



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



Regione Emilia-Romagna



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME


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

MICROZONAZIONE SISMICA

Prove tromografiche

Regione Emilia-Romagna
Comune di Solignano



Regione	Soggetto Realizzatore	Data
 Regione Emilia-Romagna	Dott. Geol. Fabio Francesco Picinotti Via Silvio Pellico, 4 43125 Parma (Pr)	Novembre 2018

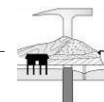
A. ELABORAZIONE DATI HVSR “Solignano Campo Sportivo”



Figura 1. Acquisizione HVSR.

Allo scopo di definire il periodo di risonanza di sito e migliorare (tramite analisi congiunta MASW+HVSR) la definizione del profilo verticale VS nelle porzioni più profonde, si è effettuata una misurazione di microtremore utile a definire il rapporto H/V lungo lo stendimento.

Nelle figure successive si riportano lo spettro d'ampiezza medio delle 3 componenti (NS, EW e verticale), le caratteristiche dei dati acquisiti e i valori HVSR per la misurazione eseguita.



www.immsw.com

show data reset show location

step#1 (optional) - decimate
 120Hz new frequency resample

step#2 - HV computation
 remove events: both Rad. & Tr. clean axes
 20 window length (s)
 10 tapering (%)
 5% spectral smoothing (triangular window)
 show particle motion (raw data)
 full output compute

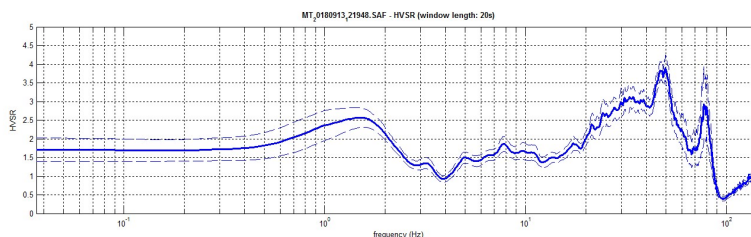
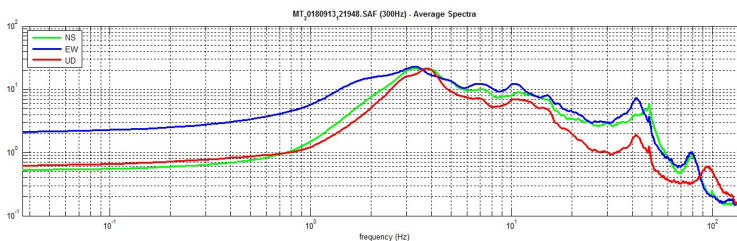
step#3a (optional) - directivity analysis
 compute max freq: 32 Hz

step#3b (optional) - directivity over time
 directivity in time time step: 60 s

save - option#1: save HVSR as it is
 Save HV from 0.45 to 64 Hz
 save HV curve (as it is)

save - option#2: picking HV curve
 pick HV curve save picked HV
 compute SESAME for picked curve

quick analysis (H-Vs (H))
 average Vs (m/s) 100
 depth of the bedrock (m) 20
 Vs of the bedrock 1000
 clean compute



To model the HVSR (also jointly with MASW or ReMISEAC data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectrogram, Modeling & Picking" panels and upload the saved HV curve

Figura 2. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSR.

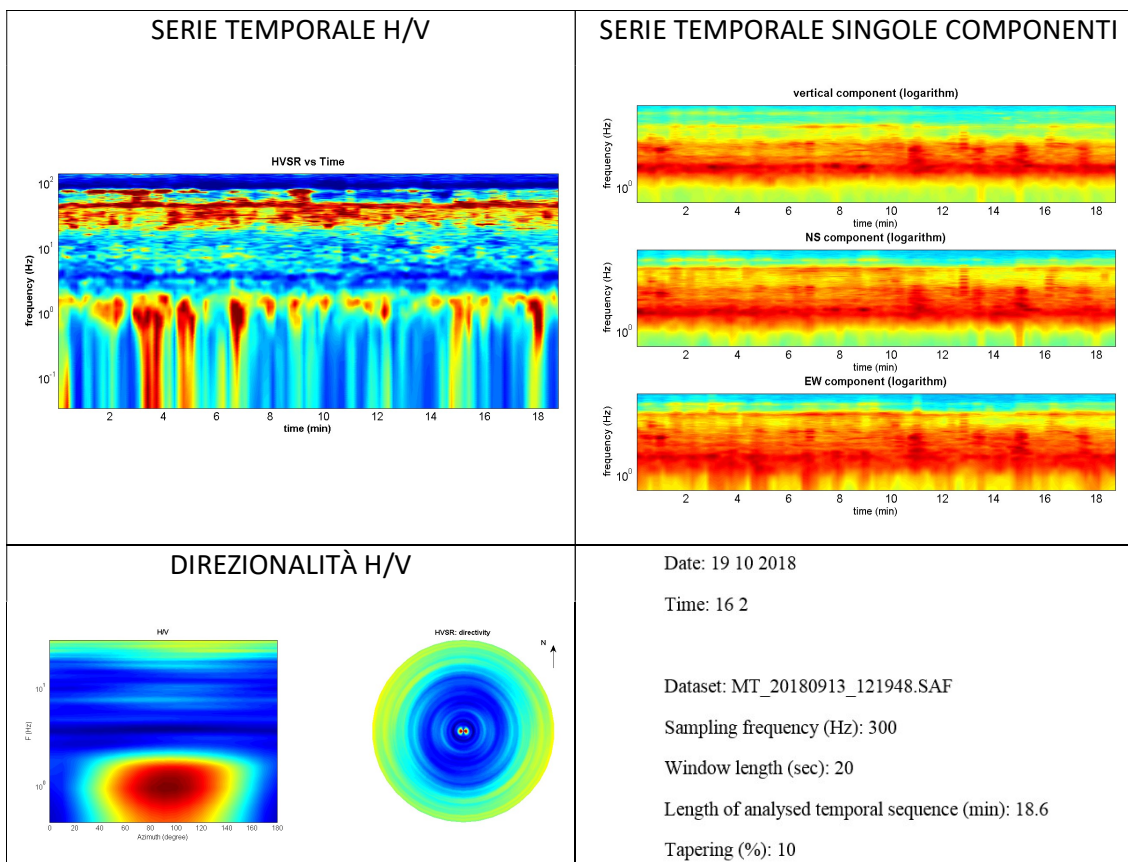
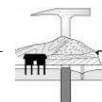


Figura 3. Caratteristiche dati acquisiti.



I criteri SESAME definiscono la robustezza statistica della curva HVSR e degli eventuali picchi presenti. Il computo del picco a 1,7 Hz è riportato nel seguente box; sono soddisfatti 4 criteri su 6 e non è dunque possibile escludere il verificarsi di fenomeni di amplificazione.

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

Peak frequency (Hz): 1.7 (± 6.8)

Peak HVSR value: 2.7 (± 0.4)

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

#1. [$f_0 > 10/Lw$]: 1.7 > 0.5 (OK)

#2. [$nc > 200$]: 3788 > 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] | $AH/V(f^-) < A_0/2$]: (NO)

#2. [exists f+ in the range [f_0 , $4f_0$] | $AH/V(f^+) < A_0/2$]: yes, at frequency 2.8Hz (OK)

#3. [$A_0 > 2$]: 2.7 > 2 (OK)

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

#5. [$\sigma_{\text{maf}} < \epsilon_{\text{psilon}}(f_0)$]: 6.832 > 0.172 (NO)

#6. [$\sigma_{\text{sigmaA}}(f_0) < \theta_{\text{theta}}(f_0)$]: 0.403 < 1.78 (OK)

La modellazione dell'HV realizzato è stata eseguita applicando lo schema geologico dato dall'analisi delle onde di superficie (figura successiva).

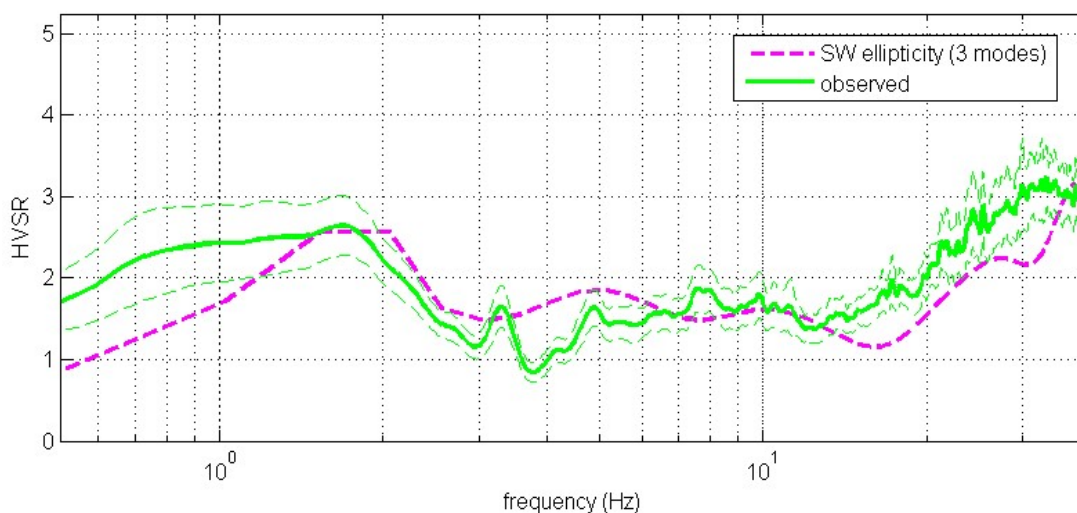


Figura 4. HVSR: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per l'analisi delle onde di superficie.

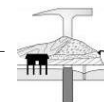
A. ELABORAZIONE DATI HVSR “Solignano vasca”



Figura 1. Acquisizione HVSR.

Allo scopo di definire il periodo di risonanza di sito e migliorare (tramite analisi congiunta MASW+HVSR) la definizione del profilo verticale VS nelle porzioni più profonde, si è effettuata una misurazione di microtremore utile a definire il rapporto H/V lungo lo stendimento.

Nelle figure successive si riportano lo spettro d'ampiezza medio delle 3 componenti (NS, EW e verticale), le caratteristiche dei dati acquisiti e i valori HVSR per la misurazione eseguita.



www.immsw.com

show data reset show location

step#1 (optional) - decimate
 120Hz new frequency resample

step#2 - HV computation
 remove events: both Rad. & Tr. clean axes
 20 window length (s)
 10 tapering (%)
 5% spectral smoothing (triangular window)
 show particle motion (raw data)
 full output compute

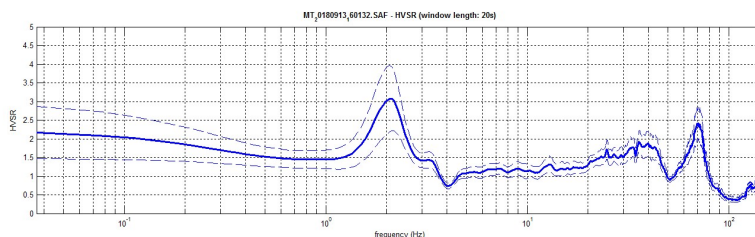
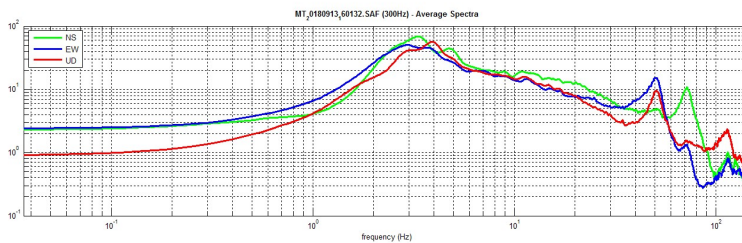
step#3a (optional) - directivity analysis
 compute max freq: 32 Hz

step#3b (optional) - directivity over time
 directivity in time time step: 60 s

save - option#1: save HVSR as it is
 Save HV from 0.45 to 64 Hz
 save HV curve (as it is)

save - option#2: picking HV curve
 pick HV curve save picked HV
 compute SESAME for picked curve

quick analysis (H-Vs-H)
 average % (m)
 20 depth of the bedrock (m)
 1000 1/s of the bedrock
 clean compute



To model the HVSR (also jointly with MASW or ReflectedSAC data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectrums, Modeling & Picking" panels and upload the saved HV curve

Figura 2. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSR.

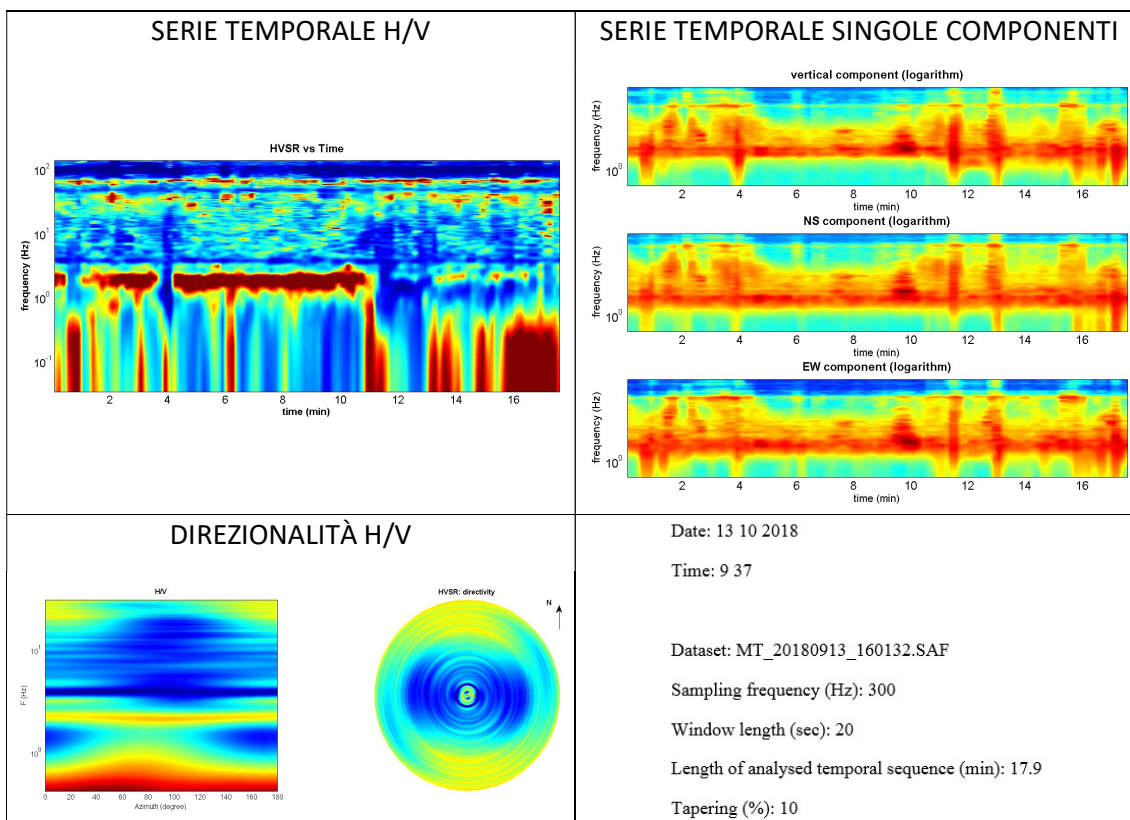
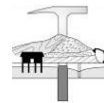


Figura 3. Caratteristiche dati acquisiti.

I criteri SESAME definiscono la robustezza statistica della curva HVSR e degli eventuali picchi presenti. Il computo del picco a 2,1 Hz è riportato nel seguente box; essendo soddisfatti 5 criteri su 6 la frequenza analizzata è da ritenersi di risonanza.



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

Peak frequency (Hz): 2.1 (± 5.3)

Peak HVSR value: 3.1 (± 0.9)

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

#1. $[f_0 > 10/Lw]$: 2.1 > 0.5 (OK)

#2. $[nc > 200]$: 4504 > 200 (OK)

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

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

#1. $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid \text{AH/V}(f^-) < \text{A0}/2]$: yes, at frequency 1.3Hz (OK)

#2. $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid \text{AH/V}(f^+) < \text{A0}/2]$: yes, at frequency 2.8Hz (OK)

#3. $[\text{A0} > 2]$: 3.1 > 2 (OK)

#4. $[\text{fpeak}[\text{Ah}^v(f) \pm \sigma_{\text{A}}(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (OK)

#5. $[\sigma_{\text{maf}} < \text{epsilon}(f_0)]$: 5.313 > 0.106 (NO)

#6. $[\sigma_{\text{A}}(f_0) < \text{theta}(f_0)]$: 0.880 < 1.58 (OK)

La modellazione dell'HV realizzato è stata eseguita applicando lo schema geologico dato dall'analisi delle onde di superficie (figura successiva).

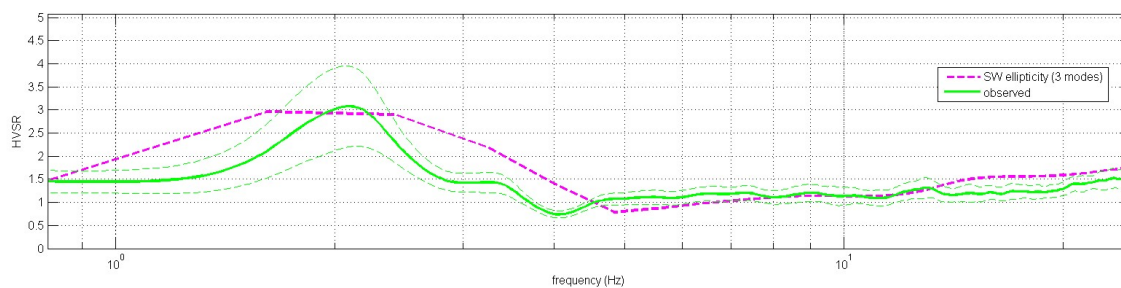


Figura 4. HVSR: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per l'analisi delle onde di superficie.

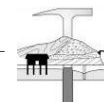
A. ELABORAZIONE DATI HVSR “Bottione”



Figura 1. Acquisizione HVSR.

Allo scopo di definire il periodo di risonanza di sito e migliorare (tramite analisi congiunta MASW+HVSR) la definizione del profilo verticale VS nelle porzioni più profonde, si è effettuata una misurazione di microtremore utile a definire il rapporto H/V lungo lo stendimento.

Nelle figure successive si riportano lo spettro d'ampiezza medio delle 3 componenti (NS, EW e verticale), le caratteristiche dei dati acquisiti e i valori HVSR per la misurazione eseguita.



show data reset show location

step#1 (optional) - decimate
 128Hz new frequency resample

step#2 - HV computation
 remove events: both Rad. & Tr. clean axes
 20 window length (s)
 10 tapering (%)
 5% spectral smoothing (triangular window)
 show particle motion (raw data)
 full output compute

step#3a (optional) - directivity analysis
 compute max freq: 32 Hz

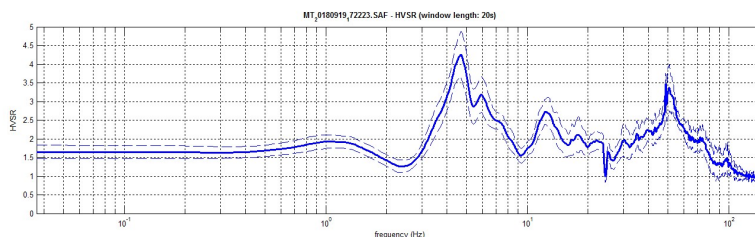
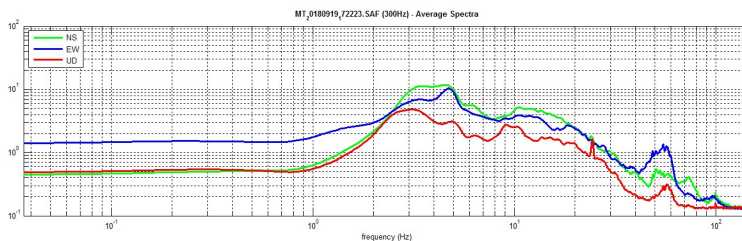
step#3b (optional) - directivity over time
 directivity in time time step: 60 s

save - option#1: save HVSR as it is
 Save HV from 0.45 to 64 Hz
 save HV curve (as it is)

save - option#2: picking HV curve
 pick HV curve save picked HV
 compute SESAME for picked curve

quick analysis (H-Vs-H)
 average 1/3 (m)
 20 depth of the bedrock (m)
 1000 1/3 of the bedrock
 clean compute

www.mmsw.com



To model the HVSR (also jointly with MASW or RefVESAC data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectra, Modeling & Picking" panels and upload the saved HV curve

Figura 2. Spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSR.

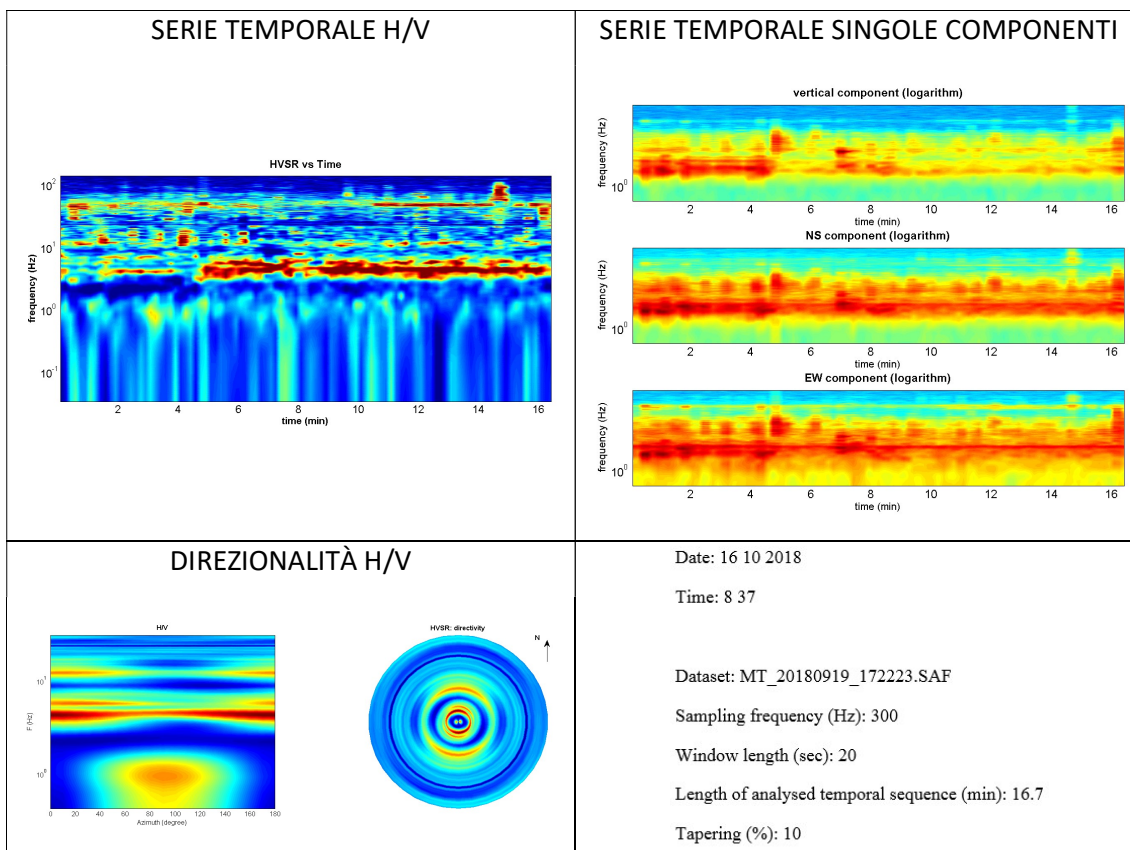
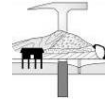


Figura 3. Caratteristiche dati acquisiti.



I criteri SESAME definiscono la robustezza statistica della curva HVSR e degli eventuali picchi presenti. Il computo del picco a 4,7 Hz è riportato nel seguente box; essendo soddisfatti 5 criteri su 6 la frequenza analizzata è da ritenersi di risonanza.

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

Peak frequency (Hz): 4.7 (± 4.3)

Peak HVSR value: 4.3 (± 0.6)

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

#1. [$f_0 > 10/Lw$]: 4.7 > 0.5 (OK)

#2. [$nc > 200$]: 9356 > 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 3.3Hz (OK)

#2. [exists f+ in the range [$f_0, 4f_0$] | $AH/V(f^+) < A_0/2$]: yes, at frequency 8.0Hz (OK)

#3. [$A_0 > 2$]: 4.3 > 2 (OK)

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

#5. [$\sigma_{\text{maf}} < \epsilon_{\text{psilon}}(f_0)$]: 4.319 > 0.236 (NO)

#6. [$\sigma_{A(f_0)} < \theta_{\text{theta}}(f_0)$]: 0.628 < 1.58 (OK)

La modellazione dell'HV realizzato è stata eseguita applicando lo schema geologico dato dall'analisi delle onde di superficie (figura successiva).

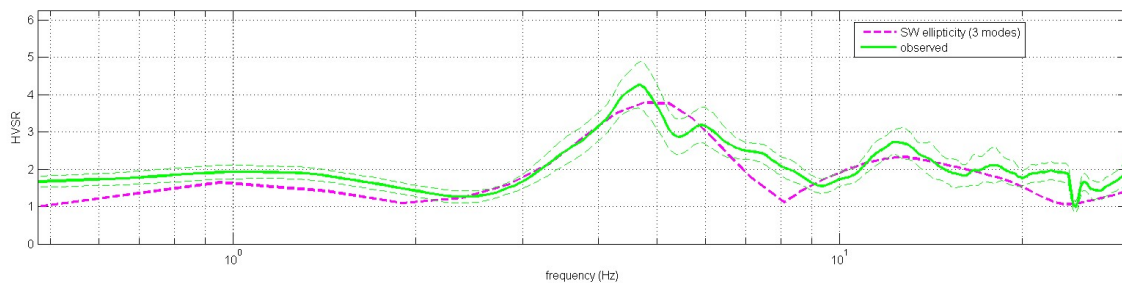
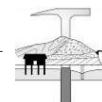


Figura 4. HVSR: in verde le misure effettuate, in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009). Il modello è chiaramente lo stesso usato per l'analisi delle onde di superficie.



RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Rowdewahl S., 2003. *Manual for the software RAYFRACT*, Intelligent Resources Inc.
- Schuster, G. T., Quintus-Bosz A., 1999. *Wavepath eikonal travelttime inversion: Theory*. *Geophysics* v. 58, 1314-1323.
- Lecomte I., Gjøystdal H., Dahle A., Pedersen O. C., 2000. *Improving modelling and inversion in refraction seismics with a first-order Eikonal solver*. *Geophysical Prospecting*, Vol. 48 Issue 3.
- Dziewonski A., Bloch S., and Landisman M., 1969. *A technique for the analysis of transient seismic signals*. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 59, No. 1, 427-444
- Levshin A.L., Pisarenko V., Pogrebinsky G., 1972. *On a frequency-time analysis of oscillations*. *Annales Geophys.*; 28, 211-218.
- Aki K. and Richards P.G., 1980. *Quantitative Seismology, Theory and Methods*, Vol. 1-2, W.H. Freeman & Co., New York.
- Tokimatsu K., Tamura S., Kojima H., 1992. *Effects of Multiple Modes on Rayleigh Wave Dispersion Characteristics*. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 118 (10), 1529-1543.
- Achenbach J.D., 1999. *Wave Propagation in Elastic Solids*, North-Holland, Amsterdam, Netherlands.
- Park C. B., Miller R. D. & Xia J., 1999. *Multichannel analysis of surface waves*, *Geophysics*, 64, 3; 800-808.
- Zywicki D.J., 1999. *Advanced Signal Processing Methods Applied to Engineering Analysis of Seismic Surface Waves*, Ph.D. Dissertation, Georgia Institute of Technology.
- Herrmann R.B. 2003. *Computer Programs in Seismology*.
- O'Neill A., Dentith M., List R., 2003. *Full-waveform P-SV reflectivity inversion of surface waves for shallow engineering applications*, *Exploration Geophysics*, 34, 158-173.
- Arai H., Tokimatsu K., 2004, *S-wave velocity profiling by inversion of microtremor H/V spectrum*, *Bull. Seism. Soc. Am.*: 94, 53-63.
- Safari J., O'Neill A., Matsuoka T., Sanada Y. (2005). *Applications of Love Wave Dispersion for Improved Shear-wave Velocity Imaging*, *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 10, 135-150.
- Dal Moro G., Pipan M. & Gabrielli P., 2007. *Rayleigh Wave Dispersion Curve Inversion via Genetic Algorithms and Posterior Probability Density Evaluation*, *J. Appl. Geophysics*, 61, 39-55.
- Herak M., 2008. *Model HVSR - A Matlab tool to model horizontal-to-vertical spectral ratio of ambient noise*, *Computers & Geosciences*, 34, 1514-1526.
- Lunedei E. and Albarello D.; 2009. *On the seismic noise wavefield in a weakly dissipative layered Earth*, *Geophys. J. Int.*, 177, 1001-1014.
- Software *Microtremor* (<http://nato.gfz.hr/SW.zip>) di Albarello D. & Lunedei E. (vedi Lunedei E., Albarello D., 2009, *On the seismic noise wavefield in a weakly dissipative layered Earth*, *Geophys. J. Int.*, 177, 1001-1014).
- Dal Moro G., 2010. *Insights on Surface-Wave Dispersion Curves and HVSR: Joint Analysis via Pareto Optimality*, *J. Appl. Geophysics*, 72, 29-140.
- Dal Moro G. & Ferigo F., 2011. *Joint Analysis of Rayleigh - and Love-Wave Dispersion for Near-Surface Studies: Issues, Criteria and Improvements*, *J. Appl. Geophysics*, in stampa.
- Dal Moro G., 2011. *Some Aspects about Surface Wave and HVSR Analyses: an Short Overview and a Case Study*, *BGTA (Bollettino Geofisica Teorica e Applicata)*, Vol. 52, in stampa.
- Luo Y., Xia J., Xu Y. & Zeng C., 2011, *Analysis of group-velocity dispersion of high-frequency Rayleigh waves for near-surface applications*. *Journal of Applied Geophysics*, 74, 157-165.

RIFERIMENTI NORMATIVI

- D.M. 14 Gennaio 2008. *Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni*.
- CIRCOLARE 2 Febbraio 2009 n. 617 C.S.LL.PP. *Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008*.
- D.M. 17 Gennaio 2018 *Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»*.