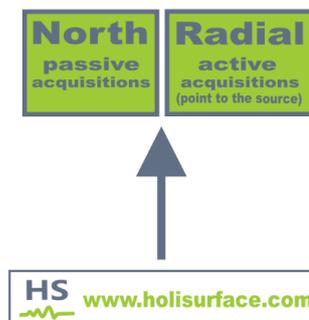




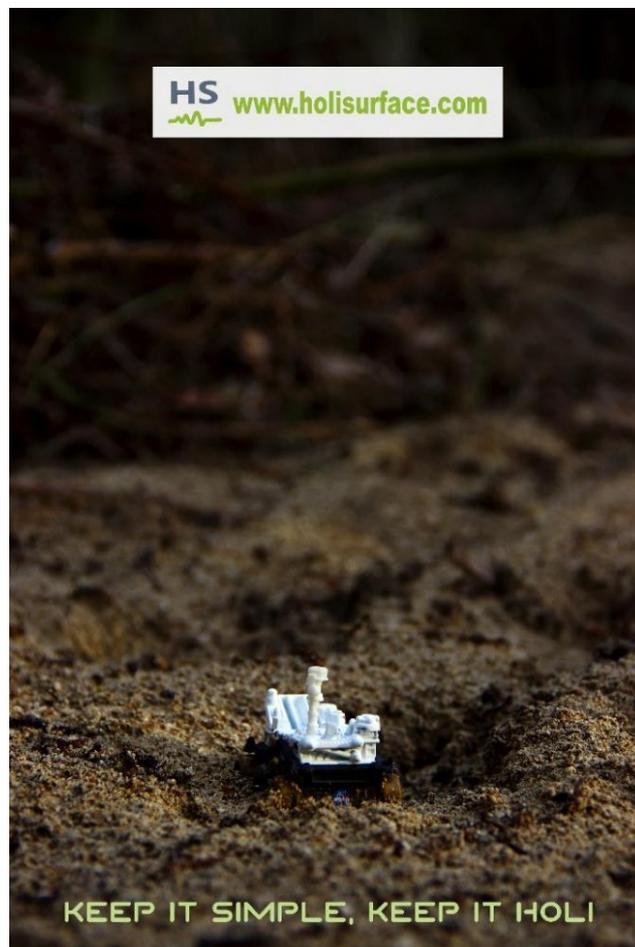
Determinazione del profilo V_s dall'analisi congiunta delle velocità di gruppo delle componenti Z e T (*HoliSurface*®) e della curva HVSR: caso studio



Marzo 2020

INDICE

1. Breve introduzione metodologica	3
2. Metodologie HS e HVSR in sintesi	5
2.1 <i>HoliSurface</i> [®]	5
2.2 HVSR	8
3. Analisi	9
3.1 HVSR#1 (centro stendimento)	9
3.2 HVSR#2 (punto del ricevitore durante l'acquisizione HS)	12
3.3 Computo della curva HVSR media	14
3.4 Analisi congiunta Z+T+HVSR	16
4. Riferimenti bibliografici	20



1. BREVE INTRODUZIONE METODOLOGICA

In riferimento alla relazione geologica allegata ad un progetto di intervento per la realizzazione di strutture inserite nella prima periferia di Spoleto, è stata effettuata un'indagine sismica secondo la metodologia congiunta *HoliSurface*[®] (*Holistic analysis of Surface waves - HS*) + *HVSR* (*Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio*). Tramite l'analisi dei dati multi-componente acquisiti è possibile definire il profilo verticale delle V_s (velocità di propagazione delle onde di taglio) e determinare la V_{s30} e/o la velocità equivalente necessaria a classificare il tipo di sottosuolo così come indicato nelle norme tecniche per le costruzioni (NTC-2018).

La tecnica HS si fonda sulla determinazione di diversi *observables* (spettri di velocità di gruppo delle componenti verticale (Z), radiale (R) e trasversale (T), *Radial-to-Vertical Spectral Ratio* – *RVSR* e *curve Rayleigh-wave Particle Motion*, RPM) che, anche congiuntamente alla curva *HVSR*, consentono di impostare un'inversione congiunta utile a determinare in modo robusto e puntuale il profilo V_s (vedi schema concettuale riportato in Figura 1 e tratto da Dal Moro, 2019).

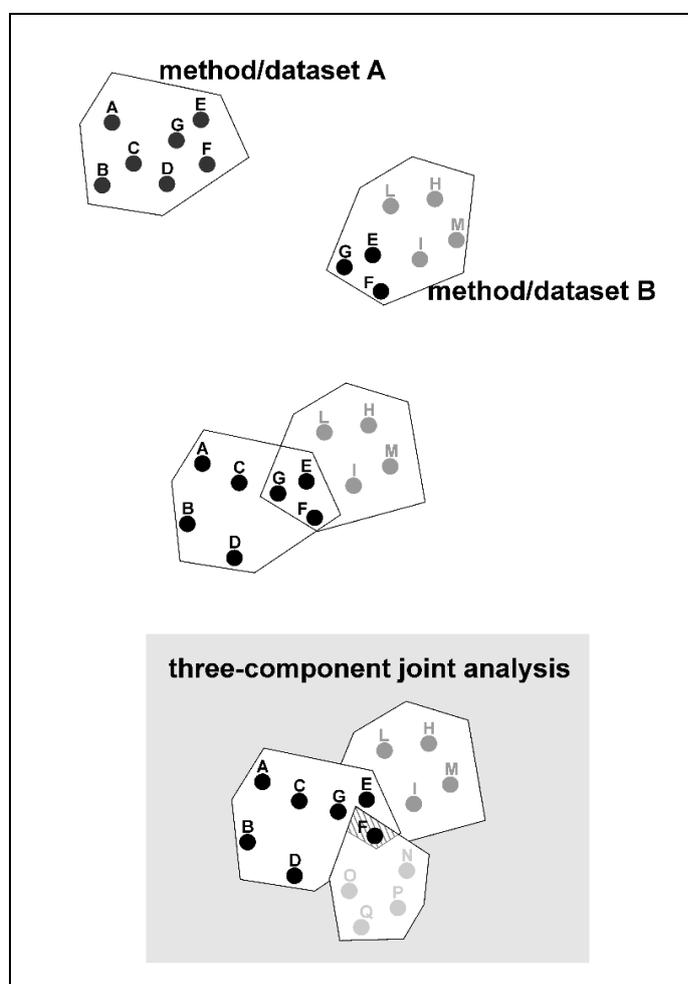


Figura 1. Schema concettuale per descrivere il significato dell'analisi congiunta possibile da dati multi-componente. Solamente l'utilizzo di diversi "oggetti di analisi" (*observables*) consente di restringere l'ambiguità che, altrimenti, caratterizza qualsiasi indagine di superficie.

Vs equivalente (VsE) e Vs30

La V_s equivalente inserita nelle NTC [Norme Tecniche per le Costruzioni] 2018 è definita dalla seguente relazione:

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

in cui la profondità H è quella a cui la velocità V_s è pari o superiore a 800 m/s (*bedrock* sismico), mentre h e V_s sono i valori di spessore (in metri) e velocità delle onde di taglio (in m/s) per ciascuno degli N strati che costituiscono il modello di sottosuolo.

Si tratta in pratica di una *variazione sul tema* rispetto al parametro V_{s30} (in quel caso il valore di H è fissato a 30 m).

Di fatto, se il *bedrock* sismico è più profondo di 30 m (dal piano di fondazione) la V_s equivalente (che nei nostri software è sinteticamente indicata come **VsE**) è pari alla V_{s30} .

Le categorie di sottosuolo delle NTC2018:

A - 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.

B - 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

C - Depositati 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

D - Depositati 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

E - 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.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Decreto 17 gennaio 2018 in aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni e pubblicato sul Supplemento ordinario n° 8 alla Gazzetta Ufficiale del 20/02/2018.

2. METODOLOGIE HS E HVSR IN SINTESI

2.1 HoliSurface®

La metodologia *HoliSurface*® (HS) è una procedura di acquisizione ed analisi di dati di sismica attiva che considera in modo congiunto (olistico) tutta una serie di *oggetti di analisi (observables)* che, nel loro insieme, descrivono in maniera appunto olistica la propagazione delle onde di Rayleigh e Love (vedi riferimenti bibliografici in calce e il documento di presentazione disponibile al seguente [link](#)). Tale tipo di indagine è una evoluzione (oggetto di brevetto – www.holisurface.com) del metodo di analisi delle velocità di gruppo tramite MFA (*Multiple Filter Analysis* – Dziewonski et al., 1969) e/o FTAN (*Frequency Time ANalysis* – Natale et al., 2004), quindi basata sulla dispersione delle onde di superficie (velocità di gruppo; rapporto tra spazio e tempo di arrivo dell'onda frequenza per frequenza) e la sua analisi secondo l'approccio FVS (*Full Velocity Spectrum*).

Per il presente lavoro sono state considerate entrambe le componenti Z (componente verticale dell'onda di Rayleigh) e T (onde di Love) unitamente alla curva HVSR [*Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio*].

L'acquisizione dei dati HS (attivi) avviene grazie ad un unico geofono triassiale (evidentemente *triggerabile*). Lo stesso geofono è poi utilizzato per registrare i dati passivi utili a definire il rapporto spettrale H/V.

I dati (attivi e passivi) sono poi analizzati congiuntamente secondo i principi del fronte di Pareto così come presentato ad esempio in Dal Moro et al. (2015; 2016; 2019).

Acquisire un dato per analisi *HoliSurface*® non è molto diverso rispetto alle tradizionali acquisizioni di sismica attiva finalizzate, ad esempio, ad effettuare analisi MASW o a rifrazione (lo zero dei tempi è determinato dal trigger, il quale dà inizio alla registrazione).

La differenza sostanziale rispetto alla cosiddetta tecnica MASW (ma tale acronimo è stato abbondantemente frainteso – vedi libro “*Acquisizione e analisi di dati sismici e vibrazionali per studi di caratterizzazione sismica e geotecnica*” pubblicato per la Flaccovio nel 2019), sta nel fatto che per effettuare acquisizioni e analisi *HoliSurface*®, invece di utilizzare *n* geofoni a componente singola, si utilizza un unico geofono a tre componenti (geofono triassiale) posto ad una certa distanza (*offset*) dalla sorgente e opportunamente orientato in modo da raccogliere i dati relativi alla componente verticale (Z), radiale (R) e trasversale (T).

Video introduttivo all'approccio *HoliSurface*®: [qui](#)

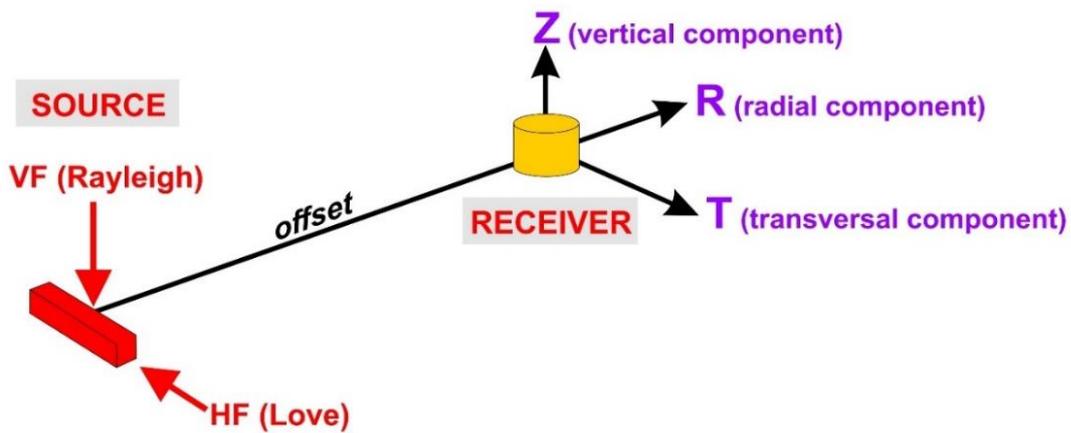


Figura 2. Componenti sismiche.

La seguente tabella riporta i principali parametri di acquisizione svolta nell'area Nord-Est di Spoleto che la *carta geologica* indica come caratterizzata da *Depositi di Conoide* (deposito costituito da materiale limo argilloso sabbioso per i primi metri che poi diventa di tipo ghiaioso in matrice limosa/sabbiosa).

offset	40 m (questioni di "opportunità logistiche" hanno limitato l' <i>offset</i> adottato ma la regola da seguire è che tale <i>offset</i> va scelto in modo da ottenere stendimenti più lunghi possibile)
lunghezza registrazione	2 s (poi ridotto a 0.6 s in fase di elaborazione)
frequenza di campionamento	1000 Hz
sorgente	Mazza da 10 kg su piastra (per la generazione delle onde di Rayleigh) e su traversina (per la generazione delle onde di Love)
stack	10





Figura 3. Battuta trasversale (HF - *Horizontal Force*) per la generazione delle onde di Love.

Figura 4. Battuta verticale (VF - *Vertical Force*) per la generazione delle onde di Rayleigh.



2.2 HVSR

Il rapporto HVSR è in uso in sismologia indicativamente dalla fine degli anni '60 (vedi ad esempio Mark and Sutton, 1975). Negli anni ottanta, in Giappone, sono stati poi svolti diversi studi sul suo utilizzo in relazione alla valutazione del rischio sismico (vedi studi di Nakamura riportati tra i riferimenti bibliografici). Di fatto non è mai stata dimostrata la relazione tra amplificazione e curva HVSR. Considerazioni teoriche e osservazioni sperimentali non supportano infatti l'idea (purtroppo molto popolare) che la curva HVSR rappresenti, *sic et simpliciter*, la curva di amplificazione.

Diversi studi hanno infatti dimostrato che (vedi ad esempio Perron et al., 2018 e riferimenti bibliografici in esso contenuti) l'amplificazione effettivamente registrata durante un terremoto si discosta anche di molto rispetto la curva HVSR (vedi ad esempio dati riportati in Figura 5).

Se quindi, unicamente a dati riguardanti la velocità di propagazione delle onde di superficie, l'HVSR rappresenta un valido sussidio a stimare le V_s delle parti più profonde (e.g. Arai & Tokimastu, 2005; Dal Moro, 2015), essa non deve essere intesa come stima dell'amplificazione di sito.

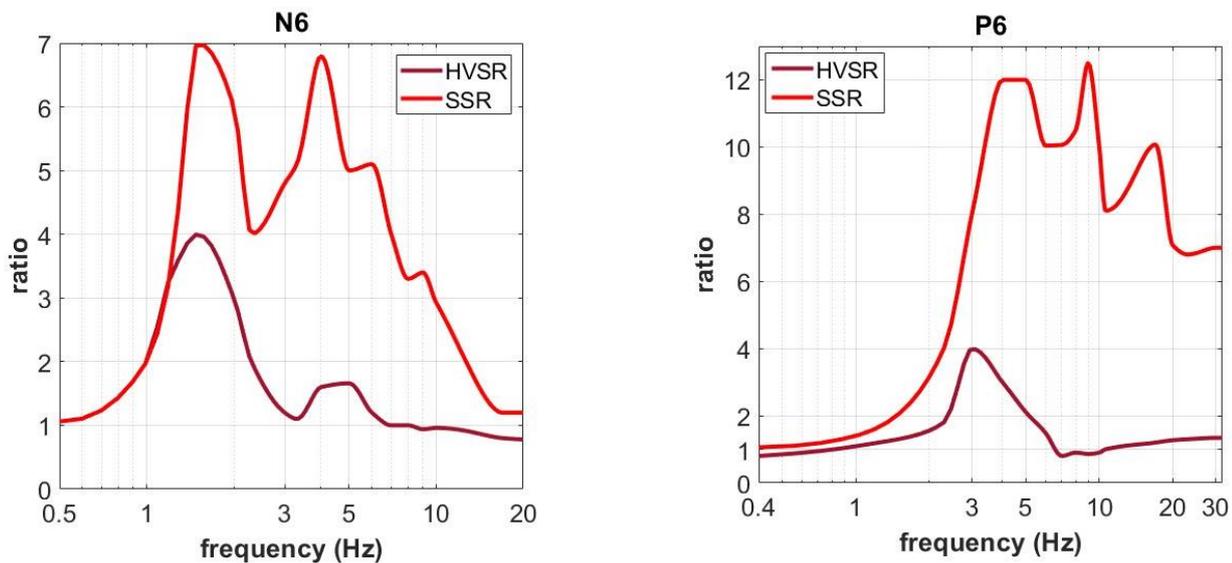
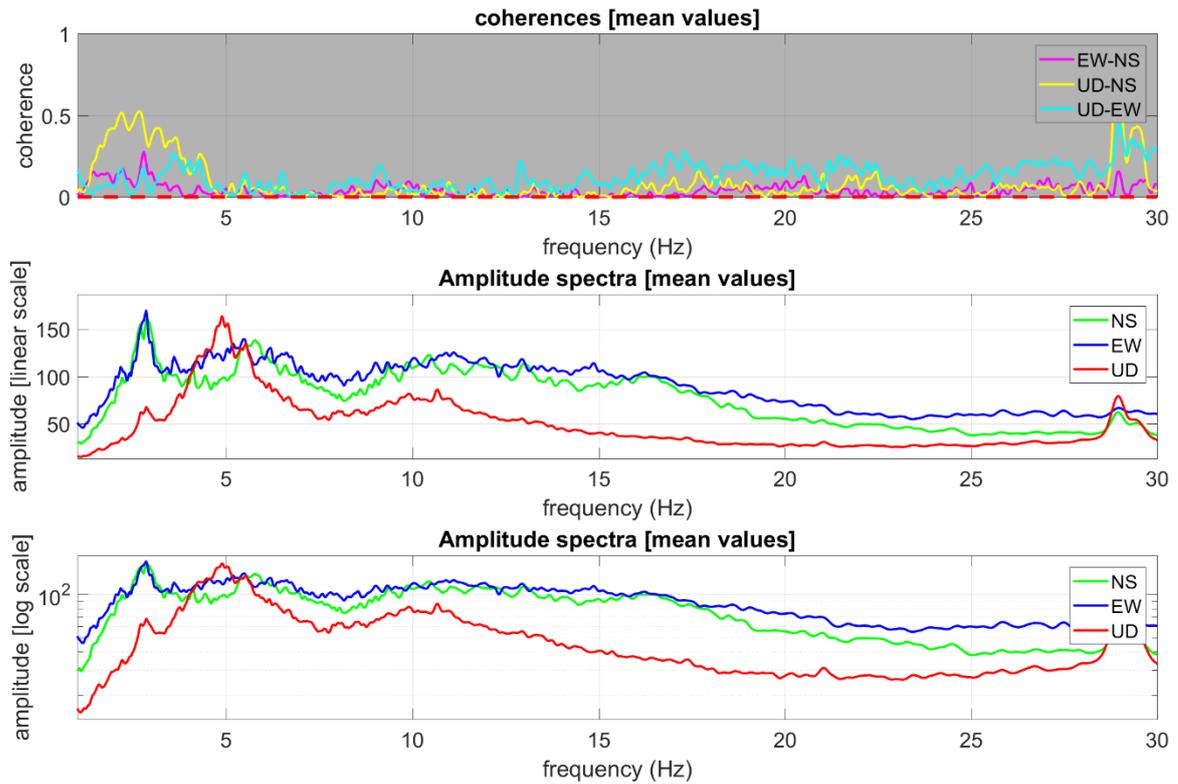


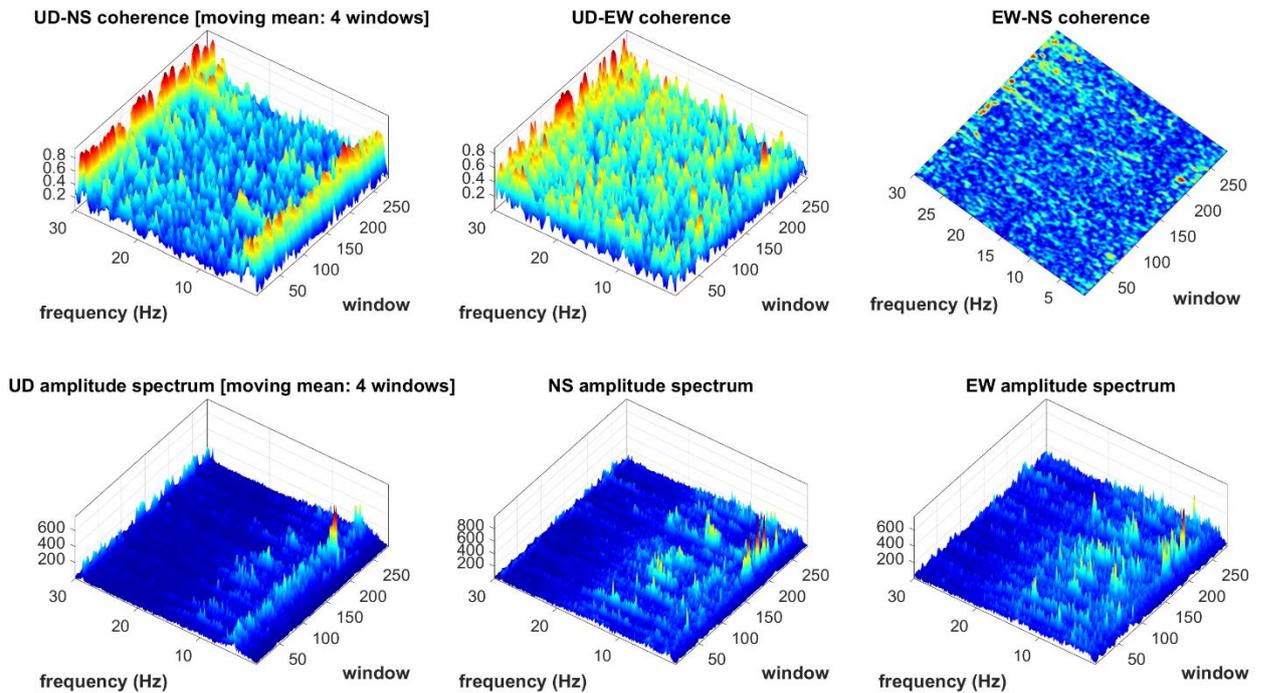
Figura 5. Confronto tra curva HVSR e curva di amplificazione reale (da analisi SSR – *Standard Spectral Ratio*) in caso di evento sismico (da Perron et al., 2018). Si noti la profonda differenza tra curva HVSR ed amplificazione effettivamente misurata.

3. ANALISI

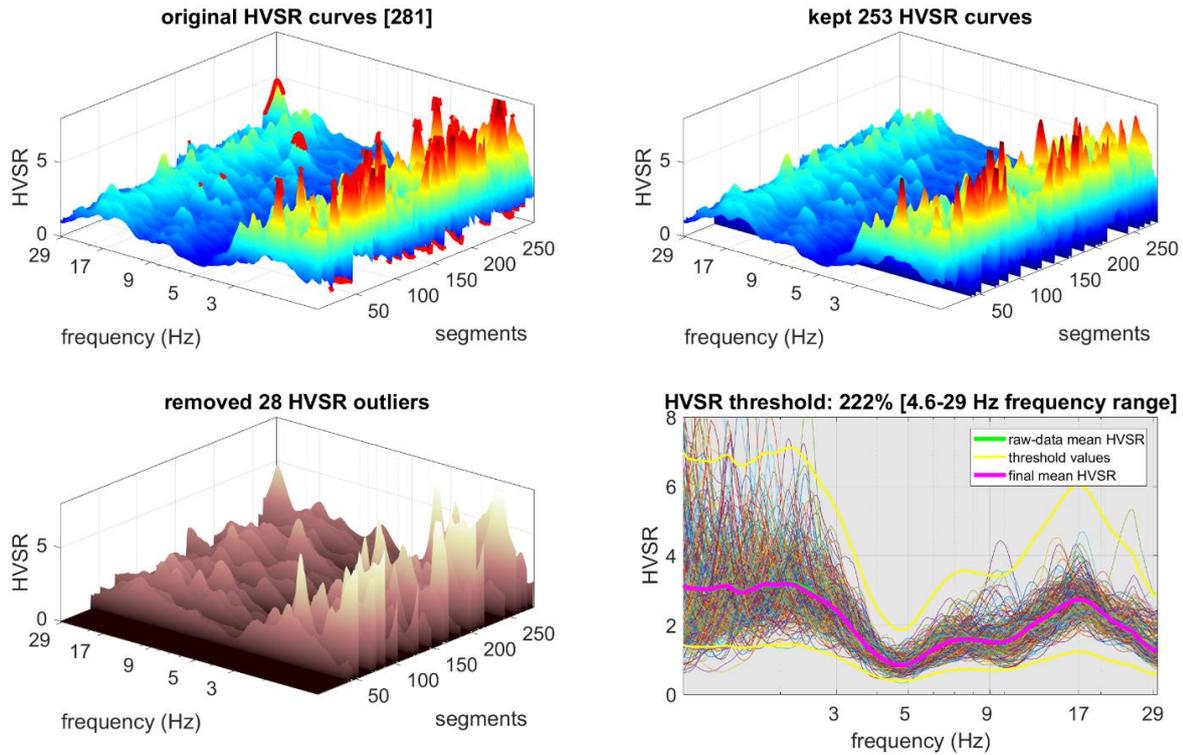
3.1 HVSR#1 (centro stendimento)



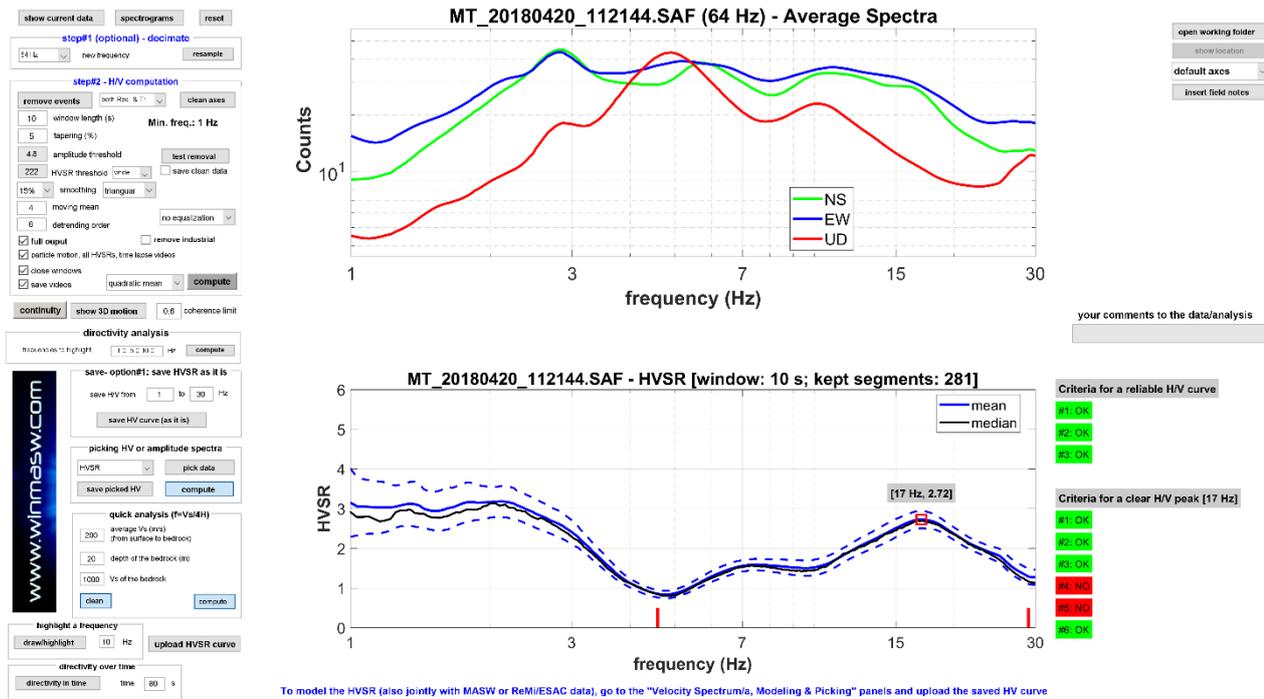
Dall'alto al basso: funzioni di coerenza per le tre coppie di sensori indicati, spettri di ampiezza (*smoothing* 1%) delle tre componenti con scala verticale lineare, spettri di ampiezza con scala verticale logaritmica.



Funzioni di coerenza nel tempo per le tre coppie di sensori e, sotto, spettri di ampiezza nel tempo per le componenti UD, NS e EW (spettrogrammi).

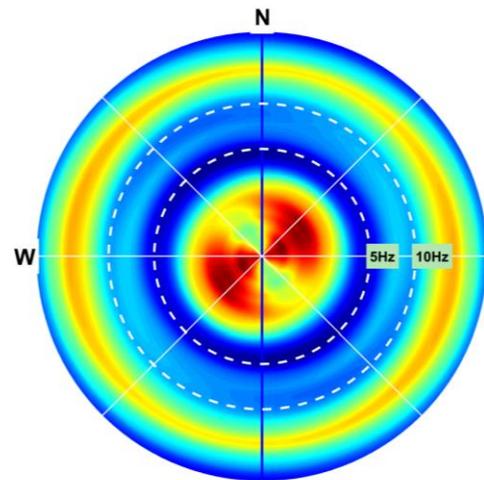
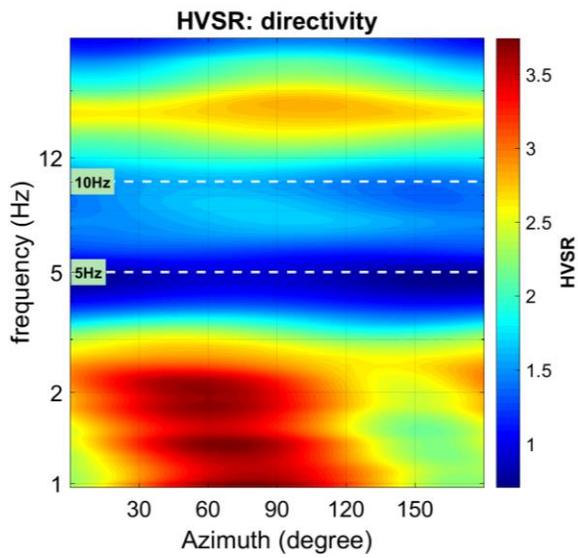
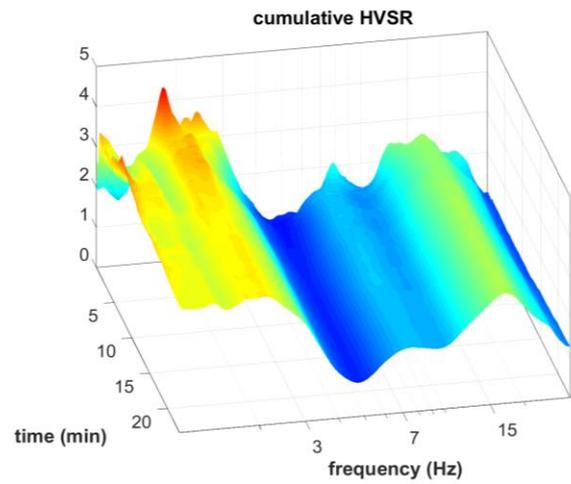
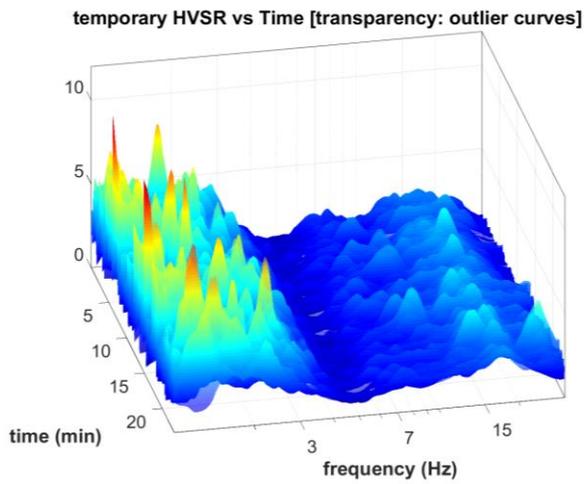


Dall'alto a sinistra in senso orario: 1) totalità delle curve HVSr per tutte le finestre considerate; 2) curve HVSr mantenute successivamente alla rimozione delle curve *outliers*; 3) curve HVSr rimosse (in quanto *outlier*); 4) curve HVSr con indicato il limite fissato (curva in giallo) oltre il quale le curve vengono rimosse in quanto *outlier*.



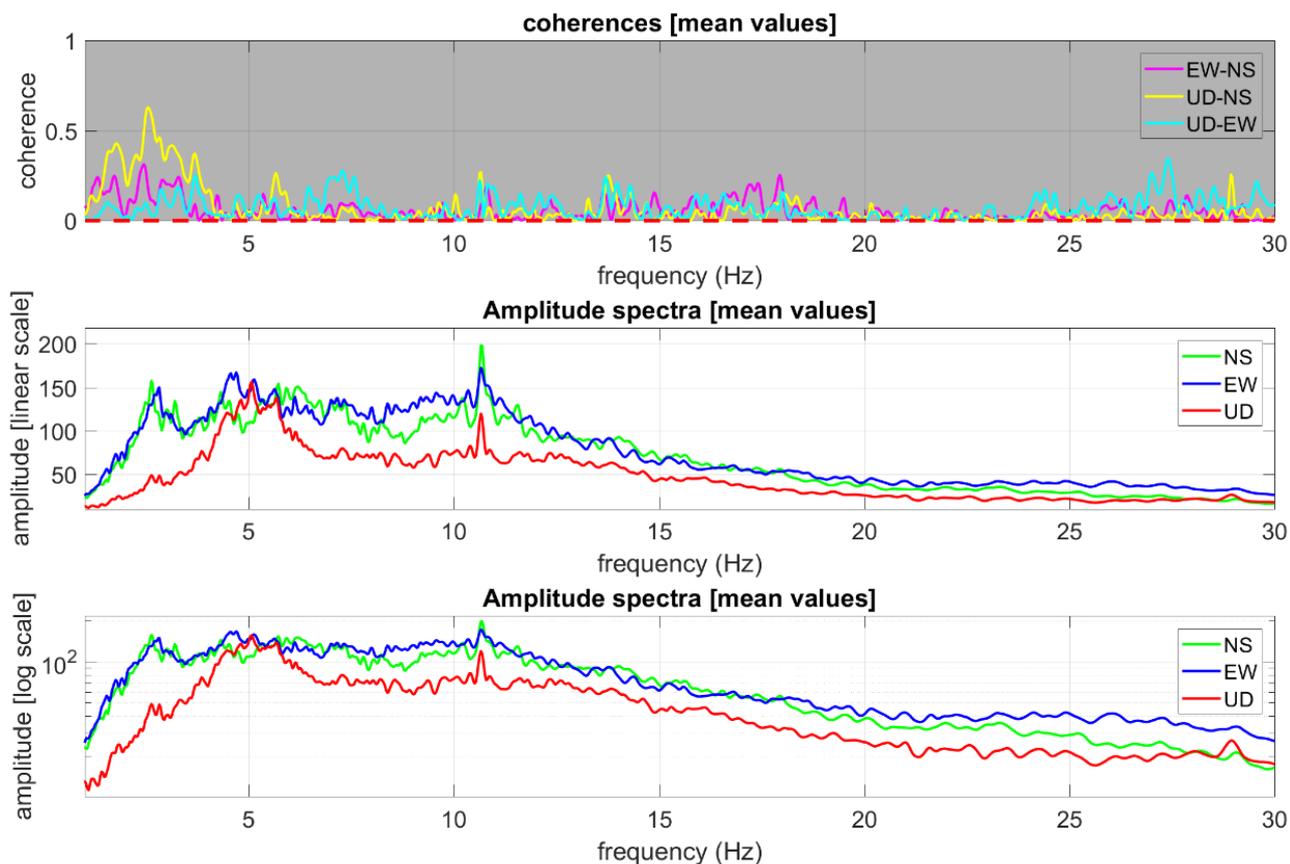
Spettri di ampiezza (*smoothing 15%*) e, in basso, curva HVSr media e mediana.

L'analisi dei dati non mostra la presenza di significativi segnali di natura industriale che alterino la curva HVSr naturale (vedasi spettrogrammi e funzioni di coerenza –Dal Moro, 2020) e la presenza di un picco (a circa 17 Hz) che soddisfa quattro dei sei criteri SESAME. Vi è poi un secondo “picco” a circa 2.1 Hz.

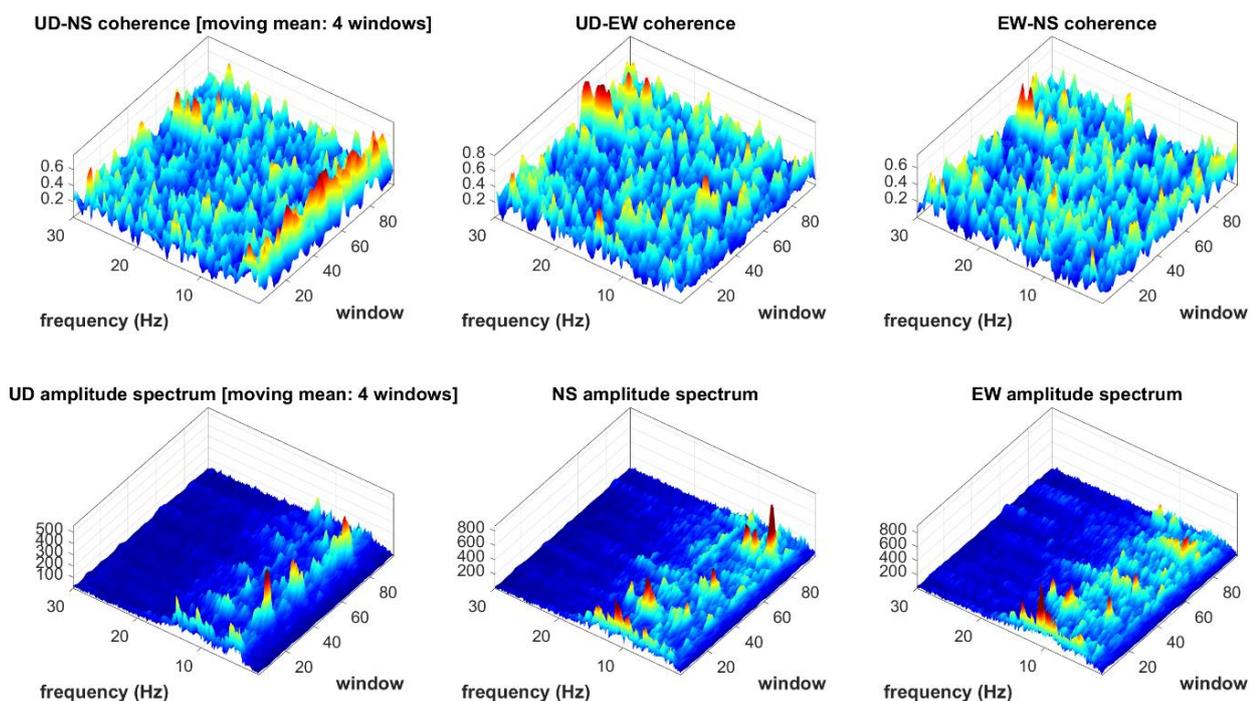


Continuità (sopra) e direttività (sotto) del rapporto H/V (si segnala la presenza di una certa direttività).

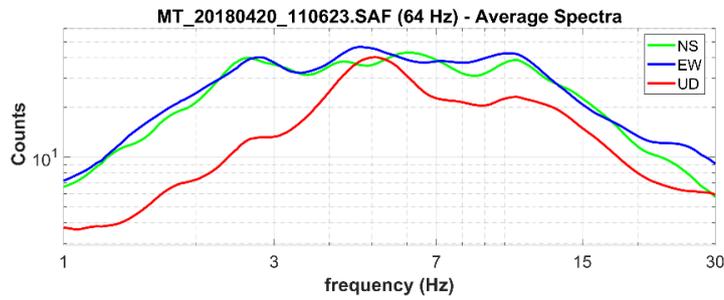
3.2 HVSR#2 (punto del ricevitore durante l'acquisizione HS)



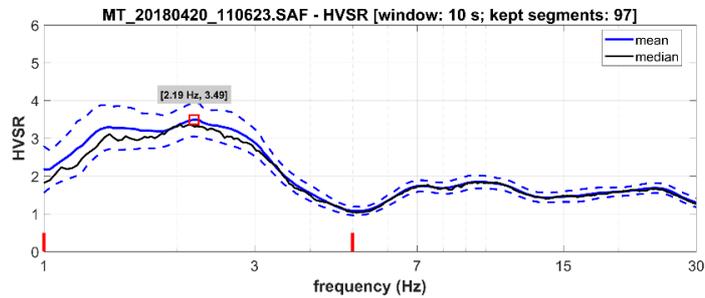
Dall'alto: funzioni di coerenza per le tre coppie di sensori indicati, spettri di ampiezza medi (*smoothing 1%*) con scala verticale lineare, spettri di ampiezza con scala verticale logaritmica.



Funzioni di coerenza nel tempo per le tre coppie di sensori e, sotto, spettri di ampiezza nel tempo per le componenti UD, NS e EW (spetrogrammi).



open working folder
show location
default axes
insert field notes



Criteria for a reliable HV curve

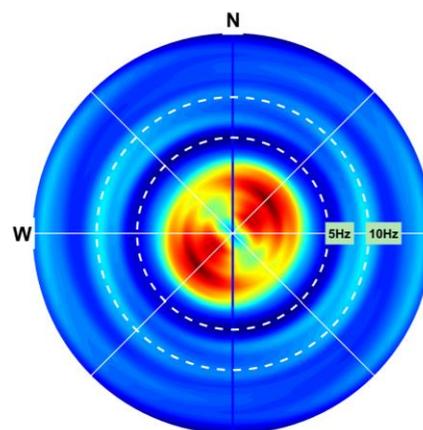
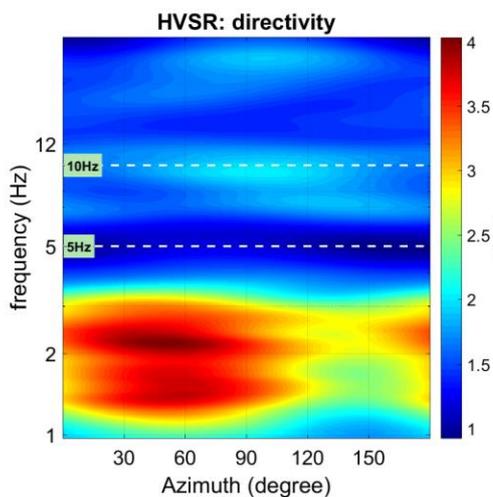
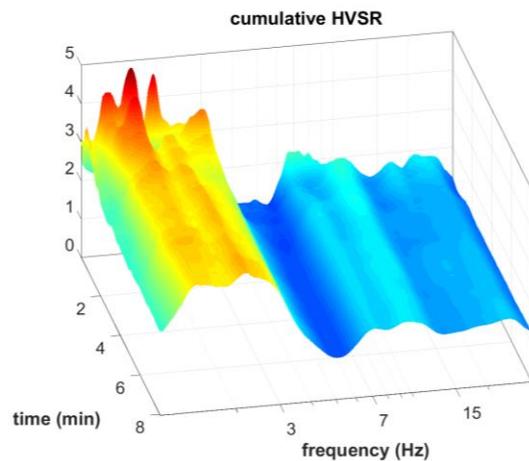
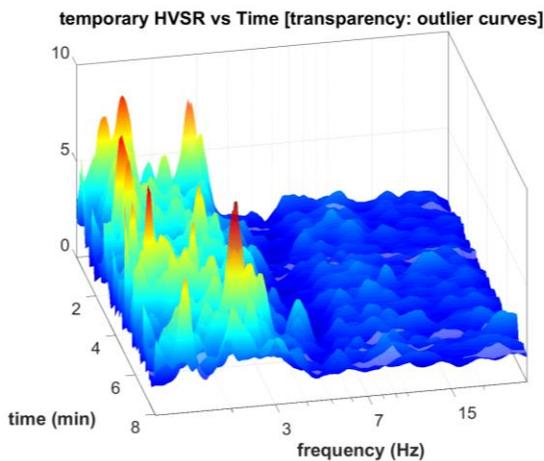
#1: OK
#2: OK
#3: OK

Criteria for a clear HV peak [2.19 Hz]

#1: OK
#2: OK
#3: OK
#4: NO
#5: NO
#6: OK

To model the HVSR (also jointly with MASW or ReMi/ESAC data), go to the "Velocity Spectrum/a, Modeling & Picking" panels and upload the saved HV curve

Spettri di ampiezza (*smoothing 15%*) e, in basso, curva HVSR media e mediana.

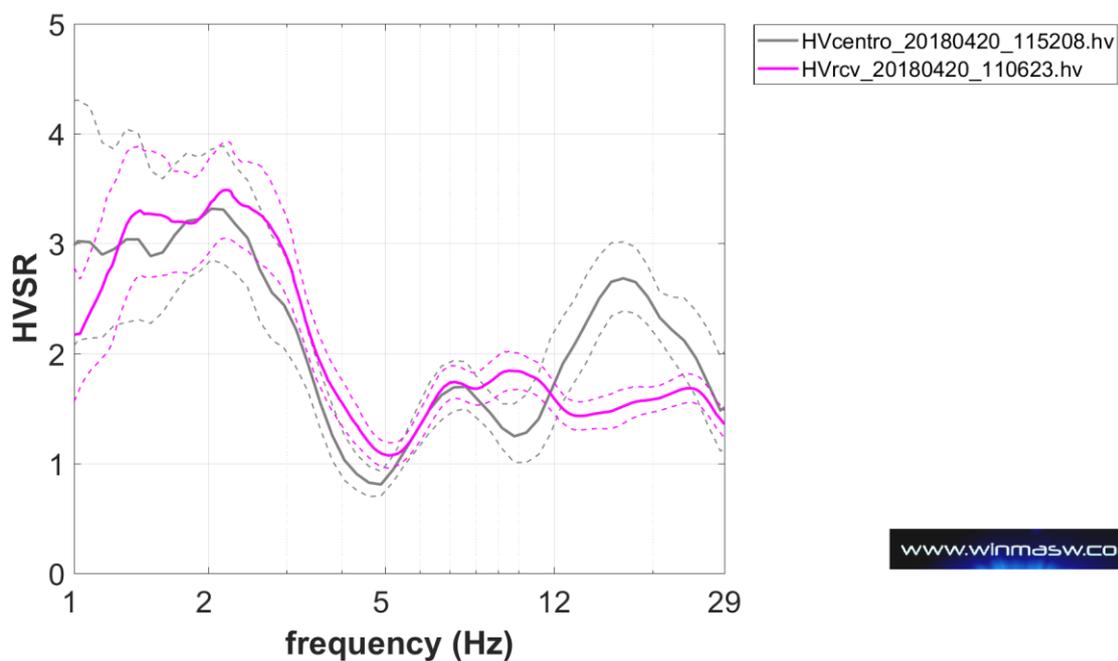
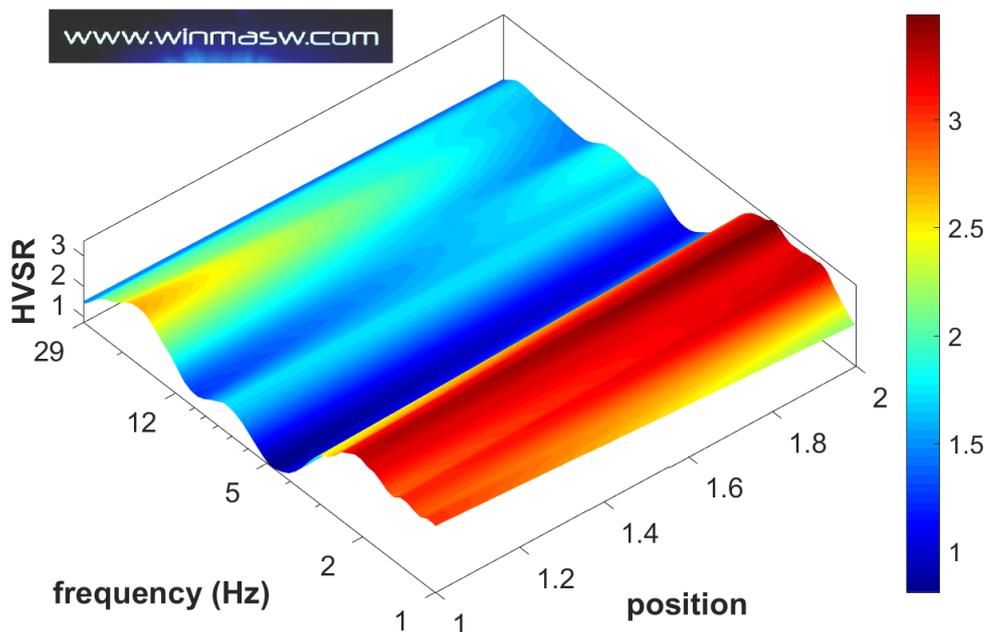
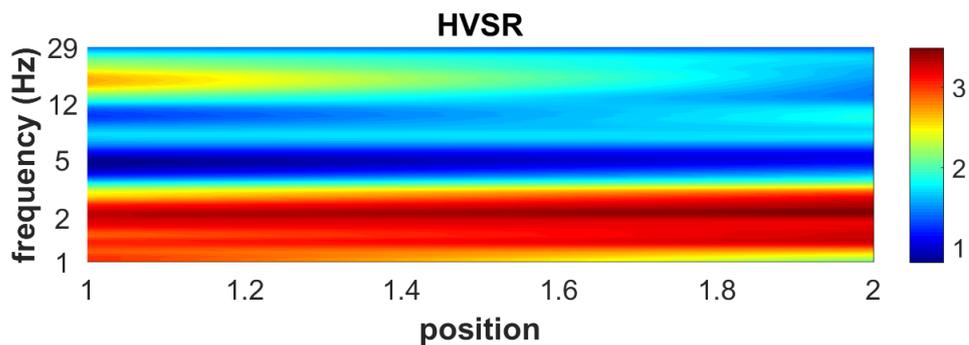


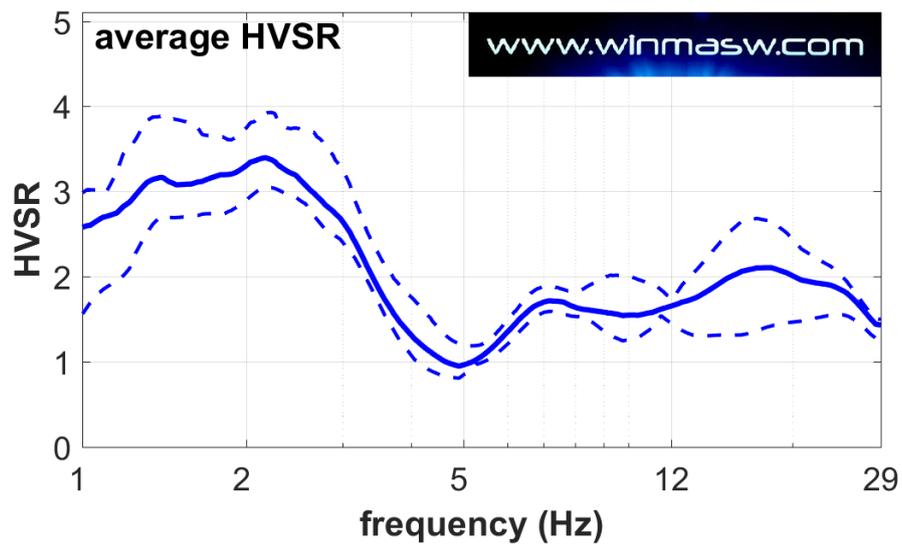
Continuità (sopra) e direttività (sotto) del rapporto H/V (si segnala la presenza di una certa direttività).

Analogamente al precedente dataset (HVSR#1), si segnala un "picco" a circa 2.2 Hz (non è invece presente il picco a 17 Hz visibile nel precedente dataset raccolto a circa 20 m di distanza).

3.3 Computo della curva HVSR media

Le due curve HVSR precedentemente riportate sono utilizzate/confrontate al fine di ottenere la curva HVSR media poi utilizzata congiuntamente ai dati di dispersione (spettri di velocità di gruppo).



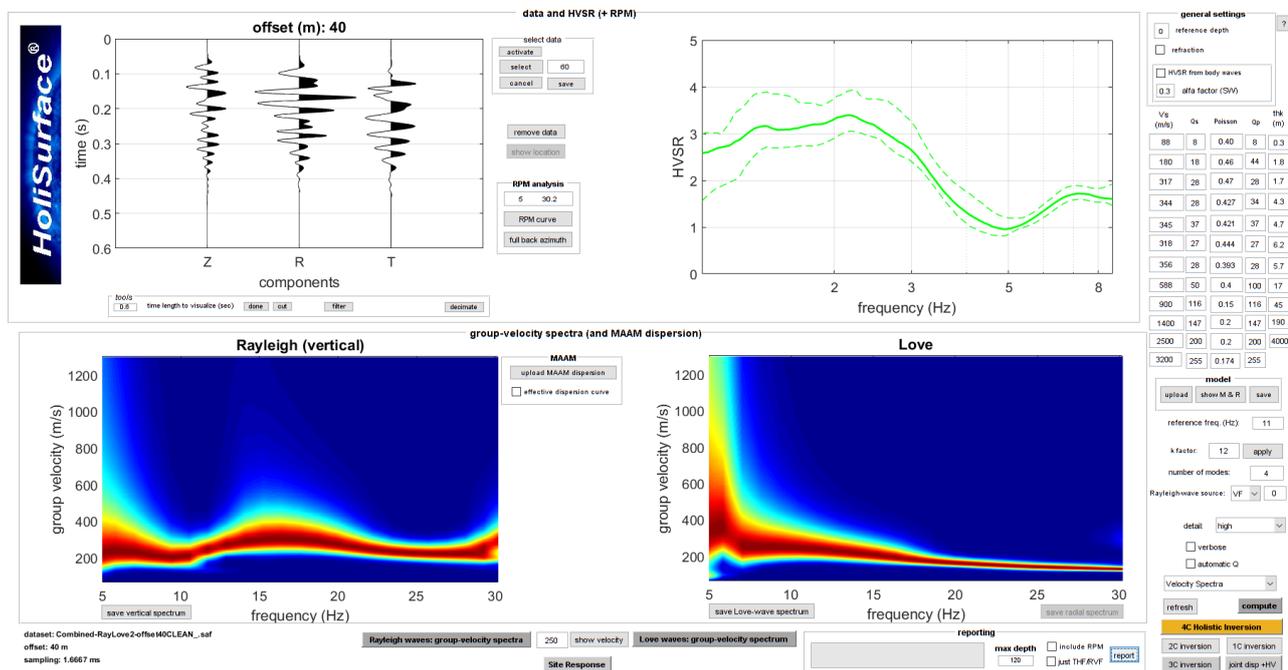


Curva HVSR media: a causa delle significative differenze a frequenze superiori a circa 8.5 Hz, la deviazione standard per tali frequenze è particolarmente alta. Durante l'analisi congiunta con gli spettri di velocità di gruppo Z+R (vedi prossima sezione), si è dunque considerata la curva HVSR media solo a frequenze inferiori a 8.5 Hz.

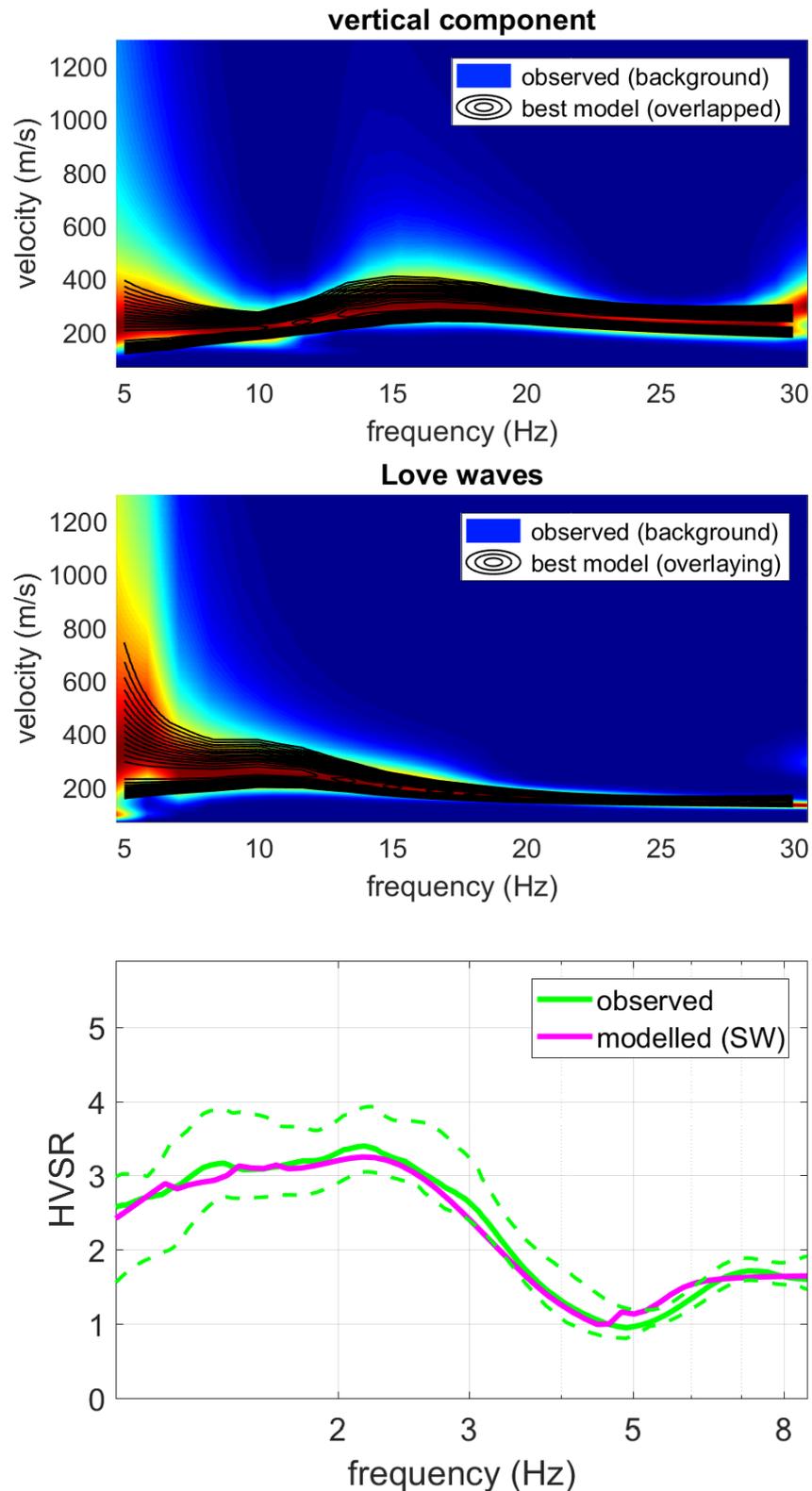
3.4 Analisi congiunta Z+T+HVSR

Gli spettri di velocità di gruppo delle componenti Z e T (verticale dell'onda di Rayleigh e onda di Love) sono state invertite congiuntamente alla curva HVSR media (determinata cioè come media delle due curve HVSR considerate – vedi precedente sezione) secondo i criteri dell'ottimo paretiano (e.g. Dal Moro et al., 2019).

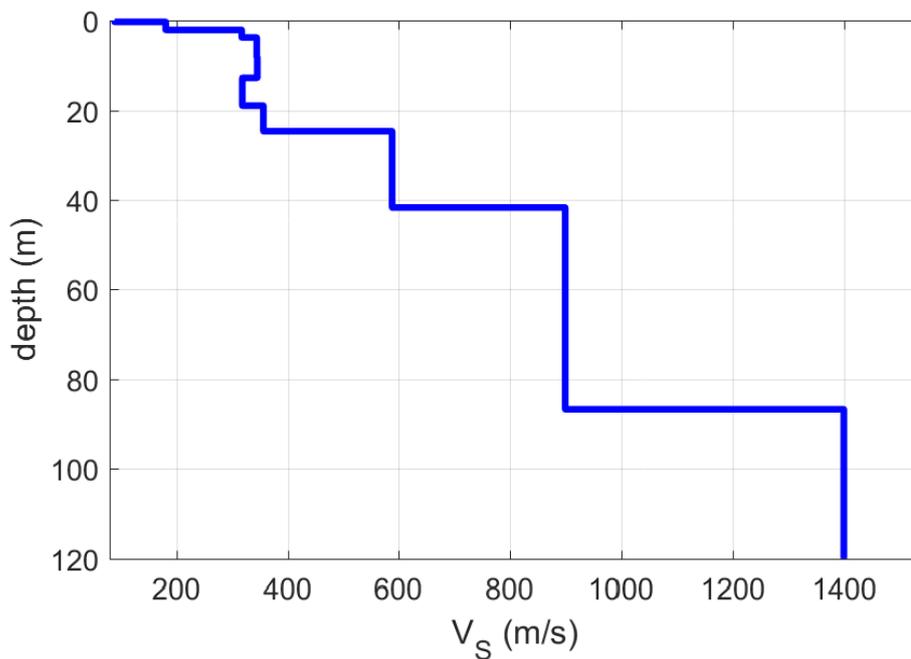
Poiché a frequenze superiori a circa 8.5 Hz le due curve HVSR deviano molto, durante l'analisi congiunta con gli spettri di velocità di gruppo si sono considerate solamente le frequenze inferiori a tale valore. Tale differenza è attribuibile a possibili variazioni laterali come anche a possibili "accidenti" che possono verificarsi in fase di acquisizione o legati a artefatti sepolti di varia natura. Gli spettri di velocità sono stati gestiti tramite approccio FVS (*Full Velocity Spectrum* – Dal Moro 2014; 2019) quindi senza alcun *picking*/interpretazione in termini di curve modali.



I tre *observables* utilizzati per l'inversione congiunta. Dall'alto a sinistra (in senso orario): le tracce sismiche attive (componenti Z R e T), curva HVSR e spettri delle velocità di gruppo delle componenti Z e T.



Risultato dell'inversione congiunta (modello riportato nella successiva immagine). La curva HVSR è stata modellata in accordo ad Arai & Tokimastu (2004), quindi considerando anche l'apporto delle onde di Love presenti nel campo dei microtremori (fattore α - vedi Dal Moro, 2014; 2019). Gli spettri di velocità di gruppo sono trattati secondo l'approccio FVS (*Full Velocity Spectrum*), quindi senza interpretazione/*picking* di curve modali. Si noti l'ottimo accordo su tutti i tre "oggetti" (*observables*) considerati.

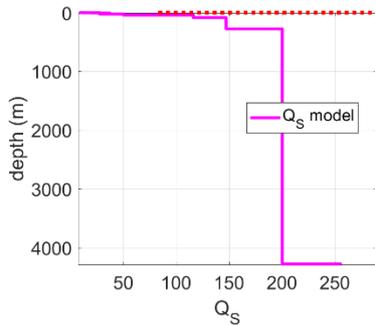
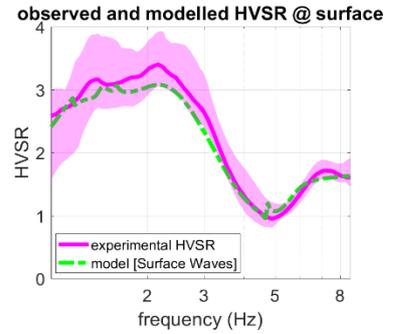
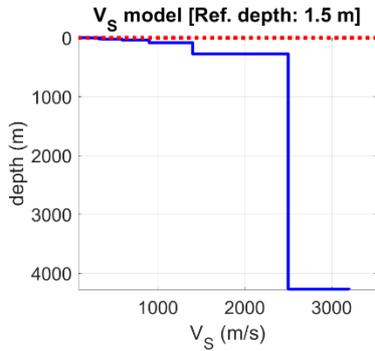


Vs model (Vs30 & VsE @ surface: 336 336 m/s)

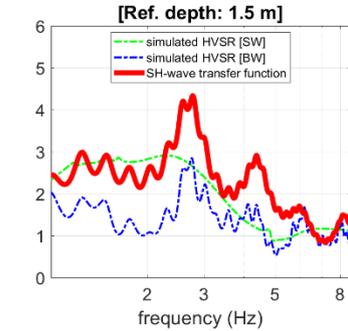
layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	88	0.3000	0.3000
2	180	1.8000	2.1000
3	317	1.7000	3.8000
4	344	4.3000	8.1000
5	345	4.7000	12.8000
6	318	6.2000	19
7	356	5.7000	24.7000
8	588	17	41.7000
9	900	45	86.7000
10	1400	190	276.7000
11	2500	4000	4.2767e...
12	3200	0	0

Modello del sottosuolo identificato tramite analisi congiunta Z+T+HVSr (lo strato profondo - non mostrato nel profilo V_s - ha una mera azione di stabilizzazione matematica e non va considerato in modo "realistico").

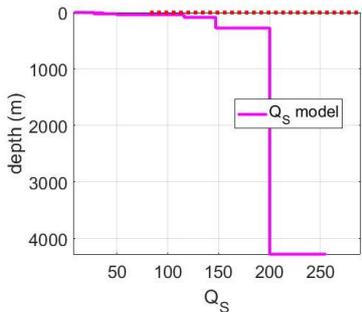
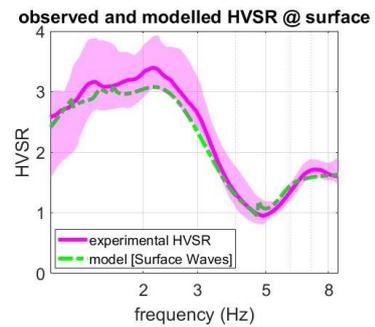
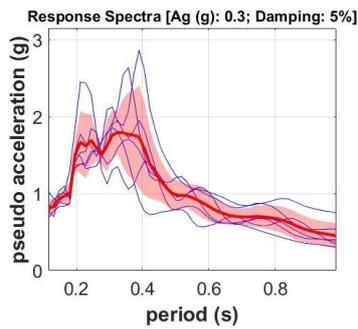
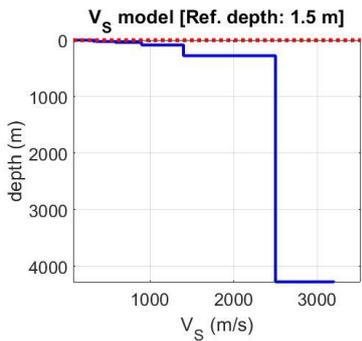
Sulla base delle analisi dei dati registrati, la V_s equivalente risulta pari a 336 m/s rispetto la superficie di campagna ma ad una profondità di 1.5 m sale a 366 m/s. In relazione alla profondità della fondazione, il sito può dunque essere classificato come C o B (NTC2018) [la piccola inversione tra circa 15 e 20 m di profondità è tale da non giustificare altre categorie).



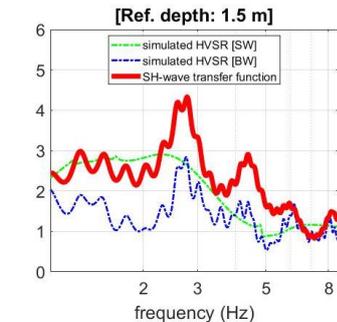
www.winmasw.com



Computo della *funzione di trasferimento delle onde SH* (curva rossa nel grafico in basso a destra – tale curva è di solito impropriamente identificata con la curva di amplificazione) e suo confronto con la curva HV di campagna e modellata. Ogni grafico indica con chiarezza la proprietà rappresentata (come indicato, si è considerata una profondità di fondazione di 1.5 m).



www.winmasw.com



Nel caso si abbiano a disposizione le serie temporali di possibili sismi al *bedrock* è anche possibile il computo dei relativi spettri di risposta (riportati in alto al centro). In questo caso abbiamo immaginato (a mero scopo dimostrativo) un valore di *ag* pari a 0.3.

4. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Arai, H., Tokimatsu, K., 2005. *S-Wave velocity profiling by joint inversion of microtremor dispersion curve and horizontal-to-vertical (H/V) spectrum*. Bull. Seism. Soc. Am. 95, 1766–1778.
- Arai, H., Tokimatsu, K., 2004. *S-wave velocity profiling by inversion of microtremor H/V spectrum*. Bull. Seism. Soc. Am 94, 53–63.
- Dal Moro G., 2020. *On the identification of industrial components in the Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR) from microtremors*. Pure and Applied Geophysics (in stampa)
- Dal Moro G., Al-Arifi N., Moustafa S., 2019. *On the efficient acquisition and holistic analysis of Rayleigh waves: Technical aspects and two comparative case studies*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 125. On-line: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0267726118310613>
- Dal Moro G., 2019. *Effective Active and Passive Seismics for the Characterization of Urban and Remote Areas: Four Channels for Seven Objective Functions*. Pure and Applied Geophysics, 176, 1445-1465. Available on-line: <https://rdcu.be/bbT04>
- Dal Moro G., Al-Arifi N., Moustafa S.R., 2017. *Improved Holistic Analysis of Rayleigh Waves for Single- and Multi-Offset Data: Joint Inversion of Rayleigh-wave Particle Motion and Vertical- and Radial-Component Velocity Spectra*. Pure and Applied Geophysics, on-line: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00024-017-1694-8.pdf>
- Dal Moro G. and Puzzilli L.M., 2018. *Single- and multi-component inversion of surface waves acquired by a single 3-component geophone: an illustrative case study*, Acta Geodyn. Geomater., 14, 4 (188), 431-444, online: https://www.irsm.cas.cz/materialy/acta_content/2017_doi/DalMoro_AGG_2017_0024.pdf
- Dal Moro G., Al-Arifi N., Moustafa S.R., 2017. *Analysis of Rayleigh-Wave Particle Motion from Active Seismics*. Bulletin of the Seismological Society of America (BSSA), 107, 51-62
- Dal Moro G., Keller L., Al-Arifi N., Moustafa S.R., 2016. *Shear-wave velocity profiling according to three alternative approaches: a comparative case study*. Journal of Applied Geophysics, 134, 112-124
- Dal Moro G., 2016. *Four Geophones for seven possible objective functions: active and passive seismics for tricky areas*. Invited presentation and Extended Abstract for the Urban Geophysics workshop of the 22nd EAGE Near Surface Geoscience conference (4-8 September 2016 - Barcelona, Spain)
- Dal Moro G., Moustafa S.R., Al-Arifi N., 2015. *Less is more: from van der Rohe to the 4-channel system for the efficient and holistic acquisition and analysis of surface waves. An urban case study*. Proceedings of the GNGTS (Gruppo Nazionale Geofisica della Terra Solida - ogs.trieste.it) congress (17-19 November 2015 - Trieste, Italy)
- Keller L., Weber T., Dal Moro G., 2015. *Geophysikalische In-situ-Bestimmung der Eingangsparameter in die seismischen Standortanalysen am Beispiel des Ambassador House Opfikon*. Proceedings of the 14th D-A-CH conference of the Swiss Society for Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Zurich, August 21-21, SIA D0255, ISBN 978-3-03732-060-0
- Dal Moro G., Keller L., Poggi V., 2015. *A Comprehensive Seismic Characterization via Multi-Component Analysis of Active and Passive Data*. First Break, 33, 45-53
- Dal Moro G., Moustafa S.R., Al-Arifi N., 2015. *Efficient acquisition and holistic analysis of Rayleigh waves*. Proceedings of the Near-Surface EAGE 2015 congress (Turin - Italy) [having received a very high score from the reviewers, the work was invited to be published in *Near Surface Geophysics* (the paper was instead published in *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*)]

- Dal Moro G., 2015. *Joint Inversion of Rayleigh-Wave Dispersion and HVSR of Lunar Seismic Data from the Apollo 14 and 16 sites*. ICARUS, 254, 338-349
- Dal Moro G., Ponta R., Mauro R., 2015. *Unconventional Optimized Surface Wave Acquisition and Analysis: Comparative Tests in a Perilagoon Area*. Journal of Appl. Geophysics, 114, 158-167
- Dziewonski A., Bloch S., Landisman N., 1969. *A technique for the analysis of transient seismic signals*. Bull Seism. Soc. Am. 59, 427-444.
- Keller L., Dal Moro G., Spillmann T., Deplazes G., Madritsch H., 2019. *Mapping bedrock topography of the Lower Aare valley using seismic surface waves*. 7th Swiss Geoscience Meeting, Fribourg 2019 (22-23 November 2019)
- Mark, N., Sutton, G.H., 1975. *Lunar shear velocity structure at Apollo sites 12, 14, and 15*. J. Geophys. Res. 80, 4932–4938.
- Nakamura, Y., 2000. *Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications*. In: Proc XII World Conf. Earthquake Engineering, New Zealand. Paper no 2656.
- Nakamura, Y., 1996. *Realtime Information Systems for Seismic Hazard Mitigation*. Quarterly Report of Railway Technical Research Inst. (RTRI), 37, 112–127.
- Nakamura, Y., 1989. *A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface*. Quarterly Report of Railway Technical Research Inst. (RTRI), 30, 25–33.
- Natale M., Nunziata C., Panza G.F. 2004. *FTAN method for the detailed definition of Vs in urban areas*. In 13th World Conference on Earthquake Engineering, p. 2694. Vancouver, B.C., Canada.
- Perron V., Gélis C., Froment B., Hollender F., Bard P.-Y., Cultrera G., Cushing E.C., 2018. *Can broadband earthquake site responses be predicted by the ambient noise spectral ratio? Insight from observations at two sedimentary basins*. Geophysical Journal International, 215, 1442–1454.

Documento di presentazione del software **HoliSurface®**: qui



Libro in cui vengono illustrate una serie di metodologie implementate nel software HS e fornito (sino ad esaurimento scorte) assieme al software stesso

Giancarlo Dal Moro



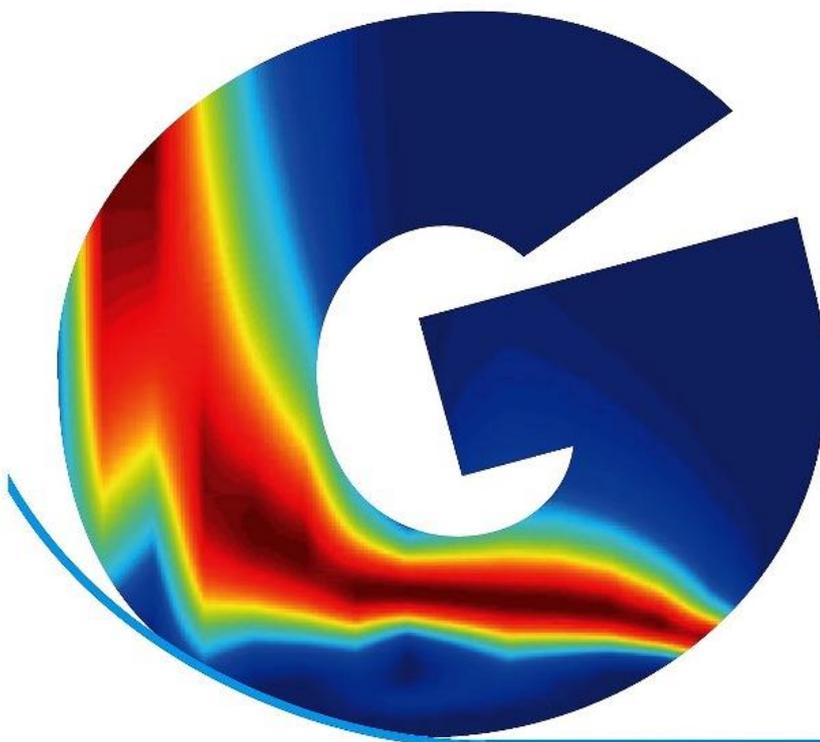
Dario Flaccovio Editore

Giancarlo Dal Moro

ACQUISIZIONE E ANALISI DI
DATI SISMICI E VIBRAZIONALI
PER STUDI DI
CARATTERIZZAZIONE SISMICA E GEOTECNICA



Acquisizione e analisi di dati sismici e vibrazionali
per studi di caratterizzazione sismica e geotecnica



- Le NTC nello scenario italiano ✓
- MASW multi-componente, HoliSurface®, ESAC, MAAM e HVSR ✓
- Analisi FVS e RPM - Analisi congiunta: concetti e pratica ✓
- Analisi vibrazionali di cantiere ✓
- Analisi vibrazionali per la caratterizzazione di edifici (metodo classico e GHM) ✓

Shear source: the plate is set vertically (in a small hole dug in the ground). The horizontal force (hammer) is applied perpendicularly to the geophone array.



New book available in May 2020:

**Efficient Joint Analysis of Surface Waves and Introduction to Vibration
Analysis: Beyond the Clichés**



contact: winmasw@winmasw.com