



# COMUNE DI SAN GIULIANO TERME

## PROVINCIA DI PISA

### PIANO OPERATIVO COMUNALE – **ADOZIONE**

Ai sensi degli artt. 222 e 228 L.R. N°65/2014 "NORME PER IL GOVERNO DEL TERRITORIO"

**ALLEGATO 4**

### INDAGINI GEOLOGICHE DI SUPPORTO ALLA PIANIFICAZIONE DEL TERRITORIO COMUNALE

**ALLEGATO**

**C4.4**

Indagini geofisiche  
reperate negli archivi  
comunali

*Geol. Emilio Pistilli*  
*GEOPROGETTI Studio Associato*

Collaboratori:  
Geol. Roberto Mattei  
Geol. Iuri Pucci



Sindaco  
*Sergio Di Maio*  
Responsabile del procedimento  
Architetto *Monica Luperi*  
Garante dell'informazione e della  
partecipazione  
*Ennio Alessio Pierotti*

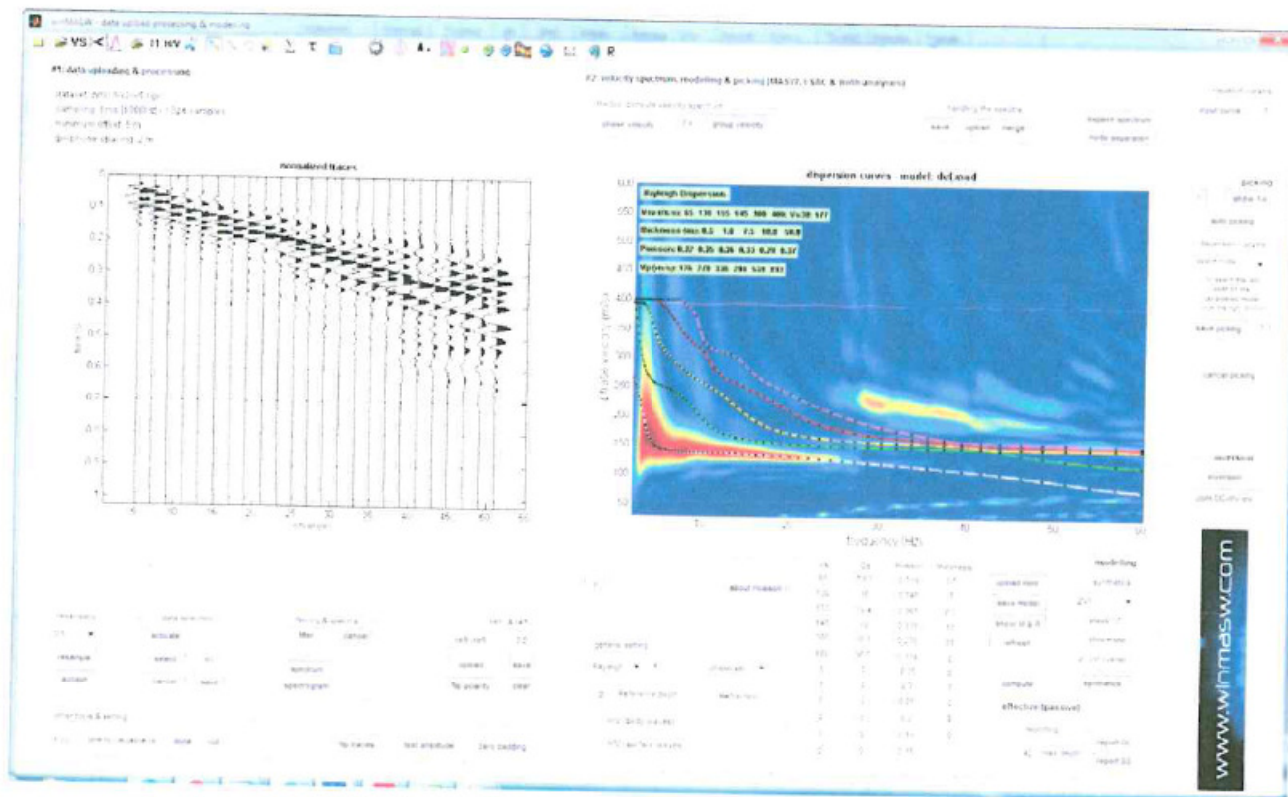
V.A.S.  
Autorità competente  
Architetto *Silvia Fontani*  
Elaborazione V.A.S.  
Dottorssa *Elena Fantoni*  
Dottorssa *Alessandra Matteini*

Gruppo di lavoro  
Architetto *Simona Coli*  
Dottorssa *Alessandra Matteini*  
Architetto *Monica Luperi*  
Architetto *Michela Luperini*  
Geometra *Sabrina Valentini*

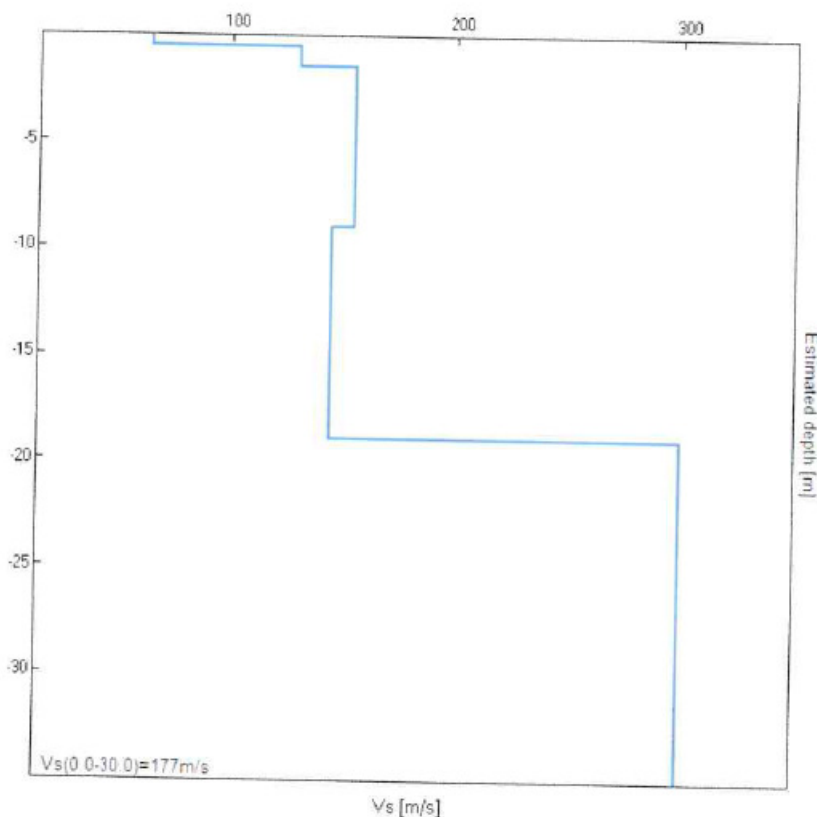
Collaboratori  
Geometra *Fabrizio Desideri*  
Geometra *Marco Lelli*  
Architetto *Cecilia Frassi*

Sistema Informativo  
Geografico  
Dottore *Gianluca Vannini*

# SISMICA LINEARE

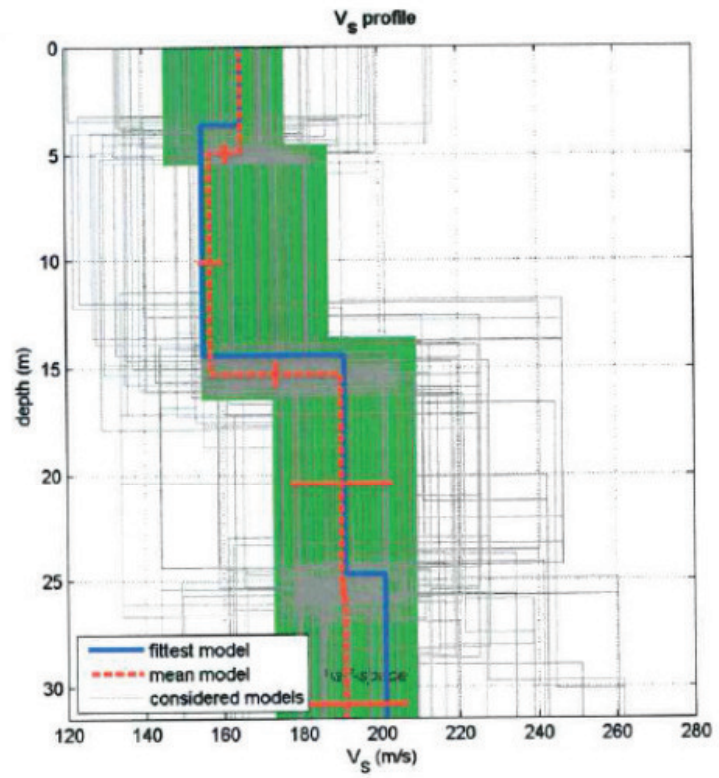
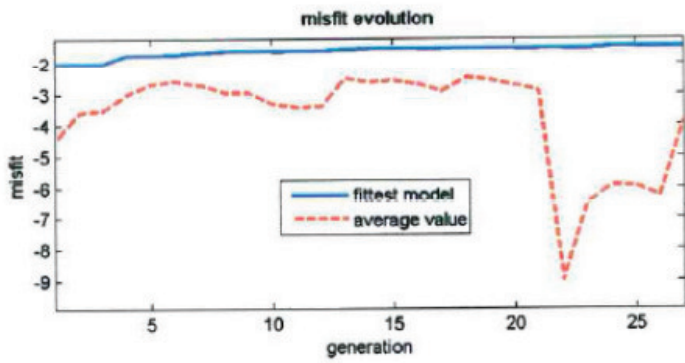
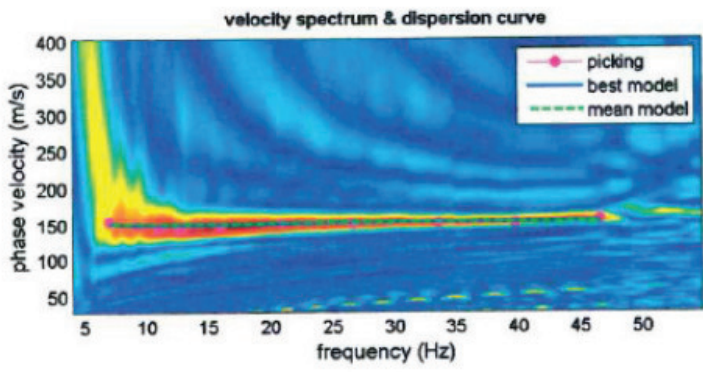


**Indagine MASW. Sismogramma, spettro di velocità e modello di dispersione calcolato**



**Indagine MASW. Profilo verticale delle Vs.**

**Seguono: schede indagine HVSR** – Oltre al grafico della curva sperimentale H/V e agli spettri delle tre componenti del moto in velocità, si riportano, per la verticale di misura, a titolo esplicativo, il confronto fra curva sperimentale H/V e curva teorica relative al modello di sottosuolo proposto (e, conseguentemente, il profilo delle Vs calcolato sulla verticale).



dataset: 5b.sg2  
 dispersion curve: pick.cdp  
 Vs30 (best model): 175 m/s  
 Vs30 (mean model): 173 m/s

curva di dispersione precedentemente ottenuta. Per ottenere il profilo verticale  $V_s$  dalla curva di dispersione è necessaria l'assunzione di valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità.

La procedura di inversione utilizzata dal software *winMASW* è legata agli "algoritmi genetici", il quale approccio consente di ottenere risultati più affidabili rispetto ai metodi di inversione basati sulla matrice Jacobiana. E' estremamente utile, per una interpretazione affidabile, poter disporre di dati di riferimento, sia per fornire uno spazio di ricerca iniziale al processo di inversione, sia per effettuare una "modellazione diretta" di ausilio a un corretto "picking" della curva di dispersione.

#### ATTREZZATURA E METODOLOGIE IMPIEGATE

Per l'indagine in oggetto si è impiegata un'attrezzatura AMBROGEO "ECHO 24/2012 Seismic Unit", 24 bit, 24+1 canali, con software di acquisizione proprietario, touchscreen integrato e predisposizione per prove *HVSR*.

Il software di acquisizione dati è "ECHO 12-24" vers. 7.00. L'attrezzatura è completata da 2 cavi sismici a 12 takes out spazati a 3,0 m con connettori cannon, montati su rullo, geofoni da 4,5 Hz, mazza di battuta da 8 Kg con interruttore starter, cavo trigger da 200 m montato su rullo.

Lo stendimento impiegato per il profilo *MASW* in oggetto si è articolato su 24 geofoni con spaziatura di 2,0 m. Sono stati effettuati diversi shots, utilizzando esclusivamente la mazza di battuta, a varie distanze dalla linea geofonica (offset min. = 2, 4, 6, 8, 10 m) con tempo di acquisizione di 1.000 msec e intervallo di campionamento di 0,128 ms; l'energizzazione è stata verticale (piastra di battuta), in modo da effettuare l'analisi in onde di *Rayleigh*.

#### INTERPRETAZIONE DEI DATI

Per l'interpretazione dei dati è stato impiegato il software *winMASW 4.3 pro*, il quale consente la determinazione di profili della velocità delle onde di taglio  $V_s$  tramite modello diretto e tramite inversione delle curve di dispersione ottenute, effettuata con algoritmi "genetici". Tale programma è in grado di operare sui records in formato .SGY prodotti dalla strumentazione *Ambrogeo* e di effettuare l'analisi delle curve di dispersione in onde sia di *Love* che di *Rayleigh*, sia congiuntamente.

Si sono dapprima confrontati gli spettri di dispersione ottenuti dai vari shots (vedere tavola relativa). Una volta esaminati questi, l'elaborazione è stata eseguita, previa "ripulitura" del sismogramma, sullo shot avente offset minimo dalla linea geofonica pari a 2,0 m.

Si è proceduto da modello diretto. Alla presente relazione sono allegati i grafici del *common-shot gather* e lo spettro di velocità di fase, con riportate le curve di dispersione (più modi di propagazione) relative al modello adottato.

Il modello contempla 4 strati a diversa velocità  $V_s$ , e precisamente:

shot a offset min. = 2.0 m	strato	1	2	3	4
	V <sub>S</sub> da Rayleigh	140	150	145	260
	spessore (m)	2.0	5.0	16.0	

Con i dati ottenuti si ha per la zona di indagine, a partire da p.campagna, una  $V_{S30} = 162$  m/sec, e considerando una profondità di 1,0 m, di **165** m/sec.

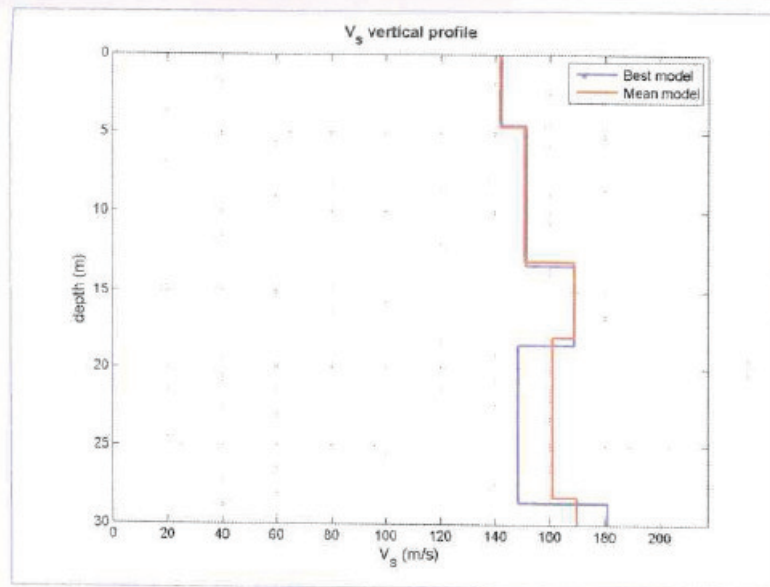


Figura 5: Indagine MASW1 - Profilo verticale della VS.

#### Mean model

Vs (m/s): 142, 151, 169, 161, 170

Standard deviations (m/s): 0, 2, 4, 8, 9

Thickness (m): 4.6, 8.5, 4.9, 10.2

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

Density (gr/cm<sup>3</sup>) (approximate values): 1.74, 1.85, 1.81, 1.76, 1.82

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 35, 42, 52, 46, 52

Analyzing Phase velocities

Considered dispersion curve: pick.edp

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson

Vp (m/s): 277, 430, 366, 300, 373

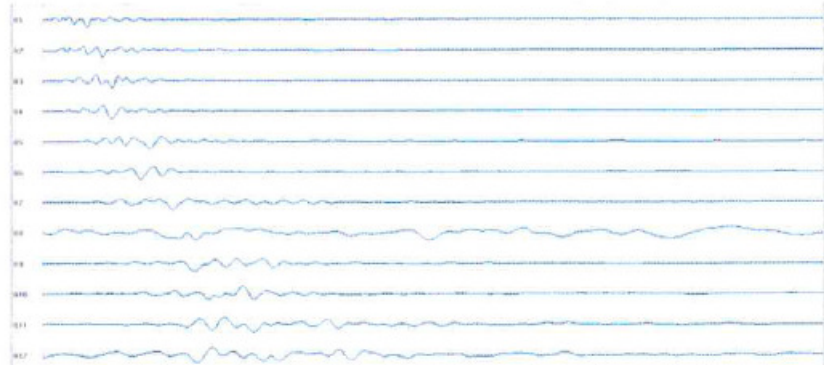
Poisson: 0.32, 0.43, 0.36, 0.30, 0.37

Vs30 (m/s): 157

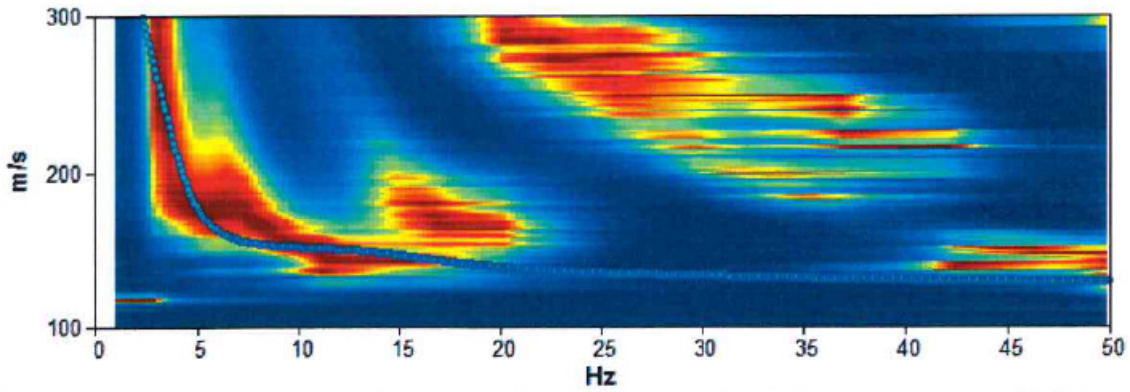
INDAGINE MASW

ARENA, [Z] MASW

Inizio registrazione: 10/10/10 09:52:06      Fine registrazione: 10/10/10 09:59:42  
 Durata registrazione: 0h07'36".      Analizzato 71% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 512 Hz  
 Nomi canali: B1 ; B2 ; B3 ; B4 ; B5 ; B6 ; B7 ; B8 ; B9 ; B10 ; B11 ; B12  
 Array geometry (x): 2.0 3.0 5.0 7.0 11.0 13.0 17.0 19.0 23.0 29.0 31.0 37.0 m.

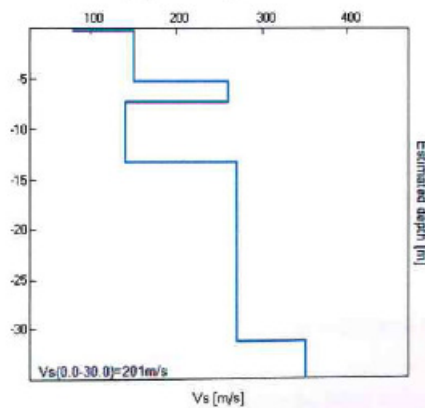


THEORETICAL RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.30	0.30	80	0.35
5.30	5.00	150	0.35
7.30	2.00	260	0.35
13.30	6.00	140	0.35
31.30	18.00	270	0.35
66.30	35.00	350	0.35
inf.	inf.	420	0.35

Vs(0.0-30.0)=201m/s



Il modello contempla 4 strati a diversa velocità Vs, e precisamente:

shot a offset min. = 3 m	strato	1	2	3	4
	VSv da Rayleigh (m/sec)	115	130	180	200
	spessore (m)	1.0	8.0	15.0	

Con i dati ottenuti si ha per la zona di indagine, a partire da p.campagna, una  $VS_{30} = 163$  m/sec . Considerando invece una profondità di partenza pari a -1,0 m la  $VS_{30}$  sale a 167 m/sec .

**ALLEGATI :**

- Ubicazione linea MASW su cartografia scala 1:2.000 - documentazione fotografica
- Grafici common-shot gather e spettri di velocità (onde Rayleigh) per i diversi shots
- Grafico common-shot gather e spettro di velocità (onde Rayleigh) – shot a 3,0 m con modello diretto

San Giuliano T.me, Luglio 2013





## INDAGINE MASW

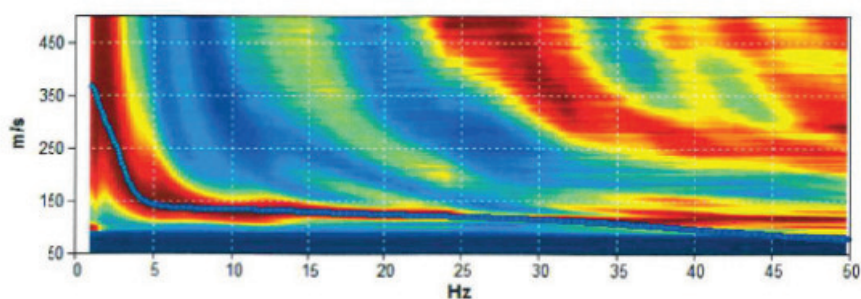
## Metato, MASW

Inizio registrazione: 22/12 15:26:06 Fine registrazione: 22/12/10 15:34:07  
 Durata registrazione: 0h08'00". Analizzato 75% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

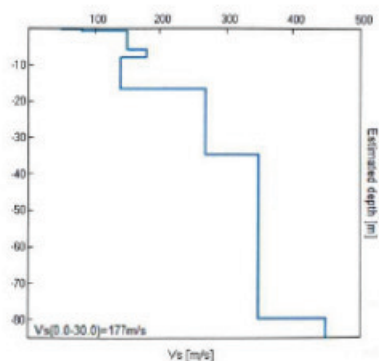
Array geometry (x): 2.0 3.0 5.0 7.0 11.0 13.0 17.0 19.0 23.0 29.0 31.0 37.0 m.

## THEORETICAL RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.20	0.20	50	0.35
0.80	0.60	80	0.35
5.80	5.00	150	0.35
7.80	2.00	180	0.35
16.80	9.00	140	0.35
34.80	18.00	270	0.35
79.80	45.00	350	0.35
inf.	inf.	450	0.35

Vs(0.0-30.0)=177m/s



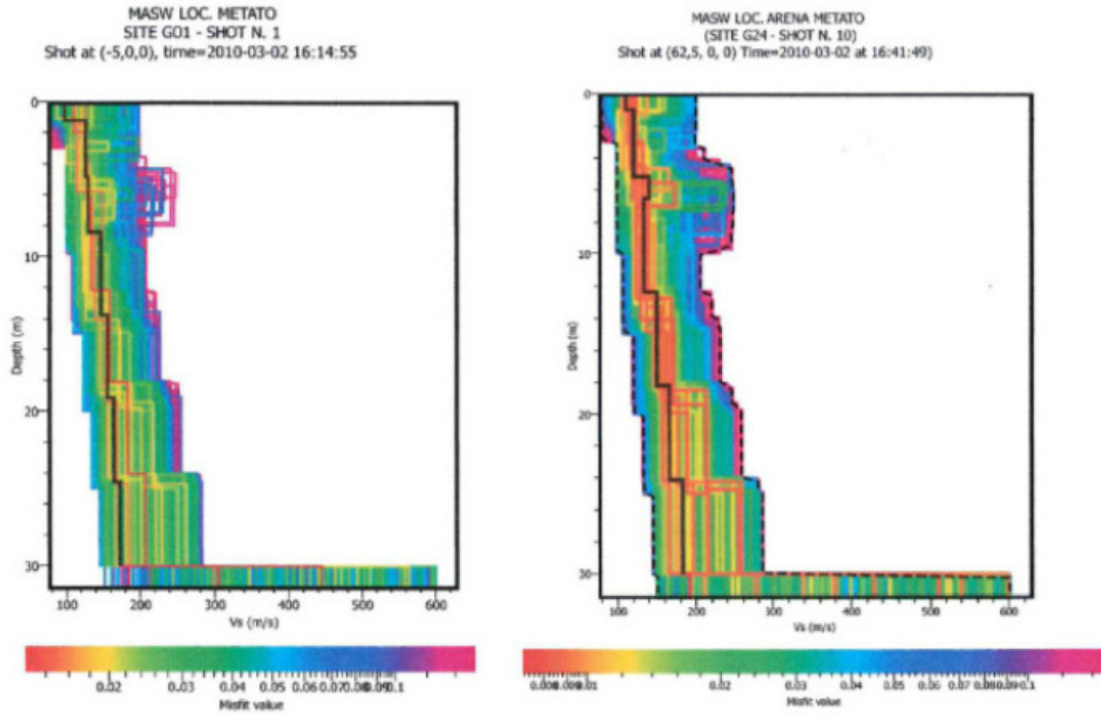


Fig. 15 - 16 – Andamento Vs30 nel sottosuolo (Shot n. 1 site G1 e shot n.10 site G24)

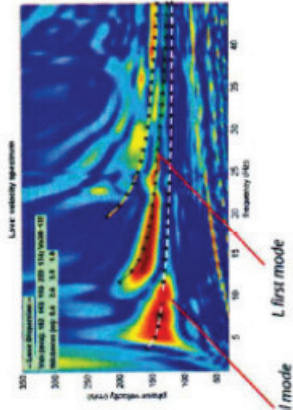
Layer	Thickness (m)	Depth (m)	shot 10G01 Vs30 (m/s)	Thickness (m)	Depth (m)	shot 2G24 Vs30 (m/s)	
1	0,80	0,80	96	0,80	0,80	111	
2	4,10	4,90	126	4,40	4,90	120	
3	3,50	8,40	130	1,40	8,40	140	
4	5,40	13,80	147	5,80	13,80	135	
5	5,40	19,20	156	5,90	19,20	151	
6	5,40	24,60	164	5,90	24,60	166	
7	5,40	30,0	173	5,80	30,0	182	
			$V_{s30}=149,4m/s$				$V_{s30}=147,6m/s$

SEISMIC LINE LOCATION

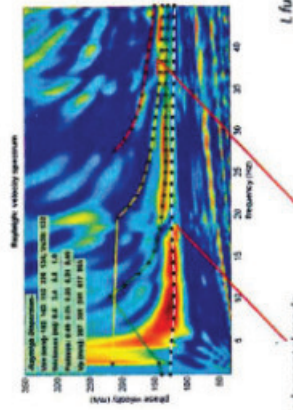


★ shot position ● geophones ● CPT

RAYLEIGH VELOCITY SPECTRUM



SEISMIC TRACES



dispersion curves of user-defined model

SEISMIC LINE

Seismic line: 12 channel  
 Geophones offset: 2.0 m  
 Minimum offset: 5.0 m  
 Geophones: vertical 4.5 Hz (Rayleigh Waves);  
 horizontal 10 Hz (Love Waves)

SUBSURFACE MODEL

Vsh (m/s): 84 131 92 116 281 134  
 Thickness (m): 0.6 2.6 4.9 3.6 4.1  
 Density (gr/cm<sup>3</sup>): 1.67 1.74 1.66 1.69 2.20 1.73  
 Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 12 30 14 23 174 31  
 VS30 (m/s): 129

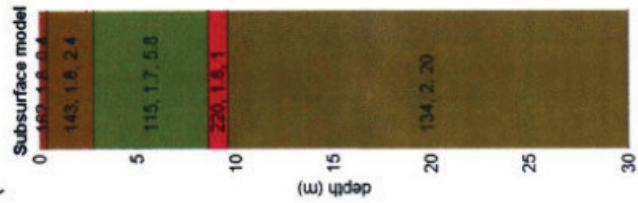


	Table 1
	Analysis of Rayleigh Wave Dispersion
	Via Brunelleschi, Arena Metabo (Pi)
Prepared for Dott. Geol. G. Lopane	

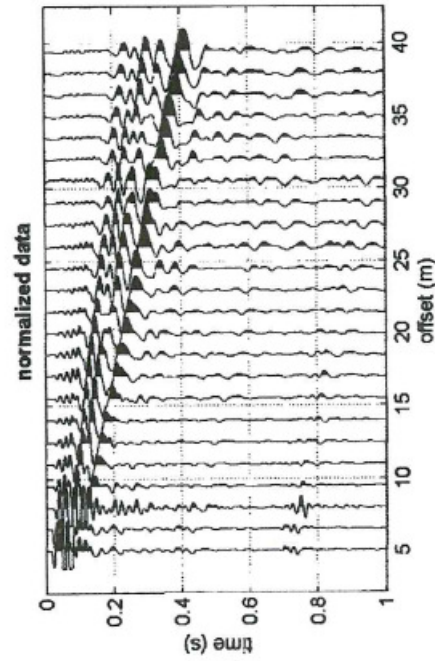
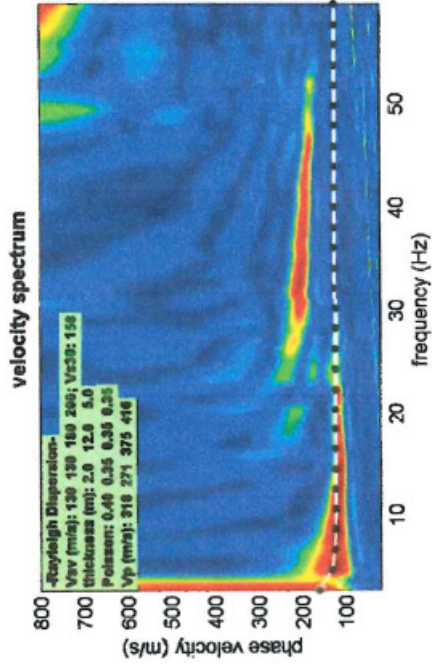
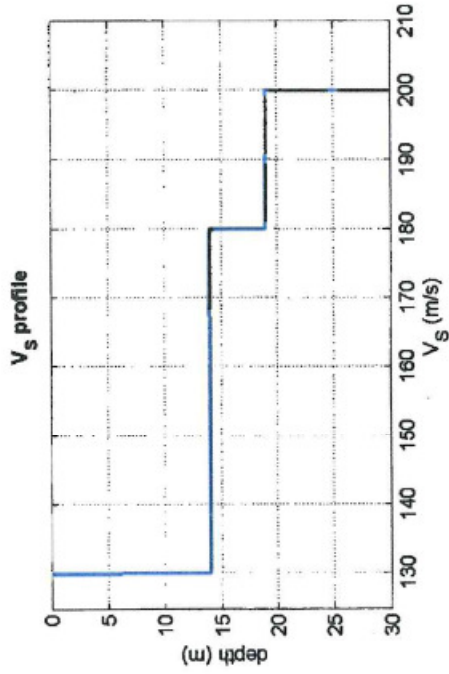


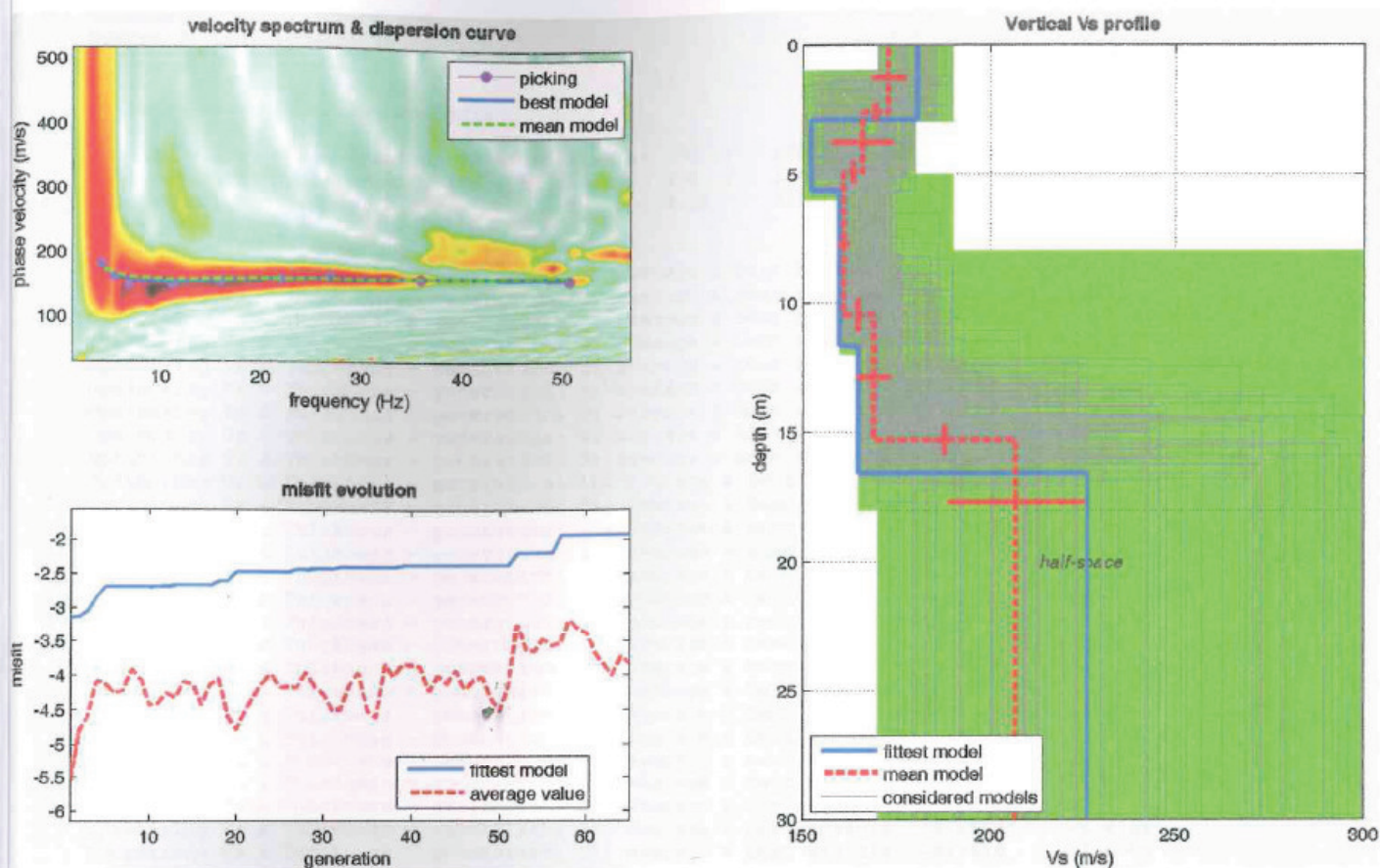
Figura 2: Indagine MASW: Sismogramma, spettro di velocità, modello sismo stratigrafico e profilo verticale delle Vs (off-set 5m su G1)

GAIA Servizi S.r.l.

Via Lenin, 132 - 56017 San Giuliano Terme (PI)

Tel./Fax: 050 9910582 e-mail: info@gaiaservizi.com - p. IVA 01966780502

Il report con i dati salienti relativi al procedimento di elaborazione ed inversione è allegato alla presente relazione. Il risultato dell'inversione è il seguente:



Sono stati cioè individuati 5 strati a diversa velocità Vsh, e precisamente:

- secondo il MODELLO MEDIO:

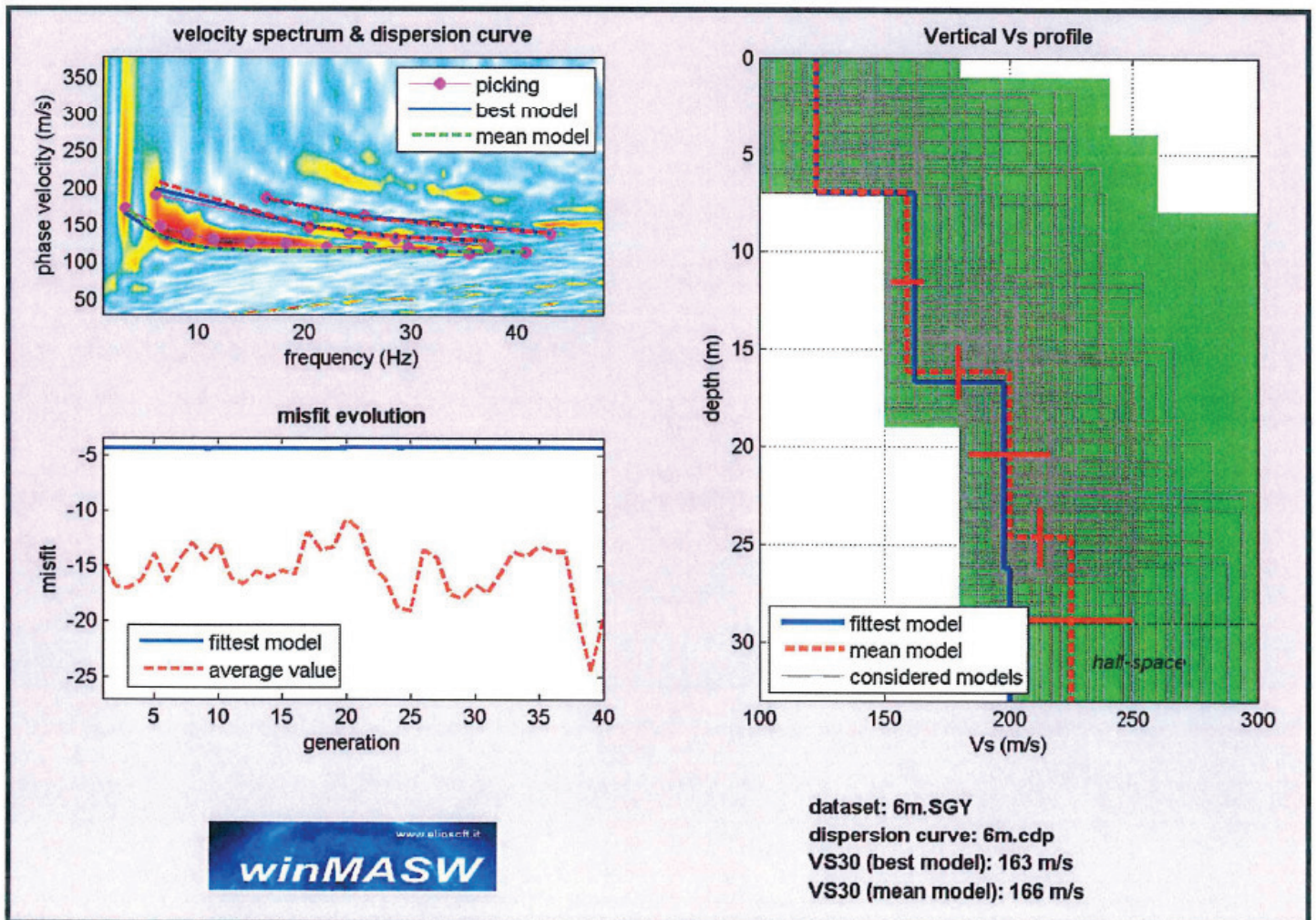
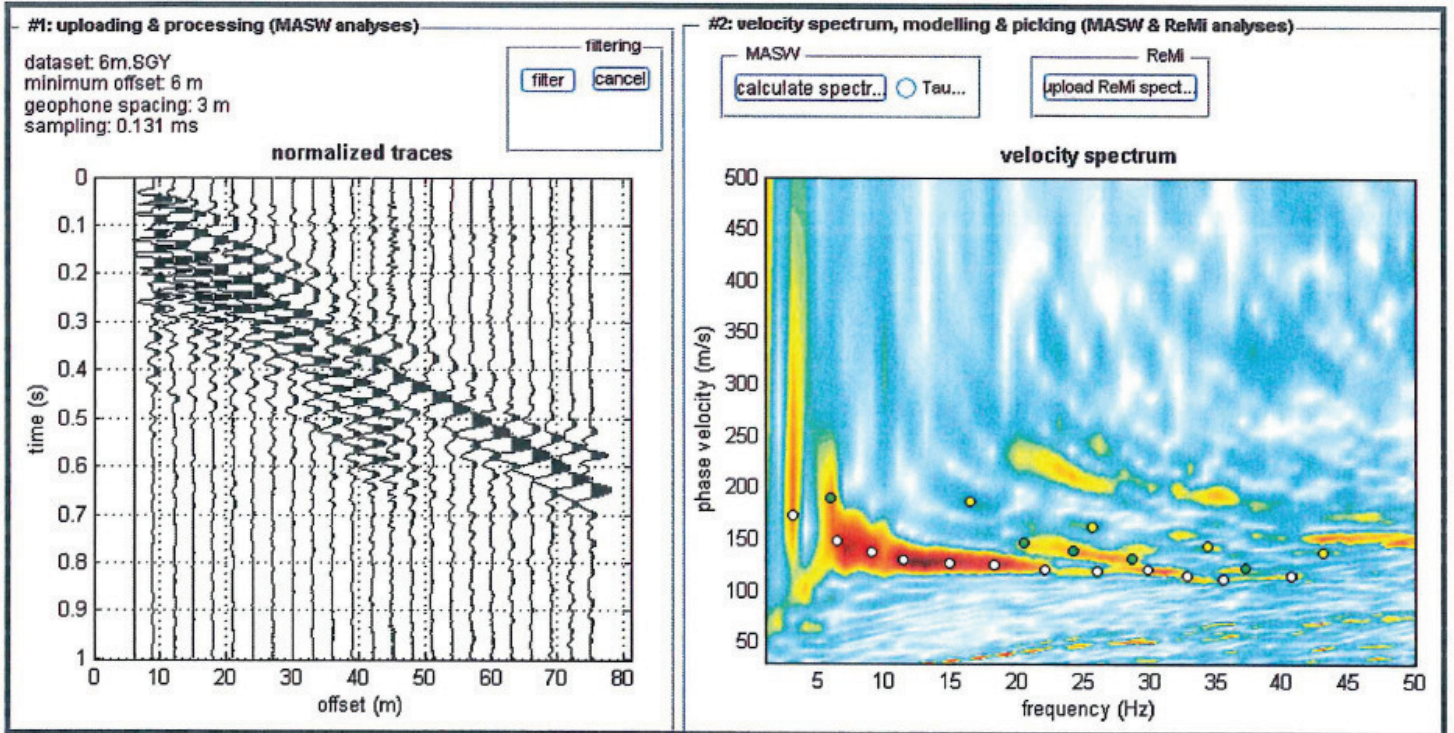
strato	1	2	3	4	5
VSh (m/sec)	173	166	161	169	207
spessore (m)	2,6	2,3	5,5	4,8	

- secondo il MODELLO MIGLIORE:

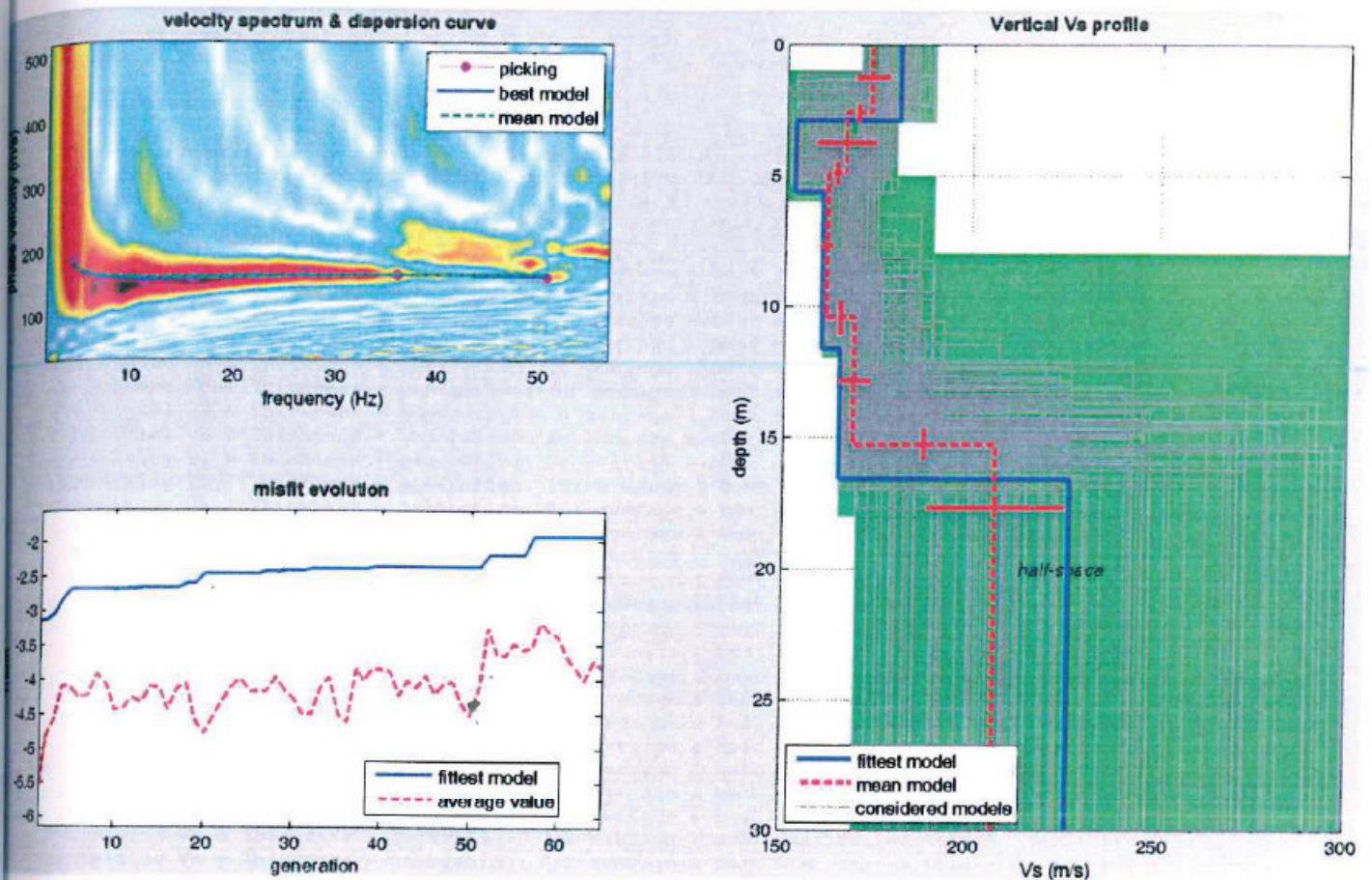
strato	1	2	3	4	5
VSh (m/sec)	180,7442	152,3756	160	165	226,5811
spessore (m)	2,923	2,7371	6	4,9324	

Con i dati ottenuti, per la zona di indagine (da p.campagna) si ha :

- VS30 del modello *medio*: 184 m/sec
- VS30 del modello *migliore*: 187 m/sec .



Il report con i dati salienti relativi al procedimento di elaborazione ed inversione è allegato alla presente relazione. Il risultato dell'inversione è il seguente:



Sono stati cioè individuati 5 strati a diversa velocità Vsh, e precisamente:

- secondo il MODELLO MEDIO:

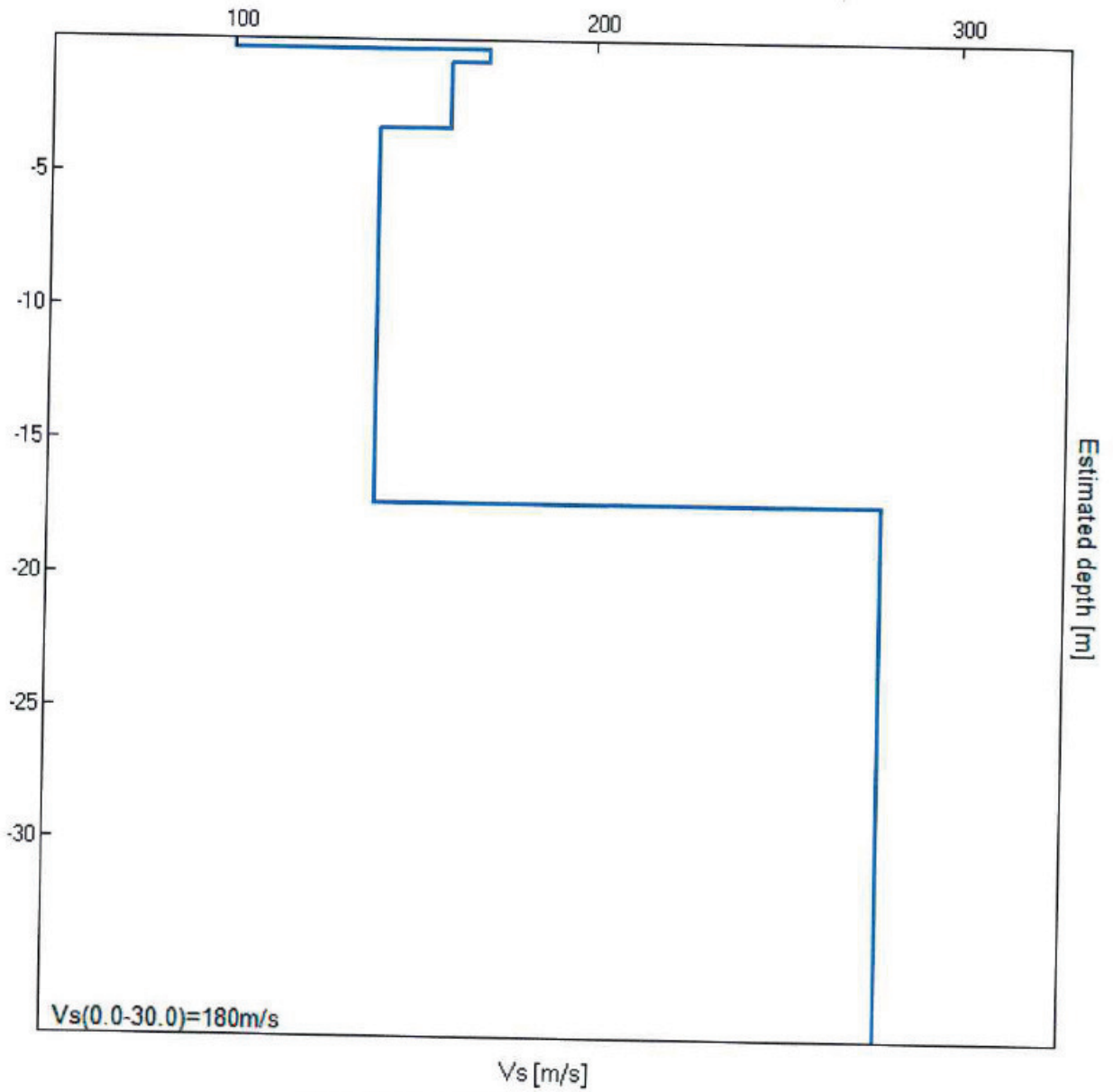
strato	1	2	3	4	5
VSh (m/sec)	173	166	161	169	207
spessore (m)	2,6	2,3	5,5	4,8	

- secondo il MODELLO MIGLIORE:

strato	1	2	3	4	5
VSh (m/sec)	180,7442	152,3756	160	165	226,5811
spessore (m)	2,923	2,7371	6	4,9324	

Con i dati ottenuti, per la zona di indagine (da p.campagna) si ha :

- VS30 del modello *medio*: 184 m/sec
- VS30 del modello *migliore*: 187 m/sec .



Indagine MASW. Profilo verticale delle Vs.

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	$V_s$ [m/s]
0.30	0.30	100
0.80	0.50	170
3.30	2.50	160
17.30	14.00	140
inf.	inf.	280

$V_s(0.0-30.0)=180\text{m/s}$   
 $V_s(1.0-31.0)=184\text{m/s}$ ;  $V_s(2.0-32.0)=187\text{m/s}$



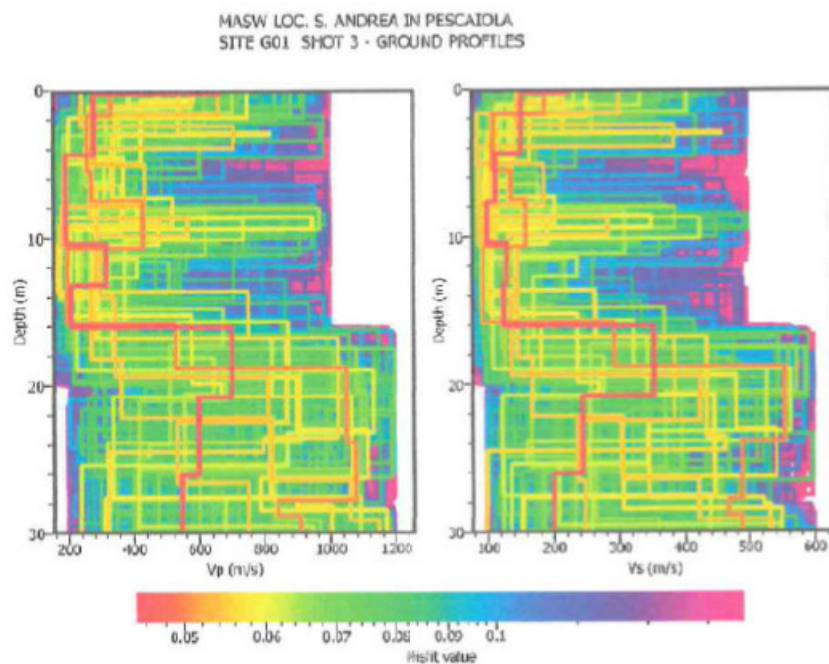


Fig. 14 – Profilo della velocità Vs nel sottosuolo (Shot n. 3 site G01)

Layer	Thickness (m)	Depth (m)	shot n.3 G01 Vs30 (m/s)
1	0,30	0,30	224
2	4,10	4,40	154,4
3	2,20	7,60	114,5
4	2,80	10,40	101,1
5	2,80	13,20	130,4
6	2,90	16,10	126
7	4,70	20,80	353,6
8	5,20	26,00	245,3
9	4,00	30,00	200,9

$V_{s30} = 174.9 \text{ m/s}$

INDAGINE MASW

11-08 PARDINI LIMITI, [Z] MASW

Inizio registrazione: 17/08/11 17:31:55 Fine registrazione: 17/08/11 17:40:15

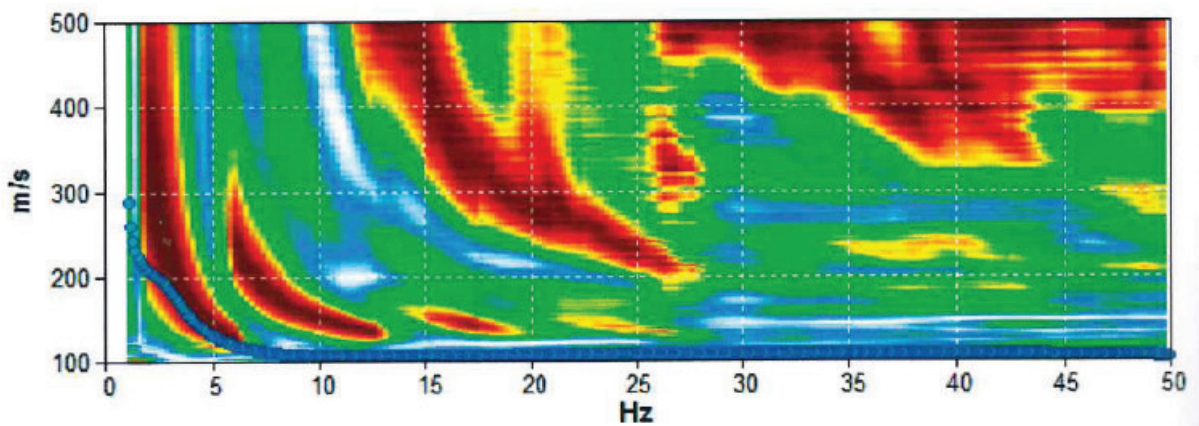
Durata registrazione: 0h02'44"

Freq. campionamento: 512 Hz

Nomi canali: B1 ; B2 ; B3 ; B4 ; B5 ; B6 ; B7 ; B8 ;  
B9 ; B10 ; B11 ; B12

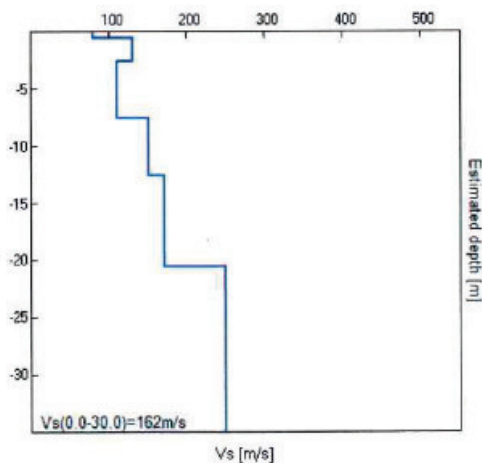
Array geometry (x): 2.0 3.0 5.0 7.0 11.0 13.0 17.0 19.0 23.0 29.0 31.0 37.0 m.

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.50	0.50	80	0.35
2.50	2.00	130	0.35
7.50	5.00	110	0.35
12.50	5.00	150	0.35
20.50	8.00	170	0.35
100.50	80.00	250	0.35
inf.	inf.	500	0.35

Vs(0.0-30.0)=162m/s



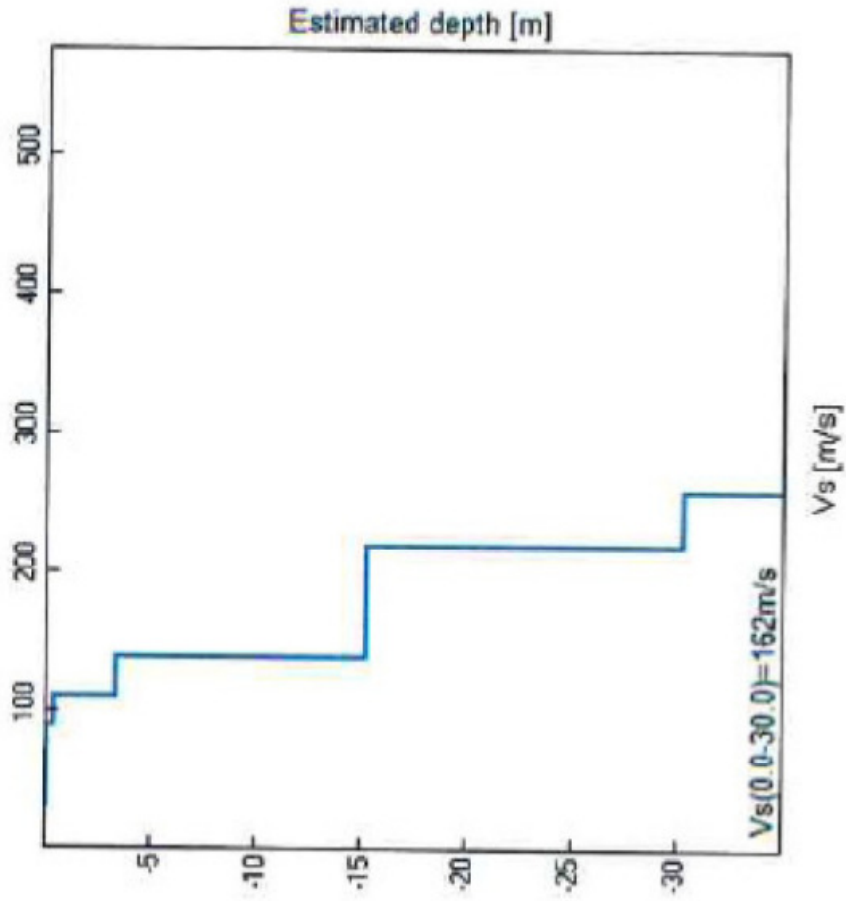
INDAGINE MASW

11-08 PARDINI ORZIGNANO, [Z] MASW

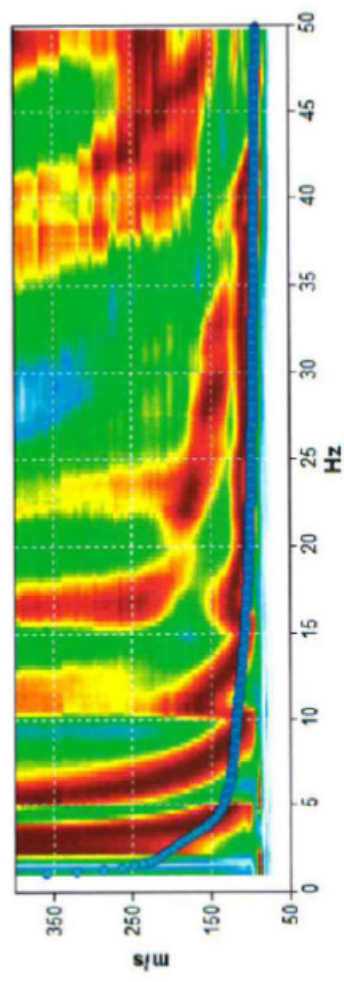
Inizio registrazione: 17/08/11 17:03:41 Fine registrazione: 17/08/11 17:17:42  
 Durata registrazione: 0h04'40".  
 Freq. campionamento: 512 Hz

Nomi canali: B1 ; B2 ; B3 ; B4 ; B5 ; B6 ; B7 ; B8 ;  
 B9 ; B10 ; B11 ; B12

Array geometry (x): 2.0 3.0 5.0 7.0 11.0 13.0 17.0 19.0 23.0 29.0 31.0 37.0 m.



MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.10	0.10	30	0.35
0.35	0.25	90	0.35
3.35	3.00	110	0.35
15.35	12.00	140	0.35
30.35	15.00	220	0.35
90.35	60.00	260	0.35
inf.	inf.	525	0.35

Vs(0.0-30.0)=162m/s

## INDAGINE SISMICA MASW

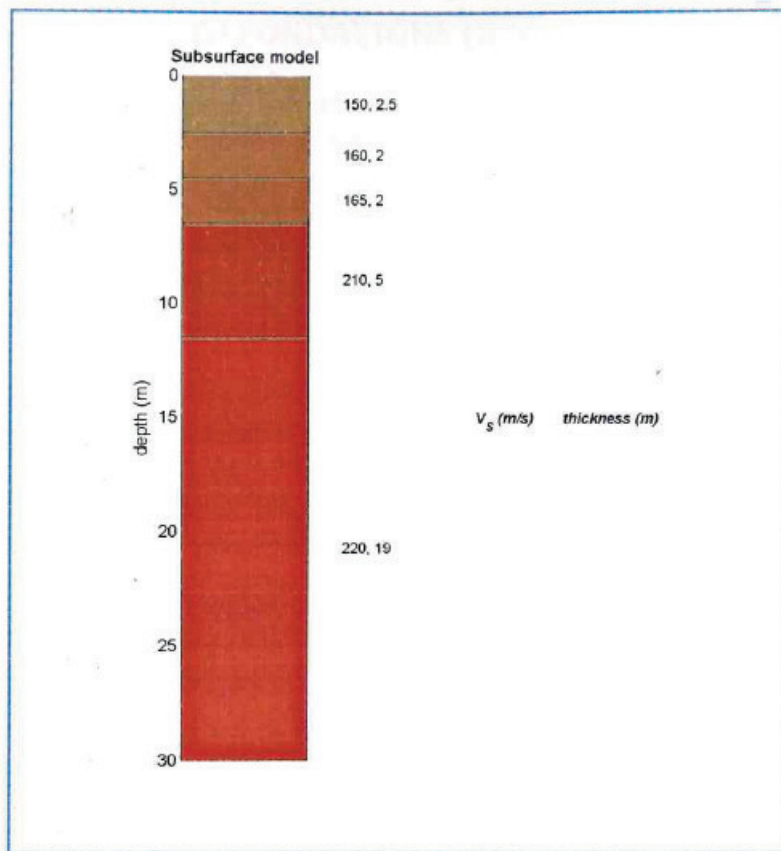


Figura 4: Indagine MASW: Profilo verticale della VS sino a 30m.

### Retrieved model

$V_{sh}$  (m/s): 150 160 165 210 220

Thickness (m): 2.5 2.0 2.0 5.0

Density (gr/cm<sup>3</sup>): 1.76 1.79 1.80 1.85 1.86

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 40 46 49 82 90

Approximate values for  $V_p$  and elastic moduli

$V_p$  (m/s): 298 333 343 437 458

Poisson: 0.33 0.35 0.35 0.35 0.35

$V_{S30}$  (m/s): 201

INDAGINE SISMICA MASW

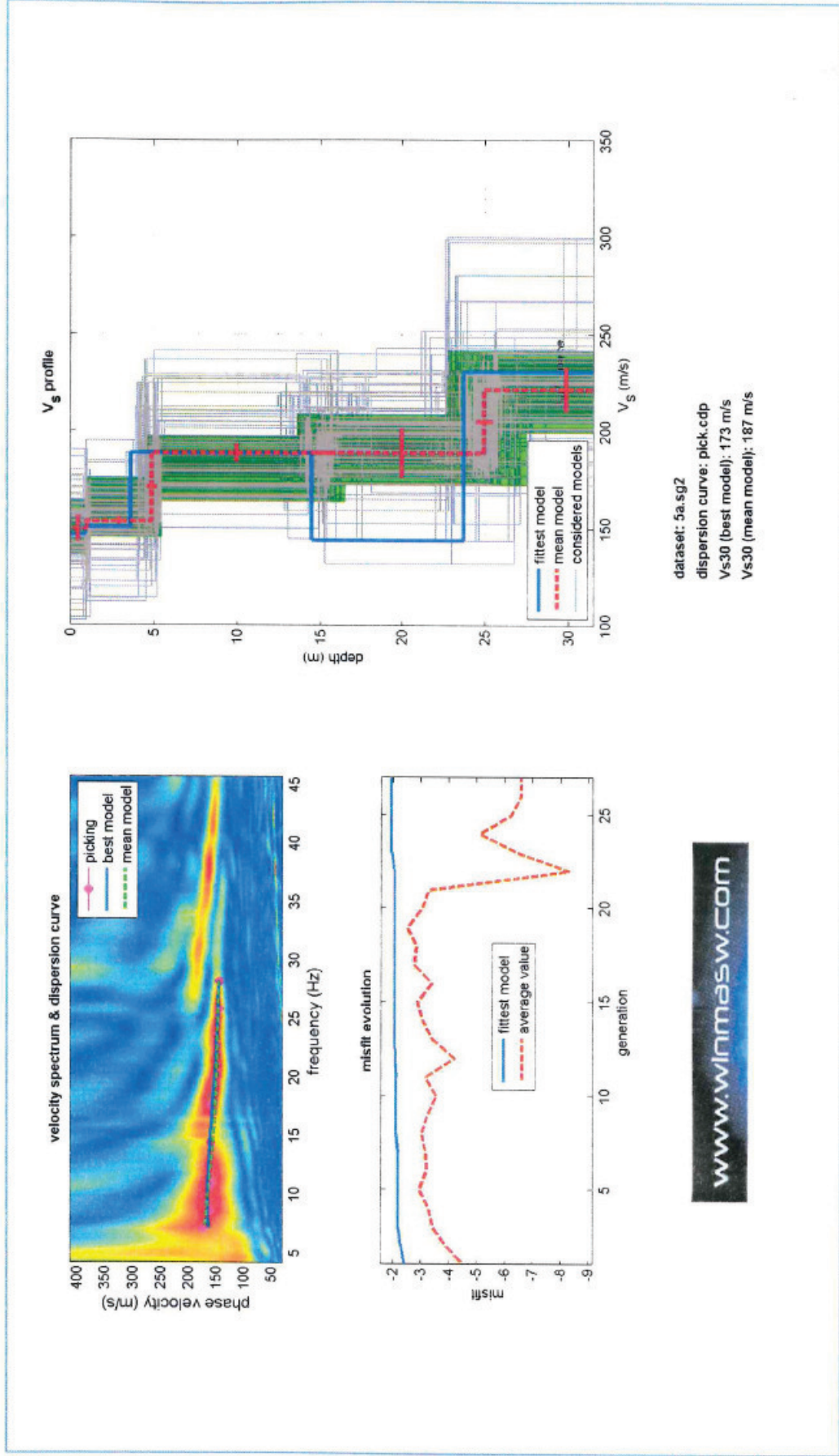
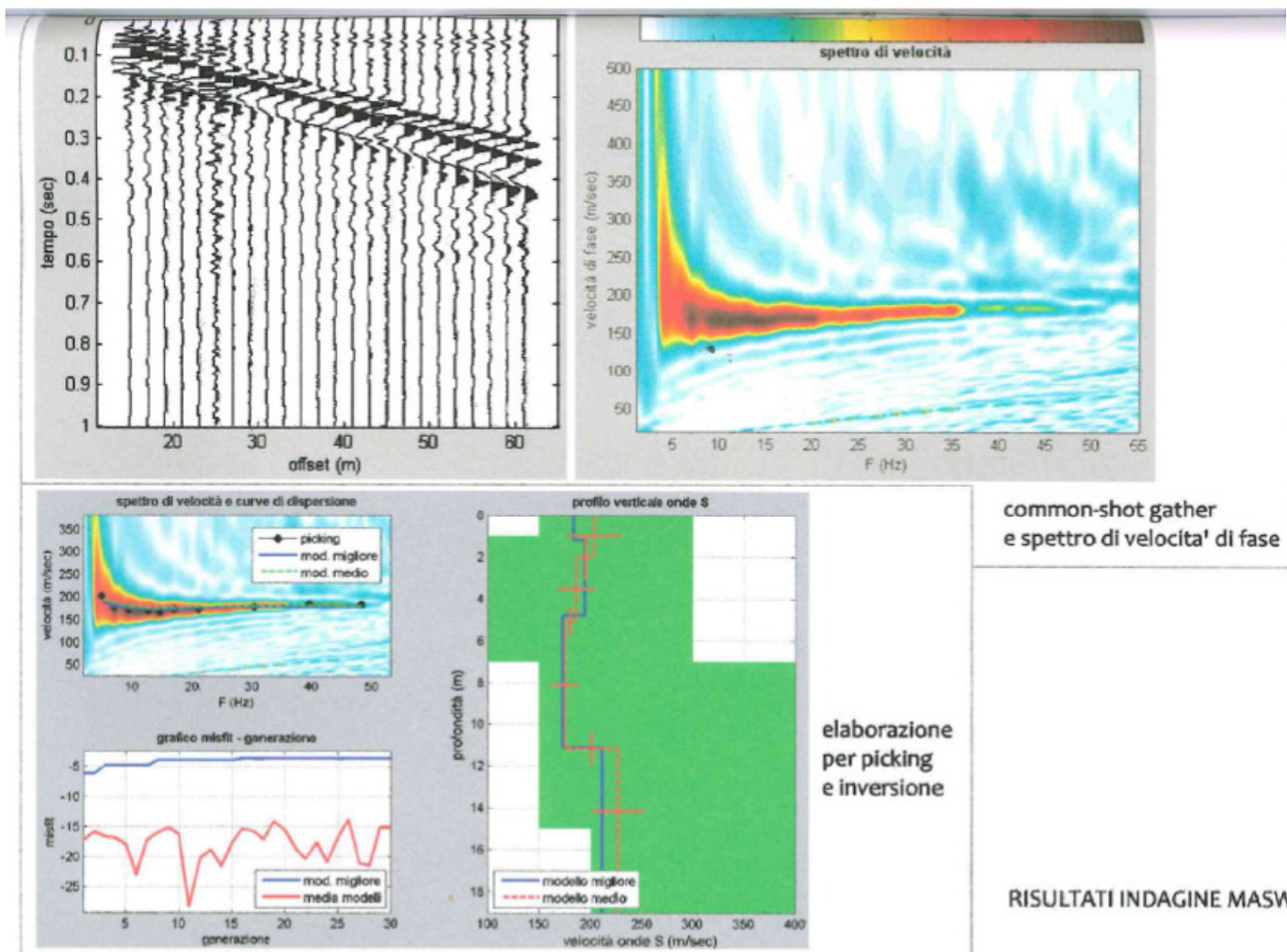


Figura 4: Indagine MASW: spettro osservato, curve di dispersione piccate e curve del modello individuato dall'inversione; profilo verticale Vs identificato; grafico misfit-generazione (off-set 5m su G1)



30.4263	177.9914
39.6336	178.4492
48.3433	177.8777

VS5 del modello medio:	193 m/sec
VS5 del modello migliore:	191 m/sec

VS20 del modello medio:	200 m/sec
VS20 del modello migliore:	193 m/sec

VS30 del modello medio:	208 m/sec
VS30 del modello migliore:	199 m/sec

winMASW 2.0

Software per la determinazione dello spettro di velocità  
e l'inversione della curva di dispersione  
secondo il metodo MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves

[www.eliosoft.it](http://www.eliosoft.it)

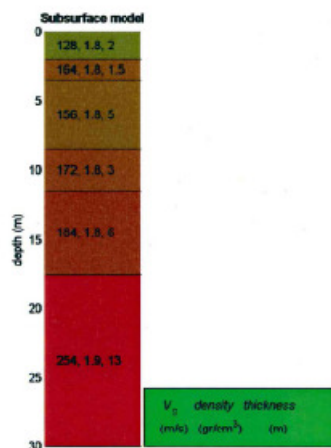


Fig. 3

Nelle tabelle seguenti sono riassunti i principali parametri desunti dall'indagine effettuata.

SISMOSTRATO N.	PROFONDITA' DELLA BASE (m)	SPESORE DELLO STRATO (m)	Vs (m/sec)
1	2.0	2.0	128
2	3.5	1.5	164
3	8.5	5.0	156
4	11.5	3.0	172
5	17.5	6.0	164
6			254

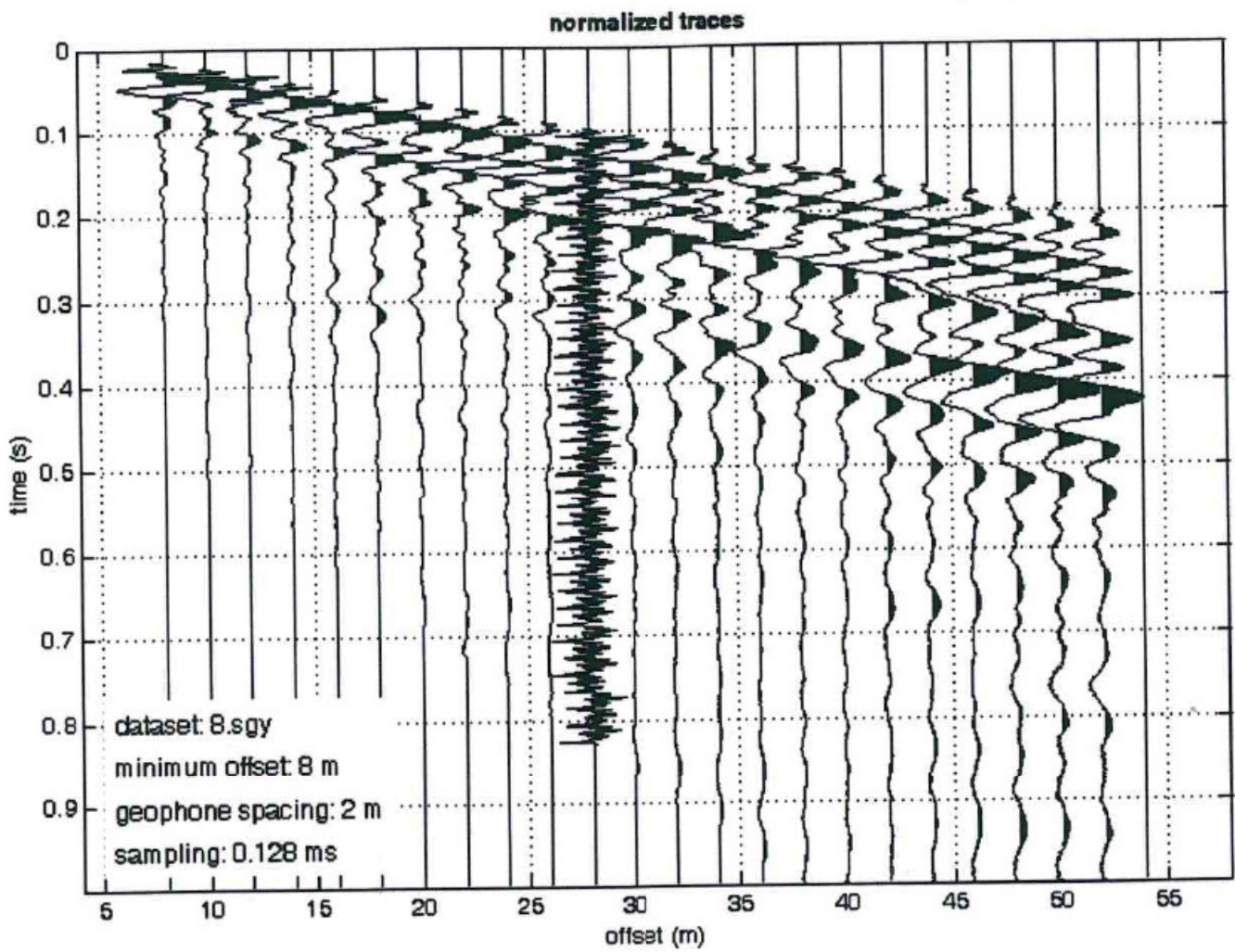
  

MEAN MODEL						
Approximate values for Vp, density, Shear modulus						
Sismostrato n.	1	2	3	4	5	6
Vp (m/s)	314	342	324	358	383	529
Density (gr/cm³)	1.77	1.79	1.78	1.81	1.82	1.90
Shear modulus (MPa)	29	48	43	53	62	123

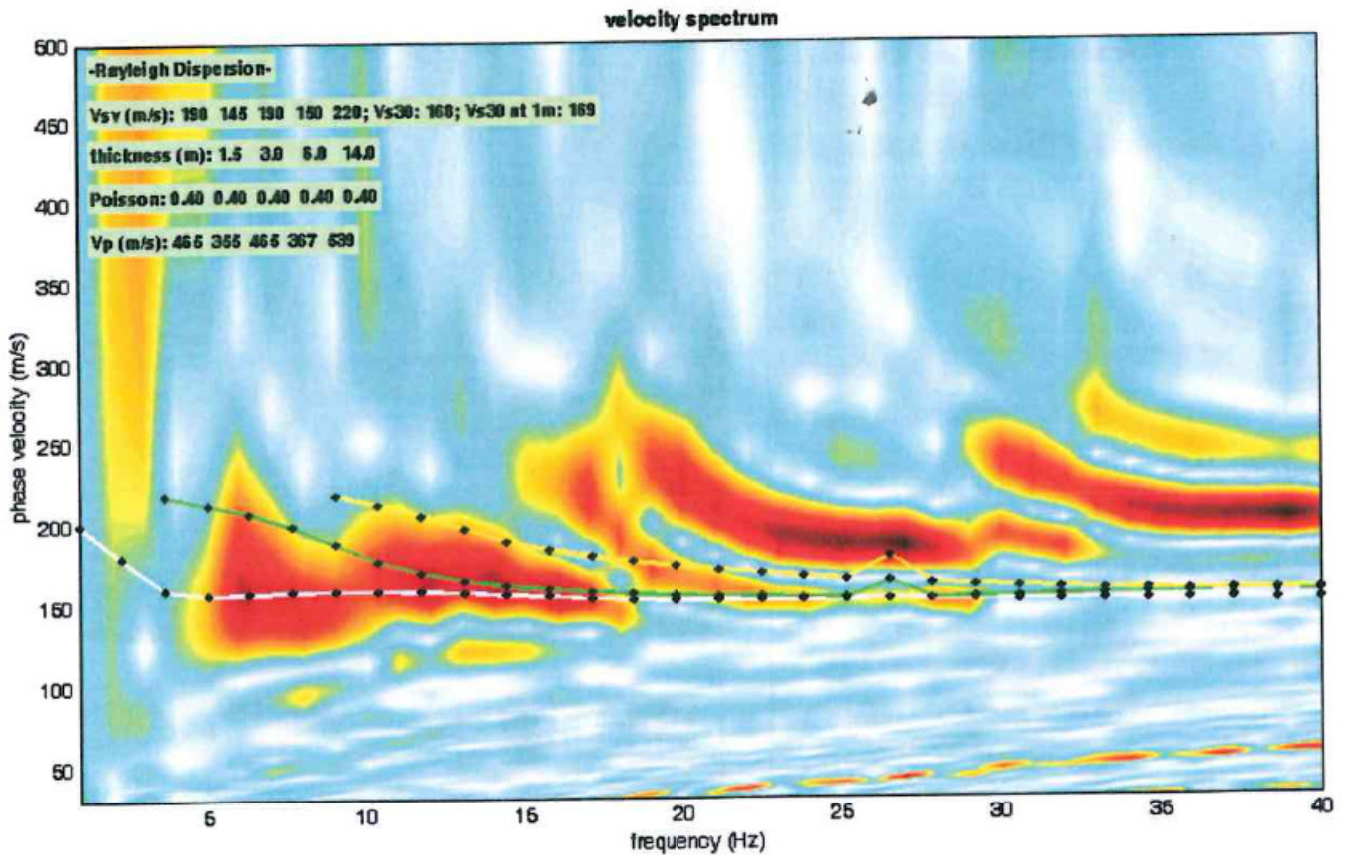
In base ai risultati dell'indagine sismica eseguita è stato calcolato il parametro Vs30 attraverso la seguente formula (D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008: "Norme Tecniche per le Costruzioni"):

$$V_{s30} = 30 / \sum_{i=1,N} (h_i/V_i)$$

Il valore medio di Vs30 calcolato è di **192 m/sec**.



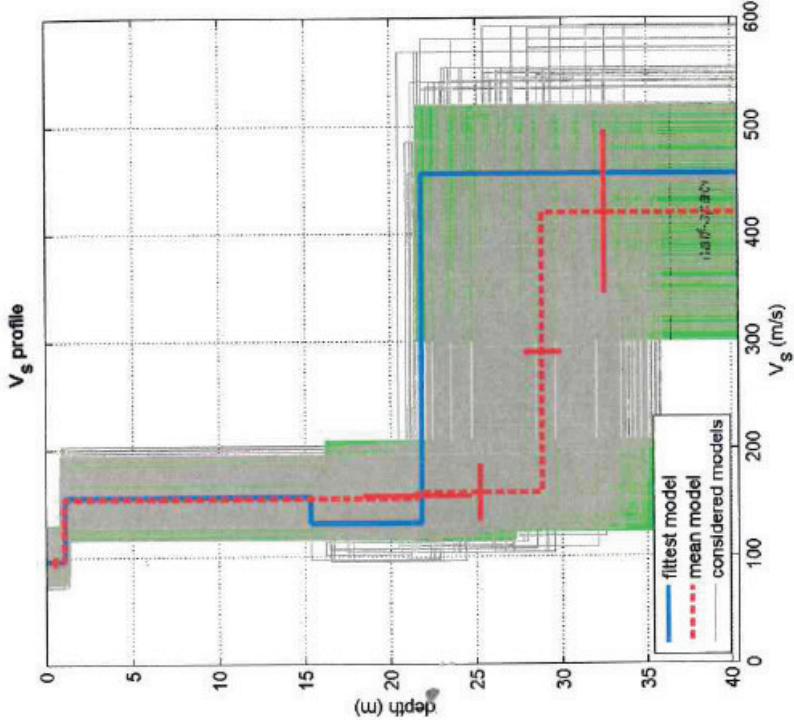
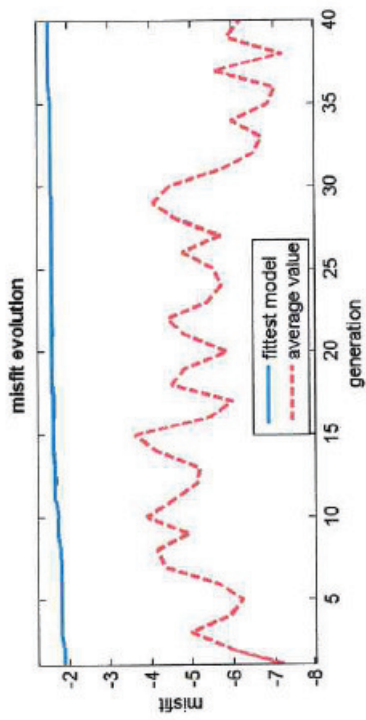
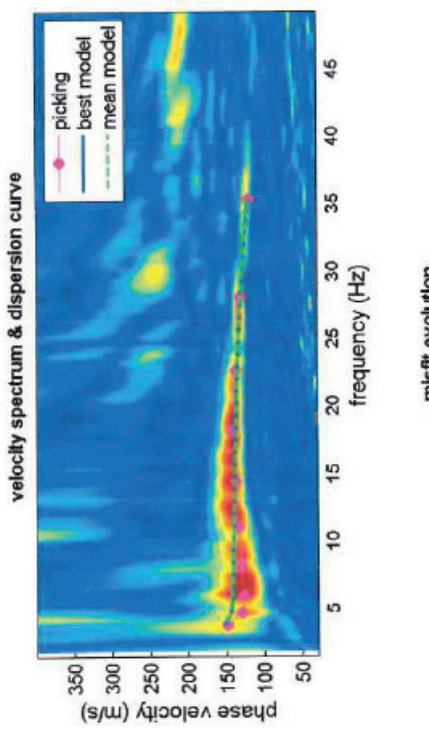
COMMON-SHOT GATHER



SPETTRO DI VELOCITA' CON CURVE DI DISPERSIONE (3 MODI) RELATIVE AL MODELLO ADOTTATO

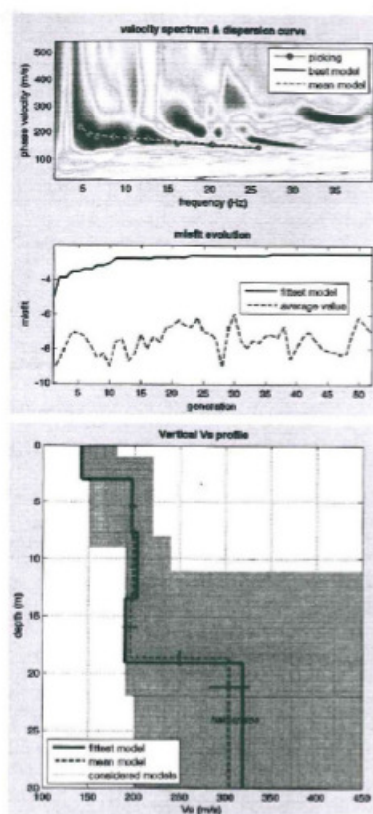
ELABORAZIONE RELATIVA ALLO SHOT A 8m





dataset: 5b.sgZ  
 dispersion curve: pick.cdp  
 $V_{s30}$  (best model): 177 m/s  
 $V_{s30}$  (mean model): 157 m/s





- secondo il MODELLO MEDIO:

strato	1	2	3	4	5
VSh (m/sec)	142	198	200	196	304
spessore (m)	2,9	5,0	5,5	5,2	

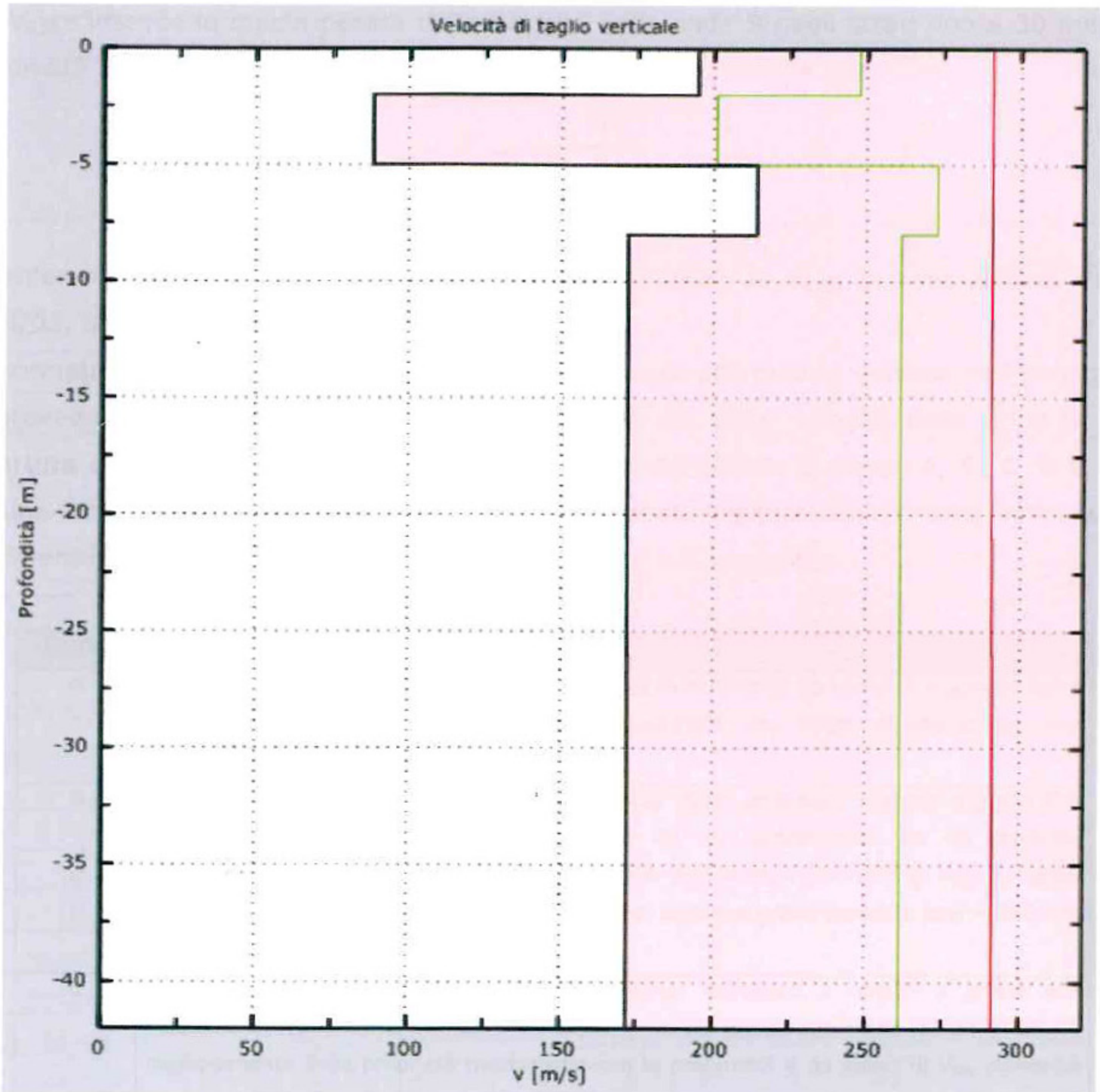
- secondo il MODELLO MIGLIORE:

strato	1	2	3	4	5
VSh (m/sec)	142,4377	197,1053	203,8323	190,4917	319,0331
spessore (m)	3,0	4,7254	5,7256	5,611	

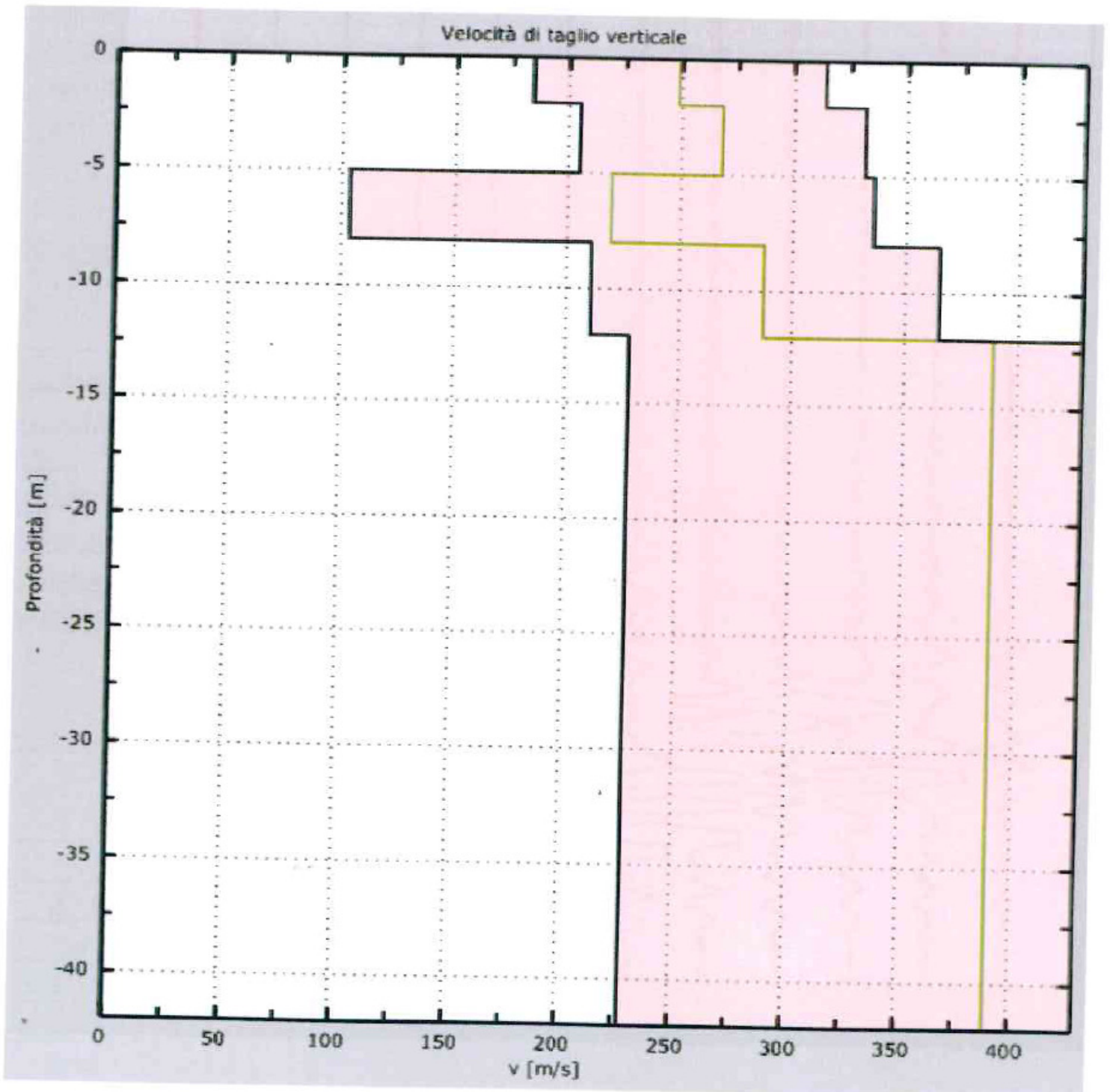
Con i dati ottenuti, per la zona di indagine (da p.campagna) si ha :

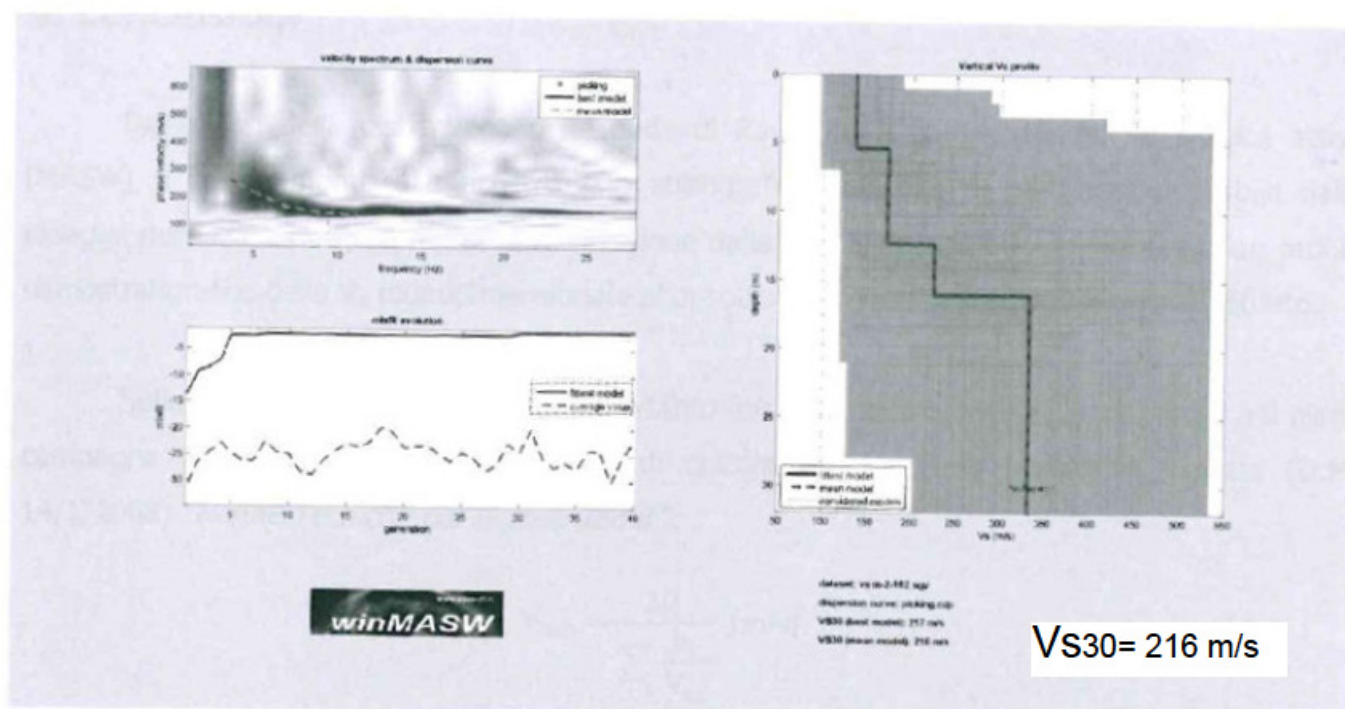
- VS30 del modello medio: 218 m/sec
- VS30 del modello migliore: 219 m/sec

## LINEA S2 - PROFILO DI VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO VERTICALI

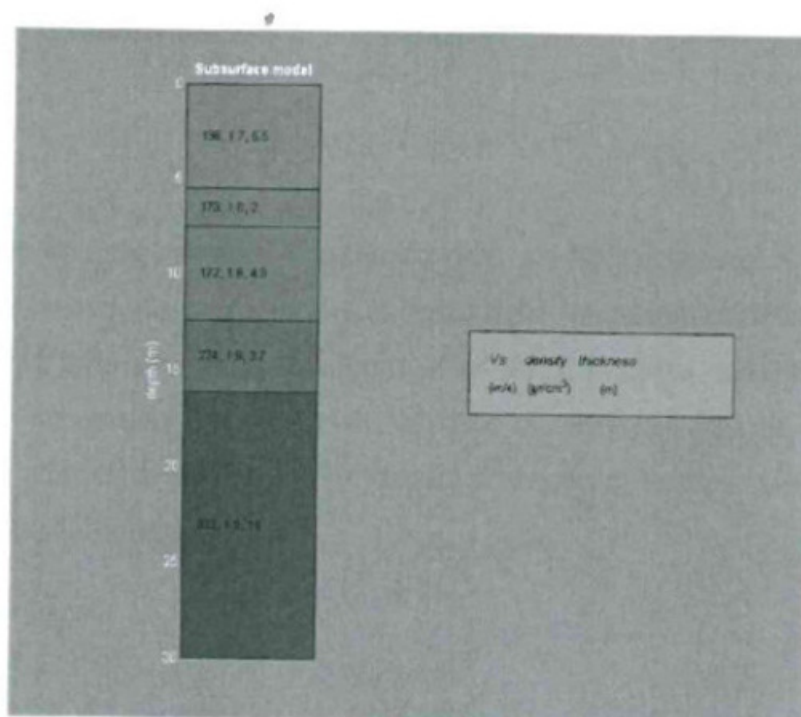
 $V_{S30} = 291$  m/s

## LINEA S1 - PROFILO DI VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO VERTICALI

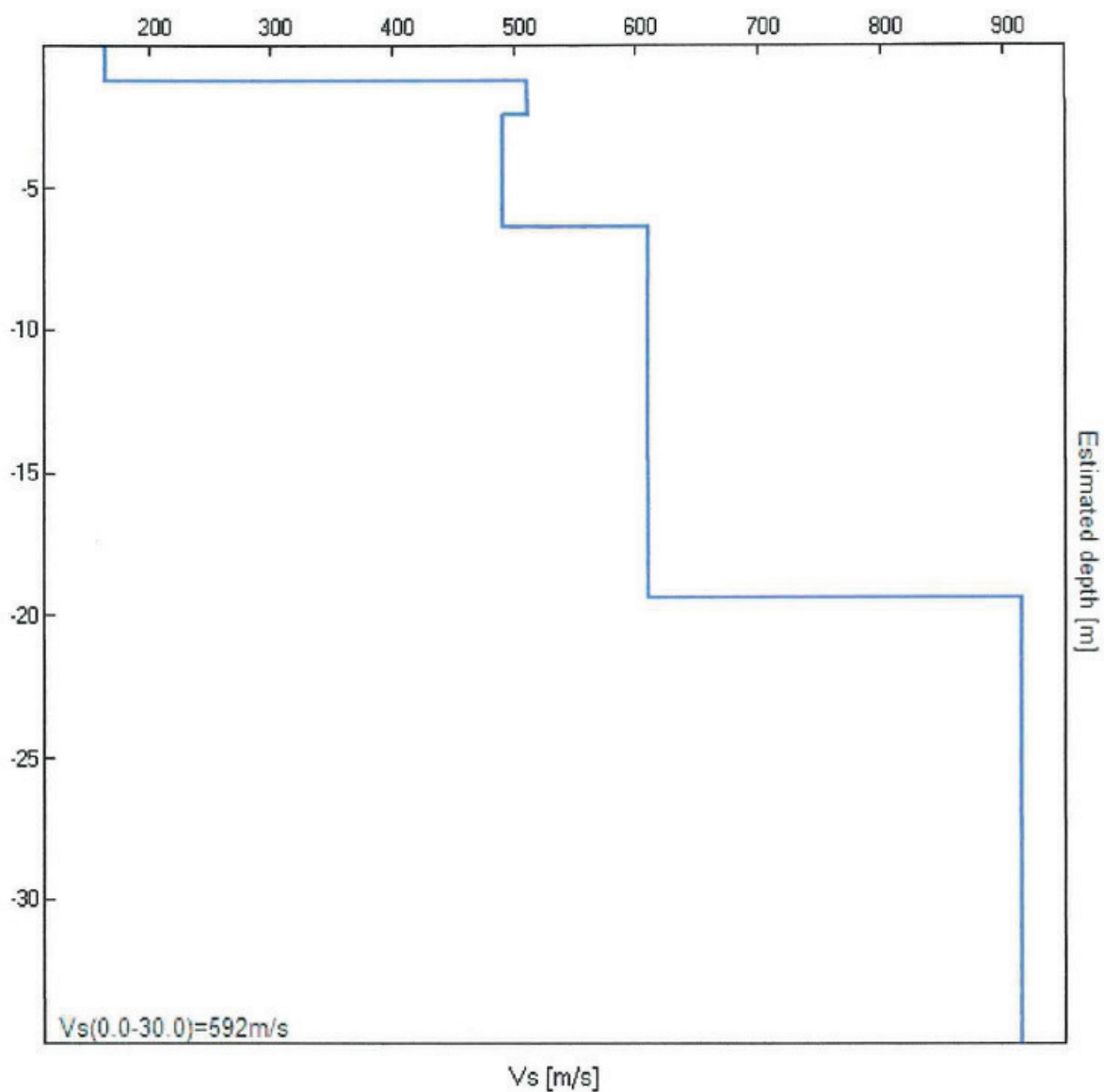
 $V_{s30} = 322 \text{ m/s}$



**Fig. 3.** 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  $V_s$  identificato. 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* – Dal Moro et al., 2007).



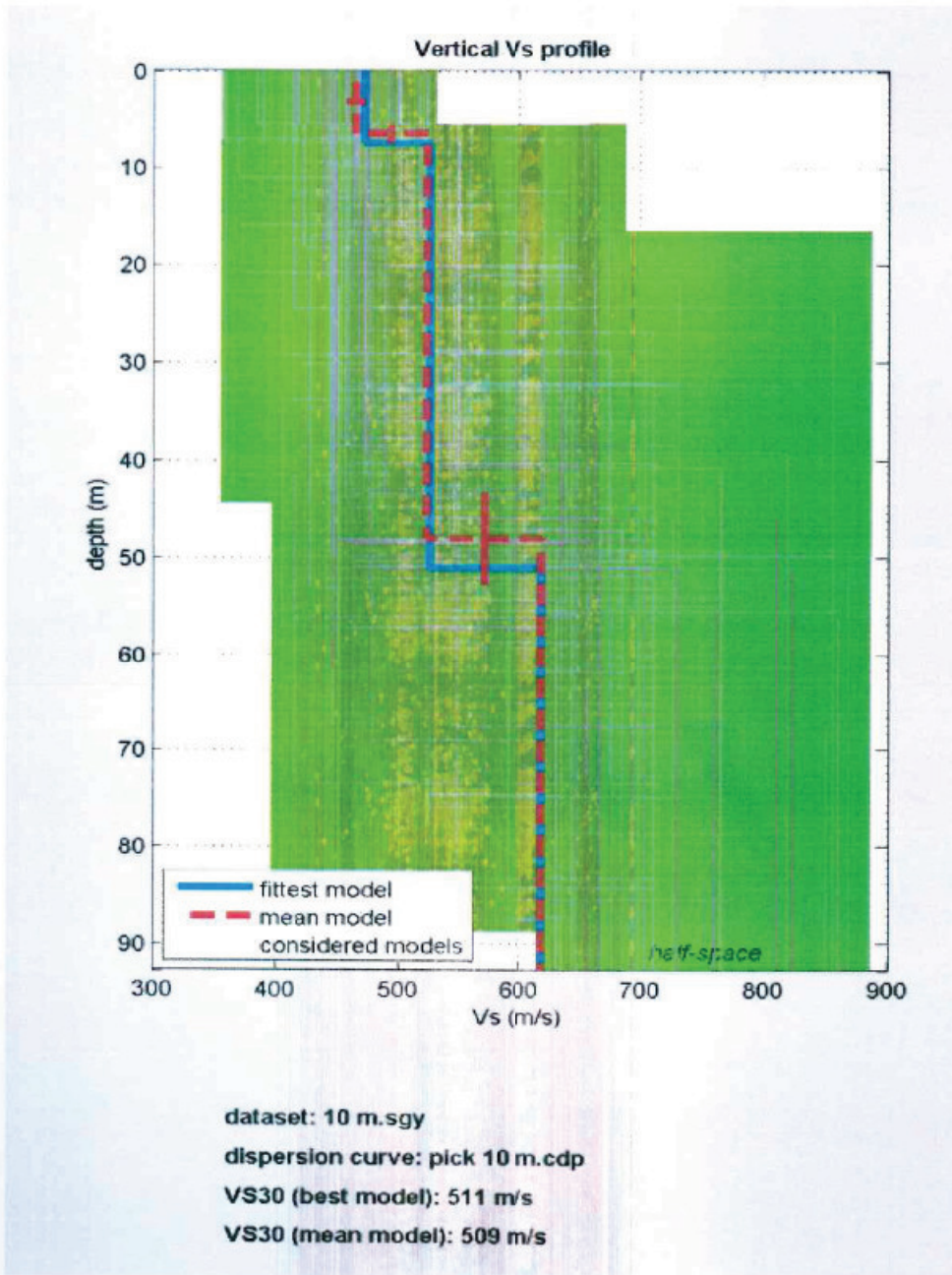
**Fig. 4.** Colonna sismo-stratigrafica di massima del sito. Per ciascun strato indicate VS, densità (stimate) e spessori.

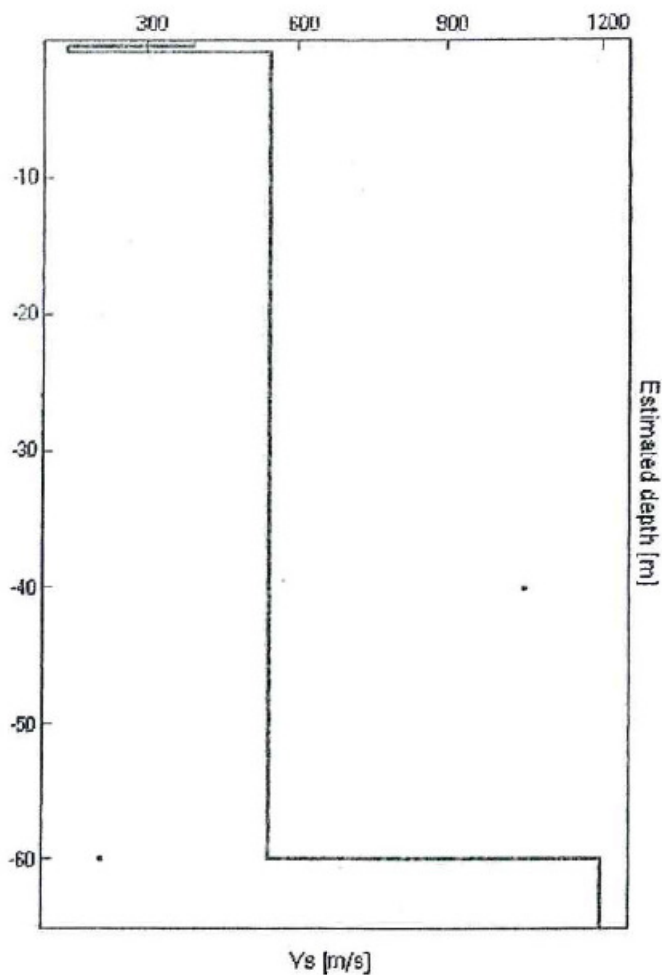


**Indagine MASW. Profilo verticale delle Vs.**

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
1.20	1.20	165
2.40	1.20	510
6.40	4.00	490
19.40	13.00	610
54.40	35.00	915
inf.	inf.	1350

Vs(0.0-30.0)=592m/s





Indagine MASW. Profilo verticale delle Vs.

Il profilo verticale delle Onde S ricavato mediante elaborazione dei dati di campagna dell'indagine MASW è risultato il seguente:

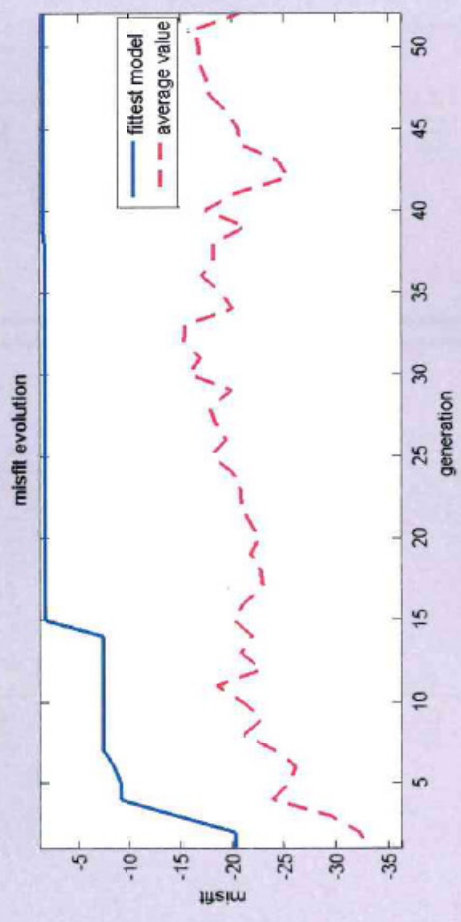
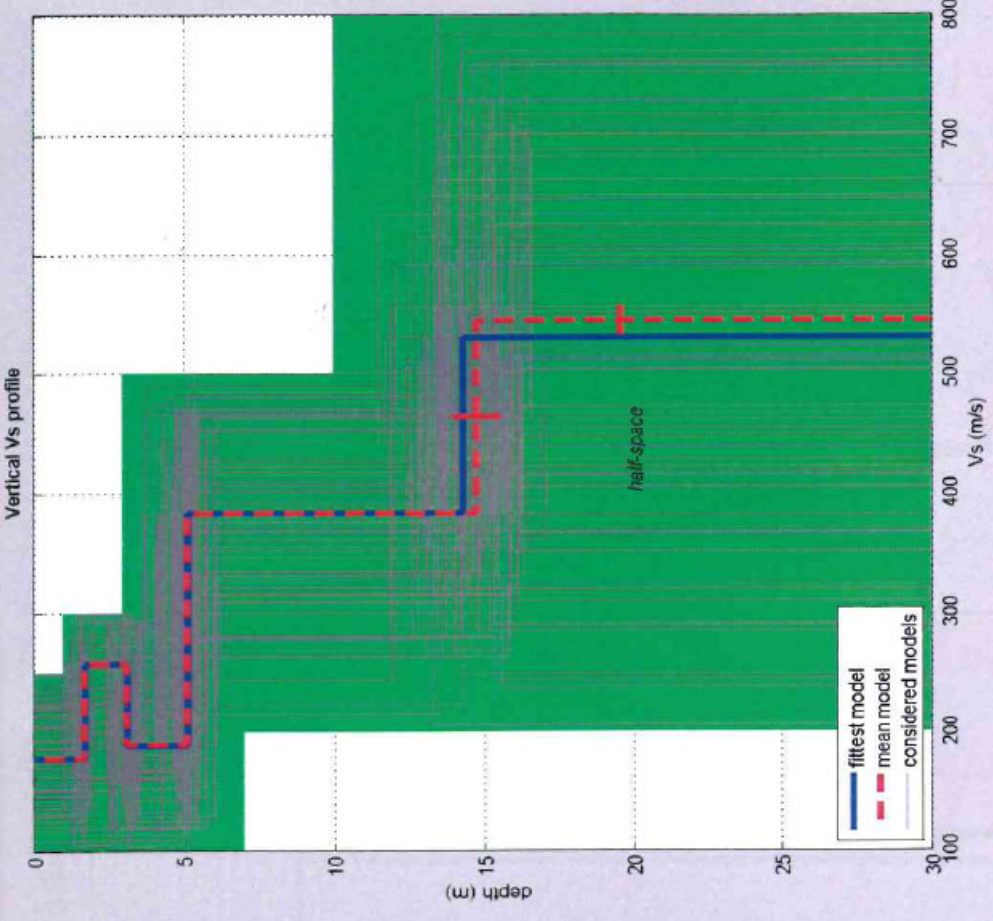
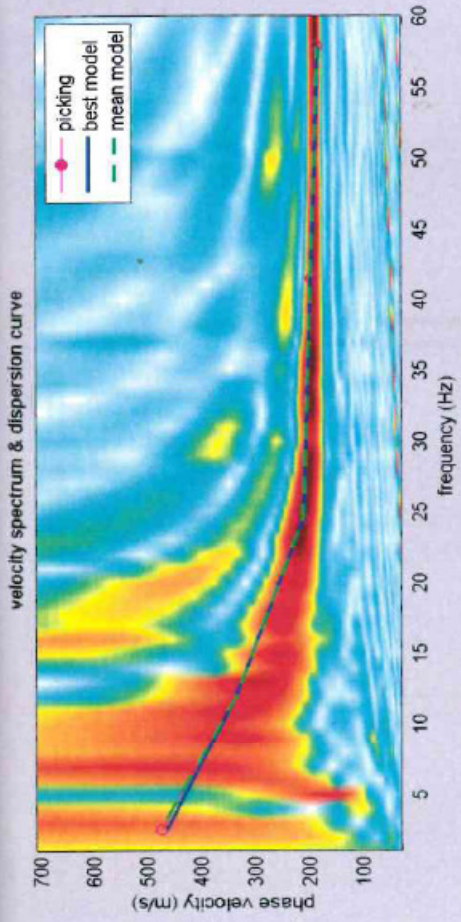
Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
0.30	0.30	400
0.90	0.60	150
59.90	59.00	550
inf.	inf.	1200

La velocità media di propagazione delle Onde di taglio entro i 30 metri di profondità ( $V_{s30}$ ) è calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s30} = 30 / (\sum h_i / V_i)$$

Il profilo MASW indica una  $V_{s30}$  pari a 520 m/s.





dataset: 03.sgy  
 dispersion curve: Asciano Mezzetti pick.cdp  
 VS30 (best model): 378 m/s  
 VS30 (mean model): 380 m/s



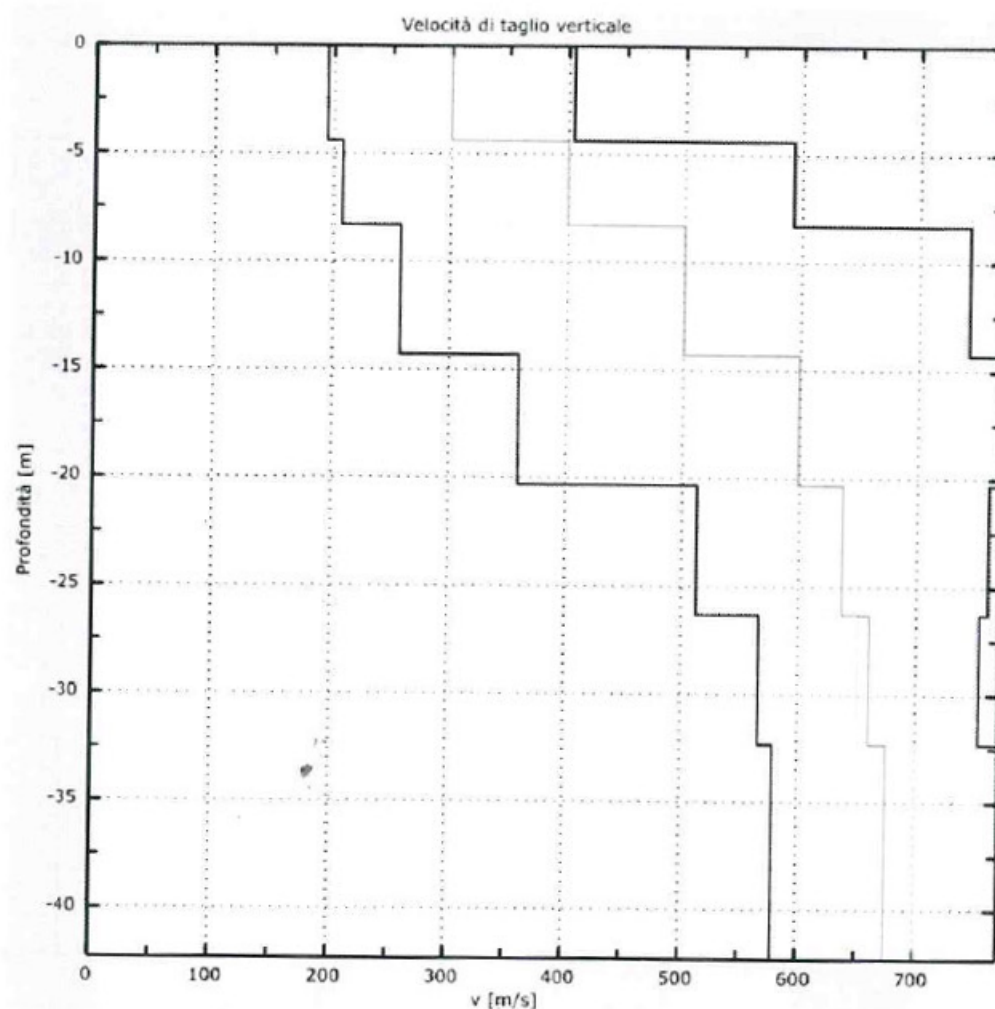


Figura 5: Velocità

## 5 - Risultati finali

Offset [m].....0

**Vs30 [m/s] .....488**

La normativa applicata è il DM 14 gennaio 2008

Il sito appartiene alle classi A, B, C, D, E o S1 (alluvionale, ghiaia, sabbia, limo, argilla, roccia).

Il sito non è suscettibile di liquefazione e non è argilla sensitiva.

L'unità geotecnica dello strato rigido è la numero 6

**Tipo di suolo ..... B**

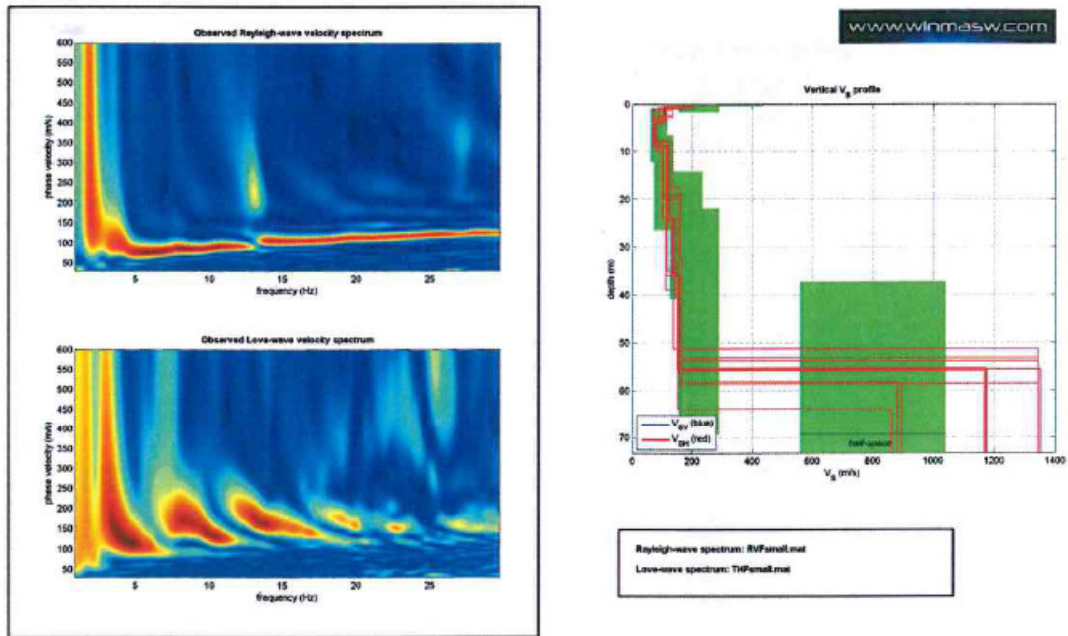
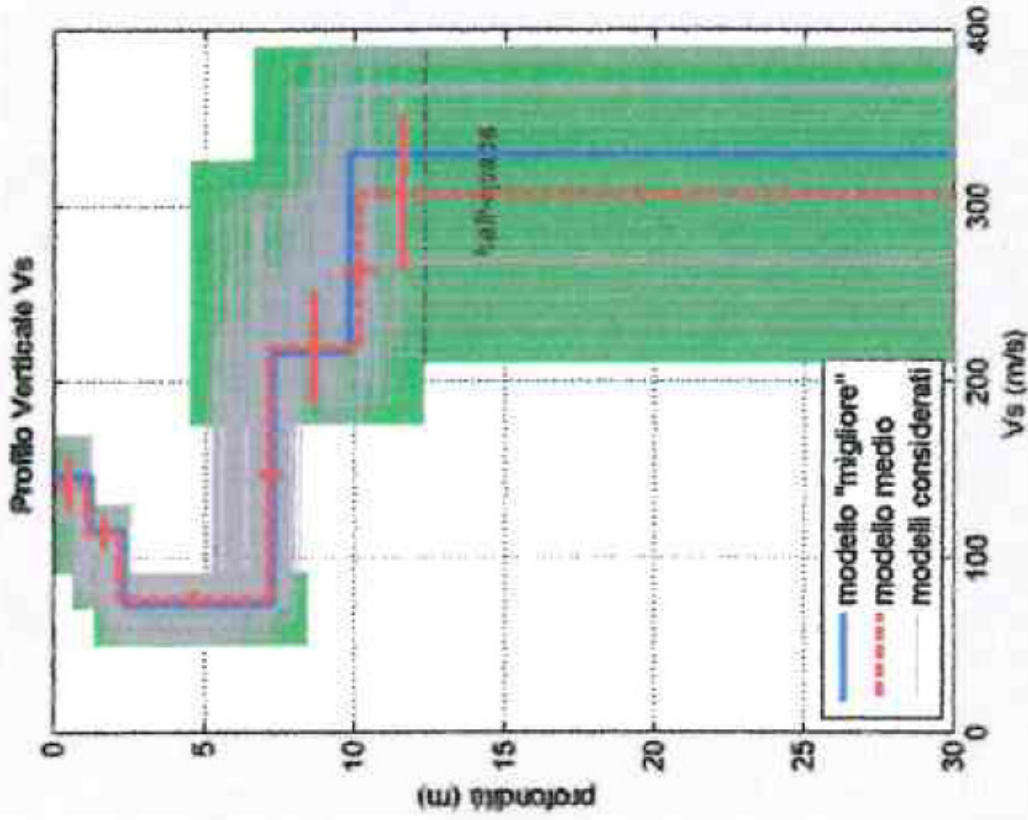
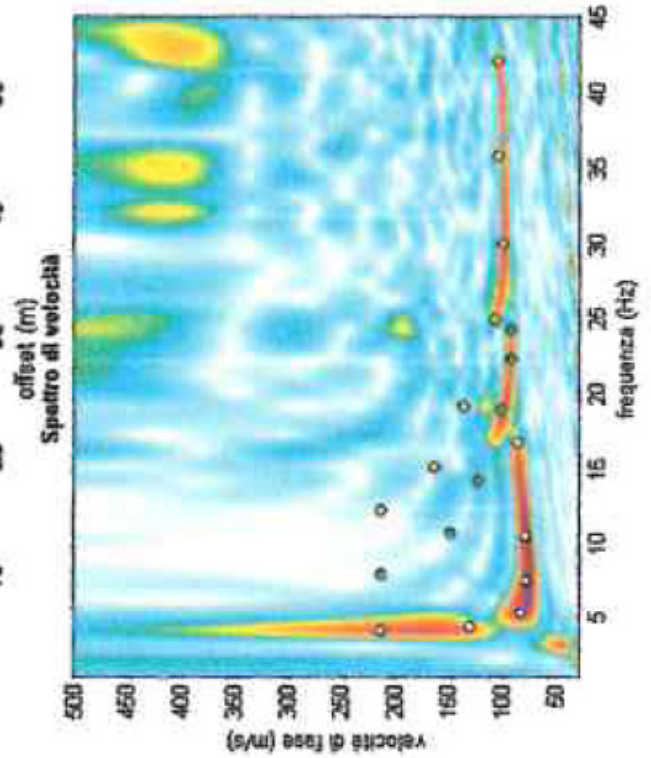
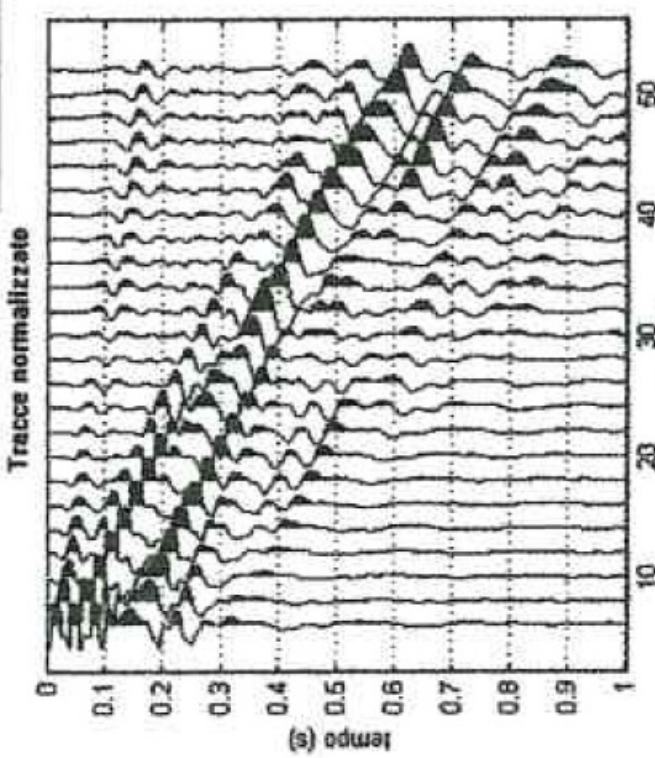


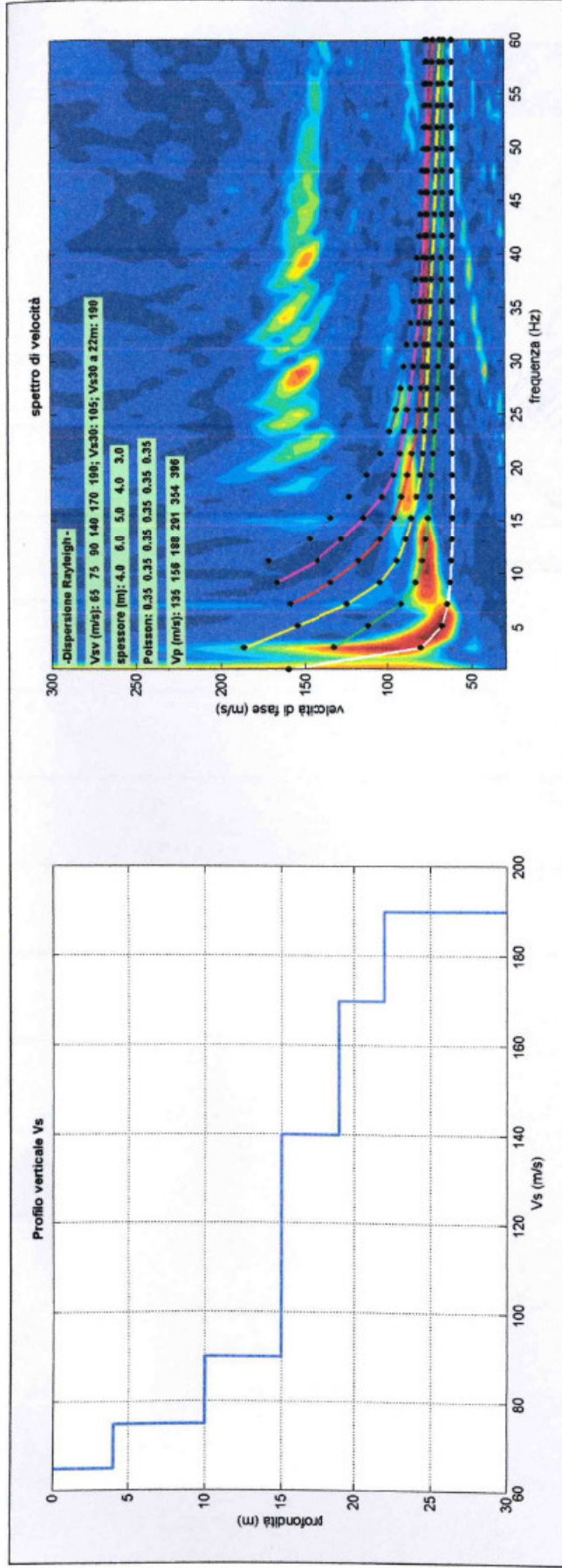
Fig. 4. Profilo verticale delle Vs

Spessore (m)	$V_{Sh}$ (m/s)
0,22	101
0,74	161
2,00	104
5,60	74
13,0	115
13,0	135
22,0	154
6,00	1172

Tab. 1. Modello medio del sottosuolo ( $V_{s30}$  riferita al piano campagna: 106 m/sec)



	sismostr. 1	sismostr. 2	sismostr. 3	sismostr. 4	sismostr. 5
vel. v (m/s)	141	114	75	219	307
spess. h (m)	1,20	1,10	5,00	3,00	19,70
profondità (m)	1,20	2,30	7,30	10,30	30,00
h/v	0,0085	0,0098	0,0667	0,0137	0,0842
					VS <sub>30</sub>
					185



Prospezione MASW: risultati della elaborazione dopo modellazione diretta.

<b>MASW</b>	Array: <b>24 geofoni</b>	Offset: <b>2,0 m</b>	Offset minimo: <b>5,0 m</b>
	Dataset: <b>003.sgy</b>	Curva dispers.: <b>Asciano Drfat.cdp</b>	Tipo di analisi: <b>Rayleigh</b>
<b>Modello medio:</b>	Vs (m/s): 181, 313, 351, 868, 793, 1430 Standard deviations (m/s): 18, 14, 5, 28, 17, 24 Thickness (m): 0.7, 1.5, 2.6, 4.2, 6.0 Standard deviations (m/s): 0.0, 0.1, 0.1, 0.3, 0.4		<b>V<sub>S30</sub></b> <b>766 m/s</b>
	Density (gr/cm3) (approximate values): 1.85, 1.95, 1.98, 2.21, 2.18, 2.32 Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 61 191 244 1668 1371 4745 Estimated static shear modulus (MPa) (approximate values): 0 0 0 0 864		

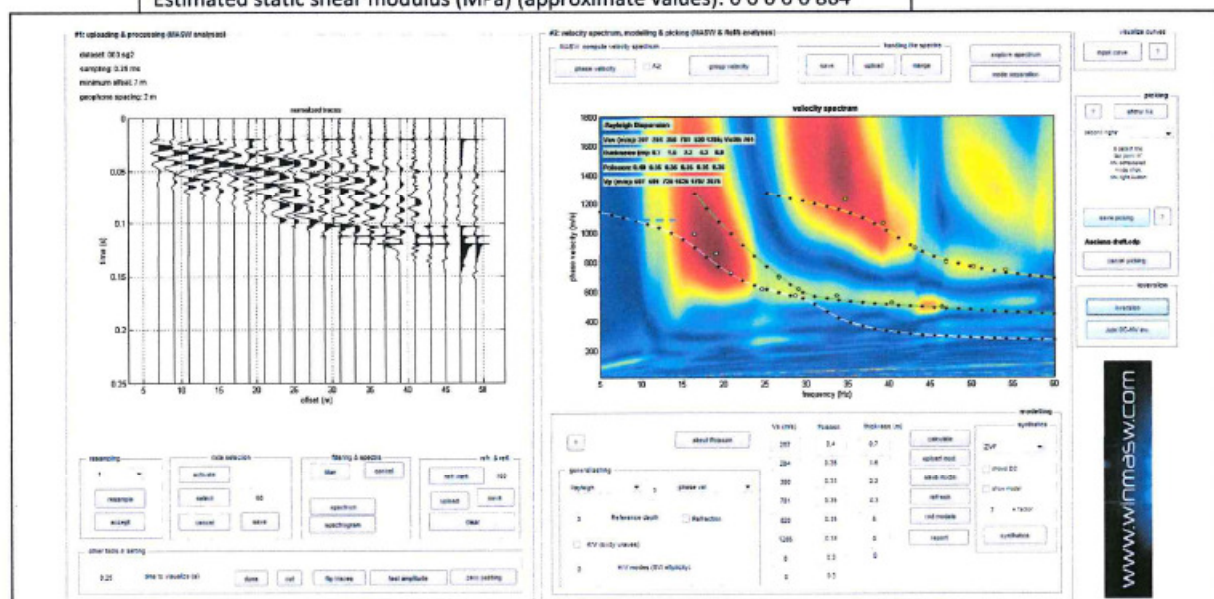


Fig. 1 - Sismogramma normalizzato e spettro delle velocità

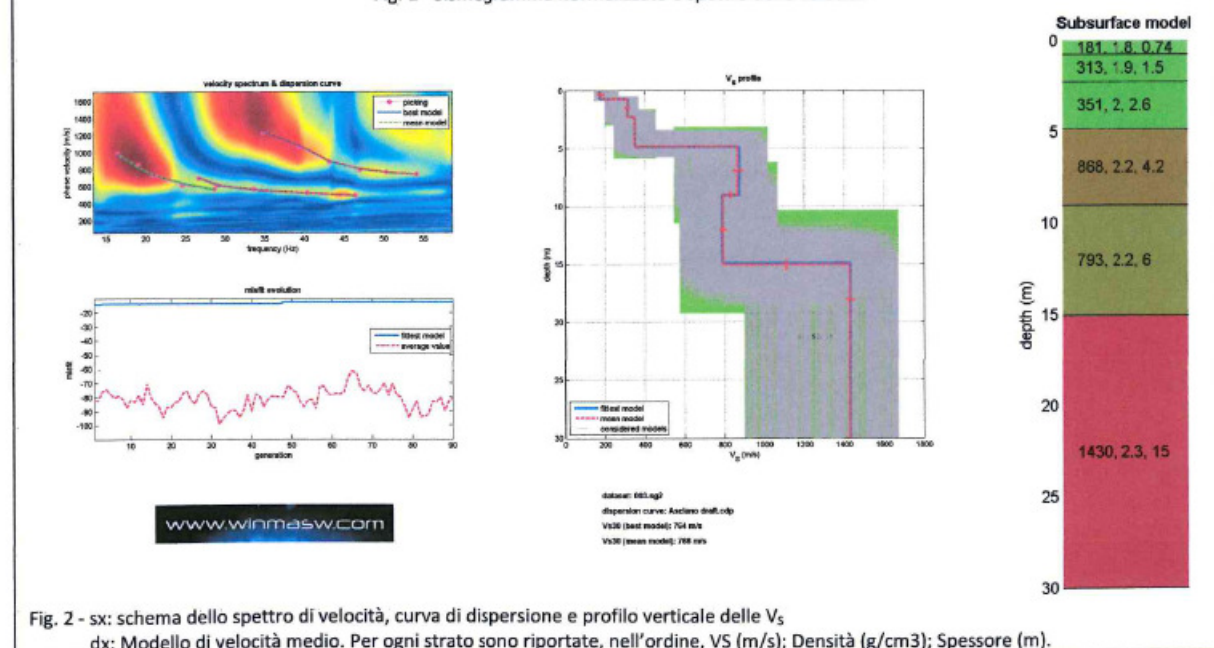
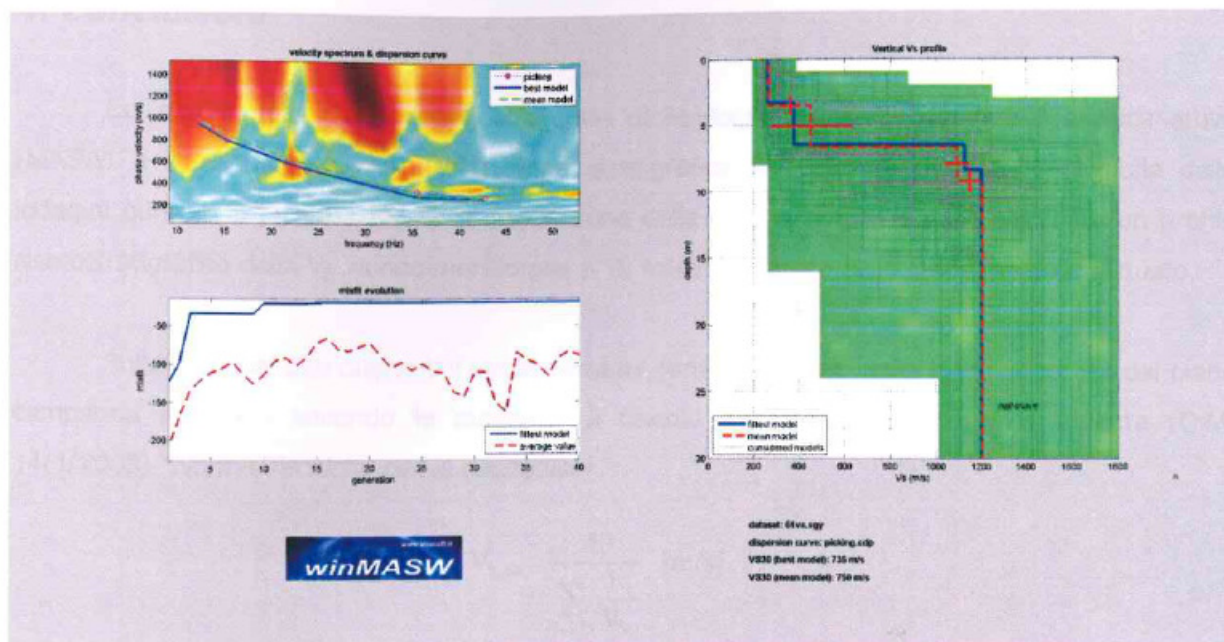
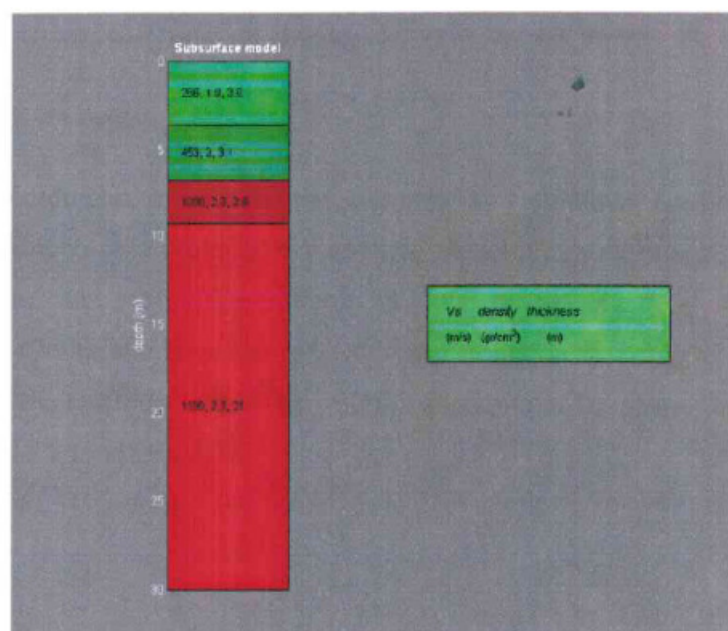


Fig. 2 - sx: schema dello spettro di velocità, curva di dispersione e profilo verticale delle Vs  
dx: Modello di velocità medio. Per ogni strato sono riportate, nell'ordine, VS (m/s); Densità (g/cm3); Spessore (m).

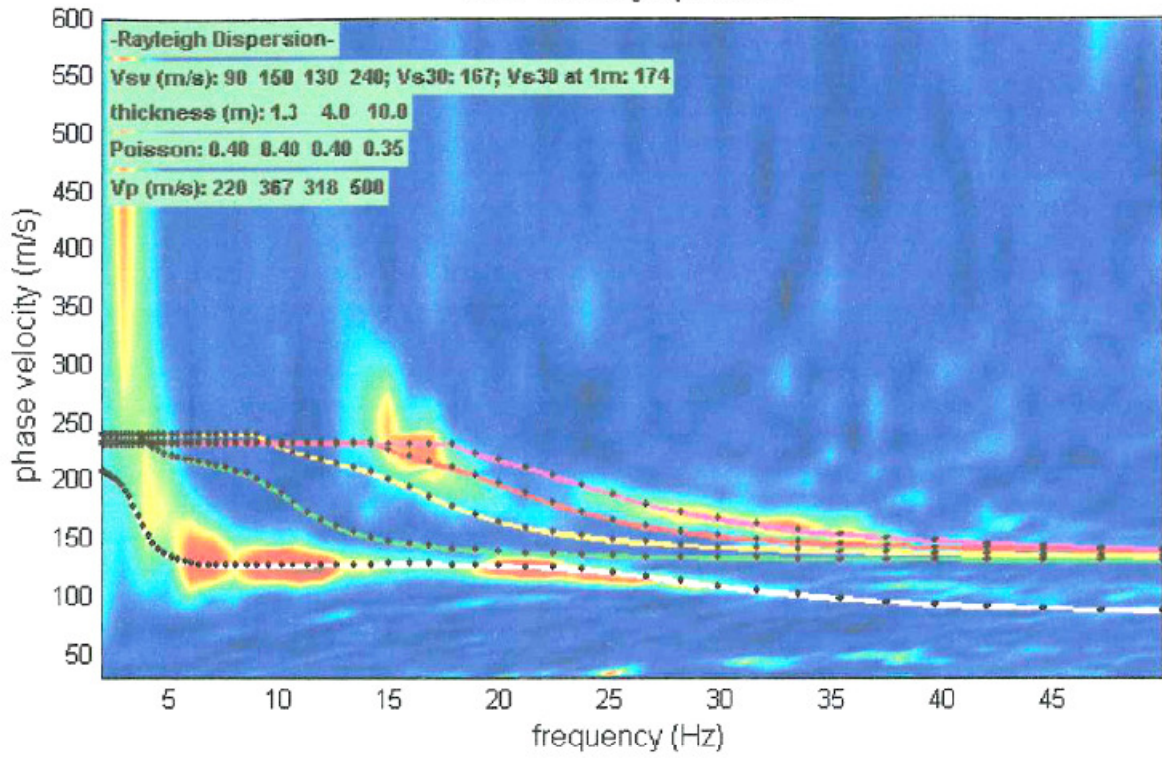


**Fig. 3.** Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione "piccate" e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale  $V_S$  identificato. In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli *Algoritmi Genetici* – Dal Moro et al., 2007).



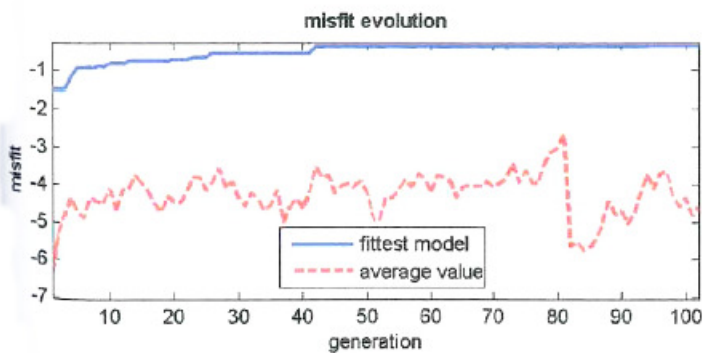
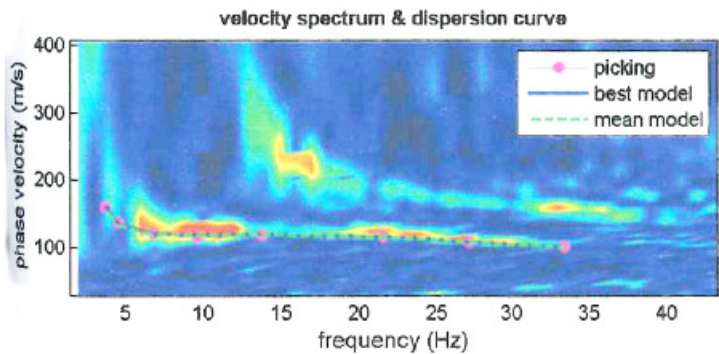
**Fig. 4.** Colonnina sismo-stratigrafica di massima del sito. Per ciascun strato indicate VS, densità (stimate) e spessori.

total velocity spectrum

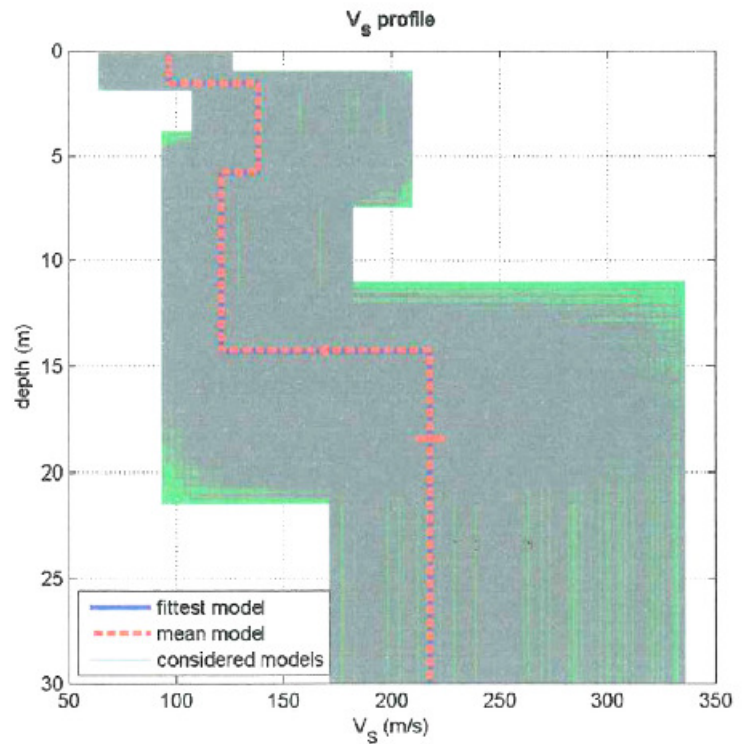


Vs	Qs	Poisson	thickness
90	10	0.4	1.3
150	16	0.4	4
130	19	0.4	10
240	24	0.35	0

elaborazione da modello diretto  
sullo spettro "somma"

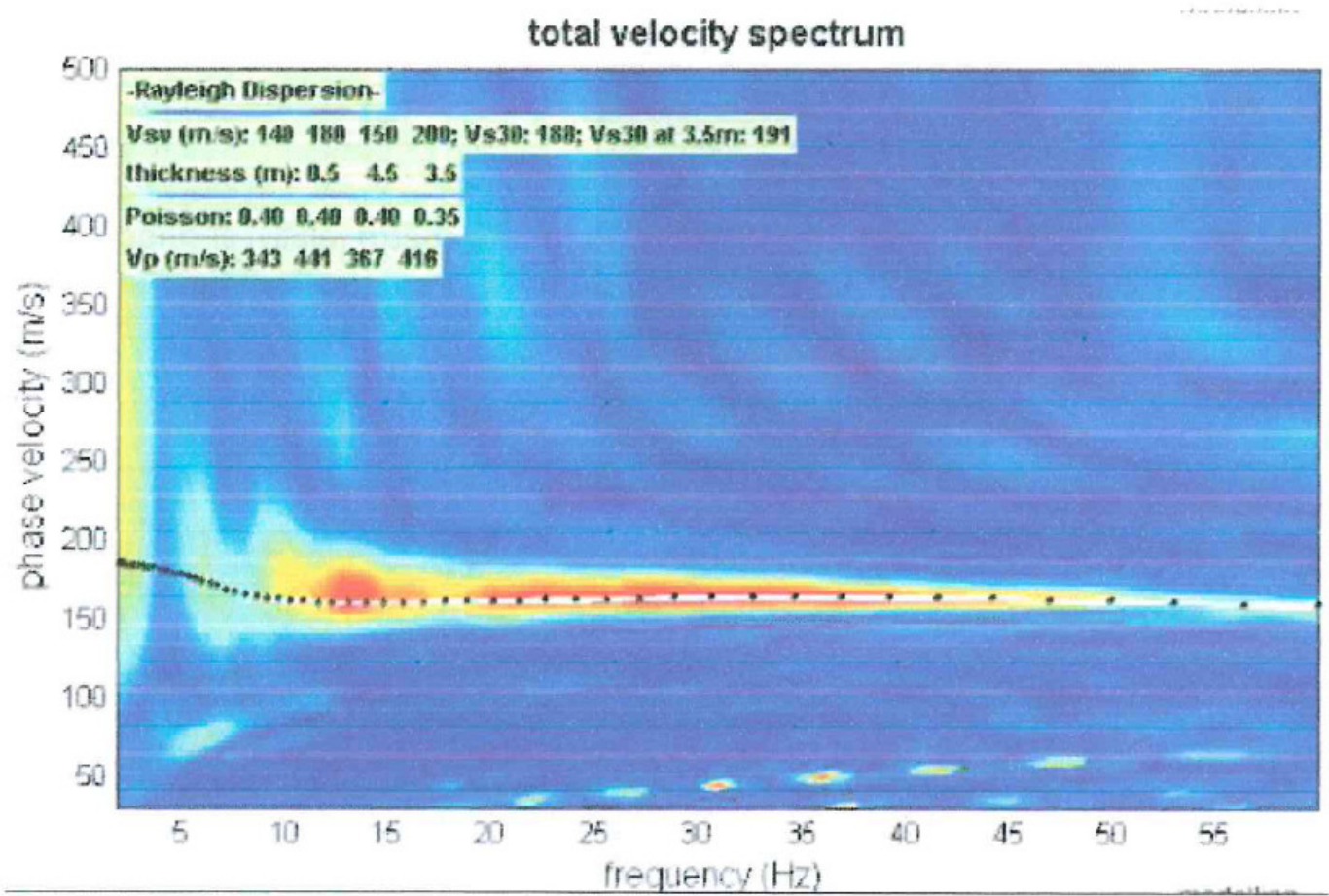
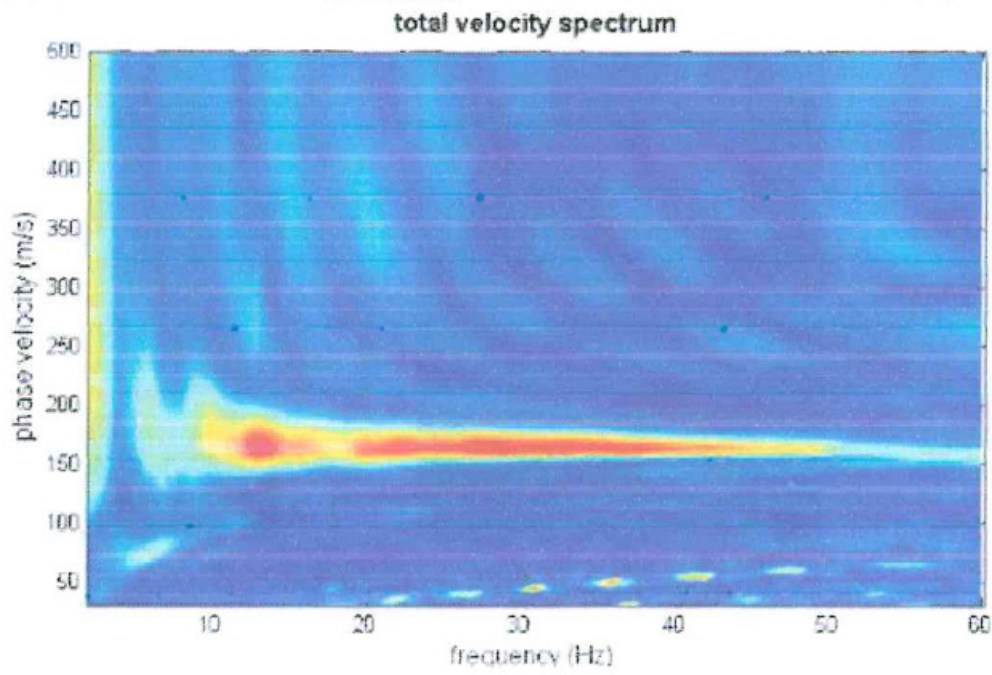


dispersion curve: total\_ick.cdp  
Vs30 (best model): 159 m/s  
Vs30 (mean model): 159 m/s



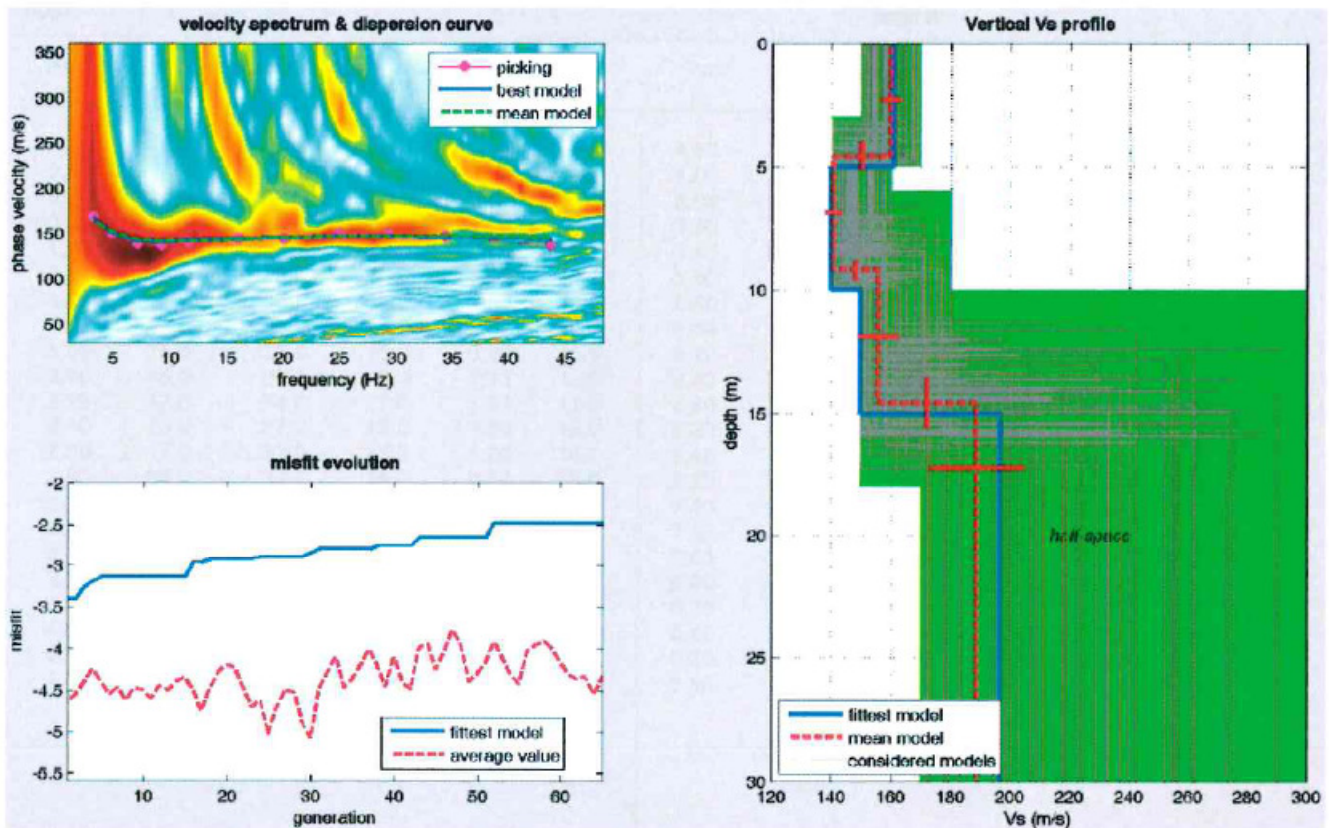
elaborazione per picking e inversione  
sullo spettro "somma"





Vs	Qs	Poisson	thickness
140	10	0.40	0.5
180	16	0.40	4.5
150	19	0.40	3.5
200	24	0.35	0

elaborazione per modello diretto (con riferimento allo spettro totale)



- secondo il MODELLO MEDIO:

strato	1	2	3	4
VSh (m/sec)	160	141	156	189
spessore (m)	4,6	4,6	5,4	

- secondo il MODELLO MIGLIORE:

strato	1	2	3	4
VSh (m/sec)	161,0493	140	150	196,727
spessore (m)	5	5	5,0249	

Con i dati ottenuti, per la zona di indagine (da p.campagna) si ha :

- VS30 del modello *medio*: 169 m/sec
- VS30 del modello *migliore*: 170 m/sec

Considerando il dato a partire dal piano campagna, la possibile categoria di suolo di fondazione è "D"

- secondo il MODELLO MEDIO:

strato	1	2	3	4		
VSh (m/sec)	156	205	150	153		
spessore (m)	2,1	5,2	6,1			

- secondo il MODELLO MIGLIORE:

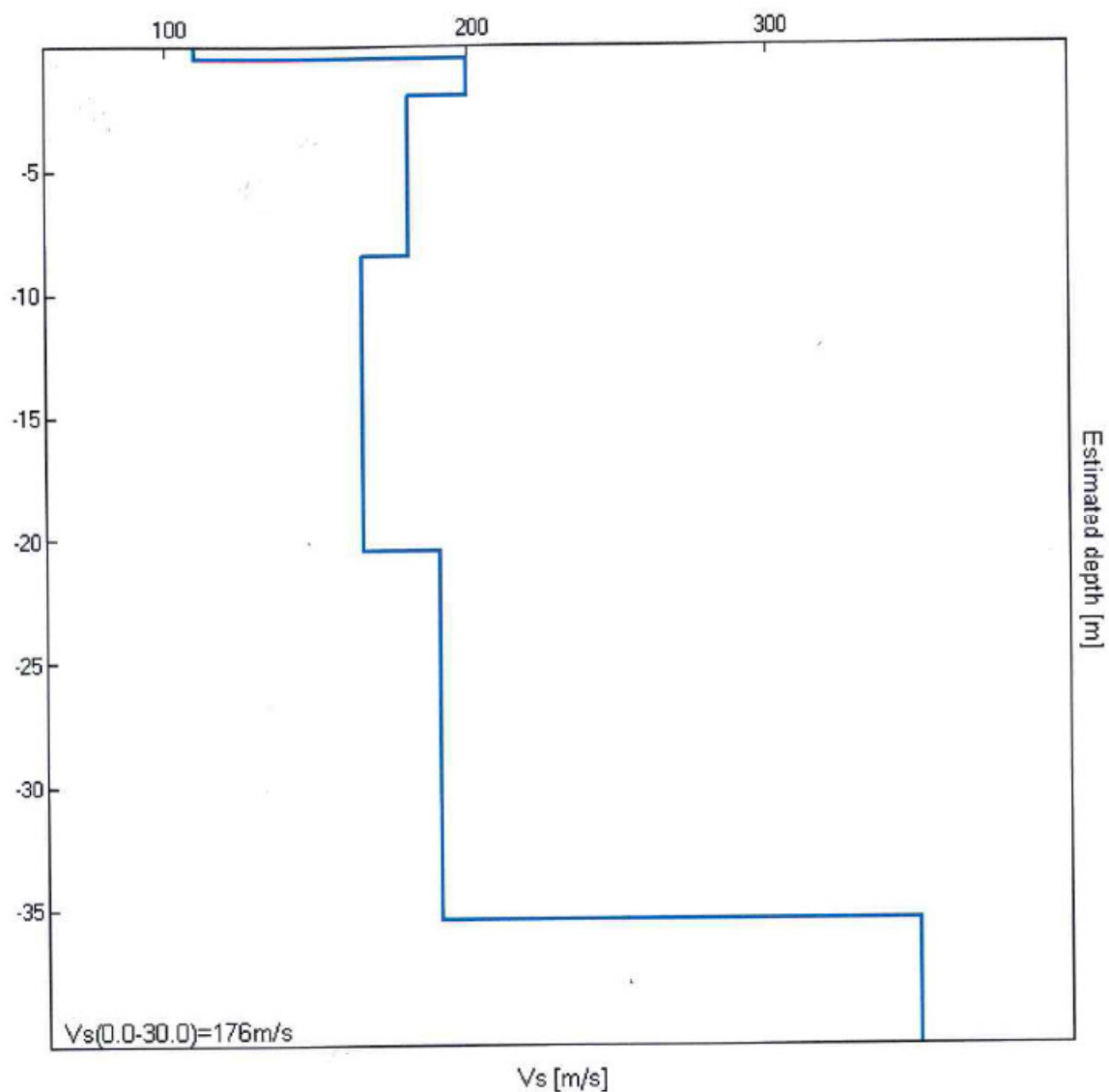
strato	1	2	3	4		
VSh (m/sec)	164,3799	203,7955	149,5983	151,2574		
spessore (m)	1,9259	5,1082	5,7052			

Con i dati ottenuti, per la zona di indagine (da p.campagna) si ha :

- VS30 del modello medio: 160 m/sec

- VS30 del modello migliore: 159 m/sec

il che corrisponde a un possibile suolo di fondazione "D" .



**Indagine MASW. Profilo verticale delle  $V_s$ .**

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	$V_s$ [m/s]
0.50	0.50	110
2.00	1.50	200
8.50	6.50	180
20.50	12.00	165
35.50	15.00	190
inf.	inf.	350

$V_s(0.0-30.0)=176\text{m/s}$   
 $V_s(1.0-31.0)=177\text{m/s}; V_s(2.0-32.0)=177\text{m/s}$

Dati	Strato 1	Strato 2	Strato 3	Strato 4	Strato 5	Strato 6	Strato 7	Strato 8	Strato 9
h (m)	2.0	3.0	3.0	4.0	4.0	5.0	5.0	6.0	0
z (m)	-2.0	-5.0	-8.0	-12.0	-16.0	-21.0	-26.0	-32.0	-∞
Densità (Kg/m <sup>3</sup> )	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1900	1900	2000
Poisson	0.35	0.48	0.48	0.48	0.48	0.35	0.35	0.35	0.35
Vs (m/s)	320	276	196	170	165	184	196	254	296
Vp (m/s)	666	1407	999	867	841	383	408	529	616

Tabella 2 - Dati modello sottosuolo da inversione – ZVF - shot point a -4 m da G1

Come si può notare dalla Tabella 2 i valori di velocità riferiti alle onde di compressione (onde P in rosso ed i coefficienti di Poisson) sono molto accentuati ciò è dovuto alla possibile presenza di livelli acquiferi confinati all'interno del terreno.

Tale aspetto è stato avvalorato dalla prova penetrometrica statica eseguita all'interno della proprietà della Committenza dove è stato rilevato da misura freaticometrica all'interno del foro di prova un livello fino a -2.00 da p.c Tale livello è da considerarsi di risalita quindi si presume la presenza di un primo livello acquifero a profondità poco maggiori.

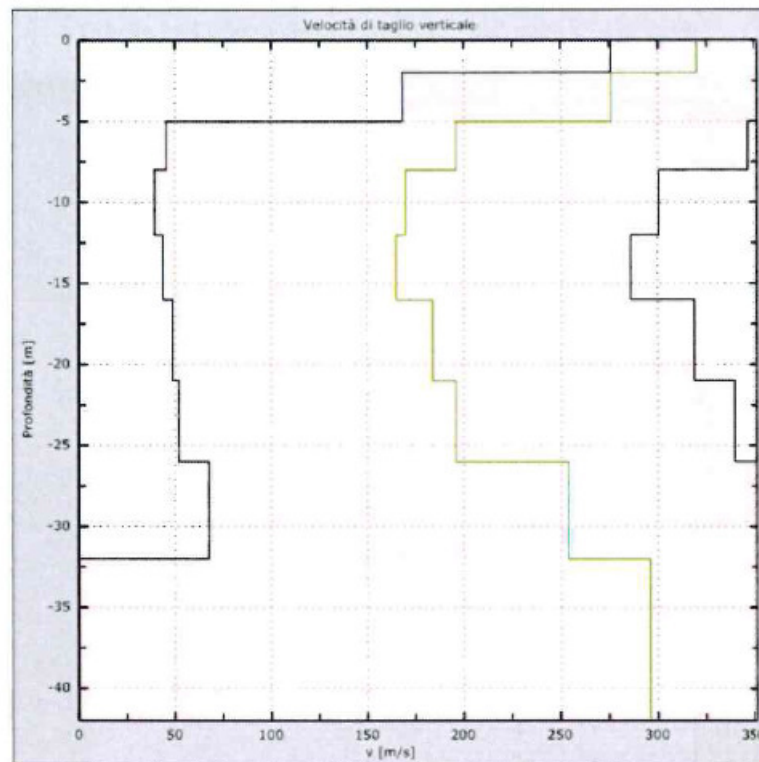


Fig. 4 - Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso) – stendimento ZVF shot point a - 4m da G1

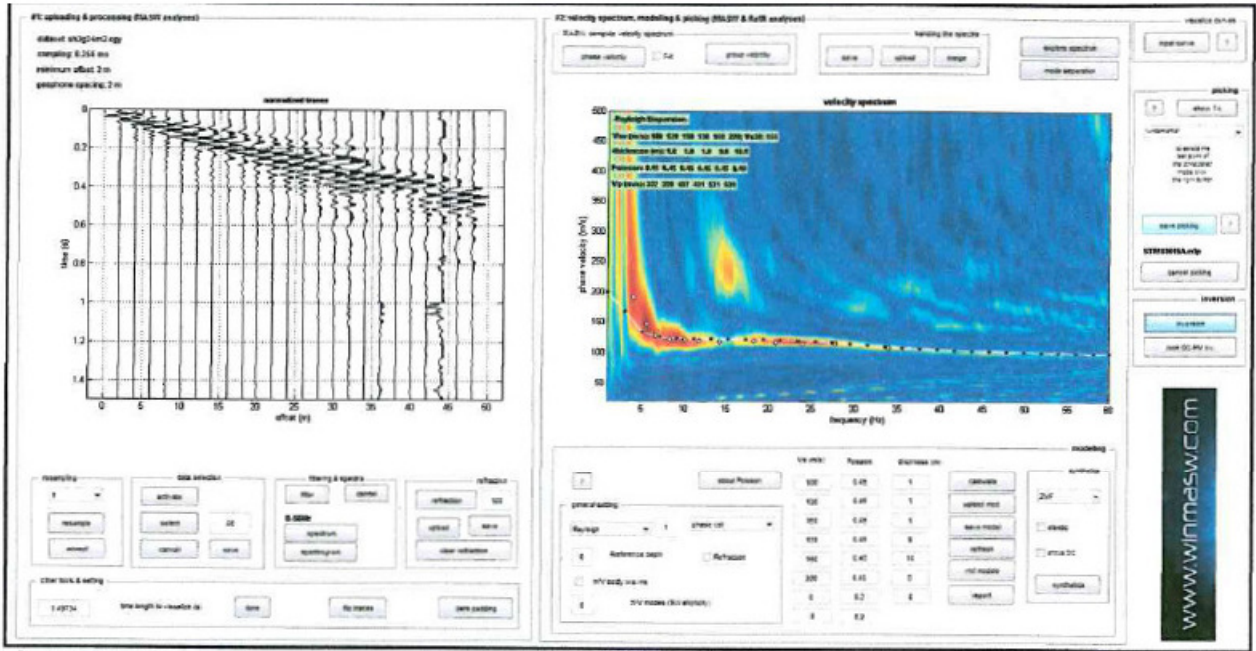


Fig.1: Sismogramma (Shot3 – g24 – m2,00) e spettro delle velocità con "picking"

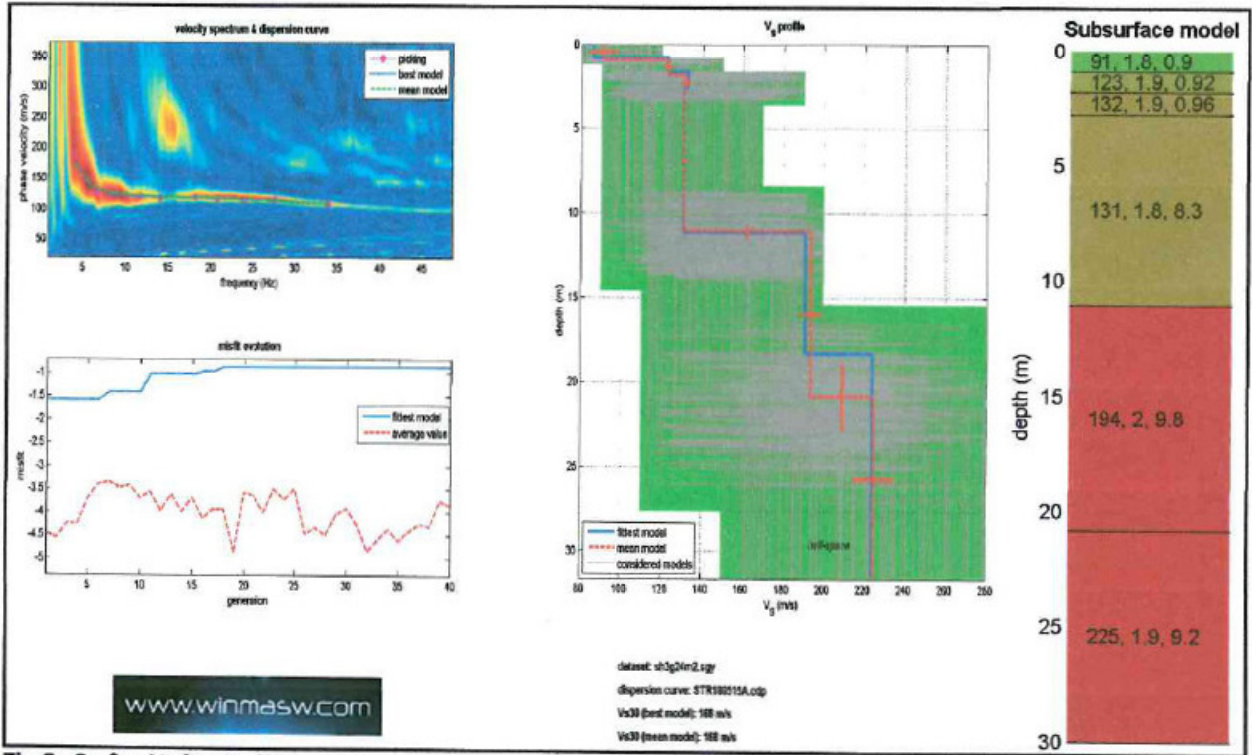


Fig.2: Grafico Misfit - Profilo verticale delle Onde S - Colonna Sismostratigrafica [Vs (m/s); Densità (g/cm³); Spessore (m)]

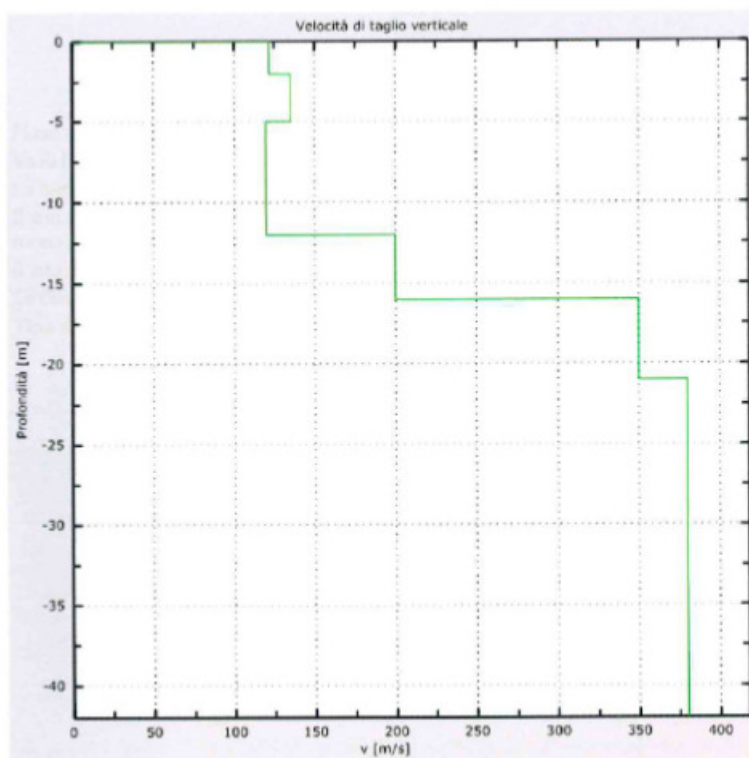


Figura 5: Profilo Vs numerico

## 5 - Risultati finali

Piano di riferimento  $z=0$  [m].....0

$V_{s30}$  [m/s].....193

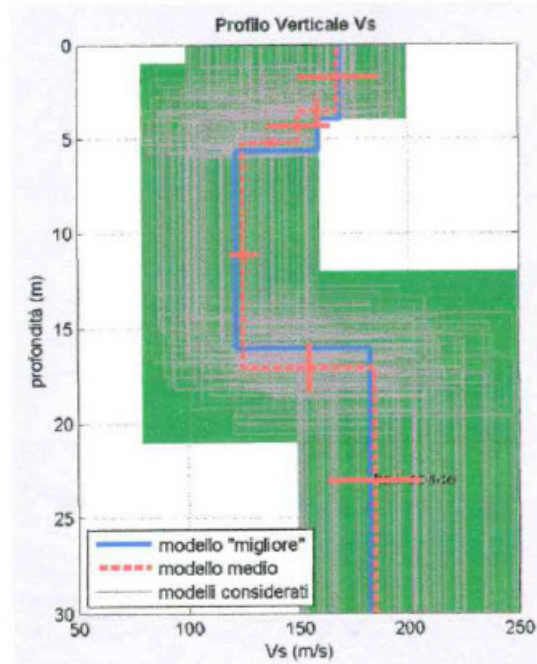
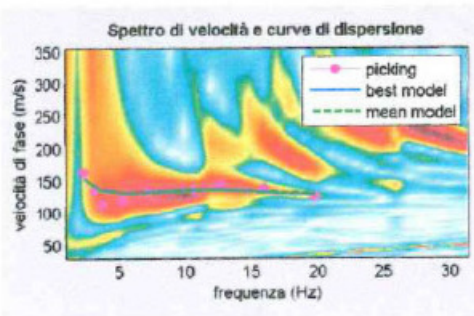
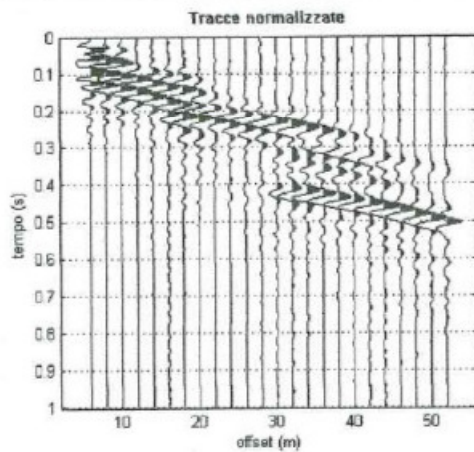
La normativa applicata è il DM 14 gennaio 2008

Il sito appartiene alle classi A, B, C, D, E o S1 (alluvionale, ghiaia, sabbia, limo, argilla, roccia).

Il sito non è suscettibile di liquefazione e non è argilla sensitiva.

Le caratteristiche meccaniche degli strati migliorano gradualmente con la profondità

**Tipo di suolo** .....C



	sismostr. 1	sismostr. 2	sismostr. 3	sismostr. 4
vel. v (m/s)	169	151	126	185
spess. h (m)	3,50	1,70	11,90	12,90
profondità (m)	3,50	5,20	17,10	30,00
h/v	0,0207	0,0113	0,0994	0,0697

Da tali dati è possibile determinare il valore di  $VS_{30}$  e da questo la categoria di suolo di fondazione, secondo quanto stabilito dalla nuova normativa tecnica in tema di progettazione antisismica (D.M. 14/01/2008). In particolare, la  $VS_{30}$ , che rappresenta una velocità media ponderata, è calcolabile secondo la seguente espressione:

$$VS_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove:

$h_i$  = spessore i-esimo di ogni singolo sismostrato

$V_i$  = velocità i-esima di ogni singolo sismostrato

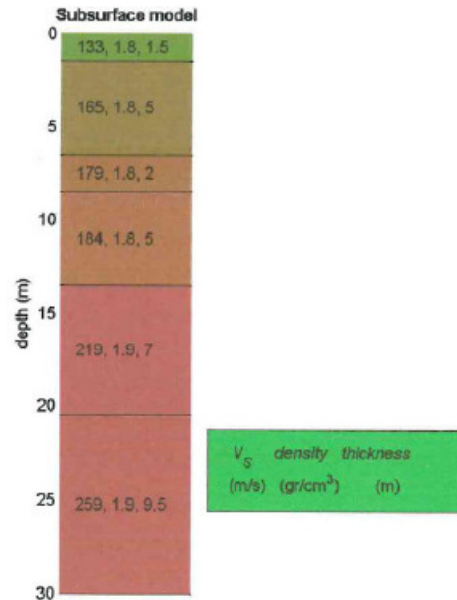
L'applicazione della suddetta formula ha fornito un valore di  $VS_{30}$ , relativo al modello medio, di 153 m/s.



SISMOSTRATO N.	PROFONDITA' DELLA BASE (m)	SPESORE DELLO STRATO (m)	Vs (m/sec)
1	1.5	1.5	133
2	6.5	5.0	165
3	8.5	2.0	179
4	13.5	5.0	184
5	20.5	7.0	219
6			259

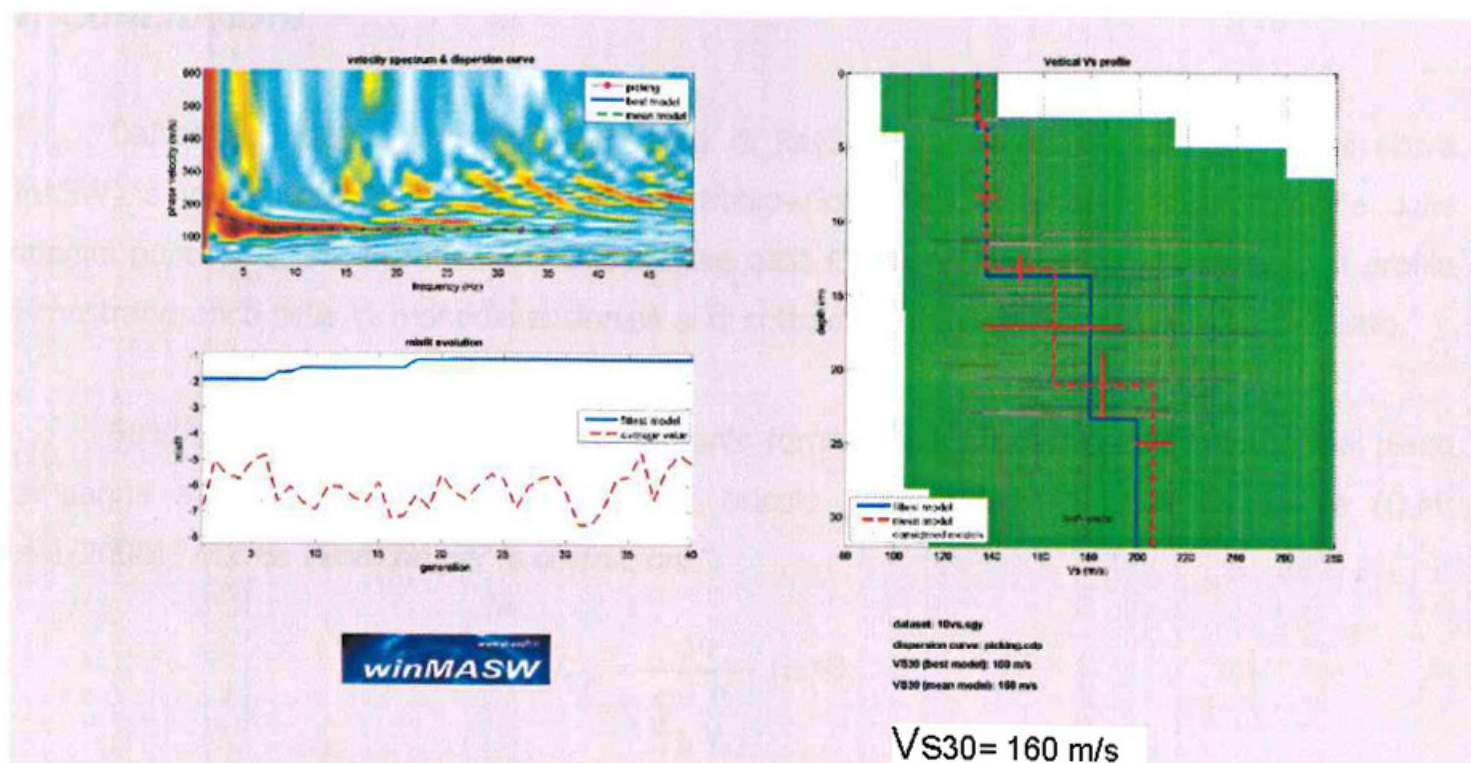
MEAN MODEL						
Approximate values for Vp, density, Shear modulus						
Sismostrato n.	1	2	3	4	5	6
Vp (m/s)	326	344	373	383	456	539
Density (gr/cm <sup>3</sup> )	1.78	1.80	1.82	1.82	1.86	1.90
Shear modulus (MPa)	32	49	58	62	89	128



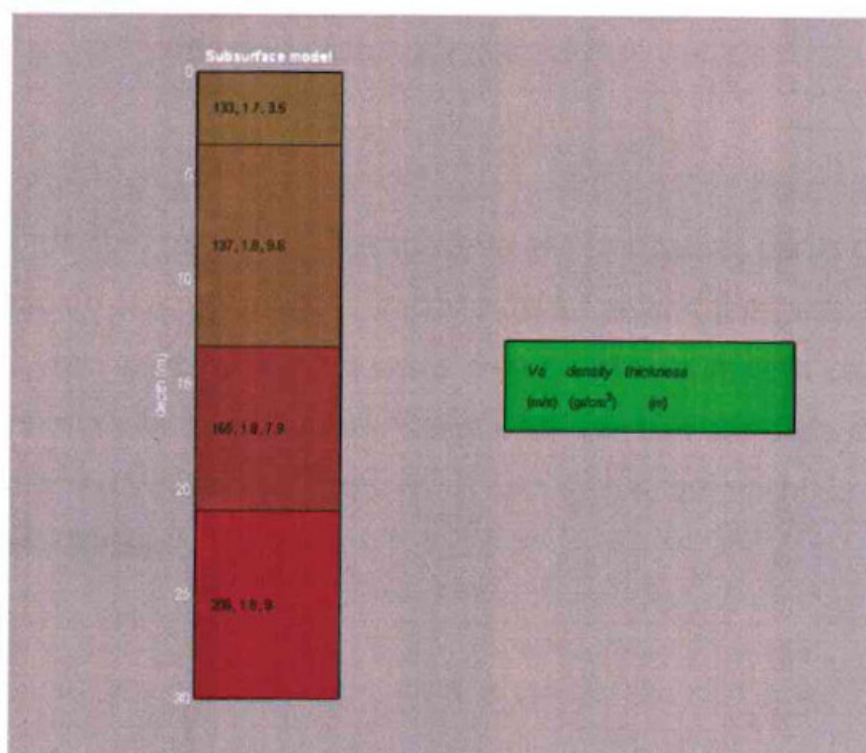
In base ai risultati dell'indagine sismica eseguita è stato calcolato il parametro Vs30 attraverso la seguente formula (D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008: "Norme Tecniche per le Costruzioni"):

$$V_{s30} = 30 / \sum_{i=1,N} (h_i/V_i)$$

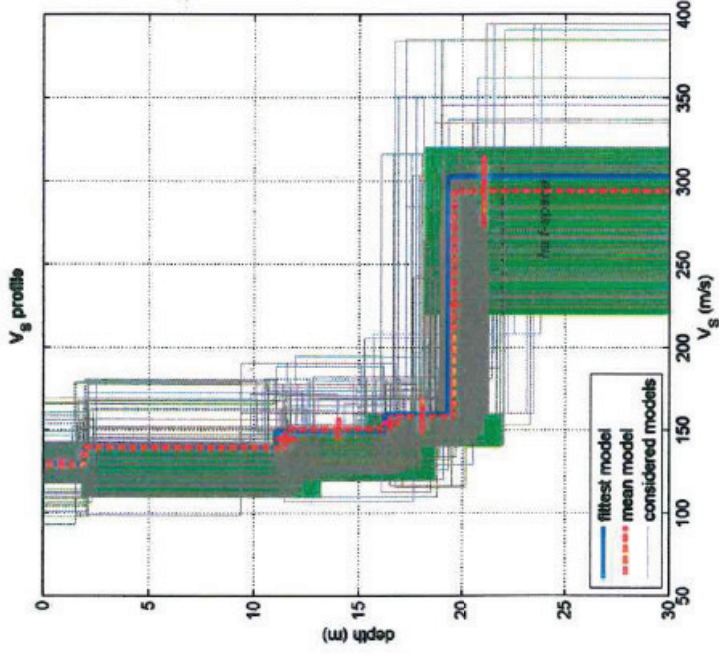
Il valore medio di Vs30 calcolato è di 202 m/sec.



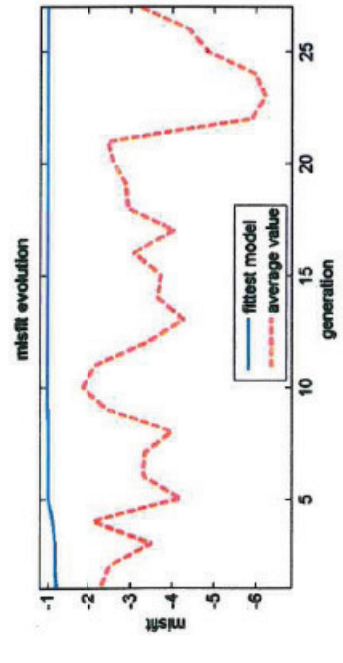
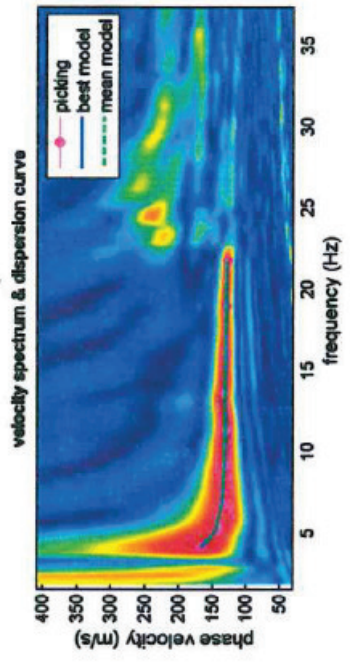
**Fig. 3.** Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione "piccate" e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale  $V_s$  identificato. In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli *Algoritmi Genetici* – Dal Moro et al., 2007).



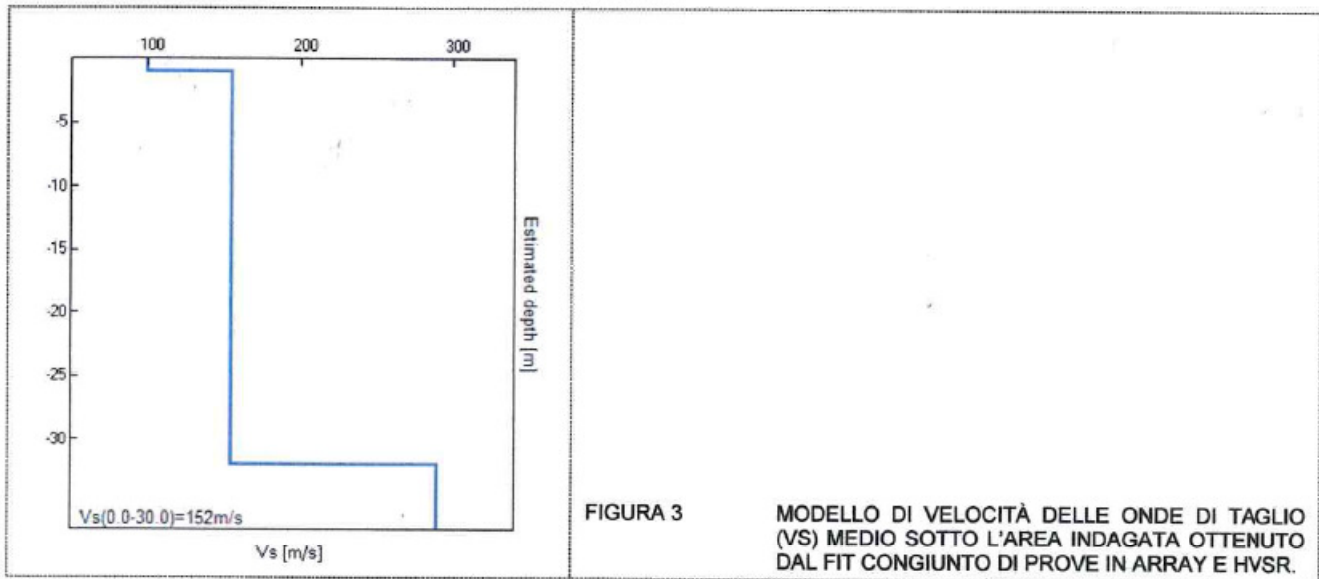
**Fig. 4.** Colonnina sismo-stratigrafica di massima del sito. Per ciascun strato indicate  $V_s$ , densità (stimate) e spessori.



dataset: 5c.sg2  
dispersion curve: pickk.cdp  
Vs30 (best model): 177 m/s  
Vs30 (mean model): 175 m/s



[www.winmasw.com](http://www.winmasw.com)



Il valore di velocità delle onde di taglio nello strato omogeneo equivalente ai primi 30 m di profondità ( $V_{S30}$ , Norme Tecniche per le Costruzioni, 2008) può essere calcolato con la seguente formula:

$V_{S30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{Si}}}$	dove
	$h_i$ spessore dell'iesimo strato $V_{Si}$ velocità delle onde S nell'iesimo strato

Riferito a partire dalla superficie, il parametro  $V_{S30}$  risulta di 152 m/s, corrispondente alla categoria "D" di suolo di fondazione ( $V_{S30} < 180$  m/s).

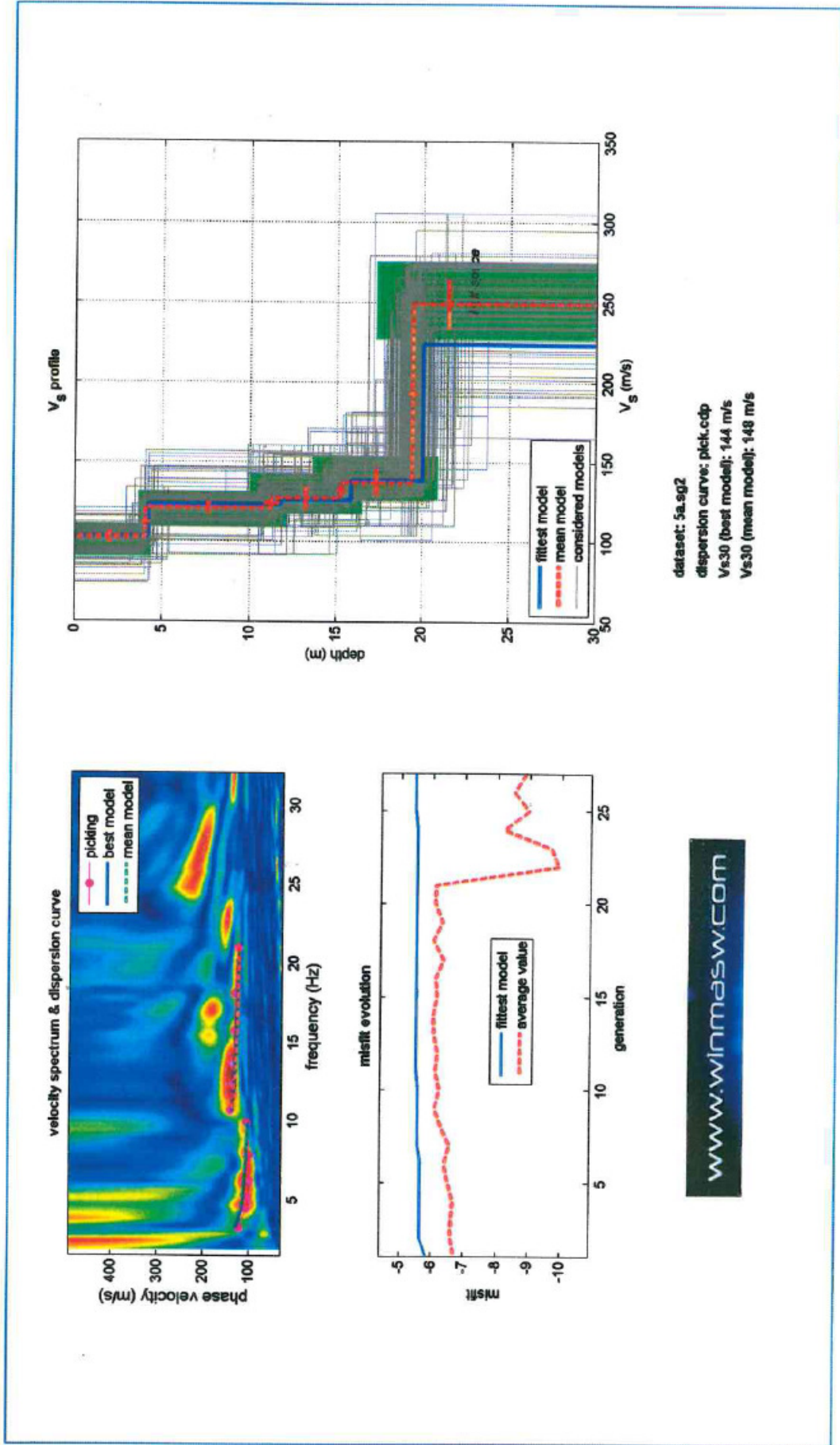
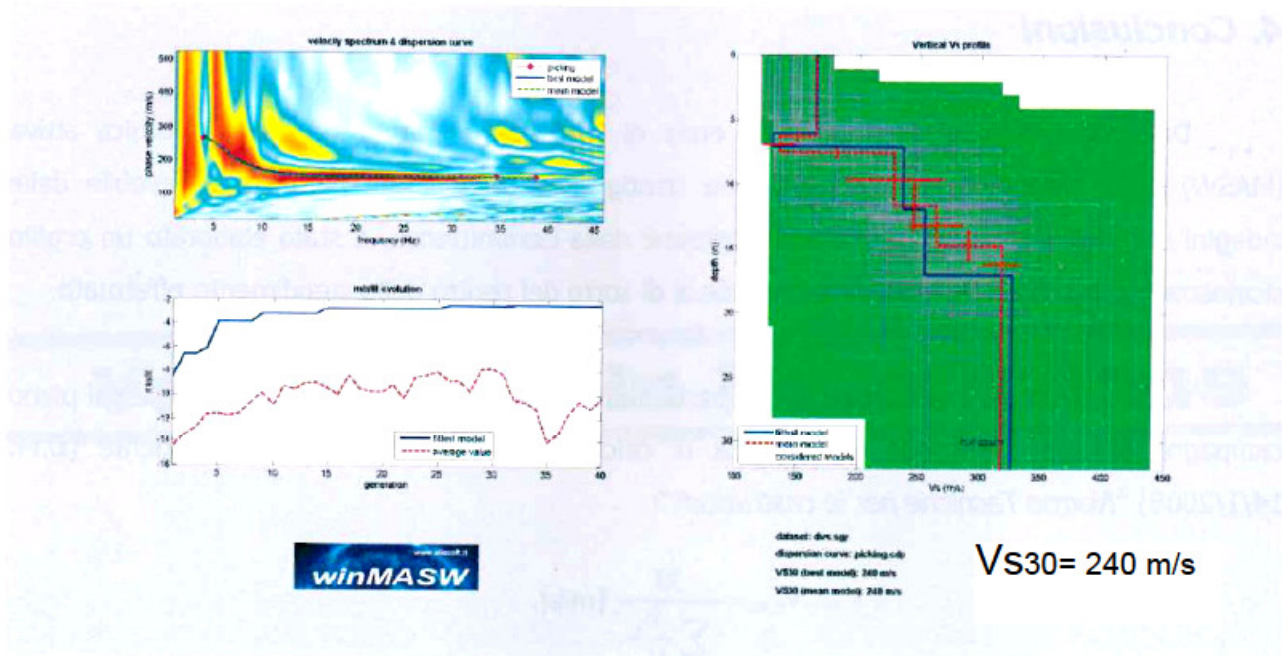
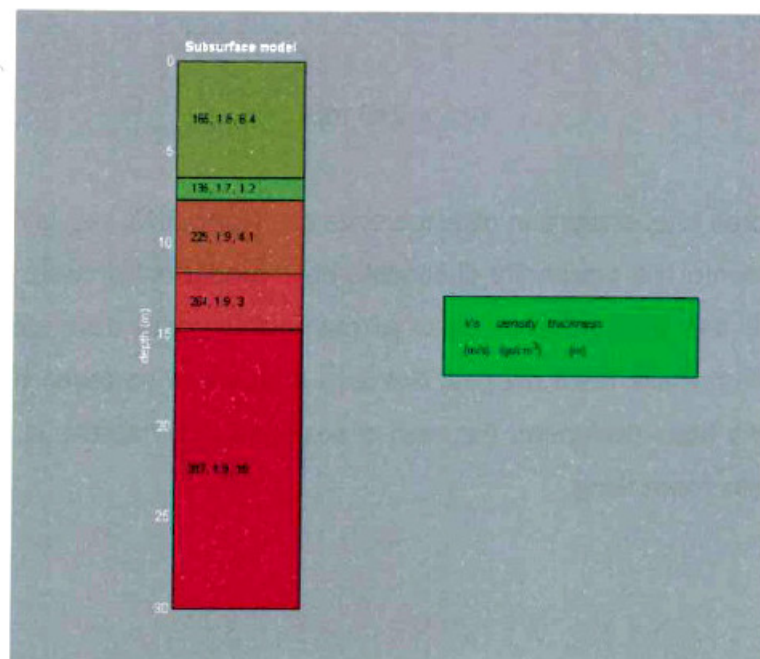


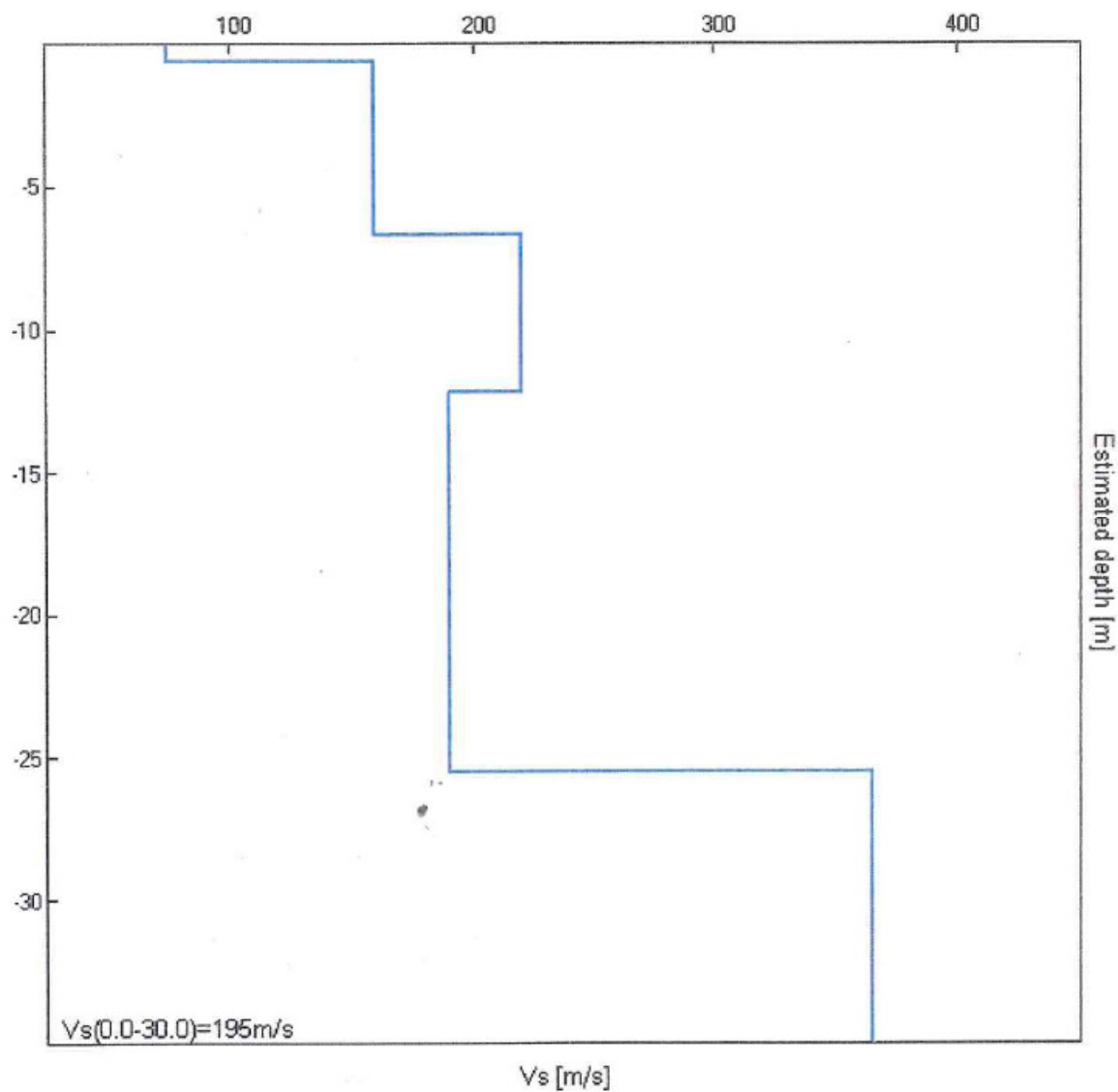
Figura 5: Indagine MASW: spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione; profilo verticale  $V_s$  identificato; grafico *misfit*-generazione (*off-set 5m su G1*)



**Fig. 3.** 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  $V_s$  identificato. 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* – Dal Moro et al., 2007).



**Fig. 4.** Colonnina sismo-stratigrafica di massima del sito. Per ciascun strato indicate VS, densità (stimate) e spessori.



Indagine MASW. Profilo verticale delle Vs.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.60	0.60	75
6.70	6.10	160
12.20	5.50	220
25.50	13.30	190
72.50	47.00	365
inf.	inf.	540

Vs(0.0-30.0)=195m/s  
 Vs(1.0-31.0)=206m/s; Vs(2.0-32.0)=211m/s

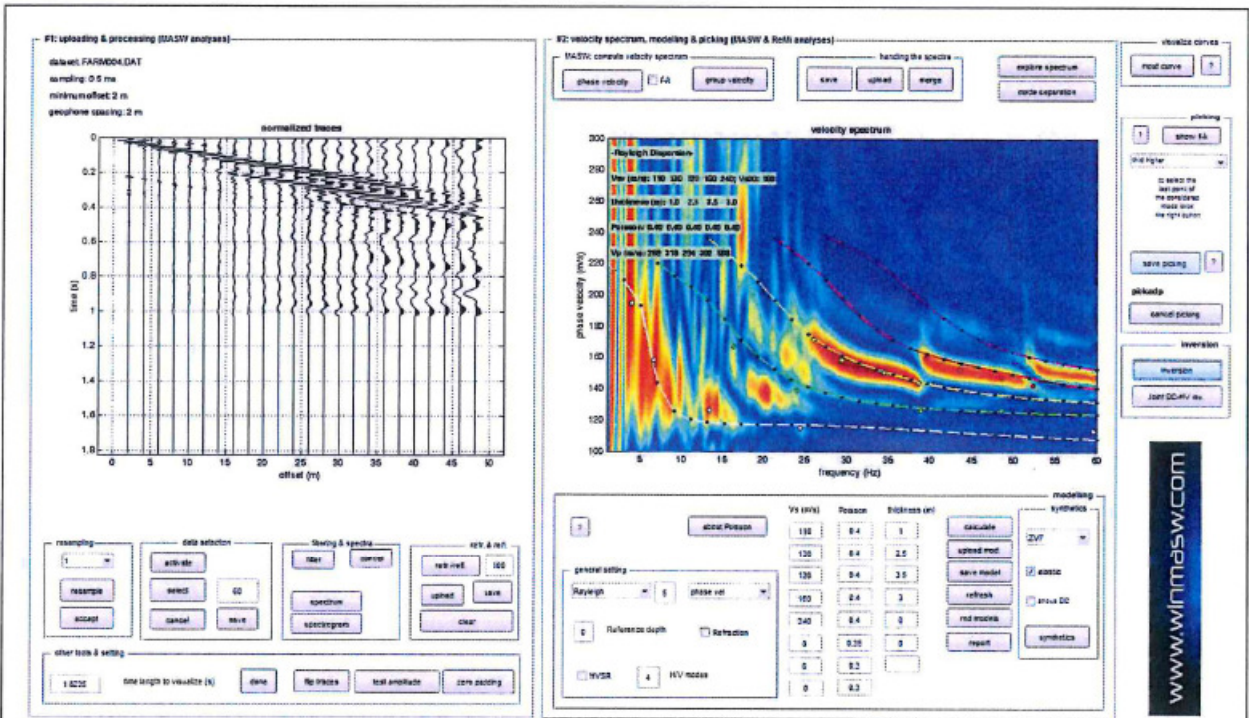


Fig. 1: Sismogramma normalizzato, spettro delle velocità, modello sismo-stratigrafico di riferimento e relative curve di dispersione teoriche

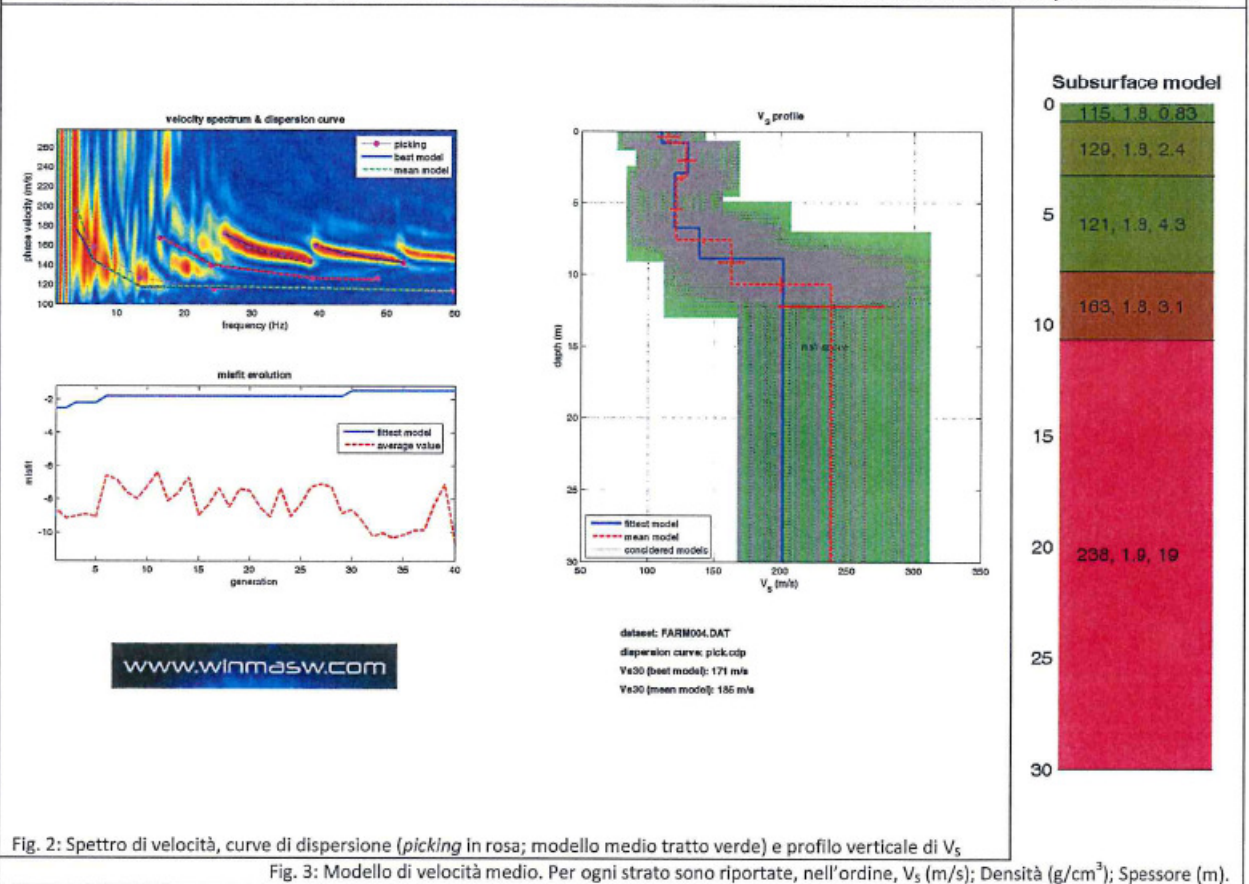
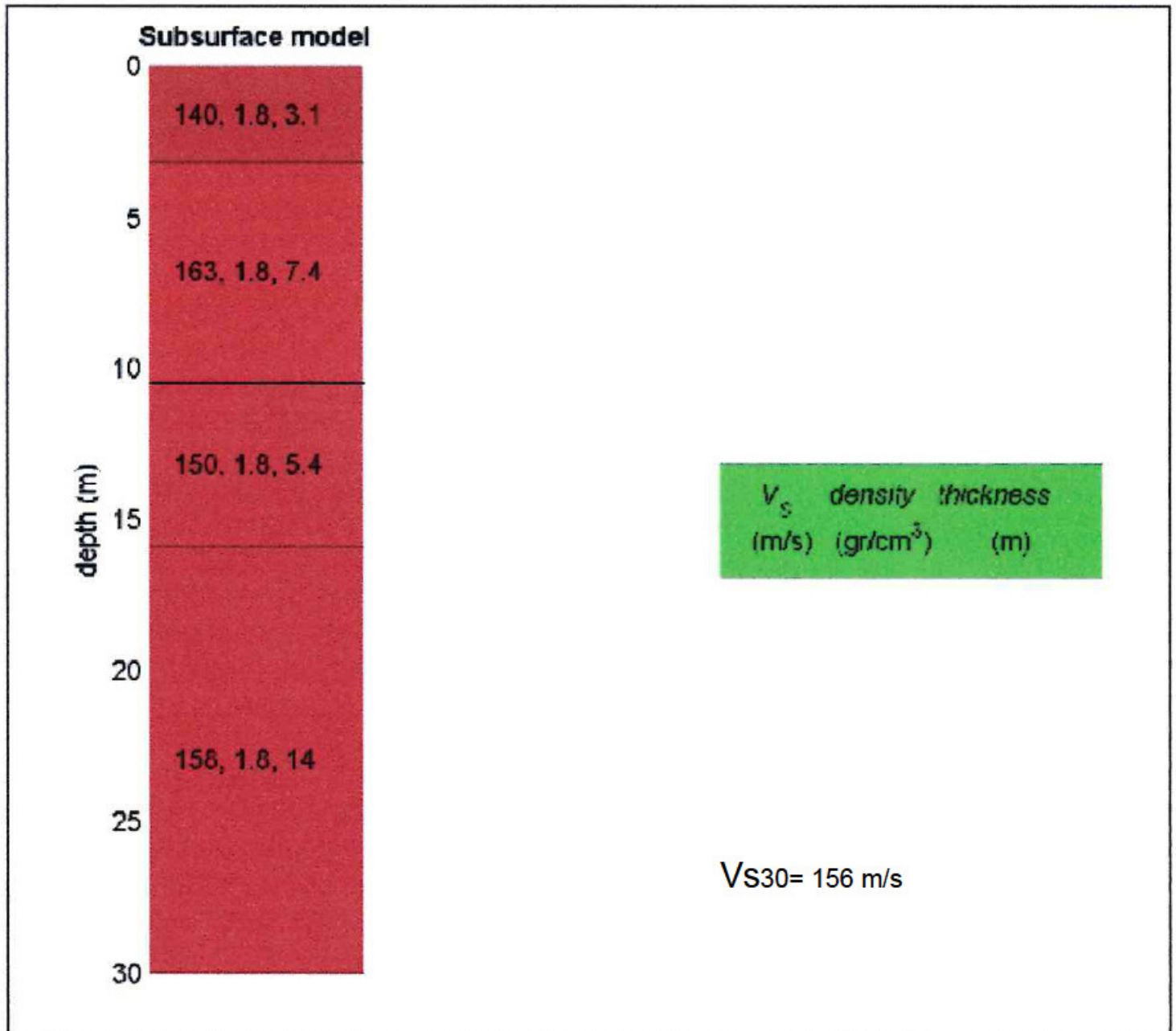


Fig. 2: Spettro di velocità, curve di dispersione (picking in rosa; modello medio tratto verde) e profilo verticale di Vs

Fig. 3: Modello di velocità medio. Per ogni strato sono riportate, nell'ordine, Vs (m/s); Densità (g/cm<sup>3</sup>); Spessore (m).



**Figura 4 – Profilo sismico da indagine MASW**

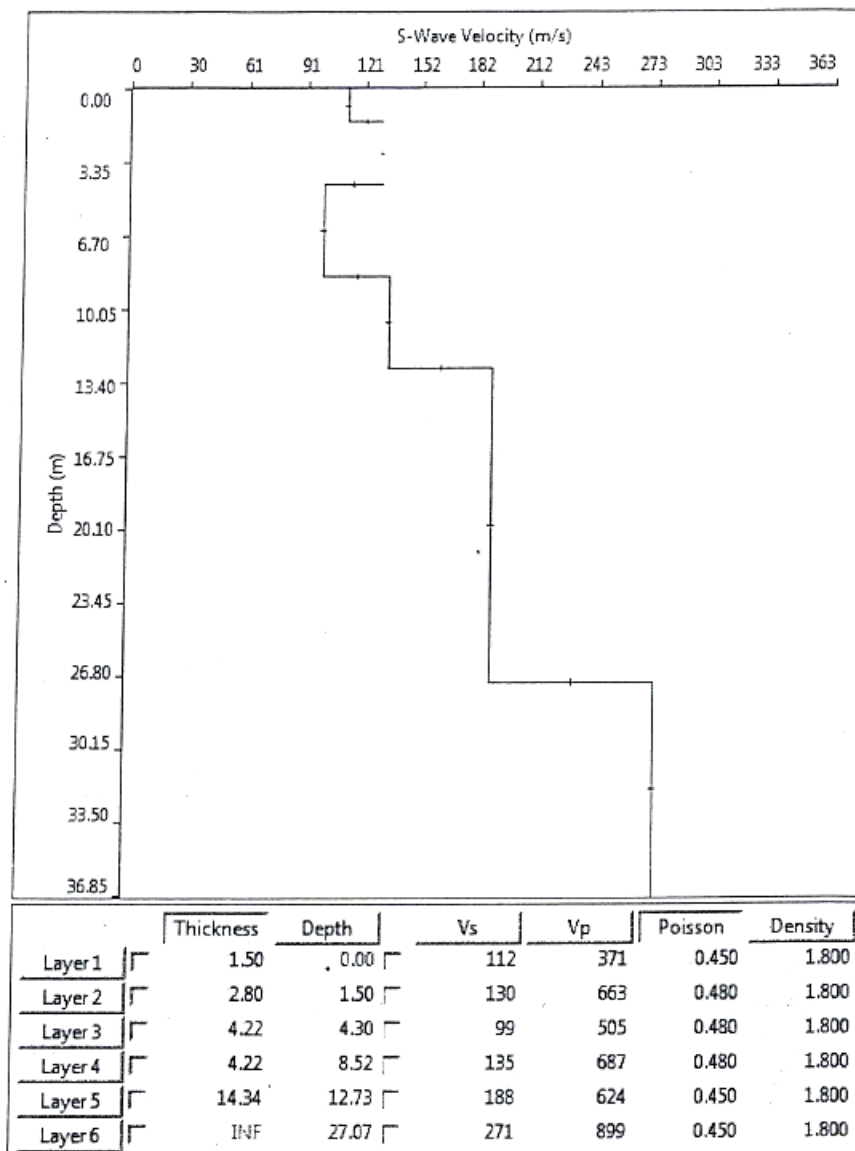
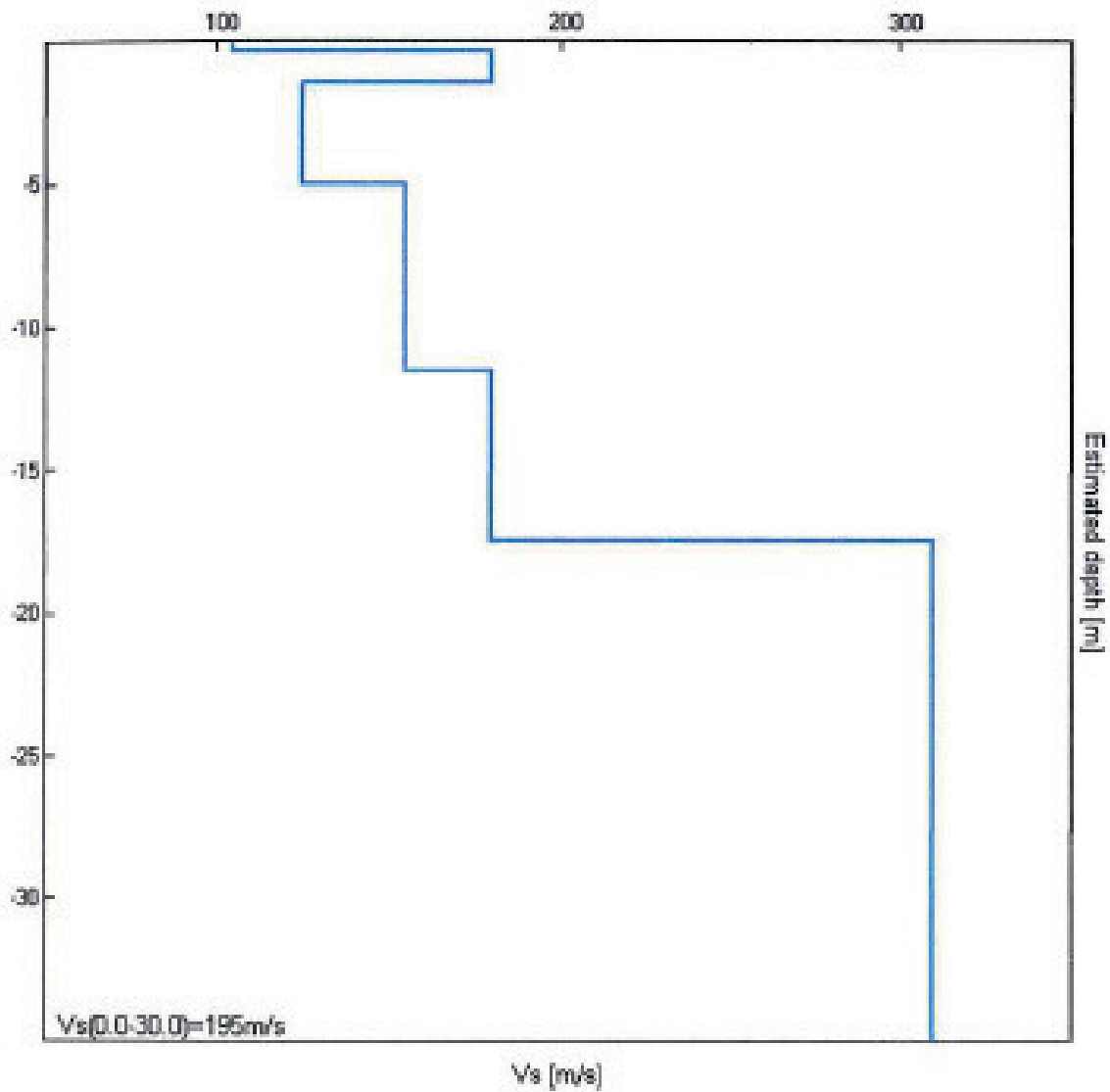


Figura 8 – Modello Vs del terreno ottenuto.

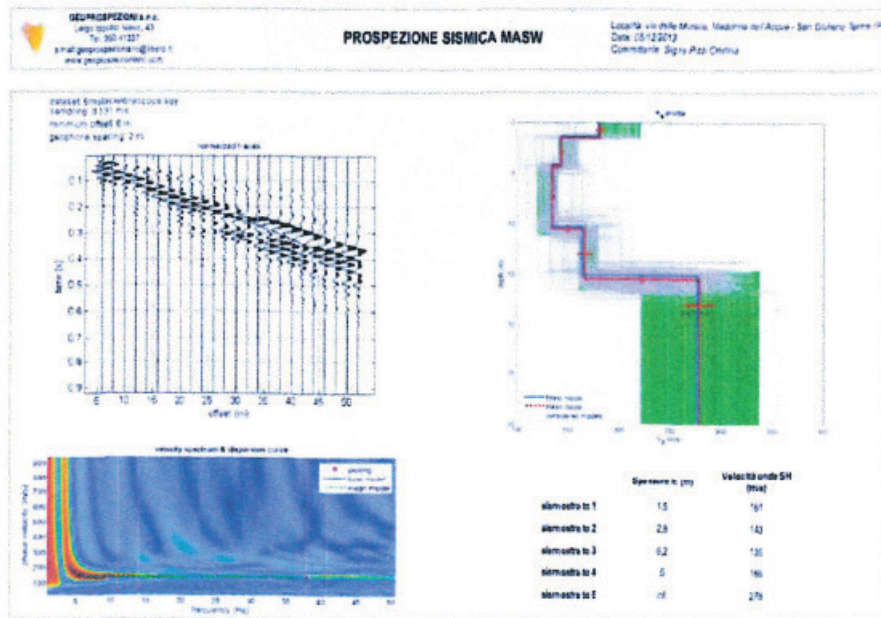
In particolare sono stati individuati 6 sismostrati caratterizzati da un progressivo aumento delle velocità sismiche con la profondità e di conseguenza da un miglioramento delle caratteristiche elastomeccaniche dei terreni, fatta eccezione per l'intervallo compreso tra 3.5 e 8.0 m dal p.c. dove si registra una diminuzione delle velocità. In base al modello ottenuto ed ipotizzando la presenza dell'ultimo sismostrato sino a 30 metri di profondità, il parametro **Vs30** calcolato risulta pari a **153 m/s**



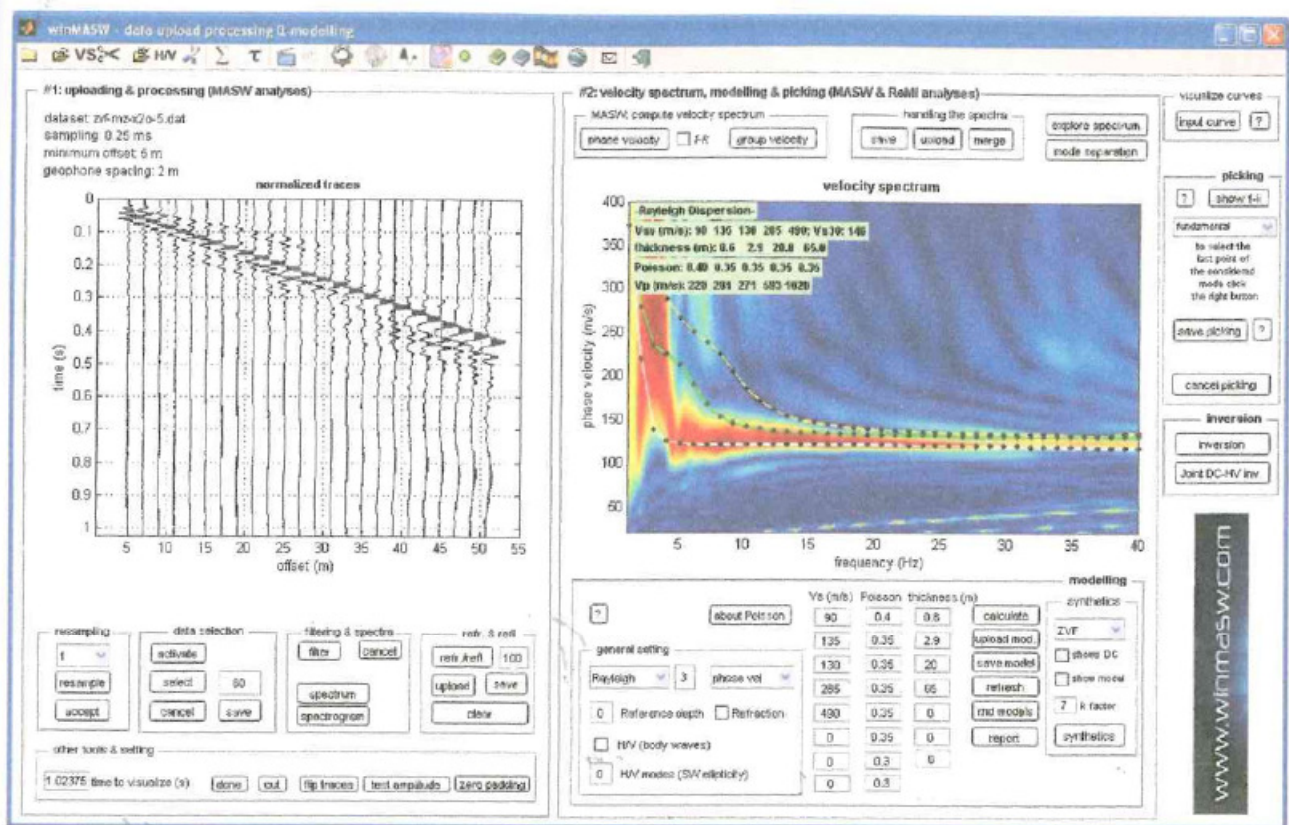
Indagine MASW. Profilo verticale delle Vs.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.40	0.40	105
1.50	1.10	180
5.00	3.50	125
11.50	6.50	155
17.50	6.00	180
52.50	35.00	310
inf.	inf.	400

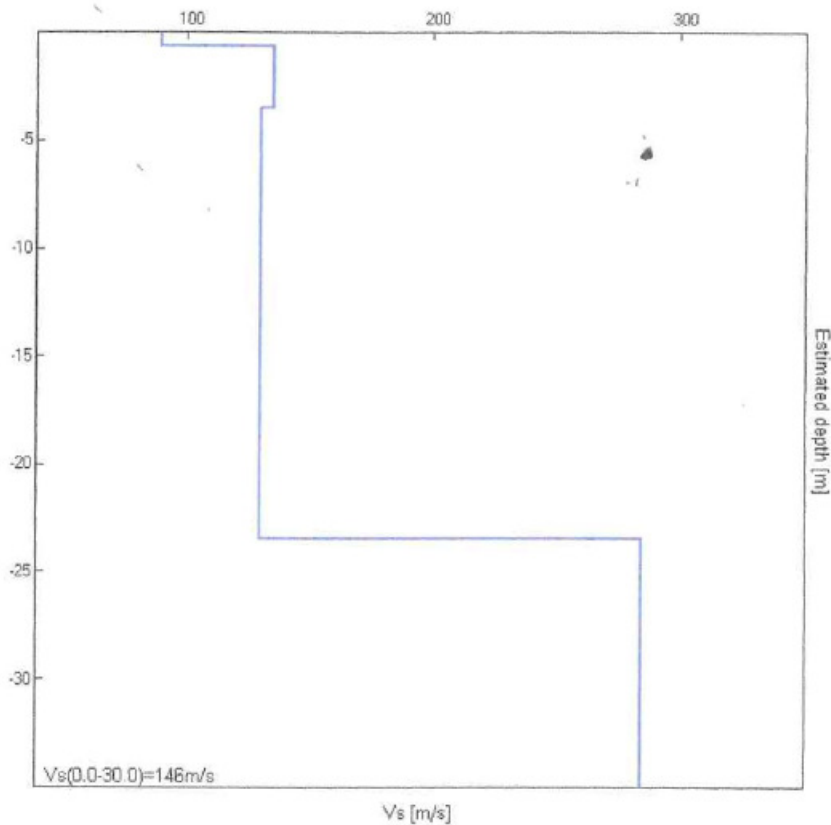
Vs(0.0-30.0)=195m/s  
 Vs(1.0-31.0)=201m/s; Vs(2.0-32.0)=205m/s



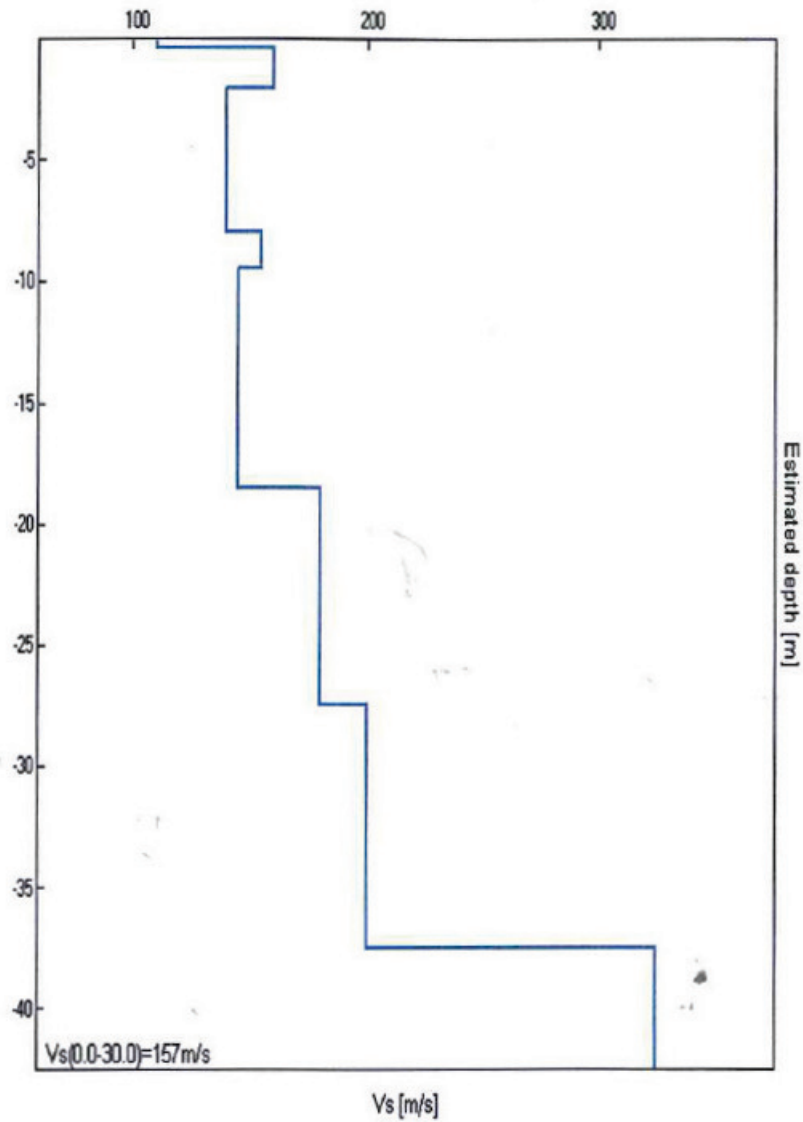
VS30= 192 m/s



Indagine MASW. Sismogramma, spettro di velocità e modello di dispersione calcolato



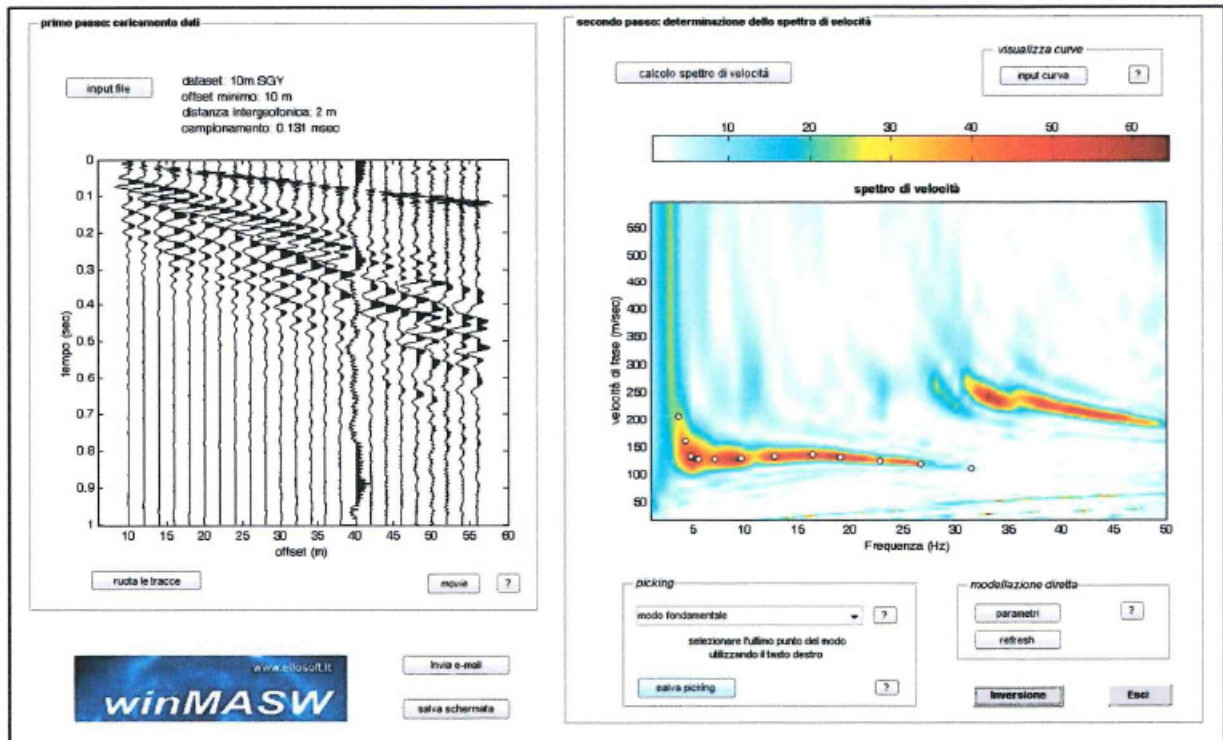
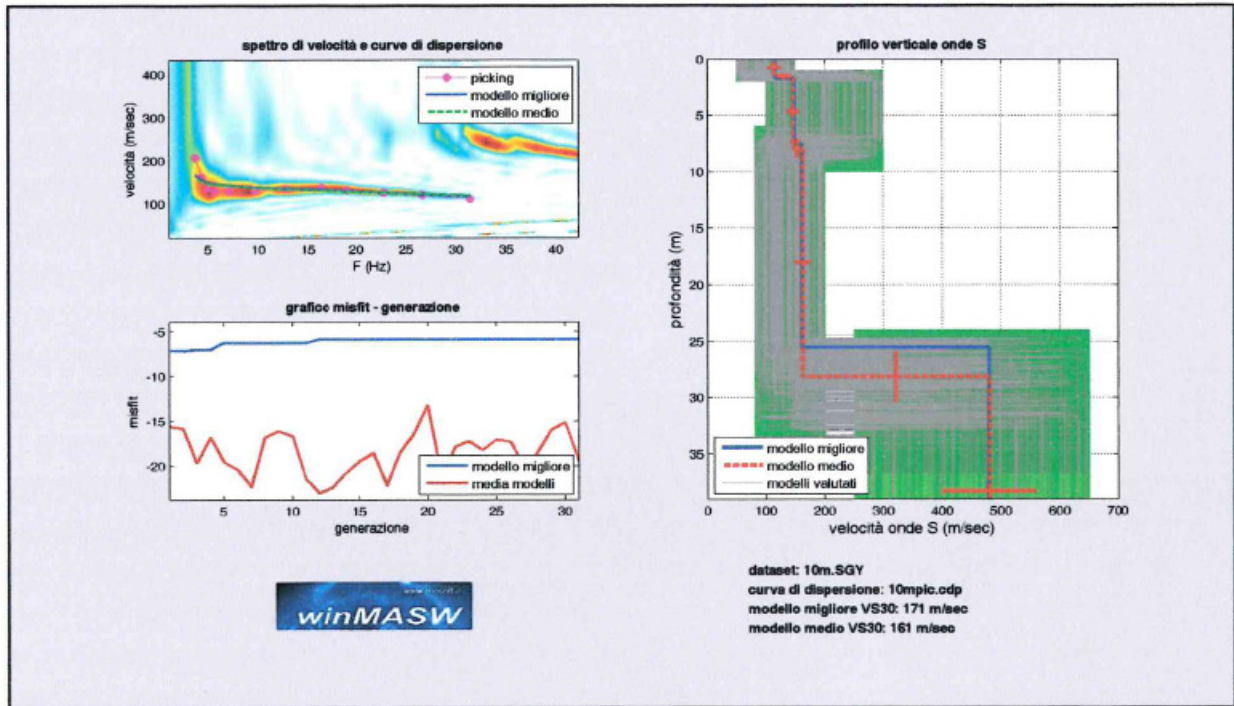
Indagine MASW. Profilo verticale delle Vs.



Indagine MASW. Profilo verticale delle Vs.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.40	0.40	110
2.00	1.60	160
8.00	6.00	140
9.50	1.50	155
18.50	9.00	145
27.50	9.00	180
37.50	10.00	200
inf.	inf.	325

$V_s(0.0-30.0) = 157 \text{ m/s}$   
 $V_s(1.0-31.0) = 159 \text{ m/s}$ ;  $V_s(2.0-32.0) = 160 \text{ m/s}$ ;

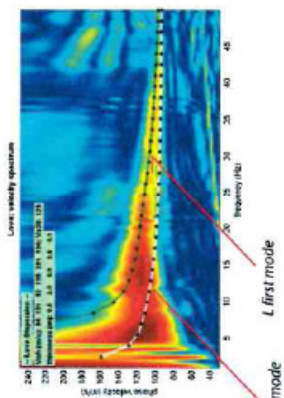


SEISMIC LINE LOCATION

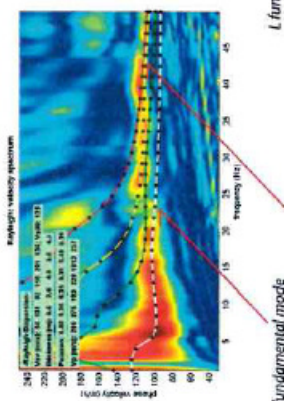


★ shot position ● geophones ● CPT

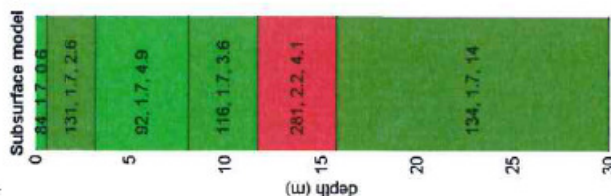
RAYLEIGH VELOCITY SPECTRUM



SEISMIC TRACES



dispersion curves of user-defined model



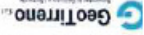
SEISMIC LINE

Seismic line: 12 channel  
 Geophones offset: 2.0 m  
 Minimum offset: 5.0 m  
 Geophones: vertical 4.5 Hz (Rayleigh Waves);  
 horizontal 10 Hz (Love Waves)

SUBSURFACE MODEL

Vsh (m/s): 84 131 92 116 281 134  
 Thickness (m): 0.6 2.6 4.9 3.6 4.1  
 Density (gr/cm3): 1.67 1.74 1.66 1.69 2.20 1.73  
 Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 12 30 14 23 174 31  
 VS30 (m/s): 129

Table 1


<p>Analysis of Rayleigh Wave Dispersion</p>
<p>Loc. Alberaccio, San Giuliano Terme (PI)</p>



LINEA SISMICA M.A.S.W. LOC. CANOVA  
GROUND PROFILES Vp-Vs OFFSET G01 SHOT N. 3

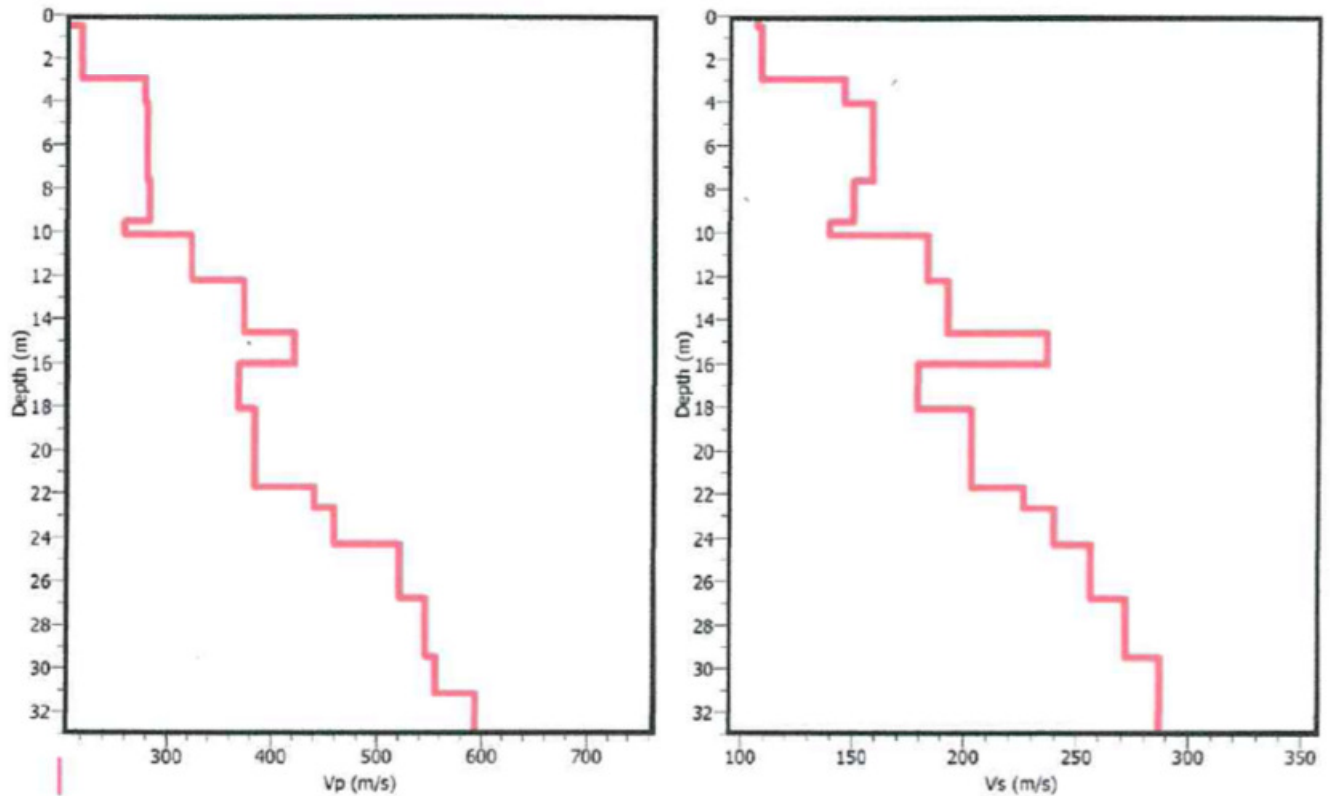


Fig. 6 – Profilo della velocità Vs nel sottosuolo (Shot n. 3 site G01)

Layer	Thickness (m)	Depth (m)	Shot3 G01 Vs30 (m/s)
1	0.5	0.5	108
2	2.5	3.0	110
3	1.0	4.0	146
4	3.6	7.6	159
5	1.9	9.5	150
6	0.7	10.2	140
7	2.0	12.2	184
8	2.4	14.6	193
9	1.4	16.0	236
10	2.0	18.0	179
11	3.7	21.7	203
12	1.0	22.7	226
13	1.6	24.3	239
14	2.5	26.8	256
15	2.7	29.5	272
16	0.5	30.0	286

**$V_{s30} = 181 \text{ m/s}$**

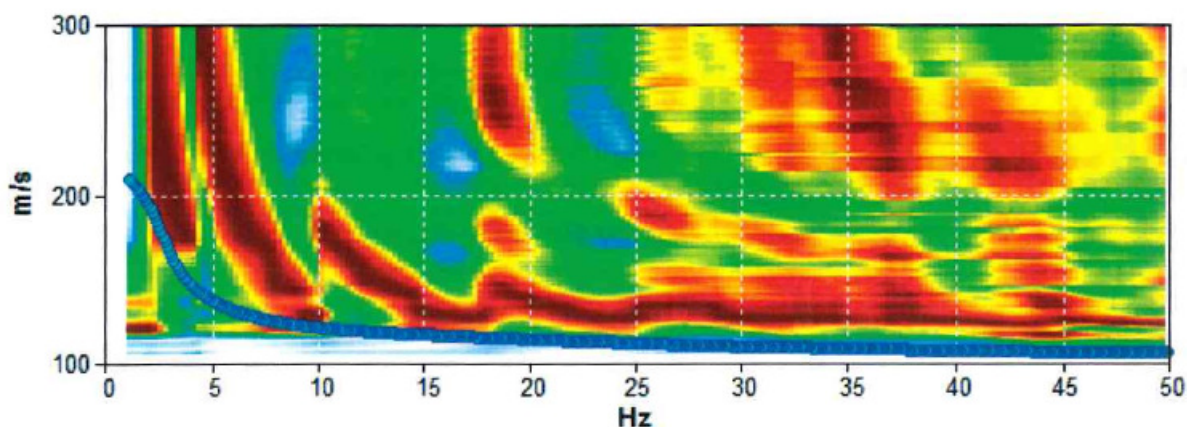
## INDAGINE MASW

Inizio registrazione: 17/08/11 15:40:06 Fine registrazione: 17/08/11 15:54:07  
 Durata registrazione: 0h04'40". Analizzato 93% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 512 Hz

Nomi canali: B1 ; B2 ; B3 ; B4 ; B5 ; B6 ; B7 ; B8 ;  
 B9 ; B10 ; B11 ; B12

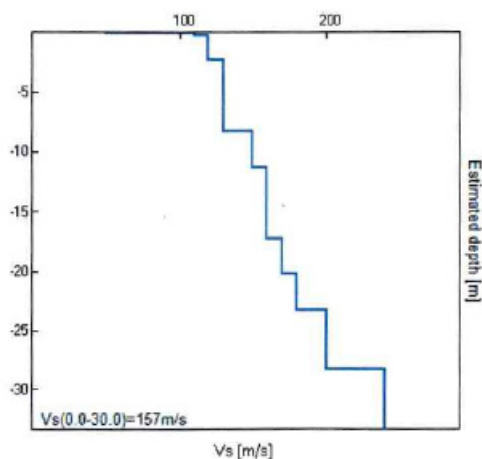
Array geometry (x): 0.0 1.0 3.0 5.0 9.0 11.0 15.0 17.0 21.0 27.0 29.0 35.0 m.

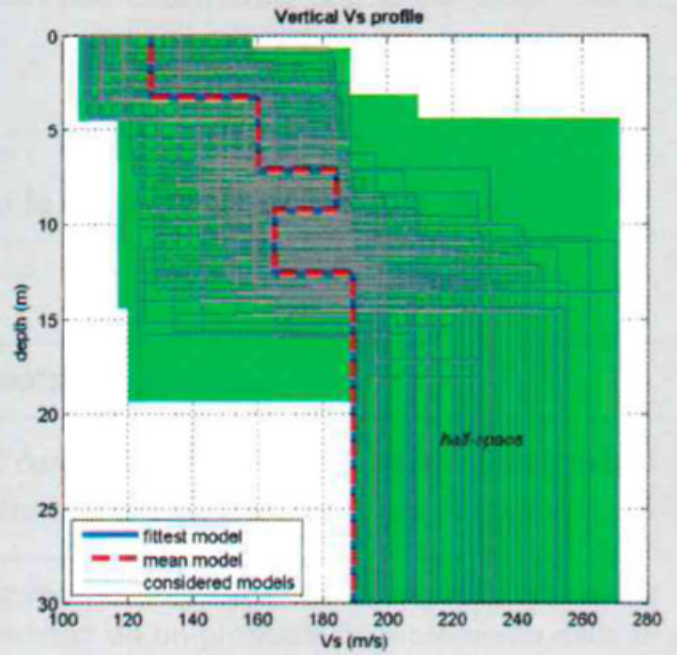
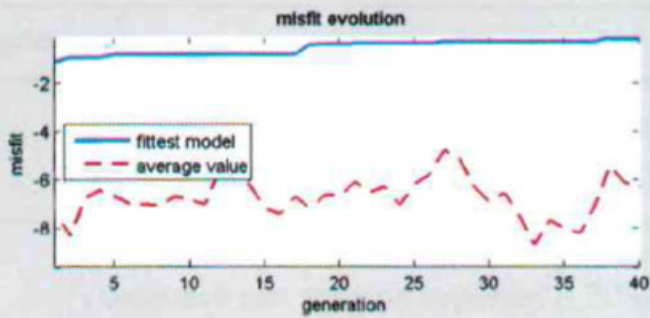
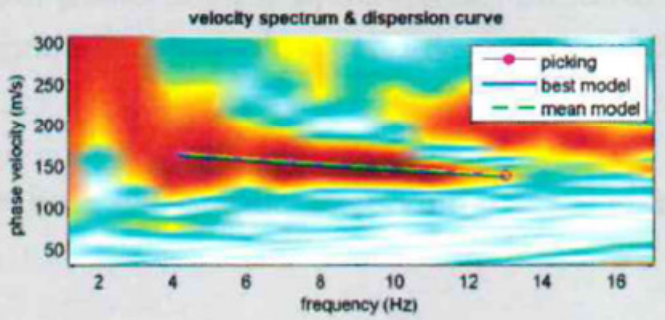
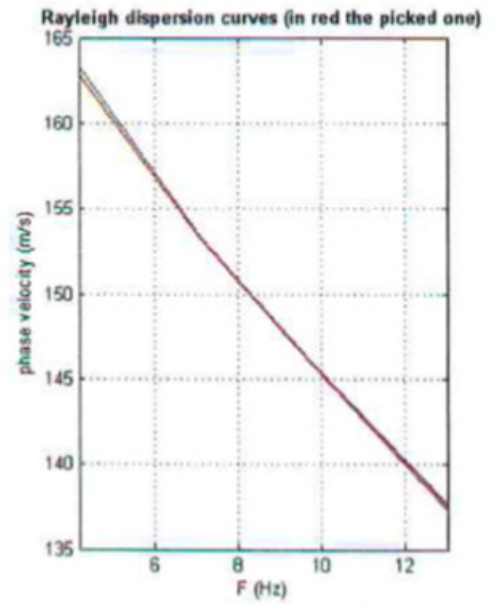
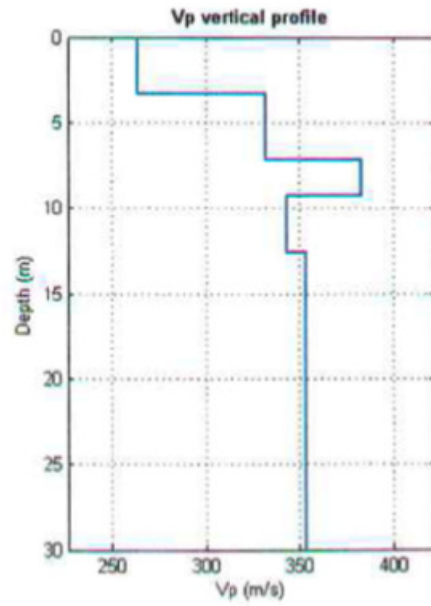
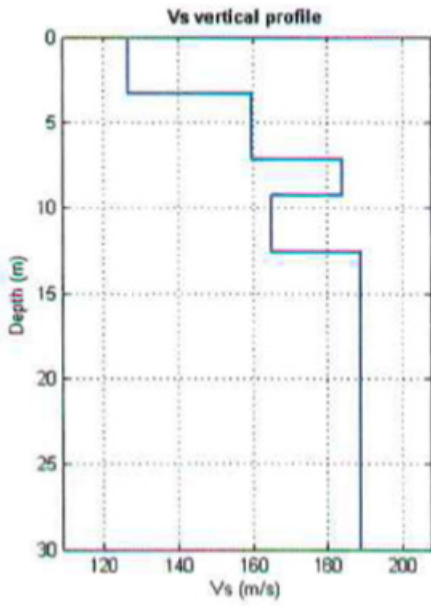
## MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



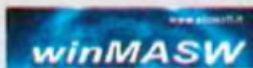
Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.10	0.10	50	0.35
0.30	0.20	110	0.35
2.30	2.00	120	0.35
8.30	6.00	130	0.35
11.30	3.00	150	0.35
17.30	6.00	160	0.35
20.30	3.00	170	0.35
23.30	3.00	180	0.35
28.30	5.00	200	0.35
inf.	inf.	240	0.35

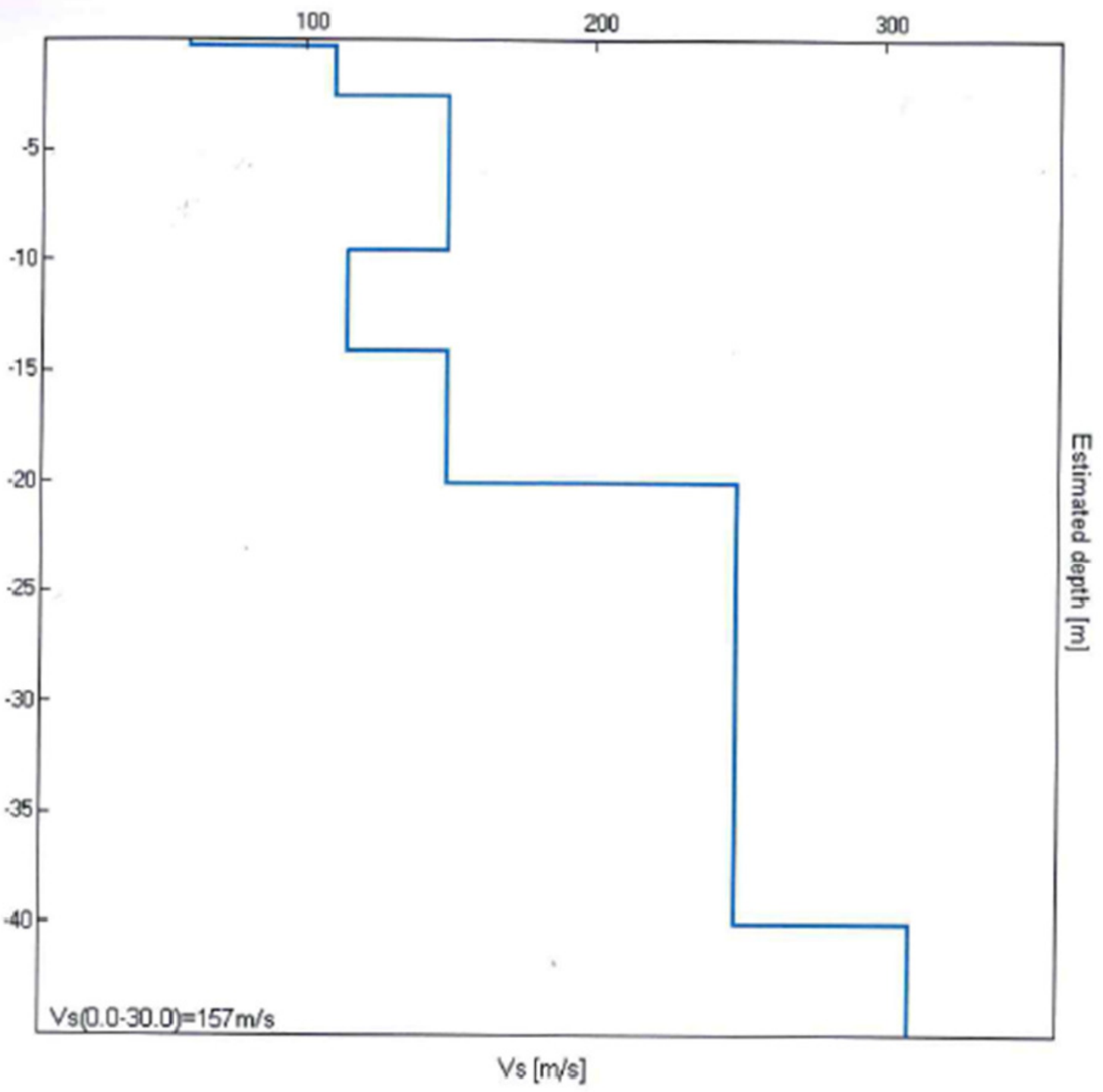
Vs(0.0-30.0)=157m/s





dataset: 2\_M\_ASW\_m\_122010.sg2  
 dispersion curve: gello2b.cdp  
 VS30 (best model): 173 m/s  
 VS30 (mean model): 173 m/s





**Indagine MASW. Profilo verticale delle Vs.**

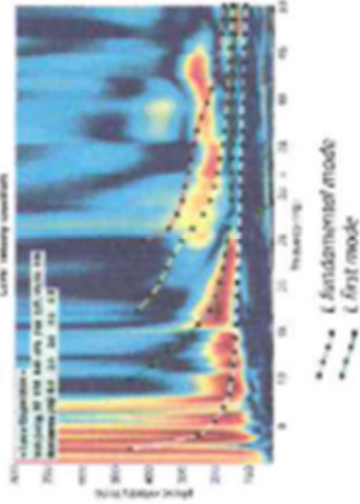
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.30	0.30	60
2.60	2.30	110
9.60	7.00	150
14.10	4.50	115
20.10	6.00	150
40.10	20.00	250
inf.	inf.	310

Vs(0.0-30.0)= 157m/s  
 Vs(1.0-31.0)=163m/s; Vs(2.0-32.0)=168m/s

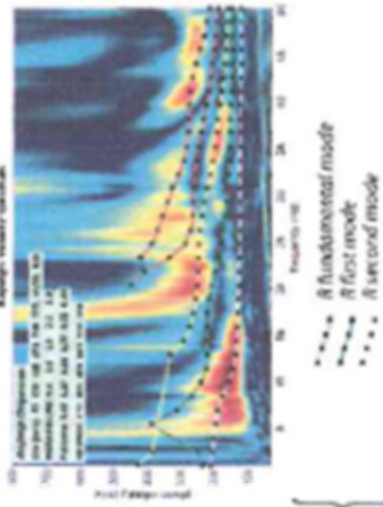
SEISMIC LINE LOCATION



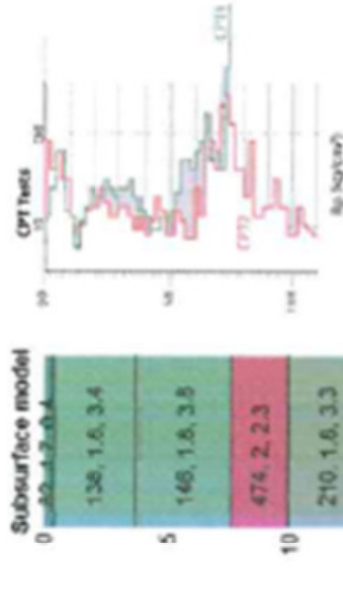
RAYLEIGH VELOCITY SPECTRUM



SEISMIC TRACES



dispersion curves of user-defined model



SEISMIC LINE

Seismic line: 12 channel  
 Geophones offset: 5.0 m  
 Minimum offset: 5.0 m  
 Geophones: vertical 4.5 Hz (Rayleigh Waves, vertical-component); horizontal 10 Hz (Love Waves and horizontal-component Rayleigh Waves).  
 Seismic energy source: 8 kg sledge-hammer for Rayleigh Waves; hammer impact on horizontal wooden beam for Love Waves.

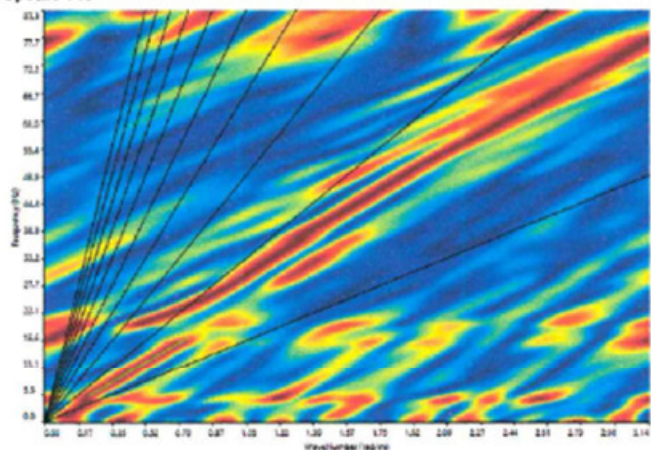
SUBSURFACE MODEL

Vsh (m/s): 82 138 146 474 210 225  
 Thickness (m): 0.4 3.4 3.8 2.3 3.3  
 Density (gr/cm3): 1.69 1.77 1.77 2.02 1.84 1.91  
 Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 11 34 38 454 81 96

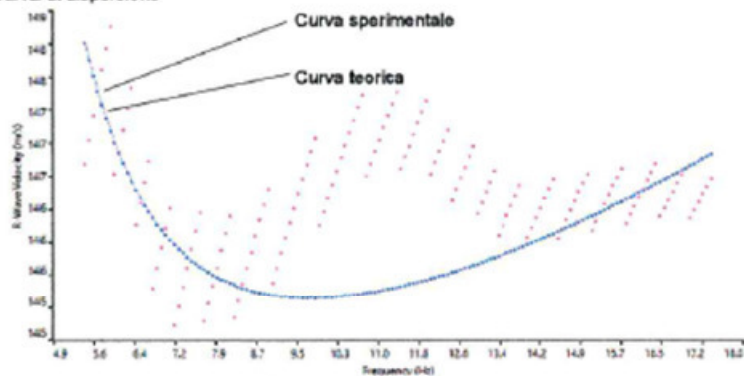
Vs30 (m/s): 199

Table 1

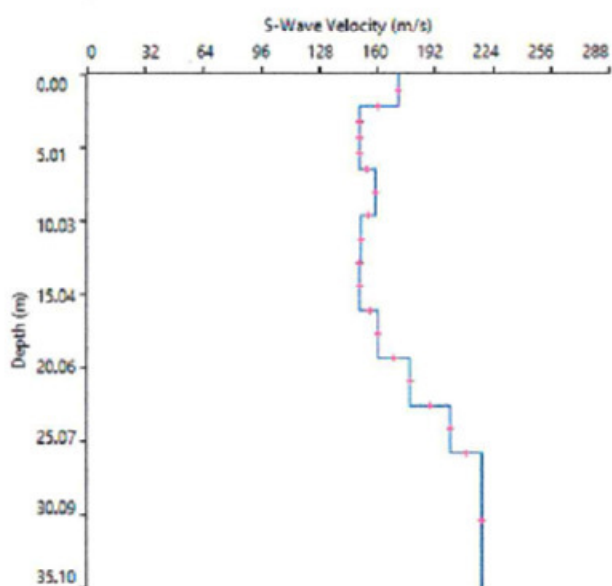
Spettro FK



Curva di dispersione

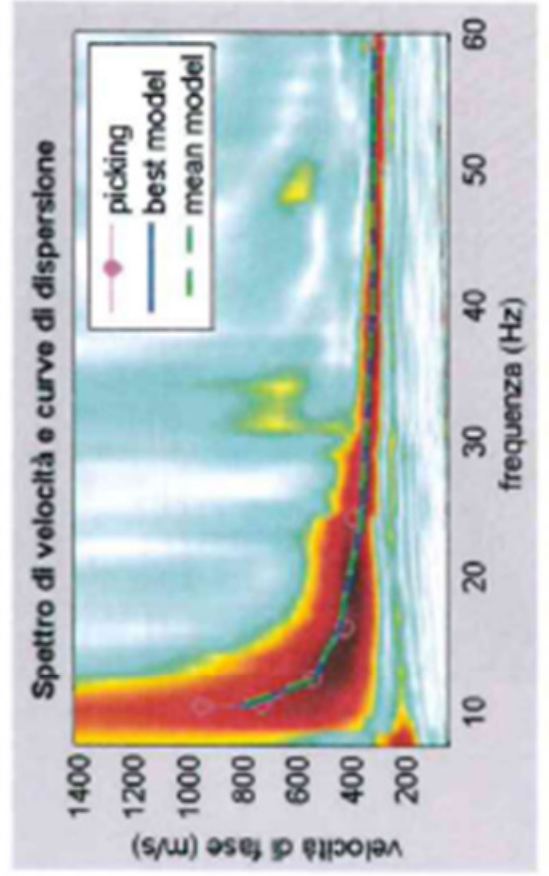
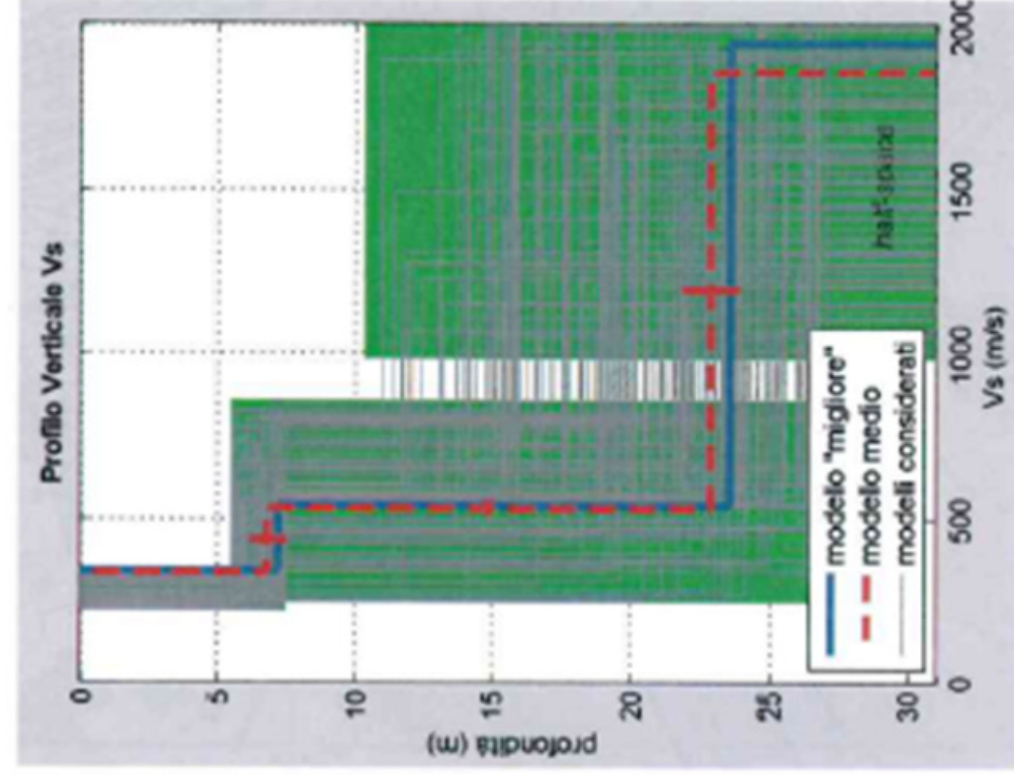
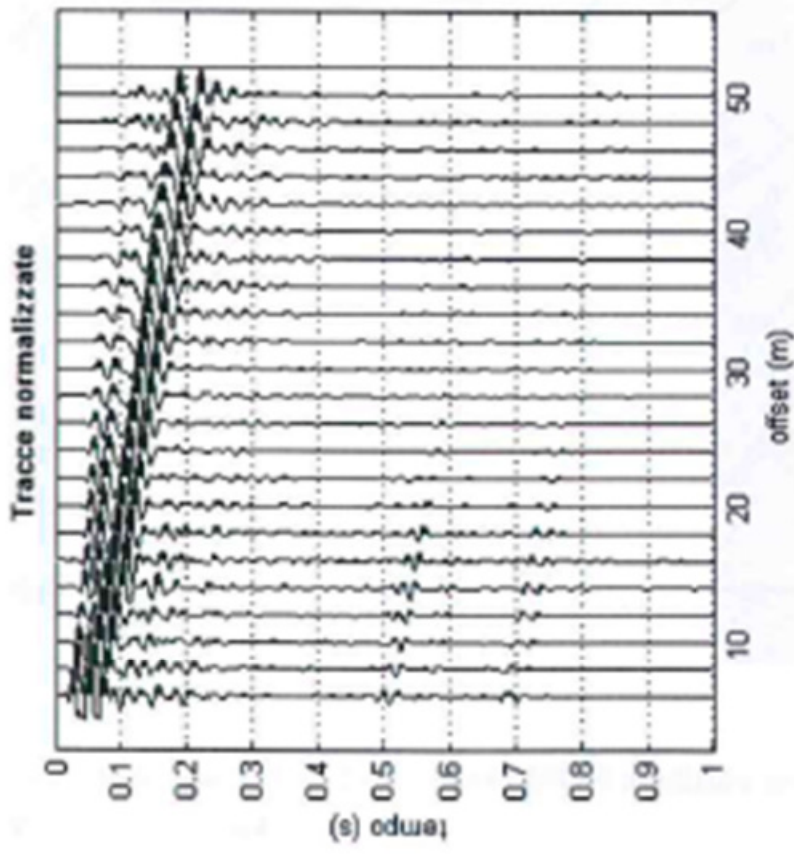


Profilo Vs - profondità

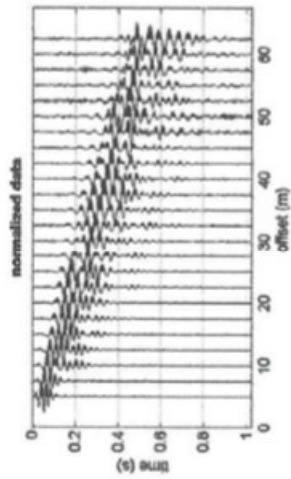
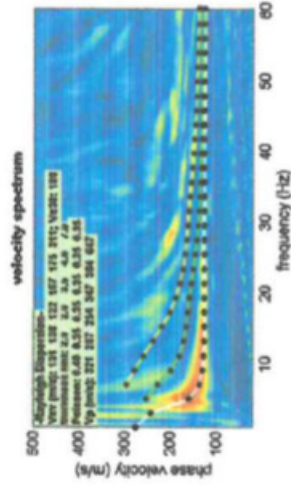
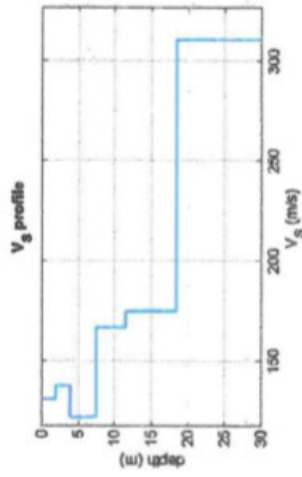


	Thickness	Depth	Vs
Layer 1	2.16	0.00	172
Layer 2	2.16	2.16	150
Layer 3	2.16	4.31	150
Layer 4	3.19	6.47	159
Layer 5	3.23	9.65	151
Layer 6	3.23	12.89	150
Layer 7	3.23	16.12	161
Layer 8	3.23	19.35	178
Layer 9	3.23	22.59	200
Layer 10	INF	25.82	218

Vs30= 169 m/s



	Spessore (m)	Profondità interfaccia (m)	Velocità onde S (m/s)
sismostrato 1	6,9	6,9	340
sismostrato 2	16,1	23	534
sismostrato 3	inf.	inf.	1.852



PROFONDITA' DELLA BASE DELLO STRATO [m]	SPESORE DELLO STRATO [m]	Vs [m/sec]
2.0	2.0	131
4.0	2.0	138
7.5	3.5	122
11.5	4.0	167
18.5	7.0	175
		311

MEAN MODEL

Approximative values for Vp, density, Shear modulus

Vp (m/s)	321	287	254	347	364	647
Density (gr/cm3)	1.78	1.75	1.72	1.80	1.81	1.95
Shear modulus (MPa)	31	33	26	50	55	188

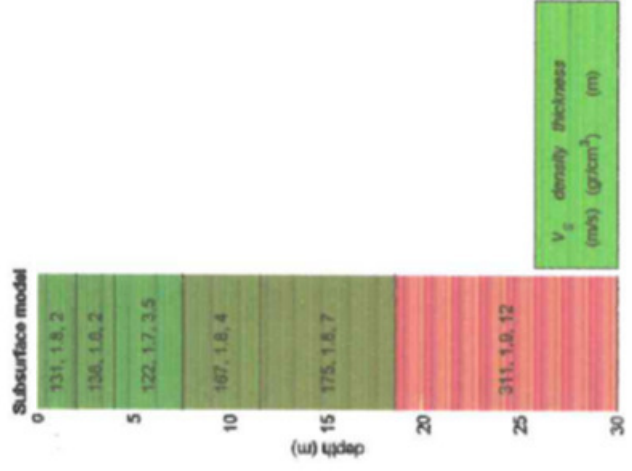
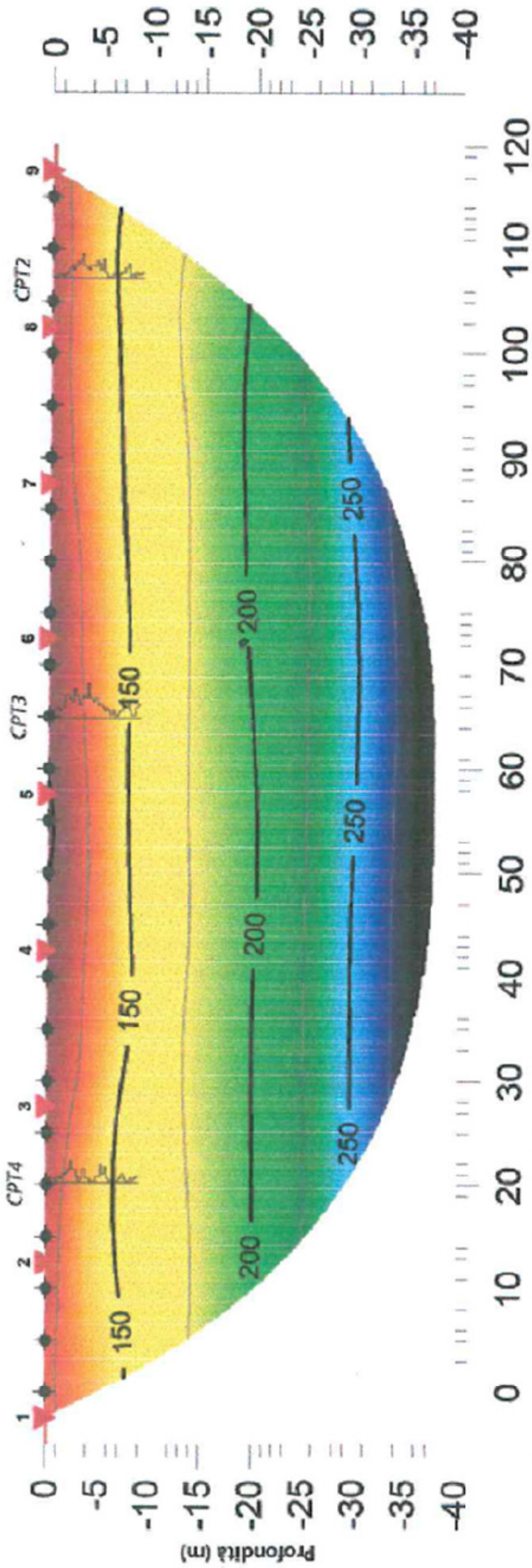


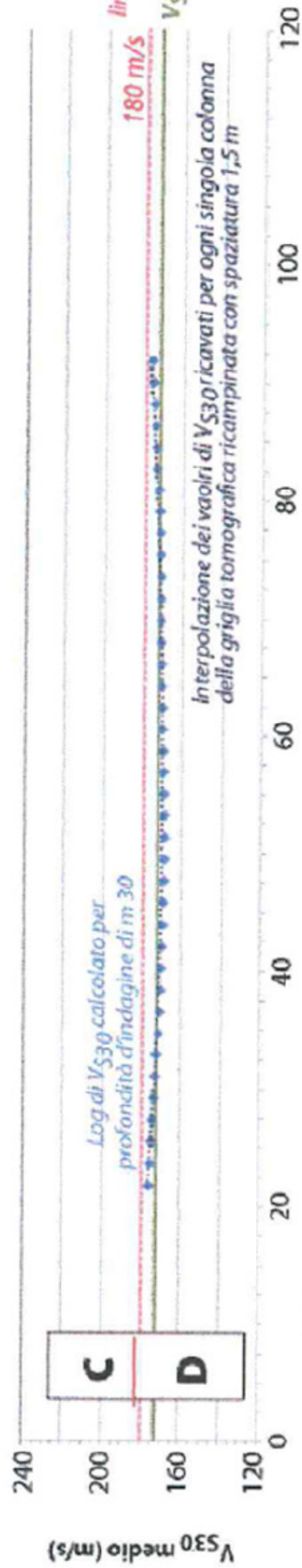
Fig. 2



# RIFRAZIONE TOMOGRAFICA IN ONDE DI TAGLIO



## LOG VS30



Campionamento

frequenza: 125  $\mu$ s  
durata: 750 ms

Software

acquisizione: Vscope 3.57

Strumentazione: DAQlink III

Geofoni: 24

Passo: 5.00 m

Coordinate: 436 6 m

Indagini geologico-tecniche di supporto alla demolizione di edificio e ricostruzione di edificio bifamiliare in Via Mattocci a Celso - San Giuliano Terme (PT)

Studio Associato C.R.A. - Geologia, Ecologia, Ambiente  
Dot. Geol. Alessandra Busconi - Dot. Geol. Roberto Balzani  
Via della Rocca, 45 - 50139 Vercellina (PT)

INDAGINI SISMICHE

Vs 30

F1



Fig. 2 – Sismogramma shot n.1 offset G24

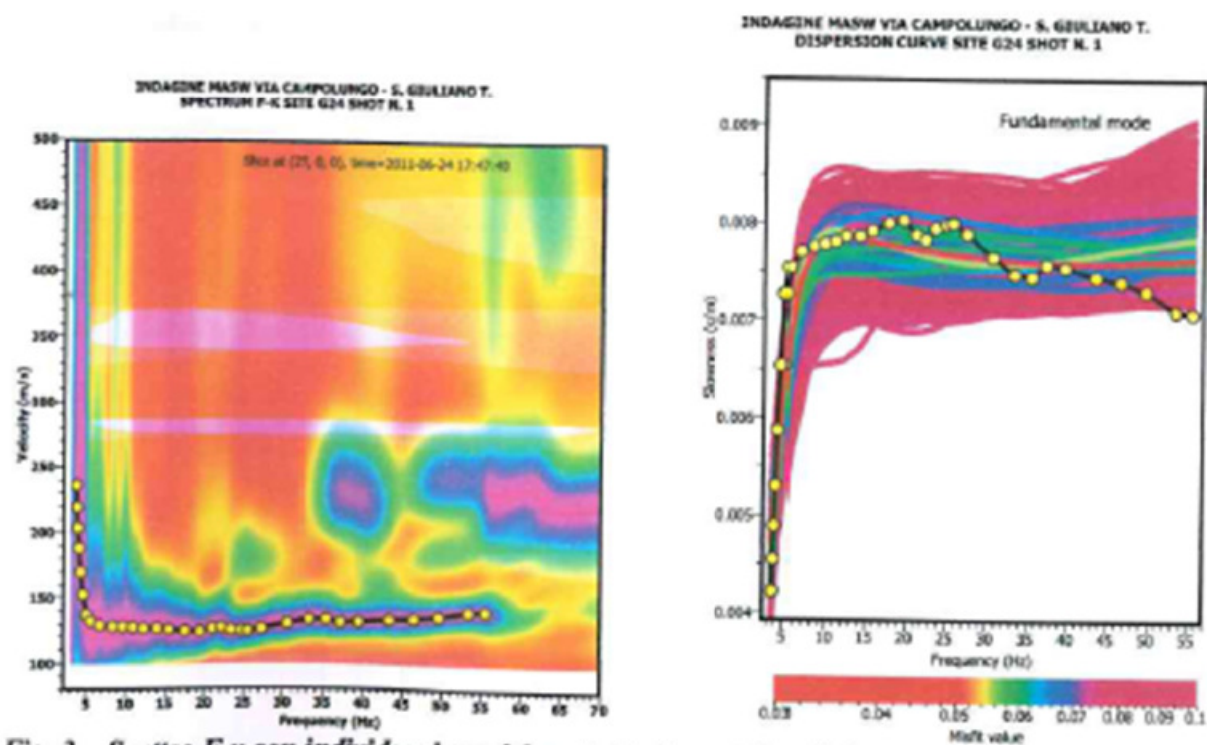
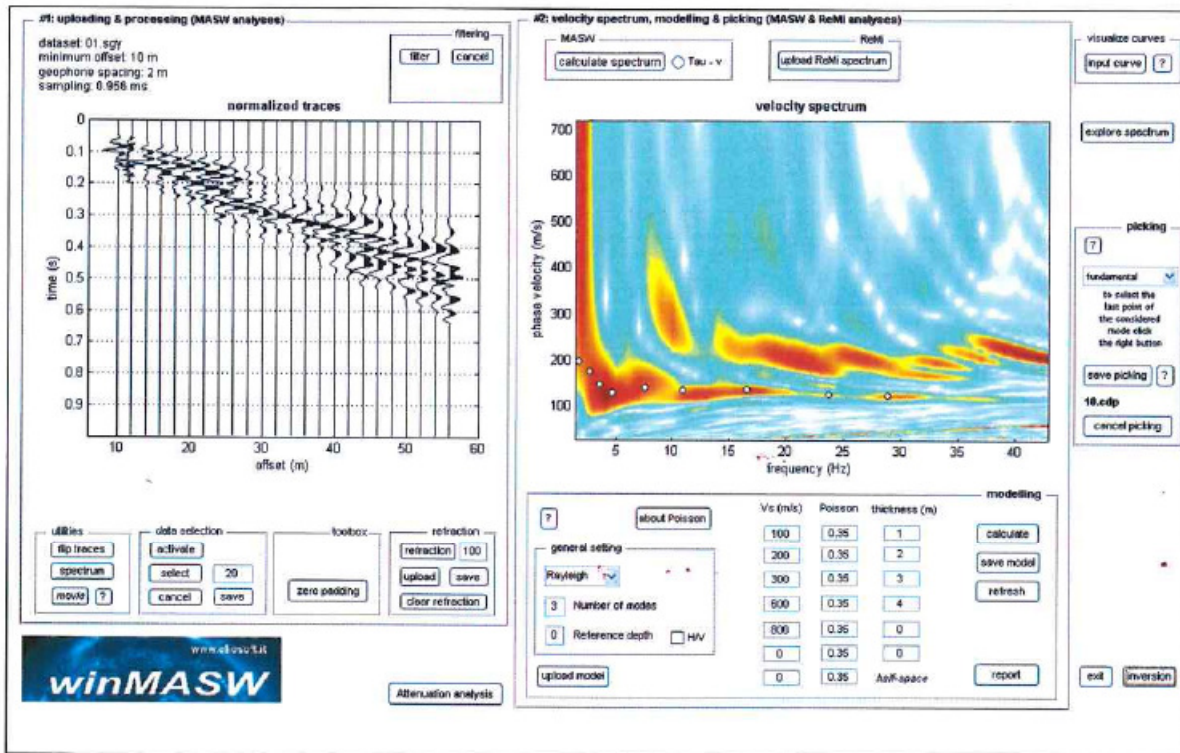


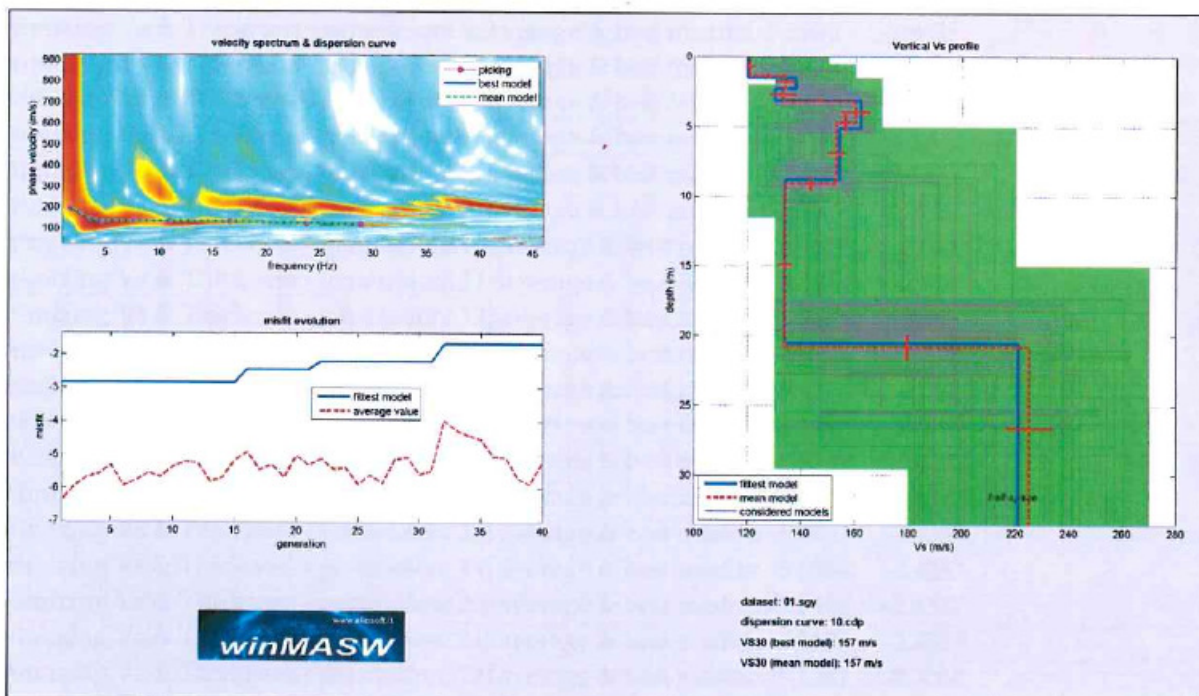
Fig. 3 – Spettro F-v con individuazione del modo fondamentale e fitting tra curve di dispersione sperimentale e teorica (Shot n. 1 site G24)

$V_{s30} = 179 \text{ m/s}$

**GRAFICI INDAGINE SISMICA MASW**



Common-shot gather e spettro di velocità



Risultato inversione

<p>COMUNE DI SAN GIULIANO TERME (PI) LOCALITÀ "CAMPO"</p> <p>ADEGUAMENTO SISMICO DI EDIFICIO PER CIVILE ABITAZIONE IN MURATURA</p> <p>PROSPERZIONI GEOFISICHE RELAZIONE SULLE INDAGINI</p>	
--	--

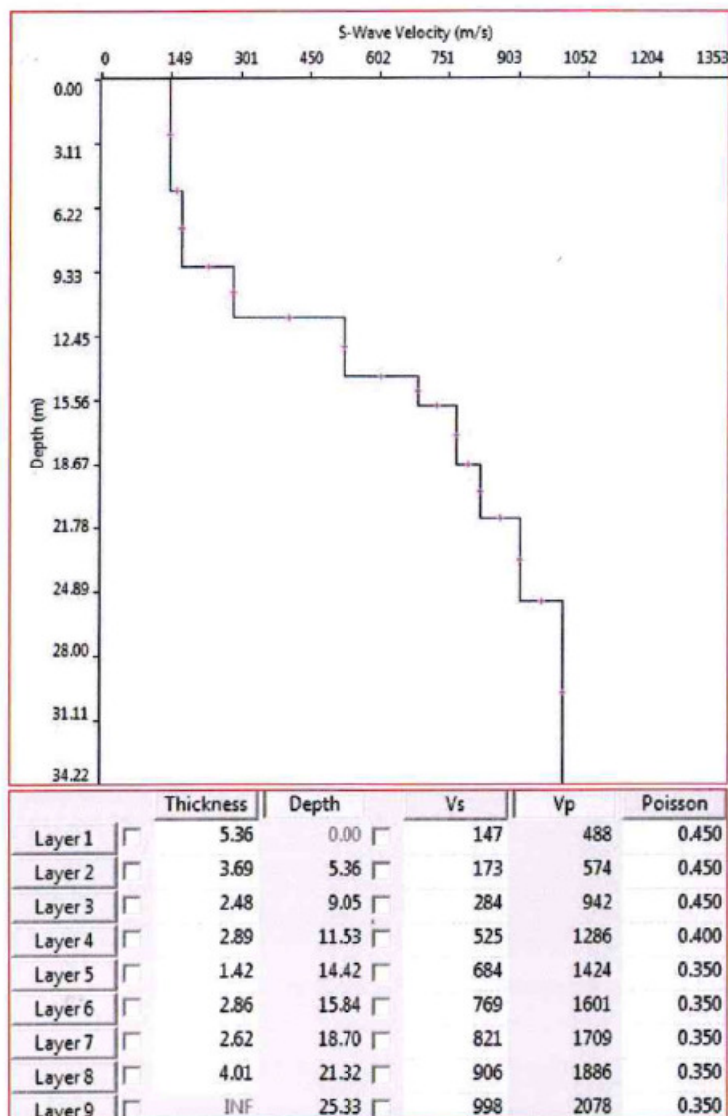
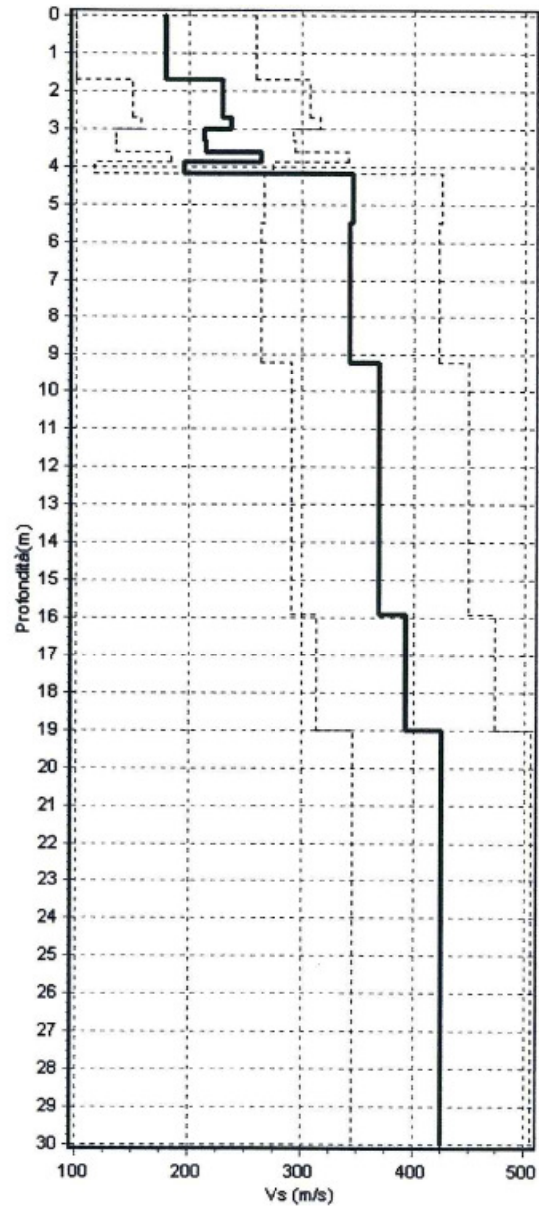


Figura 8 – Modello Vs del terreno ottenuto.

In particolare sono stati individuati 9 sismostrati caratterizzati da un progressivo aumento delle velocità sismiche con la profondità e di conseguenza da un miglioramento delle caratteristiche elastomeccaniche dei terreni. In base al modello ottenuto ed ipotizzando la presenza dell'ultimo sismostrato sino a 30 metri di profondità, il parametro **Vs30** calcolato risulta pari a **333 m/s** e pertanto secondo l'attuale normativa antisismica (*D.M. 14/01/2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni*), il suolo investigato ricade nella **categoria C** ("Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s").

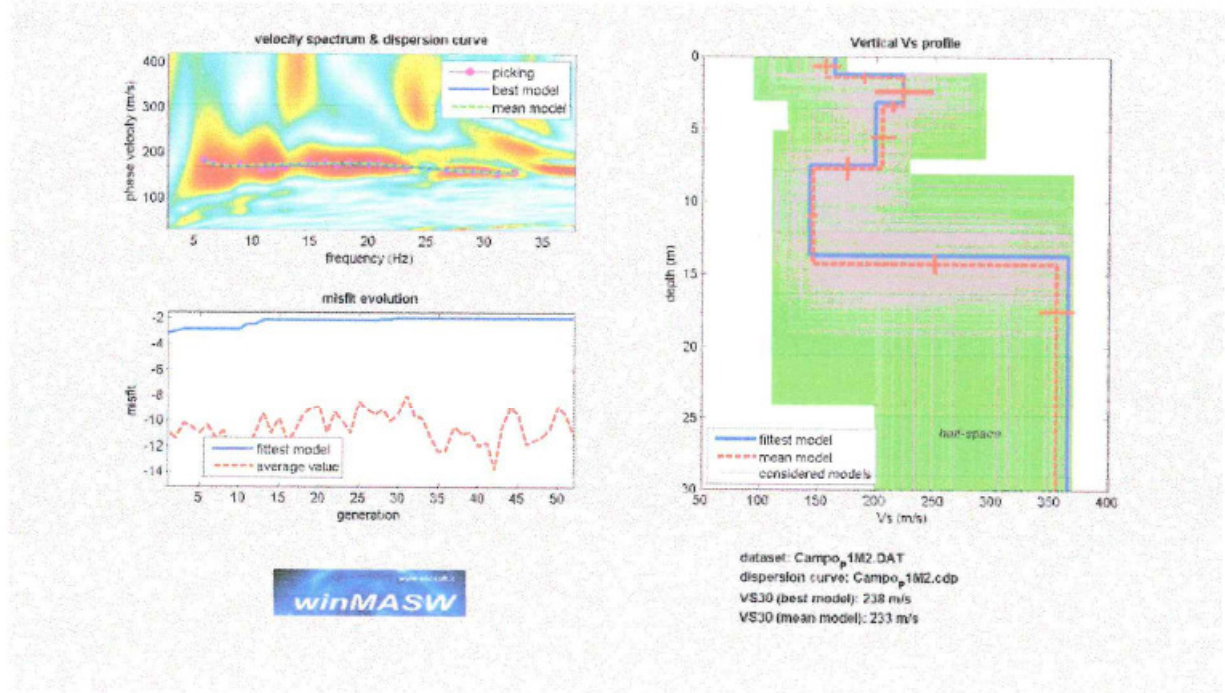


— Vs media    - - Vs min    ··· Vs max

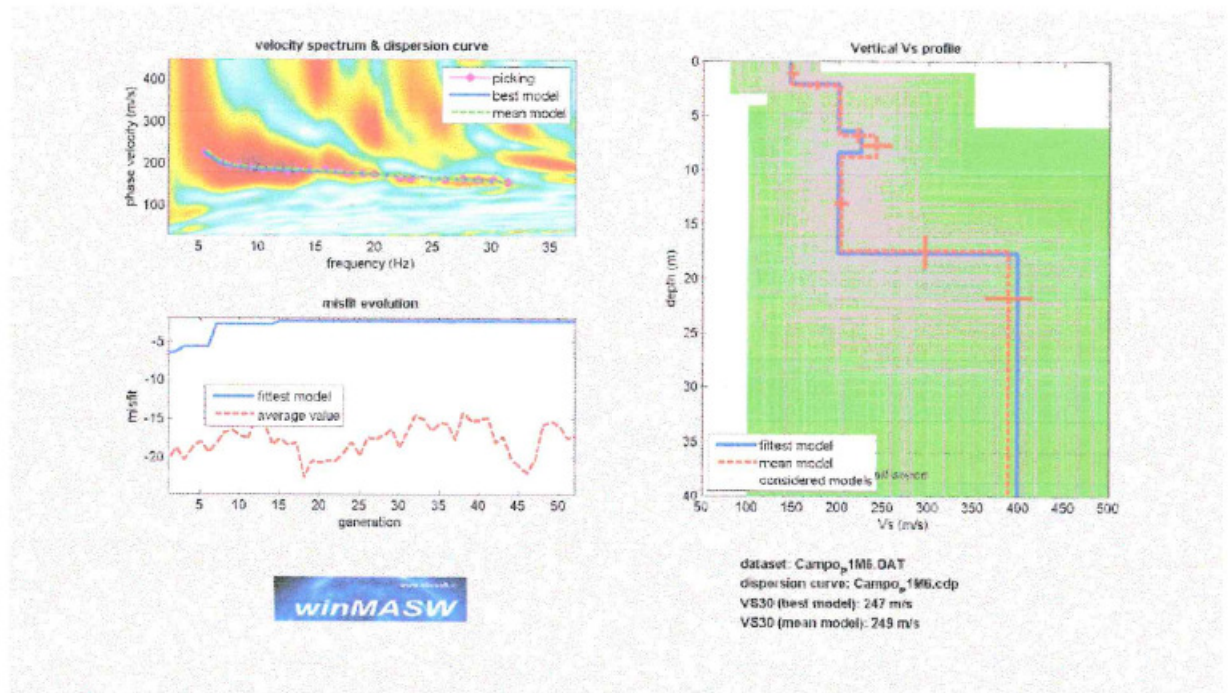
Classe sito: C - Vs30 (m/s) = 261,9

## Allegato n.3 – Grafici e Tabelle Analisi MASW

### Profilo n° 1 - Tiro P1M2 (posto a 0.75m dal geofono n.1)



### Profilo n° 1 - Tiro P1M6 (posto a 0.75m dal geofono n.24)



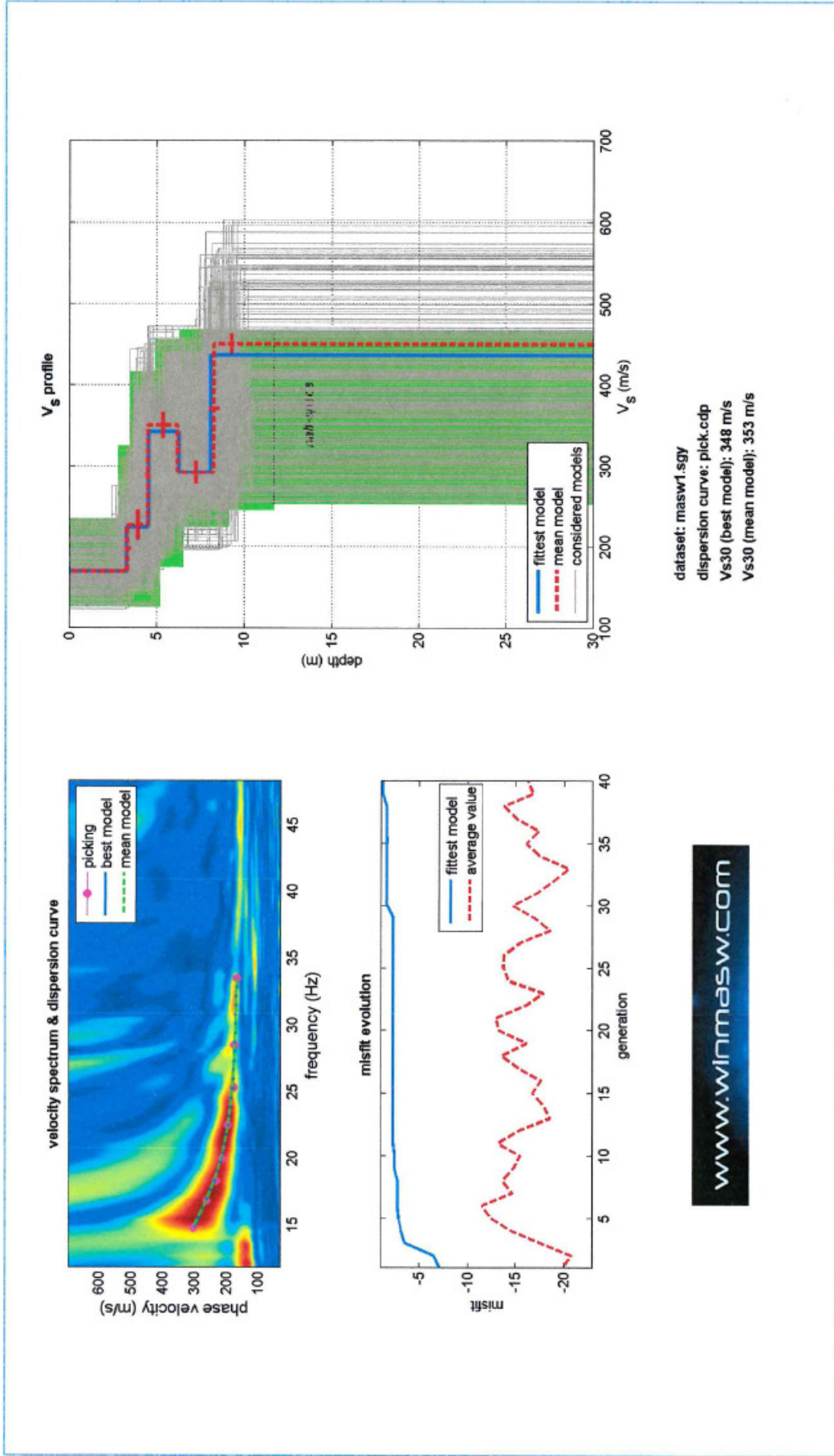
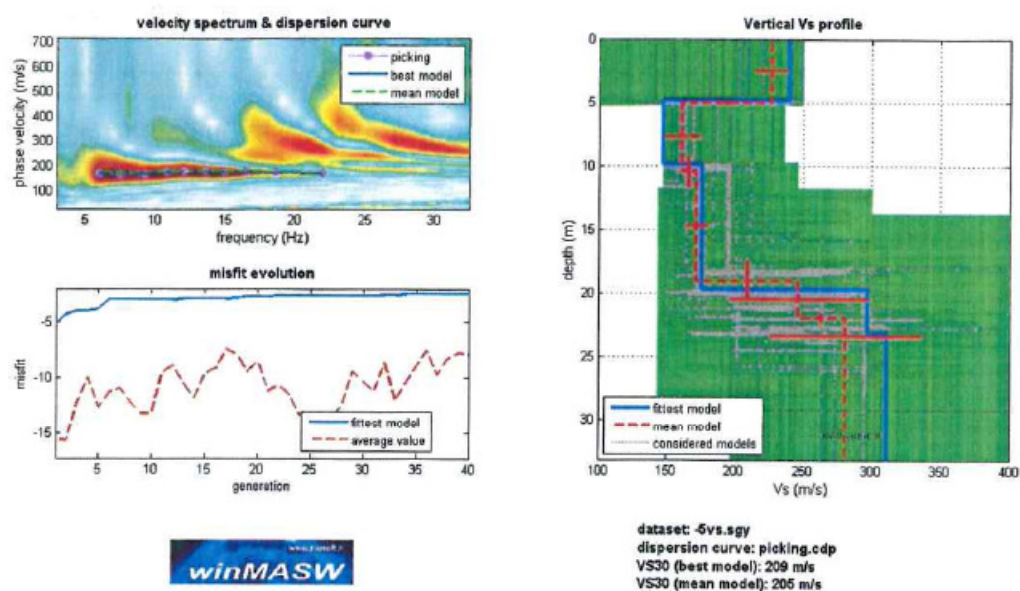


Figura 5: Indagine MASW: spettro osservato, curve di dispersione piccate e curve del modello individuato dall'inversione; profilo verticale Vs identificato; grafico misfit-generazione (off-set 5m su G1)



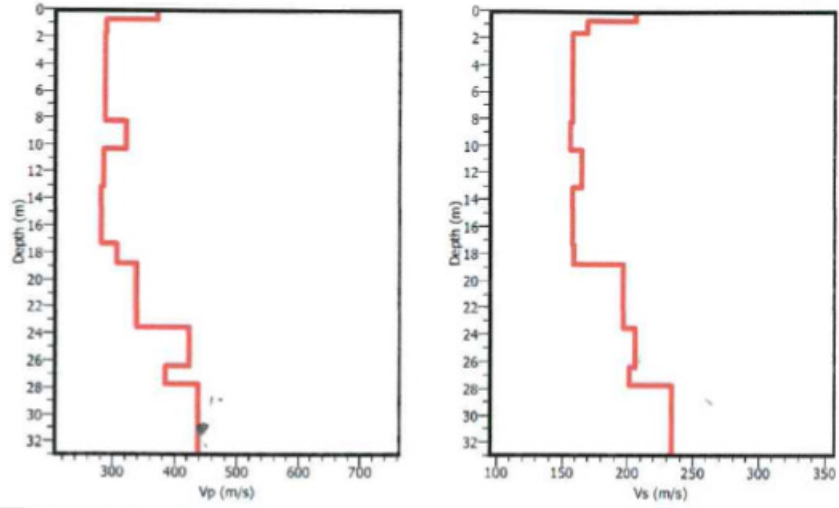
**Fig. 3.** Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati *MASW*. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione "piccate" e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale  $V_s$  identificato. In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli *Algoritmi Genetici* – Dal Moro et al., 2007).



**Fig. 4.** Colonnina sismo-stratigrafica di massima del sito. Per ciascun strato indicate  $V_s$ , densità (stimate) e spessori.

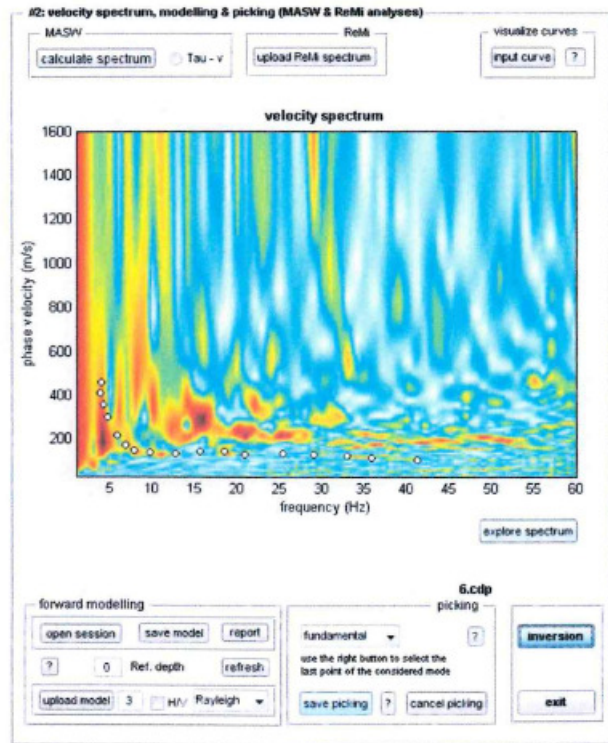
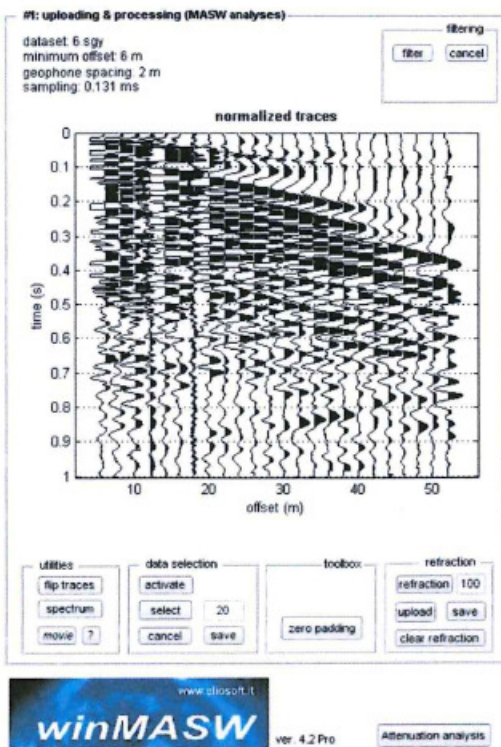
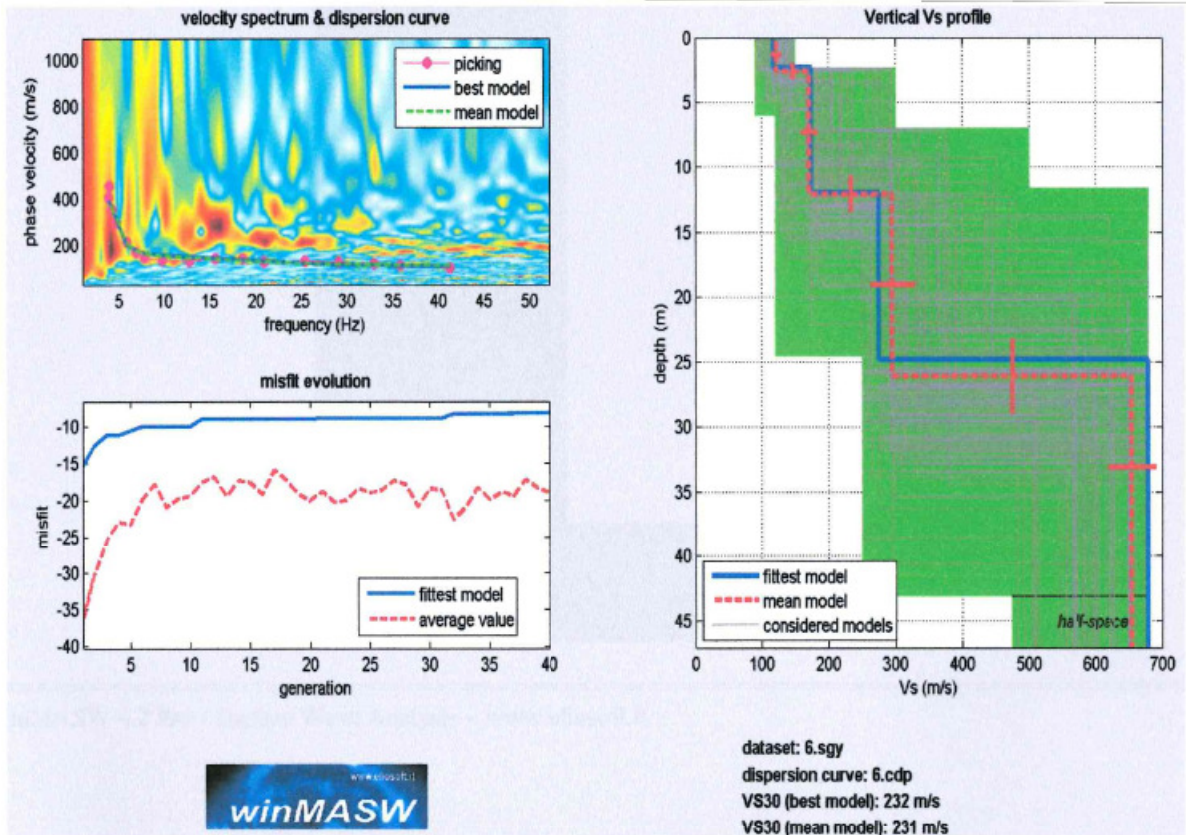


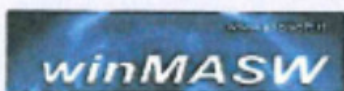
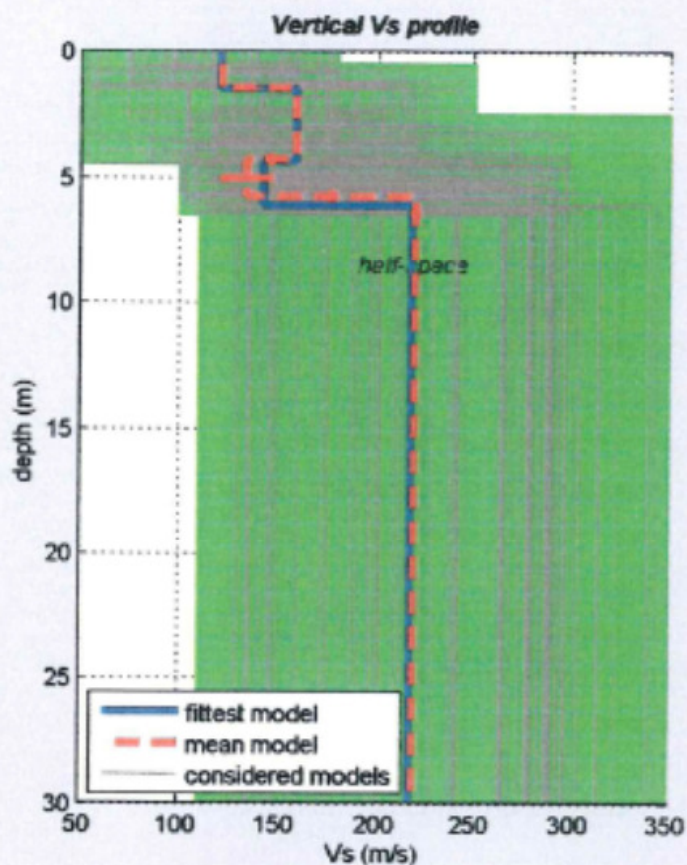
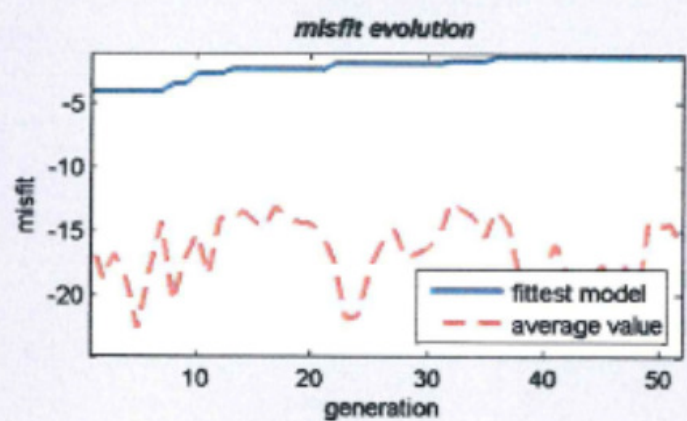
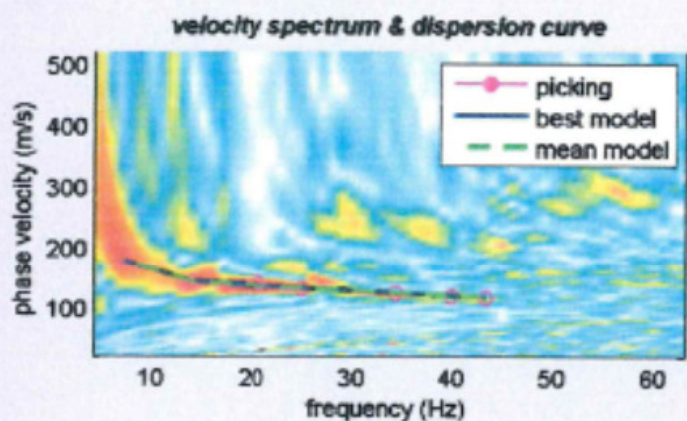
INDAGINE SISMICA M.A.S.W. LOC. CAMPO  
GROUND PROFILES Vp-Vs - SITE G24 SHOT N.5



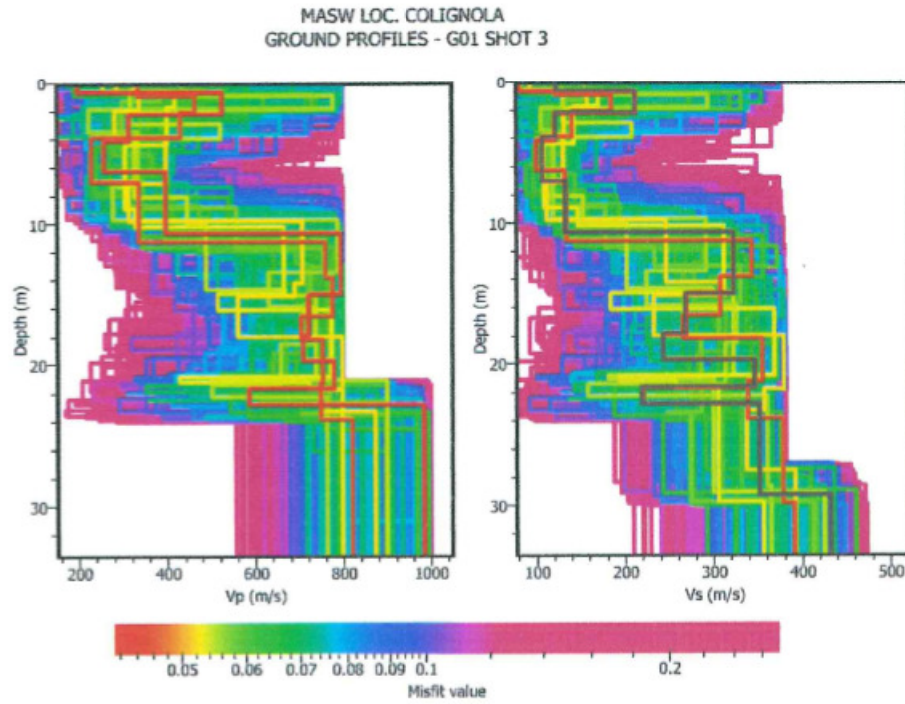
Layer	Thickness (m)	Depth (m)	shot n.5 G24 Vs30 (m/s)
<b>1</b>	0.75	0.75	<b>206</b>
<b>2</b>	0.95	1.70	<b>167</b>
<b>3</b>	6.50	8.20	<b>158</b>
<b>4</b>	2.10	10.30	<b>156</b>
<b>5</b>	2.80	13.10	<b>165</b>
<b>6</b>	5.70	18.80	<b>159</b>
<b>7</b>	4.70	23.50	<b>196</b>
<b>8</b>	2.90	26.40	<b>206</b>
<b>9</b>	1.30	27.70	<b>201</b>
<b>10</b>	2.30	30.0	<b>235</b>

**$V_{s30}=175,4$  m/s**





dataset: 5 m 4 scoppi.sgy  
 dispersion curve: pic 2 5 m.cdp  
 VS30 (best model): 197 m/s  
 VS30 (mean model): 198 m/s



*Fig. 12 – Andamento Vs30 nel sottosuolo (Shot n. 3 site G1)*

Layer	Thickness (m)	Depth (m)	shot 3G01 Vs30 (m/s)
<b>1</b>	0.65	0.65	<b>82</b>
<b>2</b>	1.55	2.20	<b>213</b>
<b>3</b>	2.0	4.20	<b>122</b>
<b>4</b>	2.10	6.30	<b>101</b>
<b>5</b>	4.40	10.70	<b>135</b>
<b>6</b>	4.30	15.0	<b>323</b>
<b>7</b>	2.85	17.85	<b>270</b>
<b>8</b>	1.85	19.70	<b>245</b>
<b>9</b>	1.90	21.60	<b>347</b>
<b>10</b>	1.10	22.70	<b>221</b>
<b>11</b>	6.60	29.30	<b>352</b>
<b>12</b>	0.70	30.0	<b>433</b>

**$V_{s30}=204m/s$**

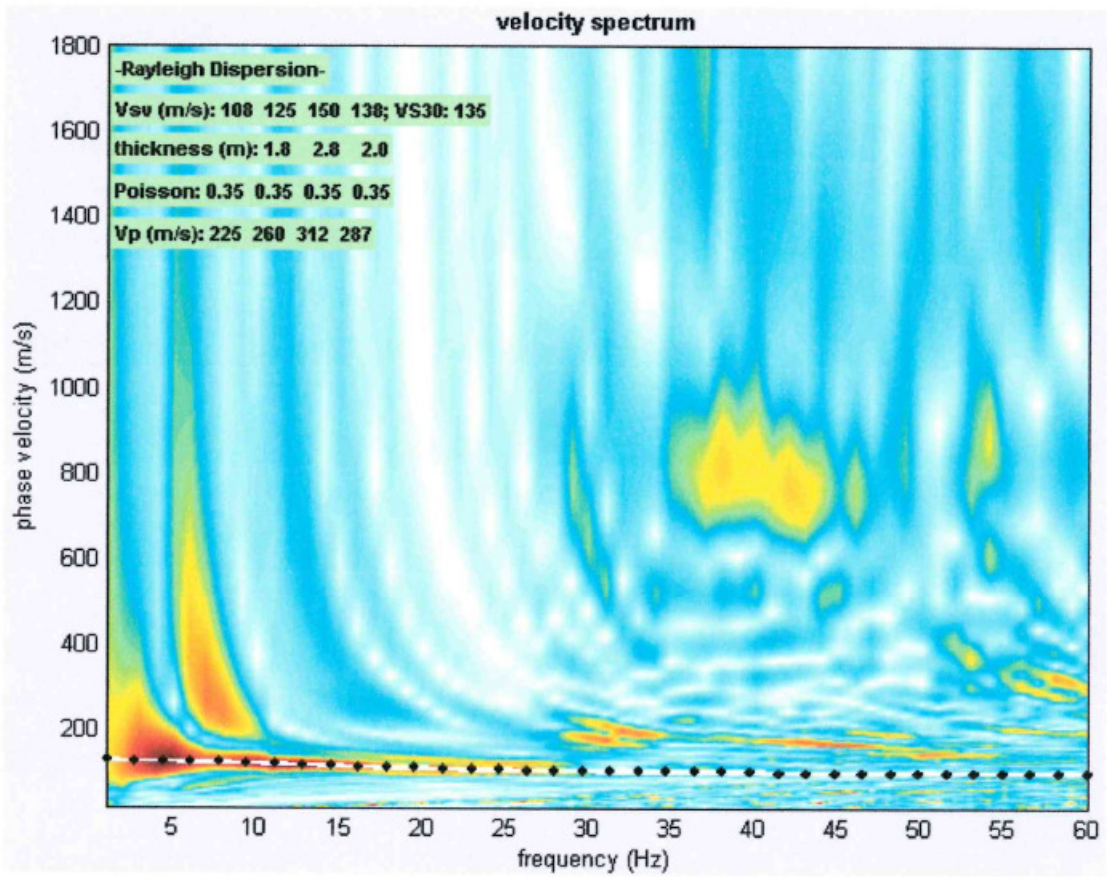
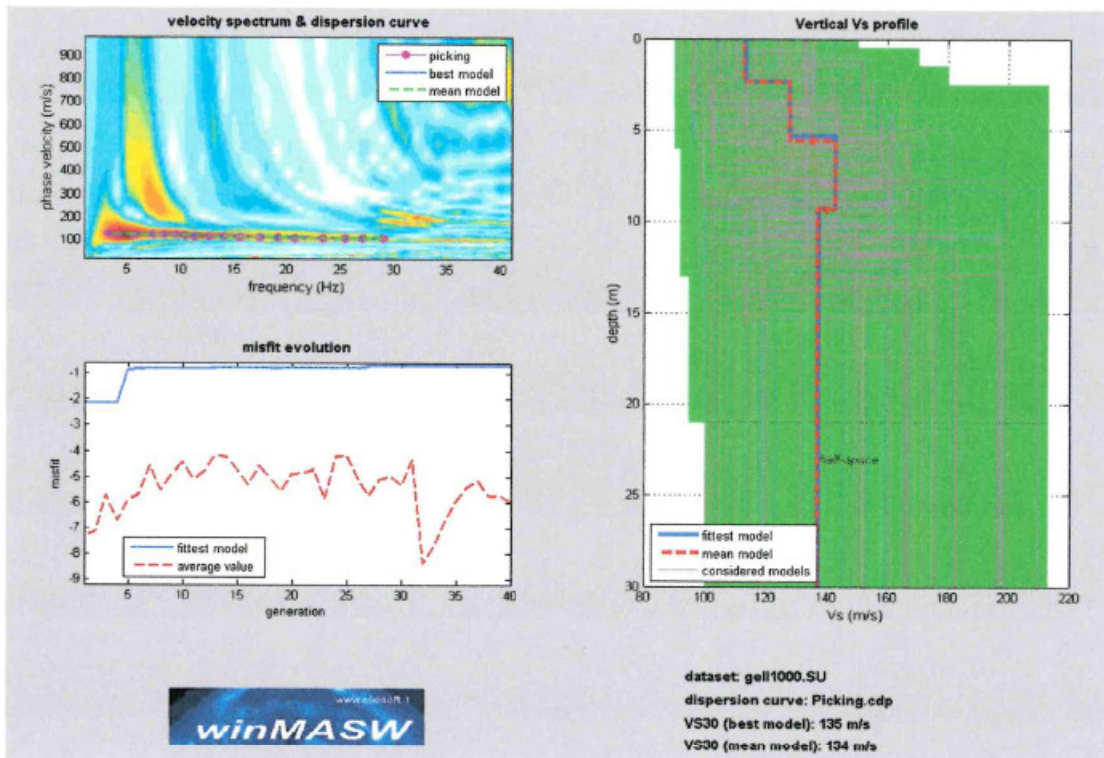


Fig. 13 - Modellazione diretta.

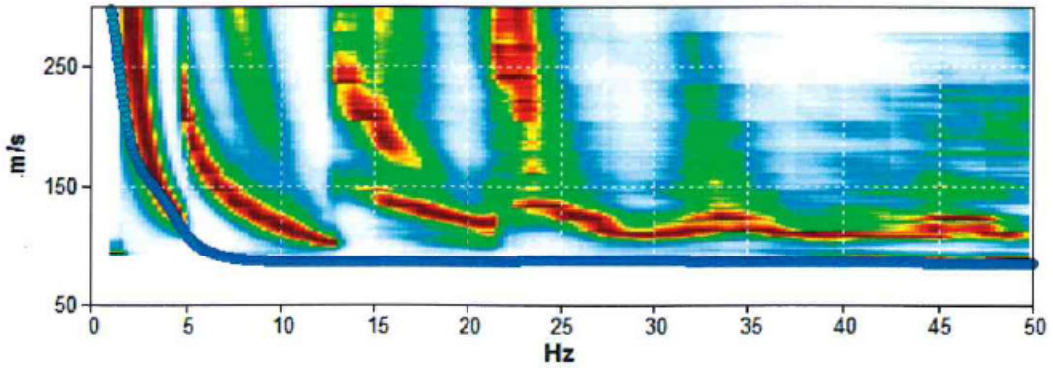


Inizio registrazione: 02/06/11 10:35:57      Fine registrazione: 02/06/11 10:44:22  
 Durata registrazione: 0h02'48"      Analizzato 68% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 512 Hz

Nomi canali:    B1    ; B2    ; B3    ; B4    ; B5    ; B6    ; B7    ; B8    ; B9    ;  
 B10    ; B11    ; B12

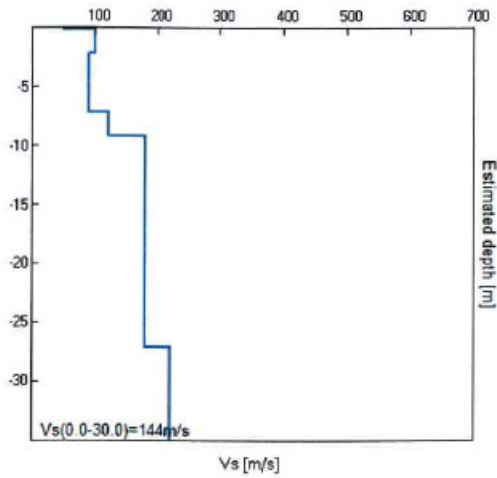
Array geometry (x): 2.0 3.0 5.0 7.0 11.0 13.0 17.0 19.0 23.0 29.0 31.0 37.0 m.

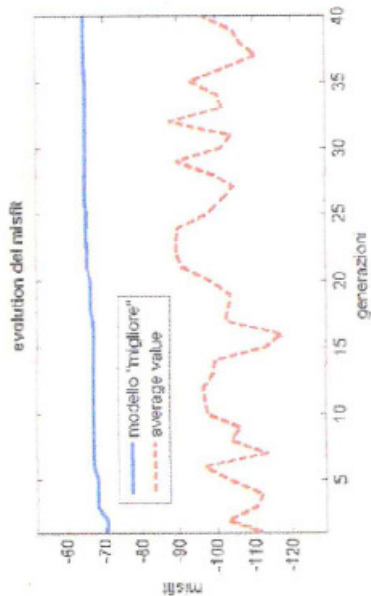
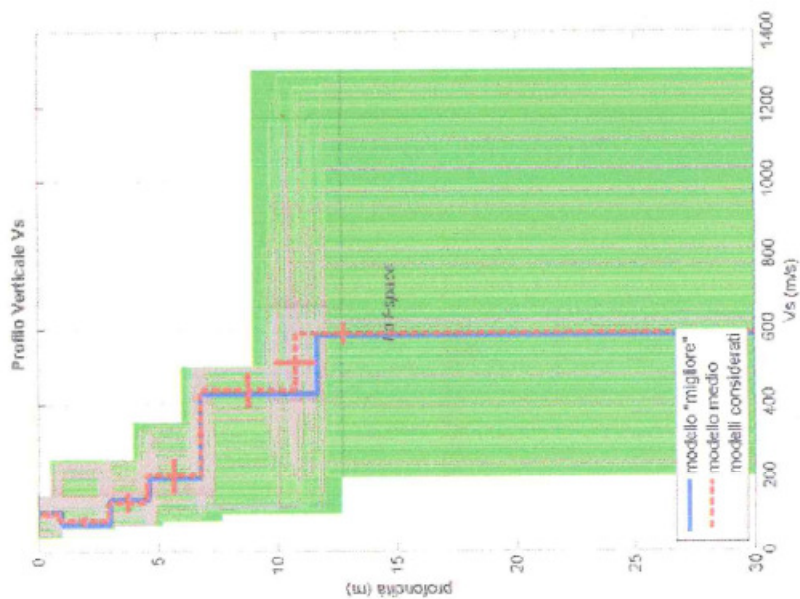
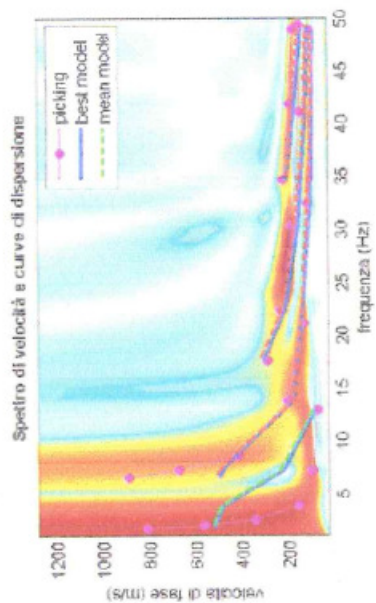
MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.20	0.20	50	0.35
2.20	2.00	100	0.35
7.20	5.00	90	0.35
9.20	2.00	120	0.35
27.20	18.00	180	0.35
54.20	27.00	220	0.35
154.20	100.00	350	0.35
264.20	110.00	400	0.35
inf.	inf.	650	0.35

Vs(0.0-30.0)=144m/s

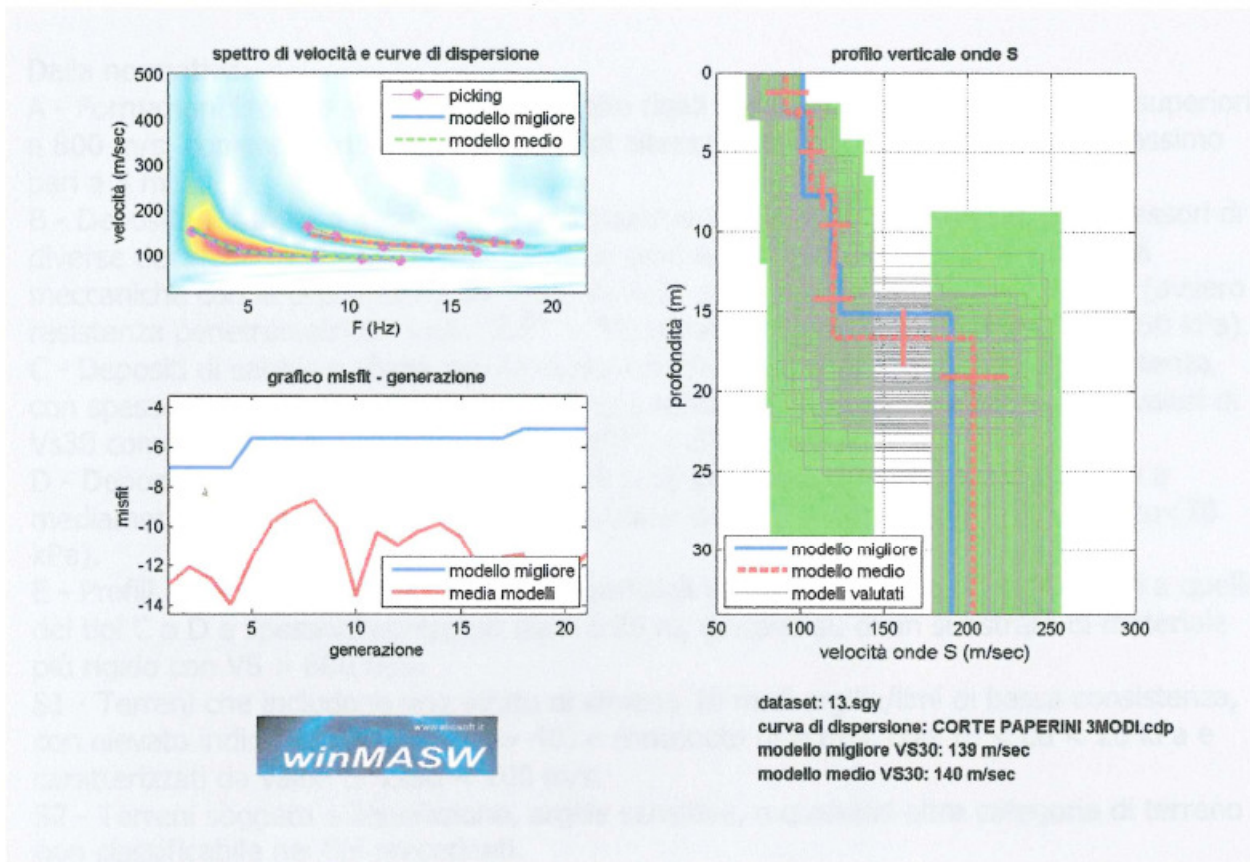




Profilo MASW

dataset: 2010-04-29\_3-01-26\_5000\_0100\_024\_cquis\_EG2.dal  
 curve di dispersione: PIV<sub>8</sub>IT<sub>1</sub>-1.ctp  
 VS30 (modello "migliore"): 294 m/s  
 VS30 (modello medio): 303 m/s





### Modello medio

VS (m/sec): 92, 107, 121, 120, 204

Deviazioni Standard (m/sec): 12, 8, 9, 12, 20

Spessori (m): 2.5, 4.9, 4.3, 4.9

Deviazioni Standard (m): 0.3, 1.1, 1.1, 1.8

### Stima approssimativa di Vp, densità e moduli elastici

Stima VP (m/sec): 209, 211, 251, 266, 412

Stima densità (gr/cm<sup>3</sup>): 1.68, 1.68, 1.72, 1.73, 1.84

Stima modulo di Poisson: 0.38, 0.33, 0.35, 0.37, 0.34

Stima modulo di taglio (MPa): 14, 19, 25, 25, 77

Stima modulo di compressione (MPa): 54, 49, 75, 89, 210

Stima modulo di Young (MPa): 39, 51, 68, 69, 205

Stima modulo di Lamé (MPa): 45, 36, 58, 73, 159



- Distorsione 0,01%
- Campionamento 130 ms
- Filtro passa basso da 50 a 950 Hz, passo 1 Hz
- Alimentazione 12V

**Software**

Per la registrazione in campagna del segnale sismico è stato utilizzato il software Ambrogeo v 7.1.1 Seyg mentre, per le analisi dei dati acquisiti, è stato adottato il software winMASW 4.1.1 Std.

**3. Elaborazione**

I dati MASW sono stati elaborati (determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime) per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) e stimare quindi il valore del parametro Vs30 utile alla classificazione del terreno (determinazione della categoria di sottosuolo).

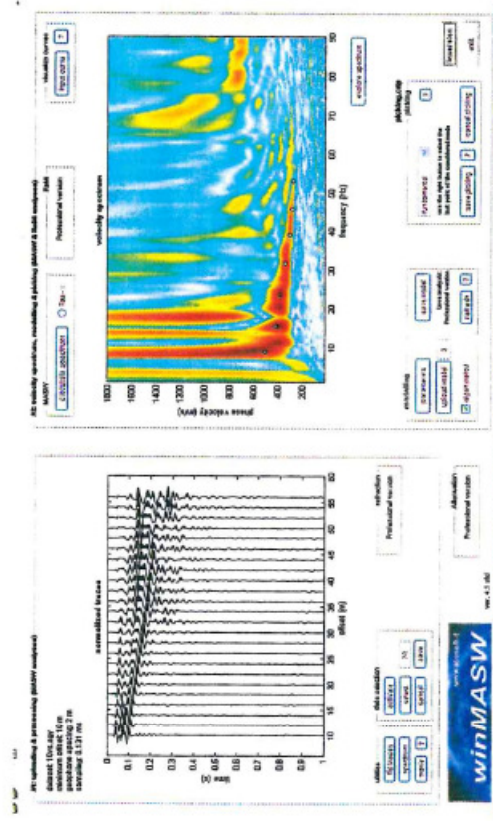


Fig. 2. Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità calcolato.

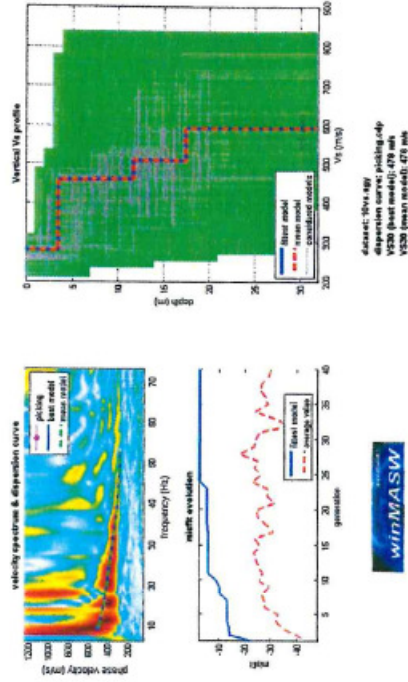


Fig. 3. Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione "piccate" e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale  $V_s$  identificato. In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" (algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli Algoritmi Genetici - Dal Moro et al., 2007).

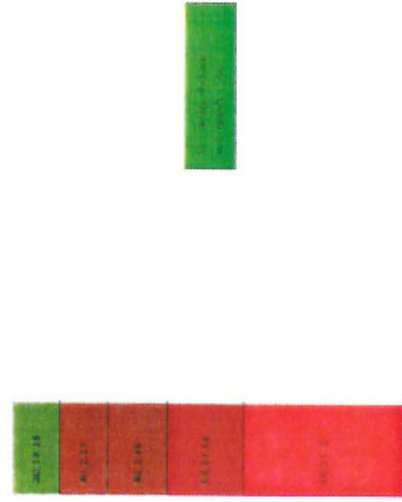
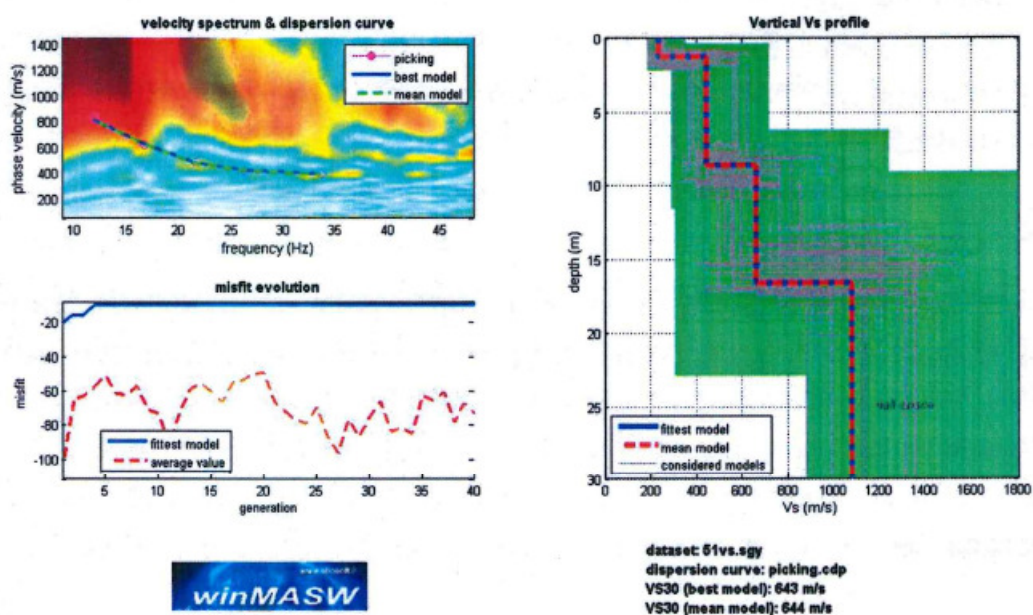
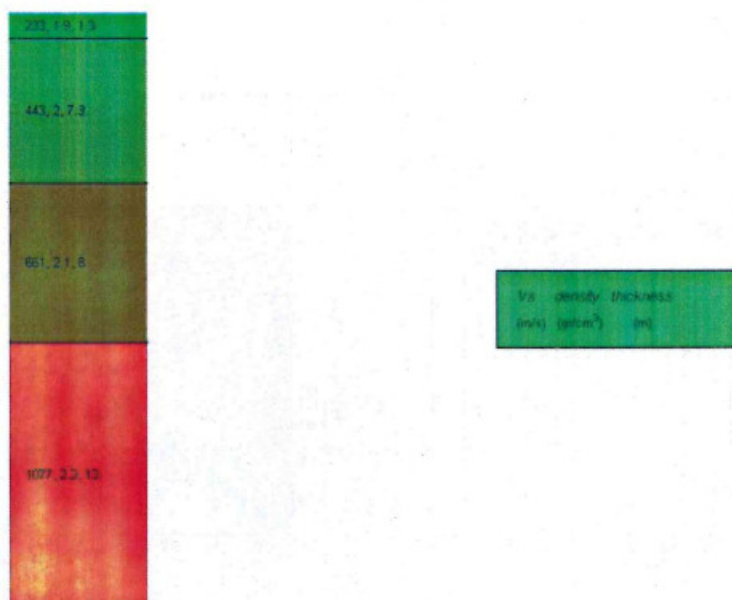


Fig. 4. Colonnina sismo-stratigrafica di massima del sito. Per ciascun strato indicate  $V_s$ , densità (stimata) e spessori.



**Fig. 3.** 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  $V_s$  identificato. 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* - Dal Moro et al., 2007).



**Fig. 4.** Colonnina sismo-stratigrafica di massima del sito. Per ciascun strato indicate VS, densità (stimate) e spessori.

# SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA

(stesa ONDE P - metodo ABC)

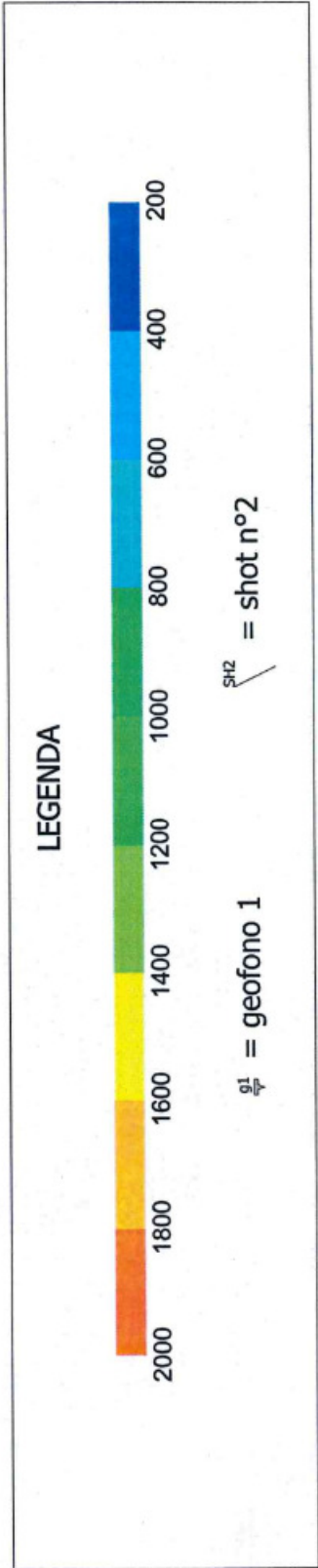
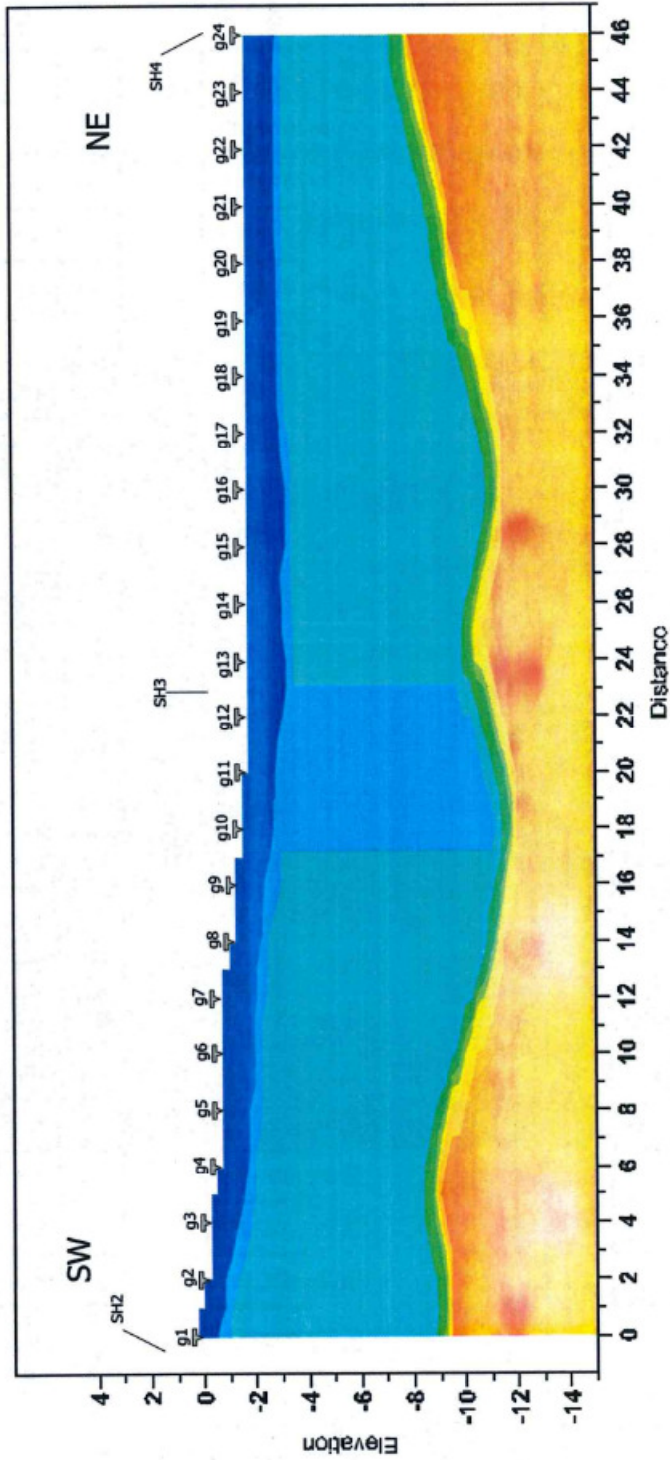


Illustrazione 5: A sinistra sismogramma e a destra picking della curva di dispersione

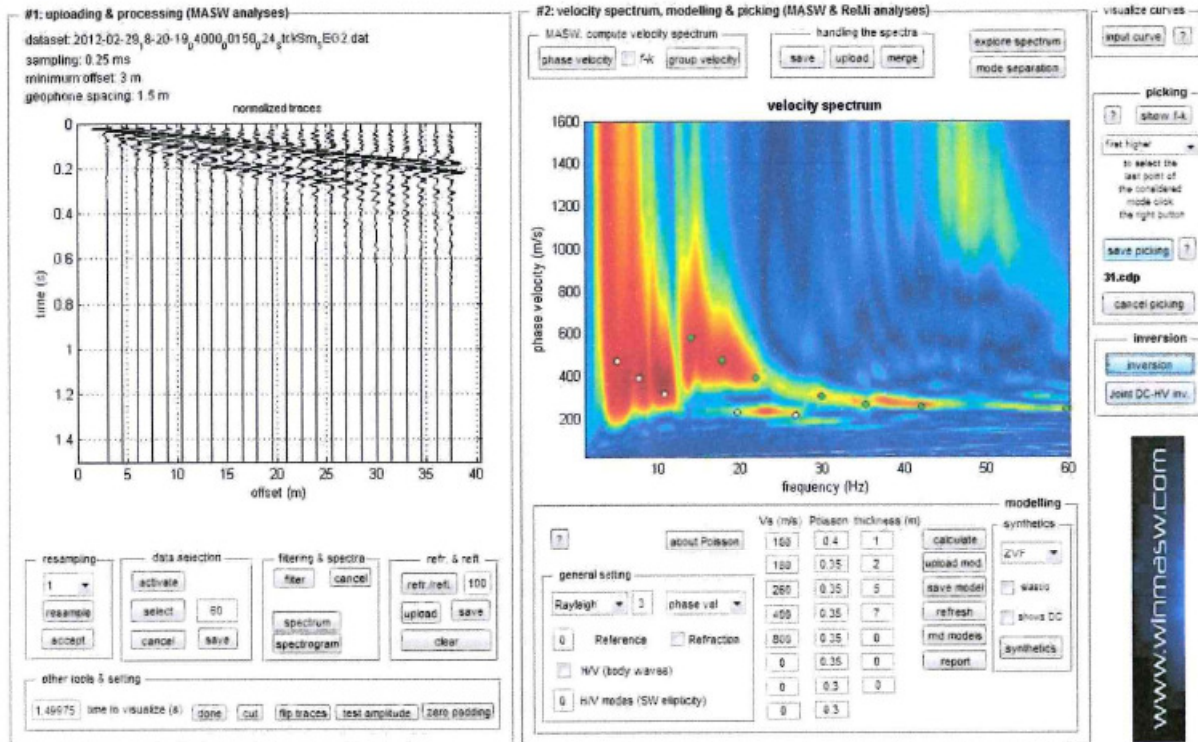
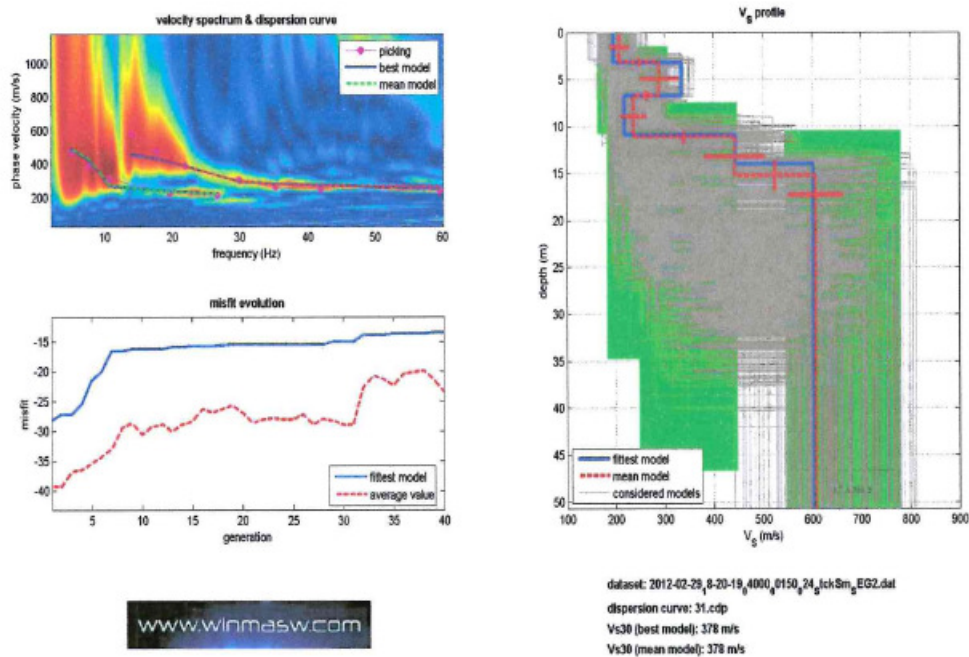
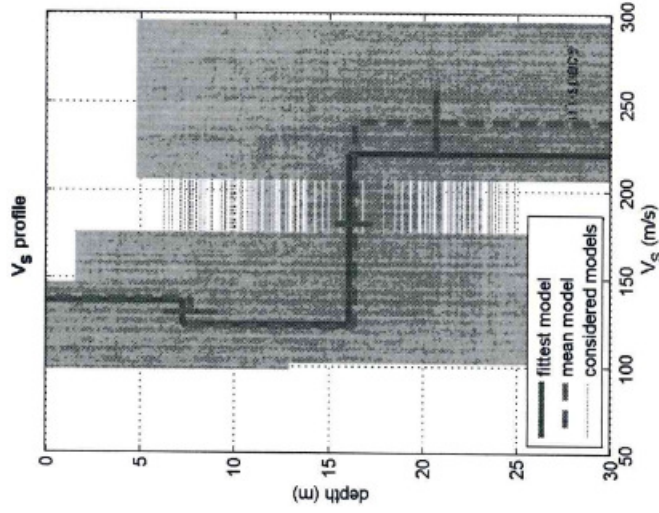
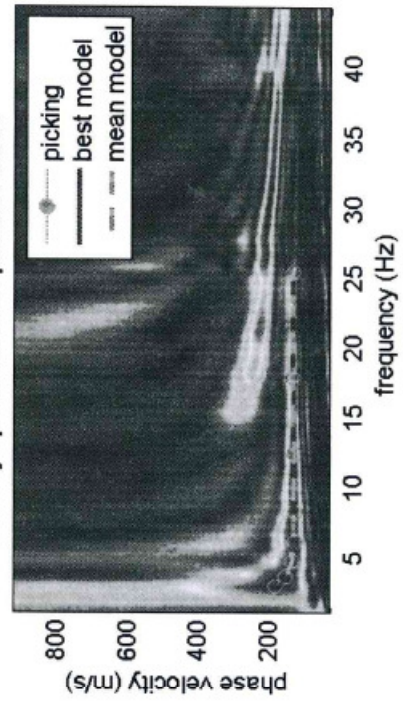
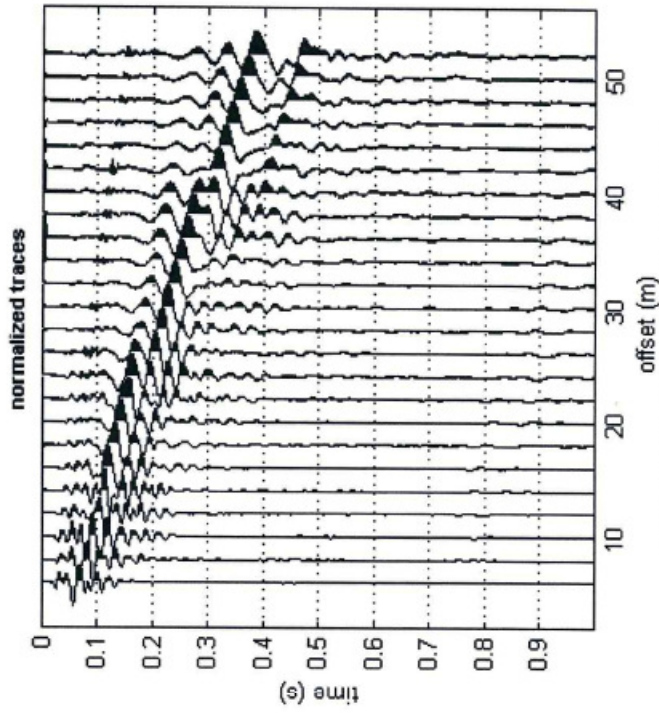


Illustrazione 6: Inversione della curva di dispersione

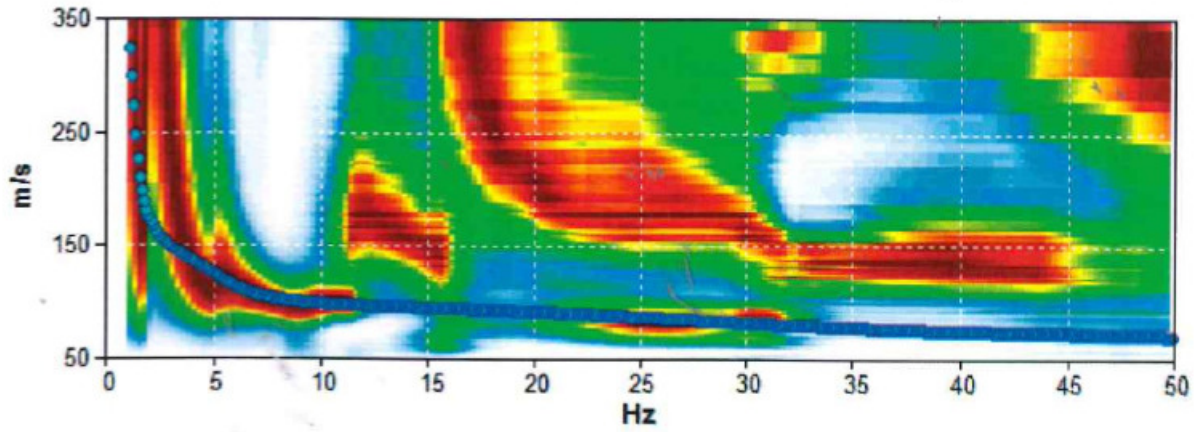




	Spessore h (m)	Velocità onde SH (m/s)
sismostrato 1	7,7	138
sismostrato 2	8,6	123
sismostrato 3	inf	238

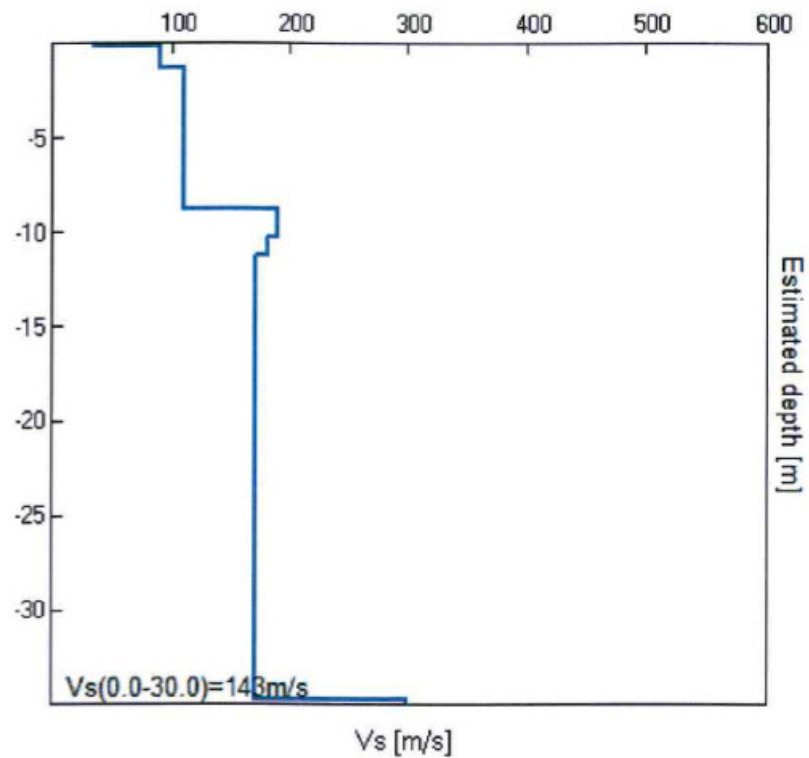
$V_{S30} = 164$  m/s

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



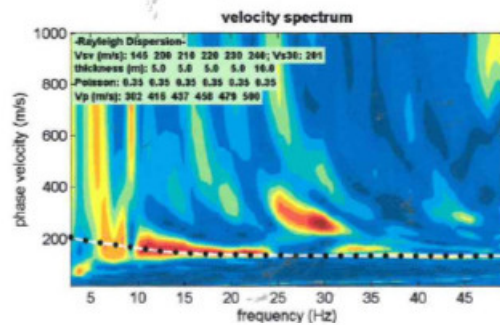
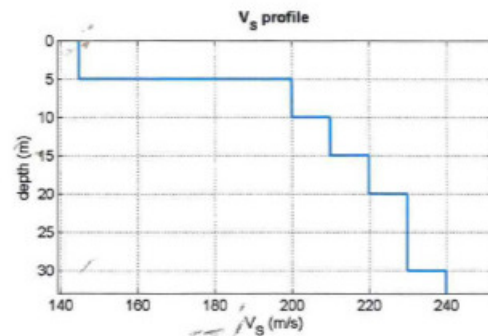
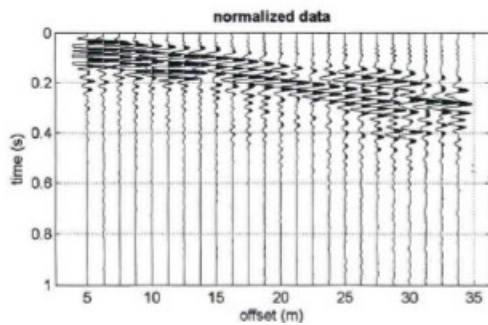
Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.20	0.20	35	0.35
1.30	1.10	90	0.35
8.80	7.50	110	0.35
10.30	1.50	190	0.35
11.30	1.00	180	0.35
34.80	23.50	170	0.35

Vs(0.0-30.0)=143m/s



## Elaborazione MASW 1

www.winmasw.com



### Modello medio

$V_s$  (m/s): 145 200 210 220 230 240  
 Thickness (m): 5.0, 5.0, 5.0, 5.0, 10.0

Density (gr/cm<sup>3</sup>) (approximate values): 1.76 1.84 1.85 1.87 1.88 1.89  
 Shear modulus (MPa) (approximate values): 37 74 82 90 99 109

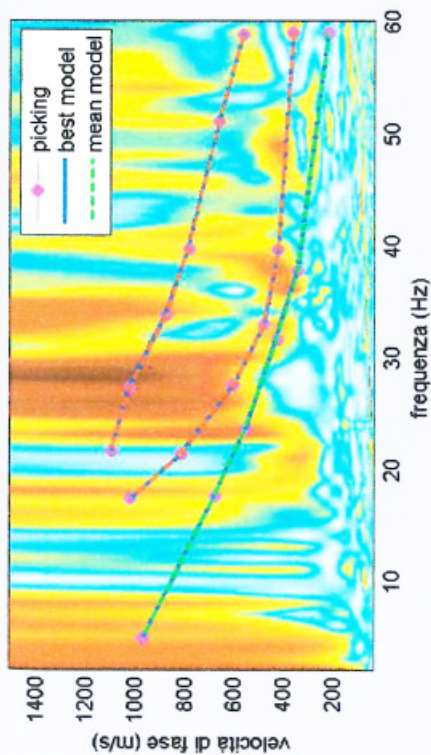
Analyzing Phase velocities  
 Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for  $V_p$  and Poisson (please, see manual)

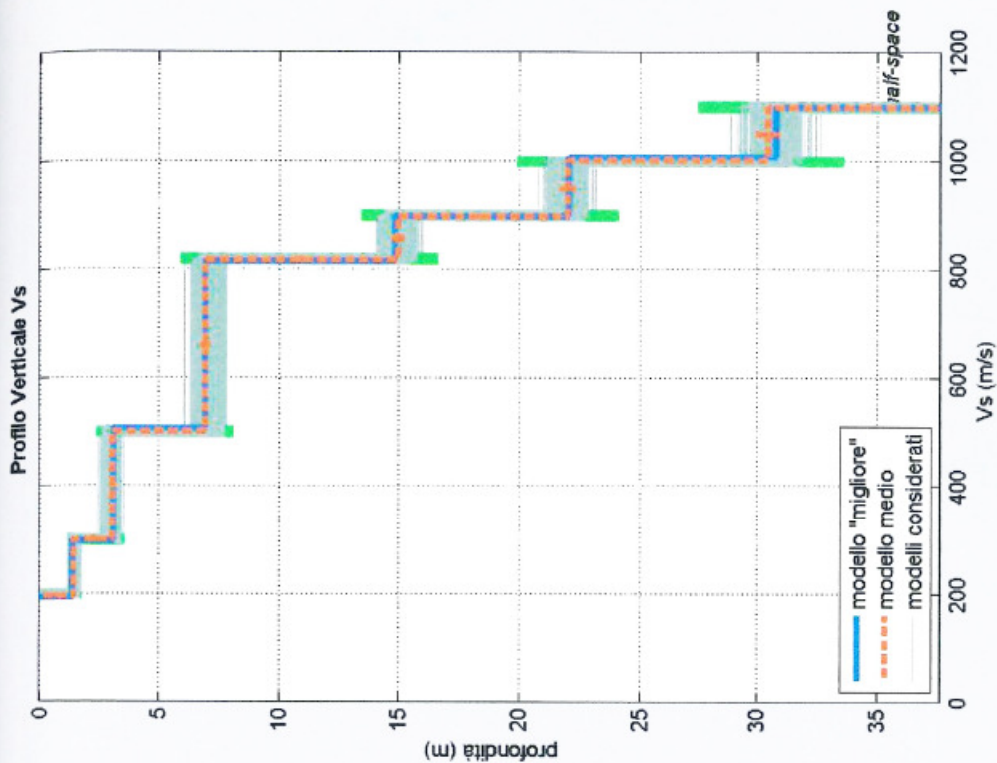
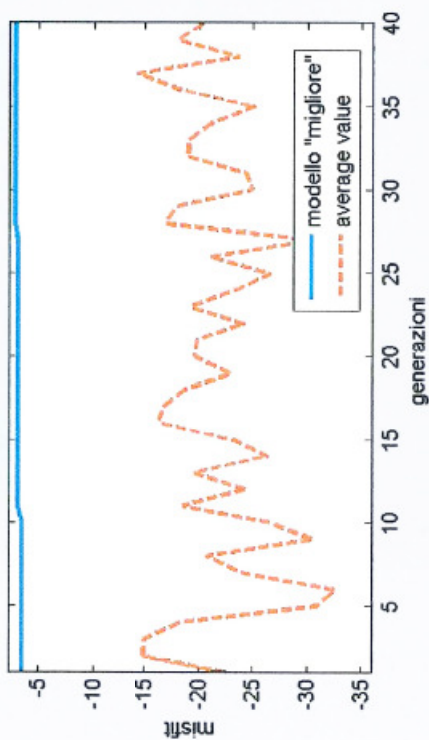
$V_p$  (m/s): 302 416 437 458 479 500  
 Poisson: 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35

$V_{s30}$  (m/s): 201

Spettro di velocità e curve di dispersione



evolution del misfit



dataset: sh2bis vs. SGY  
 curve di dispersione: STR240212B.cdp  
 VS30 (modello "migliore"): 651 m/s  
 VS30 (modello medio): 651 m/s



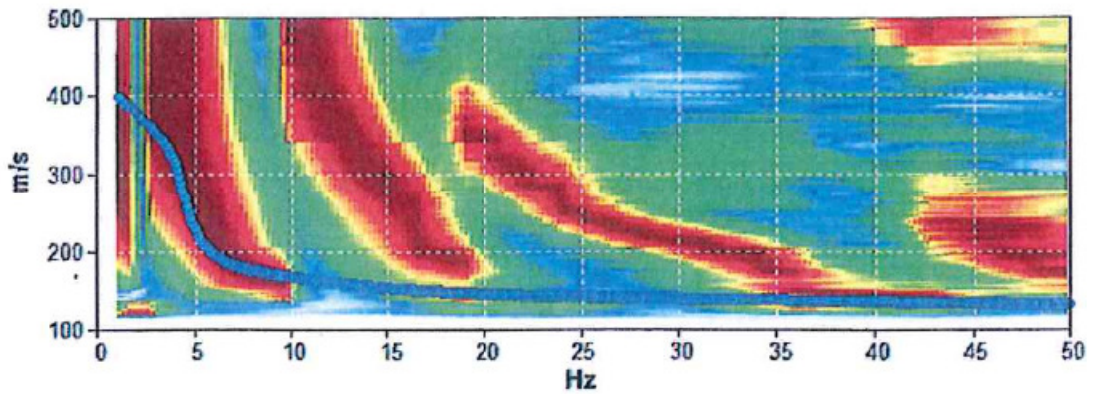


Inizio registrazione: 17/08/11 18:35:26 Fine registrazione: 17/08/11 18:43:31  
 Durata registrazione: 0h02'40". Analizzato 95% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 512 Hz

Nomi canali: B1 ; B2 ; B3 ; B4 ; B5 ; B6 ; B7 ; B8 ;  
 B9 ; B10 ; B11 ; B12

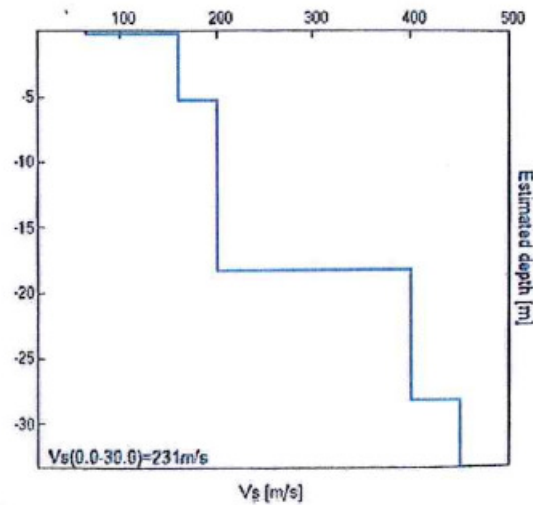
Array geometry (x): 2.0 3.0 5.0 7.0 11.0 13.0 17.0 19.0 23.0 29.0 31.0 37.0 m.

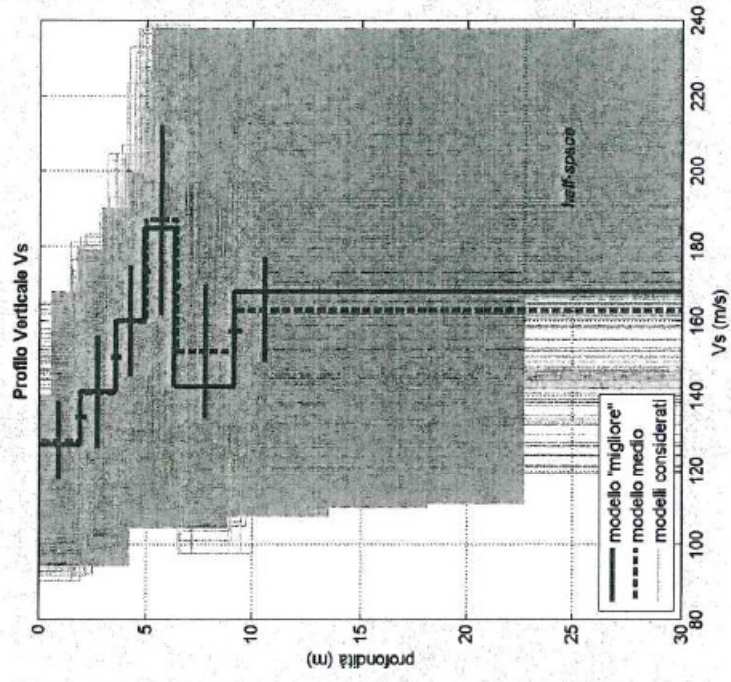
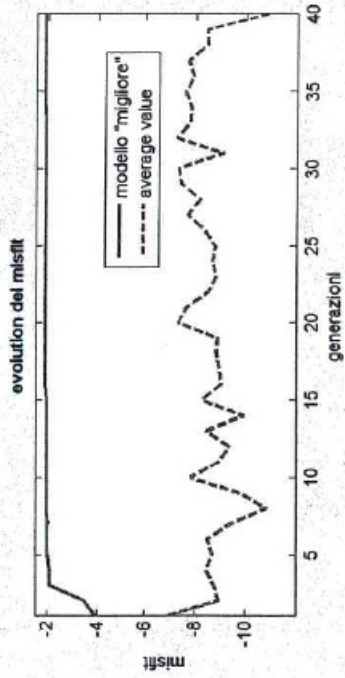
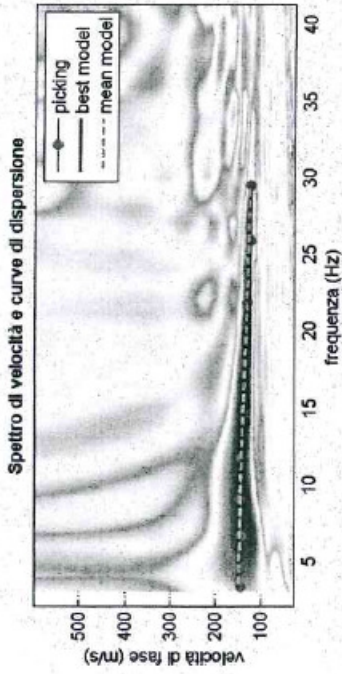
MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.30	0.30	65	0.35
5.30	5.00	160	0.35
18.30	13.00	200	0.35
28.30	10.00	400	0.35
inf.	inf.	450	0.35

Vs(0.0-30.0)=231m/s



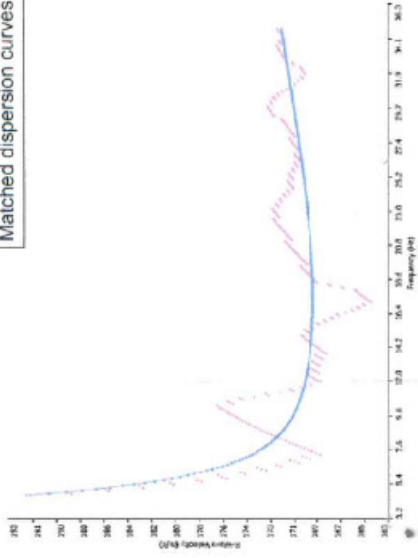


dataset: fb.sg2  
curve di dispersione: pickt.cdp  
VS30 (modello "migliore"): 161 m/s  
VS30 (modello medio): 159 m/s

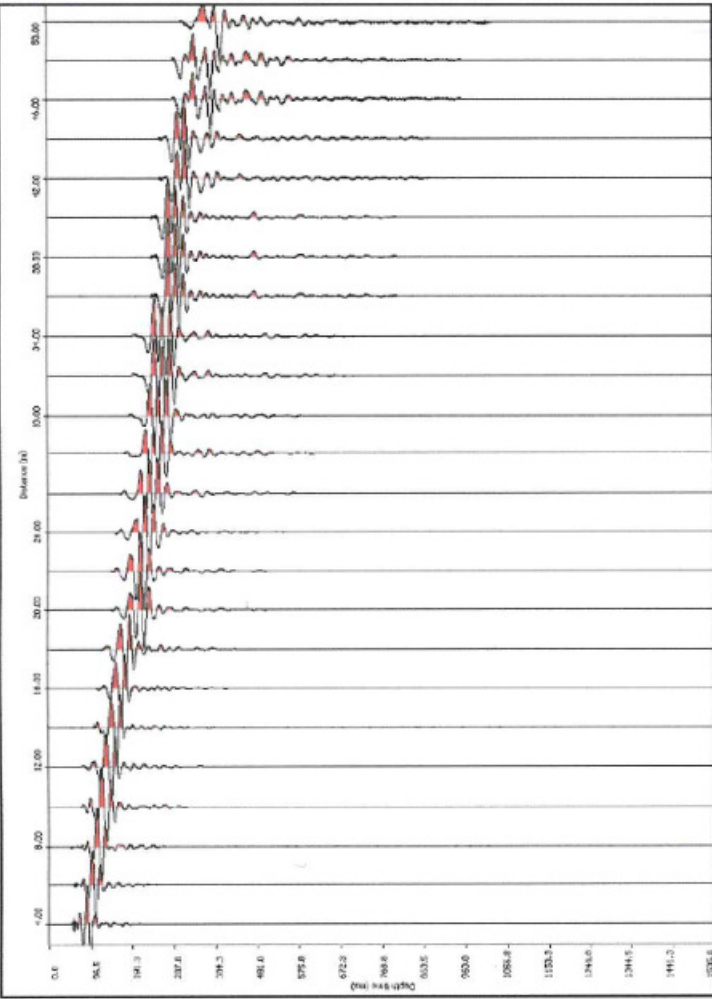


**PROVA SISMICA  
MASW**

Matched dispersion curves

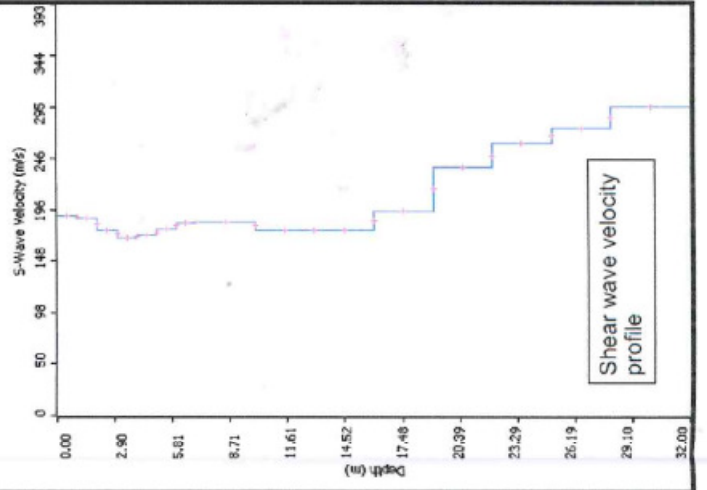


Sismogramma relativo alla sorgente posta a - 4 m dal geofono n. 1

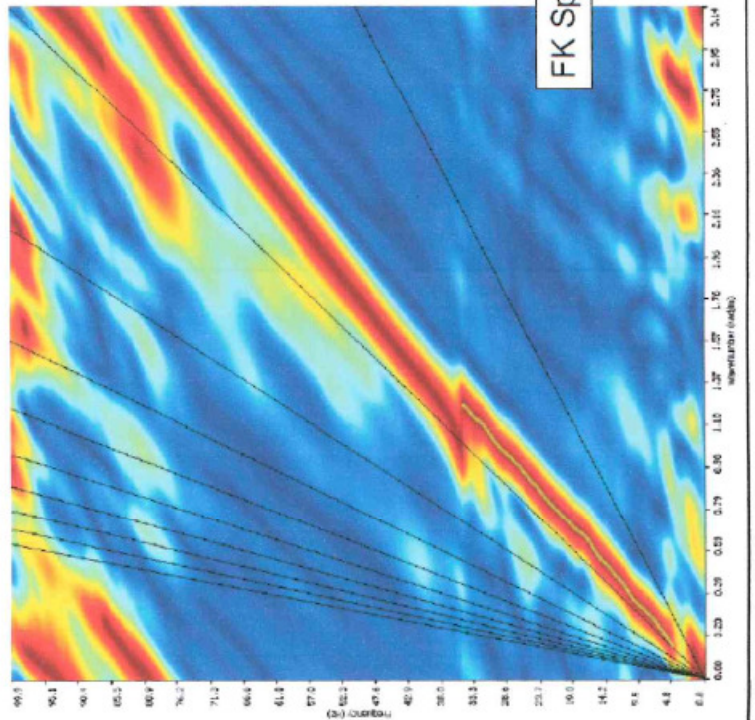


Thickness	Depth	Vs
1	0	191
1	1	188
1	2	177
1	3	170
1	4	172
1	5	178
1	6	184
3	7	185
3	10	177
3	13	177
3	16	195
3	19	237
3	22	261
3	25	275
3	28	296

Vs30= 205 m/s

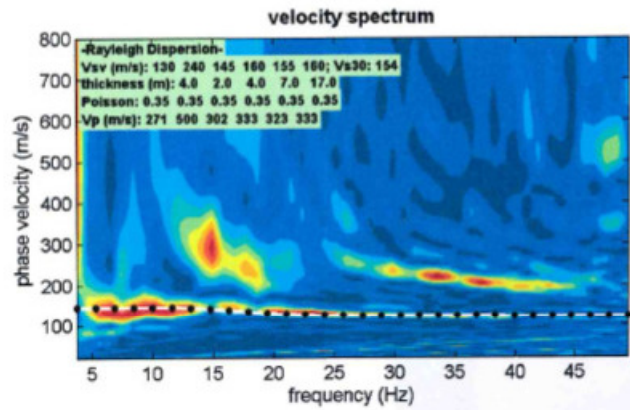
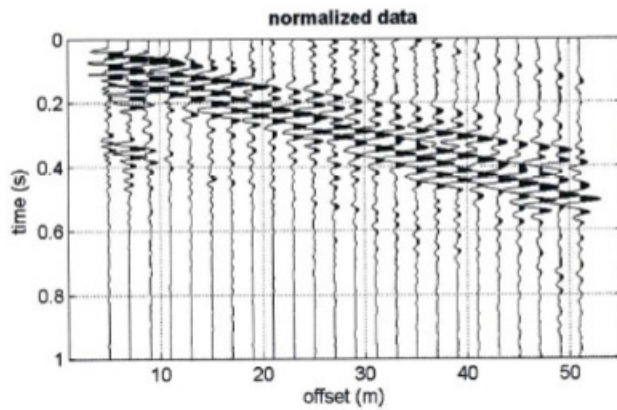
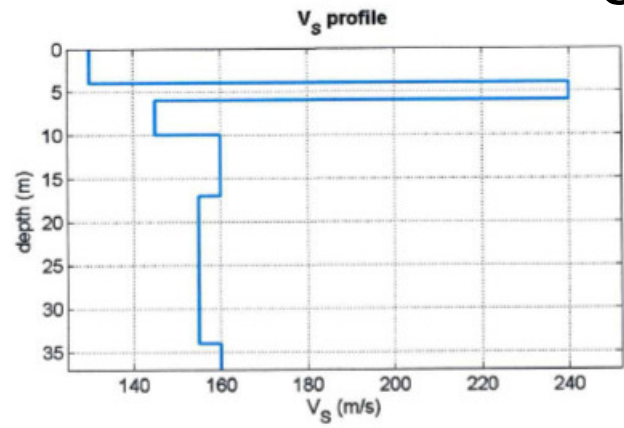


Shear wave velocity profile



FK Spectrum

www.winmasw.com



### Modello medio

Vs (m/s): 130 240 145 160 155 160  
 Thickness (m): 4.0, 2.0, 4.0, 7.0, 17.0

Density (gr/cm<sup>3</sup>) (approximate values): 1.74 1.89 1.76 1.79 1.78 1.79  
 Shear modulus (MPa) (approximate values): 29 109 37 46 43 46

Analyzing Phase velocities  
 Analysis: Rayleigh Waves

### Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 271 500 302 333 323 333  
 Poisson: 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35

Vs30 (m/s): 154

Nel complesso la prospezione geofisica eseguita, per mezzo dell'analisi della prova MASW e della prova H/V, ha permesso di ricavare sia il modello medio di distribuzione della velocità delle onde "S" nel sottosuolo del sito indagato sia il parametro Vs30: il modello di sottosuolo in termini di Vs è stato ottenuto dal fit congiunto delle curve H/V e delle curve di dispersione ricavate dall'indagine MASW.

Il profilo verticale delle Onde S, in corrispondenza della prova MASW, ricavato mediante elaborazione dei dati di campagna è risultato il seguente:

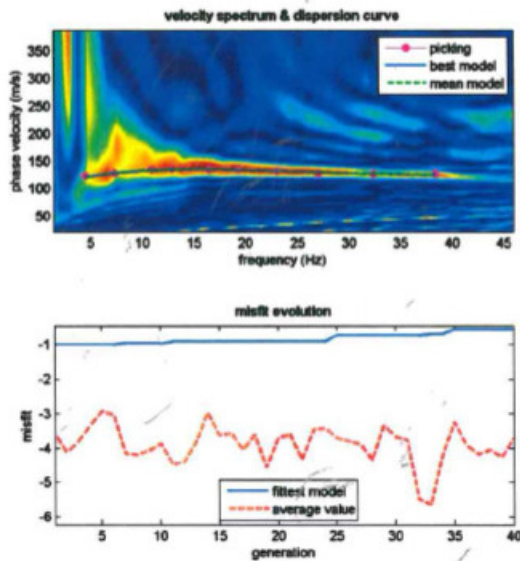
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.30	0.30	80
0.60	0.30	120
3.00	2.40	190
17.00	14.00	175
37.00	20.00	250
inf.	inf.	370

$$Vs(0.0-30.0)=199\text{m/s}$$

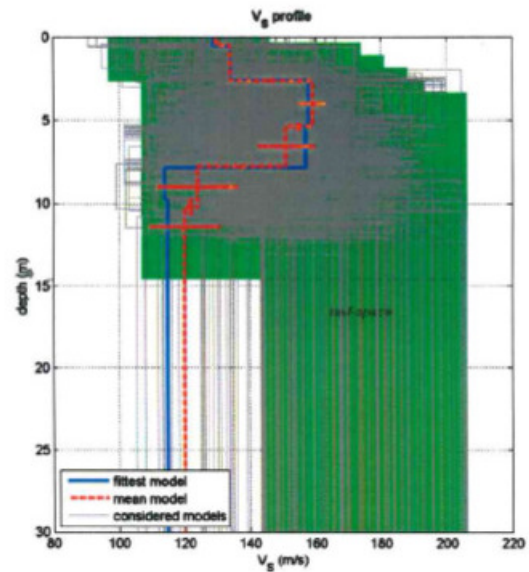
La velocità media di propagazione delle Onde di taglio entro i 30 metri di profondità (Vs30) è calcolata con la seguente espressione:

$$Vs30 = 30/(\sum h_i/V_i)$$

Il profilo MASW indica una **Vs30, riferita al piano di campagna, pari a 199 m/s.**



www.winmasw.com



dataset: 5y.sg2  
 dispersion curve: pick.cdp  
 Vs30 (best model): 122 m/s  
 Vs30 (mean model): 128 m/s

### Modello medio

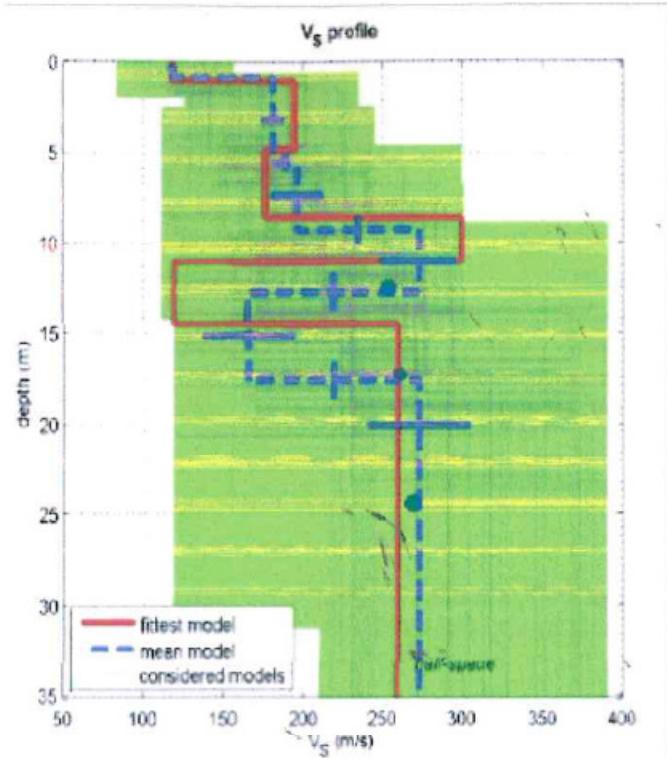
Vs (m/s): 130, 134, 159, 151, 124, 120  
 Standard deviations (m/s): 1, 0, 4, 9, 12, 11  
 Thickness (m): 0.6, 2.1, 2.7, 2.4, 2.4  
 Standard deviations (m/s): 0.0, 0.1, 0.2, 0.1, 0.5

Density (gr/cm<sup>3</sup>) (approximate values): 1.74 1.75 1.79 1.77 1.73 1.69  
 Shear modulus (MPa) (approximate values): 29 31 45 40 27 24

Analyzing Phase velocities  
 Considered dispersion curve: pick.cdp  
 Analysis: Rayleigh Waves

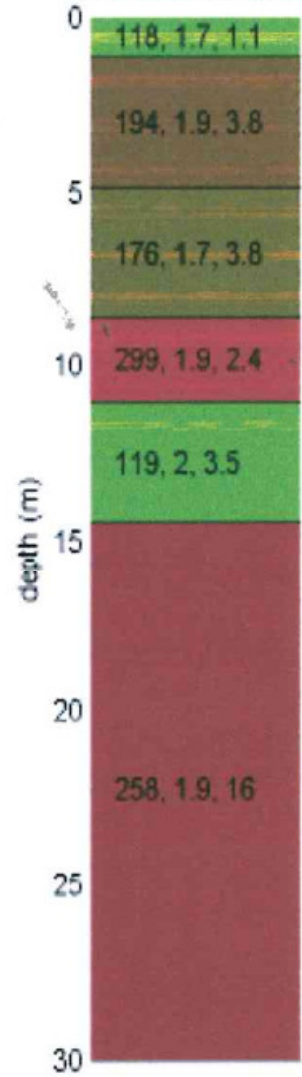
Approximate values for Vp and Poisson  
 Vp (m/s): 271 279 331 314 258 224  
 Poisson: 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.30

Vs30 (m/s): 126



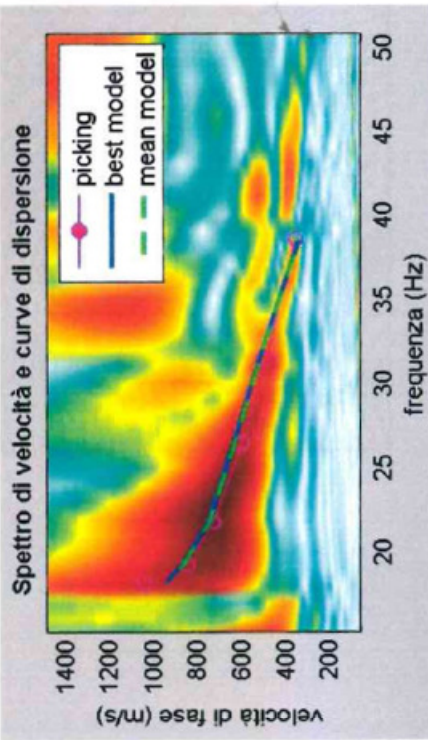
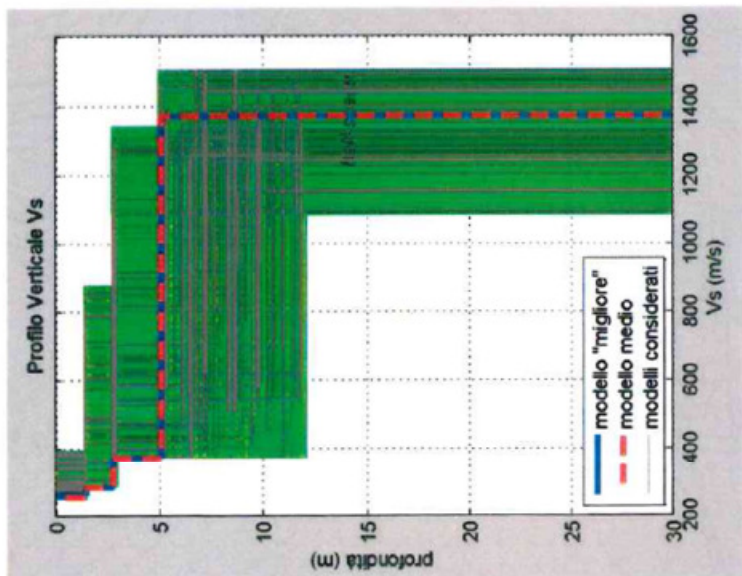
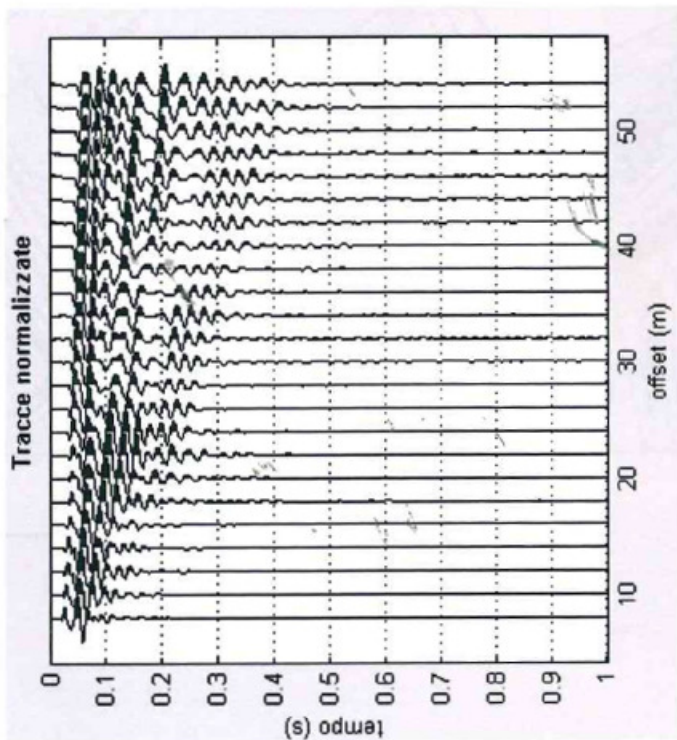
dàtaset: Arena10mt.sgy  
 velocity spectrum: sp10.mat  
 VS30 (best model): 203 m/s  
 VS30 (mean model): 214 m/s

Subsurface model



$V_s$  density thickness  
 (m/s) (gr/cm<sup>3</sup>) (m)

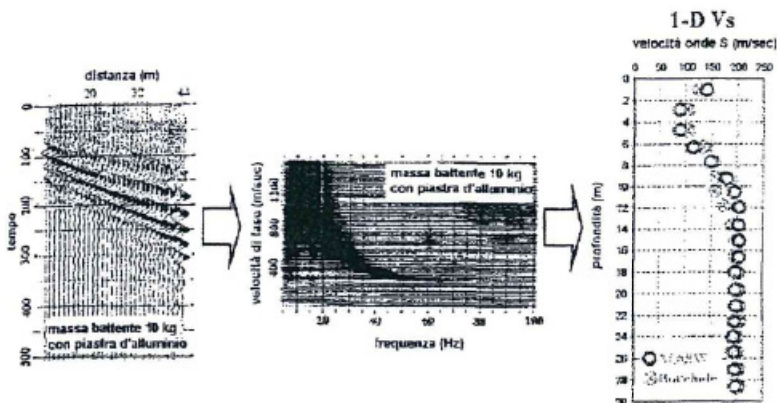
Spessore (m)	$V_s$ (m/s)	Modulo di taglio (MPa)
1.1	118	23
3.8	194	71
3.8	176	54
2.4	299	173
3.5	119	28
semispazio	258	124



$V_{S30} = 1188 \text{ m/s}$

	Spessore (m)	Profondità interfaccia dal p.c. (m)	Velocità (m/s)
Sismostrato 1	1,5	1,5	258
Sismostrato 2	1,3	2,8	286
Sismostrato 3	2,3	5,1	374
Sismostrato 4	inf	inf	1367





In allegato sono riportati i risultati delle prove MASW.

Nel riquadro principale si osserva la stratigrafia delle Vs ricavata dalla prova di cui sono state calcolate le curve di dispersione, nonché i modelli utilizzati. A sinistra in basso è visibile il sismogramma mentre in alto è riportato il valore del parametro  $V_{S30}$  calcolato utilizzando la stratigrafia Vs e la formula:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} h_i / V_i}$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (m/s) dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

Dal modello medio sono stimati alcuni parametri:

Vs (m/s)	130	159	110	132	117	131	266
Standard deviations (m/s)	5	3	2	1	2	0	14
Thickness (m)	0,30	1,50	1,30	7,20	7,60	9,90	
Standard deviations (m/s)	0,00	0,10	0,10	0,90	0,90	0,90	
Density (gr/cm <sup>3</sup> )	1,74	1,79	1,70	1,74	1,71	1,74	1,89
Shear modulus (MPa)	29	45	21	30	23	30	133

Valori approssimati per  $V_p$  e Modulo Elastico:

$V_p$ (m/s)	271	331	229	275	244	273	498
Poisson	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,30

$$V_{S30} = 132 \text{ m/s}$$

Inizio registrazione: 30/10/10 18:26:06 Fine registrazione: 30/10/10 18:34:07

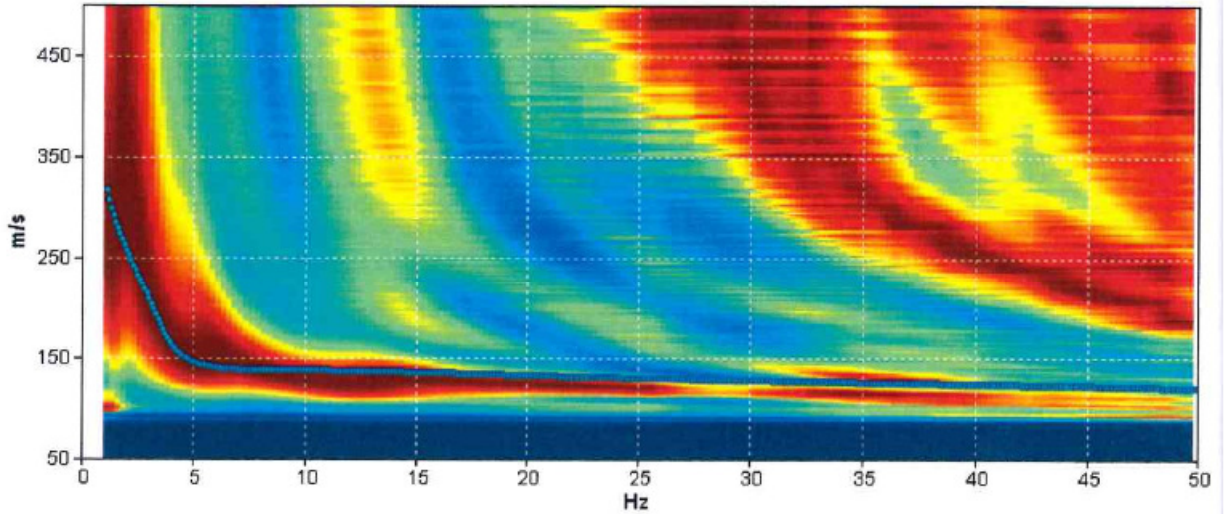
Durata registrazione: 0h06'00".

Freq. campionamento: 512 Hz

Nomi canali: B1 ; B2 ; B3 ; B4 ; B5 ; B6 ; B7 ; B8 ;  
B9 ; B10 ; B11 ; B12

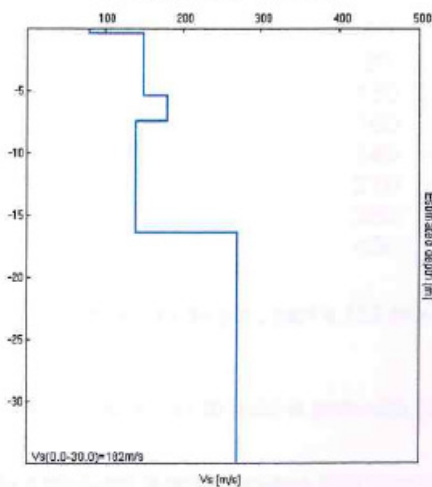
Array geometry (x): 2.0 3.0 5.0 7.0 11.0 13.0 17.0 19.0 23.0 29.0 31.0 37.0 m.

THEORETICAL RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.05	0.05	50	0.35
0.45	0.40	80	0.35
5.45	5.00	150	0.35
7.45	2.00	180	0.35
16.45	9.00	140	0.35
51.45	35.00	270	0.35
146.45	95.00	350	0.35
inf.	inf.	450	0.35

Vs(0.0-30.0)=182m/s



Primo: trattamento dati

dataset: Orzignano 24 ch 14 off 2 m A VScope.SGY  
 offset minimo: 14 m  
 distanza intergeofonica: 2 m  
 campionamento: 0.131 ms

Filtraggio  
 filtro    cancella

Tracce normalizzate

Secondo: determinazione spettro di velocità, modellazione e picking

Analisi MASW    Analisi REMI  
 calcolo spettro di velocità    Versione Professionale

spettro di velocità

-Dispersione Rayleigh -  
 V<sub>av</sub> (m/s): 120 145 180 210 240 270 300; V<sub>s30</sub>: 187  
 spessore (m): 3.0 5.0 5.5 6.0 7.0 8.0  
 Poisson: 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35  
 V<sub>p</sub> (m/s): 250 302 375 437 509 582 624

visualizza curve  
 input curva ?  
 esplora spettro  
 picking  
 primo modo sv...  
 selezionare l'ultimo punto del modo utilizzando il tasto destro  
 salva picking ?  
 STR130511A - ORZIGNANO  
 cancella picking

Utilità    Selezione dati    Strumenti    Ritrazione  
 ruota tracce    Attiva    zero padding    Versione Professionale  
 analisi spettri    Selezione: 20  
 move ?    Annulla    Salva

Analisi attenuazione  
 Versione Professionale

modellazione

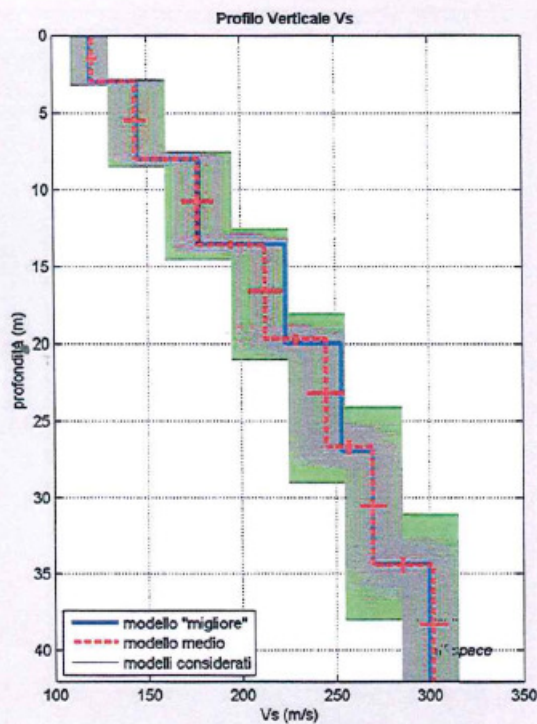
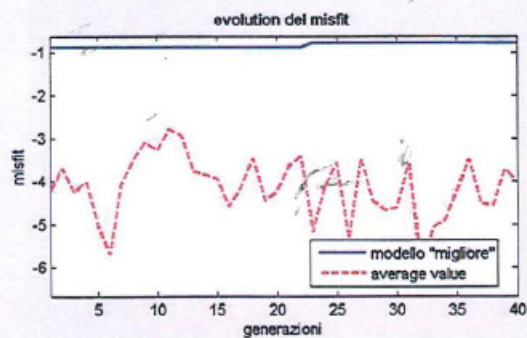
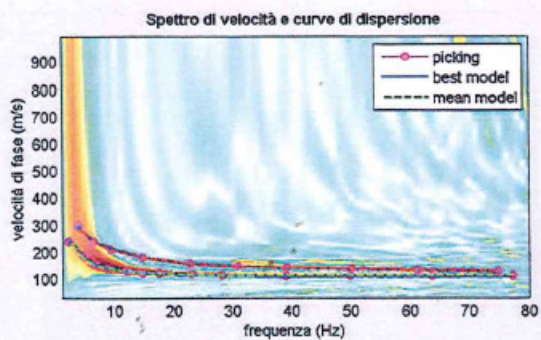
Help Poisson

setting	Vs (m/s)	Poisson	spessori (m)
3	120	0.35	3
0	145	0.35	5
	100	0.35	5.5
	210	0.35	6
	240	0.35	7
	270	0.35	8
	300	0.35	semi-spazio

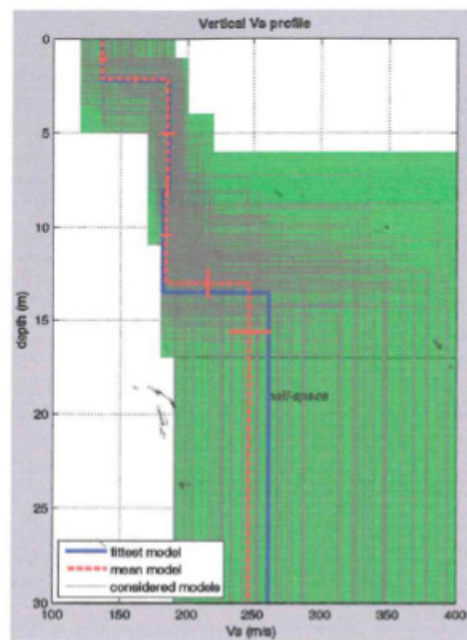
calcola    salva modello    refresh    report

esci    Inverti

www.eliosoft.it  
**winMASW**



dataset: Orzignano 24 ch 14 off 2 m A VScope.SGY  
 curve di dispersione: STR130511A - ORZIGNANO.cdp  
 VS30 (modello "migliore"): 189 m/s  
 VS30 (modello medio): 187 m/s



Sono stati cioè individuati 4 strati (in pratica 3) a diversa velocità Vsh, e precisamente:

- secondo il MODELLO MEDIO:

strato	1	2	3	4
VSh (m/sec)	136	185	184	247
spessore (m)	2,2	5,7	5,2	

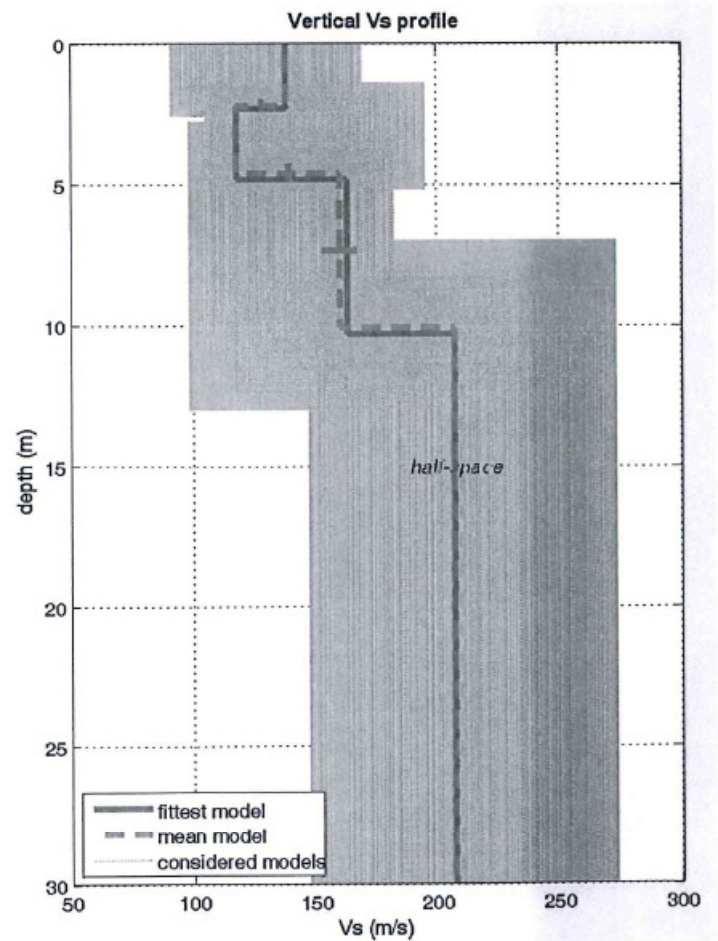
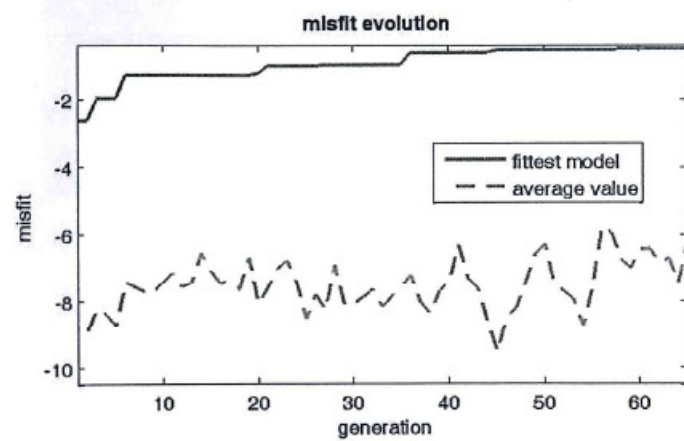
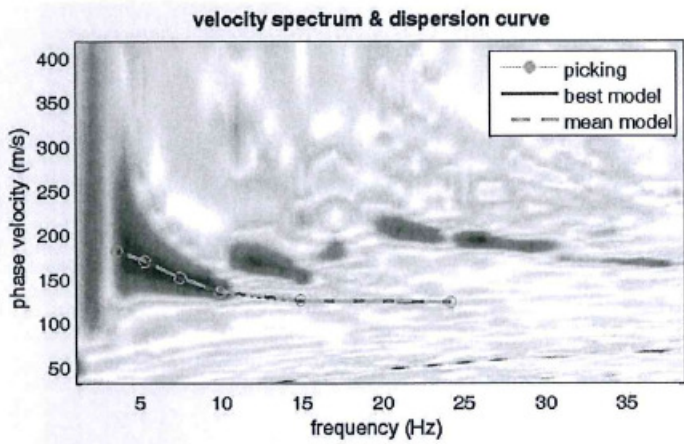
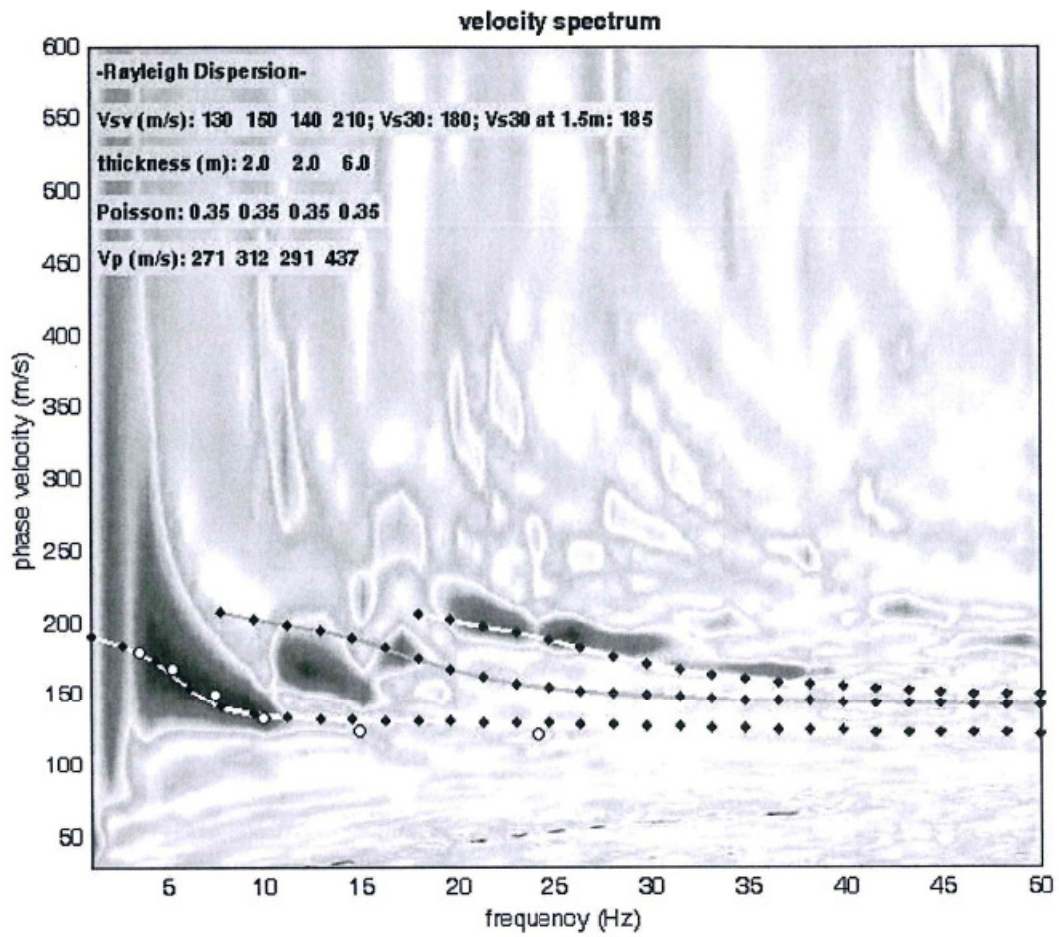
- secondo il MODELLO MIGLIORE:

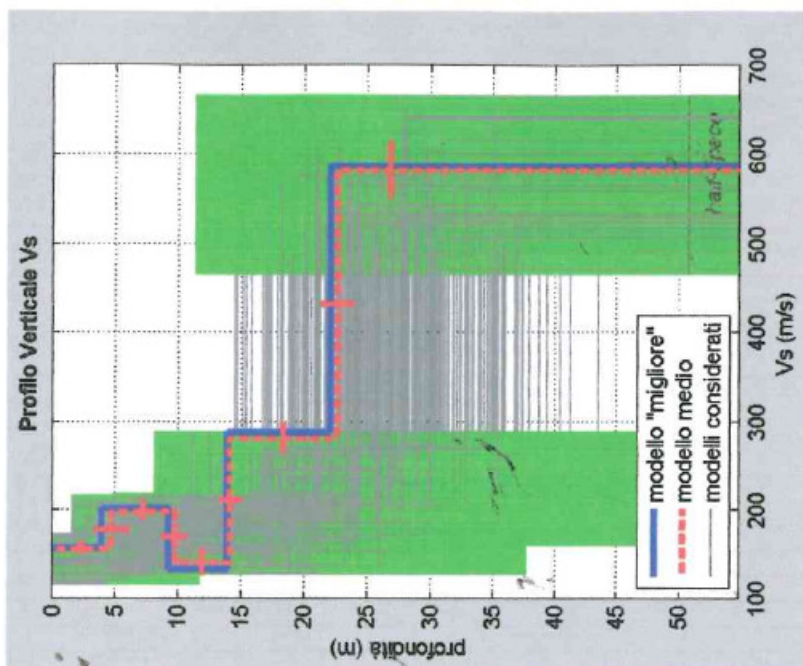
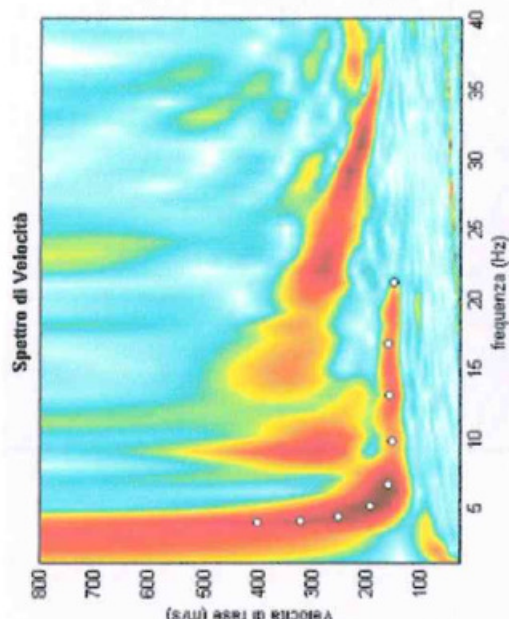
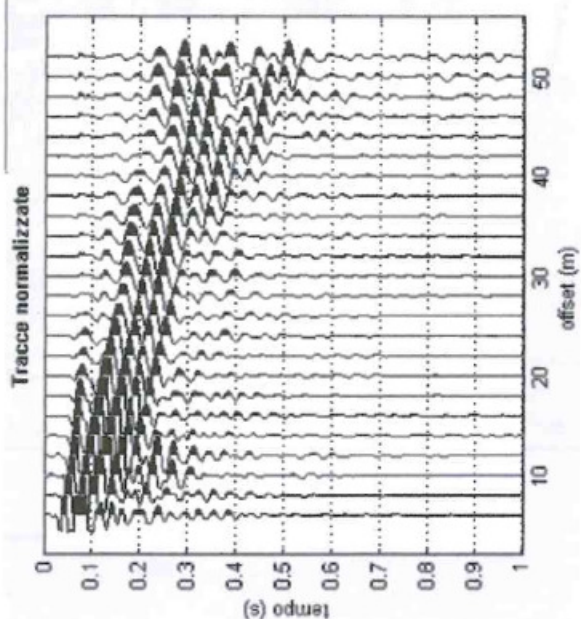
strato	1	2	3	4
VSh (m/sec)	136,0327	186,2237	182,1847	261,3786
spessore (m)	2,2198	5,8073	5,521	

VS5 (mean model): 160 m/s  
 VS5 (best model): 160 m/s

VS20 (mean model): 194 m/s  
 VS20 (best model): 195 m/s

VS30 (mean model): 209 m/s  
 VS30 (best model): 213 m/s





Sismostrato					Sismostrato					Sismostrato					Sismostrato					
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
spessore (m)	4,7	5,0	4,4	8,5	7,4	4,7	9,7	141,1	22,6	30,0	157	199	141	282	583	0,0299	0,0251	0,0312	0,0301	0,0127
profondità dal p.c. (m)	4,7	9,7	141,1	22,6	30,0	157	199	141	282	583	0,0299	0,0251	0,0312	0,0301	0,0127					
velocità onde S (m/s)	157	199	141	282	583	0,0299	0,0251	0,0312	0,0301	0,0127										
h/v	0,0299	0,0251	0,0312	0,0301	0,0127															

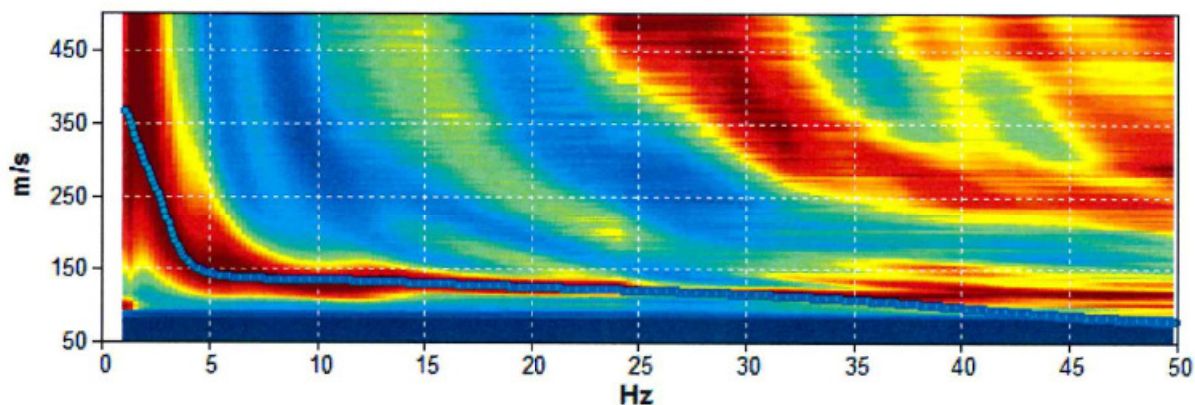
**VS30= 232,4 m/s**

Inizio registrazione: 16/10/10 18:26:06 Fine registrazione: 16/10/10 18:34:07  
 Durata registrazione: 0h08'00". Analizzato 75% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

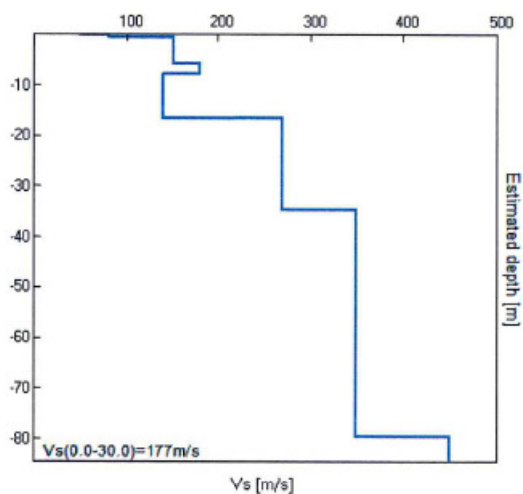
Array geometry (x): 2.0 3.0 5.0 7.0 11.0 13.0 17.0 19.0 23.0 29.0 31.0 37.0 m.

THEORETICAL RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.20	0.20	50	0.35
0.80	0.60	80	0.35
5.80	5.00	150	0.35
7.80	2.00	180	0.35
16.80	9.00	140	0.35
34.80	18.00	270	0.35
79.80	45.00	350	0.35
inf.	inf.	450	0.35

Vs(0.0-30.0)=177m/s



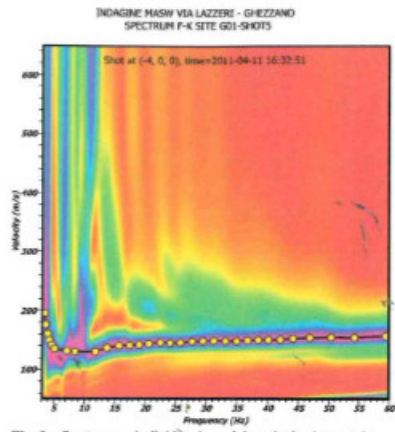


Fig. 3 – Spettro con individuazione del modo fondamentale

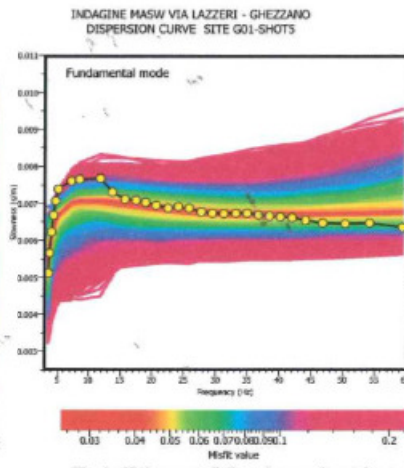


Fig. 4 – Fitting curva di dispersione sperimentale e teorica

Continuando con la procedura di inversione si risale infine al modello che esprime l'andamento di velocità delle onde Vs nel sottosuolo rappresentato nella seguente fig. 5.

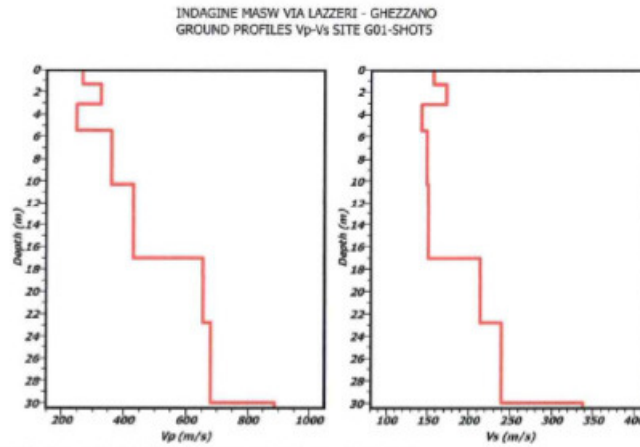


Fig. 5 – Profilo della velocità Vs nel sottosuolo (Shot n. 5 site G01)

Layer	Thickness (m)	Depth (m)	shot n.5 G01 Vs30 (m/s)
1	1,30	1,30	157
2	1,90	3,20	172
3	3,30	5,50	143
4	11,50	17,0	151
5	5,75	22,75	214
6	7,25	30,0	239

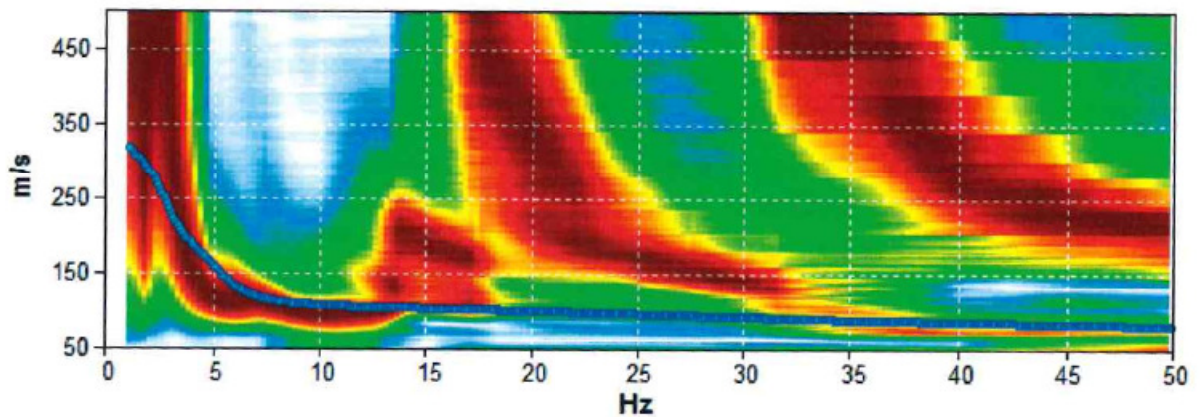
**Vs30=171m/s**



Inizio registrazione: 05/02/11 16:47:38 Fine registrazione: 05/02/11 16:58:48  
 Durata registrazione: 0h11'00".  
 Freq. campionamento: 512 Hz

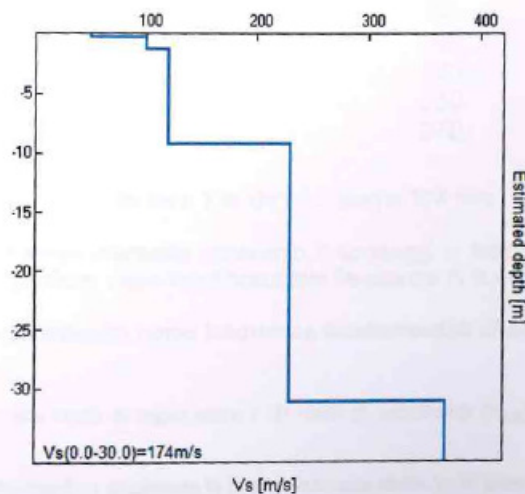
Nomi canali: B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7 B8 B9 B10 B11 B12  
 Array geometry (x): 2.0 3.0 5.0 7.0 11.0 13.0 17.0 19.0 23.0 29.0 31.0 37.0  
 m.

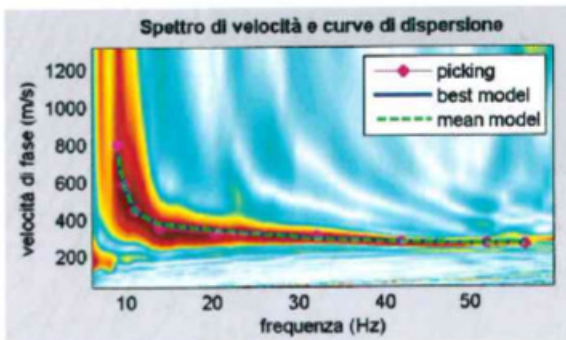
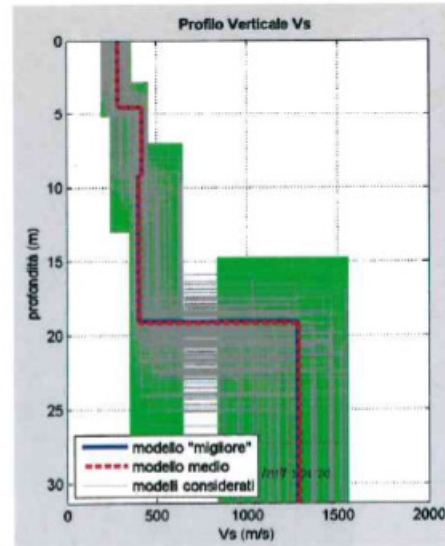
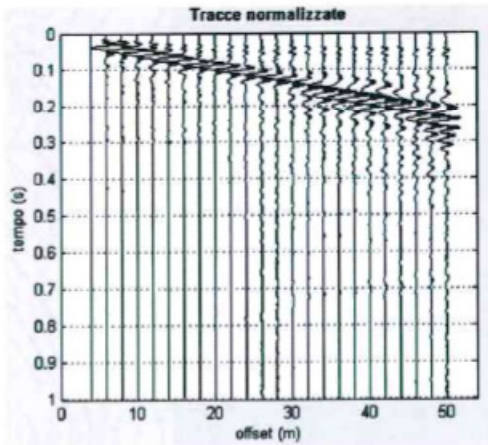
MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.30	0.30	50	0.35
1.30	1.00	100	0.35
9.30	8.00	120	0.35
31.30	22.00	230	0.35
inf.	inf.	370	0.35

Vs(0.0-30.0)=174m/s





	Spessore (m)	Profondità interfaccia (m)	Velocità onde S (m/s)
sismostrato 1	4,5	4,5	286
sismostrato 2	4,7	9,2	420
sismostrato 3	10	19,2	404
sismostrato 4	inf.	inf.	1.291

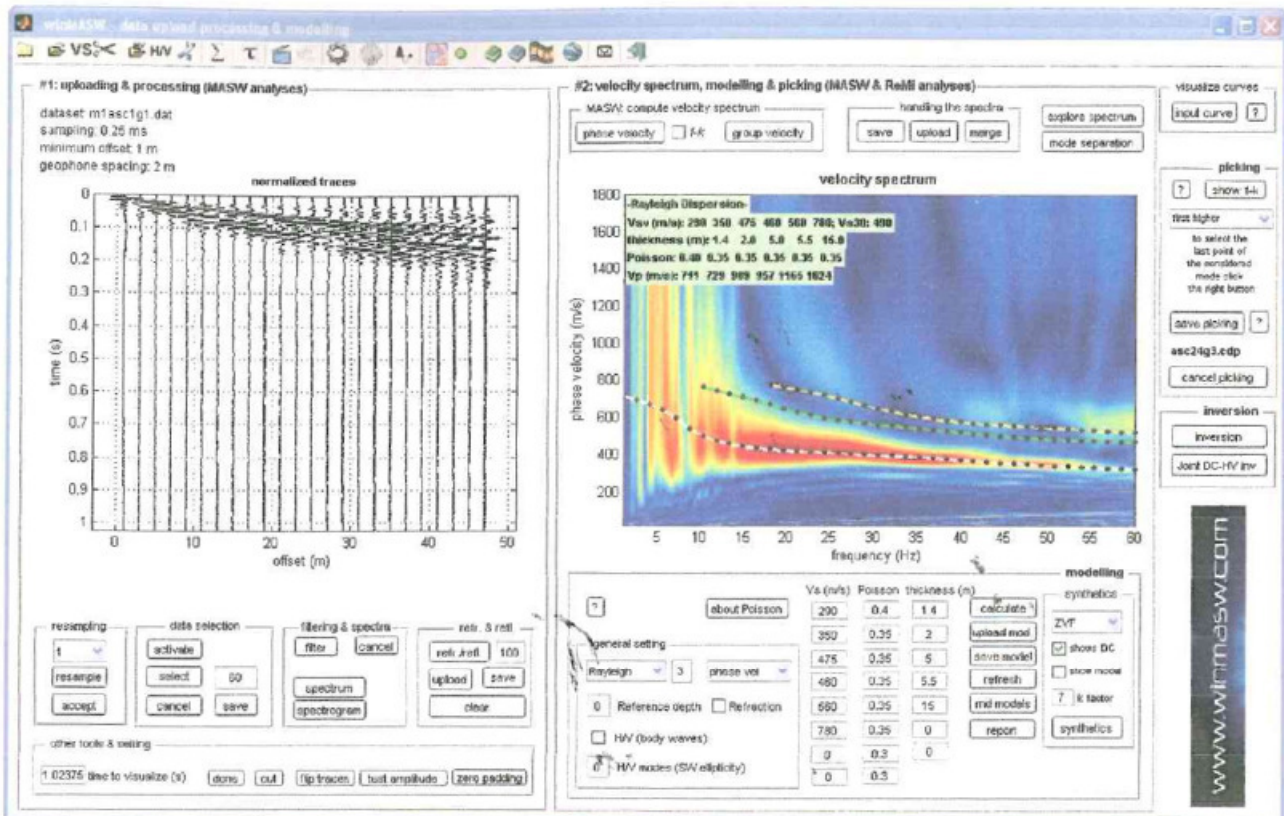
$$VS_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove:

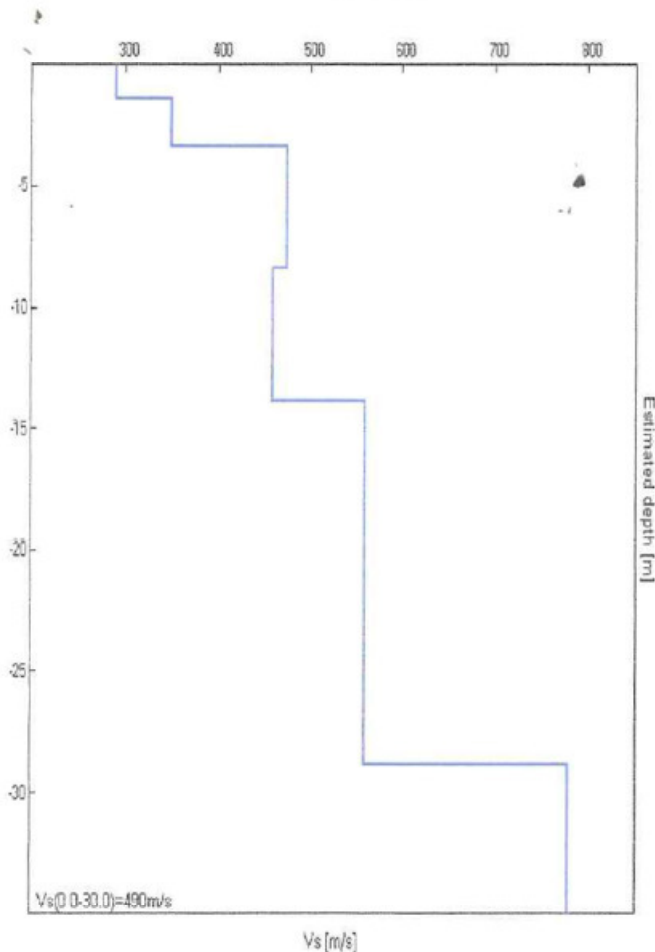
$h_i$  = spessore i-esimo di ogni singolo sismostrato

$V_i$  = velocità i-esima di ogni singolo sismostrato

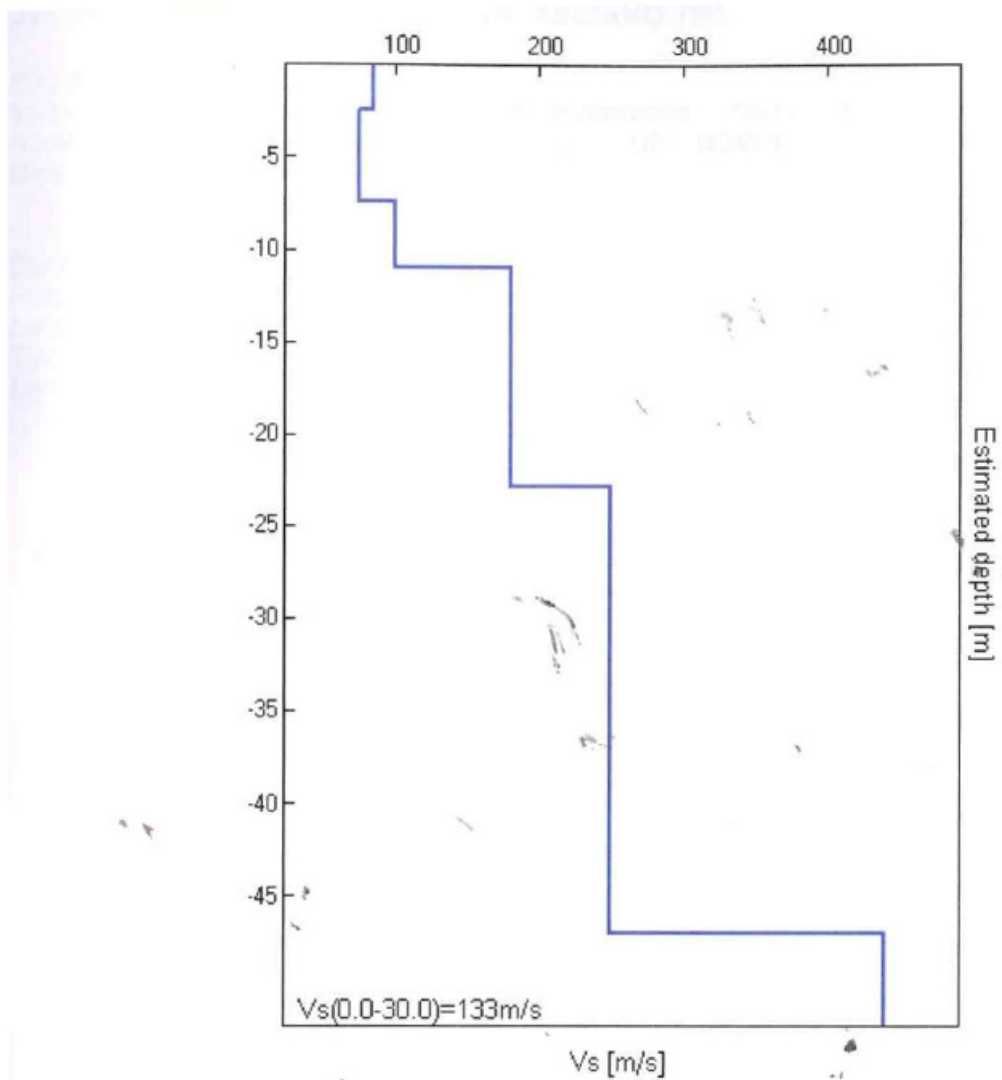
L'applicazione della suddetta formula ha fornito un valore di  $VS_{30}$ , relativo al modello medio, di 501 m/s.



Indagine MASW. Sismogramma, spettro di velocità e modello di dispersione calcolato

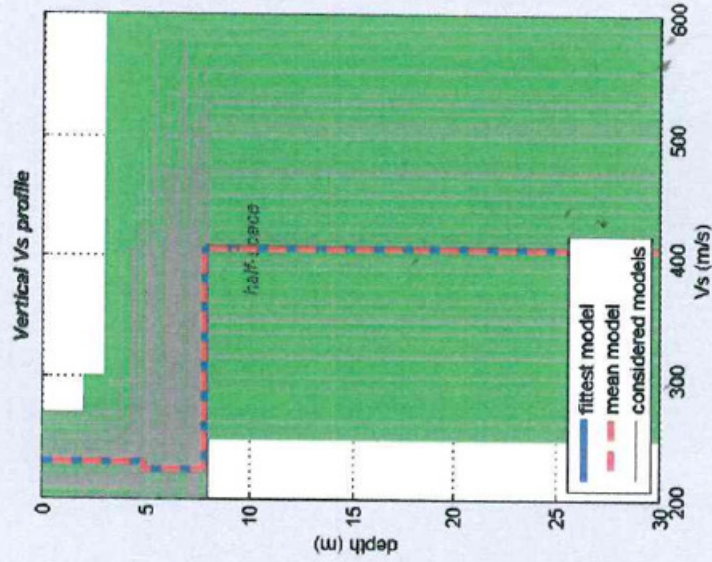
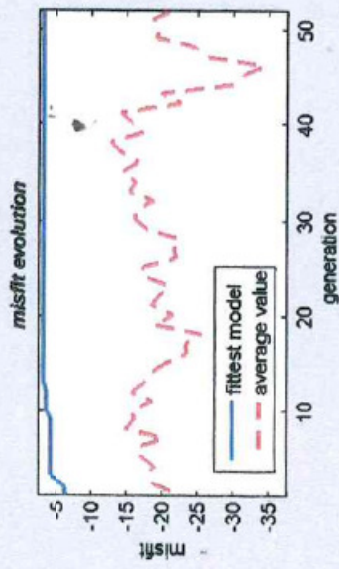
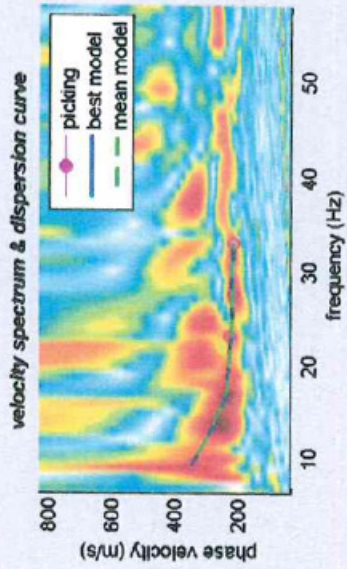


Indagine MASW. Profilo verticale delle Vs.



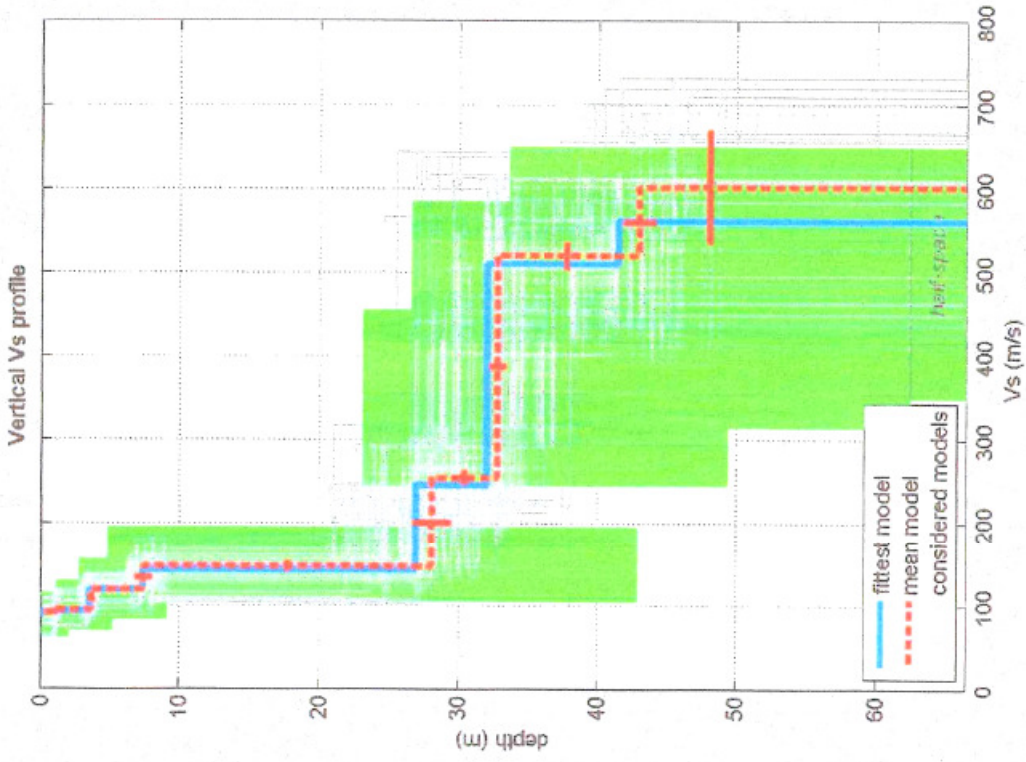
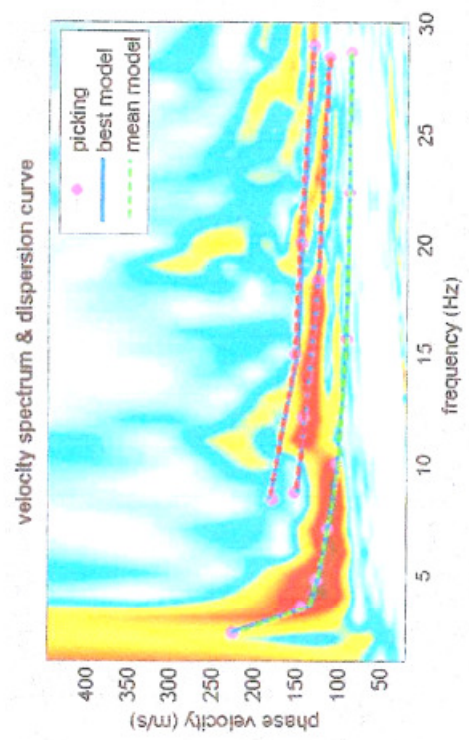
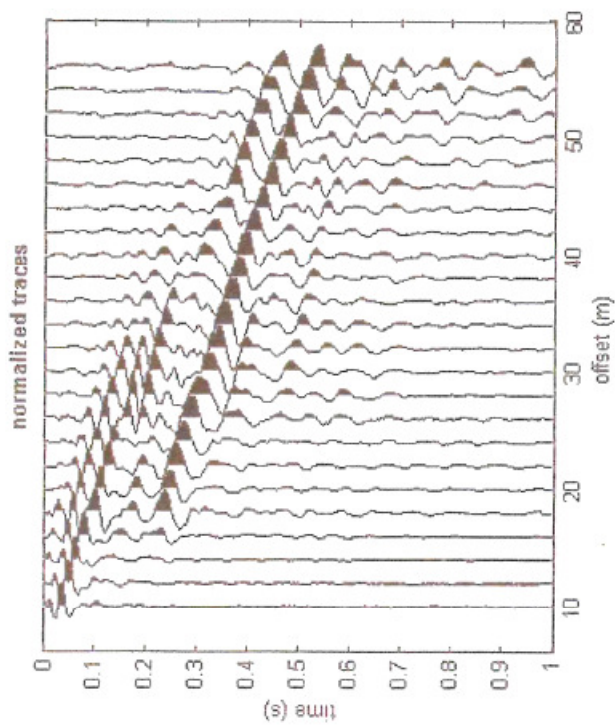
**Indagine MASW. Profilo verticale delle  $V_s$ .**

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	$V_s$ [m/s]	s
2.50	2.50	85	
7.50	5.00	75	
11.00	3.50	100	
23.00	12.00	180	
47.00	24.00	250	
inf.	inf.	440	

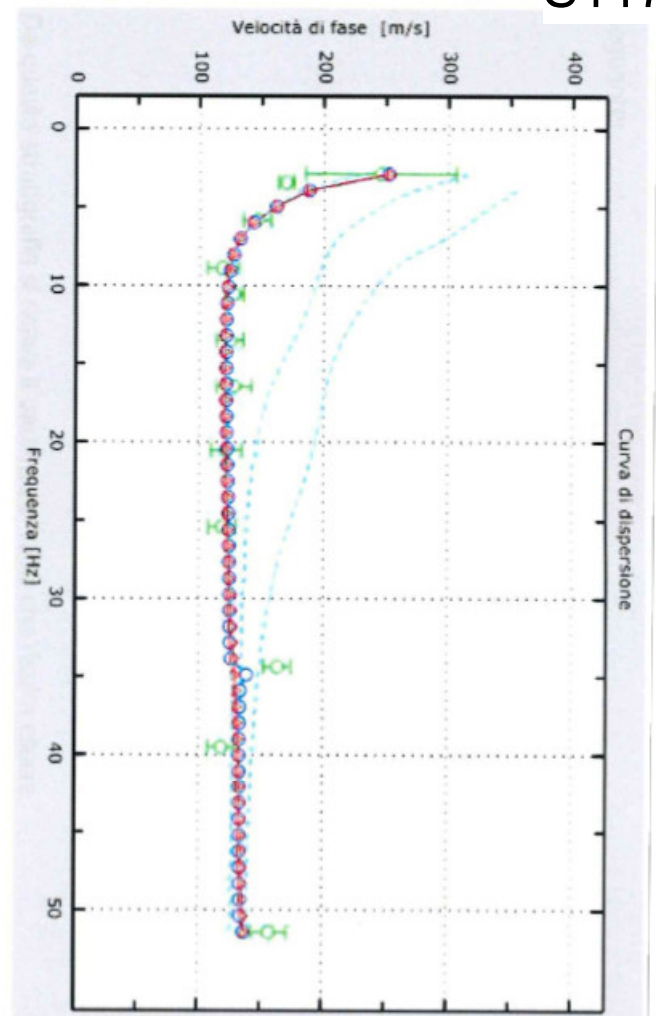
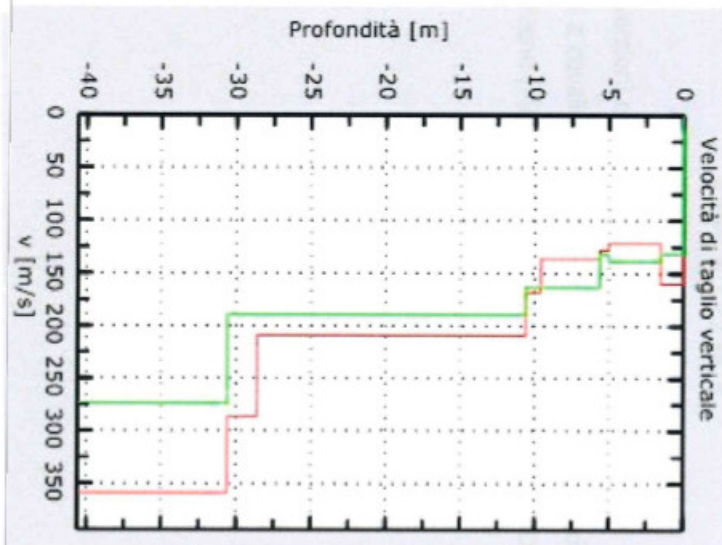


dataset: 8 m.sgy  
 dispersion curve: pick 8 m.cdp  
 VS30 (best model): 338 m/s  
 VS30 (mean model): 337 m/s

dataset: 3a.SGY  
 minimum offset: 10 m  
 geophone spacing: 2 m  
 sampling: 0.131 ms



	Sismostrato 1	Sismostrato 2	Sismostrato 3	Sismostrato 4	Sismostrato 5	Sismostrato 6	Sismostrato 7
spessore (m)	1.1	2.6	3.7	20.7	4.6	10.2	
profondità dal p.c. (m)	1.1	3.7	7.4	28.1	32.7	42.9	
velocità onde S (m/s)	92	95	120	148	255	520	602
hv	0.0120	0.0274	0.0308	0.1389	0.0180	0.0196	0.138



Il modello sismostratigrafico ottenuto per inversione dalla curva di dispersione è il seguente:

strato	quota [m]	spessore [m]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Poisson	Vs fin.[m/s]
1	-1.5	1.5	1800	0.2	159.520
2	-5	3.5	1800	0.2	121.536
3	-5.6	0.6	1950	0.2	128.153
4	-9.6	4	1800	0.45	136.245
5	-10.6	1	1800	0.48	168.344
6	-28.6	18	1750	0.3	208.995
7	-30.6	2	1950	0.2	286.934
8	∞	∞	2000	0.2	359.057

Da questa stratigrafia si ricava il parametro VS30 che risulta essere

$$\mathbf{VS30 = 177 \text{ m/s}}$$

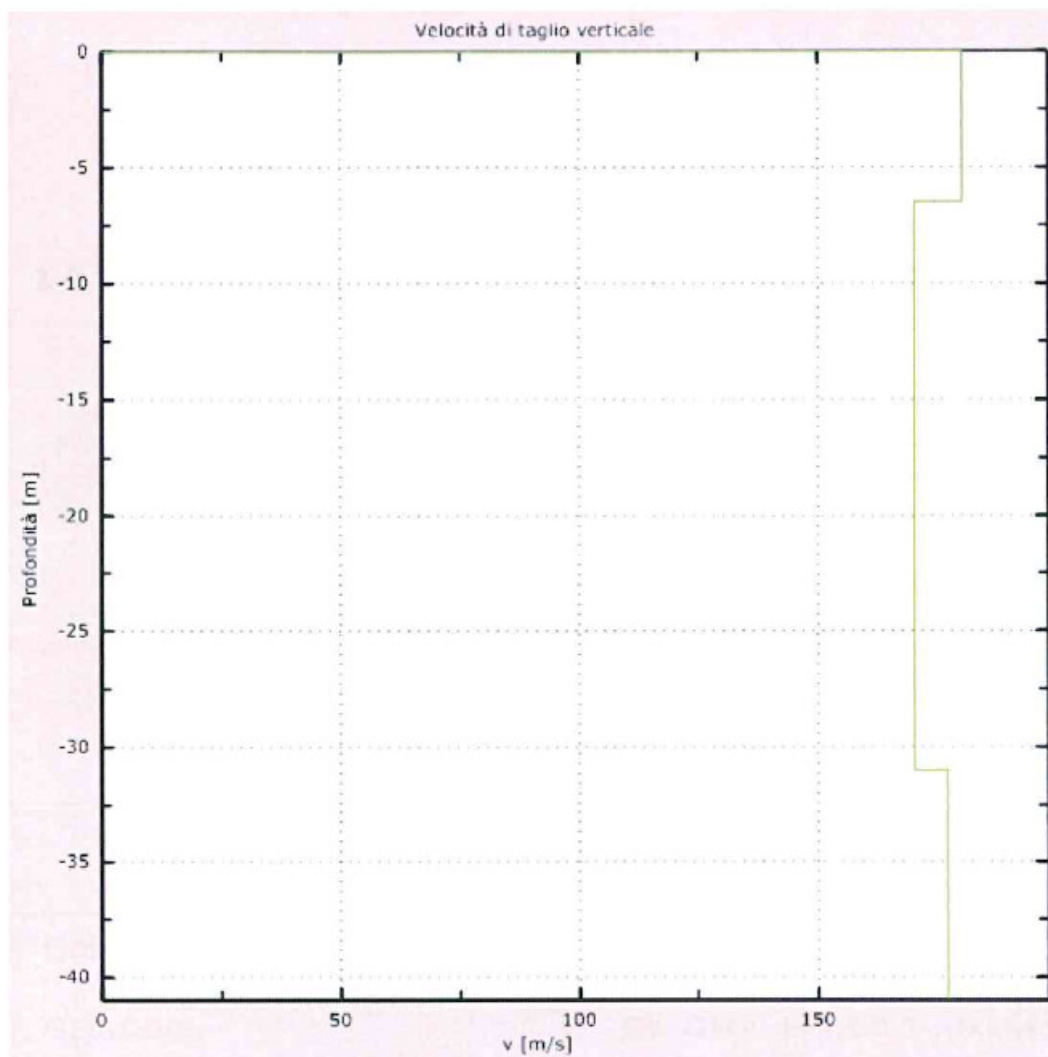


Figura 5: Profilo Vs numerico

## 5 - Risultati finali

Piano di riferimento  $z=0$  [m].....0

**Vs30 [m/s]** ..... 172

La normativa applicata è il DM 14 gennaio 2008

Il sito appartiene alle classi A, B, C, D, E o S1 (alluvionale, ghiaia, sabbia, limo, argilla, roccia).

Il sito non è suscettibile di liquefazione e non è argilla sensitiva.

Le caratteristiche meccaniche degli strati migliorano gradualmente con la profondità

**Tipo di suolo** ..... **D**



## Dati Ps1 - onde SH

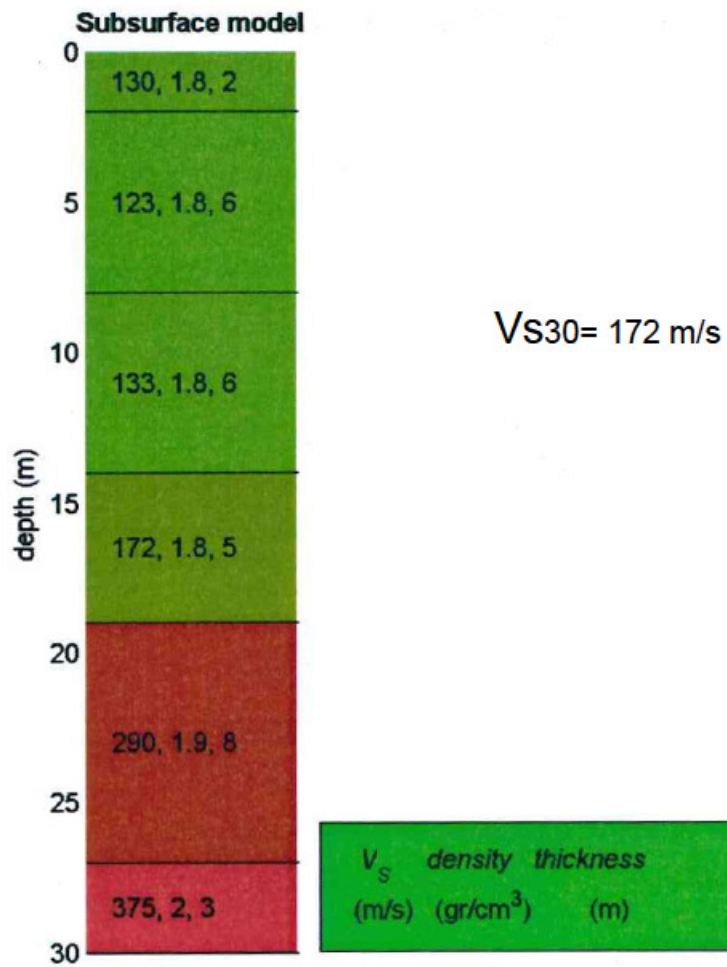
Q	V1	Z1	Q1	V2	Z2	H2	Q2	V3	Z3	H3	Q3	V4	Vs30
m slm	m/sec.	m	m slm	m/sec.	m	m	m slm	m/sec.	m	m	m slm	m/sec.	
5.0	93	0.3	4.7	151	4.8	5.2	-0.2	178	6.2	11.4	-6.4	226	197
5.0	92	0.2	4.8	151	5.2	5.4	-0.4	178	6.1	11.5	-6.5	226	196
5.0	92	0.3	4.7	151	5.4	5.7	-0.7	178	5.9	11.6	-6.6	226	195
5.0	91	0.3	4.7	151	5.4	5.8	-0.8	178	6.1	11.8	-6.8	226	195
5.0	91	0.3	4.7	151	5.4	5.8	-0.8	178	6.2	12.0	-7.0	226	195
5.0	90	0.4	4.6	151	5.2	5.6	-0.6	178	6.6	12.1	-7.1	226	193
5.0	90	0.4	4.6	151	5.1	5.5	-0.5	178	6.8	12.3	-7.3	226	194
5.0	89	0.4	4.6	151	5.0	5.4	-0.4	178	7.1	12.5	-7.5	226	194
5.0	89	0.3	4.7	151	5.2	5.5	-0.5	178	7.1	12.6	-7.6	226	194
5.0	88	0.3	4.7	151	5.1	5.4	-0.4	178	7.2	12.6	-7.6	226	194
5.0	88	0.4	4.6	151	4.9	5.3	-0.3	178	7.3	12.7	-7.7	226	194
5.0	87	0.4	4.6	151	4.9	5.3	-0.3	178	7.4	12.8	-7.8	226	194
5.0	93	0.3	4.7	151	4.9	5.3	-0.3	178	7.5	12.8	-7.8	226	195
5.0	94	0.3	4.7	151	4.9	5.2	-0.2	178	7.5	12.7	-7.7	226	194
5.0	94	0.3	4.7	151	4.9	5.2	-0.2	178	7.4	12.6	-7.6	226	195
5.0	95	0.3	4.7	151	4.9	5.2	-0.2	178	7.3	12.5	-7.5	226	195
5.0	96	0.3	4.7	151	4.9	5.2	-0.2	178	7.2	12.4	-7.4	226	195
5.0	97	0.3	4.7	151	4.9	5.2	-0.2	178	7.2	12.4	-7.4	226	195
5.0	97	0.2	4.8	151	5.2	5.3	-0.3	178	7.1	12.4	-7.4	226	194
5.0	98	0.2	4.8	151	5.2	5.4	-0.4	178	7.1	12.5	-7.5	226	195
5.0	99	0.2	4.8	151	5.3	5.5	-0.5	178	7.0	12.5	-7.5	226	195
5.0	100	0.2	4.8	151	5.2	5.4	-0.4	178	7.1	12.6	-7.6	226	196
5.0	100	0.2	4.8	151	5.2	5.4	-0.4	178	7.2	12.7	-7.7	226	196
5.0	101	0.2	4.8	151	5.3	5.5	-0.5	178	7.4	12.8	-7.8	226	194
Vs 30 medio													195

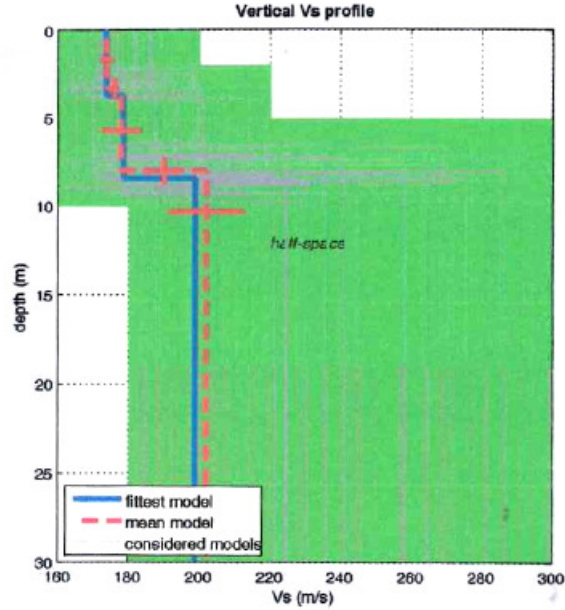
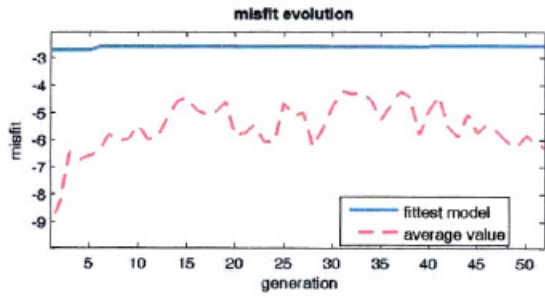
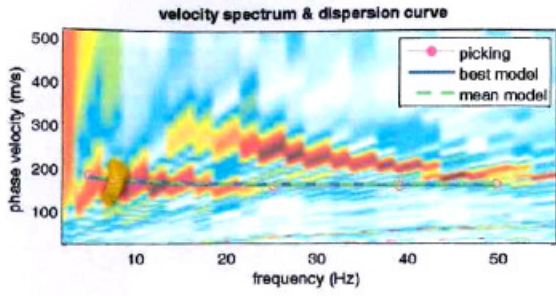
Legenda:

- Z1 = Spessore del primo orizzonte  
Z2 = Spessore del secondo orizzonte  
H2 = Profondità del secondo orizzonte  
V1 = Velocità del primo orizzonte sismico  
V2 = Velocità del secondo orizzonte sismico  
V3 = Velocità del terzo orizzonte sismico  
Q = Quota del geofono in m s.l.m.  
Q1 = Quota della profondità del primo orizzonte sismico  
Q2 = Quota della profondità del secondo orizzonte sismico

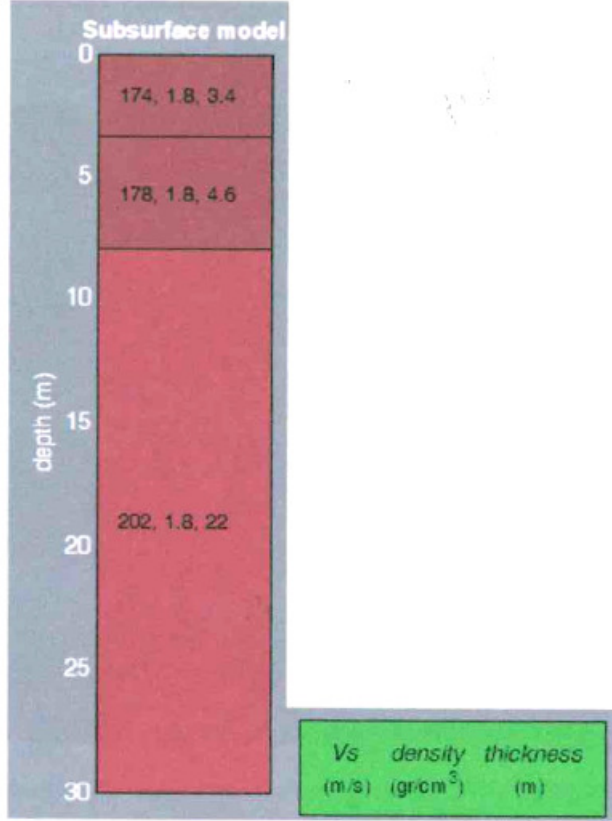
PROFONDITA' DELLA BASE DELLO STRATO [m]	SPESSORE DELLO STRATO [m]	Vs [m/sec]
2	2	130
8	6	123
14	6	133
19	5	172
27	8	290
	3	375

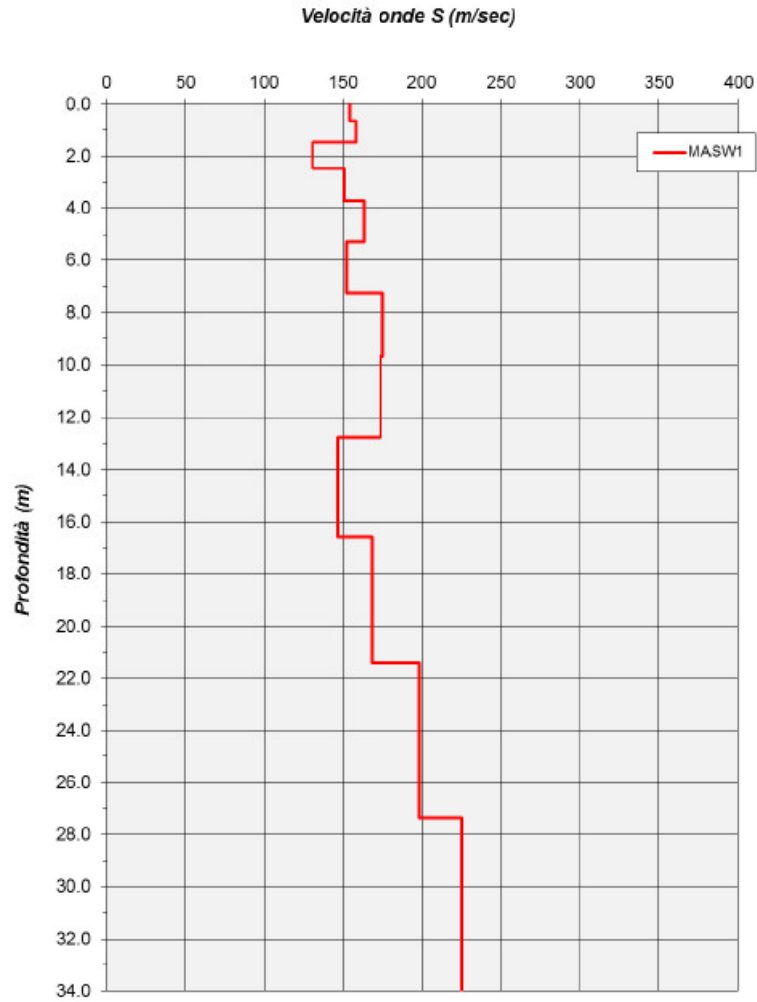
MEAN MODEL						
Approximate values for Vp, density, Shear modulus						
Vp (m/s)	318	301	326	358	604	781
Density (gr/cm3)	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	2
Shear modulus (MPa)	30	27	32	53	162	280





dataset: 10.sgy  
dispersion curve: pick10.cdp  
VS30 (best model): 192 m/s  
VS30 (mean model): 194 m/s





<b>MASW 1</b>			
<b>Strato</b>	<b>Spessore [m]</b>	<b>Vs [m/s]</b>	<b>Profondità</b>
1	0.6	<b>154</b>	0.6
2	0.8	<b>158</b>	1.4
3	1.0	<b>131</b>	2.5
4	1.3	<b>151</b>	3.7
5	1.6	<b>163</b>	5.3
6	2.0	<b>152</b>	7.2
7	2.5	<b>176</b>	9.7
8	3.1	<b>174</b>	12.8
9	3.8	<b>147</b>	16.6
10	4.8	<b>169</b>	21.4
11	6.0	<b>198</b>	27.4
12	6.8	<b>225</b>	34.2

Tabella 1: Modello sismico monodimensionale.

$$Vs_{30} = 177,2 \text{ m/s}$$

# SISMICA PUNTUALE

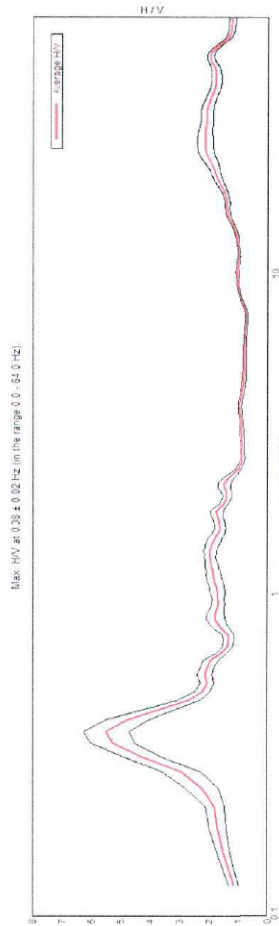
**J16\_010\_02\_05\_SAN\_GIULIANO\_TERME\_TR, ARENA METATO TR1**

Instrument: TEP-0085/01-10  
 Data format: 16 byte  
 Full scale [mV]: n.a.  
 Start recording: 05/02/16 16:17:33 End recording: 05/02/16 16:33:34  
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN  
 GPS data not available

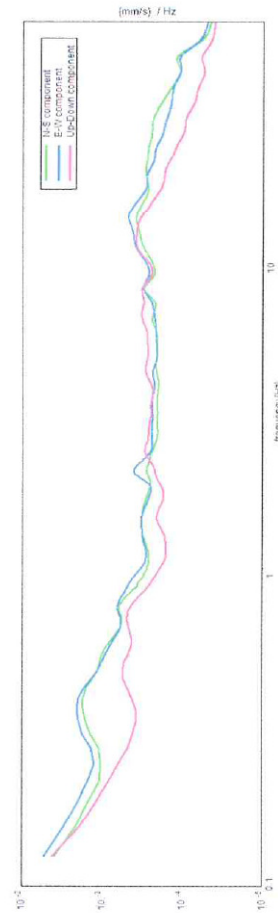
Trace length: 0h16'00"  
 Sampling rate: 128 Hz  
 Window size: 20 s  
 Smoothing type: Triangular window  
 Smoothing: 10%

Analyzed 96% trace (manual window selection)

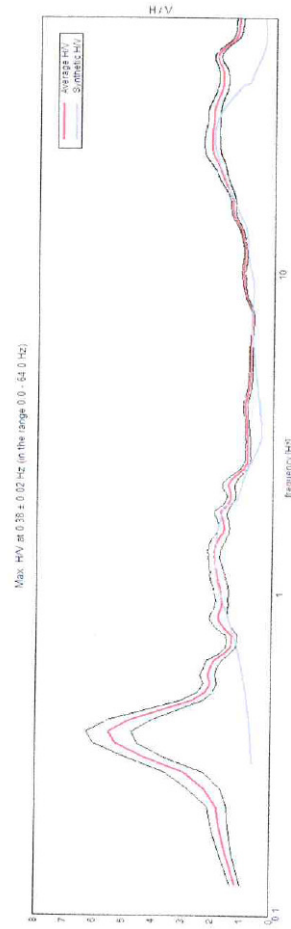
**HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO**



**SINGLE COMPONENT SPECTRA**

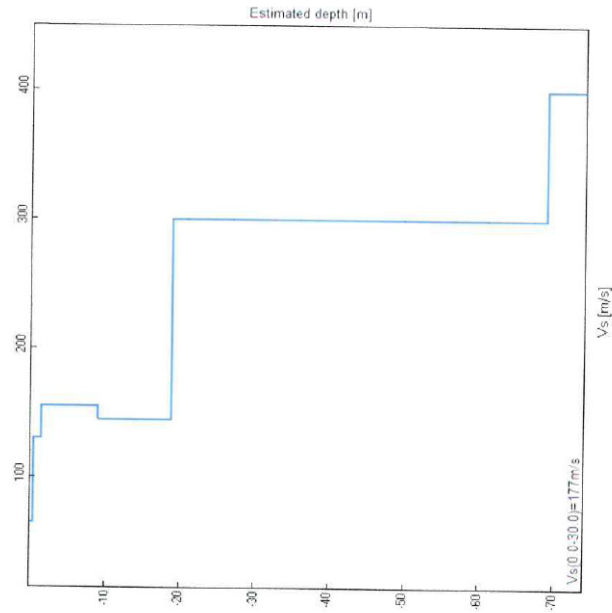


**EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC HV**



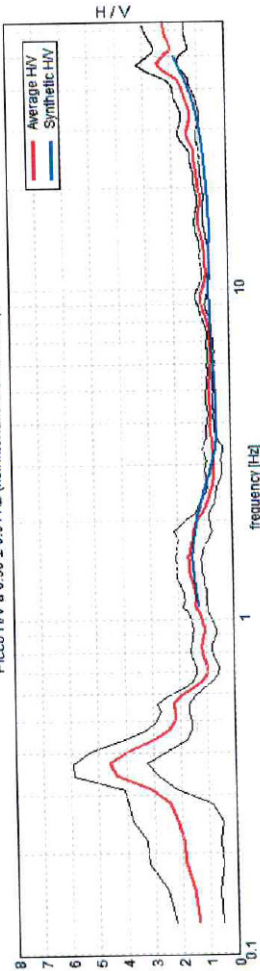
Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
0.50	0.50	65
1.50	1.00	130
9.00	7.50	155
19.00	10.00	145
69.00	50.00	300
inf.	inf.	400

Vs(0.0-30.0)=177m/s



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

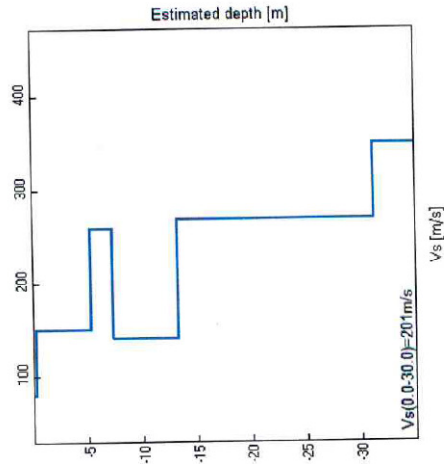
Picco H/V a  $0.38 \pm 0.01$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



Rapporto di Poisson

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.30	0.30	80	0.35
5.30	5.00	150	0.35
7.30	2.00	260	0.35
13.30	6.00	140	0.35
31.30	18.00	270	0.35
66.30	35.00	350	0.35
inf.	inf.	420	0.35

Vs(0.0-30.0)=201m/s

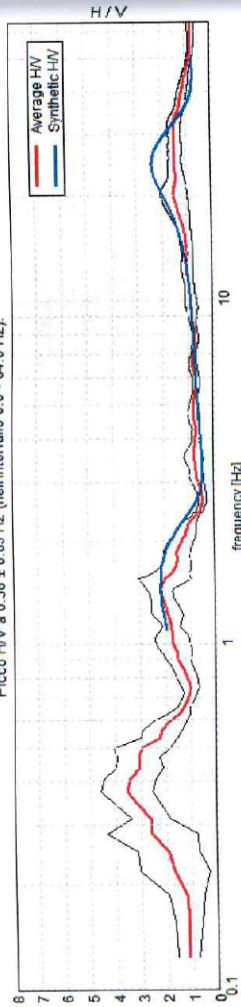


[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Gnita* prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a $0.38 \pm 0.01$ Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).					
$f_0 > 10 / L_w$	0.38 > 0.33 <b>OK</b>				
$n_c(f_0) > 200$	225.0 > 200 <b>OK</b>				
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 19 <b>OK</b>				
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz					
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]					
$f_0 > 10 / L_w$	0.38 > 0.33 <b>OK</b>				
$n_c(f_0) > 200$	225.0 > 200 <b>OK</b>				
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 19 <b>OK</b>				
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz					
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]					
Esiste $f^*$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{HV}(f^*) < A_0 / 2$	0.25 Hz <b>OK</b>				
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{HV}(f^+) < A_0 / 2$	0.5 Hz <b>OK</b>				
$A_0 > 2$	4.58 > 2 <b>OK</b>				
$f_{picco}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00932  < 0.05$ <b>OK</b>				
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.00349 < 0.075 <b>OK</b>				
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.6216 < 2.5 <b>OK</b>				
Valori di soglia per $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{logHV}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{HV}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{HV}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{HV}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{HV}(f)$ . $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{HV}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{logHV}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{HV}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di  $G_{rfta}$  prima di interpretare la tabella seguente].

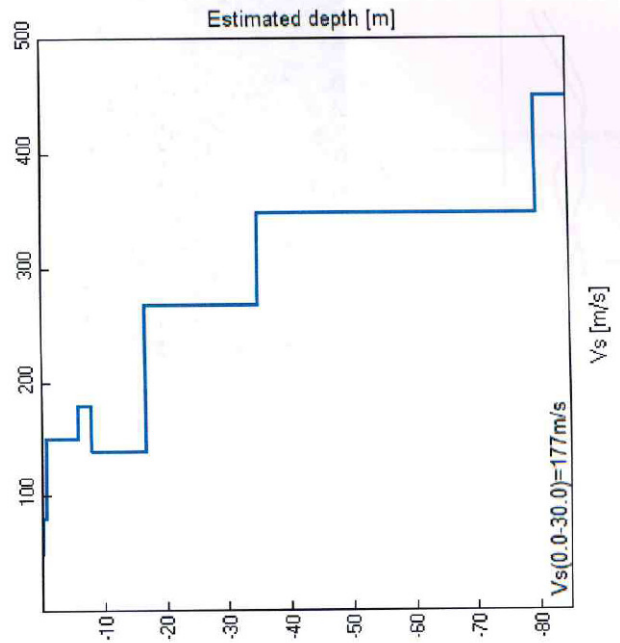


### H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Picco HV a  $0.38 \pm 0.03$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.20	0.20	50	0.35
0.80	0.60	80	0.35
5.80	5.00	150	0.35
7.80	2.00	180	0.35
16.80	9.00	140	0.35
34.80	18.00	270	0.35
79.80	45.00	350	0.35
inf.	inf.	450	0.35

$Vs(0.0-30.0)=177$  m/s



$Vs(0.0-30.0)=177$  m/s

### Picco HV a $0.38 \pm 0.03$ Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

#### Criteri per una curva HV affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.38 > 0.33$	<b>OK</b>
$n_c(f_0) > 200$	$135.0 > 200$	<b>NO</b>
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 19	<b>OK</b>
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz		

#### Criteri per un picco HV chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f^-) < A_0 / 2$	0.219 Hz	<b>OK</b>
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f^+) < A_0 / 2$	0.625 Hz	<b>OK</b>
$A_0 > 2$	$3.57 > 2$	<b>OK</b>
$f_{picco}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.03472  < 0.05$	<b>OK</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.01302 < 0.075$	<b>OK</b>
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4464 < 2.5$	<b>OK</b>

Parametro	Definizione / Note
$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w \cdot n_w \cdot f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{HV}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{HV}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{HV}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{HV}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{HV}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log-HV}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{HV}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$			
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log-HV}(f_0)$	0.48	0.40	0.30
		1.0 - 2.0	> 2.0
		0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
		1.78	1.58
		0.25	0.20

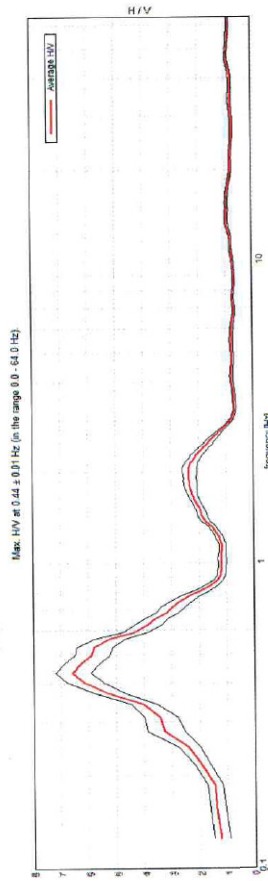


**J16\_045\_07\_13\_SAN\_GIULIANO\_TERME\_TR, PONTASSERCHIO TR1**

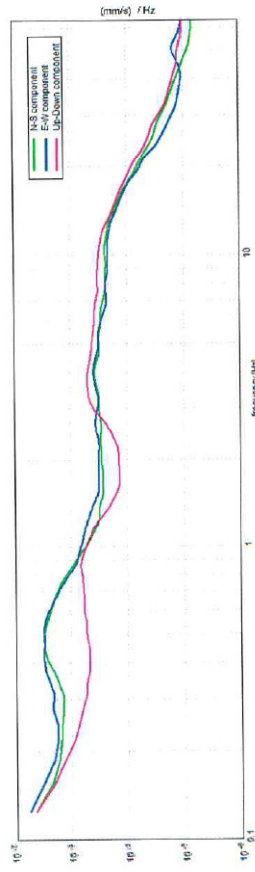
Instrument: TEP-0085/01-10  
 Data format: 16 byte  
 Full scale [mV]: n.a.  
 Start recording: 13/07/16 17:15:01    End recording: 13/07/16 17:31:02  
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN  
 GPS data not available

Trace length: 0h16'00"    Analysis performed on the entire trace.  
 Sampling rate: 128 Hz  
 Window size: 20 s  
 Smoothing type: Triangular window  
 Smoothing: 10%

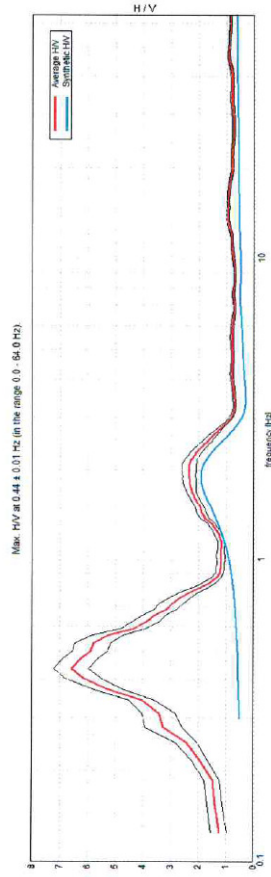
**HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO**



**SINGLE COMPONENT SPECTRA**

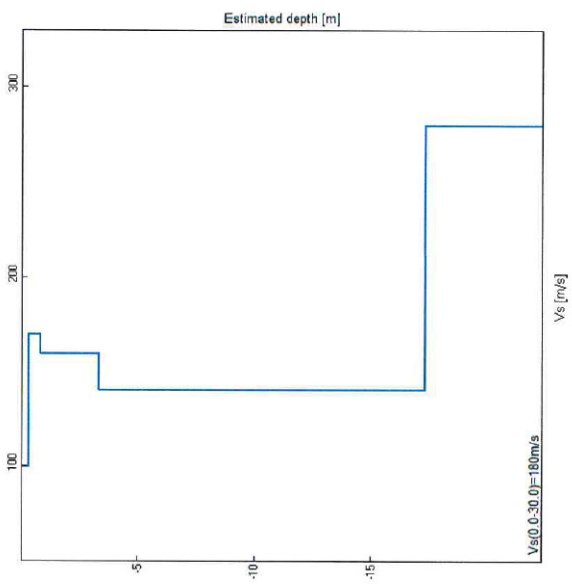


**EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC HV**



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
0.30	0.30	100
0.80	0.50	170
3.30	2.50	160
17.30	14.00	140
inf.	inf.	280

Vs(0.0-30.0)=180m/s



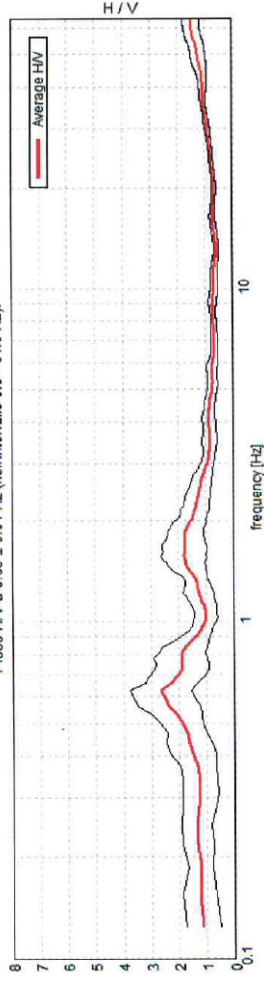
11-08 PARDINI LIMITI, TR1

Strumento: TEP-0085/01-10  
 Inizio registrazione: 17/08/11 17:41:22 Fine registrazione: 17/08/11 17:55:23  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN  
 Dato GPS non disponibile

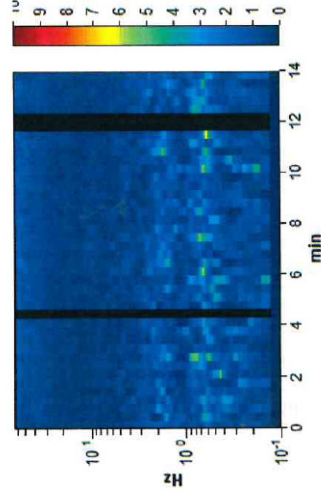
Durata registrazione: 0h14'00". Analizzato 93% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamto: Triangular window  
 Lisciamto: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

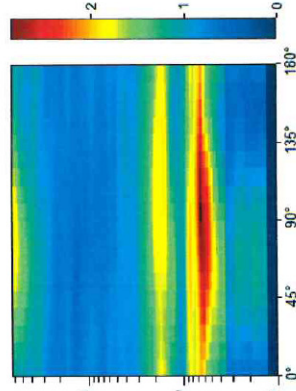
Picco HV a 0.63 ± 0.01 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



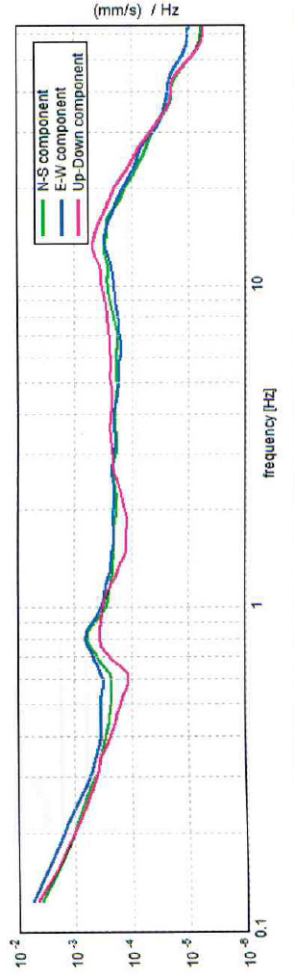
SERIE TEMPORALE HV



DIREZIONALITA' HV



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



INDAGINE MASW

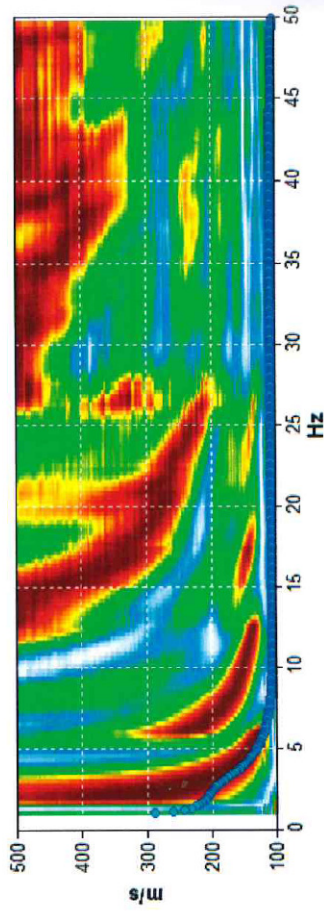
11-08 PARDINI LIMITI, [Z] MASW

Inizio registrazione: 17/08/11 17:31:55 Fine registrazione: 17/08/11 17:40:15  
 Durata registrazione: 0h02'44".  
 Freq. campionamento: 512 Hz

Nomi canali: B1 ; B2 ; B3 ; B4 ; B5 ; B6 ; B7 ; B8 ; B9 ; B10 ; B11 ; B12

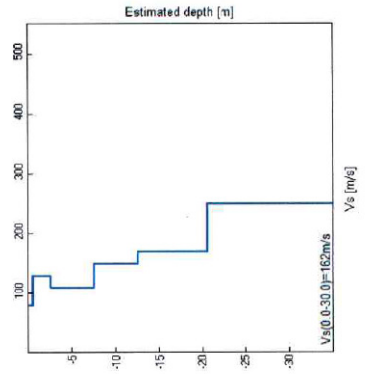
Array geometry (x): 2.0 3.0 5.0 7.0 11.0 13.0 17.0 19.0 23.0 29.0 31.0 37.0 m.

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.50	0.50	80	0.35
2.50	2.00	130	0.35
7.50	5.00	110	0.35
12.50	5.00	150	0.35
20.50	8.00	170	0.35
100.50	80.00	250	0.35
inf.	inf.	500	0.35

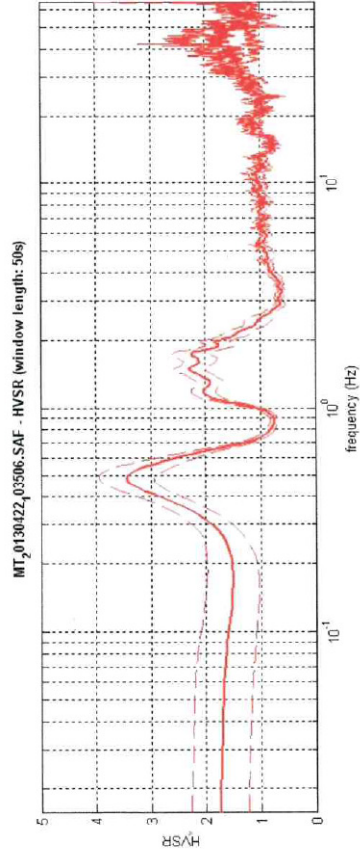
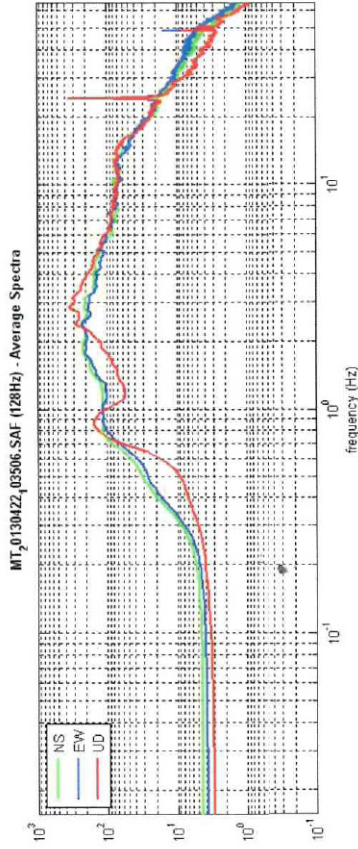
Vs(0.0-30.0)=162m/s



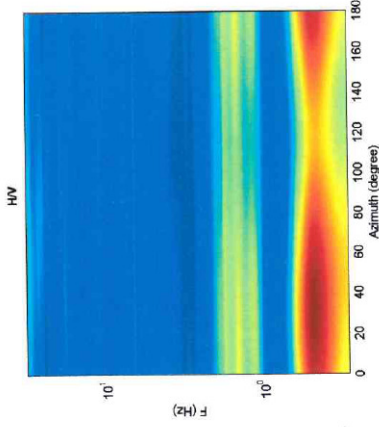
HVSR 1

Dataset: MT\_20130422\_103506.SAF  
Sampling frequency (Hz): 128  
Window length (sec): 50  
Length of analysed temporal sequence (min): 20.8  
Tapering (%): 5

**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE**



**DIREZIONALITA' HV**



**In the following the results considering the data in the 0.0-20.0Hz frequency range**

Peak frequency (Hz): 0.5  
Peak HVSR value: 3.4

==== **Criteria for a reliable H/V curve** =====

- #1.  $[f0 > 10/L.wj]: 0.5 > 0.2$  (OK)
- #2.  $[nc > 200]: 1200 > 200$  (OK)
- #3.  $[f0 > 0.5Hz; \sigma A(f) < 2 \text{ for } 0.5f0 < f < 2f0]$  (OK)

==== **Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)** =====

- #1.  $[ \text{exists } f \text{ in the range } [f0/4, f0] \mid AH/V(f) < A0/2 ]$ : yes, at frequency 0.3Hz (OK)
- #2.  $[ \text{exists } f+ \text{ in the range } [f0, 4f0] \mid AH/V(f+) < A0/2 ]$ : yes, at frequency 0.7Hz (OK)
- #3.  $[A0 > 2]: 3.4 > 2$  (OK)
- #4.  $[ \text{peak}[Ah/v(f)] = \sigma A(f) ] = f0 \pm 5\% ]$ : (OK)
- #5.  $[ \text{sigma}f < \text{epsilon}(f0) ]$ : 2.699 > 0.075 (NO)
- #6.  $[ \text{sigma}A(f0) < \text{theta}(f0) ]$ : 0.503 < 2 (OK)

*Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities. Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters they can change.*

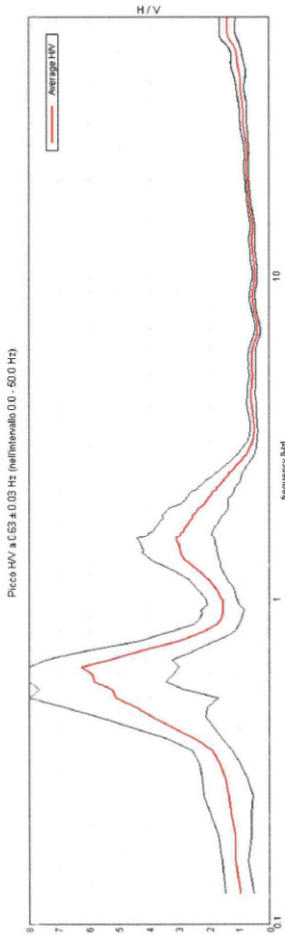
**J13\_089\_09\_19\_SAN\_GIULIANO\_TERME\_TR, PONTASSERCHIO TR1**

Strumento: TEP-0085/01-10  
 Inizio registrazione: 19/09/13 15:32:43 Fine registrazione: 19/09/13 15:48:44  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Dato GPS non disponibile

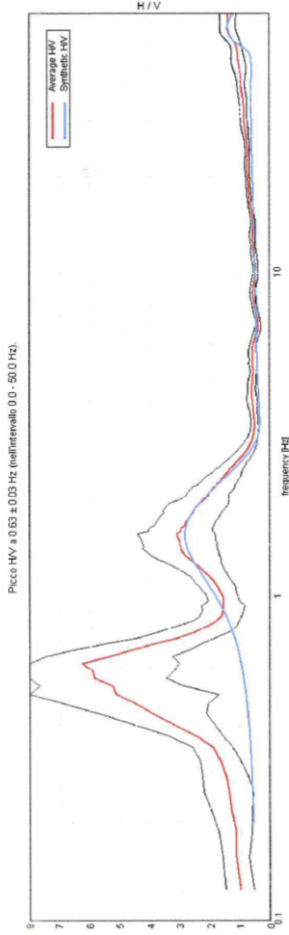
Durata registrazione: 0h16'00".  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 10%

Analisi effettuata sull'intera traccia.

**RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE**



**HV SPERIMENTALE vs. HV SINTETICO**



Profondità alla base dello strato [m]

- 0.50
- 1.50
- 10.50
- 20.50
- 60.50
- inf.

Spessore [m]

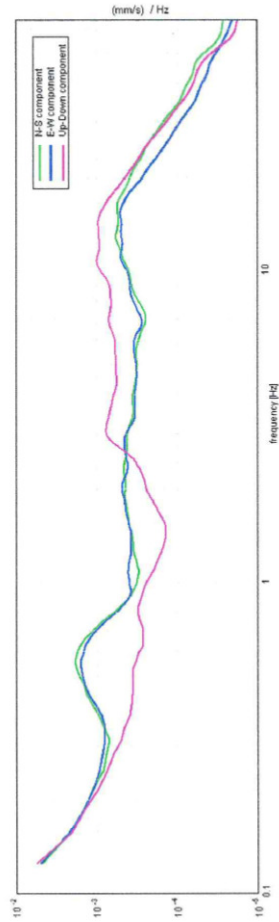
- 0.50
- 1.00
- 9.00
- 10.00
- 40.00
- inf.

Vs [m/s]

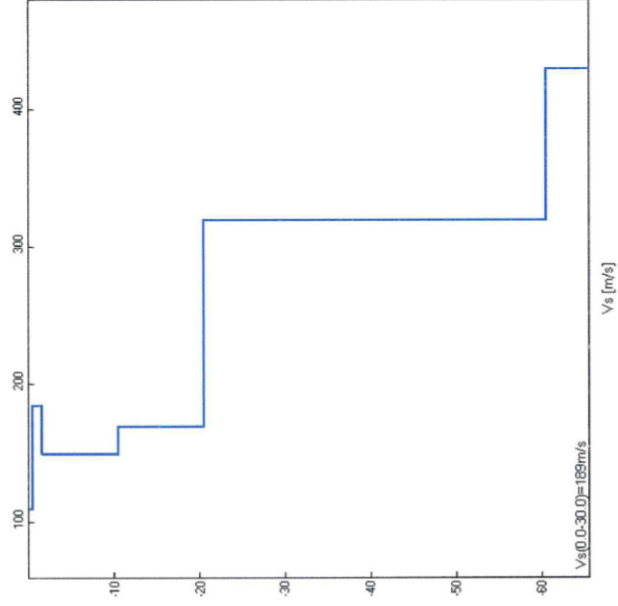
- 110
- 185
- 150
- 170
- 320
- 430

Vs(0.0-30.0)=189m/s

**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**



Estimated depth [m]

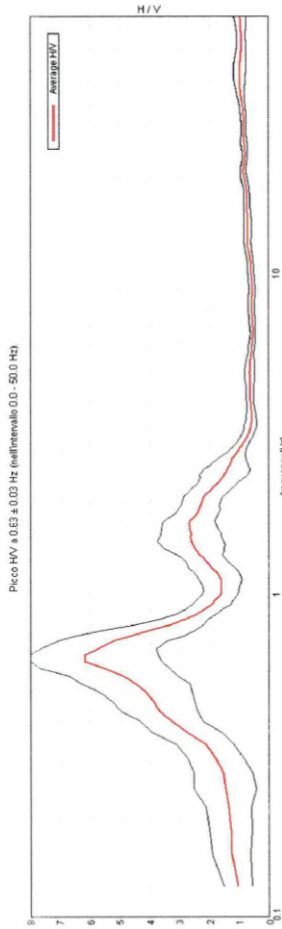


**J13\_089\_09\_19\_SAN\_GIULIANO\_TERME\_TR, PONTASSERCHIO TR2**

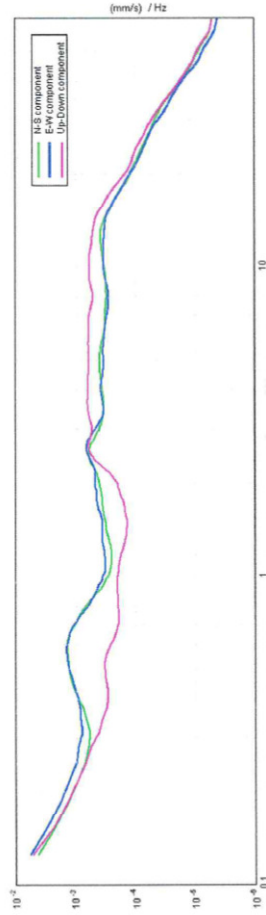
Strumento: TEP-0085/01-10  
 Inizio registrazione: 19/09/13 15:56:02 Fine registrazione: 19/09/13 16:12:03  
 Nominali canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h16'00"  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di liscio: Triangular window  
 Liscio: 10%

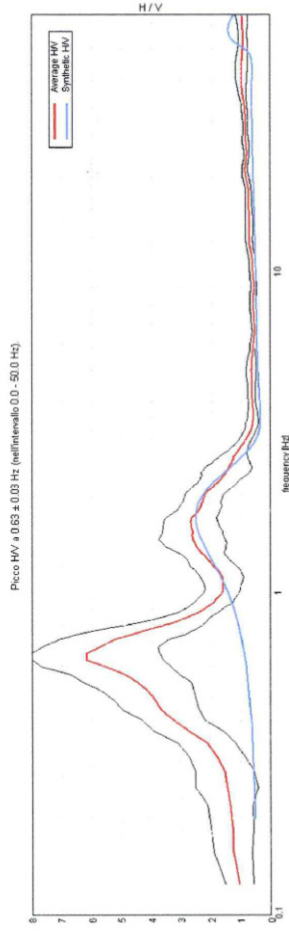
**RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE**



**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**

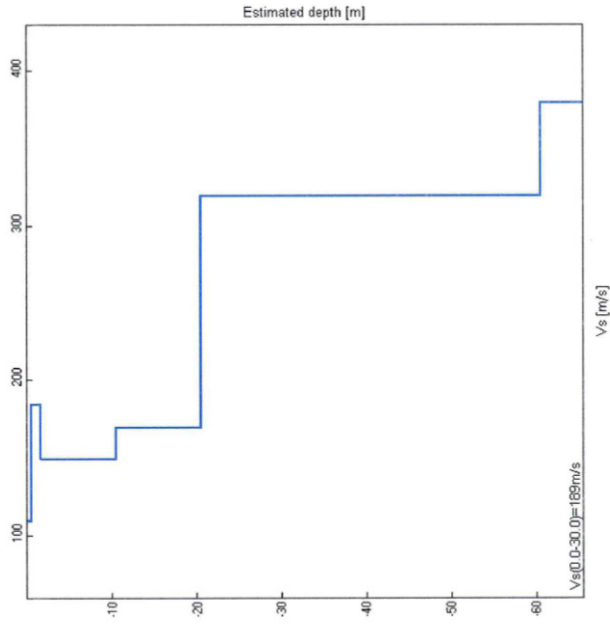


**H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO**



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.50	0.50	110
1.50	1.00	185
10.50	9.00	150
20.50	10.00	170
60.50	40.00	320
inf.	inf.	380

Vs(0.0-30.0)=189m/s

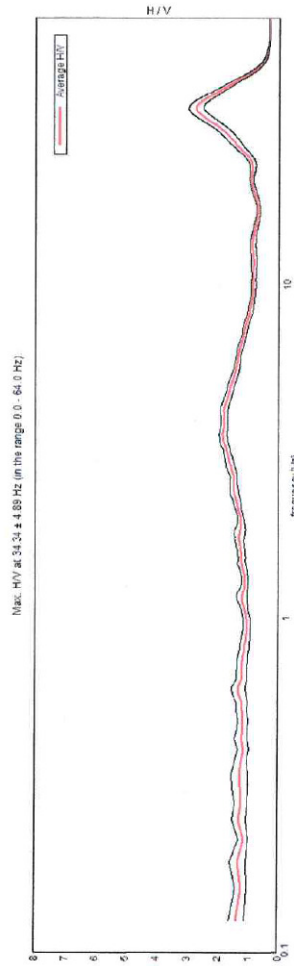


# J16\_012\_02\_18\_SAN\_GIULIANO\_TERME\_TR\_ASCIANO\_TR1b

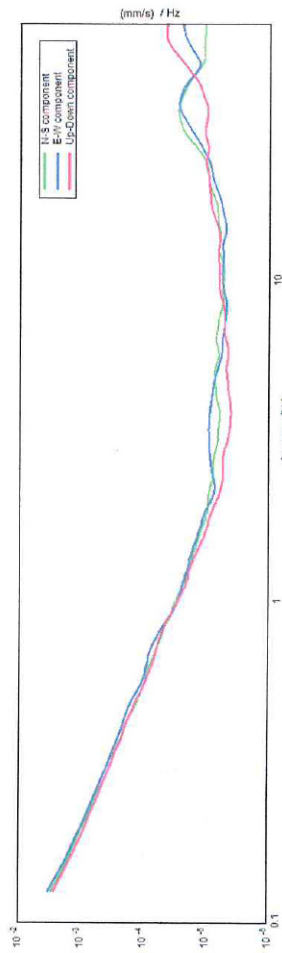
Instrument: TEP-0085/01-10  
 Data format: 16 byte  
 Full scale [mV]: n.a.  
 Start recording: 18/02/16 11:14:33 End recording: 18/02/16 11:30:34  
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN  
 GPS data not available

Trace length: 0h16'00" Analysis performed on the entire trace.  
 Sampling rate: 128 Hz  
 Window size: 20 s  
 Smoothing type: Triangular window  
 Smoothing: 10%

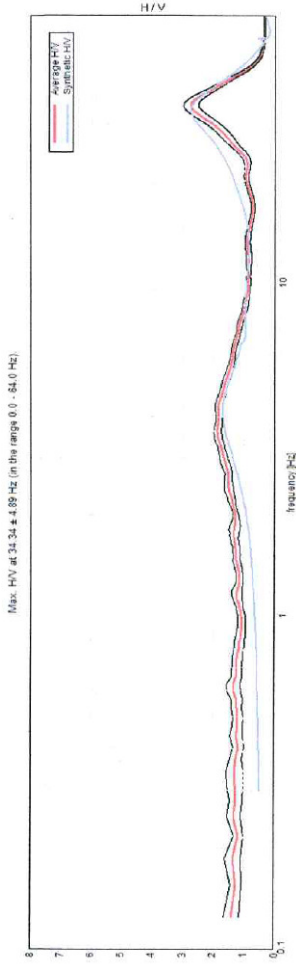
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## SINGLE COMPONENT SPECTRA

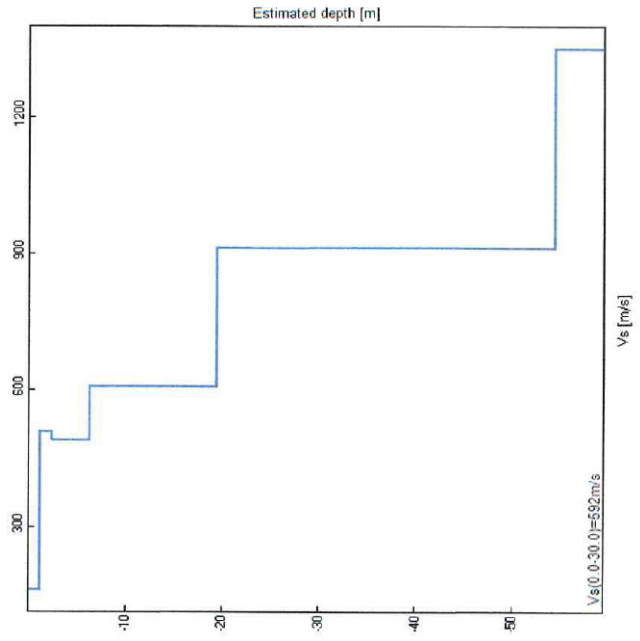


## EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

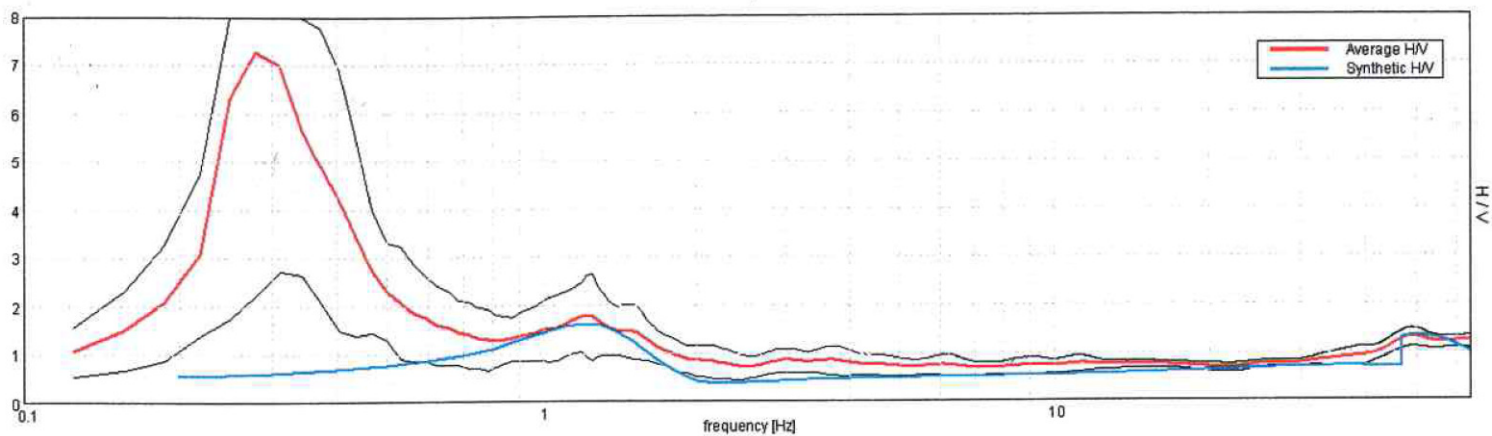


Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
1.20	1.20	165
2.40	1.20	510
6.40	4.00	490
19.40	13.00	610
54.40	35.00	915
inf.	inf.	1350

Vs(0.0-30.0)=592m/s



Picco HV a  $0.28 \pm 0.01$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 50.0 Hz).



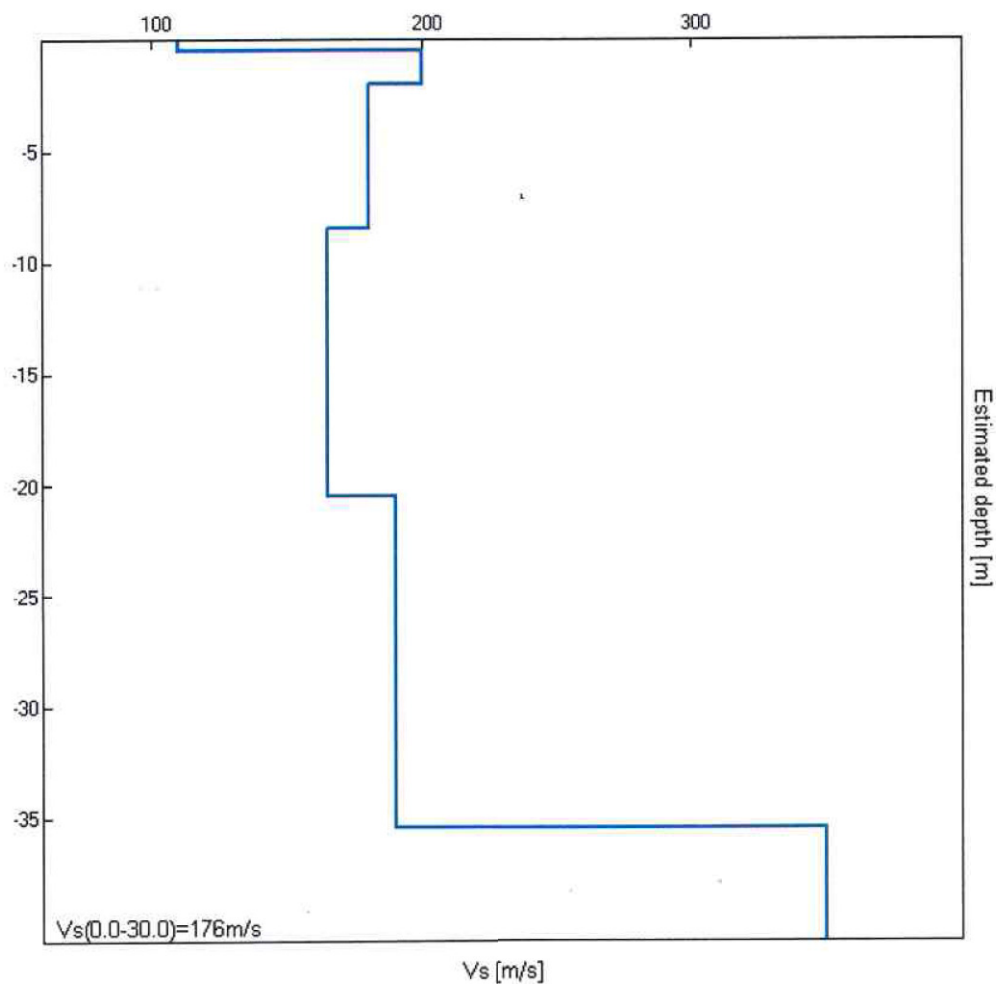
**Profondità alla base dello strato [m]**

**Spessore [m]**

**Vs [m/s]**

0.50	0.50	110
2.00	1.50	200
8.50	6.50	180
20.50	12.00	165
35.50	15.00	190
inf.	inf.	350

Vs(0.0-30.0)=176m/s



Strumento: TEP-0085/01-10

Inizio registrazione: 16/02/15 16:37:49 Fine registrazione: 16/02/15 16:53:50

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h16'00".

Analizzato 83% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

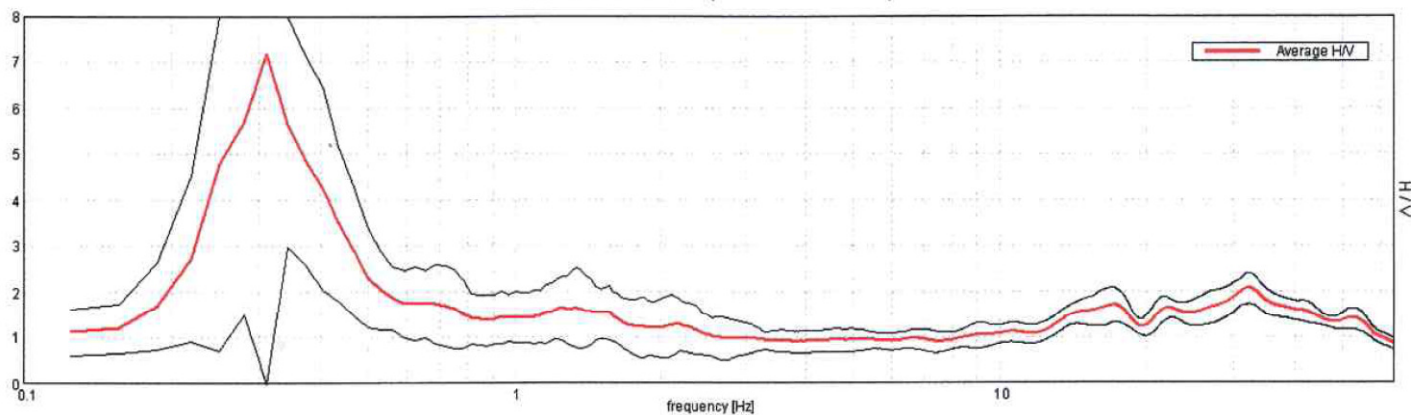
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

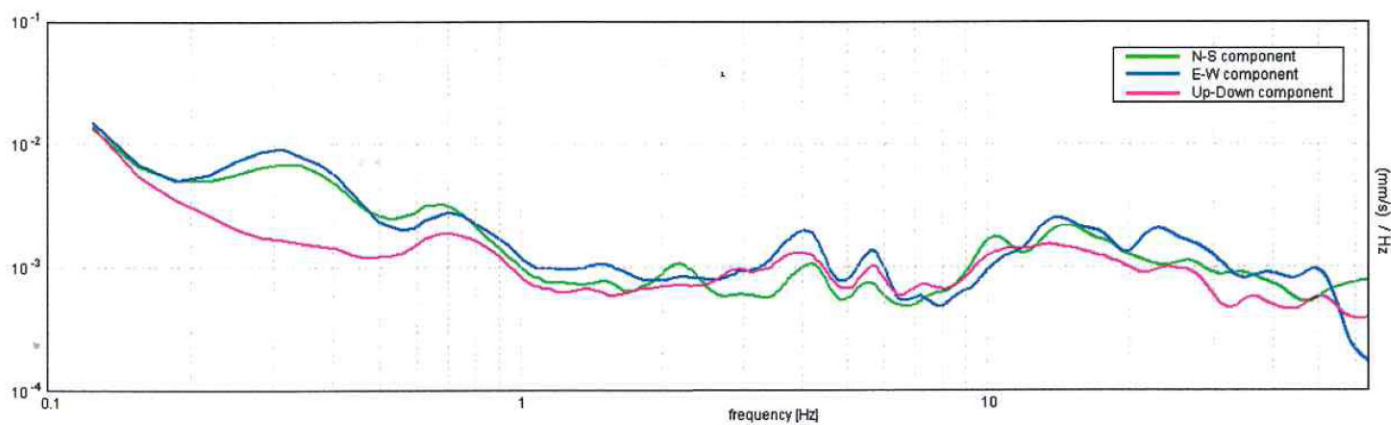
Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Picco H/V a 0.31 ± 0.03 Hz (nell'intervallo 0.0 - 50.0 Hz).

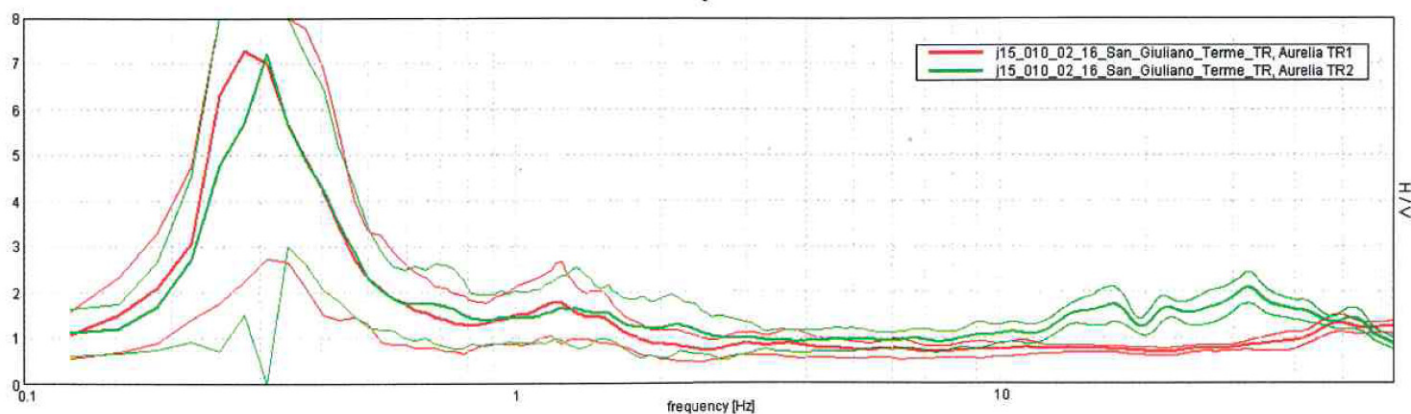


### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



### CONFRONTO SPETTRI H/V TR1 – TR2

Average H/V.





Le risultanze dell'elaborazione sono presentate mediante graficazione dei rapporti spettrali H/V delle varie componenti indicando il massimo del rapporto HVSR nel valore di  $f_0$  - Frequenzale di risonanza e la sua deviazione standard.

Viene riportata anche la check-list proposta dalla procedura SESAME per l'ottenimento di una curva H/V affidabile.

Il picco HV a circa 15-20hz è di origine antropica ed è quindi stata considerata la curva HVSR soltanto fino a 10hz.

### HVSR\_1

Dataset: MT\_20130829\_102128.SAF

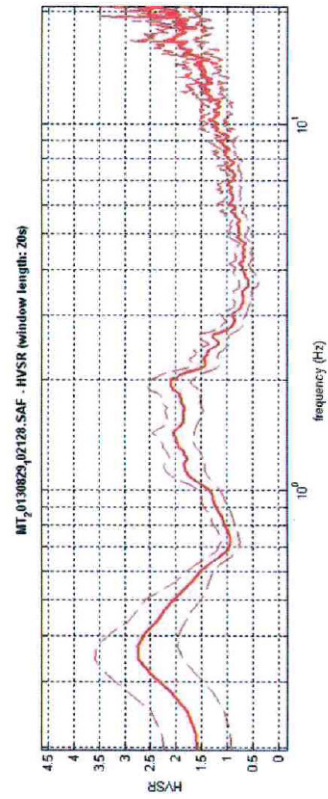
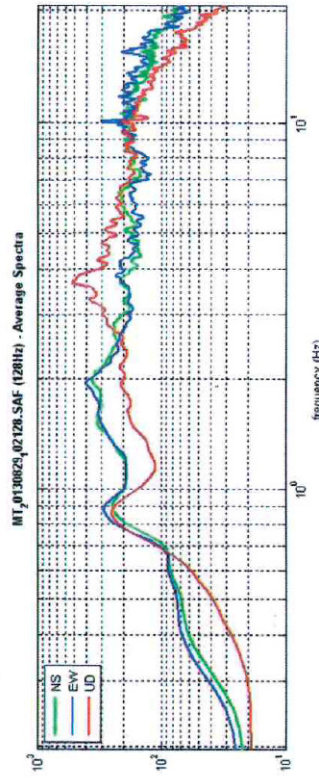
Sampling frequency (Hz): 128

Window length (sec): 20

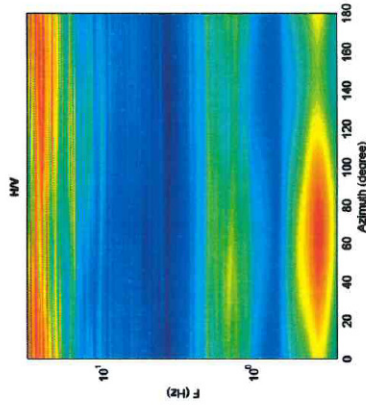
Length of analysed temporal sequence (min): 14.8

Tapering (%): 0

### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



### DIREZIONALITA' HV



In the following the results considering the data in the 0.5-10.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 2.0

Peak HVSR value: 2.1

#### Criteria for a reliable H/V curve

- #1.  $[f_0 > 10/Lw]$ : 2.0 > 0.5 (OK)
- #2.  $[nc > 200]$ : 3427 > 200 (OK)
- #3.  $[f_0 > 0.5Hz; \sigma_{H/V}(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)

#### Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

- #1.  $[ \text{exists } f - \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f-) < A0/2]$ : yes, at frequency 0.8Hz (OK)
- #2.  $[ \text{exists } f+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f+) < A0/2]$ : yes, at frequency 2.8Hz (OK)
- #3.  $[A0 > 2]$ : 2.1 > 2 (OK)
- #4.  $[f_{peak}[Ah/v(f) \pm \sigma_{H/V}(f)] = f_0 \pm 5\%]$ : (NO)
- #5.  $[\sigma_{H/V}(f_0)]$ : 1.877 > 0.197 (NO)
- #6.  $[\sigma_{H/V}(f_0) < \theta(f_0)]$ : 0.448 < 1.78 (OK)

Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities. Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters they can change.

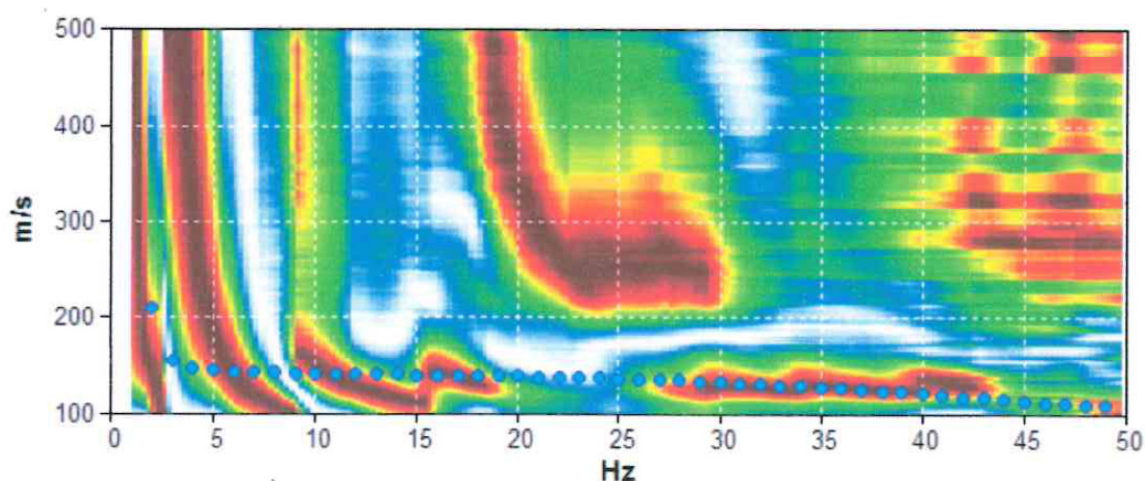


Figura 1 Grafico a contour: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per lo stendimento MASW. Linea azzurra: primo modo della curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.

Le prove in array forniscono un profilo medio sotto la linea indagata. La curva di dispersione teorica che meglio approssima la curva sperimentale è rappresentata in azzurro ed è stata ottenuta per il modello di sottosuolo illustrato in Figura 3, derivandola dal fit congiunto di prova HVSR e prova in array.

Il risultato è riportato nella seguente figura.

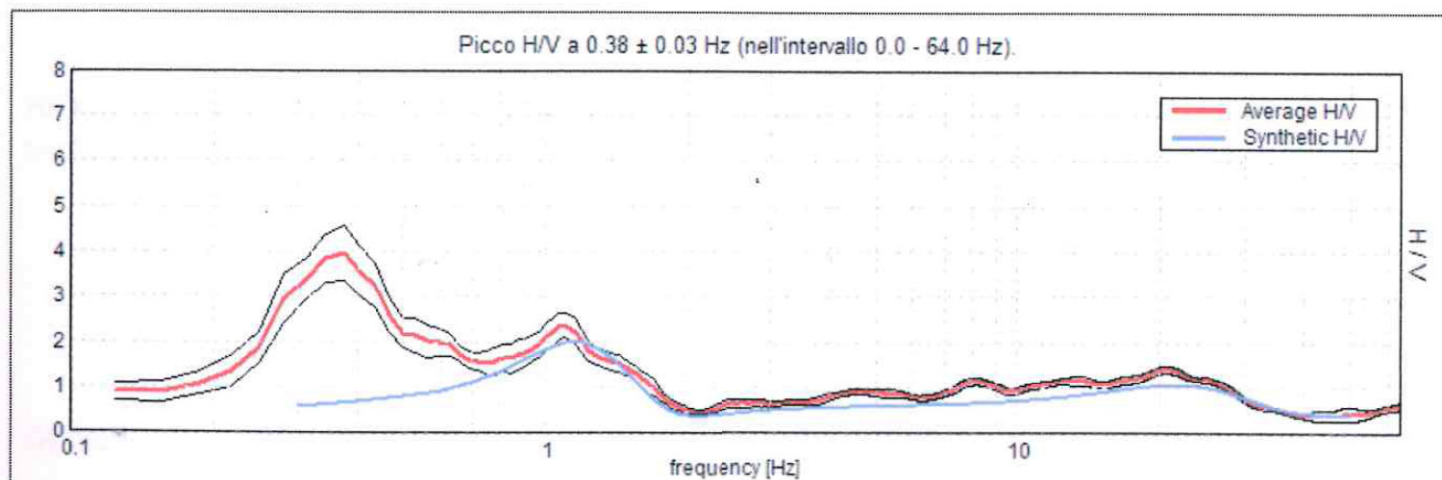


FIGURA 2 CURVA H/V SPERIMENTALE (ROSSO) E TEORICA (BLU) PER IL MODELLO DI SOTTOSUOLO PROPOSTO PER IL SITO

Il modello di sottosuolo medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto delle prove in array e HVSR è riportato nella tabella seguente ed in Figura 3:

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	100
32.00	31.00	155
inf.	inf.	290

## HVSR 1

Dataset: MT\_20140319\_121426.SAF

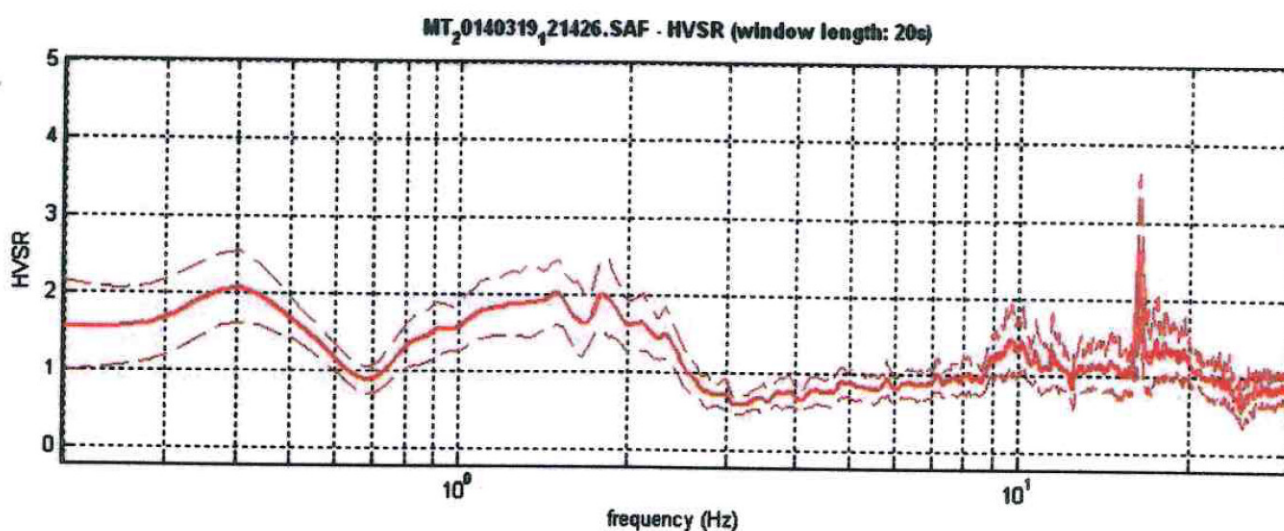
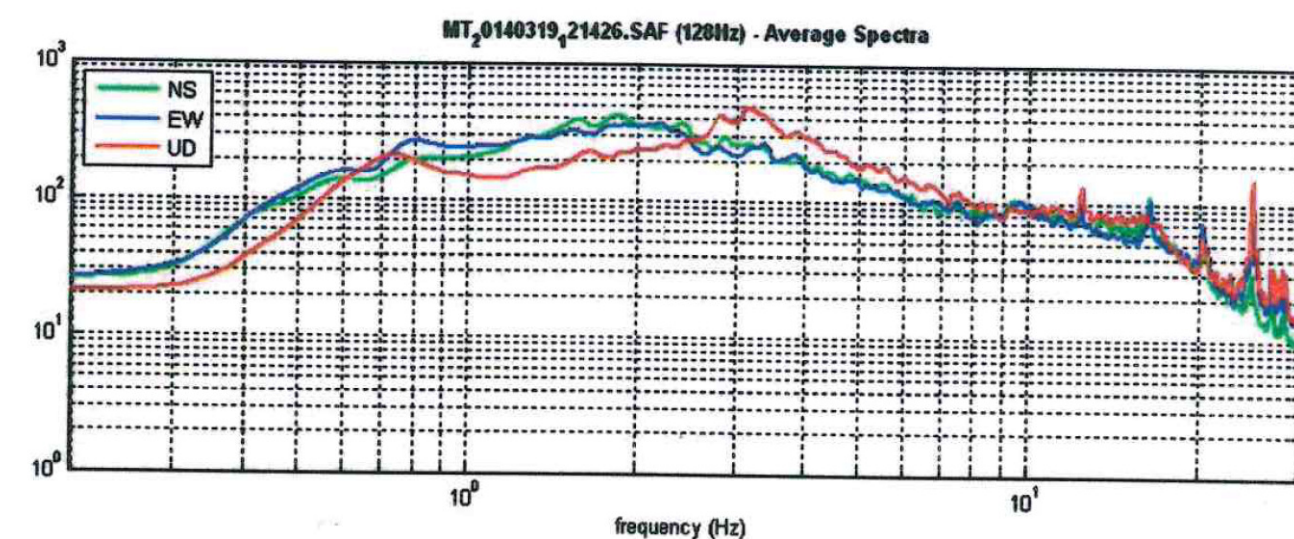
Sampling frequency (Hz): 128

Window length (sec): 20

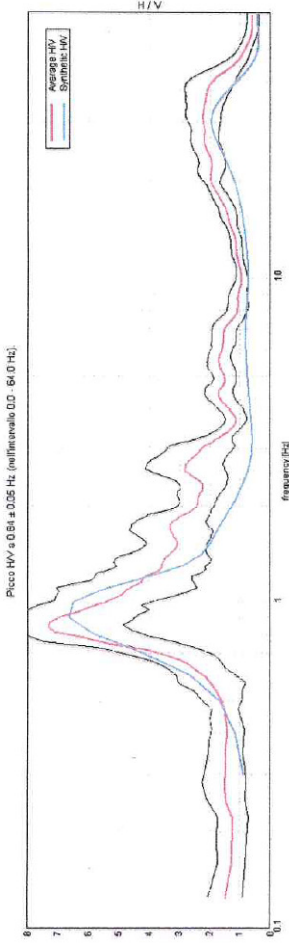
Length of analysed temporal sequence (min): 19.4

Tapering (%): 0

### **SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE**



### H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



**Vs [m/s]**

75
160
220
190
365
540
900

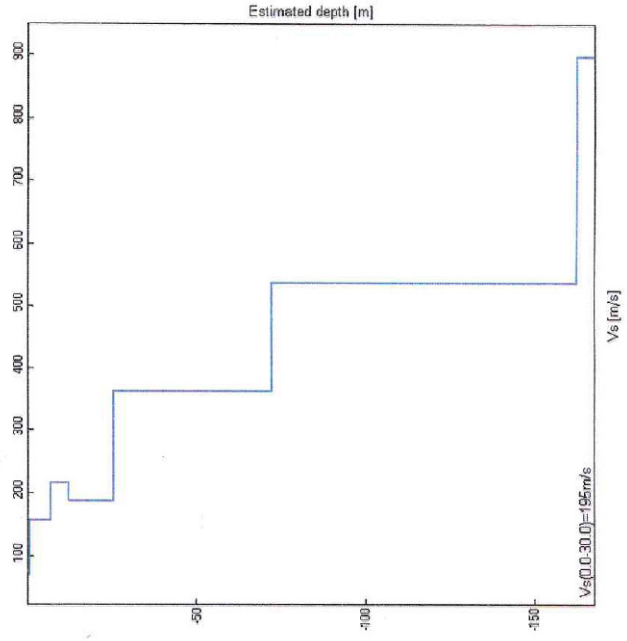
**Spessore [m]**

0.60
6.10
5.50
13.30
47.00
90.00
inf.

**Profondità alla base dello strato [m]**

0.60
6.70
12.20
25.50
72.50
162.50
inf.

Vs(0.0-30.0)=195m/s



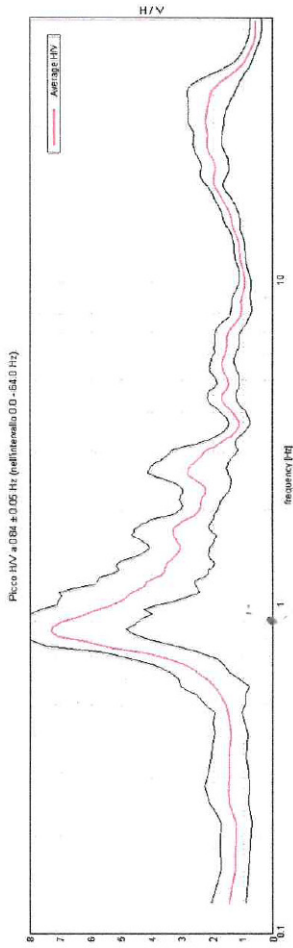
### J13\_002\_01\_08\_SAN\_GIULIANO\_TERME\_TR, COLOGNOLE TR1

Strumento: TEP-0085/01-10  
 Inizio registrazione: 08/01/13 09:43:22 Fine registrazione: 08/01/13 09:57:23  
 Normi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Dato GPS non disponibile

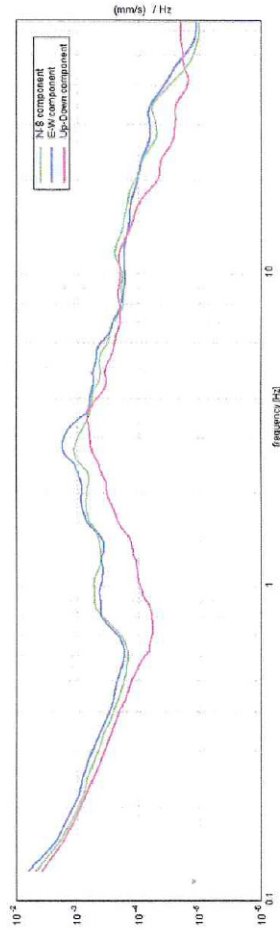
Durata registrazione: 0h14'00"  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestra: 20 s  
 Tipo di lisciviazione: Triangular window  
 Lisciviazione: 10%

Analizzato 71% tracciato (selezione manuale)

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



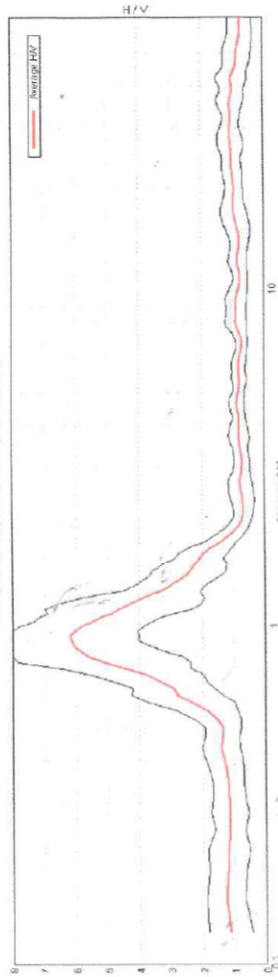
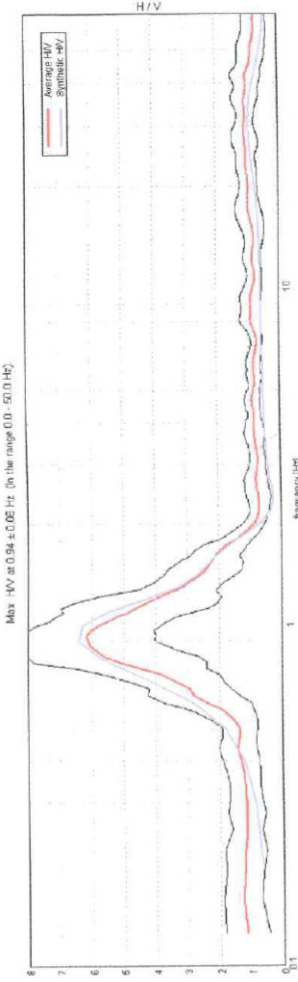
J13\_041\_04\_17\_MEZZANA\_TR, VIA XXV APRILE TR1

Strumento: TEP-0085/01-10  
 Inizio registrazione: 17/04/13 09:14:37 Fine registrazione: 17/04/13 09:34:38  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00"  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestra: 20 s  
 Tipo di lisciamiento: Triangular window  
 Lisciamiento: 10%

Analizzato 90% tracciato (selezione manuale)

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Profondità alla base dello strato [m]

0.60
3.50
23.50
88.50
inf.

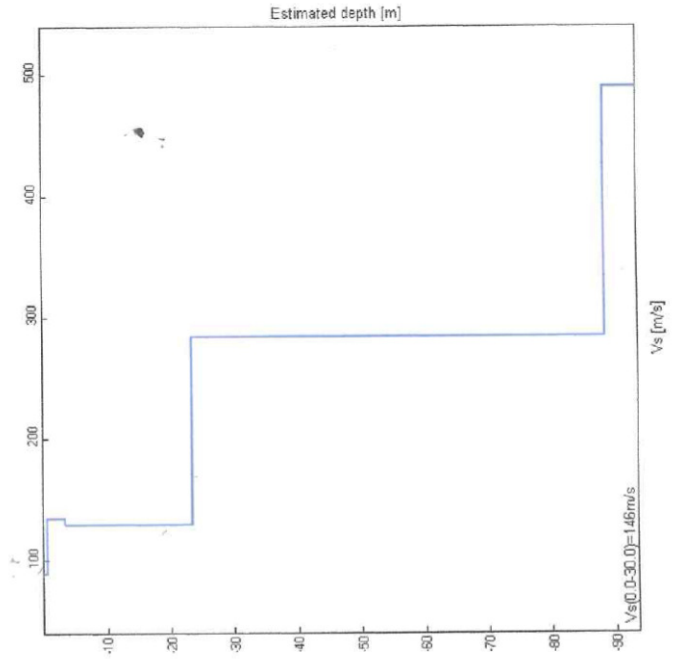
Spessore [m]

0.60
2.90
20.00
65.00
inf.

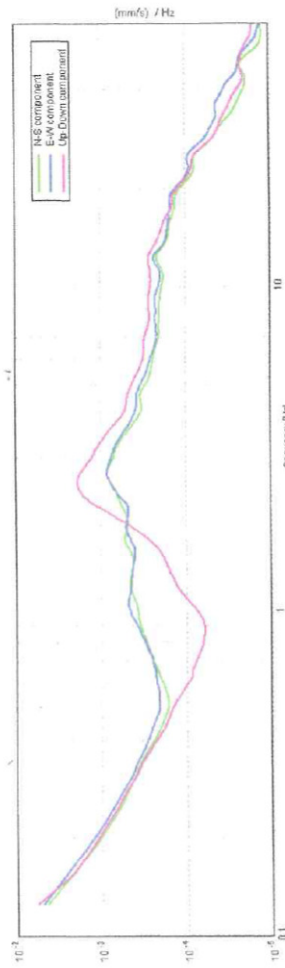
Vs [m/s]

90
135
130
285
490

Vs(0.0-30.0)=146m/s



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



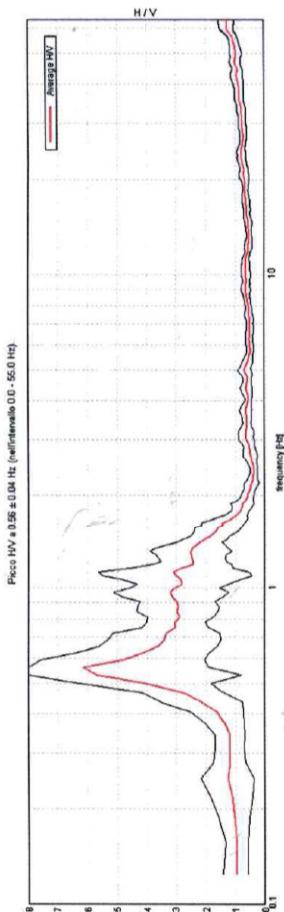
# J12\_054\_04\_06\_SAN\_GIULIANO\_TERME\_TR\_MEZZANA\_TR1

Strumento: TEP-0085/01-10  
 Inizio registrazione: 06/04/12 09:04:03 Fine registrazione: 06/04/12 09:18:04  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN  
 Dato GPS non disponibile

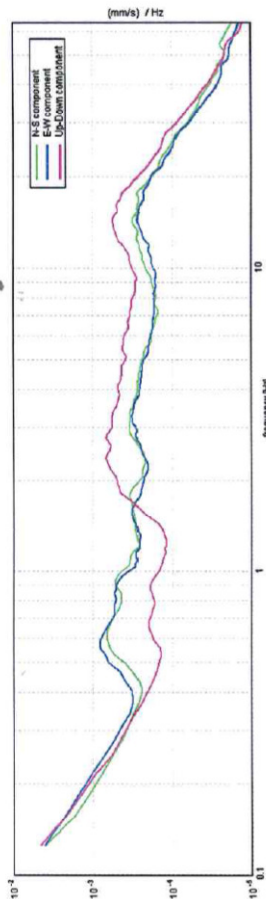
Durata registrazione: 0h14'00"  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestra: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 5%

Analizzato 95% tracciato (selezione manuale)

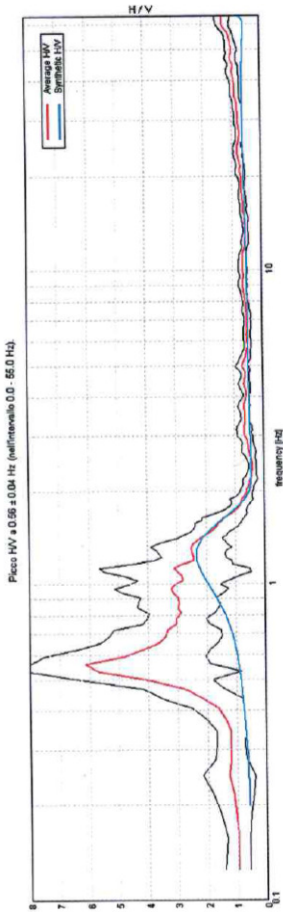
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



## H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



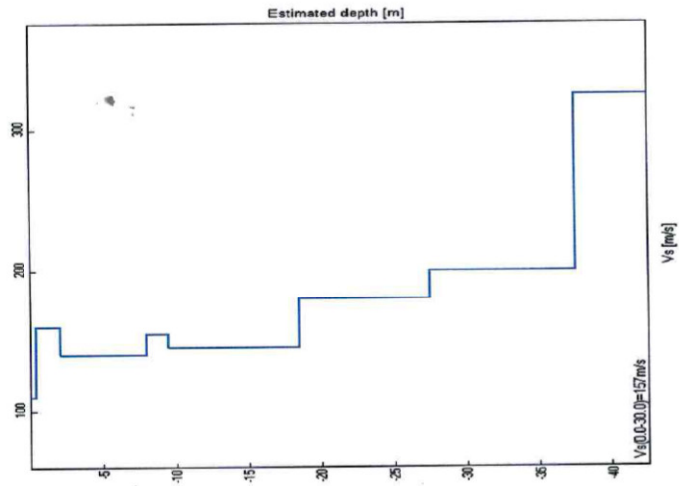
## Profondità alla base dello strato

[m]  
 0.40  
 2.00  
 8.00  
 9.50  
 18.50  
 27.50  
 37.50  
 inf.

## Spessore [m]

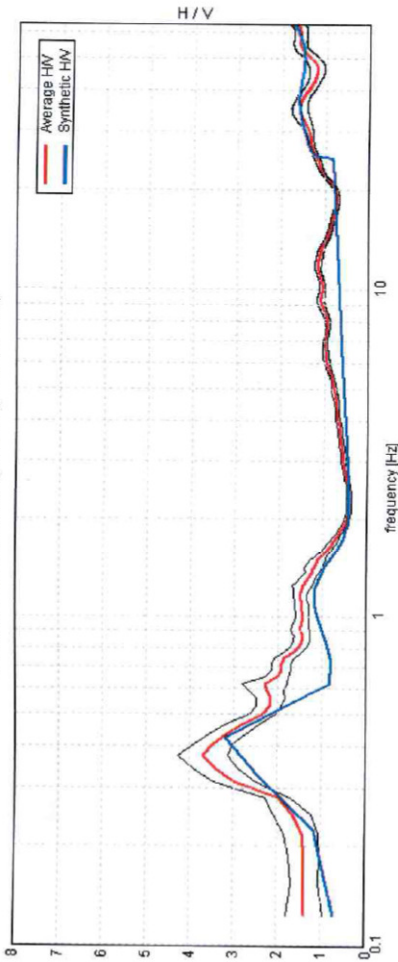
110  
 160  
 140  
 155  
 145  
 180  
 200  
 325

$V_s(0.0-30.0)=157\text{m/s}$



EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC HV

Max. HV at 0.38 ± 0.03 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer

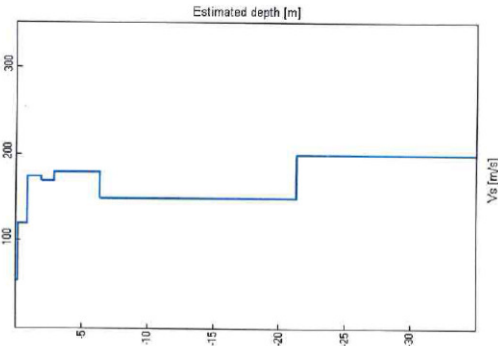
- 0.20
- 0.90
- 1.90
- 2.90
- 6.40
- 21.40
- 41.40
- 191.40
- inf.

Thickness [m]

- 0.20
- 0.70
- 1.00
- 1.00
- 3.50
- 180
- 150
- 200
- 300
- 600

Vs [m/s]

Vs(0.0-30.0)=163m/s



[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the *grilla* manual before interpreting the following tables.]

1	<b>Max. HV at 0.38 ± 0.03 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).</b>	
---	---	--

2		
3	<b>4 Criteria for a reliable HVSR curve</b> [All 3 should be fulfilled]	
5	$f_0 > 10 / L_w$	0.38 > 0.33 <b>OK</b>
	$n_s(f_0) > 200$	315.0 > 200 <b>OK</b>
	$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 19 times <b>OK</b>
	$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	<b>OK</b>

5.1	<b>5.2 Criteria for a clear HVSR peak</b> [At least 5 out of 6 should be fulfilled]	
-----	--	--

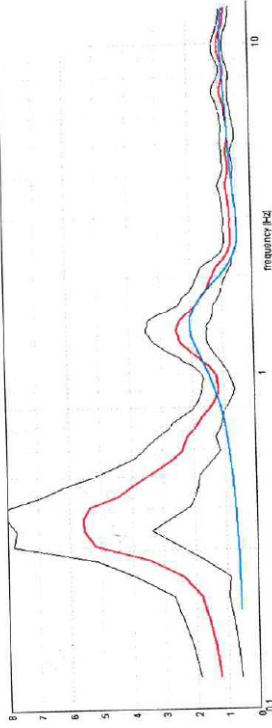
$\text{Exists } f^- \text{ in } [f_0/4, f_0]$	$A_{HV}(f^-) < A_0 / 2$	0.25 Hz	<b>OK</b>
$\text{Exists } f^+ \text{ in } [f_0, 4f_0]$	$A_{HV}(f^+) < A_0 / 2$	0.781 Hz	<b>OK</b>
$A_0 > 2$		3.70 > 2	<b>OK</b>
$f_{\text{peak}}[A_{HV}(f)] \pm \sigma_A(f) = f_0 \pm 5\%$		$ 0.04124  < 0.05$	<b>OK</b>
$\sigma_A < \varepsilon(f_0)$		0.01546 < 0.075	<b>OK</b>
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$		0.2678 < 2.5	<b>OK</b>

$L_w$	window length
$n_w = L_w \cdot f_w \cdot f_0$	number of windows used in the analysis
$f$	number of significant cycles
$f_0$	current frequency
$\sigma_f$	H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	standard deviation of HV peak frequency
$A_0$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_{HV}(f)$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$f^-$	H/V curve amplitude at frequency $f^-$
$f^+$	H/V curve amplitude at frequency $f^+$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{HV}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{HV}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log HV}(f)$	standard deviation of $\log A_{HV}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log HV}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

H/V SPERIMENTALE VS. H/V SINTETICO

Picco HV a 0.38 ± 0.02 Hz (nell'intervallo 0.0 - 50.0 Hz)



Rif.: j14.088.12

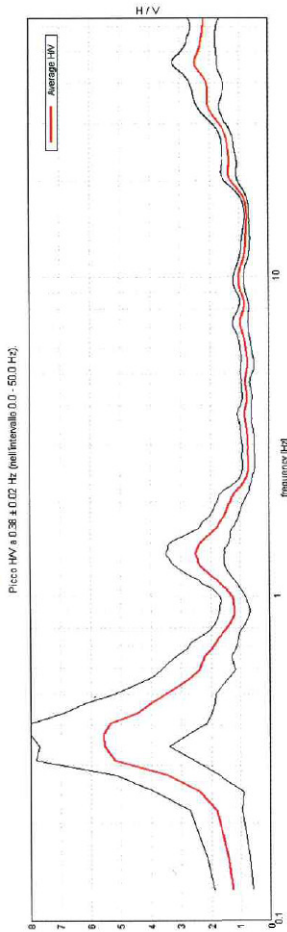
J14\_088\_12\_09\_SAN\_GIULIANO\_TERME\_TR, VIA DI CAMPOLUNGO TR1

Strumento: TEP-0085/01-10  
 Inizio registrazione: 09/12/14 16:19:10 Fine registrazione: 09/12/14 16:35:11  
 Normi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h16'00"  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamto: Triangular window  
 Lisciamto: 10%

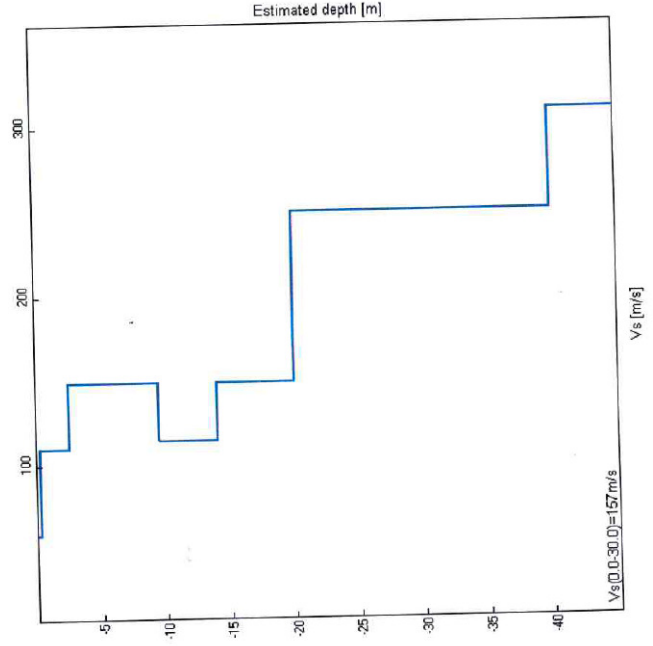
Analisi effettuata sull'intera traccia.

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

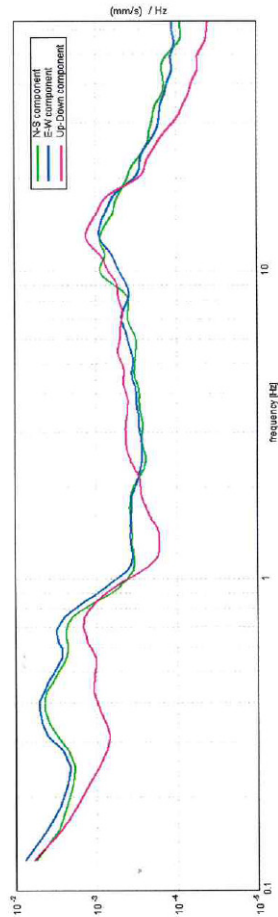


Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.30	0.30	60
2.60	2.30	110
9.60	7.00	150
14.10	4.50	115
20.10	6.00	150
40.10	20.00	250
inf.	inf.	310

Vs(0.0-30.0)=157m/s



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

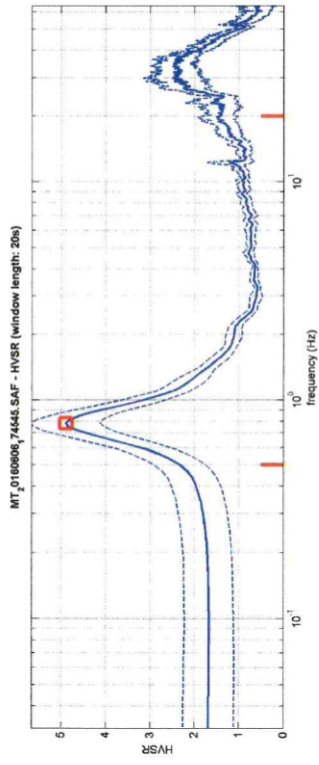
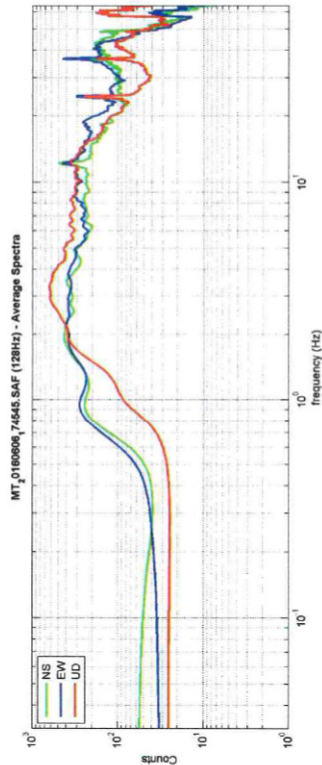




**HVSR 1**

Dataset: MT\_20160606\_174545.SAF  
 Sampling frequency (Hz): 128  
 Window length (sec): 20  
 Length of analysed dataset (min): 15.0  
 Tapering (%): 0  
 Smoothing (%): 5

**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE**

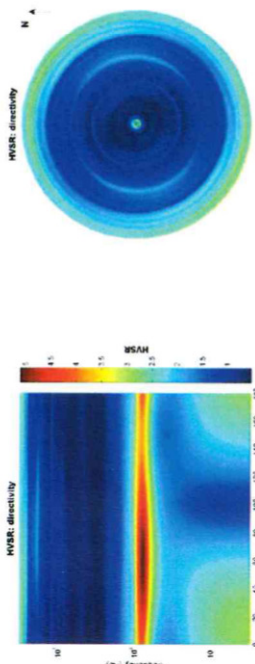


To make the HVSR (together with HVSDV or HVMSAC data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectra", Modeling & "Fitting" panels and update the saved HV curve

**GAIA Servizi S.n.c.**

Via Lenin, 132 - 56017 San Giuliano Terme (PI)  
 Tel./Fax: 050 9910582 e-mail: info@gaiaservizi.com - p. IVA 01667250508

**DIREZIONALITA' H/V**



In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 0.8  
 Peak HVSR value: 4.9

**Criteria for a reliable H/V curve**

- #1.  $[f0 > 10/L.w]: 0.782 > 0.5$  (OK)
- #2.  $[nc > 200]: 1157 > 200$  (OK)
- #3.  $[f0 > 0.5Hz; \sigma A(f) < 2 \text{ for } 0.5f0 < f < 2f0]$  (OK)

**Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)**

- #1.  $[ \text{exists } f \text{ in the range } [f0/4, f0] \mid AH/V(f) < A0/2 ]$ : yes, at frequency 0.5Hz (OK)
- #2.  $[ \text{exists } f^+ \text{ in the range } [f0, 4f0] \mid AH/V(f^+) < A0/2 ]$ : yes, at frequency 1.2Hz (OK)
- #3.  $[A0 > 2]$ : 4.9 > 2 (OK)
- #4.  $[fpeak[Abv(f) \pm \sigma A(f)] = f0 \pm 5\%]$ : (OK)
- #5.  $[ \sigma A(f) < \epsilon(f0) ]$ : 3.882 > 0.117 (NO)
- #6.  $[ \sigma A(f0) < \theta(f0) ]$ : 0.775 < 2 (OK)

Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities. Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters they can change.

\*\*\*\*\*

San Giuliano Terme (PI),  
 9 giugno 2016

**GAIA Servizi S.n.c.**  
 Dott. Jacopo Martini

**GAIA Servizi S.n.c.**  
 di Massimiliano Vainozzi & C.  
 Via Lenin 132 - 56017 San Giuliano T. (PI)  
 P. IVA 01667250508 N. REA PI - 145167

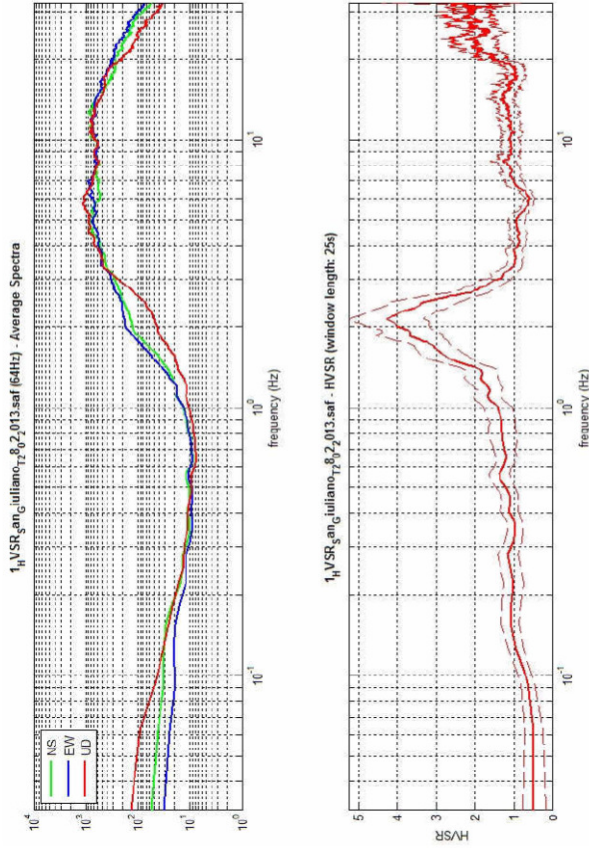
**GAIA Servizi S.n.c.**

Via Lenin, 132 - 56017 San Giuliano Terme (PI)  
 Tel./Fax: 050 9910582 e-mail: info@gaiaservizi.com - p. IVA 01667250508

**HVSR 1**

<b>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</b>	
Dataset: 1_HVSR_San_Giuliano_T_28_02_2013.saf	
Sampling frequency (Hz): 64	
Window length (sec): 25	
Length of analysed temporal sequence (min): 40	
Tapering (%): 10	
<b>Peak frequency (Hz): 2.2</b>	
<b>Peak HVSR value: 4.3</b>	
CRITERIA FOR A RELIABLE H/V CURVE	
#1. $f_0 > 10/Lw$ : 2.2 > 0.4	OK
#2. $[nc > 200]$ : 10198 > 200	OK
#3. $[f_0 > 0.5Hz; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$	OK
CRITERIA FOR A CLEAR H/V PEAK (at least 5 should be fulfilled)	
#1. exists $f$ in the range $[f_0/4, f_0]   AHV(f) < A_{\theta/2}$ : yes, at frequency 1.4 Hz	OK
#2. exists $f'$ in the range $[f_0, 4f_0]   AHV(f') < A_{\theta/2}$ : yes, at frequency 2.7 Hz	OK
#3. $[A_{\theta} > 2]$ : 4.3 > 2	OK
#4. $[f_{peak}(AHV(f) \pm \sigma_A(f)) = f_0 \pm 5\%]$	OK
#5. $[\sigma_1 < \epsilon(f_0)]$ : 3.855 > 0.108	NO
#6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$ : 0.969 < 1.58	OK

$L_w$	Lunghezza della finestra
$n_c$	Numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w \cdot f_0$	Numero di cicli significativi
$f$	Frequenza attuale
$f_0$	Frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	Deviazione standard della frequenza di picco H/V
$\epsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \epsilon(f_0)$
$A_{\theta}$	Ampiezza media della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{HV}(f)$	Ampiezza media della curva H/V alla frequenza $f$
$f'$	Frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{HV}(f') < A_{\theta/2}$
$f''$	Frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{HV}(f'') < A_{\theta/2}$
$\sigma_A(f)$	Deviazione standard di $A_{HV}(f)$ . $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $\sigma_A(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{log-HV}(f)$	Deviazione standard della funzione $\log A_{HV}(f)$
$\theta(f_0)$	Valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$



**Commento ai risultati:**

Nella registrazione si evidenzia un picco principale alla frequenza di **2.2** Hz caratterizzato da un rapporto spettrale H/V = **4.3** il quale può essere messo in relazione ad una transizione litologica importante, tale da generare amplificazione sismica per un alto contrasto d'impedenza ( $H/V > 3$ ).

Inoltre, relativamente ai criteri di SESAME (2004), tale picco di frequenza soddisfa tutti i punti del primo gruppo (curva H/V affidabile) e 5 punti su 6 del secondo gruppo (picco H/V chiaro), può essere assunto come frequenza fondamentale di sito.

HVSR 2

## Horizontal to Vertical Spectral Ratio

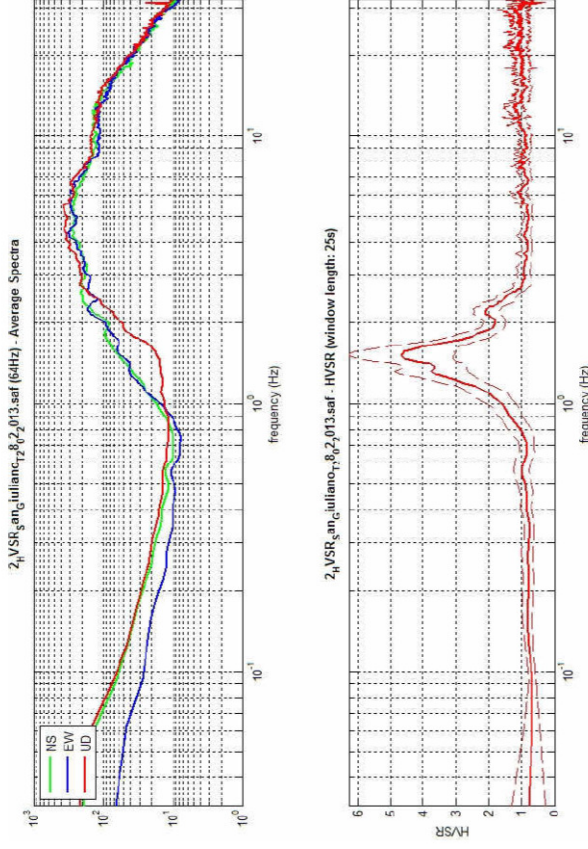
Dataset: 2\_HVSR\_San\_Giuliano\_T\_28\_02\_2013.saf  
 Sampling Frequency (Hz): 64  
 Window length (sec): 25  
 Length of analysed temporal sequence (min): 40  
 Tapering (%): 10

Peak frequency (Hz): **1.5**  
 Peak HVSR value: **4.7**

### CRITERIA FOR A RELIABLE H/V CURVE

#1. $f_0 > 10/Lw$ : 1.5 > 0.4	OK
#2. $[nc > 200]$ : 4330 > 200	OK
#3. $[f_0 > 0.5Hz; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$	OK
<b>CRITERIA FOR A CLEAR H/V PEAK (at least 5 should be fulfilled)</b>	
#1. [exists $f$ in the range $[f_0/4, f_0]$   $AHV(f) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 1.2 Hz	OK
#2. [exists $f^*$ in the range $[f_0, 4f_0]$   $AHV(f^*) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 1.9 Hz	OK
#3. $[A_0 > 2]$ : 4.7 > 2	OK
#4. $[peak(AHV(f)) \pm \sigma_A(f)] = f_p \pm 5\%$	OK
#5. $[\sigma_f < \epsilon(f_0)]$ : 3.758 > 0.153	NO
#6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$ : 1.598 < 1.78	OK

$L_w$	Lunghezza della finestra
$N_w$	Numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w \cdot N_w \cdot f_0$	Numero di cicli significativi
$f$	Frequenza attuale
$f_0$	Frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	Deviazione standard della frequenza di picco H/V
$\epsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \epsilon(f_0)$
$A_0$	Ampiezza media della curva H/V alla frequenza $f_0$
$AHV(f)$	Ampiezza media della curva H/V alla frequenza $f$
$f^*$	Frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $AHV(f^*) < A_0/2$
$f^*$	Frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $AHV(f^*) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	Deviazione standard di $AHV(f)$ . $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $\sigma_A(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{log HV}(f)$	Deviazione standard della funzione $\log AHV(f)$
$\theta(f_0)$	Valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$



### Commento ai risultati:

Nella registrazione si evidenzia un picco principale alla frequenza di **1.5** Hz caratterizzato da un rapporto spettrale  $H/V = 4.7$  il quale può essere messo in relazione ad una transizione litologica importante, tale da generare amplificazione sismica per un alto contrasto d'impedenza ( $H/V > 3$ ).

Anche in questo caso, relativamente ai criteri di SESAME (2004), tale picco di frequenza soddisfa tutti i punti del primo gruppo (curva H/V affidabile) e 5 punti su 6 del secondo gruppo (picco H/V chiaro), può essere assunto come frequenza fondamentale di sito.

Le risultanze dell'elaborazione sono presentate mediante graficazione dei rapporti spettrali H/V delle varie componenti indicando il massimo del rapporto HVSR nel valore di  $f_0$  - Frequenza/e di risonanza e la sua deviazione standard.

Viene riportata anche la check-list proposta dalla procedura SESAME per l'ottenimento di una curva HV affidabile.

### HVSR\_1

Dataset: MT\_20131023\_162404.SAF

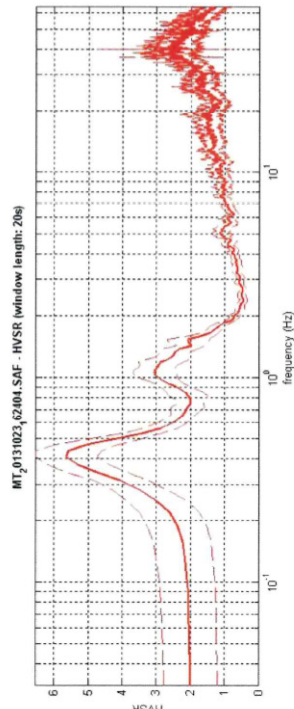
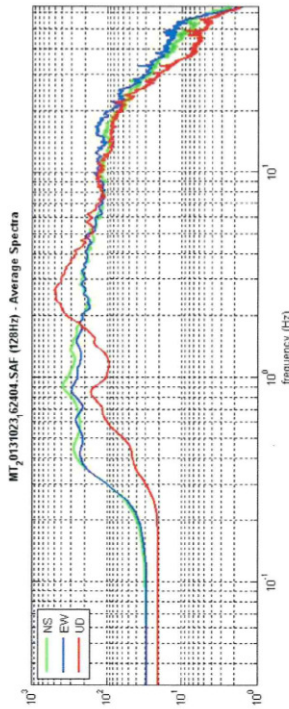
Sampling frequency (Hz): 128

Window length (sec): 20

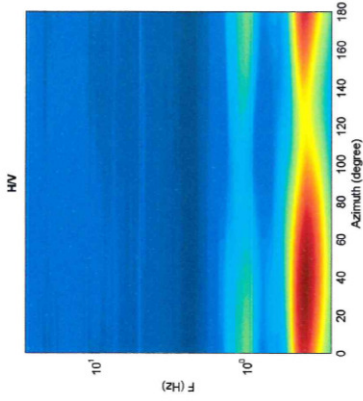
Length of analysed temporal sequence (min): 18.7

Tapering (%): 0

### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



### DIREZIONALITA' HV



In the following the results considering the data in the 0.7-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 1.1  
Peak HVSR value: 3.1

==== Criteria for a reliable HV curve =====

- #1.  $[f_0 > 10/Lw]$ : 1.1 > 0.5 (OK)
- #2.  $[nc > 200]$ : 2407 > 200 (OK)
- #3.  $[f_0 > 0.5Hz, \sigma_{A(f)} < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)

==== Criteria for a clear HV peak (at least 5 should be fulfilled) =====

- #1.  $[\exists f_0 \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f_0) < A0/2]$ : (NO)
- #2.  $[\exists f_+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f_+) < A0/2]$ : yes, at frequency 1.7Hz (OK)
- #3.  $[A0 > 2]$ : 3.1 > 2 (OK)
- #4.  $[f_{peak}(AH/V(f) \pm \sigma_{A(f)}) = f_0 \pm 5\%]$ : (OK)
- #5.  $[\sigma_{A(f)} < \epsilon_{\sigma}(f_0)]$ : 7.409 > 0.109 (NO)
- #6.  $[\sigma_{A(f_0)} < \theta(f_0)]$ : 0.632 < 1.78 (OK)

*Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities. Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters they can change.*

1010 TR1\_02\_1126

Strumento: TEP-0033/01-09

Inizio registrazione: 02/10/10 11:26:45 Fine registrazione: 02/10/10 11:44:46

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; TRG + TRG -

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h18'00".

Analizzato 54% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

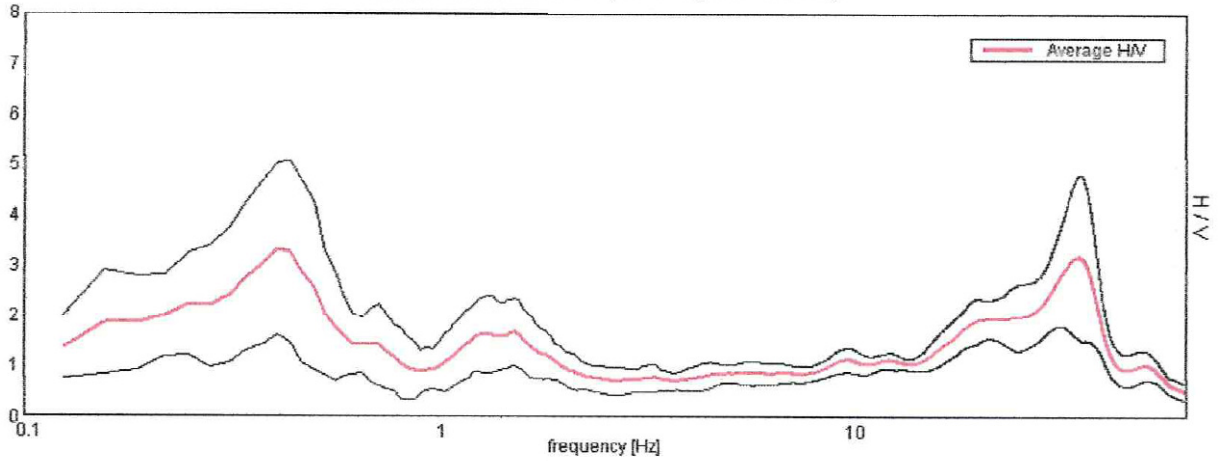
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

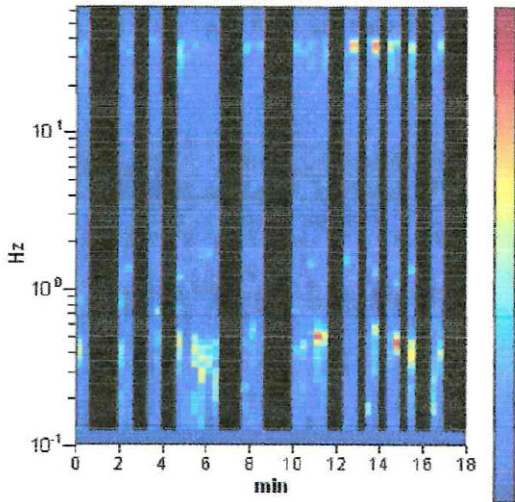
Lisciamento: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

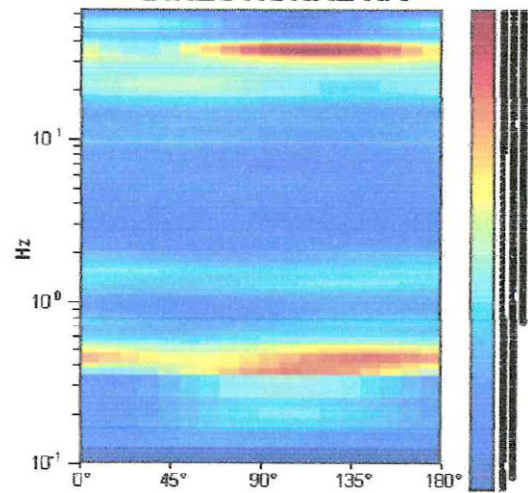
Max. H/V at 0.41 ± 0.0 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



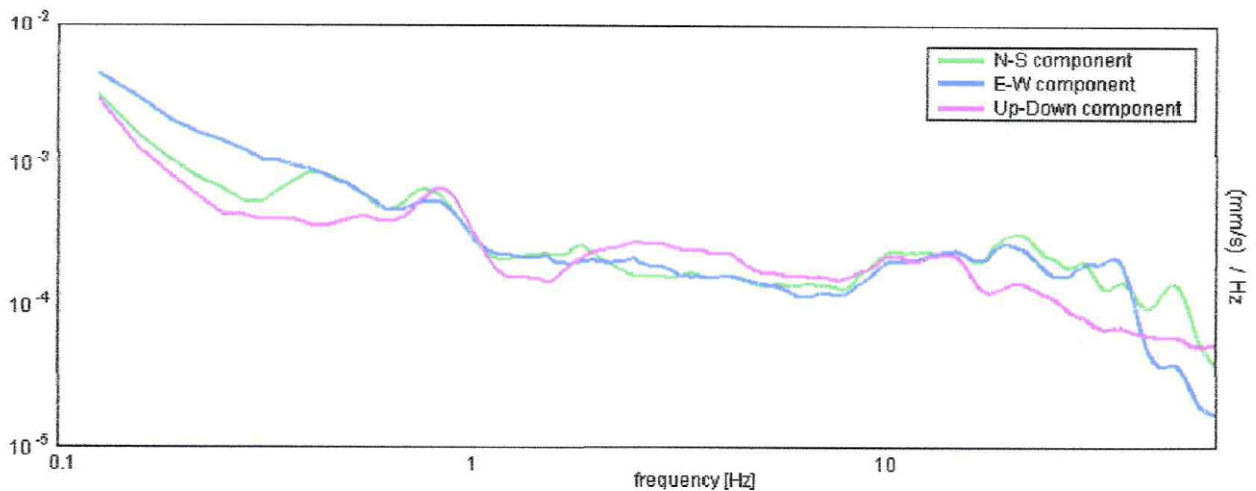
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA



1010, TR2\_02\_1204

Strumento: TEP-0033/01-09

Inizio registrazione: 02/10/10 12:04:21 Fine registrazione: 02/10/10 12:22:22

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; TRG + TRG -

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h18'00".

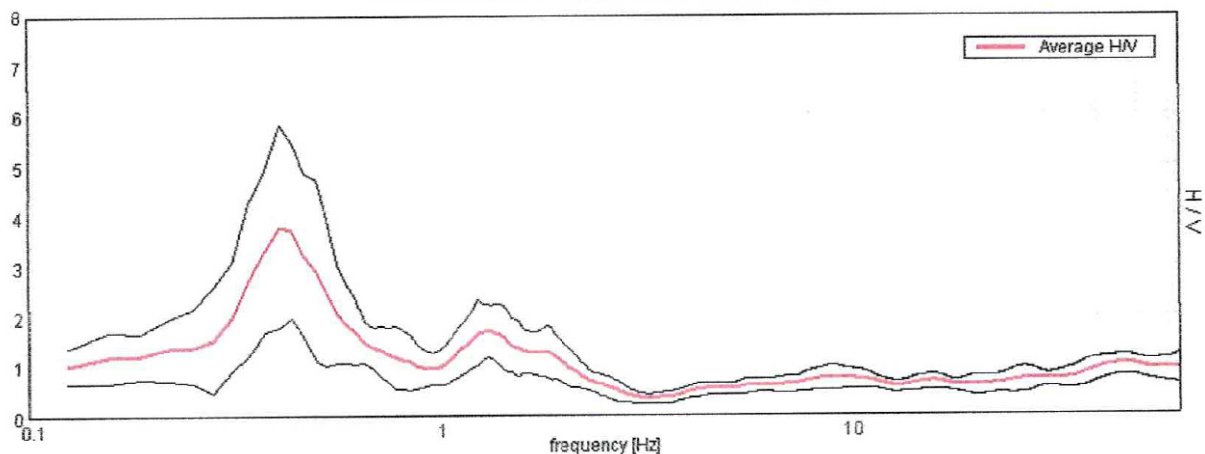
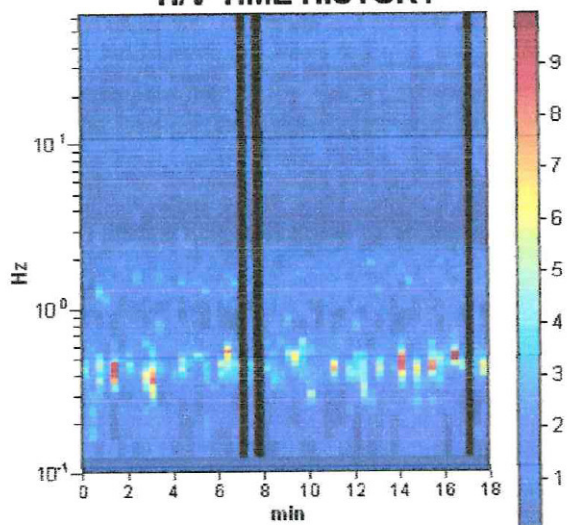
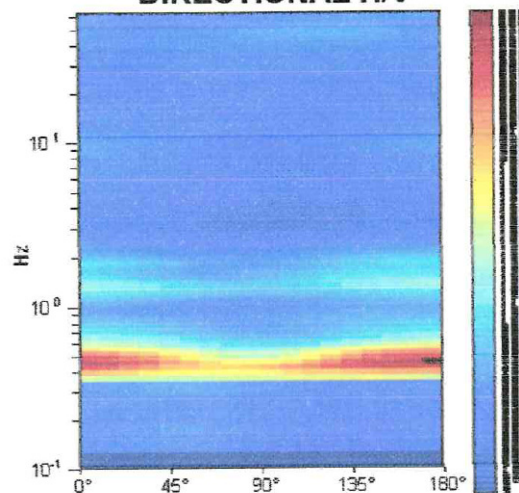
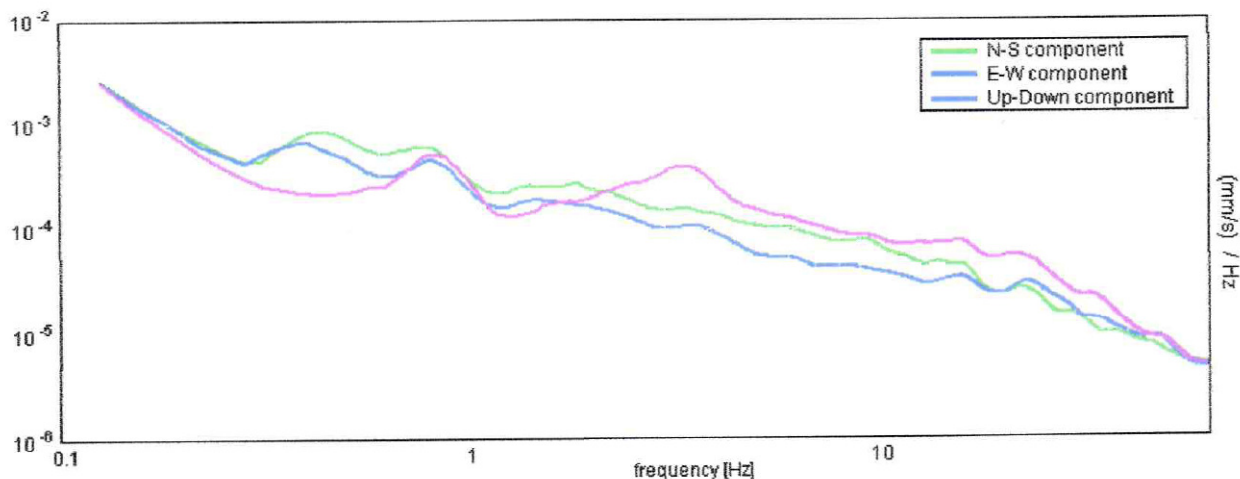
Analizzato 94% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

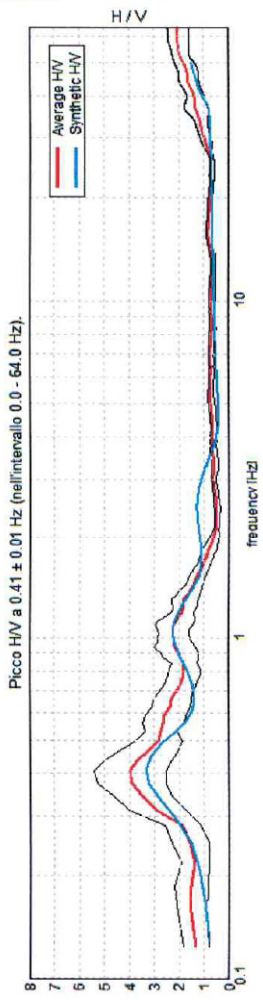
Lisciamento: 10%

**HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO**Picco H/V a  $0.41 \pm 0.0$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**H/V TIME HISTORY****DIRECTIONAL H/V****SINGLE COMPONENT SPECTRA**

[Secondo le linee guida SESAME, 2005].

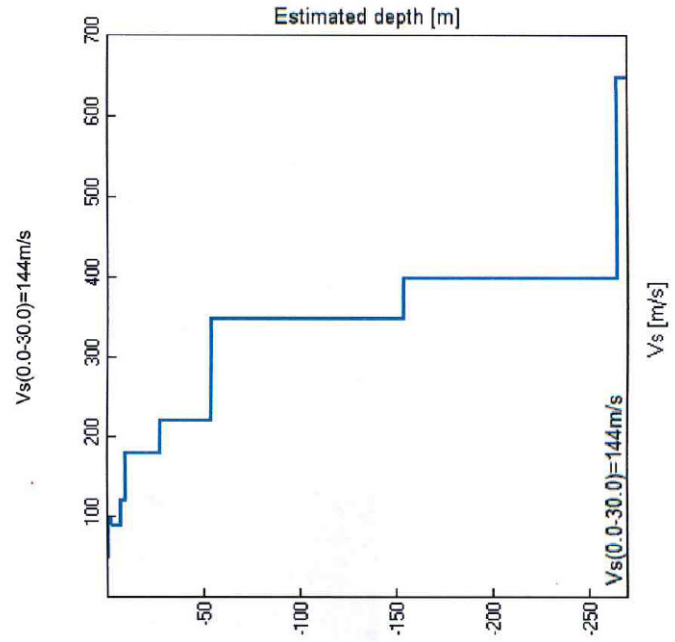
<p><b>Picco HVV a <math>0.41 \pm 0.01</math> Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).</b></p>					
<p><b>Criteri per una curva H/V affidabile</b> [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]</p>					
$f_0 > 10 / L_w$	0.41 > 0.33 <b>OK</b>				
$n_c(f_0) > 200$	231.6 > 200 <b>OK</b>				
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 20 <b>OK</b>				
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz					
<p><b>Criteri per un picco HVV chiaro</b> [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]</p>					
Esiste $f^*$ in $[f_0/4, f_0]$ $A_{HVV}(f^*) < A_0 / 2$	0.281 Hz <b>OK</b>				
Esiste $f^*$ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{HVV}(f^*) < A_0 / 2$	0.719 Hz <b>OK</b>				
$A_0 > 2$	3.98 > 2 <b>OK</b>				
$f_{picco}(A_{HVV}(f) \pm \sigma_A(f)) = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01145  < 0.05$ <b>OK</b>				
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.00465 < 0.08125 <b>OK</b>				
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.674 < 2.5 <b>OK</b>				
$L_w$	lunghezza della finestra				
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi				
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi				
$f$	frequenza attuale				
$f_0$	frequenza del picco H/V				
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V				
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$				
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$				
$A_{HVV}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$				
$f^*$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{HVV}(f^*) < A_0/2$				
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{HVV}(f^+) < A_0/2$				
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{HVV}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{HVV}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa				
$\sigma_{logHVV}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{HVV}(f)$				
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$				
<p>Valori di soglia per <math>\sigma_f</math> e <math>\sigma_A(f_0)</math></p>					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{logHVV}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Picco HVV a  $0.41 \pm 0.01$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

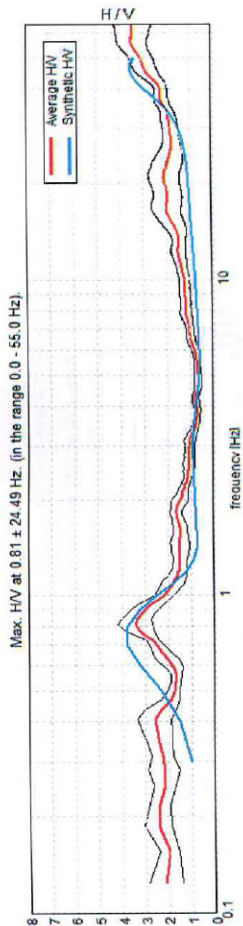
Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.20	0.20	50	0.35
2.20	2.00	100	0.35
7.20	5.00	90	0.35
9.20	2.00	120	0.35
27.20	18.00	180	0.35
54.20	27.00	220	0.35
154.20	100.00	350	0.35
264.20	110.00	400	0.35
inf.	inf.	650	0.35



Vs(0.0-30.0)=144m/s

Vs(0.0-30.0)=144m/s

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Max. H/V at 0.81 ± 24.49 Hz. (in the range 0.0 - 55.0 Hz).

Profondità alla base dello strato [m]

- 0.20
- 1.30
- 8.80
- 10.30
- 11.30
- 34.80
- 44.80
- 54.80
- 164.80
- inf.

Spessore [m]

- 0.20
- 1.10
- 7.50
- 1.50
- 1.00
- 23.50
- 10.00
- 10.00
- 110.00
- inf.

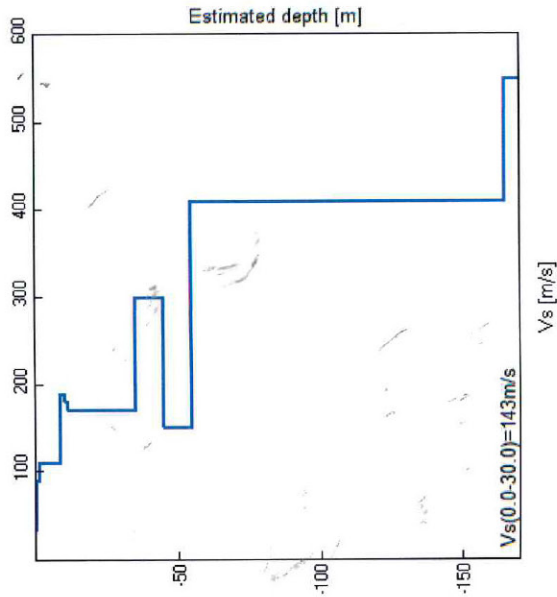
Vs [m/s]

- 35
- 90
- 110
- 190
- 180
- 170
- 300
- 150
- 410
- 550

Rapporto di Poisson

- 0.35
- 0.35
- 0.35
- 0.35
- 0.35
- 0.35
- 0.35
- 0.35
- 0.35
- 0.35

Vs(0.0-30.0)=143m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005].

Max. H/V at 0.81 ± 24.49 Hz. (in the range 0.0 - 55.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile  
[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	0.81 > 0.33	OK
$n_c(f_0) > 200$	341.3 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 40	OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$		OK
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]		
Esiste $f^*$ in $[f_0/4, f_0]$ $ A_{HV}(f^*)  < A_0 / 2$	0.563 Hz	OK
Esiste $f^*$ in $[4f_0, f_0]$ $ A_{HV}(f^*)  < A_0 / 2$	0.0 Hz	OK
$A_0 > 2$	104.96 > 2	OK
$f_{picco}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	[0,0] < 0.05	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.0 < 0.12188	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.0 < 2.0	OK

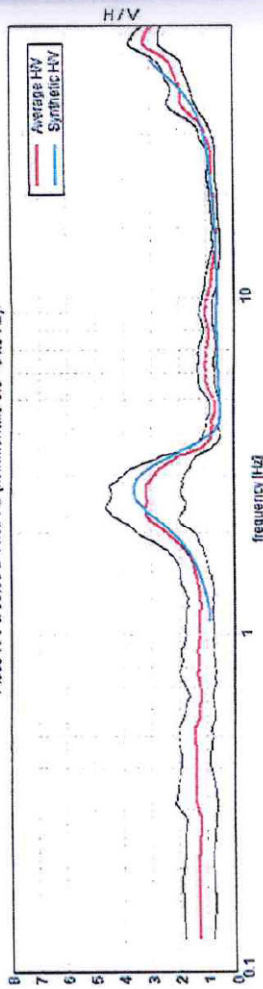
$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{HV}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{HV}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{HV}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{HV}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{HV}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{logHV}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{HV}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	-0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{logHV}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



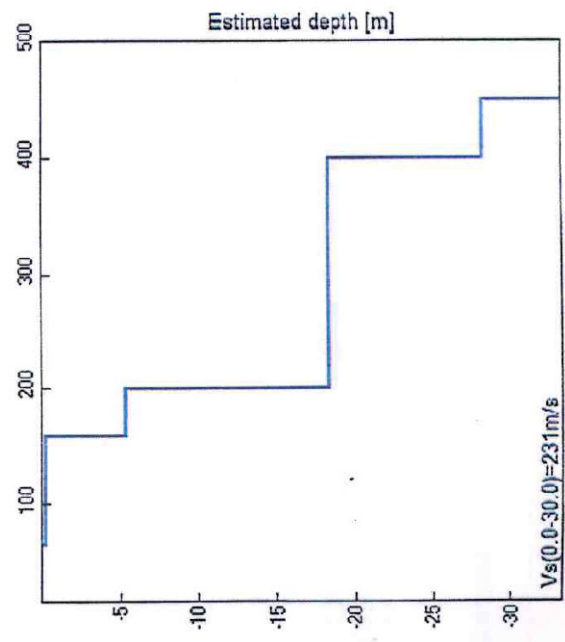
### HV SPERIMENTALE vs. HV SINTETICO

Picco HV a 56.88 ± 14.52 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.30	0.30	65	0.35
5.30	5.00	160	0.35
18.30	13.00	200	0.35
28.30	10.00	400	0.35
inf.	inf.	450	0.35

Vs(0.0-30.0)=231m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di guida prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco HV a 56.88 ± 14.52 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva HV affidabile**  
(Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti)

$f_0 > 10 / L_w$	56.88 > 0.50	OK
$n_c(f_0) > 200$	45500.0 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1139	OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$		

**Criteri per un picco HV chiaro**  
(Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti)

Esiste $f^*$ in $[f_0/4, f_0]   A_{HV}(f^*) < A_0/2$	34.75 Hz	OK
Esiste $f^*$ in $[f_0, 4f_0]   A_{HV}(f^*) < A_0/2$	3.20 > 2	OK
$f_{picco} A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f) = f_0 \pm 5\%$	$ 0.1246  < 0.05$	NO
$\sigma_t < \varepsilon(f_0)$	$7.08636 < 2.84375$	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2613 < 1.58$	OK

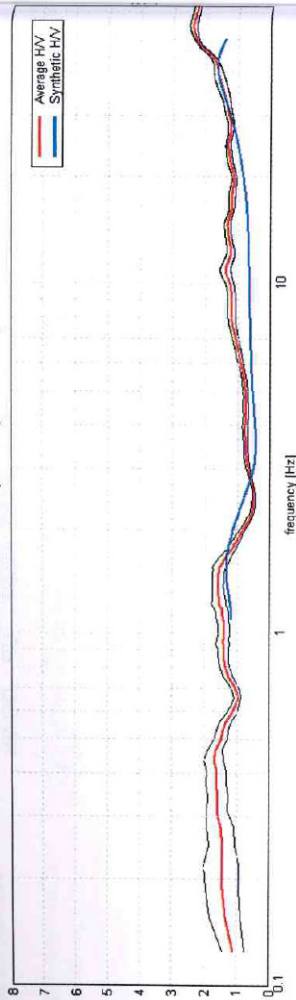
$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco HV
$\sigma_t$	deviazione standard della frequenza del picco HV
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_t < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva HV alla frequenza $f_0$
$A_{HV}(f)$	ampiezza della curva HV alla frequenza $f$
$f^*$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{HV}(f^*) < A_0/2$
$f^*$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{HV}(f^*) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{HV}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{HV}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{logHV}(f)$	deviazione standard della funzione-log $A_{HV}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{logHV}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

### H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at 54.72 ± 1.65 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]

- 0.05
- 0.45
- 5.45
- 7.45
- 16.45
- 51.45
- 146.45
- inf.

Spessore [m]

- 0.05
- 0.40
- 5.00
- 2.00
- 9.00
- 35.00
- 95.00
- inf.

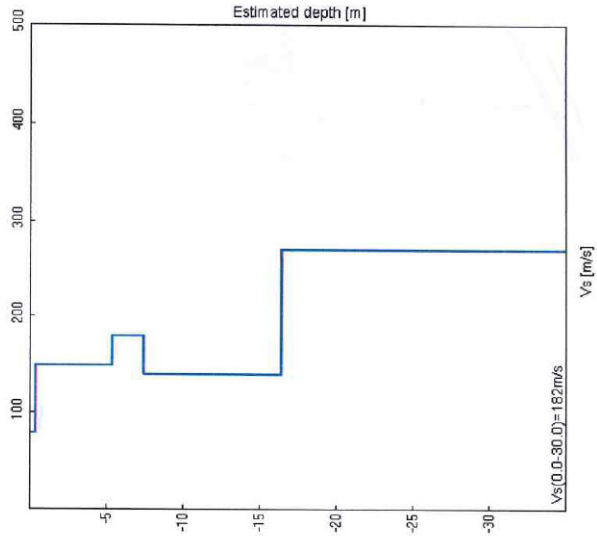
Vs [m/s]

- 50
- 80
- 150
- 180
- 140
- 270
- 350
- 450

Rapporto di Poisson

- 0.35
- 0.35
- 0.35
- 0.35
- 0.35
- 0.35
- 0.35
- 0.35

Vs(0.0-30.0)=182m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di guida prima di interpretare la tabella seguente].

Max. H/V at 54.72 ± 1.65 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

**Criteri per una curva H/V affidabile**  
[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	54.72 > 0.50	OK
$n_c(f_0) > 200$	52530.0 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1174	OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$		OK

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^*$ in $[f_0/4, f_0]   A_{H/V}(f^*) < A_0 / 2$	20.938 Hz	OK
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]   A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.0 Hz	OK
$A_0 > 2$	6.06 > 2	OK
$f_{\text{picco}} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0  < 0.05$	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.0 < 2.73594$	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.0 < 1.58$	OK

$L_w$   
 $n_w$   
 $n_c = L_w n_w f_0$   
 $f$   
 $f_0$   
 $\sigma_f$   
 $\varepsilon(f_0)$   
 $A_0$   
 $A_{H/V}(f)$   
 $f^-$   
 $f^+$   
 $\sigma_A(f)$   
 $\sigma_{\log H/V}(f)$   
 $\theta(f_0)$

lunghezza della finestra  
numero di finestre usate nell'analisi  
numero di cicli significativi  
frequenza attuale  
frequenza del picco H/V  
deviazione standard della frequenza del picco H/V  
valore di soglia per la condizione di stabilità  $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$   
ampiezza della curva H/V alla frequenza  $f_0$   
ampiezza della curva H/V alla frequenza  $f$   
frequenza tra  $f_0/4$  e  $f_0$  alla quale  $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$   
frequenza tra  $f_0$  e  $4f_0$  alla quale  $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$   
deviazione standard di  $A_{H/V}(f)$ ,  $\sigma_A(f)$  è il fattore per il quale la curva  $A_{H/V}(f)$  media deve essere moltiplicata o divisa  
deviazione standard della funzione  $\log A_{H/V}(f)$   
valore di soglia per la condizione di stabilità  $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per $\sigma_A(f_0)$			
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30
			1.0 - 2.0
			0.10 $f_0$
			1.78
			0.25
			0.20

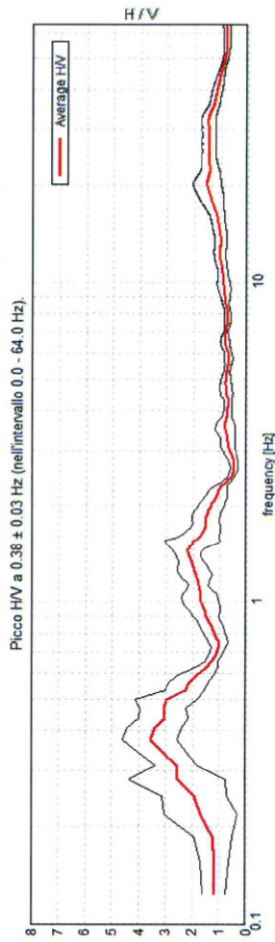
INDAGINE H/V

Murella, TR1

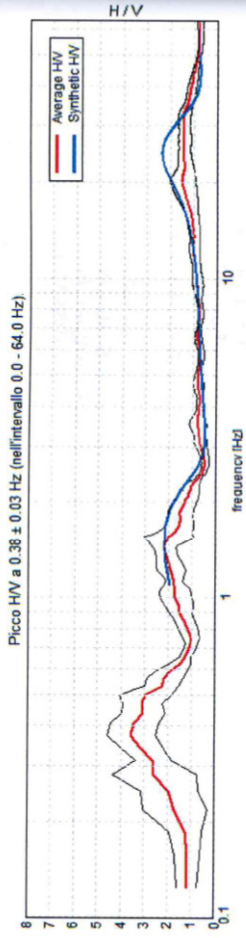
Strumento: TEP-0085/01-10  
 Inizio registrazione: 16/10/10 18:26:06 Fine registrazione: 16/10/10 18:34:07  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h08'00"; Analizzato 75% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 30 s  
 Tipo di liscio: Triangular window  
 Liscio: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]

- 0.20
- 0.80
- 5.80
- 7.80
- 16.80
- 34.80
- 79.80
- inf.

Spessore [m]

- 0.20
- 0.60
- 5.00
- 2.00
- 9.00
- 18.00
- 45.00
- inf.

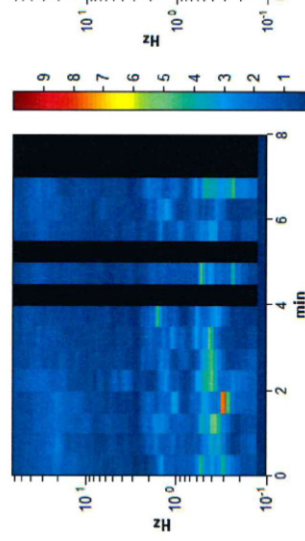
Vs [m/s]

- 50
- 80
- 150
- 180
- 140
- 270
- 350
- 450

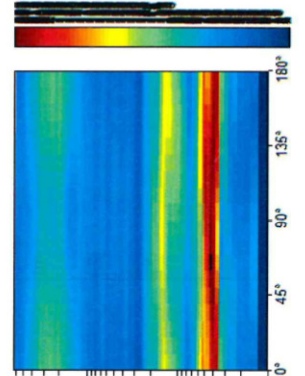
Rapporto di Poisson

- 0.35
- 0.35
- 0.35
- 0.35
- 0.35
- 0.35
- 0.35
- 0.35

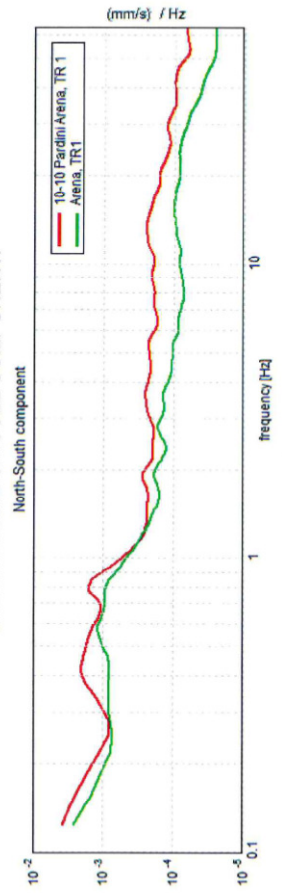
SERIE TEMPORALE H/V



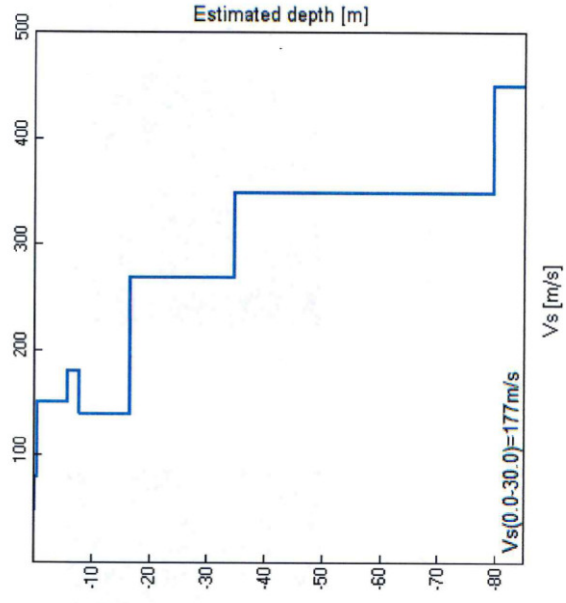
DIREZIONALITA' H/V



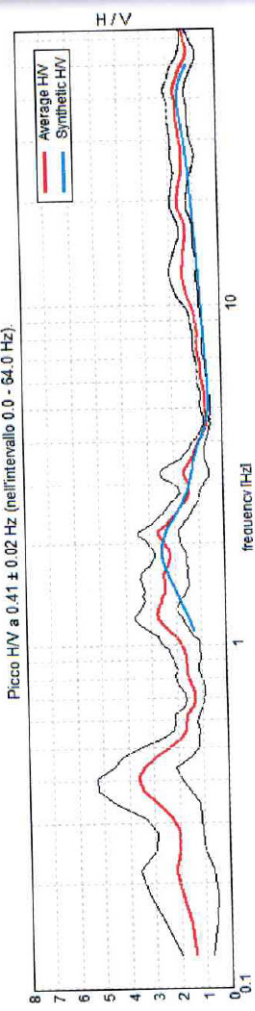
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Vs(0.0-30.0)=177m/s



Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di guida prima di interpretare la tabella seguente.

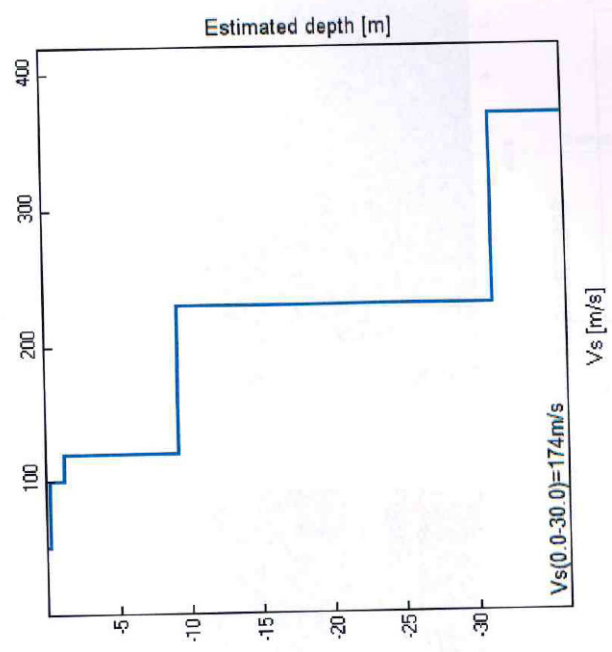


Picco HV a 0.41 ± 0.02 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.30	0.30	50	0.35
1.30	1.00	100	0.35
9.30	8.00	120	0.35
31.30	22.00	230	0.35
inf.	inf.	370	0.35

Vs(0.0-30.0)=174m/s



**Picco HV a 0.41 ± 0.02 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva HV affidabile**  
[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	0.41 > 0.33	OK
$n_c(f_0) > 200$	243.8 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 20	OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$		

**Criteri per un picco HV chiaro**  
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{HV}(f^-) < A_0 / 2$	0.156 Hz	OK
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{HV}(f^+) < A_0 / 2$	0.563 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.61 > 2	OK
$f_{\text{picco}} [A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.02493  < 0.05	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.01013 < 0.08125	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.7778 < 2.5	OK

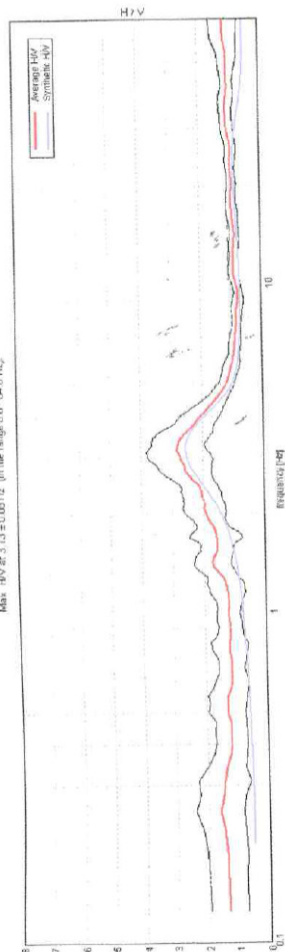
$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco HV
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco HV
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva HV alla frequenza $f_0$
$A_{HV}(f)$	ampiezza della curva HV alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{HV}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{HV}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{HV}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{HV}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log HV}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{HV}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log HV}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di guida prima di interpretare la tabella seguente.

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]

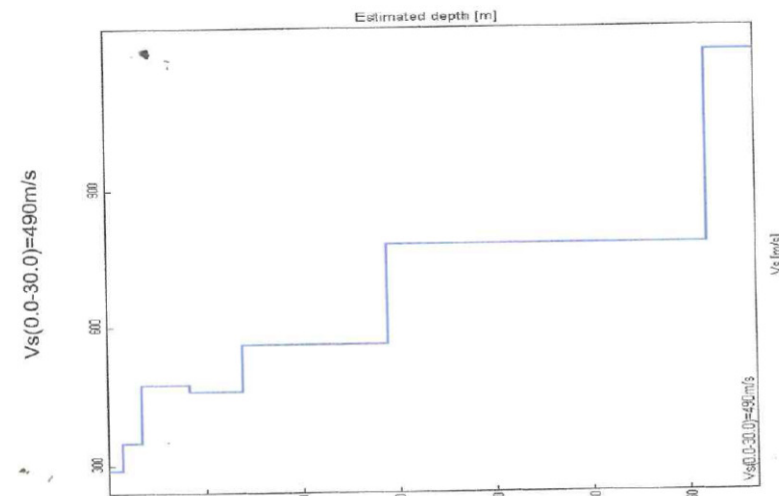
1.40
3.40
8.40
13.90
28.90
61.90
inf.

Spessore [m]

1.40
2.00
5.00
5.50
15.00
33.00
inf.

Vs [m/s]

290
350
475
460
560
780
1200



**Seguono: schede indagine HVSR** - Oltre ai grafici della curva sperimentale H/V e agli spettri delle tre componenti del moto in velocità, si riportano, per la verticale di misura, a titolo esplicativo, il confronto fra curva sperimentale H/V e curva teorica relative al modello di sottosuolo proposto (e, conseguentemente, il profilo delle Vs calcolato sulla verticale).

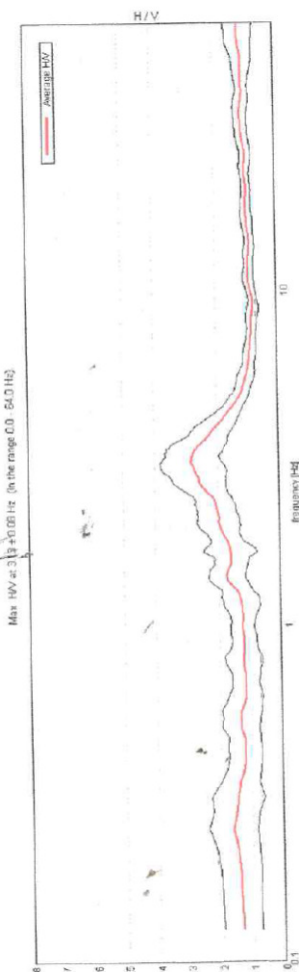
J12\_081\_06\_15\_SAN\_GIULIANO\_TERME\_TR, ASCIANO TR1

Strumento: TEP-0085/01-10  
 Inizio registrazione: 15/06/12 18:18:50 Fine registrazione: 15/06/12 18:32:51  
 Nom canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN  
 Dato GPS non disponibile

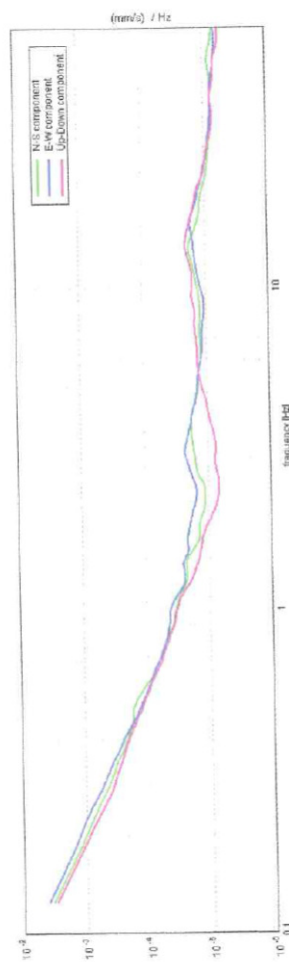
Durata registrazione: 0h14'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.

Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestra: 20 s  
 Tipo di lisciamto: Triangular window  
 Lisciamto: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



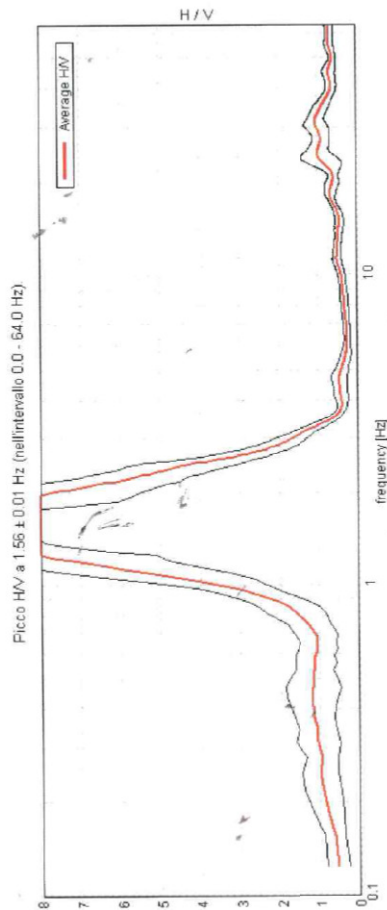
**J11\_048\_03\_10\_SAN\_GIULIANO\_TR, ASCIANO TR1**

Strumento: TEP-0085/01-10  
 Inizio registrazione: 10/03/11 10:53:19 Fine registrazione: 10/03/11 11:07:20  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Dato GPS non disponibile

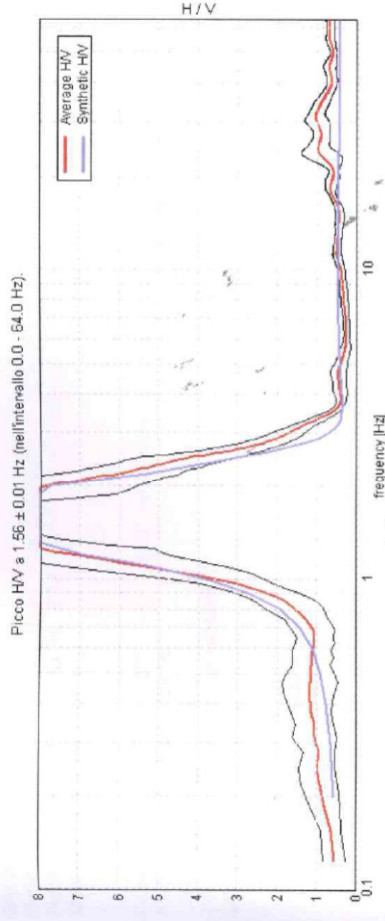
Durata registrazione: 0h14'00"  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestra: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 10%

Analisi effettuata sull'intera traccia.

**RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE**



**H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO**



Profondità alla base dello strato [m]

- 2.50
- 7.00
- 11.50
- 21.50
- 47.50
- inf.

Spessore [m]

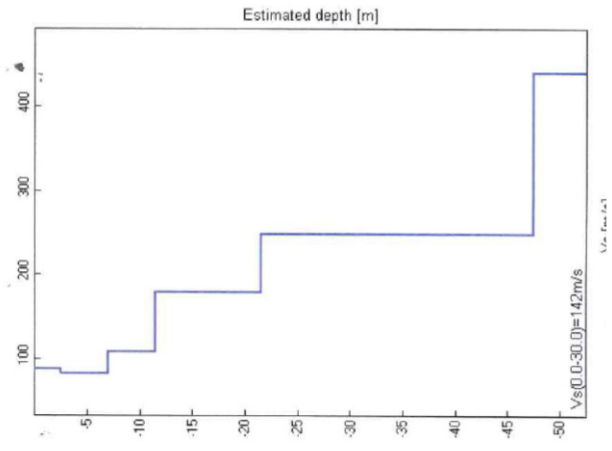
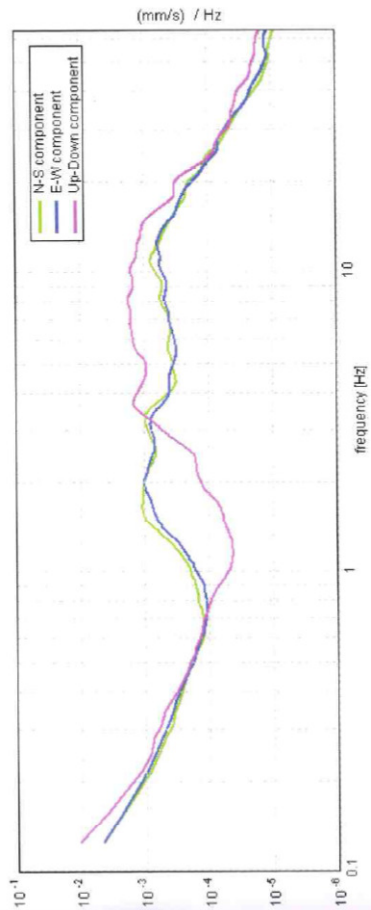
- 2.50
- 4.50
- 4.50
- 10.00
- 26.00
- inf.

Vs [m/s]

- 90
- 85
- 110
- 180
- 250
- 440

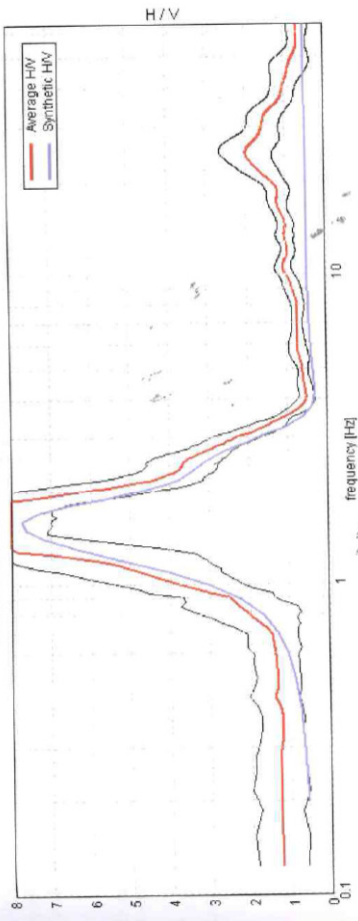
Vs(0.0-30.0)=142m/s

**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**



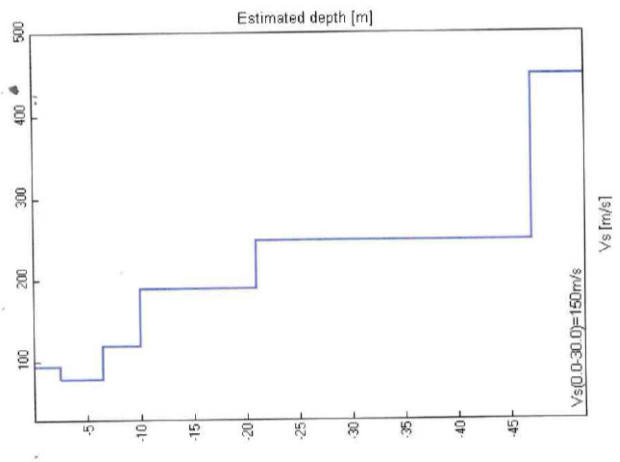
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Picco H/V a  $1.59 \pm 0.02$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
2.50	2.50	95
6.50	4.00	80
10.00	3.50	120
21.00	11.00	190
47.00	26.00	250
inf.	inf.	450

Vs(0.0-30.0)=150m/s



File: J11\_048\_03\_10\_SAN\_GIULIANO\_TR\_ASCIANO\_TR2

J11\_048\_03\_10\_SAN\_GIULIANO\_TR\_ASCIANO TR2

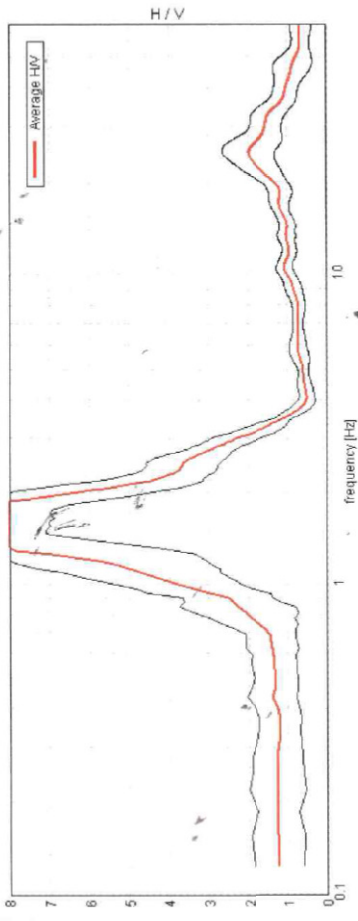
Strumento: TEP-0085/01-10  
 Inizio registrazione: 10/03/11 11:18:18 Fine registrazione: 10/03/11 11:32:18  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h14'00".  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di liscio: Triangular window  
 Liscio: 10%

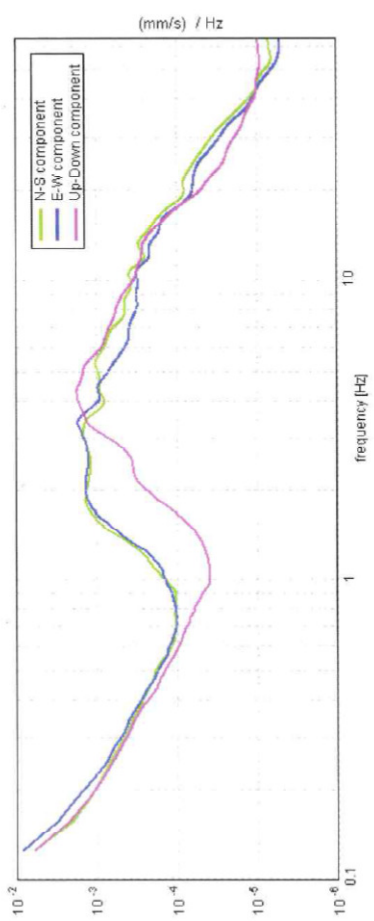
Analizzato 93% tracciato (selezione manuale)

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Picco H/V a  $1.59 \pm 0.02$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



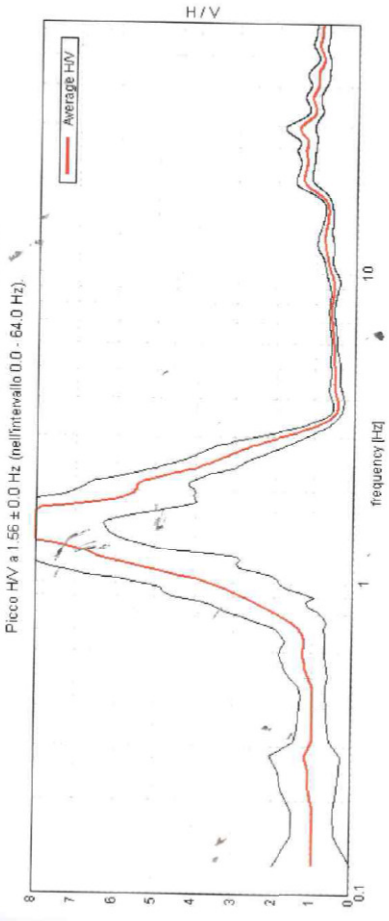
**J11\_048\_03\_10\_SAN\_GIULIANO\_TR, ASCIANO TR3**

Strumento: TEP-0085/01-10  
 Inizio registrazione: 10/03/11 11:35:19 Fine registrazione: 10/03/11 11:49:19  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h14'00"  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestra: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 10%

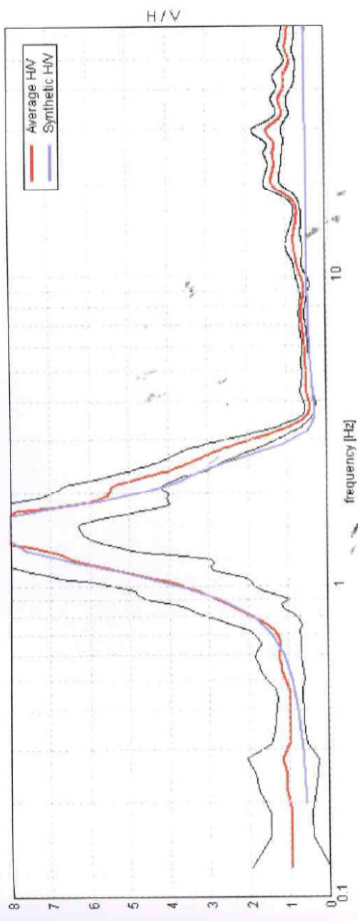
Analisi effettuata sull'intera traccia.

**RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE**



**H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO**

Picco HV a 1.56 ± 0.0 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



**Profondità alla base dello strato**

Profondità [m]
2.50
7.00
10.50
19.50
46.50
inf.

**Spessore [m]**

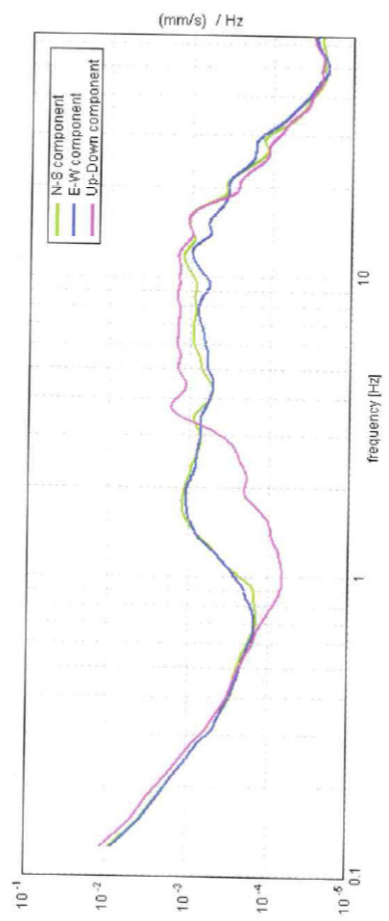
Spessore [m]
2.50
4.50
3.50
9.00
27.00
inf.

**Vs [m/s]**

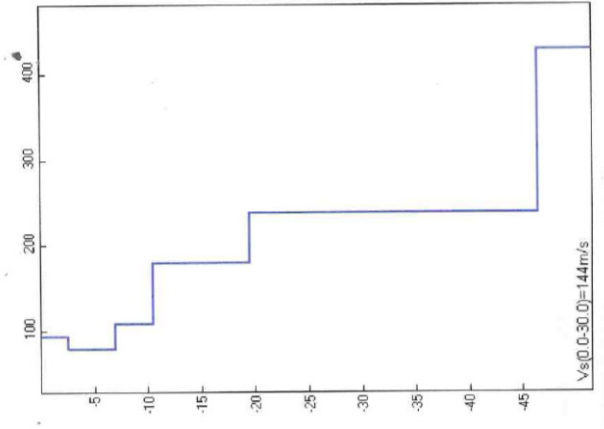
Vs [m/s]
95
80
110
180
240
430

Vs(0.0-30.0)=144m/s

**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**

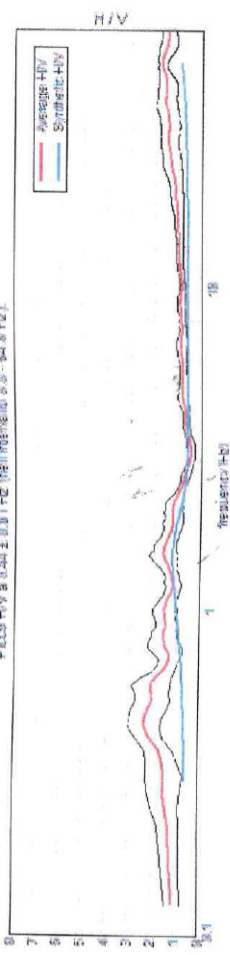


**Estimated depth [m]**





[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].



**Pico H/V a 0.44 ± 0.01 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**  
[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	0.44 > 0.33	OK
$n_c(f_0) > 200$	341.3 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 22	OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$		OK

**Criteri per un picco H/V chiaro**  
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^*$ in $[f_0/4, f_0] \cup [A_{HV}(f) < A_0 / 2$	0.125 Hz	OK
Esiste $f^*$ in $[f_0, 4f_0] \cup [A_{HV}(f) < A_0 / 2$	$A_0 > 2$	NO
$Y_{\text{picco}}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	2.32 > 2	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$ 0.00777  < 0.05$	OK
$\sigma_A(f_0) \leq \theta(f_0)$	$0.0034 < 0.0875$	OK
	0.3241 < 2.5	OK

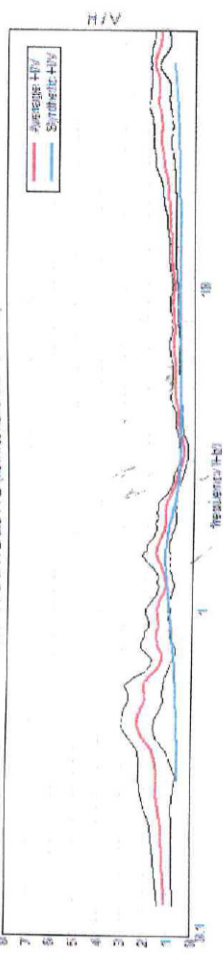
$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{HV}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{HV}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{HV}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{HV}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{HV}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log HV}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{HV}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log HV}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO**

Pico H/V a 0.44 ± 0.01 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz)



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.10	0.10	50	0.35
0.30	0.20	110	0.35
2.30	2.00	120	0.35
8.30	6.00	130	0.35
11.30	3.00	150	0.35
17.30	6.00	160	0.35
20.30	3.00	170	0.35
23.30	3.00	180	0.35
28.30	5.00	200	0.35
inf.	inf.	240	0.35

