

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
EDILE E AMBIENTALE**

Department of Civil, Environmental and Architectural
Engineering

**CORSO DI LAUREA IN
INGEGNERIA CIVILE:**



TESI DI LAUREA

**ANALISI DI MICROTREMORI NATURALI PER LO STUDIO
DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE**

Relatore: PROF. JACOPO BOAGA

Laureando: DAL MOLIN FILIPPO

ANNO ACCADEMICO 2023/2024

INDICE

• Introduzione.....	3
• Metodologia.....	4
Tecnica HVSR.....	4
Tomografo.....	7
Software Grilla.....	9
• Caso studio: Puos d'Alpago.....	10
• Risultati.....	12
• Conclusioni.....	20
• Sitografia.....	21

1. INTRODUZIONE

Il presente lavoro ha lo scopo di promuovere una metodologia di indagine sismica passiva HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), detta anche indagine “dei rapporti spettrali” H/V. Questa tecnica permette di misurare il rumore sismico ambientale, dal quale è possibile ricavare la frequenza di risonanza del luogo analizzato.

Questo parametro risulta fondamentale per la corretta progettazione degli edifici in quanto impedisce che possibili fenomeni di doppia risonanza tra suolo e struttura possano verificarsi. Questi eventi potrebbero aver luogo se il fabbricato e il suo rispettivo sito avessero la stessa frequenza.

A dimostrazione di quest'ultima affermazione sono stati analizzati dei dati presi, in cinque siti differenti, intorno e all'interno del centro abitato di Puos d'Alpago, con lo scopo di verificare l'efficacia e l'attendibilità di questo metodo di indagine.

2. METODOLOGIA

Tecnica HVSR

La tecnica HVSR (**H**orizontal to **V**ertical **S**pectral **R**atio) detta anche "dei rapporti spettrali" (**H/V**) è un'indagine geofisica passiva poiché non necessita di sorgenti energetiche artificiali, come scoppi o colpi di mazza, ma di una misura "passiva" del rumore sismico ambientale presente ovunque sulla superficie terrestre. Inoltre questa tecnica permette di raggiungere grandi profondità nell'ordine di qualche centinaio di metri e non richiede tempi lunghi di esecuzione (10/30 minuti). I risultati di una indagine HVSR locale sono un potente strumento per il supporto nella progettazione. E' consigliabile eseguire la tecnica in zone dove si conosce la stratigrafia, avendo per esempio eseguito dei sondaggi geotecnici.

Tale metodologia è stata utilizzata per la prima volta da Nagoshi e Igarashi nel 1970 e poi migliorata da Nakamura nel 1989.

Il rumore è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che dall'attività dinamica terrestre. Esso è formato per lo più da onde superficiali, ovvero onde di Rayleigh e onde di Love, prodotte dall'interferenza costruttiva delle onde P ed S negli strati superficiali.

Tale rumore si misura con un sensore tri-componente, il quale rileva le componenti N-S, E-W e U-D e successivamente si effettua il rapporto tra quelle orizzontali e quelle verticali ricercando il valore massimo.

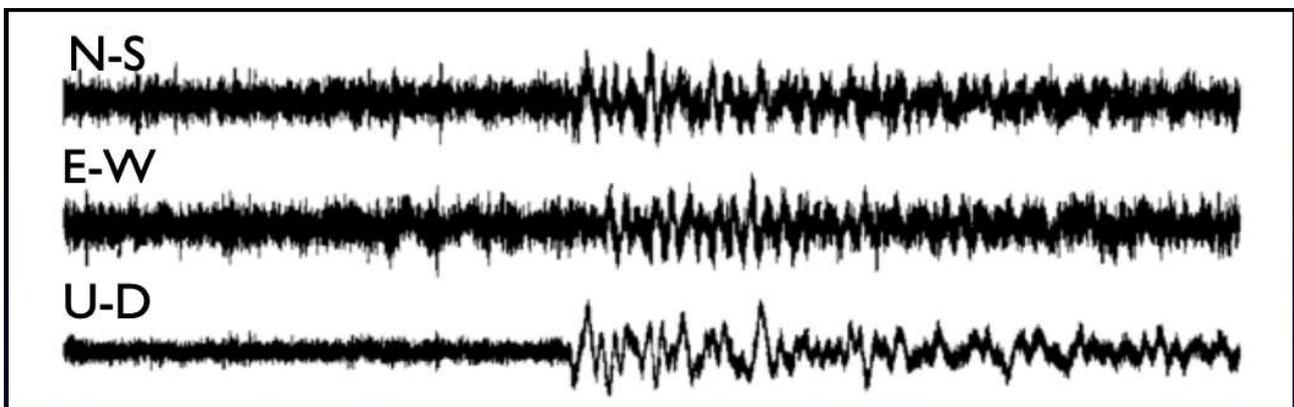


Figura 1 Esempio di misurazione delle tre componenti

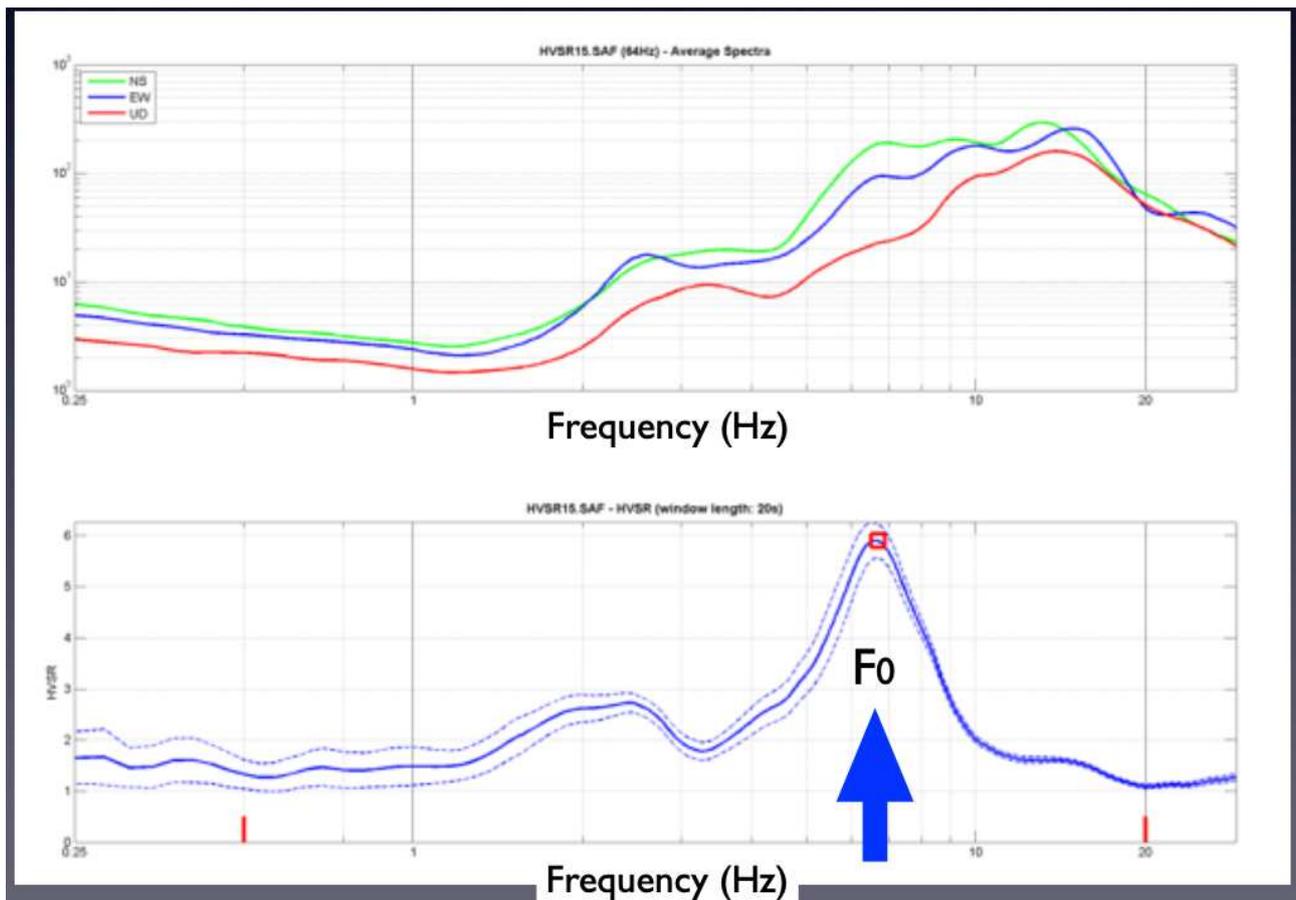


Figura 2 Grafico delle tre componenti e del loro rapporto H/V

Una grandezza numerica fondamentale che si ottiene dalla misura del rumore è la frequenza di risonanza di sito F_0 , la quale rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale.

La risonanza è dovuta all'intrappolamento dell'energia sismica fra due forti variazioni di impedenza acustica corrispondenti alla superficie ed al contatto con il substrato.

La frequenza di risonanza di sito o anche periodo fondamentale T_0 ($T_0 = 1 / F_0$) rappresenta, per un determinato terreno di copertura avente uno spessore H e un rapporto geometrico con il basamento sottostante, la frequenza di "oscillazione critica" alla quale una determinata oscillazione sismica con la stessa frequenza, genera un'amplificazione locale del moto sismico. Per tale ragione si dovranno adottare precauzioni nell'edificare edifici che abbiano una propria frequenza di vibrazione lontana da quella del sito, in modo da evitare effetti di "doppia risonanza" molto pericolosi per la stabilità dei fabbricati.

Quindi la frequenza del sito dipende dallo spessore dello strato superficiale H e dalla velocità V_s delle onde di taglio. Questo legame è descritto dalla seguente formula:

$$f = \frac{V_s}{4h}$$

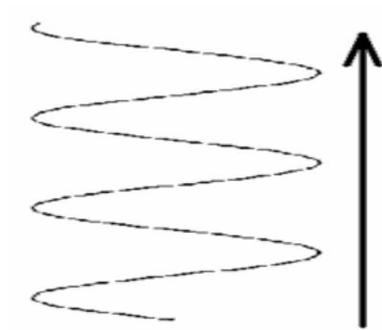
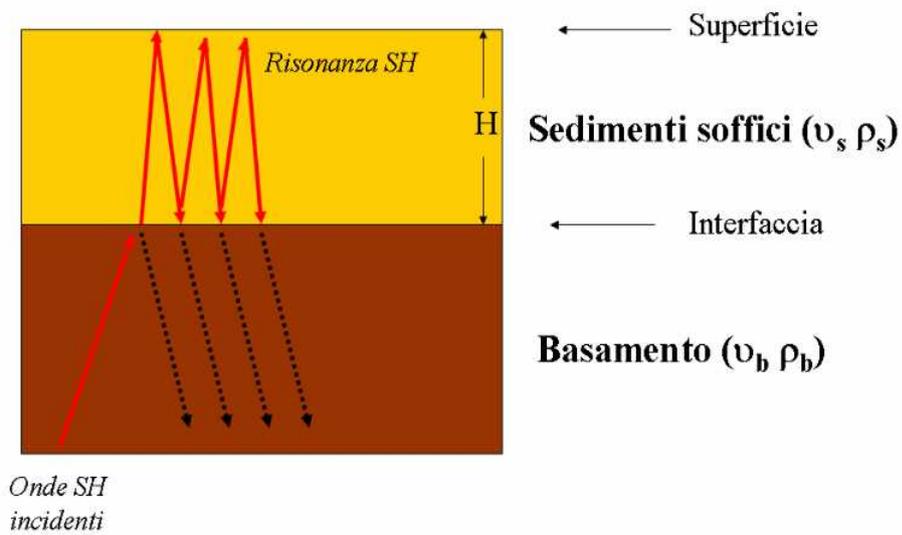


Figura 3 Energia sismica intrappolata nello strato "soffice"

Tromografo



Figura 4 Tromografo

Lo strumento impiegato per le rilevazioni è un apparecchio a stazione singola, dotato di tre canali velocimetrici elettrodinamici ad alta risoluzione per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale. A tutti gli effetti si tratta di un sismometro a tre componenti (due orizzontali e una verticale), mediante il quale è possibile giungere alla definizione del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali.

I sensori sono disposti secondo le tre direzioni ortogonali e trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore, con risoluzione non inferiore a 24 bit. L'apparecchio, mediante i 3 velocimetri, acquisisce tre modi di vibrazione diversi, che possono venire successivamente confrontati e ricostruiti in una curva che esprime la differenza dei movimenti orizzontali rispetto ai movimenti verticali.

Il sensore viene appoggiato sulla superficie del suolo in modo tale da avere un'accoppiamento migliore con la topografia. Diversamente una posizione non adeguata del sensore sul terreno potrebbe portare variazioni alla curva delle frequenze.

Le misure acquisite sono poi campionate in una finestra temporale (time window); su queste finestre si ottiene una rappresentazione grafica, in cui sull'asse x è presente la frequenza in Hertz (Hz) e sull'asse y il rapporto H/V delle misure orizzontali rispetto a quelle verticali. Ogni picco osservato nel grafico H/V corrisponde pertanto ad una frequenza fondamentale del sito. Frequentemente ne è presente uno solo, ma più contrasti di impedenza sismica a profondità sensibilmente diverse, ne genererebbero altrettanti.



Figura 5 e 6 Predisposizione del sismometro

Software Grilla

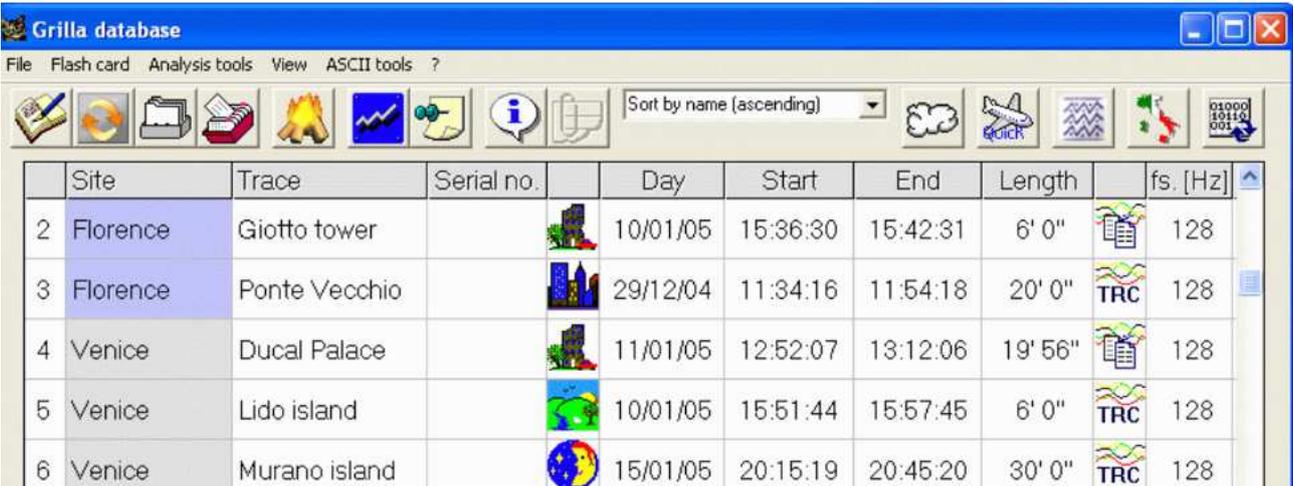
L'elaborazione dei dati acquisiti è stata effettuata avvalendosi di un software dedicato (Grilla), utile per il trasferimento, archiviazione ed analisi delle tracce acquisite con il sismometro. Le cinque registrazioni acquisite sono state trasferite al database del software per poterle successivamente elaborare. Il passaggio successivo è stato l'analisi, impostando i parametri relativi a:

- la lunghezza della traccia da analizzare
- la dimensione della finestra temporale in cui suddividere la registrazione
- l'intervallo di frequenza all'interno del quale calcolare lo spettro H/V

Si è scelto di analizzare l'intero segnale in 25 minuti e il rapporto spettrale H/V è stato calcolato all'interno del range di frequenza 0,1-64 Hz.

Insieme al grafico relativo allo spettro H/V, il software fornisce:

1. Una rappresentazione grafica delle singole componenti del moto del suolo, il cui andamento è significativo nel discernere i contrasti d'impedenza sismo-stratigrafica da qualunque evento di origine antropica
2. Il grafico *H/V stability*, che permette di visualizzare il segnale in finestre temporali, per poter eliminare eventuali transienti costituiti da rumori transitori
3. Il grafico Directional HVSR, che consente di indagare l'eventuale direzione azimutale assunta dai picchi rispetto al Nord.



The screenshot shows the 'Grilla database' software window. The title bar reads 'Grilla database'. The menu bar includes 'File', 'Flash card', 'Analysis tools', 'View', 'ASCII tools', and '?'. The toolbar contains various icons for file operations, analysis, and visualization. A dropdown menu is set to 'Sort by name (ascending)'. Below the toolbar is a table with the following data:

	Site	Trace	Serial no.	Day	Start	End	Length	fs. [Hz]
2	Florence	Giotto tower		10/01/05	15:36:30	15:42:31	6' 0"	128
3	Florence	Ponte Vecchio		29/12/04	11:34:16	11:54:18	20' 0"	128
4	Venice	Ducal Palace		11/01/05	12:52:07	13:12:06	19' 56"	128
5	Venice	Lido island		10/01/05	15:51:44	15:57:45	6' 0"	128
6	Venice	Murano island		15/01/05	20:15:19	20:45:20	30' 0"	128

Figura 7 Esempio del database di Grilla

3. CASO STUDIO: PUOS D'ALPAGO

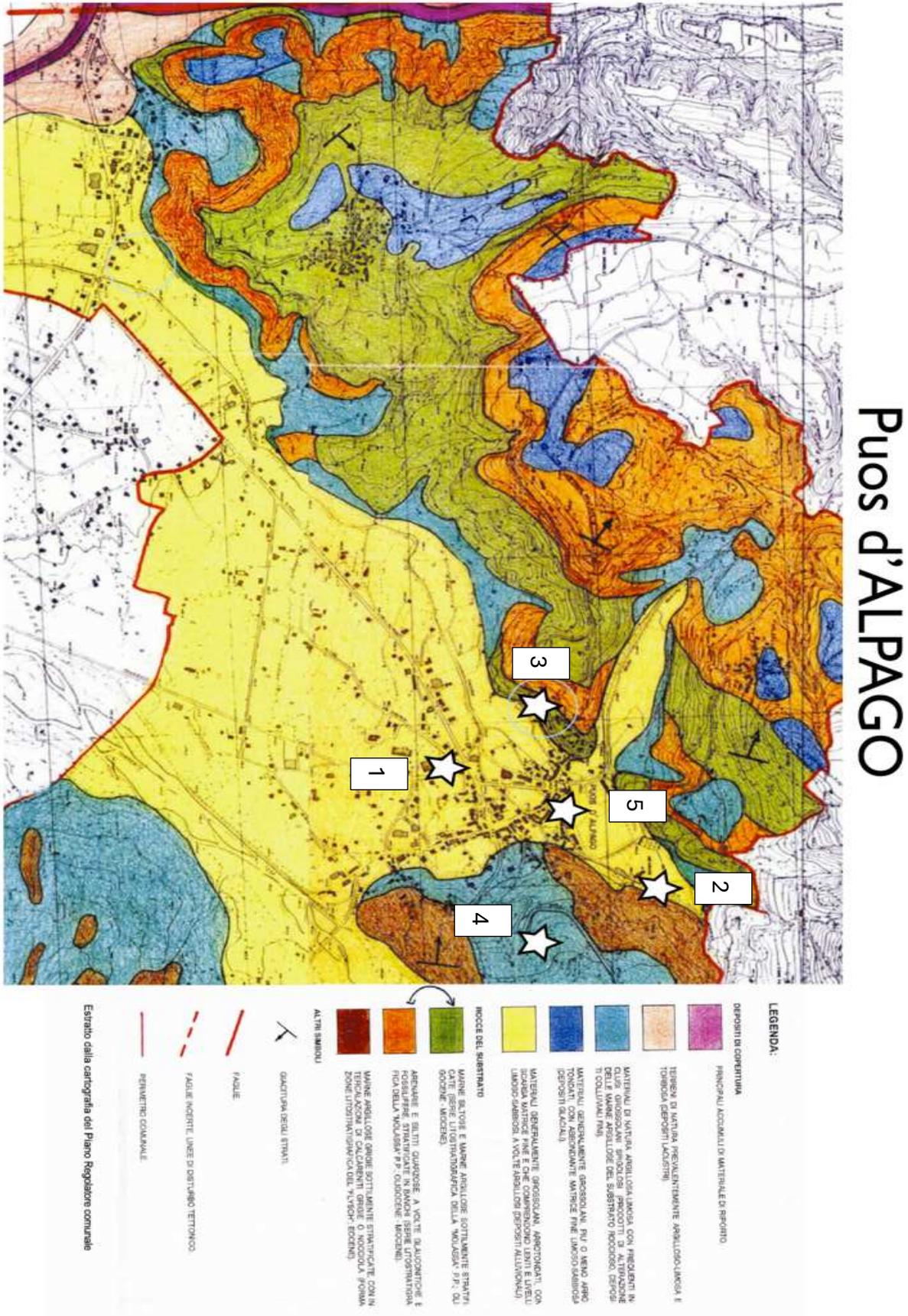


Figura 7 Estratto Cartografia del PRC

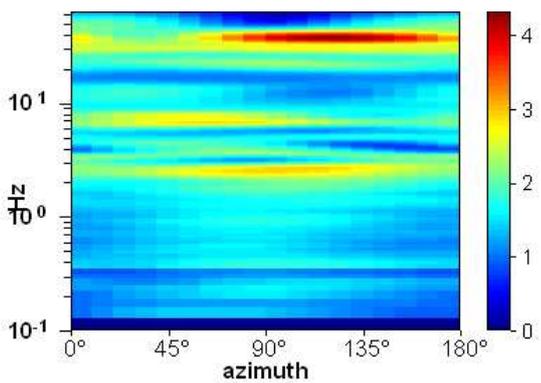
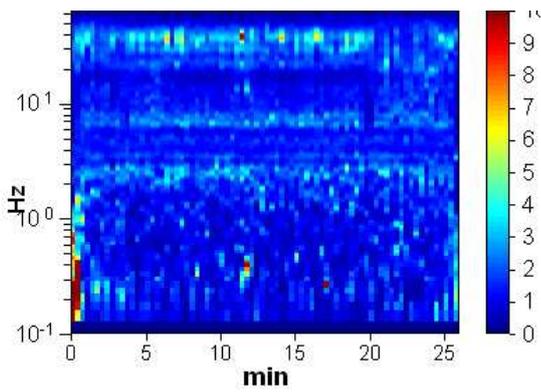
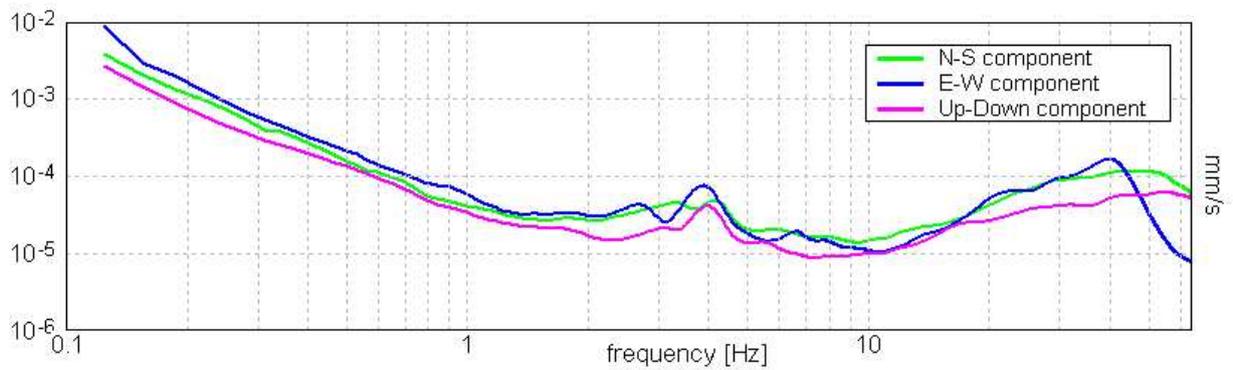
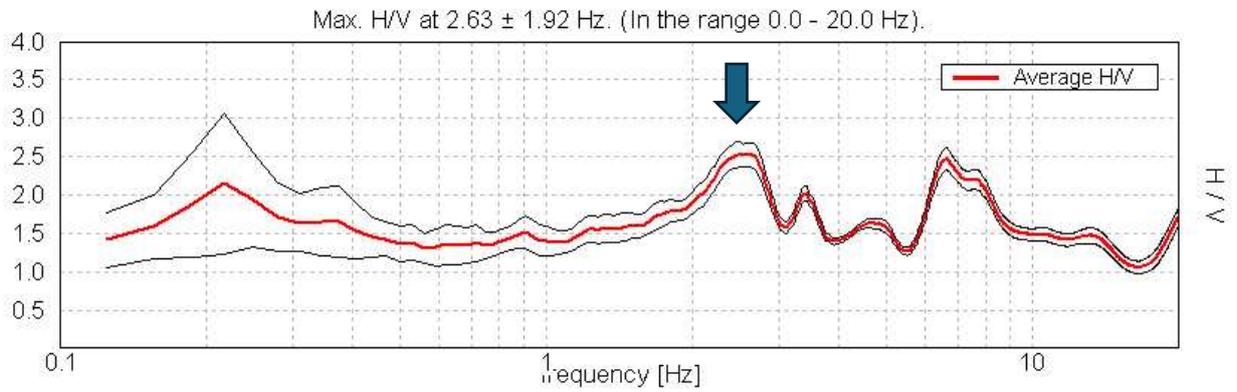
Come è possibile notare dall'immagine precedente, estratta dalla Cartografia del Piano Regolatore Comunale, sono state eseguite le cinque misurazioni indicate in cartina con lo scopo di ricavare la frequenza di risonanza dei vari siti in esame.

Queste rilevazioni sono state registrate intorno al centro abitato di Puos d'Alpago (punti 1,2,3,4) in modo da ricostruire un elaborato che rappresentasse il picco della curva H/V.

Inoltre è stata eseguita un'ulteriore rilevazione sul campanile del centro abitato e sul suo rispettivo sito (punto 5).

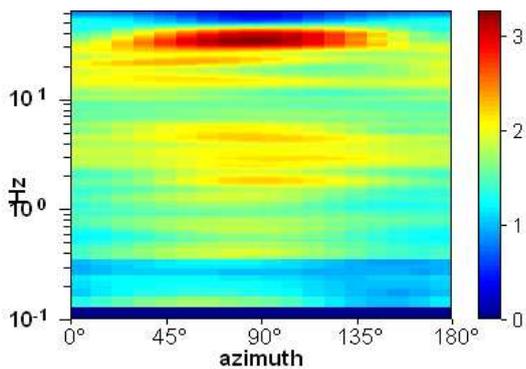
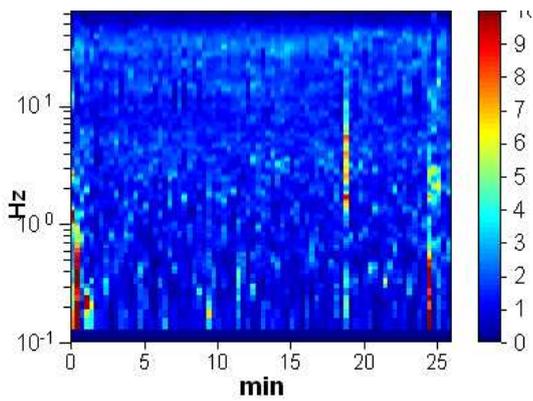
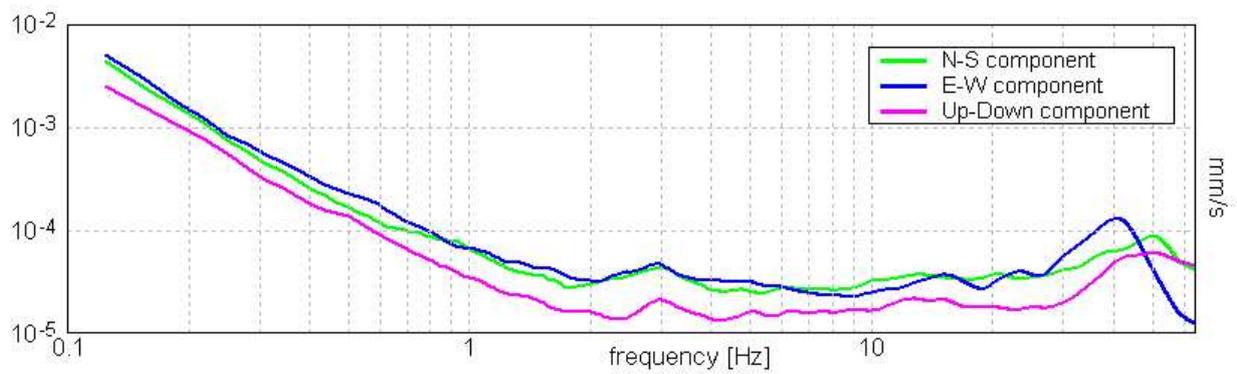
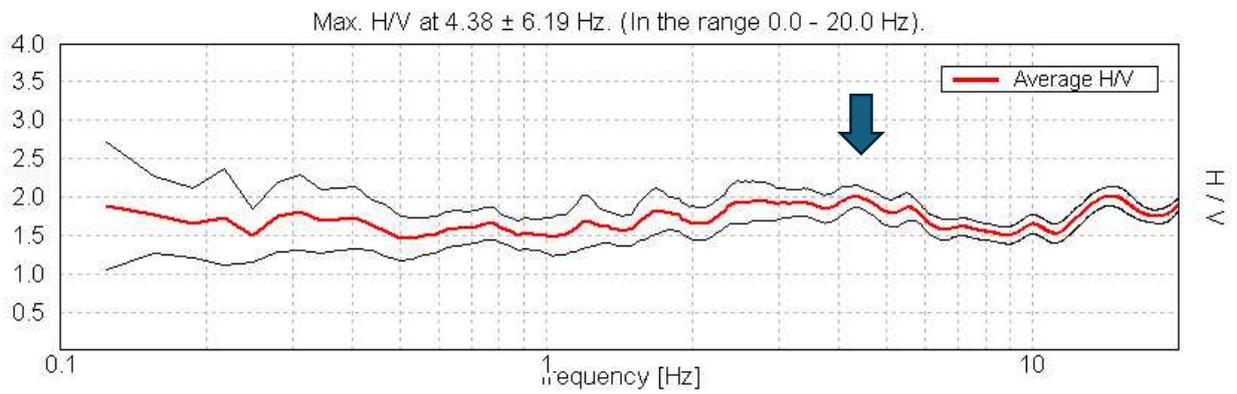
4. RISULTATI

Punto 1



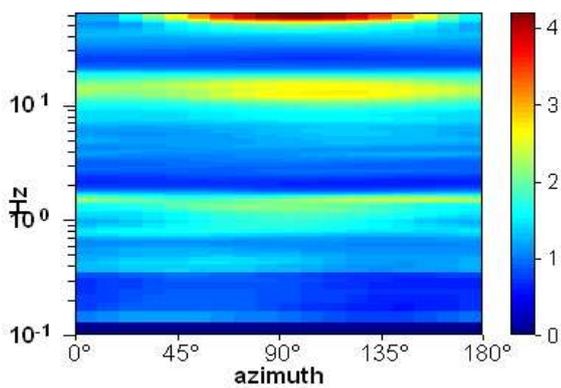
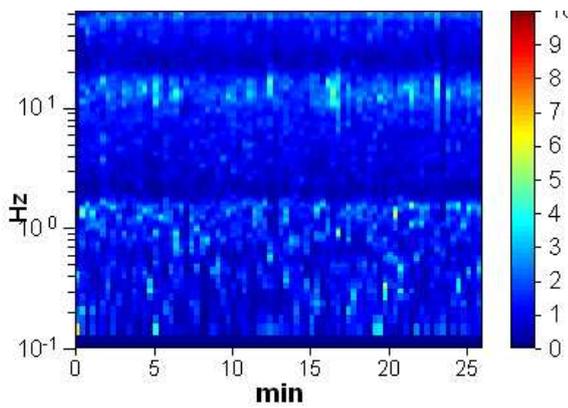
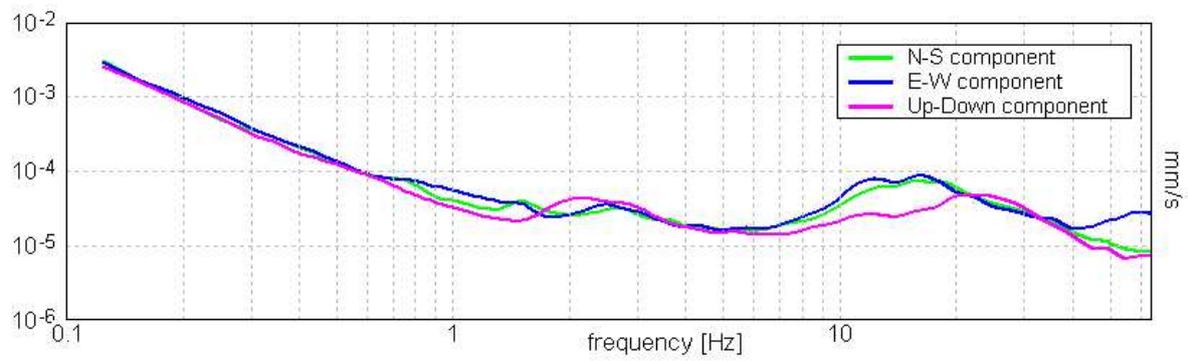
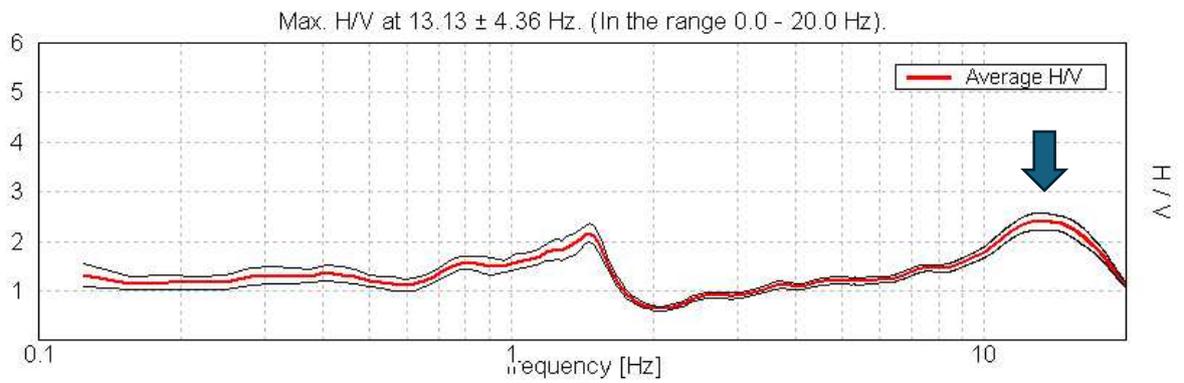
F0 (Hz)
$2,63 \pm 1,92$

Punto 2



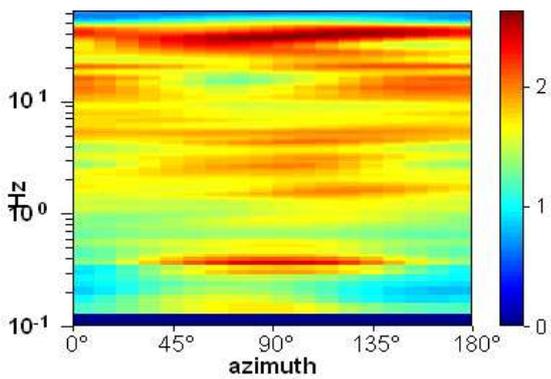
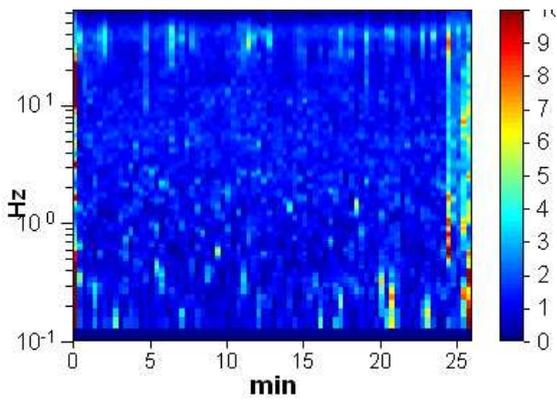
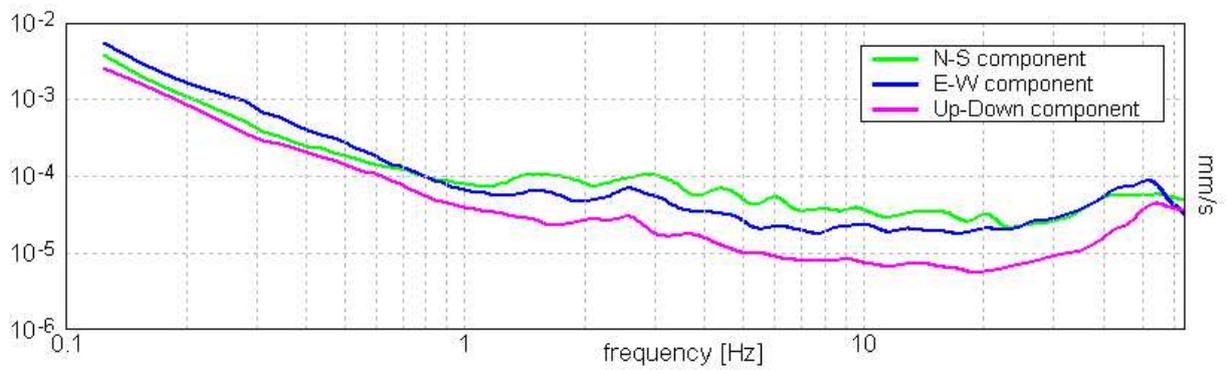
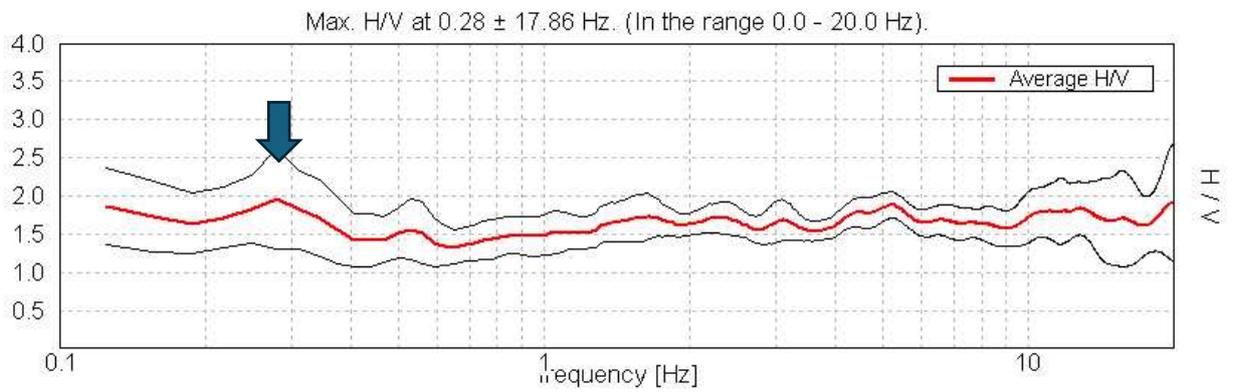
F0 (Hz)
$4,38 \pm 6,19$

Punto 3



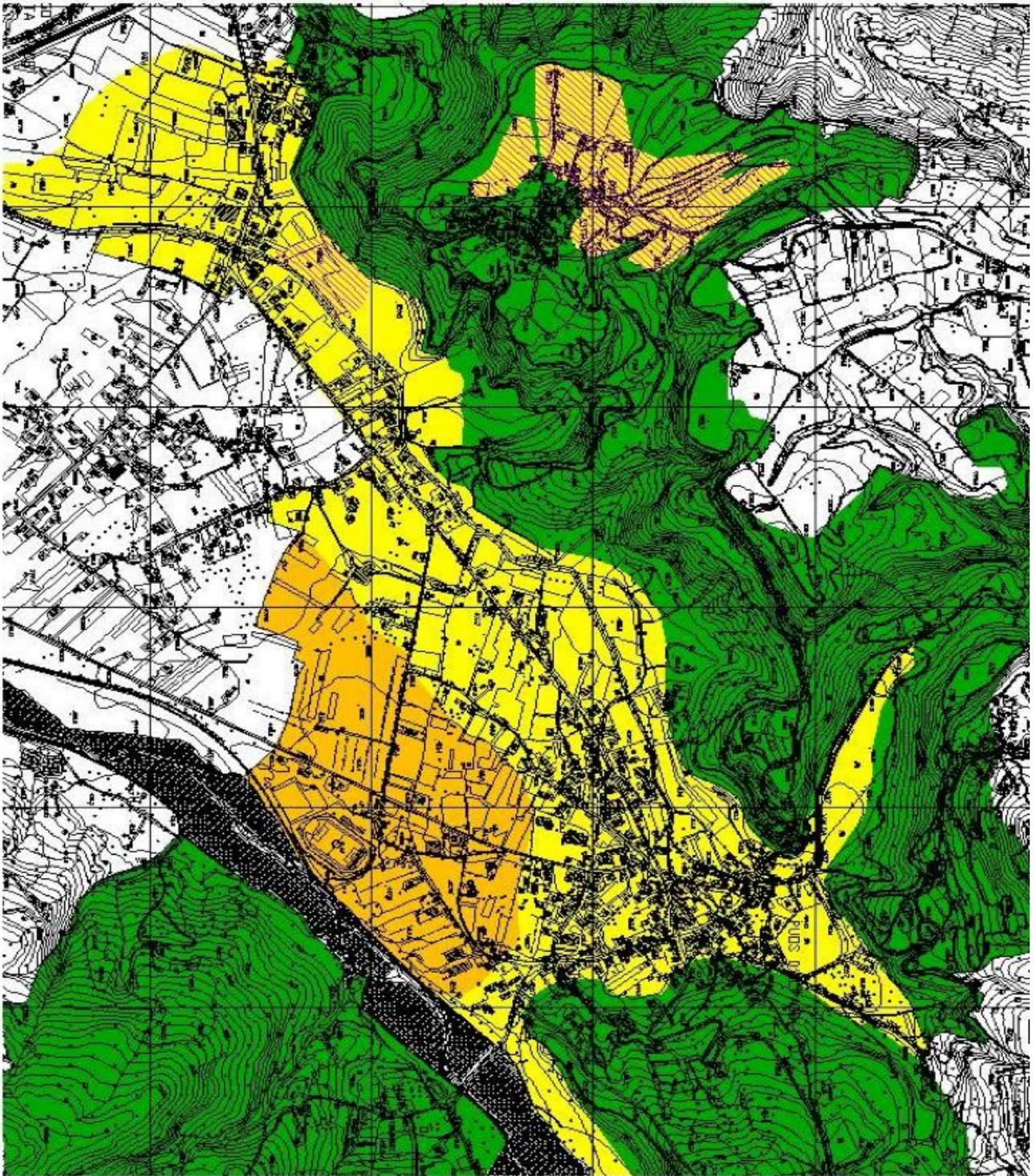
F0 (Hz)
$13,13 \pm 4,36$

Punto 4



F0 (Hz)
$0,28 \pm 17,86$

Elaborato Cartografico H/V-Picco

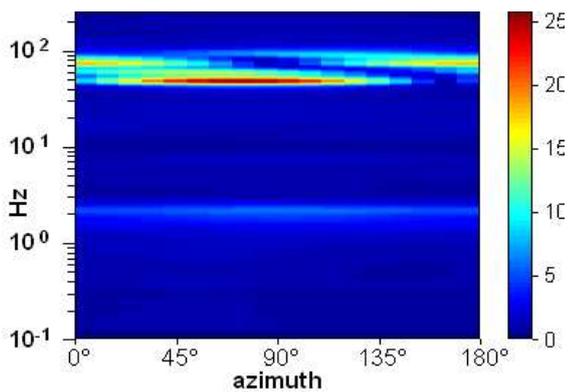
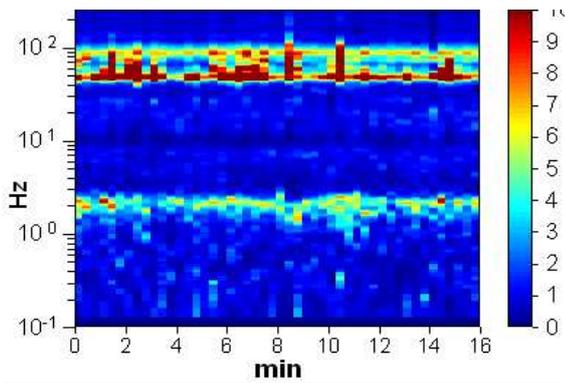
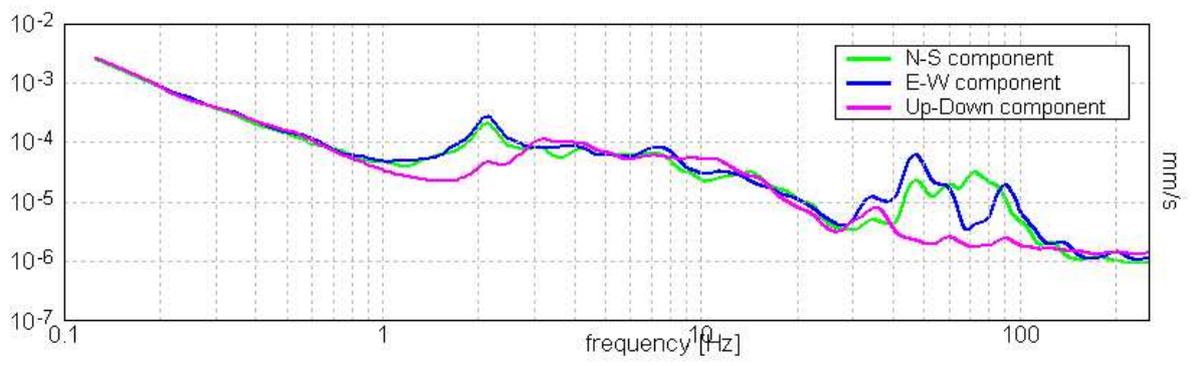
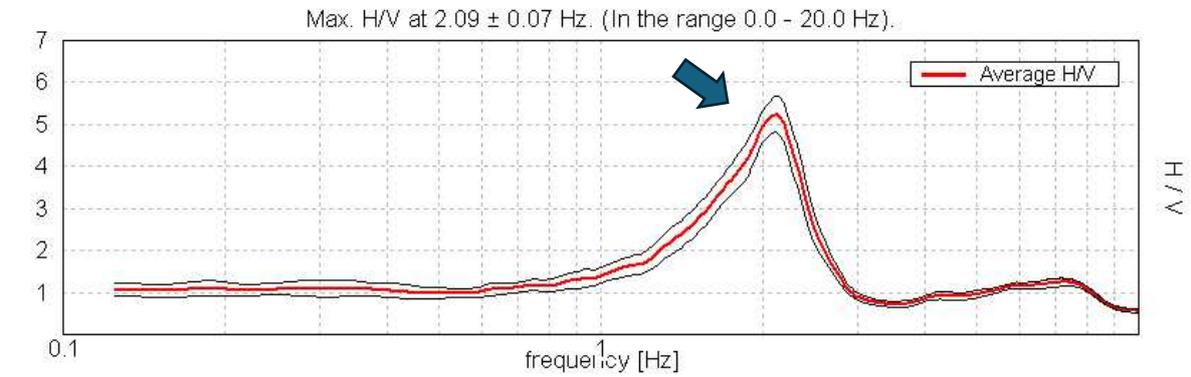


LEGEND

	FLAT SPECTRUM
	PEAK at 1,4 Hz
	PEAK at 2,5 Hz
	PEAK at about 10 Hz

Punto 5 - Campanile

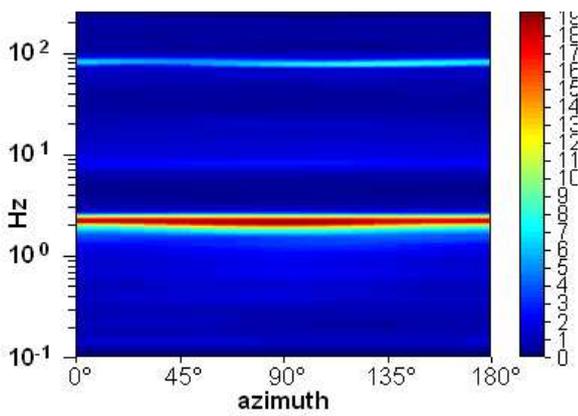
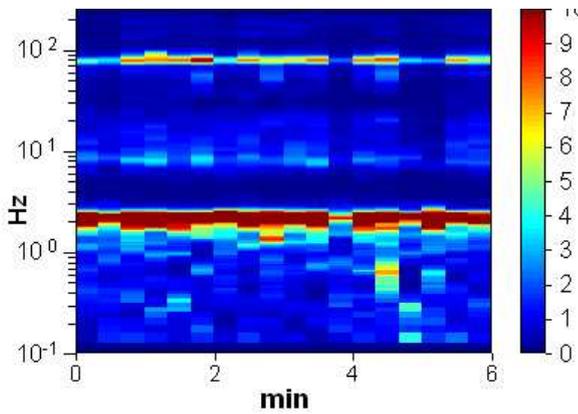
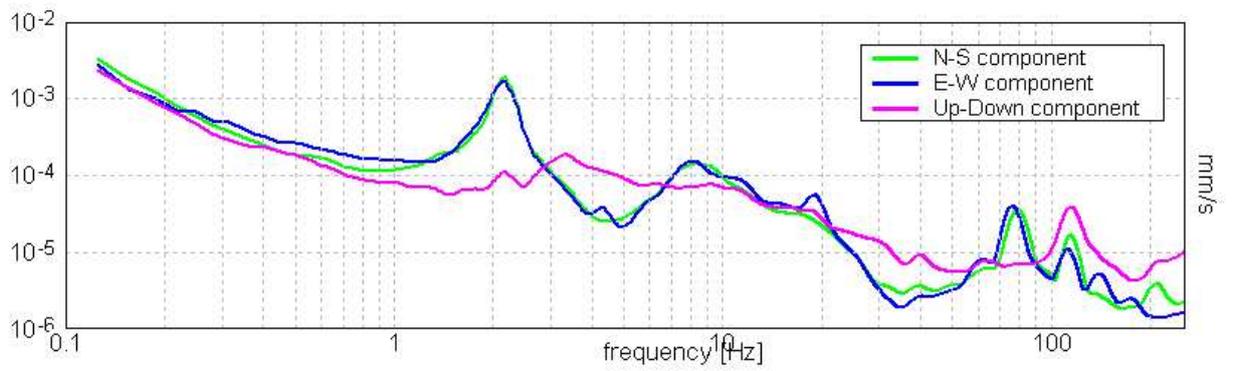
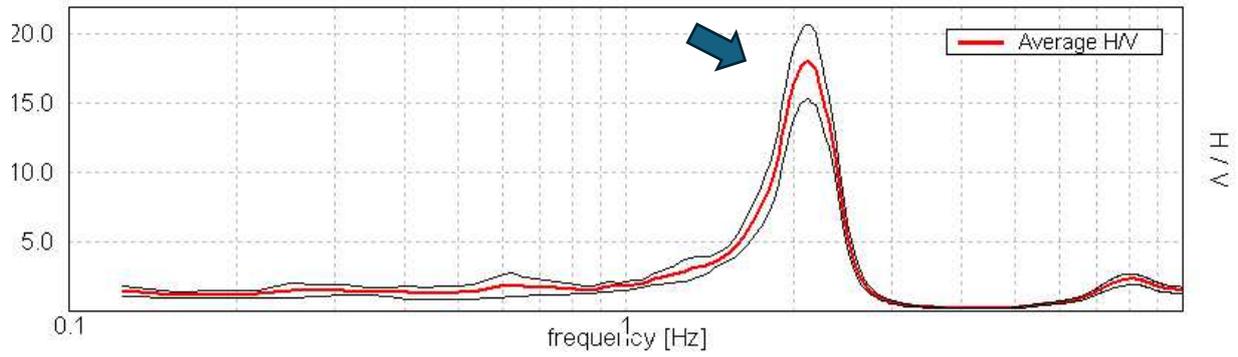
BASE DEL CAMPANILE



F0 (Hz)
$2,09 \pm 0,07$

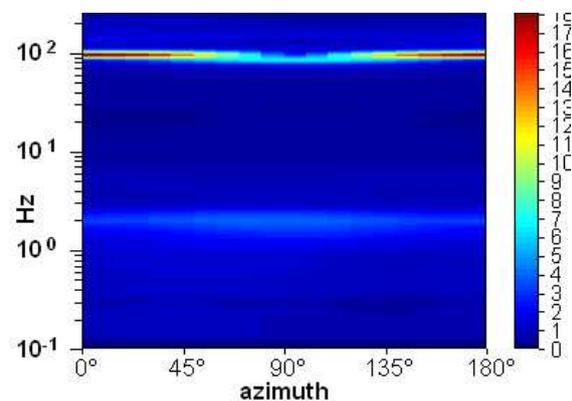
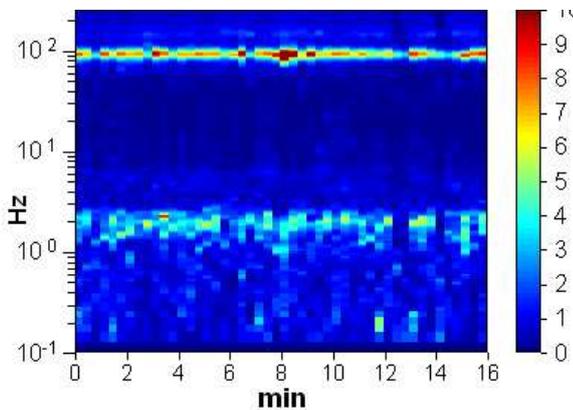
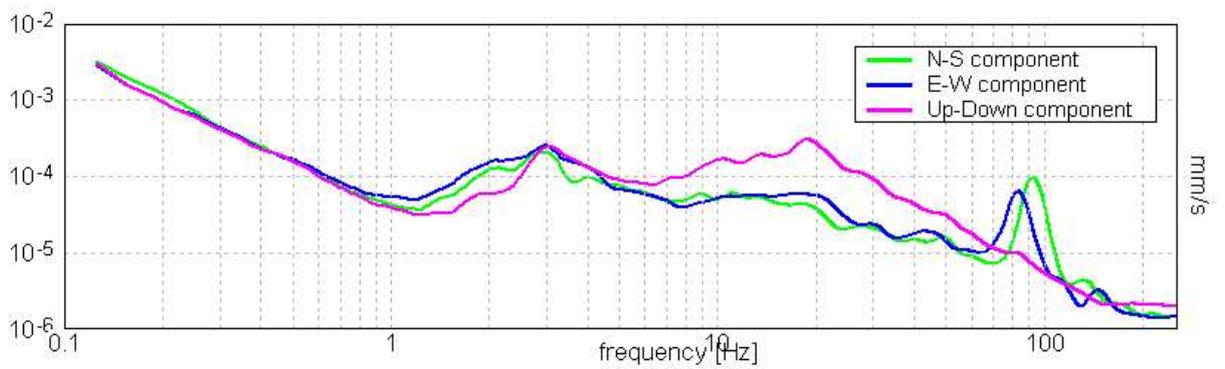
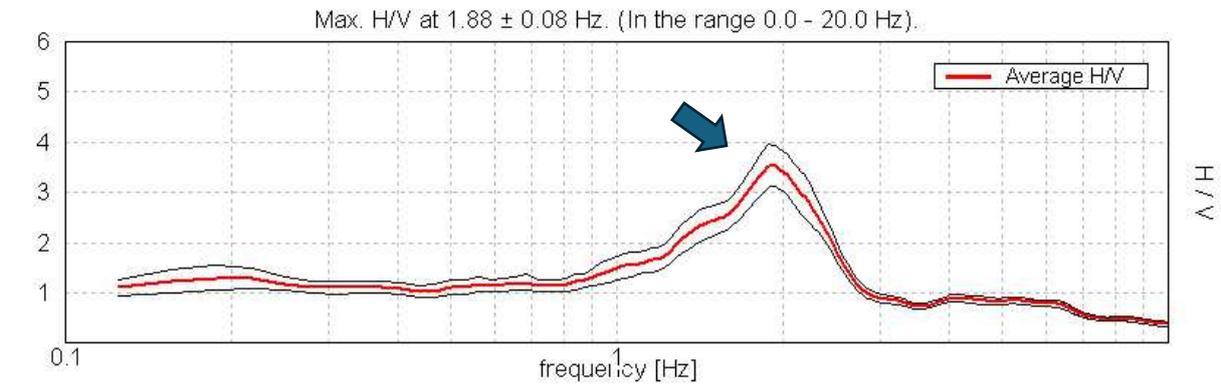
4° LIVELLO DEL CAMPANILE

Max. H/V at 2.13 ± 0.03 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



F0 (Hz)
$2,13 \pm 0,03$

SITO DEL CAMPANILE



F0 (Hz)
$1,88 \pm 0,08$

Le analisi effettuate sulla struttura del campanile del centro di Puos d'Alpago evidenziano una frequenza di vibrazione propria dell'edificio di circa 2 Hz. Essa risulta molto vicina alla frequenza di risonanza del sito di circa 1,88 Hz. Questo è un tipico esempio della possibilità che si verifichi un fenomeno di doppia risonanza, che potrebbe essere molto pericoloso per il fabbricato in caso di sisma.

5. CONCLUSIONI

In conclusione questo lavoro ha cercato di enfatizzare l'importanza delle precedenti misurazioni, che potrebbero risultare estremamente utili per evitare il crollo di un edificio in caso di sisma e per capire se un fabbricato già esistente necessita di opere di consolidamento.

Inoltre questo elaborato ha lo scopo di promuovere questa metodologia di indagine sismica, la quale, essendo una tecnica passiva, è totalmente non invasiva, molto rapida, presenta costi bassi poiché non necessita né di perforazioni né di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale. Essa può raggiungere profondità di esplorazione assai più grandi di quelle raggiungibili con tecniche di sismica attiva ed è applicabile ovunque anche in presenza di forti disturbi antropici.

A tutti gli effetti si tratta di una misura semplice che richiede un solo operatore e consente di misurare, in maniera sufficientemente accurata, un parametro indispensabile al giorno d'oggi: la frequenza di risonanza. Infatti, questo valore è assolutamente necessario non solo per la progettazione di nuovi edifici, che, tenendo in considerazione questa informazione, impedirà il verificarsi di fenomeni di doppia risonanza, ma anche per la verifica di fabbricati già esistenti.

6. SITOGRAFIA

<https://www.intrageo.it/geofisica/la-tecnica-hvsr/>

<http://www.geomagellan.it/sismicahvsr.php#:~:text=La%20tecnica%20dei%20rapporti%20spettrali,presente%20ovunque%20sulla%20superficie%20terrestre.>

<https://www.geologs.it/21-ultimi-articoli/72-misure-hvsr-con-tromino>

<https://webthesis.biblio.polito.it/12323/1/tesi.pdf>

<https://www.gomeeting.eu/tecniche-di-sismica-passiva/#:~:text=La%20tecnica%20HVSR%20viene%20impiegata,fondamentale%20di%20Orisonanza%20del%20sottosuolo.>