

MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO I e II

COMUNE DI FORLÌ

RELAZIONE GEOFISICA

SILVIA CASTELLARO

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BOLOGNA
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA E GEOLOGICO- AMBIENTALI
silvia.castellaro@unibo.it

29 maggio 2012

INDICE

RELAZIONE GEOFISICA.....	1
INDICE.....	1
PREMESSA.....	2
INTRODUZIONE.....	3
1.LA BASE DATI GEOFISICA.....	4
INDAGINI ESISTENTI E DI NUOVA ESECUZIONE.....	4
PROFONDITA' DELLE INDAGINI.....	4
2. PATTERN DI RISPOSTA SISMICA LOCALE NEL TERRITORIO COMUNALE.....	5
PIANURA (1)	5
PIANURA (2)	6
FASCIA APPENNINICA.....	6
STUDIO SEMPLIFICATO DI RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	6
MODELLI DI SOTTOSUOLO E INPUT SISMICO.....	6
FUNZIONE DI AMPLIFICAZIONE.....	6
SPETTRO DI RISPOSTA.....	6
3. MAPPE TEMATICHE.....	7
CARTA DELLE FREQUENZE DI RISONANZA (f_0 e f).....	7
CARTA V_{sH} - V_{s30}	7
CARTA F_a - F_V	7
CARTA F_a PGA0, F_a 0.1 - 0.5s, F_a 0.5 - 1s.....	7
ALTRE NOTE.....	8
4. ANALISI DI STRUTTURE EDILIZIE RILEVANTI.....	9
mdi di vibrare.....	9

<u>rimozione dell'effetto del sottosuolo.....</u>	<u>9</u>
<u>smorzamento.....</u>	<u>9</u>
<u>SERBATOIO ROMAGNA-ACQUE, CORSO DIAZ.....</u>	<u>10</u>
<u>SEDE DEL DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE PROVINCIALE, VIA CADORE 75.....</u>	<u>11</u>
<u>5. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI.....</u>	<u>12</u>
<u>BIBLIOGRAFIA.....</u>	<u>13</u>
<u>APPENDICE A.....</u>	<u>13</u>
<u>INDAGINI DI NUOVA ACQUISIZIONE.....</u>	<u>13</u>
<u>STRUMENTAZIONE IMPIEGATA E GEOMETRIE.....</u>	<u>13</u>
<u>MASW, ReMi ed ESAC.....</u>	<u>13</u>
<u>MISURE IN CAMPO LIBERO A STAZIONE SINGOLA.....</u>	<u>14</u>
<u>FO 01: località Bagnolo, via Borgo Sisa.....</u>	<u>15</u>
<u>FO 02: località Bagnolo, incrocio via Borgo Sisa con via Narsete.....</u>	<u>16</u>
<u>FO 03: via Narsete.....</u>	<u>17</u>
<u>FO 04: via Tassinara 4-6.....</u>	<u>18</u>
<u>FO 05: via del Santuario 10.....</u>	<u>19</u>
<u>FO 06: via Manumisso 22/a.....</u>	<u>20</u>
<u>FO 07: via Ridotta 2.....</u>	<u>21</u>
<u>FO 08: via Ca' Bertini 5.....</u>	<u>22</u>
<u>FO 09: via dei Benedettini 6.....</u>	<u>23</u>
<u>FO 10: via Mezzadrini.....</u>	<u>24</u>
<u>FO 11: via 13 Novembre 1944.....</u>	<u>25</u>
<u>FO 12: via dei Portolani.....</u>	<u>26</u>
<u>FO 13: via Palustro 3.....</u>	<u>27</u>
<u>FO 14: via Rio Becca 8.....</u>	<u>28</u>
<u>FO 15: via Pitagora 17.....</u>	<u>29</u>
<u>FO 16: incrocio via Ossi con via Mazzacavallo.....</u>	<u>30</u>
<u>FO 17: via Castel Leone 1.....</u>	<u>31</u>
<u>FO 18: via Castel Leone 15.....</u>	<u>32</u>
<u>FO 19: via del Partigiano.....</u>	<u>33</u>
<u>FO 20: via Crocetta.....</u>	<u>34</u>
<u>FO 21: via Maguaia.....</u>	<u>35</u>
<u>.....</u>	<u>35</u>
<u>FO 22: via dell'Appennino 775.....</u>	<u>36</u>
<u>FO 23: via Para 22.....</u>	<u>37</u>
<u>FO 24: via Maglianella, agriturismo La Sarzola.....</u>	<u>38</u>
<u>FO 25: viale Bidente 273.....</u>	<u>39</u>
<u>FO 26: via Tibano 1.....</u>	<u>40</u>
<u>FO 27: viale Roma, incrocio con Tangenziale Est.....</u>	<u>41</u>
<u>FO 28: via Giulio II.....</u>	<u>42</u>

<u>FO 29: via Monte San Michele 12 (vecchia Eridania)</u>	<u>43</u>
<u>FO 30: via Dandolo 11</u>	<u>44</u>
<u>FO 31: via Curte 8</u>	<u>45</u>
<u>FO 32: viale Bologna 2 - 4</u>	<u>46</u>
<u>FO 33: via Giovanni dalle Bande Nere 4</u>	<u>47</u>
<u>FO 34: via Marsala 8</u>	<u>48</u>
<u>FO 35: via Gioppi</u>	<u>49</u>
<u>FO 36: via Castel Falcino 10</u>	<u>50</u>
<u>FO 37: via Luge 73</u>	<u>51</u>
<u>FO 38: incrocio tra via Erbosa e via Donnasanta</u>	<u>52</u>
<u>FO 39: via Erbosa</u>	<u>53</u>
<u>FO 40: via Sarachieda 5</u>	<u>54</u>
<u>FO 41: serbatoio Romana Acque, Corso A. Diaz</u>	<u>55</u>
<u>FO 42: dipartimento della Protezione Civile Provinciale, via Cadore 75</u>	<u>56</u>
<u>APPENDICE B.</u>	<u>57</u>

PREMESSA

I risultati delle indagini e i valori dei parametri presentati in questa relazione sono intesi a solo uso della Microzonazione Sismica del territorio comunale di Forlì e pertanto ai soli fini di *pianificazione* urbanistica. In nessun caso i risultati delle indagini e i valori dei parametri potranno essere impiegati ai fini della *progettazione edilizia* in zona sismica per la quale vigono unicamente le Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC, 2008).

Le scale e i metodi della Microzonazione Sismica non coincidono con quelli della *progettazione edilizia* in zona sismica. Nessuna responsabilità potrà essere attribuita agli autori di questa relazione per l'uso improprio dei dati in essa presentati.

INTRODUZIONE

La presente relazione illustra la base-dati ed i metodi impiegati ai fini della MicroZonazione Sismica (MZS) di Livello 1 e 2 del territorio comunale di Forlì, per la sola componente geofisica. Per la componente geologica si rimanda alla relazione a cura del prof. E. Farabegoli.

Per le definizioni di Livello 1 e 2 si sono seguiti (e pertanto si rimanda a) gli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (2008 e integrazione del 2011) e l'Atto di Indirizzo per la MZS in Emilia Romagna (2007 e integrazione del 2011). Saranno illustrati mezzi e metodi che hanno permesso di compilare:

- 1) le carte delle frequenze di amplificazione per risonanza dei terreni,
- 2) la carta delle velocità "mediate"¹ delle onde di taglio fino al bedrock (V_sH) o fino a 30 m (V_s30) nei casi di bedrock non raggiunto dalle indagini,
- 3) le carte dei fattori di amplificazione:

Secondo gli ICMS (2008):

- F_a fattore di amplificazione dello spettro dell'accelerazione a basso periodo (in prossimità del periodo proprio al quale si verifica il massimo della risposta in accelerazione)
- F_v fattore di amplificazione dello spettro di velocità a periodo proprio, per il quale si verifica la massima risposta in pseudovelocità.

Secondo l'Atto di Indirizzo per la MZS in Emilia Romagna (2007):

- $F_{a_{PGA_0}}$ fattore di amplificazione di PGA_0 (Peak Ground Acceleration, accelerazione sismica di picco al bedrock),
- $F_{a_{0.1-0.5s}}$ dell'intensità spettrale I_s nell'intervallo di periodo 0.1-0.5 s,
- $F_{a_{0.5-1s}}$ dell'intensità spettrale I_s nell'intervallo di periodo 0.5-1 s.

¹ Non si tratta in realtà di velocità medie ma di velocità dello strato omogeneo equivalente ad uno spessore H.

1. LA BASE DATI GEOFISICA

INDAGINI ESISTENTI E DI NUOVA ESECUZIONE

Nel Comune di Forlì sono state raccolte 272 indagini geofisiche volte alla definizione della velocità delle onde sismiche di taglio (V_s) nel sottosuolo e/o alla misurazione delle frequenze di risonanza. In particolare, sono state raccolte:

- 177 prove sismiche a stazione singola elaborate con tecnica H/V. Di queste, 135 erano pre-esistenti mentre 42 sono state effettuate appositamente per questo studio e sono state ripetute in ciascun sito per 2 volte.
- 81 prove sismiche multicanale basate su onde di superficie (ReMi, MASW, ESAC ecc. Si veda pag. 30 per le definizioni). Di queste, 70 erano pre-esistenti mentre 11 sono state effettuate appositamente per questo studio.
- 3 prove cross-hole,
- 3 prove down-hole,
- 4 prove di tipo “cono-sismico”
- 2 tomografie sismiche a rifrazione in onde S
- 2 prove sismiche a rifrazione in onde S

Tutti gli elaborati raccolti sono stati rianalizzati al fine di assicurare una omogeneità interpretativa e sono state scartate le prove la cui elaborazione o interpretazione non era chiara o era nettamente sovrainterpretata. Nello specifico, sono state scartate:

- 15 prove sismiche a stazione singola H/V
- 27 prove sismiche multicanale basate su onde di superficie

Il numero di prove effettivamente utilizzate ai fini del presente studio è riassunto in Errore: sorgente del riferimento non trovata e la loro ubicazione è indicata in Figura .

Tipo di prova	Numero
H/V	162
Multicanale a onde di superficie	54
Cross-hole	3
Down-hole	3
Cono sismico	4
Tomografia sismica (S)	2
Rifrazione (S)	2

Tabella . Numero e tipo di prove geofisiche effettivamente impiegate per la MZS del Comune di Forlì. Le prove che presentavano dubbi esecutivi o interpretativi sono state scartate.

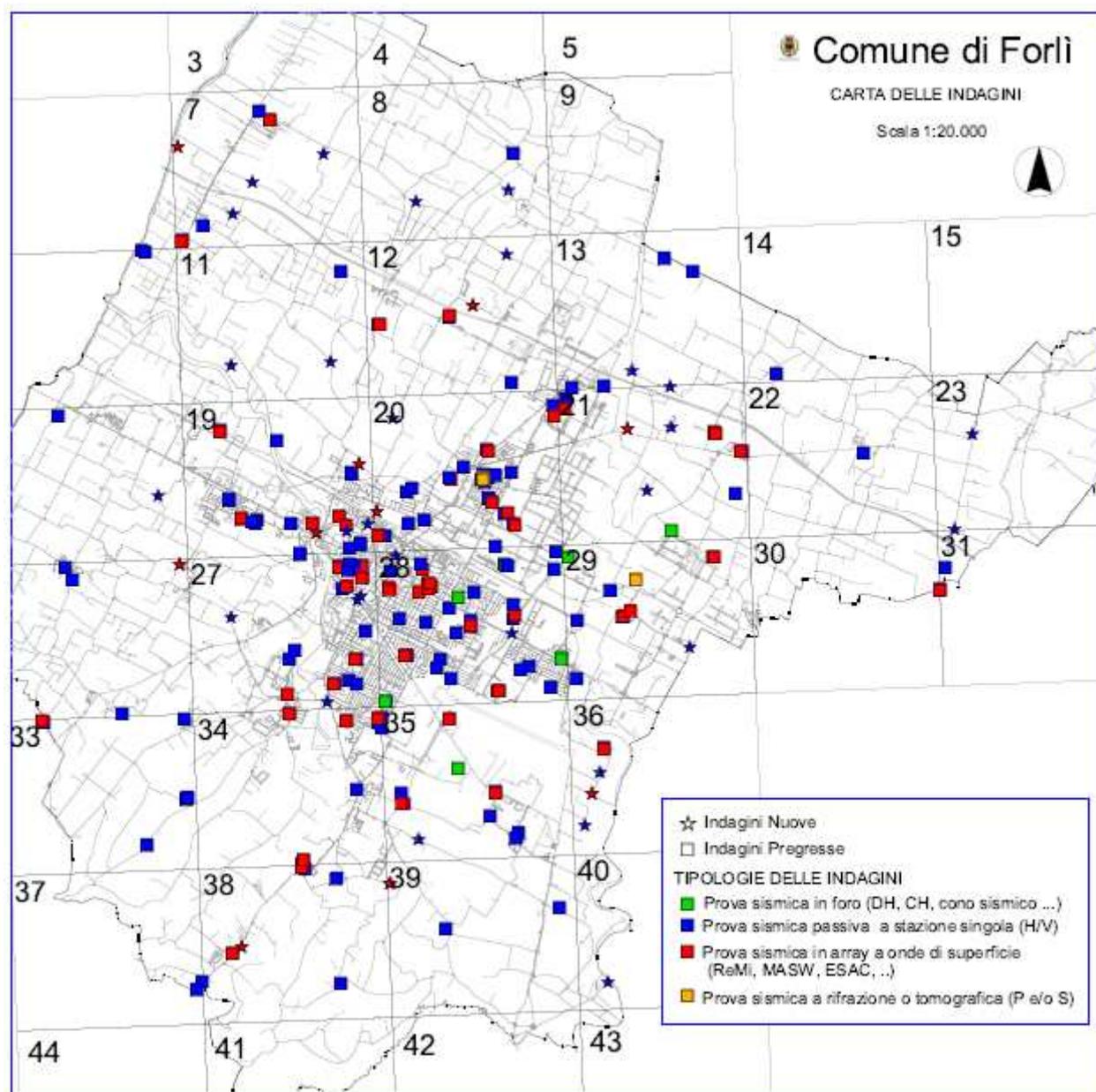


Figura . Ubicazione delle indagini e loro distinzione tra prove pre-esistenti questo studio (quadretti) e prove effettuate appositamente per questo studio (stelle). Le prove sono raggruppate per categoria. Verde: prove sismiche in foro, blu: prove sismiche passive a stazione singola, rosso: prove sismiche in array a onde di superficie, giallo: prove sismiche a rifrazione e/o tomografiche.

PROFONDITA' DELLE INDAGINI

Per ciascuna prova è stata rivalutata la profondità raggiunta dall'indagine. Mentre questa è 'scontata' nel caso delle prove in foro, appare più difficile da definire per le prove in superficie. In particolare, per le prove sismiche passive a stazione singola si sono distinte:

- prove in cui la curva H/V veniva riportata solo sopra 1 Hz (nel qual caso è stata attribuita una profondità arbitraria ma ragionevole, considerate le Vs in gioco, di 100 m di profondità. Queste rappresentano il 34% del totale, 48 su 162),

- prove in cui la curva veniva riportata da 0.1 Hz in su (nel qual caso è stata attribuita una profondità di indagine > 100 m). Queste rappresentano il 66% del totale, pari a 114 prove su 162.

Per le prove sismiche multicanale a onde di superficie la profondità di indagine è compresa tra $\frac{1}{2}$ e $\frac{1}{3}$ della lunghezza d'onda massima riconoscibile negli spettri di velocità di fase delle onde di superficie. Pertanto si è proceduto ad effettuare questo conteggio a partire dai dati acquisiti, ignorando i valori di V_s a profondità maggiori che spesso sono riportati nelle relazioni tecniche per la necessità di fornire dati fino a 30 m, indipendentemente dal fatto che l'indagine fosse davvero stata in grado di raggiungerli.

- L'istogramma delle profondità raggiunte dalle prove in foro e multicanale è riportato in Figura .

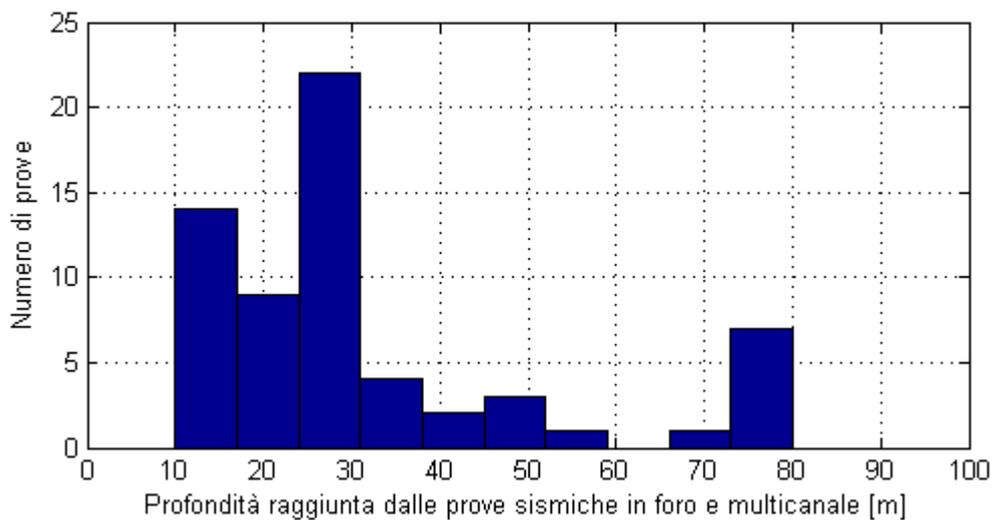


Figura . Istogramma delle profondità raggiunte dalle indagini in foro e multicanale (sono escluse dall'istogramma le prove a stazione singola).

2. PATTERN DI RISPOSTA SISMICA LOCALE NEL TERRITORIO COMUNALE

NOTA: le considerazioni geologiche di seguito riportate sono ridotte al minimo essenziale al fine dare un significato alle evidenze geofisiche. Per considerazioni più accurate si rimanda alla relazione geologica a cura del Prof. E. Farabegoli.

Il Comune di Forlì è caratterizzato per una ampia parte (Nord e centro) da sedimenti alluvionali fini (argille e limi, cfr. carta geologica, AES8: Sintema Emiliano-Romagnolo superiore, Subsintema di Ravenna; AES8a: unità di Modena, Sintema Emiliano-Romagnolo superiore, Subsintema di Ravenna) con intercalazioni sabbiose. Nella zona centrale, tra 5 e 30 m di profondità, compaiono le ghiaie (tetto ghiaie AES7 e AES8). Queste costituiscono un riflettore sismico relativamente rigido, in grado di generare amplificazione per risonanza nei terreni fini sovrastanti a frequenze comprese tra 3 e 20 Hz. Di fatto si tratta del riflettore sismico più importante ai fini della Microzonazione Sismica nel territorio comunale, in quanto genera risonanza a frequenze di interesse per le strutture di altezza inferiore a circa 8 piani (per ulteriori considerazioni si rimanda alla relazione geologica a cura del prof. E. Farabegoli).

In tutta la fascia centro-settentrionale del Comune, il bedrock sismico s.s. appare posizionato alla base del Sintema Emiliano-Romagnolo, ad una profondità dell'ordine dei 100 m (Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna, 2004).

Nella parte meridionale del Comune affiorano o sub-affiorano le Argille Azzurre che costituiscono il bedrock sismico locale. Si tratta tuttavia di un bedrock sismico poco rigido, in cui la velocità delle onde sismiche di taglio non supera molto i 600 m/s. La zona interessata da questi litotipi appare solo marginalmente inurbata.

FASCIA APPENNINICA

PIANURA_2

PIANURA_1

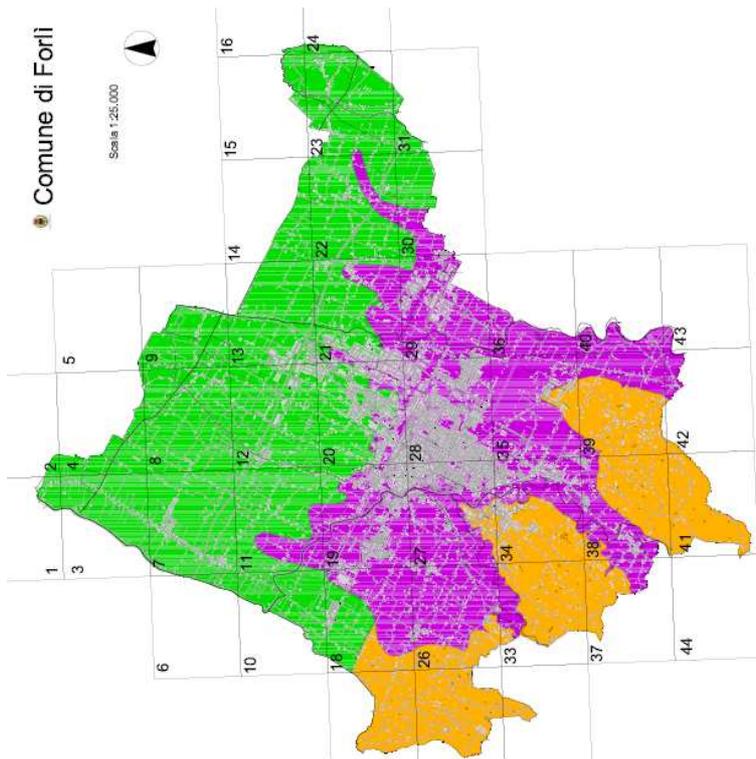
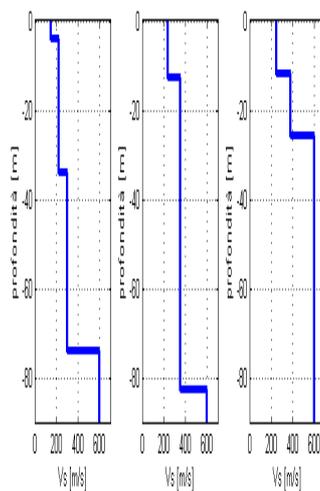


Figura . Perimetri delle zone PIANURA_1, PIANURA_2 e FASCIA APPENNINICA.

Le misure H/V condotte suggeriscono la suddivisione nel territorio in 3 zone a comportamento sismico distinto. Inoltre, sebbene vada prestata molta attenzione al significato fisico del parametro V_{s30} , la sua distribuzione (Figura) suggerisce una suddivisione all'incirca analoga in 3 zone con andamento Appenninico NW-SE che saranno descritte nel seguito.

PIANURA (1)



Questa zona, con orientamento NW-SE e ubicata prevalentemente a Nord del centro storico di Forlì, è caratterizzata da terreni a bassa velocità che mostrano un lento aumento con la profondità, senza contrasti di impedenza rilevanti ($V_s < 200$ m/s in superficie, $V_{s30} < 240$ m/s). Questo si traduce nell'assenza di picchi nelle curve H/V sopra 1-2 Hz.

In tutta l'area è invece ben visibile una amplificazione delle curve H/V a 0.8-1 Hz, legata alla risonanza dei terreni fini sovrastanti uno strato rigido ($V_s \approx 600$ m/s) posto a profondità variabile tra 80 e 150 m, interpretato come la base del Sintema Emiliano-Romagnolo superiore di età inferiore ai 0.45 Ma.

Un profilo tipico di V_s caratteristico di questa zona è mostrato in Figura e una curva H/V tipica di questa zona è mostrata in Figura .

Figura . Tipico profilo di V_s misurabile nella zona PIANURA_1.

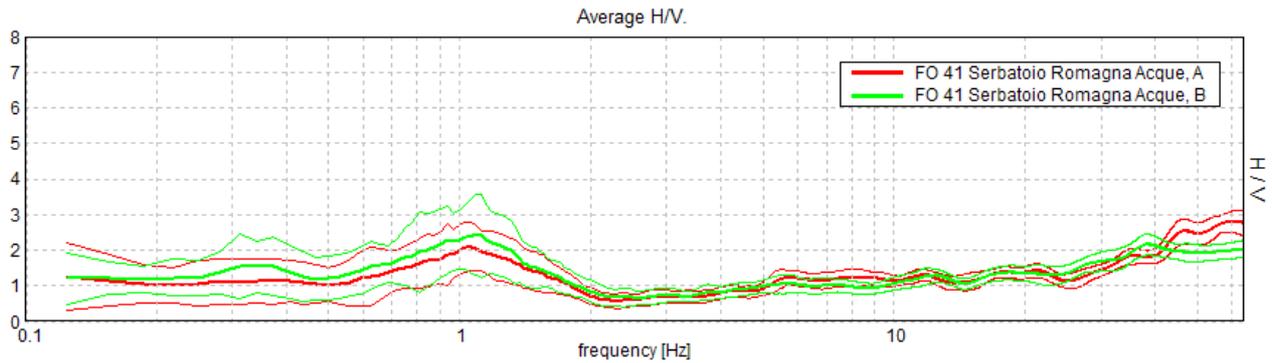
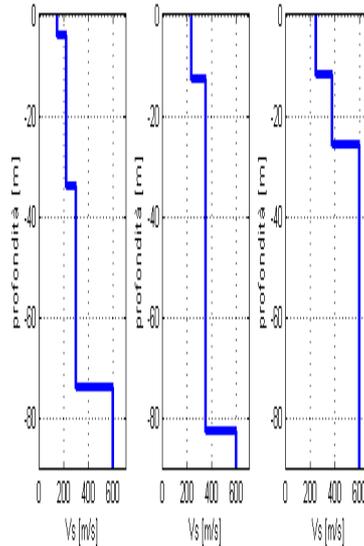


Figura . Tipico H/V misurabile nella zona denominata PIANURA_1.



PIANURA (2)

Questa zona, con estensione NW-SE ed ubicata nella fascia centrale del territorio comunale, è caratterizzata da alcuni metri (5-30 m) di terreni fini a bassa velocità ($V_s \approx 200$ m/s) seguiti da terreni granulari più rigidi (sabbie e ghiaie, $V_s > 300$ m/s). Questa configurazione determina delle moderate amplificazioni per risonanza delle coperture fini a frequenze mediamente superiori a 3 Hz. I valori di V_{s30} si assestano tra 240 e 300 m/s).

In tutta l'area è ancora visibile una modesta amplificazione delle curve H/V a frequenze < 1 Hz, legata alla risonanza delle coperture sovrastanti uno strato rigido ($V_s \approx 600$ m/s) posto a profondità variabile tra 80 e 150 m.

Un profilo tipico di V_s caratteristico di questa zona è mostrato in Figura e una curva H/V tipica di questa zona è mostrata in Figura .

Figura . Tipico profilo di V_s misurabile nella zona PIANURA_2.

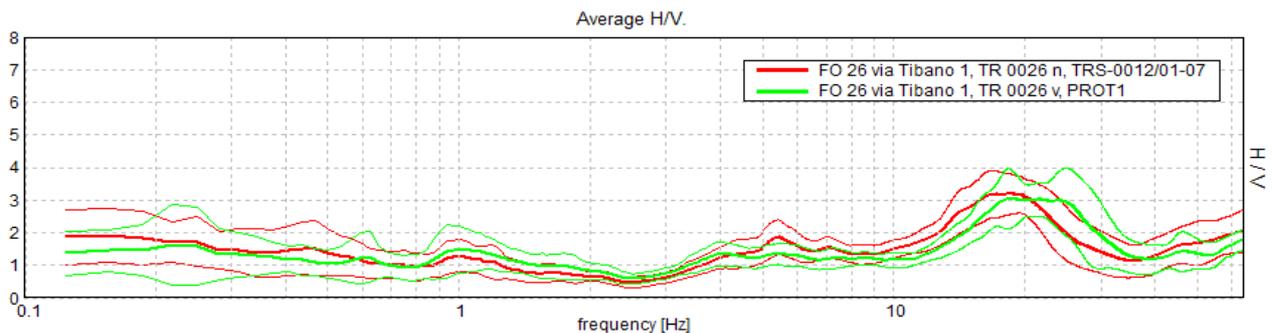
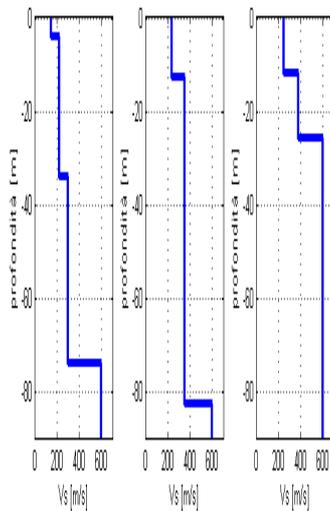


Figura . Tipico H/V misurabile nella zona denominata PIANURA_2.



FASCIA APPENNINICA

Questa zona, ubicata nella fascia meridionale del territorio comunale, è caratterizzata dalla presenza del bedrock sismico affiorante o sub-affiorante (Agille Azzurre, $V_s \approx 300$ m/s nella parte superficiale, crescenti fino a 600 m/s in profondità). In questa zona i valori di V_{s30} si assestano sopra i 300 m/s e V_{sH} si assesta tra i 200 e i 300 m/s.

FFFIGura . Tipico profilo di V_s misurabile nella zona FASCIA APPENNINICA.

Il contrasto di impedenza tra le coperture e il bedrock (generalmente prima alterato) dà luogo a picchi H/V di modesta ampiezza a frequenze > 2 Hz, in funzione della profondità del bedrock. Le ampiezze di questi picchi sono sempre inferiori a 4 (e nella maggior parte dei casi inferiori anche a 3) al punto che si possono osservare contrasti di impedenza maggiori nella zona PIANURA_2 (legati alle ghiaie) rispetto a quelli che si osservano nella zona FASCIA APPENNINICA.

Un profilo tipico di V_s caratteristico di questa zona è mostrato in e una curva H/V tipica di questa zona è mostrata in Figura .

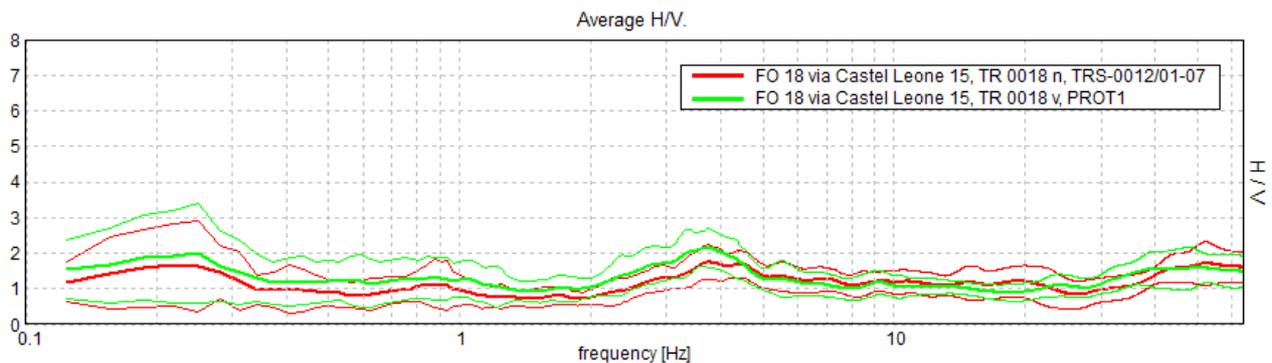


Figura . Tipico H/V misurabile nella zona denominata FASCIA APPENNINICA.

STUDIO SEMPLIFICATO DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Al fine di schematizzare la risposta sismica attesa nelle 3 zone appena definite, abbiamo condotto una analisi lineare equivalente 1D usando un codice standard (EERA, 2000). Tale analisi si articola secondo lo schema seguente:

- 1) definizione del modello geotecnico del sottosuolo,
- 2) selezione di un moto di input (terremoto "caratteristico") al bedrock,
- 3) stima dell' amplificazione del moto in superficie rispetto al bedrock, in funzione della frequenza,
- 4) stima dello spettro di risposta dell'oscillatore armonico tipo (edificio) a un grado di libertà in termini di accelerazioni massime attese in funzione del periodo proprio della struttura per uno smorzamento assunto pari al 5%.

MODELLI DI SOTTOSUOLO E INPUT SISMICO

I modelli di sottosuolo per le 3 zone sono già stati definiti a pag. 10-12. In particolare, i profili di sottosuolo impiegati in termini di Vs sono riprodotti in Figura .

Le curve del modulo di taglio adottate sono quelle riportate da Seed e Sun (1989) per le argille e da Seed e Idriss (1970) per le sabbie. Le curve di smorzamento adottate sono quelle proposte da Idriss (1990).

Nei modelli relativi ai siti di pianura la tavola d'acqua è stata posta in corrispondenza del passaggio tra primo e secondo strato (4 - 12 m).

Al fine di ridurre al minimo le variabili del modello, come funzione di input (terremoto) abbiamo impiegato delle Ricker wavelet (Figura , sinistra) a frequenza variabile tra 0.1 e 2 Hz, per simulare terremoti di diverse dimensioni. In Figura (destra) si può infatti osservare che il contenuto in frequenza dei terremoti decade rapidamente (in termini di spettro di spostamento) sopra la così detta *corner-frequency*. Questo implica che in termini di spettro di velocità il contenuto è massimo attorno a questa frequenza. Si osserva dal grafico che la *corner-frequency* è compresa tra 0.1 e 1 Hz per eventi di magnitudo Ms (magnitudo delle onde di superficie) compresa tra 3 e 7.

La prassi di usare una onda di Ricker per simulare la fase S dei sismogrammi è comune in sismologia. Va infatti ricordato che i codici 1D di simulazione di risposta sismica locale prevedono che l'input sia una onda S polarizzata sul piano orizzontale che oscilla in verticale dal bedrock alla superficie e viceversa e che – nei casi mostrati di spessore H su bedrock – va pertanto in risonanza alle frequenze che sono i multipli dispari della funzione $V_s / (4 H)$.

Se impiegassimo come input delle nostre modellazioni la componente orizzontale di un sismogramma reale o simulato, introdurremmo una grande percentuale di onde che non sono onde S ma onde di superficie. E' noto infatti (NMSOP, 2002) che ad eccezione dei terremoti molto profondi, che generano poche onde di superficie, la massima parte del sismogramma sia per durata che per ampiezza è costituita da onde di superficie, di cui i modelli semplificati come quelli su cui si basa la MZS di Livello I e II non possono tenere conto.

Nella modellazione, il valore di picco dell'accelerazione sismica al bedrock è stato assunto pari a $|PGA_d| = 0.2 g$ come dettato dall'Atto di Indirizzo per la MZS in Emilia Romagna (2007).

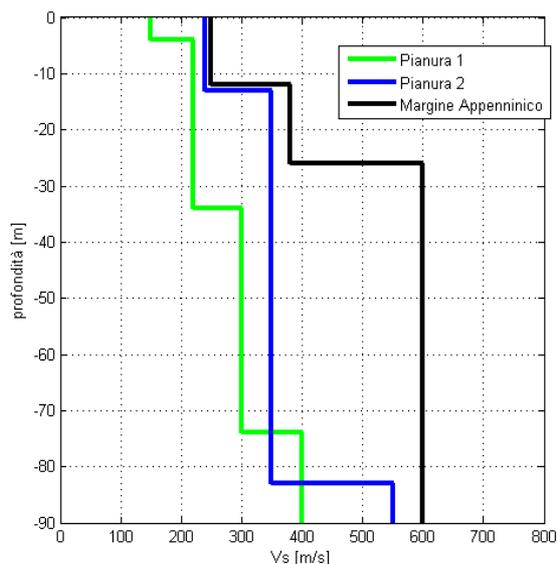


Figura . Profili di Vs impiegati per la modellazione semplificata della risposta di sito.

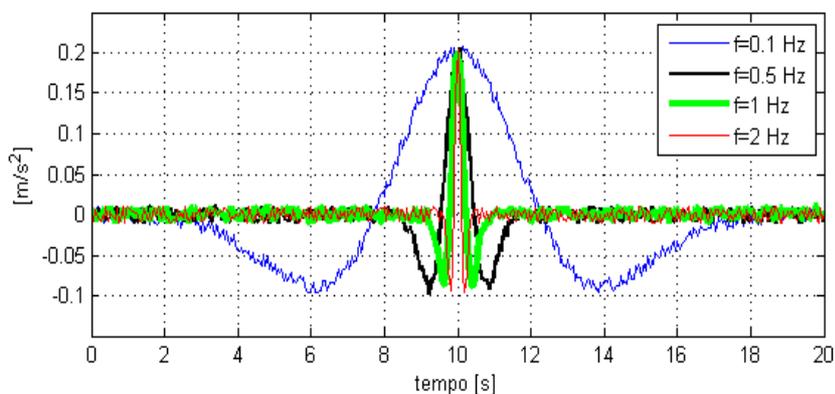
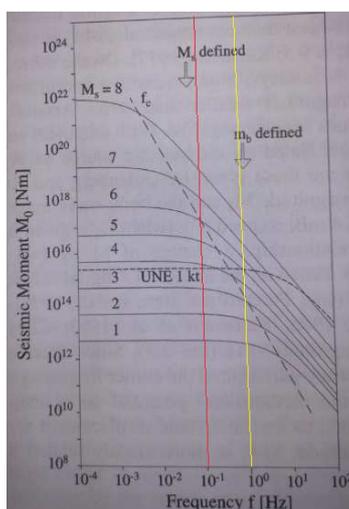


Figura . Sinistra: funzioni usate come input nello studio di risposta sismica locale. Si tratta di Ricker wavelet con frequenza 2, 1, 0.5 e 0.1 Hz per simulare terremoti di magnitudo crescente. Destra: andamento del momento sismico scalare M_0 con la frequenza per terremoti di diverse magnitudo delle onde di superficie M_s (NMSOP, 2002).

FUNZIONE DI AMPLIFICAZIONE

Le funzioni di amplificazione del moto del suolo in superficie rispetto al bedrock ottenute dall'analisi, sono illustrate in Figura (alto) per i 3 modelli di sottosuolo (PIANURA_1, PIANURA_2 e FASCIA APPENNINICA) e per i 4 terremoti di input. Si osserva una sostanziale somiglianza di queste curve con le curve H/V tipiche dei 3 siti.

In particolare, nei siti PIANURA_1 e PIANURA_2 prevale l'amplificazione a frequenze inferiori ad 1 Hz.

Nei siti PIANURA_2 possono esserci amplificazioni modeste ma non trascurabili anche sopra 2 Hz, in particolare per i terremoti di piccole dimensioni, come già evidenziato dall'analisi H/V.

Nei siti FASCIA APPENNINICA prevale infine l'amplificazione in alta frequenza (> 2 Hz) per la presenza del bedrock poco profondo.

SPETTRO DI RISPOSTA

Lo spettro di risposta rappresenta la massima accelerazione (o spostamento, o velocità) a cui sarà sottoposto un oscillatore armonico tipo ad un grado di libertà (edificio) di periodo proprio T_0 e smorzamento convenzionalmente assunto pari al 5%. In Figura (basso) riportiamo tali funzioni distinte per i 3 tipi di sottosuolo (PIANURA_1, PIANURA_2 e FASCIA APPENNINICA) e per i diversi terremoti di input.

A differenza delle funzioni di trasferimento bedrock-superficie che sono fortemente dipendenti dal tipo di sottosuolo, gli spettri di risposta risentono molto della funzione di input (terremoto). In particolare, lo spettro risulta avere la massima ampiezza a periodi centrati attorno a quelli del terremoto di input, ossia tanto più lunghi quanto maggiore è il momento del terremoto simulato.

Dalla Figura (basso) si osserva che nei terreni di PIANURA_1 le pseudo accelerazioni spettrali attese per le strutture crescono da 0.5 a 0.7 gal diminuire del contenuto in frequenza del terremoto mentre il trend opposto è atteso nei siti della FASCIA APPENNINICA.

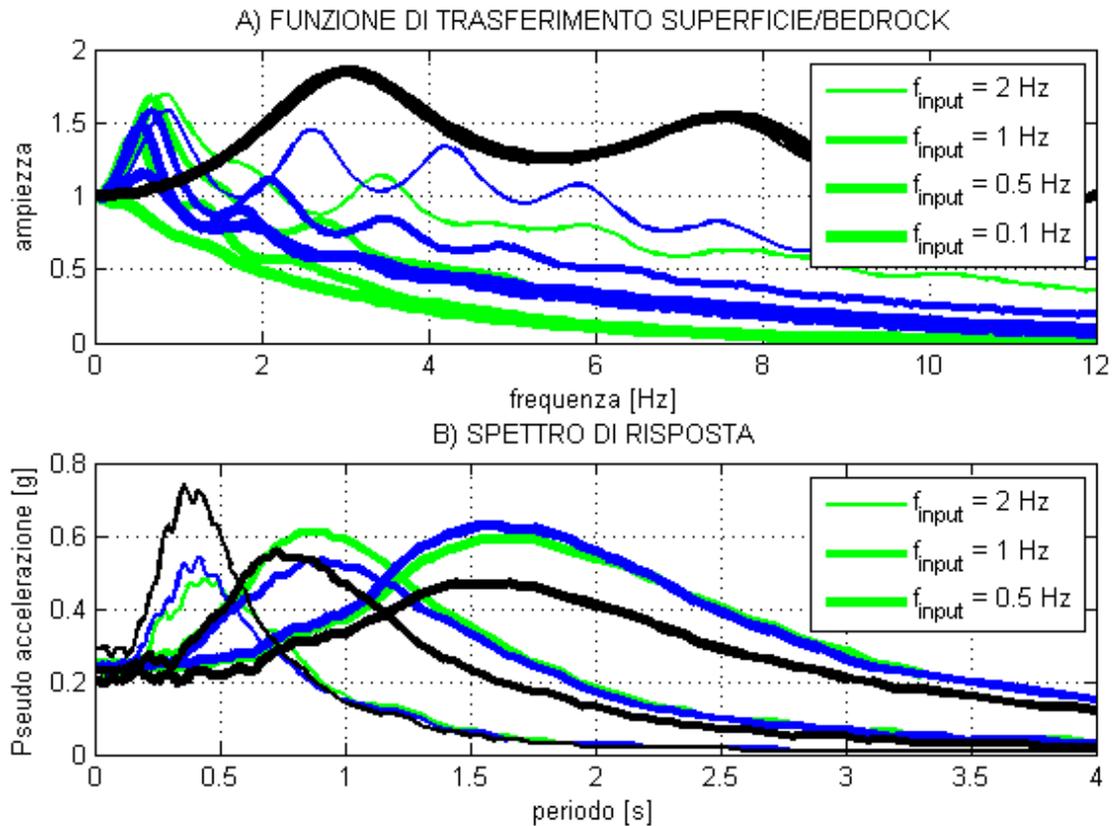


Figura . *Alto*: funzione di trasferimento (rapporto di amplificazione tra lo spettro del moto in superficie ed al bedrock) per i 4 input di Figura e per i 3 modelli di terreno impiegati. Verde per PIANURA_1, blu per PIANURA_2 e nero per FASCIA APPENNINICA.

Basso: spettro di risposta dell'oscillatore armonico tipo ad 1 gradi di libertà e smorzamento 5% in funzione del moto di input (Figura) e per i 3 modelli di terreno impiegati. Verde per PIANURA_1, blu per PIANURA_2 e nero per FASCIA APPENNINICA.

3. MAPPE TEMATICHE

Gli esiti delle indagini sperimentali pregresse e di nuova acquisizione saranno ora discussi suddivisi per tema.

CARTA DELLE FREQUENZE DI RISONANZA (f_0 e f)

Per frequenza fondamentale di risonanza f_0 si intende la frequenza minima osservabile in ciascun sito. Tale frequenza non coincide sempre con quella di principale interesse né per ampiezza né per valore proprio, in quanto può trovarsi molto lontana dalle frequenze proprie delle strutture in esame.

In molti siti del territorio del Comune di Forlì è stata misurata più di una frequenza di risonanza degna di nota. A partire dall'osservazione che, quando esistevano due frequenze di risonanza, la prima era sempre a $f < 2.5$ Hz, al fine di segnalarle entrambe sono state elaborate due carte (Figura e Figura) :

CARTA DELLE FREQUENZE DI RISONANZA		
Suddivisa negli intervalli		
$0.6 \leq f \leq 2.5$ Hz	$0.6 \leq f < 1.5$ Hz	$1.5 \leq f < 2.5$ Hz
$2.5 < f \leq 10$ Hz	$2.5 \leq f < 5$ Hz	$5 \leq f < 10$ Hz

Tabella . Intervalli di frequenza usati per le carte delle frequenze di sito.

Si è volutamente evitata una eccessiva differenziazione in classi di frequenza poiché nell'intero territorio i contrasti di impedenza sono modesti e generano picchi mediamente marcati o solo poco marcati nelle curve H/V, col risultato che le incertezze nella definizione della posizione del picco sono di qualche decimo di Hz e non ha quindi senso ambire a classificazioni di dettaglio quando le incertezze connesse ai valori medi sono larghe.

NOTA: in tutto il territorio comunale è stata misurata una blanda amplificazione a 0.25 Hz (legata ad un riflettore sismico rigido profondo diverse centinaia di metri). Questa non viene riportata nelle carte poiché presente ovunque e lontana dalle frequenze di interesse ingegneristico per la maggior parte delle strutture del territorio ma va comunque segnalata.

Per quanto riguarda la carta delle frequenze $0.6 \leq f \leq 2.5$ Hz, si può osservare (Figura) che nelle fasce denominate PIANURA_1 e PIANURA_2 prevale la risonanza a $f \leq 1.5$ Hz mentre nella FASCIA APPENNINICA, si assiste ad un aumento della frequenza, legato alla presenza del bedrock subaffiorante.

Per quanto riguarda la carta delle frequenze $2.5 < f \leq 10$ Hz, si può osservare (Figura) la dominanza di alte frequenze (> 5 Hz) che trova spiegazione nella risonanza delle coperture sovrastanti le ghaie entro i 30 m di profondità nella fascia centro-settentrionale del territorio comunale e nella superficialità del bedrock nella FASCIA APPENNINICA. Si osserva che in questi casi i valori di ampiezza dei picchi H/V sono marcati (> 4).

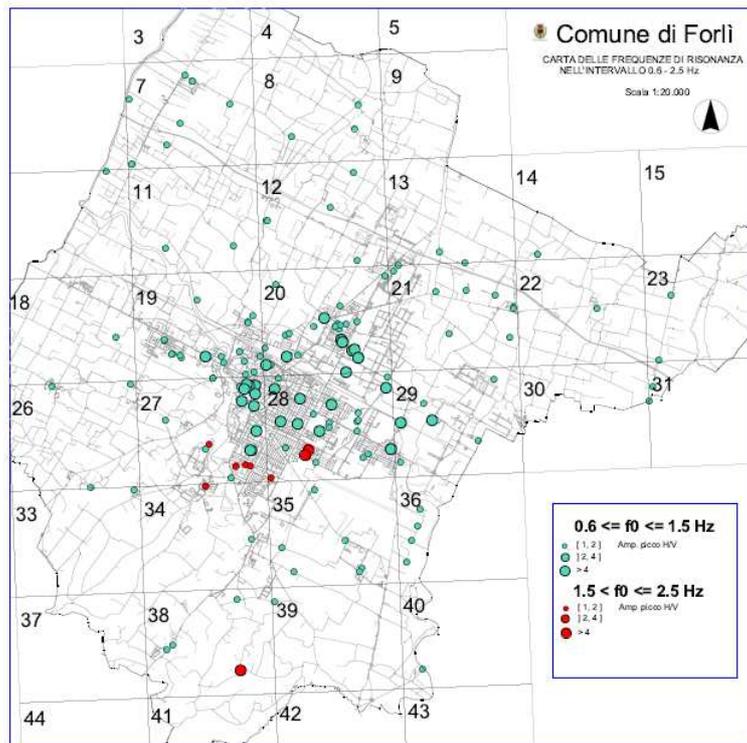


Figura . Miniatura della carta delle frequenze di risonanza nell'intervallo $0.6 \leq f \leq 2.5$ Hz. I diametri dei cerchi sono proporzionali all'ampiezza dei picchi H/V come indicato in legenda.

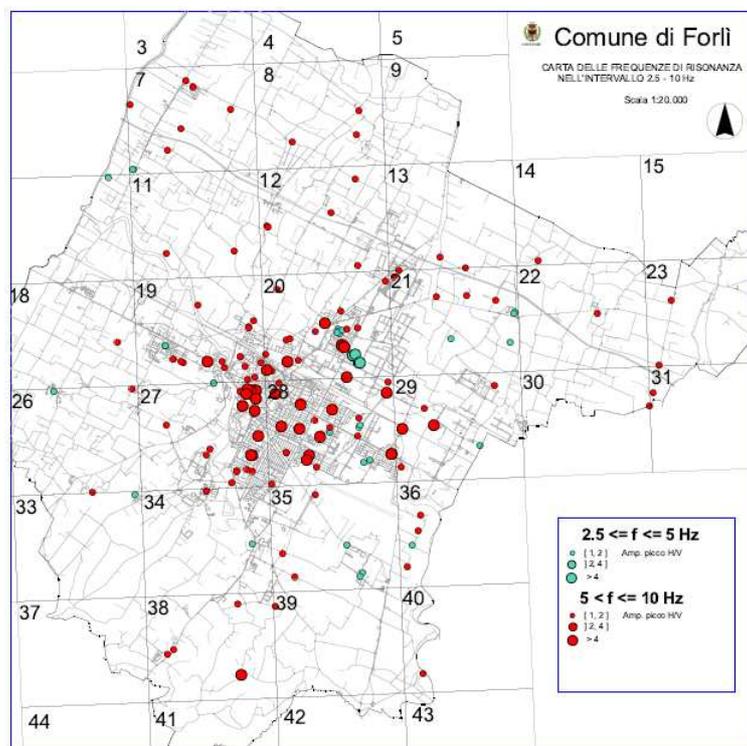


Figura . Miniatura della carta delle frequenze di risonanza nell'intervallo $2.5 < f \leq 10$ Hz. I diametri dei cerchi sono proporzionali all'ampiezza dei picchi H/V come indicato in legenda. Nella parte centro-settentrionale del comune le risonanze sono legate al tetto delle ghiaie entro le prime decine di metri di profondità, nella parte meridionale del comune le risonanze sono legate al bedrock (Argille Azzurre) superficiale.

CARTA VsH - Vs30

Le carte sopra descritte mostrano che la massima ampiezza dei picchi H/V non si riscontra nella FASCIA APPENNINICA, in cui il contrasto di impedenza è dato dal contatto tra coperture e bedrock (Argille Azzurre) ma nelle zone di pianura, in corrispondenza dei contrasti di impedenza tra coperture fini e ghiaie. In entrambi i casi ghiaie e bedrock non si configurano come substrati rigidi, per cui effettueremo una prima classificazione basata su Vs_{30}^2 .

La carta a contour dei valori di Vs_{30} è riportata in Figura e suggerisce – come già accennato a pag. 9 – una divisione del territorio in 3 zone:

- 1) PIANURA_1 ($Vs_{30} \leq 240$ m/s): zona ad andamento NW-SE ubicata prevalentemente a nord del centro storico,
- 2) PIANURA_2 ($240 < Vs_{30} \leq 300$ m/s): zona caratterizzata da presenza di ghiaie nel sottosuolo che aumentano la rigidità media dei terreni ma sono responsabili di amplificazioni marcate nella fascia $3 \leq f \leq 10$ Hz,
- 3) FASCIA APPENNINICA ($Vs > 300$ m/s): zona a Sud del territorio comunale, caratterizzata da bedrock (Argille Azzurre) affiorante o subaffiorante

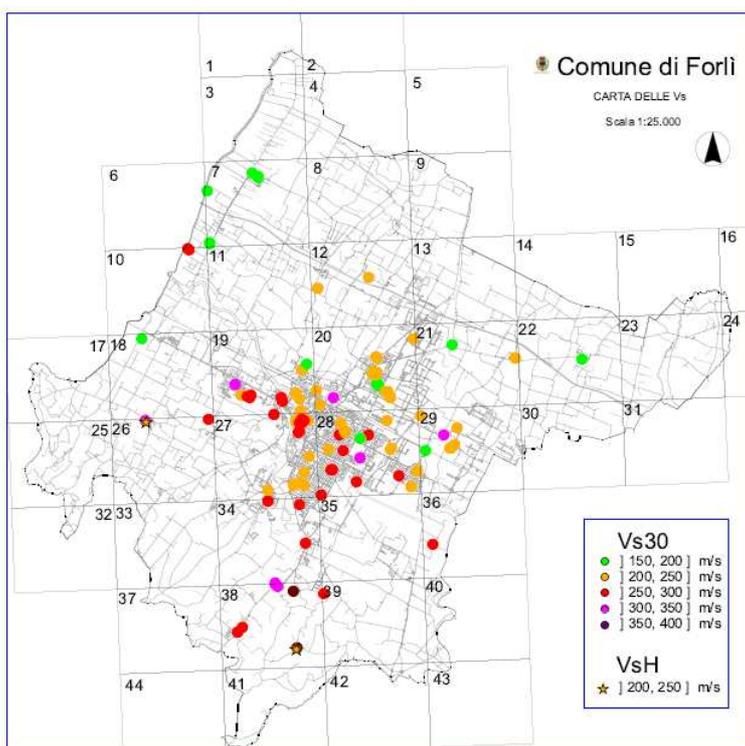


Figura . Miniatura della carta dei valori di Vs_{30} e VsH .

2 Dove h è la profondità dello strato i -esimo e Vs_i è Vs dello strato i -esimo. La sommatoria si intende fino a 30 m. Nel caso di VsH si sostituisca 30 con H e la sommatoria sarà condotta fino alla profondità H .

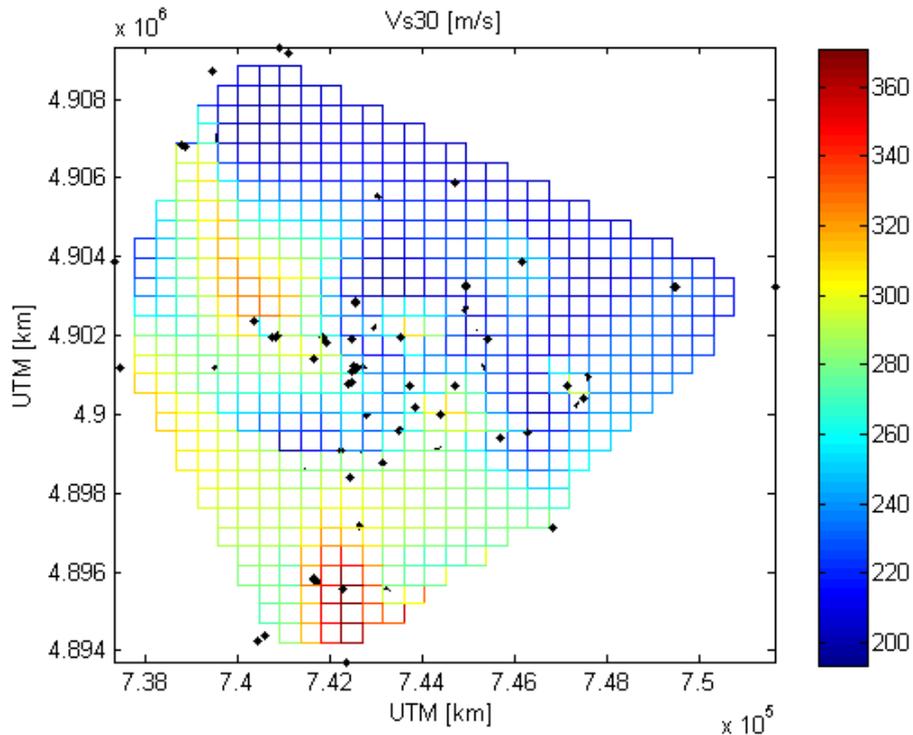


Figura . Carta a contour del parametro Vs30 nel territorio comunale di Forlì. I colori rappresentano i valori di Vs30 in m/s. Le coordinate rappresentano i valori del reticolato chilometrico UTM. I punti neri rappresentano l'ubicazione delle indagini che è stato effettivamente possibile sfruttare per definire i valori di Vs30.

CARTA Fa-FV

A partire dai profili di Vs disponibili, è stata compilata la carta dei fattori di amplificazione definiti secondo gli ICMS (2008) come segue:

- Fa fattore di amplificazione dello spettro dell'accelerazione a basso periodo (in prossimità del periodo proprio al quale si verifica il massimo della risposta in accelerazione),
- Fv fattore di amplificazione dello spettro di velocità a periodo proprio, per il quale si verifica la massima risposta in pseudovelocità.

Si sono adottate le tabelle semplificate presenti negli ICMS (2008) per $PGA_0 = 0.18$ g, profilo di velocità "lineare con pendenza intermedia", terreno superficiale di tipo argilloso e bedrock sismico a profondità di ≈ 100 m, salvo i casi in cui questo era nettamente diverso (siti di FASCIA APPENNINICA).

Questo ha portato alla suddivisione del territorio nelle già citate 3 zone, i cui margini sono riportati in Figura . In particolare, alla zona PIANURA_1 viene associato un fattore $Fa = 1.2$, alla zona PIANURA_2 un $Fa = 1.4$ e alla FASCIA APPENNINICA $Fa = 1.3$.

Al contrario si osservano fattori di amplificazione Fv massimi in zona di PIANURA_1 ($Fv = 2$) e minimi nelle zone di PIANURA_2 ($Fv = 1.9$) e FASCIA APPENNINICA ($Fv = 1.6-1.7$).

Fv = 1.6-1.7

$$\mathbf{Fv} = 1.9$$

$$\mathbf{Fv} = 2$$

$$\mathbf{Fa} = 1.3$$

$$\mathbf{Fa} = 1.4$$

$$\mathbf{Fa} = 1.2$$

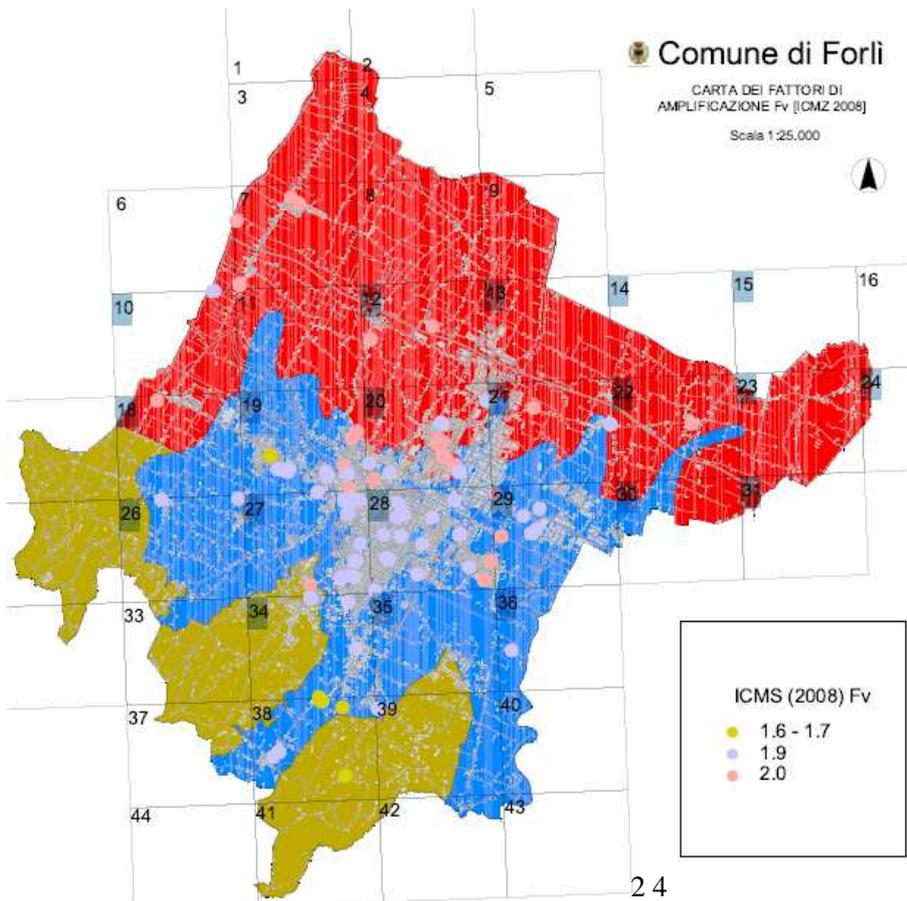
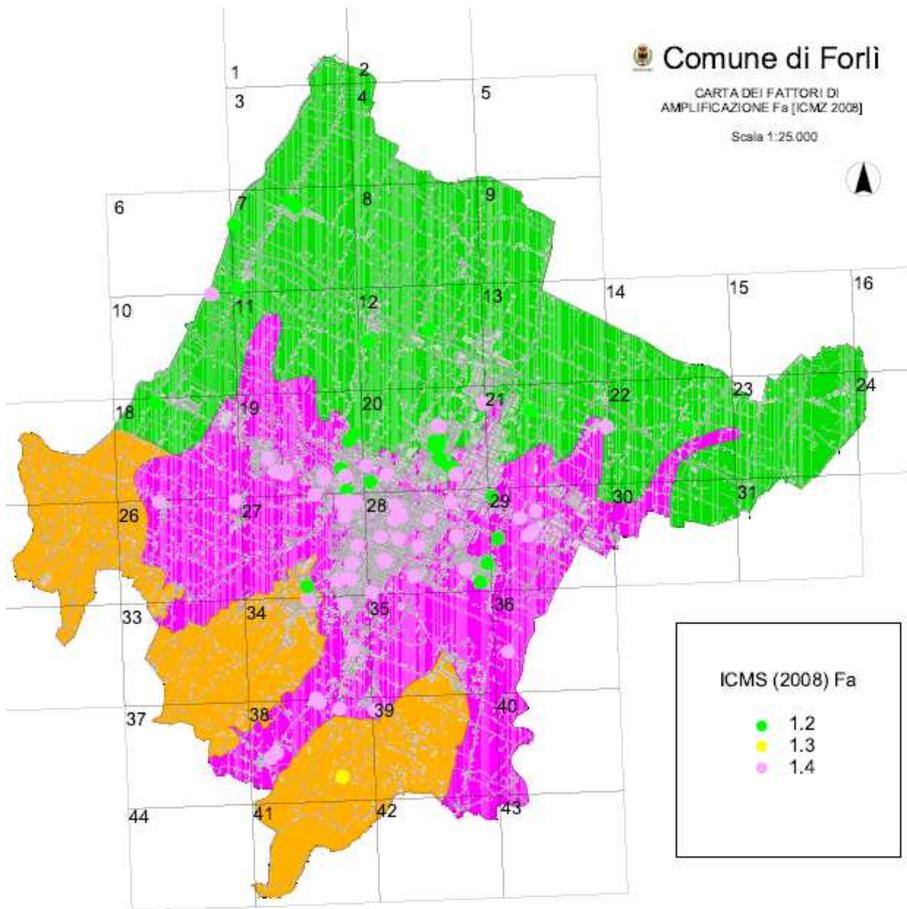


Figura . Fa e Fv definiti per le zone PIANURA_1, PIANURA_2 e FASCIA APPENNINICA secondo ICMS (2008).

CARTA F_{PGA0} , $F_{0.1-0.5s}$, $F_{0.5-1s}$

A partire dai profili di Vs e VsH disponibili, è stata poi compilata la carta dei fattori di amplificazione definiti secondo l'Atto di Indirizzo per la MZS in Emilia Romagna (2007) come segue:

- F_{PGA0} fattore di amplificazione di PGA_0 (Peak Ground Acceleration, accelerazione sismica di picco al bedrock),
- $F_{0.1-0.5s}$ dell'intensità spettrale I_s nell'intervallo di periodo 0.1-0.5 s,
- $F_{0.5-1s}$ dell'intensità spettrale I_s nell'intervallo di periodo 0.5-1 s,

I fattori sono stati ottenuti dalle tabelle semplificate fornite in *ibid.* e rispettivamente 1) dalla tabella APPENNINO E MARGINE APPENNINICO-PADANO ($V_{S_{bedrock}} < 800$ m/s) per la FASCIA APPENNINICA e 2) dalla tabella PIANURA 2 per i siti in ambito di pianura caratterizzati da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decametrici, con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore anche decine di metri), con substrato profondo (≥ 100 m da p.c.). I risultati ottenuti sono riportati in Figura - Figura, dove sono messi a confronto con i perimetri delle 3 zone definite in precedenza (aree con diverso riempimento in toni di grigio sullo sfondo).

Si osserva che i valori di F_{PGA0} non mostrano una sostanziale diversificazione nel territorio (Figura). Alla maggior parte dei siti di indagine sono associati $F_{PGA0} = 1.5$ con poche variazioni verso $F_{PGA0} = 1.4$ a sud del territorio.

Maggior differenziazione è fornita dalla carta dei $F_{0.1-0.5s}$, con una tendenza dei valori a diminuire verso sud (Figura).

La carta che meglio descrive le 3 zone a diversa amplificazione descritte per il territorio è la carta dei $F_{0.5-1s}$ (Figura). Questa mostra massima amplificazione (2.5) del parametro in oggetto nella zona PIANURA_1, amplificazione intermedia (2.3) nella zona PIANURA_2 e amplificazione minore nella FASCIA APPENNINICA (1.5-2).

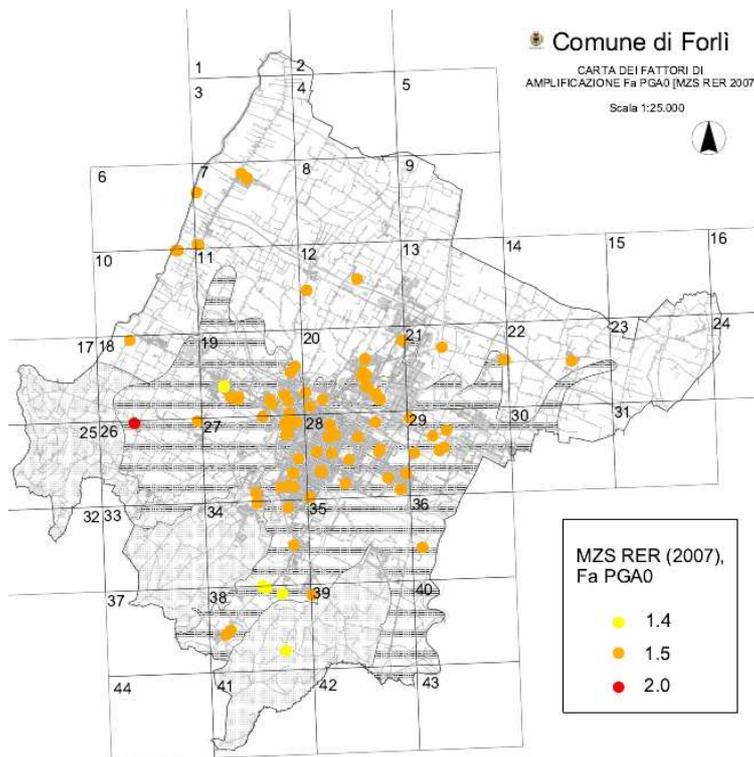


Figura . Carta del parametro Fa_{PGA0} secondo l'Atto di Indirizzo per la MZS della Regione Emilia Romagna (2007). Le aree con diversi toni di grigio dello sfondo si riferiscono alle zone PIANURA_1, PIANURA_2 e FASCIA APPENNINICA descritte nel testo (Figura).

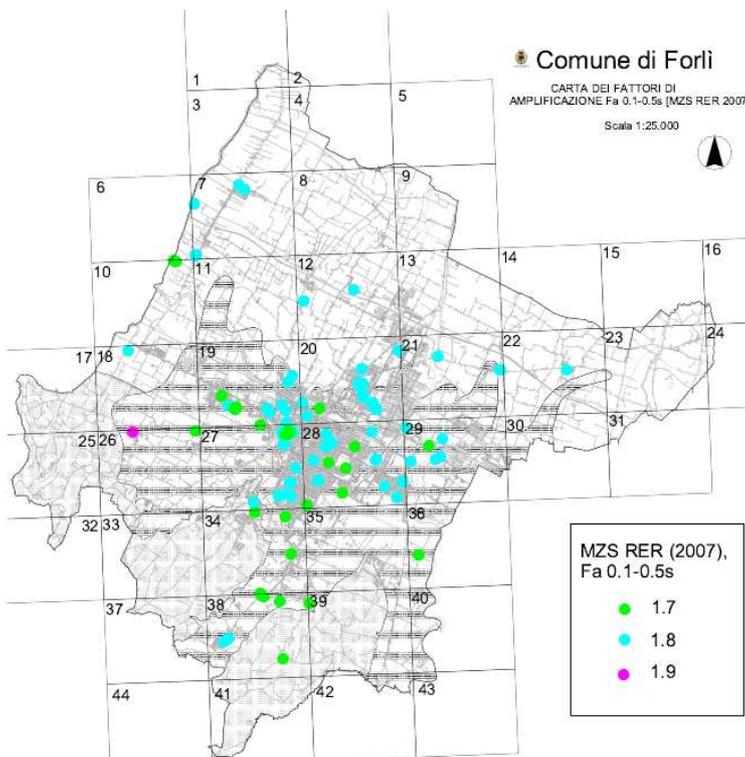


Figura . Carta del parametro $Fa_{IS[0.1,0.5]s}$ secondo l'Atto di Indirizzo per la MZS della Regione Emilia Romagna (2007). Le aree con diversi toni di grigio dello sfondo si riferiscono alle zone PIANURA_1, PIANURA_2 e FASCIA APPENNINICA descritte nel testo (Figura).

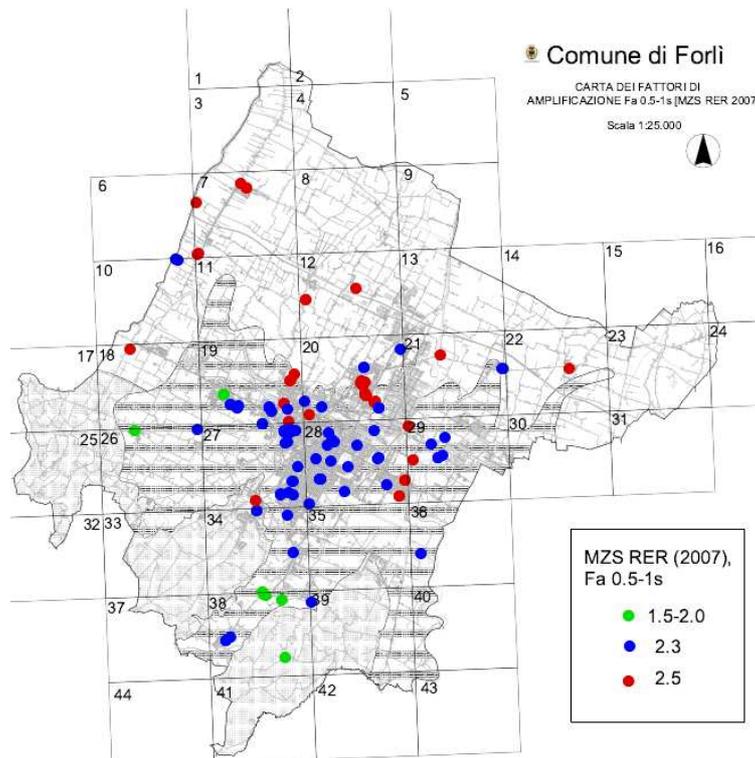


Figura . Carta del parametro $Fa_{IS[0.5,1]s}$ secondo l'Atto di Indirizzo per la MZS della Regione Emilia Romagna (2007). Le aree con diversi toni di grigio dello sfondo si riferiscono alle zone PIANURA_1, PIANURA_2 e FASCIA APPENNINICA descritte nel testo (Figura).

ALTRE NOTE

Nel territorio comunale (siti PIANURA_1 e PIANURA_2) sono numerosi i bandi di sabbie a pochi metri di profondità e sotto falda. Tuttavia tutte le relazioni geotecniche scrutinate durante la fase di raccolta dati escludono la possibilità di liquefazione per questi livelli, essenzialmente perché non si tratta di sabbie sufficientemente pulite. Le relazioni riportanti le verifiche alla liquefazione – effettuate con diversi metodi presentati nella letteratura internazionale – sono 29 e sono ubicate nel territorio come mostrato in Figura . Sulla base di queste indagini si ritiene pertanto di poter escludere in generale il fenomeno della liquefazione, fermo restando che questa indicazione non riguarda la progettazione delle singole strutture (per le quali la verifica alla liquefazione deve essere condotta secondo i requisiti delle NTC, 2008) ma riguarda la pianificazione urbanistica a grande scala.

Nel territorio non si sono osservate inversioni di velocità o effetti 2D di dimensioni tali da giustificare approcci di stima dei fattori di amplificazione diversi da quelli semplificati forniti dagli ICMS (2008) e dall'Atto di Indirizzo per la Microzonazione Sismica della Regione Emilia Romagna (2007). Tuttavia non va dimenticato che i valori di Fa , Fv , Fa_{PGA0} , $Fa_{IS[0.1,0.5]s}$ e $Fa_{IS[0.5,1]s}$ non indicano il valore assoluto di amplificazione attesa nei vari siti ma vanno interpretati semplicemente come una scala di "pericolosità" relativa tra punti.

Stante quanto appena riportato in merito alla liquefazione e alle inversioni di velocità, considerata la mole di dati geofisici e geotecnici disponibile, considerato che le aree problematiche (zone appenniniche in frana ecc.) sono già escluse da interventi di urbanizzazione e considerato che le amplificazioni misurate nel territorio sono da

intermedie a modeste, non si ritengono necessarie verifiche di terzo livello ai soli fini della suddivisione del territorio in zona a comportamento sismico omogeneo (Microzonazione Sismica).

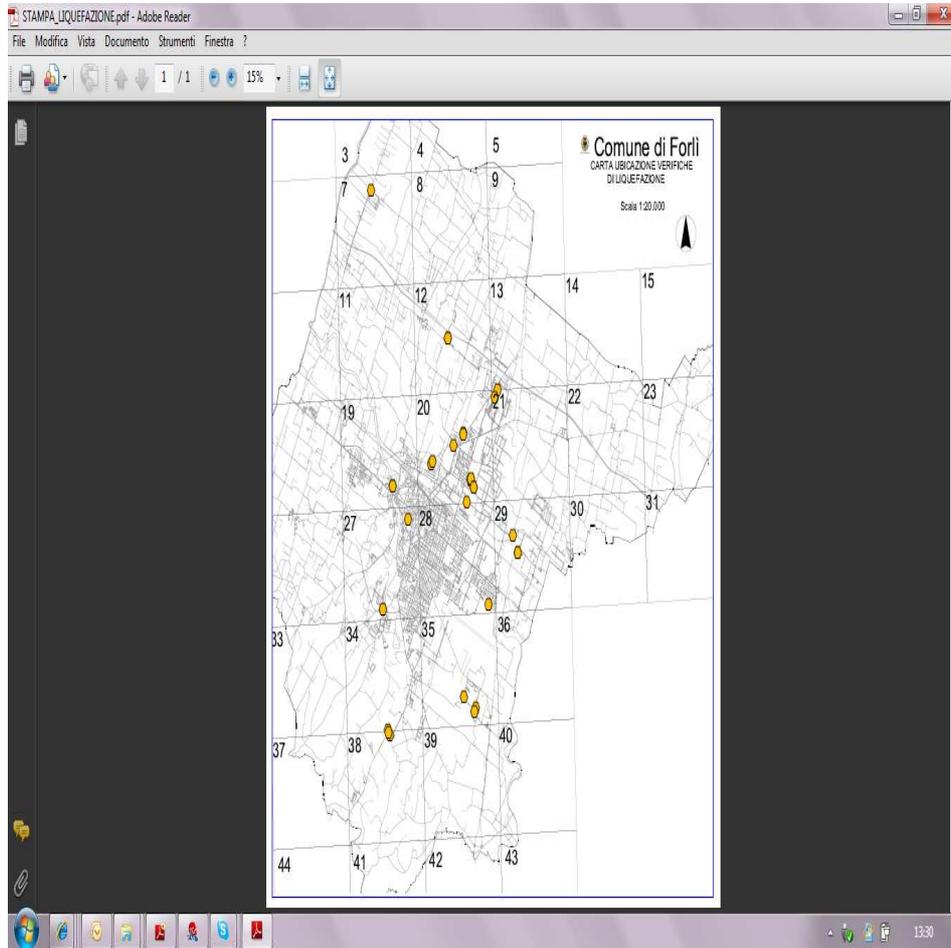


Figura . Ubicazione delle verifiche alla liquefazione analizzate nel territorio (rosso) rispetto alle indagini geofisiche disponibili (nero).

4. ANALISI DI STRUTTURE EDILIZIE RILEVANTI

Esistono essenzialmente due tipi di test per la caratterizzazione strutturale dinamica di un edificio: 1) test in condizioni di vibrazioni forzate, 2) test in condizioni di vibrazioni libere ambientali.

Nel primo caso la struttura viene sollecitata da mezzi artificiali, come degli oscillatori o la caduta di pesi. Nel secondo caso la vibrazione è indotta dall'eccitazione ambientale, sempre presente in natura in tutto l'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico e fornita da attività antropica o naturale (perturbazioni atmosferiche).

Studi sperimentali (es. Hans *et al.*, 2005) hanno mostrato che dalle piccole ampiezze delle vibrazioni ambientali alle ampiezze molto maggiori raggiunte sottoponendo gli edifici a shock artificiali che non portano a danneggiamento strutturale, le strutture rispondono seguendo lo stesso comportamento quasi elastico. Ne consegue che le misure di vibrazioni sotto la condizione di microtremore ambientale sono sufficienti per identificare il comportamento della struttura nell'intero dominio quasi-elastico.

In due siti di interesse strategico per il Comune in esame (serbatoio di Romagna Acque sito in Corso Diaz e Dipartimento della Protezione Civile Provinciale in via Cadore 75) sono state condotte analisi anche sulle strutture, oltre che sul suolo, al fine di identificare:

- le frequenze dei modi di vibrare
- la deformata del modo fondamentale flessionale
- lo smorzamento del modo fondamentale flessionale

secondo le procedure descritte nel seguito.

MODI DI VIBRARE

Per mettere in evidenza le risposte spettrali e le relative frequenze dei modi di vibrare dell'edificio in esame sono state effettuate misure di microtremore sui diversi livelli della struttura, sulla stessa verticale e con lo stesso orientamento, per la durata di 6-8 min su ciascun piano. Le serie temporali così registrate sono state analizzate secondo la procedura seguente:

- a) la serie temporale viene suddivisa in tratti di 20 s. Per ciascun tratto si esegue:
 - i. la correzione per la linea di base (*detrending*),
 - ii. un *tapering*, secondo finestra di Bartlett,
 - iii. un padding opportuno,
 - iv. la trasformata veloce di Fourier (FFT)
- b) lo spettro finale è dato dalla media degli spettri ottenuti su ciascun tratto.

In questo lavoro gli spettri sono lisciati all'1% della frequenza centrale.

RIMOZIONE DELL'EFFETTO DEL SOTTOSUOLO

Prima di enunciare le frequenze dei modi dell'edificio, è necessario rimuovere l'effetto del sottosuolo. Accade infatti che le frequenze proprie di risonanza di quest'ultimo siano

misurabili anche all'interno della struttura e vadano pertanto rimosse per mettere in evidenza il solo effetto legato all'edificio.

A questo scopo si applica il metodo del *sito di riferimento* che consiste nell'assumere come riferimento le misure effettuate al piano di fondazione (ossia al piano in cui l'effetto dell'edificio è minimo e l'effetto del sottosuolo è massimo) e nell'eseguire il rapporto tra le componenti spettrali omologhe dei vari piani e quelle del sito di riferimento.

Per misure effettuate in modo sincrono o sotto la condizione di rumore ambientale stazionario è possibile ricostruire anche la defomata del primo modo flessionale della struttura a partire dalle ampiezze spettrali.

SMORZAMENTO

Lo smorzamento delle strutture viene calcolato come il decremento logaritmico dell'ampiezza della vibrazione, in termini di spostamento, cui è soggetta la struttura in un periodo.

In assenza di impulsi trasmessi all'edificio *ad hoc*, disponendo di strumenti sufficientemente sensibili è possibile stimare lo smorzamento anche dal microtremore sismico ambientale. La tecnica principe per la stima dello smorzamento a partire dai dati di microtremore, nota con il termine RandomDec, fu introdotta da Cole negli anni '60-'70 e diffusa da Vandivier *et al.* (1982).

La tecnica consiste nel

- 1) rimuovere le componenti che non interessano applicando un filtro passabanda stretto attorno alla frequenza del modo di vibrazione in esame,
- 2) per ogni classe di soglia con ampiezza x' (in termini di spostamento), calcolare la funzione RandomDec mediando, per un tratto di lunghezza pari ad un periodo d'onda, i segmenti a partire dall'istante di superamento della condizione di trigger $x(t) = x'$, $x(t+\Delta t) - x(t) > 0$
- 3) l'espressione classica per calcolare lo smorzamento ξ sfrutta il decremento logaritmico:

$$\frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} = \frac{1}{2\pi} \frac{|A_n|}{|A_{n+1}|} \xi$$

per piccoli valori di ξ ,

dove $|A_n|$ e $|A_{n+1}|$ sono i valori assoluti delle ampiezze misurate su un ciclo intero di periodo smorzato del sistema.

Al fine di ottenere una stima stabile occorre mediare su un numero di segmenti dell'ordine delle migliaia. Lo smorzamento dipende anche dall'ampiezza della vibrazione.

Abbiamo calcolato in prima approssimazione lo smorzamento attraverso un'altra tecnica non parametrica (Mucciarelli e Gallipoli, 2006). Essa consiste, dopo le procedure di rito di correzione ed equalizzazione del segnale, nell'integrazione dello stesso per ottenere serie temporali in termini di spostamento. Successivamente si cercano i massimi locali e si costruisce una matrice di ampiezze dei massimi $x(t_i)$ vs. istante di occorrenza t_i . Per ciascuna coppia di dati si verifica se $x(t_i) > x(t_i + 1)$ e in caso positivo si

calcola la pseudofrequenza e lo smorzamento. Si ottengono così diagrammi come quelli di Figura 4 da cui si leggono le frequenze dei modi principali e lo smorzamento associato.

Questa tecnica è meno precisa della RandomDec classica ma più rapida e permette di ottenere un'informazione di larga massa sullo smorzamento anche da registrazioni di microtremore brevi, come quelle effettuate in questo studio.

SERBATOIO ROMAGNA-ACQUE, CORSO DIAZ

Su questa struttura (torre in muratura degli anni '30 rinforzata in c.a. nel secondo dopoguerra, altezza 33.5 m) sono state effettuate misure di microtremore su 5 livelli (dal seminterrato alla cima, secondo le quote di Figura) che hanno permesso di individuare i modi descritti in Tabella . Le misure sono state effettuate sulla stessa verticale in prossimità della parete esterna NW (Figura) poiché la parte centrale dei solai è occupata da una scala. L'asse NS strumentale è indicato dalla freccia rossa in Figura .

Stante la pianta circolare della struttura, era atteso un comportamento simile nelle direzioni indagate. La frequenza del primo modo flessionale è in effetti molto simile nelle due direzioni mentre emergono differenze relativamente alle altre frequenze modali (Figura).

Nella parte inferiore di Figura sono riportate le curve H/V misurate nel giardino circostante la torre a titolo di confronto delle frequenze di risonanza di struttura e sottosuolo. Si osserva che il sottosuolo ha una frequenza propria attorno ad 1 Hz e non mostra particolari amplificazioni sopra questa frequenza (pattern di PIANURA_1 definito a pag. 10). Sebbene la struttura non sia in doppia risonanza col terreno, dall'analisi semplificata sappiamo che gli spettri di risposta per terremoti medio-piccoli possono presentare un massimo di ampiezza (0.7 g) proprio a frequenze prossime a quelle della torre (0.5 s, pari a 2 Hz) (Figura).

In generale le risonanze del sottosuolo a frequenza immediatamente inferiore (fino al 40% circa) a quella delle strutture sono considerate un elemento di svantaggio (maggiore vulnerabilità) perché qualora l'edificio subisse dei danni strutturali (per es. nelle fasi iniziali di un terremoto), le sue frequenze proprie diminuirebbero, potendo così entrare in doppia risonanza con il terreno nella fase terminale del terremoto.

modo	NS [Hz]	EW [Hz]
1° flessionale*	2.4	2.4
	9.2	5
		9

Tabella . Frequenze dei modi di vibrare individuati secondo due assi ortogonali nella struttura. * Indica il primo modo flessionale o combinazione del primo flessionale + rocking (Todorovska, 2009).

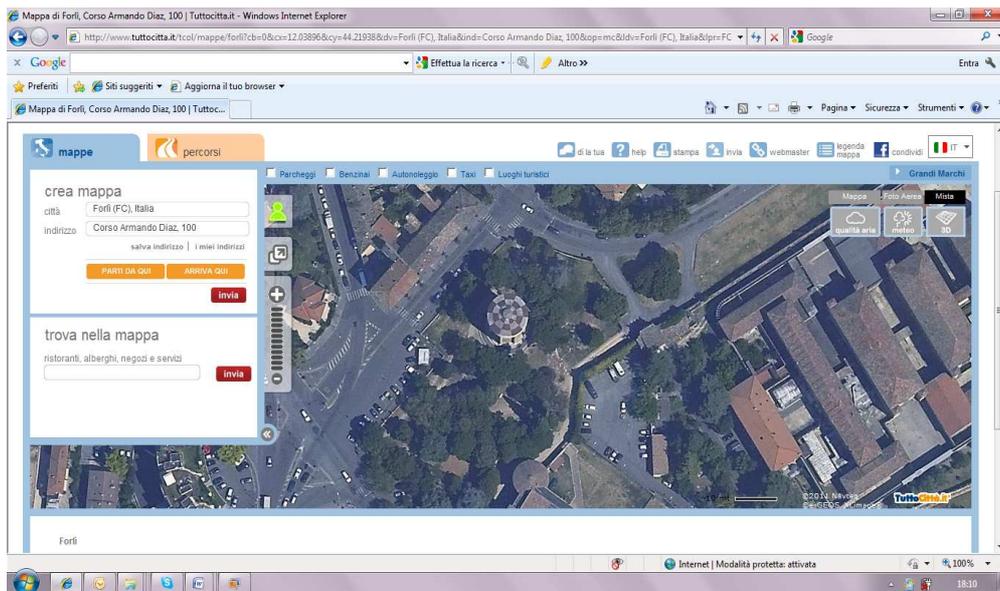
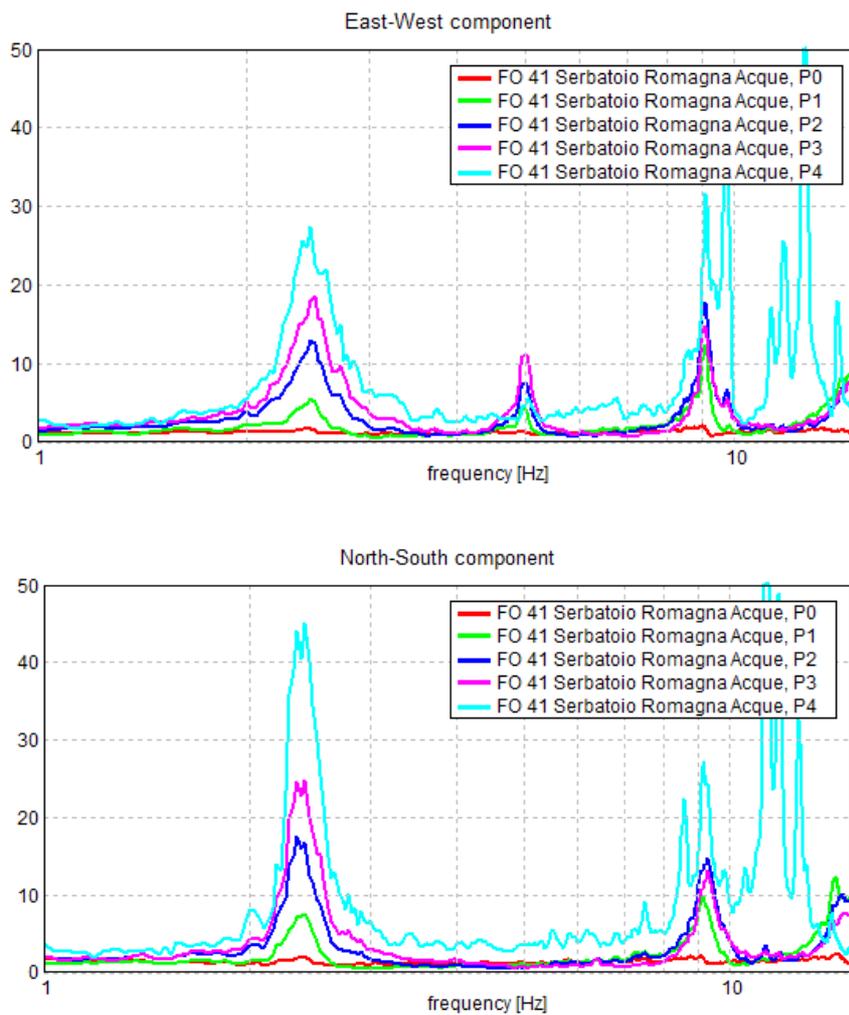


Figura . Rosso: ubicazione della verticale di misura all'interno della torre serbatoio d'acqua in Corso A. Diaz. La freccia indica la direzione dell'asse NS strumentale. Azzurro: punti di misura sul suolo.



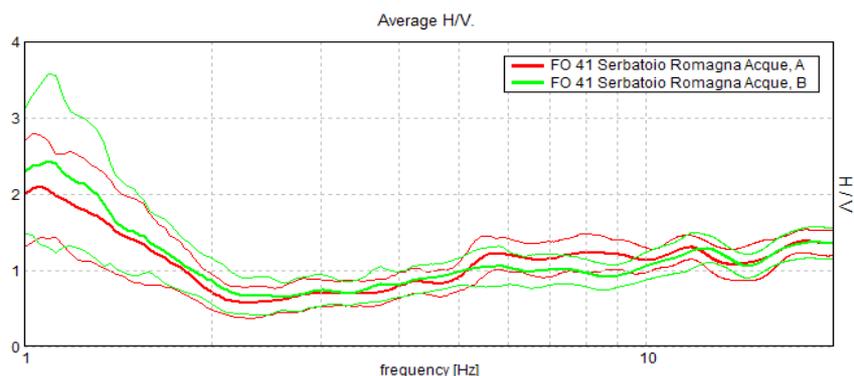


Figura . *Alto e centro*: rapporto tra gli spettri medi (ordinate, adimensionate) registrati ai vari livelli rispetto a quelli registrati al piano terra (sito di riferimento) in funzione della frequenza (ascissa). I rapporti mettono in evidenza le frequenze dei modi di vibrazione dell'edificio e i fattori di amplificazione del moto ai vari piani. *Alto*: componente strumentale EW. *Centro*: componente strumentale NS. *Basso*: curva H/V del sottosuolo riportata alla stessa scala di ascisse per confrontare le frequenze dei modi di vibrare di sottosuolo e struttura. Il rettangolo verde indica la frequenza del primo modo flessionale della torre .

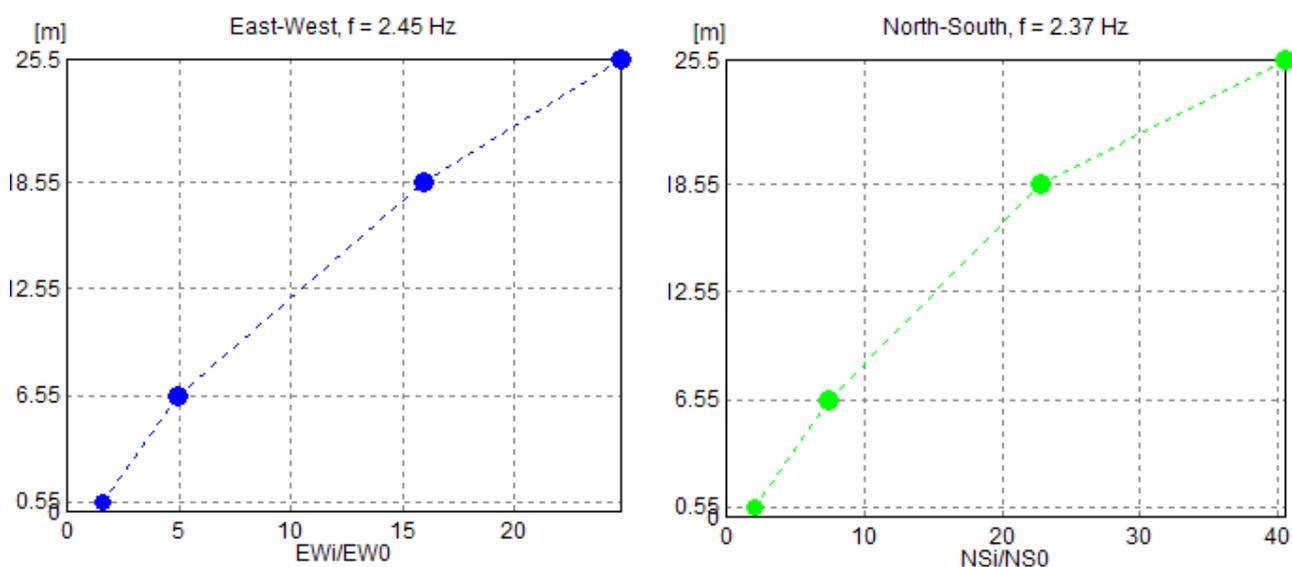


Figura . Deformate del primo modo flessionale in direzione longitudinale (*alto*) e trasversale (*basso*) rispetto al moto registrato al piano terra. L'ampiezza dello spostamento medio misurato in ogni piano è stata rapportata all'ampiezza dello stesso moto al piano terra e mostrata in ascissa come numero adimensionato, trattandosi di un rapporto.

Lo smorzamento associato al primo modo di vibrare appare molto basso ed esattamente poco inferiore al 2% in direzione EW (secondo Figura) e poco superiore al 2% in direzione NS (Figura).

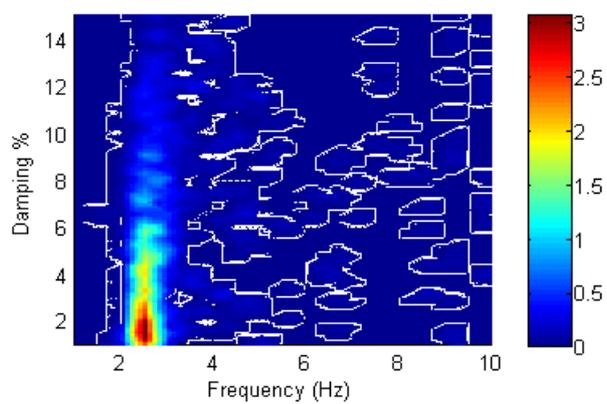
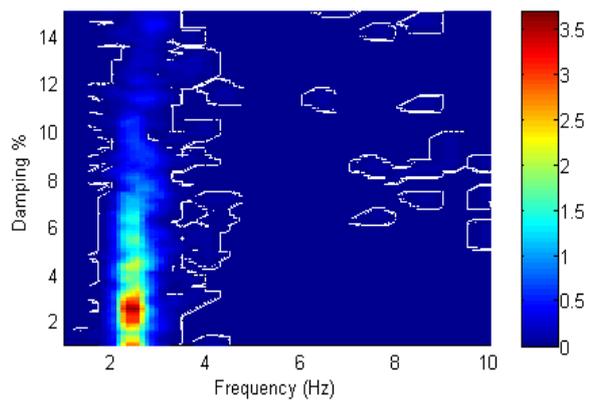


Figura . Smorzamento del primo modo flessionale per le componenti EW (sinistra) e NS (destra).

SEDE DEL DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE PROVINCIALE, VIA CADORE 75

In questa struttura (palazzina di 2 piani fuori terra) sono state effettuate misure di microtremore su 3 livelli de hanno permesso di individuare i modi descritti in Tabella . Le misure sono state effettuate sulla stessa verticale con l'orientamento degli assi strumentali indicato in Figura (asse NS strumentale \equiv asse trasversale della struttura, asse EW strumentale \equiv asse longitudinale della struttura).

In Figura è riportato il confronto tra i modi di vibrare della struttura nei 2 assi e le risonanze del sottosuolo misurate nell'immediato intorno.

Si osserva che anche questo sito rientra nella zona definita PIANURA_1 e presenta amplificazione per risonanza solo a frequenza < 1 Hz.

Non sussistono pertanto condizioni di doppia risonanza suolo-struttura.

modo	NS [Hz]	EW [Hz]
1° flessionale*	5.6	6.5

Tabella . Frequenze dei modi di vibrare individuati secondo due assi ortognali nella struttura. * Indica il primo modo flessionale o combinazione del primo flessionale + rocking (Todorovska, 2009).

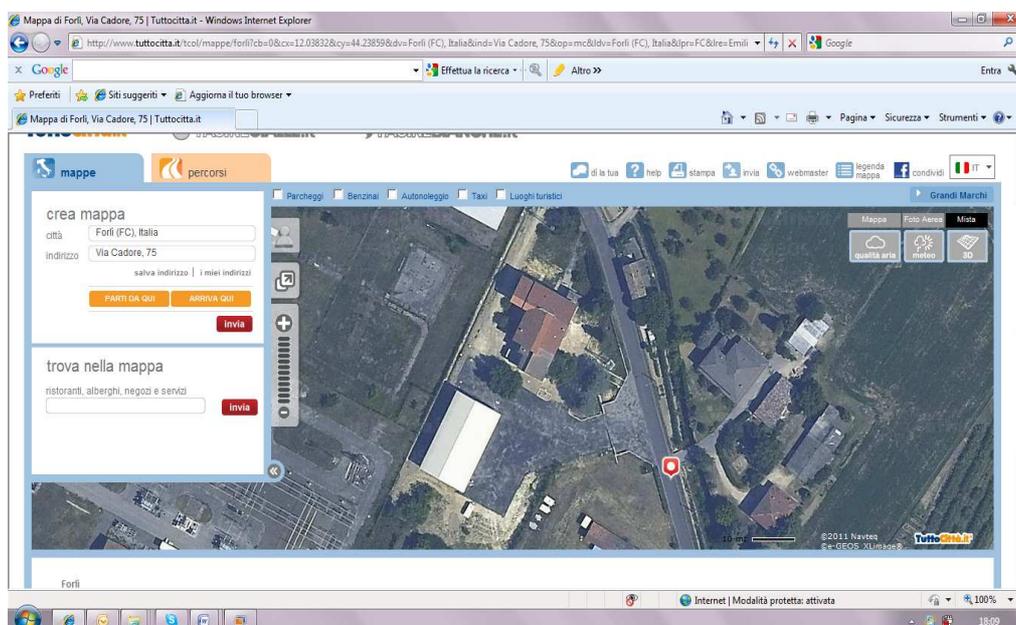


Figura . Rosso: ubicazione della verticale di misura all'interno del Dipartimento della Protezione Civile Provinciale. La freccia indica la direzione dell'asse NS strumentale. Azzurro: punti di misura sul suolo (cerchi per le misure H/V, linea per le misure in array).

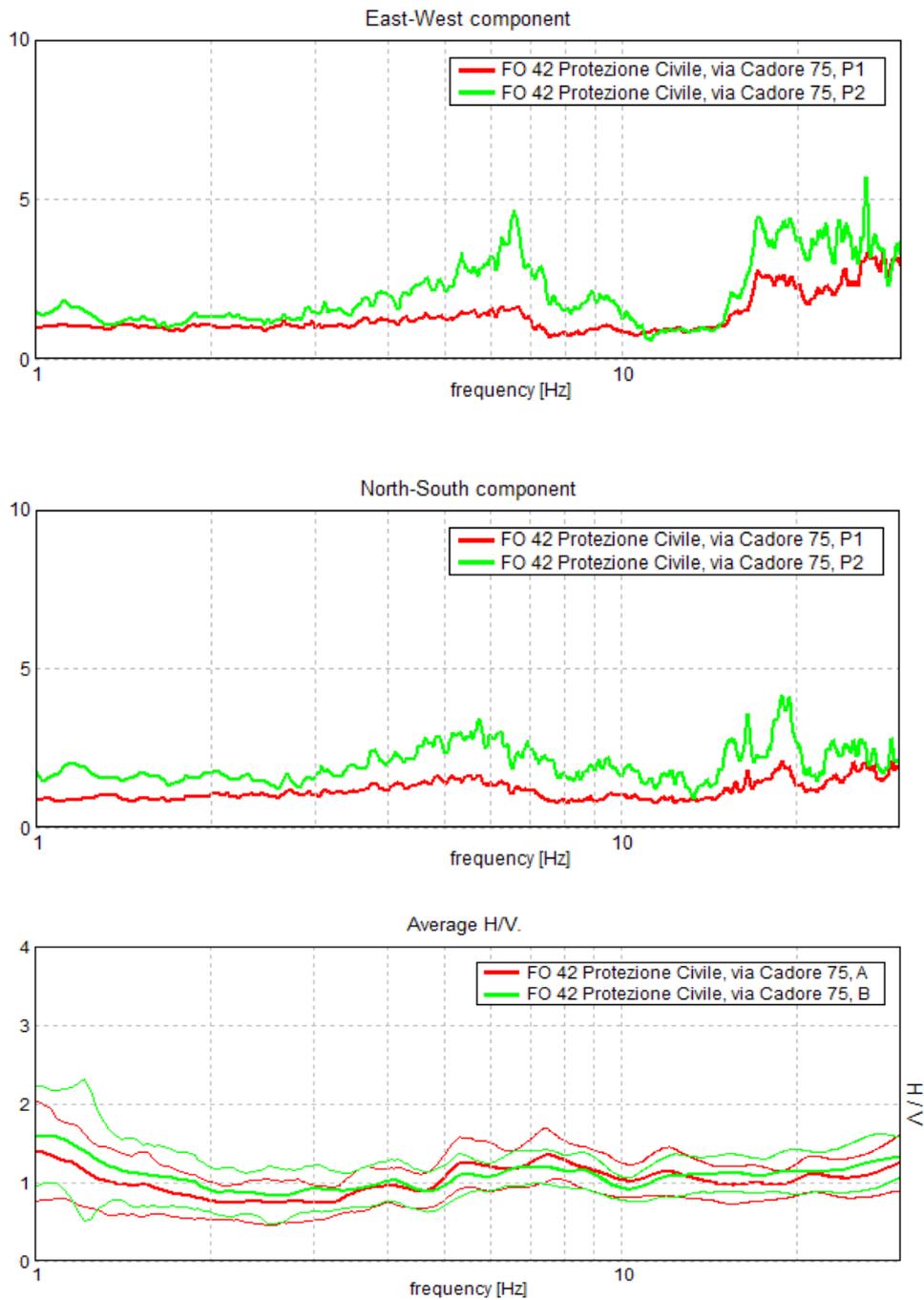


Figura . *Alto e centro*: rapporto tra gli spettri medi (ordinate, adimensionate) registrati ai vari livelli rispetto a quelli registrati al piano terra (sito di riferimento) in funzione della frequenza (ascissa). I rapporti mettono in evidenza le frequenze dei modi di vibrazione dell'edificio e i fattori di amplificazione del moto ai vari piani. *Alto*: direzione longitudinale. *Centro*: direzione trasversale. *Basso*: curva H/V del sottosuolo riportata alla stessa scala di ascisse per confrontare le frequenze dei modi di vibrare di sottosuolo e struttura. Il rettangolo verde indica la frequenza del primo modo flessionale della struttura .

5. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Al fine di realizzare la Microzonazione Sismica di Livello 1 e 2 del Comune di Forlì, sono state reperite all'incirca 220 prove geofisiche finalizzate alla stima della rigidità dei terreni sotto forma di profilo di Vs e ne sono state acquisite 100 di nuove, ubicate in 45 siti diversi. Le indagini di precedente acquisizione sono state tutte verificate al fine di scartare quelle dubbie o palesemente sovra interpretate, in modo da garantire quanto più possibile una base dati di qualità omogenea.

In tutto il territorio comunale è stata misurata una blanda amplificazione a 0.25 Hz (legata ad un riflettore sismico rigido profondo diverse centinaia di metri). Nell'intervallo di frequenze di maggiore interesse ingegneristico, l'analisi dei dati raccolti ha suggerito di suddividere il territorio in 3 zone omogenee in prospettiva sismica (Figura) ed esattamente:

PIANURA_1: ubicata prevalentemente a Nord del centro storico di Forlì, caratterizzata da terreni a bassa velocità che mostrano un lento aumento con la profondità, senza contrasti di impedenza rilevanti ($V_s < 200$ m/s in superficie, $V_{s30} < 240$ m/s). Questo si traduce nell'assenza di amplificazione per risonanza sopra 1-2 Hz. In tutta l'area è invece ben visibile una amplificazione delle curve H/V a 0.8-1 Hz, legata alla risonanza dei terreni fini sovrastanti uno strato rigido ($V_s \approx 600$ m/s) posto a profondità variabile tra 80 e 150 m, interpretato come la base del Sistema Emiliano-Romagnolo superiore di età inferiore ai 0.45 Ma (*per considerazioni geologiche di maggior dettaglio si rimanda alla relazione a cura del prof. E. Farabegoli*).

PIANURA_2: ubicata nella fascia centrale del territorio comunale, è caratterizzata da alcuni metri (5-30 m) di terreni fini a bassa velocità ($V_s \approx 200$ m/s) seguiti da terreni granulari più rigidi (sabbie e ghiaie, $V_s > 300$ m/s). Questa configurazione determina delle moderate amplificazioni per risonanza delle coperture fini a frequenze mediamente superiori a 3 Hz. I valori di V_{s30} si assestano tra 240 e 300 m/s. In tutta l'area è visibile una modesta amplificazione delle curve H/V a frequenze < 1 Hz, legata alla risonanza delle coperture sovrastanti uno strato rigido ($V_s \approx 600$ m/s) posto a profondità variabile tra 80 e 150 m, interpretato come la base del Sistema Emiliano-Romagnolo superiore di età inferiore ai 0.45 Ma (*per considerazioni geologiche di maggior dettaglio si rimanda alla relazione a cura del prof. E. Farabegoli*).

FASCIA APPENNINICA: ubicata nella zona meridionale del territorio comunale, è caratterizzata dalla presenza del bedrock sismico affiorante o sub-affiorante (Argille Azzurre, $V_s \approx 300$ m/s nella parte superficiale, crescenti fino a 600 m/s in profondità). In questa zona i valori di V_{s30} si assestano sopra i 300 m/s e V_{sH} si assesta tra i 200 e i 300 m/s. Il contrasto di impedenza tra le coperture e il bedrock (generalmente prima alterato) dà luogo a picchi H/V di modesta ampiezza a frequenze > 2 Hz, in funzione della profondità del bedrock.

Una modellazione elementare della risposta di sito attesa nelle 3 zone ha portato all'osservazione che gli spettri di risposta risultano avere – come è naturale che sia – la massima ampiezza a periodi centrati attorno a quelli del terremoto di input, ossia tanto più lunghi quanto maggiore è il momento del terremoto simulato e che nei terreni di PIANURA_1 le pseudo accelerazioni spettrali attese per le strutture crescono da 0.5 a 0.7 g al diminuire del contenuto in frequenza del terremoto mentre il trend opposto è atteso nei siti della FASCIA APPENNINICA.

A partire dai profili di V_s disponibili e dalle conoscenze geologiche, sono state prodotte le carte dei fattori di amplificazione F_a , F_v (ICMS, 2008), e di $F_{a_{PGA0}}$, $F_{a_{0.1-0.5s}}$ e $F_{a_{0.5-1s}}$ (Atto di Indirizzo MZS Reg. Emilia R., 2007).

La carta dei fattori di amplificazione che meglio trova una rispondenza nella geologia del territorio è la mappa di F_a definita secondo gli ICMS (2008). Questa associa un fattore $F_a = 1.2$ alla zona PIANURA_1, $F_a = 1.4$ alla zona PIANURA_2 e $F_a = 1.3$ alla FASCIA APPENNINICA.

Al contrario si osservano fattori di amplificazione F_v massimi in zona di PIANURA_1 ($F_v = 2$) e minori nelle zone di PIANURA_2 ($F_v = 1.9$) e FASCIA APPENNINICA ($F_v = 1.6-1.7$).

I valori di $F_{a_{PGA0}}$ non mostrano una sostanziale diversificazione nel territorio. Alla maggior parte dei siti di indagine sono associati $F_{a_{PGA0}} = 1.5$ con poche variazioni verso $F_{a_{PGA0}} = 1.4$ a sud del territorio.

Maggior differenziazione è fornita dalla carta dei $F_{a_{0.1-0.5s}}$, con una tendenza dei valori a diminuire verso sud.

La carta dei fattori $F_{a_{0.5-1s}}$ rispecchia invece abbastanza bene le 3 zone individuate e mostra massima amplificazione (2.5) del parametro in oggetto nella zona PIANURA_1, amplificazione intermedia (2.3) nella zona PIANURA_2 e amplificazione minore nella FASCIA APPENNINICA (1.5-2).

Le circa 30 verifiche di liquefazione relative ai banchi sabbiosi rinvenuti nelle zone PIANURA_1 e PIANURA_2 hanno tutte escluso la possibilità di liquefazione per questi livelli, essenzialmente perché non si tratta di sabbie sufficientemente pulite.

Nel territorio non si sono osservate inversioni di velocità o effetti 2D di dimensioni tali da giustificare approcci di stima dei fattori di amplificazione diversi da quelli semplificati forniti dagli ICMS (2008) e dall'Atto di Indirizzo per la Microzonazione Sismica della Regione Emilia Romagna (2007). Tuttavia non va dimenticato che i valori di F_a , F_v , $F_{a_{PGA0}}$, $F_{a_{IS[0.1,0.5]s}}$ e $F_{a_{IS[0.5,1]s}}$ non indicano il valore assoluto di amplificazione attesa nei vari siti ma vanno interpretati semplicemente come una scala di "pericolosità" relativa tra punti.

Stanti le considerazioni effettuate in merito alla liquefazione e alle inversioni di velocità, considerata la mole di dati geofisici e geotecnici disponibile, considerato che le aree problematiche (zone appenniniche in frana ecc.) sono già escluse da interventi di urbanizzazione e considerato che le amplificazioni misurate nel territorio sono da intermedie a modeste, non si ritengono necessarie verifiche di terzo livello ai soli fini della suddivisione del territorio in zona a comportamento sismico omogeneo (Microzonazione Sismica).

BIBLIOGRAFIA

- Atto di indirizzo per la MZS in Emilia Romagna (2007). Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica".
- Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna, 2004. A cura di Regione Emilia-Romagna (Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli) e CNR (Istituto di Geoscienze e Georisorse, sezione di Firenze), scala 1:250.000.
- Castellaro S. e Mulargia F., 2009a. Vs30 estimates using constrained H/V measurements, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 99, 761-773.
- Castellaro S. e Mulargia F., 2009b. The effect of velocity inversions on H/V, *Pure Appl. Geophys.*, 166, 567-592.
- Castellaro S. e Mulargia F., 2010. How Far from a Building Does the Ground-Motion Free-Field Start? The Cases of Three Famous Towers and a Modern Building, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 100, 2080-2094.
- EERA, 2000. Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits di Bardet, Ichii e Lin.
- Hans, S., Boutin, C., Ibrahim, E. and Rousillon, P. (2005). *In situ* experiments and seismic analysis of existing buildings. Part I: Experimental investigations. *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, 34, 1513-1529.
- ICMS, 2008. Gruppo di lavoro MS. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e CD.
- Idriss, I. M., 1990. Response of Soft Soil Sites during Earthquakes, *Proceedings, Memorial Symposium to honor Professor Harry Bolton Seed*, Berkeley, California, Vol. II, May.
- Louie, 2001. Faster, better: shear wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 91, 347-364.
- Mucciarelli M. e Gallipoli M.R., 2006. Estimate of frequency and damping for large sets of buildings in dense urban areas, joint event of the 13th ECEE & 30th General Assembly of the ESC, Geneva, Switzerland, 3-8 September.
- NMSOP, 2002. *New Manual of the Seismological Observatory Practice*, ed. P. Bomann, Potsdam.
- NTC, 2008. Norme Tecniche sulle Costruzioni, D.M. 14 gennaio 2008 pubblicato in G.U. del 4.02.2008, suppl. ord. 30.
- Chori, 2002. A Comparison of ESAC and FK Methods of Estimating Phase Velocity Using Arbitrarily Shaped Microtremor Arrays, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 92, 2323, 2332.
- Park C.B., Miller R.D. e Xia J., 1999. Multichannel analysis of surface waves (MASW), *Geophys.*, 64, 800-808.
- Seed H. B. e Idriss I. M., 1970. Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analysis, Report No. UCB/EERC-70/10, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, December, 48 p.
- SESAME, 2004. Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. Measurements, processing and interpretation, WP12, deliverable no. D23.12 <http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/>
- Todorovska M. I. (2009). Seismic interferometry of a soil-structure interaction model with coupled horizontal and rocking response, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 99, 611-625.
- Vandiver J. K., Dunwoody A. B., Campbell R. B., Cook M. F., 1982. A mathematical basis for the random decrement vibration signature analysis technique, *Journ. Mech. Des.*, 104, 307-313.

APPENDICE A

INDAGINI DI NUOVA ACQUISIZIONE

Le indagini di nuova esecuzione sono state condotte nel mese di novembre 2011 ed hanno riguardato i 42 punti indicati con la stella in Figura . In tutti i siti sono state condotte 2 prove sismiche a stazione singola alla distanza di circa 20 m l'una dall'altra, al fine di verificare l'omogeneità del sottosuolo indagato e la sussistenza di condizioni 1D necessarie per interpretare i dati acquisiti secondo tecniche in array.

In 11 dei 42 siti sono state condotte anche indagini sismiche attive e passive in array ed in particolare:

- 1) prove attive MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves, Park *et al.*, 1999),
- 2) prove passive ReMi (Refraction Microtremor, Louie, 2001),
- 3) prove passive ESAC (Extended Spatial AutoCorrelation, Chori, 2002).
- 4) acquisizioni del microtremore ambientale a stazione singola in campo libero.

Le indagini effettuate permettono:

- a. di stimare la velocità delle onde di taglio (V_s) dei terreni a partire dalla velocità delle onde di superficie (Rayleigh nel caso del presente studio). La velocità delle onde di taglio è legata alla rigidità μ dei terreni tramite la formula: $\mu = \rho V_s^2$, dove ρ è la densità. Poiché la densità dei suoli varia relativamente poco con la profondità (almeno nelle prime decine di metri), dalla formula si evince che i valori di V_s sono i primi indicatori della rigidità di un terreno,
- b. di misurare le frequenze di risonanza dei terreni e, tramite opportuna modellazione vincolata, di ricostruire una stratigrafia sismica.

Le prove 1), 2) e 3) permettono la ricostruzione di una stratigrafia sismica monodimensionale (1D) sotto la sezione indagata mentre la prova 4) dà una risposta maggiormente locale rispetto alla verticale di misura (sono indicativamente visibili riflettori/variazioni di dimensioni maggiori di $-\lambda$, secondo la legge $\lambda f = V$, dove λ è la lunghezza d'onda esplorante e f la frequenza dell'onda esplorante il sottosuolo).

Il tipo di stratigrafia che le tecniche sismiche possono restituire si basa sul concetto di *contrasto di impedenza*. Per *strato* si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

STRUMENTAZIONE IMPIEGATA E GEOMETRIE

Per la sismica passiva a stazione singola: le misure di microtremore ambientale sono state effettuata per mezzo di un tromografo digitale portatile progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento (*Tromino*[®], Micromed spa) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) ortogonali. I dati di microtremore ambientale,

amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti per 5 min in ciascun sito alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

Per la sismica in array: si è impiegato un array digitale (*SoilSpy Rosina*, Micromed spa), collegato a geofoni verticali a frequenza propria di 4.5 Hz. La digitalizzazione del segnale avviene direttamente sui geofoni, il che elimina la possibilità di fenomeni di cross-talk lungo il cavo, migliorando il rapporto segnale-rumore. Le acquisizioni sono state condotte a frequenza di campionamento di 512 Hz. La spaziatura tra ricevitori utilizzata per tutte le misure è stata di 4 m.

Tutte le indagini sono state effettuate su terreno naturale o comunque evitando pavimentazioni, lastricati e simili onde evitare il loro effetto di depressione delle componenti spettrali orizzontali (Castellaro e Mulaglia, 2010b).

MASW, ReMi ed ESAC

Le tre tecniche vengono presentate insieme, stanti le similitudini di processing dei dati e dei risultati che possono fornire. Per le prove MASW si è energizzato in testa allo stendimento, alla distanza di almeno 4 m dai geofoni di testa e di coda. La sorgente sismica utilizzata è consistita nella caduta di un grave (salto dell'operatore) ed è stata ripetuta per 3 volte. La durata della registrazione è stata di 2 s a partire dal superamento del valore di soglia.

Per le prove ReMi ed ESAC il microtremore sismico ambientale è stato acquisito per 4 min consecutivi. L'analisi è stata condotta su segmenti di 10 s di durata.

Le serie temporali multicanale ottenute dalle tre tecniche sono state elaborate nel dominio frequenza-velocità di fase al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

Per ogni prova, le curve di dispersione della velocità di fase dell'onda di Rayleigh saranno rappresentate da un grafico a contour (MASW e ReMi) o da punti (ESAC). La propagazione delle onde di superficie è multimodale e i grafici a contour permettono di cogliere questo aspetto mentre l'analisi ESAC fornisce un solo valore per ogni frequenza e non permette di cogliere questo aspetto.

In tutte le prove, la curva di dispersione teorica che meglio approssima quella sperimentale sarà indicata da dei punti azzurri e sarà ottenuta dal fit congiunto di prove in array e H/V.

A partire dalla legge fisica $\lambda f = V$ (ove λ è la lunghezza d'onda, f la frequenza e V la velocità) e considerato che la capacità di penetrazione nel sottosuolo di questi metodi in array è all'incirca $\lambda / 2$, si può stabilire la profondità indicativa raggiunta dalla prova. Tali valori sono riportati nell'Appendice B. È noto che le prove in array (soprattutto attivo) hanno una scarsa capacità di penetrazione e smettono di essere interpretabili tipicamente in presenza di forti contrasti di impedenza (ossia là dove le curva H/V mostrano dei picchi) o di inversioni di velocità.

Nella maggior parte dei casi di questo studio la profondità raggiunta da queste prove è dell'ordine dei 15-20 m. Quando il profilo di velocità V_s fornito supera la capacità di penetrazione dell'array, significa che la restante parte del modello di sottosuolo è stata derivata dal fit congiunto di prova H/V e prove in array.

MISURE IN CAMPO LIBERO A STAZIONE SINGOLA

La tecnica H/V è la tecnica dedicata quando si vogliono mettere in luce le frequenze di risonanza dei terreni. Dalle registrazioni del rumore sismico ambientale su terreno sono state ricavate le curve H/V, secondo la procedura classica, descritta per esempio in SESAME (2005), con parametri:

- larghezza delle finestre d'analisi 20 s,
- lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale,
- rimozione dei transienti sulla serie temporale degli H/V.

Per tutti i siti in cui è stata condotta una indagine in array, la curva H/V teorica derivante dal fit congiunto di prove in array e H/V sarà illustrata in azzurro, sovrapposta alla curva H/V sperimentale. Per tutti i siti sarà mostrato anche il confronto tra le curve H/V sperimentali registrate a circa 20 m di distanza l'una dall'altra al fine di controllo incrociato della qualità delle misure e di verifica dell'assetto 1D dell'area indagata.

Per ogni sito saranno presentati anche gli spettri di ampiezza (in velocità) delle singole componenti del moto di una delle due prove H/V poiché solo da questi è possibile distinguere la natura (stratigrafica o antropica) dei picchi H/V. Infatti, una risonanza di origine stratigrafica è sempre rappresentata da un minimo locale della componente verticale mentre un picco H/V di origine artefattuale presenterebbe un massimo stretto, anche con ampiezza diversa, su tutte e tre le componenti (Castellaro e Mulargia, 2010).

FO 01: località Bagnolo, via Borgo Sisa
 [Prove 215 e 216 in Appendice B]

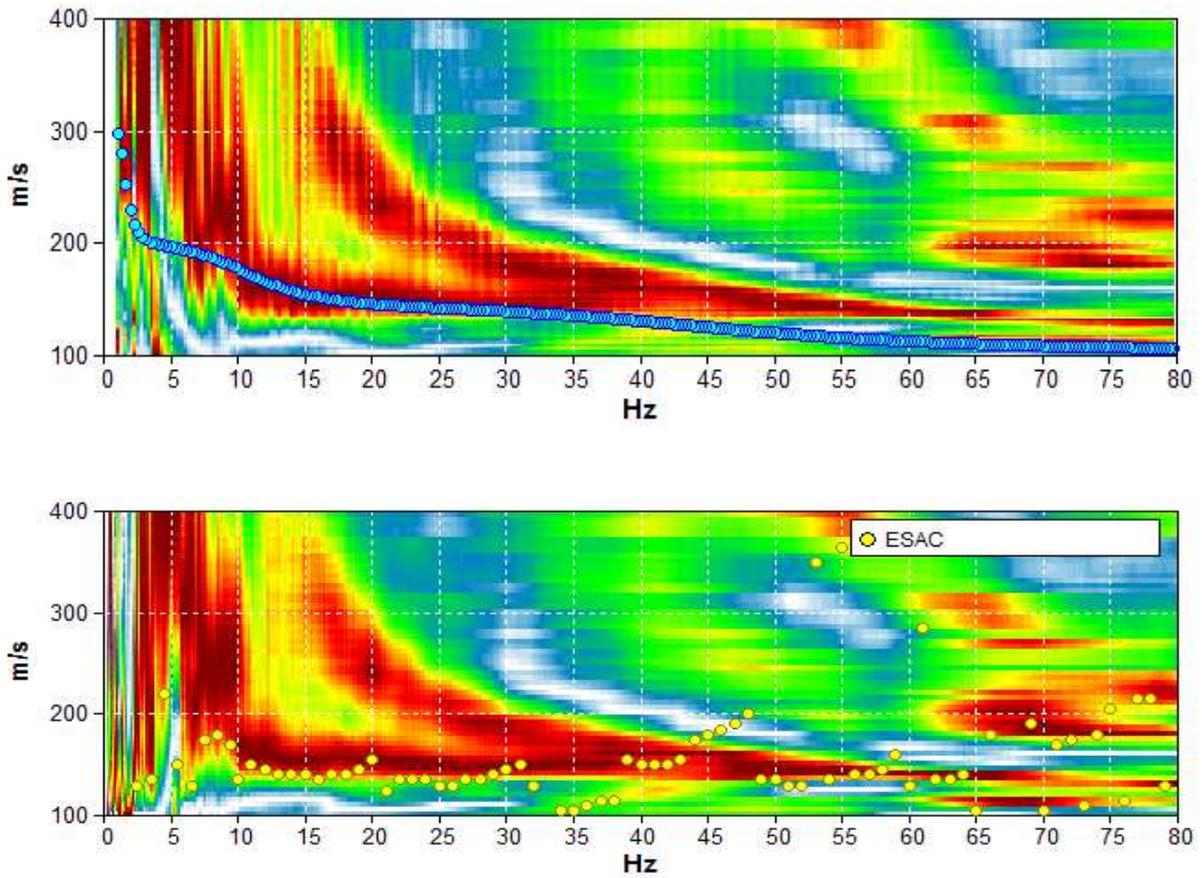


Figura . Grafico a contour: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per lo stendimento MASW (alto) e ReMi (basso). *Cerchi gialli:* curva di dispersione della velocità di fase dell'onda di Rayleigh derivante da indagine ESAC. *Cerchi azzurri:* curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.

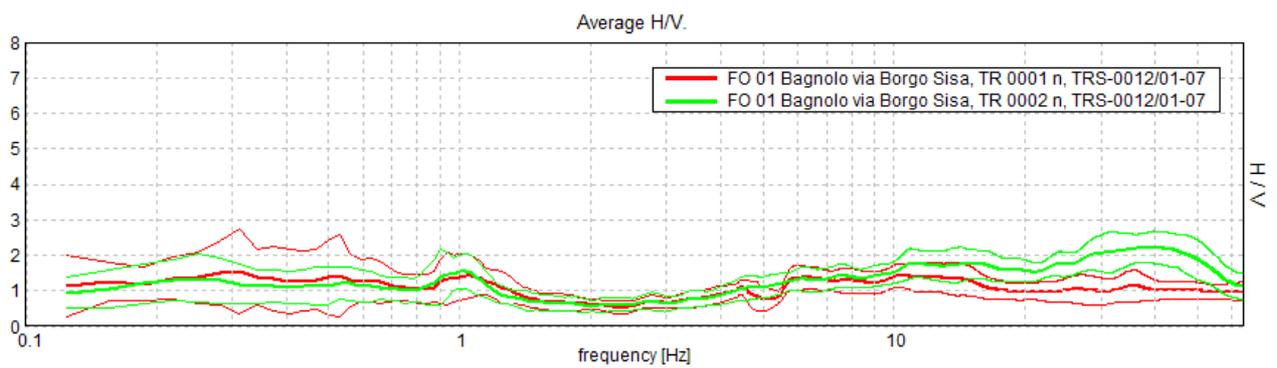


Figura . Confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile).

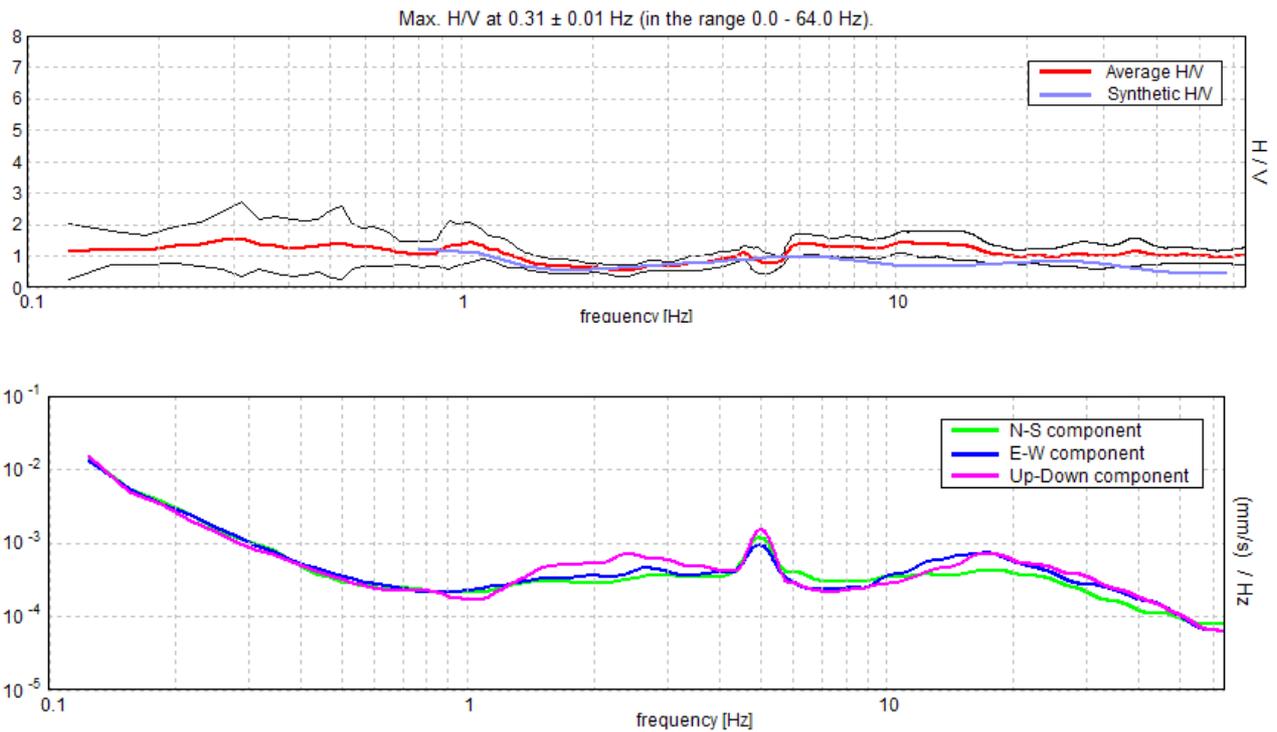


Figura . *Alto*: curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (blu) per il modello di sottosuolo proposto per il sito, *Basso*: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.00	1.00	110	0.40
6.00	5.00	160	0.40
56.00	50.00	220	0.40
inf.	inf.	350	0.40

Tabella . **Modello di sottosuolo medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto delle prove in array e H/V.** Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs. Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure affidabili di questo parametro.

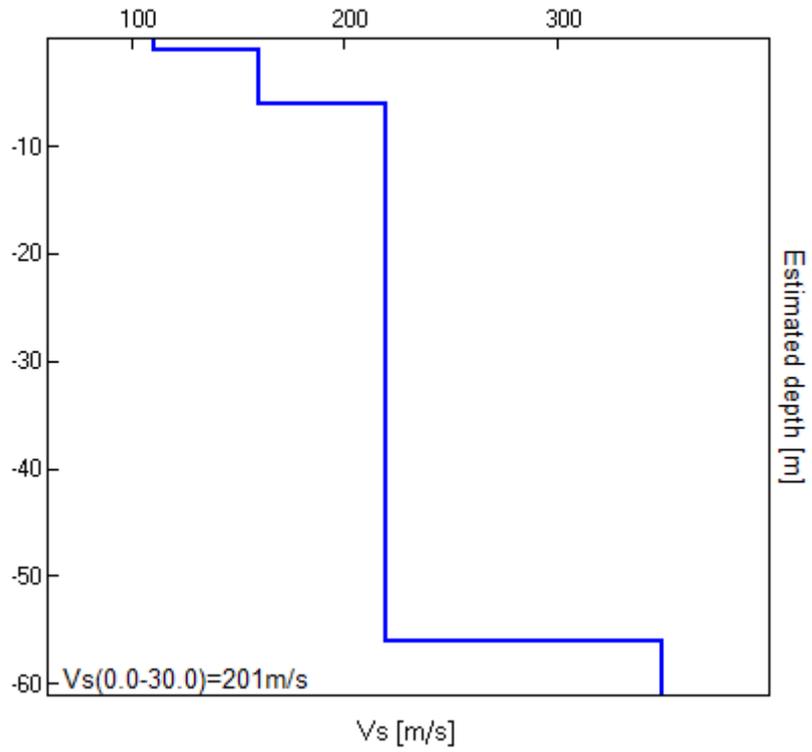


Figura . **Modello di velocità delle onde di taglio (V_s) medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto di prove in array e H/V.**

FO 02: località Bagnolo, incrocio via Borgo Sisa con via Narsete

[Prove 217 in Appendice B]

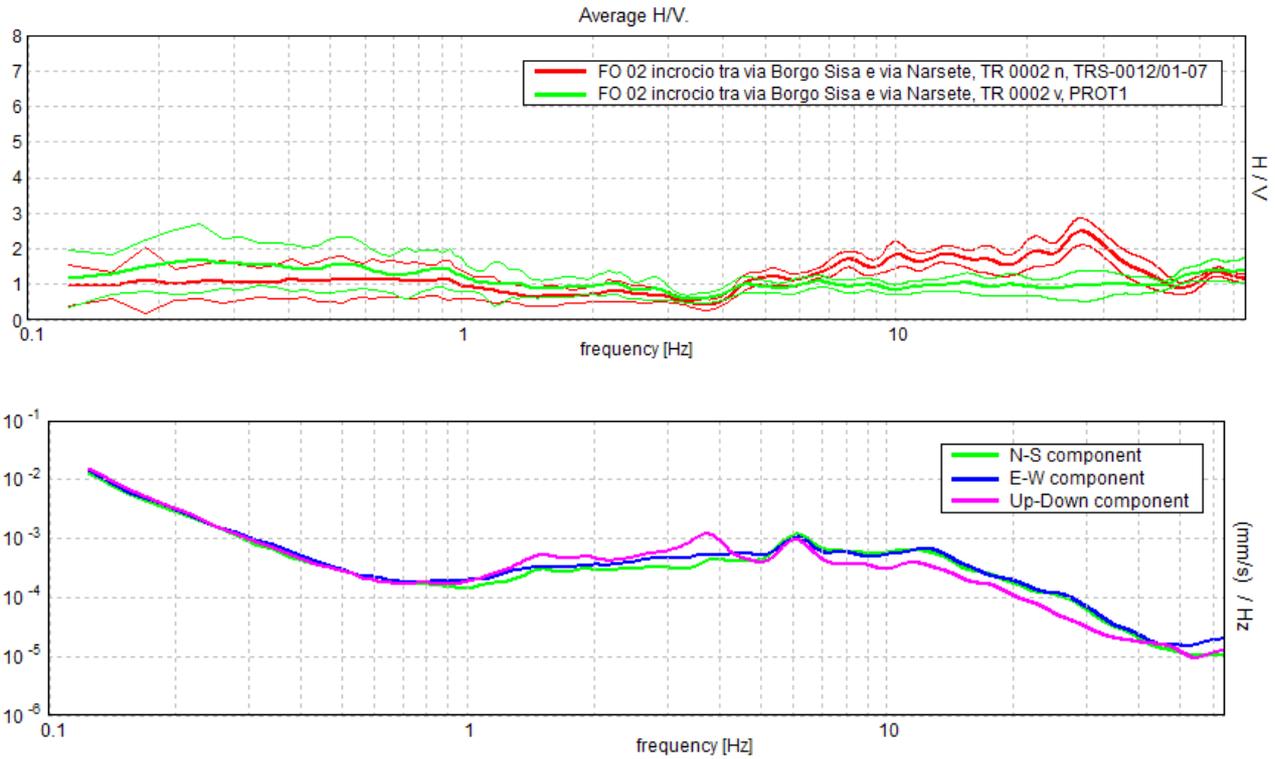


Figura . *Alto*: confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). *Basso*: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 03: via Narsete

[Prove 218 in Appendice B]

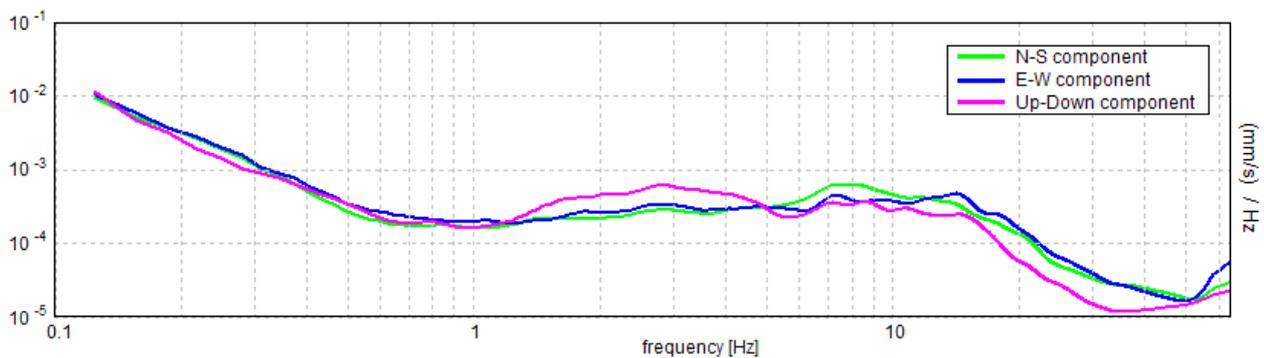
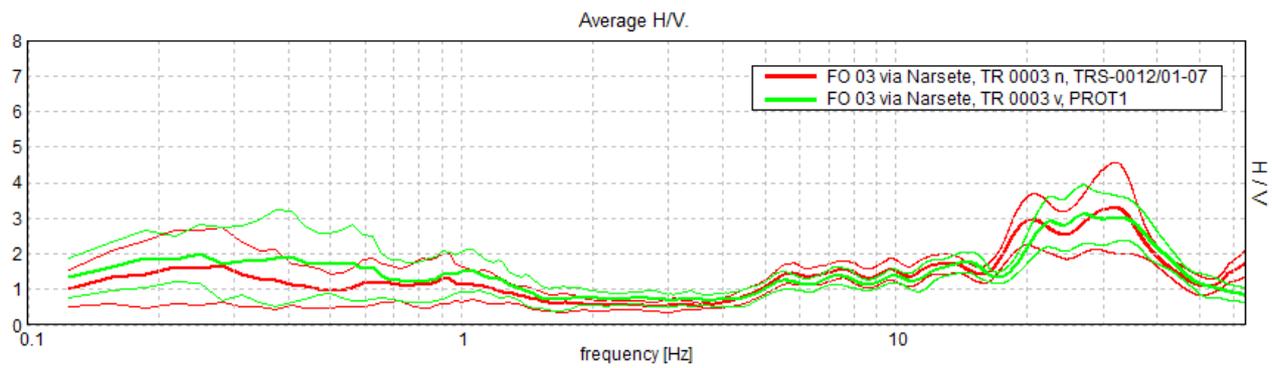


Figura . **Alto**: confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). **Basso**: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 04: via Tassinara 4-6

[Prove 219 in Appendice B]

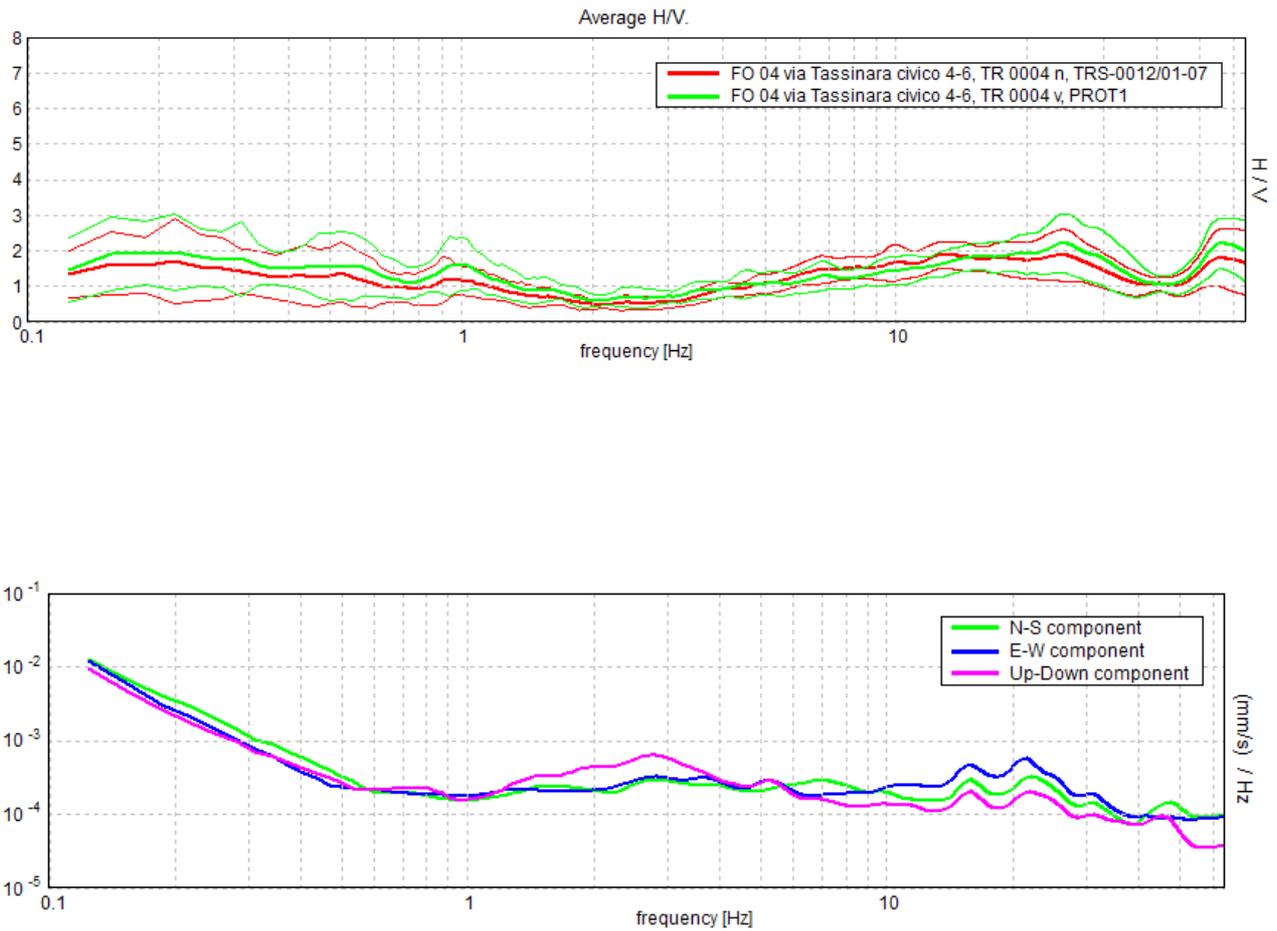


Figura . **Alto:** confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). **Basso:** spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 05: via del Santuario 10
[Prove 2 20 in Appendice B]

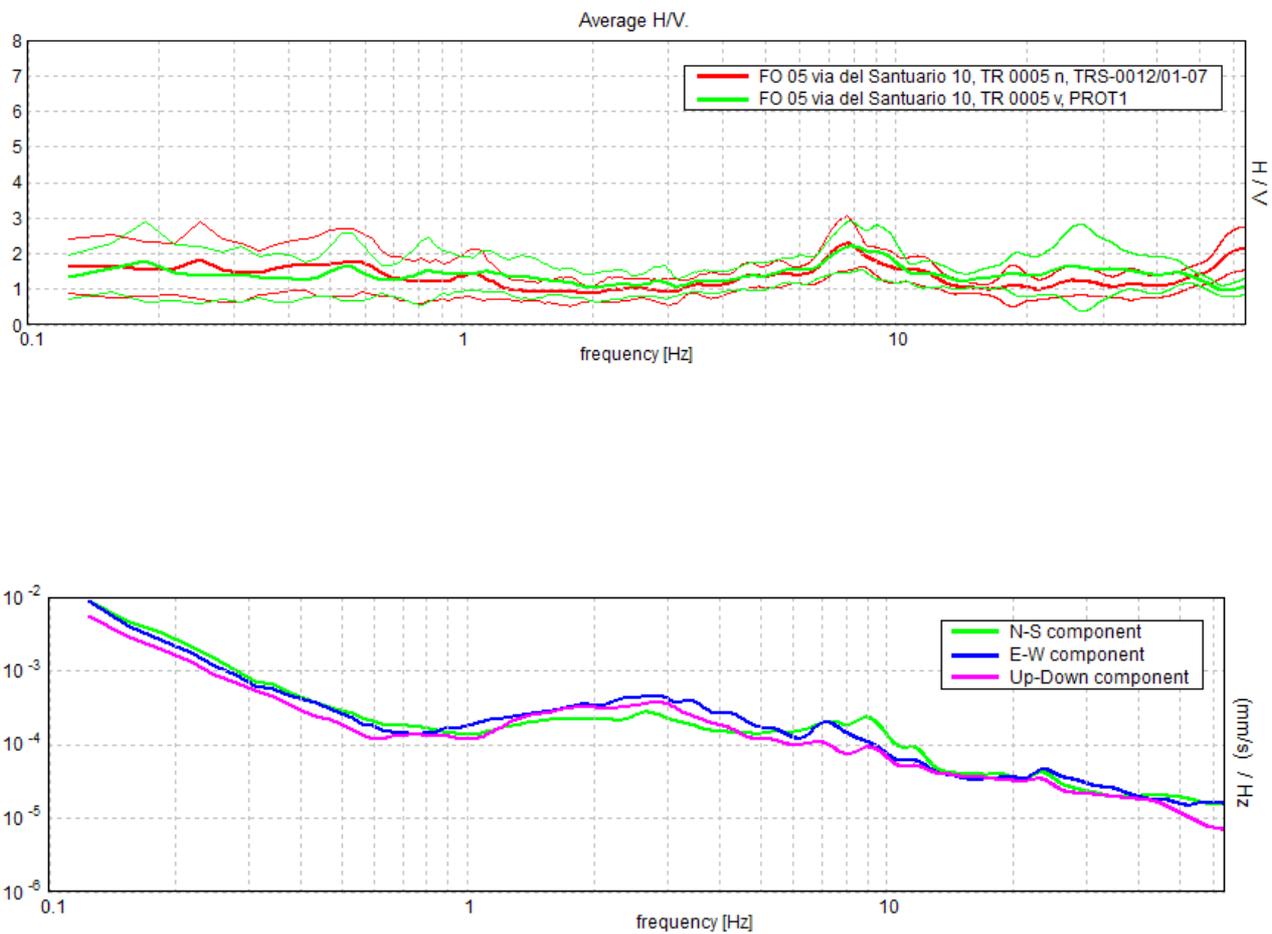


Figura . **Alto**: confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). **Basso**: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 06: via Manumisso 22/a

[Prove 221 e 222 in Appendice B]

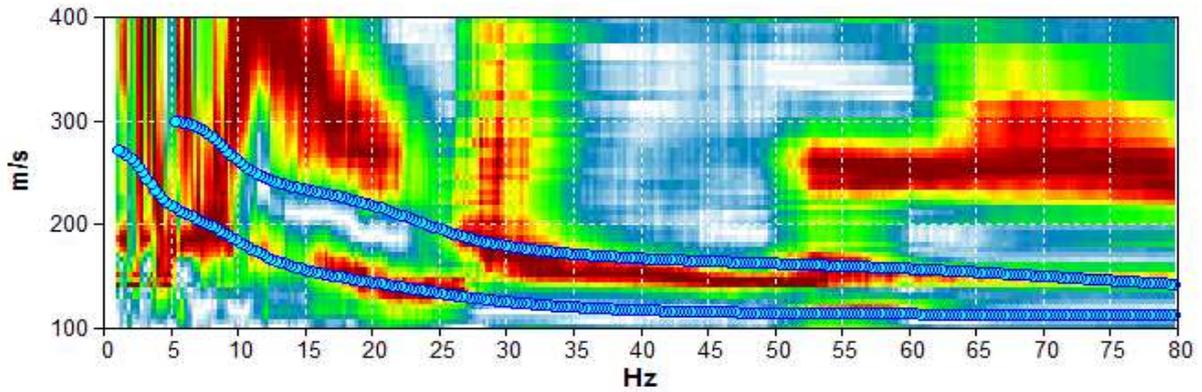


Figura . Grafico a contour: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per lo stendimento MASW. *Cerchi azzurri:* curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.

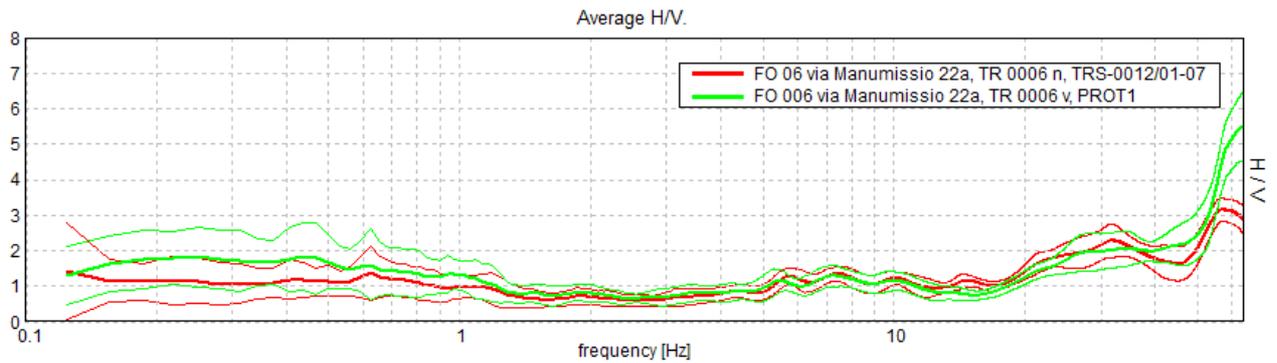


Figura . Confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile).

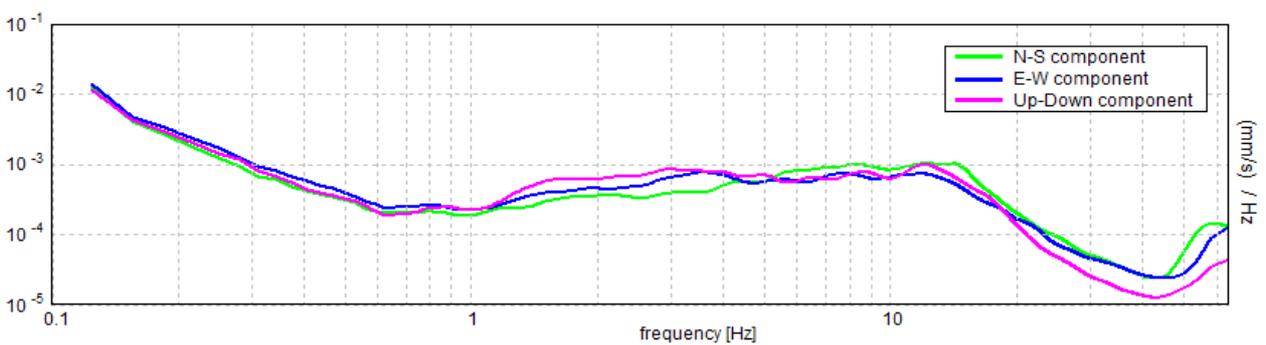
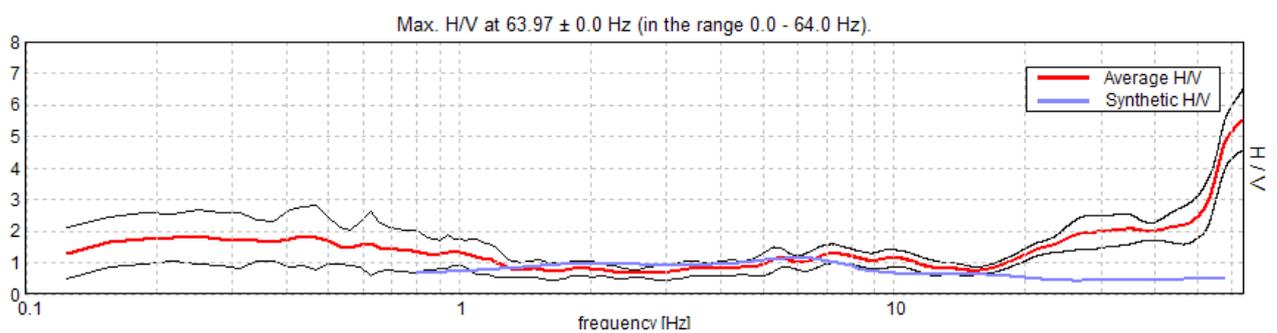


Figura . **Alto:** curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (blu) per il modello di sottosuolo proposto per il sito, **Basso:** spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
2.00	2.00	120	0.40
7.00	5.00	170	0.40
29.00	22.00	240	0.40
inf.	inf.	300	0.40

Tabella . **Modello di sottosuolo medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto delle prove in array e H/V.** Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs. Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure affidabili di questo parametro.

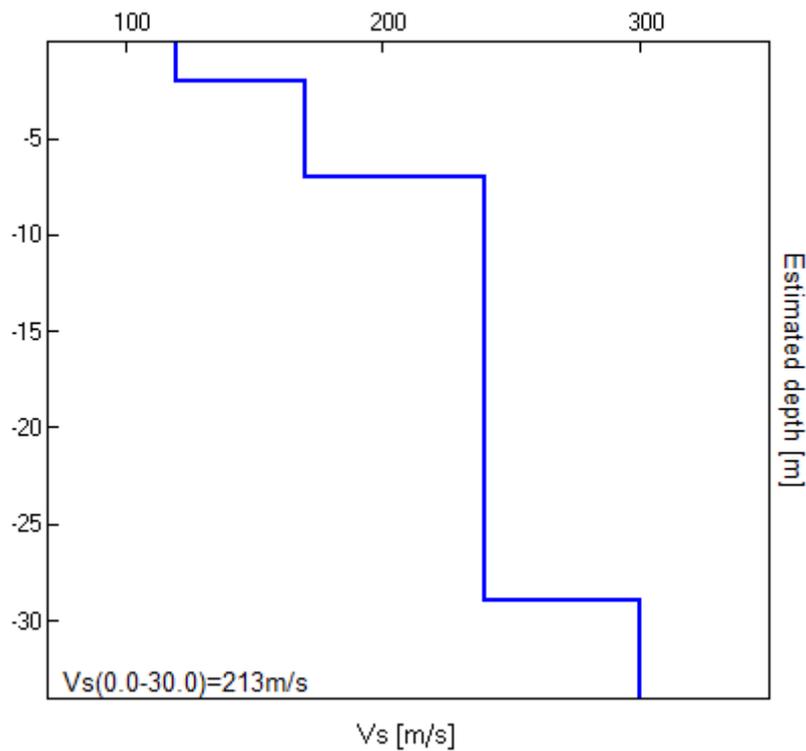


Figura . **Modello di velocità delle onde di taglio (Vs) medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto di prove in array e H/V.**

FO 07: via Ridotta 2

[Prove 2 2 3 in Appendice B]

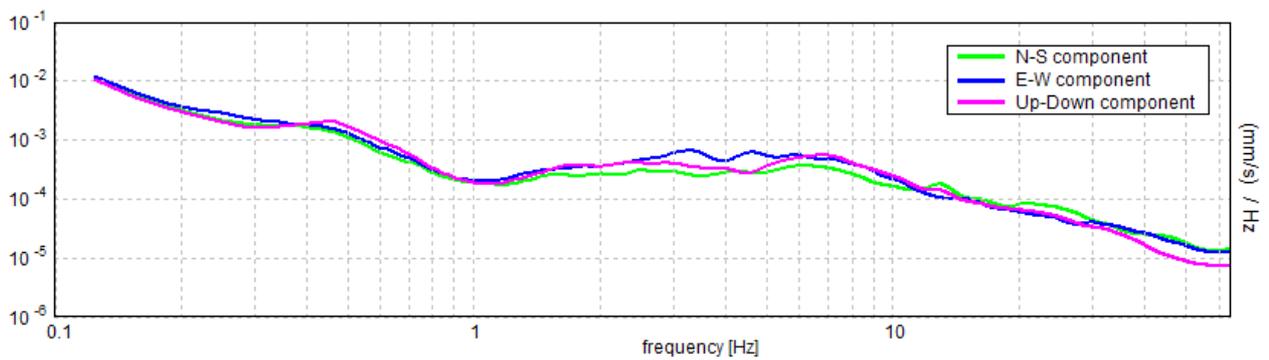
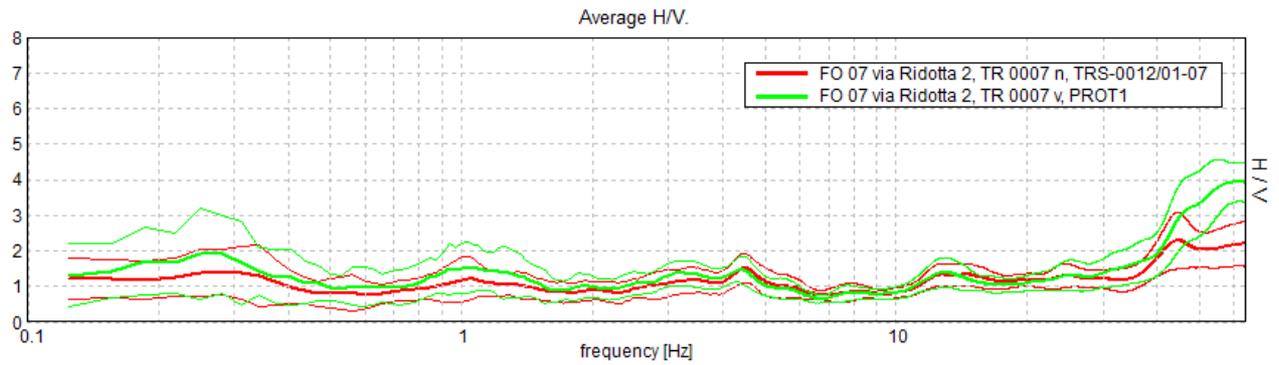


Figura . **Alto**: confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). **Basso**: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 08: via Ca' Bertini 5

[Prove 224 in Appendice B]

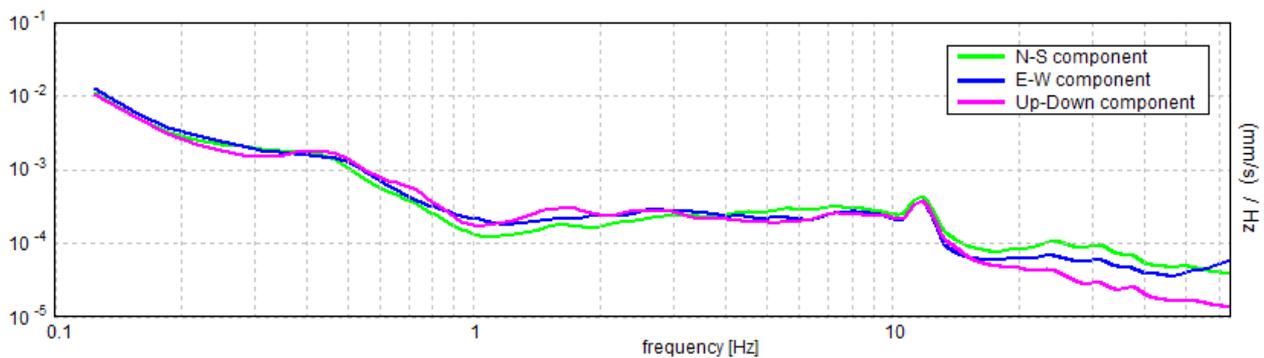
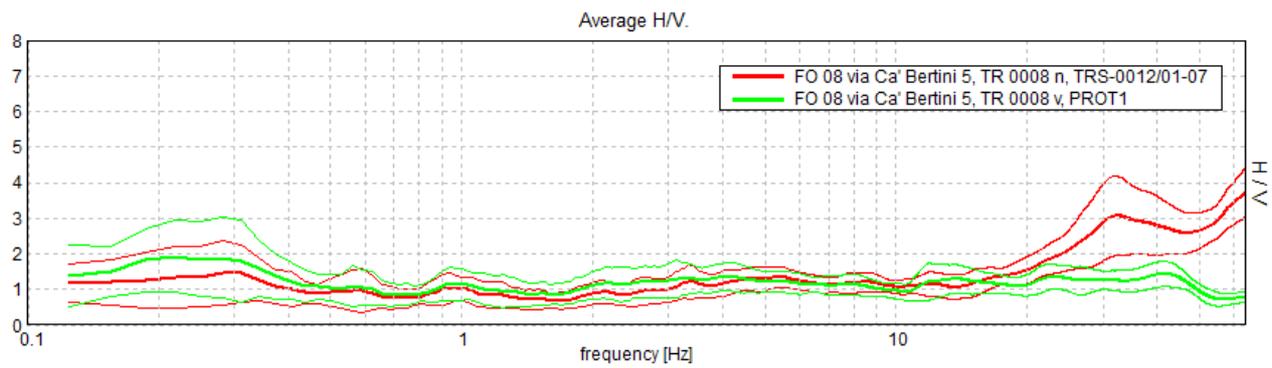


Figura . **Alto**: confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). **Basso**: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 09: via dei Benedettini 6

[Prove 225 in Appendice B]

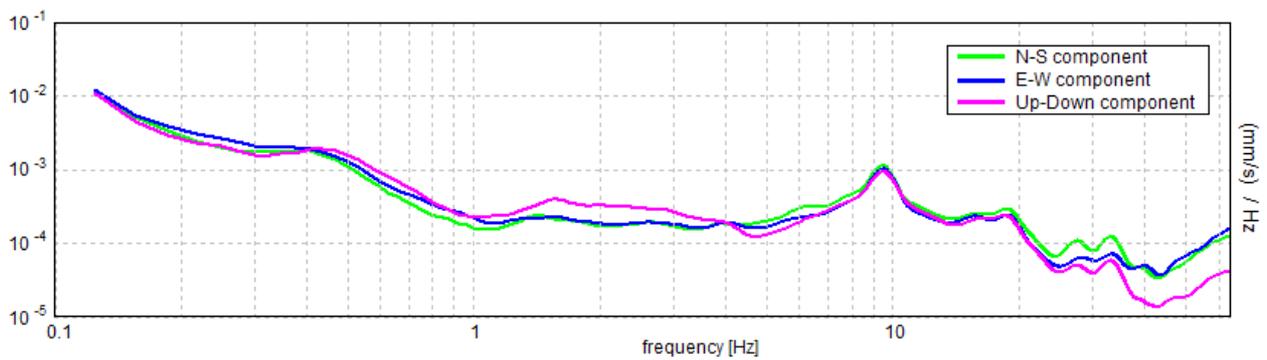
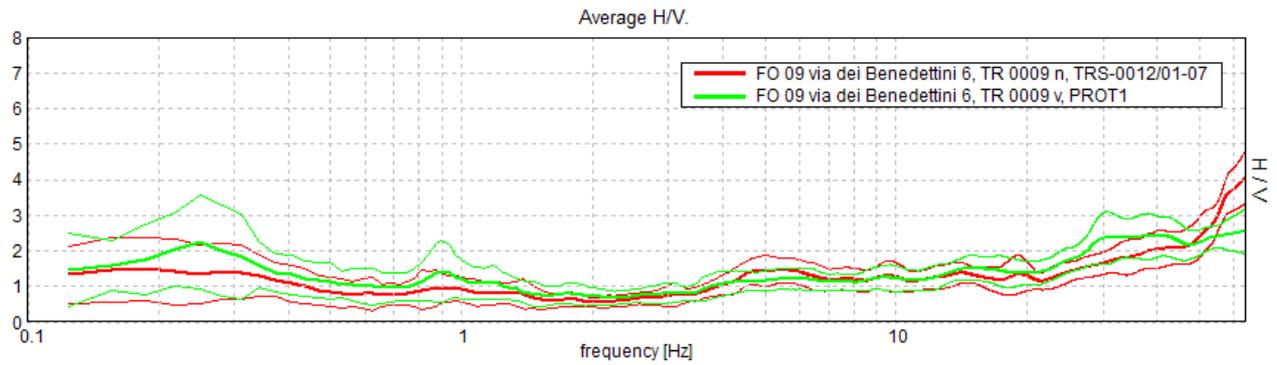


Figura . **Alto**: confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). **Basso**: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 10: via Mezzadrini

[Prove 226 e 227 in Appendice B]

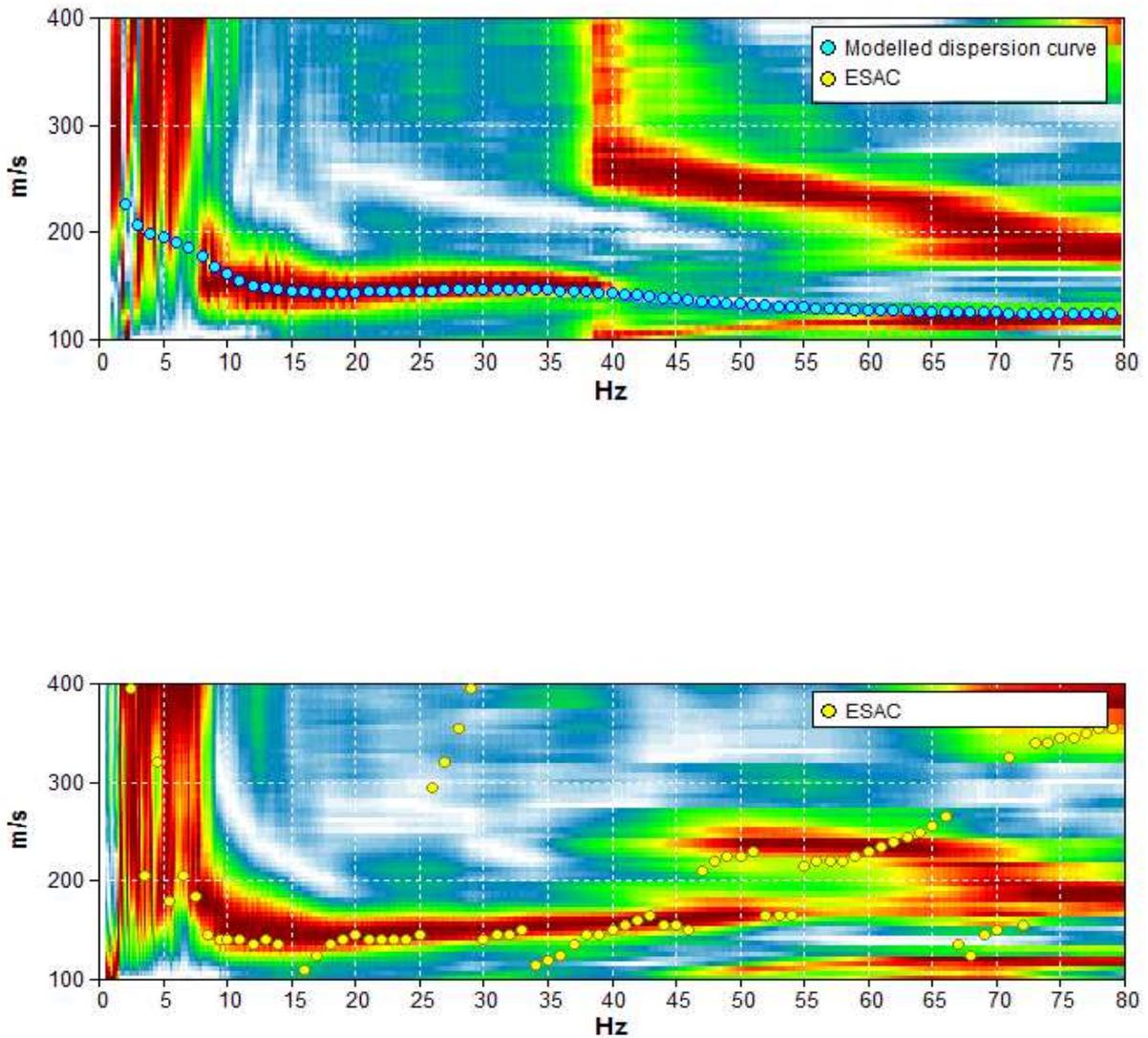


Figura . Grafico a contour: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per lo stendimento MASW (alto) e ReMi (basso). **Cerchi gialli:** curva di dispersione della velocità di fase dell'onda di Rayleigh derivante da indagine ESAC. **Cerchi azzurri:** curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.

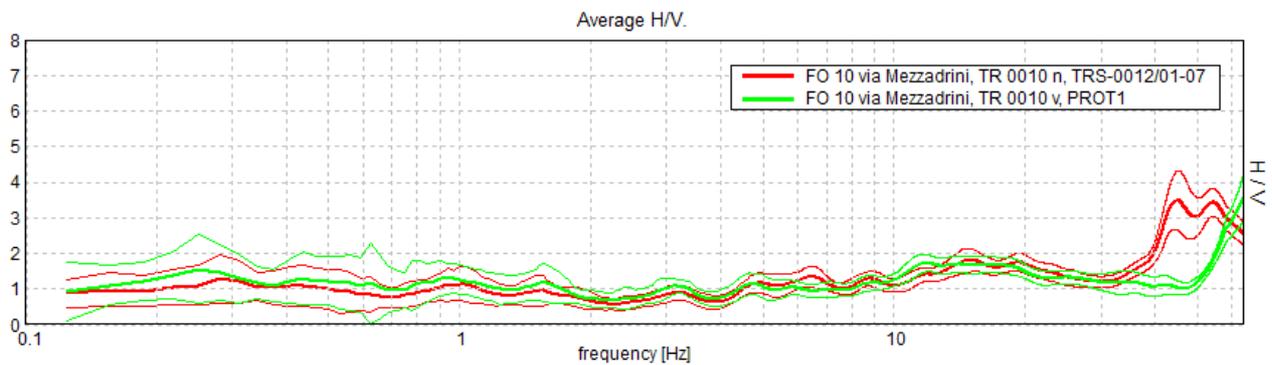


Figura . Confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile).

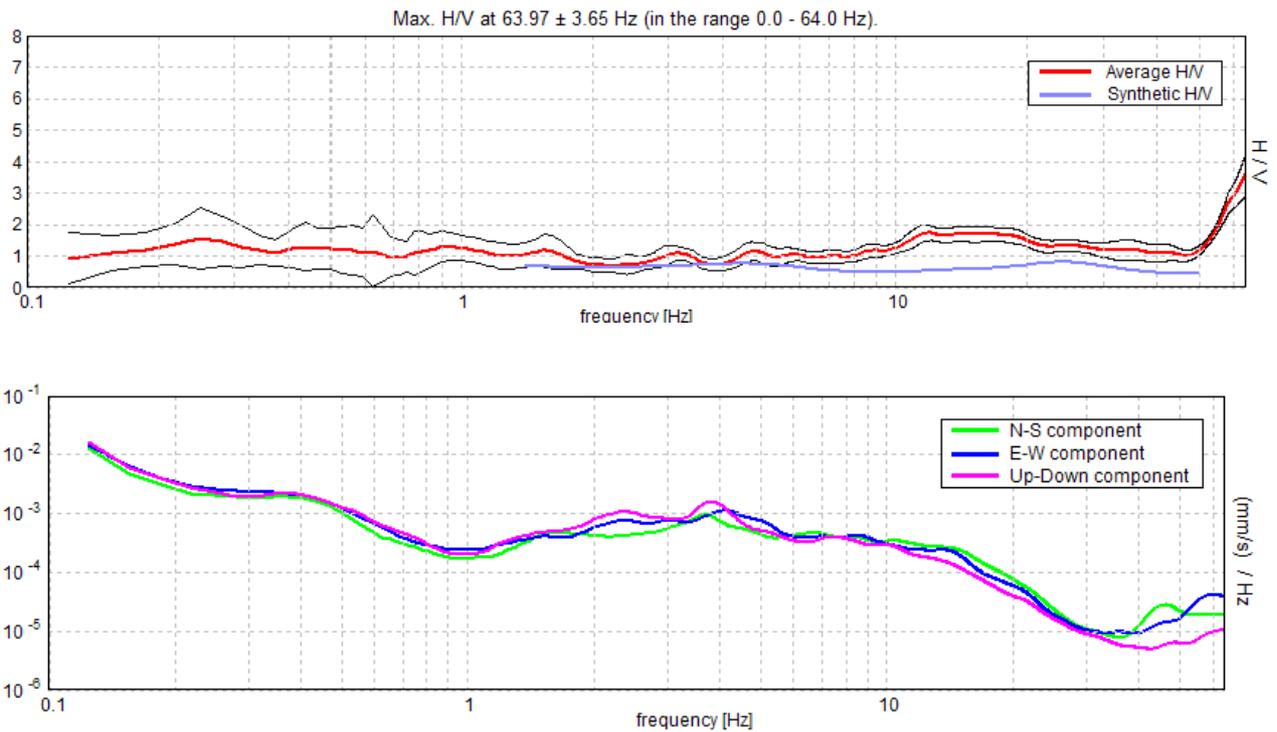


Figura . **Alto:** curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (blu) per il modello di sottosuolo proposto per il sito, **Basso:** spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.50	1.50	130	0.40
2.50	1.00	220	0.40
6.50	4.00	140	0.40
46.50	40.00	220	0.40
inf.	inf.	280	0.40

Tabella . **Modello di sottosuolo medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto delle prove in array e H/V.** Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs. Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure affidabili di questo parametro.

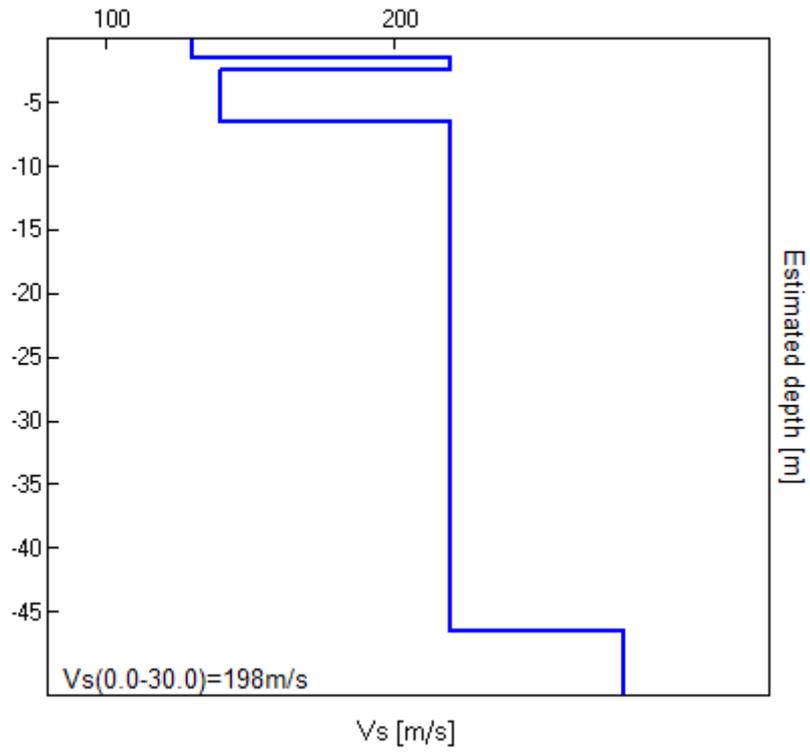


Figura . **Modello di velocità delle onde di taglio (V_s) medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto di prove in array e H/V.**

FO 11: via 13 Novembre 1944

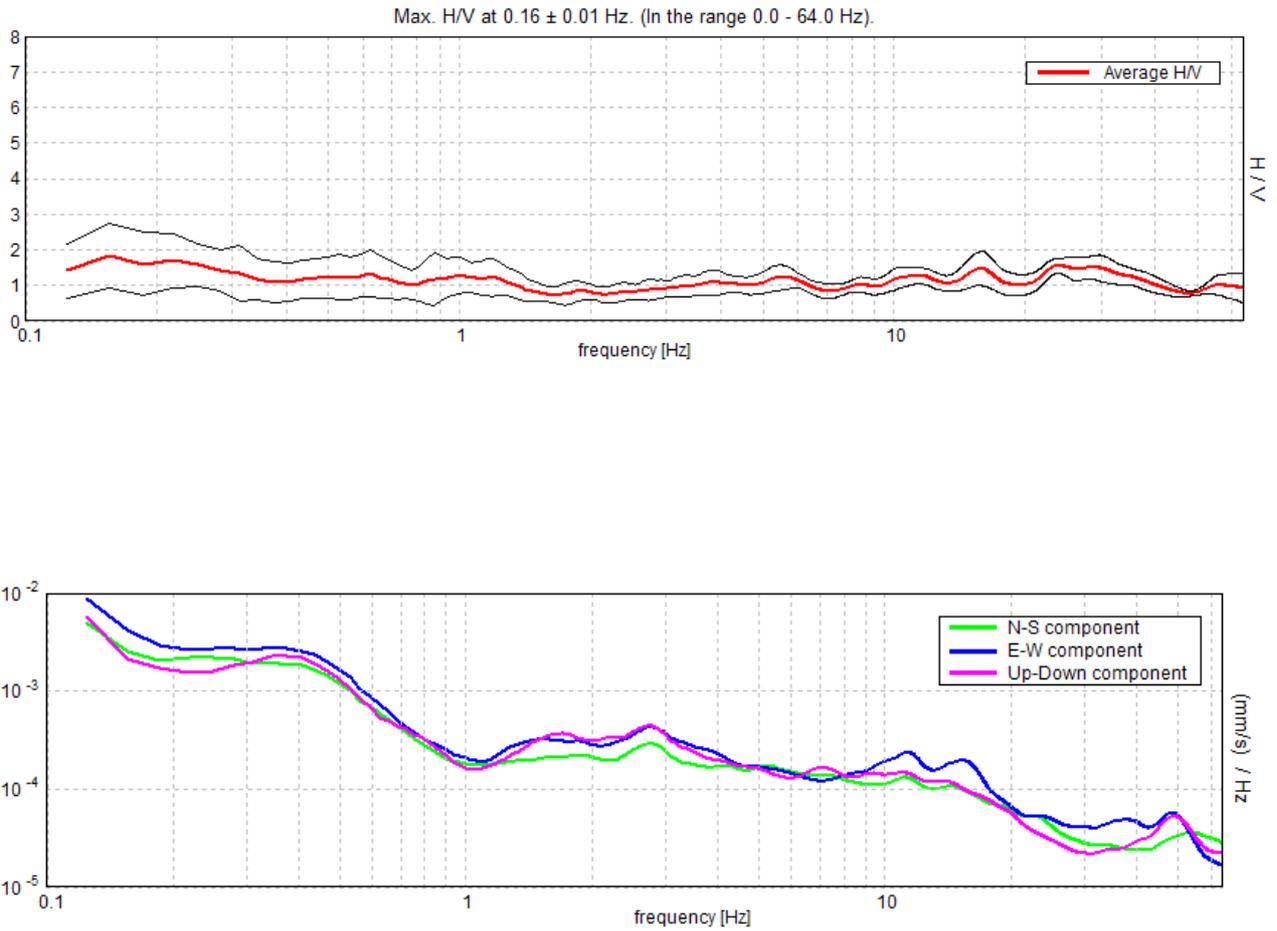


Figura . **Alto**: curva H/V registrata nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). **Basso**: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

FO 12: via dei Portolani

[Prove 228 in Appendice B]

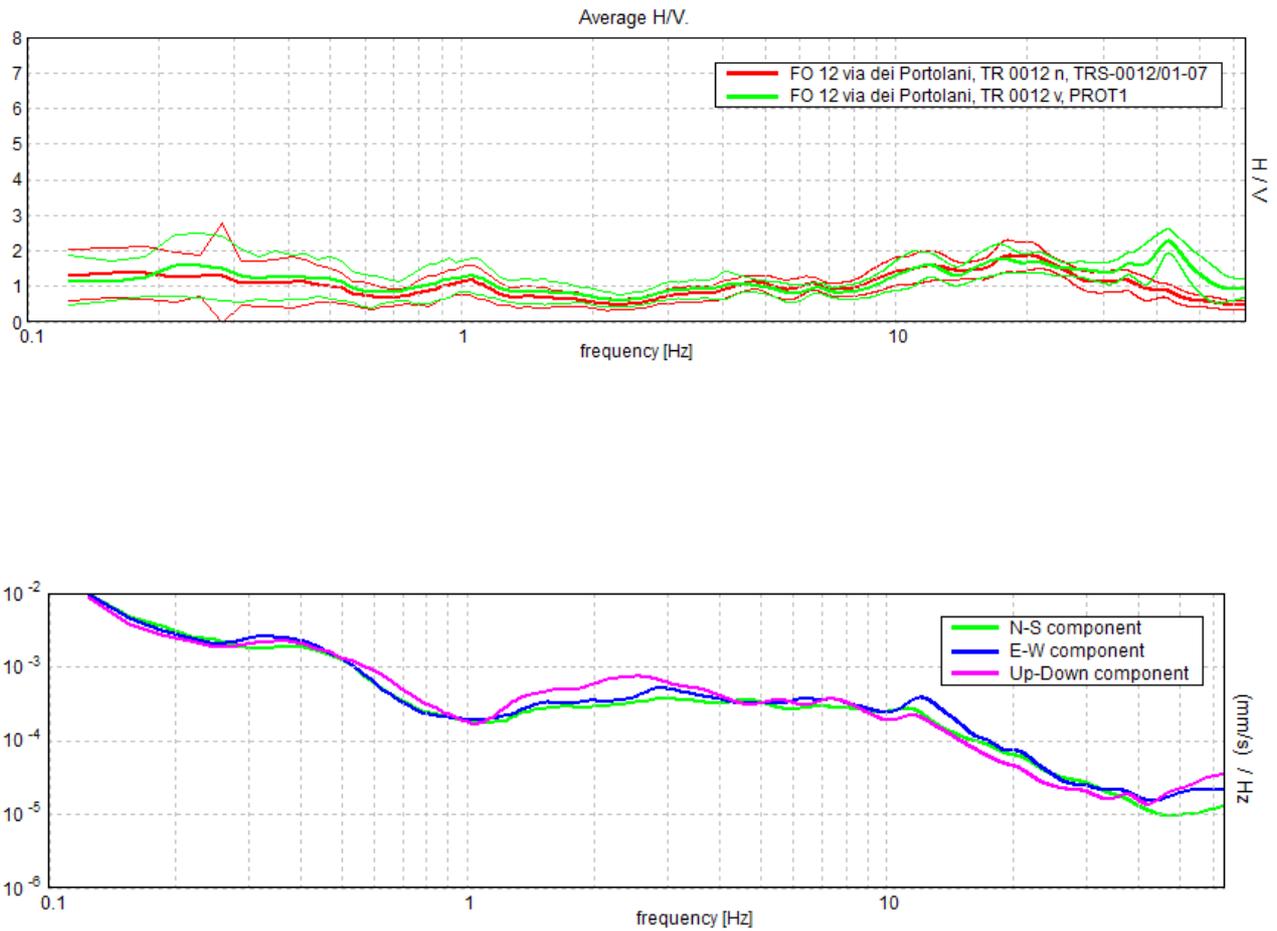


Figura . *Alto*: confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). *Basso*: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 13: via Palustro 3

[Prove 229 in Appendice B]

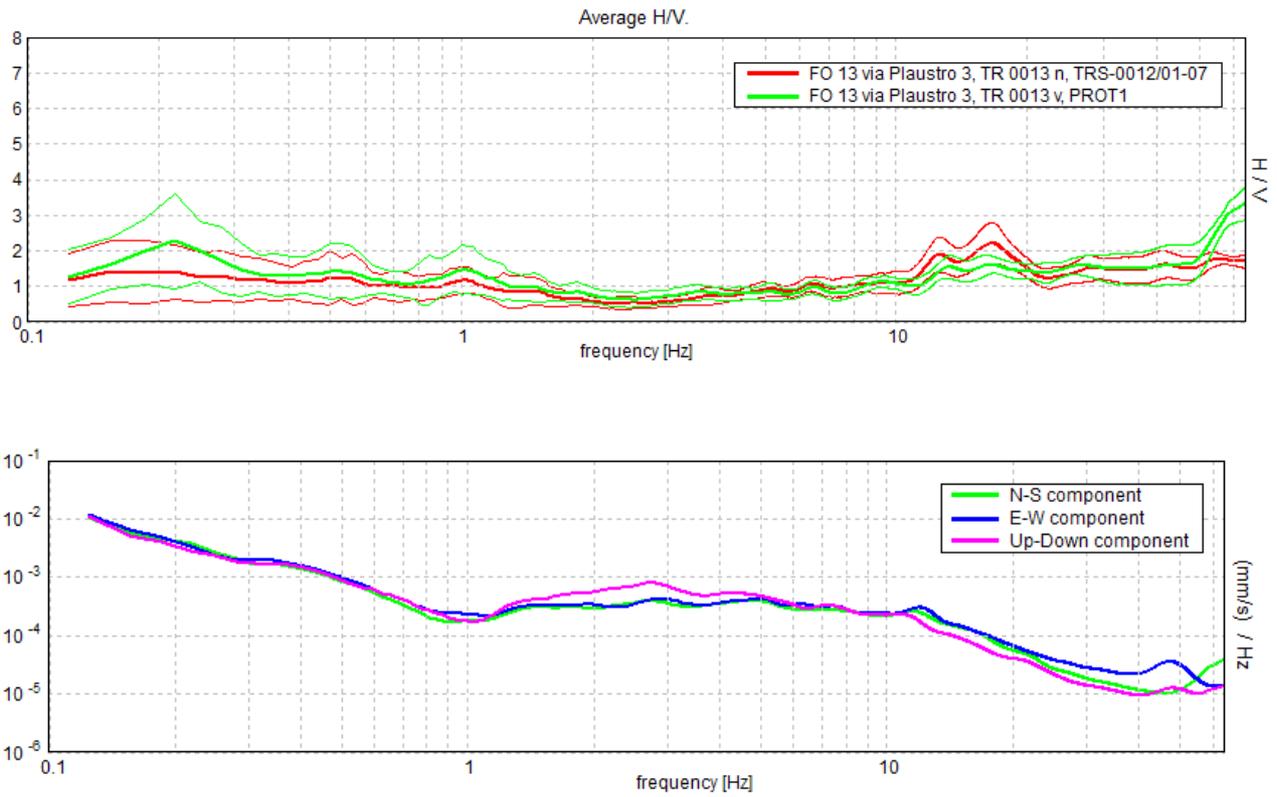


Figura . *Alto*: confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). *Basso*: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 14: via Rio Becca 8

[Prove 230 in Appendice B]

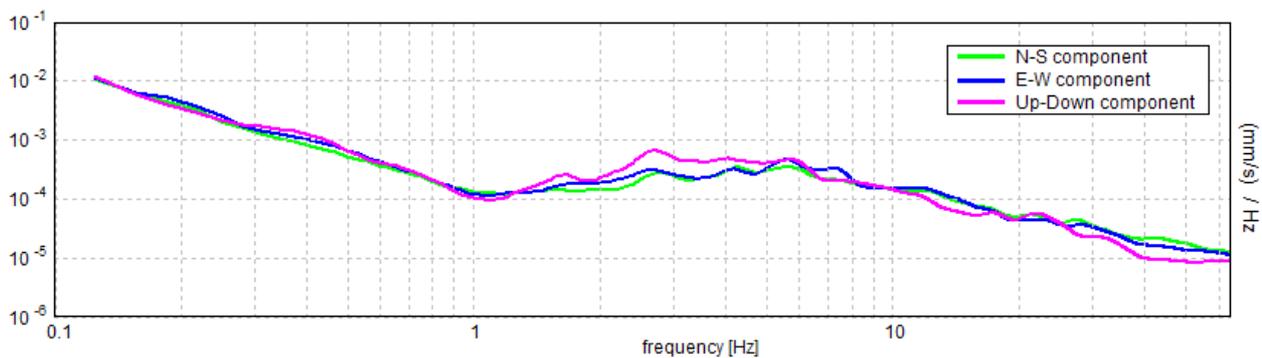
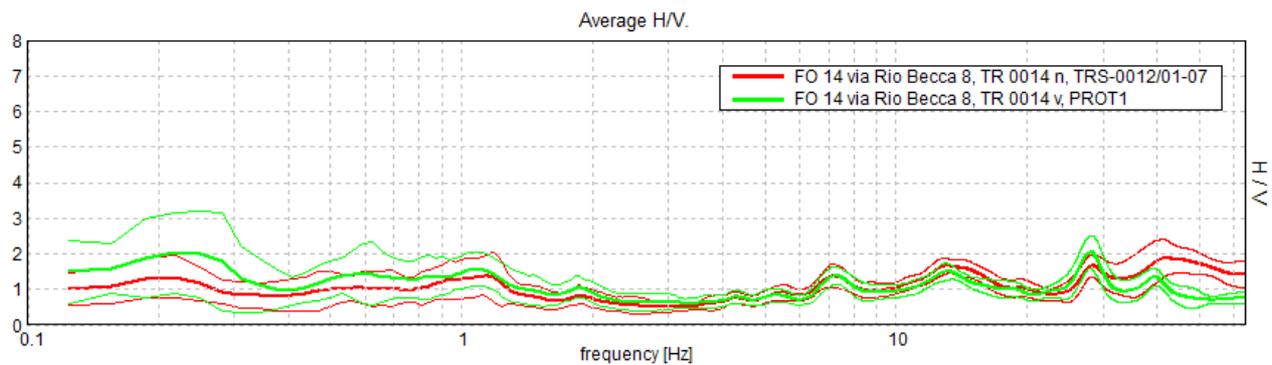


Figura . **Alto**: confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). **Basso**: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 15: via Pitagora 17

[Prove 231 e 232 in Appendice B]

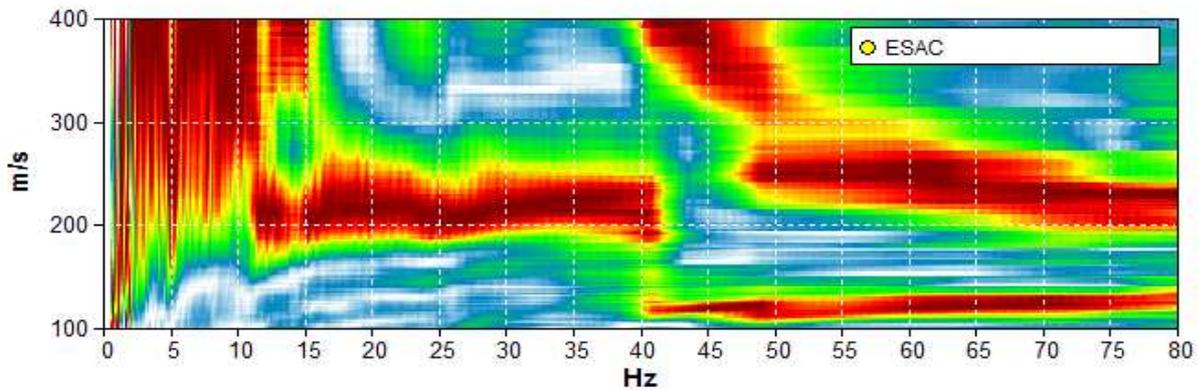
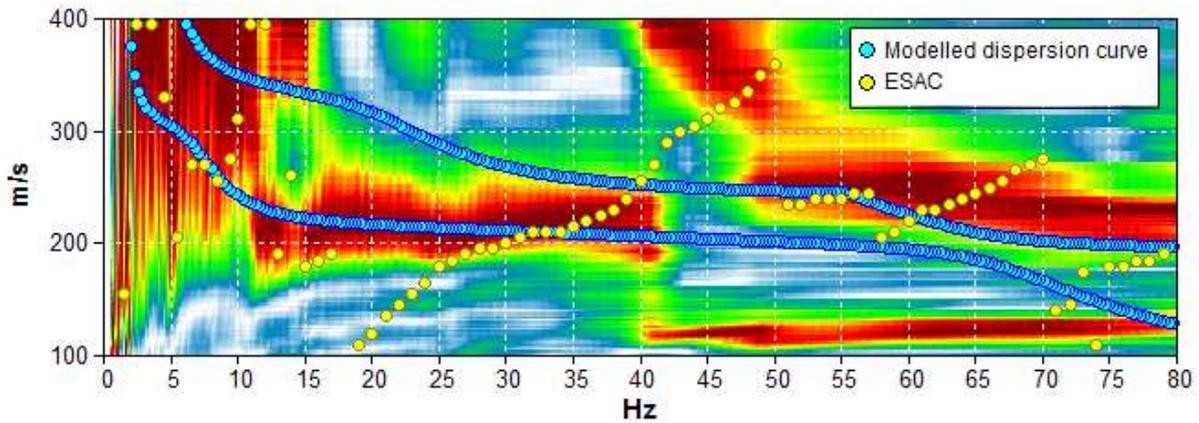


Figura . Grafico a contour: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per lo stendimento MASW (alto) e ReMi (basso). Cerchi gialli: curva di dispersione della velocità di fase dell'onda di Rayleigh derivante da indagine ESAC. Cerchi azzurri: curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.

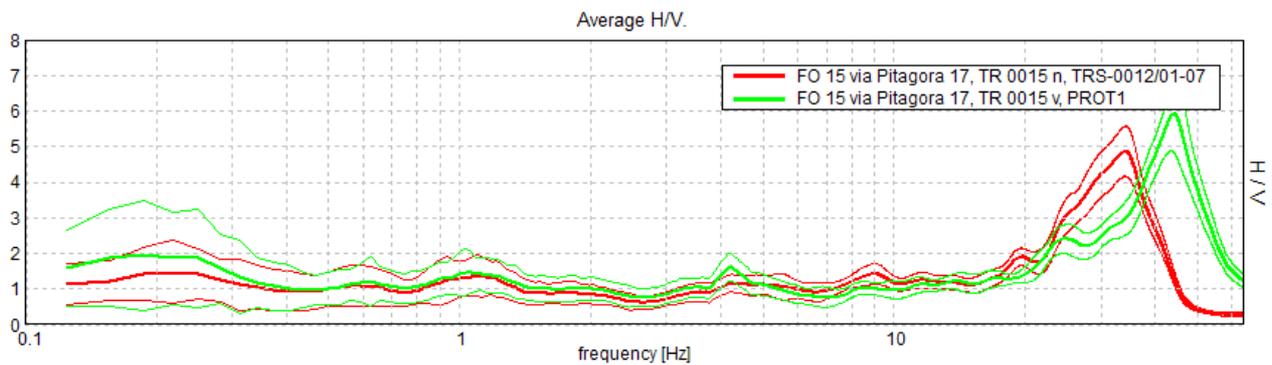


Figura . Confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile).

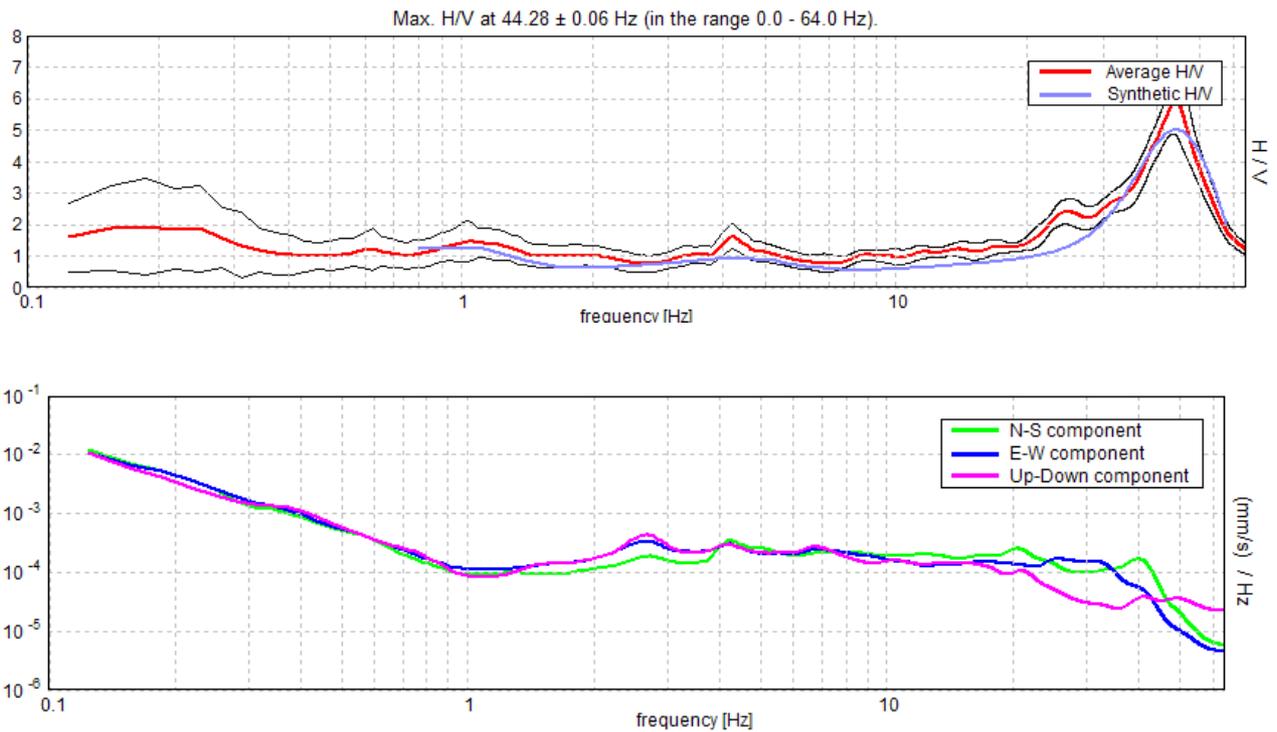


Figura . *Alto*: curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (blu) per il modello di sottosuolo proposto per il sito, *Basso*: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.60	0.60	100	0.40
12.60	12.00	240	0.40
82.60	70.00	350	0.40
inf.	inf.	550	0.40

Tabella . **Modello di sottosuolo medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto delle prove in array e H/V.** Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs. Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure affidabili di questo parametro.

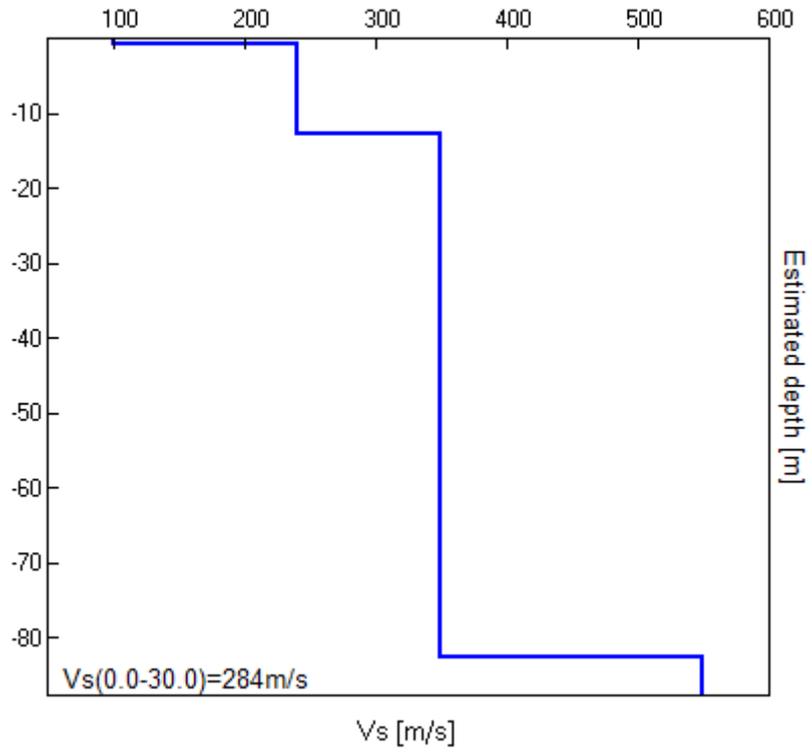


Figura . **Modello di velocità delle onde di taglio (V_s) medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto di prove in array e H/V.**

FO 16: incrocio via Ossi con via Mazzacavallo

[Prove 233 in Appendice B]

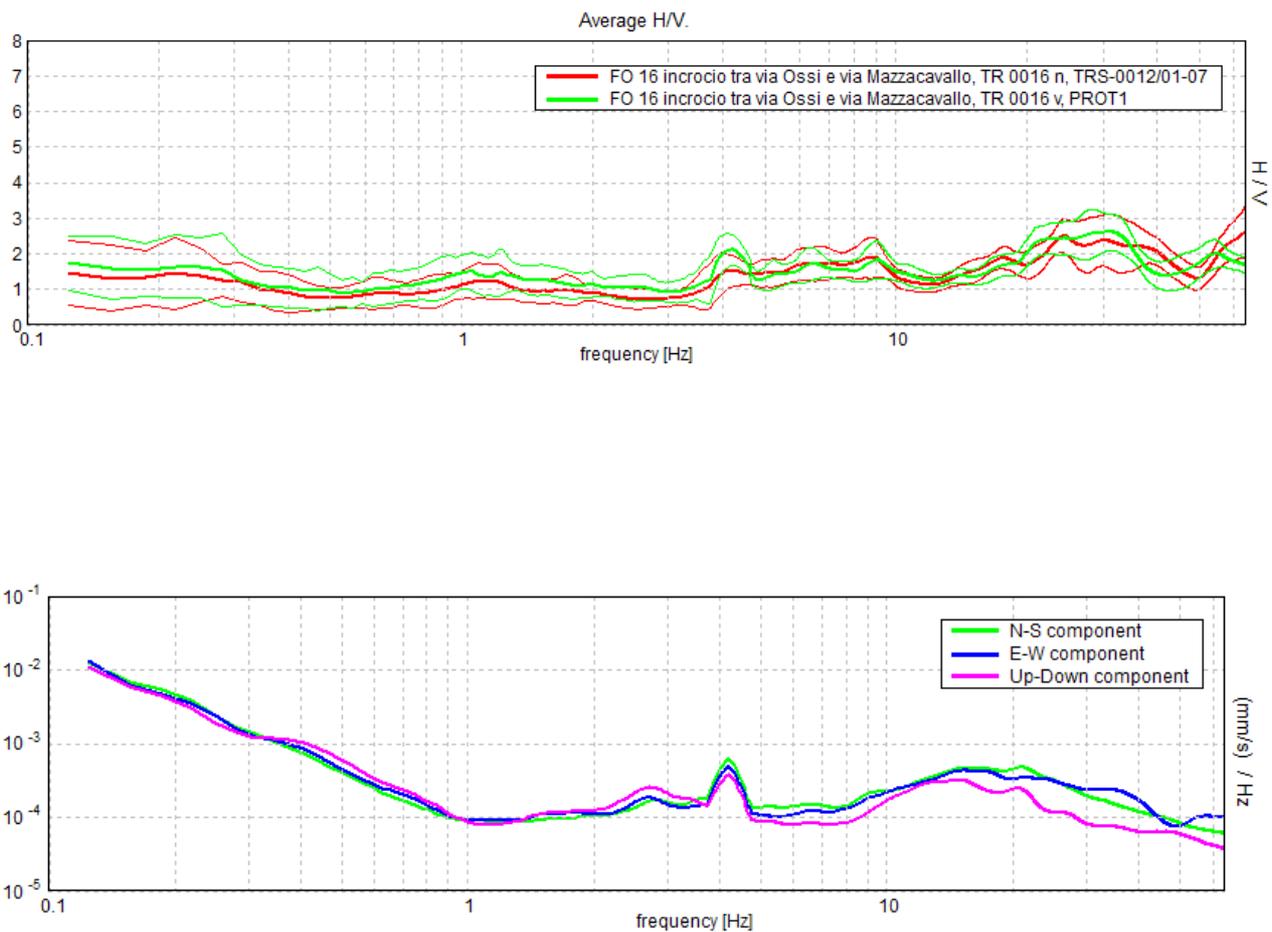


Figura . *Alto*: confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). *Basso*: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 17: via Castel Leone 1

[Prove 234 in Appendice B]

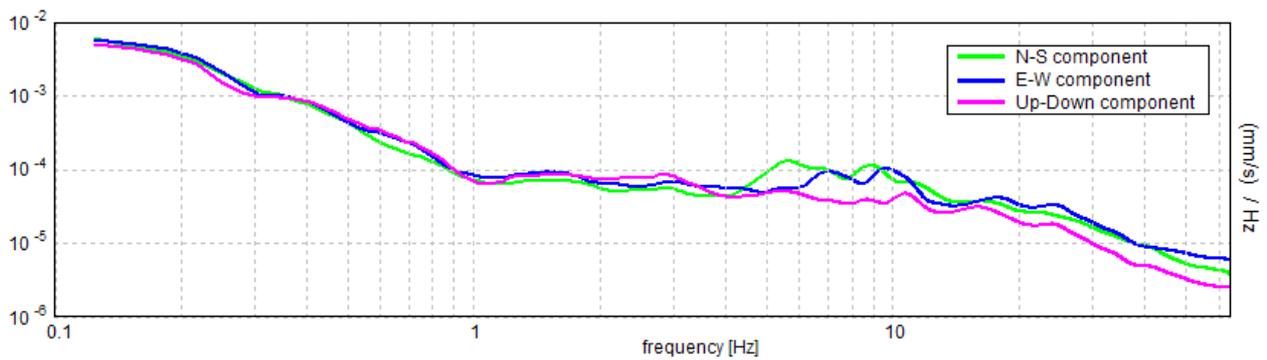
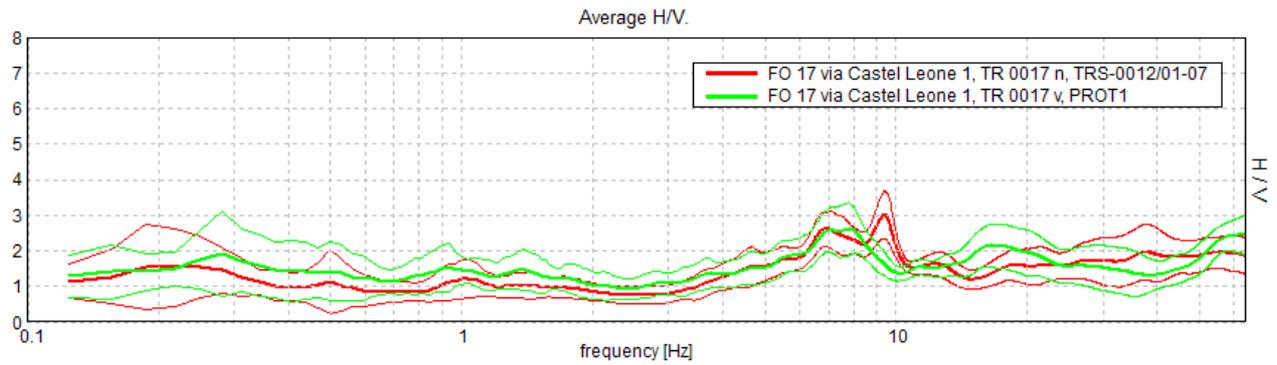


Figura . **Alto**: confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). **Basso**: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 18: via Castel Leone 15
[Prove 235 in Appendice B]

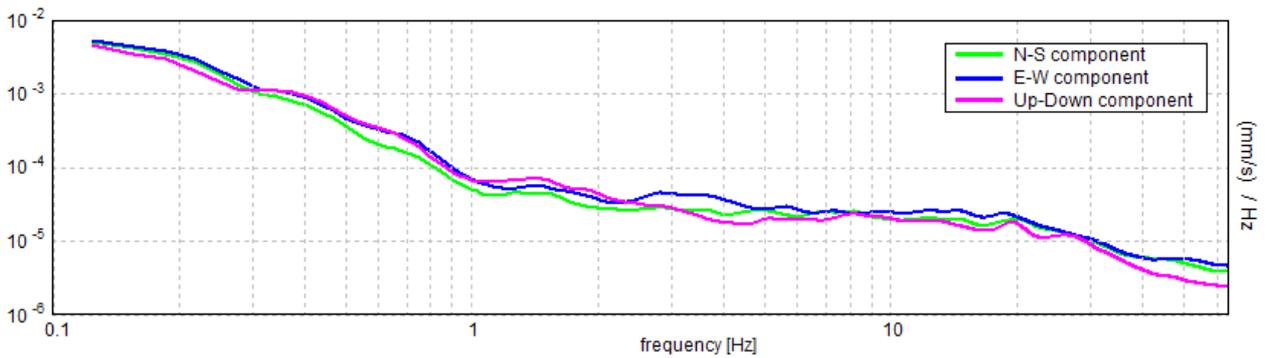
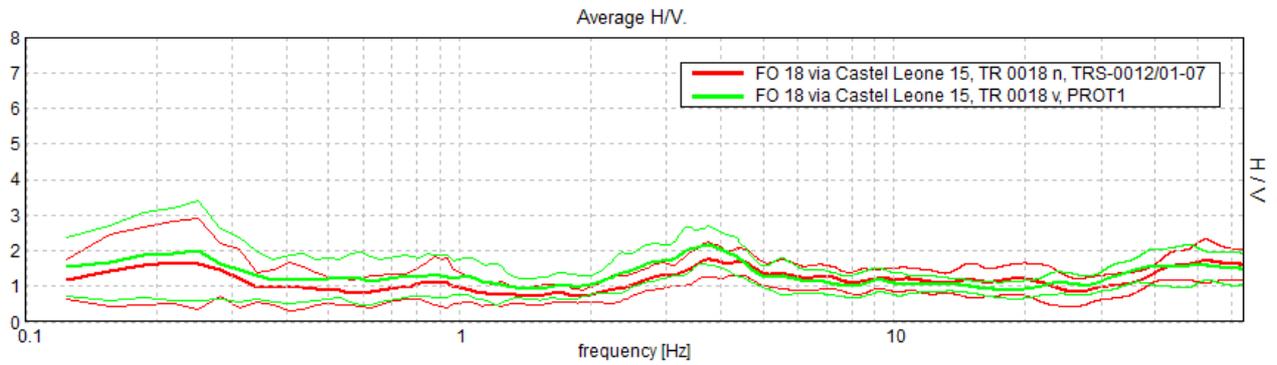


Figura . **Alto**: confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). **Basso**: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 19: via del Partigiano

[Prove 236 in Appendice B]

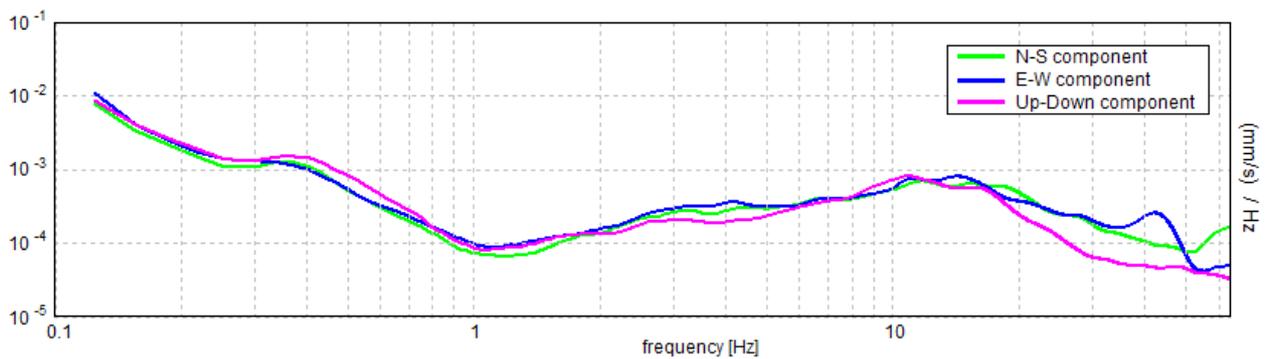
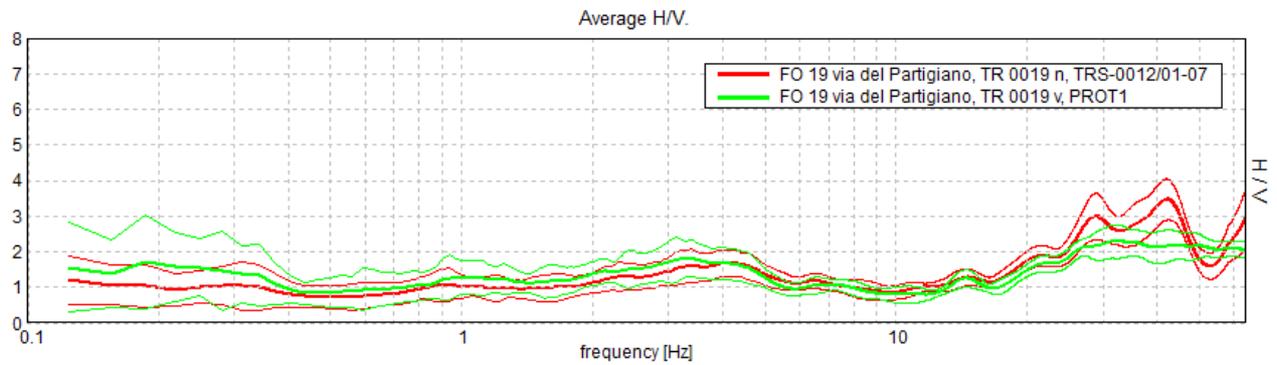


Figura . *Alto*: confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). *Basso*: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 20: via Crocetta

[Prove 237 in Appendice B]

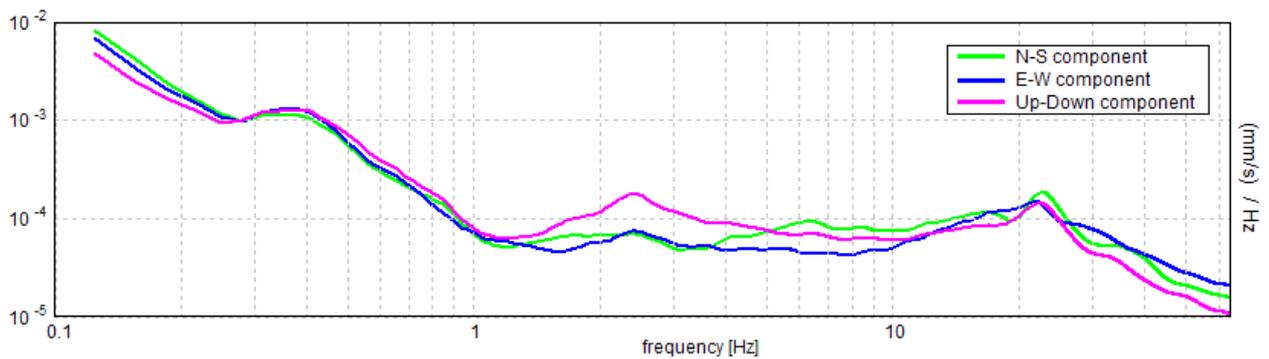
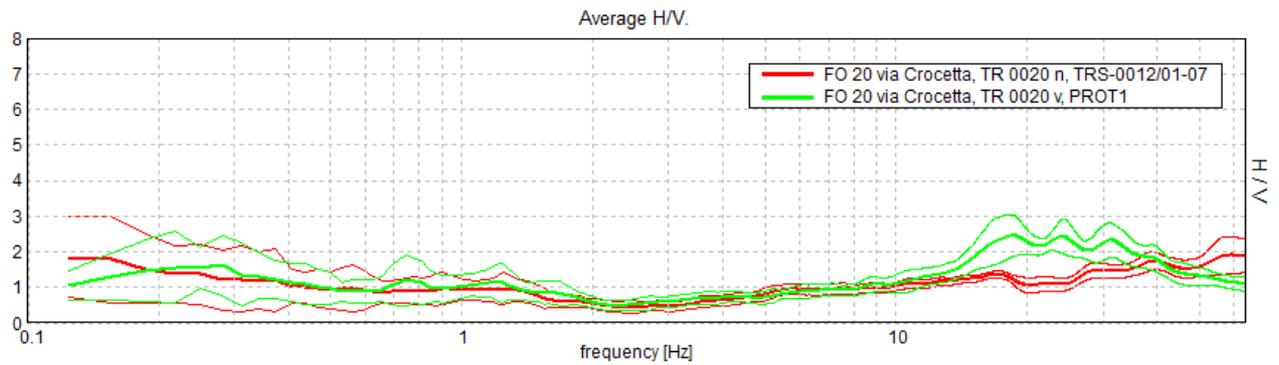


Figura . *Alto*: confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). *Basso*: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 21: via Malguaia

[Prove 238 e 239 in Appendice B]

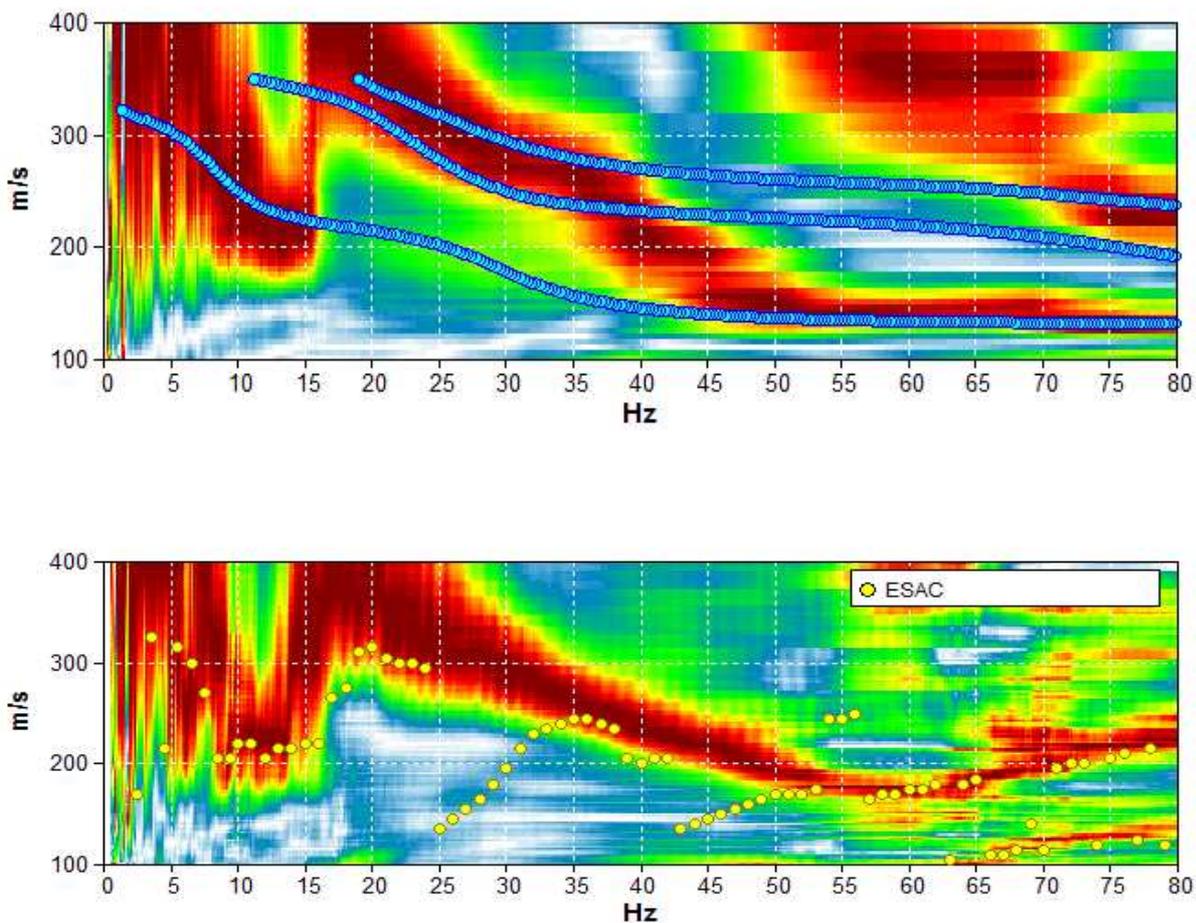


Figura . Grafico a contour: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per lo stendimento MASW (alto) e ReMi (basso). Cerchi gialli: curva di dispersione della velocità di fase dell'onda di Rayleigh derivante da indagine ESAC. Cerchi azzurri: curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.

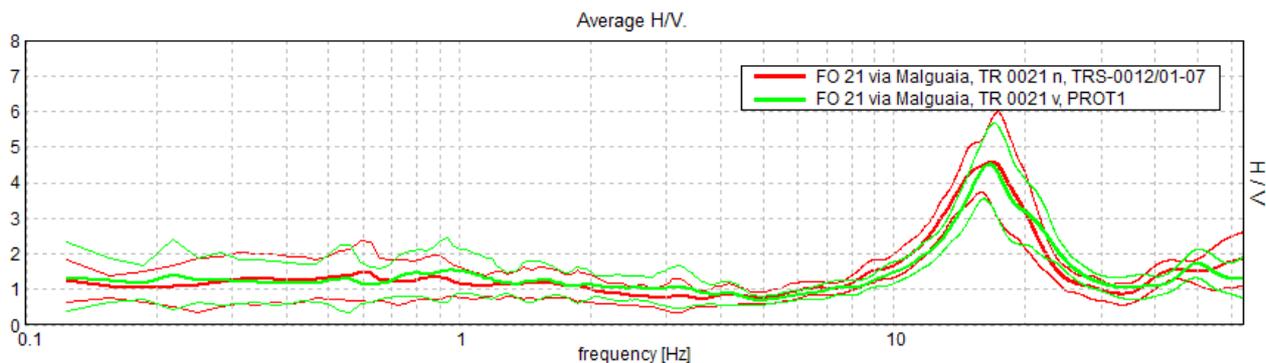


Figura . *Alto:* confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). *Basso:* spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

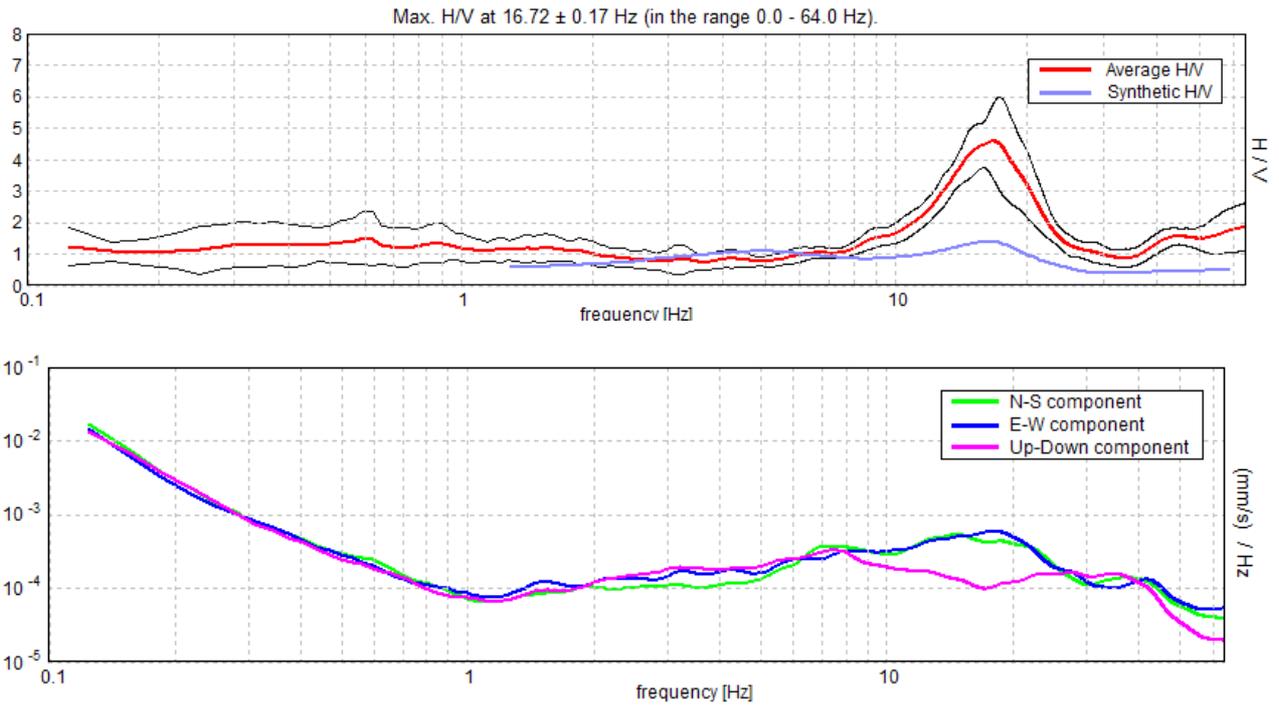


Figura . **Alto:** curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (blu) per il modello di sottosuolo proposto per il sito, **Basso:** spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
2.00	2.00	140	0.40
12.00	10.00	250	0.40
inf.	inf.	350	0.40

Tabella . **Modello di sottosuolo medio** sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto delle prove in array e H/V. Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs. Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure affidabili di questo parametro.

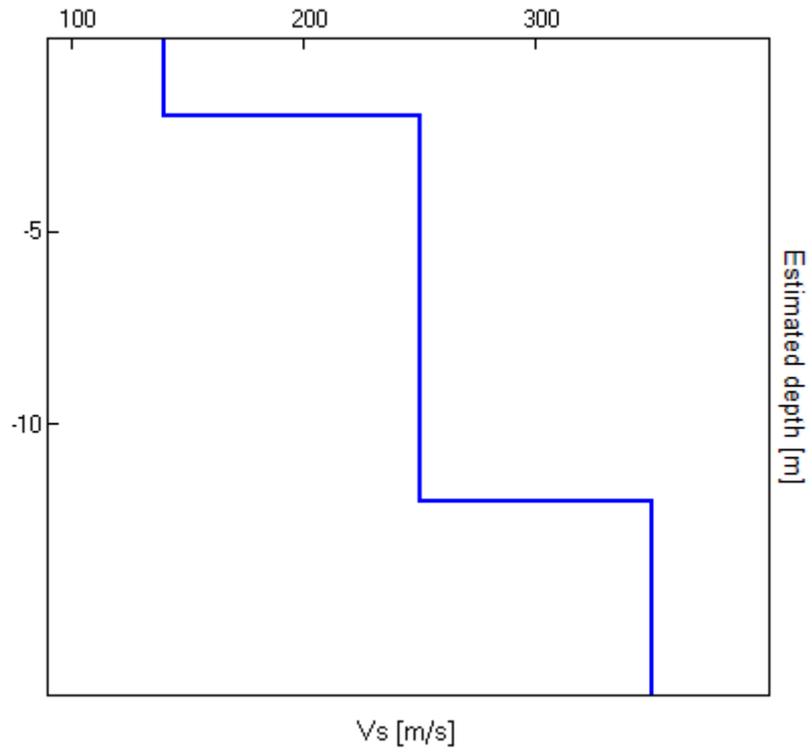


Figura . **Modello di velocità delle onde di taglio (V_s) medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto di prove in array e H/V.**

FO 22: via dell'Appennino 775
 [Prove 240 e 241 in Appendice B]

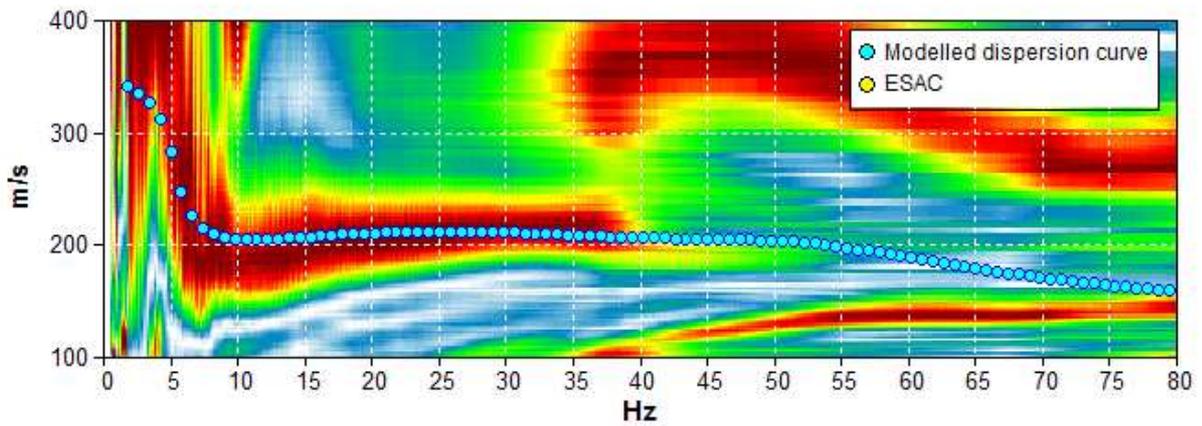
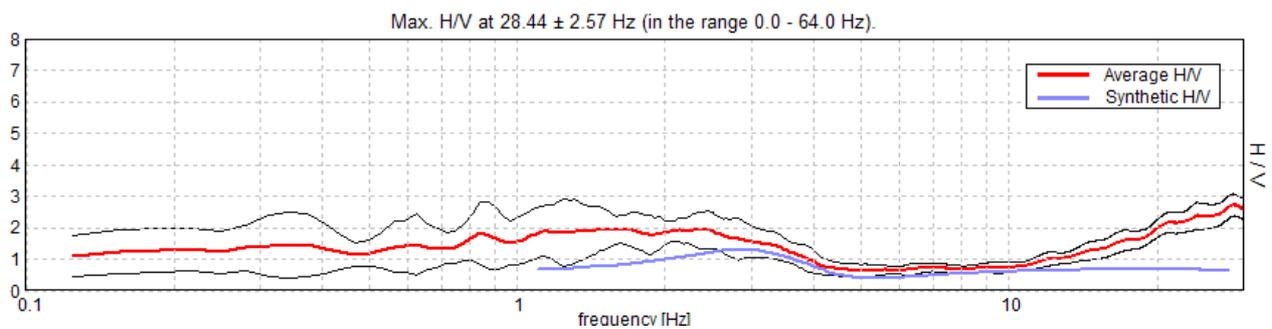


Figura . Grafico a contour: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per lo stendimento MASW (alto) e ReMi (basso). *Cerchi gialli:* curva di dispersione della velocità di fase dell'onda di Rayleigh derivante da indagine ESAC. *Cerchi azzurri:* curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.



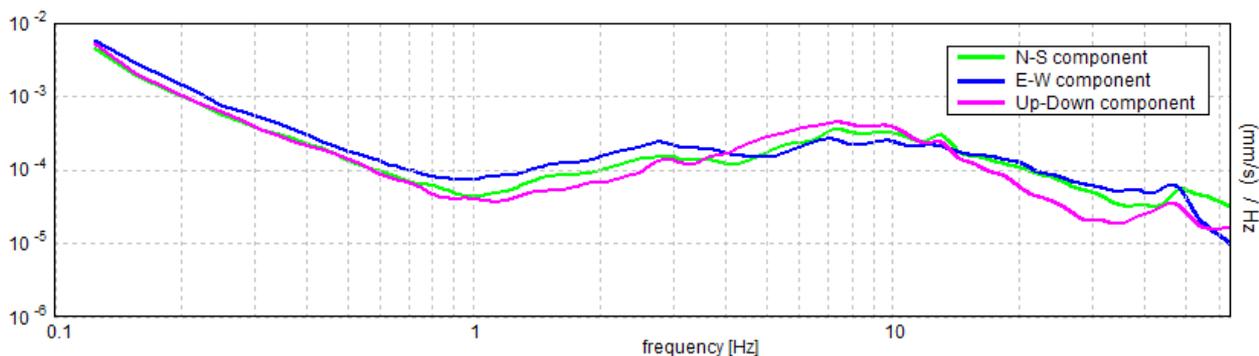


Figura . *Alto*: curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (blu) per il modello di sottosuolo proposto per il sito, *Basso*: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.00	1.00	150	0.40
6.00	5.00	250	0.40
16.00	10.00	200	0.40
inf.	inf.	380	0.40

Tabella . **Modello di sottosuolo medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto delle prove in array e H/V.** Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs. Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure affidabili di questo parametro.

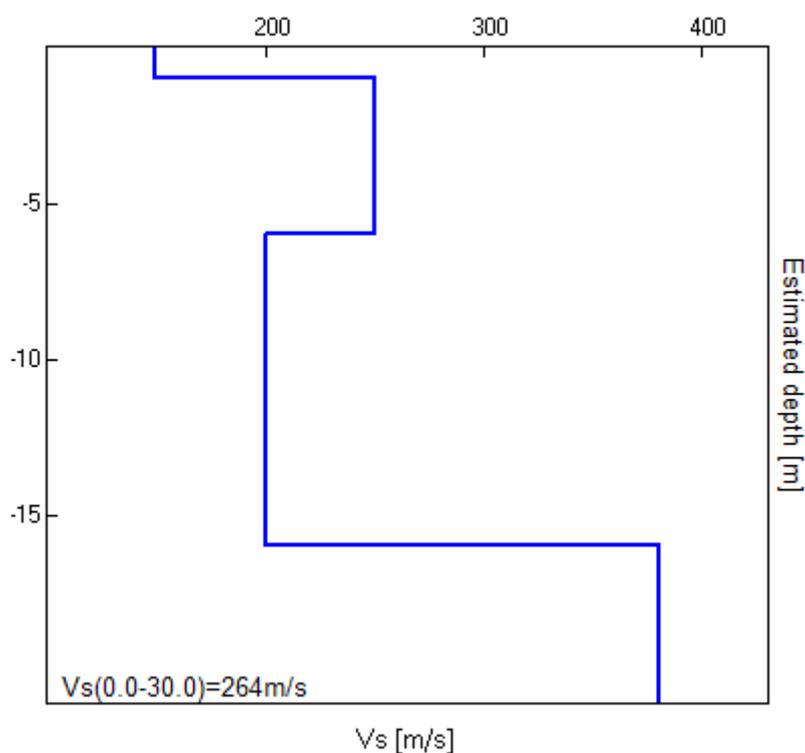


Figura . **Modello di velocità delle onde di taglio (V_s) medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto di prove in array e H/V.**

FO 23: via Para 22

[Prove 242 in Appendice B]

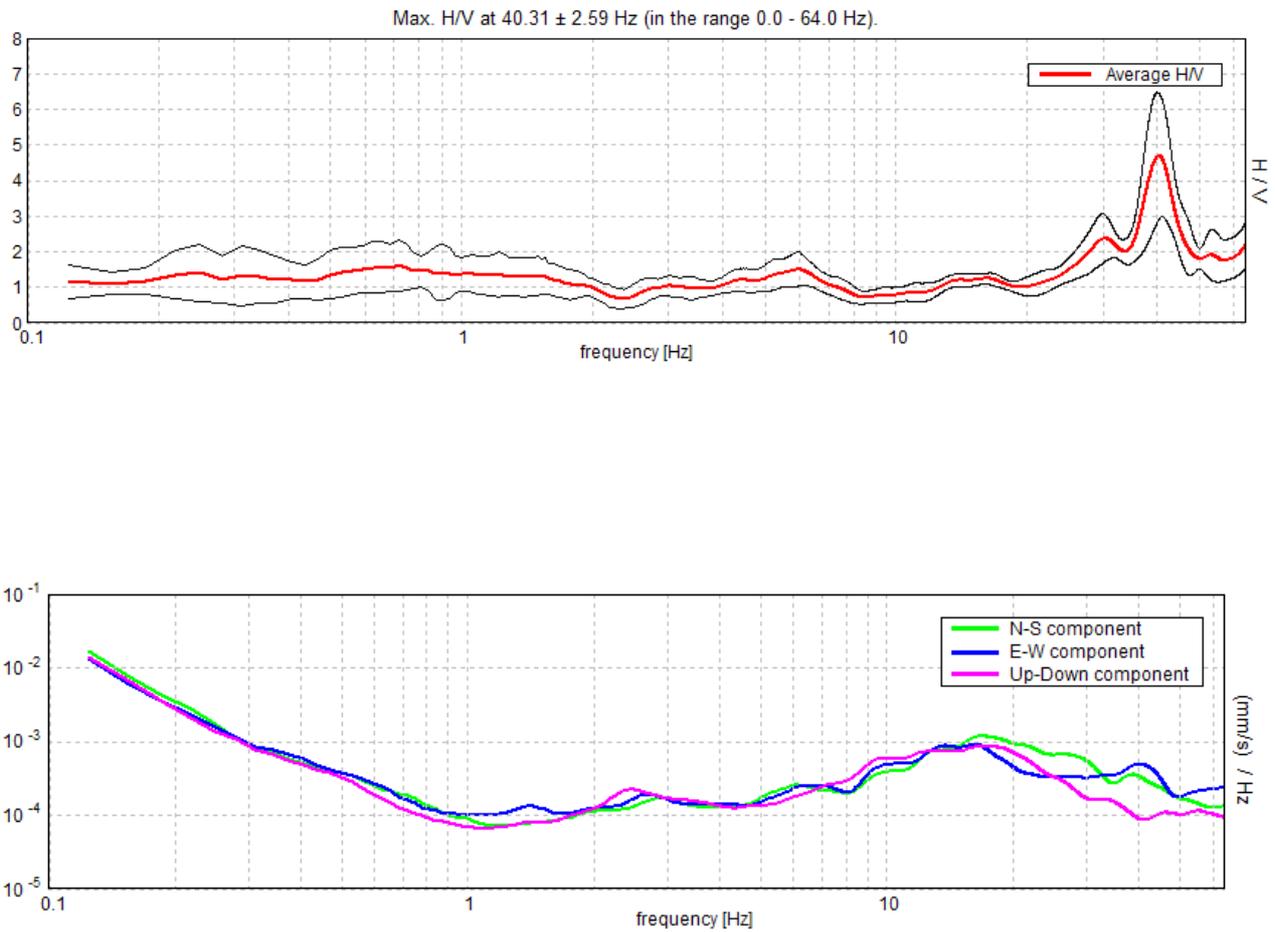


Figura . **Alto**: curva H/V registrata nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). **Basso**: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

FO 24: via Maglianella, agriturismo La Sarzola

[Prove 243 in Appendice B]

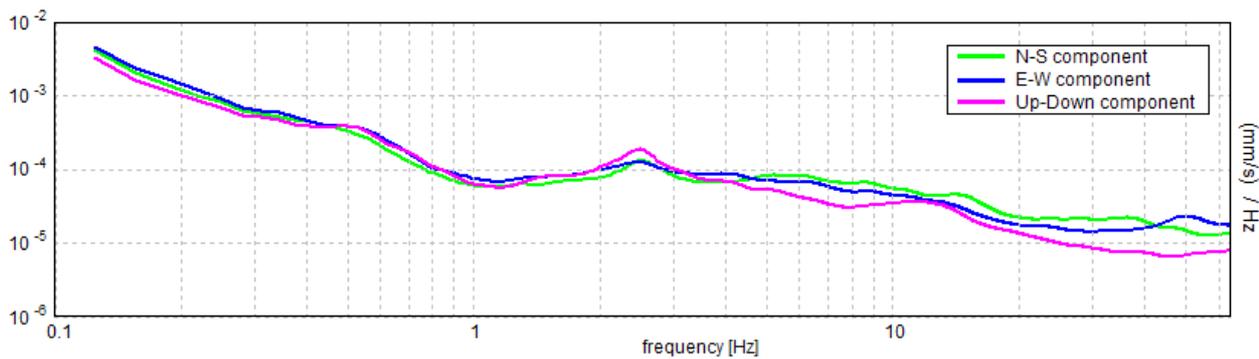
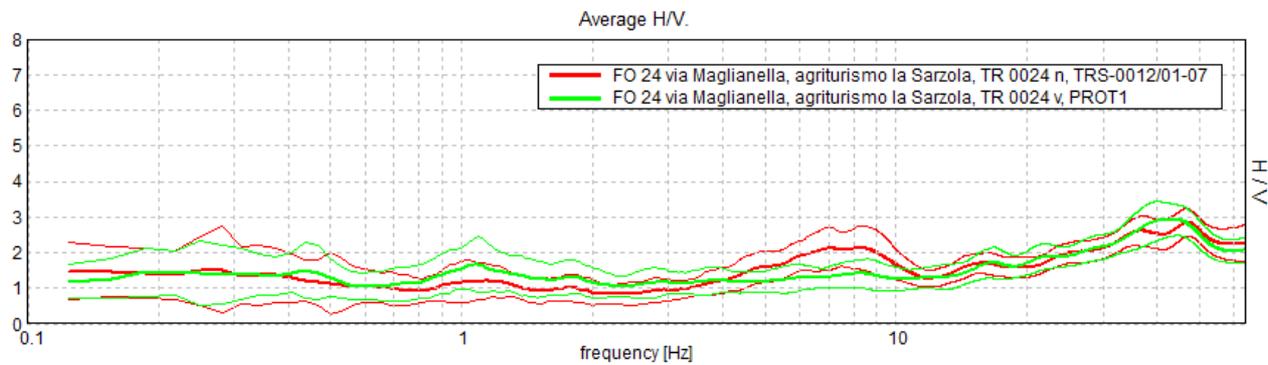


Figura . *Alto*: confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). *Basso*: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 25: viale Bidente 273

[Prove 244 in Appendice B]

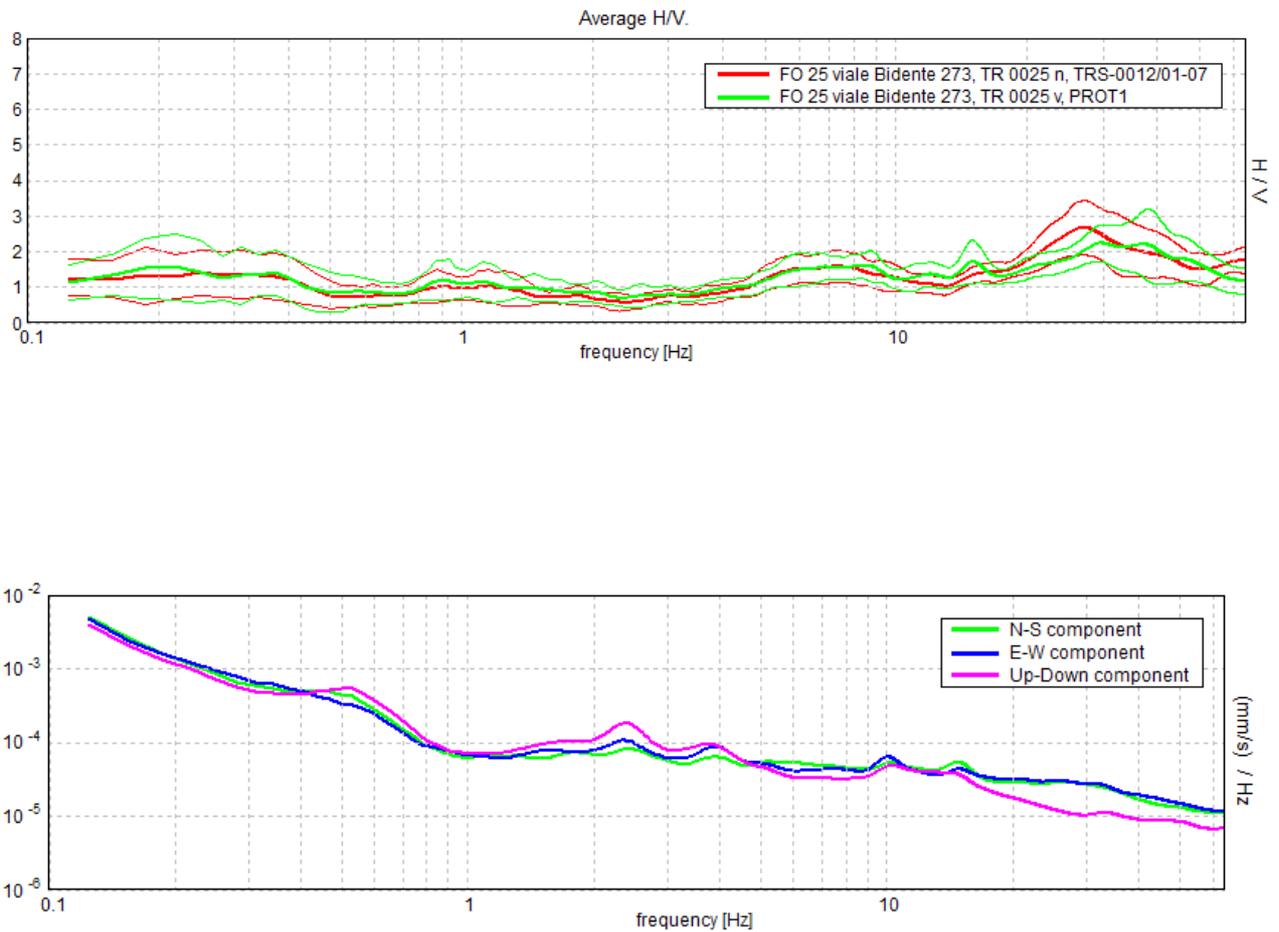


Figura . *Alto*: confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). *Basso*: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 26: via Tibano 1

[Prove 245 e 246 in Appendice B]

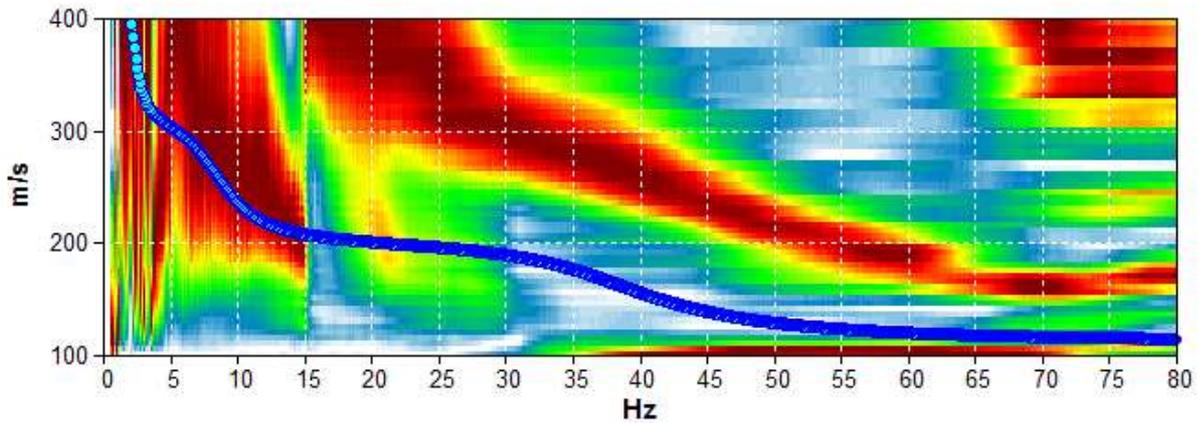


Figura . Grafico a contour: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per lo stendimento MASW (alto) e ReMi (basso). Cerchi gialli: curva di dispersione della velocità di fase dell'onda di Rayleigh derivante da indagine ESAC. Cerchi azzurri: curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.

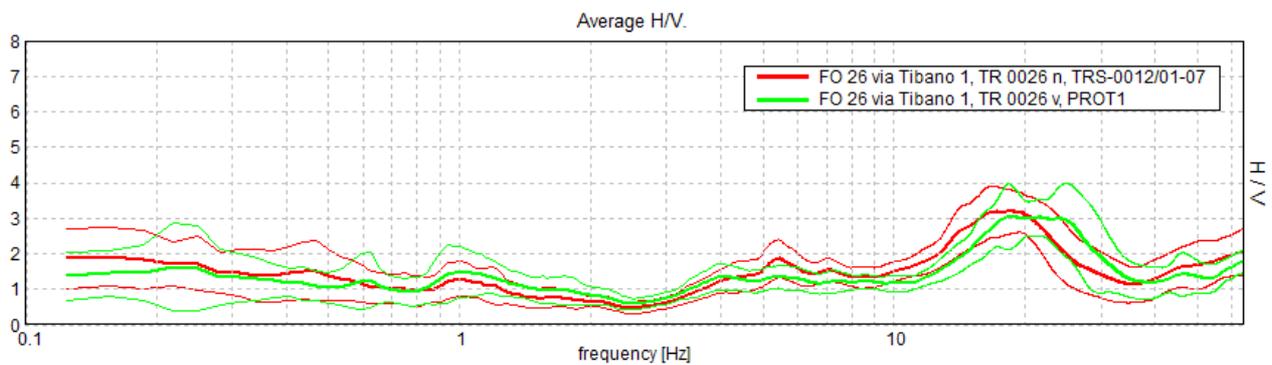


Figura . Confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile).

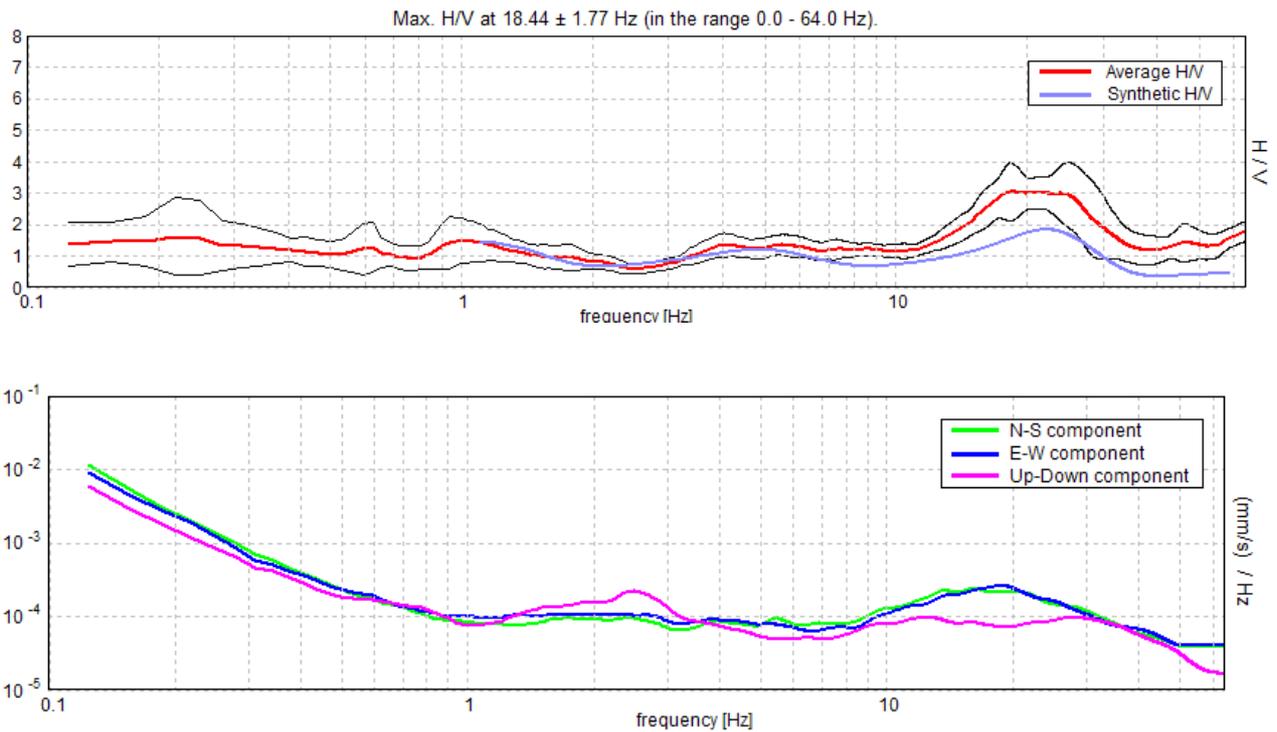


Figura . *Alto*: curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (blu) per il modello di sottosuolo proposto per il sito, *Basso*: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.30	1.30	120	0.40
11.30	10.00	230	0.40
71.30	60.00	350	0.40
inf.	inf.	550	0.40

Tabella . **Modello di sottosuolo medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto delle prove in array e H/V.** Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs. Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure affidabili di questo parametro.

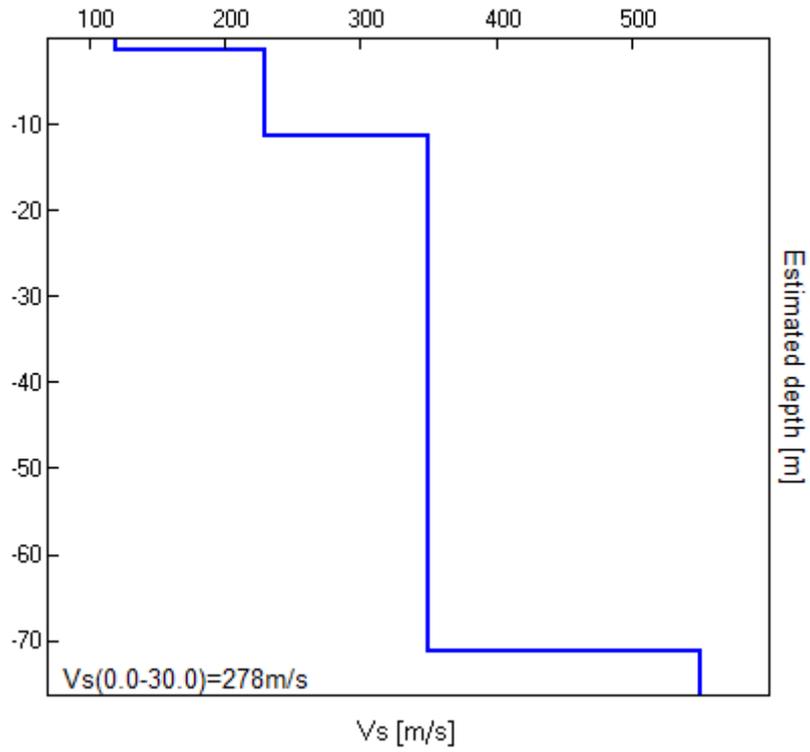


Figura . **Modello di velocità delle onde di taglio (V_s) medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto di prove in array e H/V.**

FO 27: viale Roma, incrocio con Tangenziale Est

[Prove 247 in Appendice B]

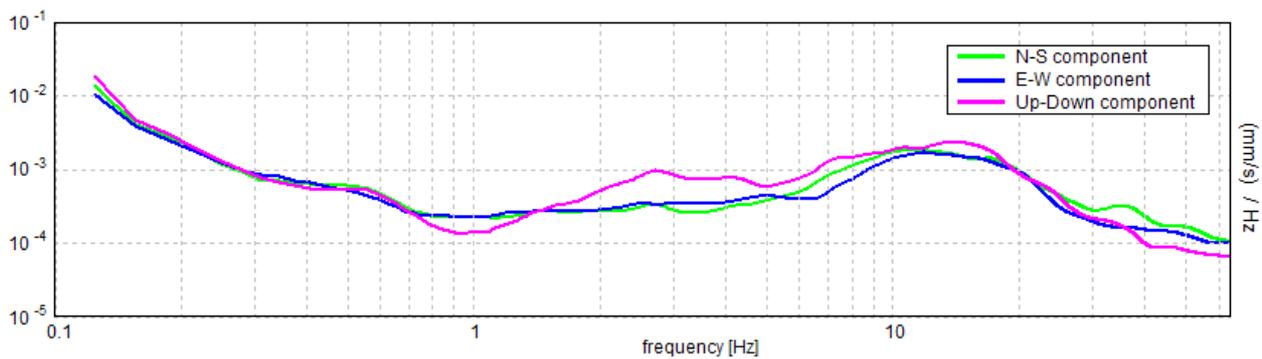
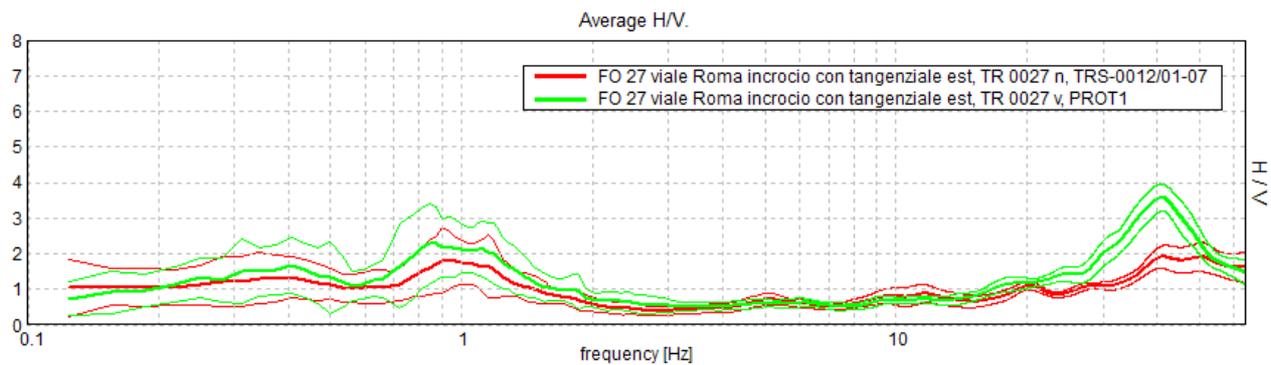


Figura . *Alto*: confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). *Basso*: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 28: via Giulio II

[Prove 248 in Appendice B]

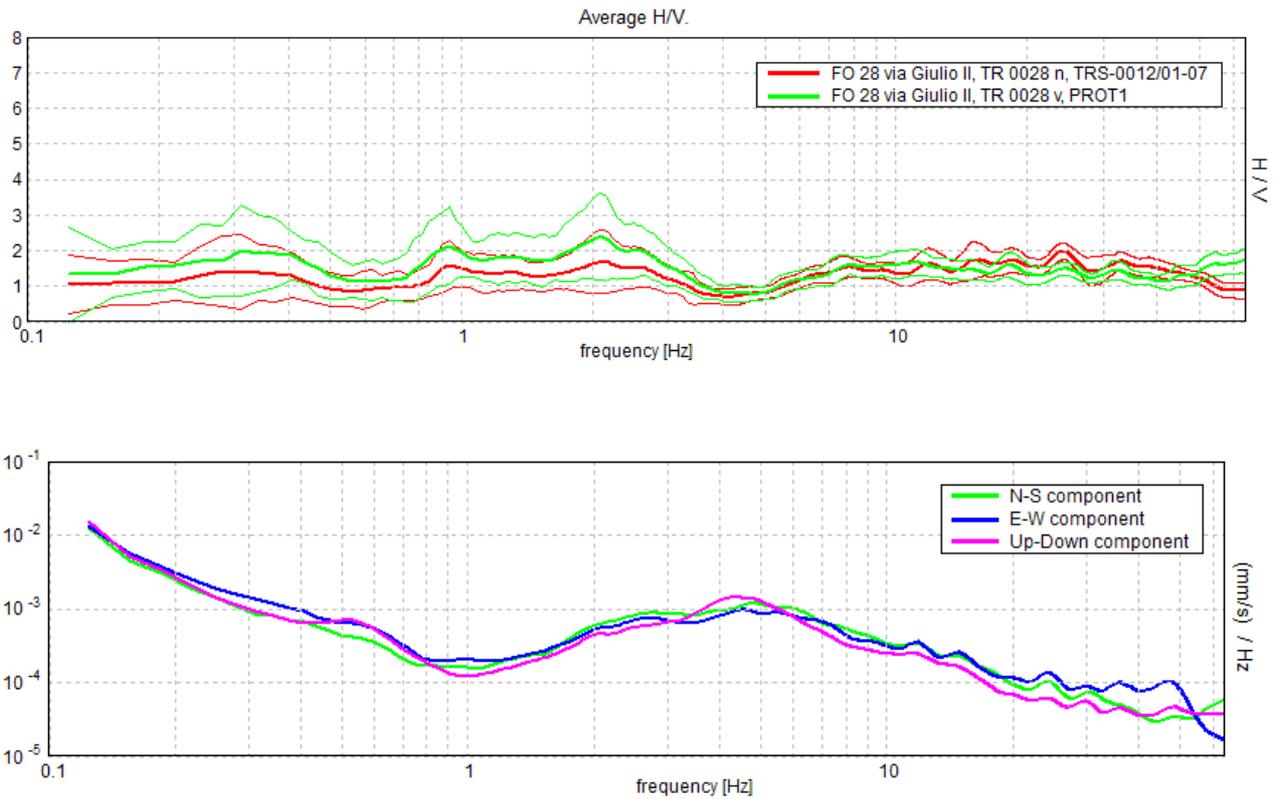


Figura . *Alto*: confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). *Basso*: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 29: via Monte San Michele 12 (vecchia Eridania)

[Prove 249 e 250 in Appendice B]

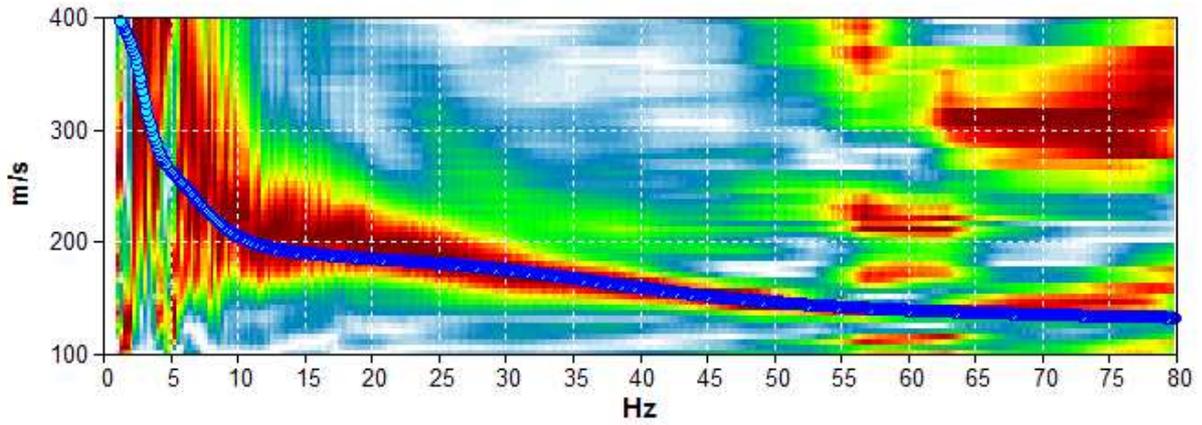


Figura . Grafico a contour: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per lo stendimento MASW (alto) e ReMi (basso). *Cerchi gialli:* curva di dispersione della velocità di fase dell'onda di Rayleigh derivante da indagine ESAC. *Cerchi azzurri:* curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.

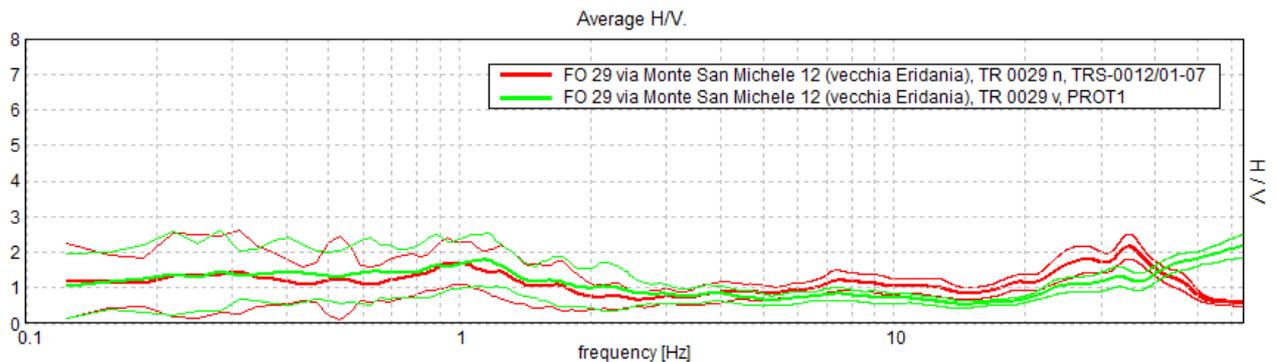


Figura . **Confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile).**

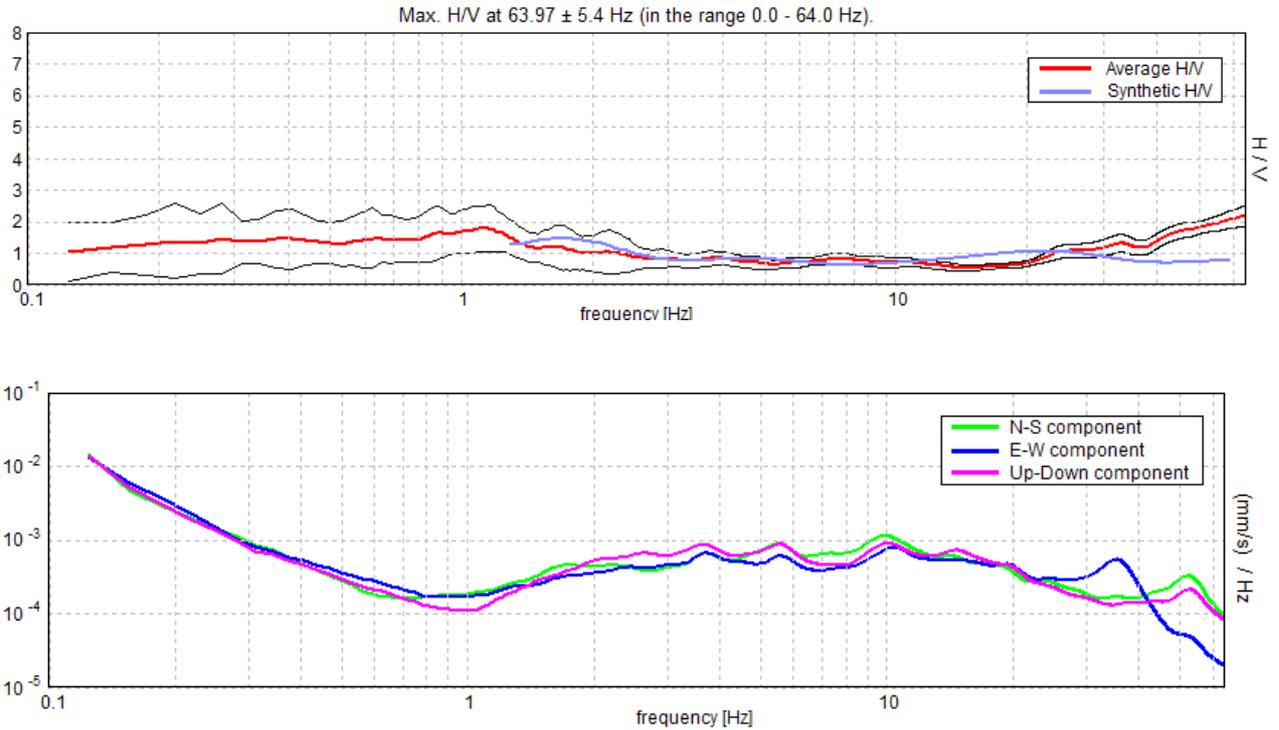


Figura . **Alto:** curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (blu) per il modello di sottosuolo proposto per il sito, **Basso:** spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.30	0.30	100	0.40
1.60	1.30	150	0.40
11.60	10.00	210	0.40
41.60	30.00	300	0.40
inf.	inf.	450	0.40

Tabella . **Modello di sottosuolo medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto delle prove in array e H/V.** Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs. Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure affidabili di questo parametro.

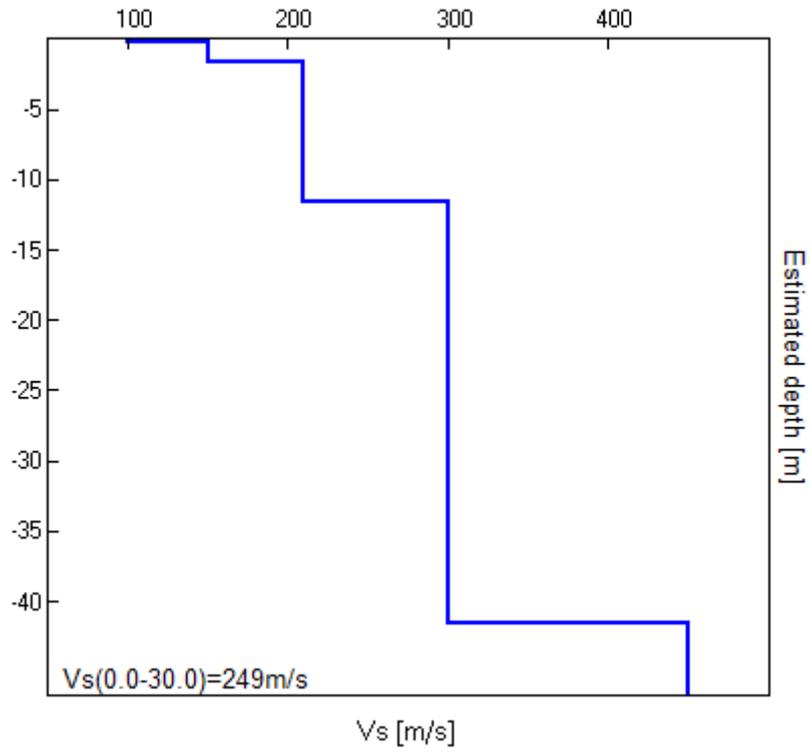


Figura . **Modello di velocità delle onde di taglio (V_s) medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto di prove in array e H/V.**

FO 30: via Dandolo 11

[Prove 251 e 252 in Appendice B]

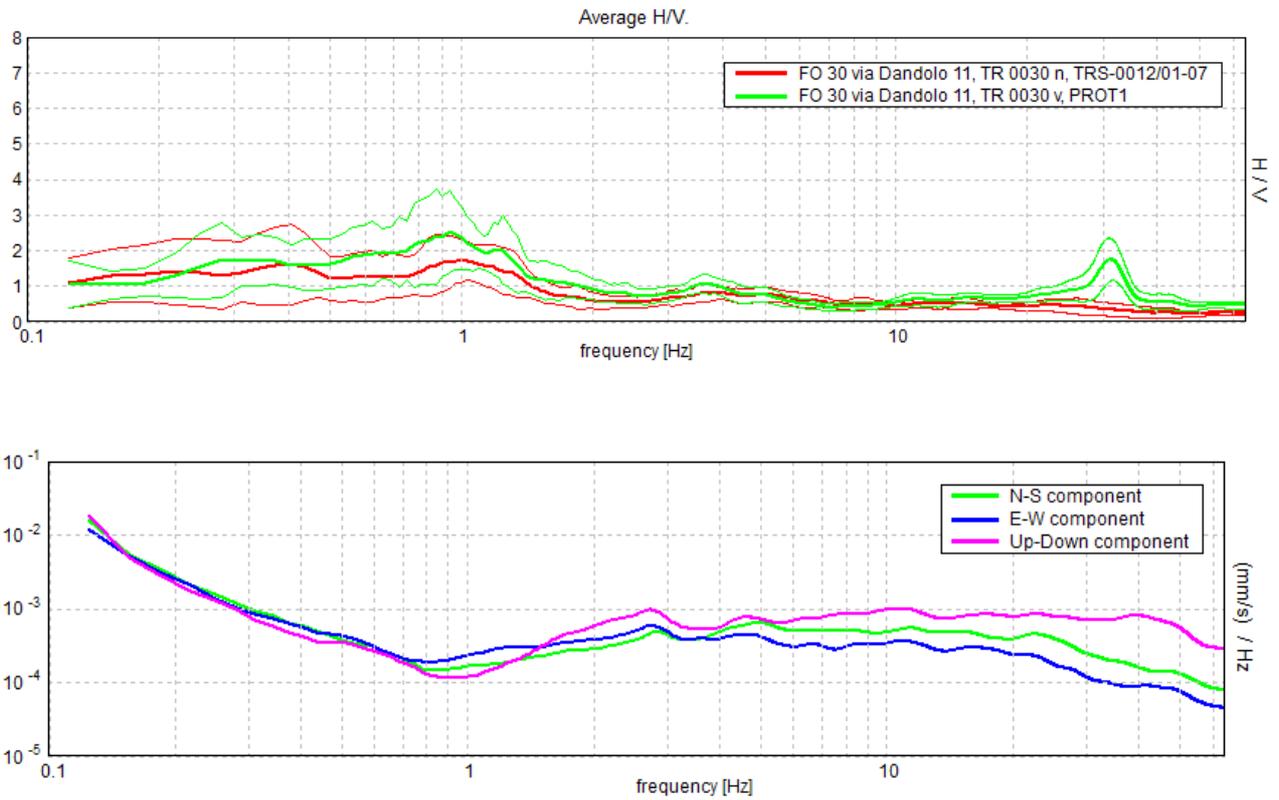


Figura . *Alto*: confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). *Basso*: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 31: via Curte 8

[Prove 253 in Appendice B]

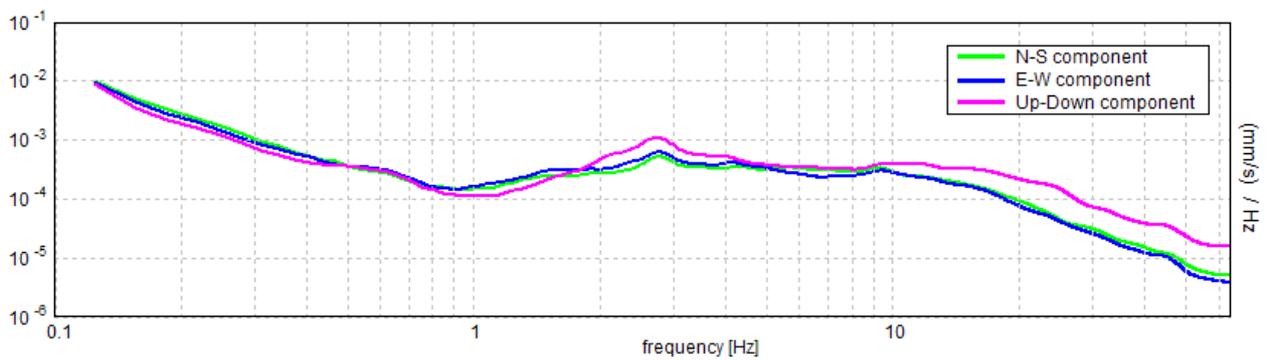
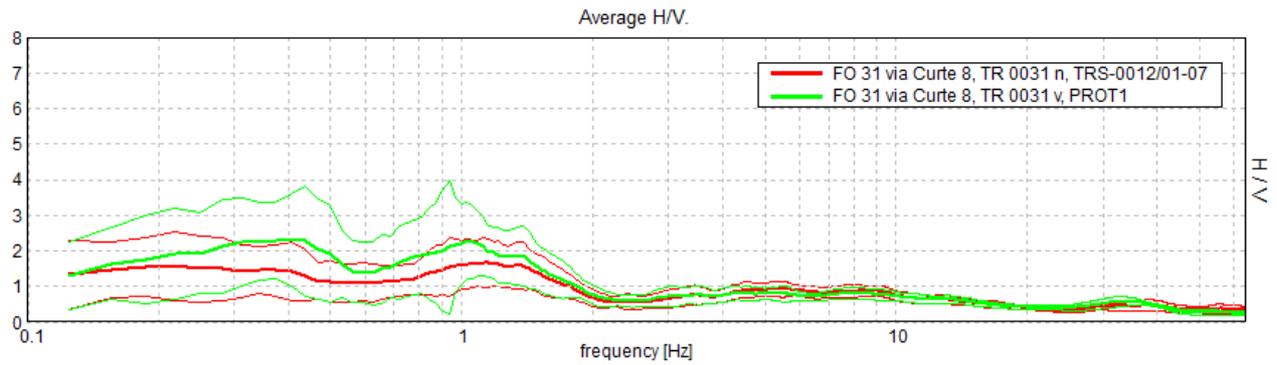


Figura . **Alto**: confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). **Basso**: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 32: viale Bologna 2-4

[Prove 254 e 255 in Appendice B]

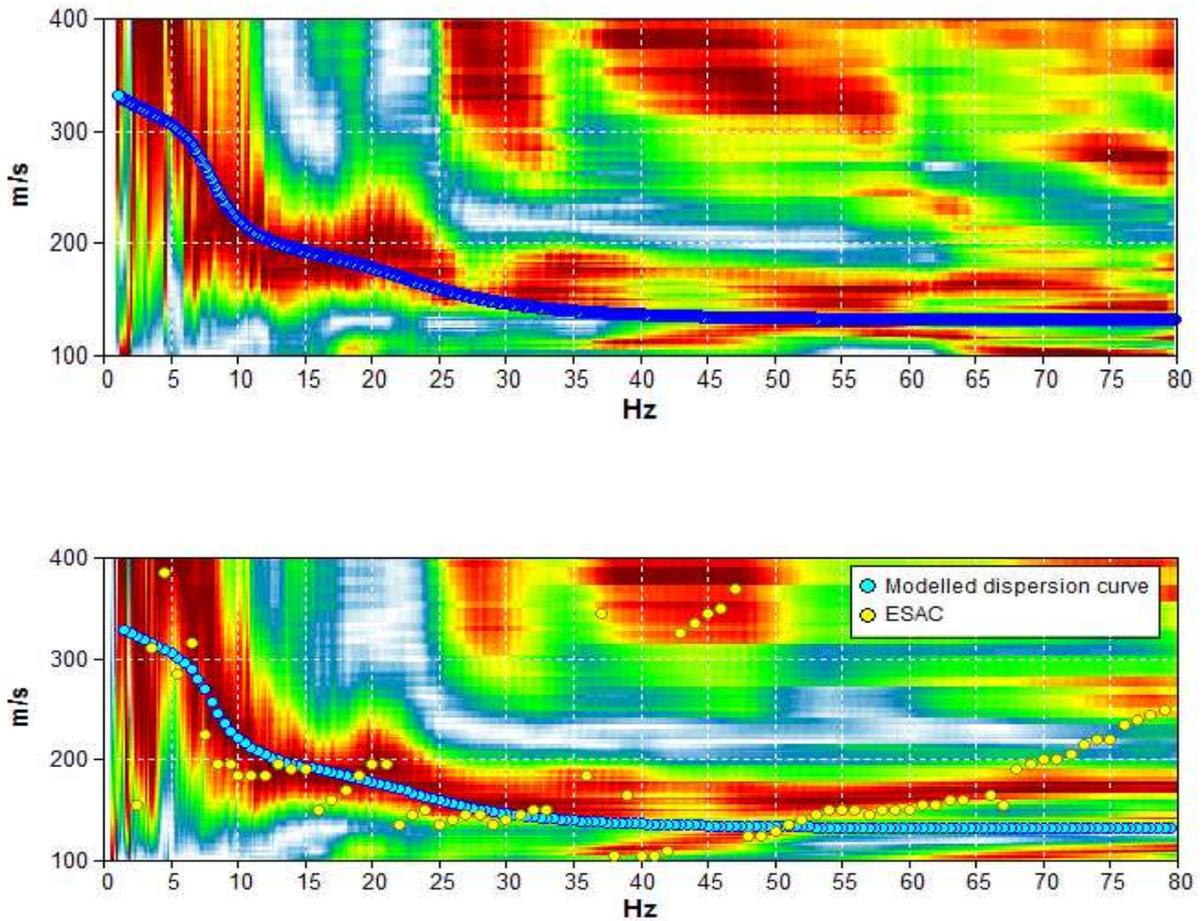


Figura . Grafico a contour: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per lo stendimento MASW (alto) e ReMi (basso). *Cerchi gialli:* curva di dispersione della velocità di fase dell'onda di Rayleigh derivante da indagine ESAC. *Cerchi azzurri:* curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.

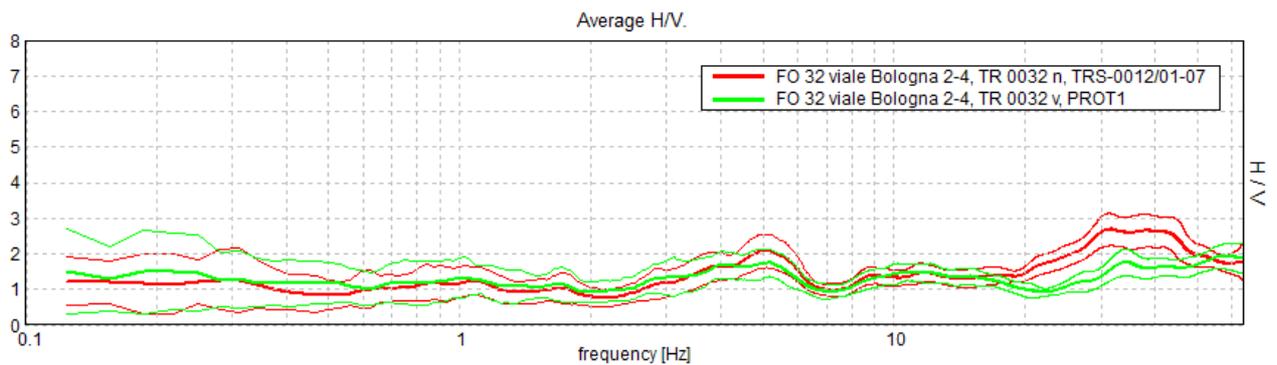


Figura . Confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile).

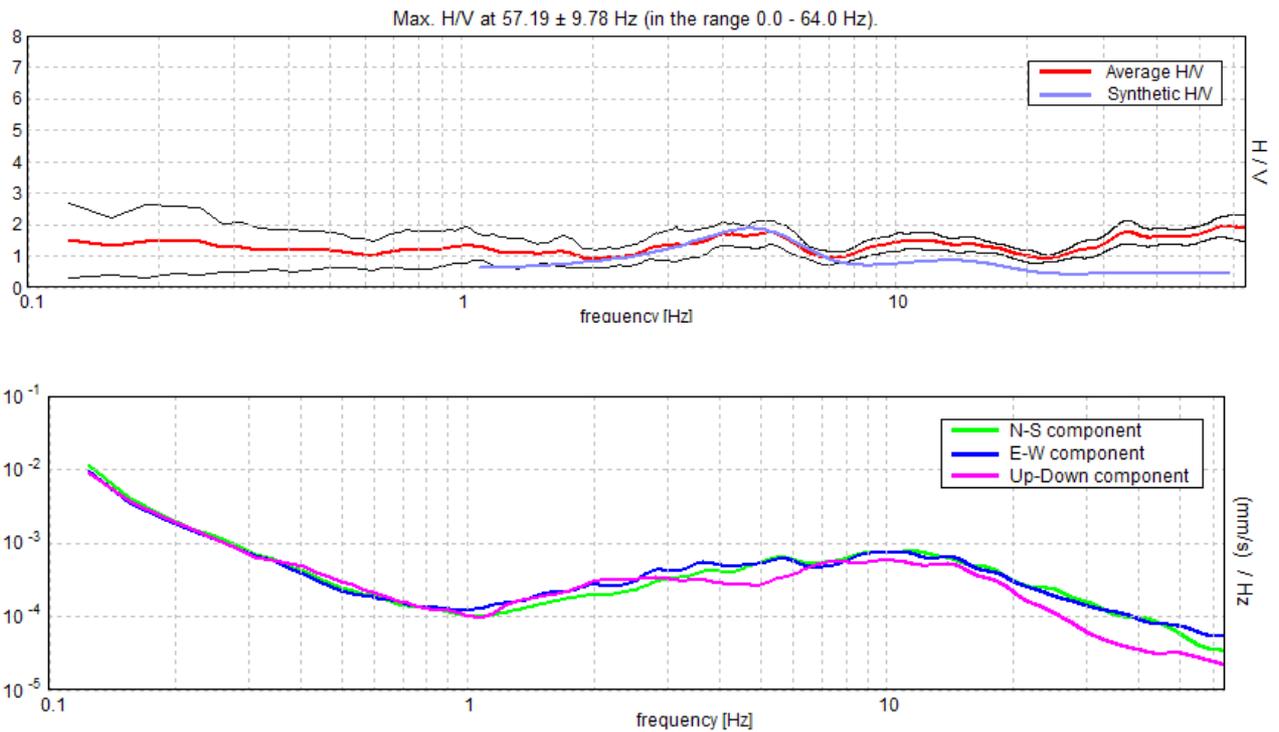


Figura . *Alto*: curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (blu) per il modello di sottosuolo proposto per il sito, *Basso*: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
2.50	2.50	140	0.40
11.50	9.00	220	0.40
inf.	inf.	360	0.40

Tabella . **Modello di sottosuolo medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto delle prove in array e H/V.** Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs. Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure affidabili di questo parametro.

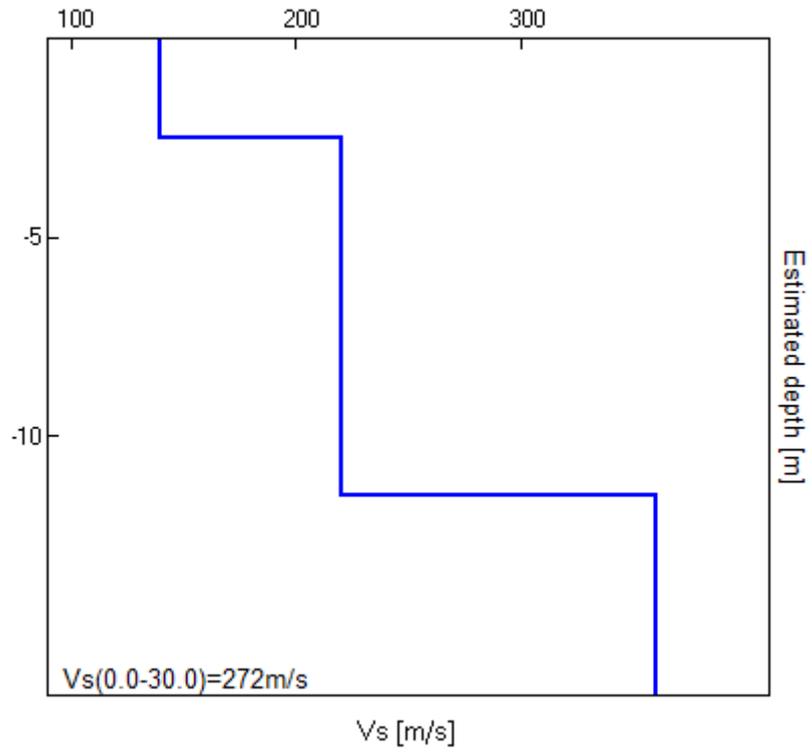


Figura . **Modello di velocità delle onde di taglio (V_s) medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto di prove in array e H/V.**

FO 33: via Giovanni dalle Bande Nere 4

[Prove 256 in Appendice B]

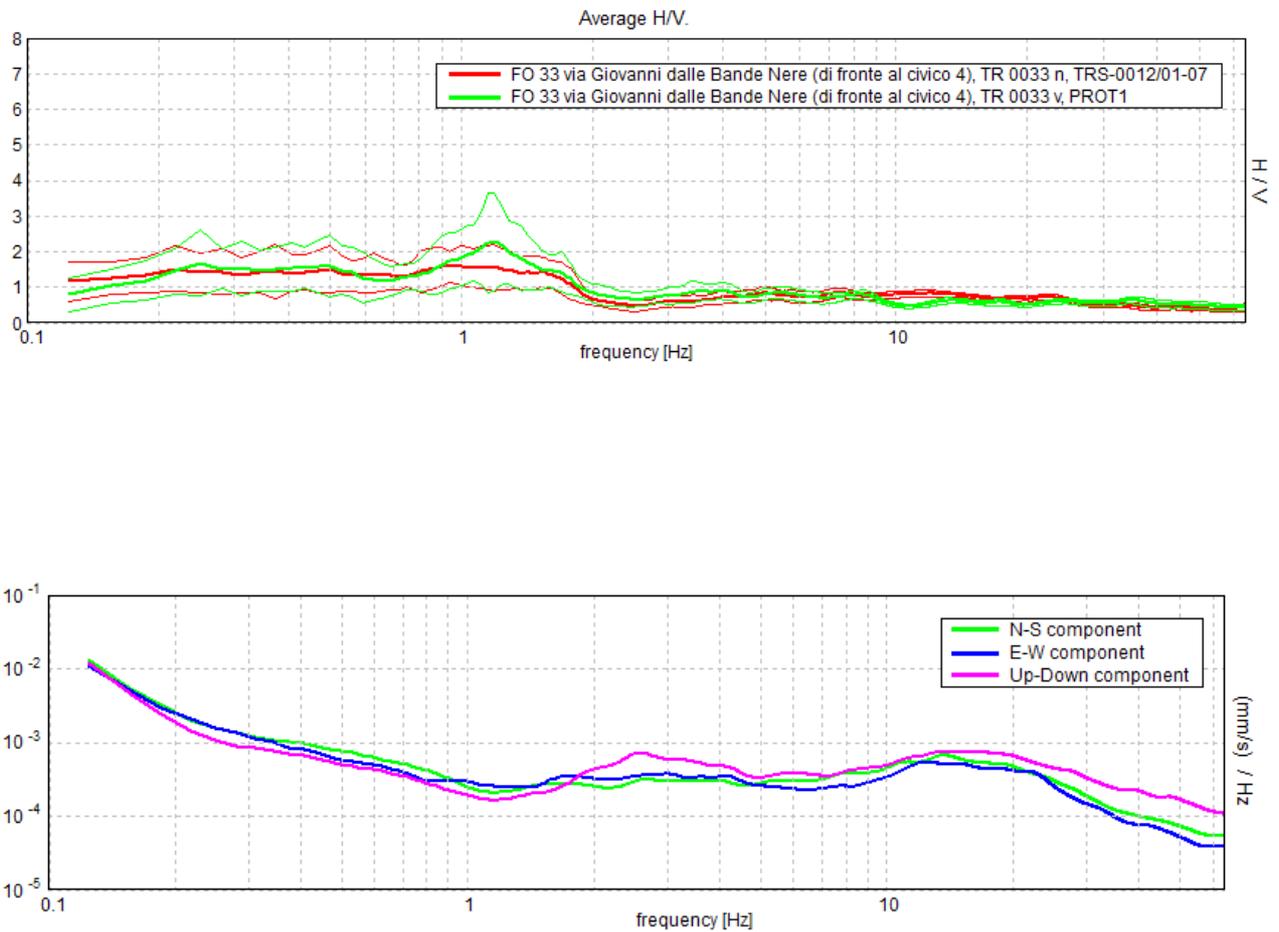


Figura . *Alto*: confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). *Basso*: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 34: via Marsala 8

[Prove 257 in Appendice B]

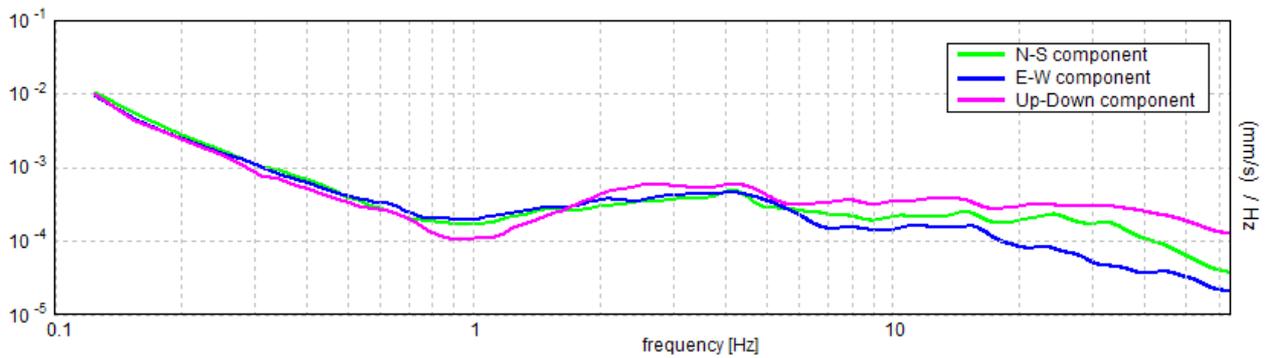
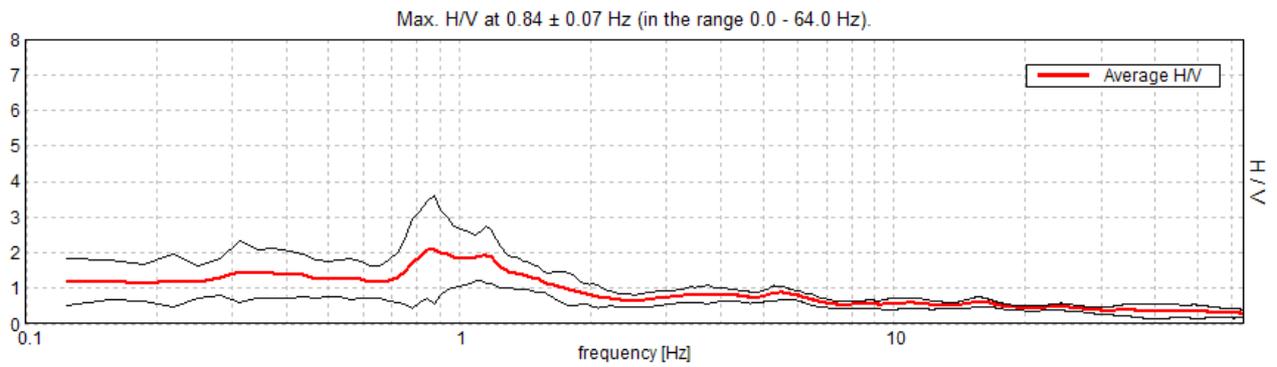


Figura . *Alto*: curva H/V registrata nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). Basso: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

FO 35: via Gioppi

[Prove 258 in Appendice B]

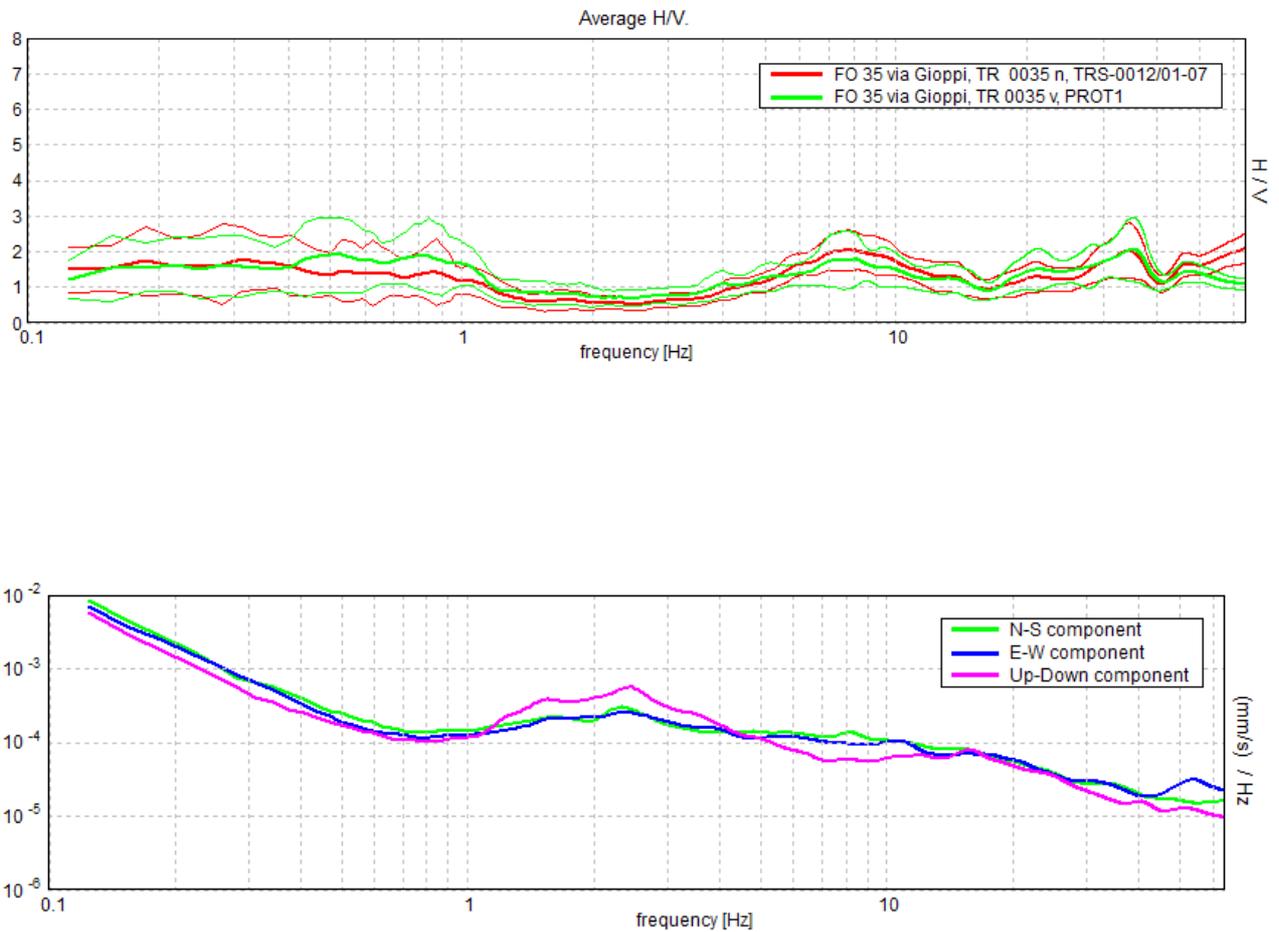


Figura . *Alto*: confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). *Basso*: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 36: via Castel Falcino 10
[Prove 259 in Appendice B]

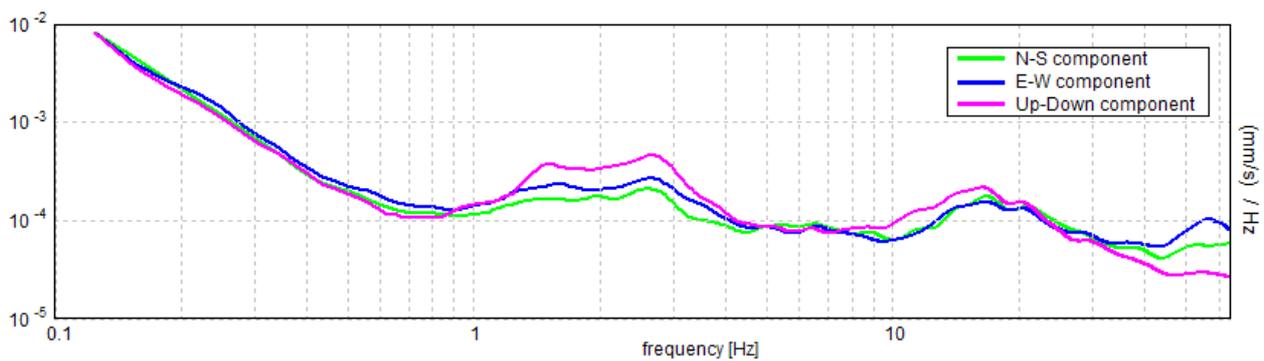
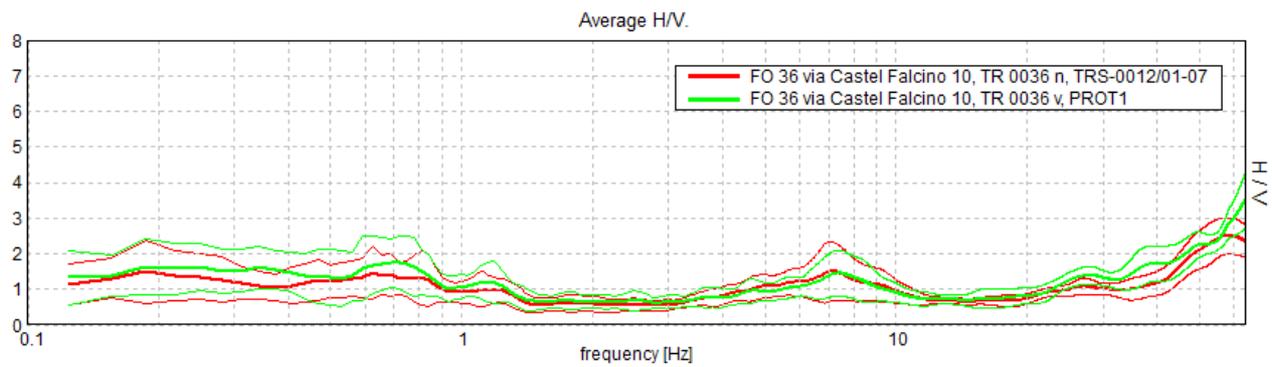


Figura . *Alto*: confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). *Basso*: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 37: via Lughese 73

[Prove 2 60 in Appendice B]

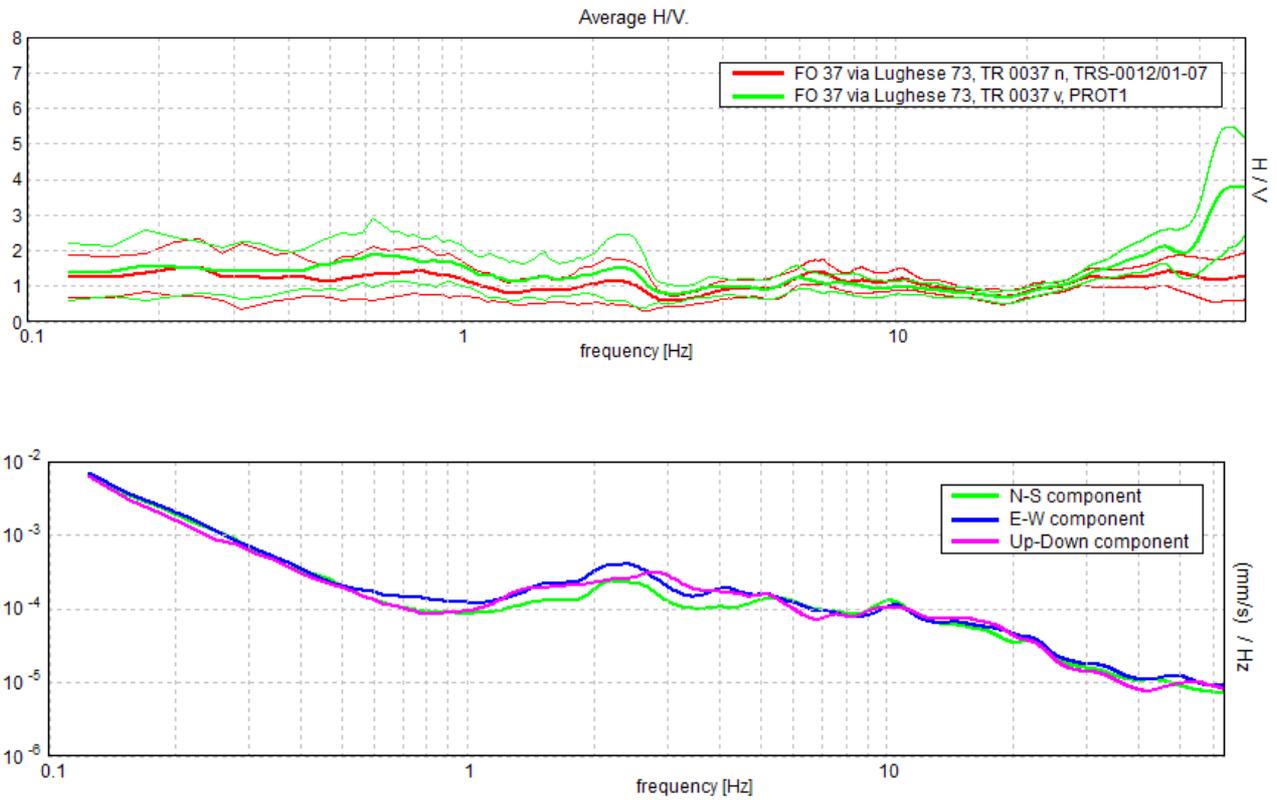


Figura . *Alto*: confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). *Basso*: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 38: incrocio tra via Erbosa e via Donnasanta

[Prove 261 in Appendice B]

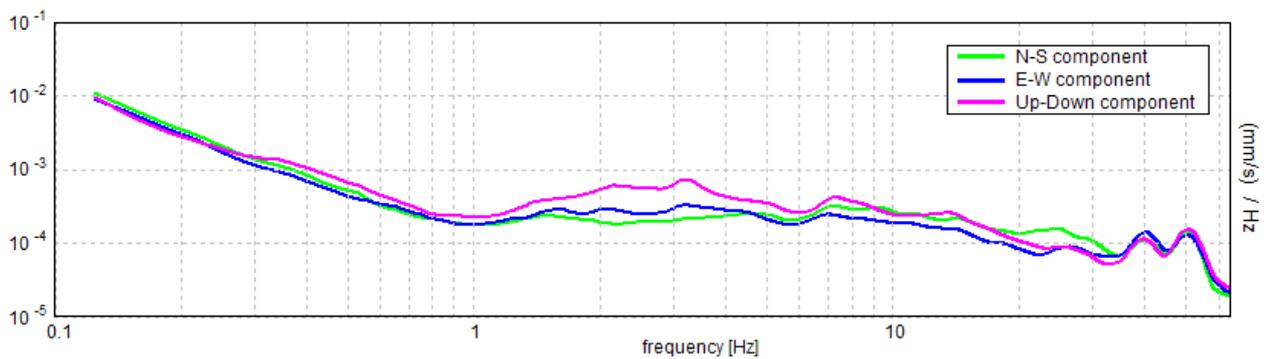
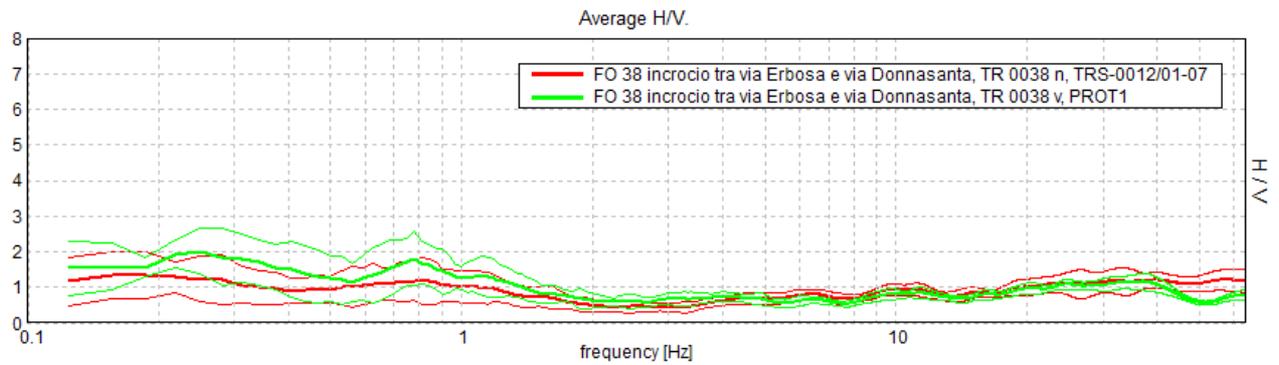


Figura . *Alto*: confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). *Basso*: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 39: via Erbosa

[Prove 262 in Appendice B]

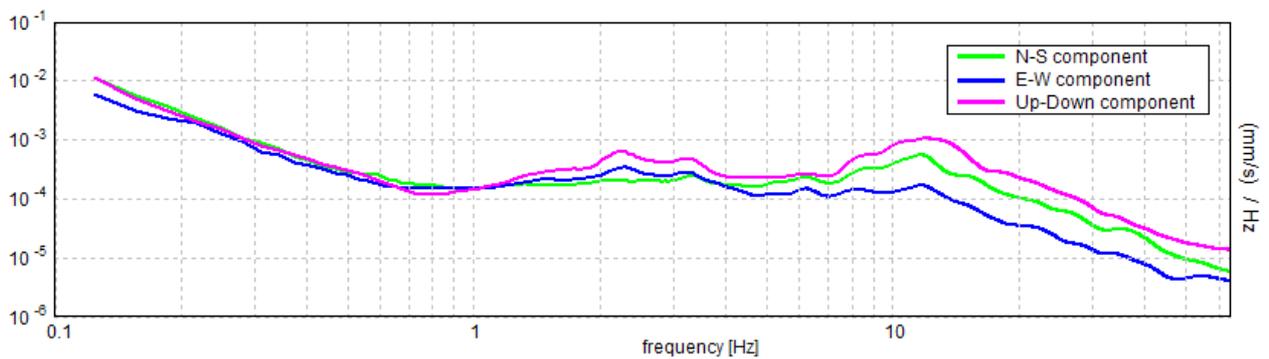
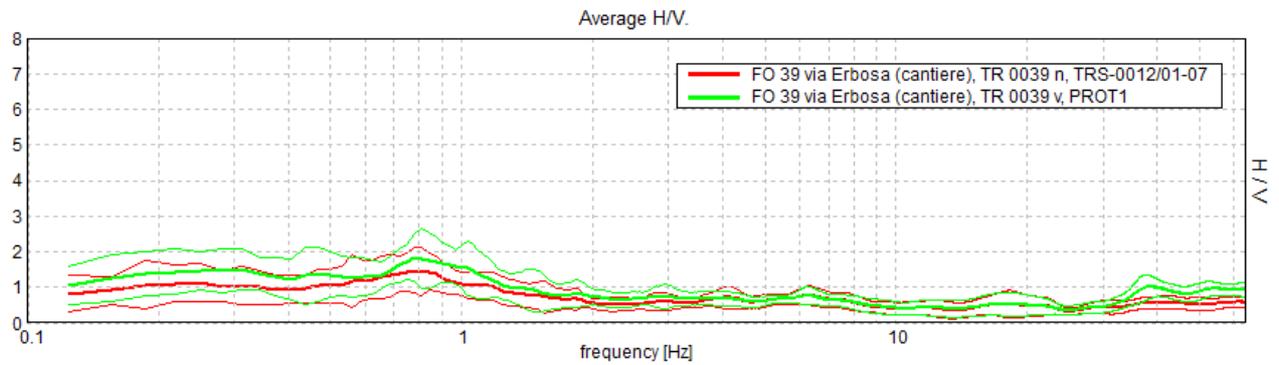


Figura . **Alto:** confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). **Basso:** spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 40: via Sarachieda 5

[Prove 263 in Appendice B]

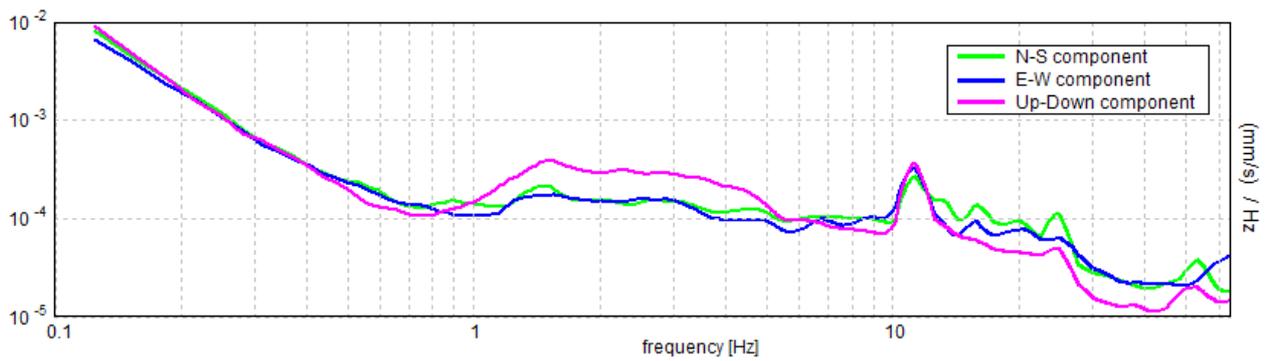
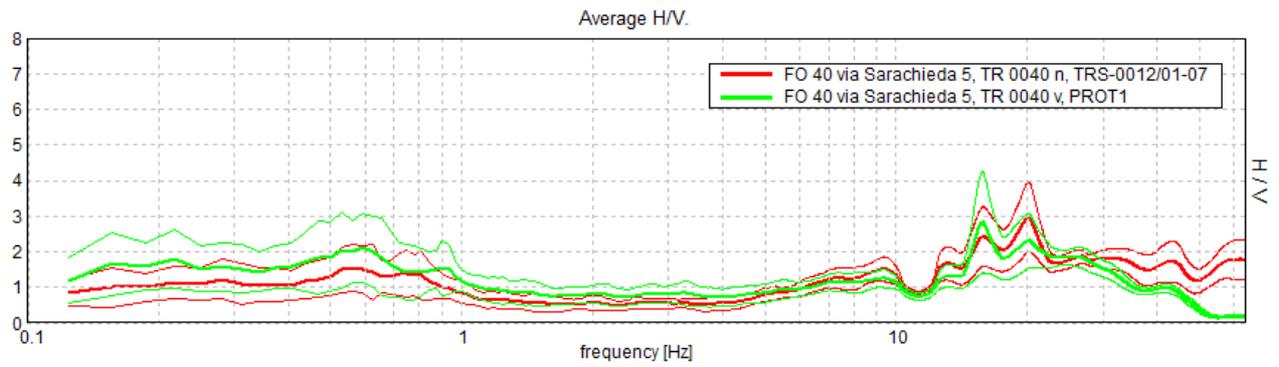


Figura . *Alto*: confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). *Basso*: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 41: serbatoio Romagna Acque, Corso A. Diaz

[Prove 264 in Appendice B]

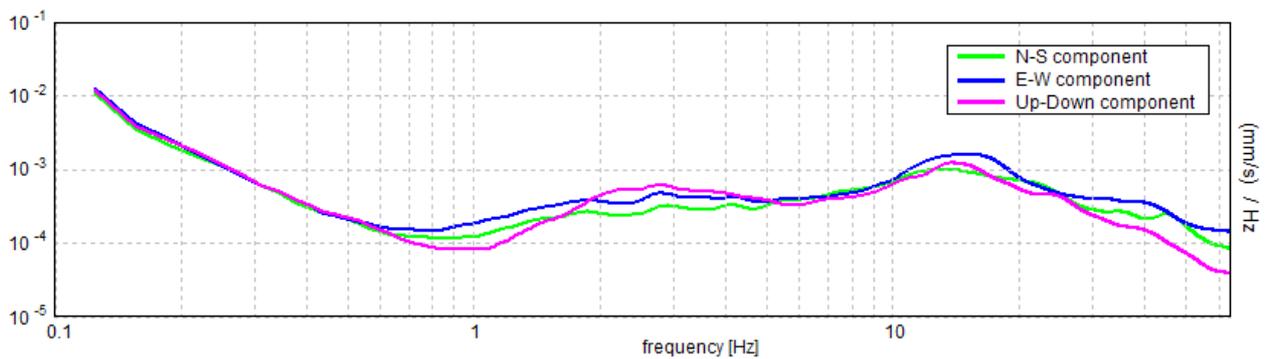
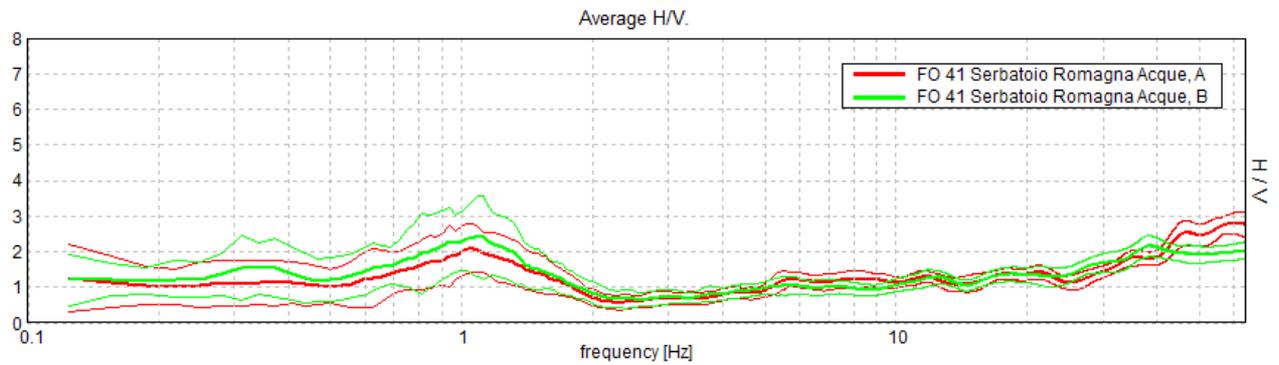


Figura . *Alto*: confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile). *Basso*: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi ad una delle due curve H/V mostrate sopra.

FO 42: dipartimento della Protezione Civile Provinciale, via Cadore 75
 [Prove 265 e 266 in Appendice B]

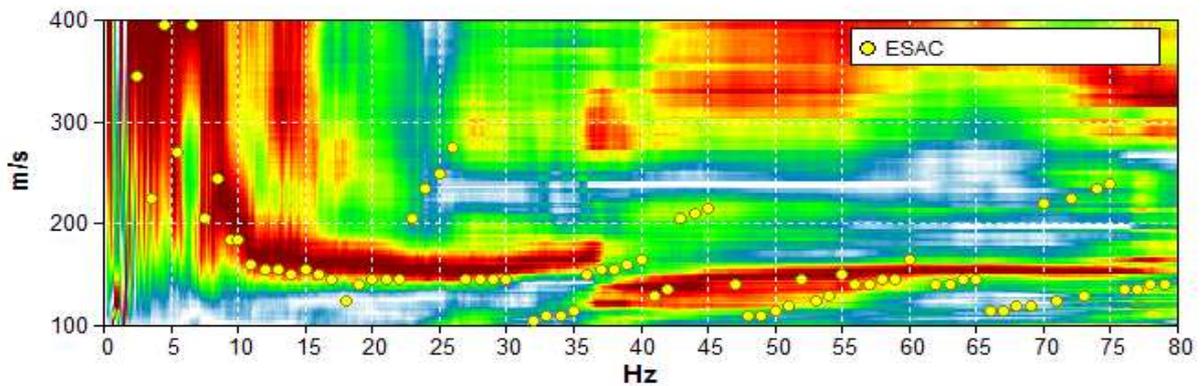
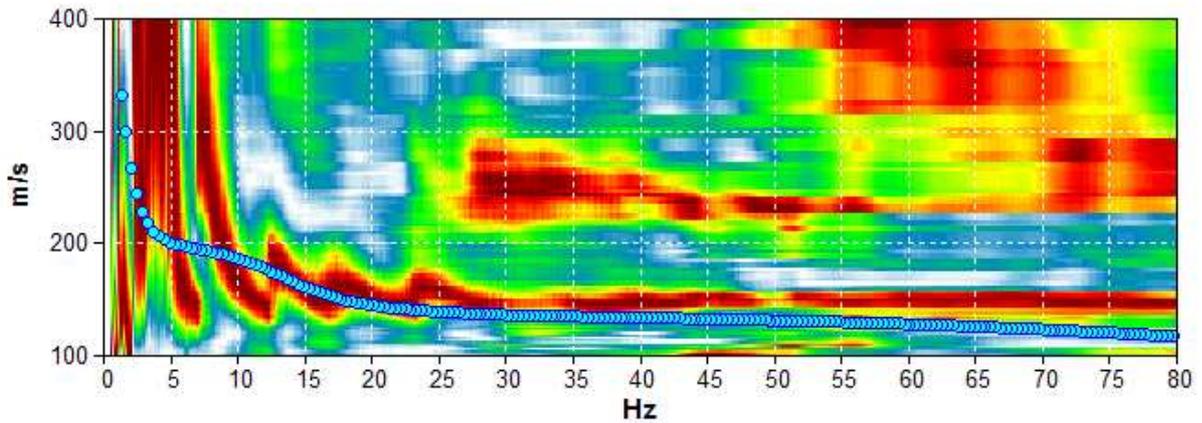


Figura . Grafico a contour: spettri di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per lo stendimento MASW (alto) e ReMi (basso). *Cerchi gialli:* curva di dispersione della velocità di fase dell'onda di Rayleigh derivante da indagine ESAC. *Cerchi azzurri:* curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.

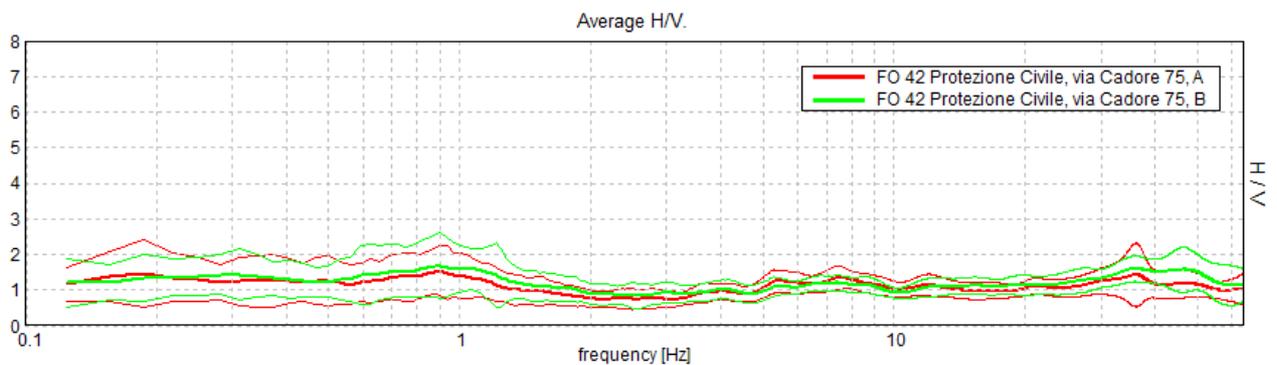


Figura . Confronto tra le curve H/V registrate nel sito (media in grassetto, intervallo di confidenza 2σ a linea sottile).

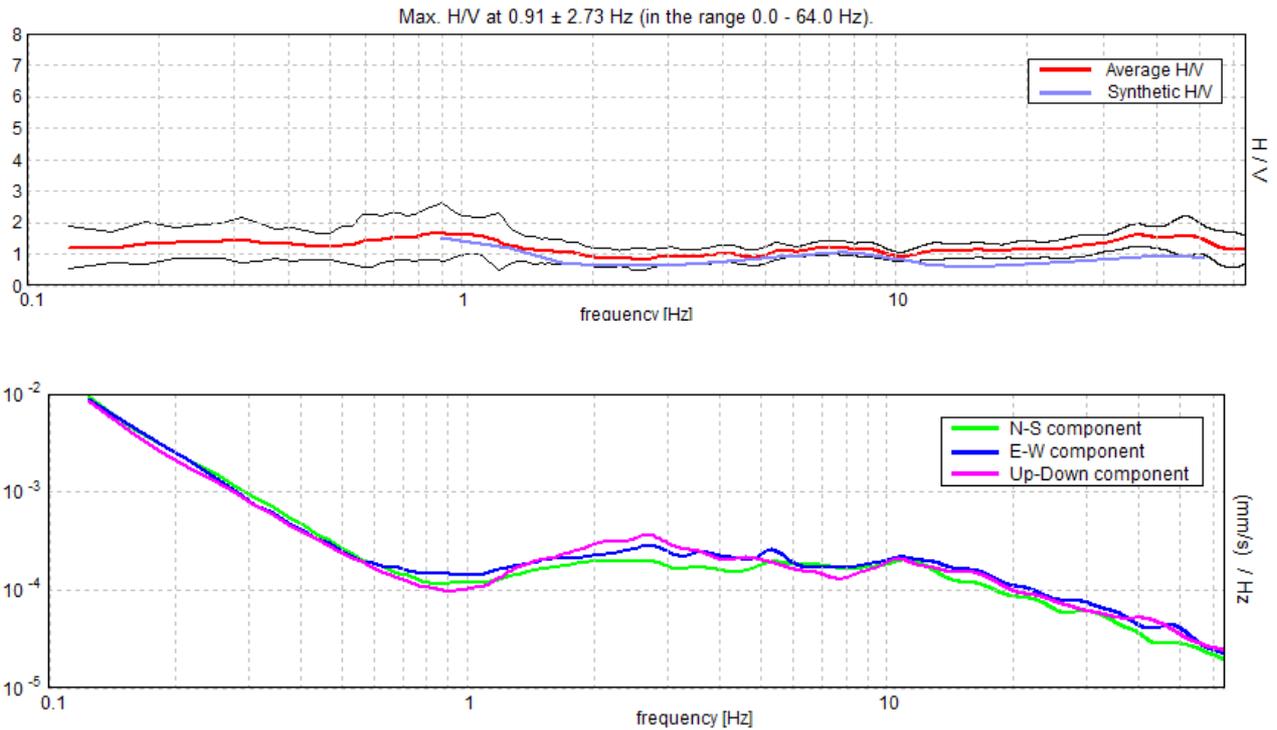


Figura . *Alto*: curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (blu) per il modello di sottosuolo proposto per il sito, *Basso*: spettri di ampiezza in velocità delle componenti del moto relativi alla curva H/V mostrata sopra.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.50	0.50	100	0.40
4.50	4.00	150	0.40
34.50	30.00	220	0.40
74.50	40.00	300	0.40
inf.	inf.	400	0.40

Tabella . Modello di sottosuolo medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto delle prove in array e H/V. Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs. Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure affidabili di questo parametro.

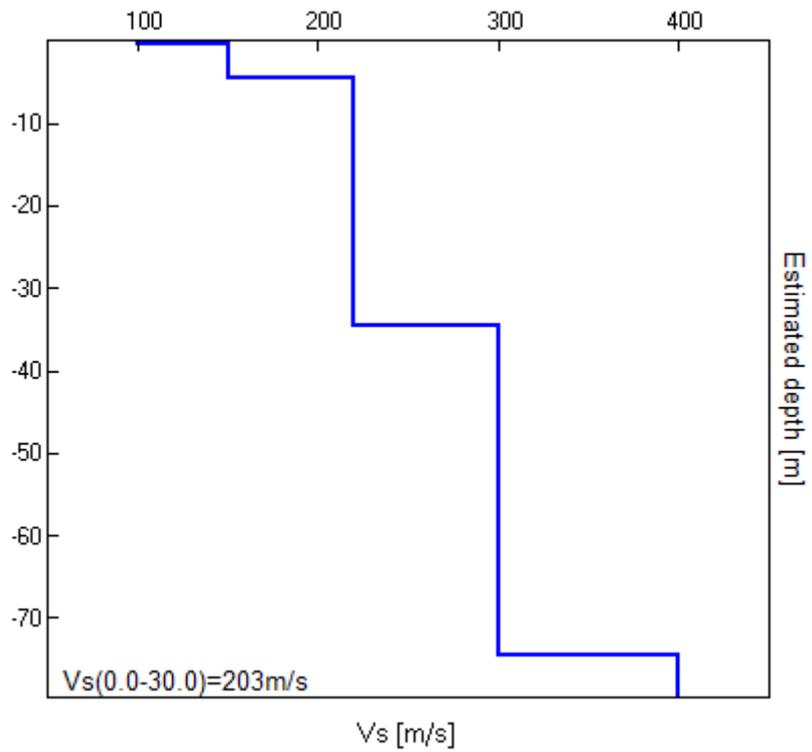


Figura . **Modello di velocità delle onde di taglio (V_s) medio sotto l'area indagata ottenuto dal fit congiunto di prove in array e H/V.**

APPENDICE B.

In questa appendice sono riportati in forma numerica i valori dei parametri estratti dalle prove geofisiche pregresse e di nuova acquisizione nel Comune di Forlì. Il significato dei simboli in colonna è come segue:

COD	Numero identificativo della prova
VN	Indica se la prova è di vecchia (V) o nuova (N) acquisizione. Per "nuova" si intende acquisita nel novembre 2011 ai fini di questo lavoro
TIPO	H/V prova sismica passiva a stazione singola MASW, prove sismica multicanale attive (MASW) e passive (ReMI/ESAC) basate sulla dispersione delle onde di superficie ReMi, ESAC TOMOS tomografia sismica a rifrazione in onde S RIFRA prova sismica a rifrazione DH prova sismica in foro di tipo down-hole CH prova sismica tra fori di tipo cross-hole
Z	Profondità in metri raggiunta dall'indagine. Dove non è fornita il motivo è l'illeggibilità dei report di prova o una scarsa qualità della prova stessa
VsH	Velocità delle onde S nello strato omogeneo equivalente di spessore H
H	Profondità in metri del bedrock sismico
Vs30	Velocità delle onde S nello strato omogeneo equivalente ai primi 30 m di spessore
f	Valore della frequenza di risonanza più bassa riscontrabile nel sito tramite prova H/V (in Hz).
Amp	Ampiezza del picco H/V alla frequenza f
f ₀	Valore della frequenza di risonanza fondamentale nel dominio di frequenze di interesse ingegneristico determinata tramite prova H/V (in Hz).
Amp ₀	Ampiezza del picco H/V alla frequenza f ₀
f ₁	Valore di altre frequenza di risonanza a frequenza > f ₀ riscontrate nel sito tramite prova H/V (in Hz).
Amp ₁	Ampiezza del picco H/V alla frequenza f ₁
Fa	Fattore di amplificazione dello spettro dell'accelerazione a basso periodo (in prossimità del periodo proprio al quale si verifica il massimo della risposta in accelerazione) (ICMS, 2008)
Fv	Fattore di amplificazione dello spettro di velocità a periodo proprio, per il quale si verifica la massima risposta in pseudo velocità (ICMS, 2008)
Fa _{PGA0}	fattore di amplificazione di PGA ₀ (Peak Ground Acceleration, accelerazione sismica di picco al bedrock) (Atto di Indirizzo per la MZS in Emilia Romagna, 2007)
Fa I _s [0.1 - 0.5]s	Fattore di amplificazione dell'intensità spettrale I _s nell'intervallo di periodo 0.1-0.5 s (Atto di Indirizzo per la MZS in Emilia Romagna, 2007)
Fa I _s [0.5, 1]s	Fattore di amplificazione dell'intensità spettrale I _s nell'intervallo di periodo 0.5-1 s (Atto di Indirizzo per la MZS in Emilia Romagna, 2007)
UTM X	Longitudine un coordinate del reticolato UTM (in km)
UTM Y	Latitudine un coordinate del reticolato UTM (in km)

COD	VN	TIPO	Z [m]	V _{sH} [m/s]	H [m]	V _{s30} [m/s]	f [Hz]	Amp	f ₀ [Hz]	Amp ₀	f ₁ [Hz]	amp ₁	F _a (ICMS)	F _v (ICMS)	F _a PGAD RER	F _a I _s 0.1-0.5s RER	F _a I _s 0.5-1s RER	UTM X [km]	UTM Y [km]
1	V	H/V	1000			330	0.25	1.8	0.9	1.8	6		1.4	1.7	1.4	1.7	2.0	740350.18927	4902372.99447
2	V	H/V	1000			330			0.9	1.8	7		1.4	1.7	1.4	1.7	2.0	740358000	4902389000
3	V	H/V	1000			260	0.25	1.8	1.5	2	5		1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	743504000	4899571000
4	V	ReMi	35			260	0.25	1.8	1.5	2	5		1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	743504000	4899571000
5	V	H/V	1000			260	0.25		1.5		5		1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	743505.68430	4899593.88567
6	V	ReMi				260	0.25		1.5		5		1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	743478.47665	4899593.88567
7	V	H/V	1000			230	0.3	1.8	1.5	2.3			1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	742616.42385	4899510.83075
8	V	ReMi	35			230	0.3		1.5	2.3			1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	742594.94413	4899510.83075
9	V	H/V	1000			200			1	3			1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	744972.04888	4902407.93252
1	V	MASW	30			200			1	3			1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	744962.01866	4902388.98655
11	V	H/V	1000			310	0.3		1.3	2.2	5	1.2	1.4	1.9	1.5	1.7	2.3	744398.97868	4899987.40182
12	V	MASW	15			260							1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	743727.30389	490721.88759
13	V	H/V	1000			240			2	1.8			1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	742229.59339	4899090.91304
14	V	ReMi	50			240			2	1.8			1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	742222.49863	4899071.04771
15	V	H/V	1000	240	10	310	0.25	1.5	1	1.5	6	2.5	1.4	1.9	2	1.9	1.5	737441.49991	4901173.86655
16	V	H/V	1000			200	0.4	1.8	1	2.8			1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	744970.000	4902387.000

17	V	H/V	1000			300			1	1.8	7	3.0	1.4	1.9	1.5	1.7	2.3	74162 7.000	49013 9.7000
18	V	H/V	1000			280	0.4	1.8	0.9	2.5	4		1.4	1.9	1.5	1.7	2.3	74469 7.9096 4	490709 .533 37
19	V	H/V	1000			270	0.25	1.9	1	2.5			1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	74238 1.436 80	490078 9.204 52
20	V	H/V	1000			300	0.25	1.5	0.6	1.5	7	3.0	1.4	1.9	1.5	1.7	2.3	74262 7.516 44	489717 4.891 32
21	V	H/V	1000			240			1.3	3	5	1.5	1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	74337 3.496 68	49002 46.98 630
22	V	H/V	1000			210			1	2	4	1.5	1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	7423 22.40 633	490208 7.444 12
23	V	MASW	16			210			1	2	4	1.5	1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	74230 7.0108 6	490207 9.046 59
24	V	MASW	10			230							1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	74378 6.375 05	49011 21.72 861
25	V	H/V	1000			270			1	1.8			1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	740409 .2897 1	48942 58173
26	V	ReMi	15			270			1				1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	740417 .13177	48942 52.1 2019
27	V	H/V	1000			250	0.3	1.5	0.9	2	4	2.0	1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	740575 .454 91	49020 28.82 391
28	V	MASW	35			250	0.3	1.5	0.9	2	4	2.0	1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	740560 .05041	49020 30.53 552
29	V	H/V	1000			220	0.3	1.5	1.5	2.2			1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	74625 3.646 02	48995 37.68 307
30	V	ReMi	40			220	0.3	1.5	1.5	2.2			1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	74626 2.950 0	48995 35.02 479
31	V	H/V	1000			200			0.9	1.8	6	1.2	1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	73952 4.2008 1	490702 0.556 92
32	V	MASW	20			200			0.9	1.8	6	1.3	1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	73951 3.32 402	490700 4.241 73
33	V	H/V	1000			200	0.4	1.7	1	3			1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	745007 .52000	49023 37.200 0
34	V	MASW	25			200	0.4	1.7	1	3			1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	745007 .52000	49023 37.200

																			00
35	V	H/V	1000			230			1.1	2.5			1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	74269 8.623 39	490120 3.846 73
36	V	MASW	25			230			1.1	2.5			1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	74271 1.072 33	490119 9.4006 8
37	V	H/V	1000			370	0.3	2	1.3	1.5			1.4	1.7	1.4	1.7	2.0	7422 59.5 2876	48955 92.05 323
38	V	H/V	1000			310			0.9	2.1			1.4	1.9	1.5	1.7	2.3	74354 0.06008	49019 50.72 338
39	V	H/V	1000			230			2	2			1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	74248 2.886 65	48991 27.92 878
40	V	H/V	1000			240			1.3	3			1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	74276 8.289 23	490011 .90540
41	V	H/V	1000			280	0.2	2	2.5	1.5			1.4	1.9	1.5	1.7	2.3	74142 9.211 20	48985 55.58 091
42	V	MASW	30			280	0.2	2	2.5	1.5			1.4	1.9	1.5	1.7	2.3	74143 3.839 35	48985 43.2 3918
43	V	H/V	1000			220			0.9	2			1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	74301 4.728 54	49055 16.86 189
44	V	MASW	30			220			0.9	2			1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	74302 8.1031 9	49055 11.28 912
45	V	H/V	1000			300			1	2	7	3.0	1.4	1.9	1.5	1.7	2.3	74162 2.658 56	490140 1.0480 1
46	V	H/V	1000			280	0.15	2	0.9	2			1.4	1.9	1.5	1.7	2.3	74429 7.3760 2	48991 82.33 615
47	V	H/V	1000			260			1.3	2	8	1.6	1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	74567 6.651 (0)	48993 91.61 389
48	V	H/V	1000			280	0.25	2	2	2			1.4	1.9	1.5	1.7	2.3	74314 4.8601 6	48987 57.38 344
49	V	H/V	1000			290			1.3	3	4	1.5	1.4	1.9	1.5	1.7	2.3	74384 0.1927 0	490019 1.326 42
50	V	H/V	1000			200			0.7	2			1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	741085 .3785 3	490918 5.698 56
51	V	ReMi	25			200			0.7	2			1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	741082 .90640	490917 3.337

																			91
52	V	H/V	1000			2 20			1	2	3.5	1.5	1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	74312 6.0410 3	49017 23.5 5462
53	V	H/V	1000			2 30			2	2			1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	74261 3.055 83	489907 7.417 23
54	V	H/V	1000			2 20			1	2			1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	74248 6.4001 4	49014 98.92 893
55	V	H/V	1000			2 40	0.2	2.8	1	2			1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	74230 9.348 30	490117 8.6079 2
56	V	MASW	35			2 40	0.2	2.8	1	2			1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	7423 21.69 404	490116 9.348 62
57	V	MASW	15			2 70							1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	74245 0.1800	490082 8.5300 0
58	V	H/V	100	2 50	14	3 80			5.5	3			1.3	1.6	1.4	1.7	2.0	74234 7.754 95	48937 20.57 500
59	V	MASW	18			2 20							1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	746067 .19720	489901 5.378 30
60	V	H/V	1000			2 2 0							1.2	2.0	1.8			746067.19720	489901 5.378 3
61	V	H/V	1000			2 30	0.3	1.5	1.5	2	7		1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	74538 7.0510 9	49002 43.75 987
62	V	ReMi	25			2 30	0.3	1.5	1.5	2	7		1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	74541 9.746 11	490029 4.764 11
63	V	H/V	1000			2 00							1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	73731 2.145 45	490387 8.994 40
64	V	H/V	1000			3 00							1.4	1.9	1.5	1.7	2.3	738797 .7759 3	49068 36.75 386
65	V	H/V	1000			2 30	0.35	3	0.9	3			1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	74734 1.491 30	490028 6.123 92
66	V	ReMi	25			2 30							1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	74736 3.390 55	490029 1.1010 2
67	V	H/V	500						1.1	2.5								74612 2.05000	490113 4.6100 0
68	V	H/V	1000			2 90	0.2		1.1	2.1			1.4	1.9	1.5	1.7	2.3	7425 26.2	49011 23.04

																	5185	715	
69	V	H/V	1000			290	0.2		1.1	2.1			1.4	1.9	1.5	1.7	2.3	74257 7.985 49	490120 1.359 54
70	V	H/V	1000			290	0.2		1.1	2.1			1.4	1.9	1.5	1.7	2.3	74251 0.589 37	49012 26.51 444
71	V	H/V	1000			300	0.2		1.1	2.1			1.4	1.9	1.5	1.7	2.3	74245 4.584 14	490111 4.503 98
72	V	H/V	1000						0.9	3.5	5	3.0						74144 3.52 456	49019 60.45 911
73	V	H/V	1000			260	0.3	2	1	2			1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	74183 2.758 27	49019 54.83 840
74	V	ReMi	25			260	0.3		1				1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	74184 5.404 85	49019 49.9 2029
75	V	H/V	80			210			1	1.5	8	2.0	1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	74486 2.27 202	49028 25.37 513
76	V	H/V	80			210			1	1.5	8	2.0	1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	744870 .4735 7	49027 53.38 379
77	V	H/V	80			210			1	1.5	8	2.0	1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	74489 6.9007 7	49026 88.68 271
78	V	H/V	80			210			1	1.5	8	2.0	1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	74494 9.755 17	490277 9.8109 9
79	V	H/V	80			210			1	1.5	8	2.0	1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	74482 2.175 58	49027 33.3 3556
80	V	MASW	19			240							1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	74748 5.616 70	490038 8.245 29
81	V	H/V	1000			340	0.25	1.80					1.4	1.7	1.4	1.7	2.0	741716 .5695 7	48957 55.48 831
82	V	H/V	1000			340	0.25	1.80					1.4	1.7	1.4	1.7	2.0	74163 5.62 669	48958 52.87 948
83	V	ReMi	50			340	0.25	1.80					1.4	1.7	1.4	1.7	2.0	74165 5.537 77	48958 10.027 37
84	V	H/V	1000								5.5	1.8						74498 8.531 93	489670 3.0714 0
85	V	H/V	1000				0.25	2	0.8	1.8								74644 7.294	49043 66.01

																		44	325
86	V	H/V	1000				0.25	2	0.8	1.8								74633 0.4901 4	490418 8.3109 8
87	V	H/V	1000						1.6	2.2								74410 4.548 79	48995 07.361 92
88	V	H/V	1000						1.6	2.2								74403 3.916 49	48993 72.82 420
89	V	H/V	1000			290							1.4	1.9	1.5	1.7	2.3	740847 .7310 2	490200 2.193 97
90	V	H/V	1000			290	0.2	2	1	2			1.4	1.9	1.5	1.7	2.3	740812 .8112 8	49019 37.408 66
91	V	H/V	1000			290	0.2	2	1	2			1.4	1.9	1.5	1.7	2.3	740758 .5937 8	490197 7.842 04
92	V	H/V	1000				0.3	2	0.9	2								74351 6.997 55	49025 24.30 793
93	V	H/V	1000				0.3	2	0.9	2								743601 .6276 4	49025 71.804 41
94	V	H/V	1000			200	0.25	1.50	0.9	1.1			1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	75161 2.886 28	49032 18.97 499
95	V	H/V	1000						1	3								745087 .2612 5	49015 46.3 4756
96	V	MASW	0															74320 2.308 80	490081 7.174 58
97	V	MASW	0															74320 6.012 98	490076 6.903 65
98	V	MASW	18			250							1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	74244 7.186 46	490190 4.614 26
99	V	ReMi	0															74512 7.617 43	48989 52.67 719
100	V	H/V	0															74513 9.742 94	48989 45.6 5715
101	V	ReMi	0															74515 2.506 64	48989 40.55 167
102	V	H/V	1000			200			1	2.5			1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	74652 5.982	490020 6.096

																		72	14
103	V	CROSS	50															74312 4.52 254	48987 48.71 497
104	V	CROSS	40															74820 3.062 06	49018 24.3 6784
105	V	CROSS	55															74441 2.911 46	48975 58.907 54
106	V	H/V	100					1.2	1.8	3	2.5							74652 0.7578 2	48991 78.981 11
107	V	H/V	80					1	1.5	4	1.5							74540 9.312 14	49085 67161
108	V	H/V	80							4	1.5							74857 4.230 39	49064 51.35 013
109	V	H/V	100					0.9	2									750066 .122 30	49046 28.84 288
110	V	H/V	100					0.9	2									74897 9.135 27	49035 75.49 665
111	V	H/V	100					1.1	1.5	8	1.5							74934 8.196 53	49024 72.97 968
112	V	H/V	100					1.3	1.5									74894 8.311 48	49013 48.82 178
113	V	H/V	100					1	2									746160 .2079 3	49014 32.04 324
114	V	H/V	100					1	2									74508 5.098 98	49028 16.42 977
115	V	H/V	100					1	1.5									74537 6.754 61	49028 61.53 945
116	V	H/V	100					0.9	2									746109 .0657 6	490406 7.595 15
117	V	H/V	0															747004 .71997	490440 4.728 80
118	V	H/V	100					0.8	2									74537 3.744 42	49044 83.25 003
119	V	H/V	0															74233 0.3617	49064 63.20

																		7	135
120	V	H/V	0															740187 .47057	490360 9.759 49
121	V	H/V	100					0.8	1.2									74121 4.956 93	49034 37.33 891
122	V	MASW	0															74429 2.821 83	49027 49.708 09
123	V	H/V	100					1	2									74425 7.956 94	49027 60.42 495
124	V	H/V	100					0.9	1.5									74381 9.151 47	490200 5.0208 4
125	V	H/V	100								2.5	1.8						73986 9.6907 1	48937 60.099 86
126	V	H/V	100								7	4.5						73756 1.9070 4	490092 8.684 49
127	V	H/V	100															737062 .2719 6	48983 85.42 142
128	V	H/V	100					1.5	1.5									73845 1.974 12	48985 31.52 168
129	V	H/V	100					0.8	1.2	8	1.8							73956 1.0617 8	48984 55.3 9972
130	V	H/V	100					1	1.5									74142 5.567 12	48995 18.371 60
131	V	H/V	100					1.6	1.5									741517 .18081	48996 68.704 96
132	V	H/V	100								7	3.5						738901 .78481	48961 89.67 831
133	V	H/V	100								3	2.0						74167 9.785 47	48959 22.8 4382
134	V	H/V	0															74345 7.895 29	48969 19.12 888
135	V	H/V	100								8	1.5						74341 8.1064 1	489711 6.8177 9
136	V	H/V	100					1	2	6	2.5							745076 .5799	48971 42.14

																		9	351
137	V	ReMi	0															745073 .5859 3	48971 25.71 703
138	V	H/V	100					1	1.8									74427 2.146 27	48984 51.17 424
139	V	H/V	100							1								746207 .74087	48950 63.58 886
140	V	H/V	0															73976 9.516 99	48936 03.35 249
141	V	H/V	100					1	1.5	5	6.0							747014 .01672	48979 39.66 011
142	V	H/V	100					1.5	1.8	6	2.0							74553 3.156 08	48993 19.99 426
143	V	H/V	100					1.2	1.8	4	1.5							74541 1.991 18	490049 0.631 62
144	V	H/V	100					1	2	5	1.2							74465 3.024 87	49002 21.070 82
145	V	H/V	100					1.1	1.5	1	1.8							74465 2.49 594	490010 3.0147 4
146	V	H/V	100					1	2	4	1.5							74425 0.404 39	49004 27.64 198
147	V	H/V	100					1	2.3									74271 1.458 68	490098 6.26 372
148	V	H/V	100					1	3									74323 5.247 16	490111 1.616 97
149	V	H/V	100					0.9	2.4	4	1.5							743010 .9775 5	490173 0.77080
150	V	H/V																74267 8.9970 0	49015 91.52 940
151	V	H/V	100					0.9	2	4	1.5							74268 6.693 19	49015 57.57 816
152	V	CONOS I	20	200														74441 9.341 23	490061 5.45 393
153	V	DOWN	30			210							1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	74637 1.848	49013 38.61

																		39	244
154	V	H/V																74524 0.8027 1	49012 22.76 692
155	V	DOWN	30			230						1.4	1.9	1.5	1.8	2.3		74526 9.855 97	490120 5.661 95
156	V	H/V	1000			220	0.25	2	1	2		1.2	2.0	1.5	1.8	2.5		74254 0.922 71	490287 5.0727 0
157	V	H/V	1000			220	0.3	2	1	2		1.2	2.0	1.5	1.8	2.5		7425 28.71 516	49028 39.88 622
158	V	H/V				190			0.8	1.5		1.2	2.0	1.5	1.8	2.5		740894 .7044 3	49093 32.15 022
159	V	H/V	1000			230	0.35	2	1	2		1.4	1.9	1.5	1.8	2.3		74493 3.7117 5	49032 74.94 084
160	V	ReMi	25			230	0.35		1			1.4	1.9	1.5	1.8	2.3		74494 8.714 21	49032 55.73 768
161	V	H/V	1000			210			1.1	2.5	9	1.2	2.0	1.5	1.8	2.5		74525 1.672 85	49021 23.89 542
162	V	ReMi	30			210			1.1	2.5	9	1.2	2.0	1.5	1.8	2.5		745300 .3849 6	49021 37.81 316
163	V	H/V	1000			230			1.1	2.5	9	1.4	1.9	1.5	1.8	2.3		74539 6.191 50	49019 36.83 499
164	V	ReMi	25			230			1.1	2.5	9	1.4	1.9	1.5	1.8	2.3		74541 7.1920 0	49019 28.43 480
165	V	H/V	1000				0.4	1.5	1.1	2.2								74451 2.0706 2	49029 63.75 925
166	V	MASW	31			210						1.2	2.0	1.5	1.8	2.5		74139 4.860 42	48988 91.178 76
167	V	H/V																74425 6.976 86	49056 40.013 77
168	V	MASW																74426 5.158 63	49056 64.5 5909
169	V	H/V	1000			230	0.3	1.5	1	2	7	1.4	1.9	1.5	1.8	2.3		74946 0.3101 4	49032 50.051 82
170	V	MASW	16			230	0.3	1.5	1	2	7	1.4	1.9	1.5	1.8	2.3		74944 9.904	49032 34.4

																		49	4335
171	V	RIFRA	30			240							1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	74756 7.585 92	490095 6.179 68
172	V	H/V	1000				0.25	2.2	1.1	1.9	1							74550 1.916 22	48964 13.32 854
173	V	H/V	1000				0.25	2.2	1	2	7							74544 7.363 16	48963 18.878 46
174	V	H/V	1000			320			0.9	1.8	4.5	2.0	1.4	1.9	1.5	1.7	2.3	747119 .0626 6	490073 6.188 39
175	V	H/V	1000				0.2	1.5	1.1	2.5								743880 .3111 9	490084 0.6930 0
176	V	MASW	15			230							1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	74388 6.7879 7	490087 6.315 32
177	V	MASW	15			230							1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	74394 8.965 12	4900800 .5369 3
178	V	MASW	0															74632 0.623 17	49039 86.63 559
179	V	H/V	100								5	1.5						73989 3.721 89	490728 6.668 19
180	V	H/V																74376 6.54 433	49012 27.59 909
181	V	ReMi																74896 4.841 43	49035 84.11 933
182	V	MASW																74899 8.346 53	49035 64.97 356
183	V	MASW																74895 7.355 97	49013 45.75 978
184	V	ReMi																740201 .5993 1	490360 3.146 19
185	V	ReMi																737038 .3204 3	489840 9.468 32
186	V	ReMi																741680 .8151 4	48959 15.71 434
187	V	ReMi							0.7	1.5								74342 8.1758	48969 26.05

																		8	916
188	V	ReMi																74427 7.0103 3	48984 61.04 445
189	V	ReMi																747002 .51980	48979 17.813 09
190	V	MASW																74464 6.517 89	490010 5.961 44
191	V	ReMi																742709 .98878	490098 5.44 999
192	V	MASW																743006 .424 42	490173 1.946 43
193	V	ReMi																74301 5.0806 4	49017 29.6 3810
194	V	H/V																74529 7.0197 6	490119 4.0718 3
195	V	MASW																73958 7.1887 8	489703 5.7890 2
196	V	H/V	100							6	2.5							73958 7.1887 8	489701 0.312 59
197	V	H/V	100							6	2.5							73961 2.66 521	489704 3.627 92
198	V	H/V	100							3	1.8							74305 2.927 82	48982 89.010 98
199	V	H/V	100							3	1.8							743010 .30150	48983 82.01 387
200	V	H/V	100							2.5	1.8							74306 6.490 74	48984 78.891 88
201	V	MASW																743005 .4576 0	48984 62.4 2262
202	V	H/V	100							7	2.0							74420 6.64 260	48946 92.66 965
203	V	H/V	100						1	1.6								75296 6.260 15	490078 3.031 85
204	V	ReMi																75296 0.4508	490075 7.8580

																		1	4
205	V	H/V	100					1	1.5									753080 .51050	49011 58.70 2.50
206	V	MASW	18			2.90						1.4	1.9	1.5	1.7	2.3		7424 27.53 633	48984 16.09 4.69
207	V	ReMi	100							6	1.5							74243 3.28 264	48984 25.9 45.51
208	V	H/V																748086 .07360	49066 99.86 878
209	V	ReMi																74389 4.474 11	490078 1.497 17
210	V	ReMi																74391 2.857 32	490088 7.2006 5
211	V	TOMOS	30			210						1.2	2.0	1.5	1.8	2.5		74486 4.485 84	49027 63.98 43.6
212	V	TOMOS	30			210						1.2	2.0	1.5	1.8	2.5		74485 6.29 571	49027 46.11 498
213	V	H/V	1000			300		0.9	2	7	2	1.4	1.9	1.5	1.7	2.3		738857 .000	490680 8.000
214	V	MASW				2.50						1.4	1.9	1.5	1.8	2.3		74612 8.06000	490387 7.2400 0
215	N	H/V	1000				0.25											74742 2.46 924	49036 73.24 404
216	N	MASW- ReMi- ESAC	18			200			1.5			1.2	2.0	1.5	1.8	2.5		74742 2.46 924	49036 73.24 404
217	N	H/V	1000					0.9	1.1									74751 2.903 87	490470 1.262 17
218	N	H/V	1000				0.25	2		1.5								74818 4.551 96	49044 13.047 90
219	N	H/V	1000				0.2	2		1.5								74820 6.766 70	49036 97.64 9.68
220	N	H/V	1000						1.1	1.1	7	2.0						747790 .5963 6	49025 67.0707 1
221	N	H/V	1000						1.1									74468 2.21 261	490587 7.4701 6

222	N	MASW- ReMi- ESAC	18			210							1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	74468 2.21 261	490587 7.4701 6
223	N	H/V	1000				0.25	2		1.2								74529 3.42 235	490677 4.138 74
224	N	H/V	1000				0.25	2		1.2								74532 4.608 31	49079 38023
225	N	H/V	1000				0.25	2	0.9	1.2		1.5						74366 6.22 548	490772 4.62 634
226	N	H/V	1000				0.25	1.5		1.2								73944 1.8071 2	490871 8.306 94
227	N	MASW- ReMi- ESAC	17			200							1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	73944 1.8071 2	490871 8.306 94
228	N	H/V	1000				0.25	1.5		1.2								742050 .2765 3	49085 94.64 215
229	N	H/V	1000				0.25	1.8		1.3								740767 .7432 0	490809 3.127 26
230	N	H/V	1000				0.25	1.8		1.3								74042 1.383 43	490751 0.350 28
231	N	H/V	1000				0.25	1.8		1.5								739108 .8856 6	49024 62.06 615
232	N	H/V	1000				0.25	1.5		1.5		1.5						73948 5.991 16	49012 35.67 466
233	N	MASW- ReMi- ESAC	15			280							1.4	1.9	1.5	1.7	2.3	73948 5.991 16	49012 35.67 466
234	N	H/V	1000				0.25	1.3	1.1	1.3		2.0						740388 .9549 4	490028 3.139 35
235	N	H/V	1000				0.25	1.3	1.1	1.3		3.0						734901 .1963 9	49022 30.778 03
236	N	H/V	1000				0.25	2	0.9	1.3	3.5	2.0						73409 9.238 23	49012 56.09 159
237	N	H/V	1000				0.25	1.50	0.9	1.1	3.5	2.0						74210 2188	489877 1.9840 4
238	N	H/V	1000				0.3	1.5	1.1	1.1								74372 3.902 20	48962 99.72 168

239	N	H/V	1000				0.3	1.2	1.1	1.2								7432 20.307 98	48955 29.6 3361
240	N	MASW- ReMi- ESAC	15			280							1.4	1.9	1.5	1.7	2.3	7432 20.307 98	48955 29.6 3361
241	N	H/V	1000						1.5	2								74058 2.710 26	48943 92.18 800
242	N	MASW- ReMi- ESAC	16			260							1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	74058 2.710 26	48943 92.18 800
243	N	H/V	1000				0.3	1.5		1.5			1.8					747087 .90141	48937 61.40 301
244	N	H/V	1000						1.1	1.8			2.0					74694 5.461 69	489750 2.46 449
245	N	H/V	1000				0.25	1.5		1.3			2.0					74667 2.518 92	48965 71.13 494
246	N	H/V	1000							1.5	5.5	2.0						74679 6.0783 5	48971 23.2 8962
247	N	MASW- ReMi- ESAC	25			280							1.4	1.9	1.5	1.7	2.3	74679 6.0783 5	48971 23.2 8962
248	N	H/V	1000				0.4	1.5		2								74536 9.24 246	48999 96.74 384
249	N	H/V	1000				0.3	2	0.9	2	7	2.0						74854 7.5031 0	48997 53.3 2734
250	N	H/V	1000				0.25	1.5		1.8			1.2					74298 0.4198 8	49021 67.29 302
251	N	MASW- ReMi- ESAC	17			250							1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	74298 0.4198 8	49021 67.29 302
252	N	H/V	1000				0.3	1.3	0.9	2								74283 8.935 99	49019 44.5 3398
253	N	H/V	1000				0.4	2		2								74244 0.538 29	490183 1.8401 1
254	N	H/V	1000							1.5	5	2.0						741898 .5213 2	490181 1.812 15
255	N	MASW- ReMi- ESAC	20			270							1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	741898 .5213 2	490181 1.812 15

256	N	H/V	1000					1.2	2								74264 9.742 12	490059 1.0371 1
257	N	H/V	1000					0.8	2								74331 4.29 951	490138 3.7701 7
258	N	H/V	1000					0.9	1.8		2.2						74327 2.179 34	49038 65.107 70
259	N	H/V	1000					0.7	1.8		2.0						74216 5.451 08	49048 56.36 070
260	N	H/V	1000					0.7	2								740388 .399 21	49047 98.91 611
261	N	H/V	1000			0.30		0.8	1.8								7532 27.29 871	490186 9.437 99
262	N	H/V	1000					0.8	1.8								75355 1.288 25	49035 80.895 25
263	N	H/V	1000					0.6	2								756001 .15817	49034 18.41 300
264	N	H/V	1000					1.1	2.1								74269 6.123 62	490066 4.743 46
265	N	H/V	1000					0.9	1.5								74269 4.128 42	490305 3.316 00
266	N	MASW- ReMi- ESAC	16			200						1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	74269 4.128 42	490305 3.316 00
267	N	DH	73			260						1.4	1.9	1.5	1.8	2.3	74285 9.135 94	49014 61.71 416
268	N	CONOS	26														74268 4.897 32	490305 5.194 01
269	N	CONOS	30			200						1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	74603 3.511 92	49036 55.9 4445
270	N	CONOS	30			190						1.2	2.0	1.5	1.8	2.5	74145 0.90709	49089 28.65 781

