



**IGETECMA s.n.c. Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali**

Laboratorio autorizzato con D.M. n. 54143 del 07/11/2005 ai sensi della Circolare 08/09/10 n. 7618/STC

Esecuzione e certificazione prove geotecniche – settore A

Laboratorio autorizzato con D.M. n. 162 del 19/04/2011 ai sensi dell'art. 20 della L. n. 1086/71

Prove e controlli su strutture e materiali da costruzione – settore A

## Rapporto di Prova n°366-19-S

Montelupo Fiorentino 26/09/2019

**SETTORE:** Geofisica – Multichannel Acquisition of Surface Waves, HVSR (Horizontal to vertical Spectral Ratio)

**COMMITTENTE:** ZANIERI VITTORIO

**RICHIEDENTE:** Geol. Francesco Barellini

**CANTIERE:** Via Olmicino, Sesto Fiorentino (FI)

**RIFERIMENTO:** R.P.E. n°329-19

### Indice generale:

1 Premessa (Pag.2)	
2 HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)	Pag.2
2.1 Principi teorici	Pag.2
2.2 Acquisizione ed elaborazione	Pag.3
3 Presentazione dei dati	Pag.4
4 Risultati dell'elaborazione	Pag.5
5 Caratteristiche della strumentazione	Pag.5

Il Direttore del Laboratorio

Ing. F. Politi

Il Tecnico

Geol. A. Farolfi

## 1 Premessa

Su incarico del Sig. Zanieri Vittorio è stata eseguita una indagine *Multichannel Acquisition of Surface Waves* (MASW) e una misure a stazione singola HVSR, finalizzate al calcolo della categoria di suolo ai fini della normativa sismica, in Via Olmicino, sesto Fiorentino (FI).

## 2 HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

### 2.1 Principi teorici

La tecnica dei rapporti spettrali deriva dal lavoro di Nakamura (1989). La frequenza fondamentale dei terreni è importante al fine di evitare, in caso di sisma, fenomeni di risonanza fra la frequenza degli edifici e la frequenza dei terreni su cui sono poggiati.

Il rapporto fra lo spettro delle componenti orizzontale e verticale dei tremori è una tecnica che permette di valutare alcune caratteristiche dei terreni, principalmente il periodo fondamentale. Nei terreni soffici la componente orizzontale del moto tende ad essere superiore alla componente verticale, mentre in roccia le due componenti tendono ad avere la stessa ampiezza. Il picco di frequenza individuato sulle curve H/V è legato alla velocità delle onde di taglio dalla relazione:

$$f_0 = V_s / (4 * H)$$

dove  $f_0$  è la frequenza,  $V_s$  la velocità delle onde di taglio e H lo spessore di sedimenti la cui frequenza di risonanza è  $f_0$ .

La natura della sorgente di energia utilizzata, ovvero il rumore ambientale, non è direttamente riferibile ad un determinato tipo di onde, di compressione, di taglio, rayleigh, per cui va ricordato che non può essere utilizzato direttamente per il calcolo delle onde di taglio e del parametro Vs30 ai fini della categoria di appartenenza. Nel presente lavoro sono state seguite le specifiche definite dal progetto Europeo SESAME (Site Effects Assessment Using Ambient Excitations) che ha studiato in dettaglio l'uso delle vibrazioni dovute a rumori ambientali per capire gli effetti di sito collegati ad eventi sismici. Come ricordato nel lavoro del progetto SESAME, la caratteristica principale dei rapporti H/V è di essere sperimentali, quindi la scelta in fase di acquisizione dati ed elaborazione, può influenzare il risultato finale. Al fine di limitare questi effetti indesiderati il progetto SESAME ha definito una serie di linee guida per l'acquisizione e l'individuazione delle frequenze fondamentali sulle curve H/V. Di seguito si riporta la tabella di prescrizioni finalizzate alla corretta acquisizione di dati secondo le specifiche del SESAME.

Tipo di parametro	Raccomandazioni principali	
Durata delle registrazioni	Frequenza minima di interesse: 0.2 0.5 1.0 2.0	Tempo minimo di registrazione: 30' 20' 10'

	5.0 10.0	10' 5' 2'
Densità spaziale delle misure	<p><u>Microzonazione</u>: iniziare con una maglia larga (circa 500 m) e in caso di variazioni laterali intensificare le misure fino a 250 m di spaziatura</p> <p><u>Risposta di sito singola</u>: non usare mai una misura singola, ma almeno tre misure</p>	
Parametri di registrazione	Livellare il sensore come raccomandato dal costruttore. Fissare il gain massimo possibile evitando la saturazione del segnale.	
Accoppiamento sensore terreno	Poggiare il sensore direttamente sul terreno tutte le volte che è possibile Evitare di poggiare il sensore su terreno soffice (fango, erba, etc..) o saturato dalla pioggia.	
Accoppiamento artificiale con il terreno	Evitare di poggiare il sensore su gommapiuma, cartone o simili. Su pendii che non consentono il livellamento del sensore utilizzare un ripiano fatto con sabbia per ottenere una superficie piana. Su neve o ghiaccio utilizzare poggiare il sensore su una piastra metallica per evitare che si inclini a causa dello scioglimento della neve o del ghiaccio.	
Prossimità di strutture	Evitare di effettuare le registrazioni in prossimità di strutture come edifici e alberi alti, soprattutto in caso di vento ( con velocità superiore a 5 m/s), possono inserire picchi a bassa frequenza nelle registrazioni. Evitare di effettuare le registrazioni al di sopra di tubature o vani interrati.	
Condizioni metereologiche	<p><u>Vento</u>: proteggere il sensore dal vento.</p> <p><u>Pioggia</u>: evitare le registrazioni in caso di pioggia forte.</p> <p><u>Temperatura</u>: controllare le indicazioni del costruttore riguardo gli shock termici.</p> <p><u>Perturbazioni meteorologiche</u>: indicare se le registrazioni sono state effettuate in un periodo di bassa pressione.</p>	
Disturbi	<p><u>Sorgenti monocromatiche</u>: evitare di registrare in prossimità di macchine da cantiere, pompe idrauliche, generatori, etc... etc...</p> <p><u>Transienti</u>: in caso di presenza di eventi transienti ( traffico, pedoni, etc ...) si raccomanda di aumentare la durata delle registrazioni al fine di ottenere un numero sufficiente di finestre prive di transienti.</p>	

Tabella - II

## 2.2 Acquisizione ed elaborazione

Le acquisizioni del rumore ambientale sono state effettuate con una stazione singola composta da tre velocimetri, geofoni, con frequenza naturale di 2 Hz di cui uno verticale e due orizzontali, disposti in direzioni perpendicolari fra. Le registrazioni effettuate hanno avuto una durata di 40 m, per ovviare a qualsiasi perturbazione transiente, essendo stata effettuata in contesto antropizzato

e non lontano da strade. Le registrazioni sono state poi suddivise in finestre della lunghezza di 60 s. Le finestre sono state poi filtrate per eliminare quelle con noise. Delle singole finestre è stato calcolato lo spettro di Fourier per le tre componenti. I singoli spettri sono stati lisciati con il metodo di Konno & Homaci e successivamente è stato effettuato il rapporto fra le componenti orizzontali e quella verticale per ogni singola finestra. In relazione vengono riportate le registrazioni effettuate e le finestre scelte per l'elaborazione, i rapporti H/V per ogni singola finestra e la curva media risultante. Per ogni stazione è stato calcolato anche l'angolo di arrivo delle componenti del rumore, per valutare se il picco individuato è fonte di un rumore direzionale o se è generato da vibrazioni che provengono da tutte le direzioni.

Per valutare in maniera obiettiva il picco di frequenza e la sua qualità il progetto SESAME stabilisce una serie di criteri che devono essere rispettati:

<p><b>Criteria for a reliable H/V curve</b></p> <p>i) <math>f_0 &gt; 10 / l_w</math> <i>and</i></p> <p>ii) <math>n_c(f_0) &gt; 200</math> <i>and</i></p> <p>iii) <math>\sigma_A(f) &lt; 2</math> for <math>0.5f_0 &lt; f &lt; 2f_0</math> if <math>f_0 &gt; 0.5\text{Hz}</math> <b>or</b> <math>\sigma_A(f) &lt; 3</math> for <math>0.5f_0 &lt; f &lt; 2f_0</math> if <math>f_0 &lt; 0.5\text{Hz}</math></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>l_w</math> = window length</li> <li>• <math>n_w</math> = number of windows selected for the average H/V curve</li> <li>• <math>n_c = l_w \cdot n_w \cdot f_0</math> = number of significant cycles</li> <li>• <math>f</math> = current frequency</li> <li>• <math>f_{\text{sensor}}</math> = sensor cut-off frequency</li> <li>• <math>f_0</math> = H/V peak frequency</li> <li>• <math>\sigma_f</math> = standard deviation of H/V peak frequency (<math>f_0 \pm \sigma_f</math>)</li> <li>• <math>\varepsilon(f_0)</math> = threshold value for the stability condition <math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></li> <li>• <math>A_0</math> = H/V peak amplitude at frequency <math>f_0</math></li> <li>• <math>A_{H/V}(f)</math> = H/V curve amplitude at frequency <math>f</math></li> <li>• <math>f</math> = frequency between <math>f_0/4</math> and <math>f_0</math> for which <math>A_{H/V}(f) &lt; A_0/2</math></li> <li>• <math>f^*</math> = frequency between <math>f_0</math> and <math>4f_0</math> for which <math>A_{H/V}(f^*) &lt; A_0/2</math></li> <li>• <math>\sigma_A(f)</math> = "standard deviation" of <math>A_{H/V}(f)</math>, <math>\sigma_A(f)</math> is the factor by which the mean <math>A_{H/V}(f)</math> curve should be multiplied or divided</li> <li>• <math>\sigma_{\log H/V}(f)</math> = standard deviation of the <math>\log A_{H/V}(f)</math> curve, <math>\sigma_{\log H/V}(f)</math> is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean <math>\log A_{H/V}(f)</math> curve</li> <li>• <math>\theta(f_0)</math> = threshold value for the stability condition <math>\sigma_A(f) &lt; \theta(f_0)</math></li> <li>• <math>V_{s,av}</math> = average S-wave velocity of the total deposits</li> <li>• <math>V_{s,surf}</math> = S-wave velocity of the surface layer</li> <li>• <math>h</math> = depth to bedrock</li> <li>• <math>h_{\min}</math> = lower-bound estimate of <math>h</math></li> </ul>
<p><b>Criteria for a clear H/V peak</b> <i>(at least 5 out of 6 criteria fulfilled)</i></p> <p>i) <math>\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) &lt; A_0/2</math></p> <p>ii) <math>\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) &lt; A_0/2</math></p> <p>iii) <math>A_0 &gt; 2</math></p> <p>iv) <math>f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></p> <p>v) <math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></p> <p>vi) <math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></p>	

Threshold Values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.20 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ 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

**Tabella – III**

### 3 Presentazione dei dati

Nella presente relazione vengono forniti i seguenti elaborati:

- HVSR
  - Registrazioni delle misure a stazione singola con suddivisione delle finestre d i elaborazione
  - Curve dei rapporti H/V per tutte le finestre utilizzate

- Curva media risultante con individuazione del picco di frequenza
- Grafico ampiezza del rapporto H/V azimuth di provenienza

#### 4 Risultati dell'elaborazione

La misure HVSR ha mostrato la presenza di un picco fondamentale a 0.75 Hz con un valore del rapporto H/V di circa 3.66 volte. Tale picco potrebbe essere ricondotto al substrato litoide profondo (circa 120 - 150 m).

#### 5 Caratteristiche della strumentazione

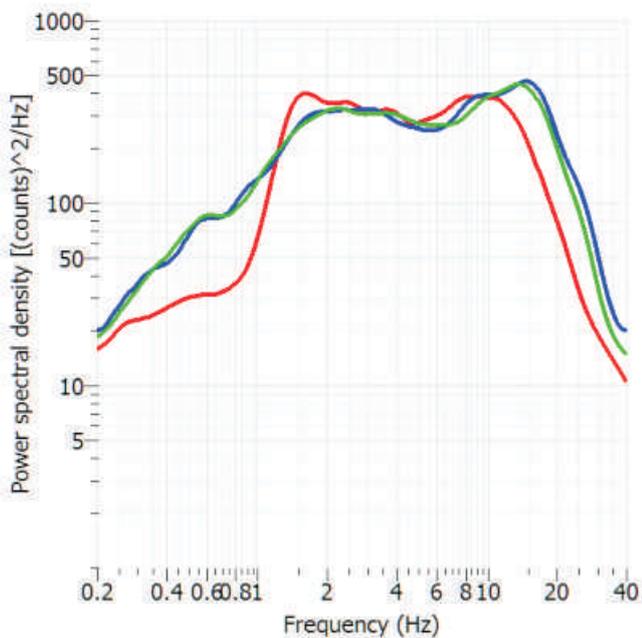
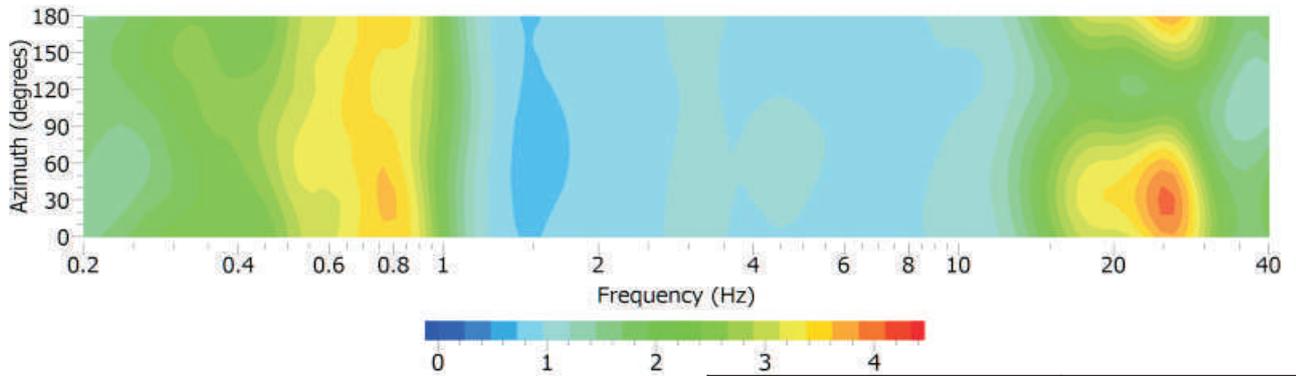
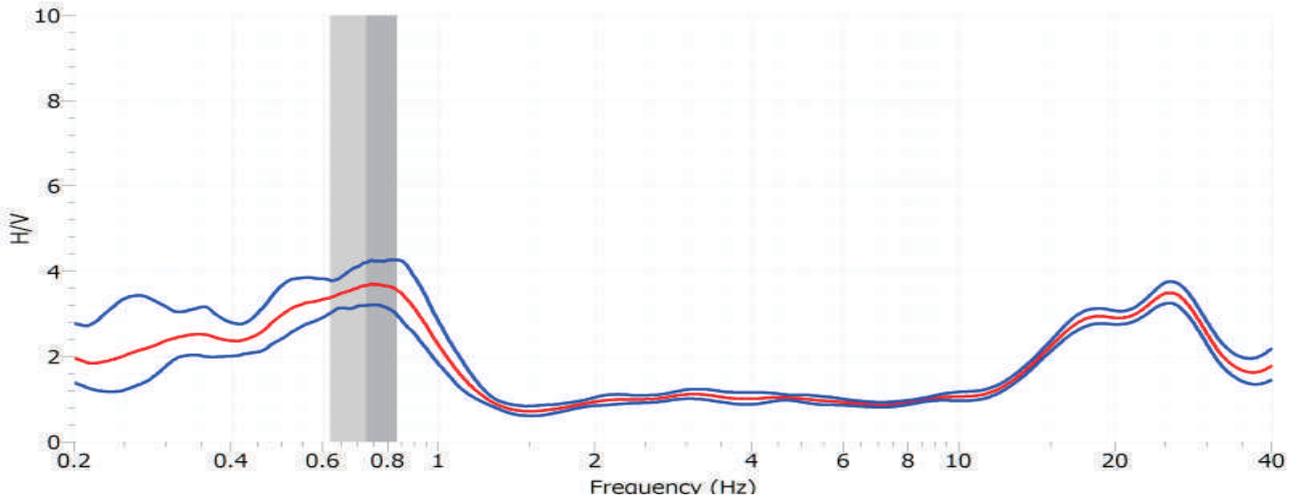
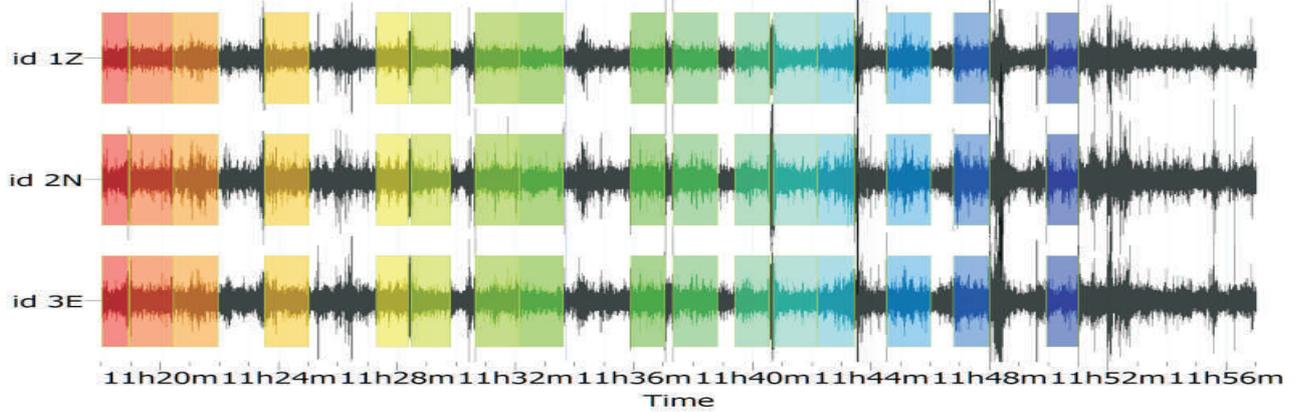
→ HVSR

- Sistema di acquisizione modulare della SARA ELECTRONICS così configurato:
- Digitalizzatore 24 bit, 3 canali
- Range di ingresso 2 V peak-to-peak
- Filtro antialias 1 pole 8.8 Hz standard
- Soglia di rumore  $\leq -124$  dB @ 100 SPS
- Sensore composto da tripletta di geofoni con frequenza propria di **2 Hz**

Ubicazione delle indagini



HVSR



Tempo di registrazione:	40 m	Num. Finestre - nw:	16
Lung. Finestra (s) - lw:	60	Campionamento (Hz):	200
f0 Massimo del rapporto H/V a 0.75 ± 0.11 Hz (tra 0.167 e 100 Hz)			
Affidabilita' (3 condizioni verificate)			
1	f0>20/lw	0.75 > 0.33	OK
2	lw*nw*f0>200	715 > 200	OK
Massimo[sA (f)]<3 (per f0<0.5)			
3	Massimo[sA (f)]<2 (per f0>0.5)	1.25 < 2	OK
intervallo: 0.5*f0 < f < 2*f0 0.37 - 1.49			
Chiarita' (almeno 5 condizioni verificate)			
1	Esiste f- tale che A(f-)<A(f0)/2	0.00	NO
intervallo: f0/4 < f < f0 0.19 - 0.75			
2	Esiste f+ tale che A(f+)<A(f0)/2	1.06	OK
intervallo: f0 < f < f0*4 0.75 - 3.0			
3	A(f0)>2	3.66 > 2	OK
Fpicco[A(f)±s (f0)] = f0±5%			
4		0.75	NO
intervallo: f0±5% 0.71 - 0.78			
5	s (f)]<e(f0)	0.11 < 0.11	OK
6	sA (f0)]<Q (f0)	1.20 < 2.00	OK

Documentazione fotografica

