

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE: A.T.I. CAR SEGNALETICA STRADALE S.R.L.(Capogruppo) – SICURBAU S.R.L.



PROGETTAZIONE: S.T.E. srl – Italiana Sistemi srl.

PROGETTO ESECUTIVO

LINEA A.V. /A.C. TORINO – VENEZIA Tratta MILANO – VERONA

Lotto funzionale Treviglio-Brescia

**INTERVENTI DI MITIGAZIONE ACUSTICA INGRESSO URBANO
DELL'INTERCONNESSIONE DI BRESCIA OVEST E NODO DI BRESCIA**

GEOLOGIA

Prospezione sismica mediante prove MASV e HVSR

<p>CAR SEGNALETICA STRADALE S.R.L. APPALTATORE C. da Piana 7 L SNC (data e firma) Tel. 0824.875215 - 0824.875189 - Fax 0824.875174 82030 PONTE (Bn) Partita Iva 01 049 090 622</p>	<p>SICURBAU S.r.l. Via Rivoli 14nc 82030 TORRECUSO (BN) P. IVA e C.F. 02 477 240 218</p>	<p>ORDINE DEI GEOLOGI GEOLOGENKAMMER TRENTO - ALTO ADIGE / SÜDTIROL DOT. GEOL. VUILLERMIN MAURICE N.66</p>	<p>SCALA: -</p>
---	--	--	-----------------

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

I N O G 0 0 E Z Z P R G E 0 0 0 5 0 0 3 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione Esecutiva	N. Cognome	data	N. Cognome	data	N. Cognome	data	N. Cognome	data
		M.Vuillermin	Sett 2016	M.Vuillermin	Sett 2016	F. LA CAMERA	Sett 2016	M. VUILLERMIN	SETTEMBRE 2016



File: INOG00EZZPRGE0005003A.doc

n. Elab.: 2.18



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

CIG: 6156342621

CUP: J41C07000000001

INDICE GENERALE

1. PREMESSA.....	1
1.1. GENERALITÀ SUL METODO	1
1.1.1. Sismica passiva ReMi	1
1.1.2. Sismica attiva Masw.....	2
1.1.3. HVSr (Test di Nakamura)	3
1.1.4. Parametri di acquisizione.....	4
2. ANALISI DEI RISULTATI.....	5
2.1. SITO 1.....	5
2.2. SITO 2.....	10
2.3. SITO 3.....	15
2.4. SITO 4.....	20

1. PREMESSA

Per la caratterizzazione del sottosuolo di fondazione ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, è prevista la determinazione del parametro V_{s30} , indicando come metodologia di calcolo la misura della velocità delle onde di taglio ed in subordine la prova SPT e, nei mezzi coesivi, il valore della c_u . Detto parametro si calcola attraverso la relazione:

$$V_{s30} = 30 / \sum_{i=1, N} h_i / V_1$$

dove h_1 e V_1 indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i esimo per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori.

Si ricorda che la velocità delle onde di taglio (V_s) è quella che meglio di ogni altro parametro fisico caratterizza i materiali dal punto di vista del loro comportamento meccanico; si è quindi proceduto alla determinazione della V_{s30} mediante esecuzione di n.4 prove MASW e HVSR distribuite lungo tracciato.

1.1. GENERALITÀ SUL METODO

Il profilo verticale delle V_s può essere ricavato per inversione monodimensionale o per modellizzazione diretta della velocità di fase delle onde di superficie (Rayleigh e/o Love) (Dorman e Ewing, 1962), siano esse generate da disturbi di fondo che attivamente mediante impatto di una massa con il terreno.

Le onde di Rayleigh (1885) 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-waves) e di taglio verticali (Sv-waves).

1.1.1. SISMICA PASSIVA REMI

Tali onde sono presenti in natura e sono conosciute con il termine di microtremiti. Possono venire accuratamente captate ed analizzate nei loro contenuti cromatici ed energetici con un array geometrico lineare simile a quelli utilizzati nella prospezione sismica classica. In un mezzo stratificato queste onde sono di tipo guidato e dispersivo e vengono definite pseudo-Rayleigh.

La dispersione è un fenomeno indotto dalla deformazione del treno d'onda che produce una variazione di propagazione di velocità con la frequenza. Le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità rispetto a quelle a frequenza maggiore, per un dato modo, e presentano normalmente più elevate velocità di fase.

Un apposito grafico (spettro di potenza $p-f$) in cui è diagrammato in ascissa la frequenza f (Hz) ed in ordinata lo slowness, che altro non è che l'inverso della velocità di fase (m/s), consente di individuare agevolmente il trend dispersivo che contraddistingue il sito sottoposto ad indagine.

Dalla curva di dispersione si passa al profilo di velocità verticale mediante modellazione diretta. Viene cioè costruito il modello teorico la cui curva di dispersione calcolata presenta il minor errore rispetto alla

curva sperimentale.

Il processo di modellazione diretta soffre delle limitazioni prodotte dal principio dell'equivalenza secondo il quale possono esistere più modelli che soddisfano la medesima curva di dispersione. In questo caso quindi diventa importante avere dei punti di calibrazione per una ricostruzione "litologica" della struttura sismica del sottosuolo. Tuttavia questa limitazione non inficia la correttezza della determinazione dei valori di Vs30 che rappresentano una relazione tra spessori e velocità dei singoli strati.

Per il trattamento di questo tipo di dati è stato utilizzato il software ReMi® aggiornato alla sua ultima versione V.5 e commercializzato dalla Optim LLC (Reno, Nevada -USA). L'approccio analitico si basa sugli studi condotti da J.Louie presso la Nevada University.

1.1.2. SISMICA ATTIVA MASW

Il Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) è un metodo investigativo che è stato introdotto all'inizio del 1999 nell'ambito geotecnico e geofisico. Si tratta di una tecnica analitica che genera un profilo di velocità delle onde di taglio (Vs in funzione della profondità) analizzando su una registrazione multicanale le onde di superficie di tipo Rayleigh.

Nella fase di elaborazione il compito più delicato è rappresentato dalla costruzione della curva di dispersione. Essa altro non è che il plottaggio della velocità di fase in funzione della frequenza e ha il suo supporto teorico nel fatto che quando per l'energizzazione sismica si usa una sorgente compressionale (impatto) più di 2/3 dell'energia sismica generata è rappresentata dalle onde di Rayleigh, che sono la componente principale delle "ground roll". Assumendo quindi che ci sia una variazione verticale della velocità, ogni componente di frequenza di un'onda di superficie ha una diversa velocità di propagazione (velocità di fase) per una ed una sola componente di frequenza. Questa caratteristica di unicità si riflette in una differente lunghezza d'onda per ciascuna frequenza propagata. Questa proprietà è chiamata dispersione e per osservare la natura dispersiva di un segnale sismico generico si usa un'analisi chiamata "overtone" che consente la costruzione di un grafico dove i trend delle massime ampiezze locali rappresentano possibile energia dispersiva (cioè modo fondamentale e modi più elevati di propagazione). Questo viene ottenuto esaminando tutte le possibili velocità di fase per tutte le frequenze considerate nell'analisi.

Il passo finale è quello del processo di inversione della curva di dispersione per arrivare alla definizione del profilo delle velocità delle onde S (Vs). Si tratta di un procedimento iterativo che richiede i dati di dispersione e una stima del coefficiente di Poisson e della densità. L'approccio con il metodo dei minimi quadrati consente un'automatizzazione del processo. La prima operazione è quella di definire un modello iniziale dedotto dalla curva di dispersione, ed il programma ricerca un profilo delle Vs la cui curva teorica di dispersione meglio si approssima a quella sperimentale usando, come guida e condizioni al limite, l'errore RMS. Tanto più è corretto il modello iniziale tanto più piccolo è il numero di iterazioni necessarie per raggiungere il best fit.

Le sostanziali differenze che dividono le tecniche analitiche attive da quelle passive e quindi che, da un lato, nella Masw, sarebbe opportuno che il segnale dominante a tutte le frequenze campionate sia quello

generato dall'impatto della mazza che è eseguita in linea con l'array di ricezione, mentre per l'indagine passiva si materializza la necessità opposta e cioè che non vi siano sorgenti direttive predominanti ma che il rumore sia diffuso.

L'esperienza maturata in questo tipo di investigazioni indirette porta il sottoscritto a considerare utile eseguirle entrambe in particolare per il tematismo della stima corretta delle velocità delle onde di taglio per profondità importanti (30 m o più). In molti siti infatti accade che l'energia dell'impatto di una mazza da 8 Kg non sia sufficiente a risultare dominante sul rumore di fondo in particolare per le basse frequenze (quelle che forniscono la stima delle velocità in profondità) e, visto che difficilmente si usano sorgenti pesanti, se non per particolari studi di zonizzazione sismica, con il metodo attivo si corre il rischio di sovrastimare spesso le velocità dei terreni al di sotto dei 15-20 m. Dall'altra la modellazione ReMi passiva può risultare in una sottostima delle velocità; opzione più cautelativa e quindi consigliabile per un tema delicato quale è quello antisismico. Un altro punto a sfavore dell'indagine passiva è legato alla semplificazione grossolana del modello reale di velocità. Prevedendo infatti una modellazione diretta della curva di dispersione abitualmente si riesce a ottenere una buona confidenza con i dati campionati lavorando su modelli a 3-5 strati che appaiono spesso poco confrontabili con quelli provenienti da codici di calcolo di inversione del metodo attivo (abitualmente a 10 strati e con contrasti verticali attenuati).

1.1.3. HVSR (TEST DI NAKAMURA)

Questa tecnica di indagine, conosciuta come metodo di Nakamura (1989) dal nome dello scienziato giapponese che l'ha messa a punto, parte dal presupposto che:

- 1 - il rumore ambientale è generato da riflessioni e rifrazioni di onde di taglio con gli strati superficiali e dalle onde di superficie;
- 2 - le sorgenti di rumore superficiale non interessano il rumore ambientale alla base di una struttura non consolidata;
- 3 - gli strati soffici non amplificano la componente verticale del rumore ambientale: questo è composto da onde di superficie tipo Rayleigh generate dall'interazione del vento con le strutture, dal traffico e da altre attività urbane.

Le funzioni di trasferimento S_e e A_s che sono rispettivamente l'effetto intrinseco di sito e l'effetto della singola onda Rayleigh possono essere definite come:

$$S_e = H_s/H_b \quad A_s = V_s/V_b$$

Dove H e V sono gli spettri per le componenti orizzontali e verticali delle registrazioni di rumore ambientale alla superficie (s) o al top del basamento rigido. Gli effetti di sito, che non comprendono il contributo della sorgente, sono definiti da S_m come:

$$S_m = S_e/A_s \quad S_m = H_s V_b / V_s H_b$$

Nakamura e Theodulidis et al. (1996) hanno dimostrato che gli spettri delle componenti verticali (V_b) e orizzontali (H_b) sono equivalenti al top del basamento rigido:

$$\text{Se } H_b/V_b = 1 \text{ allora } S_m = H_s/V_s$$

Alla fine quindi, gli effetti di sito S_m (ampiezza del rapporto spettrale) possono essere espressi come rapporto spettrale delle componenti orizzontali e verticali del rumore ambientale alla superficie del suolo.

In conclusione questa affermazione implica che una stima della risposta del terreno in un determinato sito può essere ottenuta con un singolo sismometro a tre componenti. Esperienze di campagna hanno dimostrato che registrazioni di una quindicina di minuti per sito sono sufficienti per fornire risultati stabili nei differenti contesti urbani.

1.1.4. PARAMETRI DI ACQUISIZIONE

Le indagini ad array lineare hanno impiegato un'array di ascolto a 24 canali con geofoni a bassa frequenza (4,5Hz) interspaziati di 2m. Per le indagini passive -ReMi- sono stati eseguite dalle 6 alle 8 registrazioni di 20 sec di record length e campionamento di 2 millisec; per le prove attive MASW si è usato 1 sec di record length e 0,5 millisec di campionamento. L'energizzazione è avvenuta mediante impatto al suolo con offset di 2m di una mazza da 8Kg.

Le misure HVSR, con sensore elettromeccanico da 0,5Hz, hanno previsto la registrazione di rumore di fondo per 24min e campionamento di 167millisec.

Lo strumento di acquisizione consta in un acquisitore sismico ad elevata dinamica 24bit mod.Daq linkIII della Seismi Source co.

Per l'analisi dei dati attivi Masw si è utilizzato il software KGS Surfseis 4; per l'analisi dei dati sismici passivi il software SeisOpt ReMi e per eseguire i rapporti spettrali HVSR il programma Geopsy.

2. ANALISI DEI RISULTATI

2.1. SITO 1

Sulla base delle mappe interattive dell'INGV richiamate dal D.M. 14 Gennaio 2008 l'area in esame è inseribile nella fascia distinta da un valore di accelerazione sismica orizzontale a_g riferito a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s compreso tra 0,125g e 0,150g (valori riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni –mappa 50° percentile).

Per quanto riguarda la pericolosità di base del sito di intervento, in riferimento ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ($T_R=475$ anni) il calcolo eseguito con il programma "Spettri di risposta - ver. 1.0.3" del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici mediante interpolazione per superficie rigata, individua un valore di a_g riferito a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s pari a **0,144g**.

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE: 10.11493 LATITUDINE: 45.54835

Ricerca per comune

REGIONE: Lombardia PROVINCIA: Brescia COMUNE: Brescia

Elaborazioni grafiche

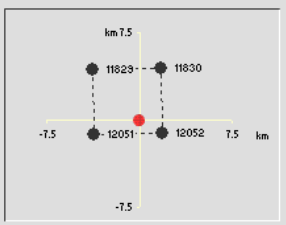
Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri


Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento



Controllo sul reticolo

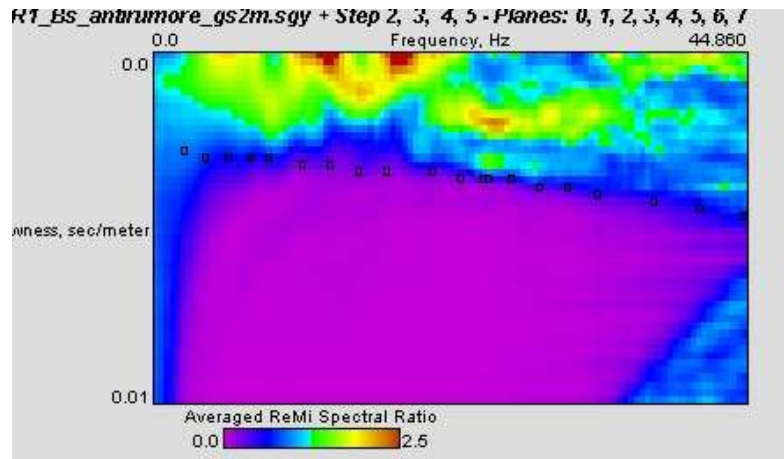
- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione: superficie rigata

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0.040	2.460	0.213
50	0.054	2.403	0.232
72	0.064	2.412	0.247
101	0.076	2.408	0.254
140	0.088	2.413	0.259
201	0.103	2.410	0.264
475	0.144	2.417	0.278
975	0.185	2.453	0.288
2475	0.248	2.482	0.303

Sarà compito del progettista strutturale scegliere i parametri da utilizzare nei calcoli in funzione della "Strategia di progettazione" adottata una volta definita la Vita Nominale, la Classe d'uso ed il Periodo di Riferimento assegnate alla struttura

L'immagine spettrale ReMi1 è stata ottenuta partendo da una velocità di fase minima di 100 m/s ed una frequenza di corner di 45Hz. Il sito presenta una dispersività di mediocre qualità e la distribuzione energetica mette in evidenza la polimodalità dello spettro. Il modo fondamentale appare mascherato dai superiori e il suo trend è percepibile esclusivamente dalla morfologia del limite superiore della zona a rumore incoerente (di colore viola nell'immagine). La curva di dispersione sperimentale è stata quindi tracciata seguendo il contatto con la zona spettrale evitando i nuclei energeticamente più significativi per non incorrere nella sovrastima delle velocità di fase e, quindi, anche di quelle di taglio.

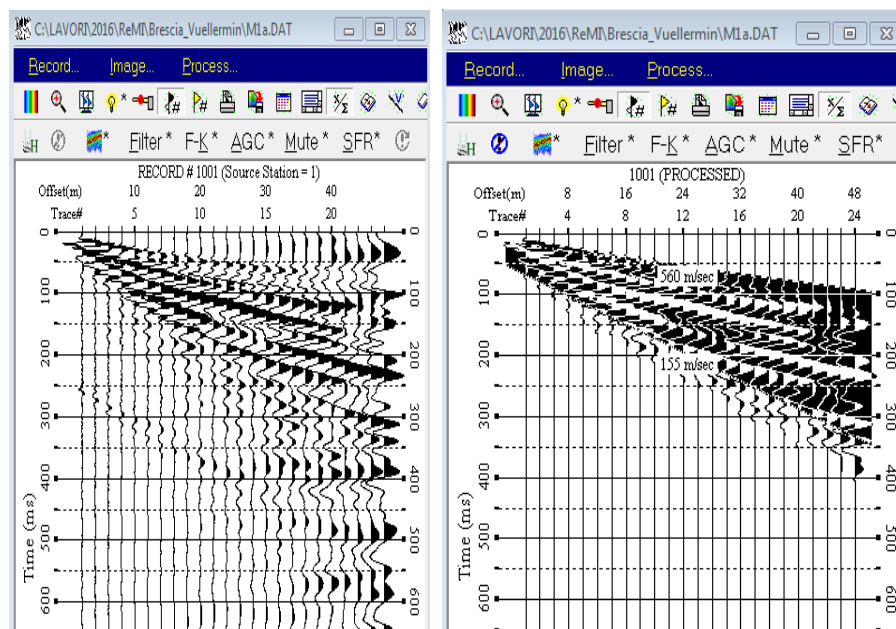


spettro p-f

La sismostratigrafia, derivata dalla modellazione interattiva della curva di dispersione, indica che nel primissimo sottosuolo sono presenti materiali sciolti ($V_s \leq 200$ m/s) che poggiano su una sequenza relativamente omogenea. Infatti le V_s sono comprese tra 350 m/s e 400 m/s fino alla massima profondità indagata (40m circa). Il bedrock non è stato intercettato.

La **categoria** del sottosuolo di fondazione, dal momento che i valori di V_{s30} sono >360 m/s per incastri fondazionali maggiori di 0 m (365 m/s-379 m/s) è quindi la **B**.

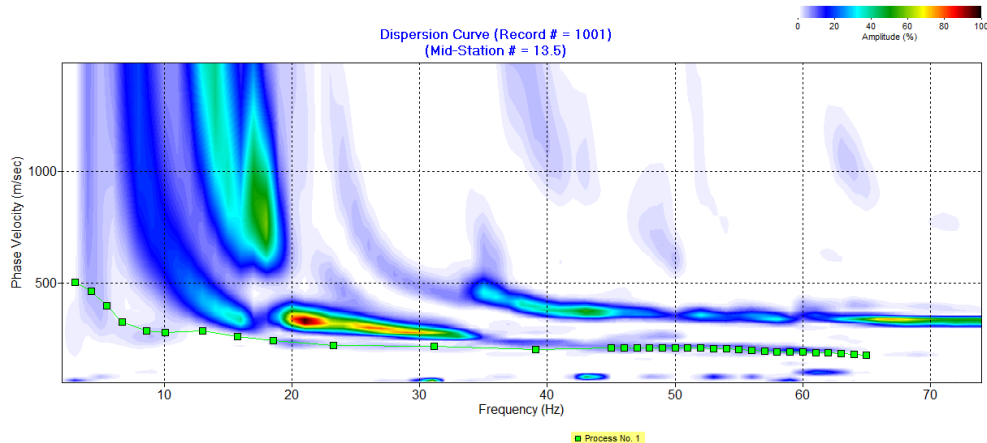
Il treno delle onde di superficie attive (MASW1) si riconosce bene nei dati temporali.



Sismogramma Sito 1

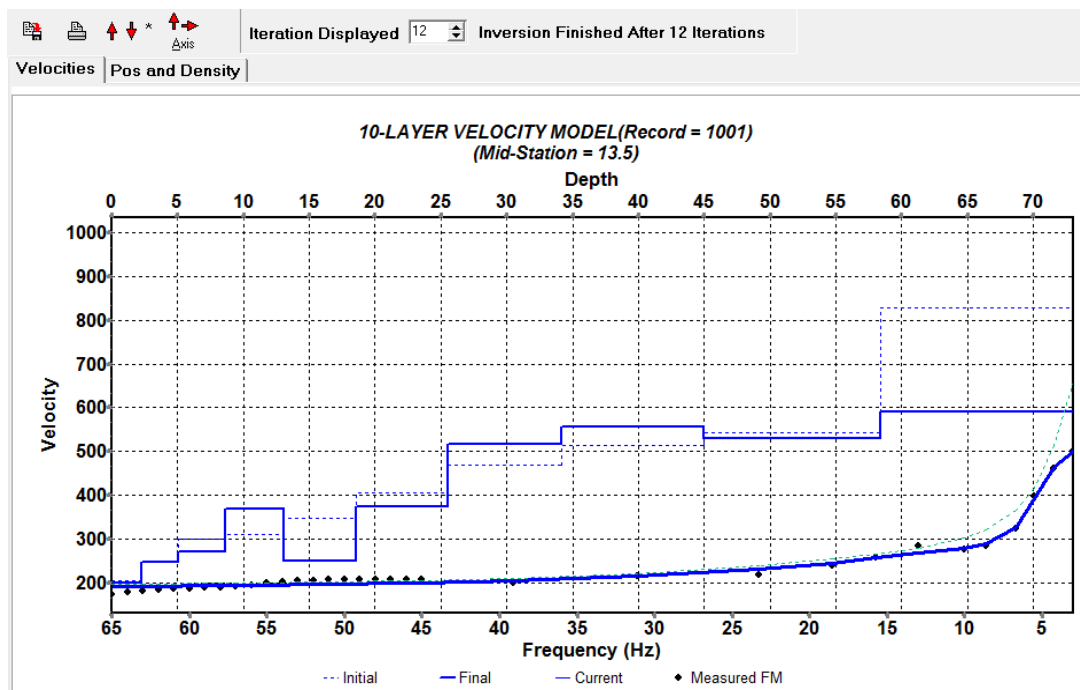
L'analisi in frequenza consente di mostrare come siano anche in questo caso evidenti i modi superiori su

quello fondamentale che è pur sempre riconoscibile e campionabile.



Overtone image e Curva di Dispersione selezionata

Il modello di velocità risultante appare molto simile a quello ricavato per via passiva avvalorando la sismostratigrafia e la caratterizzazione del sito.

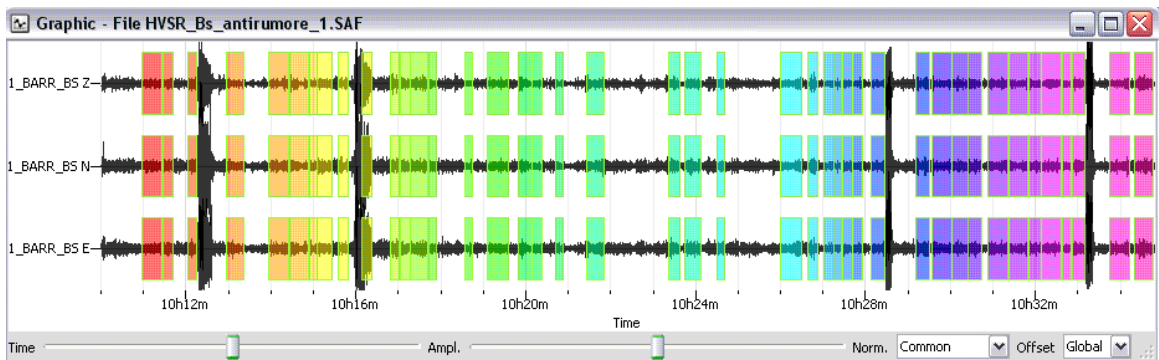


Modello verticale di velocità Masw1

La prova HVSR 1 ha prodotto una curva del rapporto spettrale priva di picchi H/V come era da attendersi in funzione di una sismostratigrafia che evidenzia una sostanziale omogeneità della distribuzione verticale delle Vs.

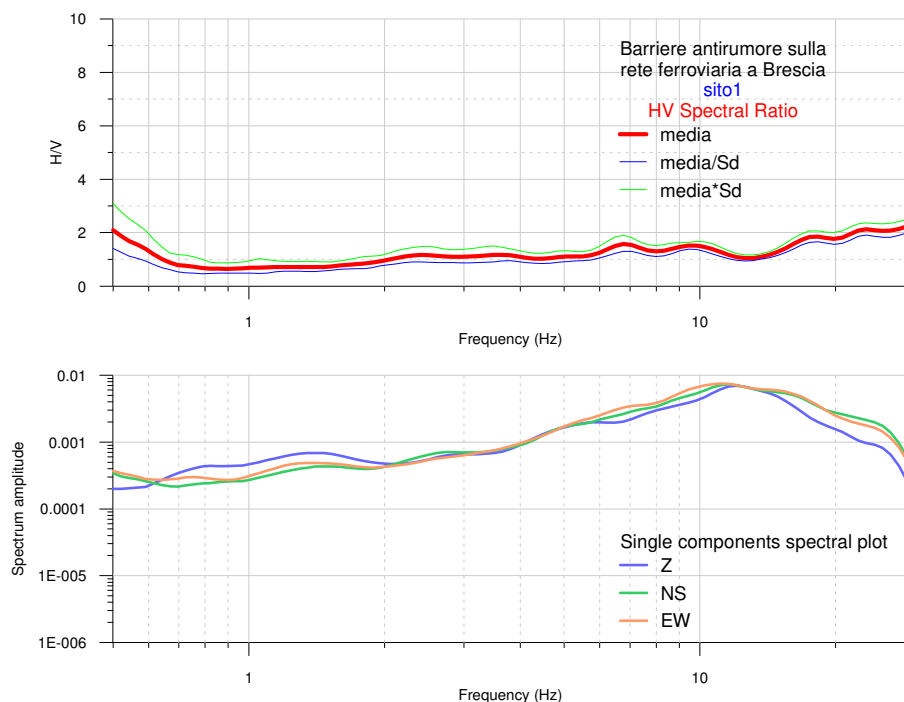
Le serie temporali registrate sono di accettabile qualità anche se appaiono perturbate dall'azione di sorgenti vibrazionali transienti (treni). Le numerose finestre temporali, di limitata lunghezza, utilizzabili per

la costruzione della curva H/V consentono di ritenere affidabile (almeno per frequenze > 1 Hz) il rapporto spettrale calcolato.



serie temporali

L'esame del comportamento spettrale delle componenti singole non evidenzia alcuna condizione di amplificazione che interessi esclusivamente quelle orizzontali e che sia quindi di interesse per un approfondimento dell'analisi.



La condizione di omogeneità geomeccanica dei materiali è di difficile approccio con l'analisi dei microtremori ambientali che trovano la loro migliore applicazione laddove i contrasti di impedenza sismica sono marcati. In questi contesti meglio si addicono metodiche strumentali ed approcci analitici che possano utilizzare informazioni generate da eventi con elevato contenuto energetico come ad esempio registrazioni di lunga durata o eventi sismici (studi di microzonazione con più stazioni sismometriche di ascolto).

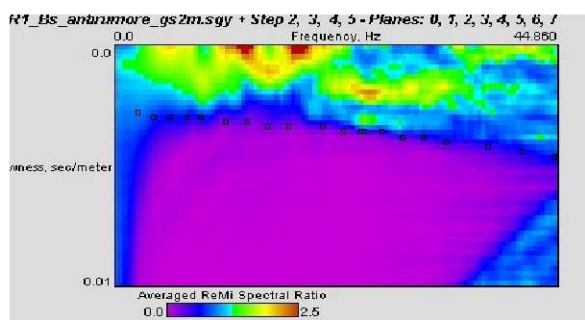
Barriere antirumore sulla rete ferroviaria a Brescia ReMi1

Vs Refraction Microtremor

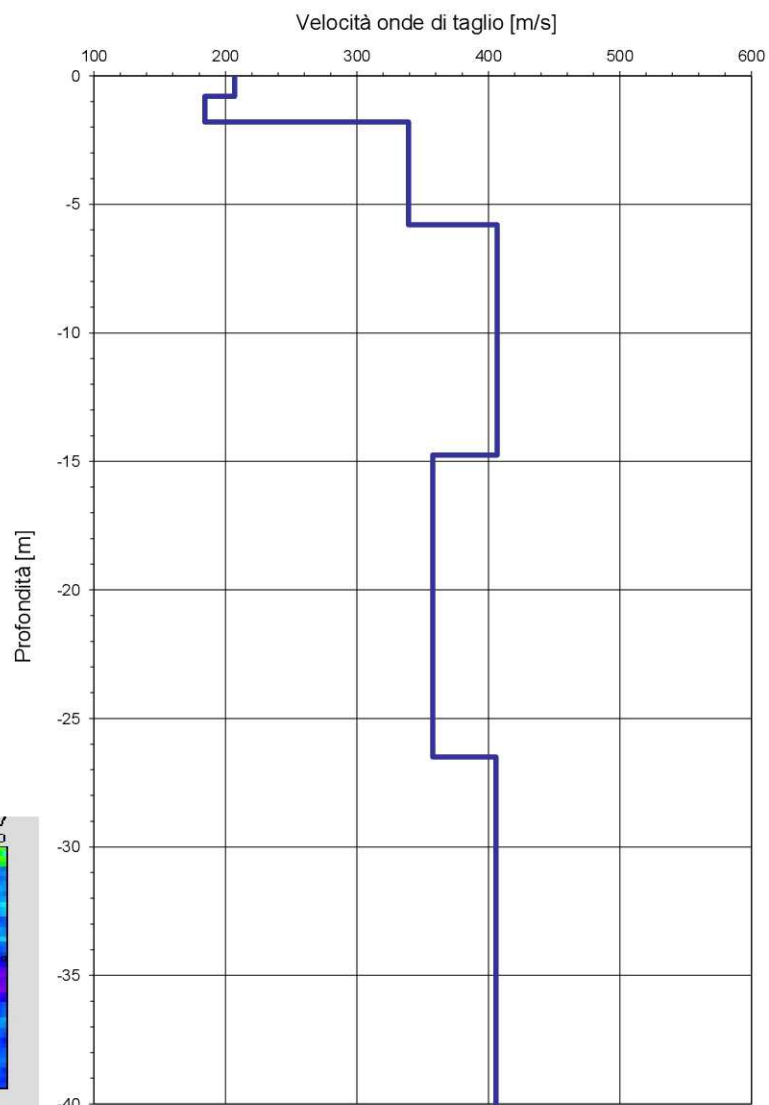
Profondità piano di fondazione;
Vs30;
Categoria sottosuolo di
fondazione

0m	355	C
1m	365	B
2m	377	B
3m	379	B

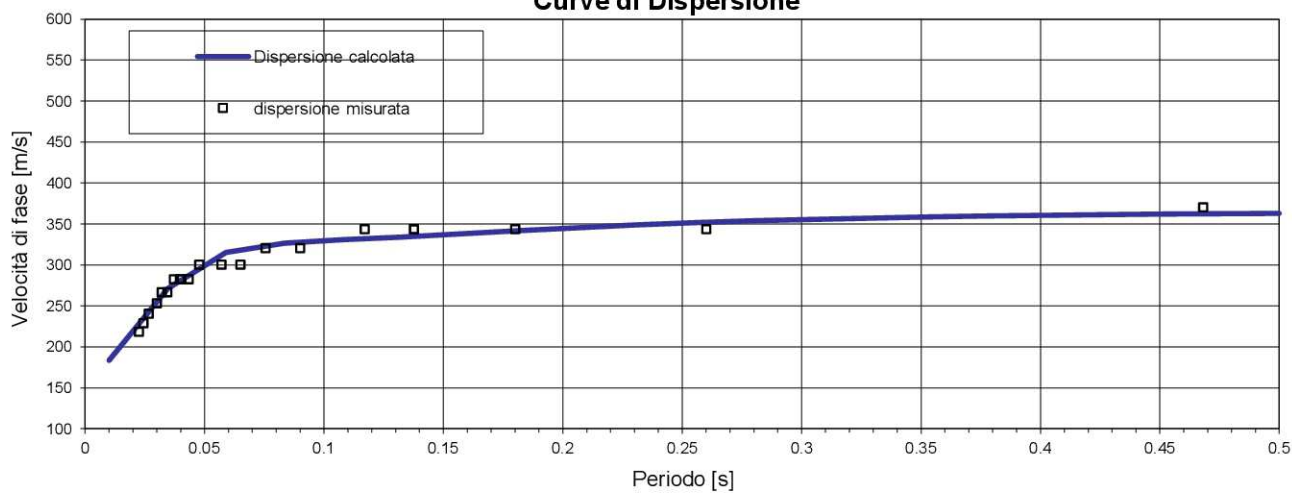
Spettro di potenza p-f



Profilo verticale (Vs)



Curve di Dispersione

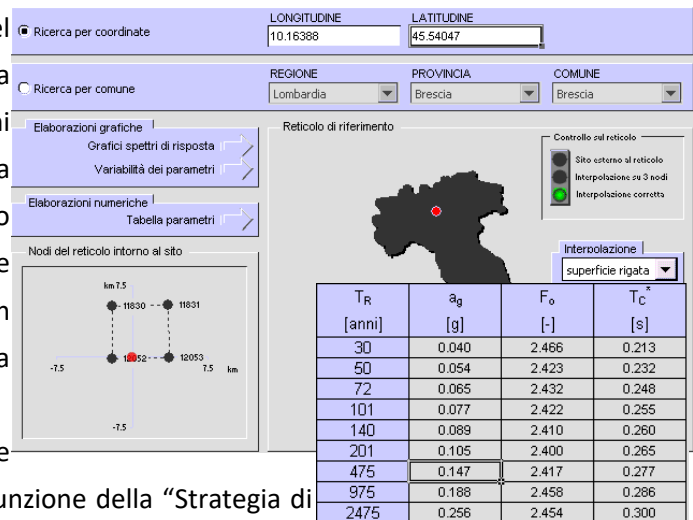


2.2. SITO 2

Sulla base delle mappe interattive dell'INGV richiamate dal D.M. 14 Gennaio 2008 l'area in esame è inseribile nella fascia distinta da un valore di accelerazione sismica orizzontale a_g riferito a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s compreso tra 0,125g e 0,150g (valori riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni –mappa 50° percentile).

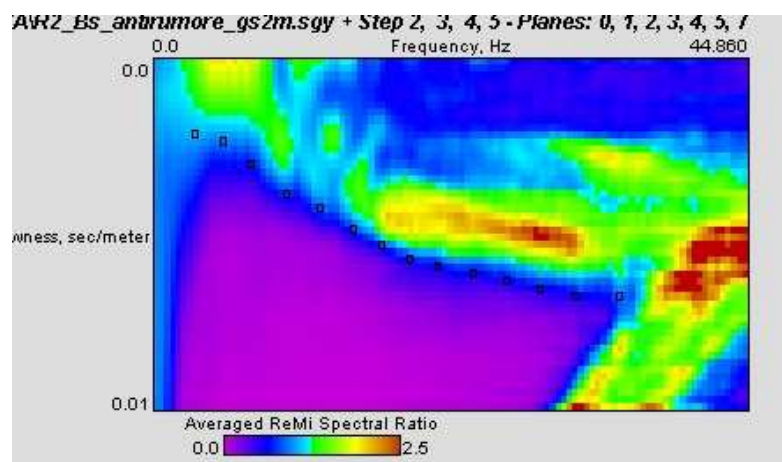
Per quanto riguarda la pericolosità di base del sito di intervento, in riferimento ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ($T_R=475$ anni) il calcolo eseguito con il programma "Spettri di risposta - ver. 1.0.3" del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici mediante interpolazione per superficie rigata, individua un valore di a_g riferito a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s pari a **0,147g**.

Sarà compito del progettista strutturale scegliere i parametri da utilizzare nei calcoli in funzione della "Strategia di progettazione" adottata una volta definita la Vita Nominale, la Classe d'uso ed il Periodo di Riferimento assegnate alla struttura.



T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c [s]
30	0.040	2.466	0.213
50	0.054	2.423	0.232
72	0.065	2.432	0.248
101	0.077	2.422	0.255
140	0.089	2.410	0.260
201	0.105	2.400	0.265
475	0.147	2.417	0.277
975	0.188	2.458	0.286
2475	0.256	2.454	0.300

L'immagine spettrale ReMi2 è stata ottenuta partendo da una velocità di fase minima di 100m/s ed una frequenza di corner di 45Hz. Il sito presenta una dispersività di buona qualità e la distribuzione energetica, sia pure disomogenea, consente di seguire con precisione il trend del modo fondamentale. Solo alle basse frequenze è percepibile una perdita di dettaglio ed è necessaria una limitata interpolazione per la costruzione della curva di dispersione. La sua morfologia indica terreni soffici in superficie ed un sensibile aumento di rigidità in profondità.

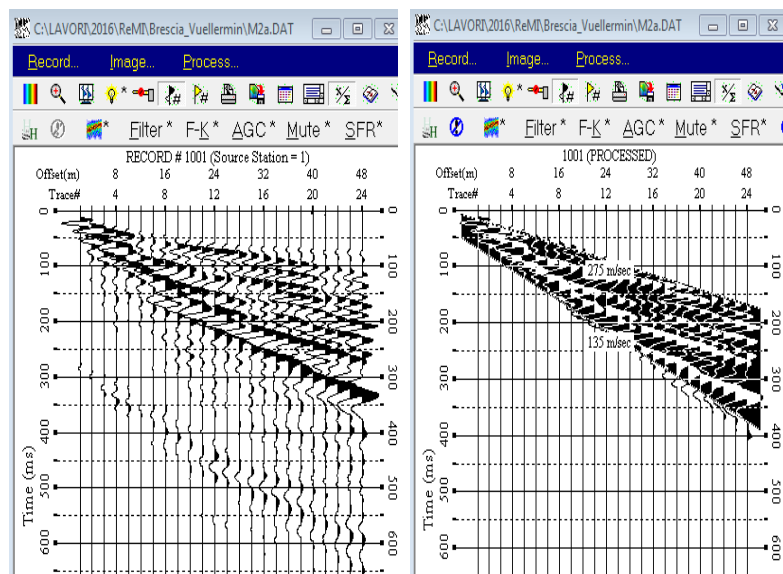


spettro p-f

La sismostratigrafia, derivata dalla modellazione interattiva della curva di dispersione, indica che nei primi 7-8 m le Vs sono inferiori a 250 m/s ($V_s < 150$ m/s nei primi 4 m). Al di sotto di questa quota si registra un primo incremento (circa 380 m/s) e attorno a 25m un secondo e più sensibile aumento con le Vs prossime a 600 m/s. Il bedrock non è stato intercettato entro i 40 m.

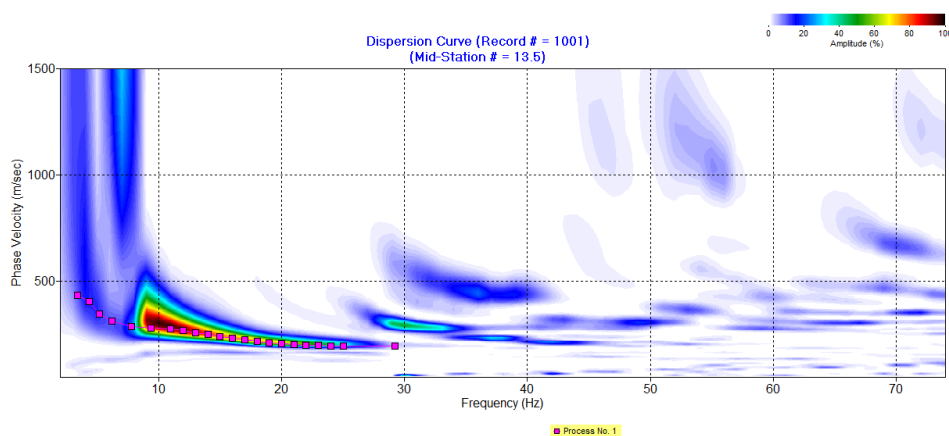
La **categoria** del sottosuolo di fondazione, dal momento i valori di Vs30, sono a cavallo di 360 m/s, è la **C** per incastri fondazionale <1m, e la **B** per incastri fondazionali più profondi.

Il treno delle onde di superficie attive (MASW2) si riconosce bene nei dati temporali.



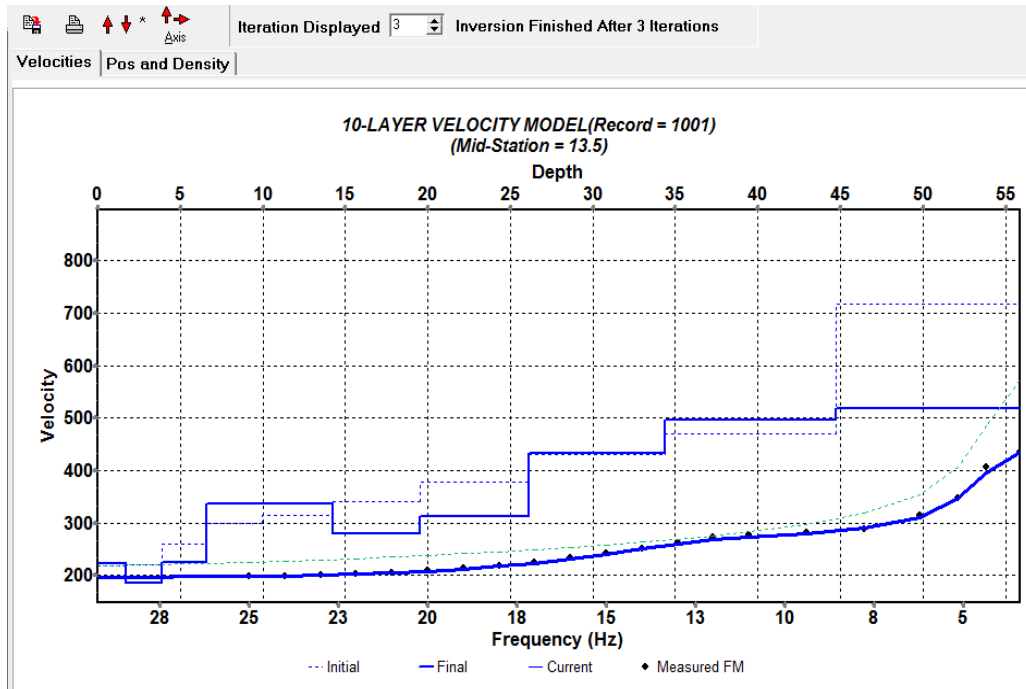
Sismogramma Sito 2

L'analisi in frequenza consente di mostrare come il modo fondamentale sia ben definito tra 25 e 8Hz e solo accennato per frequenze inferiori. Il campionamento è comunque stato eseguito fino a circa 4.5Hz.



Overtone image e Curva di Dispersione selezionata

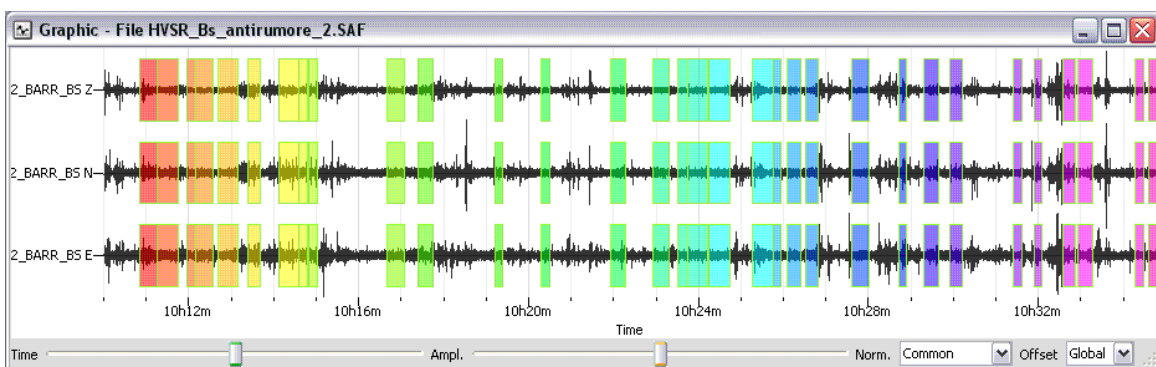
Il modello di velocità risultante presenta leggere differenze da quello estratto per via passiva dato che introdurrebbe una leggera inversione di velocità tra 15 e 25m. La sismostratigrafia presentata in questo caso determinerebbe senza alcun dubbio l’inserimento in categoria C.



Modello verticale di velocità Masw2

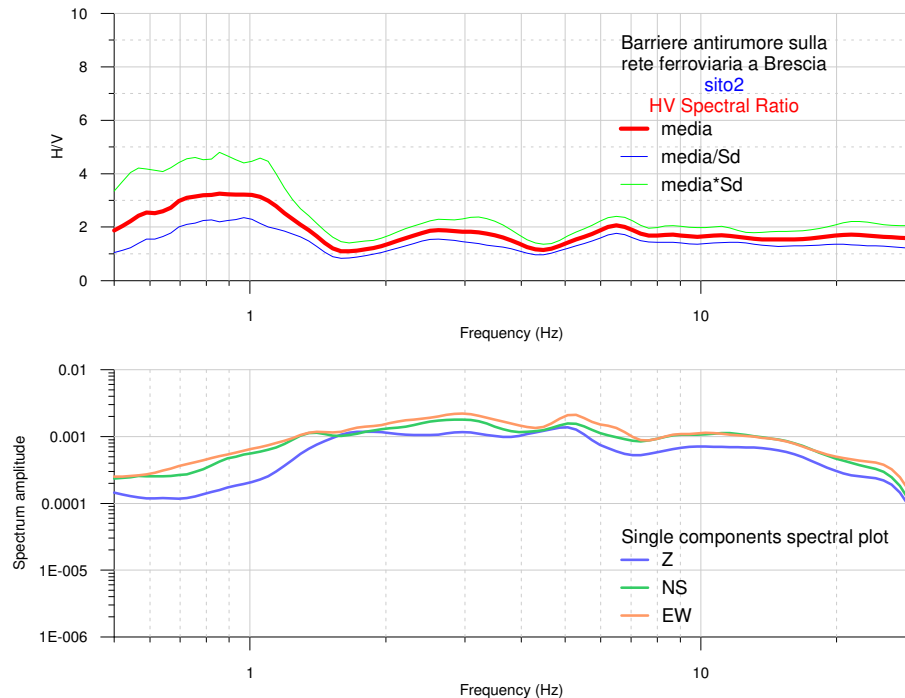
La prova HVSR2 ha prodotto una curva del rapporto spettrale di bassa attendibilità per frequenze ≤ 1 Hz. Lo prova l’elevata deviazione standard che caratterizza questo tratto della curva H/V. La parte restante, di maggior interesse ingegneristico (1Hz-10Hz) pur mantenendosi su valori di ampiezza media decisamente modesta, mostra una interessante “ondulazione” il cui apice si pone attorno a 3Hz.

Le serie temporali registrate appaiono perturbate dall’interferenza prodotta dal passaggio dei convogli, ma purtuttavia consentono la selezione di un buon numero di finestre temporali sia pur di ridotta lunghezza e quindi con contenuto preminente in frequenze medio alte.



serie temporali

L'esame del comportamento spettrale delle componenti singole indica come l'"ondulazione" centrata su 3Hz sia generata da un'amplificazione delle componenti orizzontali a discapito di quella verticale che si mantiene costante.



Per questo motivo è investigabile l'ipotesi di una causa naturale cioè che la sorgente vibrazionale generatrice sia rappresentata da un'interfaccia geologica. Sulla base della sismostratigrafia sia attiva che passiva appare interessante l'interfaccia posta a circa 25 m e per la verifica si intende applicare la relazione, valida per contesti monodimensionali (e qui accettabile): essa mette in relazione frequenza F con velocità V_s e con profondità H ($F=V_s/4H$). Calcolata la velocità media del pacco di sedimenti tra 0 e 25 m (310 m/s) si ottiene un $F=3.15\text{Hz}$ che è un valore in ottimo accordo con quello sperimentale ricavato dalla curva H/V . E' quindi plausibile ritenere che $F=3\text{Hz}$ sia una frequenza di risonanza del sito (probabilmente non la fondamentale) di sicuro interesse ingegneristico.

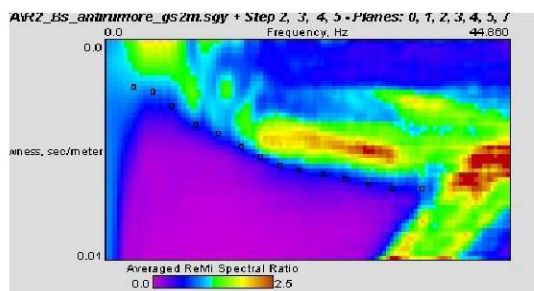
Barriere antirumore sulla rete ferroviaria a Brescia ReMi2

Vs Refraction Microtremor

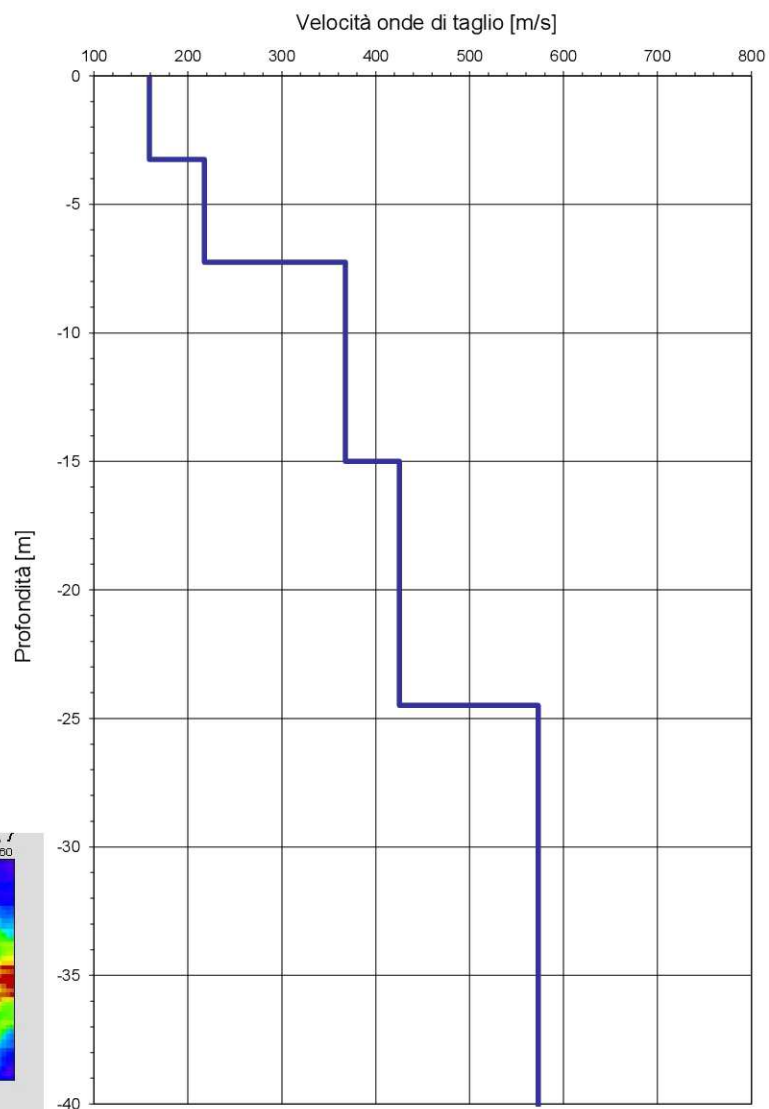
Profondità piano di fondazione;
Vs30;
Categoria sottosuolo di
fondazione

0m	327	C
1m	344	C
2m	363	B
3m	384	B

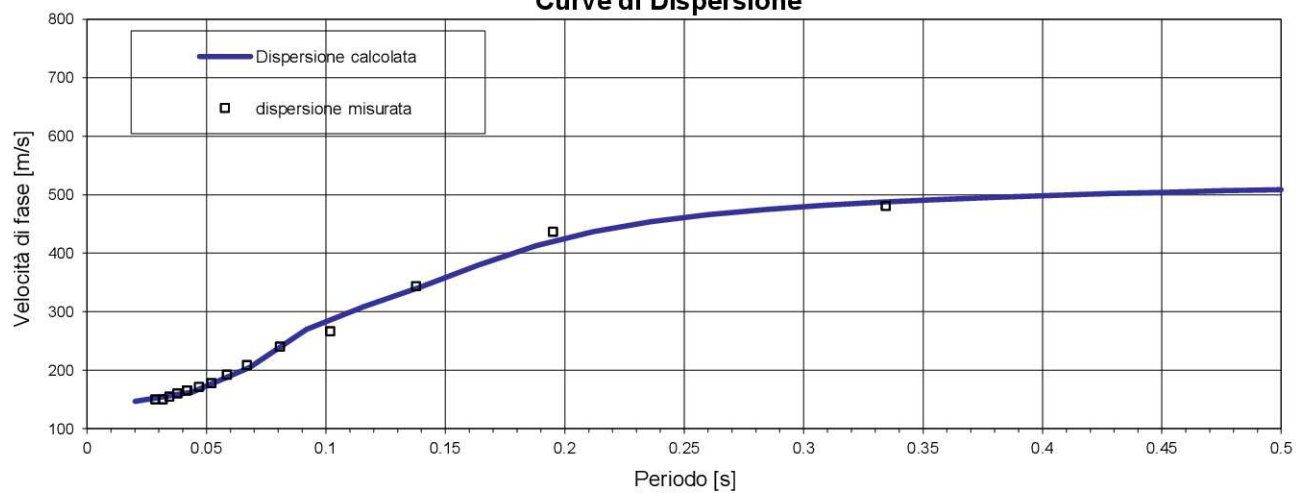
Spettro di potenza p-f



Profilo verticale (Vs)



Curve di Dispersione



2.3. SITO 3

Sulla base delle mappe interattive dell'INGV richiamate dal D.M. 14 Gennaio 2008 l'area in esame è inseribile nella fascia distinta da un valore di accelerazione sismica orizzontale a_g riferito a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s compreso tra 0,125g e 0,150g (valori riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni –mappa 50° percentile).

Per quanto riguarda la pericolosità di base del sito di intervento, in riferimento ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ($T_R=475$ anni) il calcolo eseguito con il programma "Spettri di risposta - ver. 1.0.3" del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici mediante interpolazione per superficie rigata, individua un valore di a_g riferito a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s pari a **0,147g**.

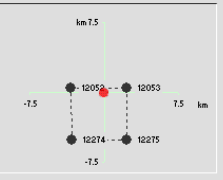
Ricerca per coordinate
 Ricerca per comune


LONGITUDINE: 10.18146
 LATITUDINE: 45.53563

REGIONE: Lombardia
 PROVINCIA: Brescia
 COMUNE: Brescia

Elaborazioni grafiche
 Grafici spettri di risposta
 Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche
 Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito


Reticolo di riferimento


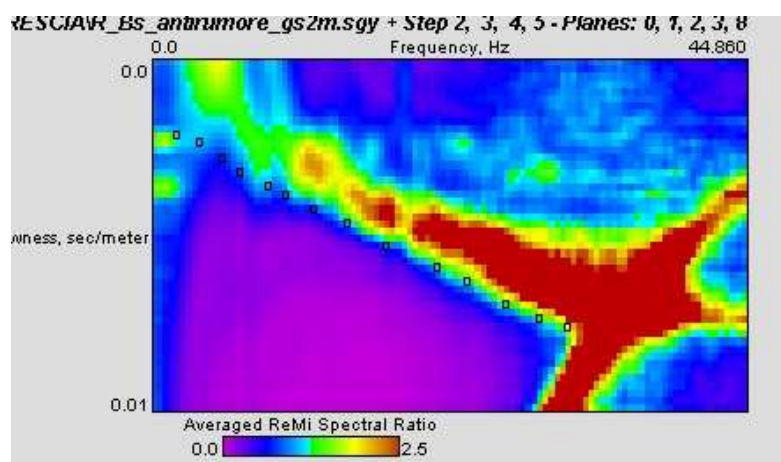
Controllo sul reticolo
 Sito esterno al reticolo
 Interpolazione su 3 nodi
 Interpolazione corretta

Interpolazione: superficie rigata

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
30	0.040	2.467	0.213
50	0.054	2.434	0.232
72	0.065	2.440	0.249
101	0.076	2.429	0.256
140	0.090	2.409	0.261
201	0.105	2.401	0.266
475	0.147	2.422	0.277
975	0.189	2.453	0.285
2475	0.260	2.440	0.298

Sarà compito del progettista strutturale scegliere i parametri da utilizzare nei calcoli in funzione della "Strategia di progettazione" adottata una volta definita la Vita Nominale, la Classe d'uso ed il Periodo di Riferimento assegnate alla struttura.

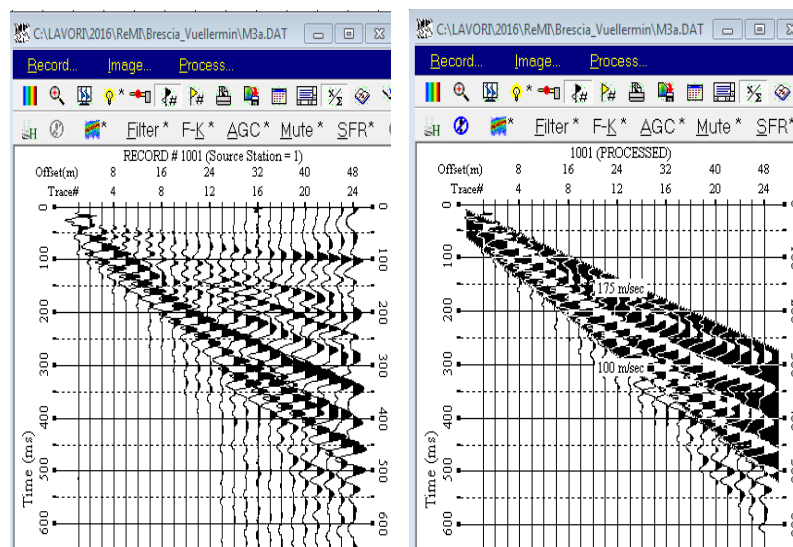
L'immagine spettrale ReMi3 è stata ottenuta partendo da una velocità di fase minima di 100m/s ed una frequenza di corner di 45Hz. Il sito presenta una dispersività interessante con un modo fondamentale altamente energetico ben dettagliato fino alle basse frequenze. La natura spettrale così marcata è indicativa della presenza di terreni soffici in superficie ed il suo trend deciso con una rampa molto regolare testimonia il rapido incremento con la profondità delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni.



La sismostratigrafia, derivata dalla modellazione interattiva della curva di dispersione, indica che nei primi 2m le Vs sono dell'ordine dei 110m/s (estremamente sciolti). Al di sotto di questa quota e fino a 20 m circa i valori variano tra 280 m/s e 350 m/s e quindi i terreni diventano decisamente più addensati con le Vs che si avvicinano ai 600 m/s. Il bedrock non è stato intercettato entro i 40 m.

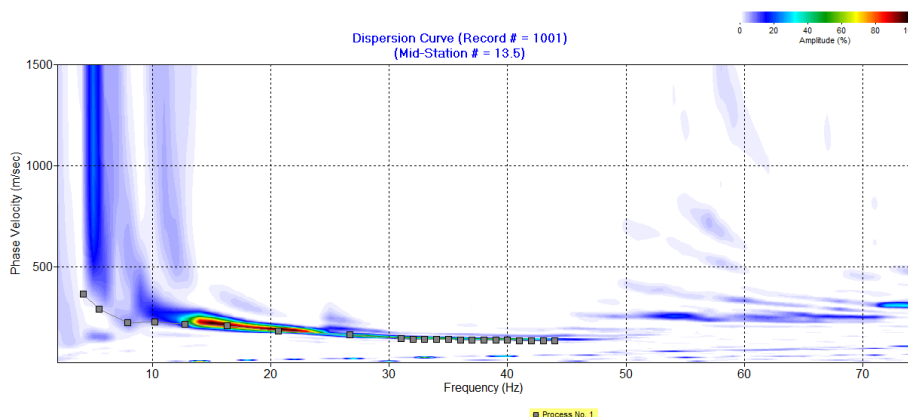
La **categoria** del sottosuolo di fondazione, è la C per incastri fondazionali $0 < H \leq 1$ m ($313 \text{ m/s} < V_{s30} < 338 \text{ m/s}$) e la **B** per incastri > 1 m ($V_{s30} > 360 \text{ m/s}$).

Il treno delle onde di superficie attive (MASW3) si riconosce bene nei dati temporali con un fan di velocità comprese tra 100 e 175 m/s.



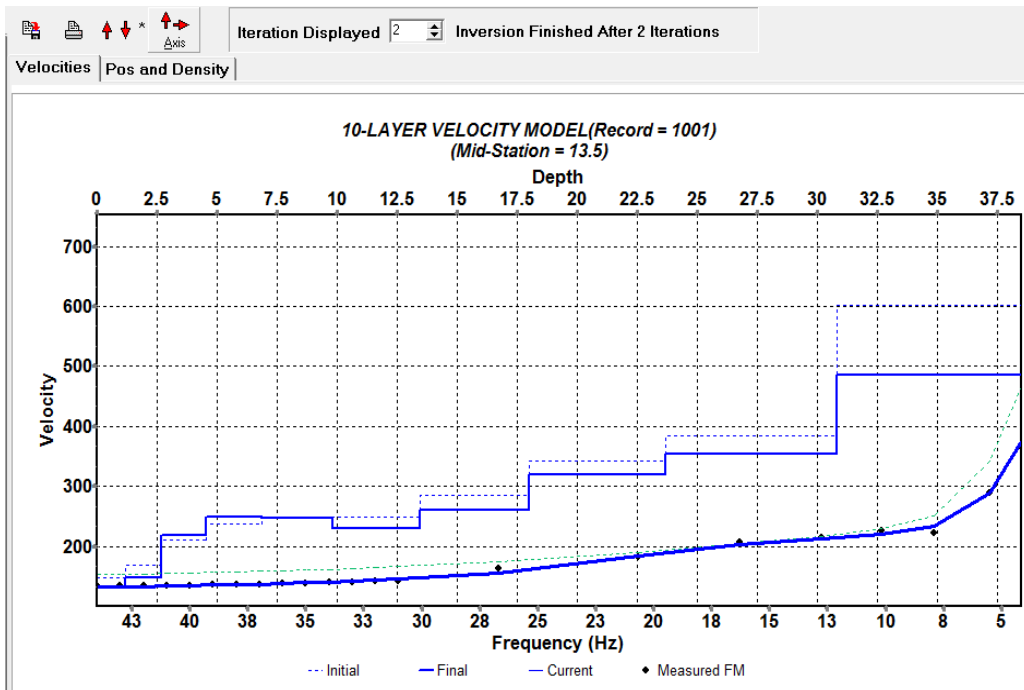
Sismogramma Sito 3

L'analisi in frequenza consente di mostrare come il modo fondamentale sia ben definito tra 25 e 13Hz e bimodale per frequenze inferiori. Il campionamento è comunque stato eseguito fino a circa 5.0Hz ed ha consentito di scendere oltre i 30m richiesti dalla normativa.



Overtone image e Curva di Dispersione selezionata

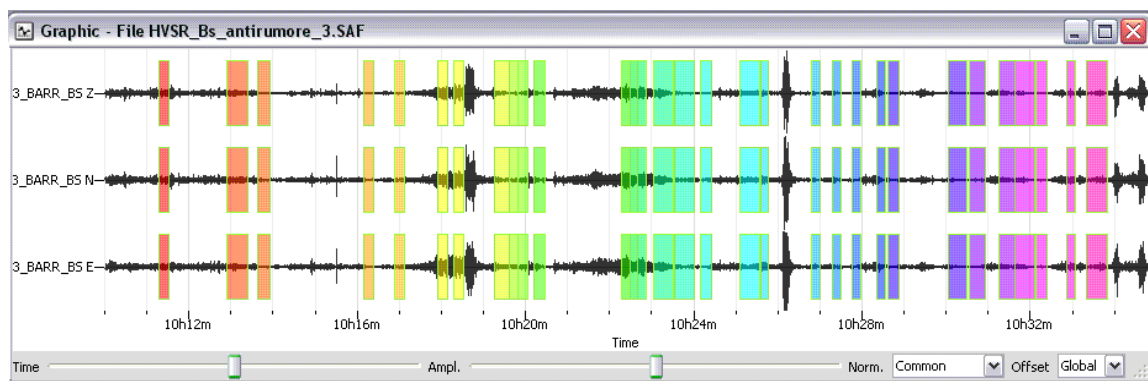
Il modello di velocità risultante presenta una sismostratigrafia con uniformità dei sedimenti da 5 a 17m e aumento di addensamento per quote inferiori.



Modello verticale di velocità Masw3

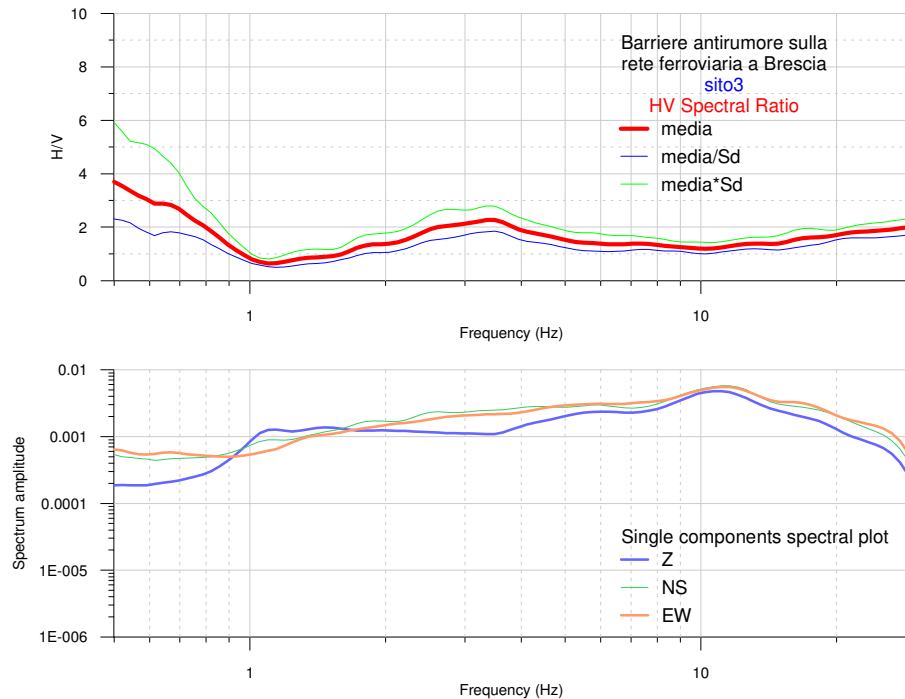
La prova HVSR3 ha prodotto una curva del rapporto spettrale di bassa attendibilità per frequenze <1Hz. Infatti questo tratto di curva è interessato da una elevata deviazione standard che è indicativa di insufficiente quantità e qualità dei dati a bassa frequenza. La parte restante, di maggior interesse ingegneristico (1Hz-10Hz) pur mantenendosi su valori di ampiezza media decisamente modesta, mostra un modesto picco ad ampia morfologia il cui apice si pone attorno a 3.5Hz.

Le serie temporali registrate appaiono perturbate dall'interferenza prodotta dal passaggio dei convogli, ed è dato evidente la ridotta lunghezza delle finestre utili per la costruzione della curva H/V. Ciò inoltre chiarisce il perché della scarsa affidabilità (elevata deviazione standard) della curva alle basse frequenze.



serie temporali

L'esame del comportamento spettrale delle componenti singole mostra come il picco centrato su 3.5 Hz sia generato da un'amplificazione delle componenti orizzontali a discapito di quella verticale che si mantiene costante.



Questo è uno dei motivi che rendono verosimile l'ipotesi di una causa naturale cioè che la sorgente vibrazionale generatrice sia rappresentata da un'interfaccia geologica. Sulla base della sismostratigrafia appare interessante l'interfaccia posta a circa 20m e per la verifica si intende applicare la relazione, valida per contesti monodimensionali (e qui accettabile) che mette in relazione frequenza F con velocità V_s e con profondità H ($F=V_s/4H$). Calcolata la velocità media del pacco di sedimenti tra 0m e 20m (262m/s) si ottiene un $F=3.12\text{Hz}$ che è un valore in buon accordo con quello sperimentale ricavato dalla curva H/V. E' quindi plausibile ritenere che $F=3.5\text{Hz}$ sia una frequenza di risonanza del sito (probabilmente non la fondamentale) di sicuro interesse ingegneristico.

Barriere antirumore sulla rete ferroviaria a Brescia ReMi3

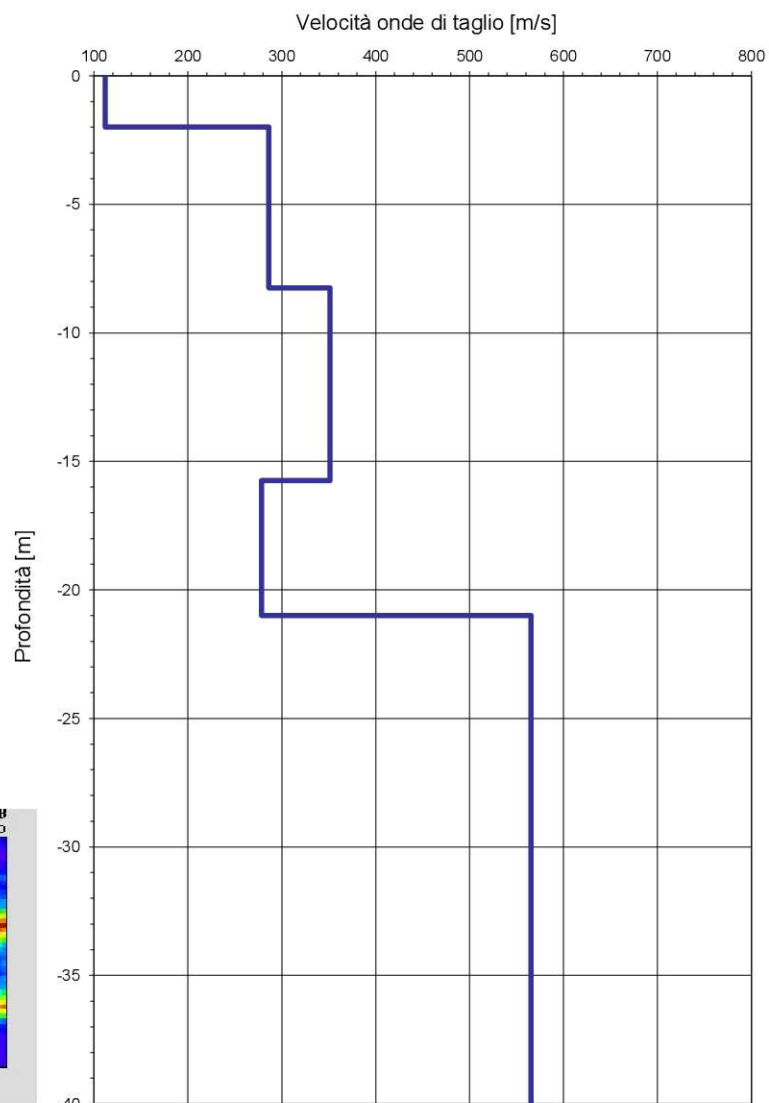
Vs Refraction Microtremor

Profondità piano di fondazione;
Vs30;
Categoria sottosuolo di
fondazione

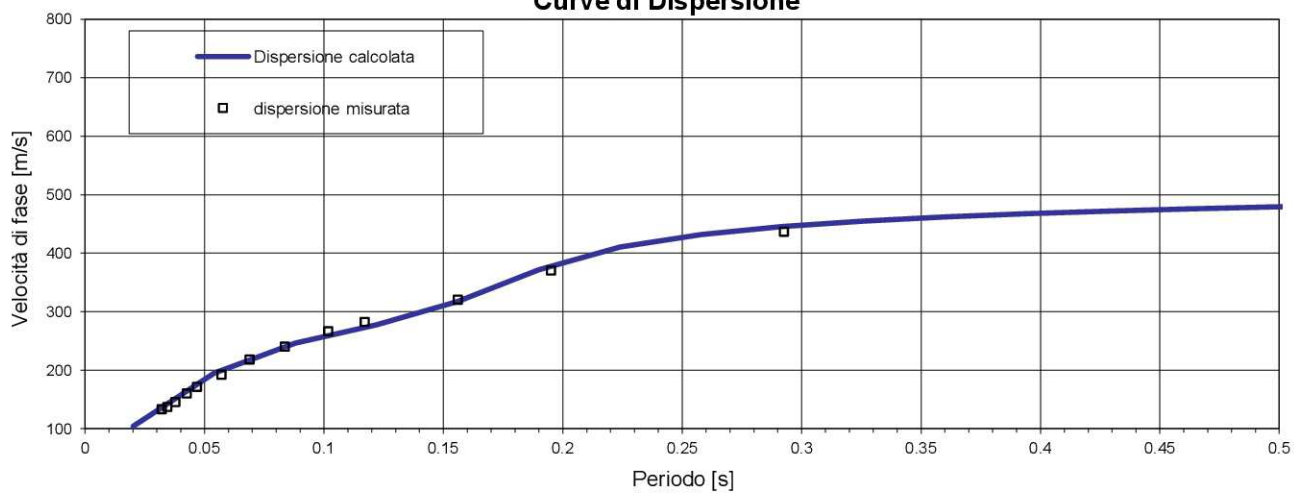
0m	313	C
1m	338	C
2m	368	B
3m	376	B



Profilo verticale (Vs)



Curve di Dispersione

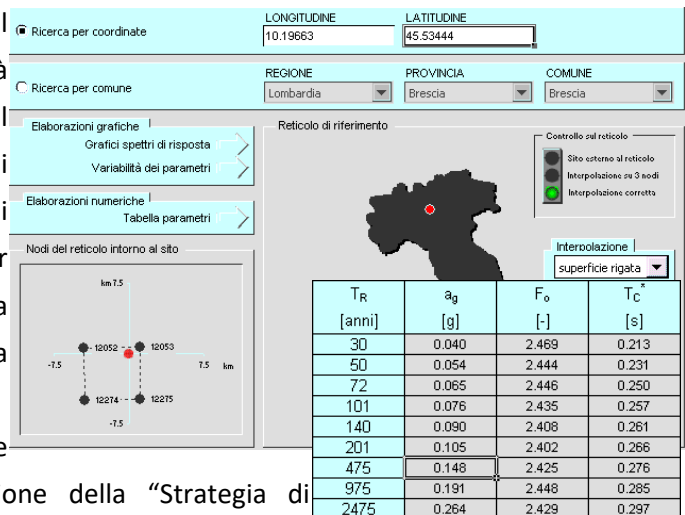


2.4. SITO 4

Sulla base delle mappe interattive dell'INGV richiamate dal D.M. 14 Gennaio 2008 l'area in esame è inseribile nella fascia distinta da un valore di accelerazione sismica orizzontale a_g riferito a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s compreso tra 0,125g e 0,150g (valori riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni –mappa 50° percentile).

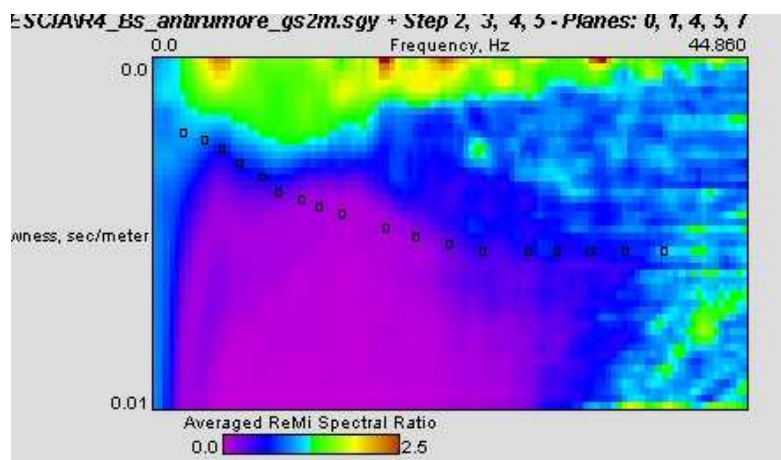
Per quanto riguarda la pericolosità di base del sito di intervento, in riferimento ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ($T_R=475$ anni) il calcolo eseguito con il programma "Spettri di risposta - ver. 1.0.3" del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici mediante interpolazione per superficie rigata, individua un valore di a_g riferito a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s pari a **0,148g**.

Sarà compito del progettista strutturale scegliere i parametri da utilizzare nei calcoli in funzione della "Strategia di progettazione" adottata una volta definita la Vita Nominale, la Classe d'uso ed il Periodo di Riferimento assegnate alla struttura



T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C [s]
30	0.040	2.469	0.213
50	0.054	2.444	0.231
72	0.065	2.446	0.250
101	0.076	2.435	0.257
140	0.090	2.408	0.261
201	0.105	2.402	0.266
475	0.148	2.425	0.276
975	0.191	2.448	0.285
2475	0.264	2.429	0.297

L'immagine spettrale ReMi4 è stata ottenuta partendo da una velocità di fase minima di 100m/s ed una frequenza di corner di 45Hz. Il sito presenta una dispersività di bassa qualità e appare perturbato da sorgenti vibrazionali direttive che generano nuclei energetici a velocità di fase tendente all'infinito. Il trend modale è appena percepibile sulla base della morfologia del limite superiore della zona a rumore incoerente (di colore viola nell'immagine) che consente di riconoscere il probabile andamento del modo fondamentale, sia pure in condizioni di interferenza da parte di modi superiori (linea bianca puntinata).

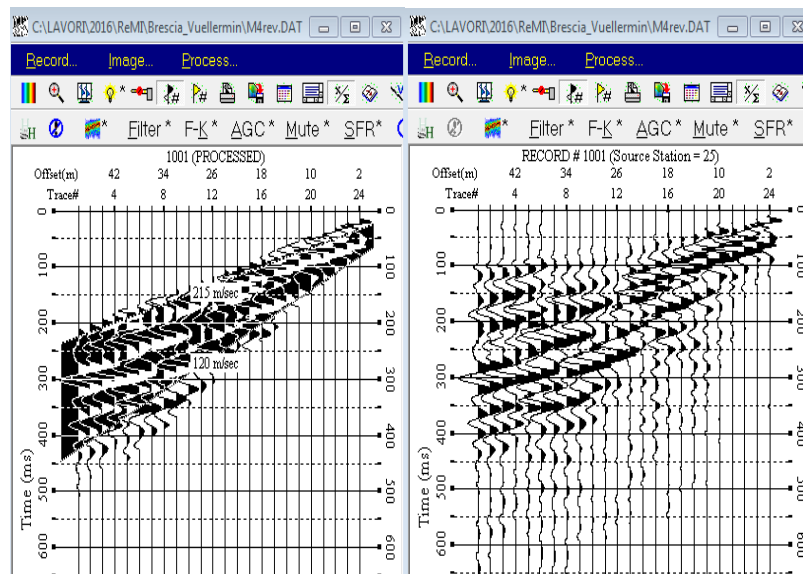


spettro p-f

La sismostratigrafia, derivata dalla modellazione interattiva della curva di dispersione, mostra che i primi 5m sono costituiti da materiali con Vs di 200m/s. Seguono sedimenti da mediamente addensati ad addensati (280m/s-400m/s) fino ad una ventina di metri. Oltre questa quota essi diventano decisamente più rigidi con Vs prossime a 600m/s. Il bedrock non è stato intercettato.

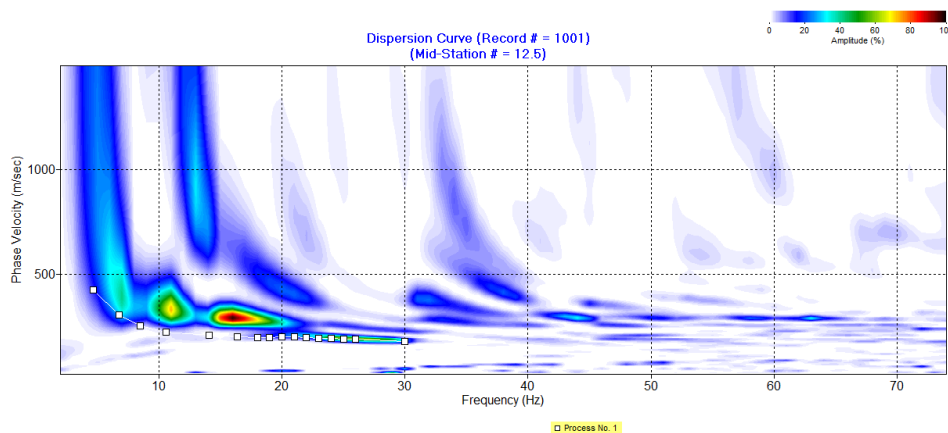
La **categoria** del sottosuolo di fondazione, è la **C** per incastri fondazionali $0m < H \leq 1m$ ($334m/s < V_s30 < 348m/s$) e la **B** per incastri $> 1m$ ($V_s30 > 360m/s$) -vedi scheda allegata -.

Il treno delle onde di superficie attive (MASW4) si riconosce bene nei dati temporali con un fan di velocità comprese tra 120 e 215 m/s.



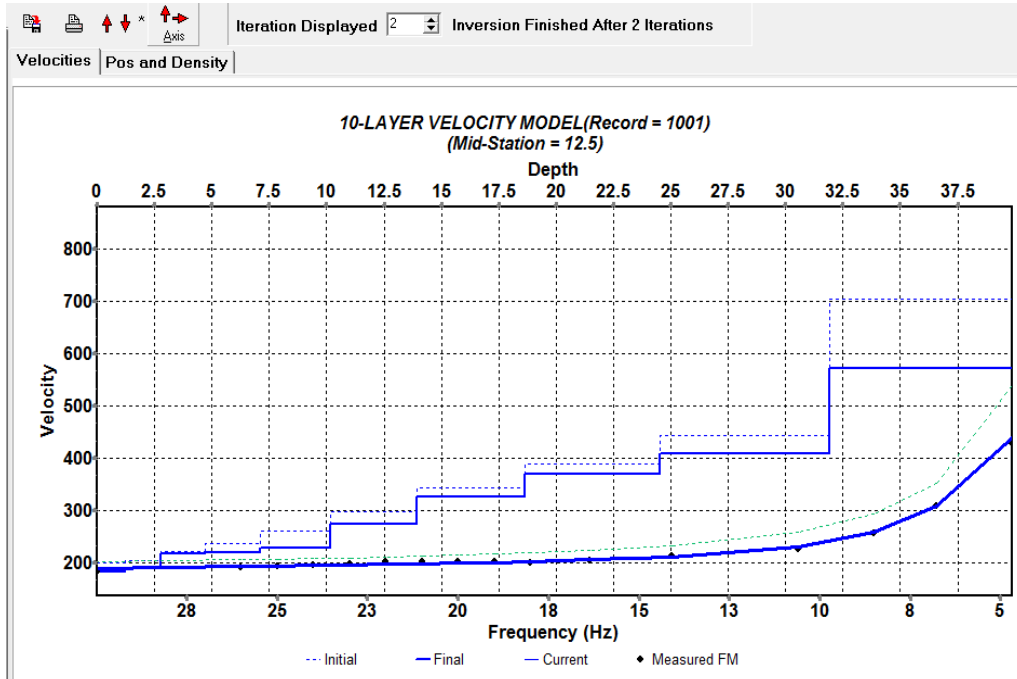
Sismogramma Sito 4

L'analisi in frequenza consente di mostrare come la prova sia contaminata da modi superiori decisamente più energetici rispetto al fondamentale; esso è stato comunque campionato tra 30 e 5Hz.



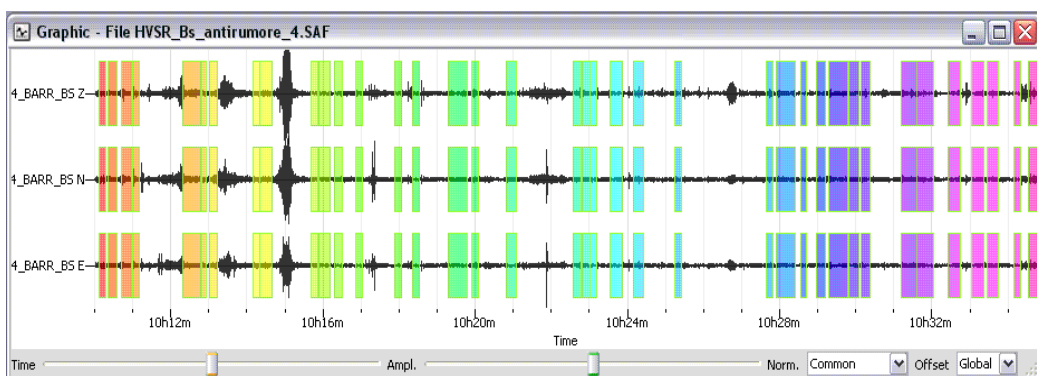
Overtone image e Curva di Dispersione selezionata

Il modello di velocità risultante presenta una sismostratigrafia uniforme crescente con un contrasto leggermente più significativo a circa 31 m. Poiché il contrasto individuato nella sismica passiva intorno a 20 m è qui approfondito a oltre 30 m, la modellazione Masw imporrebbe di caratterizzare il sito in categoria C.



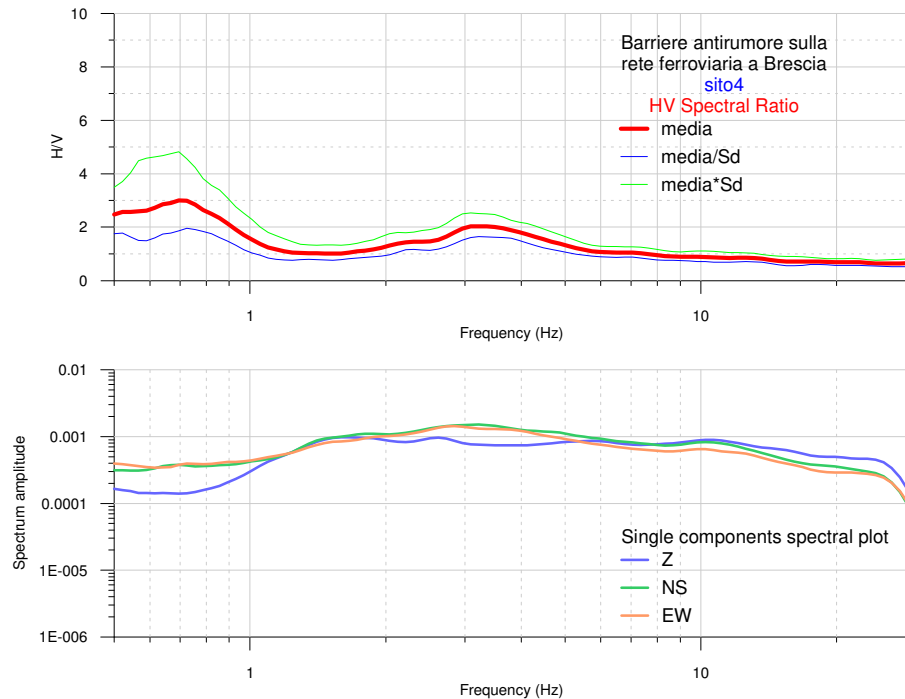
Modello verticale di velocità Masw4

La prova HVSr4 ha prodotto una curva del rapporto spettrale di bassa attendibilità per frequenze <1Hz. Infatti questo tratto di curva è interessato da una elevata deviazione standard che è indicativa di insufficiente quantità e qualità di dati a bassa frequenza. La parte restante, di maggior interesse ingegneristico (1Hz-10Hz) pur mantenendosi su valori di ampiezza media decisamente modesta, mostra un massimo cupoliforme il cui apice si pone attorno a 3.3Hz. Le serie temporali registrate appaiono perturbate dall'interferenza prodotta dal passaggio dei convogli, ed è dato evidente la prevalenza di finestre temporali di ridotta lunghezza (5-10s) su quelle più ampie (20-30s). Questo fornisce la spiegazione del perché dell'elevata deviazione standard che caratterizza la curva alle basse frequenze.



serie temporali

L'esame del comportamento spettrale delle componenti singole mostra come il picco centrato su 3.3Hz sia generato da un'amplificazione delle componenti orizzontali a discapito di quella verticale che si mantiene costante e raggiunge il suo massimo a circa 6Hz (valore doppio di quello della presunta fondamentale).



Questo è uno dei motivi che rendono verosimile l'ipotesi di una causa naturale cioè che la sorgente vibrazionale generatrice sia rappresentata da un'interfaccia geologica. Sulla base della sismostratigrafia appare interessante l'interfaccia posta a circa 20m e per la verifica si intende applicare la relazione, valida per contesti monodimensionali (e qui accettabile) che mette in relazione frequenza F con velocità V_s e con profondità H ($F=V_s/4H$). Calcolata la velocità media del pacco di sedimenti tra 0 m e 20 m (279 m/s) si ottiene un $F=3.44\text{Hz}$ che è un valore in ottimo accordo con quello sperimentale ricavato dalla curva H/V . E' quindi plausibile ritenere che $F=3.3\text{Hz}$ sia una frequenza di risonanza del sito (probabilmente non la fondamentale) di sicuro interesse ingegneristico.

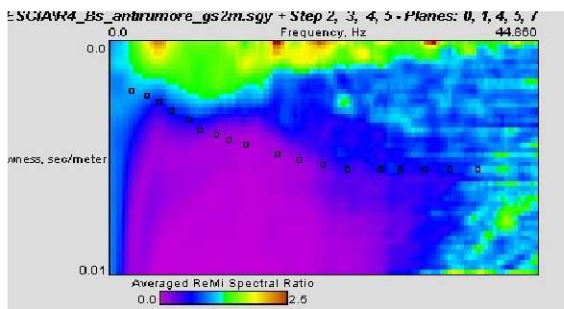
Barriere antirumore sulla rete ferroviaria a Brescia ReMi4

Vs Refraction Microtremor

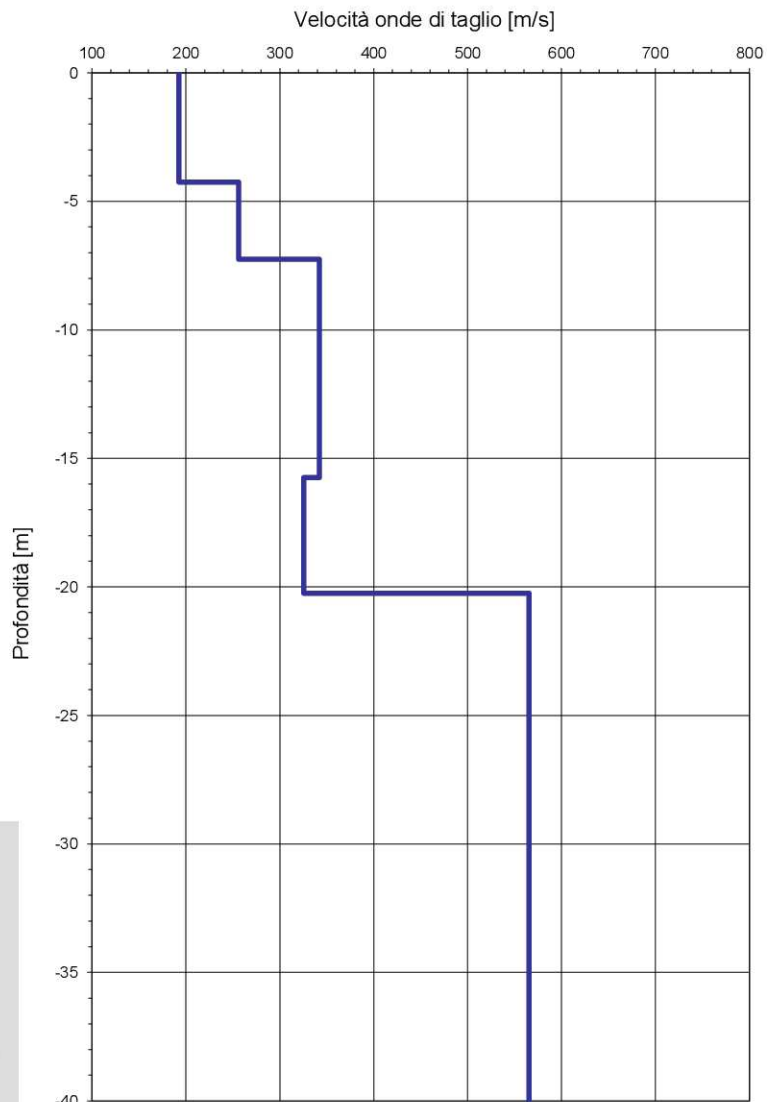
Profondità piano di fondazione;
Vs30;
Categoria sottosuolo di
fondazione

0m	334	C
1m	348	C
2m	362	B
3m	378	B

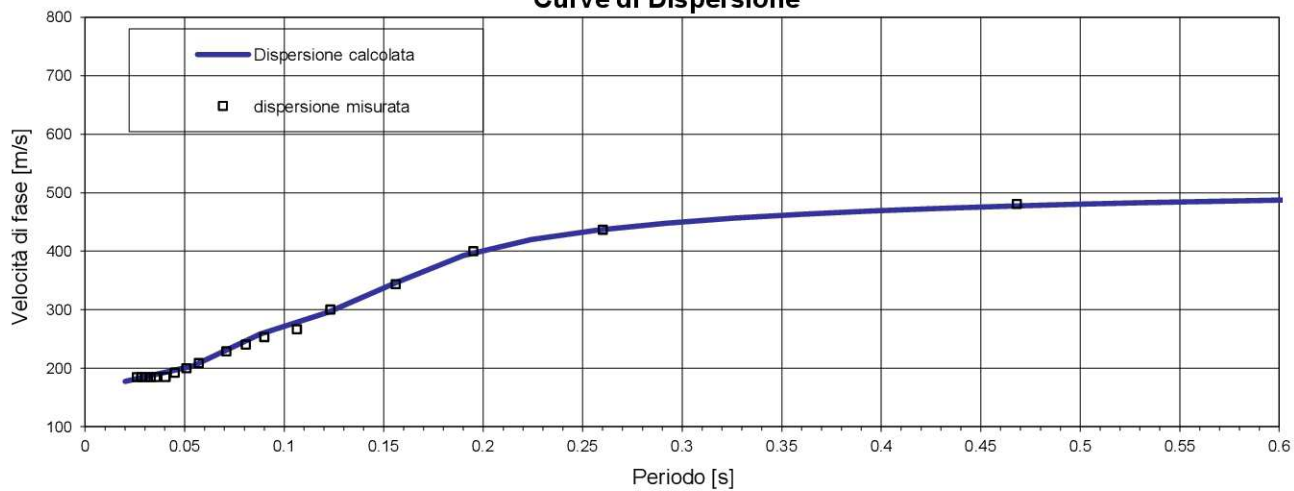
Spettro di potenza p-f



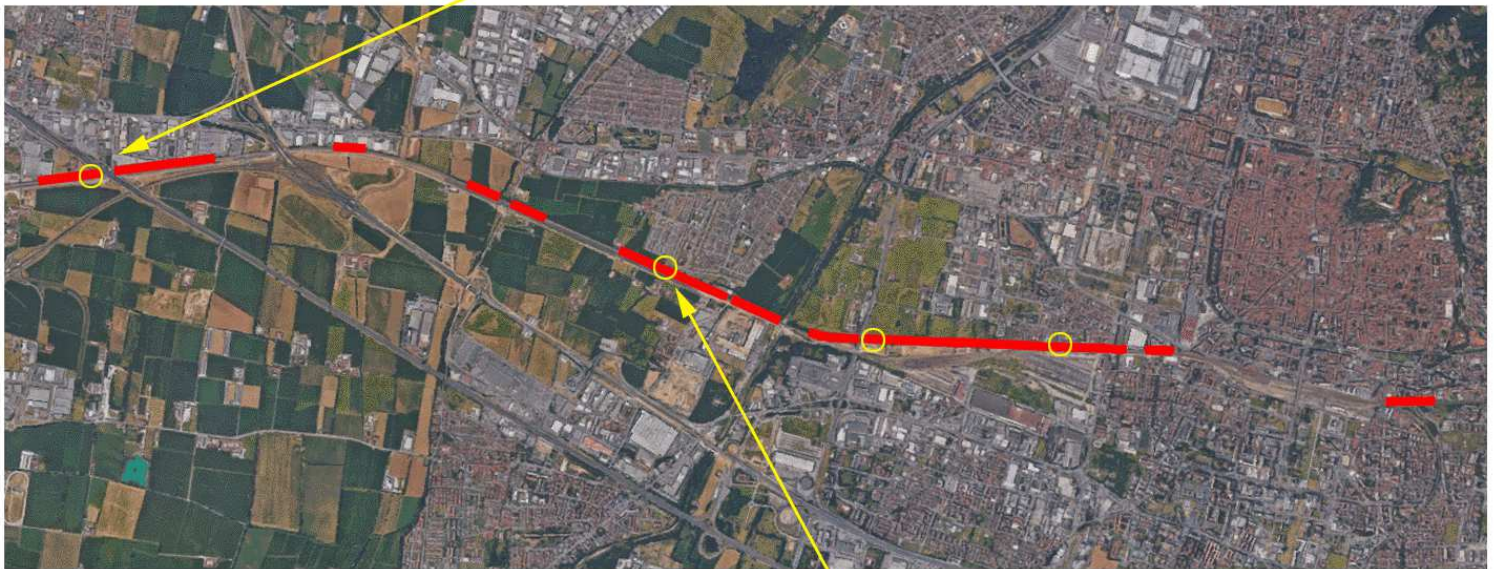
Profilo verticale (Vs)



Curve di Dispersione



UBICAZIONE PROVE SISMICHE

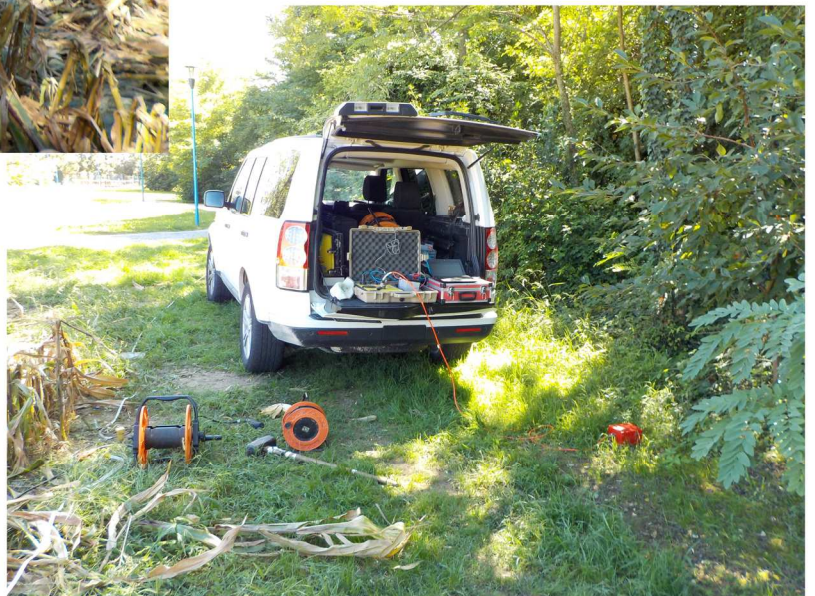


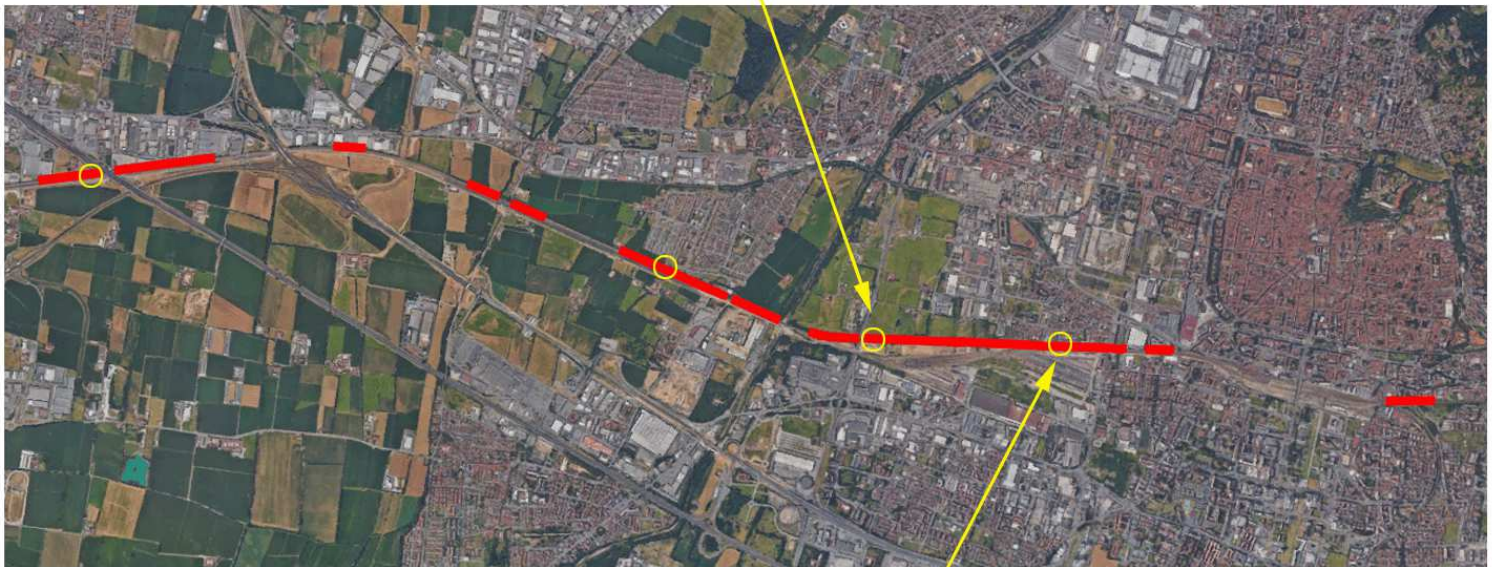


MASW + HVSR
SITO 1



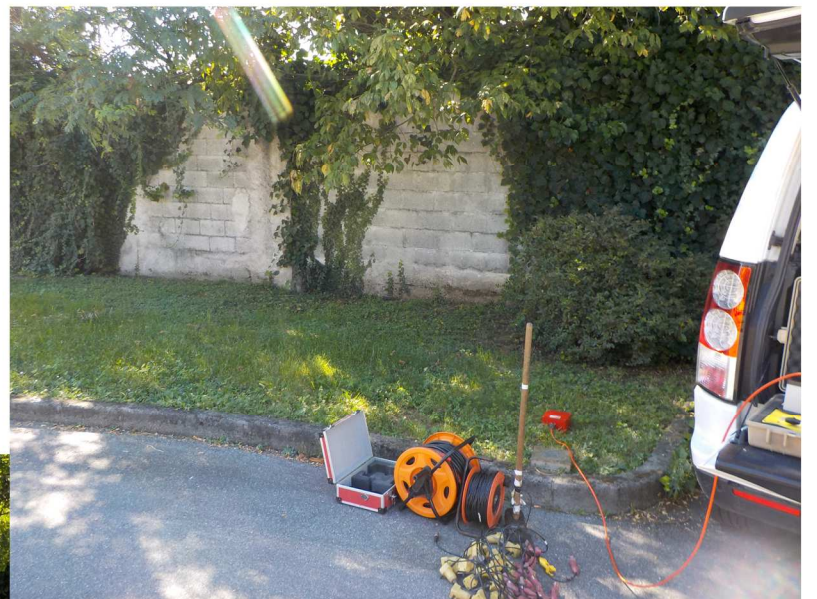
MASW + HVSR
SITO 2







MASW + HVSR
SITO 3



MASW + HVSR
SITO 4

