



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile



REGIONE VENETO



CONFERENZA DELLE REGIONI E  
DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 27

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Livello 2

### Relazione Illustrativa

## Regione Veneto

### Comune di Castello di Godego



|         |                       |                    |
|---------|-----------------------|--------------------|
| Regione | Soggetto realizzatore | Data<br>marzo 2018 |
|         |                       |                    |

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. PREMESSA .....                                                         | 1  |
| 2. NUOVE INDAGINI GEOFISICHE .....                                        | 3  |
| 3. CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI DEPOSITI .....                      | 5  |
| 4. CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA DI II° LIVELLO .....                   | 8  |
| 4.1. Premessa.....                                                        | 8  |
| 4.2. Valutazione degli effetti morfologici .....                          | 9  |
| 4.2.1. Zona di scarpata .....                                             | 9  |
| 4.3. Valutazione degli effetti litologici.....                            | 12 |
| 4.4. Liquefazione.....                                                    | 15 |
| 4.5. Cedimenti differenziali .....                                        | 16 |
| 4.6. Sovrapposizione di più instabilità.....                              | 16 |
| 5. SINTESI E CONSIDERAZIONI FINALI .....                                  | 17 |
| 5.1. Premessa.....                                                        | 17 |
| 5.2. Proposta di Prescrizioni normative .....                             | 17 |
| 5.2.1. Modalità di applicazione degli approfondimenti .....               | 18 |
| 5.2.2. Aree con effetti morfologici di scarpata.....                      | 20 |
| 5.2.3. Zone suscettibili di instabilità per liquefazione .....            | 21 |
| 5.2.4. Zone suscettibili di instabilità per cedimenti differenziali ..... | 22 |
| 5.3 Zone interessate da faglie attive e capaci .....                      | 22 |
| 6. BIBLIOGRAFIA .....                                                     | 24 |

# 1. PREMESSA

Su incarico del Comune di Castello di Godego è stato redatto lo studio di Microzonazione Sismica (MS) di 2° livello nell'ambito del Piano degli Interventi (P.I.). Lo studio è stato predisposto ai sensi della DGR 1572/2013: *“Definizione di una metodologia teorica e sperimentale per l'analisi sismica locale a supporto della pianificazione. Linee Guida Regionali per la microzonazione sismica. (D.G.R. 71/2008, D.G.R. 2877/2008 e D.lgs. 163/2006 e abrogazione D.G.R. n. 3308/08)”* e dello specifico Allegato A): *“Linee guida per l'esecuzione di studi di Microzonazione Sismica”*.

Lo studio di 2° livello fa riferimento allo studio di microzonazione di 1° livello del Comune di Castello di Godego, redatto dagli scriventi ed al quale si rimanda per tutte le informazioni di carattere generale e più specifiche, come quelle riguardanti l'esecuzione ed interpretazione delle misure geofisiche.

Lo studio di 1° livello è stato redatto facendo riferimento alle seguenti direttive:

- *“Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica”* – Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della Protezione Civile - Anno 2008.
- *“Standard di rappresentazione e archiviazione informatica - Specifiche tecniche per la redazione in ambiente GIS degli elaborati cartografici della microzonazione sismica”* Ver 4.0b Ottobre 2015 - Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica.
- *“Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC)”* Vers. 1.0 - 2015 - Commissione tecnica per la Microzonazione Sismica.

Il medesimo studio di 1° livello è stato articolato nelle seguenti fasi principali:

- Raccolta dati relativi a studi, perizie e rilievi geologici-geomorfologici-idrogeologici, indagini geognostiche e geofisiche nel territorio comunale.
- Analisi in chiave sismologica della cartografia geologica comunale relativa al P.R.G e al P.A.T.
- Ricostruzione della sismicità storica del territorio e riconoscimento di eventuali strutture potenzialmente sismogenetiche, o in grado di generare amplificazioni sismiche. Definizione dei parametri sismologici del territorio comunale (Magnitudo attesa, PGA ecc.) attraverso la consultazione dei cataloghi e dati forniti dagli enti istituzionali.
- Esecuzione ed elaborazione di nuove indagini geofisiche
- Sintesi di tutti i dati raccolti
- Elaborazione della cartografia e relativi commenti

Lo studio di 2° livello si è articolato in una rivisitazione di tutte le indagini raccolte per la redazione dello studio di 1° livello, nella raccolta di ulteriori indagini geognostiche e nell'esecuzione di nuove indagini geofisiche. In particolare, sono stati presi in considerazione i seguenti aspetti:

- Valutazione dell'amplificazione sismica per effetti litologici
- Valutazione dell'amplificazione sismica per effetti morfologici;
- Distribuzione delle frequenze di risonanza dei terreni
- Definizione di zone con possibili fenomeni di liquefazione
- Definizione di zone interessate da cedimenti differenziali.

Infine, sulla base di quanto emerso dagli studi di 1° e 2° livello, sono state proposte delle prescrizioni normative, finalizzate alla riduzione del rischio sismico, in un territorio contraddistinto da una sismicità medio-elevata e nel quale l'assetto geologico-stratigrafico presenta delle situazioni predisponenti l'insorgere di amplificazioni del moto sismico.

## 2. NUOVE INDAGINI GEOFISICHE

Al fine di caratterizzare con maggiore dettaglio il sottosuolo dal punto di vista sismico ed analizzare quelle aree dove lo studio di 1° livello aveva evidenziato delle carenze, sono state eseguite delle indagini geofisiche utilizzando le seguenti metodologie:

- analisi delle onde di superficie con tecnica denominata “MASW” per determinare la velocità delle onde di taglio (onde “S”);
- studio del rumore sismico ambientale con tecnica HVSr.

Per quanto riguarda gli aspetti teorici e le modalità esecutive relative a queste metodologie, si rimanda a quanto illustrato nello studio di Microzonazione di 1° livello.

La prospezione geofisica, eseguita sul terreno nei mesi di febbraio e marzo 2018, si è articolata in:

- N° 5 profili sismici con tecnica MASW
- N° 12 stazioni di misura del rumore sismico ambientale con tecnica HVSr.

L'ubicazione delle indagini sismiche è riportata nella Carta delle indagini, mentre nella tabella seguente sono riportate le geometrie adottate dei profili sismici MASW eseguiti.

| <b>Codice Profilo MASW</b> | <b>Ubicazione</b> | <b>Lunghezza (m)</b> | <b>Passo inter-geofonico (m)</b> | <b>Source offset (m)</b> |
|----------------------------|-------------------|----------------------|----------------------------------|--------------------------|
| <b>026013L12</b>           | Via Vegre         | 69                   | 3                                | 6 - 9                    |
| <b>026013L13</b>           | Via Vegre         | 69                   | 3                                | 3 - 6                    |
| <b>026013L14</b>           | Le Motte di sotto | 69                   | 3                                | 6 - 9                    |
| <b>026013L15</b>           | Via Avenali       | 69                   | 3                                | 6 - 9                    |
| <b>026013L16</b>           | Viottolo Pagnana  | 69                   | 3                                | 6 - 9                    |

Tabella 1: ubicazione e parametri dei profili MASW

Per l'acquisizione degli impulsi sismici è stato usato un sismografo digitale a 24 tracce, modello “Geode”, della Ditta EG & G GEOMETRICS, 24 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5 Hz e 24 geofoni orizzontali con frequenza propria di 4,5 Hz. Il tempo di registrazione è stato fissato, per ogni registrazione, pari a 2 secondi, con intervallo di campionamento di 0,5 ms. Come sorgente di energia sismica è stata utilizzata una massa battente. La registrazione dei dati è avvenuta su personal computer portatile, collegato al sismografo.

L'elaborazione dei dati sismici è stata eseguita utilizzando il programma winMASW, vers. 5.2 Professional. In sintesi, l'elaborazione si articola nei seguenti passaggi principali:

- Implementazione del file di registrazione (dataset) e delle caratteristiche geometriche del profilo;
- determinazione dello spettro di velocità;
- modellazione diretta dello spettro e generazione del modello di velocità delle Vs;
- eventuale costruzione della curva di dispersione (picking) ed inversione della curva di dispersione.

Il risultato finale di tali elaborazioni consiste in un diagramma nel quale è riportato l'andamento della velocità delle onde di taglio in funzione della profondità. Nelle figure allegate sono illustrate, per ogni profilo sismico, le immagini relative ai passaggi sopraelencati.

L'elaborazione dei dati sismici acquisiti con tecnica MASW, ha consentito di formulare le seguenti correlazioni tra velocità sismiche delle onde di taglio e tipologia di terreni presenti nelle prime decine di metri di profondità.

| <b>Tipologia</b>                                   | <b>Velocità onde S<br/>( m/s )</b> |
|----------------------------------------------------|------------------------------------|
| Terreni superficiali sciolti                       | 100 - 200                          |
| Depositi alluvionali poco addensati                | 200 – 350                          |
| Depositi alluvionali mediamente addensati          | 400 – 550                          |
| Depositi alluvionali molto addensati e/o cementati | 550 – 750                          |

Tabella 2: intervalli di velocità delle onde di taglio misurate per i vari litotipi

Si vuole qui ricordare che i risultati dell'indagine geofisica derivano da prove indirette e, pertanto, non va loro attribuito il medesimo valore di quello derivante da prove dirette. Le correlazioni proposte tra le velocità sismiche e le diverse tipologie, hanno quindi un valore indicativo e derivano da considerazioni di carattere geofisico, da quanto desumibile dal quadro geologico locale e dal confronto con dati stratigrafici desumibili da sondaggi geognostici diretti.

### 3. CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI DEPOSITI

La carta delle frequenze naturali dei terreni è stata predisposta indicando per ogni stazione di misura il valore di frequenza di risonanza misurato e definendo la dimensione dei simboli cartografici in base all'ampiezza del picco di risonanza. La carta è comunque predisposta utilizzando tutte le HVSR (stazioni di misura del rumore sismico ambientale) disponibili, che sono risultate 27 in totale.

Le misure eseguite nel corso di questa indagine, sono state effettuate con un sismografo modello SR04S3 "Geobox" prodotto dalla Ditta SARA S.r.l.. Si tratta di un tromografo digitale avente un intervallo di acquisizione sulle frequenze da 0,1 a 100 Hz, dotato di sistema di acquisizione digitale ad alta risoluzione (24 bit). Lo strumento viene posizionato sul terreno orientandolo verso il Nord magnetico ed assicurandone la livellazione micrometrica tramite bolla di precisione, agendo sui tre punti di appoggio. Lo strumento è gestito da p.c. portatile per mezzo del software "Seismowin", fornito dalla ditta costruttrice. Le stazioni di misura hanno avuto, in media, una durata di 20 minuti; la frequenza di campionamento è stata mantenuta pari a 200 Hz.

I dati acquisiti sono stati trattati con il software di elaborazione di microtremiti "Geopsy" (Sesame Projet), in accordo con le direttive europee del progetto SESAME per il trattamento e l'elaborazione delle tecniche di analisi di rumore sismico a stazione singola. I segnali acquisiti sono stati suddivisi in finestre temporali di 20 s. Dal computo spettrale sono stati esclusi gli eventi transienti più evidenti, legati al rumore antropico.

Va ricordato che dai rapporti spettrali ricavati con questa metodologia non è possibile stabilire i fattori di amplificazione sismica, per la valutazione dei quali necessitano analisi più complesse.

Nella Tabella 3, sono riportati i risultati di tutte le misure HVSR eseguite, mentre in allegato compaiono i diagrammi relativi alle misure eseguite nel corso della presente indagine (dal N° P88 al N° P99).

L'esame dei grafici delle misure, della tabella e della carta delle frequenze naturali permette di fare le seguenti considerazioni generali.

- a) Nella maggior parte delle misure eseguite, i diagrammi HVSR mostrano evidenti picchi di risonanza in un intervallo di frequenze compreso tra 7,5 e 15 Hz; le ampiezze dei picchi variano tra 2 e 4. Questi picchi sono espressione di contrasti di impedenza piuttosto superficiali, cioè situati a profondità massime di circa 10 metri e minime di 3 metri circa dal piano campagna. In alcune stazioni di misura si osservano più picchi, ma sempre nel medesimo intervallo di frequenze
- b) Solo nella stazione N° P92 ubicata in Via Avenali, all'estremità nord-orientale del Comune, si osserva anche un picco alla frequenza di 3,5 Hz, correlabile ad un contrasto di impedenza posto a profondità dell'ordine di 30 metri.

Tabella 3: risultati delle misure HVSR

| STAZIONE HVSR | Ubicazione                      | Frequenza (Hz) | Ampiezza |
|---------------|---------------------------------|----------------|----------|
| 026013P46     | Via XXIX Aprile                 | 13,0           | 4,0      |
| 026013P47     | Via Montello                    | 15,0           | 2,2      |
| 026013P48     | Via Alberon                     | 11 _ 15        | 2,9      |
| 026013P49     | Via Sant'Antonio                | 9; 12          | 2,2      |
| 026013P50     | Via Piave                       | 9,5 _ 12       | 2,9      |
| 026013P51     | Case Dussin                     | 8,2            | 4,0      |
| 026013P52     | Via S. Giustina                 | 11,0           | 2,0      |
| 026013P53     | Via Grande, Via Panevecco       | 14,0           | 2,5      |
| 026013P54     | Via Motte                       | 8; 14          | 3,0; 4,0 |
| 026013P55     | Via Alberon                     | 13,0           | 3,4      |
| 026013P56     | Via San Pietro – Case Rosato    | 7,5 _ 11       | 2,6      |
| 026013P57     | Via Paolo Piazza (Scuola media) | 9,5; 14,5      | 2,4, 2,4 |
| 026013P58     | Via Paolo Piazza (Scuola media) | 9 _ 15         | 2,0      |
| 026013P59     | Via Paolo Piazza (Scuola media) | 10,0           | 2,1      |
| 026013P60     | Via Paolo Piazza (Scuola media) | 8,5 _ 11; 15   | 1,8      |
| 026013P88     | Via Ca' Leoncino                | 12; 20         | 2,0; 2,4 |
| 026013P89     | Via Ca' Leoncino                | 11; 16         | 2,6; 2,7 |
| 026013P90     | Via Ca' Leoncino                | 15,0           | 3,5      |
| 026013P91     | Via Alberon                     | 15,0           | 3,4      |
| 026013P92     | Via Avenali                     | 3,5; 9         | 2,1; 3,2 |
| 026013P93     | Via Vegre                       | 9,5; 13        | 2,5; 3,7 |
| 026013P94     | Via del Vallo                   | 9,1; 14        | 2,5; 3,8 |
| 026013P95     | Via Motte – Le Motte di sotto   | 9,5; 15        | 2,4; 2,2 |
| 026013P96     | Viottolo Pagnana                | 7,5 _ 10; 14   | 2,4; 3,5 |
| 026013P97     | Via Postumia                    | 9,5; 13        | 2,1; 2,1 |
| 026013P98     | Via Vegre                       | 8 _ 10; 13     | 2,3; 2,4 |
| 026013P99     | Via San Pietro                  | 9,5            | 3,2      |

- c) Nella tabella e nella carta delle frequenze non sono stati riportati i dati relativi a picchi di risonanza che si collocano a frequenze inferiori ad 1 Hz. Infatti, quasi tutti i diagrammi delle curve HVSR mostrano, un debole picco di risonanza a basse frequenze, di solito comprese tra 0,5 e 0,8 Hz, con ampiezze che oscillano tra valori inferiori a 2 e valori prossimi a 3. Il contrasto di impedenza che genera questi picchi si situerebbe a profondità, dell'ordine di 150 – 250 m dal p.c.. La definizione precisa e l'analisi di questi campi di frequenze, esula dagli scopi di questo studio, sia perché di scarso interesse dal punto di vista ingegneristico, sia perché richiederebbe tempi di registrazione più lunghi e strumentazione più "sensibile". In linea generale, si può solo considerare che in assenza di dati stratigrafici di taratura è difficile definire la natura di questo contrasto di impedenza acustica; in prima approssimazione, visto il quadro geologico generale dell'area, è ipotizzabile che si tratti di un passaggio a depositi più addensati o cementati, forse correlabili ad una diversa fase deposizionale delle alluvioni.

## 4. CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA DI II° LIVELLO

### 4.1. Premessa

Lo studio di Microzonazione Sismica di II° livello del Comune di Castello di Godego è stato redatto sulla base delle prescrizioni contenute nella DGR 1572/2013. Oltre alle indicazioni previste dall'allegato A) della suddetta delibera, sono state analizzate le condizioni specifiche del territorio comunale individuando gli elementi oggetto di approfondimento nell'ambito della MS di II° livello.

Nella tabella seguente (ripresa dalla fig. 2 dell'allegato A della Delibera) viene esplicitata, per ogni singola tipologia di instabilità/amplificazione, la presenza sul territorio comunale e le procedure applicate nel presente studio.

Tabella 4: procedure di microzonazione sismica

| SIGLA | Scenario di pericolosità                                                                                                                                        | Presenza nel territorio | Procedura utilizzata                                            |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| P1a   | Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi                                                                                                                 | NO                      |                                                                 |
| P1b   | Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti                                                                                                             | NO                      |                                                                 |
| P1c   | Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana                                                                                                        | NO                      | .                                                               |
| P2a   | Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti quali depositi altamente compressibili, ecc.                                                            | NO                      | .                                                               |
| P2b   | Zona con depositi granulari fini saturi                                                                                                                         | SI                      | Valutazione delle stratigrafie                                  |
| P2c   | Zona caratterizzata da coltri di terreno di riporto o che hanno subito riempimenti antropici                                                                    | SI                      | Sopralluoghi e mappatura                                        |
| P3a   | Linea di ciglio H>10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di cava, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc...)                                      | SI                      | Analizzate le amplificazioni e stimate sulla base degli abachi. |
| P3b   | Zona di cresta e/o cocuzzolo: appuntita – arrotondata                                                                                                           | NO                      |                                                                 |
| P4a   | Zona di fondovalle ampie e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi                                            | SI                      | Calcolati i valori di FA ed FV                                  |
| P4b   | Zona di fondovalle stretta ( $C>0.25$ ) od in presenza di forme geometriche sepolte tali da non permettere di considerare il modello geologico monodimensionale | NO                      |                                                                 |
| P4c   | Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre                                                                           | NO                      |                                                                 |
| P4d   | Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)                                                                     | NO                      | .                                                               |
| P4e   | Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale                                                                               | NO                      |                                                                 |
| P5a   | Linea di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse                                                  | NO                      |                                                                 |

| SIGLA | Scenario di pericolosità                                                       | Presenza nel territorio | Procedura utilizzata |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------|
| P5b   | Zona ove sono presenti o potenzialmente presenti cavità sotterranee o sinkhole | NO                      |                      |

## 4.2. Valutazione degli effetti morfologici

Il territorio comunale di Castello di Godego è pianeggiante ed i soli elementi morfologici significativi sono rappresentati dalle fosse di cava di inerti e dalle relative scarpate. La valutazione di questi elementi geometrici è stata effettuata tramite sopralluoghi mirati e l'analisi della Carta Tecnica Regionale che, pur con i limiti di precisione propri di questo supporto, ha permesso di effettuare stime e valutazioni sugli effetti legati alle amplificazioni di tipo morfologico.

I limiti di questa valutazione, come già accennato, sono insiti nella precisione della cartografia; per approfondimenti ed affinamenti dei fattori di amplificazione specifici per ogni sito, si dovranno eventualmente effettuare rilievi topografici in grado di meglio definire la geometria ed i limiti delle scarpate e dei relativi cigli.

### 4.2.1. Zona di scarpata

Le zone di scarpata che possono essere suscettibili di amplificazioni morfologiche devono possedere dei parametri che superano specifici limiti dimensionali esplicitati in modo semplificato dalla seguente figura tratta dall'Allegato A) della DGR 1572/2013.

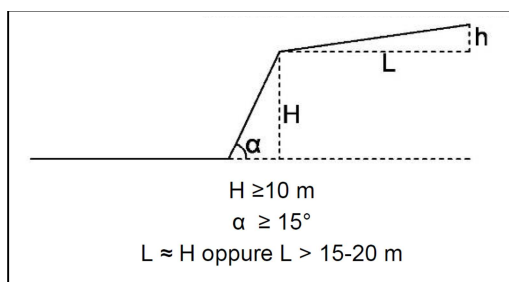


Figura 1: criteri di riconoscimento delle scarpate suscettibili di amplificazioni morfologiche

In pratica l'altezza deve essere maggiore di 10 metri e contemporaneamente l'angolo del pendio deve superare i  $15^\circ$ , inoltre il fronte superiore deve essere pari almeno all'altezza della scarpata o comunque non inferiore ai 15-20 metri.

I fattori di amplificazione legati alle caratteristiche geometriche delle scarpate sono riassunte nella seguente tabella (Figura 2).

| Fattore di amplificazione per effetto morfologico |                        |            |                   |
|---------------------------------------------------|------------------------|------------|-------------------|
| Classe altimetrica                                | Classe di inclinazione | Fa 0.1-0.5 | Area di influenza |
| 10 m < H < 20 m                                   | 15° < $\alpha$ < 90°   | 1.1        | Ai = H            |
| 20 m < H < 40 m                                   | 15° < $\alpha$ < 90°   | 1.2        | Ai = 3/4 H        |
| H > 40 m                                          | 15° < $\alpha$ < 20°   | 1.1        | Ai = 2/3 H        |
|                                                   | 20° < $\alpha$ < 40°   | 1.2        |                   |
|                                                   | 40° < $\alpha$ < 60°   | 1.3        |                   |
|                                                   | 60° < $\alpha$ < 70°   | 1.2        |                   |
|                                                   | $\alpha$ > 70°         | 1.1        |                   |

Figura 2: criteri di assegnazione dei Fattori di amplificazione

Gli elementi esplicitati in tabella sono noti con l'eccezione dell'area di influenza Ai che rappresenta la fascia di amplificazione situata a monte del ciglio della scarpata e la cui ampiezza è indicata nell'ultima colonna della tabella.

Il Fattore di amplificazione diminuisce spostandosi dal ciglio per raggiungere l'unità alla base della scarpata e, verso monte, sino al limite dell'area di influenza Ai.

È importante sottolineare che l'amplificazione complessiva di sito (amplificazione morfologica + amplificazione litostratigrafica) si ottiene con il prodotto dei due Fa specifici e non con la somma.

Di seguito si riportano i valori dei parametri utilizzati per il calcolo del fattore di amplificazione relativamente alle zone di scarpata nelle aree di cava.

| Ubicazione cave                                  | H (m) | $\alpha(^{\circ})$ | Fa  | Ai (m) |
|--------------------------------------------------|-------|--------------------|-----|--------|
| <i>Via Pagnana</i><br>(loc. case Candiotto)      | 10    | 33-35              | 1,1 | 10     |
| <i>Viottolo Pagnana</i><br>(Castelfranco Veneto) | 30-35 | 33-35              | 1,2 | 23     |

Nella Figura 3 è riportato un esempio cartografico dei fattori di amplificazione lungo la scarpata della cava dismessa di Via Pagnana. In Figura 4 si riporta un altro estratto della Carta di Microzonazione, opportunamente ingrandito, in cui è visibile la piccola area di influenza derivante dalla cava dismessa presente a confine con il comune di Castelfranco Veneto (confine sud). In questo caso il margine della scarpata è al di fuori dei confini comunali mentre l'area di amplificazione morfologica ricade in parte all'interno del comune di Castello di Godego.

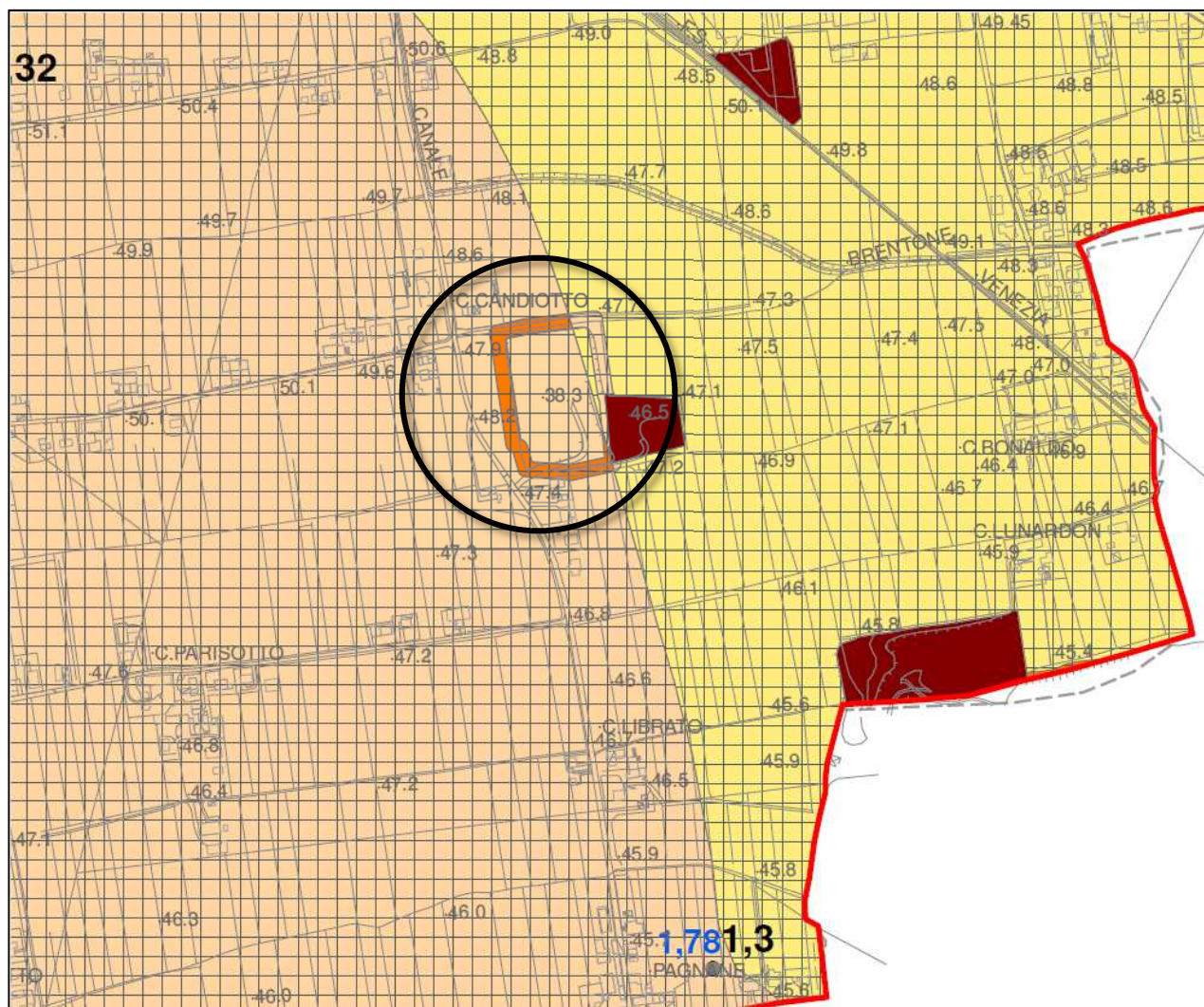


Figura 3: estratto della carta di Microzonazione Sismica di 2° livello. Esempio di andamento del fattore di amplificazione FA in caso di scarpate di cava

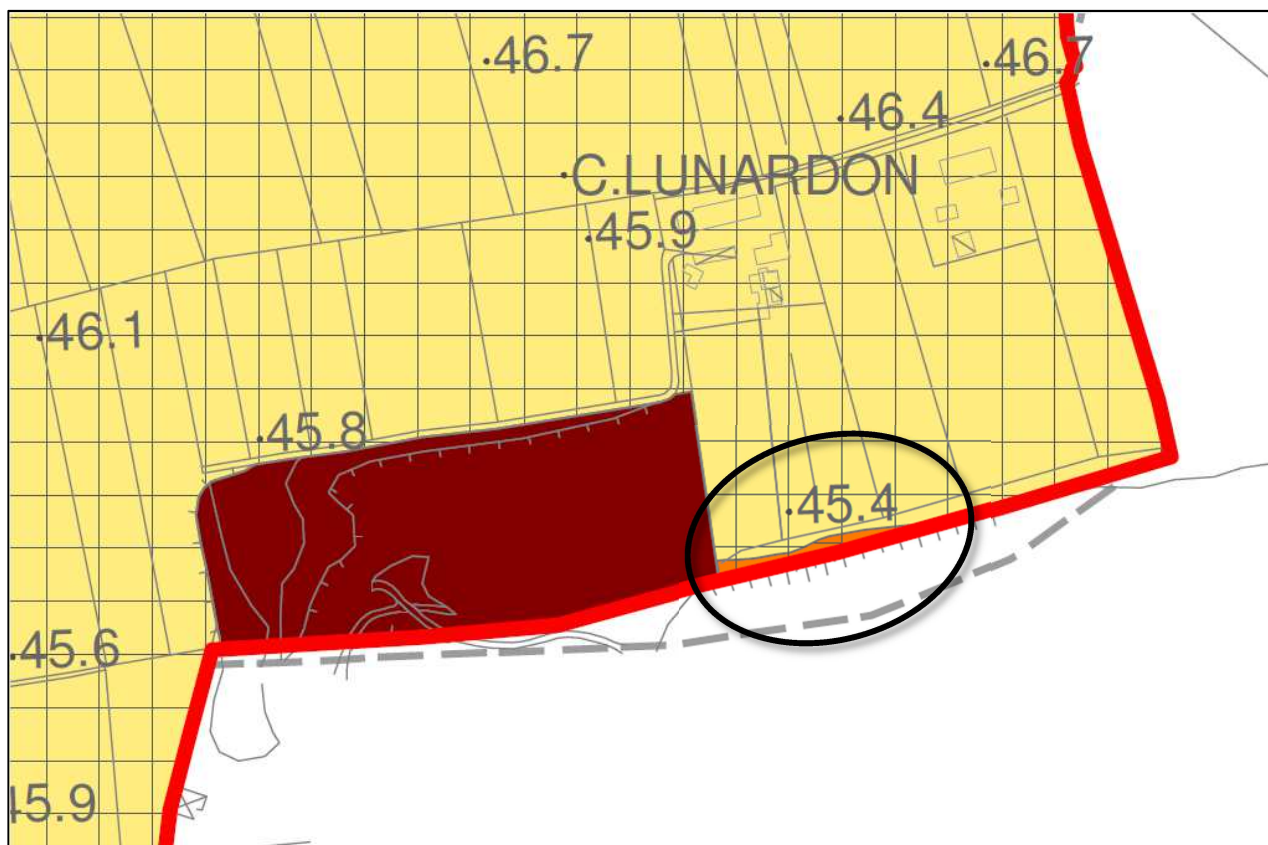


Figura 4: estratto ingrandito della carta di Microzonazione Sismica di 2° livello. Esempio di andamento del fattore di amplificazione FA in caso di scarpate di cava posta al di fuori del confine comunale

Alcune di queste fasce di amplificazione collegate alle zone di scarpata si sovrappongono alle aree con amplificazione litostratigrafica provocando di conseguenza un incremento del fattore di amplificazione, che derivando dal prodotto dei due termini, può assumere valori significativi.

#### 4.3. **Valutazione degli effetti litologici**

Per la valutazione degli effetti litologici, la normativa vigente, indica che per la microzonazione di 2° livello, si deve fare ricorso a metodi semplificati che prevedono l'uso di abachi. Allo stato attuale non essendo disponibili abachi specifici per la Regione Veneto, come indicato nella DGRV n. 1572 del 3 settembre 2013 – Allegato A, si sono utilizzati quelli inseriti nel Volume *"Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica"* della Protezione Civile Nazionale.

Gli abachi forniscono due valori di amplificazione sismica FA ed FV così definiti

- a) **FA** : fattore di amplificazione a basso periodo (determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione)

b) **FV** : fattore di amplificazione a periodo proprio (per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità).

Per la valutazione di FA ed FV è necessario conoscere la litologia prevalente del sottosuolo nel sito considerato, l'andamento della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) con la profondità e la profondità del bedrock sismico. Gli abachi sono costruiti per tre diversi profili di velocità nel sottosuolo:

Profilo 1: velocità costante ( $V_{SH}$ ) lungo tutto lo spessore del deposito

Profilo 2: velocità crescente con la profondità con il gradiente massimo

Profilo 3: profilo di velocità crescente con la profondità con gradiente intermedio tra i due precedenti

L'utente sulla base delle conoscenze geologiche e geofisiche dell'area deve scegliere quale profilo è più idoneo a rappresentare la situazione in esame. Per i territori considerati nel corso del presente studio è stato utilizzato il profilo con gradiente massimo.

Infine, gli abachi forniscono i valori di amplificazione per tre classi di ag: 0,06g, 0,18g, 0,26g. Per il Comune di Castello di Godego sono stati sempre utilizzati gli abachi riferiti al valore di 0,18g.

La stima dei Fattori di amplificazione litostratigrafici è stata ottenuta tramite i valori di  $V_s$  ricavati dalle prove MASW, le quali hanno portato a definire la velocità media delle onde di taglio della copertura entro i primi 30 metri di profondità. Tale valore è stato inserito negli abachi, anche se a rigore, si dovrebbe inserire la  $V_s$  media relativa a tutto lo spessore dei terreni soprastanti il substrato sismico, la quale, probabilmente, ha un valore maggiore della  $V_{s30}$ ; tale scelta è stata fatta a favore della sicurezza. Per quanto riguarda il substrato sismico, non ne sono note la profondità e la velocità delle onde di taglio: è stato quindi ipotizzato che il substrato si trovi ad una profondità di 150 metri dal p.c., valore massimo previsto dagli abachi e che, comunque, potrebbe avere anche un riscontro fisico, vista la presenza di un debole picco di risonanza nei diagrammi delle misure HVSR, ad una frequenza variabile tra 0,5 e 0,8 Hz circa.

Relativamente alla litologia, gli abachi nazionali prevedono tre tipologie di depositi sciolti: ghiaie, sabbie e argille. Nelle necessarie semplificazioni per poter utilizzare gli abachi stessi è stata sempre scelta la tipologia "ghiaiosa".

Le elaborazioni effettuate con la metodologia descritta hanno consentito di ricavare i valori riportati nella tabella 5 e riportati nella carta di Microzonazione Sismica, dove le classi di FA sono state scelte in funzione del limitato intervallo di valori interpretati per il territorio in esame.

Come si vede, i valori dei fattori di amplificazione FA sono simili, poiché variano da un minimo pari a 1,26 ad un massimo pari 1,32. I valori leggermente più alti si trovano nei settori orientale e sudoccidentale del Comune. Considerando la metodologia utilizzata per ottenere questi valori e le limitazioni indicate in precedenza, si può affermare che, dal punto di vista della sola

amplificazione litostratigrafica, il sottosuolo ha un comportamento omogeneo su tutto il territorio comunale.

Per quanto riguarda i valori di FV, il range di variazione è leggermente maggiore, visto che si passa da valori minimi di 1,62 a valori massimi pari a 1,98

Tabella 5: Valori di FA e FV ricavati dagli abachi

| <b><i>Codice Profilo MASW</i></b> | <b><i>FA</i></b> | <b><i>FV</i></b> |
|-----------------------------------|------------------|------------------|
| <b>026013L1</b>                   | <b>1,31</b>      | <b>1,85</b>      |
| <b>026013L2</b>                   | <b>1,29</b>      | <b>1,73</b>      |
| <b>026013L3</b>                   | <b>1,27</b>      | <b>1,68</b>      |
| <b>026013L4</b>                   | <b>1,26</b>      | <b>1,65</b>      |
| <b>026013L5</b>                   | <b>1,30</b>      | <b>1,77</b>      |
| <b>026013L6</b>                   | <b>1,30</b>      | <b>1,77</b>      |
| <b>026013L7</b>                   | <b>1,30</b>      | <b>1,77</b>      |
| <b>026013L8</b>                   | <b>1,29</b>      | <b>1,72</b>      |
| <b>026013L9</b>                   | <b>1,24</b>      | <b>1,62</b>      |
| <b>026013L10</b>                  | <b>1,30</b>      | <b>1,77</b>      |
| <b>026013L11</b>                  | <b>1,26</b>      | <b>1,67</b>      |
| <b>026013L12</b>                  | <b>1,33</b>      | <b>1,98</b>      |
| <b>026013L13</b>                  | <b>1,32</b>      | <b>1,77</b>      |
| <b>026013L14</b>                  | <b>1,32</b>      | <b>1,90</b>      |
| <b>026013L15</b>                  | <b>1,31</b>      | <b>1,86</b>      |
| <b>026013L16</b>                  | <b>1,30</b>      | <b>1,78</b>      |

#### 4.4. Liquefazione

Il fenomeno della liquefazione dei terreni si può verificare in concomitanza con eventi sismici e condizioni stratigrafiche specifiche e consiste nel quasi totale annullamento della resistenza a taglio del terreno con comportamento assimilabile ad un fluido.

In caso di sisma viene prodotta nel terreno una serie di cicli tali da far eguagliare la pressione interstiziale alla pressione di confinamento e annullando in pratica la resistenza al taglio. Poiché la pressione di confinamento si incrementa con la profondità, l'effetto di liquefazione, per la tipologia di terremoti caratteristici dell'area in esame, si ritiene non possa manifestarsi ad una profondità maggiore di quindici metri dal piano campagna.

Come si evince dal paragrafo 7.11.3.4.2 del D.M. 17.01.2018, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di  $0,1g$  ;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa ;
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella seguente figura (Figura 6) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e  $U_c > 3,5$ .

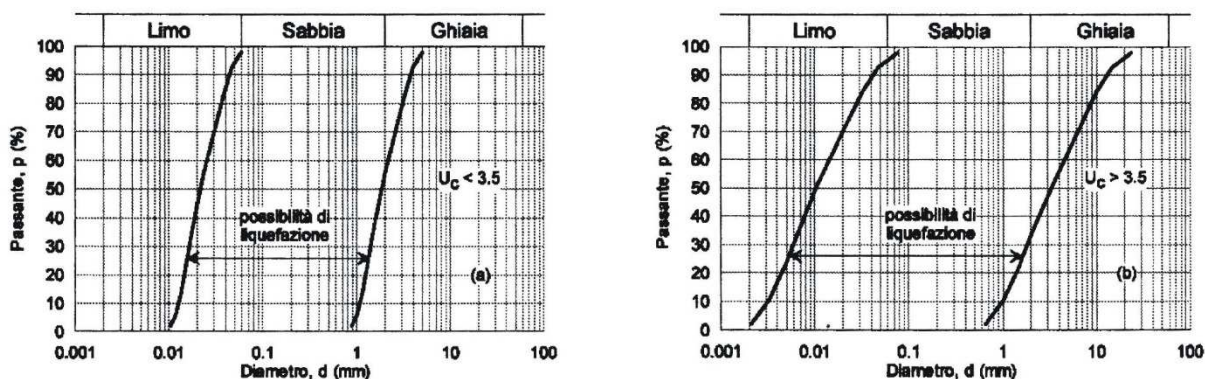


Figura 6: Fusi granulometrici dei terreni suscettibili a liquefazione.

Nella zona situata nella fascia meridionale del Comune, la posizione della superficie freatica e la possibile presenza di specifici termini granulometrici, rende la colonna di sedimenti potenzialmente liquefacibile anche se, in mancanza di dati geotecnici precisi e “profondi”, questa valutazione risulta difficoltosa.

I dati geognostici censiti derivano principalmente dall'esecuzione di prove penetrometriche, mentre sono assenti i sondaggi geognostici di adeguata profondità e con stratigrafia

sufficientemente attendibile. Come è noto, le prove penetrometriche, pur fornendo utili parametri per l'esecuzione di verifiche con metodi semplificati, hanno il "difetto" di arrestarsi in corrispondenza di livelli ghiaiosi, con l'evidente impossibilità di investigare a profondità maggiori. Nel territorio esaminato, queste prove si arrestano quasi sempre a pochi metri di profondità.

Nella Carta di Microzonazione è stato riportato il limite dell'area (desunto dallo studio di 1° livello), all'interno della quale i terreni potenzialmente possono dare luogo ad effetti di liquefazione. Infatti, con i dati disponibili, si può solo segnalare la possibile esistenza di condizioni predisponenti la liquefazione, in relazione alla presenza della falda a profondità inferiori a 15 metri dal p.c., alla possibile presenza di terreni sabbiosi, e accelerazioni massime attese al piano campagna maggiori di 0,1 g.

Per valutare la reale possibilità che tale fenomeno possa innescarsi, dovranno essere eseguite specifiche indagini, in fase progettuale delle costruzioni. In particolare, le indagini geognostiche dovranno verificare la composizione del sottosuolo: nel caso che la granulometria dei terreni ed il loro grado di addensamento non consentano di escludere l'insorgere di tale fenomeno, si dovrà procedere alla valutazione del rischio di liquefazione ed alla stima degli effetti in termini di cedimenti permanenti post-sismici.

#### **4.5.        *Cedimenti differenziali***

Sono state inserite in questa categoria le aree riconosciute come interessate da precedenti attività di estrazione di inerti; allo stato attuale, alcune aree non evidenziano sostanziali evidenze morfologiche e quindi, probabilmente, sono state colmate con altra tipologia di materiale, mentre altre conservano la morfologia della cava e sono state interessate da parziale riporto sul fondo della cava stessa.

Non conoscendo la qualità e tipologia dei terreni di riempimento, si è preferito segnalare questa situazione assegnando la zona di attenzione per cedimenti differenziali in caso di sisma, i quali potrebbero essere dovuti sia allo scarso addensamento, sia alla presenza di sedimenti a granulometria fine da ricollegarsi a depositi di limi di lavaggio degli inerti.

#### **4.6.        *Sovrapposizione di più instabilità***

Si sono registrati pochi casi localizzati di sovrapposizione di instabilità, legati alla presenza contemporanea di instabilità per liquefazione e instabilità per cedimenti differenziali.

## 5. SINTESI E CONSIDERAZIONI FINALI

### 5.1. **Premessa**

La D.G.R.V. n. 1572 del 03.09.2013 *“Definizione di una metodologia teorica e sperimentale per l'analisi sismica locale a supporto della pianificazione. Linee Guida Regionali per la microzonazione sismica. (D.G.R. 71/2008, D.G.R. 2877/2008 e D.lgs. 163/2006 e abrogazione D.G.R. n. 3308/08)”* stabilisce che per definire la carta di microzonazione sismica, il territorio comunale sia mappato secondo la seguenti tipologie:

**aree “stabili”**, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di rilievo di alcuna natura (substrato geologico posto a profondità inferiore a 3 metri con morfologia piatta o semipianeggiante);

**aree “stabili suscettibili di amplificazioni sismiche”**, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale;

**aree “suscettibili di instabilità”**, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni del territorio (non sono necessariamente esclusi per queste zone anche fenomeni di amplificazione del moto). Le principali cause di instabilità sono: instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive, cedimenti differenziali.

Nell'Allegato A) alla DGRV n. 1572/2013 *“Linee guida per l'esecuzione di studi di Microzonazione Sismica”* sono specificate più in dettaglio queste tre categorie.

Le risultanze dello studio di Microzonazione Sismica di 1° livello, hanno permesso di stabilire che nell'ambito del territorio comunale non esistono aree classificate come Aree “stabili”, *nelle quali non si ipotizzano effetti locali di rilievo.*

Lo studio di Microzonazione Sismica di 2° livello, si è basato sulla rielaborazione delle indagini geognostiche e geofisiche pregresse e sull'esecuzione di nuove indagini geofisiche. Il territorio comunale è stato così suddiviso in aree con Fattori di amplificazione diversificati in relazione alle condizioni morfologiche, litostratigrafiche e geofisiche.

Relativamente alle aree di instabilità per azione sismica, è stata presa in esame la zona suscettibile di instabilità per liquefazione dei terreni, che era stata identificata nel corso dello studio di 1° livello. Sono state inoltre cartografate alcune limitate aree caratterizzate da potenziali cedimenti differenziali.

### 5.2. **Proposta di Prescrizioni normative**

Nel territorio oggetto del presente studio tutti gli interventi che prevedano nuove costruzioni, modifiche strutturali, ampliamenti, ristrutturazioni e opere infrastrutturali dovranno essere progettati adottando i criteri antisismici di cui al D.M. 17.01.2018 Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” ed alle eventuali ss.mm.ii. relative agli argomenti specifici.

In considerazione della situazione sismica e geologica del Comune di Castello di Godego, contraddistinto da condizioni litostratigrafiche predisponenti l'amplificazione e dal rischio potenziale di sismi di magnitudo medio-elevata, si è ritenuto opportuno definire il grado di approfondimento delle indagini sismiche, da effettuare in sede di progetto, facendo riferimento alla classificazione degli edifici prevista dalle N.T.C. ed alla normativa regionale inerente gli edifici e opere di interesse strategico ai fini di protezione civile e rilevanti per l'uso.

La microzonazione riportata in cartografia, basata sui Fattori di amplificazione elaborati con abachi e metodi semplificati, deve essere utilizzata come approccio preliminare per stimare la possibile amplificazione sismica e per programmare la tipologia di indagini da effettuare.

La scelta della metodologia e della quantità di indagini, dovrà essere commisurata all'importanza dell'opera e, in ogni caso, dovrà essere adeguatamente motivata.

Sulla base delle considerazioni esposte in precedenza, vista anche la classificazione sismica del Comune di Castello di Godego, si stabiliscono diversi gradi di approfondimento dello studio sismico.

#### **5.2.1. Modalità di applicazione degli approfondimenti**

Il D.M. 17.01.2018, al paragrafo 2.4.2 “*Classi d'uso*”, in presenza di azioni sismiche e con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, suddivide le costruzioni in quattro classi d'uso definite in base alla frequentazione, alla funzione, alle attività e all'utilizzo. Su tutto il territorio comunale dovranno essere effettuate le indagini e gli studi indicati di seguito.

- **Classe I:** *Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.* Per queste costruzioni, in funzione dell'ubicazione e della tipologia, potranno essere utilizzati i dati e le informazioni sismiche contenuti nel presente studio, oppure eseguite indagini come illustrato per gli edifici in classe II.
- **Classe II:** *Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.*

Per queste costruzioni si prevede l'esame dei dati e delle informazioni sismiche contenuti nel presente studio e, quindi, l'applicazione di metodi semplificati per valutare l'amplificazione sismica locale. Per l'applicazione dei metodi semplificati si riporta quanto indicato dal D.M. 17.01.2018, al paragrafo 3.2.2 **Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche** “*Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa,*

*qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità  $V_s$  per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.*

*I valori di  $V_s$  sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.*

Come è noto, la definizione delle categorie di sottosuolo avviene attraverso la determinazione della velocità equivalente  $V_{s30}$ . In relazione alle caratteristiche dei terreni presenti nel sottosuolo, che, di solito, limitano la profondità di indagine delle prove penetrometriche a pochi metri di profondità, si ritiene che la determinazione della velocità delle onde di taglio  $V_s$ , debba essere fatta utilizzando indagini sismiche, in foro (cross-hole, down-hole,) o in superficie (MASW, Re.Mi., ESAC, sismica a rifrazione). Per le indagini in superficie sarà preferibile abbinare l'uso di tecniche attive e passive.

Abbinare alle determinazioni di  $V_s$  si dovranno eseguire anche misure di rumore sismico ambientale a stazione singola (tecnica HVSR), al fine di stabilire la frequenza fondamentale di vibrazione dei terreni (o il periodo proprio), da confrontarsi con le frequenze proprie degli edifici. Le acquisizioni e le elaborazioni di queste misure seguiranno le linee guida del Progetto SESAME.

- **Classe III:** *Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.*
- **Classe IV:** *Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.*

**Per le costruzioni ricadenti nelle classi III e IV** si prevede l'esecuzione di un'analisi della Risposta Sismica Locale (RSL) come indicato al paragrafo 7.11.3.1 del DM 17.01.2018

**Risposta sismica locale:** *“...Omissis.....Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, l'analisi della risposta sismica locale consente quindi di definire le modifiche che il segnale sismico di ingresso subisce, a causa dei suddetti fattori locali. Le analisi di risposta sismica locale richiedono un'adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni, da determinare mediante specifiche indagini e prove”.*

Per l'analisi di RSL dovranno essere acquisiti i parametri necessari alla ricostruzione del modello geotecnico e sismostratigrafico del sottosuolo, con particolare attenzione alla ricostruzione della profondità e della morfologia del substrato rigido o di un deposito ad esso assimilabile. L'analisi di RSL, condotta utilizzando codici di calcolo monodimensionali, bidimensionali o tridimensionali, in funzione dell'assetto strutturale del sottosuolo.

Sempre nel caso di classi di edifici III° e IV° Si vuole sottolineare la necessità di eseguire specifiche indagini sperimentali, tra le quale si suggeriscono:

- esecuzione di sondaggi geognostici per la definizione della successione sismostratigrafica e delle diverse “unità” geotecniche.
- prove sismiche in foro (cross hole, down hole, cono sismico) finalizzate alla conoscenza della velocità delle onde di taglio fino ad una idonea profondità, in funzione dell'opera in progetto e, comunque, se possibile, fino a raggiungere il “bedrock sismico”.
- Prelievo di campioni di terreno e successive analisi di laboratorio per valutare la dipendenza della rigidezza e dello smorzamento dal livello deformativo, e per la determinazione, in dipendenza del legame costitutivo adottato per i terreni, dei parametri di ingresso necessari alle analisi. Le prove di laboratorio possono consistere in prove cicliche di taglio torsionale o di taglio semplice, prove di colonna risonante, prove triassiali cicliche ecc.

La relazione illustrativa delle indagini dovrà contenere i grafici relativi alle misure effettuate ed alla loro interpretazione.

**Le analisi di Risposta Sismica Locale si dovranno applicare anche agli edifici e opere elencati nella DGRV n. 3645 del 28 novembre 2003, Allegati A e B e nel Decreto del capo della Protezione Civile n. 3685 del 21 ottobre 2003 (edifici e opere di interesse strategico ai fini di protezione civile e rilevanti per l'uso).**

Riguardo alla Risposta Sismica Locale da utilizzare in specifiche situazioni, le modalità di applicazione descritte in precedenza, dovranno essere valutate ed eventualmente modificate in relazione al progetto previsto ed alle conoscenze geologico-geofisiche disponibili.

### **5.2.2. Aree con effetti morfologici di scarpata**

Per gli interventi posti all'interno delle aree di influenza delle scarpate individuate in cartografia, così come definite dall'Allegato A della DGRV n. 1572/2013, dovranno essere verificate puntualmente le condizioni topografiche locali, eventualmente ricalcolata l'amplificazione

morfologica e considerata, se presente, in aggiunta alla amplificazione litostratigrafica (si ricorda che l'amplificazione complessiva è generata dal prodotto delle due singole componenti).

### **5.2.3. Zone suscettibili di instabilità per liquefazione**

Gli studi di Microzonazione Sismica eseguiti nel territorio comunale hanno portato a riconoscere che nella fascia meridionale del Comune, potenzialmente, può instaurarsi il fenomeno della liquefazione dei terreni in caso di sisma. Relativamente ai settori settentrionale e centrale del Comune, le caratteristiche dei terreni presenti e la profondità della falda dal piano campagna, portano ad escludere la possibilità che si verifichi questo fenomeno

Nella carta di Microzonazione Sismica è stato riportato il limite dell'area, all'interno della quale i terreni potrebbero generare effetti di liquefazione. Infatti, con i dati disponibili, si può solo segnalare l'esistenza di condizioni predisponenti la liquefazione, in relazione alla presenza della falda a profondità inferiori a 15 metri dal p.c., alla possibile presenza di terreni sabbiosi, e accelerazioni massime attese al piano campagna maggiori di 0,1 g.

Alla luce di queste informazioni e considerando la variabilità laterale e verticale dei terreni che compongono il sottosuolo nella fascia meridionale del Comune, si ritiene di stabilire che, in fase progettuale per qualsiasi tipo di intervento che ricada all'interno delle "Zone suscettibili di instabilità per liquefazione", dovranno essere effettuate le specifiche indagini e verifiche, finalizzate a calcolare il coefficiente di sicurezza nei confronti della liquefazione in condizioni sismiche e valutati i cedimenti permanenti post-sismici, come indicato nel DM 17.01.2018. In questo decreto, a proposito della stabilità nei confronti della liquefazione, il paragrafo 7.11.3.4.3 recita: *"Quando nessuna delle condizioni del § 7.11.3.4.2 risulti soddisfatta e il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbia sciolte sotto falda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili. Salvo utilizzare procedure di analisi avanzate, la verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto. La resistenza alla liquefazione può essere valutata sulla base dei risultati di prove in sito o di prove cicliche di laboratorio. La sollecitazione indotta dall'azione sismica è stimata attraverso la conoscenza dell'accelerazione massima attesa alla profondità di interesse. L'adequatezza del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione deve essere valutata e motivata dal progettista."*

Si ricorda comunque che, secondo le N.T.C., la verifica a liquefazione va fatta sempre.

Nell'eventualità che le verifiche eseguite con metodi semplificati portino a determinare un rischio di liquefazione elevato, le analisi dovranno essere condotte con procedure di livello 3. In ogni

caso, la relazione illustrativa delle indagini dovrà contenere i grafici relativi alle misure effettuate ed alla loro interpretazione.

#### **5.2.4. Zone suscettibili di instabilità per cedimenti differenziali**

Vengono classificate in questa categoria le area di cava ricolmate anche parzialmente con materiali non definiti.

In corrispondenza di queste zone si ritiene di vietare qualsiasi tipo di costruzione appartenente alle classi I, II, III e IV come indicate nel D.M. 14.01.2008. Un'eventuale deroga sarà possibile solo a seguito di un'analisi di livello 3, incentrata sull'esecuzione di specifiche indagini per verificare la reale geometria e volumetria dei materiali riportati e le loro caratteristiche; dovranno poi essere effettuate le opportune modellazioni, per quantificare l'effettiva instabilità del sito. Tale prescrizione deriva dalla considerazione che i terreni presenti in queste zone possiedono condizioni complessive tali da rendere necessaria una approfondita conoscenza delle loro caratteristiche geotecniche, geosismiche, chimiche e chimico-fisiche. Dovranno essere previste indagini con prelievo di campioni sino a profondità congrue con la tipologia degli interventi e, contestualmente, realizzate indagini in situ e sui campioni di materiale estratto; sarà inoltre monitorato il livello di falda. La relazione geologico-sismica dovrà caratterizzare i terreni di riporto intercettati, definire la geometria degli scavi e dei riporti effettuati in passato ed indicare la compatibilità delle trasformazioni previste con la tipologia dei terreni, o gli eventuali interventi atti a eliminare le incompatibilità riscontrate.

### **5.3 Zone interessate da faglie attive e capaci**

Nella Carta Geologico Tecnica relativa allo studio di 1° livello, è stata riportata la traccia della "Faglia di Bassano" desunta dal database del progetto ITHACA (Italy Hazard from Capable faults) reperibile nel portale dell'ISPRA all'indirizzo:

<http://sgi.isprambiente.it/geoportal/catalog/content/project/ithaca.page>.

In riferimento alle faglie attive e capaci ricavate dal catalogo ITHACA si segnala che tali informazioni devono ritenersi indicative come riportato anche nello stesso sito internet:

*"Le faglie capaci vengono mappate e caratterizzate in ITHACA sulla base dei dati disponibili in letteratura, dopo una attenta revisione critica. Ne consegue che ITHACA:*

- è in continuo aggiornamento e non può mai considerarsi completo o definitivo;*
- non rappresenta la totalità delle faglie capaci presenti sul territorio nazionale, ma solo quelle per le quali esiste uno studio e quindi un riferimento bibliografico;*
- non ha una copertura omogenea a livello nazionale. Il dettaglio è funzione della qualità delle indagini che sono state effettuate (rilevabile dal campo "study quality") e della scala alla quale è stato pubblicato*

*il dato, indicata nel campo "mapping scale", presente nella Scheda descrittiva associata ad ogni faglia. A tal riguardo, la risoluzione massima a cui poter utilizzare il dato non deve essere superiore alla mapping scale.*

Inoltre: **Limiti di applicazione**

*"Il Catalogo ITHACA fornisce una prima indicazione sull'eventuale presenza di faglie attive e capaci in un determinato territorio, ma non può essere utilizzato per la loro caratterizzazione di dettaglio. Ciò vale in particolar modo per gli studi di microzonazione sismica."*

**Faglia di Bassano cod. 72400**

Nella relativa scheda di catalogazione è indicato il dettaglio "Study Quality": LOW. Si segnala come tale dislocazione sia posizionata in modo non congruente alla scala del rilevamento e, quindi, con ubicazione incerta anche in relazione al potente materasso di terreni quaternari presenti nell'area. Di conseguenza, la traccia indicata deve essere intesa come segnalazione di passaggio della faglia, ma non come ubicazione geometrica precisa. Per tali motivi, nell'ambito dello studio di 1° livello, è stata classificata come **FPAC** (faglia potenzialmente attiva e capace).

Nelle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC)" emanate dal Dipartimento della Protezione Civile, sono date le seguenti indicazioni relativamente allo studio delle FPAC: *"Nel livello 3 tali faglie verranno investigate con indagini appropriate al fine di identificarne l'eventuale attività negli ultimi 40.000 anni, oltre che definirne con certezza la geometria".*

## 6. BIBLIOGRAFIA

- Albini, Migliavacca, Moroni (2003): Studio di alcuni terremoti di intensità epicentrale moderata in Italia settentrionale. INGV, Milano
- Burrato, Poli, Vannoli 2008 Sources of Mw 5+ earthquakes in northeastern Italy and western Slovenia: an updated view based on geological and seismological evidence.
- Castaldini D., Panizza M. (1991). Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave e il lago di Como (Italia settentrionale). Il Quaternario 4(2), 333-410.
- Castellarin A. (a cura di); 1981. Carta tettonica delle Alpi Meridionali (alla scala 1:200.000). Pubblicazione n. 441, P.F.G. (S.P. 5) C.N.R.
- Castellaro S., Mulargia F., Bianconi L. (2005): Stratigrafia sismica passiva: una nuova tecnica accurata veloce ed economica. Geologia Tecnica & Ambientale, n. 3, pp. 76-102.
- C.N.R. - REGIONE DEL VENETO - ULSS n. 5 - ULSS n. 19 : Difesa degli acquiferi dell'alta pianura veneta - Stato di inquinamento e vulnerabilità delle acque sotterranee del bacino del Brenta – Venezia 1988
- CFTI Catalogo dei Forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1997 – E. Guidoboni, G. Ferrari, D. Mariotti, A. Comastri, G. Tarabusi, G. Valensise.
- DISS Working Group (2015). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.0.
- Dal Moro Giancarlo (2012): Onde di superficie in geofisica applicata. Dario Flaccovio Editore.
- Galadini F., Meletti C. and Vittori E.; 2001: Major active faults in Italy: available surficial data. Geol. en Mijn. (Netherlands Journal of Geosciences), 80, 273-296.
- Galadini F., Poli M. E. and Zanferrari A.; 2005: Seismogenic sources potentially responsible for earthquakes with  $M \geq 6$  in the eastern Southern Alps (Thiene-Udine sector, NE Italy). Geophys. J. Int., 161, 739-762.
- Galli P. e Meloni F. (1993): Nuovo catalogo nazionale dei processi di liquefazione avvenuti in occasione dei terremoti storici in Italia. Il Quaternario 6 (2), 271-292.
- Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Valensise G.. CFTI Catalogo dei Forti terremoti in Italia 461 B.C. – 1997
- Ibs Von Seht M., Wohlenberg J. (1999): Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments. Bull. Seism. Soc. Am. 89, pp. 250-259.
- Iliceto V., Peruzza L., Rovelli A., Slejko D. (2002): La difesa dai terremoti mediante zonazione sismica: sinergie fra Protezione Civile e Piani Regolatori. Geologia Tecnica & Ambientale, n. 3, pp. 15-36.
- Iliceto V., Boaga J. (2005): Deterministic earthquake scenarios and site effects estimation for S. Michele al Tagliamento (VE)-Italy. Proc. of the 5th Forum Nazionale di Scienze della Terra, Geoitalia 2005, 20-23 sept. 2005, Spoleto.
- Iliceto V., Boaga J. (2005): Influenza delle geostrutture nella valutazione degli effetti sismici di sito: il caso della Val d'Adige. Atti del Workshop di Geofisica: "La Geofisica a servizio dell'ambiente e dei beni culturali, con attenzione alle problematiche in ambito montano", Rovereto (TN), 9-12-2005.
- ITACA Banca Dati Accelerometrica Italiana, INGV, Milano: <http://itaca.mi.ingv.it/ItacaNet>
- ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults) – ISPRA: portale del Servizio Geologico d'Italia <http://sgi.isprambiente.it/geoportal/catalog/content/project/ithaca.page>
- Kohler A., Ohrnberger M., Scherbaum F., Stange S., Kind F. (2004): Ambient vibration measurements in the southern Rhine Graben close to Basel. Annals of Geoph. 47, n. 6, pp. 1771-1781.

Konno K., Omachi T. (1998): Ground motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremors. *Bull. Seism. Soc. Am.* 88, pp. 228-241.

Lachet C, Bard P.-Y. (1994): Numerical and Theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's Technique. *J. Phys. Earth* 42, pp. 377-397.

C. Meletti, G. Valensise: Zonazione sismogenetica ZS9 – App. 2 al Rapporto Conclusivo. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Marzo 2004

D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise: Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani. GNDT. ING, SSN – 1996

Nakamura Y. (1989): A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface. *Quarterly Rept. RTRI, Japan* 33, pp. 25-33.

Nogoshi M., Igarashi T. (1970): On the propagation characteristics of the microtremors. *J. Seism. Soc. Japan* 24, pp. 24-40.

NT4.1 Catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno, INGV, Milano

Park C. B., Miller R. D., Xia J. (1999): Multichannel analysis of surface waves (MASW). *Geophysics*, 64, 800-808

Panizza M., Slejko D., Bartolomei G., Carton A., Castaldini D., Demartin M., Nicolich R., Sauro U., Semenza E. & Sorbini L. (1981): Modello sismotettonico dell'area fra il Lago di Garda ed il Monte Grappa; *Rend. Soc. Geol. It.*, 3, 587-603.

Peruzza L., Poli M.E., Rebez A., Renner G., Rogledi S., Slejko D. and Zanferrari A.; 2002: The 1976-1977 seismic sequence in Friuli: new seismotectonic aspects. *Mem. Soc. Geol. It.*, 57, 391-400.

Poli M.E., P. Burrato, F. Galadini e A. Zanferrari, 2008 Seismogenic sources responsible for destructive earthquakes in north-eastern Italy , INGV Roma

Reato S.;2005: Terremoto di Santa Costanza. Danilo Zanetti Editore

Regione del Veneto, Servizio Geologico d'Italia (1988): Carta geologica del Veneto – scala 1 : 250.000

Rovida A., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds) CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of the Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, [doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15](http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15)

SESAME Project AA.VV. [http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/SES\\_Reports.htm](http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/SES_Reports.htm)

D. Slejko, G.B. Carulli, F. Carraro, D. Castaldini, A. Cavallin, C. Doglioni, V. Iliceto, R. Nicolich, A. Rebez, E. Semenza, A. Zanferrari e C. Zanolla : Modello sismotettonico dell'Italia nord-orientale. C. N. R. – Gruppo Distretto Pedemontana Sud (PS) Nazionale per la Difesa dai Terremoti. Trieste 1987

Sugan M. e Peruzza L.; 2011: Distretti sismici del Veneto. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, Vol. 52 (supplemento)

Zanferrari A., Bollettinari G., Carobene L., Carton A., Carulli G.B., Castaldini D., Cavallin A., Panizza M., Pellegrini G.B., Pianett F. and Sauro U.; 1982: Evoluzione neotettonica dell'Italia nord-orientale. *Mem. di Sc. Geol.*, 35, 355376.

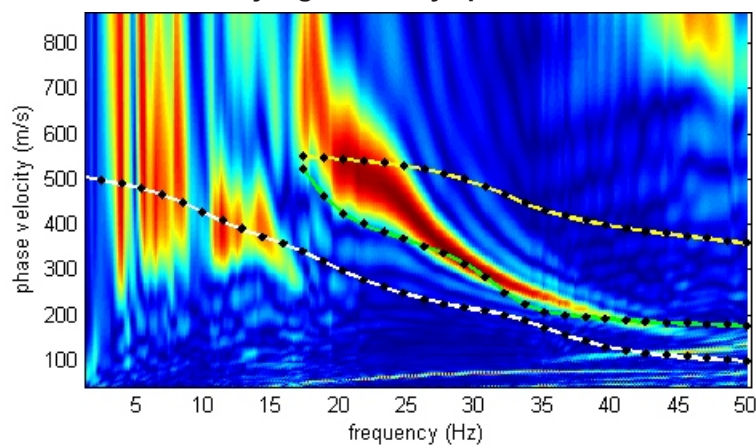
## **ALLEGATO: INDAGINI SISMICHE**

Profilo MASW Località: Via Vegre

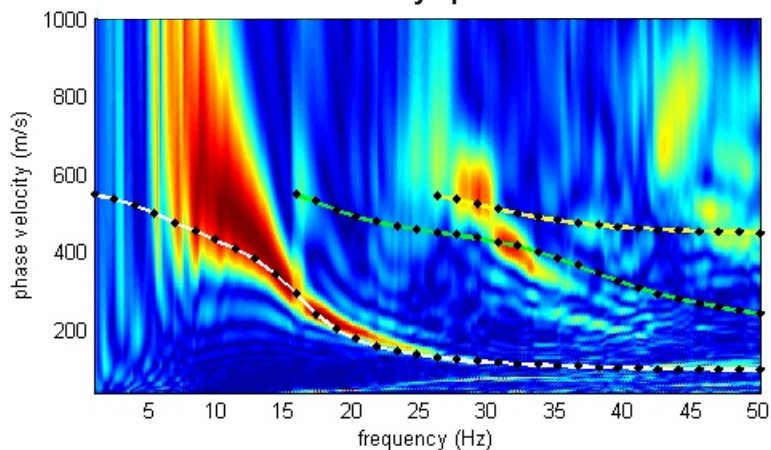
ANALISI CONGIUNTA ONDE DI RAYLEIGH E ONDE DI LOVE

Data esecuzione : 16.03.2018

Rayleigh: velocity spectrum



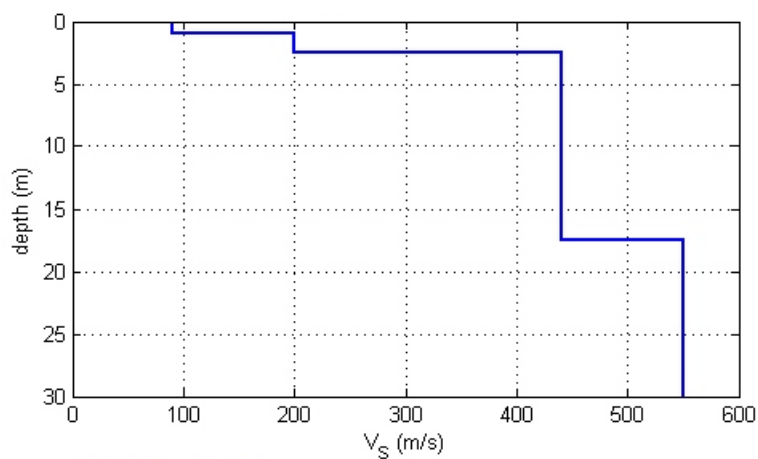
Love velocity spectrum



Interpretazione  
sismostratigrafica

| spessore<br>(m) | Vs<br>(m/s) |
|-----------------|-------------|
| 1               | 90          |
| 1,5             | 200         |
| 15              | 440         |
|                 | 550         |

Profilo verticale Vs

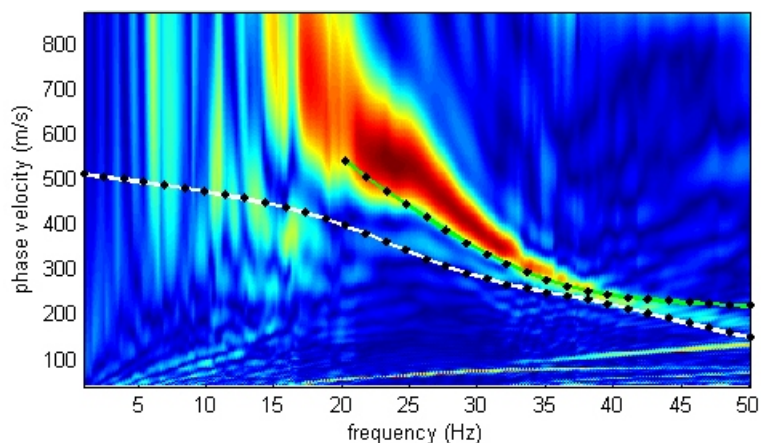


Profilo MASW Località: Via Vegre

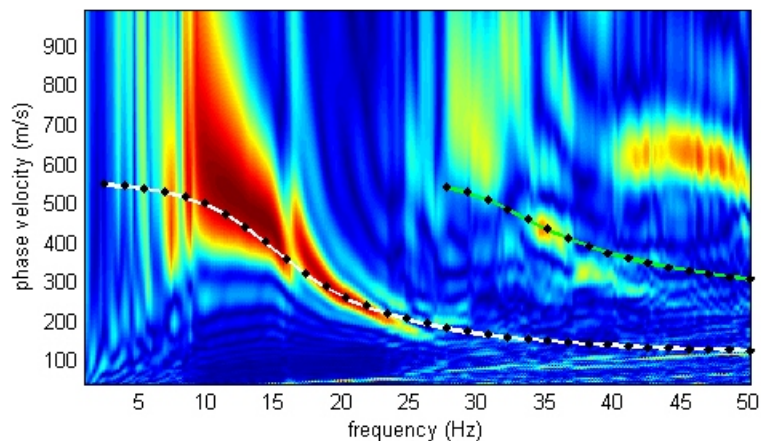
ANALISI CONGIUNTA ONDE DI RAYLEIGH E ONDE DI LOVE

Data esecuzione : 16.03.2018

Rayleigh: velocity spectrum



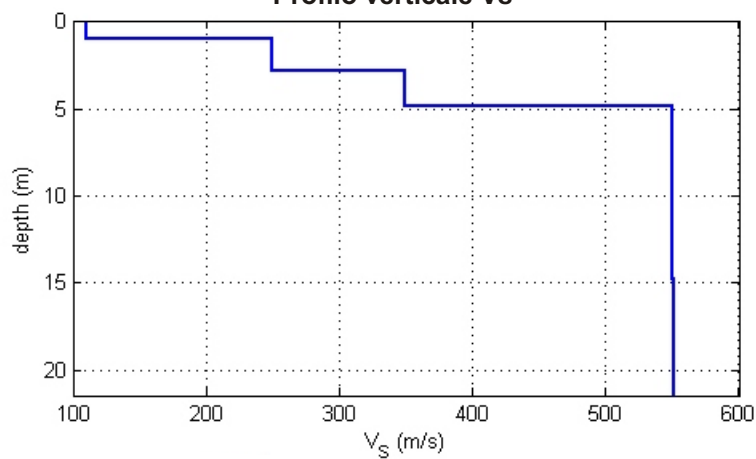
Love velocity spectrum



Interpretazione  
sismostratigrafica

| spessore<br>(m) | Vs<br>(m/s) |
|-----------------|-------------|
| 1               | 110         |
| 1,8             | 250         |
| 2               | 350         |
|                 | 550         |

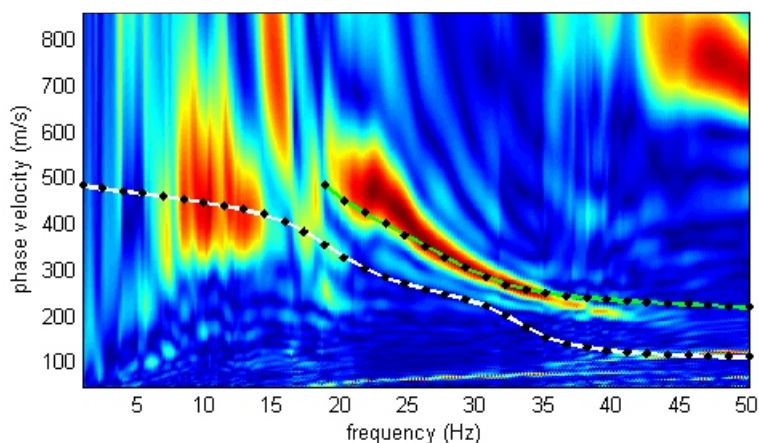
Profilo verticale Vs



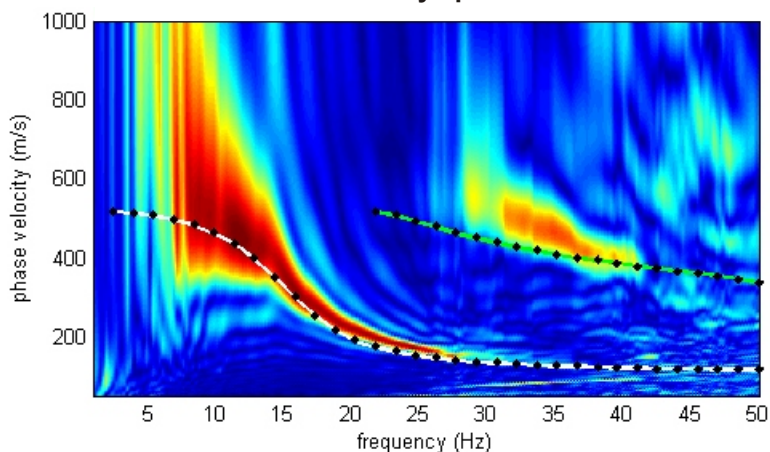
**Profilo MASW      Località: Le Motte di sotto**  
**ANALISI CONGIUNTA ONDE DI RAYLEIGH E ONDE DI LOVE**

Data esecuzione : 16.03.2018

**Rayleigh: velocity spectrum**



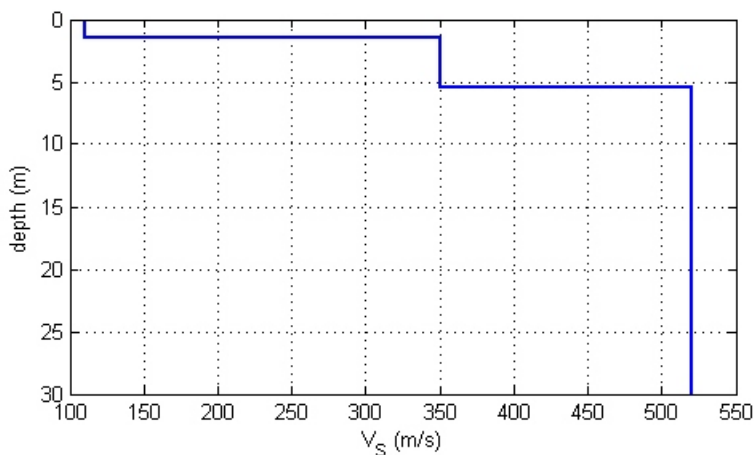
**Love velocity spectrum**



**Interpretazione  
sismostratigrafica**

| spessore<br>(m) | Vs<br>(m/s) |
|-----------------|-------------|
| 1,5             | 110         |
| 4               | 350         |
|                 | 520         |

**Profilo verticale Vs**

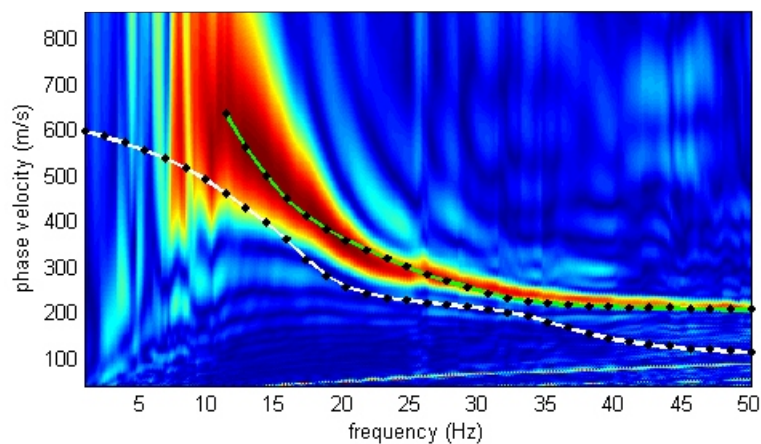


Profilo MASW Località: Via Avenali

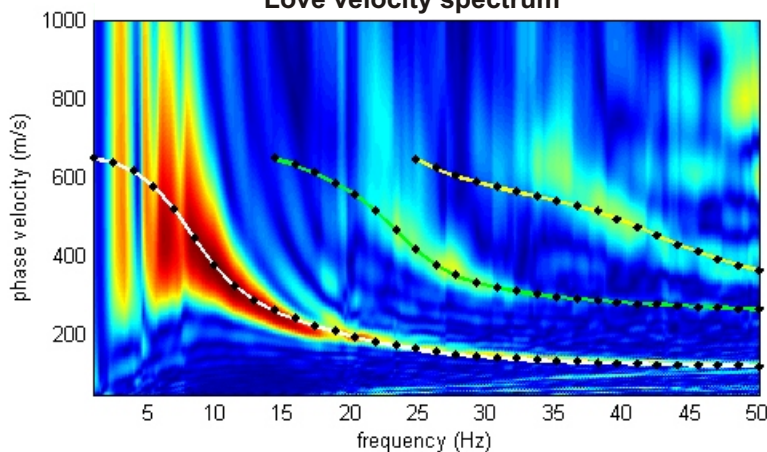
ANALISI CONGIUNTA ONDE DI RAYLEIGH E ONDE DI LOVE

Data esecuzione : 16.03.2018

Rayleigh: velocity spectrum



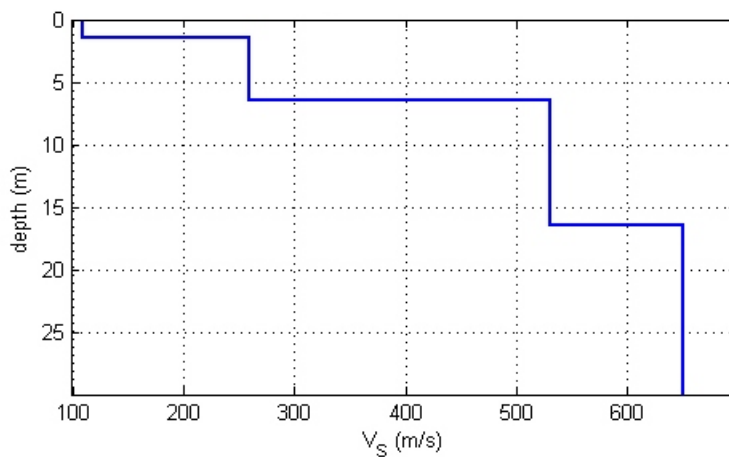
Love velocity spectrum



Interpretazione  
sismostratigrafica

| spessore<br>(m) | Vs<br>(m/s) |
|-----------------|-------------|
| 1,3             | 110         |
| 5               | 260         |
| 10              | 530         |
|                 | 650         |

Profilo verticale Vs

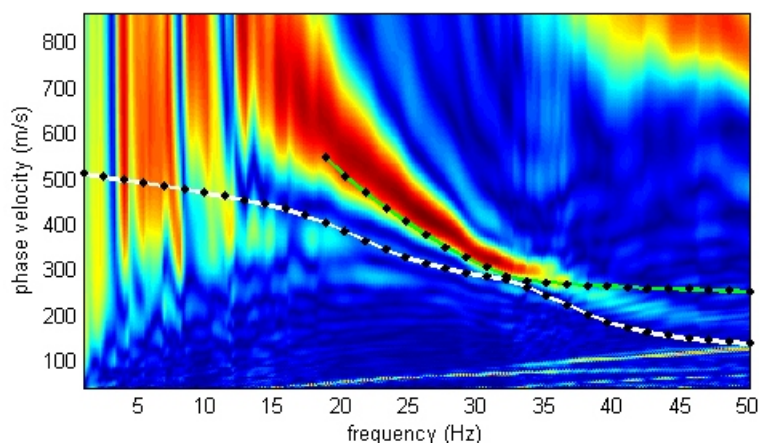


Profilo MASW Località: Viottolo Pagnana

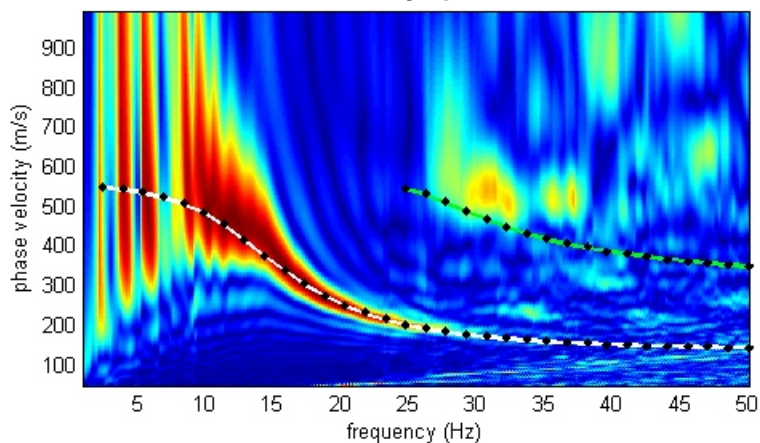
ANALISI CONGIUNTA ONDE DI RAYLEIGH E ONDE DI LOVE

Data esecuzione : 16.03.2018

Rayleigh: velocity spectrum



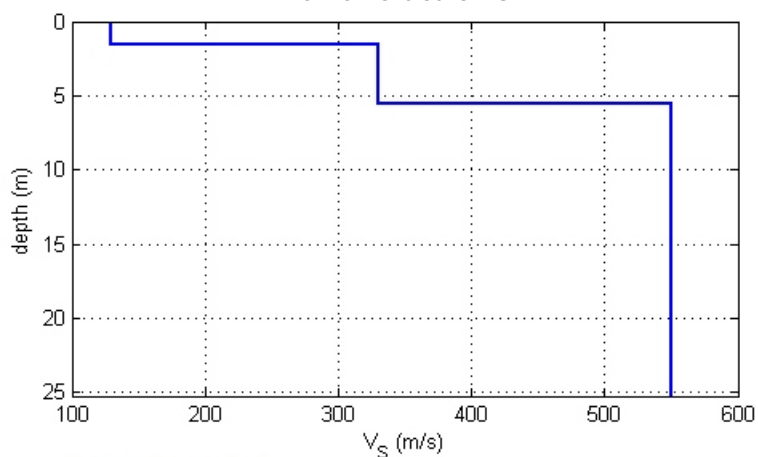
Love velocity spectrum



Interpretazione  
sismostratigrafica

| spessore<br>(m) | Vs<br>(m/s) |
|-----------------|-------------|
| 1,5             | 130         |
| 4               | 330         |
|                 | 550         |

Profilo verticale Vs



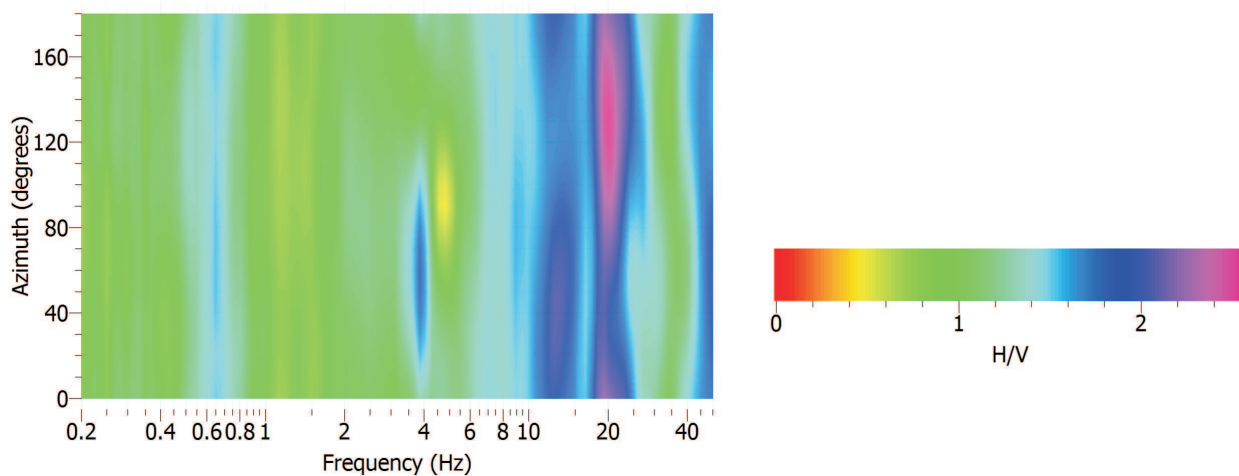
Stazione di misura HVSr - Località: Via Ca' Leoncino

File: 20180213\_091247.SAF

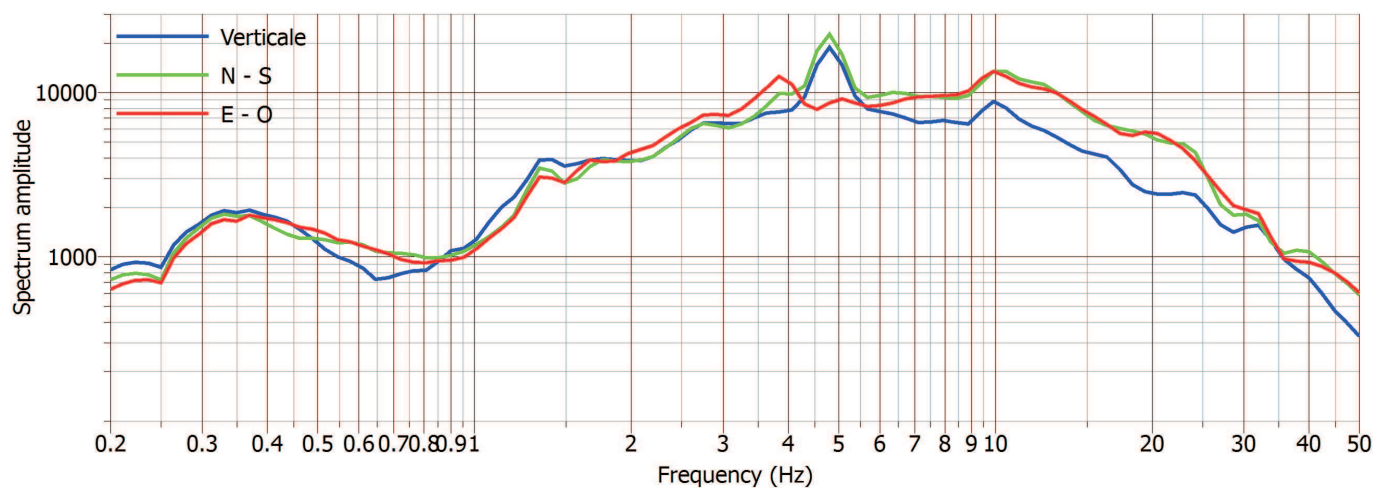
Data acquisizione: 13.02.2018

Durata tempo registrazione: 20 minuti

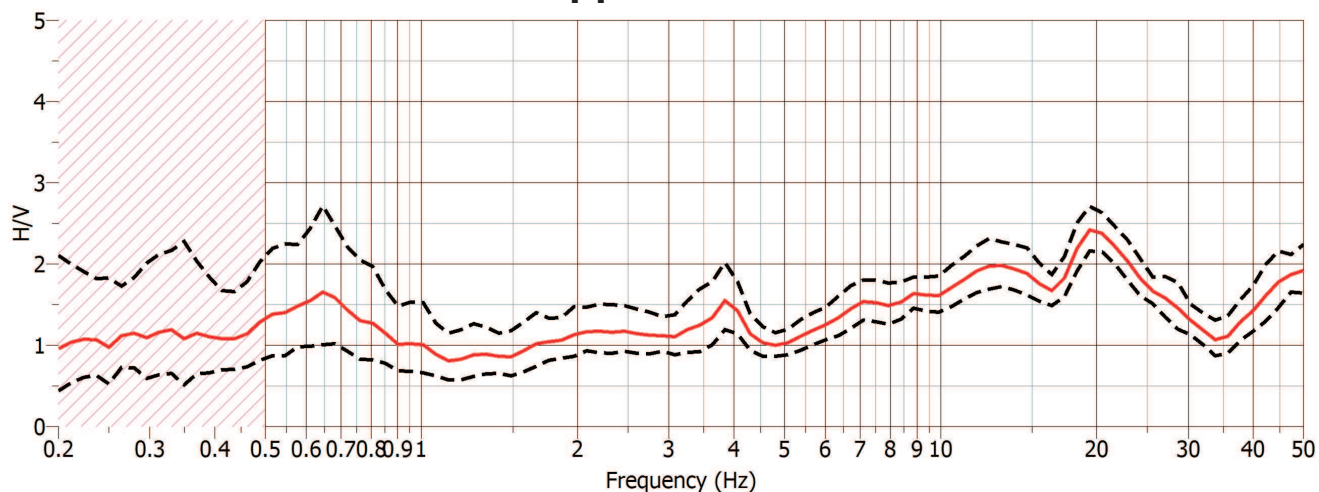
Analisi direzionale del rumore



Componenti spettrali



Rapporto H/V



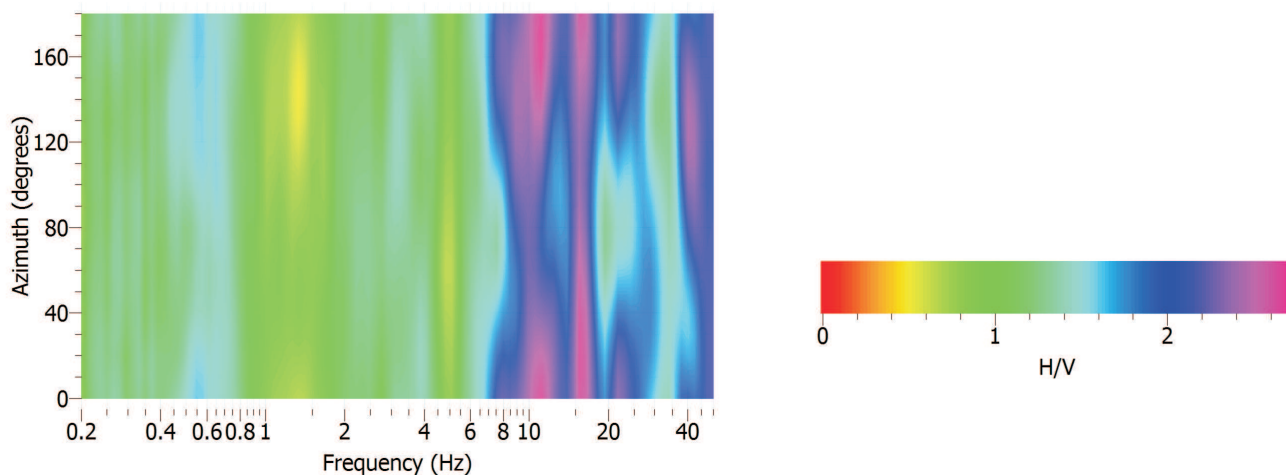
Stazione di misura HVSR - Località: Via Ca' Leoncino

File: 20180213\_104757.SAF

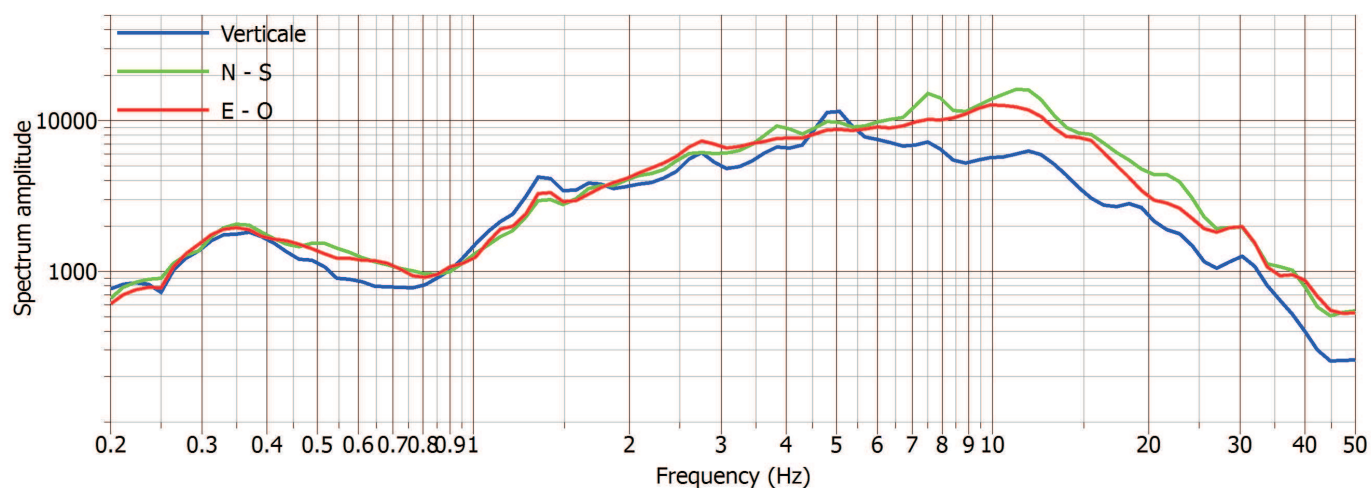
Data acquisizione: 13.02.2018

Durata tempo registrazione: 20 minuti

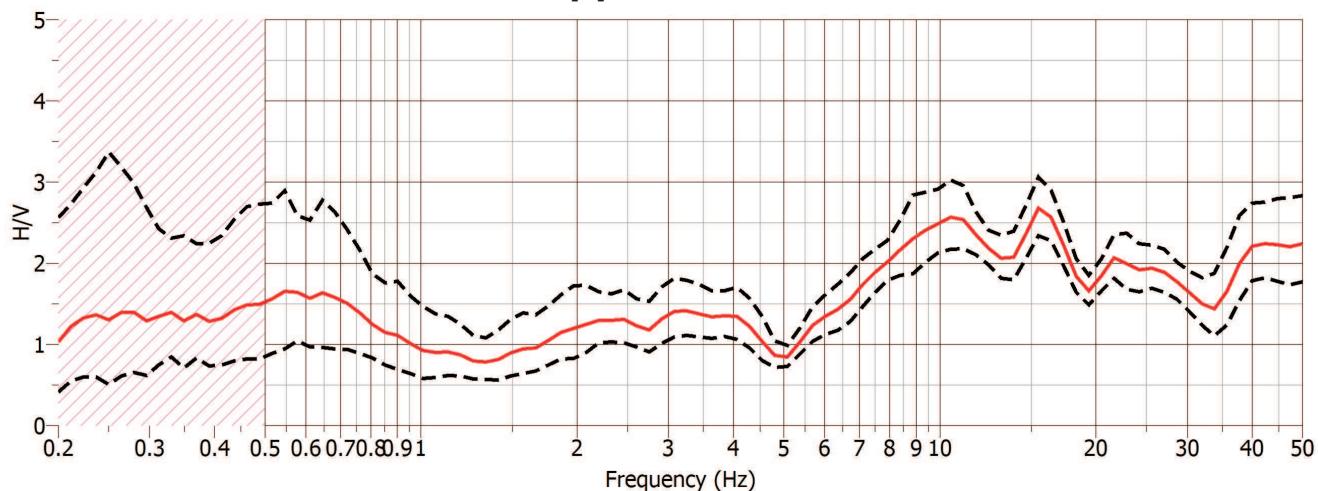
Analisi direzionale del rumore



Componenti spettrali



Rapporto H/V



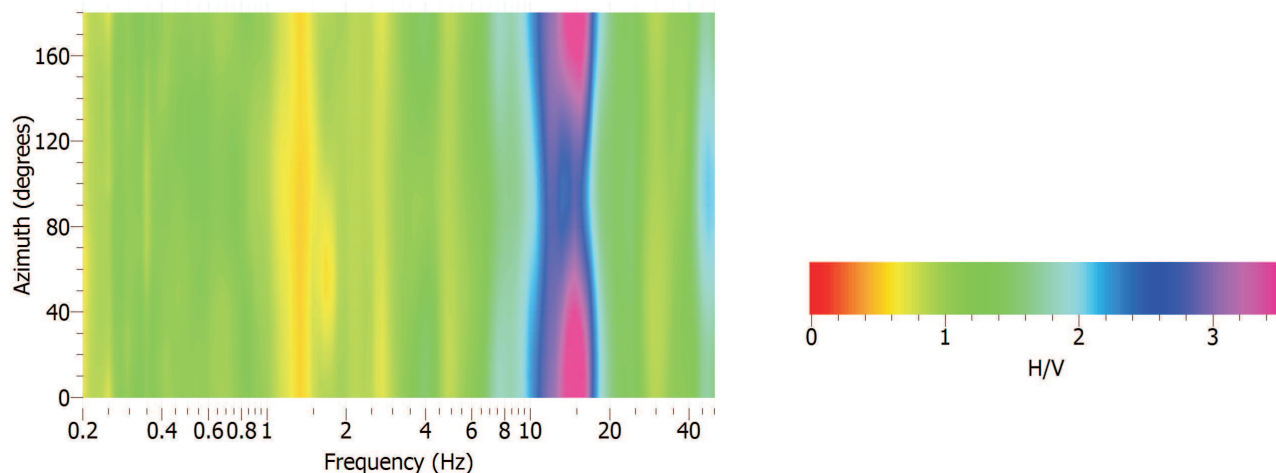
Stazione di misura HVSR - Località: Via Ca Leoncino

File: 20180213\_114240.SAF

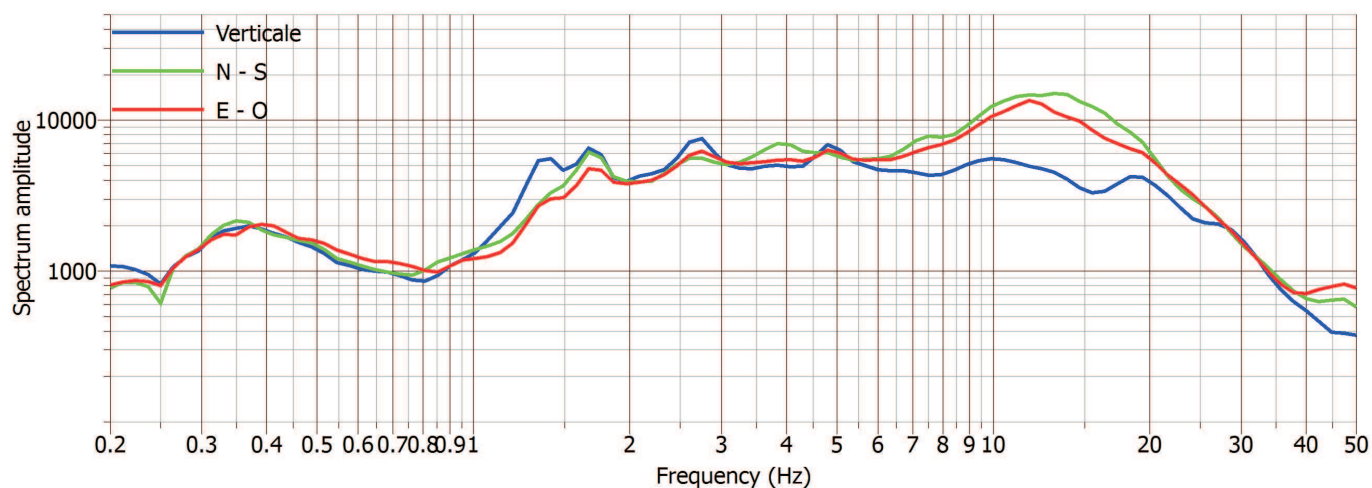
Data acquisizione: 13.02.2018

Durata tempo registrazione: 20 minuti

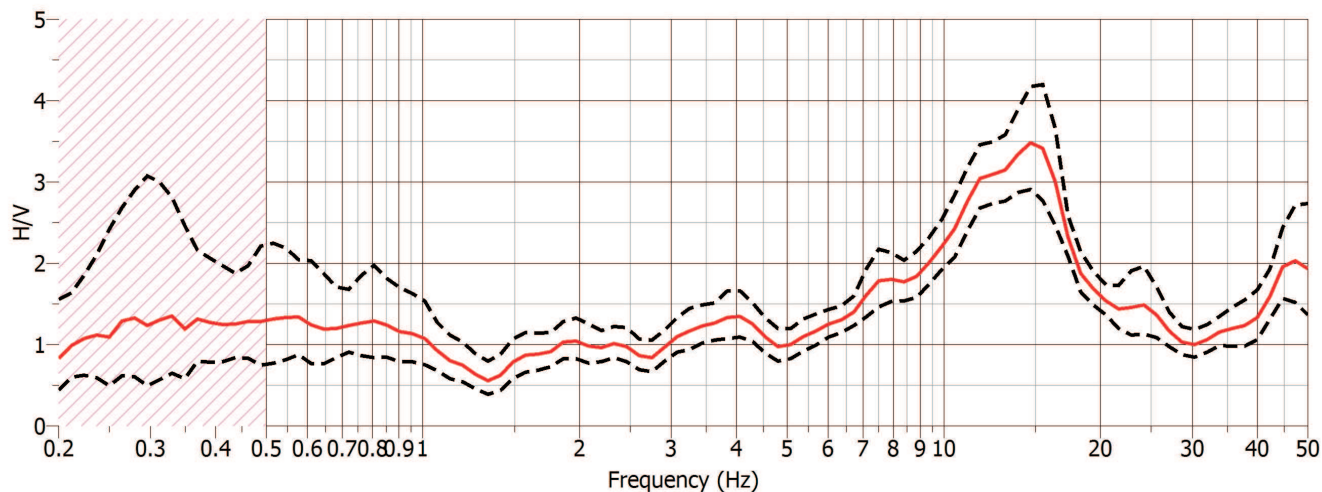
Analisi direzionale del rumore



Componenti spettrali



Rapporto H/V



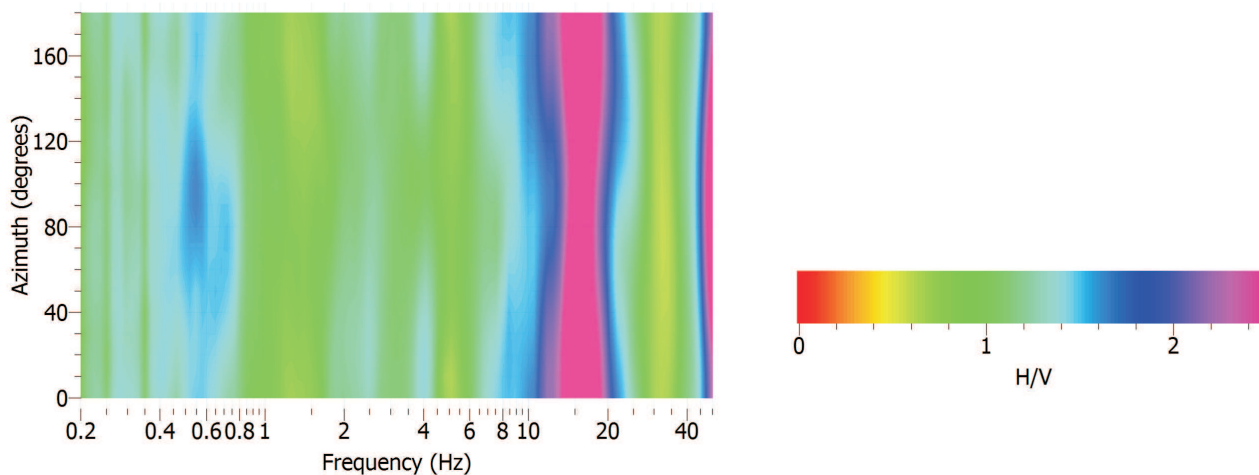
## Stazione di misura HVSR - Località: Via Alberon

File: 20180213\_122304.SAF

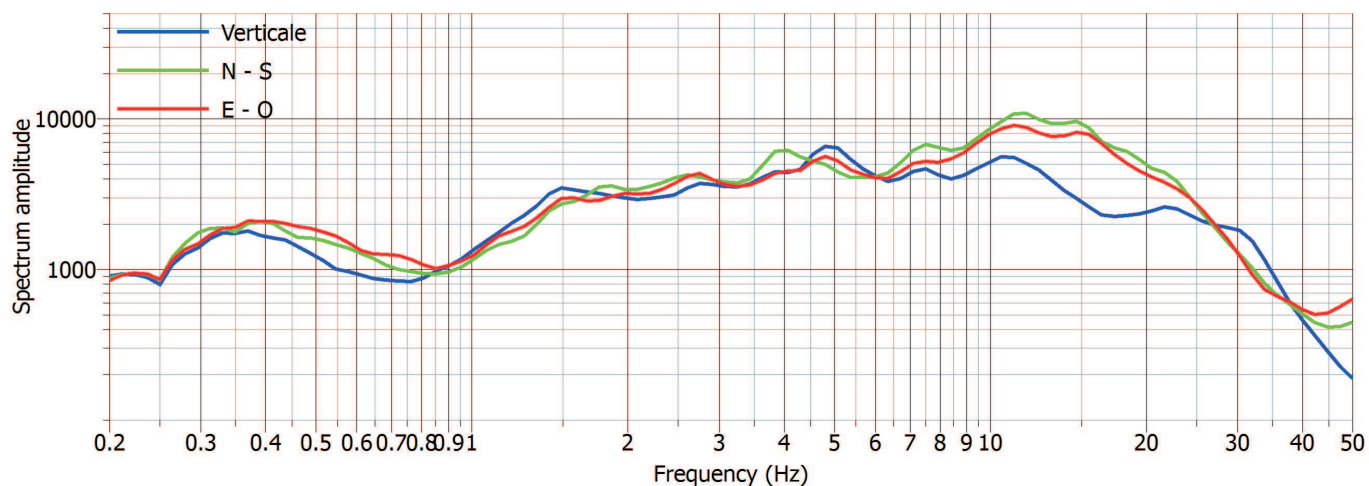
Data acquisizione: 13.02.2018

Durata tempo registrazione: 20 minuti

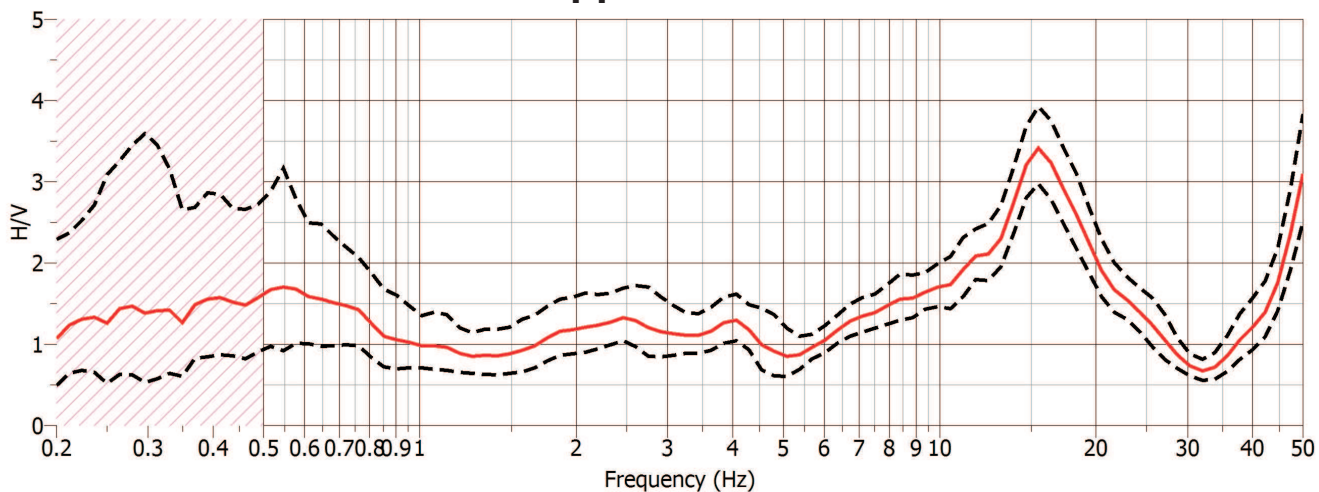
### Analisi direzionale del rumore



### Componenti spettrali



### Rapporto H/V



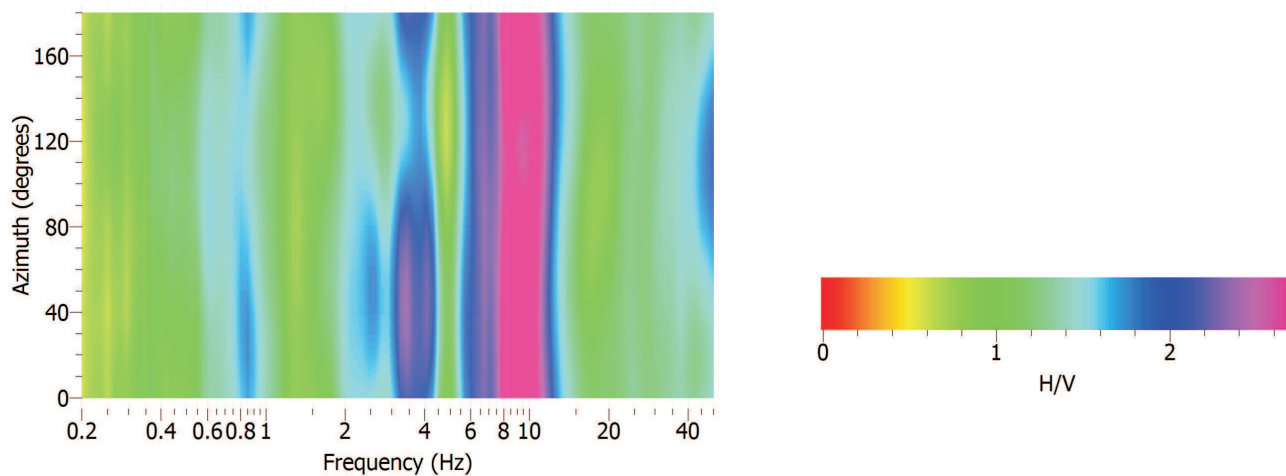
Stazione di misura HVSr - Località: Via Avenali

File: 20180213\_141815.SAF

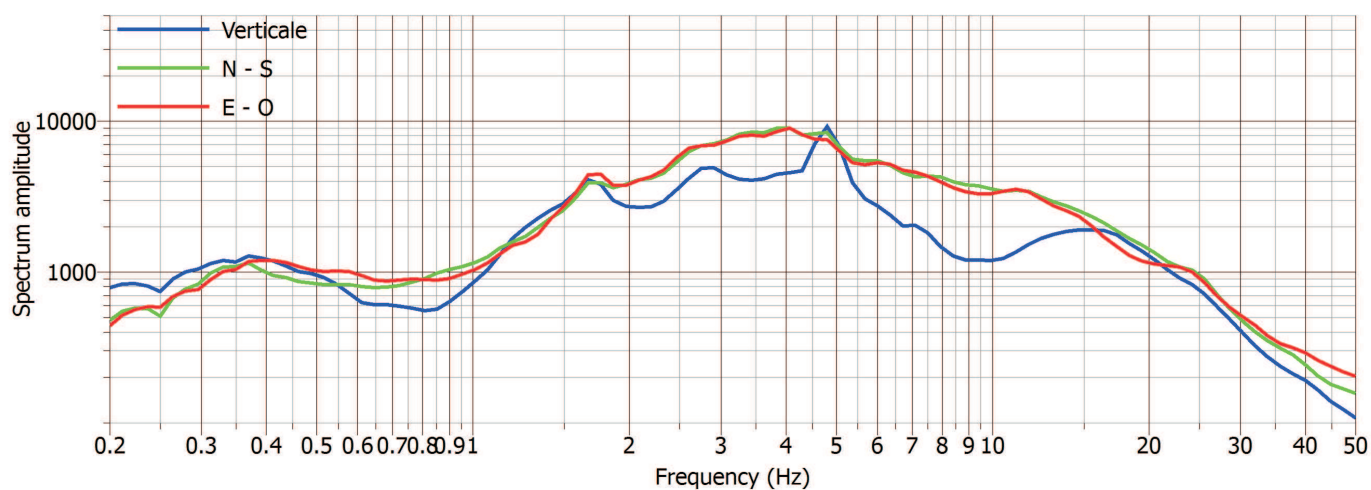
Data acquisizione: 13.02.2018

Durata tempo registrazione: 26 minuti

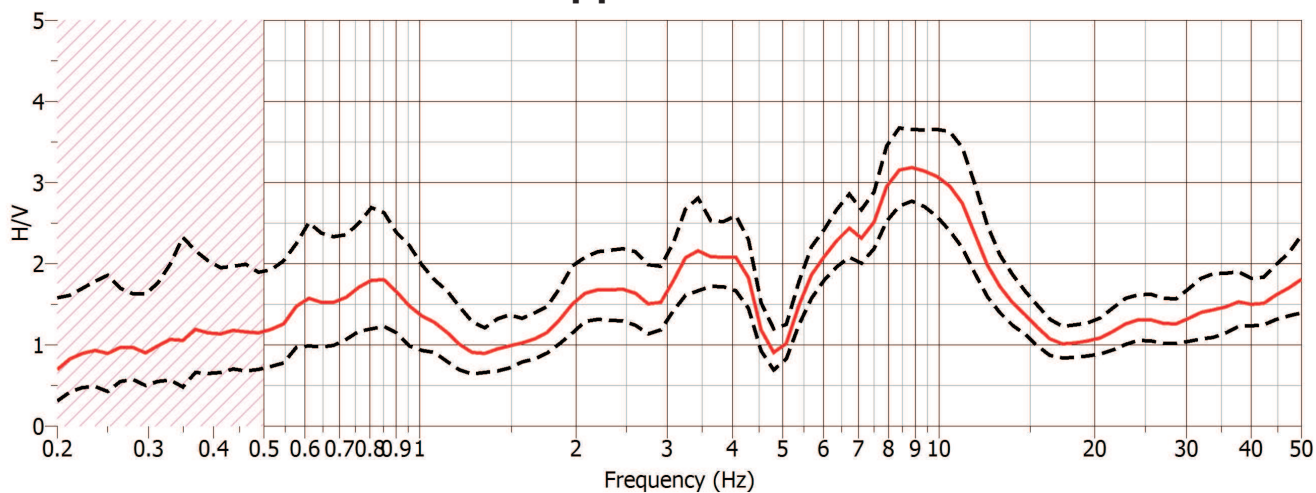
### Analisi direzionale del rumore



### Componenti spettrali



### Rapporto H/V



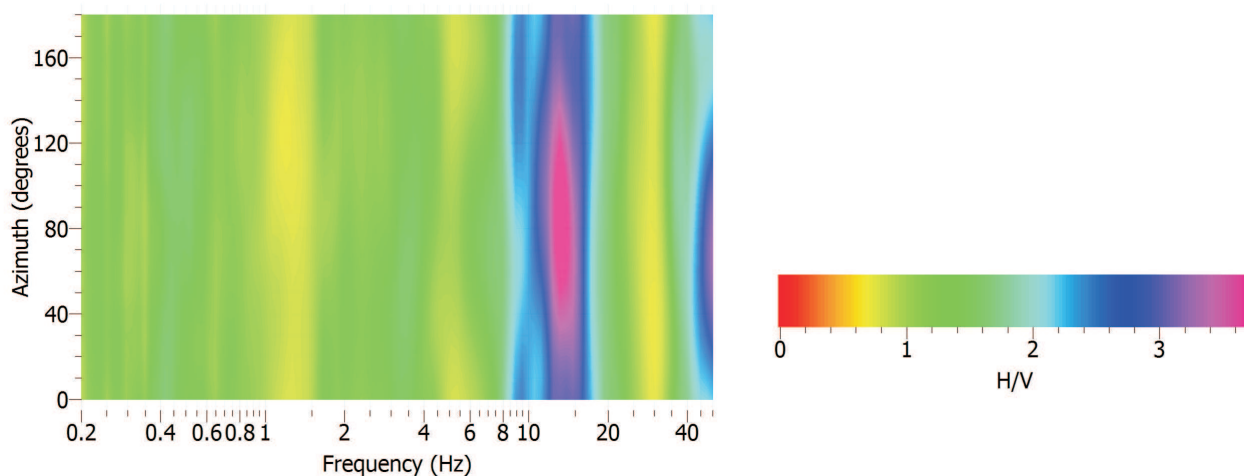
Stazione di misura HVSR - Località: Via Vegre

File: 20180213\_153424.SAF

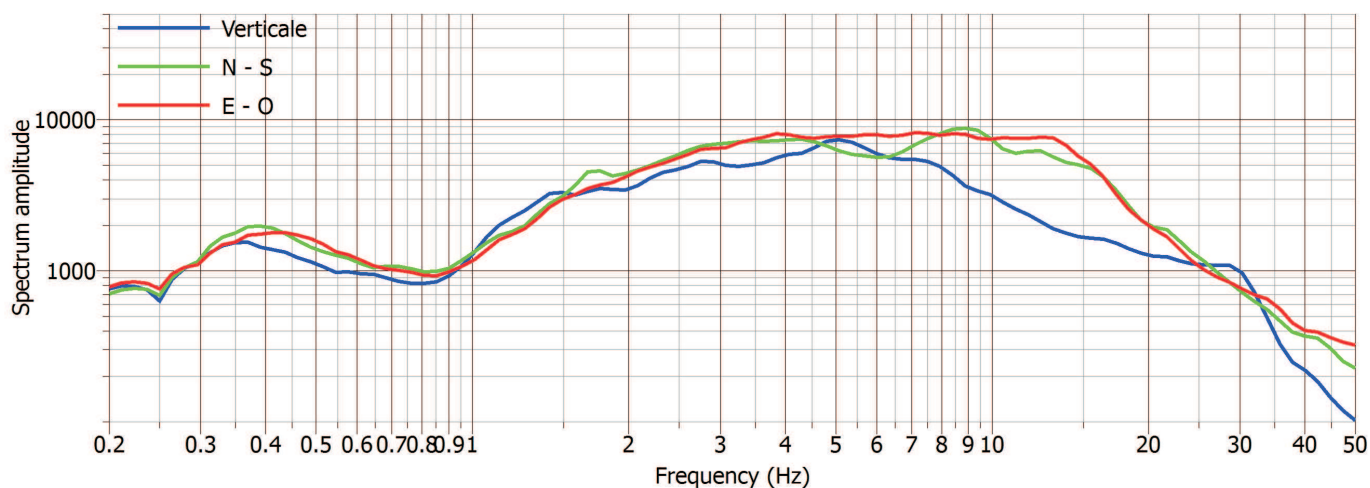
Data acquisizione: 13.02.2018

Durata tempo registrazione: 20 minuti

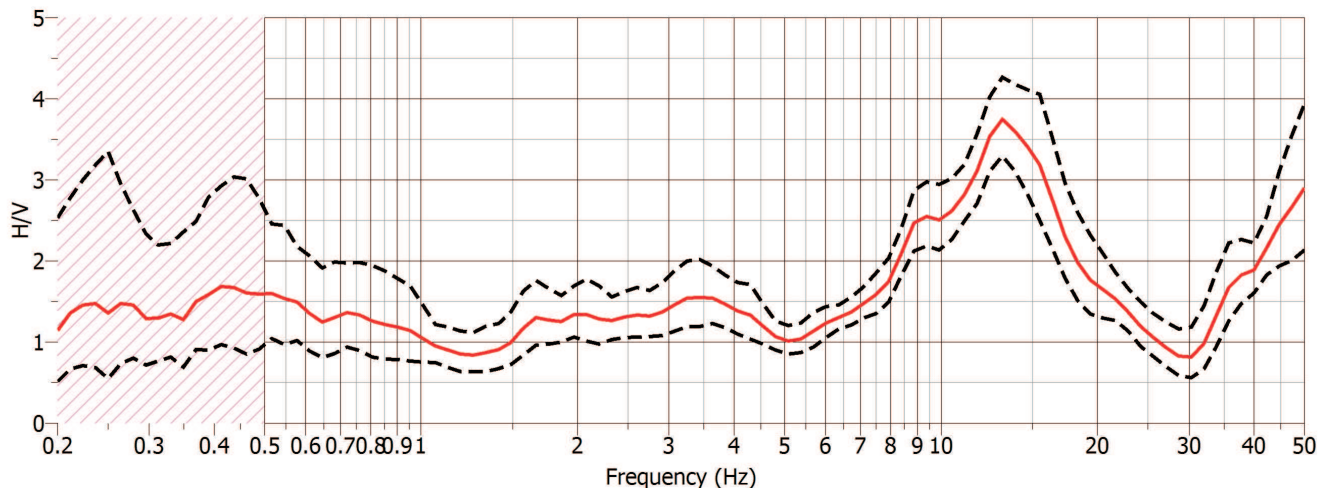
Analisi direzionale del rumore



Componenti spettrali



Rapporto H/V



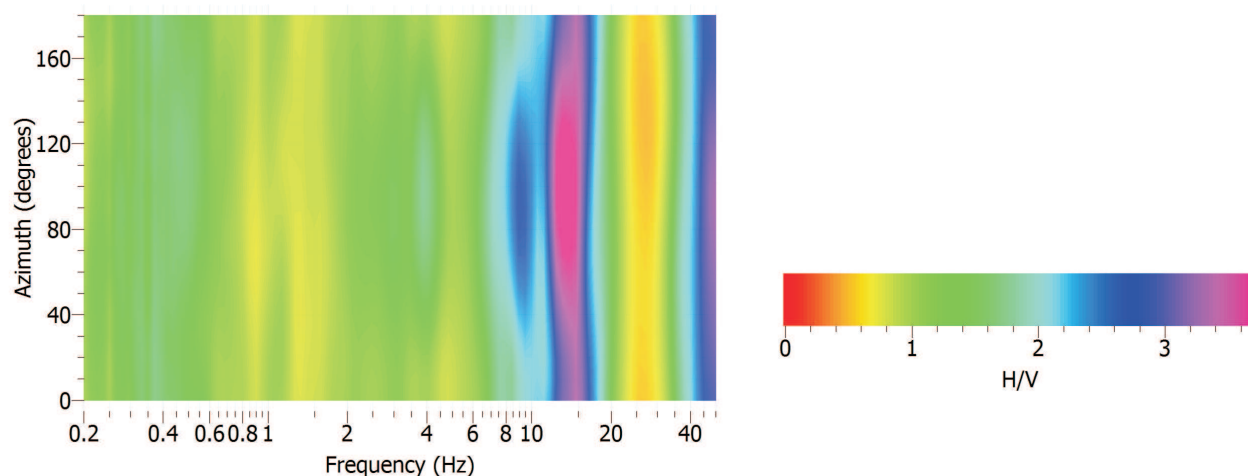
Stazione di misura HVSR - Località: Via del Vallo

File: 20180213\_165126.SAF

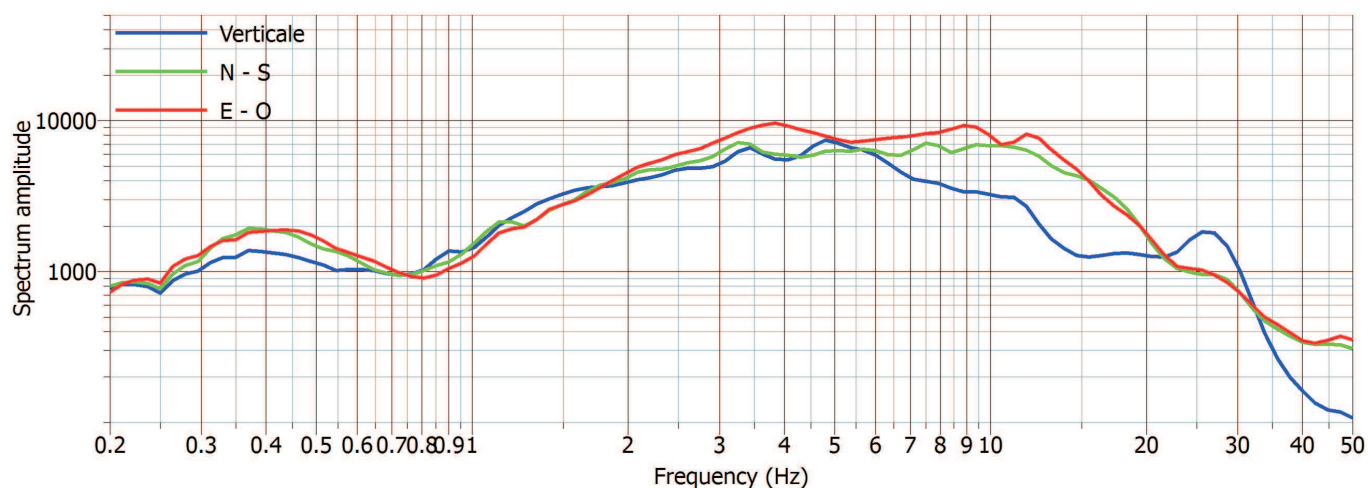
Data acquisizione: 13.02.2018

Durata tempo registrazione: 30 minuti

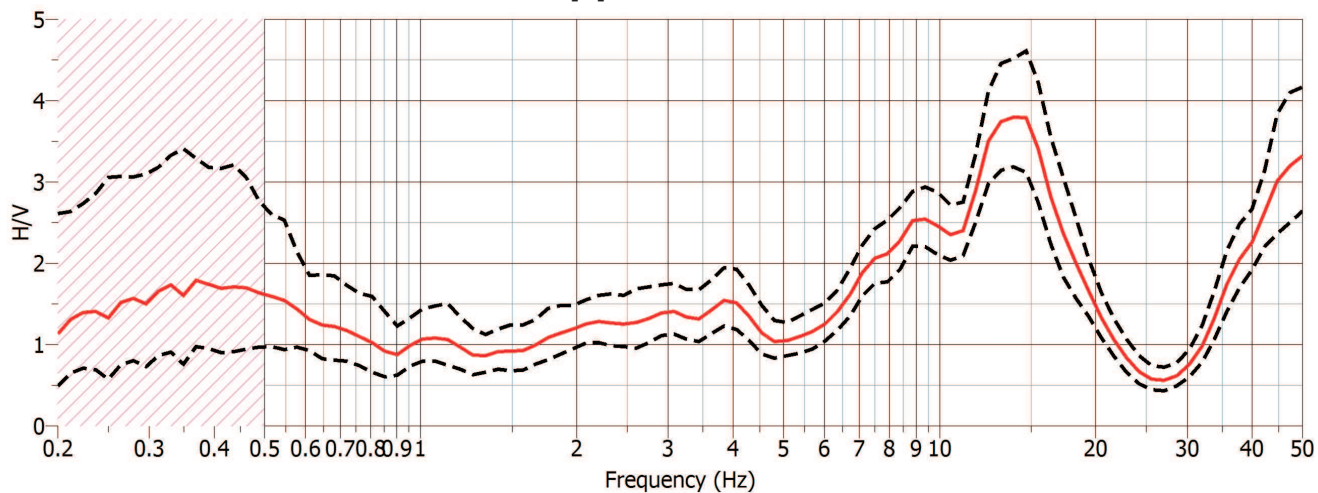
Analisi direzionale del rumore



Componenti spettrali



Rapporto H/V



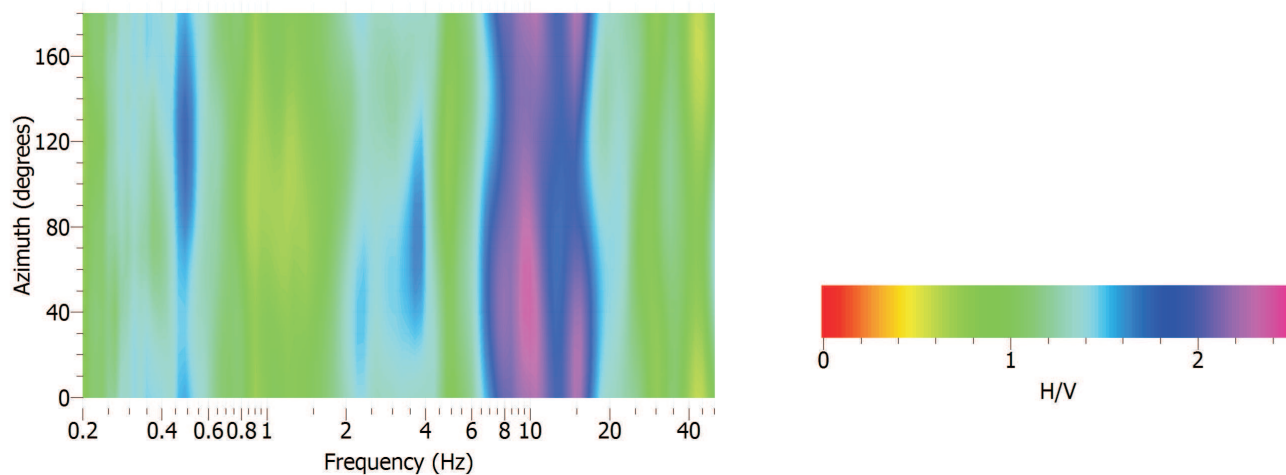
Stazione di misura HVSR - Località: Via Motte - Le Motte di sotto

File: 20180213\_173628.SAF

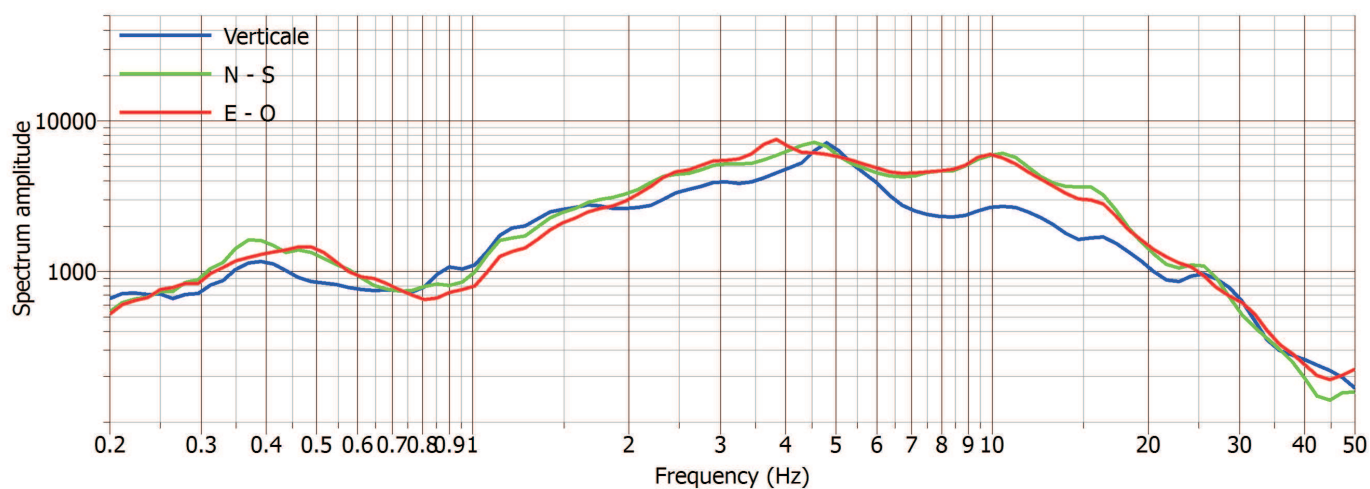
Data acquisizione: 13.02.2018

Durata tempo registrazione: 30 minuti

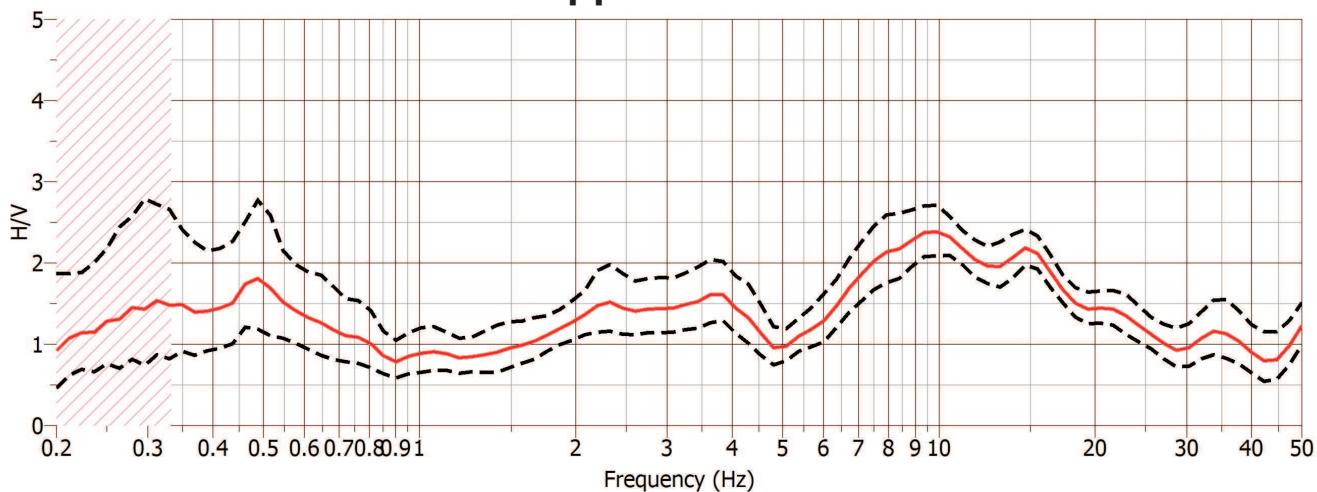
Analisi direzionale del rumore



Componenti spettrali



Rapporto H/V



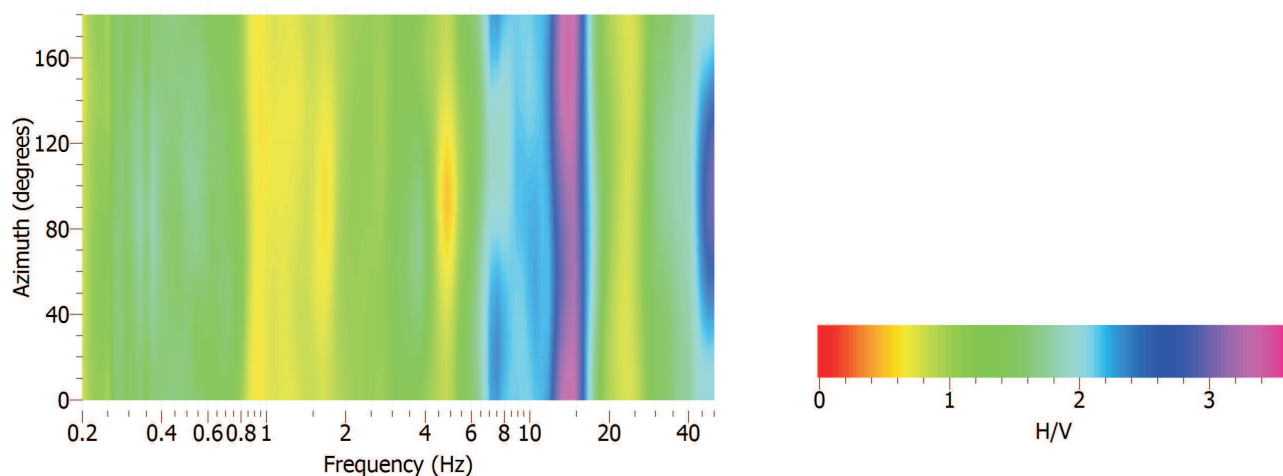
Stazione di misura HVSR - Località: Viottolo Pagnana

File: 20180228\_093330.SAF

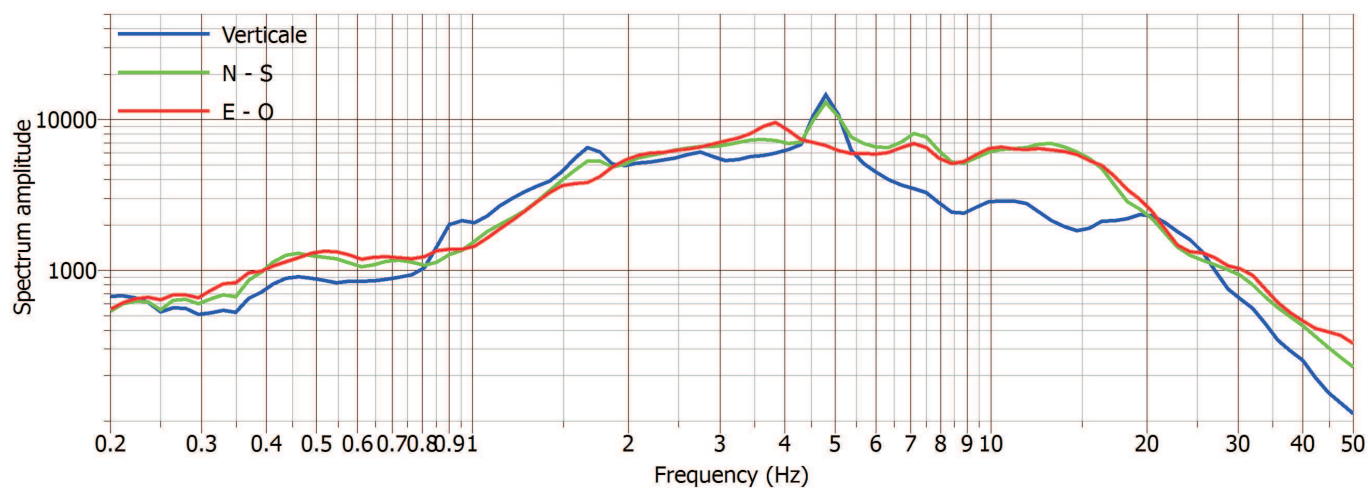
Data acquisizione: 28.02.2018

Durata tempo registrazione: 20 minuti

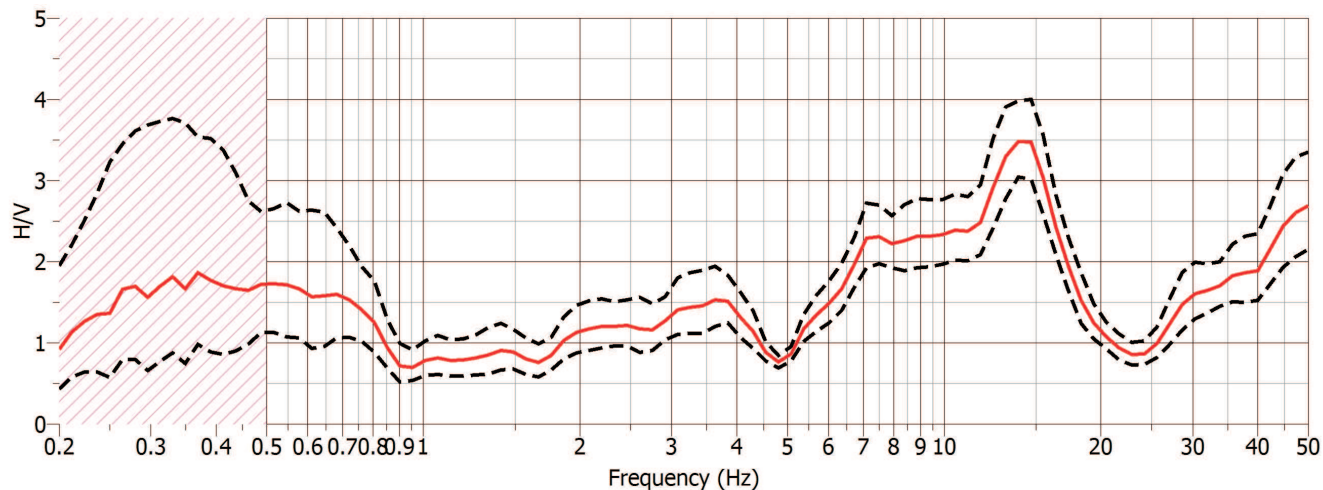
Analisi direzionale del rumore



Componenti spettrali



Rapporto H/V



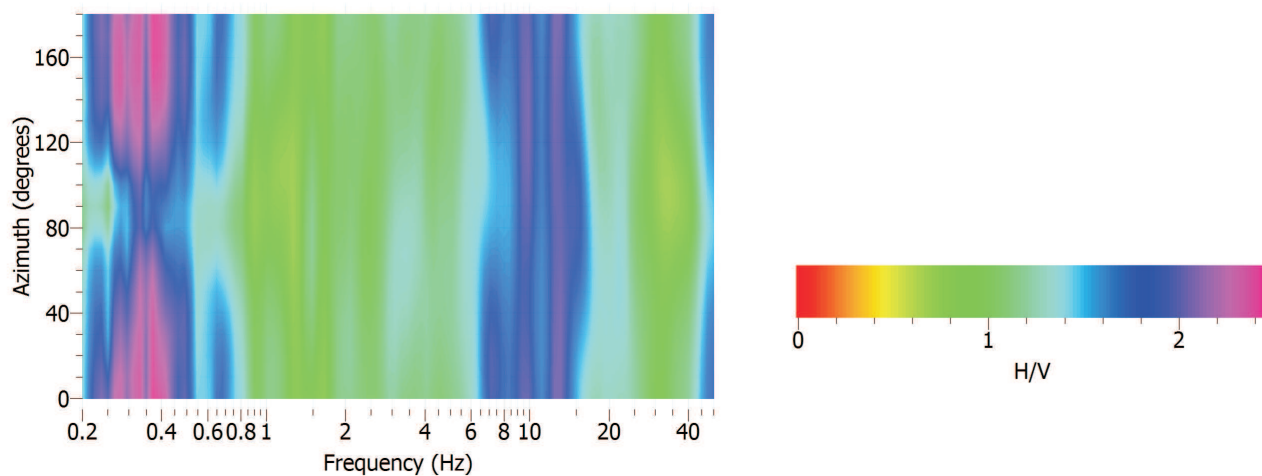
Stazione di misura HVSR - Località: Via Postumia

File: 20180228\_115149.SAF

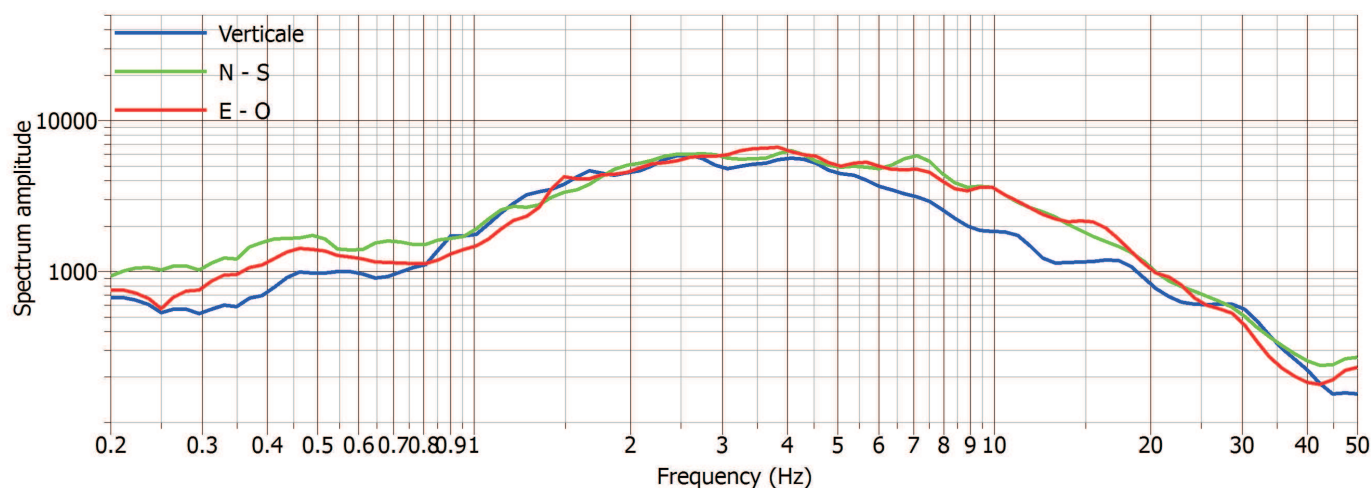
Data acquisizione: 28.02.2018

Durata tempo registrazione: 17 minuti

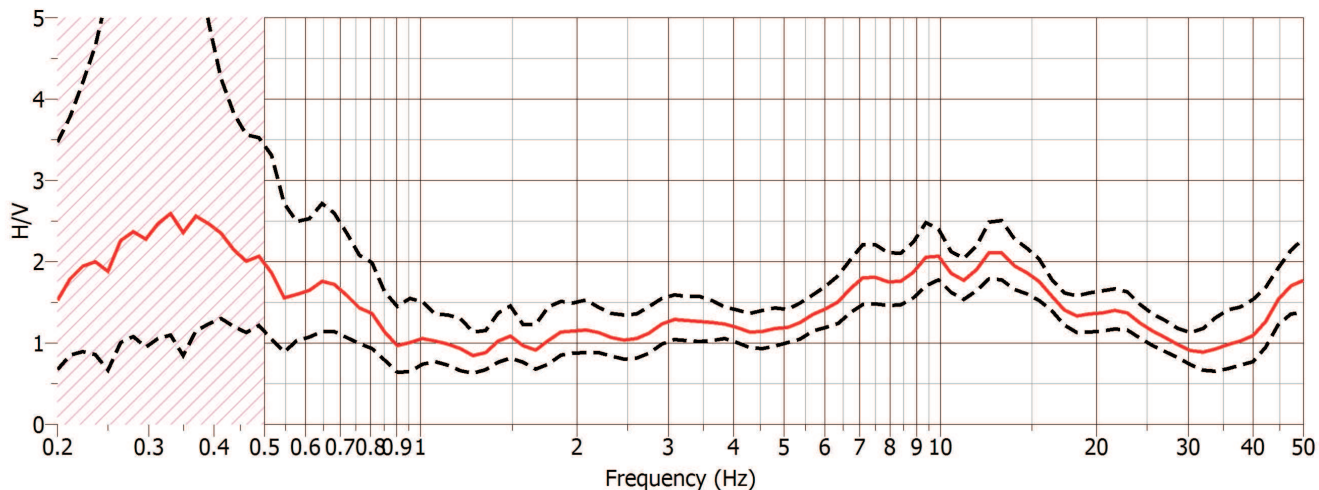
Analisi direzionale del rumore



Componenti spettrali



Rapporto H/V



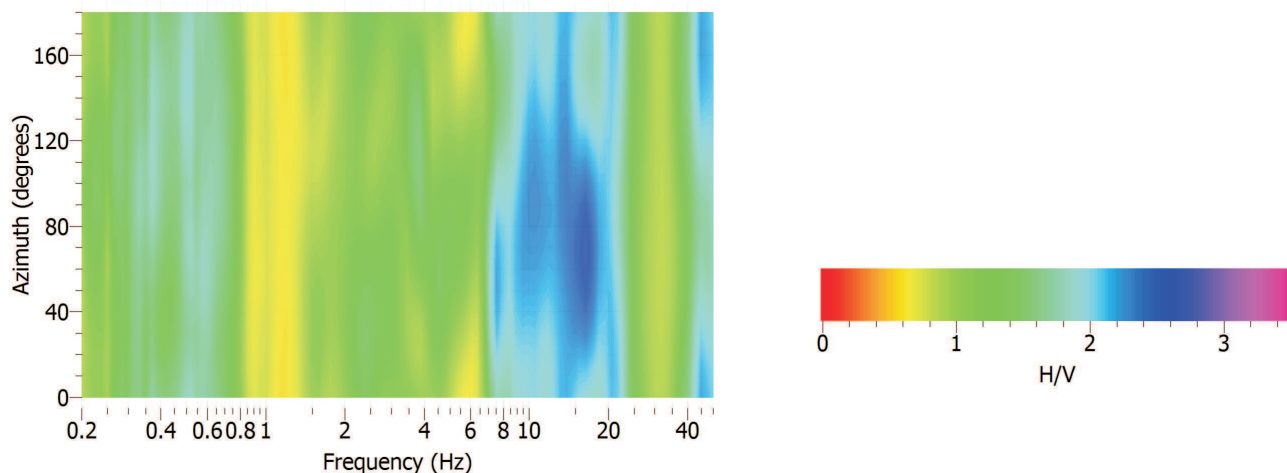
Stazione di misura HVSR - Località: Via Vegre

File: 20180228\_122100.SAF

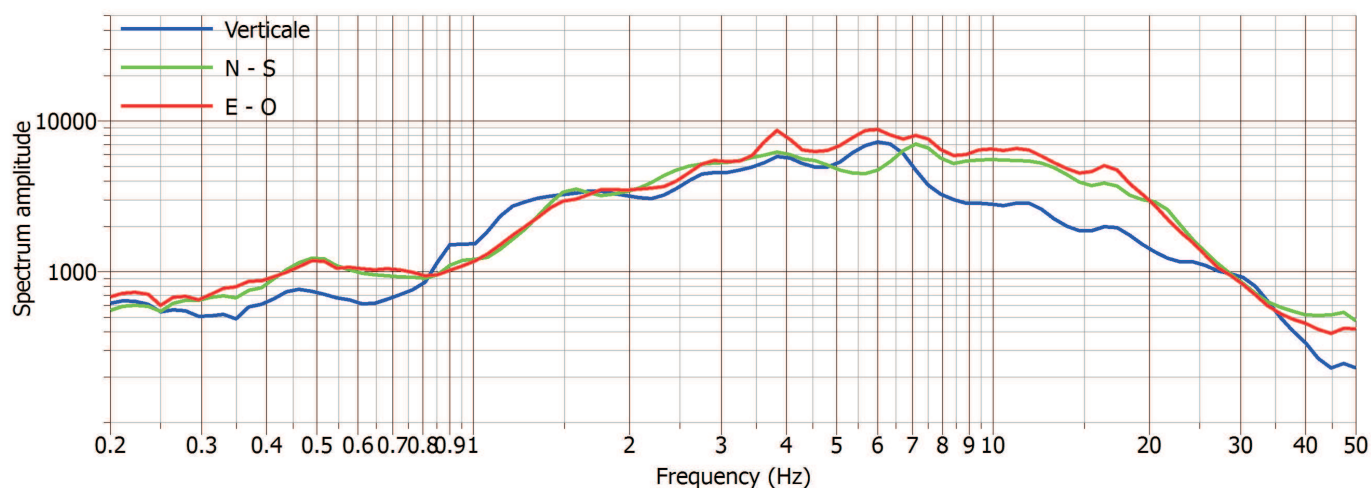
Data acquisizione: 28.02.2018

Durata tempo registrazione: 20 minuti

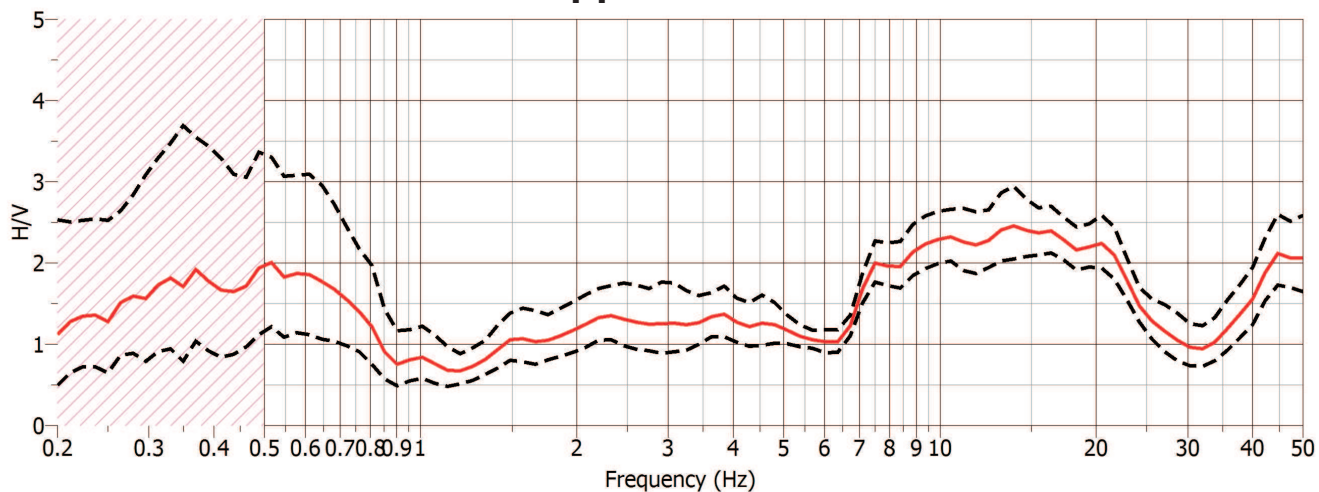
Analisi direzionale del rumore



Componenti spettrali



Rapporto H/V



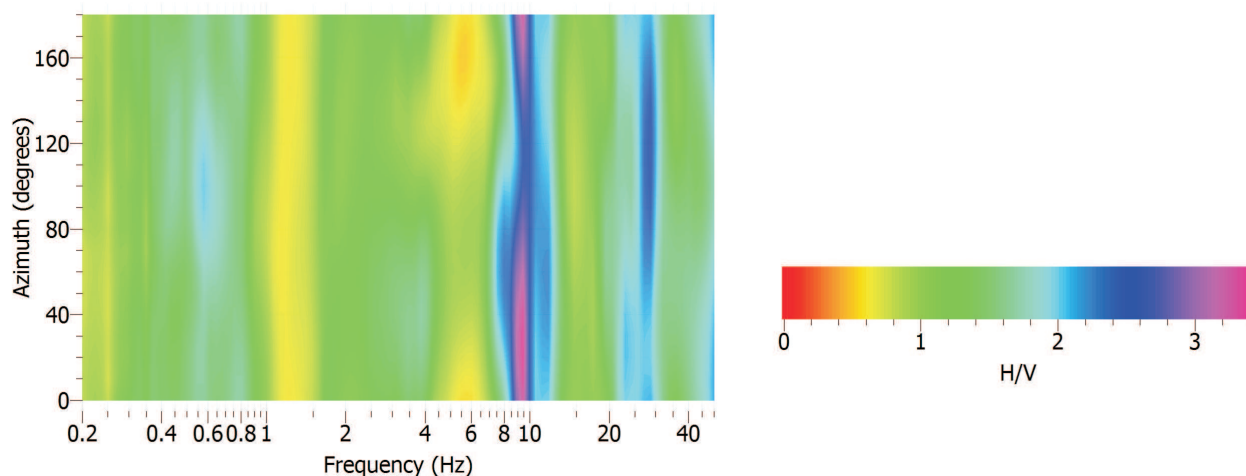
Stazione di misura HVSR - Località: Via San Pietro

File: 20180228\_140123.SAF

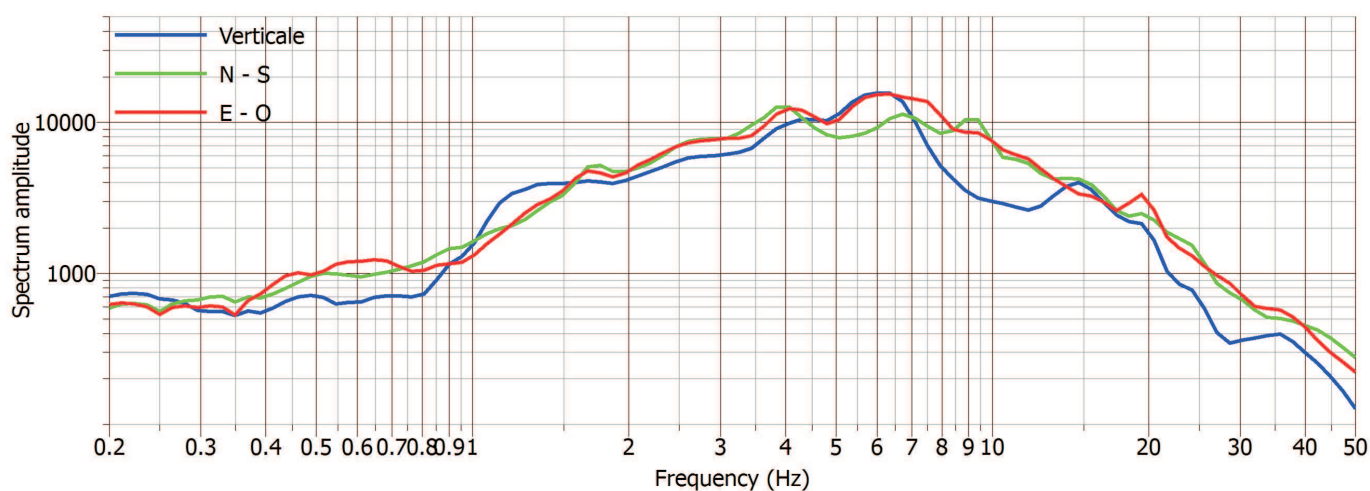
Data acquisizione: 28.02.2018

Durata tempo registrazione: 20 minuti

Analisi direzionale del rumore



Componenti spettrali



Rapporto H/V

