

# REGIONE ABRUZZO

Programma di riqualificazione e di sviluppo sostenibile nel territorio

P.R.U.S.S.T.

La città lineare della costa

ente proponente

COMUNE DI CHIETI - COMUNE DI CEPAGATTI

committente

SIRECC S.r.l. - SILE COSTRUZIONI S.r.l.

progetto

Opere di messa in sicurezza ai fini idraulici  
dell'area P.R.U.S.S.T. 7-93  
e modifica planimetrica  
dell'intervento edilizio a completamento con la  
realizzazione di edifici commerciali - no food -

il progettista

Dott. Ing. Domenico Merlino

Variante a Giudizio V.I.A. n. 1925 del 10.04.2012



elaborato

S.I.A. ALLEGATO 07:  
Classificazione del terreno dal punto di vista sismico Vs30

tavola n.

09

commessa n.

7.023

livello progettuale

Definitivo

settore

ARC

particolare

--

scala

--

project manager

DM

work manager

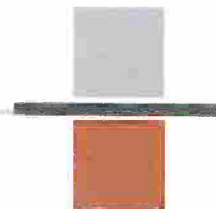
EL

00	Luglio 2016	Emesso per definizione	XX
REV.	DATA	DESCRIZIONE	DISEGNATORE

MERLINO PROGETTI s.r.l. - [www.merlinoprogetti.it](http://www.merlinoprogetti.it) E-Mail: [info@merlinoprogetti.it](mailto:info@merlinoprogetti.it)

Sede - Via Padre Ugo Frasca (Centro DA. MA.) 66100 Chieti Scalo (CH) Tel. 0871 552751 - Fax 0871 540380

Azienda con Sistema di Gestione Qualità certificato UNI EN ISO 9001 da ABICert s.a.s. - Certificato n°QBC434



## REGIONE ABRUZZO COMUNI DI CHIETI E CEPAGATTI

### PROGRAMMA DI RIQUALIFICAZIONE URBANA E DI SVILUPPO SOSTENIBILE DEL TERRITORIO P.R.U.S.S.T.

#### LA CITTA' LINEARE DELLA COSTA REALIZZAZIONE DI UN PARCO COMMERCIALE TEMATICO PROGETTO 7-93

PROVINCIA DI PESCARA  
- Servizio Genio Civile -

SI ATTESTA L'AVVENUTO DEPOSITO, ai sensi:  
dell'art. 2 della L.R. n. 136 del 17/12/1996 e dell'art. 4  
della L. n. 1086 del 05/11/1971, del progetto allegato  
alla denuncia del 15/4/13 prot. n. 204713

### CLASSIFICAZIONE DEL TERRENO DA UN PUNTO DI VISTA SISMICO TRAMITE $V_{s30}$ (OPCM 3274 – DM 14.09.2005)



RESPONSABILE DEL SERVIZIO  
Ing. Antonio D'Amico

Proprietà:	SIRECC S.r.l. – Imola (Bo)
Consulente:	Dr. Geol. Adriano DALLA PORTA
Aprile 2008	n. r. 0308/B rev. 00

## INDICE

1 – INTRODUZIONE	Pag.	1
2 – ESECUZIONE DI MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE	Pag.	1
3 – GENERALITA' SULLA TECNICA DI NAKAMURA	Pag.	2
4 – STRATIGRAFIA SISMICA	Pag.	4
5 – ANALISI DEI RISULTATI	Pag.	5
6 – EXPERIMENTAL VS. SINTETIC H/V	Pag.	5
7 – INTERPRETAZIONE E DEFINIZIONE DEL PARAMETRO $V_{s30}$	Pag.	5

## 1 – INTRODUZIONE

Nell'ambito del completamento del nuovo spazio commerciale denominato "Megalò" in Località Filomena nei Comuni di Chieti e di Cepagatti (Pescara), la Società Sirecc S.r.l. di Imola (Bo), ha voluto classificare, da un punto di vista sismico, il terreno interessato dalla costruzione dell'opera.

Per le misure è stato utilizzato un tromografo digitale portatile, denominato Tromino, progettato specificatamente per la registrazione del rumore sismico ambientale.

Al fine di meglio interpretare i dati forniti da dette registrazioni, si è scelto di effettuare le misure in sito nei pressi dei punti dove, nel dicembre del 2007, sono state eseguite alcune delle prove penetrometriche CPT. Come osservabile in Allegato 1, le quattro misure con tomografo (da T1 a T4) sono state eseguite in corrispondenza delle prove penetrometriche CPT 1/07 (misura T1), CPT 3/07 (misura T2), CPT 6/07 (misura T3) e CPT 7/07 (misura T4).

Le caratteristiche dello strumento, le modalità d'impiego e i risultati dell'indagine sono dettagliatamente descritte nei capitoli successivi.

## 2 – ESECUZIONE DI MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE

Il tromografo digitale portatile (denominato TROMINO ed osservabile nelle foto in Allegato 2), è uno strumento dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, esso permette la registrazione nel campo di frequenze 0 - 200 Hz (

In sintesi, dopo che il segnale dei tre velocimetri è stato acquisito, per un determinato tempo  $t$ , e digitalizzato a 24 bit, viene trasmesso ad un software dedicato, denominato Grilla il quale, per ciascuna delle 3 componenti del moto, esegue le seguenti operazioni:

- 1 - divisione del tracciato in finestre la cui lunghezza è immessa dall'operatore;
- 2 - depurazione del segnale dal trend di ciascuna finestra;
- 3 - "taper" con una finestra di Bartlett;
- 4 - "pad" di ciascuna finestra con degli zero;
- 5 - calcolo della trasformata di Fourier (FFT) per ciascuna finestra;
- 6 - calcolo dello spettro di ampiezza per ciascuna finestra;
- 7 - smoothing (lisciamento) dello spettro di ogni finestra secondo differenti funzioni la cui scelta viene definita dall'operatore;

8 - calcolo del rapporto spettrale HVSR per ogni frequenza e per ogni finestra. Il risultato finale consiste nella graficizzazione delle medie degli HVSR di ciascuna finestra e nell'interpretazione secondo la tecnica di Nakamura.

### 3 – GENERALITA' SULLA TECNICA DI NAKAMURA

Il metodo si basa sulla misura del rumore sismico ambientale, il quale risulta prodotto sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) sia dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore in quanto riguarda oscillazioni molto piccole ( $10^{-15}$  m/s<sup>2</sup> in termini di accelerazione), inferiori di diversi ordini di grandezza rispetto a quelle indotte dai terremoti nel campo vicino.

I metodi che si basano sull'acquisizione dei microtremori si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come avviene invece nel caso della sismica attiva (esplosioni).

Lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno roccioso pianeggiante presenta dei picchi a 0.14 e 0.07 Hz, comunemente interpretati come originati dalle onde oceaniche. Tali componenti spettrali vengono attenuate molto poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ma anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

Nel tragitto dalla sorgente al sito le onde elastiche (sia di terremoto che di microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda e attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica di ray tracing, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazione. Questa informazione è però sepolta all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste è la tecnica di Nakamura dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio).

I primi studi furono effettuati da Kanai (1957) in seguito aggiornati e modificati da vari autori per ottenere informazioni dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è la tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (HVSR), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970) e poi da Nakamura (1989), per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. Su questo punto non è però ancora stato raggiunto consenso, sebbene sia ampiamente riconosciuto che l'HVSR è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli, informazione che è comunque di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

La tecnica di Nakamura non richiede l'individuazione di una stazione di riferimento, permettendo così di operare in campagna utilizzando una sola stazione sismica. Il metodo HVSR considera i microtremori come composti principalmente da onde di Rayleigh e presuppone che l'amplificazione relativa agli effetti di sito sia causata dalla presenza di uno strato sedimentario giacente su di un semispazio elastico. In queste condizioni le componenti del moto sismico da analizzare sono quattro:

- quelle orizzontali di superficie ( $H_s$ ) e quelle orizzontali al bedrock ( $H_b$ );
- quelle verticali di superficie ( $V_s$ ) e quelle verticali al bedrock ( $V_b$ ).

Secondo Nakamura è inoltre possibile fare una stima della forma spettrale della sorgente dei microtremori  $A_s(\omega)$  (in funzione della frequenza) con la seguente relazione:

$$A_s(\omega) = V_s(\omega) / V_b(\omega) \quad (1)$$

in cui  $V_s(\omega)$  e  $V_b(\omega)$  sono le ordinate spettrali delle componenti verticali del moto, rispettivamente in superficie e al tetto del bedrock.

Nakamura definisce poi come effetto di sito il rapporto spettrale  $Se(\omega)$ :

$$Se(\omega) = H_s(\omega) / H_b(\omega) \quad (2)$$

dove  $H_s(\omega)$  e  $H_b(\omega)$  sono le ordinate spettrali delle componenti orizzontali del moto, rispettivamente in superficie e al tetto del bedrock.

Per compensare l'effetto di sito  $Se(\omega)$  dallo spettro di sorgente  $A_s(\omega)$  viene calcolato il rapporto spettrale modificato  $Sm(\omega)$  come:

$$Sm(\omega) = Se(\omega) / A_s(\omega) = (H_s(\omega)/V_s(\omega)) / (H_b(\omega)/V_b(\omega)) \quad (3)$$

Nakamura assume infine che per tutte le frequenze di interesse  $H_b(\omega)/V_b(\omega) = 1$ , basandosi su registrazioni, sperimentalmente verificate da lui, di microtremori in pozzo; quindi l'effetto di sito modificato  $Sm(\omega)$  è descritto da:

$$Sm(\omega) = Se(\omega) / A_s(\omega) = H_s(\omega)/V_s(\omega) \quad (4)$$

La frequenza di risonanza è ricercata al primo picco individuato dal rapporto tra la componente orizzontale e quella verticale dei segnali registrati.



Nel 2004, nell'ambito di un progetto europeo denominato SESAME<sup>1</sup> (Site EffectS assessment using AMbient Excitations), sono state elaborate le linee guida per l'esecuzione e l'interpretazione di misure sismiche di microtremore, creando così le premesse per la standardizzazione di questo tipo di indagine geofisica.

Nell'ultima pagina dei singoli report è riportata la corrispondenza delle misure effettuate alle indicazioni del progetto SESAME.

## 4 – STRATIGRAFIA SISMICA

Le misure di microtremori vengono anche utilizzate per valutazioni stratigrafiche o, alternativamente, di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ). Il metodo risulta molto semplice ed intuitivo nell'ipotesi di un sottosuolo stratificato orizzontalmente e i cui parametri variano solo con la profondità (sistema monodimensionale 1D).

Nel caso ideale di un sottosuolo formato da due soli strati (la copertura (1) ed il bedrock (2)), separati da una superficie orizzontale e distinguibili per un diverso valore di impedenza sismica, ovvero per differenti densità e/o velocità delle onde sismiche, un'onda che viaggia nel mezzo (1) viene parzialmente riflessa dall'orizzonte che separa i due strati. L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le massime ampiezze di oscillazione (condizione di risonanza), quando la sua lunghezza d'onda  $\lambda$  è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore  $h$  del primo strato. In altre parole la frequenza fondamentale di risonanza  $f_r$  della copertura (mezzo (1)), relativa alle onde P è pari a:

$$f_r = V_{P1} / (4 h) \quad (5)$$

mentre quella relativa alle onde S è:

$$f_r = V_{S1} / (4 h) \quad (6)$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati alle varie profondità. Questo, insieme ad una stima degli spessori degli strati, che è solitamente disponibile almeno a livello di massima, è in grado di fornire previsioni sulle velocità di propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo.

Il problema principale di questa visione è che i microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. Essi sono costituiti in misura molto maggiore da onde superficiali e in particolare da onde di Rayleigh, tuttavia ci si può ricondurre a riso-

---

<sup>1</sup> Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. Measurements, processing and interpretation. SESAME European research project, December 2004.

nanza delle onde di volume poiché le onde di superficie sono prodotte dall'interferenza costruttiva di queste ultime.

Per affinare il risultato interpretativo in termini di sismostrati si procede creando curve sintetiche H/V simulando il campo di onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli secondo la teoria descritta in Aki (1964)<sup>2</sup> e Ben-Menahem e Singh (1981)<sup>3</sup>. Il modello, opportunamente applicato, può essere considerato uno stimatore del profilo di Vs con errori confrontabili a quelli di metodi più tradizionali, per lo meno nei primi 30 metri di profondità<sup>4</sup>.

## 5 – ANALISI DEI RISULTATI

I dati misurati dallo strumento sono stati elaborati e interpretati fornendo un report finale così strutturato:

<b>Dati delle misura:</b>	Ora di inizio e fine registrazione, frequenza di campionamento, ecc.;
<b>Horizontal to vertical spectral ratio:</b>	Grafico H/V;
<b>H/V Time history:</b>	Grafico Time history del rapporto H/V;
<b>Directional H/V:</b>	Grafico direzionalità del rapporto H/V;
<b>Single component spectra:</b>	Grafico delle singole componenti spettrali.

## 6 – EXPERIMENTAL VS. SINTETIC H/V

Negli allegati report è riportato il grafico con la sovrapposizione della curva sperimentale alla curva H/V e istogramma Velocità/Profondità.

Nell'ultima pagina dei singoli report, inoltre, è riportata la rispondenza della misura, e relativa elaborazione, alle linee guida del progetto SESAME. I criteri si riferiscono all'utilizzo della misura per la valutazione della risposta sismica locale in accordo con il metodo di Nakamura e, in particolare, verificano la chiarezza e validità dei picchi registrati.

## 7 – INTERPRETAZIONE E DEFINIZIONE DEL PARAMETRO Vs30

L'interpretazione delle prove ai fini della definizione del parametro Vs30 è stata effettuata utilizzando i dati stratigrafici disponibili da prove penetrometriche statiche e

<sup>2</sup> Aki K., 1964. A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the earth's crust, *Geophysics*, 29, 665-666

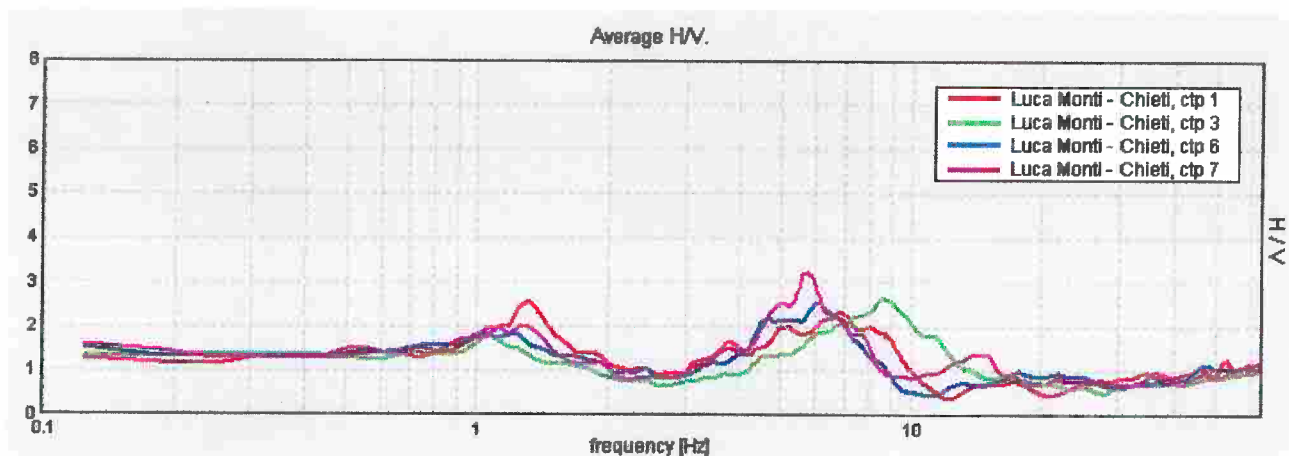
<sup>3</sup> Ben-Menahem A. e Singh S.J., 1981. *Seismic Waves and Sources*, Springer-Verlag, New York



sondaggi geognostici effettuati nell'area di misura (vedasi nostra precedente relazione 308/A rev.00 di gennaio 2008). È stato così possibile associare i primi picchi della curva H/V (frequenze più alte) a discontinuità di cui è nota la profondità ottenendo una buona stima delle velocità delle onde di taglio e quindi il parametro Vs30 richiesto dalle norme. La conferma della validità del modello si ha dall'elaborazione della curva sintetica descritta nei paragrafi precedenti.

È stato necessario procedere ad un preliminare filtraggio dei dati così da eliminare evidenti disturbi.

I grafici H/V delle quattro misure sono simili, come risulta dai grafici e tabelle di dettaglio riportate in Allegato 3 e dalla successiva figura riepilogativa, e differiscono unicamente per il primo gruppo di picchi significativi che si collocano tra i 6 e gli 8.5 Hz, con lo scostamento più significativo in corrispondenza della misura effettuata sulla verticale della CPT 3/07. Il dato non è particolarmente significativo considerato che ci troviamo in un range di profondità compreso tra 10 e 14 metri e che la natura sedimentologica dei terreni presenti è alluvionale e quindi con frequenti variabilità verticali e laterali in corrispondenza di diversi ambienti deposizionali, anche a modesta distanza.



La stratigrafia desunta dalle indagini geognostiche (CPT e sondaggi) individua alcuni decimetri di misto compatto, responsabile delle modeste inversioni della curva HV alle alte frequenze, seguito da uno spessore variabile da 4 a 9 metri di materiali di ri-

<sup>4</sup> Castellaro S., 2007. Un'introduzione all'inversione teorica delle curve H/V a fini stratigrafici. Micromed s.p.a.

# Geotech Engineering

Controllo qualità, tecnologie e soluzioni d'avanguardia per l'ingegneria civile

porto utilizzati come riempimento delle aree precedentemente utilizzate come cave di ghiaia.

L'elaborazione delle curve sintetiche hanno permesso di ottenere una buona sovrapposizione con le misure reali ottenendo una stratigrafia sismica "tipo" attendibile per l'intera area indagata. Al primo spessore di materiali di riempimento è associabile una velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) compresa tra 200 e 230 m/sec. Le successive ghiaie hanno velocità media di 430 m/sec mentre la formazione argillosa di base varia da circa 500 m/sec a 800 m/sec.

Il parametro  $V_{s30}$  richiesto dall'O.P.C.M. 3274 e s.m.i., computato a partire dalla profondità di un metro dal piano campagna, assume valori intorno a 360 m/sec, con una certa variabilità. Tale valore risulta al limite tra la categoria di suolo B e la categoria di suolo C.

Visto il contesto morfologico e la natura dei terreni presenti, risulta opportuno applicare la

**categoria di suolo di fondazione C,**

definita come:

*"Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 e 360 m/s ( $15 < N_{SPT} < 50$ ,  $70 < C_u < 250 \text{ kPa}$ )".*

Per quanto attiene alla risposta sismica locale è importante sottolineare la modesta ampiezza dei massimi picchi, quasi sempre inferiore a 3, e la frequenza fondamentale di risonanza compresa tra 6 e 8.5 Hz, ossia periodi di vibrazione tra 1 e 2 secondi corrispondenti, secondo una semplificazione di largo uso, a quella propria di edifici ad uno-due piani, i quali risulterebbero i maggiormente sollecitati in caso di sisma.

Montebelluna, 30.04.2008

GEOTECH ENGINEERING

Dr. Adriano DALLA PORTA





## **ALLEGATO 1**

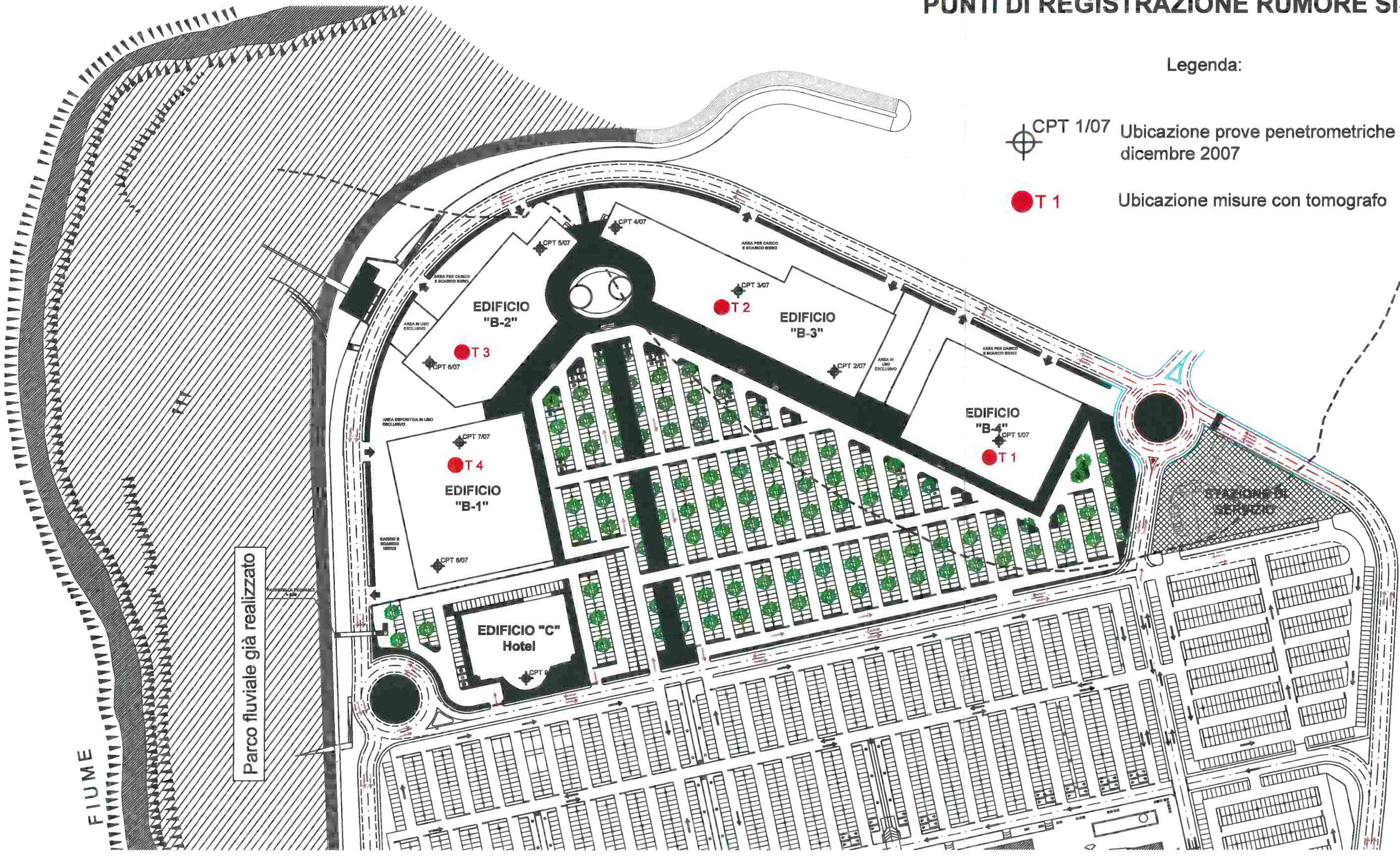
### **UBICAZIONE MISURE CON TOMOGRAFO**



# UBICAZIONE PUNTI DI REGISTRAZIONE RUMORE SISMICO

Legenda:

-  CPT 1/07 Ubicazione prove penetrometriche CPT dicembre 2007
-  T 1 Ubicazione misure con tomografo



## **ALLEGATO 2**

### **DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



# Geotech Engineering

Controllo qualità, tecnologie e soluzioni d'avanguardia per l'ingegneria civile



Foto 1: Veduta di parte della superficie indagata



# Geotech Engineering

Controllo qualità, tecnologie e soluzioni d'avanguardia per l'ingegneria civile



Foto 2: Tromino in fase di rilevamento

## **ALLEGATO 3**

### **GRAFICI E TABELLE DELL'INDAGINE TOMOGRAFICA**

# MEGALO', Misura T1 in corrispondenza della CTP 1

Start recording: 10/04/08 12:55:32 End recording: 10/04/08 13:15:33

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Trace length: 0h20'00". Analyzed 78% trace (manual window selection)

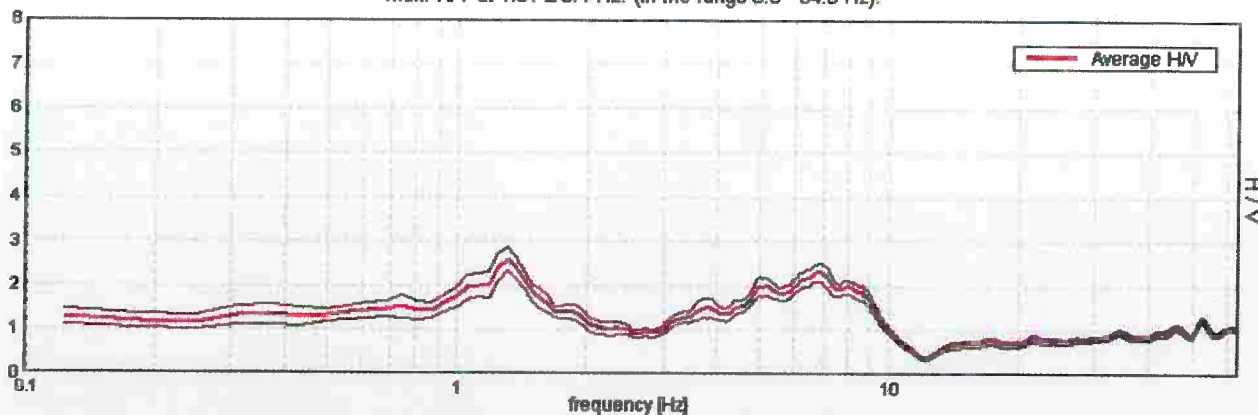
Sampling frequency: 128 Hz

Window size: 15 s

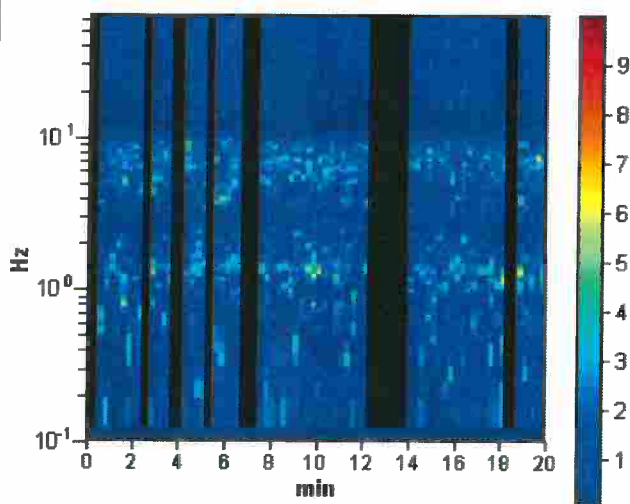
Smoothing window: Triangular window, Smoothing: 5%

## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

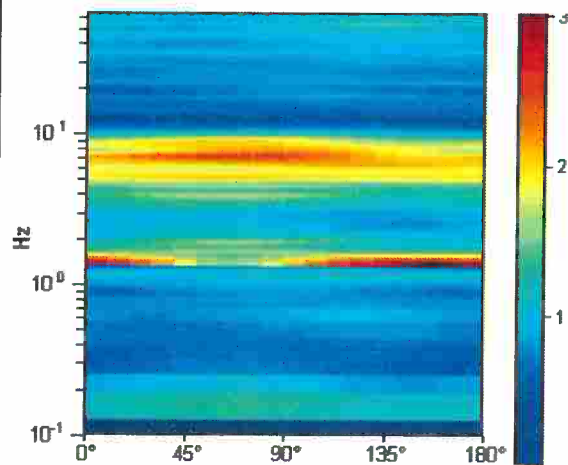
Max. H/V at  $1.31 \pm 0.4$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



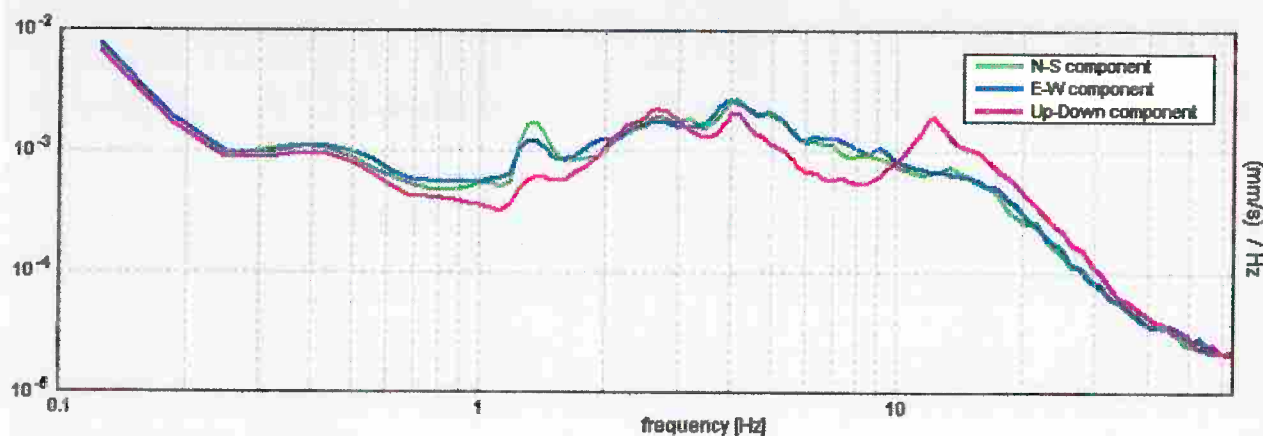
## H/V TIME HISTORY



## DIRECTIONAL H/V

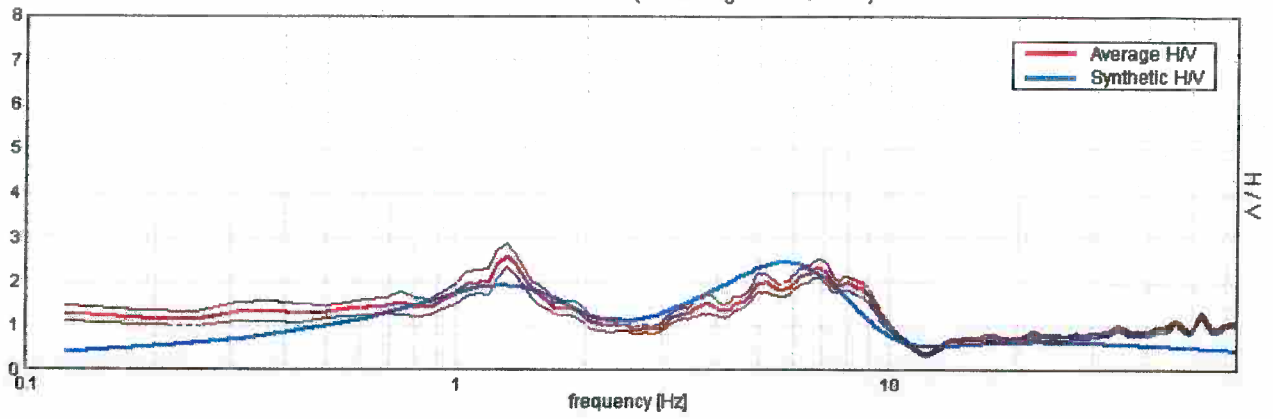


## SINGLE COMPONENT SPECTRA

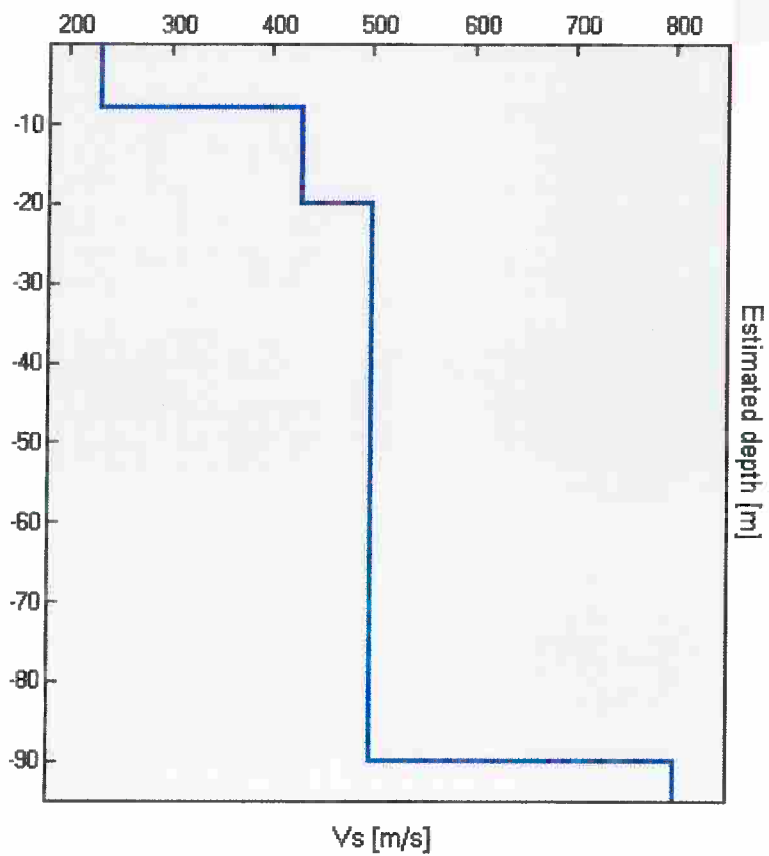


## EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $1.31 \pm 0.4$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
8.00	8.00	230
20.00	12.00	430
90.00	70.00	500
inf.	inf.	800



According to the Sesame, 2005 guidelines.

**Max. HVSR at  $1.31 \pm 0.4$  Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable HVSR curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.31 > 0.67$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1220.6 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 32 times	OK	

**Criteria for a clear HVSR peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.438 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.0 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.59 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.15053  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.19757 < 0.13125$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.135 < 1.78$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$**

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



# MEGALO', Misura T2 in corrispondenza della CTP 3

Start recording: 10/04/08 12:24:46 End recording: 10/04/08 12:44:47

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Trace length: 0h20'00". Analyzed 92% trace (automatic window selection)

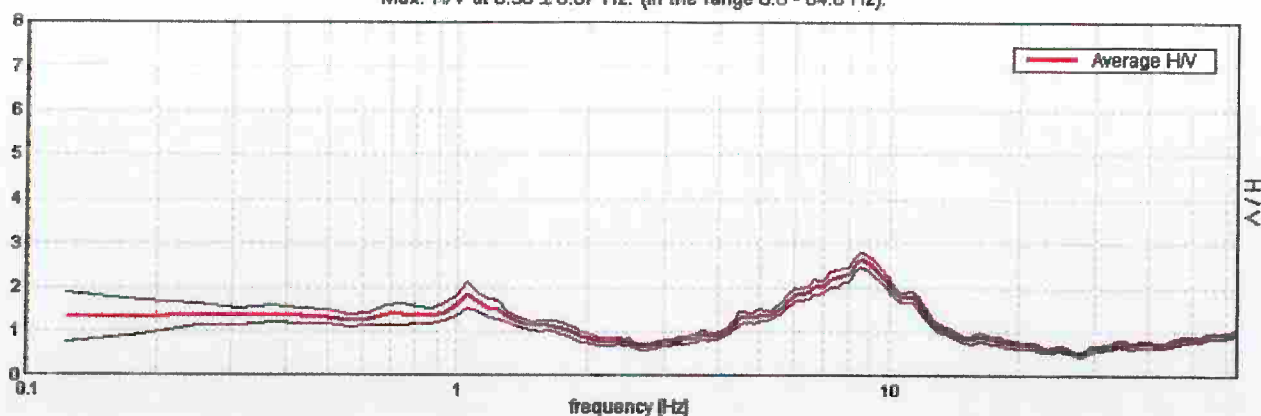
Sampling frequency: 128 Hz

Window size: 15 s

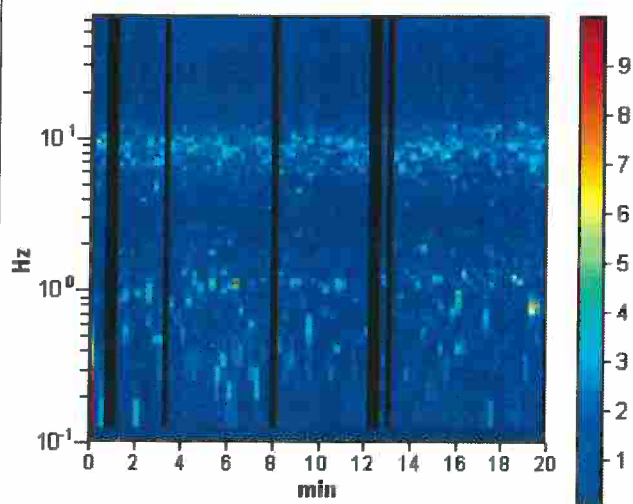
Smoothing window: Triangular window, Smoothing: 5%

## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

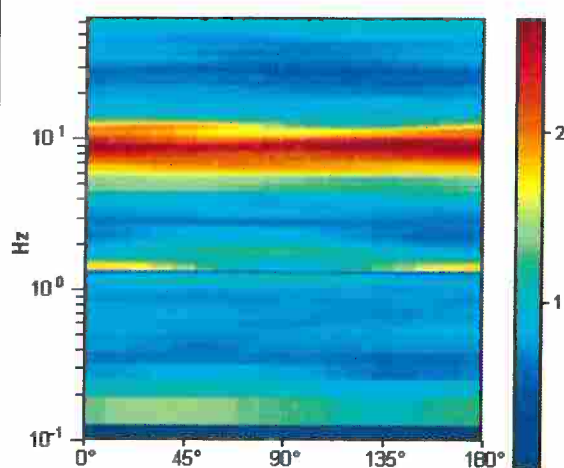
Max. H/V at  $8.56 \pm 0.87$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



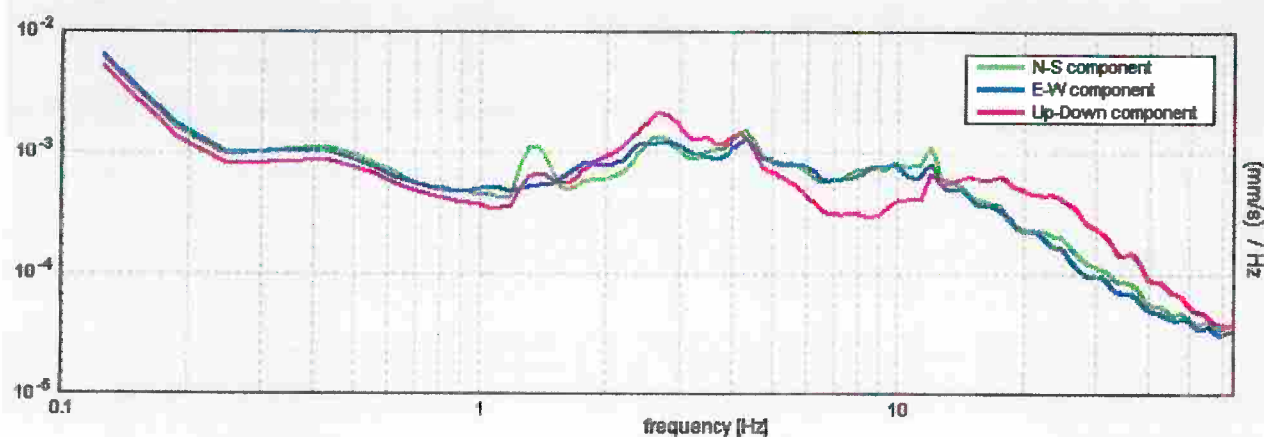
## H/V TIME HISTORY



## DIRECTIONAL H/V



## SINGLE COMPONENT SPECTRA





According to the Sesame, 2005 guidelines.

**Max. HVSR at  $8.56 \pm 0.87$  Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

### Criteria for a reliable HVSR curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$8.56 > 0.67$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$9375.9 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 206 times	OK	

### Criteria for a clear HVSR peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f^-) < A_0 / 2$	4.813 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f^+) < A_0 / 2$	12.438 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.62 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.05051  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.4325 < 0.42813$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.0804 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{HV}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{HV}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{HV}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{HV}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{HV}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log HV}(f)$	standard deviation of $\log A_{HV}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

### Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log HV}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

# MEGALO', Misura T3 in corrispondenza della CTP 6

Start recording: 10/04/08 11:47:25 End recording: 10/04/08 12:07:25

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Trace length: 0h20'00". Analyzed 89% trace (manual window selection)

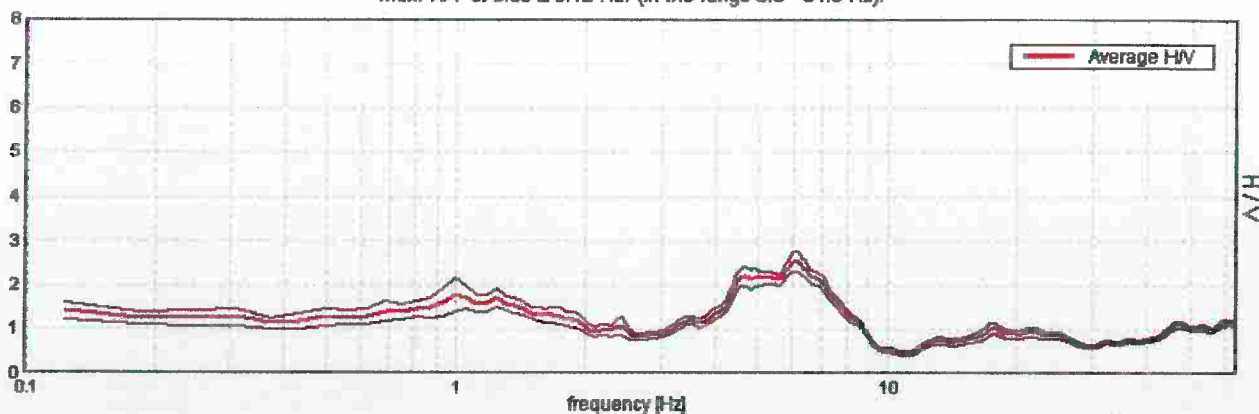
Sampling frequency: 128 Hz

Window size: 15 s

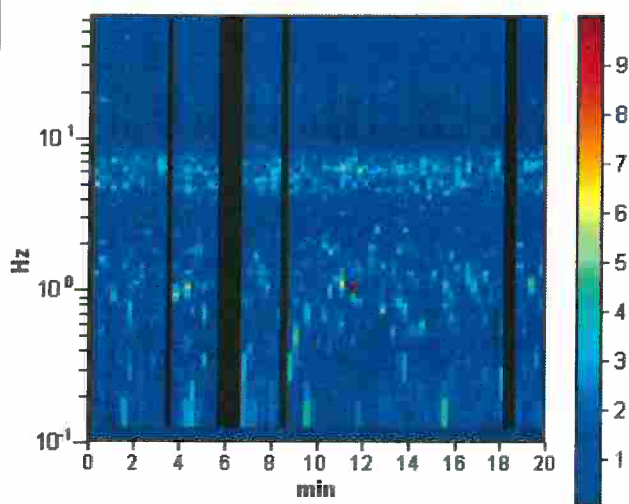
Smoothing window: Triangular window, Smoothing: 5%

## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

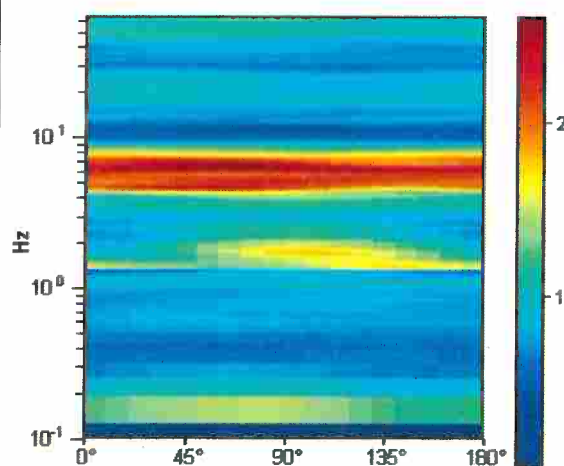
Max. H/V at  $6.06 \pm 0.12$  Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



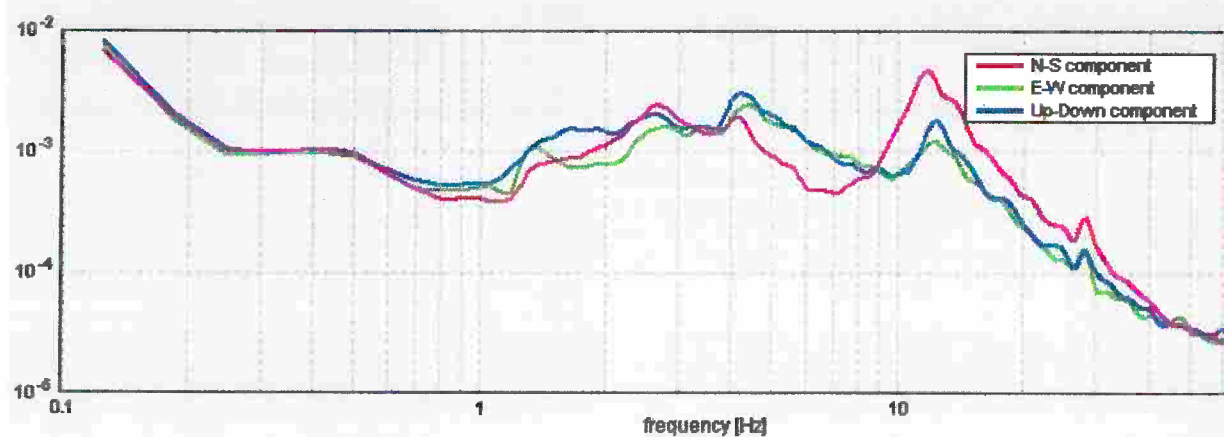
## H/V TIME HISTORY



## DIRECTIONAL H/V



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



According to the Sesame, 2005 guidelines.

Max. HVSR at  $6.06 \pm 0.12$  Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

### Criteria for a reliable HVSR curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$6.06 > 0.67$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$6456.6 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 146 times	OK	

### Criteria for a clear HVSR peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f^-) < A_0 / 2$	3.875 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f^+) < A_0 / 2$	8.188 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.53 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0097  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.0588 < 0.30313$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1058 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{HV}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{HV}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{HV}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{HV}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{HV}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log HV}(f)$	standard deviation of $\log A_{HV}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

### Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log HV}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

# MEGALO', Misura T4 in corrispondenza della CTP 7

Start recording: 10/04/08 11:09:08 End recording: 10/04/08 11:29:09

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Trace length: 0h20'00". Analyzed 94% trace (automatic window selection)

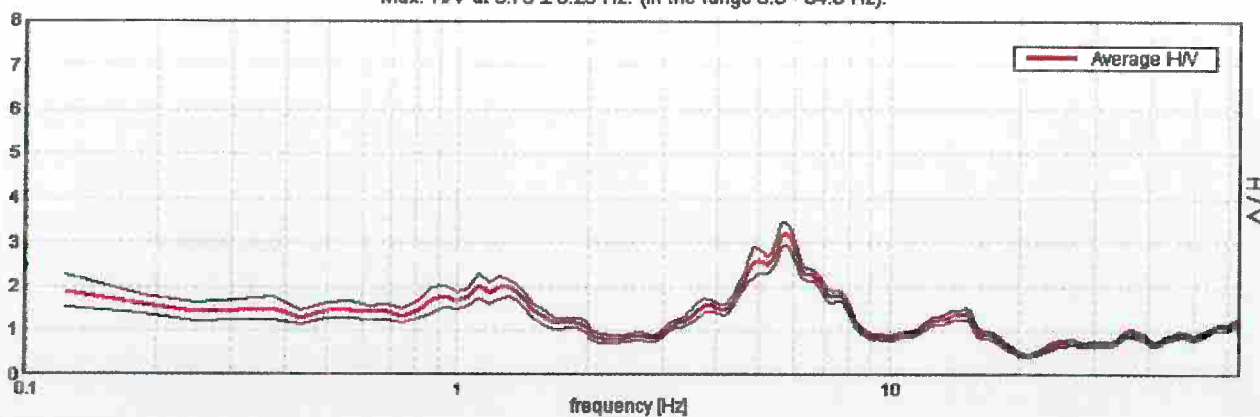
Sampling frequency: 128 Hz

Window size: 15 s

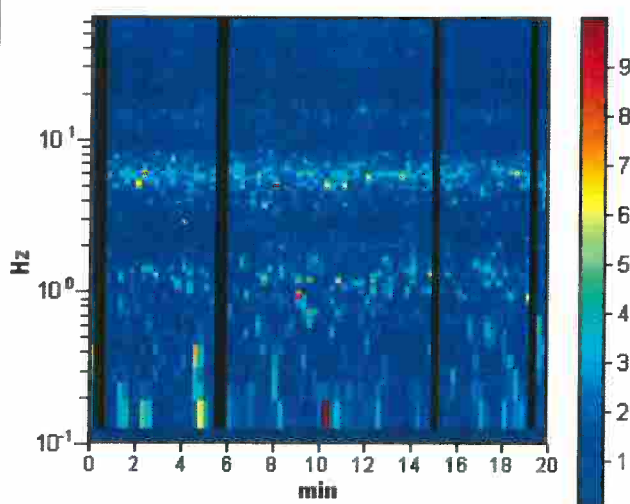
Smoothing window: Triangular window, Smoothing: 5%

## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

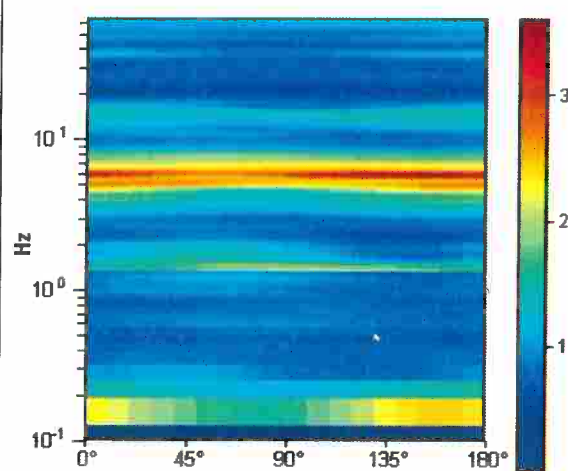
Max. H/V at  $5.75 \pm 0.25$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



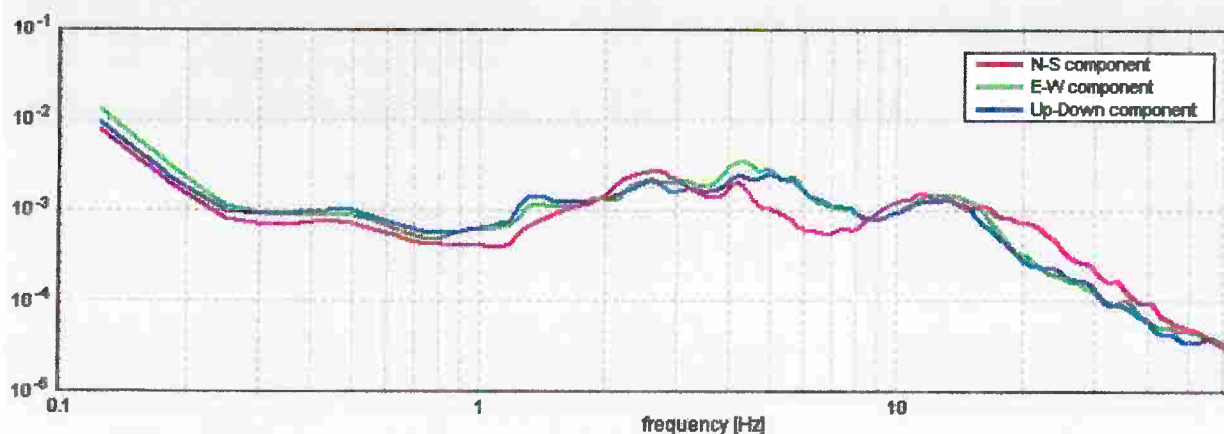
## H/V TIME HISTORY



## DIRECTIONAL H/V

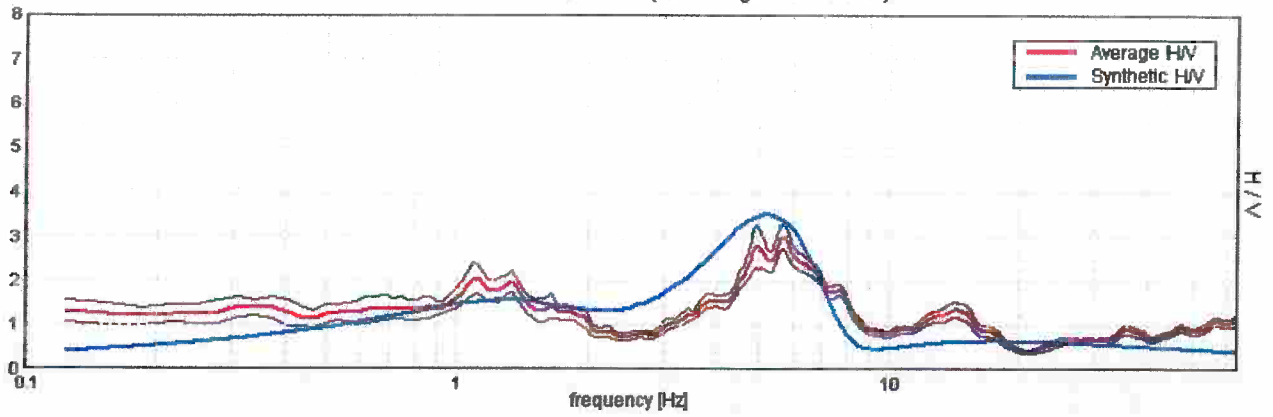


## SINGLE COMPONENT SPECTRA

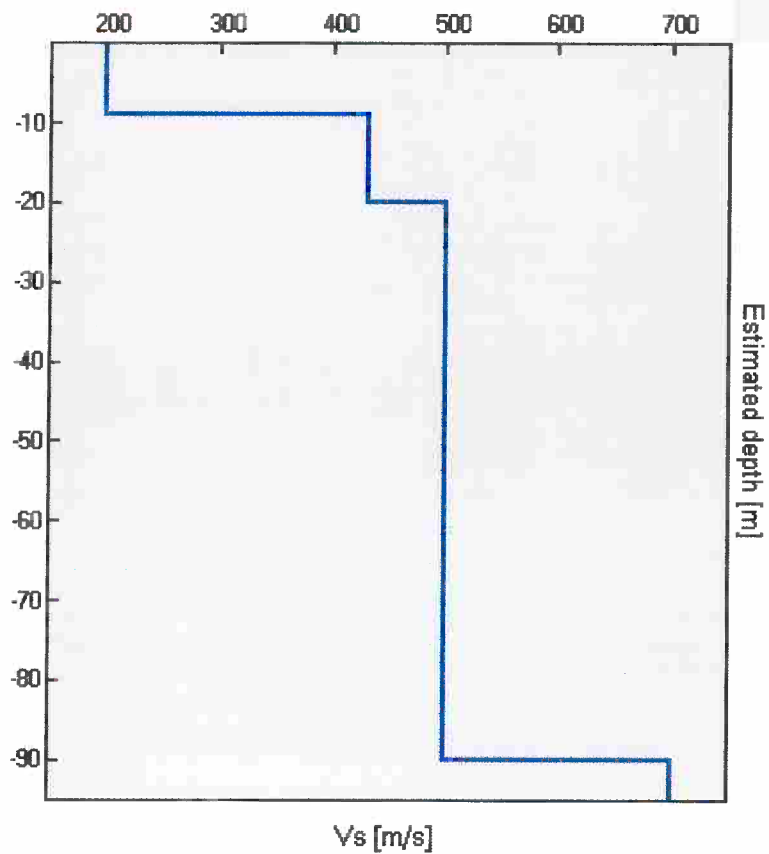


# EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. HVSR at  $5.72 \pm 0.31$  Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
9.00	9.00	200
20.00	11.00	430
90.00	70.00	500
inf.	inf.	700



According to the Sesame, 2005 guidelines.

**Max. HVSR at  $5.75 \pm 0.25$  Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable HVSR curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$5.75 > 0.67$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$6382.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 139 times	OK	

**Criteria for a clear HVSR peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	4.25 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	8.0 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.20 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02191  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.12598 < 0.2875$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1328 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$**

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20