

REGIONE SICILIA

PROVINCIA REGIONALE

DI

AGRIGENTO

**LAVORI PER LA COSTRUZIONE DI UN
LICEO SCIENTIFICO DA REALIZZARE IN
SCIACCA NELLA C.DA PERRIERA**

3° E 4° STRALCIO - COMPLETAMENTO

OGGETTO

ELABORATO

**Provincia Regionale di Agrigento
Settore Edilizia e Gestione Patrimoniale**

Si esprime parere favorevole ai sensi dell'art.5
della Legge Regionale n. 12/2011 di recepimento del
D.Lgs n. 163/2006 e del D.P.R. n. 207/2010.
Agrigento, li **11 2 MAR. 2013**

Il Responsabile Unico del Procedimento

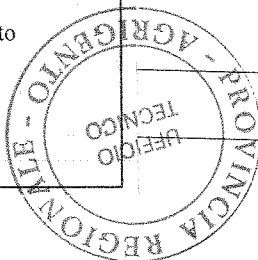
Arch. Casimiro Gerardi

Verificato il **11 2 MAR. 2013**

**NOTA GEOLOGICA INTEGRATIVA
(ai sensi del D.M. 14/01/2008)**

TAVOLA

ARCHITETTONICI



IL GEOLOGO



DATA: agosto 2008

PROGETTI

PROVINCIA REGIONALE DI AGRIGENTO

LAVORI DI COSTRUZIONE DI UN LICEO SCIENTIFICO DA REALIZZARE IN SCIACCA NELLA CONTRADA PERRIERA 3° E 4° STRALCIO - COMPLETAMENTO

NOTA GEOLOGICA INTEGRATIVA
(ai sensi del D.M. 14/01/2008)

PREMESSE

Lo scrivente geol. Giovanni Messina è stato incaricato dalla Giunta della Provincia Regionale di Agrigento (deliberazione n.689/87, resa esecutiva dalla C.P.C. con decisione n.23855/88) di effettuare lo studio geologico-tecnico di supporto al progetto per la realizzazione di un liceo scientifico in Sciacca nella c/da Perriera.

Il Progetto Generale prevedeva la realizzazione dei vari edifici e delle sistemazioni esterne suddividendone la costruzione in diversi stralci e ad oggi, come riportato nell'allegato planimetrico in scala 1:500, i lavori possono così sintetizzarsi:

- | | |
|---|----------------------|
| - Corpi Aule A ₁ ed A ₂ | <i>realizzati</i> |
| - Corpo Uffici B | <i>da realizzare</i> |
| - Corpi Aule C ₁ ed C ₂ | <i>realizzati</i> |
| - Corpo Palestra D | <i>da completare</i> |

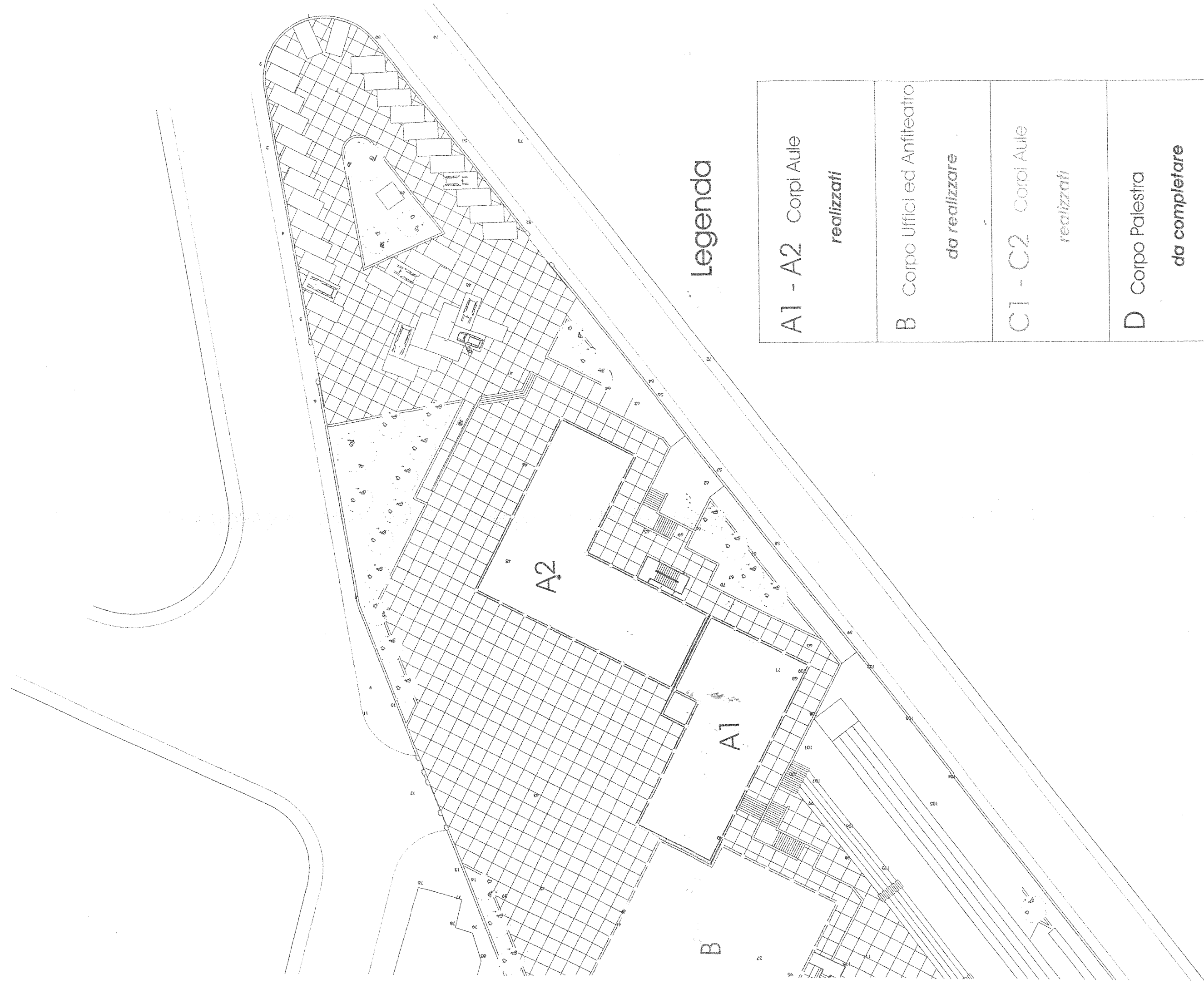
Il relativo studio geologico è stato sviluppato in diverse fasi:

- quella di redazione del Progetto Generale e di Primo stralcio;
- quella esecutiva delle indagini geognostiche e geotecniche;
- quella di revisione in Variante del Progetto Generale approvato dal C.T.A.R. con voto del 16/12/1988;
- quella progettuale e di realizzazione delle opere del 2° stralcio;
- quella progettuale del 3° stralcio;
- quella progettuale del 4° stralcio.

La *Relazione geologico-tecnica* allegata al Progetto Generale, completa delle risultanze della campagna di indagini geognostiche e geotecniche in situ ed in laboratorio, è stata allegata e riferita alla progettazione dei vari stralci relativamente ai quali sono state di volta in volta esposte le indicazioni esecutive di carattere geologico per la stesura dei vari progetti.

La presente “nota geologica” viene redatta, ad integrazione della *Relazione geologico-tecnica*, per le opere ancora da realizzare (Uffici-Corpo B), o completare (Palestra-Corpo D). Essa fa seguito alla nota della Provincia Regionale di Agrigento del 12.05.2008 (prot. 25412) ed alle prove di sismica passiva HVSR che sono state eseguite in data 26.06.2008 dalla GeoCheck s.r.l. su committenza dell’Impresa Giglia Paolo per conto della Provincia Regionale di Agrigento.

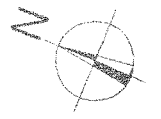
Lo scrivente ha presenziato all’esecuzione, da parte del Tecnico della GeoCheck s.r.l. dott. G. Coco, delle prove commissionate che sono state ubicate in corrispondenza del sito di progetto dove è previsto l’edificio B.



Legenda

A1 - A2	Corpi Aule	realizzati
B	Corpo Uffici ed Anfiteatro	da realizzare
C1 - C2	Corpi Aule	realizzati
D	Corpo Palestra	da completare

PLANIMETRIA GENERALE STATO FINALE SCALA 1:500



DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO

Nell'elaborato della GeoCheck s.r.l., riportato in appendice alla presente, viene descritto il metodo geofisico di sismica passiva utilizzato, del tipo HVSR, basato sulla misurazione del rumore sismico.

Tale metodologia è stata applicata in corrispondenza dei n.3 stazionamenti per la durata di 30 minuti ciascuno. Con la restituzione dei dati di velocità delle onde P (V_p) ed S (V_s) è stato elaborato nella TAB.4 il Modello Sismico del sito di progetto.

Lo scrivente, sulla base dell'interpretazione dei suddetti risultati, unitamente ai dati acquisiti nel corso della campagna di indagini geognostiche e geotecniche a suo tempo eseguite, ha potuto definire ai sensi del D.M. 14/01/2008 la categoria del suolo di fondazione dell'area di progetto, così come richiesto dall'Amministrazione committente.

Pertanto, dati i seguenti valori:

<u>1° strato</u>	$h_1 = 14 \text{ m}$	$V_s = 300 \text{ m/s}$
<u>2° strato</u>	$h_2 = 16 \text{ m}$	$V_s = 350 \text{ m/s}$

si ottiene la velocità equivalente delle onde di taglio V_{s30} definita dall'espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}} \text{ m/s} = \frac{30}{\frac{14}{300} + \frac{16}{350}} \text{ m/s} = \frac{30}{0,046 + 0,045} \text{ m/s} = 329,67 \text{ m/s}$$

che corrisponde alla categoria di sottosuolo C.

Dall'elaborazione dei dati di sismica passiva, inoltre, risulta che l'area studiata è caratterizzata da una risposta sismica omogenea e che la stessa è compresa tra 0.61 e 0.59 Hz. Tali valori sono quelli da prendere in considerazione al fine di valutare eventuali fenomeni di risonanza del sistema suolo-struttura.

La definizione della categoria del sottosuolo effettuata risulta, peraltro, concorde con quanto desunto dall'analisi delle caratteristiche dei litotipi individuati durante l'esecuzione del sondaggio meccanico S_3 che risulta ricadente nel sito di imposta dell'edificio B.

Durante tale perforazione sono state effettuate n. 3 prove penetrometriche in foro (SPT) in corrispondenza dei sedimenti prevalentemente clastici del pacco

sabbioso-calcarenitico e sono stati prelevati n.3 campioni indisturbati sui quali sono state effettuate prove geotecniche di laboratorio in corrispondenza del substrato argilloso.

Si riportano di seguito i valori ottenuti dall'elaborazione delle prove geotecniche in situ ed in laboratorio:

SONDAGGIO N.3

S.P.T. n.	PROF. m	N. 0÷15	N. 15÷30	N. 30÷45	Φ°	CLASSIFICAZIONE DEL MATERIALE
1	1.00-1.08	rifiuto a 8cm				
2	5.00-5.45	18	26	30	40÷45	denso
3	7.40-7.85	9	12	13	35÷40	medio

GEOSERVICE S.r.l.

LABORATORIO DI GEOTECNICA

OGGETTO : COSTRUZIONE LICEO SCIENTIFICO IN C.DA
PERRIERA:

RIEPILOGO PROPRIETA' INDICI

PROVINO	S3C1	S3C2	S3C3		
PROF. (m)	14.70 15.20	16.90 17.40	19.80 20.30		
W (%)	31.64	31.29	30.18		
G (g/cmc)	1.83	1.91	1.87		
Gd (g/cmc)	1.39	1.46	1.43		
Gs	2.7	2.71	2.7		
n	0.485	0.461	0.468		
e	0.944	0.855	0.882		
S (%)	90.59	99.23	92.48		
Wl	--	60	--		
Wp	--	28	--		
Ip	--	32	--		
Ic	--	0.897	--		
fa (%)	--	52	--		
Ia	--	0.61	--		
U	--	--	--		
rp (Kg/cm ^q)	4.8-5.3	4.0-4.5	5.3-5.7		
rv (Kg/cm ^q)	2.16	1.75	ND		
cu (Kg/cm ^q)	--	2.775	1.585		
c' (Kg/cm ^q)	0.3	--	0.506		
φ' (°)	19.5	--	18.6		

Caratteristiche del litotipo sabbioso (SPT):

Profondità 5,00 m $N_{SPT} = 56$

>>> **Categoria C**

Profondità 7,40 m $N_{SPT} = 25$

Caratteristiche del litotipo argilloso (Cu):

Profondità 16,90 m $Cu = 2,775 \text{ Kg/cm}^2 = \text{kPa } 277,5$

>>> **Categoria C**

Profondità 19,80 m $Cu = 1,585 \text{ Kg/cm}^2 = \text{kPa } 158,5$

Risulta, pertanto, accertata la compatibilità tra le diverse modalità utilizzate nella attribuzione della categoria del sottosuolo che nella **Tabella 3.2.II** del citato D.M. 14/01/08 viene così descritto:

“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} compresi tra 180 m/s e 360m/s (ovvero $15 < N_{sp30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < Cu_{30} < 250 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fine).”

DATI STRATIGRAFICI E GEOTECNICI

Per i calcoli strutturali si riportano in sintesi i dati stratigrafici e geotecnici desunti dai risultati disponibili a seguito delle indagini e prove effettuate o estrapolati mediante formule empiriche e correlazioni dagli stessi dati:

1° strato: sedimenti sabbiosi mediamente addensati con livelli calcarenitici

spessore = 14 m

peso specifico $\gamma_s = 2600 \text{ kg/m}^3$

peso di volume $\gamma = 1800 \text{ kg/m}^3$

angolo d'attrito interno $\phi' = 35^\circ$

coesione drenata $C' = 0 \text{ kg/cm}^2$

coesione non drenata $C_u = 0 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico $E_s = 225 \text{ kg/cm}^2$

coefficiente di Poisson = 0,35

coefficiente di Lambe $\beta = 0,35 \div 0,50$

modulo edometrico $E_{ed} = 50 \div 150 \text{ kg/cm}^2$

grado di sovraconsolidazione = 1 (normalconsolidato)

valore medio della costante di Winkler per terreni tipo 1° strato $k = 5 \div 15 \text{ kg/cm}^3$

2° strato: argilla compatta, omogenea, un po' plastica

spessore = non determinato - 16 m

peso specifico $\gamma_s = 2700 \text{ kg/m}^3$

peso di volume $\gamma = 1870 \text{ kg/m}^3$

angolo d'attrito interno $\phi' = 18,6^\circ$

coesione drenata $C' = 0,506 \text{ kg/cm}^2$

coesione non drenata $C_u = 1,585 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico $E_s = 750 \text{ kg/cm}^2$

coefficiente di Poisson = 0,1 ÷ 0,3

coefficiente di Lambe $\beta = 0,20 \div 0,25$

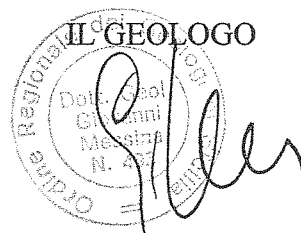
modulo edometrico $E_{ed} = 100 \div 200 \text{ kg/cm}^2$

grado di sovraconsolidazione = 1 (normalconsolidato)

valore medio della costante di Winkler per terreni tipo 2° strato $k = 15 \div 25 \text{ kg/cm}^3$

Le indicazioni fornite relative al sito di progetto dell'edificio B, in relazione alla generale omogeneità della successione litologica, possono ritenersi applicabili anche al sito su cui ricade l'edificio D da completare.

Agrigento, agosto 2008



APPENDICE

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

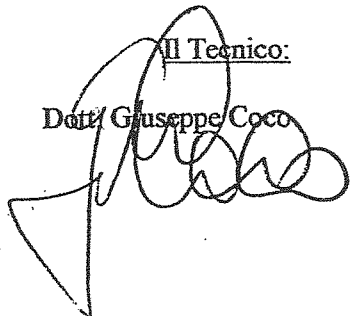
SISMICA PASSIVA - MISURA DEL RUMORE SISMICO

Committente: Impresa Giglia Paolo

Catania, luglio 2008

Il Tecnico:

Dott. Giuseppe Coco

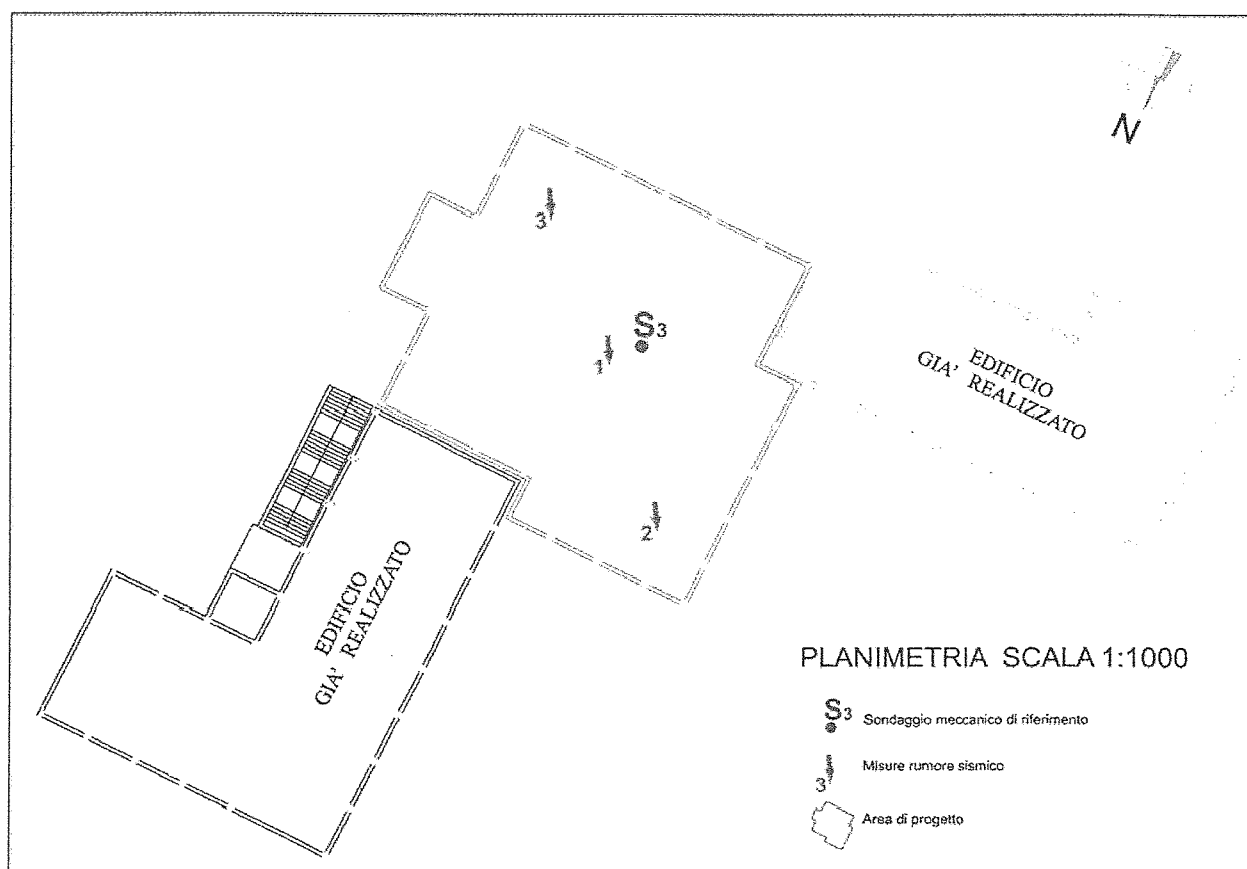


INDICE	pag.
1.0 PREMESSA	3
2.0- RISPOSTA SISMICA DEL SITO HVSR (HORIZONTAL/VERTICAL SPECTRAL RATIO)	5
<i>Descrizione del metodo</i>	5
<i>Acquisizione ed elaborazione dati</i>	6
CRITERI PER LA INTERPRETAZIONE DELLA CURVA H/V E RISULTATI	9
3.0 -ANALISI NUMERICA CURVA H/V E CALCOLO DELLE VS	13
4.0 CONCLUSIONI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



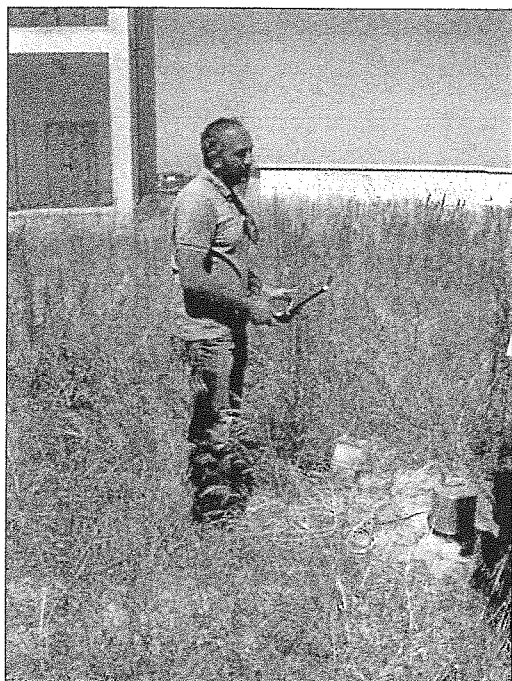


Foto. 1 - Posizione punto di misura N.1



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.
LEROU J. & CHÀVEZ-GARCÍA F. : Are microtremor Useful in Site Response Evaluation ?. *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-García, 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 microtremori 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

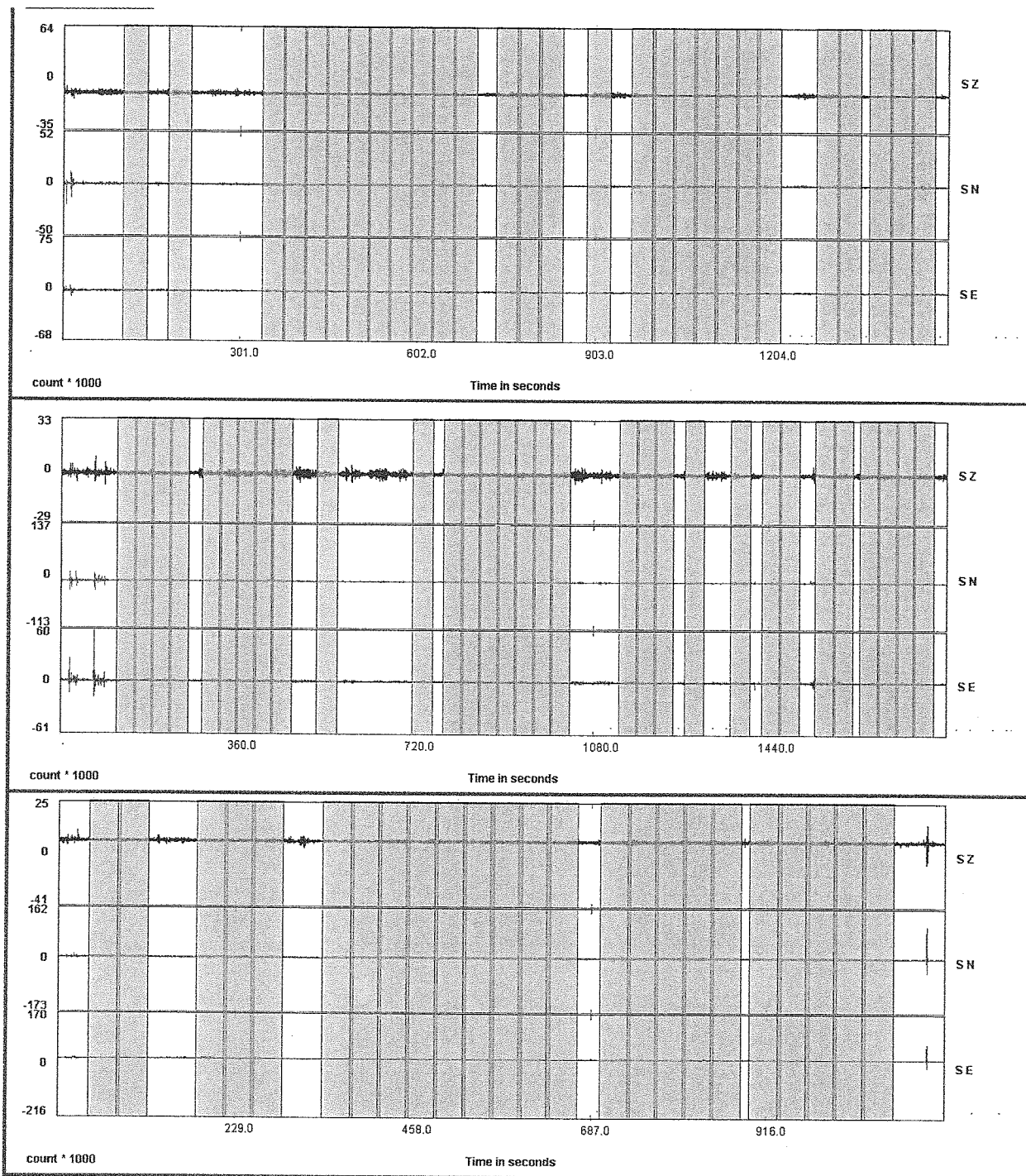


Figura 2 – Finestre temporali selezionate sulla base dei parametri di fig. 1. Dall'alto verso il basso: N1, N2 ed N3

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:

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 $\sigma_A(f_0)$ <table><tr><th>Banda di frequenza [Hz]</th><th>< 0.2</th><th>0.2 – 0.5</th><th>0.5 – 1.0</th><th>1.0 – 2.0</th><th>> 2.0</th></tr><tr><td>$\varepsilon(f_0)$[Hz]</td><td>$0.25 f_0$</td><td>$0.20 f_0$</td><td>$0.15 f_0$</td><td>$0.10 f_0$</td><td>$0.05 f_0$</td></tr><tr><td>$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$</td><td>3.0</td><td>2.5</td><td>2.0</td><td>1.78</td><td>1.58</td></tr><tr><td>Log $\theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$</td><td>0.48</td><td>0.40</td><td>0.30</td><td>0.25</td><td>0.20</td></tr></table>				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
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, $A_0 = 2.8 - N3 \Rightarrow f_0 = 0.59$ Hz, $A_0 = 3.5$). Tali valori sono attribuibili al sito investigato poiché soddisfanno i criteri di validità riportati in Tab. 1.

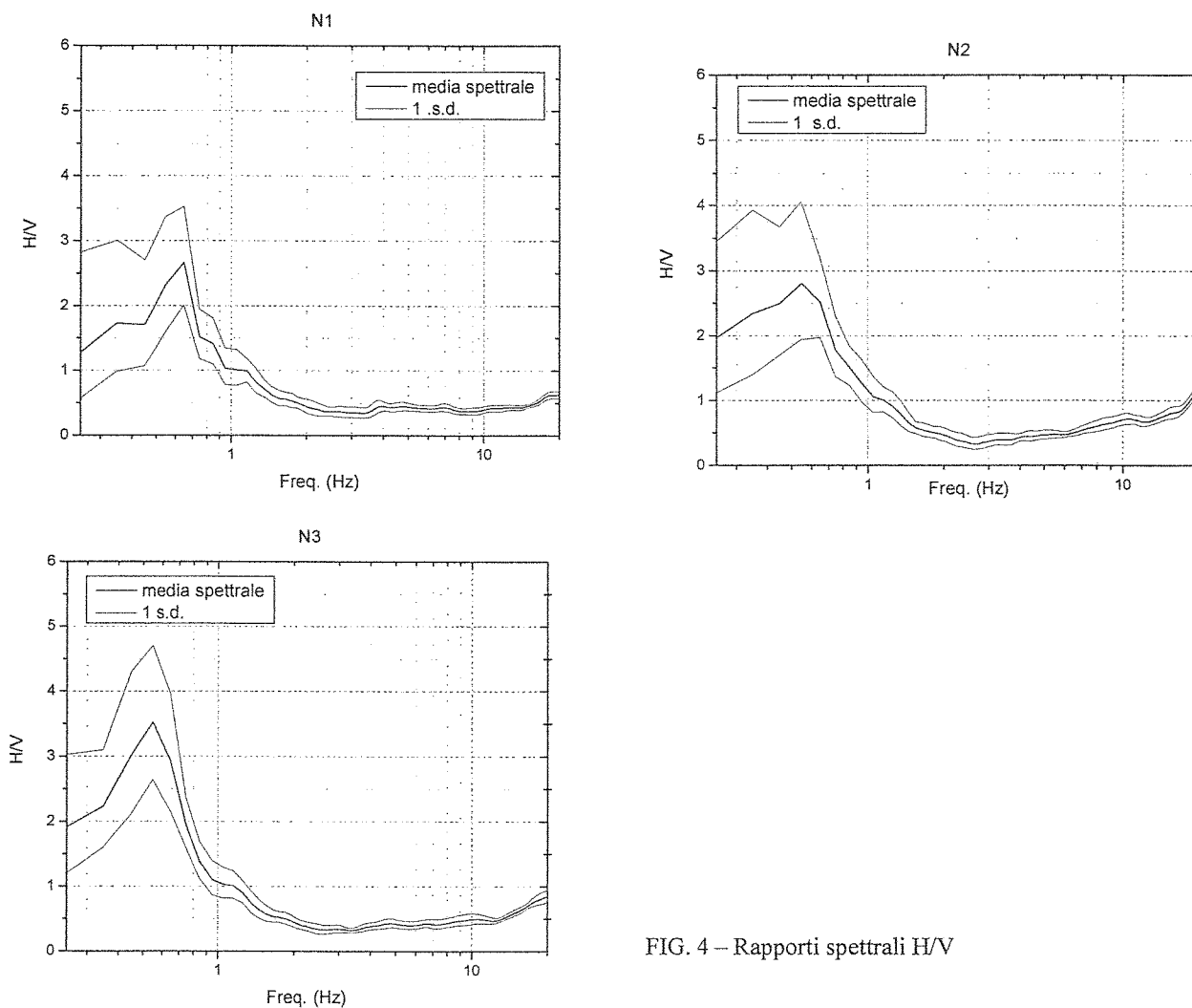


FIG. 4 – Rapporti spettrali H/V

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.

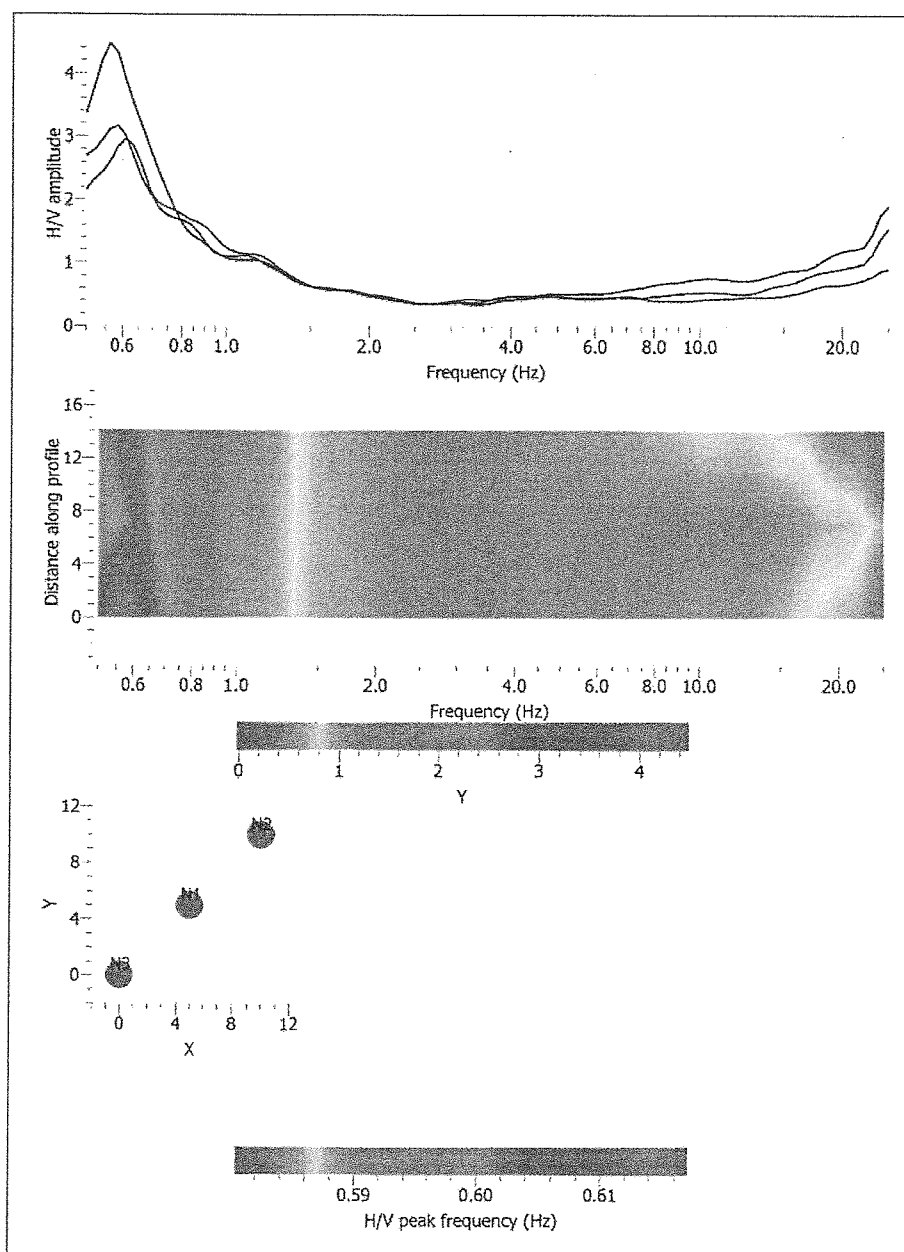


FIG. 5 – Andamento spaziale del picco H/V

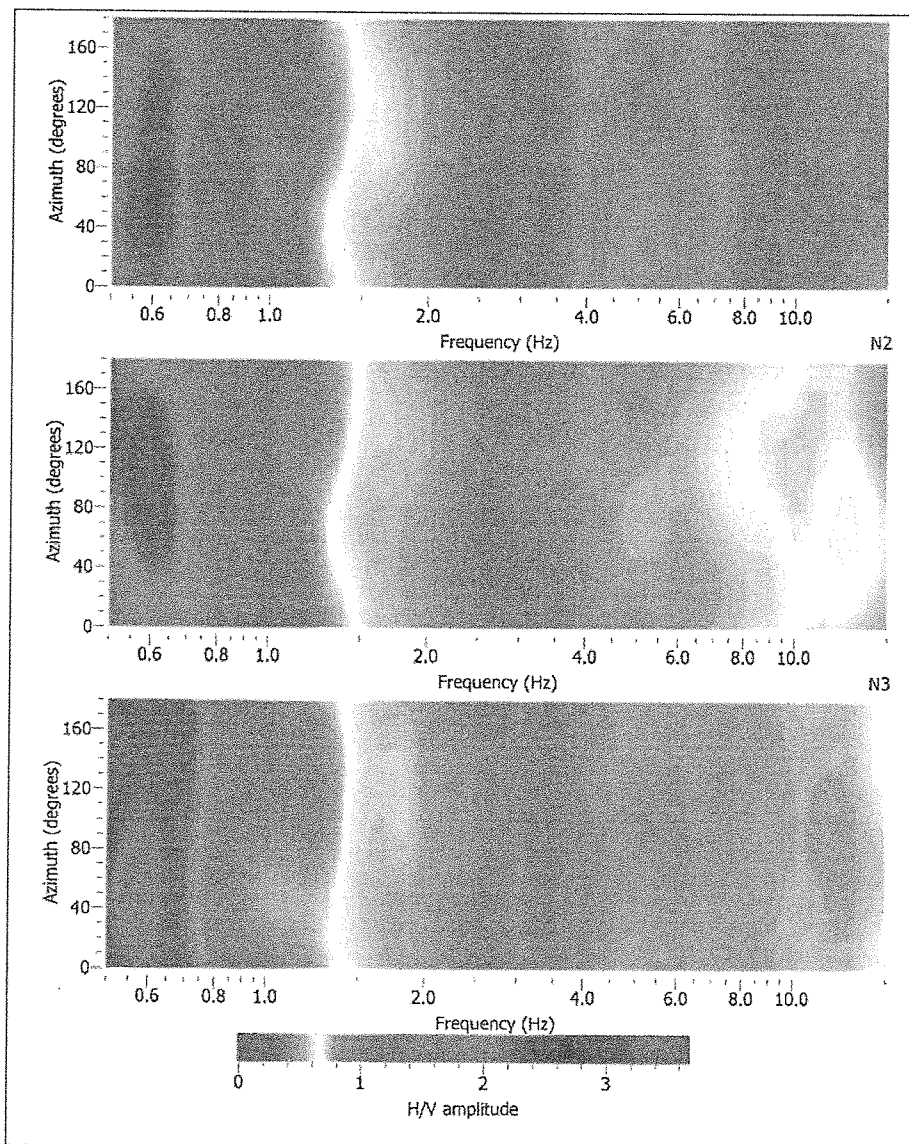


FIG. 6 – Andamento azimuthale delle curve H/V

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 libero di variare sia nello spessore sia nella Velocità delle onde di taglio ed al fattore di qualità Q, mentre è stato vincolato relativamente ai valori di V_p e di densità.

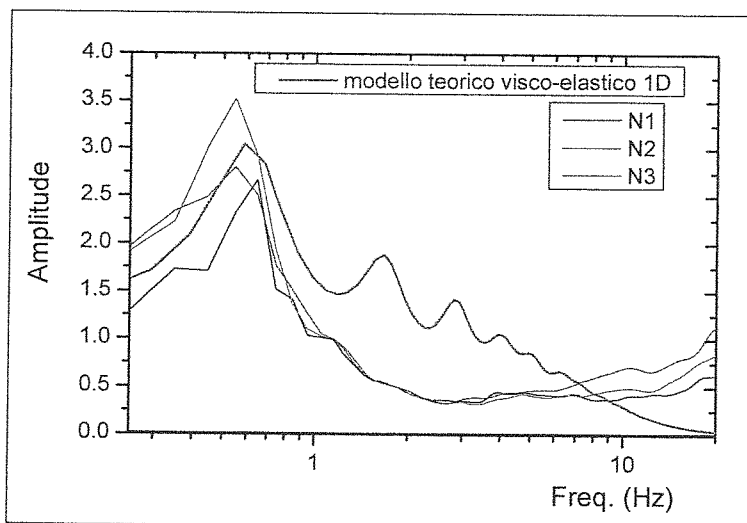


FIG. 7 – Confronto modello teorico- misure sperimentali

L'analisi numerica (calcolo curva teorica H/V) del profilo di rigidità discretizzato in TAB. 3 evidenzia un buon accordo tra la misura sperimentale e quella teorica. Pertanto la

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 MODELLO 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 MODELLO 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