



Brescia | Verona | Vicenza | Padova

Autostrada Brescia Verona Vicenza Padova SpA

via Flavio Gioia, 71 37135 Verona

tel. +39 0458272222 Fax +39 0458200051

www.autobspd.it autobspd@autobspd.it direzione@pec.autobspd.it

FUNZIONE COSTRUZIONI AUTOSTRADALI



RIQUALIFICAZIONE DEI COLLEGAMENTI VIARI TRA IL CASELLO DELL' AUTOSTRADA A31 DI THIENE E LA S.P. NUOVA GASPARONA

PROGETTO DEFINITIVO

DATA Novembre 2019

CUP G11B0700038005

WBS -

COMMITTENTE

AUTOSTRADA BRESCIA-VERONA-VICENZA-PADOVA S.p.A
Funzione Costruzioni Autostradali

CAPO COMMESSA
PER LA PROGETTAZIONE
Arch. M. Panarotto

R.T.I. Mandataria:



Mandanti:



RESPONSABILE INTEGRAZIONE
TRA LE VARIE PRESTAZIONI
SPECIALISTICHE
Ing. G. De Stavola

PROGETTISTA
Ing. R. Tonin

ELABORATO

INTEGRAZIONI - QUADRO AMBIENTE - GEOLOGIA
INDAGINI GEOGNOSTICHE
RELAZIONE

SCALA -

NOME FILE U25-EFPR-EAC-SO-XXZZ00-Z-TR-LE-0005

| Project | Originator | Volume | Location | Type | Role | Number | Suitability | Revision |
|---------|------------|--------|-------------|------|------|--------|-------------|----------|
| U25 | EFPR | EAC | SO-XXZZ00-Z | TR | LE | 0005 | D00S1 | P01 |

| Rev. | Data | Descrizione | Redazione | Controllo | Approvazione |
|------|------------|-----------------|-----------|-----------|--------------|
| 00 | 18.11.2019 | Prima Emissione | RT | RT | GD |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

REGIONE DEL VENETO
PROVINCIA DI VICENZA
COMUNE DI THIENE

**MIGLIORAMENTO DEI COLLEGAMENTI VIARI
TRA IL CASELLO A31 DI THIENE E LA NUOVA
SP GASPARONA**

**INDAGINE GEOGNOSTICA
RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA**

NTC 2018 “Norme tecniche per le costruzioni” – D.M. del 17.01.2018

INDAGINI SIMICHE

COMMITTENTE: AUTOSTRADA BRESCIA-PADOVA-VERONA-VICENZA

Lovadina di Spresiano, 24.10.2019



Paolo Sivieri

SOMMARIO

| | |
|--|-----------|
| 1.0 OGGETTO | 3 |
| 1.1 INDAGINI IN SITO | 3 |
| 2.0 INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO DELL'AREA DI INDAGINE | 3 |
| 3.0 RISPOSTA SISMICA LOCALE | 7 |
| 3.1 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO SISMICO..... | 7 |
| 3.2 INDAGINE SISMICA CON TECNICA "RE.MI." | 9 |
| 3.3 INDAGINE GEOFISICA HVSR | 16 |
| ELENCO DEGLI ALLEGATI | 23 |

1.0 OGGETTO

Per conto della Società Autostrada Brescia-Padova-Verona-Vicenza S.p.a. è stata eseguita, nell'ambito del progetto di miglioramento dei collegamenti viari tra il casello A31 di Thiene e la nuova SP Gasparona, nel Comune di Thiene (Vi), un'indagine geognostica, geologica e geotecnica, secondo quanto previsto dalle NTC2018 "Norme tecniche per le costruzioni" – D.M. 17.01.2018.

L'indagine attuale e la presente relazione sono da considerarsi un'integrazione delle indagini geognostiche eseguite nel mese di Luglio 2011 da GeoStudio del Dott. Geol Edoardo Stimamiglio.

1.1 INDAGINI IN SITO

L'Analisi di Risposta Sismica locale è consistito nell'esecuzione di:

- n. 3 indagini sismiche eseguite con tecnica Re.Mi. per la determinazione della velocità delle onde S nei primi 30 metri di profondità e la determinazione del parametro V_{seq} ;
- n. 3 indagini sismiche HVSR per la determinazione delle frequenze fondamentali di risonanza del terreno.

2.0 INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO DELL'AREA DI INDAGINE

L'area in oggetto è ubicata a Sud di Thiene, immediatamente a Nord della zona industriale, a circa tre chilometri dal Fiume Timonchio, rispetto al quale si trova in sinistra idrografica. L'inquadramento topografico dell'area è visibile nelle figure 1 (C.T.R. 1:25.000), 2 (C.T.R. 1:5.000) e 3 (Immagine satellitare – Google Earth 2018).

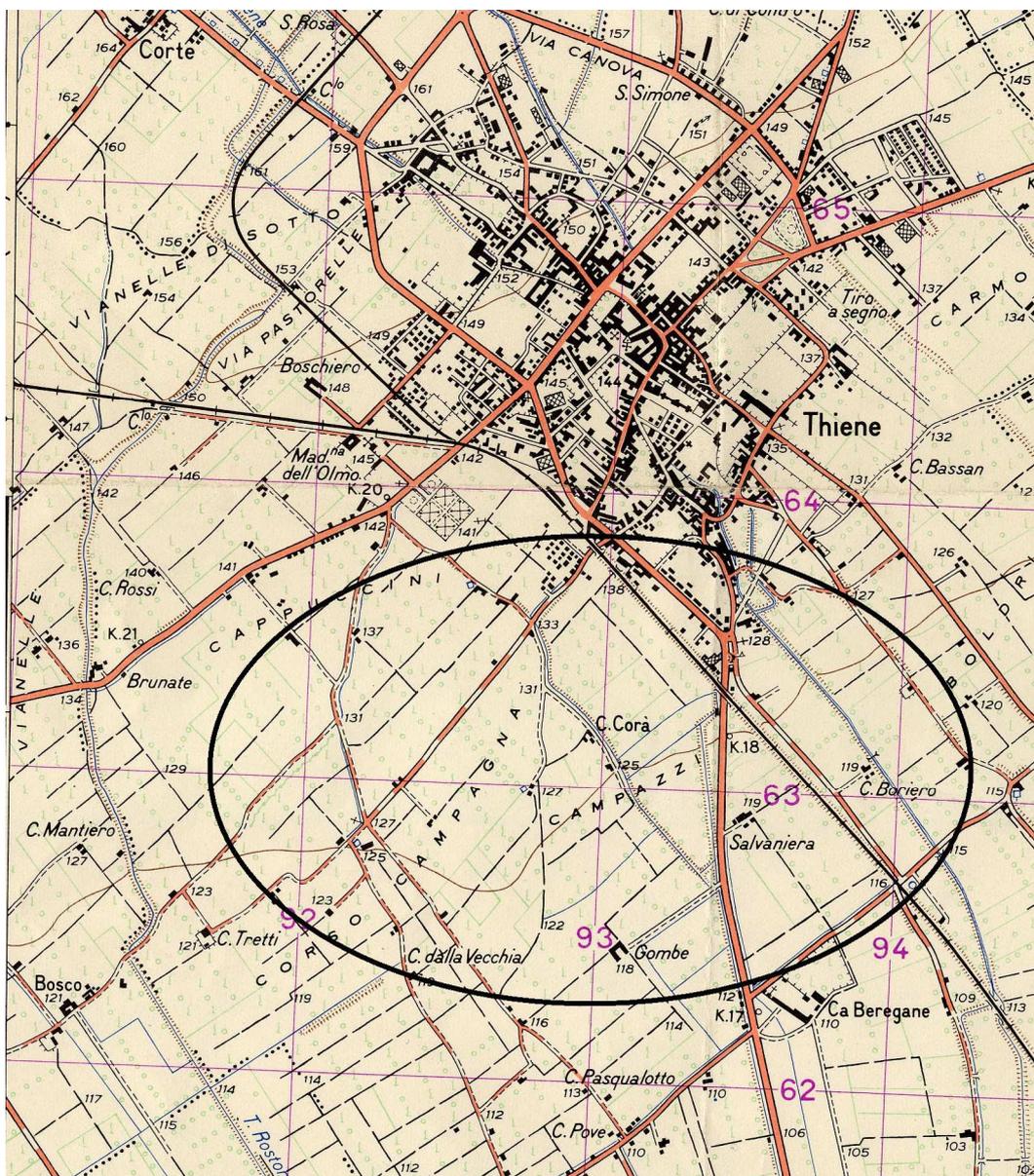


FIGURA 1 - SCALA 1 : 25.000
INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO DELL'AREA DI INDAGINE



FIGURA 3
UBICAZIONE DELL'AREA DI INDAGINE DA FOTO SATELLITARE
(Google Earth 2018)

3.0 RISPOSTA SISMICA LOCALE

L'area in oggetto, ubicata nel comune di Thiene è stata confermata "zona 3", ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003 e successive modifiche.

3.1 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO SISMICO

La normativa sismica vigente (Norme Tecniche per le Costruzioni – Decreto 17/01/2018 del Ministero delle Infrastrutture (GU n. 42 del 20/02/2018)) impone, per il calcolo delle azioni sismiche di progetto e la valutazione dell'amplificazione del moto sismico, la stima del fattore di amplificazione dell'energia sismica causato dai diversi terreni in base alle loro caratteristiche di spessore e di rigidità sismica.

In base alla zona di classificazione sismica, i nuovi edifici costituiti, così come quelli in ristrutturazione, devono essere adeguati alle corrispondenti normative vigenti antisismiche.

-Norme Tecniche per le Costruzioni. Decreto 17/01/2018 del Ministero delle Infrastrutture (GU n. 42 del 20/02/2018);

-Ordinanza PCM 3519 (28/04/2006). Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone (G.U. n.108 del 1/05/2006);

-Ordinanza PCM 3274 (20/03/2003). Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione del territorio nazionale e di normative tecniche (G.U. n.105 del 08/05/2003).

In mancanza di studi specifici della risposta sismica locale, la normativa vigente definisce cinque (A, B, C, D, E) categorie di suolo di fondazione a diversa rigidità sismica, caratterizzate da velocità $V_{s,30}$ (definito come il valore medio della velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali, o di taglio, nei primi 30 metri sotto il base delle fondazioni), decrescenti, e quindi ad effetti amplificativi crescenti.

Estratto dal § 3.2.2 Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche (NTC2018):

«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 a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori di 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.

Categorie di sottosuolo sismico

| Categoria | Descrizione |
|------------------|--|
| A | <i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m. |
| B | <i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s. |
| C | <i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s. |
| D | <i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s. |
| E | <i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m. |

La $V_{s,eq}$ è definita come la velocità media di propagazione delle onde di taglio (S) nei primi 30 metri di profondità e viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori.

3.2 INDAGINE SISMICA CON TECNICA “RE.MI.”

Per la caratterizzazione sismica del sito, lungo il tracciato del nuovo collegamento viario, sono stati eseguiti n. 3 rilievi sismici con tecnica Re.Mi., finalizzati alla determinazione del profilo verticale della $V_{s,eq}$.

Sono stati realizzati stendimenti con lunghezza 72 m ciascuno (24 stazioni geofoniche con passo intergeofonico di 3 m) con direzione E/W in attraversamento al sedime.

Le misure Re.Mi. sono state eseguite con la strumentazione impiegata per i rilievi sismici a rifrazione e i dati sono stati acquisiti con un amplificatore sismico *Geometrics Geode Ultra - Light Exploration Seismograph* a 24 canali, con risoluzione di 24 bit nella conversione A/D, equipaggiato con geofoni a frequenza naturale di 4.5 Hz. I microtremori vengono generalmente registrati mediante uno stendimento lineare di 12 o più geofoni a bassa frequenza, variabile da 4 a 14 Hz, e tempi di registrazione di 15-30 s, senza la necessità di dover operare con una sorgente attiva.

È quindi teoricamente possibile registrare onde di superficie il cui contenuto in frequenza è compreso nell'intervallo tra 2 Hz e 20-30 Hz. Questo intervallo di frequenza, in condizioni ottimali, può consentire di stimare, con buon dettaglio, il profilo della V_s nei primi 100 metri di profondità. Il sito è stato investigato con n. 3 stazioni Re.Mi. (Rm-01, Rm-2, Rm-03) in corrispondenza delle quali sono state acquisite 10 sessioni di registrazione ciascuna, con controllo in tempo reale dei dati. Le tracce sono state elaborate mediante il software commerciale “*ReMi*” della *Optim Ilc*.



FIGURA 4
UBICAZIONE DELLE INDAGINI SISMICHE Rm-01 E HV-01
DA IMMAGINE SATELLITARE (Google Earth 2018)

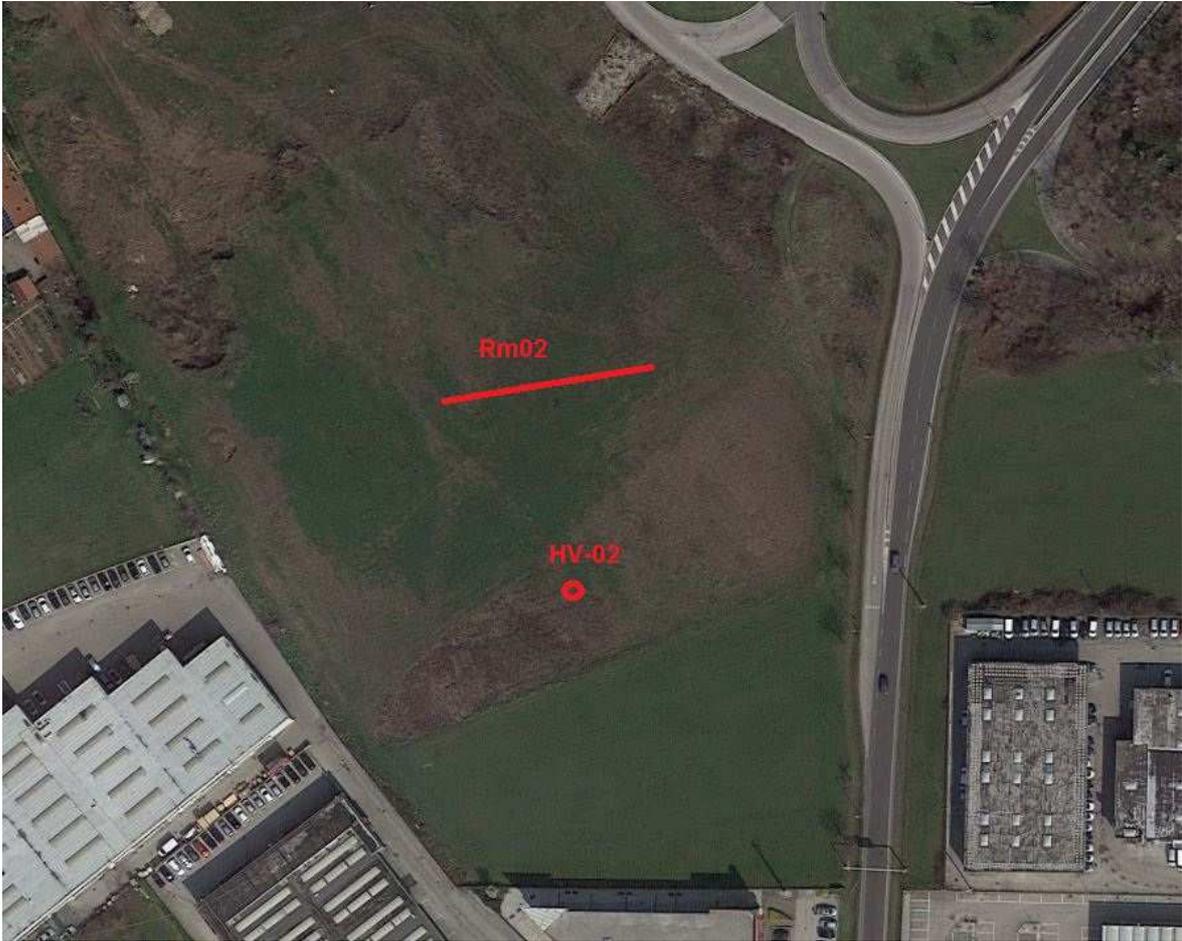


FIGURA 5
UBICAZIONE DELLE INDAGINI SISMICHE Rm-02 E HV-02
DA IMMAGINE SATELLITARE (Google Earth 2018)

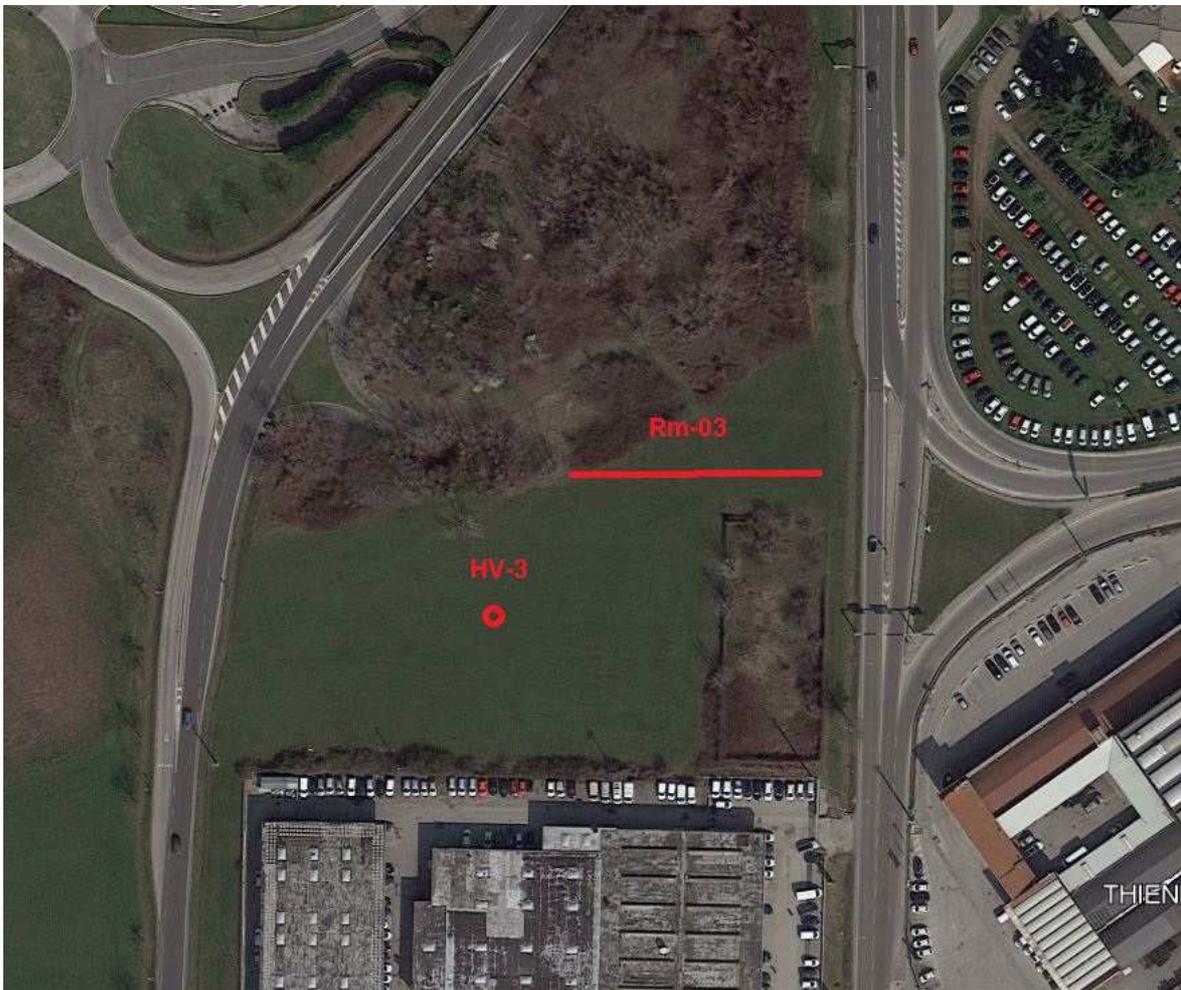
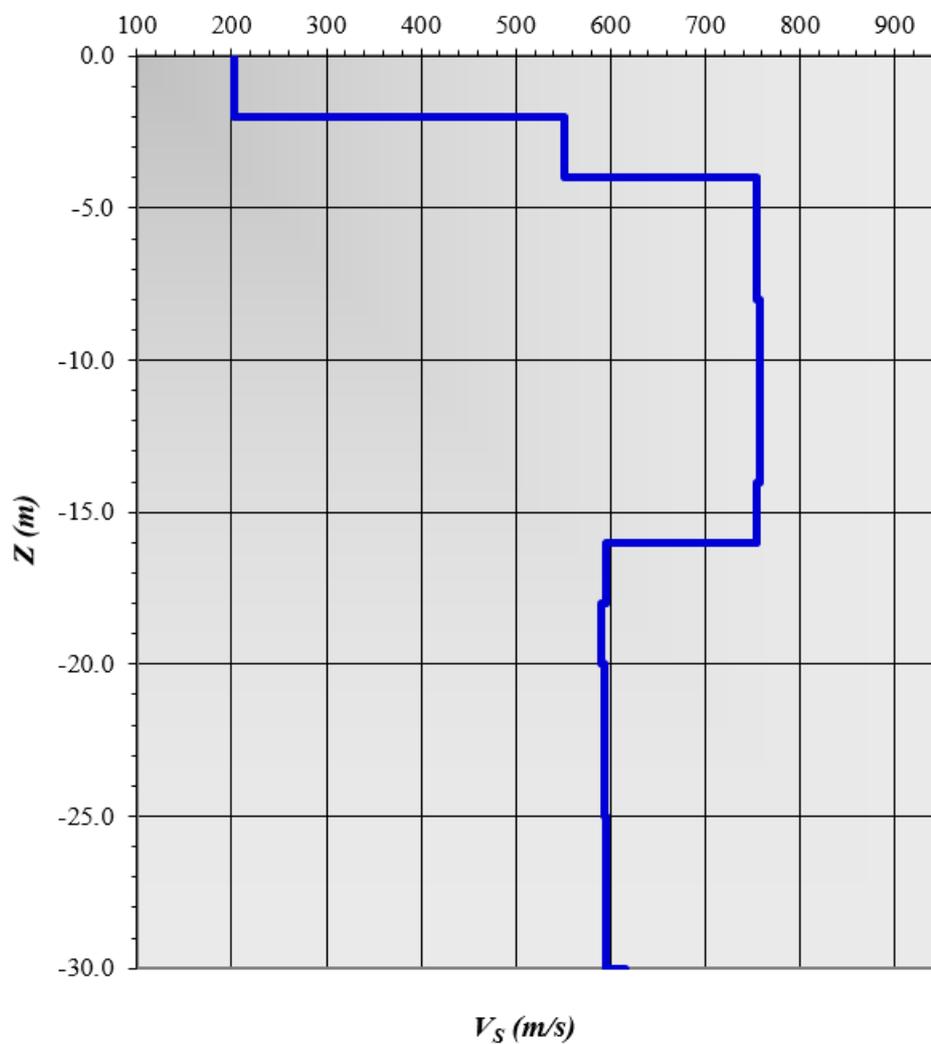


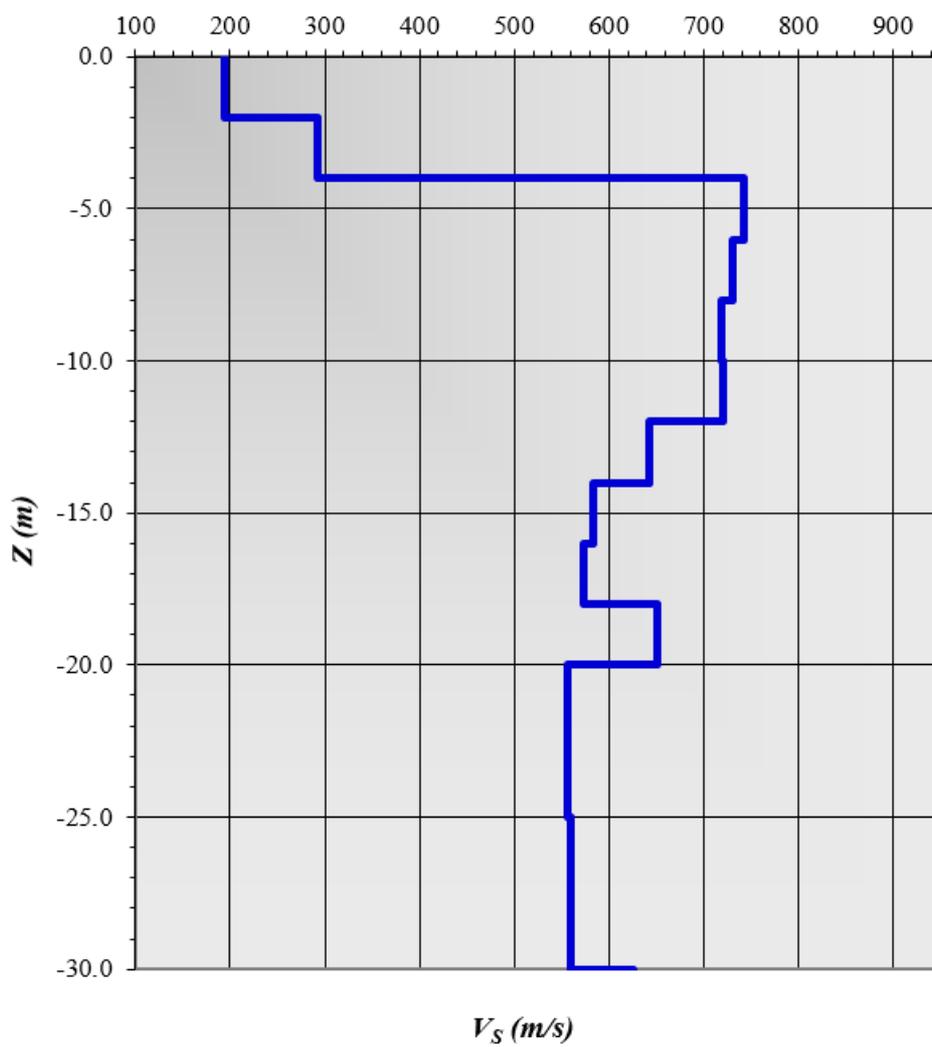
FIGURA 6
UBICAZIONE DELLE INDAGINI SISMICHE Rm-03 E HV-03
DA IMMAGINE SATELLITARE (Google Earth 2018)

Nelle figure seguenti si riportano i profili verticali della velocità delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo, come ricavato dai rilievi sismici Re.Mi.

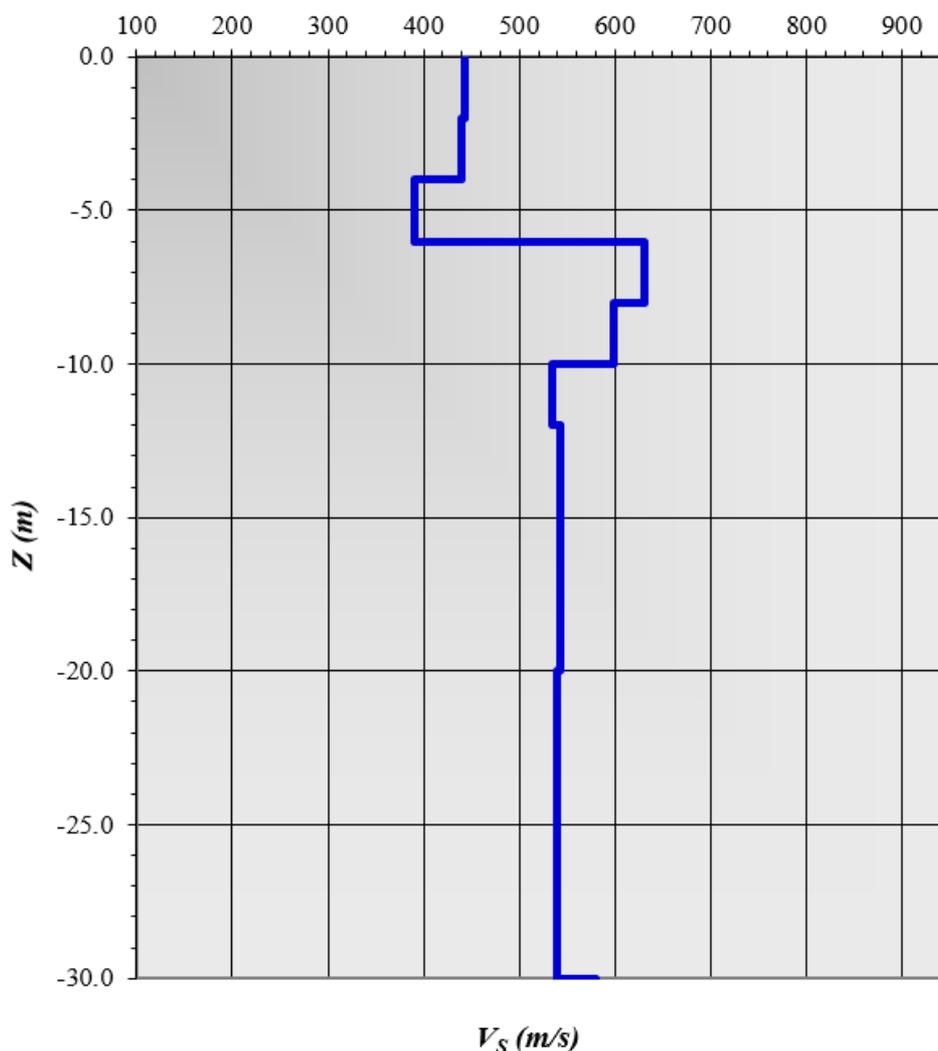
ReMi 01
proprietà Molo - Thiene (VI)



ReMi 02
proprietà Ferracin - Thiene (VI)



ReMi 03
proprietà Miotto - Thiene (VI)



Dalle modellazioni dirette delle curve è stato possibile stimare il profilo verticale della V_{seq} media pari a **566 m/s** per Rm-01, **507 m/s** per Rm-02 e **519 m/s** per Rm-03

Ai fini delle prescrizioni della vigente normativa in materia (NTC 2018) i suoli di fondazione dei siti oggetto di studio appartengono alla **Classe B**, nella quale ricadono i depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

B

Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

3.3 INDAGINE GEOFISICA HVSR

La tecnica HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) è stata ideata da Nogoshi and Igarashi (1971) e successivamente perfezionata da Nakamura (1989, 2000).

Il microtremore ambientale (noise sismico) è un movimento minimo (nell'ordine di 10^{-2} / 10^{-6} mm) del terreno presente in qualsiasi punto della superficie terrestre e consiste per lo più nelle onde di superficie (Rayleigh e Love) prodotte dall'interferenza costruttiva delle onde P e S negli strati superficiali. Viene prodotto anche dal vento e dalle onde del mare e, a frequenze alte (1-10 Hz), da sorgenti di carattere antropico (industrie e traffico veicolare).

Il metodo si dice passivo in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le prospezioni attive e i risultati che si possono ottenere sono:

- a) la frequenza caratteristica di risonanza del sito, parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici così da evitare l'effetto della "doppia risonanza";
- b) la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio qualora la misura viene effettuata all'interno dello stesso;

Le sorgenti ad alta frequenza (i.e. superiori ad 1 Hz) sono generalmente locali ed il campo d'onda è costituito da onde di superficie, ma anche da onde di corpo (P ed S). All'aumentare della distanza le onde superficiali diventano prevalenti. Le vibrazioni sono quindi abbastanza complesse in particolar modo alle alte frequenze dove il contributo antropico è più importante. Nell'interpretazione di dati HVSR è quindi importante considerare quali siano i contributi prevalenti delle diverse fasi (P, S, Rayleigh, Love) e dei diversi modi.

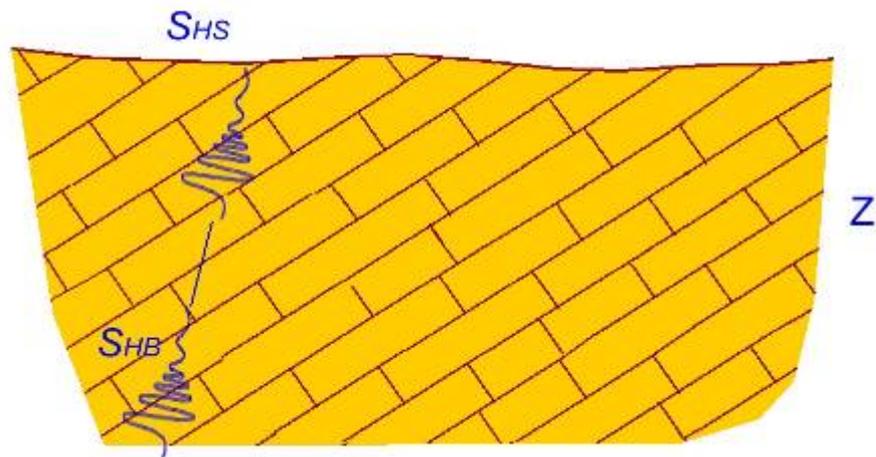


FIGURA 7

Condizioni di sottosuolo rigido. SHS: spettro dei microtremori alla superficie topografica; SHB: spettro dei microtremori sul substrato (bedrock sismico).

Nakamura osserva che il rapporto tra la vibrazione orizzontale e verticale del terreno durante un terremoto è pari a circa 1 se il suolo è rigido. Secondo questo punto di vista nei suoli compatti non c'è un prevalere in termini di energia di una componente rispetto all'altra, le vibrazioni in senso orizzontale hanno la stessa energia di quelle verticali. Le vibrazioni, in presenza di suoli poco compatti (tipicamente lenti) vengono invece amplificate. In prima approssimazione si può assumere che la vibrazione orizzontale si amplifichi attraverso la riflessione multipla delle onde di taglio, mentre la vibrazione verticale si amplifichi attraverso le riflessioni multiple delle onde di pressione. Con le tipiche velocità di propagazione delle onde P (intorno ai 1000 m/s) le vibrazioni di frequenza uguale ed inferiore ai 10 Hz non vengono amplificate in modo significativo attraverso riflessioni multiple dovute a strati superficiali di bassa velocità. Le onde di Rayleigh subiscono invece amplificazioni verticali significative. L'effetto verticale dell'onda di Rayleigh può essere stimato come rapporto tra vibrazione verticale alla superficie e vibrazione verticale al substrato. L'effetto dell'onda di Rayleigh sulla componente verticale si avvicina a 0 quando questo rapporto vale 1.

Nelle ipotesi di Nakamura (1989) Il modello geologico di partenza quindi è quello di un substrato veloce ubicato ad una profondità Z sul quale insiste uno strato superficiale di sedimenti caratterizzati da proprietà elastico-acustiche scadenti (i.e. bassa velocità).

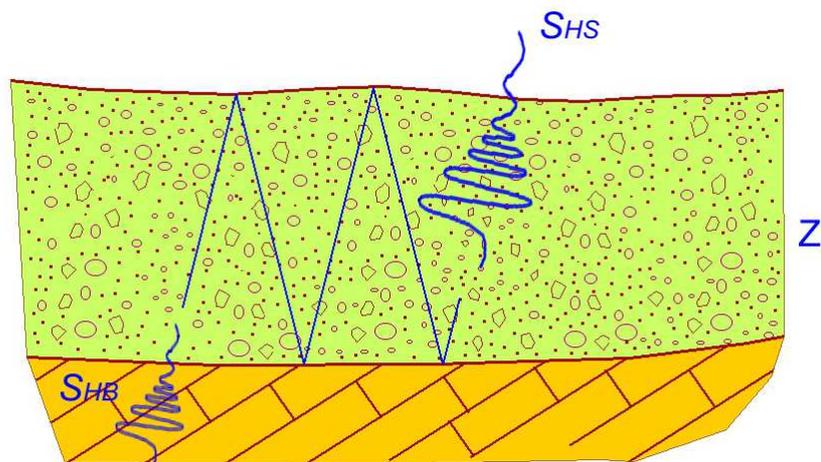


FIGURA 8

Modello geologico di partenza nell'ipotesi di Nakamura (1989). SHS: spettro dei microtremori alla superficie topografica; SHB: spettro dei microtremori sul substrato (bedrock sismico).

La conoscenza dell'effetto dell'onda di Rayleigh consente di rimuoverla dalla vibrazione e stimare la sola funzione di trasferimento delle onde di taglio. La funzione di trasferimento (TF), utilizzando le vibrazioni (microtremori), dell'ampiezza del moto delle onde di taglio che passano da un substrato rigido alla superficie attraversando un mezzo "soffice" si stima secondo la seguente equazione:

$$T_F = \frac{S_{HS}}{S_{HB}};$$

S_{HS} rappresenta lo spettro dei microtremori alla superficie topografica e S_{HB} rappresenta lo spettro dei microtremori sul substrato (bedrock sismico). Dato che il microtremore può essere un insieme di onde di corpo (P ed S) e di onde superficiali (Rayleigh e Love) e queste ultime possono essere largamente prevalenti, è necessario sottrarre la componente delle onde superficiali dal termine S_{HS} per ottenere correttamente la funzione

di trasferimento. Nakamura assume che le onde di Rayleigh siano presenti nello spettro verticale alla superficie (S_{VS}) e non nello spettro verticale del “base ground” (S_{VB}), assumendo ancora che il tremore verticale non è amplificato dagli strati superficiali (più prossimi alla superficie) la quantità E_S rappresenta l'effetto dell'onda di Rayleigh sul tremore verticale.

$$E_S = \frac{S_{VS}}{S_{VB}};$$

Se non ci sono onde di Rayleigh $E_S = 1$ mentre E_S avrà valore più grande di 1 all'aumento dell'effetto delle onde di Rayleigh. Assumendo che l'effetto delle onde di Rayleigh è lo stesso sia per la componente orizzontale che per quella verticale, T_F/E_S è una stima più affidabile della funzione di trasferimento espressa dalla seguente equazione:

$$T_{FF} = \frac{T_F}{E_S} = \frac{R_S}{R_B};$$

dove $R_S = S_{HS}/S_{VS}$ e $R_B = S_{HB}/S_{VB}$. R_S e R_B si possono ottenere dividendo lo spettro orizzontale delle vibrazioni per lo spettro verticale delle stesse vibrazioni che corrispondono rispettivamente alle vibrazioni di un terremoto rispettivamente alla superficie e al bedrock. R_B assume il valore di 1 per un intervallo relativamente ampio di frequenze. Nominalmente sul substrato rigido la propagazione è quasi in tutte le direzioni. Quindi:

$$R_B \approx 1 \rightarrow T_{FF} = R_S = \frac{S_{HS}}{S_{VS}};$$

questo significa che la funzione di trasferimento può essere stimata esclusivamente dalle vibrazioni misurate alla superficie. In pratica le vibrazioni verticali alla superficie incorporano le vibrazioni orizzontali sul substrato sostituendo quindi le seconde. La presenza dell'onda di Rayleigh tende a rendere nulla questa sostituzione, ma siccome R_S

assume all'incirca il valore di 1 nell'intervallo di frequenza dove l'onda di Rayleigh prevale, diventa trascurabile nella stima della funzione trasferimento.

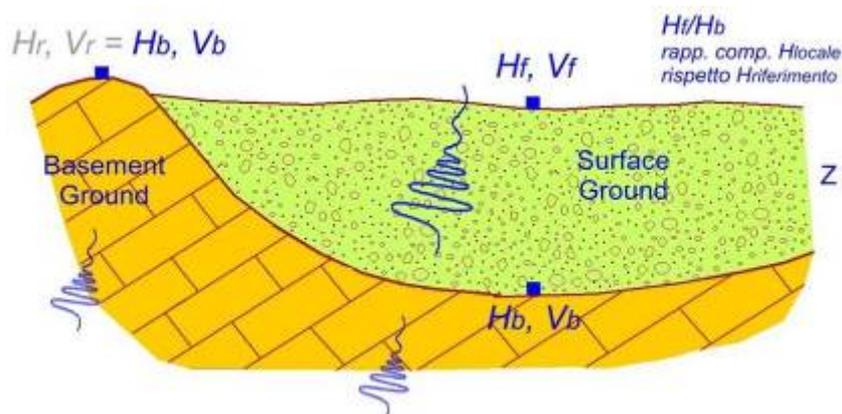


FIGURA 9

Rappresentazione schematica di un profilo trasversale ad una valle alpina

La strumentazione utilizzata per la misura della frequenza fondamentale è stata la seguente:

- Una stazione sismica SOLGEO Dymas 24 a 3 canali dotata di GPS per il timing.
- Geofono Veloget a periodo T di 1 s.

Per l'elaborazione dei dati HVSR è stata adottata la procedura proposta nell'ambito del progetto SESAME (Site Effects assessment using Ambient Excitations). Preliminarmente alla procedura di analisi dei rapporti spettrali, le tracce sismiche registrate sono state verificate eliminando i disturbi transienti e quelle parti di registrazioni non adatte all'analisi. Una volta selezionata la parte di segnale stabile sono state calcolate, per ognuna delle tre componenti del moto, le ampiezze spettrali e gli spettri di potenza del "noise", procedendo successivamente, per il "rumore naturale", alla valutazione della distribuzione energetica in frequenza. È stata inoltre eseguita la verifica dei criteri che permettono di definire il livello di affidabilità della misura e di identificare il picco significativo attraverso l'uso di test statistici opportuni.

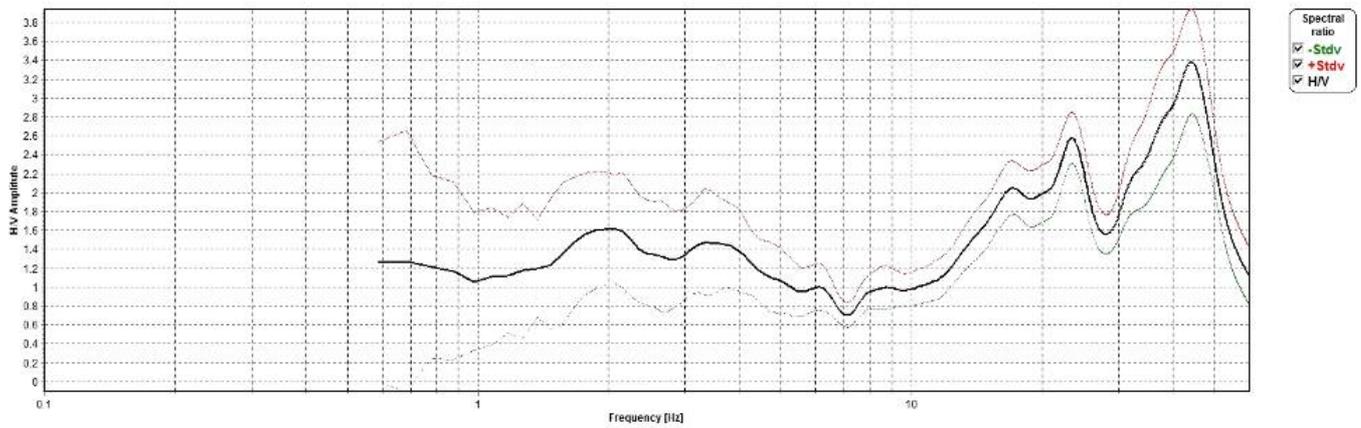


FIGURA 10 – HV-01
Rapporto Frequenza/Ampezza (Hz)

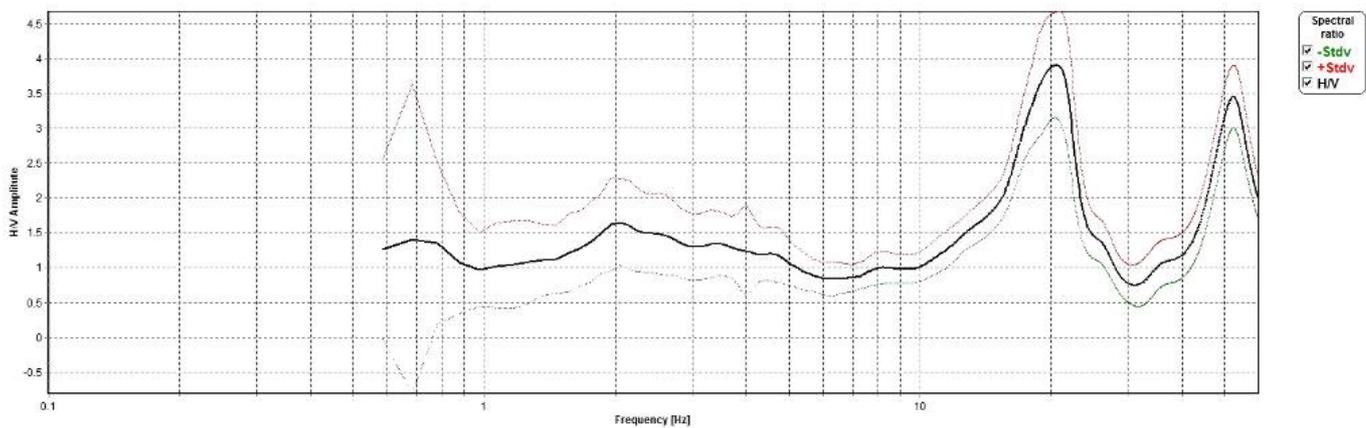


FIGURA 11 – HV-02
Rapporto Frequenza/Ampezza (Hz)

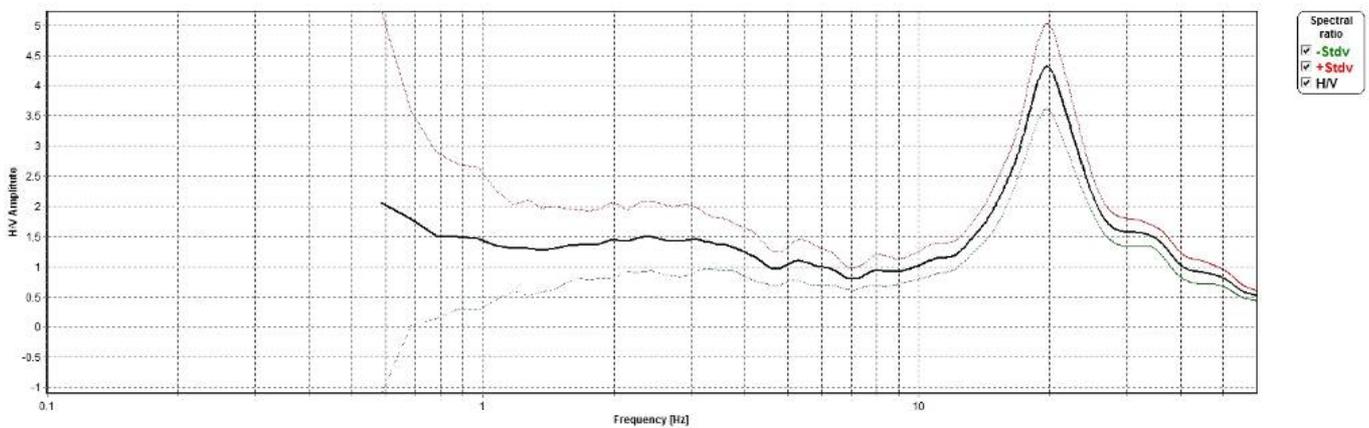


FIGURA 12 – HV-03
Rapporto Frequenza/Ampiezza (Hz)

Alcuni criteri di carattere convenzionale determinati nell'ambito del progetto europeo SESAME hanno stabilito che un massimo viene giudicato rappresentativo di possibili effetti di risonanza se la sua ampiezza risulta almeno pari a 2, anche tenendo conto del relativo intervallo di confidenza. Dall'elaborazione dei dati si riscontra che possibili effetti di risonanza possono aversi in corrispondenza delle frequenze indicate in tabella:

| Stazione sismica | Frequenza (Hz) | Amplificazione (Hz) |
|------------------|----------------|---------------------|
| HV-01 | 23 | 2,6 |
| HV-01 | 45 | 3,4 |
| HV-02 | 21 | 3,8 |
| HV-02 | 52 | 3,4 |
| HV-03 | 20 | 4,2 |



Paolo Sivieri

ELENCO DEGLI ALLEGATI

- PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI

