

LAVORI DI MANUTENZIONE ORDINARIA COMPARTO 3 ANNO 2007.
LAVORI PER LA COSTRUZIONE DI UN LICEO SCIENTIFICO DA
REALIZZARE IN SCIACCA NELLA C/DA PERRIERA. CORPO B

RAPPORTO TECNICO DI PROVA

PROSPEZIONI GEOFISICHE

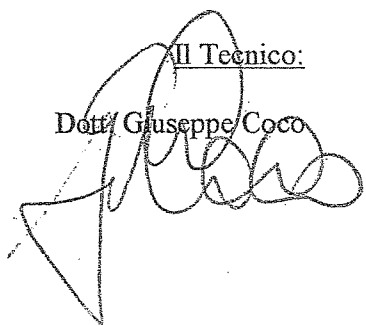
SISMICA PASSIVA - MISURA DEL RUMORE SISMICO

Committente: Impresa Giglia Paolo

Catania, luglio 2008

Il Tecnico:

Dott. Giuseppe Coco

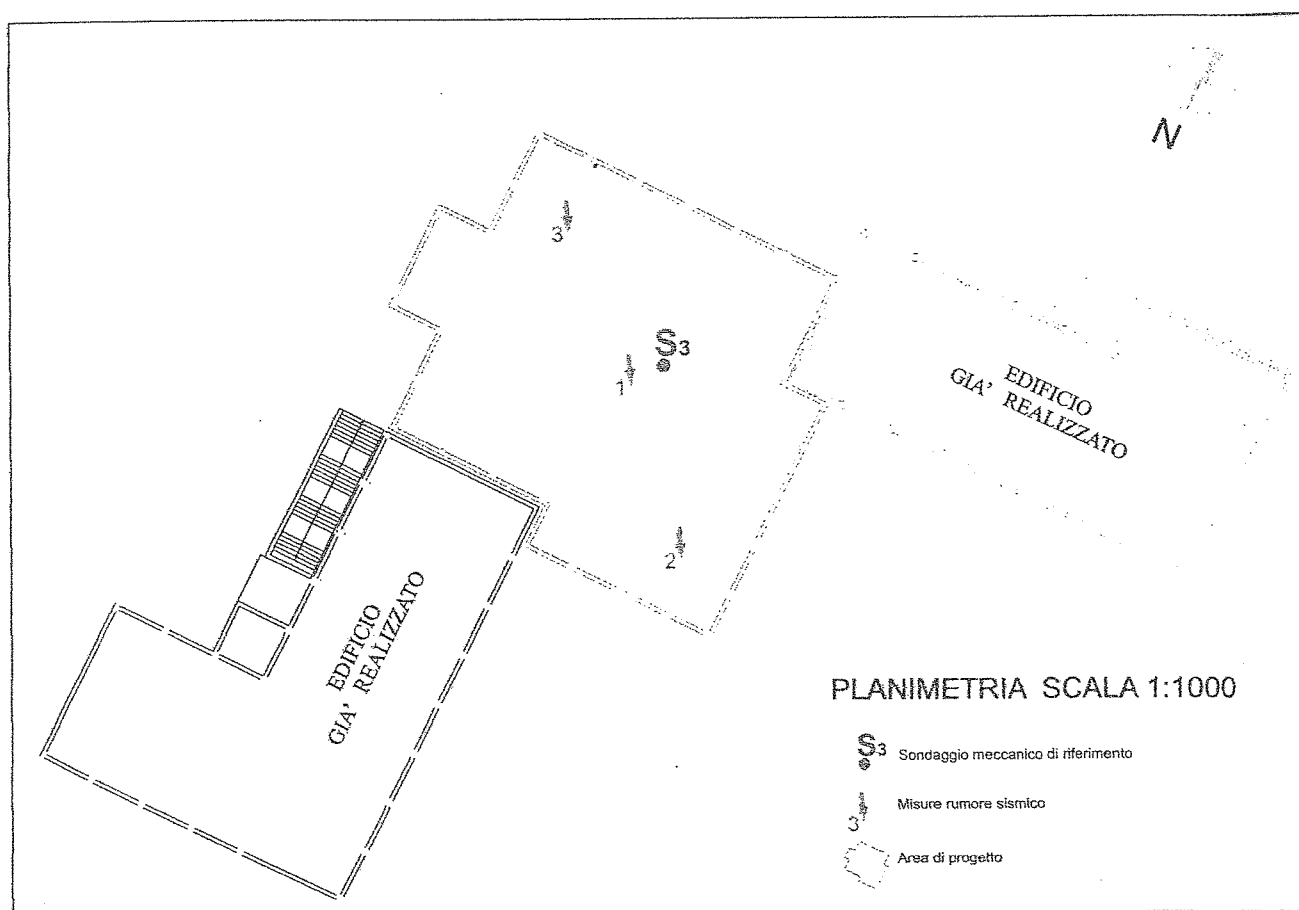


INDICE	pag.
1.0 PREMESSA	3
2.0- RISPOSTA SISMICA DEL SITO HVSR (HORIZONTAL/VERTICAL SPECTRAL RATIO)	5
<i>Descrizione del metodo</i>	5
<i>Acquisizione ed elaborazione dati</i>	6
CRITERI PER LA INTERPRETAZIONE DELLA CURVA H/V E RISULTATI	9
3.0 -ANALISI NUMERICA CURVA H/V E CALCOLO DELLE VS	13
4.0 CONCLUSIONI	15

1.0 PREMESSA

Il presente studio tratta i risultati ottenuti in una campagna di prospezioni geofisiche di sismica passiva (misure del rumore sismico), finalizzata alla valutazione della risposta sismica locale dei terreni interessati dal progetto "Lavori di manutenzione ordinaria comparto 3 anno 2007 Lavori per la costruzione di un liceo Scientifico da realizzare in Sgiacca nella C/da Perriera. Corpo B".

Per il caso oggetto di studio sono state commissionate ed eseguite N.3 misure del rumore sismico, la cui ubicazione e la documentazione fotografica sono di seguito riportate.



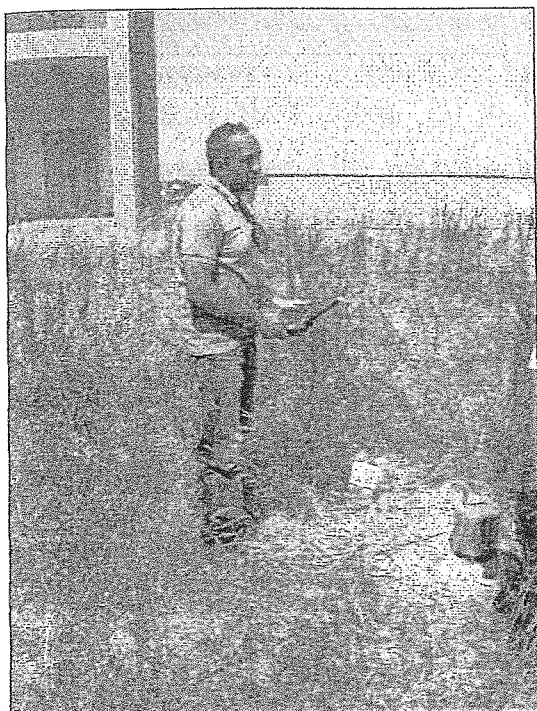


Foto. 1 - Posizione punto di misura N.1



Foto. 2 - Posizione punto di misura N.2



Foto. 3 - Posizione punto di misura N.3

2.0- RISPOSTA SISMICA DEL SITO HVSR (HORIZONTAL/VERTICAL SPECTRAL RATIO)¹

Il comportamento dei siti conseguentemente ad un input sismico è inteso in termini di differente energia e/o diversa distribuzione in frequenza della stessa a causa degli effetti di amplificazione o attenuazione selettiva di determinate frequenze (risposta in frequenza del sito). Tale azione selettiva è funzione delle caratteristiche fisiche - geometriche (litologici e strutturali) dei mezzi attraversati da un'onda sismica.

In genere i terreni rigidi presentano curve spettrali H/V (terreni rocciosi o terreni sedimentari compatti) poco amplificate e con risposte centrate nella banda "audio - frequency" ($f > 20$ Hz) legate allo stato di alterazione superficiale del sito roccioso², mentre le curve spettrali H/V relative ai terreni soffici sono caratterizzate da amplificazioni a frequenze < 10 Hz e con livelli di ampiezza legati al contrasto di impedenza sismica. Nel presente lavoro la valutazione della risposta sismica del sito è stata esaminata attraverso il campionamento di "microtremori" al fine di quantizzare, tramite analisi dei rapporti spettrali tra la componente orizzontale e verticale del moto del suolo, gli effetti di amplificazione sismica locale.

Descrizione del metodo

La tesi di partenza si basa sul fatto che l'energia dei microtremori consiste principalmente in onde di Rayleigh, e che l'effetto di amplificazione del sito è legato al contrasto di rigidità tra due mezzi attraversati dall'onda sismica. Recentemente è stato dimostrato [Per una rassegna si veda Bard, 1999], che i rapporti spettrali H/V utilizzati con misure di microtremore, mostrano

¹ L'elaborazione dei dati è stata eseguita tramite codici di calcolo SAC sviluppati per ambiente LINUX

BARD P.Y. (1999). Microtremor measurements: a tool for site effect estimation? in *The Effects of Surface Geology on Seismic Motion*, Irikura, Kudo, Okada and Sasatani (eds), Balkema Rotterdam, 1251-1279.

CRANSWICK E., 1988. The information content of high-frequency seismograms and the near-surface geologic structure of hard-rock recording sites. *Pageoph* 128, 333-363.

IRIKURA K. AND KAWANAKA T.: Characteristics of microtremors on ground with discontinuous underground structure; *Bull. Disaster Prev. Inst., Kyoto Univ.*, 30, 81-96 - 1980.

LACHET, C & BARD P-Y (1994). Numerical and Theoretical Investigations on the Possibilities and Limitations of Nakamura's Technique. *J. Phys. Earth*, 42, 377-397, 1994.

LERMO J. & CHÁVEZ-GARCÍA F.: Are microtremor Useful in Site Responce Evalutation ?. *Bull. Seism. Soc. Am.* 84, 5, 1350-1364, Oct. 1994

MARRA F., AZZARA R., BELLUCCI F., CASERTA A., CULTRERA G., MELE G., PALOMBO B., ROVELLI A., AND BOSCHI E. (in press) - Large amplification of ground motion at rock sites within a fault zone in Nocera Umbra (Central Italy).

NAKAMURA, Y., 1989: A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface. *Quarterly Rept. RTRI. Jpn.* 30, 25-33.

TOKIMATSU K., 1995: Geotechnical site characterization using surface waves; First international conference on earthquake geotechnical engineering. - IS-TOKYO '95.

una significativa coerenza con le forme di spettri H/V calcolati mediante registrazioni di terremoti.

In accordo con quanto descritto sugli effetti di sito [Nakamura, 1989; Lachet & Bard, 1994; Lermo & Chàvez-Garcia, 1994], in questo lavoro è stata applicata la tecnica dei rapporti spettrali H/V [Nakamura,

1989] $\Rightarrow S_M(\omega) = \frac{H_s(\omega)}{V_s(\omega)}$ ³, presupponendo un probabile contrasto di rigidità sismica tra i terreni costituenti il substrato.

Acquisizione ed elaborazione dati

Al fine di applicare la tecnica dei rapporti spettrali H/V, è necessario campionare i microtrempi registrando le tre componenti del moto del suolo. Specificatamente è stato utilizzato un trasduttore del moto del suolo 3D, avente periodo fondamentale di 1 s., interfacciato ad un sistema di conversione analogico – digitale.

Le caratteristiche tecniche del sistema sopra descritto sono:

- ✓ capacità di campionamento dei segnali tra 0.002 e 0.00005 sec;
- ✓ sistema di comunicazione e di trasmissione del “tempo zero” (time break)
- ✓ filtri High Pass e Band Reject
- ✓ “Automatic Gain Control”
- ✓ convertitore A/D a 24 bit
- ✓ n.1 geofono 3D periodo 1 Hz.

Per ogni sito è stata registrata una serie temporale della durata di 30 min. Tale segnale è stato suddiviso in finestre temporali di 40.96 sec, selezionando quelle il cui rapporto STA/LTA non supera le 2 unità. Nella figura seguente sono riportati i criteri che hanno consentito la scelta delle serie temporali da elaborare.

Automatic Window Selection Parameters	
Window length for the short term (sta) in sec:	1.0
Window length for the long term (lta) in sec:	25.0
Minimum level for sta/lta threshold:	0.5
Maximum level for sta/lta threshold:	2.0
Window length for selected windows in sec:	40
Overlap percentage for selected windows:	10.0
Tolerance level for bad points (sec):	0.0

Fig. 2 – Parametri per la selezione delle finestre temporali

³ $H_s(\omega)$ spettro della risultante orizzontale del moto del suolo; $V_s(\omega)$ spettro della componente verticale del moto del suolo

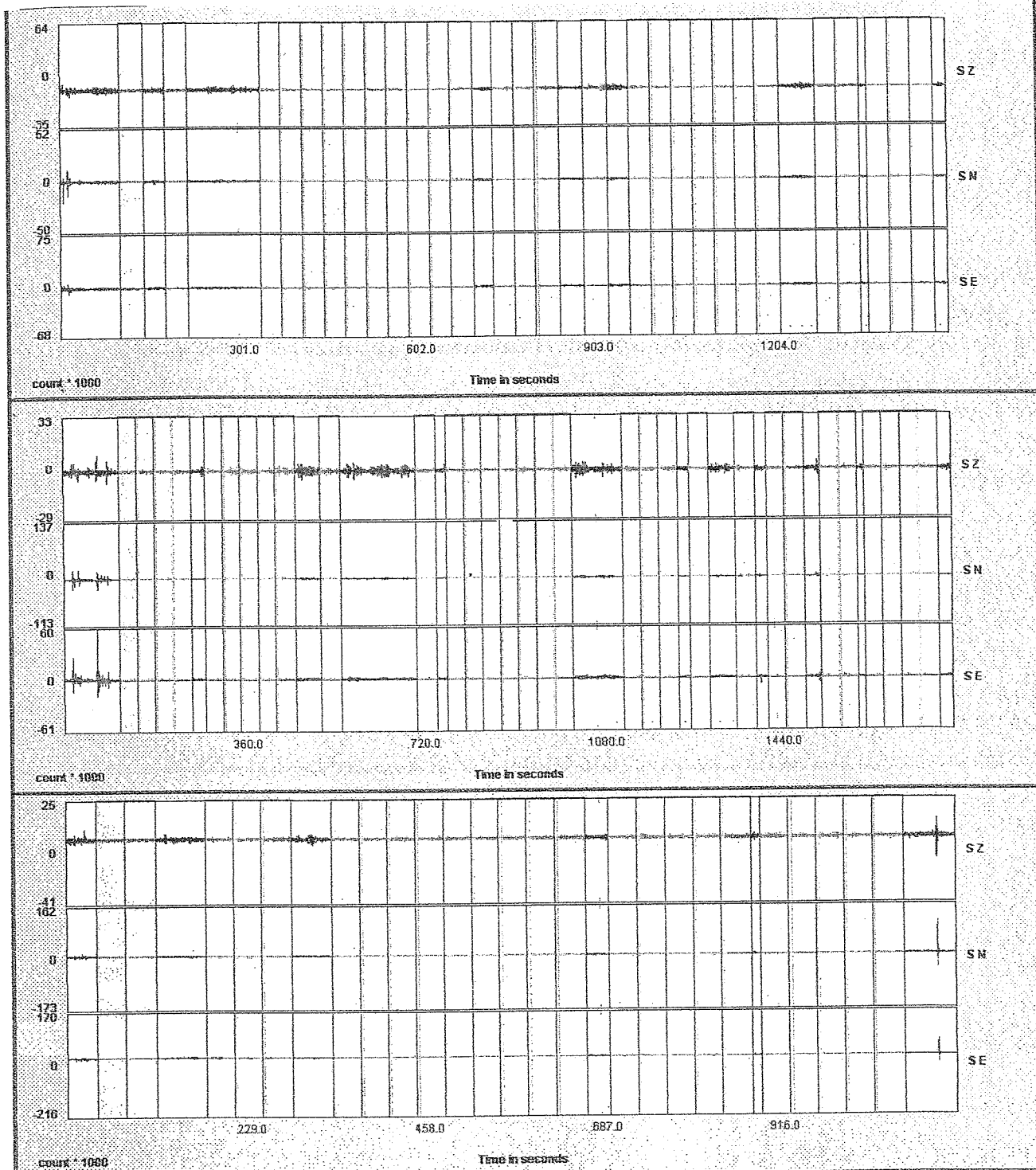


Figura 2 – Finestre temporali selezionate sulla base dei parametri di fig. 1. Dall'alto verso il basso: N1, N2 ed N3

Le finestre temporali selezionate sono state processate nel seguente modo:

1. applicazione di una funzione "base - line" al fine di eliminare off - set e trend anomali;
2. applicazione di una funzione "cosine-taper (5%)" per evitare l'insorgenza di effetti di bordo;
3. applicazione di filtro a banda passante tra 0.5 e 20 Hz;

4. per ciascuna finestra temporale è stata applicata una "smoothing function" del tipo Konno-ohmachi con una bandwidth = 40;
5. calcolo degli spettri dei microtremori relativi ad ogni finestra temporale tramite il comune algoritmo della Fast Fourier Transform (FFT);
6. calcolo dei rapporti spettrali (media geometrica ± 1 s.d) H/V;
7. calcolo dei rapporti spettrali azimuthali H/V;
8. calcolo dei rapporti spettrali areali H/V;

Processing parameters

Freq. spacing: Freq. min: Freq. max: # points:

Offset removal:

Tapering: Perc.:

Smoothing: Bandwidth:

Merging:

Output single window information:

OK Cancel

Figura 3— Parametri utilizzati per il calcolo dei rapporti H/V

CRITERI PER LA INTERPRETAZIONE DELLA CURVA H/V E RISULTATI

Di seguito sono riportati i criteri utilizzati per definire la per l'interpretazione della curva H/V. Tali criteri riguardano la validità sia della curva H/V sia della frequenza di picco. In particolare per quanto riguarda la validità della curva H/V devono essere rispettati tutti i requisiti, mentre per la frequenza di picco occorre che siano soddisfatti cinque criteri su sei.

CRITERI PER LA VALIDITA' CURVA H/V	CRITERI PER LA DEFINIZIONE DEL PICCO H/V
1. $f_0 > \frac{10}{l_w}$	1. $\exists f^- \in \left[\frac{f_0}{4}, f_0 \right] A_{\frac{H}{V}}(f^-) < \frac{A_0}{2}$
2. $n_c(f_0) > 200$	2. $\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] A_{\frac{H}{V}}(f^+) < \frac{A_0}{2}$
	3. $A_0 > 2$
3. $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5 \text{ Hz}$	4. $f_{\text{picco}} \left[A_{\frac{H}{V}}(f) \pm \sigma_A(f) \right] = f_0 \pm 5\%$
oppure	5. $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5 \text{ Hz}$	6. $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

- l_w = lunghezza della finestra temporale
- n_w = numero di finestre temporali selezionate per il calcolo della curva media H/V
- $n_c = l_w \cdot n_w \cdot f_0$ numero significativo di cicli
- f = frequenza (Hz)
- f_0 = frequenza del picco H/V
- σ_f = standard deviation della frequenza del picco H/V ($f_0 \pm \sigma_f$)
- $\varepsilon(f_0)$ = soglia di stabilità per le condizioni $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
- A_0 = Ampiezza del picco 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 per la quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
- f^+ = frequenza tra f_0 e $4f_0$ per la quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
- $\sigma_A(f)$ = standard deviation di $A_{H/V}(f)$, dove $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva media $A_{H/V}$ va divisa e moltiplicata
- $\sigma_{\log H/V}(f)$ = standard deviation di $\log A_{H/V}(f)$, dove $\sigma_{\log H/V}(f)$ è il valore assoluto per il quale la curva media H/V va sommata o sottratta.
- $\theta(f_0)$ = valore soglia per le condizioni di stabilità $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

valori soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Banda di frequenza [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.20 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAB. 1 – Tabella riepilogativa dei criteri di validità delle curve H/V e dei picchi di frequenza.

L'area esaminata è caratterizzata da una risposta in frequenza omogenea (fig. 4) con valori di frequenza compresi tra 0.61 Hz e 0.59 Hz ($N1 \Rightarrow f_0 = 0.61 \text{ Hz}$, $A_0 = 2.6$ - $N2 \Rightarrow f_0 = 0.60$

Hz, $A_0 = 2.8 - N3 \Rightarrow f_0 = 0.59 \text{ Hz}$, $A_0 = 3.5$). Tali valori sono attribuibili al sito investigato poiché soddisfanno i criteri di validità riportati in Tab. 1.

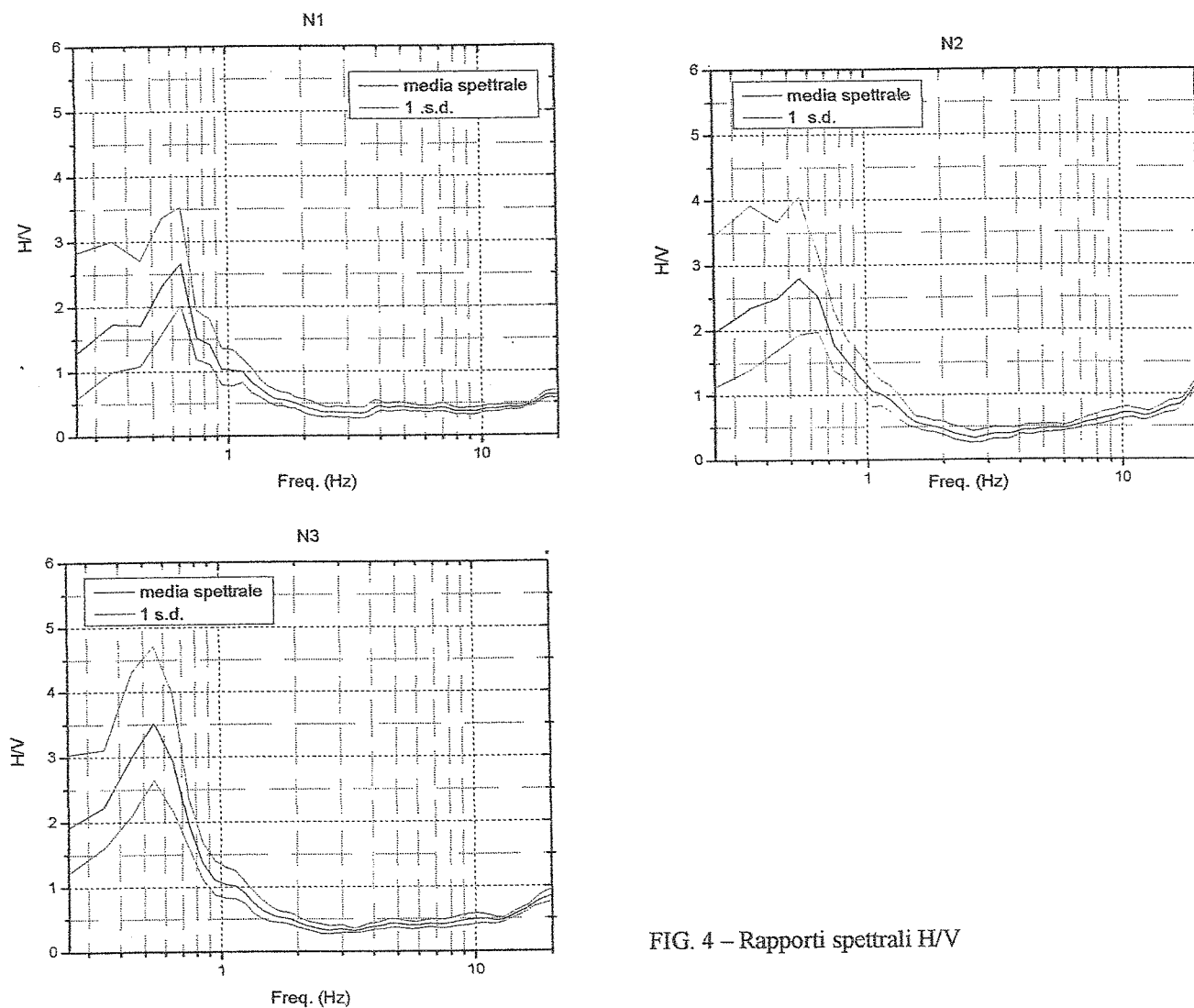


FIG. 4 – Rapporti spettrali H/V

Caratteristiche della Curva H/V			Caratteristiche della frequenza di picco			
Lunghezza serie temporale l_w (sec)	Numero di serie temporali n_w	Numero significativo di cicli	f_0 (Hz)	σ_f	A_0	$\sigma_A(f_0)$
41	31	778	0.61	0.098	2.6	1.3
41	32	785	0.60	0.126	2.8	1.44
41	24	605	0.59	0.0728	3.5	1.35

TAB. 2 – Parametri spettrali delle curve H/V

L'omogeneità spettrale dell'area investigata trova riscontro anche nell'analisi spaziale (Fig. 5), mentre l'analisi azimuthale (Fig. 6) evidenzia l'assenza di eventuali direttrici del rapporto H/V.

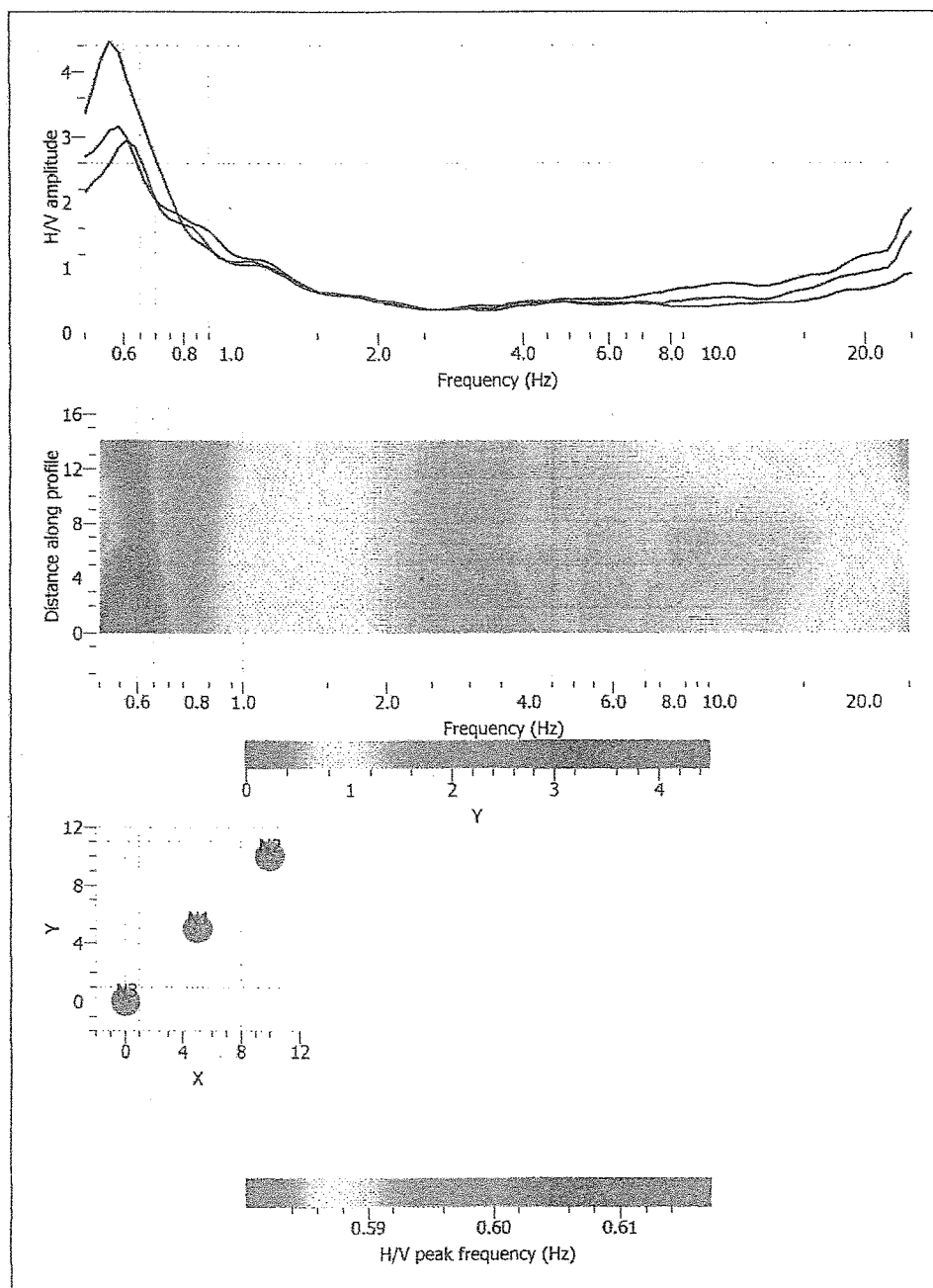


FIG. 5 – Andamento spaziale del picco H/V

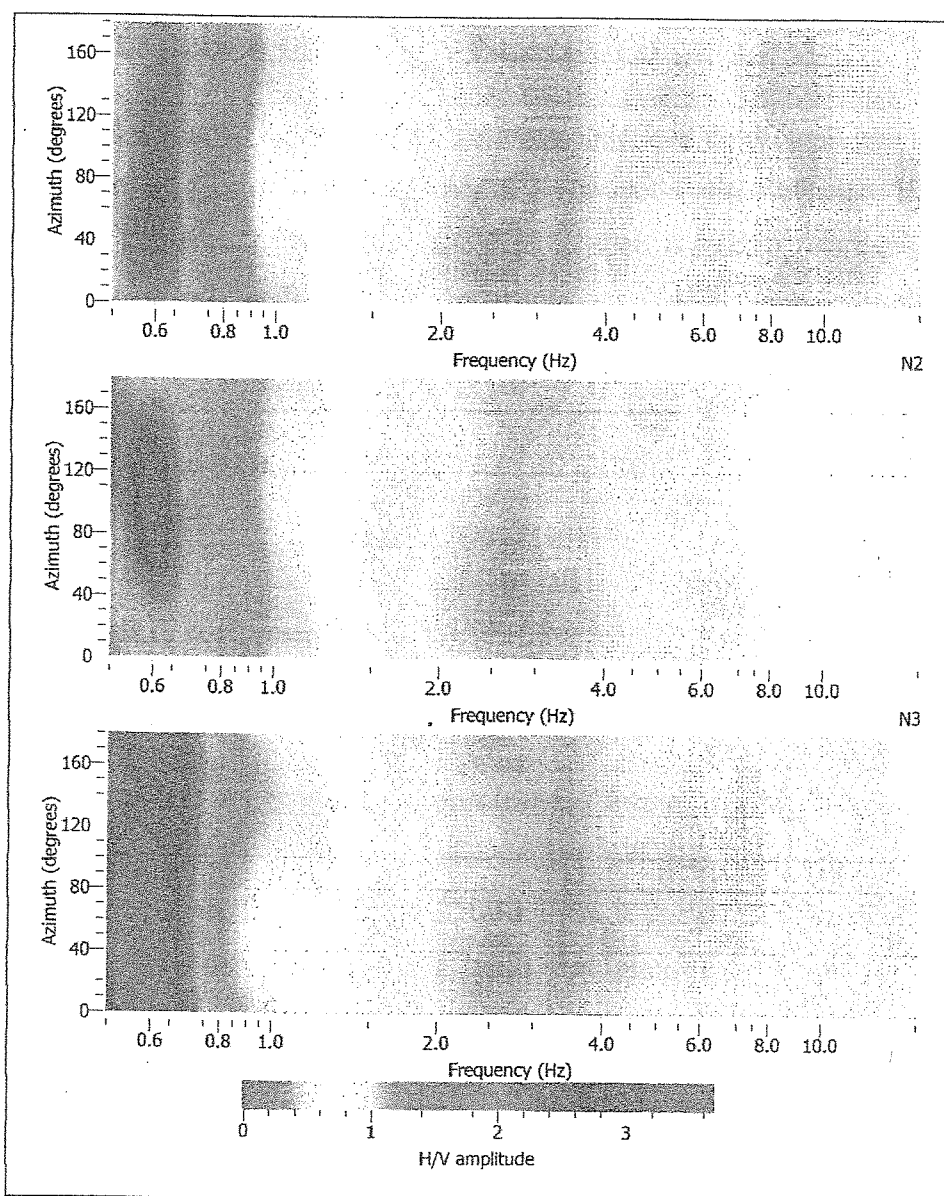


FIG. 6 – Andamento azimuthale delle curve H/V

3.0 -ANALISI NUMERICA CURVA H/V E CALCOLO DELLE VS

I risultati ottenuti mediante la tecnica di Nakamura sono stati confrontati con la funzione di trasferimento spettrale teorica calcolata tramite un modello visco-elastico 1D [Haskell-Thomson, method]. L'analisi consiste nel calcolare lo spettro teorico relativo ad un'onda sismica che si propaga dal "bedrock" alla superficie, e cioè il rapporto tra l'ampiezza (misurata in termini di velocità) in superficie rispetto a quella misurabile su un basamento rigido (semispazio).

La procedura di calcolo ha inizio attribuendo a tutti gli strati ed al semispazio le seguenti grandezze fisiche e geometriche:

Spessore (H - m) ;

Velocità delle onde di compressione e di taglio (m/sec);

Densità (gr/cm^3);

Fattore di qualità Q.

Ottenuta la curva H/V del modello, si procede al "fitting" tra le due curve ottenute (sperimentale e teorica). Tale operazione matematica prevede una serie di prove di sovrapposizione per iterazione, fino a quando il "fitting" tra le due curve è ottimale.

Il modello utilizzato per l'inversione è stato formulato sulla base del carotaggio stratigrafico S3 (vedi fig.1) eseguito nella precedente campagna di indagini. Nel caso specifico lo spessore del primo sismostrato è stato vincolato a 14 metri di profondità, mentre il resto della successione argillosa è stata libera di variare nello spessore, nella velocità delle onde di taglio e nel fattore di qualità Q, mentre è stato vincolato relativamente ai valori di V_p e di densità.

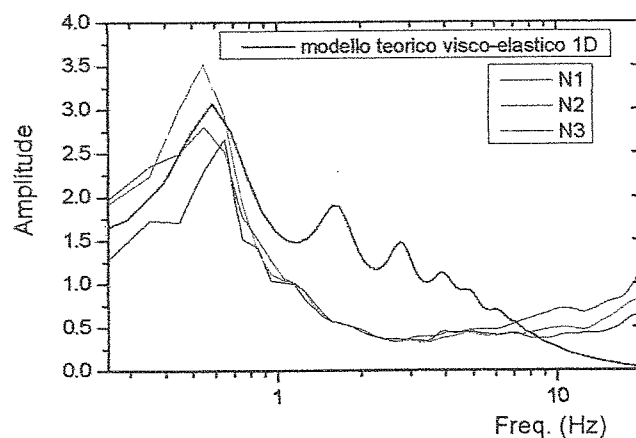


FIG. 7 – Confronto modello teorico- misure sperimentali

L'analisi numerica (calcolo curva teorica H/V) del profilo di rigidezza discretizzato in TAB. 3 evidenzia un buon accordo tra la misura sperimentale e quella teorica. Pertanto la risposta sismica locale è dovuta alla sovrapposizione di una spessa coltre di terreno soffice (spessore complessivo 174 m) sovrastante il semispazio rigido.

Nella tabella seguente sono riportati i parametri geometrici e fisici del modello finale di velocità.

TAB. 3 M ODELLO VISCO-ELASTICO
substratum P-velocity and S-velocity: Km/sec

2.000 – 0.800						
substratum density (gm/cc):						
2.2						
number of layers:						
3						
Incident wave type (P/S) --capital letter!--:						
S						
Type of calculation (H/V, horizontal or vertical) --capital letter!--:						
H						
Thick (m)	Vp	Vs	Dens	Qp	Qs	
14	0.920	0.300	1.7000	10.000	5.5	
80	1.500	0.350	1.9000	15.000	5.5	
80	1.700	0.400	1.9500	25.000	7.5	

4.0 CONCLUSIONI

Il presente lavoro ha avuto come fine quello di calcolare la risposta sismica locale e di definire il modello sismico del substrato espresso in termini di Vs (determinazione del bedrock). I principali risultati sono di seguito esposti:

- La funzione di trasferimento H/V evidenzia la presenza di effetti di sito significativi (Ampiezza > 2) nella banda di frequenza d'interesse ingegneristico (Freq. 0.5 - 10 Hz). La risposta in frequenza dell'area esaminata è omogenea e risulta compresa tra 0.61 e 0.59 Hz.
- L'analisi spaziale delle curve H/V conferma l'omogeneità della risposta in frequenza dall'area;
- L'analisi azimuthale non evidenzia alcuna direzione preferenziale del rapporto H/V;
- L'analisi numerica della curva H/V mostra un buon accordo tra il modello teorico visco-elastico 1D e le misure sperimentali. Per tanto il modello sismico proposto in TAB. 4 può ritenersi rappresentativo dell'area studiata.

TAB. 4 M ODELLO SISMICO

Profondità (m)	Pvel (m/sec)	Svel (m/sec)
da 0 a 14	920	300
da 14 a 80	1500	350
da 80 a 170	1700	400
Semispazio	2000	800