

giovanni bassi, geologo, via donatori di sangue, 13, 26029 soncino (cr),  
tel. e fax 0374 85486, e\_mail: bassi.geologo@gmail.com

REGIONE LOMBARDIA  
**COMUNE DI FIESCO**  
Zona sismica 4

PROVINCIA DI CREMONA



**Piano di Governo del Territorio**

**COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA**

*(L.R. 11.3.05 N.12 art. 57, D.G.R. 22.12.05 N. 8/1566 Criteri attuativi, Componente geologica,  
D.G.R.L. 28.05.08 n.8/7374)*

**Zona sismica 4**

**RAPPORTO GEOFISICO**

ALLEGATO 8



IL GEOLOGO  
DR GIOVANNI BASSI  
GENNAIO 2010

Collaboratore: dott. geol. Andrea Anelli

INDICE	pag.
1. Premessa	3
2. Cenni sulla Metodologia dei Microtremori	3
3. Strumentazione e Software	3
4. Elaborazione dati	3
5. Metodologia di Calcolo	4
6. Descrizione dei risultati	5
7. Conclusioni	6

## **PARTE 1: ReMi**

### **1. Premessa**

In data 9 Febbraio 2009, è stata eseguita una prova sismica mediante microtremore, in località Villa Abbadia di Fiesco.

La prova è stata eseguita nell'ambito di studi geotecnici finalizzati al progetto di una casa di riposo per anziani. Il comune di Fiesco è inserito in zona sismica 4, a minimo rischio sismico.

### **2. Cenni sulla Metodologia dei Microtremori**

L'analisi mediante microtremori è stata eseguita utilizzando strumentazione per la prospezione sismica a rifrazione, con uno stendimento lineare di 24 geofoni, con frequenza naturale di 4.5 Hz, spazati di 5 metri.

Per eseguire la linea sono state effettuate 10 registrazioni di 30 secondi l'una, con frequenza di campionamento 0,006 secondi.

In questo modo si possono registrare onde di superficie il cui contenuto in frequenza oscilla in un range da 25-30 Hz fino a 4-6 Hz che, in condizioni ottimali, offre una dettagliata ricostruzione dell'andamento delle Vs. La profondità d'indagine è in gran parte funzione della lunghezza dello stendimento e della frequenza dei geofoni e corrisponde generalmente al 25-40% di tale lunghezza. Nel caso in oggetto la profondità massima può variare tra 30 e 50 m.

Il profilo verticale delle Vs può essere ricavato per inversione o per modellizzazione diretta della velocità di fase delle onde di superficie (Rayleigh e/o Love).

Le onde di Rayleigh costituiscono un particolare tipo di onde di superficie che si trasmettono sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo e sono il risultato dell'interferenza tra onde di pressione (P) e di taglio verticali (Sv).

In un mezzo stratificato queste onde sono di tipo guidato e dispersivo, e vengono definite pseudo-Rayleigh.

La dispersione è una deformazione di un treno d'onde dovuta ad una variazione di propagazione di velocità con la frequenza. Le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità rispetto a quelle a frequenza maggiore e presentano normalmente velocità di fase più elevate.

### **3. Strumentazione e Software**

Per l'esecuzione delle indagini si è fatto uso della strumentazione di seguito elencata:

- sismografo Echo-Ambrogeo a 24 canali con dinamica 16 bit
- cavi sismici schermati
- 24 geofoni verticali con frequenza naturale di 4.5 Hz
- batterie da 12 V per l'alimentazione del sismografo
- set di connessioni e materiali d'uso

Per l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il programma ReMI, versione 4.0 della Optim.

### **4. Elaborazione dati**

I dati acquisiti sono stati elaborati mediante il software ReMi 4.0 della Optim Ltd.

Di seguito sono riportate le fasi dell'elaborazione eseguita:

1. conversione dei file in formato Seg-Y
2. preprocessing del segnale per il filtraggio e l'equalizzazione delle tracce
3. definizione della geometria di rilievo

4. elaborazione bidimensionale degli spettri di velocità  $p-f$  (attenuazione - frequenza) per ogni singola registrazione
5. sommatoria degli spettri delle singole registrazioni dopo l'eliminazione di quelli meno indicativi
6. picking della curva di dispersione
7. modellizzazione diretta delle onde di taglio
8. iterazione del modello fino a risultato soddisfacente
9. realizzazione dei profili di velocità

Nei capitoli relativi alla descrizione dei risultati dell'indagine suddivisi per comune, sono riportati 4 tipi di allegato grafico:

- La prima figura è costituito dall'ubicazione della linea eseguita su un'immagine satellitare Google Earth.
- La seconda figura è costituita dallo spettro di frequenza della linea eseguita, rappresentato con un diagramma frequenza-lentezza (inverso della velocità).
- Nella terza figura è riportato il modello interpretativo delle Vs. Questo costituisce l'elaborato finale del processo interpretativo su cui si effettuano i calcoli successivi del periodo di oscillazione proprio del sito indagato ed i valori dei fattori di amplificazione.
- Nella quarta figura è riportata la curva di dispersione (relativa al modello di Vs prescelto) su cui è evidenziato il fitting con il picking eseguito sullo spettro di frequenza.

## **5. Metodologia di Calcolo**

Le analisi effettuate a partire dalla distribuzione verticale delle onde S seguono la metodologia riportata nella LR 12 – 2005, e nell'adeguamento contenuto nella DGRL N 8/7374 del 28 maggio 2008, in particolare nell'allegato 5, che si può sintetizzare come segue:

- Dalle informazione litologiche e geotecniche, dalla distribuzione delle Vs (in particolare delle  $V_{s30}$ ) si individua il tipo di suolo di fondazione a cui appartengono i depositi dell'area (b, c, d, e), utilizzando la classificazione delle norme tecniche del DM 1401 2008. In ogni comune, per ogni classe di suolo, sono fissati dei valori massimi del fattore di amplificazione sismica ( $F_a$ ), riportati nel file *soglie\_lombardia.xls* approntato dal Politecnico di Milano su incarico della Regione Lombardia ed allegato al già citato DGRL N 8/7374.
- Dalla distribuzione in profondità delle Vs si calcola il periodo di oscillazione naturale del terreno (o periodo proprio del sito  $T_p$ ).
- Sulla base dei dati stratigrafici e delle Vs si procede alla valutazione della litologia dominante in ogni sito, confrontando la distribuzione verticale delle Vs con quella di 6 schede, redatte dalla Regione Lombardia, a cui sono associate equazioni e curve che permettono di ricavare, per via matematica, il fattore di amplificazione  $F_a$ , a partire dal periodo di oscillazione naturale del terreno. Ovviamente la realtà geologica è difficilmente riconducibile ad una sola litologia tipo, quindi in pratica si sceglie la scheda che presenta una distribuzione di Vs più simile a quella sperimentale soprattutto nei primi 30 m di profondità. In particolare, nel caso in oggetto, si è fatto riferimento alla scheda "sabbie".
- In ogni scheda sono riportate 3 serie di curve (corrispondenti a 3 diverse equazioni) per gli edifici con periodo di risonanza tra 0.1 e 0.5 secondi e una o due curve (due nel caso della scheda sabbie) per edifici con periodo maggiore di 0.5 secondi. Una volta individuata la scheda che meglio risponde alla distribuzione delle Vs rilevata, sulla base dello spessore e della velocità del primo strato s'individua a quale dei tre tipi di curva (1, 2 o 3) si deve far riferimento nel calcolo del periodo del terreno, sia per edifici con periodo di risonanza tra 0.1 e 0.5 secondi, sia per gli edifici con periodo superiore a 0.5 s.
- Una volta selezionata la curva, si calcolano i due fattori  $F_a$  per le due diverse classi di periodo (0.1-0.5 e 0.5-1.5 secondi). Se i due valori di  $F_a$  calcolati sono inferiori (o eguali o maggiori per non più di 0.1) a quelli previsti nel file *soglie\_lombardia.xls*, per la categoria di

suolo in oggetto, l'analisi è terminata con esito positivo altrimenti i terreni in oggetto verranno inseriti nella categoria di suolo con fattore di amplificazione più alto (da normativa) di quello sperimentale e per la progettazione si farà riferimento allo spettro relativo alla categoria di suolo prescelta.

## 6. Descrizione dei Risultati

In figura 2 è riportato lo spettro di frequenza della linea eseguita, tramite diagrammi frequenza-lentezza (inverso della velocità). La frequenza varia in senso orizzontale, aumentando da sinistra verso destra, mentre la lentezza aumenta verso il basso (quindi la velocità aumenta verso l'alto).

I colori "caldi" (rosso, arancio, verde) corrispondono ad aree con maggiore ampiezza di segnale, mentre quelli freddi (blu, azzurro) corrispondono ad ampiezze minori. Nella figura in oggetto si può notare una distribuzione dei colori caldi lineare piana mentre, nella parte terminale del grafico non si rileva un andamento definito del limite ma impulsi piuttosto dispersi. Questa distribuzione cromatica sta ad indicare una velocità tendenzialmente costante nei primi 20 m, con un substrato veloce profondo o comunque più profondo della capacità di penetrazione dell'indagine.

I quadratini neri al bordo inferiore della fascia alta corrispondono ai valori selezionati (picking) per la modellizzazione delle onde S. Tali punti vengono scelti al limite tra colori caldi e freddi.

Il modello interpretativo delle Vs è riportato in figura 3, e i dati di velocità e profondità dei singoli strati (profondità in m e velocità in m/s) in Tab 1.

Linea	Strato 1		Strato 2		Strato 3	
	H1	Vs1	H2	Vs2		Vs3
fie-1	15	210	40	300		800

Tab. 1 – distribuzione verticale delle Vs

In figura 4 è riportata la curva di dispersione (relativo al il modello delle Vs prescelto) in cui viene evidenziato il fitting tra il picking eseguito sugli spettri di frequenza. In figura è riportato anche il valore della Vs<sub>30</sub> (velocità media nei primi 30 m).

Va sottolineato che l'analisi sismica mediante microtremiti fornisce come risultato distribuzioni di velocità monodimensionali. In altri termini i dati raccolti lungo la sezione contribuiscono a fornire un modello che si suppone valido in corrispondenza del centro dello stendimento e che non prevede variazioni né in senso longitudinale né in senso trasversale.

I risultati si possono così sintetizzare:

- Il modello delle Vs prescelto è a 3 strati, con velocità crescenti in profondità.
- I suoli di fondazione definiti in base alla Vs<sub>30</sub> (velocità medie delle Vs tra 0 e 30 m di profondità) risultano di tipo **C**: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti –  $180 < V_{s30} < 360$  m/s (**247 m/s** velocità rilevata).
- Il primo strato ha uno spessore di almeno 15 m e velocità 210 m/s. Il secondo strato non è distinguibile, ma poiché sullo spettro velocità-frequenza non si individuano trend crescenti a media profondità, è stata ipotizzata una velocità medio-bassa di 300 m/s. Tali valori di Vs sono tipici di terreni sabbiosi molto spessi. Il substrato veloce non è rilevabile, ma operando con modelli diretti si è potuta stimare una profondità minima non inferiore a 40 m di profondità.
- Date le caratteristiche rilevate, la scheda litologica con la distribuzione delle Vs più simile a quella riscontrata (vedi fig. 3), è la scheda "sabbie".
- La curva utilizzata per il calcolo del periodo è la curva 2, scelta sulla base dello spessore e della velocità del primo strato. Per gli edifici con periodo inferiore a 0.5 s, la formula utilizzata per il calcolo di Fa (periodo proprio del sito inferiore di 0.45 s) è quella relativa al tratto logaritmico ( $0.45 < T_p < 0.80$  s).

- Con tali parametri i valori calcolati di Fa sono risultati inferiori ai valori soglia per i suoli di tipo **C** per entrambe le classi di edifici ( $T \leq 0.5s$  -  $T > 0.5s$ ).

## 7. Conclusioni

I valori soglia indicati dagli allegati regionali nel comune di Fiesco, per suoli di tipo **C**, sono di 1.8 e di 2.4 rispettivamente per edifici con periodo inferiore a 0.5 s (bassi e rigidi) e superiore a 0.5 s (edifici alti ed elastici).

Il risultato definitivo è che i valori di Fa calcolati sono inferiori a quelli forniti dalla regione Lombardia, sia per edifici con periodo compreso tra 0.1 e 0.5 s sia per quelli con periodo superiore. Pertanto nell'area indagata si adotteranno per tutte le tipologie di edifici gli spettri di normativa relativi ai suoli di tipo **C**.

In tabella 2 sono sintetizzati i valori di  $V_{s30}$  (velocità media delle Vs nei primi 30 m), il tipo di suolo di fondazione, il periodo proprio del sito ( $T_p$ ) calcolato dalle Vs ed i valori calcolati del Fattore di Amplificazione (Fa) per le due tipologie di edifici:  $0.1 < T \leq 0.5s$  e  $T > 0.5s$ . Nell'ultima riga sono riportati i valori soglia (di riferimento) forniti dalla regione Lombardia.

Linea	$V_{s30}$	Periodo ( $T_p$ )	Fa ( $T=01-0.5 s$ )	Fa ( $T>0.5 s$ )
fie-1	247	0.60	1.3	2.0
<b>Sottosuolo di fondazione</b>			<b>C</b>	<b>C</b>
<b>Fa di riferimento Regione Lombardia Comune di Fiesco</b>			<b>1.8</b>	<b>2.4</b>

Tab. 2 –  $V_{s30}$ , Terreno di Fondazione,  $T_p$  e Fa



IL GEOLOGO  
DR GIOVANNI BASSI  
GENNAIO 2010

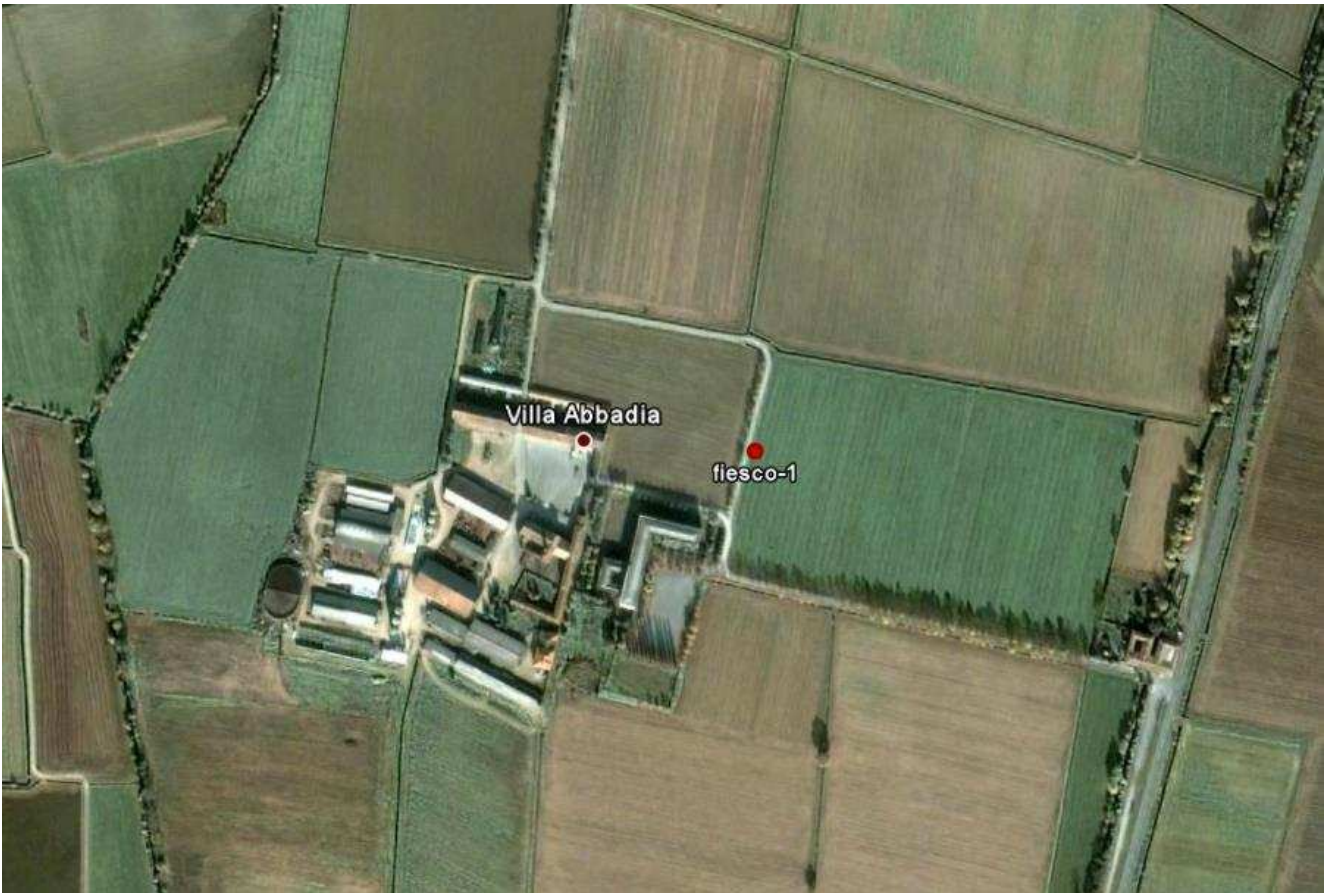


Fig. 1 – ubicazione linea sismica (Immagine Google Earth)

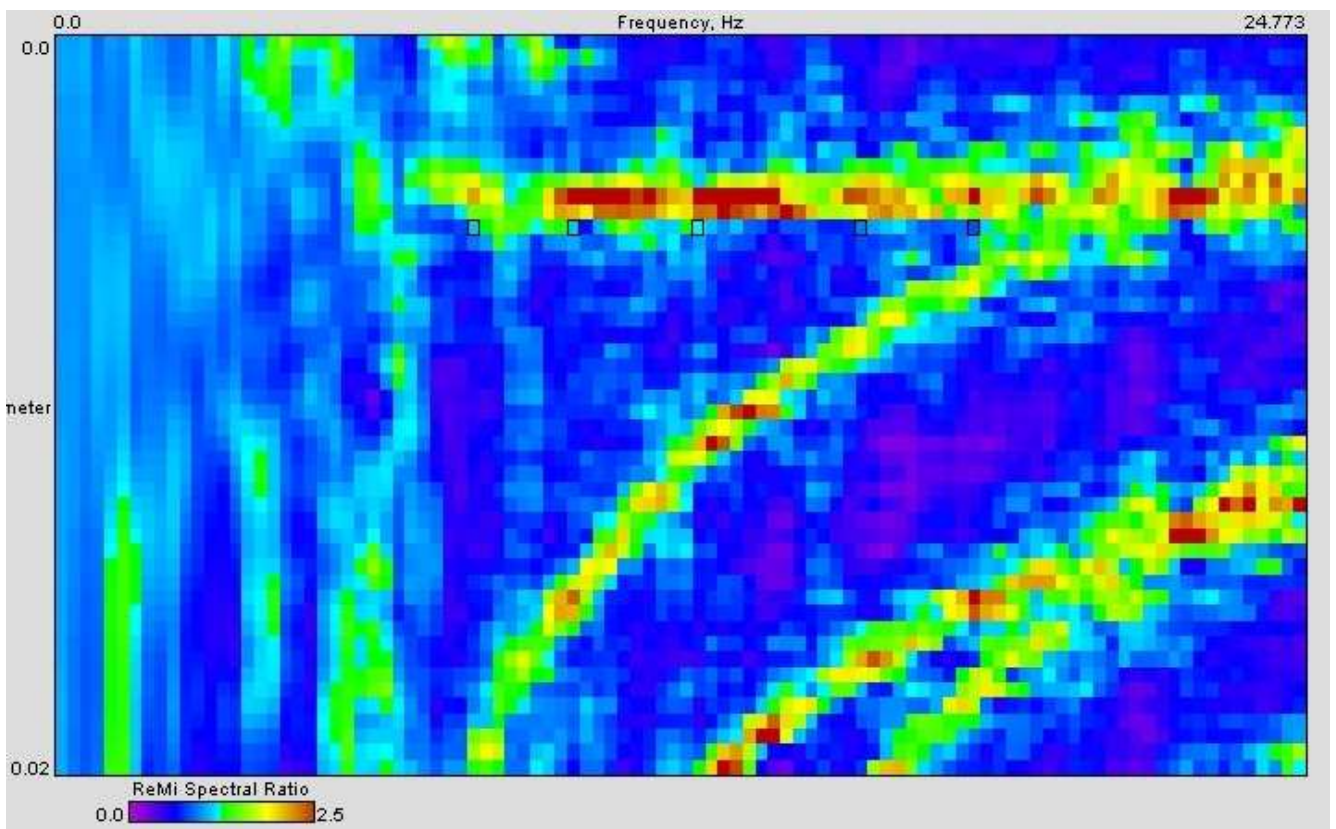


Fig. 2 – Spettro di frequenza linea fie-1-02

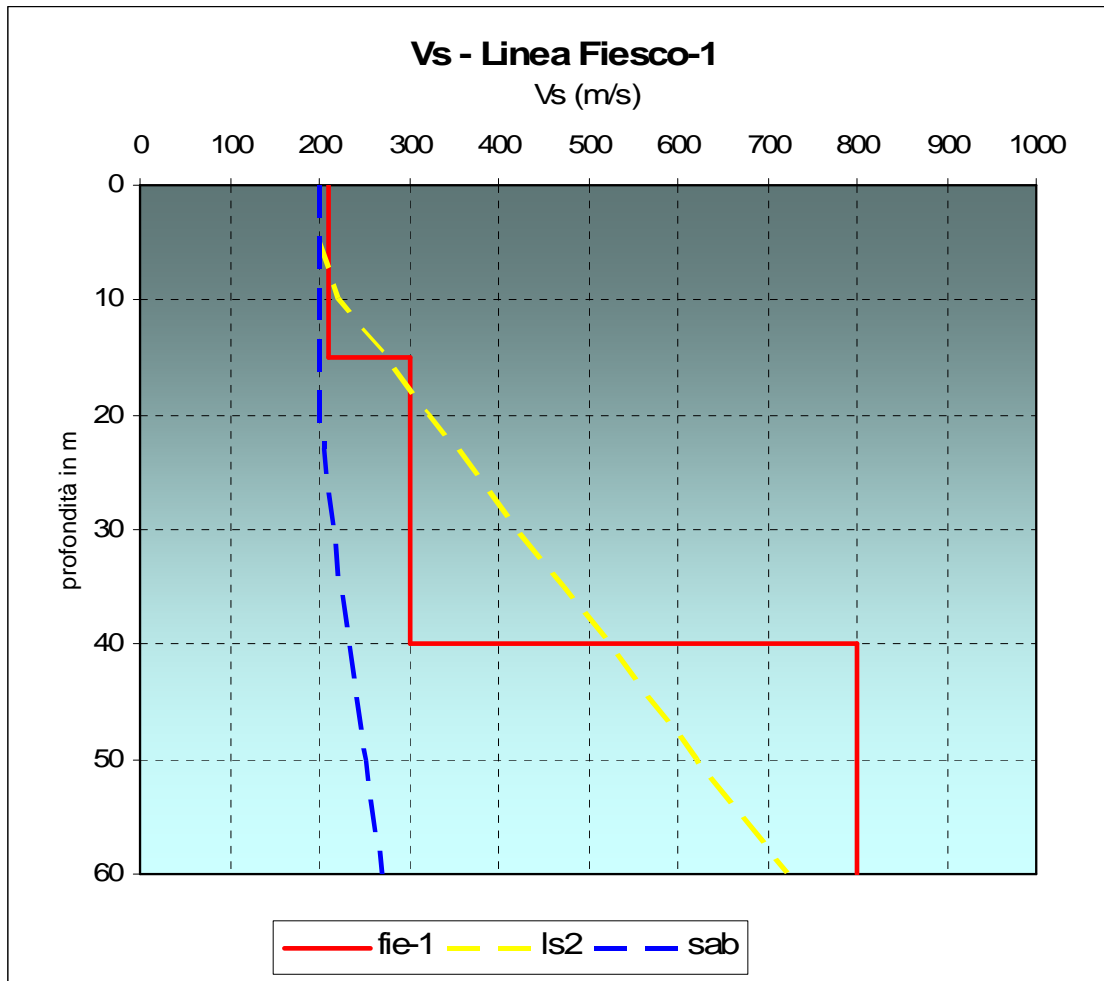


FIG.3 - modello di velocità delle onde S

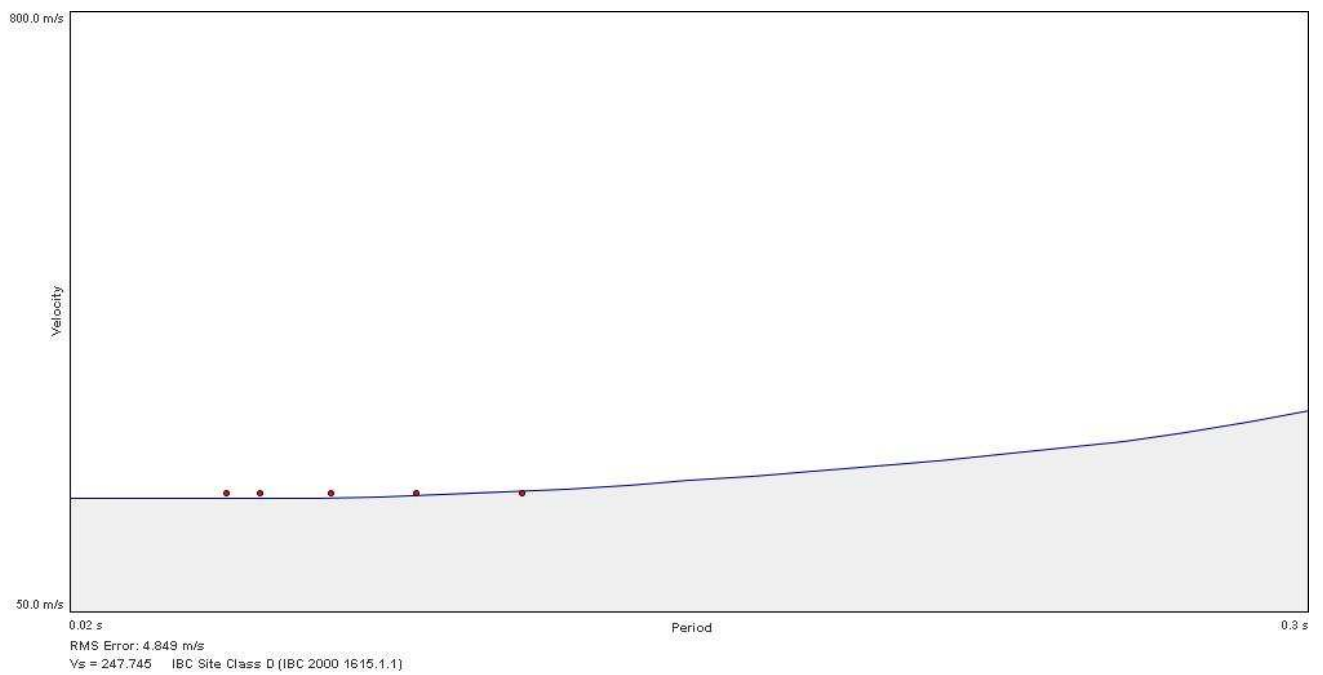


Fig. 4 – Curva di dispersione e picking linea fie-1-02