

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 CAMPAGNOLA CREMASCA

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,
D.G.R.L. 28.05.08 n.8/7374)*

Zona sismica 4

Allegato 8

RAPPORTO GEOFISICO



**IL GEOLOGO
DR GIOVANNI BASSI
SETTEMBRE 2009**

Collaboratore: dott. Geol. Andrea Anelli

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

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 ₃₀	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 1 Ottobre 2009, sono state eseguite due prove sismiche mediante microtremori, nel territorio comunale di Campagnola Cremasca (CR).

Le prove sono state eseguite nell'ambito di studi geotecnici finalizzati alla caratterizzazione sismica del territorio comunale. Il comune di Campagnola Cremasca 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 ogni linea sono state effettuate 11 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 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 informazione 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 tali schede 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 litologica "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 camp-1 è stata eseguita immediatamente a sud del centro dell'abitato; la linea cre-2 è ubicata in prossimità dell'area industriale lungo la provinciale SP80.

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 debolmente da destra verso sinistra. Questa distribuzione cromatica sta ad indicare una velocità leggermente crescente con la profondità. Nei grafici non è stato possibile individuare il substrato veloce che si trova a profondità non inferiore a 40 m (Tab. 1).

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
camp -1	9.0	275	40	370	800
camp - 2	9.0	270	40	390	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 V_{s30} (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 3strati, con velocità crescenti in profondità.
- 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**: *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* – $180 < V_{s30} < 360$ m/s (335-344 m/s velocità rilevate).
- Gli spessori del primo strato sono in ambedue siti prossimi a 9.0 m e le velocità variano tra 270 e 275 m/s. Il secondo strato presenta velocità variabili tra 370 e 390 m/s e la profondità del letto è di almeno 40 m. I valori minori di 300 m/s sono determinati da terreni sabbioso-ghiaiosi poco o mediamente addensati.

- In entrambe le linee il substrato veloce ($V \geq 800$ m/s) non è rilevabile, ma tramite modellizzazione si è potuto accertare che non può trovarsi a profondità inferiore a 40 m, utilizzata nei successivi calcoli. Anche se la profondità fosse superiore a 40 m, pur aumentando il valore del periodo proprio del sito, il valore di F_a non potrebbe aumentare significativamente o potrebbe addirittura diminuire per entrambe le classi di edifici.
- Date le caratteristiche rilevate, la scheda litologica con la distribuzione delle V_s 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 F_a (periodo proprio del sito maggiore di 0.8 s) è quella relativa al tratto logaritmico.
- In conclusione si sono ottenuti valori del fattore di amplificazione inferiori a quelli previsti dalla regione Lombardia, in comune di Campagnola Cremasca, 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 Campagnola Cremasca, per suoli di tipo **C**, sono di 1.9 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 F_a 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 tutte 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 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 (F_a) 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)	F_a ($T=01-0.5$ s)	F_a ($T>0.5$ s)
camp -1	335	C	0.46	1.5	1.8
camp - 2	344	C	0.44	1.6	1.7
Fa di riferimento Regione Lombardia – Comune di Campagnola Cremasca				1.9	2.4

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



IL GEOLOGO
DR GIOVANNI BASSI
Settembre 2009

UBICAZIONE LINEE SISMICHE

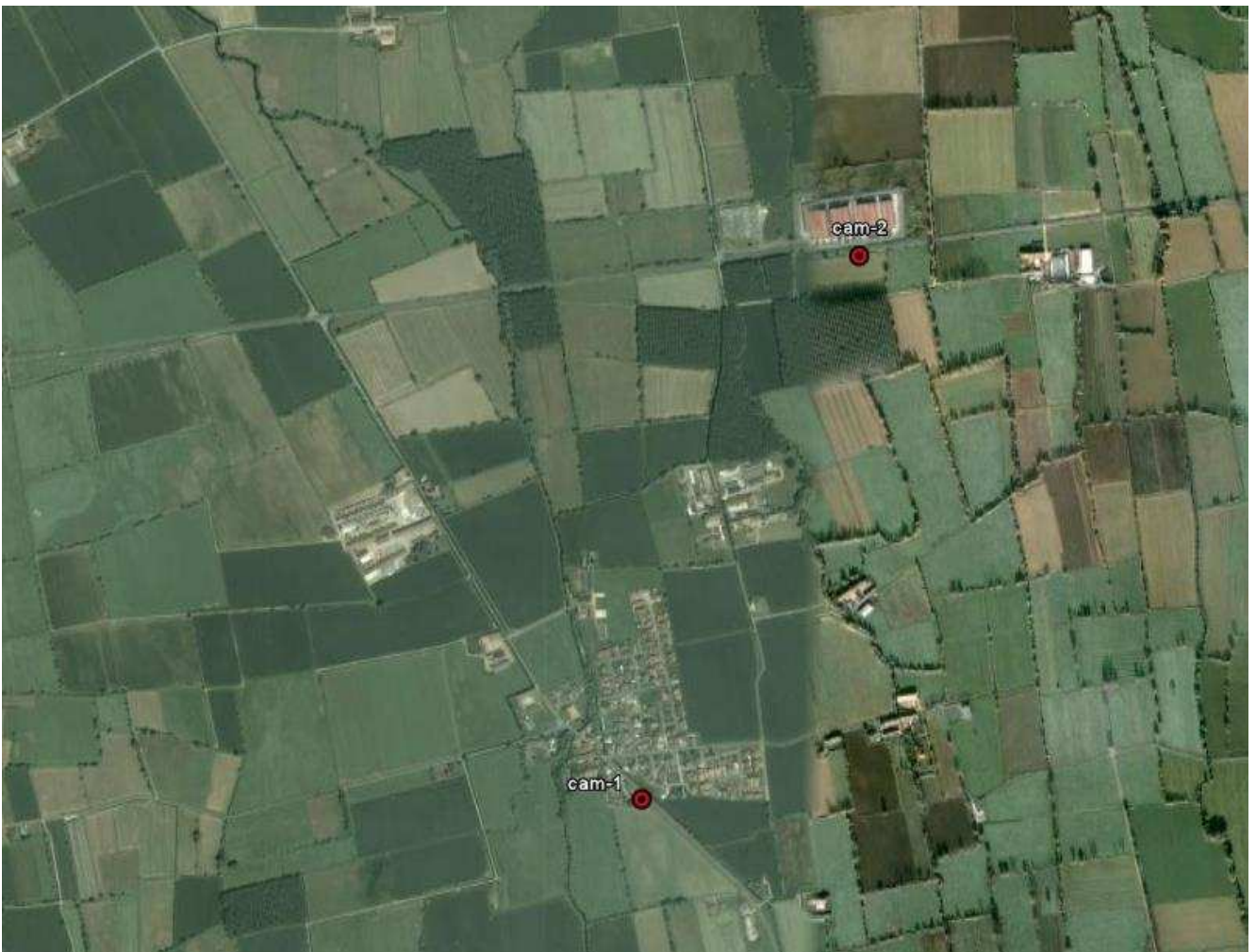


Fig. 1 – immagine Google Earth

SPETTRI DI FREQUENZA

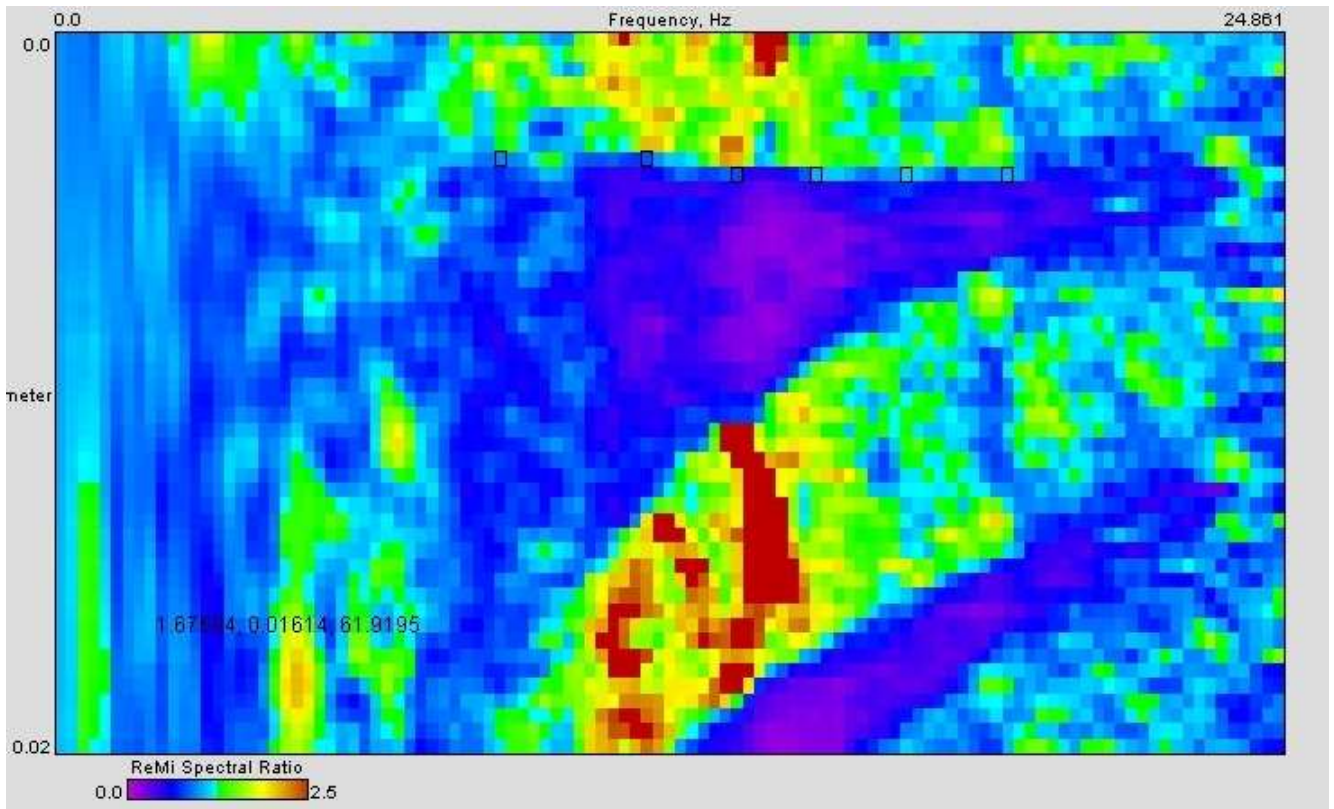


Fig. 2.1 – Spettro di frequenza linea camp-1-11

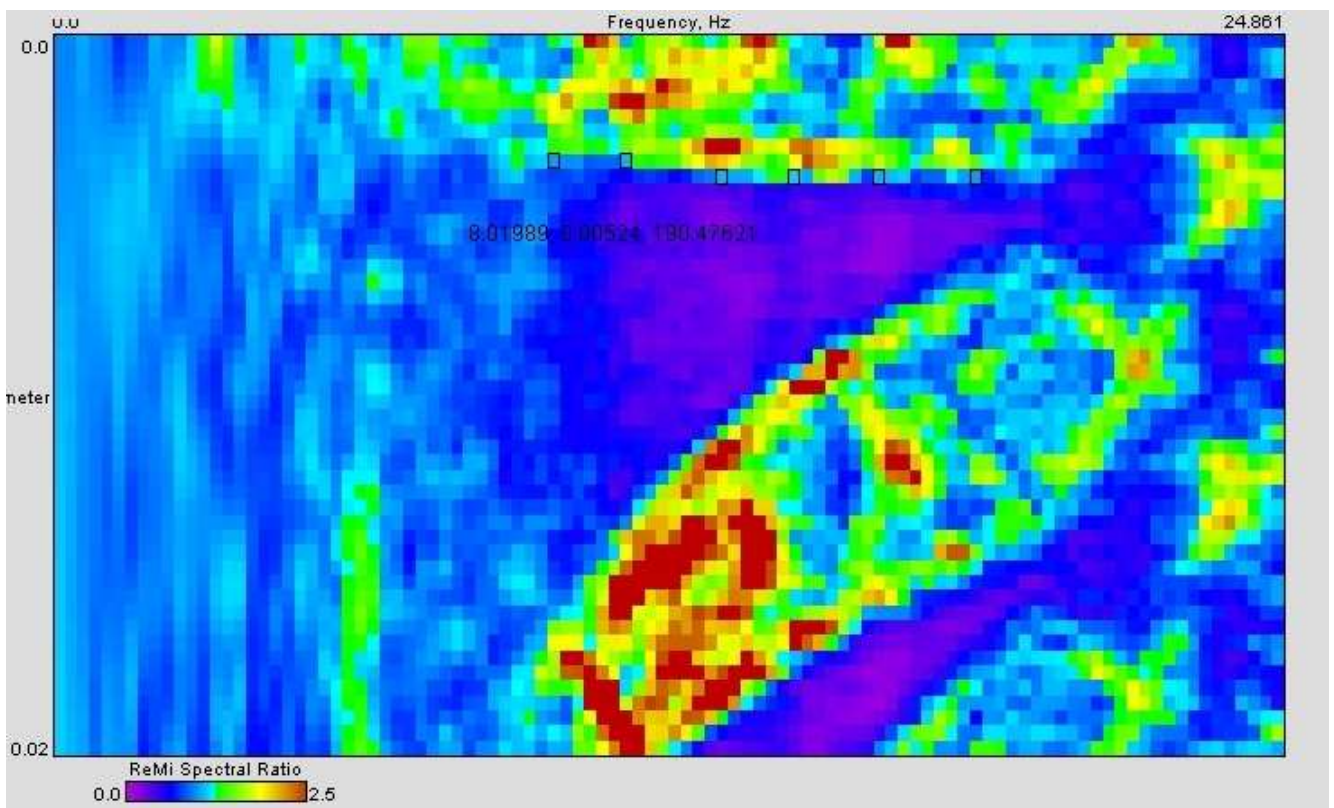


Fig. 2.2 – Spettro di frequenza linea camp-2-11

MODELLI DI VELOCITÀ DELLE ONDE S

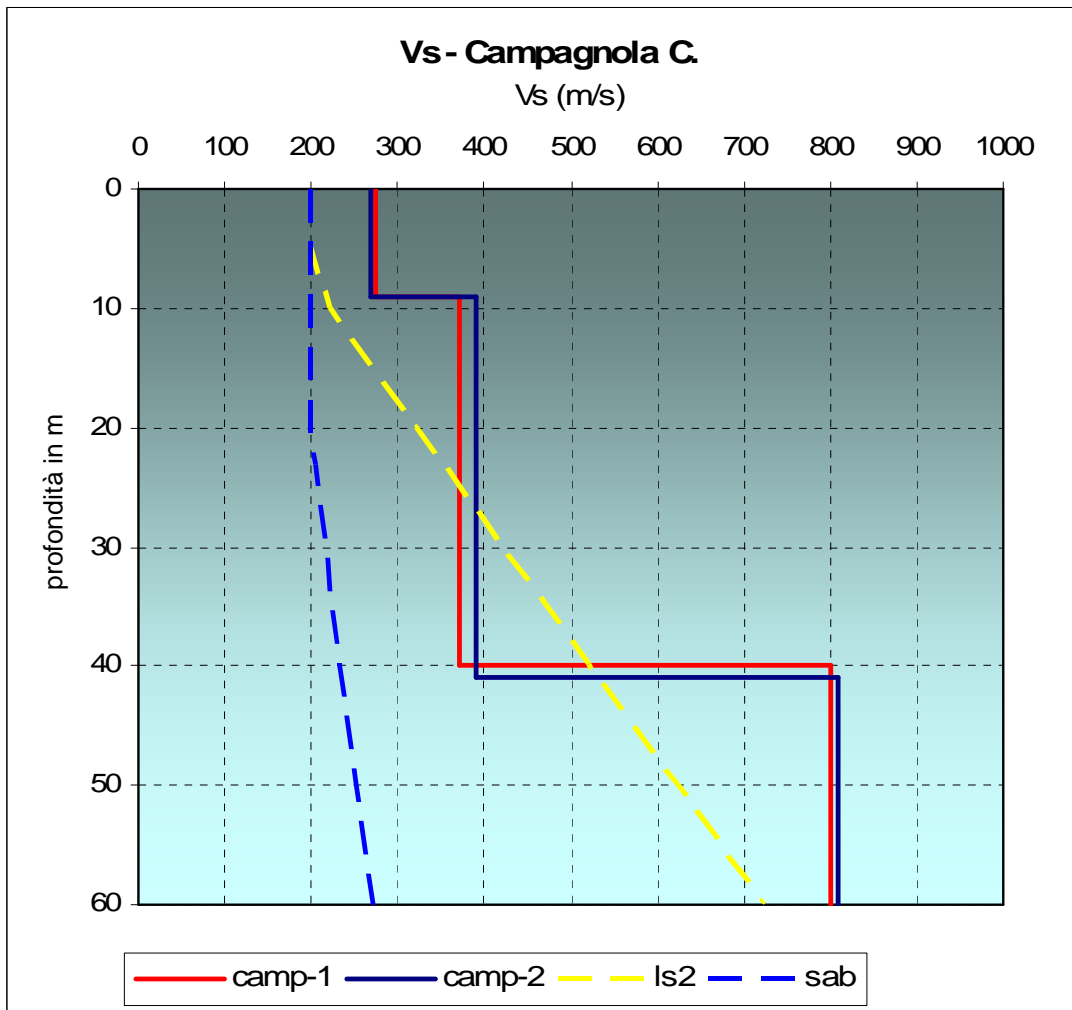


Fig. 3

CURVE DI DISPERSIONE E PICKING

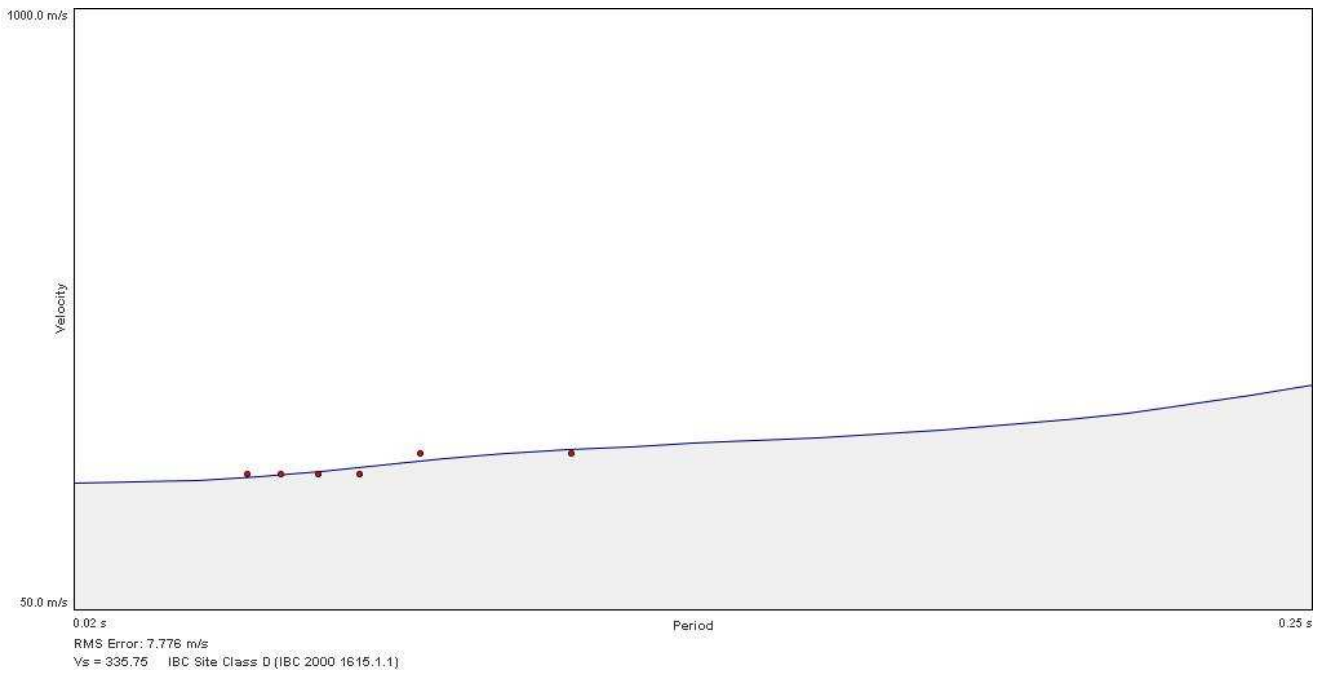


Fig. 4.1 – linea camp-1-11

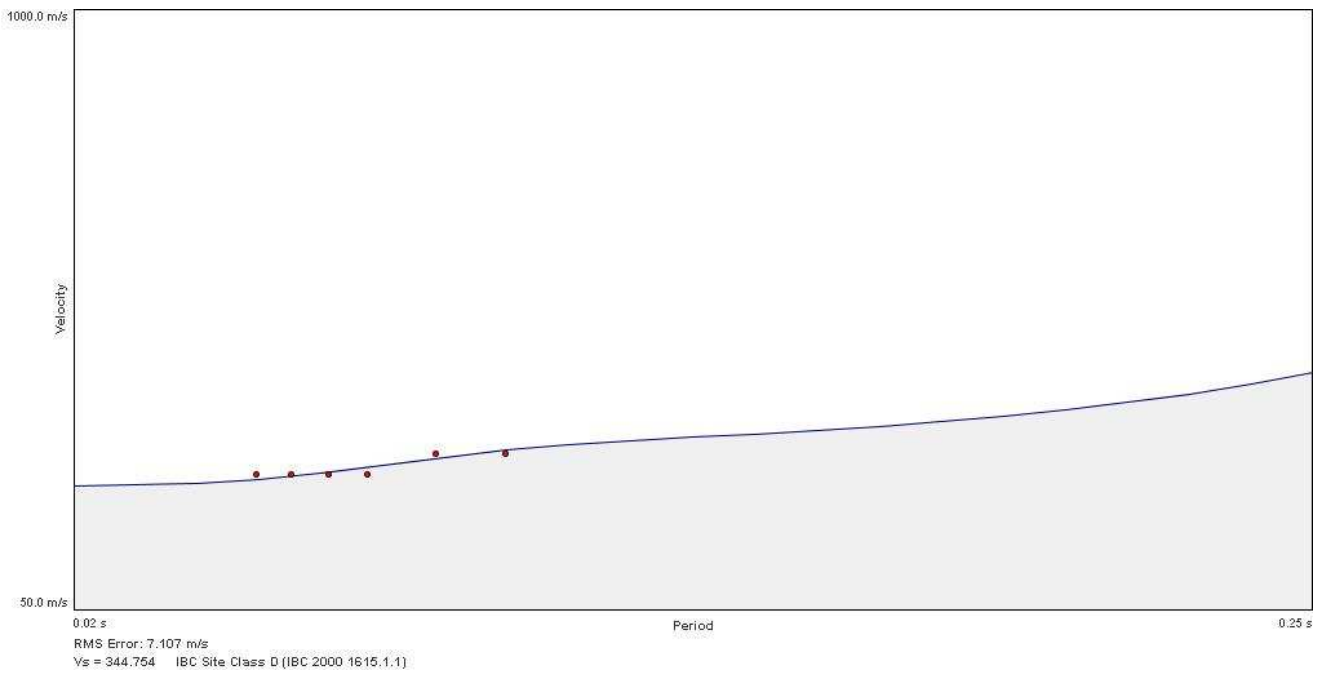


Fig. 4.2 – linea camp-2-11