



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



Regione Emilia Romagna



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 dalla legge 24 giugno 2009, n.77

MICROZONAZIONE SISMICA livello 2

Regione Emilia-Romagna

Comuni di Brisighella, Casola Valsenio, Castel Bolognese, Riolo Terme



Relazione illustrativa

| Regione | Soggetto realizzatore | Data |
|----------------|-----------------------------------------|-----------|
| EMILIA-ROMAGNA | Studio di geologia Gabriele Tarabusi | 9/10/2015 |



INDICE

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introduzione | 1 |
| 2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento | 6 |
| 3. Assetto geologico, geomorfologico e idrogeologico | 20 |
| 4. Dati geotecnici e geofisici | 29 |
| 5. Modello del sottosuolo | 34 |
| 6. Interpretazioni e incertezze | 36 |
| 7. Metodologie di elaborazione e risultati | 41 |
| 8. Elaborati cartografici | 46 |
| 9. Bibliografia | 56 |
| Allegato 1 - Sezioni geologiche | |
| Allegato 2 - Rapporti delle indagini | |

1. INTRODUZIONE

1.1 Criteri di realizzazione dello studio e riferimenti normativi

L'Unione dei Comuni della Romagna Faentina (figura 1.1) è risultata destinataria di contributi per la realizzazione di studi di microzonazione sismica del territorio di propria competenza. Tali contributi sono stati finanziati in ossequio al OCDPC 52/2013, recepiti dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione della Giunta Regionale n.1919/2013. In particolare, il contributo è stato destinato alle seguenti attività:

- adeguamento agli standard di archiviazione informatica con analisi CLE (per i Comuni di Brisighella, Casola Valsenio, Castel Bolognese e Riolo Terme);
- locali approfondimenti di livello 3 (per il Comune di Faenza);
- analisi CLE e locali approfondimenti di livello 3 (per il Comune di Solarolo);

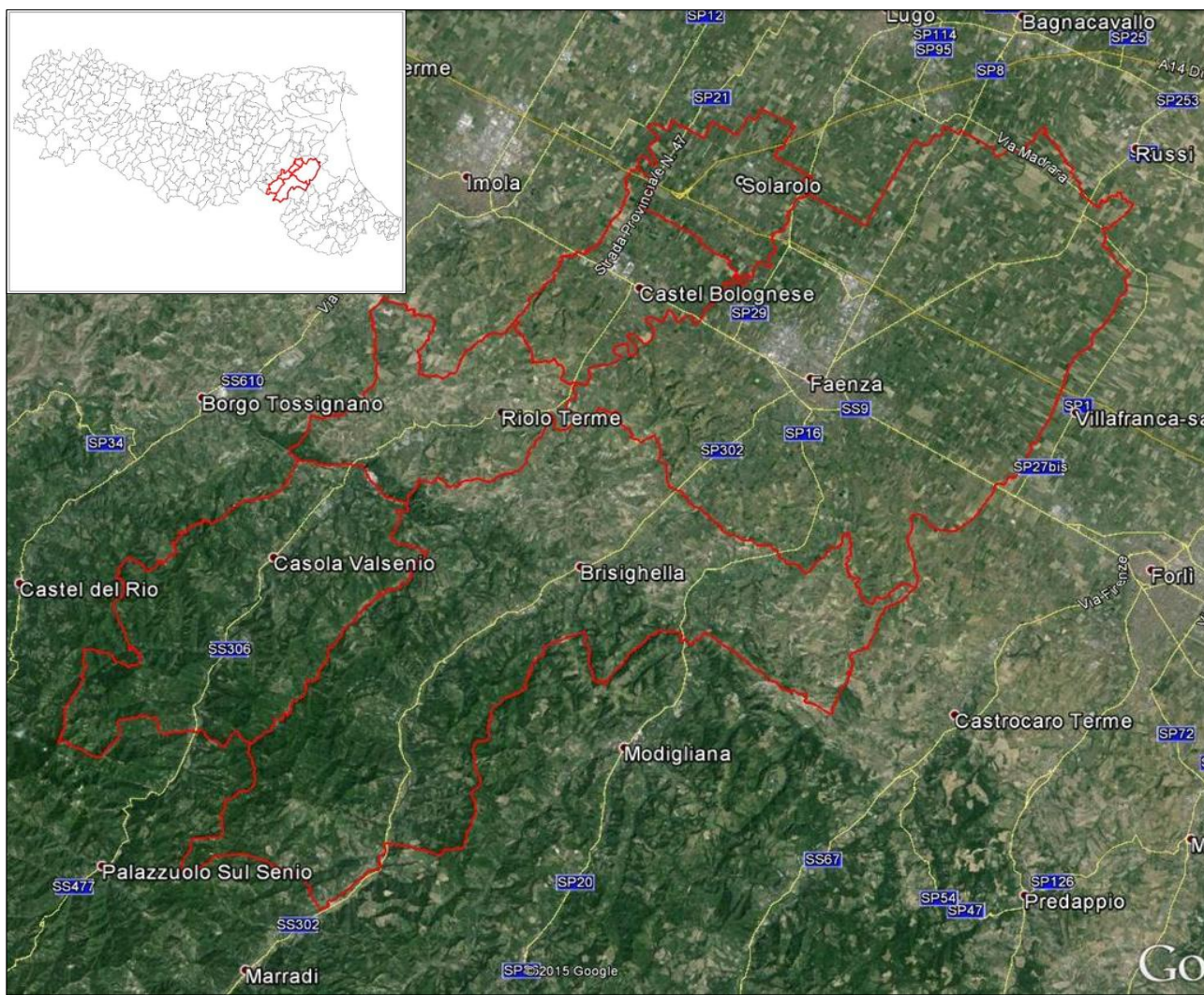


Figura 1.1 – Localizzazione del territorio amministrativo dell'Unione della Romagna Faentina.

L'Unione dei Comuni della Romagna Faentina ha affidato al dr. Geol. Gabriele Tarabusi il lavoro di adeguamento agli standard di archiviazione informatica dei Comuni di Brisighella, Casola Valsenio, Castel Bolognese e Riolo Terme, mentre ha affidato al Raggruppamento di Professionisti (dr. Geol. Samuel Sangiorgi; dr. Geol. Tiziano Righini; dr. Geol. Antonio Milioto) l'elaborazione delle analisi di microzonazione sismica di terzo livello per l'ambito

territoriale dei Comuni di Faenza e di Solarolo. Questi ultimi due Comuni hanno parti di territorio caratterizzate da particolari criticità geologiche in caso di terremoto (susceptibilità alla liquefazione), come già riscontrato dalle precedenti analisi di microzonazione sismica.

Occorre infatti rammentare che l'Unione della Romagna Faentina già dispone di uno studio¹ sismico parzialmente equiparabile ad un primo e secondo livello di approfondimento (Marabini e Poggiali, 2009). Questo precedente lavoro è stato elaborato a corredo del Quadro Conoscitivo per il Piano Strutturale Comunale (PSC) in forma associata².

Il presente lavoro è stato redatto sulla base delle indicazioni contenute nell'Allegato C della Delibera n. 1919/2013 della Giunta della Regione dell'Emilia-Romagna, dal titolo "Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione dei contributi di cui all'ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile 52/13 a favore degli Enti locali". L'Unione della Romagna Faentina, è infatti risultata assegnataria di tali contributi.

Per quanto non specificato nel suddetto documento, i riferimenti tecnici per la realizzazione dello studio e per l'elaborazione e la redazione delle tavole cartografiche sono rappresentati dai seguenti testi:

- "Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 3.0", redatto dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2013), da qui in avanti "Standard MS 3.0";
- "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica", approvato dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni (Gruppo di lavoro MS, 2008; AA.VV., 2011), da qui in avanti "ICMS".

Nella redazione dello studio ci si è inoltre riferiti alle seguenti normative:

- Delibera Assemblea Legislativa (DAL) n. 112/2007 Art. 16 c.1 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica";
- L.R. 30/10/2008 n.19 "Norme per la riduzione del Rischio Sismico";
- D.M. del 14/01/2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".

1.2 Lo studio di microzonazione sismica preesistente e l'attività di adeguamento

Scopo della microzonazione sismica è la suddivisione dettagliata del territorio in base al comportamento dei terreni durante un evento sismico e ai possibili effetti indotti dallo scuotimento. Essa rappresenta uno strumento di prevenzione e riduzione del rischio sismico particolarmente efficace se realizzato e applicato già in fase di pianificazione urbanistica.

¹Piano Strutturale Comunale Associato Faenza – Brisighella – Casola Valsenio – Castel Bolognese – Riolo Terme – Solarolo: Quadro

²Ai sensi della LR n.20/2000 e ss.mm.

Costituisce quindi un supporto fondamentale agli strumenti di pianificazione comunale per indirizzare le scelte urbanistiche verso le aree a minore pericolosità sismica.

Per ottimizzare costi e tempi la microzonazione sismica è attualmente richiesta nelle aree urbanizzate, in quelle suscettibili di trasformazioni urbanistiche e lungo le fasce a cavallo delle reti infrastrutturali (Regione Emilia-Romagna, 2013).

Per il presente lavoro, l'area oggetto dello studio di microzonazione (definita come "ambiti di studio" nelle cartografie) per ciascun comune è stata perimetrata dai tecnici dell'Ufficio Associato di Pianificazione Urbanistica dell'Unione. Il perimetro di tali ambiti è identificato in tutte le tavole cartografiche con un tratto di colore azzurro.

Nel 2009, un gruppo di lavoro che aveva come responsabile il dr. Geol. Stefano Marabini e che era coordinato dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna (da qui in avanti SGSS), ha realizzato una serie di elaborati per lo studio di Microzonazione Sismica a scala dell'Unione, che all'epoca hanno rappresentato un riferimento per novità e qualità del prodotto (Marabini e Poggiali, 2009). Nell'ambito dell'attuale studio è stato però necessario procedere ad una completa rivisitazione di quanto esistente e alla realizzazione di diversi nuovi elaborati richiesti dagli attuali standard di archiviazione informatica (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2013). Lo studio del 2009 aveva infatti previsto, oltre ad elaborati di inquadramento (carte geolitologica, geomorfologica, idrogeologica, ecc.) a scala dell'Unione (1:50.000) e quindi non adeguabili agli standard attuali, la sola "carta di microzonazione sismica" a scala comunale. Tale carta era stata però realizzata solo per il fattore di amplificazione in Intensità Spettrale di Housner (SI) per un intervallo di periodi compresi tra 0,1 e 0,5 secondi, ed è quindi solo parzialmente assimilabile alla cartografia di secondo livello richiesta dagli attuali standard.

La necessità di fornire elaborati con contenuti informativi molto diversi e aggiuntivi rispetto a quanto già disponibile dal precedente studio, ha suggerito, sin dalla fase di impostazione del lavoro, di reperire ed archiviare dati di indagini geognostiche e geofisiche realizzate anche dopo il 2009, di eseguire un attento confronto rispetto ai dati più aggiornati della Cartografia Geologica della Regione Emilia-Romagna e soprattutto di realizzare una campagna di misure di microtremore a stazione singola che potessero fornire ulteriori utili indicazioni per l'elaborazione dei modelli sismo-stratigrafici. Tale campagna è stata quindi realizzata dallo studio scrivente sebbene non fosse espressamente prevista dall'incarico di "adeguamento agli standard".

La disponibilità di nuovi dati ha permesso di risolvere in parte alcune delle inevitabili incertezze dello studio del 2009 e quindi ad esempio di apportare, in accordo coi tecnici del SGSS regionale, anche alcune modifiche ai contenuti della "carta di microzonazione sismica": sia alle perimetrazioni delle aree che ai fattori di amplificazione ad esse attribuiti (grazie ai dati delle nuove indagini e alle indicazioni aggiornate della Cartografia Geologica). Si è in ogni caso cercato di mantenere il più possibile l'impostazione generale dello studio del 2009, ereditandone in particolare i criteri di suddivisione delle microzone, che rimangono la base concettuale della Microzonazione Sismica. Il risultato è un lavoro che è a metà strada tra un adeguamento agli standard (come da incarico ricevuto) e un

nuovo studio di Microzonazione Sismica. In ogni caso in diversi passaggi della presente relazione verranno evidenziate analogie e differenze con lo studio del 2009.

1.3 Elaborati prodotti

I documenti di riferimento e sintesi del presente studio sono costituiti dalle tavole cartografiche (corredate da sezioni geologiche) e dai dati informatizzati ad esse associate. La presente relazione, oltre a caratterizzare e inquadrare l'area oggetto delle analisi nel contesto geologico e sismotettonico regionale, descrive le metodologie seguite e illustra i risultati dello studio di microzonazione rappresentati nelle diverse cartografie.

Gli elaborati dello studio di microzonazione sismica in oggetto sono i seguenti:

- le 32 tavole cartografiche in formato PDF (illustrate al capitolo 8), 8 per ciascuno dei 4 comuni dell'Unione (tabella 1);
- i 4 archivi informatizzati dei dati delle indagini (alfanumerici e cartografici in formato "shp" - shapefile), uno per ciascuno dei 4 comuni dell'Unione;
- la relazione descrittiva in formato PDF, unica per i 4 comuni dell'Unione;
- le 5 sezioni geologiche (allegato 1) in formato PDF;
- i rapporti delle indagini di nuova esecuzione (allegato 2).

| Elaborato cartografico | Comune di Brisighella | Comune di Casola Valsenio | Comune di Castel bolognese | Comune di Riolo Terme |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Carta delle indagini | Tavola 1a | Tavola 1b | Tavola 1c | Tavola 1e |
| Carta geologico-tecnica | Tavola 2a | Tavola 2b | Tavola 2c | Tavola 2e |
| Carta delle frequenze naturali dei terreni | Tavola 3a | Tavola 3b | Tavola 3c | Tavola 3e |
| Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) | Tavola 4a | Tavola 4b | Tavola 4c | Tavola 4e |
| Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) | Tavola 5a | Tavola 5b | Tavola 5c | Tavola 5e |
| Carta di microzonazione sismica di livello 2 - FAPGA | Tavola 6a | Tavola 6b | Tavola 6c | Tavola 6e |
| Carta di microzonazione sismica di livello 2 - FH _{0.1-0.5} | Tavola 7a | Tavola 7b | Tavola 7c | Tavola 7e |
| Carta di microzonazione sismica di livello 2 - FH _{0.5-1.0} | Tavola 8a | Tavola 8b | Tavola 8c | Tavola 8e |

Tabella 1.1 - Elaborati cartografici redatti per lo studio di microzonazione sismica per ciascuno dei 4 comuni. Le lettere al termine del nome della tavola identificano il comune e tengono conto di Faenza (d) e Solarolo (f), facenti anch'essi parte dell'Unione e oggetto di un altro incarico per specifici approfondimenti.

Tutti gli elaborati sono stati realizzati secondo le specifiche indicate, per il primo, il secondo e il terzo livello di approfondimento, negli allegati C e D della Delibera n.1919/2013 (Regione Emilia-Romagna, 2013). Tali specifiche rimandano sostanzialmente alle linee guida emanate dal Dipartimento della Protezione Civile con gli Standard MS 3.0 (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2013), che dettagliano ogni aspetto legato a tali studi, integrandoli con la richiesta di alcuni specifici elaborati aggiuntivi, come specificato al capitolo 8. Si segnala a questo proposito che l'obbligo di attenersi in modo rigoroso ai suddetti standard di rappresentazione, ha vincolato il presente lavoro sia a livello di articolazione delle tavole (numero e tipologia) e della relazione (titoli e ordine dei

capitoli), che a livello di rappresentazione cartografica (tematismi rappresentati, legende e denominazioni, ma anche layout, colori e font dei caratteri) e di contenuti descrittivi.

Si sottolinea che, come previsto dagli Standard MS 3.0 (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2013) e come dettagliato all'inizio del paragrafo, per tutti i Comuni dell'Unione sono state realizzate quattro distinte serie di elaborati cartografici (tabella 1), rammentando che per i Comuni di Brisighella, Casola Valsenio, Castel Bolognese e Riolo Terme, le cartografie di microzonazione sismica si riferiscono al "livello 2" di approfondimento, mentre per i Comuni di Faenza e Solarolo si riferiscono al "livello 3".

Le cartografie elaborate hanno utilizzato come base topografica di riferimento lo strato raster fornito dai Comuni dell'Unione. Questa cartografia rappresenta un ulteriore aggiornamento della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5.000 per quanto riguarda lo stato dell'urbanizzato (edifici e viabilità). Per questo lavoro, la base topografica raster è stata georeferenziata secondo il sistema di riferimento richiesto, ovvero nelle coordinate "WGS_1984_UTM_Zone_33N", per produrre tutti gli strati informativi in formato numerico in coerenza con quanto richiesto dagli Standard.

Per i Comuni di Brisighella, Casola Valsenio, Castel Bolognese e Riolo Terme, si è deciso di elaborare un'unica relazione con i relativi allegati, in quanto il lavoro è stato condotto in maniera integrata sui quattro comuni e costituisce l'adeguamento di un unico studio realizzato a scala dell'Unione. Le attività svolte, dalla programmazione delle indagini alla suddivisione areale delle carte di microzonazione, sono state infatti condotte senza quasi tenere conto dei confini amministrativi, ma ragionando sempre sull'intera area in esame, nell'ottica di caratterizzare al meglio tutti gli ambiti di interesse a partire da una visione più generale dell'intero territorio dell'Unione che integrasse tutti i dati disponibili (anche di concerto con tutti i soggetti realizzatori degli approfondimenti).

Per i comuni di Faenza e Solarolo, gli approfondimenti espletati di "livello 3" hanno reso necessario redigere due relazioni specifiche, al fine di consentire un'adeguata descrizione delle analisi espletate.

2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Riferimenti bibliografici

La sismicità di un territorio è strettamente connessa al suo contesto tettonico-strutturale, dunque alla presenza di strutture geologicamente “attive”. Alla base di ogni stima della pericolosità sismica di un territorio vi è quindi l’indispensabile conoscenza della sua storia sismica (cioè di tutte le informazioni sui terremoti avvenuti nel passato) e della geologia strutturale locale, fattori strettamente connessi tra loro.

A supporto della redazione del presente capitolo, sono stati utilizzati i dati liberamente consultabili di database pubblici sviluppati da diversi enti e gruppi di ricerca:

- il CPTI11 - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani versione 2011 (Rovida et al., 2011; <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI11/>), che raccoglie i parametri dei terremoti avvenuti in Italia fino al 2011;
- il DBMI11 - Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI11 (Locati et al., 2011 <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>) e la sua precedente versione DBMI04 (Stucchi et al., 2007);
- il CFTI4Med - Catalogo dei Forti Terremoti in Italia e in area mediterranea (Guidoboni et al., 2007; <http://storing.ingv.it/cfti4med/>), che riporta per numerose località i risentimenti di circa 300 tra i terremoti storici più forti avvenuti sul territorio italiano, e fornisce anche informazioni sul contesto storico, sociale e demografico in cui gli eventi si sono prodotti, sui parametri epicentrali, sugli effetti dei terremoti sull’ambiente fisico (fagliazione superficiale, frane sismo-indotte, liquefazioni, maremoti, ecc.), sul danneggiamento dei centri storici e di beni monumentali;
- la Mappa di Pericolosità Sismica Nazionale (Gruppo di lavoro MPS04, 2004; <http://esse1.mi.ingv.it/>) che definisce una “pericolosità di base” su un reticolo di punti di riferimento. Ai punti del reticolo sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del terremoto atteso, i valori di a_g (accelerazione orizzontale massima del suolo) e dei principali “parametri spettrali” riferiti all’accelerazione orizzontale, da utilizzare per il calcolo dell’azione sismica;
- la Zonazione Sismogenetica ZS9 (Meletti e Valensise, 2004; <http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>), che individua sul territorio italiano 42 macrozone-sorgente e ha rappresentato il riferimento per i calcoli di pericolosità sismica nel territorio nazionale di cui al punto precedente;
- il Database delle Sorgenti Sismogenetiche Italiane DISS versione 3.2.0 (DISS Working Group, 2015 e Basili et al., 2008; <http://diss.rm.ingv.it/>), che contiene sorgenti individuali e composite di terremoti, intese come una rappresentazione georeferenziata semplificata e in 3D di faglie (sorgenti individuali) o regioni contenenti faglie (sorgenti composite) in grado di generare terremoti di M 5.5 o superiore.
- il Catalogo della Sismicità Italiana (Castello et al., 2006; <http://csi.rm.ingv.it/>) che contiene tutti gli eventi registrati dalle stazioni della Rete Sismica Nazionale dal 1981 al 2002;
- il Database ISIDe (ISIDe Working Group 2010; <http://iside.rm.ingv.it/>), che contiene tutti gli eventi registrati dalle stazioni della Rete Sismica Nazionale dal 2003 ad oggi.

2.2 Sismicità storica

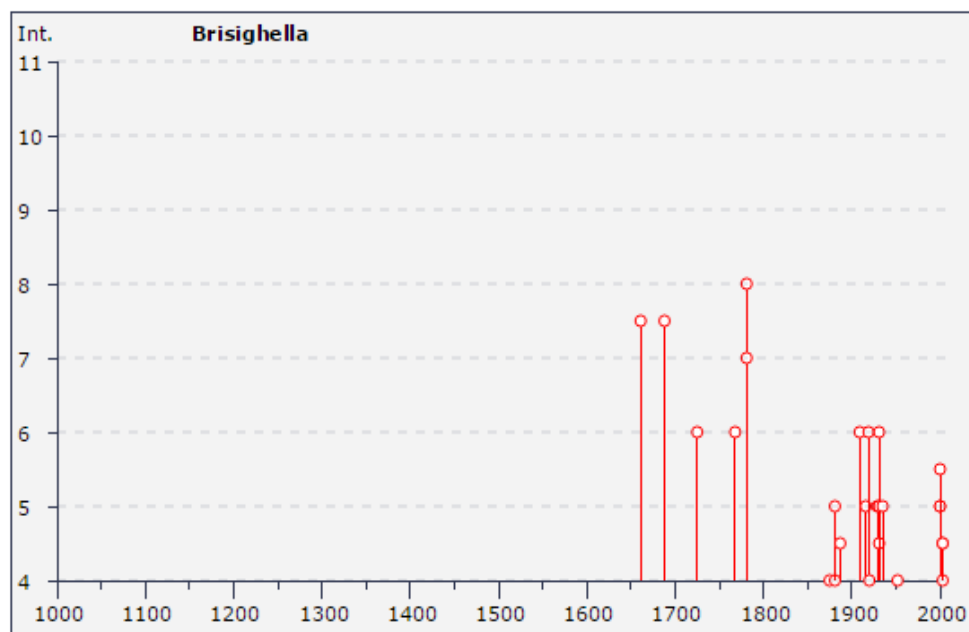
Il DBMI11 (Locati et al., 2011), indica, per l'area dell'Unione, effetti di danno a partire dall'anno 1661 con intensità macrosismiche che arrivano fino al grado IX-X della scala MCS (Sieberg, 1930), registrato in alcune frazioni di Brisighella in occasione del terremoto del 4 aprile 1781. Di seguito si riportano le schede che sintetizzano la storia sismica dei quattro capoluoghi comunali in formato tabellare (con intensità a partire dal grado V MCS) e grafico (tutti i valori di intensità).

Storia sismica di Brisighella [44.223, 11.775]



Numero di eventi: 43

| Effetti | In occasione del terremoto del: | | | | |
|---------|---------------------------------|--------------------------|-----|-----------------|--|
| I[MCS] | Data | Ax | Np | Io Mw | |
| 8 | 1781 04 04 21:20 | Romagna | 96 | 9-10 5.94 ±0.17 | |
| 7-8 | 1661 03 22 12:50 | Appennino romagnolo | 79 | 9 6.09 ±0.16 | |
| 7-8 | 1688 04 11 12:20 | Romagna | 39 | 8-9 5.78 ±0.35 | |
| 7 | 1781 07 17 09:40 | Romagna | 46 | 8 5.58 ±0.26 | |
| 6 | 1725 10 29 17:40 | Appennino tosco-emiliano | 28 | 8 5.43 ±0.34 | |
| 6 | 1768 10 19 23:00 | Appennino romagnolo | 45 | 9 5.87 ±0.21 | |
| 6 | 1909 01 13 00:45 | BASSA PADANA | 799 | 6-7 5.53 ±0.09 | |
| 6 | 1919 06 29 15:06 | Mugello | 566 | 10 6.29 ±0.09 | |
| 6 | 1931 04 05 13:34 | Faentino | 14 | 6 4.80 ±0.25 | |
| 5-6 | 2000 05 10 16:52 | Emilia Romagna | 151 | 5-6 4.86 ±0.09 | |
| 5 | 1881 02 12 | RUSSI | 14 | 5-6 4.95 ±0.39 | |
| 5 | 1916 05 17 12:49 | Alto Adriatico | 132 | 5.95 ±0.14 | |
| 5 | 1929 07 18 21:01 | Mugello | 56 | 6-7 5.02 ±0.17 | |
| 5 | 1931 12 15 03:31 | Mugello | 26 | 6 4.85 ±0.24 | |
| 5 | 1935 06 05 11:48 | Faentino | 27 | 6 5.16 ±0.25 | |
| 5 | 2000 05 06 22:07 | Emilia Romagna | 84 | 5 4.17 ±0.09 | |
| 5 | 2000 05 08 12:29 | Emilia Romagna | 126 | 5 4.66 ±0.09 | |

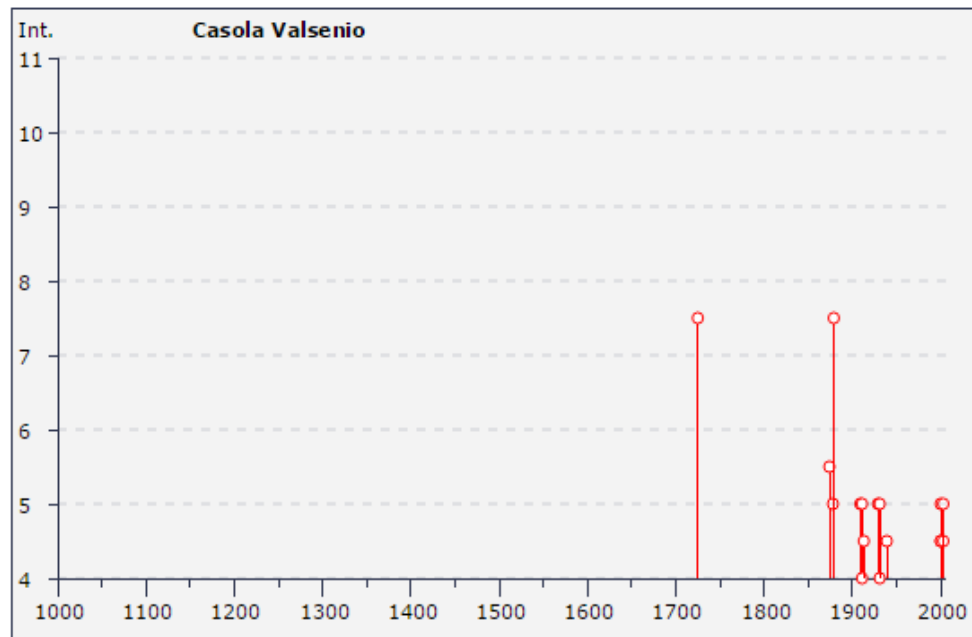


Storia sismica di Casola Valsenio
[44.223, 11.625]



Numero di eventi: 31

| Effetti | In occasione del terremoto del: | | | | |
|---------|---------------------------------|--------------------------|-----|-----|------------|
| I [MCS] | Data | Ax | Np | Io | Mw |
| 7-8 | 1725 10 29 17:40 | Appennino tosco-emiliano | 28 | 8 | 5.43 ±0.34 |
| 7-8 | 1879 04 27 04:06 | Valle del Senio | 20 | 7 | 5.05 ±0.50 |
| 5-6 | 1874 10 07 | IMOLESE | 60 | 7 | 5.02 ±0.18 |
| 5 | 1878 03 12 21:36 | Bolognese | 31 | 6 | 5.06 ±0.30 |
| 5 | 1909 01 13 00:45 | BASSA PADANA | 799 | 6-7 | 5.53 ±0.09 |
| 5 | 1911 02 19 07:18 | Romagna meridionale | 181 | 7 | 5.28 ±0.11 |
| 5 | 1929 07 18 21:01 | Mugello | 56 | 6-7 | 5.02 ±0.17 |
| 5 | 1931 12 15 03:31 | Mugello | 26 | 6 | 4.85 ±0.24 |
| 5 | 2000 05 06 22:07 | Emilia Romagna | 84 | 5 | 4.17 ±0.09 |
| 5 | 2003 09 14 21:42 | Appennino bolognese | 133 | 6 | 5.29 ±0.09 |

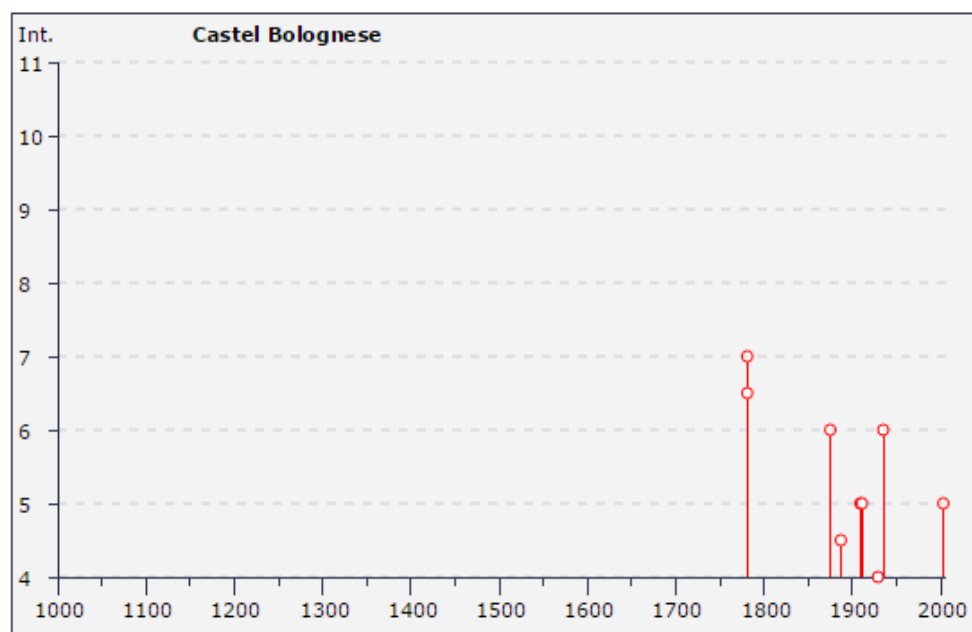


Storia sismica di Castel Bolognese [44.319, 11.799]



Numero di eventi: 18

| Effetti | In occasione del terremoto del: | | | |
|---------|---------------------------------|-----------------------|-----|-----------------|
| I[MCS] | Data | Ax | Np | Io Mw |
| 7 | 1781 04 04 21:20 | Romagna | 96 | 9-10 5.94 ±0.17 |
| 6-7 | 1781 07 17 09:40 | Romagna | 46 | 8 5.58 ±0.26 |
| 6 | 1875 03 17 23:51 | Romagna sud-orientale | 144 | 5.93 ±0.16 |
| 6 | 1935 06 05 11:48 | Faentino | 27 | 6 5.16 ±0.25 |
| 5 | 1909 01 13 00:45 | BASSA PADANA | 799 | 6-7 5.53 ±0.09 |
| 5 | 1911 02 19 07:18 | Romagna meridionale | 181 | 7 5.28 ±0.11 |
| 5 | 2003 09 14 21:42 | Appennino bolognese | 133 | 6 5.29 ±0.09 |

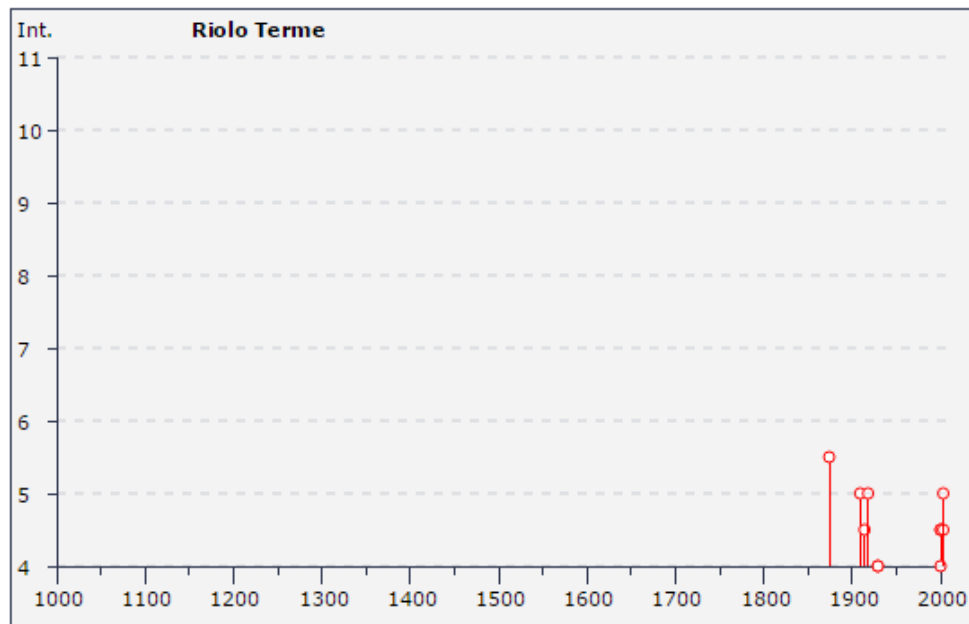


Storia sismica di Riolo Terme [44.276, 11.723]



Numero di eventi: 14

| Effetti | In occasione del terremoto del: | | | |
|---------|---------------------------------|---------------------|-----|----------------|
| I[MCS] | Data | Ax | Np | Io Mw |
| 5-6 | 1874 10 07 | IMOLESE | 60 | 7 5.02 ±0.18 |
| 5 | 1909 01 13 00:45 | BASSA PADANA | 799 | 6-7 5.53 ±0.09 |
| 5 | 1918 11 10 15:12 | Appennino romagnolo | 187 | 9 5.88 ±0.11 |
| 5 | 2003 09 14 21:42 | Appennino bolognese | 133 | 6 5.29 ±0.09 |



Secondo quanto riportato nel DBMI, l'evento sismico che ha prodotto i danni maggiori nel Faentino, soprattutto nel Comune di Brisighella (ma anche, con intensità inferiore, a Castel Bolognese) è quello del 4 aprile 1781 (a cui è attribuita una magnitudo di oltre 5.9), di cui è riportata un figura 2.1 la mappa degli effetti. Come è possibile osservare i maggiori effetti (grado IX-X MCS), con crolli e distruzioni diffusi, sono localizzati proprio in comune di Brisighella (Poggio, San Ruffillo, Villa San Giorgio in Vezzano) o al confine con quello di Faenza (Quartolo). L'epicentro macrosismico, in sostanza il "baricentro" degli effetti, è collocato infatti in comune di Brisighella in prossimità del confine con Faenza. Per questa sequenza sismica il catalogo CFTI4Med (Guidoboni et al., 2007) riporta la seguente sintesi degli effetti:

La scossa del 4 aprile, avvenuta alle ore 21:20 GMT circa, ebbe effetti disastrosi soprattutto nei dintorni di Brisighella dove 5 villaggi subirono la distruzione della quasi totalità del patrimonio edilizio: a Poggio crollarono 13 case su 18; a Quartolo 9 su 11; a Villa San Giorgio in Vezzano 36 su 40; a San Ruffillo 37 su 42; a Tebano su 42 case 2 crollarono completamente e 36 subirono crolli parziali e divennero pericolanti. Una ventina di altre località, quasi tutte del Faentino, subirono danni gravi. In particolare nell'area extraurbana di Faenza crollarono o furono gravemente lesionate 694 case, 46 chiese e 47 canoniche su un totale di oltre 2000 edifici (circa il 39%). A Faenza furono giudicati inabitabili 247 edifici su 1.832 (13% circa). L'area in cui il terremoto fu sentito fu molto ampia, da Lucca a Venezia.

Un'altra scossa, avvenuta il 17 luglio alle ore 9:40 GMT circa, pur meno forte di quella precedente, causò tuttavia gravi danni nella valle del fiume Montone, tra Faenza e Forlì. Crollarono case a Corleto e Scaldino, a Forlì i danni furono molto gravi; una quindicina di altre località, tra le quali Ravenna, subirono forti danni. A Ravenna furono danneggiati il palazzo apostolico, il duomo e le chiese di S. Giovanni Battista delle Catene,

MICROZONAZIONE SISMICA DEI COMUNI DI BRISIGHELLA, CASOLA VALSENIO, CASTEL BOLOGNESE E RIOLO TERME

di S.Domenico, di S.Giovanni Evangelista e di S.Maria di Porto. Furono nuovamente danneggiati Faenza e il suo contado dove, complessivamente, su oltre 2200 edifici ne divennero inabitabili 406 (18%). L'area in cui questa scossa fu sentita si estese da Lucca a Vicenza.

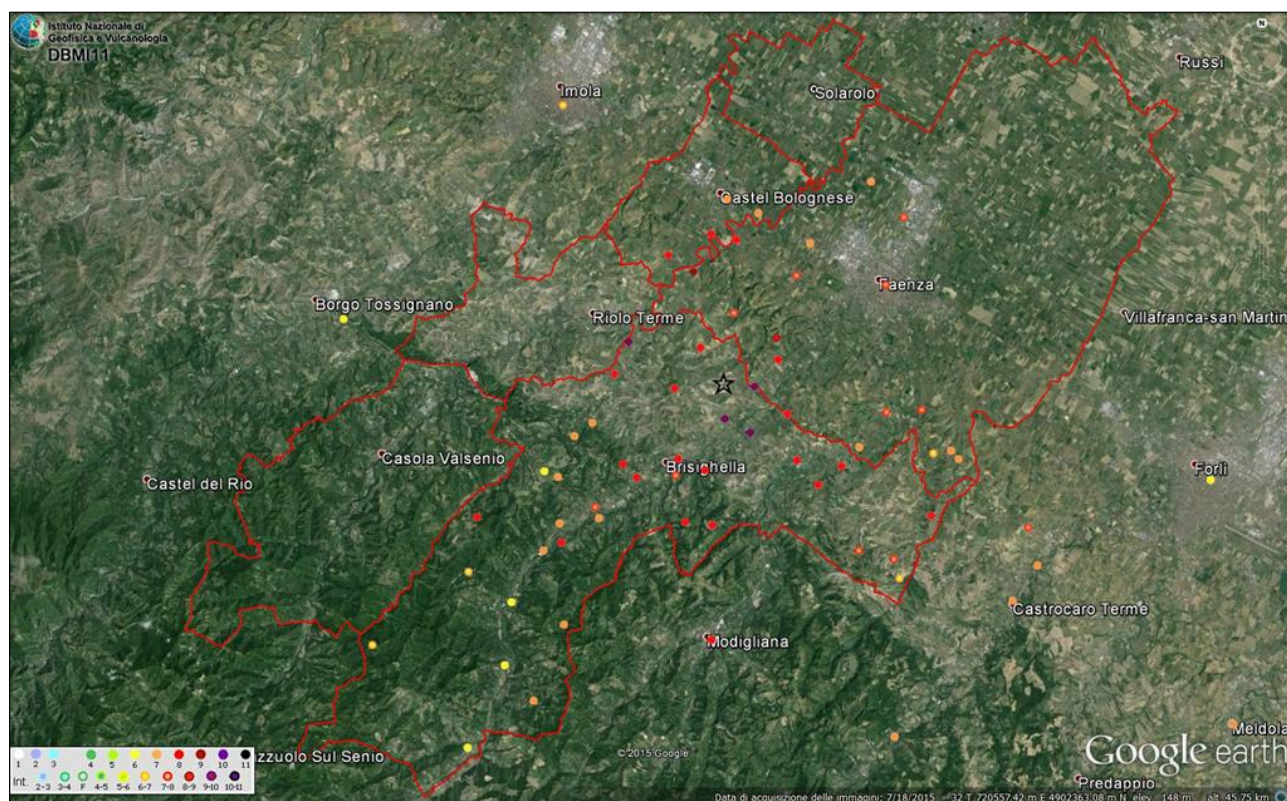


Figura 2.1. Gli effetti della scossa del 4 aprile 1781 in rapporto alle aree oggetto di studio (confini comunali distinti col tratto rosso). L'epicentro macrosismico è rappresentato con la stella nera.

Secondo quanto riportato nel DBMI, sono due gli eventi sismici che hanno invece prodotto i danni maggiori a Casola Valsenio (grado VII-VIII MCS), entrambi con epicentro macrosismico localizzato nel territorio comunale di Casola Valsenio, appartenenti a lunghe sequenze sismiche ed entrambi preceduti da scosse di minore intensità nei giorni precedenti: quello del 29 ottobre 1725 e quello del 27 aprile 1879.

Per la sequenza sismica del 1725 il catalogo CFTI4Med (Guidoboni et al., 2007) riporta la seguente sintesi degli effetti:

La scossa principale avvenne il 29 ottobre 1725 alle ore 17:40 GMT ca. (ore 1 della notte, in orario "all'italiana"); era stata preceduta da una scossa più leggera la sera precedente e fu seguita da una replica non forte alle ore 20:00 GMT circa (ore 4 della notte). La zona più colpita fu l'area appenninica toscoro-magnola fra le valli dei fiumi Santerno e Lamone. I danni più gravi avvennero a Castel del Rio, Fontanelice (all'epoca Fontana), Marradi, Palazzuolo sul Senio, Tossignano, dove vi furono crolli di abitazioni ed edifici religiosi. A Casola Valsenio la scossa causò il crollo del convento e della chiesa dei Domenicani; a Modigliana cadde la copertura del mastio della fortezza e furono danneggiati i muri e i soffitti della cappella di Santa Barbara. La scossa fu avvertita sensibilmente a Bologna e più leggermente a Firenze.

Per la sequenza sismica del 1879 il catalogo CFTI4Med (Guidoboni et al., 2007) riporta la seguente sintesi degli effetti:

Il periodo sismico fu caratterizzato da oltre 500 scosse di varia intensità avvertite fra il 25 aprile e il 3 maggio 1879. La scossa principale avvenne il 27 aprile 1879 alle ore 4:06 GMT ca. e colpì la vallata del Senio nell'Appennino tosco-romagnolo. Il terremoto ebbe i suoi massimi effetti a Casola Valsenio e a Palazzuolo sul Senio: nella prima località vi furono gravi danni alle abitazioni e, nella campagna circostante, crollarono varie case rurali; nella seconda molte case subirono danni notevoli. La scossa fu avvertita più o meno fortemente, ma senza danni, a Pieve di Casio, Modigliana, Borgo Tossignano, Castel del Rio, Guzzano, Firenze e Bologna. Numerose repliche furono avvertite successivamente, fino al 13 agosto 1879.

Un ulteriore evento sismico significativo, che ha prodotto effetti maggiori nella “bassa Romagna”, soprattutto a Cotignola (figura 2.2), ma che ha causato danneggiamenti anche nei Comuni di Solarolo (intensità macrosismica stimata pari al grado VIII) e Faenza, è quello del 4 novembre 1688, a cui è attribuita una magnitudo di circa 5.8 (epicentro macrosismico localizzato nei pressi di Cotignola). Per questo sisma, il catalogo CFTI4Med (Guidoboni et al., 2007) riporta la seguente sintesi degli effetti:

La scossa distruttiva avvenne l'11 aprile 1688 alle 12:20 GMT circa (ore 18 secondo l'uso orario "all'italiana") ed ebbe una durata di circa 20 secondi [...]. La località più danneggiata fu Cotignola, dove ci furono distruzioni estese a gran parte dell'abitato: 68 case crollarono totalmente e tutte le altre furono danneggiate gravemente e molte rese inabitabili; gravi danni subirono anche gli edifici pubblici ed ecclesiastici del paese, in particolare la chiesa parrocchiale di S. Stefano di cui crollò il tetto e furono gravemente lesionate le navate e il campanile. Danni molto gravi furono rilevati anche a Bagnacavallo: 40 case crollarono totalmente e quasi tutte le altre furono danneggiate; molti edifici di rilievo fra cui 11 chiese con gli annessi edifici monastici crollarono parzialmente o furono lesionate in modo grave. A Solarolo, Russi e Lugo ci furono crolli di abitazioni. Danni rilevanti avvennero in altre 15 località circa, fra cui Forlì, Imola, Cesena e Ravenna. La scossa fu sentita in modo molto forte a Bologna e a Venezia, dove causò leggeri danni sporadici; più leggermente fu avvertita fino a Padova a nord e fino a Firenze a sud. La scossa principale fu seguita da numerose repliche. Le più forti avvennero il 27 e 28 maggio 1688 e causarono qualche ulteriore danno a Imola e Faenza. Un grosso macigno si staccò dal monte sovrastante il paese di Brisighella causando gravi danni.

MICROZONAZIONE SISMICA DEI COMUNI DI BRISIGHELLA, CASOLA VALSENIO, CASTEL BOLOGNESE E RIOLO TERME

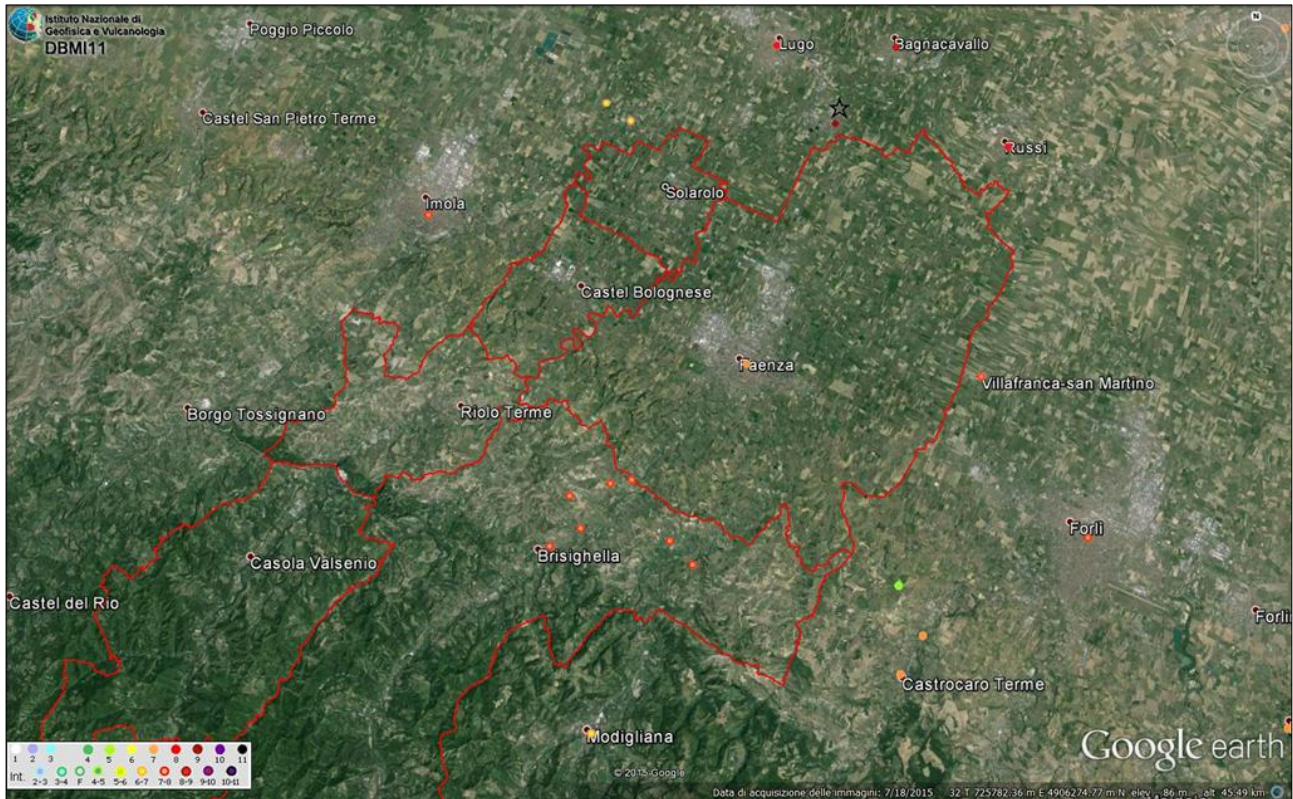


Figura 2.2 – Gli effetti della scossa dell'11 aprile 1688 in rapporto alle aree oggetto di studio (confini comunali distinti col tratto rosso). L'epicentro macrosismico è rappresentato con la stella nera

Occorre infine rammentare che, nella primavera del 2000, l'area Faentina e Forlivese è stata interessata da una sequenza di sismi di lieve e medio-bassa energia che, sebbene abbia provocato una diffusa preoccupazione tra la popolazione per il perdurare delle scosse, ha prodotto danni generalmente leggeri (classificati fino al VI MCS in due casi rispettivamente a Faenza e Brisighella), ma piuttosto diffusi (caduta di intonaci, lesioni capillari) e risultato del cumulo dei diversi eventi osservati. Va inoltre sottolineato che, in generale, il danneggiamento ha interessato prevalentemente edifici vulnerabili, o per tipologia edilizia o per condizioni di manutenzione. Complessivamente, sono stati registrati 70 eventi con magnitudo 3 o superiore, di cui 11 scosse con magnitudo superiore a 3.8. La più elevata (10 maggio 2000), ha raggiunto una magnitudo momento pari a 4,86.

Lo sciame sismico del 2000 è stato registrato dalle stazioni accelerometriche situate nel Capoluogo Faenza (figura 2.3). In particolare, la stazione "FNZ" (Rete Accelerometrica Nazionale) ha consentito di misurare una ag massima al suolo pari a $108,09 \text{ cm/s}^2$ (cioè pari a $0,110g$) per la principale scossa 10 maggio.

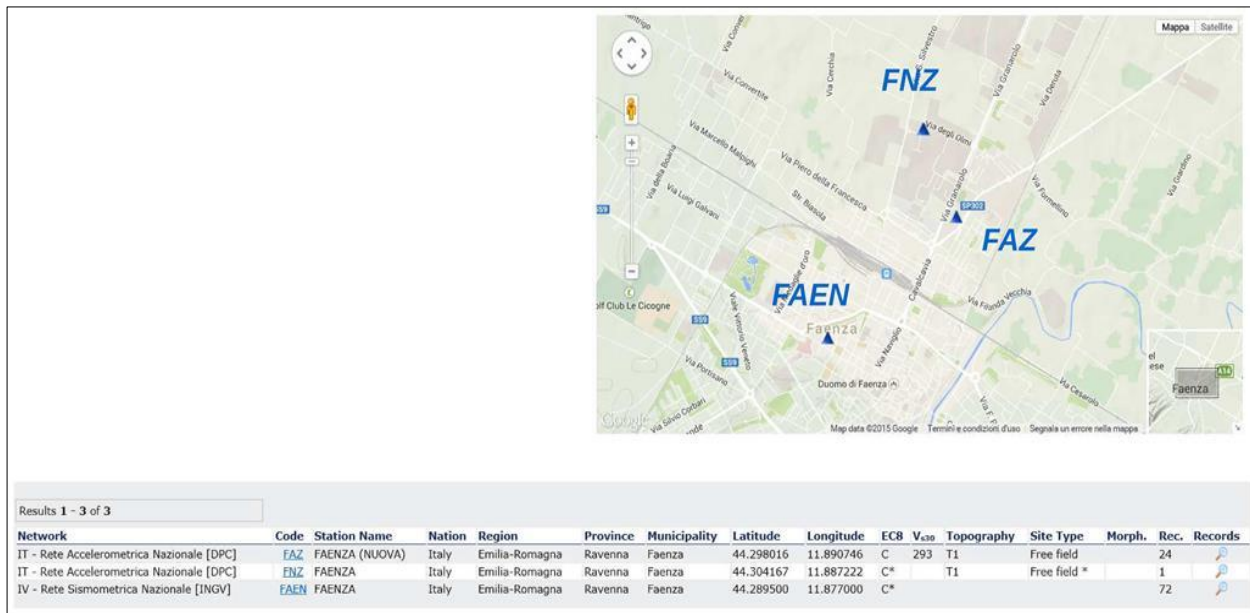


Figura 2.3 – Localizzazione delle stazioni accelerometriche di faenza (Fonte: INGV).

2.3 Sorgenti sismogenetiche

Secondo la Zonazione sismogenetica del Territorio Italiano - ZS9, prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) nel 2004 (Meletti e Valensise, 2004), che rappresenta il riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica nel territorio nazionale, l'area in esame ricade principalmente entro la Zona 914, mentre soltanto la porzione più settentrionale del territorio amministrativo di Faenza ricade nella Zona 912. Entrambe le zone sono caratterizzate da un valore di $M_{w,max}$ pari a 6.14.

Il database DISS (DISS Working Group, 2015) indica la presenza di tre sorgenti sismogenetiche che, complessivamente, attraversano la vasta area dell'Unione dei Comuni della Romagna Faentina. Come evidenziato dalla figura 2.4, gli epicentri macrosismici dei terremoti che hanno dato luogo ai maggiori risentimenti nei Comuni montani e collinari dell'area di studio, sono attribuibili a diverse sorgenti sismogenetiche composite del sistema compressivo appenninico, un sistema di faglie con vergenza nord-est. Anche per i Comuni di pianura, gli effetti di macrosismicità sono riconducibili a sorgenti sismogenetiche composite che derivano dal sistema di faglie del margine avanzato e sepolto dell'arco appenninico.

I principali effetti risentiti a Casola Valsenio sono dovuti ai terremoti del 1725 e 1879, riconducibili all'attività della sorgente *ITCS027 - Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga*, che è collocata ad una profondità compresa tra 12 e 22 km di profondità, ha uno *slip rate* compreso tra 0,1 e 0,5 mm/anno e a cui è associata una magnitudo massima di 6.2 (derivata però da sorgenti individuali dell'Appennino Umbro-Marchigiano lontane dall'area di studio). Il terremoto del 1781, che ha prodotto i massimi effetti di danno registrati storicamente nel comune di Brisighella è invece associato alla sorgente *ITCS001 - Castel San Pietro Terme-Meldola*, che è collocata ad una profondità compresa tra 2 e 8 km di profondità, ha uno *slip rate* compreso tra 0,24 e 0,63 mm/anno e a cui è associata una magnitudo massima di 5.8 (derivata dalla sorgente individuale *ITIS093 - Faenza*,

associata proprio al terremoto del 1781, così come definito nella versione 04 del catalogo CPTI).

Per il Comune di Solarolo, i principali effetti sono dovuti ai terremoti del 1688 e dell'aprile 1509. Quest'ultimo colpì un'area particolarmente ristretta della Romagna tra Faenza e Solarolo, dove causò dissesti e crolli parziali di edifici pubblici e di strutture militari. Entrambi i terremoti sono riconducibili all'attività delle due sorgenti composite associate: la *ITCS011 – Mordano – Guarniera* e la *ITCS109 – Fusignano – Villanova*, entrambe collocate ad una profondità compresa tra 2 e 10 km di profondità e con *slip rate* tra 0,10 e 0,33 mm/anno. A queste due sorgenti composite è associata una magnitudo massima di 6.0 (derivata dalla sorgente individuale *ITIS100 – Bagnacavallo* e associata al citato terremoto di Cotignola del 1688 e da altri terremoti avvenuti nella pianura romagnola).

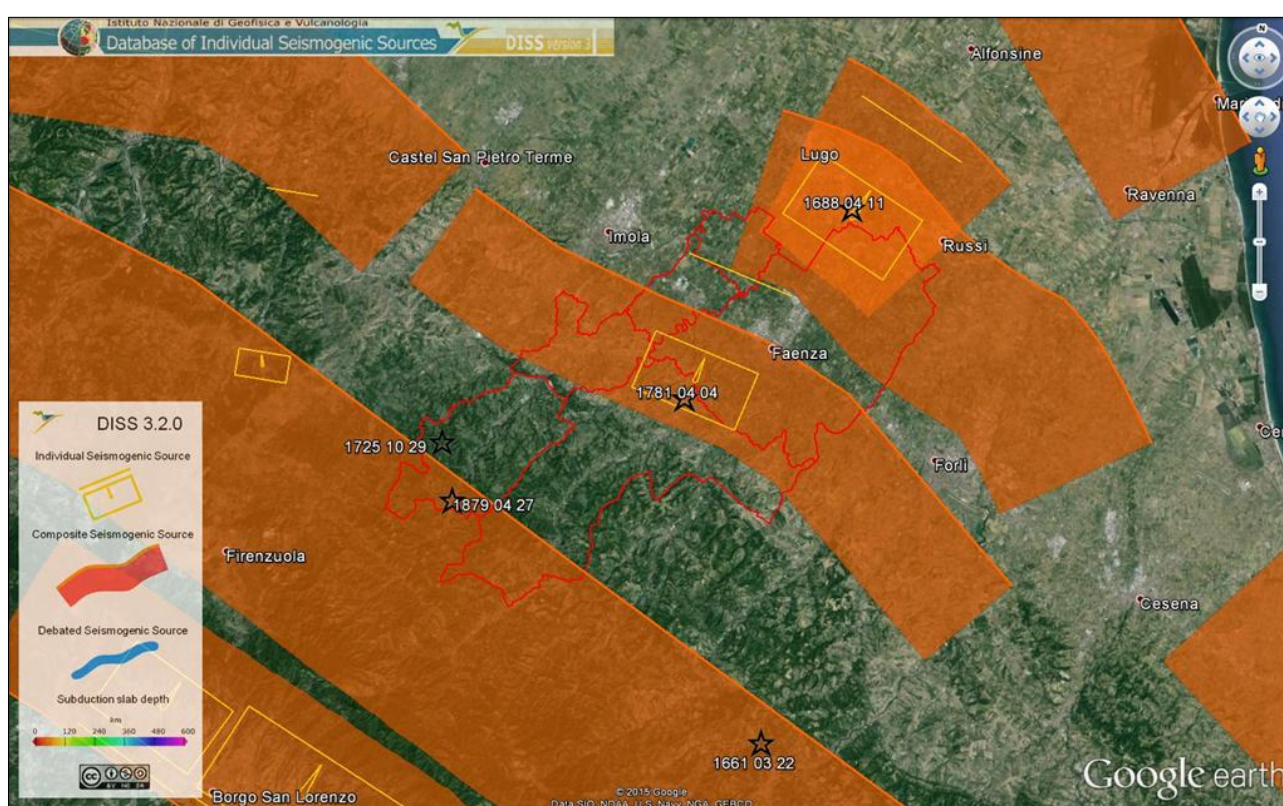


Figura 2.4. Le sorgenti sismogenetiche del database DISS 3.2.0, nell'intorno dell'area di studio. In rosso è distinta l'area dei comuni oggetto di studio. In nero sono rappresentati gli epicentri macrosismici dei principali eventi citati al paragrafo 2.2.

2.4 Altri elementi di pericolosità sismica di riferimento per la pianificazione territoriale

2.4.1 Gli indirizzi regionali per gli studi di microzonazione sismica (DAL n.112/2007)

Gli Indirizzi regionali per gli studi di microzonazione sismica (Regione Emilia-Romagna, 2007), sono stati elaborati sulla scorta degli esiti delle indagini sismiche che la Regione Emilia-Romagna ha effettuato nel territorio regionale a partire dalla fine degli anni '70 del secolo scorso e assumendo come riferimento (per gli studi applicati alla pianificazione territoriale), la pericolosità di base elaborata da INGV (recepita a livello nazionale dall'OPCM 3519/2006). In questo senso, gli allegati della citata Delibera forniscono tabelle

e formule propedeutiche alla valutazione semplificata dell'amplificazione locale (analisi di "secondo livello").

Gli allegati alla Delibera regionale forniscono, inoltre, i dati fondamentali per valutazioni più accurate della risposta sismica: lo spettro di risposta normalizzato di riferimento per l'Emilia-Romagna, per $T_r = 475$ anni, con smorzamento pari al 5% e i valori di PGA anch'essi normalizzati e riferiti al suolo rigido, per ogni Comune della Regione. Si precisa che tale forma spettrale è sostanzialmente congrua con lo spettro elastico di riferimento per le norme tecniche per le costruzioni attualmente vigenti (NTC 2008).

Per il territorio amministrativo dell'Unione della Romagna Faentina, le PGA di riferimento su suolo rigido attribuita dalla Regione Emilia-Romagna (Regione Emilia-Romagna, 2007 - Allegato A4) risultano:

| | |
|--------------------------------|---------------------------|
| Brisighella 0,210g | Faenza 0,205g |
| Casola Valsenio 0,209g | Riolo Terme 0,208g |
| Castel Bolognese 0,206g | Solarolo 0,200g |

Occorre precisare che, per permettere che i risultati degli studi di microzonazione siano confrontabili a scala comunale, il valore di PGA di riferimento al suolo rigido riportato nella DAL 112/2007 è unico per ciascun comune, ma è calcolato mediando i dati INGV alla scala nazionale, sintetizzati nella Mappa di Pericolosità Sismica nazionale (Gruppo di lavoro MPS04, 2004) (figura 2.5) e calcolati su una griglia di punti.

La mappa nazionale MPS04 (Gruppo di lavoro MPS04, 2004) descrive infatti anch'essa la pericolosità sismica attraverso il parametro dell'accelerazione massima attesa su suolo rigido e pianeggiante, con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni: i valori sono però attribuiti ad ogni punto della griglia di calcolo, costruita per tutto il territorio nazionale (griglia con una densità di 20 punti per grado, ossia circa un punto ogni 5 km). Tale mappa è diventata ufficialmente la mappa di riferimento per il territorio nazionale con l'emanazione dell'Ordinanza PCM 3519/2006 (G.U. n.105 dell'11 maggio 2006).

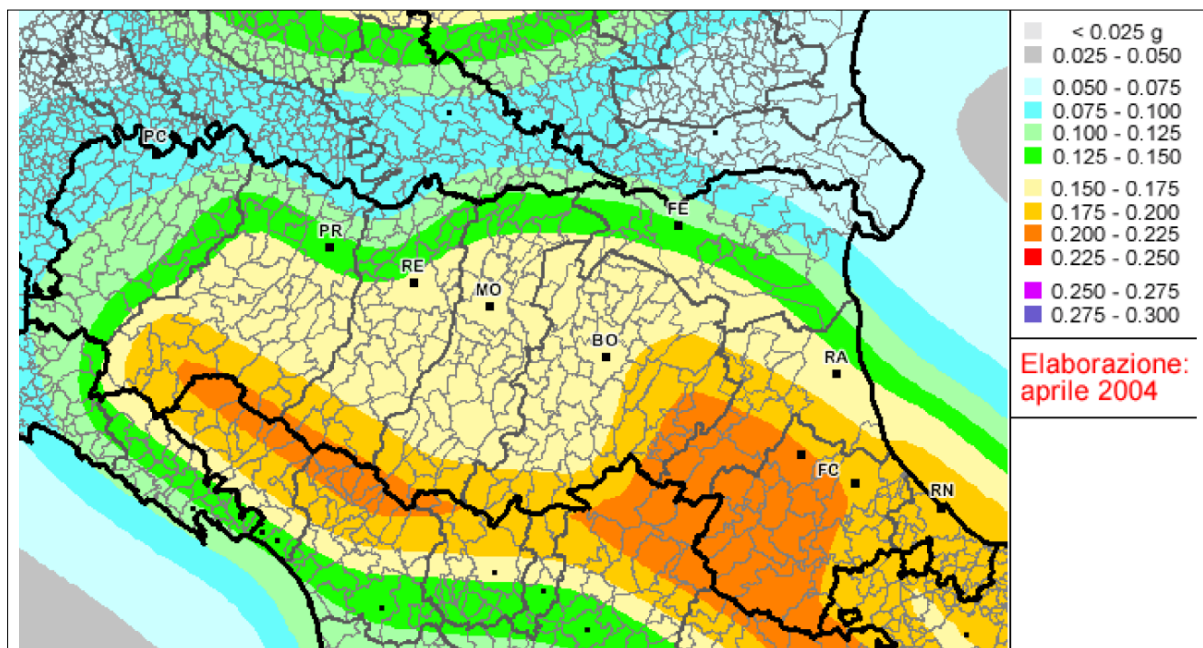


Figura 2.5 - Pericolosità sismica di base: valori di PGA al suolo rigido (10% di probabilità di superamento in 50 anni) secondo la OPCM 3519/2006

2.3.2 La pericolosità preliminare elaborata per il PSC

L'Unione dei Comuni della Romagna Faentina già dispone di uno studio di pericolosità sismica di primo e secondo livello, a corredo del Quadro Conoscitivo per il Piano Strutturale Comunale (PSC) in forma associata.

Lo studio, elaborato nel 2009 da un gruppo di lavoro che comprendeva il dr. Geol. Stefano Marabini e il coordinamento del SGSS regionale, si è basato sugli esiti delle indagini geognostiche disponibili all'epoca del lavoro. Lo studio del 2009 rappresenta uno dei primi lavori di microzonazione sismica territoriale dell'Emilia-Romagna elaborati in ossequio alla DAL n. 112/2007 (Marabini e Poggiali, 2009) e ha consentito:

- di produrre una preliminare cartografia che individua le aree suscettibili di effetti locali (primo livello di approfondimento). Questa mappa, pur rispondendo parzialmente ai criteri di analisi di primo livello dettati nelle linee guida regionali (si tratta di un'analisi a scala più vasta – 1:50.000 – e priva di approfondimenti alla scala comunale o subcomunale), ha di fatto rappresentato una prima base per le ulteriori indagini di approfondimento per la microzonazione sismica (figura 2.6);
- di effettuare ulteriori indagini geognostiche e geofisiche mirate alla caratterizzazione sismica dei comuni interessati (sondaggi a carotaggio continuo; penetrometrie; stendimenti MASW; prove in foro “Down-Hole”);
- di redigere la cartografia di microzonazione sismica degli ambiti urbani (secondo livello di approfondimento) consolidati e di potenziale espansione. La microzonazione sismica si è basata sui criteri di stima dei fattori di amplificazione attraverso l'utilizzo di tabelle e formule riportate nella DAL n. 112/2007 e in funzione degli esiti di caratterizzazione geognostica e geofisica del territorio studiato. I risultati della

MICROZONAZIONE SISMICA DEI COMUNI DI BRISIGHELLA, CASOLA VALSENO, CASTEL BOLOGNESE E RIOLO TERME

microzonazione sismica sono stati sintetizzati in mappe di dettaglio (scala 1:10.000) che individuano zone a differente pericolosità sismica e forniscono indicazioni relative alla maggiore o minore pericolosità in termini di fattori di amplificazione sismica (figura 2.7). All'epoca dello studio, si è convenuto di considerare come fattore di amplificazione rappresentativo del territorio studiato il solo rapporto di Intensità Spettrale di Housner (SI) per un intervallo di periodi compreso tra 0,1 e 0,5 secondi (per un TR pari a 475 anni e smorzamento 5%), in quanto in questo intervallo è compresa oltre il 90% degli edifici esistenti o di previsione.

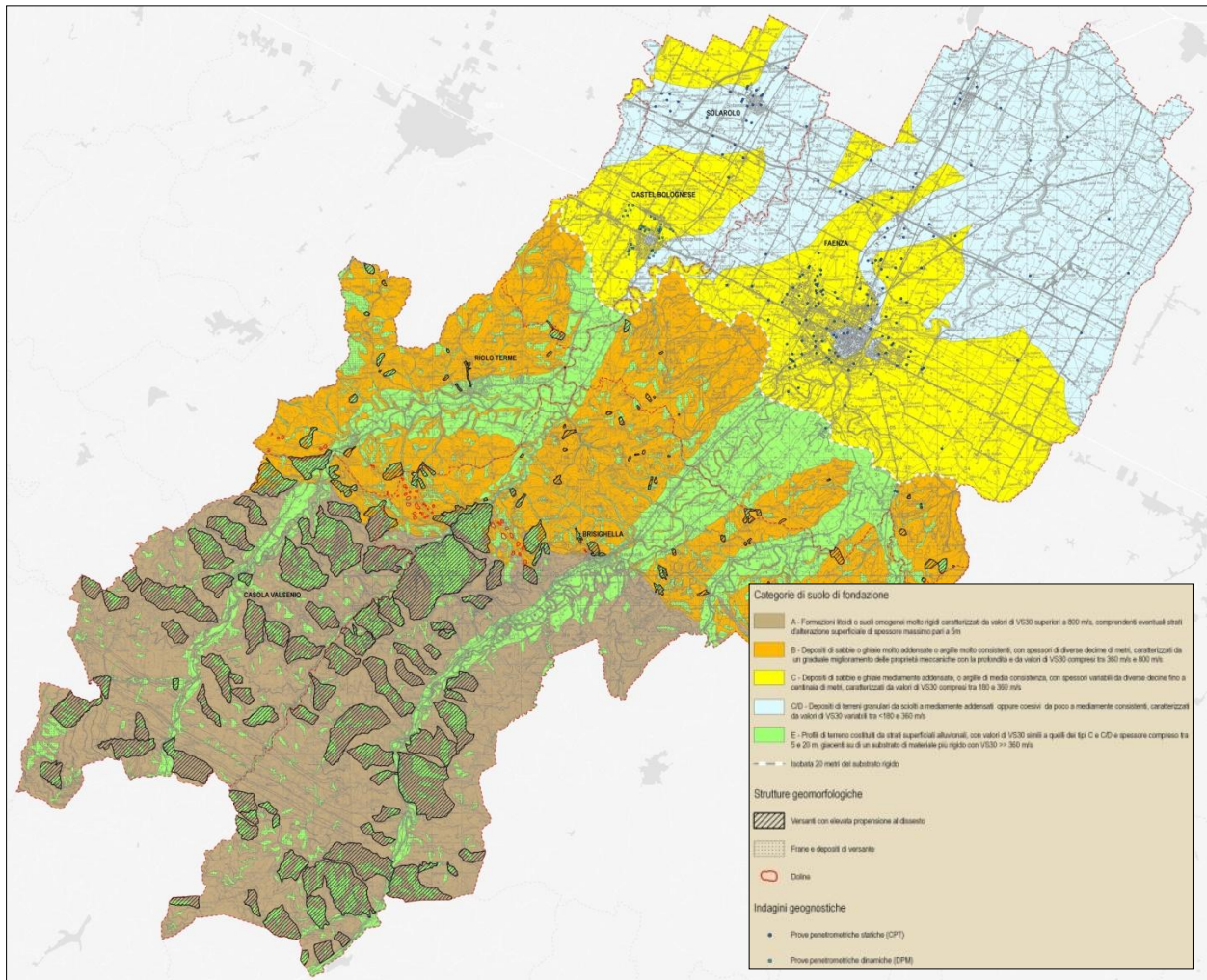


Figura 2.6 - Stralcio della Carta della Pericolosità Sismica Locale alla scala 1:50.000 (Marabini e Poggiali, 2009)

MICROZONAZIONE SISMICA DEI COMUNI DI BRISIGHELLA, CASOLA VALSENIO, CASTEL BOLOGNESE E RIOLO TERME

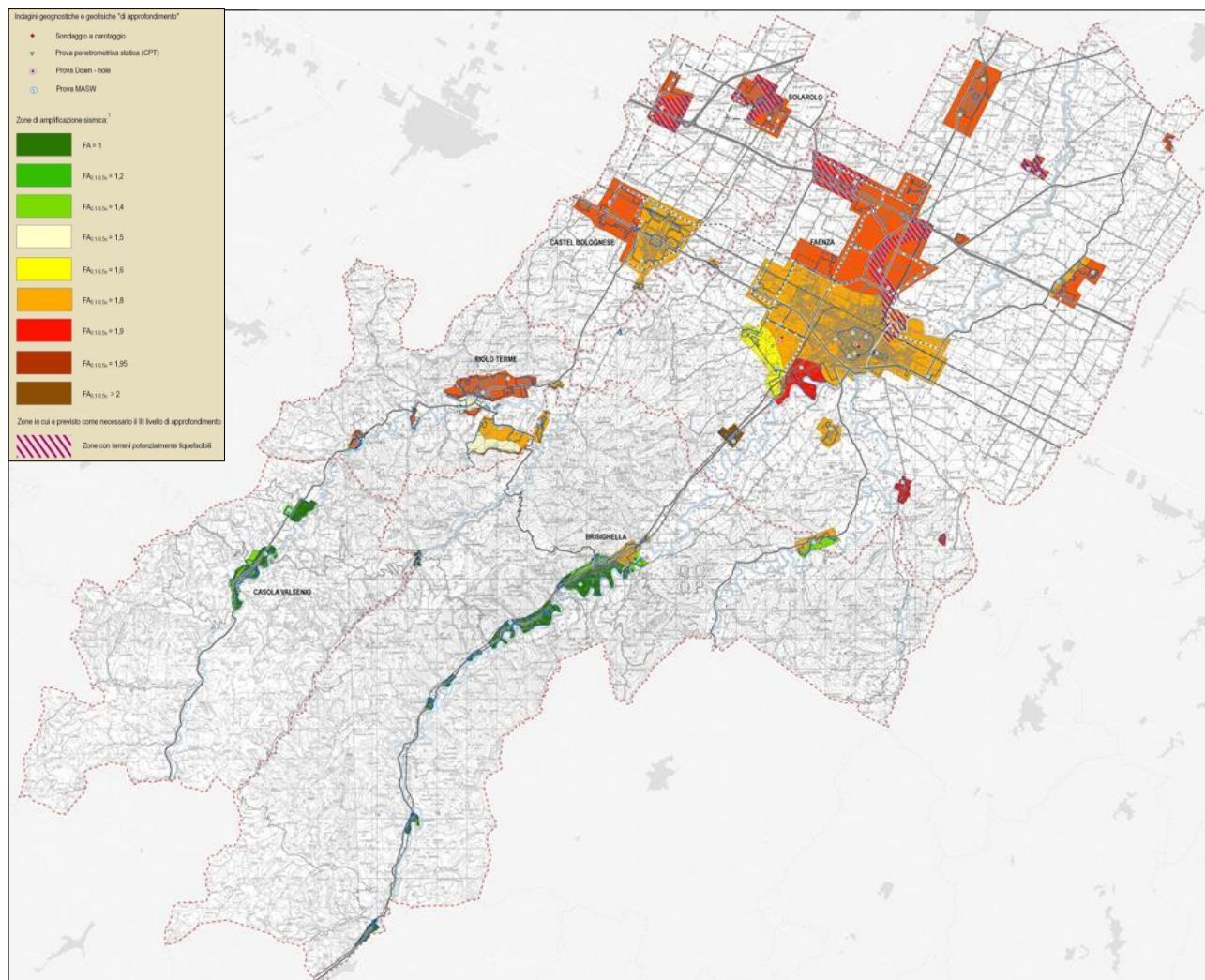


Figura 2.7 - Stralcio della Carta di Sintesi Territoriale della Microzonazione Sismica alla scala 1:50.000 (Marabini e Poggiali, 2009)

3. ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

3.1 Inquadramento geologico-strutturale

Dal punto di vista geologico strutturale il territorio complessivo dell'Unione della Romagna Faentina si estende fino a includere zone di “catena” appenninica e di “margine” appenninico sepolto, ovvero fino quasi al fronte delle “Pieghe Romagnole” (Pieri & Groppi, 1981). Si rammenta che la zona in cui la pianura termina contro i primi declivi appenninici non rappresenta l’inizio della “catena”: infatti all’Appennino morfologico, visibile, segue in pianura un “Appennino in embrione” sepolto sotto i depositi alluvionali padani (PTF di Boccaletti et al., 1985; 2004). In figura 3.1 è inquadrato il contesto tettonico locale che identifica i rapporti tra catena e pianura nel territorio di interesse.

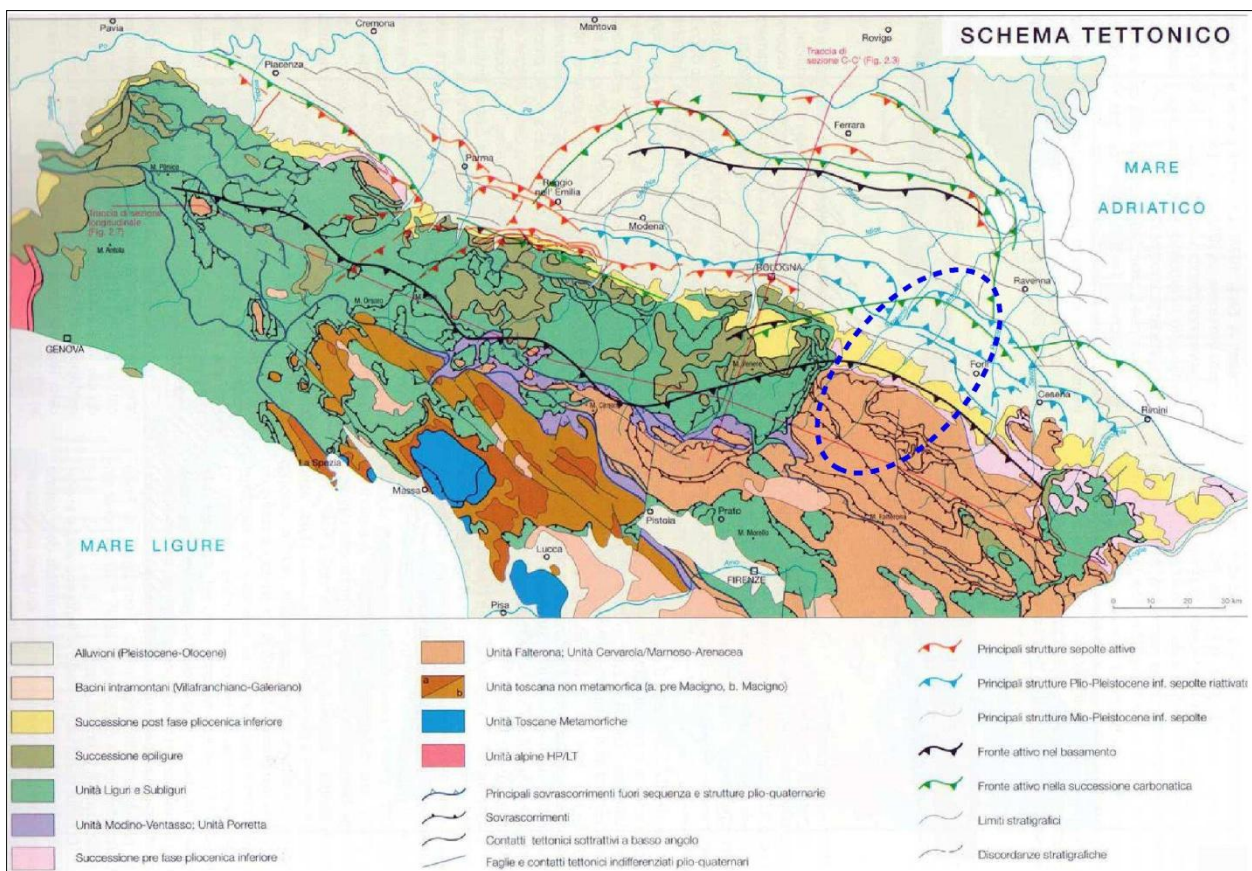


Figura 3.1 - Schema tettonico dell'Emilia-Romagna. Il territorio dell'Unione della Romagna Faentina è compreso nel cerchiato blu (Boccaletti et al., 2004)

Nella zona di catena appenninica, affiorano unità che non hanno subito importanti traslazioni e considerate “alloctone”, appartenenti al dominio romagnolo (parte alta della Successione Umbro-Marchigiano-Romagnola ed evaporiti messiniane) e al dominio padano (successione post-evaporitica del margine padano-adriatico). Dal punto di vista strutturale le formazioni rocciose affioranti e subaffioranti immergono con assetto prevalentemente a monoclinale verso NNE, con strutture principali riconducibili a “thrust” nord/nord-est vergenti (attivi nel Pliocene e nella parte bassa del Pleistocene) e “back-trust” quaternari con vergenza sud/sud-ovest (Cerrina Feroni et al., 2002, Boccaletti et al., 2004).

Le strutture affioranti “appenniniche”, con direzione parallela all’asse della catena appenninica, si sono formate durante le fasi orogenetiche del Pliocene e del Pleistocene inferiore (Cerrina Feroni et al., 2002). Esse sono particolarmente concentrate nelle evaporiti messiniane, grazie al comportamento duttile del gesso che ha evidentemente assunto la funzione di superficie di deformazione preferenziale. Sono inoltre diffuse le strutture affioranti a direzione “antiappenninica” di età più recente, a componente trascorrente, che interessano tanto i terreni miocenici e pliocenici che quelli pleistocenici. In corrispondenza di queste ultime strutture si sono impostati i principali corsi d’acqua.

La figura 3.2 offre uno schema di profilo trasversale dell'Appennino e del suo margine che interessa il Faentino.

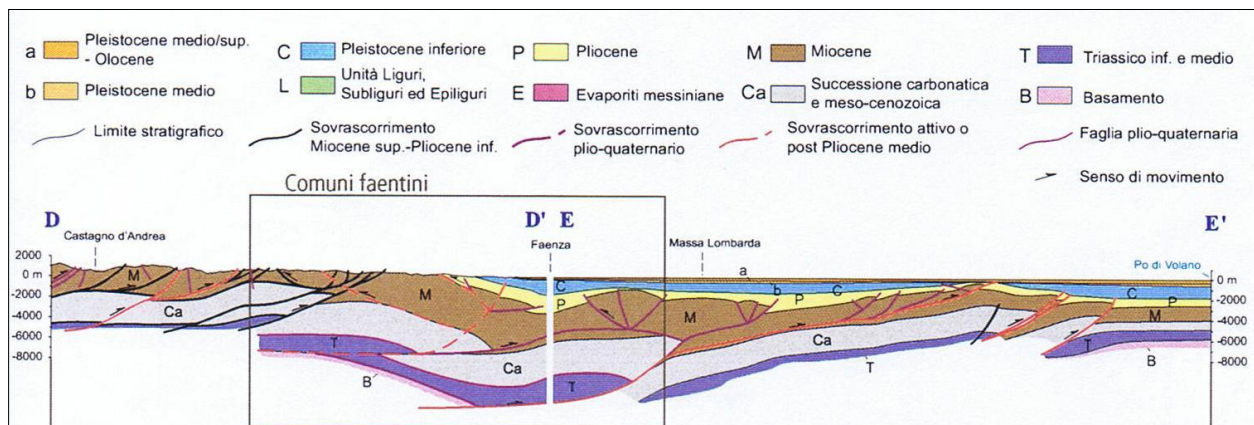


Figura 3.2 - Sezione geologico strutturale dell'area Faentina, attraverso l'Appennino e la Pianura Padana elaborata da Boccaletti et al. (2004)

E' stato ipotizzato che l'ultima fase tettonica di significativa intensità sia cronologicamente collocabile alla fine del Pleistocene medio. I primi depositi indeformati e in discordanza su recenti deformati, sono le alluvioni del Subsistema di Villa Verucchio (AES7) del Pleistocene superiore (125-18 ka). Tuttavia non sono state escluse anche deformazioni più recenti.

3.2 Substrato geologico marino e depositi quaternari

Si riportano i principali elementi caratterizzanti delle unità deposizionali (marine e continentali) presenti nel territorio dell'Unione della Romagna Faentina. La base conoscitiva litostratigrafica e strutturale locale è rappresentata dalla Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, consultabile anche on-line nel sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna. Un ulteriore riferimento per questo lavoro, è rappresentato anche dalla Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (ISPRA et al. 2009a e 2009b)

Per i depositi alluvionali, si distinguono le unità affioranti e quelle sepolte, a formare i settori di conoide del Lamone e Senio (marginalmente, anche del Santerno), della pianura di interconoide e di quella più esterna.

Occorre anche rammentare che la più recente cartografia geologica regionale e nazionale distingue le coperture alluvionali comprese in AES secondo la convenzionale classificazione stratigrafica sequenziale (cicli deposizionali), comprese nel principale

MICROZONAZIONE SISMICA DEI COMUNI DI BRISIGHELLA, CASOLA VALSENIO, CASTEL BOLOGNESE E RIOLO TERME

“Supersintema Emiliano-Romagnolo” (Regione Emilia-Romagna, 1998). I depositi alluvionali attribuiti AES sono suddivisi in quattro principali sequenze deposizionali di diverso ordine gerarchico (subsintemi identificati con sigle da AES5 – più antichi - ad AES8 – più recenti).

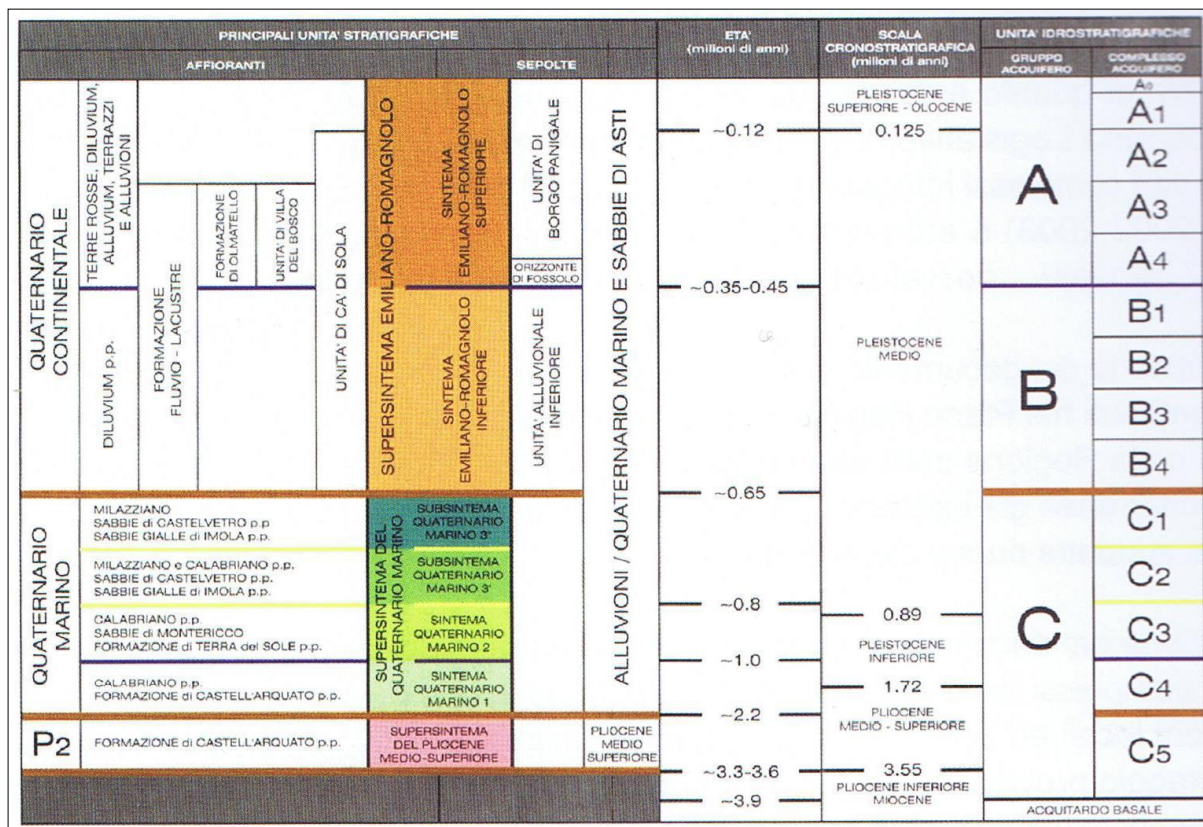


Figura 3.3 - Schema stratigrafico del margine appenninico e della pianura emiliano-romagnola (modif. da Regione Emilia-Romagna, 1998). Sono evidenziati anche i rapporti tra unità deposizionali di pianura e i principali acquiferi.

La figura 3.3 propone lo schema dei rapporti stratigrafici del margine appenninico e della pianura, basata sulla citata classificazione delle unità deposizionali alluvionali e il sottostante substrato geologico marino che costituisce il margine affiorante e sepolto della catena appenninica.

Le unità affioranti nel settore appenninico, come già detto, appartengono alla Successione Umbro-Marchigiano-Romagnola, alla successione evaporitica messiniana e alla Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico. L'età delle formazioni affioranti è più giovane procedendo da sud-ovest verso nord-est: dalle unità marine antiche, di età compresa tra il Miocene medio-superiore (Formazione Marnosa Arenacea) e il Pleistocene medio (Sabbie di Imola), si passa ai depositi alluvionali del Supersintema Emiliano -Romagnolo (Pleistocene medio-Attuale), distribuiti lungo i settori intravallivi, allo sbocco delle valli e nell'antistante pianura.

3.3 Successioni marine affioranti

Successione Umbro-Marchigiano-Romagnola

L'unità stratigrafica affiorante più antica è la Formazione Marnoso-Arenacea (FMA) costituita da torbiditi di avanfossa (Tortoniano). Si tratta di alternanze arenaceo-pelitiche con intervalli di marne emipelagiche risedimentate in un bacino di avanfossa attivo tra il Burdigalliano e il Tortoniano, interessato da una forte tettonica sin sedimentaria, che riceveva materiale da diverse aree sorgente poste al paleomargine alpino e appenninico.

Segue la Formazione di Ghioli di Letto (GHL), unità di ambiente batiale, che segna il passaggio al Messiniano e alla crisi di salinità. Essa è costituita da peliti grigie, brune bituminose e biosiltiti a diatomee, fittamente laminate depositate in ambiente marino soggetto a variazioni di ossigenazione e a fasi di anossia.

Gruppo della Gessoso Solfifera

La successiva crisi di salinità ha portato all'instaurarsi di ambienti di 'sabka' e alla deposizione della Formazione della Vena del Gesso (VGS). Si tratta di gesso selenitico, e microcristallino, gessoareniti, gessoruditi e subordinati peliti e calcari, depositati in ambiente evaporitico di laguna in contesto tettonicamente attivo (come evidenziato dalla presenza di detriti gessosi). Questa unità rappresenta un contrafforte continuo tra il Torrente Sellustra e il Fiume Lamone lungo oltre 22 km interrotto per un breve tratto da dislocazioni tettoniche a sud-est di Brisighella.

Successivamente alla crisi di salinità, si sono instaurate condizioni di lago-mare e laguna che hanno portato alla deposizione della Formazione a Colombacci (FCO): argille e argille marnose grigio verdi contenenti sottilissime alternanze siltose o sabbiose. In questa zona mancano i livelli a calcari micritici grigio-chiari (colombacci) che danno il nome alla formazione. La formazione è stata attribuita alla parte terminale del Messiniano (Krijnsman et al., 1999).

Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico

Un contatto paraconcordante separa la FCO da unità di piattaforma e scarpata continentale del Pliocene inferiore, le Marne di Cella (CEA), e del Pliocene inferiore-Pleistocene inferiore, le Argille Azzurre (FAA). Per la durata di tutto il Pliocene si mantengono condizioni di sedimentazione bacinale, nel Pliocene medio localmente si instaurano condizioni euxiniche. Con il Pleistocene inferiore si osserva un passaggio ad ambienti litorali. Le CEA sono marne e marne argillose grigio chiaro di ambiente ben ossigenato di piattaforma prossima alla scarpata continentale. Le FAA sono argille e argille marnose grigio-azzurre con rari strati arenacei. L'ambiente di sedimentazione è di scarpata continentale e piattaforma continentale esterna. Le FAA sono affioranti nella zona in esame in forme calanchive.

Nelle colline prossime all'abitato di Castelbolognese affiorano le Arenarie e le Argille di Savignano (SVG); si tratta di una formazione spessa pochi metri composta da sabbie siltose, silt e sabbie passanti a sabbie con laminazione da onda e locali concentrazioni di macrofossili. L'ambiente di deposizione della parte basale è quello lagunare che passa

rapidamente verso l'alto a condizioni paraliche. L'età del deposito è attribuibile alla parte terminale del Pleistocene inferiore, Siciliano (Amorosi et al., 1998b).

Le unità marine più alte e più recenti del margine appenninico sono le Sabbie di Imola (IMO). Per quanto riguarda la zona in esame, esse affiorano sulle colline prossime a Castelbolognese e poggiano con contatto discordante ed erosivo sulla FAA (Amorosi et al., 1998a). Le IMO sono cronologicamente attribuibili alla parte inferiore del Pleistocene medio (Ioniano; Amorosi et al., 1998a); sono costituite da sabbie gialle e ghiaie di spiaggia e subordinatamente da peliti di piana alluvionale e laguna.

3.4 Coperture alluvionali quaternarie

La successione marina è troncata al tetto da depositi ghiaiosi e sabbiosi alluvionali del Supersistema Emiliano-Romagnolo (Pleistocene medio – Olocene), corrispondenti al ciclo Qc di Ricci Lucchi et al. (1982; Pleistocene medio-Olocene).

Il Supersistema Emiliano-Romagnolo è un'unità stratigrafica costituita da depositi quaternari continentali affioranti nei settori intravallivi, al margine appenninico padano e in corrispondenza della Pianura Padana. Essi sono correlabili nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola con depositi alluvionali, deltizi, litorali e marini organizzati in successioni cicliche. Il Supersistema Emiliano-Romagnolo comprende un Sistema Emiliano Romagnolo inferiore (AEI, Pleistocene medio) e un Sistema Emiliano Romagnolo superiore (AES). I depositi di AEI sono stati individuati esclusivamente nel sottosuolo della pianura. Nella zona in esame affiorano solo i depositi di AES.

Lo spessore del Sistema Emiliano-Romagnolo superiore varia da poche decine di metri in prossimità del margine appenninico a un massimo di 210 m nel sottosuolo di Borgo Cotignola. Nei settori intravallivi e di margine appenninico, l'unità AES ha uno spessore di alcuni metri ed è costituita da depositi terrazzati di piana alluvionale intravalliva che poggiano in discordanza su depositi marini antichi o su AEI. Si tratta di ghiaie e sabbie di conoide e di canale fluviale e argille, limi di piana inondabile. I lembi di successione affioranti nei tratti intravallivi appartengono a un intervallo temporale molto ampio che si estende dal Pleistocene medio all'Attuale e mostrano una ridotta variabilità litologica e di facies. Si tratta infatti di prevalenti ghiaie di terrazzo alluvionale. Al contrario i depositi in pianura sono attribuibili prevalentemente all'Olocene e presentano maggiore variabilità di facies (di ambiente alluvionale). Si riportano di seguito le facies osservate e la rispettiva distribuzione:

- le *facies ghiaiose* affiorano nei settori più interni (aree di terrazzo fluviale, conoidi alluvionali e allo sbocco delle aste fluviali), mentre sono ben sviluppate nel sottosuolo: organizzate in corpi amalgamati nastriformi e tabulari (riempimenti di canale) oppure in complessi coalescenti (conoide);
- le *facies sabbiose e limose di canale, argine e rotta fluviale* affiorano in terrazzi intravallivi, lungo l'asse delle valli e nel settore di pianura in prossimità dei corsi fluviali;
- i *Limi e le argille di piana inondabile* sono stati riscontrate anche in corrispondenza dei terrazzi fluviali, ma tendono a essere maggiormente sviluppate, in termini di spessore ed estensione areale, nelle zone di pianura nei settori laterali alle aste fluviali.

AES è a sua volta suddivisa in subsistemi: unità di rango inferiore riconosciute in particolare nelle zone intravallive e che sono risultate correlabili su più aste fluviali. Nei settori interfluviali (settori di margine appenninico compresi tra aste fluviali contigue), dove le scarpate di erosione fluviale non sono facilmente riconoscibili, i terreni sono in alcuni casi genericamente attribuiti all'unità AES.

I vari subsistemi presentano una geometria cuneiforme con spessori che variano, come già accennato, da pochi metri nei settori montani a decine di metri verso il limite con la pianura. La base di questi terreni è generalmente inconforme su depositi marini antichi, mentre il limite superiore corrisponde alla superficie topografica.

Nella zona oggetto di studio sono stati distinti i seguenti subsistemi, dal più antico alla più recente età deposizionale (per la descrizione di dettaglio si rimanda alle note illustrative del progetto CARG - Fogli 238-289):

- Subsistema di Liano (AES4). Questa unità, ove affiorante, forma terrazzi con età attribuibile al Pleistocene medio e, per quel che riguarda la zona oggetto di studio, essi sono stati cartografati in destra e sinistra idrografica del Fiume Lamone;
- Subsistema di Torre Stagni (AES5). Questi sedimenti, quando affioranti, costituiscono terrazzi del Pleistocene medio e sono stati identificati lungo gli spartiacque tra il torrente Senio e il Fiume Lamone e tra Lamone e torrente Marzeno;
- Subsistema di Bazzano (AES6). Questa unità costituisce spessori significativi di sedimenti alluvionali terrazzati affioranti (osservati in particolare lungo le valli del Senio e del Lamone) che testimoniano una fase di aggradazione fluviale prolungata correlabile a un episodio trasgressivo presumibilmente riferibile al Tirreniano (parte alta del Pleistocene medio). Nella zona oggetto di studio, AES6 affiora allo sbocco delle valli del Senio e del Lamone, in pianura non è affiorante perché è erosa o sepolta dal successivo Subsistema di Villa Verucchio;
- Subsistema di Villa Verucchio (AES7). Questi terreni affiorano a quote topografiche modeste sotto forma di terrazzi intravallivi e allo sbocco delle valli. Il centro dell'abitato di Casola Valsenio, ad esempio, è impostato su un largo terrazzo attribuibile a tale subsistema. Nel tratto della valle del Senio compreso tra Borgo Rivola e Cuffiano, il terrazzo AES7 è ben sviluppato sulla destra idrografica del torrente e si estende anche lungo la valle del Sintria. Da Brisighella fino a Faenza, AES7 è continuo su entrambi i fianchi della valle del Lamone. L'età di tale subsistema è stata attribuita al Pleistocene superiore;
- Subsistema di Ravenna (AES8). Questo subsistema rappresenta l'elemento sommitale di AES. Il tetto di tale unità coincide in parte con la superficie topografica e, in alcune zone, con la base di una unità di rango inferiore denominata Unità di Modena (AES8a). AES8 affiora in fasce strette prossime alle aste fluviali intravallive e su aree progressivamente più ampie allo sbocco delle valli verso la pianura. Ad esso è stata attribuita un'età compresa tra il Pleistocene superiore e l'Attuale;
- Unità di Modena (AES8a). Si tratta di terreni che poggiano con una superficie inconforme sulla AES8, formati da sedimenti alluvionali molto recenti di epoca post-romana caratterizzati da morfologie deposizionali originarie (IV-VI sec. d.C.- Attuale). La

deposizione di AES8a segna l'instaurarsi di una fase di deterioramento climatico avvenuta tra il IV-VI sec. d.C. che ha portato l'alluvionamento di gran parte della pianura (Veggiani, 1994). AES8a affiora solo nei settori corrispondenti agli assi degli attuali canali.

3.5 Aspetti geomorfologici

Per quanto riguarda gli aspetti più propriamente geomorfologici, lo studio di microzonazione sismica si è riferito alle analisi territoriali riportate nel Quadro Conoscitivo del PSC dei Comuni dell'Unione della Romagna Faentina. La figura 3.4 propone la cartografia geomorfologica di sintesi del territorio dell'Unione (Marabini e Poggiali, 2009).

Si rammenta che per le aree di pendio della porzione montana, collinare e per il settore di fondovalle, la cartografia è essenzialmente derivata dalla Cartografia Geologica in formato digitale, fornita dal SGSS della Regione Emilia Romagna. Per l'area di pianura, invece, la carta geomorfologica elaborata per il PSC è stata originalmente costruita sulla base di un microrilievo della superficie naturale prodotto tramite informatizzazione di migliaia di punti quotati selezionati sulla Cartografia CTR. In tal modo, sono state distinte originalmente le principali unità morfologiche alluvionali, quali paleodossi, dossi attuali, aree di interdosso, etc. In sintesi, la carta geomorfologica di sintesi del territorio dell'Unione riporta i seguenti elementi geomorfologici principali:

- frane attive → depositi gravitativi con evidenze di movimenti in atto o recenti, costituiti da litotipi eterogenei, raramente monogenici, ed eterometrici, più o meno caotici (la tessitura dei depositi è condizionata dalla litologia del substrato e dal tipo di movimento prevalente). La maggior parte di questi è di tipo complesso ed è il risultato di più tipi di movimento sovrapposti nello spazio e nel tempo (tipicamente scorrimenti/colamenti). La tessitura prevalente risulta costituita da clasti di dimensioni variabili immersi in una abbondante matrice pelitica e/o sabbiosa;
- frane quiescenti o stabilizzate: depositi gravitativi senza evidenze di movimenti in atto o recenti, ma in condizioni di possibile riattivazione (quiescenti), oppure in situazioni in cui le potenziali cause di innesco o di riattivazione si sono esaurite a causa del modellamento morfologico (stabilizzate – es. paleofrane);
- depositi di versante, comprendenti:

deposito di versante s.l. → costituiti da litotipi eterogenei ed eterometrici più o meno caotici. Frequentemente l'accumulo si presenta con una tessitura costituita da clasti di dimensioni variabili immersi e sostenuti da una matrice pelitica e/o sabbiosa (che può essere alterata per ossidazione e pedogenesi), a luoghi stratificato e/o cementato. La genesi può essere dubitativamente gravitativa, da ruscellamento superficiale e/o da soliflusso;

deposito eluvio-colluviale → coltre di materiale detritico, generalmente fine (sabbie, limi e peliti) prodotto da alterazione "in situ" o selezionato dall'azione mista delle acque di ruscellamento e della gravità, con a luoghi clasti a spigoli vivi o leggermente arrotondati;

detrito di falda → accumulo detritico costituito da materiale eterogeneo ed eterometrico,

generalmente a quote elevate o molto elevate, con frammenti litoidi di dimensioni variabili tra qualche cm³ e decine di m³, privo di matrice o in matrice sabbioso-pelitica alterata e pedogenizzata, di origine gravitativa frequentemente alla base di scarpate e lungo i versanti più acclivi;

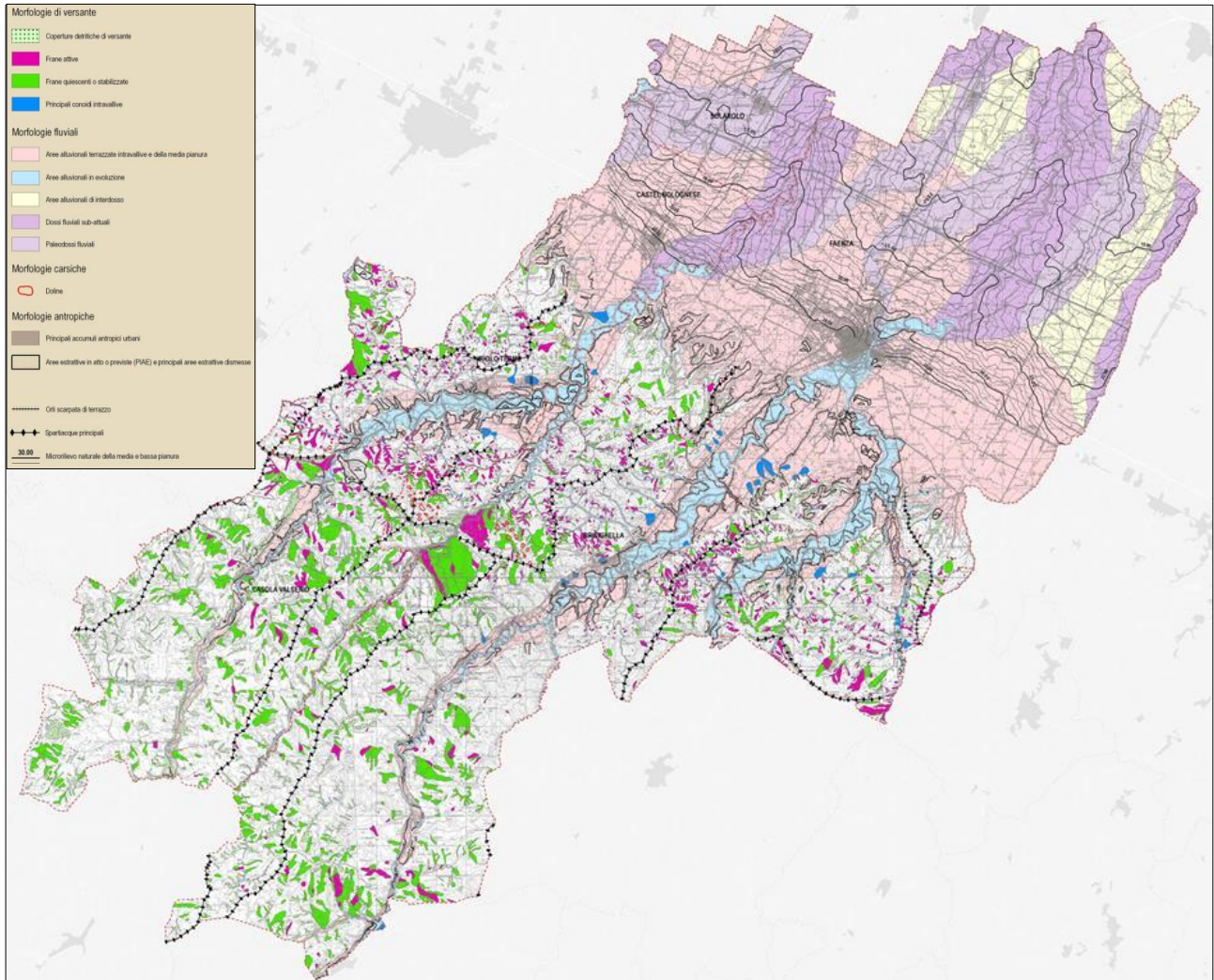


Figura 3.4 - Stralcio della Carta Geomorfológica alla scala 1:50.000 (Quadro Conoscitivo PSC Unione della Romagna Faentina, 2009).

- depositi di conoide intravallive → costituite da depositi alluvionali, da ghiaiosi a fini, a forma di ventaglio aperto verso valle, in corrispondenza dello sbocco di valli e vallecole trasversali ai corsi d'acqua principali ove la diminuzione di pendenza provoca la sedimentazione del materiale trasportato dall'acqua. Essi sono soggetti ad evoluzione dovuta alla dinamica torrentizia o attualmente non soggetti ad evoluzione;
- doline → depressioni morfologiche di aspetto imbutiforme, prodotte dalla dissoluzione della roccia solubile ad opera delle acque di precipitazione meteorica;
- morfologie fluviali così distinte:

le piane più o meno attive di fondo valle prossime agli alvei, costituite dai depositi in evoluzione e dalle superfici idrogeologicamente connesse con l'alveo stesso (aree golenali ed ex-golenali);

le superfici alluvionali terrazzate del settore vallivo, dell'alta pianura e di un ambito della media pianura, cartografate con la medesima campitura in quanto accomunate dal fatto di essere costituite da depositi non attivi;

le unità morfostratigrafiche recenti della bassa pianura, la cui morfologia è evidenziata dal loro microrilievo naturale, le quali sono state distinte in "paleodossi fluviali" (ovvero argini naturali di tracciati fluviali estinti), "dossi fluviali attuali" (ovvero argini naturali costruiti dai corsi d'acqua attuali prima della loro arginatura artificiale (a partire dal XVIII secolo) e "aree di interdosso".

La figura 3.5 riporta uno stralcio di maggior dettaglio della carta geomorfologica per quanto riguarda il territorio comunale di Castel Bolognese, Faenza e Solarolo.

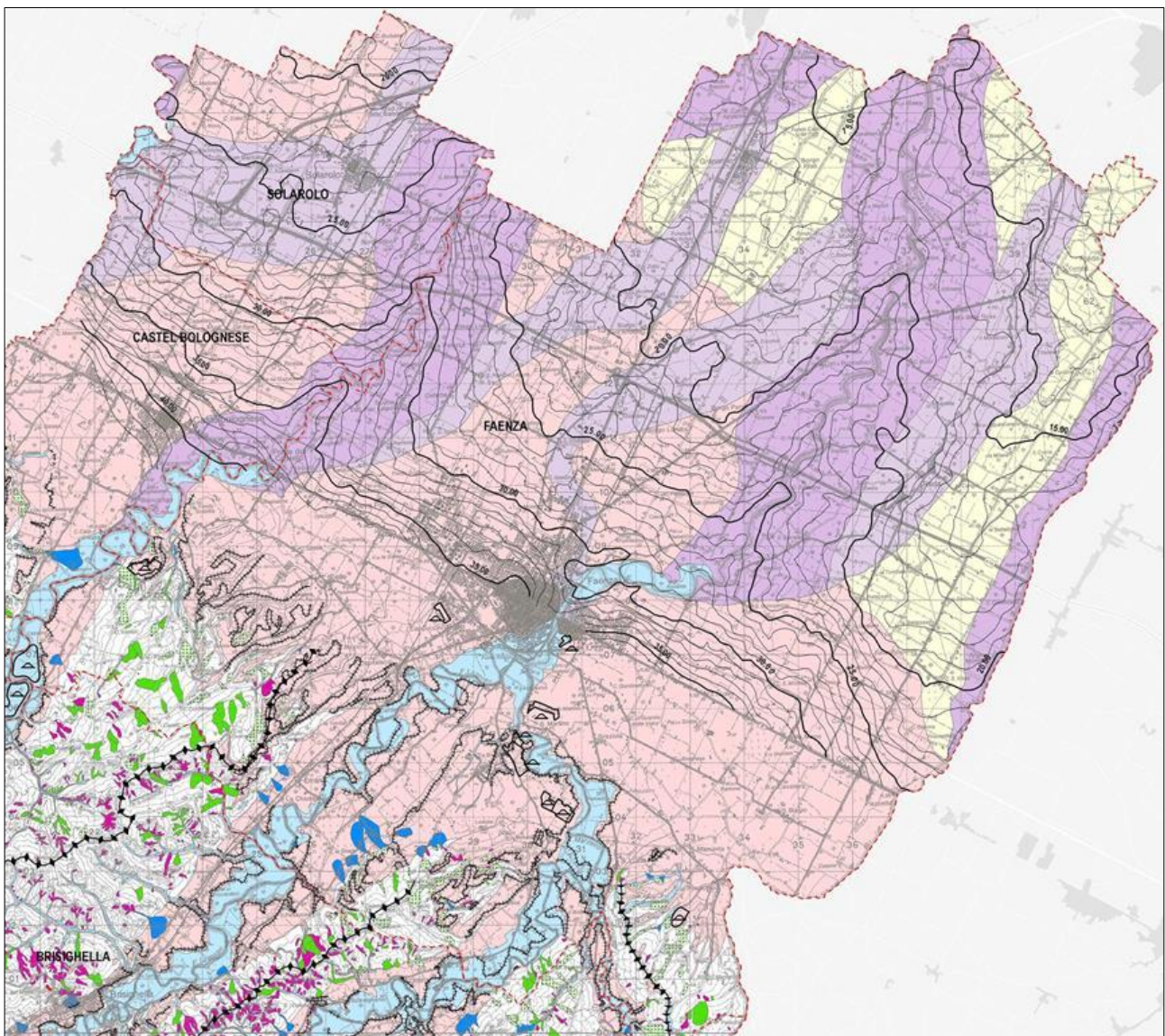


Figura 3.5 - Stralcio di maggior dettaglio della Carta Geomorfologica alla scala 1:50.000: territorio comunale di Castel Bolognese, Faenza e Solarolo (da Quadro Conoscitivo PSC Unione della Romagna Faentina, 2009).

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Il presente lavoro è supportato dai risultati di numerose indagini geognostiche e geofisiche in situ, sia pregresse che di nuova realizzazione. Le indagini geognostiche e geofisiche raccolte e realizzate a supporto del presente studio di microzonazione sismica sono localizzate nelle tavole 1 (Carta delle indagini), descritte al paragrafo 8.1 ed archiviate in una banca dati geografica informatizzata.

In tabella 2 sono riportati i numeri, distinti per tipologia, relativi a tutte le indagini geognostiche e geofisiche (pregresse e HVSR di nuova realizzazione) archiviate nelle quattro banche dati consegnate (una per ciascun comune).

| | Brisighella | Casola Valsenio | Castel Bolognese | Riolo Terme | Totale |
|--------------------------------|-------------|-----------------|------------------|-------------|------------|
| CPT | 14 | 18 | 25 | 11 | 68 |
| CPTE | - | - | 4 | - | 4 |
| CPTU | - | - | 5 | - | 5 |
| PENETROMETRIE DINAMICHE | 12 | 14 | 81 | 61 | 168 |
| POZZI PER ACQUA | - | - | 77 | | 77 |
| SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO | 5 | - | 3 | 13 | 21 |
| SONDAGGI A DISTRUZIONE | - | 1 | 13 | 12 | 26 |
| Trincea o pozzetto esplorativo | 4 | 5 | - | 1 | 10 |
| MASW | 4 | 2 | 3 | 6 | 15 |
| HVSR | 20 | 10 | 8 | 13 | 51 |
| Totale | 59 | 50 | 219 | 117 | 445 |

Tabella 2: Totale delle indagini archiviate nella banca dati, distinte per tipologia, raccolte e utilizzate per il presente studio.

Nelle quattro banche dati sono presenti esclusivamente indagini che ricadono all'interno del territorio di ciascun comune e non sono stati inseriti dati di aree limitrofe comunque tenuti in considerazione dal presente studio.

4.1 La banca dati delle indagini

La banca dati delle indagini è stata realizzata, per ciascun comune, in formato geodatabase, secondo le specifiche previste dagli Standard MS 3.0 (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2013). La figura 4.1 ne schematizza la struttura.

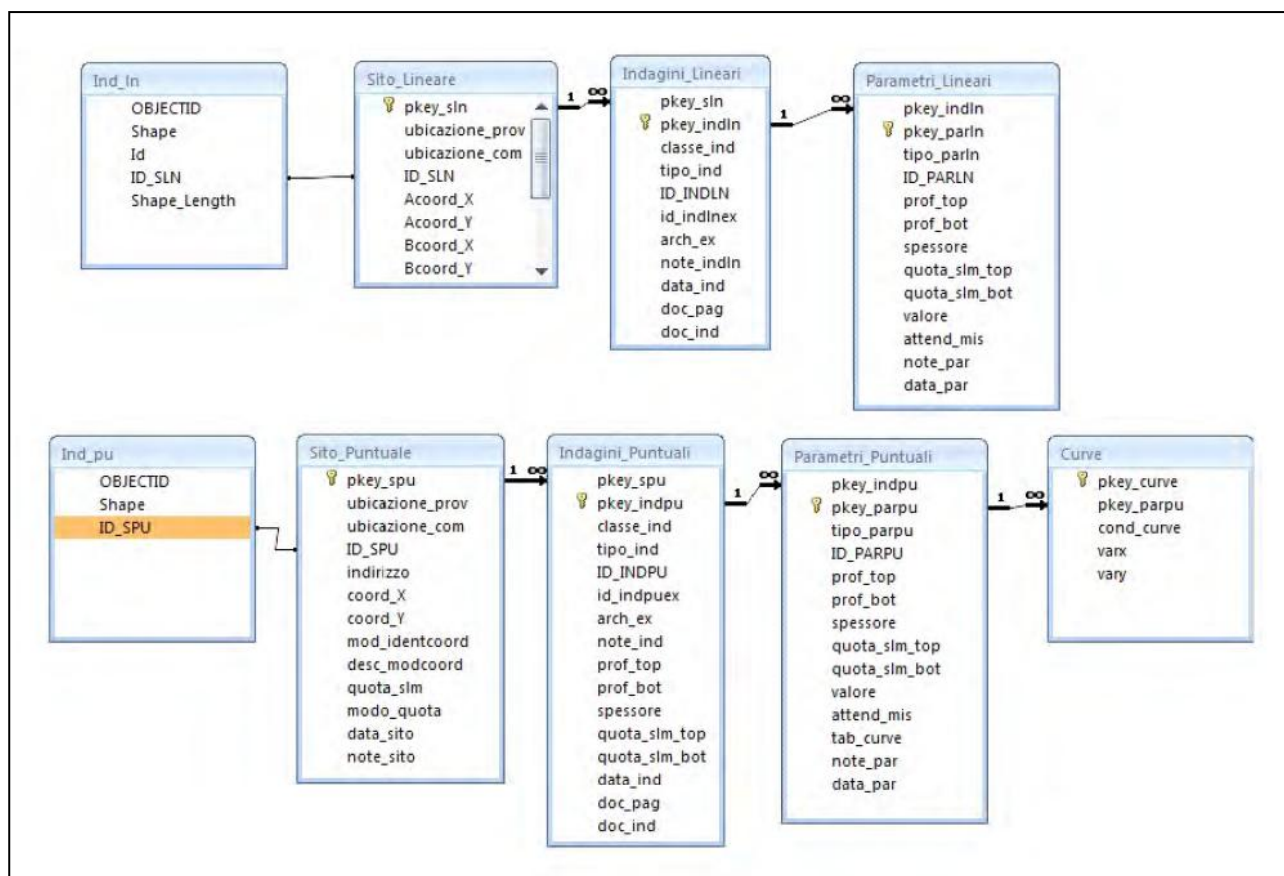


Figura 4.1 - Struttura della banca dati delle indagini che evidenzia le relazioni tra gli archivi geografici puntuali (Ind_pu) e lineari (Ind_In) e le tabelle che archiviano i dati alfanumerici legati a siti, indagini e parametri delle indagini.

4.2 Indagini di repertorio

Per le finalità dello studio di microzonazione sismica è stato raccolto e sistematizzato, nelle suddette banche dati, un repertorio di dati di indagini geognostiche e geofisiche pregresse. I dati sono stati messi a disposizione dal SGSS della Regione Emilia-Romagna e dagli uffici tecnici comunali e dell'Unione.

Disporre di un archivio informatizzato presenta innumerevoli vantaggi rispetto alla semplice catalogazione cartacea, tra questi la rapida accessibilità, il confronto immediato dei dati inseriti e la possibilità di un continuo aggiornamento. Inoltre la struttura della banca dati consente di associare al dato geografico (punto di indagine) e a quello iconografico (rapporto di prova in pdf), degli attributi alfanumerici (alcuni inseriti anche con giudizio esperto) che permettono di accedere interattivamente ai dati sintetici più importanti (profondità raggiunta, livello della falda misurato, quota del tetto delle ghiaie e del primo orizzonte sabbioso, presenza o meno di uno spessore significativo di terreni compressibili ecc.). La presenza di tali campi informativi ha permesso di realizzare delle carte tematiche di lavoro: specifiche ed efficaci rappresentazioni di sintesi che hanno consentito di ottenere un quadro immediato delle caratteristiche dei terreni studiati, alle diverse scale.

Relativamente alla qualità dei dati, è chiaramente emerso che, data l'eterogeneità degli archivi, non sempre indagini della stessa tipologia possono essere ritenute allo stesso modo attendibili. Per quanto possibile è stata quindi fatta una prima valutazione speditiva

sull'affidabilità dei dati raccolti, tenendone opportunamente conto in sede di elaborazione e di studio. Alcune di queste valutazioni sono richiamate nei successivi capitoli.

Dall'analisi della distribuzione delle verticali delle numerose indagini geognostiche pregresse e dei dati ad esse associati, si è potuto però osservare che porzioni del territorio dell'Unione non presentano una adeguata copertura di indagini per numero e qualità del dato. Nelle aree collinari e montane dell'Unione in particolare sono infatti assai diffuse prove penetrometriche dinamiche leggere, i cui risultati sono spesso poco utili per gli scopi del presente lavoro per cui forniscono solo indicazioni parziali e spesso assai dubbie.

Per quanto riguarda le indagini geofisiche volte a misurare direttamente la velocità delle onde di taglio nei primi 30 metri (V_{s30}), sono risultate disponibili quasi solo indagini MASW eseguite all'epoca dello studio di microzonazione del 2009, che restituiscono valori di VS che, come vedremo in seguito, appaiono verosimilmente sovrastimate, anche sulla base di esperienze in contesti simili in aree diverse.

4.3 Indagini HVSR eseguite per la microzonazione sismica

Al fine di integrare i dati geognostici e geofisici disponibili e provare quindi a fare fronte alle criticità evidenziate al precedente paragrafo, pur non essendo prevista l'esecuzione di nuove indagini per l'incarico di adeguamento agli standard, è stata realizzata dallo scrivente una campagna di 42 misure di rumore ambientale (microtremore) a stazione singola distribuite nei quattro comuni oggetto: 19 a Brisighella (il comune con il maggior numero di frazioni), 6 a Casola Valsenio, 8 a Castel Bolognese e 9 a Riolo Terme. Tutti i rapporti di prova di tali indagini di nuova realizzazione sono raccolti nell'allegato 2.

Le misure puntuali ad alta risoluzione di sismica passiva sono state eseguite con tromografo digitale Tromino e sono finalizzate all'elaborazione degli spettri di base ed analisi HVSR del sottosuolo (Albarello e Castellaro, 2011). Tale strumento misura il rumore di fondo e lo utilizza come funzione di eccitazione per identificare in maniera passiva, non invasiva e rapida le frequenze di risonanza del sottosuolo, che sono in relazione diretta con l'amplificazione sismica, oggi considerata da molti la prima causa di danno e distruzione durante un terremoto (Mucciarelli, 2012).

Il rumore di fondo (microtremore), presente ovunque sulla superficie terrestre ed associato sia a fenomeni atmosferici che all'attività antropica, è relativo ad oscillazioni molto piccole ($10-15 \text{ m/s}^2$), con componenti spettrali che vengono scarsamente attenuate nello spazio e misurabili con tecniche di acquisizione dette passive.

Tutte le onde elastiche dalla sorgente al sito, subiscono modifiche al loro tragitto ed attenuazioni o amplificazioni in relazione alla natura del sottosuolo attraversato. Le informazioni stratigrafiche contenute nei microtremori sono sovrapposte al rumore casuale e possono essere estratte attraverso metodologie come quella di Nakamura dei rapporti spettrali (HVSR – horizontal to vertical spectral ratio). Tale tecnica è utilizzata anche per la determinazione dell'amplificazione sismica locale e per stimare le frequenze principali di risonanza del sottosuolo, dati molto utili anche per la progettazione ingegneristica delle strutture (Castellaro, 2012; Castellaro e Mulargia, 2011).

MICROZONAZIONE SISMICA DEI COMUNI DI BRISIGHELLA, CASOLA VALSENIO, CASTEL BOLOGNESE E RIOLO TERME

| Codice prova | Codice BD DPC | LON UTM33 WGS84 | LAT UTM33 WGS84 | Data | f0 | Comune |
|--------------|------------------------|--------------------|--------------------|------------|-------|------------------|
| BR_0001 | 039004P23860HVSRA43047 | 243076 | 4901940 | 04/11/2014 | 1.34 | Brisighella |
| BR_0002 | 039004P23861HVSRA43048 | 242072 | 4901590 | 04/11/2014 | 5.81 | Brisighella |
| BR_0003 | 039004P23862HVSRA43049 | 241191 | 4901300 | 04/11/2014 | 4.72 | Brisighella |
| BR_0004 | 039004P23863HVSRA43050 | 240109 | 4900090 | 04/11/2014 | 8.00 | Brisighella |
| BR_0005 | 039004P23864HVSRA43051 | 238403 | 4899370 | 04/11/2014 | 15.28 | Brisighella |
| BR_0006 | 039004P23865HVSRA43052 | 236741 | 4898070 | 04/11/2014 | 9.03 | Brisighella |
| BR_0007 | 039004P23866HVSRA43053 | 235390 | 4893690 | 04/11/2014 | 17.19 | Brisighella |
| BR_0008 | 039004P23867HVSRA43054 | 233606 | 4890110 | 04/11/2014 | 11.38 | Brisighella |
| BR_0009 | 039004P23868HVSRA43055 | 243055 | 4901440 | 04/11/2014 | 8.41 | Brisighella |
| BR_0010 | 039004P23869HVSRA43056 | 242061 | 4901310 | 04/11/2014 | 11.25 | Brisighella |
| BR_0011 | 039004P23870HVSRA43057 | 241501 | 4900730 | 04/11/2014 | 17.19 | Brisighella |
| BR_0012 | 039004P23871HVSRA43058 | 239359 | 4899930 | 04/11/2014 | 8.75 | Brisighella |
| BR_0013 | 039004P23872HVSRA43059 | 237797 | 4899000 | 04/11/2014 | 13.75 | Brisighella |
| BR_0014 | 039004P23873HVSRA43060 | 236082 | 4897550 | 04/11/2014 | 7.28 | Brisighella |
| BR_0015 | 039004P23874HVSRA43061 | 235090 | 4893410 | 04/11/2014 | 11.16 | Brisighella |
| BR_0016 | 039004P23875HVSRA43062 | 233366 | 4889680 | 04/11/2014 | 10.94 | Brisighella |
| BR_0017 | 039004P23876HVSRA43063 | 235969 | 4902110 | 04/11/2014 | 8.53 | Brisighella |
| BR_0018 | 039004P23911HVSRA43098 | 240263 | 4906099 | 24/11/2014 | 1.88 | Brisighella |
| BR_0019 | 039004P23910HVSRA43097 | 240663 | 4906882 | 24/11/2014 | 1.66 | Brisighella |
| CA_0001 | 039005P1HVSRA1 | 235947 | 4902060 | 04/11/2014 | 12.19 | Casola Valsenio |
| CA_0002 | 039005P2HVSRA2 | 236060 | 4902270 | 04/11/2014 | 10.31 | Casola Valsenio |
| CA_0004 | 039005P45HVSRA46 | 231783 | 4904065 | 08/11/2014 | 15.63 | Casola Valsenio |
| CA_0005 | 039005P46HVSRA47 | 229097 | 4900050 | 08/11/2014 | 8.34 | Casola Valsenio |
| CA_0006 | 039005P47HVSRA48 | 230834 | 4902866 | 08/11/2014 | 10.53 | Casola Valsenio |
| CA_0007 | 039005P48HVSRA49 | 230408 | 4902566 | 08/11/2014 | 17.5 | Casola Valsenio |
| CB_0001 | 039006P59117HVSRA63040 | 243082 | 4913350 | 04/11/2014 | 5.59 | Castel Bolognese |
| CB_0002 | 039006P59118HVSRA63041 | 244195 | 4912330 | 04/11/2014 | 0.81 | Castel Bolognese |
| CB_0003 | 039006P59119HVSRA63042 | 244825 | 4911910 | 04/11/2014 | 0.89 | Castel Bolognese |
| CB_0004 | 039006P59120HVSRA63043 | 246340 | 4911470 | 04/11/2014 | 0.94 | Castel Bolognese |
| CB_0005 | 039006P59121HVSRA63044 | 243899 | 4913310 | 04/11/2014 | 7.16 | Castel Bolognese |
| CB_0006 | 039006P59122HVSRA63045 | 245187 | 4912630 | 04/11/2014 | 0.93 | Castel Bolognese |
| CB_0007 | 039006P59123HVSRA63046 | 244167 | 4910840 | 04/11/2014 | 0.95 | Castel Bolognese |
| CB_0008 | 039006P59124HVSRA63047 | 246325 | 4911460 | 04/11/2014 | 0.97 | Castel Bolognese |
| RT_0001 | 039015P8HVSRA8 | 234312 | 4906592 | 10/12/2014 | 1.25 | Riolo Terme |
| RT_0002 | 039015P6HVSRA6 | 236407 | 4907118 | 10/12/2014 | 10.81 | Riolo Terme |
| RT_0003 | 039015P14HVSRA14 | 238487 | 4907808 | 10/12/2014 | 0.98 | Riolo Terme |
| RT_0005 | 039015P10HVSRA10 | 240955 | 4907757 | 10/12/2014 | 0.75 | Riolo Terme |
| RT_0006 | 039015P7HVSRA7 | 234152 | 4906280 | 10/12/2014 | 3.44 | Riolo Terme |
| RT_0007 | 039015P5HVSRA5 | 236182 | 4906858 | 10/12/2014 | 5.1 | Riolo Terme |
| RT_0008 | 039015P13HVSRA13 | 237942 | 4907154 | 10/12/2014 | 4.88 | Riolo Terme |
| RT_0009 | 039015P11HVSRA11 | 239012 | 4906428 | 10/12/2014 | 0.94 | Riolo Terme |
| RT_0010 | 039015P9HVSRA9 | 239968 | 4907714 | 10/12/2014 | 1.09 | Riolo Terme |

Tabella 3 - Principali dati associati alle 42 misure di microtremore a stazione singola di nuova esecuzione. Il "Codice prova" indica la codifica presente nei rapporti di prova riportati nell'allegato 2, mentre il "Codice DB DPC" indica il codice con cui l'indagine è stata archiviata in banca dati.

Il metodo considera i microtremori come composti in massima parte da onde di superficie (di Rayleigh) nelle componenti orizzontali e verticali, che vengono amplificate per effetto di sito a causa della presenza di discontinuità stratigrafiche nel sottosuolo. È quindi possibile ricostruire la forma spettrale del microtremore, in cui i picchi alle diverse frequenze rappresentano il rapporto tra la componente orizzontale e verticale dei segnali registrati.

Per le registrazioni sono stati usati due tromografi digitali TROMINO, modelli Studio e Engy. L'acquisizione dei dati è stata effettuata con frequenza di campionamento di 128 Hz con un tempo di singola registrazione pari a 14 minuti, comunque sufficienti per indagare le frequenze di interesse del presente studio secondo quanto previsto dai criteri Sesame (AA.VV., 2005).

Nella tabella 3 sono riportati i dati principali associati a ciascuna delle 42 misure di microtremore realizzate e utilizzate per il presente studio di microzonazione

5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Al fine di ricostruire il modello geologico di sottosuolo del territorio di ciascuno dei quattro comuni, sono stati inizialmente analizzati i dati di tutte le indagini di repertorio disponibili, indicate in tabella 2 all'inizio del capitolo 4. Sulla base di questa prima caratterizzazione sono state ubicate e quindi eseguite le misure di microtremore a stazione singola (HVSR) di nuova realizzazione, che hanno permesso nel complesso una adeguata caratterizzazione degli ambiti di studio. Per la definizione delle litologie superficiali in ambiti collinari o montani, in cui i dati geognostici risultano in genere piuttosto scarsi ci si è basato su quanto indicato nella Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, in particolare per la redazione della carta geologico-tecnica (paragrafo 7.2)

A seguito del lavoro di raccolta e sistematizzazione dei dati di repertorio e dell'esecuzione delle nuove indagini, i dati stratigrafici oggi disponibili per l'area di studio possono considerarsi sufficienti e, pur con evidenti concentrazioni in alcune aree, anche abbastanza ben distribuiti tra capoluoghi e frazioni dei quattro comuni. Questo consente in genere di ottenere una ricostruzione delle caratteristiche litologiche e sismiche dei primi metri di sottosuolo maggiormente attendibile nelle aree urbanizzate, ma che diventa via via più approssimata passando agli ambiti di studio attualmente non urbanizzati.

In generale la litostratigrafia del sottosuolo dei comuni in oggetto desunta dalle indagini conferma l'assetto descritto nell'inquadramento, riportato nel capitolo 3.

La carta geologico tecnica (tavole 2 e paragrafo 8.2), che riporta le litologie superficiali prevalenti (primi 5-6 metri) e la carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (tavole 4 e paragrafo 8.4), che presenta la suddivisione del territorio dei comuni sulla base delle caratteristiche della successione litostratigrafica nei primi 10-20 metri in collina e montagna e fino ad oltre 100 metri in pianura, sintetizzano le conoscenze litostratigrafiche degli ambiti di studio e permettono di distinguere, procedendo da SE verso NO:

- una zona montana-collinare (comuni di Casola Valsenio, Brisighella e Riolo Terme) in cui gli ambiti di studio sono caratterizzati dalla presenza in superficie di:

- affioramenti di substrato alterato, in prevalenza costituiti da: Formazione Marnoso Arenacea a Casola Valsenio e Brisighella, Formazione della Vena del Gesso a Riolo Terme e Brisighella, Formazione delle Argille Azzurre a Brisighella e Riolo Terme;
- depositi di ghiaie e sabbie lungo i corsi fluviali principali (ambiente deposizionale di canale fluviale);
- depositi terrazzati a granulometria variabile dalle ghiaie sabbiose (prevalentemente a Casola Valsenio), alle sabbie limose, fino alle argille limose (AES6, AES7, AES8 e AES8a);
- depositi eluvio-colluviali lungo i versanti e di falda detritica o conoide detritica ai piedi degli stessi;

- una zona pedecollinare di conoide terrazzata e di media pianura (comune di Castel Bolognese) in cui gli ambiti di studio sono caratterizzati dalla presenza in superficie di:

- depositi in prevalenza sabbiosi e limosi di terrazzo o argine fluviale;
- depositi in prevalenza limosi e argillosi di piana inondabile.

Per quanto riguarda gli ambiti dei tre comuni montani i dati geologici e geofisici a disposizione, integrati con quelli delle sezioni geologiche disponibili, riescono in genere a fornire una idea abbastanza precisa delle profondità dei passaggi tra depositi superficiali, il substrato alterato e quello che può essere definito bedrock sismico.

Per quanto riguarda gli ambiti di pianura Castel Bolognese, un buon numero di dati di prove penetrometriche consente la ricostruzione delle successioni litologiche superficiali (fino a 15-20 metri), mentre per maggiori profondità ed in particolare per l'individuazione del possibile bedrock sismico sono disponibili i dati di alcune stratigrafie profonde (sondaggi e pozzi per acqua), delle misure di microtremore a stazione singola e di una sezione geologica realizzata dal SGSS della Regione Emilia-Romagna (allegato 1). Tale sezione evidenzia, nel sottosuolo della porzione più meridionale degli ambiti di studio, una prevalenza di livelli di ghiaie (e sabbie con ghiaie), che via via tendono ad assottigliarsi e lasciare il posto a depositi a minore granulometria spostandosi verso NE.

6. INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE

Nel presente capitolo vengono esaminate le principali scelte effettuate a scopo interpretativo, partendo dall'esposizione del percorso logico seguito per delineare la struttura dello studio, evidenziandone le ragioni e gli elementi a sostegno, ma cercando anche di valutarne le inevitabili incertezze e le eventuali criticità.

6.1 Frequenza naturale dei terreni (f_0)

A supporto del presente studio sono state realizzate 42 misure di rumore ambientale (microtremore a stazione singola), a cui, per l'archiviazione in banca dati, si sono aggiunte ulteriori 9 misure pregresse. Nella tabella 3 del capitolo 4 sono riportati i dati principali associati a ciascuna delle misure di microtremore realizzate per il presente studio di microzonazione, i cui rapporti di indagine sono presenti nell'allegato 2. Alcune di esse sono state appositamente eseguite a breve distanza l'una dall'altra con strumenti differenti per verificare la ripetibilità delle misure e la sostanziale coerenza dei dati registrati con i due diversi strumenti (paragrafo 4.2). In generale tali misure hanno permesso di accertare la presenza o l'assenza di contrasti di impedenza nei terreni indagati, consentendo la verifica delle determinazioni fatte nello studio del 2009 ed eventualmente di apportare alcuni correttivi.

Negli ambiti collinari, tali misurazioni, correlate con dati stratigrafici o misure di Vs, hanno permesso spesso di associare i picchi principali di H/V alla profondità del contatto tra i depositi terrazzati e di versante con il substrato, in genere sempre alterato nei primi metri. Questo per la ragione principale che l'ampiezza di tali picchi, talvolta assai pronunciata, è direttamente legata alla differenza di velocità degli strati.

La carta delle frequenze naturali dei terreni prevista dall'Allegato C della Delibera n.1919/2013 (Regione Emilia-Romagna, 2013) e descritta nel paragrafo 8.3, evidenzia quanto sopra descritto e riporta tutti i punti di misura di rumore ambientale realizzati a supporto del presente studio e di archivio.

6.2 Substrato rigido

Nel settore montuoso affiora estesamente la Formazione Marnoso-Arenacea (FMA), formazione rocciosa che, a meno di un limitato spessore superficiale di alterazione, può essere assimilata a substrato rigido, con limitati o assenti fenomeni di amplificazione. Anche la Formazione della Vena del Gesso, costituita da gessi e in subordine calcari, può essere assimilata a substrato rigido. Al contrario, nella zona collinare, per la presenza di formazioni prevalentemente pelitiche (Argille a Colombacci, Marne di Cella, Argille Azzurre) o comunque non rigide (Sabbie di Imola) sono sempre attesi effetti di amplificazione anche in presenza di limitati spessori di coperture, poiché tali successioni, sebbene costituiscano il substrato, sono tutte caratterizzate da velocità di propagazione delle onde di taglio S relativamente basse (in genere Vs compresa tra 400 e 600 m/s, anche per alcune decine di metri) (Marabini e Poggiali, 2009).

Il confronto fra i risultati della campagna di misure di microtremore descritti nel paragrafo precedente e i dati derivati dalle indagini geognostiche e geofisiche eseguite entro gli

ambiti di studio hanno permesso di correlare le frequenze naturali dei terreni misurate con i dati stratigrafici a conferma di quanto sopra descritto.

Per quanto riguarda gli ambiti collinari e montani, i picchi che si riscontrano a frequenza variabile da circa 2 fino a 17 Hz sono stati in genere ben correlati al contrasto di impedenza presente tra substrato (più o meno alterato) e coperture. Tale contrasto è funzione della differenza di velocità delle onde di taglio S tra i depositi superficiali e il substrato: ad esempio risulta più marcato (picchi a maggiore ampiezza) quando il substrato è rappresentato dalla Formazione Marnoso Arenacea o dalla Formazione della Vena del Gesso (V_s prossima a 800 m/s, bedrock) e più sfumato (picchi a minore ampiezza) quando è rappresentato da unità meno rigide come ad esempio la Formazione delle Argille Azzurre (V_s tra 400 e 600 m/s, pseudo-bedrock). Si rimanda comunque alle tavole 3 e al capitolo 8.3 per ulteriori dettagli.

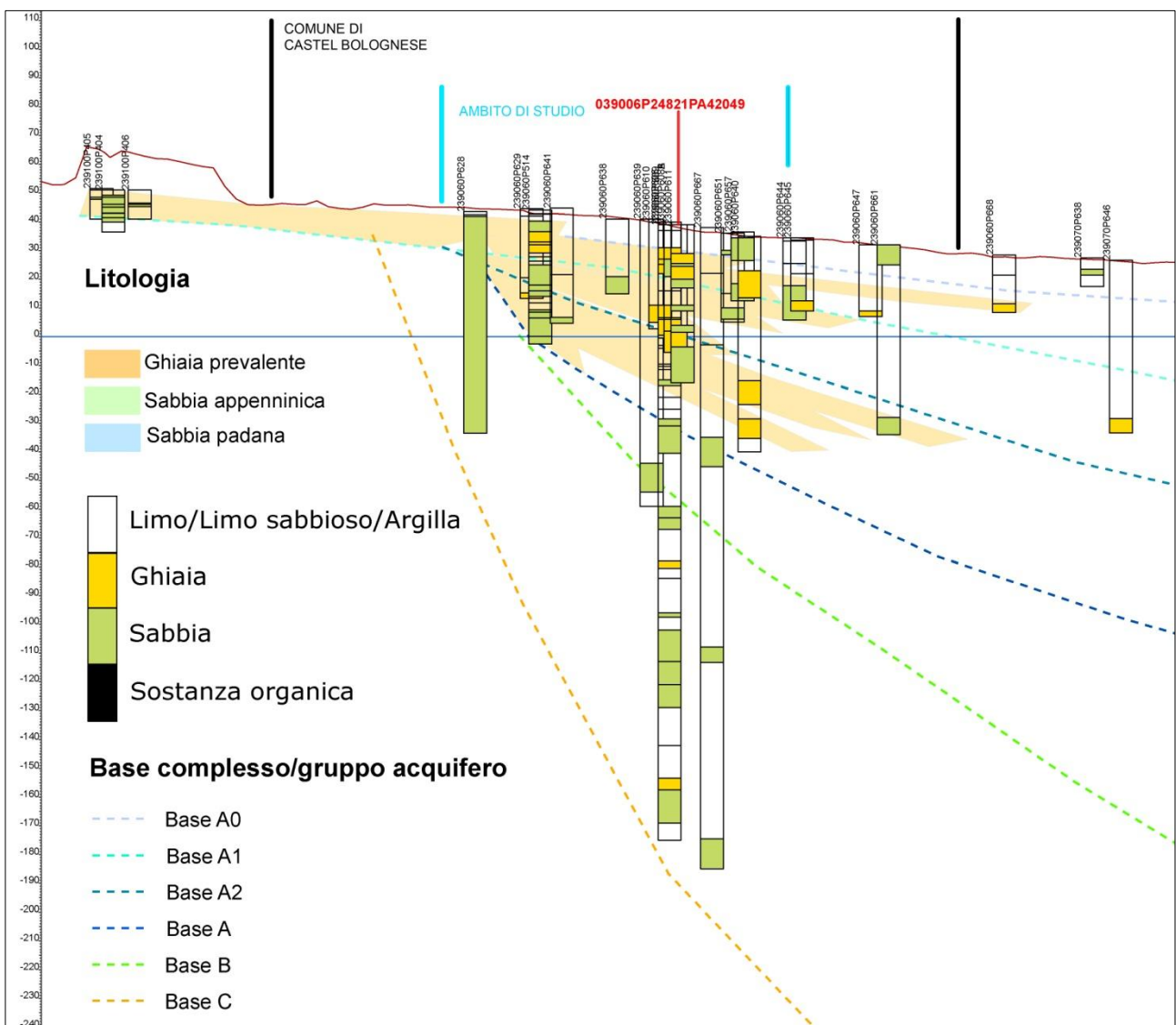


Figura 6.1 - Dettaglio della sezione geologica di Castel Bolognese. In rosso è indicata la posizione del pozzo per acqua, la cui stratigrafia è riportata in figura 6.2.

Per quanto riguarda il comune di Castel Bolognese, la sezione geologica disponibile, di cui è riportato un estratto in figura 6.1, che attraversa parte il territorio comunale con direzione SW-NE, si basa essenzialmente sui dati di alcuni sondaggi e numerosi pozzi per acqua. A

seguito di verifiche eseguite attraverso procedure di inversione delle curve H/V ottenute dalle misure di rumore ambientale, si può affermare che tra le superfici che marcano le basi degli acquiferi individuate nella sezione 1, l'unica che potrebbe ben correlarsi con le basse frequenze di risonanza individuate dalle misure di rumore ambientale (circa 0,9 Hz) è, almeno per la porzione di media pianura, la base dell'acquifero B, che marca tra l'altro il passaggio dai depositi quaternari continentali, a quelli marini (base AEI). Tale superficie è tratteggiata in verde (con una inevitabile incertezza). In figura 6.2 è riportata la stratigrafia, piuttosto dettagliata, del pozzo per acqua codificato in banca dati come "039006P24821PA42049" dove in rosso è marcato il probabile passaggio, a circa 135 metri, tra i depositi continentali (al termine argille plastiche di possibile ambiente di retrospiaggia) e quelli marini (sabbiosi con conchiglie). La posizione di tale prospezione è indicata in rosso in figura 6.1. Questo importante passaggio stratigrafico potrebbe essere assunto come il bedrock sismico dell'area degli ambiti di pianura di Castel Bolognese, che sono comunque caratterizzati da un basso contrasto di impedenza a basse frequenze. Sulla base di tale assunto è stato possibile identificare, come vedremo più in dettaglio nei capitoli successivi, una porzione di territorio più meridionale di conoide terrazzata con una maggiore presenza di orizzonti ghiaiosi e caratterizzata dalla presenza di un bedrock sismico a profondità inferiore a 120 metri, (vedi sezione in figura 6.1) e una più settentrionale di media pianura caratterizzata dalla presenza di un bedrock sismico a profondità superiore a 120. Tale suddivisione risulta analoga a quella realizzata in contesto analogo nel comune di Faenza dove sono stati condotti specifici approfondimenti di indagini a supporto degli studi di risposta sismica locale legati agli approfondimenti di terzo livello.

MICROZONAZIONE SISMICA DEI COMUNI DI BRISIGHELLA, CASOLA VALSENIO, CASTEL BOLOGNESE E RIOLO TERME

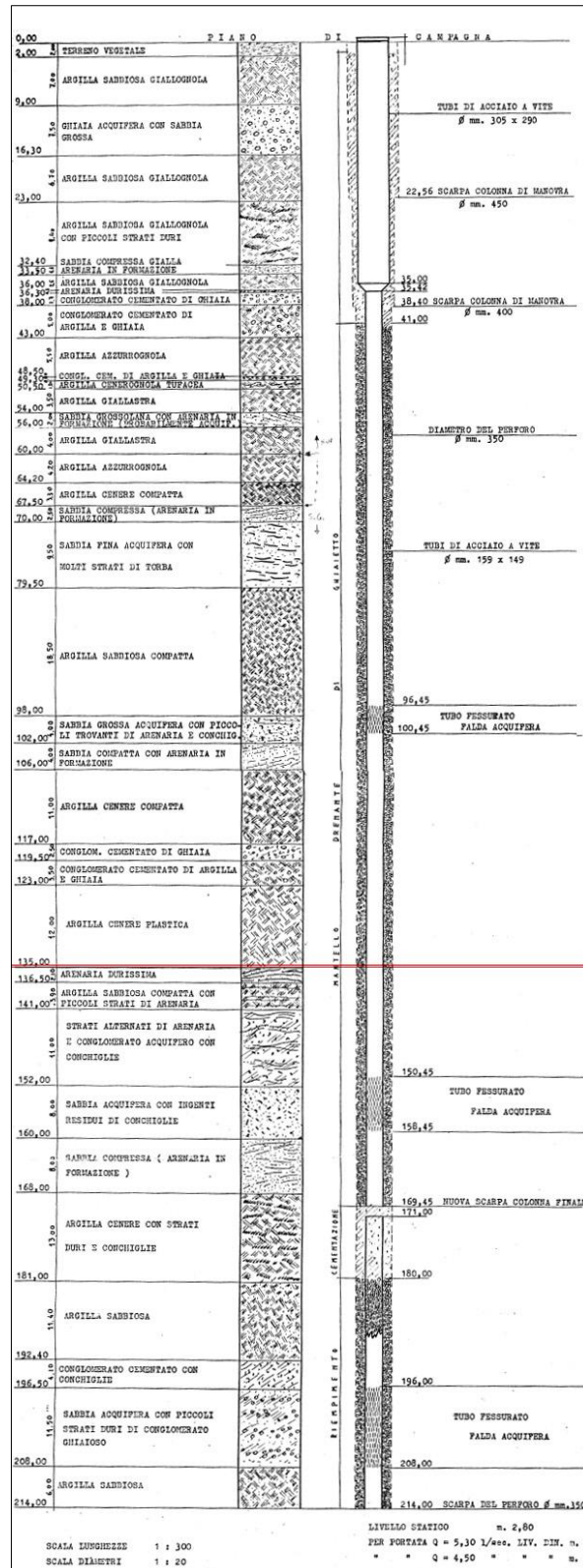


Figura 6.2 - Stratigrafia del pozzo per acqua "039006P24821PA42049".

6.3 Individuazione dei depositi potenzialmente liquefacibili a Castel Bolognese.

I dati stratigrafici disponibili indicano una diffusa presenza di depositi granulari entro i primi 20 metri di profondità entro tutti gli ambiti di studio del comune di Castel Bolognese. In particolare le stratigrafie ottenute dai sondaggi e soprattutto dalle prove penetrometriche

statiche (in tutto 34 verticali) evidenziano la presenza di diffusi livelli di sabbie e limi sabbiosi però non sempre saturi. In particolare, non essendo disponibile per l'area in oggetto una cartografia delle soggiacenze della prima falda, sono state analizzate le misure eseguite al termine delle indagini archiviate nella banca dati, sebbene eseguite in tempi e stagioni assai diversi. Tali misure hanno evidenziato come, coerentemente col contesto geomorfologico locale, in corrispondenza dell'area di conoide terrazzata (sud-ovest) si registrino livelli della falda generalmente inferiori a 15 metri di profondità, mentre spostandosi verso nord-est, verso la zona di media pianura sono presenti livelli più superficiali, con locali misurazioni anche a meno di 3 m dal piano campagna.

A Castel Bolognese lo studio di microzonazione del 2009 non segnala aree caratterizzate dalla presenza di depositi liquefacibili (Marabini e Poggiali, 2009). Ciononostante nel presente elaborato, in mancanza di una campagna geognostica mirata ad adeguati approfondimenti (incarico per il solo "adeguamento agli standard") e in ragione della presenza di diffusi livelli granulari accertati dalle indagini geognostiche di repertorio e di un livello di soggiacenza della falda generalmente inferiore ai 15 metri, in tutta l'area di media pianura del comune di Castel Bolognese, distinta come vedremo in seguito con la zona MOPS 2025 (paragrafo 8.4), viene indicata la presenza di depositi potenzialmente liquefacibili nelle carte di microzonazione sismica di primo e secondo livello.

6.4 Determinazione della velocità delle onde di taglio (V_s)

Per poter essere correttamente applicati, gli abachi presenti nell'Allegato A2 degli indirizzi regionali (Regione Emilia-Romagna, 2007) per il calcolo dei fattori di amplificazione prevedono la conoscenza della profondità del substrato rigido (paragrafo 6.2) e della velocità delle onde di taglio dei primi metri di depositi (V_{s30} o V_{sH}).

Per questa ragione, a supporto dello studio di microzonazione sismica del 2009 venne condotta una campagna di indagini geofisiche: 41 prove MASW e 2 prove Down-hole; queste ultime entrambe realizzate in comune di Faenza, mentre le prime distribuite su tutti e sei i comuni dell'Unione e nello specifico nell'area di interesse: 4 a Brisighella, 2 a Casola Valsenio, 3 a Castel Bolognese e 3 a Riolo Terme (Marabini e Poggiali, 2009). A queste, considerando tutti i dati messi a disposizione dal SGSS della Regione Emilia-Romagna e dagli uffici tecnici comunali e dell'Unione, si sono aggiunte purtroppo solo 3 ulteriori MASW, tutte eseguite nel comune di Riolo Terme. In generale i risultati, in termini di V_s , delle prove MASW realizzate più di 5 anni fa appaiono oggi affette da una generale sovrastima dei valori, anche sulla base del confronto di dati acquisiti più recentemente in contesti analoghi nell'area di Faenza per gli approfondimenti di terzo livello e con dati acquisiti più recentemente in contesti analoghi. Di tali incertezze, ed in particolare della possibile sovrastima delle V_s nella porzione più superficiale del substrato è stato tenuto conto nell'utilizzo degli abachi per il calcolo dei fattori di amplificazione, come illustrato in dettaglio al paragrafo 7.1.1.

7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Il fine ultimo di uno studio di microzonazione di secondo livello è quello di pervenire ad una suddivisione del territorio indagato in zone stabili, zone suscettibili di amplificazioni locali, a loro volta suddivise in aree a diverso grado di amplificazione, e zone instabili, per cui necessitano approfondimenti di terzo livello (tavole da 6 a 8). I paragrafi del presente capitolo illustrano quindi i risultati dello studio e le metodologie di elaborazione utilizzate per determinare i diversi fattori di amplificazione sul territorio e per identificare le aree instabili, che nell'area di studio sono essenzialmente quelle soggette a potenziali fenomeni di liquefazione (a Castel Bolognese) e quelle caratterizzate da instabilità di versante (nei tre restanti comuni). Su tali aree dovranno essere necessariamente condotti specifici approfondimenti di livello 3 per definire puntualmente il grado di rischio.

7.1 Zone suscettibili di amplificazioni locali - calcolo dei fattori di amplificazione

Per suddividere il territorio in base all'amplificazione attesa, in aree a maggiore e minore pericolosità, devono essere calcolati, nel secondo livello di microzonazione sismica, i fattori di amplificazione, scegliendo se utilizzare gli abachi nazionali degli ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008) o quelli di riferimento regionali (Regione Emilia-Romagna, 2007). Nel presente studio la scelta è caduta su questi ultimi, in analogia con quanto realizzato nello studio di microzonazione del 2009 (Marabini e Poggiali, 2009) e poiché si ritiene che, per come sono strutturati, consentano una migliore e più corretta modellazione per lo specifico caso dell'Unione dei Comuni della Romagna Faentina.

La prima scelta da fare, per poter determinare i fattori di amplificazione (FA_{PGA} , $FA_{0,1-0,5s}$, $FA_{0,5-1s}$) secondo i criteri regionali (Regione Emilia-Romagna, 2007), è quella relativa a quali abachi utilizzare. A questo proposito vale la pena di citare un breve estratto dell'allegato C della DGR 1919/2013 (Regione Emilia-Romagna, 2013):

Si ricorda che la scelta degli abachi per la stima dell'amplificazione non dipende dalle sole caratteristiche litologiche e morfologiche dell'area, ma deve essere attentamente valutata sulla base delle caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo, in particolare della profondità del substrato rigido. Per questa valutazione si raccomanda di porre particolare attenzione alla cartografia di primo livello, in particolare alla carta delle MOPS e degli elementi geologici sepolti che possono modificare il moto in superficie e alla carta delle frequenze naturali dei terreni.

Nel caso in esame si è tenuto conto di quanto sopra citato e sono stati utilizzati 3 abachi distinti per le aree del territorio dell'Unione caratterizzate da differenze stratigrafiche del sottosuolo ritenute importanti dal punto di vista dell'influenza sul moto sismico in superficie e descritte in dettaglio nei capitoli 5 e 6:

- A2.1.1 - Appennino e margine appenninico-padano (V_s substrato ≥ 800 m/s)
Utilizzato nelle aree montane e collinari in cui il substrato delle coperture, individuato alla profondità massima di poche decine di metri, è costituito dalla Formazione Marnoso arenacea o dalla Formazione della Vena del Gesso.

- A2.1.1 - Appennino e margine appenninico-padano (V_s substrato < 800 m/s)
Utilizzato nel settore collinare, dove il substrato è costituito da successioni prevalentemente pelitiche (es. Formazione delle Argille Azzurre).
- A2.1.2 - Pianura Padana e Costa Adriatica (PIANURA 1, substrato < 120 m da p.c.)
Utilizzato nella porzione più meridionale degli ambiti di studio del Comune di Castel Bolognese, in ambiente di conoide terrazzata, in cui sono presenti potenti orizzonti ghiaiosi e il substrato, sia pure di difficile identificazione con i dati a disposizione, è collocato a profondità inferiori ai 120 metri.
- A2.1.2 - Pianura Padana e Costa Adriatica (PIANURA 2, substrato \geq 120 m da p.c.)
Utilizzato nella porzione più settentrionale degli ambiti di studio del Comune di Castel Bolognese, in ambiente di media pianura, in cui sono presenti più limitati orizzonti ghiaiosi intercalati a successioni di sabbie e peliti e il substrato si trova a profondità inferiori ai 120 metri.

Si noti che rispetto a quanto indicato negli abachi degli indirizzi regionali, il limite di profondità del substrato per distinguere tra Pianura 1 e Pianura 2 è stato cautelativamente posto a 120 metri anziché a 100, in analogia con quanto definito nello studio di microzonazione dell'area epicentrale del terremoto del 2012 coordinato dal SGSS della Regione Emilia-Romagna (Martelli, 2013).

Rispetto a quanto determinato nello studio di microzonazione del 2009 (Marabini e Poggiali, 2009) nei tre comuni collinari-montani sono stati sostanzialmente applicati gli stessi abachi, con alcune differenze nelle perimetrazioni delle zone e nelle attribuzioni delle velocità dei depositi (capitolo 8), mentre per il comune di Castel Bolognese, che in precedenza era interamente attribuito alla Pianura 1, è stata distinta una zona più settentrionale di Pianura 2, sulla base dell'analisi dei dati stratigrafici (paragrafo 6.2) e in analogia con quanto osservato in contesto analogo nel comune di Faenza dove sono stati condotti specifici approfondimenti di indagini a supporto degli studi di risposta sismica locale legati agli approfondimenti di terzo livello.

È comunque opportuno sottolineare come, in ragione della diversa distribuzione e qualità dei dati disponibili e delle inevitabili incertezze dei metodi utilizzati in questo genere di valutazioni, non siano tanto importanti i valori assoluti dei fattori di amplificazione ottenuti, quanto piuttosto quelli relativi ricavati dal confronto dei diversi valori numerici, che permettono di individuare le aree a maggiore o minore pericolosità relativa.

Attraverso la realizzazione di sezioni topografiche con sistemi GIS a partire dal modello digitale del terreno (griglia con passo 5 metri), si è potuta verificare la presenza di pendii con inclinazione media superiore a 15° e di altezza maggiore di 30 metri, per cui potessero essere calcolati fattori di amplificazione topografica F_t (St in DAL 112/2007). maggiori di 1, con il metodo indicato al paragrafo A2.2 degli indirizzi regionali (Regione Emilia-Romagna, 2007).

MICROZONAZIONE SISMICA DEI COMUNI DI BRISIGHELLA, CASOLA VALSENIO, CASTEL BOLOGNESE E RIOLO TERME

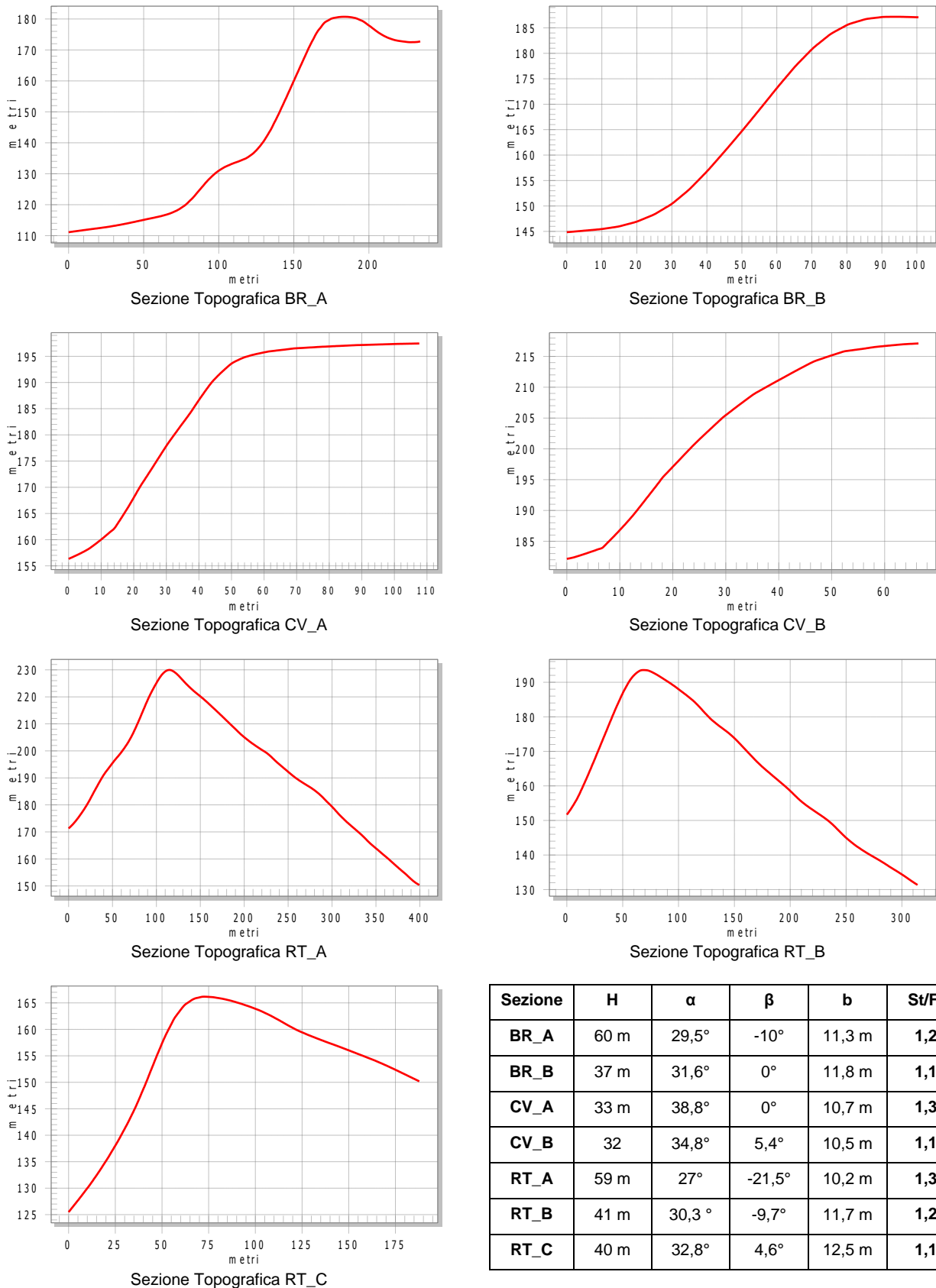


Figura 7.1- Grafici (con assi non alla stessa scala) delle 7 sezioni eseguite (traccia indicata sulla carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica) per la valutazione dell'amplificazione topografica nei comuni di Brisighella (BR), Casola Valsenio (CV) e Riolo Terme (RT) e tabella riassuntiva dei principali parametri utilizzati per il calcolo (DAL 112/2007) con indicazione del fattore di amplificazione (St/Ft) risultante.

Seguendo le indicazioni sopra riportate, rispetto a quanto indicato nello studio di microzonazione del 2009 (Marabini e Poggiali, 2009), le aree per cui è possibile che si verifichi amplificazione topografica si sono sensibilmente ridotte e sono di fatto limitate a poche porzioni di ambiti nei comuni di Brisighella, Riolo Terme e Casola Valsenio, le uniche per cui sono verificate tutte le condizioni sopra descritte (pendio con inclinazione $> 15^\circ$ e altezza > 30 m) e per cui il calcolo restituisce un valore maggiore di 1. Le tracce delle sezioni topografiche utilizzate per individuare tali aree e quantificarne l'amplificazione sono riportate in figura 7.1, assieme ad una tabella riassuntiva dei principali parametri utilizzati per il calcolo con indicazione del fattore di amplificazione (S_t/F_t) risultante.

7.2 Identificazione delle zone di attenzione per instabilità - liquefazione

I dati geognostici raccolti sono stati singolarmente valutati rispetto alle possibili criticità legate alla natura dei terreni attraversati. La principale di queste criticità presente nel Comune di Castel Bolognese è senza dubbio la presenza, in corrispondenza di tutte le verticali, di orizzonti più o meno spessi di depositi granulari, che se saturi risultano potenzialmente liquefacibili (paragrafo 6.3).

La carta MOPS (tavole 4), riporta, per l'intero territorio di Castel Bolognese, l'estensione delle zone di attenzione per instabilità, in ragione della presenza di depositi potenzialmente liquefacibili e saturi (ZALQ1 - Zona di attenzione per liquefazioni tipo 1 - codice 3050 in banca dati), descritte in dettaglio nel paragrafo 6.3. È opportuno ribadire che in mancanza di una campagna di indagini specifica e di una cartografia delle soggiacenze della prima falda, tale perimetrazione si è potuta realizzare, con criteri cautelativi, solo sulla base dei dati pregressi, inevitabilmente disomogenei e a diverso livello di affidabilità. In ogni caso va evidenziato come in tutti gli ambiti del territorio di Castel Bolognese sia stata riscontrata una certa variabilità nella distribuzione dei depositi granulari anche su verticali di indagine molto ravvicinate, per cui non è raro che a distanza di poche decine di metri si assista alla chiusura laterale di lenti sabbiose anche significative. Tale dato indica la necessità per un geologo professionista di accertare sempre puntualmente la stratigrafia e la piezometria dell'area in esame e evidenzia che risulta assai difficile estrapolare delle valutazioni puntuali sulla liquefacibilità dei depositi granulari saturi su un areale più o meno esteso. In tali "Zone di attenzione per liquefazione" dovranno quindi essere eseguiti ulteriori approfondimenti (con analisi e indagini di terzo livello) per quantificarne il potenziale di liquefazione, ma anche per delimitarne meglio l'estensione areale.

7.3 Identificazione delle zone di attenzione per instabilità - versante

Sulla base delle indicazioni presenti nella Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, sono state individuate e verificate sulle fotografie aeree, le aree in cui sono presenti frane attive o quiescenti. Inoltre, nel comune di Casola Valsenio è stata cartografata la frana verificatasi nel febbraio 2015 in corrispondenza del campo sportivo. Nella carta geologico-tecnica (paragrafo 8.2) tali aree sono distinte ciascuna sulla base della propria origine (scivolamento, scorrimento, crollo, ecc.), mentre nella carta MOPS e nelle carte di microzonazione di secondo livello, la distinzione si basa sul fatto che siano attive o quiescenti. In tali "Zone di attenzione per instabilità di versante" dovranno quindi

essere eseguiti ulteriori approfondimenti (analisi di terzo livello) per verificarne il potenziale rischio in caso di sisma. Si ricorda che le fonti storiche riportano che in occasione del terremoto del 4 novembre 1688 si staccò un grosso macigno dal monte sovrastante il paese di Brisighella causando gravi danni.

8. ELABORATI CARTOGRAFICI

Le 32 tavole cartografiche, 8 per comune (tabella 1), sono state realizzate secondo le specifiche indicate, per il primo e secondo livello di approfondimento, nell'allegato D della Delibera n.1919/2013 (Regione Emilia-Romagna, 2013) e risultano conformi alle linee guida emanate dal Dipartimento della Protezione Civile (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2013).

L'estensione e la forma degli ambiti oggetto di studio di ciascuno dei 4 comuni hanno consentito di rappresentarli per intero, alla scala 1:10.000 entro la dimensione massima di una singola tavola (A0) prevista dalle linee guida (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2013), ricorrendo, nel caso di Brisighella, alla realizzazione di diversi riquadri cartografici per ogni singola tipologia di tavola.

Per tutte le 32 carte realizzate, la base cartografica è costituita dalla Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000.

8.1. Carta delle indagini (tavole 1)

La carta delle indagini, realizzata alla scala 1:10.000, permette la visione di insieme delle localizzazioni delle prospezioni geologiche e geofisiche realizzate nel territorio dei tre comuni, raccolte e archiviate in formato digitale per il presente studio (in tutto 455), comprendendo sia quelle di nuova realizzazione (42), sia quelle di repertorio (413) (capitolo 4).

Tutte le indagini sono distinte con le simbologie definite negli Standard MS 3.0 (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2013).

Per maggiori dettagli sulle indagini riportate in carta, relativi alla provenienza e alla tipologia dei dati, si rimanda al capitolo 4.

8.2. Carta geologico-tecnica (tavole 2)

La carta geologico tecnica, realizzata alla scala 1:10.000, è un elaborato differente da una classica carta geologica o litologica, in quanto è finalizzata alla definizione del modello del primo sottosuolo, utile per uno studio di microzonazione sismica. Si tratta quindi sostanzialmente di una carta della litologia superficiale, che considera indicativamente i primi 5-6 metri dal piano di campagna. L'elaborazione di questa cartografia si è basata sui seguenti principali criteri:

- classi tessiturali definite secondo gli "standard di microzonazione sismica" (v.3.0);
- si è considerata la prevalenza tessitoriale nella "colonna" di sedimenti profonda fino a -6 metri (l'intervallo di sottosuolo che rappresenta il "volume significativo" per la maggior parte dei manufatti riscontrabili nell'area di studio).

Nei paragrafi seguenti vengono descritti i principali elementi rappresentati nella carta geologico-tecnica, generalmente identificati sulla base di quanto indicato nella Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, in particolare nelle aree collinari e montane.

8.2.1 Forme di superficie e sepolte

Le forme di superficie e sepolte, rivestono una certa importanza poiché mettono in evidenza alcune forme che possono influenzare il moto sismico in superficie e che quindi devono essere tenute nella giusta considerazione nelle valutazioni delle fasi successive. Sono presenti, limitatamente ai tre comuni collinari-montani solo le forme di "Conoide alluvionale" e "Orlo di terrazzo fluviale".

8.2.2 Terreni di copertura

Relativamente alle unità geologico-litotecniche previste dalle linee guida (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2013) per la carta geologico-tecnica, nel territorio del comune di Castel Bolognese sono presenti i soli "terreni di copertura", mentre non si rinvencono unità affioranti ascrivibili a "substrato geologico rigido o non rigido", presenti invece nel territorio dei restanti comuni. Secondo i criteri dettagliati al capitolo 5 per la definizione del modello geologico dell'area, sono state distinte, all'interno dei "terreni di copertura", un certo numero di differenti unità, prodotto della combinazione della litologia (sigla in maiuscolo e colore in carta) e dell'ambiente genetico-deposizionale (sigla in minuscolo) così come previsto dagli Standard MS 3.0 (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2013). Le suddivisioni litologiche con le relative descrizioni, indicate nella legenda delle carte, sono riportate nello schema seguente.

CASTEL BOLOGNESE

| | |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SM | Tessiture prevalenti nei primi 6 metri: sabbie limose, miscela di sabbia e limo. Ambiente deposizionale di terrazzo fluviale (tf) o di argine/barre/canali (es). |
| SC | Tessiture prevalenti nei primi 6 metri: sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla. Ambiente deposizionale di argine/barre/canali (es). |
| ML | Tessiture prevalenti nei primi 6 metri: limi inorganici, sabbie fini limose o argillose e limi argillosi di bassa plasticità. Ambiente deposizionale di terrazzo fluviale (tf) o di piana inondabile (pi). |

BRISIGHELLA, CASOLA VALSENIO, RIOLO TERME

| | |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SF | Lapideo stratificato molto fratturato |
| GC | Tessiture prevalenti nei primi metri: ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla. Ambiente deposizionale di argine/barre/canali (es) o terrazzo fluviale (tf). |
| SM | Tessiture prevalenti nei primi metri: sabbie limose, miscela di sabbia e limo. Ambiente deposizionale di terrazzo fluviale (tf). |
| ML | Tessiture prevalenti nei primi metri: limi inorganici, sabbie fini limose o argillose e limi argillosi di bassa plasticità. Ambiente deposizionale di terrazzo fluviale (tf), eluvi/colluvi (ec), falda detritica (fd) o conoide detritica (cd). |
| CL | Tessiture prevalenti nei primi metri: argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre. Ambiente deposizionale di terrazzo fluviale (tf) o eluvi/colluvi (ec). |

I colori utilizzati per i diversi terreni di copertura rappresentati sono quelli indicati Standard MS 3.0 (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2013).

8.2.3 Substrato geologico

In tutti e tre i comuni collinari e montani è presente entro gli ambiti di studio, un substrato geologico affiorante o sub-affiorante, che nel caso di Brisighella e Casola Valsenio occupa areali piuttosto estesi. Tali perimetrazioni sono state realizzate sulla base di quanto indicato nella Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, partendo dalle aree in cui non sono indicate coperture, valutando la morfologia dei luoghi e verificando la presenza di affioramenti anche consultando le foto aeree. Le diverse litologie affioranti nei diversi ambiti di studio sono descritte al paragrafo 6.2. In ogni caso per tutte le aree distinte come substrato è stata indicata, con appositi codici e retini, la presenza di stratificazione e di un certo grado di alterazione/fratturazione.

8.2.4 Elementi geologici

Sono riportati in carta i sondaggi, sia quelli che non hanno raggiunto il substrato, sia quelli che lo hanno raggiunto, e le tracce delle sezioni geologiche allegate allo studio di microzonazione.

Sondaggi: Sono riportati in carta tutti i sondaggi, a carotaggio continuo e a distruzione di nucleo e i pozzi per acqua. Quelli che hanno raggiunto il substrato (paragrafo 6.2) sono rappresentati in verde, con l'indicazione della profondità del substrato, i restanti sono rappresentati in rosso, con l'indicazione della profondità raggiunta.

Tracce di sezione geologica: Vengono riportate le tracce delle 5 sezioni geologiche riportate nell'allegato 1 alla presente relazione. Tutte le sezioni, eccetto quella di Casola Valsenio, sono tratte dall'archivio del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna e caratterizzano il sottosuolo con un dettaglio sufficiente per ciascuno dei contesti stratigrafici che attraversano.

Relativamente ad altri tematismi previsti dalle linee guida per la carta geologico tecnica, si specifica che non sono presenti elementi tettonico strutturali superficiali che possano essere ritenuti significativi per uno studio di microzonazione sismica.

8.2.5 Instabilità di versante

Partendo dalle indicazioni presenti nella Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, sono state individuate e verificate sulle fotografie aeree, le aree in cui sono presenti frane attive o quiescenti, distinte e codificate ciascuna sulla base della propria origine (scivolamento, scorrimento, crollo, ecc.).

8.3. Carta delle frequenze naturali dei terreni (tavole 3)

Nelle carte delle frequenze naturali dei terreni non è stato possibile realizzare una affidabile e significativa suddivisione del territorio dei comuni in aree per classi di frequenza, secondo quanto proposto nell'Allegato C della Delibera n.1919/2013 (Regione Emilia-Romagna, 2013): $f_0 \leq 1$ hz, $1 < f_0 \leq 2$ hz, $2 < f_0 \leq 8$ hz, $f_0 > 8$ hz. Sono però riportati

i punti di misura di rumore ambientale, con l'indicazione del valore della frequenza di risonanza fondamentale (f_0) registrata, distinguendo (in rosso) quelle con ampiezza massima della curva HVSR maggiore di 3. I dati acquisiti attraverso la campagna di misure di microtremore realizzata a supporto del presente studio (paragrafo 4.3.5), correlati coi dati geognostici disponibili, hanno in diversi casi consentito di individuare la profondità del principale contrasto di impedenza in genere posto alla base delle coperture (Castellaro et al., 2005), al tetto di quello che può essere definito il substrato rigido (paragrafo 6.2) e di individuare quindi le caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo importanti dal punto di vista dell'influenza sul moto sismico in superficie, per la definizione dei fattori di amplificazione (paragrafo 7.1). Si limitano infine a poche unità le verticali in cui si sono registrati valori del picco di frequenza fondamentale non in linea con le caratteristiche della zona MOPS di appartenenza, probabilmente in ragione di qualche anomalia locale.

Si sottolinea come tale cartografia, non prevista dagli indirizzi e dalle linee guida nazionali, sia invece molto utile per conoscere la frequenza di risonanza dei terreni all'interno degli ambiti di studio. Tale informazione può infatti risultare assai utile per la pianificazione territoriale: come noto da tempo e come recentemente verificato anche a seguito del terremoto de L'Aquila del 2009 e dell'Emilia del 2012, in corrispondenza di picchi significativi di H/V i terreni possono essere soggetti a fenomeni di amplificazione sismica locale (Mucciarelli, 2012). In particolare, gli effetti di sito a carico delle strutture sono tanto più rilevanti quanto più la frequenza di risonanza del suolo è prossima a quella degli edifici. La possibile occorrenza di tale fenomeno, noto come "doppia risonanza", può quindi essere prevista, sulla base delle indicazioni della Carta delle frequenze naturali dei terreni, già in fase di pianificazione territoriale.

8.4. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (tavole 4)

La carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS), secondo quanto richiesto nell'Allegato C della Delibera n.1919/2013 (Regione Emilia-Romagna, 2013), presenta la suddivisione del territorio dei comuni in "Zone di attenzione per instabilità" e "Zone suscettibili di amplificazioni locali", oltre a riportare le stesse "forme di superficie e sepolte" già presenti nella carta geologico tecnica (tavole 2, paragrafo 8.2.1), i punti di misura di rumore ambientale e le tracce delle sezioni topografiche realizzate per determinare i fattori di amplificazione f_t . Tale carta rappresenta l'elaborato fondamentale della microzonazione sismica di livello 1.

Per quanto riguarda la distinzione delle diverse zone MOPS, si rammenta che, per consentire la stesura di cartografie coerenti tra i Comuni dell'Unione, si è deciso di procedere all'elaborazione di tali zone in maniera congiunta tra i Professionisti incaricati rispettivamente degli studi di "livello 2" (Brisighella, Casola Valsenio, Castel Bolognese e Riolo Terme) e degli approfondimenti di "livello 3" (Faenza e Solarolo). In questo senso, si sono attribuiti alla medesima zona MOPS ambiti territoriali ricadenti anche in Comuni diversi. È da segnalare, come esempio, l'areale di studio presso la località Marzeno, risulta "diviso" dal limite amministrativo tra il Comune di Faenza e quello di Brisighella. La classificazione delle zone MOPS ha seguito, pertanto, una numerazione progressiva unica per tutti i Comuni dell'Unione. Sulla base delle caratteristiche della successione

litostratigrafica, si sono distinte 25 classi complessive di cui 13 attribuite nei Comuni di Brisighella, Casola Valsenio, Castel Bolognese e Riolo Terme. Nei Comuni di Faenza e Solarolo le classi attribuite agli ambiti di studio sono complessivamente 15 (3 classi condivise con gli altri Comuni dell'Unione e 12 nuove classi).

A parte il "Substrato geologico molto fratturato o alterato" (codice 2099), coincidente con le aree indicate nella carta geologico-tecnica come "Substrato geologico" (paragrafo 8.2.3) e per cui non è prevista una descrizione di dettaglio in legenda, le restanti 12 classi (presenti nei comuni oggetto della presente relazione) con le relative descrizioni, sono riportate nello schema che segue. Come si può notare per ciascuna classe è riportato lo spessore delle coperture che verrà poi considerato nel successivo calcolo dei fattori di amplificazione, comprensivo di un'eventuale porzione di bedrock alterato.

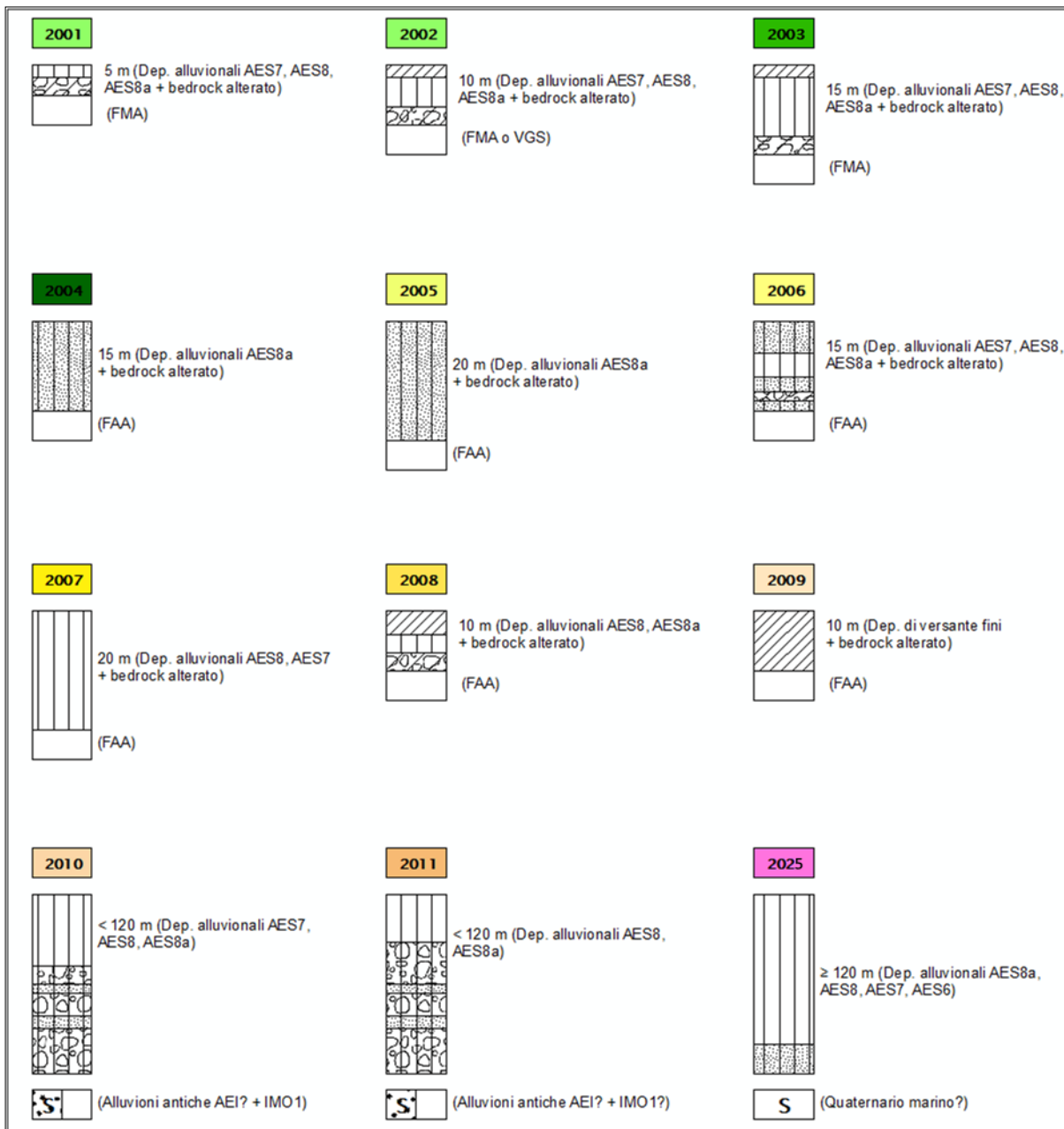
MICROZONAZIONE SISMICA DEI COMUNI DI BRISIGHELLA, CASOLA VALSENIO, CASTEL BOLOGNESE E RIOLO TERME

| | |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2001 | Zona 2001 - Piana terrazzata intravalliva o versante con limitate coperture alluvionali e colluviali fini e ghiaiose (AES7, AES8, AES8a) sovrastanti substrato marino "rigido", in parte "detensionato" (Formazione Marnoso-Arenacea). Spessore delle coperture: H=5 m (limitate alluvioni + bedrock alterato) |
| 2002 | Zona 2002 - Piana terrazzata intravalliva con successioni irregolari alluvionali e colluviali fini più o meno consistenti e parzialmente ghiaiose (AES7, AES8, AES8a), sovrastanti substrato marino "rigido", in parte "detensionato" (Formazione Marnoso-Arenacea / Formazione della Vena del Gesso). Spessore delle coperture: H=10 m (alluvioni + bedrock alterato) |
| 2003 | Zona 2003 - Piana terrazzata intravalliva con successioni irregolari alluvionali e colluviali fini più o meno consistenti e parzialmente ghiaiose (AES7, AES8, AES8a), sovrastanti substrato marino "rigido", in parte "detensionato" (Formazione Marnoso-Arenacea). Spessore delle coperture: H=20 m (alluvioni + bedrock alterato) |
| 2004 | Zona 2004 - Piana di fondovalle subattuale (AES8a) sovrastante substrato marino "non rigido" (Argille Azzurre). Spessore coperture: H=15 m (alluvioni + bedrock alterato). |
| 2005 | Zona 2005 - Piana di fondovalle subattuale (AES8a) sovrastante substrato marino "non rigido" (Argille Azzurre). Spessore coperture: H=20 m (alluvioni + bedrock alterato). |
| 2006 | Zona 2006 - Piana terrazzata con successioni di alluvioni fini più o meno consistenti e parzialmente ghiaiose (AES7, AES8, AES8a) sovrastante substrato marino in parte "detensionato" (Argille Azzurre). Spessore coperture: H=15 m (alluvioni + bedrock alterato). |
| 2007 | Zona 2007 - Piana terrazzata intravalliva con successioni di alluvioni fini più o meno consistenti e parzialmente ghiaiose (AES7, AES8) sovrastante substrato marino "non rigido" (Argille Azzurre). Spessore coperture: H=20 m (alluvioni + bedrock alterato). |
| 2008 | Zona 2008 - Scarpata di terrazzo fluviale con limitate successioni di alluvioni fini più o meno consistenti e parzialmente ghiaiose (AES8, AES8a) sovrastante substrato marino "non rigido" e in parte "detensionato" (Argille Azzurre). Spessore coperture: H=10 m (limitate alluvioni + bedrock alterato). |
| 2009 | Zona 2009 - Versante con limitate coperture fini più o meno consistenti sovrastanti substrato marino "non rigido" (Argille Azzurre). Spessore coperture: H=10 m (limitate alluvioni + bedrock alterato). |
| 2010 | Zona 2010 - Conoide terrazzata e media pianura con successioni di alluvioni prevalentemente fini più o meno consistenti (AES7, AES8, AES8a) sovrastanti ghiaie sabbiose a profondità variabili tra 10 e 20 metri. Substrato sismico alluvionale e/o marino "non rigido" a profondità < 120 m (Pianura 1). |
| 2011 | Zona 2011 - Conoide terrazzata e media pianura con successioni di alluvioni prevalentemente fini mediamente consistenti (AES8, AES8a) sovrastanti ghiaie sabbiose a profondità variabili tra 7 e 10 m. Substrato sismico alluvionale e/o marino "non rigido" a profondità < 120 m (Pianura 1). |
| 2025 | Zona 2025 - Media e bassa pianura con successioni di alluvioni prevalentemente fini (AES8, AES8a), con locali intervalli di sabbie e/o sabbie ghiaiose nei primi 25 m. Substrato sismico alluvionale "non rigido" a profondità ≥ 120 m (Pianura 2). (ZALQ 1 - Zona di attenzione per liquefazioni tipo 1) |

Rispetto alle diverse litologie (superficiali) distinte nella carta geologico-tecnica, estendendo la valutazione a profondità maggiore, si è cercato di arrivare a delle semplificazioni, accorpando alcune stratigrafie analoghe e cercando di utilizzare un criterio di similarità dal punto di vista della possibile risposta sismica e delle eventuali criticità locali.

MICROZONAZIONE SISMICA DEI COMUNI DI BRISIGHELLA, CASOLA VALSENO, CASTEL BOLOGNESE E RIOLO TERME

Per le dodici classi individuate vengono di seguito riportati gli schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi, così come richiesto gli Standard MS 3.0 (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2013):



Le prime 15 zone MOPS (da 2001 a 2015), di cui solo 11 presenti nei 4 comuni oggetto della presente relazione, a meno di piccole variazioni, ricalcano nelle descrizioni litologiche e negli spessori indicati, le suddivisioni dello studio di microzonazione del 2009 (Marabini e Poggiali, 2009). Ad inizio del lavoro di adeguamento agli standard, sono state infatti distinte a livello dell'intera Unione tutte le stratigrafie-tipo dello studio del 2009 e a ciascuna è stato attribuito un proprio codice MOPS secondo quanto previsto dagli attuali standard DPC. Anche per le successive MOPS (da 2016 a 2028), attribuite prevalentemente agli ambiti di studio di Faenza e Solarolo (ad esclusione della zona 2025), si è ricalcata la classificazione del precedente studio di microzonazione, con ulteriori variazioni (nei limiti e nelle definizioni litologiche) giustificate dagli esiti delle indagini geognostiche e geofisiche d'approfondimento effettuate per questi due Comuni.

In conseguenza del lavoro congiunto di revisione delle stratigrafie-tipo dello studio del 2009, si rammenta che i codici possono non essere progressivi sul singolo comune. Ad esempio, a livello del presente lavoro sui 4 comuni in oggetto, la zona 2025 non è in ordine numerico perché originariamente presente solo nei comuni di Faenza e Solarolo. Tale classe è stata infatti utilizzata per la porzione nord-orientale del comune di Castel Bolognese a cui è stato associato un bedrock profondo, in analogia con quanto realizzato oggi nel comune di Faenza e a differenza di quanto definito nel precedente studio (Marabini e Poggiali, 2009). Le classi trovano quindi una corrispondenza con le suddivisioni della carta di microzonazione del 2009 (Marabini e Poggiali, 2009) ma, come già detto in precedenza, sulla base dei dati oggi disponibili, sono state modificate in parte le perimetrazioni delle singole zone.

A seguito degli approfondimenti eseguiti, l'intero territorio indagato risulta comunque soggetto ad amplificazioni locali, di entità variabile in funzione delle diverse zone MOPS individuate. Nelle cartografie di riferimento (tavole 4) sono pertanto state distinte:

- le "Zone suscettibili di amplificazioni locali" rappresentate dalle zone MOPS che non sono anche classificate come "di attenzione per liquefazioni" (si tratta di tutte le zone MOPS ad eccezione della 2025);
- le "Zone di attenzione per instabilità", che all'interno del territorio indagato sono di due tipi: le "Zone di attenzione per liquefazioni tipo 1" (codice 3050), identificate sulla base dei criteri descritti al paragrafo 7.2 e presenti, oltre che a Faenza e Solarolo, solo negli ambiti del comune di Castel Bolognese, in corrispondenza della zona MOPS 2025 e le "Zone di attenzione per instabilità di versante", che identificano diverse aree, in genere di estensione relativamente ridotta, degli ambiti collinari e montani (comuni di Brisighella, Casola Valsenio e Castel Bolognese).

8.5. Carta delle velocità delle onde di taglio S (tavole 5)

Nella carta della velocità delle onde di taglio realizzata alla scala 1:10.000 secondo quanto richiesto nell'Allegato C della Delibera n.1919/2013 (Regione Emilia-Romagna, 2013), sono riportati i punti di misura di V_s di archivio e nuova realizzazione utilizzati per associare alle singole zone MOPS il corretto fattore di amplificazione utilizzando gli abachi. Su ciascun punto è indicato il valore di V_{s30} o V_{sH} , cioè fino al bedrock o pseudo-bedrock sismico (paragrafo 6.3). Si sottolinea che non tutti i valori di velocità sono stati riportati nella carta, ma sono stati esclusi tutti quelli delle indagini che hanno restituito modelli sismo-stratigrafici non coerenti con i dati disponibili o che presentano una evidente sovrastima dei valori di V_s , come descritto al capitolo 6.4. In diversi casi si è preferito infatti utilizzare delle modellazioni fatte sulla base dei risultati delle misure di microtremore ove possibile correlate con dati stratigrafici, che per quanto affette da incertezze, possono comunque fornire utili indicazioni (Castellaro et al., 2005).

I dati di velocità riportati in questa cartografia, opportunamente correlati con altri dati geognostici e geofisici, hanno permesso attribuire alle zone MOPS del territorio indagato un valore di velocità delle coperture (V_{sH} negli ambiti collinari e montani e V_{s30} negli ambiti di Castel Bolognese), così come definite dagli abachi dell'Allegato A2 degli indirizzi regionali (Regione Emilia-Romagna, 2007). Questo dato, associato a quello della

profondità del bedrock (o pseudo-bedrock) sismico, ha permesso di ricavare i fattori di amplificazione per ogni singola area (paragrafo 7.1).

8.6. Carta di microzonazione sismica di livello 2 (tavole 6, 7 e 8)

Le 12 carte di microzonazione sismica di livello 2, realizzate secondo quanto richiesto nell'Allegato C della Delibera n.1919/2013 (Regione Emilia-Romagna, 2013) e dagli Standard MS 3.0 (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2013), identificano le "Zone stabili", le "Zone suscettibili di instabilità" e le "Zone suscettibili di amplificazioni locali" e rappresentano gli elaborati finali di sintesi del presente studio di microzonazione sismica.

Tali carte aggiungono, alle "Zone suscettibili di amplificazioni locali" già individuate nella carta MOPS, attraverso la suddivisione del territorio analizzato sulla base di classi predefinite contraddistinte da colori differenti (paragrafo 7.1), la quantificazione dei tre fattori di amplificazione previsti dagli indirizzi regionali (Regione Emilia-Romagna, 2007):

- F_{APGA} (tavola 6): fattori di amplificazione espressi come rapporto tra le massime ampiezze dell'accelerazione orizzontale in superficie e al bedrock sismico (PGA/PGA_0);
- $F_{0,1-0,5s}$ (tavola 7): fattori di amplificazione espressi in rapporto di Intensità di Housner in superficie e al bedrock sismico (S_i/S_{i0}) per periodi compresi tra 0,1 e 0,5 secondi;
- $F_{0,5-1s}$ (tavola 8): fattori di amplificazione espressi in rapporto di Intensità di Housner in superficie e al bedrock sismico (S_i/S_{i0}) per periodi compresi tra 0,5 e 1 secondi.

L'Intensità di Housner corrisponde all'area sottesa dallo spettro di risposta di pseudovelocità e rappresenta un indicatore della pericolosità sismica poiché correlabile all'energia che viene dissipata nelle strutture durante un terremoto.

Nella tabella 4 vengono sintetizzati i criteri utilizzati per la definizione dei diversi fattori di amplificazione calcolati sulla base degli abachi regionali e esplicitati nel paragrafo 7.1.

| ZONA MOPS | TABELLA RIFERIMENTO | H | VS | FAPGA | F0105 | F0510 |
|-----------|---------------------|---------|------------|-------|-------|-------|
| 2099 | Marg. app. > 800 | 5 | 300 | 1,2 | 1 | 1 |
| 2099 | Marg. app. < 800 | 10 | 400 | 1,5 | 1,5 | 1,4 |
| 2001 | Marg. app. > 800 | 5 | 300 | 1,2 | 1 | 1 |
| 2002 | Marg. app. > 800 | 10 | 300 | 1,7 | 1,4 | 1 |
| 2003 | Marg. app. > 800 | 20 | 450 | 1,6 | 1,4 | 1 |
| 2004 | Marg. app. < 800 | 15 | 250 (*350) | 2,2 | 2,2 | 1,7 |
| 2005 | Marg. app. < 800 | 20 | 350 (*450) | 1,9 | 1,9 | 1,5 |
| 2006 | Marg. app. < 800 | 15 | 250 (*300) | 2,2 | 2,2 | 1,7 |
| 2007 | Marg. app. < 800 | 20 | 300 (*350) | 2,1 | 2,2 | 1,7 |
| 2008 | Marg. app. < 800 | 10 | 300 | 1,8 | 1,7 | 1,4 |
| 2009 | Marg. app. < 800 | 10 | 400 | 1,5 | 1,5 | 1,4 |
| 2010 | PIANURA 1 | < 120 m | 350 | 1,6 | 1,8 | 2,1 |
| 2011 | PIANURA 1 | < 120 m | 400 | 1,6 | 1,7 | 1,9 |
| 2025 | PIANURA 2 | > 120 m | 350 | 1,4 | 1,7 | 2 |

Tabella 4. Schema riassuntivo dei criteri utilizzati per la definizione delle aree a diverso fattore di amplificazione sulla base degli abachi regionali. Tra parentesi con l'asterisco sono indicati i valori di Vs utilizzati nella microzonazione del 2009 e rivisti al ribasso nel presente lavoro.

È possibile notare come siano presenti due terne differenti di fattori di amplificazione stratigrafica per la zona 2099 (substrato alterato), a seconda che ci si trovi in presenza di formazioni più rigide (Marnoso Arenacea e Vena del Gesso) con ridotti spessori di alterazione e alte velocità (>800 m/s), o di formazioni meno rigide (Argille Azzurre) con spessori di alterazione di circa 10 metri e più basse velocità (comunque < 800 m/s).

Tenendo presente che gli standard di MS attuali (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2013) prevedono che lo spessore minimo di coperture da considerare sia di soli 3 metri (coerentemente con quanto previsto dalle attuali Norme Tecniche per le Costruzioni - NTC2008) e che nelle zone indagate il substrato anche se sub-affiorante risulta sempre alterato, si ritiene che non vi siano aree entro gli ambiti di studio in cui possa essere del tutto esclusa una certa amplificazione stratigrafica. Su questo aspetto risulta una inevitabile differenza con lo studio del 2009 (Marabini e Poggiali, 2009) che considerava almeno 5 metri di coperture perché possa verificarsi amplificazione (coerentemente con quanto previsto dal Testo Unico - Norme Tecniche per le Costruzioni del 2005). Si sottolinea che il fattore di amplificazione della zona 2099 con alta V_s del substrato, sia pur basso e superiore all'unità solo per la PGA, è stato introdotto in via cautelativa per evitare che risultassero estese aree stabili nei comuni di Casola Valsenio e Brisighella, in cui le misure di microtremore evidenziano forti contrasti di impedenza a frequenze intorno a 15 Hz e in cui vi è comunque la possibilità che vi siano localmente limitati spessori di coperture che possono determinare una certa amplificazione.

Si precisa inoltre che quando il fattore di amplificazione stratigrafica è pari a 1 (nelle classi 2099 e 2001 per $F_{0,1-0,5s}$ e nelle classi 2099, 2001, 2003 e 2004 per $F_{0,5-15s}$), gli standard di MS attuali (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2013) prevedono che tali aree vengano comunque tematizzate e distinte in legenda come "Zone Stabili", anche se per altri fattori presentano valori di amplificazione maggiori di 1 e nelle relative carte sono rappresentate come "Zone suscettibili di amplificazioni locali".

Per quanto riguarda le zone MOPS 2004, 2005, 2006 e 2007, in considerazione della probabile sovrastima delle misure di V_s eseguite ormai più di 5 anni fa (paragrafo 6.4 e 8.5), sulla base dei altri dati disponibili (geognostici e misure di microtremore), del confronto con nuove misure di microtremore eseguite nell'area collinare di Faenza per gli approfondimenti di terzo livello e con dati acquisiti più recentemente in contesti analoghi, si è deciso di utilizzare valori di velocità delle coperture più bassi rispetto a quelli dello studio di microzonazione del 2009 (Marabini e Poggiali, 2009), che sono comunque indicati tra parentesi con asterisco in tabella 4.

Per le aree che presentano un fattore di amplificazione topografica "ft" maggiore di 1 (paragrafo 7.1) tale numero è stato usato come moltiplicatore di ciascun fattore di amplificazione stratigrafica e pertanto nelle cartografie di secondo livello le "Zone suscettibili di amplificazioni locali" sono tematizzate secondo il prodotto dei due fattori per ognuna delle carte realizzate (F_{PGA} , $F_{0,1-0,5s}$ e $F_{0,5-1s}$).

Le "Zone di attenzione per liquefazione" e le "Zone di attenzione per instabilità di versante", sono del tutto analoghe, come estensione, rappresentazione e descrizione a quelle già presenti nella carta MOPS (paragrafo 8.4).

10. BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (2005) - Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation. Deliverable D23.12 of the SESAME project, 62 pp, April 2005. Available at <http://www.SESAME-FP5.obs.ujf-grenoble.fr>
- AA.VV. (2011) - Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Supplemento alla rivista *Ingegneria Sismica* Anno XXVIII - n.2.
- Albarello D. e Castellaro S. (2011) - Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola. In AA.VV. (2011) - Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Supplemento alla rivista *Ingegneria Sismica* Anno XXVIII - n.2.
- Amorosi A., Caporale L., Cibin U., Colalongo M.L., Pasini G., Ricci Lucchi F., Severi P & Vaiani S.C. (1998a) – The Pleistocene littoral deposits (Imola Sands) of the Northern Apennines foothills. *Il Giornale di Geologia*, 60, 83-118.
- Amorosi A., Barbieri M., Castorina F., Colalongo M.L., Pasini G. & Vaiani S.C. (1998b) – Sedimentology, micropaleontology and strontium-isotope dating of a lower-middle Pleistocene marine succession ('Argille Azzurre') in the Romagna Apennines, northern Italy. *Boll. Soc. Geol. It.*, 117, 789-806.
- Basili R., Valensise G., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Mariano S., Tiberti M.M. e Boschi E. (2008) - The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology. *Tectonophysics*.
- Boccaletti M., Bonini M., Corti G., Gasperini P., Martelli L., Piccardi L., Severi P. e Vannucci G. (2004) - Carta sismotettonica della regione Emilia-Romagna; Note illustrative. A cura di : Boccaletti M. e Martelli L., Servizio geologico sismico e dei suoli.
- Boccaletti M., Coli M., Eva C., Ferrari G., Giglia G., Lazzarotto A., Merlanti F., Nicolich R., Papani G. & Postpischl D. (1985) Considerations on the seismotectonics on the Northern Apennines. *Tectonophysics*, 117, 7-38.
- Castellaro S., Mulargia F. e Bianconi L. (2005) - Passive Seismic Stratigraphy: A new efficient, fast and economic technique. *Geologia e tecnica ambientale*, 3.
- Castellaro S. e Mulargia F. (2011) - Seismic soil classification from a different perspective. Annual meeting of the Seismological Society of America, Memphis (Tennessee, USA), Apr. 13-15.
- Castellaro S. (2012) - H/V: un contributo oltre Vs30. In "Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici" a cura di Mucciarelli M..
- Castello B., Selvaggi G., Chiarabba C. e Amato A. (2006) - CSI Catalogo della sismicità italiana 1981-2002 versione 1.1, INGV-CNT, Roma, [Online], Available: <http://csi.rm.ingv.it/>.
- Cerrina Feroni A., Martelli L., Martinelli P. & Ottria G. (2002) - Carta geologico-strutturale dell'Appennino emiliano-romagnolo in scala 1:250.000. Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, sismico e dei Suoli – CNR, Istituto di Georisorse e Geoscienze, Pisa. S.EL.CA., Firenze.
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica (2013) - Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 3.0. Disponibile all'indirizzo web: http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/StandardMS_3.0_open.pdf
- DISS Working Group (2015) - Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, ©INGV2015 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.0
- Gruppo di lavoro MS (2008) – ICMS, Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd. Disponibili nel sito web del Dipartimento della Protezione Civile, area "Rischio Sismico" all'indirizzo: http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir_pk=395&cms_pk=15833
- Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G. e Valensise G., INGV-SGA (2007) - CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500). <http://storing.ingv.it/cfti4med/>
- Gruppo di lavoro MPS04 (2004) - I dati online della pericolosità sismica in Italia. <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>

MICROZONAZIONE SISMICA DEI COMUNI DI BRISIGHELLA, CASOLA VALSENIO, CASTEL BOLOGNESE E RIOLO TERME

ISide Working Group (2010) - Italian Seismological Instrumental and parametric database, [Online], Available: <http://iside.rm.ingv.it>.

ISPRA, Regione Emilia-Romagna, Università di Bologna (2009a) - Progetto CARG, Carta geologica Foglio 238 e "Note illustrative della Carta Geologica d'Italia" – Foglio 238.

ISPRA, Regione Emilia-Romagna, Università di Bologna (2009b) - Progetto CARG, Carta geologica Foglio 239 e "Note illustrative della Carta Geologica d'Italia" – Foglio 239.

Krijnsman W., Hilgen F.J., Marabini S. e Vai G.B. (1999) – New paleomagnetic and cyclostratigraphic age constraints on the Messinian of the Northern Apennines (Vena del Gesso Basin, Italy). *Mem.Soc. Geol. Ital.*, 54, 25-33.

Locati M., Camassi R. e Stucchi M. (a cura di) (2011) - DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11> DOI: 10.6092/INGV.IT-DBMI11

Marabini S. e Poggiali A. (2009) - Microzonazione sismica degli ambiti urbani. Quadro Conoscitivo, allegato 1 del Piano Strutturale Comunale Associato di Faenza, Brisighella, Casola Valsenio, Castel Bolognese, Riolo Terme e Solarolo. Coordinamento scientifico: Direzione Generale Ambiente e difesa del Suolo e della Costa - Regione Emilia-Romagna.

Martelli L., Calabrese L., Ercolessi G., Severi P., Romani M., Tarabusi G., Pileggi D., Rosselli S., Minarelli L., Pergalani F., Compagnoni M., Vannucchi C., Madaia C., Facciorusso J., Fioravante V., Giretti D., Mucciarelli M., Priolo E., Laurenzano G., Brammerini F., Speranza E., Conte C., Di Salvo G., Giuffrè M., Zuppiroli M., Guidi F., Vona V. Con il Contributo Di Manicardi A., Mengoli B., Ugoletti C. e Ricci L. (2013) - Microzonazione sismica dell'area epicentrale del terremoto della pianura Emiliana del 2012 (Ord. 70/2012), Atti del 32° Convegno Nazionale del Gruppo Nazionale di Fisica della Terra Solida, Trieste, ISBN: 978-88-902101-7-4.

Meletti C. e Valensise G. (a cura di) (2004) - Zonazione sismogenetica ZS9 - App.2 al Rapporto conclusivo. Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 3274/2003), Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. <http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>

Mucciarelli M. (a cura di) (2012) - Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici.

Pieri M. e Groppi G. (1981) - Subsurface geological structure of the Po Plain (Italy). Progetto Finalizzato Geodinamica, publ.n° 414, C.N.R., 23.

Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, ENI - AGIP (1998) - Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna, scala 1:250.000, Bologna.

Regione Emilia-Romagna - Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, CNR - Centro di Studio per la Geologia Strutturale e Dinamica dell'Appennino (2002) - Carta Geologico-strutturale dell'Appennino Emiliano-Romagnolo - scala 1:250.000. Ed. SELCA, Firenze.

Regione Emilia-Romagna - Delibera Assemblea Legislativa n. 112/2007 - Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della LR 20/2000 Disciplina generale sulla tutela del territorio, in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica".

Regione Emilia-Romagna - Delibera Giunta Regionale n.1919/2013 - Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione dei contributi di cui all'ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile 52/13 a favore degli Enti locali.

Ricci Lucchi F., Colalongo M. L., Cremonini G., Gasperi G., Iaccarino S., Papani G., Raffi I. e Rio D. (1982) - Evoluzione sedimentaria e paleogeografia del margine appenninico. In: "Guida alla geologia del margine appenninico-padano" a cura di Cremonini G. e Ricci Lucchi F., Guide Geologiche Regionali, Soc. Geol. Ital., 17-46.

Rovida A., Camassi R., Gasperini P. e Stucchi M. (a cura di) (2011) - CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>. DOI:10.6092/INGV.IT-CPTI11

Sieberg A. (1930) - Geologie der Erdbeben, Handbuch der Geophysik, 2, 4, 552-555

Stucchi M., Camassi R., Rovida A., Locati M., Ercolani E., Meletti C., Migliavacca P., Bernardini F. e Azzaro R. (2007) - DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04. Quaderni di Geofisica, Vol 49, pp.38. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/>

Veggiani A. (1994) – I derioramenti climatici dell'età del ferro e dell'alto medioevo. Bollettino della Società Torricelliana di Scienze e Lettere, 45, 3-80.



PROTEZIONE CIVILE
 Presidenza del Consiglio dei Ministri
 Dipartimento della Protezione Civile



Regione Emilia-Romagna



Unione Rubicone e Mare



CONFERENZA DELLE REGIONI E
 DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 dalla legge 24 giugno 2009, n.77

MICROZONAZIONE SISMICA

livello 2

Regione Emilia-Romagna

Unione della Romagna Feantina

(Comuni di Brisighella, Casola Valsenio, Castel Bolognese, Riolo Terme)

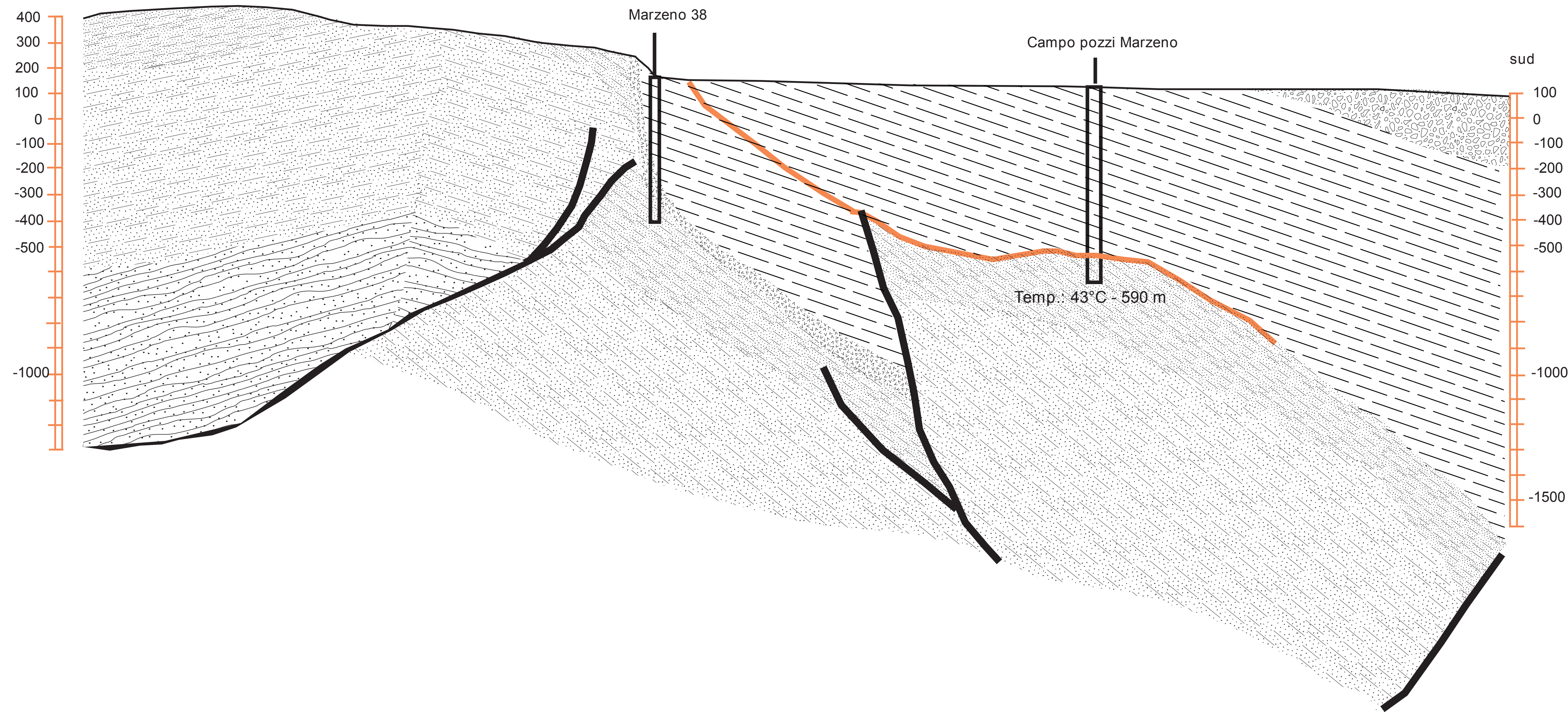


Allegato 1 – Sezioni Geologiche

| Regione | Soggetto realizzatore | Data |
|----------------|-----------------------------------------|-----------|
| Emilia-Romagna | Studio di geologia Gabriele Tarabusi | 9/10/2015 |

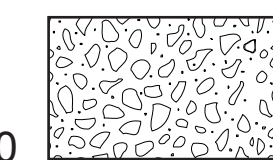
PROFILO SISMICO RA 332-84
Sezione geologica "BRISIGHELLA 1"

Nord

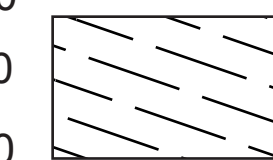


SCALA ORIZZONTALE 1:25.000

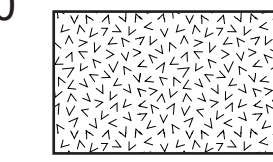
LEGENDA



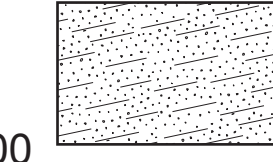
QUATERNARIO CONTINENTALE E
QUATERNARIO MARINO



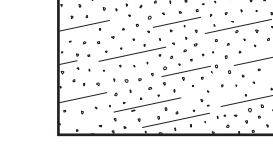
FORMAZIONE DELLE ARGILLE AZZURRE
UNITA' ACQUITARDA "UA2"
(PLIOCENE)



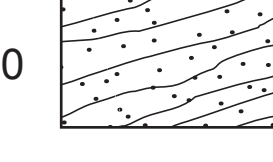
FORMAZIONE GESSOSO-SOLFIFERA
(MESSINIANO)



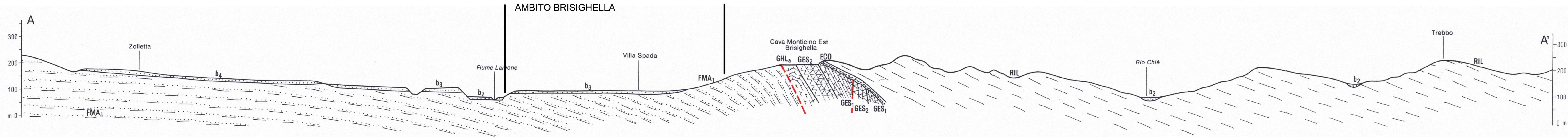
FORMAZIONE MARNOSO-ARENACEA
Membri di Castel del Rio, Fontanelice e Tossignano
UNITA' IDROTERMALE "UI1"
(Tortoniano)



FORMAZIONE MARNOSO-ARENACEA
Membri di Dovadola e Modigliana.
UNITA' ACQUITARDA "UA1"
(Tortoniano)



FORMAZIONE MARNOSO-ARENACEA INTERNA
(Serravalliano)



b1 Depositi alluvionali in evoluzione
Peliti, sabbie e ghiaie.

b2-5 Depositi alluvionali terrazzati
Ghiaie, sabbie e limi (**b5** = ordine terrazzato più alto rispetto al corso d'acqua)

RIL ARGILLE E MARNE DI RIOLO TERME
Marne argillose, argille marnose spesso siltose e/o sabbiose, grigie e grigio-azzurre, a stratificazione non sempre distinguibile per bioturbazione; saltuari strati siltosi o sabbiosi molto sottili o sottili. Alla base aumenta il contenuto marnoso, il colore si fa più chiaro e la stratificazione meno distinta. Abbondanti microfossili (Foraminiferi), talora riconoscibili a occhio nudo; rari macrofossili (Lamellibranchi), a volte concentrati in nidi.
Potenza parziale di circa 1.000 m.
Contatto continuo su **FCO**, marcato da uno strato (30-60 cm) di marne nere al tetto dell'unità sottostante, o discordante su **GES** e **GHL**.
Pliocene inferiore - Pleistocene inferiore (dalla letteratura).

FCO FORMAZIONE A COLOMBACCI
Marne argilloso-siltose, sabbiose, grigie e grigio-verdastre, in strati molto sottili; arenarie medio-fini grigio-giallastre in strati da sottili a molto sottili. Spesso sono presenti concentrazioni di noduli carbonatici diagenetici. Al tetto compare un livello di marne bituminose nere, fortemente bioturbate, macrofossilifere (Molluschi e Ostracodi), con giunti ondulati. Sono presenti lenti arenacee e ciottolose spesse alcuni dm. In località Cava Monticino, entro le marne che riempiono cavità paleocarsiche di **GES1**, è stata rinvenuta una abbondante fauna continentale a vertebrati (Hipparion, Dicerorhynchus, ecc).
Potenza massima 10 m.
Contatto discordante su **GES1**, **GES2** e **FMA1**.
Messiniano (dalla letteratura).

FORMAZIONE GESSOSO-SOLFIFERA (**GES**)
Banchi e strati gessosi con subordinate intercalazioni pelitiche e calcaree. Vi si riconoscono due membri: Gessi di Rio Sgarba (**GES1**) e Gessi di Borgo Rivola (**GES2**), con prevalente selenite massiccia in grossi banchi.
Potenza di circa 200 m.
Contatto netto e concordante su **GHLa**.
Messiniano (dalla letteratura).

GES1 Gessi di Rio Sgarba. 8-9 banchi di spessore variabile da 4 a 20 m, composti da prevalente selenite clastica in lenti e noduli amalgamati o immersi in peliti gessose e gessareniti, talora con assetto nettamente caotico; selenite a bande; subordinate peliti bituminose nere oppure gessifere grigie, in strati da molto sottili a medi, talora fittamente laminate.
Potenza di circa 100 m.
Contatto netto e concordante su **GES2**.

GES2 Gessi di Borgo Rivola. 6 banchi da 12 a 26 m di selenite massiccia, alternati a selenite a bande e a peliti bituminose in veli o strati da sottili a molto sottili, con giunti variamente ondulati. Nel banco più alto compaiono noduli e lenti di selenite secondaria; nei due banchi basali sono presenti calcari stromatolitici, localmente risedimentati, in noduli e lenti variamente contorte entro peliti bituminose, talora brecciate (frammenti di 1-3 cm).
Potenza di circa 100 m.

FORMAZIONE DI LETTO (**GHL**)
Formazione prevalentemente pelitica, con livelli bituminosi. In questa sezione è presente una sottounità caratterizzata da marne prevalenti su marne bituminose (**GHLa**).
Potenza di circa 60 m.
Passaggio graduale ed eteropico a **FMA1**.
Tortoniano - Messiniano (dalla letteratura).

GHLa Unità marnosa. Marne argillose grigie, talora fetide, in strati da sottili a medi, spesso amalgamati; strati sottili di marne nerastre bituminose; marne grigie, talora sabbiose e ocree. Rarissimi straterelli arenacei gradati.

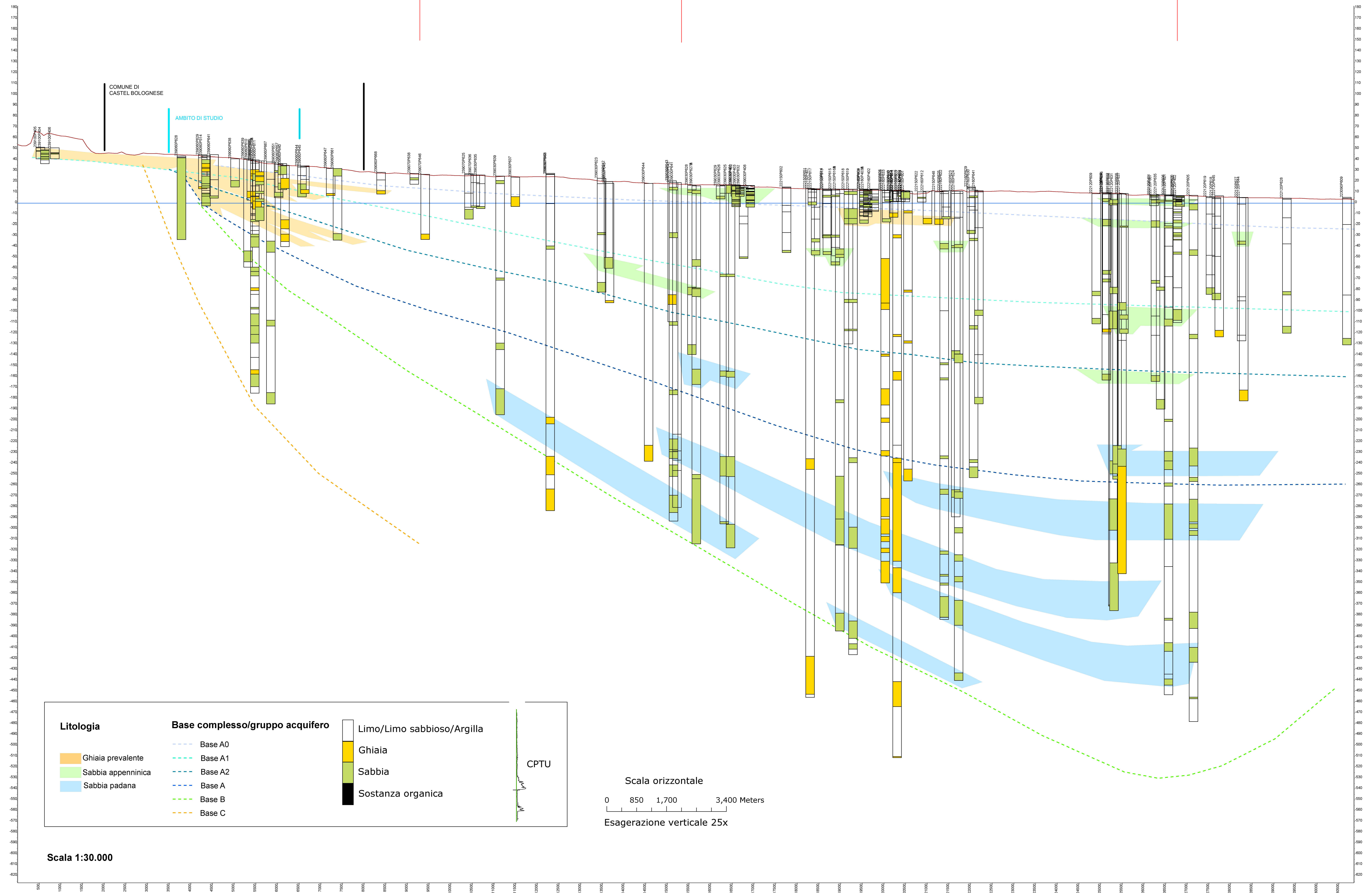
FORMAZIONE MARNOSO-ARENACEA ROMAGNOLA (**FMA**)
Torbiditi arenaceo-marnose in rapporto variabile. Vengono qui distinte tre sottounità: **FMA1**, **FMA1a** e **FMA2**.
Potenza di circa 900 m.
Contatto di letto non affiorante.
Langhiano - Messiniano (dalla letteratura).

FMA1 Unità marnoso-arenacea. Torbiditi marnoso-arenacee con rapporto variabile da 1:3 a 2:1, in strati da sottili a spessi; abbondanti livelli di emipelagiti.
Potenza di circa 800 m.
Passaggio graduale ed eteropico a **FMA1a**.
Tortoniano - Messiniano (dalla letteratura).

Sezione 064

Sezione 097

Sezione 078



COMUNE DI CASTEL BOLOGNESE

AMBITO DI STUDIO

Litologia

- Ghiaia prevalente
- Sabbia appenninica
- Sabbia padana

Base complesso/gruppo acquifero

- Base A0
- Base A1
- Base A2
- Base A
- Base B
- Base C

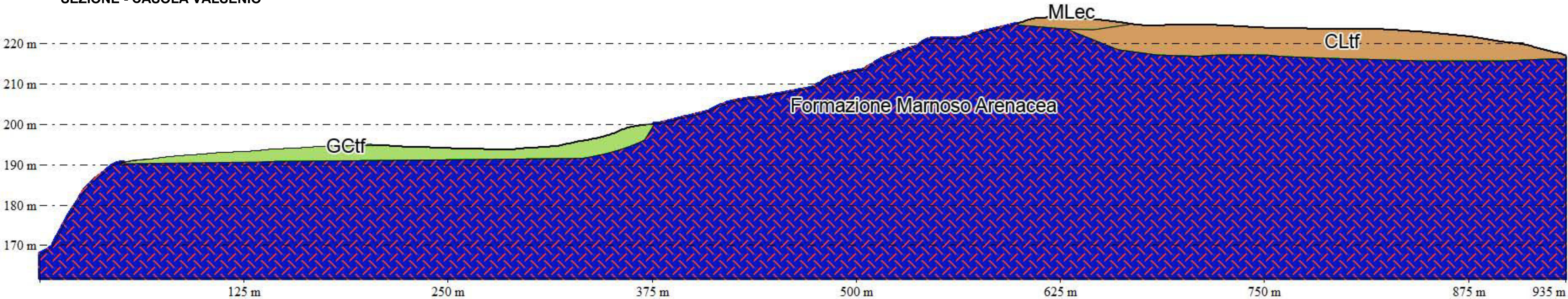
- Limo/Limo sabbioso/Argilla
- Ghiaia
- Sabbia
- Sostanza organica

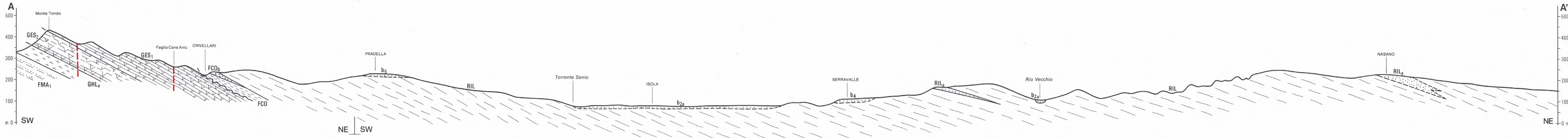
CPTU

Scala orizzontale
0 850 1,700 3,400 Meters
Esagerazione verticale 25x

Scala 1:30.000

SEZIONE - CASOLA VALSENIO







PROTEZIONE CIVILE
 Presidenza del Consiglio dei Ministri
 Dipartimento della Protezione Civile



Regione Emilia-Romagna



Unione Rubicone e Mare



CONFERENZA DELLE REGIONI E
 DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 dalla legge 24 giugno 2009, n.77

MICROZONAZIONE SISMICA

livello 2

Regione Emilia-Romagna

Unione della Romagna Feantina

(Comuni di Brisighella, Casola Valsenio, Castel Bolognese, Riolo Terme)



Allegato 2 – Rapporti delle misure di microtremore

| Regione | Soggetto realizzatore | Data |
|----------------|-----------------------------------------|-----------|
| Emilia-Romagna | Studio di geologia Gabriele Tarabusi | 9/10/2015 |

BRISIGHELLA, BR 0001

Instrument: TEN-0029/01-07

Start recording: 04/11/14 10:35:57 End recording: 04/11/14 10:49:58

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analyzed 64% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

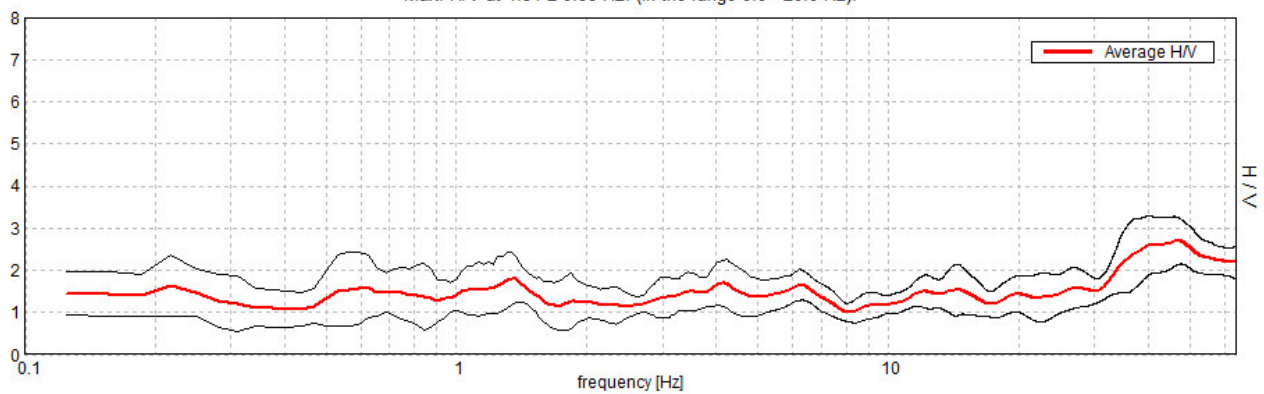
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

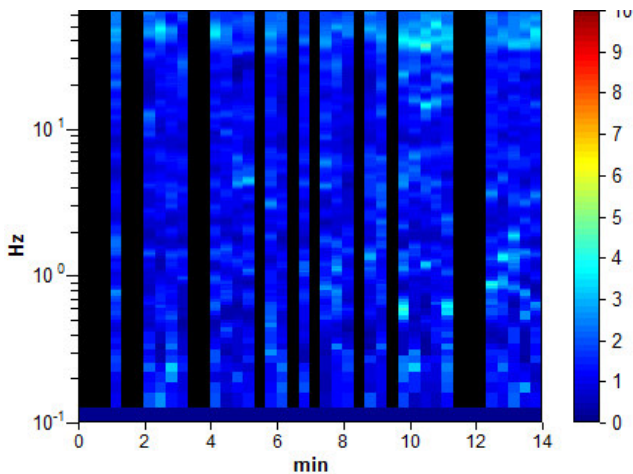
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

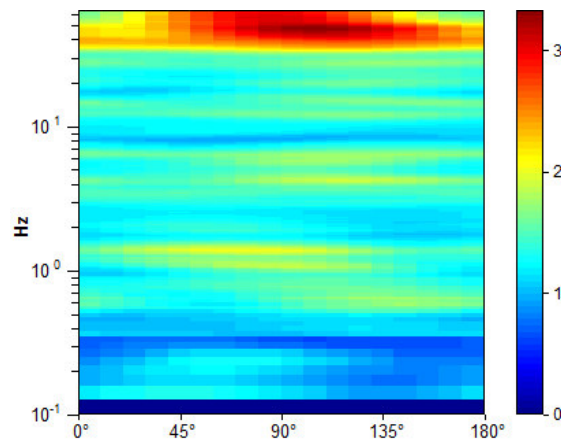
Max. H/V at 1.34 ± 0.88 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



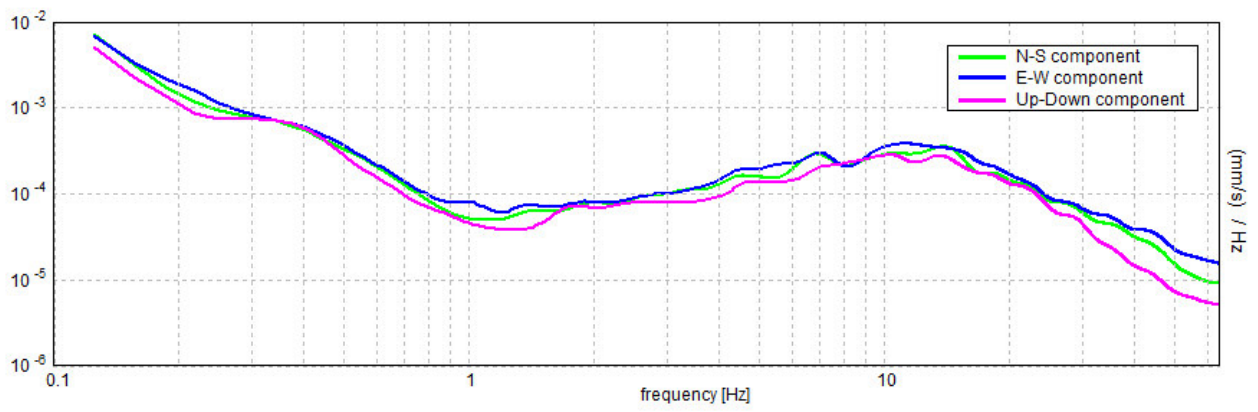
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 1.34 ± 0.88 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $1.34 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $725.6 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 66 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|--------------------|----|----|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | | | NO |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | | | NO |
| $A_0 > 2$ | $1.79 > 2$ | | NO |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.31308 < 0.05$ | | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.4207 < 0.13438$ | | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.2995 < 1.78$ | OK | |

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

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

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

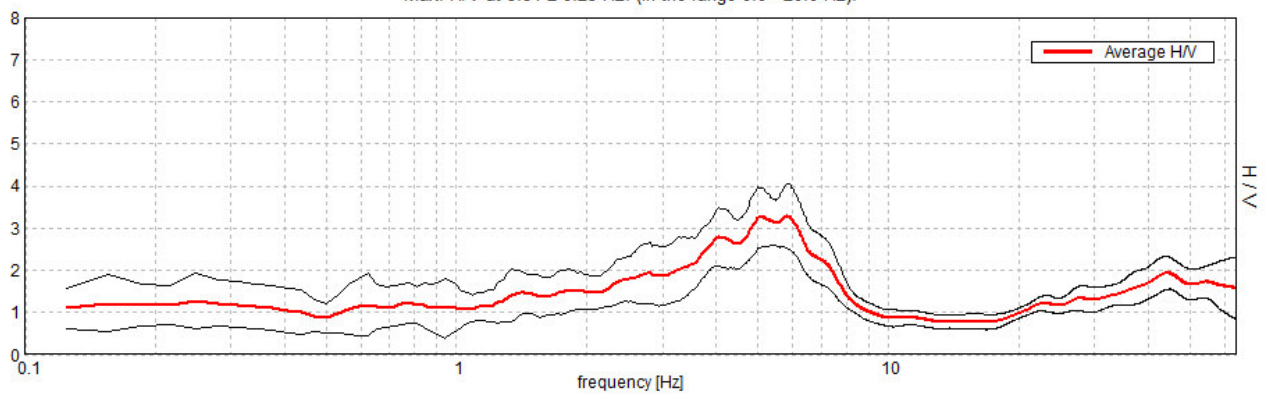
BRISIGHELLA, BR 0002

Instrument: TEN-0029/01-07
Start recording: 04/11/14 11:07:09 End recording: 04/11/14 11:21:10
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

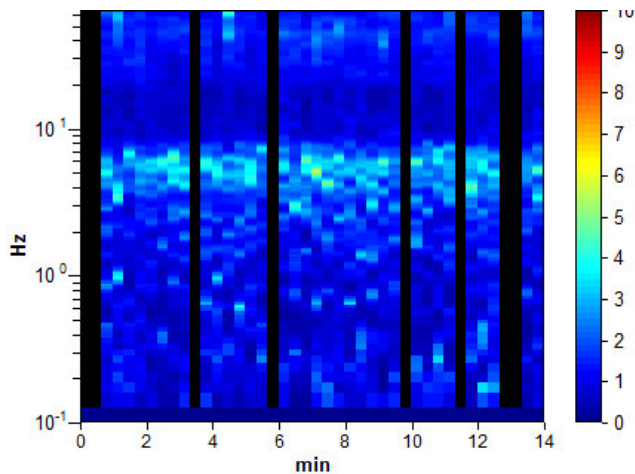
Trace length: 0h14'00". Analyzed 81% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

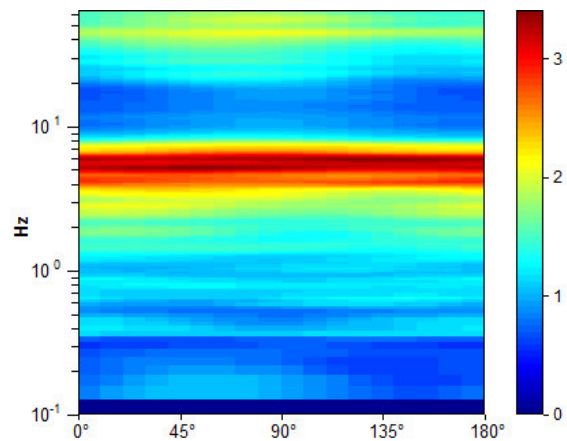
Max. H/V at 5.81 ± 0.23 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



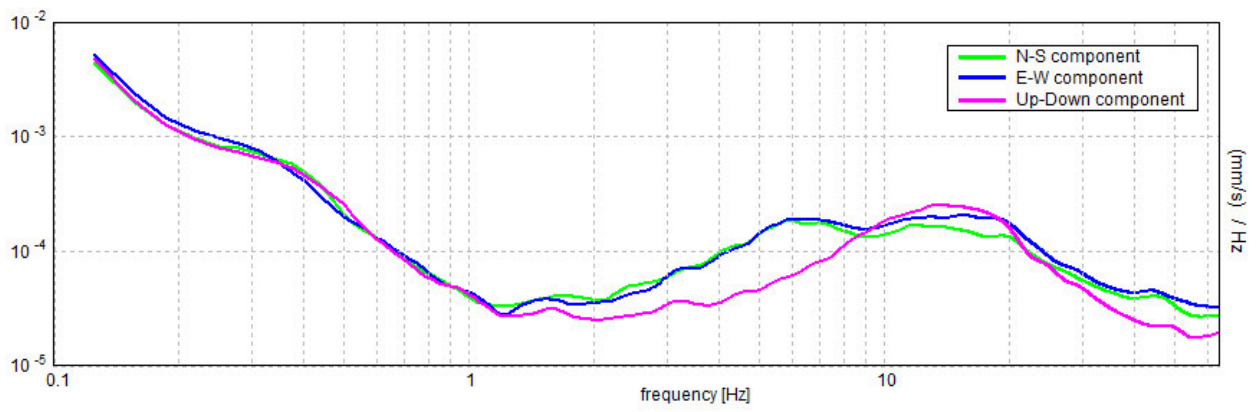
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 5.81 ± 0.23 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | 5.81 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 3952.5 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 280 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|----|--|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 2.281 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 7.781 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 3.29 > 2 | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.01902 < 0.05$ | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.11058 < 0.29063$ | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.3649 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

BRISIGHELLA, BR 0003

Instrument: TEN-0029/01-07

Start recording: 04/11/14 11:35:55 End recording: 04/11/14 11:49:56

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analyzed 86% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

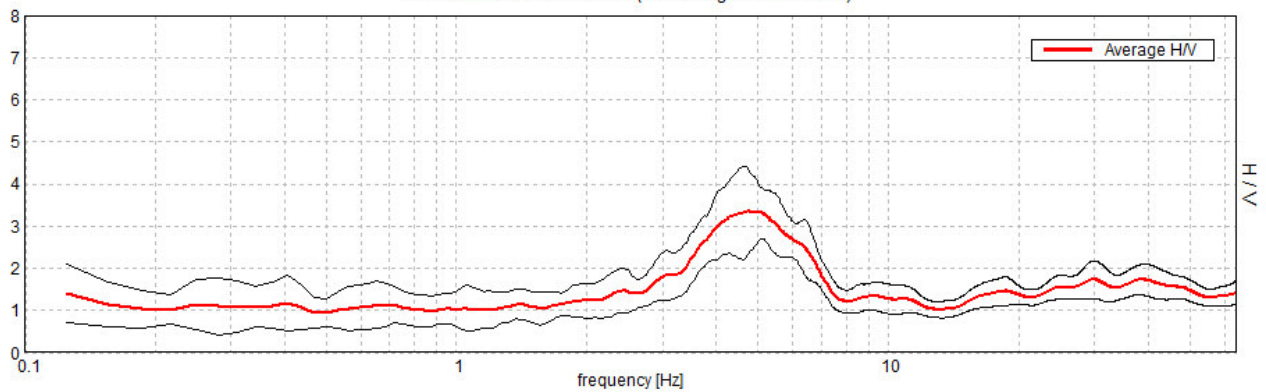
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

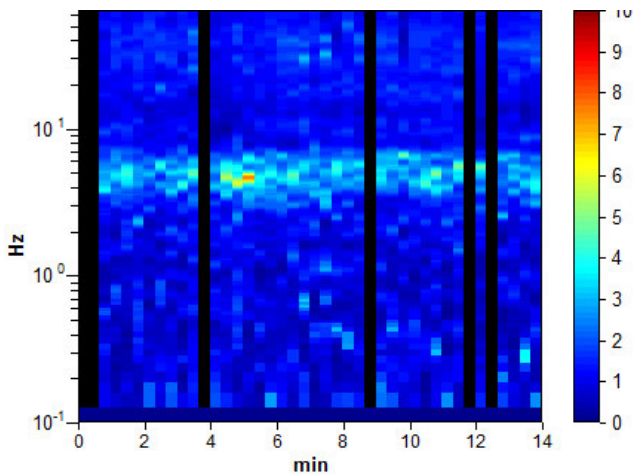
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

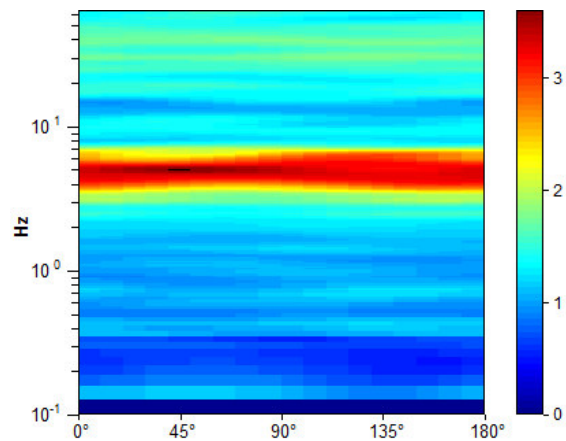
Max. H/V at 4.72 ± 0.09 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



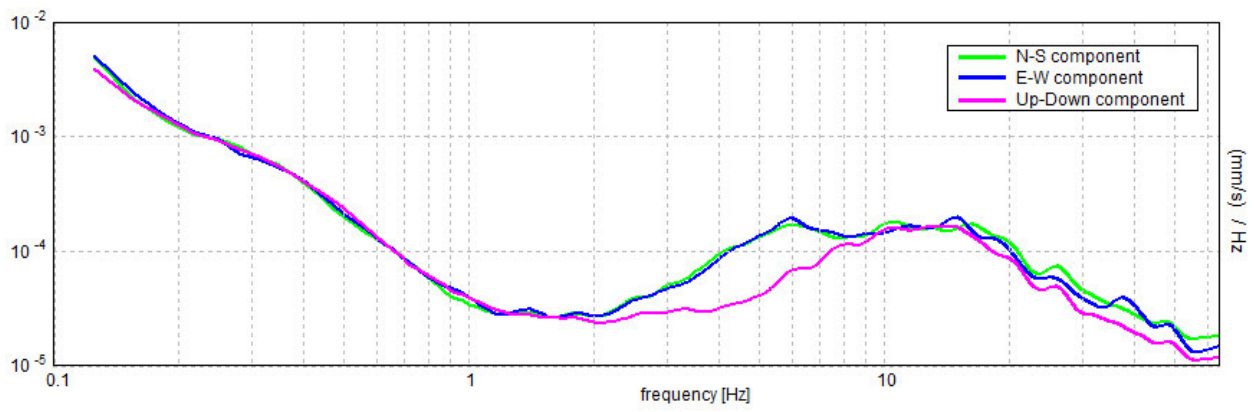
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 4.72 ± 0.09 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $4.72 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $3397.5 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 228 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|----|--|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 2.875 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 7.188 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | $3.35 > 2$ | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.00921 < 0.05$ | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.04344 < 0.23594$ | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.4928 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

BRISIGHELLA, BR 0004

Instrument: TEN-0029/01-07

Start recording: 04/11/14 13:30:15 End recording: 04/11/14 13:44:16

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analyzed 69% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

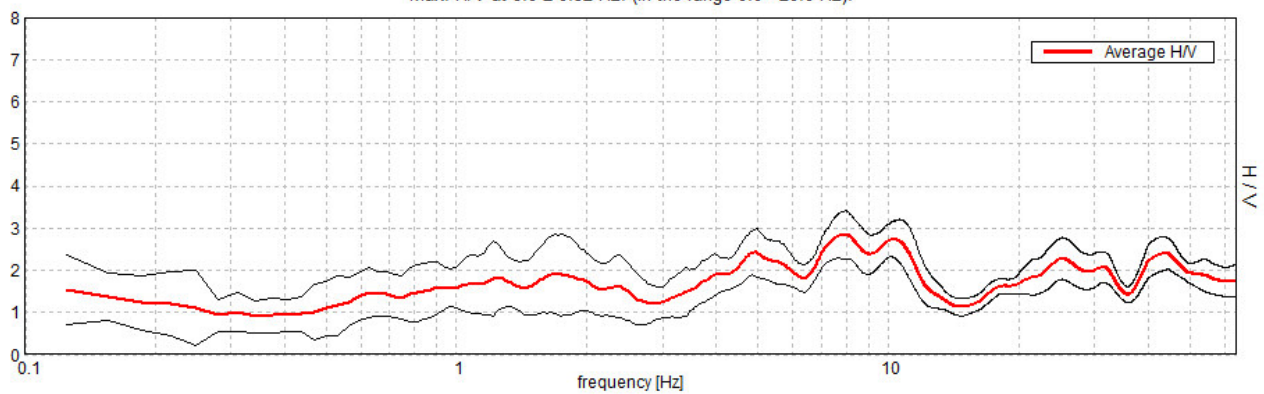
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

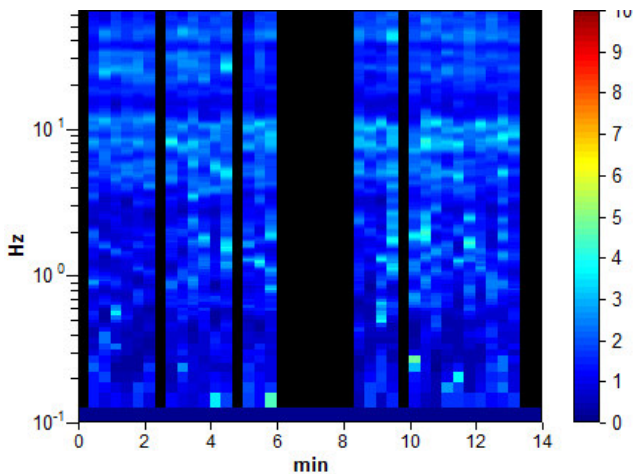
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

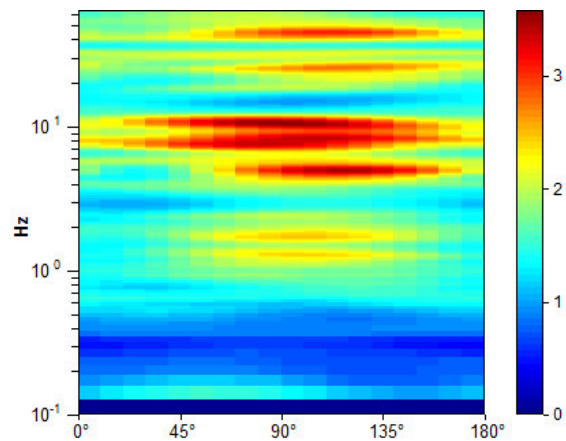
Max. H/V at 8.0 ± 0.52 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



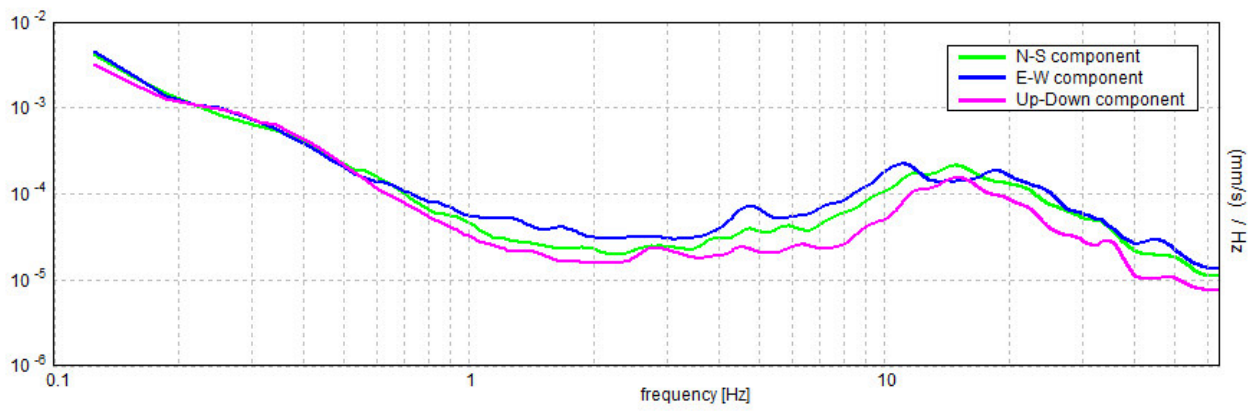
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 8.0 ± 0.52 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $8.00 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $4640.0 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 385 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|--------------------|----|--|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 3.281 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 12.906 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | $2.84 > 2$ | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.03126 < 0.05$ | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.25009 < 0.4$ | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.2717 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

BRISIGHELLA, BR 0005

Instrument: TEN-0029/01-07

Start recording: 04/11/14 14:03:24 End recording: 04/11/14 14:17:25

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analyzed 60% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

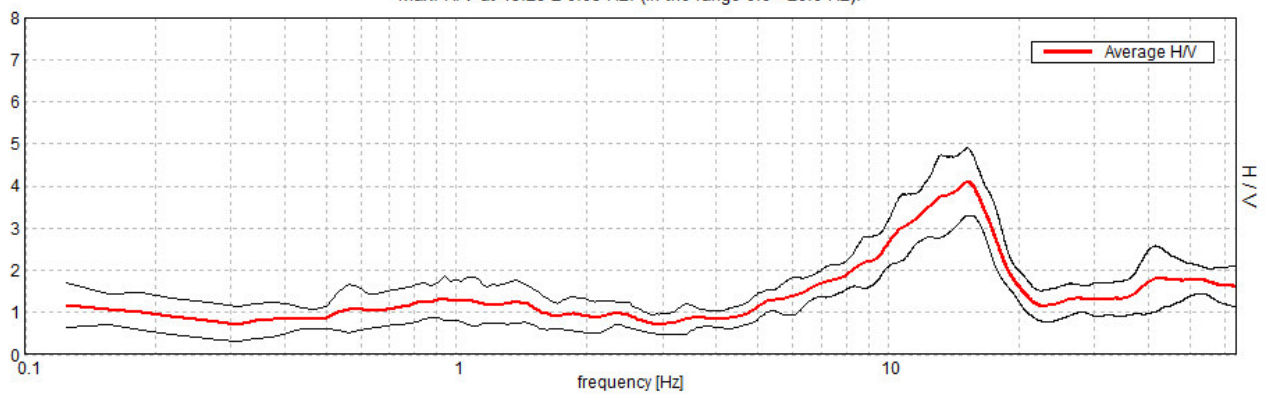
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

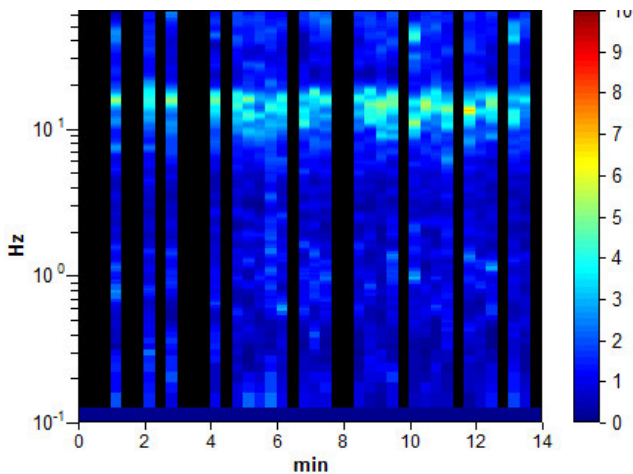
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

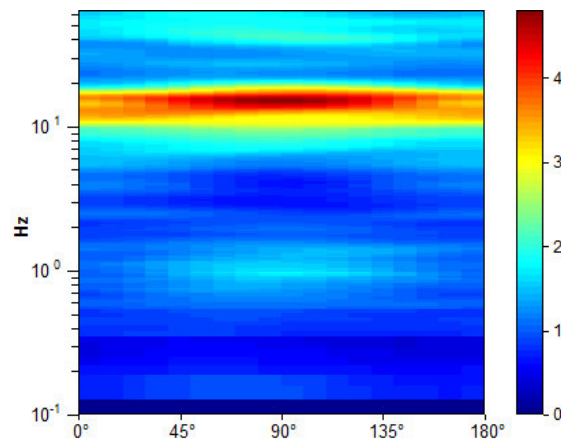
Max. H/V at 15.28 ± 0.05 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



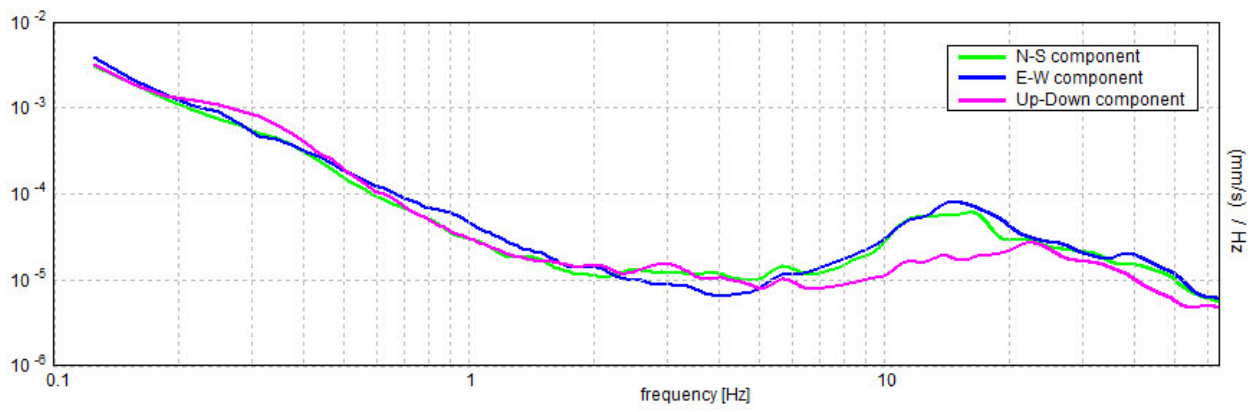
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 15.28 ± 0.05 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | 15.28 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 7640.6 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 734 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|----|--|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 8.344 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 18.875 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 4.10 > 2 | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.00153 < 0.05$ | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.02345 < 0.76406$ | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.3798 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

BRISIGHELLA, BR 0006

Instrument: TEN-0029/01-07

Start recording: 04/11/14 14:38:14 End recording: 04/11/14 14:52:15

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analyzed 57% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

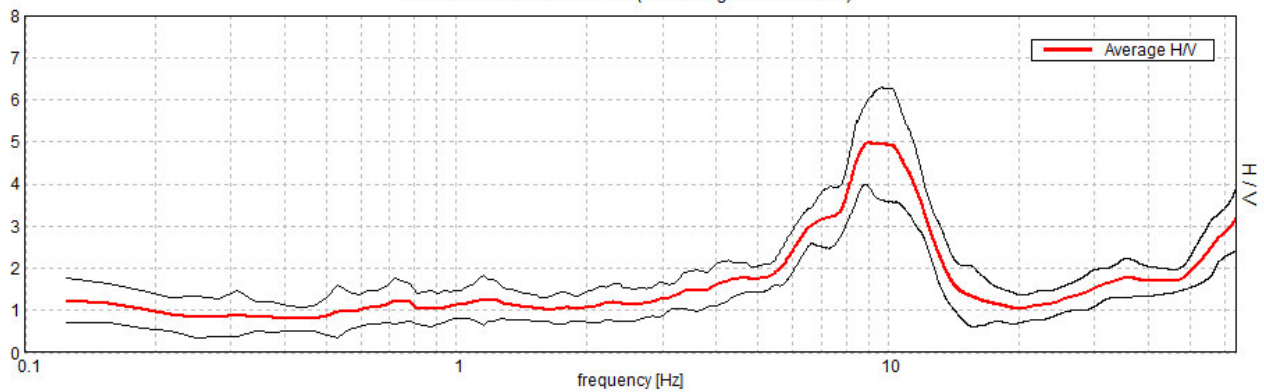
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

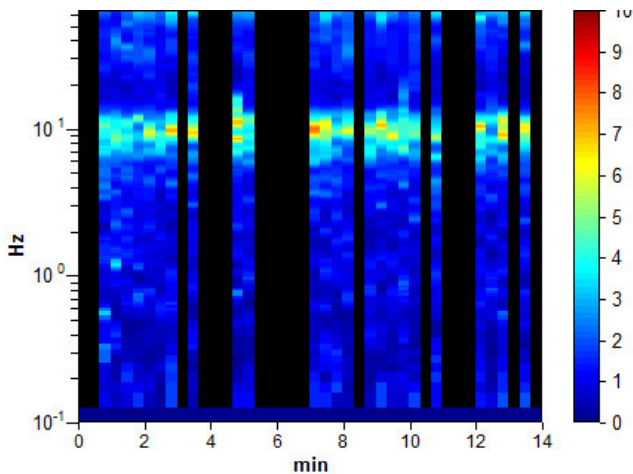
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

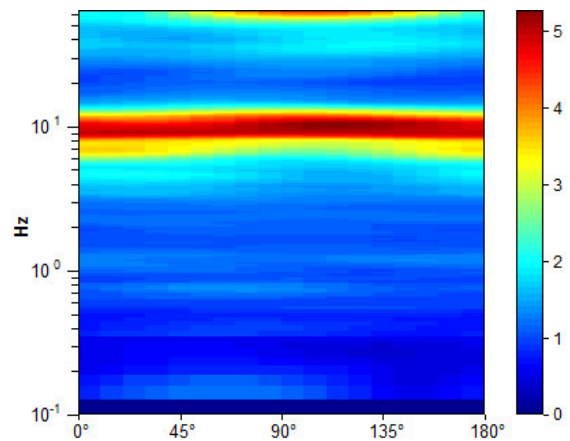
Max. H/V at 9.03 ± 0.14 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



H/V TIME HISTORY

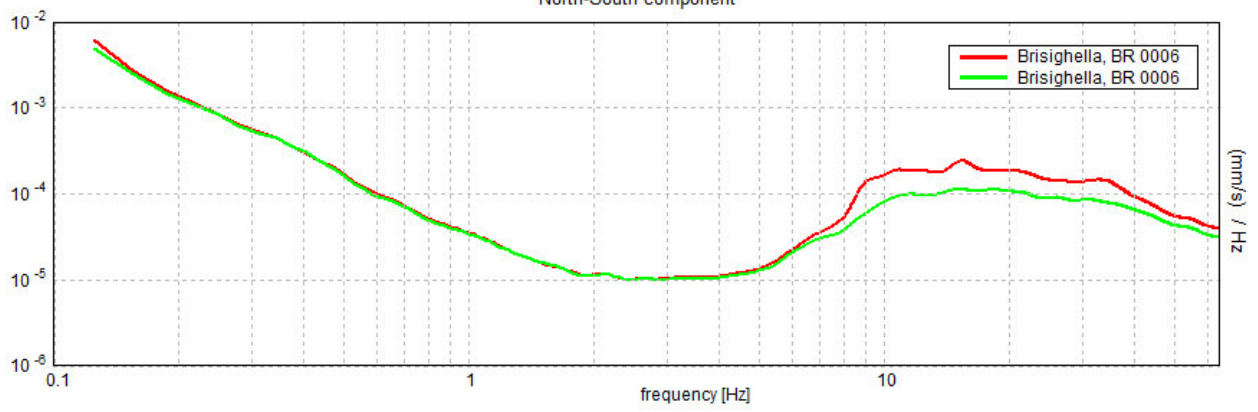


DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

North-South component



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 9.03 ± 0.14 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $9.03 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $4335.0 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 434 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|----|--|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 6.063 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 12.969 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | $4.98 > 2$ | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.00746 < 0.05$ | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.06738 < 0.45156$ | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.504 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

BRISIGHELLA, BR 0007

Instrument: TEN-0029/01-07

Start recording: 04/11/14 15:10:50 End recording: 04/11/14 15:24:51

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analyzed 81% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

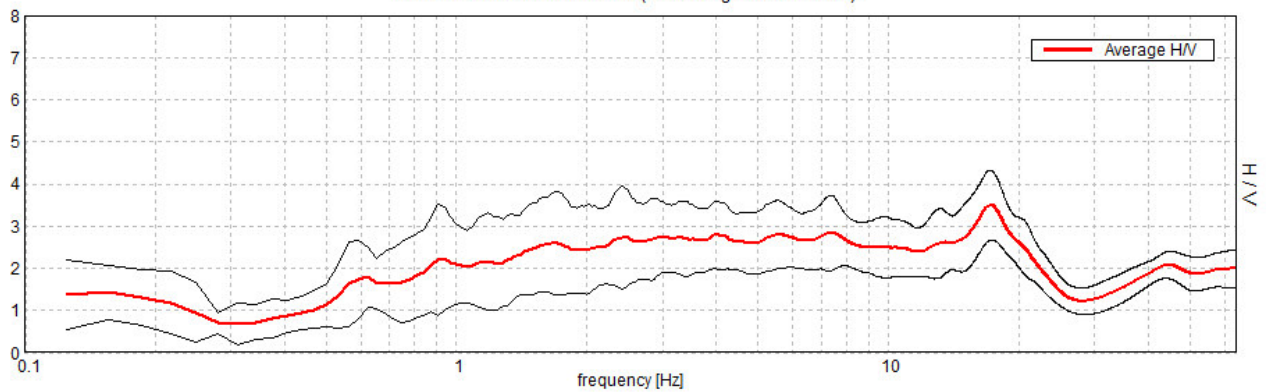
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

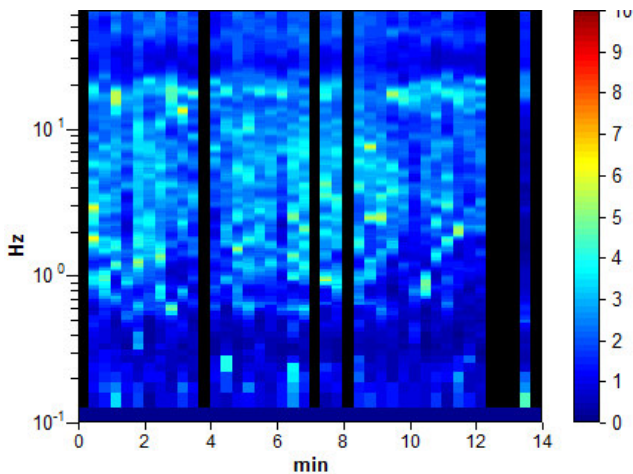
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

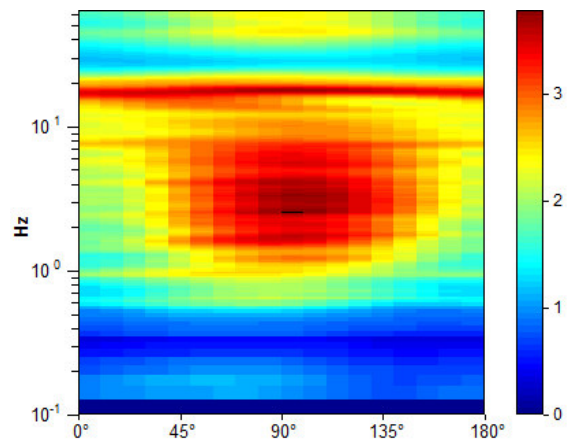
Max. H/V at 17.19 ± 2.28 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



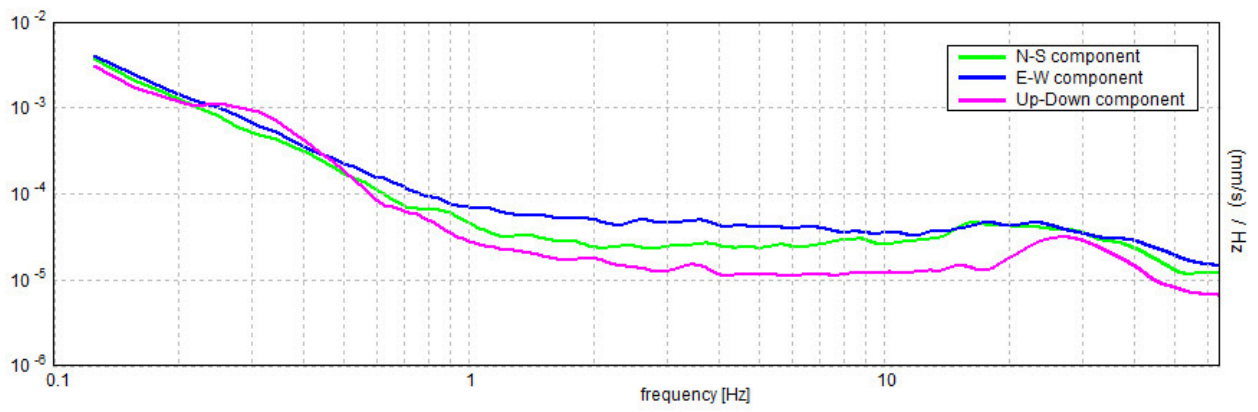
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 17.19 ± 2.28 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | 17.19 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 11687.5 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 826 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|--------------------|----|----|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | | | NO |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 23.563 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 3.50 > 2 | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.06413 < 0.05$ | | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | 1.10226 < 0.85938 | | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | 0.4006 < 1.58 | OK | |

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

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

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

BRISIGHELLA, BR 0008

Instrument: TEN-0029/01-07

Start recording: 04/11/14 15:45:02 End recording: 04/11/14 15:59:03

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analyzed 81% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

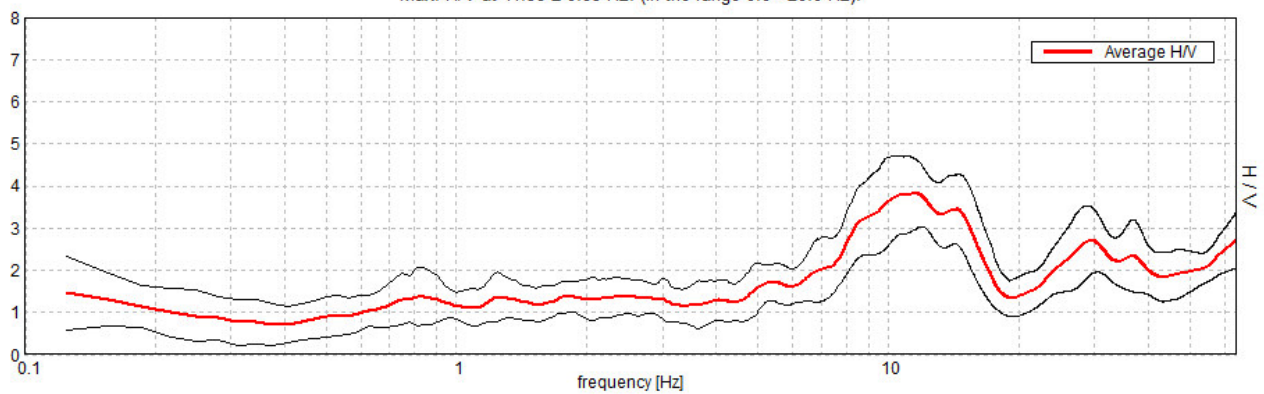
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

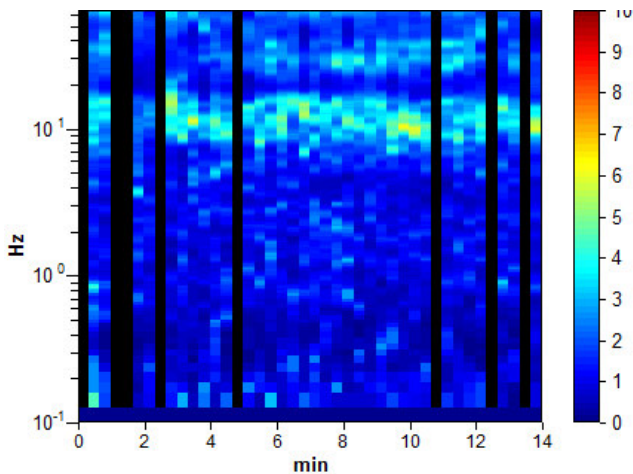
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

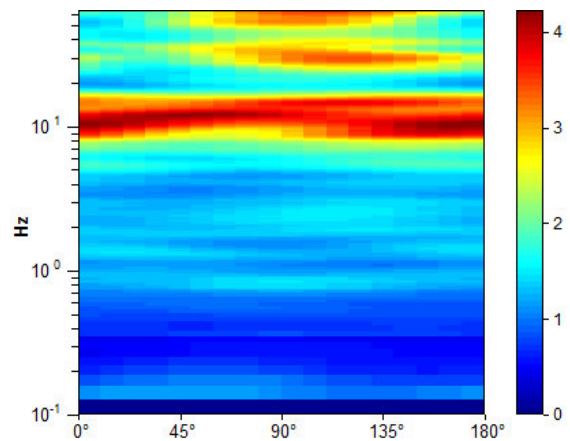
Max. H/V at 11.38 ± 0.83 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



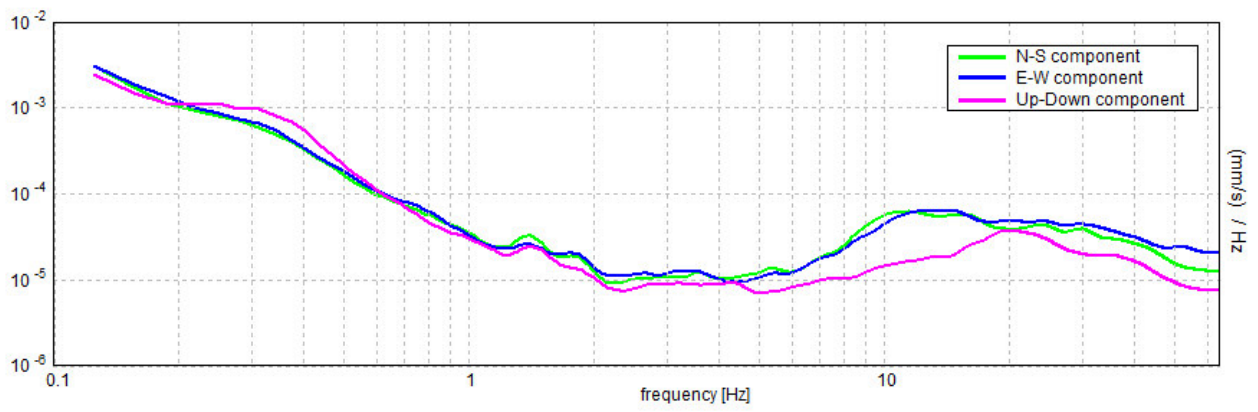
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 11.38 ± 0.83 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | 11.38 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 7735.0 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 547 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|----|--|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 6.625 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 17.313 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 3.81 > 2 | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.03529 < 0.05$ | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.40141 < 0.56875$ | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.4218 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

BRISIGHELLA, BR 0009

Instrument: TRS-0025/01-07

Start recording: 04/11/14 10:42:35 End recording: 04/11/14 10:56:36

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analyzed 74% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

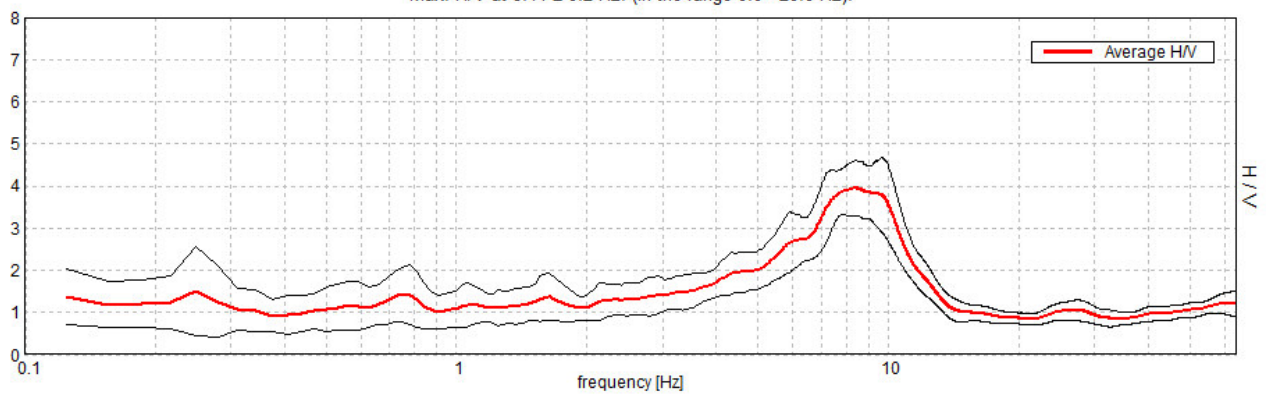
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

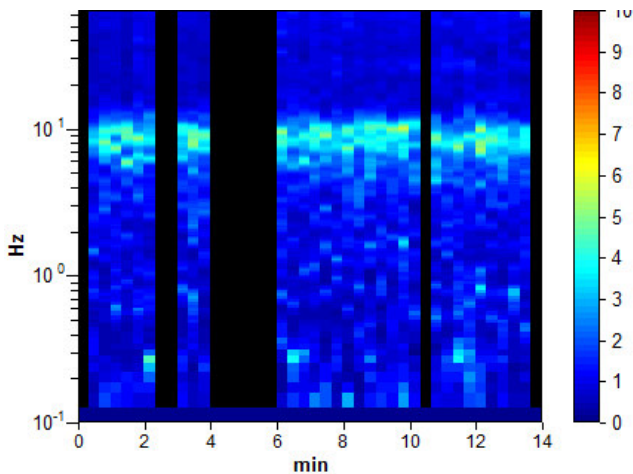
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

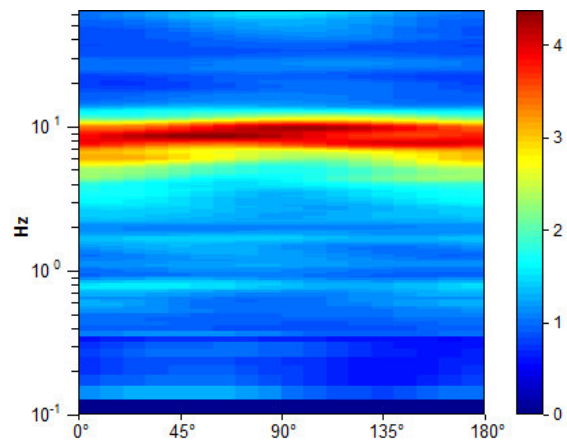
Max. H/V at 8.41 ± 0.2 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



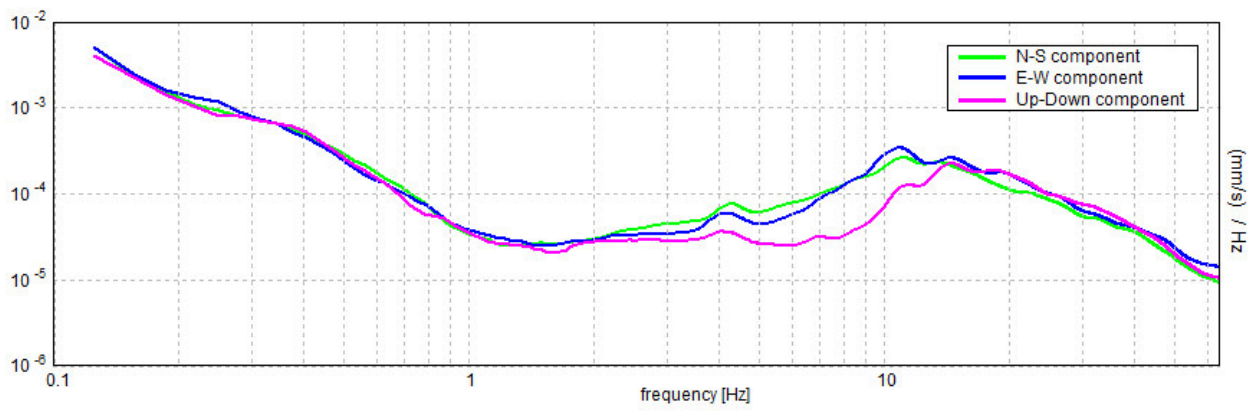
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 8.41 ± 0.2 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $8.41 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $5211.9 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 404 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|----|--|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 4.719 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 11.781 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | $3.94 > 2$ | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.01126 < 0.05$ | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.09462 < 0.42031$ | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.3183 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

BRISIGHELLA, BR 0010

Instrument: TRS-0025/01-07

Start recording: 04/11/14 11:15:47 End recording: 04/11/14 11:29:48

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analyzed 83% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

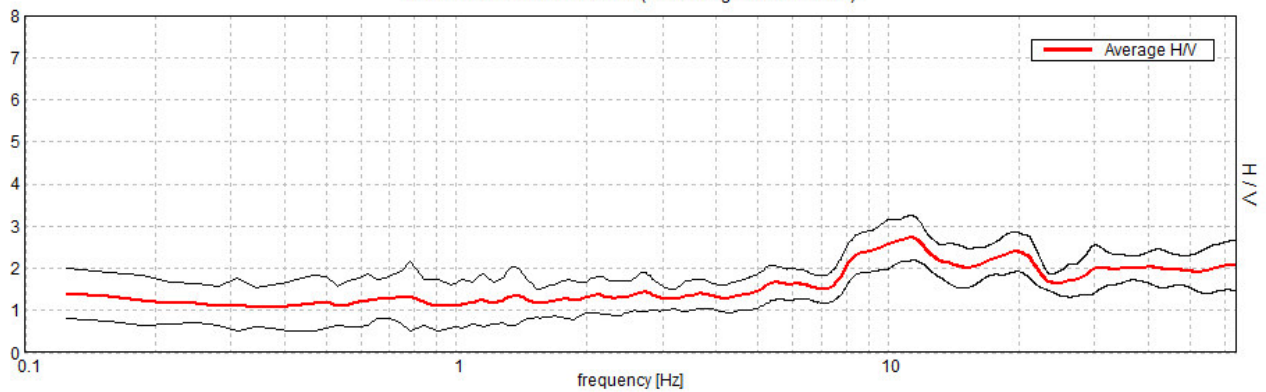
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

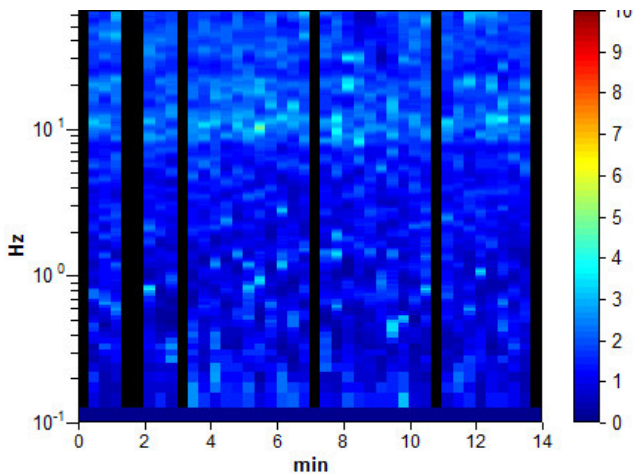
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

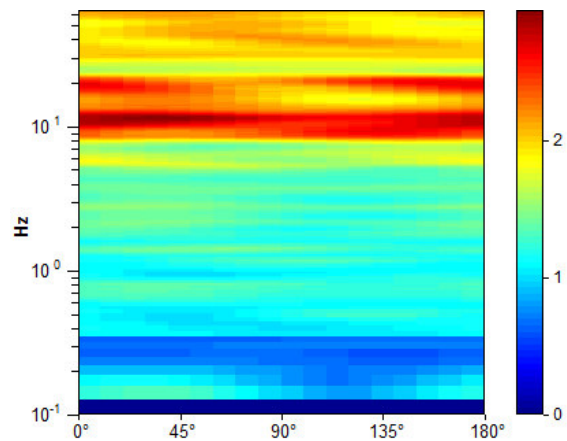
Max. H/V at 11.25 ± 0.14 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



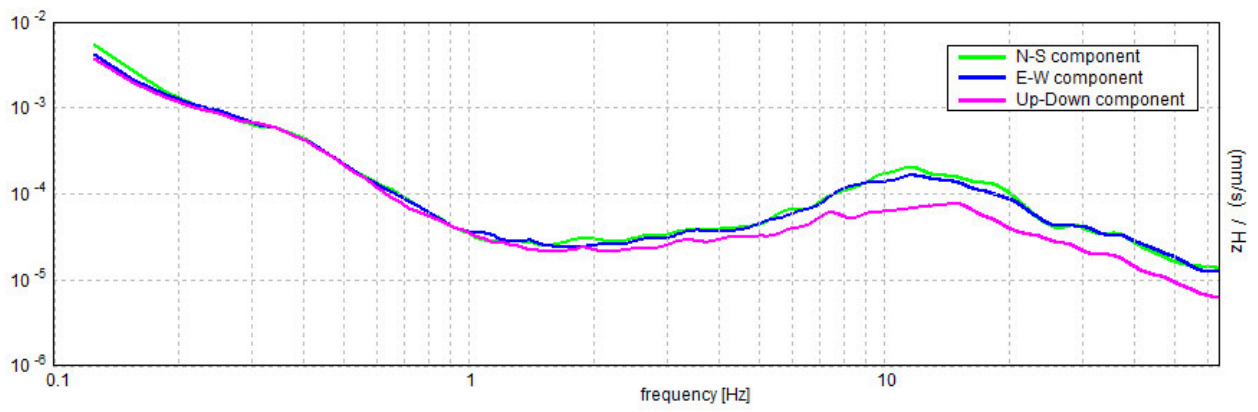
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 11.25 ± 0.14 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | 11.25 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 7875.0 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 541 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|--------------------|----|----|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 4.563 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | | | NO |
| $A_0 > 2$ | 2.72 > 2 | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.00619 < 0.05$ | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.06967 < 0.5625$ | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.2618 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

BRISIGHELLA, BR 0011

Instrument: TRS-0025/01-07

Start recording: 04/11/14 11:51:15 End recording: 04/11/14 12:05:16

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analyzed 90% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

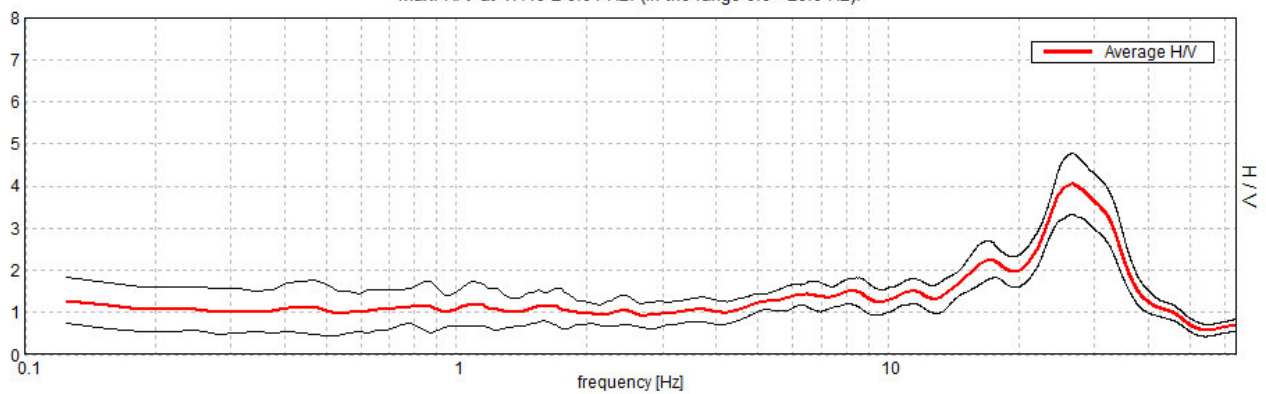
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

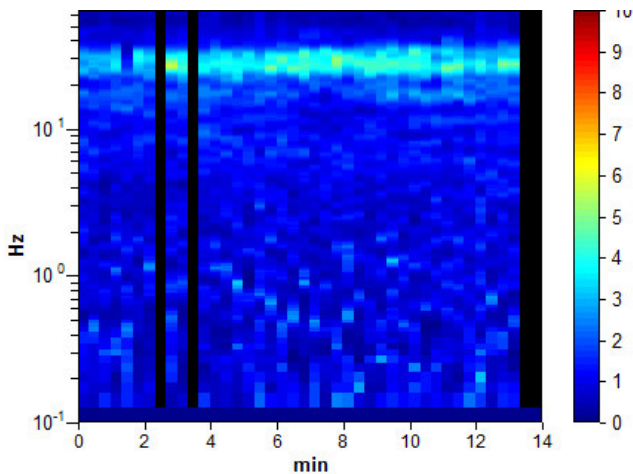
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

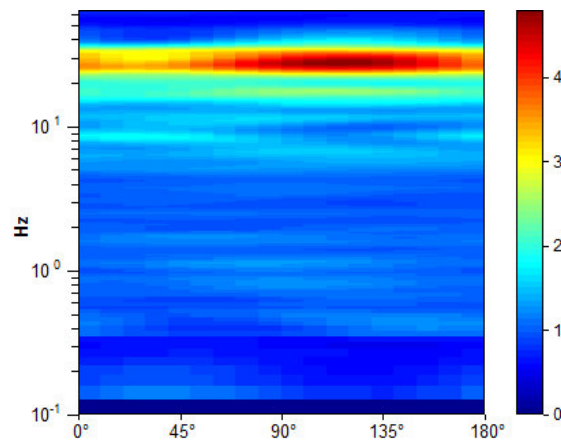
Max. H/V at 17.19 ± 0.04 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



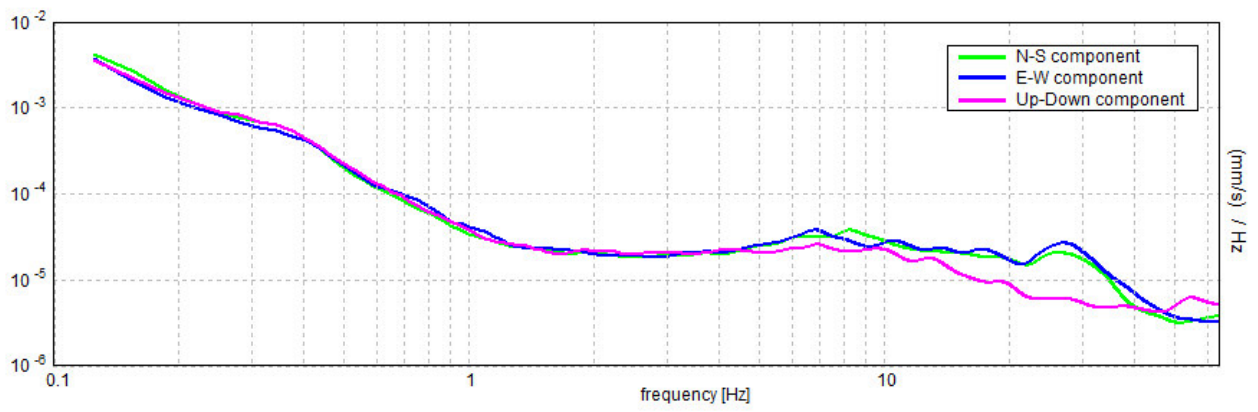
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 17.19 ± 0.04 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | 17.19 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 13062.5 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 826 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|----|--|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 4.656 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 41.938 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 2.24 > 2 | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.00111 < 0.05$ | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.01916 < 0.85938$ | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.2168 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

BRISIGHELLA, BR 0012

Instrument: TRS-0025/01-07

Start recording: 04/11/14 13:37:42 End recording: 04/11/14 13:51:42

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analyzed 90% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

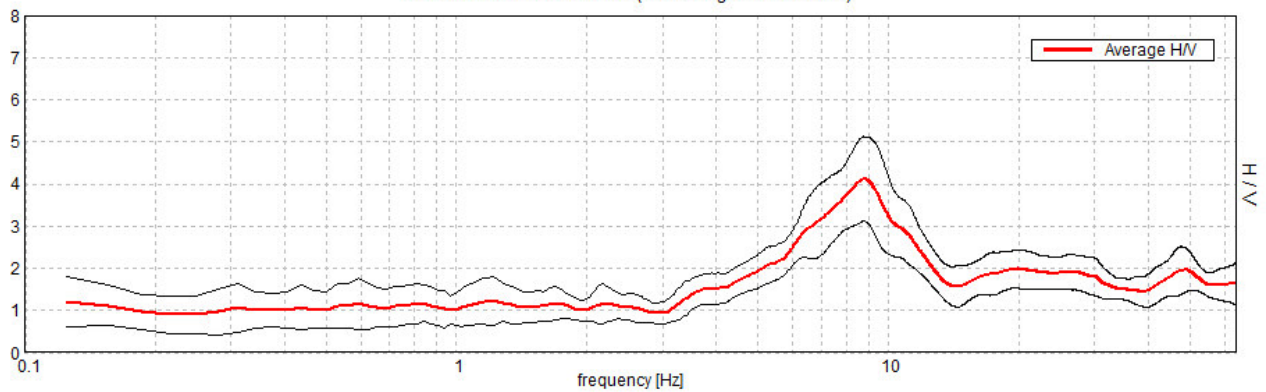
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

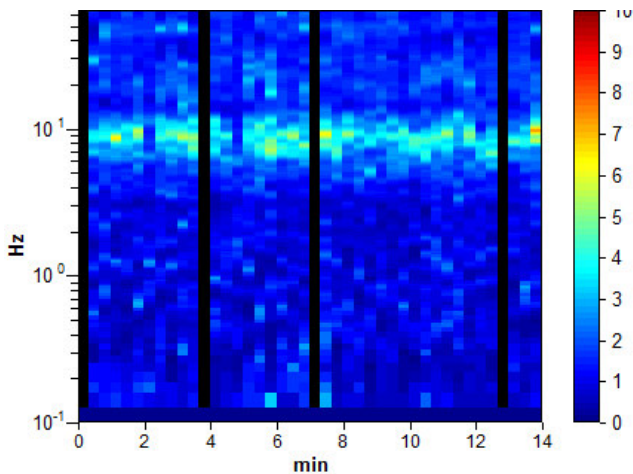
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

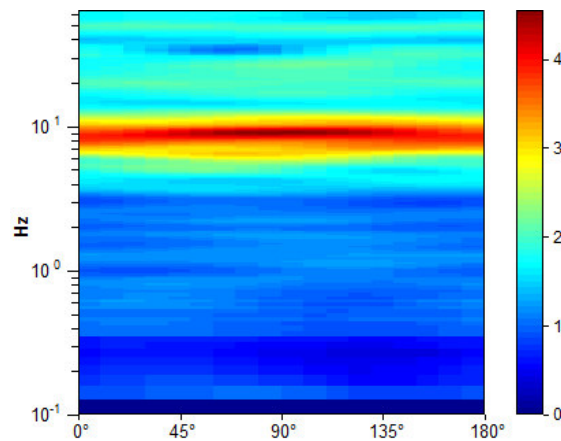
Max. H/V at 8.75 ± 0.04 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



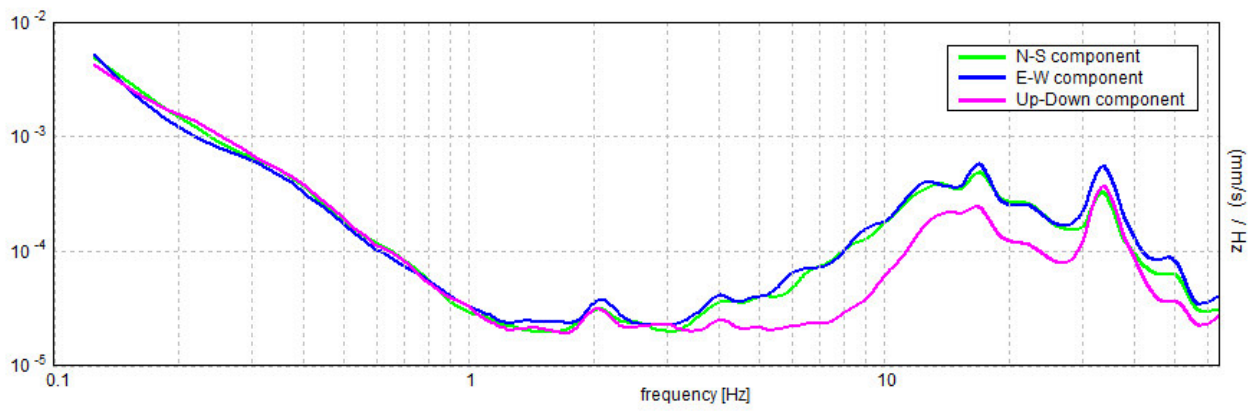
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 8.75 ± 0.04 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | 8.75 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 6650.0 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 421 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|--------------------|----|--|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 5.188 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 12.594 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 4.12 > 2 | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.00195 < 0.05$ | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.01705 < 0.4375$ | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.4884 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

BRISIGHELLA, BR 0013

Instrument: TRS-0025/01-07

Start recording: 04/11/14 14:10:47 End recording: 04/11/14 14:24:48

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analyzed 81% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

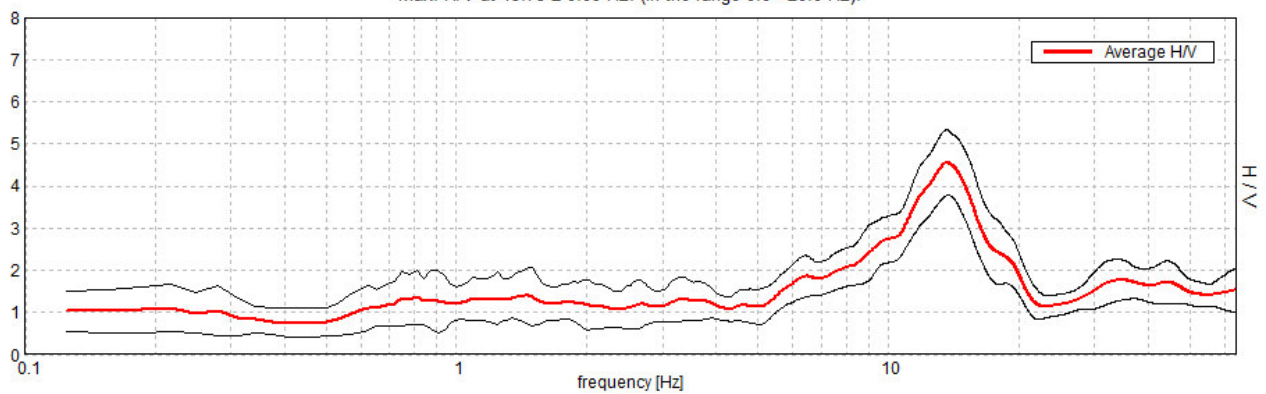
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

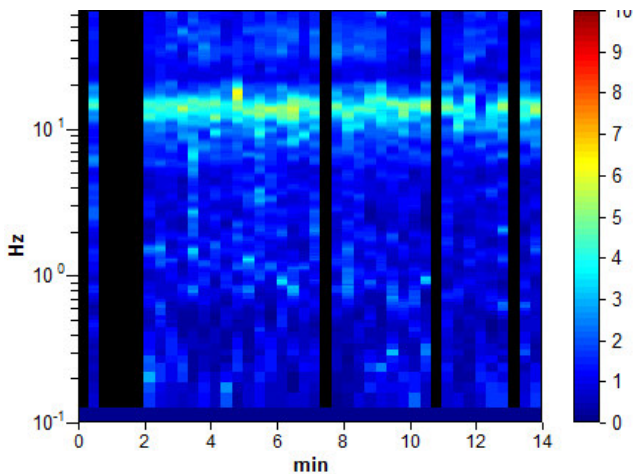
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

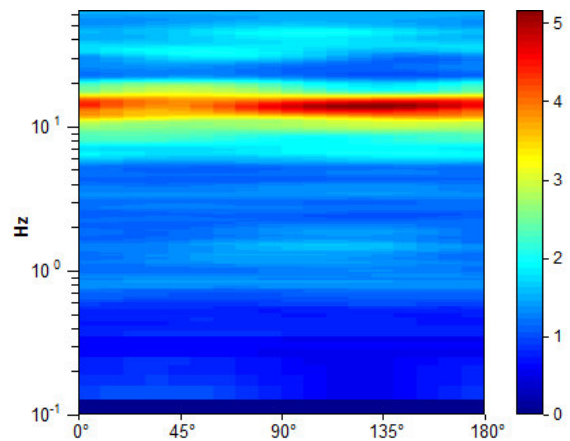
Max. H/V at 13.75 ± 0.09 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



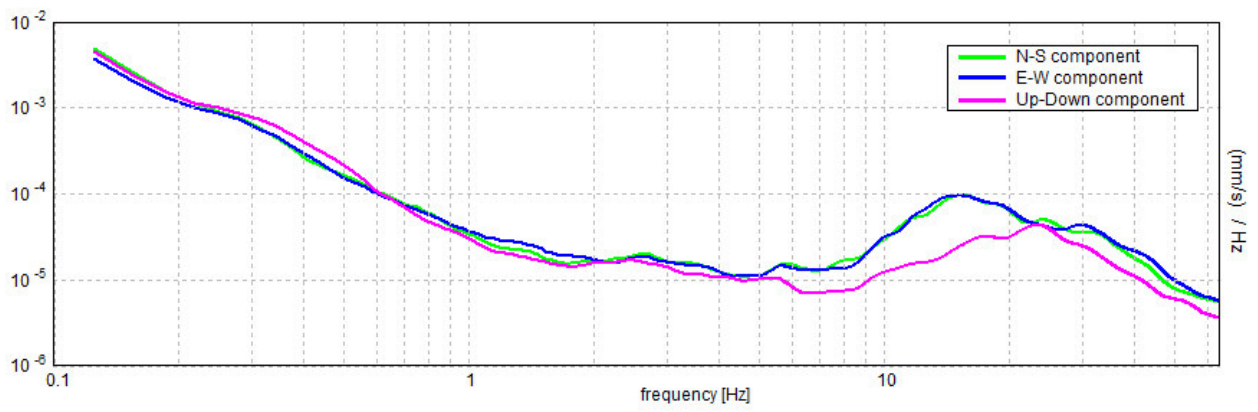
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 13.75 ± 0.09 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | 13.75 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 9350.0 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 661 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|--------------------|----|--|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 8.719 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 18.938 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 4.56 > 2 | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.00305 < 0.05$ | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.04191 < 0.6875$ | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.3727 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

BRISIGHELLA, BR 0014

Instrument: TRS-0025/01-07

Start recording: 04/11/14 14:45:00 End recording: 04/11/14 14:59:01

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analyzed 71% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

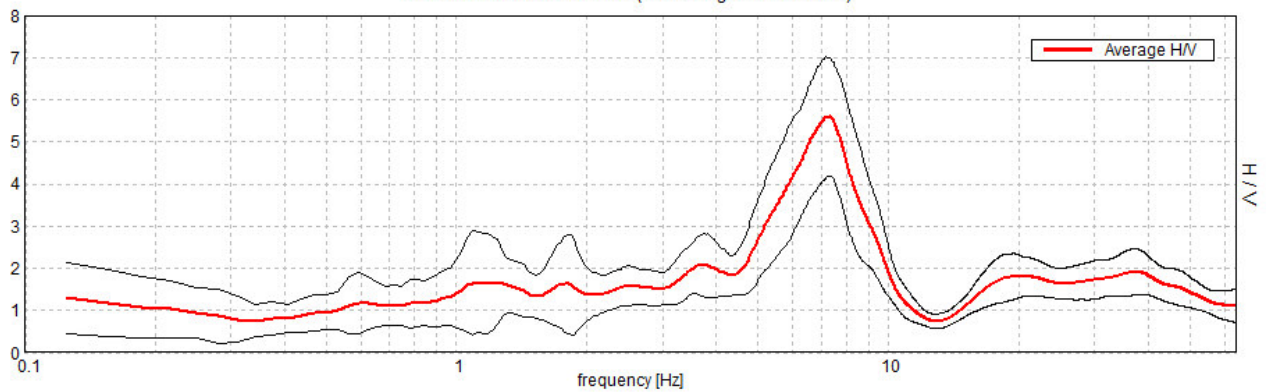
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

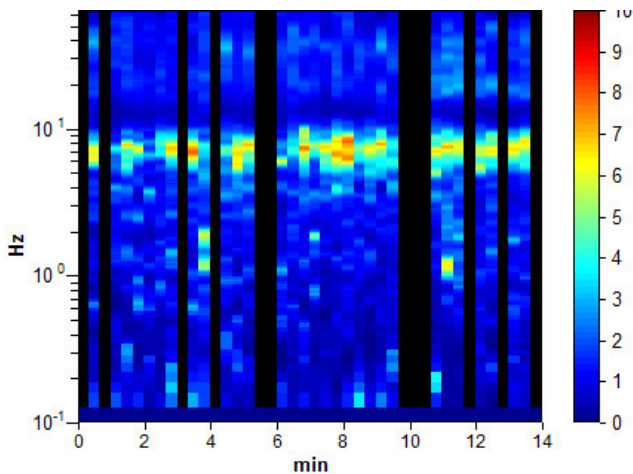
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

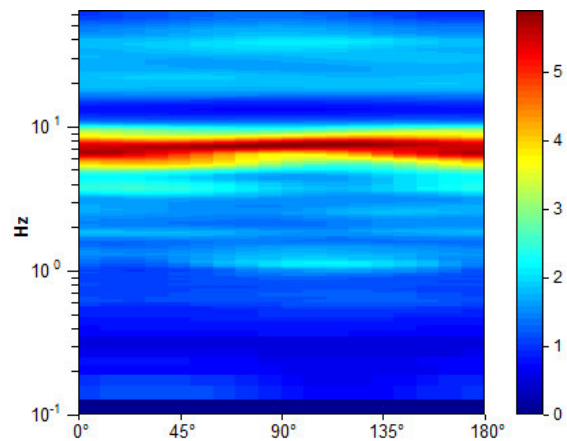
Max. H/V at 7.28 ± 0.02 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



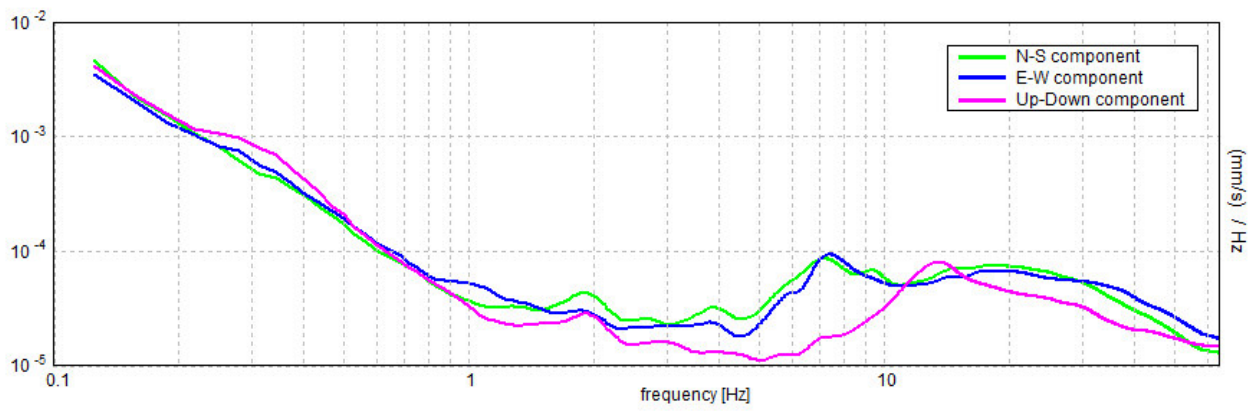
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 7.28 ± 0.02 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $7.28 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $4368.8 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 350 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|----|--|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 5.063 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 9.313 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | $5.59 > 2$ | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.0013 < 0.05$ | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.00943 < 0.36406$ | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.6729 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

BRISIGHELLA, BR 0015

Instrument: TRS-0025/01-07

Start recording: 04/11/14 15:17:11 End recording: 04/11/14 15:31:12

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analyzed 64% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

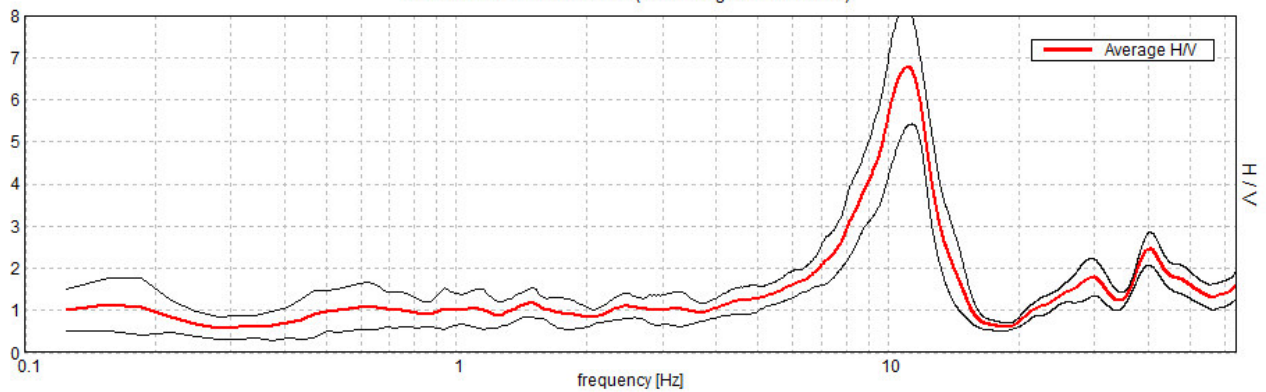
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

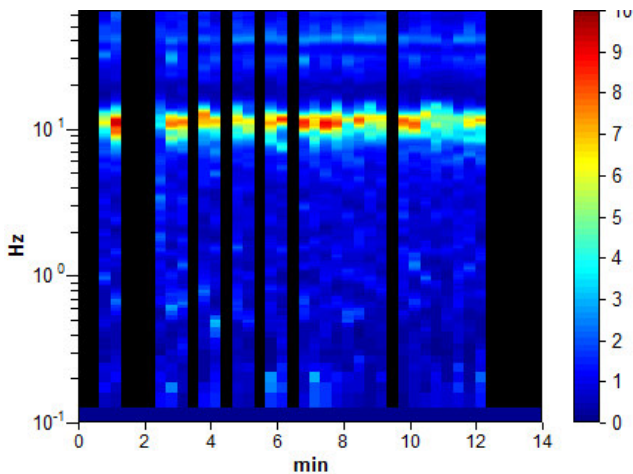
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

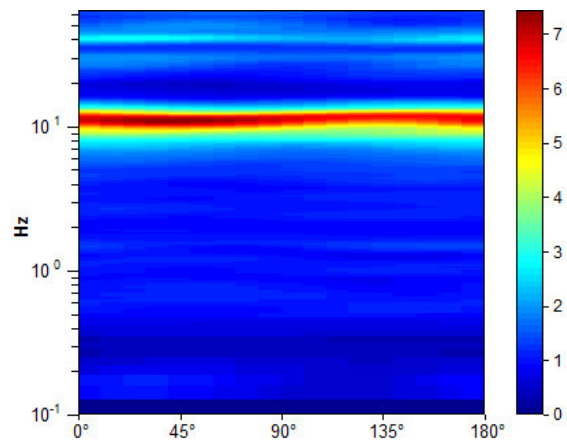
Max. H/V at 11.16 ± 0.1 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



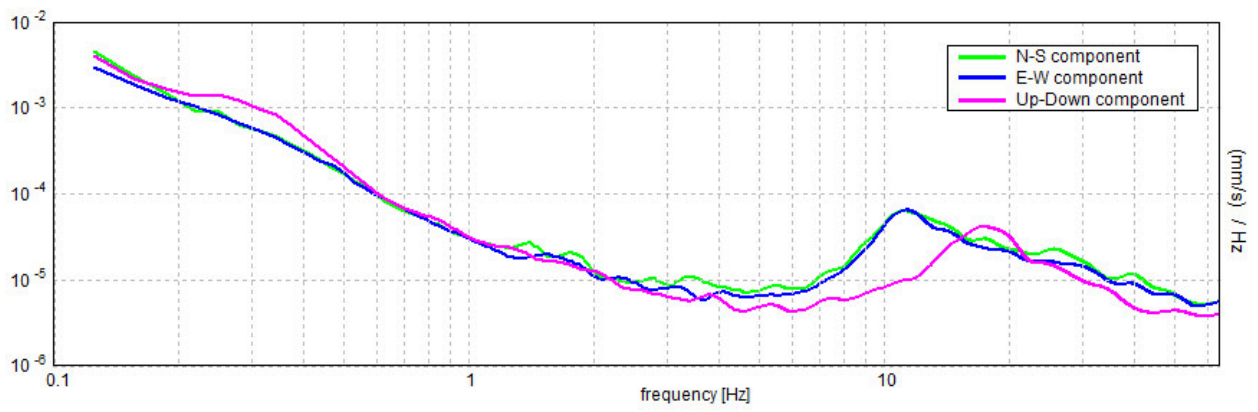
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 11.16 ± 0.1 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | 11.16 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 6024.4 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 536 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|----|--|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 8.375 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 13.0 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 6.78 > 2 | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.00444 < 0.05$ | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.04955 < 0.55781$ | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.6595 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

BRISIGHELLA, BR 0016

Instrument: TRS-0025/01-07

Start recording: 04/11/14 15:58:46 End recording: 04/11/14 16:12:47

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analyzed 86% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

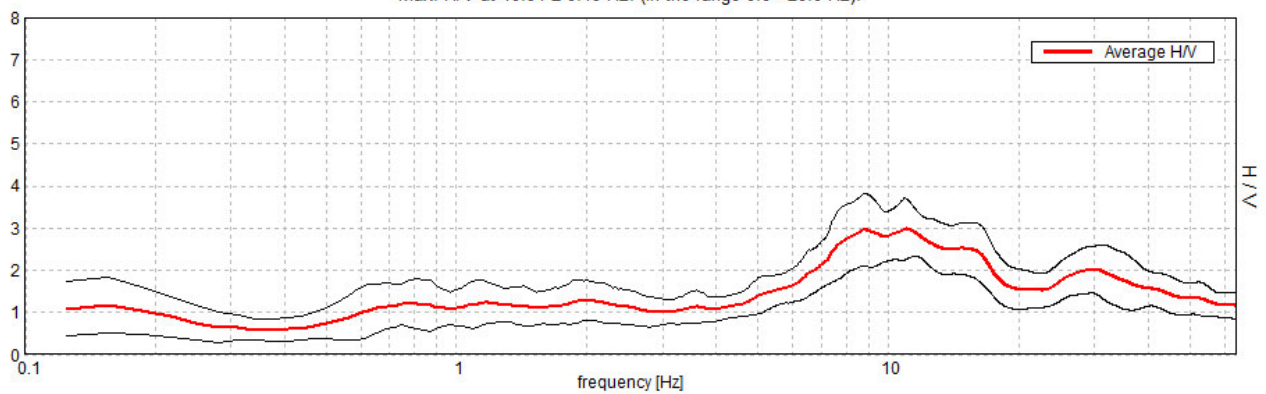
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

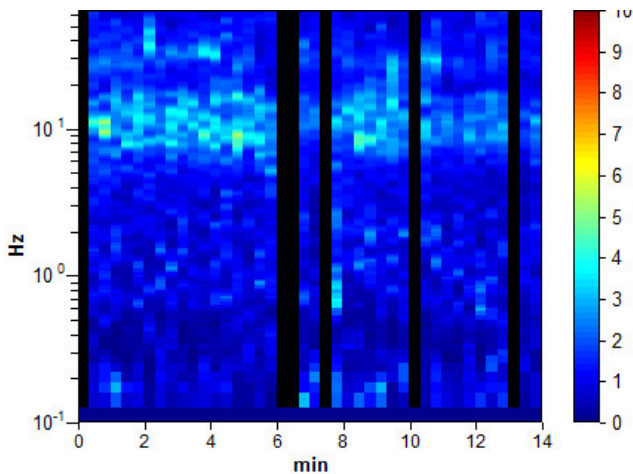
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

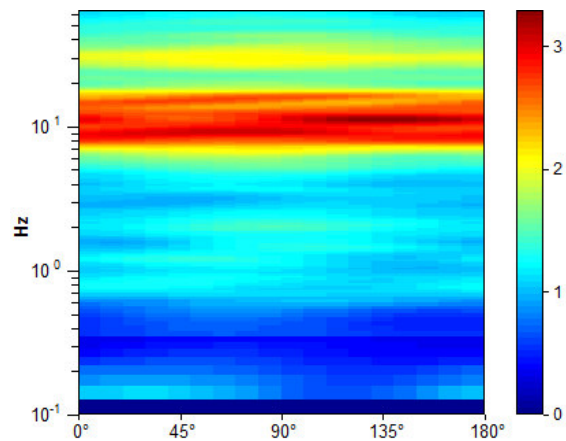
Max. H/V at 10.94 ± 0.19 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



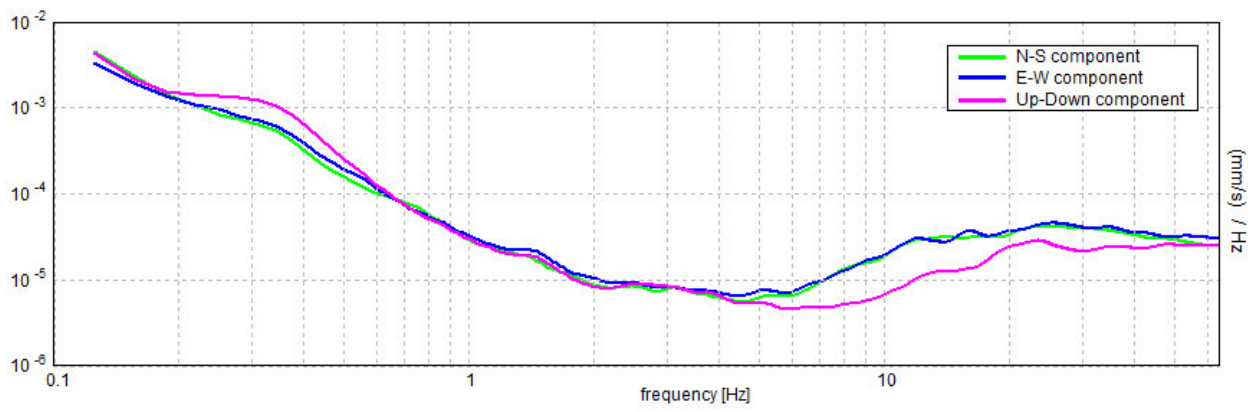
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 10.94 ± 0.19 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | 10.94 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 7875.0 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 526 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|----|--|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 5.344 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 43.219 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 2.98 > 2 | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.00852 < 0.05$ | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.09322 < 0.54688$ | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.36 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

BRISIGHELLA, BR 0017

Instrument: TRS-0025/01-07

Start recording: 04/11/14 16:51:23 End recording: 04/11/14 17:05:23

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analyzed 76% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

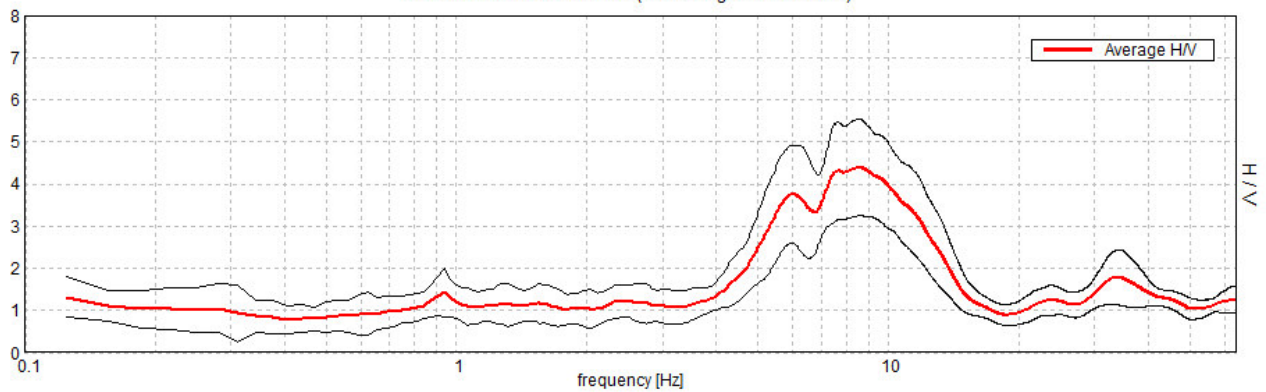
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

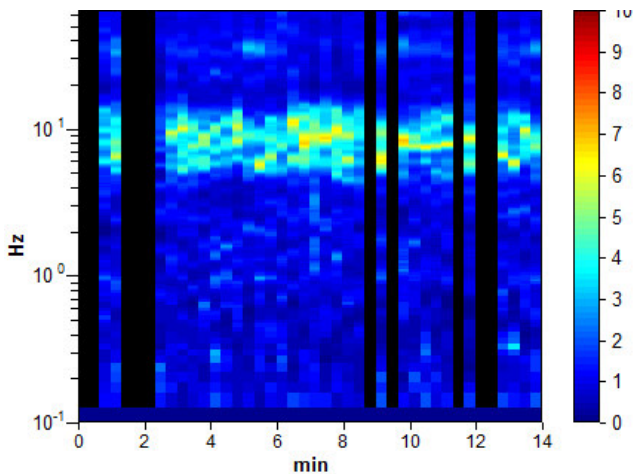
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

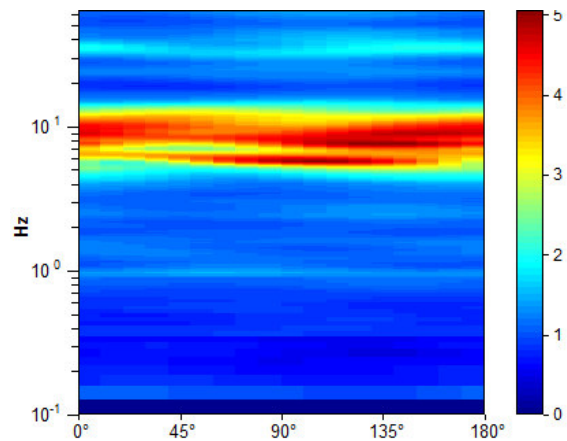
Max. H/V at 8.53 ± 0.27 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



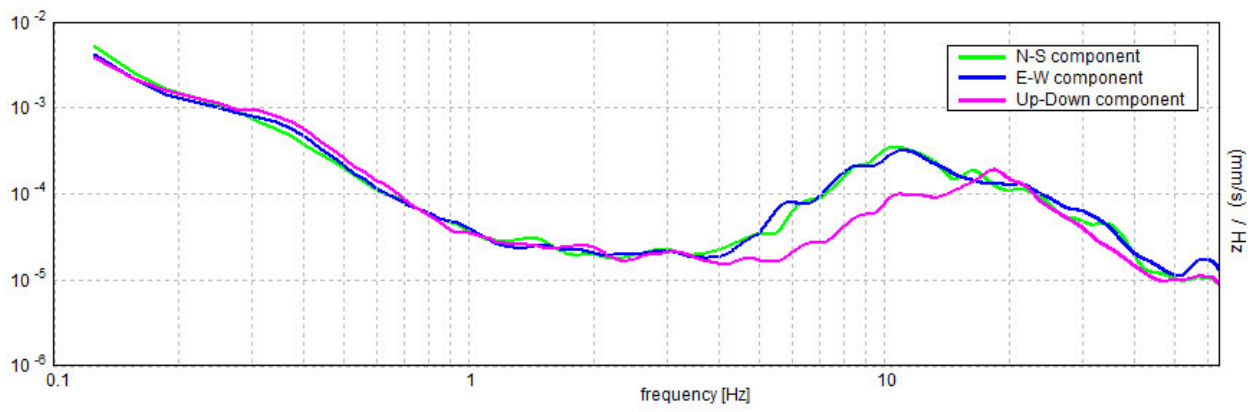
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 8.53 ± 0.27 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $8.53 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $5460.0 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 410 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|----|--|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 4.813 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 13.531 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | $4.39 > 2$ | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.01529 < 0.05$ | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.13041 < 0.42656$ | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.5514 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

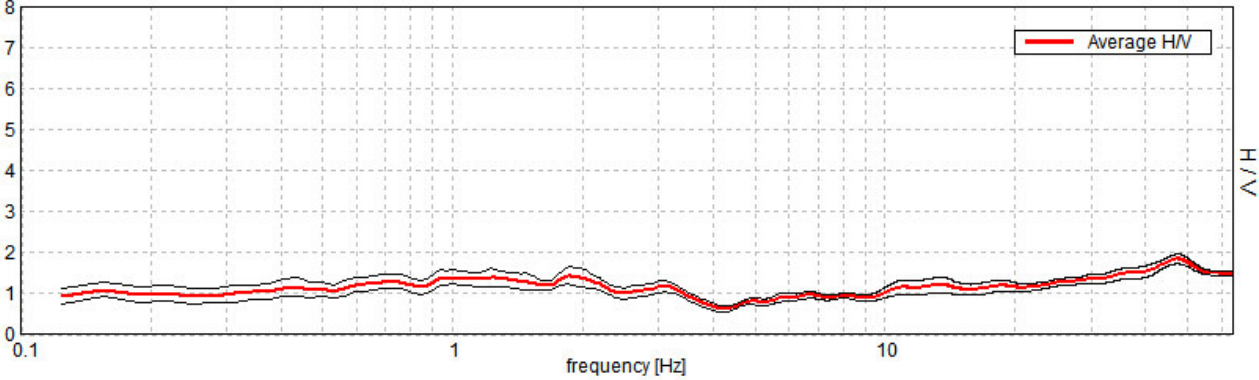
BRISIGHELLA, BR 0018

Instrument: TRS-0025/01-07
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 24/11/14 11:33:14 End recording: 24/11/14 11:47:15
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

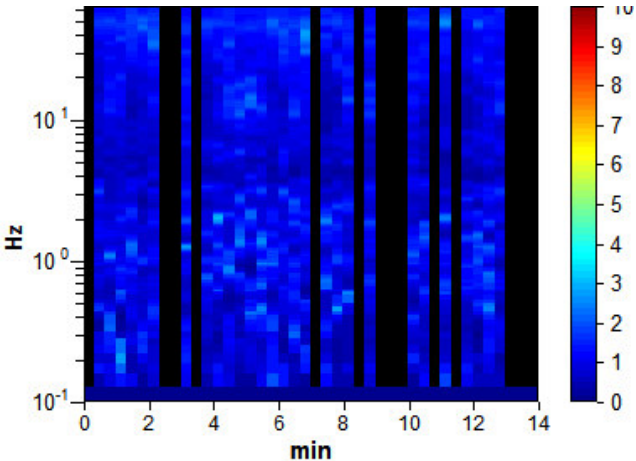
Trace length: 0h14'00". Analyzed 67% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

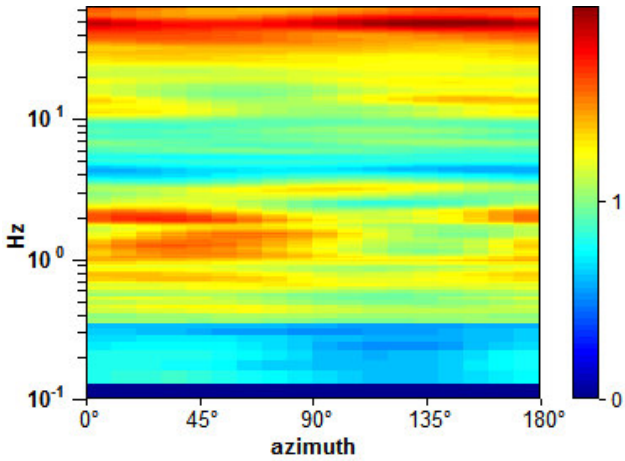
Max. H/V at 1.88 ± 0.76 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).



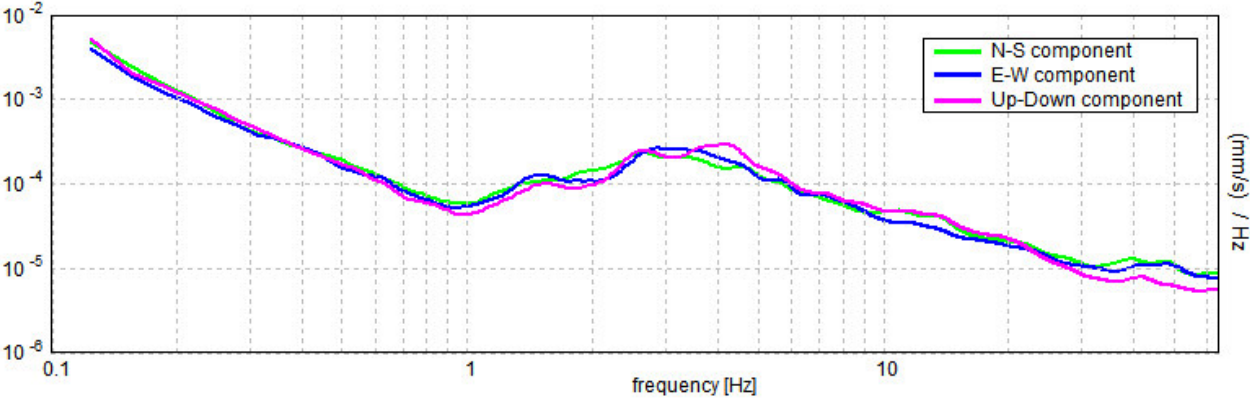
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 1.88 ± 0.76 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $1.88 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $1050.0 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 91 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|--------------------|----|----|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | | | NO |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 3.938 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | $1.44 > 2$ | | NO |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.40546 < 0.05$ | | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.76023 < 0.1875$ | | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.2242 < 1.78$ | OK | |

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

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

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

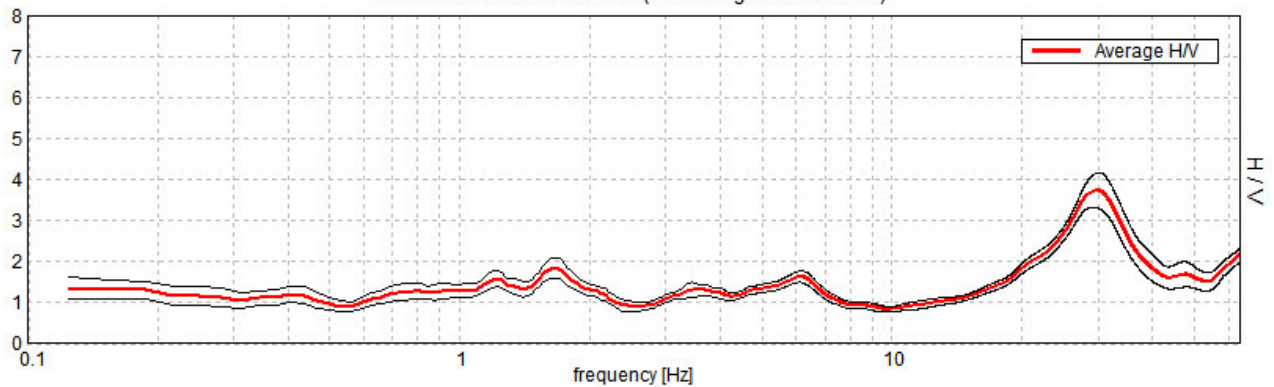
BRISIGHELLA, BR 0019

Instrument: TEN-0029/01-07
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 24/11/14 11:25:57 End recording: 24/11/14 11:39:58
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

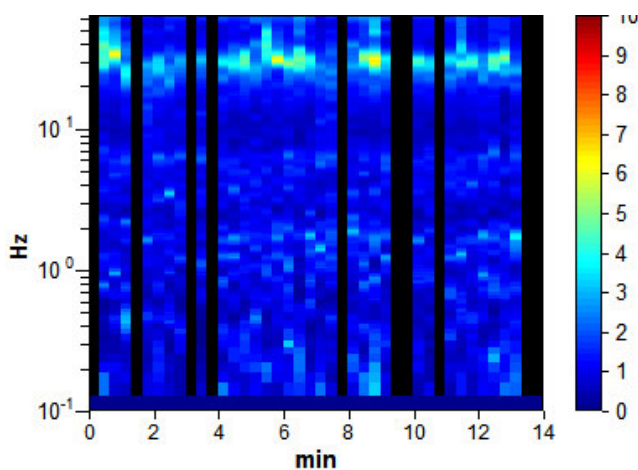
Trace length: 0h14'00". Analyzed 76% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

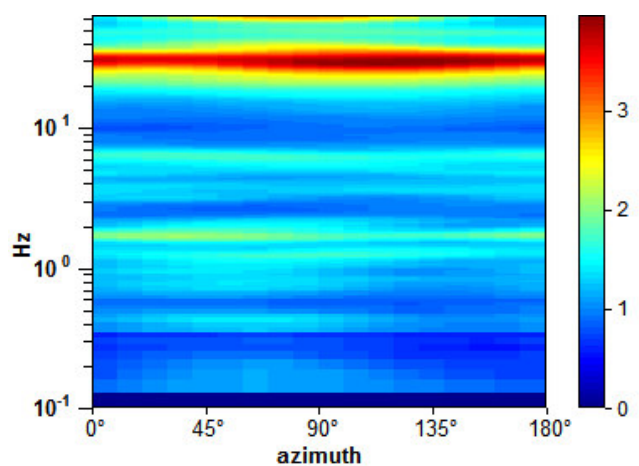
Max. H/V at 1.66 ± 17.46 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).



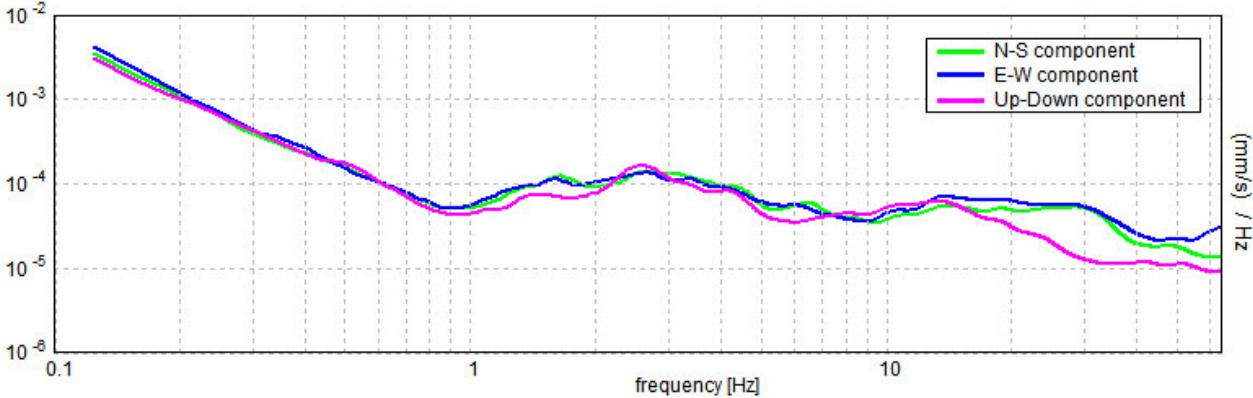
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 1.66 ± 17.46 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | 1.66 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 1060.0 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 80 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|----------------------|----|----|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 0.563 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 2.438 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 1.85 > 2 | | NO |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 10.54426 < 0.05$ | | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $17.46393 < 0.16563$ | | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.2475 < 1.78$ | OK | |

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

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

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

CASOLA, CA 0001

Instrument: TEN-0029/01-07

Start recording: 04/11/14 16:50:42 End recording: 04/11/14 17:04:43

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analyzed 76% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

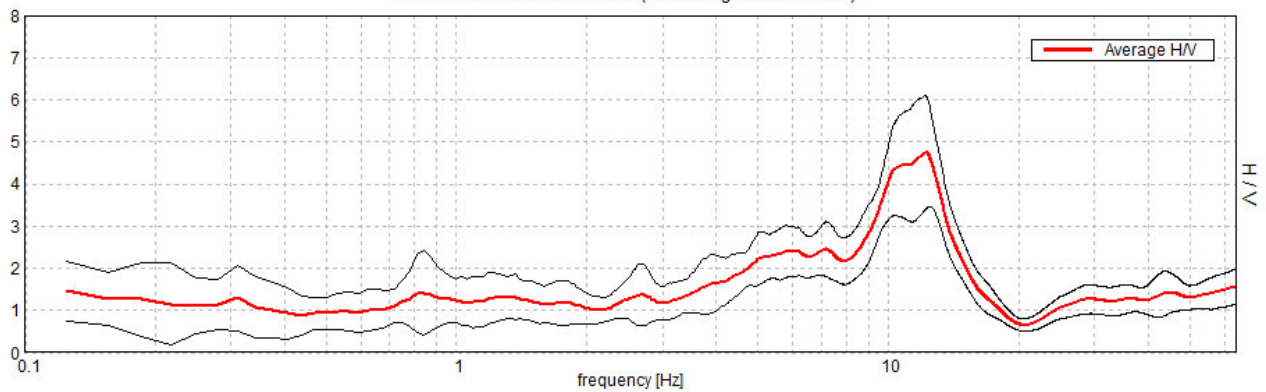
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

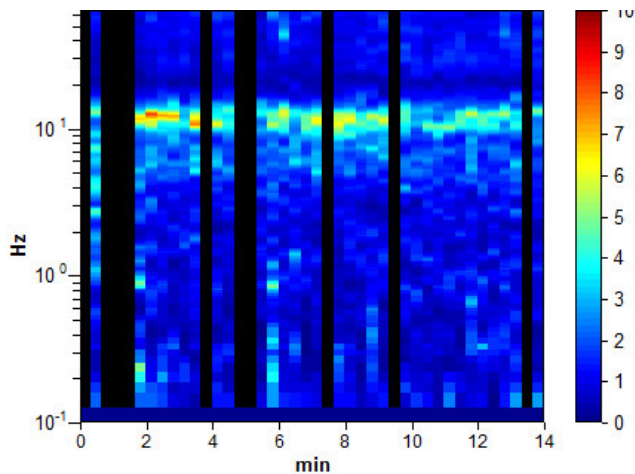
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

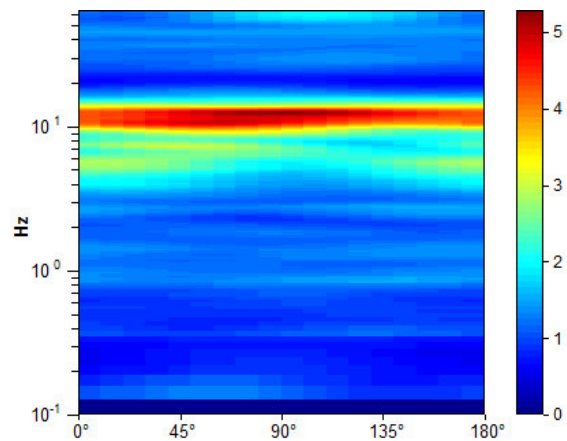
Max. H/V at 12.19 ± 0.04 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



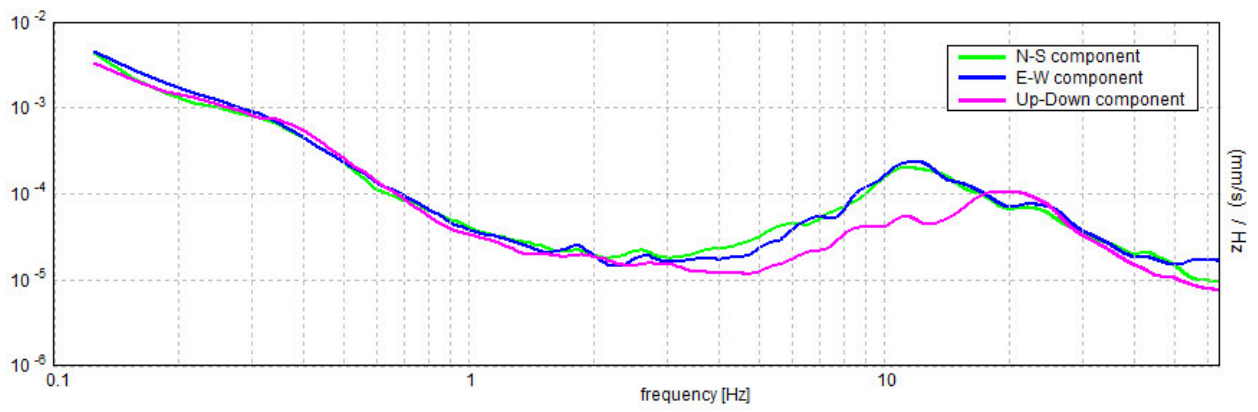
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 12.19 ± 0.04 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | 12.19 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 7800.0 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 586 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|----|--|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 8.406 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 14.594 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 4.75 > 2 | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.00154 < 0.05$ | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.01876 < 0.60938$ | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.6516 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

CASOLA, CA 0002

Instrument: TEN-0029/01-07

Start recording: 04/11/14 17:13:18 End recording: 04/11/14 17:27:18

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analyzed 88% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

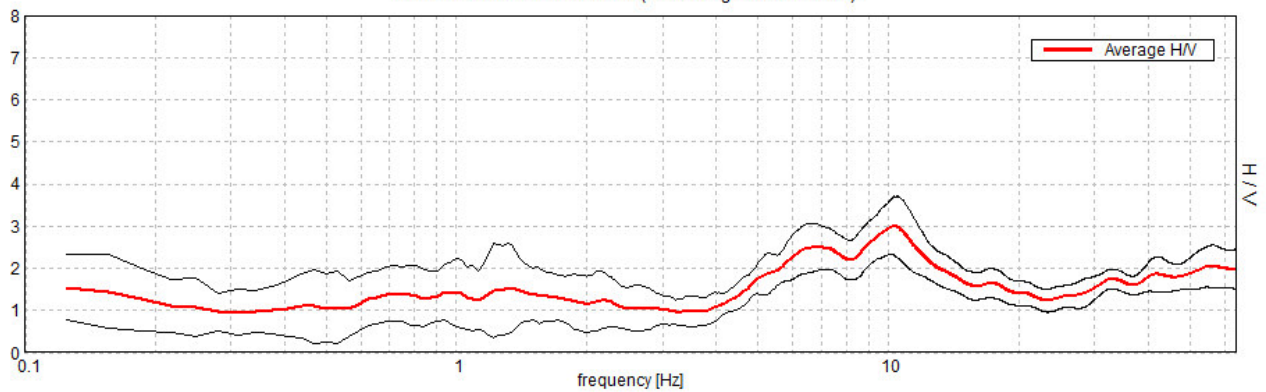
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

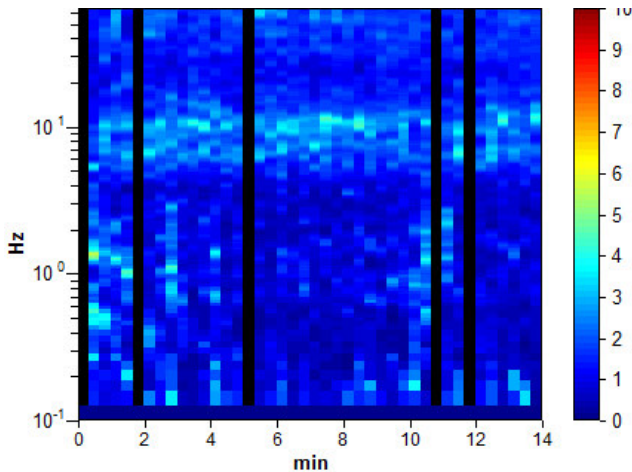
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

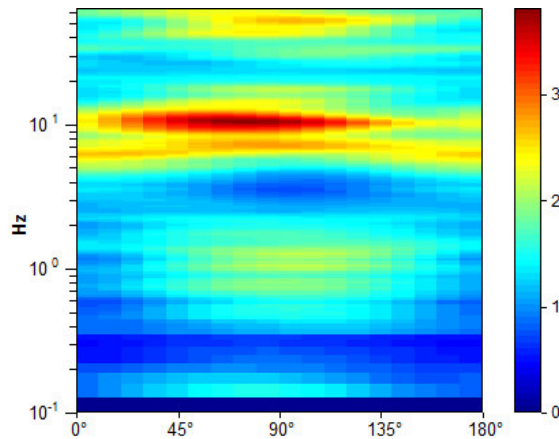
Max. H/V at 10.31 ± 1.13 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



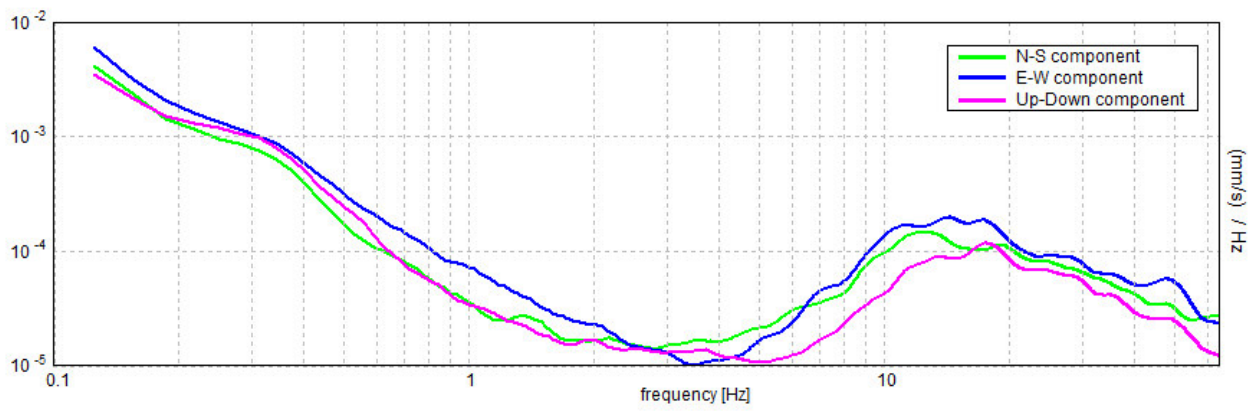
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 10.31 ± 1.13 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | 10.31 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 7631.3 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 496 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|----|----|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 4.688 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 18.688 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 3.01 > 2 | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.05313 < 0.05$ | | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.54789 < 0.51563$ | | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.341 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

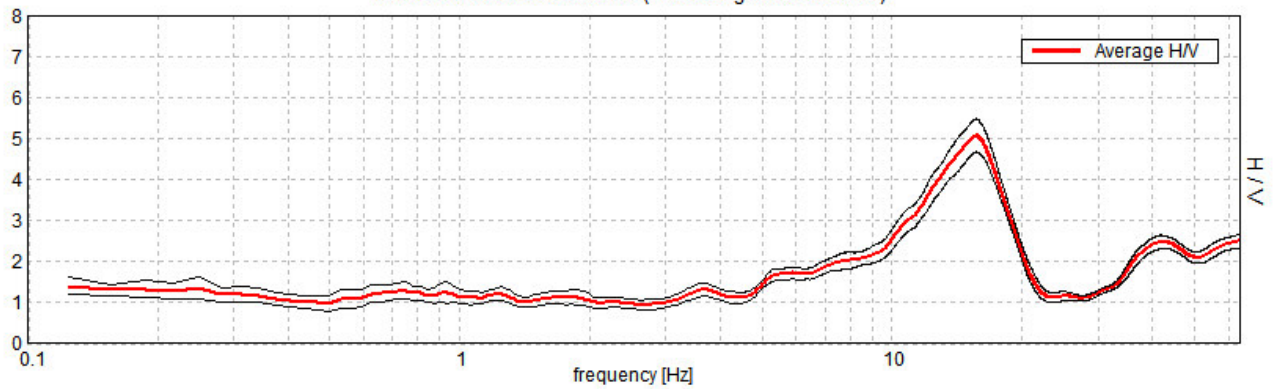
CASOLA, CA 0004

Instrument: TRS-0025/01-07
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 24/11/14 08:38:27 End recording: 24/11/14 08:52:28
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

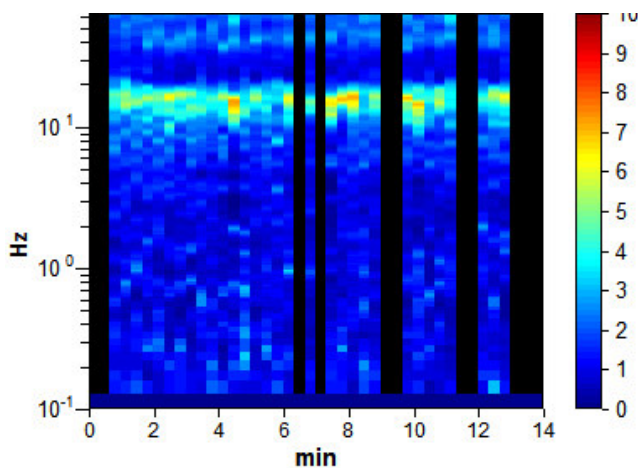
Trace length: 0h14'00". Analyzed 74% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

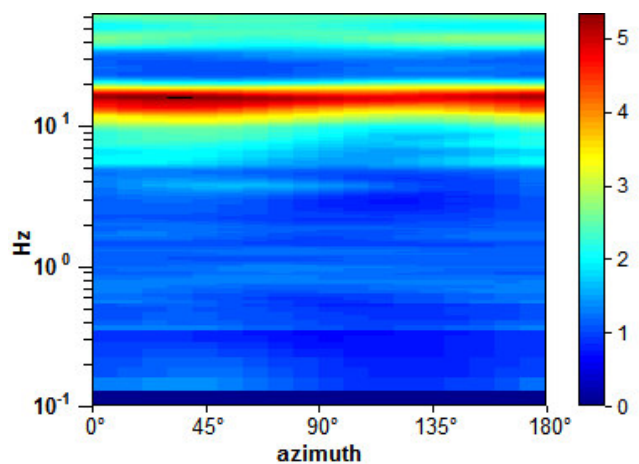
Max. H/V at 15.63 ± 0.39 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).



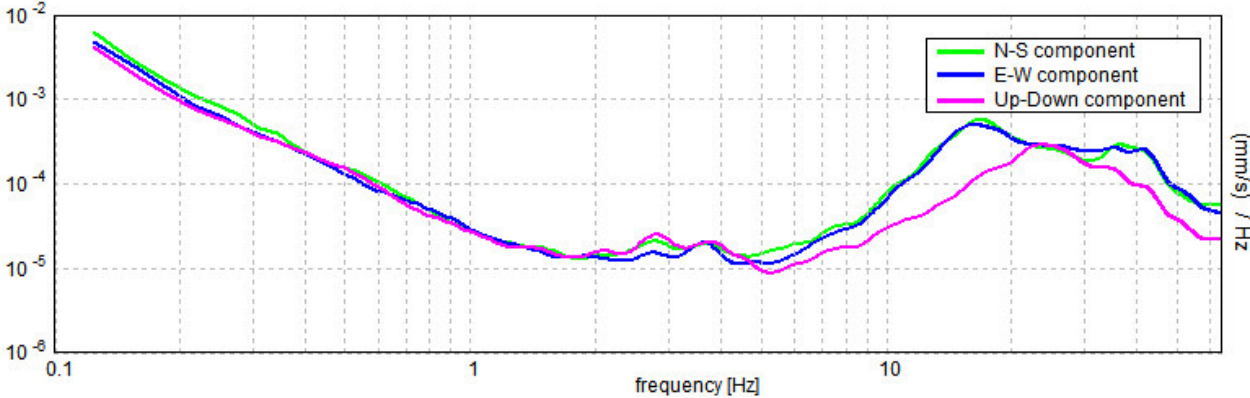
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 15.63 ± 0.39 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | 15.63 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 9687.5 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 751 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|--------------------|----|--|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 9.969 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 19.5 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 5.07 > 2 | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.02509 < 0.05$ | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.392 < 0.78125$ | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.4027 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

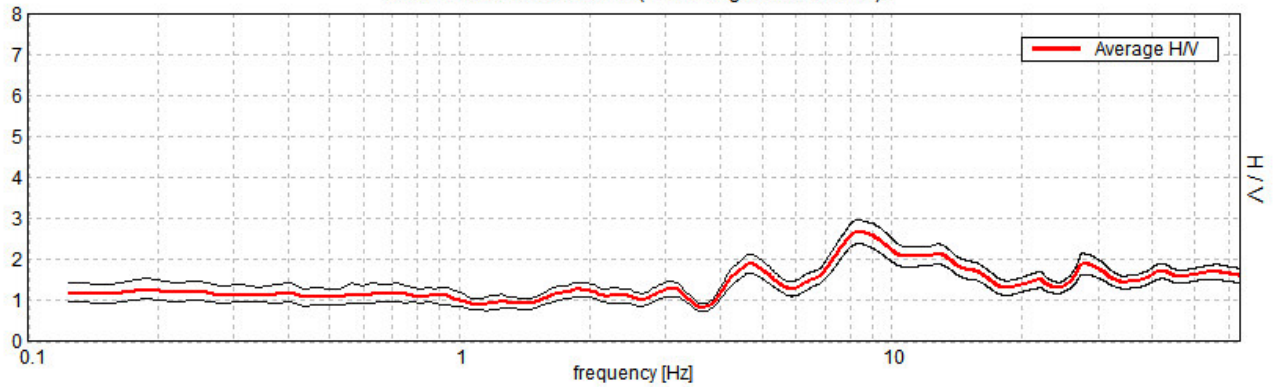
CASOLA, CA 0005

Instrument: TRS-0025/01-07
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 24/11/14 09:06:39 End recording: 24/11/14 09:20:40
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

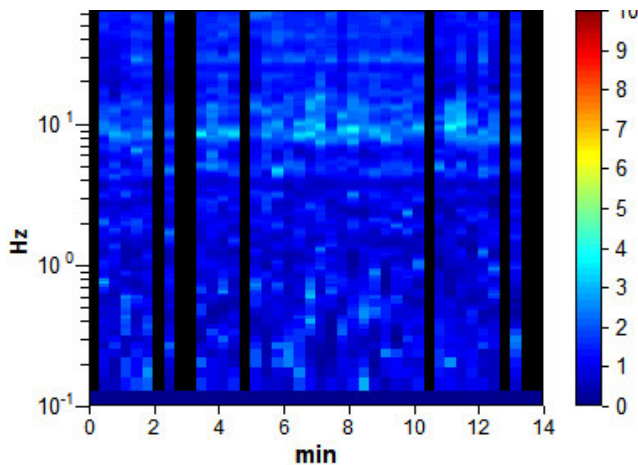
Trace length: 0h14'00". Analyzed 83% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

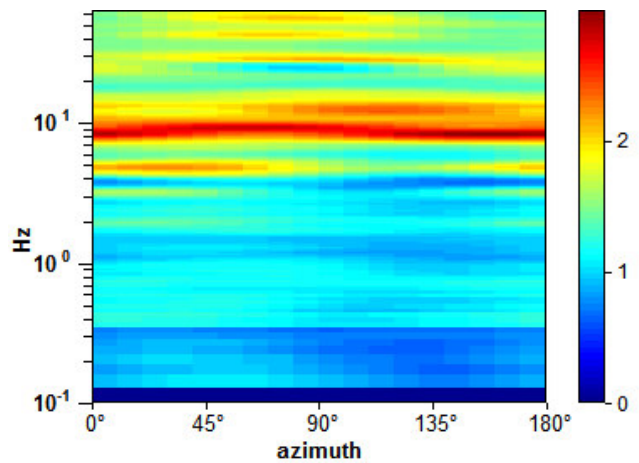
Max. H/V at 8.34 ± 2.45 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).



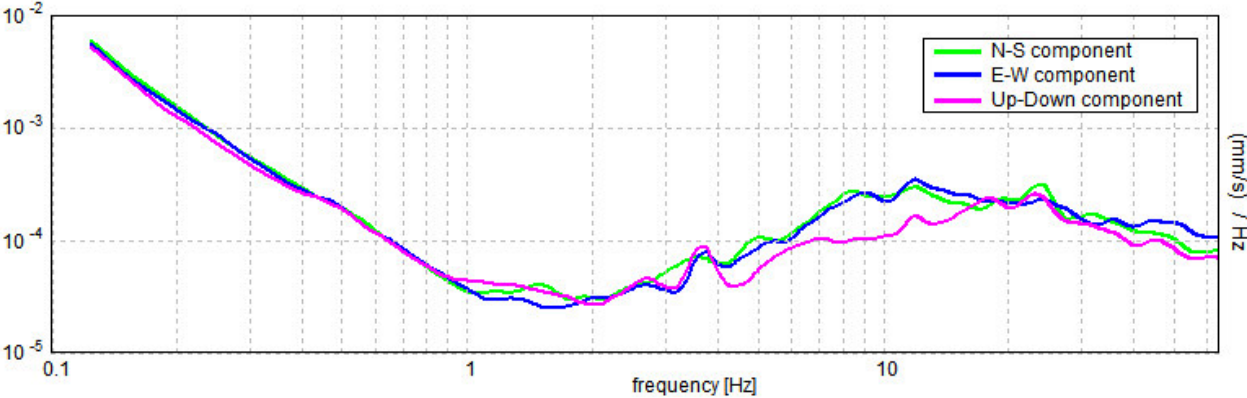
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 8.34 ± 2.45 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $8.34 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $5506.9 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 402 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|----|----|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 6.063 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 17.781 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | $2.68 > 2$ | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.29321 < 0.05$ | | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $2.44644 < 0.41719$ | | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.293 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

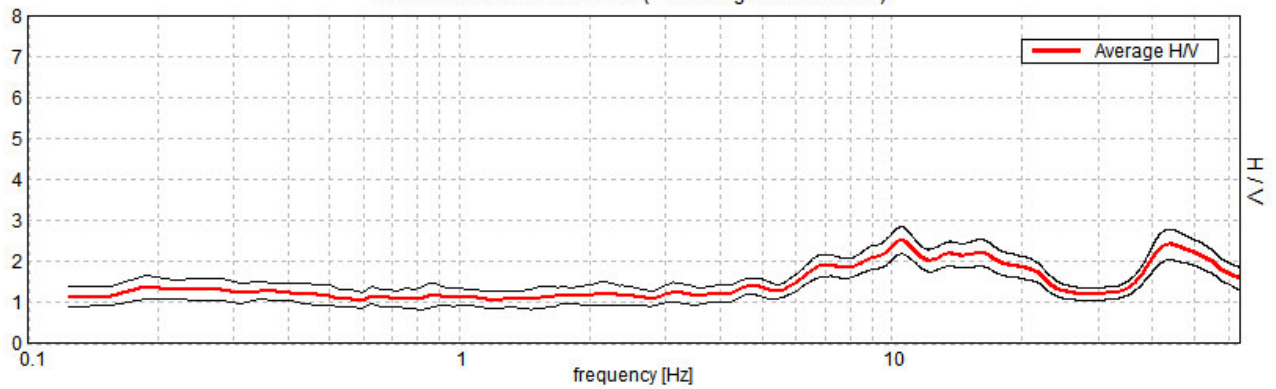
CASOLA, CA 0006

Instrument: TEN-0029/01-07
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 24/11/14 08:25:19 End recording: 24/11/14 08:39:20
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

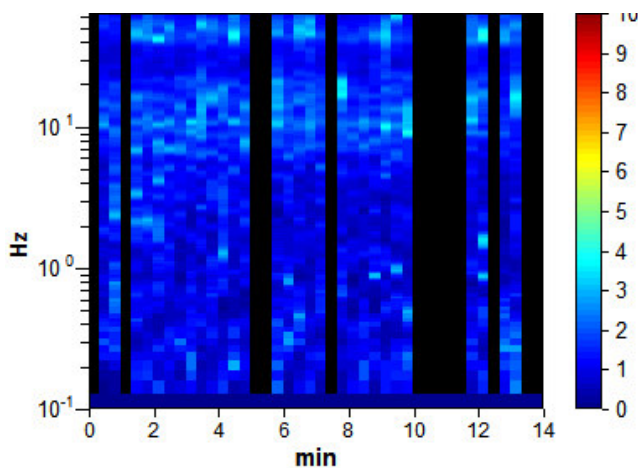
Trace length: 0h14'00". Analyzed 74% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

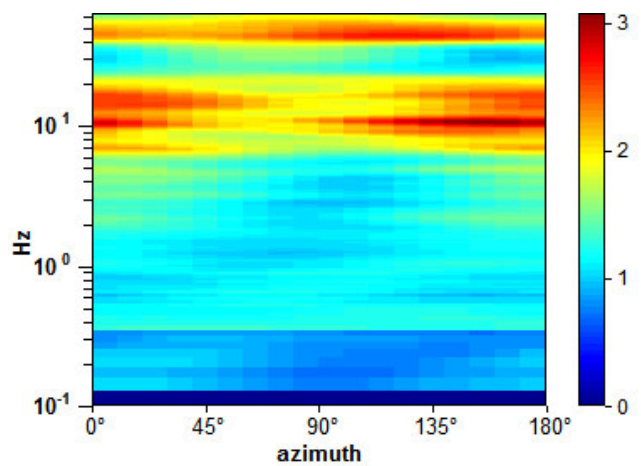
Max. H/V at 10.53 ± 2.77 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).



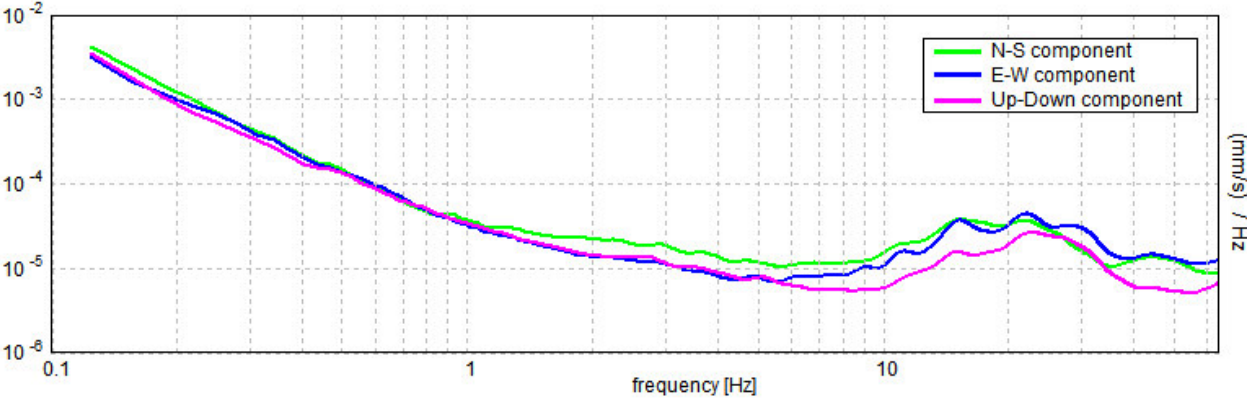
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 10.53 ± 2.77 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $10.53 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $6108.1 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 506 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|----|----|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 4.281 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 25.406 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | $2.52 > 2$ | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.26326 < 0.05$ | | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $2.77243 < 0.52656$ | | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.3321 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

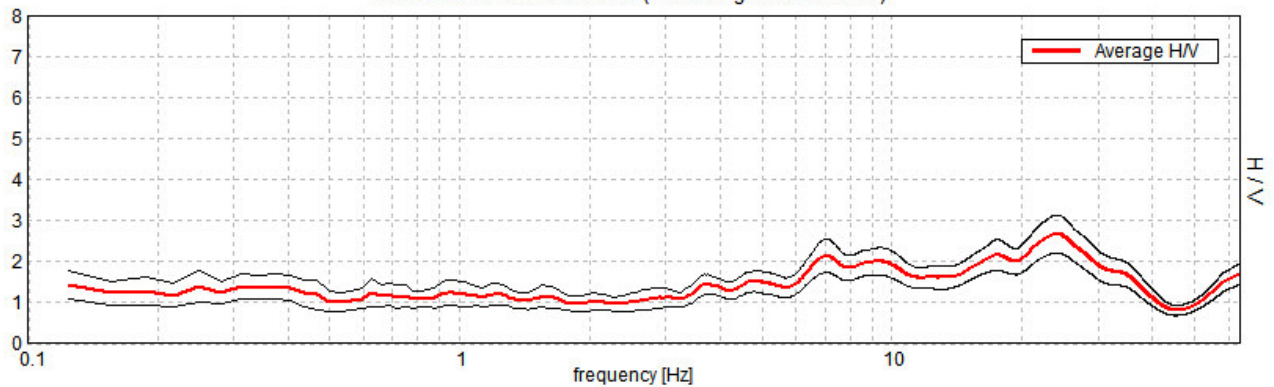
CASOLA, CA 0007

Instrument: TEN-0029/01-07
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 24/11/14 08:56:42 End recording: 24/11/14 09:10:42
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

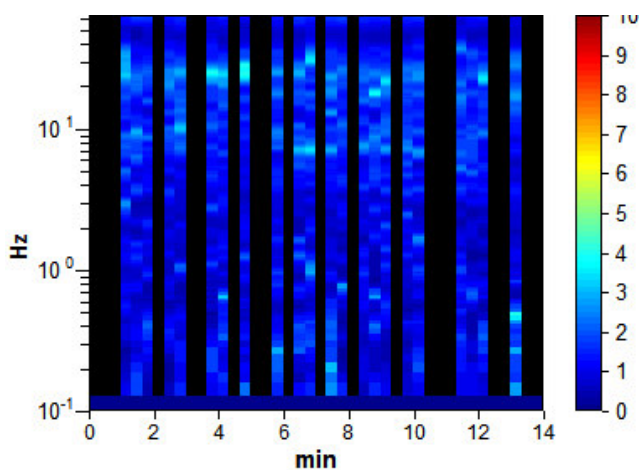
Trace length: 0h14'00". Analyzed 57% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

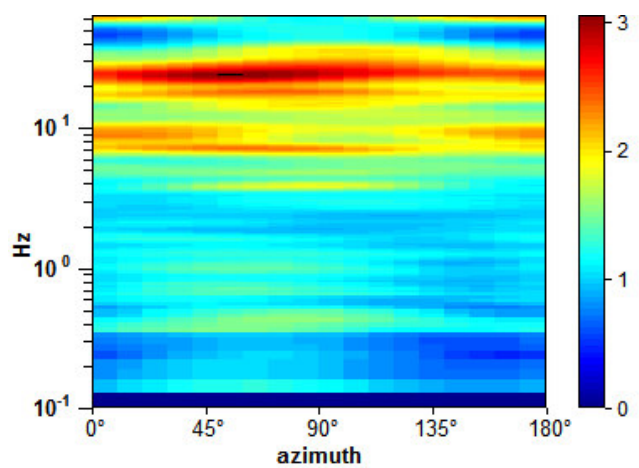
Max. H/V at 17.5 ± 10.42 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).



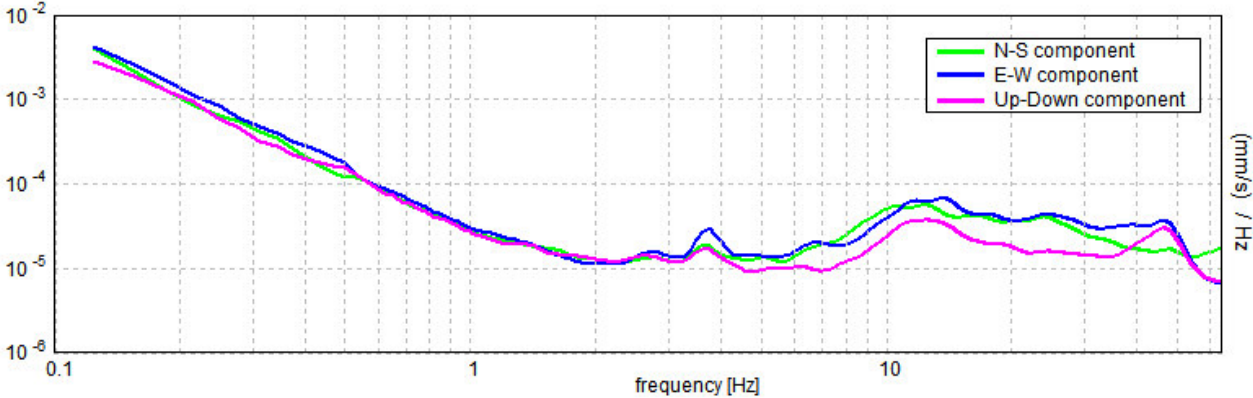
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 17.5 ± 10.42 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $17.50 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $7700.0 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 841 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|--------------------|----|----|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | | | NO |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 40.406 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | $2.16 > 2$ | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.59559 < 0.05$ | | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $10.42277 < 0.875$ | | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.3774 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

CASTEL_BOLOGNESE, CB 0001

Instrument: TEN-0029/01-07

Start recording: 04/11/14 08:01:12 End recording: 04/11/14 08:15:13

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analyzed 76% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

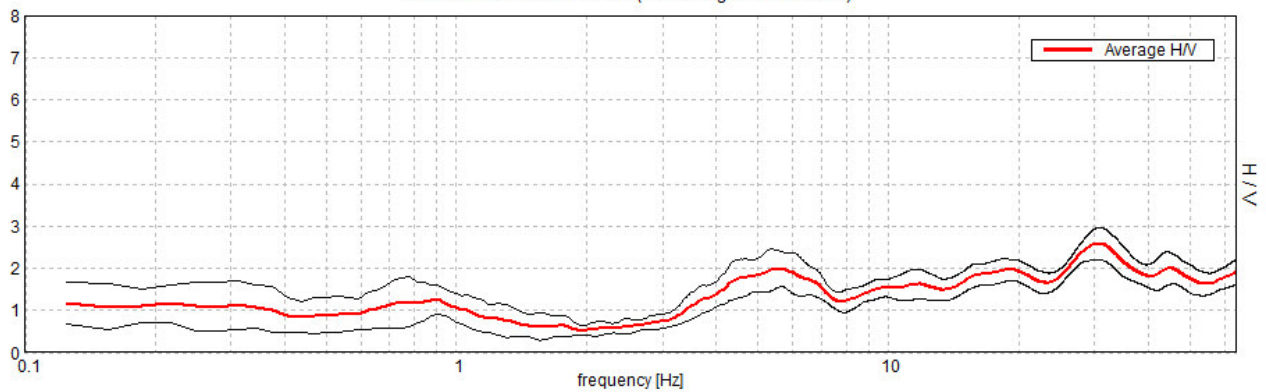
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

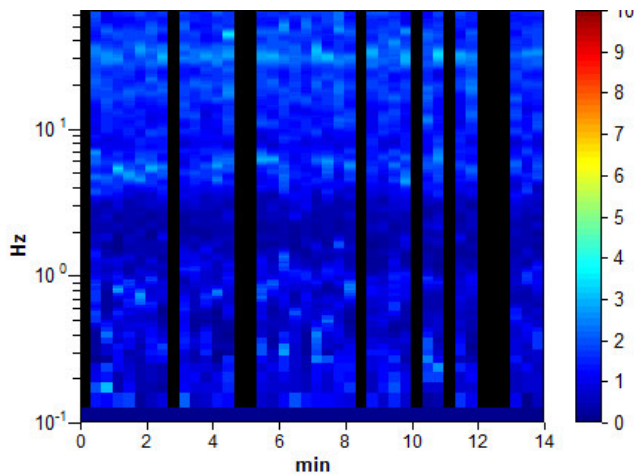
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

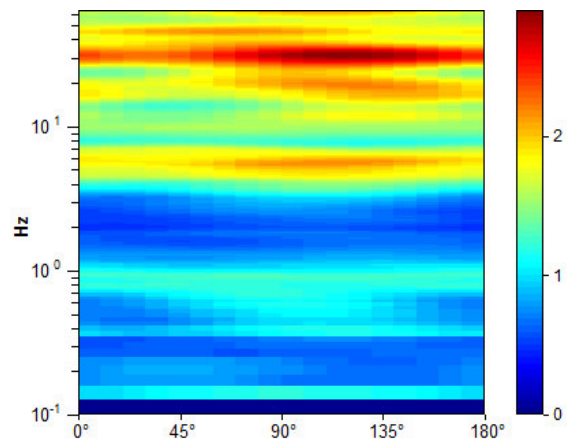
Max. H/V at 5.59 ± 0.38 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



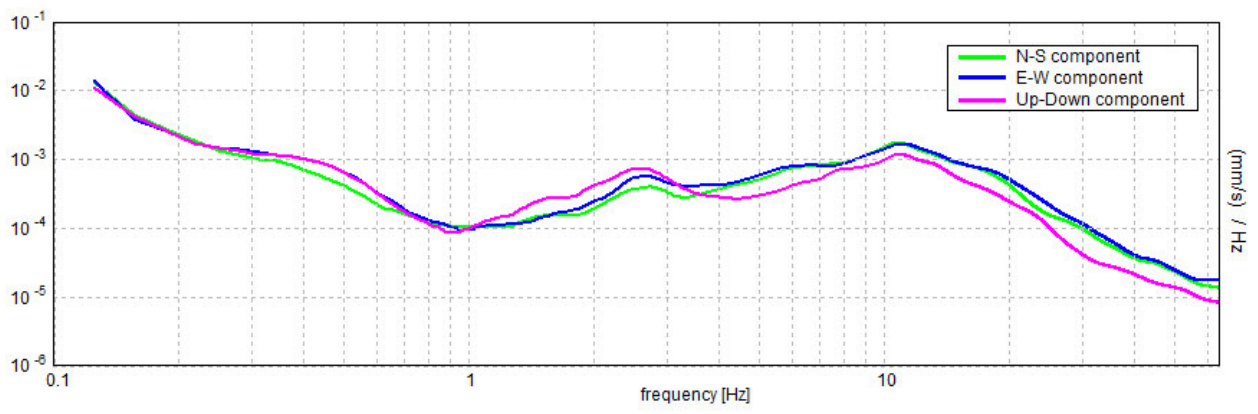
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 5.59 ± 0.38 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | 5.59 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 3580.0 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 270 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|----|----|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 3.375 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | | | NO |
| $A_0 > 2$ | 1.98 > 2 | | NO |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.03283 < 0.05$ | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.18364 < 0.27969$ | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.2068 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

CASTEL_BOLOGNESE, CB 0002

Instrument: TEN-0029/01-07

Start recording: 04/11/14 08:37:18 End recording: 04/11/14 08:51:19

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analyzed 74% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

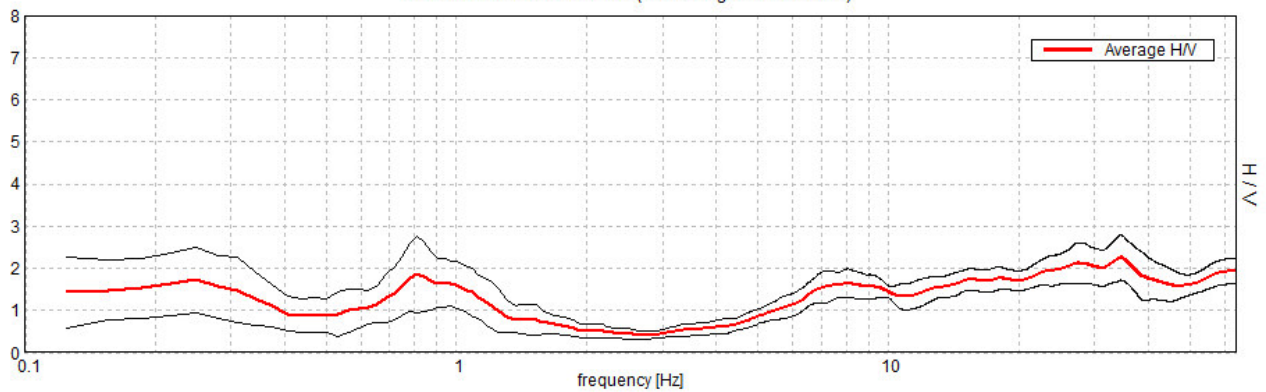
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

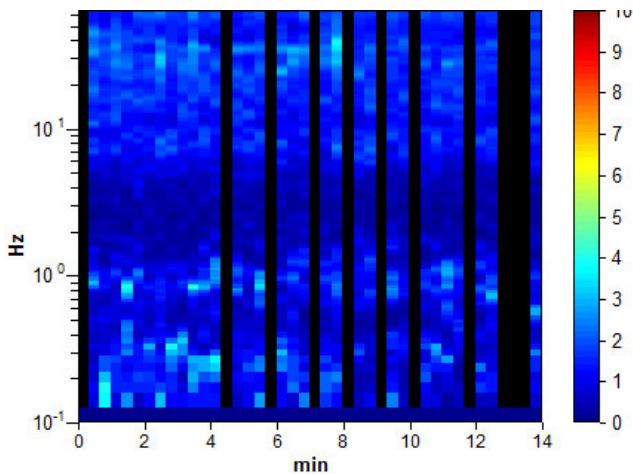
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

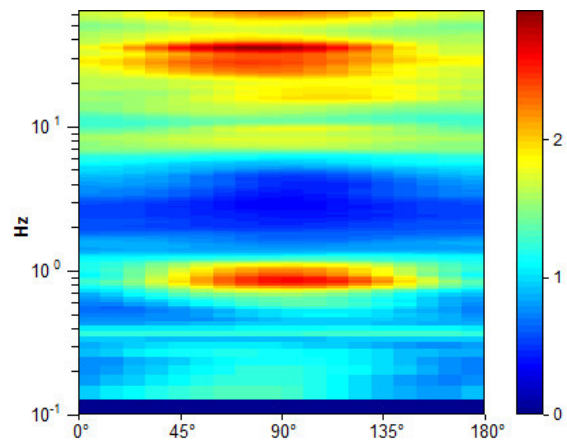
Max. H/V at 0.81 ± 0.15 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



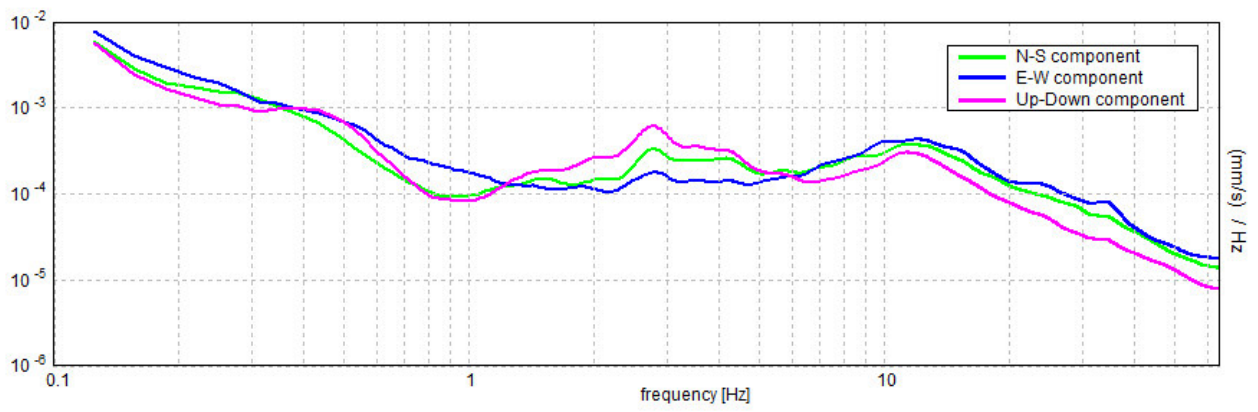
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 0.81 ± 0.15 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $0.81 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $503.8 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 40 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|----|----|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 0.531 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 1.281 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | $1.85 > 2$ | | NO |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.08827 < 0.05$ | | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.07172 < 0.12188$ | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.4412 < 2.0$ | OK | |

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

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

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

CASTEL_BOLOGNESE, CB 0003

Instrument: TEN-0029/01-07

Start recording: 04/11/14 09:09:33 End recording: 04/11/14 09:23:34

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analyzed 71% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

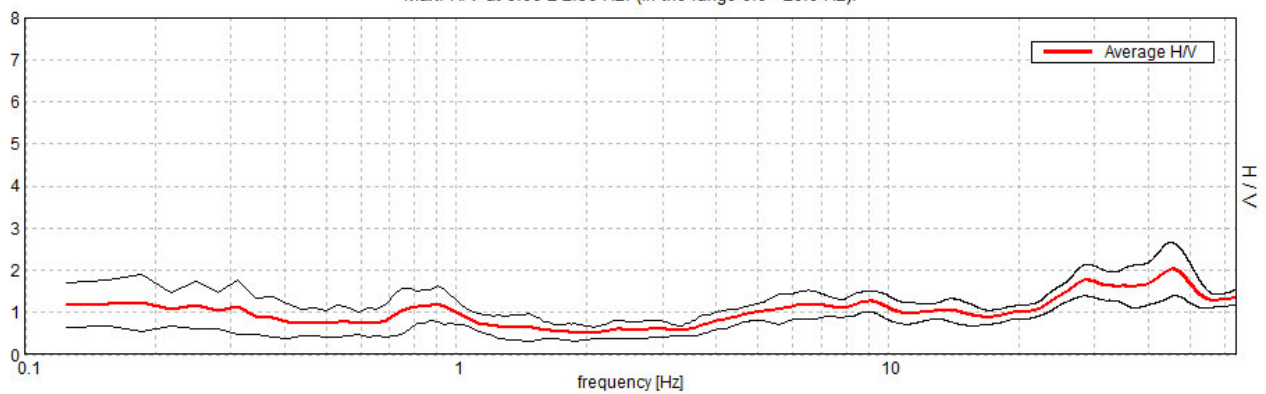
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

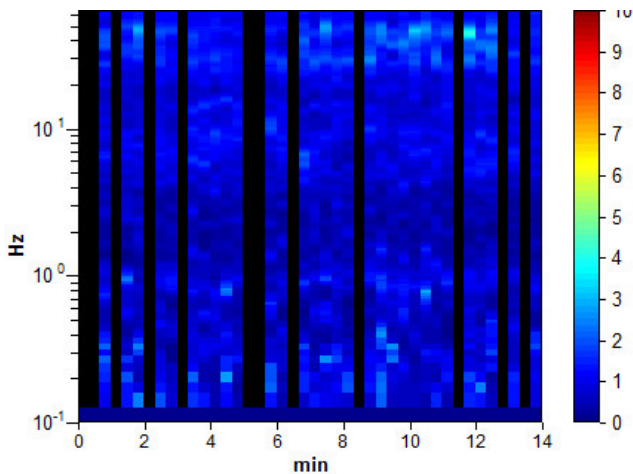
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

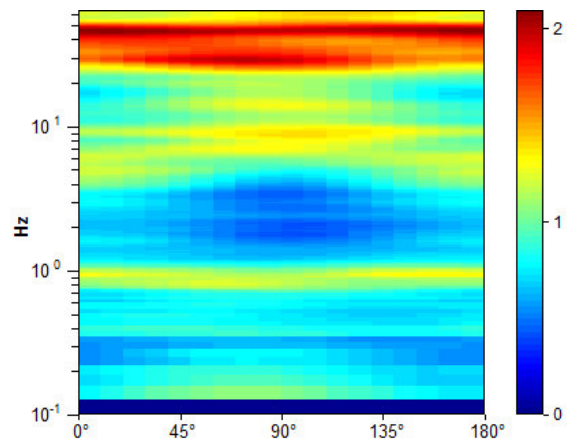
Max. H/V at 9.06 ± 2.56 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



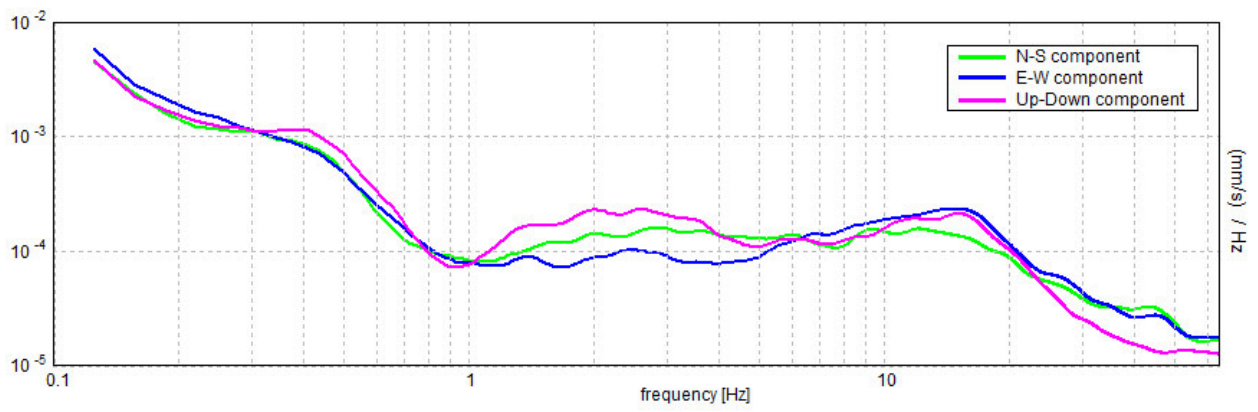
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 9.06 ± 2.56 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $9.06 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $5437.5 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 436 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|----|----|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 3.531 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | | | NO |
| $A_0 > 2$ | $1.27 > 2$ | | NO |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.13551 < 0.05$ | | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $1.22805 < 0.45313$ | | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.1212 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

CASTEL_BOLOGNESE, CB 0004

Instrument: TEN-0029/01-07

Start recording: 04/11/14 09:51:37 End recording: 04/11/14 10:05:37

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analyzed 62% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

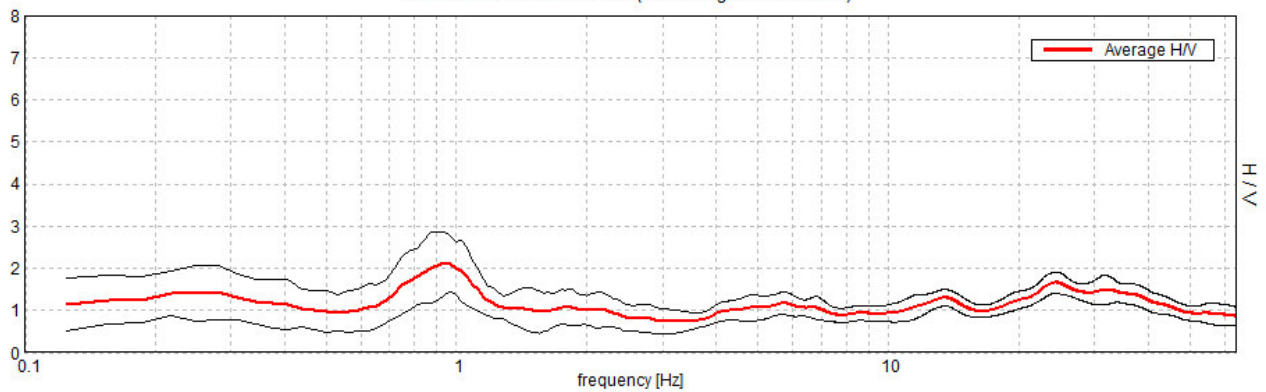
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

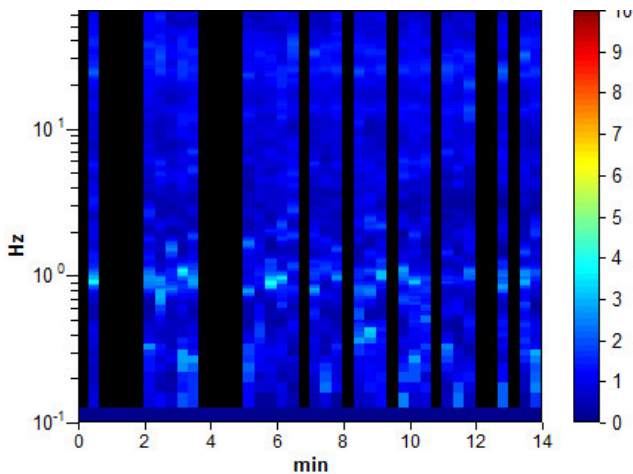
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

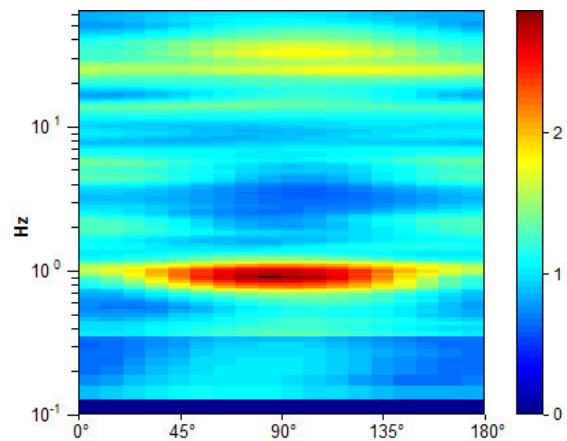
Max. H/V at 0.94 ± 0.01 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



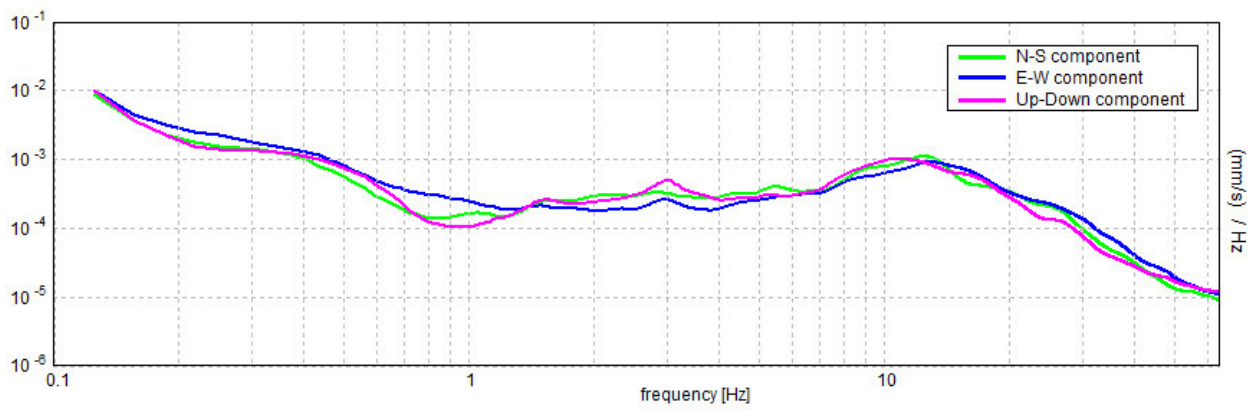
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 0.94 ± 0.01 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $0.94 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $487.5 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 46 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|--------------------|----|--|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 0.594 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 1.313 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | $2.12 > 2$ | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.00544 < 0.05$ | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.0051 < 0.14063$ | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.3523 < 2.0$ | OK | |

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

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

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

CASTEL_BOLOGNESE, CB 0005

Instrument: TRS-0025/01-07

Start recording: 04/11/14 08:14:09 End recording: 04/11/14 08:28:10

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analyzed 64% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

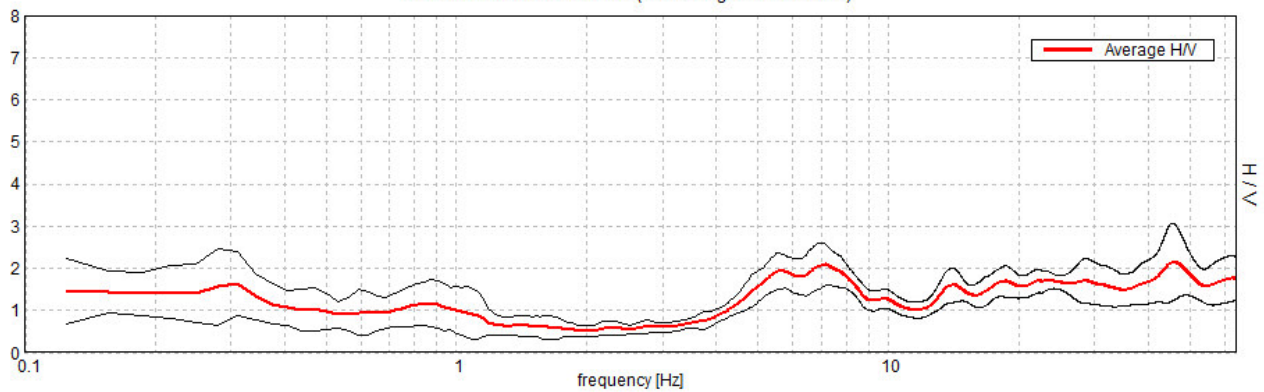
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

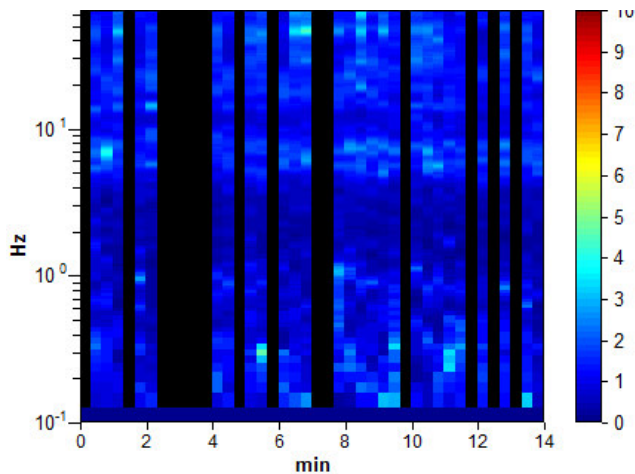
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

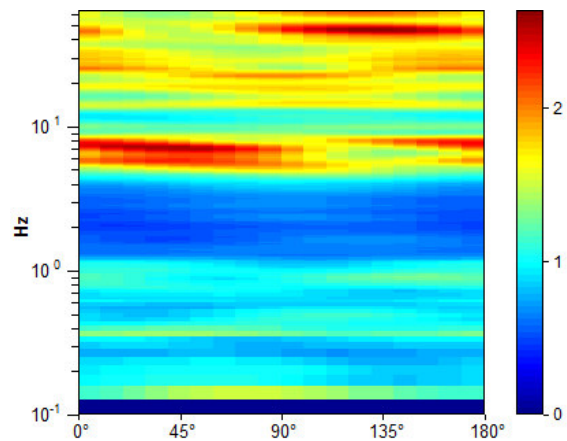
Max. H/V at 7.16 ± 0.54 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



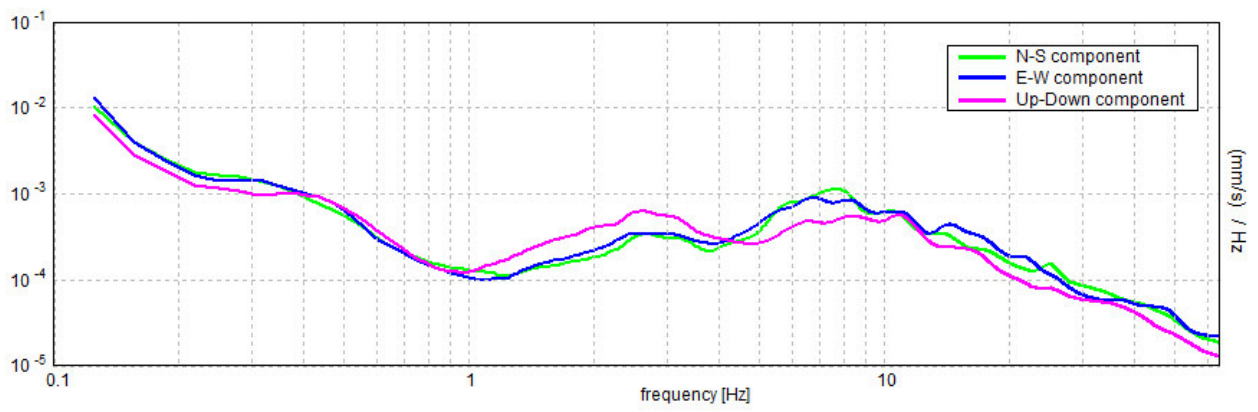
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 7.16 ± 0.54 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | 7.16 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 3864.4 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 344 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|----|--|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 4.281 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 11.031 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 2.09 > 2 | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.03588 < 0.05$ | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.25677 < 0.35781$ | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.2343 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

CASTEL_BOLOGNESE, CB 0006

Instrument: TRS-0025/01-07

Start recording: 04/11/14 08:47:44 End recording: 04/11/14 09:01:45

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analyzed 81% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

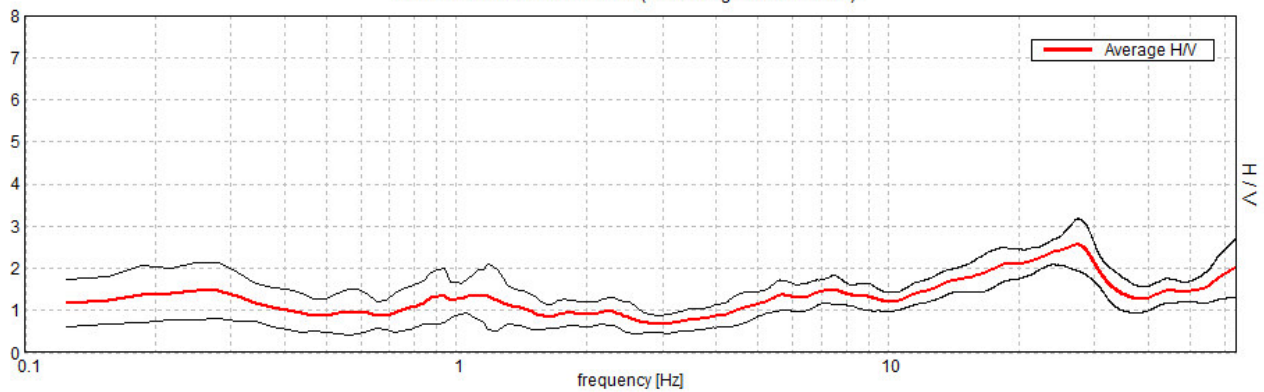
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

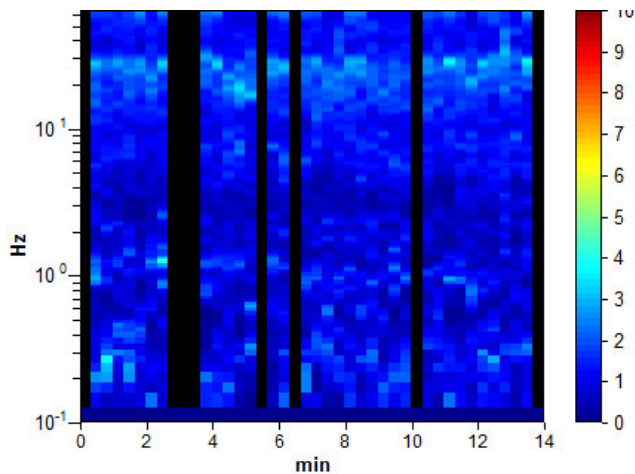
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

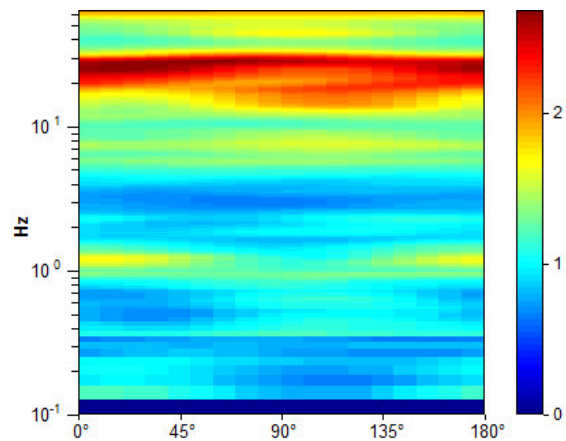
Max. H/V at 19.59 ± 3.07 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



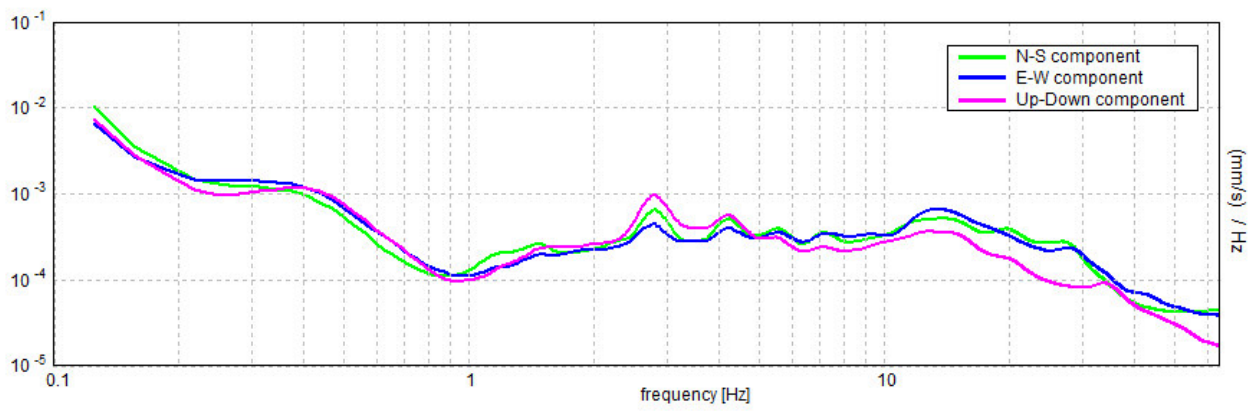
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 19.59 ± 3.07 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | 19.59 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 13323.8 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 942 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|--------------------|----|----|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | | | NO |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | | | NO |
| $A_0 > 2$ | 2.10 > 2 | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.07589 < 0.05$ | | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | 1.48695 < 0.97969 | | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | 0.1755 < 1.58 | OK | |

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

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

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

CASTEL_BOLOGNESE, CB 0007

Instrument: TRS-0025/01-07

Start recording: 04/11/14 09:20:15 End recording: 04/11/14 09:34:16

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analyzed 81% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

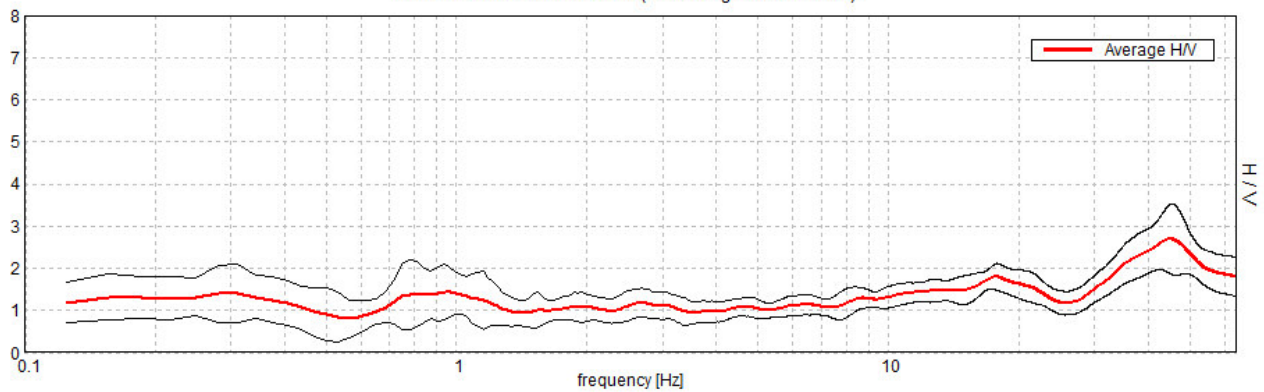
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

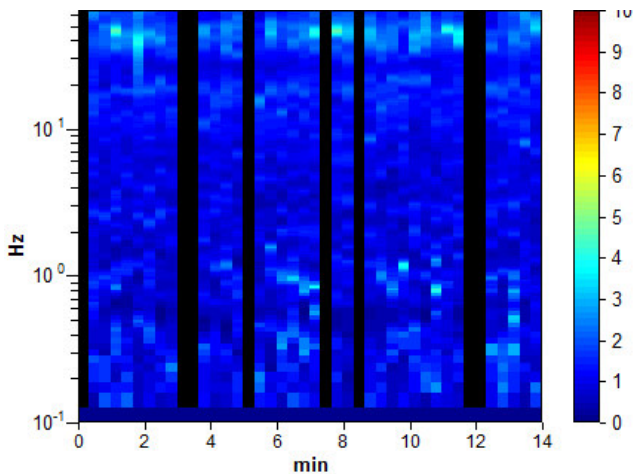
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

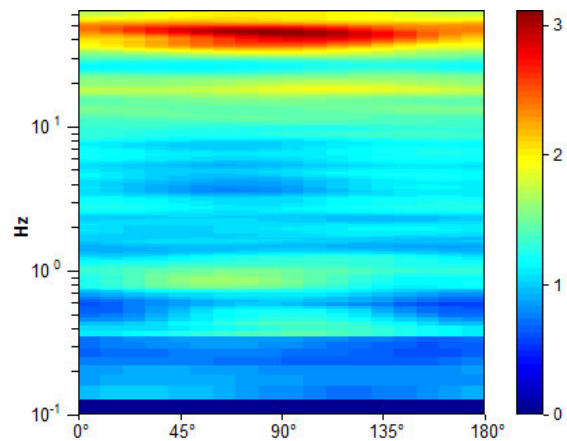
Max. H/V at 17.75 ± 1.82 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



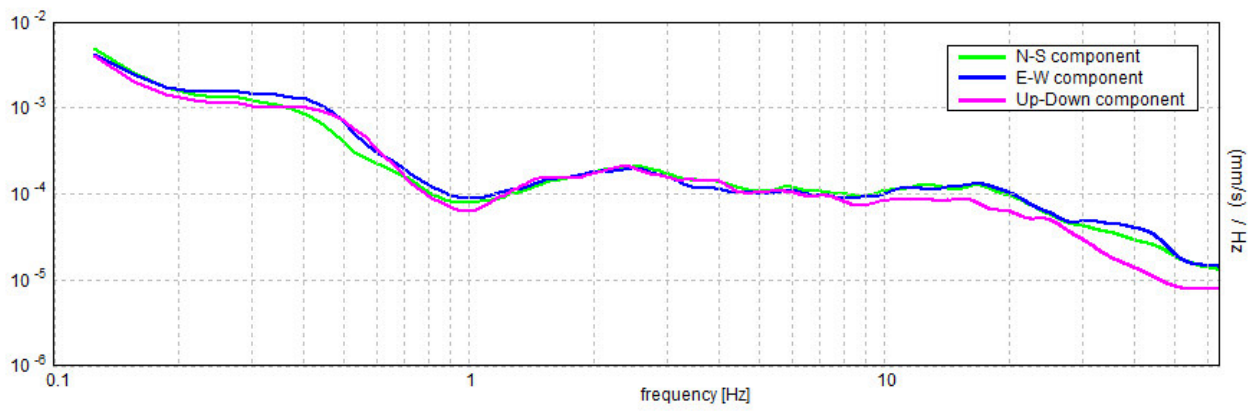
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 17.75 ± 1.82 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $17.75 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $12070.0 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 853 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|--------------------|----|----|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | | | NO |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | | | NO |
| $A_0 > 2$ | $1.80 > 2$ | | NO |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.0497 < 0.05$ | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.88217 < 0.8875$ | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.1524 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

CASTEL_BOLOGNESE, CB 0008

Instrument: TRS-0025/01-07

Start recording: 04/11/14 09:52:08 End recording: 04/11/14 10:06:09

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h14'00". Analyzed 90% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

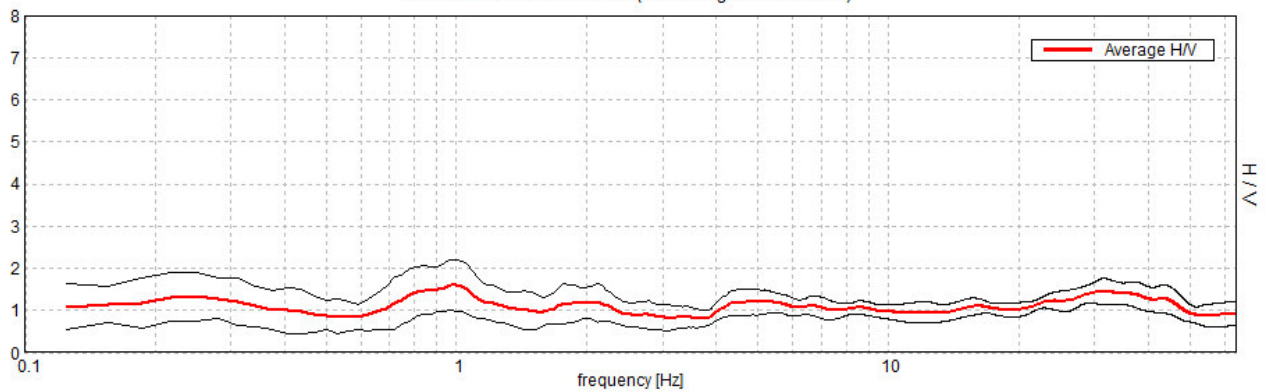
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

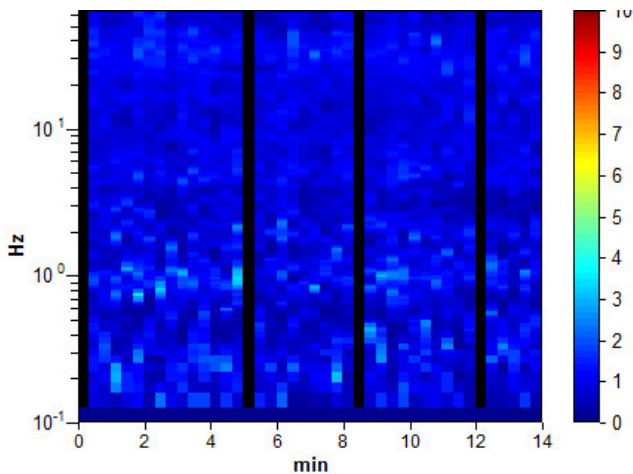
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

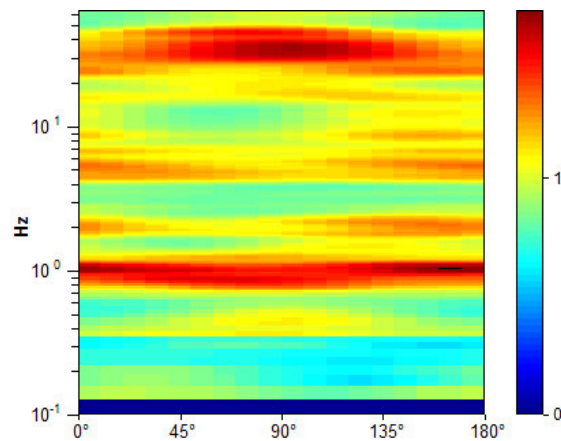
Max. H/V at 0.97 ± 0.08 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



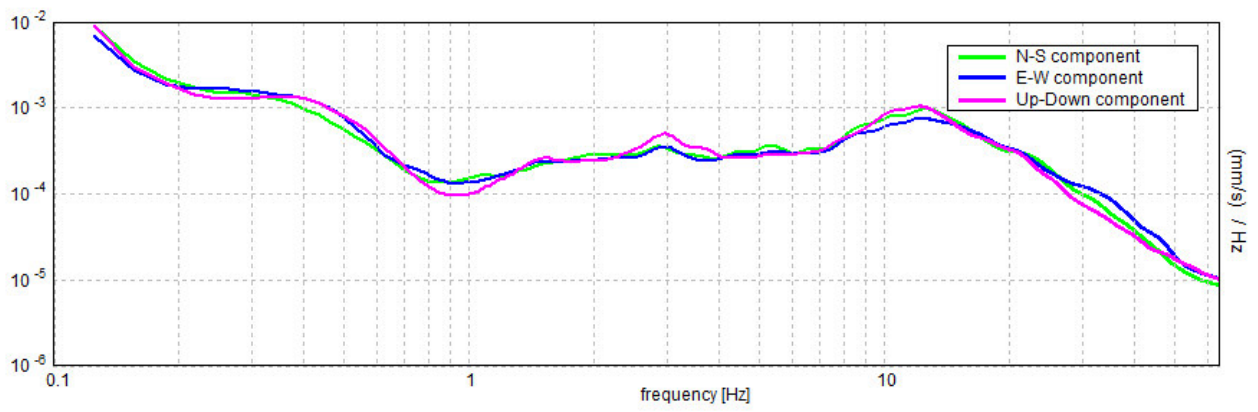
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 0.97 ± 0.08 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $0.97 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $736.3 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 48 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|----|----|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | | | NO |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | | | NO |
| $A_0 > 2$ | $1.60 > 2$ | | NO |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.0395 < 0.05$ | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.03826 < 0.14531$ | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.2892 < 2.0$ | OK | |

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

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

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

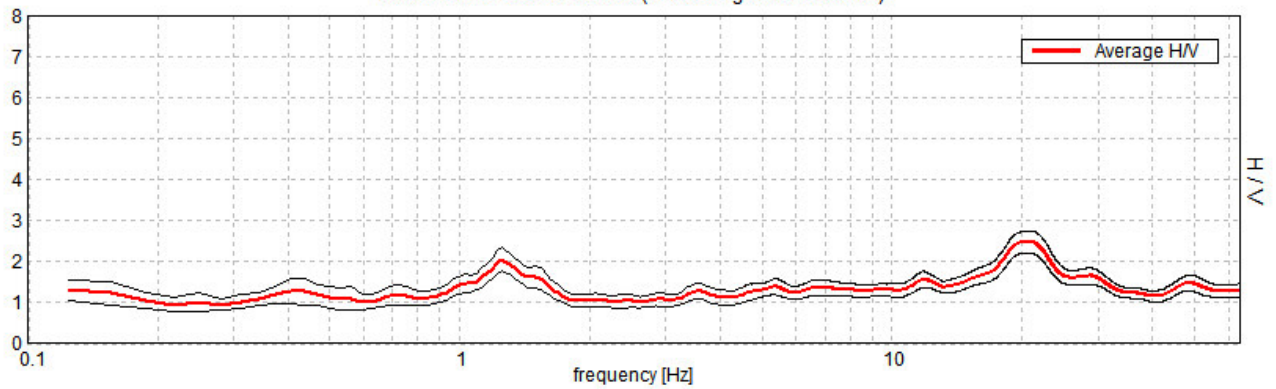
RIOLO_TERME, RT 0001

Instrument: TRS-0025/01-07
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 24/11/14 09:32:27 End recording: 24/11/14 09:46:27
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

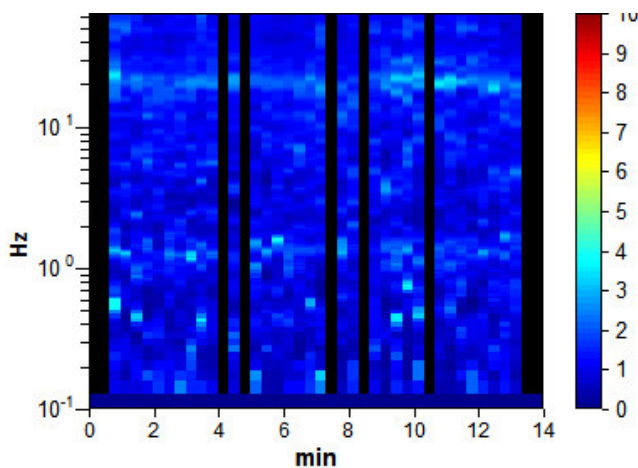
Trace length: 0h14'00". Analyzed 83% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

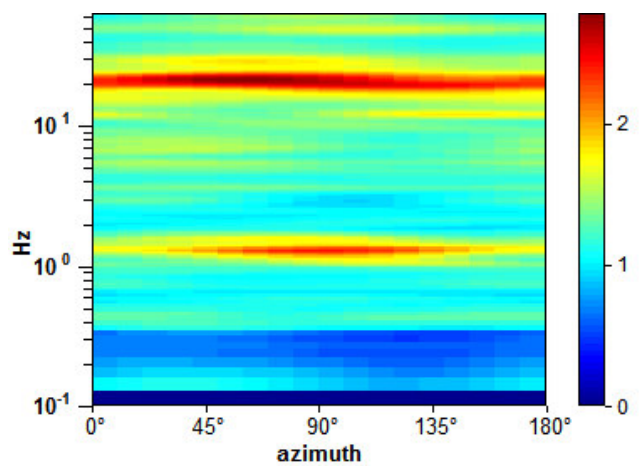
Max. H/V at 19.97 ± 6.8 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



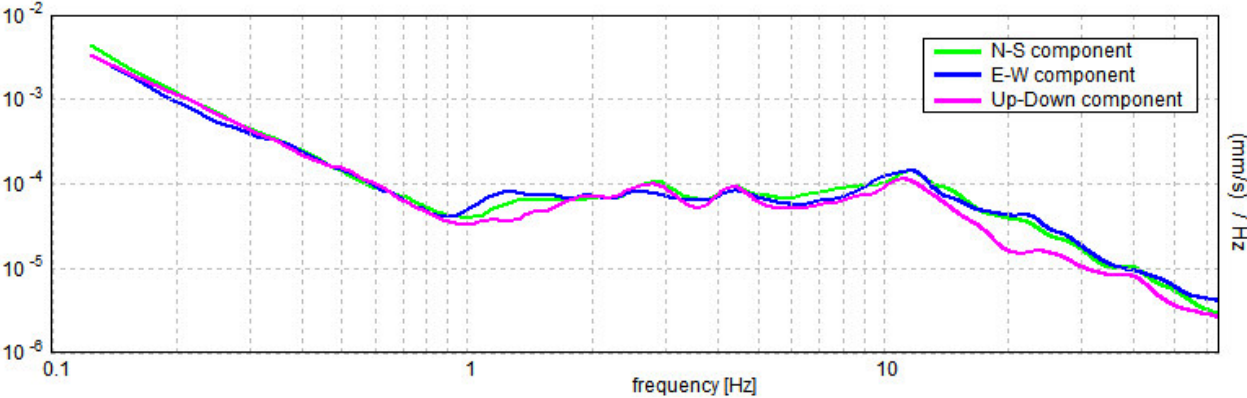
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 19.97 ± 6.8 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | 19.97 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 13179.4 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 960 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|----|----|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 5.938 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 35.156 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 2.48 > 2 | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.34039 < 0.05$ | | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $6.79707 < 0.99844$ | | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.2637 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

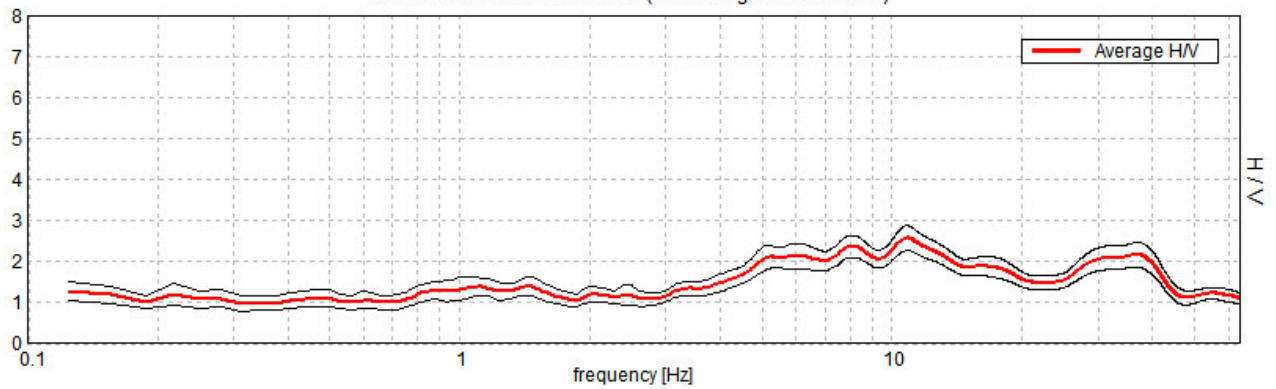
RIOLO_TERME, RT 0002

Instrument: TRS-0025/01-07
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 24/11/14 10:01:05 End recording: 24/11/14 10:15:06
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

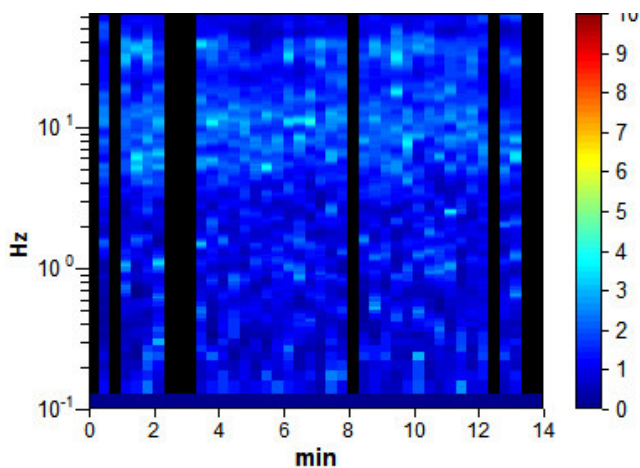
Trace length: 0h14'00". Analyzed 83% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

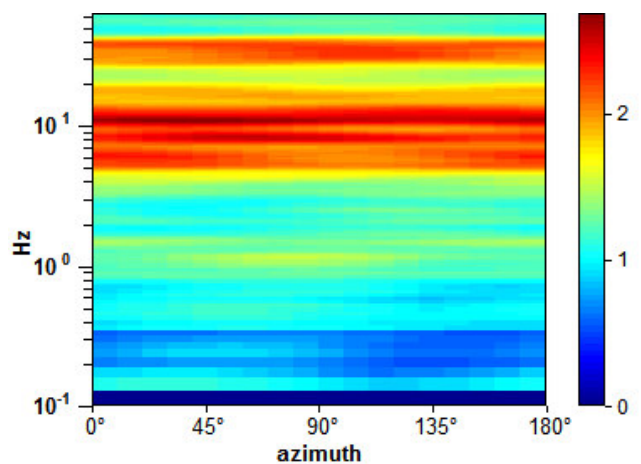
Max. H/V at 10.81 ± 3.32 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



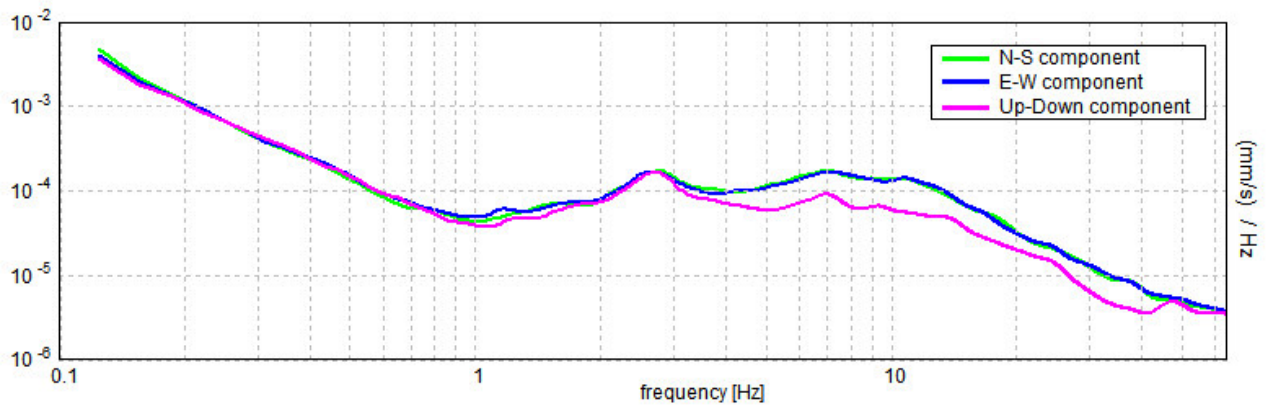
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 10.81 ± 3.32 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | 10.81 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 7136.3 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 520 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|--------------------|----|----|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 3.156 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | | | NO |
| $A_0 > 2$ | 2.58 > 2 | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.30721 < 0.05$ | | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | 3.3217 < 0.54063 | | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | 0.3089 < 1.58 | OK | |

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

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

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

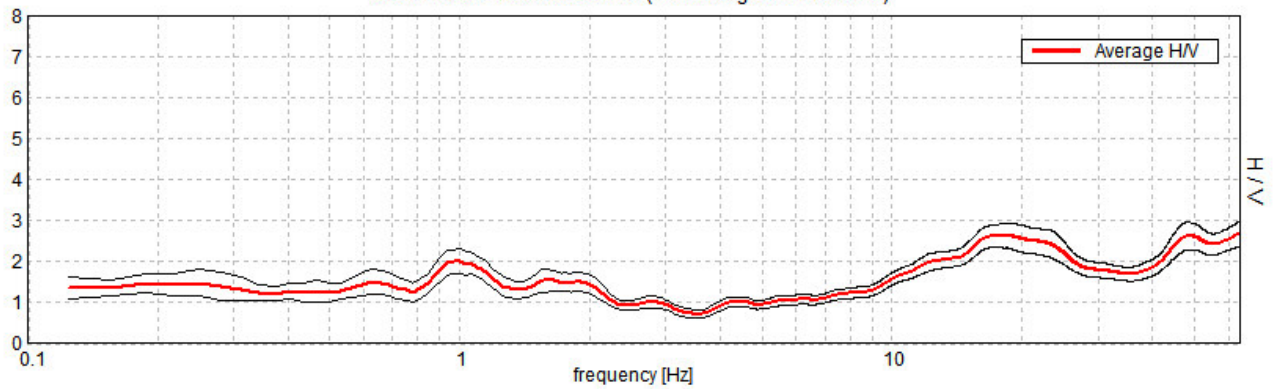
RIOLO_TERME, RT 0003

Instrument: TRS-0025/01-07
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 24/11/14 10:28:53 End recording: 24/11/14 10:42:54
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

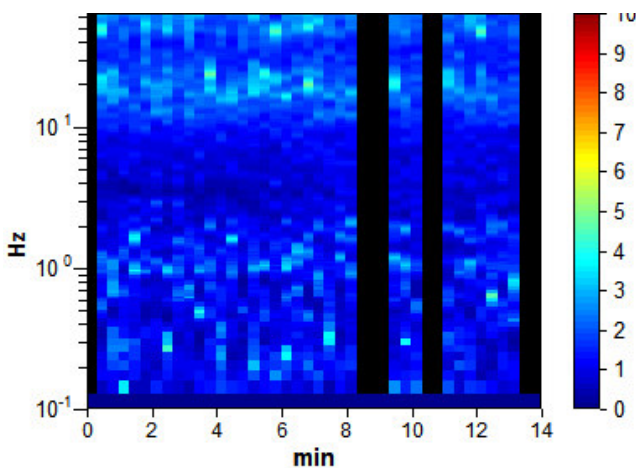
Trace length: 0h14'00". Analyzed 86% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

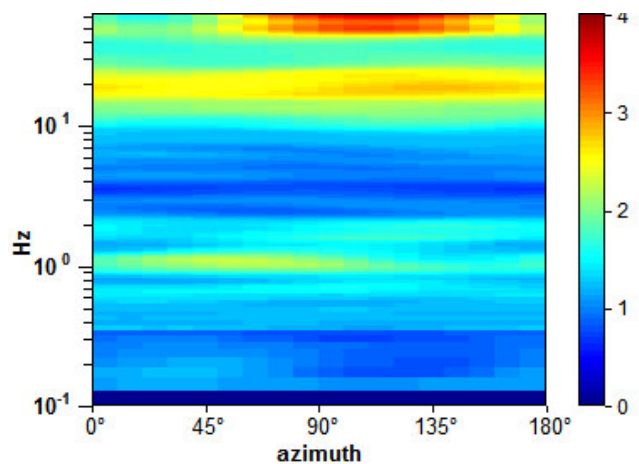
Max. H/V at 18.44 ± 4.56 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



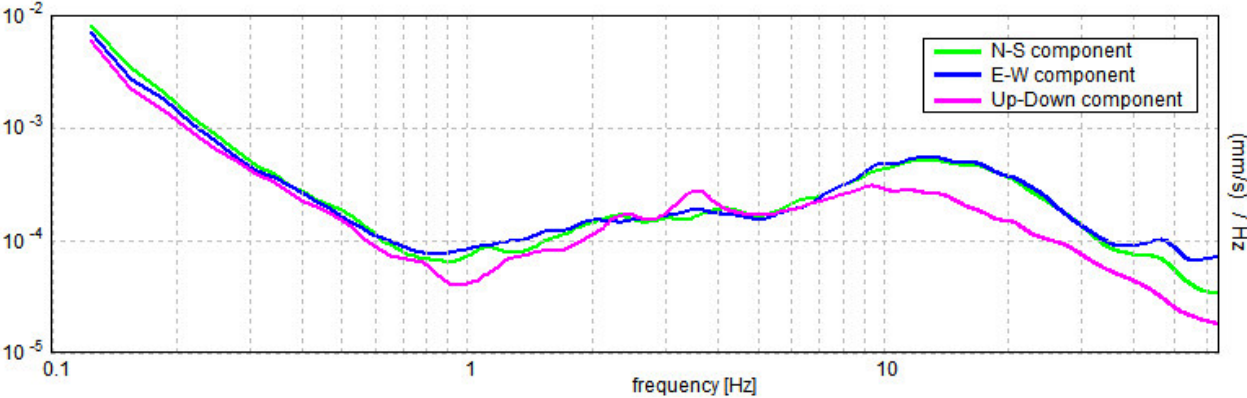
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 18.44 ± 4.56 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $18.44 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $12537.5 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 886 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|----|----|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 9.063 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | | | NO |
| $A_0 > 2$ | $2.64 > 2$ | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.24712 < 0.05$ | | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $4.55623 < 0.92188$ | | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.3028 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

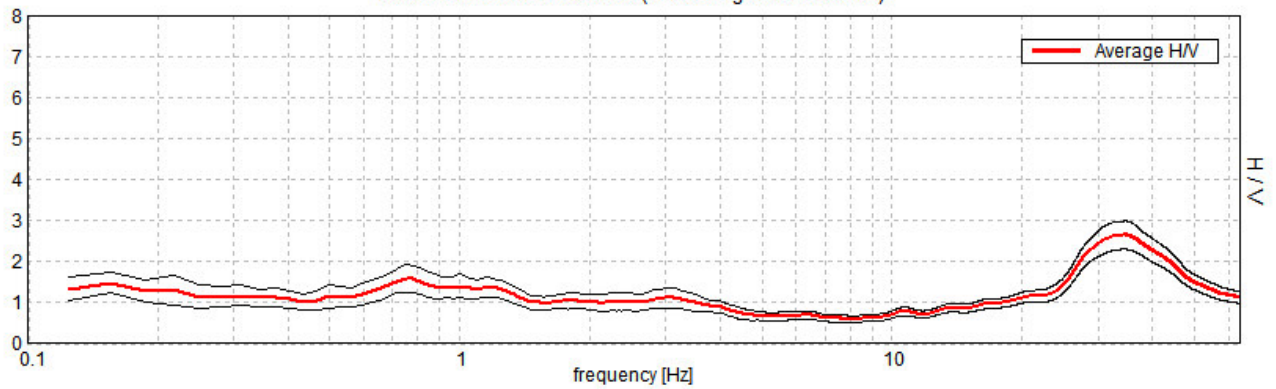
RIOLO_TERME, RT 0005

Instrument: TRS-0025/01-07
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 24/11/14 12:09:54 End recording: 24/11/14 12:23:55
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

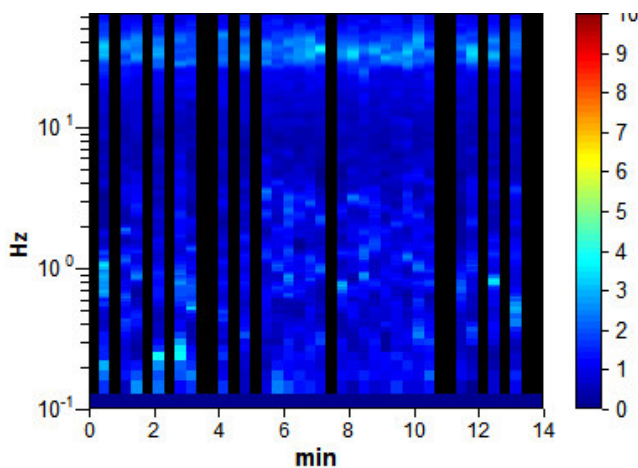
Trace length: 0h14'00". Analyzed 69% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

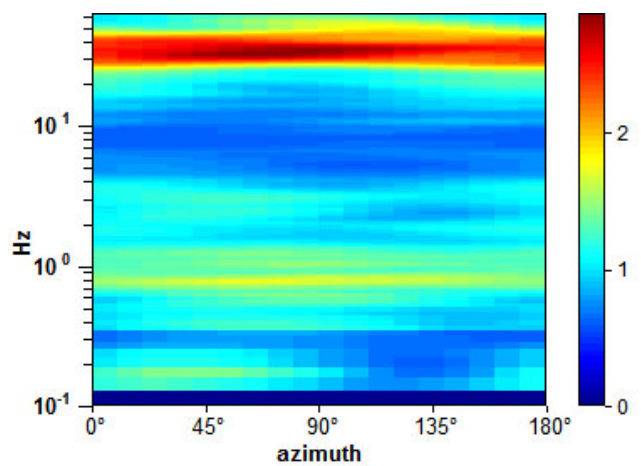
Max. H/V at 0.75 ± 0.55 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



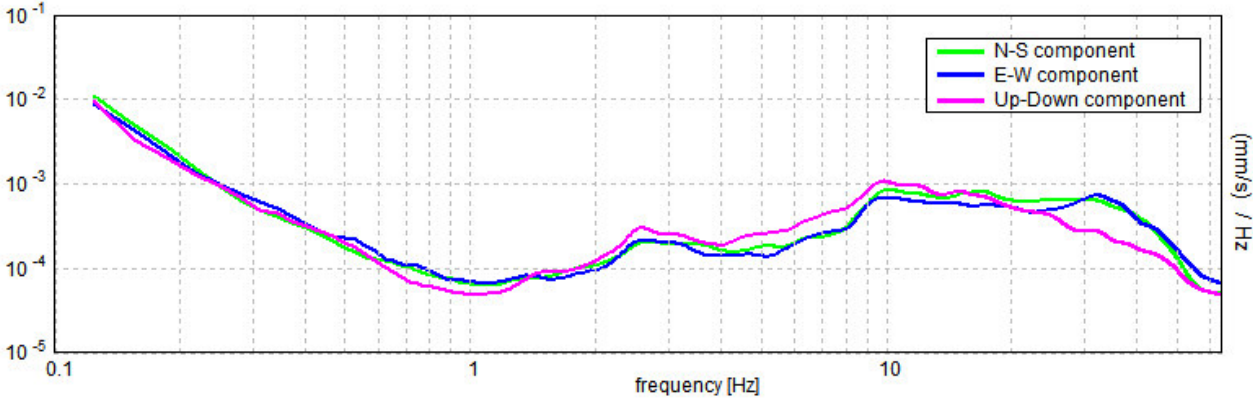
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 0.75 ± 0.55 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $0.75 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $405.0 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 37 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|--------------------|----|----|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | | | NO |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | | | NO |
| $A_0 > 2$ | $1.59 > 2$ | | NO |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.72887 < 0.05$ | | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.54665 < 0.1125$ | | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.329 < 2.0$ | OK | |

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

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

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

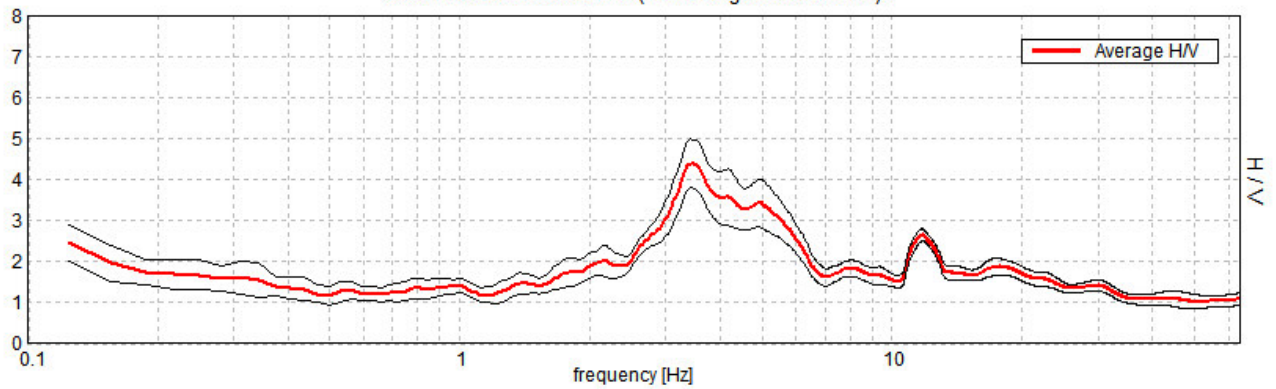
RIOLO_TERME, RT 0006

Instrument: TEN-0029/01-07
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 24/11/14 09:23:51 End recording: 24/11/14 09:37:52
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

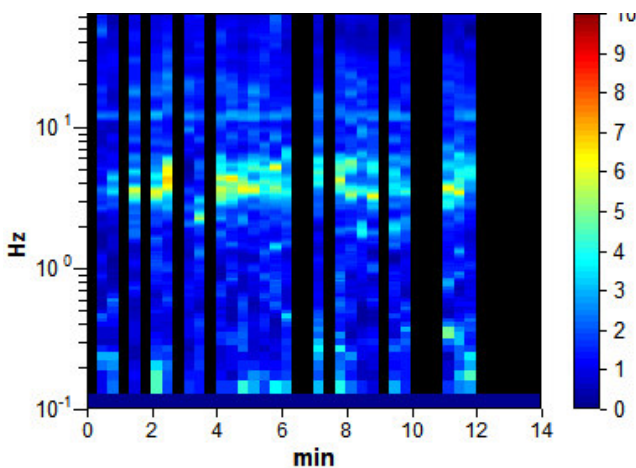
Trace length: 0h14'00". Analyzed 57% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

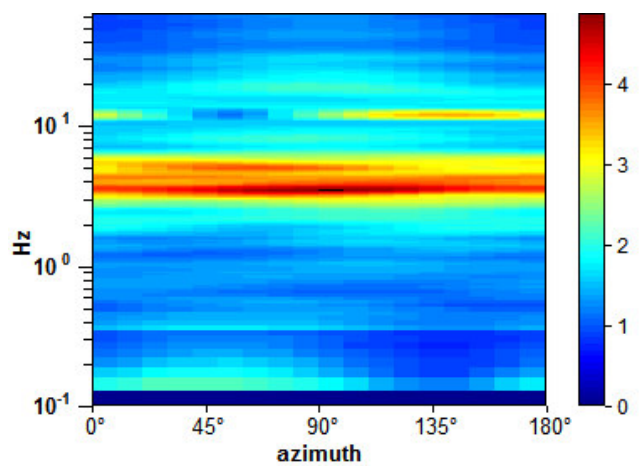
Max. H/V at 3.44 ± 0.93 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).



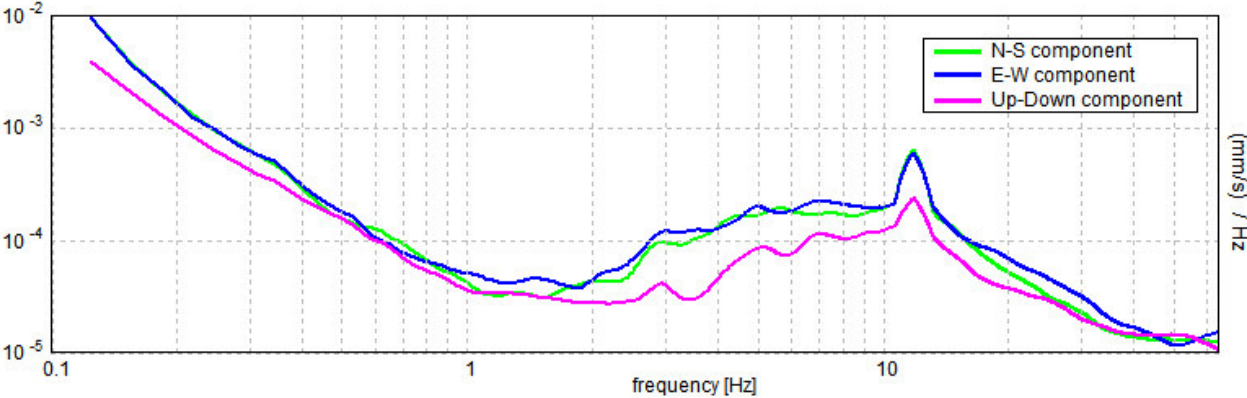
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 3.44 ± 0.93 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $3.44 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $1650.0 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 166 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|----|----|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 2.531 Hz | OK | |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 6.344 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | $4.40 > 2$ | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.27114 < 0.05$ | | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.93204 < 0.17188$ | | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.5781 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

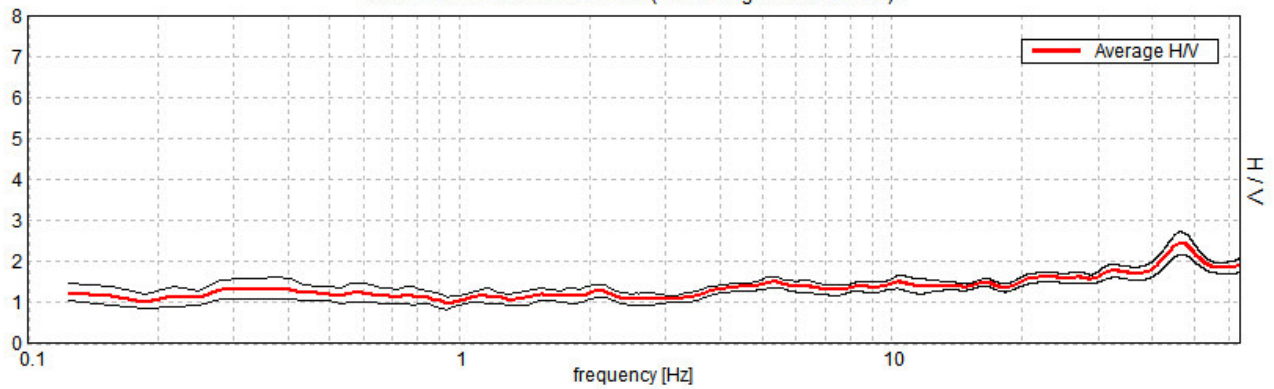
RIOLO_TERME, RT 0007

Instrument: TEN-0029/01-07
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 24/11/14 09:53:18 End recording: 24/11/14 10:07:19
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

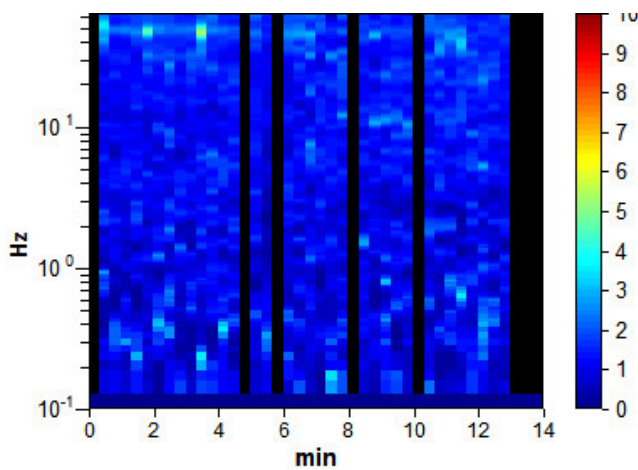
Trace length: 0h14'00". Analyzed 81% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

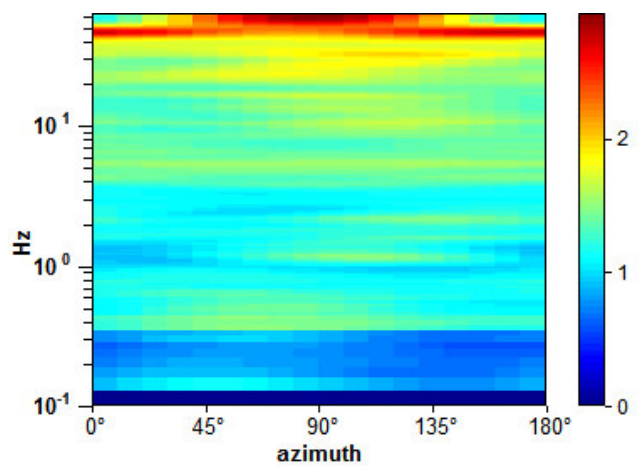
Max. H/V at 19.97 ± 14.87 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



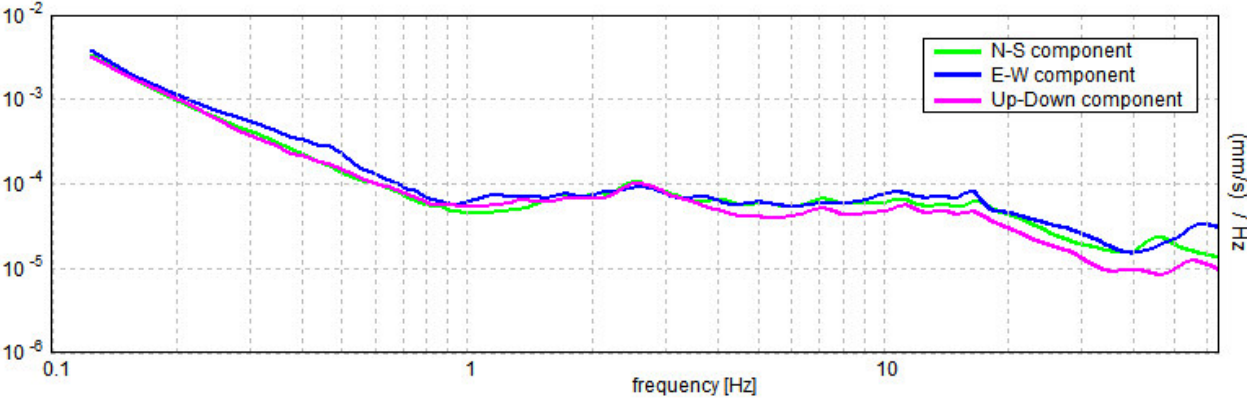
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 19.97 ± 14.87 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

| Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled] | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------|-----------|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $19.97 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $13578.8 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 960 times | OK | |
| Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled] | | | |
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | | | NO |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | | | NO |
| $A_0 > 2$ | $1.52 > 2$ | | NO |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.74485 < 0.05$ | | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $14.87378 < 0.99844$ | | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.1133 < 1.58$ | OK | |

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

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

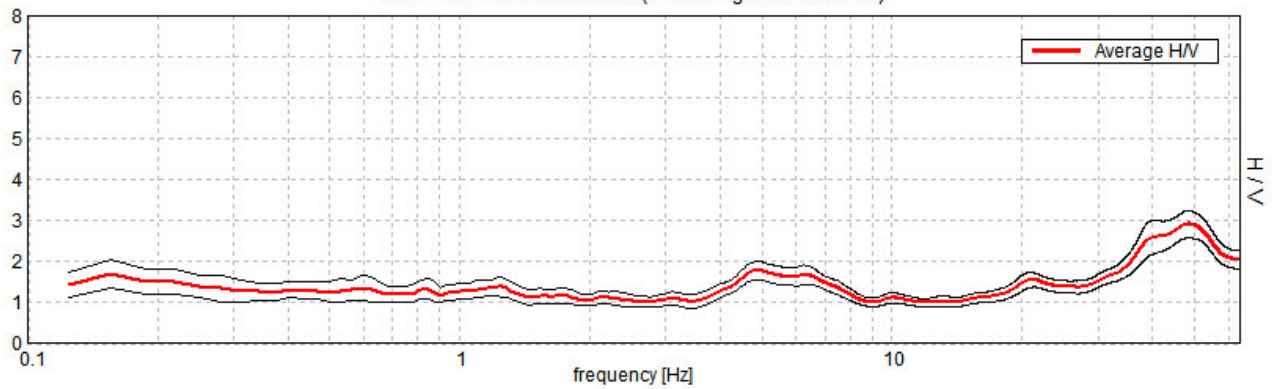
RIOLO_TERME, RT 0008

Instrument: TEN-0029/01-07
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 24/11/14 10:19:20 End recording: 24/11/14 10:33:21
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

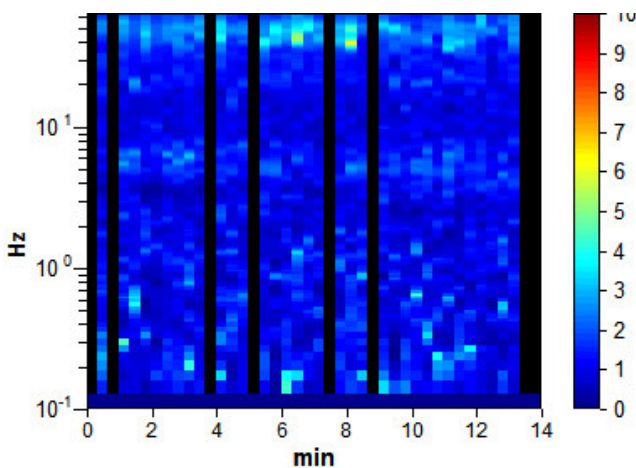
Trace length: 0h14'00". Analyzed 86% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

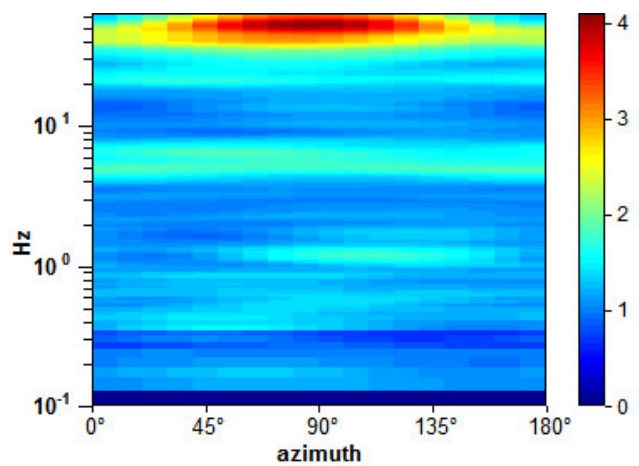
Max. H/V at 4.88 ± 2.94 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



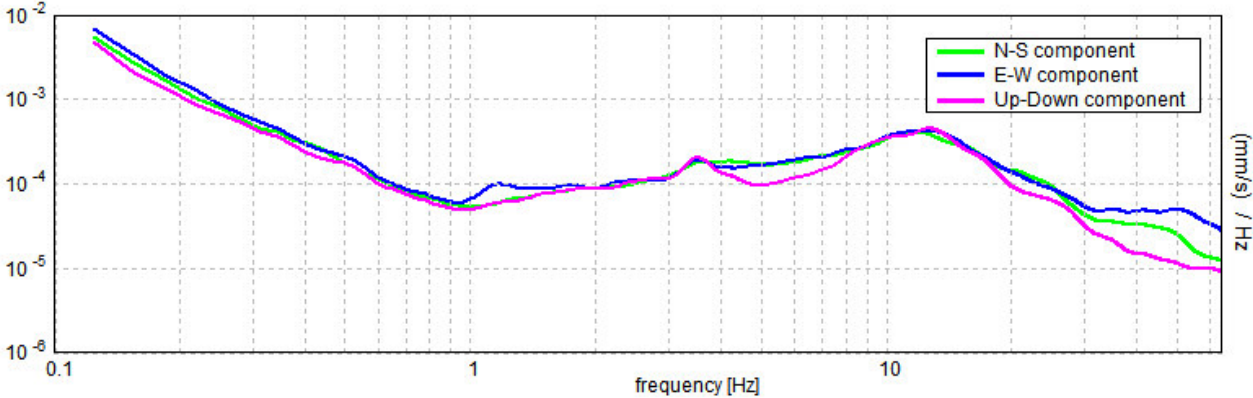
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 4.88 ± 2.94 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $4.88 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $3315.0 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 235 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|----|----|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | | | NO |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | | | NO |
| $A_0 > 2$ | $1.79 > 2$ | | NO |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.60274 < 0.05$ | | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $2.93834 < 0.24375$ | | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.219 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

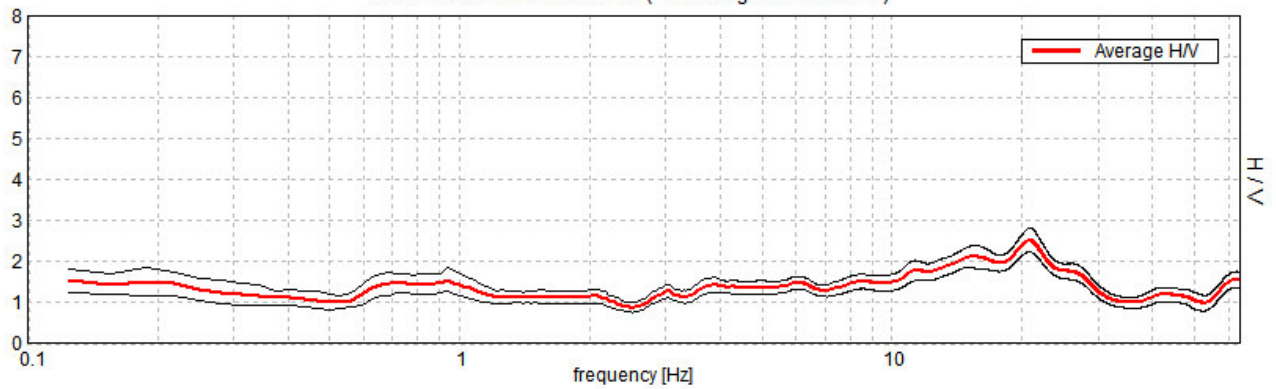
RIOLO_TERME, RT 0009

Instrument: TEN-0029/01-07
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 24/11/14 11:03:26 End recording: 24/11/14 11:17:27
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

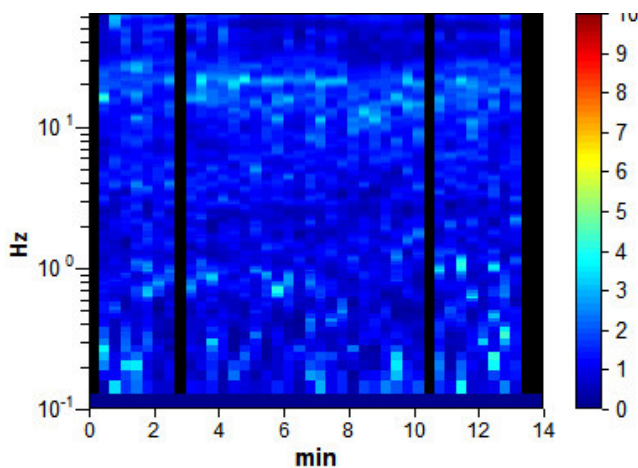
Trace length: 0h14'00". Analyzed 93% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

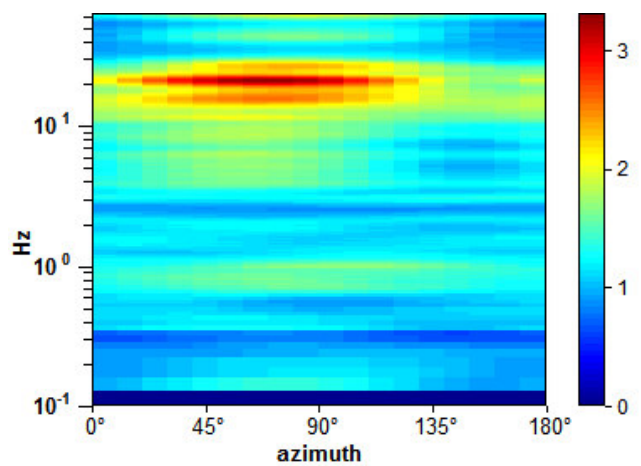
Max. H/V at 19.97 ± 6.05 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



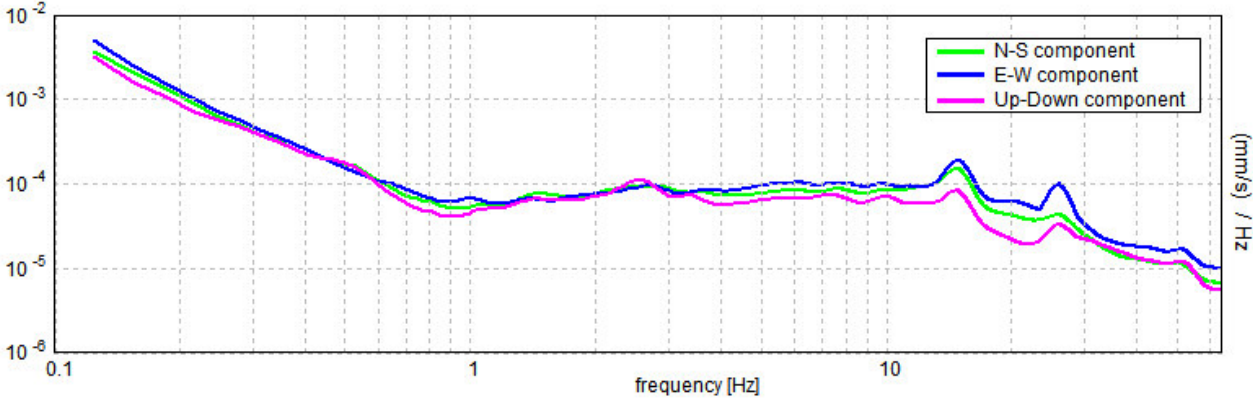
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 19.97 ± 6.05 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | 19.97 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 14776.9 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 960 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|--------------------|----|----|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | | | NO |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 30.625 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 2.40 > 2 | OK | |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.30272 < 0.05$ | | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | 6.045 < 0.99844 | | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | 0.2584 < 1.58 | OK | |

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

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

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

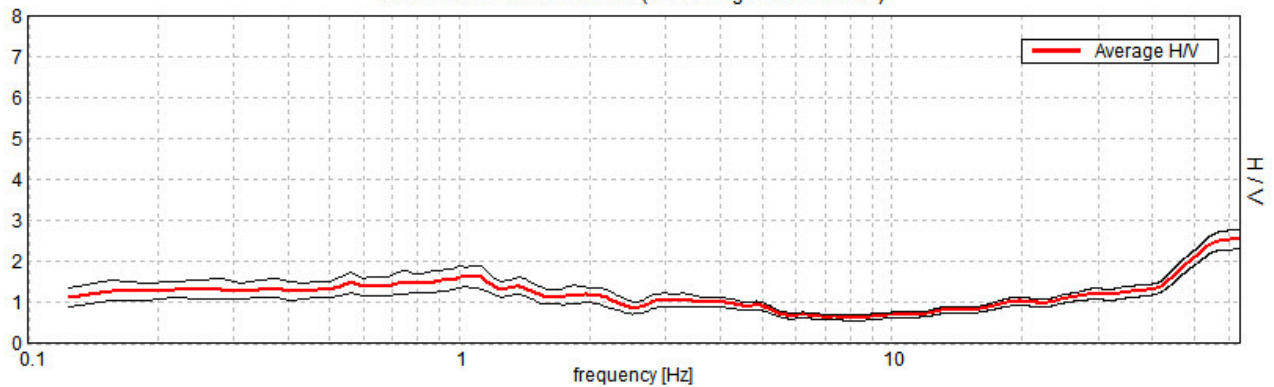
RIOLO_TERME, RT 0010

Instrument: TEN-0029/01-07
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 24/11/14 12:03:46 End recording: 24/11/14 12:17:47
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

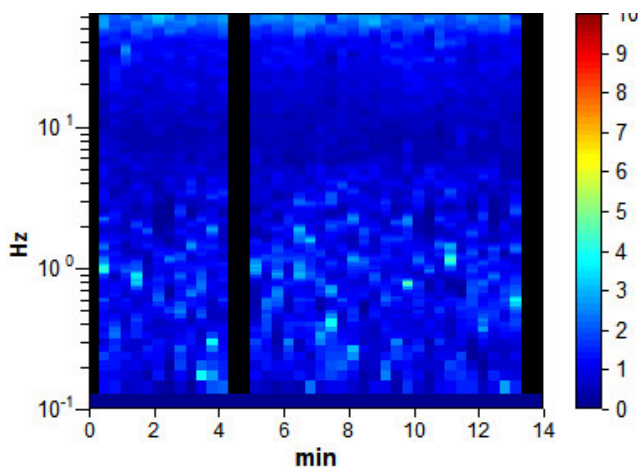
Trace length: 0h14'00". Analyzed 93% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

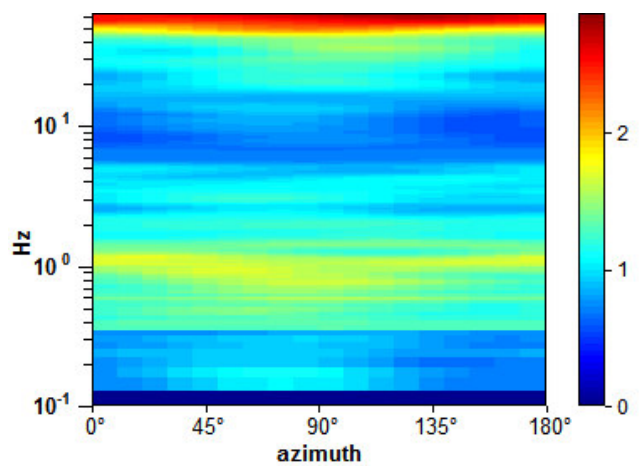
Max. H/V at 1.09 ± 0.29 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



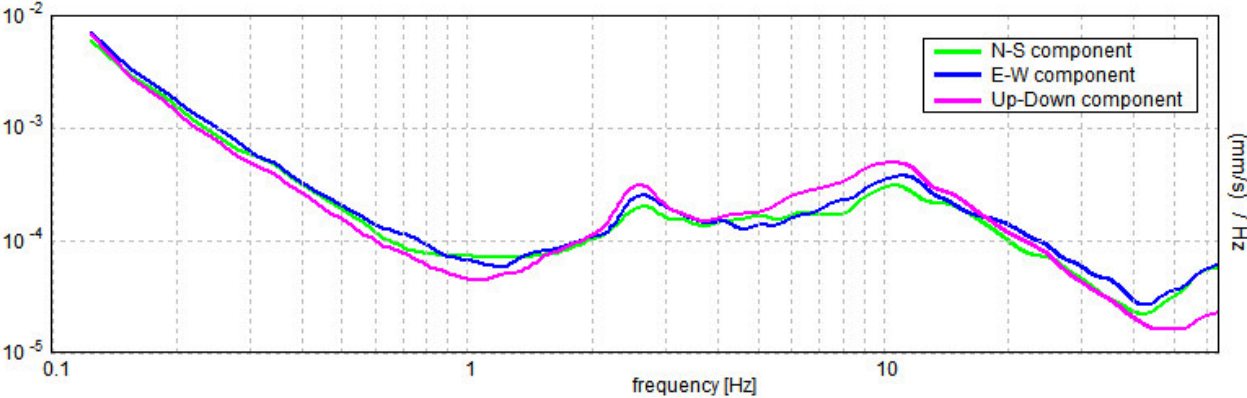
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 1.09 ± 0.29 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

| | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $1.09 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $809.4 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Exceeded 0 out of 54 times | OK | |

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

| | | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|----|----|
| Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | | | NO |
| Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | | | NO |
| $A_0 > 2$ | $1.63 > 2$ | | NO |
| $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.26072 < 0.05$ | | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.28516 < 0.10938$ | | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.2786 < 1.78$ | OK | |

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

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

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