

Geologia tecnica
ed ambientale
Cartografia tematica

Committente: Amministrazione del Comune di Maddaloni
Provincia: Caserta

Oggetto: Studio geologico - geotecnico e relative indagini geognostiche
occorrenti per la redazione del Piano Urbanistico Comunale, ai
sensi delle Leggi Regionali n° 9/1983 e n° 16/2004.
CIG: Z5717AD7F7

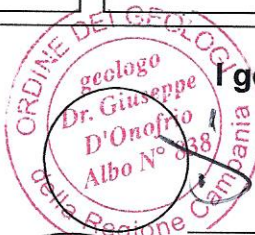
Indagini H/V e determinazione fattori di amplificazione

Data: Dicembre 2018

Allegato 9

Il committente:

I geologi incaricati:



Giuseppe D'Onofrio

(dott. Giuseppe D'Onofrio)



Luigi Di Nuzzo

(dott. Luigi Di Nuzzo)



Vincenzo Sollitto

(dott. Vincenzo Sollitto)



Via G. Garibaldi, 16 - CASAGIOVE (CE)

Tel. & Fax 0823/1702550

E-Mail: ggisas@libero.it

Cell. 339/7271088

COMUNE DI MADDALONI

Provincia di CASERTA

**Indagine geofisica mediante l'esecuzione di
n. 6 misure HVSR ai fini dell'individuazione della
frequenza di risonanza di sito del territorio
comunale di Maddaloni**

**Committenti: *Dott. Geol. Giuseppe D'Onofrio*

*c/o Amministrazione Comunale di Maddaloni***

RELAZIONE GEOFISICA

Il Direttore Tecnico
Dott. Geol. Antonio D'Errico

G.G.I. s.a.s.
Il Direttore Tecnico
Dott. Geol. Antonio D'Errico

Casagiove, dicembre 2018

Il Collaoratore
Dott.ssa Geol. Flavia Bova



INDICE

	<i>Pagina</i>
1. PREMESSA	1
2. MISURE HVSR (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO)	2
2.1 HVSR – STRUMENTAZIONE IMPIEGATA	5
2.2 METODOLOGIA INTERPRETATIVA	6
2.3 HVSR – ESAME DEI RISULTATI	8

APPENDICE 1 – ELABORATI HVSR

1. PREMESSA

A seguito dell'incarico ricevuto dal *Dott. Geol. Giuseppe D'Onofrio e per conto dell'Amministrazione Comunale di Maddaloni*, è stata eseguita una indagine geofisica allo scopo di determinare gli spessori delle coperture presenti sul bedrock sismico e ricavare il valore di frequenza di risonanza di sito, ai sensi del D.M. 17/01/2018.

A tale scopo sono state effettuate le seguenti indagini:

- n° 6 misure di microtremori HVSr;

Di seguito si riporta l'ubicazione delle indagini, in uno stralcio tratto da Google Earth (**figura 1**).

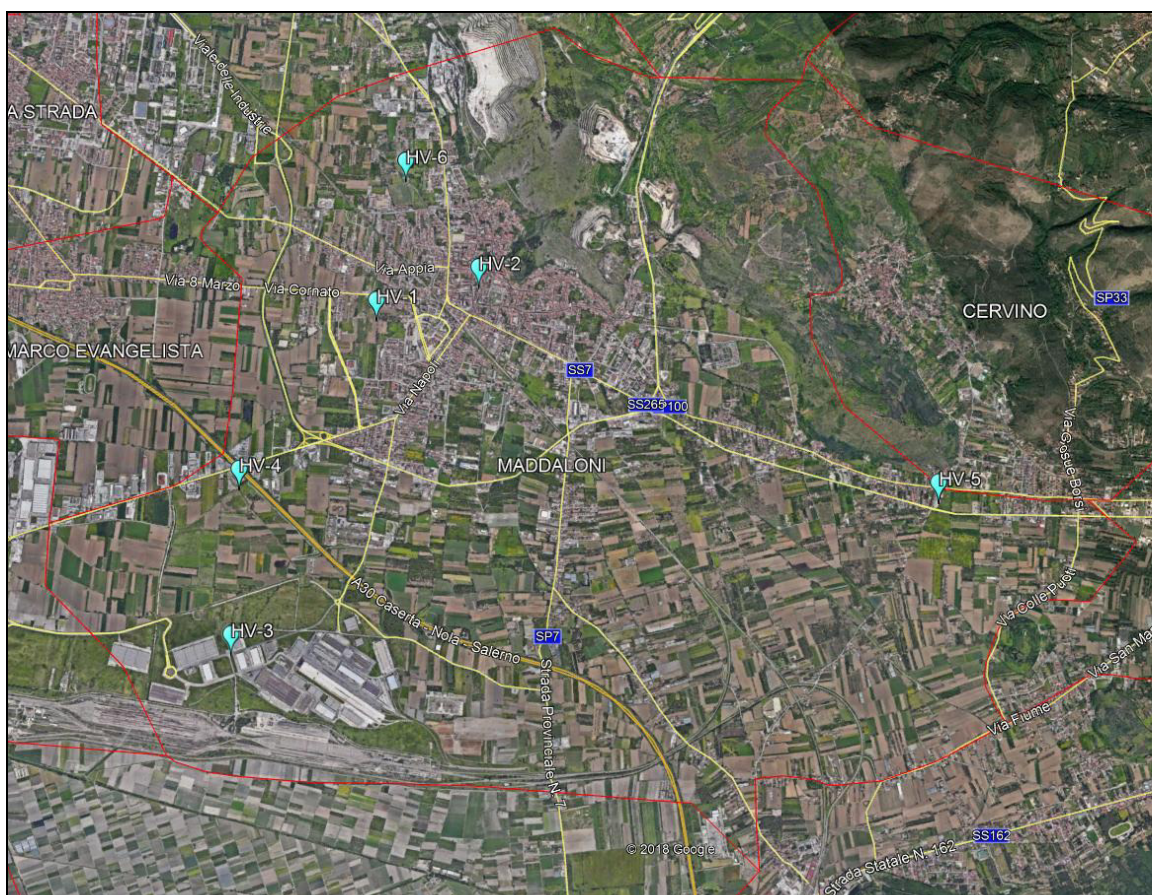


Figura 1 – Ubicazione misure HVSr

2. MISURE HVSR (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO)

Come accennato in premessa, sono state eseguite n°6 misure HVSR all'interno del territorio comunale di Maddaloni (CE). Nella tabella che segue sono indicate le coordinate geografiche di ogni singola prova.

PROVA	LOCALITÀ	LATITUDINE	LONGITUDINE
HV-1	Via Cornato	41.035557°	14.372135°
HV-2	Corso I Ottobre	41.038674°	14.382096°
HV-3	Zona Interporto	41.009565°	14.360885°
HV-4	Via Napoli	41.021952°	14.360079°
HV-5	Via Sant'Antuono	41.025203°	14.429576°
HV-6	Via Sauda Vicinale Vairano	41.046406°	14.373763°

La misura HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è una tecnica sismica passiva a stazione singola (originariamente proposta da Y. Nakamura), finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito a partire dalla registrazione delle vibrazioni in un suo punto. Esse sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'ammasso roccioso. Un suolo vibra con maggiore ampiezza a specifiche frequenze (per l'appunto di risonanza) non solo quando è eccitato da un terremoto ma anche quando è eccitato da un qualsiasi tremore di qualsiasi origine. Questo fa sì che la misura delle frequenze di risonanza dei terreni sia possibile ovunque anche senza terremoti ed è il principio alla base della sismica passiva a stazione singola.

La tecnica dei rapporti spettrali è totalmente non invasiva, molto rapida e si può applicare ovunque; non necessita di alcun tipo di perforazione, stendimento di cavi né di energizzazione esterna diversa dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque.

In sintesi la suddetta tecnica prevede:

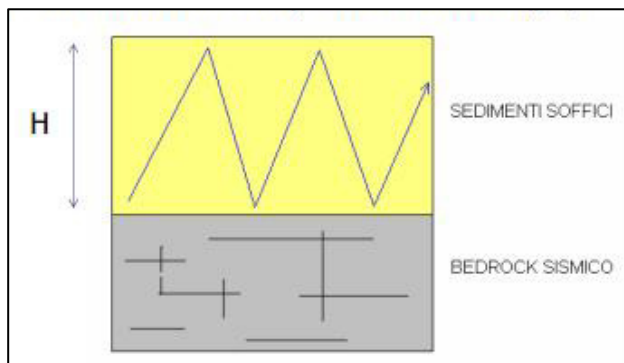
- ✓ l'acquisizione delle vibrazioni attraverso una terna ortogonale di sensori velocimetrici (geofoni) per un tempo sufficientemente lungo (tipicamente alcuni minuti);
- ✓ la trasformazione dei segnali nel dominio delle frequenze per ciascuna delle tre componenti (X,Y e Z);
- ✓ il calcolo del rapporto tra gli spettri di potenza delle componenti orizzontali (H) e quello della componente verticale (V);
- ✓ l'individuazione della frequenza di vibrazione f_0 in corrispondenza della quale il suddetto rapporto presenta un picco significativo.

Il rapporto tra le componenti orizzontali (H) del moto del suolo e quelle verticali (V), da cui H/V (o HVSR), mette in luce la *frequenza di risonanza di un terreno*.

La risonanza è dovuta all'intrappolamento delle onde tra due superfici in cui si verifica una variazione di impedenza acustica.

La frequenza fondamentale di risonanza f del terreno dipende dallo spessore H del terreno stesso e dalla velocità media V delle onde che lo attraversano.

Dunque, conoscendo lo spessore H del sedimento è possibile avere informazioni sulla



velocità media delle onde S e viceversa conoscendo quest'ultima è possibile definire lo spessore dello strato di copertura.

In casi semplici (coperture soffici al di sopra di un basamento sismico rigido) è possibile dimostrare che esiste una relazione diretta tra la frequenza di risonanza e lo spessore dello strato soffice; questa relazione è regolata dall'equazione seguente:

$$f = V_s / 4H$$

dove V_s è la velocità media delle onde S dello strato di copertura (sedimento), ed H è lo spessore dello strato di copertura. Emerge quindi che la tecnica H/V può fornire indicazioni di carattere stratigrafico: nota la V_s delle coperture si può stimare la profondità dei riflettori sismici principali e viceversa.

A tal proposito sono stati prodotti degli abachi preliminari per:

1. *Stimare la profondità del contrasto di impedenza responsabile degli effetti osservati*
2. *Valutare qualitativamente l'entità di questo contrasto*

Utilizzando questo strumento, le frequenze di risonanza possono tentativamente essere convertite in spessori permettendo una identificazione preliminare delle interfacce risonanti con il solo scopo (sotto stretto controllo geologico) di fornire indicazioni preliminari sulla struttura del sottosuolo e orientare le indagini successive.

f_0 (Hz)	h (m)	
< 1	> 100	Centinaia di metri
1 – 2	50 – 100	
2 – 3	30 – 50	
3 – 5	20 – 30	Decine di metri
5 – 8	10 – 20	
8 – 20	5 – 10	
> 20	< 5	Qualche metro
H/V >3 Alto contrasto		
2<H/V<3 Basso Contrasto		

La **frequenza caratteristica di risonanza di sito** rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale, in quanto si dovranno adottare determinate precauzioni nell'edificare strutture aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno al fine di evitare l'effetto di

“doppia risonanza” che è estremamente pericoloso per la stabilità delle stesse.

2.1 HVSR – STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Per l'acquisizione di dati HVSR è stato utilizzato il sismografo **Vibralog** della M.A.E., con risoluzione 24 bit e 3 canali e a cui si collega un sensore da superficie costituito da un unico contenitore con integrati una terna di geofoni con una frequenza di 2Hz. La suddetta terna è composta da due geofoni orizzontali perpendicolari tra loro ed uno verticale che hanno la stessa risposta/sensibilità in termini di ampiezza.



Figura 2 – Sismografo Vibralog e Terna geofonica

Di seguito sono riassunte le Specifiche tecniche del sismografo **Vibralog**:

- ❖ Geofoni con frequenza da 2 Hz
- ❖ Componente verticale n.1
- ❖ Componenti orizzontali n.2
- ❖ Sfasamento delle componenti orizzontali: 90 gradi
- ❖ Frequenza naturale: 2 – 0,75 Hz
- ❖ Resistenza della bobina a 25°C +/- 5%: 380 Ω
- ❖ Sensibilità tensione a 3810 Ohm +/- 10%: 2V/ in /sec
- ❖ Massa +/- 5%: 23 g
- ❖ Messa in piano per mezzo di piedini con ghiera di regolazione e bolla di livello
- ❖ Contenitore: alluminio
- ❖ Dimensioni: diametro 140 mm, altezza 100 mm
- ❖ Peso: 4 Kg

Durante l'esecuzione delle prove il sensore è stato orientato verso in nord geografico per una convenzione di campagna ed in modo da valutare eventuali direzionalità del segnale; è stato messo in bolla per garantirne l'equilibrio durante la fase di acquisizione ed impedire qualsiasi eventuale vibrazione e/o movimento che avrebbe potuto inficiare la registrazione.

L'accoppiamento sensore-terreno è garantito dall'utilizzo di particolari ed appositi "piedini" che ne assicurano la stabilità; inoltre il cavo di collegamento tra sensore e la centralina di registrazione è stato "fissato" in modo da evitare che potesse subire movimenti e/o sollecitazioni anche lievi dovuti all'effetto del vento e/o di vibrazioni artificiali provenienti dalle zone circostanti.

Le registrazioni hanno avuto tutte durata di 30 minuti, per garantire la rilevazione di un numero significativo di sorgenti ed ottenere una misura affidabile e rappresentativa.

2.2. METODOLOGIA INTERPRETATIVA

Il file registrato è composto da tre tracce di cui la prima viene attribuita al sensore della componente verticale (Z), mentre la seconda e la terza rispettivamente alla componente orizzontale orientata ad Est (X) e a quella orientata a Nord (Y).

A partire dalle suddette tracce sismiche si procede con l'individuazione di un numero sufficiente di finestre temporali che risultino quanto più rappresentative dell'analisi HVSR.

I criteri principali per la selezione di tali finestre sono due:

- ✓ *la durata, che deve essere tale da garantire che in ognuna di esse siano presenti almeno dieci periodi della frequenza di picco f_0 (primo criterio di affidabilità secondo SESAME);*
- ✓ *l'assenza al loro interno di eventi transitori (condizioni del suolo, vento, pioggia, macchine, etc.), dovuti a sorgenti locali.*

Unitamente agli spettri delle singole componenti va osservata la curva H/V per discernere agevolmente i picchi di natura stratigrafica da quelli generati da fonti di disturbo di natura antropica. In condizioni normali le 3 componenti spettrali hanno ampiezze simili, mentre alla frequenza di risonanza si genera un picco H/V legato ad un minimo locale della componente spettrale verticale che determina una forma ad “occhio”; le componenti orizzontali devono viaggiare quasi sempre parallelamente, mentre quella verticale si distacca da queste ultime solo in corrispondenza dei picchi.

Il risultato dell’interpretazione e dell’elaborazione della registrazione è un valore di frequenza f_0 di picco associata a dei criteri di affidabilità; più precisamente il progetto SESAME ha stabilito una serie di criteri per la valutazione della significatività dei picchi H/V: si tratta di criteri di tipo statistico che hanno lo scopo di segnalare situazioni poco chiare per le quali sono necessarie ulteriori indagini.

CRITERI DI AFFIDABILITÀ DI SESAME

Criteria for a reliable H/V curve	
i)	$f_0 > 10 / l_w$ and
ii)	$n_c(f_0) > 200$ and
iii)	$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)	
i)	$\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$
ii)	$\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$
iii)	$A_0 > 2$
iv)	$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$
v)	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
vi)	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

- l_w = window length
- n_w = number of windows selected for the average H/V curve
- $n_c = l_w \cdot n_w$, f_0 = number of significant cycles
- f = current frequency
- f_{sensor} = sensor cut-off frequency
- f_0 = H/V peak frequency
- σ_f = standard deviation of H/V peak frequency ($f_0 \pm \sigma_f$)
- $\varepsilon(f_0)$ = 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 the $\log A_{H/V}(f)$ curve, $\sigma_{\log H/V}(f)$ is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean $\log A_{H/V}(f)$ curve
- $\theta(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$
- $V_{s,av}$ = average S-wave velocity of the total deposits
- $V_{s,surf}$ = S-wave velocity of the surface layer
- h = depth to bedrock
- h_{\min} = lower-bound estimate of h

Threshold Values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.20 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ 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

2.3. HVSR - ESAME DEI RISULTATI

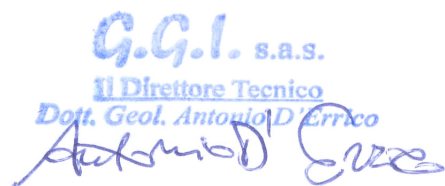
Dall'elaborazione dei dati (con il software *winMasw C 3 v.6.0*) sono stati ricavati i seguenti valori di frequenza fondamentale (f_0) che indicano il contrasto di impedenza tra i terreni di copertura ed il bedrock sismico.

PROVA	LOCALITÀ	FREQUENZA DI PICCO (HZ)
HV-1	Via Cornato	14,3
HV-2	Corso I Ottobre	1,5
HV-3	Zona Interporto	9,4
HV-4	Via Napoli	18,3
HV-5	Via Sant'Antuono	1,5
HV-6	Via Sauda Vicinale Vairano	2,6

In **Appendice 1** si restituisce il rapporto tecnico generato dalle elaborazioni delle prove, nel quale sono riportate le tracce e lo spettro di frequenza delle tre componenti ed infine il grafico della curva H/V.

Il tecnico prospettore

Dott.Geol. Antonio D'Errico


G.G.I. s.a.s.
Il Direttore Tecnico
Dott. Geol. Antonio D'Errico

Il collaboratore

Dott.ssa Geol. Flavia Bova


ORDINE DEI GEOLOGI
- della Regione Campania -
A.P. 2614
Dr. Geol.
BOVA
FLAVIA

APPENDICE 1

ELABORATI HVSR

HV - 1

Horizontal to Vertical Spectral Ratio from passive seismics

Date: 17 12 2018

Time: 17:00

Dataset: MADD-1.saf

Sampling frequency (Hz): 250

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 25.2

Tapering (%): 10

=====

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 14.3 (± 0.4)

Peak HVSR value: 6.3 (± 0.7)

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

#1. [$f_0 > 10/Lw$]: $14.3 > 0.5$ (OK)

#2. [$nc > 200$]: $42571 > 200$ (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

=== **Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)** =====

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: yes, at frequency 12.2Hz (OK)

#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 16.2Hz (OK)

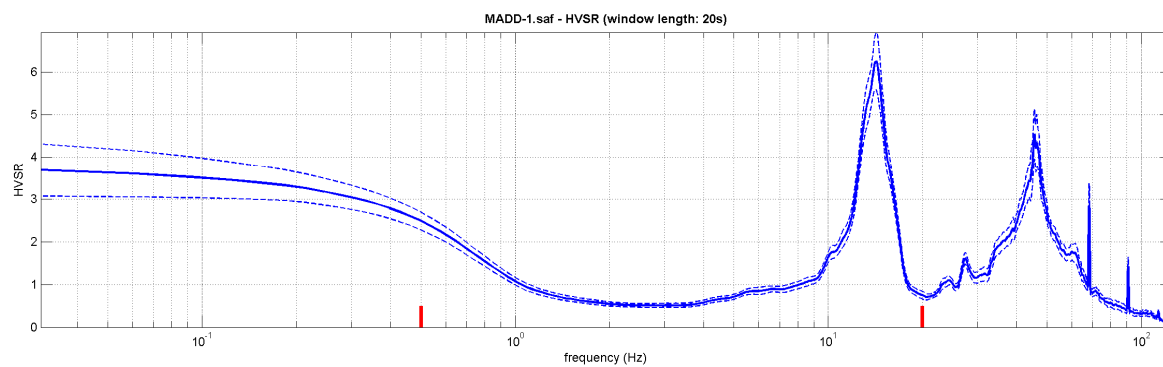
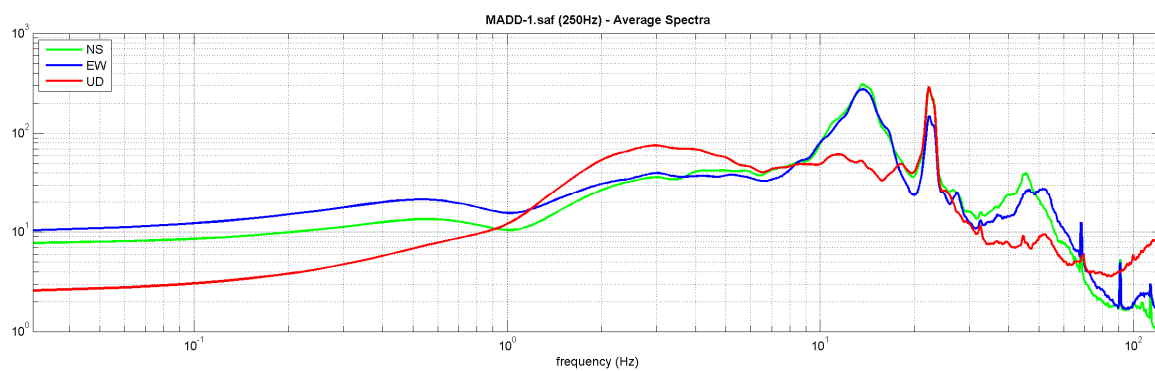
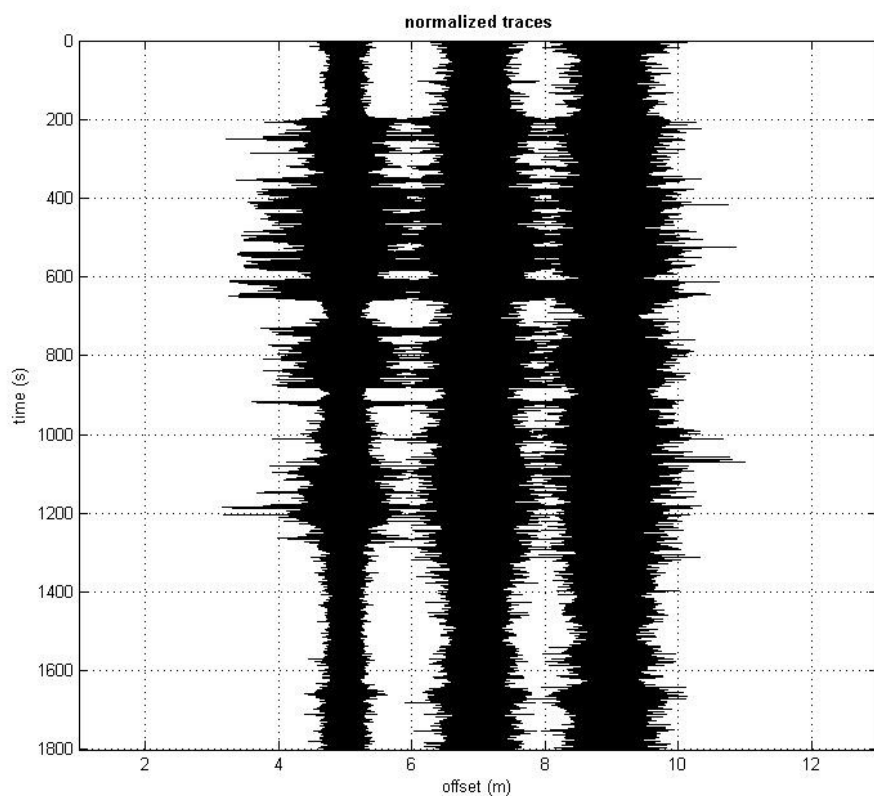
#3. [$A_0 > 2$]: $6.3 > 2$ (OK)

#4. [$f_{\text{peak}}[A_{h/v}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)

#5. [$\sigma_A < \epsilon(f_0)$]: $0.447 < 0.714$ (OK)

#6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.682 < 1.58$ (OK)





HV - 2

Horizontal to Vertical Spectral Ratio from passive seismics

Date: 23 12 2018

Time: 9:15

Dataset: MADD-2.saf

Sampling frequency (Hz): 250

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 27.2

Tapering (%): 10

=====

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 1.5 (± 1.7)

Peak HVSR value: 5.3 (± 0.6)

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

#1. [$f_0 > 10/Lw$]: $1.5 > 0.5$ (OK)

#2. [$nc > 200$]: $4689 > 200$ (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

==== **Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)** =====

#1. [exists f_- in the range [$f_0/4, f_0$] | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: yes, at frequency 0.8Hz (OK)

#2. [exists f_+ in the range [$f_0, 4f_0$] | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 2.4Hz (OK)

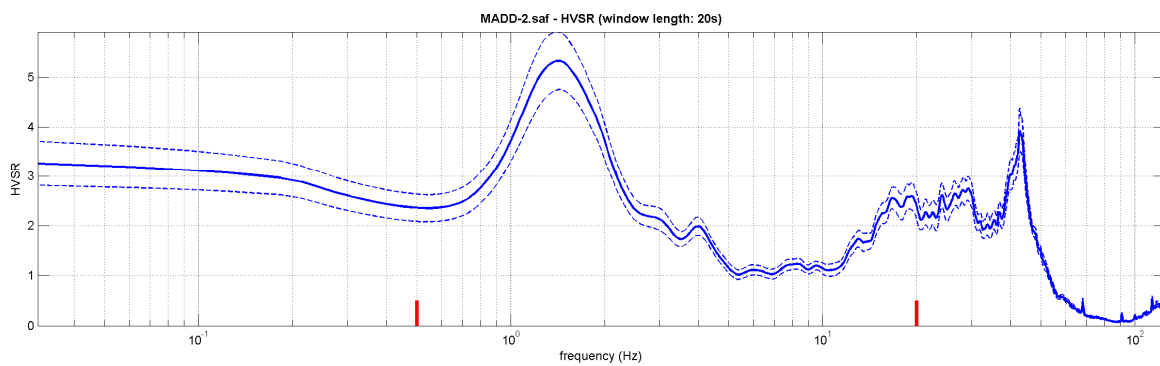
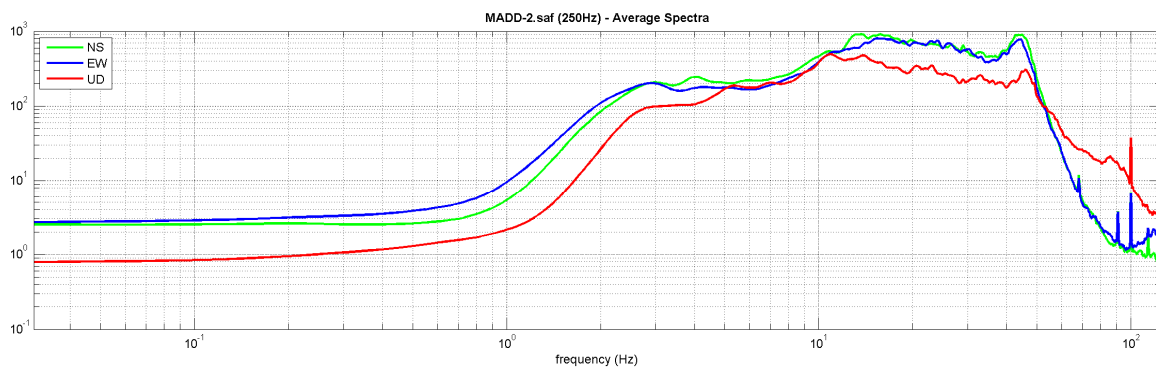
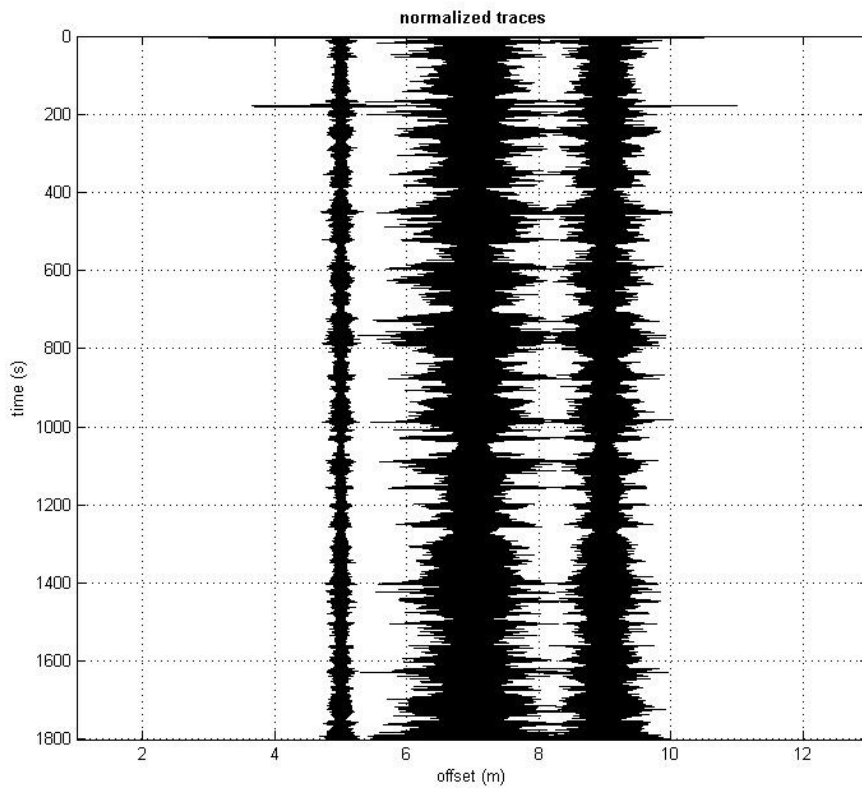
#3. [$A_0 > 2$]: $5.3 > 2$ (OK)

#4. [$f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)

#5. [$\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$]: $1.723 > 0.147$ (NO)

#6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.574 < 1.78$ (OK)





HV - 3

Horizontal to Vertical Spectral Ratio from passive seismics

Date: 22 12 2018

Time: 11:26

Dataset: MADD-3.saf

Sampling frequency (Hz): 250

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 25.9

Tapering (%): 10

=====

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 9.4 (± 0.6)

Peak HVSR value: 3.2 (± 0.5)

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

#1. [$f_0 > 10/L_w$]: 9.4 > 0.5 (OK)

#2. [$n_c > 200$]: 28957 > 200 (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

=== **Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)** =====

#1. [exists f_- in the range [$f_0/4, f_0$] | $A_{H/V}(f_-) < A_0/2$]: yes, at frequency 7.9Hz (OK)

#2. [exists f_+ in the range [$f_0, 4f_0$] | $A_{H/V}(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 11.6Hz (OK)

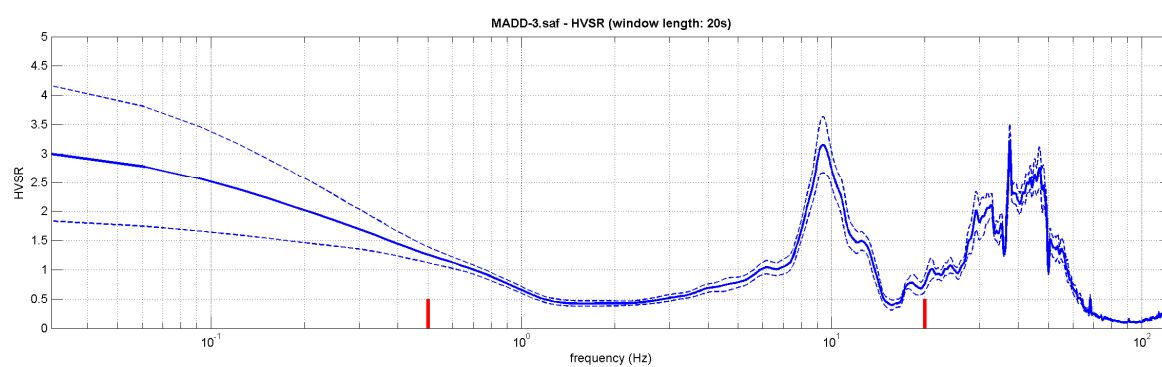
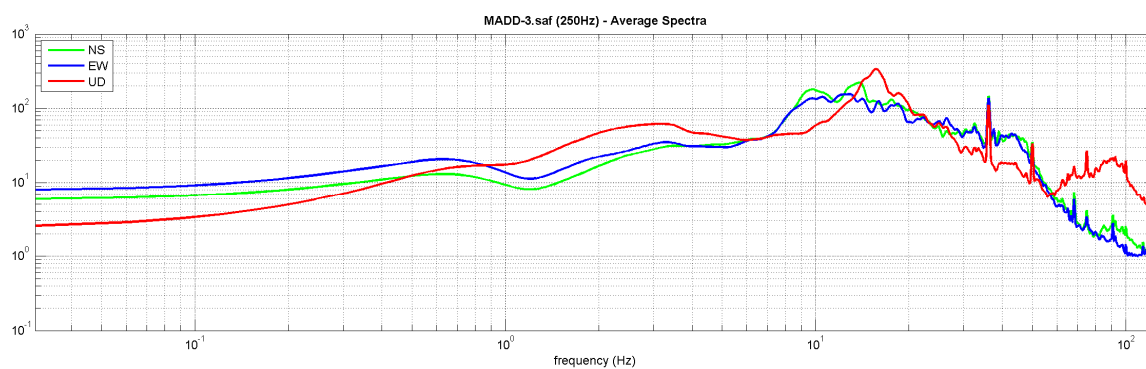
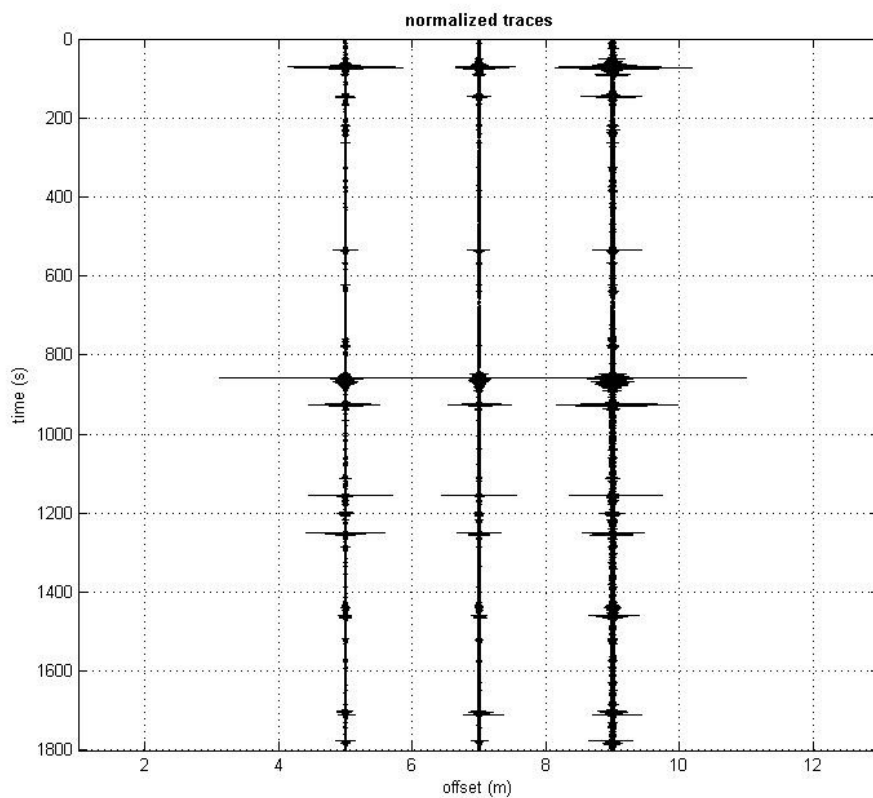
#3. [$A_0 > 2$]: 3.2 > 2 (OK)

#4. [$f_{\text{peak}}[A_{h/v}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)

#5. [$\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$]: 0.574 > 0.470 (NO)

#6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: 0.483 < 1.58 (OK)





HV - 4

Horizontal to Vertical Spectral Ratio from passive seismics

Date: 22 12 2018

Time: 10:36

Dataset: MADD-4.saf

Sampling frequency (Hz): 250

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 27.3

Tapering (%): 10

=====

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 18.3 (± 1.0)

Peak HVSR value: 3.5 (± 0.3)

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

#1. [$f_0 > 10/Lw$]: 18.3 > 0.5 (OK)

#2. [$nc > 200$]: 59143 > 200 (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

=== **Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)** =====

#1. [exists f_- in the range [$f_0/4, f_0$] | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: yes, at frequency 13.0Hz (OK)

#2. [exists f_+ in the range [$f_0, 4f_0$] | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: (NO)

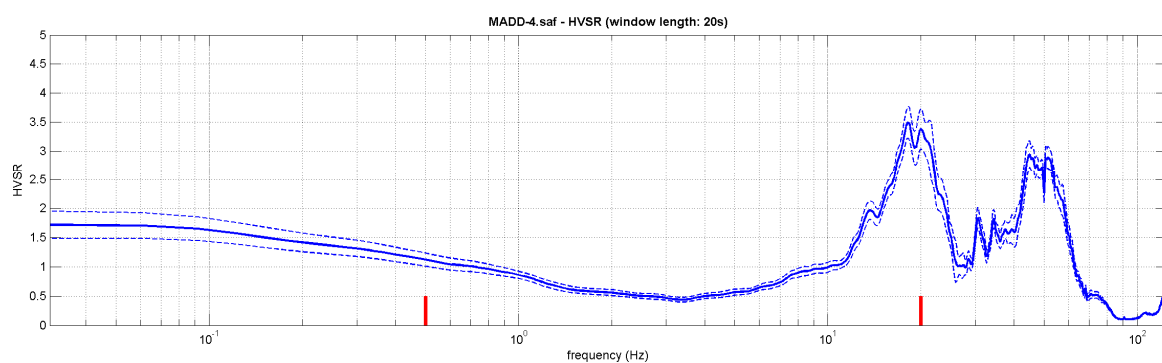
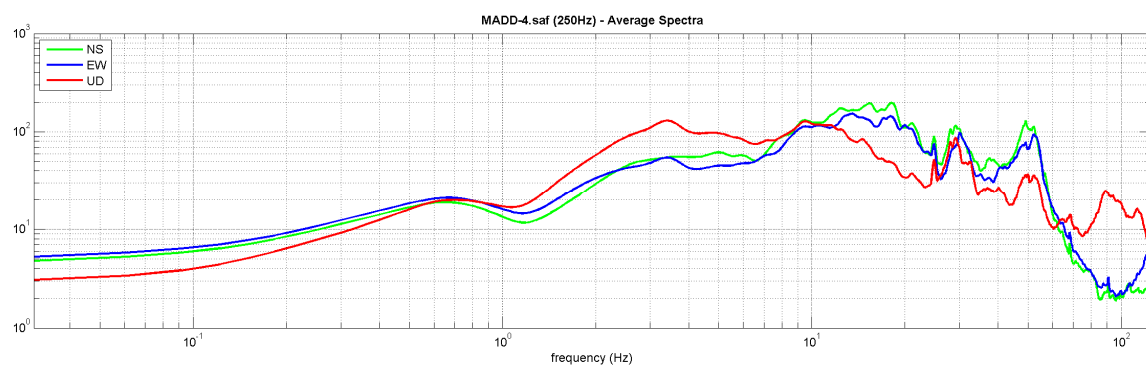
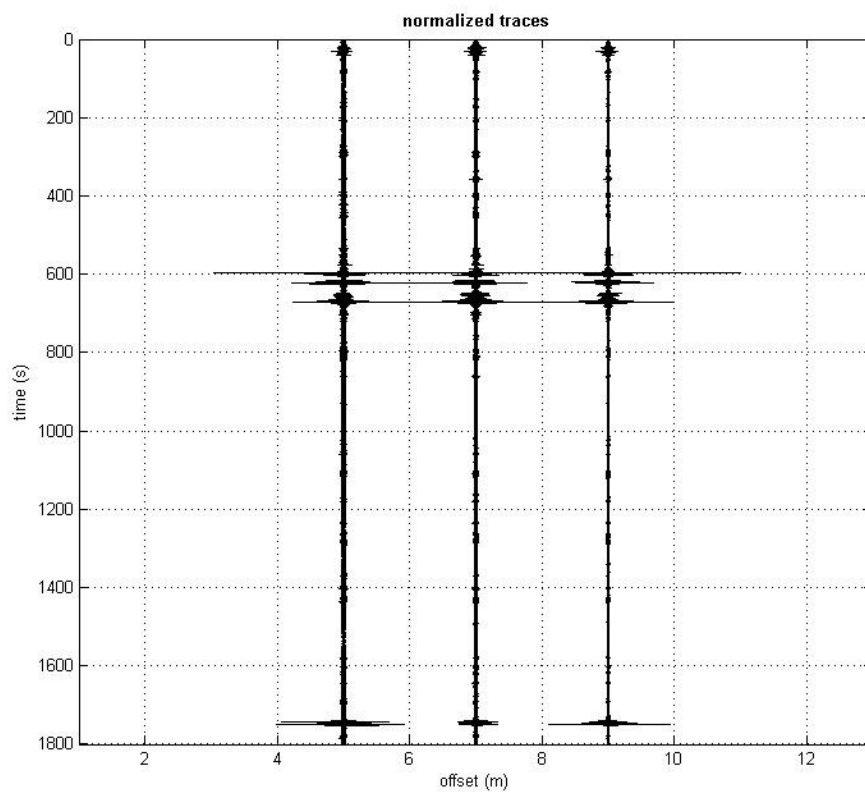
#3. [$A_0 > 2$]: 3.5 > 2 (OK)

#4. [$f_{\text{peak}}[A_h/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)

#5. [$\sigma_A < \epsilon(f_0)$]: 0.979 > 0.913 (NO)

#6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: 0.277 < 1.58 (OK)





HV - 5

Horizontal to Vertical Spectral Ratio from passive seismics

Date: 23 12 2018

Time: 8:30

Dataset: MADD-5.saf

Sampling frequency (Hz): 250

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 26.9

Tapering (%): 10

=====

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 1.5 (± 0.9)

Peak HVSR value: 3.6 (± 0.4)

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

#1. [$f_0 > 10/L_w$]: $1.5 > 0.5$ (OK)

#2. [$n_c > 200$]: $4884 > 200$ (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) ==

#1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0/2$]: yes, at frequency 0.7Hz (OK)

#2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 3.4Hz (OK)

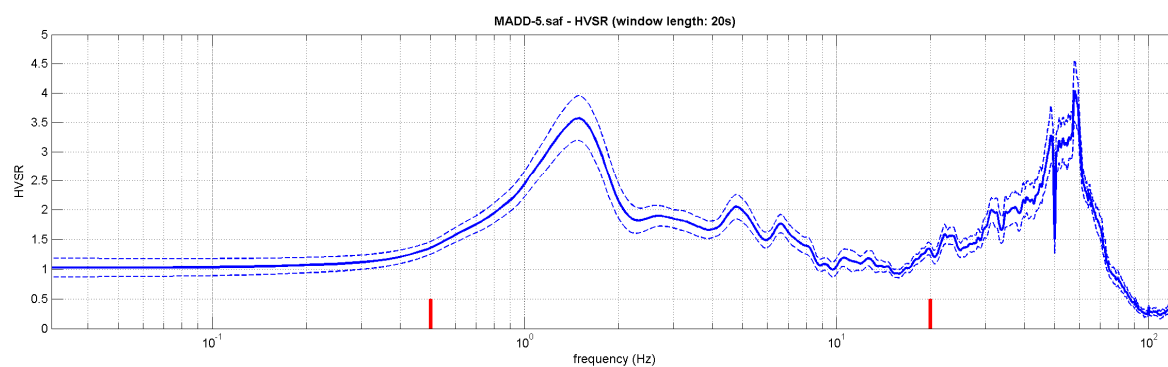
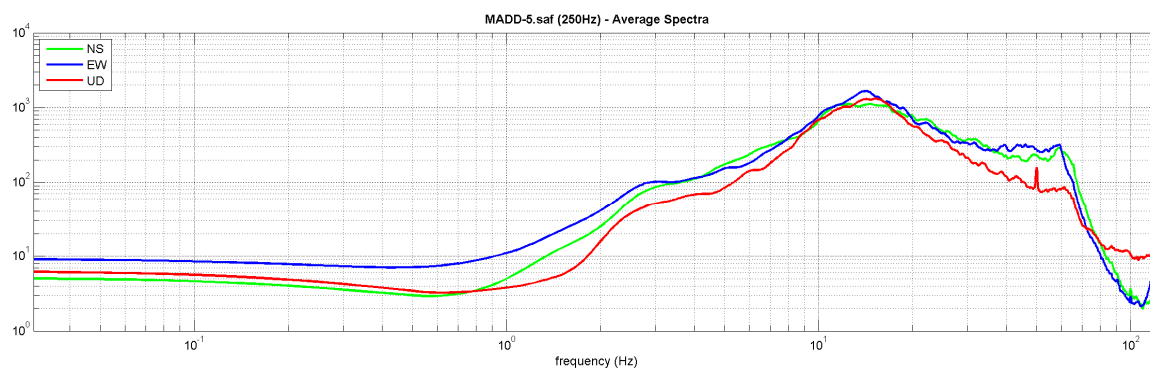
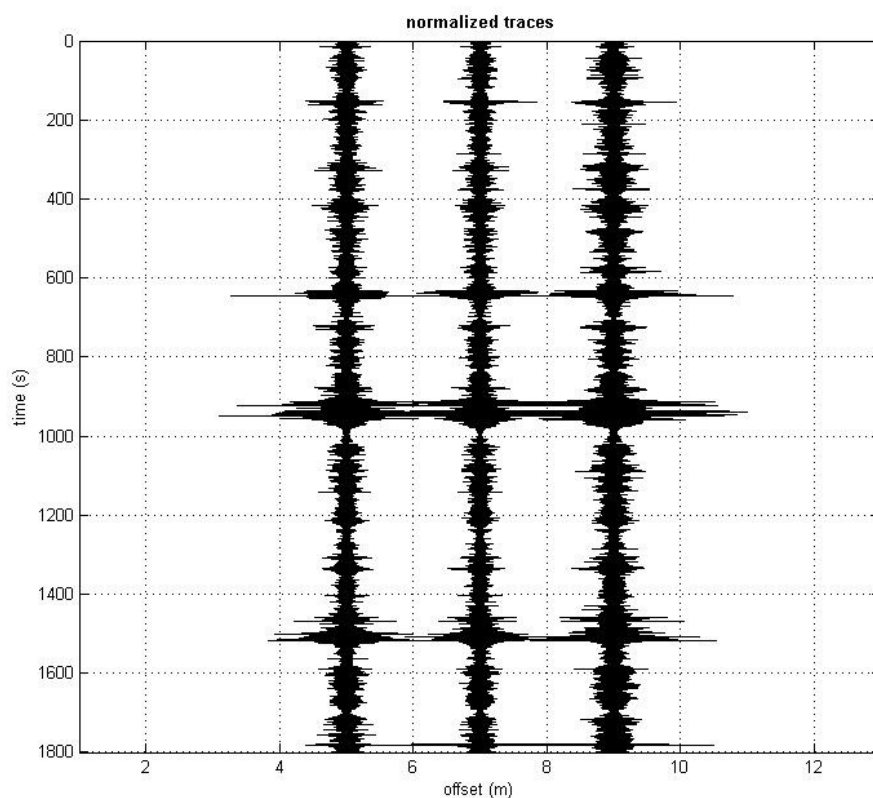
#3. [$A_0 > 2$]: $3.6 > 2$ (OK)

#4. [$f_{\text{peak}}[A_{h/v}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)

#5. [$\sigma_A(f) < \epsilon(f_0)$]: $0.926 > 0.153$ (NO)

#6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.382 < 1.78$ (OK)





HV - 6

Horizontal to Vertical Spectral Ratio from passive seismics

Date: 22 12 2018

Time: 12:20

Dataset: MADD-6CLEAN.SAF

Sampling frequency (Hz): 250

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 29.2

Tapering (%): 10

=====

In the following the results considering the data in the 1.0-12.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 2.6 (± 3.5)

Peak HVSR value: 1.7 (± 0.2)

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

#1. [$f_0 > 10/L_w$]: $2.6 > 0.5$ (OK)

#2. [$n_c > 200$]: $8923 > 200$ (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

==== **Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)** =====

#1. [exists f_- in the range [$f_0/4, f_0$] | $A_{H/V}(f_-) < A_0/2$]: (NO)

#2. [exists f_+ in the range [$f_0, 4f_0$] | $A_{H/V}(f_+) < A_0/2$]: (NO)

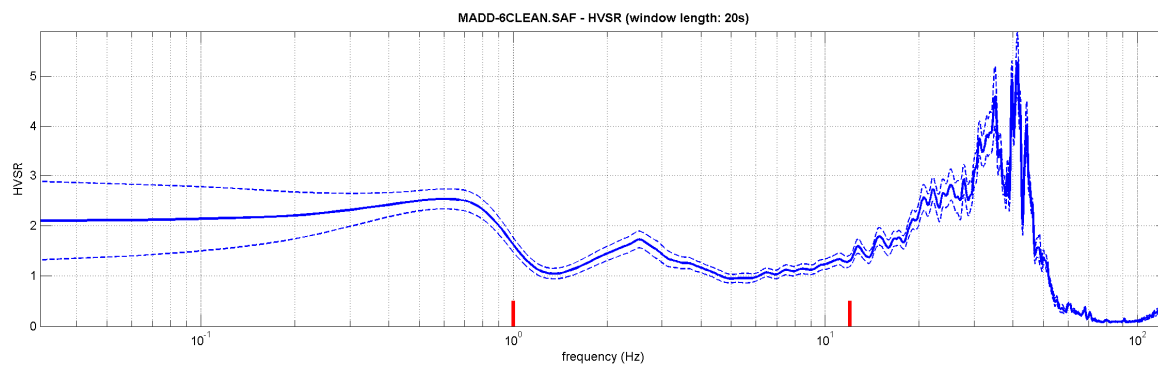
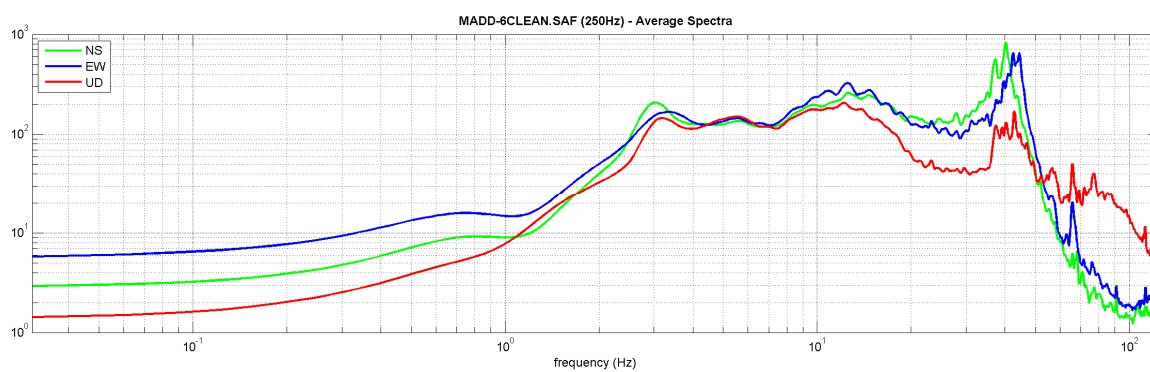
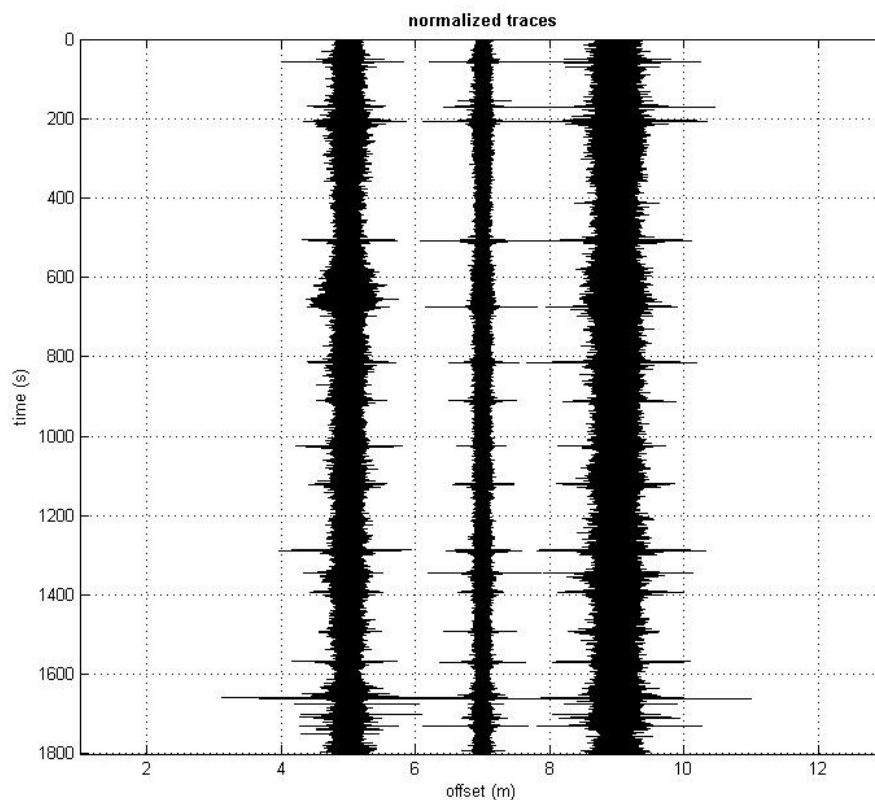
#3. [$A_0 > 2$]: $1.7 < 2$ (NO)

#4. [$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)

#5. [$\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$]: $3.503 > 0.128$ (NO)

#6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.166 < 1.58$ (OK)





Determinazione dei fattori di amplificazione FA - FV

Dall'elaborazione dei dati sono stati ricavati i seguenti valori di frequenza fondamentale (f_0) che indicano il contrasto di impedenza tra i terreni di copertura ed il bedrock sismico.

PROVA	LOCALITÀ	FREQUENZA DI PICCO (HZ)
HV-1	Via Cornato	14,3
HV-2	Corso I Ottobre	1,5
HV-3	Zona Interporto	9,4
HV-4	Via Napoli	18,3
HV-5	Via Sant'Antuono	1,5
HV-6	Via Sauda Vicinale Vairano	2,6

Dall'analisi dei valori di frequenza individuati si possono distinguere i seguenti range:

- Aree con valori di frequenza < 1 Hz : indicano una presunta profondità del bedrock sismico ad oltre 100 metri dal piano di campagna;
- Aree con valori di frequenza compresi tra 1 e 2 Hz : indicano che i materiali di copertura sopra il bedrock sismico hanno uno spessore variabile tra 50 e 100 metri;
- Aree con valori di frequenza compresi tra 7 e 13 Hz : indicano che la profondità del bedrock è individuata tra 20 e 10 metri dal piano campagna;
- Aree con valori di frequenza > 19 Hz : indicano un substrato sub-affiorante.

Tuttavia, i risultati di tutte le indagini geomeccaniche eseguite, sia quelle pregresse che quelle a corredo del presente lavoro, hanno consentito la ricostruzione delle successioni stratigrafiche tipiche per le diverse località indagate. Pertanto, laddove le profondità del bedrock sismico non siano compatibili con la colonna stratigrafica per il sito specifico, in particolare per le aree dove il contrasto d'impedenza non è riferibile al bedrock sismico, bensì alla presenza del banco di tufo litoide subaffiorante, si è proceduto nel modo seguente: al fine di determinare una profondità H alla quale $V_s = 800$ m/s, si è

ipotizzato che le proprietà dei terreni siano gradualmente crescenti con la profondità (grazie al proprio peso litostatico); riferendosi, dunque, alle indagini MASW/DownHole si è costruita una retta interpolando gli ultimi valori delle velocità registrate nella formazione delle piroclastiti addensate e dall'intersezione di quest'ultima con la proiezione del valore $V_s = 800$ m/s si può determinare approssimativamente la profondità del bedrock.

Successivamente sulla base del modello geologico, stratigrafico e geofisico del sito è stata individuata come litologia prevalente quella delle Sabbie, corrispondente al maggior spessore cumulato lungo tutta la verticale delle indagini.

Scelta la litologia prevalente e visto l'andamento delle velocità delle onde sismiche con la profondità, in riferimento agli abachi proposti nelle "Linee guida della Protezione Civile Nazionale", si è scelto di utilizzare i valori riportati per un profilo delle velocità "lineare con pendenza intermedia". Inoltre per la determinazione del V_{SH} , laddove non si hanno risultati di indagini sismiche, ci si riferisce alla seguente tabella proposta dalle suddette Linee guida.

Tabella 3.2.2 - Valori di V_{s30} (velocità equivalente nei primi 30 m) alle diverse profondità (H) corrispondenti alle diverse V_{SH} (velocità equivalenti su tutto lo spessore del deposito) per il profilo con pendenza intermedia.

	V_{SH} (m/s)									
	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
H										
35	143.8	191.0	238.0	285.9	335.2	385.1	435.6	486.3	589.3	693.9
40	139.2	184.1	228.8	275.3	324.1	374.0	424.8	476.1	581.4	689.4
50	131.6	172.7	213.7	257.9	306.0	355.7	407.1	459.5	568.5	682.1
60	126.7	165.4	204.0	246.7	294.3	344.1	395.7	448.9	560.3	677.5
70	122.7	159.4	196.0	237.5	284.8	334.6	386.5	440.3	553.8	673.8
80	120.6	156.4	191.9	232.8	280.0	329.7	381.8	436.0	550.5	671.9
90	118.6	153.3	187.9	228.1	275.1	324.9	377.2	431.6	547.1	670.1
100	116.5	150.2	183.7	223.4	270.2	320.0	372.5	427.3	543.8	668.3
110	115.5	148.7	181.6	220.9	267.7	317.5	370.2	425.0	542.1	667.3
120	114.4	147.1	179.5	218.5	265.2	315.0	367.8	422.8	540.5	666.4
130	113.4	145.5	177.3	216.1	262.6	312.6	365.4	420.6	538.8	665.4
140	112.3	143.9	175.2	213.6	260.1	310.1	363.0	418.4	537.1	664.5
150	111.2	142.3	173.1	211.2	257.5	307.5	360.6	416.2	535.4	663.6

Infine, gli abachi per la determinazione dei fattori FA e FV proposti nelle Linee guida sono riferiti a tre litotipi (argille, sabbie e ghiaie) e a tre livelli energetici (0,06g, 0,18g e 0,26g); per determinare il valore di a_g più vicino ai tre

livelli è stato utilizzato il programma Spettri – NTCver 1.0.3 considerando un periodo di ritorno pari a 475 anni; come si evince dalla figura che segue il valore di a_g determinato è pari a 0,111 pertanto sono state prese in riferimento le tabelle con a_g pari a 0,18g.

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0.040	2.397	0.283
SLD	50	0.051	2.363	0.322
SLV	475	0.111	2.541	0.422
SLC	975	0.136	2.604	0.442

Fattore di amplificazione		Tipo di terreno		a_g (g)		Profilo di velocità					
FA		Sabbia		0.18g		Lineare pendenza intermedia					
		V_H (m/s)									
		150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
H	5	-	1.97	1.67	1.53	1.32	1.18	1.10	1.06	1.02	1.01
	10	-	2.24	2.13	1.85	1.59	1.40	1.28	1.19	1.08	1.03
	15	-	1.93	2.09	1.97	1.78	1.61	1.45	1.32	1.16	1.06
	20	-	1.64	1.88	1.92	1.80	1.65	1.52	1.40	1.21	1.08
	25	-	1.42	1.69	1.75	1.73	1.63	1.52	1.41	1.24	1.11
	30	-	-	1.48	1.64	1.60	1.58	1.49	1.40	1.24	1.11
	35	-	-	1.43	1.46	1.51	1.47	1.45	1.36	1.23	1.10
	40	-	-	1.37	1.41	1.38	1.38	1.35	1.32	1.20	1.09
	50	-	-	1.23	1.34	1.33	1.29	1.25	1.20	1.14	1.06
	60	-	-	1.10	1.23	1.27	1.25	1.20	1.16	1.09	1.02
	70	-	-	0.97	1.13	1.18	1.20	1.17	1.13	1.05	0.98
	80	-	-	0.89	1.04	1.11	1.14	1.14	1.11	1.03	0.97
	90	-	-	0.82	0.95	1.04	1.08	1.10	1.08	1.02	0.95
	100	-	-	0.76	0.91	0.98	1.02	1.04	1.06	1.00	0.94
	110	-	-	0.71	0.84	0.91	0.97	1.00	1.01	0.98	0.92
	120	-	-	0.67	0.80	0.89	0.92	0.96	0.98	0.96	0.91
130	-	-	0.62	0.76	0.85	0.90	0.92	0.95	0.94	0.90	
140	-	-	0.58	0.72	0.81	0.87	0.90	0.91	0.91	0.88	
150	-	-	0.54	0.69	0.76	0.84	0.87	0.89	0.89	0.86	

Fattore di amplificazione		Tipo di terreno		a_g (g)		Profilo di velocità					
FV		Sabbia		0.18g		Lineare pendenza intermedia					
	V_{SH} (m/s)										
		150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
H	5	-	1.11	1.06	1.03	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00
	10	-	1.80	1.31	1.14	1.09	1.06	1.04	1.03	1.01	1.00
	15	-	2.34	1.83	1.45	1.22	1.14	1.09	1.06	1.03	1.01
	20	-	2.55	2.18	1.76	1.46	1.27	1.17	1.12	1.05	1.02
	25	-	2.46	2.37	2.00	1.68	1.44	1.28	1.18	1.08	1.03
	30	-	-	2.39	2.11	1.79	1.57	1.39	1.26	1.11	1.05
	35	-	-	2.32	2.20	1.91	1.64	1.47	1.33	1.15	1.06
	40	-	-	2.29	2.17	1.97	1.74	1.53	1.37	1.18	1.08
	50	-	-	2.10	2.10	1.95	1.78	1.63	1.48	1.23	1.10
	60	-	-	2.05	1.99	1.89	1.77	1.62	1.49	1.27	1.11
	70	-	-	1.89	1.90	1.81	1.71	1.61	1.49	1.28	1.13
	80	-	-	1.75	1.82	1.73	1.63	1.55	1.47	1.28	1.13
	90	-	-	1.71	1.74	1.69	1.58	1.50	1.43	1.27	1.13
	100	-	-	1.69	1.62	1.64	1.55	1.46	1.39	1.25	1.12
	110	-	-	1.67	1.59	1.58	1.52	1.43	1.35	1.22	1.11
	120	-	-	1.63	1.58	1.49	1.48	1.41	1.32	1.20	1.07
130	-	-	1.60	1.57	1.46	1.42	1.38	1.31	1.17	1.06	
140	-	-	1.55	1.53	1.44	1.37	1.35	1.28	1.15	1.05	
150	-	-	1.45	1.50	1.45	1.35	1.31	1.26	1.13	1.04	

I valori di V_{Seq} scaturiti dalle indagini MASW/Down-Hole comparati con le profondità del bedrock sismico sono stati utilizzati per la determinazione del V_{SH} .

Le coppie dei valori H- V_{SH} , per i diversi punti di indagine, hanno quindi consentito di ricavare i fattori di amplificazione FA e FV, sintetizzati nella tabella seguente.

INDAGINI PUC 2018					
Indagine	V_{Seq}	Prof. bedrock sismico (m dal p.c.)	V_{SH}	FA	FV
HVSR-1	452	85	379	1,12	1,67
HVSR-2	380	75	305	1,08	1,86
HVSR-3	355	40	325	1,39	2,07
HVSR-4	477	50	430	1,27	1,71
HVSR-5	340	75	278	1,02	1,85
HVSR-6	390	50	350	1,33	1,95