Nome File: 031415_S01_PP_TG_00_00_0232_Relazione_indagini_geofisiche_tom_elettriche

INDICE

Pagina

1.	<i>PREMESSA</i>	2
2.	<i>CENNI METODOLOGICI</i>	2
3.	<i>PROPRIETÀ ELETTRICHE DI ROCCE E SEDIMENTI</i>	2
4.	<i>METODO GEOELETTRICO</i>	3
5.	<i>INVERSIONE DEI DATI DI TOMOGRAFIA ELETTRICA</i>	6
6.	<i>GEOMETRIA DI ACQUISIZIONE ADOTTATA E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA</i>	6
7.	<i>ESECUZIONE DELLE MISURE</i>	7
8.	<i>ELABORAZIONE DEI DATI</i>	8
9.	<i>ANALISI DEI RISULTATI E CONCLUSIONI</i>	8

1. **PREMESSA**

Su incarico conferitoci dal RFI SPA, in riferimento allo studio geologico-tecnico inerente al “**Indagini Geognostiche finalizzate a supporto di attività di progettazione di lavori ricadenti nell’ambito della DTP di Palermo**”, è stata condotta una campagna di indagini geofisiche eseguendo un’acquisizione tomografica 2D applicando la geometria di stendimento Wenner Schlumberger. L’indagine ha avuto lo scopo di dare informazioni sullo stato ed assetto giaciturale dei litotipi costituenti l’area in esame, ma soprattutto di ricercare forme di discontinuità e/o disomogeneità presenti all’interno di quest’ultimi.

Sono state quindi compiute

Prospezioni Geofisiche:

n° 1 prospezioni geoelettriche con misure multielettrodo (64 elettrodi) di resistività elettrica al fine di determinare le caratteristiche di uniformità litologica del sottosuolo e/o per valutare la risposta elettrica dei differenti livelli stratigrafici presenti nell’area di interesse.

2. **CENNI METODOLOGICI**

La tecnica utilizzata in questo studio è la tomografia elettrica. L’obiettivo di un’indagine geoelettrica è la ricostruzione indiretta delle proprietà elettriche di un determinato mezzo ed, in particolare, della resistività elettrica ρ , reciproco della conducibilità elettrica σ . La resistività elettrica è una caratteristica intrinseca di un materiale che influenza direttamente il passaggio di corrente, la quale fluisce con maggiore facilità nelle zone del materiale stesso caratterizzate da bassa resistività, e viceversa. Un materiale caratterizzato da alti valori di resistività (bassa conducibilità) è detto resistivo, e, di conseguenza, un materiale a bassa resistività (alta conducibilità), è detto conduttivo. Il metodo geoelettrico è di natura indiretto e prevede, in generale, la generazione di un campo di potenziale elettrico dato dall’iniezione di corrente attraverso due elettrodi metallici infissi nel materiale da indagare. Questi due elettrodi vengono definiti dipolo di corrente. Misurando la differenza di potenziale elettrico (tensione) attraverso una coppia di elettrodi (definiti dipolo di potenziale), è possibile rapportare la tensione misurata alla corrente immessa. Tale rapporto è definito resistenza, che viene convertito in resistività apparente mediante un fattore geometrico che tiene conto della mutua disposizione degli elettrodi. La distanza tra gli elettrodi e la configurazione utilizzata (Wenner, Schlumberger, Dipolo-Dipolo, ecc.) influenzano la profondità e la risoluzione spaziale di indagine. La resistività apparente è un valore medio del volume di terreno interessato dalla misura, e quindi può discostarsi dal valore reale nel caso in cui siano presenti eterogeneità. Per ovviare a questo problema, si esegue quella che si definisce tomografia elettrica, la quale prevede l’acquisizione di un set di dati di resistività apparente che ricoprano la zona interessata in modo spazialmente omogeneo. I dati acquisiti vengono processati grazie a specifici software di inversione, che consentono di ricavare la distribuzione di resistività, che meglio approssima i dati sperimentali in un modello agli elementi finiti al di sotto degli elettrodi di misura. La stima è effettuata mediante un processo iterativo di minimizzazione (minimi quadrati o minimi valori assoluti) Il modello finale di resistività non è univoco, e dipende dalle condizioni imposte all’inversione, a limitazioni intrinseche del metodo (scarsa sensitività nelle aree del modello lontane dagli elettrodi, natura diffusiva del fenomeno e fattori di anisotropia e smoothing imposti alla regolarizzazione).

3. **PROPRIETÀ ELETTRICHE DI ROCCE E SEDIMENTI**

La resistività è una grandezza fisica posseduta dalle rocce, misurata in $\Omega \times m$ ed indica la resistenza incontrata dalla corrente elettrica nell’attraversare una formazione rocciosa. Il valore di resistività che si misura, è una resistività apparente perché le linee di corrente che consentono di valutare tale parametro,

hanno attraversato più formazioni rocciose: misuriamo cioè un valore anomalo rispetto al valore che si misurerebbe in un sottosuolo omogeneo ed isotropo. Questo dato non è semplicemente il valore medio delle resistività degli elettrostrati incontrati, ma è definito da una funzione più complessa in quanto dipende sia dalle resistività dei vari litotipi attraversati che dai loro spessori. Ed è proprio grazie al fatto che la distribuzione della resistività apparente è legata allo spessore, alla localizzazione, alla forma e alla resistività dei litotipi che la corrente ha oltrepassato, che da questa misura si possono ottenere informazioni sulle discontinuità presenti nel sottosuolo. Il parametro resistività è influenzato da: tessitura e porosità, grado di cementazione, temperatura della roccia, contenuto argilloso, permeabilità, temperatura e salinità della soluzione acquosa che imbibisce la formazione. Inoltre, a parità di condizioni litologiche, vi sono alcuni processi geologici che causano un'immediata variazione della resistività perché ne modificano la porosità. In generale molti di questi processi portano ad una riduzione della resistività. Essi sono: alterazione dell'argilla, dissoluzione, fratturazione della roccia, intrusione d'acqua salata, scollamento e/o alterazione superficiale. Per questo motivo la resistività delle rocce e dei terreni non possono essere definite da un solo valore, ma da un intervallo più o meno ampio entro il quale esso può variare. Inoltre, come si vede dalla tabella riportata, i range di resistività delle varie litologie, spesso si sovrappongono comportando ulteriori problemi in fase di elaborazione dati e di identificazione della roccia.

Rocce e minerali metallici	Resistività (Ω m)
Sedimentarie	
Calcere	50 ÷ 150
Argilla	1 ÷ 100
Ghiaia	100 ÷ 5000
Calcere	50 ÷ 10^7
Marna	1 ÷ 100
Quarzite	10 ÷ 10^8
Argilla	10 ÷ 1000
Sabbia	500 ÷ 5000
Arenaria	1 ÷ 10^8
Ignee e Metamorfiche	
Basalto	Basalto $10 \div 10^7$
Gabbro	Gabbro $10^3 \div 10^6$
Granito	Granito $10^2 \div 10^6$
Marmo	Marmo $10^2 \div 10^8$
Scisto	Scisto $10 \div 10^4$
Ardesia	Ardesia $10^2 \div 10^7$

LITOTIPO	ρ (Ω m)	ϕ (%)
Acqua	10+100	-
Acqua di mare	2+3	-
Arenarie	200+5000	7+30
Argille	1+50	40+70
Calcari	300+10000	2+30
Detrito alluvionale	50+1000	15+60
Dolomie	500+10000	2+20
Sabbie e Ghiaie	70+700	30+60
Graniti	1000+20000	0.2+0.8
Marne	100+500	8+15
Piroclastiti	50+600	15+60
Rocce ignee	100+10000	30+10
Suolo di copertura	10+200	60+90
Tufi	150+900	10+40

Tabella di confronto tra i dati di resistività e i dati di Porosità

4. METODO GEOELETRICO

Principi del metodo di prova

Con questo tipo di prospezioni si indaga nel sottosuolo tentando di distinguere le formazioni geologiche in base al parametro fisico *resistività elettrica*. Il metodo geoelettrico si basa sul principio che la distribuzione di un campo di potenziale elettrico sulla superficie del terreno, dipende, oltre che dalle caratteristiche

geometriche della sorgente, dalla distribuzione della resistività elettrica nel sottosuolo. Per misurare la resistività del terreno, si posizionano 4 elettrodi sulla sua superficie. Sotto è illustrata una classica disposizione.

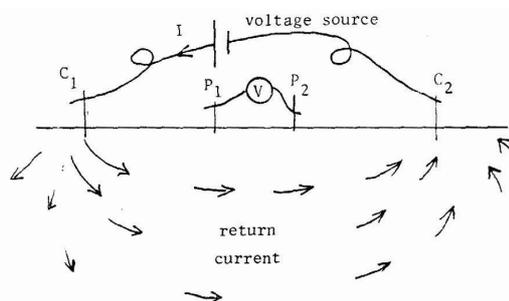


Fig. 1

La corrente è introdotta nel terreno attraverso 2 elettrodi di corrente, C1 e C2. Viene misurata la differenza di potenziale in superficie creata dalla corrente tra i due elettrodi di potenziale, P1 e P2. I circuiti di corrente e potenziale sono realizzati con un singolo strumento chiamato georesistivimetro. Gli elettrodi sono picchetti di metallo infissi nel terreno fino ad una profondità di 10-50 cm. Spostando i quattro elettrodi sulla superficie del terreno, mantenendo inalterate le loro posizione relative, è possibile attribuire le variazioni della differenza di potenziale misurata a variazioni della distribuzione della resistività elettrica all'interno del *volume sorgente* (con questo termine si intende quel volume all'esterno del quale, ogni variazione di resistività del mezzo, produce variazioni nel valore del potenziale misurato fra M e N, inferiori ad una prefissata percentuale [Barker, 1979]); questo, in prima approssimazione, mantiene invariata la sua forma mentre il suo baricentro si sposta solidalmente con il dispositivo elettrodico. Per indagare le variazioni della resistività lungo l'asse delle profondità (z) è necessario variare la geometria del dispositivo elettrodico utilizzato. Così facendo infatti si può determinare un incremento dello spessore medio del *volume sorgente*. Dalle misure della d.d.p. (ΔV), della corrente (I) e della lunghezza dei dipoli C1 C2 e P1 P2 si calcolano i valori di una grandezza denominata resistività apparente, secondo la seguente formula:

$$\rho_a = k (\Delta V / I)$$

dove k è una costante geometrica che ha le dimensioni di una lunghezza e che dipende solo dalle posizioni relative dei quattro elettrodi.

Sondaggi elettrici: tipi e modelli

I sondaggi elettrici si possono dividere in: sondaggi 1D, 2D e 3D.

Nei sondaggi elettrici 1D i dati vengono acquisiti mantenendo costante il centro del dispositivo elettrodico o punto di misura, un punto cioè che può essere considerato con buona approssimazione sulla verticale del centro di resistività o di conducibilità del volume sorgente, e aumentando progressivamente la distanza tra gli elettrodi (vedi figura 2).

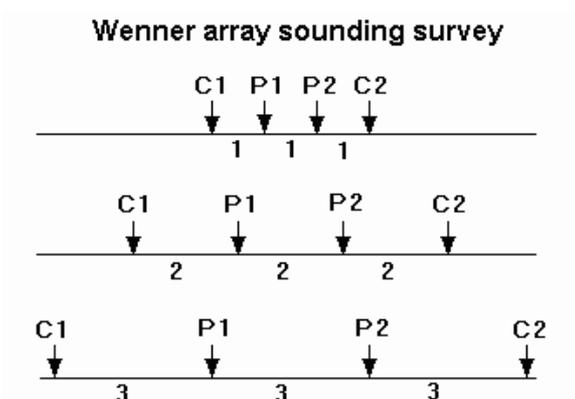


Fig. 2

Man mano che la distanza tra gli elettrodi aumenta, si va a misurare la resistività a profondità via via maggiore. I modelli monodimensionali spesso risultano sufficienti a descrivere i modelli geologici reali, tuttavia in molte aree è impossibile prescindere da una modellazione del problema che tenga conto della distribuzione della resistività elettrica lungo le tre dimensioni. Molte situazioni reali possono comunque essere modellate con distribuzioni bidimensionali di resistività, a patto che siano presenti pesanti vincoli sulle direzioni di variazione di tale parametro fisico. Nel caso dei metodi intrinsecamente 2D o 3D le misure vengono acquisite nello spazio della pseudosezione z' e di una (nei metodi 2D) o di entrambe (nei metodi 3D) le altre dimensioni orizzontali, con densità tanto elevata da assicurare una elevata dipendenza a misure relativi a punti vicini. Tale approccio è possibile grazie alla disponibilità di sistemi di misura multicanale che consentono di effettuare procedure di rolla long automatizzato, essendo dotati di un sistema di controllo dei canali di misura, e di memorizzazione delle misure. Questi sistemi consentono di eseguire le centinaia, a volte migliaia, misure necessarie a vincolare in modo adeguato il problema, in tempi di acquisizione ragionevoli. Inoltre la disponibilità di strumenti di calcolo di potenza adeguata consente oggi di effettuare il processing della notevole mole di dati acquisiti, in tempi contenuti.

Tomografia elettrica 2D

Un sondaggio di tomografia in 2D può essere realizzato con un resistivimetro controllato da PC collegato ad un cavo multielettrodo. Il software di controllo seleziona quattro elettrodi appropriati per ciascuna misura per ottenere una copertura 2D del sottosuolo. Con un sistema del genere possono essere realizzati rilievi utilizzando stendimenti di diversi tipi.

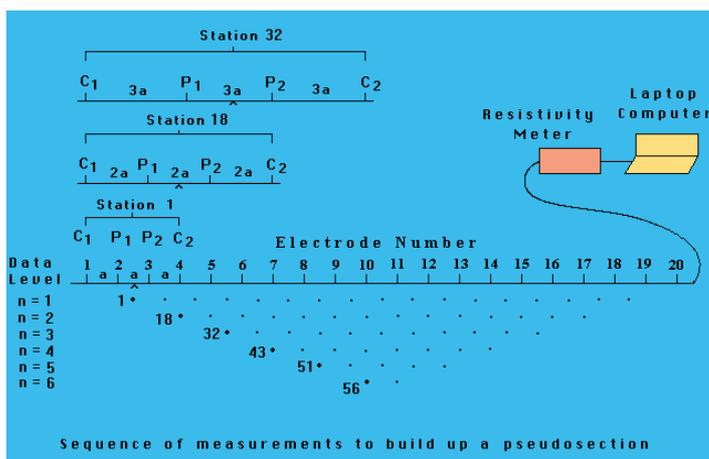


Figura 3

Per l'esecuzione delle nostre misure è stato utilizzato il dispositivo WENNER-SCHLUMBERGER, dove gli elettrodi di potenziale (MN) sono posti internamente agli elettrodi di corrente (AB). Tale disposizione quadripolare permette di indagare il terreno nel punto centrale del dipolo di potenziale, fino ad una profondità di $a/2 + na$. Il valore del fattore geometrico K è:

$$K = \pi n (n + 1)a$$

Spostando i dipoli in diverse posizioni lungo la linea elettrica, si indagano differenti punti a varie profondità, ottenendo una pseudosezione del terreno. Si precisa che nella realtà la profondità d'indagine è inferiore a quella teorica per fenomeni di distorsione del campo elettrico e delle linee di corrente in un mezzo non omogeneo

Il dispositivo WENNER-SCHLUMBERGER ha come vantaggio quello di poter investigare, a parità di distanza tra gli elettrodi, profondità maggiori rispetto al dispositivo Dipolo-Dipolo e di presentare un basso rumore dei dati; inoltre è più indicato per rilevare variazioni verticali di resistività.

5. INVERSIONE DEI DATI DI TOMOGRAFIA ELETTRICA

I dati ricavati da un'indagine geoelettrica forniscono informazioni sulla distribuzione del potenziale o, analogamente, sulla distribuzione della resistività apparente nel sottosuolo. Per avere la resistività reale, e quindi per poter ricostruire l'andamento delle resistività reali nel sottosuolo, è necessario realizzare un'inversione dei dati. Lo scopo dell'inversione è quello di trovare quei valori dei parametri che restituiscono la risposta del modello che più si adatta ai valori misurati. Nel caso della geoelettrica si deve risolvere un problema sovradeterminato, non lineare, che utilizza parametri realmente discreti o che possono essere considerati tali. Per visualizzare i dati di una tomografia elettrica in 2D si utilizza normalmente il metodo di "contouring" della pseudosezione. Oggigiorno sono state messe a punto tecniche di inversioni delle pseudosezioni grazie alle quali si ricavano sezioni di resistività indipendenti dalle caratteristiche geometriche del sistema di acquisizione utilizzato.

Tali tecniche possono essere raggruppate in 2 classi:

alla prima classe appartengono i metodi approssimati. Questi forniscono per il sottosuolo un modello preliminare che può essere migliorato usando un metodo iterativo. Sono metodi approssimati i metodi che si basano sulla tecnica di inversione basata sull'approssimazione di Born (Li e Oldenburg, 1992) e i metodi di back-projection che ricostruiscono le distribuzioni di resistività utilizzando delle somme pesate dei valori di resistività apparente misurati (Noel e Xu, 1991; Cosentino, 2000);

alla seconda classe appartengono i metodi iterativi dei minimi quadrati (Park e Van, 1991; Sasaki, 1994; Loke e Barker, 1996a e 1996b), robusto (Morelli e LaBrecque, 1996; Wolke R. e Schwetlick H., 1988, Loke e Barker, 1996a e 1996b) e del gradiente coniugato (Zhang e al., 1995). Queste tecniche si basano sulla discretizzazione del sottosuolo secondo superfici elementari mediante il metodo delle differenze o degli elementi finiti e nella successiva ottimizzazione del modello di resistività iniziale. Sebbene queste tecniche richiedano tempi di calcolo decisamente più pesanti, imponendo fattori di smorzamento e condizioni di smoothness del modello (Degroot e Coonstable, 1990; Sasaki, 1992), si ricavano algoritmi di inversione stabili che convergono rapidamente. Se l'inversione è basata sulla suddivisione del sottosuolo in voxel omogenei, all'interno dei quali la resistività elettrica è omogenea, i parametri da determinare sono i valori di resistività reale, i dati sono i valori di resistività apparente misurati in superficie e le risposte del modello sono le resistività apparenti calcolate tramite il modello. **Quest'ultimo è il metodo di ottimizzazione ai minimi quadrati utilizzato per l'inversione dei dati di resistività acquisiti nel nostro lavoro.**

6. GEOMETRIA DI ACQUISIZIONE ADOTTATA E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

E' stato acquisito un dataset:

- Tomografia 2D in configurazione wenner schlumberger lungo il profilo L (64 elettrodi, 2632 quadripoli). Questo dataset ha permesso di ricostruire, per quanto possibile (nel sito specifico sono stati riscontrati problemi di accoppiamento elettrodo - terreno), attraverso la risposta elettrica locale, le condizioni del

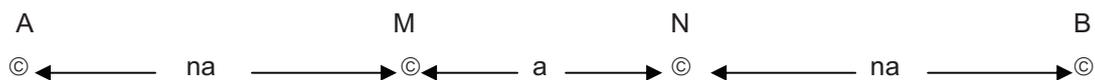
sottosuolo interessato. Lo strumento utilizzato per l'acquisizione è il P.A.S.I. Polares (vedi figura), georesistivimetro in corrente alternata modulabile in frequenza, n° 4 Cavi multipolari con connettori di collegamento Link box-elettrodi di misura; n° 4 Link Box a 16 uscite per un totale di n°64 uscite; n° 64 elettrodi in acciaio inox ϕ 14 mm;



La frequenza di iniezione di corrente è stata impostata pari a 28.5 Hz, che ha consentito di effettuare le misure con una ripetibilità media pari al 4%, in un tempo in un tempo di acquisizione di circa 120 minuti per il dataset completo avente 2632 misure.

7. ESECUZIONE DELLE MISURE

A seguito delle indicazioni impartite dalla D.L. sulla base di considerazioni legate alla profondità d'indagine da raggiungere e legate alla morfologia piano altimetrica dell'aria da investigare, è stata eseguita n°1 linea di acquisizione multielettrodo con lunghezza pari a 100.80m (64 elettrodi, spaziatura interelettrodo 1.60mt). Per la misura è stata adottata la configurazione elettrodo "Wenner-Schlumberger", la quale risulta una buona alternativa la dove è richiesta una buona risoluzione sia orizzontale che verticale. La procedura di acquisizione dei dati "Wenner - Schlumberger" risulta dalla combinazione della configurazione elettrodo tipo Wenner e di quella tipo Schlumberger e rappresenta l'adattamento del più comune dispositivo quadripolare per sondaggi elettrici verticali (Schlumberger) ai sistemi di misura multielettrodo, per i quali esiste il vincolo della spaziatura fissa tra gli elettrodi.



Configurazione elettrodo tipo Wenner-Schlumberger: A e B: elettrodi di corrente; M e N: elettrodi di potenziale; a rappresenta la spaziatura tra M e N, mentre n il rapporto tra la distanza tra A e M (B e N) e la spaziatura tra gli elettrodi di potenziale

Facendo riferimento allo schema del dispositivo quadripolare rappresentato in figura, il numero n assume valori generalmente interi, maggiori od uguali ad 1. Nel caso di $n = 1$ il dispositivo quadripolare è costituito da 4 elettrodi posti alla stessa distanza, pari ad a . Tale configurazione corrisponde a quella tipo Wenner. La condizione $AB \geq 5MN$, propria del quadripolo tipo Schlumberger, non è rispettata per $n = 1$, ma lo è per $n \geq 2$. Tale sequenza di acquisizione è quindi formalmente costituita, per $n = 1$, da quadripoli tipo Wenner e, per $n \geq 2$, da quadripoli tipo Schlumberger. Queste sono le basi del metodo. All'aumentare del numero n , il potenziale rilevabile tra gli elettrodi M e N diminuisce. Per poter incrementare la spaziatura tra gli elettrodi di corrente (e conseguentemente la profondità di indagine), al fine di registrare un livello maggiore del segnale è necessario aumentare la spaziatura tra gli elettrodi di potenziale. Questa operazione è stata denominata overlap. Il massimo numero di n impostabile dipende esclusivamente dal numero di elettrodi dello stendimento; la teoria però consiglia di non superare il numero di 8.

Riassumendo è stata eseguita n° 1 stendimento la cui geometria e nomenclatura è di seguito riportata:
Tomografia elettrica n°1 – equ. Elettrodica = 1.60m ; n° elettrodi 64; lungh. = 100.800m;

8. ELABORAZIONE DEI DATI

Per l'elaborazione dei dati acquisiti è stato utilizzato il software "RESINV" della "Geotomo" il quale come detto prima utilizza, come metodo di ottimizzazione del modello quello dei minimi quadrati per convertire i valori di resistività apparente in una sezione modello. Per evitare la produzione di variazioni molto grandi e non realistiche nei valori di resistività del modello che potrebbe verificarsi con l'applicazione semplice della formula di Gauss-Newton (metodo utilizzato per la linearizzazione del problema "inverso"), la variazione dei parametri, per tutti i stendimenti acquisiti, è stata vincolata attraverso l'opzione "Smoothness constraint" questa assicura stabilità al processo iterativo e minimizza l'asperità (roughness) del modello (Sasaki, 1994). Per la discretizzazione del modello sono state scelte delle celle di dimensione pari alla metà della spaziatura interelettrodica utilizzata durante l'acquisizione, questa scelta ha apportato maggiori benefici in termini di risoluzione considerata l'omogeneità dei dati. Analizzando criticamente i valori di resistività misurati nei nostri stendimenti è stato possibile notare una variazione graduale della resistività tra varie zone di resistività omogenee, è stata scelta l'opzione "standard constraint" che tende a generare un modello in cui la resistività varia gradualmente. Queste metodologie danno eccellenti risultati soltanto nei casi in cui la resistività del sottosuolo indagato varia realmente in modo continuo. Negli altri casi esse tendono a mal delineare i contorni dei corpi anomali e a sottostimare i contrasti di resistività (LaBrecque e al., 1996). Per gli stendimenti acquisiti è stata scelta l'opzione "Robust constraint" o inversione a blocchi, dove l'equazione di inversione viene modificata in modo da rendere minime le variazioni assolute delle resistività del modello. I modelli risultanti tendono ad essere costituiti da zone in cui la resistività è pressoché costante ma varia bruscamente quando si passa da una zona ad un'altra. Dall'elaborazione delle misure sono state ottenute la sezioni tomografiche elettriche comprendenti la pseudosezione della resistività apparente misurata, la pseudosezione della resistività calcolata e la pseudosezione della resistività reali ricostruita tramite modello.

9. ANALISI DEI RISULTATI E CONCLUSIONI

A seguito dell'elaborazione dei dati acquisiti si è pervenuti ad un modello elettrostratigrafico della fascia di sottosuolo indagata, distinto in base alle caratteristiche fisiche "resistività elettrica" che ci ha permesso di ottenere informazioni circa la risposta elettrica dei differenti livelli stratigrafici presenti nell'area di interesse e valutare, per quanto possibile, il diverso grado di uniformità litologica.

Tomografia elettrica n°1

La profondità massima investigata è stata pari a circa 11.00m dal p.c. In questa sezione si riscontrano le seguenti anomalie alto-resistive:

- Anomalia alto – resistiva lungo (3000 - 5.500 Ohmxm circa) lungo il tratto della progressiva 5.00m - 85.00m circa (fino ad una profondità di 0.70m circa),
- Anomalia alto – resistiva lungo (3000 - 5.500 Ohmxm circa) lungo il tratto della progressiva 55.00m - 75.00m circa (fino ad una profondità di 5.00m circa).

Queste anomalie sono legate alla presenza di materiale arido o poco conduttivo. Gli elevati valori di resistività in superficie sono dovuti ad effetti elettrodi.

Quindi in conclusione, come anticipatamente detto, l'obiettivo delle indagini geoelettriche è la ricostruzione di modelli di resistività del sottosuolo partendo da misure di resistività apparente, esse sono il risultato di un insieme di delicate operazioni sul campo e in laboratorio. Va inoltre ricordato che il sito in esame possedeva e possiede delle caratteristiche antropiche che hanno reso difficoltoso la creazione di un'efficiente accoppiamento elettrodo-terreno e quindi una difficile acquisizione dei dati. Ragion per cui si consiglia di verificare le anomalie riscontrate attraverso delle indagini dirette. Le valutazioni e le considerazioni espresse sono frutto di interpretazioni e non devono considerarsi in senso assoluto.

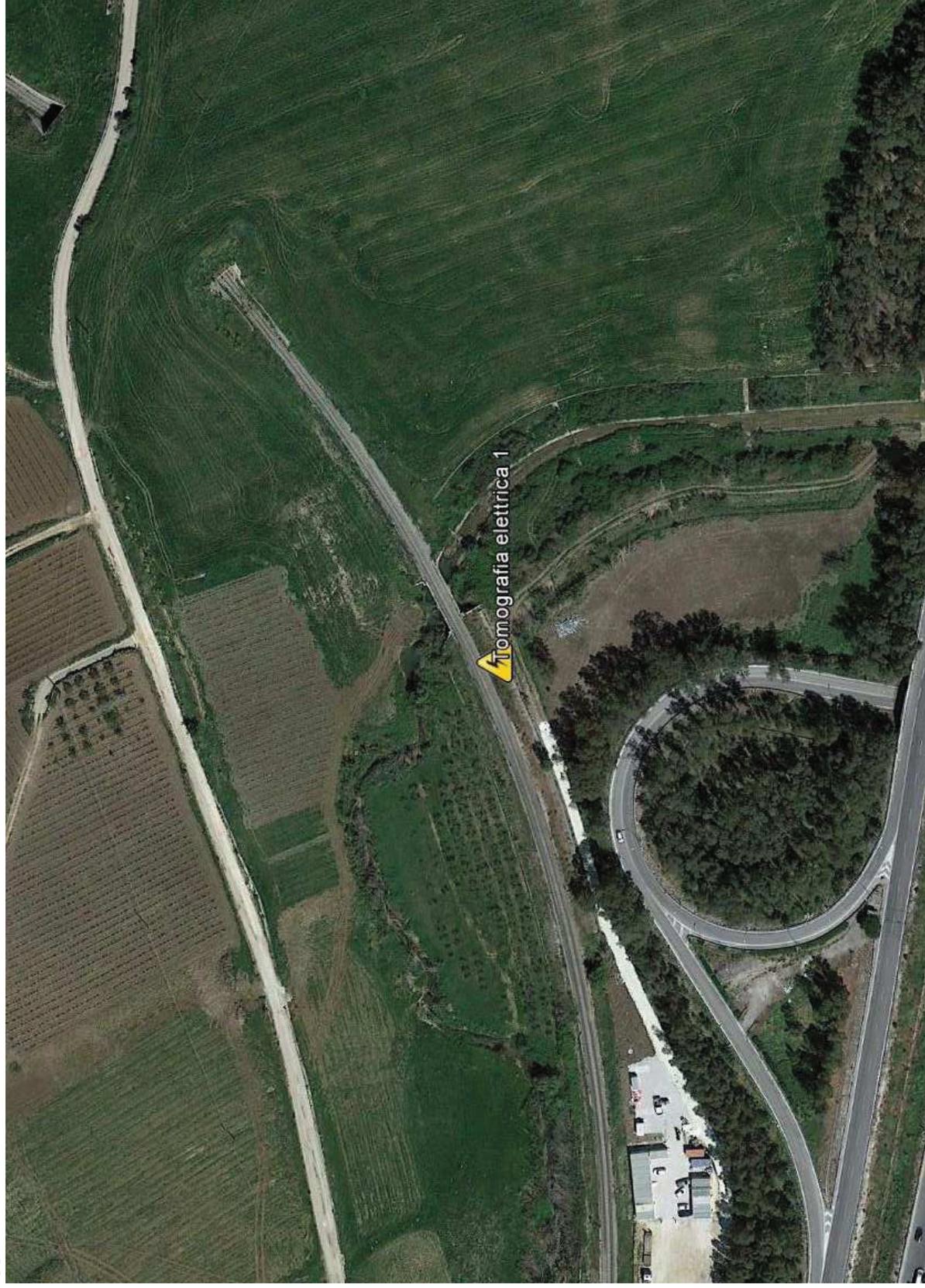
Per ulteriori approfondimenti si rimanda agli elaborati tecnici allegati



Sondaggi - Consolidamenti - Impianti

C.da San Pietro II trav. - 92100 AGRIGENTO
Casella Postale 135 - Tel./Fax: 0922 437950
www.geoplants.it - info@geoplants.it
Partita IVA 0261417 084 9

ALLEGATI



ELABORAZIONE TOMOGRAFICA

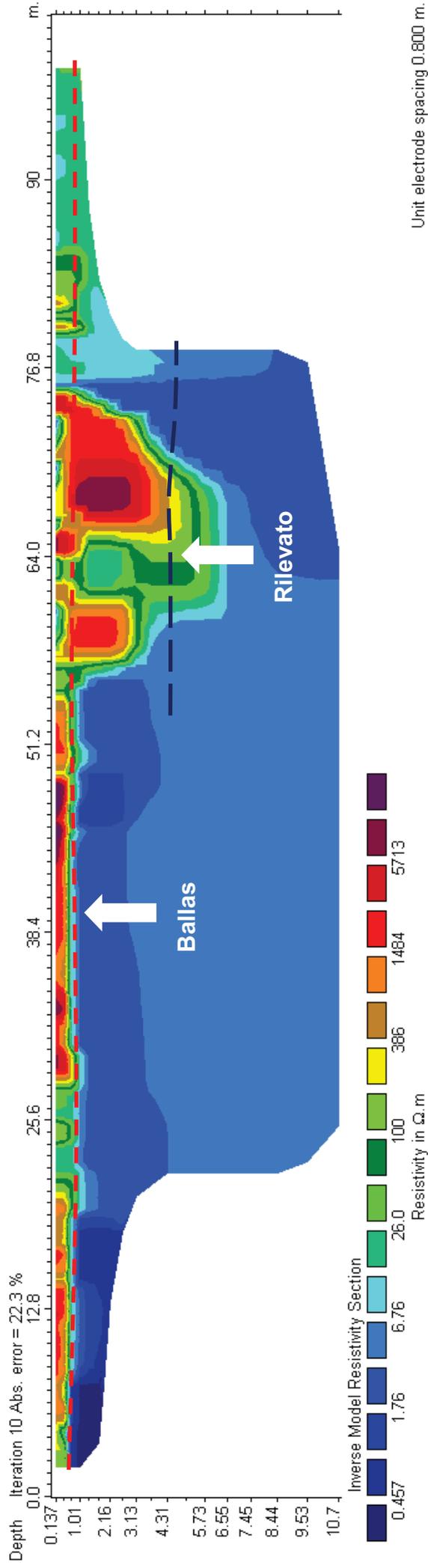


FOTO AREA INVESTIGATA



