

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 SPINO D'ADDA

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 e D.G.R.L. 28.05.08 n.8/7374)

Adeguamento Sismico

Zona sismica 4

RAPPORTO GEOFISICO
(Allegato alla relazione geologica)



IL GEOLOGO
DR GIOVANNI BASSI
Novembre 2009

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	6
7. Conclusioni	8

ELENCO FIGURE

Fig. 01:	Curve di correlazione Periodo-Fa della scheda litologica <i>Sabbie</i>
Fig. 1.1 -1.2:	Spettri di Frequenza
Fig. 2.1 -2.2:	Distribuzione verticale calcolata delle Vs
Fig. 3.1 -3.2:	Curve di dispersione e Fitting

Sigle ed abbreviazioni

Vs	Velocità delle onde di taglio (m/s)
Vs30	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 4 Luglio 2007, sono state effettuate prove sismiche mediante microtremori, nel comune di Spino d'Adda in provincia di Cremona, classificato in zona sismica 4, a minimo rischio sismico.

Le prove sono state eseguite nell'ambito di studi di analisi del rischio sismico, per rilevare la velocità delle onde di taglio (onde S) nel sottosuolo. Successivamente si è proceduto ad elaborazione dei dati con la finalità di ricostruire il periodo naturale dei siti ed il fattore di amplificazione sismica ai sensi della LR 12-2005 e dell'adeguamento contenuto nella DGRL N 8/7374 del 28 maggio 2008, in particolare in Allegato 5.

2. Cenni sulla Metodologia dei Microtremori

L'analisi dei microtremori è stata effettuata utilizzando strumentazione per la prospezione sismica a rifrazione con stendimenti lineari da 24 geofoni, con frequenza naturale di 14.5 Hz, spazati di 5 m.

Per ogni linea sono state effettuate 10 registrazioni di 30 secondi l'una, con frequenza di campionamento 0,002 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 di stendimento e corrisponde 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 Geode Geometrics a 24 canali con dinamica 16 bit
- cavi sismici schermati
- 24 geofoni verticali con frequenza naturale di 14 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 3 tipi di allegato grafico:

- Il primo gruppo di figure è costituito dagli spettri di frequenza delle linee eseguite, tramite diagrammi frequenza-lentezza (inverso della velocità).
- Nel secondo gruppo di figure sono riportati i modelli interpretativi delle Vs. Questi costituiscono l'elaborato finale del processo interpretativo su cui si effettuano i calcoli successivi del periodo di oscillazione proprio dei siti indagati ed i valori dei fattori di amplificazione.
- Nel terzo gruppo di figure sono riportate le curve di dispersione in cui viene evidenziato il fitting tra il picking eseguito sugli spettri di frequenza ed il modello delle Vs.

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 in 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 (b, c, d, e) a cui appartengono i depositi dell'area, utilizzando la classificazione delle norme tecniche del DM 14/01/2008. 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 alla 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 si sceglie la scheda che presenta la distribuzione di Vs più simile a quella sperimentale, soprattutto nei primi 30 m di profondità;
- 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 il calcolo del periodo del suolo, 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.

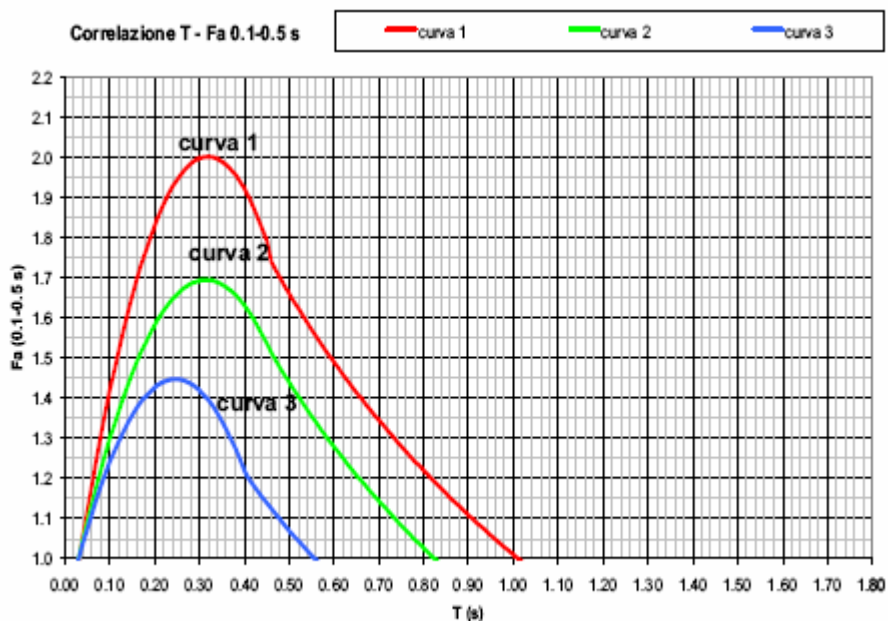


Fig. 01 – Esempio di curve di correlazione Periodo- F_a (scheda litologica Sabbie) – Il tratto polinomiale per la curva 2 è quello calcolato per periodi (T_p) ≤ 0.45 s, il tratto logaritmico è quello calcolato per periodi superiori.

6. Descrizione dei Risultati

Il rilievo è stato effettuato mediante due linee eseguite con 24 geofoni da 14,5 Hz spaziate di 5 m, ognuno con una lunghezza complessiva di 115 m.

Per ogni linea sono state effettuate 10 registrazioni di 30 secondi l'una, con frequenza di campionamento 0,002 secondi. Nella tabella di seguito si riportano i dati relativi alla posizione di ogni linea.

Linea	Posizione
Sp01	Area Est
Sp02	Prossimità Centro
Sp03	Area Industriale Ovest

Nelle figure 1.1, 1.2 e 1.3 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 sinistra verso destra ed indica velocità crescenti a frequenze minori, quindi a profondità maggiori.

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 nelle figure 2.1, 2.2 e 2.3, e i dati dei singoli strati (profondità in m e velocità in m/s) in Tab 1.

Linea	Strato 1		Strato 2		Strato 3		Strato 4		Strato 5	
	H1	Vs1	H2	Vs2	H3	Vs3	H4	Vs4	H5	Vs5
Sp01	5.5	210	25	350		840				
Sp02	4.8	210	28	320		800				
Sp03	5.5	250	31	340		800				

Tab. 1 – distribuzione verticale delle Vs

Nelle figure 3.1, 3.2 e 3.3 sono riportate le curve di dispersione in cui viene evidenziato il fitting tra il picking eseguito sugli spettri di frequenza ed il modello delle Vs. In queste figure è riportato anche il valore della Vs₃₀.

6.1 Linea Sp01

Nell'immagine in fig. 1.1, il limite colori caldi-freddi, che indica l'andamento della velocità, cresce gradualmente con la profondità con un incremento maggiore nella sezione terminale (verso sinistra). Nella figura 2.1 il modello interpretativo rileva un primo strato di 5.5 m a velocità 210 m/s cui succede in profondità uno strato a velocità 350 m/s (fino a 25 m). A questa profondità s'individua il substrato veloce (Vs = 840 m/s).

Questa distribuzione di velocità, come quella delle due linee seguenti, ricade nel campo di validità della scheda *sabbie*. Poiché i dati litologici, ricavati da stratigrafie di pozzi, indicano una litologia prevalentemente sabbioso-ghiaiosa, si è scelta la scheda *sabbie* come scheda principale di riferimento.

La Vs₃₀ = 341 m/s indica che i suoli dell'area possono essere ricondotti al tipo C (depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o argille mediamente consistenti Vs₃₀ ≤ 360 m/s).

Il primo strato di 5.5 m con Vs=210 m/s fa ricadere la scelta della curva periodo-Fa sulla curva 2 delle sabbie. Il valore del periodo proprio del sito (Tp=0.31 s) fa ricadere l'intercetta nel tratto di curva polinomiale (Tp<0.45 s).

In base a questi elementi il fattore di Amplificazione Fa, calcolato sulla scheda *sabbie*, risulta di **1.7** per edifici con periodo < 0.5 s e di **1.4** per edifici con periodo superiore a 0.5 s.

6.2 Linea Sp02

Lo spettro della linea Sp02 (fig 1.2) è simile a quello della linea Sp01, ma lo spettro risulta molto attenuato a piccola profondità e la salita finale, in profondità, è appena accennata. In fig. 2.2 è evidenziato l'incremento di velocità che caratterizza la linea (210 m/s fino a 4.8 m poi 320 m/s fino a 28 m) poi la presenza del substrato veloce ($V_s \geq 800$ m/s). La profondità del substrato tuttavia non è determinabile con precisione, per quanto già detto sul tratto finale dello spettro. La profondità di 28 m va intesa come la profondità minima possibile del substrato e ne è stata verificata la compatibilità, tramite modellizzazione (vedi Fig. 3.2). La configurazione di velocità, in particolare la presenza del substrato a meno di 30 m è compatibile con la scheda litologica *sabbie*. Anche in questo caso, tramite la $V_{s30} = 307$ m/s si possono attribuire i suoli al tipo C (depositi di sabbie e ghiaie molto addensate o argille molto consistenti - $V_{s30} > 360$ m/s).

Il primo strato di spessore modesto e bassa velocità (4.8 m con 210 m/s) fa ricadere la scelta della curva periodo-Fa sulla n. 2.

Come nella linea 01, il periodo proprio del sito ($T_p=0.31$ s) fa ricadere l'intercetta nel tratto polinomiale della curva 2.

In base a questi elementi il fattore di Amplificazione Fa, calcolato sulla scheda *sabbie*, risulta di **1.6** per edifici con periodo < 0.5 s e di **1.5** per edifici con periodo superiore a 0.5 s.

6.3 Linea Sp03

Lo spettro della linea Sp03 (fig 1.2) è molto simile a quello della linea Sp01, ma la salita finale, in profondità, è meno accentuata e spostata verso le frequenze minori. In fig. 2.3 è evidenziato l'incremento di velocità che caratterizza la linea (250 m/s fino a 5.5 m poi 340 m/s fino a 31 m) poi la presenza del substrato veloce ($V_s \geq 800$ m/s). In questo caso la profondità del substrato è determinabile con sufficiente precisione (vedi Fig. 3.3). La configurazione di velocità, in particolare la presenza del substrato a circa 30 m è compatibile con la scheda litologica *sabbie*.

Anche in questo caso, tramite la $V_{s30} = 319$ m/s si possono attribuire i suoli al tipo C (depositi di sabbie e ghiaie molto addensate o argille molto consistenti - $V_{s30} > 360$ m/s).

La configurazione di velocità del primo strato (5.5 m con 250 m/s) fa ricadere la scelta della curva periodo-Fa 2.

Come per le altre due linee, il periodo proprio del sito ($T_p=0.38$ s) fa ricadere l'intercetta nel tratto polinomiale della curva 2.

In base a questi elementi il fattore di Amplificazione Fa, calcolato sulla scheda *sabbie*, risulta di **1.6** per edifici con periodo < 0.5 s e di **1.6** per edifici con periodo superiore a 0.5 s.

7. Conclusioni

I valori soglia indicati dalla scheda regionale nel comune di Spino d'Adda, 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 lunghi) e superiore a 0.5 s (edifici alti e snelli).

Il risultato comune alle linee effettuate è che entrambi i valori di Fa calcolati risultano inferiori ai valori di soglia corrispondenti; pertanto, la normativa è da considerare sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa vigente.

In tabella 2 sono sintetizzati i valori di V_{s30} (velocità media delle V_s nei primi 30 m), il tipo di suolo di fondazione, il periodo proprio del sito (T_p) calcolato dalle V_s 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)
Sp01	341	C	0.31	1.7	1.4
Sp02	307	C	0.37	1.6	1.5
Sp03	319	C	0.38	1.6	1.6
Fa di riferimento Regione Lombardia				1.8	2.4

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



IL GEOLOGO
Dr Giovanni Bassi
Novembre 2009

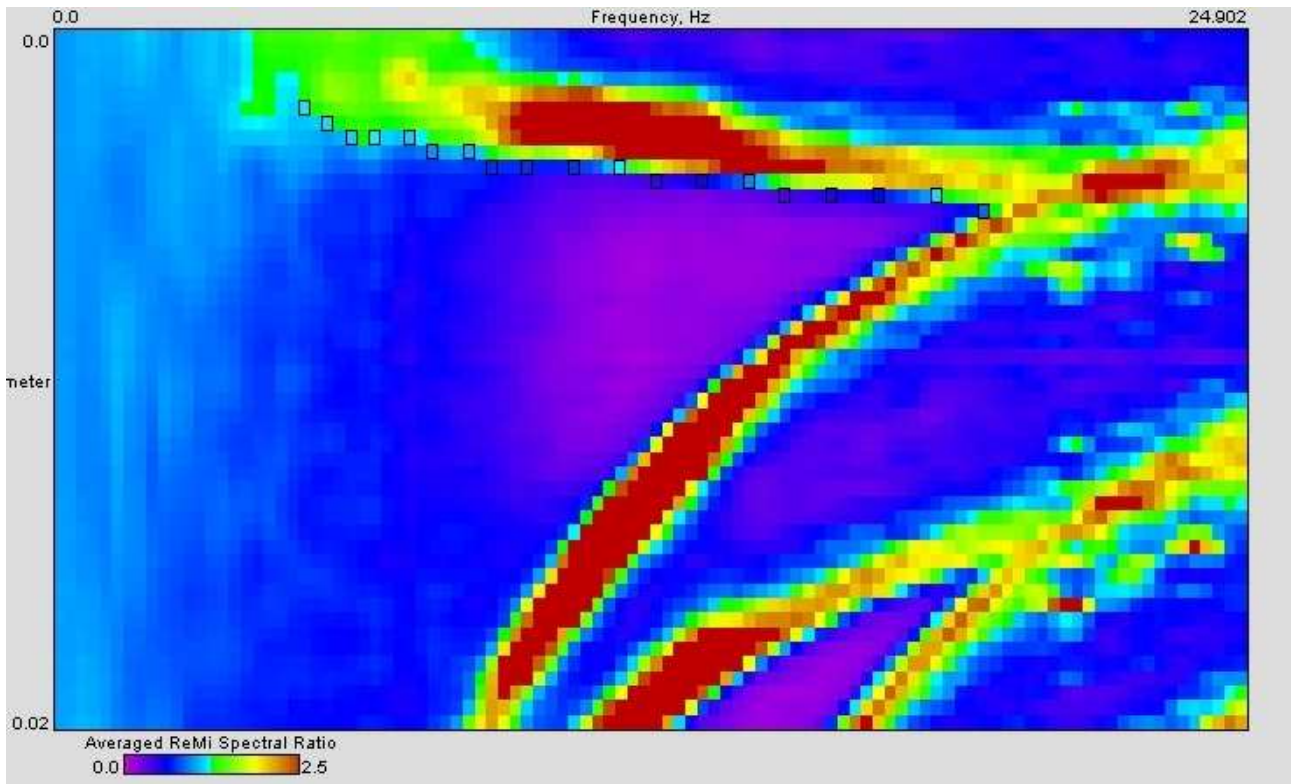


Fig. 1.1 – Spettro di frequenza - linea Sp01

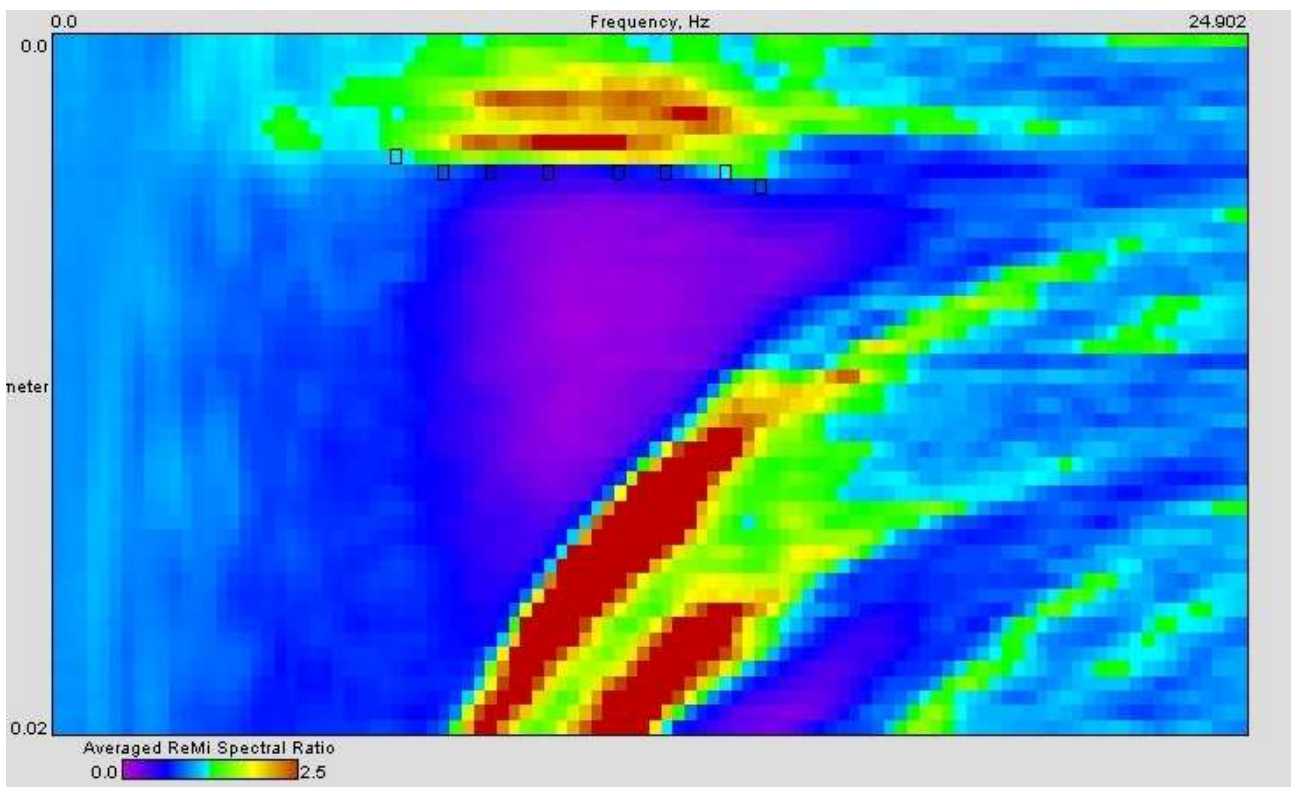


Fig. 1.2 – Spettro di frequenza - linea Sp02

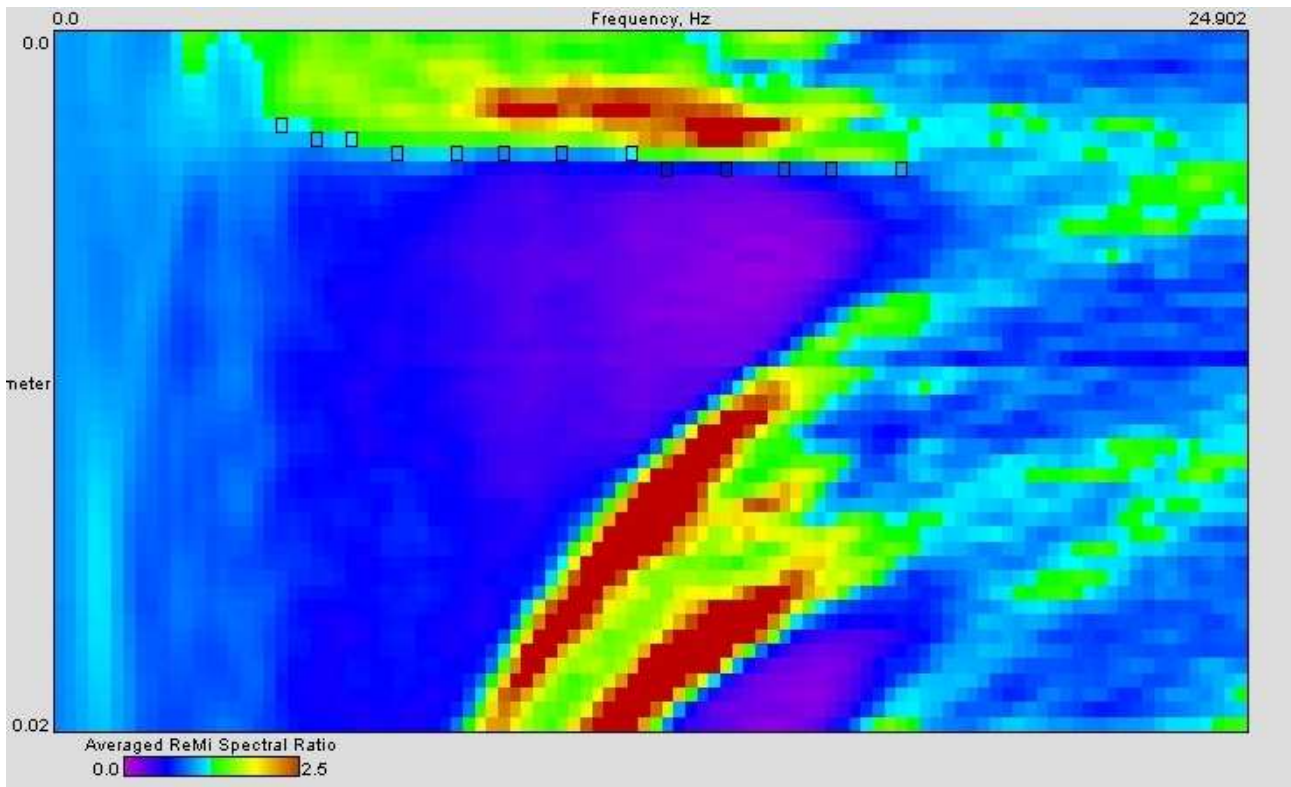


Fig. 1.3 – Spettro di frequenza - linea Sp03

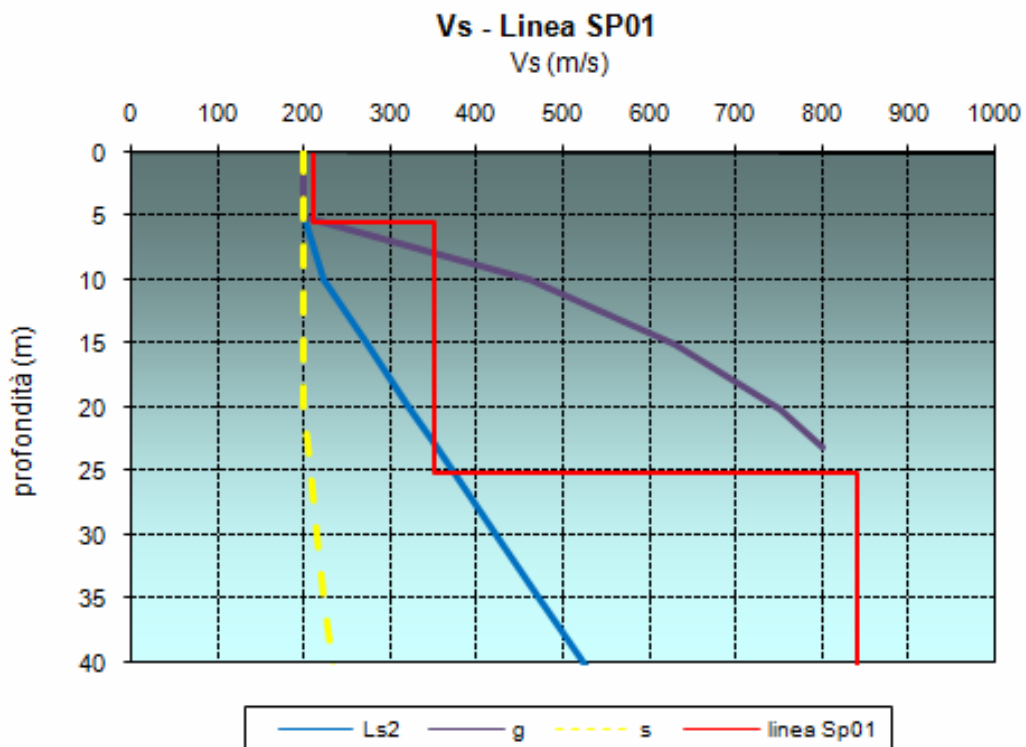


Fig. 2.1 – Distribuzione verticale Vs - linea Sp01

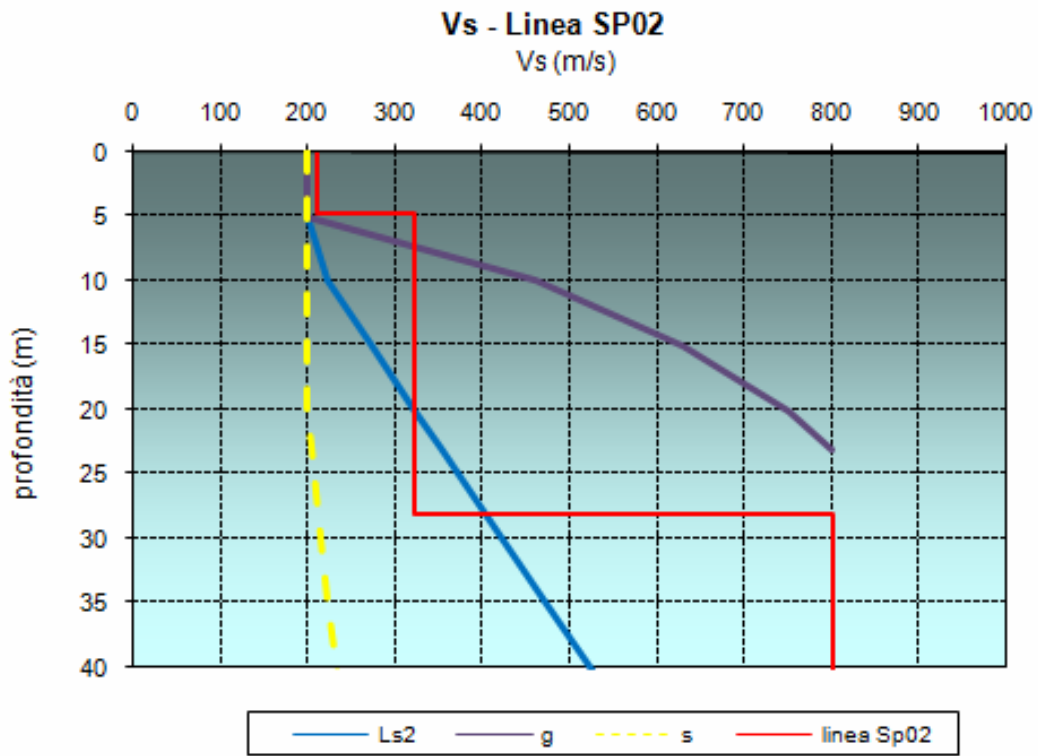


Fig. 2.2 – Distribuzione verticale Vs – linea Sp02

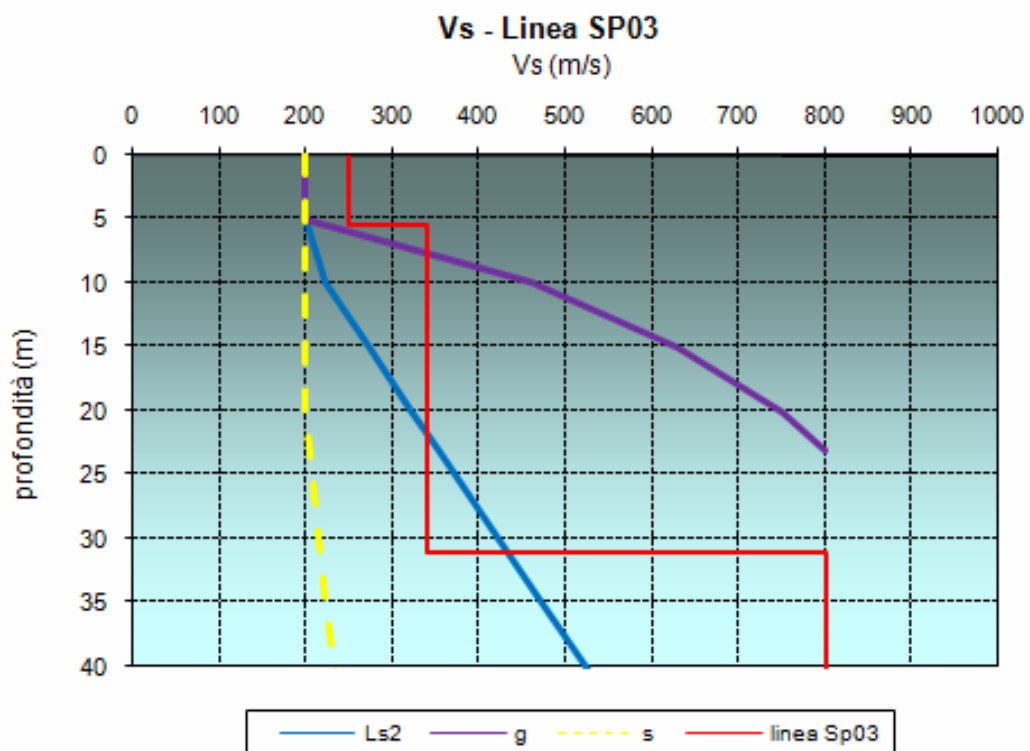


Fig. 2.3 – Distribuzione verticale Vs - linea Sp03

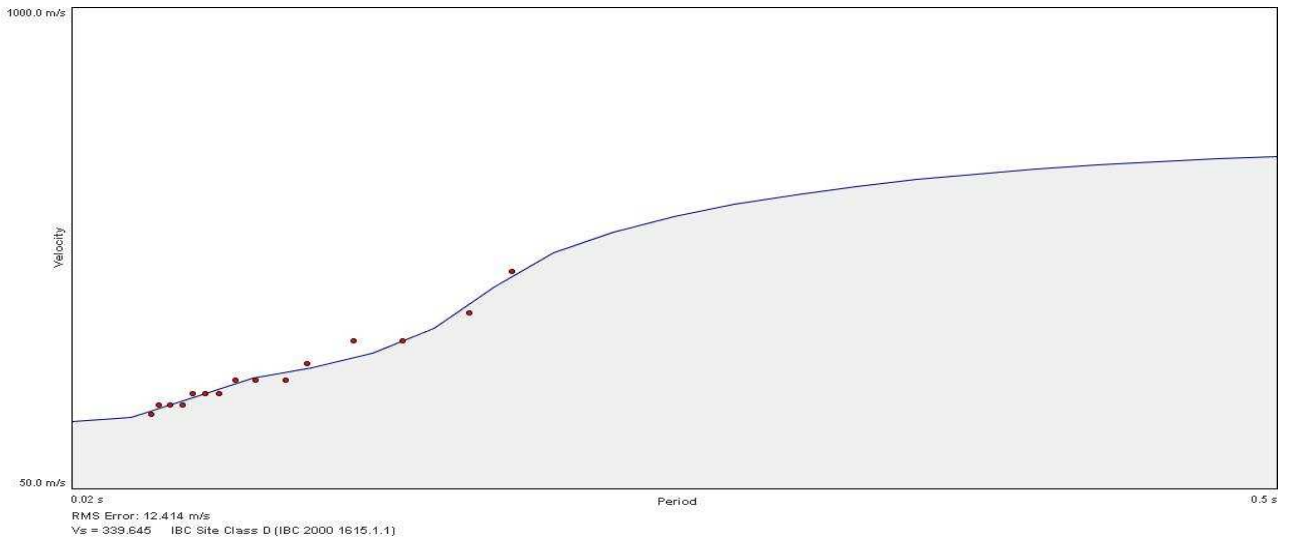


Fig. 3.1 – Curva di Dispersione - linea Sp01

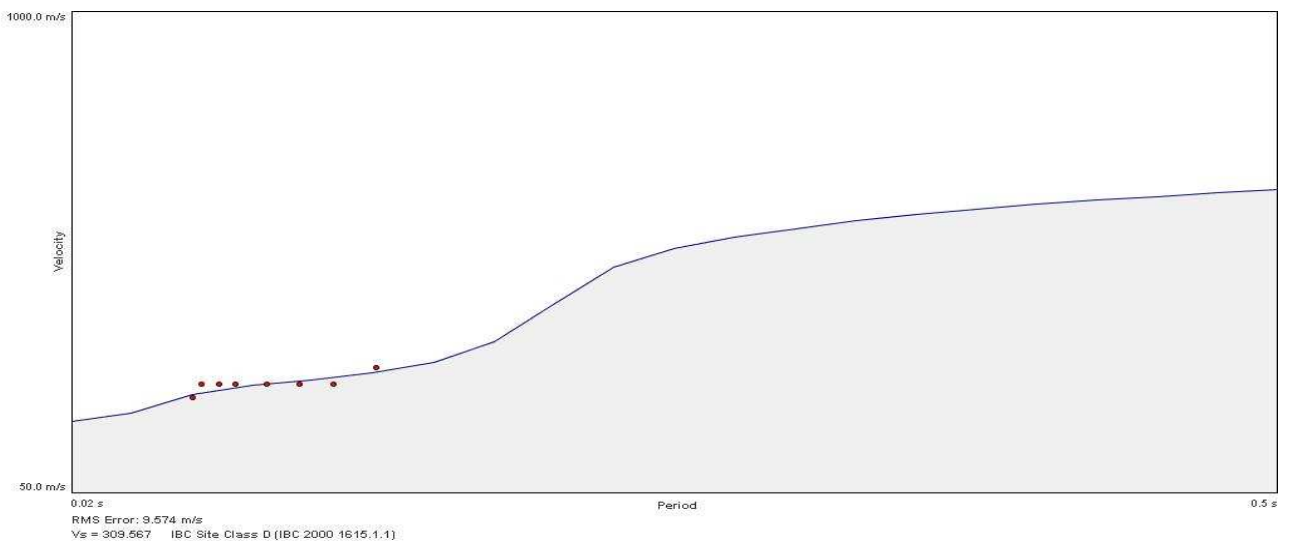


Fig. 3.2 – Curva di Dispersione - linea Sp02

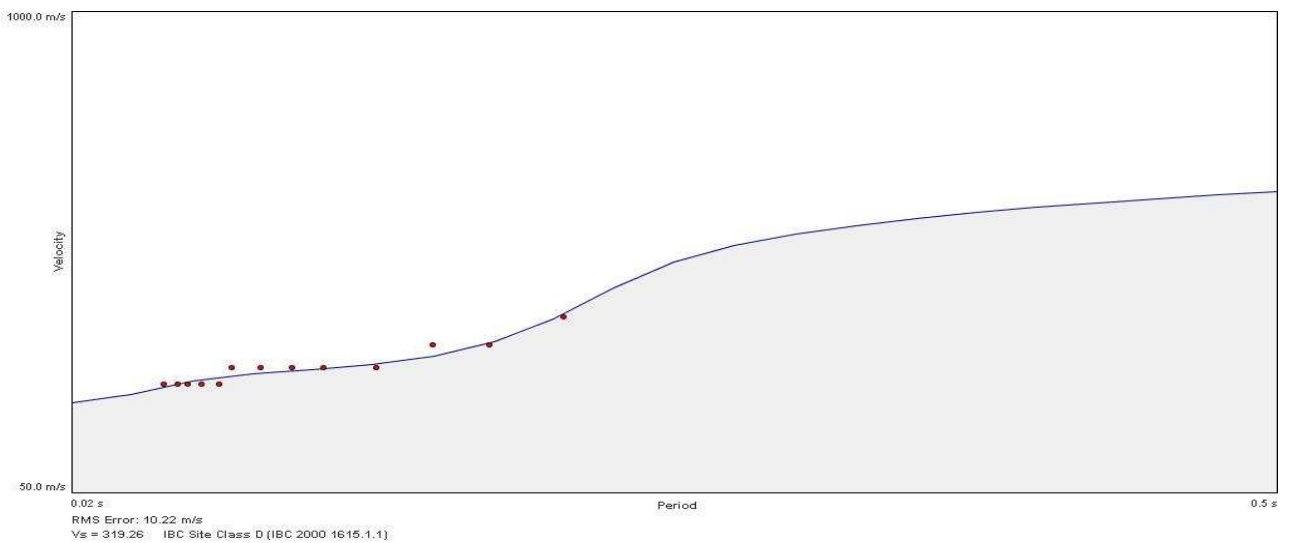


Fig. 3.3 – Curva di Dispersione - linea Sp03