

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 ROMANENGO

Provincia di Cremona

Piano di Governo del Territorio

STUDIO GEOLOGICO DEL TERRITORIO COMUNALE

Zona sismica 2

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)

Allegato Z

RAPPORTO GEOFISICO



IL GEOLOGO
DR GIOVANNI BASSI
Settembre 2009

INDICE CAPITOLI

1. Premessa
2. Cenni sulla Metodologia dei Microtremori
3. Strumentazione e Software
4. Elaborazione dati
5. Metodologia di Calcolo
6. Descrizione del Rilievo
7. Analisi dei Risultati
8. Conclusioni

ELENCO FIGURE

- Fig. 01: Campo di validità e curva di riferimento V_s della *scheda litologica sabbie*
Fig. 02: Curve di correlazione Periodo-Fa della *scheda litologica sabbie*
Fig. 1.1-1.2-1.3-1.4: Spettri di Frequenza
Fig. 2.1-2.2-2.3-2.4: Distribuzione verticale calcolata delle V_s
Fig. 3.1-3.2-3.3-3.4: Curve di dispersione e fitting

1. Premessa

In data 3 Luglio 2007, sono state effettuate prove sismiche mediante microtremori, in quattro aree del territorio comunale di Romanengo (CR).

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 D.G.R.L. n. 8/7374 del 28 maggio 2008, in particolare in Allegato 5. Il comune di Romanengo è inserito in zona sismica 2, a medio rischio sismico.

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. In qualche caso la lunghezza delle linee è stata ridotta per problemi di agibilità sul terreno, o riducendo il numero di geofoni dello stendimento oppure riducendo la spaziatura tra i geofoni a 4 m. Le linee standard hanno 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.

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). 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. Una distribuzione dei colori caldi che sale da sinistra verso destra indica velocità crescenti a frequenze minori, quindi a profondità maggiori; abbassamenti anche di modesta entità nello stesso verso indicano possibili inversioni di velocità (velocità più basse a profondità crescenti). 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.
- 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 D.G.R.L. 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 (vedi figura successiva) e una sola curva 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 Fa per le due diverse classi di periodo (0.1-0.5 e 0.5-1.5 secondi). Se i due valori di Fa 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 del Rilievo

Il rilievo è stato effettuato mediante quattro 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
Ro01	Scuola Media
Ro02	Area di sviluppo urbanistico nord-est
Ro03	Area industriale est
Ro04	Area residenziale ovest

7. Analisi dei Risultati

Nelle figure 1.1 ... 1.4 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. Una distribuzione dei colori caldi che sale da sinistra verso destra indica velocità crescenti a frequenze minori, quindi a profondità maggiori; abbassamenti anche di modesta entità nello stesso verso indicano possibili inversioni di velocità (velocità più basse a profondità crescenti).

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 da 2.1 a 2.4.

Nelle figure da 3.1 a 3.4 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.

7.1 Linea Ro01

Nell'immagine in fig. 1.1, si può notare come il limite colori caldi-freddi, molto netto, è allineato quasi orizzontalmente per lungo tratto, poi presenta una leggera salita spostata molto verso sinistra (incremento di Vs con la profondità). Il limite è molto netto anche a piccola profondità (settore destro). Dalla figura 2.1 si rileva l'andamento pressoché costante delle Vs (280-300 m/s) fino a circa 40 m di profondità, dove si trova il tetto del substrato veloce. La litologia prevalente è sabbiosa.

7.2 Linea Ro02

Lo spettro della linea Ro02 (fig 1.2) presenta invece un andamento del limite crescente dall'inizio (a destra) all'estremità di sinistra, caratterizzata da un graduale e marcato aumento delle velocità

con la profondità. In fig. 2.2 è evidenziato l'incremento di velocità che caratterizza la linea e la presenza del substrato veloce ($V_s \geq 800$ m/s) già a 24 m di profondità. Probabilmente in questo caso si ha un aumento della componente sabbiosa grossolana o ghiaiosa a partire da 24 m.

7.3 Linea Ro03

L'immagine in fig. 1.3, relativa alla linea Ro03, evidenzia un'inversione di velocità a piccola profondità (settore di destra). Nel settore centrale la velocità è costante e risale, piuttosto gradualmente, a profondità medie ed elevate (settore di sinistra). In fig. 2.3 è visibile l'inversione di velocità (tra 4.3 e 13 m) ed il successivo incremento a 620 m/s, già a 14 m. Da prove penetrometriche eseguite in passato, l'inversione può essere determinata da una diminuzione di granulometria nei depositi sabbiosi superficiali e da un successivo incremento con comparsa di componente ghiaiosa in profondità.

7.4 Linea Ro04

Lo spettro della linea Ro04 è simile a quello della linea Ro01. In fig. 1.4 si può infatti notare un andamento del limite pressoché costante nel settore di destra e centrale, con una debole salita a profondità elevate. Tale spettro è stato interpretato con un leggero incremento di velocità a circa 5 m di profondità, con velocità medio-basse che si estendono fino ad almeno 40 m di profondità. Il substrato veloce potrebbe essere anche più profondo di quanto appare in figura, ma ciò non incide né sul calcolo della V_{s30} né sulle successive elaborazioni. Litologia sabbiosa.

8. Conclusioni

Sulla base delle velocità delle V_{s30} , in tutte le aree indagate si rilevano suoli di tipo C (depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o argille mediamente consistenti) con $V_{s30} < 360$ m/s. Fa eccezione la linea Ro03 in cui la velocità media V_{s30} è pari a 372 m/s, leggermente più elevata del limite (360 m/s) tra suoli di tipo B e C.

In tutte le linee si è rilevato che la scheda morfologica (tra quelle fornite dalla Regione Lombardia) più prossima alle distribuzioni di V_s rilevate è la scheda *sabbie*. Vedi fig.2.

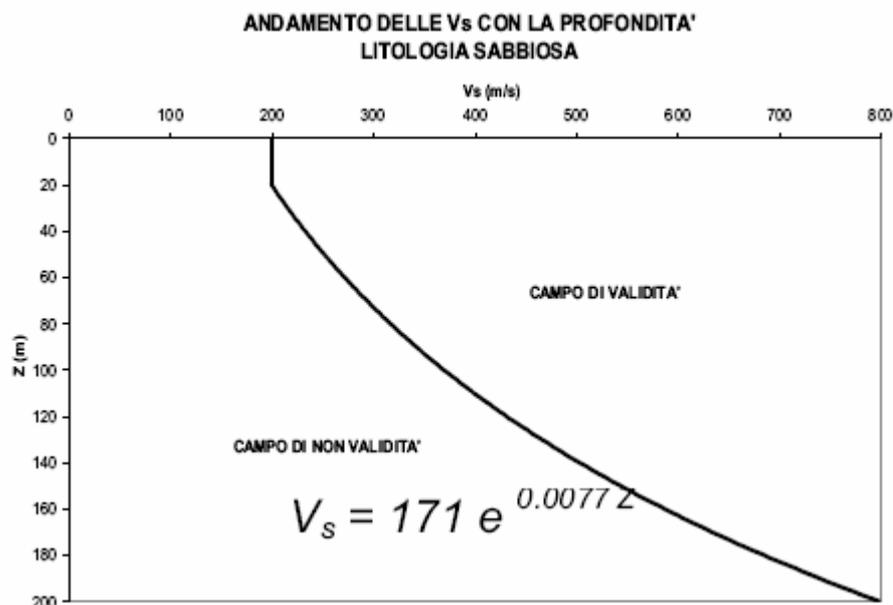


Fig. 01 – Campo di validità e curva di riferimento V_s della scheda litologica *sabbie*

Rispetto a tutte le altre schede le curva delle V_s rilevate non ricadono nel campo di validità o ricadono solo parzialmente (scheda dei *limi sabbiosi 2*) (Fig. 2.1-2.2-2.3-2.4).

Il substrato veloce è risultato generalmente a profondità superiore a 30 m, tranne che nella linea Ro2 in cui è stato individuato a profondità di 24 m. Nel caso della linea Ro03, il substrato è stato ipotizzato a 50 m, anche se i valori di V_s sono molto elevati (620 m/s) già a partire da 13 m.

Lo strato superficiale (primo strato), in base al quale si determina l'appartenenza ad una delle tre curve della scheda morfologica presenta spessori sempre inferiori a 6 m e velocità molto variabili. A causa di tale distribuzione di velocità, le curve Periodo-Fa selezionate sono sempre del tipo 2 o 3 (che hanno valori meno elevati di Fa a parità di periodo).

I periodi propri dei siti calcolati variano tra 0.33 e 0.58 e, per edifici con periodo ≤ 0.5 s, fanno ricadere l'intercetta di calcolo del Fa sia nei tratti polinomiali ($T \leq 40$ s) che in quelli logaritmici delle curve Periodo-Fa della scheda **sabbie**. Per edifici con periodo > 0.5 s è stata utilizzata la curva 2.

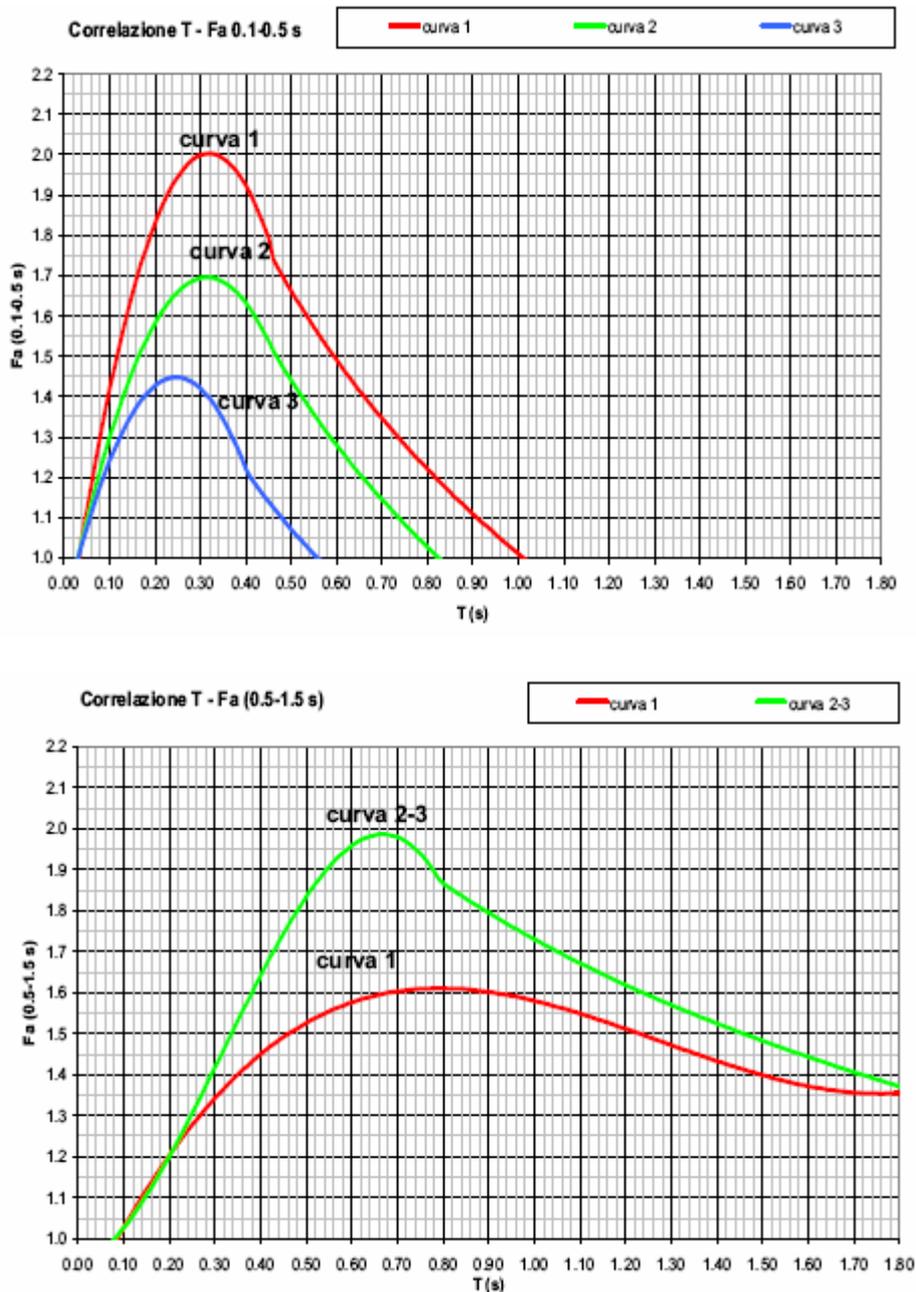


Fig. 02 – Curve di correlazione Periodo-Fa della scheda litologica **sabbie**

I valori di Fa segnalati dalla Regione Lombardia per il comune di Romanengo e per categorie di suoli di tipo C sono di **1.8** per edifici con $0.1 < T \leq 0.5$ s e di **2.4** per edifici con $T > 0.5$ s; per categorie di suoli di tipo B sono di **1.4** per edifici con $0.1 < T \leq 0.5$ s e di **1.7** per edifici con $T > 0.5$ s.

Il risultato comune a tutte le linee effettuate è che i valori di Fa calcolati sono comunque sempre inferiori a quelli forniti dalla Regione Lombardia per suoli di tipo B e C, pertanto in tutte le aree indagate soggette a predominante rischio di tipo litologico (scenario di PSL Z4) non sono necessarie indagini di III livello in fase progettuale. Per tutti gli edifici con periodo inferiore o superiore a 0.5 s sono validi gli spettri di normativa per la zona 2 e per le categorie di suoli rilevate.

Ovviamente sono escluse da queste indicazioni le aree in cui, per presenza di sabbie poco addensate e falda molto superficiale, il rischio predominante è costituito da cedimenti e/o liquefazioni (scenario di PSL Z2).

Nella tabella 1 sono riportati, per ogni linea, i valori di Vs e le profondità del letto di ogni strato; il substrato compatto ($V_s \geq 800$ m/s), individuato o presunto è l'unità più profonda rilevata e quindi non si è in grado di fornire lo spessore. Sono evidenziati in grigio gli starti in cui è stata identificata una possibile inversione di velocità (strati meno compatti più profondi di strati più compatti).

Linea	Strato 1		Strato 2		Strato 3		Strato 4		Strato 5	
	H1	Vs1	H2	Vs2	H3	Vs3	H4	Vs4	H5	Vs5
Ro01	5.2	280	40	300		800				
Ro02	5.3	215	23	300		800				
Ro03	4.3	370	13	210	50	620		800		
Ro04	5.1	240	40	280		800				

Tab. 1 – distribuzione verticale delle Vs

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 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. Nella tabella sono riportati anche i valori soglia (di riferimento) forniti dalla regione Lombardia.

Linea	V_{s30}	Terreno di fondazione	Periodo	Fa (01-0.5 s)	Fa (>0.5 s)
Ro01	296	C	0.54	1.3	1.8
Ro02	325	C	0.33	1.6	1.4
Ro03	372	B	0.38	1.2	1.5
Ro04	272	C	0.58	1.3	1.9
Fa di riferimento Regione Lombardia (suolo C)				1.8	2.4
Fa di riferimento Regione Lombardia (suolo B)				1.4	1.7

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

IL GEOLOGO
Dr Giovanni Bassi
Settembre 2009



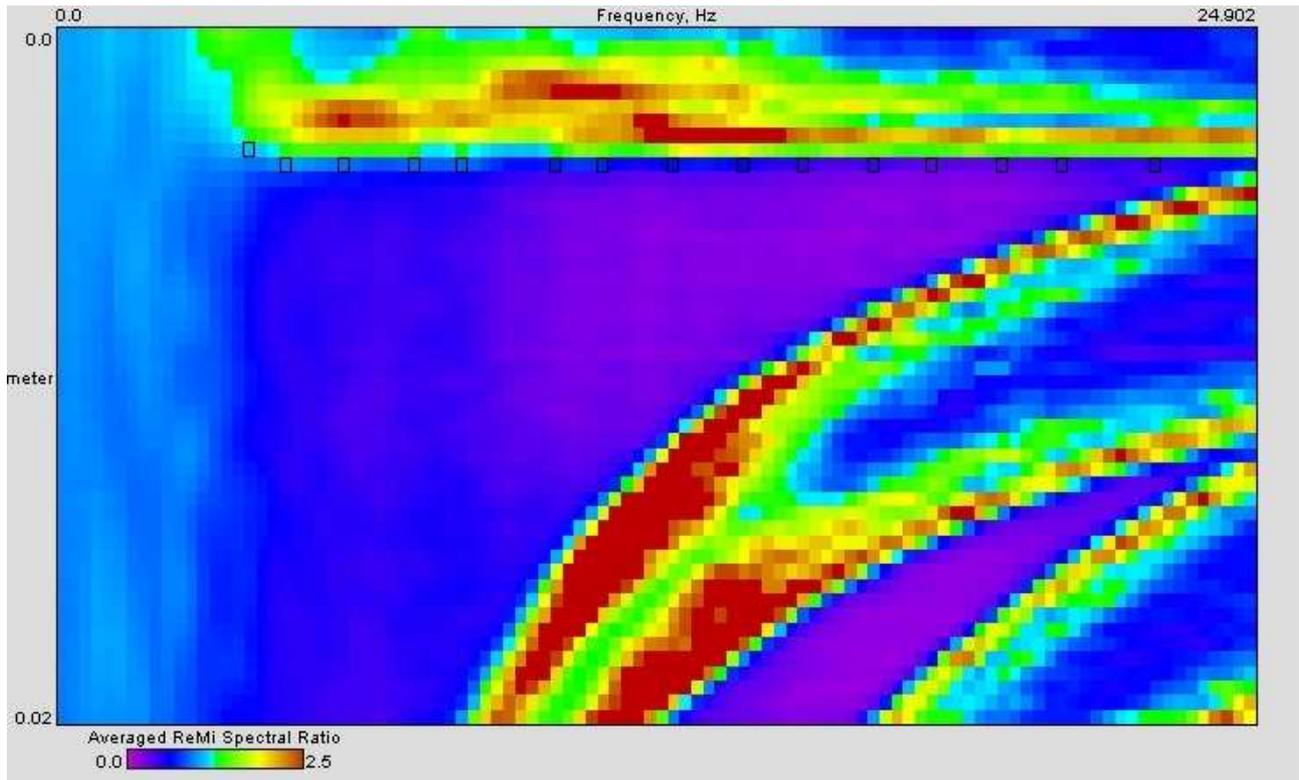


Fig. 1.1 – Spettro di frequenza - linea Ro01

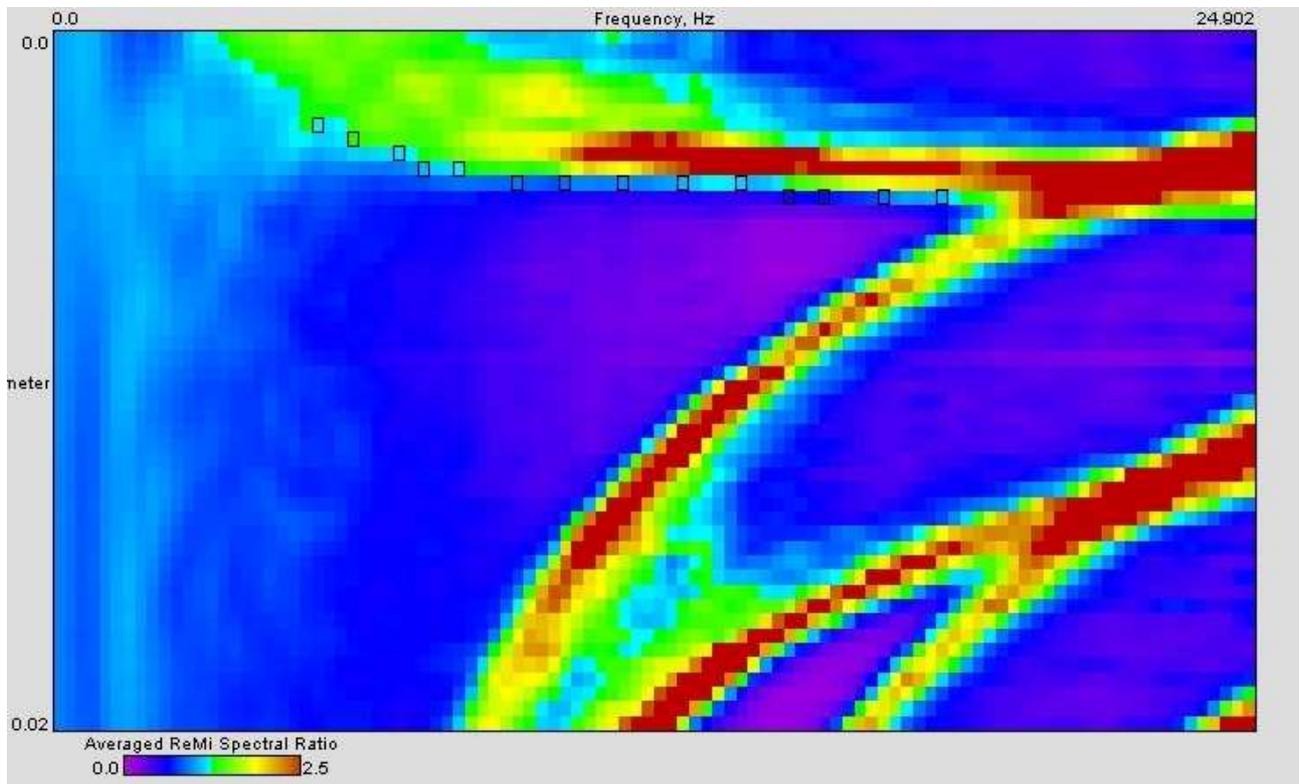


Fig. 1.2 – Spettro di frequenza - linea Ro02

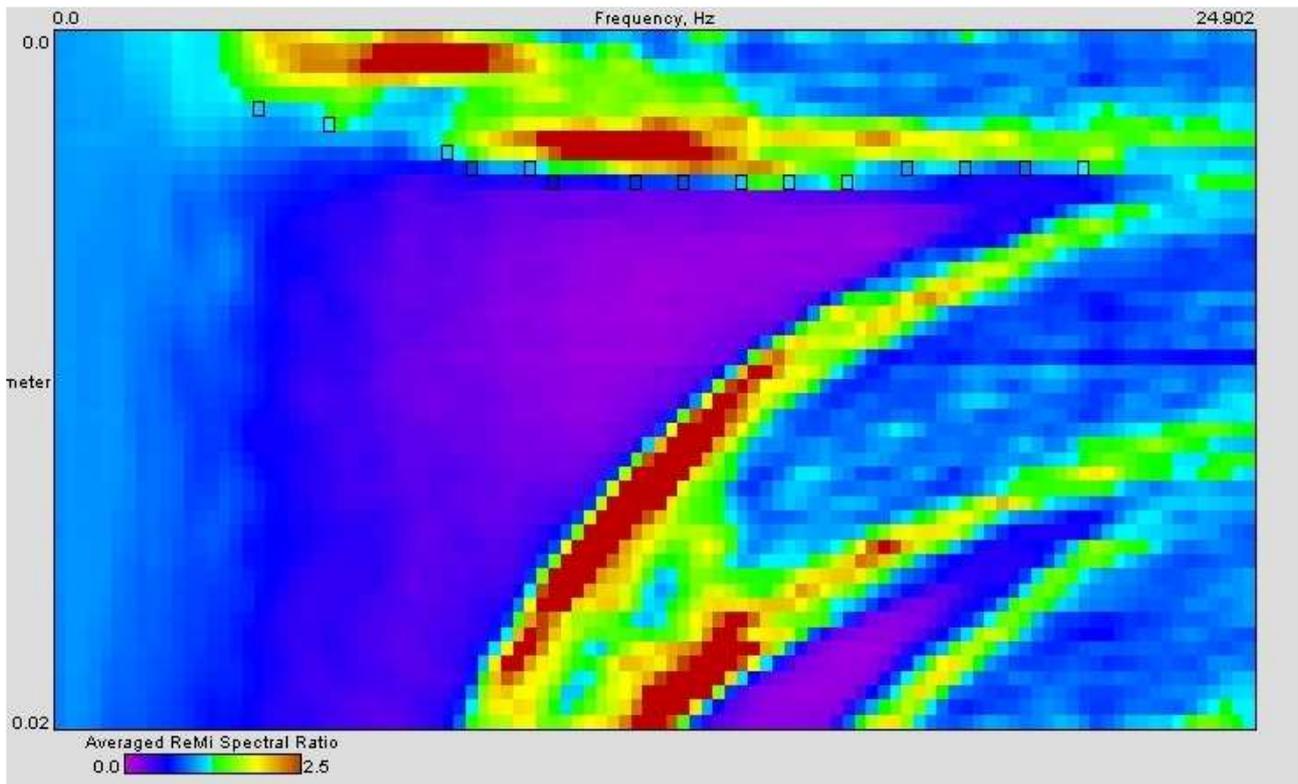


Fig. 1.3 – Spettro di frequenza - linea Ro03

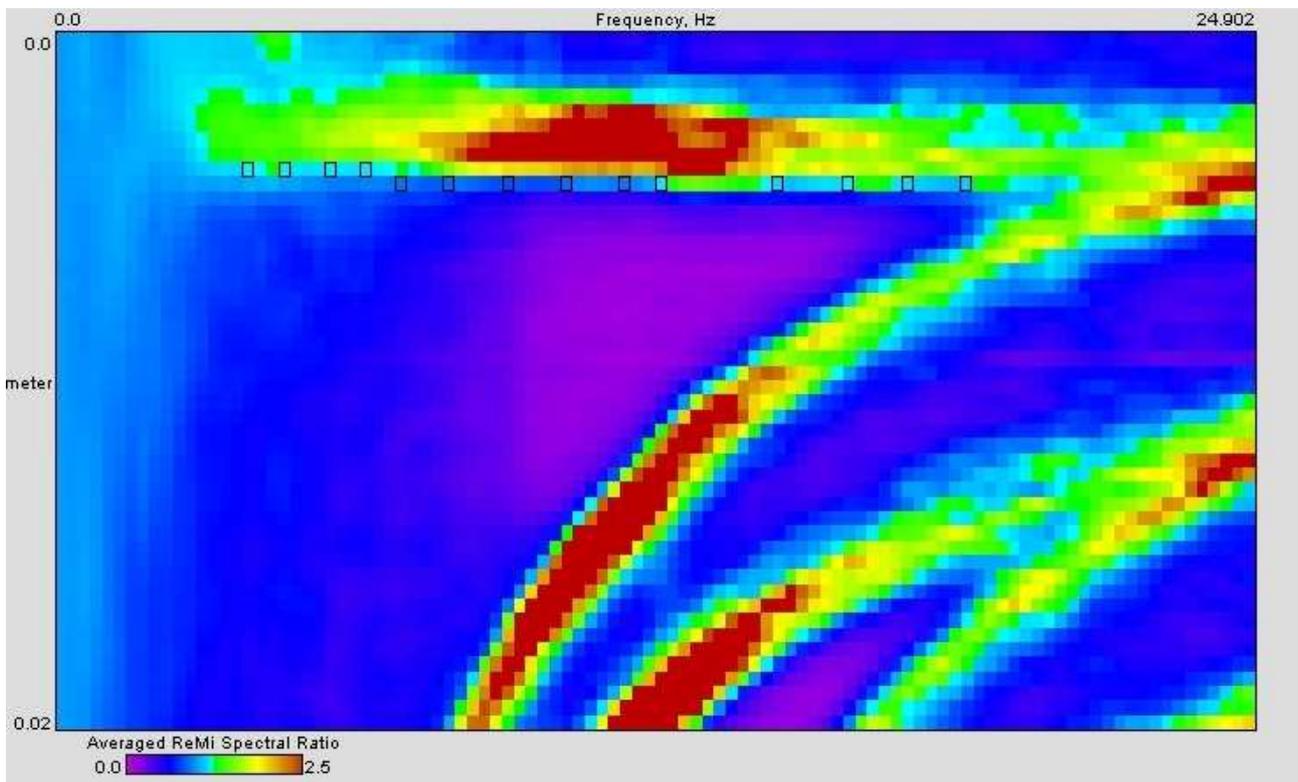


Fig. 1.4 – Spettro di frequenza - linea Ro04

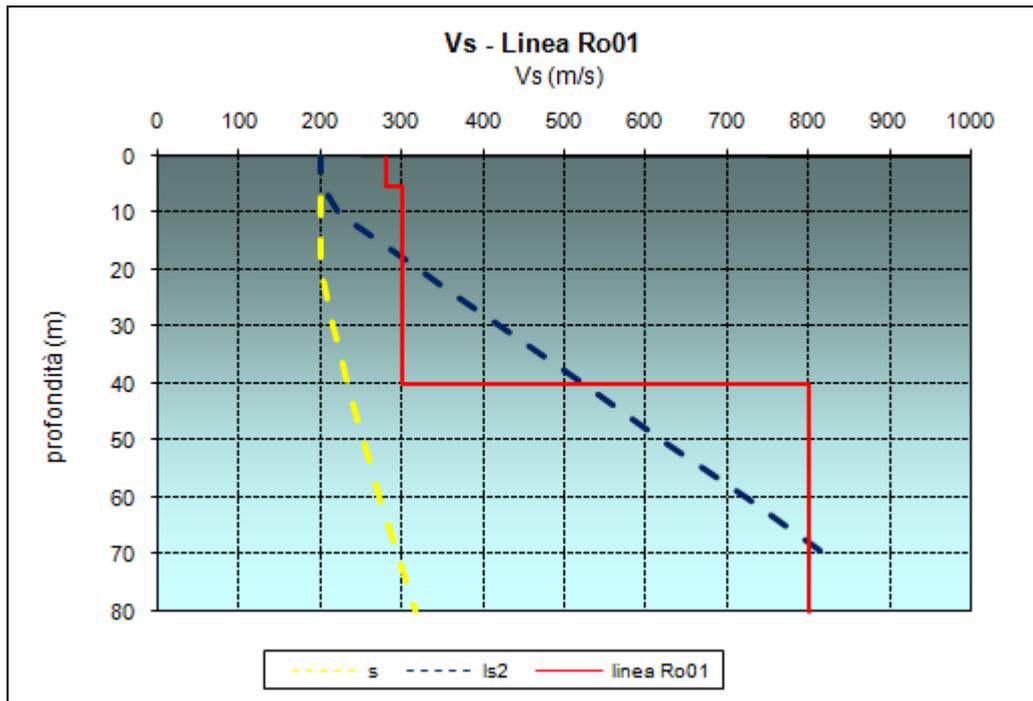


Fig. 2.1 – Distribuzione verticale Vs Ro01

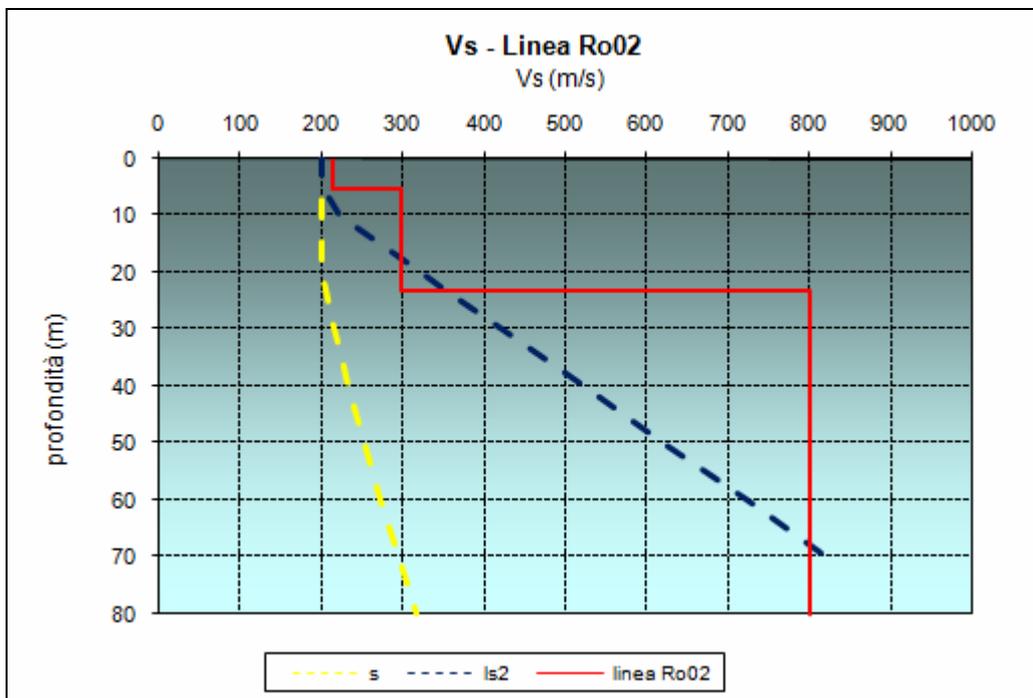


Fig. 2.2 – Distribuzione verticale Vs Ro02

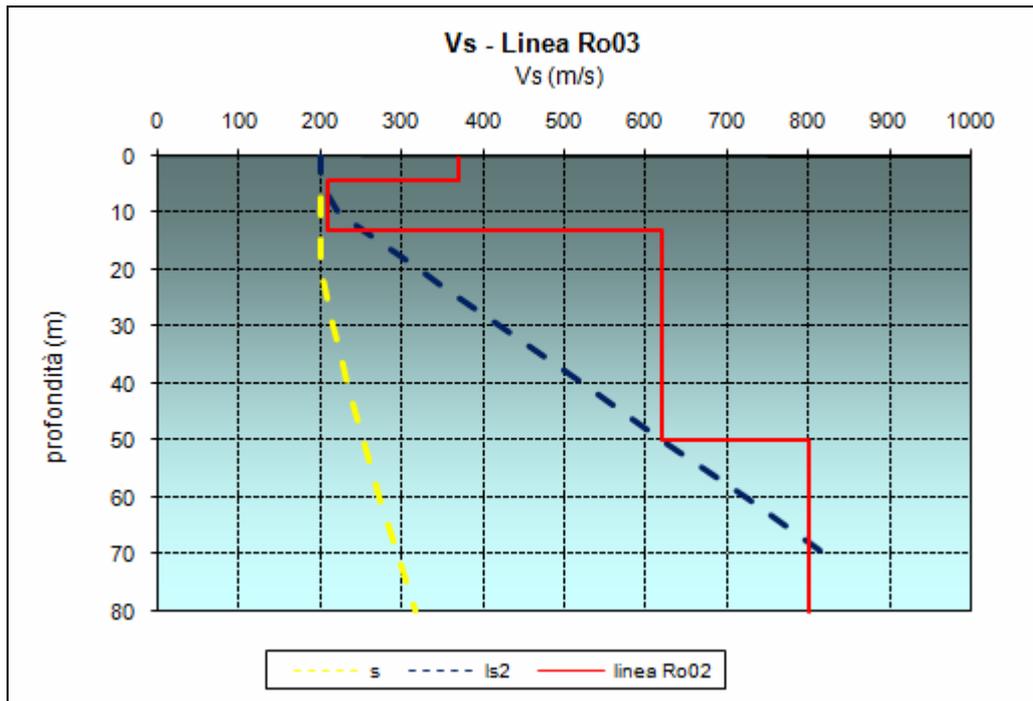


Fig. 2.3 – Distribuzione verticale Vs Ro03

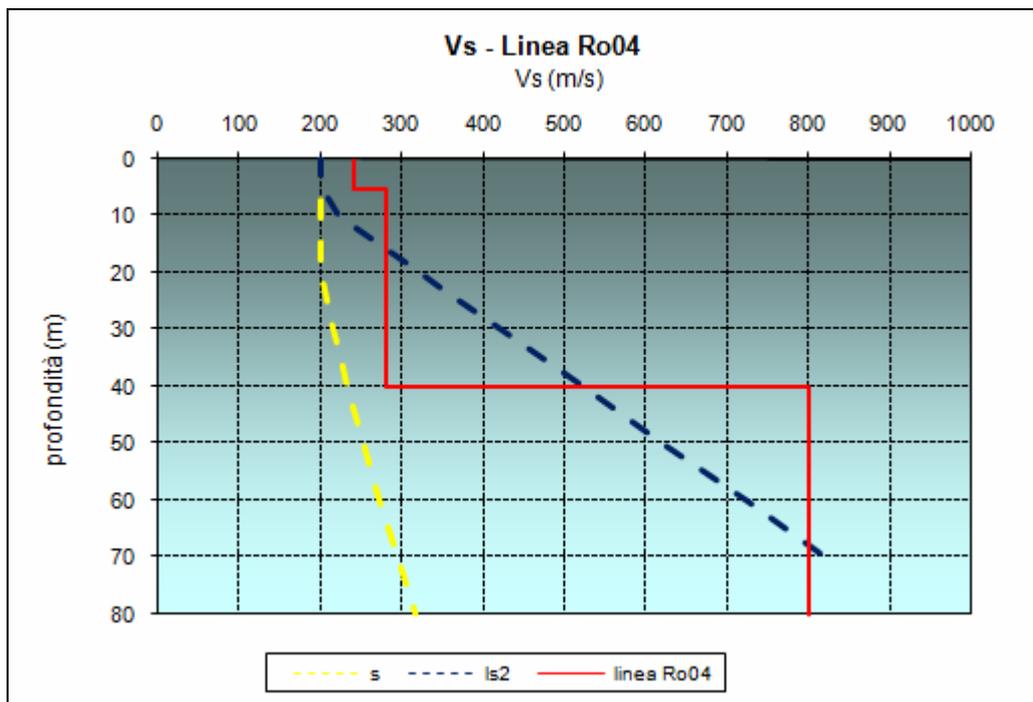


Fig. 2.4 – Distribuzione verticale Vs Ro04

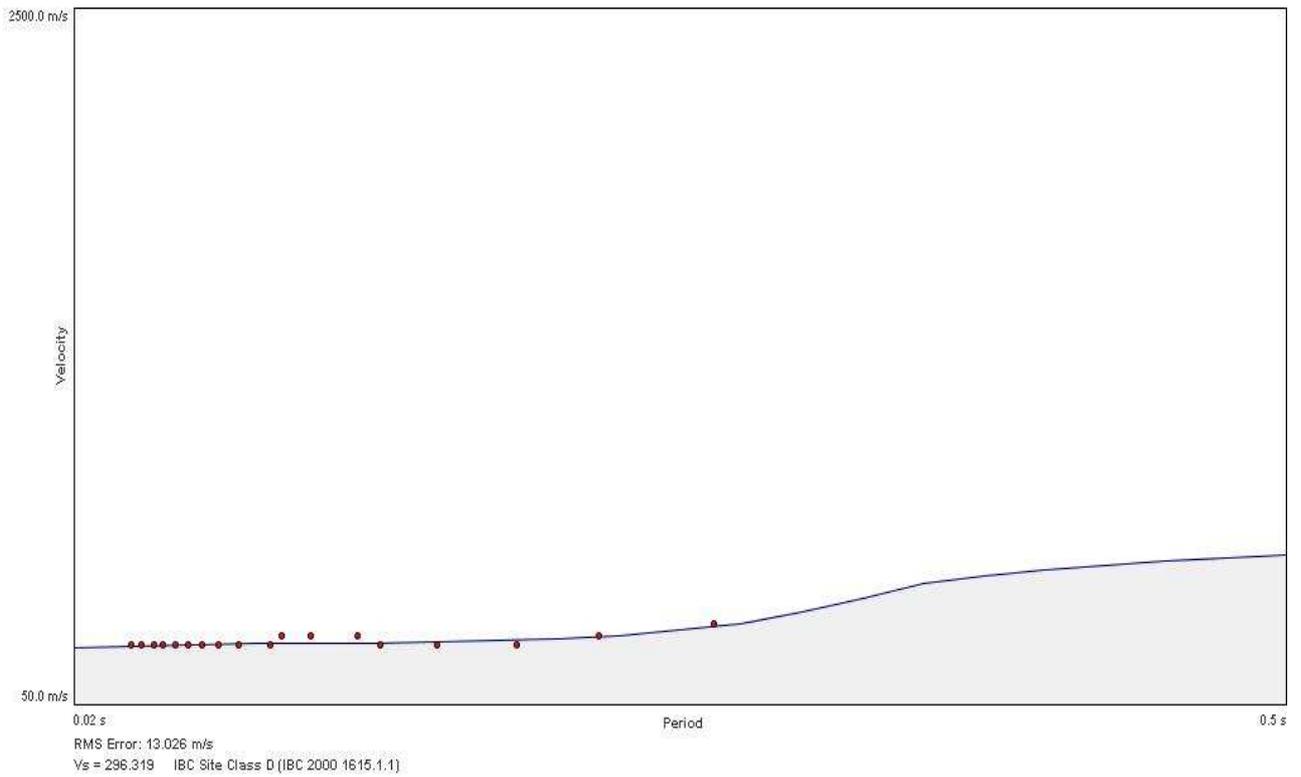


Fig. 3.1 – Curva di Dispersione - linea Ro01

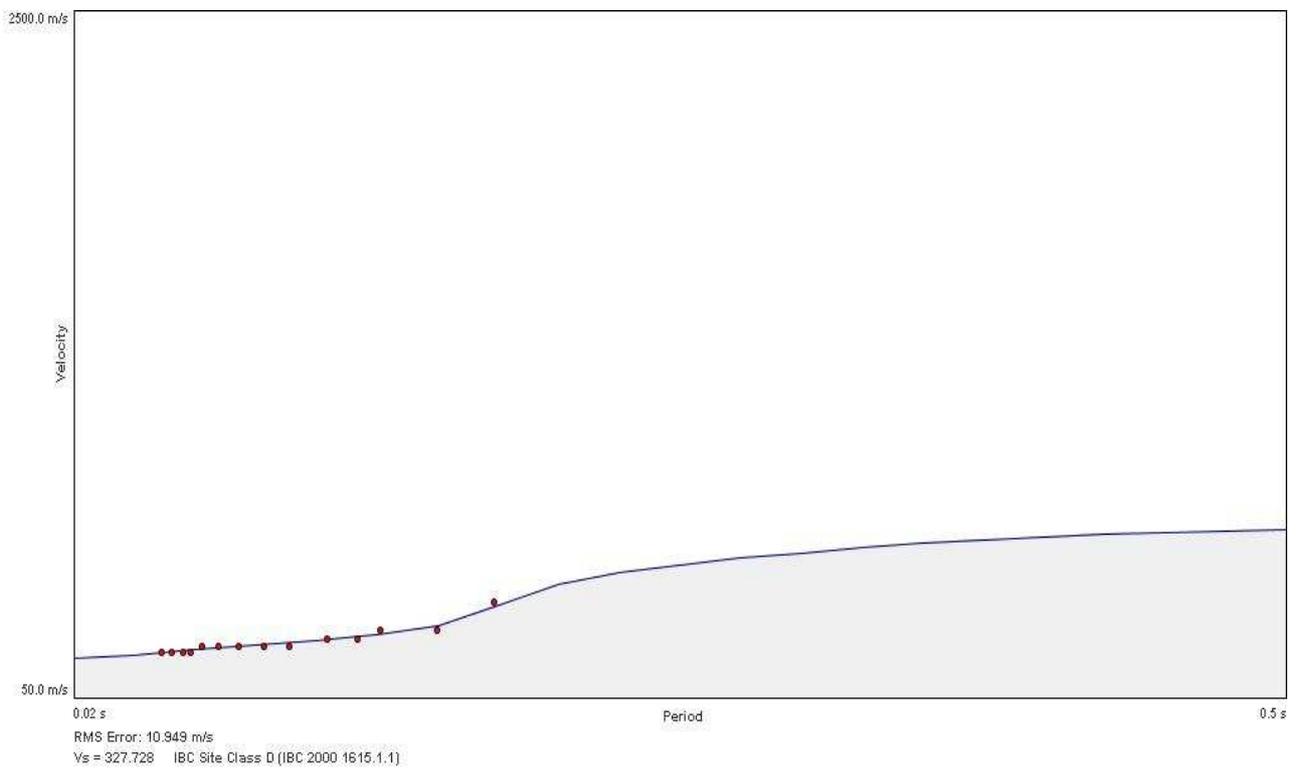


Fig. 3.2 – Curva di Dispersione - linea Ro02

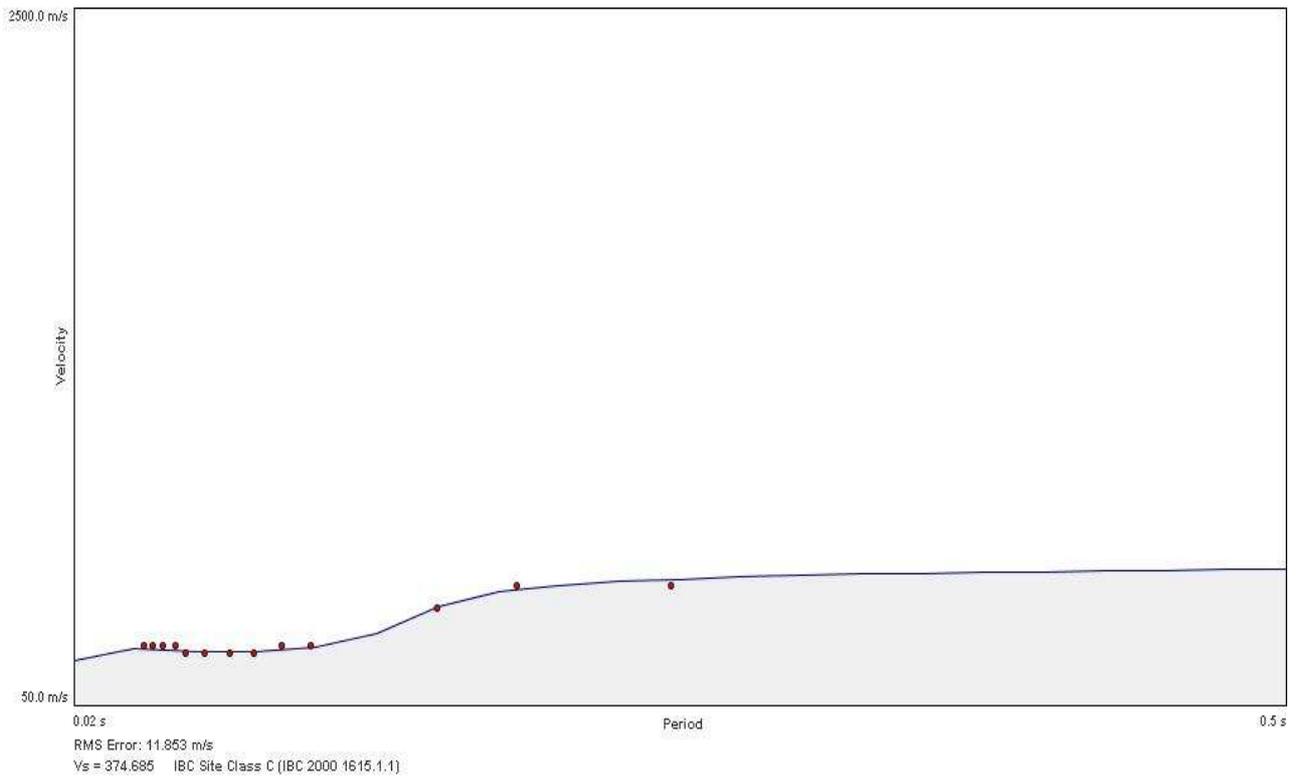


Fig. 3.3 – Curva di Dispersione - linea Ro03

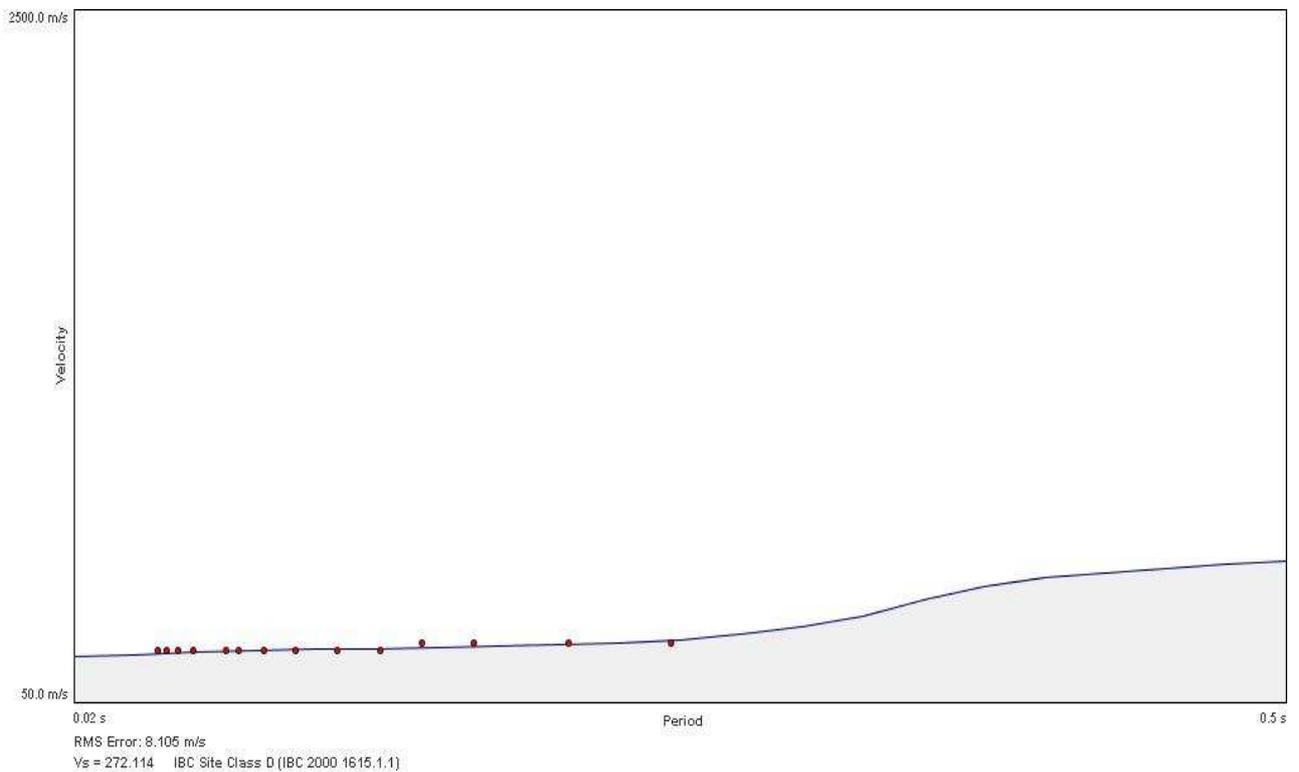


Fig. 3.4 – Curva di Dispersione - linea Ro04