

Piano strutturale comunale associato **bassa romagna**

marzo 2009



QUADRO CONOSCITIVO

Analisi specialistiche

Analisi sismica

CONTRODEDUZIONI



PIANO STRUTTURALE COMUNALE ASSOCIATO

Ai sensi dell'art. 28 della L.R. 20/2000

ANALISI SISMICA



Servizi Integrati Gestionali Ambientali s.c.p.a.
Circonvallazione Piazza d'Armi, 130
48100 Ravenna
tel. 0544 1882201
www.servin-c.it



INDICE

1	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO	3
1.1	Aspetti normativi	3
1.2	Azioni per la riduzione del rischio sismico a livello di Piano Strutturale Comunale - Primo livello di approfondimento.....	6
1.2.1	Aspetti metodologici ed analisi eseguite – Carta Comunale delle aree suscettibili di effetti locali (Allegato 1-2)	7
1.3	Ulteriori Analisi eseguite per la caratterizzazione sismica dei terreni	8
1.3.1	Procedura di analisi dati per stazioni singole H/V	12
1.4	Risultati	14
1.4.1	Considerazioni in merito all'amplificazione attesa	14
1.5	Analisi del rischio di liquefazione.....	18
1.5.1	Applicazione della metodologia ed analisi dei risultati	26
1.5.2	Stima dei cedimenti permanenti nei terreni granulari saturi liquefacibili	30
1.5.3	Stima dei cedimenti dei terreni granulari non saturi	31
1.5.4	Stima dei cedimenti postsismici dei terreni coesivi	32

ALLEGATO 1-1 RISULTATI DELLE ANALISI SISMICHE

ALLEGATO 1-2 CARTA DELLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI

ALLEGATO 1-3 PROPOSTA DI NORMATIVA

1 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO

1.1 ASPETTI NORMATIVI

Il Decreto 14 gennaio 2008 “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni” (di seguito NTC) del Ministro delle infrastrutture, di concerto con il Ministro dell’interno e con il Capo Dipartimento della protezione civile, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008 – Supplemento Ordinario n. 30 detta tra l’altro le regole tecniche per le costruzioni in zona sismica.

Le NTC approvate dal decreto 14 gennaio 2008 sostituiscono quelle approvate con il decreto ministeriale 14 settembre 2005 entrato in vigore il 23 ottobre 2005. Per quanto riguarda il regime transitorio di applicazione delle Norme, durante il quale sarà possibile applicare in alternativa la normativa tecnica precedente sulla medesima materia, dopo l’approvazione definitiva del Decreto Legge 248 del 31/12/2007, il termine è fissato al 30 giugno 2009.

Per quanto concerne la classificazione sismica e a decorrere dal 23 ottobre 2005 continui a trovare applicazione la classificazione di tutti i Comuni della Regione, stabilita, in via di prima applicazione, ai sensi del punto 3. dell’Allegato 1 dell’Ordinanza n. 3274/2003.

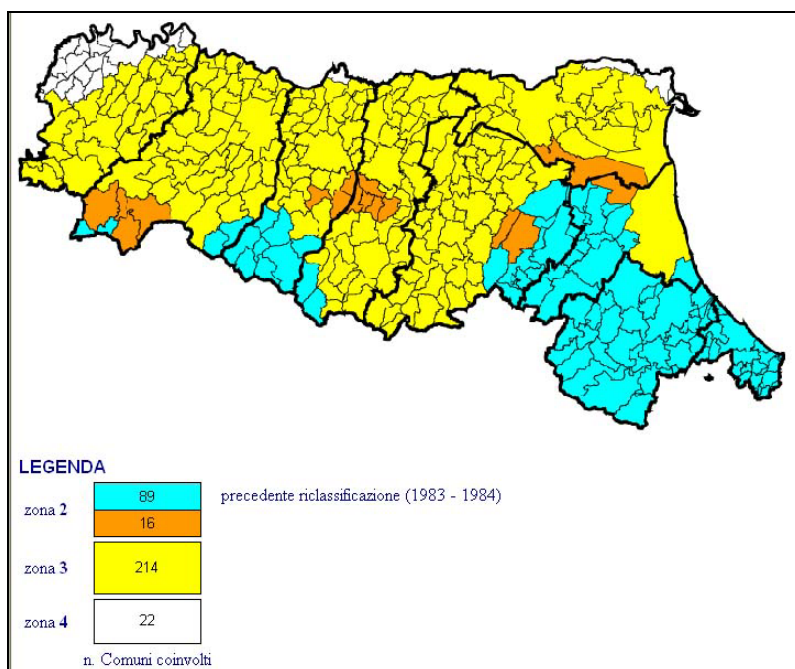


FIGURA 1.1-1 - CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI COMUNI DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA



Con le normative previgenti tutti i Comuni dell'Associazione Intercomunale della Bassa Romagna, ad esclusione di Alfonsine (non classificato), erano classificati come sismici di seconda categoria.

Secondo la nuova classificazione, come si può osservare dalla Figura 1.1-1, tutti i comuni sono classificati in zona sismica 2, per cui anche il Comune di Alfonsine.

Si osserva che i Comuni interessati non potranno più fare riferimento alla precedente classificazione sismica, ma si potrà soltanto scegliere quale normativa tecnica applicare nella fase transitoria di applicazione del Decreto, sempre avendo riguardo alla nuova classificazione sismica del Comune.

La possibilità di continuare ad applicare la normativa tecnica previgente, fino al giugno del 2009, richiede però una precisazione per quanto attiene alle diverse zone sismiche nelle quali sono classificati i Comuni, in prima applicazione, secondo quanto riportato nell'Allegato B della delibera regionale 1677/2005.

A ciascuna zona, risulta assegnato un intervallo di valori dell'accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, ed in particolare, ai fini della determinazione delle azioni sismiche, risulta assegnato un valore (a_g/g), di ancoraggio dello spettro di risposta elastico, pari a: 0,35 (per la zona 1); 0,25 (per la zona 2); 0,15 (per la zona 3) e 0,05 (per la zona 4). Tali valori derivano da studi eseguiti dal INGV sull'intero territorio nazionale. La Figura 1.1-2 riporta i valori di PGA calcolati nell'area regionale.

Dato che il D.M. 16 gennaio 1996 "*Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche*" considera invece valori differenziati del "grado di sismicità" ($S = 12$ o 9 o 6), da prendere come riferimento per la determinazione delle azioni sismiche, in rapporto a tre ipotetiche zone a sismicità decrescente ("alta", "media" e "bassa") con le quali risulti classificato un determinato territorio, ne consegue la necessità di procedere ad una interpretazione che consenta di utilizzare la nuova classificazione, assegnando una corrispondenza con i suddetti gradi di sismicità. Pertanto, confermando a tal fine un precedente indirizzo già assunto con altra delibera della Giunta regionale n. 2329/2004, per l'utilizzo del D.M. 16 gennaio 1996 *Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche* vanno considerate le specifiche di "sismicità media" ($S = 9$) per i Comuni in "zona 2" e di "sismicità bassa" ($S = 6$) per i Comuni in "zona 3" e in "zona 4".

Naturalmente, in alternativa, è possibile usare le "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al Decreto ministeriale con relativa scelta di un codice applicativo di dettaglio tra quelli indicati nelle stesse norme tecniche.

Per quanto riguarda l'applicazione del Decreto Ministeriale per le costruzioni e delle disposizioni correlate, si rimanda alla Delibera di Giunta Regionale 1677/2005, che definisce e precisa gli ambiti e le modalità ed effetti sui processi edilizi in corso.

Per quanto riguarda la pianificazione territoriale e urbanistica, l'operatività della classificazione sismica di tutto il territorio regionale, sia pure in via di prima applicazione, a far data dal 23 ottobre 2005, comporta significativi effetti per quanto riguarda i contenuti e le modalità di approvazione degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica.

Assume innanzitutto particolare rilievo quanto disposto dall'art. A-2, comma 4, dell'Allegato alla L.R. 24 marzo 2000, n. 20 che attribuisce agli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica (regionali, provinciali e comunali) il compito di concorrere "alla prevenzione del rischio sismico, sulla base delle analisi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione".

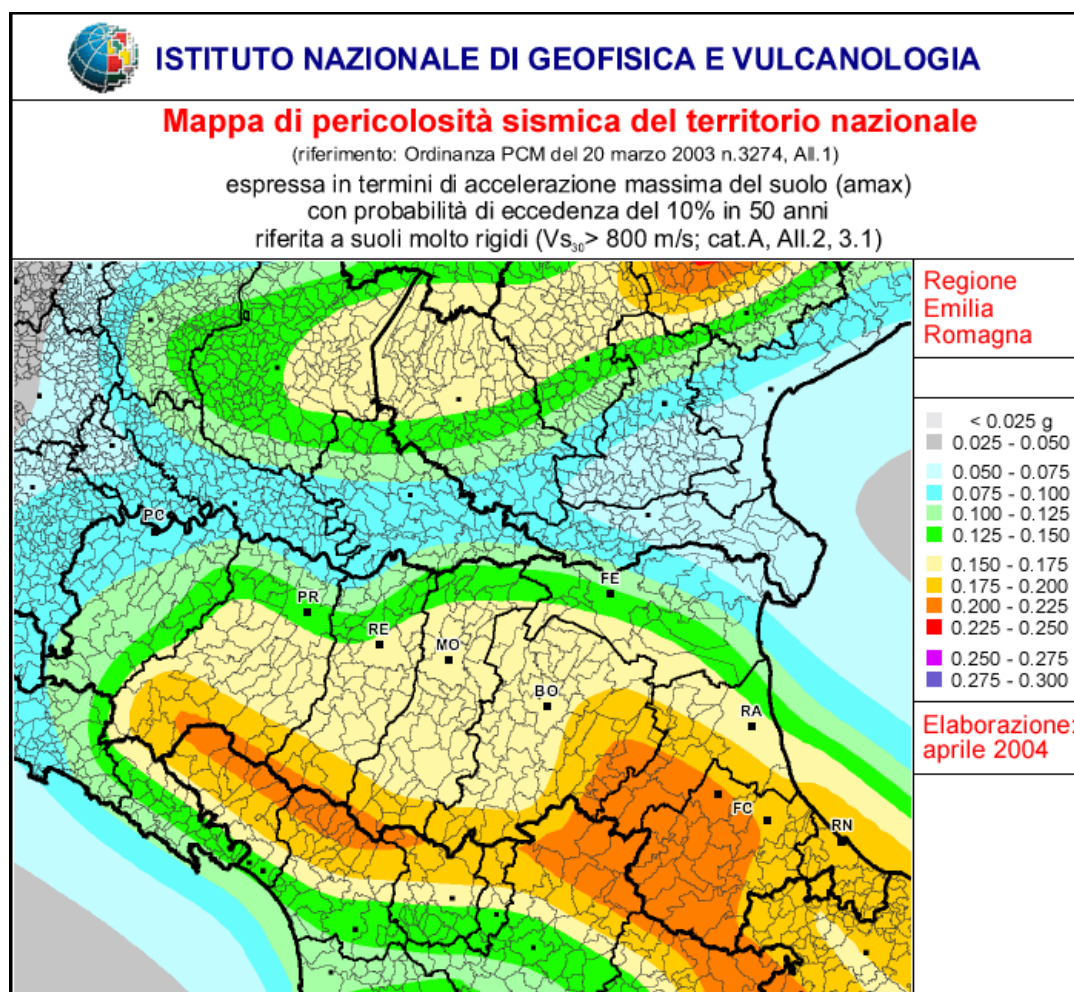


FIGURA 1.1-2 - MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA IN VALORI DI PGA

Tutti gli strumenti di pianificazione urbanistica comunale (anche in assenza di indicazioni provinciali, per il mancato aggiornamento del PTCP) sono tenuti a "valutare la compatibilità delle previsioni in essi contenute con l'obiettivo della riduzione del rischio sismico e con le esigenze di protezione civile, sulla base di analisi di pericolosità locale nonché di vulnerabilità



ed esposizione urbana" (art. 10, comma 1, della L.R. 19 giugno 1984, n. 35). Si sottolinea, infine, che ai sensi dell'art. 17, comma 3, della L.R. 35 del 1984, tutti i Comuni, in quanto classificati sismici, sono tenuti comunque all'adeguamento del proprio RUE (o in via transitoria del regolamento edilizio) e delle norme tecniche di attuazione dei vigenti strumenti urbanistici generali, alla normativa sismica e alle disposizioni in merito agli interventi sul patrimonio edilizio esistente, di cui agli artt. 8 e 9 della medesima legge regionale, con particolare riguardo agli interventi che, interessando elementi strutturali dell'edificio, ne possono compromettere la risposta alle azioni sismiche.

Allo scopo di fornire puntuali indicazioni alle Province e ai Comuni per la elaborazione degli strumenti di pianificazione rispondenti all'esigenza di riduzione del rischio sismico è stata approvata la Direttiva regionale n°112/2007.

Essa fornisce puntuali indicazioni delle analisi e dei contenuti che devono essere inseriti all'interno dei singoli strumenti di pianificazione.

1.2 AZIONI PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO A LIVELLO DI PIANO STRUTTURALE COMUNALE - PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

La direttiva 112/2007 prevede diversi livelli di approfondimento in funzione delle caratteristiche di pericolosità sismica presenti nel territorio correlato al livello di pianificazione.

Per quanto riguarda il Piano Strutturale Comunale (PSC), si impone che esso attui gli indirizzi previsti dalla pianificazione sovraordinata, realizzando una nuova cartografia della pericolosità sismica locale, ad una scala di maggior dettaglio, individuando le parti del territorio caratterizzate dai differenti scenari di pericolosità sismica locale.

In particolare, le analisi individuano le seguenti parti del territorio:

- A. aree che non necessitano di approfondimento, in quanto si ritiene il pericolo assente o trascurabile: si tratta di parti di territorio per le quali gli studi di primo livello non hanno individuato specifiche controindicazioni all'urbanizzazione o alla modifica di destinazione d'uso;
- B. aree che necessitano di una seconda fase di approfondimento al fine di valutare la pericolosità sismica: esse si dividono in due tipi di aree:
 - 1. aree che sono oggetto di un'analisi semplificata (secondo livello di approfondimento - punto 2a - disposizioni generali);
 - 2. aree oggetto di un'analisi approfondita (terzo livello di approfondimento - punto 2b - disposizioni generali).



Le previsioni del PSC in merito agli ambiti suscettibili di urbanizzazione e per gli interventi sul territorio urbanizzato dovranno essere coerenti con le risultanze del quadro conoscitivo relative al rischio sismico e, di conseguenza, nella VALSAT del piano dovrà essere contenuta un'esplicita valutazione della coerenza degli interventi di trasformazione ipotizzati, in considerazione anche delle altre criticità ambientali, in modo tale da valutare in maniera integrata tutte le interazioni potenzialmente negative.

Sulla base della medesima carta comunale, le disposizioni del PSC forniscono indirizzi e prescrizioni necessari alla progettazione attuativa/operativa assegnata al Regolamento Urbanistico ed Edilizio (RUE) e al Piano Operativo Comunale (POC), per le parti del territorio che risultano maggiormente esposte a pericolosità sismica.

1.2.1 Aspetti metodologici ed analisi eseguite – Carta Comunale delle aree suscettibili di effetti locali (Allegato 1-2)

Al PSC è richiesto dalla normativa la realizzazione della “Carta comunale delle aree suscettibili di effetti locali”, secondo quanto previsto nell'Allegato A1 della Direttiva 112/2007.

E' stata quindi realizzata tale carta (Allegato 1-2 in scala 1:25.000, tavola 1/2 e tavola 2/2) utilizzando tutte le indagini e le conoscenze disponibili, che fanno parte del quadro conoscitivo (spessori litologici, parametri geomeccanici, soggiacenza della falda, geologia di superficie, geologia di sottosuolo)

Nella carta sono riportate 3 tipi di aree:

1. Le aree che non necessitano di approfondimento sono rappresentate con colore bianco;
2. Le aree che necessitano dell'analisi semplificata (secondo livello di approfondimento) sono rappresentate con colore giallo; appartengono a questa classe i terreni coesivi che mostrano scarse qualità dal punto di vista delle caratteristiche geomeccaniche, e che quindi possono portare in condizioni sismiche a cedimenti consistenti.
3. Le aree per le quali è richiesta la verifica, durante la pianificazione sott'ordinata, del loro possibile inserimento nelle zone che richiedono un'analisi approfondita (terzo livello di approfondimento) sono rappresentate con colore arancione. Appartengono a questa classe i terreni incoerenti saturi che possono portare a liquefazione delle sabbie.

Le fasi di lavoro per la realizzazione di tale carta sono state:

- 1) recupero e analisi dei dati disponibili;
- 2) individuazione classi litologiche di pianura a diversa risposta sismica dalla Banca dati Carta geologica di pianura RER per la valutazione della granulometria, per la stima di Vs, dei potenziali cedimenti, della liquefazione, densificazione, compattazione)
- 3) realizzazione Carta dei depositi soggetti ad effetti locali
- 4) realizzazione Carta di sottosuolo
- 5) individuazione dei livelli geomeccanici sulla base dell'interpretazione delle CPT esistenti



- 6) realizzazione della carta idrogeologica della prima falda
7) sintesi dei punti 3), 4), 5), 6) per la Carta delle aree soggette ad effetti locali

Sebbene la carta realizzata è quindi rispondente a quanto richiesto dalla Direttiva regionale, si sono realizzati ulteriori studi sia per verificare quanto indicato dalla carta proposta, sia per meglio comprendere le caratteristiche sismiche del territorio, ed infine fornire elementi di tipo quantitativo per le successive fasi della pianificazione comunale.

E' stata quindi realizzata una campagna di misure del rumore sismico utilizzando la tecnica H/V in 21 siti per i quali si è prevista una futura urbanizzazione. Esse sono state eseguite nelle vicinanze di una prova penetrometrica statica (CPT) per poter fornire il parametro Vs30.

Si sono inoltre analizzati i fenomeni cosismici quali la liquefazione delle sabbie sature, la stima dei cedimenti permanenti nei terreni granulari saturi liquefacibili, la stima dei cedimenti dei terreni granulari non saturi e la stima dei cedimenti postsismici dei terreni coesivi in 324 prove CPT e CPTe vettorializzate disponibili per l'intero territorio.

1.3 ULTERIORI ANALISI ESEGUITE PER LA CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI

In 21 siti previsti dal Piano Strutturale abbiamo eseguito un'indagine sismica passiva a stazione singola e con i seguenti obiettivi:

- ricostruire la stratigrafia sismica del sottosuolo,
- caratterizzare le frequenze fondamentali di risonanza al fine di mettere in luce possibili fenomeni di doppia risonanza tra terreno e strutture in caso di terremoto,
- stimare il profilo della velocità delle onde di taglio (Vs) per fornire la categoria di suolo di fondazione secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (2008), ex DM 14/09/2005;

Tutte le misure di microtremore ambientale sono state effettuate per mezzo di un tromografo digitale portatile progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento (*Tromino*[®], Micromed spa, 10 x 7 x 14 cm per 1 kg di peso) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alle frequenze di campionamento di 128 Hz.

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

E' noto che il rischio sismico in un dato sito dipende, fra gli altri fattori, dalla vulnerabilità, intesa come mancanza di resistenza delle strutture alle sollecitazioni sismiche.



La vulnerabilità può dipendere, in linea generale, dalla struttura stessa, inadeguata nei confronti del segnale sismico atteso, o da fenomeni legati alle condizioni geologiche e geomorfologiche locali (instabilità dei suoli).

Frane, liquefazione dei terreni e amplificazione del segnale sismico sono i principali fenomeni legati alla situazione geologica e geomorfologica locale e sono quelli che vanno valutati per la caratterizzazione in chiave sismica di un sito.

Mentre per le frane e la liquefazione dei terreni sono utilizzati da tempo metodi propri della geotecnica, per la valutazione degli effetti di sito (modificazione in termini di ampiezza e contenuto in frequenza che il segnale sismico subisce nel suo percorso dal bedrock alla superficie) il problema è un po' più complesso poiché richiede la conoscenza di numerosi parametri come il modulo di taglio dinamico, lo smorzamento, il segnale sismico di ingresso che si possono ottenere solo attraverso l'esecuzione di una campagna di prove, generalmente onerose, e che in genere hanno una scarsa attendibilità.

Effetti di sito sono registrabili anche in zone morfologicamente accidentate anche nel caso in cui non vi siano coltri detritiche.

Le misure dei microtremori consentono di ottenere un dato fondamentale del punto di misura e cioè la frequenza propria di risonanza della coltre sedimentaria.

Il suolo è assimilabile ad un corpo visco-elastico ed è pertanto possibile misurarne le frequenze proprie di oscillazione. Per misurare le frequenze proprie di un corpo, i fisici, applicano al corpo stesso una sollecitazione nota, e ne "misurano" la risposta in termini di spostamento o di accelerazione.

Anche la risposta di un terreno può essere valutata in questa maniera utilizzando le onde sismiche generate da un terremoto o da una sorgente artificiale.

Nella metodologia utilizzata la funzione di eccitazione è il "rumore sismico di fondo", sorgente ovunque disponibile, gratuita e non invasiva.

Il rumore sismico, noto anche come microtremore vista la lieve entità delle oscillazioni che lo compongono, è generato da fenomeni naturali (onde oceaniche, vento) e antropici ed è presente ovunque sulla superficie terrestre.

Nelle zone in cui non sia presente alcuna sorgente locale, in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo, in un terreno roccioso e pianeggiante, assume la forma riportata nella Figura 1.3-1, in cui il rumore di fondo massimo (in verde) e minimo (in blu) presentano 2 picchi a 0,14 e 0,07 Hz prodotti dalle onde oceaniche sulle coste.

Queste componenti spettrali vengono attenuate poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri e costituiscono la “base” del rumore di fondo.

A queste onde, sempre presenti, si sovrappongono le onde derivanti da sorgenti locali di natura antropica (traffico, attività produttive, ecc.) e naturale.

Diversi metodi sono stati proposti, nel tempo, per estrarre informazioni relative al sottosuolo, dal rumore sismico registrato in un dato sito. La tecnica che è risultata più attendibile prevede l'utilizzo dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e verticale (HVSr o H/V, Horizontal to Vertical Spectral Ratio di Nogoshi e Igarashi, 1970) in grado di fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo.

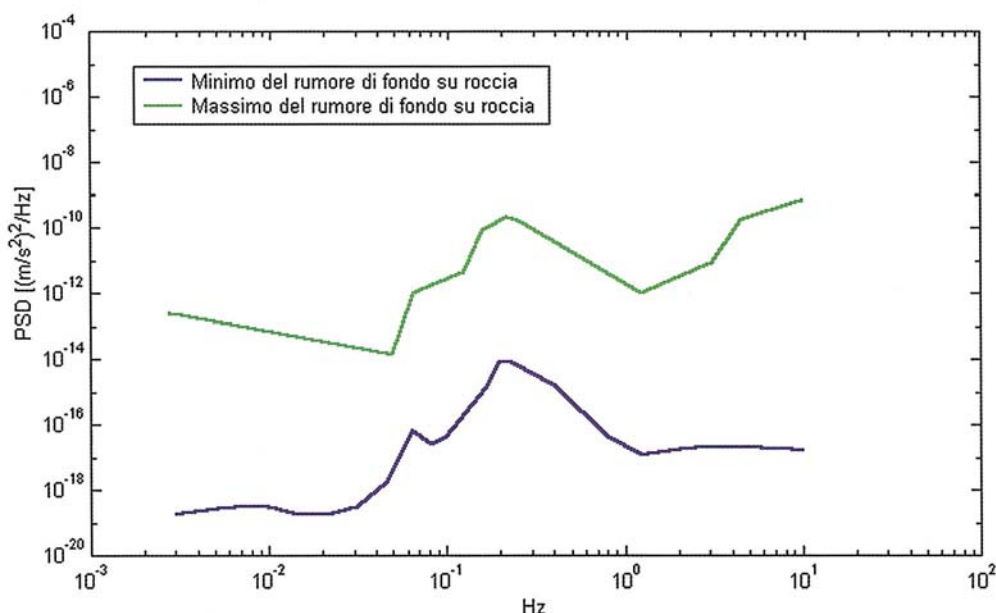


FIGURA 1.3-1 – SPETTRO DI FREQUENZA DEL RUMORE DI FONDO

Le basi teoriche del metodo H/V sono abbastanza semplici nel caso di un mezzo costituito da uno strato poggiante direttamente sul bedrock sismico.

Consideriamo ad esempio due strati (1=suolo e 2=bedrock) caratterizzati da diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e velocità delle onde (V_1 e V_2).

Un'onda che viaggia nel suolo (mezzo 1) all'interfaccia con il bedrock, viene in parte riflessa e va ad interferire con quelle incidenti, sommandosi, fino a raggiungere le ampiezze massime (condizioni di risonanza).



La condizione di risonanza si raggiunge quando la lunghezza dell'onda incidente è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H dello strato 1.

La frequenza fondamentale dello strato 1, relativamente alle onde S, è quindi pari a:

$$f_r = V_s / (4H) \quad (1)$$

In presenza di più strati questo fenomeno è sommabile. Questo significa che la curva H/V relativa ad un terreno stratificato contiene informazioni sulle frequenze di risonanza (ed agli spessori) di tutti gli strati presenti ma l'analisi è molto più complessa.

I microtremori sono in larga parte legati alle onde superficiali che tuttavia hanno velocità prossima a quella delle onde di taglio (S) considerata dalla normativa.

Questo fatto consente l'applicazione della metodologia per la stima del V_s come sarà spiegato nel seguito.

L'inversione dei dati registrati con il Tromino richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per il contenuto in frequenza, la risposta strumentale e l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con differente rumore di fondo.

La situazione di un suolo reale è spesso complicata per vari motivi: la velocità delle onde tende ad aumentare con la profondità, il terreno può presentare eterogeneità laterali, la morfologia può non essere piana così come possono non essere piani gli strati.

L'inversione delle misure di tremore, nei casi reali, viene eseguita per confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con spettri "sintetici", calcolati relativamente al campo d'onde completo di un modello 3D.

L'interpretazione dei dati sarà tanto migliore, ed il modello sarà tanto più aderente alla realtà, quanto maggiore sarà la corrispondenza fra i dati misurati e quelli sintetici teorici.

LA STIMA DEL V_{s30} DA MISURE H/V A STAZIONE SINGOLA

Se lo spessore H in un punto è noto, sulla base di sondaggi o penetrometrie, il calcolo delle V_{s30} può essere effettuato attraverso misure di f_r .

- Se $H > 30$ m allora V_{s30} si può calcolare dalla equazione 1.
- Se $H < 30$ m l'equazione da usare è la seguente:

$$V_{s30} = 30 / (t_H + t_{30-H}) = 30 / (1/(4f_r) + (30-H)/V_B)$$



Dove V_b è la velocità delle onde S nel Bedrock o Bedrock-like pari a 800 m/s secondo la normativa.

Valori più attendibili per il parametro V_B (V_s nel bedrock) sono riportati nella tabella seguente. I valori di V_s sono espressi in m/s:

TIPO DI SUOLO	V_s min	V_s med	V_s max
<i>Rocce molto dure (es. metamorfiche integre)</i>	1400	1620	-
<i>Rocce dure (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti da mediamente a poco fratturati)</i>	700	1050	1400
<i>Suoli ghiaiosi e rocce da tenere a dure (es. rocce sedimentarie e ignee tenere, o fratturate, ghiaie e suoli con ghiaia > 20%)</i>	375	540	700
<i>Argille compatte e suoli sabbiosi (es. sabbia da sciolta a molto compatta, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte, argille limose)</i>	200	290	375
<i>Terreni teneri (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere)</i>	100	150	200

1.3.1 Procedura di analisi dati per stazioni singole H/V

Dalla registrazione del rumore sismico ambientale in campo libero è stata ricavata la curva H/V secondo la procedura descritta in Castellaro *et al.* (2005), con parametri:

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

La curva H/V è stata invertita creando una serie di modelli sintetici (che contemplano la propagazione delle onde di Rayleigh e di Love nel modo fondamentale e superiori in sistemi multistrato), fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali. L'inversione delle curve H/V è possibile esclusivamente in presenza di un vincolo. Nel caso in questione tale vincolo è fornito dalla profondità di un riflettore sismico nota tramite prove dirette (penetrometria) il cui marker sia riconoscibile nelle curve H/V (Castellaro e Mulargia, 2008).



La velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di terreno viene calcolata ai sensi di legge (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, ex DM 14/09/2005) con la seguente formula 1 vista precedentemente.

Mini glossario

Discontinuità sismiche. Livelli all'interno del profilo litostratigrafico in corrispondenza dei quali si verificano nette variazioni di velocità delle onde sismiche (e pertanto delle proprietà elastiche dei litotipi).

Doppia risonanza. Vd. *Risonanza doppia*.

Frequenza naturale (o fondamentale). E' la frequenza a cui un sistema, eccitato da un impulso, vibra con maggior ampiezza. E' il reciproco del periodo fondamentale.

Impedenza sismica. Prodotto Z tra la densità del terreno γ e la velocità delle onde sismiche V . Esso solitamente varia tra strati differenti di terreno e influisce sul coefficiente di riflessione. In pratica, il contributo maggiore alle variazioni di impedenza sismica è dato dalle variazioni di V , piuttosto che di γ .

Microtremore. Rumore sismico ambientale, caratterizzato da oscillazioni di piccola ampiezza, provocate da sorgenti naturali o antropiche (onde del mare, vento, piccoli movimenti terrestri, traffico ecc.). I microtremori sono costituiti da tutti i tipi di onde sismiche, ma generalmente, in maggior misura, da onde superficiali di Rayleigh e di Love.

Risonanza. E' la tendenza di un sistema ad oscillare con maggior ampiezza quando eccitato da energia ad una specifica frequenza, detta *frequenza naturale* di vibrazione del sistema, autofrequenza o *frequenza di risonanza*.

Nel caso degli edifici la risonanza è controllata dalle geometrie e dai materiali di costruzione mentre la frequenza di risonanza è controllata principalmente dall'altezza. La frequenza naturale di risonanza di un edificio può essere stimata, in prima approssimazione, dividendo 10 Hz per il numero dei piani dell'edificio.

Risonanza doppia. Tutte le strutture hanno una frequenza naturale alla quale la sovrapposizione di energia alla stessa frequenza amplifica il moto. Un analogo di facile comprensione è l'esempio di un bimbo su un'altalena. Se egli verrà spinto ad una frequenza casuale, l'altalena tenderà generalmente a fermarsi. Se invece la spinta sarà applicata all'istante giusto ad ogni oscillazione (cioè alla giusta frequenza), il dondolio dell'altalena aumenterà in modo eclatante. Allo stesso modo, se il moto sismico indotto dal terremoto eccita la base di un edificio a frequenze prossime a quelle di risonanza naturale dell'edificio stesso, l'amplificazione del moto risultante può diventare distruttiva e portare al collasso della struttura.



1.4 Risultati

Il territorio indagato, dal punto di vista sismico, mostra una marcata omogeneità.

Infatti, a parte alcune situazioni delle quali faremo cenno successivamente, troviamo le caratteristiche riportate di seguito.

Frequenza principale di risonanza = 1 Hz.

Siti di categoria C senza grosse sorprese dal punto di vista sismico.

Visibili inversioni di velocità nei primi metri, caratterizzate da curva $H/V < 1$ per intervalli ampi di frequenze.

Ad Alfonsine emerge una risonanza anche a 2 Hz, che si aggiunge a quella presente ovunque a 1 Hz. In questo contesto pertanto c'è un elemento sfavorevole per edifici di 7-10 piani e più indicativamente.

Esiste poi una inversione di velocità superficiale notevole, che abbassa il valore di V_{s30} in modo sensibile anche se verso i 12 m iniziano ovunque terreni buoni.

A Sant'Agata la caratteristica saliente è l'inversione di velocità superficiale che deprime la curva H/V ad ampiezze < 1 per un ampio intervallo di frequenze.

Emerge anche per la prima volta un picco a 0.16 Hz che nonostante non soddisfi tutti i criteri (per semplici questioni di durata della misura in rapporto alla bassa frequenza del picco, è in realtà una risonanza significativa del sito. Va detto tuttavia che frequenze così basse coinvolgerebbero solo strutture molto molto grandi (grattacieli o ponti). Per il resto esiste la solita risonanza un po' sopra 1 Hz

A Massa Lombarda la situazione è simile alle altre. Categoria di suolo C, frequenza fondamentale di sito intorno a 1 Hz. Tuttavia nella prova 31 emerge una piccola ma non trascurabilissima frequenza a 4 Hz, legata al contatto argilla-sabbia a 14 m.

Per quanto riguarda Bagnara la risonanza a 1 Hz è poco marcata. Esisterà senza dubbio anche qui, per ovvie correlazioni con tutte le misure circostanti e data la profondità del riflettore a 1 Hz che, per essere visto, implica una sua estensione areale molto grande.

Esistono delle altre deboli risonanze a 3.5, 10 e 34 Hz. La più importante è quella superficiale (34 Hz) ma lontana da valori di interesse ingegneristico. Le altre sono modeste.

1.4.1 Considerazioni in merito all'amplificazione attesa

L'amplificazione attesa va valutata in termini di Intensità spettrale e di PGA.

La direttiva definisce uno spettro di risposta normalizzato, valido a livello regionale, che dovrà essere opportunamente scalato sulla base degli esiti delle indagini eseguite.

Lo spettro normalizzato definito per la Regione Emilia-Romagna viene definito sulla base dei seguenti valori di accelerazione spettrale per il periodo T .



T(s)	Sa
0,00	1
0,04	1,38865
0,07	1,75927
0,10	2,28349
0,15	2,63726
0,20	2,70745
0,30	2,46642
0,40	1,84047
0,50	1,44476
0,75	0,95494
1,00	0,64546
1,50	0,35479
2,00	0,2307

La direttiva fornisce anche il "fattore di scala" da applicare allo spettro normalizzato per ottenere lo spettro di risposta a livello del singolo comune valido per terreni di categoria A secondo quanto disposto dall'Eurocodice 8.

Per valutare gli effetti locali è necessario conoscere il fattore di amplificazione (FA) da associare al sito in esame e dipendente dalla velocità delle onde S (V_{s30} o V_{sH}).

F.A. P.G.A.

V_{s30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.1s < T_o < 0.5s$

V_{s30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.8	1.8	1.7	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.5s < T_o < 1.0s$

V_{s30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.5	2.3	2.3	2.0	1.8	1.7	1.7	1.5	1.2	1.0

In un ambito di pianura, come quello in esame, caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decametrici, talora con intercalazioni di



orizzonti di ghiaie (di spessore anche decine di metri), con substrato profondo (>100 m da p.c.) (PIANURA 2) si devono applicare i fattori di amplificazione desumibili dalle relative tabelle riportate nell'allegato A2 delle normative e riportate precedentemente.

In funzione della velocità di propagazione delle onde S misurata, sono indicati i fattori di amplificazione.

Vengono di seguito riassunte le caratteristiche per ogni sito indagato

Numero stazione	Classe	Località	Vs	Categoria suolo	F.A PGA	S.I. <0,1To<0,5	S.I. <0,5To<1
007	1	Russi	317	C	1,4	1,7	2
008	1	Russi	350	C	1,4	1,7	2
009	1	Bagancavallo	306	C	1,4	1,7	2
010	2	Bagnacavallo	277	C	1,5	1,7	2,3
011	2	Cotignola	294	C	1,5	1,7	2,3
017	1	Cotignola	311	C	1,4	1,7	2
018	1	Lugo	302	C	1,4	1,7	2
019	3	Lugo	252	C	1,5	1,8	2,3
020	3	Lugo	221	C	1,5	1,8	2,3
021	1	Fusignano	336	C	1,4	1,7	2
022	2	Alfonsine	264	C	1,5	1,7	2,3
024	4	Alfonsine	201	C	1,5	1,8	2,5
025	3	Alfonsine	229	C	1,5	1,8	2,3
026	3	Voltana	259	C	1,5	1,8	2,3
027	2	Lavezzola	268	C	1,5	1,7	2,3
028	2	Conselice	304	C	1,5	1,7	2,3
029	2	Conselice	284	C	1,5	1,7	2,3
030	2	Massalom.	307	C	1,5	1,7	2,3
031	2	Massalom.	293	C	1,5	1,7	2,3
032	2	Bagnara	282	C	1,5	1,7	2,3
033	5	S.Agata	207	C	1,5	1,7	2,5

Il tipo di classe si riferisce ai valori di F.A e di S.I. la distribuzione delle classi viene riportata in figura allegata .



Come si vede dalla tabella precedente, la categoria di suolo di fondazione presente in tutte le misure è la Categoria di tipo C.

Le categorie di suolo di fondazione introdotte dalle NTC , sono le seguenti:

Categoria A

"Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m."

Non sono presenti

Categoria B

"Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)"

Potrebbero rinvenire nella porzione sud del territorio esaminato

Categoria C

"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)".

La presenza di terreni di fondazione appartenenti a questa categoria è prevista in prevalenza nella zona della media pianura, ove sub-affiorano litotipi alluvionali in genere da sovraconsolidati a normalmente consolidati, per spessori pari ad oltre la ventina di metri. E' la categoria più diffusa.

Categoria C/D

"Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)".

La presenza di terreni di fondazione appartenenti a questa categoria è prevista in prevalenza nelle zone di bassa pianura e lungo le fasce dei dossi fluviali subattuali.

Categoria E

"Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s)".

Non si rinvenivano nel territorio esaminato.



1.5 ANALISI DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE

Con il termine liquefazione si intende la perdita di resistenza al taglio di un mezzo granulare sotto falda determinata da un aumento della pressione dell'acqua nei pori. Tale aumento può essere dovuto a varie cause, tra le quali una delle più importanti è lo scuotimento del terreno durante un forte terremoto.

Un terreno sabbioso in condizioni di completa liquefazione è privo di resistenza al taglio e quindi si comporta come un fluido viscoso. Al termine del sisma, con la dissipazione delle sovrappressioni interstiziali e con il riassetto dei grani in una struttura più addensata, possono aver luogo estesi fenomeni di subsidenza e grandi cedimenti sia assoluti che differenziali.

Il fenomeno della liquefazione del terreno deriva dall'effetto combinato di due principali categorie di fattori: le condizioni del terreno (fattore predisponente) e la sismicità (fattore scatenante).

In relazione a tali fattori la liquefazione può assumere diverse fenomenologie, con effetti di differente gravità sulle opere ingegneristiche. Per la valutazione del rischio di liquefazione in un dato sito occorre considerare le condizioni del terreno e le condizioni di innesco (sismicità) e gli effetti temuti (tipologia del terreno). I criteri di valutazione del rischio di liquefazione possono essere di tipo storico, geologico-morfologico, di composizione e di stato fisico del terreno. Un terreno viene dichiarato liquefacibile solo se risulta tale in base ai tre criteri: geologico, di composizione e di stato contemporaneamente, ma perché si possano verificare realmente fenomeni di liquefazione durante i terremoti, a queste condizioni se ne devono aggiungere altre che riguardano la sismicità, e cioè il fatto che l'evento sismico sia caratterizzato da valori dei parametri rappresentativi superiori a particolari soglie (intensità $I \geq VIII$ MCS; picco di accelerazione $a_{max} \geq 0,10g$, durata $D > 15-20$ s, ecc.). Nel caso in esame, l'analisi della sismicità eseguito indica che sussistono le condizioni sismiche per la liquefazione.

La suscettibilità del terreno è stata valutata sulla base di prove in sito disponibili, e nel caso in esame le prove utilizzate sono state prove CPT, esplorando un numero di verticali pari a 324.

Esse sono risultate sufficienti ad accertare la variabilità spaziale delle caratteristiche stratigrafiche e geotecniche del deposito. Il livello della falda è stato misurato attraverso una specifica campagna (cfr. Cap. 2) e si è determinata l'entità delle fluttuazioni dei livelli di falda e nelle analisi è stato considerato la condizione meno cautelativa.

Nelle verticali esplorate la stima del potenziale di liquefazione è stato effettuato con i 'metodi semplificati' di seguito specificati.

E' stato valutato il picco di accelerazione a_{max} alla superficie del deposito attraverso le indagini eseguite dall'IGNV per la riclassificazione sismica del territorio nazionale.

Per ogni verticale è stato valutato l'indice del potenziale di liquefazione I_L di seguito definito.



- $0 < I_L \leq 5$ il rischio di liquefazione è basso
- $5 < I_L \leq 15$ il rischio di liquefazione è elevato
- $I_L > 15$ il rischio di liquefazione è estremamente elevato

I risultati sono stati riportati in una carta dove è indicato il valore dell'indice del potenziale di liquefazione I_L . (vedi Quadro conoscitivo del PSC)

Casi in cui si può escludere che si verifichino fenomeni di liquefazione

La probabilità che nei terreni sabbiosi saturi si verifichino fenomeni di liquefazione è bassa o nulla se si verifica almeno una delle seguenti condizioni:

1. Eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
2. Accelerazione massima attesa in superficie in condizioni *free-field* minore di 0.1g;
3. Accelerazione massima attesa in superficie in condizioni *free-field* minore di 0.15g e terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:
 - frazione di fine, FC , superiore al 20%, con indice di plasticità $PI > 10$;
 - $FC \geq 35\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 20$;
 - $FC \leq 5\%$ e resistenza $(N_1)_{60} > 25$

dove $(N_1)_{60}$ è il valore normalizzato della resistenza penetrometrica della prova SPT, definito dalla relazione:

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} C_N$$

in cui il coefficiente C_N è ricavabile dall'espressione $C_N = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{0.5}$ essendo p_a la pressione atmosferica e σ'_v la pressione efficace verticale.

4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 1.5-2 (a) nel caso di materiale con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ ed in Figura 1.5-1 (b) per coefficienti di uniformità $U_c > 3.5$.

5. Profondità media stagionale della falda superiore ai 15 m dal piano campagna.



Metodi per la stima dei fenomeni di liquefazione

Per verificare la possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione vanno impiegate le procedure che nella Ingegneria Geotecnica Sismica vengono denominati 'metodi semplificati'. Tali metodi sono basati su prove geotecniche di tipo corrente e sulla valutazione, ad ogni quota z del deposito compresa nei primi 20 m, del coefficiente di sicurezza definito da:

$$F_L = \frac{CRR}{CSR} \cdot MSF$$

dove:

$$- CRR = \frac{\tau_{ult}}{\sigma'_{v0}}$$

è la resistenza normalizzata (rispetto alla pressione efficace verticale iniziale σ'_{v0}) che può essere valutata attraverso abachi, quali quelli indicati nella Figura 1.5-3, in funzione di parametri desunti da prove SPT, CPT e da misure della velocità delle onde di taglio V_s ;

$$- CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \frac{a_{max.s}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} r_d$$

è la tensione indotta dal terremoto e dove $a_{max.s}$ è il picco di accelerazione al piano campagna del terremoto di riferimento; g è l'accelerazione di gravità; σ_v e σ'_v sono rispettivamente la tensione totale verticale e la tensione efficace verticale alla profondità considerata; r_d è un coefficiente riduttivo dell'azione sismica che porta in conto la deformabilità del sottosuolo e che può essere determinato con la relazione semplificata $r_d = 1 - 0.015z$;

- MSF è un fattore di scala che può essere valutato mediante la Tabella 1.5-1 in funzione della magnitudo dei terremoti attesi.

Tra i metodi semplificati i metodi basati su prove CPT sono particolarmente raccomandati dalle linee guida AGI, e tra questi il metodo di Robertson e Wride (1998).

Se il fattore $F_L > 1$ la liquefazione è da escludere; se è $F_L < 1$ è possibile che avvengano fenomeni di liquefazione. E' da osservare che anche quando $F_L > 1$ si possono avere dopo il terremoto cedimenti permanenti del terreno.

Definizione e calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione

L'indice del potenziale di liquefazione I_L è definito dalla seguente relazione:

$$I_L = \int_0^{20} F(z)w(z)dz$$

in cui:



z è la profondità dal piano campagna in metri e $w(z) = 10 - 0.5z$

Ad una data quota z il fattore $F(z) = F$ vale:

$$F = 1 - F_L \text{ se } F_L \leq 1.0$$

$$F = 0 \text{ se } F_L > 1.0$$

dove F_L è il fattore di sicurezza alla liquefazione alla quota considerata.

Analisi del rischio di liquefazione da prove in sito con il metodo di Robertson e Wride (1998)

Sulla base di una estesa osservazione delle caratteristiche dei depositi che sono stati sede di fenomeni di liquefazione, vari Autori hanno ricavato delle relazioni tra parametri geotecnici e sismici che permettono di confrontare un profilo ottenuto elaborando i dati penetrometrici con un analogo profilo di valori che nel sito in esame, in rapporto alla sua sismicità, sono da ritenersi critici.

La base dei dati permette di rappresentare, in un grafico avente per ascissa un parametro di resistenza alla liquefazione R e in ordinata un parametro di carico sismico L , i punti rappresentativi dei casi storici in cui si è avuta liquefazione oppure no. Il parametro di resistenza alla liquefazione, denominato CRR (Cyclic Resistance Ratio), è desunto dai risultati delle prove in sito, ed è funzione della resistenza di penetrazione della punta q_c .

Il parametro di carico sismico è il rapporto di tensione ciclica CSR, stimato sulla base di considerazioni teoriche ed empiriche dalle caratteristiche del terremoto, magnitudo e accelerazione di picco in superficie.

Il fattore di sicurezza FSL, nella verifica di resistenza alla liquefazione di un livello di terreno è dunque per definizione il rapporto fra la capacità di resistenza alla liquefazione, espressa in termini di rapporto di resistenza ciclica, $R = CRR$, e la domanda di resistenza alla liquefazione, espressa in termini di rapporto di tensione ciclica, $L = CSR$, ovvero:

$$FSL = R/L = CRR/CSR$$

Pertanto per stimare il fattore di sicurezza FSL occorre valutare separatamente le due variabili CSR e CRR.

Valutazione della domanda di resistenza alla liquefazione, CSR

Il parametro di carico sismico, ovvero il profilo del rapporto di tensione ciclica equivalente ad un terremoto di magnitudo 7,5, può essere stimato con la seguente equazione semiempirica proposta da Seed & Idriss (1971):

$$CSR = (\tau_{av}/\sigma'_{vo}) = 0,65 (a_{max}/g) (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo})^{rd}$$

in cui:



a_{max} è il picco di accelerazione orizzontale in superficie prodotto dal terremoto

g è l'accelerazione di gravità

σ_{vo} e σ'_{vo} sono rispettivamente le tensioni verticali litostatiche ed efficace

rd è un coefficiente di riduzione delle tensioni

Il coefficiente rd , introdotto per tenere conto della flessibilità del profilo di terreno, decresce con la profondità ed è funzione delle condizioni stratigrafiche e geotecniche. Nelle procedure di calcolo semplificate si assume che rd vari solo con la profondità. L'equazione oggi più accreditata è:

$$\begin{aligned} rd &= 1 - 0,00765 z && \text{per } z < 9,15 \text{ m} \\ rd &= 1,174 - 0,0267 z && \text{per } 9,15 < z < 23 \text{ m} \end{aligned}$$

dove z è la profondità dal piano campagna.

Il valore dell'accelerazione di picco a_{max} , presente nell'equazione per il calcolo di CSR, caratterizza l'intensità del terremoto e questo valore è stato stimato nel capitolo relativo alla pericolosità sismica.

Dato che il terremoto massimo previsto nell'area in esame è inferiore a 7,5, si deve applicare un fattore di correzione che, per convenzione, si applica alla capacità di resistenza alla liquefazione. La Magnitudo è il parametro sismico sintetico con cui si tiene conto della durata del terremoto. Si calcola la magnitudo attraverso 5 differenti scale. La scala preferibile per il calcolo della liquefazione è la Magnitudo Momento (M_w). Il valore della magnitudo attesa nel sito in esame è stato stimato in 5,5, per cui la magnitudo locale (M_L) e Magnitudo Momento (M_w) possono essere considerate coincidenti. Per le considerazioni fatte in precedenza, per poter utilizzare le procedure semplificate dell'analisi di liquefazione, bisogna utilizzare un fattore di scala della Magnitudo.

Questo fattore, MSF , è moltiplicatore del rapporto di resistenza ciclica $CRR_{7,5}$.

Il coefficiente di sicurezza FSL , nella verifica di resistenza alla liquefazione diventa allora:

$$FSL = R/L = CRR/CSR = (CRR_{7,5}/CSR) MSF$$

Il valore da attribuire a MSF è stato calcolato con l'equazione:

$$MSF = 102,24/M_{2,56}$$

Valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione da prove in sito, CRR

Le prove in sito utilizzate per la valutazione della resistenza alla liquefazione sono state le prove penetrometriche statiche (CPT). Per la classificazione dei terreni è stato utilizzato il



diagramma bilogaritmico di Robertson (1990), riportato in Figura 1.5-1 avente in ascissa il rapporto d'attrito normalizzato adimensionale:

$$F = f_s / (q_c - \sigma'_{vo}) \times 100$$

e in ordinata la resistenza di punta normalizzata dimensionale:

$$Q = (q_c - \sigma'_{vo}) / \sigma'_{vo}$$

Il diagramma è suddiviso in 9 zone cui corrispondono altrettante classi di terreno, dai terreni organici (classe 2) alle sabbie ghiaiose (classe 7), dai terreni a grana fine ad alta sensibilità (classe 1) ai terreni a grana fine molto sovraconsolidati (classe 9).

Per identificare i terreni dalla classe 2 a 7 è sufficiente calcolare:

$$I_c = [(\log F + 1,22)^2 + (\log Q - 3,47)^2]^{1/2}$$

e verificare la classe di appartenenza in base alla tabella seguente

Indice del tipo di terreno	Zona	Classe di terreno
$I_c < 1,31$	7	Sabbia ghiaiosa
$1,31 < I_c < 2,05$	6	Sabbie: da pulite a limose
$2,05 < I_c < 2,6$	5	Da sabbia limosa a limo sabbioso
$2,6 < I_c < 2,95$	4	Da limo argilloso a argilla limosa
$2,95 < I_c < 3,6$	3	Argilla
$I_c > 3,6$	2	Terreni organici

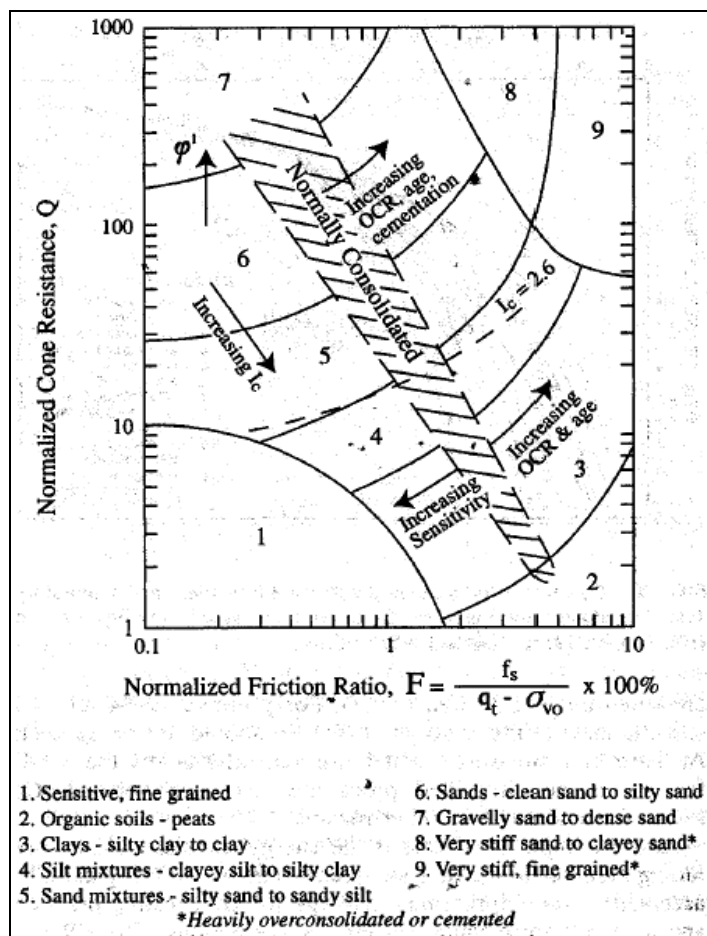


FIGURA 1.5-1 - CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI MEDIANTE IL DIAGRAMMA BILOGARITMICO DI ROBERTSON (1990)

Per individuare i terreni che ricadono nella classe 1 si calcola la seguente formula, che individua la linea di confine della classe 1.

$$1,28 = [(\log F + 1)2 + (\log Q + 0,28)2]^{1/2}$$

La formula seguente invece riproduce bene la linea di confine delle classi 8 e 9

$$\log Q = 2 (\log F)^2 - 4 (\log F) + 3,72$$

Resistenza alla punta normalizzata

La resistenza alla punta deve essere corretta per tenere conto dell'influenza della pressione verticale efficace alla profondità della prova e normalizzata.

A tal fine si utilizza la seguente equazione:

$$qc_{IN} = CQ = qc / Pa)$$

$$\text{con: } CQ = (Pa/\sigma'_{vo})^n$$



Il valore di n dipende dalle caratteristiche granulometriche del terreno ed è compreso tra 0,5 per le sabbie e 1 per le argille.

Se il valore di I_c calcolato risulta $> 2,6$ si assume $q_{clN} = Q = q_c / \sigma'_{vo}$ che equivale ad assumere $n = 1$. Se invece risulta $I_c < 2,6$ si calcola il valore di q_{clN} utilizzando il valore $n = 0,5$, poi si calcola un nuovo valore di I_c con la seguente equazione

$$I_c = [(\log F + 1 I_{c,22})^2 + (\log q_{clN} - 3,47)^2]^{1/2}$$

Se il valore di I_c così calcolato è ancora minore di 2,6, il terreno è granulare e non plastico, altrimenti il terreno ha un elevato contenuto di limo. In questo caso viene eseguito il calcolo definitivo di q_{clN} assumendo il valore di $n = 0,75$:

$$q_{clN} = (q_c / Pa) (Pa / \sigma'_{vo})^{0,75} < (q_c / Pa)$$

Correzione per contenuto in fini

Per correggere la resistenza di punta normalizzata di sabbie con frazione fine non trascurabile q_{clN} nel valore equivalente per sabbie pulite $(q_{clN})_{cs}$, al fine di calcolare il rapporto di resistenza ciclica $CRR_{7,5}$, viene applicata la seguente procedura:

$$(q_{clN})_{cs} = K q_{clN}$$

in cui K è un fattore di correzione funzione di I_c determinato nel modo seguente:

se $I_c \geq 2,6$ il terreno è a grana fine, non è liquefacibile e quindi il problema non si pone.

se $I_c \leq 1,64$ il terreno ha un contenuto in fini basso e non occorre alcuna correzione, ovvero si assume $K = 1$.

se $I_c 2,6 < I_c < 1,64$ il terreno ha un contenuto in fini non trascurabile che ne condiziona la resistenza penetrometrica ma non tale da escludere il verificarsi della liquefazione, e il fattore di conversione ($1 \leq K \leq 3,33$) è calcolato con la seguente equazione:

$$K = -0,403 I_{c4} + 5,581 I_{c3} - 21,63 I_{c2} + 33,75 I_c - 17,88$$

Equazione della curva base per sabbia pulita

La curva base che definisce la resistenza alla liquefazione ($CRR_{7,5}$) da prova CPT, valida per terremoto di magnitudo 7,5 e per sabbia pulita ($FC \leq 5\%$) proposta da Robertson e Wride (1997) e descritta dalla seguente equazione in cui $(q_{clN})_{cs}$ rappresenta la resistenza penetrometrica di punta corretta e normalizzata:

$$(q_{clN})_{cs} < 50 \quad CRR_{7,5} = 0,833 [(q_{clN})_{cs} / 1000] + 0,05$$

$$(q_{clN})_{cs} > 50 \quad CRR_{7,5} = 93 [(q_{clN})_{cs} / 1000]^3 + 0,08$$



Indice del potenziale di liquefazione

Per tale rappresentazione è necessario riferirsi a valori numerici associati ad ogni verticale di prova penetrometrica.

Un indice sintetico, rappresentativo del rischio di liquefazione, applicabile al metodo utilizzato, che prevede il calcolo del profilo del Fattore di Sicurezza, è l'Indice di Potenziale alla Liquefazione PL, introdotto da Iwasaky et al. (1978)

$$PL = \int_0^{Z_{crit}} F(Z) W(Z) dz$$

in cui $F(Z)$ è una funzione che $FS > 1$ assume il valore zero e per $FS < 1$ ne è il complemento ad 1, e $W(Z) = 10 - 10 (Z/Z_{crit})$ è una funzione linearmente decrescente della profondità oltre la quale sono da escludersi fenomeni di liquefazione, il cui valore è per la maggior parte degli autori 20 metri.

L'indice del potenziale di liquefazione è definito nel campo 0–100 ed esprime quantitativamente la severità del rischio di liquefazione.

In tabella sono indicate le classi di severità del rischio in funzione del valore dell'indice di liquefazione calcolato per $Z_{crit} = 20$ metri.

Valore di PL	Rischio di liquefazione
PL = 0	Molto basso
0 < PL < 5	Basso
5 < PL < 15	Alto
15 < PL	Molto alto

1.5.1 Applicazione della metodologia ed analisi dei risultati

La sismicità dell'area indica (Dati CNR IRRS) che sussistono le condizioni sismiche per la liquefazione, infatti, i terremoti attesi con un tempo di ritorno di 475 anni, sono di magnitudo 5,5 con valori dell'accelerazione di picco $a_{max} \geq 0,250g$.

Sono stati quindi considerati i seguenti dati sismici di progetto:

- Magnitudo $M=5,5$,
- Accelerazione di picco = $a_{max} = 250$ gal.

La procedura descritta nei paragrafi precedenti è stata applicata a tutte le 324 prove penetrometriche digitalizzate dei dati provenienti dalle CPT con un passo delle letture di 20 cm.



Le elaborazioni sono state fatte attraverso soluzioni in foglio di calcolo.

Gli esiti dell'analisi, eseguita sul rischio di liquefazione dei terreni in condizioni sismiche, sono rappresentati sulla *Carta dell'indice del potenziale di liquefazione* (vedi quadro conoscitivo PSC).

La carta è stata elaborata utilizzando i valori di PI desunti dalle elaborazioni (ampiamente descritte e discusse nel relativo paragrafo) delle 324 prove CPT e CPTe vettorializzate.

Il terremoto di progetto, utilizzato nelle elaborazioni, è quello imposto dalla normativa sismica (OPCM 3274/2003) su suolo elastico e rigido di cat A caratterizzato da valori di PGA pari a 250 gal. La magnitudo M associata all'evento è stata stimata in 5,5.

La *Carta dell'indice del potenziale di liquefazione* individua le aree in cui le condizioni geologiche peculiari sono tali da favorire l'insorgere di fenomeni di liquefazione e che quindi andranno investigate più approfonditamente nelle ulteriori fasi di programmazione e progettazione.

Dall'analisi della carta si possono comunque trarre alcune indicazioni:

- la maggior parte del territorio del PSC possiede caratteristiche geologiche tali da non favorire l'insorgere di fenomeni di liquefazione (aree in colore viola in carta);
- in alcune zone limitate, in particolare nei territori di Massa Lombarda, di Alfonsine, di Lugo e di Bagnacavallo, i livelli sabbiosi presentano caratteristiche tali da non far ritenere trascurabile il rischio di liquefazione dei terreni in condizioni sismiche.

Sulla base delle informazioni relative alla geologia di superficie e di sottosuolo le aree in cui si sono rilevati orizzonti liquefacibili sembrano in generale da mettere in relazione con i depositi alluvionali sabbiosi connessi ai corsi d'acqua maggiori.

Solo subordinatamente, nella porzione nord occidentale del territorio di Alfonsine gli orizzonti liquefacibili sono posti più in profondità e sarebbero da mettere in relazione con la presenza di depositi di sabbie litorali.

Sono state quindi eseguite le analisi sulla liquefazione applicando i valori di PGA per ogni Comune indicati per dalla Regione Emilia-Romagna moltiplicati per i valori di F.A. ricavati dall'analisi delle VS. Le prove penetrometriche utilizzate sono quelle che si trovano nelle vicinanze delle prove sismiche eseguite.

I risultati confermano quanto detto in precedenza sulla possibilità di liquefazione.

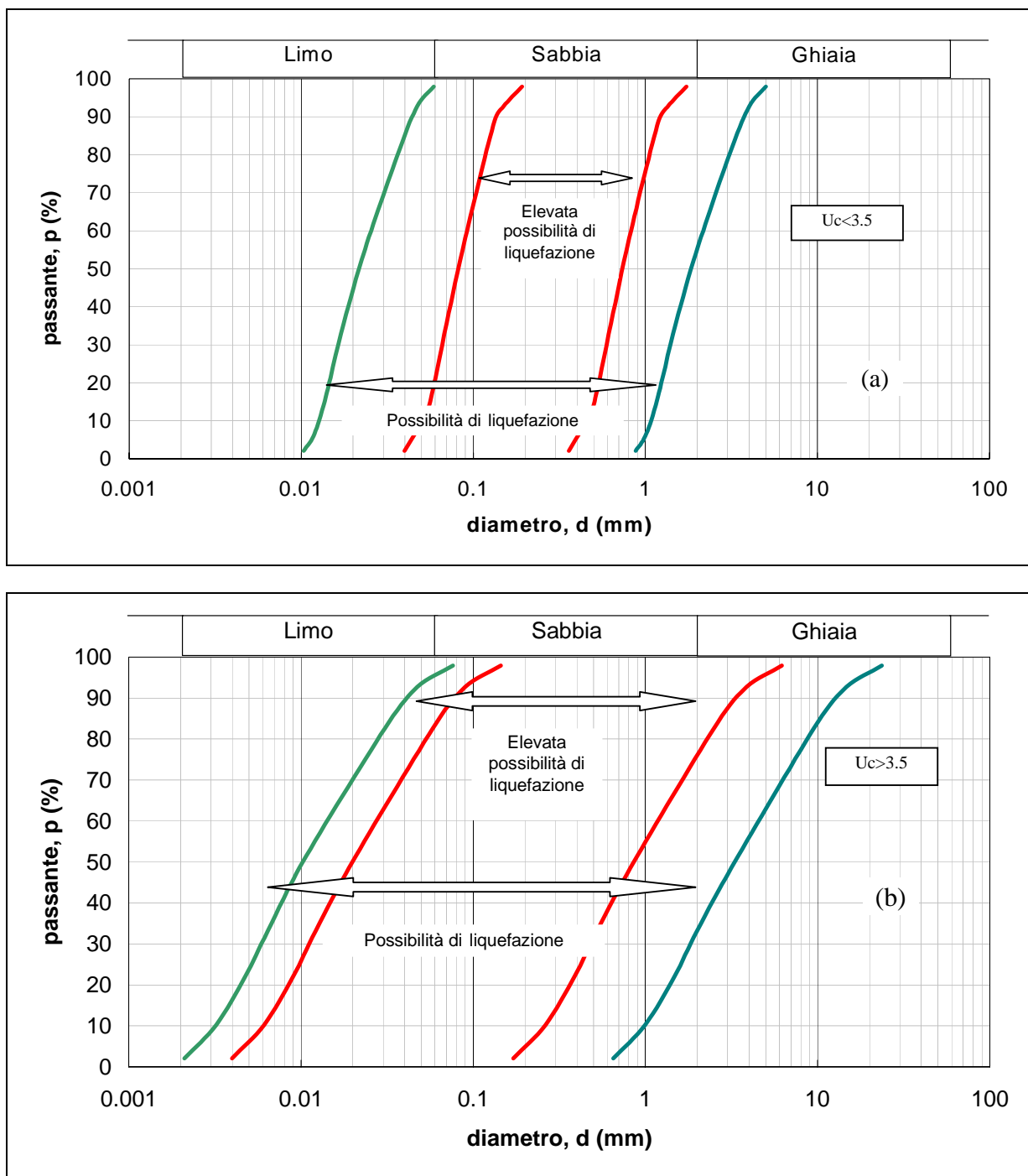
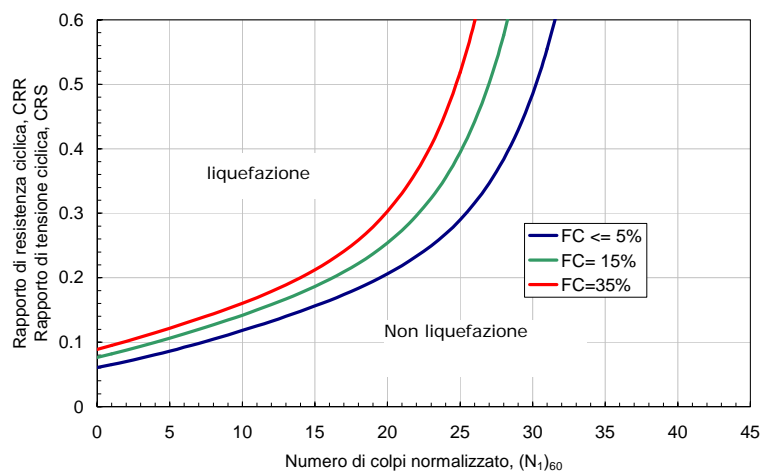


FIGURA 1.5-2 - FASCE GRANULOMETRICHE PER LA VALUTAZIONE PRELIMINARE DELLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE DI UN TERRENO PER I TERRENI A GRANULOMETRIA UNIFORME (A) ED ESTESA (B) (DA AGI, 2005)



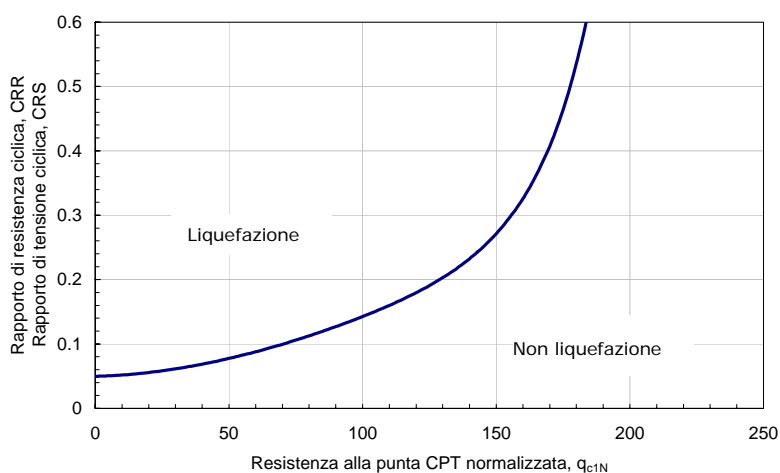
$$(N_1)_{60} = N_{SPT} C_N C_E C_B C_R C_S$$

dove:

$$C_N = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{0.784 - 0.0768 \sqrt{(N_1)_{60}}}$$

C_N non deve superare il valore di 1,7 e p_a (pressione atmosferica $\cong 100$ kPa) e σ'_v devono avere le stesse unità di misura e

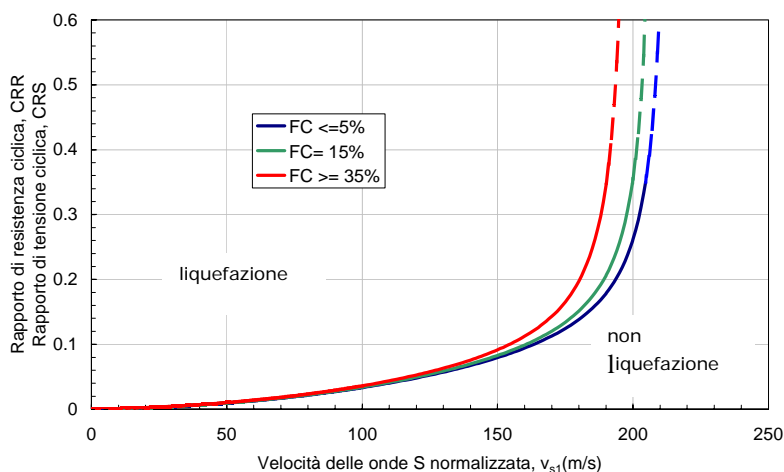
$$C_E C_B C_R C_S \approx 1$$



$$q_{c1N} = C_Q \frac{q_c}{p_a}$$

dove p_a , q_c (pressione atmosferica di riferimento $\cong 100$ kPa) e σ'_v sono espresse nelle stesse unità di misura ed è

$$C_Q = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{1.338 - 0.294 (q_{c1N})^{0.264}}$$



$$v_{s1} = C_V v_s$$

dove p_a (pressione atmosferica di riferimento $\cong 100$ kPa) e σ'_v sono espresse nelle stesse unità di misura ed è:

$$C_V = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{0.25}$$

FIGURA 1.5-3 - GRAFICI PER LA STIMA DELLA RESISTENZA NORMALIZZATA ALLA LIQUEFAZIONE CRR DI UN TERRENO SABBIOSO SATURO IN FUNZIONE DELLA PERCENTUALE DI FINI FC E SULLA BASE DEI VALORI DI N_{SPT} , Q_C E V_S CORRETTI

- l'indice di riconsolidazione postciclica C_r può essere posto pari a $C_r = 0.225 C_c$ (dove C_c è l'indice di compressione ottenuto in prove edometriche)
- il rapporto di pressione interstiziale $\frac{\Delta u}{\sigma'_0}$ può essere valutato con il grafico di Figura 1.5-5 o con la Tabella 1.5-2 in funzione della ampiezza della deformazione di taglio massima γ_{max} indotta dal terremoto ;
- l'ampiezza della deformazione di taglio massima γ_{max} può essere valutata con l'espressione:

$$\gamma_{max} = 0.65 \frac{a_{maxs}}{g} \sigma_v r_d \frac{1}{G}$$

dove a_{maxs} è il picco di accelerazione al piano campagna del terremoto di riferimento; g è l'accelerazione di gravità; σ_v è la tensione totale verticale; r_d è un coefficiente riduttivo dell'azione sismica che mette in conto la deformabilità del sottosuolo e che può essere determinato con la relazione semplificata $r_d = 1 - 0.015z$; G è il modulo di taglio corrispondente al livello deformativo γ_{max} , che è stato determinato utilizzando le leggi di variazione $G(\gamma)$ ottenute mediante la Tabella 1.5-3 applicando un fattore riduttivo al modulo di taglio G_0 .

Nel caso in cui sia $F_L > 1$ la quantità $\frac{\Delta u}{\sigma'_0}$ può essere ricavata con la relazione:

$$\frac{\Delta u}{\sigma'_0} = F_L^{-7}$$

L'applicazione alle singole prove penetrometriche utilizzate non ha mostrato valori significativi di cedimenti.

1.5.3 Stima dei cedimenti dei terreni granulari non saturi

In prima approssimazione per la valutazione del cedimento ΔH in un generico strato di altezza H può essere utilizzata la Tabella 1.5-7, che fornisce i valori del rapporto di compressione volumetrica:

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta H}{H}$$

in funzione dell'accelerazione a_{max} e del numero dei colpi corretto $(N_1)_{60} = N_{SPT} C_N$ con:

$$C_N = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{0.5} \text{ essendo } p_a \text{ la pressione atmosferica e } \sigma'_v \text{ la pressione efficace verticale.}$$

I valori del numero di colpi corretto è stato derivato dai valori di CPT.

I risultati non hanno fornito significativi cedimenti.



1.5.4 Stima dei cedimenti postsismici dei terreni coesivi

Nei depositi coesivi molto soffici ($c_u \leq 70 \text{ kPa}$) e plastici ($I_p \geq 30\%$) in cui si prevede un incremento delle pressioni interstiziali:

$$\frac{\Delta u}{\sigma'_0} \geq 0.3$$

durante il terremoto di riferimento deve essere valutata l'entità del cedimento di riconsolidazione conseguente alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto. A tal fine devono essere disponibili prove in sito e in laboratorio per la caratterizzazione geotecnica dei vari strati (in particolare attraverso prove indici e prove edometriche).

In un generico strato di spessore H il cedimento di riconsolidazione può essere valutato con l'espressione:

$$\Delta H = \varepsilon_{vr} H$$

dove H è l'altezza dello strato ed ε_{vr} (%) è la deformazione volumetrica post-ciclica:

$$\varepsilon_{vr} = \frac{\alpha C_r}{1 + e_0} \log \left(\frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{\sigma'_0}} \right)$$

in cui α è una costante sperimentale compresa tra 1 e 1,5, e_0 è l'indice dei vuoti iniziale, C_r è l'indice di riconsolidazione postciclica che in prima approssimazione può essere posto pari a $C_r = 0,225 \cdot C_c$ dove:

C_c è l'indice di compressione

$\frac{\Delta u}{\sigma'_0}$ è il rapporto di pressione interstiziale.

In prima approssimazione C_c è stato stimato con la relazione empirica:

$$C_c = 0,0348 + 0,0162 \cdot I_p$$

Nel nostro caso le informazioni utili derivanti dalla ricerca bibliografica sono solamente 3, per cui non è stato possibile avere un valore territoriale.

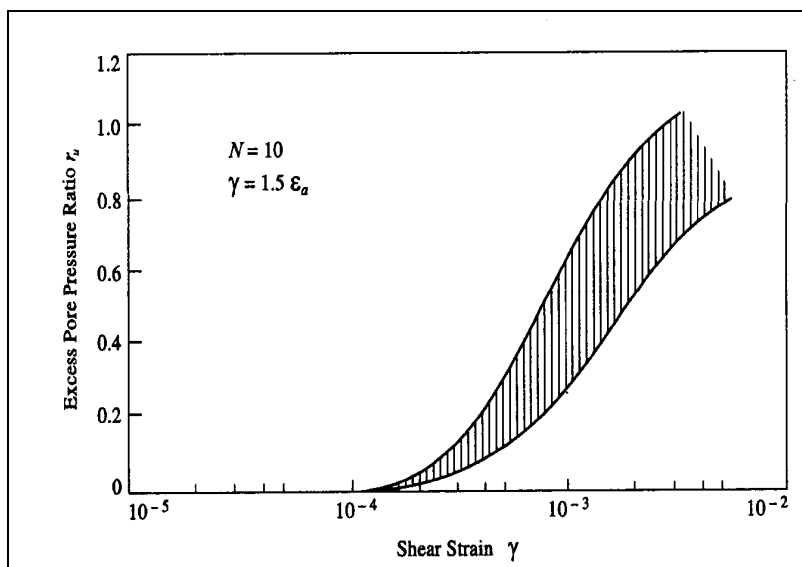


FIGURA 1.5-5 –VALORE DEL RAPPORTO DI PRESSIONE INTERSTIZIALE r_u IN FUNZIONE DELLA DEFORMAZIONE DI TAGLIO

$$\gamma_{\max} = 0.65 \frac{a_{\max}}{g} \sigma_v r_d \frac{1}{G}$$

MASSIMA INDOTTA DAL TERREMOTO

Magnitudo	MSF
5.5	1.43
6.0	1.32
6.5	1.19

TABELLA 1.5-1 - FATTORE DI CORREZIONE MSF (SEED E IDRIS, 1982)

γ_{\max} [%]	r_u
$5 \cdot 10^{-2}$	0.2
$1 \cdot 10^{-1}$	0.4
$2 \cdot 10^{-1}$	0.6
$4 \cdot 10^{-1}$	0.8
5	0.95

TABELLA 1.5-2 - RAPPORTO DI PRESSIONE INTERSTIZIALE $r_u = \frac{\Delta u}{\sigma'_0}$ IN FUNZIONE DI γ_{\max}

a_{\max} [g]	G/G_0
0.10	0.80
0.20	0.50
0.30	0.35
0.40	0.28

TABELLA 1.5-3- FATTORE DI RIDUZIONE DEL MODULO DI TAGLIO G NEI PRIMI 20 M IN FUNZIONE DELL'ACCELERAZIONE A_{\max}

I_p (%)	A	B
20	$0.4 \cdot 10^{-3}$	$0.6 \cdot 10^{-3}$
40	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$1.1 \cdot 10^{-3}$
55	$2.5 \cdot 10^{-3}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$

TABELLA 1.5-4 - VALORI SUGGERITI PER I COEFFICIENTI A E B



γ [%]	I_p [%]	OCR=1	OCR=2	OCR=4
1	10÷24	0.25	0.12	0.03
1	25÷60	0.07	0.06	0.02
2	10÷24	0.3÷0.35	0.20	0.15
2	25÷60	0.09	0.08	0.07

TABELLA 1.5-5- VALORI DEL PARAMETRO DI DEGRADAZIONE T PER I TERRENI COESIVI IN FUNZIONE DELLA AMPIEZZA DELLA DEFORMAZIONE DI TAGLIO γ , DELL'INDICE DI PLASTICITÀ I_p E DEL GRADO DI SOVRACONSOLIDAZIONE OCR

Magnitudo	Numero dei cicli equivalenti	Accelerazione [g]
5.25	2-3	0.15
6.0	5	0.25
6.5	8	0.30
7.0	12	0.35
7.5	15	0.45

TABELLA 1.5-6 - VALORI DEL NUMERO DI CICLI EQUIVALENTI CORRISPONDENTI AD UN'AMPIEZZA DELLO SFORZO DI TAGLIO PARI A $0.65 \tau_{MAX} = 0.65 A_{MAX} \sigma_{VRD} / (GG)$ (A_{MAX} È MISURATO IN G)

a_{max} [g]	ε_v	ε_v	ε_v
	$(N_1)_{60} = 10$	$(N_1)_{60} = 20$	$(N_1)_{60} = 40$
0.05	0.02	0.01	-
0.10	0.03	0.015	-
0.15	0.05	0.02	-
0.20	0.07	0.03	0.005
0.25	0.12	0.04	0.007
0.30	0.15	0.05	0.010
0.35	0.18	0.06	0.015
0.40	0.23	0.075	0.02

TABELLA 1.5-7 - VALORI DEL RAPPORTO DI COMPRESSIONE VOLUMETRICA $\varepsilon_v = \frac{\Delta H}{H}$ IN FUNZIONE DELL'ACCELERAZIONE A_{MAX} E DEL NUMERO DEI COLPI CORRETTO $(N_1)_{60}$

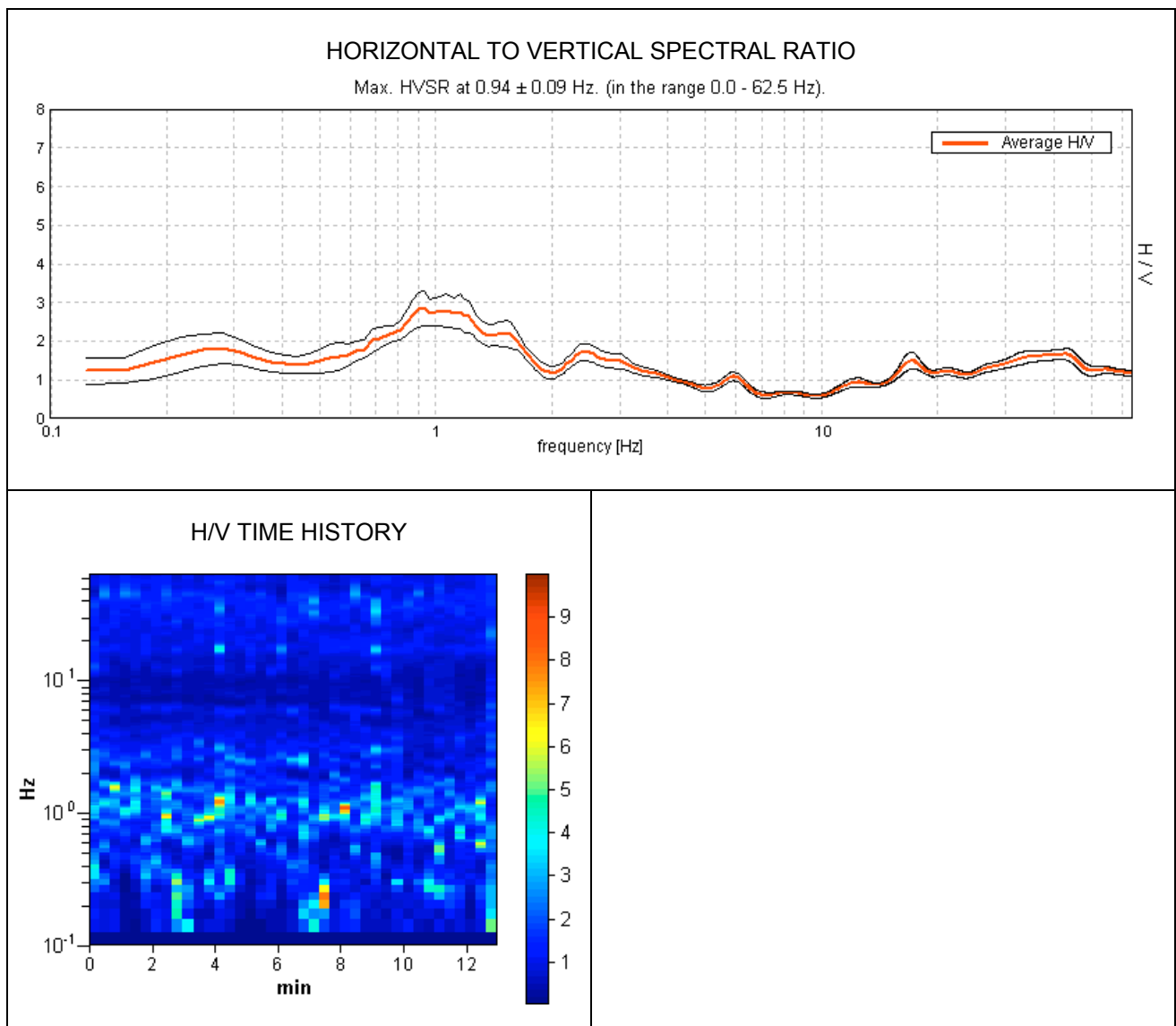


ALLEGATO 1-1
RISULTATI DELLE ANALISI SISMICHE

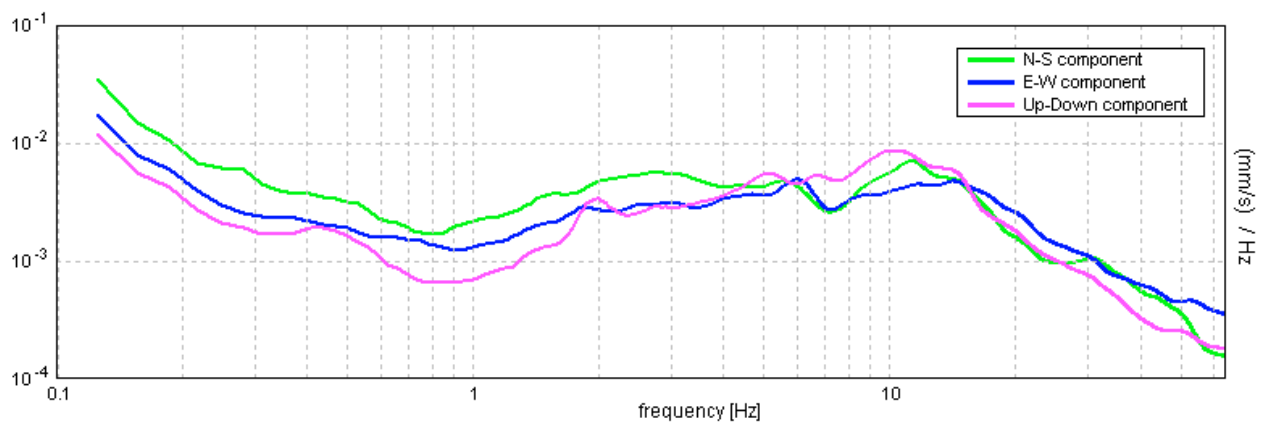
TRACCIA 0007, RUSSI

Start recording: 26/03/08 16:20:37 End recording: 26/03/08 16:33:38
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h13'00". Analysis performed on the entire trace.
Sampling frequency: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

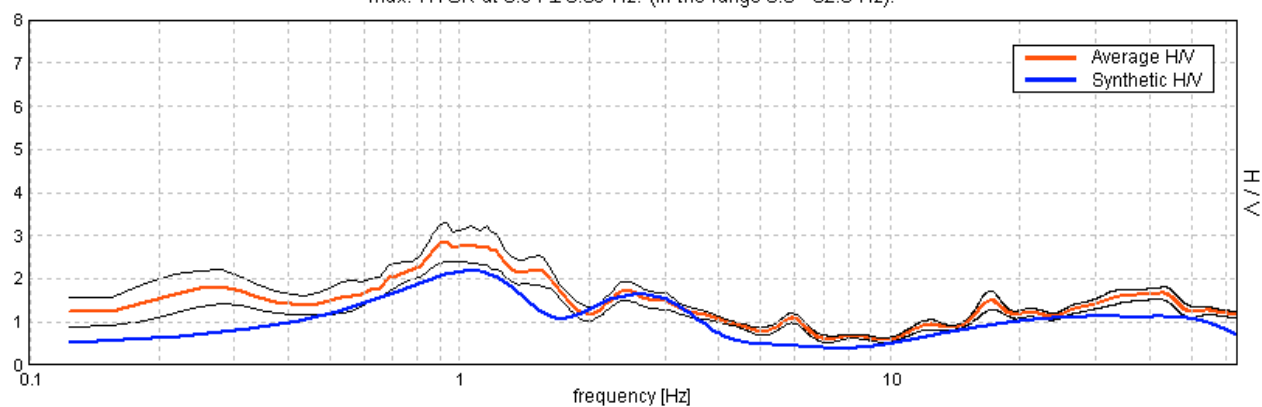


SINGLE COMPONENT SPECTRA

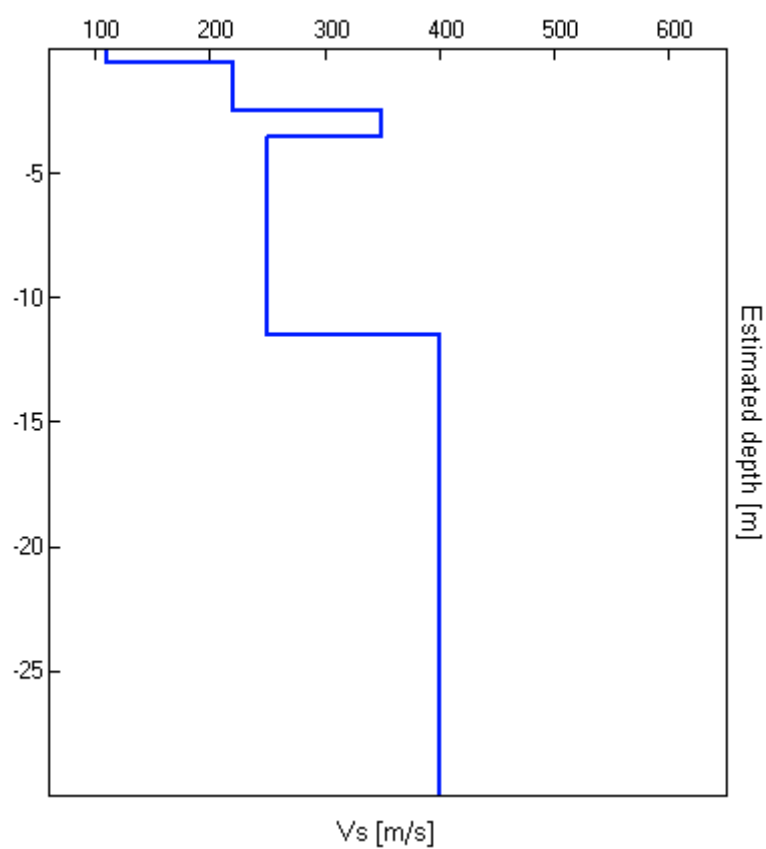


EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. HVSR at 0.94 ± 0.09 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
0.50	0.50	110
2.50	2.00	220
3.50	1.00	350
11.50	8.00	250
36.50	25.00	400
156.50	120.00	650
inf.	inf.	1150



Vs30 = 317 m/s. Categoria di suolo = C.

[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the [Grilla](#) manual before interpreting the following tables.]

Max. HVSR at 0.94 ± 0.09 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).

Criteria for a reliable HVSR curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.94 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$731.3 > 200$	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 46 times	OK	

Criteria for a clear HVSR peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.469 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.844 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.85 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04725 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.0443 < 0.14063$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2188 < 2.0$	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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

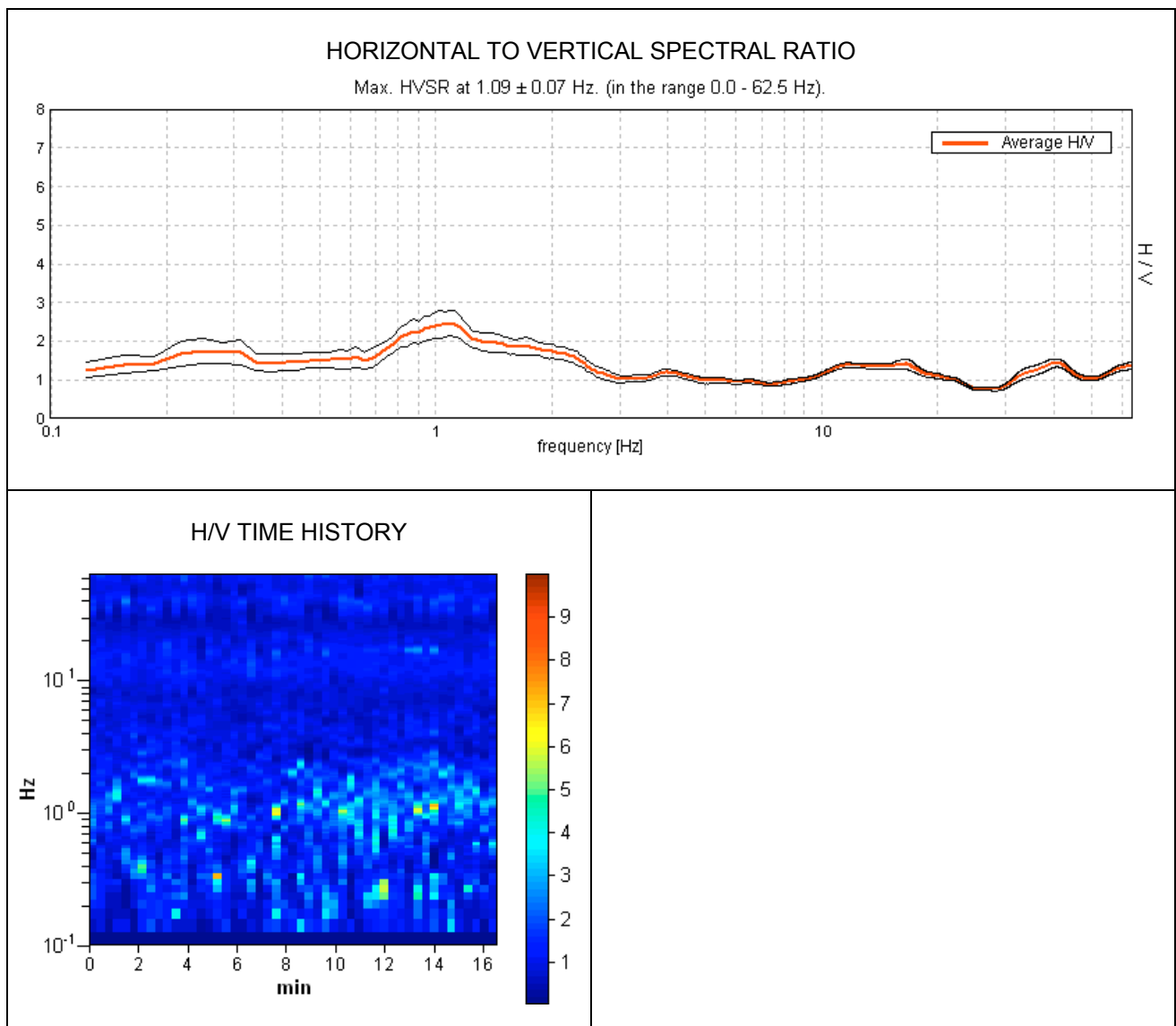
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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

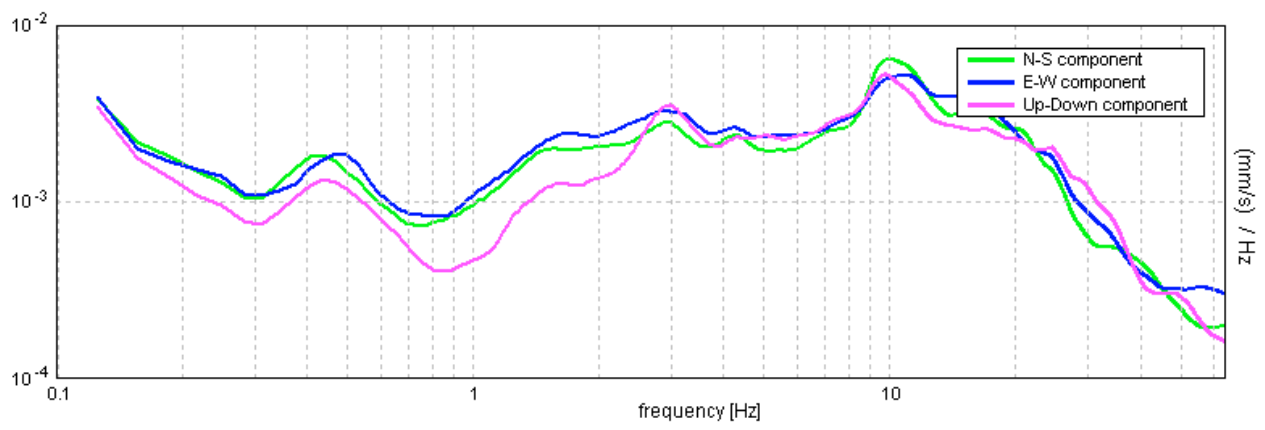
TRACCIA 0008, RUSSI

Start recording: 26/03/08 16:41:53 End recording: 26/03/08 16:58:38
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h16'36". Analysis performed on the entire trace.
Sampling frequency: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

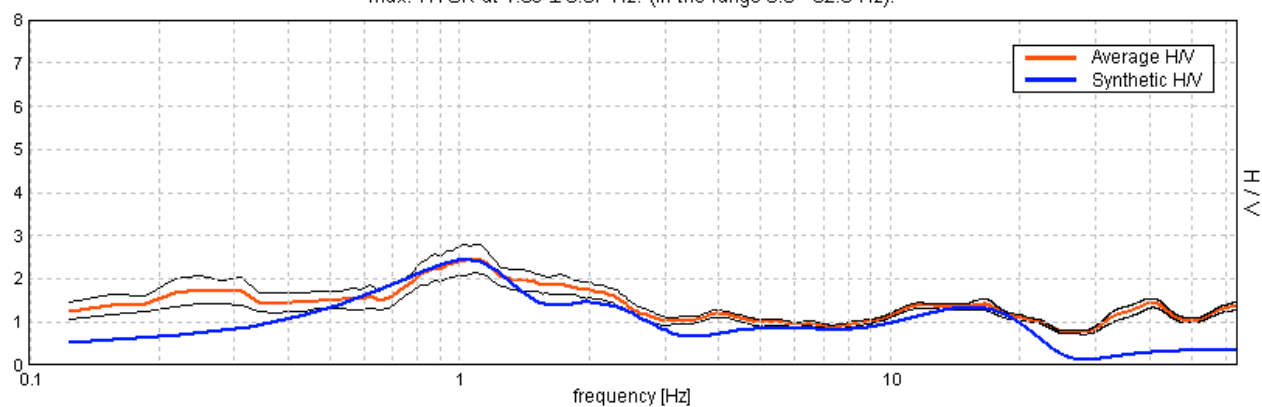


SINGLE COMPONENT SPECTRA

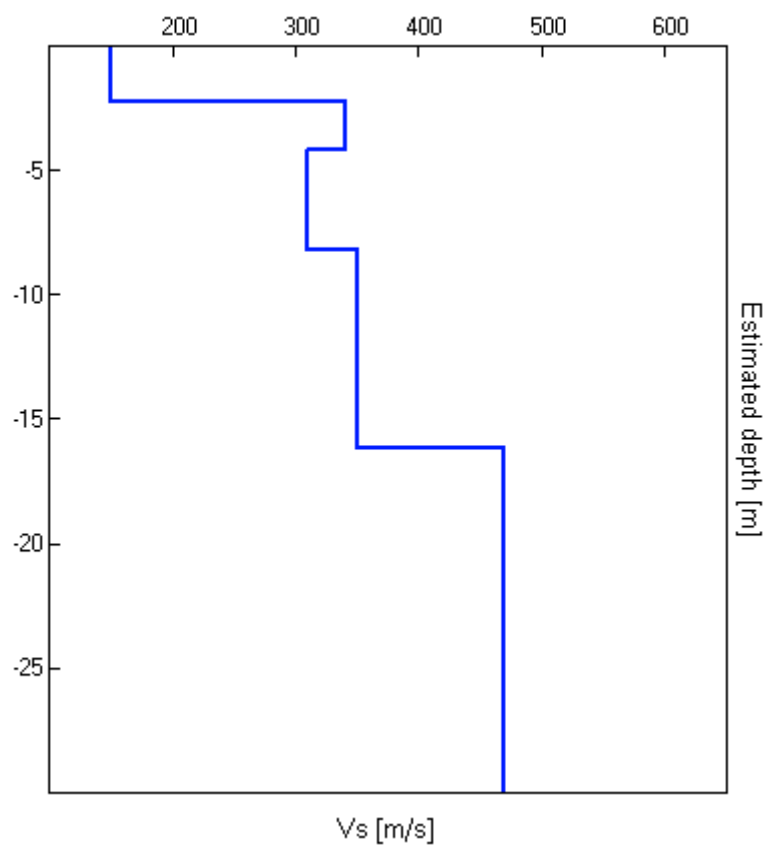


EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. HVSR at 1.09 ± 0.07 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
2.20	2.20	150
4.20	2.00	340
8.20	4.00	310
16.20	8.00	350
56.20	40.00	470
206.20	150.00	800
inf.	inf.	1350



Vs30 = 350 m/s. Categoria di suolo = C.

[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the [Grilla](#) manual before interpreting the following tables.]

Max. HVSR at 1.09 ± 0.07 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).

Criteria for a reliable HVSR curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.09 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1071.9 > 200$	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 54 times	OK	

Criteria for a clear HVSR 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 $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.594 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.47 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.03064 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.03351 < 0.10938$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1672 < 1.78$	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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

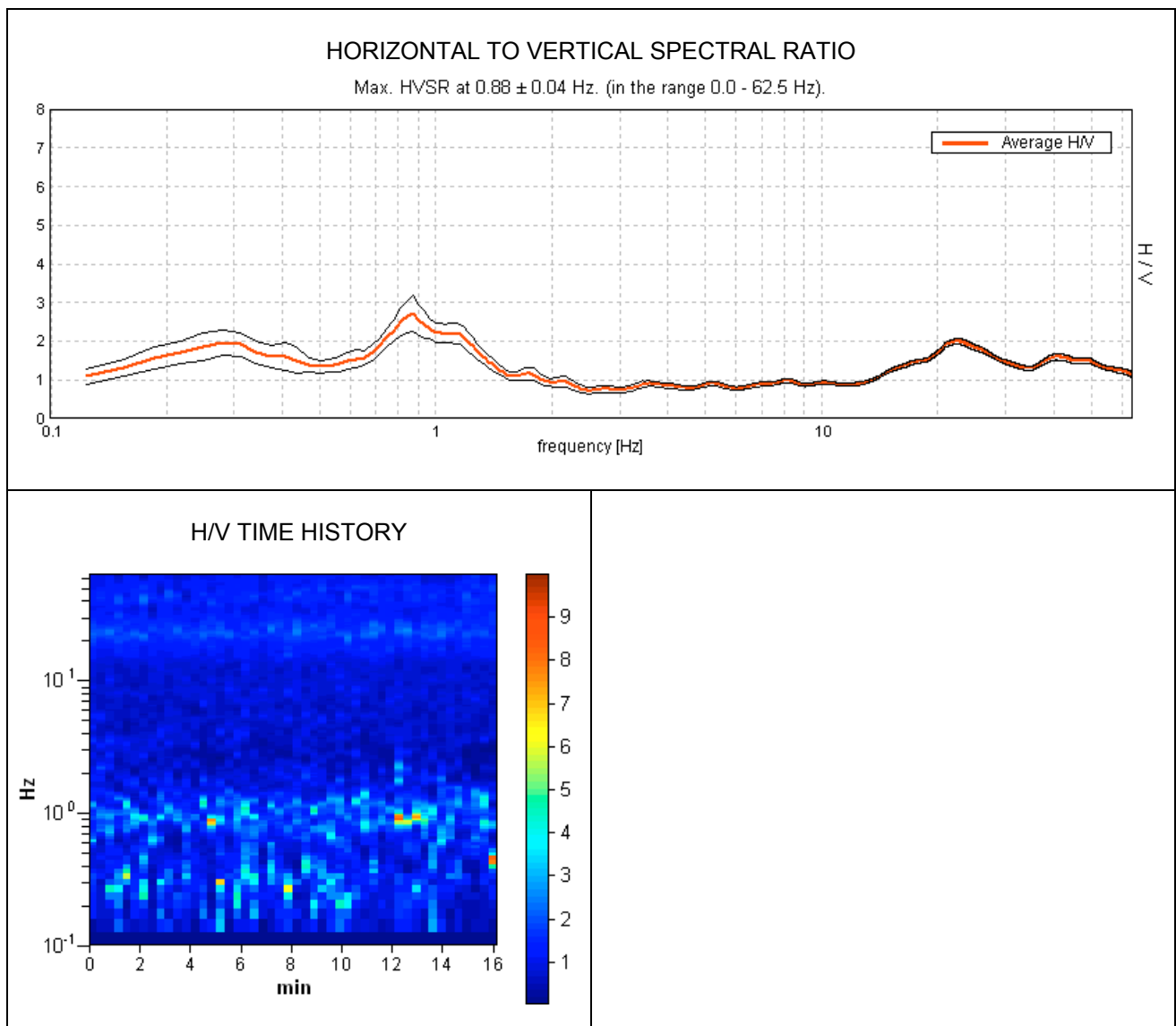
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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

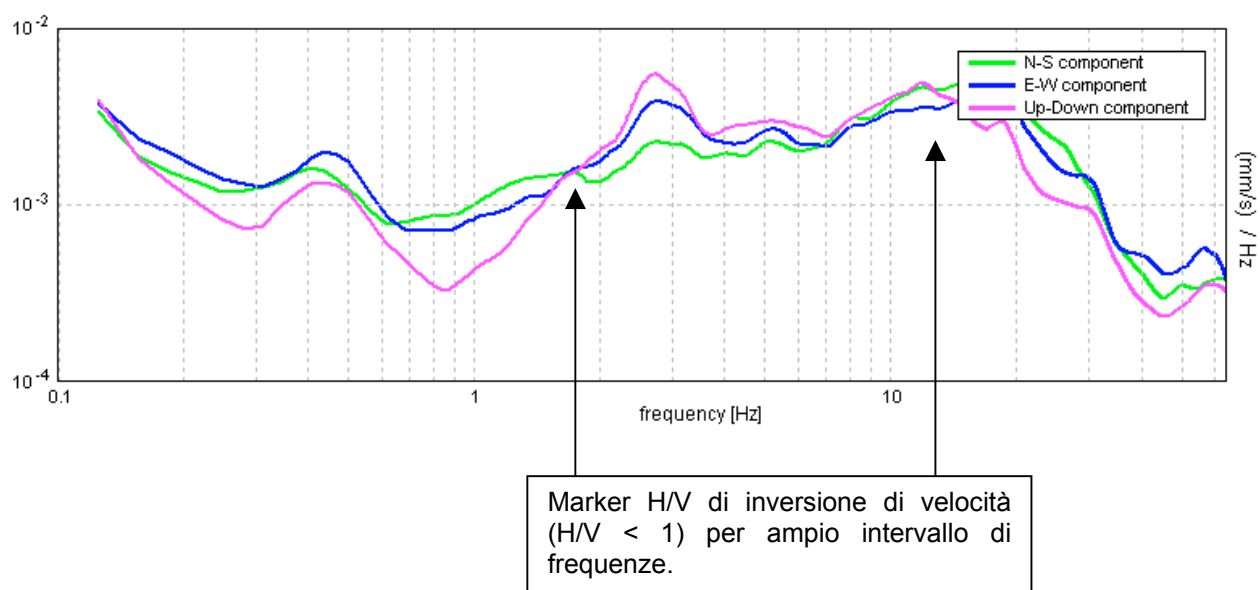
TRACCIA 0009, BAGNACAVALLLO

Start recording: 26/03/08 17:20:11 End recording: 26/03/08 17:36:25
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h16'12". Analysis performed on the entire trace.
Sampling frequency: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

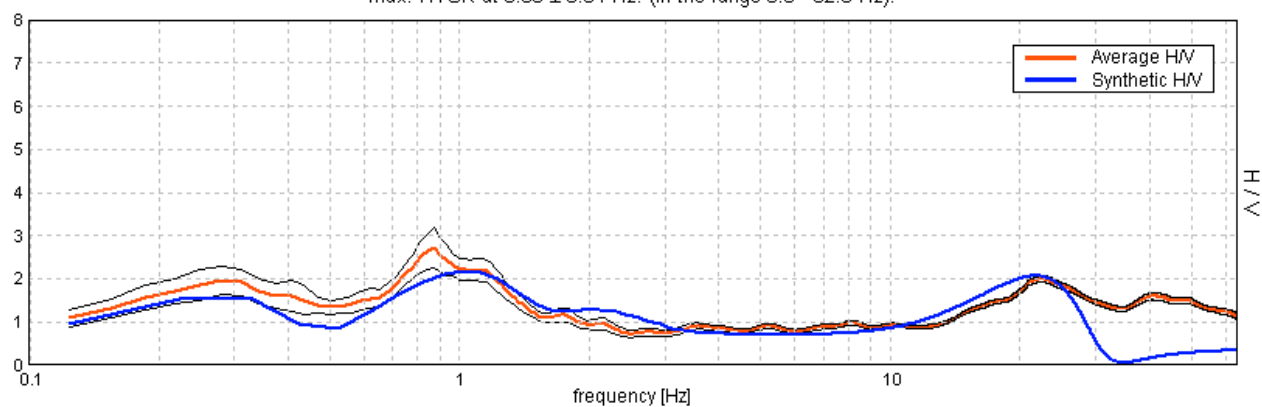


SINGLE COMPONENT SPECTRA

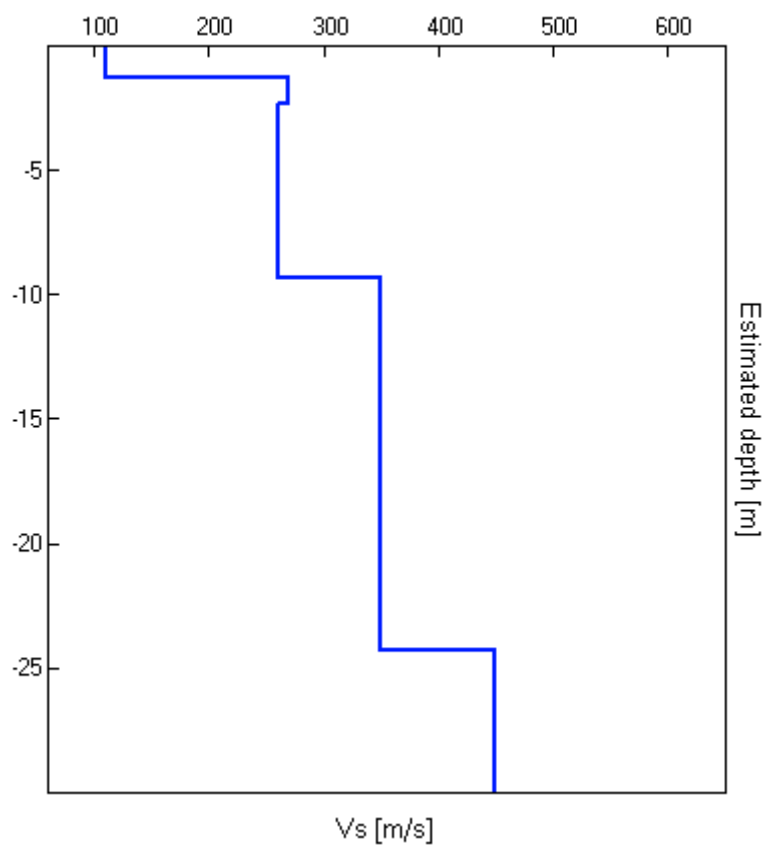


EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. HVSR at 0.88 ± 0.04 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
1.30	1.30	110
2.30	1.00	270
9.30	7.00	260
24.30	15.00	350
54.30	30.00	450
164.30	110.00	650
864.30	700.00	1050
inf.	inf.	1900



Vs30 = 306 m/s. Categoria di suolo = C.

[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the [Grilla](#) manual before interpreting the following tables.]

Max. HVSr at 0.88 ± 0.04 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).

Criteria for a reliable HVSr curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.88 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$840.0 > 200$	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 43 times	OK	

Criteria for a clear HVSr peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.5 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.438 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.72 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02198 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.01924 < 0.13125$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2319 < 2.0$	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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

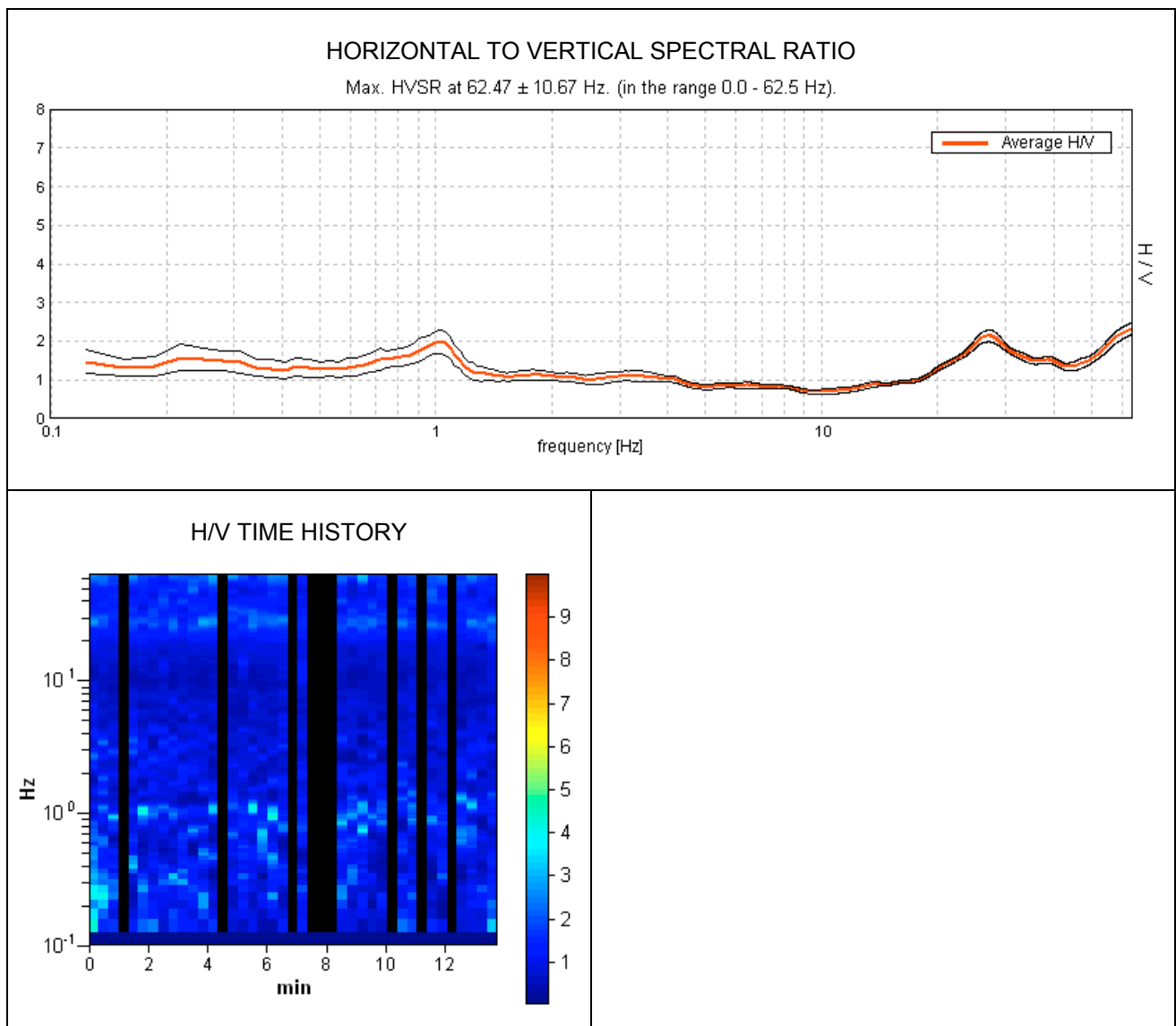
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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

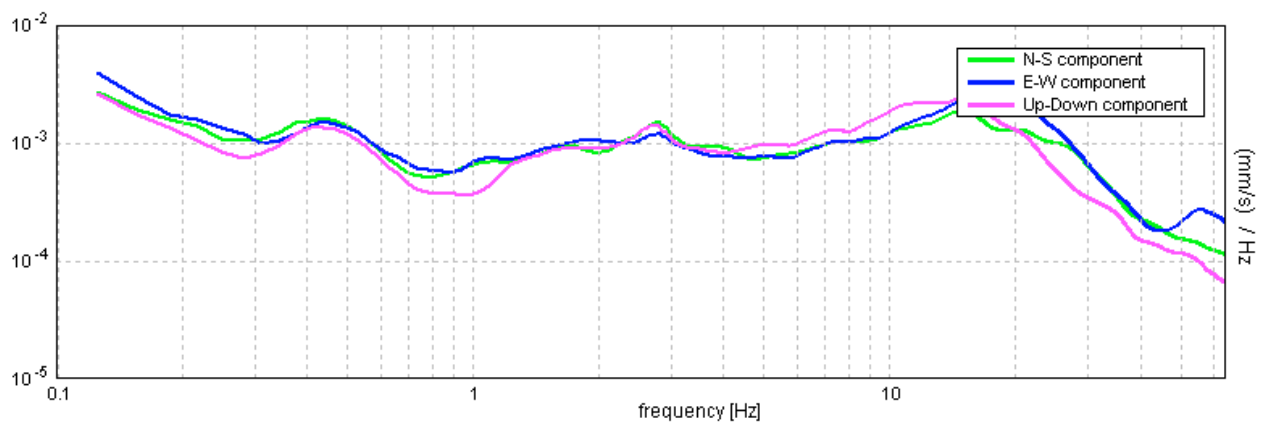
TRACCIA 0010, BAGNACAVALLLO

Start recording: 26/03/08 17:44:26 End recording: 26/03/08 17:58:24
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h13'48". Analyzed 78% trace (manual window selection)
Sampling frequency: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

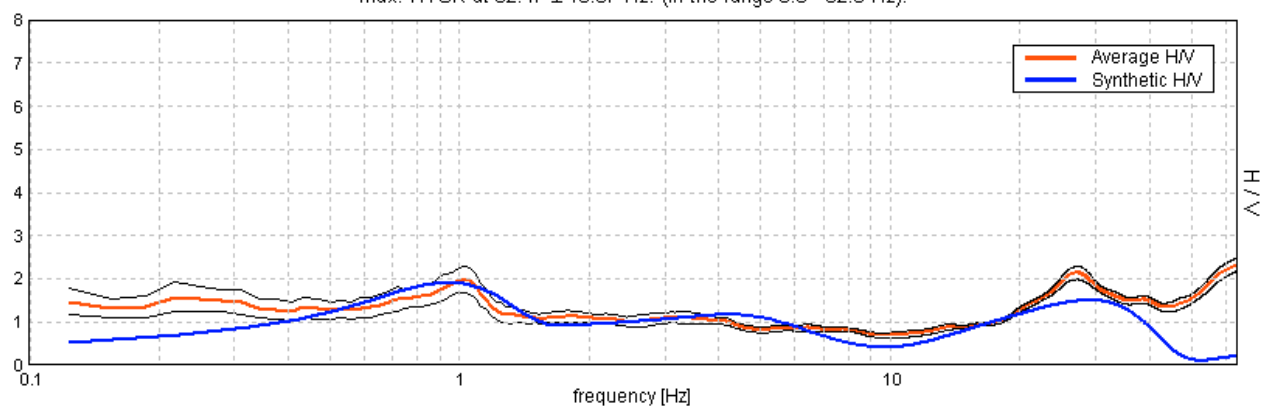


SINGLE COMPONENT SPECTRA

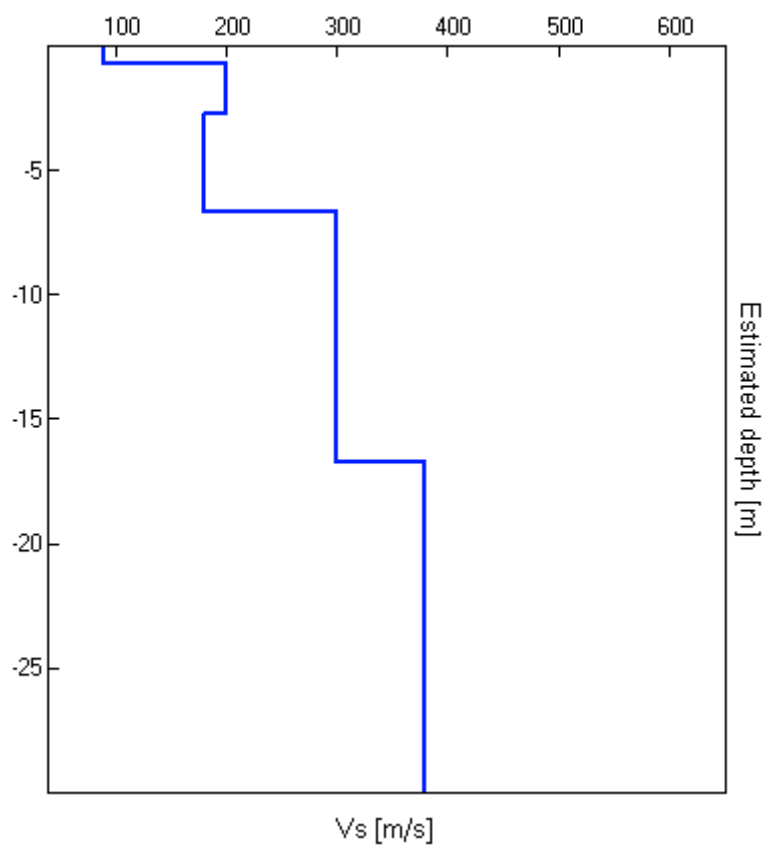


EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. HVSR at 62.47 ± 10.67 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
0.70	0.70	90
2.70	2.00	200
6.70	4.00	180
16.70	10.00	300
46.70	30.00	380
76.70	30.00	500
136.70	60.00	550
inf.	inf.	850



Vs30 = 277 m/s. Categoria di suolo = C.

[According to the Sesame, 2005 guidelines. **Please read carefully the [Grilla](#) manual before interpreting the following tables.**]

Max. HVSr at 62.47 ± 10.67 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).

Criteria for a reliable HVSr curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$62.47 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$39980.0 > 200$	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 1050 times	OK	

Criteria for a clear HVSr peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	19.063 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$2.28 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0824 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$5.14718 < 3.12344$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.0745 < 1.58$	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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

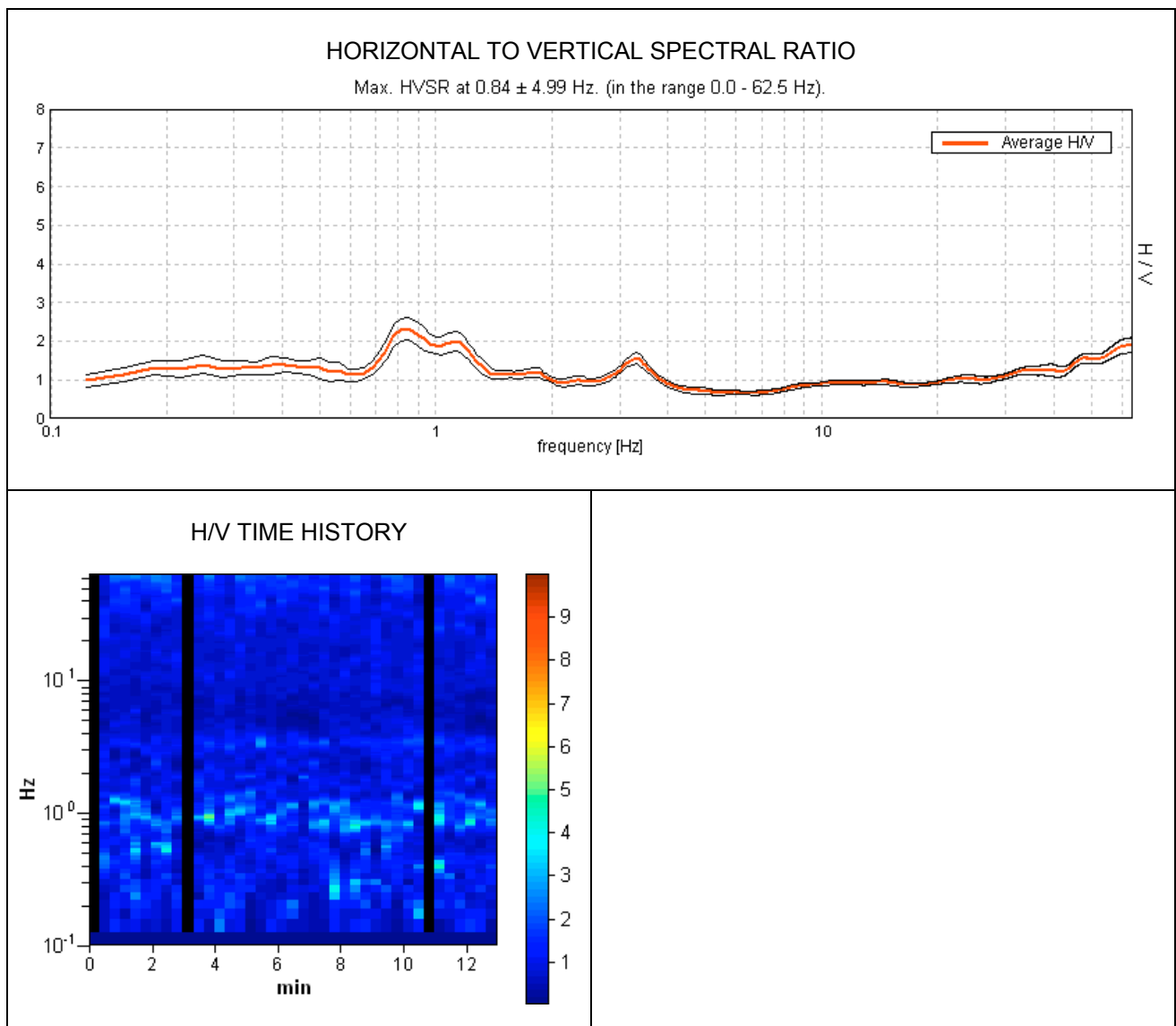
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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

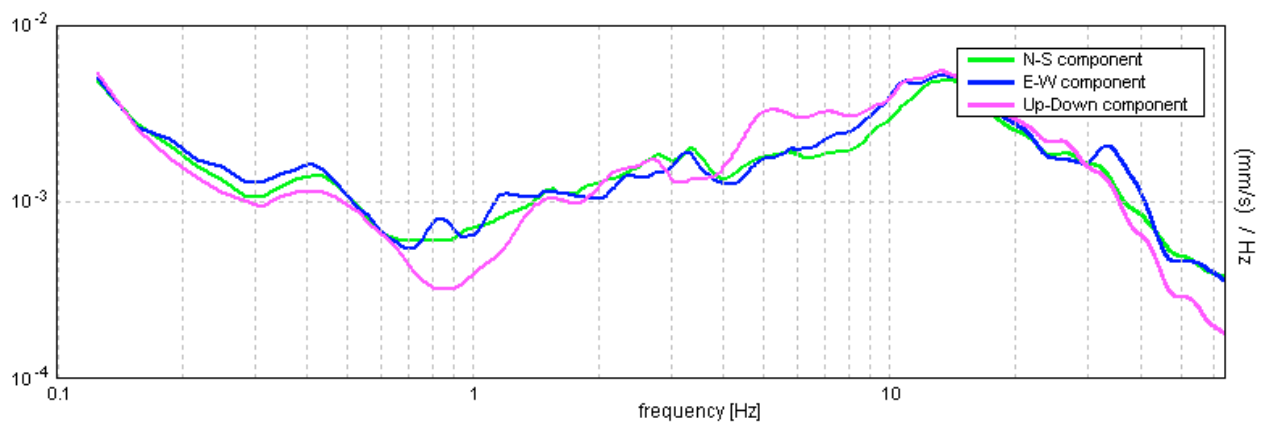
TRACCIA 0011, COTIGNOLA

Start recording: 26/03/08 18:18:41 End recording: 26/03/08 18:31:45
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h13'00". Analyzed 92% trace (manual window selection)
Sampling frequency: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

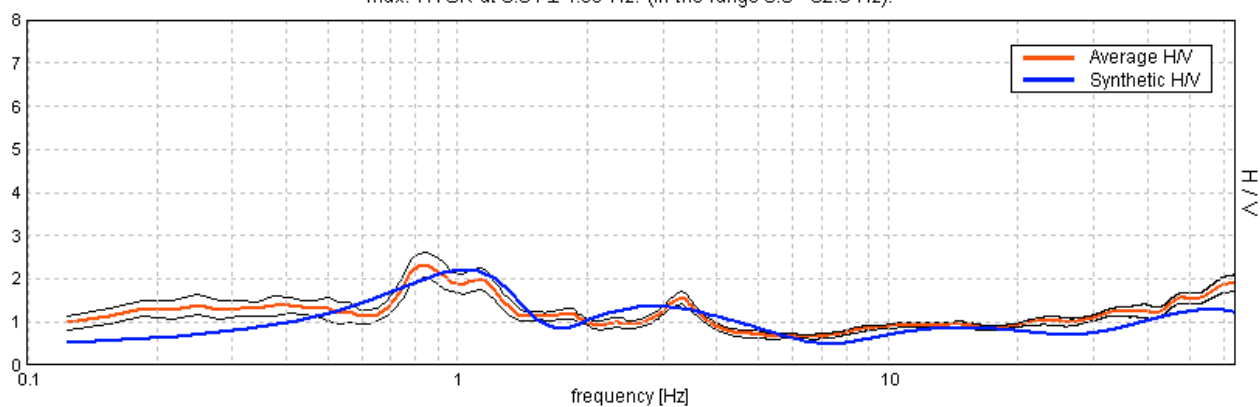


SINGLE COMPONENT SPECTRA

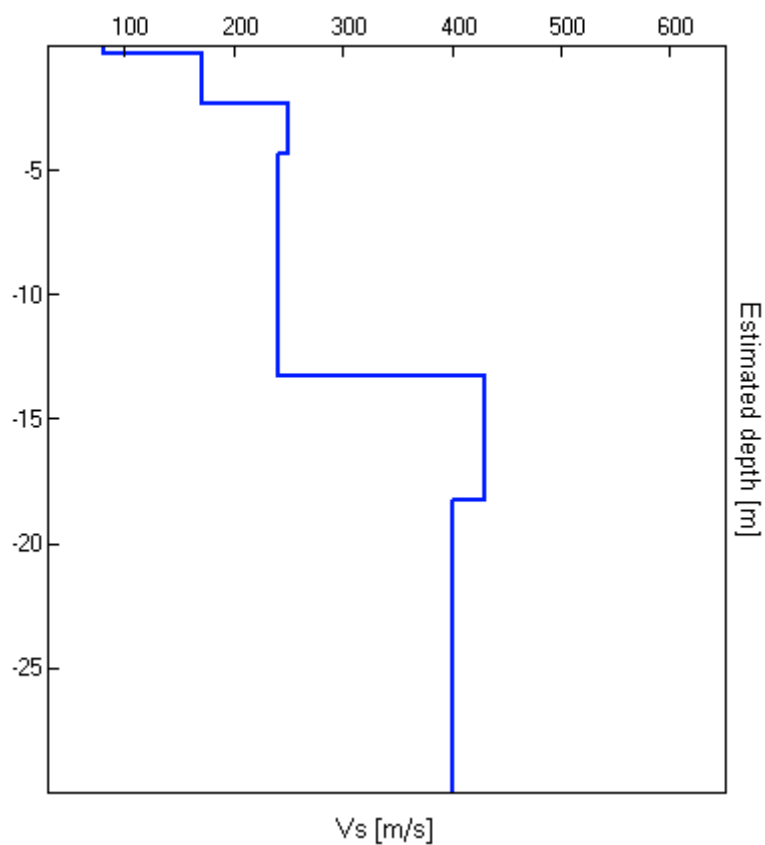


EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. HVSR at 0.84 ± 4.99 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
0.30	0.30	80
2.30	2.00	170
4.30	2.00	250
13.30	9.00	240
18.30	5.00	430
38.30	20.00	400
133.30	95.00	550
inf.	inf.	1000



Vs30 = 294 m/s. Categoria di suolo = C.

[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the [Grilla](#) manual before interpreting the following tables.]

Max. HVSr at 0.84 ± 4.99 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).

Criteria for a reliable HVSr curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.84 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$607.5 > 200$	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 42 times	OK	

Criteria for a clear HVSr peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.625 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.406 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.32 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 2.87078 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$2.42222 < 0.12656$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1452 < 2.0$	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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

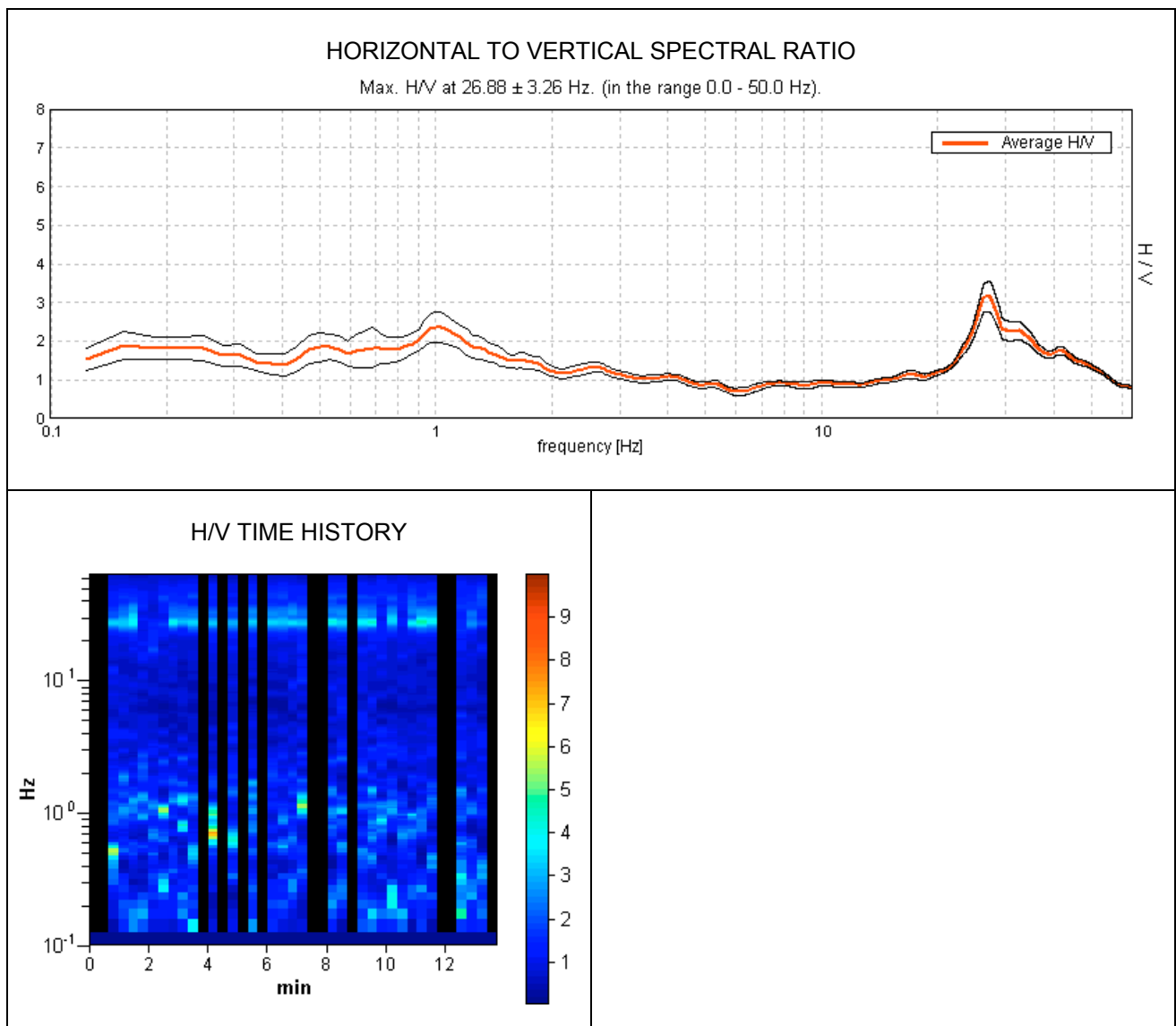
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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

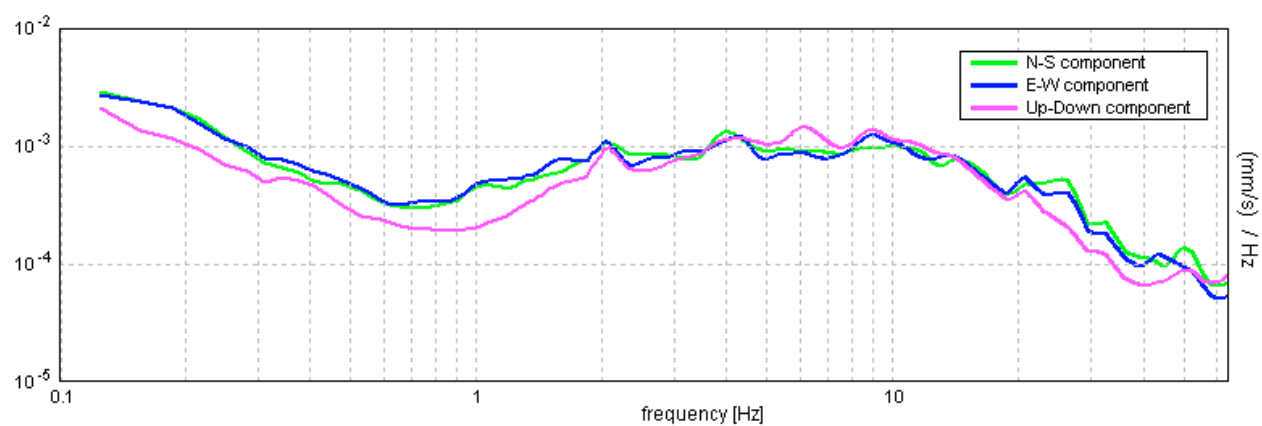
TRACCIA 0017, COTIGNOLA

Start recording: 29/03/08 16:17:32 End recording: 29/03/08 16:31:23
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h13'48". Analyzed 71% trace (manual window selection)
Sampling frequency: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

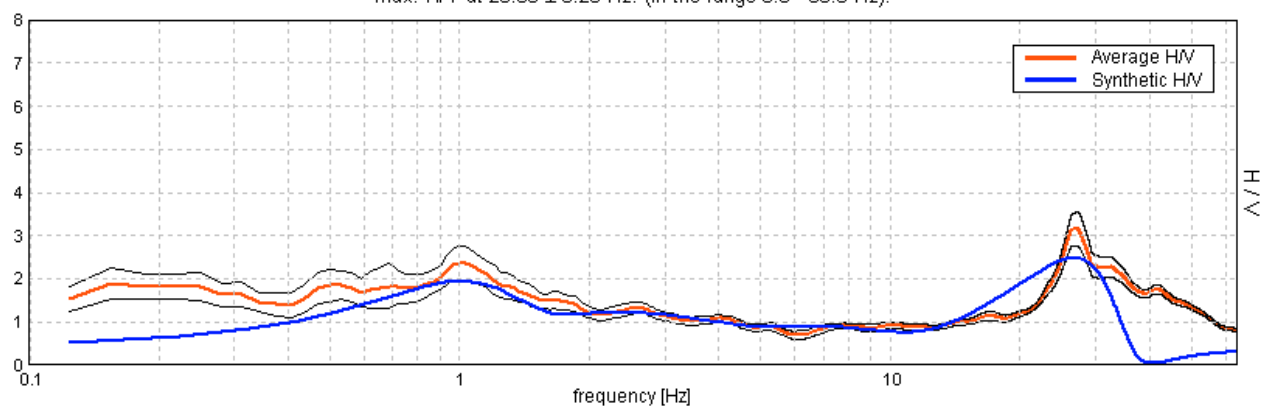


SINGLE COMPONENT SPECTRA

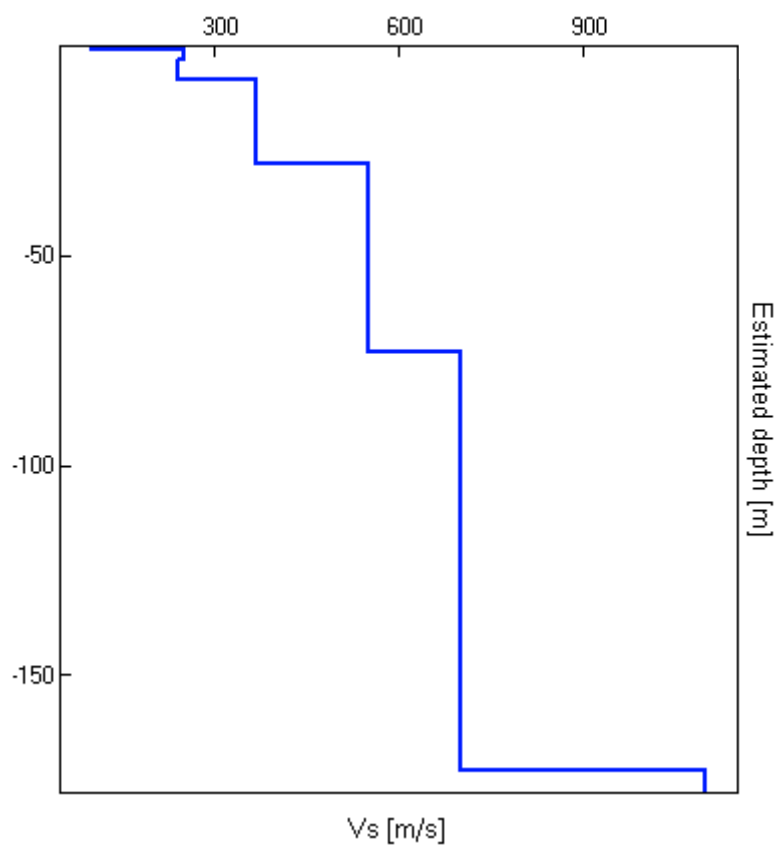


EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 26.88 ± 3.26 Hz. (in the range 0.0 - 50.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	100
3.00	2.00	250
8.00	5.00	240
28.00	20.00	370
73.00	45.00	550
173.00	100.00	700
inf.	inf.	1100



Vs30 = 311 m/s. Categoria di suolo = C.

[According to the Sesame, 2005 guidelines. **Please read carefully the [Grilla](#) manual before interpreting the following tables.**]

Questo picco H/V in alta frequenza che è indubbiamente di origine stratigrafica ma ricade al di fuori delle frequenze di interesse ingegneristico. Anche in questo sito la risonanza fondamentale rimane a 1 Hz.

Max. H/V at 26.88 ± 3.26 Hz. (in the range 0.0 - 50.0 Hz).

Criteria for a reliable HVSR curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$26.88 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$15587.5 > 200$	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 1291 times	OK	

Criteria for a clear HVSR peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	22.563 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	44.469 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.15 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.05825 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$1.56539 < 1.34375$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.185 < 1.58$	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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

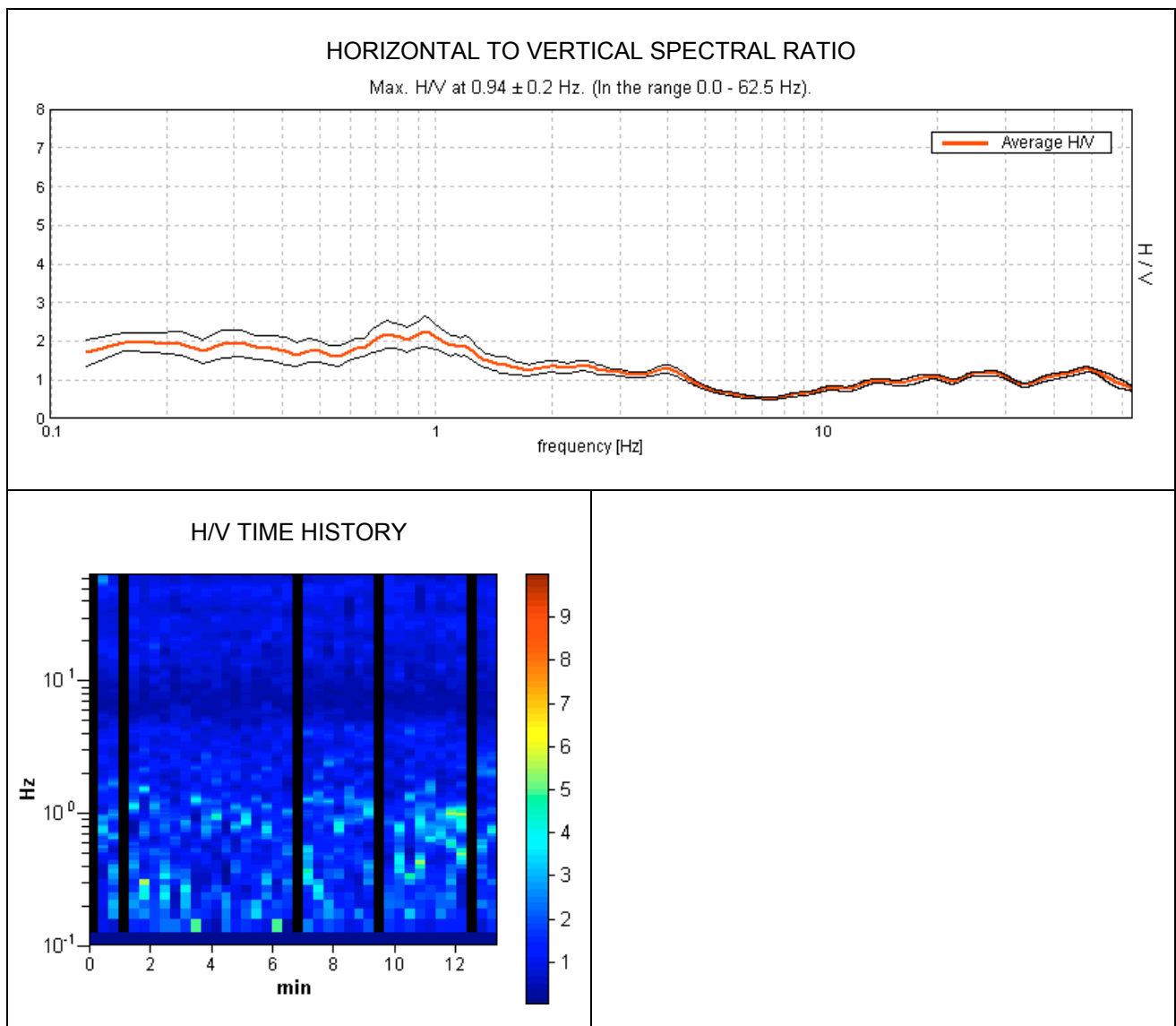
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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

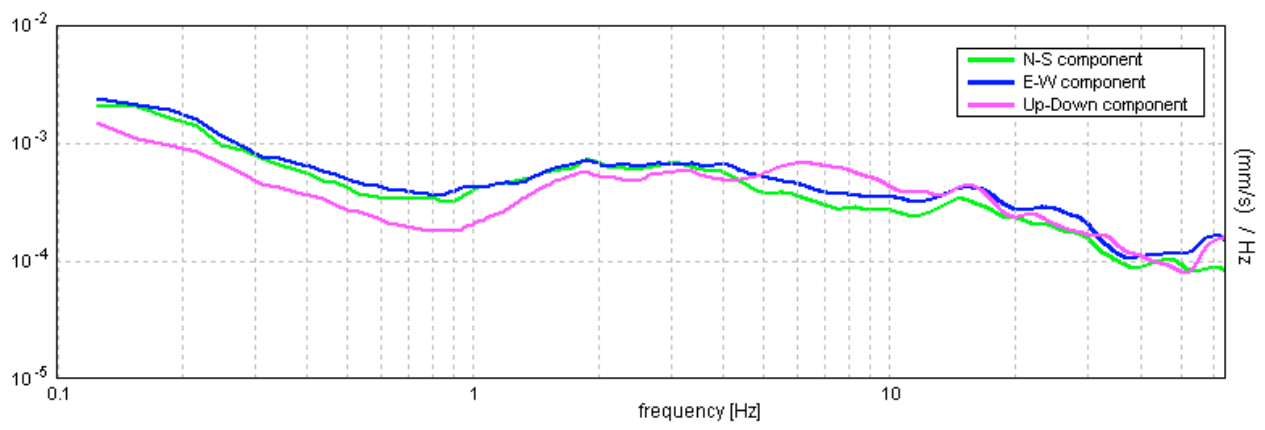
TRACCIA 0018, LUGO

Start recording: 29/03/08 16:48:02 End recording: 29/03/08 17:01:32
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h13'24". Analyzed 88% trace (manual window selection)
Sampling frequency: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

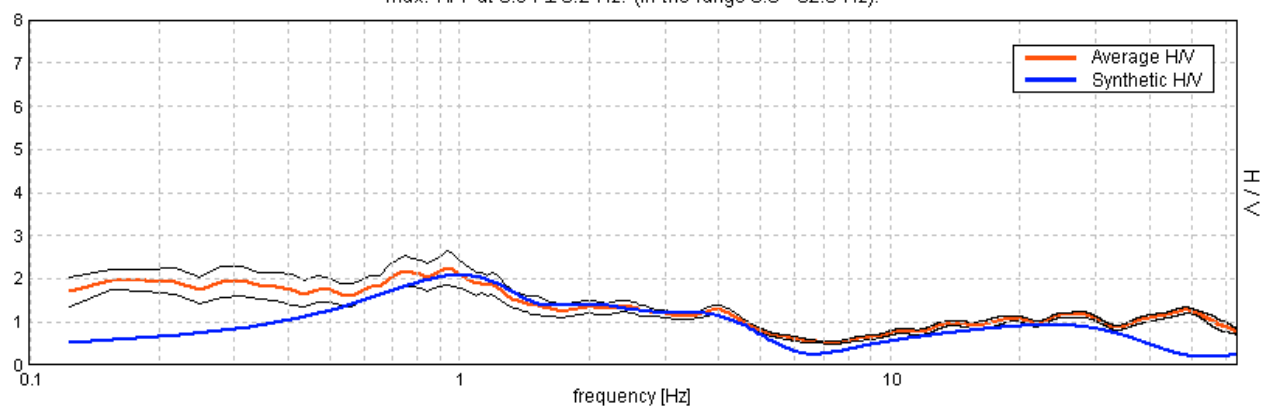


SINGLE COMPONENT SPECTRA

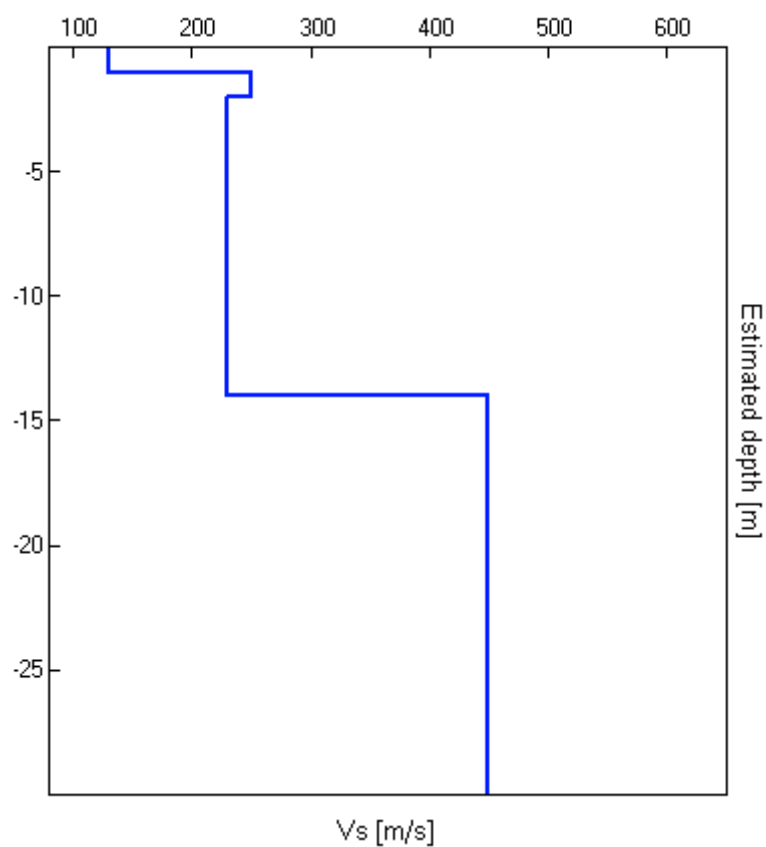


EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 0.94 ± 0.2 Hz. (In the range 0.0 - 62.5 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	130
2.00	1.00	250
14.00	12.00	230
59.00	45.00	450
179.00	120.00	700
inf.	inf.	1100



Vs30=302m/s, categoria di suolo = C

[According to the Sesame, 2005 guidelines. **Please read carefully the [Grilla](#) manual before interpreting the following tables.**]

Max. HVSR at 0.94 ± 0.2 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).

Criteria for a reliable HVSR curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.94 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$656.3 > 200$	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 46 times	OK	

Criteria for a clear HVSR 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
$A_0 > 2$	$2.26 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.10408 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.09758 < 0.14063$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1878 < 2.0$	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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

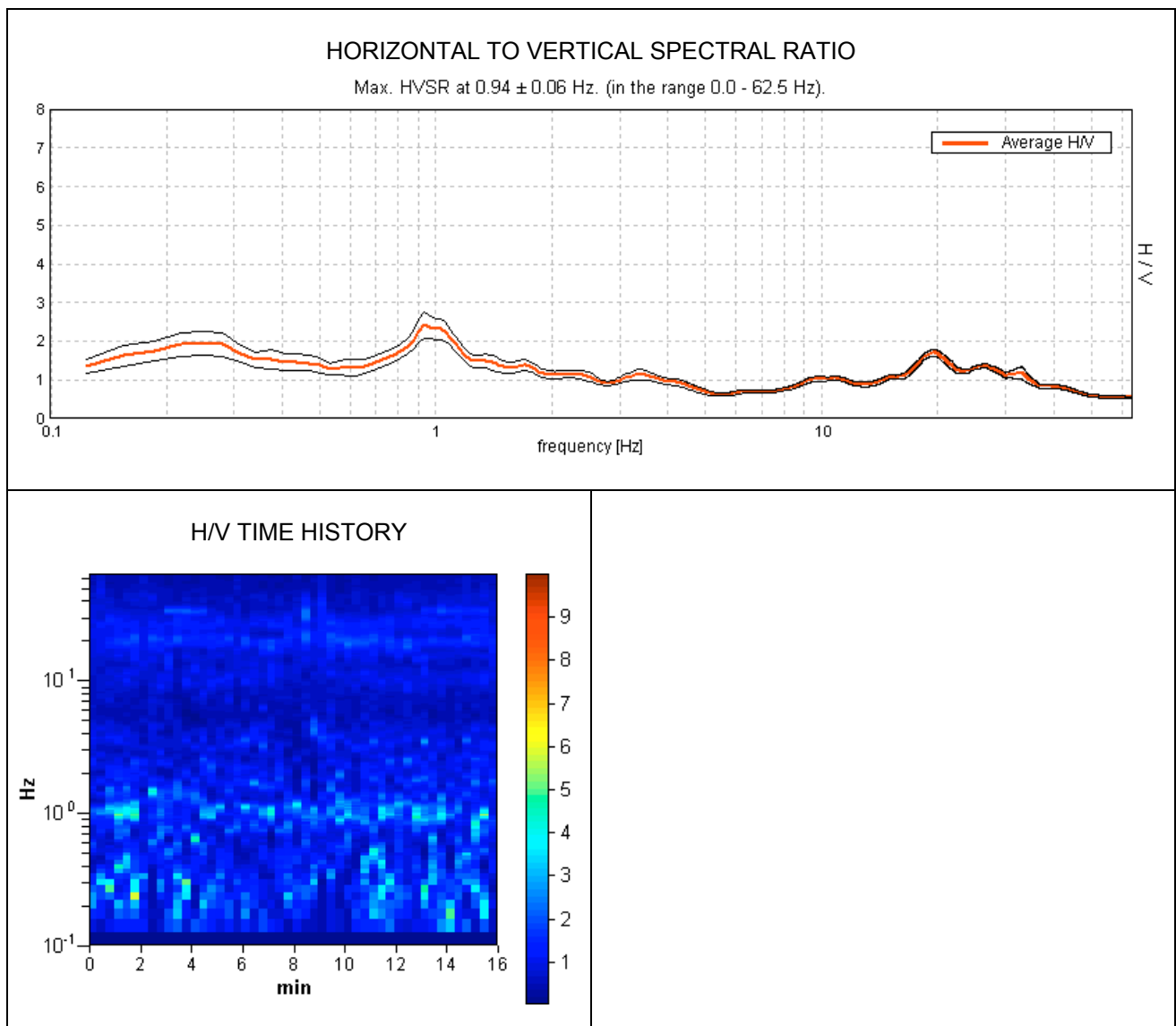
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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

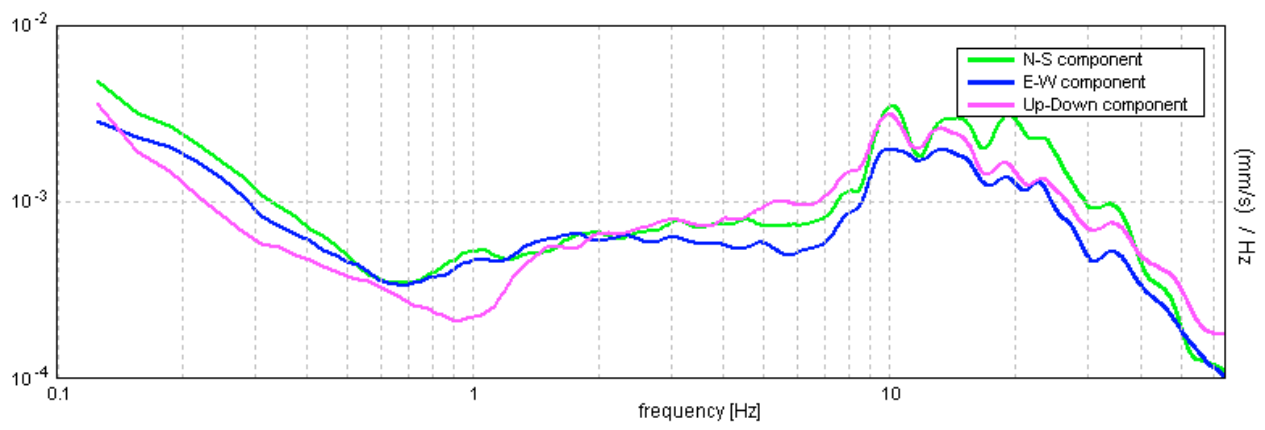
TRACCIA 0019, LUGO

Start recording: 29/03/08 17:11:07 End recording: 29/03/08 17:27:19
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h16'00". Analysis performed on the entire trace.
Sampling frequency: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

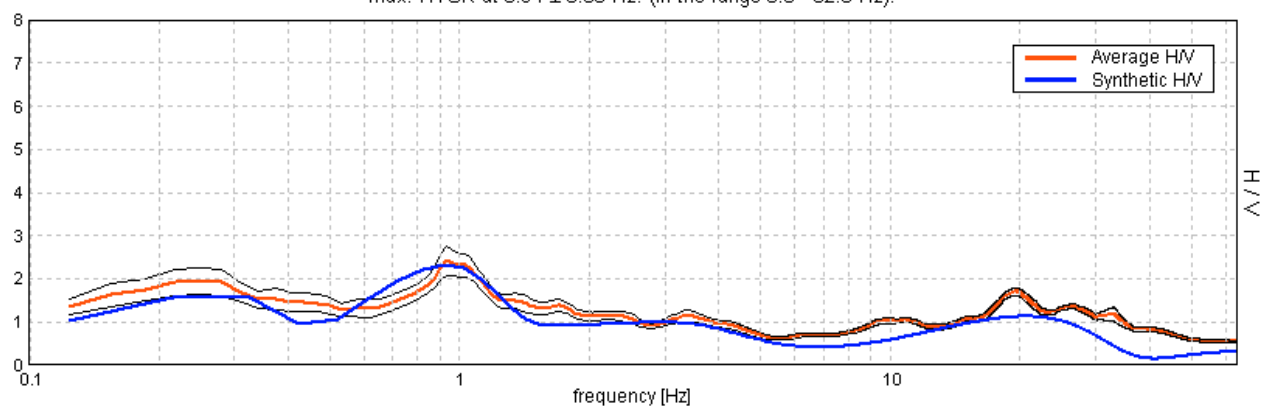


SINGLE COMPONENT SPECTRA

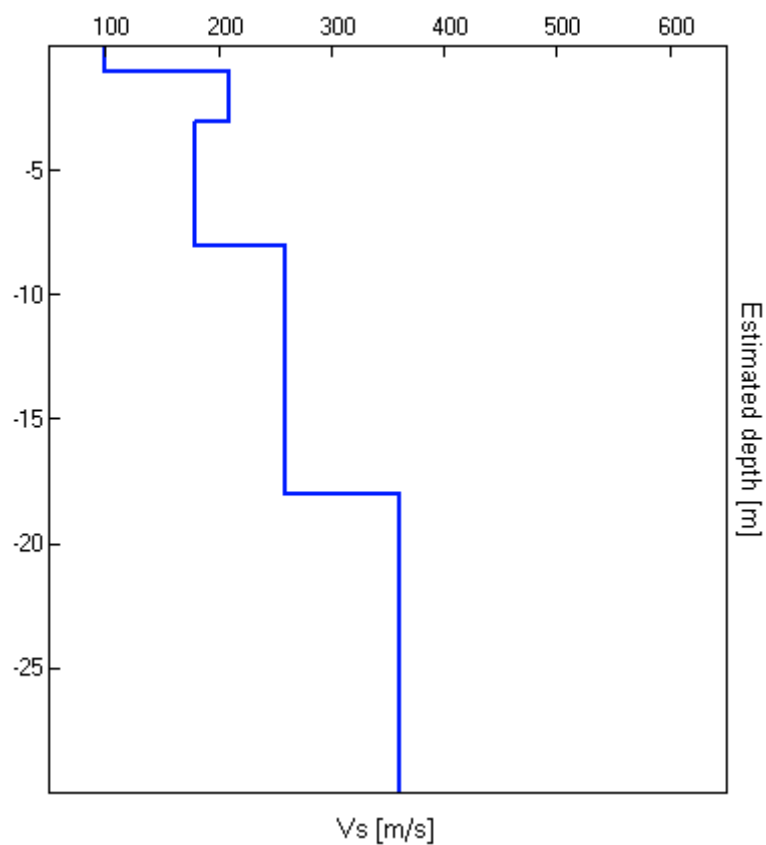


EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. HVSR at 0.94 ± 0.06 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	100
3.00	2.00	210
8.00	5.00	180
18.00	10.00	260
58.00	40.00	360
138.00	80.00	500
688.00	550.00	800
inf.	inf.	1400



Vs30 = 252 m/s, categoria di suolo = C

[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the [Grilla](#) manual before interpreting the following tables.]

Max. HVSR at 0.94 ± 0.06 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).

Criteria for a reliable HVSR curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.94 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$900.0 > 200$	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 46 times	OK	

Criteria for a clear HVSR 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 $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.875 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.42 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.03089 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.02895 < 0.14063$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1686 < 2.0$	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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

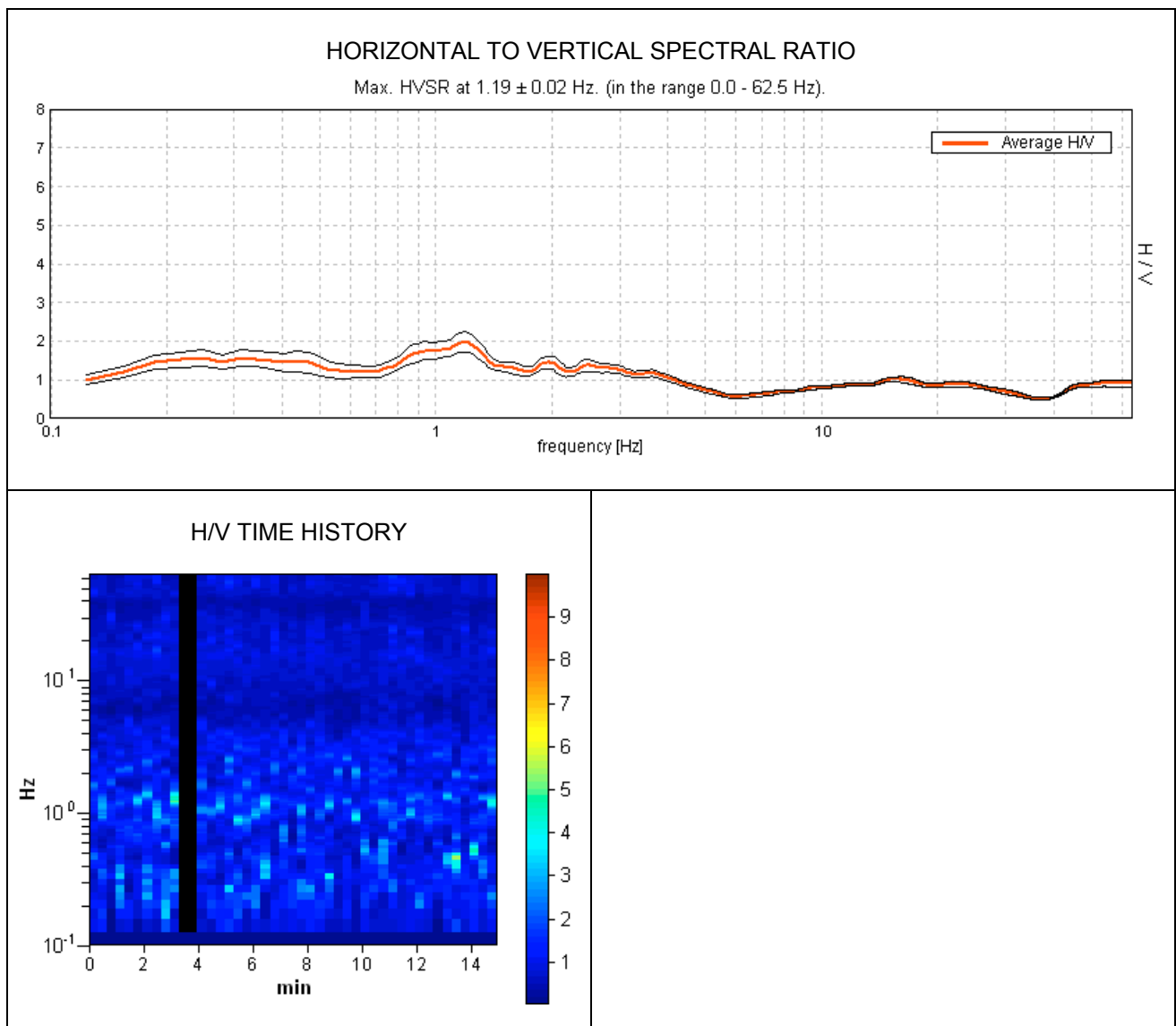
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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

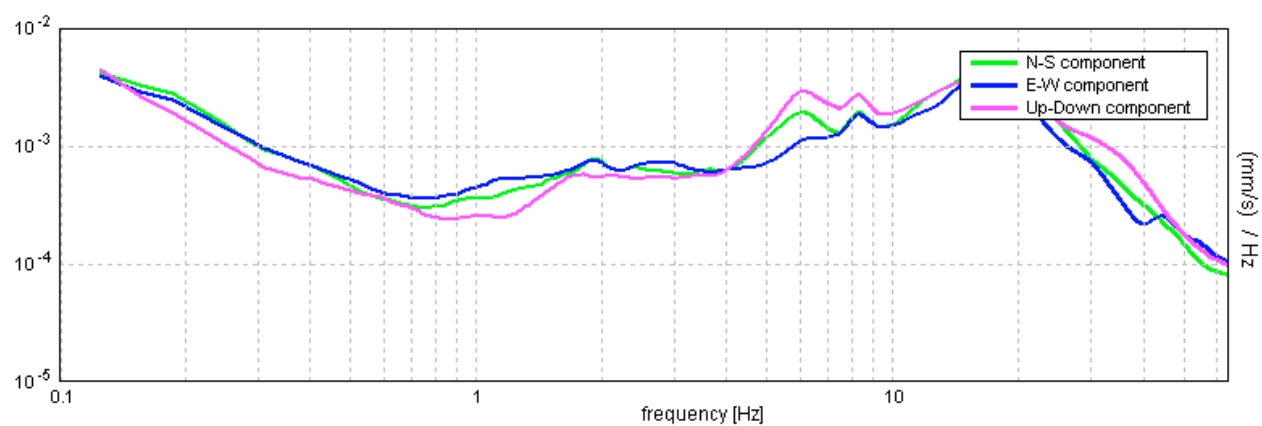
TRACCIA 0020, LUGO

Start recording: 29/03/08 17:36:43 End recording: 29/03/08 17:51:49
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h15'00". Analyzed 96% trace (manual window selection)
Sampling frequency: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

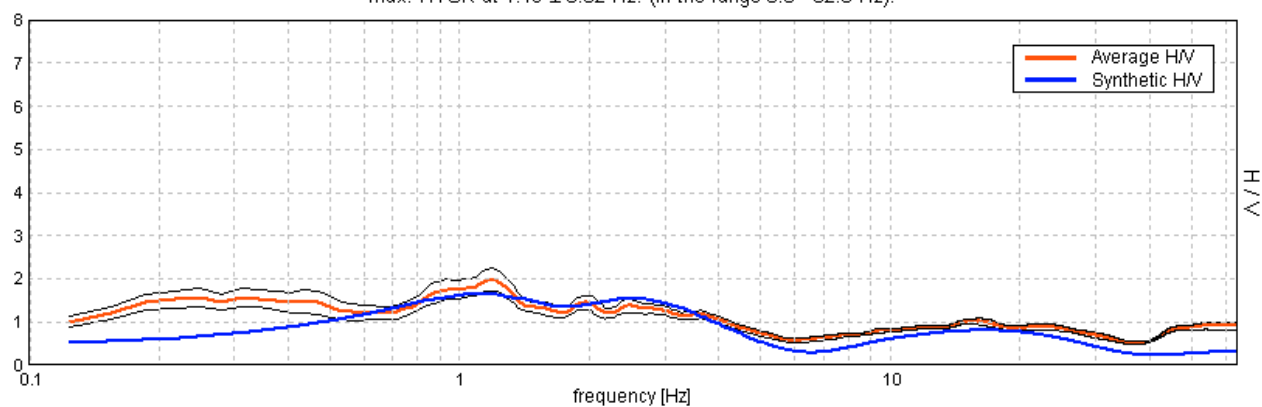


SINGLE COMPONENT SPECTRA

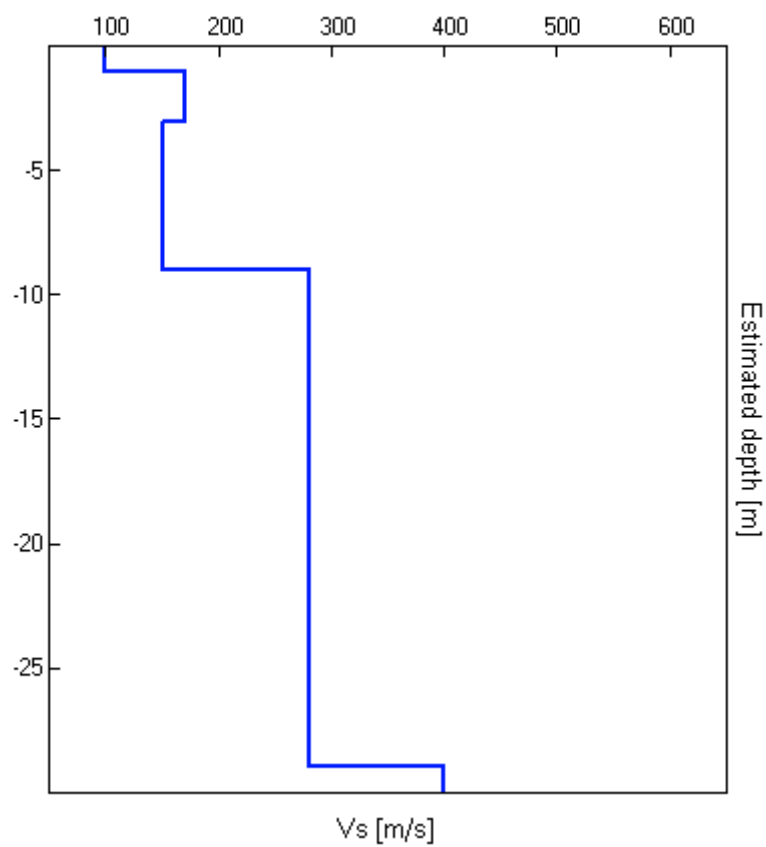


EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. HVSR at 1.19 ± 0.02 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	100
3.00	2.00	170
9.00	6.00	150
29.00	20.00	280
89.00	60.00	400
inf.	inf.	600



Vs30 = 221 m/s, categoria di suolo = C

[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the [Grilla](#) manual before interpreting the following tables.]

Max. HVSR at 1.19 ± 0.02 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).

Criteria for a reliable HVSR curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	1.19 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1021.3 > 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 58 times	OK	

Criteria for a clear HVSR 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 $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	4.156 Hz	OK	
$A_0 > 2$	1.98 > 2		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00868 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.0103 < 0.11875$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1285 < 1.78$	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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

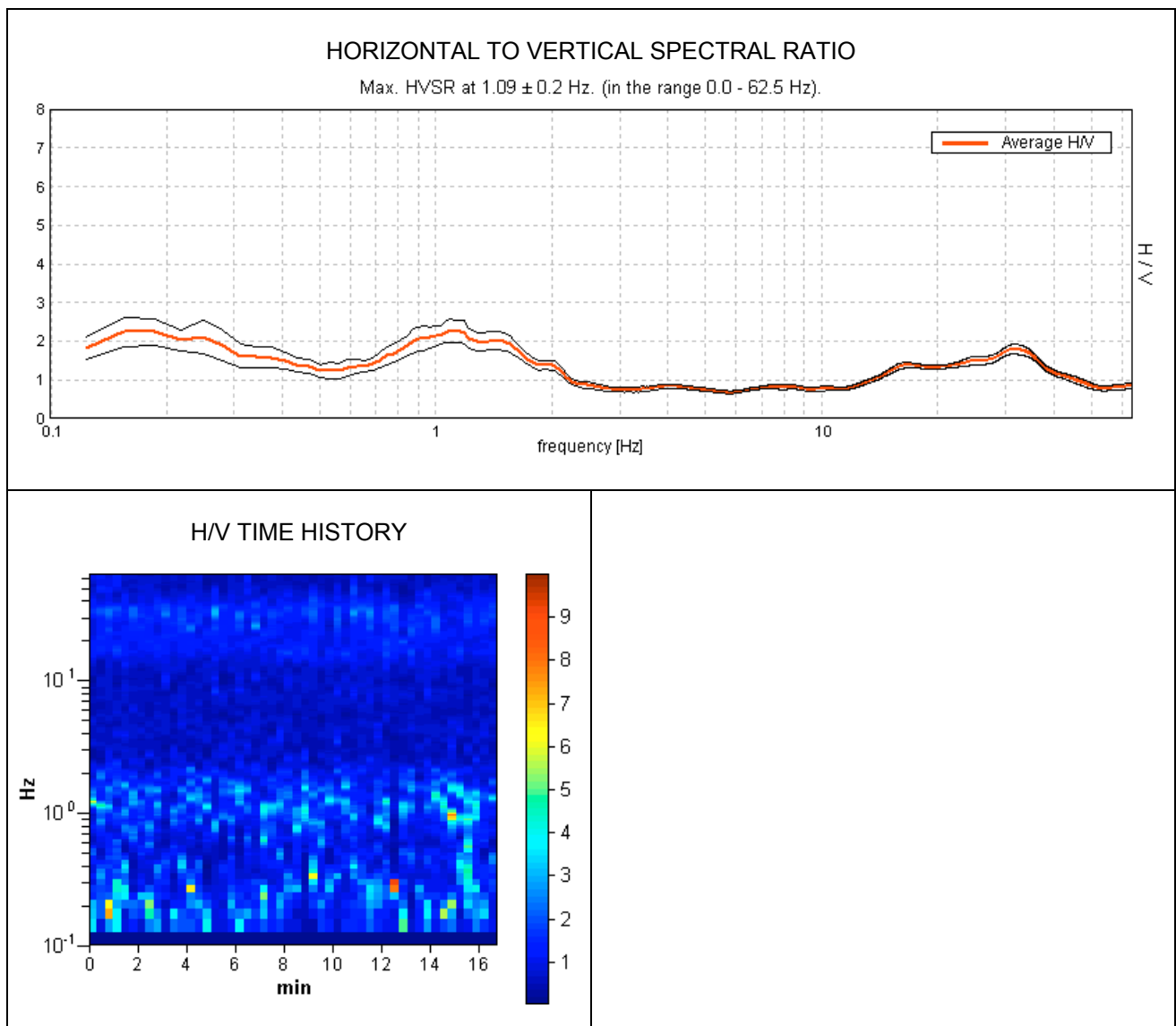
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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

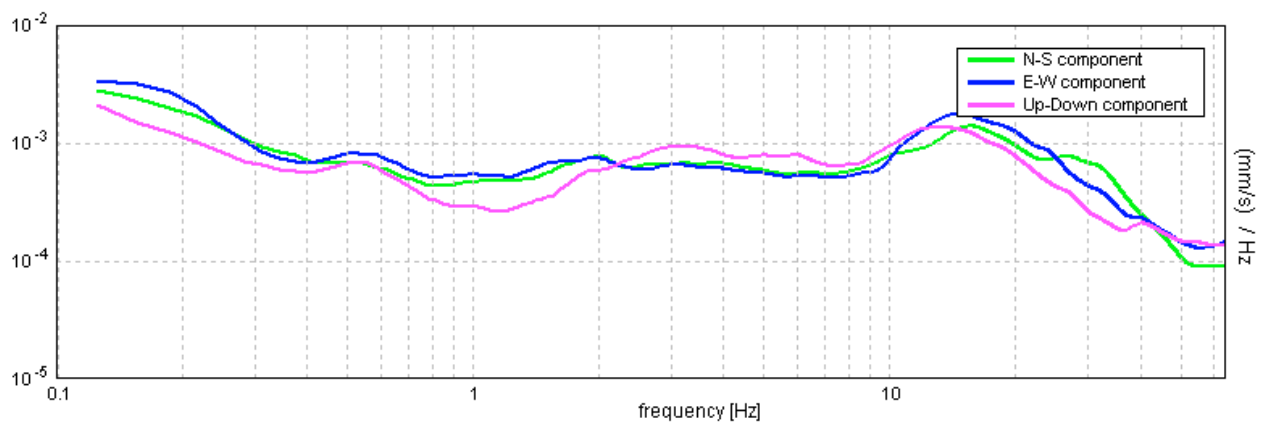
TRACCIA 0021, FUSIGNANO

Start recording: 30/03/08 11:07:14 End recording: 30/03/08 11:24:13
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h16'48". Analysis performed on the entire trace.
Sampling frequency: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

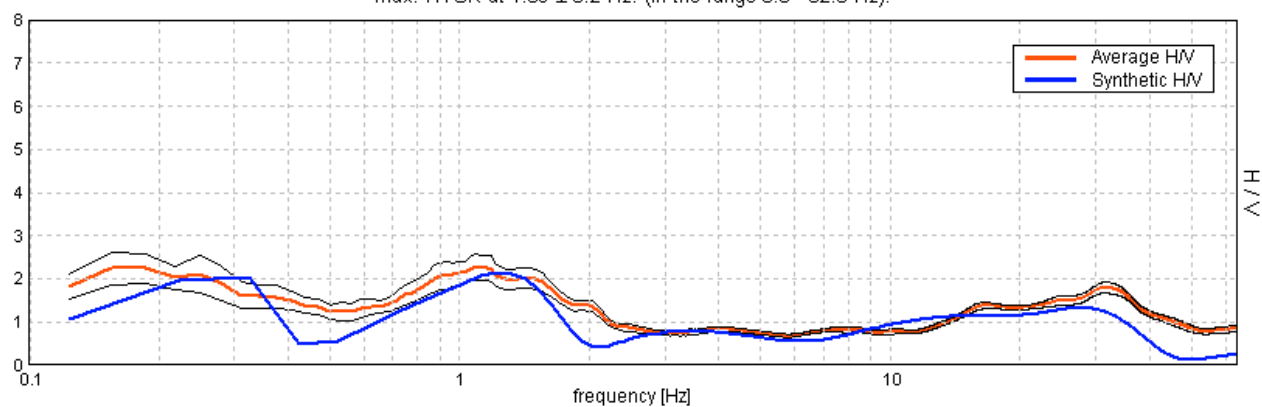


SINGLE COMPONENT SPECTRA

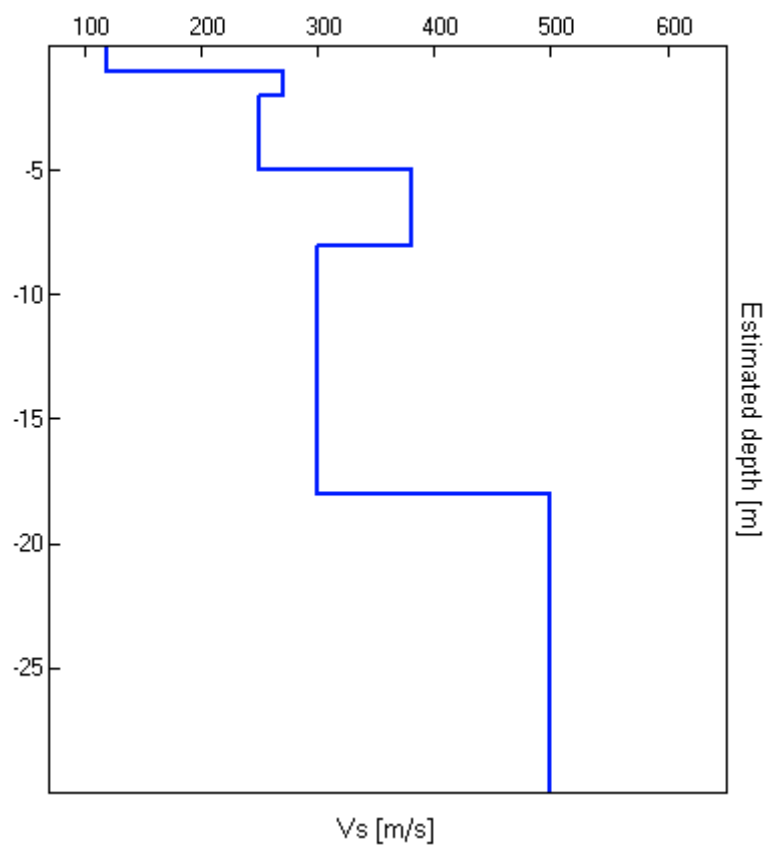


EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. HVSr at 1.09 ± 0.2 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	120
2.00	1.00	270
5.00	3.00	250
8.00	3.00	380
18.00	10.00	300
98.00	80.00	500
898.00	800.00	1000
inf.	inf.	2100



Vs30 = 336 m/s. Categoria di suolo = C.

[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the [Grilla](#) manual before interpreting the following tables.]

Max. HVSR at 1.09 ± 0.2 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).

Criteria for a reliable HVSR curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.09 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1093.8 > 200$	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 54 times	OK	

Criteria for a clear HVSR 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 $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.156 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.28 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.09043 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.09891 < 0.10938$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1449 < 1.78$	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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

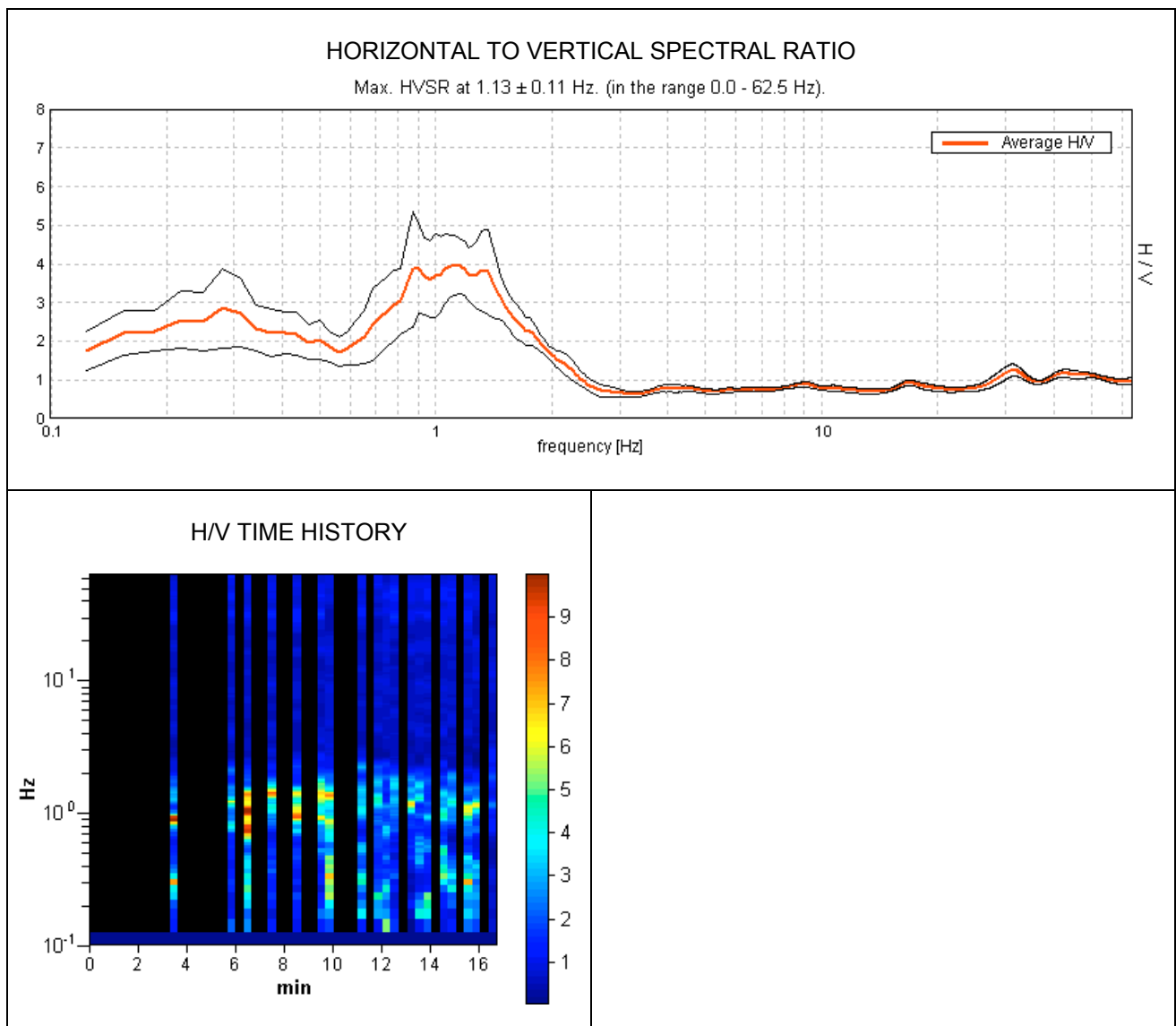
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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

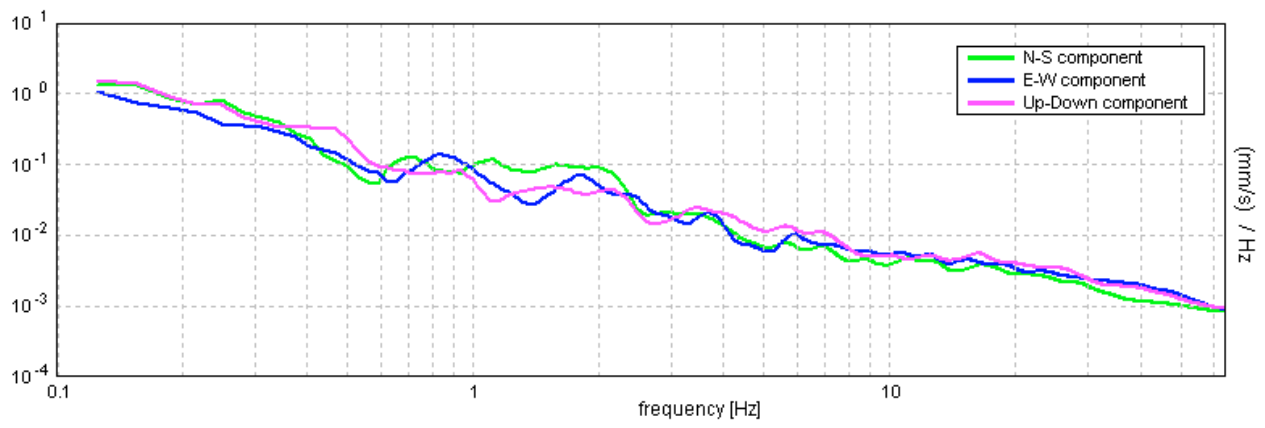
TRACCIA 0022, ALFONSINE

Start recording: 30/03/08 11:35:36 End recording: 30/03/08 11:52:29
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h16'48". Analyzed 38% trace (manual window selection)
Sampling frequency: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

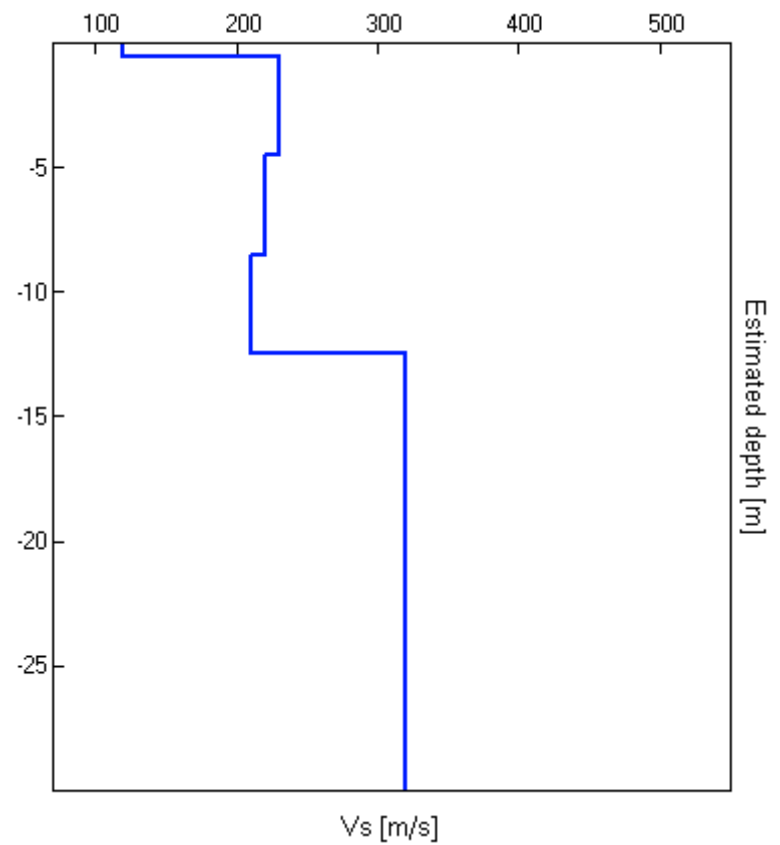


SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
0.50	0.50	120
4.50	4.00	230
8.50	4.00	220
12.50	4.00	210
37.50	25.00	320
117.50	80.00	500
inf.	inf.	900



Vs30 = 264 m/s. Suolo di fondazione = C.

[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the [Grilla](#) manual before interpreting the following tables.]

Max. HVSr at 1.13 ± 0.11 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).

Criteria for a reliable HVSr curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.13 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$427.5 > 200$	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 55 times	OK	

Criteria for a clear HVSr peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.625 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.875 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.96 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04567 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.05138 < 0.1125$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3565 < 1.78$	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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

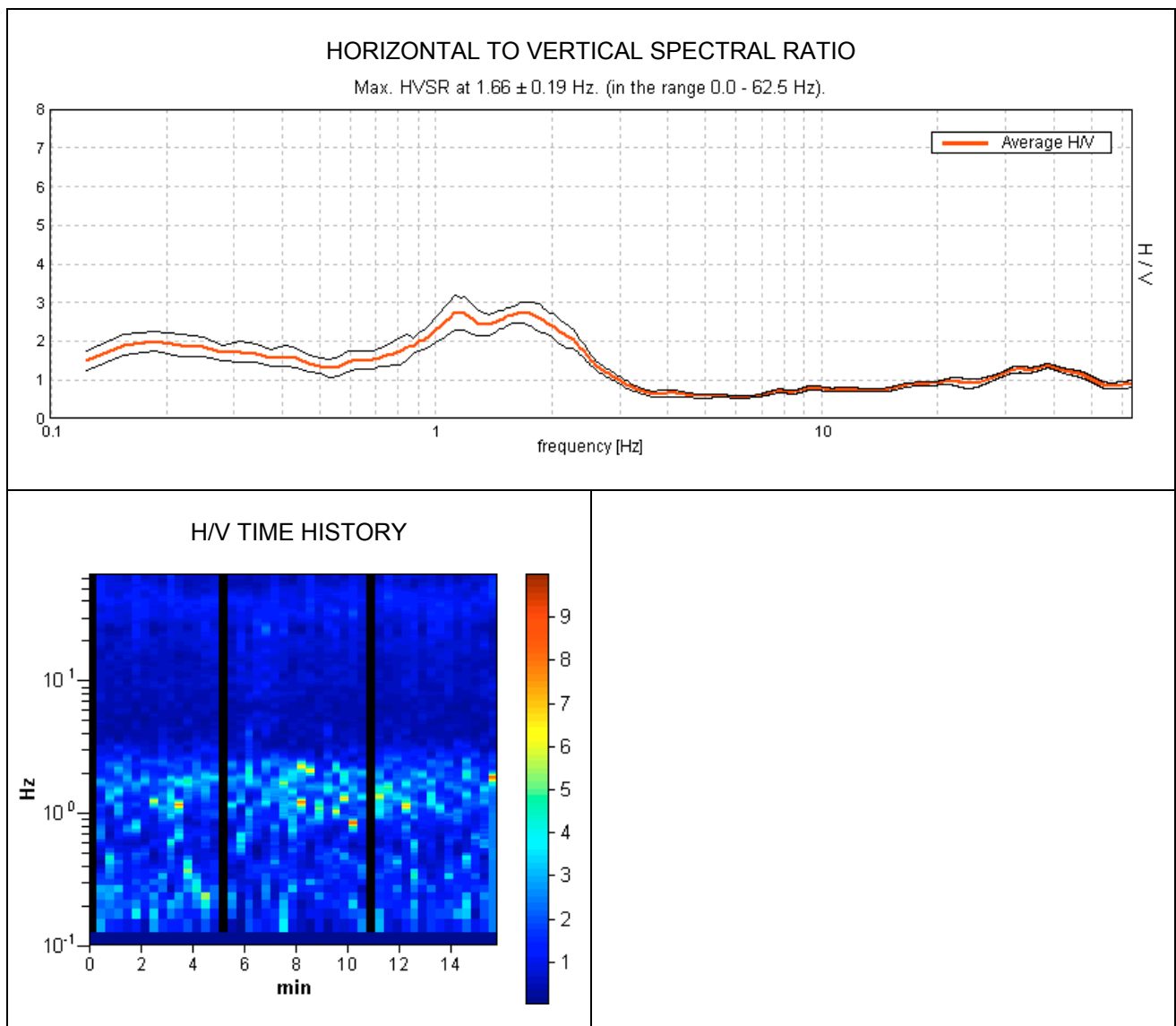
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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

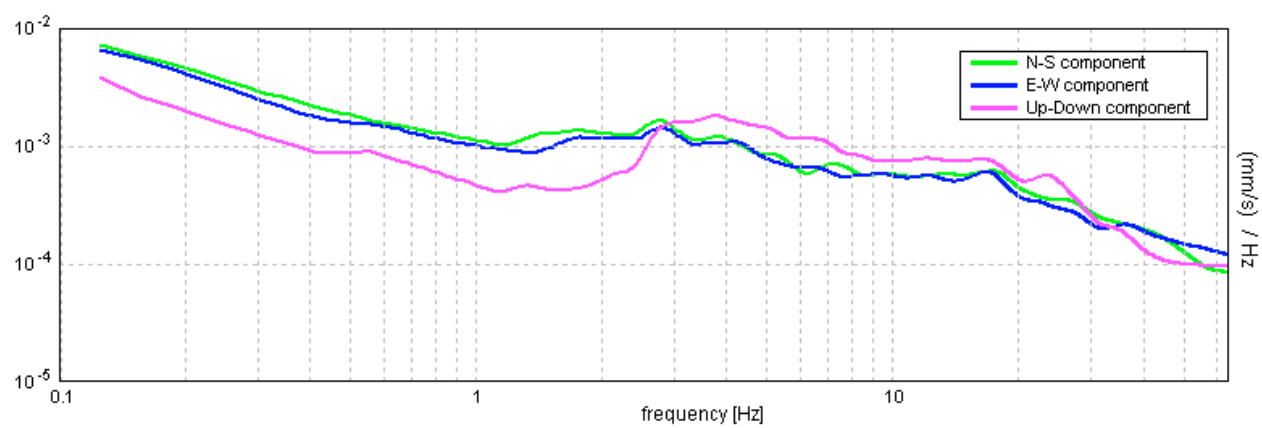
TRACCIA 0024, ALFONSINE

Start recording: 30/03/08 12:04:19 End recording: 30/03/08 12:20:09
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h15'48". Analyzed 94% trace (manual window selection)
Sampling frequency: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

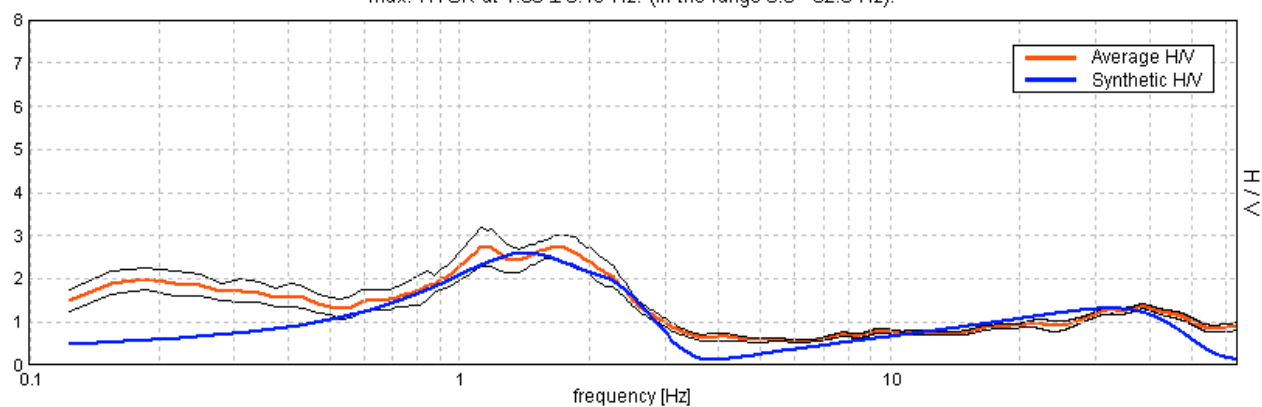


SINGLE COMPONENT SPECTRA

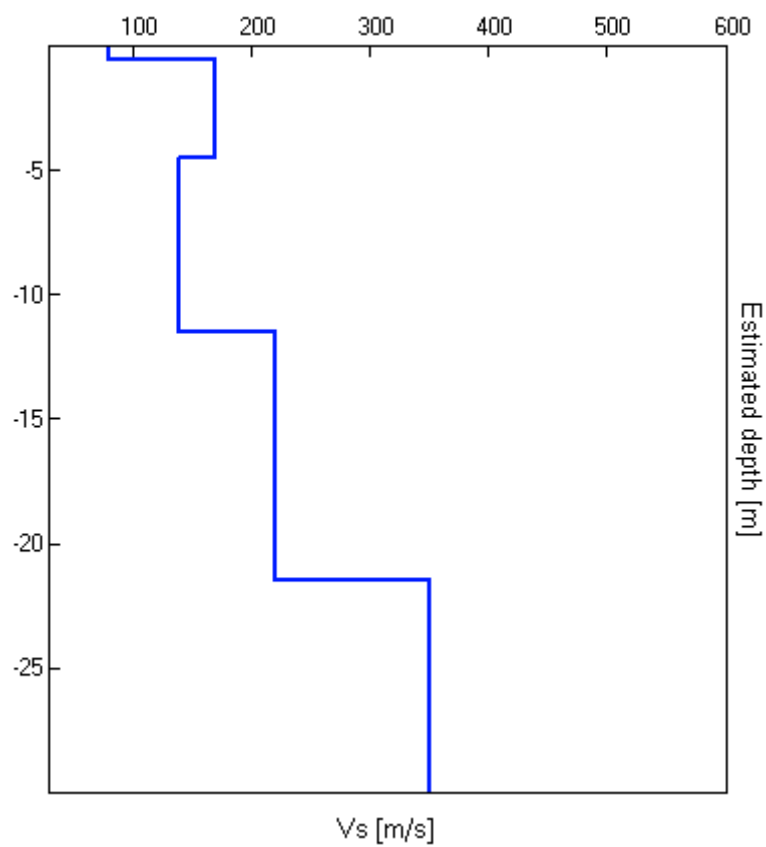


EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. HVSR at 1.66 ± 0.19 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
0.50	0.50	80
4.50	4.00	170
11.50	7.00	140
21.50	10.00	220
71.50	50.00	350
inf.	inf.	550



Vs30 = 201 m/s. Categoria di suolo = C.

[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the [Grilla](#) manual before interpreting the following tables.]

Max. HVSr at 1.66 ± 0.19 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).

Criteria for a reliable HVSr curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.66 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1457.5 > 200$	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 80 times	OK	

Criteria for a clear HVSr 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 $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.625 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.75 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.05501 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.09111 < 0.16563$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1292 < 1.78$	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

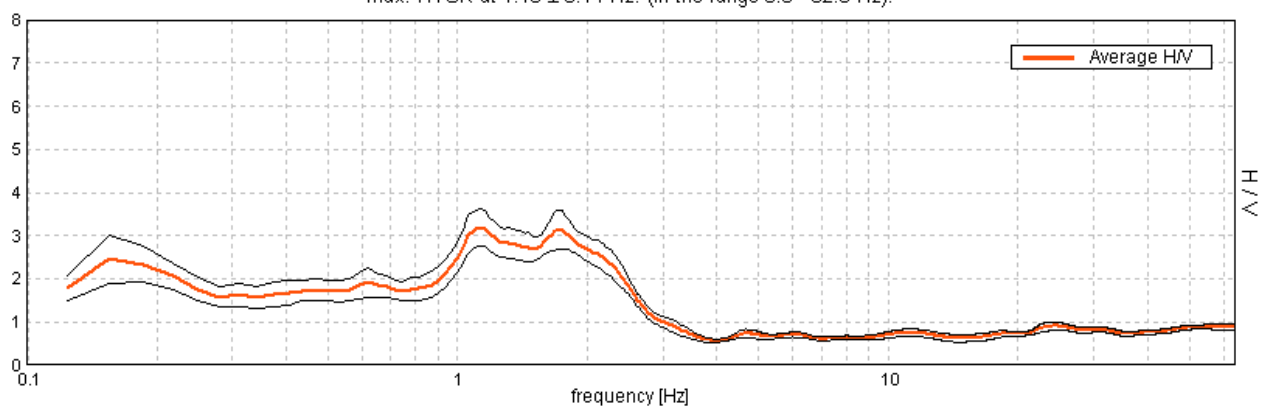
TRACCIA 0025, ALFONSINE

Start recording: 30/03/08 12:28:14 End recording: 30/03/08 12:44:29
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

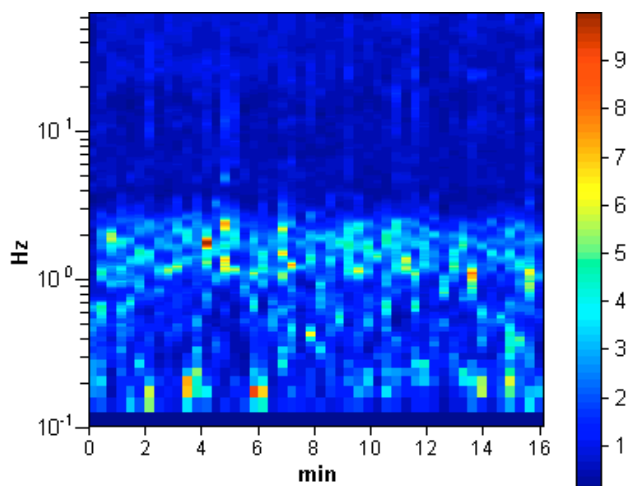
Trace length: 0h16'12". Analysis performed on the entire trace.
Sampling frequency: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

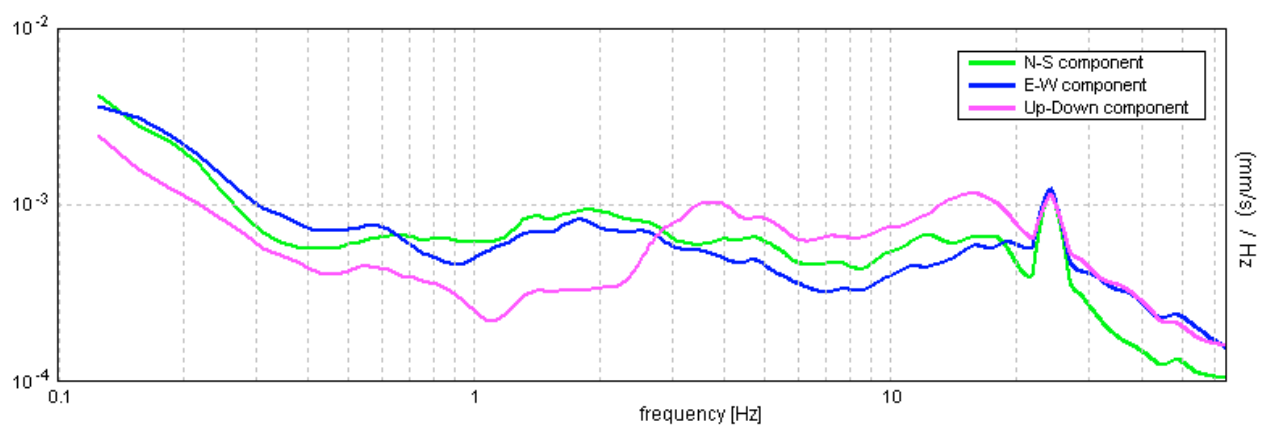
Max. HVSR at 1.13 ± 0.14 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).



H/V TIME HISTORY

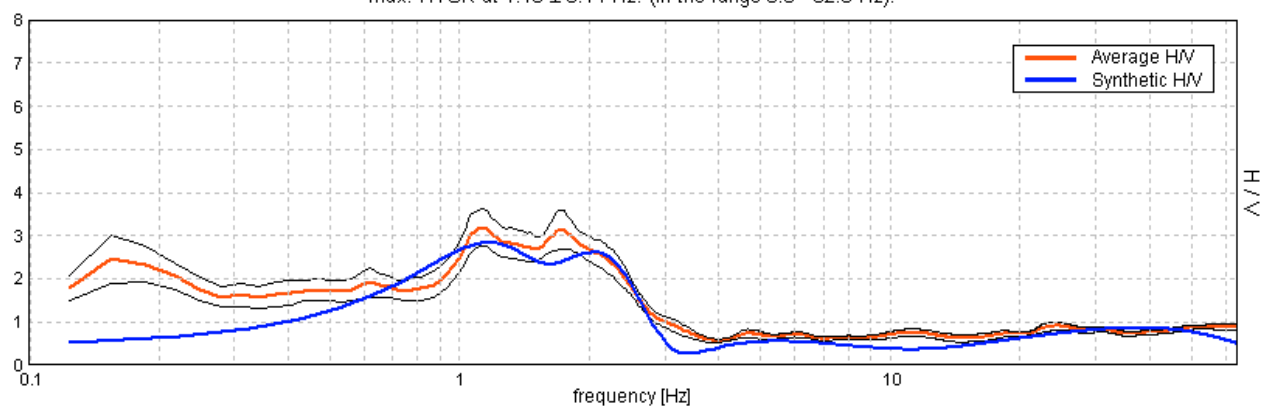


SINGLE COMPONENT SPECTRA

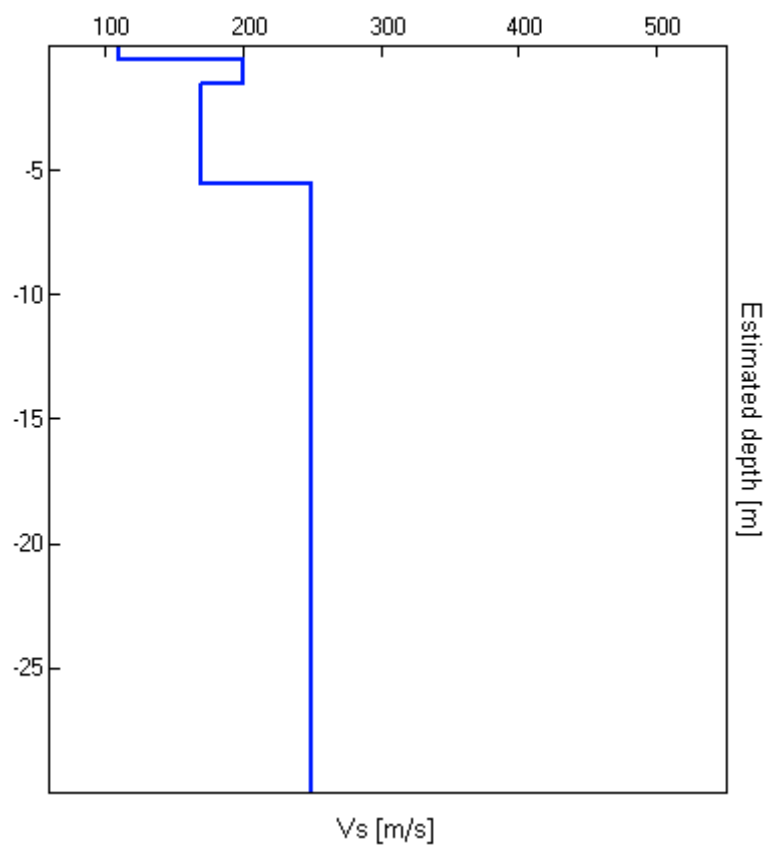


EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. HVSR at 1.13 ± 0.14 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
0.50	0.50	110
1.50	1.00	200
5.50	4.00	170
30.50	25.00	250
130.50	100.00	530
inf.	inf.	900



Vs30 = 229 m/s. Categoria di suolo = C.

[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the [Grilla](#) manual before interpreting the following tables.]

Max. HVSr at 1.13 ± 0.14 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).

Criteria for a reliable HVSr curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	1.13 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1080.0 > 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 55 times	OK	

Criteria for a clear HVSr peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.344 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.594 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.20 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.06179 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.06952 < 0.1125$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2114 < 1.78$	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

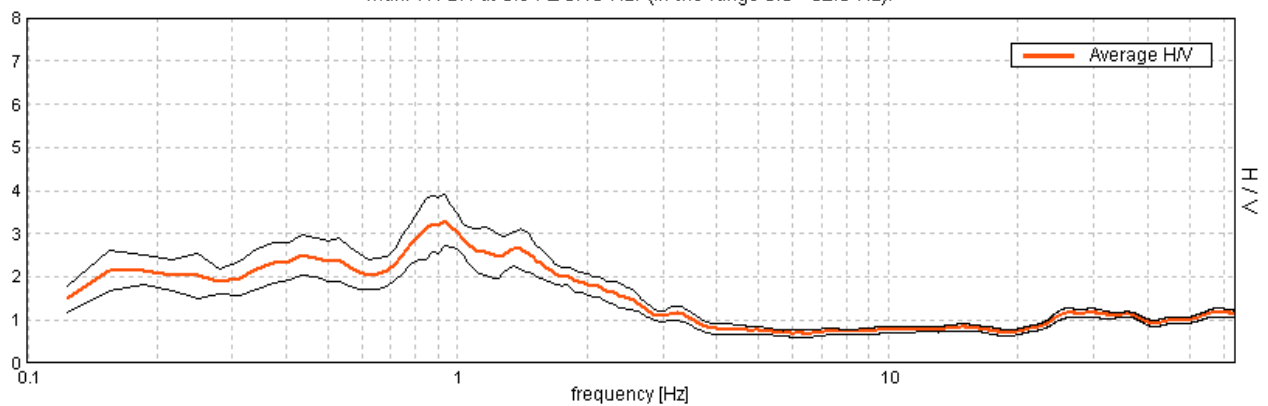
TRACCIA 0026, LUGO (VOLTANA)

Start recording: 30/03/08 12:55:43 End recording: 30/03/08 13:09:38
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

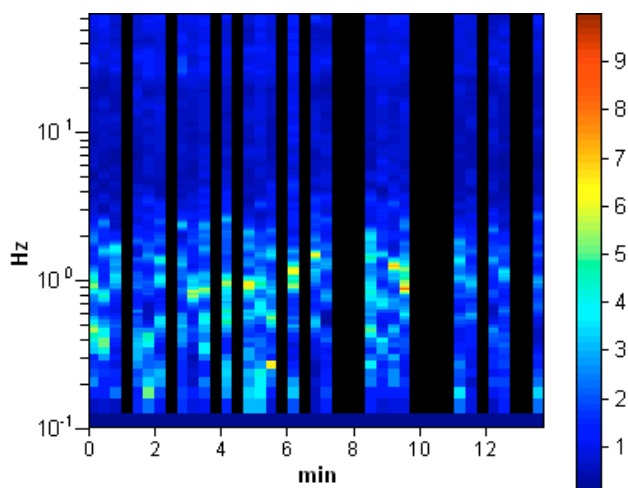
Trace length: 0h13'48". Analyzed 61% trace (manual window selection)
Sampling frequency: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

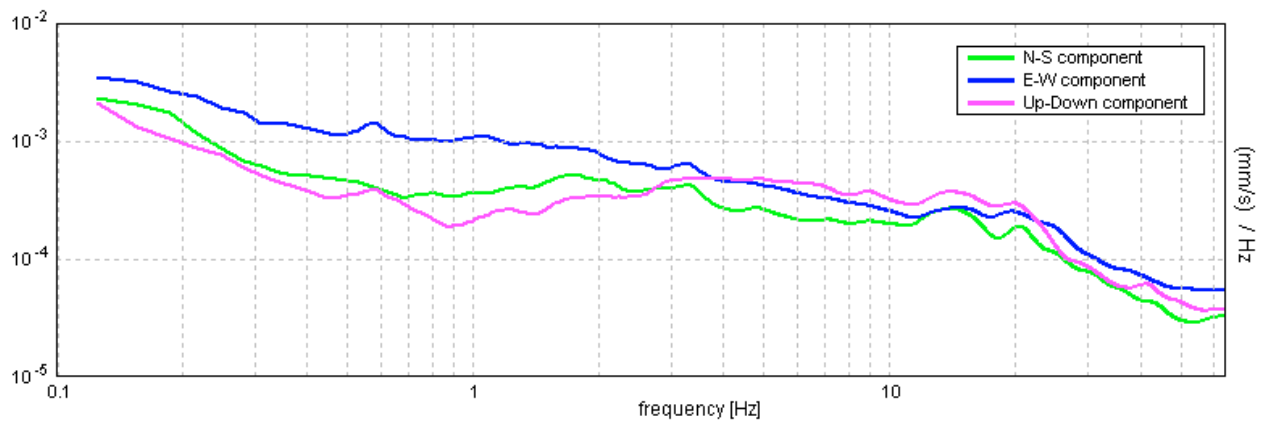
Max. HVSR at 0.94 ± 0.13 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).



H/V TIME HISTORY

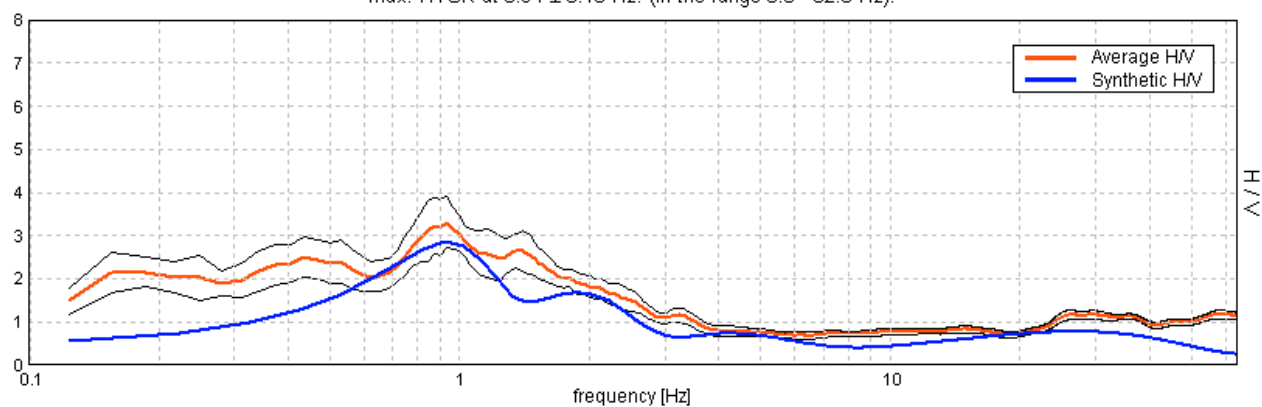


SINGLE COMPONENT SPECTRA

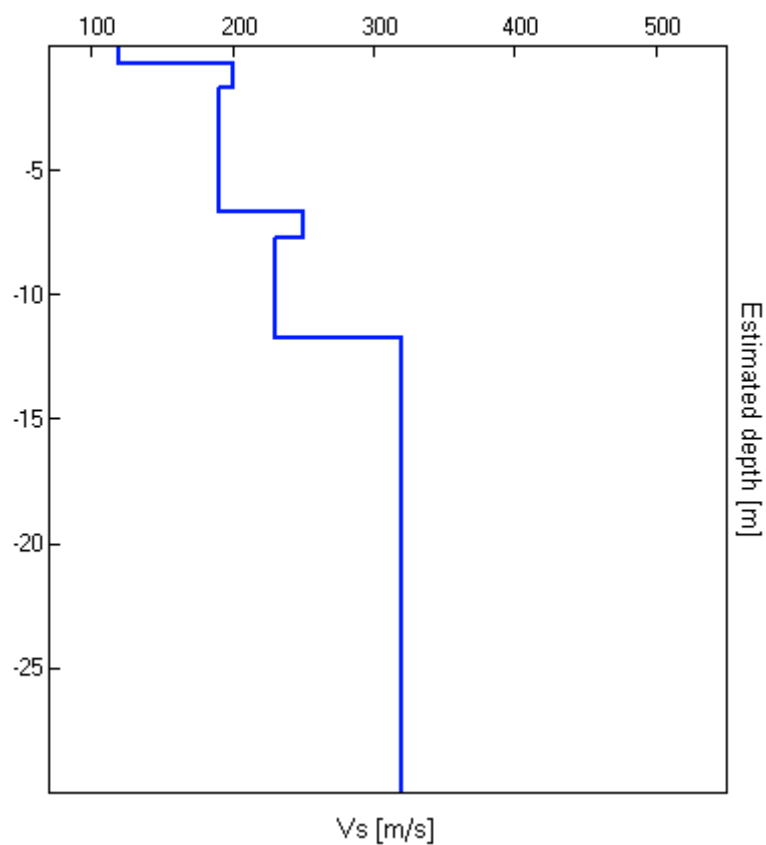


EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. HVSR at 0.94 ± 0.13 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
0.70	0.70	120
1.70	1.00	200
6.70	5.00	190
7.70	1.00	250
11.70	4.00	230
41.70	30.00	320
161.70	120.00	560
inf.	inf.	1000



Vs30 = 259 m/s. Suolo di fondazione = C.

[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the [Grilla](#) manual before interpreting the following tables.]

Max. HVSR at 0.94 ± 0.13 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).

Criteria for a reliable HVSR curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.94 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$468.8 > 200$	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 46 times	OK	

Criteria for a clear HVSR 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 $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.25 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.31 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0639 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.05991 < 0.14063$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2806 < 2.0$	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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

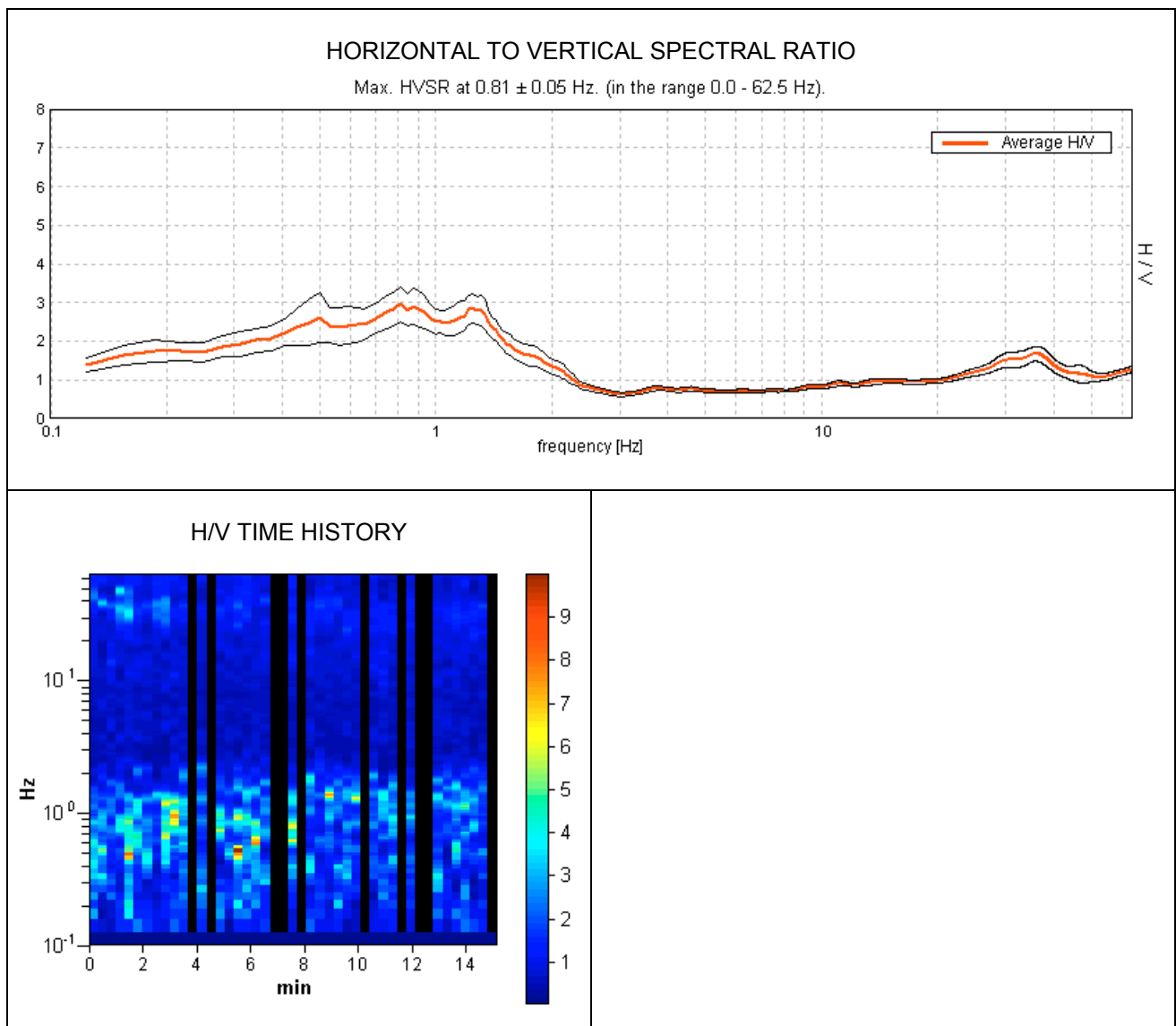
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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

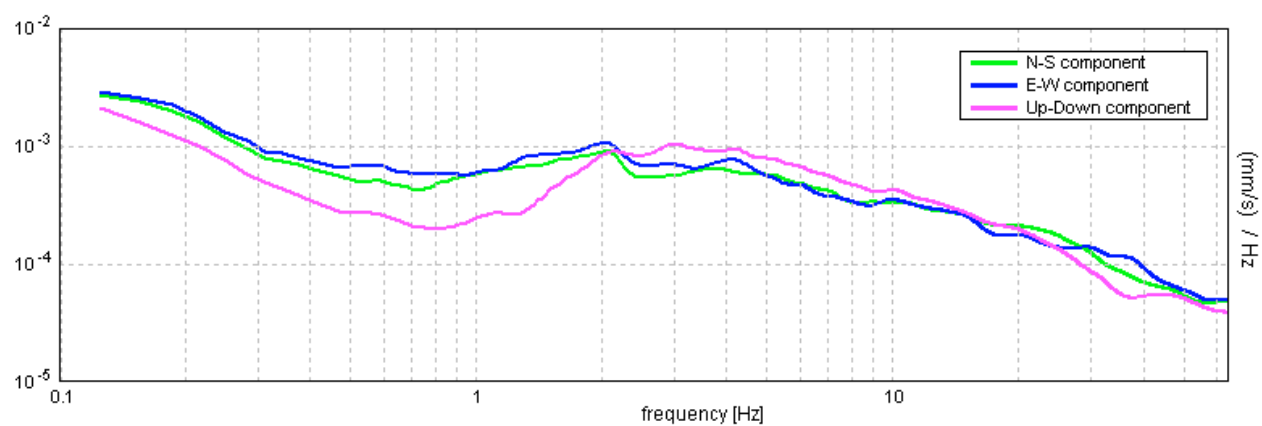
TRACCIA 0027, CONSELICE LAVEZZOLA

Start recording: 30/03/08 14:48:19 End recording: 30/03/08 15:03:34
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h15'12". Analyzed 78% trace (manual window selection)
Sampling frequency: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

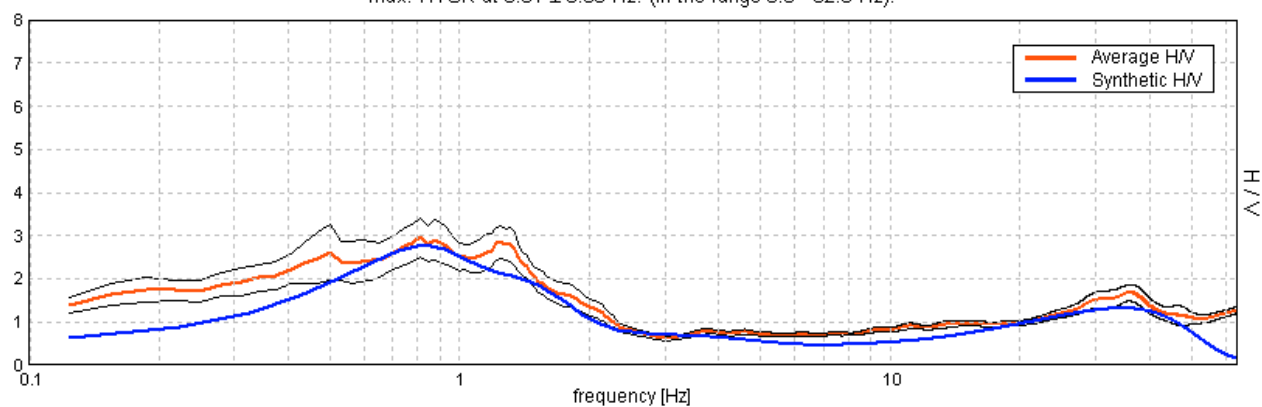


SINGLE COMPONENT SPECTRA

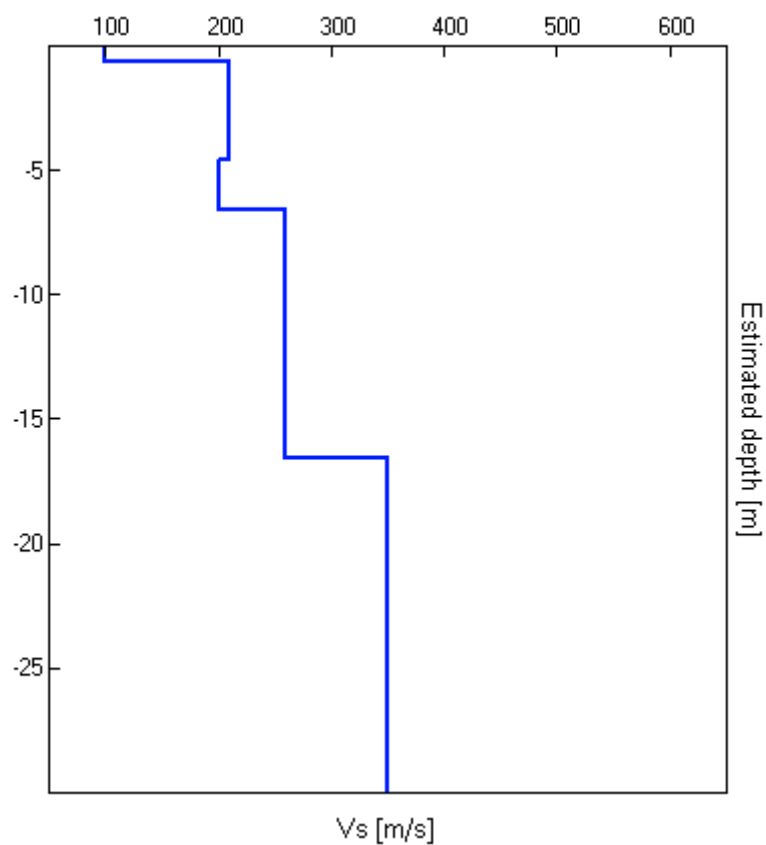


EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. HVSR at 0.81 ± 0.05 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
0.60	0.60	100
4.60	4.00	210
6.60	2.00	200
16.60	10.00	260
46.60	30.00	350
96.60	50.00	500
246.60	150.00	700
inf.	inf.	1050



Vs30 = 268 m/s. Categoria di suolo = C.

[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the [Grilla](#) manual before interpreting the following tables.]

Max. HVSr at 0.81 ± 0.05 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).

Criteria for a reliable HVSr curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.81 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$568.8 > 200$	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 HVSr 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 $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.906 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.96 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.03254 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.02644 < 0.12188$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2215 < 2.0$	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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

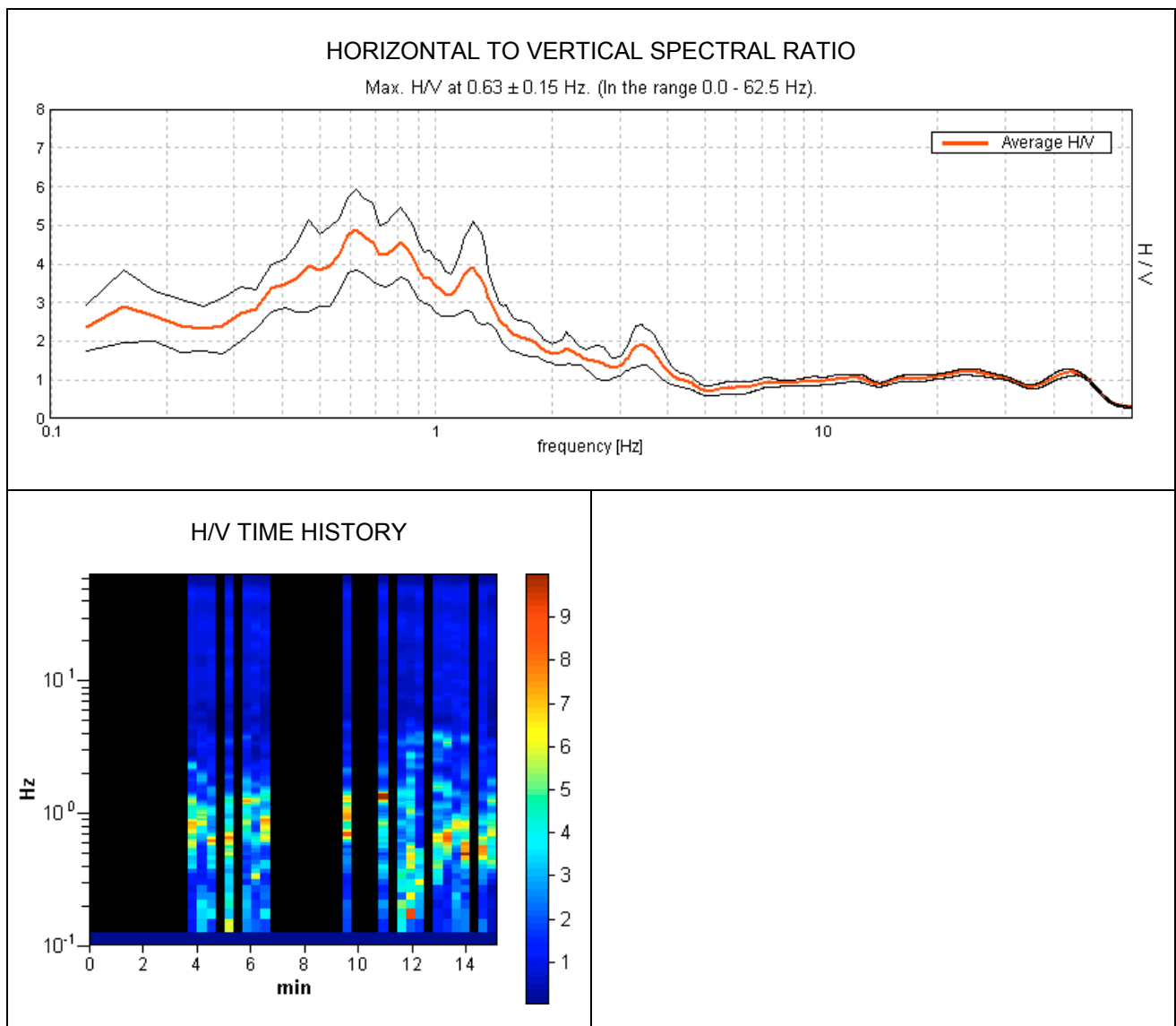
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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

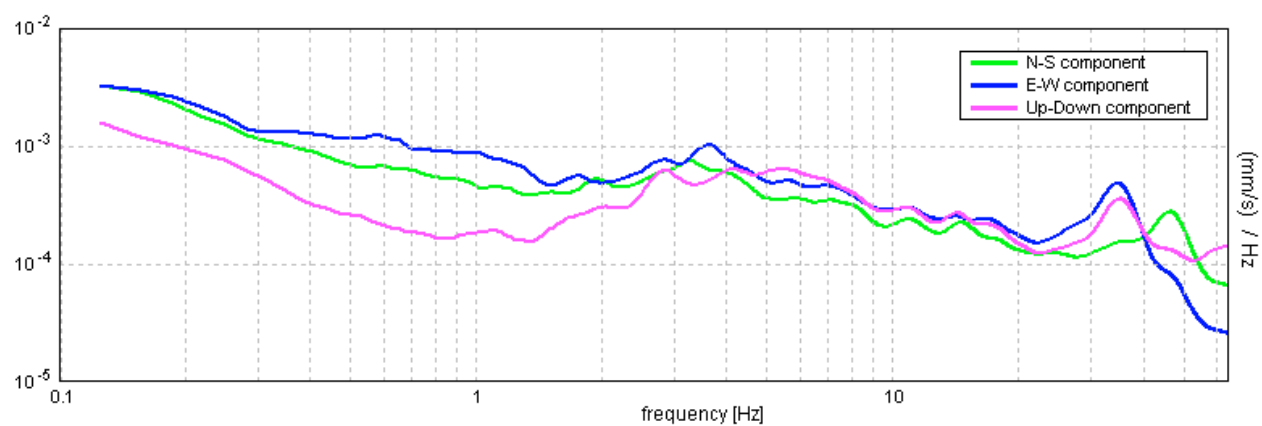
TRACCIA 0028, CONSELICE

Start recording: 30/03/08 15:19:34 End recording: 30/03/08 15:34:50
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

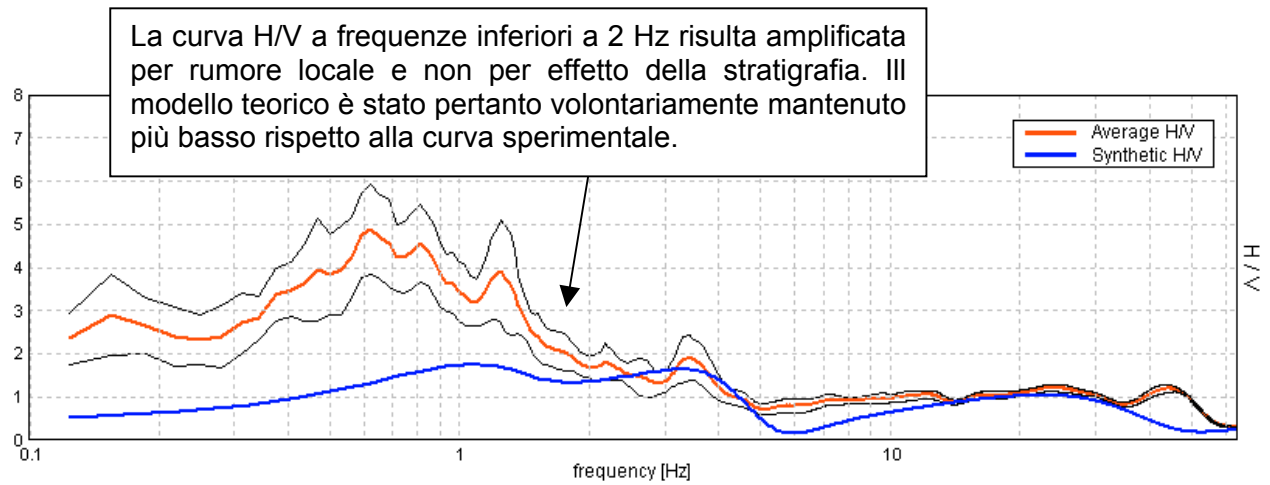
Trace length: 0h15'12". Analyzed 40% trace (manual window selection)
Sampling frequency: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%



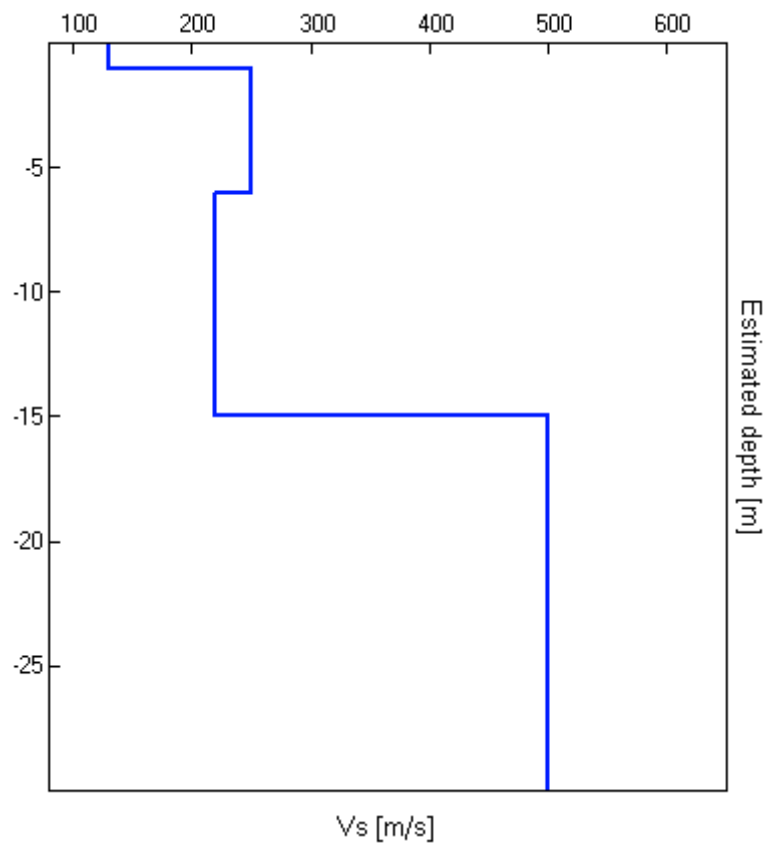
SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	130
6.00	5.00	250
15.00	9.00	220
65.00	50.00	500
165.00	100.00	700
inf.	inf.	1000



Vs30 = 304 m/s. Categoria di suolo = C.

[According to the Sesame, 2005 guidelines. **Please read carefully the [Grilla](#) manual before interpreting the following tables.**]

Max. HVSr at 0.63 ± 0.15 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).

Criteria for a reliable HVSr curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.63 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$225.0 > 200$	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 31 times	OK	

Criteria for a clear HVSr peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.281 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.5 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$4.89 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.11369 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.07105 < 0.09375$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4854 < 2.0$	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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

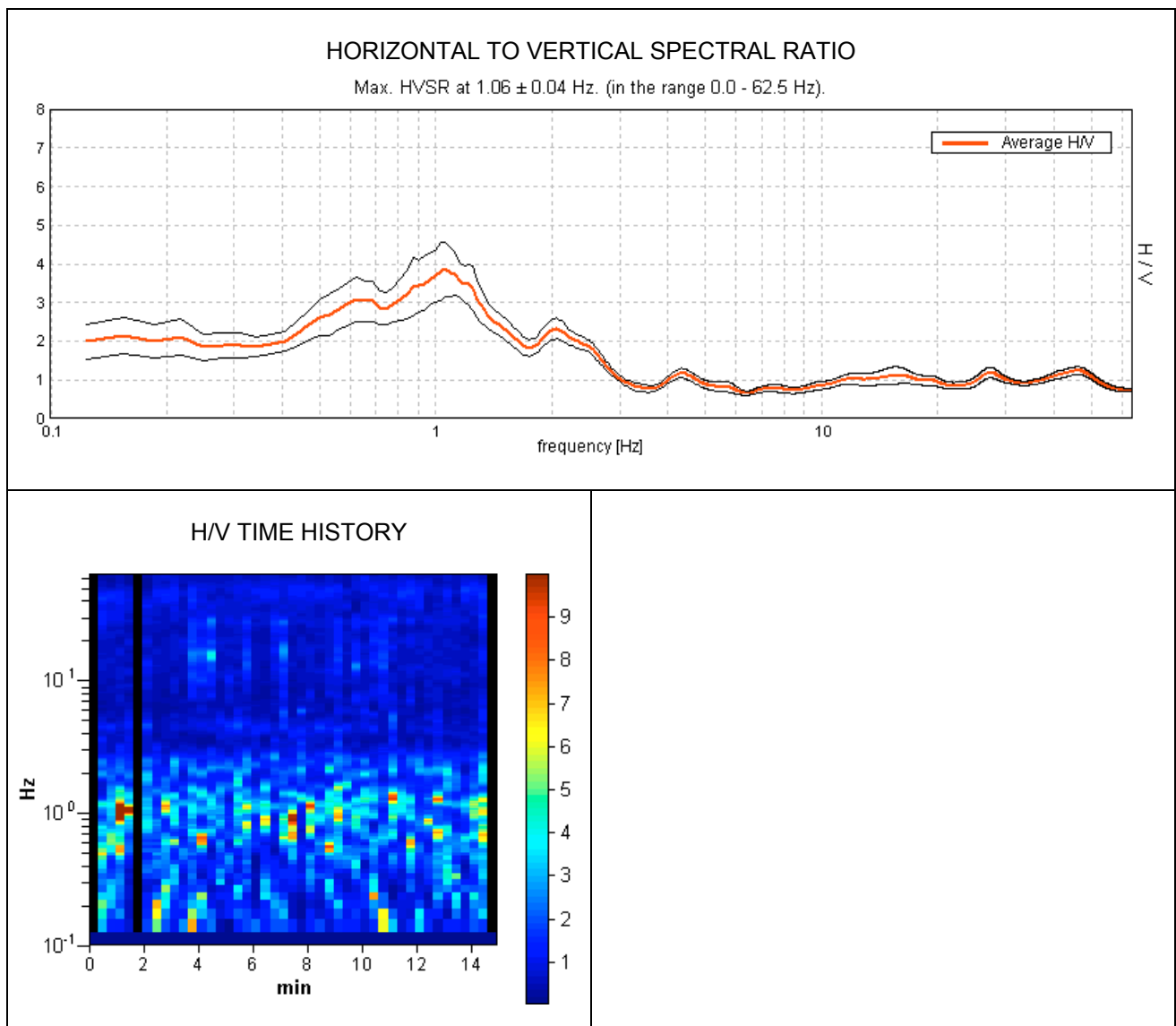
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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

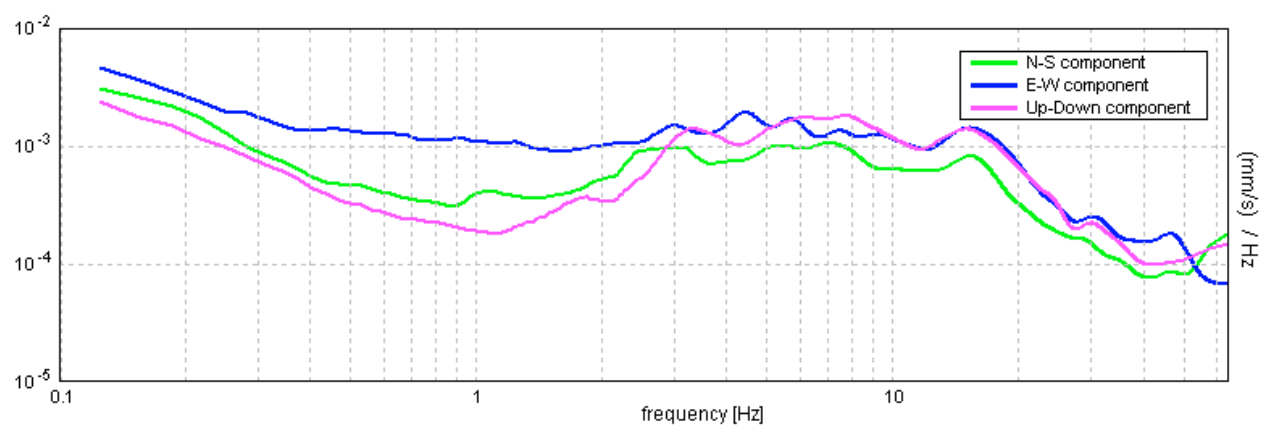
TRACCIA 0029, CONSELICE

Start recording: 30/03/08 15:44:17 End recording: 30/03/08 15:59:19
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h15'00". Analyzed 93% trace (manual window selection)
Sampling frequency: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

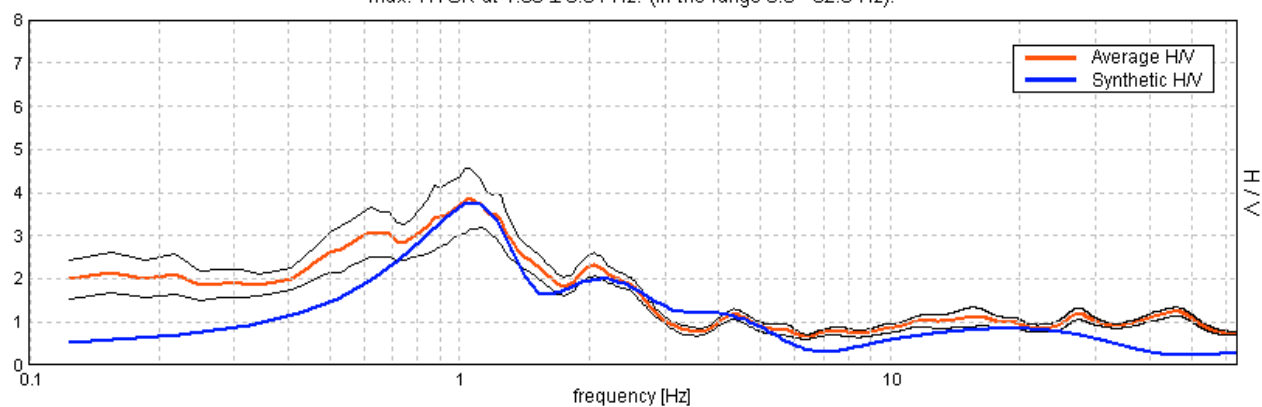


SINGLE COMPONENT SPECTRA

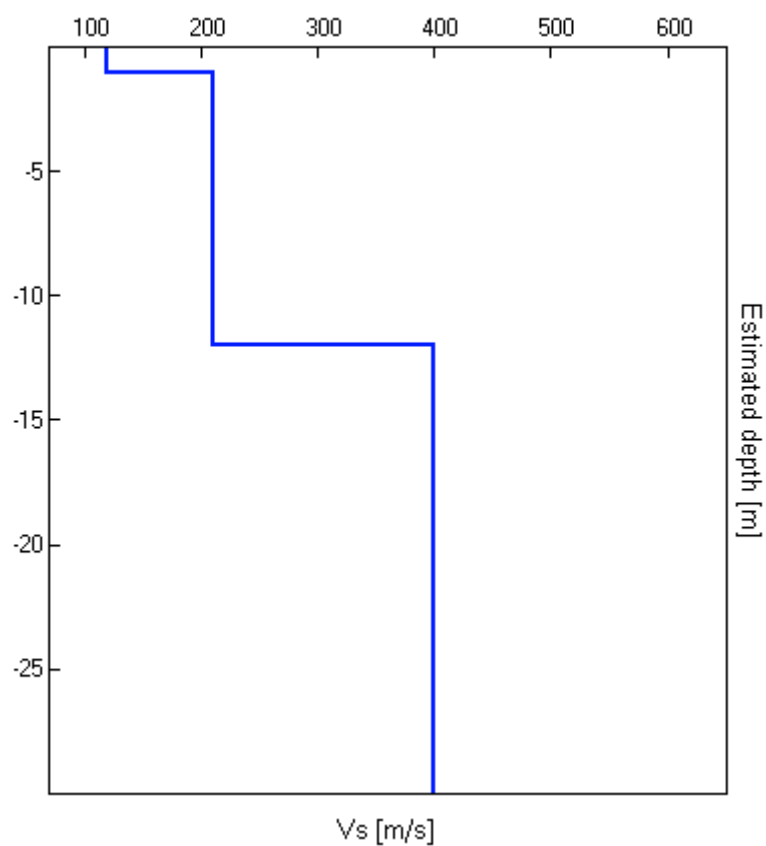


EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. HVSR at 1.06 ± 0.04 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	120
12.00	11.00	210
49.00	37.00	400
179.00	130.00	680
inf.	inf.	1250



Vs30 = 284 m/s. Categoria di suolo = C.

[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the [Grilla](#) manual before interpreting the following tables.]

Max. HVSr at 1.06 ± 0.04 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).

Criteria for a reliable HVSr curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.06 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$892.5 > 200$	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 52 times	OK	

Criteria for a clear HVSr peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.375 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.688 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.86 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01908 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.02027 < 0.10625$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3443 < 1.78$	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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

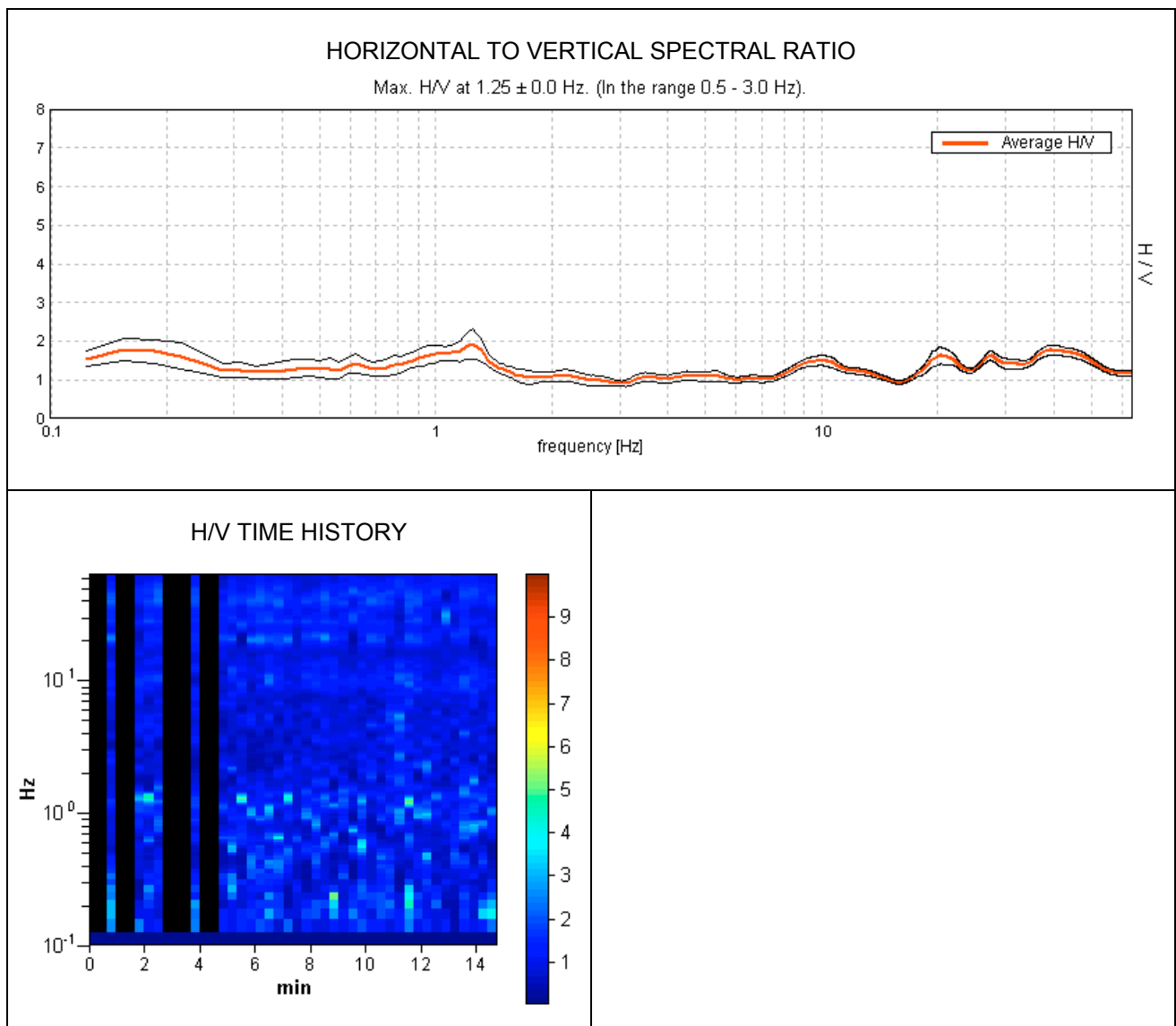
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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

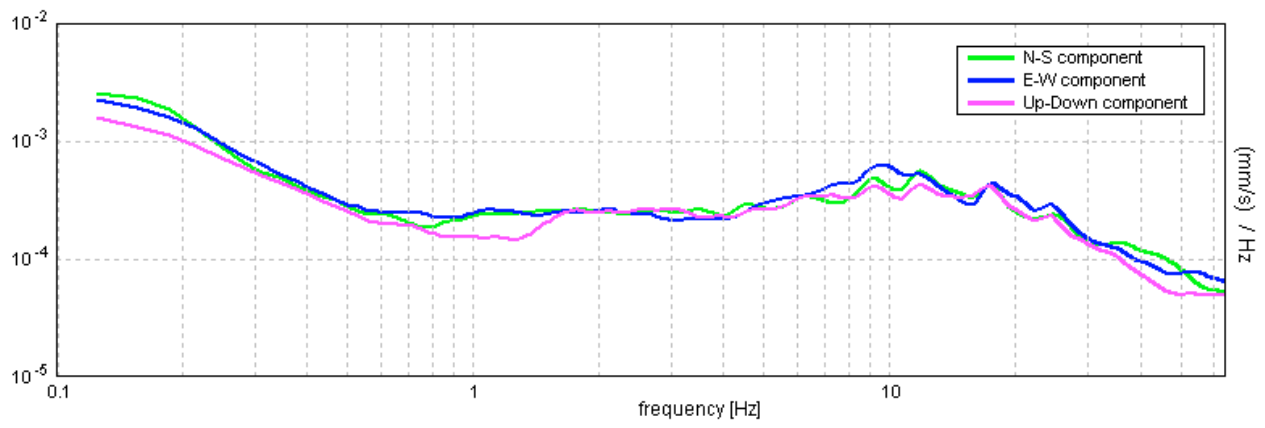
TRACCIA 0030, MASSA LOMBARDA

Start recording: 30/03/08 16:08:30 End recording: 30/03/08 16:23:23
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h14'48". Analyzed 80% trace (manual window selection)
Sampling frequency: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

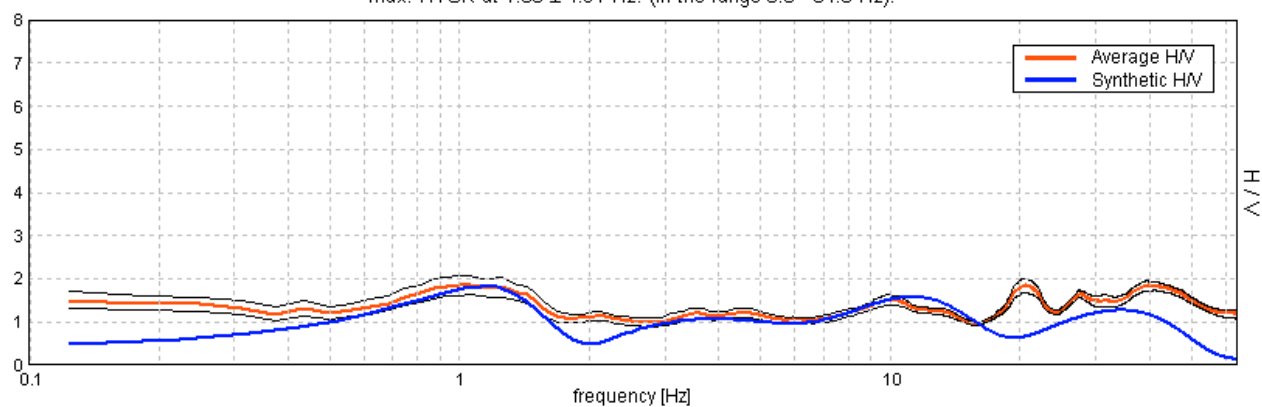


SINGLE COMPONENT SPECTRA

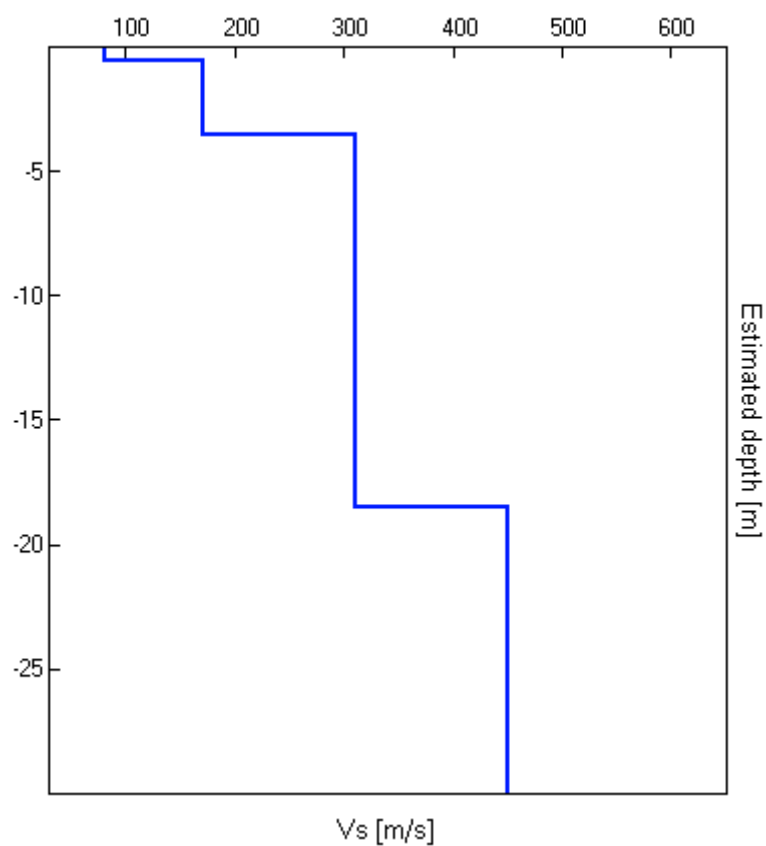


EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. HVSR at 1.06 ± 4.91 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
0.50	0.50	80
3.50	3.00	170
18.50	15.00	310
93.50	75.00	450
inf.	inf.	850



Vs30 = 307 m/s. Categoria di suolo = C.

[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the [Grilla](#) manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 1.25 ± 0.0 Hz. (in the range 0.5 - 3.0 Hz).

Criteria for a reliable HVSR curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.25 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$875.0 > 200$	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 61 times	OK	

Criteria for a clear HVSR 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 $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.75 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$1.94 > 2$		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00189 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00236 < 0.125$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1892 < 1.78$	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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

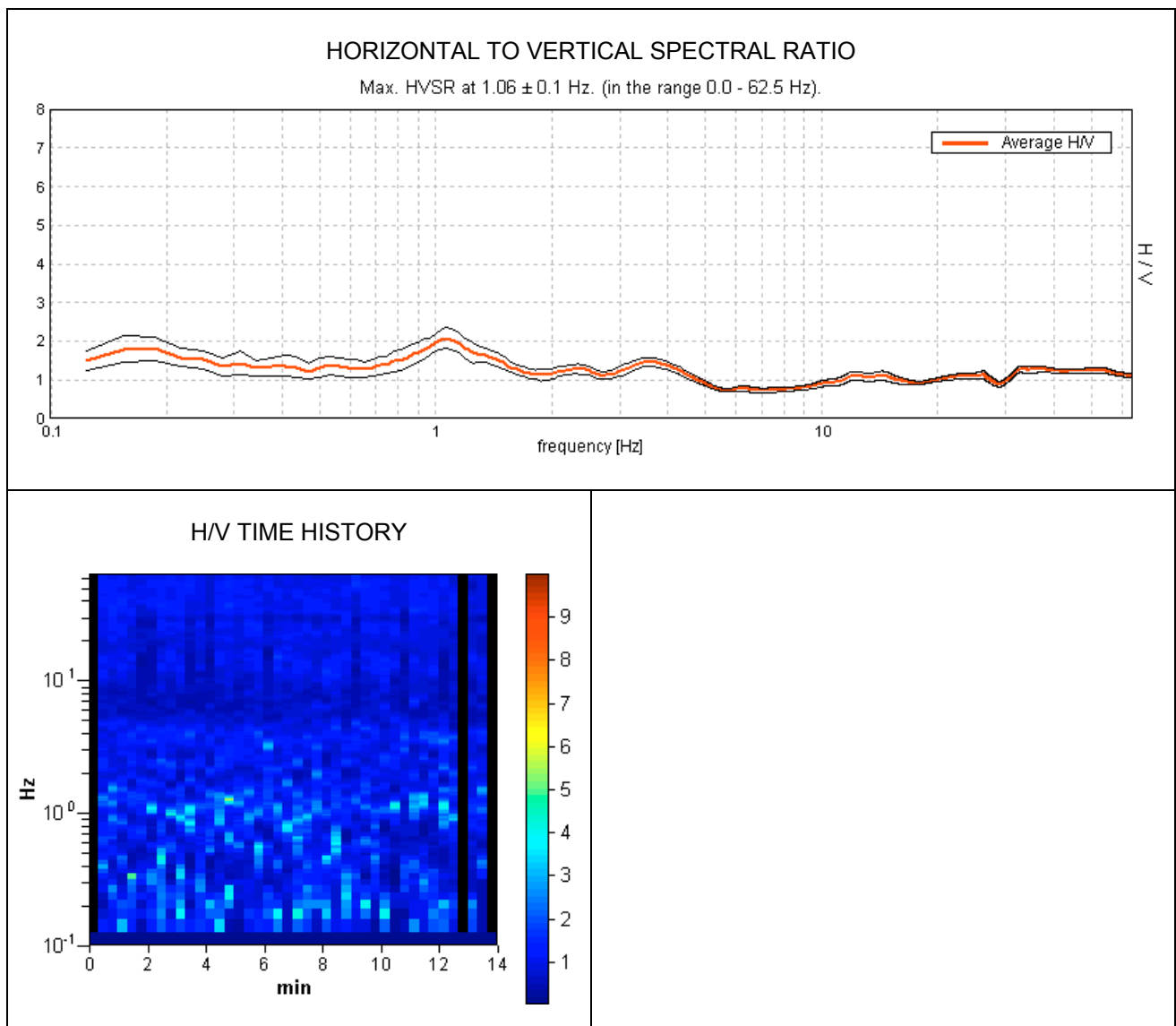
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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

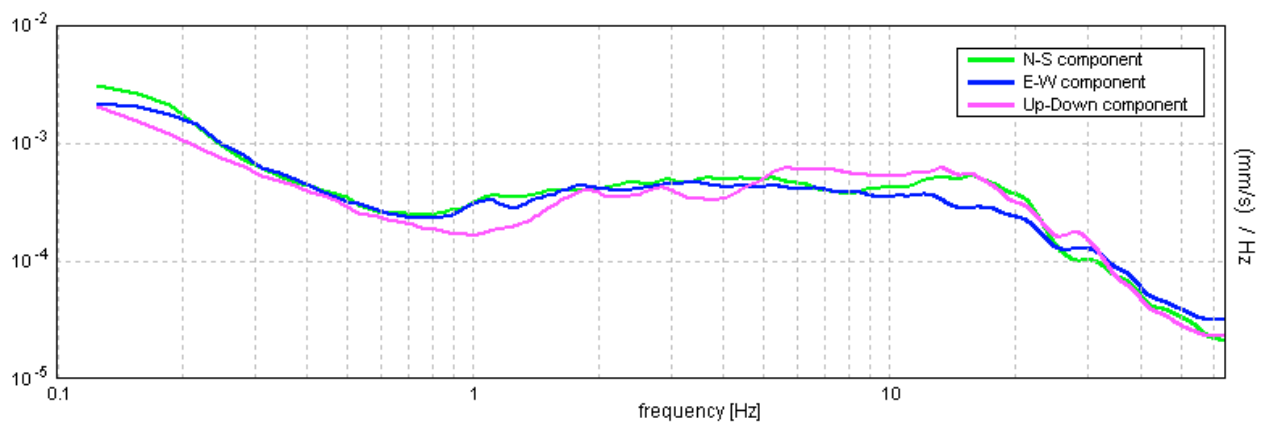
TRACCIA 0031, MASSA LOMBARDA

Start recording: 30/03/08 16:32:42 End recording: 30/03/08 16:46:46
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

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

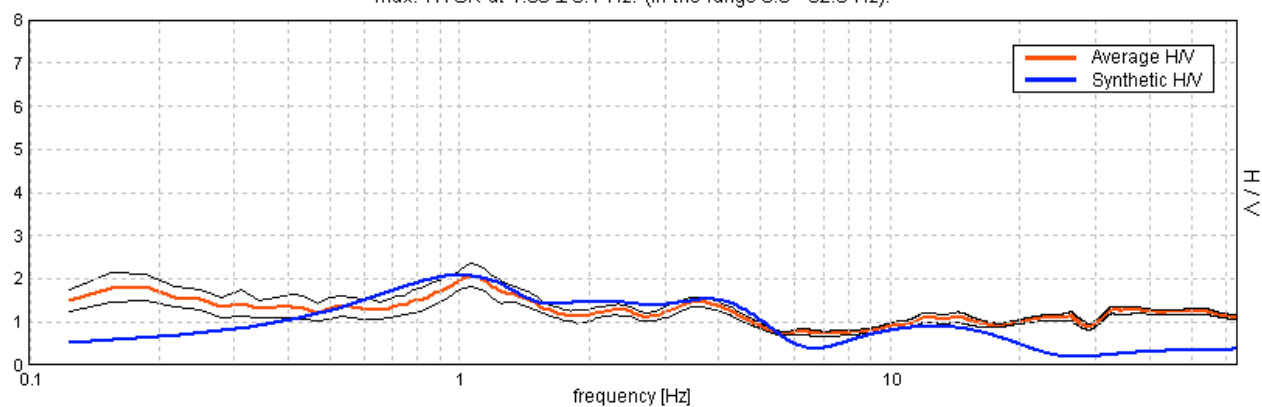


SINGLE COMPONENT SPECTRA

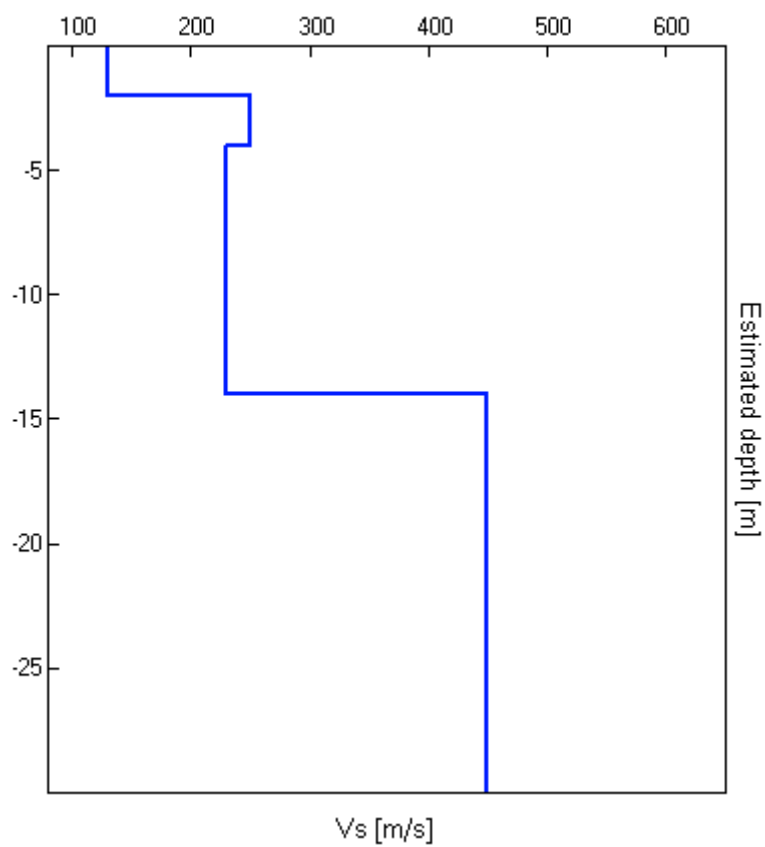


EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. HVSR at 1.06 ± 0.1 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
2.00	2.00	130
4.00	2.00	250
14.00	10.00	230
59.00	45.00	450
179.00	120.00	700
inf.	inf.	1100



Vs30 = 293 m/s. Categoria di suolo = C.

[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the [Grilla](#) manual before interpreting the following tables.]

Max. HVSR at 1.06 ± 0.1 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).

Criteria for a reliable HVSR curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.06 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$828.8 > 200$	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 52 times	OK	

Criteria for a clear HVSR 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
$A_0 > 2$	$2.09 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04762 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.0506 < 0.10625$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1275 < 1.78$	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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

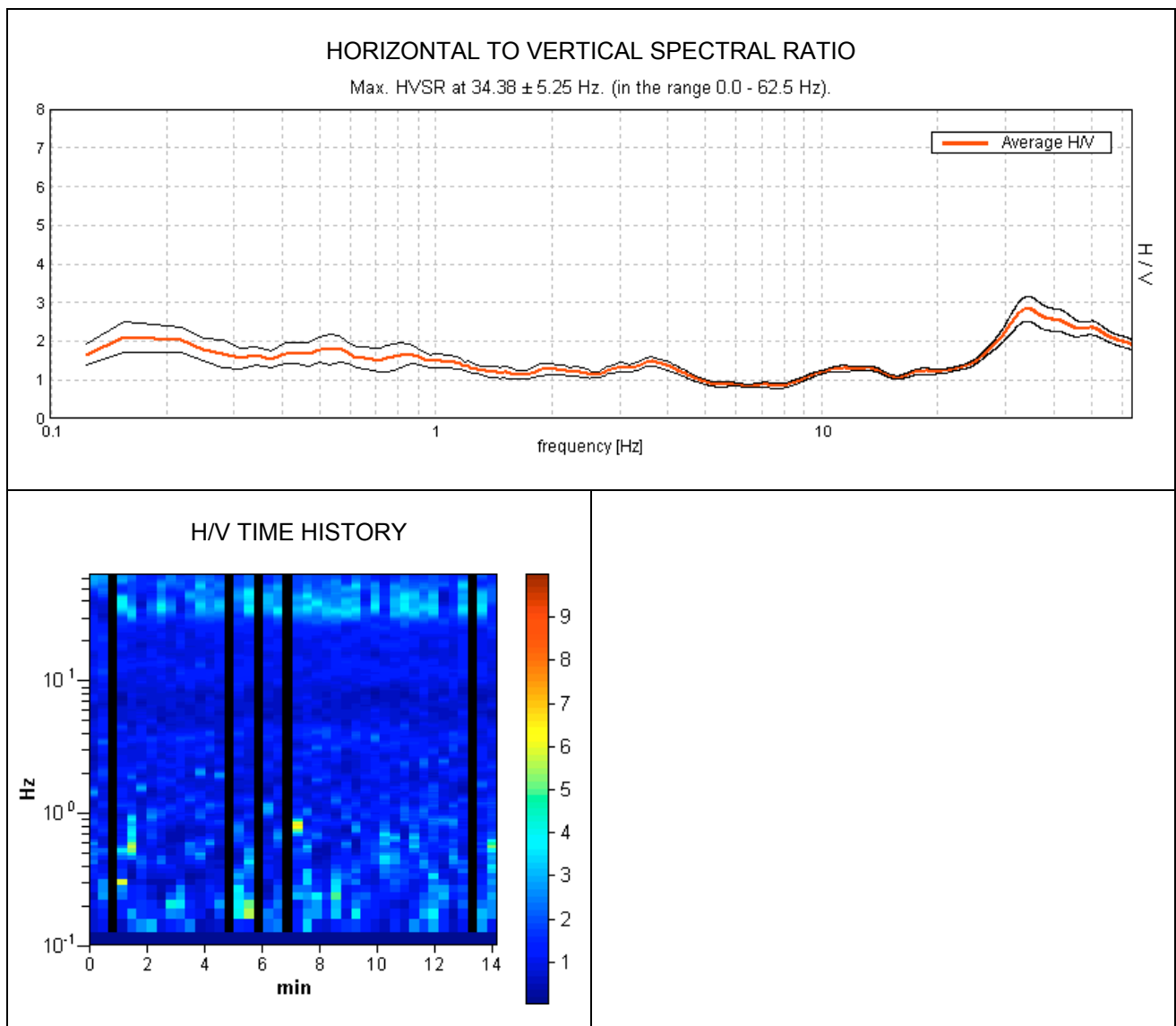
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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

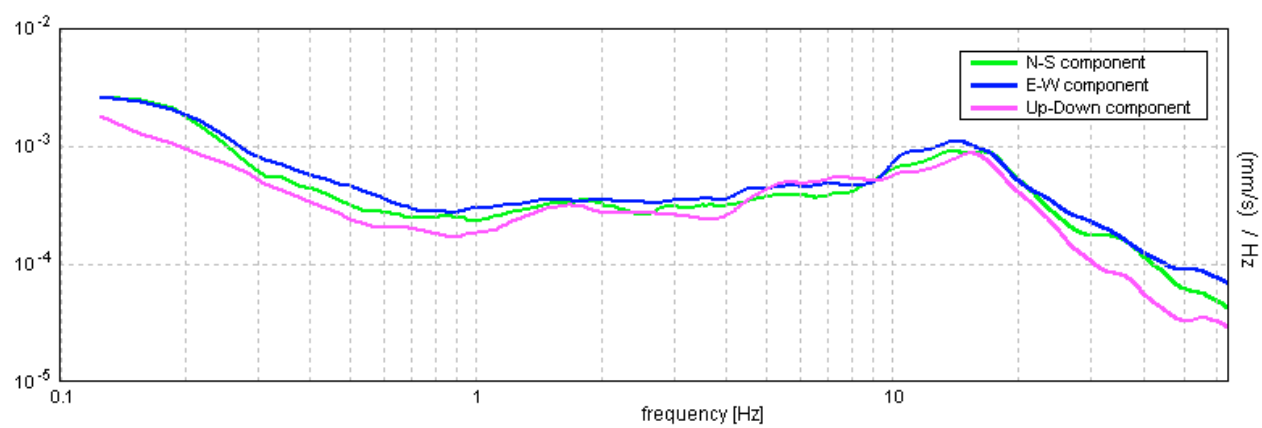
TRACCIA 0032, BAGNARA

Start recording: 30/03/08 16:59:41 End recording: 30/03/08 17:13:56
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h14'12". Analyzed 88% trace (manual window selection)
Sampling frequency: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

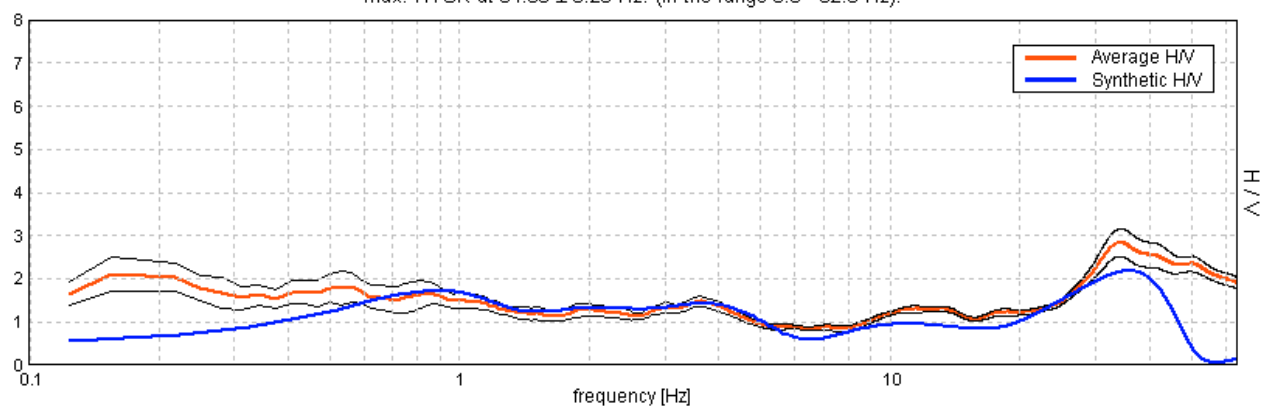


SINGLE COMPONENT SPECTRA

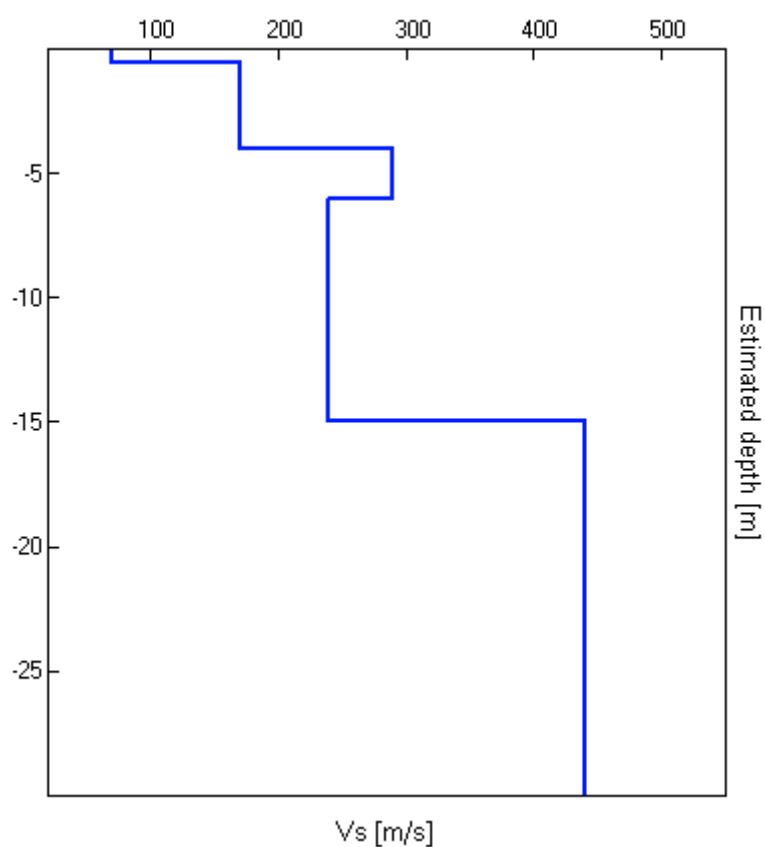


EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. HVSR at 34.38 ± 5.25 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
0.50	0.50	70
4.00	3.50	170
6.00	2.00	290
15.00	9.00	240
60.00	45.00	440
180.00	120.00	660
inf.	inf.	1000



Vs30 = 282 m/s. Categoria di suolo = C.

[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the [Grilla](#) manual before interpreting the following tables.]

Max. HVSR at 34.38 ± 5.25 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).

Criteria for a reliable HVSR curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$34.38 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$25437.5 > 200$	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 1499 times	OK	

Criteria for a clear HVSR peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	24.469 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$2.83 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.07418 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$2.55008 < 1.71875$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1585 < 1.58$	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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

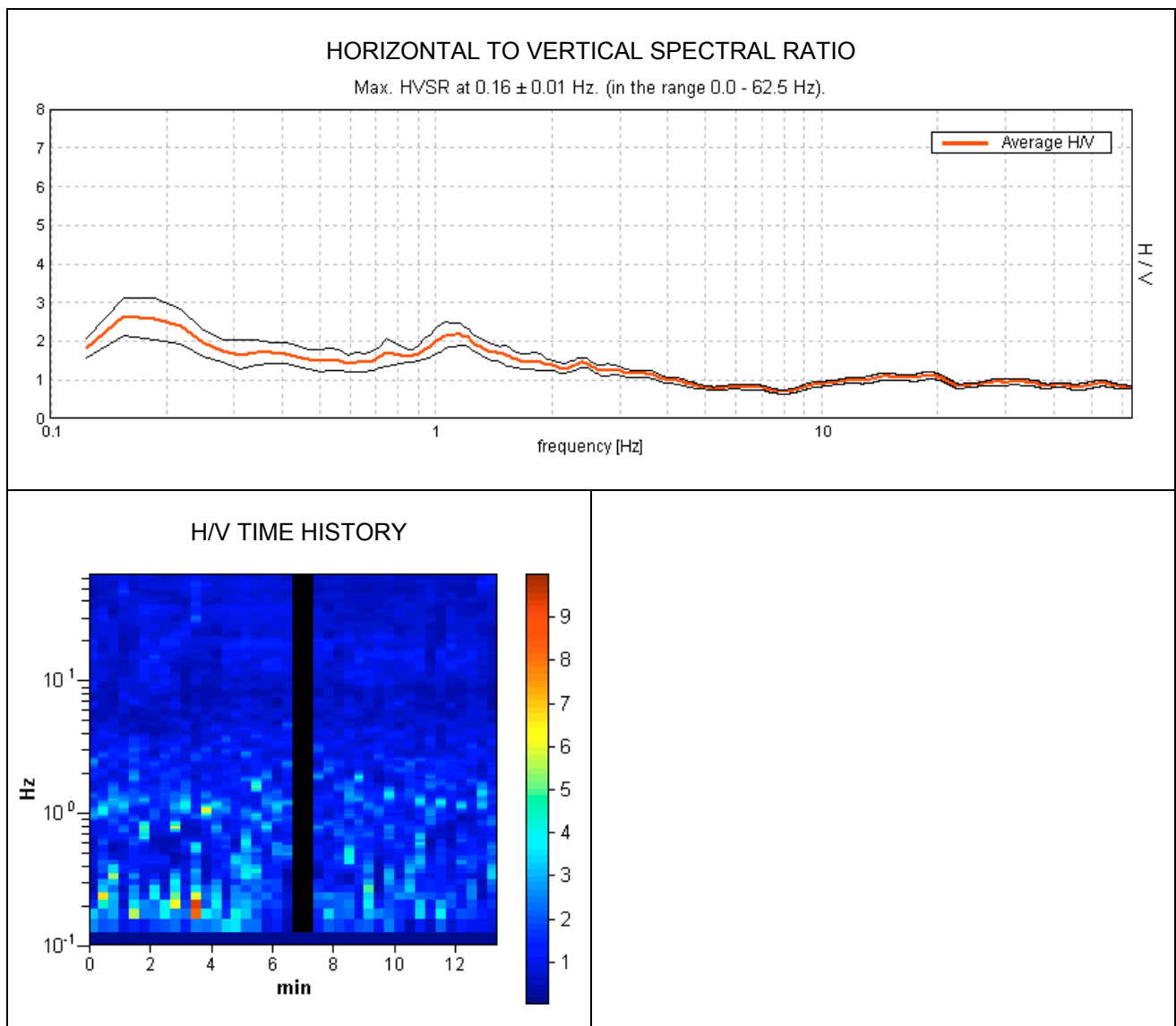
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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

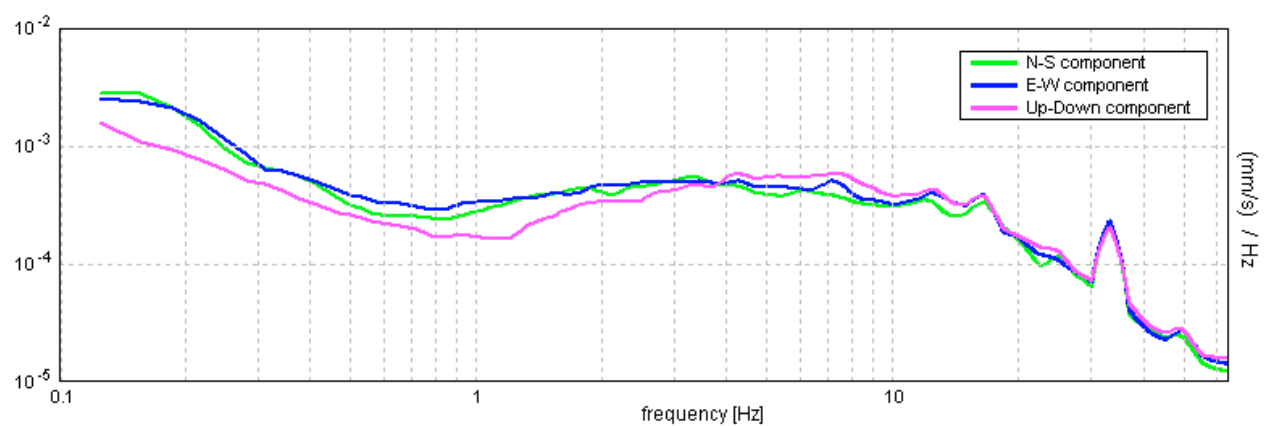
TRACCIA 0033, SANT'AGATA

Start recording: 30/03/08 17:27:39 End recording: 30/03/08 17:41:06
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h13'24". Analyzed 95% trace (manual window selection)
Sampling frequency: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

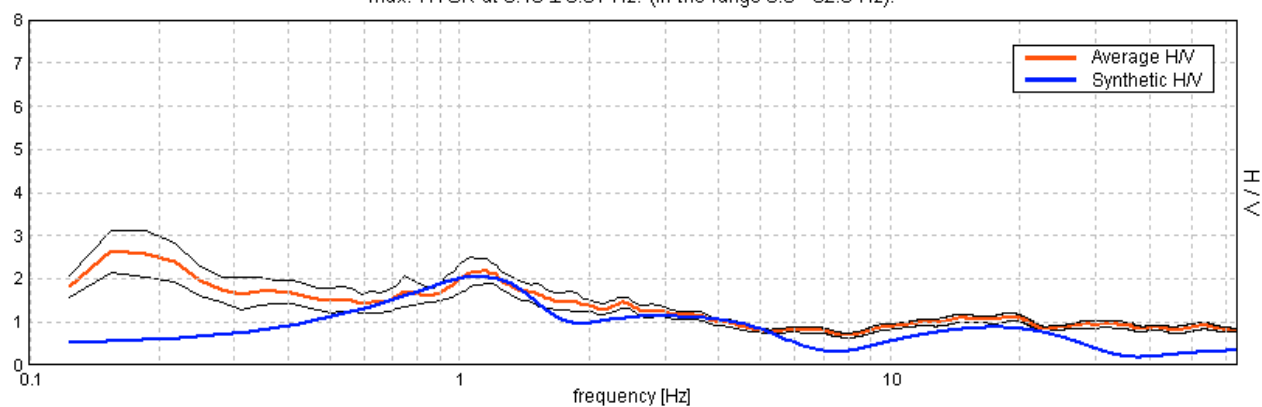


SINGLE COMPONENT SPECTRA

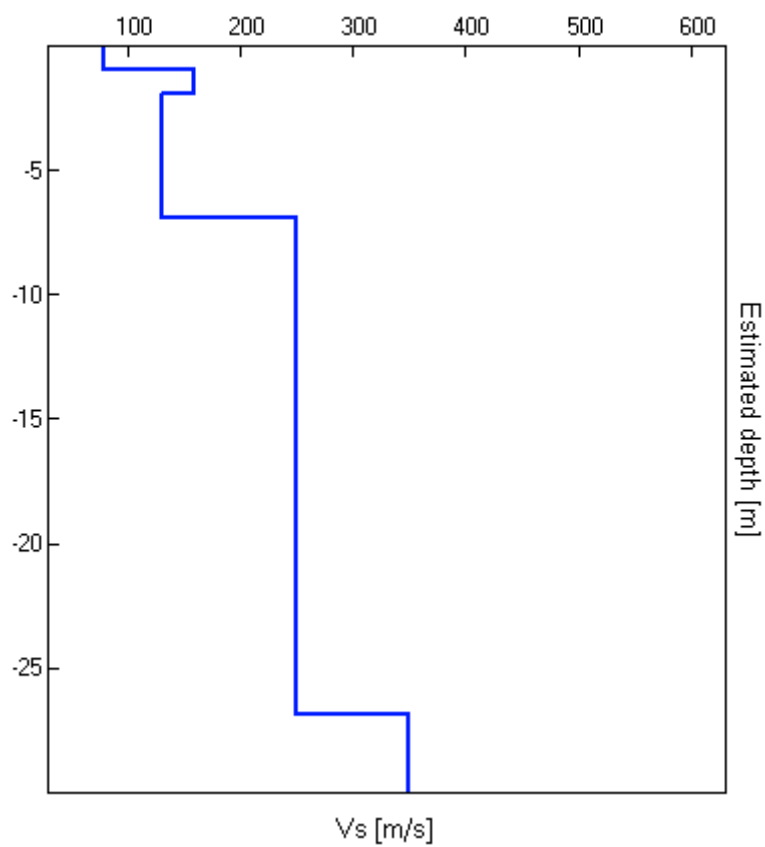


EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. HVSR at 0.16 ± 0.01 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
0.90	0.90	80
1.90	1.00	160
6.90	5.00	130
26.90	20.00	250
76.90	50.00	350
inf.	inf.	580



Vs30 = 207 m/s. Categoria di suolo = C.

[According to the Sesame, 2005 guidelines. **Please read carefully the [Grilla](#) manual before interpreting the following tables.**]

Max. HVSR at 0.16 ± 0.01 Hz. (in the range 0.0 - 62.5 Hz).

Criteria for a reliable HVSR curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.16 > 0.16$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$121.9 > 200$		NO
$\sigma_A(f) < 2$ 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 16 times	OK	

Criteria for a clear HVSR peak

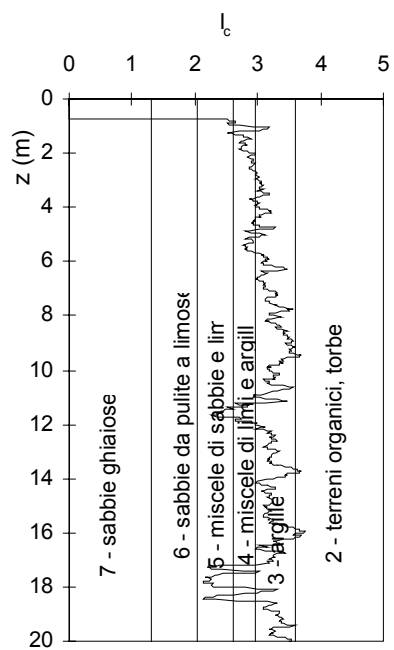
[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.109 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.281 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.01 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.07994 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.01249 < 0.03906$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4326 < 3.0$	OK	

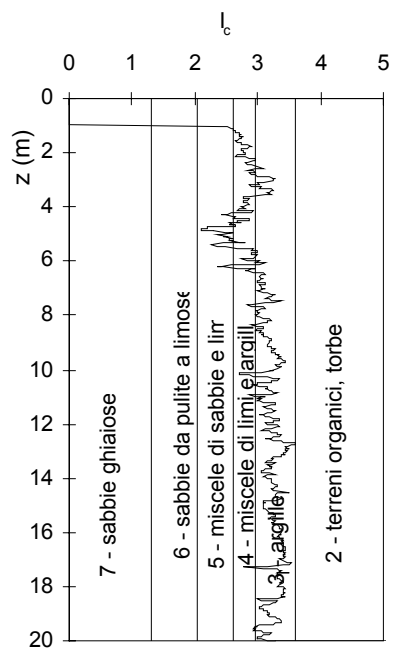
L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak 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 $\sigma_A(f_0)$

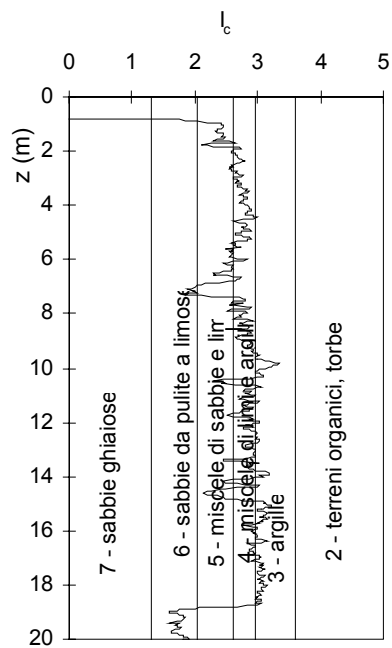
Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



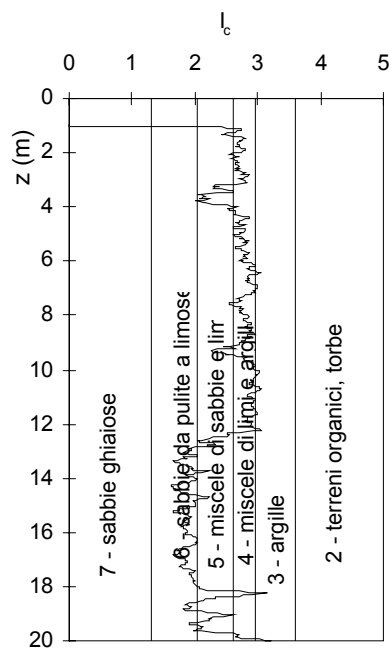
Prove 28 e 29



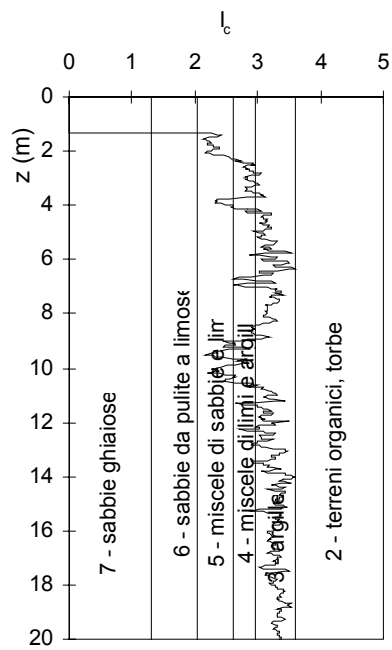
Prova 21



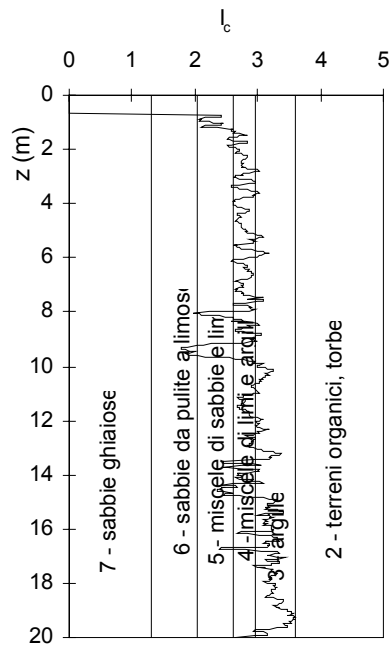
Prova 31



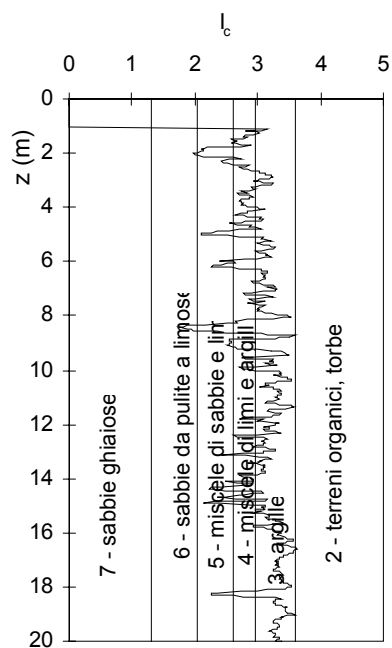
Prova 31



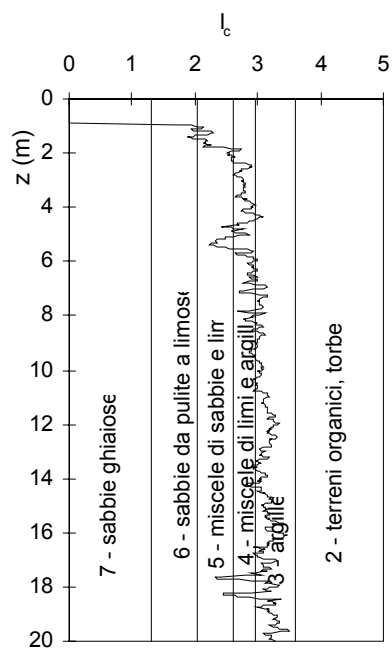
Prova 33



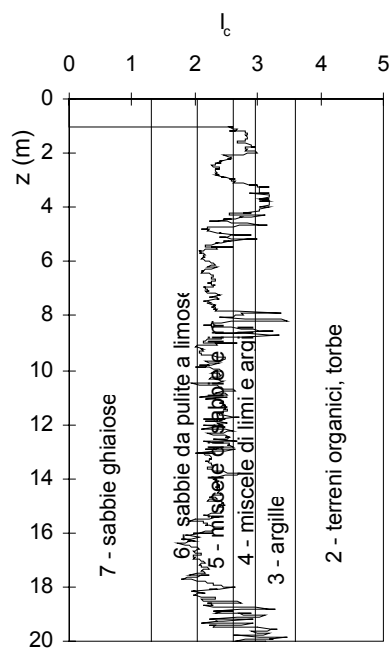
Prova 18



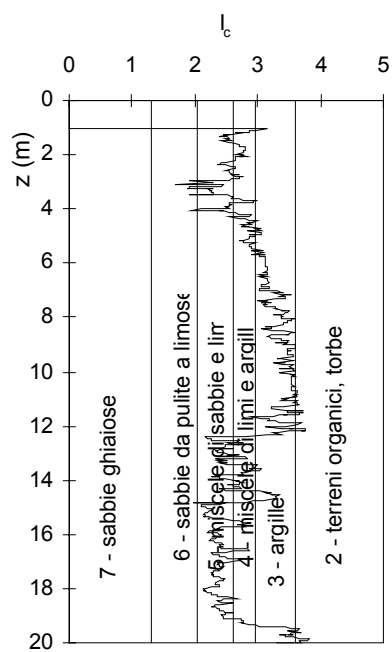
Prova 9 e 10



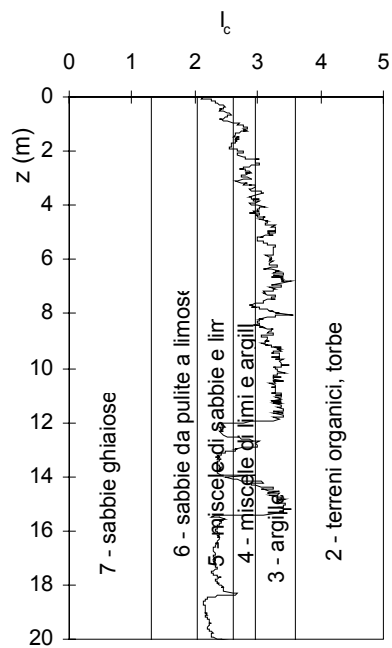
Prova 19



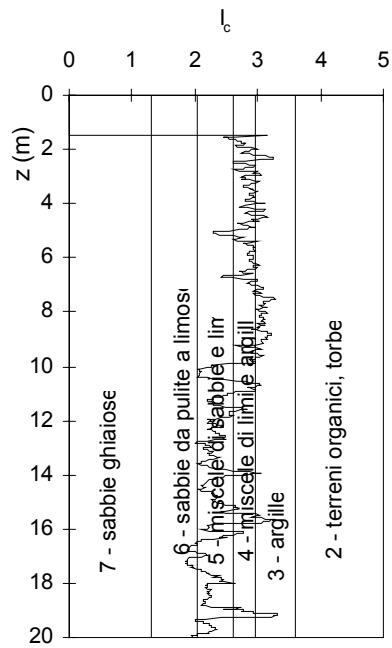
Prova 25



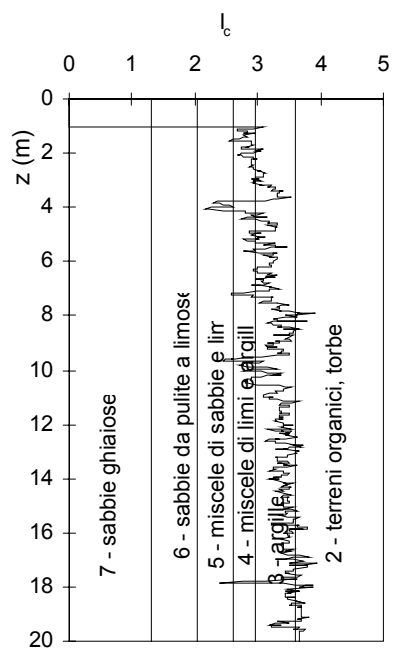
Prova 22



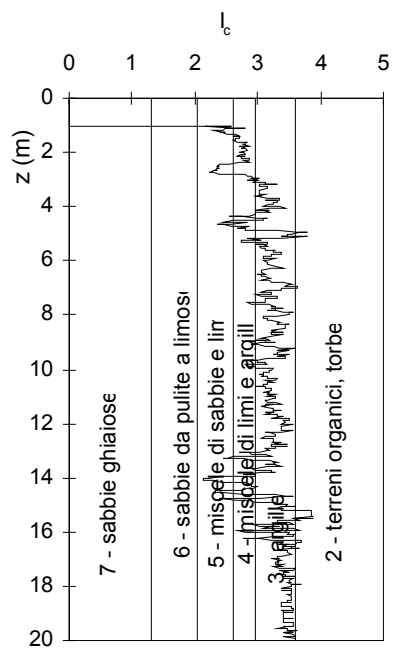
Prova 24



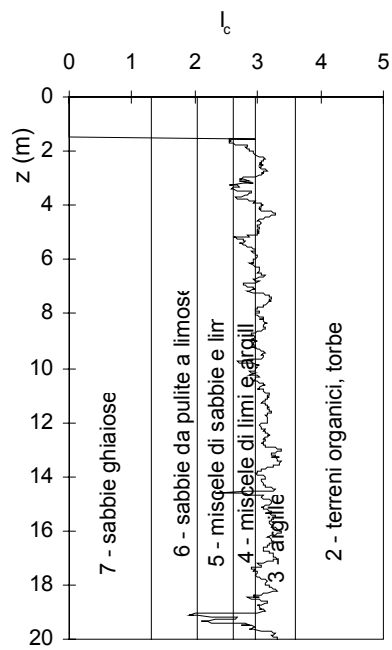
Prova 32



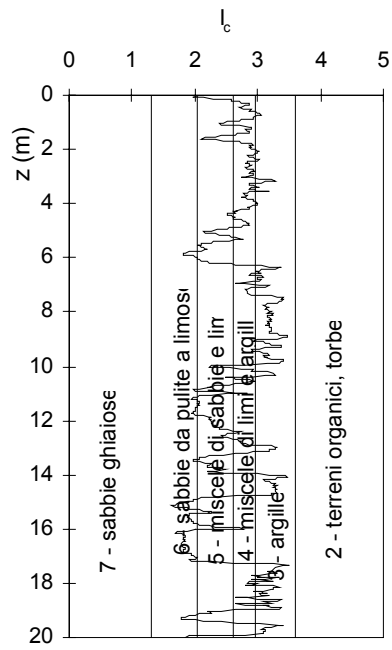
Prova 7



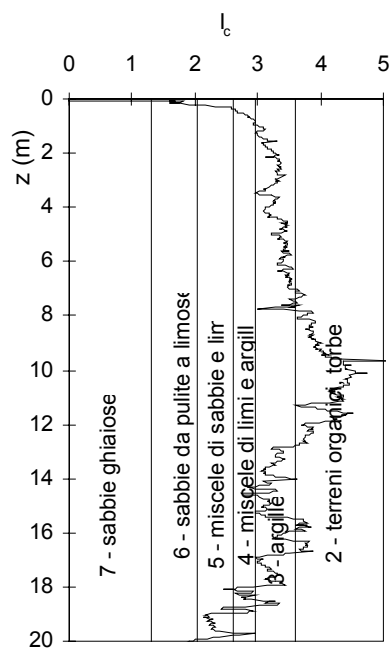
Prova 8



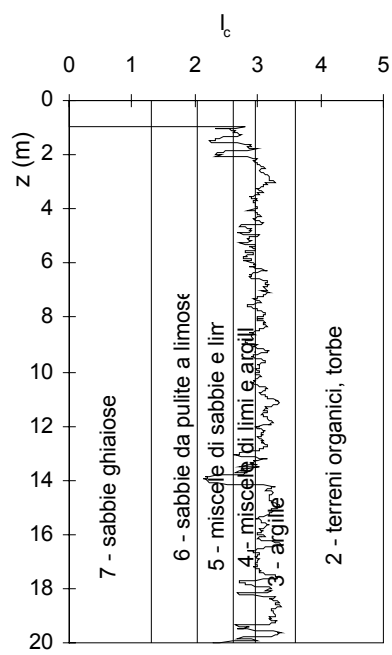
Prova 11



Prova 26



Prova 27



Prova 17 e 20



ALLEGATO 1-2
CARTA DELLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI



Unione dei comuni della bassa Romagna

PSC Associato

Analisi Sismica

CARTA DELLE AREE
SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI

ALLEGATO 1-2

Scala 1:25.000

Tavola 1/2



Legenda

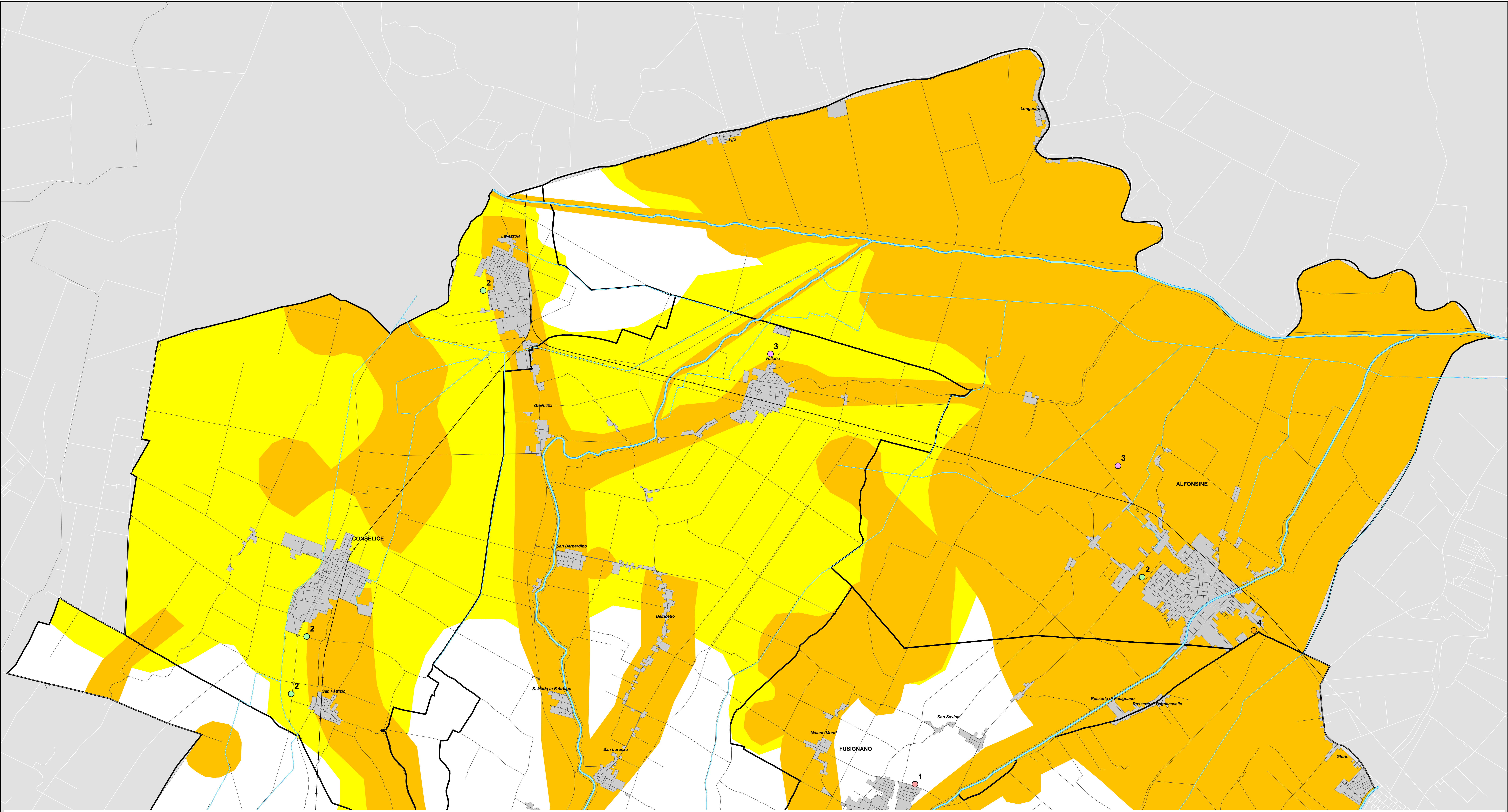
Componenti del territorio

- Confini Comuni Associazione
- Comuni confinanti
- Strade Comuni confinanti
- Ferrovie Comuni confinanti
- 1 binario
- 2 binari
- Ferrovie Comuni Associazione
- 1 Binario
- 2 Binari
- Canali principali
- Fiumi principali
- Territorio urbanizzato
- Strade

Sismica

Classi

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- Aree che non necessitano di approfondimento
- Aree che necessitano dell'analisi semplificata (II livello)
- Aree di possibile necessità di un'analisi approfondita (III livello) in funzione delle caratteristiche meccaniche dei terreni





Unione dei comuni della bassa Romagna

PSC Associato

Analisi Sismica

CARTA DELLE AREE
SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI

ALLEGATO 1-2

Scala 1:25.000

Tavola 2/2



Legenda

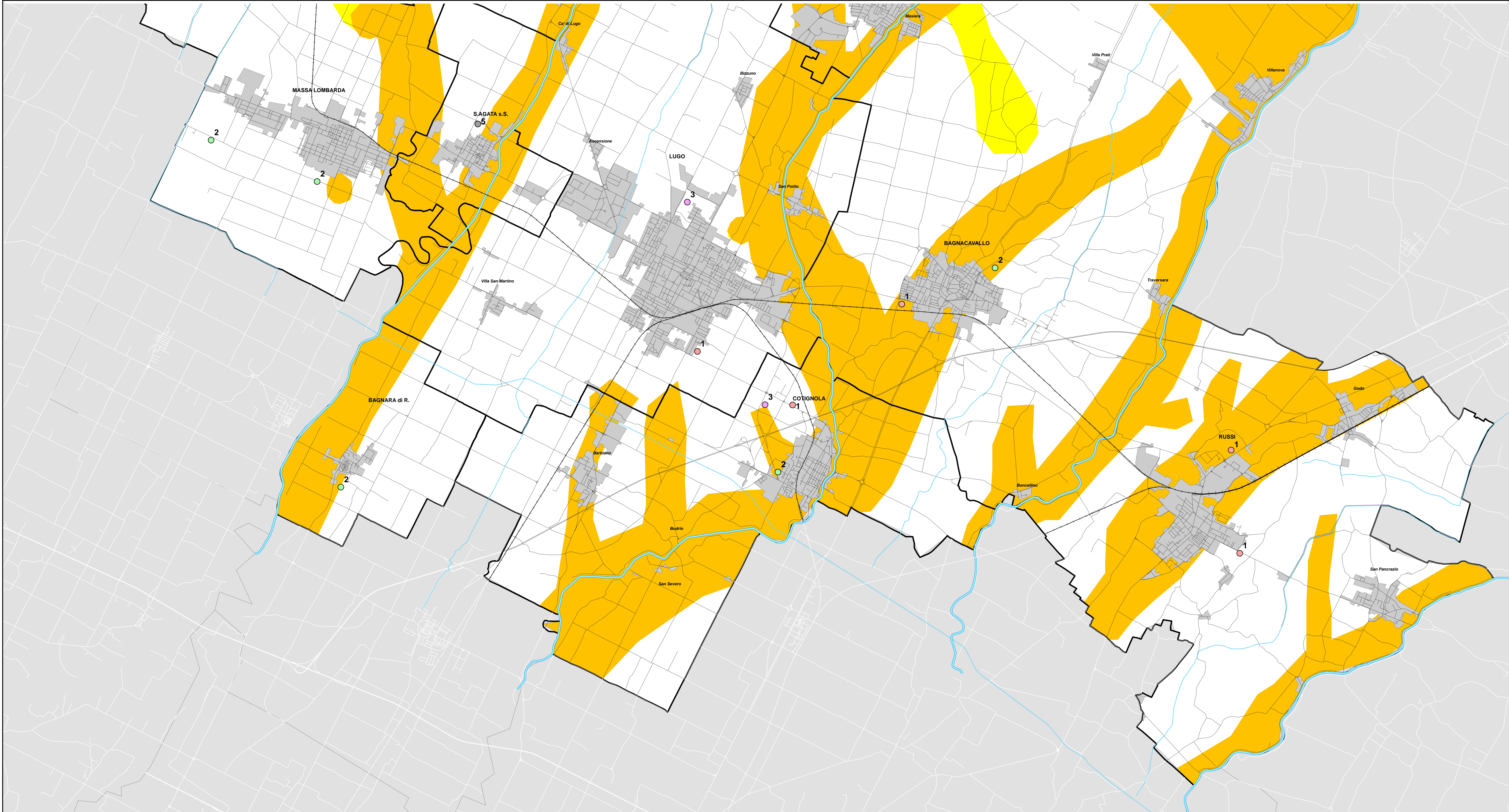
Componenti del territorio

- Confini Comuni Associazione
- Comuni confinanti
- Strade Comuni confinanti
- Ferrovie Comuni confinanti
- 1 binario
- 2 binari
- Ferrovie Comuni Associazione
- 1 Binario
- 2 Binari
- Canali principali
- Fiumi principali
- Territorio urbanizzato
- Strade

Sismica

Classi

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- Aree che non necessitano di approfondimento
- Aree che necessitano dell'analisi semplificata (II livello)
- Aree di possibile necessità di un'analisi approfondita (III livello) in funzione delle caratteristiche meccaniche dei terreni





**ALLEGATO 1-3
PROPOSTA DI NORMATIVA**



Art. 1

Pericolosità Sismica

La Direttiva della Regione Emilia Romagna 112/2007 prevede diversi di livelli di approfondimenti in funzione delle caratteristiche di pericolosità sismica presenti nel territorio correlato al livello di pianificazione.

Per quanto riguarda il Piano Strutturale Comunale (PSC), si impone che esso attui gli indirizzi previsti dalla pianificazione sovraordinata, realizzando una nuova cartografia della pericolosità sismica locale, ad una scala di maggior dettaglio, individuando le parti del territorio caratterizzate dai differenti scenari di pericolosità sismica locale.

La Tavola allegata al PSC "Carta delle aree suscettibili di effetti locali" scompone il territorio comunale in tre macro-zone, distinte con le specifiche della Direttiva 112/2007 indicanti diversi livelli di approfondimento:

Tale carta è stata realizzata utilizzando tutte le indagini e le conoscenze disponibili, che fanno parte del quadro conoscitivo (spessori litologici, parametri geomeccanici, soggiacenza della falda, geologia di superficie, geologia di sottosuolo), oltre all'esecuzione di 21 prove sismiche di tipo passivo.

Nella carta sono riportate 3 tipi di aree:

- Le aree che non necessitano di approfondimento sono rappresentate con colore bianco;
- Le aree che necessitano dell'analisi semplificata (secondo livello di approfondimento) sono rappresentate con colore giallo; appartengono a questa classe i terreni coesivi che mostrano scarse qualità dal punto di vista delle caratteristiche geomeccaniche, e che quindi possono portare in condizioni sismiche a cedimenti consistenti.
- Le aree per le quali è richiesta la verifica, durante la pianificazione sott'ordinata, del loro possibile inserimento nelle zone che richiedono un'analisi approfondita (terzo livello di approfondimento) sono rappresentate con colore arancione. Appartengono a questa classe i terreni incoerenti saturi che possono portare a liquefazione delle sabbie e le argille dotate di proprietà geomeccaniche scadenti che possono portare a cedimenti in condizioni sismiche.
- Gli insediamenti esistenti (colore grigio).

Art. 2

Aree che necessitano dell'analisi semplificata (colore giallo)

Per tali aree è previsto che venga verificato quanto emerso dallo studio eseguito con il secondo livello di approfondimento. Nella carta delle aree suscettibili di effetti locali sono rappresentate con colore giallo. Sono state inserite quelle aree che contengono terreni coesivi che mostrano



scarse qualità dal punto di vista delle caratteristiche geomeccaniche, e che quindi possono portare in condizioni sismiche a cedimenti consistenti.

Le indagini da eseguire nei PUA e nel POC (relativamente alle aree che non sono oggetto di PUA) sono volte a determinare:

- 1) le velocità delle onde di taglio V_s almeno per i primi 30 metri dal p.c. misurate con strumentazione idonea ad ottenere un grado di definizione elevato; a corredo devono essere prodotti anche i risultati delle prove per la definizione del modello geologico del sottosuolo e dei profili di velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s).
- 2) la stratigrafia e le tessiture dell'intervallo litologico almeno dei primi 15 m di sottosuolo, anche per la stima degli effetti locali indotti dalla liquefacibilità, e dei cedimenti indotti.
- 3) le quote piezometriche e le soggiacenze della falda locale.

Dovranno essere verificati i coefficienti di amplificazione sismica per ciascuna delle aree individuate nella «Carta comunale delle aree suscettibili di effetti locali» colore giallo, ottenute impiegando le tabelle e le formule dell'Allegato A2 della Direttiva Regionale 112/2007 che permettono di calcolare i fattori di amplificazione sismica rispetto ad un suolo di riferimento. Questi fattori sono espressi sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) sia di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI_0) per prefissati intervalli di periodi, dove PGA_0 e SI_0 sono rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e l'Intensità di Housner al suolo di riferimento, definiti per ogni comune, ricavabili dal data base regionale (disponibile nel sito internet www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica) e PGA e SI sono le corrispondenti grandezze di accelerazione massima orizzontale e Intensità di Housner calcolate alla superficie dei siti esaminati.

Art. 3

Aree (colore arancione) per le quali è richiesta la verifica, durante la pianificazione sott'ordinata, del loro possibile inserimento nelle zone che richiedono un'analisi approfondita (terzo livello di approfondimento). Appartengono a questa classe i terreni incoerenti saturi che possono portare a liquefazione delle sabbie e le argille dotate di proprietà geomeccaniche scadenti che possono portare a cedimenti in condizioni sismiche.

In tali aree i PUA ed il POC (relativamente alle aree che non sono oggetto di PUA) oltre alle indagini previste all'articolo 2, dovranno effettuare ricerche di dettaglio finalizzate a definire:

- 1) la profondità del "*bedrock sismico*" locale e la sua variazione di quota entro i confini del POC
- 2) le velocità delle onde di taglio V_s almeno per i primi 30 metri dal p.c. misurate con strumentazione idonea ad ottenere un grado di definizione elevato;



- 3) la stratigrafia e le tessiture dell'intervallo litologico almeno dei primi 15 m di sottosuolo, anche per la stima degli effetti locali indotti dalla liquefacibilità e dei cedimenti indotti,
- 4) le quote piezometriche e le soggiacenze della falda locale.

Art.3.1 - La strumentazione di indagine, il numero minimo di prove da effettuare in relazione alla microzonizzazione sismica, e le eventuali maggiori profondità di prospezione, saranno indicate nelle norme di ogni PUA o all'interno del POC relativamente alle aree che non sono oggetto di PUA.

Art. 3.2 – La definizione dei fattori di amplificazione locale (FA) saranno ricavati da apposita modellistica di simulazione sismica mono o bidimensionale secondo le necessità. I criteri di elaborazione ed i dati di ingresso dovranno essere esposti, anche in formato numerico, nella relazione geologica che accompagna ogni comparto di espansione. Pertanto il numero e la qualità delle prove ed indagini geologiche e geofisiche dovranno essere adeguate all'importanza degli interventi, all'ampiezza delle aree di progetto, ed alla possibilità di liquefazione dei sedimenti saturi.

Art. 4

Insedimenti esistenti (colore grigio)

Gli insediamenti esistenti che ricadono nelle aree dell'articolo 3, interessati dalla presenza di sedimenti che possono essere soggetti alla liquefazione, qual ora fossero accertate le condizioni per l'esecuzione di approfondimenti di terzo livello, e le zone insediate inserite nelle aree dell'articolo 2 qualora la verifica degli effetti locali indotti dalla liquefacibilità e dei cedimenti indotti dei terreni fossero tali da prevedere effetti non trascurabili in termini di rischio sismico, saranno oggetto di un attento rilevamento morfologico e strutturale.

Le disposizioni per gli insediamenti esistenti saranno previste e normate nel RUE.