

## **STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**

dott. geol. Dario Barazzuol via S. Croce, 29 - 31053 PIEVE di SOLIGO (TV) - fax : 0438/801388 mail: [barazzuoldario@libero.it](mailto:barazzuoldario@libero.it)  
Ordine dei Geologi Regione del Veneto n. 618

---

Provincia di Treviso

Comune di Susegana

---

Committente: **Comune di SUSEGANA**

Piazza Martiri della Libertà, 11

31058 Susegana

---

# **RELAZIONE DI COMPATIBILITA' SISMICA** **relativa ad alcune modifiche sostanziali al Piano** **degli Interventi**

Ottobre 2016

Il geologo  
Dario Barazzuol



---

## INDICE

---

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>3</b>
1.1	Riferimenti normativi	3
<b>2</b>	<b>PERICOLO SISMICO – GENERALITA’</b>	<b>4</b>
2.1	Pericolosità sismica di base	4
2.2	Pericolosità sismica locale	5
<b>3</b>	<b>MICROZONAZIONE SISMICA – STATO DELL’ARTE</b>	<b>6</b>
3.1	Attuale livello di approfondimento	6
<b>4</b>	<b>ApPROFONDIMENTI RELATIVI ALLE MODIFICHE DEL PI</b>	<b>10</b>
4.1	Microzonazione sismica di 2° livello	10
4.1.1	<i>Breve descrizione dei metodi.....</i>	<i>11</i>
4.2	Microzonazione sismica di 3° livello	14

---

---

## **1 PREMESSA**

La presente relazione è stata svolta su incarico dell'Amministrazione comunale di Susegana (cfr. Determina n° 685 del 22/09/16 con CIG ZC81B47A1F), quale supporto tecnico specialistico in materia di geologia, idraulica e sismica ad alcune modifiche sostanziali al Piano degli Interventi, modifiche che comportano aumento di carico urbanistico.

La presente relazione di compatibilità sismica si esprime in merito alle azioni previste dalla suddetta variante (aree di espansione, edificabili) avendo come primo riferimento lo studio sismico del PAT, ed in particolare alla Carta degli Elementi Geologici in Prospettiva Sismica (tavola 5A del PAT) e alla Carta delle Zone Omogenee in Prospettiva Sismica (tavola 6A del PAT), che attualmente definiscono l'approfondimento di 1° livello in tema di Microzonazione Sismica. Nella relazione vengono inoltre sviluppati gli approfondimenti di livello superiore (2° e 3° livello), secondo le modalità riportate nelle Linee Guida Regionali per la microzonazione sismica, approvate con D.G.R. 1572 del 03/09/2013.

Trattandosi di una variante ad un PI, la trattazione degli aspetti sismici generali del comune è stata contenuta agli elementi principali: per una trattazione più estesa ed approfondita degli stessi si rimanda alla specifica relazione sismica allegata al PAT.

Gli aspetti di studio della compatibilità sismica sono stati invece trattati attraverso schede sintetiche.

Lo studio di compatibilità geologica e di compatibilità idraulica delle modifiche al PI sono illustrati in altra relazione sempre a firma del sottoscritto.

### **1.1 Riferimenti normativi**

Il lavoro è stato svolto in accordo con la normativa vigente, in particolare:

- L. 02.02.1974, n. 64, "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche";
- D. M. 14.05.1982, "Aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche del Veneto";
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20.03.2003, "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica";
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3431 del 03.05.2005 "Ulteriori modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recante «Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica»"
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28.04.2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone";
- DM 14 gennaio 2008 (Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni)

- 
- Circolare esplicativa del C.S.LL.PP. n° 617/2009
  - DGR 1572 del 03/09/2013 – Allegato A (Linee guida per l’esecuzione di studi di microzonazione sismica)

Nell’ambito della pianificazione territoriale del comune di Susegana si è fatto poi riferimento ai seguenti documenti:

- 1999 Studio geologico del territorio comunale per Variante Generale al PRG a cura del dott. geol. Ivo Moret;
  - 2012 Studio geologico del territorio comunale per il PAT a cura del dott. geol. Dario Barazzuol;
- Quest’ultimo studio fa sintesi degli elaborati precedenti, integrandoli con le conoscenze nel frattempo acquisite ed adeguandoli alle modalità di rappresentazione imposte dalle grafie Regionali.

## **2 PERICOLO SISMICO – GENERALITA’**

Per capire bene l’importanza della microzonazione sismica nella pianificazione territoriale è necessario comprendere innanzitutto il concetto di pericolosità sismica. Essa può essere definita (cfr. Linee Guida Regionali) come la *“stima quantitativa dello scuotimento del terreno dovuto a un evento sismico, in una determinata area. La pericolosità sismica può essere analizzata con metodi probabilistici, nei quali le incertezze dovute alla grandezza, alla localizzazione e al tempo di occorrenza del terremoto sono esplicitamente considerati. Tale stima include le analisi di pericolosità sismica di base e di pericolosità sismica locale”*.

Val la pena richiamare alcuni principi di queste ultime.

### **2.1 Pericolosità sismica di base**

Essa è la componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche sismologiche dell’area (tipo, dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei terremoti). L’ambito geografico di riferimento di solito è a scala regionale. Da questo punto di vista il Veneto si conferma una regione dalla sismicità significativa, come documentato dalle informazioni storiche; questo aspetto forse non viene adeguatamente messo in rilievo dal dato strumentale disponibile dal 1977, e dalla normativa sismica vigente. Terremoti al di sopra della soglia di percezione hanno interessato un’ampia fascia circa corrispondente alle Prealpi Venete, laddove vi sono maggiori indizi geomorfologici di una deformazione in atto (non ultimi gli eventi registrati nella zona di Moriago-Colbertaldo il 15/05/2015 di magnitudo 3.6). Questa particolare zona è caratterizzata da pieghe e sovrascorrimenti ad andamento ENE-OSO, prevalentemente vergenti a S-SE (Poli et al, 2008). La strutturazione della attuale fascia pedemontana, estesa dal Bassanese fino al fiume Tagliamento, trae le sue origini nell’evento compressivo del Messiniano-Pliocene, ampiamente propagatosi all’interno della catena entro sistemi già strutturati (Castellarin et al, 1998b). Tuttora l’area presenta un’attività tettonica rilevante, con una compressione attiva la cui velocità è stimata nell’ordine di qualche mm/a.

---

In termini quantitativi la pericolosità sismica di base per un sito di costruzione, è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo (“periodo di riferimento”  $V_R$  espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata “Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento” ( $P_{VR}$ ). In base alla zonazione attualmente adottata dall’INGV (ZS9), il territorio di Susegana si trova nella zona sismotettonica ZS905 (Friuli – Veneto Orientale) con  $M_{wmax}$  attesa di 6.60<sup>1</sup>. Sempre l’INGV, nella sua ‘Mappa della pericolosità sismica’, elaborata con modello probabilistico sismotettonico, comprende il comune di Susegana in una delle zone d’Italia con accelerazione orizzontale attesa medio alta, con un valore, per un sisma con un periodo di ritorno di 475 anni e 10% di probabilità di superamento, generalmente compreso nell’intervallo 0.200-0.250 Ag/g (accelerazione su bedrock). Questo range di valori fa sì che tutto il territorio comunale sia inserito in zona sismica 2 (su una scala da 1 a 4 con pericolosità decrescente da 1 a 4).

## **2.2 Pericolosità sismica locale**

Si definisce pericolosità sismica locale la componente del rischio sismico dovuta alle caratteristiche locali (geologiche e morfologiche). Lo studio della pericolosità sismica locale è svolto a scala di dettaglio, partendo dai risultati degli studi di pericolosità sismica di base (vedi sopra) ed analizzando i caratteri geologici, geomorfologici e geologico-tecnici del sito; permette di definire gli effetti legati al comportamento del terreno in caso di evento sismico, rappresentati dalle amplificazioni locali e dai fenomeni di instabilità e conseguenti alla presenza di particolari condizioni geologiche e morfologiche locali. I fenomeni di amplificazione locale determinano modifiche in ampiezza, frequenza e durata dello scuotimento sismico dovuto alle specifiche condizioni lito-stratigrafiche e morfologiche di un sito, mentre i fenomeni di instabilità del terreno determinano modifiche permanenti del terreno, quali cedimenti, frane, fenomeni di liquefazione o densificazione, che possono avvenire contemporaneamente al verificarsi dell’evento sismico (effetti cosismici) o con un certo ritardo (effetti post-sismici).

Gli studi di Microzonazione Sismica hanno quindi l’obiettivo di razionalizzare la conoscenza sulle alterazioni che lo scuotimento sismico può subire in superficie, restituendo informazioni utili per il governo del territorio, per la progettazione, per la pianificazione per l’emergenza e per la ricostruzione post sisma.

Nella pianificazione territoriale, in funzione delle varie scale e dei vari livelli di intervento, gli studi di Microzonazione Sismica sono condotti su quelle aree per le quali il quadro normativo consenta o preveda l’uso a scopo edificatorio o per infrastrutture, la loro potenziale trasformazione a tali fini, o ne preveda l’uso ai fini di protezione civile.

---

<sup>1</sup> Secondo il paragrafo 2.8 degli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica, per alcune tipologie di verifiche si potrebbe assumere come valore di magnitudo attesa direttamente quella massima della zona sismogenetica di appartenenza, che per la zona n°905 in cui il territorio di Susegana risulta inserito vale  $M_{wmax} = 6,60$ , senza utilizzare i valori della disaggregazione.

---

Gli studi di MS sono di fondamentale importanza nella pianificazione al fine di:

- orientare la scelta di aree per nuovi insediamenti
- definire gli interventi ammissibili in una data area
- programmare le indagini e i livelli di approfondimento
- stabilire orientamenti e modalità di intervento nelle aree urbanizzate
- definire priorità di intervento.

La metodologia di analisi del rischio sismico attraverso la microzonazione prevede tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio in ordine crescente:

1° LIVELLO: si applica in sede di P.A.T. consente di delineare gli scenari della pericolosità sismica ed identifica, nella carta MOPS, le parti del territorio comunale suscettibili di effetti locali: amplificazione del moto sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, liquefazione, rottura del terreno, ecc.;

2° LIVELLO: ha come obiettivo la redazione della MS e si applica in sede di P.I. a tutte le parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica individuati nella precedente fase e per le quali si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio od incremento dei carichi urbanistici e per il territorio compreso nel perimetro del “centro abitato” così come previsti dalla normativa vigente;

3° LIVELLO: si applica in sede di P.I. in concomitanza con il 2° livello:

- per le scelte espansive di pianificazione urbanistica nelle aree con particolari criticità geologiche, geomorfologiche e geotecniche (possibili potenziali effetti di instabilità di versante, per cedimento /liquefazione)
- quando le procedure semplificate per la stima dell’amplificazione sismica utilizzate nel 2° livello (fattori di amplificazione derivati dagli abachi) si dimostrano inadeguate per l’applicazione delle norme tecniche di cui al D.M. 14/1/2008.
- per le aree in cui è prevista la realizzazione di opere con rilevante interesse pubblico.

Per queste parti del territorio ove la pericolosità risulta elevata deve essere attentamente valutata la possibilità di non operare trasformazioni urbanistiche od incremento dei carichi urbanistici.

I primi due livelli sono obbligatori in fase di pianificazione urbanistica, mentre il terzo livello di approfondimento diviene obbligatorio per gli scenari di pericolosità sismica locale caratterizzati da potenziali effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione e quando con le risultanze del 2° livello si dimostra l’inadeguatezza delle procedure semplificate per la stima dell’amplificazione previste dalle vigenti Norme Tecniche delle Costruzioni (DM 14/1/2008).

### **3 MICROZONAZIONE SISMICA – STATO DELL’ARTE**

#### **3.1 Attuale livello di approfondimento**

Come detto in premessa attualmente il comune è dotato del solo 1° livello di approfondimento, portato a termine per la redazione dello studio sismico del PAT (redatto secondo le indicazioni della D.G.R.V. n. 3308/2008): esso è condensato in una Carta degli Elementi Geologici in Prospettiva Sismica (tavola

---

5A del PAT) ed in una Carta delle Zone Omogenee in Prospettiva Sismica (tavola 6A del PAT), oltre alla Relazione Sismica. A corredo dello studio non sono state eseguite prove geofisiche.

Dalla cartografia si evince che nel territorio del comune di Susegana non sono state riconosciute zone stabili, ovvero non potenzialmente passibili di amplificazioni del moto sismico. Infatti anche quei settori del territorio in cui non si ha la penalizzazione dovuta alla pendenza oppure allo spessore della coltre sciolta superiore a 3 m oppure alla presenza di cigli di scarpate o aree con diffuso carsismo con possibili cedimenti, comunque non vi è presenza di ammassi rocciosi affioranti o suoli molto rigidi come prevede la normativa per la categoria A.

Oltre a riconoscere il territorio come interamente suscettibile di amplificazione, le suddette carte riconoscono alcune aree instabili per azione sismica: sono le aree nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a “deformazioni” del territorio, ma in generale racchiudono anche gli effetti della classe precedente. Le potenziali situazioni geologiche riconosciute possono essere così schematizzate:

- a) instabilità di versante
- b) cedimenti
- c) rotture in superficie

#### *Instabilità di versante*

Naturalmente vanno escluse dal fenomeno tutte le aree di pianura. Nella fascia collinare le zone che in caso di sisma possono essere soggette ad accentuazione o riattivazione dei fenomeni di instabilità sono quelle caratterizzate da movimenti franosi attivi o quiescenti. Nel territorio in esame non sono stati documentati fenomeni di dimensioni tali che possono rientrare nelle categorie descritte. Le nicchie di frane di crollo attive rilevate nell'area sono di altezza modesta e risultano difficilmente riattivabili in caso di sisma. Gli unici elementi di dissesto riconoscibili, così come cartografati nella Tav. 5.1 – Carta geomorfologica, sono le superfici dissestate da creep, non ben localizzabili o circoscrivibili, che si rinvengono su ampi tratti dei rilievi collinari. Si tratta in prevalenza di movimenti lenti e superficiali, che si innescano per azione della gravità in versanti formati da terreni meccanicamente deteriorati sia per rimaneggiamento antropico che per variazione cicliche del regime delle pressioni neutre a seguito delle precipitazioni o del gelo, che per il loro modesto spessore in caso di sisma non sono suscettibili di evoluzione verso instabilità vere e proprie. Possono essere interessate al fenomeno dell'instabilità anche le zone a diffuso carsismo (area Pedrè Doline), a causa di crolli o cedimenti di volumi rocciosi in equilibrio instabile per rottura dei ponti di roccia. Nessuna delle azioni delle modifiche in corso ricade in questa tipologia di instabilità sismoindotta.

#### *Cedimenti*

Questo tipo di fenomeno durante un sisma si può avere:

- a) per densificazione di terreni insaturi
- b) per liquefazione di terreni saturi

---

c) per collasso di cavità sotterranee

La presenza di potenziali situazioni di rischio connesse all'accadimento dei primi due fenomeni è stata riconosciuta solo nella zona intravalliva del torrente Crevada, dove abbiamo la falda a profondità inferiore a 15 m e la possibile presenza in profondità di livelli sabbiosi. Nella Carta degli Elementi Geologici in Prospettiva Sismica, sono state comunque segnalate tutte le fasce con profondità della falda < 15 m: un ambito della variante ricade entro tale fascia, la n. 3, per questo è stata verificata nel livello superiore di approfondimento (vedi scheda di compatibilità allegata).

Ben più probabile e consistente appare invece il fenomeno correlato al collasso di cavità sotterranee, per la presenza dell'area fortemente carsificata del Pedrè Doline. Per questo tutta la zona è stata segnalata come soggetta a tale fenomeno. Nessuna azione delle modifiche in corso ricade però nella zona del Pedrè.

#### *Rotture in superficie*

Il fenomeno è collegato ad eventi sismici di forte intensità (in genere  $\geq$  VIII-IX grado della scala ESI2007), che può colpire le zone epicentrali per riattivazione delle faglie capaci, ovvero quelle faglie sismiche con indizi di attività negli ultimi 40.000 anni, "capaci" di produrre deformazioni in superficie. Nel nostro caso in carta (vedi Tav. 6A del PAT), sono state segnalate le faglie capaci tratte dal catalogo delle faglie capaci ITHACA ("ITaly HAZard from Capable faults") e così riassunte:

- Linea del Montello: faglia inversa ad alto angolo immergente a NNW che interessa la zona di pianura lungo una direttrice che orientata NE-SW passa tra Colfosco e Ponte della Priula e si dirige verso la zona industriale di Susegana.
- Linea di Sacile: faglia inversa ad alto angolo con direzione NE/SW, parallela alla precedente, che lambisce il bordo sud-orientale del territorio (secondo alcuni autori questa passa più a S intersecando la faglia di Nervesa all'altezza di Spresiano).
- Faglia di Nervesa: si tratta di una faglia trascorrente sinistrorsa che si insinua dentro la stretta di Nervesa e prosegue poi a monte sulla traiettoria del torrente Raboso (dove dà ragione della spaccatura della dorsale collinare), per proseguire poi sulla direttrice Campea-Miane-Carmine fino oltre il crinale delle Prealpi
- Faglia di Pedeguarda: si insinua nel medio corso del fiume Soligo con direzione circa NW-SE, incidendo il versante prealpino verso il m. Crep. Verso S la sua presenza è ancora documentabile nella zona di Collalto

Tutte le faglie capaci segnalate, ad eccezione della faglia di Pedeguarda, sono sepolte sotto una coltre di depositi quaternari, che ne mascherano l'esatta posizione, per cui la loro traccia in carta è tratteggiata; inoltre la scala di rappresentazione è al 100.000, ed in superficie non ci sono segni inequivocabili di spostamento, per cui la loro influenza sulla sismicità locale non è stata valutata.

Una delle dirette conseguenze derivanti dalle considerazioni di 1° livello è quella di permettere di

formulare previsioni sullo scenario di pericolosità sismica locale. Da esse scaturisce la carta della pericolosità sismica locale, che è una prerogativa propria della DGR 1572: essa segnala le aree soggette ad instabilità, amplificazione e comportamenti differenziali. Non è obbligatoria a livello di pianificazione, ma lo schema degli scenari di pericolosità che essa propone sono molto utili per programmare i successivi livelli di approfondimento, in particolare quando un progetto individua delle previsioni di tipo espansivo e di incremento del carico urbanistico che ricadono in una delle seguenti zone:

Sigla	SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	<b>EFFETTI</b>
<b>P1 a</b>	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	<i>Instabilità per frana</i>
<b>P1 b</b>	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
<b>P1 c</b>	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
<b>P2 a</b>	Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti quali depositi altamente compressibili, ecc.	<i>Instabilità per cedimenti e/o liquefazioni</i>
<b>P2 b</b>	Zona con depositi granulari fini saturi	
<b>P2 c</b>	Zona caratterizzate da coltri di terreni di riporto o che hanno subito riempimenti antropici	
<b>P3 a</b>	Linea di ciglio H>10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc..)	<i>Amplificazioni topografiche</i>
<b>P3 b</b>	Zona di cresta e/o cocuzzolo: appuntita – arrotondata	
<b>P4 a</b>	Zona di fondovalle ampie e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	<i>Amplificazioni litologiche e geometriche</i>
<b>P4 b</b>	Zona di fondovalle stretta ( $C > 0.25$ ) od in presenza di forme geometriche sepolte tali da non permettere di considerare il modello geologico monodimensionale .	
<b>P4 c</b>	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio - lacustre	
<b>P4 d</b>	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri loess )	
<b>P4 e</b>	Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
<b>P5 a</b>	Linea di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	<i>Comportamenti differenziali</i>
<b>P5 b</b>	Zona ove sono presenti o potenzialmente presenti cavità sotterranee o sinkhole	

Tabella 1 - Elementi della carta di Pericolosità Sismica Locale (primo livello – tratta da All. A alla DGR 1572 del 09/2013).

Quindi in definitiva seguendo le linee guida:

- si procederà con il 2° livello di approfondimento in aree individuate come P3, P4c, P4d, P4e. Tale indagine permetterà la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica

---

attesi e l'individuazione, nell'ambito degli scenari, quelli suscettibili di amplificazione;

- si procederà con il 2° livello di approfondimento in aree individuate come P1c e P2 . Tale livello permetterà di compensare le incertezze del livello 1 con approfondimenti conoscitivi e procedere eventualmente con il 3° livello ove si verifichino le condizioni di criticità;
- per gli scenari di zona di fondovalle P4a e P4b si procederà come segue:

la distinzione tra P4a e P4b è operata facendo riferimento a quanto suggerito dagli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” del Gruppo di Lavoro MS, 2008 Conferenza delle Regioni e delle Provincie Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, ove:

$$\text{valle stretta } C > 0.25$$

$$\text{valle larga } C < 0.25$$

dove C coefficiente di forma ( $C = h / l$ , in cui h è lo spessore della coltre alluvionale, l la sua semiampiezza). Nelle valli ampie si può ipotizzare una stratigrafia piano-parallela e quindi il 2° livello può risultare sufficiente tranne nei casi in cui si verifica la situazione in cui:

$$\frac{h}{l} > \frac{0,65}{\sqrt{C_v - 1}}$$

dove h è la profondità della valle (massimo spessore del deposito), l la sua semiampiezza,  $C_v$  il rapporto fra la velocità  $V_s$  nel basamento sismico e quella media nei terreni di riempimento.

In tali casi è necessario ricorrere a stime dell'amplificazione sismica con analisi bidimensionali (procedure di terzo livello).

Nelle valli strette la stratigrafia del sottosuolo può avere rapidi cambiamenti laterali, soprattutto del tetto del substrato rigido, e quindi si rende necessario ricorrere a stime dell'amplificazione sismica con analisi bidimensionali (quindi procedure di 3° livello);

- si procederà con il 3° livello al fine di ottenere una caratterizzazione quantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi per la quantificazione degli effetti di instabilità dei versanti (zone P1), dei cedimenti e/o liquefazioni (zone P2) e per le zone ove sono presenti delle forme geometriche sepolte particolari P4b, P5b e P4a limitatamente alla soglia sopra definita;
- per la zona P5a si potrà procedere eventualmente solo con il 2° livello in quanto non è necessaria la valutazione quantitativa a livelli di approfondimento maggiore dello scenario inerente le zone di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse.

## **4 APPROFONDIMENTI RELATIVI ALLE MODIFICHE DEL PI**

### **4.1 Microzonazione sismica di 2° livello**

L'obiettivo del secondo livello di approfondimento è di compensare le incertezze del primo livello con ulteriori elementi conoscitivi e fornire quantificazioni numeriche, con metodi semplificati (abachi), della modificazione locale del moto sismico in superficie e dei fenomeni di deformazione permanente

---

(approccio semiquantitativo). In parole povere l'applicazione dell'analisi sismica di 2° livello consente di valutare se lo spettro previsto dalla normativa antisismica (DM 14.01.2008) è sufficiente a tenere in considerazione gli effetti di amplificazione sismica propri del sito.

Seguendo le indicazioni sulle indagini minime da fare in questo livello di approfondimento (vedi specifiche nella DGR 1572 del 03/09/2013), nei siti delle modifiche urbanistiche in corso sono state condotte delle indagini geofisiche specifiche, in particolare:

- Sono state effettuate delle indagini di prospezione sismica con tecnica attiva M.A.S.W. e ReMi. (Multi-channel Analysis of Surface Waves e Refraction Microtremor) sviluppata in un array lineare con geofoni ad asse verticale per la ricostruzione sismo-stratigrafica del sottosuolo tramite la misura della velocità di propagazione delle onde S
- Sono state effettuate delle registrazioni di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) per individuare il periodo fondamentale di vibrazione dei depositi.

#### *4.1.1 Breve descrizione dei metodi*

**Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)** è una tecnica di indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi e ciò limita i costi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o, detto in maniera equivalente, la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

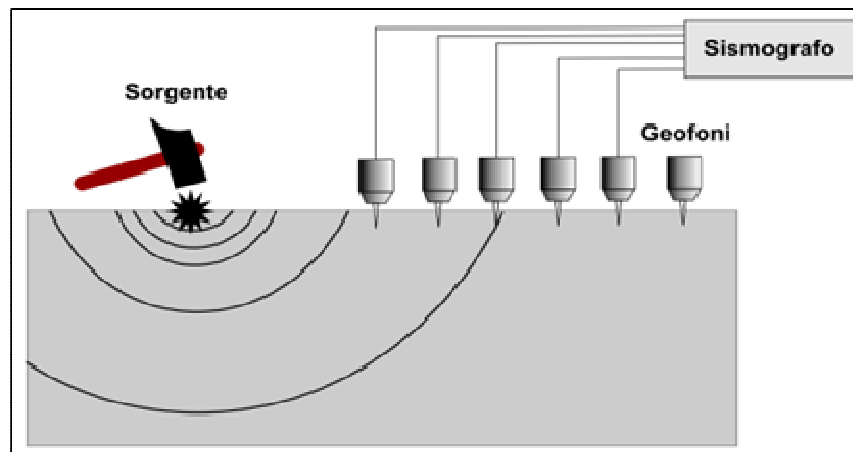
Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo attivo e metodo passivo (Zywicki, D.J. 1999) o in una combinazione di entrambi. Nel metodo attivo le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Nel metodo passivo lo stendimento dei sensori può essere sia lineare, sia circolare e si misura il rumore ambientale di fondo esistente. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30-50 m, in funzione della rigidità del suolo. Il metodo passivo in genere consente di tracciare una velocità di fase apparente sperimentale compresa tra 0 Hz e 10Hz, quindi dà informazioni sugli strati più profondi del suolo, generalmente al

---

di sotto dei 50 m, in funzione della rigidità del suolo.

Nel seguito faremo riferimento al metodo MASW attivo che consente la classificazione sismica dei suoli, perché fornisce il profilo di velocità entro i primi 30 m di profondità. Il metodo passivo è più usato quando si ha interesse ad avere informazioni, comunque meno precise, sugli strati più profondi.

Il materiale per l'acquisizione dei nostri dati è costituito da un sismografo (in questo caso si tratta di un sismografo Dolang DBS280 a 24 canali), collegato a dei geofoni verticali a frequenza propria di 4.5Hz tramite dei cavi multipolari ed un sistema di energizzazione sismica del terreno tramite piastra e mazza da 5 kg (vedi fig. sotto).



**La tecnica ReMi (Refraction Microtremor)** è un metodo d'indagine geofisica che sfrutta invece le modalità di propagazione delle onde di superficie, in particolare delle onde di Rayleigh, generate però da sorgenti ambientali.

A differenza di quanto avviene nell'indagine eseguita con la tecnica MASW, dove la posizione delle sorgenti è nota ed è allineata allo stendimento, nel caso del ReMi i punti di origine dei microtremori sono spesso non identificabili. Quindi la registrazione viene protratta per tempi più lunghi. Essendo la potenza associata al segnale utile comparabile con quella del rumore di fondo è necessario rilevare un numero di tremori molto elevato, questo sarà ottenibile semplicemente andando a allungare i tempi di registrazione del segnale. A differenza dei pochi secondi necessari per acquisizioni MASW sono qui necessari da alcuni a molti minuti di acquisizione (in genere 10 - 20 minuti sono sufficienti).

I principi teorici e gli aspetti di acquisizione ed elaborazione dei dati sono sostanzialmente gli stessi della tecnica MASW con la differenza che con ReMi si ha una maggior definizione degli strati profondi.

Infine **la Tecnica di misure ed interpretazione HVSR (tramite TROMINO®)** è una prospezione sismica che si basa sull'acquisizione e sull'analisi del Rumore Sismico Ambientale (Seismic Noise) ovvero la continua vibrazione del suolo dovuta sia a cause antropiche che naturali. Questa tipologia di tecniche (definite metodi sismici passivi) dunque, non ha bisogno di alcuna energizzazione esterna

---

poiché utilizza come sorgente il traffico veicolare, la produzione industriale, il vento, la pioggia e tutto ciò che è in grado di produrre una minima vibrazione sulla superficie del suolo.

In particolar modo con la tecnica a “Stazione Singola” viene valutato il rapporto di ampiezza fra le componenti orizzontali e verticali del moto (metodo HVSR ovvero “Horizontal to Vertical Spectral Ratios - Kanai,1957; Igarashi 1970; Nakamura, Y., 1989). Analizzando misure di questo tipo è possibile identificare le modalità di vibrazione del terreno e individuare la frequenza fondamentale ( $f_0$ ) di questa vibrazione. Sapendo che in generale esiste una relazione semplice fra  $f_0$ , lo spessore della parte più soffice del terreno (ovvero la parte di materiali sovrastante il bed-rock) e la velocità media ( $V_s$ ) delle onde simiche nel sottosuolo, attraverso le misure HVSR è possibile risalire allo spessore di questo strato. Si possono inoltre effettuare delle considerazioni di tipo “qualitativo” molto utili in merito a possibili interferenze tra le frequenze risonanti del suolo e degli edifici sovrastanti.

Più in dettaglio la tecnica a stazione singola permette di estrarre informazioni relative alla frequenza di vibrazione del suolo a partire dagli spettri di rumore sismico registrati in sito; essa calcola il rapporto, in funzione della frequenza, tra gli spettri di risposta della componente orizzontale e verticale del moto dovuto ai microtremiti ambientali. Nel nostro caso la misura di rumore sismico ha una durata di 26 minuti per ogni punto di misura e viene eseguita con una frequenza di campionamento a 128 Hz.

Nella descrizione dei risultati dell’indagine viene riportata la frequenza di risonanza di sito  $f_0$  che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale. La frequenza di risonanza di sito  $f_0$  o anche periodo fondamentale  $T_0$  ( $T_0 = 1 / f_0$ ) rappresenta, per un determinato terreno di copertura avente un dato spessore e un rapporto geometrico con il sottostante bedrock, la frequenza di “oscillazione critica” alla quale una determinata oscillazione sismica con la stessa frequenza (ovviamente se è presente nel treno di onde generate dal sisma) genera una amplificazione locale del moto sismico. Per tale ragione si dovranno adottare precauzioni nell’edificare edifici che abbiano una propria frequenza di vibrazione “risonanza” lontana da quella del sito, in modo da evitare effetti di “doppia risonanza” molto pericolosi per la stabilità degli edifici. Da un punto di vista empirico, è noto infatti che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall’altezza e può essere pertanto calcolata, in prima istanza, secondo la formula di Pratt:

#### **Frequenza naturale dell’edificio $\approx 10$ Hz/numero dei piani**

E’ quindi la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

#### **Frequenza naturale dell’edificio $\approx$ Frequenza fondamentale di risonanza del sito**

ad essere particolarmente pericolosa, poiché dà luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.

Si ricorda in generale che frequenze fondamentali dei depositi basse ( $<1$ Hz), hanno scarso interesse ingegneristico se non per manufatti di grandi dimensioni (in altezza) mentre già a partire da 2Hz i casi di possibile interazione con il costruito aumentano.

---

Le misure del rapporto H/V, quando significativamente ampie ( $H/V > 3$ ), danno una valutazione qualitativa sulla presenza nel sottosuolo di sensibili variazioni del contrasto di impedenza sismica alla base delle coperture.

Sulla base delle frequenze di risonanza è poi possibile fornire una stima di massima degli spessori delle

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

coperture soffici, responsabili dei possibili fenomeni di risonanza provocati dal contatto bedrock-copertura e la cui profondità può essere stimata dalle frequenze fondamentali come riportato nella tabella schematica a lato (tratta da indirizzi e criteri per la microzonazione sismica).

Il controllo della qualità delle misure di campagna è stato fatto utilizzando le linee guida suggerite nel il progetto SESAME (Site Effects Assessment Using Ambient Excitations), a seguito dei numerosi studi condotti (SESAME 2004).

Lo studio suggerisce di considerare 9 criteri per la validazione della misura: i primi 3 riguardano l'affidabilità del picco, e devono essere tutti soddisfatti, i secondi 6 riguardano la chiarezza del picco, ed è richiesto che ne siano soddisfatti almeno 5 su 6.

#### 4.2 Microzonazione sismica di 3° livello

Come detto più sopra il livello 3° si applica per le scelte espansive di pianificazione urbanistica nelle aree con particolari criticità geologiche, geomorfologiche e geotecniche; esso quantifica numericamente l'amplificazione del moto sismico atteso in superficie tramite un'analisi monodimensionale o bidimensionale, a seconda delle condizioni geologiche/topografiche presenti nel sito d'indagine, e restituisce una Carta di Microzonazione Sismica con approfondimenti su tematiche o aree particolari.

Nel caso delle modifiche urbanistiche oggetto del presente studio, nessuna di esse ha richiesto un approfondimento di livello 3°, ritenendo sufficienti le indagini esperite nel 2° livello, per i motivi che verranno specificati nella scheda di ciascuna.

---

Di seguito viene riportata per ogni sito in variante una scheda riassuntiva recante le considerazioni di 1° livello e gli approfondimenti di 2° livello. Per gli ambiti 1 (modifica 12), 2 (modifica 27) e 3 (modifica 34), le indagini sono state eseguite dal sottoscritto, mentre per l'ambito 6 (modifica 21) le indagini sono state eseguite dal privato richiedente, e la scheda riassume i dati salienti dello studio elaborato dallo StudioSisma del dr. Matteo Collareda di Isola Vicentina (VI), di cui si riporta in allegato lo studio completo.

Pieve di Soligo, li 12/10/2016

Il geologo  
Dario Barazzuol



# P.I. comune SUSEGANA (TV)

Schede di compatibilità sismica

# AMBITO 1 (Modifica 12)

Ubicazione: **Via Vigna**

Coordinate WGS84: Lat. 45,85822 Long. 12,249655

Terreno di misura: naturale

Data registrazione: 19/09/2016

Condizioni meteorologiche: buone

---



**Foto aerea sito: la linea rossa indica l'ubicazione dell'indagine MASW e ReMi ,  
la stella rossa quella HVSR**

---

## **Strumentazione MASW e ReMi**

Sismografo a 24 canali (mod. Dolang Geophysical DBS280 24 bit 24 canali)

collegato a geofoni verticali a frequenza propria di 4.5Hz.TEP-0014/01-09

Numero di ricevitori: 24

Distanza tra i sensori: 2 m

Numero di campioni temporali: 2048

Passo temporale di acquisizione: 0.6 ms

Numero di ricevitori usati per l'analisi: 24

## **Strumento HVSR**

Tromografo digitale mod. Tromino (Micromed s.r.l.) TEP-014/01-09

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h26'00".

Analizzato 100% tracciato (selezione manuale)

Frequenza campionamento: 128 Hz

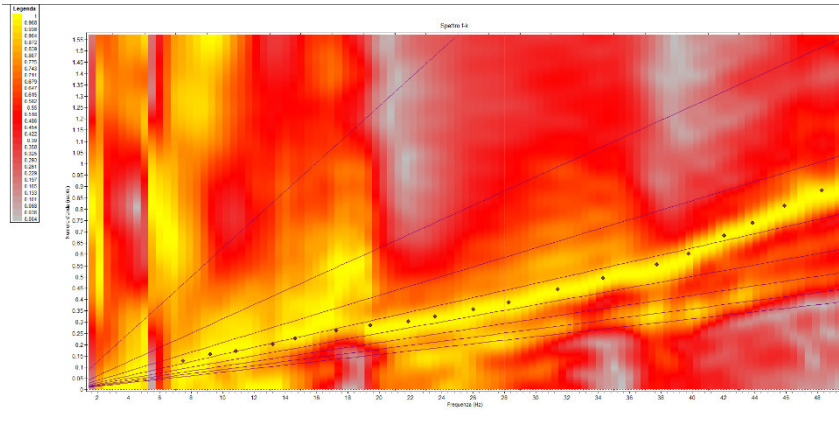
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

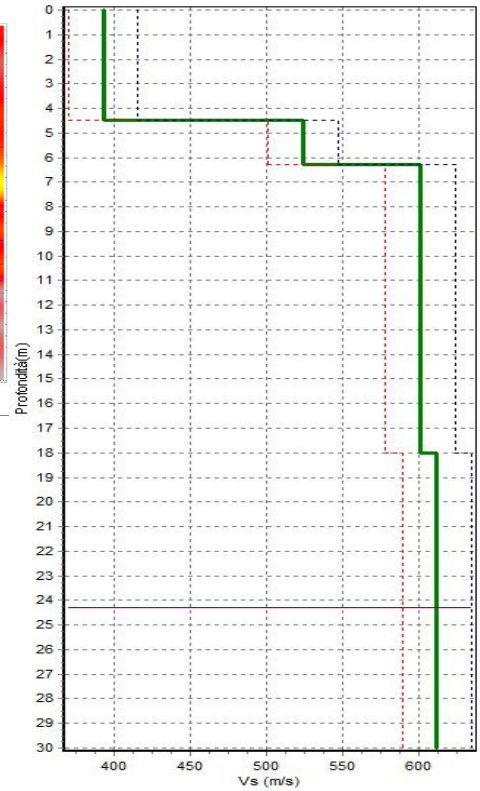
Software di elaborazione: Grilla

# SINTESI DEI RISULTATI MASW e ReMi

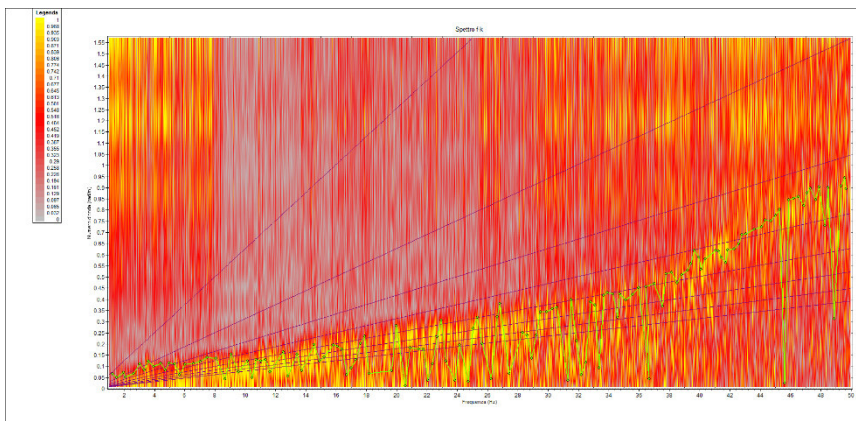


MASW

Prof.(m)	Vs(m/s)	C.Poisson	Gamma(t/mc)
4.5	392	0.3	1.8
6.3	523	0.3	2.0
18.0	600	0.3	2.1
30.0	612	0.3	2.2

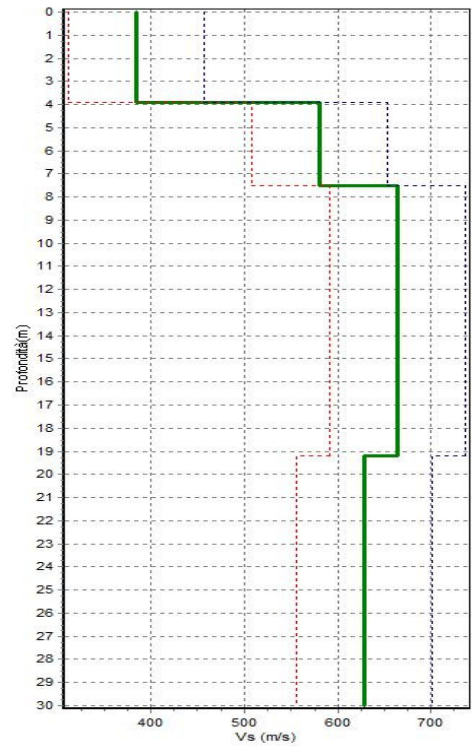


Classe sito: B - Vs30 (m/s)= 556.0



ReMi

Prof.(m)	Vs(m/s)	C.Poisson	Gamma(t/mc)
3.9	373	0.3	1.8
7.5	559	0.3	2.0
19.2	640	0.3	2.1
30.0	642	0.3	2.2



Classe sito: B - Vs30 (m/s)= 586.3

**Commenti:** La ricostruzione sismo-stratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di un materiale mediamente addensato con velocità di propagazione delle onde S attorno a 350-400 m/s fino ad una profondità variabile tra 4 e 5 m dal p.c. dove si registra un passaggio a depositi più addensati ( $V_s \approx 600 - 650$  m/s). È possibile ipotizzare che il salto di velocità indichi la presenza del substrato roccioso tipico della zona collinare suseganesa, costituito da marne e conglomerati, che però non hanno velocità sismiche da bedrock geofisico, inteso come quel materiale che presenta una  $V_s \geq 800$  m/s.

Dal punto di vista della Classificazione della categoria di sottosuolo secondo quanto previsto nella tabella 3.2.II delle NTC, in corrispondenza del sito in esame il sottosuolo, può essere assimilato alla categoria **B**

## SINTESI DEI RISULTATI HVSR

**H/V TIME HISTORY**

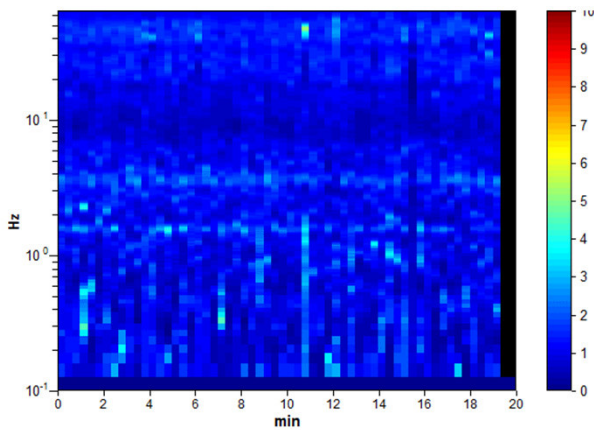


Figura 1: analisi temporale del rumore

**DIRECTIONAL H/V**

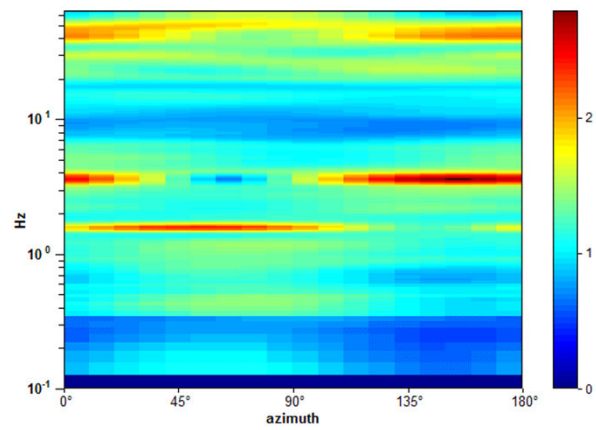


Figura 2: analisi direzionale del rumore

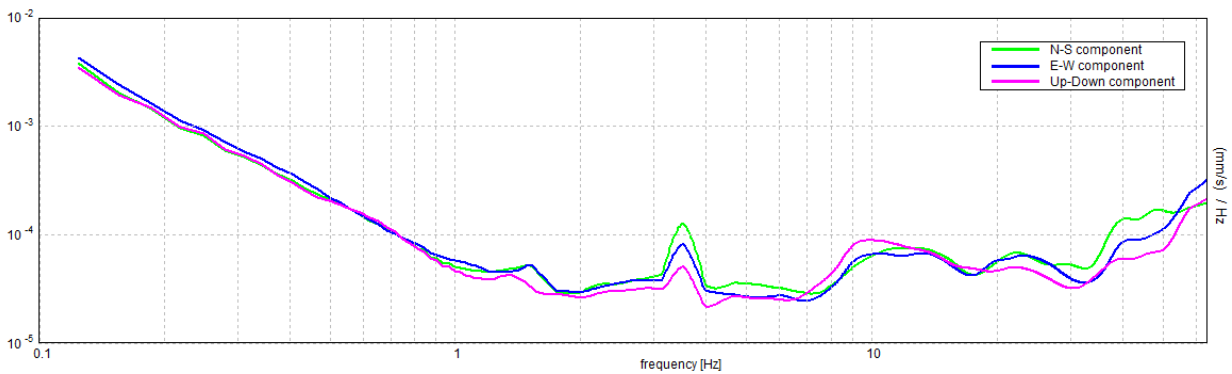


Figura 3: spettri delle 3 componenti

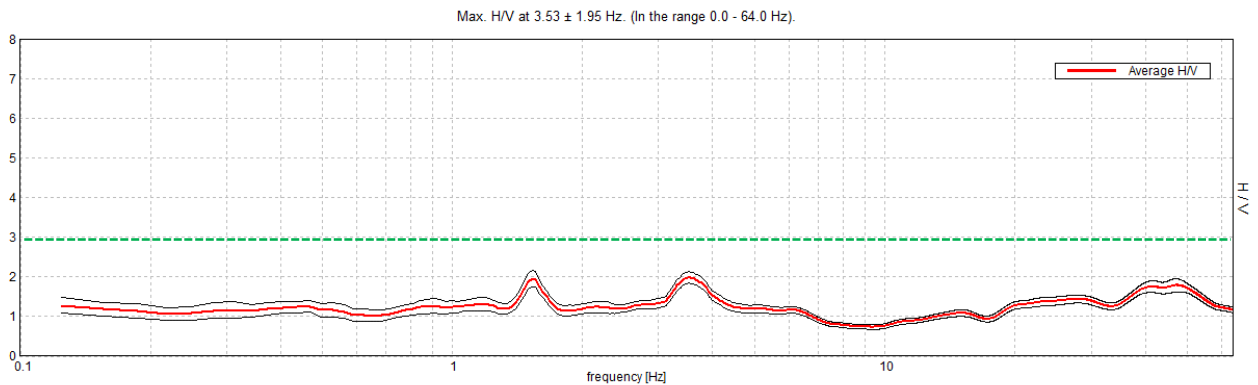


Figura 4: rapporto H/V (la linea verde tratteggiata rappresenta il valore H/V al di sopra del quale ci si aspetta una variazione significativa del contrasto d'impedenza)

Max. H/V at 3.53 ± 1.95 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	3.53 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	4237.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 170 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	6.813 Hz	OK	
$A_0 > 2$	1.99 > 2		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.5508  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \epsilon(f_0)$	1.94503 < 0.17656		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.146 < 1.58	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\epsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \epsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\epsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Riepilogo criteri SESAME (2004) per la valutazione della qualità di una misura HVSR

Come si vede l'attendibilità della chiarezza dei picchi da verifica SESAME, non è stata soddisfatta, quindi il valore di  $f_0$  potrebbe non essere rappresentativo della frequenza fondamentale

$F_0$ (Hz)	$h$ (m)
< 1	> 100
1 - 2	50 - 100
2 - 3	30 - 50
3 - 5	20 - 30
5 - 8	10 - 20
8 - 20	5 - 10
> 20	< 5

Tab. 1: abaco per la stima dello spessore delle coperture ( $h$ ) a partire dai valori delle frequenze di risonanza ( $F_0$ ) determinate dalle misure H/V (D. Albarello e S. Castellaro- 2011)

**Commenti:** In questa acquisizione si osserva una marcata direzionalità e una stazionarietà non ottimale, forse a causa di interferenze antropiche. I picchi osservabili tra 1-2 Hz e 3,5 Hz sono alquanto smussati e poco significativi. Dati i modesti contrasti di rigidità non pare si debbano attendere forti amplificazioni locali dei sismi. La maggiore ampiezza, alle frequenze tra 6÷10 Hz, della componente verticale rispetto alle componenti orizzontali, potrebbe indicare inversione di velocità superficiale. In prima approssimazione si può stimare, in base alla tabella a fianco, che il contrasto sismico sia posizionato a profondità mediamente elevata.

## MICROZONAZIONE SISMICA DI 2° LIVELLO

In riferimento alla Carta di Pericolosità Sismica Locale (CPSL), nella quale val la pena ricordare vengono indicate le maggiori criticità del territorio e individuate le aree che richiedono approfondimenti per particolari tematiche e/o assetti stratigrafici-tettonici complessi, al sito è possibile attribuire una pericolosità P4c, che come visibile dalla tabella sottostante (tratta dalle Linee Guida Regionali per la microzonazione sismica - fig. 2) è quella relativa alla «Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre».

Dalla medesima tabella si evince che l'approfondimento di 2° livello è mirato a quantificare gli effetti amplificati del moto sismico in superficie per effetto litologico, e che mancando possibili effetti geometrici non è necessario procedere col livello superiore.

PROCEDURA DI MICROZONAZIONE SISMICA								
SIGLA	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	Verifica di assoggettabilità	(soglia)	1° livello	(soglia)	2° livello	(soglia)	3° livello
P1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi				cartografia			Analisi stabilità
P1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti				cartografia			Analisi stabilità
P1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana				cartografia	Analisi di stabilità	Fs prossimo a 1	Analisi stabilità
P2a	Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti quali depositi altamente compressibili, ecc.	zona 4 pga>0,100 zona 3 pga<0,100	pga di sito >0,125		raccolta dati - cartografia	ABITATI PREV.URBAN.* Cedimenti Eventuale verifica	PREV.URBAN.*	Cedimenti
P2b	Zona con depositi granulari fini saturi	zona 4 pga>0,100 zona 3 pga<0,100	pga di sito >0,125		raccolta dati - cartografia	ABITATI PREV.URBAN.* Liquefazione Eventuale verifica	PREV.URBAN.*	Liquefazione
P2c	Zona caratterizzata da coltri di terreno di riporto o che hanno subito riempimenti antropici	zona 4 pga>0,100 zona 3 pga<0,100	pga di sito >0,125		raccolta dati - cartografia	ABITATI PREV.URBAN.* Cedimenti	PREV.URBAN.*	Cedimenti
P3a	Linea di ciglio H>10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di cava, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc..)				H=10 m; α>15°	Effetti topografici		
P3b	Zona di cresta e/o cocuzzolo: appuntita - arrotondata				h=1/3H; α e α2>15°	Effetti topografici		
P4a	Zona di fondovalle ampia e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi				Vs30<800m/s; C<0,25 Vs30<800m/s; C<0,25	Effetti litologici	h/l>0,65√(Cv-1)	Effetti lito-geometrici
P4b	Zona di fondovalle stretta (C<0,25) ed in presenza di forme geometriche sepolte tali da non permettere di considerare il modello geologico monodimensionale				Vs30<800m/s; C>0,25			Effetti lito-geometrici
P4c	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre				Vs30<800m/s	Effetti litologici		
P4d	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)				Vs30<800m/s	Effetti litologici		
P4e	Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale				Vs30<800m/s	Effetti litologici		
P5a	Linea di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse				cartografia	Comportamenti differenziali		
P5b	Zona ove sono presenti o potenzialmente presenti cavità sotterranee o sinkhole				cartografia			Comportamenti differenziali

Come ben evidenziato dalle Linee Guida «L'obiettivo del secondo livello di approfondimento è di compensare le incertezze del primo livello con approfondimenti conoscitivi e fornire quantificazioni numeriche, con metodi semplificati (abachi e leggi empiriche), della modificazione locale del moto sismico in superficie e dei fenomeni di deformazione permanente».

In particolare, per lo scenario che prevede effetti litologici, cui il nostro sito appartiene, la quantificazione numerica degli effetti sarà rappresentata dai fattori amplificativi FA (fattore di amplificazione a basso periodo in termini di accelerazione) e FV (fattore di amplificazione a periodo proprio in termini di pseudo velocità), calcolati tramite procedura semplificata. Il primo corrisponde al fattore di amplificazione determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione mentre il secondo corrisponde al fattore di amplificazione a periodo proprio per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità.

Il primo passo della quantificazione consiste nell'assegnare i terreni di copertura a una delle classi sotto riportate:

CLASSE	DESCRIZIONE	informazioni
1	terreno di riporto antropico	
2	ghiaia	2a addensata 2b poco addensata
3	ghiaia/sabbiosa-sabbia/ghiaiosa	3a addensata 3b poco addensata
4	sabbia	4a addensata 4b poco addensata
5	Sabbia / limosa - limo/sabbioso	5a addensata 5b poco addensata
6	Limo	6a consistente 6b poco consistente
7	Limo / argilloso - argilla/limosa	7a consistente 7b poco consistente
8	Argilla	8a consistente 8b poco consistente
9	deposito alluvionale a granulometria mista	
10	detrito di versante a granulometria mista	
11	coltre di substrato alterato	

Le indagini geofisiche e la conoscenza geologica del sito sembrano avvalorare un assetto stratigrafico composto da alcuni metri di terreni sciolti a prevalente componente coesiva ben addensati al tetto del substrato marnoso-argilloso; si ritiene pertanto di assegnare i terreni di copertura alla Classe 7a.

#### DETERMINAZIONE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

La stima dei fattori di amplificazione locale FA ed FV è avvenuta attraverso l'utilizzo degli abachi di riferimento, indicati dal gruppo di lavoro del Dipartimento di Protezione Civile negli "indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica, 2008" (tali abachi devono considerarsi temporanei, fino a quando la Regione Veneto si sarà dotata di specifici abachi regionalizzati). Per entrare nelle tabelle degli abachi di riferimento sono necessari i seguenti elementi di ingresso:

- La sismicità di base del sito  $a_g(g)$
- La litologia prevalente nei terreni di copertura
- La profondità (H) del basamento sismico ovvero la profondità dove si raggiungono velocità delle onde S superiori a 800 m/s
- la velocità equivalente media di taglio nei terreni di copertura  $V_{SH}$  in m/s dedotta dalle prove MASW e ReMi eseguite nel sito
- Il profilo di velocità ovvero alla modalità di crescita della velocità con la profondità; si è cautelativamente stimato che questa cresca con un gradiente assimilabile a quello con curva Lineare Pendenza Intermedia, che rappresenta un valore intermedio tra il troppo cautelativo (pendenza massima ovvero gradienti molto accentuati con la profondità) ed il teorico (pendenza costante)

Parametri d'ingresso		FA	FV
Sismicità di base	$A_g(g) = 0,26$	1,2	1,4
Litotipo prevalente	Argilla		
Profilo di velocità	Pendenza Intermedia		
Profondità bedrock sismico	100 m		
Velocità onde di taglio	$V_{SH} = 500 \text{ m/s}$		

Fattore di amplificazione *FA*      Tipo di terreno Argilla       $a_g(g)$  0.26g      Profilo di velocità Lineare pendenza intermedia

H	$V_{SH}(m/s)$									
	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.21	1.79	1.75	1.57	1.35	1.19	1.09	1.04	1.01	1.00
10	-	2.27	1.96	1.63	1.43	1.32	1.25	1.16	1.05	1.01
15	-	2.35	2.14	1.88	1.66	1.47	1.33	1.22	1.10	1.03
20	-	2.14	2.16	1.96	1.75	1.58	1.43	1.31	1.15	1.05
25	-	1.89	2.00	1.97	1.79	1.62	1.48	1.37	1.19	1.07
30	-	1.77	1.89	1.85	1.77	1.62	1.49	1.38	1.20	1.07
35	-	-	1.71	1.76	1.67	1.60	1.48	1.38	1.21	1.08
40	-	-	1.73	1.64	1.62	1.52	1.46	1.37	1.21	1.07
50	-	-	1.70	1.65	1.51	1.42	1.36	1.31	1.18	1.06
60	-	-	1.60	1.60	1.51	1.39	1.30	1.24	1.15	1.05
70	-	-	1.52	1.52	1.47	1.40	1.29	1.21	1.11	1.03
80	-	-	1.45	1.47	1.41	1.36	1.29	1.21	1.09	1.01
90	-	-	1.38	1.43	1.37	1.33	1.27	1.21	1.08	0.99
100	-	-	1.27	1.36	1.32	1.27	1.24	1.19	1.08	0.98
110	-	-	1.29	1.31	1.30	1.25	1.20	1.17	1.07	0.98
120	-	-	1.21	1.27	1.26	1.24	1.18	1.13	1.06	0.97
130	-	-	1.18	1.23	1.22	1.20	1.17	1.12	1.04	0.96
140	-	-	1.13	1.20	1.20	1.18	1.14	1.10	1.03	0.95
150	-	-	1.10	1.18	1.16	1.14	1.12	1.09	1.02	0.94

Fattore di amplificazione *FV*      Tipo di terreno Argilla       $a_g(g)$  0.26g      Profilo di velocità Lineare pendenza intermedia

H	$V_{SH}(m/s)$									
	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.12	1.05	1.03	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00
10	-	1.32	1.13	1.06	1.04	1.03	1.02	1.02	1.01	1.00
15	-	1.95	1.39	1.19	1.12	1.06	1.04	1.03	1.01	1.01
20	-	2.33	1.74	1.38	1.22	1.14	1.10	1.05	1.03	1.01
25	-	2.71	2.04	1.57	1.34	1.23	1.15	1.10	1.04	1.01
30	-	2.79	2.32	1.80	1.50	1.32	1.22	1.14	1.08	1.02
35	-	-	2.50	2.01	1.63	1.43	1.29	1.20	1.09	1.02
40	-	-	2.50	2.17	1.79	1.52	1.36	1.25	1.11	1.03
50	-	-	2.33	2.21	1.94	1.69	1.50	1.36	1.17	1.04
60	-	-	2.29	2.06	1.95	1.76	1.57	1.42	1.21	1.08
70	-	-	2.38	2.04	1.84	1.74	1.60	1.46	1.24	1.09
80	-	-	2.35	2.05	1.82	1.66	1.57	1.46	1.25	1.10
90	-	-	2.25	2.12	1.83	1.64	1.51	1.42	1.24	1.07
100	-	-	2.16	2.07	1.86	1.65	1.50	1.40	1.24	1.07
110	-	-	2.11	2.02	1.84	1.64	1.50	1.39	1.22	1.07
120	-	-	2.15	1.94	1.82	1.65	1.50	1.38	1.21	1.07
130	-	-	2.15	1.91	1.79	1.64	1.50	1.38	1.19	1.06
140	-	-	2.13	1.92	1.74	1.63	1.51	1.39	1.20	1.05
150	-	-	2.04	1.93	1.73	1.61	1.50	1.38	1.20	1.05

## **GIUDIZIO DI COMPATIBILITA' SIMICA**

L'area di trasformazione è compatibile, dal punto di vista sismico, con i requisiti del sito.

Le caratteristiche sismiche non presentano particolari elementi di penalizzazione.

Terreno di categoria B

Categoria topografia T1

## AMBITO 2 (Modifica 27)

Ubicazione: **Via Maglio Mercatelli**

Coordinate WGS84: Lat. 45,832142 Long. 12,227644

Terreno di misura: naturale

Data registrazione: 15/09/2016 e 17/09/2016

Condizioni meteorologiche: nuvoloso



**Foto aerea sito: la linea rossa indica l'ubicazione dell'indagine MASW e ReMi , la stella rossa quella HVSR**

### **Strumentazione MASW e ReMi**

Sismografo a 24 canali (mod. Dolang Geophysical DBS280 24 bit 24 canali)

collegato a geofoni verticali a frequenza propria di 4.5Hz.TEP-0014/01-09

Numero di ricevitori: 24

Distanza tra i sensori: 2 m

Numero di campioni temporali: 2048

Passo temporale di acquisizione: 0.6 ms

Numero di ricevitori usati per l'analisi: 24

### **Strumento HVSR**

Tromografo digitale mod. Tromino (Micromed s.r.l.) TEP-014/01-09

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h26'00".

Analizzato 100% tracciato (selezione manuale)

Frequenza campionamento: 128 Hz

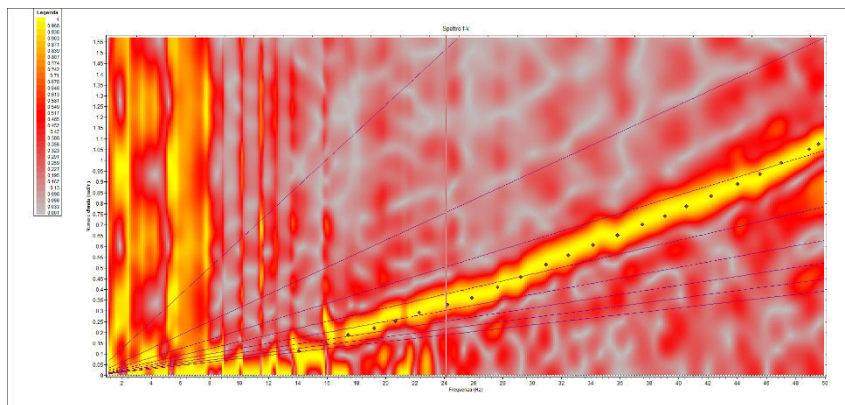
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

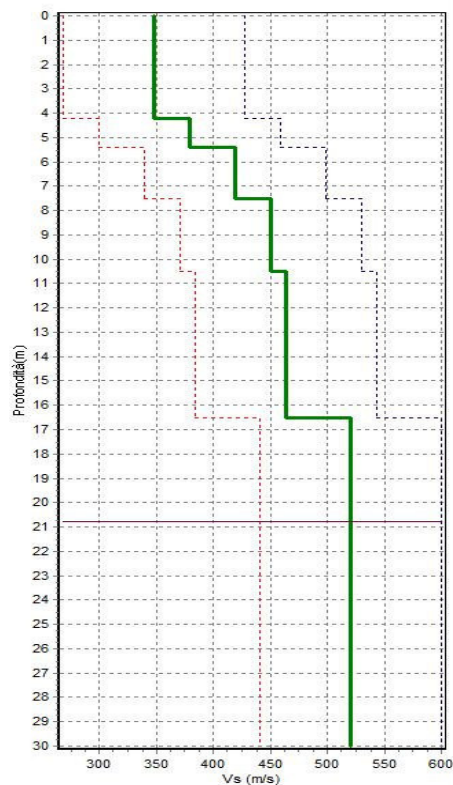
Software di elaborazione: Grilla

# SINTESI DEI RISULTATI MASW e ReMi

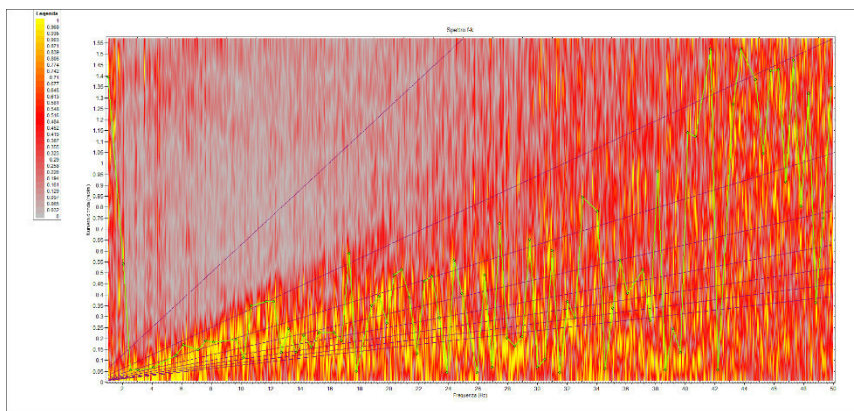


MASW

Prof.(m)	Vs(m/s)	C.Poisson	Gamma(t/mc)
4.2	348	0.3	1.8
5.4	379	0.3	1.9
7.5	419	0.3	1.9
10.5	450	0.3	2.0
16.5	464	0.3	2.1
30.0	520	0.3	2.1

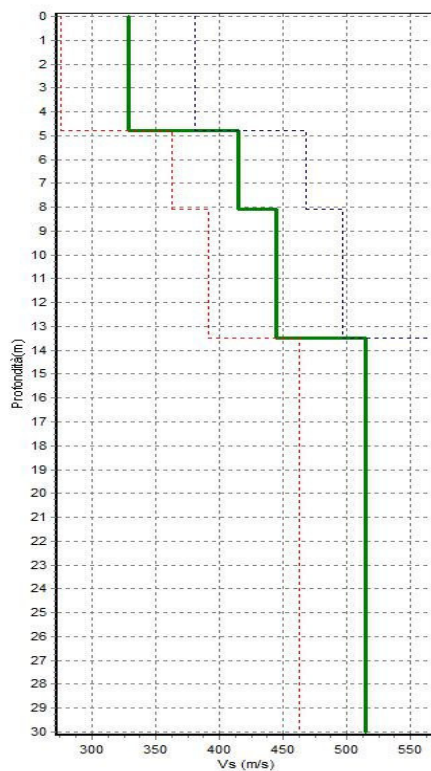


Classe sito: B - Vs30 (m/s)= 455.9



ReMi

Prof.(m)	Vs(m/s)	C.Poisson	Gamma(t/mc)
4.8	320	0.3	1.8
8.1	403	0.3	1.9
13.5	430	0.3	2.0
30.0	512	0.3	2.1



Classe sito: B - Vs30 (m/s)= 449.2

**Commenti:** La ricostruzione sismo-stratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di un materiale mediamente addensato con velocità di propagazione delle onde S attorno a 320-350 m/s fino ad una profondità variabile tra 4 e 5 m dal p.c. Al di sotto si ha un graduale addensamento dei depositi di natura ghiaiosa che raggiungono, attorno ai 30 m di profondità,  $V_s \approx 500$  m/s. Il bedrock geofisico, inteso come quel materiale che presenta una  $V_s \geq 800$  m/s, non è stato raggiunto. Dal punto di vista della Classificazione della categoria di sottosuolo secondo quanto previsto nella tabella 3.2. Il delle NTC, in corrispondenza del sito in esame il sottosuolo, può essere assimilato alla categoria **B**

## SINTESI DEI RISULTATI HVSR 1

H/V TIME HISTORY

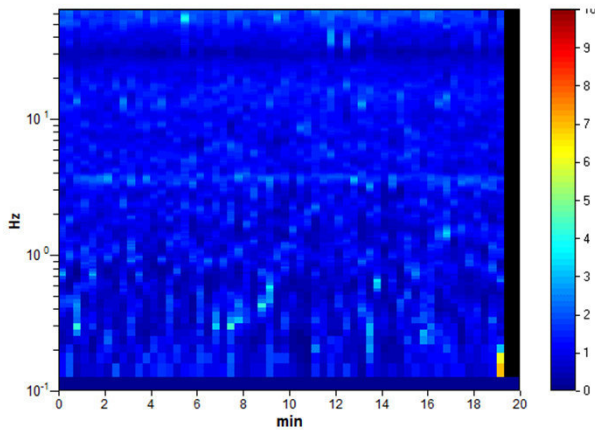


Figura 1: analisi temporale del rumore

DIRECTIONAL HV

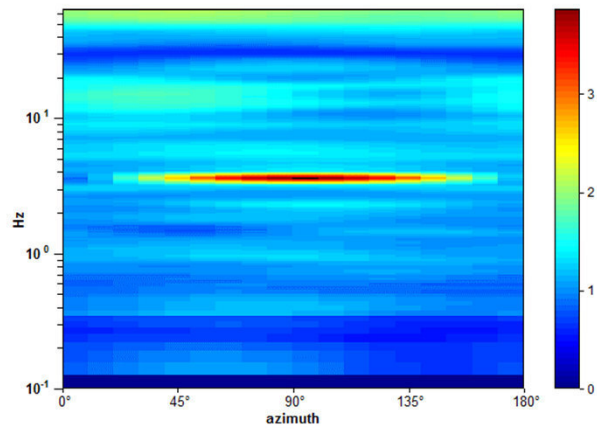


Figura 2: analisi direzionale del rumore

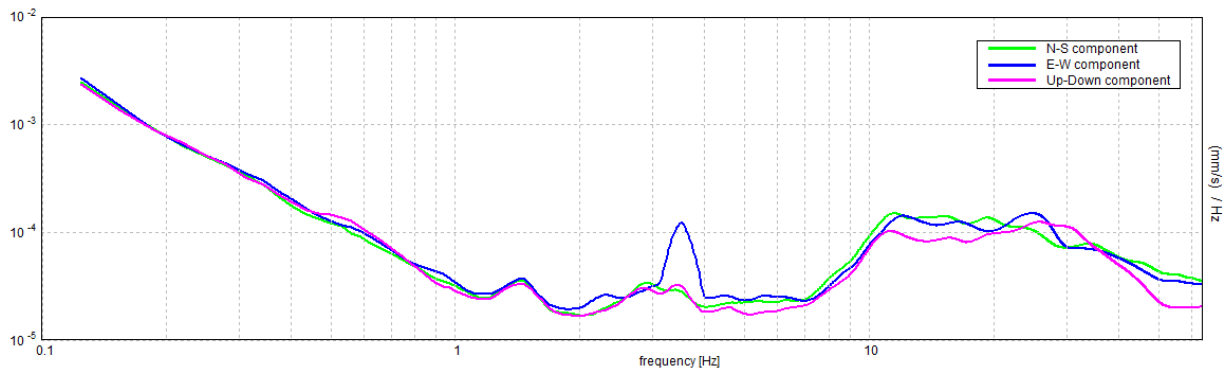


Figura 3: spettri delle 3 componenti

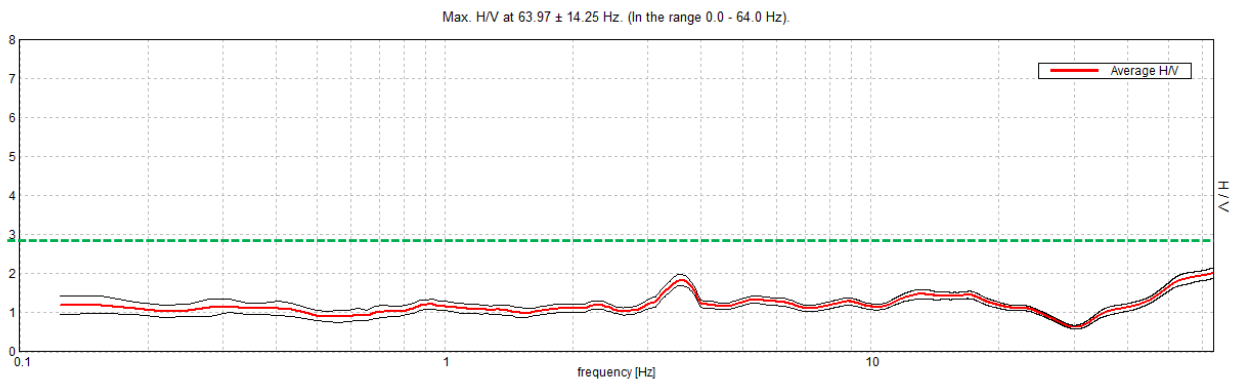


Figura 4: rapporto H/V (la linea verde tratteggiata rappresenta il valore H/V al di sopra del quale ci si aspetta una variazione significativa del contrasto d'impedenza)

Max. H/V at 63.97 ± 14.25 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	63.97 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	76762.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1026 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	35.406 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2.02 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.22283  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	14.25394 < 3.19844		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1387 < 1.58	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Riepilogo criteri SESAME (2004) per la valutazione della qualità di una misura HVSR

Come si vede l'attendibilità della chiarezza dei picchi da verifica SESAME, non è stata soddisfatta, quindi il valore di  $f_0$  potrebbe non essere rappresentativo della frequenza fondamentale

$F_0$ (Hz)	$h$ (m)
< 1	> 100
1 - 2	50 - 100
2 - 3	30 - 50
3 - 5	20 - 30
5 - 8	10 - 20
8 - 20	5 - 10
> 20	< 5

**Commenti:** In questa acquisizione si osserva una certa direzionalità e una stazionarietà non ottimale, forse a causa di interferenze antropiche. Non ci sono picchi degni di nota. Dati i modesti contrasti di rigidità non pare si debbano attendere forti amplificazioni locali dei sismi.

Tab. 1: abaco per la stima dello spessore delle coperture ( $h$ ) a partire dai valori delle frequenze di risonanza ( $F_0$ ) determinate dalle misure H/V (D. Albarello e S. Castellaro- 2011)

# SINTESI DEI RISULTATI HVSR 2

### H/V TIME HISTORY

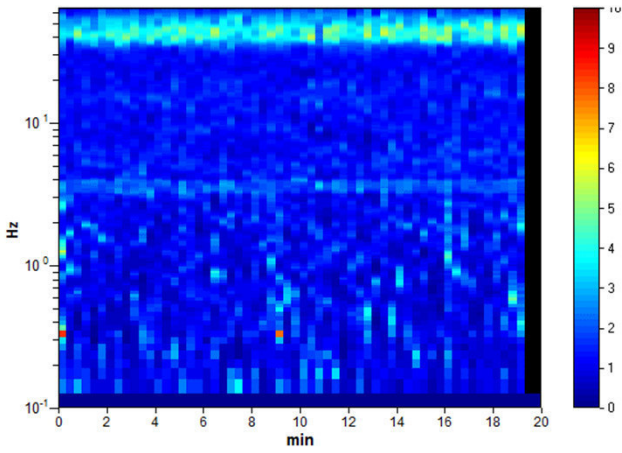


Figura 1: analisi temporale del rumore

### DIRECTIONAL H/V

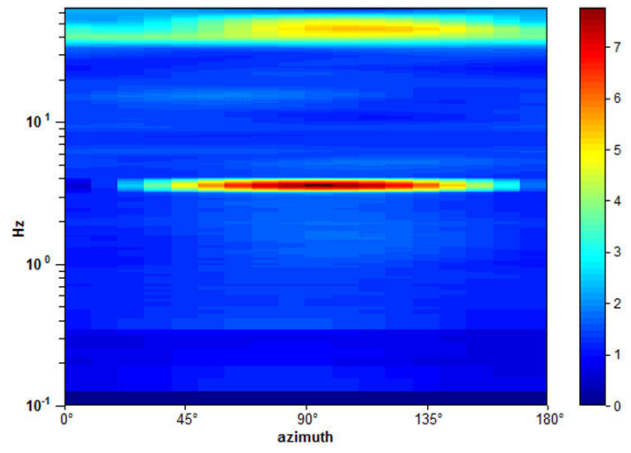


Figura 2: analisi direzionale del rumore

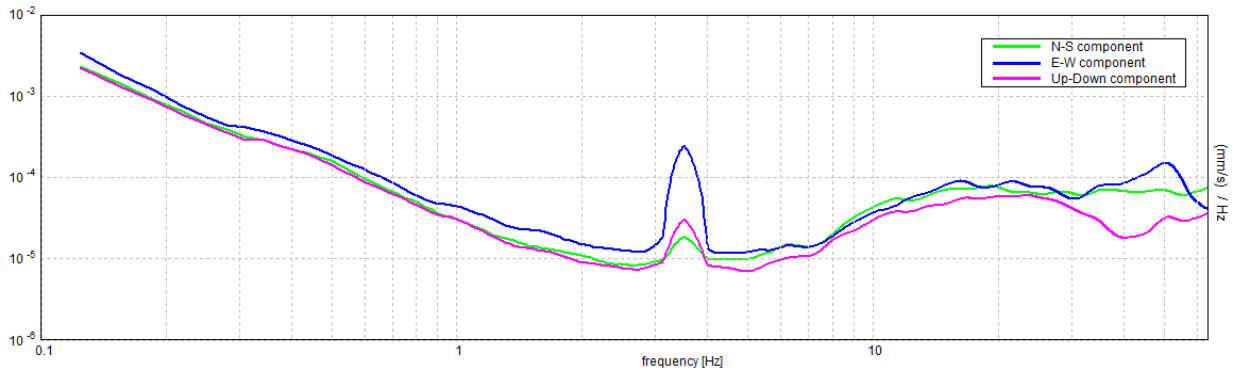


Figura 3: spettri delle 3 componenti

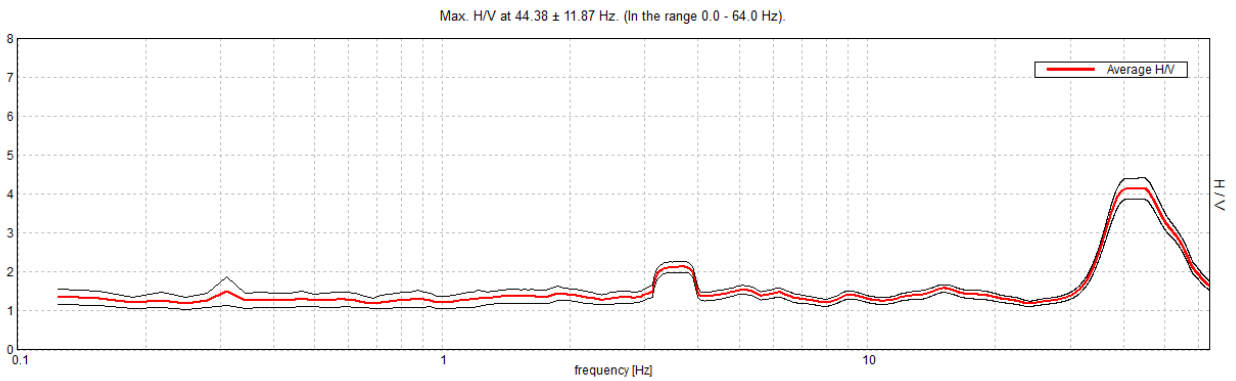


Figura 4: rapporto H/V (la linea verde tratteggiata rappresenta il valore H/V al di sopra del quale ci si aspetta una variazione significativa del contrasto d'impedenza)

Max. H/V at 44.38 ± 11.87 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	44.38 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	53250.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1339 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{HM}(f^-) < A_0 / 2$	33.906 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{HM}(f^+) < A_0 / 2$	58.625 Hz	OK	
$A_0 > 2$	4.14 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{HM}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.26758  < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	11.87391 < 2.21875		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2724 < 1.58	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{HM}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{HM}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{HM}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{HM}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{HM}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log HM}(f)$	standard deviation of $\log A_{HM}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$**

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log HM}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Riepilogo criteri SESAME (2004) per la valutazione della qualità di una misura HVSR

Come si vede l'attendibilità della chiarezza dei picchi da verifica SESAME, non è stata soddisfatta, quindi il valore di  $f_0$  potrebbe non essere rappresentativo della frequenza fondamentale

$F_0$ (Hz)	$h$ (m)
< 1	> 100
1 - 2	50 - 100
2 - 3	30 - 50
3 - 5	20 - 30
5 - 8	10 - 20
8 - 20	5 - 10
> 20	< 5

**Commenti:** In questa acquisizione si osserva una certa direzionalità e una stazionarietà non ottimale, forse a causa di interferenze antropiche. Non ci sono picchi degni di nota. Il picco a 44 Hz indica un contrasto molto superficiale di scarso interesse ingegneristico.

Dati i modesti contrasti di rigidità non pare si debbano attendere forti amplificazioni locali dei sismi.

Tab. 1: abaco per la stima dello spessore delle coperture ( $h$ ) a partire dai valori delle frequenze di risonanza ( $F_0$ ) determinate dalle misure H/V (D. Albarello e S. Castellaro- 2011)

## MICROZONAZIONE SISMICA DI 2° LIVELLO

In riferimento alla Carta di Pericolosità Sismica Locale (CPSL), nella quale val la pena ricordare vengono indicate le maggiori criticità del territorio e individuate le aree che richiedono approfondimenti per particolari tematiche e/o assetti stratigrafici-tettonici complessi, al sito è possibile attribuire una pericolosità P4a, che come visibile dalla tabella sottostante (tratta dalle Linee Guida Regionali per la microzonazione sismica - fig. 2) è quella relativa alla «Zona di fondovalle ampia e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi».

Dalla medesima tabella si evince che l'approfondimento di 2° livello è mirato a quantificare gli effetti amplificati del moto sismico in superficie per effetto litologico, e che mancando possibili effetti geometrici non è necessario procedere col livello superiore.

PROCEDURA DI MICROZONAZIONE SISMICA								
SIGLA	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	Verifica di assoggettabilità	(soglia)	1° livello	(soglia)	2° livello	(soglia)	3° livello
P1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi				cartografia			Analisi stabilità
P1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti				cartografia			Analisi stabilità
P1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana				cartografia	Analisi di stabilità	Fs prossimo a 1	Analisi stabilità
P2a	Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti quali depositi altamente compressibili, ecc.	zona 4 pga>0,100 zona 3 pga<0,100	pga di sito >0,125		raccolta dati - cartografia	ABITATI PREV.URBAN.* Eventuale verifica	PREV.URBAN.*	Cedimenti
P2b	Zona con depositi granulari fini saturi	zona 4 pga>0,100 zona 3 pga<0,100	pga di sito >0,125		raccolta dati - cartografia	ABITATI PREV.URBAN.* Eventuale verifica Liquefazione	PREV.URBAN.*	Liquefazione
P2c	Zona caratterizzata da coltri di terreno di riporto o che fanno subito riempimenti antropici	zona 4 pga>0,100 zona 3 pga<0,100	pga di sito >0,125		raccolta dati - cartografia	ABITATI PREV.URBAN.* Cedimenti	PREV.URBAN.*	Cedimenti
P3a	Linea di ciglio H>10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di cava, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc..)				H=10 m; α>15°	Effetti topografici		
P3b	Zona di cresta e/o cocuzzolo: appuntita - arrotondata				h=1/3H; α e α2>15°	Effetti topografici		
P4a	Zona di fondovalle ampia e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi				Vs30<800m/s; C<0,25 Vs30<800m/s; C>0,25	Effetti litologici	h/l>0,65√(Cv-1)	Effetti lito-geometrici
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				Vs30<800m/s; C>0,25			Effetti lito-geometrici
P4c	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltato-lacustre				Vs30<800m/s	Effetti litologici		
P4d	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)				Vs30<800m/s	Effetti litologici		
P4e	Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale				Vs30<800m/s	Effetti litologici		
P5a	Linea di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse				cartografia	Comportamenti differenziali		
P5b	Zona ove sono presenti o potenzialmente presenti cavità sotterranee o sinkhole				cartografia			Comportamenti differenziali

Come ben evidenziato dalle Linee Guida «L'obiettivo del secondo livello di approfondimento è di compensare le incertezze del primo livello con approfondimenti conoscitivi e fornire quantificazioni numeriche, con metodi semplificati (abachi e leggi empiriche), della modificazione locale del moto sismico in superficie e dei fenomeni di deformazione permanente».

In particolare, per lo scenario che prevede effetti litologici, cui il nostro sito appartiene, la quantificazione numerica degli effetti sarà rappresentata dai fattori amplificativi FA (fattore di amplificazione a basso periodo in termini di accelerazione) e FV (fattore di amplificazione a periodo proprio in termini di pseudo velocità), calcolati tramite procedura semplificata. Il primo corrisponde al fattore di amplificazione determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione mentre il secondo corrisponde al fattore di amplificazione a periodo proprio per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità.

Il primo passo della quantificazione consiste nell'assegnare i terreni di copertura a una delle classi sotto riportate:

CLASSE	DESCRIZIONE	informazioni
1	terreno di riporto antropico	
2	ghiaia	2a addensata 2b poco addensata
3	ghiaia/sabbiosa-sabbia/ghiaiosa	3a addensata 3b poco addensata
4	sabbia	4a addensata 4b poco addensata
5	Sabbia / limosa - limo/sabbioso	5a addensata 5b poco addensata
6	Limo	6a consistente 6b poco consistente
7	Limo / argilloso - argilla/limosa	7a consistente 7b poco consistente
8	Argilla	8a consistente 8b poco consistente
9	deposito alluvionale a granulometria mista	
10	detrito di versante a granulometria mista	
11	coltre di substrato alterato	

Le indagini geofisiche e le risultanze di un sondaggio eseguito nelle vicinanze e riportato nel PAT fanno verosimilmente ritenere che il sito appartenga alla Classe 3a, in quanto nel sottosuolo sono presenti parecchi metri di terreni con Vs associabili a ghiaie sabbiose/sabbie ghiaiose addensate che risultano essere il deposito maggiormente rappresentativo.

#### DETERMINAZIONE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

La stima dei fattori di amplificazione locale FA ed FV è avvenuta attraverso l'utilizzo degli abachi di riferimento, indicati dal gruppo di lavoro del Dipartimento di Protezione Civile negli "indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica, 2008" (tali abachi devono considerarsi temporanei, fino a quando la Regione Veneto si sarà dotata di specifici abachi regionalizzati). Per entrare nelle tabelle degli abachi di riferimento sono necessari i seguenti elementi di ingresso:

- La sismicità di base del sito  $a_g(g)$
- La litologia prevalente nei terreni di copertura
- La profondità (H) del basamento sismico ovvero la profondità dove si raggiungono velocità delle onde S superiori a 800 m/s
- la velocità equivalente media di taglio nei terreni di copertura  $V_{SH}$  in m/s dedotta dalle prove MASW e ReMi eseguite nel sito
- Il profilo di velocità ovvero alla modalità di crescita della velocità con la profondità; si è cautelativamente stimato che questa cresca con un gradiente assimilabile a quello con curva Lineare Pendenza Intermedia, che rappresenta un valore intermedio tra il troppo cautelativo (pendenza massima ovvero gradienti molto accentuati con la profondità) ed il teorico (pendenza costante)

Parametri d'ingresso		FA	FV
Sismicità di base	$A_g(g) = 0,26$	1,7	1,6
Litotipo prevalente	Ghiaia		
Profilo di velocità	Pendenza Intermedia		
Profondità <i>bedrock</i> sismico	50 m		
Velocità onde di taglio	$V_{SH} = 450$ m/s		

Fattore di amplificazione	Tipo di terreno	$a_g(g)$	Profilo di velocità									
FA	Ghiaia	0,26g	Lineare pendenza massima									
			$V_{sv}(m/s)$									
			150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	-	-	-	2.49	2.07	1.49	1.25	1.12	1.05	1.03	1.01	1.00
10	-	-	-	-	2.65	2.27	1.83	1.59	1.37	1.23	1.06	1.01
15	-	-	-	-	-	2.43	1.89	1.59	1.42	1.28	1.10	1.03
20	-	-	-	-	-	2.73	2.14	1.78	1.53	1.35	1.16	1.06
25	-	-	-	-	-	3.00	2.29	1.88	1.62	1.44	1.21	1.08
30	-	-	-	-	-	3.04	2.39	1.96	1.70	1.51	1.25	1.09
35	-	-	-	-	-	2.87	2.43	2.00	1.73	1.54	1.26	1.10
40	-	-	-	-	-	2.79	2.32	2.02	1.73	1.54	1.27	1.10
50	-	-	-	-	-	2.41	2.22	1.91	1.72	1.53	1.26	1.09
60	-	-	-	-	-	2.15	2.00	1.79	1.62	1.47	1.24	1.07
70	-	-	-	-	-	1.90	1.68	1.54	1.41	1.21	1.05	1.05
80	-	-	-	-	-	1.81	1.62	1.48	1.37	1.17	1.03	1.03
90	-	-	-	-	-	1.71	1.57	1.44	1.34	1.15	1.00	1.00
100	-	-	-	-	-	1.62	1.51	1.39	1.30	1.13	0.99	0.99
110	-	-	-	-	-	1.50	1.45	1.35	1.26	1.11	0.99	0.99
120	-	-	-	-	-	1.42	1.39	1.30	1.23	1.09	0.97	0.97
130	-	-	-	-	-	1.33	1.33	1.26	1.19	1.07	0.96	0.96
140	-	-	-	-	-	1.26	1.29	1.21	1.16	1.04	0.94	0.94
150	-	-	-	-	-	1.21	1.22	1.17	1.12	1.02	0.93	0.93

Fattore di amplificazione	Tipo di terreno	$a_g(g)$	Profilo di velocità									
FV	Ghiaia	0,26g	Lineare pendenza massima									
			$V_{sv}(m/s)$									
			150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	-	-	-	1.06	1.03	1.02	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00
10	-	-	-	-	1.13	1.06	1.04	1.03	1.02	1.01	1.01	1.00
15	-	-	-	-	-	1.18	1.10	1.05	1.04	1.03	1.01	1.01
20	-	-	-	-	-	1.54	1.20	1.13	1.06	1.04	1.02	1.01
25	-	-	-	-	-	2.15	1.40	1.21	1.14	1.10	1.04	1.02
30	-	-	-	-	-	2.58	1.72	1.31	1.21	1.14	1.07	1.02
35	-	-	-	-	-	2.95	1.93	1.48	1.29	1.20	1.09	1.03
40	-	-	-	-	-	3.39	2.14	1.61	1.39	1.26	1.12	1.04
50	-	-	-	-	-	3.72	2.62	1.94	1.58	1.39	1.19	1.08
60	-	-	-	-	-	3.60	2.83	2.17	1.77	1.51	1.24	1.10
70	-	-	-	-	-	2.84	2.27	1.88	1.60	1.29	1.11	1.11
80	-	-	-	-	-	2.69	2.27	1.92	1.66	1.32	1.13	1.13
90	-	-	-	-	-	2.65	2.18	1.91	1.67	1.34	1.13	1.13
100	-	-	-	-	-	2.73	2.10	1.85	1.65	1.34	1.14	1.14
110	-	-	-	-	-	2.74	2.14	1.78	1.60	1.32	1.13	1.13
120	-	-	-	-	-	2.71	2.17	1.81	1.57	1.31	1.12	1.12
130	-	-	-	-	-	2.65	2.16	1.82	1.58	1.29	1.11	1.11
140	-	-	-	-	-	2.62	2.16	1.83	1.57	1.28	1.10	1.10
150	-	-	-	-	-	2.57	2.13	1.81	1.57	1.28	1.10	1.10

## Suscettibilità alla liquefazione



**Estratto della Carta degli Elementi Geologici in Prospettiva Sismica (Tav. 5A del PAT)  
I doppi trattini sovrapposti indicano le probabili zone con profondità della falda < 15 m  
dal piano campagna**

Secondo la Carta degli Elementi Geologici in Prospettiva Sismica (Tav. 5A del PAT), di cui sopra si riporta un estratto, il sito ricade in una zona parzialmente caratterizzata dalla profondità della falda < 15 m. In mancanza di dati certi sulla stratigrafia e sulla distribuzione granulometrica dei sedimenti, per escludere la possibilità che il sito sia suscettibile al fenomeno della liquefazione, si è fatto riferimento al criterio dello stato di addensamento, attraverso le Vs. La prova MASW effettuate nel sito mostra un notevole addensamento dei terreni con Vs > 300 m/s già a partire dai primi metri al di sotto del piano campagna. Inoltre, per esperienza personale, dal punto di vista granulometrico i depositi granulari di questo settore del megafan del Piave di Nervesa possiedono in genere fusi ben gradati e non monogranulari.

Sulla base di queste considerazioni si ritengono i terreni non liquefacibili, e quindi non sono state fatte le indagini proprie del livello 3 come prevedono e Linee Guida.

In fase di progettazione ed esecuzione dell'opera si raccomanda comunque di verificare il livello della falda e la composizione granulometrica reale del sito, con studi geologici di dettaglio come prescritto dalla normativa vigente (D.M. 14/01/2008 e D.M 11.03.1988).

## **GIUDIZIO DI COMPATIBILITA' SIMICA**

L'area di trasformazione è compatibile, dal punto di vista sismico, con i requisiti del sito.

Le caratteristiche sismiche non presentano particolari elementi di penalizzazione.

Terreno di categoria B

Categoria topografia T1

## AMBITO 3 (Modifica 34)

Ubicazione: **Via Val Longa**

Coordinate WGS84: Lat. 45,869819 Long. 12,246204

Terreno di misura: naturale

Data registrazione: 17/09/2016

Condizioni meteorologiche: nuvoloso

---



**Foto aerea sito: la linea rossa indica l'ubicazione dell'indagine MASW e ReMi , la stella rossa quella HVSR**

---

### **Strumentazione MASW e ReMi**

Sismografo a 24 canali (mod. Dolang Geophysical DBS280 24 bit 24 canali)

collegato a geofoni verticali a frequenza propria di 4.5Hz.TEP-0014/01-09

Numero di ricevitori: 24

Distanza tra i sensori: 2 m

Numero di campioni temporali: 2048

Passo temporale di acquisizione: 0.6 ms

Numero di ricevitori usati per l'analisi: 24

### **Strumento HVSR**

Tromografo digitale mod. Tromino (Micromed s.r.l.) TEP-014/01-09

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h26'00".

Analizzato 100% tracciato (selezione manuale)

Frequenza campionamento: 128 Hz

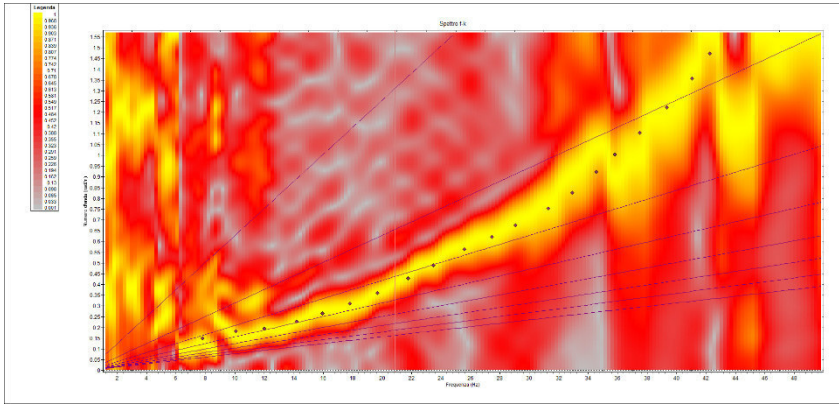
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

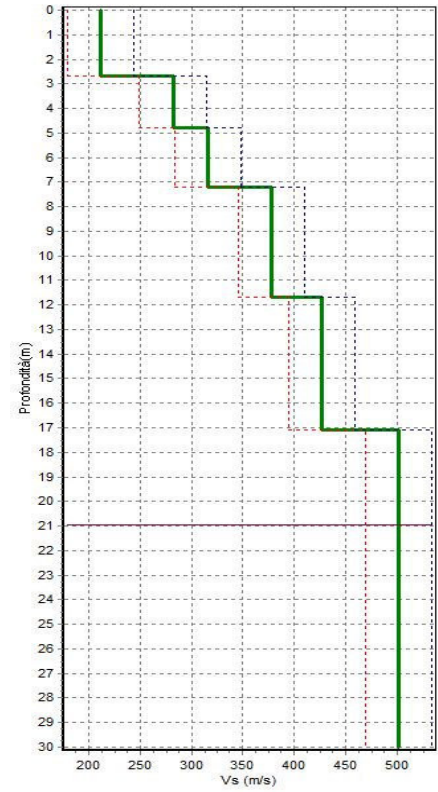
Software di elaborazione: Grilla

# SINTESI DEI RISULTATI MASW e ReMi



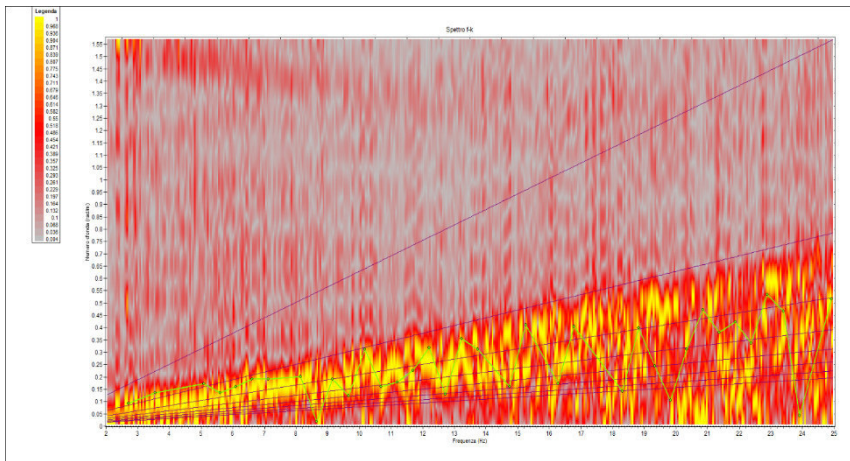
MASW

Prof.(m)	Vs(m/s)	C.Poisson	Gamma(t/mc)
2.7	208	0.3	1.8
4.8	286	0.3	1.8
7.2	317	0.3	1.9
11.7	374	0.3	1.9
17.1	423	0.3	2.0
30.0	501	0.3	2.1



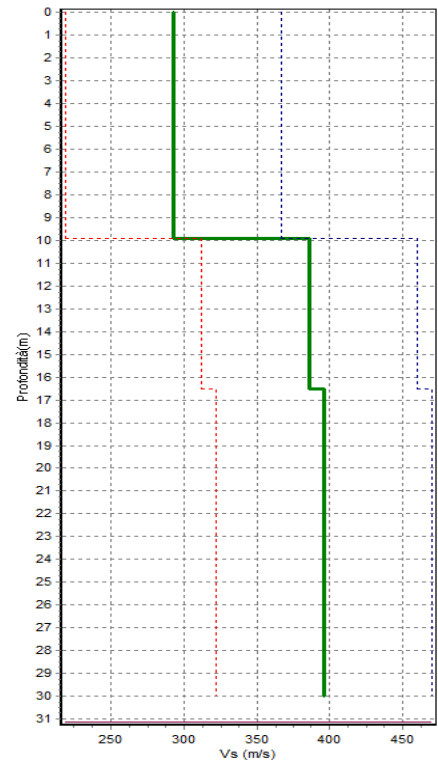
- Vs media
- Vs min
- Vs max
- Profondità max indagata

Classe sito: B - Vs30 (m/s)= 384.2



ReMi

Prof.(m)	Vs(m/s)	C.Poisson	Gamma(t/mc)
10.0	288	0.3	1.8
16.5	392	0.3	1.9
30.0	396	0.3	2.0



- Vs media
- Vs min
- Vs max
- Profondità max indagata

Classe sito: C - Vs30 (m/s)= 353.0

**Commenti:** La ricostruzione sismo-stratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di un materiale non molto addensato con velocità di propagazione delle onde S attorno a 200-300 m/s fino ad una decina di metri di profondità dal p.c. Al di sotto si ha un graduale addensamento dei depositi che raggiungono, attorno ai 30 m di profondità,  $V_s \approx 400-500\text{m/s}$ . Dalla conoscenza geologica della zona è verosimile supporre che il salto di velocità si trovi in corrispondenza del passaggio tra la copertura ed il sottostante substrato marnoso argilloso tipico della fascia collinare suseganesa.

Il bedrock geofisico, inteso come quel materiale che presenta una  $V_s \geq 800\text{ m/s}$ , non è stato raggiunto.

Dal punto di vista della Classificazione della categoria di sottosuolo secondo quanto previsto nella tabella 3.2.II delle NTC, in corrispondenza del sito in esame il sottosuolo può essere assimilato alla categoria **C**

## SINTESI DEI RISULTATI HVSR1

H/V TIME HISTORY

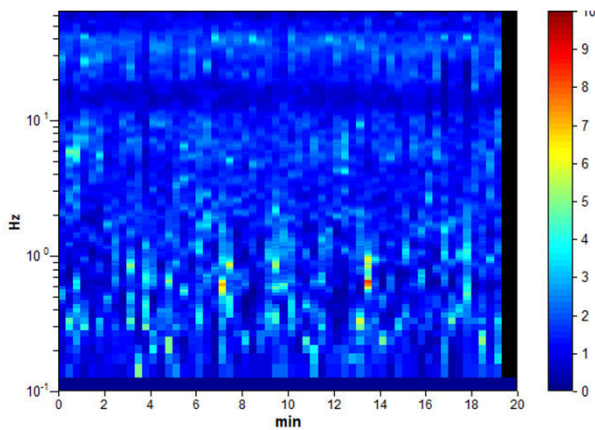


Figura 1: analisi temporale del rumore

DIRECTIONAL H/V

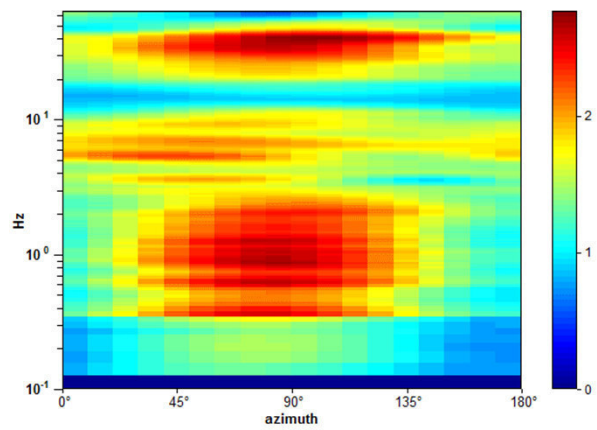


Figura 2: analisi direzionale del rumore

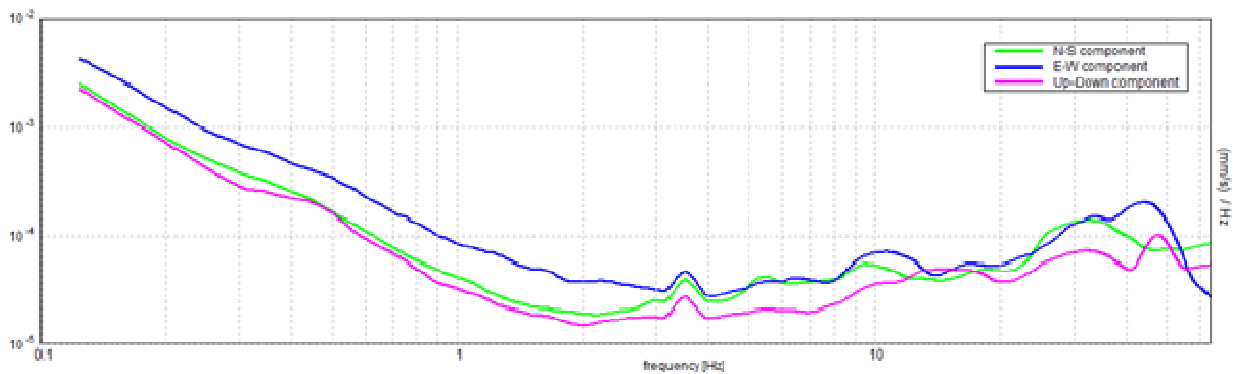


Figura 3: spettri delle 3 componenti

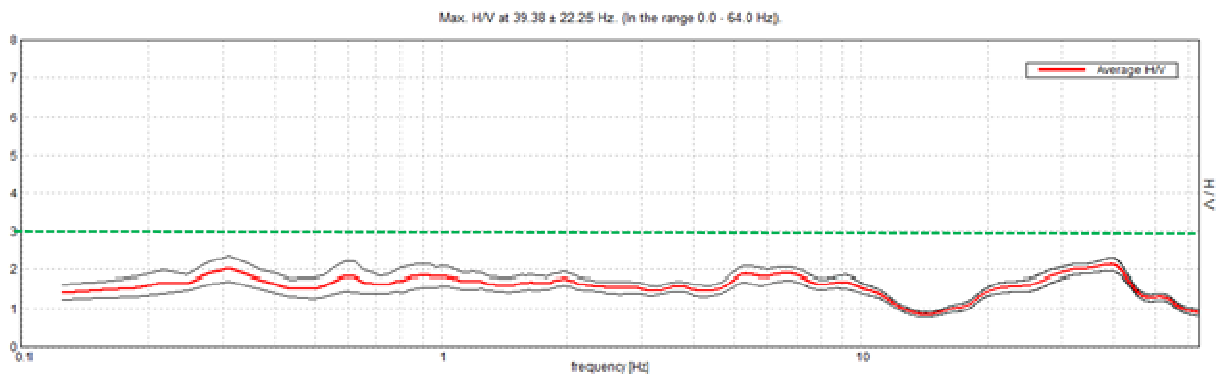


Figura 4: rapporto H/V (la linea verde tratteggiata rappresenta il valore H/V al di sopra del quale ci si aspetta una variazione significativa del contrasto d'impedenza)

**Max. H/V at 39.38 ± 22.25 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

<b>Criteria for a reliable H/V curve</b> [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	39.38 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	47250.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1419 times	OK	
<b>Criteria for a clear H/V peak</b> [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{HM}(f^-) < A_0 / 2$	17.469 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{HM}(f^+) < A_0 / 2$	56.969 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.13 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{HM}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.5651  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$22.25085 < 1.96875$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1683 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{HM}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{HM}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{HM}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{HM}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{HM}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log A_{HM}}(f)$	standard deviation of $\log A_{HM}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log A_{HM}}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Riepilogo criteri SESAME (2004) per la valutazione della qualità di una misura HVSR  
 Come si vede l'attendibilità della chiarezza dei picchi da verifica SESAME, non è stata soddisfatta, quindi il valore di  $f_0$  potrebbe non essere rappresentativo della frequenza fondamentale

$F_0$ (Hz)	$h$ (m)
< 1	> 100
1 - 2	50 - 100
2 - 3	30 - 50
3 - 5	20 - 30
5 - 8	10 - 20
8 - 20	5 - 10
> 20	< 5

**Commenti:** In questa acquisizione si osserva una marcata direzionalità e una stazionarietà non ottimale, forse a causa di interferenze antropiche. Non ci sono picchi degni di nota. Il picco a 39 Hz indica un contrasto molto superficiale di scarso interesse ingegneristico.

Dati i modesti contrasti di rigidità non pare si debbano attendere forti amplificazioni locali dei sismi.

Tab. 1: abaco per la stima dello spessore delle coperture ( $h$ ) a partire dai valori delle frequenze di risonanza ( $F_0$ ) determinate dalle misure H/V (D. Albarello e S. Castellaro- 2011)

# SINTESI DEI RISULTATI HVSR2

H/V TIME HISTORY

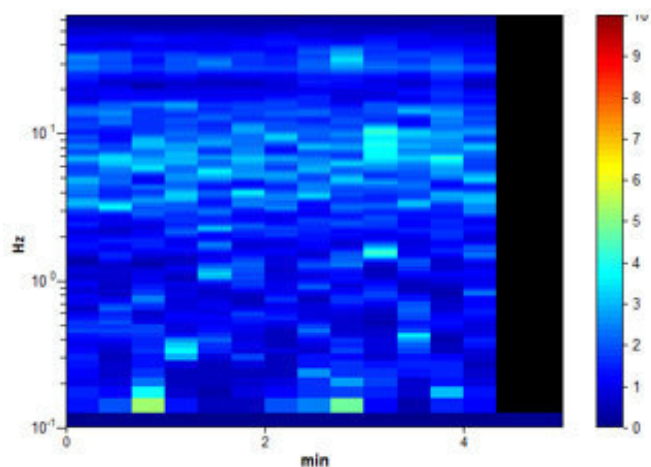


Figura 1: analisi temporale del rumore

DIRECTIONAL HV

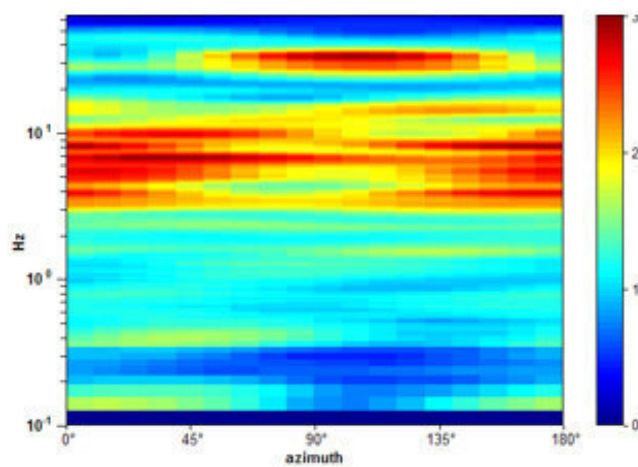


Figura 2: analisi direzionale del rumore

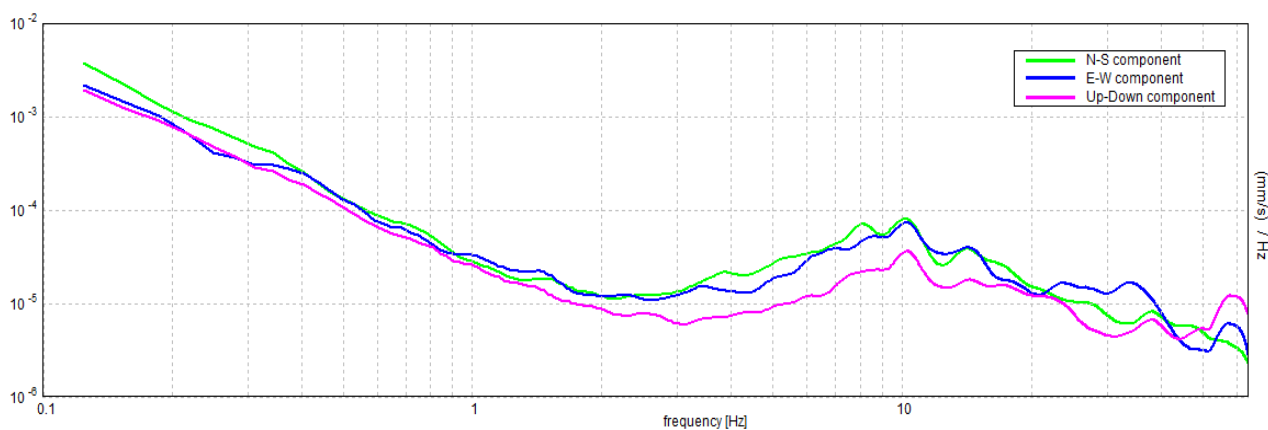


Figura 3: spettri delle 3 componenti

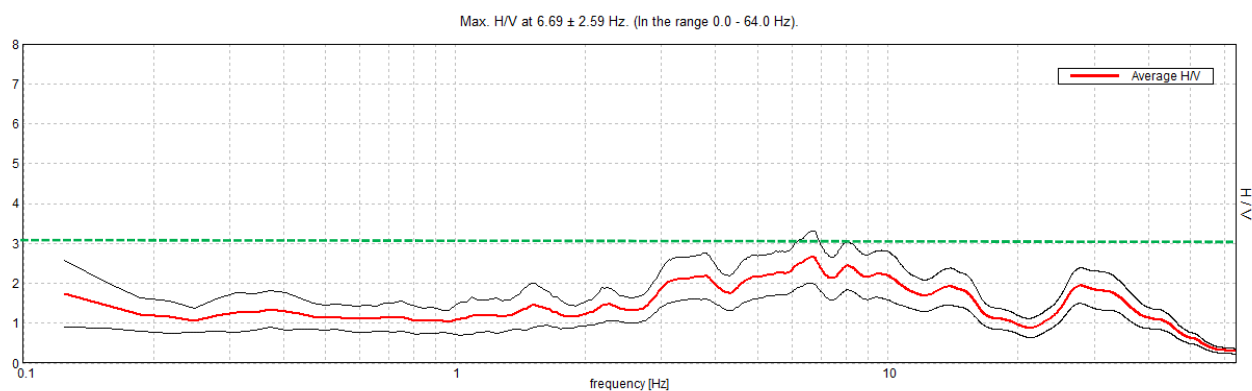


Figura 4: rapporto H/V (la linea verde tratteggiata rappresenta il valore H/V al di sopra del quale ci si aspetta una variazione significativa del contrasto d'impedenza)

Max. H/V at  $6.69 \pm 2.59$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

**Criteria for a reliable H/V curve**  
[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$6.69 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$2006.3 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 322 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**  
[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.594 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	16.438 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.66 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.38744  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$2.59101 < 0.33438$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.657 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$D_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w D_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log A_{H/V}(f)}$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log A_{H/V}(f_0)}$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Riepilogo criteri SESAME (2004) per la valutazione della qualità di una misura HVSR  
Come si vede l'attendibilità della chiarezza dei picchi da verifica SESAME, non è stata soddisfatta, quindi il valore di  $f_0$  potrebbe non essere rappresentativo della frequenza fondamentale

$F_0$ (Hz)	$h$ (m)
< 1	> 100
1 - 2	50 - 100
2 - 3	30 - 50
3 - 5	20 - 30
5 - 8	10 - 20
8 - 20	5 - 10
> 20	< 5

**Commenti:** In questa acquisizione si osserva una marcata direzionalità e una stazionarietà non ottimale, forse a causa di interferenze antropiche. Non ci sono picchi degni di nota. Il picco a 6,7 Hz potrebbe indicare il passaggio tra la copertura ed il substrato marnoso, attorno ai 15-17 m; si tratta in ogni caso di terreni con rigidità molto vicine, non in grado di generare picchi di rilievo (ovvero > 3 H/V).

Dati i modesti contrasti di rigidità non pare si debbano attendere forti amplificazioni locali dei sismi.

Tab. 1: abaco per la stima dello spessore delle coperture ( $h$ ) a partire dai valori delle frequenze di risonanza ( $F_0$ ) determinate dalle misure H/V (D. Albarello e S. Castellaro- 2011)

## MICROZONAZIONE SISMICA DI 2° LIVELLO

In riferimento alla Carta di Pericolosità Sismica Locale (CPSL), nella quale val la pena ricordare vengono indicate le maggiori criticità del territorio e individuate le aree che richiedono approfondimenti per particolari tematiche e/o assetti stratigrafici-tettonici complessi, al sito è possibile attribuire una pericolosità P4c, che come visibile dalla tabella sottostante (tratta dalle Linee Guida Regionali per la microzonazione sismica - fig. 2) è quella relativa alla «Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre».

Dalla medesima tabella si evince che l'approfondimento di 2° livello è mirato a quantificare gli effetti amplificati del moto sismico in superficie per effetto litologico, e che mancando possibili effetti geometrici non è necessario procedere col livello superiore.

PROCEDURA DI MICROZONAZIONE SISMICA								
SIGLA	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	Verifica di assoggettabilità	(soglia)	1° livello	(soglia)	2° livello	(soglia)	3° livello
P1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi				cartografia			Analisi stabilità
P1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti				cartografia			Analisi stabilità
P1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana				cartografia	Analisi di stabilità	Fs prossimo a 1	Analisi stabilità
P2a	Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti quali depositi altamente compressibili, ecc.	zona 4 pga>0,100 zona 3 pga<0,100	pga di sito >0,125		raccolta dati - cartografia	ABITATI* PREV.URBAN*	Cedimenti Eventuale verifica	PREV.URBAN* Cedimenti
P2b	Zona con depositi granulari fini saturi	zona 4 pga>0,100 zona 3 pga<0,100	pga di sito >0,125		raccolta dati - cartografia	ABITATI* PREV.URBAN*	Liquefazione Eventuale verifica	PREV.URBAN* Liquefazione
P2c	Zona caratterizzata da coltri di terreno di riporto o che hanno subito riempimenti antropici	zona 4 pga>0,100 zona 3 pga<0,100	pga di sito >0,125		raccolta dati - cartografia	ABITATI* PREV.URBAN*	Cedimenti	PREV.URBAN* Cedimenti
P3a	Linea di ciglio H>10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di cava, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc...)				H=10 m; α>15°		Effetti topografici	
P3b	Zona di cresta e/o cocuzzolo: appuntita - arrotondata				h=1/3H; a e a2>15°		Effetti topografici	
P4a	Zona di fondovalle ampie e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi				Vs30<800m/s; C<0,25 Vs30<800m/s; C>0,25		Effetti litologici	h/1>0,65/√Cv-1 Effetti lito-geometrici
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				Vs30<800m/s- C>0,25			Effetti lito-geometrici
P4c	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre				Vs30<800m/s		Effetti litologici	
P4d	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)				Vs30<800m/s		Effetti litologici	
P4e	Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine alluvio-colluviale				Vs30<800m/s		Effetti litologici	
P5a	Linea di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-mecchaniche molto diverse				cartografia		Comportamenti differenziali	
P5b	Zona ove sono presenti o potenzialmente presenti cavità sotterranee o sinkhole				cartografia			Comportamenti differenziali

Come ben evidenziato dalle Linee Guida «L'obiettivo del secondo livello di approfondimento è di compensare le incertezze del primo livello con approfondimenti conoscitivi e fornire quantificazioni numeriche, con metodi semplificati (abachi e leggi empiriche), della modificazione locale del moto sismico in superficie e dei fenomeni di deformazione permanente».

In particolare, per lo scenario che prevede effetti litologici, cui il nostro sito appartiene, la quantificazione numerica degli effetti sarà rappresentata dai fattori amplificativi FA (fattore di amplificazione a basso periodo in termini di accelerazione) e FV (fattore di amplificazione a periodo proprio in termini di pseudo velocità), calcolati tramite procedura semplificata. Il primo corrisponde al fattore di amplificazione determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione mentre il secondo corrisponde al fattore di amplificazione a periodo proprio per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità.

Il primo passo della quantificazione consiste nell'assegnare i terreni di copertura a una delle classi sotto riportate:

CLASSE	DESCRIZIONE	informazioni
1	terreno di riporto antropico	
2	ghiaia	2a addensata 2b poco addensata
3	ghiaia/sabbiosa-sabbia/ghiaiosa	3a addensata 3b poco addensata
4	sabbia	4a addensata 4b poco addensata
5	Sabbia / limosa - limo/sabbioso	5a addensata 5b poco addensata
6	Limo	6a consistente 6b poco consistente
7	Limo / argilloso - argilla/limosa	7a consistente 7b poco consistente
8	Argilla	8a consistente 8b poco consistente
9	deposito alluvionale a granulometria mista	
10	detrito di versante a granulometria mista	
11	coltre di substrato alterato	

Le indagini geofisiche e la conoscenza geologica del sito sembrano avvalorare un assetto stratigrafico composto da alcuni metri di terreni sciolti a prevalente componente coesiva ben addensati al tetto del substrato marnoso-argilloso; si ritiene pertanto di assegnare i terreni di copertura alla Classe 7a.

#### DETERMINAZIONE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

La stima dei fattori di amplificazione locale FA ed FV è avvenuta attraverso l'utilizzo degli abachi di riferimento, indicati dal gruppo di lavoro del Dipartimento di Protezione Civile negli "indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica, 2008" (tali abachi devono considerarsi temporanei, fino a quando la Regione Veneto si sarà dotata di specifici abachi regionalizzati). Per entrare nelle tabelle degli abachi di riferimento sono necessari i seguenti elementi di ingresso:

- La sismicità di base del sito  $a_g(g)$
- La litologia prevalente nei terreni di copertura
- La profondità (H) del basamento sismico ovvero la profondità dove si raggiungono velocità delle onde S superiori a 800 m/s
- la velocità equivalente media di taglio nei terreni di copertura  $V_{SH}$  in m/s dedotta dalle prove MASW e ReMi eseguite nel sito
- Il profilo di velocità ovvero alla modalità di crescita della velocità con la profondità; si è cautelativamente stimato che questa cresca con un gradiente assimilabile a quello con curva Lineare Pendenza Intermedia, che rappresenta un valore intermedio tra il troppo cautelativo (pendenza massima ovvero gradienti molto accentuati con la profondità) ed il teorico (pendenza costante)

Parametri d'ingresso		FA	FV
Sismicità di base	$A_g(g) = 0,26$	1,3	1,9
Litotipo prevalente	Ghiaia		
Profilo di velocità	Pendenza Intermedia		
Profondità bedrock sismico	50 m		
Velocità onde di taglio	$V_{SH} = 450$ m/s		

Fattore di amplificazione *FA*      Tipo di terreno Argilla       $a_g(g)$  0.26g      Profilo di velocità Lineare pendenza intermedia

H	$V_s(m/s)$									
	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.21	1.79	1.75	1.57	1.35	1.19	1.09	1.04	1.01	1.00
10	-	2.27	1.96	1.63	1.43	1.32	1.25	1.16	1.05	1.01
15	-	2.35	2.14	1.88	1.66	1.47	1.33	1.22	1.10	1.03
20	-	2.14	2.16	1.96	1.75	1.58	1.43	1.31	1.15	1.05
25	-	1.89	2.00	1.97	1.79	1.62	1.48	1.37	1.19	1.07
30	-	1.77	1.89	1.85	1.77	1.62	1.49	1.38	1.20	1.07
35	-	-	1.71	1.76	1.67	1.60	1.48	1.38	1.21	1.08
40	-	-	1.73	1.64	1.62	1.52	1.46	1.37	1.21	1.07
50	-	-	1.70	1.65	1.51	1.42	1.36	1.31	1.18	1.06
60	-	-	1.60	1.60	1.51	1.39	1.30	1.24	1.15	1.05
70	-	-	1.52	1.52	1.47	1.40	1.29	1.21	1.11	1.03
80	-	-	1.45	1.47	1.41	1.36	1.29	1.21	1.09	1.01
90	-	-	1.38	1.43	1.37	1.33	1.27	1.21	1.08	0.99
100	-	-	1.27	1.36	1.32	1.27	1.24	1.19	1.08	0.98
110	-	-	1.29	1.31	1.30	1.25	1.20	1.17	1.07	0.98
120	-	-	1.21	1.27	1.26	1.24	1.18	1.13	1.06	0.97
130	-	-	1.18	1.23	1.22	1.20	1.17	1.12	1.04	0.96
140	-	-	1.13	1.20	1.20	1.18	1.14	1.10	1.03	0.95
150	-	-	1.10	1.18	1.16	1.14	1.12	1.09	1.02	0.94

Fattore di amplificazione *FV*      Tipo di terreno Argilla       $a_g(g)$  0.26g      Profilo di velocità Lineare pendenza intermedia

H	$V_s(m/s)$									
	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.12	1.05	1.03	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00
10	-	1.32	1.13	1.06	1.04	1.03	1.02	1.02	1.01	1.00
15	-	1.95	1.39	1.19	1.12	1.06	1.04	1.03	1.01	1.01
20	-	2.33	1.74	1.38	1.22	1.14	1.10	1.05	1.03	1.01
25	-	2.71	2.04	1.57	1.34	1.23	1.15	1.10	1.04	1.01
30	-	2.79	2.32	1.80	1.50	1.32	1.22	1.14	1.08	1.02
35	-	-	2.50	2.01	1.63	1.43	1.29	1.20	1.09	1.02
40	-	-	2.50	2.17	1.79	1.52	1.36	1.25	1.11	1.03
50	-	-	2.33	2.21	1.94	1.69	1.50	1.36	1.17	1.04
60	-	-	2.29	2.06	1.95	1.76	1.57	1.42	1.21	1.08
70	-	-	2.38	2.04	1.84	1.74	1.60	1.46	1.24	1.09
80	-	-	2.35	2.05	1.82	1.66	1.57	1.46	1.25	1.10
90	-	-	2.25	2.12	1.82	1.64	1.51	1.42	1.24	1.07
100	-	-	2.16	2.07	1.86	1.65	1.50	1.40	1.24	1.07
110	-	-	2.11	2.02	1.84	1.64	1.50	1.39	1.22	1.07
120	-	-	2.15	1.94	1.82	1.65	1.50	1.38	1.21	1.07
130	-	-	2.15	1.91	1.79	1.64	1.50	1.38	1.19	1.06
140	-	-	2.13	1.92	1.74	1.63	1.51	1.39	1.20	1.05
150	-	-	2.04	1.93	1.73	1.61	1.50	1.38	1.20	1.05

## **GIUDIZIO DI COMPATIBILITA' SIMICA**

L'area di trasformazione è compatibile, dal punto di vista sismico, con i requisiti del sito.

Le caratteristiche sismiche non presentano particolari elementi di penalizzazione.

Terreno di categoria C

Categoria topografia T1

## AMBITO 6 (Modifica 21)

Ubicazione: Via Foresto Sud

### H.V.S.R. 1 (T1) e Re.Mi. 1 (A1)

Latitudine	Longitudine
45,84485 °N (WGS-84)	12,26276 °E (WGS-84)
45,845747 °N (ED-50)	12,263755 °E (ED-50)



### H.V.S.R. 2 (T2) e Re.Mi. 2 (A2)

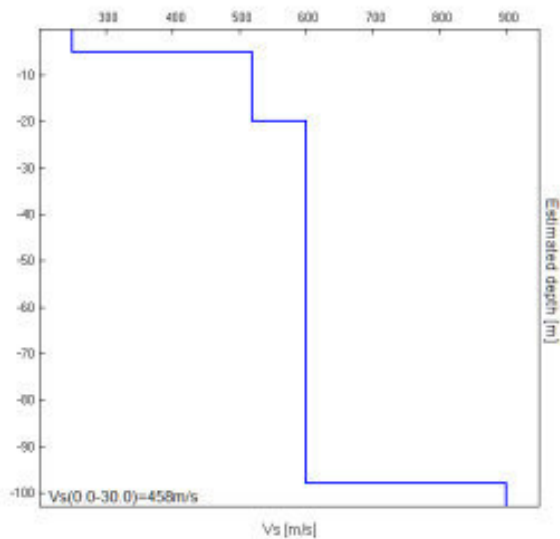
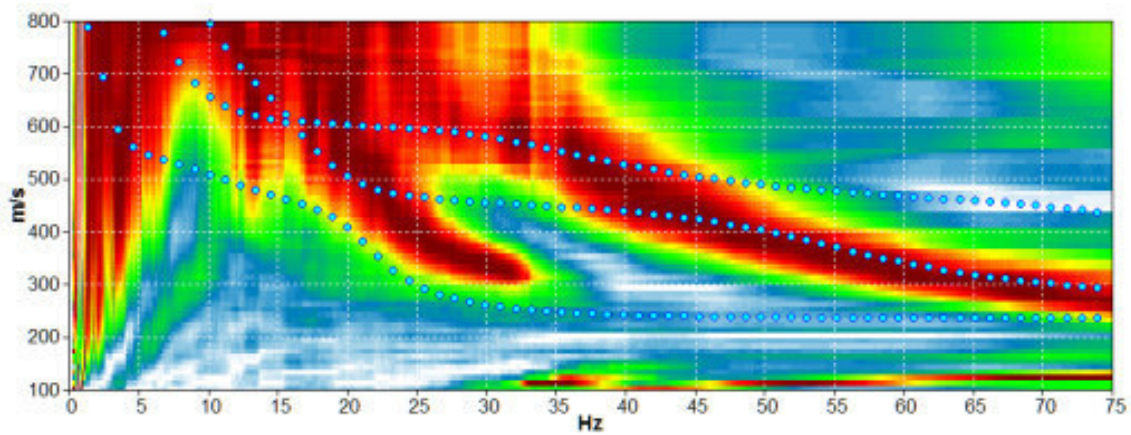
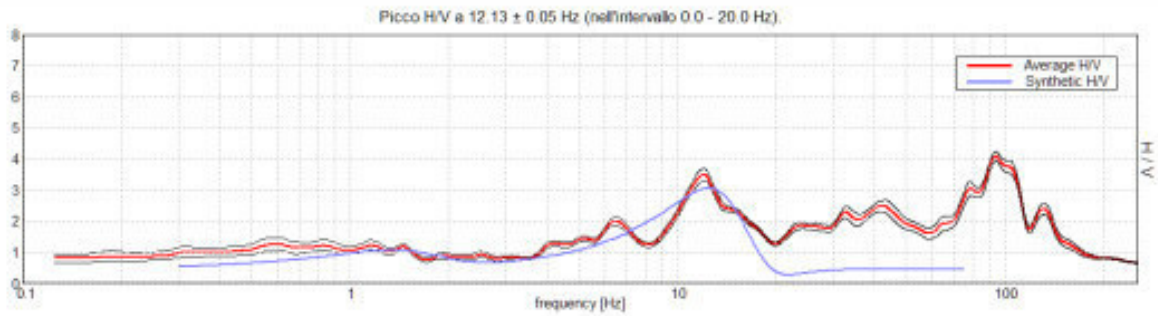
Latitudine	Longitudine
45,84773 °N (WGS-84)	12,26147 °E (WGS-84)
45,848627 °N (ED-50)	12,262465 °E (ED-50)



Foto aerea sito: la linea gialla indica l'ubicazione dell'indagine MASW e ReMi , la stella gialla quella HVSR

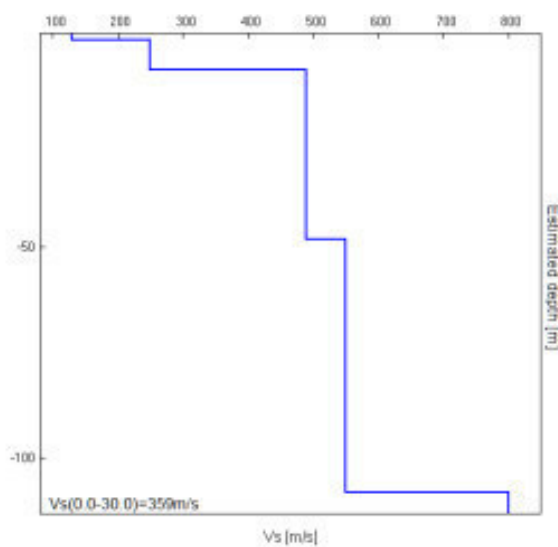
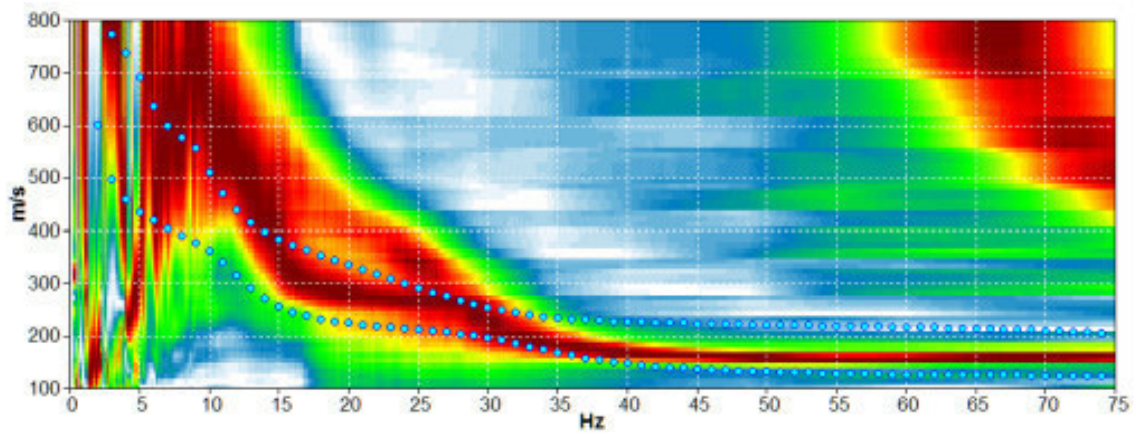
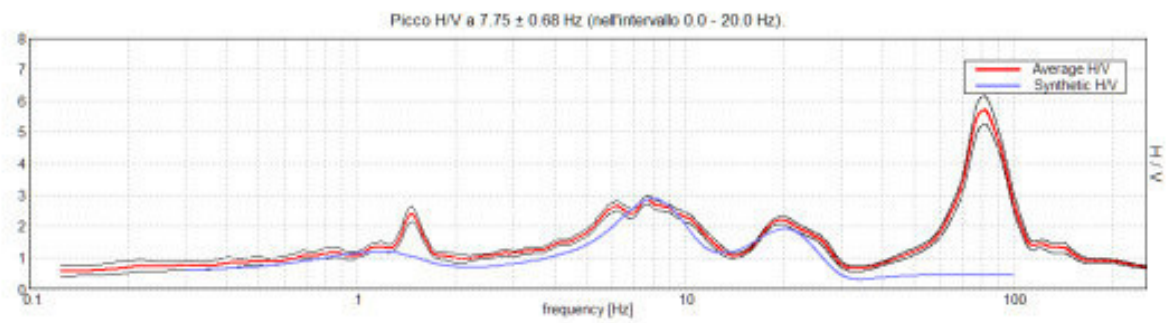
# INDAGINI ReMi CON INVERSIONE CONGIUNTA ALL'HVSR

## Misura sismica Re.Mi.1 (A1) con inversione congiunta all'H.V.S.R. 1 (T1)



Profondità in [m] dal p.c. locale	$V_s$ in [m/s]
0,0 – 5,0	250
5,0 – $\approx$ 20	520
$\approx$ 20 – $\approx$ 98	600
$>$ $\approx$ 98	900

## Misura sismica Re.Mi. 2 (A2) con inversione congiunta all'H.V.S.R. 2 (T2)



Profondità in [m] dal p.c. locale	Vs in [m/s]
0,0 – 1,7	130
1,7 – 8,2	250
8,2 - $\approx$ 48	490
$\approx$ 48 - $\approx$ 108	550
$> \approx$ 108	800

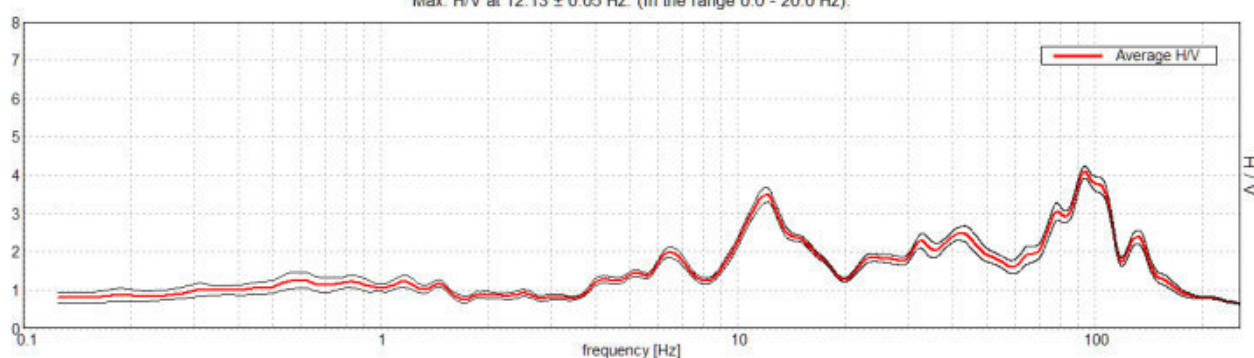
**Commento ai risultati delle indagini ReMi con inversione congiunta all'HVSR:** La ricostruzione sismostratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di un materiale da poco a moderatamente addensato con velocità di propagazione delle onde S comprese tra 130 - 250 m/s fino ad una profondità variabile tra 5 m e 8,2 m dal p.c. dove si registra un passaggio a depositi più addensati ( $V_s \approx 490 - 600$  m/s). Il bedrock geofisico ( $V_s \approx 800 - 900$  m/s), inteso come quel materiale che presenta una  $V_s \geq 800$  m/s, è stato individuato a una profondità di circa 98 - 108 m dal p.c. locale (tratto dallo studio del dr. geol. Matteo Collareda eseguito per conto della ditta WEGA MACCHINE PER IL CAFFÈ s.r.l. – settembre 2016)

## INDAGINI HVSR

### H.V.S.R. 1 (T1)

**Frequenza caratteristica di sito:  $12.13 \pm 0.05$  Hz**

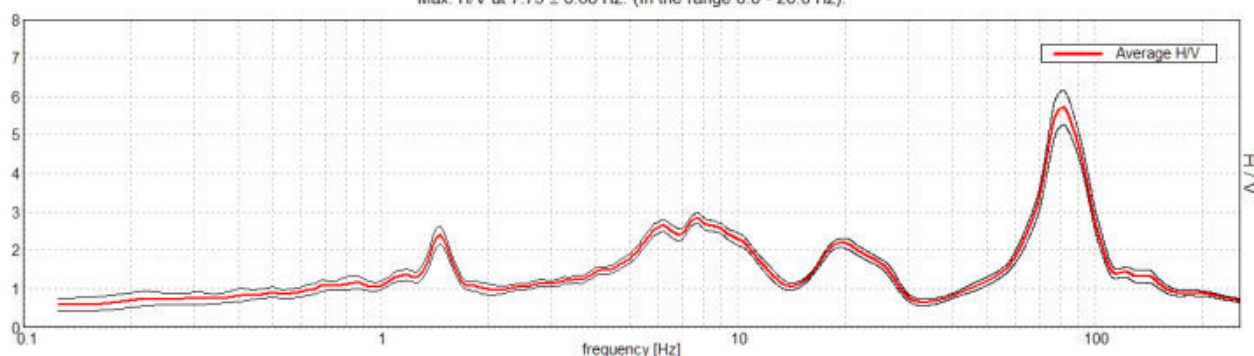
Max. H/V at  $12.13 \pm 0.05$  Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



### H.V.S.R. 2 (T2)

**Frequenza caratteristica di sito:  $7.75 \pm 0.68$  Hz**

Max. H/V at  $7.75 \pm 0.68$  Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



**Commento ai risultati delle indagini HVSR:** le misure condotte hanno evidenziato la presenza di un contrasto di rigidità tale da poter generare, in occasione di eventi sismici di magnitudo rilevante, marcate amplificazioni del moto ad una frequenza di risonanza compresa tra circa 7,75 Hz e 12 Hz. Inoltre, nella seconda misura è visibile un ulteriore contrasto di rigidità a frequenze di circa 11 Hz e altezza del picco poco superiore a 2. In entrambe le misure sono presenti alcuni artefatti (tratto dallo studio del dr. geol. Matteo Collareda eseguito per conto della ditta WEGA MACCHINE PER IL CAFFÈ s.r.l. – settembre 2016)

## MICROZONAZIONE SISMICA DI 2° LIVELLO

(Tratto dallo studio del dr. geol. Matteo Collareda eseguito per conto della ditta WEGA MACCHINE PER IL CAFFÈ s.r.l. – settembre 2016 – adattato)

In riferimento alla Carta di Pericolosità Sismica Locale (CPSL), nella quale val la pena ricordare vengono indicate le maggiori criticità del territorio e individuate le aree che richiedono approfondimenti per particolari tematiche e/o assetti stratigrafici-tettonici complessi, al sito è possibile attribuire una pericolosità P4a, che come visibile dalla tabella sottostante (tratta dalle Linee Guida Regionali per la microzonazione sismica - fig. 2) è quella relativa alla «Zona di fondovalle ampia e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi».

Dalla medesima tabella si evince che l'approfondimento di 2° livello è mirato a quantificare gli effetti amplificati del moto sismico in superficie per effetto litologico, e che mancando possibili effetti geometrici non è necessario procedere col livello superiore.

PROCEDURA DI MICROZONAZIONE SISMICA								
SIGLA	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	Verifica di assoggettabilità	(soglia)	1°livello	(soglia)	2°livello	(soglia)	3°livello
P1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi			cartografia				Analisi stabilità
P1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti			cartografia				Analisi stabilità
P1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana			cartografia		Analisi di stabilità	$F_s$ prossimo a 1	Analisi stabilità
P2a	Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti quali depositi altamente compressibili, ecc.	zona 4 $p_{ga} > 0,100$ zona 3 $p_{ga} < 0,100$	$p_{ga}$ di sito $> 0,125$	raccolta dati - cartografia	ABITATI PREV.URBAN.*	Cedimenti Eventuale verifica	PREV.URBAN.*	Cedimenti
P2b	Zona con depositi granulari fini saturi	zona 4 $p_{ga} > 0,100$ zona 3 $p_{ga} < 0,100$	$p_{ga}$ di sito $> 0,125$	raccolta dati - cartografia	ABITATI PREV.URBAN.*	Liquefazione Eventuale verifica	PREV.URBAN.*	Liquefazione
P2c	Zona caratterizzata da coltri di terreno di riporto o che hanno subito riempimenti antropici	zona 4 $p_{ga} > 0,100$ zona 3 $p_{ga} < 0,100$	$p_{ga}$ di sito $> 0,125$	raccolta dati - cartografia	ABITATI PREV.URBAN.*	Cedimenti	PREV.URBAN.*	Cedimenti
P3a	Linea di ciglio H>10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di cava, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc...)					Effetti topografici		
P3b	Zona di cresta e/o cocuzzolo: appuntita - arrotondata					Effetti topografici		
P4a	Zona di fondovalle ampia e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi					Effetti litologici	$h/l > 0,65$ $C < 1$	Effetti lito-geometrici
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							Effetti lito-geometrici
P4c	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide delizio-lacustre					Effetti litologici		
P4d	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)					Effetti litologici		
P4e	Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale					Effetti litologici		
P5a	Linea di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-mecchaniche molto diverse			cartografia		Comportamenti differenziali		
P5b	Zona ove sono presenti o potenzialmente presenti cavità sotterranee o sinkhole			cartografia				Comportamenti differenziali

Come ben evidenziato dalle Linee Guida «L'obiettivo del secondo livello di approfondimento è di compensare le incertezze del primo livello con approfondimenti conoscitivi e fornire quantificazioni numeriche, con metodi semplificati (abachi e leggi empiriche), della modificazione locale del moto sismico in superficie e dei fenomeni di deformazione permanente».

In particolare, per lo scenario che prevede effetti litologici, cui il nostro sito appartiene, la quantificazione numerica degli effetti sarà rappresentata dai fattori amplificativi FA (fattore di amplificazione a basso periodo in termini di accelerazione) e FV (fattore di amplificazione a periodo proprio in termini di pseudo velocità), calcolati tramite procedura semplificata. Il primo corrisponde al fattore di amplificazione determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione mentre il secondo corrisponde al fattore di amplificazione a periodo proprio per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità.

Il primo passo della quantificazione consiste nell'assegnare i terreni di copertura a una delle classi sotto riportate:

CLASSE	DESCRIZIONE	informazioni
1	terreno di riporto antropico	
2	ghiaia	2a addensata 2b poco addensata
3	ghiaia/sabbiosa-sabbia/ghiaiosa	3a addensata 3b poco addensata
4	sabbia	4a addensata 4b poco addensata
5	Sabbia / limosa - limo/sabbioso	5a addensata 5b poco addensata
6	Limo	6a consistente 6b poco consistente
7	Limo / argilloso - argilla/limosa	7a consistente 7b poco consistente
8	Argilla	8a consistente 8b poco consistente
9	deposito alluvionale a granulometria mista	
10	detrito di versante a granulometria mista	
11	coltre di substrato alterato	

L'area corrispondente alla zona di Susegana appare caratterizzata dalla Classe 3a, in quanto i modelli sismo-stratigrafici ottenuti dalle indagini suddette hanno evidenziato la presenza di diversi metri di terreni con Vs associabili a ghiaie sabbiose/sabbie ghiaiose addensate che risultano essere il deposito maggiormente rappresentativo del sito in esame.

#### DETERMINAZIONE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

La stima dei fattori di amplificazione locale FA ed FV è avvenuta attraverso l'utilizzo degli abachi di riferimento, indicati dal gruppo di lavoro del Dipartimento di Protezione Civile negli "indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica, 2008" (tali abachi devono considerarsi temporanei, fino a quando la Regione Veneto si sarà dotata di specifici abachi regionalizzati). Per entrare nelle tabelle degli abachi di riferimento sono necessari i seguenti elementi di ingresso:

- La sismicità di base del sito  $a_g(g)$
- La litologia prevalente nei terreni di copertura
- La profondità (H) del basamento sismico ovvero la profondità dove si raggiungono velocità delle onde S superiori a 800 m/s
- la velocità equivalente media di taglio nei terreni di copertura  $V_{SH}$  in m/s dedotta dalle prove geofisiche ReMi e HVSR eseguite nel sito per conto della ditta WEGA
- Il profilo di velocità ovvero alla modalità di crescita della velocità con la profondità; si è cautelativamente stimato che questa cresca con un gradiente assimilabile a quello con curva Lineare Pendenza Intermedia, che rappresenta un valore intermedio tra il troppo cautelativo (pendenza massima ovvero gradienti molto accentuati con la profondità) ed il teorico (pendenza costante)

Parametri d'ingresso ottenuti dalle indagini A1 e T1		FA	FV
Sismicità di base	$A_g(g) = 0,26$	1,09	1,43
Litotipo prevalente	Ghiaia		
Profilo di velocità	Pendenza Intermedia		
Profondità bedrock sismico	98 m		
Velocità onde di taglio	$V_{SH} = 548 \text{ m/s}$		

Parametri d'ingresso ottenuti dalle indagini A2 e T2		FA	FV
Sismicità di base	$A_g(g) = 0,26$	1,06	1,68
Litotipo prevalente	Ghiaia		
Profilo di velocità	Pendenza Intermedia		
Profondità bedrock sismico	108 m		
Velocità onde di taglio	$V_{SH} = 471 \text{ m/s}$		

Fattore di amplificazione FA	Tipo di terreno Ghiaia	$a_g(g)$ 0,26g	Profilo di velocità Lineare pendenza intermedia	$V_s \text{ (m/s)}$									
				150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
H	5	-	1,80	1,74	1,60	1,38	1,21	1,10	1,05	1,01	1,01		
	10	-	-	2,02	1,70	1,47	1,33	1,25	1,17	1,06	1,02		
	15	-	-	-	1,93	1,69	1,51	1,37	1,25	1,12	1,04		
	20	-	-	-	1,97	1,79	1,62	1,47	1,35	1,18	1,06		
	25	-	-	-	1,87	1,79	1,64	1,51	1,39	1,21	1,08		
	30	-	-	-	1,74	1,69	1,62	1,50	1,40	1,22	1,09		
	35	-	-	-	1,59	1,60	1,54	1,48	1,39	1,22	1,09		
	40	-	-	-	1,50	1,52	1,48	1,41	1,36	1,21	1,09		
	50	-	-	-	1,42	1,39	1,32	1,31	1,27	1,17	1,07		
	60	-	-	-	1,33	1,33	1,30	1,22	1,18	1,12	1,04		
	70	-	-	-	-	1,27	1,26	1,22	1,15	1,06	1,00		
	80	-	-	-	-	1,21	1,20	1,19	1,15	1,04	0,98		
	90	-	-	-	-	1,14	1,15	1,15	1,12	1,04	0,96		
	100	-	-	-	-	1,08	1,10	1,11	1,09	1,03	0,95		
	110	-	-	-	-	1,02	1,04	1,06	1,05	1,01	0,95		
	120	-	-	-	-	0,97	1,01	1,03	1,03	0,99	0,93		
130	-	-	-	-	0,91	0,97	0,99	0,99	0,97	0,92			
140	-	-	-	-	0,91	0,94	0,96	0,97	0,94	0,91			
150	-	-	-	-	0,87	0,91	0,93	0,94	0,91	0,89			

# Conclusioni

Si è infine ritenuto opportuno riportare le conclusioni (adattate) dello studio del dr. geol. Matteo Collareda eseguito per conto della ditta WEGA MACCHINE PER IL CAFFÈ s.r.l. – settembre 2016)

Al fine di confermare la validità della procedura semplificata (abachi nazionali) nel sito è stata effettuata una modellazione numerica avanzata in campo dinamico propria del Livello 3 di approfondimento.

La tecnica di risoluzione numerica adoperata è stata quella alle differenze finite (FDM) implementata nel codice di calcolo FLAC 8.0 (Itasca, 2011), operante nel dominio del tempo. Il codice effettua un'analisi lagrangiana del continuo risolto mediante uno schema di avanzamento temporale di tipo esplicito.

I risultati ottenuti non hanno evidenziato una sostanziale differenza tra i due Livelli di approfondimento in quanto il fattore di amplificazione desunto, sia in termini di accelerazione sia di velocità, è di circa 1,3 (FA e FV).

Nel medesimo studio è stato inoltre confrontato lo spettro di risposta elastico risultante dalla procedura semplificata prevista dalle NTC-08 e individuabile nelle Categorie di Sottosuolo con quello ottenuto tramite la procedura di Livello 3. In particolare, si osserva che la Categoria B-T1, a cui il sito appartiene, non riesce a stimare correttamente la risposta sismica locale a sfavore di una sicurezza progettuale, per periodi inferiori di 0,4s. Invece, appare più appropriata la Categoria di Sottosuolo C-T1, come evidente dello spettro di risposta elastico riportato nella pagina precedente (vedi Step n°2 a pag. 53 dello studio citato).

## **GIUDIZIO DI COMPATIBILITA' SIMICA**

L'area di trasformazione è compatibile, dal punto di vista sismico, con i requisiti del sito.

Le caratteristiche sismiche non presentano particolari elementi di penalizzazione.

Terreno di categoria C

Categoria topografia T1