

*Studio di Geologia Tecnica ed Ambientale*  
*Dott. Antonio CORRADINO*  
*Via De Marinis n° 2*  
*84050 Giungano (SA)*

## **COMUNE DI CICERALE**

**PROVINCIA DI SALERNO**

# **STUDIO GEOLOGICO PER IL PIANO URBANISTICO COMUNALE**

*"RAPPORTO SULLE INDAGINI GEOFISICHE A CORREDO DELLO STUDIO GEOLOGICO"*



## Generalità sulle tecniche di indagine utilizzate

Le indagini sismiche illustrate nel presente Allegato, tanto quelle puntuali (indagini HVSR), quanto quelle in array lineare (MASW) sono state eseguite personalmente dallo scrivente nel periodo compreso tra il 2013 ed il 2018 sul territorio comunale: le stesse sono state reinterpretate e rielaborate con i più recenti software di analisi, al fine di omogeneizzare gli output alla Normativa Vigente (NTC 2018).

La campagna di indagini, nello specifico, consiste in:

- n° 4 indagine sismica del tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves);
- n° 4 indagini di sismica passiva a stazione singola HVSR.

La modellazione dei dataset con software specifico ha consentito di determinare il profilo verticale delle velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio.

La classificazione dei terreni è stata svolta sulla base del valore della  $V_{seq}$  definita nelle NTC 2018 (di cui al D. 17/01/2018) dalla relazione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

eq. (3.2.1)

con

$h_i$  = spessore dello strato  $i$ -esimo

$V_{S,i}$  = velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato

$N$  = numero di strati

$H$  = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_S$  non inferiore a 800 m/sec

La Normativa Italiana prevede una classificazione del sito in funzione sia della velocità delle onde S nella copertura, che dello spessore della stessa. Vengono

identificate, in tal modo, 5 classi, ad ognuna delle quali è associato uno spettro di risposta elastico.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Lo strumento adoperato per l'array sismico è il **DOREMI**, prodotto dalla “Sara Electronic Instruments” di Perugia.

Lo strumento adoperato per l'indagine HVSR è il **Geobox** della Sara Electronic Instruments di Perugia, un digitalizzatore a 24 bit – 3 canali, ad altissima risoluzione, equipaggiato con ricevitore GPS; i sensori installati all'interno sono i Geospace GS11D 4.5 Hz, prodotti dalla Geospace Technology – USA.

E' costituito da un monoblocco in alluminio fresato, all'interno del quale trovano posto sia i sensori che l'elettronica di conversione e sincronizzazione.

I dati di rumore ambientale sono acquisiti alla frequenza di campionamento di 64 Hz, amplificati e digitalizzati a 24 bit.

Il processing dei dati ha restituito il valore medio dei rapporti spettrali tra le componenti verticali ed orizzontali del moto del suolo in funzione della frequenza consentendo di determinare le attuali frequenze fondamentali di vibrazione del terreno.

Si sono eseguite le seguenti operazioni:

1. Il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo di circa 20 minuti;
2. Sono stati rimossi manualmente i transienti;

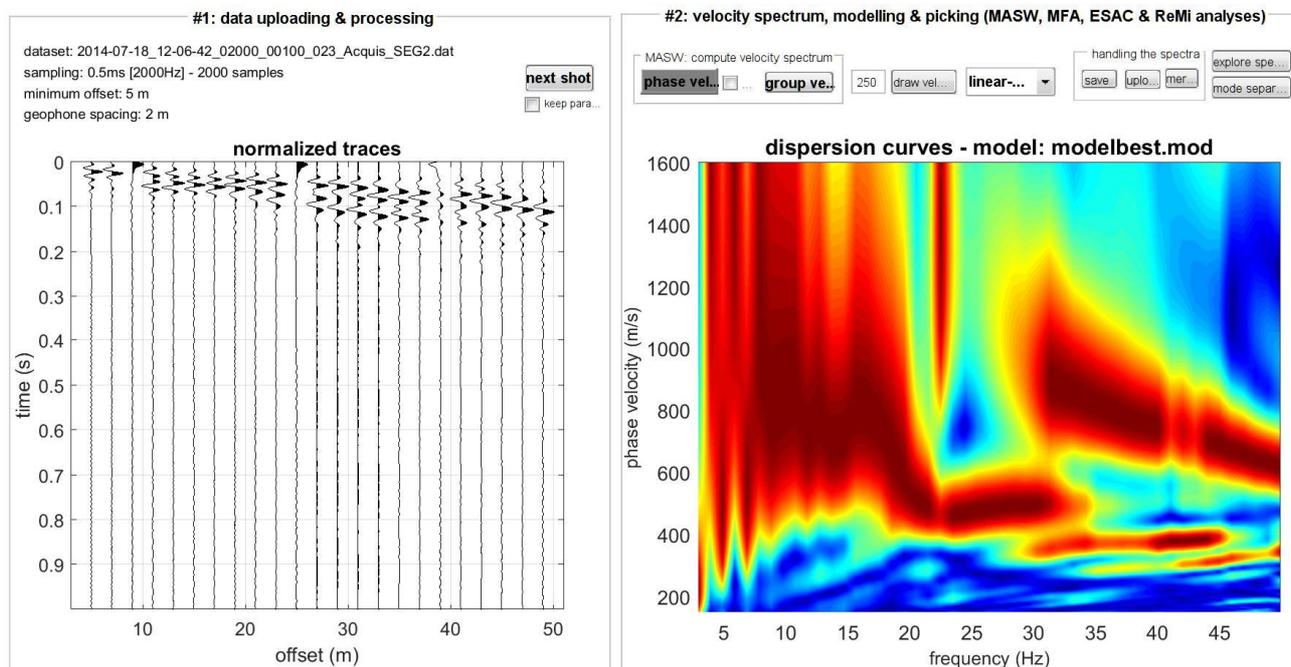
3. Le tracce risultante è stata suddivisa in finestre temporali della durata di 10sec.  
;
4. Per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale del segmento nelle sue tre componenti;
5. Per ciascun segmento si calcolano i rapporti spettrali fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale;
6. Vengono calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.

Per considerare la misura ottenuta come una stima dell'ellitticità delle onde di Rayleigh è necessario che:

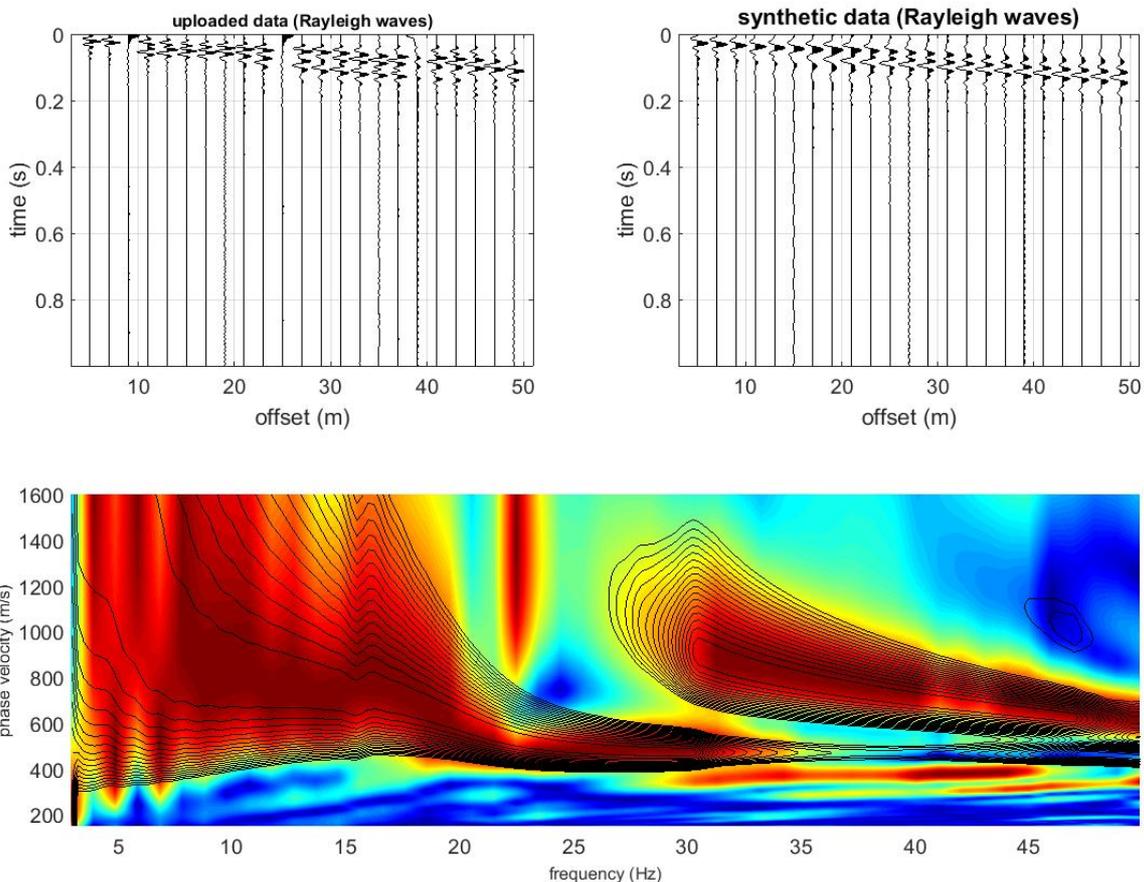
- I rapporti H/V ottenuti sperimentalmente siano “stabili” ovvero frutto di un campionamento statistico adeguato;
- Gli effetti di sorgente siano stati effettivamente mediati, ovvero non ci siano state sorgenti “dominanti”;
- La misura non contenga errori sistematici (ad esempio dovuti ad un cattivo accoppiamento dello strumento con il terreno).

Per le analisi di tutti i dati sismici acquisiti si è adottato il software **WinMASW 2018 Academy della Eliosoft**.

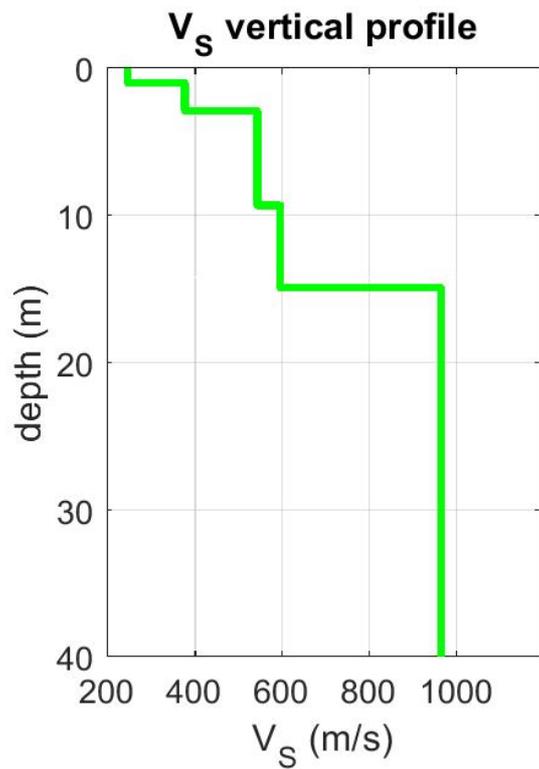
## INDAGINE MASW SS1 (40°20'43.24"N - 15° 7'36.84"E)



Sismogramma e spettro frequenza/velocità di fase della componente ZVF analizzata (componente verticale dell'onda di Rayleigh)



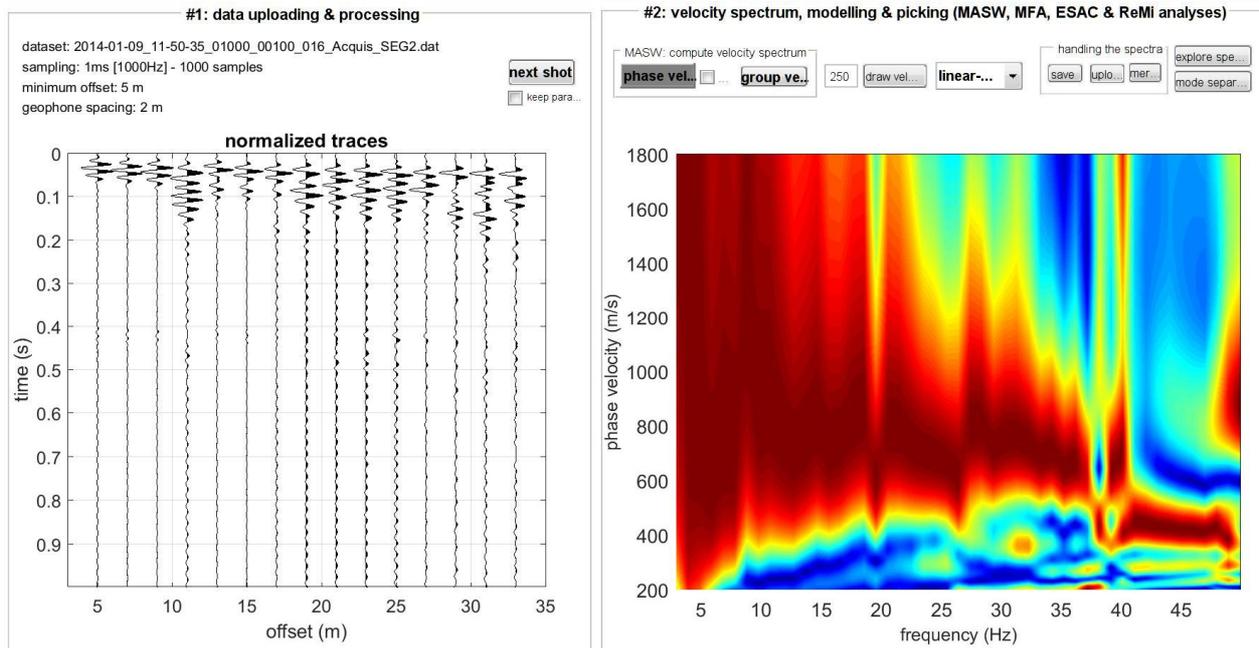
Overlay del modello sintetico elaborato, sul dato acquisito



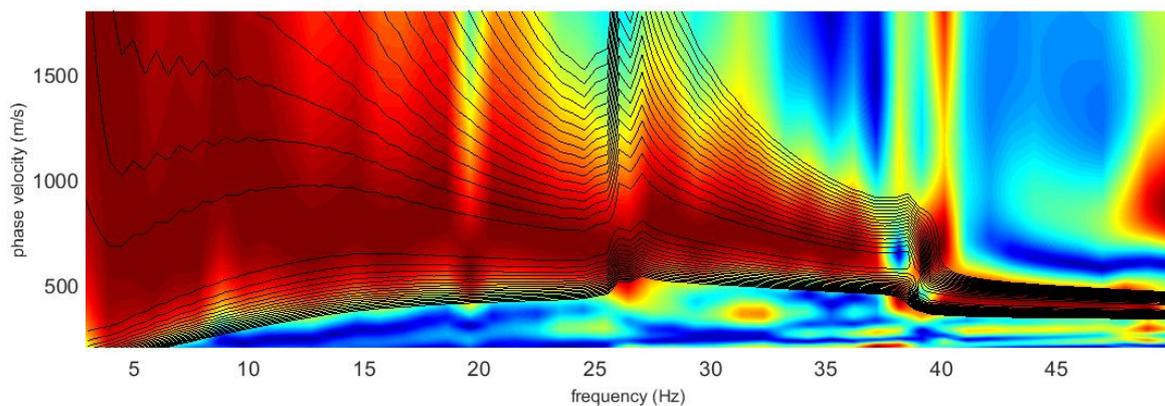
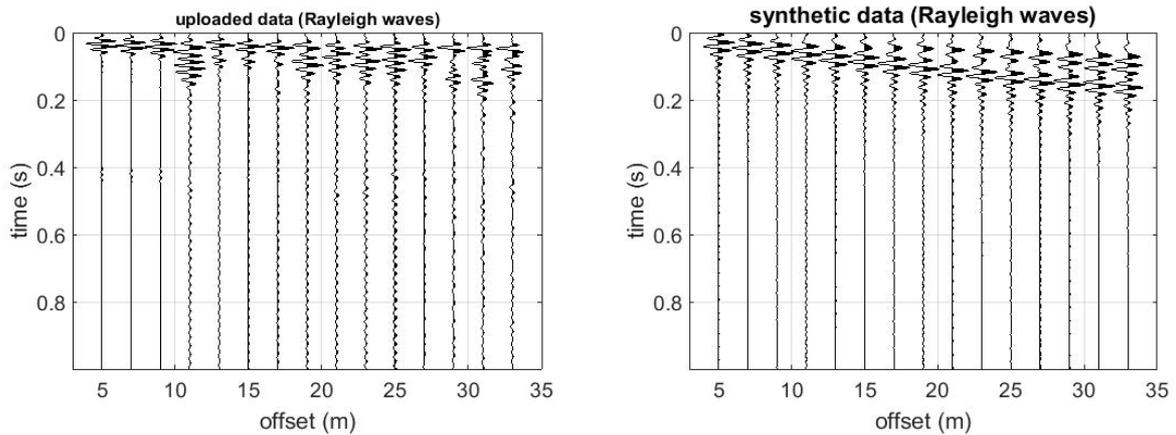
Profilo verticale di VS

Tabella riepilogativa con stima dei principali moduli elastici dinamici MASW1			
<b>Vs model (Vs30 &amp; VsE: 655 494 m/s)</b>			
layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	248	1	1
2	379	1.9000	2.9000
3	545	6.4000	9.3000
4	598	5.6000	14.9000
5	967	0	0
<b>V<sub>SEq</sub> = 494 m/sec (al piano campagna)</b>			
<b>Categoria Suolo di Fondazione: <b>B</b></b>			

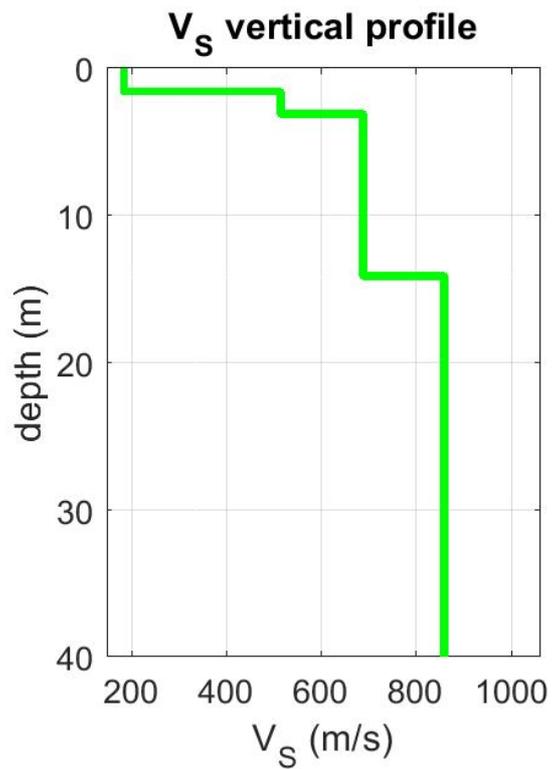
## INDAGINE MASW SS2 (40°20'11.87"N- 15° 8'12.84"E)



Sismogramma e spettro frequenza/velocità di fase della componente ZVF analizzata (componente verticale dell'onda di Rayleigh)



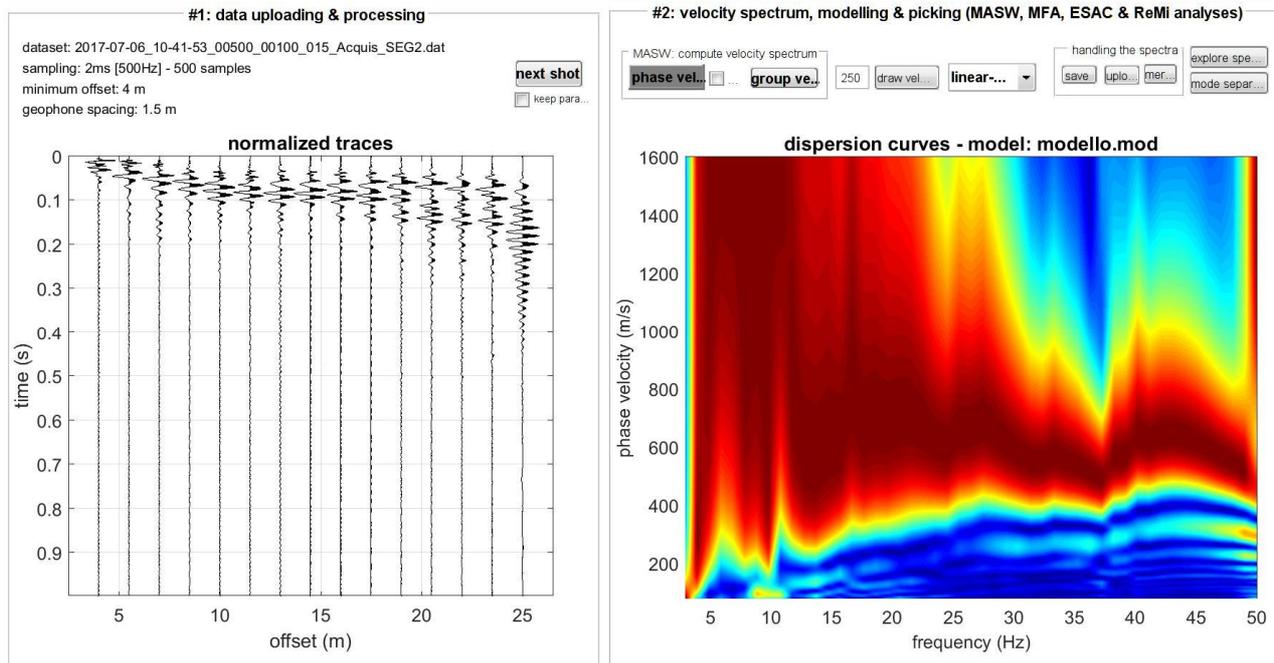
Overlay del modello sintetico elaborato, sul dato acquisito



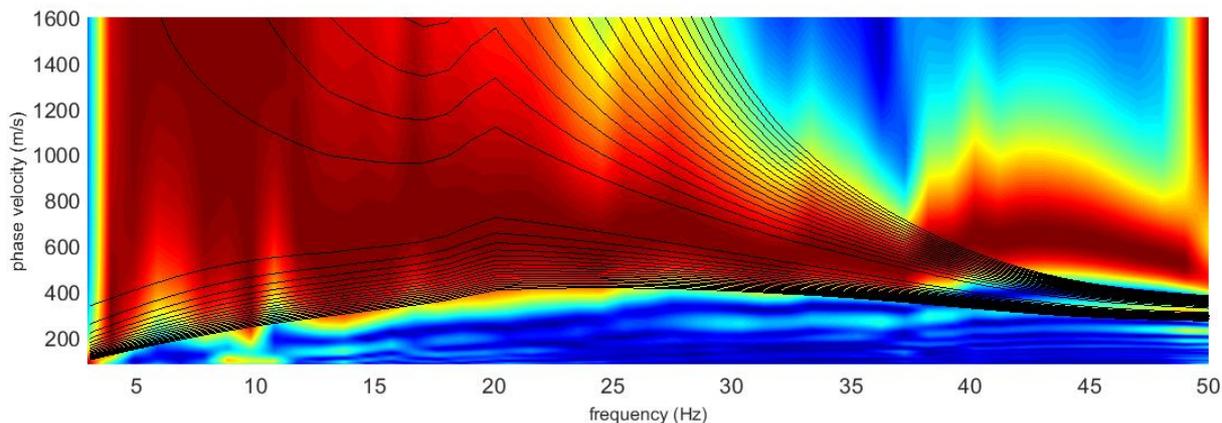
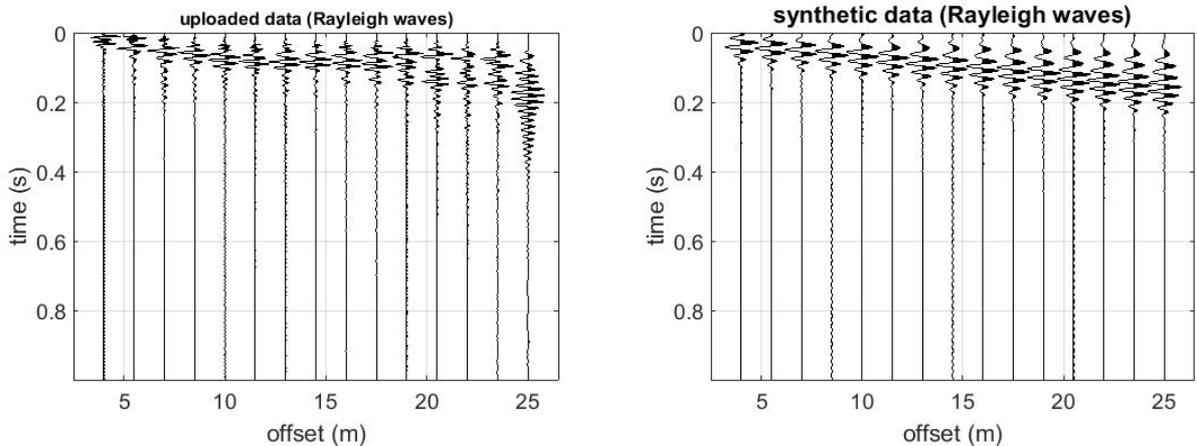
Profilo verticale di VS

Tabella riepilogativa con stima dei principali moduli elastici dinamici MASW2			
<b>Vs model (Vs30 &amp; VsE: 651 511 m/s)</b>			
layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	184	1.6000	1.6000
2	515	1.5000	3.1000
3	689	11	14.1000
4	860	0	0
<b>V<sub>SEq</sub> = 511 m/sec (al piano campagna)</b> <b>Categoria Suolo di Fondazione: B</b>			

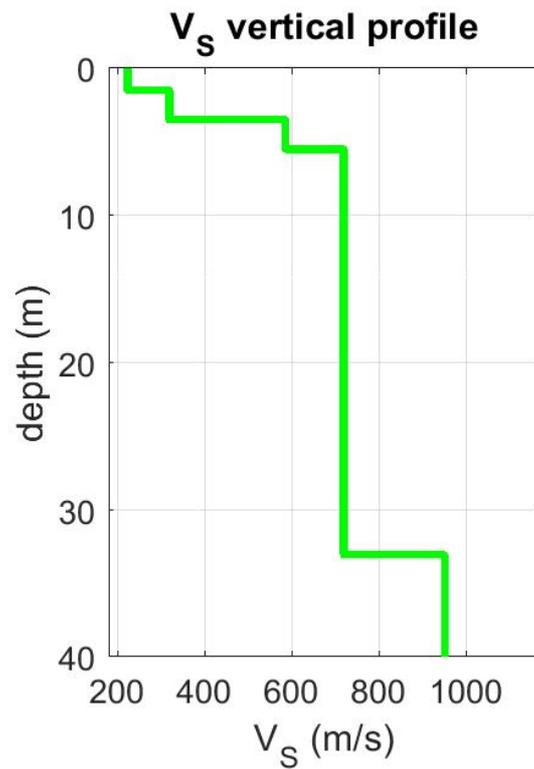
## INDAGINE MASW SS3 (40°20'19.12"N - 15° 7'56.26"E)



Sismogramma e spettro frequenza/velocità di fase della componente ZVF analizzata (componente verticale dell'onda di Rayleigh)



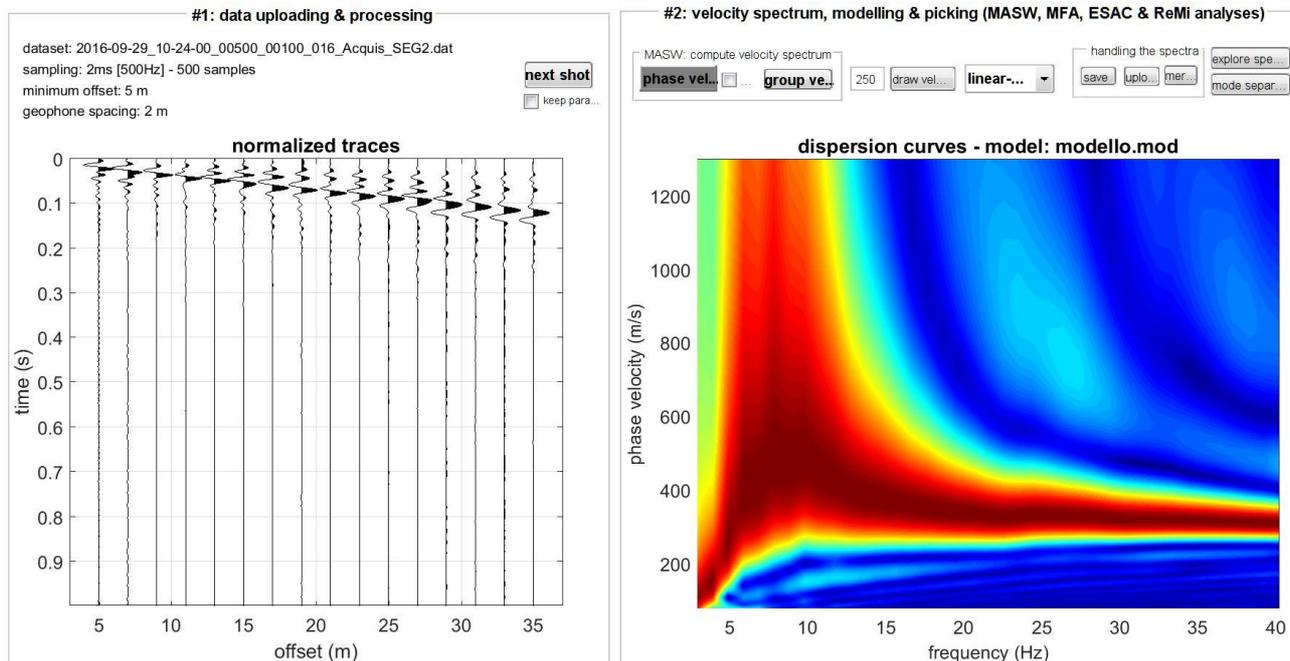
Overlay del modello sintetico elaborato, sul dato acquisito



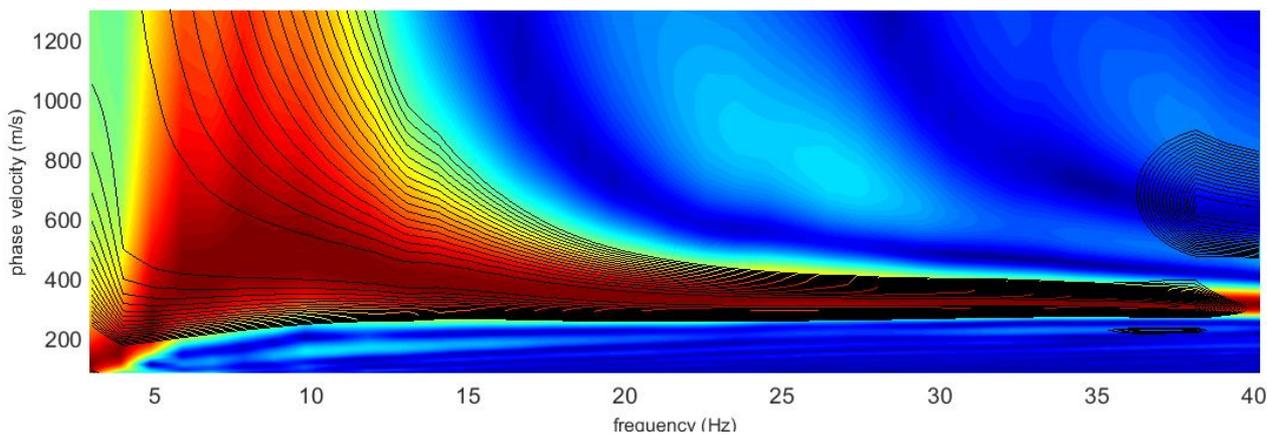
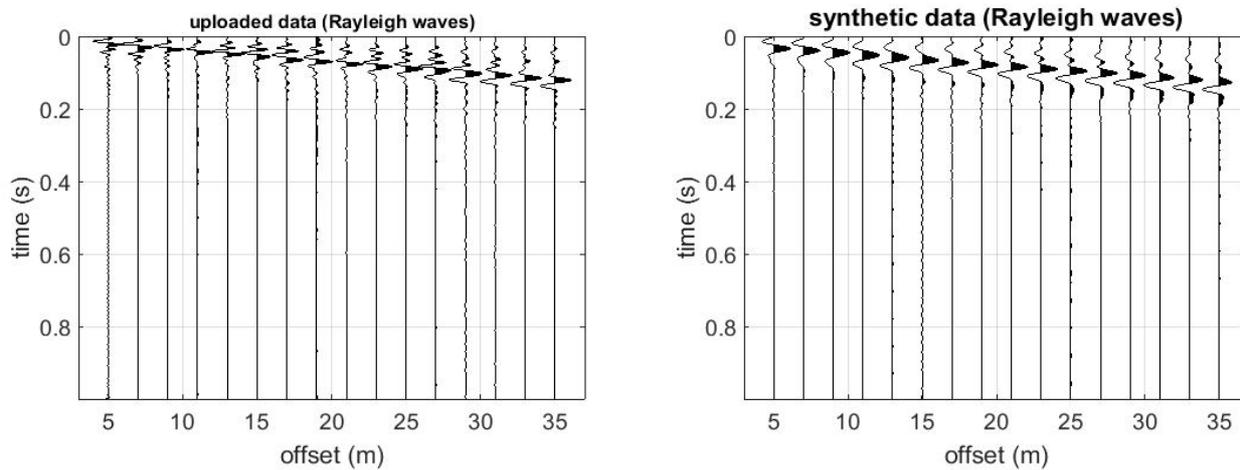
Profilo verticale di VS

Tabella riepilogativa con stima dei principali moduli elastici dinamici MASW3			
<b>Vs model (Vs30 &amp; VsE: 594 594 m/s)</b>			
layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	223	1.5000	1.5000
2	319	2	3.5000
3	585	2	5.5000
4	719	27.5000	33
5	950	0	0
<b>V<sub>SEq</sub> = 594 m/sec (al piano campagna)</b>			
<b>Categoria Suolo di Fondazione: <b>B</b></b>			

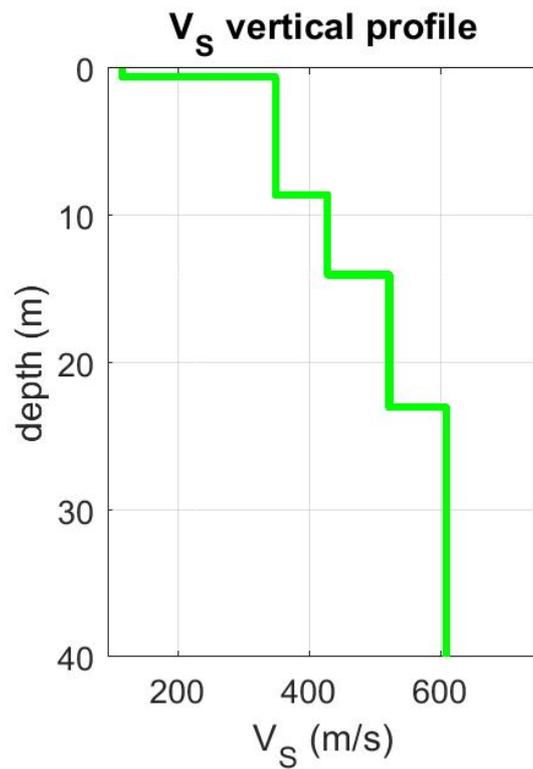
## INDAGINE MASW SS4 (40°22'47.14"N - 15° 4'14.87"E)



Sismogramma e spettro frequenza/velocità di fase della componente ZVF analizzata (componente verticale dell'onda di Rayleigh)



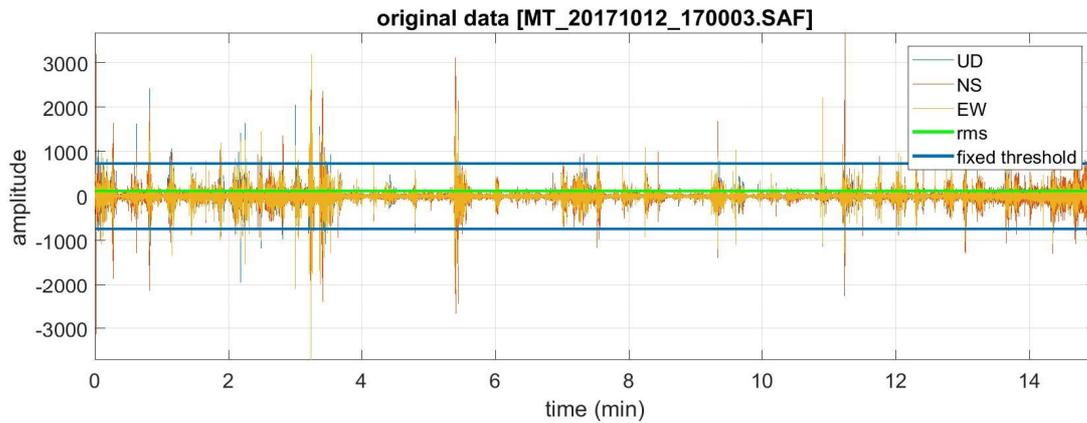
Overlay del modello sintetico elaborato, sul dato acquisito



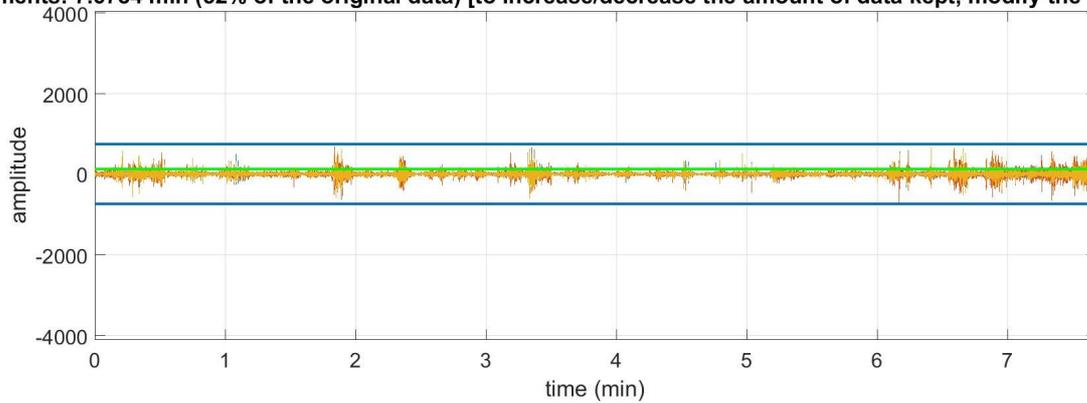
Profilo verticale di VS

Tabella riepilogativa con stima dei principali moduli elastici dinamici MASW4			
<b>Vs model (Vs30 &amp; VsE: 432 432 m/s)</b>			
layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	115	0.6000	0.6000
2	349	8	8.6000
3	429	5.4000	14
4	523	9	23
5	610	0	0
<b>V<sub>SEq</sub> = 432 m/sec (al piano campagna)</b>			
<b>Categoria Suolo di Fondazione: <b>B</b></b>			

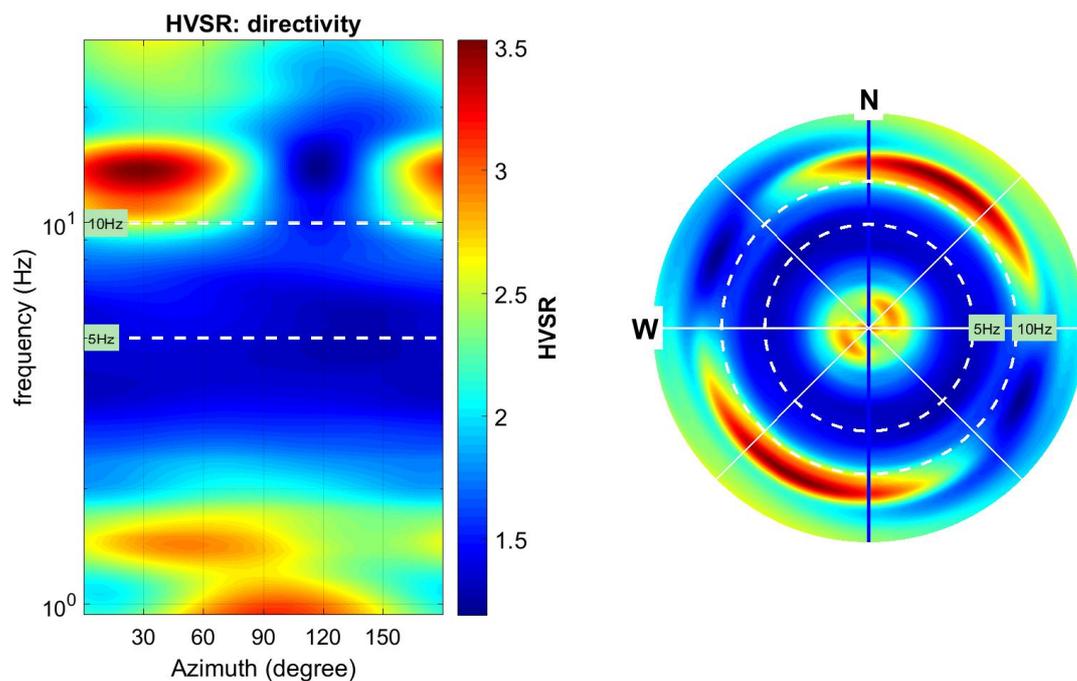
**INDAGINE HVSR 1 (40°20'24.84"N - 15° 7'32.15"E)**



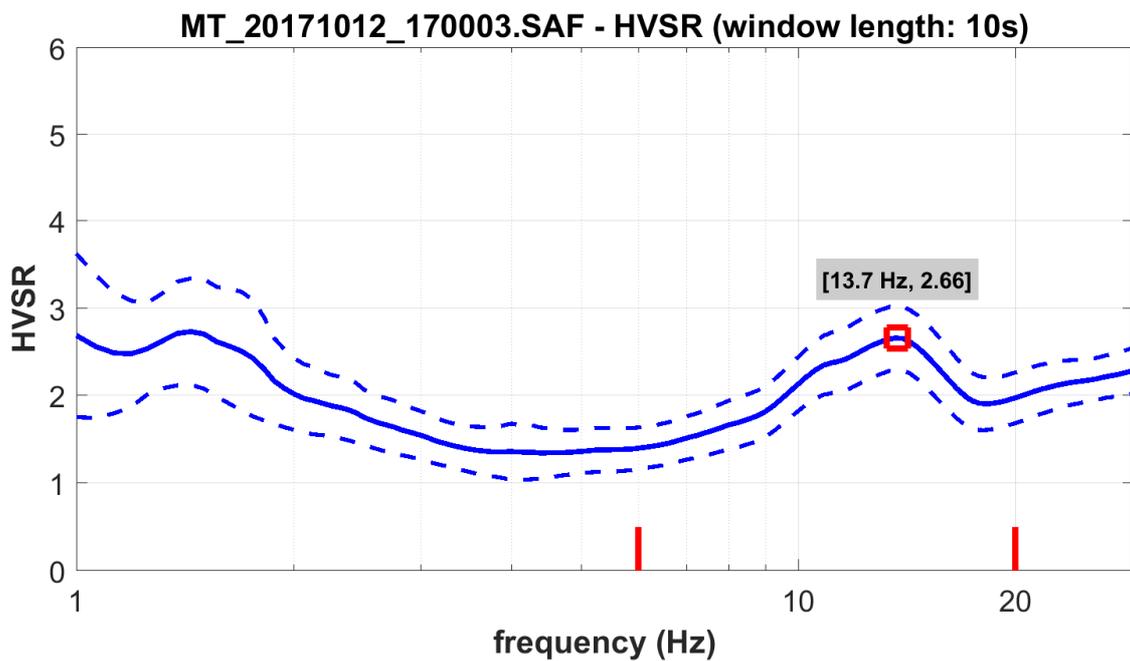
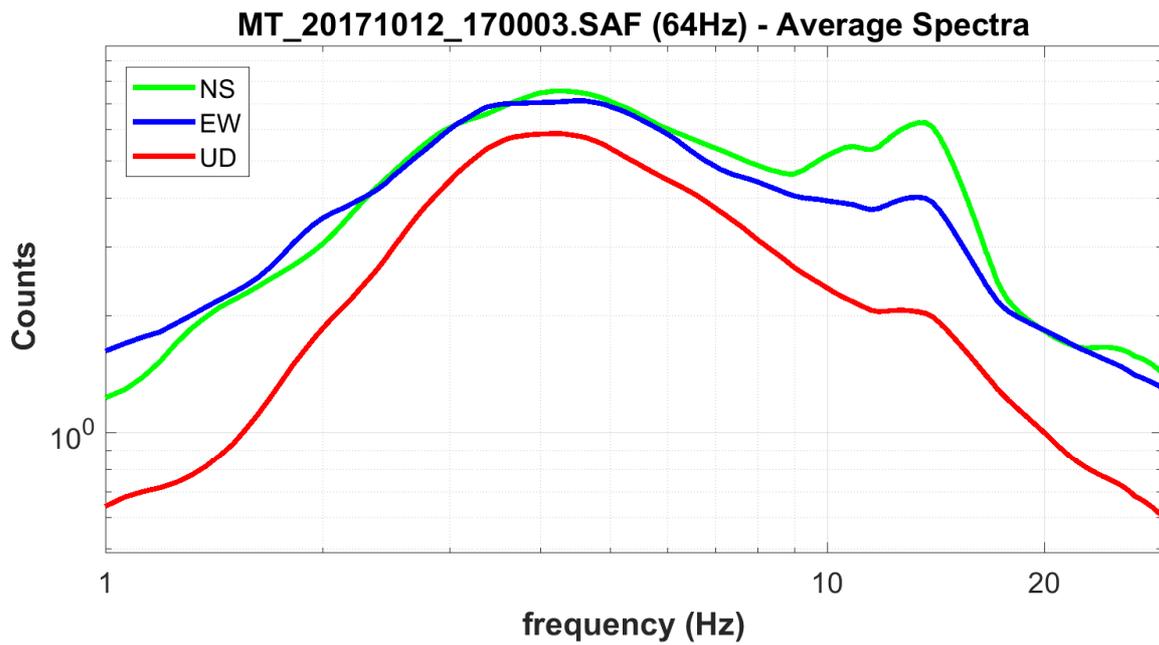
ad segments: 7.6784 min (52% of the original data) [to increase/decrease the amount of data kept, modify the "amplitude t



Report con registrazioni delle singole tracce prima e dopo la rimozione dei transienti



Direzionalità del rapporto H/V



*spettri medi delle tre componenti e curva H/V sperimentale*

**RAPPORTO CRITERI SESAME**

Sampling frequency (Hz): 64  
 Window length (sec): 10  
 Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 1Hz  
 Length of analysed dataset (min): 15.0  
 Tapering (%): 5  
 Smoothing (%): 20

**##### SESAME criteria #####**

**In the following the results considering the data in the 6.0-20.0Hz frequency range**

Peak frequency (Hz): 13.7 (±2.1)

Peak HVSR value: 2.7 (±0.4)

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

- #1. [f0 > 10/Lw]: 13.714 > 1 (OK)
- #2. [nc > 200]: 12480 > 200 (OK)
- #3. [f0>0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

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

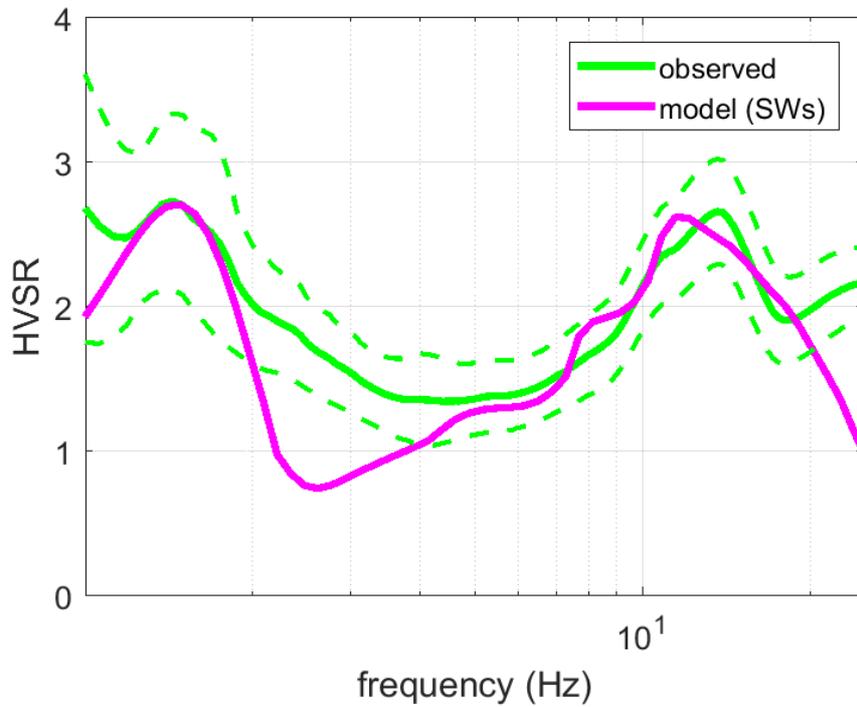
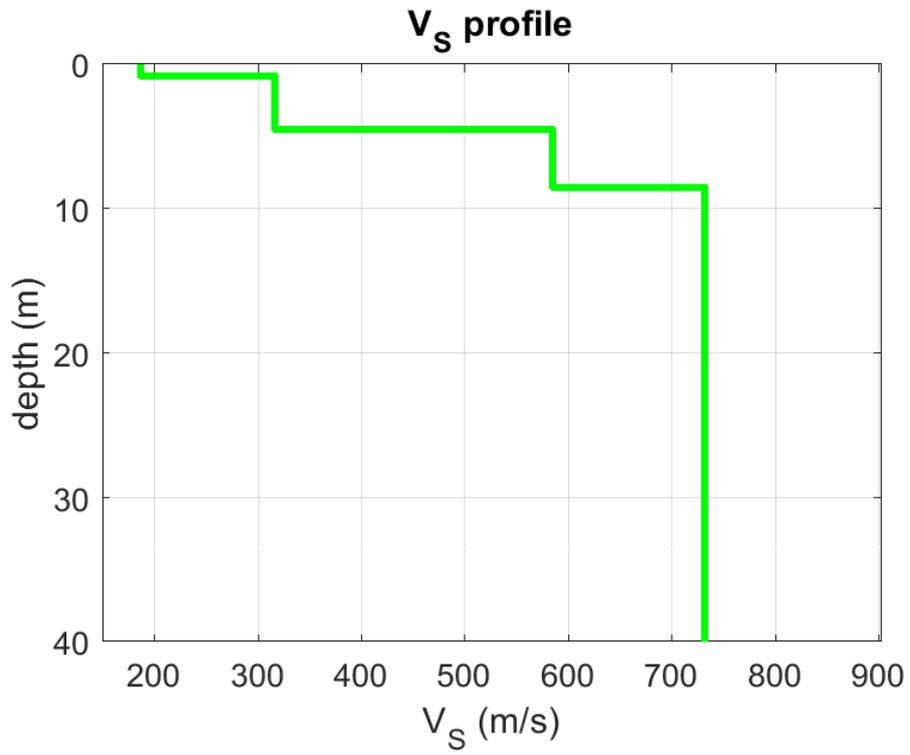
- #1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: yes (considering standard deviations), at frequency 3.5Hz (OK)
- #2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: yes (considering standard deviations), at frequency Hz (OK)
- #3. [A0 > 2]: 2.7 > 2 (OK)
- #4. [fpeak[Ah/v(f) ± sigmaA(f)] = f0 ± 5%]: (OK)
- #5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 2.144 > 0.686 (NO)
- #6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.535 < 1.58 (OK)

Tabella riepilogativa sismostrati: Punto di indagine HV1			
layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	187	0.8000	0.8000
2	317	3.7000	4.5000
3	585	4	8.5000
4	732	114	122.5000
5	1500	0	0

**V<sub>Seq</sub> = 575 m/sec (al piano campagna)**

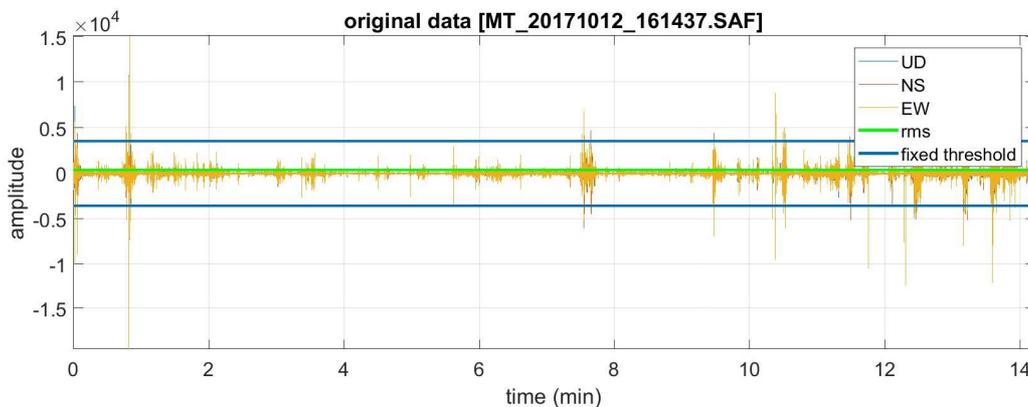
**Categoria Suolo di Fondazione: **B****

**Frequenza propria di sito = 13.7 Hz**

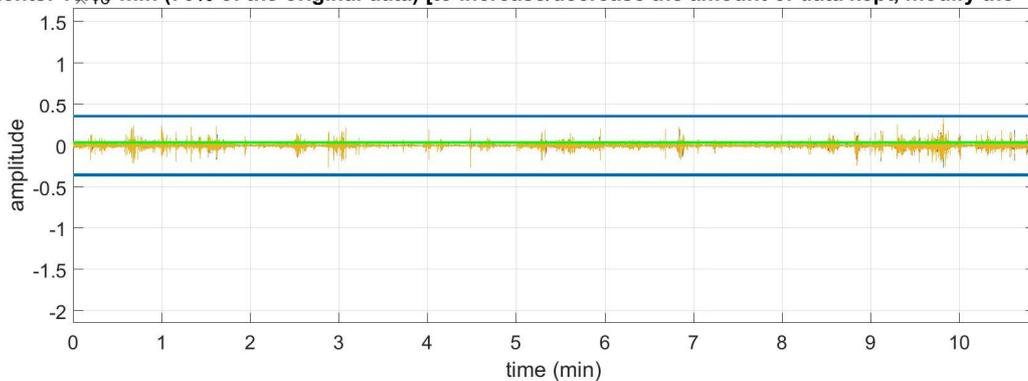


*Matching della curva HV del modello elaborato (in rosa) con la curva sperimentale calcolata (in verde)  
e Profilo verticale di VS*

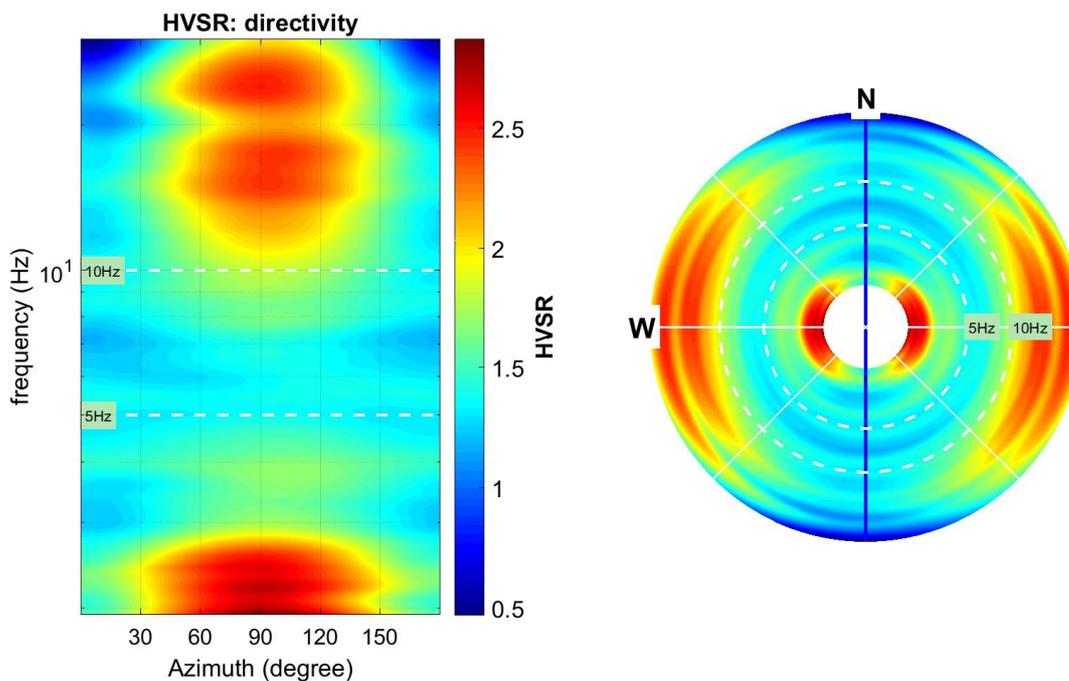
### INDAGINE HVSR 2 (40°19'31.48"N - 15° 6'51.09"E)



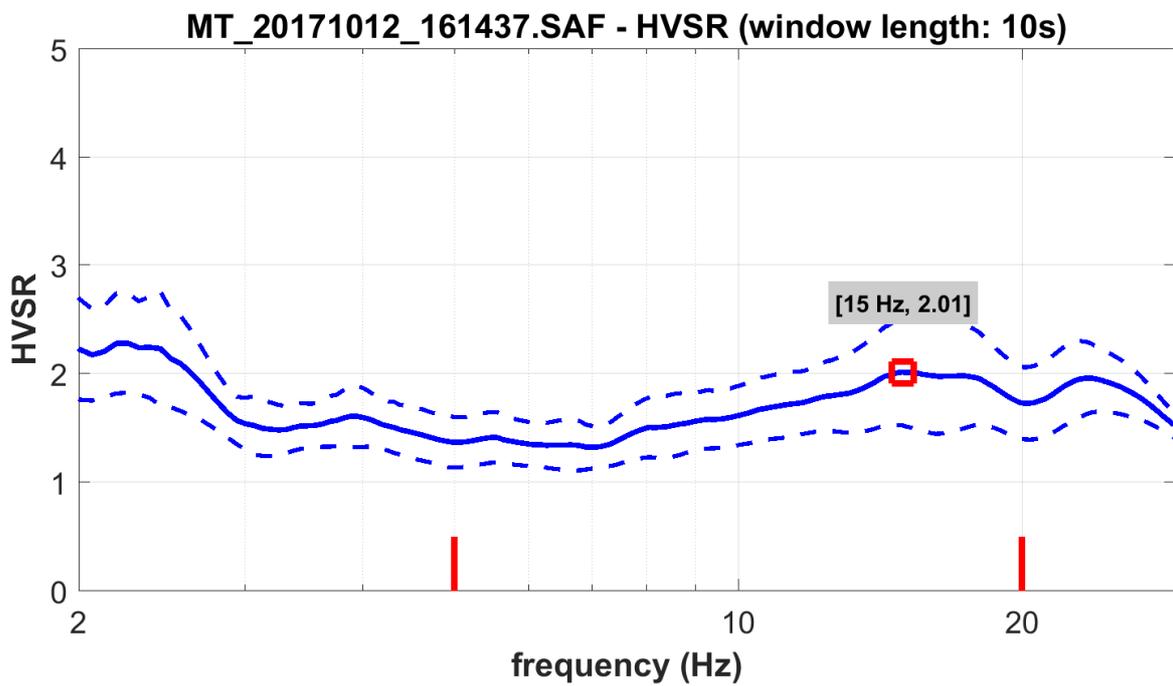
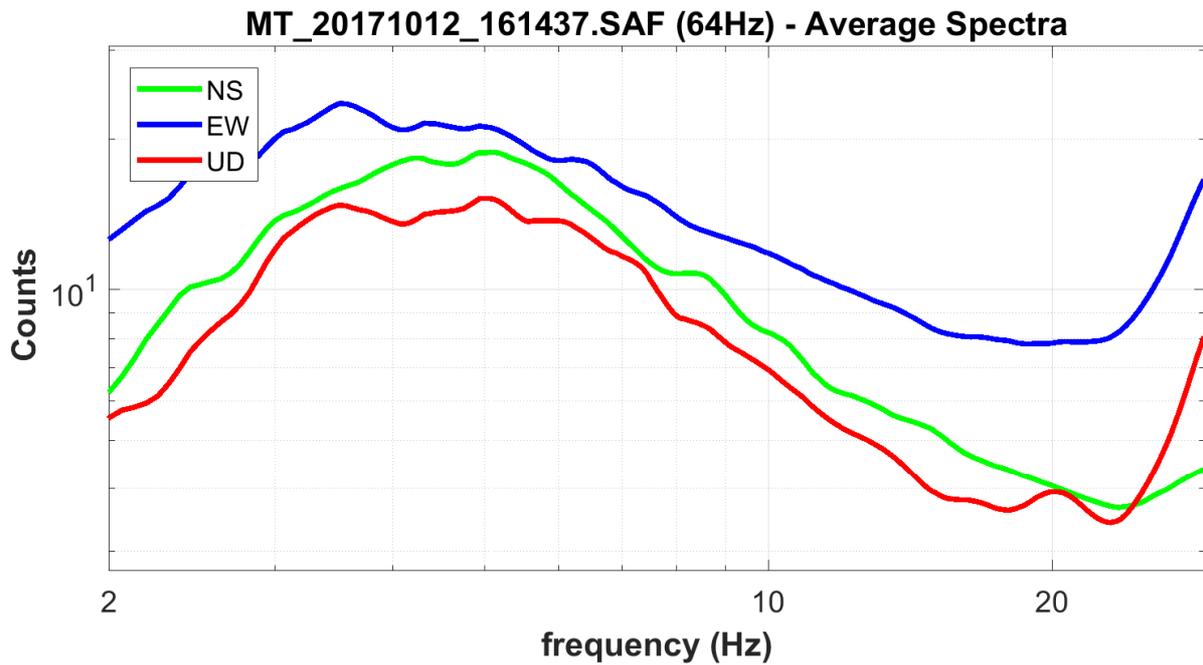
Selected segments: 10.85 min (76% of the original data) [to increase/decrease the amount of data kept, modify the "amplitude threshold"]



Report con registrazioni delle singole tracce prima e dopo la rimozione dei transienti



Direzionalità del rapporto H/V



*spettri medi delle tre componenti e curva H/V sperimentale*

**RAPPORTO CRITERI SESAME**

Sampling frequency (Hz): 64  
 Window length (sec): 10  
 Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 1Hz  
 Length of analysed dataset (min): 14.2  
 Tapering (%): 5  
 Smoothing (%): 10

**##### SESAME criteria #####**

**In the following the results considering the data in the 5.0-20.0Hz frequency range**

Peak frequency (Hz): 15.0 (±4.4)

Peak HVSR value: 2.0 (±0.5)

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

- #1. [f0 > 10/Lw]: 14.967 > 1 (OK)
- #2. [nc > 200]: 19307 > 200 (OK)
- #3. [f0>0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

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

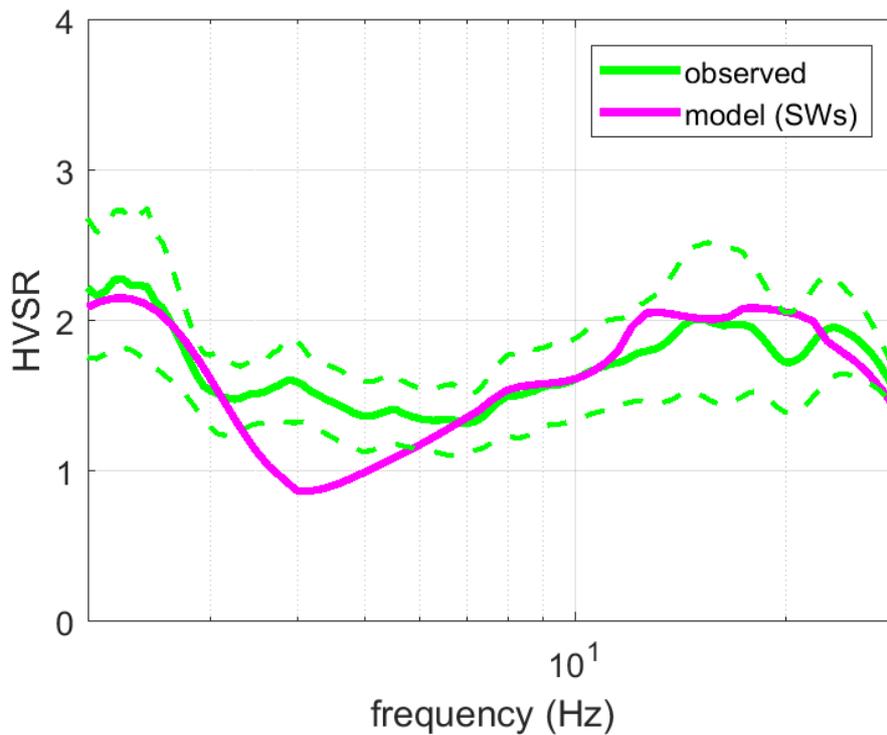
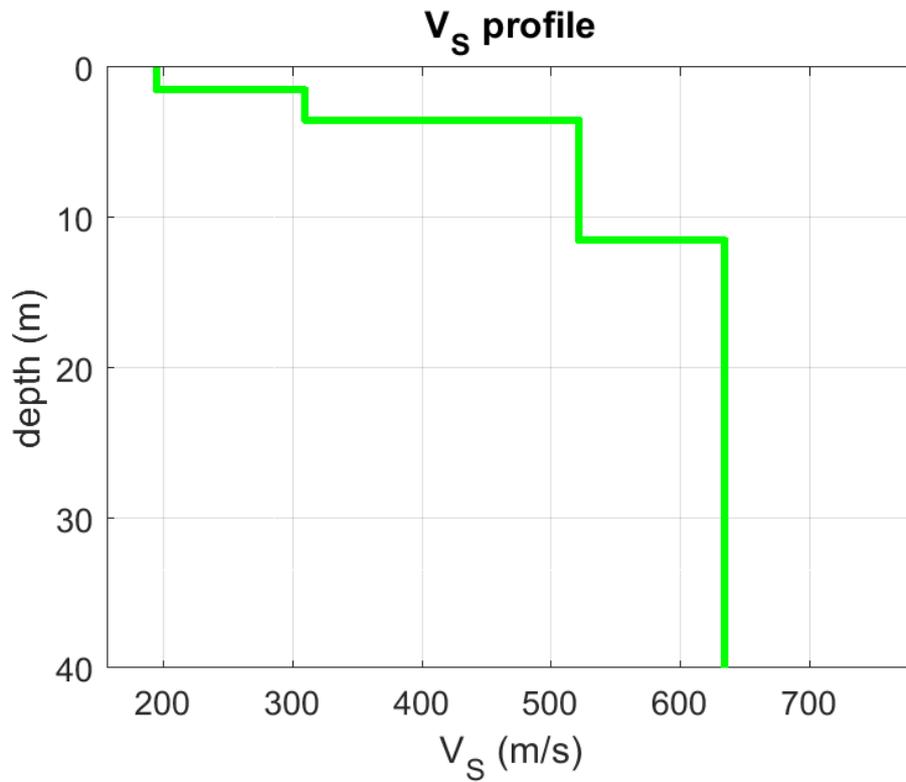
- #1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: yes (considering standard deviations), at frequency 4.5Hz (OK)
- #2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: yes (considering standard deviations), at frequency Hz (OK)
- #3. [A0 > 2]: 2.0 > 2 (OK)
- #4. [fpeak[Ah/v(f) ± sigmaA(f)] = f0 ± 5%]: (NO)
- #5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 4.417 > 0.748 (NO)
- #6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.546 < 1.58 (OK)

<b>Tabella riepilogativa sismostrati: Punto di indagine HV2</b>			
layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	195	1.5000	1.5000
2	310	2	3.5000
3	522	8	11.5000
4	635	54	65.5000
5	1130	0	0

**V<sub>SEq</sub> = 512 m/sec (al piano campagna)**

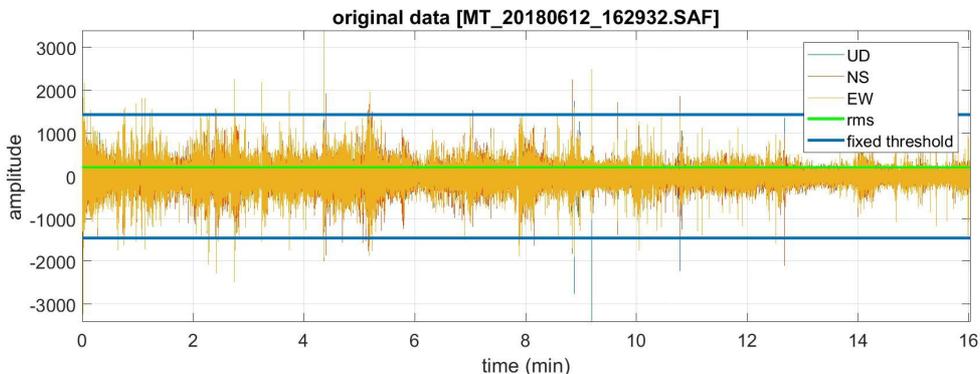
**Categoria Suolo di Fondazione: **B****

**Frequenza propria di sito = 15.0 Hz**

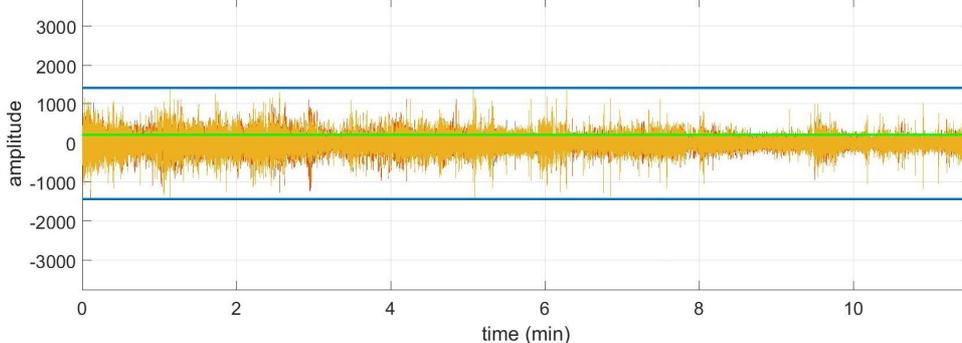


Matching della curva HV del modello elaborato (in rosa) con la curva sperimentale calcolata (in verde) e Profilo verticale di VS

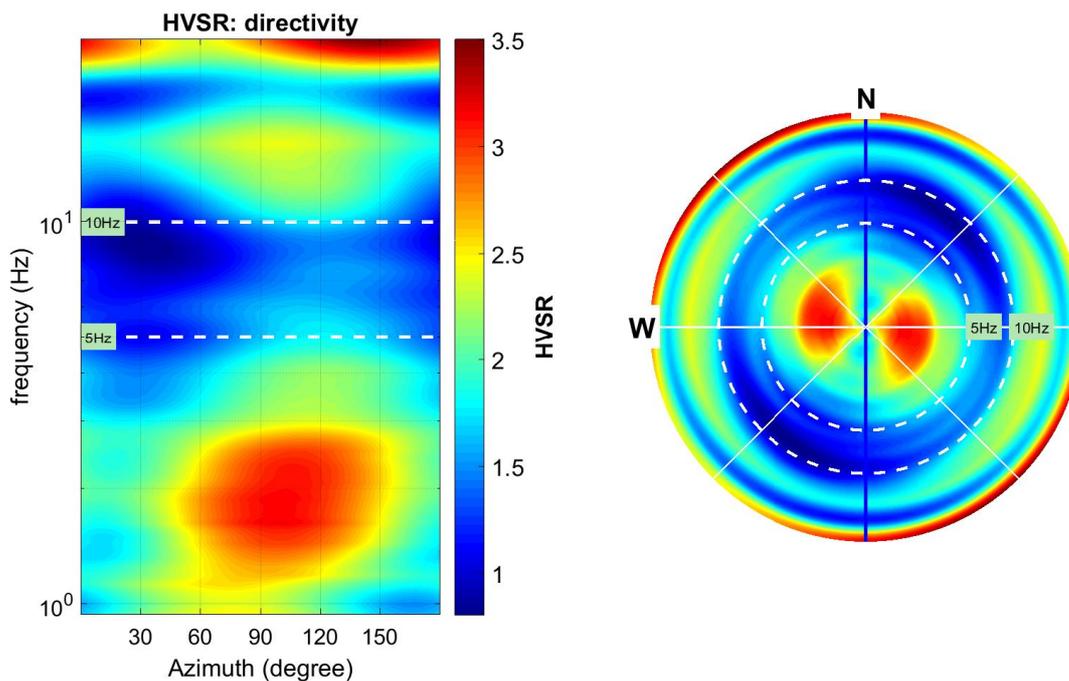
**INDAGINE HVSR 3 (40°22'25.00"N - 15° 4'9.88"E)**



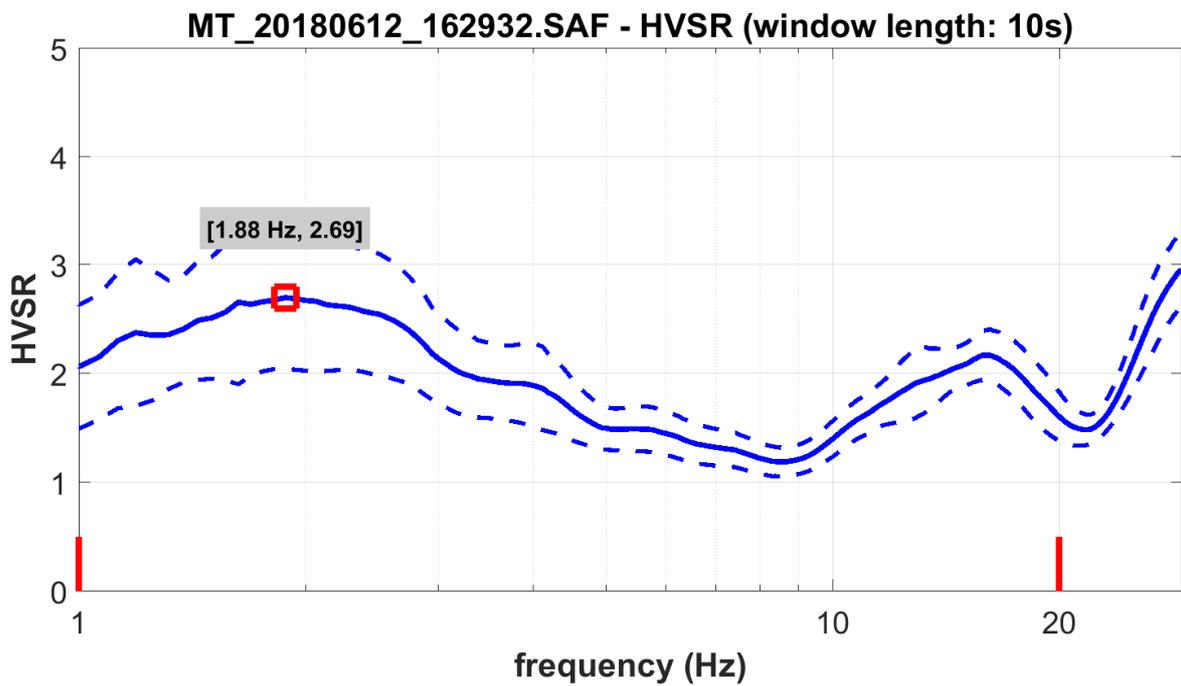
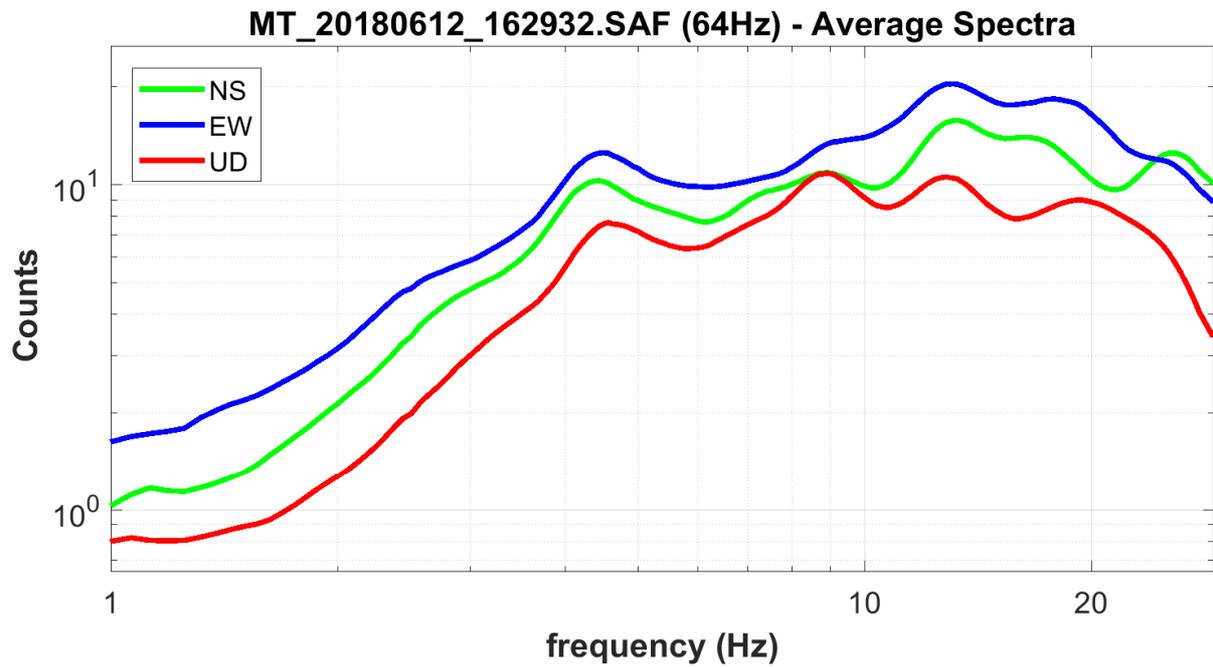
Filtered segments: 11.5177 min (72% of the original data) [to increase/decrease the amount of data kept, modify the "amplitude"



Report con registrazioni delle singole tracce prima e dopo la rimozione dei transienti



Direzionalità del rapporto H/V



spettri medi delle tre componenti e curva H/V sperimentale

**RAPPORTO CRITERI SESAME**

Sampling frequency (Hz): 64  
 Window length (sec): 10  
 Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 1Hz  
 Length of analysed dataset (min): 16.0  
 Tapering (%): 5  
 Smoothing (%): 15

##### SESAME criteria #####

**In the following the results considering the data in the 1.0-20.0Hz frequency range**

Peak frequency (Hz): 1.9 (±4.5)

Peak HVSR value: 2.7 (±0.7)

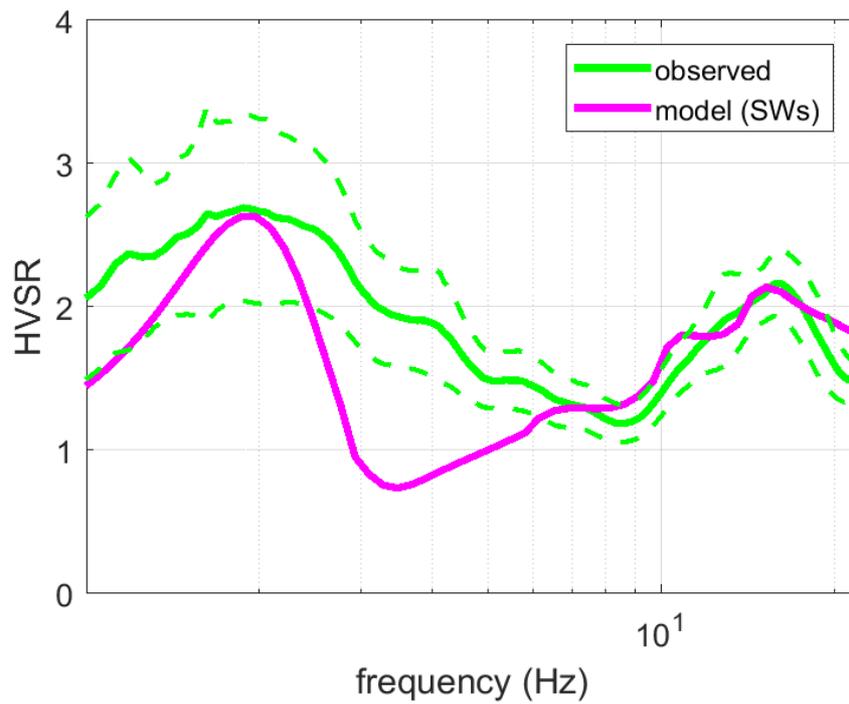
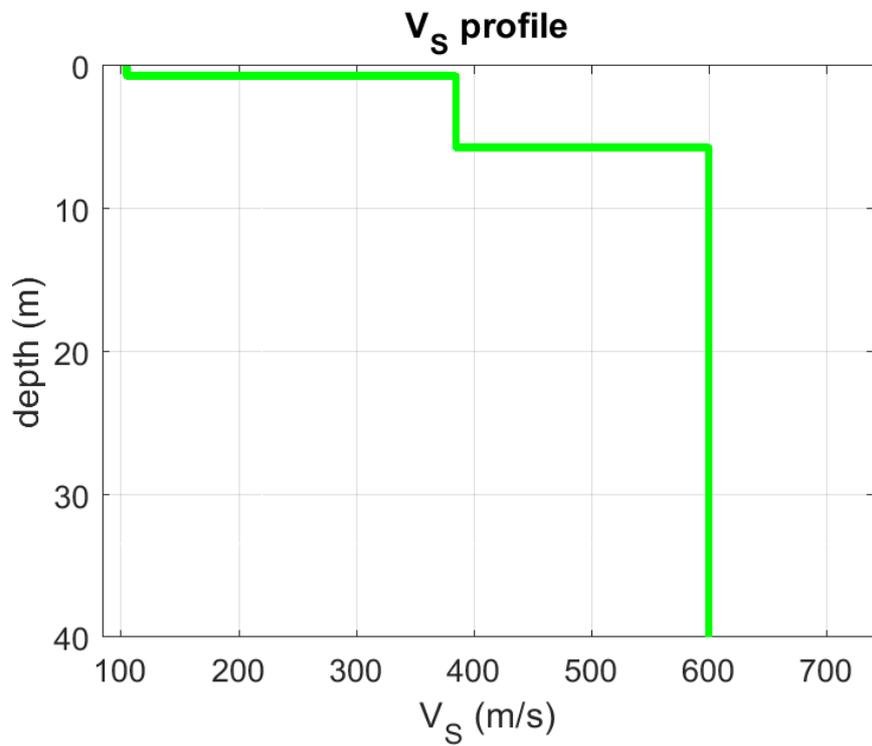
=== Criteria for a reliable H/V curve =====

- #1. [f0 > 10/Lw]: 1.879 > 1 (OK)
- #2. [nc > 200]: 2574 > 200 (OK)
- #3. [f0>0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

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

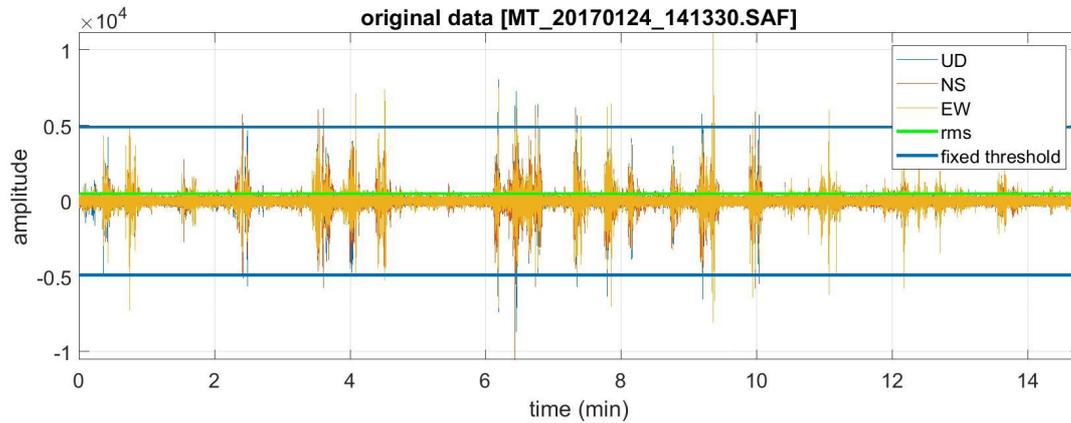
- #1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: yes (considering standard deviations), at frequency 0.5Hz (OK)
- #2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: yes, at frequency 6.8Hz (OK)
- #3. [A0 > 2]: 2.7 > 2 (OK)
- #4. [fpeak[Ah/v(f) ± sigmaA(f)] = f0 ± 5%]: (NO)
- #5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 4.524 > 0.188 (NO)
- #6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 1.067 < 1.78 (OK)

<b>Tabella riepilogativa sismostrati: Punto di indagine HV3</b>																							
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">layer</th> <th style="width: 15%;">Vs (m/s)</th> <th style="width: 15%;">thickness (m)</th> <th style="width: 15%;">depth (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">105</td> <td style="text-align: center;">0.7000</td> <td style="text-align: center;">0.7000</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">385</td> <td style="text-align: center;">5</td> <td style="text-align: center;">5.7000</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">600</td> <td style="text-align: center;">70</td> <td style="text-align: center;">75.7000</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">1200</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> </tbody> </table>	layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)	1	105	0.7000	0.7000	2	385	5	5.7000	3	600	70	75.7000	4	1200	0	0		
layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)																				
1	105	0.7000	0.7000																				
2	385	5	5.7000																				
3	600	70	75.7000																				
4	1200	0	0																				
<p><b>V<sub>Seq</sub> = 499 m/sec (al piano campagna)</b></p> <p><b>Categoria Suolo di Fondazione: B</b></p> <p><b>Frequenza propria di sito = 1.9 Hz</b></p>																							

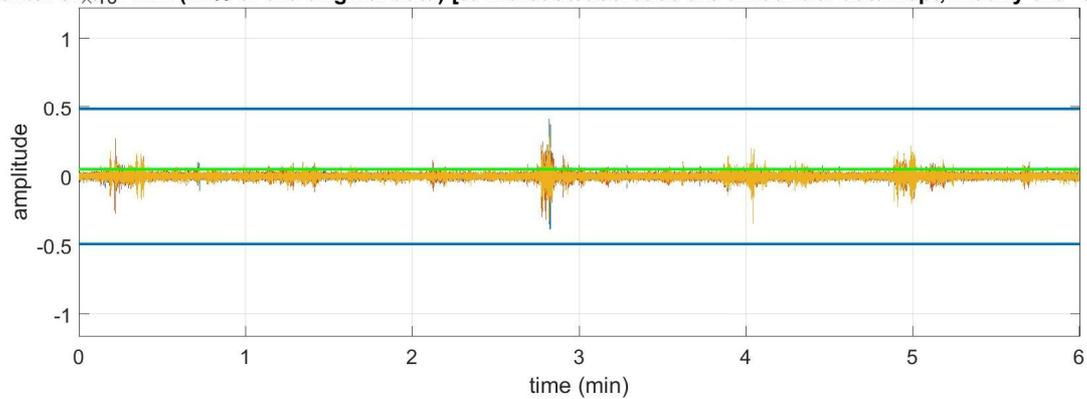


*Matching della curva HV del modello elaborato (in rosa) con la curva sperimentale calcolata (in verde)  
e Profilo verticale di VS*

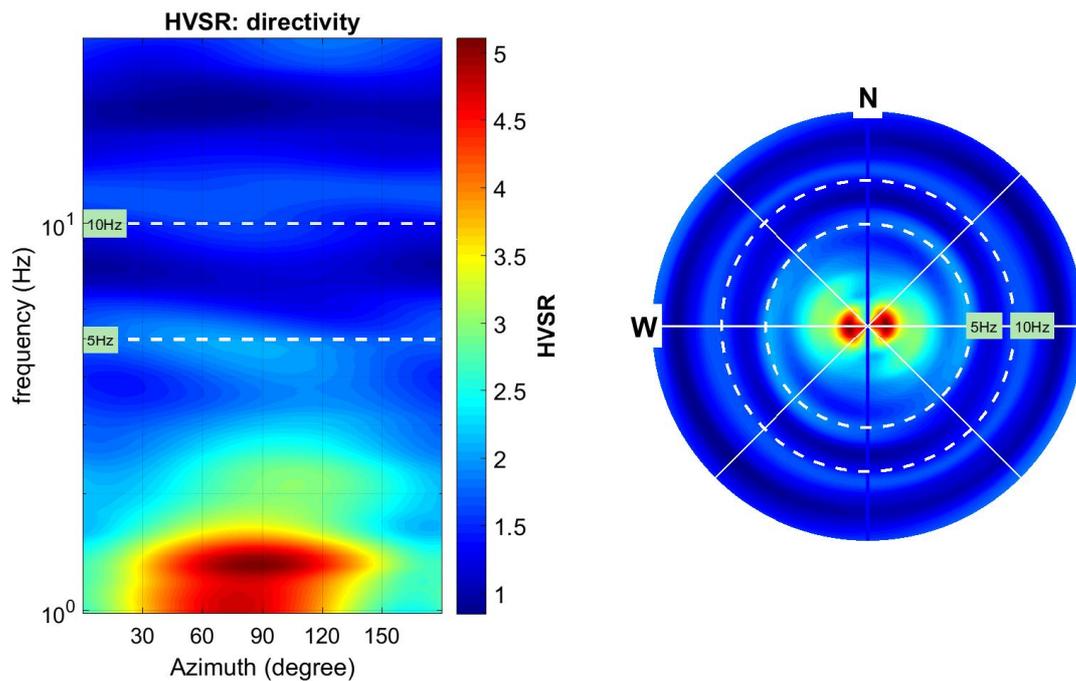
**INDAGINE HVSR 4 (40°22'51.84"N - 15° 3'9.14"E)**



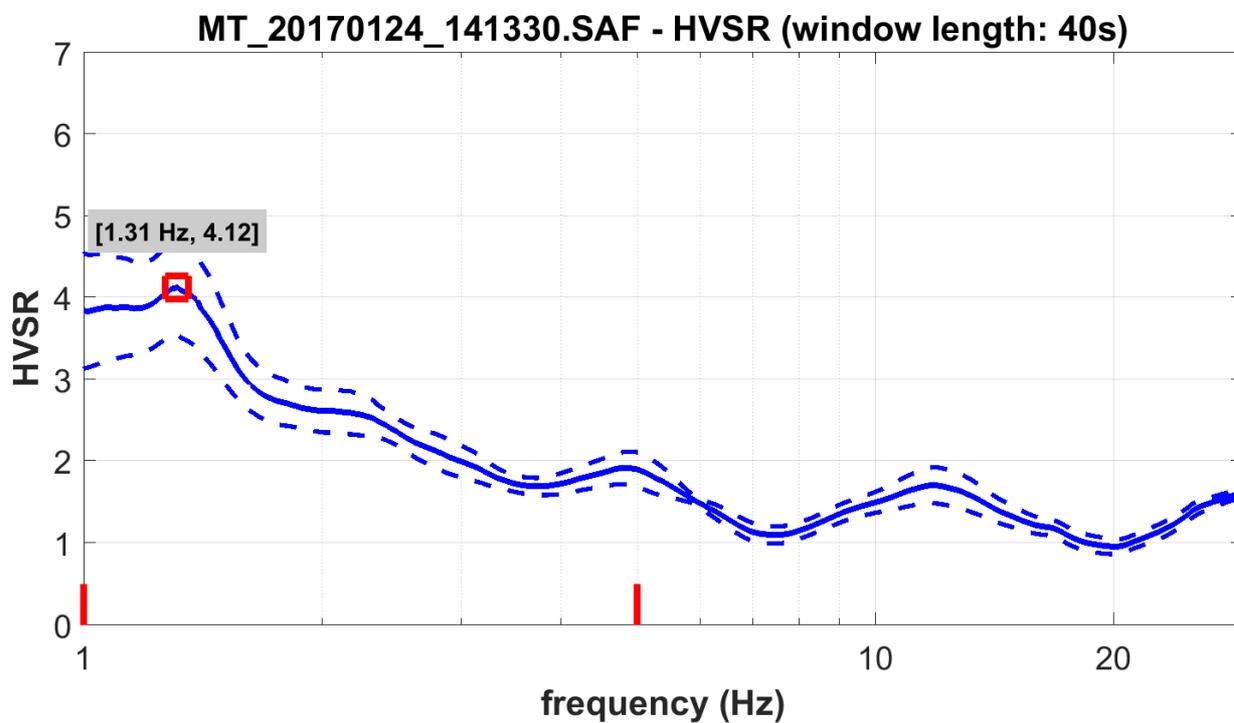
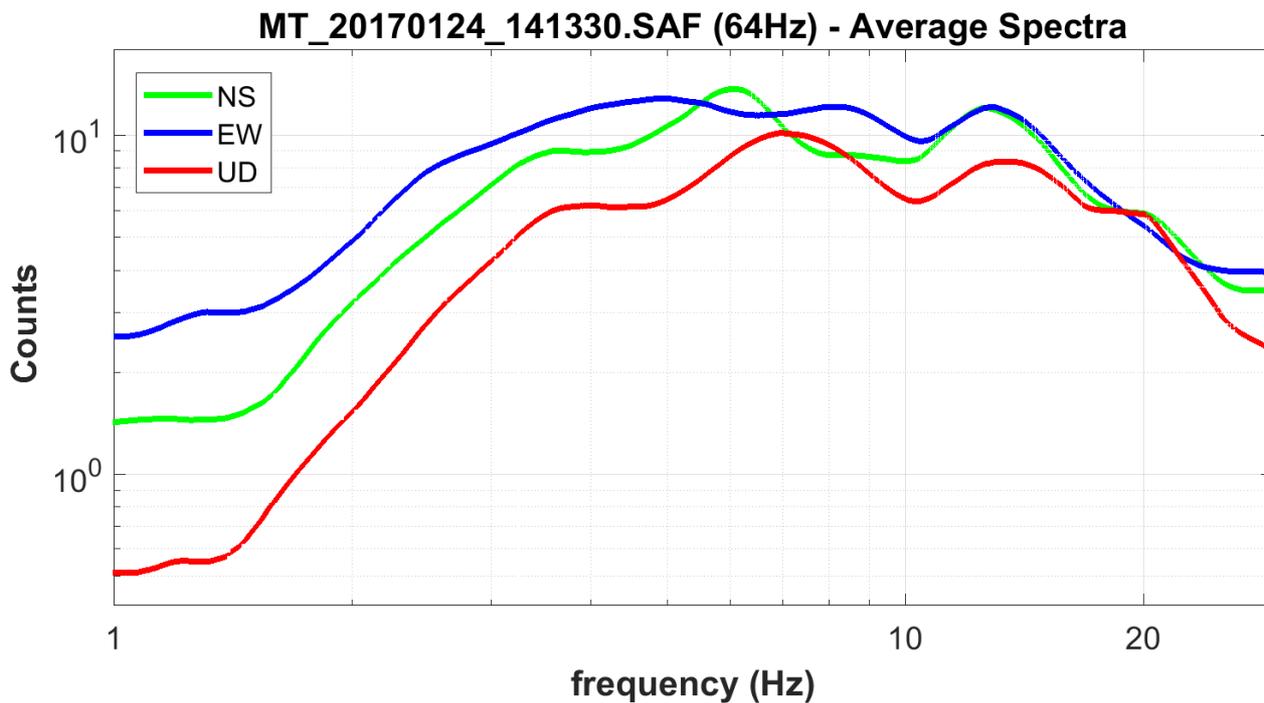
ad segments: 6.0021 min (41% of the original data) [to increase/decrease the amount of data kept, modify the "amplitude t



Report con registrazioni delle singole tracce prima e dopo la rimozione dei transienti



Direzionalità del rapporto H/V



spettri medi delle tre componenti e curva H/V sperimentale

**RAPPORTO CRITERI SESAME**

Sampling frequency (Hz): 64  
 Window length (sec): 40  
 Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.25Hz  
 Length of analysed dataset (min): 14.8  
 Tapering (%): 5  
 Smoothing (%): 20

**##### SESAME criteria #####**

**In the following the results considering the data in the 1.0-5.0Hz frequency range**

Peak frequency (Hz): 1.3 (±0.4)

Peak HVSR value: 4.1 (±0.6)

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

- #1. [f0 > 10/Lw]: 1.313 > 0.25 (OK)
- #2. [nc > 200]: 893 > 200 (OK)
- #3. [f0>0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

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

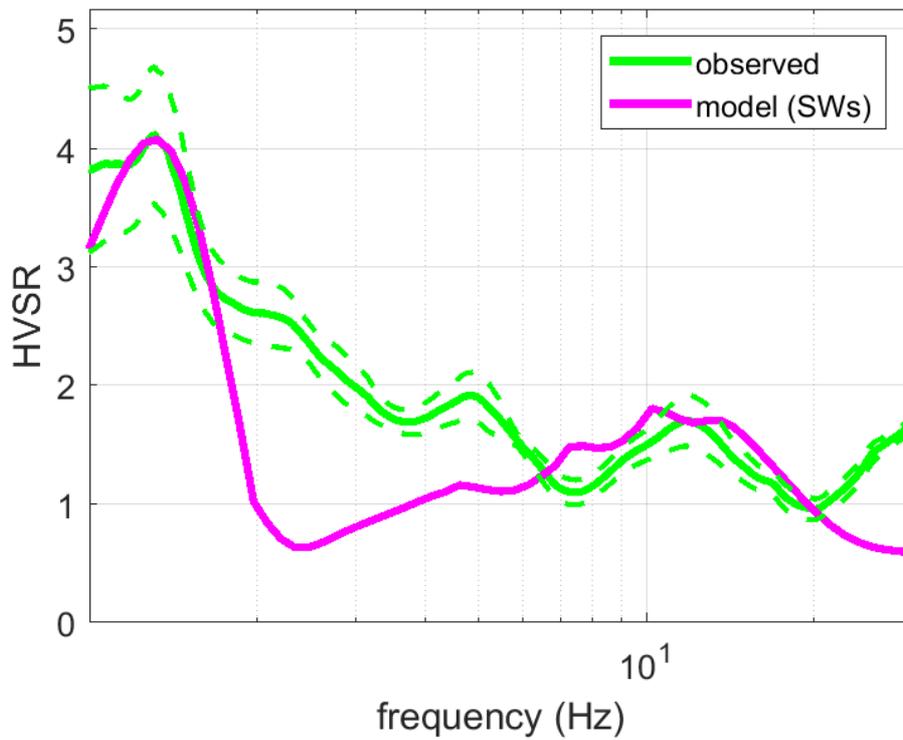
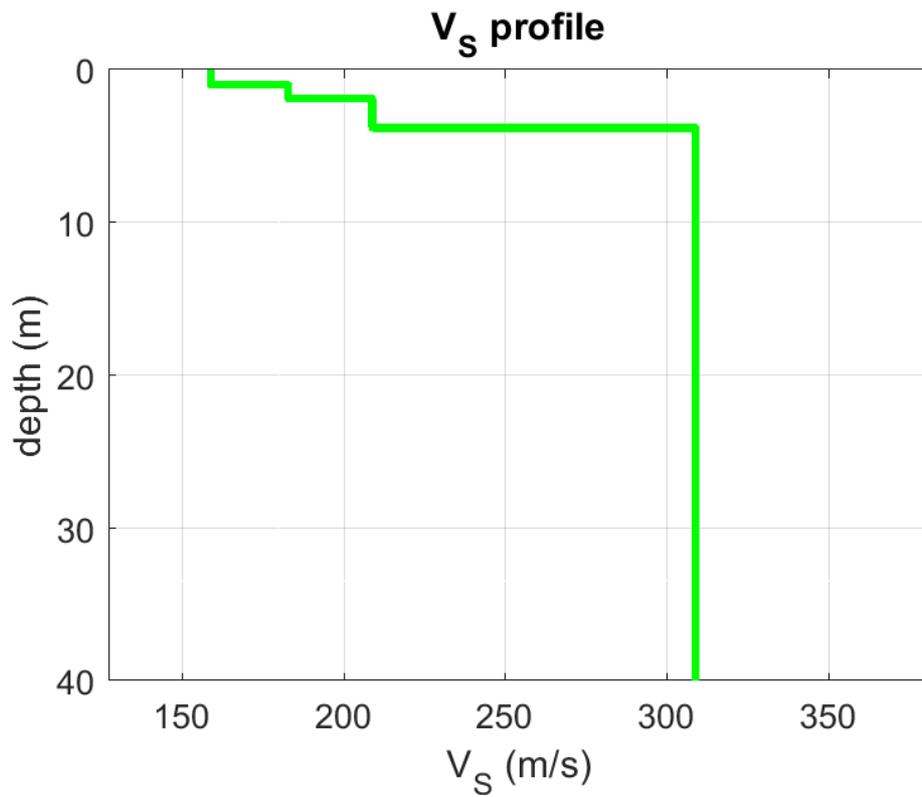
- #1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: (NO)
- #2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: yes, at frequency 0.5Hz (OK)
- #3. [A0 > 2]: 4.1 > 2 (OK)
- #4. [fpeak[Ah/v(f) ± sigmaA(f)] = f0 ± 5%]: (OK)
- #5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 0.412 > 0.131 (NO)
- #6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 1.616 < 1.78 (OK)

<b>Tabella riepilogativa sismostrati: Punto di indagine HV4</b>			
layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	159	1	1
2	183	0.9000	1.9000
3	209	1.9000	3.8000
4	309	54.2000	58
5	634	0	0

**V<sub>Seq</sub> = 285 m/sec (al piano campagna)**

**Categoria Suolo di Fondazione: C**

**Frequenza propria di sito = 1.3 Hz**



*Matching della curva HV del modello elaborato (in rosa) con la curva sperimentale calcolata (in verde)  
e Profilo verticale di VS*