

Rapporto n°02192012			
Committente		Comune di Santa Maria a Monte	
			
Tipo di indagine		Misure di microtremore sismico ambientale	
Cantiere		Territorio Comunale	
Data misure	esecuzione	varie	
Data rapporto	emissione	19 febbraio 2013	
Redazione		Verifica	
Dott. Simone Sartini		Dott. Alessandro Bianchi	

1) Scopo dell'indagine

Dietro incarico della Committenza sono state eseguite misure di microtremori (rumore sismico ambientale) a stazione singola in corrispondenza di n°35 stazioni dislocate sul territorio del Comune di Santa Maria a Monte. Si vedano le tavole allegate per l'ubicazione dei punti di rilevamento.

Le indagini sono di supporto agli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 del territorio comunale ai sensi del DPGR n°53/R del 25 ottobre 2011, Regolamento di attuazione dell'Art.62 della L.R. 3 gennaio 2005, n°1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologico.

Per l'esecuzione delle indagine si è inoltre tenuto conto dei seguenti documenti tecnici:

- Indirizzi e criteri per la Mirozonazione Sismica (ICMS) approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome;
- Istruzioni Tecniche del Programma Regionale VEL;
- Specifiche tecniche regionali per l'elaborazione di indagini e studi di mirozonazione sismica (aggiornamento 01/04/2011) redatte dal Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica;
- Volume di Ingegneria Sismica Anno XXVIII – n.2 – 2011.

Oggetto della presente relazione sono i risultati a cui si è pervenuti.

2) Cenni teorici del metodo HVSR

Le misure in oggetto mirano alla registrazione del cosiddetto "rumore sismico" (o "microtremore"). Il rumore sismico è presente ovunque sulla superficie della terra ed è generato dai fenomeni ambientali naturali (moti ondosi oceanici, vento) e dall'attività antropica.

Negli anni sono stati sviluppate diverse metodologie per lo studio dei microtremori ma fra tutte quella che ha avuto il maggior riconoscimento dalla comunità scientifica ed è pertanto la più usata ed affidabile è quella che impiega i rapporti spettrali H/V e che consiste nella misura dei rapporti degli spettri nel piano orizzontale e della componente verticale. Il metodo è stato introdotto nei primi anni '70 da scienziati giapponesi tra cui Nogoshi e Igarashi (1971) e Shiono et al. (1979) e poi ripreso e pubblicato nel 1989 da Nakamura.

Il metodo H/V o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratios) mira all'individuazione di possibili fenomeni di risonanza sismica e delle relative frequenze e si basa sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e della componente verticale del rumore sismico ambientale. In presenza di forti contrasti di impedenza sismica nel sottosuolo (ad esempio in corrispondenze del passaggio fra litologie caratterizzate da velocità delle onde sismiche molto differenti) la funzione H/V, che rappresenta i rapporti spettrali medi in funzione della frequenza, presenta dei massimi che corrispondono con le frequenze di risonanza. Esiste poi una proporzionalità (non lineare) fra l'ampiezza dei massimi della funzione H/V e l'entità del contrasto di impedenza sismica.

La frequenza di risonanza fornisce indicazioni sul rapporto fra la velocità delle onde S dello strato al tetto del bedrock sismico e la profondità di quest'ultimo:

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

dove:

f_0 = frequenza di risonanza

V_s = velocità delle onde S della copertura

H = spessore della copertura/profondità bedrock

Per l'esecuzione di misure quanto più significative possibili e di buona qualità è necessario curare in campagna due aspetti fondamentali: il posizionamento e l'accoppiamento dello strumento di acquisizione sul terreno e la scelta dei parametri di acquisizione.

Per quanto riguarda il primo aspetto in tutti i casi il tomografo è stato posizionato su terreno naturale, lontano da strutture e da fonti di rumore elettromagnetico ed è stato particolarmente curato l'accoppiamento dei puntali con il terreno scorticando la prima parte molle e vegetale evitando il contatto con parti mobili.

Per quanto riguarda la scelta dei parametri di acquisizione le misure sono state eseguite con una frequenza di campionamento di 128 HZ e su finestre temporali di 20 m (1200 sec). La scelta della durata della registrazione si basa sulla seguente considerazione.

Supponendo di voler osservare la risonanza di una coltre sedimentaria su un bedrock piuttosto profondo e che la frequenza di risonanza sia dell'ordine di 0,5 Hz il segnale si ripeterà con un periodo di 2 sec che rappresenta il tempo minimo di ascolto utile per l'osservazione della frequenza attesa. A questo punto però è necessario (per garantire una adeguata risoluzione spettrale) che il segnale venga analizzato su finestre temporali almeno 10 volte maggiori del periodo di ripetizione del segnale. In questo caso 20 sec. Infine il segnale deve essere mediato a livello statistico campionando almeno 30-40 finestre da 20 secondi (800 sec). In questo caso il segnale è stato campionato su 1200 sec e considerando che le frequenze di risonanza riscontrate sono in tutti i casi maggiori di 1 Hz la scelta appare adeguata.

La qualità delle misurazioni è stata valutata sulla base della direzionalità e della stazionarietà della funzione H/V e verificando che i picchi H/V ritenuti significativi coincidano con minimi locali della componente spettrale verticale. Questa è la circostanza caratteristica di discontinuità stratigrafiche. Molte volte si osservano dei picchi alti, stretti e ben definiti sulle tre componenti attribuibili a vibrazioni concentrate attorno ad una specifica frequenza dovuta rumore incoerente dovuto a transienti.

La strumentazione impiegata è un tomografo TROMINO prodotto dalla Micromed (serial no. TRZ-0195/01-12) ed i dati sono stati analizzati con il software dedicato GRILLA.

L'analisi dei dati è stata eseguita su finestre temporali di 20 sec e con uno smoothing triangolare al 10%.

Per ogni misura singola, nelle tavole allegate viene riportato:

- grafico del RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE
- SERIE TEMPORALE H/V
- DIREZIONALITA' H/V
- grafico degli SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

Infine viene valutata la qualità della misura secondo le linee guida SESAME, 2005 riportando i **Criteri per una curva H/V affidabile** ed i **Criteri per un picco H/V chiaro**.

Inoltre nella tabella che segue viene riportata la Classificazione della Curva H/V (Albarelo D. & Castellaro S. (2011) – Tecniche sismiche passive indagini a stazione singola. Supplemento alla rivista Ingegneria sismica Anno XXVIII, n. 2-2011).

La Classificazione della Curva H/V avviene prendendo in considerazione tre classi di qualità:

Classe A: H/V affidabile e interpretabile: può essere utilizzata anche da sola

1. La forma dell'H/V nell'intervallo di frequenze di interesse rimane stazionaria per almeno il 30% circa della durata della misura (stazionarietà);
2. Le variazioni azimuthali di ampiezza non superano il 30% del massimo (isotropia);
3. non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse (assenza di disturbi);
4. i massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale (plausibilità fisica);
5. i criteri di SESAME per una curva H/V attendibile (primi 3 criteri) sono verificati (robustezza statistica);
6. la misura è durata almeno 15/20 minuti (durata).

Eccezione: misure effettuate su roccia integra affiorante o in zone alluvionali fini con basamento sismico molto profondo (tipicamente > 1Km) possono non mostrare alcun picco statisticamente significativo della curva H/V nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico, a causa dell'assenza di contrasti di impedenza sufficientemente marcati. In questi casi, in cui la curva H/V apparirà piatta a con ampiezza circa pari a 1, il criterio 5 risulterà non verificato anche se la misura è di fatto attendibile. In questo solo caso la misura può ricadere nella classe A ma si consiglia di ripetere la misura per confermare l'effettiva assenza di massimi significativi.

Classe B: curva H/V sospetta (da "interpretare"): va utilizzata con cautela e solo se coerente con altre misure ottenute nelle vicinanze.

1. almeno una delle condizioni della classe A non è soddisfatta, a condizione che non si rientri nell'ECCEZIONE citata per la classe A

Classe C: curva H/V scadente e di difficile interpretazione: non va utilizzata.

1. misura di tipo B nella quale la curva H/V mostra una ampiezza crescente al diminuire della frequenza (deriva), indice di un movimento dello strumento durante la misura;
2. misura di tipo B nella quale si evidenzia la presenza di rumore elettromagnetico nell'intervallo di frequenze di potenziale interesse.

Per le sole Classi A e B si possono definire due sottoclassi delle classi precedenti:

Tipo 1. Presenta almeno un picco "chiaro" secondo i criteri di SESAME: possibile risonanza;

Tipo 2: Non presenta picchi "chiaro" nell'intervallo di frequenze di interesse: assenza di risonanza.

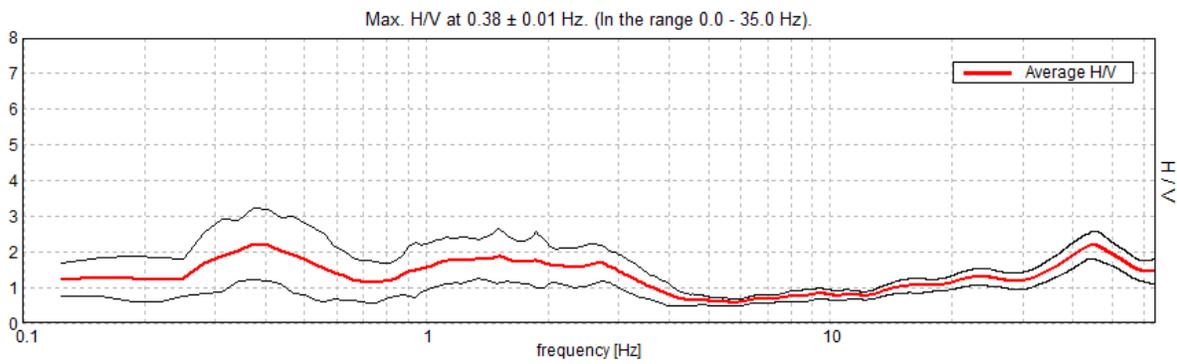
Denominazione	Coordinate Gauss-Boaga (m)		Picco H/V (Hz)	A0	Classificazione della curva H/V	
	X	Y			Classe	Tipo
HVSR_1	1635127.837	4838212.102	1.53 ± 0.02	3.30	A	1
HVSR_2	1634463.462	4838022.373	1.16 ± 0.02	3.64	A	1
HVSR_3	1635976.604	4837387.187	1.22 ± 0.02	3.86	A	1
HVSR_4	1636718.524	4837320.996	1.22 ± 0.05	3.63	A	1
HVSR_5	1638374.724	4839733.326	1.19 ± 0.03	3.79	B	1
HVSR_6	1637810.347	4839018.430	1.13 ± 0.01	4.16	A	1
HVSR_7	1636662.084	4839343.983	1.53 ± 0.01	4.50	B	1
HVSR_8	1634415.586	4838395.797	1.25 ± 0.02	3.94	A	1
HVSR_9	1633816.463	4838389.688	2.44 ± 0.12	2.49	A	1
HVSR_10	1634322.058	4838921.923	3.94 ± 0.27	2.21	B	1
HVSR_11	1633861.208	4838590.422	5.78 ± 0.38	2.83	B	1
HVSR_12	1636326.905	4839817.200	8.44 ± 0.35	3.27	A	1
HVSR_13	1635813.314	4840273.993	2.81 ± 0.19	2.28	A	1
HVSR_14	1635546.731	4840313.135	0.38 ± 0.01	2.21	B	1
HVSR_15	1635815.480	4839666.063	0.47 ± 0.12	2.45	A	1
HVSR_16	1636175.534	4837572.394	1.22 ± 0.02	3.88	A	1
HVSR_17	1635103.636	4838949.697			B	2
HVSR_18	1634060.324	4838080.063	1.13 ± 0.01	4.16	A	1
HVSR_19	1634150.536	4838379.839	1.25 ± 0.02	3.35	A	1
HVSR_20	1635452.421	4840453.927	2.19 ± 0.38	2.30	A	1
HVSR_21	1635446.890	4839782.480	1.88 ± 0.22	2.94	B	1
HVSR_22	1634562.165	4838734.095	7.13 ± 0.53	2.52	B	1
HVSR_23	1634975.144	4836705.160	1.13 ± 0.01	3.78	A	1
HVSR_24	1637486.920	4839295.175	1.22 ± 0.02	3.88	A	1
HVSR_25	1638184.416	4839128.551	1.06 ± 0.01	3.98	A	1
HVSR_26	1638906.282	4839679.254	1.22 ± 0.02	3.36	A	1
HVSR_27	1636642.748	4837670.760	1.25 ± 0.01	3.54	A	1
HVSR_28	1636389.873	4836990.176	1.19 ± 0.03	3.52	A	1
HVSR_29	1637292.533	4838454.960	1.09 ± 0.01	3.54	A	1
HVSR_30	1636975.912	4839027.035	1.22 ± 0.01	4.60	B	1
HVSR_31	1636026.371	4838759.908	1.44 ± 0.01	4.31	A	1
HVSR_32	1634805.685	4839796.265	0.44 ± 0.14	2.62	B	1
HVSR_33	1634461.391	4839966.875	0.47 ± 0.28	2.87	B	1
HVSR_34	1634624.138	4837576.841	1.13 ± 0.02	3.48	B	1
HVSR_35	1637886.218	4839610.454	1.19 ± 0.03	3.86	A	1

Nella tabella soprastante sono riportati i valori di frequenza in corrispondenza dei quali, per ciascuna misura, si ha il picco in termini di ampiezza (A_0) del rapporto H/V.

È comunque necessario valutare attentamente ciascuna misura poiché in alcuni casi possono essere presenti ulteriori picchi con ampiezza inferiore ad A_0 in corrispondenza di altri valori di frequenza. Questi picchi, se correlabili a minimi locali della componente spettrale verticale sono indice di discontinuità stratigrafiche che possono rivestire una certa importanza ai fini degli effetti amplificativi locali.

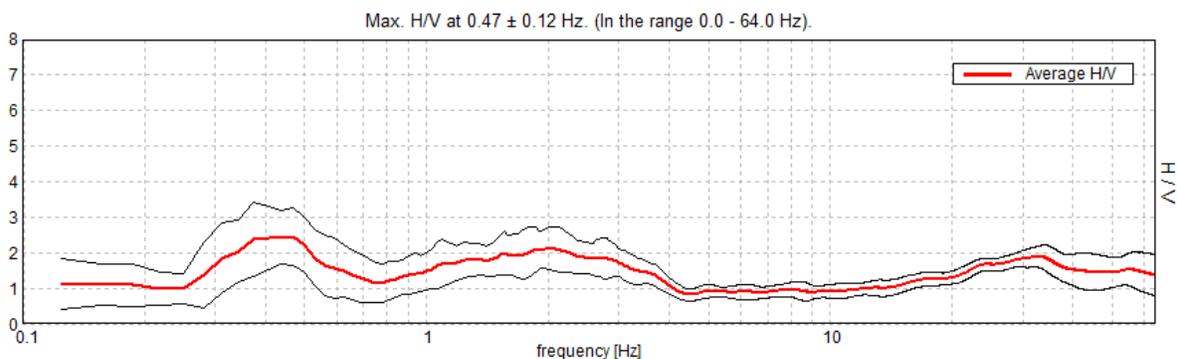
Si veda ad esempio il grafico H/V della misura HVSR_14 in cui è evidente un picco di ampiezza pari a 1.87 centrato alla frequenza di 1.50 Hz

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE HVSR_14



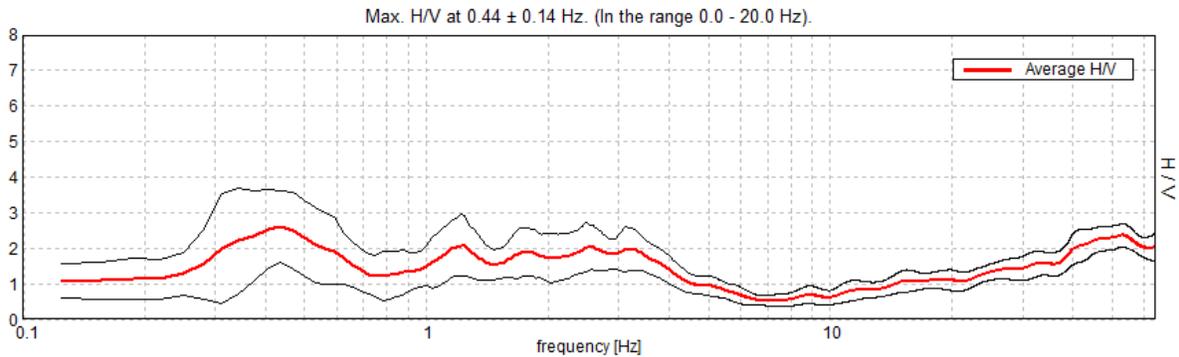
Il grafico H/V della misura HVSR_15 in cui è evidente un picco di ampiezza pari a 2.24 centrato circa alla frequenza di 1.88 Hz.

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE HVSR_15



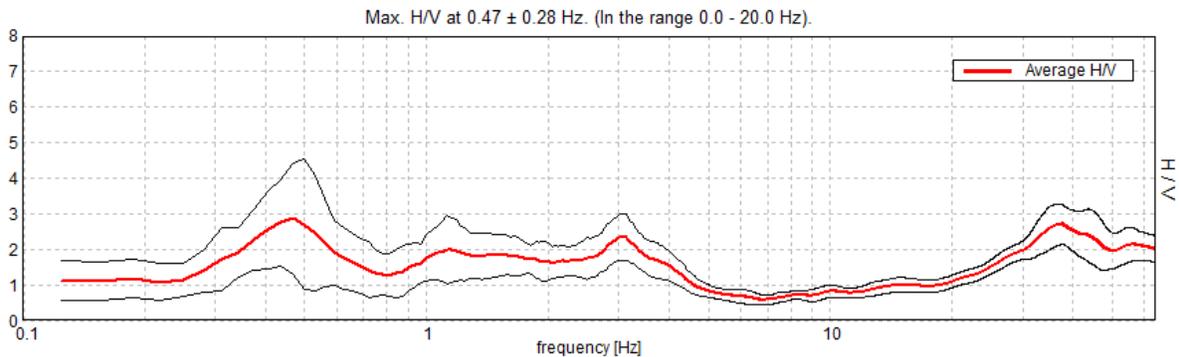
Anche sul grafico H/V della misura HVSR_32 sono evidenti ulteriori picchi centrati a 1.22 Hz ($A = 2.09$), a 2.5 Hz ($A = 2.03$) e a 3.19 Hz ($A = 1.97$).

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE HVSR_32



Infine, sul grafico H/V della misura HVSR_33 sono evidenti due picchi centrati rispettivamente a 1.13 Hz ($A = 1.98$) e a 3.06 Hz ($A = 2.35$).

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE HVSR_33



3) Interpretazione dei risultati

In Tab.1 (tratta da Albarello D. & Castellaro S. (2011) – Tecniche sismiche passive indagini a stazione singola. Supplemento alla rivista Ingegneria sismica Anno XXVIII, n. 2-2011) è riportata una correlazione fra il valore della frequenza di risonanza misurata e lo spessore delle coperture.

Tab. 1 - Abaco per la stima dello spessore delle coperture (h) a partire dai valori delle frequenze di risonanza (f₀) determinate dalle misure H/V.

F ₀ (Hz)	h (m)
<1	>100
1 -2	50-100
2 -3	30-50
3 -5	20-30
5 -8	10-20
8 -20	5-10
>20	<5

Sulla base di questa tabella è possibile ottenere una indicazione di larga massima sulla profondità dello strato risonante.

È inoltre possibile ottenere una stima più accurata utilizzando la formula sopra riportata (**f₀ = Vs/(4H)**) che correla la frequenza di risonanza con la velocità Vs e lo spessore delle coperture.