

**COMUNE DI BARLETTA**

**il 18.12.2014**

## **RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE**

**OGGETTO:** Progetto per la realizzazione di 1160 nicchie funerarie  
presso il Cimitero comunale in zona espansione Nord - Ovest -  
Settimo stralcio - Barletta

**COMMITTENTE:**  
Comune di Barletta

**IL GEOLOGO**  
dott.sa Maddalena A. Corvasce



**DICEMBRE 2014**

  
**FUNZIONARIO TECNICO INGEGNERE**  
(Ing. Francesco Cognetti)

## INDICE

1. PREMESSA	p.....	3
2. INDAGINE GEOSISMICA	.....	3
3. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	.....	7
4. CONCLUSIONI	.....	12

TAVOLE

FIGURE

## **1. PREMESSA**

La presente indagine geofisica fa seguito all'incarico ricevuto dal Comune di Barletta (determina-contratto del Comune di Barletta sottoscritta in data 06/11/2014 repertoriata n. 361), al fine di classificare, secondo quanto previsto nelle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008, il sottosuolo di fondazione del sito ricadente nel Cimitero del comune di Barletta in zona di espansione Nord – Ovest, che vedrà la realizzazione di 1160 nicchie funerarie (Tavola I).

## **2. INDAGINI GEOSISMICHE**

L'area investigata dal progetto di ampliamento del cimitero è stata indagata con prospezioni sismiche per la registrazione di onde superficiali (onde S).

A tal proposito nell'area oggetto di studio sono stati eseguiti due profili sismici denominati rispettivamente CD, EF oltre ad aver fatto riferimento al profilo sismico AB eseguito dal geol. Raffaele LOPEZ per il progetto di espansione del cimitero zona nord-ovest del 2011 (Tavola I).

### Indagine MASW

Alla luce della normativa sismica vigente ("Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008), che prevede uno studio particolareggiato per poter valutare la risposta locale ad un eventuale sisma, è stata effettuata una campagna sismica con il metodo MASW. Questa ha permesso di individuare la categoria del "suolo" di fondazione in riferimento alle nuove disposizioni normative e di ottenere una tomografia Vs dei primi 22 m di sottosuolo.

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva, che permette di ottenere un profilo di velocità delle onde di taglio Vs, basandosi sulla misura e sullo studio della dispersione delle onde di superficie (onde di Rayleigh e di Love).

Queste onde si trasmettono sulla superficie libera di un mezzo omogeneo ed isotropo e derivano dall'interferenza tra le onde longitudinali (P) e le onde trasversali (Sv). In un mezzo stratificato, come il caso in questione, queste onde sono di tipo guidato e dispersivo: guidato, perché la velocità di fase con cui si propagano cambia con la frequenza, dispersivo perché le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità e, generalmente, hanno velocità di fase maggiore.

Per la prospezione è stato utilizzato il metodo MASW attivo. Questo è il metodo convenzionale che usa una sorgente sismica attiva, registrando i dati lungo uno stendimento lineare di ricevitori.

L'indagine è consistita nell'esecuzione di n° 2 profili sismici (CD, EF), oltre ad aver riportato nel presente elaborato il profilo AB eseguito nell'indagine del 2011. I tre profili sono ubicati come mostrato in Tavola I, ed hanno ognuno le seguenti geometrie di campo:

- profilo Masw di lunghezza 15 m, distanza intergeofonica di 1 m e offset di 4 m.

Ogni profilo è costituito da una base sismica di 12 geofoni, aventi una frequenza propria di 4,5 Hz. Per le energizzazioni si è utilizzata una mazza di battuta del peso di 9 Kg, con dispositivo di starter integrato, lasciata cadere su di una piastra di alluminio del diametro di 200 mm e dello spessore di 30 mm. La registrazione delle tracce sismiche è stata effettuata con un sismografo a 24 canali della ditta M.A.E. (mod. A6000S/24), utilizzando una frequenza di campionamento di 1000 campioni/secondo e un tempo di campionamento di 2 secondi.

Per ottenere una tomografia Vs del sottosuolo si è utilizzato il metodo del *roll-along*, applicato lungo il profilo Masw AB. Questo metodo consiste nello spostare l'intero stendimento (compreso il punto di scoppio) in avanti lungo una direzione, scegliendo arbitrariamente un passo che sia costante e multiplo intero della distanza intergeofonica.

Nel nostro caso si è scelto un passo pari a 4 m, ossia a quattro volte la distanza intergeofonica utilizzata, e sono state effettuate tre registrazioni sismiche per tre diversi punti di scoppio.

Successivamente i files delle tracce sismiche, prodotti dal sismografo in formato SEG-2, sono stati acquisiti nel software di interpretazione SURFSEIS e trasformati in un formato SEG-Y modificato, chiamato formato KGS.

Dopo aver codificato la geometria di campo dei suddetti files, i sismogrammi sono stati elaborati attraverso una trasformazione dal dominio tempo-distanza (t-x) al dominio velocità di fase-frequenza (p-f). E' stato così possibile analizzare l'energia di propagazione del segnale lungo le linee sismiche e riconoscere le onde superficiali con carattere dispersivo.

All'interno degli spettri p-f è stato effettuato un picking per determinare la curva di dispersione sperimentale, dalla quale si è poi ricavata la curva di dispersione calcolata (Figure 1, 2, 5, 6, 8, 9). È stato quindi determinato il modello ottimale di velocità delle onde di taglio Vs ed il relativo valore di Vs30 (Figure 3, 7, 10); in figura 4 si riporta la tomografia Vs ottenuta con il metodo del *roll-along*, applicato lungo il profilo AB.

Correlando le caratteristiche fisico-dinamiche evidenziate dall'indagine sismica MASW, sia 1D che 2D, con le conoscenze geologico stratigrafiche dell'area, si può ritenere che:

- la velocità delle onde S aumenta in maniera graduale con la profondità fino a circa 7,70 m dal piano campagna, con valori compresi tra 102 m/s, riferibili al terreno vegetale e/o di riporto, a 300 m/s, più consoni con depositi argilloso-limosi e subordinatamente sabbioso-limosi anche saturi. A circa 2,0 m al di sotto del piano campagna è individuabile una modesta inversione delle velocità corrispondente al passaggio da depositi sabbioso-limosi ad un deposito di sabbia sciolta piuttosto arenata.
- un'altra modesta inversione delle velocità si rileva fra gli 8,0 e i 10,0 m dal piano campagna, con valori delle Vs prossimi a 240 m/s riferibili a limi e argille.

- a partire da questa profondità le velocità riprendono progressivamente ad aumentare fino a raggiungere il *bedrock* sismico ( $V_s > 800$  m/s) a circa 24 m sotto il piano campagna. Questo è rappresentato dai termini maggiormente addensati e consistenti di una unità sabbiosa intercalata a limi argillosi, che si rinviene a partire dai 21 m dal piano campagna.

#### Classificazione sismica del sottosuolo

In ottemperanza al D.M. 14 gennaio 2008, si è proceduto alla classificazione sismica del sottosuolo utilizzando i valori del parametro  $V_{S30}$ . Questo parametro rappresenta la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità al di sotto del piano di fondazione, e si ricava dalla formula:

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

dove  $h_i$  e  $V_i$  sono lo spessore e la velocità delle onde di taglio dello strato  $i$ -esimo.

Il valore di  $V_{S30}$  ottenuto dalle indagini MASW lungo il **profilo AB** è di **315 m/s**, lungo il **profilo CD** è di **333 m/s** e lungo il profilo EF è di **321 m/s**.

Secondo quanto indicato nelle NTC 2008 punto 3.2.2, tali terreni ricadono in **categoria C** e sono costituiti da: “*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{S30}$  compresi fra 180 m/s e 360 m/s (ovvero nei terreni a grana grossa da valori  $N_{SPT30}$  compresi fra 15 e 50 e nei terreni a grana fine da valori  $C_{u30}$  compresi fra 70 e 250 kPa).*”

Tabella 3.2.II – *Categorie di sottosuolo*

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

Il comune di Barletta, sulla base della classificazione sismica nazionale ricade in Zona 2.

### 3. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, che è definita dalla probabilità che in un determinato lasso di tempo (“periodo di riferimento” VR espresso in anni) in detto sito si verifichi un evento sismico di entità pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata “Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento” PVR.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di tre parametri:

ag = accelerazione orizzontale massima del terreno

FO = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

TC\* = periodo di inizio del tratto a velocità costante in accelerazione orizzontale.

I valori dei parametri ag - FO - TC\* riportati in Tabella II, relativi alla pericolosità sismica nell'ambito della griglia di riferimento (10751 punti – Tabella I) e nell'intervallo di riferimento, sono definiti attraverso il software “geostru” dove vengono inserite le caratteristiche del sito in esame.

L'opera oggetto del presente elaborato ricade nella classe d'uso II, nella quale rientrano costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in classe d'uso III o in classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

**Sito in esame: Cimitero Comunale di Barletta**

latitudine: 41,32791°

longitudine: 16,254513°

Classe: 2

Vita nominale: 50

Le coordinate geografiche sono espresse in ED50

TABELLA I – Coordinate dei vertici della griglia di riferimento			
Siti di riferimento ID	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Distanza (m)
30788	41,3523	16,2214	3875,625
30789	41,3507	16,2879	3765,138
31011	41,3007	16,2857	3992,038
31010	41,3023	16,2192	4096,775

**Parametri sismici**

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Vita nominale dell'opera VN = 50 anni

Coefficiente d'uso CU = 1

TABELLA II					
Stato limite	Probabilità di superamento: %	Tr [anni]	ag [g]	Fo	Tc* [s]
SLO	81	30	0,038	2,512	0,269
SLD	63	50	0,048	2,562	0,294
SLV	10	475	0,139	2,573	0,388
SLC	5	975	0,192	2,494	0,414

Operatività (SLO), Danno (SLD), Salvaguardia della vita (SLV), Prevenzione dal collasso (SLC), Tr = tempo di ritorno, ag = accelerazione orizzontale massima al sito, Fo = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale, TC\* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Coefficientsi Sismici							
Stato limite	Ss	Cc	St	Kh	Kv	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta
SLO	1,500	1,620	1,000	0,011	0,006	0,557	0,200
SLD	1,500	1,570	1,000	0,015	0,007	0,713	0,200
SLV	1,480	1,440	1,000	0,050	0,025	2,024	0,240
SLC	1,410	1,400	1,000	0,065	0,032	2,655	0,240

Ss = Coeff. di amplificazione stratigrafica, ST = Coeff. di amplificazione topografica, Kh = coefficiente di accelerazione sismica orizzontale, Kv = coefficiente di accelerazione sismica verticale, Amax = accelerazione massima al sito

### 3. CONCLUSIONI

I risultati ottenuti dall'analisi sismica e stratigrafica condotta nell'area oggetto del presente lavoro sono abbastanza omogenei.

Il sottosuolo su cui poggeranno le strutture delle nicchie funerarie è caratterizzato da valori di Vs30 compresi tra **315 - 333 m/s**. Secondo quanto indicato nel D.M 14/01/2008, i suoli con velocità media di taglio Vs compresi tra 180 m/s e 360 m/s ricadono in categoria C: *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi fra 180 m/s e 360 m/s (ovvero nei terreni a grana grossa da valori N<sub>SPT30</sub> compresi fra 15 e 50 e nei terreni a grana fine da valori Cu30 compresi fra 70 e 250 kPa)”*.

Il Geologo  
 dott.sa Maddalena A. Corvasce



### TAVOLA I

Piano delle indagini pregresse e di recente esecuzione.



Foto 1. Stendimento sismico profilo MASW AB

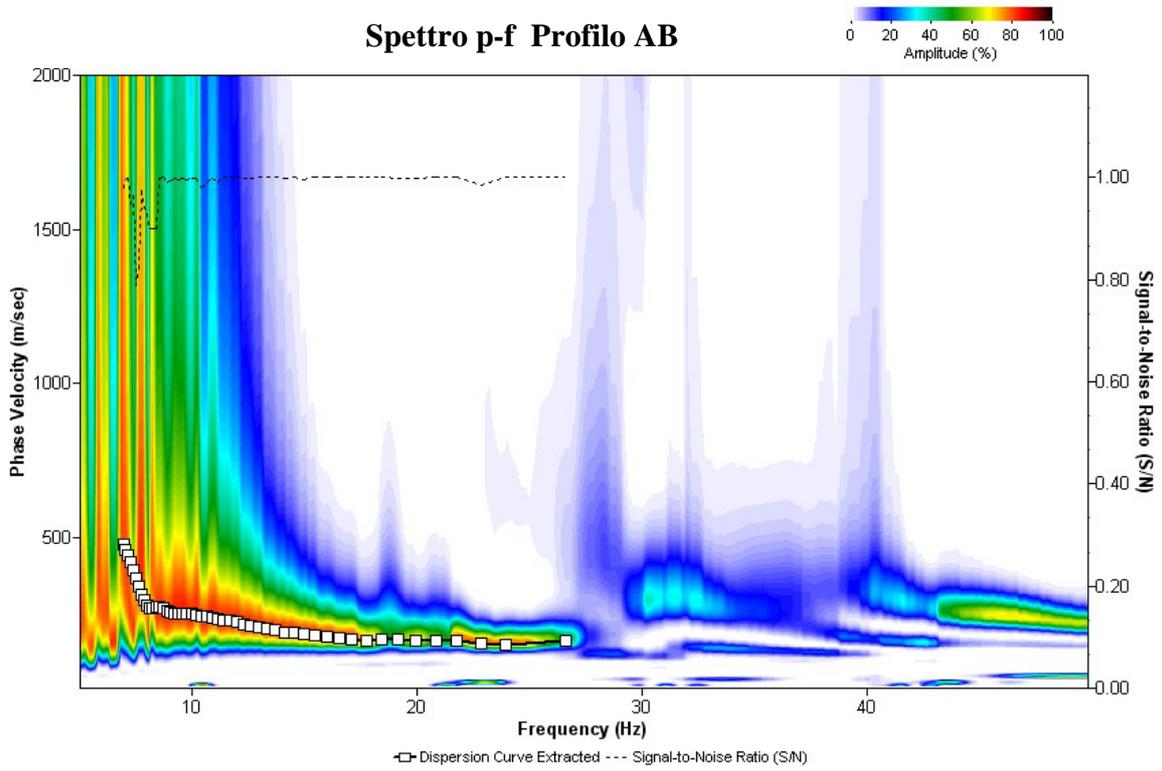


Fig. 1- Estrazione della curva di dispersione sperimentale (picking) dall'immagine di dispersione (overtone image) del profilo Masw AB

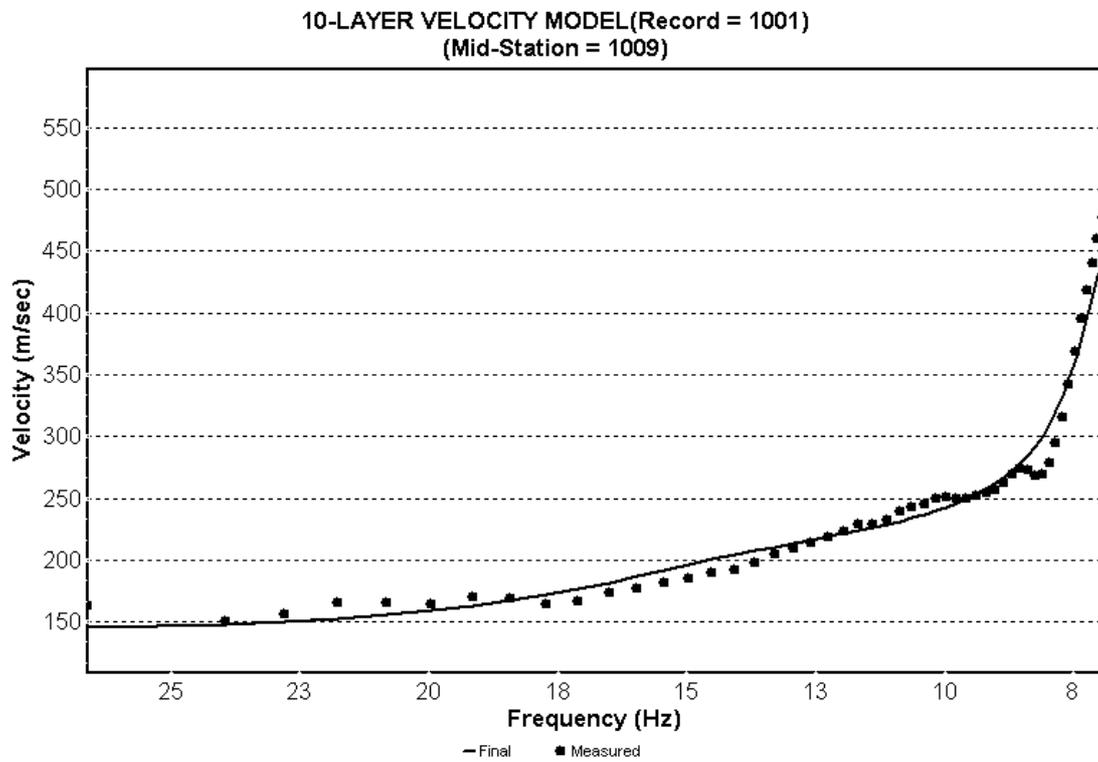
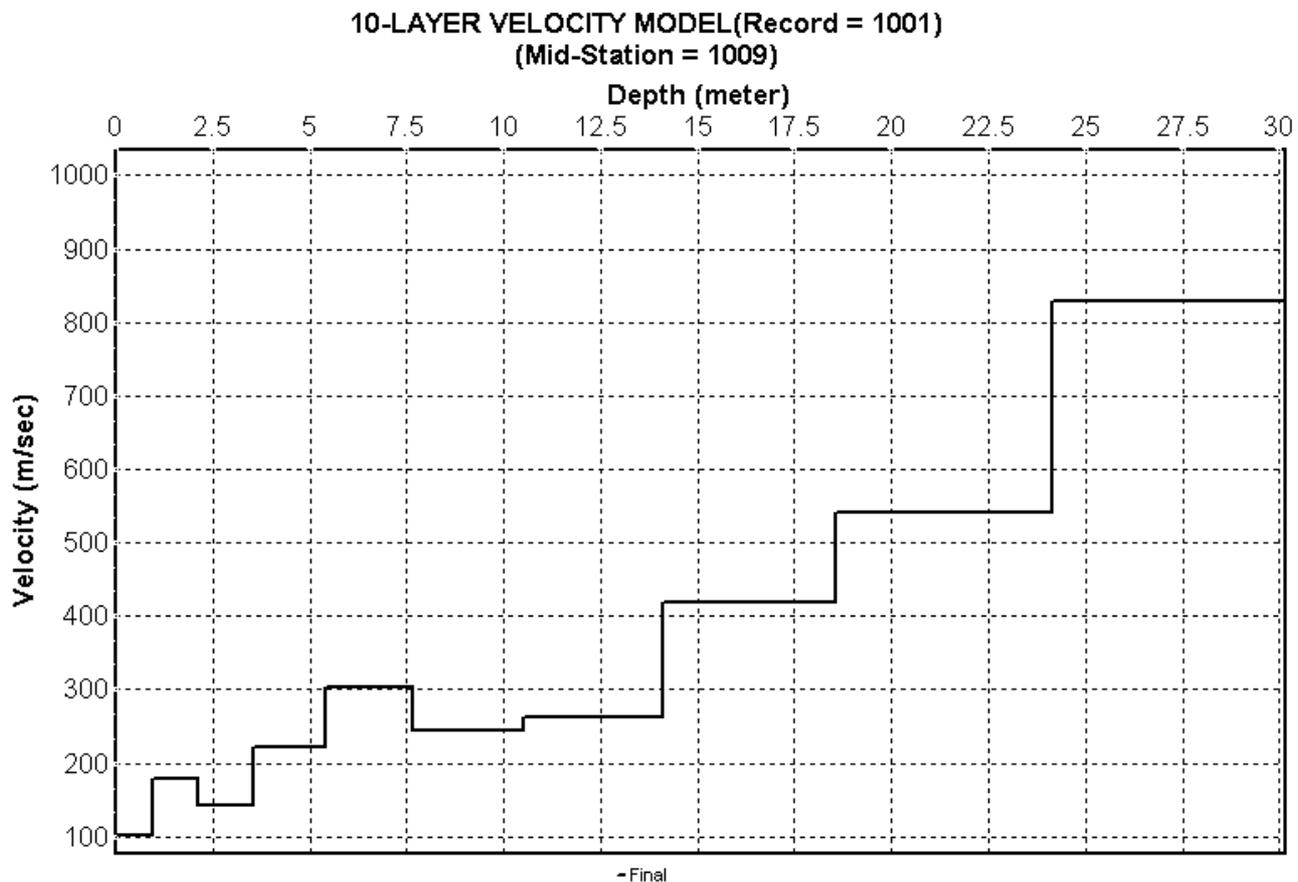


Fig. 2- Curva di dispersione calcolata lungo il profilo Masw AB



Sondaggio	Strato	Profondità (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)	hi/vsi	Vs30 (m/s)
1	1	0.9	0.9	102.432	0.00913	<b>315</b>
	2	2.1	1.2	179.583	0.00668	
	3	3.6	1.5	143.518	0.01045	
	4	5.4	1.8	222.604	0.00809	
	5	7.7	2.3	303.093	0.00759	
	6	10.5	2.8	243.596	0.01149	
	7	14.1	3.6	262.679	0.0137	
	8	18.6	4.5	419.174	0.01074	
	9	24.1	5.5	541.013	0.01017	
	10	30.0	5.9	828.047	0.00713	

Fig. 3- Modello ottimale di velocità delle onde di taglio Vs e valore di Vs30 lungo il profilo Masw AB

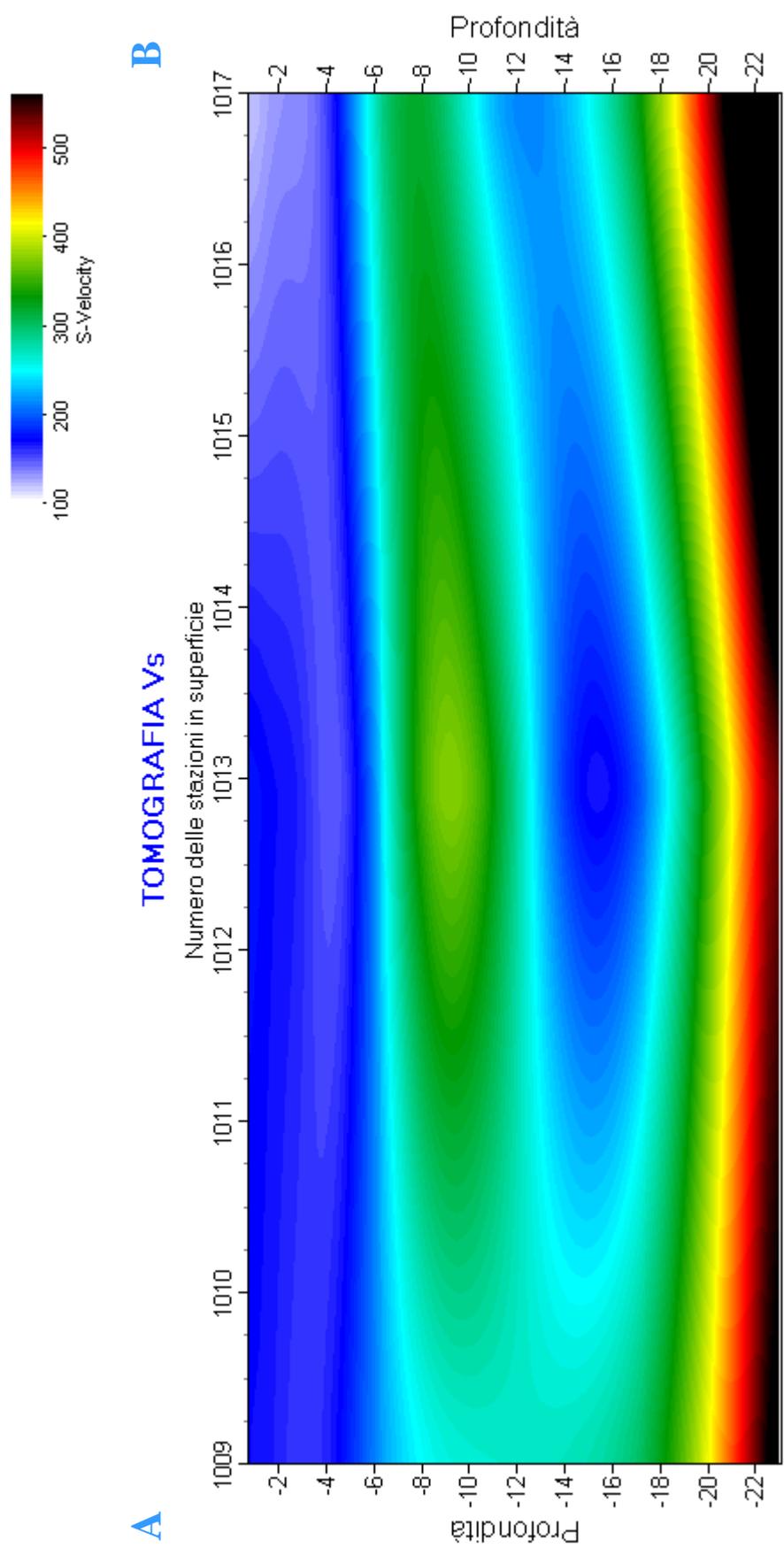


Fig.4- Tomografia Vs registrata lungo il profilo sismico AB con il metodo *Roll-along*



Foto 2. Stendimento sismico profilo MASW CD

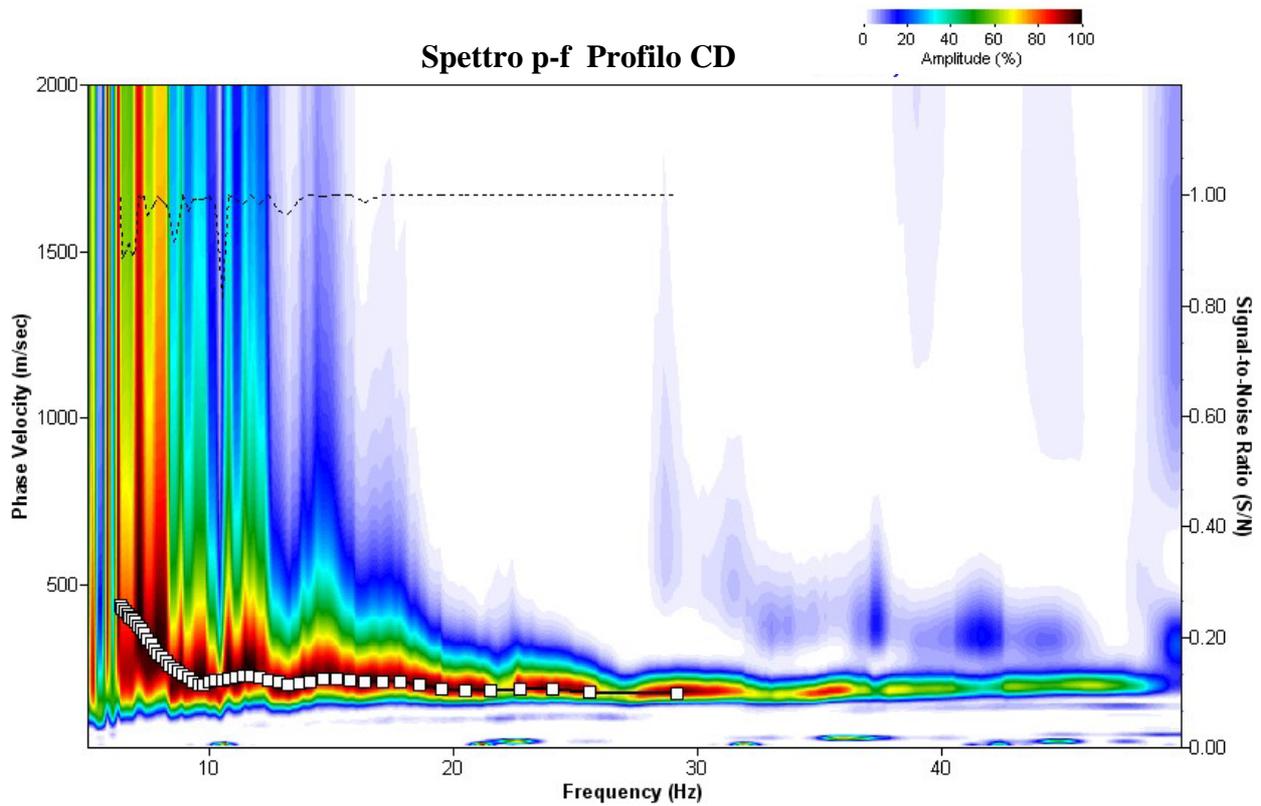


Fig. 5- Estrazione della curva di dispersione sperimentale (picking) dall'immagine di dispersione (overtone image) del profilo Masw CD

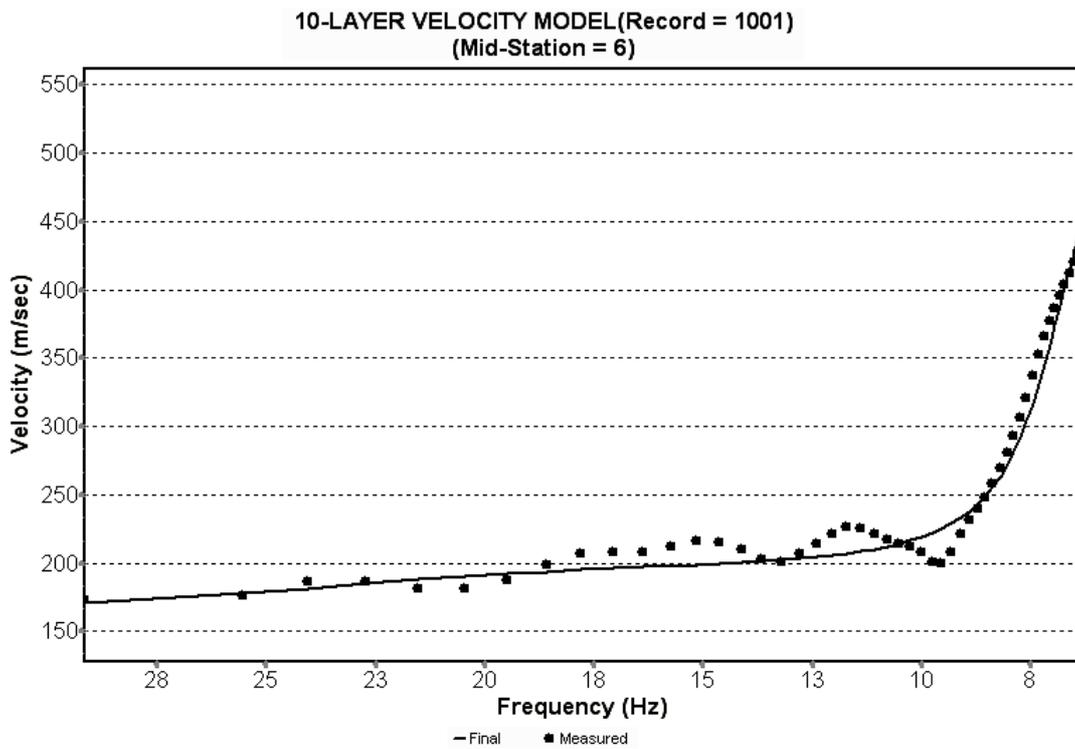
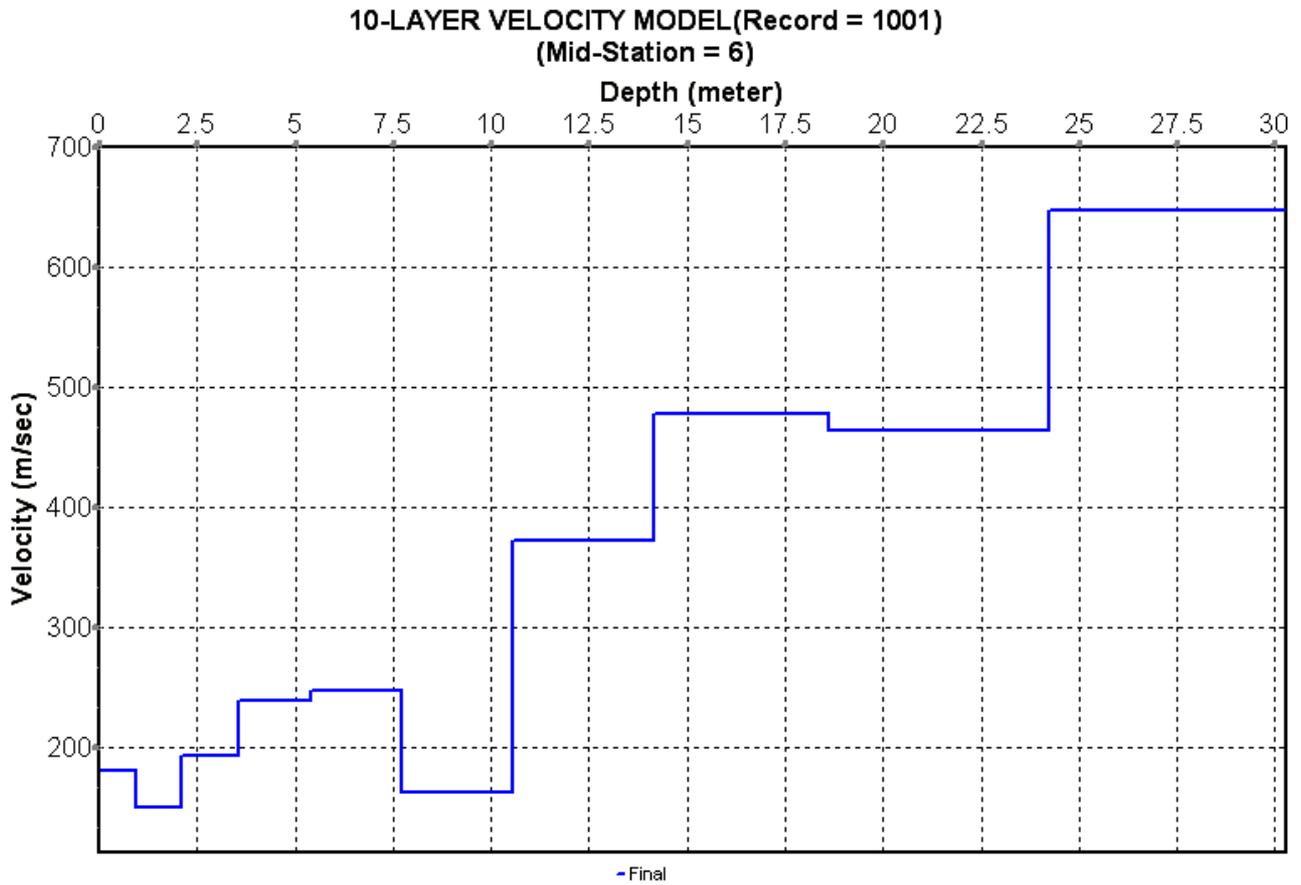


Fig. 6- Curva di dispersione calcolata lungo il profilo Masw CD



<i>Strato</i>	<i>Profondità (m)</i>	<i>Spessore (m)</i>	<i>Vs (m/s)</i>	<i>hi/vsi</i>	<i>Vs30 (m/s)</i>
1	0,939	0,9	85,01	0,0106	<b>333</b>
2	2,113	1,2	140,133	0,00838	
3	3,58	1,5	389,243	0,00377	
4	5,414	1,8	337,432	0,00544	
5	7,706	2,3	124,968	0,01834	
6	10,571	2,9	245,522	0,01167	
7	14,152	3,6	444,448	0,00806	
8	18,629	4,5	557,613	0,00803	
9	24,225	5,6	615,847	0,00909	
10	30,281	6,1	889,569	0,00681	

**0,09017**

Fig. 7- Modello ottimale di velocità delle onde di taglio Vs e valore di Vs30 lungo il profilo Masw CD



Foto 3. Stendimento sismico profilo MASW EF

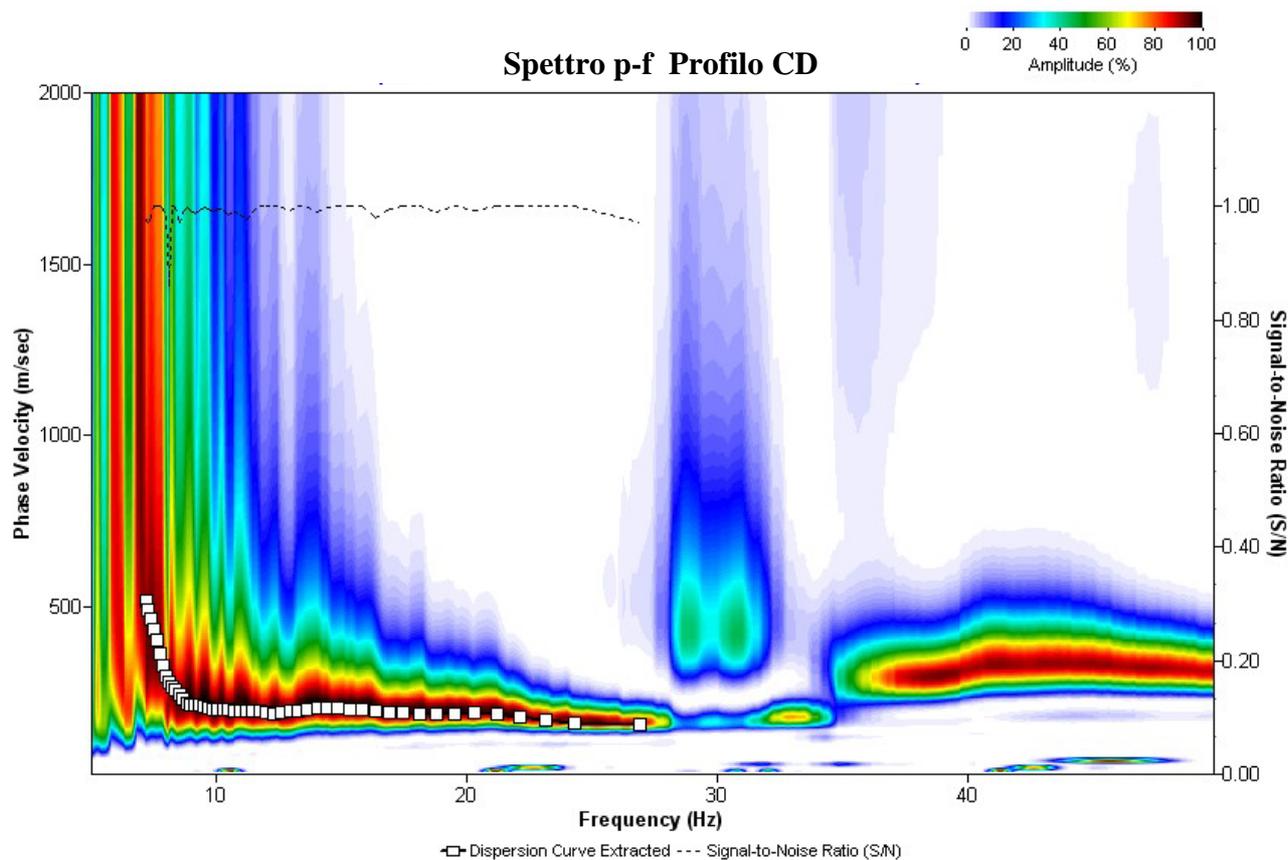


Fig. 8- Estrazione della curva di dispersione sperimentale (picking) dall'immagine di dispersione (overtone image) del profilo Masw EF

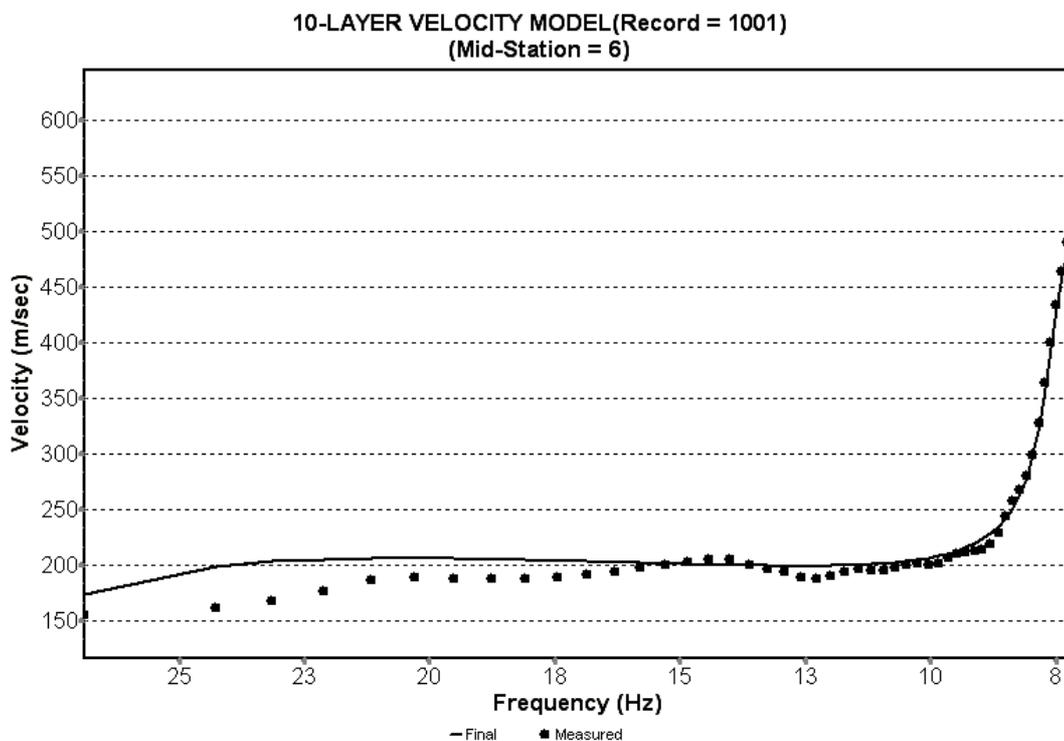
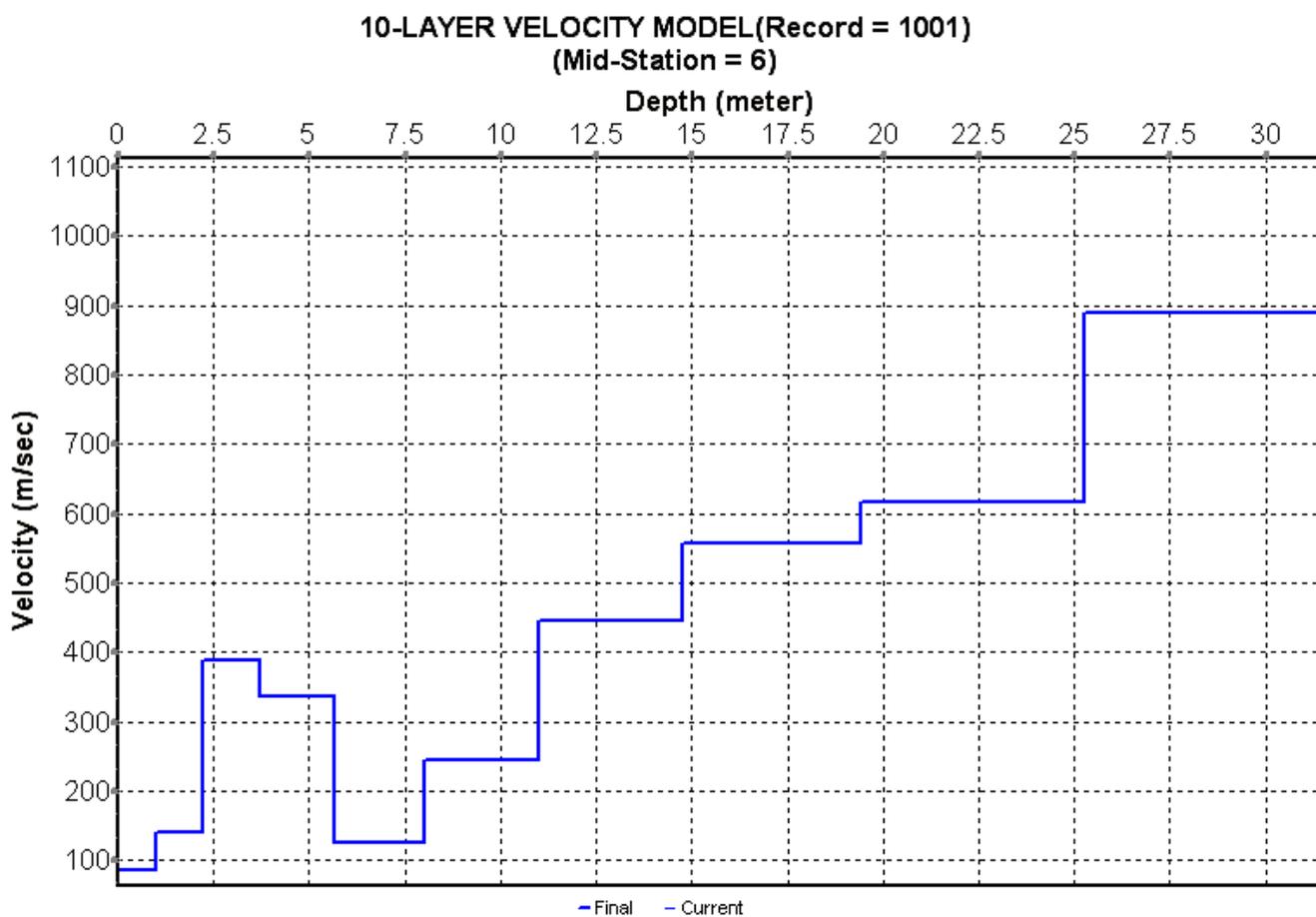


Fig. 9- Curva di dispersione calcolata lungo il profilo Masw EF



Strato	Profondità (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)	hi/vsi	Vs30 (m/s)
1	0,978	0,9	85,01	0,0106	<b>321</b>
2	2,201	1,2	140,133	0,00873	
3	3,73	1,5	389,243	0,00393	
4	5,641	1,9	337,432	0,00566	
5	8,029	2,4	124,968	0,01911	
6	11,014	3,0	245,522	0,01216	
7	14,746	3,7	444,448	0,0084	
8	19,411	4,7	557,613	0,00837	
9	25,242	5,8	615,847	0,00947	
10	31,552	6,3	889,569	0,00709	

**0,09351**

Fig. 10 - Modello ottimale di velocità delle onde di taglio Vs e valore di Vs30 lungo il profilo Masw EF