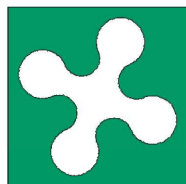




PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E  
DELLE PROVINCE AUTONOME

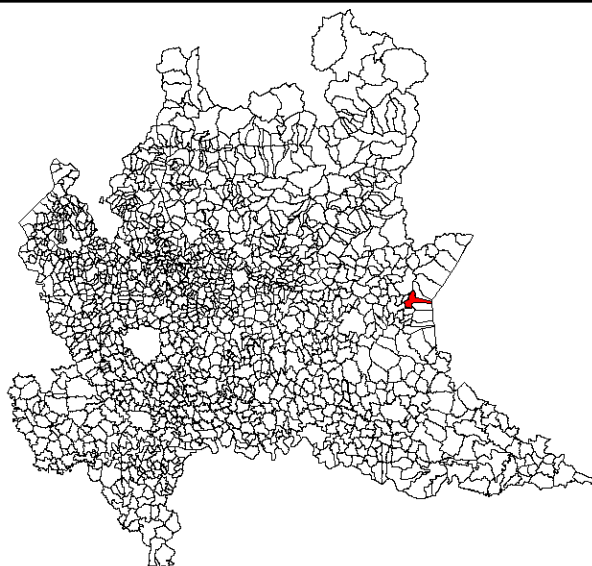
Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77

# MICROZONAZIONE SISMICA

## All. 3 – Dati sismostratigrafici Nuove acquisizioni

### Regione Lombardia

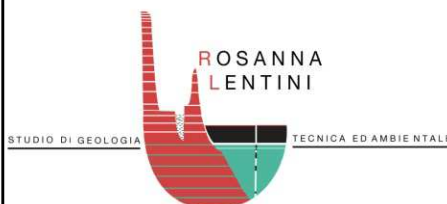
#### Comune di Salò



Comune di Salò



Soggetto realizzatore



Dott. Geol. Rosanna Lentini  
Dott. Geol. Damiano Scalvini  
Via Verdi 9 – 25080 Padenghe s/G (BS)  
Tel./Fax. 030.9914222  
E-mail: info@lentinirosannageologia.it

Data

Novembre 2014



## INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. INDAGINI DI SISMICA MULTICANALE CON ACQUISIZIONE DELLE ONDE SUPERFICIALI ED ANALISI DEI DATI MEDIANTE METODOLOGIA MASW .....	3
2.1 Acquisizione dati.....	3
2.2 Cenni sulla metodologia MASW .....	3
2.3 Metodi di analisi dei dati con procedura MASW.....	4
2.4 Dati sismostratigrafici in territorio di SALO' .....	6
2.4.1. Indagine L44 – Gasometro .....	6
2.4.2. Indagine L45 – Loc. Videlle.....	9
2.4.3. Indagine L46 – Loc. Cunettone .....	12
2.4.4. Indagine L47 – Via Nazario Sauro .....	15
2.4.5. Indagine L48 – Loc. Monticelli.....	18



## **1. PREMESSA**

Per la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione litologica degli eventi sismici attesi, secondo le metodologie indicate per l'analisi di 2° livello ai sensi dei criteri regionali lombardi, e per la definizione di un modello geofisico e geotecnico affidabile, in accordo con quanto prescritto dall'All. 5 della D.G.R. 9/2616/2011, sono stati eseguiti **n. 5 stendimenti di sismica multicanale con acquisizione delle onde superficiali**, comprese quelle a bassa frequenza, ed elaborazione dei dati secondo la **procedura tipo MASW**.

Gli stendimenti sono stati ubicati in accordo con l'Ufficio Tecnico Comunale ed in aree significative dal punto di vista geologico; secondo quanto previsto dalla D.G.R. 9/2616/2011 l'acquisizione dei dati per l'applicazione dell'analisi di 2° livello è stata prevista in modo da caratterizzare gli scenari qualitativi suscettibili di amplificazione preferibilmente in corrispondenza di aree non indagate dalle precedenti indagini reperite ed allegate al presente studio.

Si allegano:

- Tavole fotografiche

## **2. INDAGINI DI SISMICA MULTICANALE CON ACQUISIZIONE DELLE ONDE SUPERFICIALI ED ANALISI DEI DATI MEDIANTE METODOLOGIA MASW**

L'andamento delle onde Vs lungo la verticale è stato determinato mediante l'esecuzione di stendimenti di sismica multicanale con registrazione delle onde superficiali, anche a bassa frequenza e l'elaborazione dei segnali secondo metodologia MASW.

### **2.1 Acquisizione dati**

L'acquisizione dei dati è avvenuta secondo le modalità “*common-shot gathers*”, utilizzando strumentazione “*Ambrogeo*” costituita da un sismografo multicanale ECHO 24/2010 a 24+1 canali, con collegati 24 geofoni verticali OYO GEOSPACE con frequenza di 4,5 Hz. L'energizzazione è stata ottenuta mediante massa battente manovrata a mano (mazza da 8 kg – mod. SIS-020-000) agente a percussione su una piastra quadrata, collocata all'esterno dello stendimento dei geofoni.

### **2.2 Cenni sulla metodologia MASW**

Per l'elaborazione dei dati è stata quindi utilizzata la procedura di analisi MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*); i dati acquisiti sono stati “processati” mediante il software winMASW (creato dalla EliaSoft).

Il risultato finale è la determinazione, in corrispondenza di ciascuno stendimento sismico del **profilo verticale medio della Vs** (velocità delle onde di taglio), necessario per la classificazione nelle categorie di suolo previste dalle normative tecniche e per l'applicazione delle procedure di 2° livello previste dall'All.5 della D.G.R 8/2616/2011.

La procedura di analisi MASW utilizza la propagazione nel sottosuolo delle onde di superficie. Infatti, le onde di *Rayleigh* (o di superficie) in un mezzo non stratificato si propagano in maniera lineare in funzione della distanza del geofono, al contrario in un mezzo stratificato subiscono il fenomeno della dispersione.

La curva di dispersione permette quindi di determinare le caratteristiche del sottosuolo. La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda ( $\lambda$ ), quindi frequenza, è, infatti, influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino ad una profondità di  $\lambda-\lambda/2$ .

La velocità delle onde di *Rayleigh* ( $V_R$ ) è correlabile alla Vs, essendo pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio (Vs). Particolare attenzione nell'interpretazione dei dati deriva dalla considerazione che gli spostamenti indotti dalle onde di superficie sono correlabili a diversi *modi* (frequenze diverse), che possono sovrapporsi, soprattutto nel dominio f-k, in funzione dei seguenti fattori:

- distribuzione dell'energia tra i vari modi
- particolari conformazioni geologiche
- *array* utilizzato in fase di acquisizione.

Se avviene tale sovrapposizione, può generarsi una curva di dispersione apparente, che può risultare fuorviante in fase di interpretazione e quindi nella successiva inversione. Al fine di individuare i *modi* non correlabili alla successione stratigrafica si eseguono numerosi scoppi a distanze variabili rispetto allo stendimento. Tutte le curve di dispersione vengono



quindi visionate prima di procedere al processing del *dataset* prescelto. I modi superiori, se correttamente riconosciuti, concorrono ad elaborare un modello maggiormente vincolato e non costituiscono un “disturbo”.

Tenuto conto di quanto richiesto per l’applicazione della normativa relativa alla progettazione geotecnica ed all’analisi del rischio sismico per la pianificazione territoriale, si ritiene che la metodologia di analisi MASW, la cui validità tecnica e scientifica risulta oramai consolidata, risulti pienamente idonea alla definizione dei dati richiesti. Tale scelta risulta avvalorata dalle seguenti considerazioni:

1. La percentuale di energia convertita in onde *Rayleigh* è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%).
2. L’ampiezza delle *Surface Waves* dipende da  $\sqrt{r}$  e non da  $r$  come per le *Body Waves*.
3. Il metodo MASW non è limitato, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità.
4. Il metodo MASW è contraddistinto da una buona risoluzione, a differenza del metodo a riflessione.
5. La propagazione delle onde di *Rayleigh*, anche se influenzata dalla  $V_p$  e dalla densità, è funzione innanzitutto della  $V_s$ , parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica e sismostratigrafica dei siti, richiesta dalle più recenti normative.

### 2.3 Metodi di analisi dei dati con procedura MASW

La stima dell’andamento in profondità delle velocità  $V_s$ , mediante acquisizione sismica multicanale, viene ottenuta tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di *Rayleigh*.

La procedura prevede la possibilità di considerare tanto il modo fondamentale che quelli superiori e consta di due fasi operative principali:

- Determinazione dello spettro di velocità - Individuazione delle curve di dispersione
- Determinazione dell’andamento della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) sulla verticale
  - Inversione e/o *modelling* diretto della curva di dispersione

La **determinazione delle curve di dispersione e quindi dello spettro di velocità** può essere eseguita mediante tre metodi:

- f-k
- $\tau$ -p
- *Phase Shift*

Il metodo *Phase Shift* non è influenzato dal *processing* dei dati, mantiene ottime *performance*, in termini di chiarezza del segnale, anche con un numero di tracce estremamente ridotto e ha tempi di calcolo minori rispetto al metodo  $\tau$ -p. La riduzione del numero di tracce provoca invece un sensibile scadimento della qualità dello spettro calcolato tramite trasformata  $\tau$ -p e forte *aliasing* nello spettro f-k. E’ spesso utile determinare le curve



di dispersione attraverso più metodi, al fine di enfatizzare porzioni di segnale più facilmente poste in evidenza da un metodo piuttosto che da un altro.

La **ricostruzione della distribuzione verticale delle Vs** rappresenta quindi il passo successivo, cruciale, e comporta alcuni passaggi piuttosto articolati.

La curva di dispersione dipende infatti, oltre che dalla velocità delle onde di taglio (Vs), anche dallo spessore degli strati, dalla velocità delle onde di compressione (Vp) e dalla densità del terreno.

$$V(f) = F(Vs, \text{spessore}, Vp, \text{densità})$$

Ciò implica che la determinazione delle Vs a partire dalla curva di dispersione e quindi dalla Velocità di fase [V(f)], costituisce un problema spiccatamente non lineare. Per la sua risoluzione bisogna quindi procedere ad una linearizzazione del problema (che comporta un certo grado di approssimazione) o all'utilizzo di algoritmi basati su un approccio non lineare (e.g. Algoritmi Genetici).

Gli algoritmi evolutivi rappresentano un tipo di procedura di ottimizzazione appartenente alla classe degli algoritmi euristici (o anche *global-search methods* o *soft computing*). Rispetto ai comuni metodi di inversione lineare, basati sul gradiente (matrice Jacobiana), queste tecniche di inversione offrono un'affidabilità del risultato di gran lunga superiore per precisione e completezza. I comuni metodi lineari forniscono infatti soluzioni che dipendono pesantemente dal modello iniziale di partenza che l'utente deve necessariamente imporre. Per la natura del problema (inversione delle curve di dispersione), la grande quantità di minimi locali porta necessariamente ad attrarre il modello iniziale verso un minimo locale che può essere significativamente diverso da quello reale (o globale). In altre parole, i metodi lineari richiedono che il modello di partenza sia già di per sé vicinissimo alla soluzione reale. In caso contrario il rischio è quello di fornire soluzioni erranee.

Gli algoritmi evolutivi (come altri analoghi) offrono un'esplorazione molto più ampia delle possibili soluzioni. A differenza dei metodi lineari non è necessario fornire alcun modello di partenza. E' invece necessario definire uno "spazio di ricerca" (*search space*) all'interno del quale vengono valutate diverse possibili soluzioni.

L'elaborazione dei dati mediante il programma winMASW, che prevede l'utilizzo degli algoritmi genetici, ha quindi il vantaggio di fornire risultati molto più affidabili rispetto a quelli possibili con altre metodologie, arricchiti anche da una stima dell'attendibilità dei dati.

Tali risultati vengono ottenuti a prezzo di un notevole sforzo computazionale che si riflette in tempi macchina più lunghi rispetto a quelli comunemente necessari coi metodi di inversione lineare.

Il *modelling* diretto può in ogni caso essere utilizzato, mediante il programma di elaborazione, per una verifica finale o di partenza del modello di velocità ottenuto mediante inversione con algoritmi.



## 2.4 Dati sismostratigrafici in territorio di SALO'

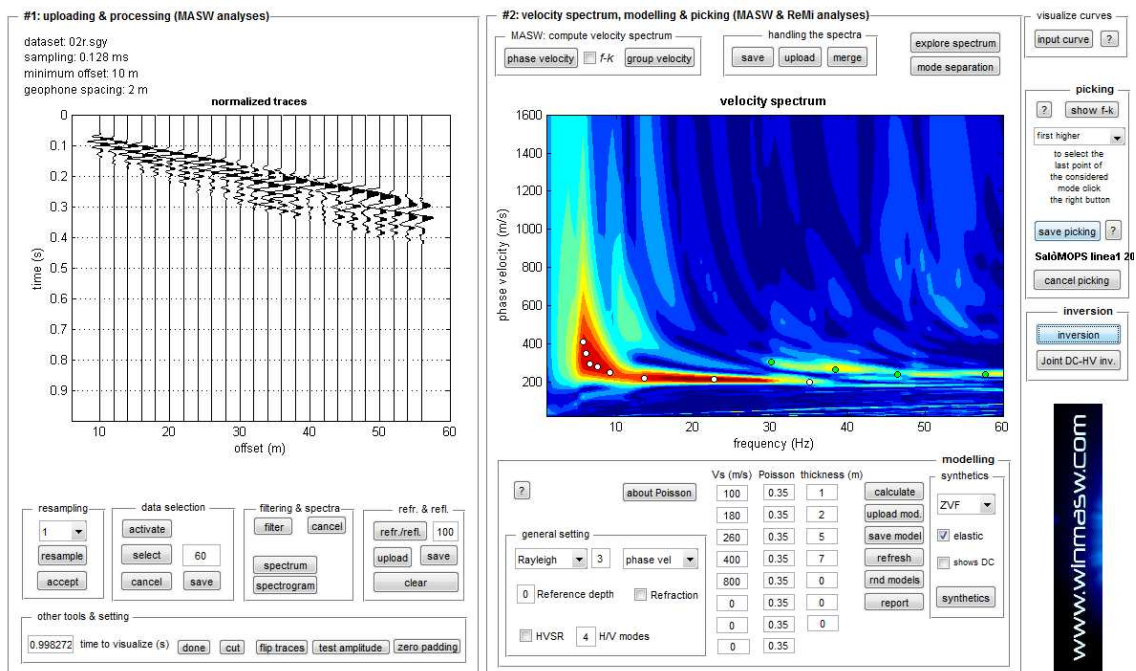
### 2.4.1. Indagine L44 – Gasometro

#### Sismostratigrafia

L'ubicazione dello stendimento è stata scelta in funzione della logistica dei luoghi e delle condizioni topografiche dell'area preliminarmente prescelta. L'allineamento, disposto entro l'area a parcheggio dell'ex-gasometro in direzione E-W, ha previsto una distanza tra geofoni pari a 2 m ed una serie di scoppi esterni all'ultimo geofono con offset variabili (1-2-5-10 m) e diversa intensità di energizzazione.

#### Fase 1 - Determinazione spettro di velocità e picking della curva di dispersione

La prima operazione eseguita è la lettura del file acquisito in campagna (common-shot gather 02r.dat). Una volta caricati i dati si procede con il calcolo dello spettro di velocità. Viene indicato come unico vincolo le massime e minime velocità e frequenze (in altri termini i limiti dello spettro di velocità).



Nel caso in esame è stato individuato mediante modellazione diretta un modo principale utilizzato per la successiva inversione della curva di dispersione.

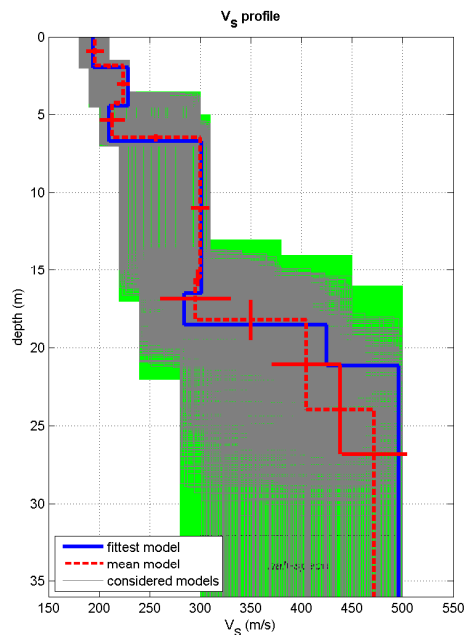
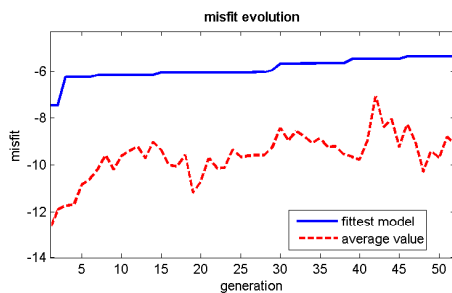
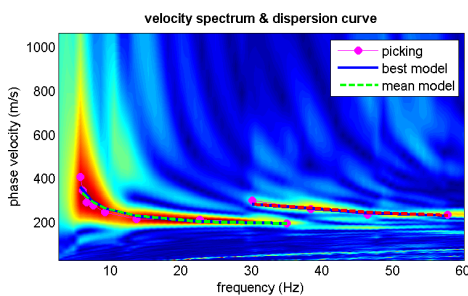
## Fase 2 - Inversione della curva di dispersione

Il secondo passo da affrontare per ottenere il profilo verticale della  $V_s$  è l'inversione della curva di dispersione precedentemente "piccata".

Nel contesto in esame poiché il gradiente di velocità subisce variazioni drastiche non è valida, per determinare il possibile spazio di ricerca, la cosiddetta assunzione  $\lambda/2$  (data una certa lunghezza d'onda  $\lambda$  si assume che la sua velocità di propagazione dipenda dalle caratteristiche del mezzo ad una profondità pari a  $\lambda/2$ ). I limiti del search space ("spazio di ricerca" o "spazio dei parametri") prescelti sono quindi piuttosto ampi.

Per l'elaborazione dei modelli di velocità è stato impostato l'utilizzo di 6 strati, compatibile con l'assetto stratigrafico del sito d'interesse e con le finalità del presente studio. Alcuni parametri genetici sono stati considerati pari a valori standard; i tassi di crossover e di mutazione sono fissati ad esempio sui valori di 0.75 e 0.1.

Dati relativi all'elaborazione dello shot 1:  
 dataset: 02r.sgy                      minimum offset (m): 10  
 geophone spacing (m): 2            sampling (ms): 0.128  
 Dispersion curve: SalòMOPS linea1 2014-83Rbis PT File02r.cdp  
 Number of individuals: 40      Number of generations: 41



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

dataset: 02r.sgy  
 dispersion curve: SalòMOPS linea1 2014-83Rbis PT File02r.cdp  
 Vs30 (best model): 315 m/s  
 Vs30 (mean model): 310 m/s



**MODELLO MEDIO:**

Vs (m/s):	196	224	213	300	295	405	472
Standard deviations (m/s):	8	6	12	9	35	34	32
Thickness (m):	1.9	2.4	2.2	9.1	2.7	5.8	
Standard deviations (m):	0.1	0.1	0.2	0.5	1.3	2.8	

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

Vp (m/s):	408	466	443	624	614	843	883
Density (gr/cm <sup>3</sup> ):	1.84	1.87	1.86	1.94	1.94	2.01	2.02
Vp/Vs ratio:	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	1.87
Poisson:	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.30
Shear modulus (MPa):	71	94	84	175	168	330	451

Si sottolinea che i parametri geotecnici, sopra riportati, sono riferiti a moduli dinamici e quindi a condizioni di bassa deformazione. I valori ottenuti sono stati infatti stimati in base alle deformazioni indotte nel terreno dalla propagazione delle onde sismiche. L'entità ridotta di tali deformazioni comporta alti valori dei moduli dinamici calcolati. Per deformazioni significativamente superiori, come di norma nei calcoli geotecnici, i valori stimati dovranno quindi essere idoneamente corretti tenendo conto della funzione matematica che ne regola la diminuzione in funzione dello sforzo applicato e della deformazione risultante. Il Progettista dovrà quindi utilizzarli solo nei modi e nei casi appropriati.

**Vs5 (mean model): 211 m/s      Vs20 (mean model): 269 m/s**

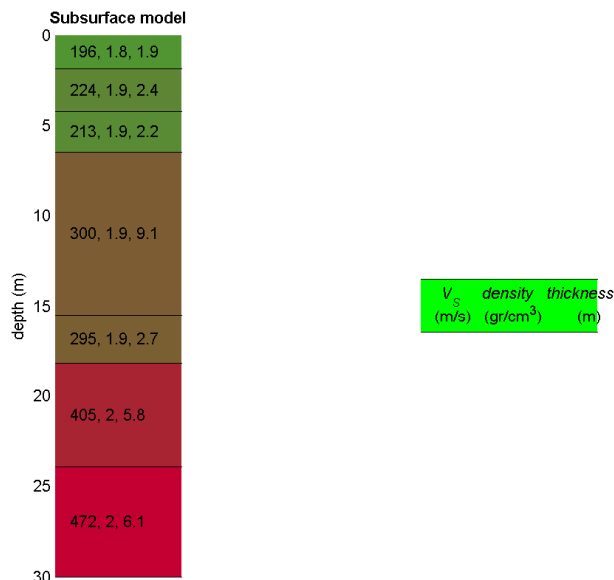
**Vs30 (mean model): 310 m/s**

**Possibile Tipo di Suolo: C** (stimato sulla base del valore numerico di Vs30 calcolato mediante l'espressione 3.2.1 del D.M. 14/01/2008)

winMASW 4.1 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)

**ATTENZIONE! La classificazione del terreno è di pertinenza dell'utente, che ne deve valutare la tipologia sulla base della normativa e del profilo verticale Vs.**

Si riassume qui di seguito una sezione sismostratigrafica schematica.



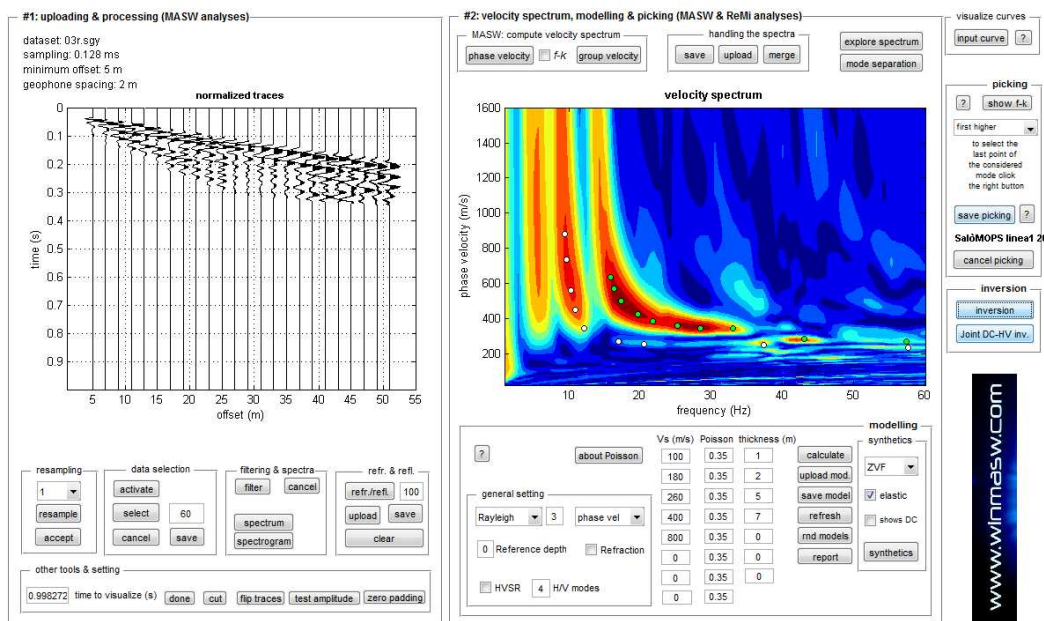
## 2.4.2. Indagine L45 – Loc. Videlle

### Sismostratigrafia

L'ubicazione dello stendimento è stata scelta in funzione della logistica dei luoghi e delle condizioni topografiche dell'area preliminarmente prescelta. L'allineamento, disposto in direzione NW-SE, ha previsto una distanza tra geofoni pari a 2 m ed una serie di scoppi esterni all'ultimo geofono con offset variabili (1-2-5-10 m) e diversa intensità di energizzazione.

#### **Fase 1 - Determinazione spettro di velocità e picking della curva di dispersione**

La prima operazione eseguita è la lettura del file acquisito in campagna (common-shot gather 03r.dat). Una volta caricati i dati si procede con il calcolo dello spettro di velocità. Viene indicato come unico vincolo le massime e minime velocità e frequenze (in altri termini i limiti dello spettro di velocità).



Nel caso in esame sono stati individuati mediante modellazione diretta un modo principale ed un modo superiore, utilizzati per la successiva inversione della curva di dispersione.

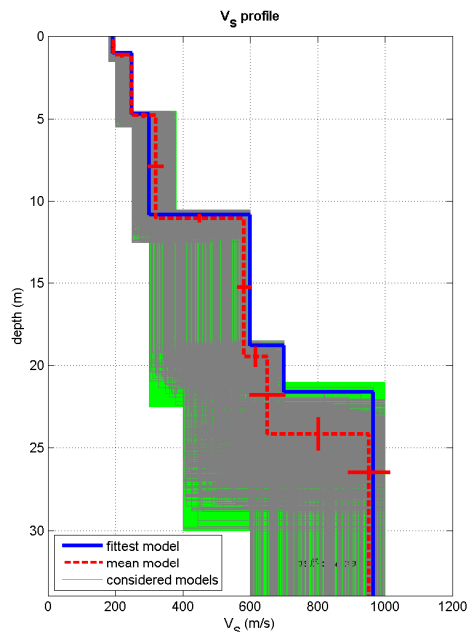
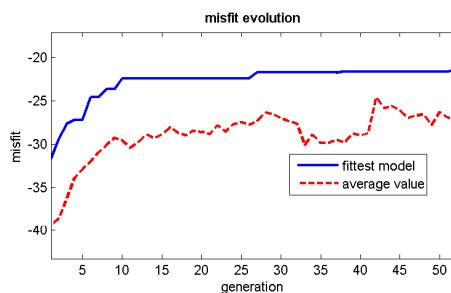
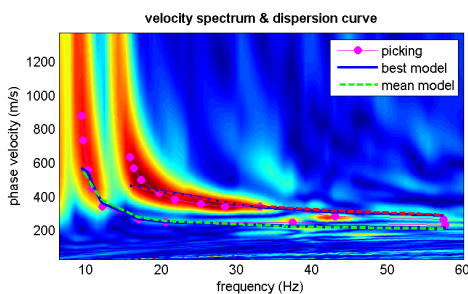
## Fase 2 - Inversione della curva di dispersione

Il secondo passo da affrontare per ottenere il profilo verticale della  $V_s$  è l'inversione della curva di dispersione precedentemente "piccata".

Nel contesto in esame poiché il gradiente di velocità non dovrebbe subire variazioni drastiche, è valida, per determinare il possibile spazio di ricerca, la cosiddetta assunzione  $\lambda/2$  (data una certa lunghezza d'onda  $\lambda$  si assume che la sua velocità di propagazione dipenda dalle caratteristiche del mezzo ad una profondità pari a  $\lambda/2$ ). I limiti del search space ("spazio di ricerca" o "spazio dei parametri") prescelti sono in ogni caso piuttosto ampi.

Per l'elaborazione dei modelli di velocità è stato impostato l'utilizzo di 6 strati, compatibile con l'assetto stratigrafico del sito d'interesse e con le finalità del presente studio. Alcuni parametri genetici sono stati considerati pari a valori standard; i tassi di crossover e di mutazione sono fissati ad esempio sui valori di 0.75 e 0.1.

**Dati relativi all'elaborazione dello shot 2:**  
 dataset: 03r.sgy                      minimum offset (m): 5  
 geophone spacing (m): 2            sampling (ms): 0.128  
 Dispersion curve: SalòMOPS linea1 2014-83Rbis PT File03r.cdp  
 Number of individuals: 40    Number of generations: 41



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

dataset: 03r.sgy  
 dispersion curve: SalòMOPS linea1 2014-83Rbis PT File03r.cdp  
 Vs30 (best model): 452 m/s  
 Vs30 (mean model): 442 m/s



<b>MODELLO MEDIO:</b>						
Vs (m/s):	195	247	320	582	651	953
Standard deviations (m/s):	6	5	22	20	52	62
Thickness (m):	1.1	3.7	6.2	8.5	4.7	
Standard deviations (m):	0.1	0.1	0.2	0.6	1.0	
<b>Stima approssimativa di Vp, densità e moduli elastici</b>						
Vp (m/s):	406	514	666	1212	1355	1783
Density (gr/cm <sup>3</sup> ):	1.84	1.89	1.96	2.10	2.13	2.19
Vp/Vs ratio:	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	1.87
Poisson:	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.30
Shear modulus (MPa):	70	115	200	711	902	1993

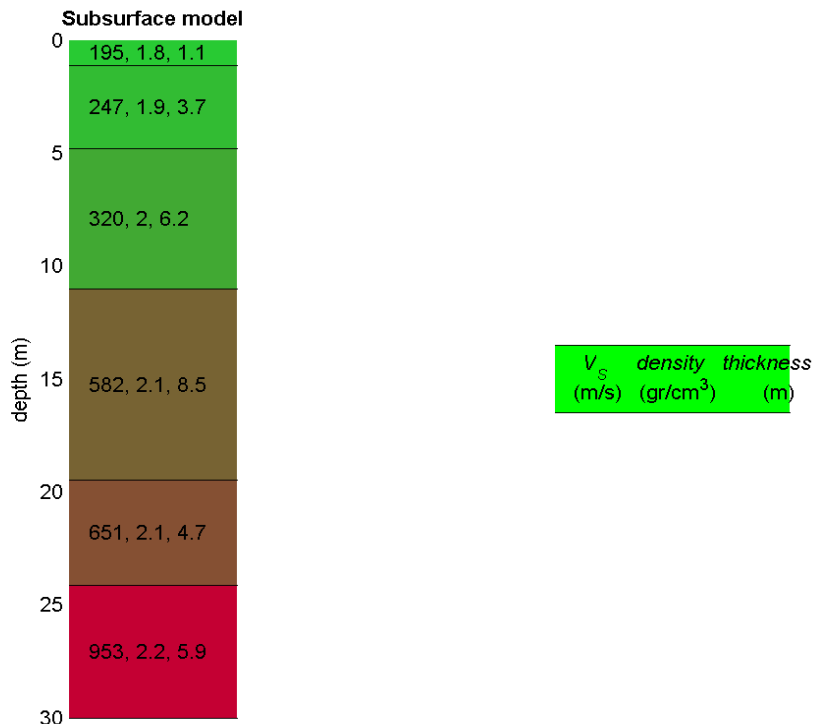
Si sottolinea che i parametri geotecnici, sopra riportati, sono riferiti a moduli dinamici e quindi a condizioni di bassa deformazione. I valori ottenuti sono stati infatti stimati in base alle deformazioni indotte nel terreno dalla propagazione delle onde sismiche. L'entità ridotta di tali deformazioni comporta alti valori dei moduli dinamici calcolati. Per deformazioni significativamente superiori, come di norma nei calcoli geotecnici, i valori stimati dovranno quindi essere idoneamente corretti tenendo conto della funzione matematica che ne regola la diminuzione in funzione dello sforzo applicato e della deformazione risultante. Il Progettista dovrà quindi utilizzarli solo nei modi e nei casi appropriati.

**Vs5 (mean model): 235 m/s**                      **Vs20 (mean model): 361 m/s**  
**Vs30 (mean model): 442 m/s**

**Possibile Tipo di Suolo: B** (stimato sulla base del valore numerico di Vs30 calcolato mediante l'espressione 3.2.1 del D.M. 14/01/2008)  
 winMASW 4.1 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)

**ATTENZIONE! La classificazione del terreno è di pertinenza dell'utente, che ne deve valutare la tipologia sulla base della normativa e del profilo verticale VS.**

Si riassume qui di seguito una sezione sismostratigrafica schematica.



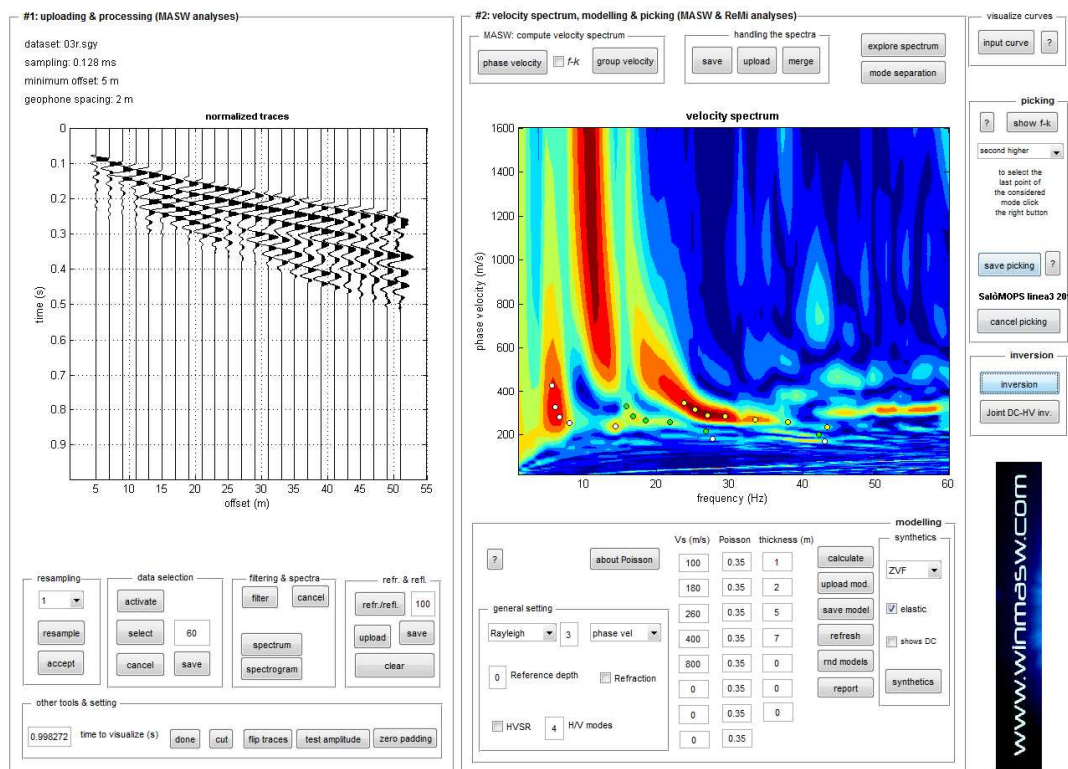
### 2.4.3. Indagine L46 – Loc. Cunettone

#### Sismostratigrafia

L'ubicazione dello stendimento è stata scelta in funzione della logistica dei luoghi e delle condizioni topografiche dell'area preliminarmente prescelta. L'allineamento, predisposto in un campo ad ovest della statale 576 tra loc. Cunettone e loc. Villa, con direzione NNW-SSE, ha previsto una distanza tra geofoni pari a 2 m ed una serie di scoppi esterni all'ultimo geofono con offset variabili (1-2-5-10 m) e diversa intensità di energizzazione.

#### Fase 1 - Determinazione spettro di velocità e picking della curva di dispersione

La prima operazione eseguita è la lettura del file acquisito in campagna (common-shot gather 03r.dat). Una volta caricati i dati si procede con il calcolo dello spettro di velocità. Viene indicato come unico vincolo le massime e minime velocità e frequenze (in altri termini i limiti dello spettro di velocità).



Nel caso in esame è stato individuato mediante modellazione diretta un modo principale, e due modi superiori utilizzati per la successiva inversione della curva di dispersione.

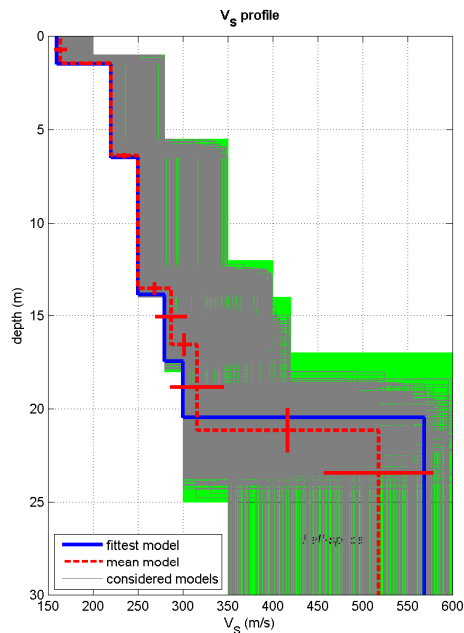
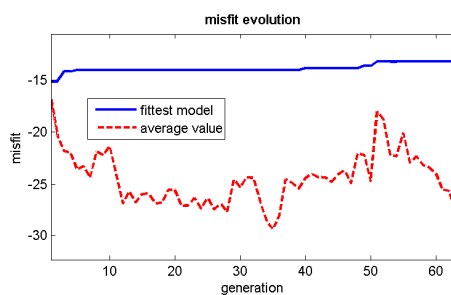
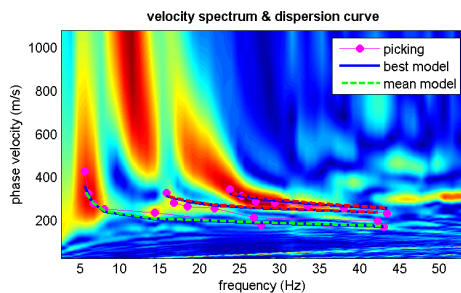
## Fase 2 - Inversione della curva di dispersione

Il secondo passo da affrontare per ottenere il profilo verticale della  $V_s$  è l'inversione della curva di dispersione precedentemente "piccata".

Nel contesto in esame poiché il gradiente di velocità non dovrebbe subire variazioni drastiche, è valida, per determinare il possibile spazio di ricerca, la cosiddetta assunzione  $\lambda/2$  (data una certa lunghezza d'onda  $\lambda$  si assume che la sua velocità di propagazione dipenda dalle caratteristiche del mezzo ad una profondità pari a  $\lambda/2$ ). I limiti del search space ("spazio di ricerca" o "spazio dei parametri") prescelti sono in ogni caso piuttosto ampi.

Per l'elaborazione dei modelli di velocità è stato impostato l'utilizzo di 6 strati, compatibile con l'assetto stratigrafico del sito d'interesse e con le finalità del presente studio. Alcuni parametri genetici sono stati considerati pari a valori standard; i tassi di crossover e di mutazione sono fissati ad esempio sui valori di 0.75 e 0.1.

**Dati relativi all'elaborazione dello shot 2:**  
 dataset: 03r.sgy                                    minimum offset (m): 5  
 geophone spacing (m): 2                                    sampling (ms): 0.128  
 Dispersion curve: SalòMOPS linea3 2014-83Rbis PT File03r.cdp  
 Number of individuals: 40                                    Number of generations: 50

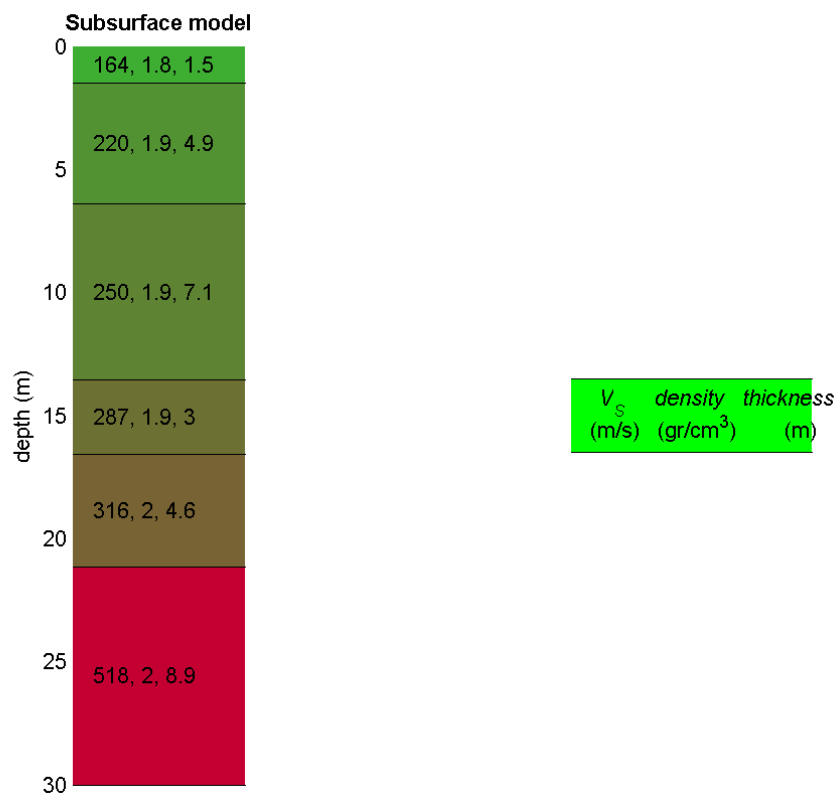


dataset: 03r.sgy  
 dispersion curve: SalòMOPS linea3 2014-83Rbis PT File03r.cdp  
 Vs30 (best model): 297 m/s  
 Vs30 (mean model): 294 m/s

www.winmasw.com

<b>MODELLO MEDIO:</b>						
Vs (m/s):	164	220	250	287	316	518
Standard deviations (m/s):	7	1	1	18	30	61
Thickness (m):	1.5	4.9	7.1	3.0	4.6	
Standard deviations (m):	0.1	0.1	0.3	0.6	1.2	
<b>Stima approssimativa di Vp, densità e moduli elastici</b>						
Vp (m/s):	341	458	520	597	658	969
Density (gr/cm <sup>3</sup> ):	1.79	1.87	1.90	1.93	1.95	2.05
Vp/Vs ratio:	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	1.87
Poisson:	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.30
Shear modulus (MPa):	48	90	118	159	195	549
<b>Vs5 (mean model): 200 m/s</b>			<b>Vs20 (mean model): 246 m/s</b>			
<b>Vs30 (mean model): 294 m/s</b>						
<b>Possibile Tipo di Suolo: C</b> (stimato sulla base del valore numerico di Vs30 calcolato mediante l'espressione 3.2.1 del D.M. 14/01/2008)						
winMASW 4.1 Software per la determinazione dello spettro di velocità e l'inversione della curva di dispersione secondo il metodo MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves <a href="http://www.eliosoft.it">www.eliosoft.it</a>						
<b>ATTENZIONE! La classificazione del terreno è di pertinenza dell'utente, che ne deve valutare la tipologia sulla base della normativa e del profilo verticale VS.</b>						

Si riassume qui di seguito una sezione sismostratigrafica schematica.



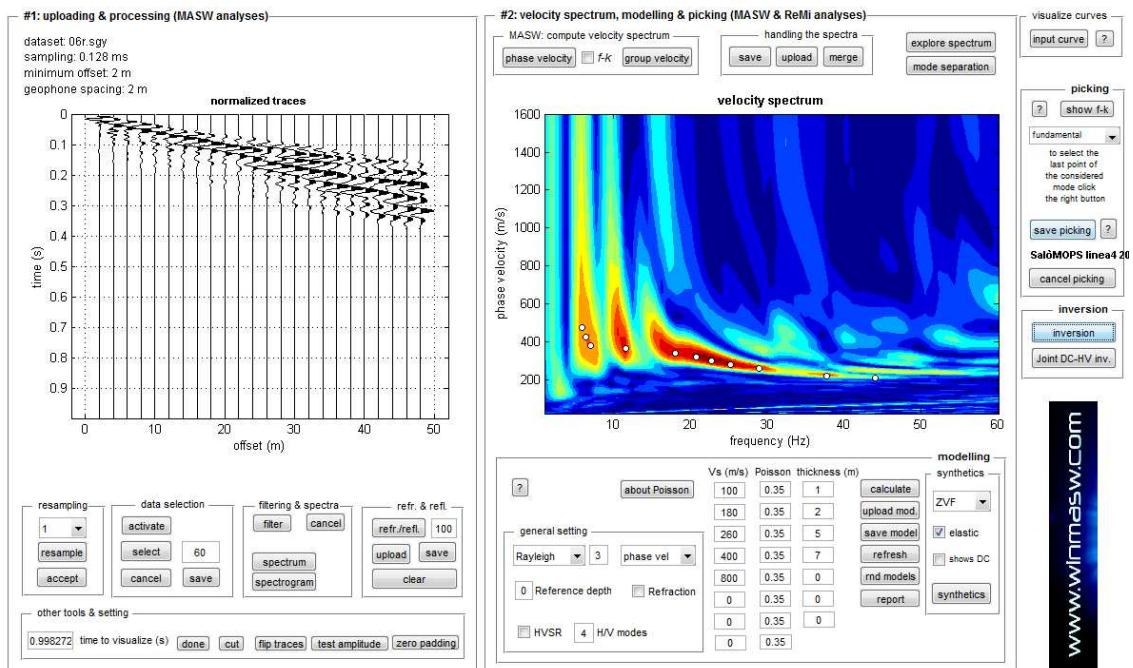
## 2.4.4. Indagine L47 – Via Nazario Sauro

### Sismostratigrafia

L'ubicazione dello stendimento è stata scelta in funzione della logistica dei luoghi e delle condizioni topografiche dell'area preliminarmente prescelta. L'allineamento, disposto in direzione NNW-SSE, ha previsto una distanza tra geofoni pari a 1 m ed una serie di scoppi esterni all'ultimo geofono con offset variabili (1-2-5-10 m) e diversa intensità di energizzazione.

#### **Fase 1 - Determinazione spettro di velocità e picking della curva di dispersione**

La prima operazione eseguita è la lettura del file acquisito in campagna (common-shot gather 06r.dat). Una volta caricati i dati si procede con il calcolo dello spettro di velocità. Viene indicato come unico vincolo le massime e minime velocità e frequenze (in altri termini i limiti dello spettro di velocità).



Nel caso in esame è stato individuato mediante modellazione diretta un modo principale, ed un primo modo superiore, utilizzati per la successiva inversione della curva di dispersione.

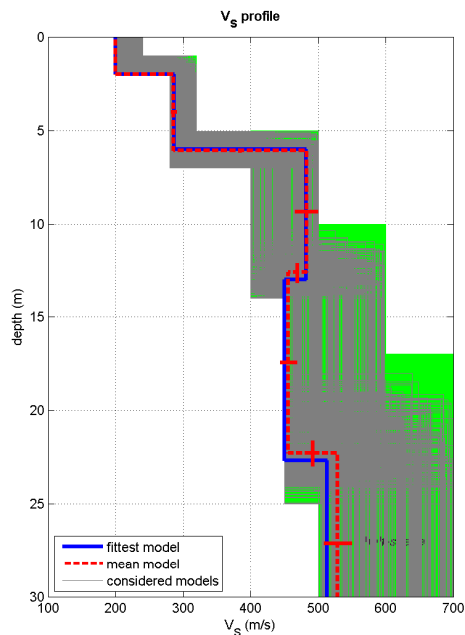
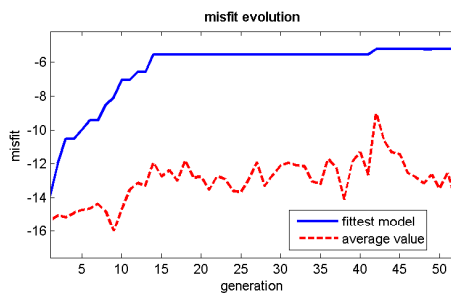
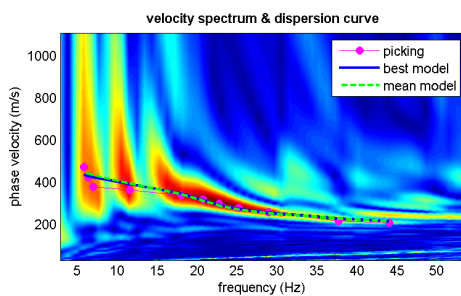
## Fase 2 - Inversione della curva di dispersione

Il secondo passo da affrontare per ottenere il profilo verticale della  $V_s$  è l'inversione della curva di dispersione precedentemente "piccata".

Nel contesto in esame poiché il gradiente di velocità non dovrebbe subire variazioni drastiche, è valida, per determinare il possibile spazio di ricerca, la cosiddetta assunzione  $\lambda/2$  (data una certa lunghezza d'onda  $\lambda$  si assume che la sua velocità di propagazione dipenda dalle caratteristiche del mezzo ad una profondità pari a  $\lambda/2$ ). I limiti del search space ("spazio di ricerca" o "spazio dei parametri") prescelti sono in ogni caso piuttosto ampi.

Per l'elaborazione dei modelli di velocità è stato impostato l'utilizzo di 5 strati, compatibile con l'assetto stratigrafico del sito d'interesse e con le finalità del presente studio. Alcuni parametri genetici sono stati considerati pari a valori standard; i tassi di crossover e di mutazione sono fissati ad esempio sui valori di 0.75 e 0.1.

**Dati relativi all'elaborazione dello shot 3:**  
 dataset: 06r.sgy                      minimum offset (m): 2  
 geophone spacing (m): 2            sampling (ms): 0.128  
 Dispersion curve: SalòMOPS linea4 2014-83Rbis PT File06r bis.cdp  
 Number of individuals: 40      Number of generations: 41



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

dataset: 06r.sgy  
 dispersion curve: SalòMOPS linea4 2014-83Rbis PT File06r bis.cdp  
 Vs30 (best model): 404 m/s  
 Vs30 (mean model): 408 m/s

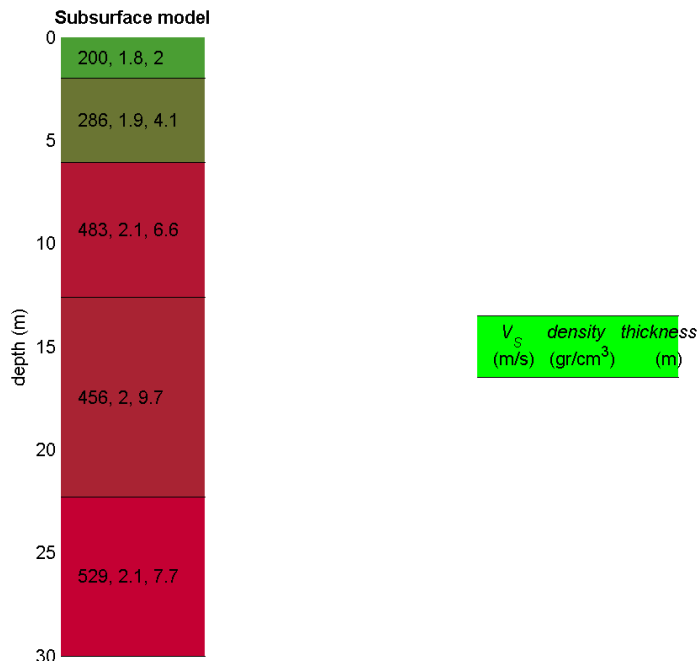


<b>MODELLO MEDIO:</b>					
Vs (m/s):	200	286	483	456	529
Standard deviations (m/s):	1	4	17	12	20
Thickness (m):	2.0	4.1	6.6	9.7	
Standard deviations (m):	0.0	0.1	0.5	0.7	
<b>Stima approssimativa di Vp, densità e moduli elastici</b>					
Vp (m/s):	416	595	1005	949	990
Density (gr/cm <sup>3</sup> ):	1.84	1.93	2.06	2.04	2.05
Vp/Vs ratio:	2.08	2.08	2.08	2.08	1.87
Poisson:	0.35	0.35	0.35	0.35	0.30
Shear modulus (MPa):	74	158	479	424	574

Si sottolinea che i parametri geotecnici, sopra riportati, sono riferiti a moduli dinamici e quindi a condizioni di bassa deformazione. I valori ottenuti sono stati infatti stimati in base alle deformazioni indotte nel terreno dalla propagazione delle onde sismiche. L'entità ridotta di tali deformazioni comporta alti valori dei moduli dinamici calcolati. Per deformazioni significativamente superiori, come di norma nei calcoli geotecnici, i valori stimati dovranno quindi essere idoneamente corretti tenendo conto della funzione matematica che ne regola la diminuzione in funzione dello sforzo applicato e della deformazione risultante. Il Progettista dovrà quindi utilizzarli solo nei modi e nei casi appropriati.

**Vs5 (mean model): 244 m/s**                      **Vs20 (mean model): 371 m/s**  
**Vs30 (mean model): 408 m/s**  
**Possibile Tipo di Suolo: B** (stimato sulla base del valore numerico di Vs30 calcolato mediante l'espressione 3.2.1 del D.M. 14/01/2008)  
 winMASW 4.1 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)  
**ATTENZIONE! La classificazione del terreno è di pertinenza dell'utente, che ne deve valutare la tipologia sulla base della normativa e del profilo verticale VS.**

Si riassume qui di seguito una sezione sismostratigrafica schematica.



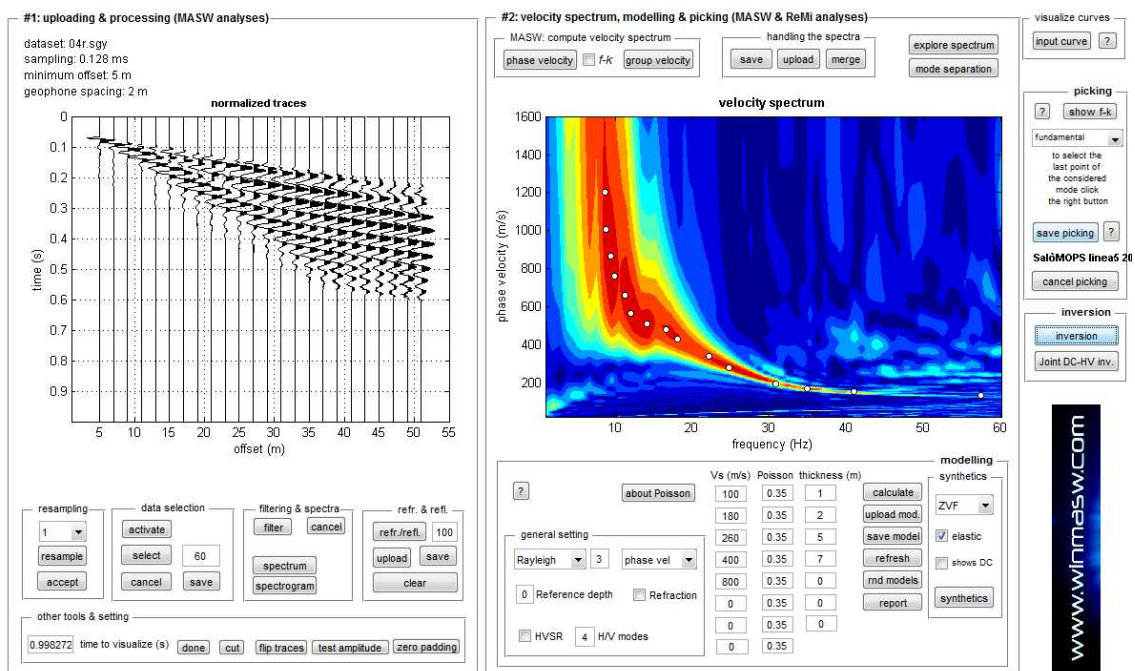
## 2.4.5. Indagine L48 – Loc. Monticelli

### Sismostratigrafia

L'ubicazione dello stendimento è stata scelta in funzione della logistica dei luoghi e delle condizioni topografiche dell'area preliminarmente prescelta. L'allineamento, disposto in fregio alla capezzagna che percorre la parte centrale del terrazzo morfologico di loc. Monticelli, ha previsto una distanza tra geofoni pari a 1 m ed una serie di scoppi esterni all'ultimo geofono con offset variabili (1-2-5-10 m) e diversa intensità di energizzazione.

#### Fase 1 - Determinazione spettro di velocità e picking della curva di dispersione

La prima operazione eseguita è la lettura del file acquisito in campagna (common-shot gather 04r.dat). Una volta caricati i dati si procede con il calcolo dello spettro di velocità. Viene indicato come unico vincolo le massime e minime velocità e frequenze (in altri termini i limiti dello spettro di velocità).



Nel caso in esame sono stati individuati mediante modellazione diretta un modo principale, utilizzato per la successiva inversione della curva di dispersione.

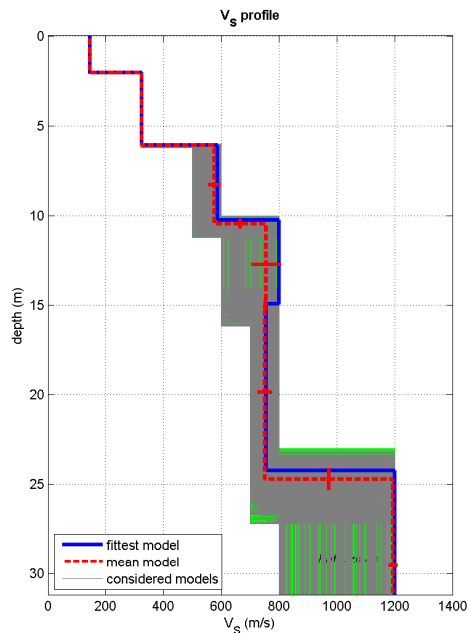
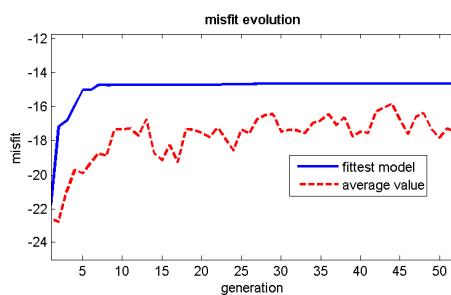
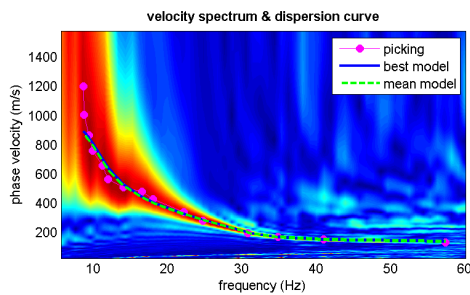
## Fase 2 - Inversione della curva di dispersione

Il secondo passo da affrontare per ottenere il profilo verticale della  $V_s$  è l'inversione della curva di dispersione precedentemente "piccata".

Nel contesto in esame poiché il gradiente di velocità subisce variazioni drastiche non è valida, per determinare il possibile spazio di ricerca, la cosiddetta assunzione  $\lambda/2$  (data una certa lunghezza d'onda  $\lambda$  si assume che la sua velocità di propagazione dipenda dalle caratteristiche del mezzo ad una profondità pari a  $\lambda/2$ ). I limiti del search space ("spazio di ricerca" o "spazio dei parametri") prescelti sono quindi piuttosto ampi.

Per l'elaborazione dei modelli di velocità è stato impostato l'utilizzo di 5 strati, compatibile con l'assetto stratigrafico del sito d'interesse e con le finalità del presente studio. Alcuni parametri genetici sono stati considerati pari a valori standard; i tassi di crossover e di mutazione sono fissati ad esempio sui valori di 0.75 e 0.1.

Dati relativi all'elaborazione dello shot 2:  
 dataset: 04r.sgy                      minimum offset (m): 5  
 geophone spacing (m): 2            sampling (ms): 0.128  
 Dispersion curve: SalòMOPS linea5 2014-83Rbis PT File04r.cdp  
 Number of individuals: 40    Number of generations: 41



dataset: 04r.sgy  
 dispersion curve: SalòMOPS linea5 2014-83Rbis PT File04r.cdp  
 Vs30 (best model): 530 m/s  
 Vs30 (mean model): 522 m/s

www.winmasw.com

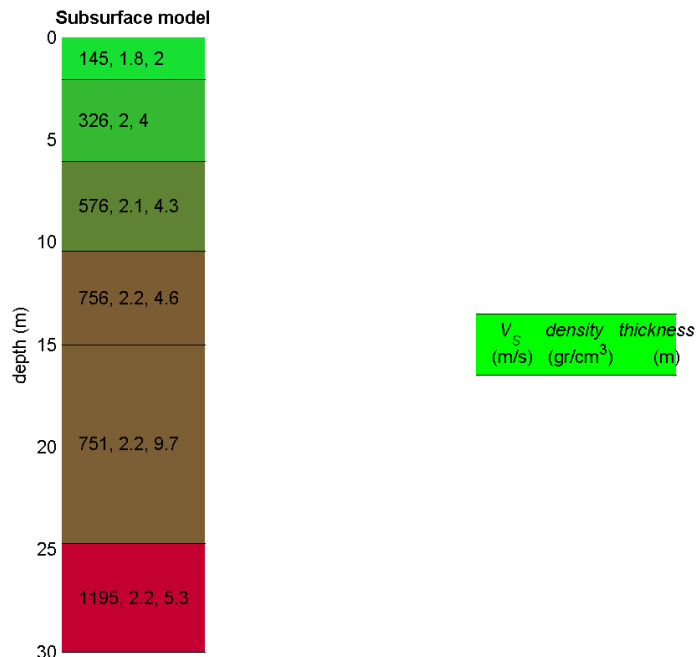
<b>MODELLO MEDIO:</b>						
Vs (m/s):	145	326	576	756	751	1195
Standard deviations (m/s):	2	3	20	51	25	15
Thickness (m):	2.0	4.0	4.3	4.6	9.7	
Standard deviations (m):	0.0	0.0	0.2	0.3	0.6	
<b>Stima approssimativa di Vp, densità e moduli elastici</b>						
Vp (m/s):	302	679	1199	1574	1563	2236
Density (gr/cm <sup>3</sup> ):	1.76	1.96	2.10	2.16	2.16	2.25
Vp/Vs ratio:	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	1.87
Poisson:	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.30
Shear modulus (MPa):	37	208	696	1237	1220	3213

Si sottolinea che i parametri geotecnici, sopra riportati, sono riferiti a moduli dinamici e quindi a condizioni di bassa deformazione. I valori ottenuti sono stati infatti stimati in base alle deformazioni indotte nel terreno dalla propagazione delle onde sismiche. L'entità ridotta di tali deformazioni comporta alti valori dei moduli dinamici calcolati. Per deformazioni significativamente superiori, come di norma nei calcoli geotecnici, i valori stimati dovranno quindi essere idoneamente corretti tenendo conto della funzione matematica che ne regola la diminuzione in funzione dello sforzo applicato e della deformazione risultante. Il Progettista dovrà quindi utilizzarli solo nei modi e nei casi appropriati.

**Vs5 (mean model): 216 m/s                      Vs20 (mean model): 428 m/s**  
**Vs30 (mean model): 522 m/s**

**Possibile Tipo di Suolo: B** (stimato sulla base del valore numerico di Vs30 calcolato mediante l'espressione 3.2.1 del D.M. 14/01/2008)  
 winMASW 4.1 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)  
**ATTENZIONE! La classificazione del terreno è di pertinenza dell'utente, che ne deve valutare la tipologia sulla base della normativa e del profilo verticale VS.**

Si riassume qui di seguito una sezione sismostratigrafica schematica.



Padenghe sul Garda, 04 Dicembre 2014

Dott. Geol. Rosanna Lentini

## ALLEGATO FOTOGRAFICO

**ESECUZIONE STENDIMENTI DI SISMICA MULTICANALE MASW  
mediante GEODE 3-1000**



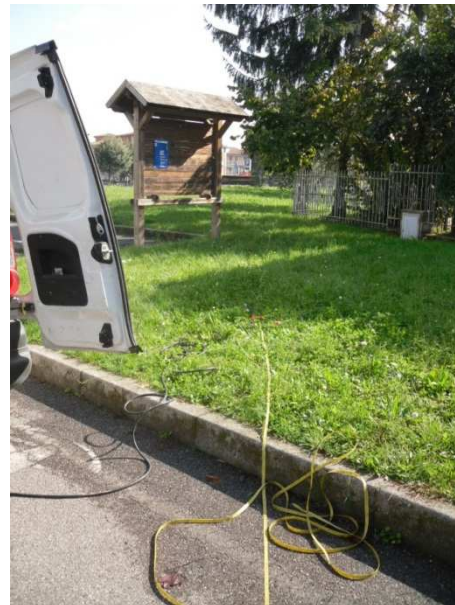
*Loc. Gasometro - Indagine L44*



*Loc. Videlle - Indagine L45*



*Loc. Cunettone - Indagine L46*



*Via N. Sauro - Indagine L47*





*Loc. Monticelli - Indagine L48*