

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

REGIONE LOMBARDIA
Provincia di Lodi



Piano di Governo del Territorio

VARIANTE

COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

(L.R. 11.3.05 n.12 art. 57, D.G.R. 30.11.11 n. 9/2616 Criteri attuativi, Componente geologica)

RAPPORTO GEOFISICO

ALLEGATO 8



IL GEOLOGO
Dr Giovanni Bassi
Settembre 2021

Collaboratore: dott. Geol. Andrea Anelli

INDICE	pag.
Premessa	3
PARTE 1: ANALISI CON MICROTREMORI	3
1 . Cenni sulla Metodologia dei Microtremori.....	3
2. Strumentazione e Software	3
3. Elaborazione dati	4
4. Metodologia di Calcolo.....	4
5. Descrizione dei Risultati.....	5
6. Risultati indagine microtremori.....	7
PARTE 2: ANALISI CON DOWN HOLE.....	22
7. CARATTERISTICHE ATTREZZATURE.....	22
8. METODOLOGIA SISMICA DOWN-HOLE.....	23
9. DATI CONCLUSIVI DELLA PROVA SISMICA DOWN HOLE	26
10. DEFINIZIONE CATEGORIA SUOLO SISMICO	28
11. ANALISI E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO.....	30

Premessa

Si considerano 8 prove sismiche mediante microtremori, in varie aree del territorio comunale di Lodi, oltre a un down hole eseguito nel centro abitato di Lodi. Le prove sismiche sono finalizzate all'aggiornamento della componente geologica, idrogeologica e sismica per il PGT. Il comune di Lodi è compreso in zona sismica 3, a medio rischio sismico.

Nell'ambito del presente lavoro sono stati inoltre riesaminati due microtremori, eseguiti nel Luglio 2008, al centro sportivo La Faustina ed i risultati della prova down-hole, eseguita nel Gennaio 2007 in sinistra d'Adda a valle del vecchio ponte.

PARTE 1: ANALISI CON MICROTREMORI

1 . 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.

2. 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.

3. 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:

- La prime due figure sono costituite dall'ubicazione delle linee eseguite su immagini satellitari Google Earth.
- Il secondo gruppo di figure è costituito dagli spettri di frequenza delle linee eseguite, rappresentati con diagrammi frequenza-lentezza (inverso della velocità).
- Nel terzo 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. In queste figure sono riportate anche le distribuzioni di Vs ricavate dai microtremiti eseguiti nel centro sportivo la Faustina e quella ricavata dal down-hole.
- Nel quarto gruppo di figure sono riportate le curve di dispersione (relative ai modelli di Vs prescelti) su cui viene evidenziato il fitting con il picking eseguito sugli spettri di frequenza.

4. Metodologia di Calcolo

Le analisi effettuate a partire dalla distribuzione verticale delle onde S seguono la metodologia riportata nella L.R. 12/05 e nella DGRL 8/7374 del 28 maggio 2008, Allegato 5, che si sintetizza come qui segue:

- Dalle informazioni litologiche e geotecniche e dalla distribuzione delle Vs si individua il tipo di suolo sismico a cui appartengono i depositi dell'area (b, c, d, e), 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* approntate dal Politecnico di Milano su incarico della Regione Lombardia ed allegate alla già citata 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 litologiche, cui sono associate equazioni e curve che permettono di ricavare 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 la distribuzione di Vs più simile a quella sperimentale. In particolare, nel caso in oggetto, si è fatto riferimento alle schede litologiche "sabbie" e "limi sabbiosi 2", soprattutto a causa del rapporto spessori-velocità degli strati nei primi 30 metri.
- 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 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 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 saranno inseriti nella categoria di suolo sismico con fattore di amplificazione più alto di quello misurato e, per la progettazione, si farà riferimento allo spettro relativo a quest'ultima categoria di suolo sismico.

5. Descrizione dei Risultati

Il rilievo di campagna è stato effettuato mediante 8 linee sismiche (microtremori), costituite da stendimenti di 24 geofoni da 4,5 Hz, spaziate di 5 m, con lunghezza totale di 115 m. In Tabella 1 sono elencate le linee eseguite, il nome della strada e l'edificio (o gruppi di edifici) di riferimento. L'ubicazione è riportata nelle figure 1a e 1b.

Si sottolinea che le linee Lo-1, 2 e 3 ed il down-hole sono poste in corrispondenza delle unità geomorfologiche 3.1a e 3.2 a della carta geomorfologica (alluvioni recenti, prevalentemente ghiaiose della Valle dell'Adda). Le altre linee sono state eseguite in aree urbanizzate, morfologicamente riconducibili all'unità 1a, (Livello Fondamentale della Pianura) costituita da alluvioni più antiche, terrazzate, con depositi sabbioso-limosi prevalenti.

Nelle figure da 2.1 a 2.8 sono riportati gli spettri di frequenza delle linee sismiche eseguite, utilizzando 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 nota una distribuzione dei colori caldi, che sale leggermente da destra verso sinistra. La pendenza della salita aumenta significativamente nella parte terminale dei grafici ed indica velocità decisamente crescenti alle frequenze minori, corrispondenti a profondità più elevate.

I quadratini neri al bordo inferiore della fascia alta corrispondono ai valori selezionati (picking) per la modellizzazione delle onde S. Tali punti sono scelti al limite tra colori caldi e freddi.

Linea	Via	Unità geomorfologica
Lo-1	V. Battaglia di Cassano	3.2a – alluvioni recenti

Lo-2	Raccordo Viale Piave	3.1a– alluvioni recenti
Lo-3	Viale Napoli	3.2a– alluvioni recenti
Lo-4	Viale Milano	1a- LFP
Lo-5	Viale Europa	1a- LFP
Lo-6	Viale Agnelli	1a- LFP
Lo-7	Via San Fereolo	1a- LFP
Lo-8	Strada Provinciale 26	1a- LFP
Lo-p-1	Piazzale ingresso	1a- LFP
Lo-p-2	Via Piermarini	1a- LFP

Tab. 1 – Ubicazione linee

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 Tabella 2.

Linea	Strato 1		Strato 2		Strato 3	
	H1	Vs1	H2	Vs2	H3	Vs3
Lo-1	10.0	200	33	450		800
Lo-2	10.5	280	30	420		800
Lo-3	10.5	235	30	420		800
Lo-4	13.0	230	30	270		800
Lo-5	12.0	210	24.5	340		800
Lo-6	12.0	215	26.5	320		800
Lo-7	10.5	185	32	340		800
Lo-8	10.0	180	30	310		800

Tab. 2 – distribuzione verticale delle Vs

Nelle figure da 4.1 a 4.8 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 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 risultati generalmente a 3 strati, con velocità crescenti in profondità.
- I suoli sismici 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) in quanto sono comprese tra 245 e 251 m/s.
- Il primo strato, raggiunge profondità tra 10.0 e 13.0 m da p.c., con velocità variabili tra 180 e 280 m/s.
- Il secondo strato presenta velocità tra 270 e 450 m/s e si sviluppa a profondità variabili tra 24.5 e 33.0 metri. Le velocità del secondo strato sono più elevate nel gruppo di linee 1-2-3, , alluvioni recenti dell'Adda (unità geomorfologiche 3.1a e 3.2a).
- Il substrato veloce non è identificabile con esattezza, in quanto l'aumento di velocità, evidenziato dalla salita finale degli spettri di frequenza (fig. 2.1 ... 2.9), è incompleta a causa della limitata profondità dell'indagine. In altri termini, l'aumento di velocità in oggetto potrebbe corrispondere ad uno strato con $V_s=500-600$ m/s. Questo strato potrebbe spingersi fin oltre 60-70 m di profondità, dove si troverebbe il substrato veloce. Se questa

ipotesi fosse verificata, anche le distribuzioni di velocità attribuite alla scheda litologica “*limoso sabbiosa 2*” ricadrebbero nel dominio della scheda “*sabbiosa*”. Si è preferito considerare valida la prima ipotesi che è più cautelativa.

- E' da segnalare che una delle linee del centro sportivo La Faustina (lo-p-2) presenta risultati diversi da quelli delle altre linee in quanto, al di sotto dei 30 m, si rileva uno strato, con velocità 450 m/s e di forte spessore che si spinge fino a profondità molto più elevate, rilevabile con sufficiente chiarezza tra 80 e 100 m di profondità.
- Le distribuzioni di velocità rilevate ricadono in prossimità della curva della scheda litologica “*limoso sabbiosa 2*”; tuttavia, mentre i valori di V_s delle prime 3 linee (Lo-1-2-3), eseguite in corrispondenza dei depositi fluviali più recenti, ricadono nel campo di validità della scheda, le V_s di tutte le altre linee, poste in destra idrografica dell'Adda, sul terrazzo wurmiano, ricadono in parte nel campo di non validità. Per queste linee quindi si è scelta la scheda litologica “*sabbiosa*”.
- Per le prime tre linee si è selezionata la curva 2 della scheda “*limoso sabbiosa 2*”, anche se gli spessori del primo strato si trovano al limite tra la curva 1 e la 2. Le ragioni di tale scelta sono dovute al fatto che la curva 2 presenta fattori di amplificazione più simili a quelli della scheda sabbiosa, anche se leggermente più bassi dei valori di F_a della curva 1 “*limi sabbiosi*”. Pur con questa scelta, i valori di F_a ottenuti sono superiori a quelli previsti dalla normativa regionale per i suoli sismici di tipo **C**. Si è invece verificata la compatibilità dei valori di F_a , degli edifici con periodo non superiore a 0.5 secondi, con suoli sismici di tipo **D**. Invece, per gli edifici con periodo superiore a 0.5 s, i valori di F_a sono inferiori a quelli previsti dalla norma già per i suoli sismici di tipo **C**.
- Per le linee sismiche da 4 a 8, i valori di F_a , per tutte le classi di edifici, risultano inferiori a quelli previsti per i suoli sismici di tipo **C**.
- In sintesi per le linee 1-2-3 si sono ottenuti valori del fattore di amplificazione sismica inferiori a quelli indicati da Regione Lombardia, per edifici con periodo compreso tra 0.1 e 0.5s e per suoli di tipo **D**. Si sottolinea che le aree indagate da queste linee nella carta di Pericolosità Sismica Locale sono inserite in scenario di pericolosità sismica locale “**Z2: zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti e zone con depositi granulari fini saturi**”. Per le aree indagate con le linee da 4 ad 8, in destra idrografica di Adda, riferibili al Livello fondamentale della Pianura (unità 1a), si farà riferimento alla parametrizzazione prevista per i suoli di tipo **C**. Per quanto riguarda gli edifici con periodo superiore a 0.5s, in tutte le aree indagate, si farà riferimento a suoli di tipo **C**.

6. Risultati indagine microtremori

I valori soglia (F_a) indicati dagli allegati regionali nel territorio di Lodi, per suoli sismici di tipo **C**, sono **1.8** e **2.4** rispettivamente per edifici con periodo inferiore a 0.5s (bassi e rigidi) e superiore a 0.5s (edifici alti ed elastici); per suoli di tipo **D** i valori F_a sono rispettivamente **2.2** e **4.1**.

Il risultato comune alle linee sismiche effettuate è che i valori di F_a , per edifici con periodo superiore a 0.5s, sono inferiori a quelli indicati da Regione Lombardia. Pertanto, per tali edifici, nell'area indagata, si adotteranno gli spettri di norma relativi ai suoli sismici di tipo **C**.

Per gli edifici con periodo compreso tra 0.1 e 0.5s si adotteranno spettri di norma dei suoli di tipo **D** nelle aree caratterizzate dalle linee Lo-1-2-3 (alluvioni recenti, scenario di pericolosità sismica locale Z2), mentre si adotteranno spettri di norma dei suoli di tipo **C** nelle aree caratterizzate dalle linee Lo-4-5-6-7-8 (livello fondamentale della pianura, scenario di pericolosità sismica locale Z4a).

In Tabella 3 sono sintetizzati i valori di V_{s30} (velocità media delle onde trasversali nei primi 30 m), il suolo sismico, il periodo proprio del sito (T_p) calcolato dalle V_s , 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 ed il suolo sismico di riferimento; nell'ultima colonna sono riportati i valori soglia di riferimento indicati da Regione Lombardia.

Linea	Vs ₃₀	Periodo (Tp)	Suolo sismico	Periodo Edifici	Fa Calcolato	Fa di riferimento
Lo-1	318	0.35	D	≤ 0.5	2.1	2.2
				>0.5	1.5	2.4
Lo-2	357	0.32	D	≤ 0.5	2.1	2.2
				>0.5	1.5	2.4
Lo-3	329	0.34	D	≤ 0.5	2.1	2.2
				>0.5	1.5	2.4
Lo-4	251	0.47	C	≤ 0.5	1.5	1.8
				>0.5	1.8	2.4
Lo-5	298	0.35	C	≤ 0.5	1.7	1.8
				>0.5	1.5	2.4
Lo-6	284	0.39	C	≤ 0.5	1.6	1.8
				>0.5	1.6	2.4
Lo-7	263	0.44	C	≤ 0.5	1.6	1.8
				>0.5	1.7	2.4
Lo-8	250	0.45	C	≤ 0.5	1.5	1.8
				>0.5	1.7	2.4
Lo-p-1	245	0.46	C	≤ 0.5	1.5	1.8
				>0.5	1.8	2.4
Lo-p-2	251	0.92	C	≤ 0.5	1.0	1.8
				>0.5	1.8	2.4

Tab. 3 – Vs₃₀, Tp, Suolo sismico e Fa

UBICAZIONE LINEE SISMICHE



Fig. 1a –zona nord (Immagine Google Earth)

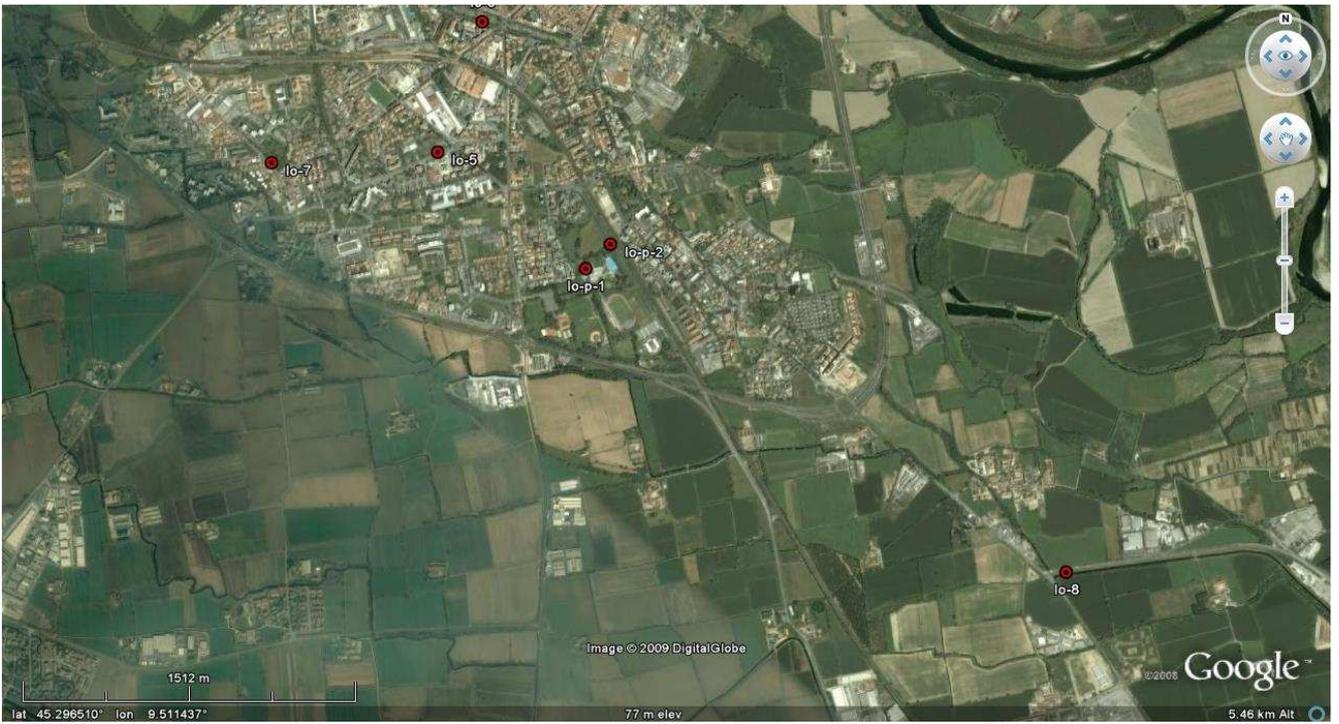


Fig. 1b –zona sud (Immagine Google Earth)

SPETTRI DI FREQUENZA

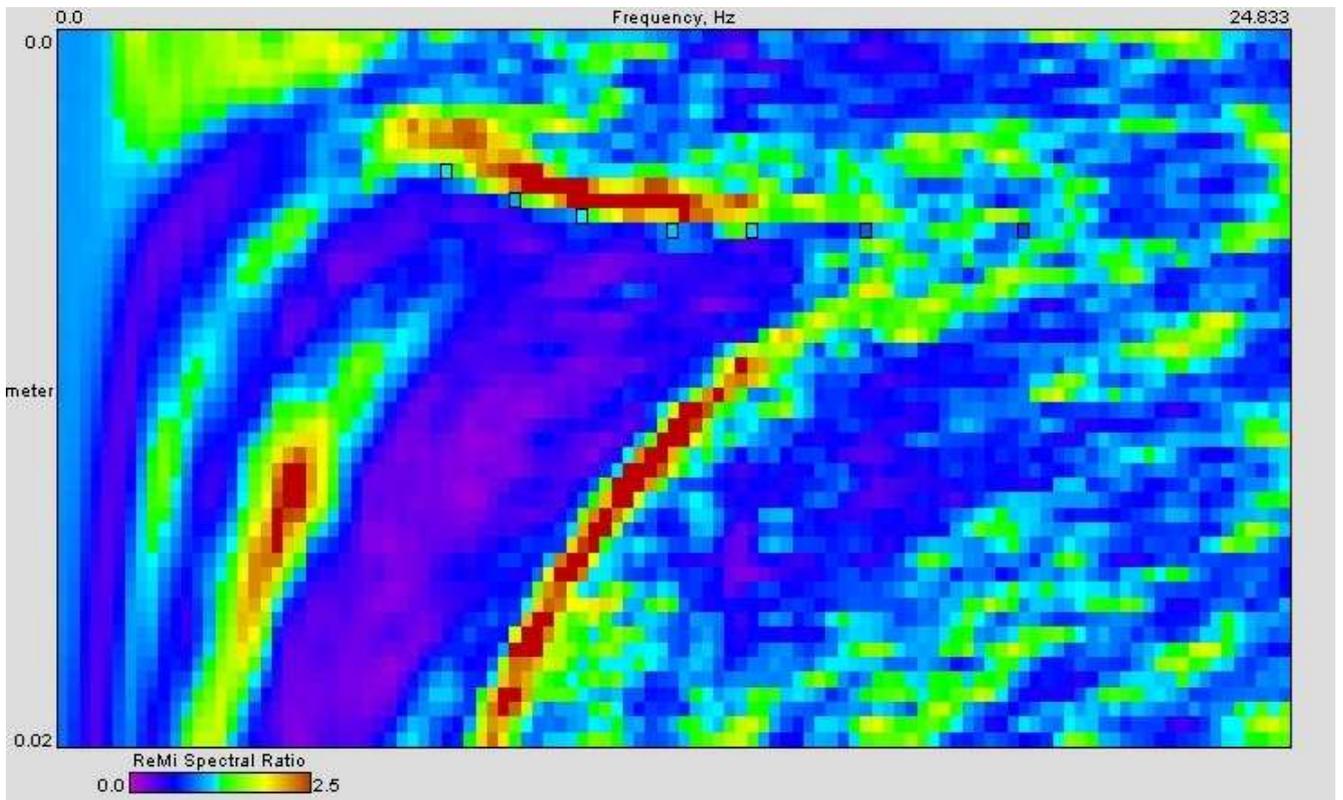


Fig. 2.1 - linea lo-1-04

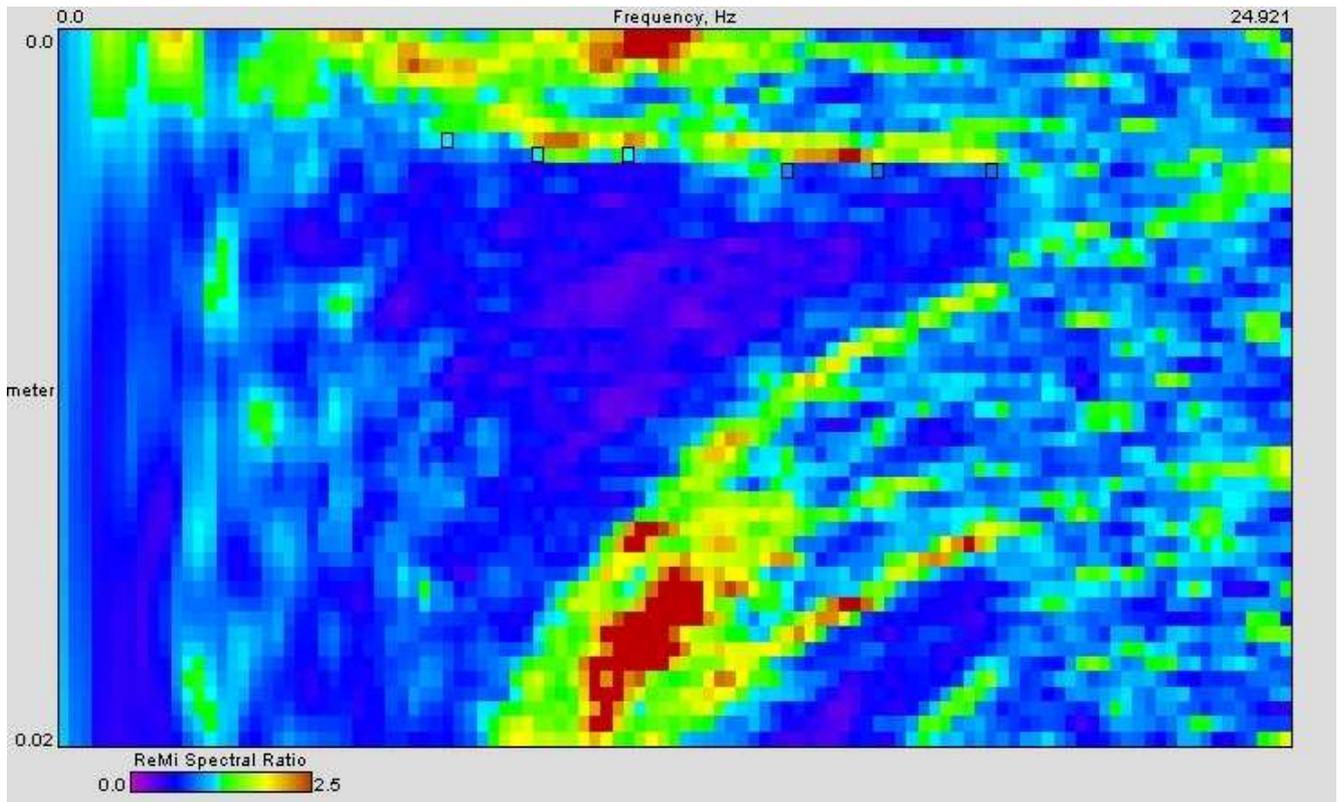


Fig. 2.2 - linea lo-2-16

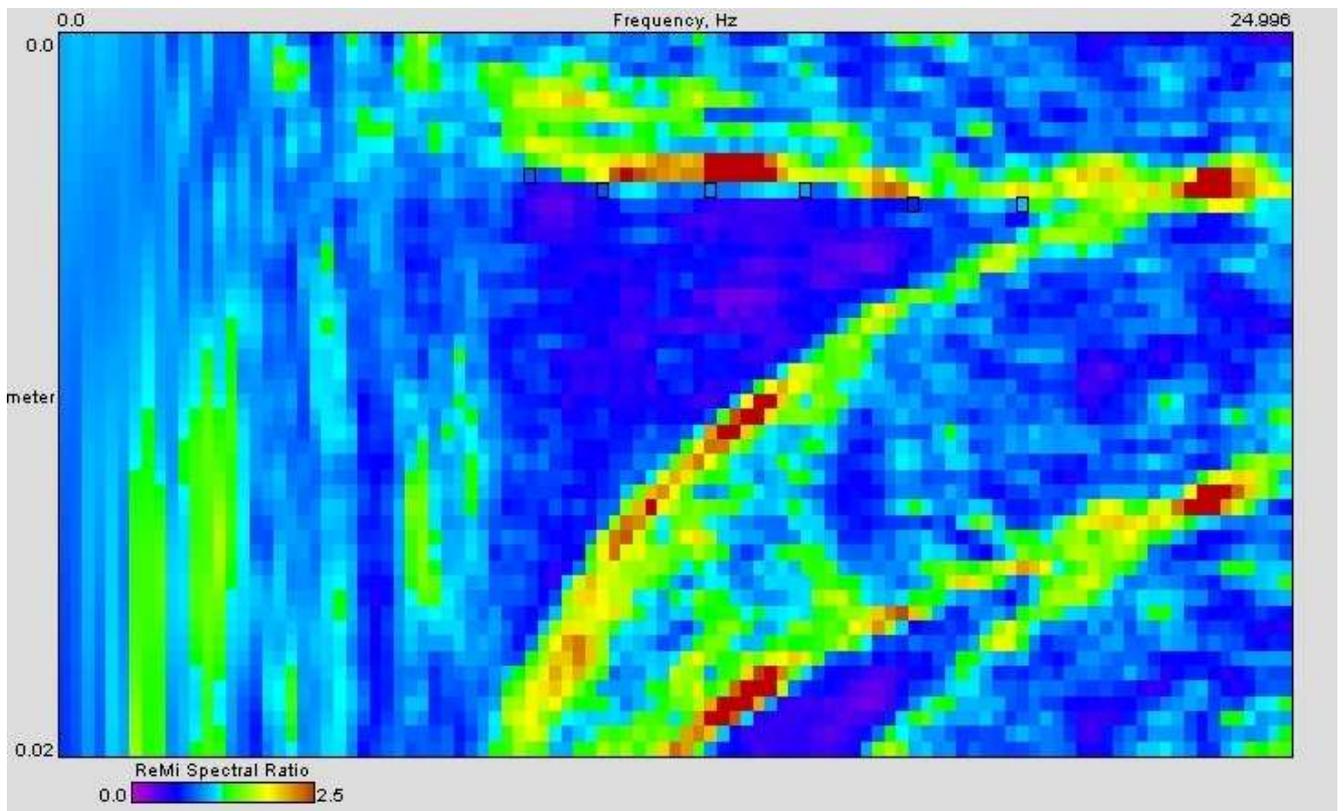


Fig. 2.3 - linea lo-3-29

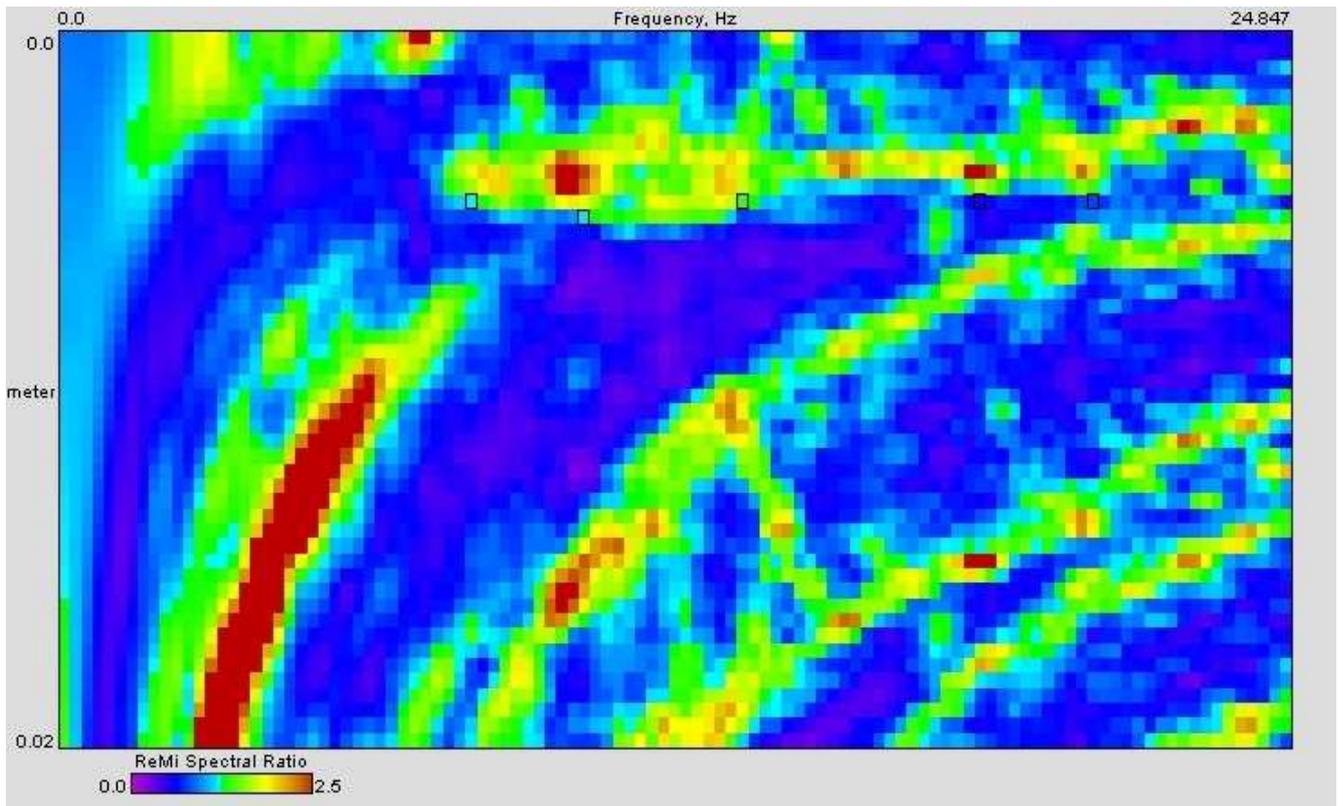


Fig. 2.4 - linea lo-4-39

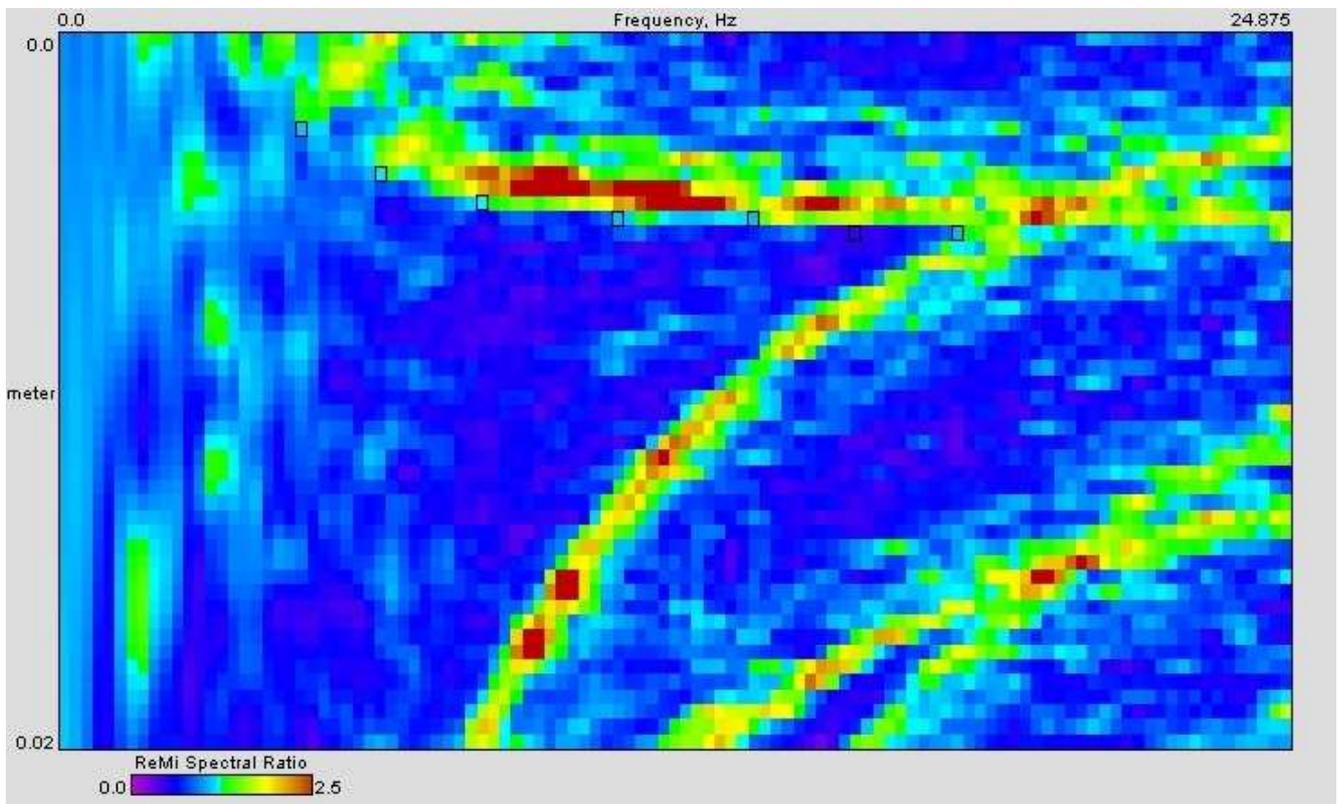


Fig. 2.5 - linea lo-5-48

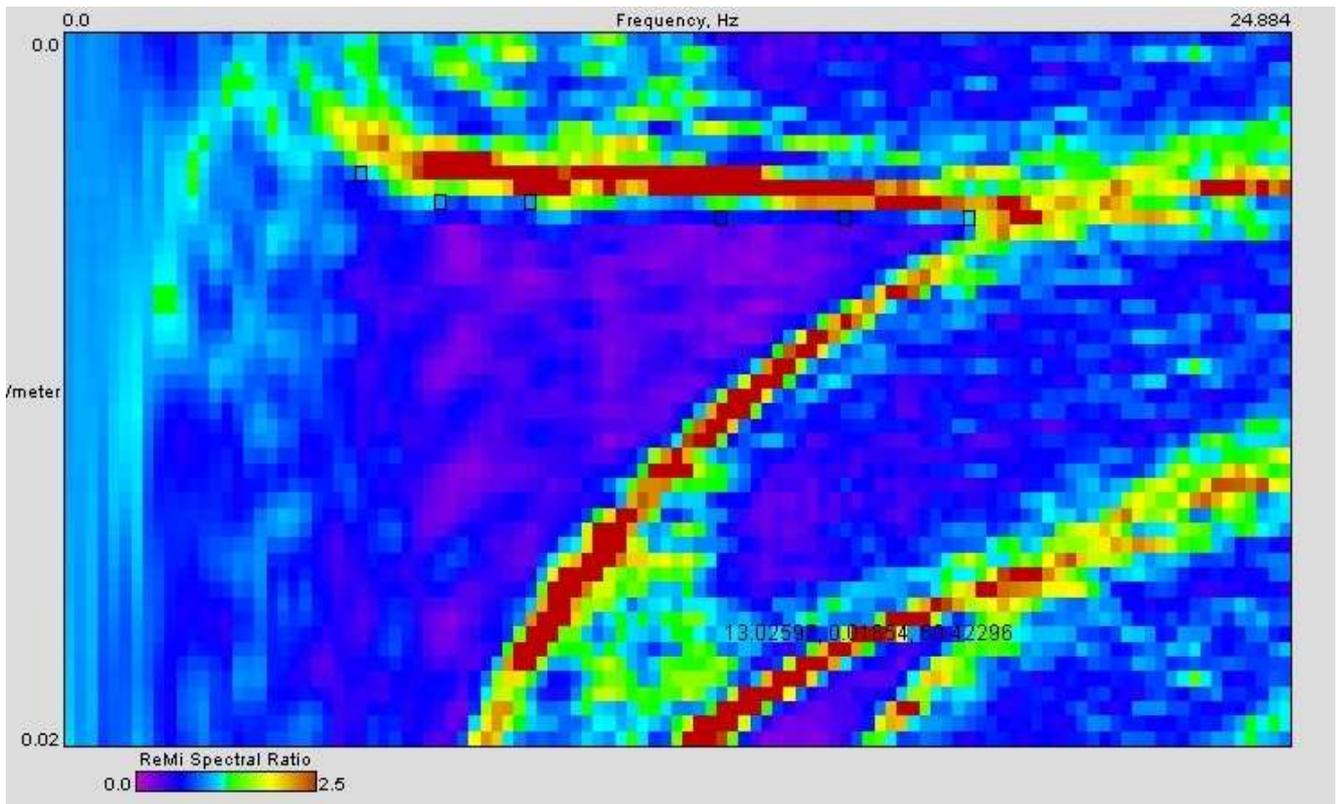


Fig. 2.6 - linea lo-6-53

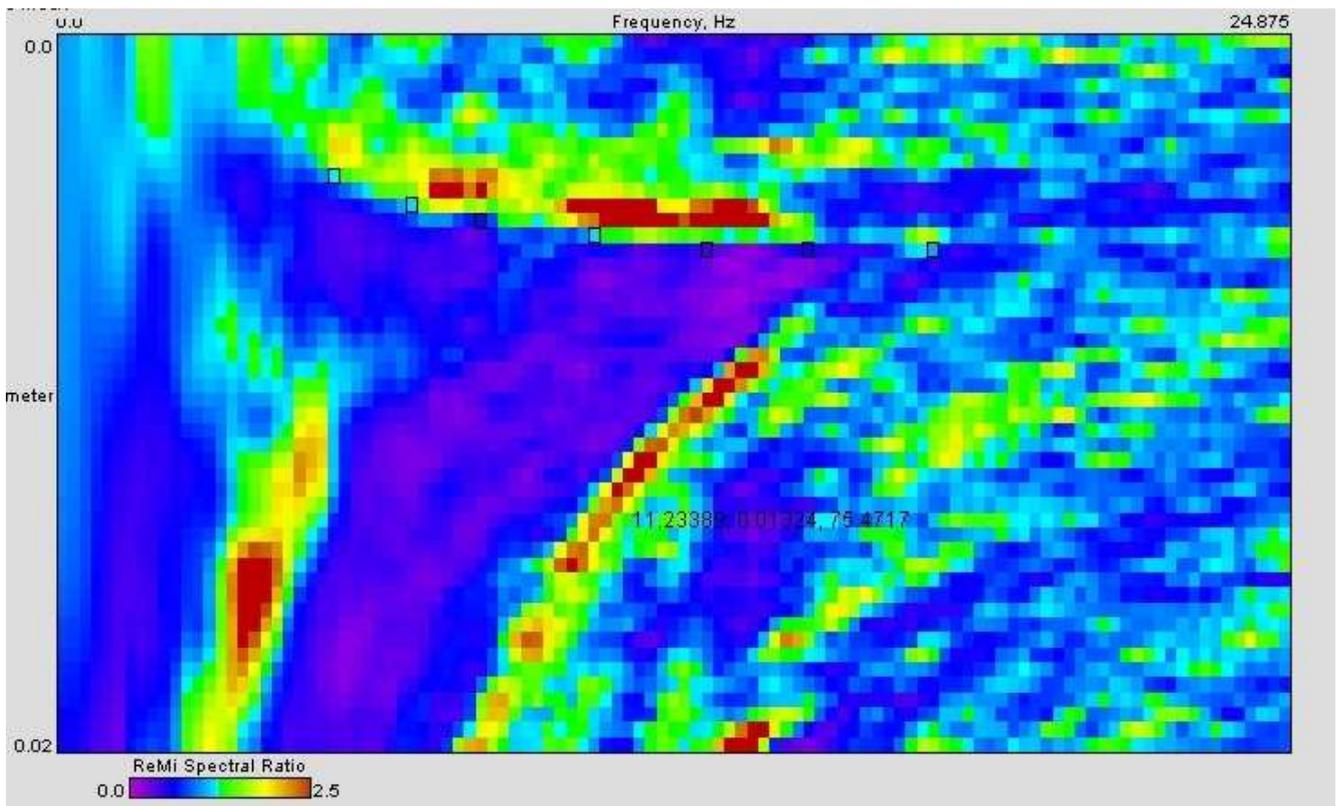


Fig. 2.7 - linea lo-7-68

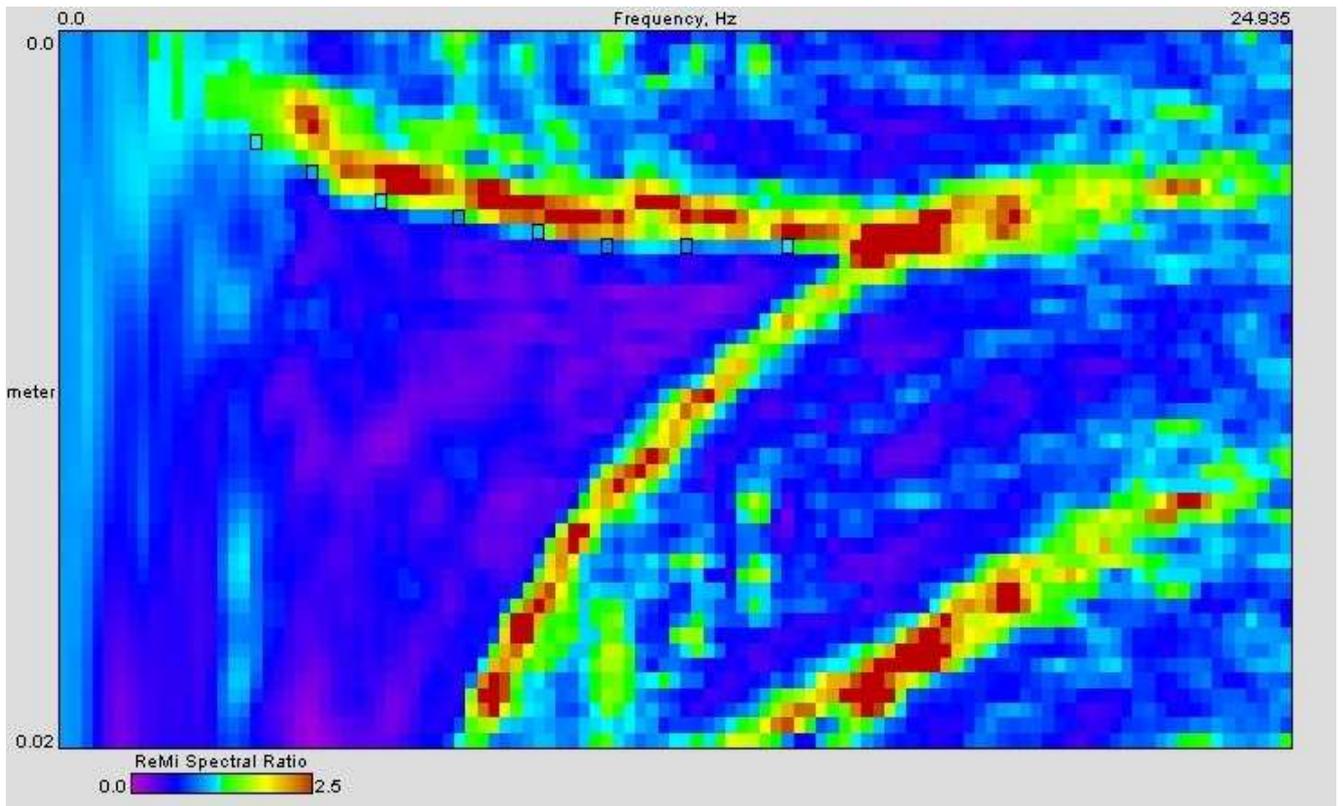


Fig. 2.8 - linea lo-8-77

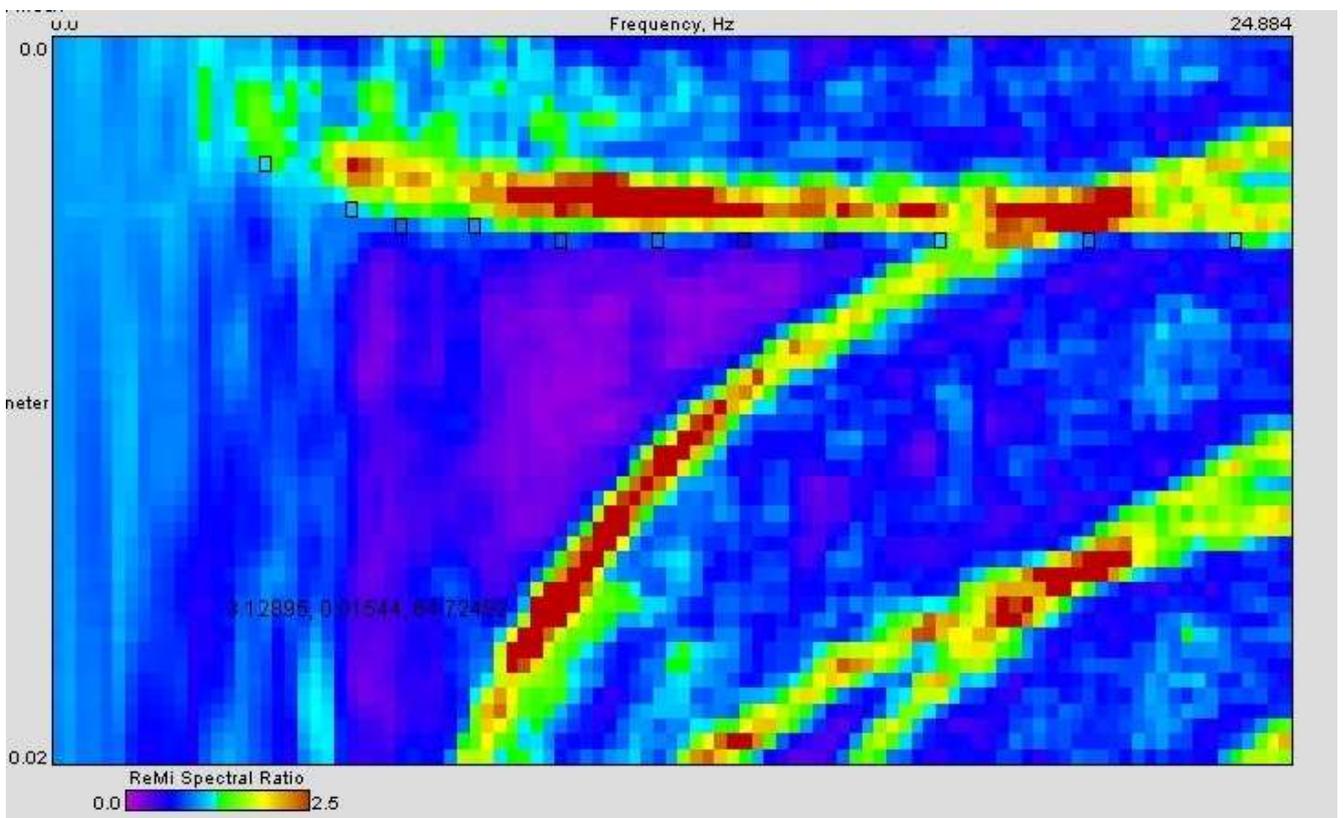


Fig. 2.9 - linea lo-p-1-8

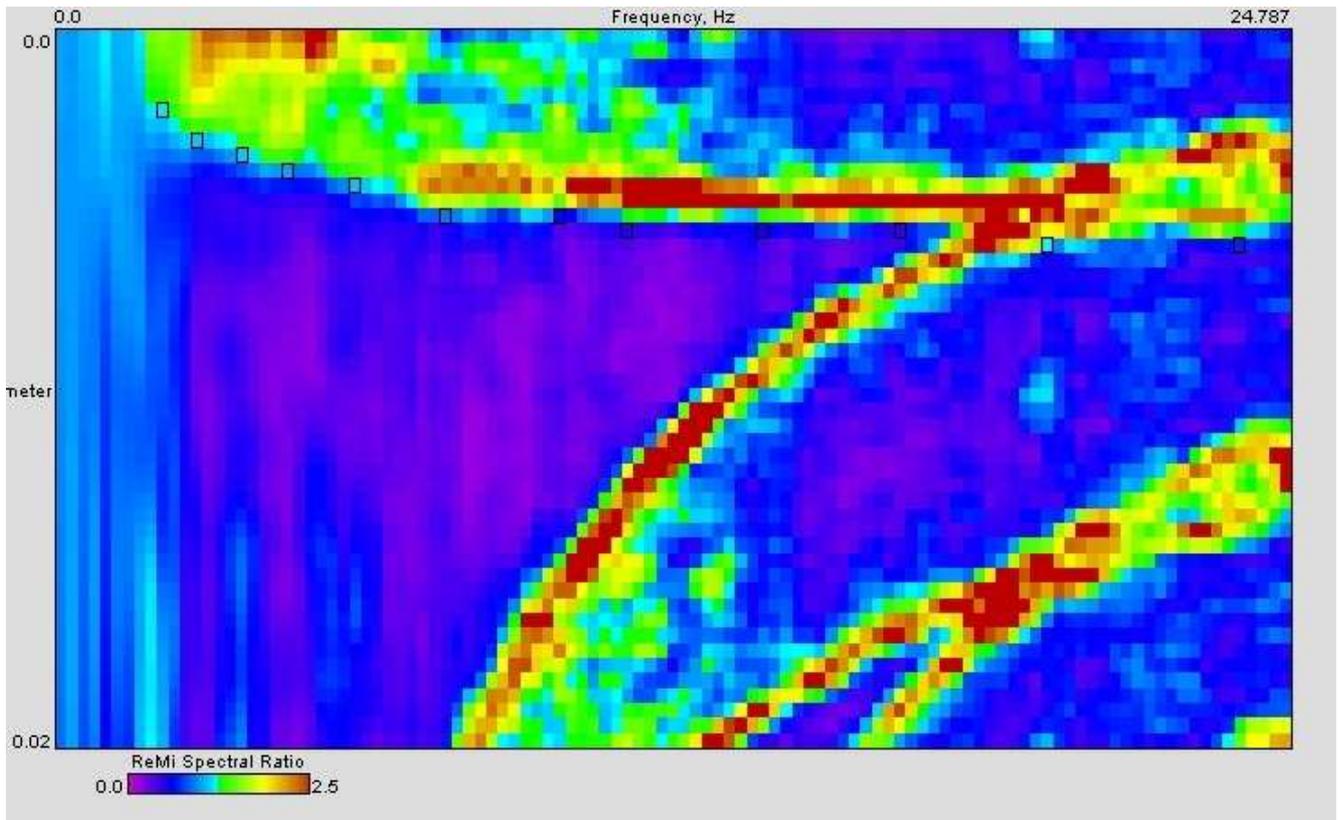


Fig. 2.10- linea lo-p-2-13

MODELLI DI VELOCITÀ DELLE ONDE S

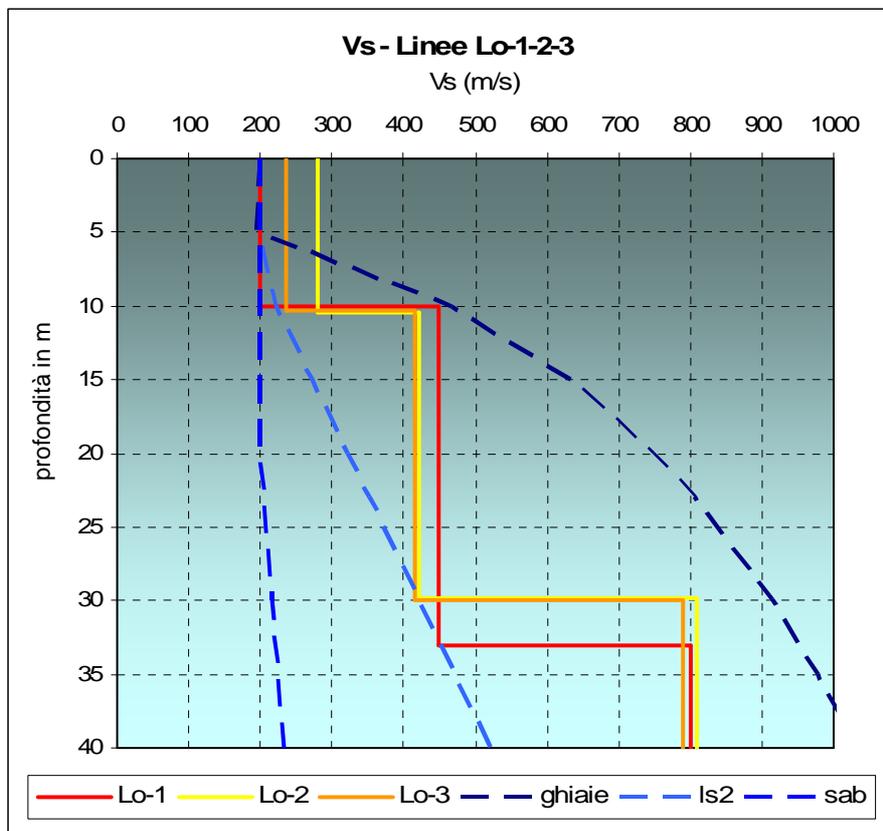


Fig.3a

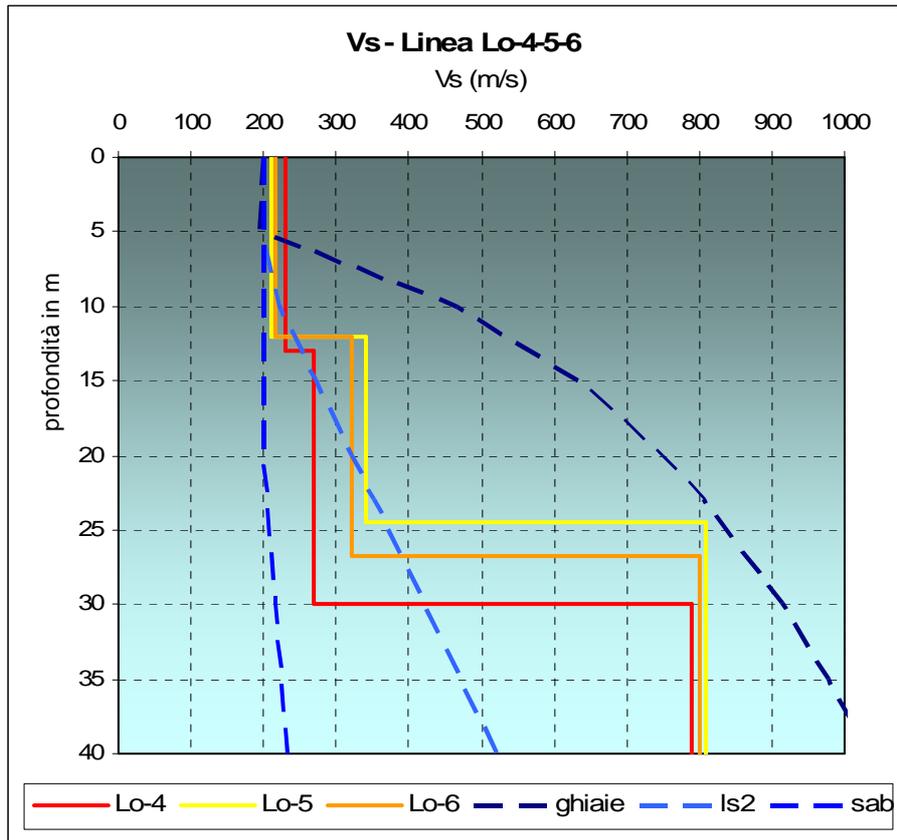


Fig.3b

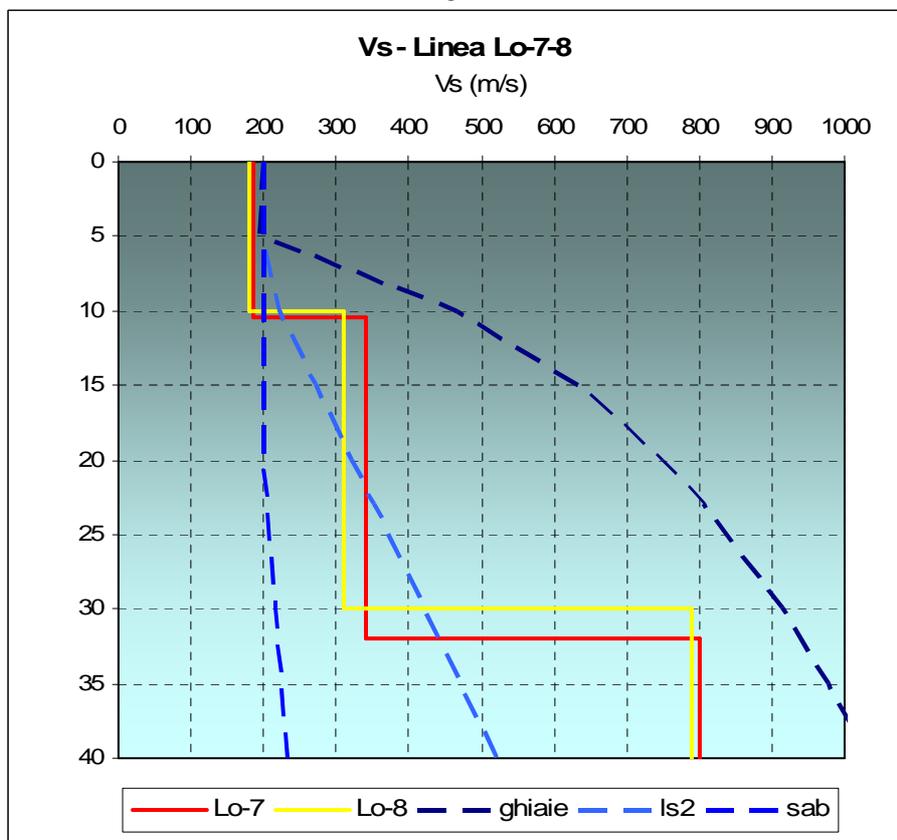


Fig.3c

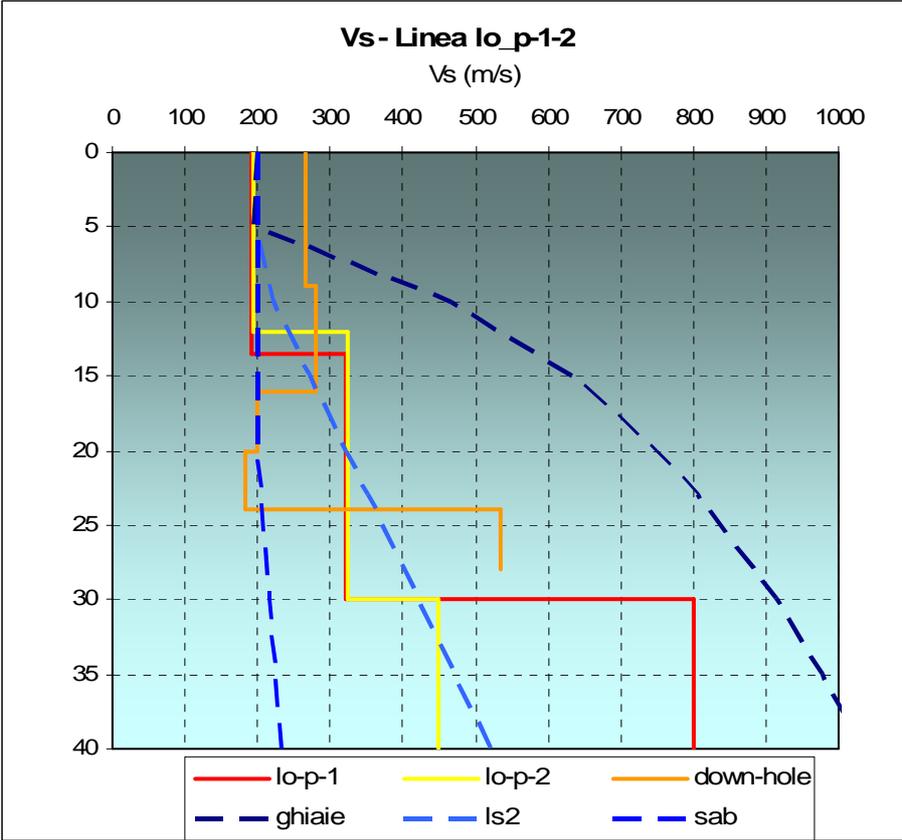


Fig.3d

CURVE DI DISPERSIONE E PICKING

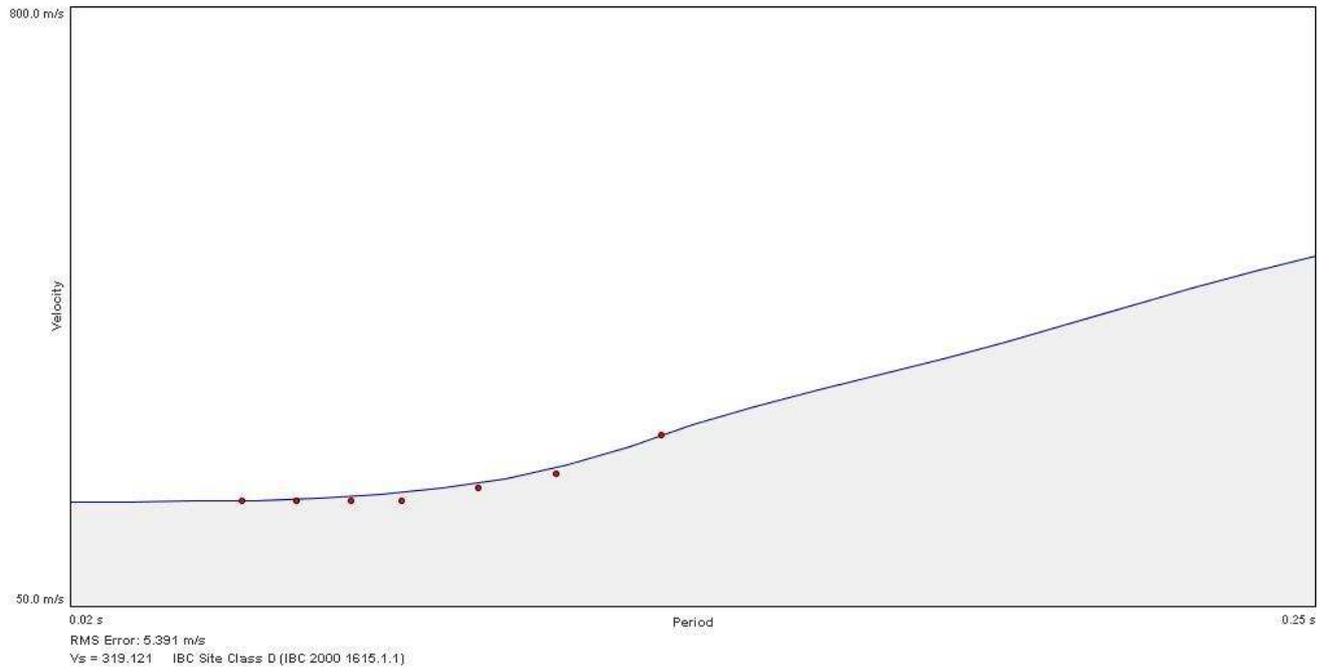


Fig. 4.1 - linea lo-1-04

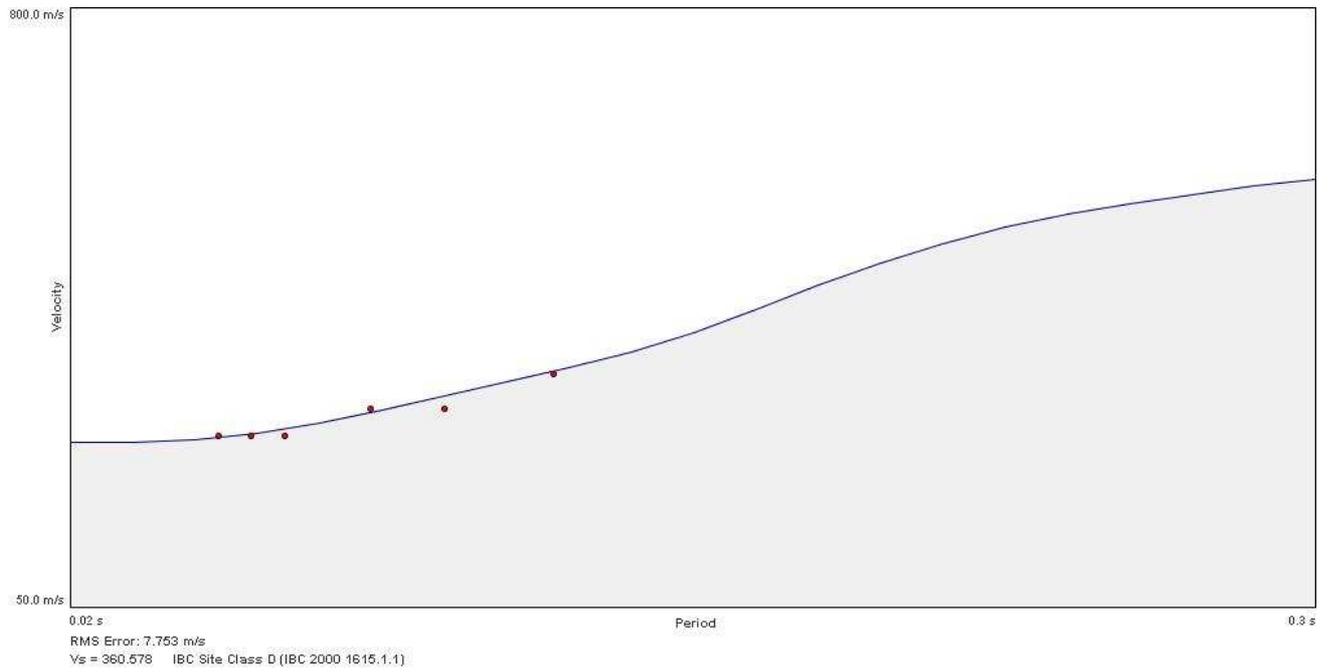


Fig. 4.2 - linea lo-2-16

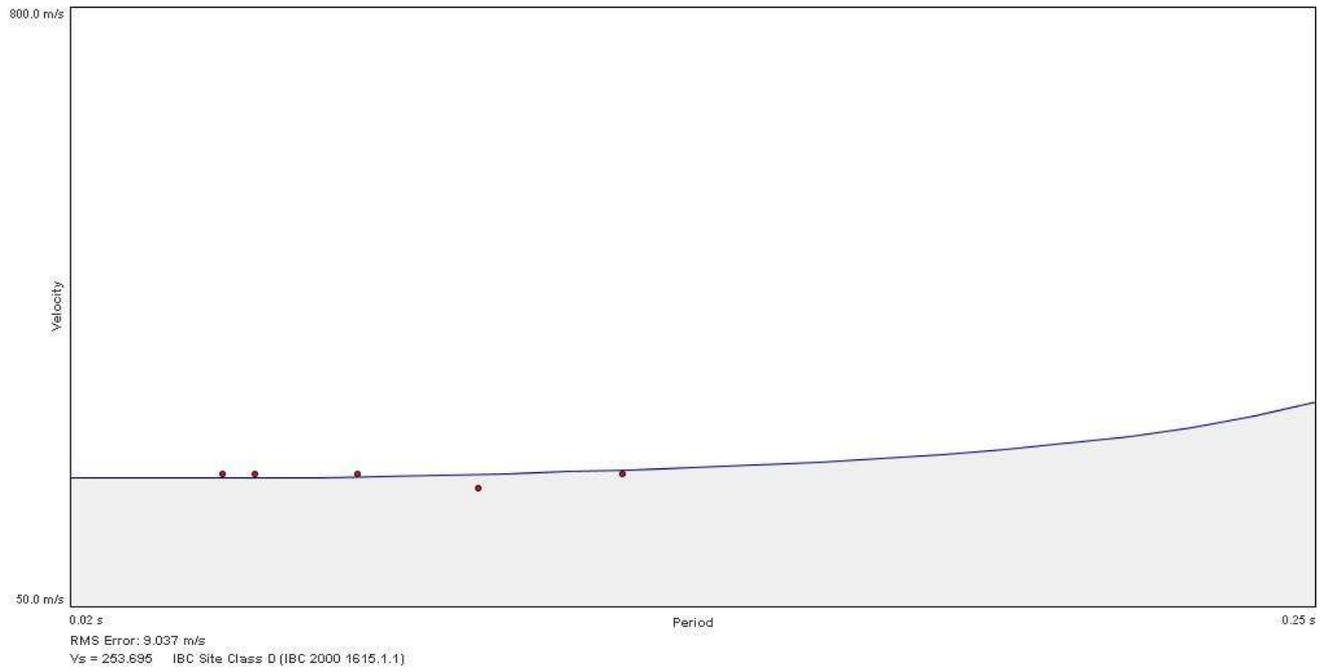


Fig. 4.3 - linea lo-3-29

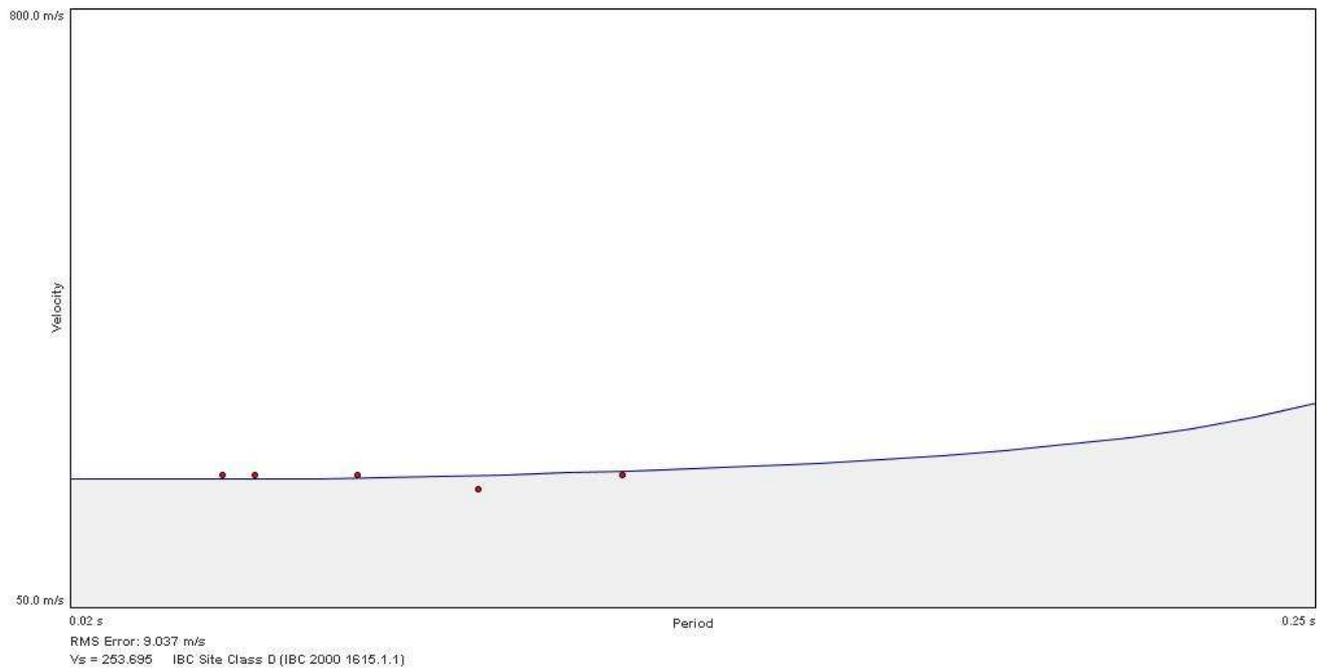


Fig. 4.4 - linea lo-4-39

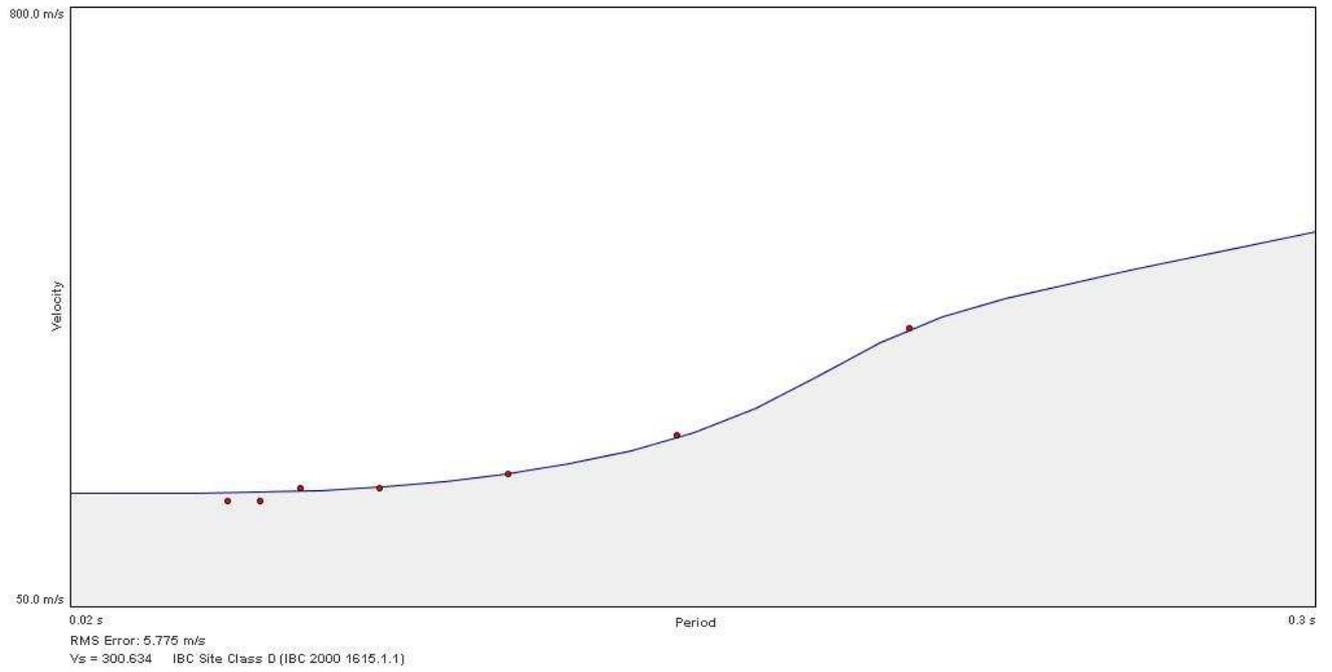


Fig. 4.5 - linea lo-5-48

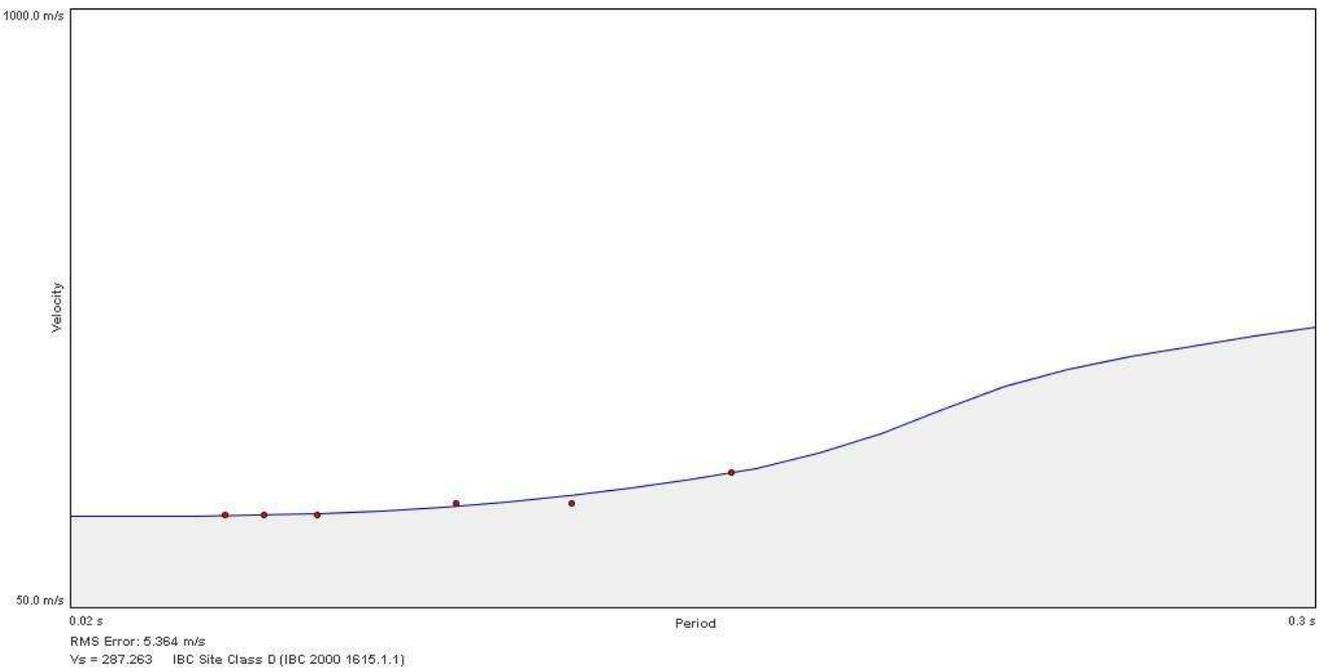


Fig. 4.6 - linea lo-6-53

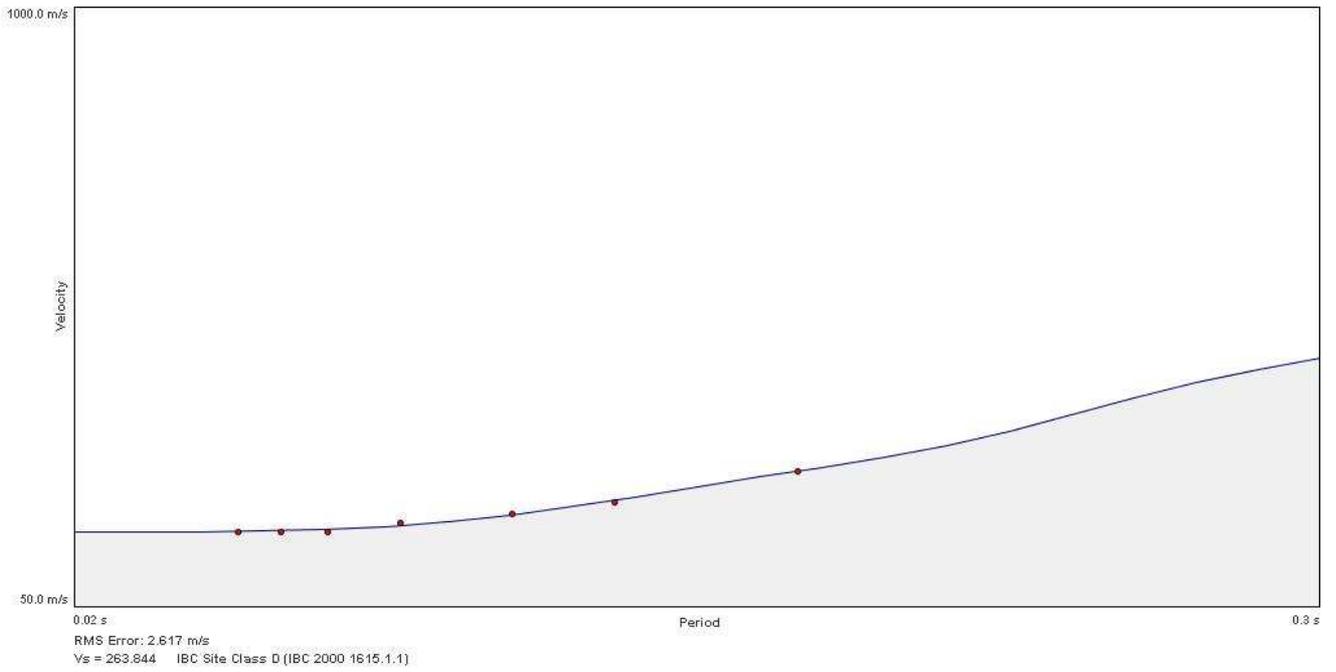


Fig. 4.7 - linea lo-7-68

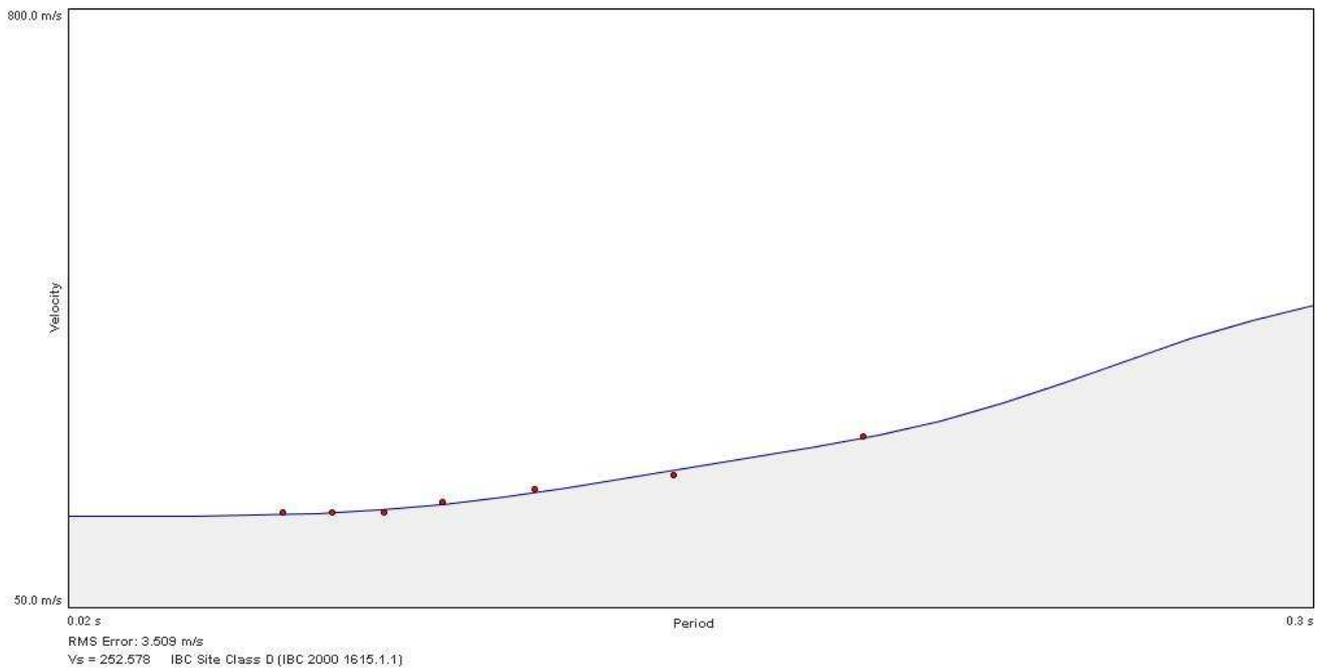


Fig. 4.8 - linea lo-8-77

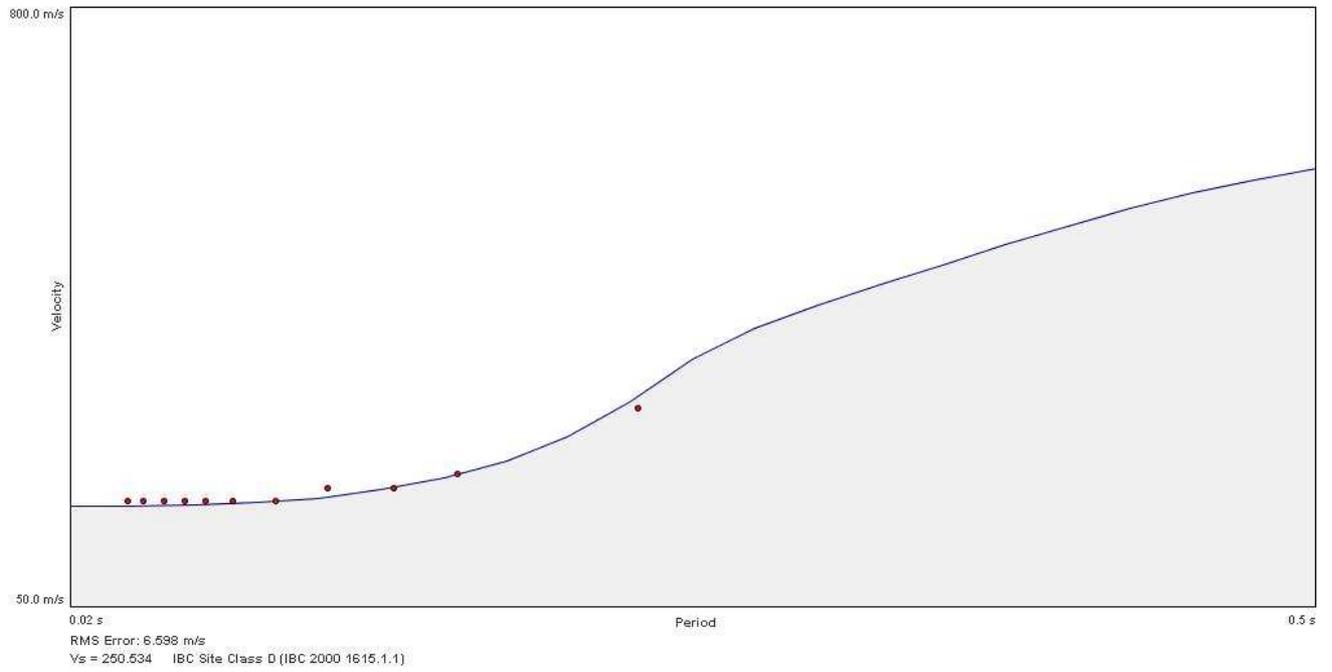


Fig. 4.9 – linea lodi-1-8

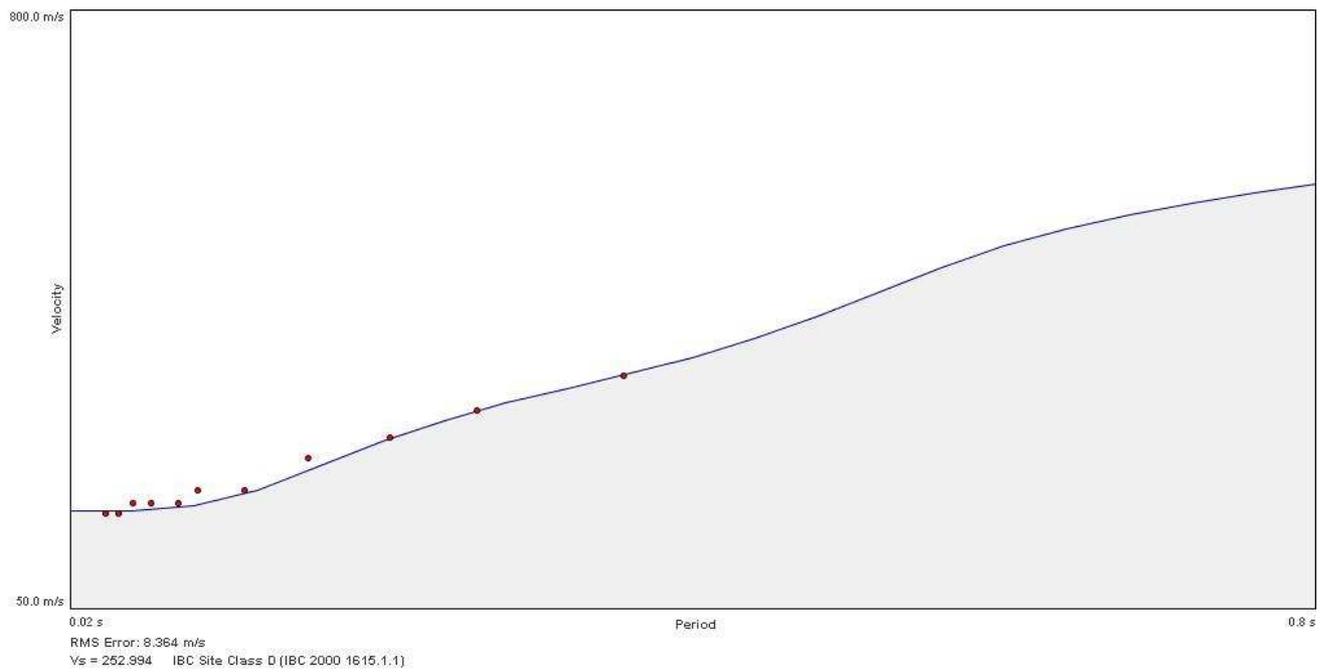


Fig. 4.10 – linea lodi-2-13

PARTE 2: ANALISI CON DOWN HOLE

E' stata effettuata una prova sismica tipo Down-Hole nell'area ex AAB, in viale Pavia 3 a Lodi, all'interno di un foro di sondaggio in precedenza eseguito.

Lo scopo delle indagini è di valutare le velocità sismiche alle varie profondità dei terreni attraversati.

Il sondaggio meccanico eseguito a rotazione continua con prelievo del materiale, è stato attrezzato con tubi in PVC da 3 metri, avente spessore > 3 mm e diametro esterno pari a 80 mm, sono stati avvitati insieme. L'intercapedine foro-tubatura, al fine di ottenere dati sismici di elevata qualità, è stata completamente cementata sino al p.c., con immissione da fondo foro di miscela cemento - bentonite in pressione.

L'indagine geofisica con metodo Down-Hole, è stata eseguita dopo più di 15 giorni dal termine della posa della tubatura di rivestimento, per consentire un'adeguata completa presa della miscela.

In particolare la prova sismica è stata eseguita con le seguenti caratteristiche:

Down-Hole	Sondaggio	Profondità m	Interdistanza letture m
DH_S1	S1	30	1

7. CARATTERISTICHE ATTREZZATURE

L'indagine Down-Hole è stata eseguita utilizzando un sismografo multicanale ad incrementi di segnale, della P.A.S.I. mod. 16S24P, utilizzando un sistema d'energizzazione come sotto descritto:

Energizzazione: mazza con massa di 10 kgf e piattina di battuta (Vp); trave di battuta opportunamente contrastata al suolo tramite autocarro (Vs).

Ricezione: Geofono da foro tridimensionale, frequenza pari a 14 Hz con diametro da 70 mm e dispositivo di bloccaggio pneumatico.

Le specifiche tecniche dello strumento sono:

- processore: Pentium 200 MMx Intel,
- Trattamento dati: Floating Point 32-Bit,
- Ambiente operativo: Windows 3.11,
- Canali: 24
- Display: VGA colori LCD_TFT 10,4"
- Supporto memorizzazione.: Hard Disk 2,1 Gb
- Risoluzione acquisizione: 6/24 bit
- Sonde ambiente interne: temperatura, umidità relativa
- Formato dati: Pasi (.osv) e SEG-2 (.dat),
- Durata acquisizioni: Rifrazione, 32÷2048 ms Riflessione, 32÷16384 ms,
- Tempi campionamento: da 16 µs a 2 ms
- Filtri digitali: Passa alto (25÷400 Hz) Passa Basso (100÷250 Hz) Notch (50÷180 Hz)
- Attivazione filtri: in acquisizione o manualmente
- Trigger: inibizione impulsi dovuti a rimbalzi

Importanti funzioni dello strumento sono:

- possibilità di sommatoria, con/senza pre visualizzazione totale/parziale;
- marker fisso o dinamico
- Auto Gain Control
- Delay Time
- Pre e post trigger
- Noise monitor
- Trace size automatica o manuale per ogni canale.

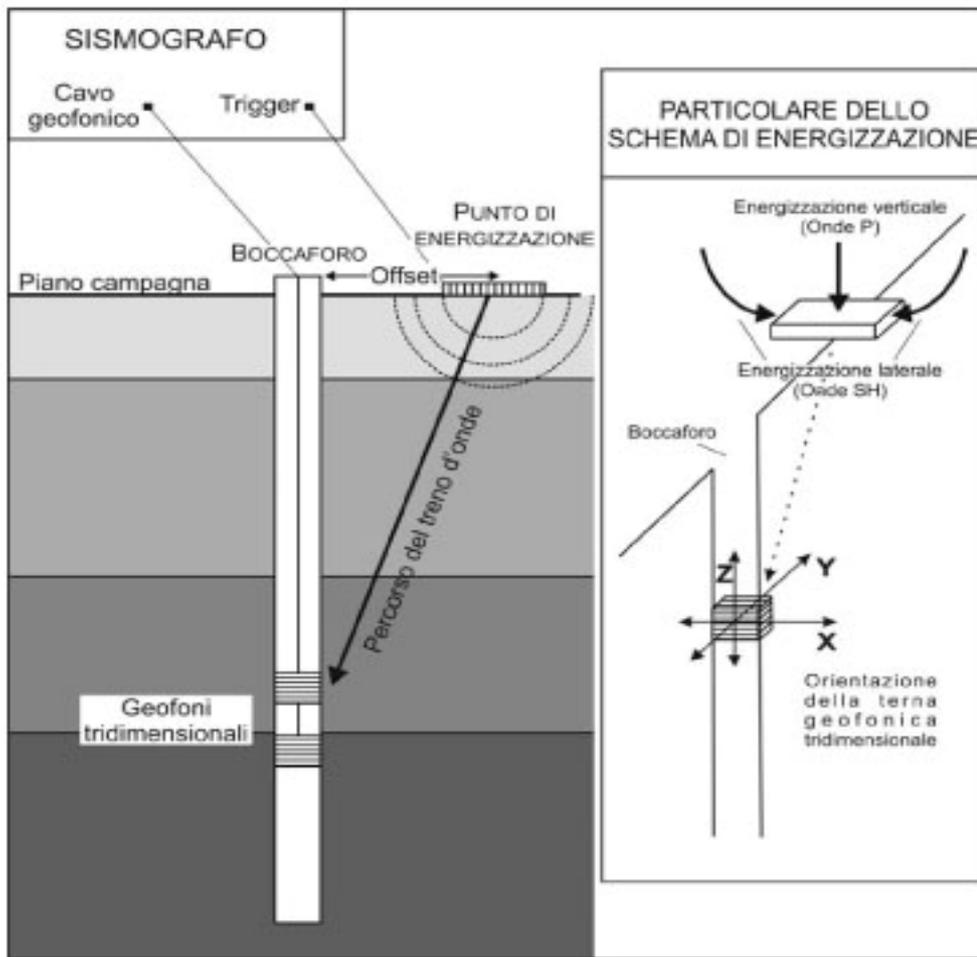
Successivamente, dopo aver computerizzato i dati con un programma specifico (Sismopc), è possibile rivedere i segnali e quindi eventualmente filtrarli od amplificarli per una più corretta acquisizione dei tempi d'arrivo. La velocità di propagazione delle perturbazioni, indotte energizzando il suolo con i sistemi suddetti, dipende dalle caratteristiche meccaniche di un determinato litotipo ed in particolare dai moduli elastici di: Young, Poisson, d'incompressibilità, di rigidità e dalla densità. Il metodo sismico a rifrazione in foro, fornisce risultati correlabili a modelli sismostratigrafici, che presentano una precisione accurata, tanto più le condizioni di esecuzione della prova in foro, si avvicinano alle seguenti:

Il volume di terreno interessato sia stratificato orizzontalmente e che all'interno di ogni strato il comportamento del terreno si possa considerare sufficientemente elastico, omogeneo ed isotropo. Utilizzo di tubature ad alta impedenza alle vibrazioni, (alluminio o PVC). Perfetta cementazione dell'intercapedine foro-tubatura di rivestimento, all'interno della quale viene ancorato il geofono tridimensionale.

8. METODOLOGIA SISMICA DOWN-HOLE

La prova sismica Down-Hole, è eseguita con lo scopo di misurare la velocità delle onde sismiche dirette, che si propagano dalla superficie nel terreno in profondità, energizzando il terreno in direzione verticale e in direzione trasversale (parallelamente al suolo).

Nel primo caso sono generate prevalentemente onde di compressione (onde P) che si propagano in profondità e vengono registrate al meglio dal geofono verticale (asse z). Nel secondo caso verranno generate prevalentemente onde di taglio (onde SH) visibili principalmente sui geofoni con l'asse posto orizzontalmente (assi x e y).



(schema semplificato di un'indagine Down-hole)

Il sistema di ricezione, costituito da un geofono tridimensionale da foro ad ancoraggio pneumatico, viene calato nel foro, sino alla profondità massima di investigazione e progressivamente sollevato dell'interdistanza propria di ciascuna indagine (nel caso in esame 1 m).

Le onde di taglio hanno velocità inferiori rispetto a quelle di compressione e quindi raggiungeranno il geofono triassiale quando il primo fronte d'onda di compressione è già transitato.

Questo passaggio purtroppo costituisce un disturbo per la misura delle onde trasversali in quanto i geofoni orizzontali si trovano ancora in movimento all'arrivo dell'onda trasversale o di taglio.

Per migliorare il rapporto fra l'energia dell'onda di compressione e l'energia dell'onda trasversale (di taglio) a favore di quest'ultima, si realizza una doppia energizzazione orizzontale con verso opposto.

La sottrazione delle forme d'onda relative a queste due acquisizioni, riduce sensibilmente la componente di compressione presente nel segnale.

La misura dei tempi dei primi arrivi delle onde sismiche deve essere realizzata con precisione e con un dettaglio non superiore al decimo di millisecondo.

L'analisi interpretativa dei dati, prevede un sismogramma per le forme d'onda relative al geofono verticale (asse z) e in un altro sismogramma le forme d'onda relative ai geofoni orizzontali (assi x e y).

Poiché i geofoni orizzontali sono due (e posizionati tra loro a 90°) e il sismogramma uno solo, è necessario che le forme d'onda vengano fra loro composte secondo un certo angolo ϑ (diverso da 90°) che viene opportunamente modificato dal programma di interpretazione per cercare il piano di oscillazione principale dell'onda di taglio.

La progressiva modifica dell'angolo di composizione tra x e y, accompagnata dalla grafica in tempo reale della forma d'onda composta, consente di individuare quel valore dell'angolo ϑ per il quale è minima l'energia dell'onda di compressione e massima quella dell'onda trasversale.

Questo valore dell'angolo di composizione, diverso per ciascuna profondità, viene utilizzato per la creazione del sismogramma riguardante le onde di taglio.

9. DATI CONCLUSIVI DELLA PROVA SISMICA DOWN HOLE

In queste particolari indagini, le acquisizioni sono state eseguite utilizzando una catena con geofono tridimensionale da foro, ad ancoraggio pneumatico, azionabile dalla superficie, sensibile sia alle onde di compressione sia a quelle di taglio, con spazature delle singole misure di 1 m.

Va ricordato che nella sismica in foro, non sempre gli spessori di strati con velocità sismica omogenea, coincidono con quelli delle stratificazioni rilevate nella perforazione, poiché si possono individuare orizzonti contraddistinti da caratteristiche elastiche mediamente costanti che potrebbero essere comuni a litotipi simili.

Per contro la metodologia di prova down-hole, come d'altronde altre tecniche di rilevazione sismica in foro, presenta in rapporto alle prospezioni sismiche di superficie di rifrazione, il vantaggio non indifferente di consentire la rilevazione delle velocità sismiche, senza che queste ultime debbano necessariamente aumentare con la profondità.

Ciò consente di valutare eventuali inversioni di velocità, all'interno anche di un omogeneo strato o pacchi di strati ad analogo grado di consistenza incontrati durante la perforazione ed evidenziare quindi "fasce di debolezza" presenti a differenti profondità, lungo la stessa verticale di prova.

I punti di scoppio (o di energizzazione) delle onde di compressione (onde P) e la trave di battuta per l'energizzazione polarizzata delle onde di taglio (onde S), orientata perpendicolarmente al raggio del foro sono stati ubicati come indicato in tabella e riportato nella schede.

Down-Hole	Distanza energizzazione onde P m	Distanza energizzazione onde S m
DH_S1	3,10	3,10

In base a quanto sopra, sono quindi state calcolate le rispettive velocità di trasmissione delle onde V_p e V_s .

I dati delle singole misure effettuate, sono opportunamente tabulati in funzione della profondità, per ogni singola verticale d'indagine e diagrammati come sotto indicato:

profondità/dromocrona tempi d'arrivo (onde P e onde SH),

profondità/velocità di pseudo-intervallo (onde P e onde SH),

Quest'ultimo diagramma comparativo, evidenzia le differenti velocità (onde P e onde S) in funzione della profondità di prospezione.

Si può quindi operare, con raffronto diretto, la comparazione tra andamento delle velocità sismiche e la colonna stratigrafica semplificata, del sondaggio geognostico del punto di prova (cfr. schede allegata: Prova sismica in foro Down Hole).

Nella scheda elaborazione sono riportate:

Profondità

Tempi di arrivo delle onde P

Tempi di arrivo delle onde S (media)

Velocità delle onde P

Velocità delle onde S

Stratigrafia sintetica del sondaggio

Diagramma Tempi/profondità onde S e P

Diagramma Velocità/profondità onde S e P

Nella scheda parametri sono inoltre riportati anche:

Coefficiente di Poisson dinamico

Modulo di elasticità dinamico

Modulo di taglio dinamico

Modulo di compressibilità dinamico

I parametri dinamici sono stati calcolati mediante le seguenti formule:

$$\nu = \frac{0.5(V_p/V_s)^2 - 1}{(V_p/V_s)^2 - 1} \quad K = \gamma[V_p^2 - 4/3V_s^2] \quad G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

$$E = V_s^2 \cdot \gamma[(3V_p^2 - 4V_s^2)/(V_p^2 - V_s^2)]$$

tempi misurati				Vs media (sec)
m	Vp (sec)	Vsx (sec)	Vsy (sec)	(Vsx+Vsy)/2
1	0.0055	0.0063	0.0063	0.0063
2	0.0076	0.0089	0.0087	0.0088
3	0.01	0.012	0.013	0.0125
4	0.0127	0.0156	0.0158	0.0157
5	0.0146	0.0182	0.0184	0.0183
6	0.0159	0.02	0.021	0.0205
7	0.0173	0.0251	0.0227	0.0239
8	0.0189	0.0275	0.0281	0.0278
9	0.02	0.0326	0.033	0.0328
10	0.023	0.0386	0.0366	0.0376
11	0.0249	0.0422	0.0411	0.04165
12	0.0256	0.0497	0.0493	0.0495
13	0.026	0.0585	0.053	0.05575
14	0.0264	0.0618	0.0622	0.062
15	0.027	0.069	0.0665	0.06775
16	0.0275	0.0729	0.0731	0.073
17	0.028	0.0745	0.0775	0.076
18	0.0285	0.0753	0.0807	0.078
19	0.0291	0.0774	0.0832	0.0803
20	0.0297	0.0781	0.0891	0.0836
21	0.0303	0.0854	0.092	0.0887
22	0.0309	0.0969	0.0965	0.0967
23	0.0315	0.1016	0.1012	0.1014
24	0.032	0.1054	0.103	0.1042
25	0.0325	0.107	0.106	0.1065
26	0.0331	0.1104	0.1083	0.10935
27	0.0336	0.1144	0.1123	0.11335
28	0.0341	0.1165	0.1152	0.11585
29	0.0346	0.1176	0.118	0.1178
30	0.0351	0.12	0.12	0.12
31	0.0055	0.0063	0.0063	0.0063

Tempi di arrivo delle onde P, Sx, Sy e S media

10. DEFINIZIONE CATEGORIA SUOLO SISMICO

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto sono stati esaminati i dati ottenuti dalla prospezione Down - Hole, che permettono di caratterizzare il sottosuolo basandosi sulla misura diretta dei valori della velocità media delle onde di taglio V_s .

Da tale analisi si sono ottenuti i relativi valori di velocità delle onde V_s , per i vari strati individuati

La determinazione è stata effettuata come prescritto da:

Ordinanza del P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003

D.M. 14 gennaio 2008 "Norme tecniche per le Costruzioni".

Si ricorda che la nuova normativa definisce l'azione sismica di progetto, sulla base della zona sismica di appartenenza del sito e la categoria sismica di suolo su cui sarà realizzata l'opera. All'interno del territorio nazionale fino ad oggi sono state individuate 4 zone sismiche, contraddistinte dal valore a_g dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità (v. Allegato 1 ord. 3274 del 2003 e succ. modifiche). La classificazione del suolo (tabella 1) è invece convenzionalmente eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove V_{s_i} e h_i sono la velocità delle onde di taglio verticali e lo spessore dello stato i -esimo.

Suolo	Descrizione geotecnica	V_{s30} (m/sec)
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_s 30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m	>800
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_s 30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fina)	360-800 ($N_{spt} > 50$) ($C_u > 250$ KPa)
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_s 30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_u < 250$ kPa nei terreni a grana fina)	180-360 ($15 < N_{spt} < 50$) $70 < C_u < 250$ KPa)
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_s 30 inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{spt} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_u < 70$ kPa nei terreni a grana fina)	<180 ($N_{spt} < 15$) ($C_u < 70$ KPa)
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con V_s 30 > 800 m/s)	
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_s 30 inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < C_u < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.	<100 ($10 < C_u < 20$ Kpa)
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti	

Tabella 1: classificazione del tipo di suolo secondo le "Nuove norme tecniche per le costruzioni" D.M. 14/01/2008 da Tabelle 3.2.II (categorie di suolo) e 3.2.III (categorie di suolo aggiuntive) mod.

In base a quanto sopra la classificazione delle categorie dei suoli di fondazione, (cfr. Ord. Pres. Consiglio dei Ministri 3274 del 20-3-2003 e art. 3.2.1 DM 14-9-05), ai vari strati sismostratigrafici individuati, è stato associato il valore della velocità V_s direttamente

misurate, consentendo di ottenere la Vs30, cioè la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo, dall'espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{Si}}}$$

dove

hi = spessore dello strato i-esimo

VSi = velocità onde S nello strato i-esimo

N = numero strati considerati

Ottenendo in base ai dati sopra esposti una velocità Vs30 di:

velocità calcolata da p.c. a -30 m da p.c.

Vs30= 251 m/sec

Che corrisponde in tutti e due i casi ad una Categoria del suolo di fondazione di tipo C (Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs 30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s)

Si ricorda che in base all'art 322 del DM 14 gennaio 2008 la velocità delle Vs30 va calcolata dal piano di posa delle fondazioni.

11. ANALISI E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO

In relazione alle disposizioni contenute in Del. Giunta R. Lombardia 30-11-11 n. 2616 che ha apportato aggiornamento dei "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio", sono previsti 3 livelli di approfondimento con grado di dettaglio in ordine crescente, di cui i primi 2 obbligatori in fase di pianificazione ed il 3° se il livello 2 evidenzia situazioni di inadeguatezza della normativa nazionale, per scenari di pericolosità sismica locale, caratterizzati da amplificazione, per effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione / contatto stratigrafico – tettonico come indicato in tabella:

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)	Cedimenti e/o liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata con parete sub-verticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

In particolare in relazione alla zona in analisi, è stato sviluppato uno studio di 2° Livello, associabile a possibili scenari di amplificazione di zona Z4 (in particolare Z4a).

La procedura indicata consiste in un approccio di tipo semi quantitativo e fornisce la stima quantitativa della risposta sismica locale dei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (Fa), riferito agli effetti litologici del sito, per intervalli di periodo tra 0,1÷0,5 sec. (strutture relativamente basse) e intervalli 0,5÷1,5 sec. (edifici e strutture più alte e flessibili).

Effetti Litologici di amplificazione

La procedura semplificata utilizzata richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

litologia prevalente dei materiali investigati

stratigrafia del sito

andamento delle Vs con la profondità fino a valori ≥ 800 m/sec

spessore e velocità sismica di ciascun strato

modello geofisico e geologico geotecnico del sito per la scelta dei punti più rappresentativi per l'esecuzione dell'analisi di amplificazione

Successivamente si procede alla scelta della scheda rappresentativa di valutazione, cui fare riferimento per la litologia prevalente del sito in analisi.

Tale scelta si deve basare anche sulla rispondenza dell'andamento dei valori di Vs con la profondità, ed in presenza di alternanze litologiche sostanzialmente diverse, la scheda scelta è considerata validabile, solo se l'andamento dei valori di Vs, è compatibile con la scheda prescelta.

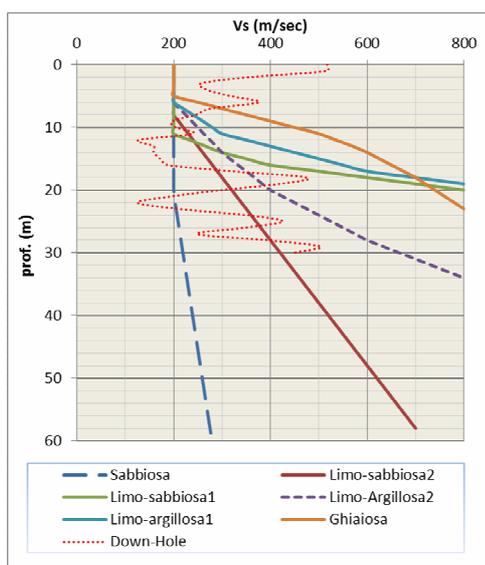
La scelta dei dati stratigrafici, geotecnici e sismici del sito sono stati desunti da indagini dirette (sondaggio meccanico e sismica in foro tipo down hole) e per i dati stratigrafici si è fatto riferimento a sondaggi profondi per uso idropotabile utilizzati in precedenza per la redazione di sezioni Geologiche a corredo dello studio geologico del P.I.I. ex Area ABB. (sez. 6a e 6b).

I parametri scelti per la procedura di 2° livello a dottata, presentano perciò un grado di attendibilità medio, se riferiti ai dati litologici e stratigrafici, di grado alto se riferiti alle procedure di ricerca ed elaborazione dei dati sismici (cfr. art 57 LR 12/2005 - Tab3 All. 5).

In base a quanto sopra esposto, poiché non è presente nella normativa della regione Lombardia, una scheda litologica di valutazione specifica, che rispecchi la litologia del sito in analisi, come previsto da art. 3.2 Al. 5-Integrazioni, si è utilizzata la scheda di valutazione che presenta l'andamento delle Vs con la profondità più simile a quella riscontrata dall'indagine in foro down hole.

Da tale verifica, la congruenza che più si approssima fra l'andamento delle Vs (da Down Hole) e la litologia prevalente del sito, con profondità, con quanto previsto All. 5 Procedure Effetti di sito, si ottiene con la scheda "Effetti Litologici – Scheda litologia Limoso Sabbiosa 2" come desumibile anche dal grafico1 sottostante.

Grafico 1: confronto fra le diverse schede "effetti Litologici" come da all. 5 DG RL n. 2616/2011, e la prova sismica in foro direttamente eseguita in situ (D-Hole)



In particolare mancando dati litologici o stratigrafici degli orizzonti più profondi, come in precedenza accennato, in base alle stratigrafie dei pozzi della zona, si prevede una serie di alternanze di orizzonti essenzialmente sabbiosi e/o ghiaiosi con intercalazioni argillose.

Dati di input

Litologia prevalente

Si tratta di depositi alluvionali più o meno recenti, costituiti essenzialmente da bancate ghiaiose e sabbiose ad medio elevata densità, intercalati a livelli limoso e sabbiosi o argilloso-limosi a spessore subordinato, che si ritrovano in profondità sino a prof superiori i 130-140 m.

L'addensamento dei materiali è variabile ed in genere nelle bancate sabbiose-ghiaiose è in aumento con la profondità o con l'aumento di granulometria, la struttura del deposito complessivamente è di tipo granulare, ma con presenza di matrice fine sabbiosa e subordinatamente limosa.

L'attribuzione del peso di volume in mancanza di prove di laboratorio ad hoc, è stato attribuito da dati bibliografici, per analogia con materiali a granulometria e caratteristiche deposizionali analoghe.

Stratigrafia del sito

Livelli superficiali essenzialmente limosi e sabbiosi con parametri di resistenza alla penetrazione variabili fra valori di NSPT= 8/10/17 nei primi 4/5 m, per passare poi a NSPT=26/35-38 m sino a -20 m nei livelli essenzialmente ghiaioso sabbiosi presenti e/o per analogia granulometrica più in profondità (-25/30 m ove però non sono state eseguiti SPT), mentre nelle subordinate intercalazioni a composizione limo-argillosa o sabbiosa i valori variano fra NSPT= 14-20. Si veda in dettaglio la scheda del sondaggio (S1).

Andamento Vs con la profondità / Spessore e velocità di ciascun strato. Si veda la scheda e i grafici della prova sismica in foro Down Hole (sondaggio S1 tavola 1_A)

Sezione geologiche e modello geofisico

In relazione alla litologia prevalente (vedi punto 1), alla stratigrafia del sito (desunta anche dalle colonne di perforazione di pozzi) e della sua caratterizzazione sismica mediante prove sismiche in foro, è stato possibile schematizzare il seguente modello geofisico, esposto in Tab. 1:

Tab. 1

schematizzazione modello geofisico				
strato sismico n°	Profondità (m)		Velocità 'media' onda taglio dello strato Vs m/sec	Periodo T (singolo strato)
	da	a		
1	0	4.0	292	0,055
2	4.0	6.0	347	0,023
3	6.0	11	233	0,086
4	11	16	161	0,124
5	16	19	406	0,030
6	19	23	207	0,077
7	23	26	374	0,032
8	26	27	248	0,016
9	27	46	448	0,170
10*	46*	58*	480	0,100
11*	58*	90*	575	0,223
12*	90*	108*	620	0,116
13*	108*	120*	750	0,064
14*	120*	130*	800	0,050

*= ipotesi basate sul gradiente di velocità Vs, ottenuto dai dati delle indagini sismiche e dalle stratigrafie pozzo

In base ai valori sopra esposti è stata calcolata l'eventuale amplificazione sismica di effetto litologico del sito in esame.

In particolare si sono ottenuti valori di periodo T, considerando tutta la sismo stratigrafia sino alla profondità utile ($V_s \geq 800$ m/sec) desunti da Tab. 1 e calcolati con la relazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

T125=	0.9935	sec
-------	--------	-----

dove:

hi= spessore strato i-esimo

Vsi= velocità strato i-esimo

Fattore di amplificazione (Fa)

A questo punto necessita determinare il valore di Fa (Fattore amplificazione) approssimato alla prima cifra decimale, dagli abachi della scheda Regionale di valutazione per litologia limoso Sabbiosa2, scegliendo la curva più appropriata in funzione della velocità sismica e dello spessore del primo strato, ottenendo dalle curve di correlazione T-Fa0.1÷0.5 (curva 2 e 3) e Fa0.5÷1.5 (curva unica):

Fa0.1÷0.5= 1.77-0.38lnT [curva 2 x valori di periodo 0.4<T≤1.00 (tratto logaritmico)]

Fa0.1÷0.5= 1.58-0.24lnT [curva 3 x valori di periodo 0.4<T≤1.0 (tratto logaritmico)]

Fa0.5÷1.5= -1.33T²+2.02T+0.79 [curva unica]

Ottenendo in base al periodo T125 della sequenza sopra ipotizzata:

CASO 1) Fa0.1÷0.5= 1.77 (curva 2)

CASO 2) Fa0.1÷0.5= 1.58 (curva 3)

CASO 3) Fa0.5÷1.5= 1.48 (curva unica)

La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuto energetico, confrontando il valore Fa sopra ottenuto, con analogo procedimento che è stato utilizzato, per classificare ciascun comune della regione e valido per le zone sismica di calcolo (zona 2,3,4) e per le diverse categorie del suolo di fondazione soggette ad amplificazione litologica (B, C, D ed E) per ciascuno degli intervalli di periodo considerati:

“0.1÷0.5” appropriato per la maggior parte degli edifici presenti sul territorio regionale (edifici con strutture “rigide” e sviluppo strutturale verticale max 5 piani)

“0.5÷1.5” rappresentativo del periodo proprio di alcuni edifici dei centri urbani maggiori (edifici con strutture “flessibili” e sviluppo verticale fra 5÷15 piani)

Quindi in base a:

-zona sismica assegnata al comune di Lodi: zona 3

-alle categorie di suolo di fondazione, desunta dal parametro Vs30 ottenuto dalla prova sismica Down Hole: Vs30 = 251 m/sec cat. suolo C

-al valore di soglia, previsto dallo spettro di risposta, proposto dalla normativa:

		Valori soglia per T 0.1÷0.5			
Comune	Classif sismica	Suolo B	Suolo C	Suolo D	Suolo E
Lodi	3	1.4	1.8	2.2	1.9

		Valori soglia per T 0.5÷1.5			
Comune	Classif. sismica	Suolo B	Suolo C	Suolo D	Suolo E
Lodi	3	1.7	2.4	4.1	3.0

Paragonando tali valori di soglia con quelli sopra calcolati assumendo una variabilità massima di ± 0.1 dei valori di F_a , per tenere in conto il diverso contenuto in frequenza del moto di input, si evince che:

$$F_{a0.1\div 0.5} = 1.58/1.77 < \text{valore di soglia per suolo C}$$

$$F_{a0.5\div 1.5} = 1.48 < \text{valore di soglia per suolo C}$$

Quindi si evince che sia per periodo 0.1÷0.5) caratteristico di edifici “rigidi” anche utilizzando la curva 2 (cioè più penalizzante rispetto ai terreni rilevati che indicherebbero utilizzo della curva 3), sia per il caso di edifici “flessibili” (periodo 0.5÷1.5), il valore F_a calcolato, è inferiore al valore soglia tenuto in conto dalle norma sismica, quindi quest’ultima è sufficiente a tenere in considerazione possibili effetti di amplificazione litologica e possono quindi considerarsi sufficienti gli spettri da normativa (classe di pericolosità H1).

Fig. 1: Ubicazione area di intervento



Esecuzione prova Down-Hole
Fig. 2: Piazzamento DH_S1



Tempi arrivi DH_S1
Fig. 3: Tempi di arrivo onde P

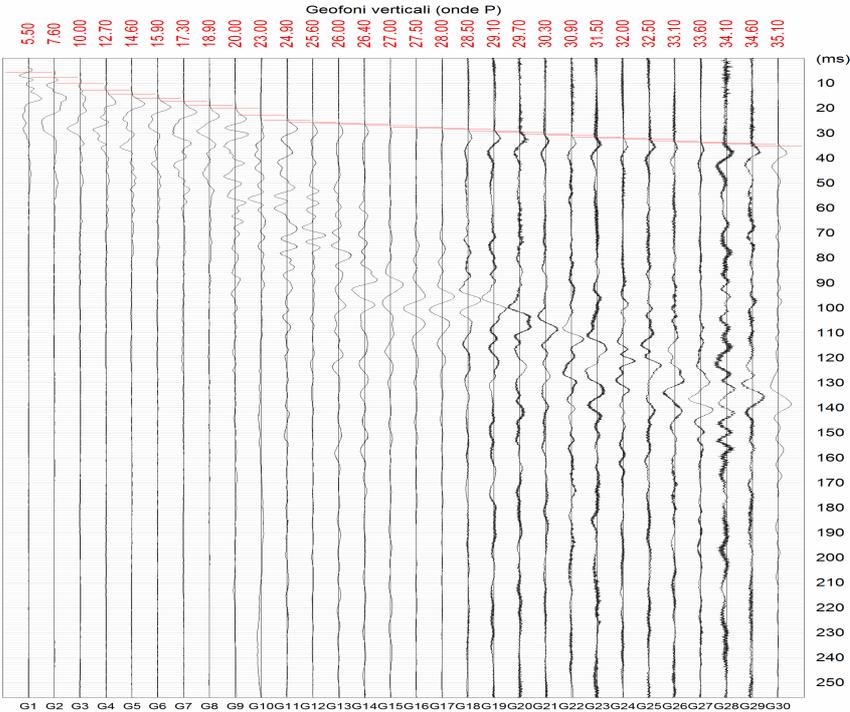


Fig. 4: Tempi di arrivo onde Sx

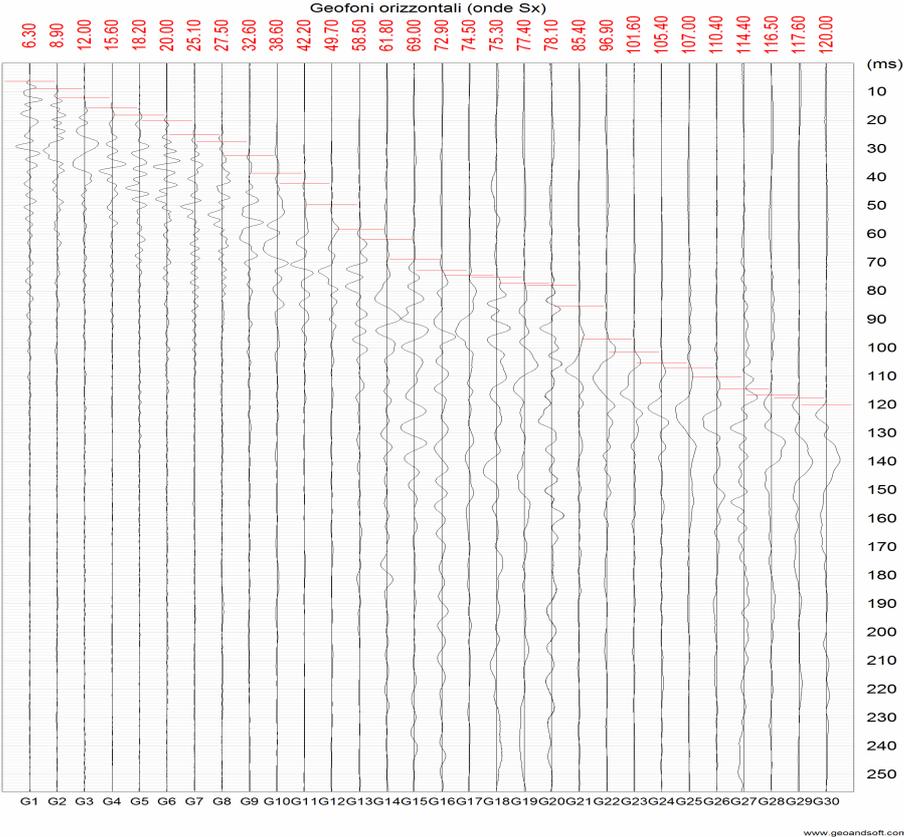
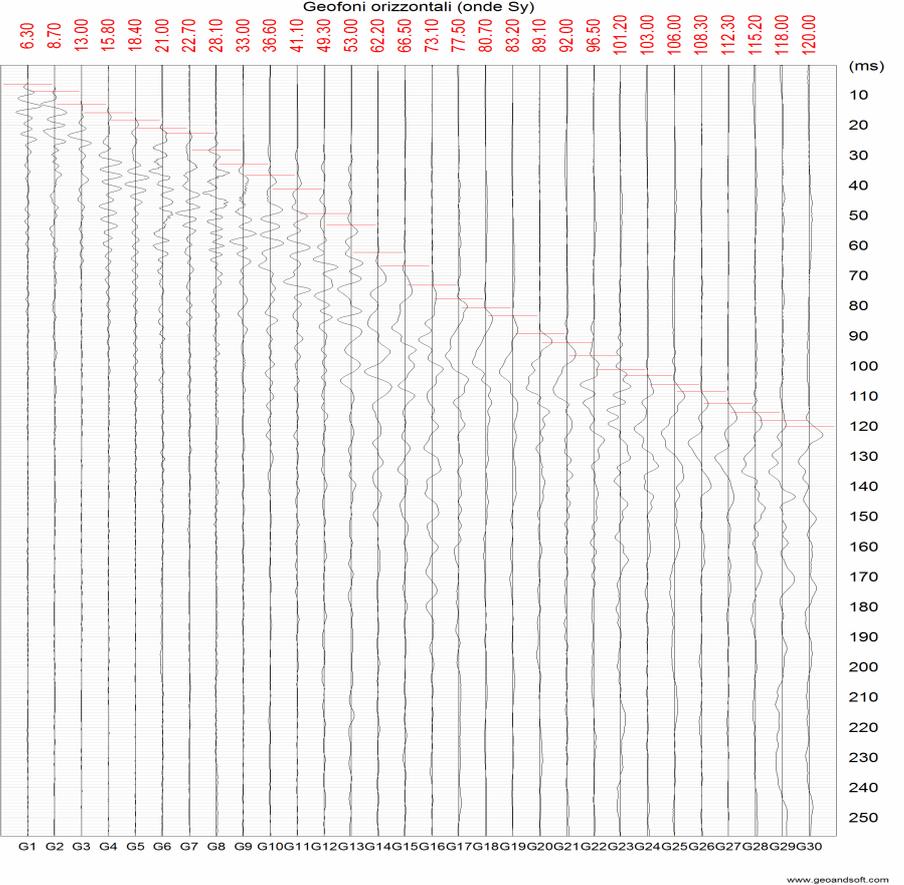


Fig. 5: Tempi di arrivo onde Sy



Prof. m	tp (onda P) msec	ts (onda S) msec	d m	tempi corretti		Velocità Sismica	
				onda P	onda S	onda P	onda S
				msec	msec	m/sec	m/sec
0.0							
1.00	5.50	6.30	3.26	1.689	1.934	592	517
2.00	7.60	8.80	3.69	4.120	4.771	411	353
3.00	10.00	12.50	4.31	6.954	8.693	353	255
4.00	12.70	15.70	5.06	10.038	12.410	324	269
5.00	14.60	18.30	5.88	12.409	15.553	422	318
6.00	15.90	20.50	6.75	14.126	18.213	582	376
7.00	17.30	23.90	7.66	15.818	21.853	591	275
8.00	18.90	27.80	8.58	17.623	25.922	554	246
9.00	20.00	32.80	9.52	18.910	31.012	777	196
10.00	23.00	37.60	10.47	21.969	35.914	327	204
11.00	24.90	41.65	11.43	23.966	40.088	501	240
12.00	25.60	49.50	12.39	24.786	47.927	1220	128
13.00	26.00	55.75	13.36	25.291	54.229	1982	159
14.00	26.40	62.00	14.34	25.776	60.534	2063	159
15.00	27.00	67.75	15.32	26.441	66.348	1502	172
16.00	27.50	73.00	16.30	26.998	71.667	1796	188
17.00	28.00	76.00	17.28	27.546	74.767	1825	323
18.00	28.50	78.00	18.26	28.087	76.868	1849	476
19.00	29.10	80.30	19.25	28.720	79.252	1578	420
20.00	29.70	83.60	20.24	29.350	82.613	1589	297
21.00	30.30	88.70	21.23	29.975	87.749	1598	195
22.00	30.90	96.70	22.22	30.598	95.754	1606	125
23.00	31.50	101.40	23.21	31.218	100.491	1613	211
24.00	32.00	104.20	24.20	31.736	103.341	1928	351
25.00	32.50	106.50	25.19	32.253	105.691	1936	426
26.00	33.10	109.35	26.18	32.867	108.581	1628	346
27.00	33.60	113.35	27.18	33.381	112.610	1947	248
28.00	34.10	115.85	28.17	33.893	115.146	1952	394
29.00	34.60	117.80	29.17	34.404	117.133	1957	503
30.00	35.10	120.00	30.16	34.914	119.364	1960	448

Depth: Depth of geophone (m)
 Tp: First arrival time of compressive waves (milliseconds)
 Ts: First arrival time of trasversal waves (milliseconds)
 ΔVp : Pseudo-interval velocity of compressive waves (meters/sec)
 ΔVs : Pseudo-interval velocity of trasversal waves (meters/second)

D-
 HOLE S. 1

Cantiere: Area ex ABB

Località: Lodi

v: Poisson coefficient
 E: Elastic modulus (Young) (MPa)
 G: Shear Modulus (MPa)
 K: Incompressibility Modulus (MPa)
 γ : Density (ton/mc)

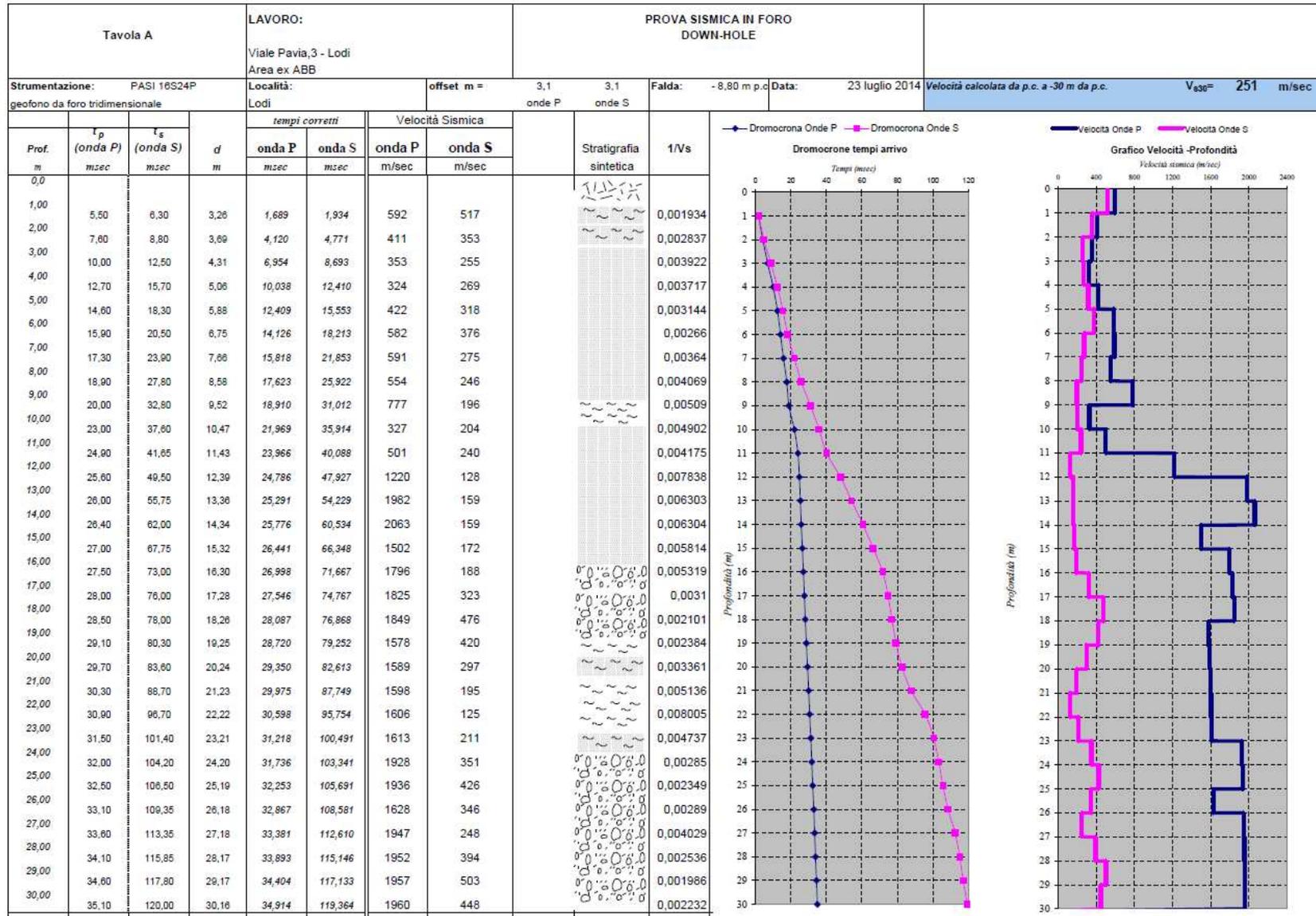
Prof. max indagine Down-hole: -30 m

Tabella dei valori misurati e calcolati

Tavola 1_B

Depth m	Tp ms	Ts ms	ΔVp m/s	ΔVs m/s	$\Delta Vp/$ ΔVs	$\Delta Vs/$ ΔVp	v	E MPa	G MPa	K MPa	γ ton/mc
1	1.69	1.934	592	517	1.1	0.87	0.192	-98	-41	-10	1.8
2	4.120	4.771	411	353	1.2	0.86	0.210	51	21	6	1.8
3	6.954	8.693	353	255	1.4	0.72	0.323	223	84	68	1.8
4	10.038	12.410	324	269	1.2	0.83	0.238	111	45	17	1.95
5	12.409	15.553	422	318	1.3	0.75	0.301	332	128	84	1.95
6	14.126	18.213	582	376	1.5	0.65	0.368	630	230	294	1.95
7	15.818	21.853	591	275	2.2	0.46	0.439	401	139	485	1.95
8	17.623	25.922	554	246	2.3	0.44	0.445	324	112	442	1.95
9	18.910	31.012	777	196	4.0	0.25	0.484	221	74	1078	1.95
10	21.969	35.914	327	204	1.6	0.62	0.379	177	64	92	1.8
11	23.966	40.088	501	240	2.1	0.48	0.435	279	97	313	1.8
12	24.786	47.927	1.220	128	9.6	0.10	0.497	95	32	2859	1.95
13	25.291	54.229	1.982	159	12.5	0.08	0.498	147	49	7593	1.95
14	25.776	60.534	2.063	159	13.0	0.08	0.499	147	49	8232	1.95
15	26.441	66.348	1.502	172	8.7	0.11	0.497	172	58	4325	1.95
16	26.998	71.667	1.796	188	9.6	0.10	0.497	206	69	6200	1.95
17	27.546	74.767	1.825	323	5.7	0.18	0.492	618	207	6387	2
18	28.087	76.868	1.849	476	3.9	0.26	0.483	1327	447	6236	2
19	28.720	79.252	1.578	420	3.8	0.27	0.482	1029	347	4511	2
20	29.350	82.613	1.589	297	5.3	0.19	0.491	472	158	4333	1.8
21	29.975	87.749	1.598	195	8.2	0.12	0.496	204	68	4508	1.8
22	30.598	95.754	1.606	125	12.9	0.08	0.498	84	28	4607	1.8
23	31.218	100.491	1.613	211	7.6	0.13	0.496	239	80	4576	1.8
24	31.736	103.341	1.928	351	5.5	0.18	0.492	657	220	6397	1.8
25	32.253	105.691	1.936	426	4.5	0.22	0.488	962	323	6309	1.8
26	32.867	108.581	1.628	346	4.7	0.21	0.488	707	237	4982	2
27	33.381	112.610	1.947	248	7.8	0.13	0.496	368	123	7421	2
28	33.893	115.146	1.952	394	5.0	0.20	0.490	920	309	7209	2
29	34.404	117.133	1.957	503	3.9	0.26	0.483	1485	501	6981	2
30	34.914	119.364	1.960	448	4.4	0.23	0.487	1183	398	7151	2

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



Tav. A