

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

REGIONE LOMBARDIA

## **COMUNE DI SAN BASSANO**

Provincia di Cremona



### **Piano di Governo del Territorio**

## **STUDIO GEOLOGICO DEL TERRITORIO COMUNALE**

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

**Zona sismica 4  
(livello minimo di pericolosità)**

## **RAPPORTO GEOFISICO**

ALLEGATO 9

IL GEOLOGO  
DOTT . GIOVANNI BASSI  
Giugno 2009

Collaboratore: Dott. Massimiliano Trespidi

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

## ELENCO FIGURE

Fig. 1:	Ubicazione Linee Sismiche
Fig. 2.1-2.2:	Spettri di Frequenza
Fig. 3:	Distribuzione verticale calcolata delle Vs
Fig. 4.1-4.2:	Curve di dispersione e Fitting

## Sigle ed abbreviazioni

Vs	Velocità delle onde di taglio (m/s)
Vs <sub>30</sub>	Velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità (m/s)
Tp	periodo proprio del sito (s)
Fa	Fattore di amplificazione sismico

## 1. Premessa

In data 9 Febbraio 2009, sono state eseguite due prove sismiche mediante microtremori, nel territorio comunale di San Bassano (CR).

Il comune di San Bassano 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 stendimenti lineari di 24 geofoni, con frequenza naturale di 4.5 Hz, spazati di 5 metri.

Per eseguire le linee sono state effettuate per ognuna 12 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. Tuttavia nel caso in oggetto la risposta del terreno ha consentito di ottenere informazioni fino ad una profondità di circa 70 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 dei centri delle linee eseguite su un'immagine satellitare Google Earth.
- Il secondo gruppo di figure è costituito dagli spettri di frequenza di due registrazioni significative (una per ogni linea eseguita), rappresentate con un diagramma frequenza-lentezza (inverso della velocità).
- Nella terza figura sono riportati i modelli interpretativi delle Vs. Questo costituisce l'elaborato finale del processo interpretativo su cui si effettuano i calcoli successivi dei periodi di oscillazione propri dei siti indagati ed i valori dei fattori di amplificazione.
- Nella quarto gruppo di figure sono riportate le curve di dispersione (relative ai modelli di Vs prescelti per ogni linea) su cui è evidenziato il fitting con il picking eseguito sugli spettri 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 informazioni 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, per edifici con periodo di risonanza tra 0.1 e 0.5 secondi.
- 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 minori per non più di 0.1) a quelli del file *soglie\_lombardia.xls* 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

Il rilievo è stato effettuato mediante due linee sismiche (microtremori) costituite da stendimenti di 24 geofoni da 4,5 Hz spaziate di 5 m con una lunghezza totale di 115 m. La linea sbs-1 è stata eseguita nell'area libera più vicina al centro dell'abitato; la linea sbs-2 è ubicata immediatamente a nord dell'abitato.

In figura 2 sono riportati gli spettri di frequenza delle linee eseguite, 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. Nelle figure in oggetto si può notare una distribuzione dei colori caldi che sale da destra verso sinistra. La salita è molto accentuata in entrambe le linee a causa della velocità molto bassa del primo strato. Questa distribuzione cromatica sta ad indicare una velocità crescente con la profondità, con un deciso incremento a profondità più elevate.

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.

I modelli interpretativi delle Vs sono riportati 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
sbs -1	9.0	150	66	300		800
sbs - 2	7.5	130	65	330		800

Tab. 1 – distribuzione verticale delle Vs

In figura 4 sono riportate le curve di dispersione (relative 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 microtremori 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:

- I modelli delle Vs sono 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* –  $180 < Vs_{30} < 360$  m/s (231-297 m/s velocità rilevate).
- Gli spessori del primo strato variano tra 7.5 e 9.0 m mentre le velocità sono comprese tra 130 e 150 m/s. Questi valori sono molto bassi in assoluto e collocano la distribuzione di velocità nel campo di non validità di tutte le curve: si tratta quindi di depositi a grana molto fine e poco coesivi. Il secondo strato presenta velocità tra 300 e 330 m/s e si sviluppa fino a 65-66 metri di profondità. Tali valori sono tipici di terreni sabbiosi mediamente addensati.
- In entrambe linee il substrato veloce è chiaramente rilevabile tra 65 e 66 m di profondità. Anche questo dato è in accordo con il comportamento di terreni prevalentemente sabbiosi. A causa dell'elevata profondità la velocità e la profondità del substrato non sono determinati con precisione. Le profondità indicate vanno considerate come le profondità minime a cui il substrato può trovarsi. Analogo ragionamento vale per le velocità. In ogni caso una maggiore profondità o una maggiore velocità del substrato, pur causando un notevole incremento del periodo proprio del sito (solo in caso di maggiore profondità) non inciderebbero in modo significativo sui fattori di amplificazione calcolati.
- 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 maggiore di 0.8 s) è quella relativa al tratto rettilineo.
- In conclusione si sono ottenuti valori del fattore di amplificazione inferiori a quelli previsti dalla regione Lombardia, in comune di San Bassano, sia per gli edifici con periodo compreso tra 0.1 e 0.5 s che per quelli con periodo superiore a 0.5 s, per terreni di tipo **C**.

## 7. Conclusioni

I valori soglia indicati dagli allegati regionali nel comune di San Bassano, 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 entrambe 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:  $0.1 < T \leq 0.5$  s e  $T > 0.5$  s. Nell'ultima riga sono riportati i valori soglia (di riferimento) forniti dalla regione Lombardia.

Linea	$V_{s30}$	Terreno di fondazione	Periodo ( $T_p$ )	Fa ( $T=01-0.5$ s)	Fa ( $T>0.5$ s)
sbs -1	231	<b>C</b>	0.94	1.0	1.8
sbs - 2	238	<b>C</b>	0.86	1.0	1.8
<b>Fa di riferimento Regione Lombardia – Comune di San Bassano</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  
Giugno 2009



## UBICAZIONE LINEE SISMICHE



Fig. 1 – immagine Google Earth



## SPETTRI DI FREQUENZA

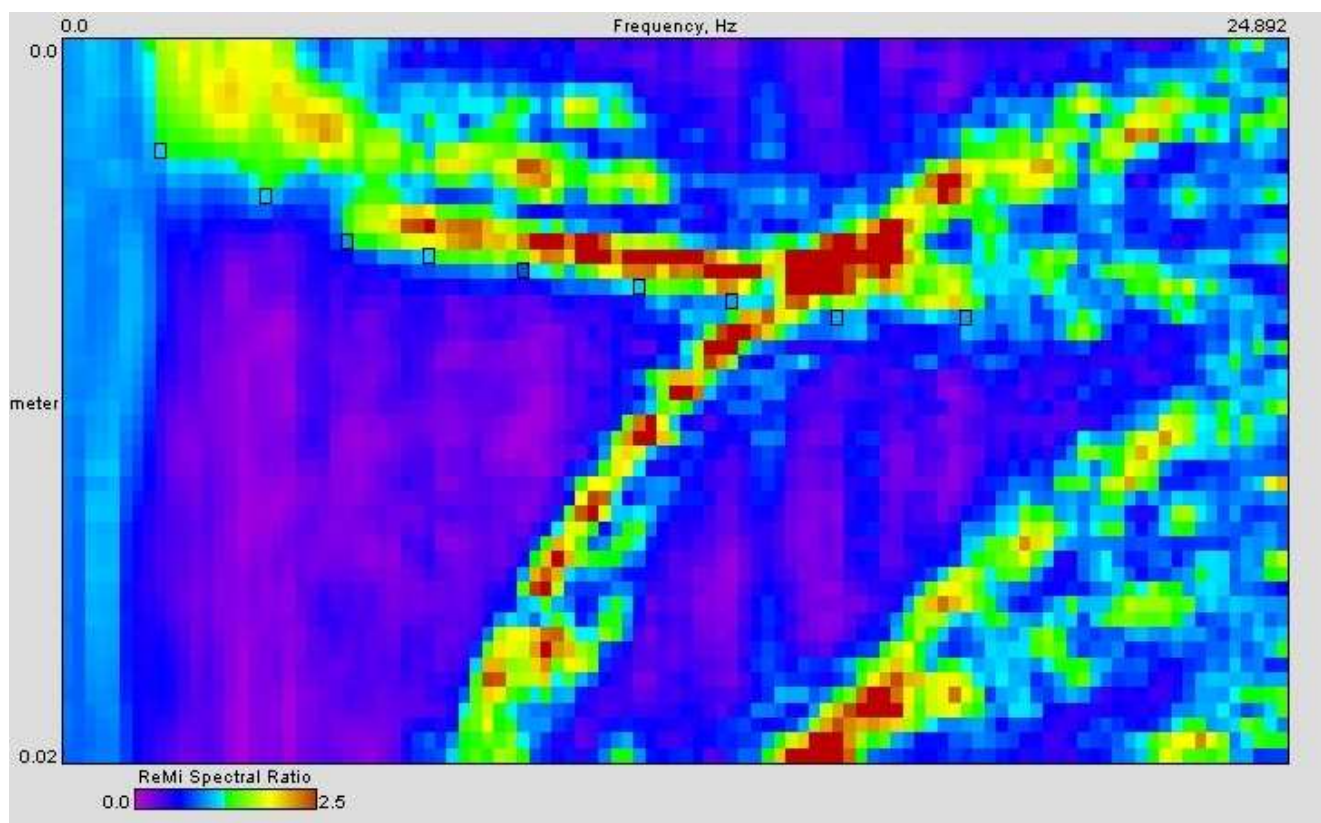


Fig. 2.1 – Spettro di frequenza linea sbs-1-01

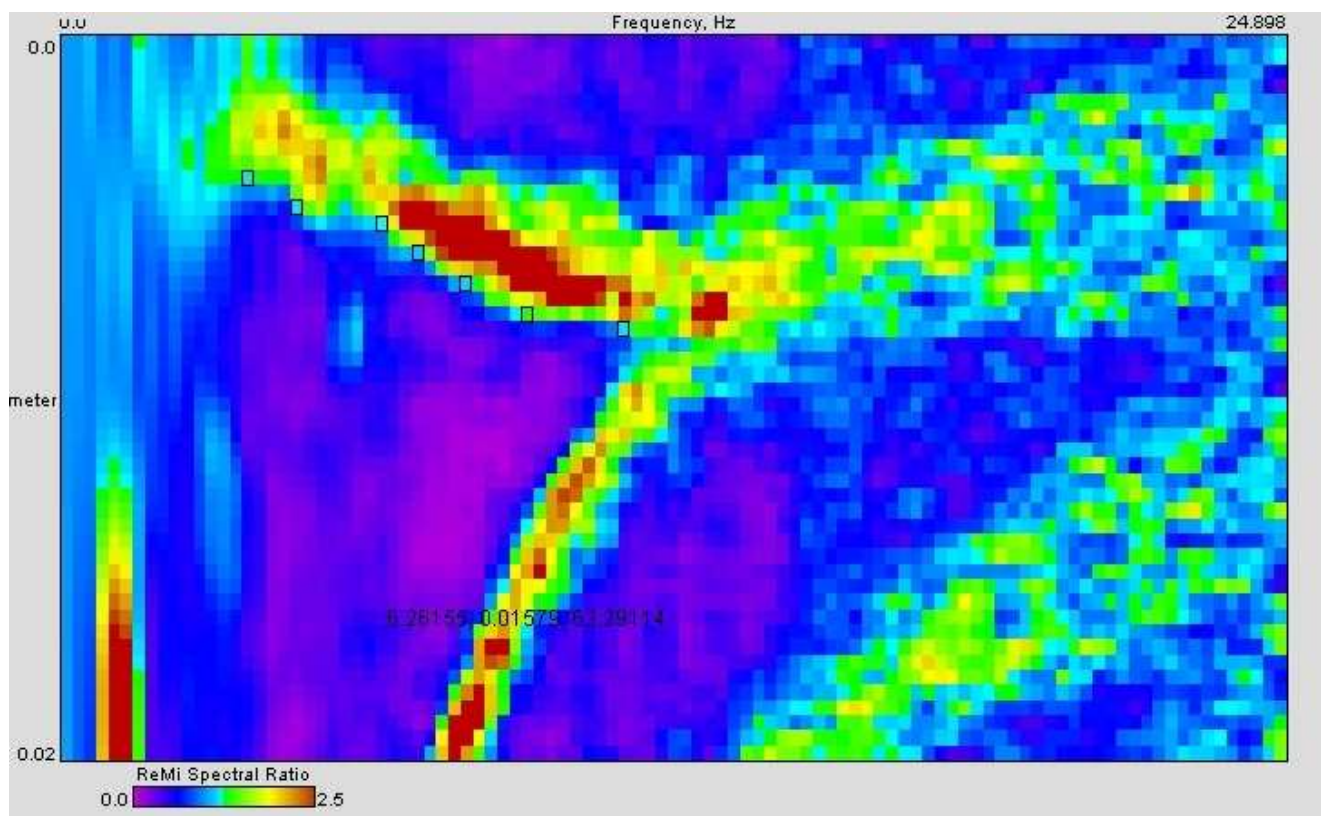


Fig. 2.2 – Spettro di frequenza linea sbs-2-24

# MODELLI DI VELOCITÀ DELLE ONDE S

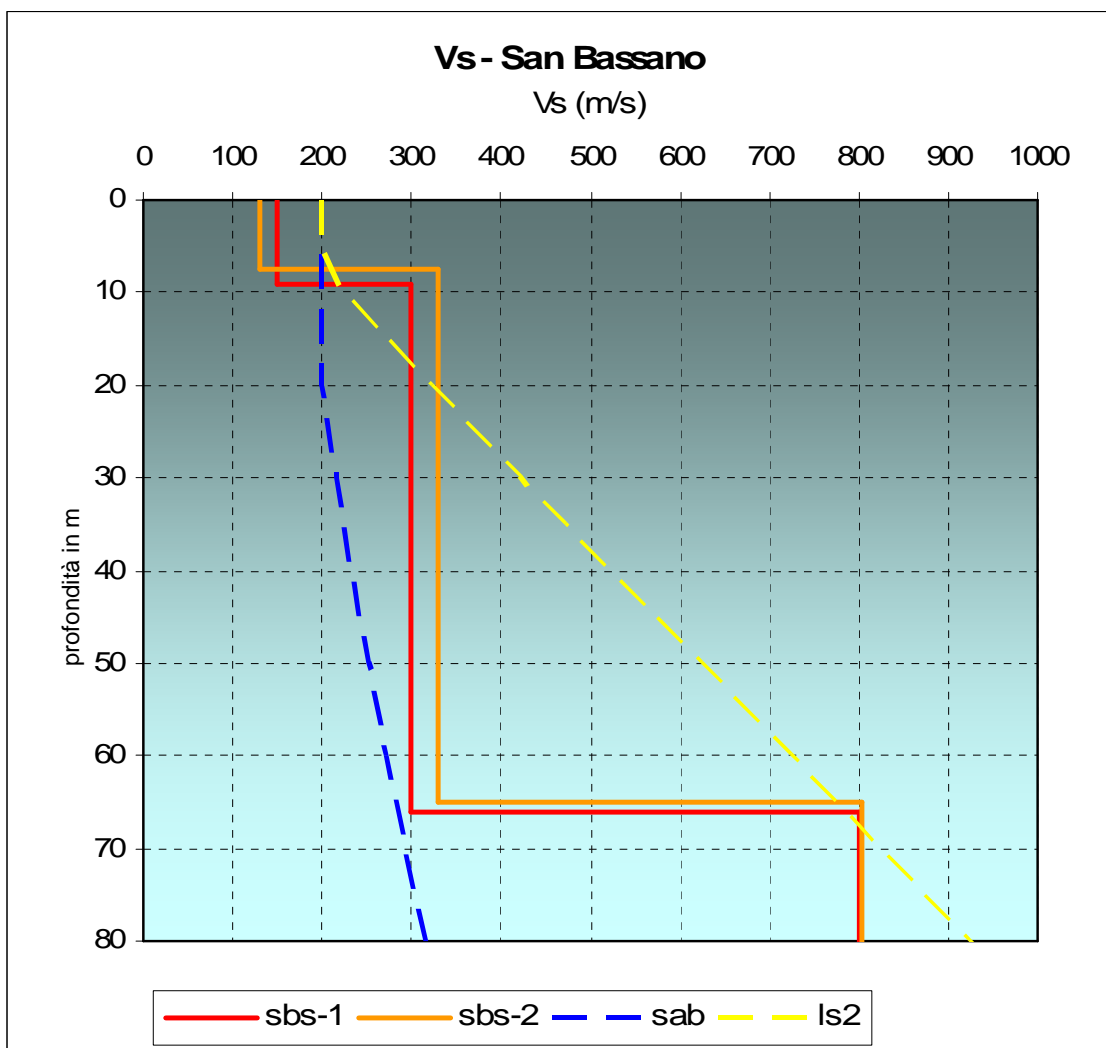


Fig. 3

## CURVE DI DISPERSIONE E PICKING

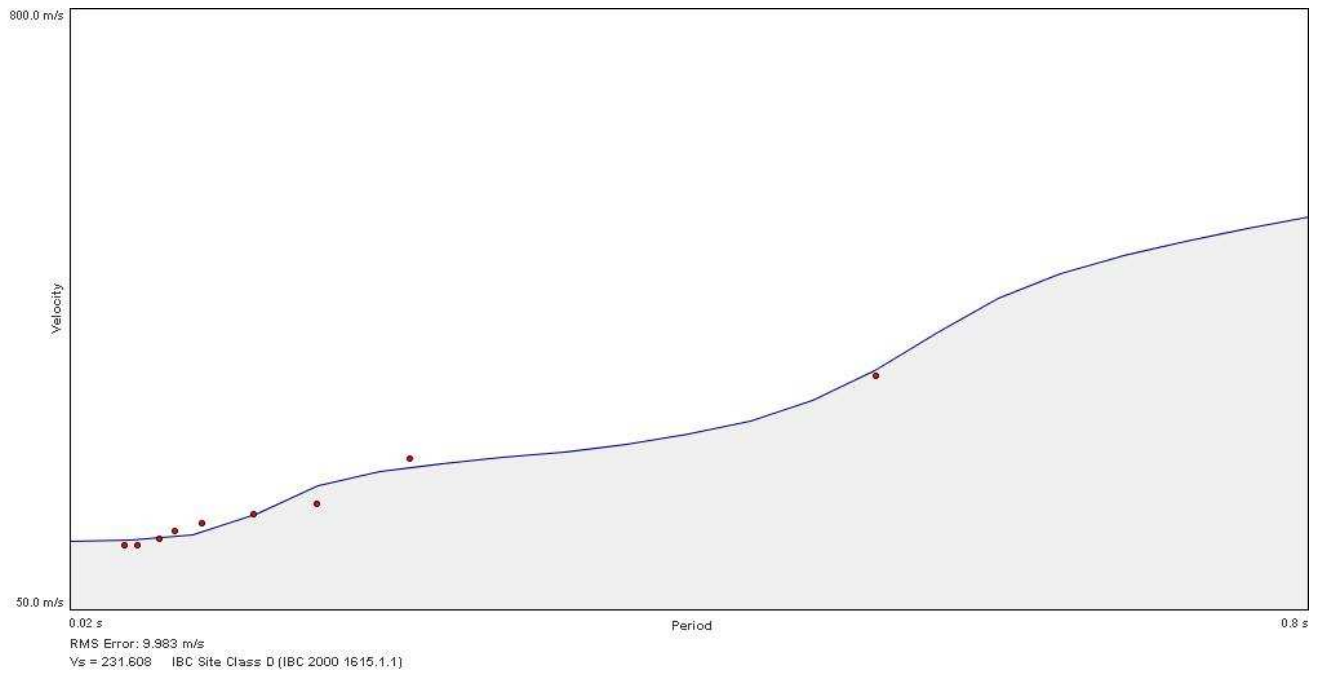


Fig. 4.1 – linea sbs-1-01

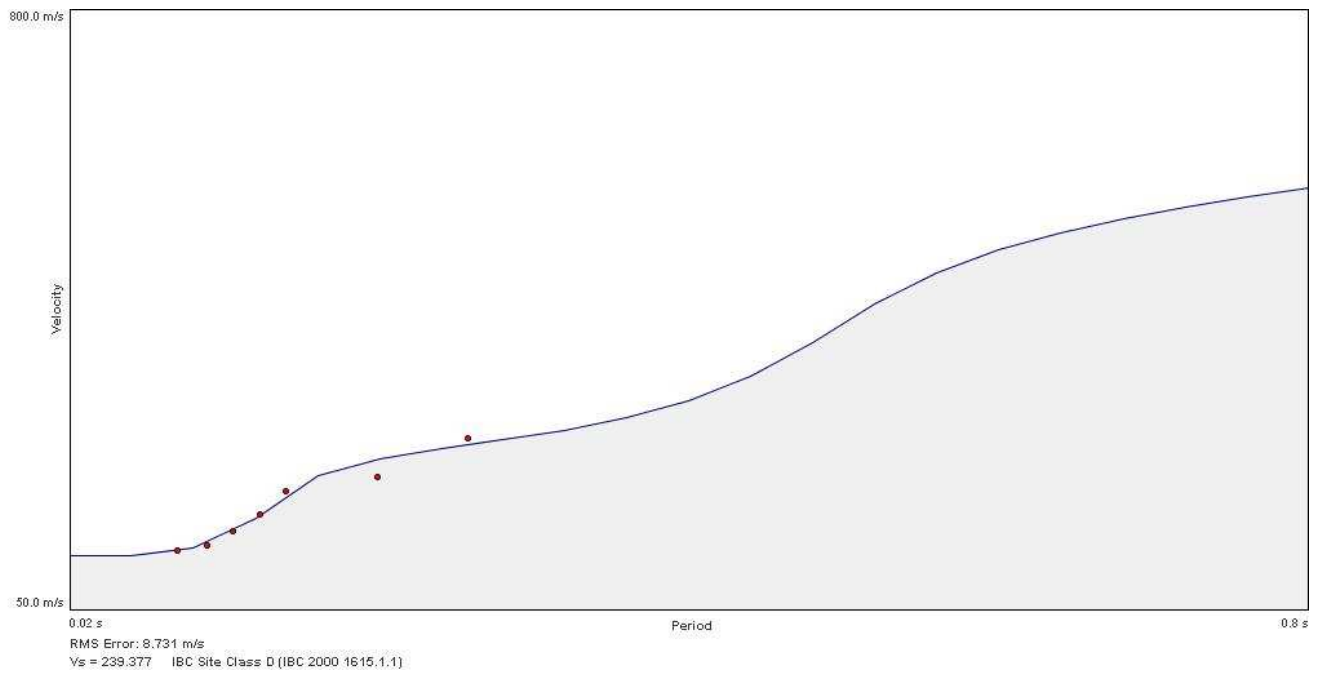


Fig. 4.2 – linea sbs-2-24