luciano amandola

geologo

COMUNE DI XXXXXX

Provincia di XXXXX

COMITT: Studio associato XXXXXXXXXXXXXXX

OGGETTO: Indagine di sismica passiva a stazione singola a fini stratigrafici eseguita in corrispondenza di aree edificabili (PEC n.XXX) in via XXXXXXXX del Comune di XXXXXXXX

Rif. Uff. 481/13

RELAZIONE SULL'INDAGINE GEOFISICA

Bistagno, li 17/05/2013

Il geologo incaricato

GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE

Piazza G. Monteverde 24, 15012 Bistagno (AL) - Tel. 0144377030 amandola@libero.it P.I. 01797370069

INDAGINE DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA

Consiste nella misurazione del *microtremore ambientale*[1] nelle sue tre componenti spaziali (x, y e z opp. E-W, N-S e Up-Down) a varie frequenze per mezzo di un registratore sismico (tromografo o tromometro).

Dall'analisi delle componenti spettrali delle tracce registrate è possibile:

- ricavare la frequenza fondamentale (o di risonanza) del sito;
- ottenere un'interpretazione del profilo stratigrafico-sismico ad elevata profondità con stima sulla profondità del bedrock (substrato sismico o litologico) e del parametro VS30 (velocità media delle onde S – di taglio – nei primi 30 metri di profondità).

La strumentazione utilizzata per la registrazione è costituita da un tromografo digitale (TROMINO della MICROMED S.p.a) dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati sul piano orizzontale (N-S e E-W) e sul piano verticale (Up-Down). I dati di rumore, amplificati e digitalizzati, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz ritenuta la più indicata per la tipologia di indagine[2].

Per l'Analisi spettrale delle tracce e la modellazione si è utilizzato uno specifico software dedicato (Grilla della MICROMED S.p.a), conforme alle direttive fornite dal progetto di ricerca europeo SESAME.

Di seguito viene descritto il procedimento e vengono espresse considerazioni relative al sito in esame. In particolare si è scelto di effettuare tre prove (n.1, n.2 e n.3 – cfr. posizione su figura 1 su allegato) all'interno del lotto di interesse, presumibilmente interessato da un vasto dissesto gravitativo quiescente e una prova all'esterno (n.4) in modo da avere un confronto con un sito non interessato al dissesto (substrato subaffiorante).

Illustrazione 1:
Posizionamento del tromografo sul terreno. L'accoppiamento strumento - terreno è garantito dall'infissione di particolari "piedini".

[1]detto anche *rumore sismico,* sono movimenti minimi (nell'ordine di 10^{-2} – 10^{-6} mm) del terreno presenti in qualsiasi punto della superficie terrestre, e consiste per lo più nelle onde di superficie (onde di Rayleigh e onde di Love) prodotte dall'interferenza costruttiva delle onde P ed S negli strati superficiali. Il rumore sismico viene prodotto principalmente dal vento e dalle onde del mare, ma anche (alle frequenze più alte) da sorgenti di carattere antropico come ad esempio industrie e traffico veicolare.

[2]Il Tromino può essere utilizzato anche per applicazioni ingegneristiche su strutture quali analisi modali e analisi di vibrazioni

Per i dettagli grafici e numerici relativi alla prova si rimanda alla consultazione dell'allegato a fine testo.

FREQUENZA FONDAMENTALE (DI RISONANZA) DEL SITO

La prova sismica passiva a stazione singola mette in luce le frequenze alle quali il moto del terreno viene amplificato per risonanza stratigrafica[3], in quanto il rumore sismico agisce come sorgente di eccitazione. Un suolo vibra con maggiore ampiezza a specifiche frequenze (per l'appunto di risonanza) non solo quando è eccitato da un terremoto ma anche quando è eccitato da un tremore di qualsiasi origine. Questo fa sì che la misura delle frequenze di risonanza dei terreni sia possibile ovunque ed in modo semplice, anche in assenza di terremoti.

Le frequenze a cui si manifesta la risonanza sono descritte dalla relazione: ***f=Vs/4h*** (formula semplificata) dove Vs è la velocità delle onde di taglio nello strato che risuona e h è lo spessore di detto strato.

La prova, comunemente nota con il termine H/V o HVSR (rapporto tra le componenti spettrali orizzontali H e verticale V) fu applicata per la prima volta da Nogoshi e Igarashi (1970) e resa popolare da Nakamura (1989).

Infatti e' proprio dal grafico del rapporto tra le componenti spettrali orizzontale e verticale (cfr. Illustrazione 2) che viene evidenziata la frequenza (o più frequenze se si è in presenza di un profilo stratigrafico multistrato con contrasti di impedenza[4] significativi) attraverso un "picco" della curva (in genere dovuto ad un minimo della componente verticale, riscontrabile negli spettri delle singole componenti – cfr. Figura 5, 10, 13, 16 dell'allegato).

La frequenza fondamentale del sito è da intendersi solitamente quella più significativa a bassa frequenza. Eventuali frequenze secondarie (picchi) se vicine alle frequenze di interesse ingegneristico (struttura) possono essere comunque significative.

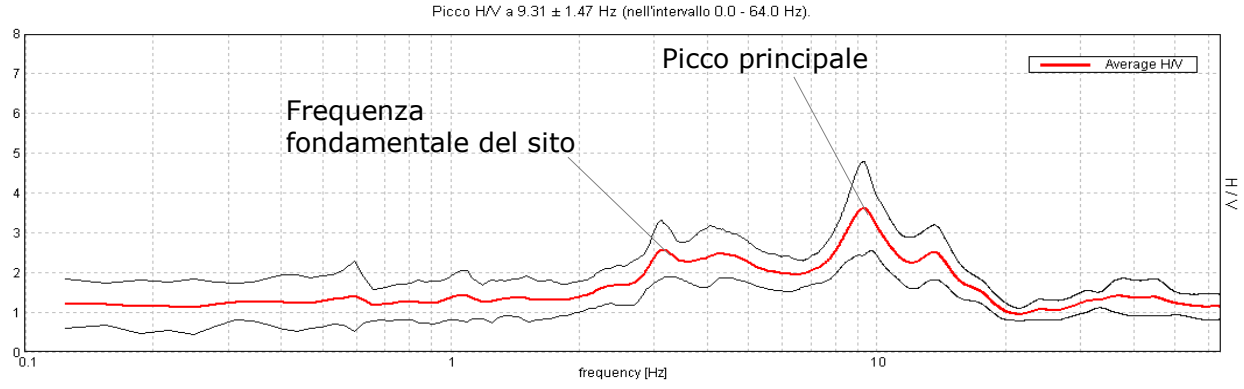


Illustrazione 2: PROVA n. 1 - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Prendendo per esempio la prova n.1, nel nostro caso, non si ha la coincidenza tra picco principale (9,31 Hz – presumibilmente dovuto al passaggio tra l'unità litologica I e unità

[3]Si ha risonanza stratigrafica quando si è in presenza di terreni di copertura con spessore superiore a tre metri su di un substrato rigido.

[4] Rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso

litologica II all'interno della coltre detritica) e la frequenza fondamentale del sito (circa 3 Hz – presumibilmente dovuta al passaggio coltre detritica e substrato litoide).
Di seguito è presentato un grafico in cui vengono sovrapposti gli andamenti H/V relative alle 4 prove effettuate, lasciando i dettagli di ciascuna prova alla consultazione dell'allegato.

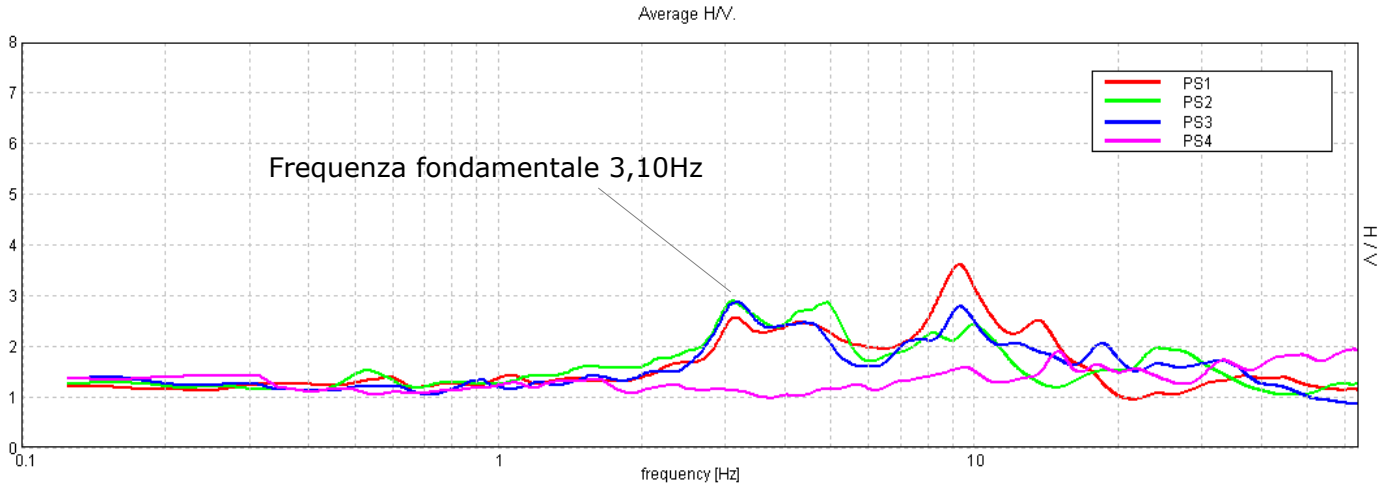


Illustrazione 3: Sovrapposizione rapporti spettrali orizzontale su verticale delle quattro prove

Come si può evincere dal grafico, le tre prove (PS1, PS2 e PS3) eseguite nel lotto di interesse presentano caratteristiche molto simili al disotto dei 10 HZ e quindi simili caratteristiche stratigrafico-sismiche al disotto di circa 5m (indicativi) di profondità. Principalmente presentano la stessa frequenza fondamentale di risonanza a 3,10 Hz da mettere presumibilmente in relazione al passaggio coltre detritica-substrato litoide ad una profondità di circa 25m (cfr. prossimo capitolo). Le differenze a frequenze superiori ai 10 Hz sono probabilmente causate dall'eterogeneità litostratigrafiche nella porzione più superficiale della coltre detritica (Unità litologiche IA e IB).
Fa eccezione la prova PS4 il cui grafico H/V non presenta picchi significativi confermando la presenza in tale punto del substrato litoide in posto a bassa profondità.

La frequenza principale di risonanza del sottosuolo costituisce un parametro fondamentale per i progettisti, i quali devono evitare, o se non è possibile quanto meno tenere in debita considerazione nel dimensionamento delle strutture, i fenomeni di "doppia risonanza"[5] che costituiscono la vera causa delle distruzioni generate da un terremoto.

[5] coincidenza delle frequenze di vibrazione proprie del sottosuolo con quelle degli edifici (o altre strutture) che causa un'ulteriore amplificazione sismica con conseguente aumento della sollecitazioni.

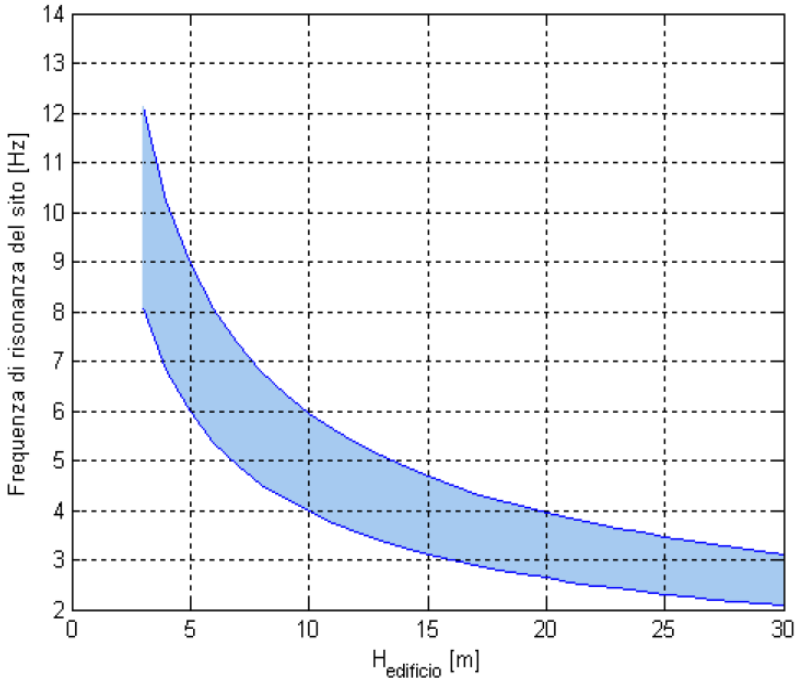


Illustrazione 4: Relazione tra altezza di un edificio in c.a. e frequenza di risonanza del sito investigato:la zona in blu indica l'area più vulnerabile dal punto di vista dei fenomeni di doppia risonanza.(da Guida all'uso di TROMINO – Micromed S.p.a.)

PROFILO STRATIGRAFICO-SIMICO E PARAMETRO VS 30

La legislazione antisismica adotta come parametro fondamentale per la stima degli effetti di sito la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo, parametro comunemente chiamato *Vs30*. Stime di Vs30 sono perciò necessarie quasi ovunque per la microzonazione sia a grande scala, che alla scala dei singoli edifici.

Poiché la misura di Vs30 utilizzando le tecniche di prospezione classica *cross-hole* e *down-hole* (tecniche di simica attiva in foro) è molto costosa, è sempre più comune l'uso di metodi alternativi, generalmente basati su misure di tipo passivo. Una tecnica per la misura di Vs30 veloce ed economica che fornisce valori con approssimazioni accettabili, è basata sulla inversione dei rapporti spettrali del tremore sismico (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR) registrato da una stazione singola (cfr. paragrafo precedente). La curva sperimentale HVSR viene "fittata"[6] con una curva teorica usando come vincolo lo spessore dello strato più superficiale (o altro orizzonte il cui picco H/V è individuabile sulla curva sperimentale) di sottosuolo (generalmente noto dalle indagini geotecniche necessarie per legge per ogni progettazione edilizia, che nel presente caso sono rappresentate dalle prove penetrometriche dinamiche), basandosi sulla nota equazione che lega la frequenza di risonanza (f) allo spessore (h) dello strato e alla velocità delle onde di taglio (Vs): ***f=Vs/4h*** (da cui h=Vs/4f)[7]

[6]In gergo significa *adattare* approssimando il più possibile la curva del modello teorico con quella sperimentale (misurata)

[7] Dalla formula ne conviene che ad altre frequenze corrispondono piccole profondità e viceversa a basse frequenze competono profondità maggiori.

Considerando che le curve H/V delle prove eseguite nel lotto in esame presentano caratteristiche similari (cfr. paragrafo precedente), si è proceduto al "fittaggio" della sola prova PS1 (ritenuta la più significativa) con i vincoli stratigrafici ricavati dalla prova penetrometrica n. ? ottenendo il sottostante <u>modello stratigrafico-simico:</u>

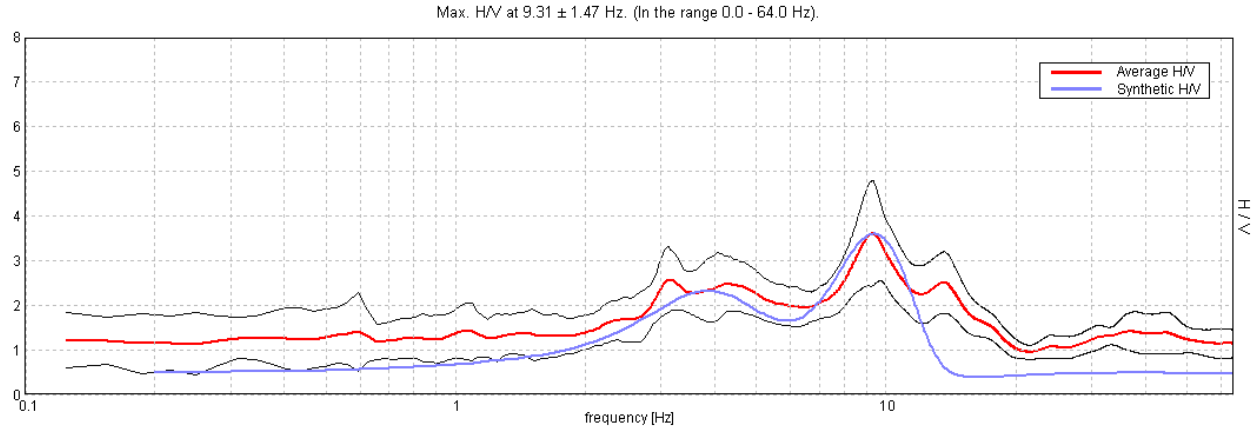


Illustrazione 5: Prova PS1 - H/V Sperimentale (misurato) vs. H/V sintetico (modello)

Litologia presunta	Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson	Densità [t/mc]
Unità. Lit. 1A	3.00	3.00	130	0.35	1,6
Unità. Lit. 1B	6.00	3.00	220	0.35	1,8
Unità. Lit. 2	24.00	18.00	340	0.45 (H_2O)	2
Unità. Lit. 3	inf.	inf.	500	0.35	2,2

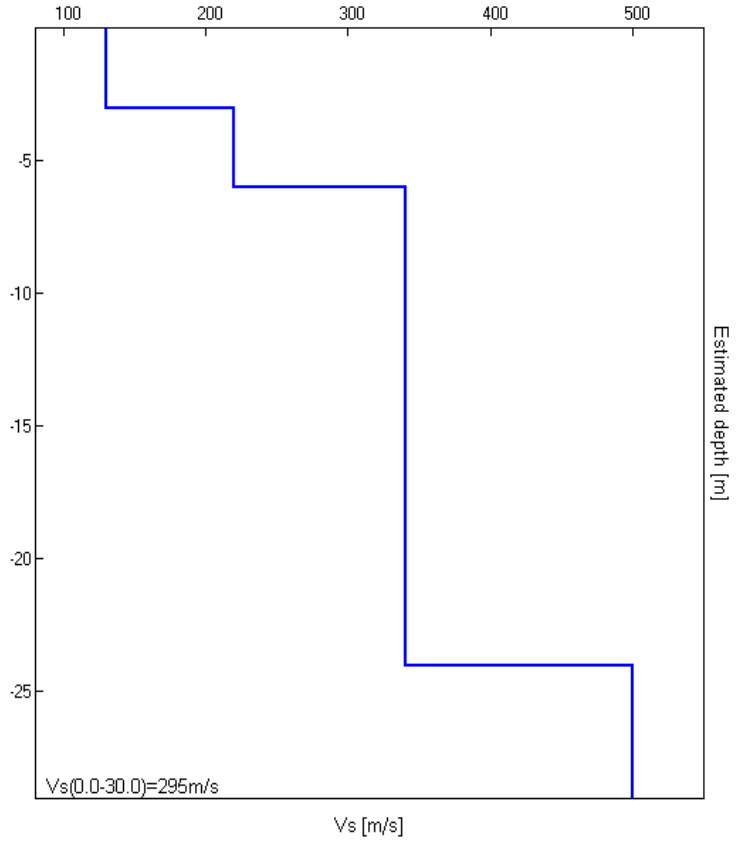


Illustrazione 6: PS1 - profilo stratigrafico-sismico

da cui è possibile calcolare un Vs30**=295 m/s** attraverso la formula (media ponderata):

$$Vs30 = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{Vs_i}}$$

dove *hi* e *Vsi* sono spessori e velocità dei singoli strati.

CONSIDERAZIONI

I risultati dell'indagine di sismica passiva nel lotto di interesse sono coerenti con la presenza di una coltre detritica di spessore non trascurabile costituita da una porzione superficiale dello spessore di alcuni metri (corrispondente alle unità litologiche IA e IB dell'indagine geotecnica – prove penetrometriche) a bassa impedenza (velocità delle onde di taglio stimate tra 130 e 220 m/sec) seguito da un orizzonte più competente dello spessore di circa 20m (velocità delle onde di taglio stimabili tra 300 e 350 m/s) presumibilmente rappresentato dai litotipi alterati e disarticolati del substrato terziario (unità litologica II nell'indagine geotecnica) comunque coinvolti nel dissesto gravitativo. Il substrato litoide in posto (velocità delle onde di taglio stimabili in circa 500 m/s) è quindi da ricercarsi ad una profondità stimabile di circa 25m.

Bistagno, li 17/05/2013

Dr. Geol. AMANDOLA Luciano

ANALISI DI MICROTREMORE AMBIENTALE

Comune: xxxxxxxx

Comittente: Spett. Studio xxxxxx

Data indagine: 18/04/2013

FIG. 1 UBICAZIONE PROVE

FIG. 2 POSIZIONAMENTO “TROMINO” SUL TERRENO

PROVA N. 1

Strumento: TRZ-0130/01-10
Inizio registrazione: 18/04/13 14:55:35 Fine registrazione: 18/04/13 15:11:36
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Durata registrazione: 0h16'00". Analizzato 96% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

FIG. 3 - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

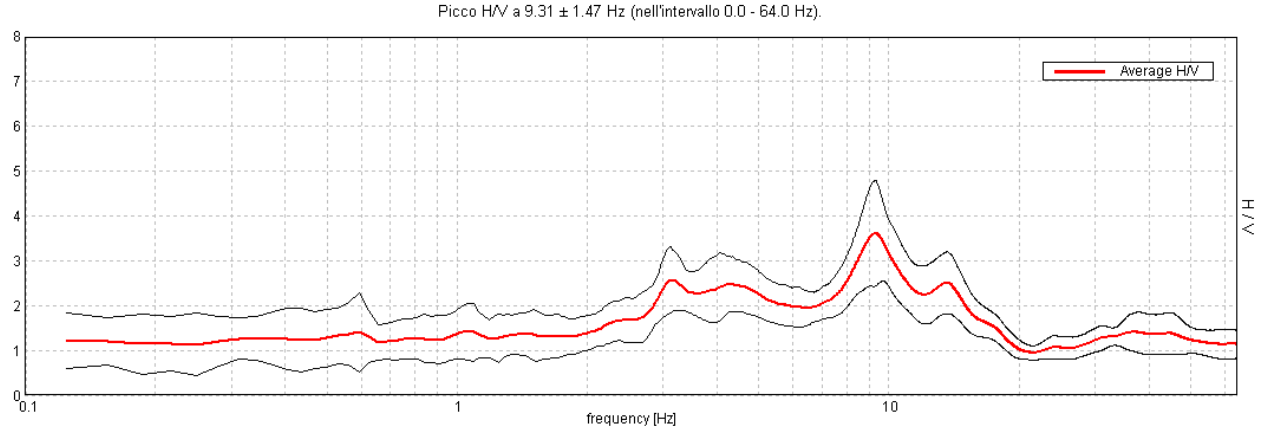


FIG. 4 - SERIE TEMPORALE H/V

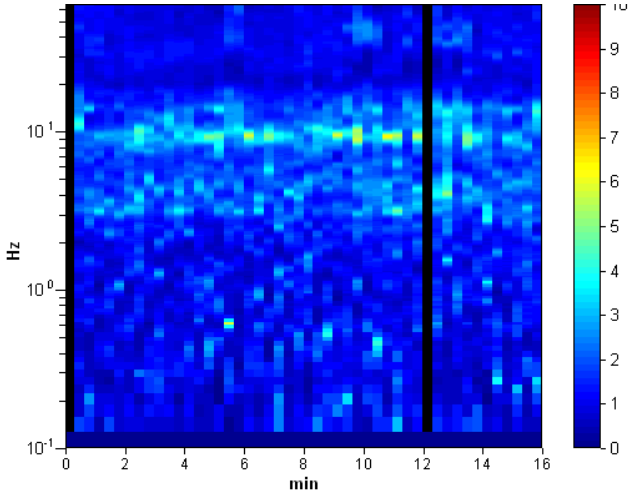
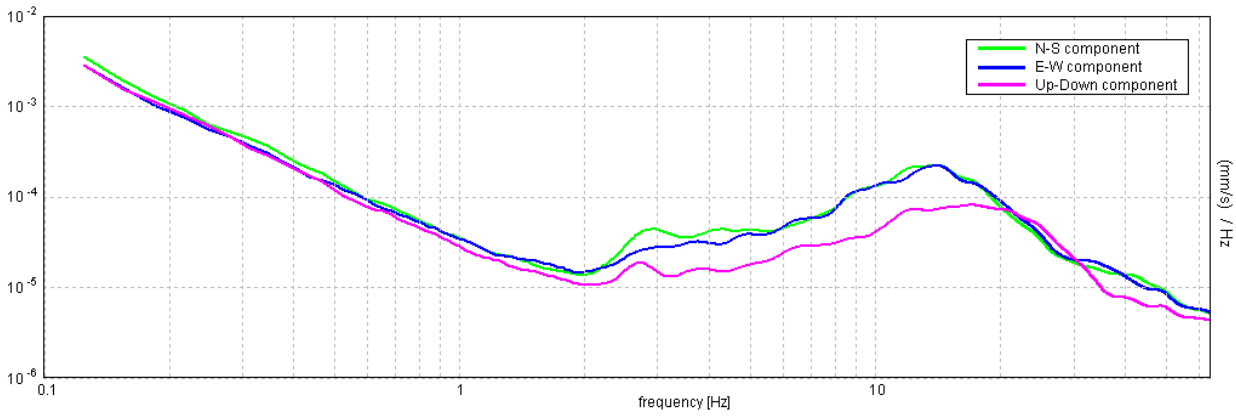


FIG. 5 - SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 9.31 ± 1.47 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

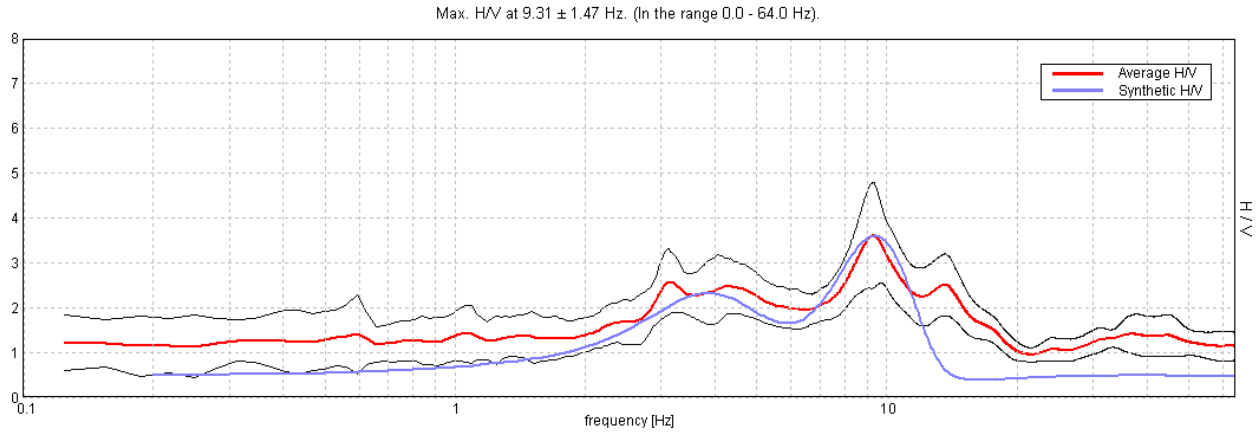
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	9.31 > 0.50	**OK**	
$n_c(f_0) > 200$	8567.5 > 200	**OK**	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz**	Superato 0 volte su 448	**OK**	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.75 Hz	**OK**	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	15.594 Hz	**OK**	
$A_0 > 2$	3.62 > 2	**OK**	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.15836| < 0.05		**NO**
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.47474 < 0.46563		**NO**
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.1773 < 1.58	**OK**	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{logH/V}(f)$	deviazione standard della funzione log $A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [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
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ per $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

INTERPRETAZIONE STRATIGRAFICO-SISMICA E STIMA PARAMETRO Vs30

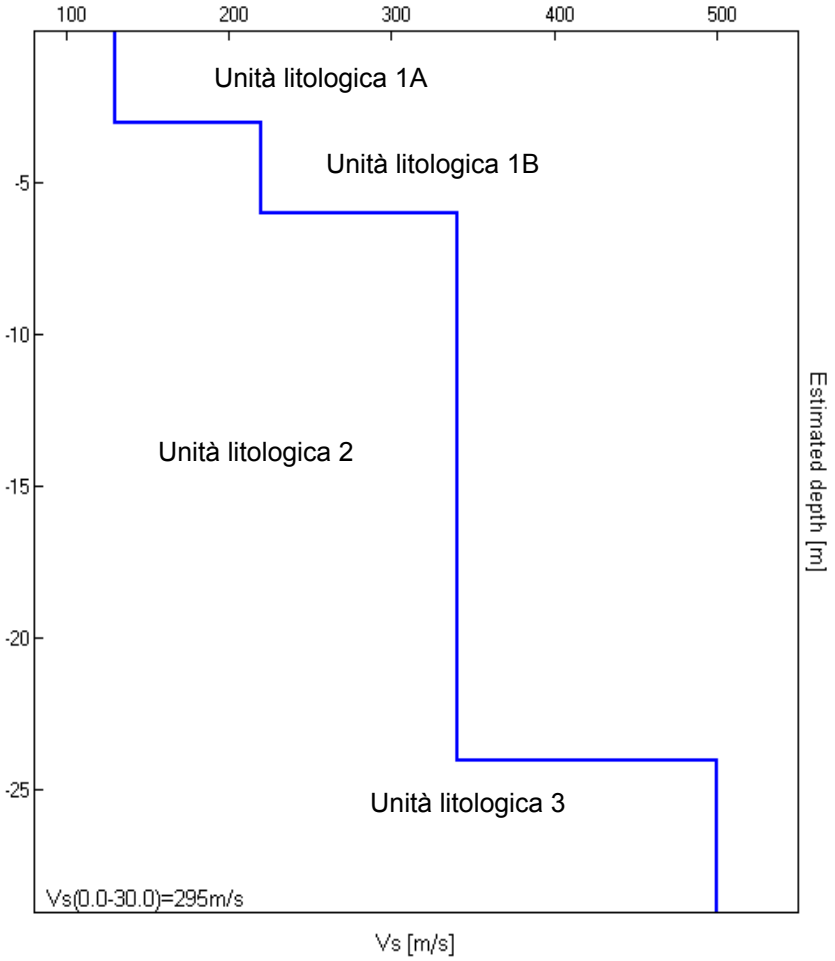
FIG. 6 - H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Litologia presunta	Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson	Densità [t/mc]
Unità. Lit. 1A	3.00	3.00	130	0.35	1,6
Unità. Lit. 1B	6.00	3.00	220	0.35	1,8
Unità. Lit. 2	24.00	18.00	340	0.45 (H_2O)	2
Unità. Lit. 3	inf.	inf.	500	0.35	2,2

Vs(0.0-30.0)=295m/s

FIG. 7 – PROFILO STRATIGRAFICO-SISMICO



PROVA N. 2

Strumento: TRZ-0130/01-10
Inizio registrazione: 18/04/13 15:16:28 Fine registrazione: 18/04/13 15:32:29
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Durata registrazione: 0h16'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

FIG. 8 - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

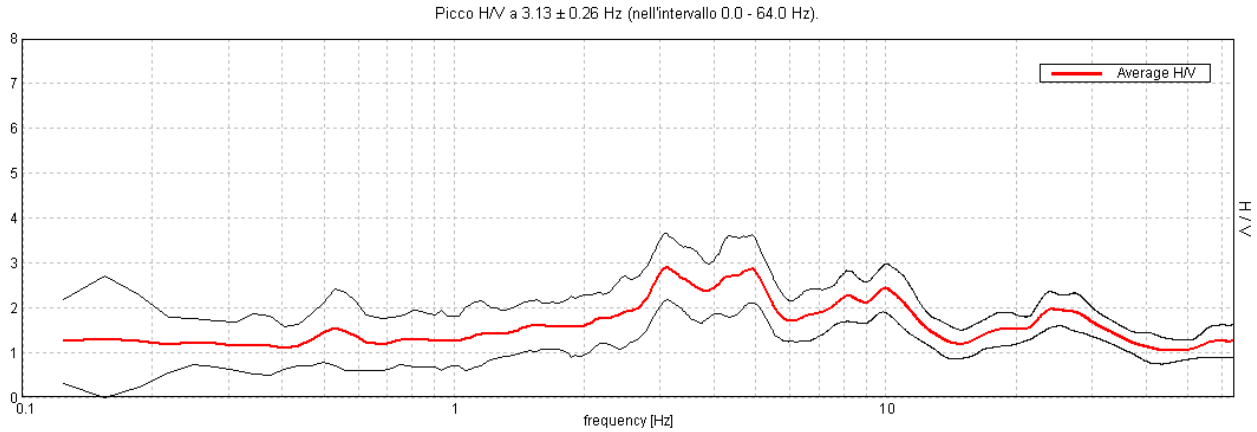


FIG: 9 - SERIE TEMPORALE H/V

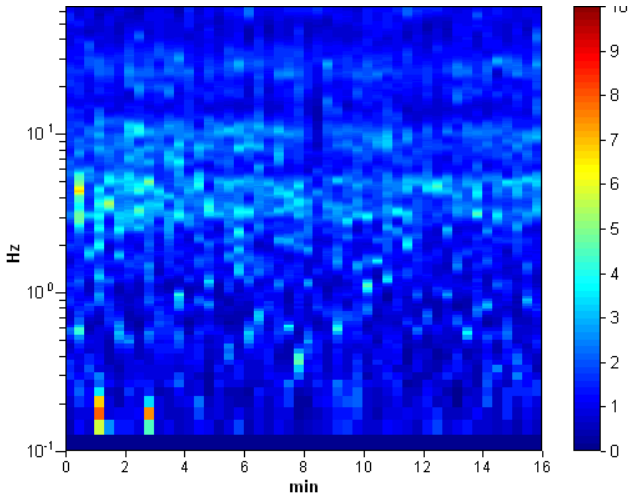
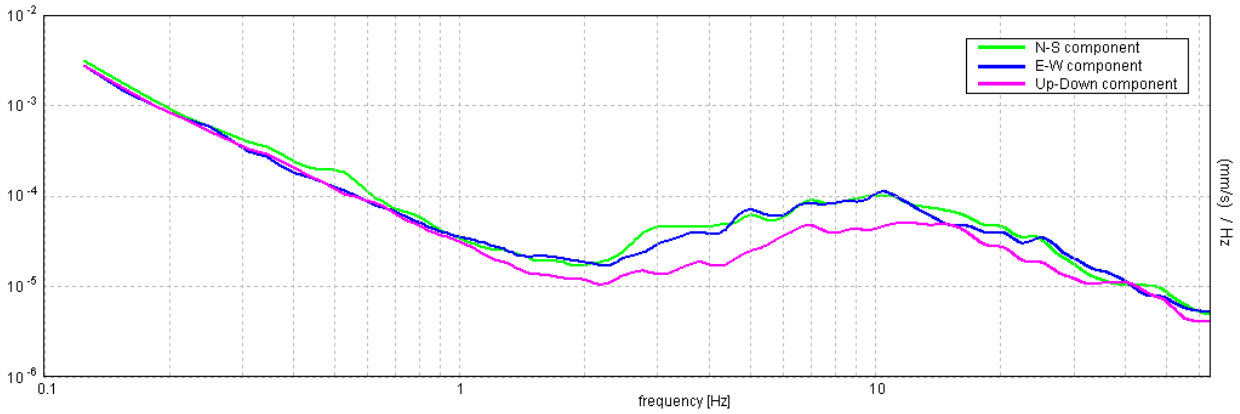


FIG. 10 - SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 3.13 ± 0.26 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	3.13 > 0.50	**OK**	
$n_c(f_0) > 200$	3000.0 > 200	**OK**	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz**	Superato 0 volte su 151	**OK**	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.344 Hz	**OK**	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			**NO**
$A_0 > 2$	2.90 > 2	**OK**	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.08166| < 0.05		**NO**
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.2552 < 0.15625		**NO**
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.7373 < 1.58	**OK**	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{logH/V}(f)$	deviazione standard della funzione log $A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [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
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ per $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

PROVA N. 3

Strumento: TRZ-0130/01-10
Inizio registrazione: 18/04/13 15:36:58 Fine registrazione: 18/04/13 15:52:59
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Durata registrazione: 0h16'00". Analizzato 98% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

FIG. 11 - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

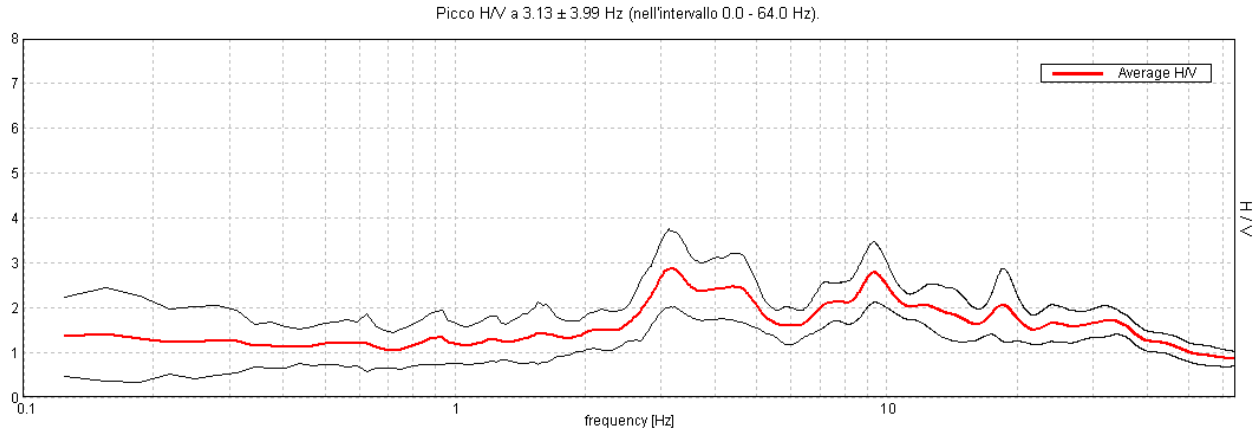


FIG: 12 - SERIE TEMPORALE H/V

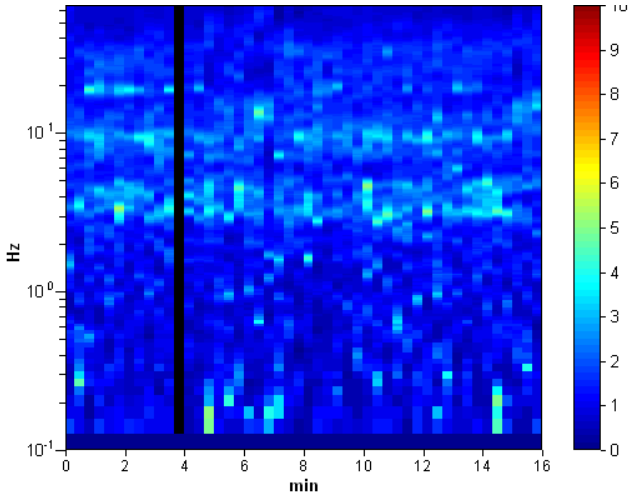
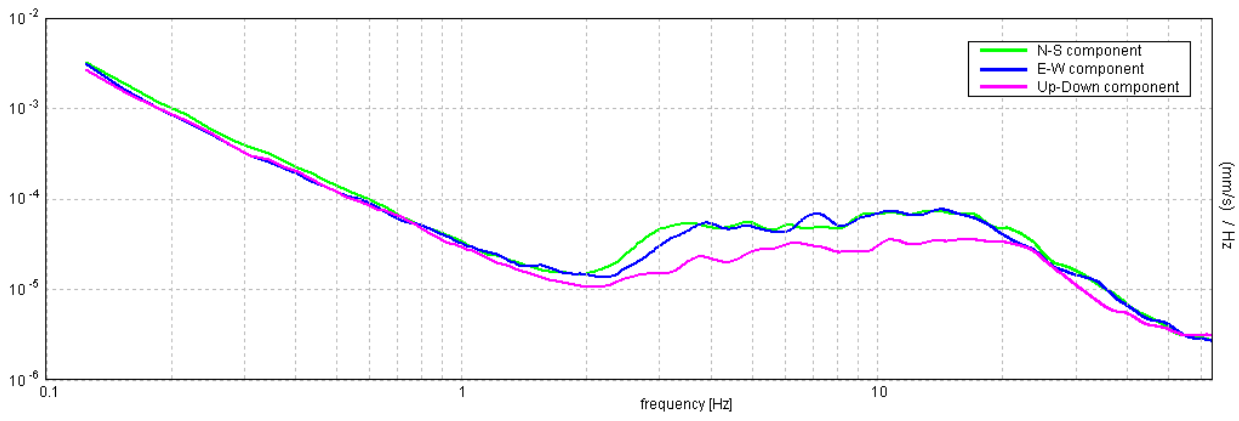


FIG. 13 - SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 3.13 ± 3.99 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	3.13 > 0.50	**OK**	
$n_c(f_0) > 200$	2937.5 > 200	**OK**	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz**	Superato 0 volte su 151	**OK**	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.0 Hz	**OK**	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			**NO**
$A_0 > 2$	2.87 > 2	**OK**	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|1.27525| < 0.05		**NO**
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	3.98516 < 0.15625		**NO**
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.8792 < 1.58	**OK**	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{logH/V}(f)$	deviazione standard della funzione log $A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [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
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ per $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

PROVA N. 4

Strumento: TRZ-0130/01-10
Inizio registrazione: 18/04/13 16:16:57 Fine registrazione: 18/04/13 16:32:58
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Durata registrazione: 0h16'00". Analizzato 98% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

FIG. 14 - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

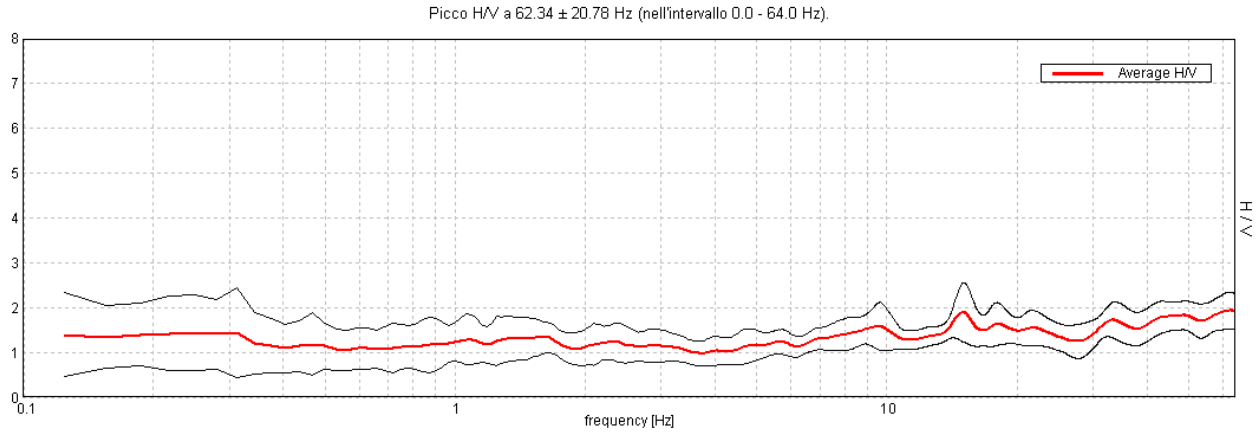


FIG: 15 - SERIE TEMPORALE H/V

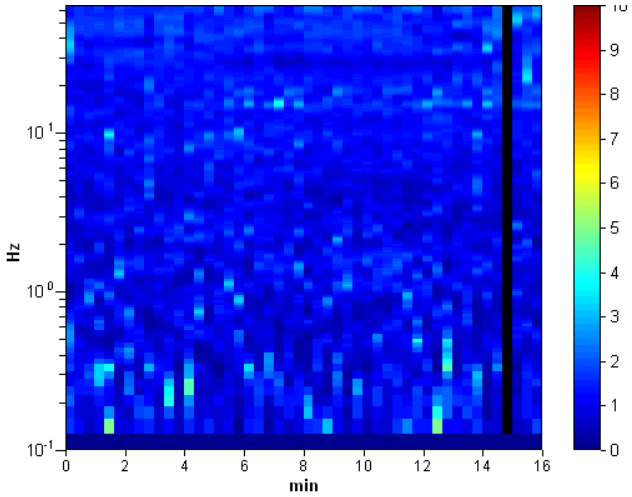
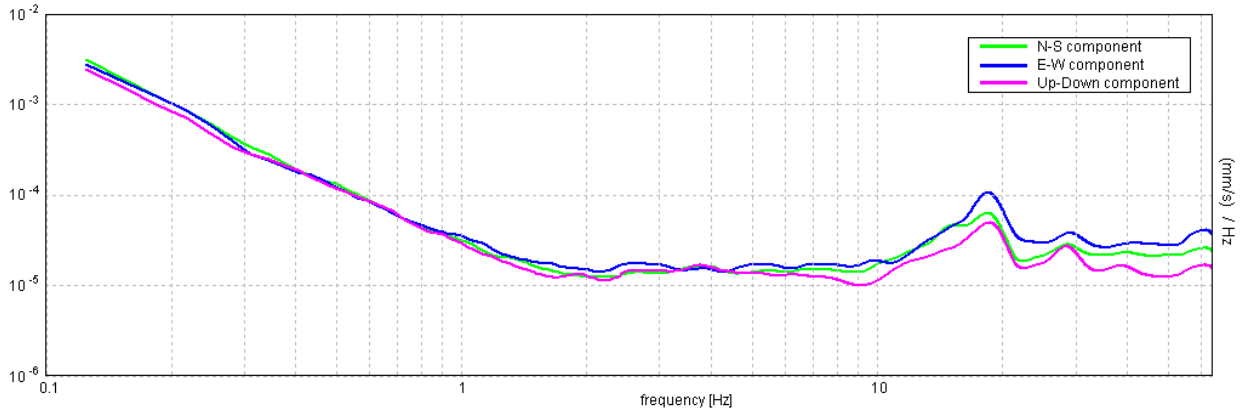


FIG. 16 - SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005

Picco H/V a 62.34 ± 20.78 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	62.34 > 0.50	**OK**	
$n_c(f_0) > 200$	58603.1 > 200	**OK**	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz**	Superato 0 volte su 1052	**OK**	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			**NO**
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			**NO**
$A_0 > 2$	1.93 > 2		**NO**
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.33331| < 0.05		**NO**
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	20.77976 < 3.11719		**NO**
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.4155 < 1.58	**OK**	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{logH/V}(f)$	deviazione standard della funzione log $A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [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
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ per $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20