

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

COMUNI DELLE TERRE DEI NAVIGLI
*(Azzanello, Cappella Cantone, Casalbuttano ed Uniti, Castelvisconti,
Cumignano sul Naviglio, Genivolta, Paderno Ponchielli, Soresina, Trigolo)*

Provincia di Cremona

PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO
*(L.R. 11.3.05 N.12, art. 57, D.G.R. 22.12.05 N. 8/1566, Criteri attuativi,
Componente geologica, sismica e idrogeologica e ss.mm. e ii.)*

Zona sismica 4
(livello minimo di pericolosità)

RAPPORTO GEOFISICO

ALLEGATO 9



IL GEOLOGO
DOTT . GIOVANNI BASSI
LUGLIO 2008

Collaboratore: Dott. Ph.D. Marco Rinaldi

INDICE CAPITOLI	pag.
1. Premessa	2
2. Cenni sulla Metodologia dei Microtremori	2
3. Strumentazione e Software	2
4. Elaborazione dati	3
5. Metodologia di Calcolo	4
6. Descrizione dei risultati	5
7. Conclusioni	7
8. Grafici relativi ai singoli Comuni	9

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

Tra il 2 ed il 3 Maggio 2008, sono state eseguite prove sismiche mediante microtremori, in 13 aree di 8 comuni del Consorzio dei Navigli (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. Tutti i comuni del Consorzio sono inseriti 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 da 24 geofoni, con frequenza naturale di 4.5 Hz, spazati di 5 metri.

Per ogni 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 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, in particolare nell'allegato 5, che si può sintetizzare come segue:

- Dalle informazioni litologiche e geotecniche e dalla distribuzione delle Vs si individua il tipo di suolo di fondazione a cui appartengono i depositi dell'area (a, b, c, d, e), utilizzando la classificazione delle norme tecniche del DM 14-09-2005. 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.
- 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 5 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. Purtroppo tra le schede litologiche non è stata ancora elaborata una scheda specifica per i depositi sabbiosi che, nelle aree d'indagine, risultano predominanti almeno nei primi 40-50. Quando si verifica tale eventualità si utilizza la scheda dei limi sabbiosi 2, che è la più simile alla distribuzione di velocità delle 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 (vedi figura 01) 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 per i bassi periodi, 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 di II livello è terminata con esito positivo altrimenti si segnalerà la necessità, in fase progettuale, di passare ad analisi di III livello o di inserire l'area in oggetto nella classe sismica superiore.

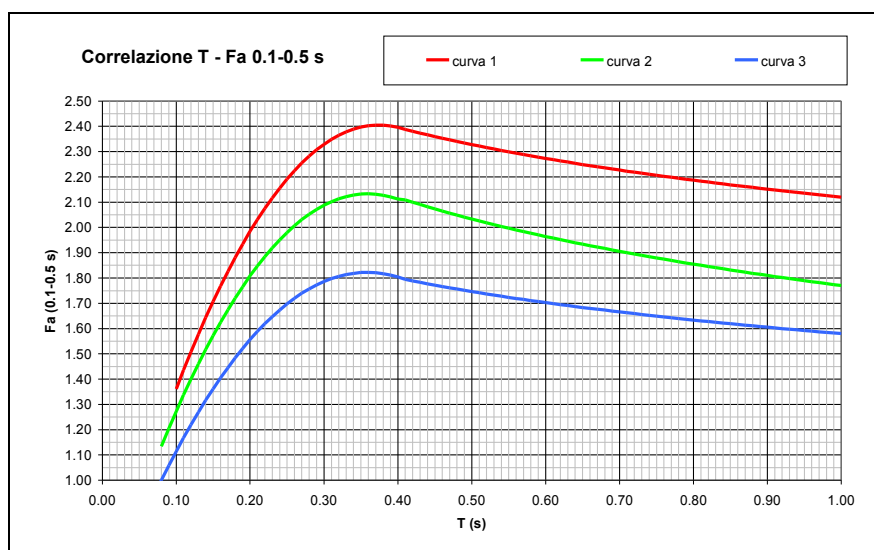


Fig. 01 – Curve di correlazione Periodo- F_a (scheda litologica limi sabbiosi 2) – Il tratto polinomiale viene scelto per periodi ≤ 0.40 s, il tratto logaritmico è calcolato per periodi superiori.

6. Descrizione dei Risultati

Tutti i rilievi sono stati effettuati mediante stendimenti di 24 geofoni da 4,5 Hz spaziat i di 5 m, per una lunghezza totale di 115 m.

Nella seguente tavola (Tab. 1) è riportata una sintesi delle indagini eseguite. I comuni sono riportati in ordine alfabetico.

Num.	Comune	Linea	Posizione
1	Cappella Cantone	Cap-1	S. Maria dei Sabbioni
2	Casalbuttano	Casbut-1	Centro
3		Casbut-2	Area industriale
4	Castelvisconti	Csv-1	Zona ovest
5	Cumignano	Cum-1	Cimitero
6	Genivolta	Gen-1	Area industriale - Sud
7	Paderno Ponchielli	Pad-1	Zona est
8	Soresina	Sor-1	Zona nord-ovest
9		Sor-2	Zona nord
10		Sor-3	Zona est
11		Sor-4	Zona ovest
12		Sor-5	Zona sud
13	Trigolo	Trig-1	Zona ovest

Tab. 1 – Sintesi linee sismiche

In tavola 2 sono riportati i dati di velocità e profondità dei singoli strati (profondità in m e velocità in m/s) di ogni linea.

Linea	Strato 1		Strato 2		Strato 3		Strato 4	
	H1	Vs1	H2	Vs2	H3	Vs3		Vs4
Cap -1	15	235	40	270		800		
Csb-1	10	170	45	250		800		
Csb-2	6.5	150	33	270		800		
Csv-1	5	210	40	260		800		
Cum-1	9.5	145	35	300		800		
Gen -1	15	260	38	300		800		
Pdp -1	10	210	47	230		800		
Srs-1	6.0	270	17	190	50	270		800
Srs-2	20	235	40	310		800		
Srs-3	14	235	35	290		800		
Srs-4	15	235	35	270		800		
Srs-5	8.0	180	35	280		800		
Trg -1	5	180	35	240		800		

Tab. 2 – distribuzione verticale delle Vs

In generale, nei siti analizzati si sono rilevate caratteristiche piuttosto simili:

- I modelli delle Vs sono generalmente risultati a 3 strati, con velocità crescenti in profondità, ad eccezione della linea srs-1 in cui si rilevano 4 strati con inversione di velocità al secondo strato.
- I suoli di fondazione definiti in base alla V_{s30} (velocità medie delle Vs tra 0 e 30 m di profondità) risultano di tipo **C** (sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza – $180 < V_{s30} < 360$ m/s).
- Il primo strato ha uno spessore molto variabile tra 5.0e 15.0 m, con velocità comprese tra 170 e 270 m/s, caratteristiche di un grado di addensamento piuttosto. Il secondo strato (il terzo per la linea srs-1) presenta velocità tra 260 e 310 m/s e si sviluppa fino a profondità variabili tra 33 e 50 metri. Queste caratteristiche di velocità indicano una composizione litologica prevalentemente sabbiosa.
- Il substrato veloce (ossia lo strato alla cui superficie non si verifica amplificazione litologica), con velocità ≥ 800 m/s non è rilevabile con chiarezza in tutte le linee, pertanto si è calcolato, tramite modellizzazione, la profondità minima a cui dovrebbe trovarsi il substrato per essere compatibile con i dati del picking. Tali profondità sono da considerare come le minime profondità possibili del substrato. Comunque, anche nel caso di profondità superiori i valori di periodo ed Fa, calcolati nelle successive fasi di elaborazione, pur con variazioni significative, non modificherebbero i risultati rispetto ai valori di Fa forniti dalla Regione Lombardia.
- Date queste caratteristiche, la scheda litologica con la distribuzione delle Vs più simile a quelle rilevate è la scheda dei limi sabbiosi 2. Per il calcolo del periodo è stata generalmente utilizzata la curva 1, determinata sulla base dello spessore e della velocità del primo strato. Per la linea srs-1, con inversione di velocità si ricade sulla curva 3. Poiché il periodo proprio del sito è risultato sempre superiore a 0.40 s, per gli edifici con periodo inferiore a 0.5 s, è stata utilizzata sempre la formula relativa al tratto logaritmico della curva.
- In conseguenza delle caratteristiche descritte, i valori del fattore di amplificazione, sia per gli edifici sia con periodo compreso tra 0.1 e 0.5 s, che per quelli con periodo superiore a 0.5 s, sono risultati maggiori di quelli previsti dalla regione Lombardia.

7. Conclusioni

Il risultato comune a tutte le zone indagate è che i valori di Fa calcolati sono più elevati di quelli forniti dalla regione Lombardia, per tutti gli edifici. Pertanto nell'area d'indagine, in fase di progettazione di edifici di interesse strategico o rilevante, si rendono necessarie indagini di III livello o in alternativa si adotteranno gli spettri di normativa della classe sismica superiore (classe 3).

In tabella 3 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. Nelle ultime due colonne sono riportati i valori soglia (di riferimento) forniti dalla regione Lombardia.

Linea	V_{s30}	Terreno di fondazione	Periodo (T_p)	Fa calcolato ($T=01-0.5$ s)	Fa calcolato ($T>0.5$ s)	Fa Regione ($T=01-0.5$ s)	Fa Regione ($T>0.5$ s)
Cap -1	251	C	0.62	2.3	1.5	0.8	1.3
Csb-1	216	C	0.78	2.2	1.6	0.8	1.2
Csb-2	230	C	0.54	2.3	1.5		
Csv -1	250	C	0.63	1.9	1.5	0.7	1.1
Cum-1	224	C	0.54	2.0	1.5	0.7	1.2
Gen -1	279	C	0.53	2.0	1.5	0.7	1.2
Pdp -1	223	C	0.83	2.2	1.5	0.8	1.3
Srs-1	234	C	0.79	1.6	1.6	0.8	1.3
Srs-2	256	C	0.59	2.3	1.5		
Srs-3	261	C	0.52	2.3	1.5		
Srs-4	251	C	0.55	2.3	1.5		
Srs-5	254	C	0.54	2.3	1.5		
Trg -1	227	C	0.60	2.3	1.5	0.8	1.3

Tab. 3 – V_{s30} , Terreno di Fondazione, T_p e Fa

7. Grafici relativi ai singoli Comuni

Cappella Cantone



Fig. 1 – Ubicazione linee sismiche (immagine Google Earth)

SPETTRO DI FREQUENZA

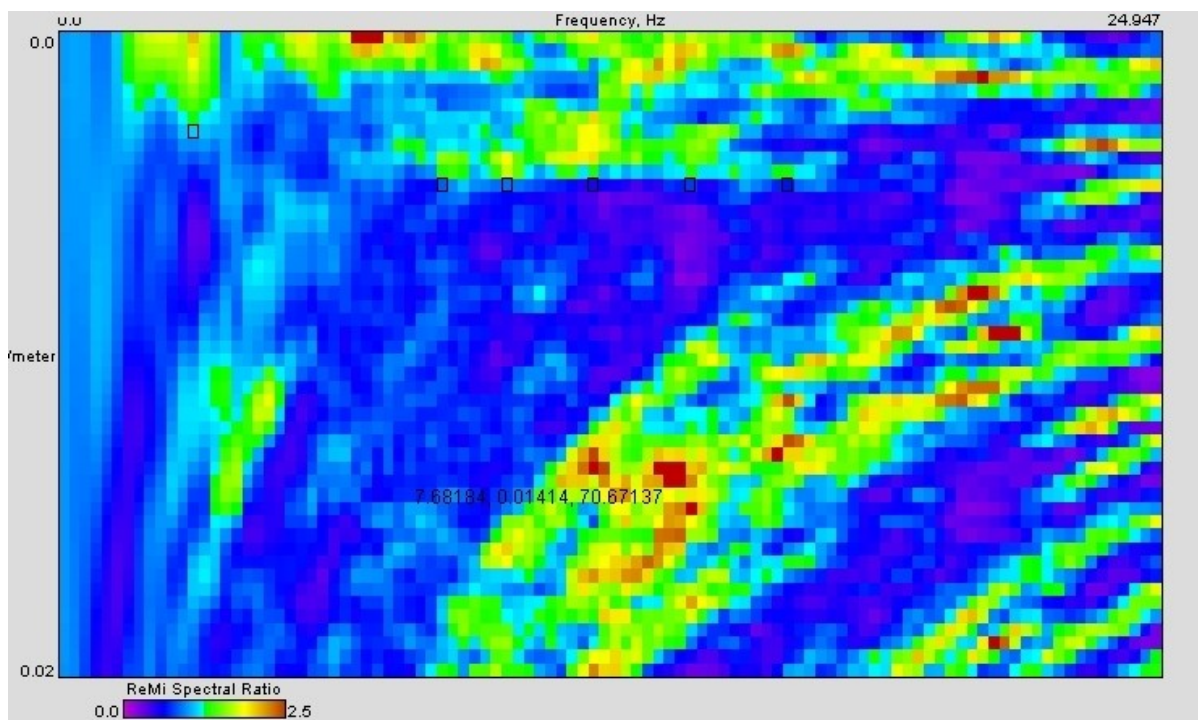


Fig. 2 - linea cap-1-02

MODELLI DI VELOCITÀ DELLE ONDE S

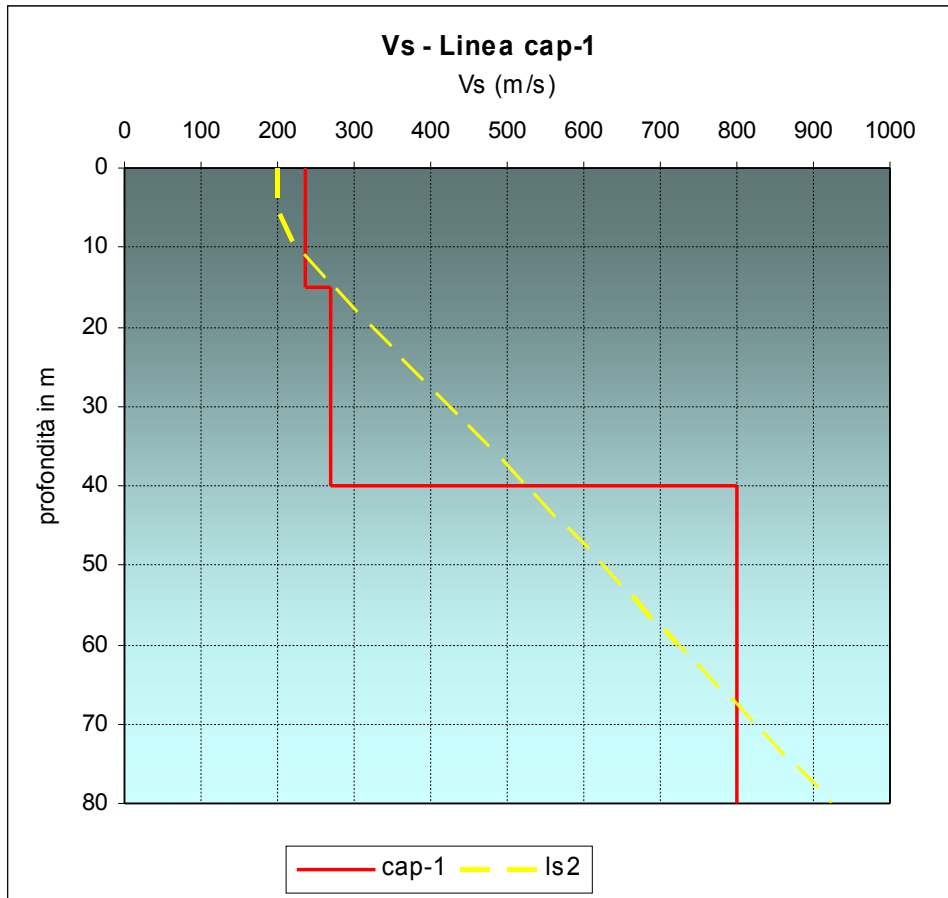


Fig. 3 – linea cap-1

CURVE DI DISPERSIONE E PICKING

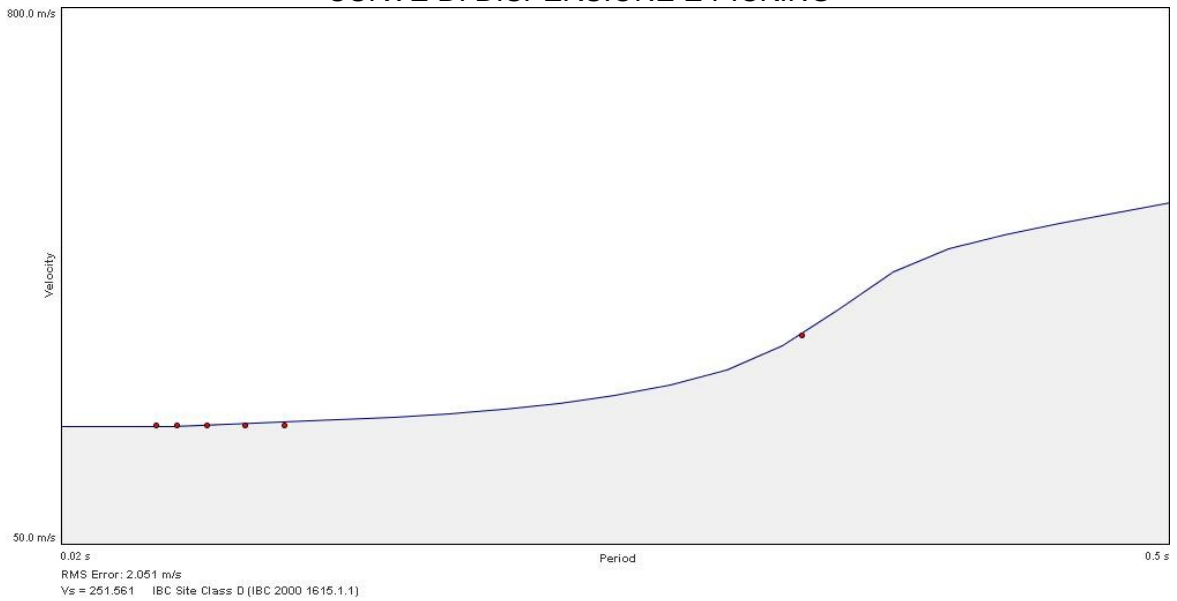


Fig. 4 – linea cap-1-02

Casalbuttano



Fig. 1 – ubicazione linee sismiche (Immagine Google Earth)

Fig. 2 - SPETTRI DI FREQUENZA

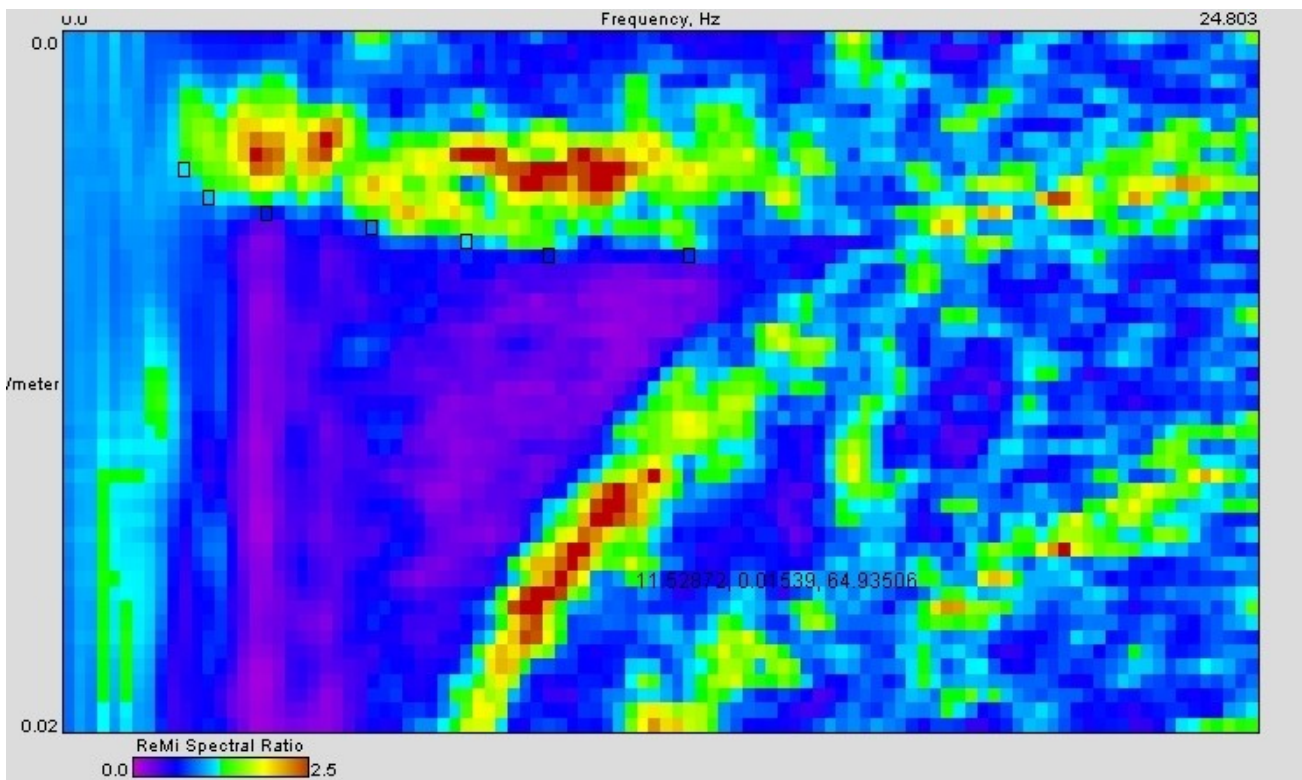


Fig. 2.1 - linea csb-1-06

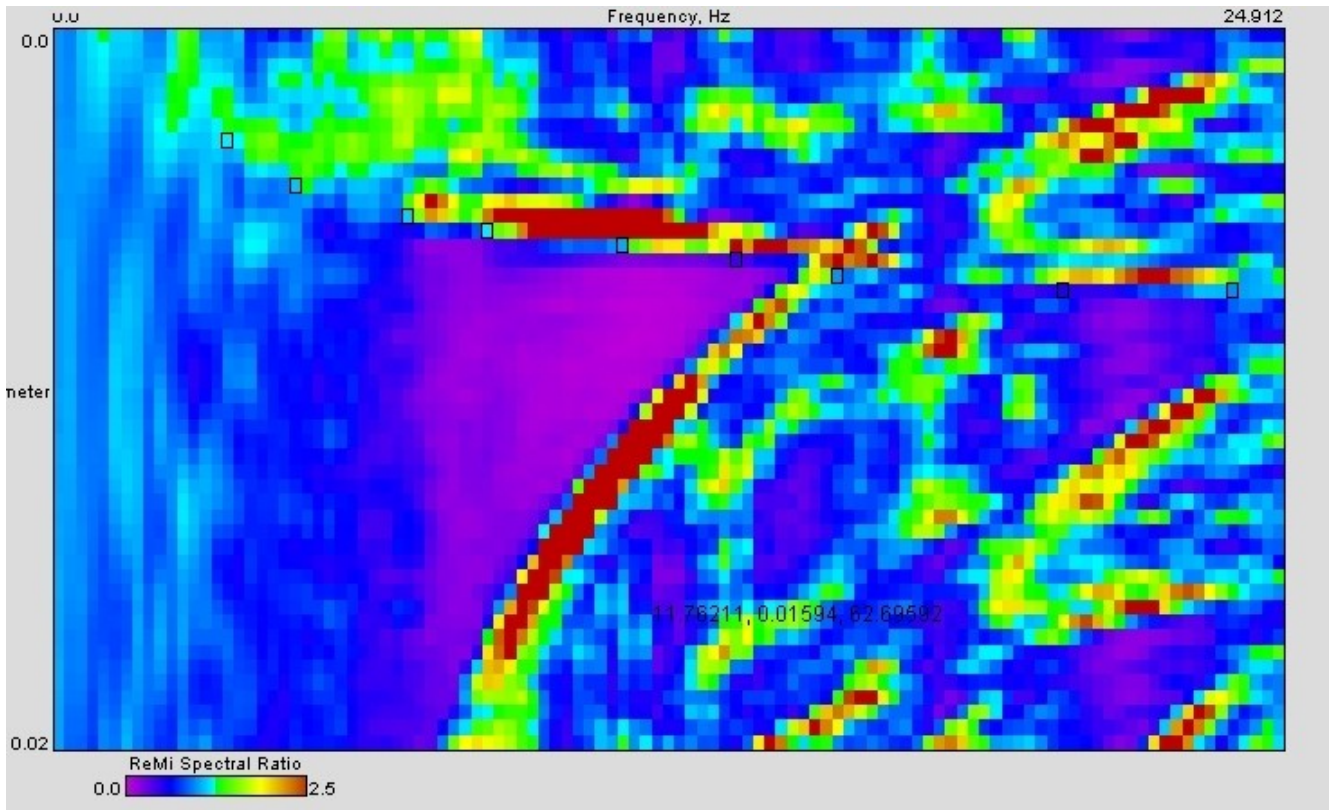


Fig. 2.2 - linea csb-2-02

FIG.3 - MODELLI DI VELOCITÀ DELLE ONDE S

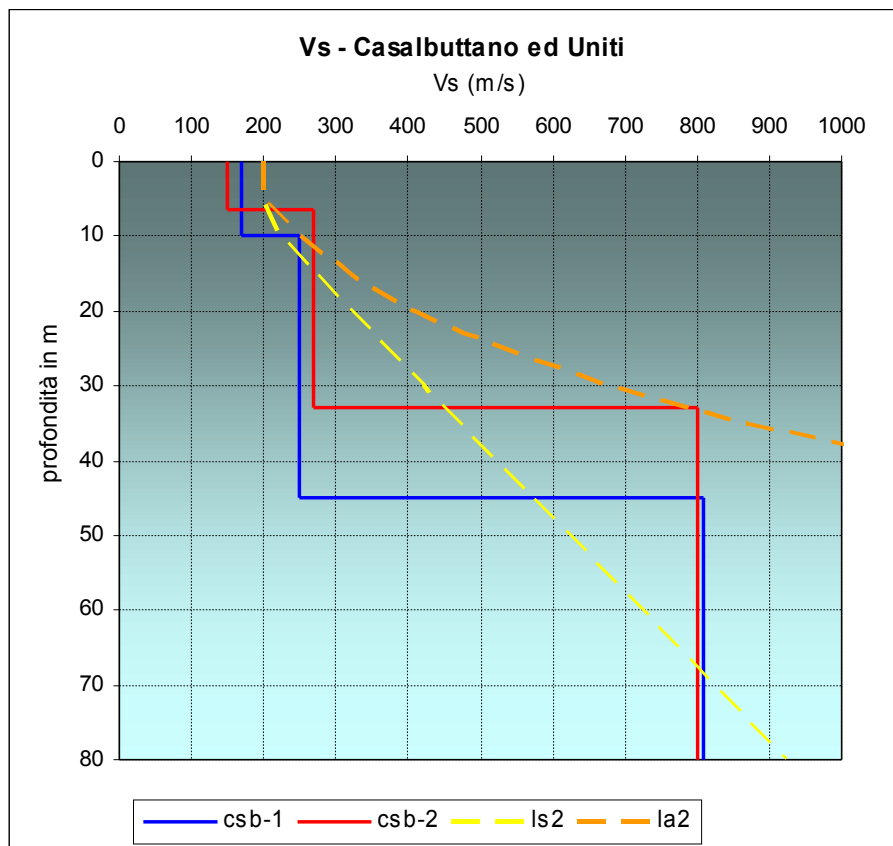


Fig. 3.1 – linee csb -1 – 2

FIG. 4 - CURVE DI DISPERSIONE E PICKING

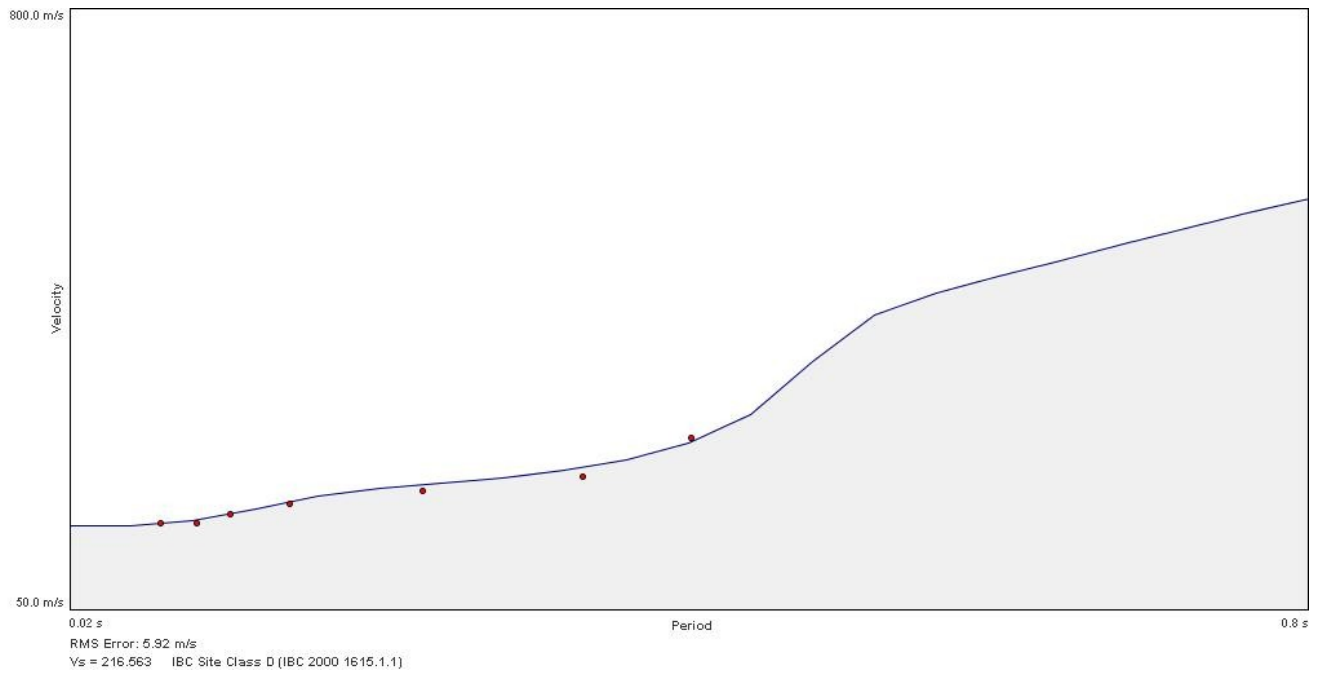


Fig. 4.1 – linea csb-1-06

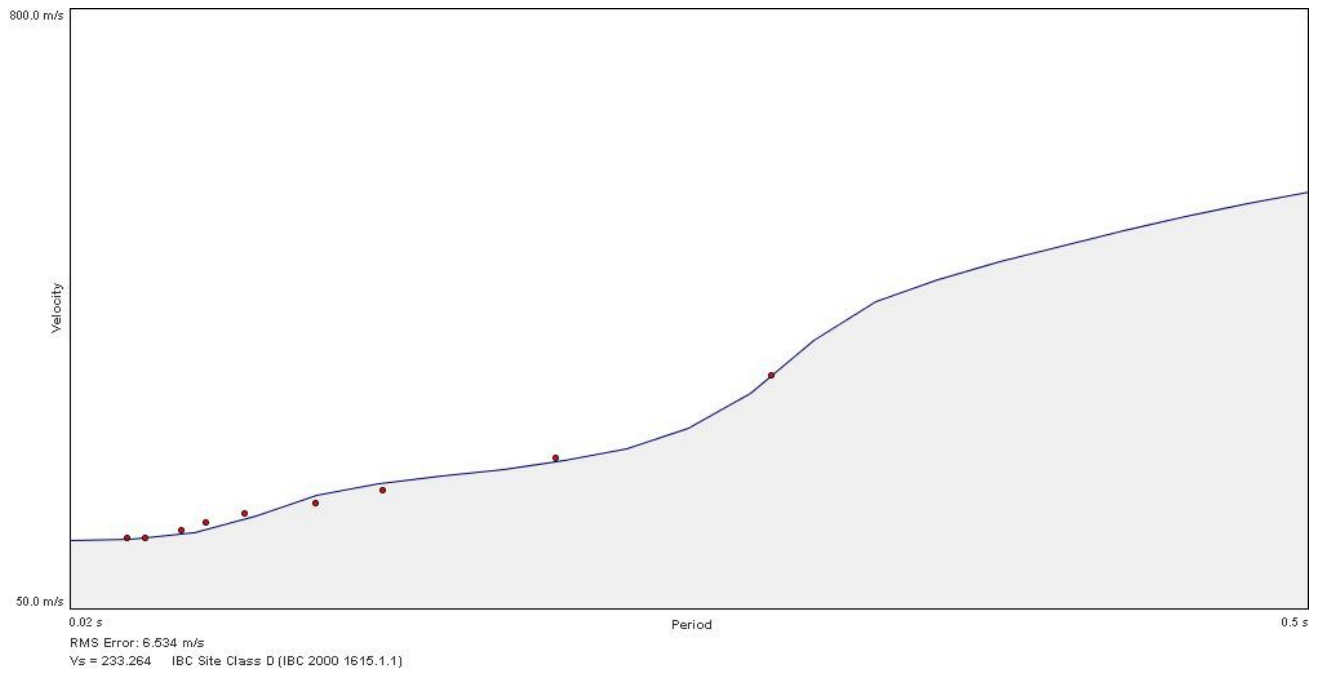


Fig. 4.2 – linea csb-2-02

Castelvisconti



Fig. 1 – Ubicazione linee sismiche (immagine Google Earth)

SPETTRO DI FREQUENZA

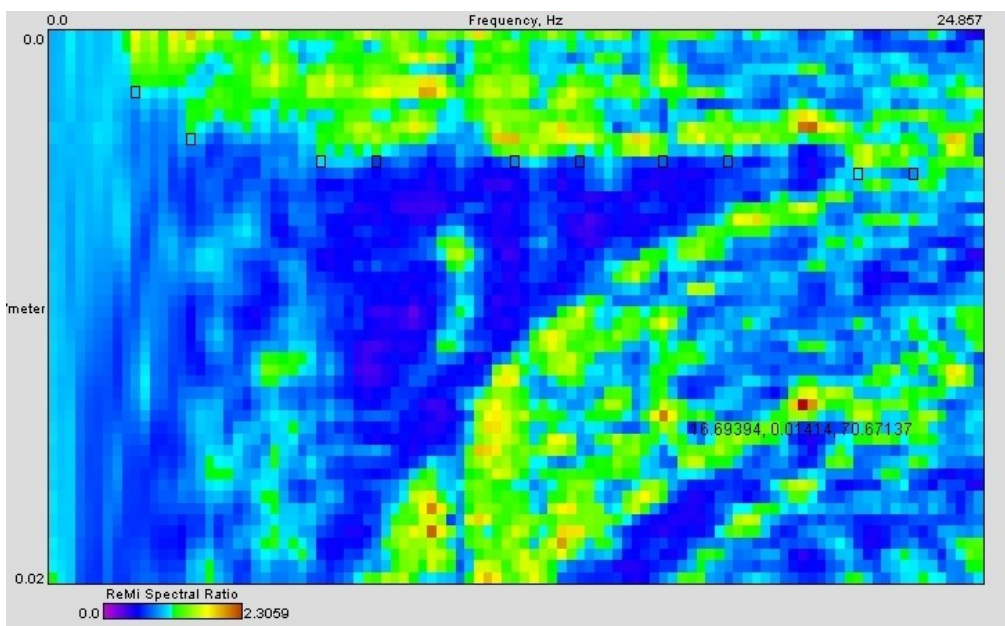


Fig. 2 - linea csv-1-08

MODELLI DI VELOCITÀ DELLE ONDE S

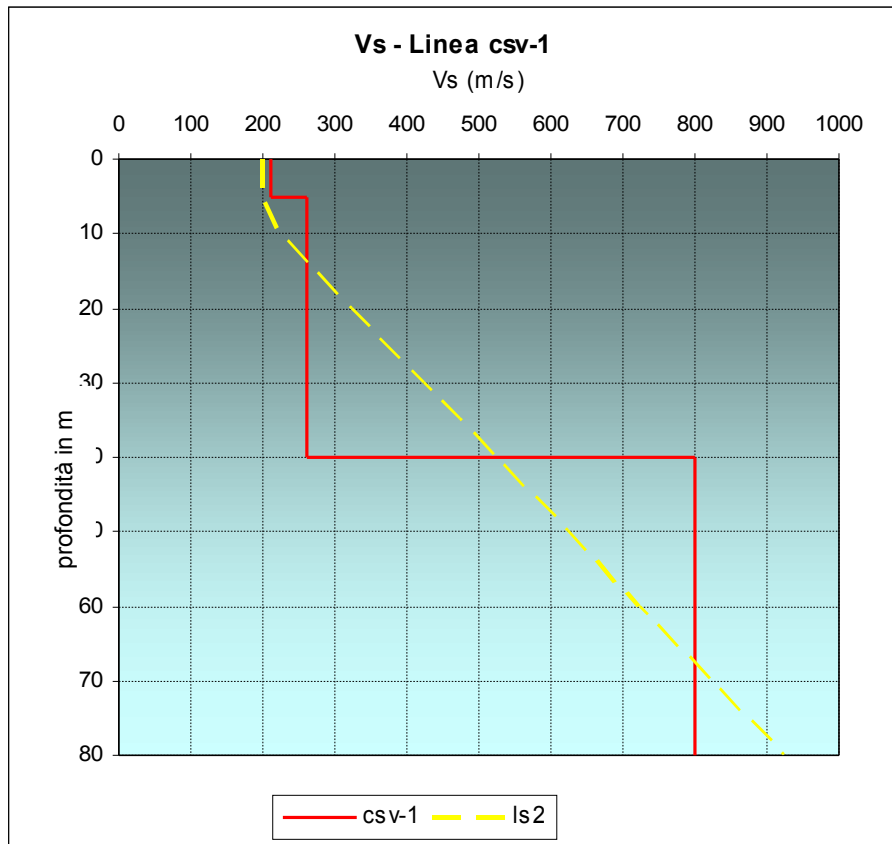


Fig. 3 – linea csv-1

CURVE DI DISPERSIONE E PICKING

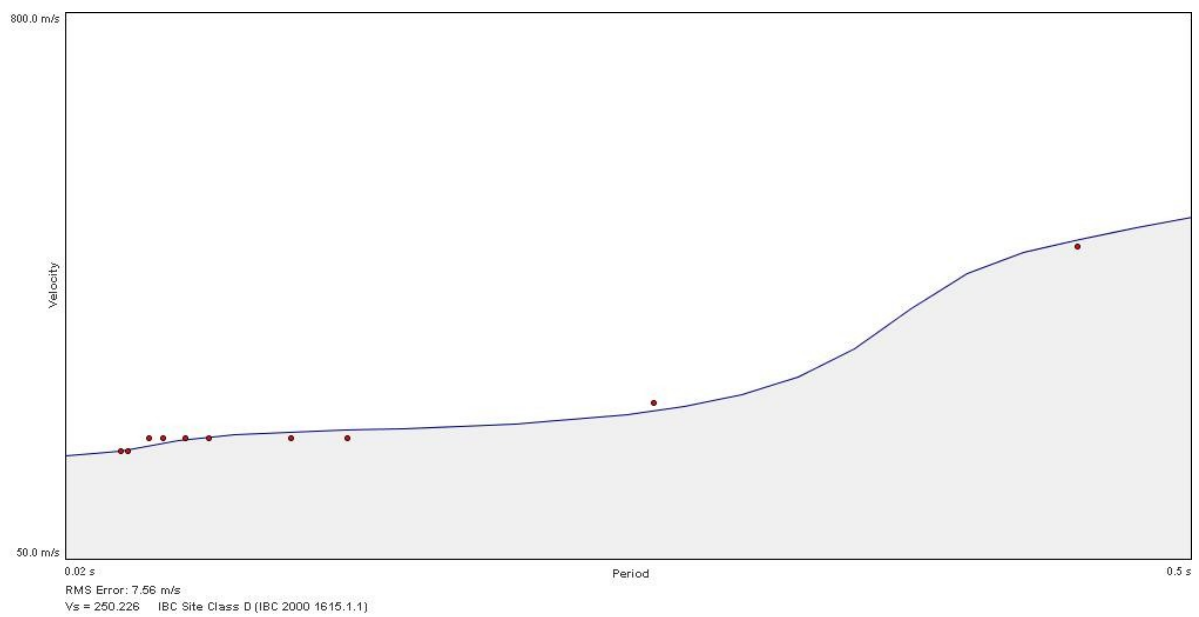


Fig. 4 – linea csv-1-0

Cumignano sul Naviglio



Fig. 1 – Ubicazione linee sismiche (immagine Google Earth)

SPETTRO DI FREQUENZA

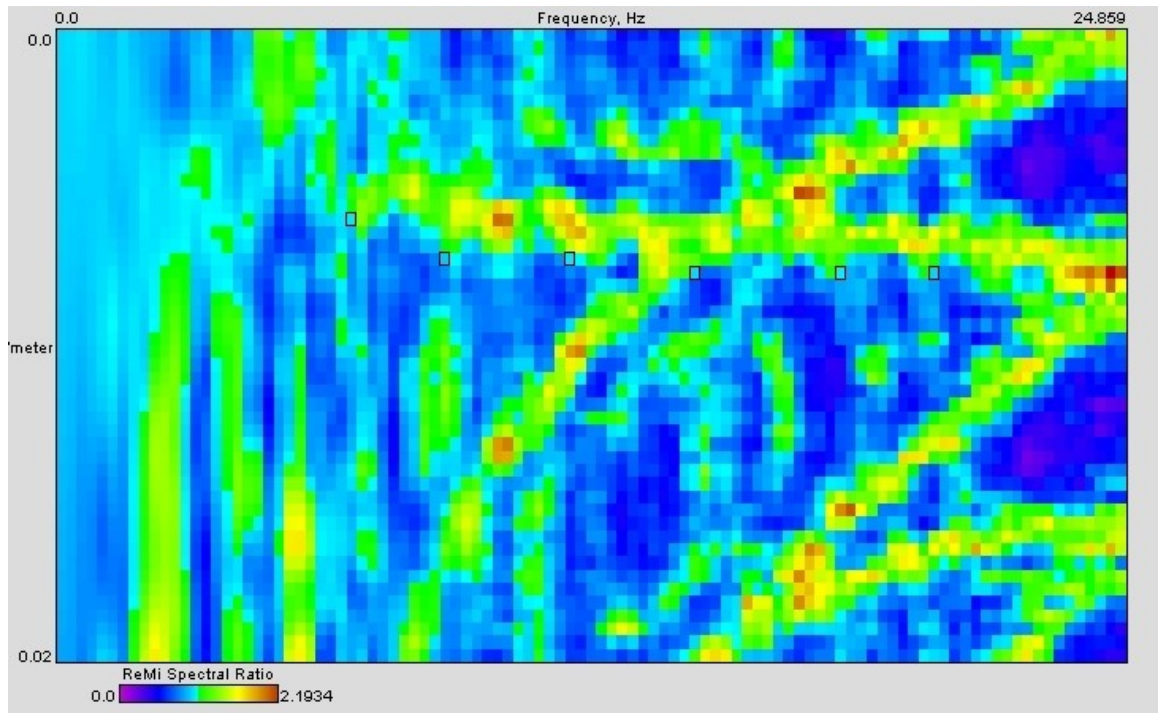


Fig. 2 - linea cum-1-03

MODELLI DI VELOCITÀ DELLE ONDE S

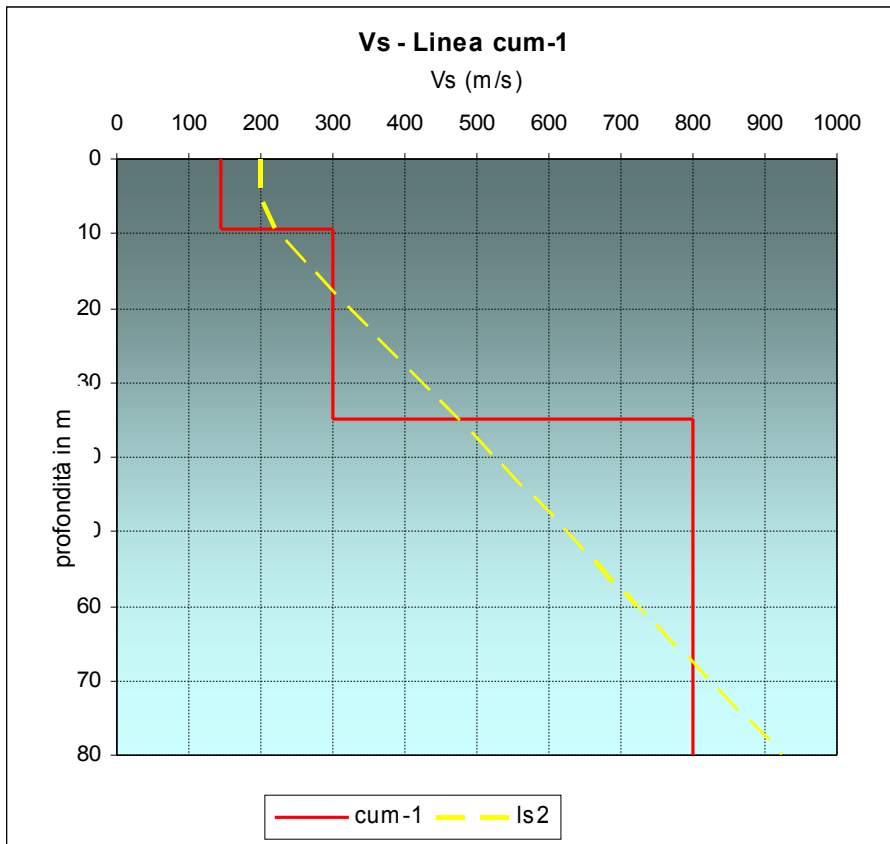


Fig. 3 – linea cum-1

CURVE DI DISPERSIONE E PICKING

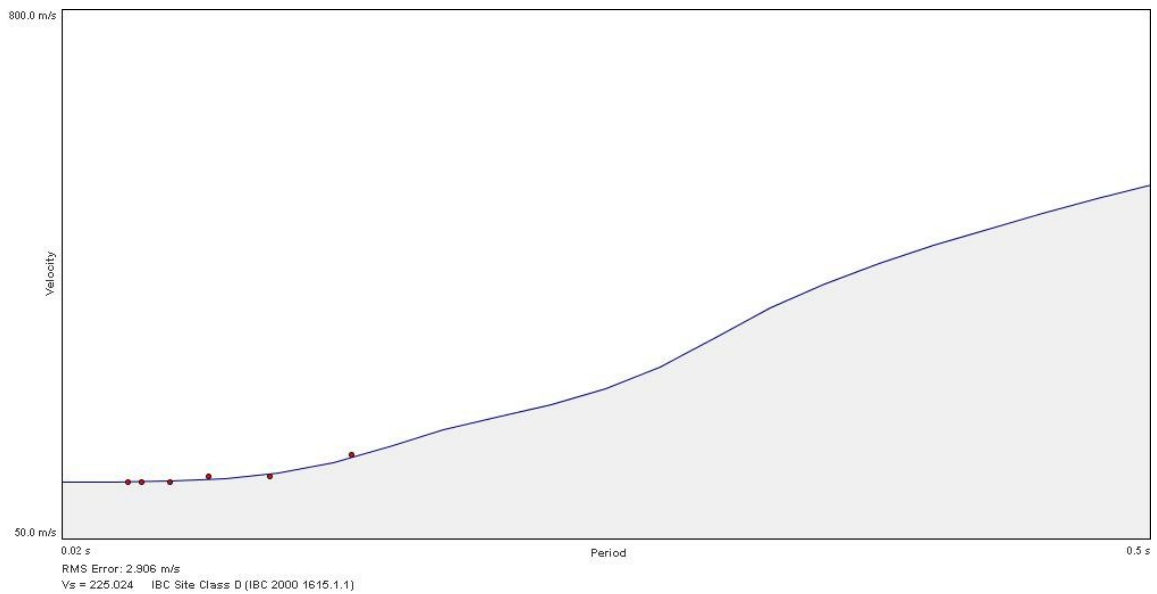


Fig. 4 – linea cum-1-03

Genivolta



Fig. 1 – Ubicazione linee sismiche (immagine Google Earth)

SPETTRO DI FREQUENZA

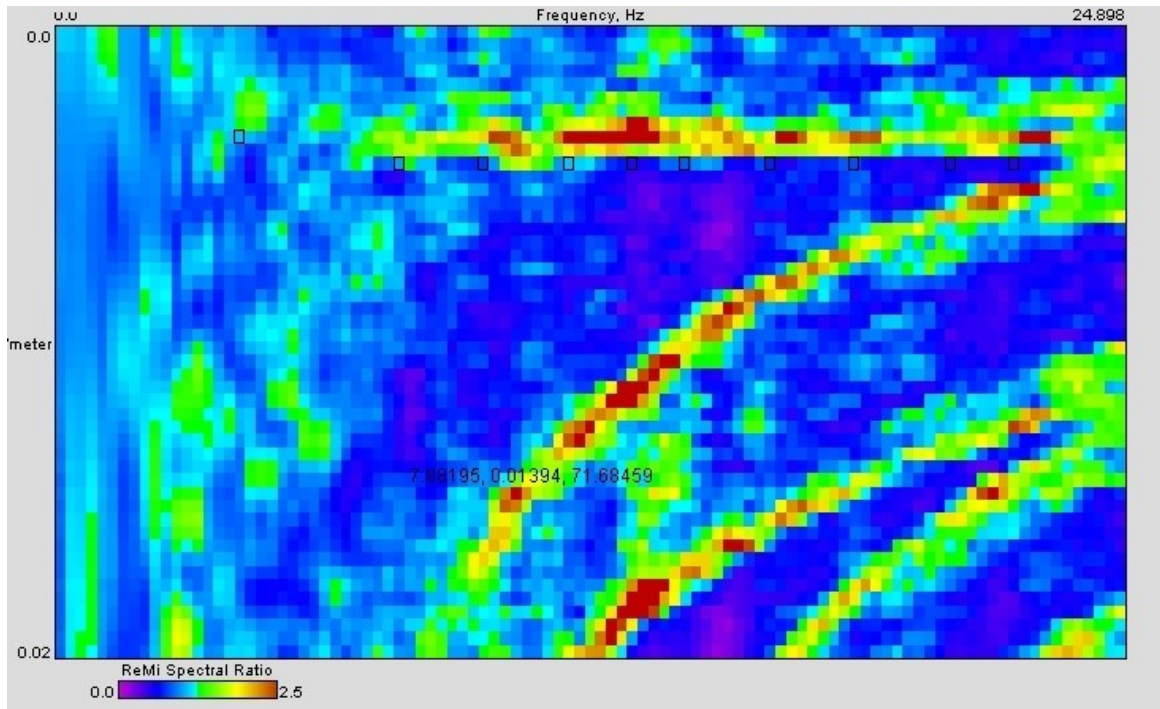


Fig. 2 - linea gen-1-03

MODELLI DI VELOCITÀ DELLE ONDE S

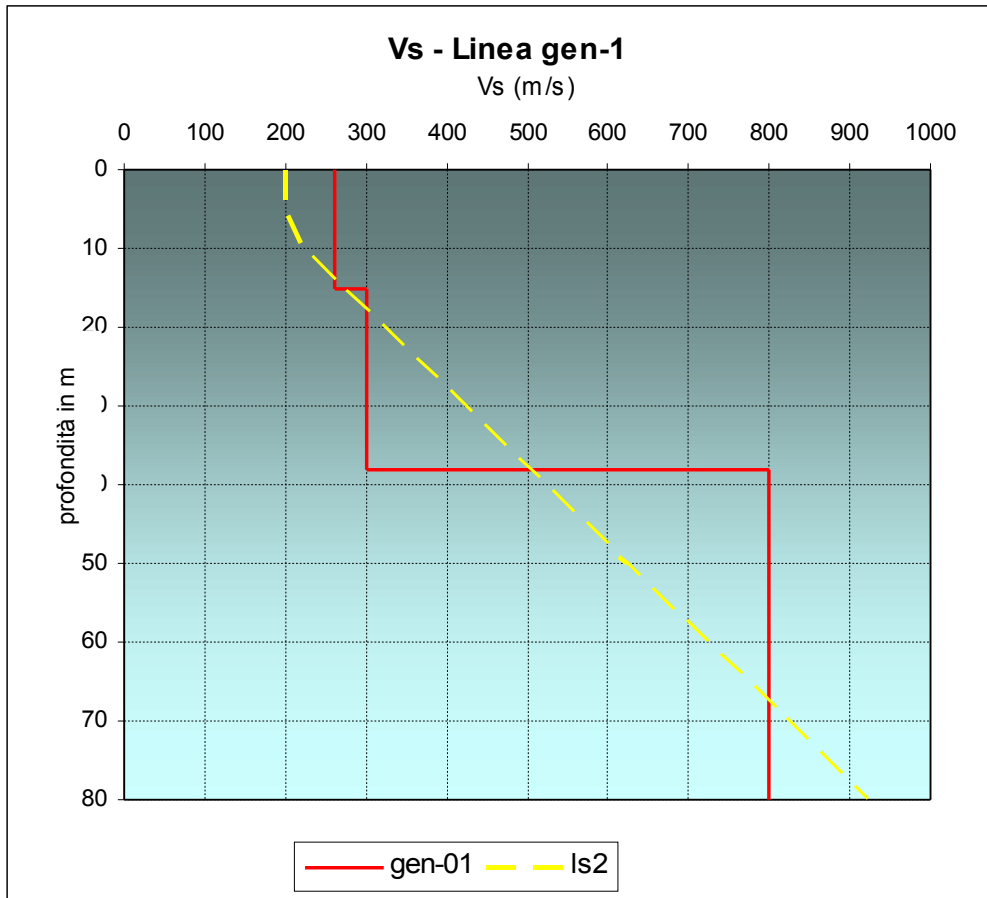


Fig. 3 – linea gen-1

CURVE DI DISPERSIONE E PICKING

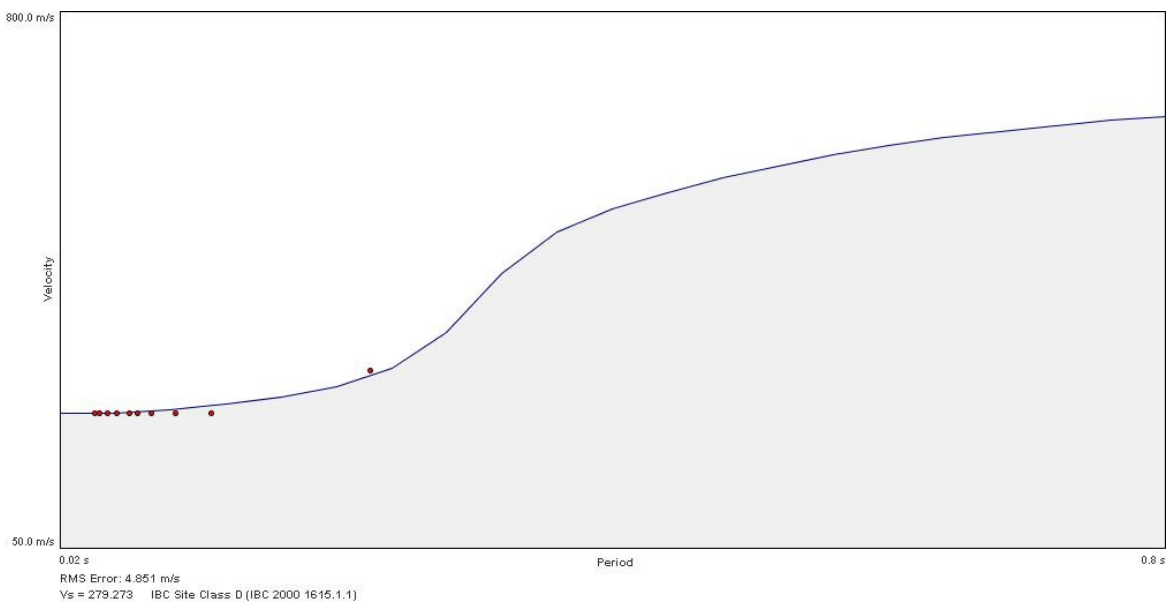


Fig. 4 – linea gen-1-03

Paderno Ponchielli



Fig. 1 – Ubicazione linee sismiche (immagine Google Earth)

SPETTRO DI FREQUENZA

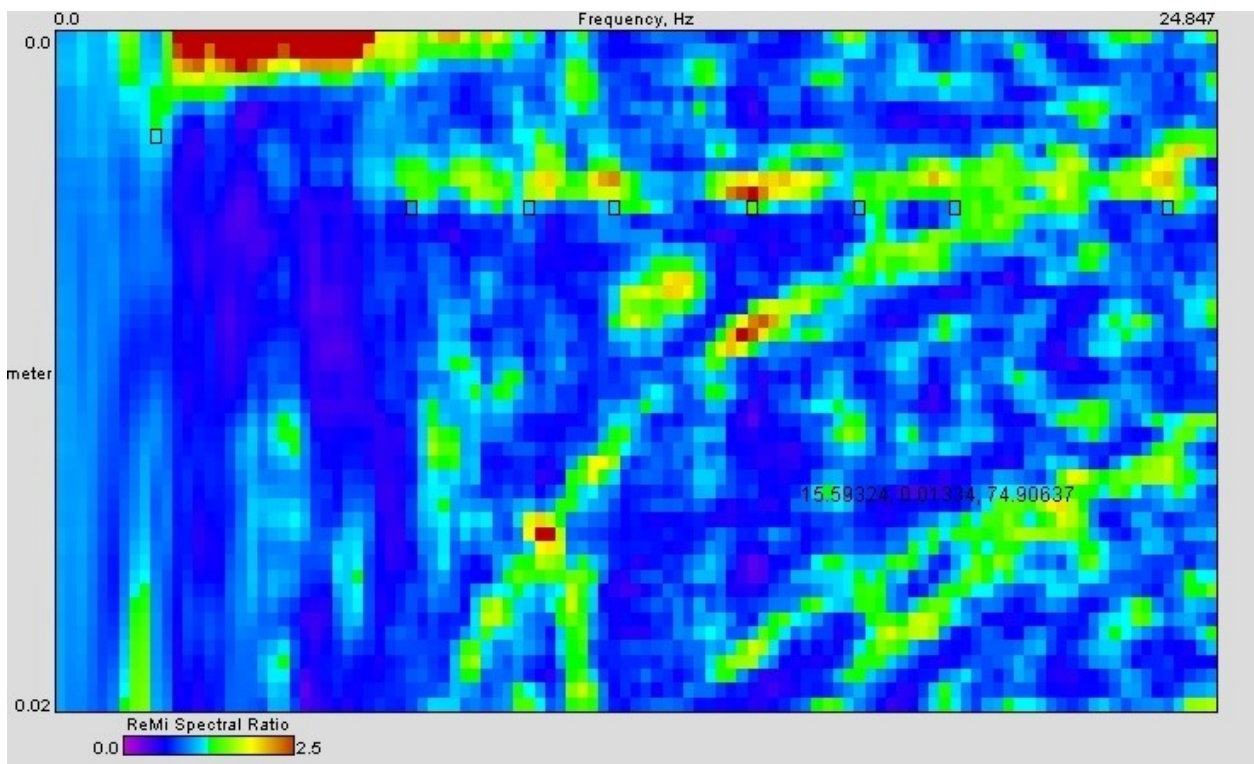


Fig. 2 - linea pdp-1-04

MODELLI DI VELOCITÀ DELLE ONDE S

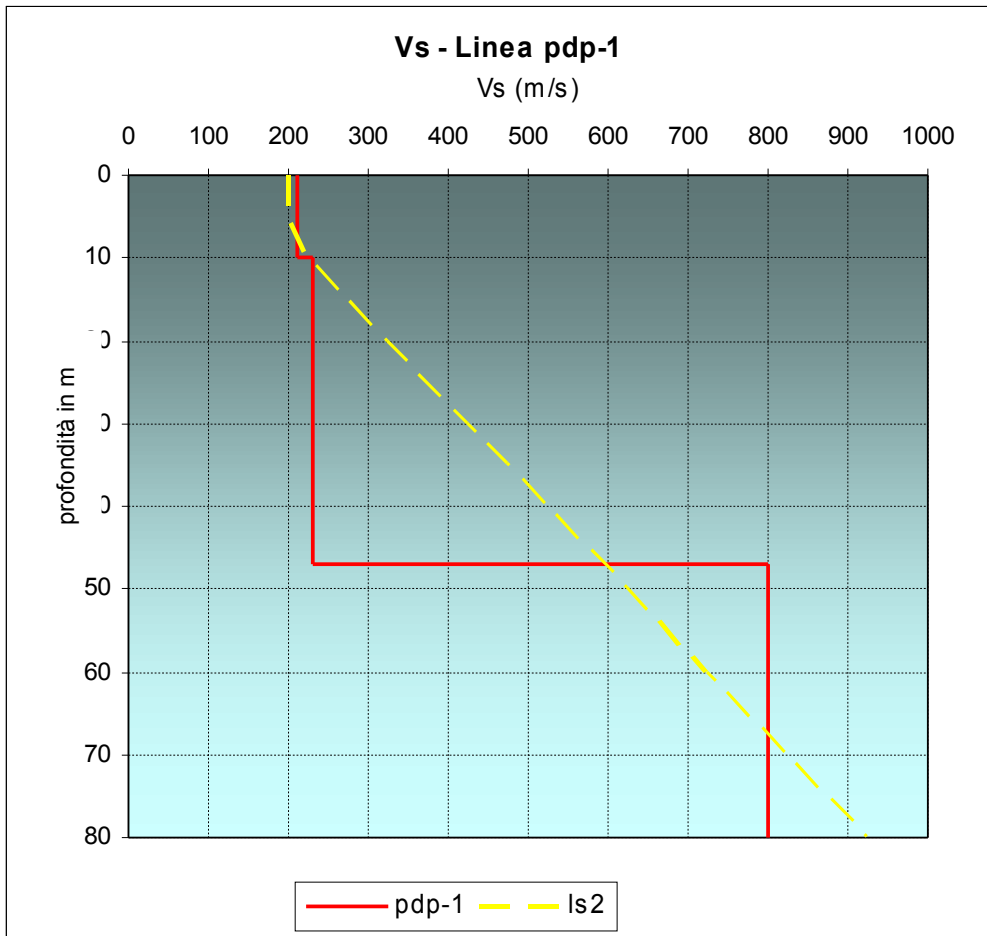


Fig. 3 – linea pdp-1

CURVE DI DISPERSIONE E PICKING

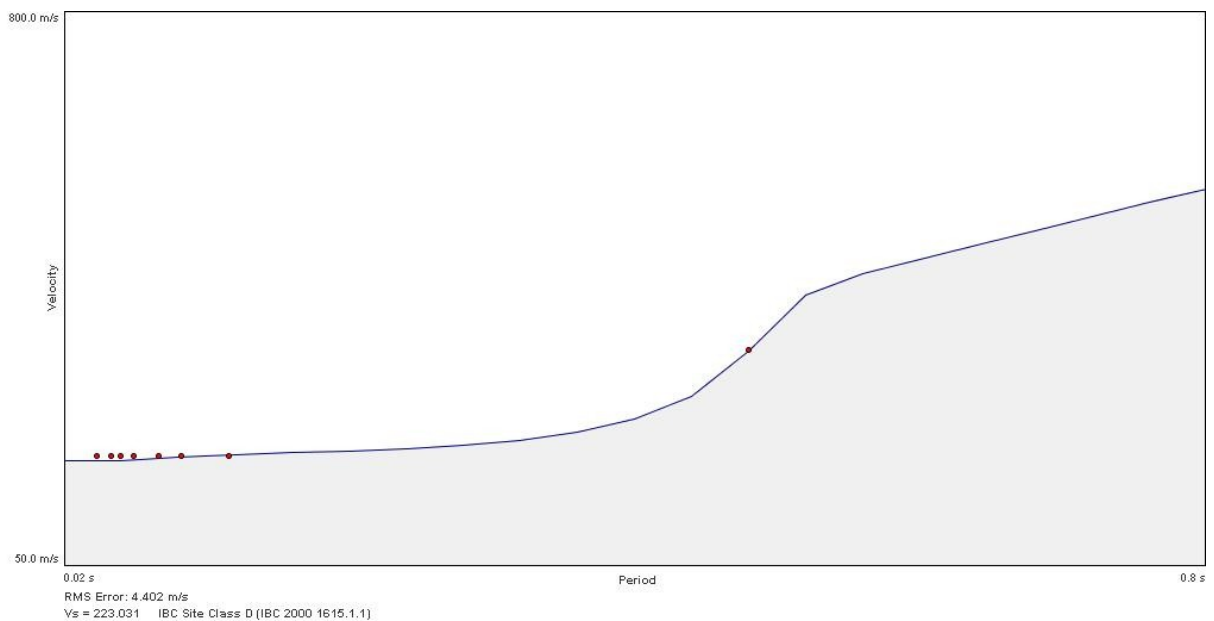


Fig. 4 – linea pdp-1-04

134-09-08

Soresina



Fig. 1 – ubicazione linee sismiche (Immagine Google Earth)

Fig. 2 - SPETTRI DI FREQUENZA

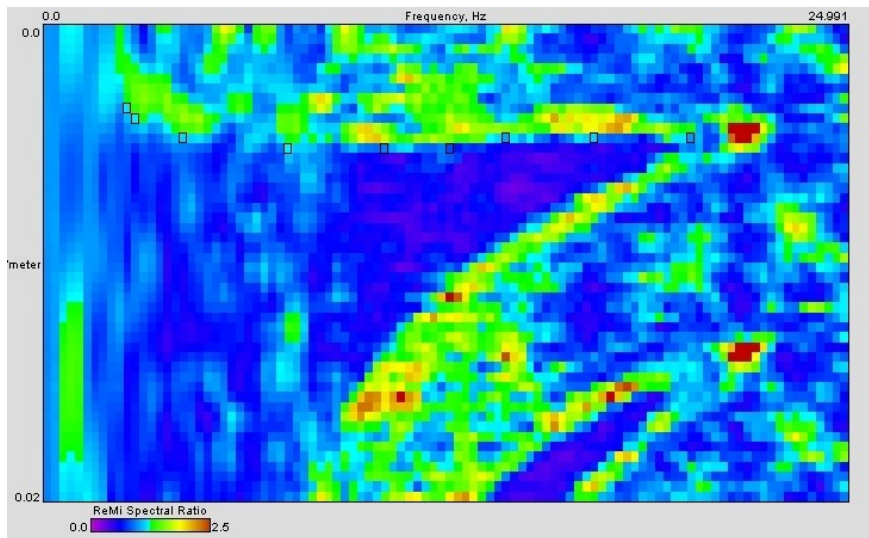


Fig. 2.1 - linea srs-1-10

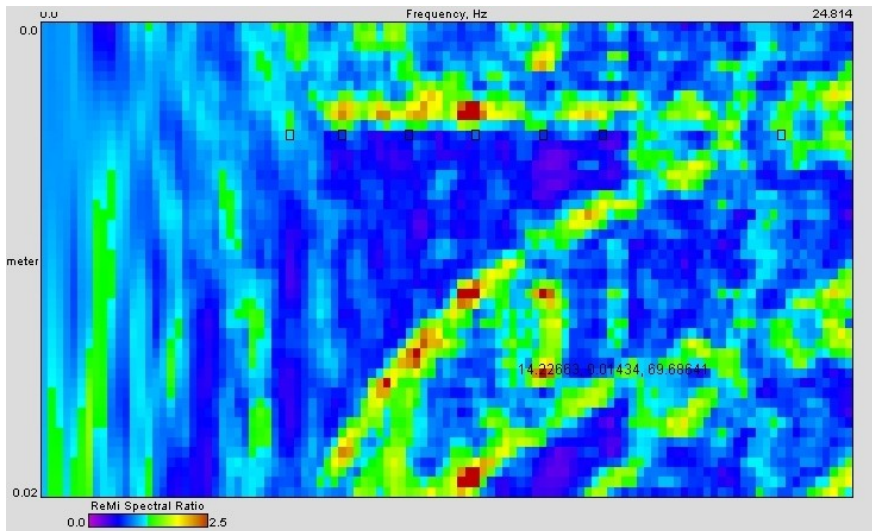


Fig. 2.2 - linea srs-2-09

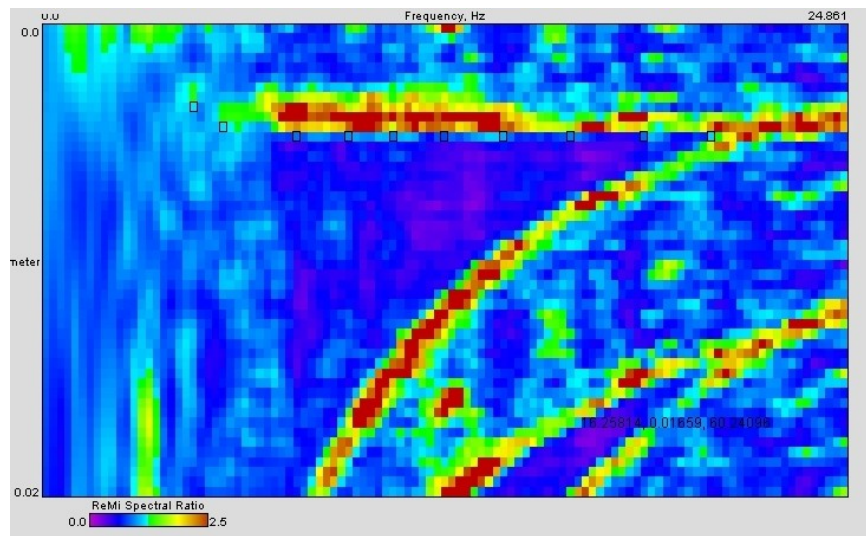


Fig. 2.3 - linea srs-3-09

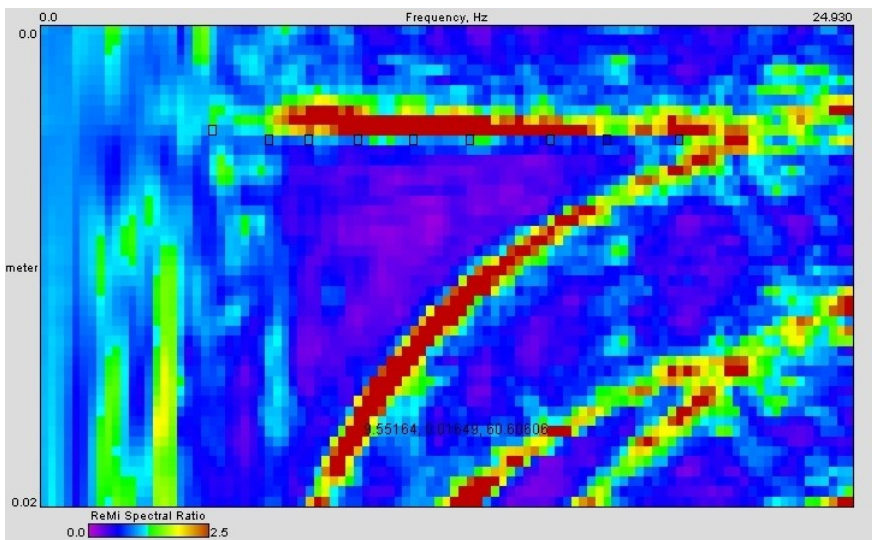


Fig. 2.4 - linea srs-4-06

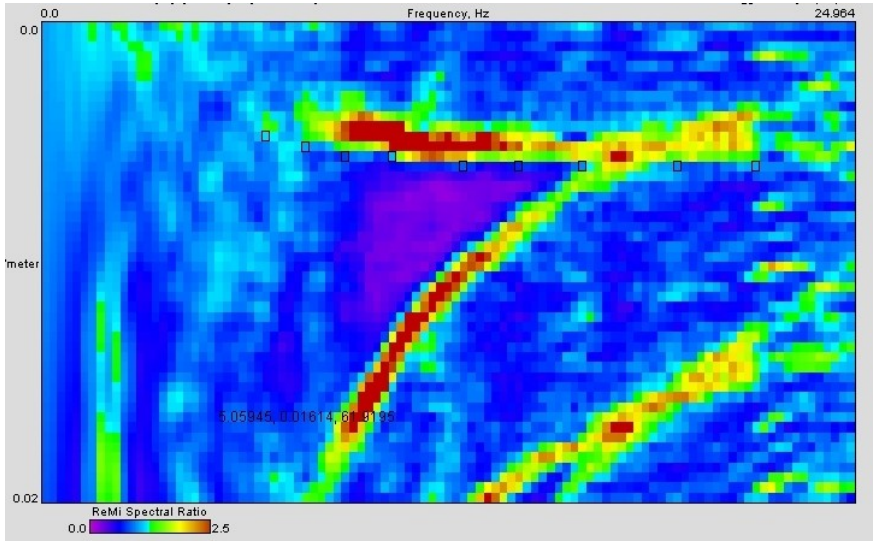


Fig. 2.5 - linea srs-5-05

FIG.3 - MODELLI DI VELOCITÀ DELLE ONDE S

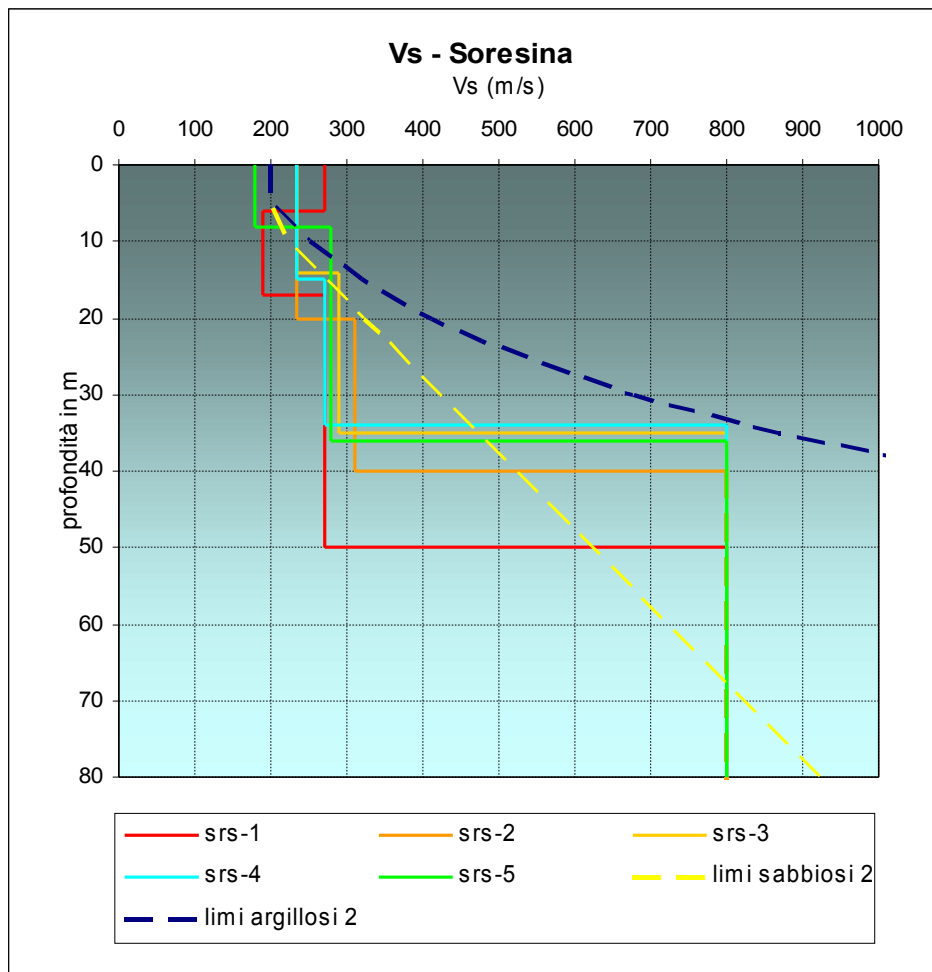


Fig. 3.1 – linee srs-1-2-3-4-5

FIG. 4 - CURVE DI DISPERSIONE E PICKING

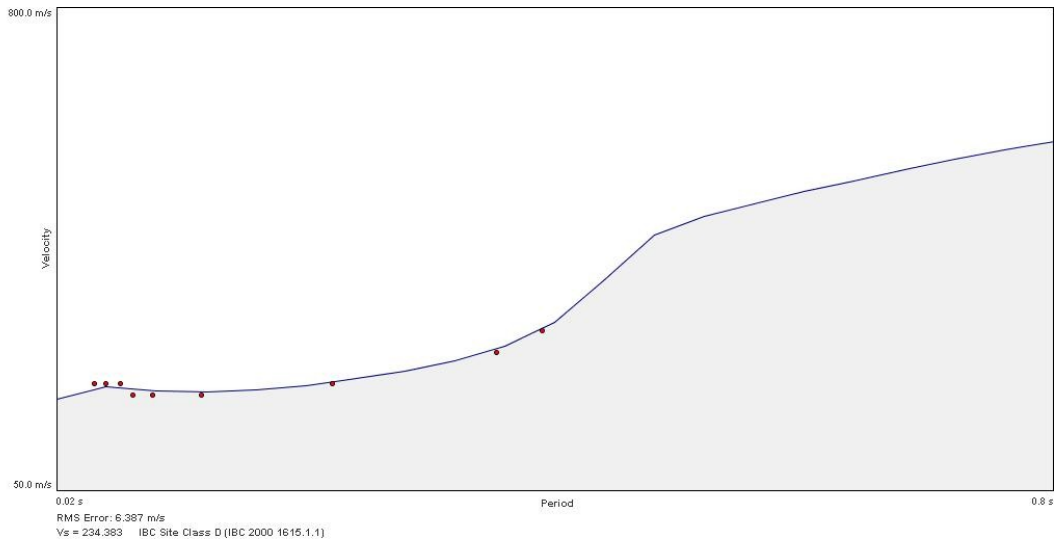


Fig. 4.1 – linea srs-1-10

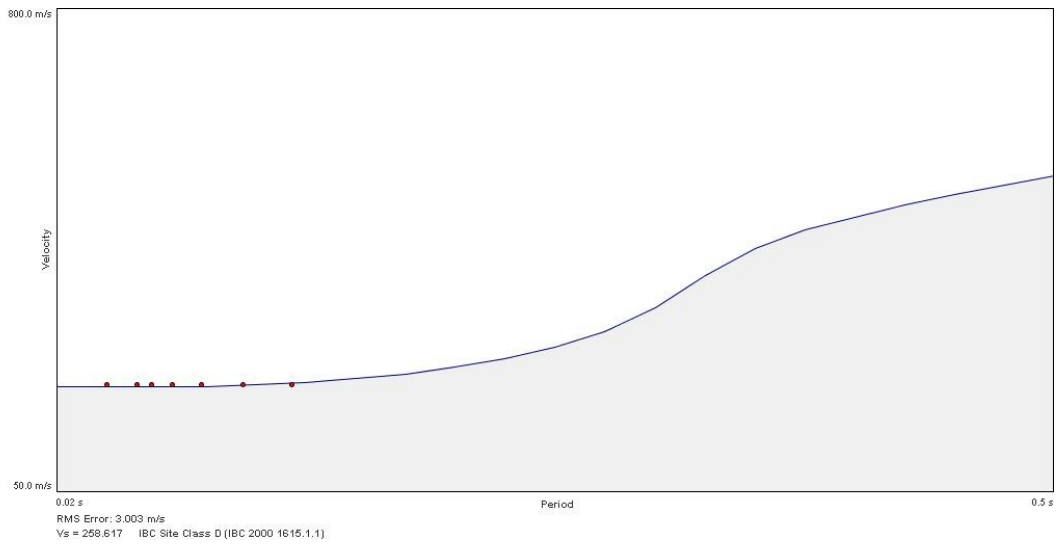


Fig. 4.2 – linea srs-2-09

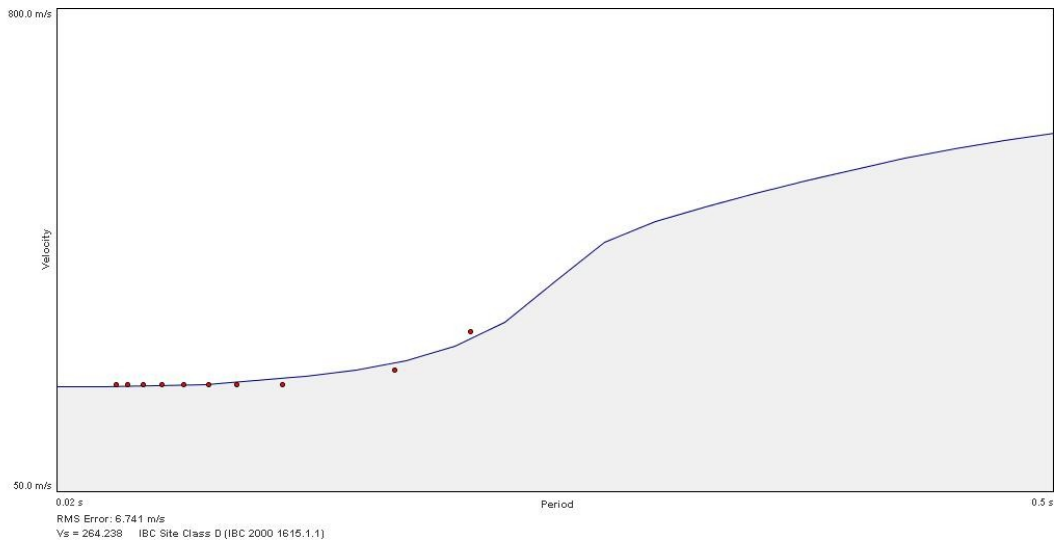


Fig. 4.3 - linea srs-3-09

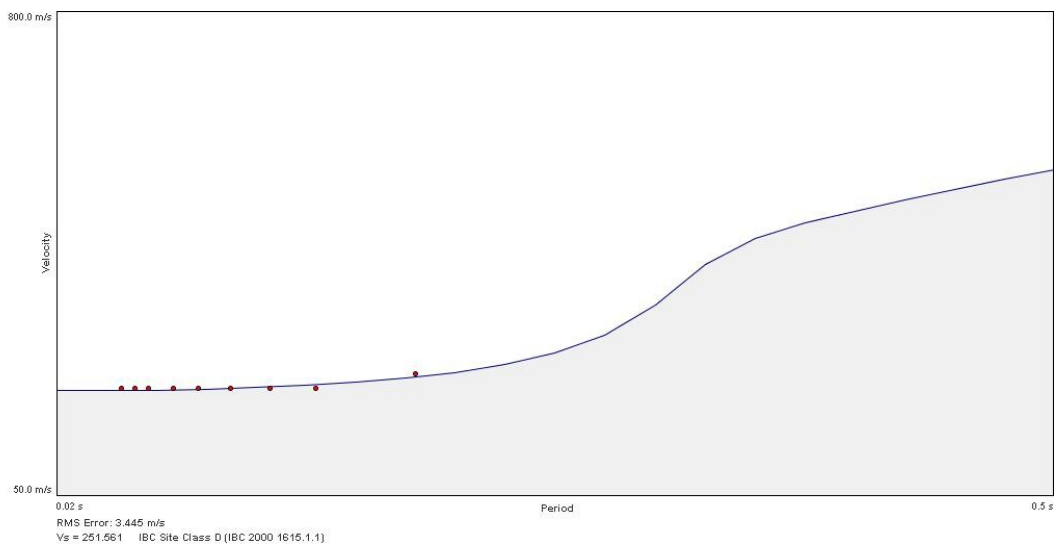


Fig. 4.4 - linea srs-4-06

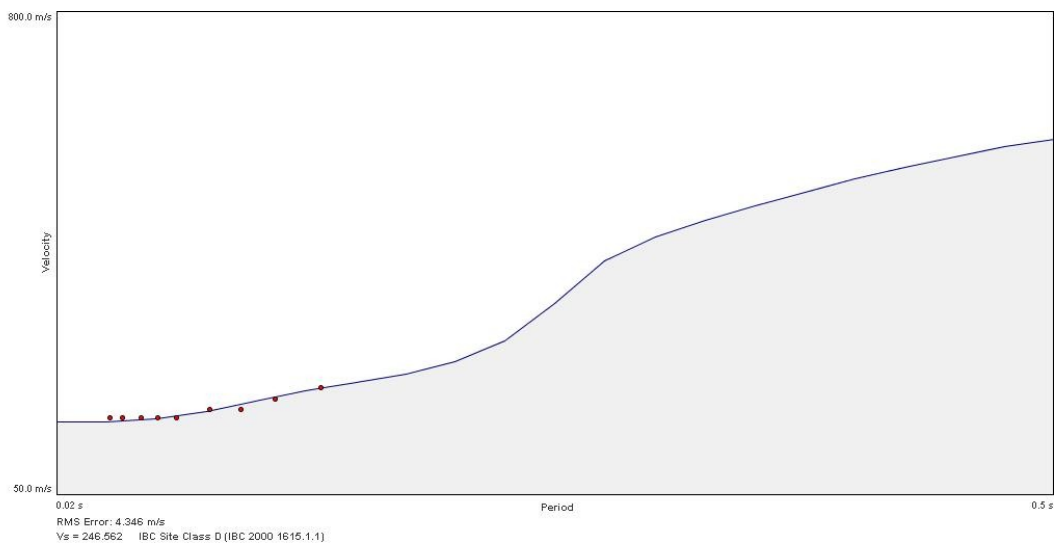


Fig. 4.5 - linea srs-5-05

Trigolo



Fig. 1 – Ubicazione linee sismiche (immagine Google Earth)

SPETTRO DI FREQUENZA

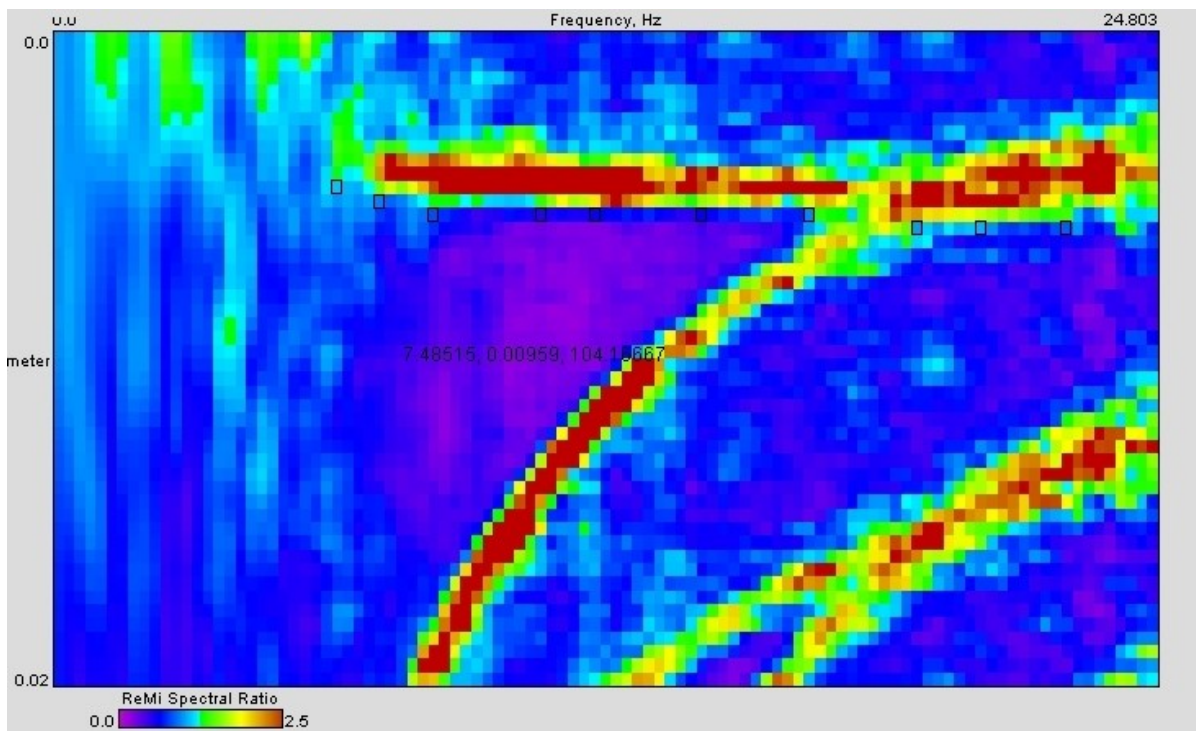


Fig. 2 - linea trg-1-01

MODELLI DI VELOCITÀ DELLE ONDE S

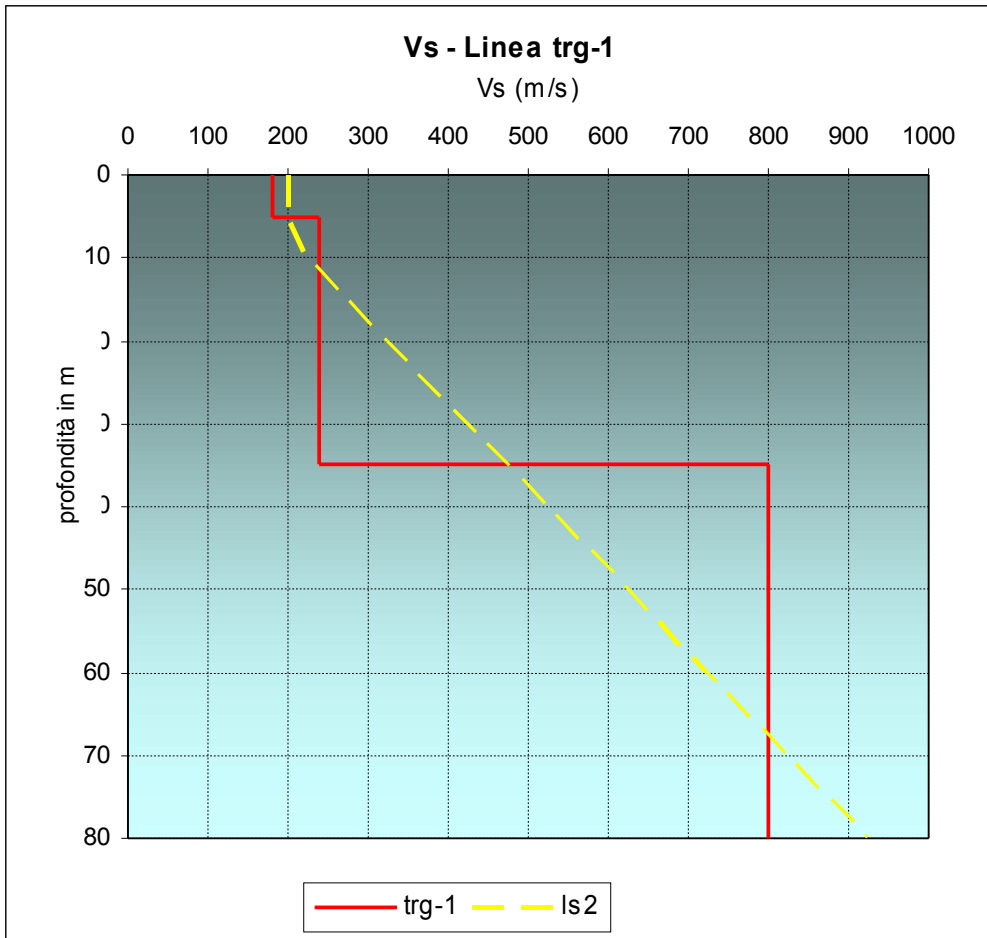


Fig. 3 – linea trg-1

CURVE DI DISPERSIONE E PICKING

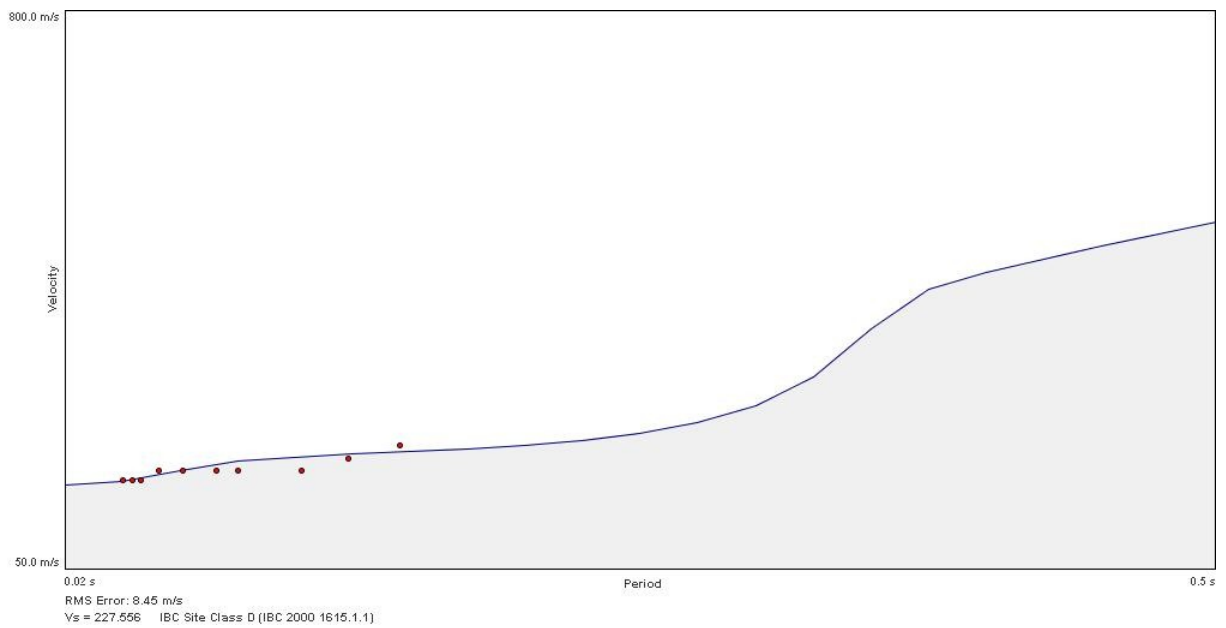


Fig. 4 – linea trg-1-01



IL GEOLOGO
DR. GIOVANNI BASSI
Luglio 2008