

**AUTONOME PROVINZ BOZEN SÜDTIROL  
PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO ALTO ADIGE**

**GEMEINDE FRANZENSFESTE  
COMUNE DI FORTEZZA**

**SEISMISCHE ERKUNDUNG  
BRENNERBASISTUNNEL**

**Unterquerung Eisack**

entsprechend dem M.D. 14/01/2008 und  
des Rundschreibens des C.S.LL.PP.  
617/2009 „Anleitungen für die  
Anwendung der Technischen Normen für  
Bauten gemäß M.D. 14. Januar 2008“

**INDAGINI SISMICHE  
GALLERIA DI BASE DEL  
BRENNERO**

**Sottoattraversamento dell'Isarco**

ai sensi del D.M. 14/01/2008 e della  
Circolare del C.S.LL.PP. 617/2009  
“Istruzioni per l'applicazione delle Norme  
tecniche per le costruzioni di cui al D.M.  
14 gennaio 2008“



Brixen / Bressanone 14/11/2012



Dr. Geol. Maria-Luise Gögl  
Dr. Geol. Giovanni Ronzani

Via Julius Durst 66      Via Innsbrucker Straße 27  
39042 Bressanone (BZ)      39100 Bolzano / Bozen  
Tel: 0472 971340  
Fax: 0472 971341      mail: studio@geo-3.it



## **SEISMISCHE ERKUNDUNG BRENNERBASISTUNNEL**

### **Unterquerung Eisack**

entsprechend dem **M.D. 14/01/2008** und  
des Rundschreibens des **C.S.LL.PP.  
617/2009** „Anleitungen für die Anwendung  
der Technischen Normen für Bauten gemäß  
**M.D. 14. Januar 2008**“

#### **1 SEISMISCHE UNTERSUCHUNGEN – BESTIMMUNG DER Vs30 UND DER VIBRATIONSPeriodEN – ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE**

Im Untersuchungsgebiet wurden seismische Untersuchungen durchgeführt, um in Übereinstimmung mit den NTC, dem M.D. 14. Januar 2008 und den dazugehörigen Anwendungsrichtlinien des C.S.LL.PP, Circ. 617/2009 (14. März 2009) die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Vs innerhalb der ersten 30m unterhalb der Gründungsfläche zu bestimmen (NTC, Absatz 3.2.2).

Die Untersuchungen umfassen außerdem die Ermittlung von weiteren Elementen, welche die Ausbreitung der seismischen Wellen beeinflussen z.B. Präsenz und eventuelle Tiefe eines steifen Untergrundes oder einer ähnlichen Formation (wie in den NTC vorgeschrieben; Absatz 7.11.2).

Für das Untersuchungsgebiet wird auch die Abschätzung der eventuellen Hauptfrequenzen des Untergrundes wiedergegeben (hervorgerufen durch steife Schichten oder ähnlichem). Der Vergleich derselben mit der Abschätzung der Schwingzeit der geplanten Struktur erlaubt die Prüfung von eventuell möglichen Verstärkungserscheinungen, die durch Resonanzphänomene hervorgerufen werden können.

## **INDAGINI SISMICHE GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO**

### **Sottoattraversamento dell'Isarco**

ai sensi del **D.M. 14/01/2008** e della  
Circolare del **C.S.LL.PP. 617/2009**  
“Istruzioni per l’applicazione delle Norme  
tecniche per le costruzioni di cui al **D.M. 14  
gennaio 2008**“

#### **1 INDAGINE SISMICA – DEFINIZIONE DELLE Vs30 E PERIODI DI VIBRAZIONE – RISULTATI DI SINTESI**

Nel sito in esame sono state eseguite indagini sismiche al fine di valutare, in ottemperanza alle NTC, D.M. 14 gennaio 2008 e alle relative istruzioni del C.S.LL.PP, Circ. 617/2009 (14 marzo 2009), la velocità di propagazione delle Vs relativa ai primi trenta metri di profondità al di sotto del previsto piano fondazionale (NTC, paragrafo 3.2.2).

Le indagini hanno inoltre compreso l’accertamento di ulteriori elementi che influenzano la propagazione delle onde sismiche quali la presenza e l’eventuale profondità di un substrato rigido o una formazione ad esso assimilabile (come prescritto dalle NTC; paragrafo 7.11.2).

Per l’area in esame si fornisce infatti anche la stima di eventuali periodi principali di vibrazione del terreno (causati dalla presenza di substrati rigidi o assimilabili), il confronto di questi con la stima dei periodi di vibrazione della struttura in progetto consente di verificare se sono possibili fenomeni amplificativi dovuti a risonanza.

Dr. Geol. Maria-Luise Gögl  
Dr. Geol. Giovanni Ronzani

Via Julius Durst 66      Via Innsbrucker Straße 27  
39042 Bressanone (BZ)    39100 Bolzano / Bozen  
Tel: 0472 971340  
Fax: 0472 971341      mail: studio@geo-3.it



In den 5 Untersuchungsgebieten (BBT1 – BBT5), wurde jeweils eine Geophonauslage für MASW- und REMI- Untersuchungen realisiert, sowie 2 punktuelle, passive seismische Untersuchungen an den Enden der Geophonauslage durchgeführt.

Somit wurden insgesamt also folgende Untersuchungen durchgeführt:

- 10 passive, punktuelle seismische Untersuchungen vom Typ HVSR;
- 5 aktive seismische Untersuchungen vom Typ MASW;
- 5 passive seismische Untersuchungen vom Typ REMI entlang derselben Geophonauslagen.

Die detaillierte Lage der Untersuchungsgebiete mit der Positionierung der einzelnen Geophonauslagen und der punktuellen seismischen Untersuchungen ist in der Karte in Anlage 2 dargestellt.

In den Kapiteln 2.1, 2.2, 2.3 am Ende des Textes sind die Durchführungsarten sowie die technischen Eigenschaften des verwendeten Geräts beschrieben. Für dieses werden außerdem auch die theoretischen Grundlagen für die Interpretation und die entsprechenden bibliographischen Bezugsdaten wiedergegeben. Nachfolgend sind die erhaltenen Daten der Untersuchungen dargestellt:

### **1.1 Vs 30**

Die Ausarbeitung der durchgeführten Untersuchungen sind im Detail in den Tabellen der Anlage wiedergegeben. Bezüglich der Analysen wird hervorgehoben, dass die REMI- und MASW- Untersuchungen vorwiegend zur Bestimmung von Vs in den ersten Metern benutzt wurden, während die HVSR-Untersuchung vorwiegend zur Erkundung von steifen Untergründen und in der Folge zur Ermittlung des Verlaufs von Vs im Untergrund verwendet wurden. Bei der Erstellung des Modells wurden zudem die stratigraphischen

In ciascuna delle 5 aree in esame (BBT1 – BBT5) è stato realizzato uno stendimento sismico per le indagini REMI e MASW e sono state effettuate anche 2 indagini sismiche passive a stazione singola sui margini dello stendimento.

Complessivamente sono state effettuate le seguenti indagini:

- N. 10 indagini sismiche passive a stazione singola tipo HVSR;
- N. 5 indagini sismiche attive tipo MASW;
- N. 5 indagini sismiche passive tipo REMI sugli stessi stendimenti.

L'ubicazione dettagliata delle aree in esame con la posizione dei singoli stendimenti e delle indagini sismiche a stazione singola è riportata nella carta in allegato 2.

Nei paragrafi a fine testo 2.1, 2.2, 2.3 sono descritte le modalità esecutive nonché le caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata per effettuare le indagini eseguite, per queste vengono inoltre riportate le basi teoriche relative all'interpretazione ed i corrispondenti riferimenti bibliografici. Direttamente a seguire sono riportati i risultati ottenuti dalle indagini:

### **1.1 Vs 30**

Le elaborazioni delle indagini eseguite sono dettagliatamente riportate nei tabulati in Allegato. Per quanto riguarda l'analisi si evidenzia che le indagini REMI e MASW sono state prevalentemente utilizzate per valutare le Vs nei primi metri in approfondimento mentre le indagini HVSR sono state prevalentemente utilizzate per valutare la presenza di substrati rigidi in profondità e di conseguenza l'andamento delle Vs in approfondimento. Nella definizione del modello si sono inoltre considerate le

Dr. Geol. Maria-Luise Gögl  
Dr. Geol. Giovanni Ronzani

Via Julius Durst 66 Via Innsbrucker Straße 27  
39042 Bressanone (BZ) 39100 Bolzano / Bozen  
Tel: 0472 971340  
Fax: 0472 971341 mail: studio@geo-3.it



Kenntnisse des Areals sowie die regionalen stratigraphischen Kenntnisse berücksichtigt. Die Zuordnung des Untergrundes zu einer seismischen Kategorie basiert auf der Tabelle 3.2.II der NTC. Diese ist nachfolgend dargestellt:

conoscenze stratigrafiche specifiche del sito e le conoscenze stratigrafiche regionali. La definizione del sottosuolo entro una categoria sismica si basa sulla tabella 3.2.II delle NTC. Questa è riportata a seguito:

Tabella 3.2.II – Categoria di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
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 $V_{s30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{drt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{v,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
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 $V_{s30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{drt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{v,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
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 $V_{s30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{drt,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{v,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
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).

Tabella 3.2.III – Categoria aggiuntiva di sottosuolo

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{v,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torbe o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Die Auswertung der Vs30 erfolgte ohne Berücksichtigung einer Gründungsfläche in der Tiefe. Die nachfolgend dargestellten Vs30 wurden somit von der Geländeoberkante aus bestimmt. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass in den Untersuchungsgebieten die Vs mit der Tiefe zunehmen, stellen die erhaltenen und nachfolgend hier dargestellten Werte den schlechtesten Fall dar und sind demnach auch für tiefer liegende Gründungsflächen oder Bezugspunkte gültig.

La valutazione delle Vs30 è stata effettuata senza considerare un approfondimento del piano di posa. Le Vs30 riportate a seguire sono infatti state determinate a partire la piano campagna. In considerazione del fatto che in generale nei siti in oggetto vi è un incremento delle Vs con la profondità i valori e le categorie di sottosuolo ottenuti e riportati a seguire rappresentano quindi la situazione più penalizzante e sono quindi valide anche per piani di posa o punti di riferimento più approfonditi.

Die REMI- und MASW- Untersuchungen haben jeweils für jedes Untersuchungsgebiet analoge Ergebnisse geliefert. In der Anlage sind die Untersuchungen mit den besten Ausgabegrafiken dargestellt.

Le indagini REMI e MASW hanno fornito per ciascun'area in esame risultati analoghi. In allegato sono riportati le indagini che hanno fornito il migliore output grafico.

Auch die HVSR- Untersuchungen (2 pro Geophonauslage) stimmen jeweils gut überein und in der Anlage ist wiederum nur eine Untersuchung pro Untersuchungsgebiet dargestellt.

Anche le indagini HVSR (2 per ogni stendimento) corrispondono bene e in allegato è riportata una indagine per ogni area in esame.

Dr. Geol. Maria-Luise Gögl  
Dr. Geol. Giovanni Ronzani

Via Julius Durst 66 Via Innsbrucker Straße 27  
39042 Bressanone (BZ) 39100 Bolzano / Bozen  
Tel: 0472 971340  
Fax: 0472 971341 mail: studio@geo-3.it

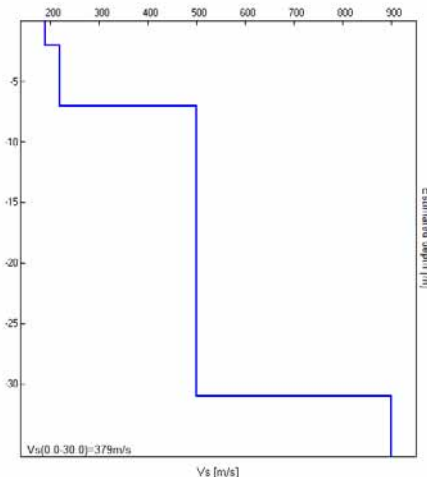


### Untersuchungsgebiet BBT1

Das geschätzte Modell der Vs30 ergibt folgendes Tiefenprofil:

### Area in esame BBT1

Il modello di stima delle Vs30 è risultato con il seguente profilo in approfondimento:



Für das Untersuchungsgebiet ergibt sich somit ein Wert für die Vs30 von ca. **380 m/sec.**

Per il sito in esame si è quindi definito un valore delle Vs30 pari a circa **380 m/sec.**

Basierend auf der Tabelle 3.2.II der NTC und unter Berücksichtigung des erhaltenen Parameters Vs30, entfällt der untersuchte Untergrund in die **Kategorie B** ( $360\text{m/sec} < V_s < 800\text{m/sec}$ ).

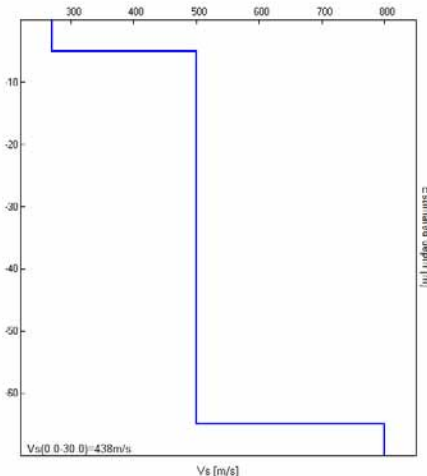
Sulla base della Tabella 3.2.II delle NTC e considerando il parametro Vs30 ottenuto la categoria di sottosuolo a cui ascrivere il terreno in oggetto risulta nella **categoria B** ( $360\text{m/sec} < V_s < 800\text{m/sec}$ ).

### Untersuchungsgebiet BBT2

Das geschätzte Modell der Vs30 ergibt folgendes Tiefenprofil:

### Area in esame BBT2

Il modello di stima delle Vs30 è risultato con il seguente profilo in approfondimento:



Dr. Geol. Maria-Luise Gögl  
Dr. Geol. Giovanni Ronzani

Via Julius Durst 66 Via Innsbrucker Straße 27  
39042 Bressanone (BZ) 39100 Bolzano / Bozen  
Tel: 0472 971340  
Fax: 0472 971341 mail: studio@geo-3.it

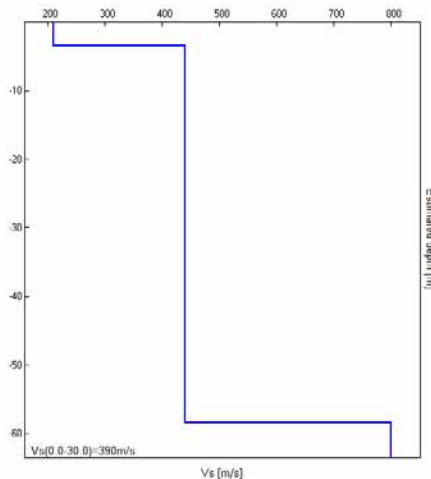


Für das Untersuchungsgebiet ergibt sich somit ein Wert für die Vs30 von ca. **440 m/sec.**

Basierend auf der Tabelle 3.2.II der NTC und unter Berücksichtigung des erhaltenen Parameters Vs30, entfällt der untersuchte Untergrund in die **Kategorie B** (360m/sec<Vs<800m/sec).

#### **Untersuchungsgebiet BBT3**

Das geschätzte Modell der Vs30 ergibt folgendes Tiefenprofil:



Für das Untersuchungsgebiet ergibt sich somit ein Wert für die Vs30 von ca. **390 m/sec.**

Basierend auf der Tabelle 3.2.II der NTC und unter Berücksichtigung des erhaltenen Parameters Vs30, entfällt der untersuchte Untergrund in die **Kategorie B** (360m/sec<Vs<800m/sec).

#### **Untersuchungsgebiet BBT4**

Das geschätzte Modell der Vs30 ergibt folgendes Tiefenprofil:

Per il sito in esame si è quindi definito un valore delle Vs30 pari a circa **440 m/sec.**

Sulla base della Tabella 3.2.II delle NTC e considerando il parametro Vs30 ottenuto la categoria di sottosuolo a cui ascrivere il terreno in oggetto risulta nella **categoria B** (360m/sec<Vs<800m/sec).

#### **Area in esame BBT3**

Il modello di stima delle Vs30 è risultato con il seguente profilo in approfondimento:

Per il sito in esame si è quindi definito un valore delle Vs30 pari a circa **390 m/sec.**

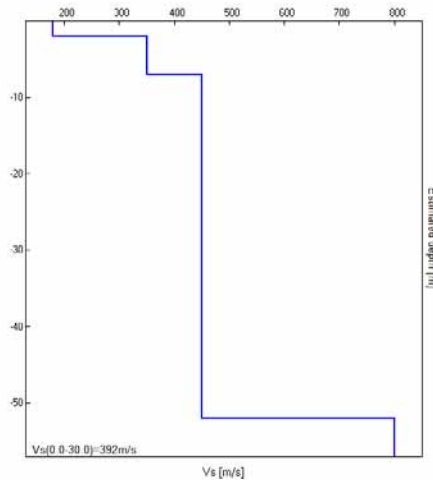
Sulla base della Tabella 3.2.II delle NTC e considerando il parametro Vs30 ottenuto la categoria di sottosuolo a cui ascrivere il terreno in oggetto risulta nella **categoria B** (360m/sec<Vs<800m/sec).

#### **Area in esame BBT4**

Il modello di stima delle Vs30 è risultato con il seguente profilo in approfondimento:

Dr. Geol. Maria-Luise Gögl  
Dr. Geol. Giovanni Ronzani

Via Julius Durst 66 Via Innsbrucker Straße 27  
39042 Bressanone (BZ) 39100 Bolzano / Bozen  
Tel: 0472 971340  
Fax: 0472 971341 mail: studio@geo-3.it



Für das Untersuchungsgebiet ergibt sich somit ein Wert für die Vs30 von ca. **390 m/sec.**

Per il sito in esame si è quindi definito un valore delle Vs30 pari a circa **390 m/sec.**

Basierend auf der Tabelle 3.2.II der NTC und unter Berücksichtigung des erhaltenen Parameters Vs30, entfällt der untersuchte Untergrund in die **Kategorie B** (360m/sec<Vs<800m/sec).

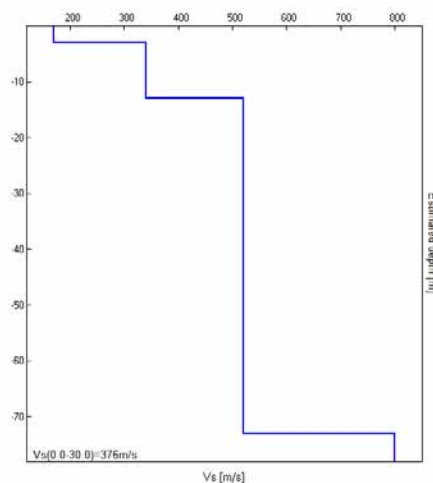
Sulla base della Tabella 3.2.II delle NTC e considerando il parametro Vs30 ottenuto la categoria di sottosuolo a cui ascrivere il terreno in oggetto risulta nella **categoria B** (360m/sec<Vs<800m/sec).

### **Untersuchungsgebiet BBT5**

Das geschätzte Modell der Vs30 ergibt folgendes Tiefenprofil:

### **Area in esame BBT5**

Il modello di stima delle Vs30 è risultato con il seguente profilo in approfondimento:



Dr. Geol. Maria-Luise Gögl  
Dr. Geol. Giovanni Ronzani

Via Julius Durst 66 Via Innsbrucker Straße 27  
39042 Bressanone (BZ) 39100 Bolzano / Bozen  
Tel: 0472 971340  
Fax: 0472 971341 mail: studio@geo-3.it



Für das Untersuchungsgebiet ergibt sich somit ein Wert für die Vs30 von ca. **380 m/sec.**

Basierend auf der Tabelle 3.2.II der NTC und unter Berücksichtigung des erhaltenen Parameters Vs30, entfällt der untersuchte Untergrund in die **Kategorie B** (360m/sec<Vs<800m/sec).

## 1.2 SCHWINGZEIT

Mithilfe der HVSr - Untersuchung war es außerdem möglich, die Hauptschwingfrequenzen des Bodens zu bestimmen. Um eine doppelte Resonanz zu vermeiden, die die Bebenauswirkungen verstärken könnten, ist ein Vergleich der Bodenschwingungen mit den Schwingungen der geplanten Struktur geeignet.

Im nachfolgenden Diagramm sind alle erhaltenen H/V- Kurven der 10 HVSr-Untersuchungen dargestellt:

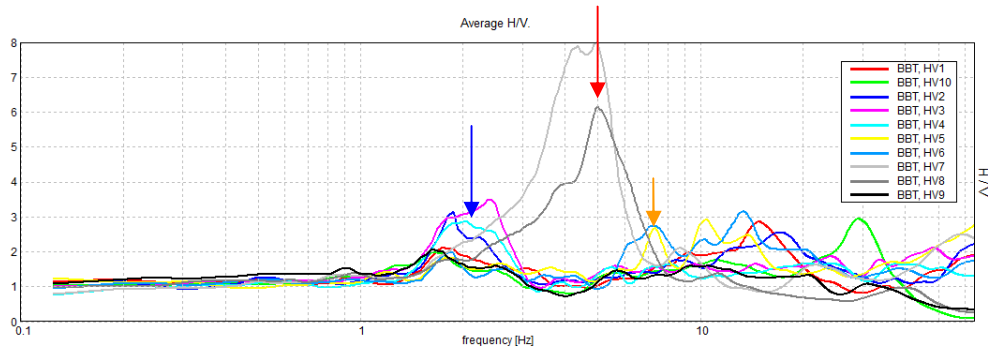
Per il sito in esame si è quindi definito un valore delle Vs30 pari a circa **380 m/sec.**

Sulla base della Tabella 3.2.II delle NTC e considerando il parametro Vs30 ottenuto la categoria di sottosuolo a cui ascrivere il terreno in oggetto risulta nella **categoria B** (360m/sec<Vs<800m/sec).

## 1.2 PERIODO DI VIBRAZIONE

Tramite l'indagine HVSr è stato inoltre possibile definire le principali frequenze di vibrazione del terreno. Al fine di evitare fenomeni di doppia risonanza in grado di amplificare gli effetti del sisma è infatti opportuno confrontare le frequenze di vibrazione del terreno con quelle previste per la struttura in progetto.

Nel diagramma a seguire sono riportate tutte le curve H/V, ottenute dalle 10 indagini HVSr:



Nachfolgend werden jene Frequenzen hervorgehoben, welche eventuell mit normalen Strukturen interagieren könnten, d.h. im Bereich von 0,3 – 10 Hz.

Daraus ergeben sich für den untersuchten Untergrund im Untersuchungsgebiet BBT1 Eigenfrequenzen von ca. 4 – 5 Hz (roter Pfeil).

Für die restlichen 4 Untersuchungsgebiete, wo der Übergang zum steifen Untergrund in größeren Tiefen liegt, ergeben sich

Si evidenziano a seguito le frequenze che possono eventualmente interagire con normali strutture, ovvero per il campo 0,3 – 10 Hz.

Dal diagramma per il sottosuolo esaminato nell'area BBT1 risultano frequenze proprie di ca. 4 - 5 Hz (freccia rossa).

Per le altre 4 aree in esame, dove il passaggio al substrato è a profondità più elevate, risultano frequenze di vibrazione di ca. 1,5 – 2,5 Hz (freccia blu).



Dr. Geol. Maria-Luise Gögl  
Dr. Geol. Giovanni Ronzani

Via Julius Durst 66 Via Innsbrucker Straße 27  
39042 Bressanone (BZ) 39100 Bolzano / Bozen  
Tel: 0472 971340  
Fax: 0472 971341 mail: studio@geo-3.it



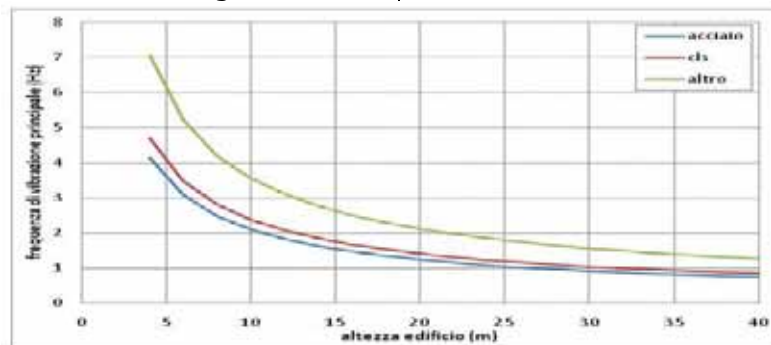
Eigenfrequenzen von ca. 1,5 – 2,5 Hz (blauer Pfeil).

Im Untersuchungsgebiet BBT5 treten zudem noch Frequenzen bei ca. 7 – 8 Hz auf (oranger Pfeil).

In der nachfolgenden Grafik ist eine vorläufige Auswertung der Haupt-Frequenzen von Gebäuden dargestellt. Die Schätzung basiert auf den Angaben der NTC (MD 14.01.2008), Absatz 7.3.3.2, wo es heißt "per costruzioni civili o industriali che non superino i 40 m di altezza e la cui massa sia approssimativa-mente uniformemente distribuita lungo l'altezza T1 può essere stimato, in assenza di calcoli più dettagliati, utilizzando la formula seguente:  $T = C \times H^{3/4}$ , wobei gilt: H entspricht der Gebäudehöhe in Metern von der Gründungsfläche, C ist ein Parameter, der vom Material der Struktur abhängt.

Nella zona BBT5 si segnala anche la frequenza a circa 7 – 8 Hz (freccia arancione).

Si riporta a seguito nel grafico la preliminare valutazione della frequenza di vibrazione principale per edifici stimata sulla base di quanto indicato nelle NTC (DM 14.01.2008) paragrafo 7.3.3.2 ovvero, "per costruzioni civili o industriali che non superino i 40 m di altezza e la cui massa sia approssimativamente uniformemente distribuita lungo l'altezza T1 può essere stimato, in assenza di calcoli più dettagliati, utilizzando la formula seguente:  $T = C \times H^{3/4}$ , dove: H è l'altezza della costruzione, in metri dal piano di fondazione, C parametro dipendente dal materiale della struttura.



Die Auswertung eines möglichen Auftreten von Resonanzphänomenen obliegt auf jeden Fall dem Projektanten.

### 1.3 ALLGEMEINE BEMERKUNGEN

Basierend auf der Klassifizierung der Tabelle 3.2.II der NTC (D.M. 14.01.2008) ergeben sich die Untersuchungsgebiete alle als sehr homogen und fallen in die Klasse B.

Aus den H/V- Untersuchungen gehen unterschiedliche Eigenfrequenzen des Untergrundes hervor. Diese Variationen sind auf unterschiedliche Tiefen des steifen, seismischen Untergrundes (bedrock) zurückzuführen (welcher diese Frequenzen hervorruft).

E' in ogni caso a cura della Progettazione la verifica della possibile insorgenza di fenomeni di risonanza.

### 1.3 CONSIDERAZIONI GENERALI

Sulla base della classificazione da tabella 3.2.II delle NTC (D.M. 14.01.2008) le aree sono risultate sostanzialmente omogenee e tutte classificabili entro la classe B.

Le indagini H/V hanno comunque evidenziato frequenze principali del terreno variabili. Questa variazione è dovuta alla variazione della profondità del bedrock sismico (che genera lo sviluppo di queste frequenze).

Dr. Geol. Maria-Luise Gögl  
Dr. Geol. Giovanni Ronzani

Via Julius Durst 66 Via Innsbrucker Straße 27  
39042 Bressanone (BZ) 39100 Bolzano / Bozen  
Tel: 0472 971340  
Fax: 0472 971341 mail: studio@geo-3.it



Generell ergeben sich für den Bereich der Talflanken geringere Tiefen des Bedrocks (wodurch höhere Eigenfrequenzen erzeugt werden), für den zentralen Talgrund größere und relativ konstante Tiefen (wodurch niedrigere Eigenfrequenzen erzeugt werden).

Im Falle eines 2- Schichten Modells, wird die vom Untergrund erzeugte Frequenz durch die folgenden Gleichung beschrieben:

$$f_r = V_{s1}/4h$$

wobei:

$f_r$  = Eigenfrequenz der Schicht 1;

$V_{s1}$  = Geschwindigkeit der S- Wellen in der Schicht 1;

$h$  = Dicke der Schicht 1;

Im Falle einer Überlagerung dieser Frequenzen mit den Eigenfrequenzen der geplanten Struktur, können Verstärkungsphänomene auftauchen. Unter Berücksichtigung dessen ist in der Karte in Anlage 3 eine vorläufige Mikrozonierung mit den jeweiligen Haupt- Eigenfrequenzen dargestellt, obwohl sich eine relativ homogene Situation innerhalb der Untergrundklasse B ergibt.

## 2 TECHNISCHE ANGABEN UND EIGENSCHAFTEN DER GERÄTE

In der Anlage sind die detaillierten Auswertungen der Untersuchungen dargestellt.

### 2.1 PASSIVE SEISMISCHE UNTERSUCHUNGEN – HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

Die HVSR-Technik hat ihre jüngste Entwicklung in Japan erfahren (Nakamura 1989, 2001) und besteht in der Auswertung von aufgezeichneten Mikrobeben (passive Seismik), wobei das Spektrumverhältnis zwischen horizontalen und vertikalen Komponenten der Bewegung (Verhältnis H/V) ausgewertet wird. Die Hauptannahme, die dieser Methode zugrunde liegt, ist, dass Mikrobeben sowohl von vertikalen Raumwellen als auch von Oberflächenwellen (vorwiegend Rayleigh-Wellen) stammen und dass die Vertikalkomponente (V) des Bebens keine +Verstärkungen beim Übergang vom Felsuntergrund an die Oberfläche erfährt. Das für diese Analyse verwendete Gerät registriert die Mikrobeben auf drei Hauptachsen: Z, N-S und E-W.

In generale il bedrock risulta a profondità più contenute ai bordi della valle (generando frequenze di vibrazione più elevate), nella porzione centrale questo risulta a profondità maggiori e relativamente costanti (generando frequenze di vibrazione più basse).

Nel caso di una situazione bistrato la frequenza sviluppata dal terreno risulta infatti regolata dalla seguente relazione:

$$f_r = V_{s1}/4h$$

dove:

$f_r$  è la frequenza propria dello strato 1;

$V_{s1}$  è la velocità delle onde S nello strato 1;

$h$  è lo spessore dello strato 1.

In considerazione del fatto che possono verificarsi fenomeni amplificativi nel caso in cui queste frequenze vadano ad interagire con la frequenza della struttura in progetto, pur nell'ambito di una situazione omogenea di suolo in classe B, in Allegato 3 si riporta una zonazione preliminare con anche indicate le frequenze principali di vibrazione dei terreni.

## 2 NOTE TECNICHE E CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE

In allegato sono riportati i report dettagliati delle elaborazioni delle indagini.

### 2.1 INDAGINE SISMICA PASSIVA - HVSR (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO)

La tecnica HVSR ha avuto recente sviluppo principalmente in Giappone (Nakamura 1989, 2001) e consiste nell'elaborazione delle registrazioni di microtremori (sismica passiva) valutando il rapporto spettrale tra le componenti orizzontali e verticali del moto (rapporto H/V). Le principali assunzioni che stanno alla base di questa metodologia sono che i microtremori derivano sia da onde di volume incidenti verticalmente e sia da onde superficiali (prevalentemente di Rayleigh) e che la componente verticale (V) del rumore nel passare dal bedrock alla superficie non subisce amplificazioni. Lo strumento utilizzato per questa analisi registra i microtremori sui tre assi principali, Z; N-S ed E-W.

Dr. Geol. Maria-Luise Gögl  
Dr. Geol. Giovanni Ronzani

Via Julius Durst 66      Via Innsbrucker Straße 27  
39042 Bressanone (BZ)    39100 Bolzano / Bozen  
Tel: 0472 971340  
Fax: 0472 971341      mail: studio@geo-3.it



Die Ausarbeitung der Daten erfolgt mit Spektraltechniken FFT auf den drei Bodenbewegungskomponenten, wodurch sich das Verhältnis H/V zur Bewertung der Frequenz des Untersuchungsgebietes ergibt. Dieses stellt den grundlegenden Parameter zur Bestimmung von eventuellen seismischen Verstärkungseffekten dar. Ausgehend von diesem ist es möglich, die Geschwindigkeitsentwicklung der Scherwellen  $V_s$  bis in eine Tiefe von über 30m unter GOK zu rekonstruieren, indem die Kurve H/V am ersten bekannten stratigraphischen Übergang oder am bekannten  $V_s$ -Wert der ersten Schicht (z.B. durch die MASW – Untersuchungen) geeicht wird.

Für die Ausarbeitung der Daten wird die in den Richtlinien SESAME (Site Effects assessment using Ambient Excitations) empfohlene Vorgehensweise befolgt. Es handelt sich dabei um ein europäisches Forschungsprojekt der Jahre 2003-2005, mit dem Ziel die seismischen Mikrozonierungstechniken mittels Umweltschall zu standardisieren und zu verbessern. Vor Durchführung der Spektrumverhältnisanalyse werden die registrierten, seismischen Spuren überprüft, wobei zunächst Störungssignale und Aufnahmesignale eliminiert werden, die für eine Analyse nicht geeignet sind. Sobald der Anteil an stabilen Signalen ausgewählt worden ist, werden für alle drei Bewegungskomponenten die Spektralampplitude und das Schallstärkespektrum berechnet. Anschließend wird für den natürlichen Schall mit der Bewertung der Energieverteilung in Funktion der Frequenz fortgefahren.

#### **Technische Eigenschaften des verwendeten Geräts und der durchgeführten Untersuchungen:**

Empfänger: Tromino Engy  
Versuchsfrequenz: 128 Hz  
Aufnahmezeit: 10 Minuten

Für die Auswertung wurde die Software Grilla verwendet. Die detaillierten Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen sind in der folgenden Anlage wiedergegeben.

## **2.2 AKTIVE SEISMISCHE UNTERSUCHUNGEN – MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave)**

Es handelt sich dabei um eine eher rezente Untersuchungsmethode, die vor allem von den Forschern des Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) vorangetrieben worden ist, und die die Bestimmung des detaillierten Verlaufs der seismischen Scherwellen ( $V_s$ ) in der Tiefe mithilfe der Analyse der Ausbreitung der Oberflächenwellen (Rayleigh) erlaubt.

Durch diese Methode erhält man die Verteilungskurve der Oberflächenwellen. Aus dieser wird im Anschluss eine Inversion des Steifemodells des Untergrunds durchgeführt bis man die beste Übereinstimmung zwischen den Versuchs- und theoretischen Daten erhält, ebenso wird der  $V_{s30}$  für jede Schicht im Untergrund ermittelt.

#### **Technische Eigenschaften des verwendeten Geräts und der durchgeführten Untersuchungen:**

Verwendetes Gerät: Digitaler Seismograph Soilsy Rosina  
Anzahl der Geophone: 12 zu 4,5 Hz  
Abstand Geophone: 3,0 m  
Länge der Versuchsanordnung: 33 m  
Versuchsfrequenz: 2 KHz  
Aufnahmezeit: bis zu 2 sec

Für die Ausarbeitung wurde die Software Soilsy und Grilla verwendet. Die detaillierten Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen sind in der folgenden Anlage wiedergegeben.

L'elaborazione dei dati avviene con tecniche spettrali FFT sulle tre componenti del moto del suolo tali da restituire il rapporto H/V per la valutazione delle frequenze del sito, parametro fondamentale per valutare eventuali effetti di amplificazione sismica. A partire da questo, vincolando la curva H/V al primo limite stratigrafico noto o al valore noto delle  $V_s$  del primo strato (ad esempio definito tramite la tecnica MASW) è possibile ricostruire l'andamento delle velocità delle onde di taglio VS sino a profondità ben superiori ai 30 metri dal piano campagna.

Per l'elaborazione dei dati viene seguita la procedura consigliata nelle linee guida SESAME (Site Effects assessment using Ambient Excitations), un progetto di ricerca europeo condotto nel triennio 2003-2005 al fine di standardizzare e migliorare le tecniche di microzonazione sismica attraverso le misure del rumore ambientale. Preliminarmente alla procedura di analisi dei rapporti spettrali, le tracce sismiche registrate sono verificate eliminando i disturbi transienti e quelle parti di registrazioni non adatte all'analisi. Una volta selezionata la parte di segnale stabile si calcolano, per ognuna delle tre componenti del moto, le ampiezze spettrali e gli spettri di potenza del rumore, procedendo successivamente, per il rumore naturale, alla valutazione della distribuzione energetica in frequenza.

#### **Caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata e dell'indagine eseguita:**

Strumento acquirente: Tromino Engy  
Frequenza di campionamenti: 128 Hz  
Tempo di acquisizione: 10 minuti

Per l'elaborazione si è fatto uso del software Grilla, i risultati dettagliati dell'indagine eseguita sono riportati nell'Allegato a seguire.

## **2.2 INDAGINE SISMICA ATTIVA - MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE)**

Si tratta di una metodologia di indagine assai recente, messa a punto dai ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999), e che permette, dall'analisi della propagazione delle onde superficiali (Rayleigh), di determinare accuratamente l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio ( $V_s$ ) con la profondità.

Per mezzo di questo metodo si ottiene la curva di dispersione delle onde superficiali. Da questa viene poi effettuata una inversione del modello di rigidità del sottosuolo fino ad ottenere la miglior corrispondenza tra dati sperimentali e dati teorici, nonché la relativa definizione della  $V_{s30}$  per ogni singolo strato individuato nel sottosuolo.

#### **Caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata e dell'indagine eseguita:**

Strumento utilizzato: Sismografo digitale Soilsy Rosina  
Geofoni: 12 da 4,5 Hz  
Interdistanza geofoni: 3,0 m  
Lunghezza stendimento: 33 m  
Frequenza di campionamento: 2 KHz  
Durata acquisizione: sino a 2 secondi

Per l'elaborazione si è fatto uso del software Soilsy e Grilla. I risultati dettagliati dell'indagine eseguita sono riportati nell'Allegato a seguire.

Dr. Geol. Maria-Luise Gögl  
Dr. Geol. Giovanni Ronzani

Via Julius Durst 66 Via Innsbrucker Straße 27  
39042 Bressanone (BZ) 39100 Bolzano / Bozen  
Tel: 0472 971340  
Fax: 0472 971341 mail: studio@geo-3.it



### 2.3 PASSIVE SEISMISCHE UNTERSUCHUNGEN – REMI (REFRACTION MICROTREMOR)

Das Verfahren zur Analyse des Untergrundes mittel Mikrobeben hat ihren Ursprung in den von J.Louie an der Nevada University durchgeführten Untersuchungen und Experimenten. Die Analyse der Mikrobeben erlaubt die Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit der S- Wellen auch in dicht bebauten Gebieten, wo dies mit anderen Methoden sehr schwierig wäre.

Für die Untersuchung wird die klassische Geräteanordnung der Refraktionsseismik verwendet, eine lineare- oder L- Anordnung direkt auf dem Boden. Um eine gute Auflösung in Hinblick auf die Frequenz zu erhalten, sind die Benutzung von Geophonen mit einer niedrigen Frequenz (4-14 Hz) und lange Aufnahmezeiten empfohlen. Die Benutzung eines digitalen Seismographen mit hoher Dynamik erlaubt es, die notwendige Untersuchungsfrequenz bezüglich der Nominalfrequenz der verwendeten Geophone zu halbieren. Dadurch können Oberflächenwellen registriert werden, deren Frequenzen einen wesentlich größeren Bereich abdecken und eine detaillierte Rekonstruktion des Verlaufs der Vs- Wellen ermöglichen.

Die Auswertung des Signals besteht in einer zweidimensionalen „slowness-frequency“(p-f) Transformation, welche die Ausbreitungsenergien des Lärms in beiden Richtungen der seismischen Linien analysiert. Weiters wird das Leistungsspektrum in einer p-f Grafik dargestellt.

#### Technische Eigenschaften des verwendeten Geräts und der durchgeführten Untersuchungen:

Verwendetes Gerät: Digitaler Seismograph Soilspy Rosina  
Anzahl der Geophone: 12 zu 4,5 Hz  
Abstand Geophone: 3,0 m  
Länge der Versuchsanordnung: 33 m  
Versuchsfrequenz: 512 Hz  
Aufnahmezeit: bis zu 5 min  
Fenster für die Ausarbeitung: 5 und 10 sek  
Für die Ausarbeitung wurde die Software Soilspy und Grilla verwendet. Die detaillierten Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen sind in der folgenden Anlage wiedergegeben.

### 2.3 INDAGINE SISMICA PASSIVA - REMI (REFRACTION MICROTREMOR)

La tecnica di analisi del sottosuolo mediante l'uso dei microtremori prende origine dagli studi e dalle sperimentazioni condotte da J.Louie presso la Nevada University. L'analisi dei microtremori consente di determinare la velocità di propagazione delle onde S anche in aree urbane ove risulterebbe difficoltosa con altre metodologie. Viene effettuata utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno con array lineare o ad elle. Al fine di ottenere una buona risoluzione in termine di frequenza è da privilegiare l'uso di geofoni con bassa frequenza di risonanza (4-14 Hz raccomandati) e sono da raccomandare tempi lunghi di registrazione. L'uso di un sismografo digitale con elevata dinamica consente di dimezzare la frequenza utile campionabile rispetto a quella nominale dei geofoni impiegati. Si possono così registrare onde di superficie il cui contenuto in frequenza copre un range molto elevato che offre una dettagliata ricostruzione dell'andamento delle Vs.

L'elaborazione del segnale consiste nell'operare una trasformata bidimensionale "slowness-frequency"(p-f) che analizza l'energia di propagazione del rumore in entrambe le direzioni della linea sismica e nel rappresentarne lo spettro di potenza su un grafico p-f .

#### Caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata e dell'indagine eseguita:

Strumento utilizzato: Sismografo digitale Soilspy Rosina  
Geofoni: 12 da 4,5 Hz  
Interdistanza geofoni: 3,0 m  
Lunghezza stendimento: 33 m  
Frequenza di campionamento: 512 Hz  
Durata acquisizione: sino a 5 min  
Finestre di elaborazione: 5 e 10 sec  
Per l'elaborazione si è fatto uso dei software Soilspy e Grilla. I risultati dettagliati dell'indagine eseguita sono riportati nell'Allegato a seguire.

Bressanone, 14/11/2011



GEMEINDE FRANZENSFESTE  
 COMUNE DI FORTEZZA

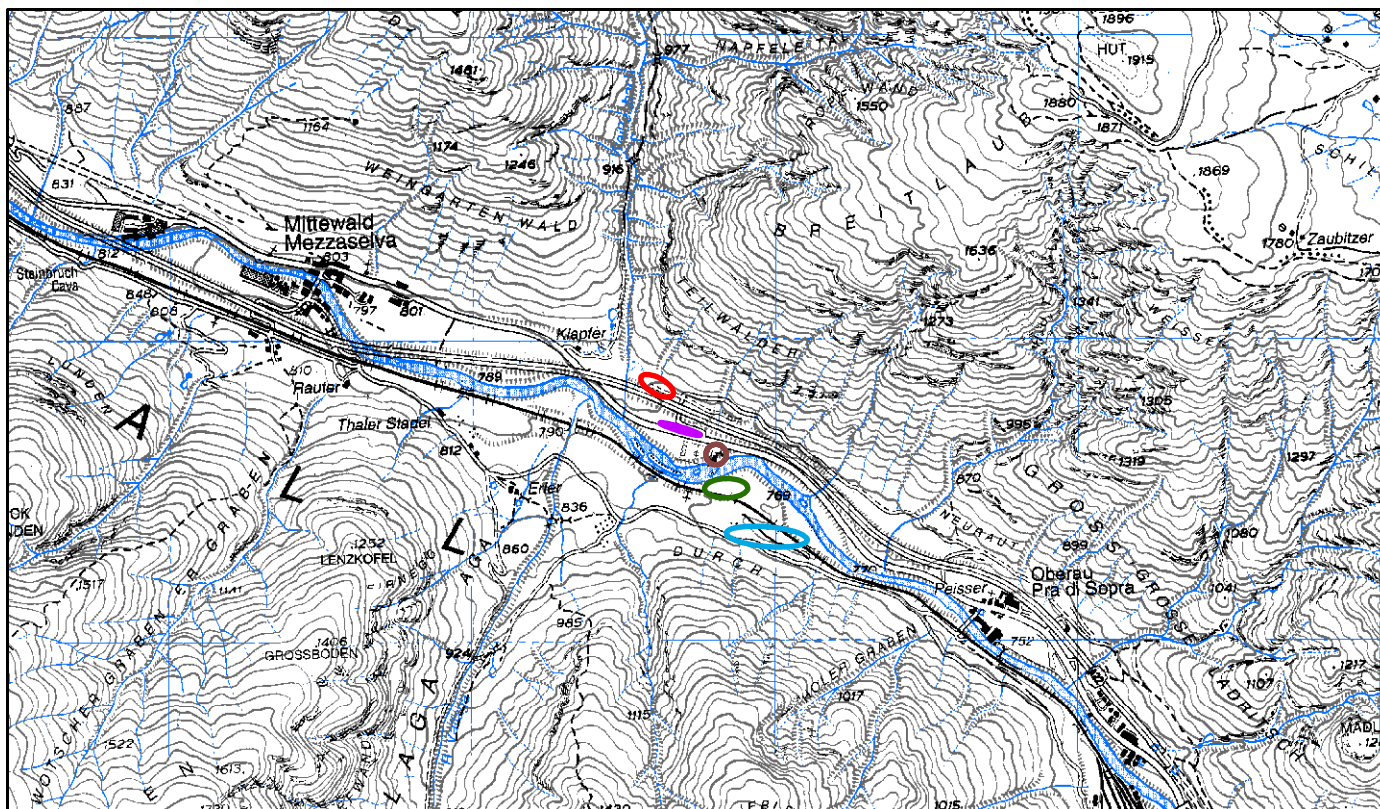
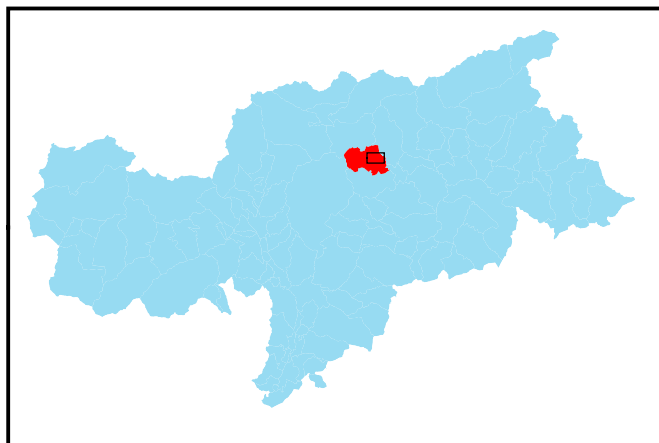
AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL  
 PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO - ALTO ADIGE

**SEISMISCHE ERKUNDUNG BRENNERBASISTUNNEL**  
**Unterquerung Eisack**

**INDAGINI SISMICHE GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO**  
**Sottoattraversamento dell'Isarco**

**Chorographie**  
**Corografia**

Maßstab / Scala 1:25.000



Auszug aus der topographischen Karte der Provinz im Maßstab 1:25.000. Blätter 4A-III-NO und 4A-III-NE  
 Stralco da carta topografica della provincia in scala 1:25.000. Foglio 4A-III-NO e 4A-III-NE

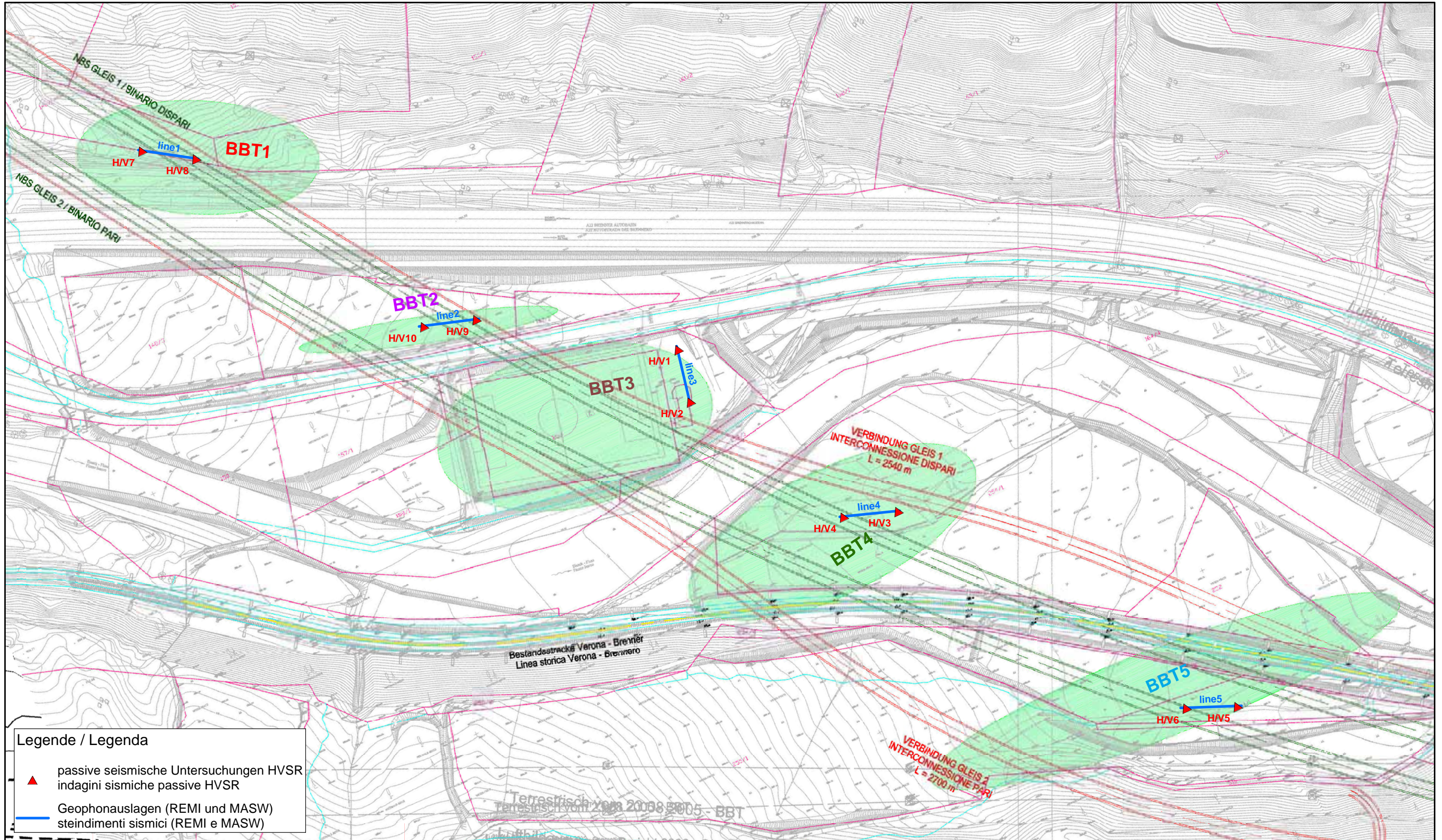
**Untersuchungsgebiete / aree in esame**

- BBT1
- BBT3
- BBT5
- BBT2
- BBT4



GEMEINDE FRANZENSFESTE  
 COMUNE DI FORTEZZA

AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL  
 PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO - ALTO ADIGE



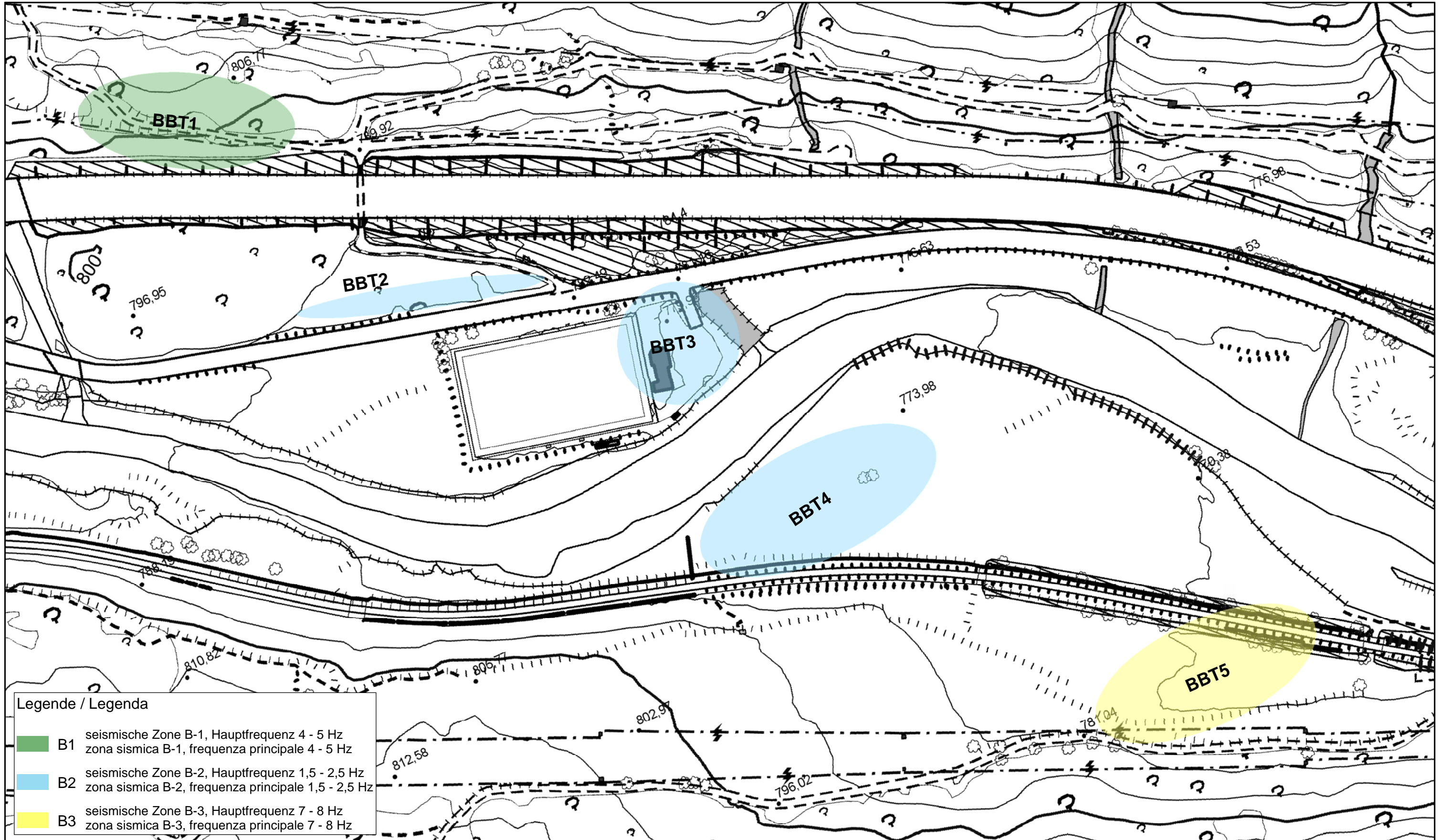
**Legende / Legenda**

- ▲ passive seismische Untersuchungen HVSR  
indagini sismiche passive HVSR
- Geophonauslagen (REMI und MASW)  
steindimenti sismici (REMI e MASW)



GEMEINDE FRANZENSFESTE  
 COMUNE DI FORTEZZA

AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL  
 PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO - ALTO ADIGE



Legende / Legenda	
<span style="color: green;">■</span> B1	seismische Zone B-1, Hauptfrequenz 4 - 5 Hz zona sismica B-1, frequenza principale 4 - 5 Hz
<span style="color: lightblue;">■</span> B2	seismische Zone B-2, Hauptfrequenz 1,5 - 2,5 Hz zona sismica B-2, frequenza principale 1,5 - 2,5 Hz
<span style="color: yellow;">■</span> B3	seismische Zone B-3, Hauptfrequenz 7 - 8 Hz zona sismica B-3, frequenza principale 7 - 8 Hz

**GEMEINDE FRANZENSFESTE  
COMUNE DI FORTEZZA**

**AUTONOME PROVINZ BOZEN  
PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO**

**SEISMISCHE UNTERSUCHUNGEN HVSR**

**INDAGINI SISMICHE HVSR**



## BBT1, HV7

Instrument: TEP-0050/01-09

Start recording: 08/11/12 13:36:07      End recording: 08/11/12 13:46:08

Trace length: 0h10'00".      Analyzed 72% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

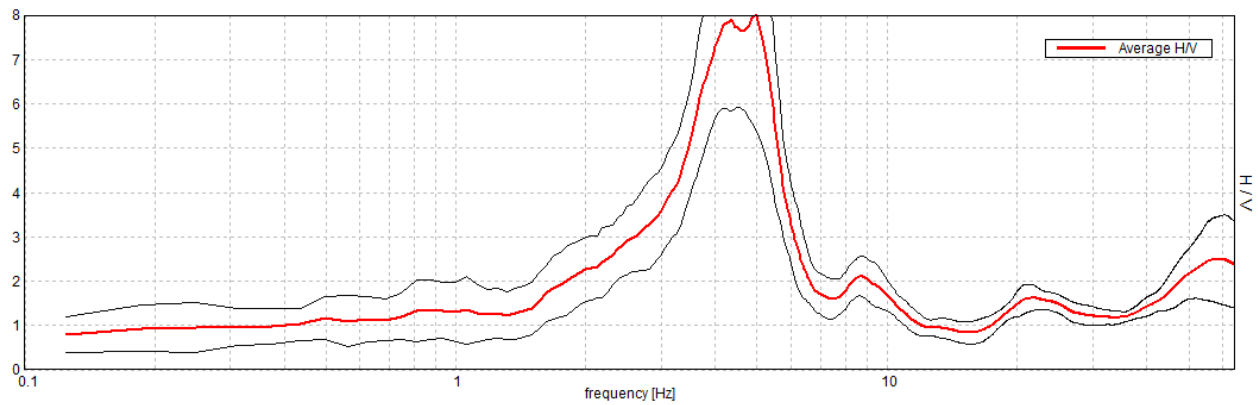
Window size: 10 s

Smoothing type: Triangular window

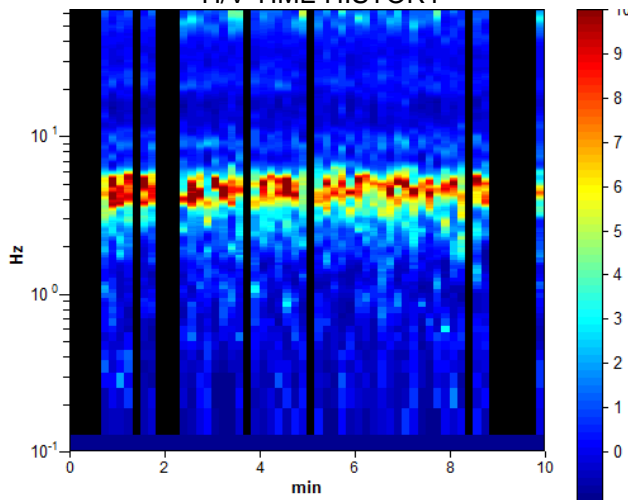
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

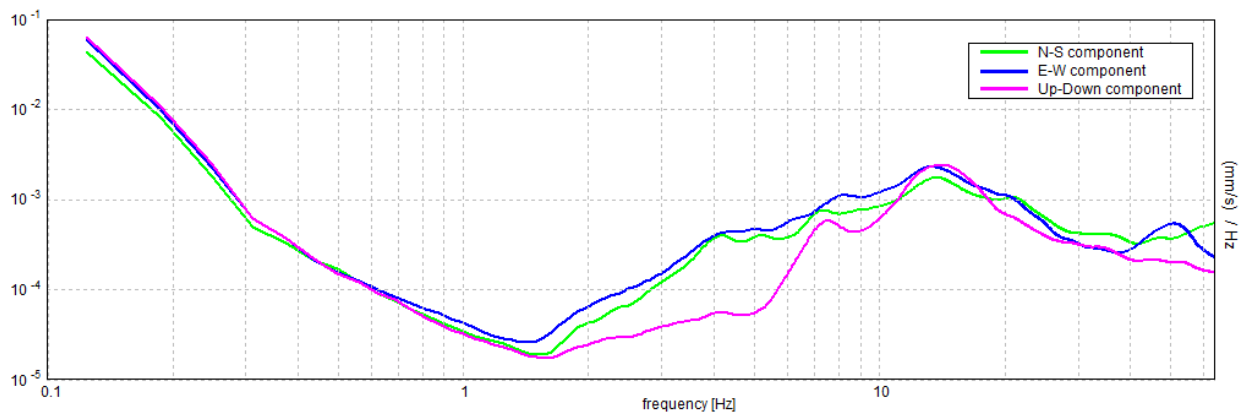
Max. H/V at  $4.94 \pm 0.14$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



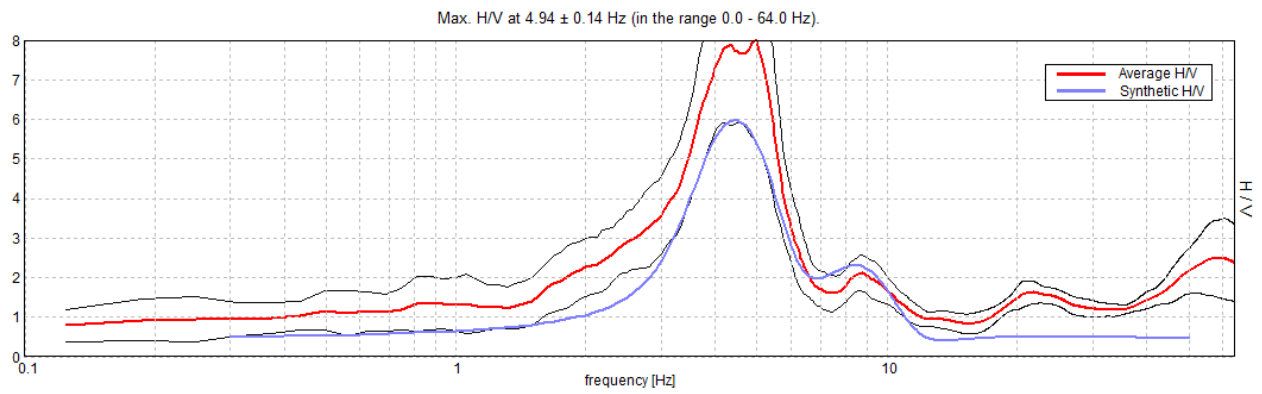
### H/V TIME HISTORY



### SINGLE COMPONENT SPECTRA

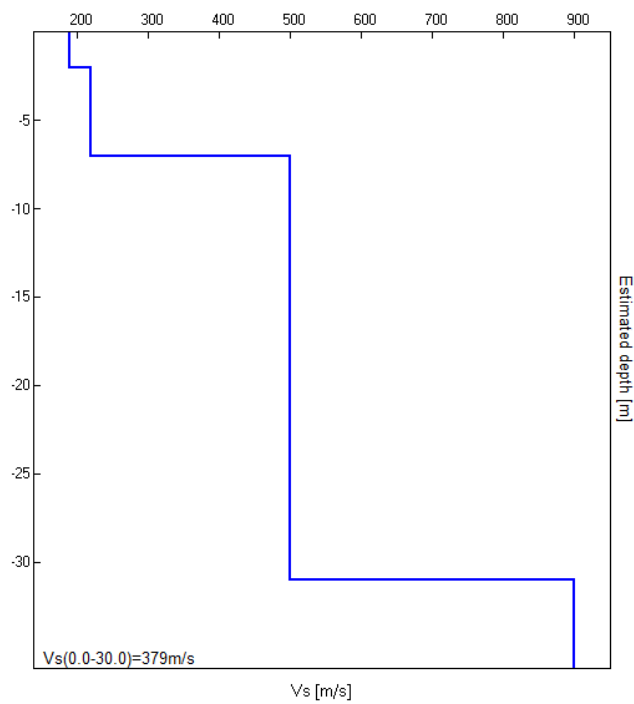


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.00	2.00	190	0.35
7.00	5.00	220	0.35
31.00	24.00	500	0.35
inf.	inf.	900	0.35

$V_s(0.0-30.0)=379\text{m/s}$



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

**Max. H/V at 4.94 ± 0.14 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

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

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	4.94 > 1.00	OK	
$n_c(f_0) > 200$	2123.1 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 12 out of 120 times		

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

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.125 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	5.813 Hz	OK	
$A_0 > 2$	8.04 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01344  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.06635 < 0.24688$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$1.2516 < 1.58$	OK	

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

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

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

## BBT2, HV10

Instrument: TEP-0050/01-09

Start recording: 08/11/12 15:48:00      End recording: 08/11/12 15:58:01

Trace length: 0h10'00".      Analyzed 57% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

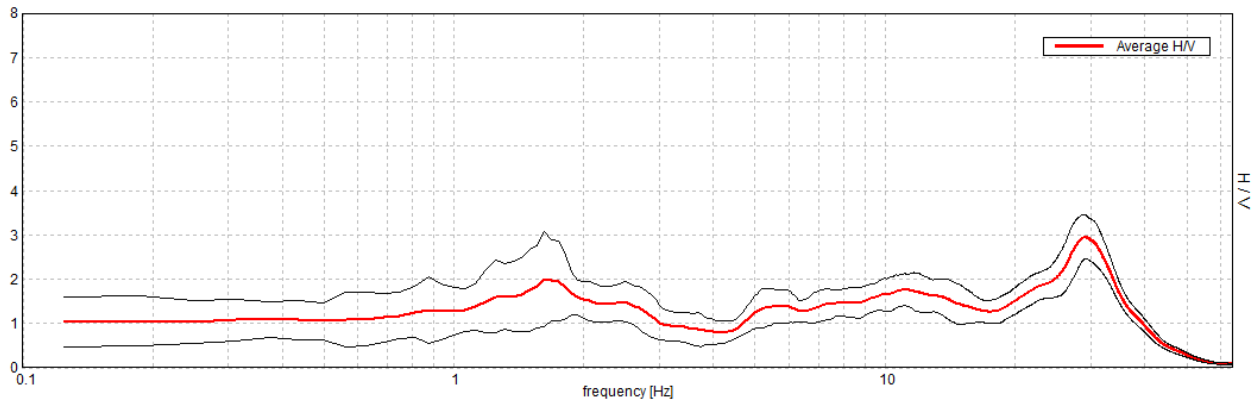
Window size: 10 s

Smoothing type: Triangular window

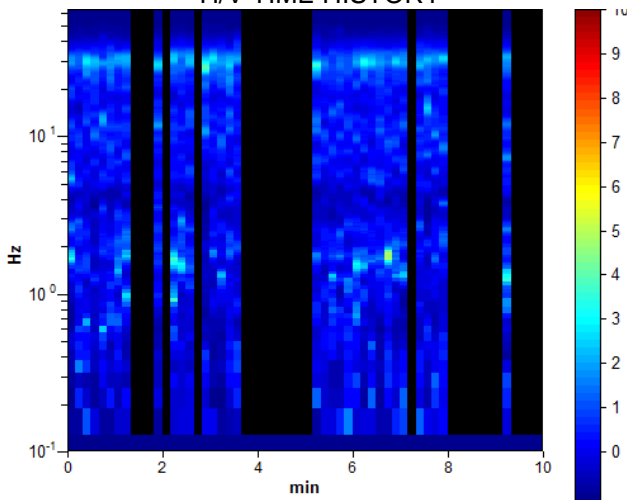
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

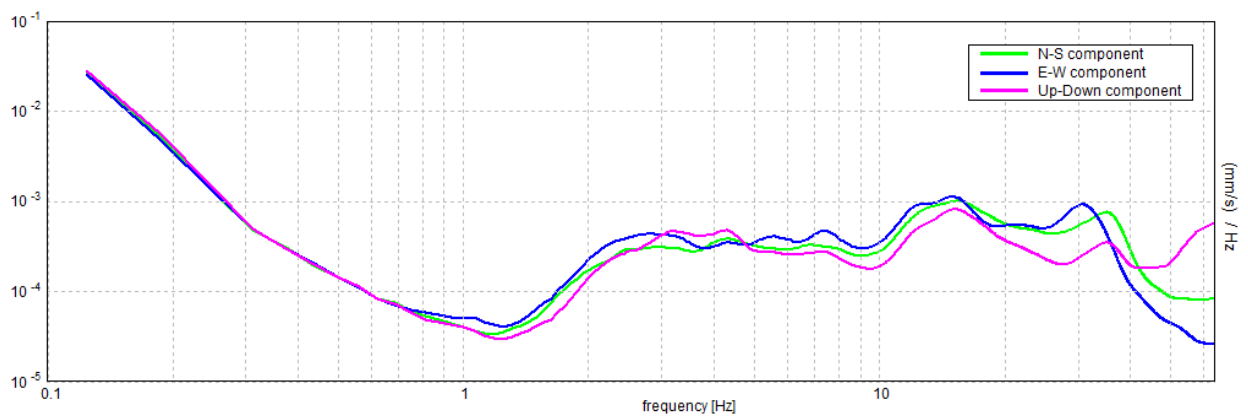
Max. H/V at  $29.06 \pm 2.36$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



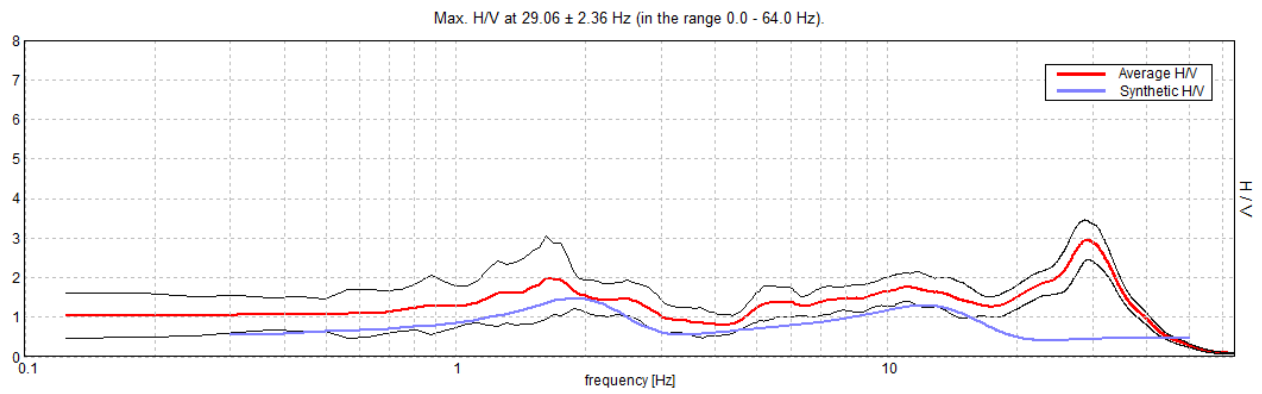
### H/V TIME HISTORY



### SINGLE COMPONENT SPECTRA

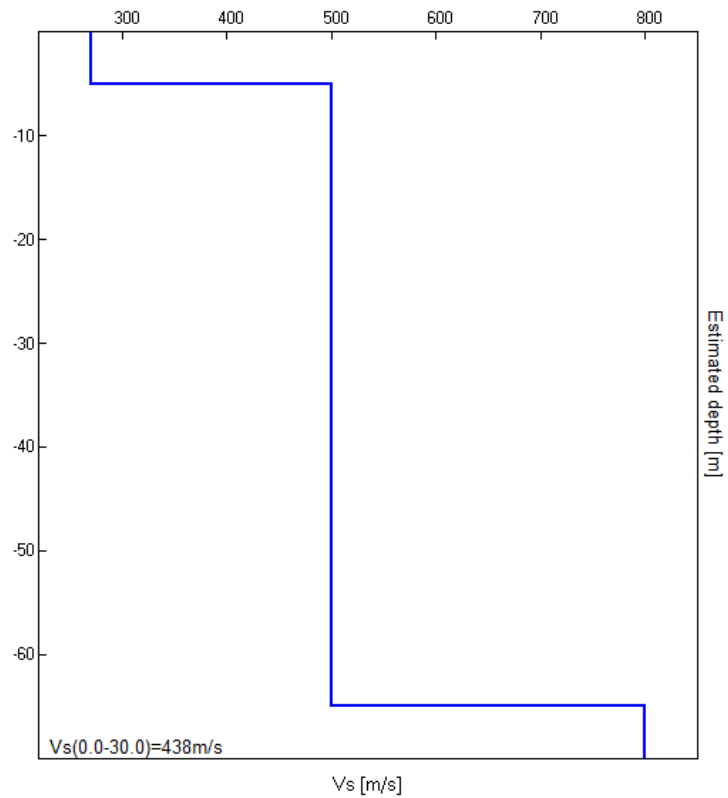


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
5.00	5.00	270	0.35
65.00	60.00	500	0.35
inf.	inf.	800	0.35

Vs(0.0-30.0)=438m/s



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

**Max. H/V at 29.06 ± 2.36 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

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

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	29.06 > 1.00	OK	
$n_c(f_0) > 200$	9881.3 > 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 698 times	OK	

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

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	19.688 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	35.938 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.95 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.03929  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$1.14183 < 1.45313$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2404 < 1.58$	OK	

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

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

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

## BBT3, HV1

Instrument: TEP-0050/01-09

Start recording: 08/11/12 11:15:22      End recording: 08/11/12 11:25:23

Trace length: 0h10'00".      Analyzed 73% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

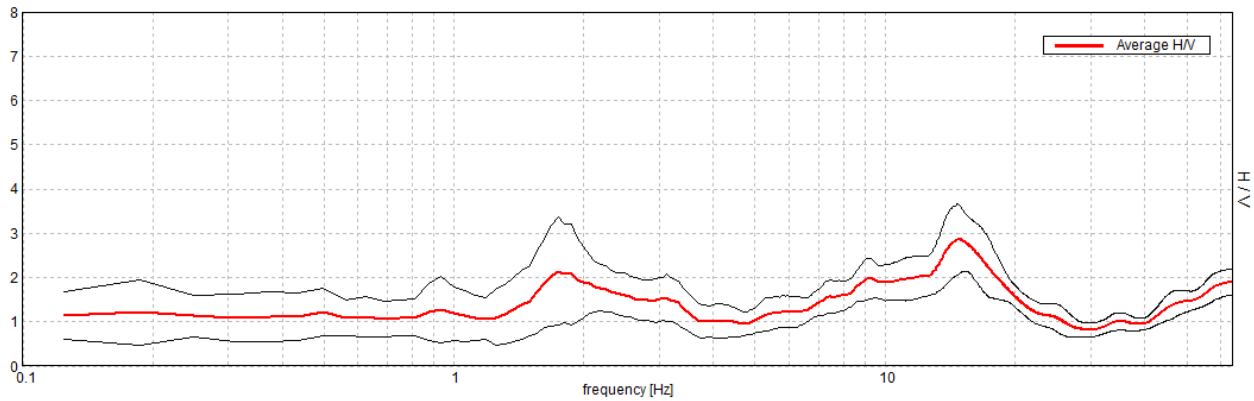
Window size: 10 s

Smoothing type: Triangular window

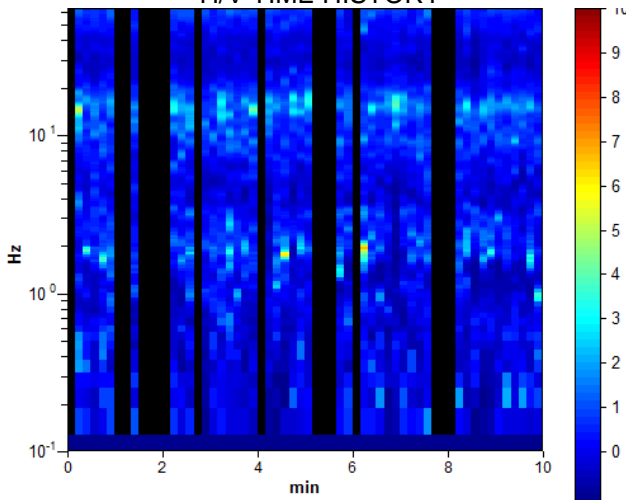
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

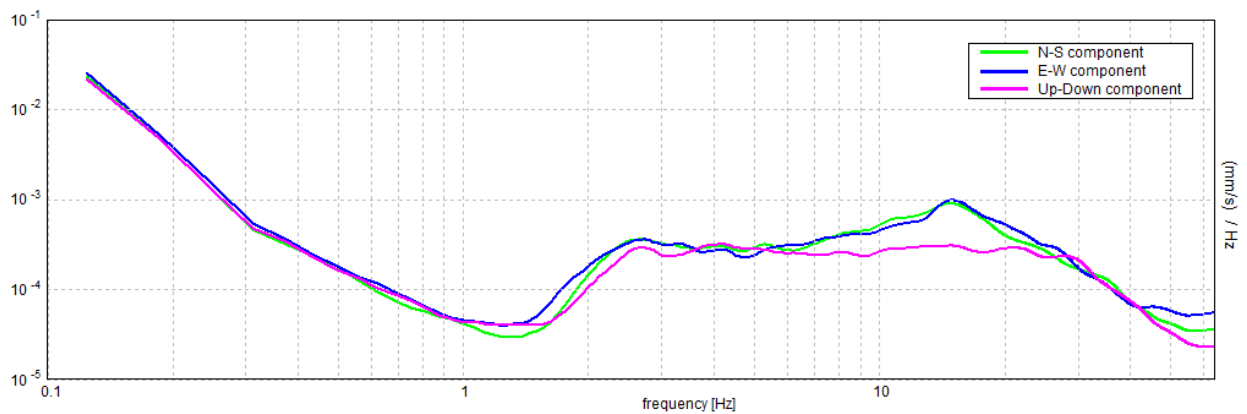
Max. H/V at  $14.81 \pm 0.05$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



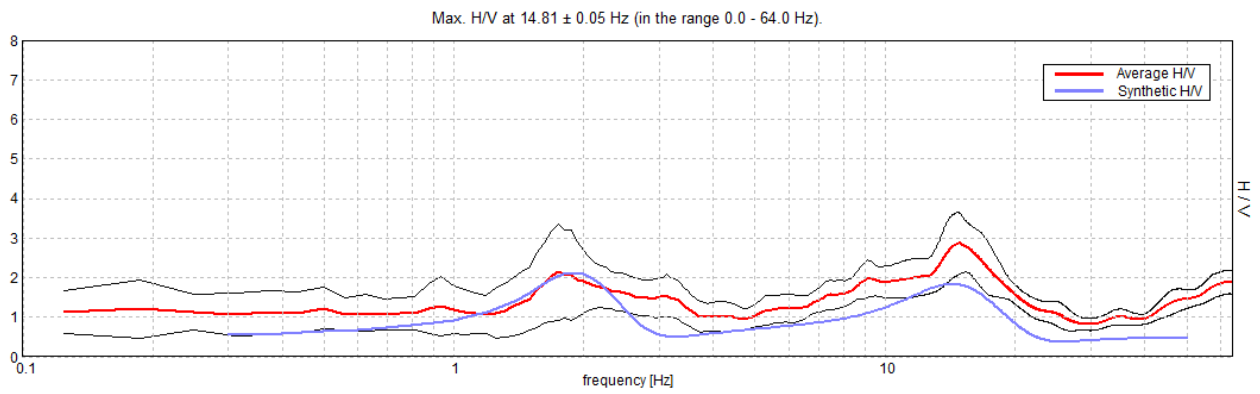
### H/V TIME HISTORY



### SINGLE COMPONENT SPECTRA

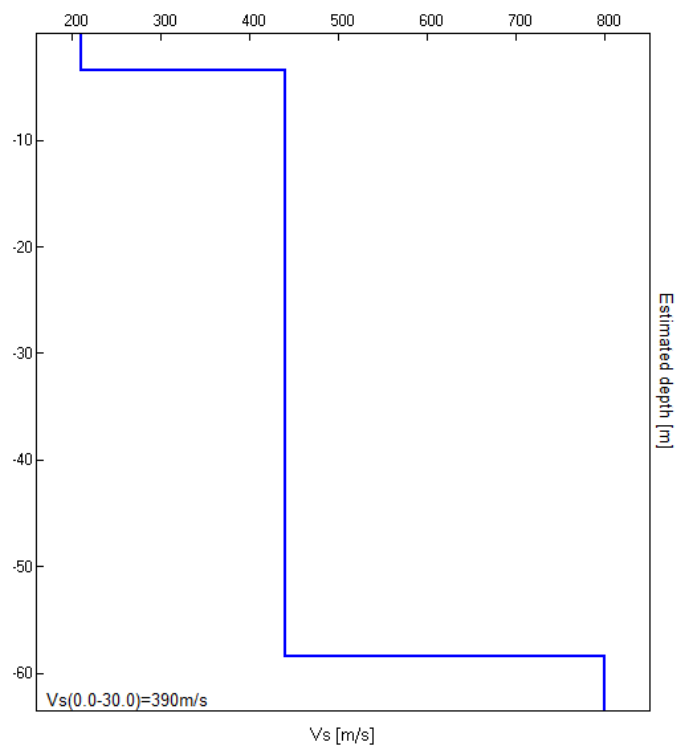


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.50	3.50	210	0.35
58.50	55.00	440	0.35
inf.	inf.	800	0.35

Vs(0.0-30.0)=390m/s





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

**Max. H/V at 14.81 ± 0.05 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

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

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	14.81 > 1.00	OK	
$n_c(f_0) > 200$	6517.5 > 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 356 times	OK	

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

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	7.0 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	20.75 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.86 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00157  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.02325 < 0.74063$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3848 < 1.58$	OK	

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

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

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

## BBT4, HV4

Instrument: TEP-0050/01-09

Start recording: 08/11/12 12:25:00      End recording: 08/11/12 12:35:01

Trace length: 0h10'00".      Analyzed 58% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

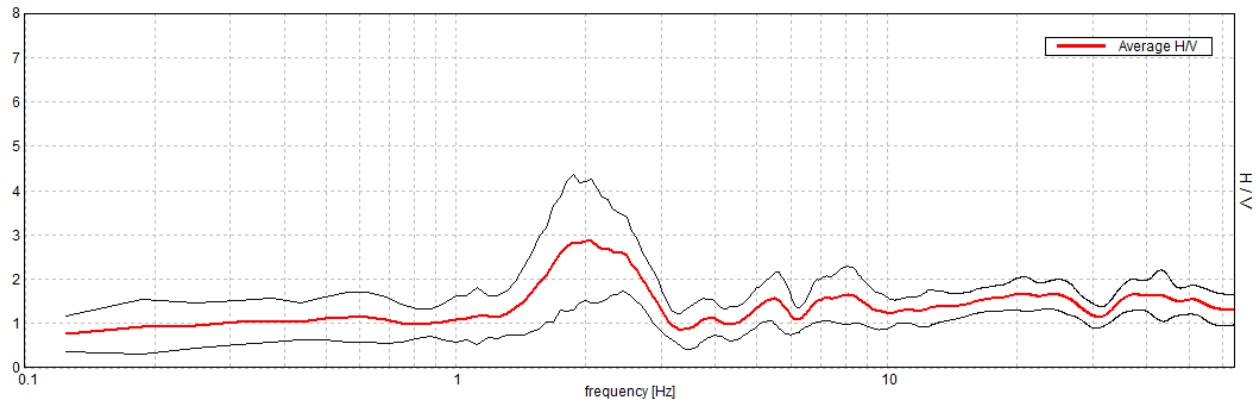
Window size: 10 s

Smoothing type: Triangular window

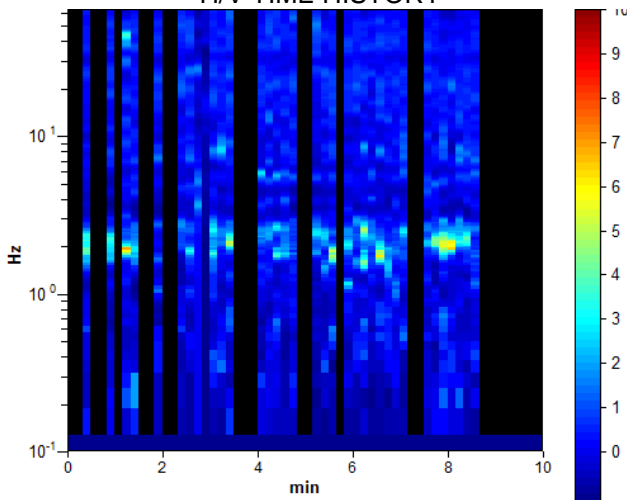
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

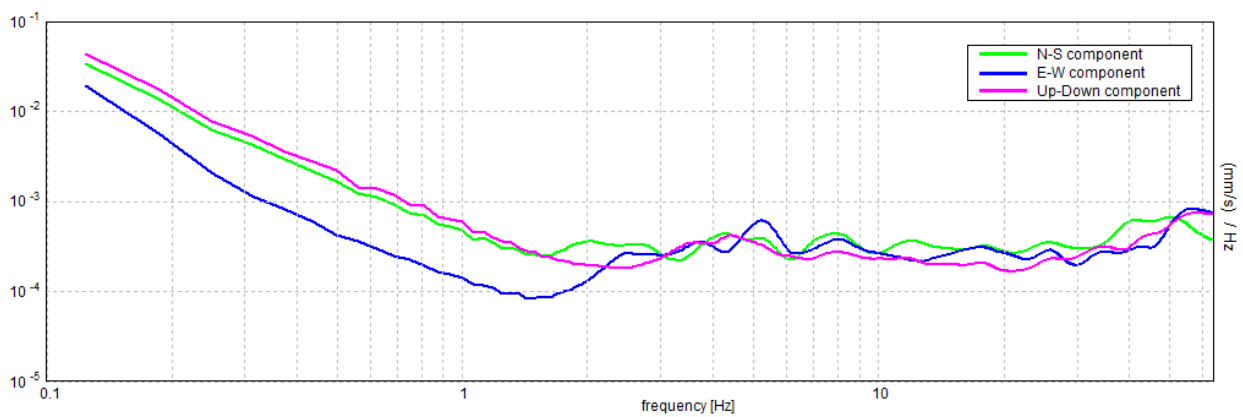
Max. H/V at  $2.0 \pm 0.05$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



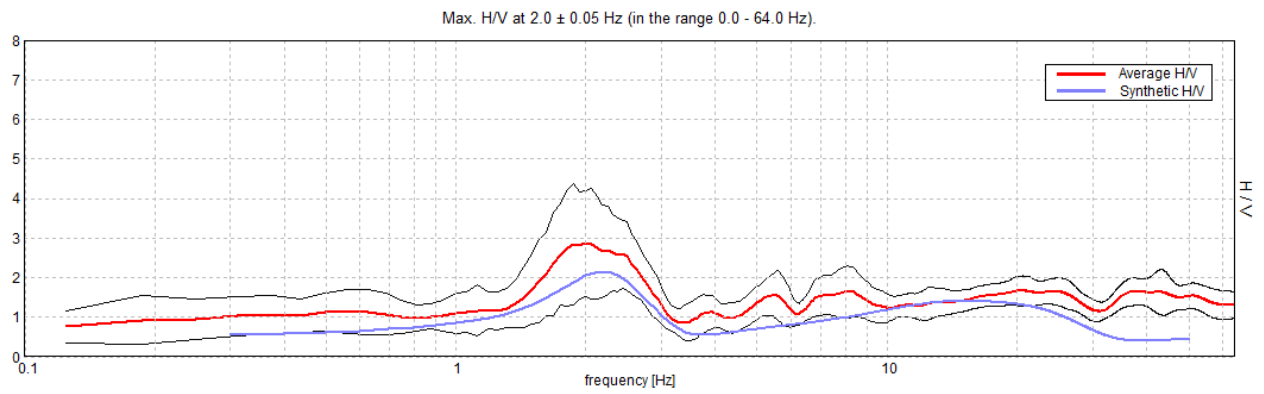
### H/V TIME HISTORY



### SINGLE COMPONENT SPECTRA

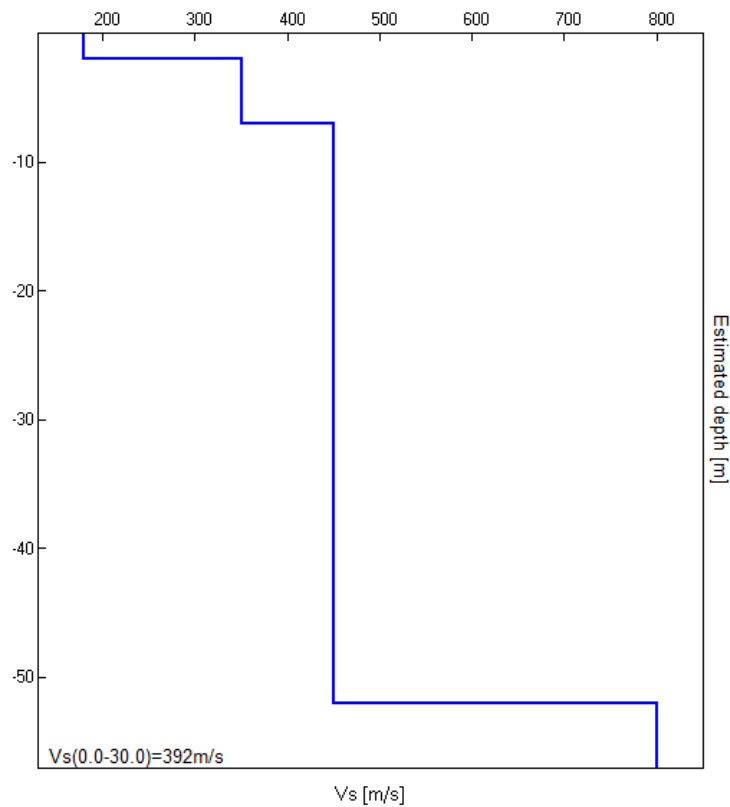


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.00	2.00	180	0.35
7.00	5.00	350	0.35
52.00	45.00	450	0.35
inf.	inf.	800	0.35

Vs(0.0-30.0)=392m/s



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

**Max. H/V at 2.0 ± 0.05 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

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

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	2.00 > 1.00	OK	
$n_c(f_0) > 200$	700.0 > 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 49 times	OK	

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

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.375 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	3.0 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.86 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01119  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.02237 < 0.1$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.6492 < 1.58$	OK	

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

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

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

## BBT5, HV6

Instrument: TEP-0050/01-09

Start recording: 08/11/12 12:54:32      End recording: 08/11/12 13:04:33

Trace length: 0h10'00".      Analyzed 53% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

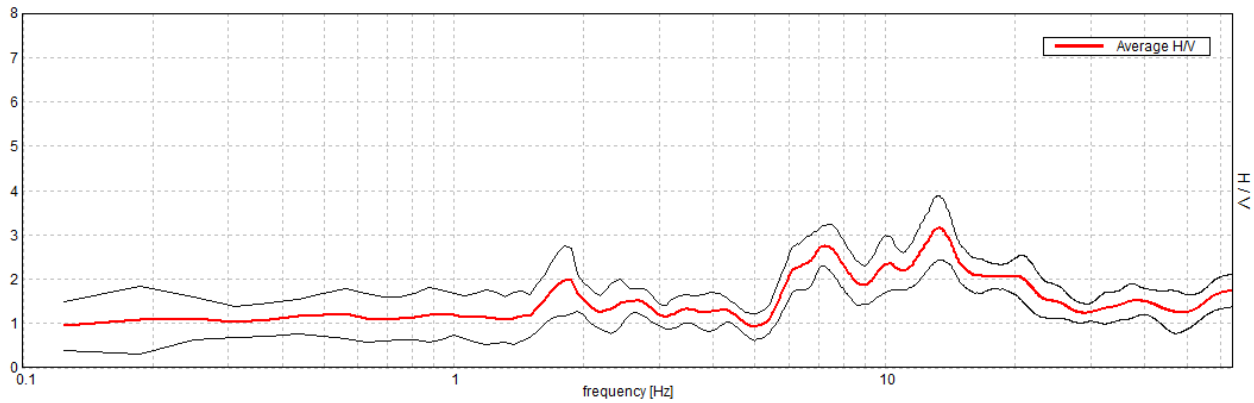
Window size: 10 s

Smoothing type: Triangular window

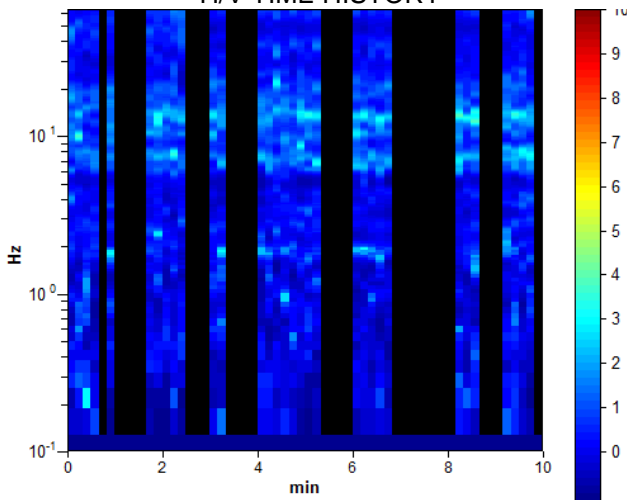
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

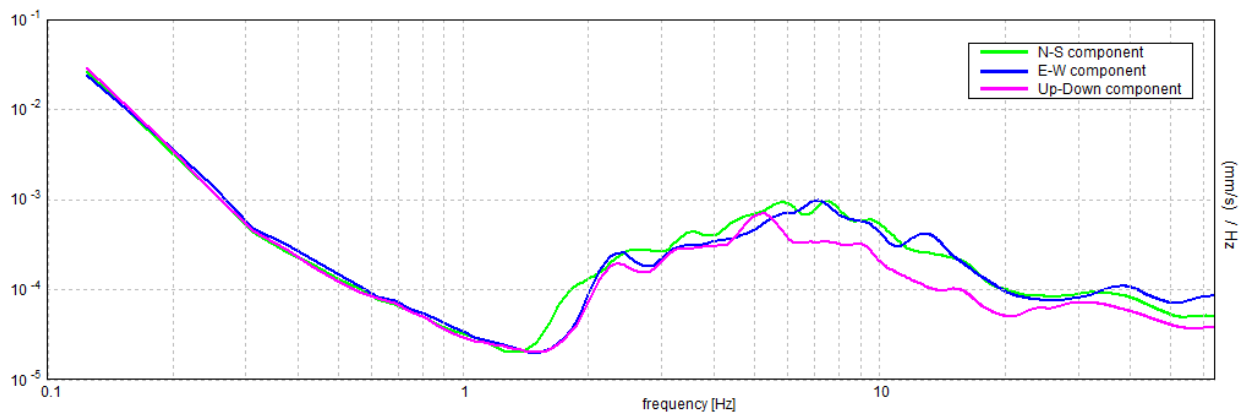
Max. H/V at  $13.31 \pm 0.72$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



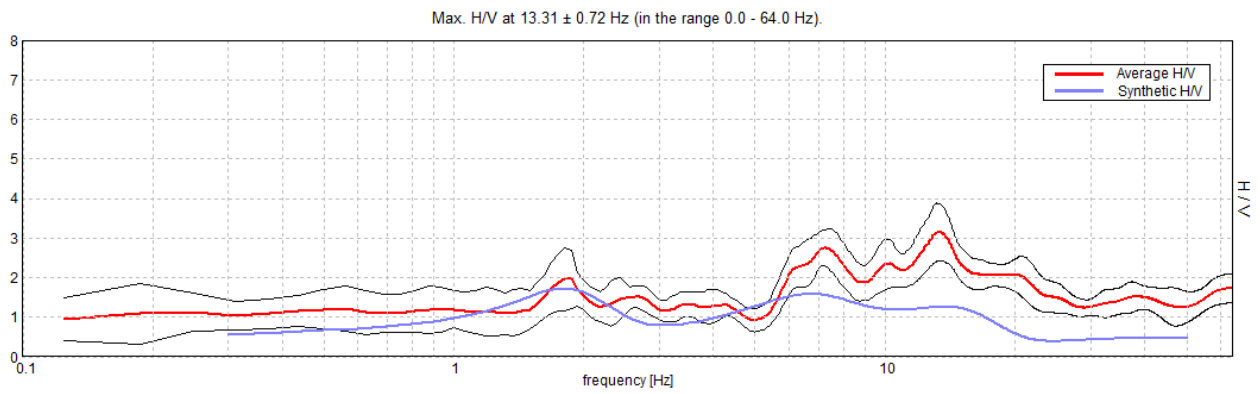
### H/V TIME HISTORY



### SINGLE COMPONENT SPECTRA

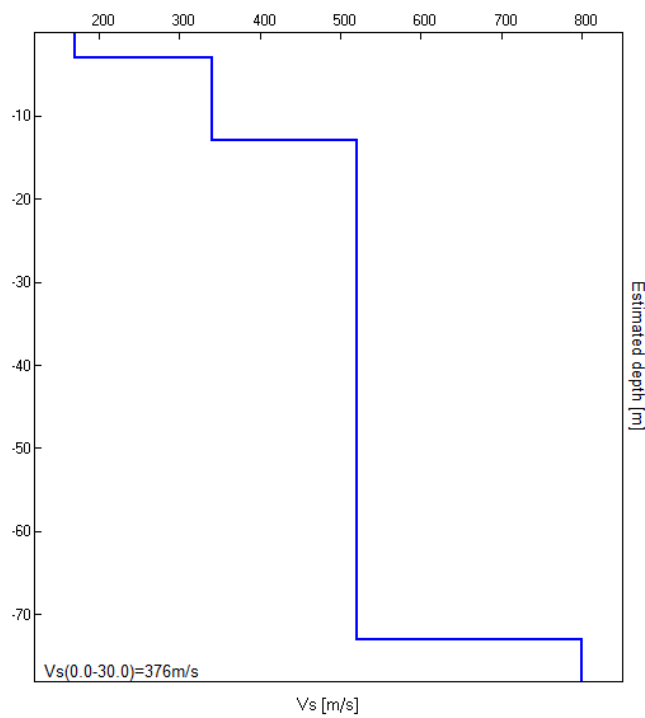


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.00	3.00	170	0.35
13.00	10.00	340	0.35
73.00	60.00	520	0.35
inf.	inf.	800	0.35

Vs(0.0-30.0)=376m/s



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

**Max. H/V at 13.31 ± 0.72 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

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

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	13.31 > 1.00	OK	
$n_c(f_0) > 200$	4260.0 > 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 320 times	OK	

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

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	5.688 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	23.188 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.15 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02593  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.34526 < 0.66563$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3498 < 1.58$	OK	

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

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

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

**GEMEINDE FRANZENSFESTE  
COMUNE DI FORTEZZA**

**AUTONOME PROVINZ BOZEN  
PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO**

**SEISMISCHE UNTERSUCHUNGEN MASW UND REMI**

**INDAGINI SISMICHE MASW E REMI**

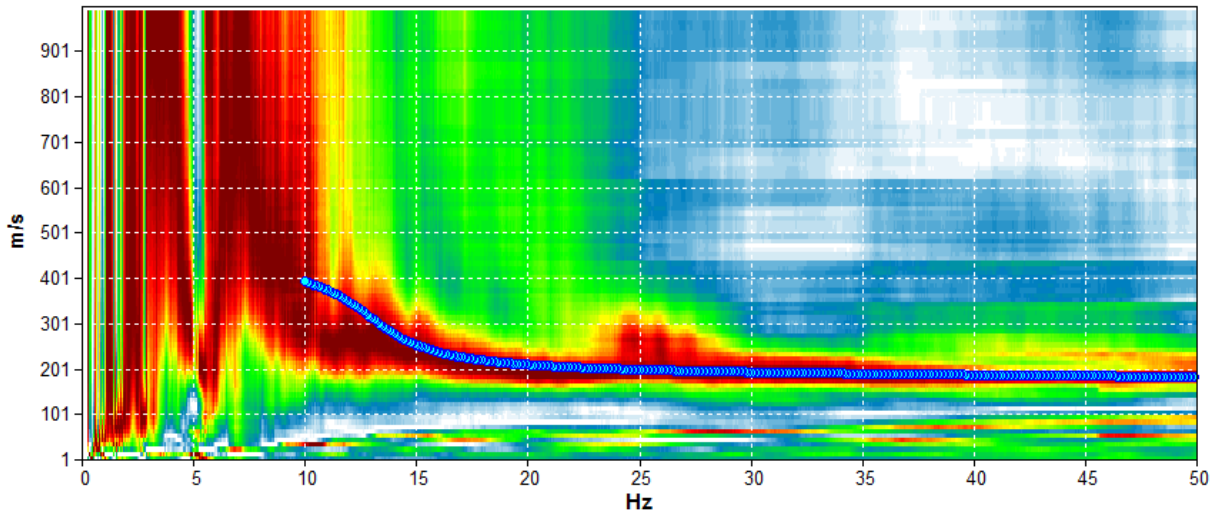


**BBT1, REMI1**

Start recording: 08/11/12 13:36:07      End recording: 08/11/12 13:46:08  
Trace length: 0h10'00".      Analyzed 72% trace (manual window selection)  
Sampling rate: 128 Hz

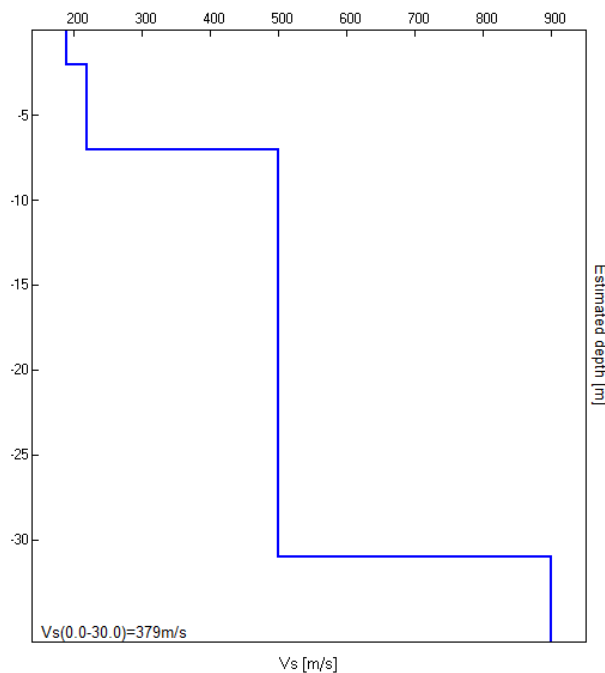
Array geometry (x): 0.0 3.0 6.0 9.0 12.0 15.0 18.0 21.0 24.0 27.0 30.0 33.0 m.

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.00	2.00	190	0.35
7.00	5.00	220	0.35
31.00	24.00	500	0.35
inf.	inf.	900	0.35

Vs(0.0-30.0)=379m/s

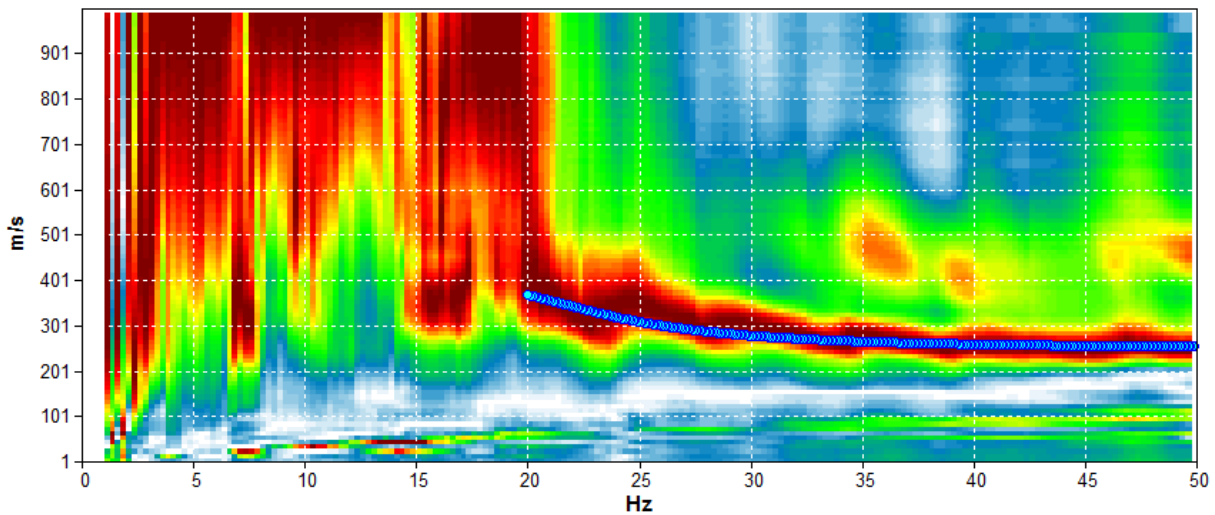


**BBT2, MASW2 T012**

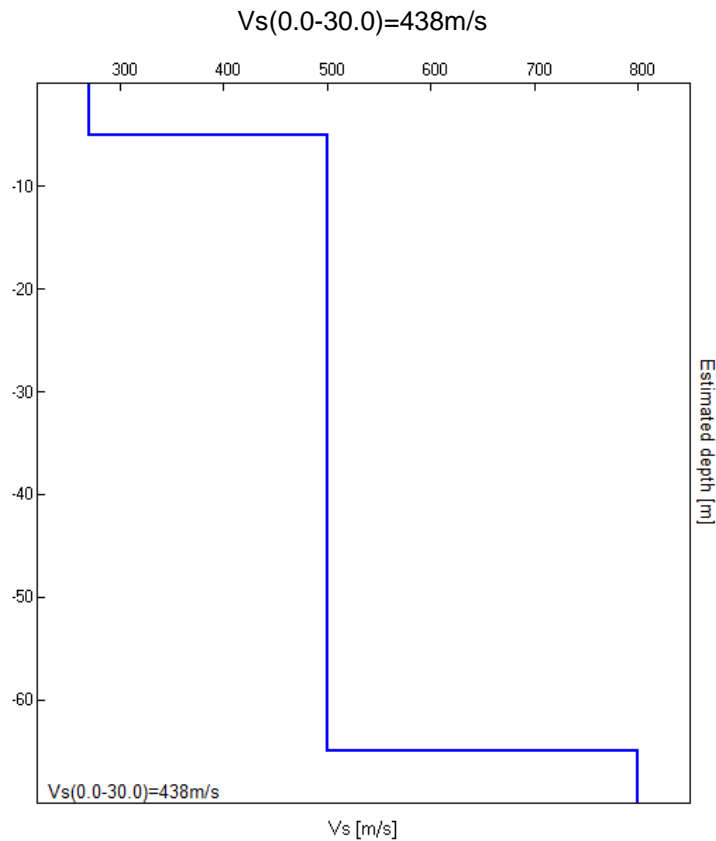
Start recording: 08/11/12 15:48:00      End recording: 08/11/12 15:58:01  
Trace length: 0h10'00".      Analyzed 57% trace (manual window selection)  
Sampling rate: 128 Hz

Array geometry (x): 0.0 3.0 6.0 9. 12.0 15.0 18.0 21.0 24.0 27.0 30.0 33.0 m.

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
5.00	5.00	270	0.35
65.00	60.00	500	0.35
inf.	inf.	800	0.35

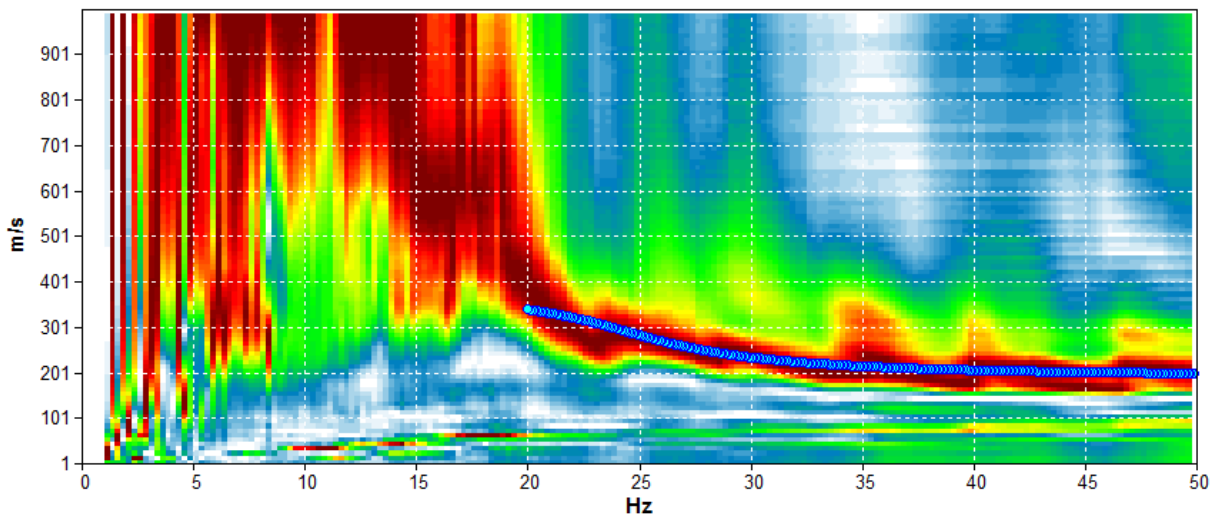


**BBT3, MASW3 T012**

Start recording: 08/11/12 11:15:22      End recording: 08/11/12 11:25:23  
 Trace length: 0h10'00".      Analyzed 73% trace (manual window selection)  
 Sampling rate: 128 Hz

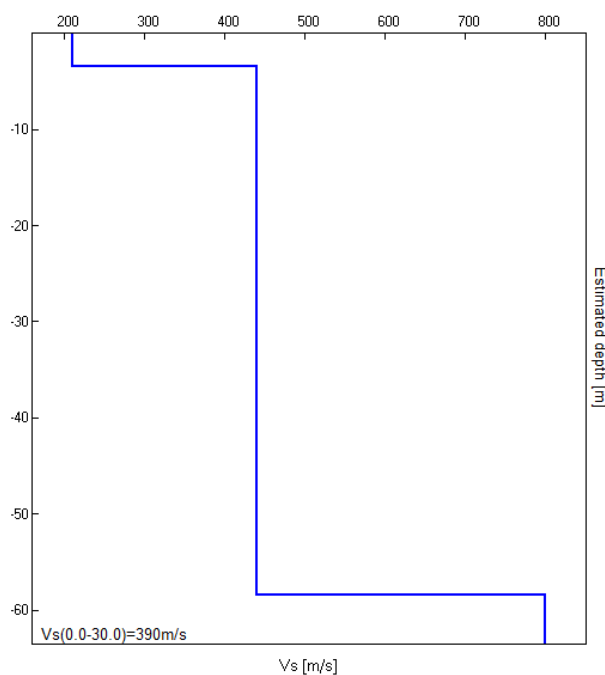
Array geometry (x): 0.0 3.0 6.0 9.0 12.0 15.0 18.0 21.0 24.0 27.0 30.0 33.0 m.

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.50	3.50	210	0.35
58.50	55.00	440	0.35
inf.	inf.	800	0.35

Vs(0.0-30.0)=390m/s

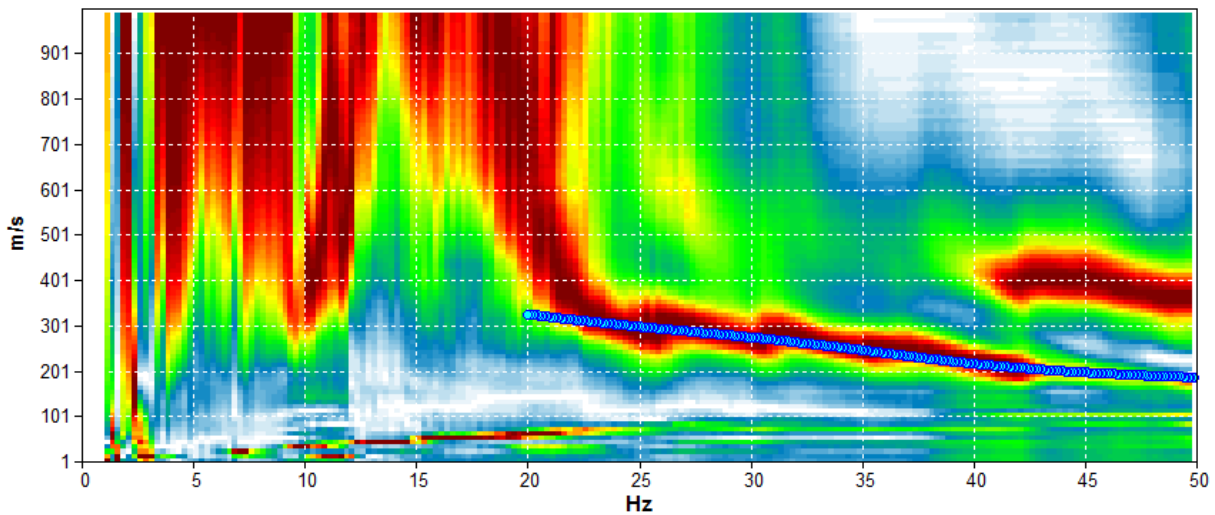


**BBT4, MASW4 T012**

Start recording: 08/11/12 12:25:00      End recording: 08/11/12 12:35:01  
 Trace length: 0h10'00".      Analyzed 58% trace (manual window selection)  
 Sampling rate: 128 Hz

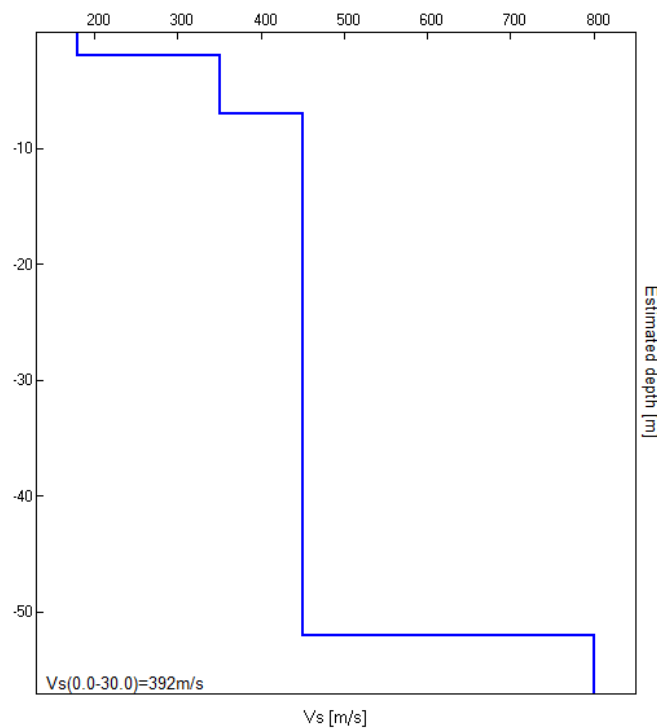
Array geometry (x): 0.0 3.0 6.0 9.0 12.0 15.0 18.0 21.0 24.0 27.0 30.0 33.0 m.

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.00	2.00	180	0.35
7.00	5.00	350	0.35
52.00	45.00	450	0.35
inf.	inf.	800	0.35

Vs(0.0-30.0)=392m/s

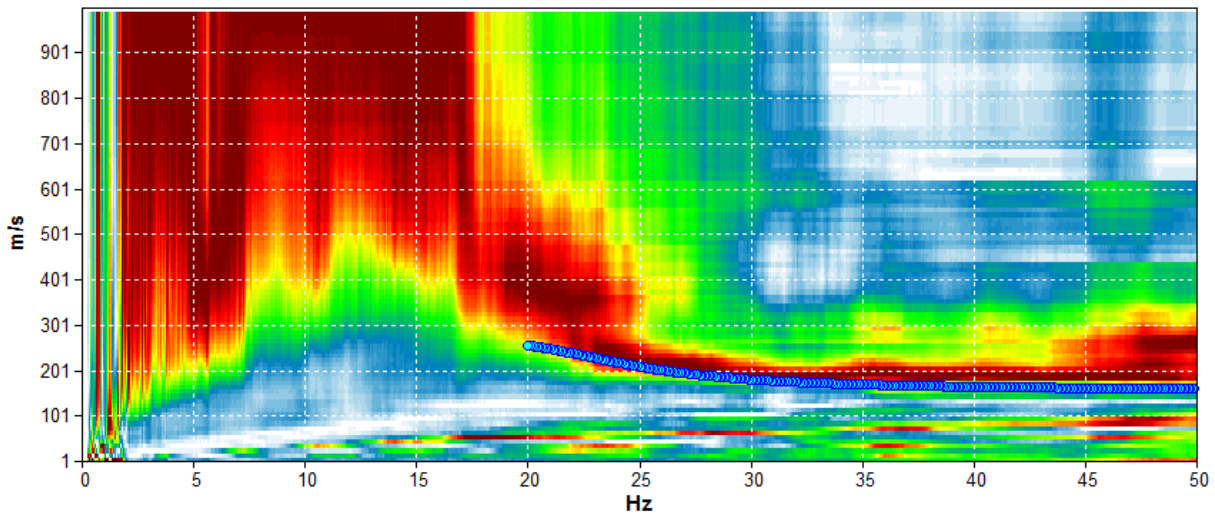


**BBT5, REMI5**

Start recording: 08/11/12 12:54:32      End recording: 08/11/12 13:04:33  
Trace length: 0h10'00".      Analyzed 53% trace (manual window selection)  
Sampling rate: 128 Hz

Array geometry (x): 0.0 3.0 6.0 9.0 12.0 15.0 18.0 21.0 24.0 27.0 30.0 33.0 m.

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.00	3.00	170	0.35
13.00	10.00	340	0.35
73.00	60.00	520	0.35
inf.	inf.	800	0.35

Vs(0.0-30.0)=376m/s

