

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 PANDINO

Provincia di Cremona



Piano di Governo del Territorio

STUDIO GEOLOGICO DEL TERRITORIO COMUNALE

Adeguamento sismico

(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

RAPPORTO GEOFISICO

ALLEGATO 7



IL GEOLOGO
DR GIOVANNI BASSI
Maggio 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	6
7. Conclusioni	8

ELENCO FIGURE

- Fig. 01: Curve di correlazione Periodo-Fa della scheda litologica sabbie
Fig. 1.1 -1.2 -1.3: Spettri di Frequenza
Fig. 2.1 -2.2– 2.3: Distribuzione verticale calcolata delle Vs
Fig. 3.1 -3.2 – 3.3: 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

Nel periodo tra il 27 Giugno ed 4 Luglio 2007, sono state effettuate prove sismiche mediante microtremori, nel comune di Pandino in provincia di Cremona, classificato in zona sismica 4. 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.

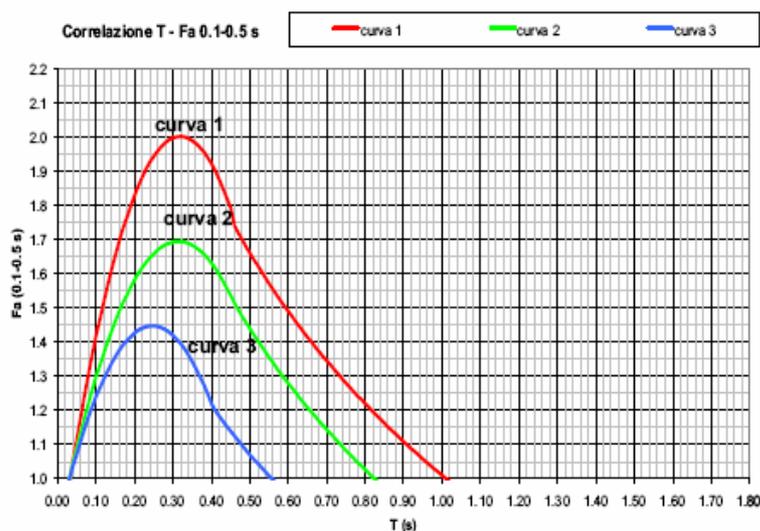


Fig. 01 – Curve di correlazione Periodo- F_a (scheda litologica Sabbie) – Il tratto polinomiale è quello calcolato per periodi (T_p) \leq 0.45 s, il tratto logaritmico è quello calcolato per periodi superiori.

6. Descrizione dei Risultati

Il rilievo è stato effettuato mediante tre linee eseguite con 24 geofoni da 14,5 Hz spaziate 4 m nella linea Pa01 e 5 m nelle altre due, per una rispettiva lunghezza di 92 e 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
Pa01	Scuole
Pa02	Area Industriale Sud
Pa03	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
Pa01	5	210	18	390	50	630		800		
Pa02	6.8	220	17.8	380	70	420		800		
Pa03	7	190	18	390	70	460		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 Pa01

Nell'immagine in fig. 1.1, il limite colori caldi-freddi, che indica l'andamento della velocità, cresce gradualmente con la profondità. Lo spettro risulta non ben definito nella sezione terminale (verso sinistra). Nella figura 2.1 il modello interpretativo rileva un primo strato di 5.0 m a velocità 210 m/s cui succede in profondità uno strato a velocità 390 m/s (fino a 18 m). A questa profondità s'individua il uno strato abbastanza veloce ($V_s = 630$ m/s). La determinazione della velocità di questo strato non è chiara, a causa della scarsa definizione dello spettro. Esso potrebbe corrispondere anche al substrato veloce, ma si è preferito mantenere la velocità di 630 m/s per similitudine con le altre linee.

Questa distribuzione di velocità, come quella delle due linee seguenti, ricade nel campo di validità della curva della scheda litologica sabbie. I dati litologici, ricavati da stratigrafie di pozzi, indicano una litologia prevalentemente sabbioso-ghiaiosa, nei primi 40-60 m.

La $V_{s_{30}} = 394$ m/s indica che l'appartenenza dei suoli dell'area al tipo B (depositi di sabbie e ghiaie molto addensate o argille molto consistenti $V_{s_{30}} > 360$ m/s).

Il primo strato di 5 m con $V_s=210$ m/s fa ricadere la scelta della curva periodo-Fa sulla curva 2 delle sabbie. Il valore del periodo proprio del sito ($T_p=0.38$ s) fa ricadere l'intercetta nel tratto di curva polinomiale ($T_p < 0.45$ s).

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.

6.2 Linea Pa02

Lo spettro della linea Pa02 (fig 1.2) è simile a quello della linea Pa01, ma è meglio definito alle basse frequenze (a maggiore profondità), inoltre non si riscontrano accenni della marcata salita finale, che normalmente caratterizza il substrato. In fig. 2.2 è riportata la distribuzione di velocità calcolata: 220 m/s fino a 6.8 m, 380 m/s fino a 17.8 m e infine una velocità di 420 m/s. La presenza del substrato veloce ($V_s \geq 800$ m/s) non è rilevabile, ma tramite modellizzazione si è verificata la compatibilità della curva di dispersione con una profondità minima di 70 m.

La configurazione di velocità rilevata è compatibile con la scheda litologica delle sabbie.

Dalla $V_{s_{30}} = 337$ m/s si possono attribuire i suoli del sito al tipo C (depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensati o argille mediamente consistenti $180 \text{ m/s} < V_{s_{30}} < 360$ m/s).

Il primo strato (7 m con velocità 220 m/s) fa ricadere la scelta della curva periodo-Fa sulla n. 2, mentre il periodo proprio del sito ($T_p=0.71$ s) fa ricadere l'intercetta nel tratto logaritmico della curva 2.

In base a questi elementi il fattore di Amplificazione Fa, calcolato sulla scheda sabbie, risulta di **1.1** per edifici con periodo < 0.5 s e di **1.9** per edifici con periodo superiore a 0.5 s.

6.3 Linea Pa03

Lo spettro della linea Pa03 (fig 1.2) è molto simile a quello della linea Pa02, con la salita del limite più accentuata, a causa di una minore velocità superficiale. Anche in questo caso la salita finale, in profondità, è scarsamente visibile. In fig. 2.3 è evidenziato l'incremento di velocità che caratterizza la linea: 190 m/s fino a 7 m poi 390 m/s fino a 18 m, poi $V_s=460$ m/s, fino ad una profondità di 60-70 m, ove potrebbe essere presente il substrato veloce ($V_s \geq 800$ m/s). Anche in questo caso possibile la profondità del substrato è stata verificata tramite modellizzazione (vedi Fig. 3.3).

La configurazione di velocità rilevata è compatibile con la scheda litologica delle sabbie.

Anche in questo caso, tramite la $V_{s_{30}} = 329$ m/s si possono attribuire i suoli al tipo C (depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensati o argille mediamente consistenti $180 \text{ m/s} < V_{s_{30}} < 360$ m/s).

La configurazione di velocità del primo strato (7 m con 190 m/s) fa ricadere la scelta della curva periodo-Fa sulla curva 2.

Il periodo proprio del sito ($T_p=0.66$ s) fa ricadere l'intercetta nel tratto logaritmico della curva 2.

In base a questi elementi il fattore di Amplificazione Fa, calcolato sulla scheda sabbie, risulta di **1.2** per edifici con periodo < 0.5 s e di **1.9** per edifici con periodo superiore a 0.5 s.

7. Conclusioni

I valori soglia indicati dalla scheda regionale nel comune di Pandino, per suoli di tipo B sono di 1.4 e 1.7 e per suoli di tipo C di 1.8 e 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).

Per quanto riguarda la linea Pa01 il valore di Fa calcolato, per gli edifici con periodo inferiore (0.1-0.5 sec) risulta più elevato di quello fornito dalla Regione Lombardia. Pertanto per la progettazione di edifici che ricadono in tale intervallo di periodo, nel sito analizzato, soggetti a predominante rischio litologico, sono necessarie indagini di III livello oppure dovrà essere utilizzato lo spettro di normativa caratteristico per la categoria di suolo superiore (in questo caso suolo di tipo C). Per tutti gli edifici con periodo superiore a 0.5 sec i valori di Fa calcolati sono inferiori a quelli regionali; 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.

Per quanto riguarda le linee Pa02 e Pa03 il risultato comune è che entrambi i valori di Fa calcolati risultano inferiori ai valori di soglia corrispondenti; pertanto, in tutte le aree indagate, soggette a predominante rischio di tipo litologico, 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 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)
Pa01	394	B	0.38	1.6	1.6
Pa02	337	C	0.71	1.1	1.9
Pa03	329	C	0.66	1.2	1.9
Fa di riferimento Regione Lombardia				1.4 (B) 1.8 (C)	1.7 (B) 2.4 (C)

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



IL GEOLOGO
DR GIOVANNI BASSI
Maggio 2009

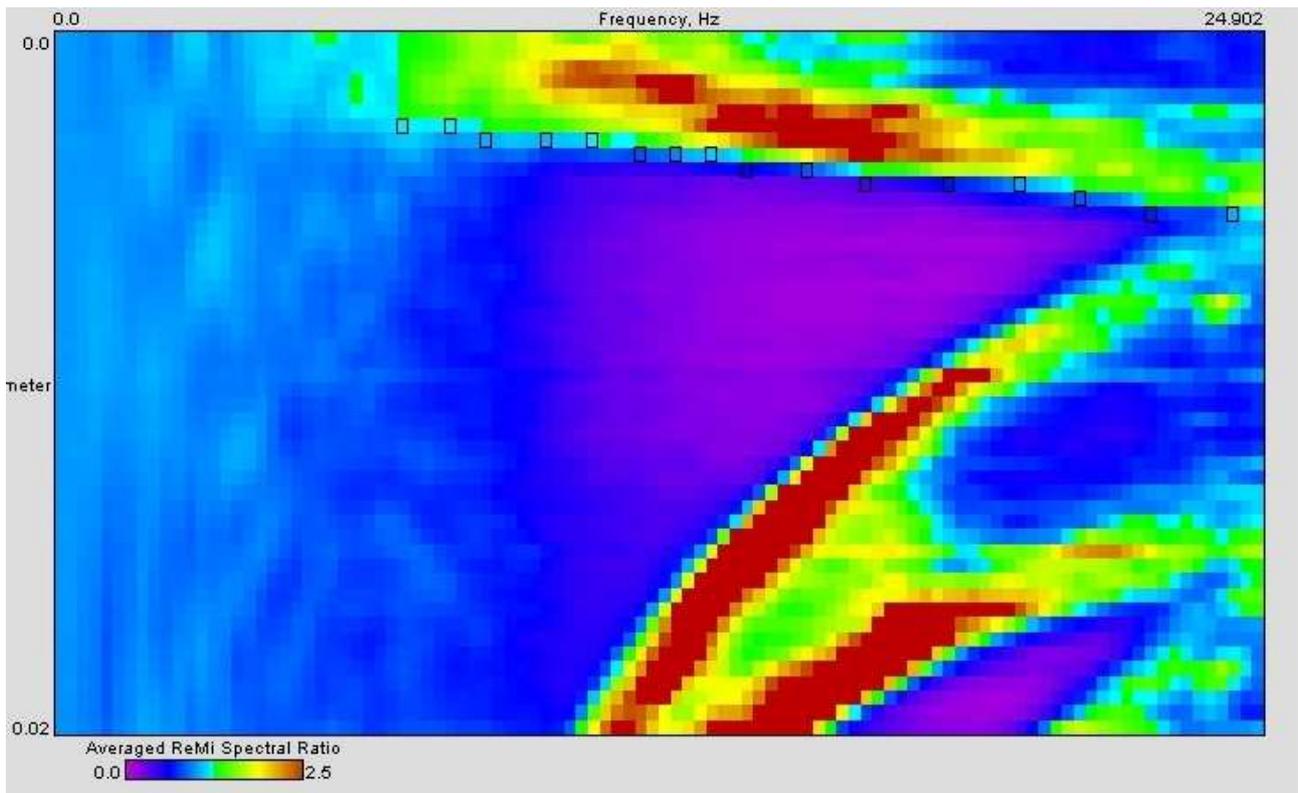


Fig. 1.1 – Spettro di frequenza - linea Pa01

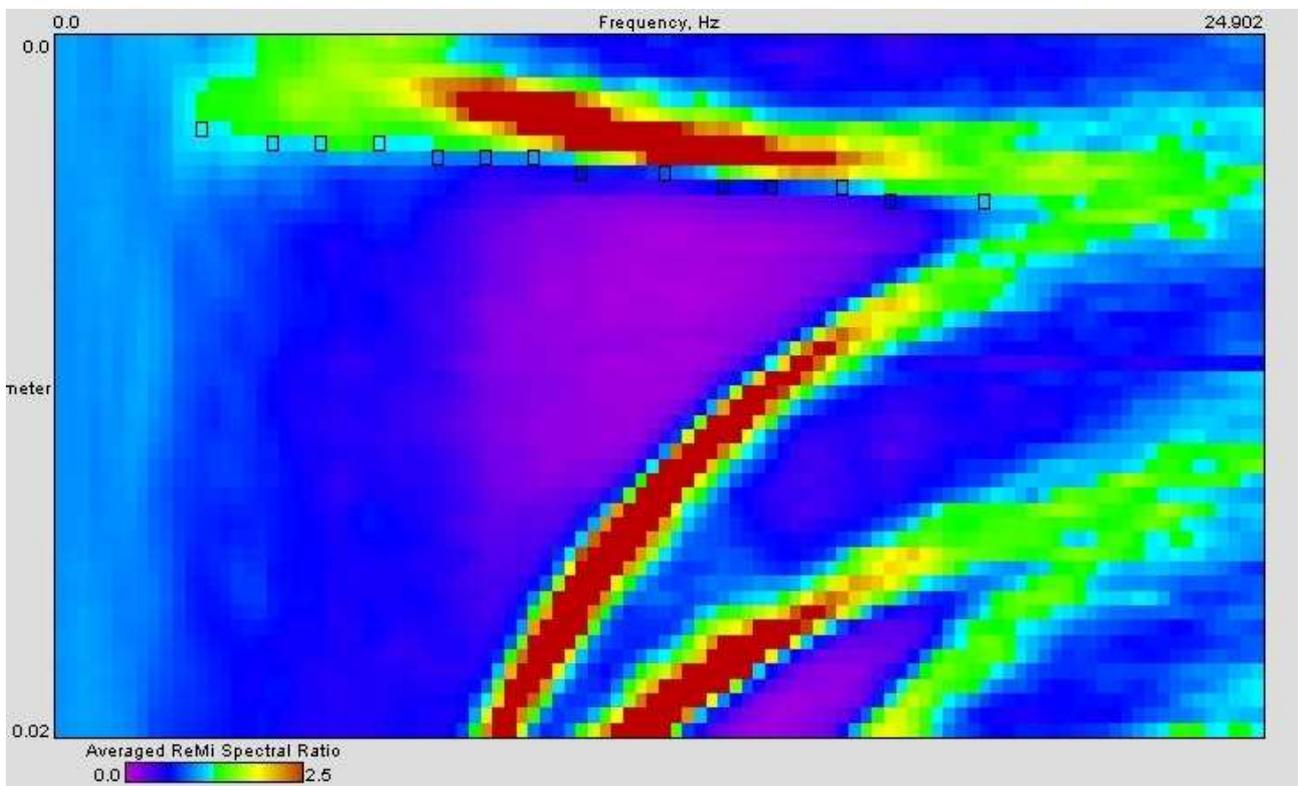


Fig. 1.2 – Spettro di frequenza - linea Pa02

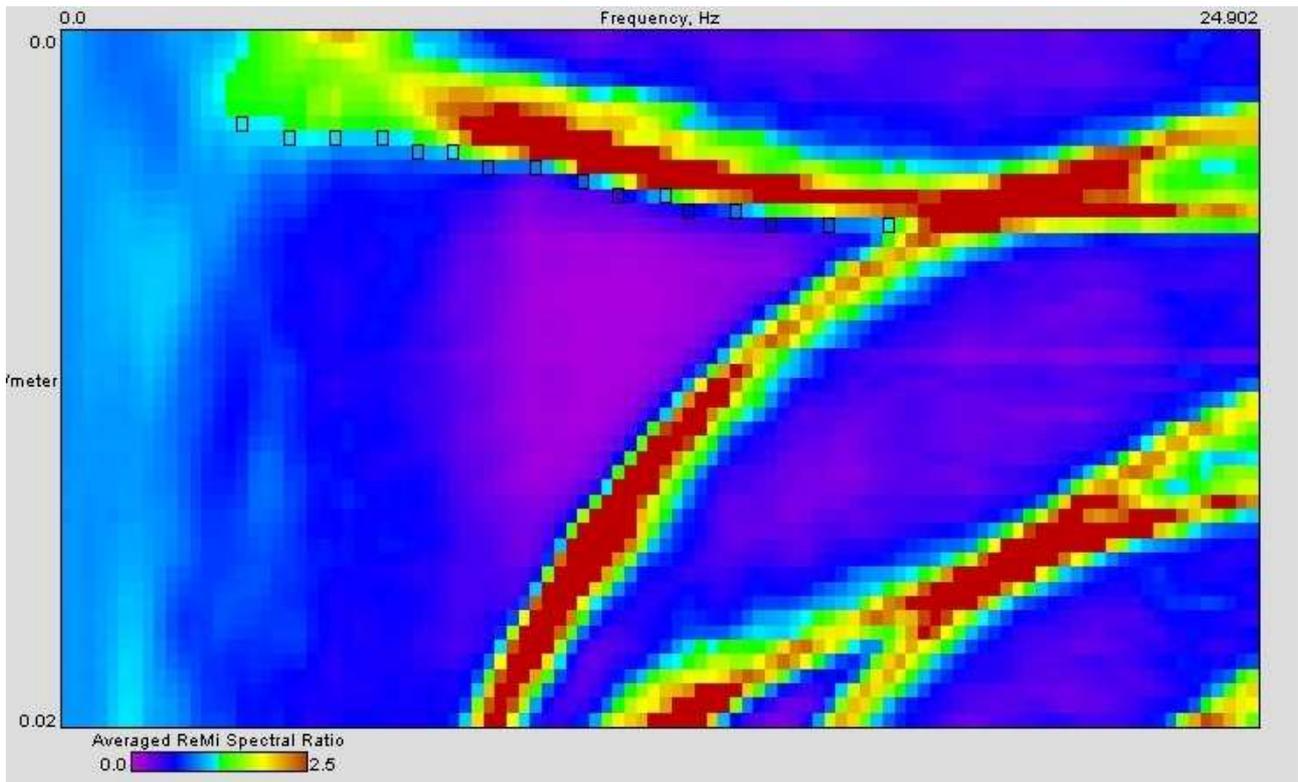


Fig. 1.3 – Spettro di frequenza - linea Pa03

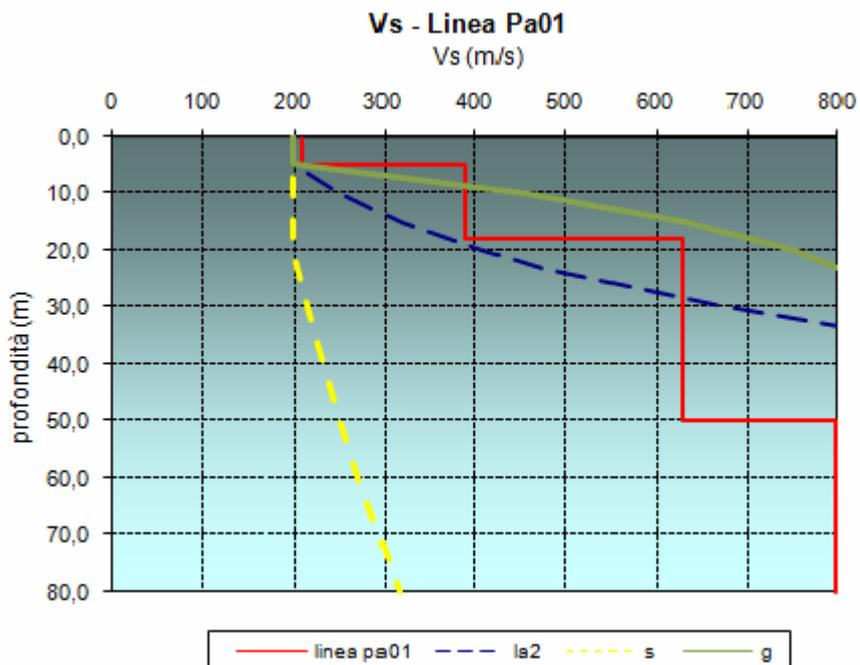


Fig. 2.1 – Distribuzione verticale Vs - linea Pa01

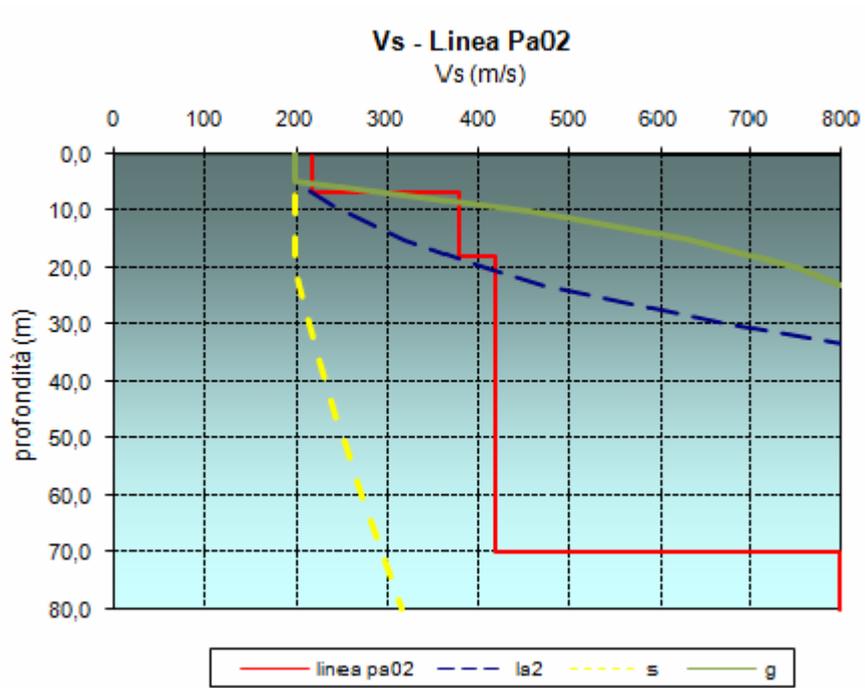


Fig. 2.2 – Distribuzione verticale Vs – linea Pa02

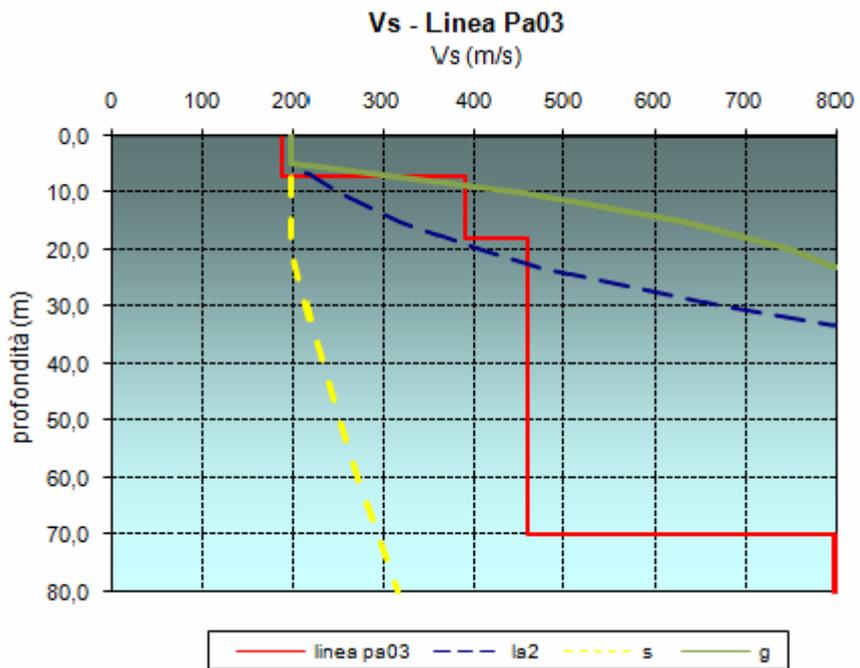


Fig. 2.3 – Distribuzione verticale Vs - linea Pa03

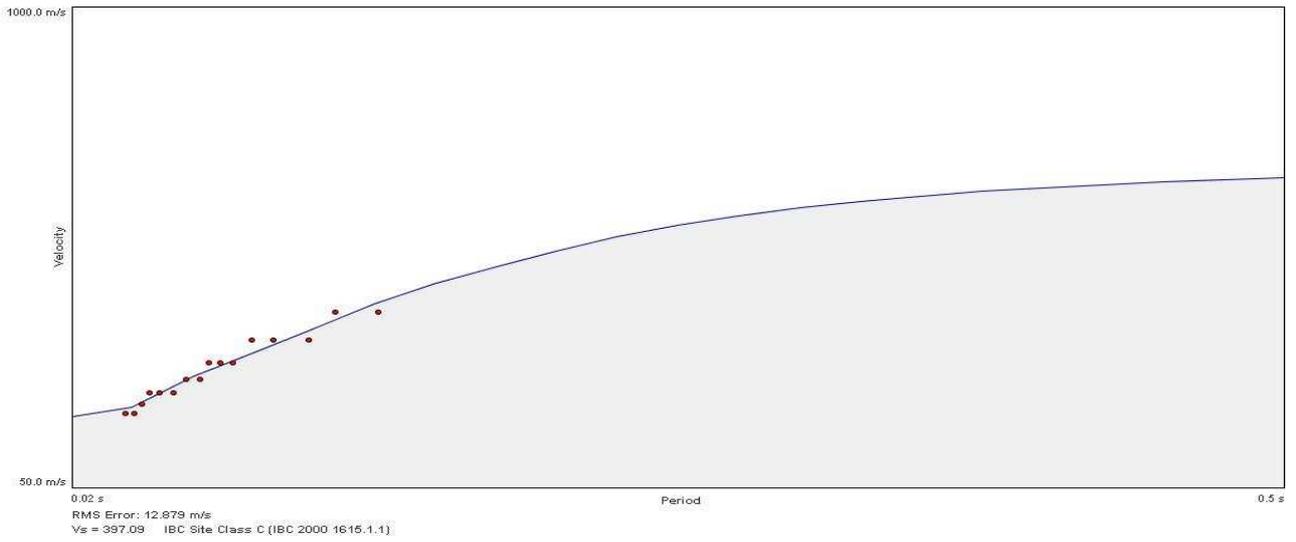


Fig. 3.1 – Curva di Dispersione – linea Pa01

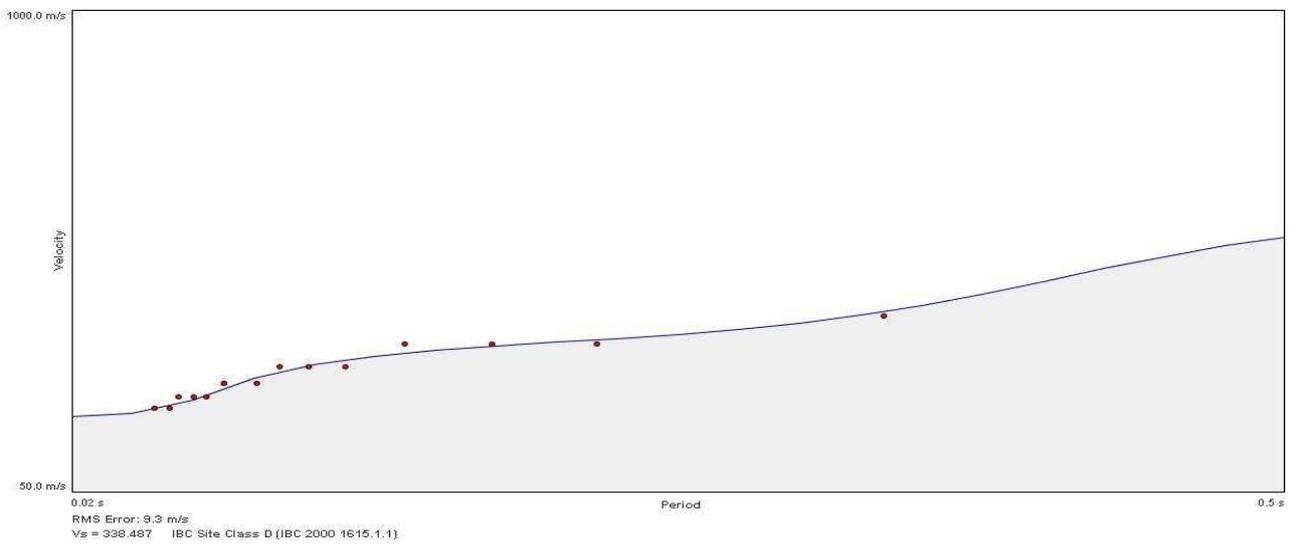


Fig. 3.2 – Curva di Dispersione - linea Pa02

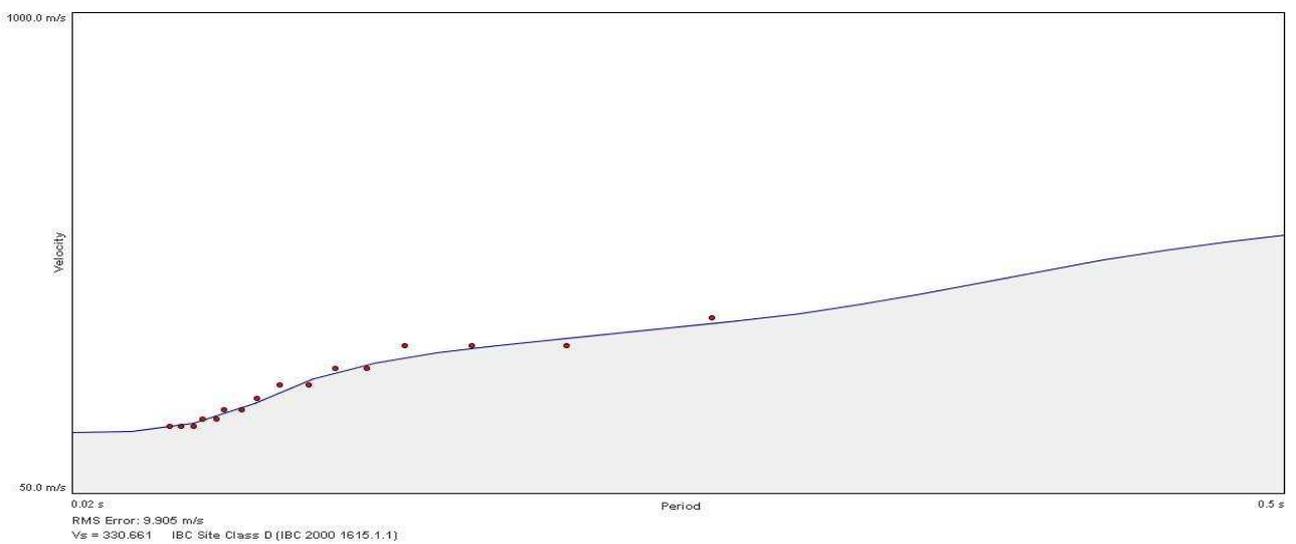


Fig. 3.3 – Curva di Dispersione - linea Pa03