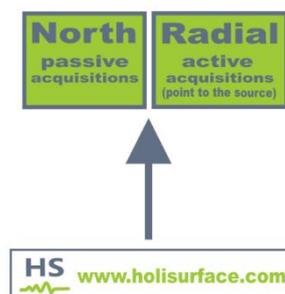




Kaiserjagerstrasse (Trentino Alto Adige): determinazione del profilo V_s da analisi congiunta delle velocità di gruppo delle componenti R e T e della curva HVSR

Il presente **caso studio** rappresenta una sorta di **trait d'union** tra il mondo **MASW** (da noi sempre considerato nella sua implementazione multi-componente) e il mondo **HS** (*HoliSurface*[®]): in fase di acquisizione sono state acquisite le classiche tracce attive multi-offset delle componenti R (radiale delle onde di Rayleigh) e T (trasversale, cioè onde di Love) [l'obiettivo era quello di effettuare l'analisi congiunta MASW in onde di Rayleigh e Love]. In fase di analisi del dato ci si è resi conto di quanto confusi fossero gli spettri della **velocità di fase** (cioè il classico mondo delle cosiddette MASW) e si è dunque optato per l'analisi degli spettri della **velocità di gruppo** computati considerando un'unica traccia, quella ad offset maggiore (naturalmente sia per la componente R che T). Tali spettri di **velocità di gruppo** sono stati quindi **modellati** (secondo l'approccio **FVS – Full Velocity Spectrum**) **assieme alla curva HVSR** media ottenuta dai dati raccolti in tre diversi punti dello stendimento. In pratica è fare una sorta di parziale analisi HS (il software HS consente di fare molto di più) in *winMASW*[®] *Academy* (**essendo di fatto necessaria l'acquisizione di una sola traccia per componente**).



INDICE

1. Breve introduzione metodologica	3
2. Metodologie HS e HVSR in sintesi	4
2.1 <i>HoliSurface</i> ®	4
2.2 HVSR	8
3. Analisi	9
3.1 HVSR valle.....	9
3.2 HVSR centrale.....	12
3.3 HVSR monte	15
3.4 Computo della curva HVSR media	18
3.5 Analisi congiunta R+T+HVSR	20
4. Riferimenti bibliografici	23



1. BREVE INTRODUZIONE METODOLOGICA

Al fine di determinare il profilo V_s (velocità di propagazione delle onde di taglio) in un contesto particolarmente complesso (vedi oltre), è stata effettuata un'acquisizione di dati attivi multi-componente (R e T) e multi-offset e di tre datasets di microtremori utili a definire tre HVSR (*Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio*) in tre diversi punti dello stendimento. Attraverso l'analisi dei dati multi-componente acquisiti è possibile definire il profilo verticale delle V_s 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 metodologia di analisi è fondata sulla determinazione di diversi *observables* (cioè oggetti di analisi) che, nel nostro caso, saranno gli spettri di velocità delle componenti radiale (R) e trasversale (T) che, anche congiuntamente alla curva HVSR media, consentono di impostare un'inversione o una modellazione 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).

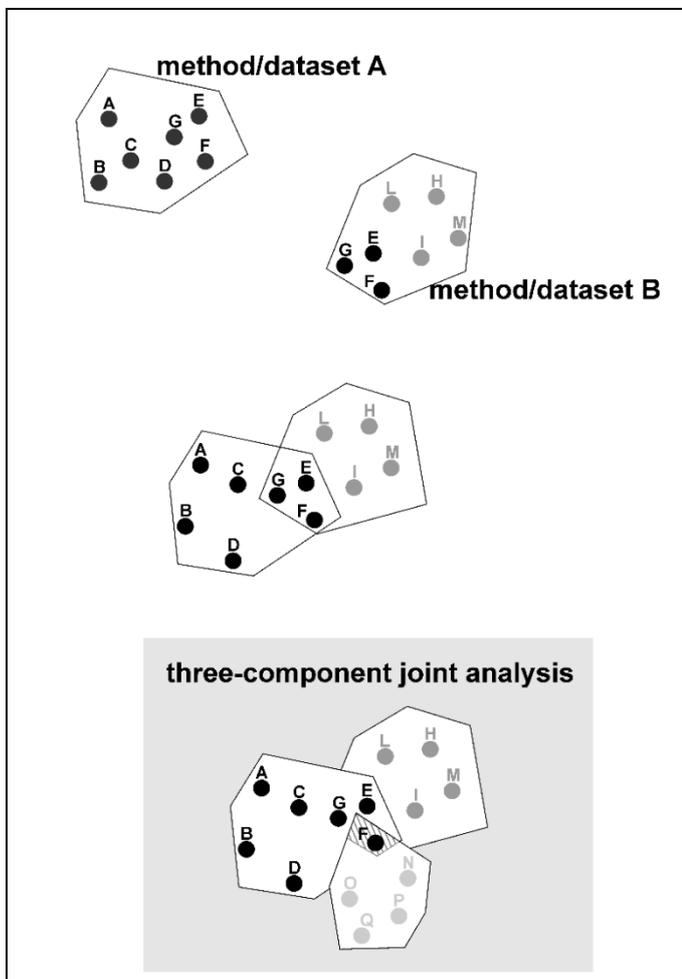


Figura 1. Schema concettuale per descrivere il significato dell'analisi congiunta possibile da dati multi-componente. Solamente l'utilizzo di diversi "oggetti di analisi" (*observables*) consente di restringere l'ambiguità che, altrimenti, caratterizza qualsiasi indagine di superficie.

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 tutta una serie di *oggetti di analisi (observables)* i quali, nel loro insieme, descrivono in maniera completa (quindi 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 R (componente radiale dell'onda di Rayleigh) e T (onde di Love) unitamente alla curva HVSR [*Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio*].

In genere, 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).

Nel caso in esame, le tracce attive utilizzate per la determinazione degli spettri delle **velocità di gruppo** (delle componenti R e T) sono **solamente** quelle relative all'offset massimo di uno stendimento multi-offset e multi-componente (RVF e THF) [quello che molti chiamerebbero stendimento MASW]. Si considera quindi solo una (l'ultima) traccia (di ciascuna componente).

In sostanza, l'analisi comunemente adottata nella tecnica *HoliSurface*® viene applicata a dati acquisiti secondo i metodi tradizionali di sismica attiva finalizzati ad effettuare analisi cosiddette MASW o a rifrazione (lo zero dei tempi è determinato dal trigger, il quale dà inizio alla registrazione).

In particolare, **delle nove tracce MASW multi-offset e multi-componente acquisite mediante semplice ri-orientazione di geofoni orizzontali rispetto alle opportune sorgenti** (VF per la componente R e HF per la componente T) **è stata selezionata quella più lontana dalla sorgente ovvero quella a massimo offset** (nel nostro caso pari a **48 m**).

L'ultimo geofono dello stendimento MASW (adeguatamente ri-orientato per le due componenti R e T) è, dunque, assimilato al singolo geofono a tre componenti (geofono triassiale) previsto per le acquisizioni *HoliSurface*[®], il quale posto ad una certa distanza (*offset*) dalla sorgente ed opportunamente orientato consente di raccogliere i dati relativi alla componente verticale (Z), radiale (R) e trasversale (T).

Il metodo attivo utilizzato è, di fatto, un'acquisizione MASW multi-componente e multi-offset, i cui dati sono analizzati secondo l'approccio *HoliSurface*[®].

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

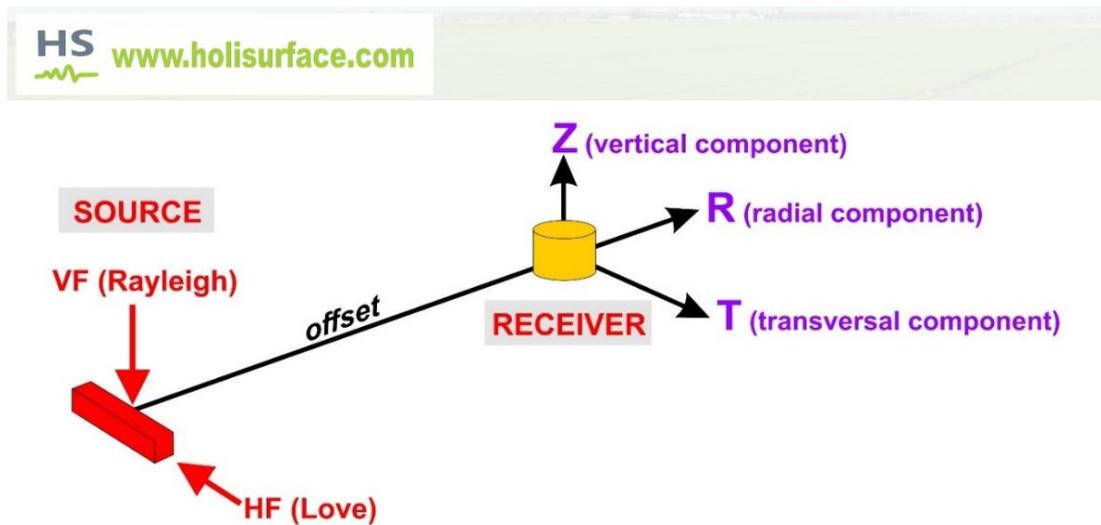


Figura 2. Componenti sismiche secondo lo schema di acquisizione *HoliSurface*[®].

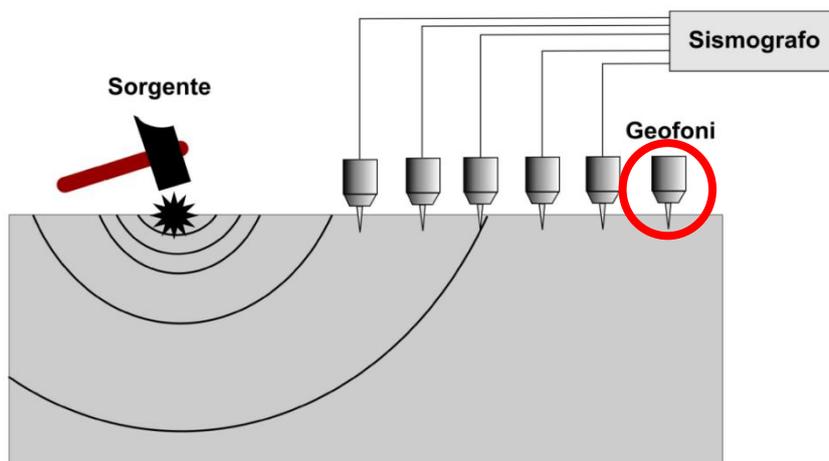


Figura 3. Stendimento sismico MASW multi-offset e *single-component*. Nel caso si utilizzino una sorgente ad impatto verticale (VF- es. martellata su piastra) ed una orizzontale (HF- es. martellata su traversina in legno) insieme a geofoni orizzontali opportunamente orientati è possibile eseguire delle acquisizioni MASW multi-offset e multi-componente. In rosso è evidenziato il geofono a "maximum offset".

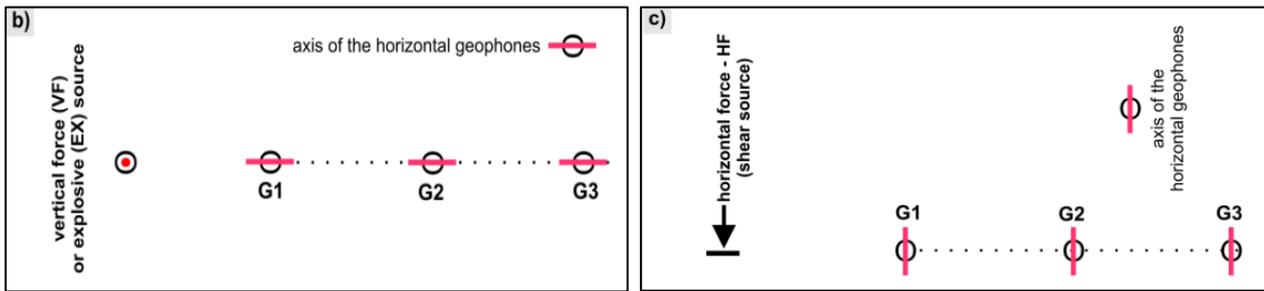


Figura 4. Sorgenti e orientazione dei geofoni orizzontali per l’acquisizione delle componenti R (componente radiale dell’onda di Rayleigh - a sinistra) e T (onde di Love - a destra).

L’indagine è stata effettuata in una piazzola di sosta della S.P. 133 di Monroverve, o *Kaiserjagerstrasse*, strada panoramica che dal fondovalle della Valsugana conduce all’Altopiano di Vezzena in Provincia di Trento. Il fondo di tale piazzola di sosta è costituito da terreno di riporto ghiaioso-sabbioso e, secondo la *carta geologica*, la zona è caratterizzata da una copertura quaternaria (in prevalenza da detrito di versante ed accumuli di frane) al di sopra di un substrato roccioso costituito dall’alternanza di rocce sedimentarie calcareo/dolomitiche, marnose e terrigene (siltiti e peliti).

Principali parametri dell’acquisizione

numero di canali	9
distanza intergeofonica	5 m
minimum offset	8 m
maximum offset	48 m (questioni di “opportunità logistiche” hanno limitato la lunghezza complessiva dello stendimento che in genere va scelta la più elevata possibile)
lunghezza registrazione	2 s (poi ridotti a 0.6 s in fase di elaborazione)
frequenza di campionamento	1000 Hz
sorgente	Mazza da 8 kg su piastra per la generazione delle onde di Rayleigh e su traversina per la generazione delle onde di Love
stack verticale	15



Figura 5. Ubicazione dell'area di studio a piccola scala (a sinistra) ed ubicazione dello stendimento MASW multi-componente e multi-offset (linea rossa) a più grande scala (a destra).



Figura 6. Lo stendimento MASW multi-offset (con geofoni orizzontali su tripodi) e traversina in legno per battuta orizzontale (HF - *Horizontal Force*) utile a generare le onde di Love [sistema di acquisizione *HoliSurface*® utile anche ad acquisire dati per analisi HS, HVSr, vibrazionali, eccetera].

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, si sono 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 7).

Se quindi, unitamente ai dati riguardanti la velocità di propagazione delle onde di superficie, la curva HVSR rappresenta un sussidio a stimare le V_s delle parti più profonde (e.g. Arai & Tokimastu, 2005; Dal Moro, 2015), essa non deve essere intesa come misura della funzione di amplificazione.

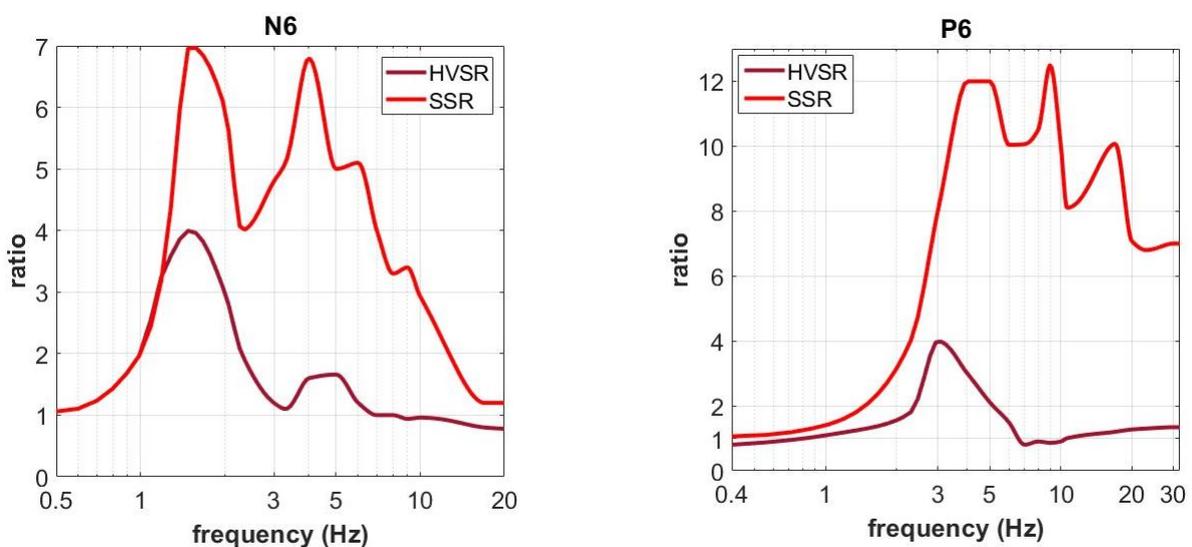


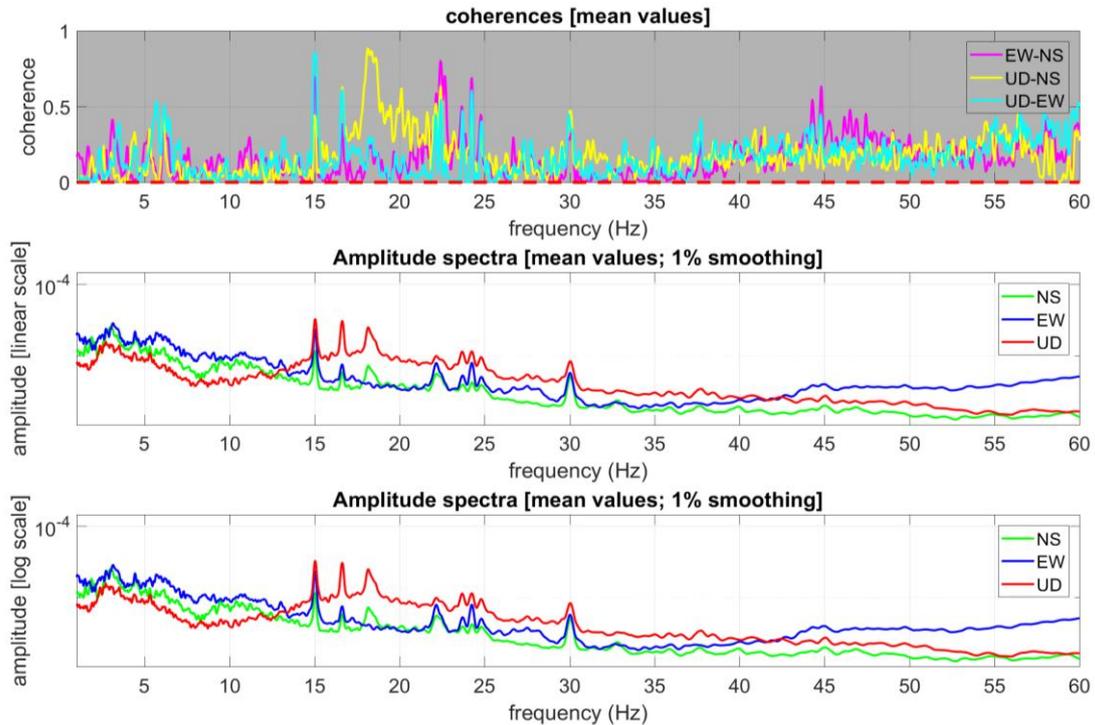
Figura 7. Confronto tra curva HVSR e curva di amplificazione reale (da analisi SSR – *Standard Spectral Ratio*) in caso di evento sismico (da Perron et al., 2018). Si noti la profonda differenza tra curva HVSR ed amplificazione effettivamente misurata.

Per il **presente lavoro**, all'indagine sismica attiva, si aggiungono tre acquisizioni passive utili a definire il rapporto spettrale H/V in corrispondenza del punto di energizzazione del terreno ("HVSR valle"), del punto centrale dello stendimento (chiamato "HVSR centrale") e del punto di "maximum offset" (chiamato "HVSR monte"). L'asse NS del triassiale è orientato parallelamente all'asse stradale ed all'incirca ortogonalmente rispetto alla massima pendenza del versante.

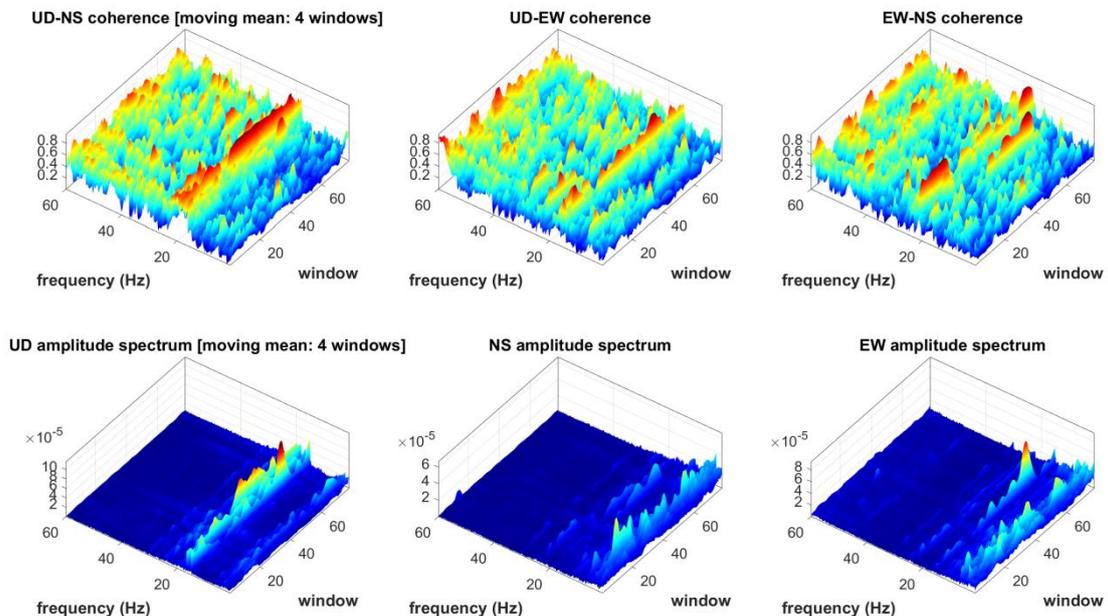
3. ANALISI

3.1 HVSR valle

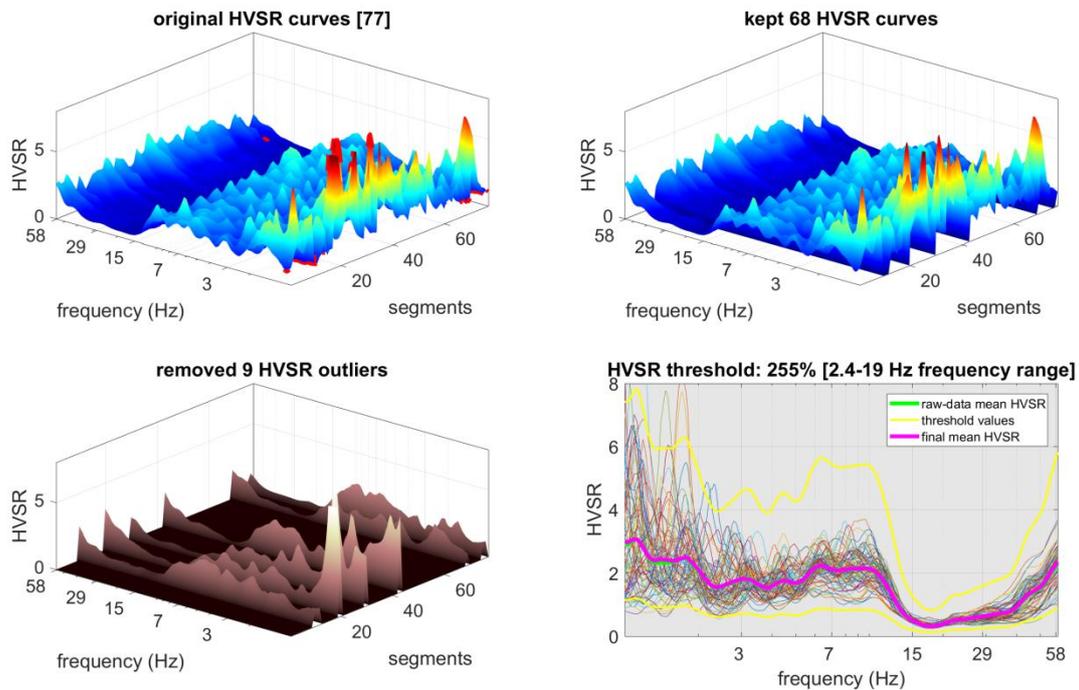
ubicazione	punto di energizzazione dello stendimento (estremità ovest)
asse nord-sud strumentale	parallelo all'asse stradale ed ortogonale alla massima pendenza
frequenza di campionamento	250 Hz (con ri-campionamento a 128 Hz in fase di elaborazione)
tempo di registrazione	10 minuti



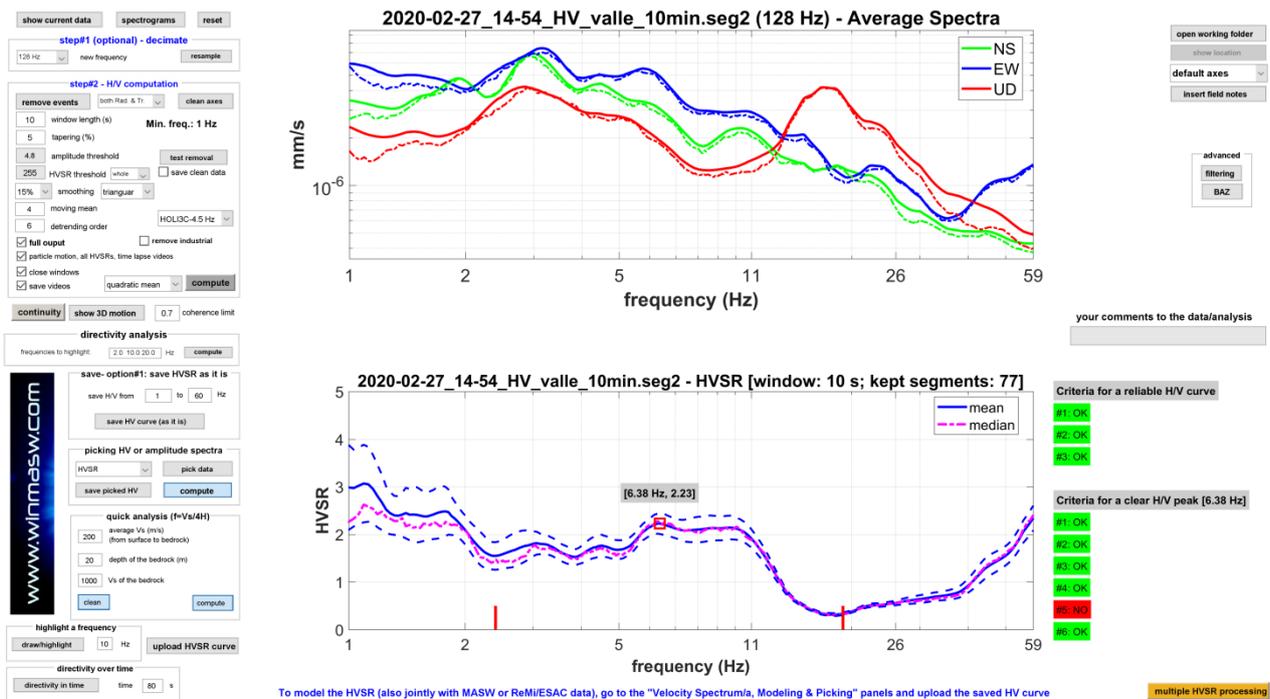
Dall'alto al basso: funzioni di coerenza per le tre coppie di sensori indicati, spettri di ampiezza (*smoothing* 1%) delle tre componenti con scala verticale lineare, spettri di ampiezza con scala verticale logaritmica.



In alto le funzioni di coerenza (al trascorrere del tempo) per le tre coppie di sensori e, sotto, gli spettri di ampiezza (nel tempo) per le componenti UD, NS e EW (spetrogrammi).

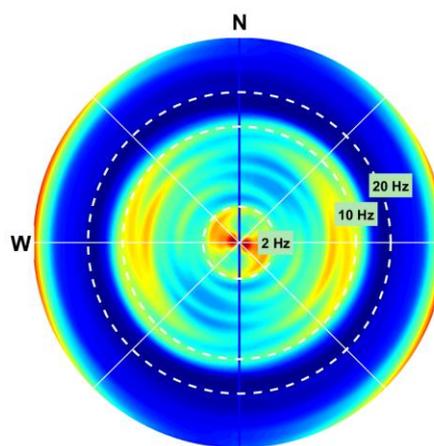
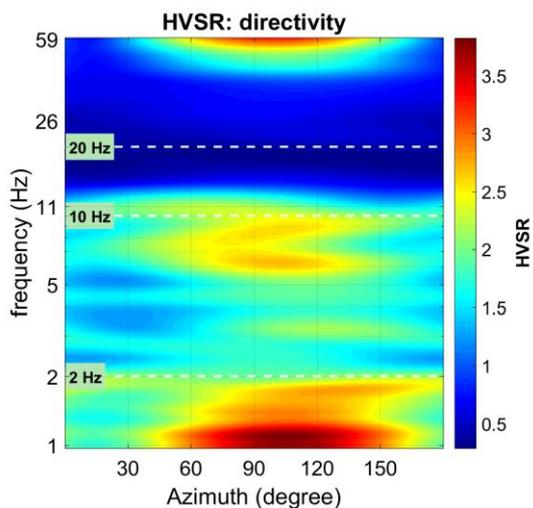
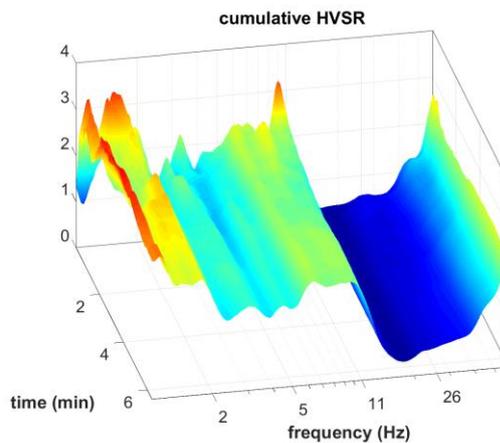
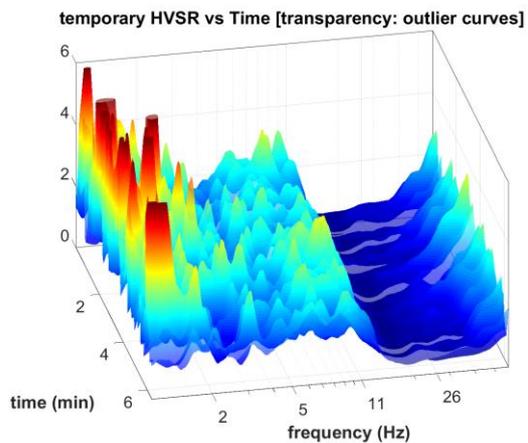


Dall'alto a sinistra in senso orario: 1) totalità delle curve HVSr per tutte le finestre considerate; 2) curve HVSr mantenute successivamente alla rimozione delle curve *outliers*; 3) curve HVSr rimosse (in quanto *outliers*); 4) curve HVSr con indicato il limite fissato (curva in giallo) oltre il quale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



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

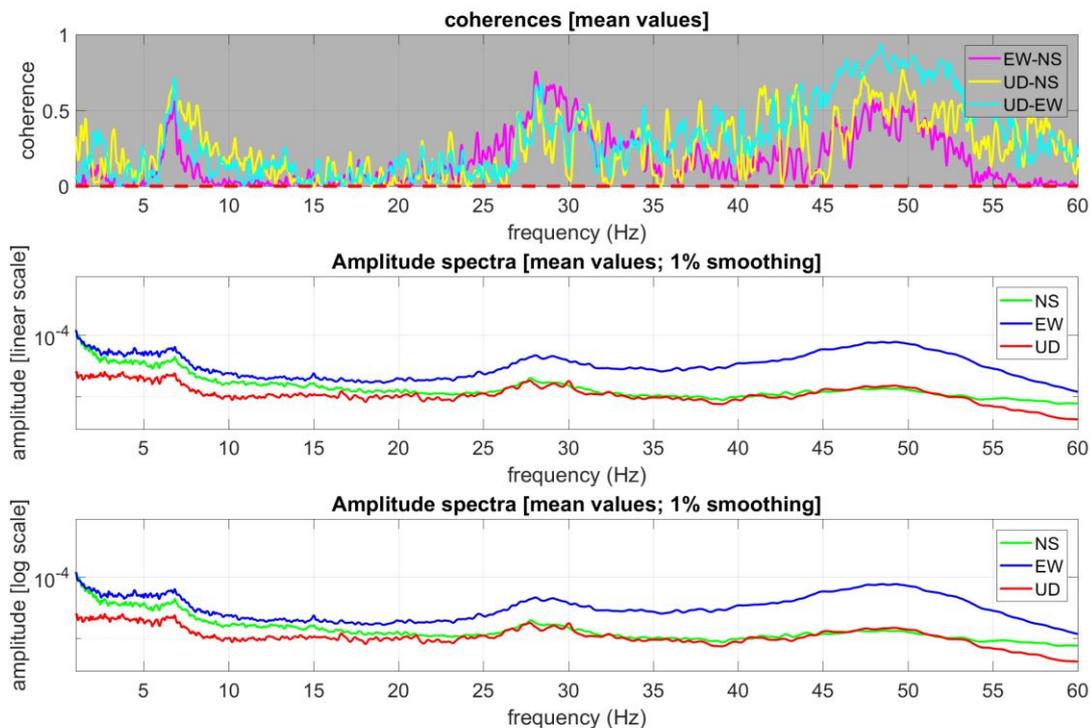
L'analisi dei dati mostra la presenza di segnali di natura industriale che alterano la curva HVSr naturale per frequenze maggiori-uguali a 15 Hz (vedasi spettrogrammi e funzioni di coerenza – Dal Moro, 2020) e la presenza di un picco (a circa 6 Hz) che soddisfa cinque dei sei criteri SESAME.



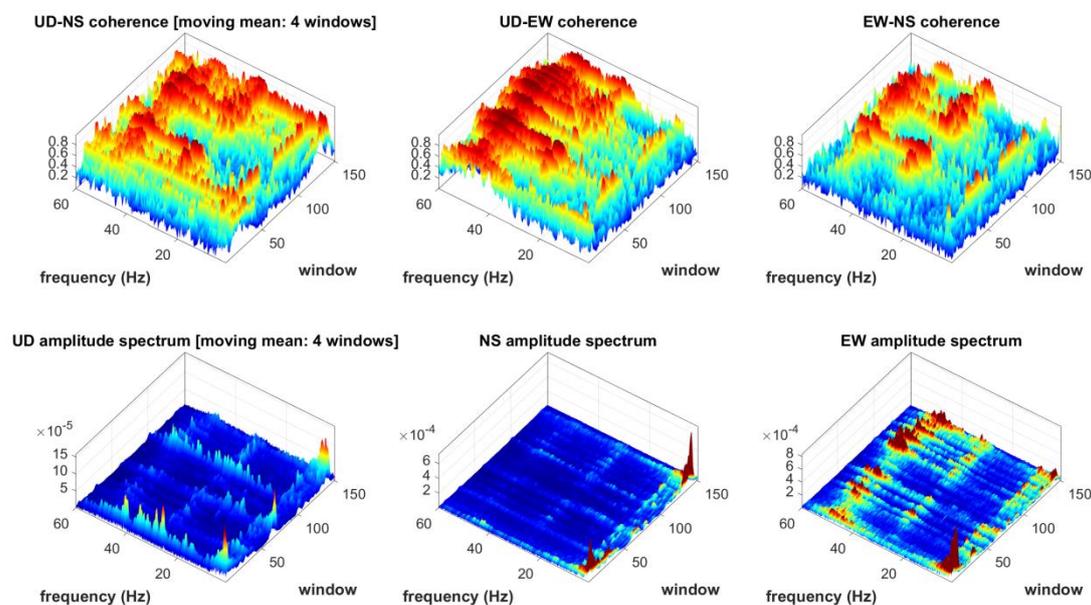
Continuità (sopra) e direttività (sotto) del rapporto H/V (si segnala la presenza di un'importante direttività orientata all'incirca lungo la massima pendenza del versante).

3.2 HVSR centrale

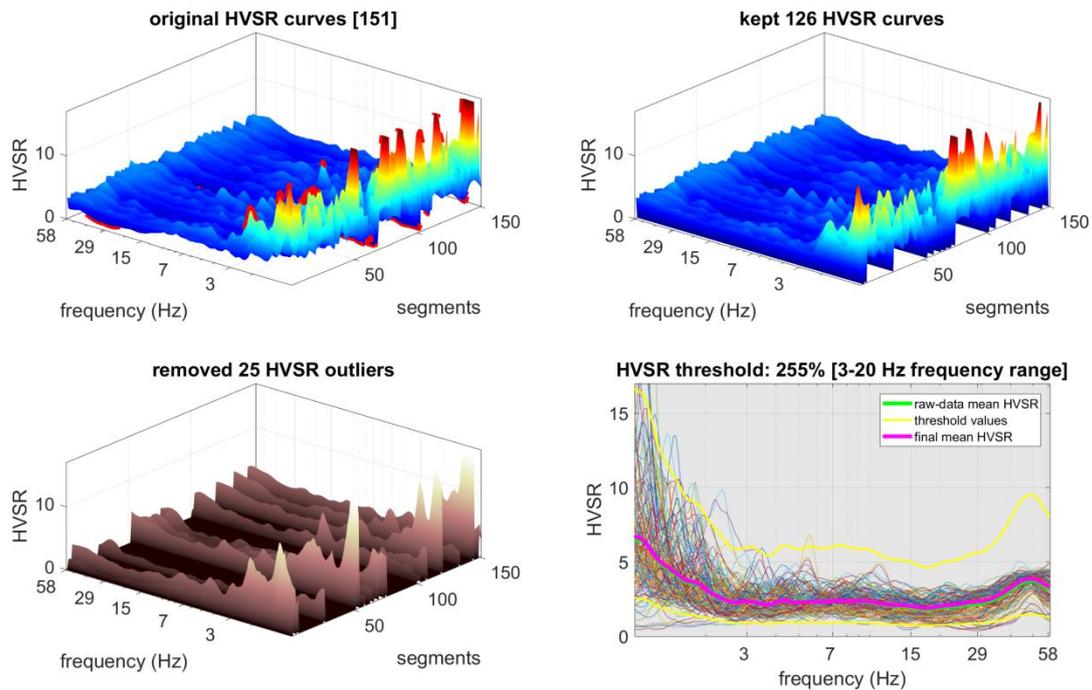
ubicazione	punto centrale dello stendimento
asse nord-sud strumentale	parallelo all'asse stradale ed ortogonale alla massima pendenza
frequenza di campionamento	250 Hz (con ri-campionamento a 128 Hz in fase di elaborazione)
tempo di registrazione	20 minuti



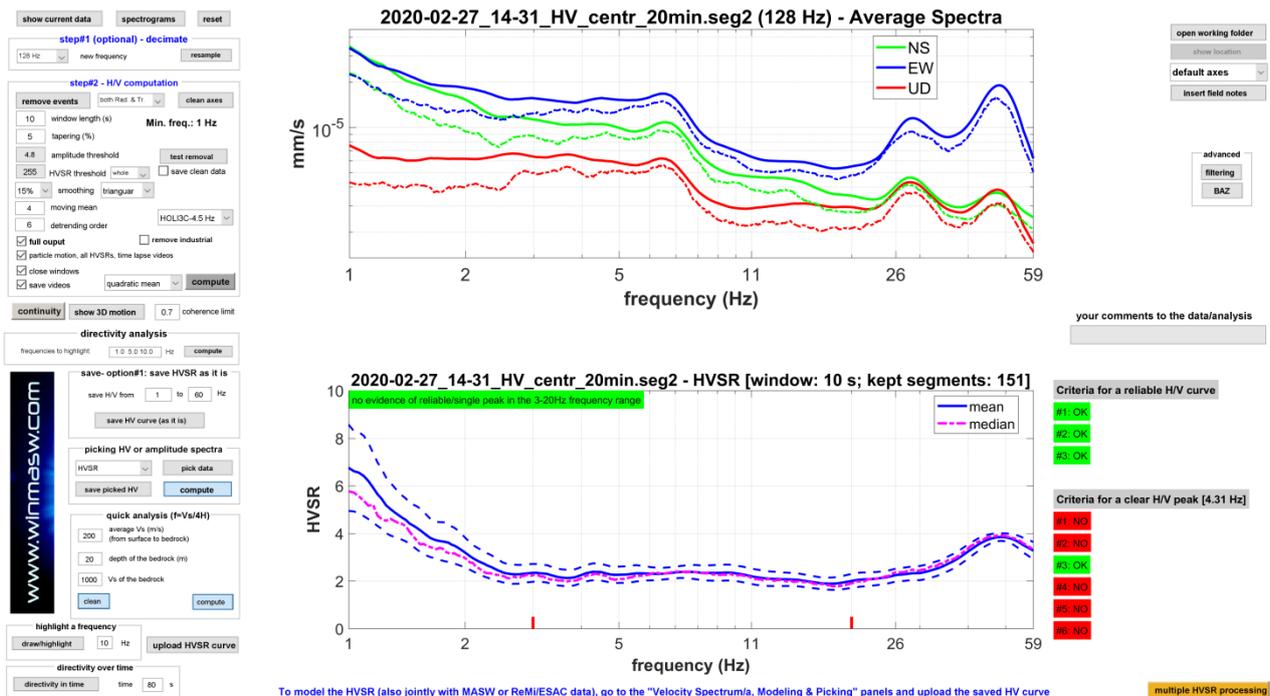
Dall'alto: funzioni di coerenza per le tre coppie di sensori indicati, spettri di ampiezza medi (*smoothing 1%*) con scala verticale lineare, spettri di ampiezza con scala verticale logaritmica.



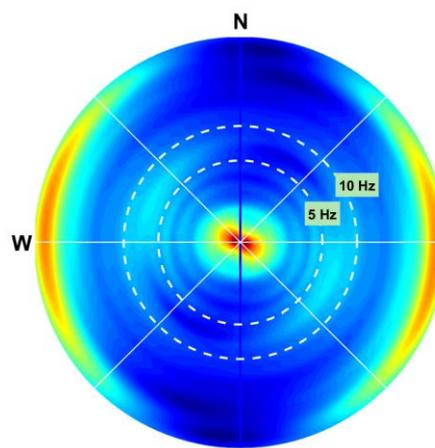
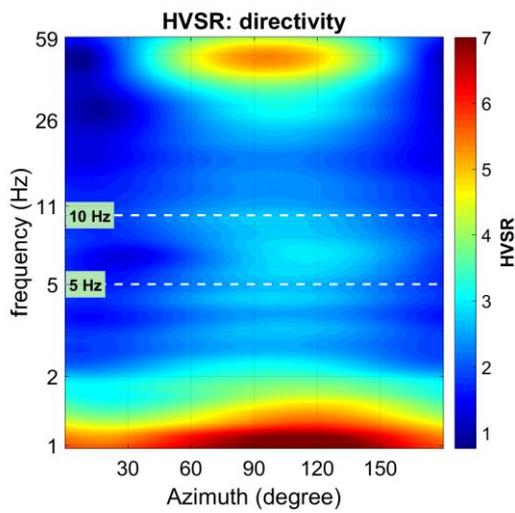
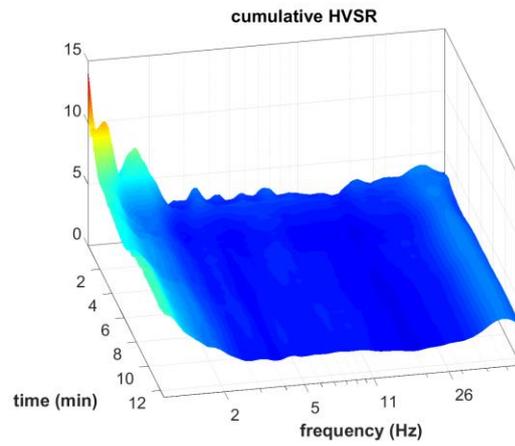
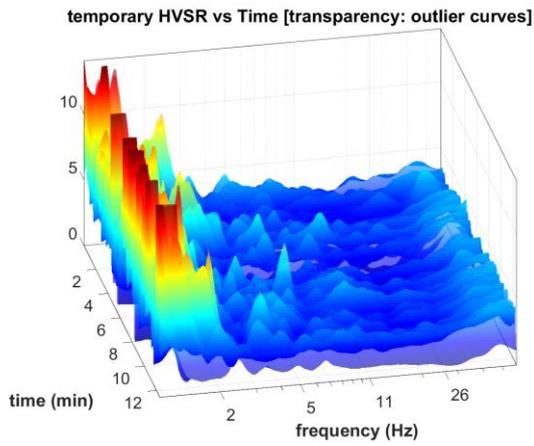
Funzioni di coerenza nel tempo per le tre coppie di sensori e, sotto, spettri di ampiezza nel tempo per le componenti UD, NS e EW (spettrogrammi).



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 *outliers*); 4) curve HVSr con indicato il limite fissato (curva in giallo) oltre il quale le curve vengono rimosse in quanto *outliers*.



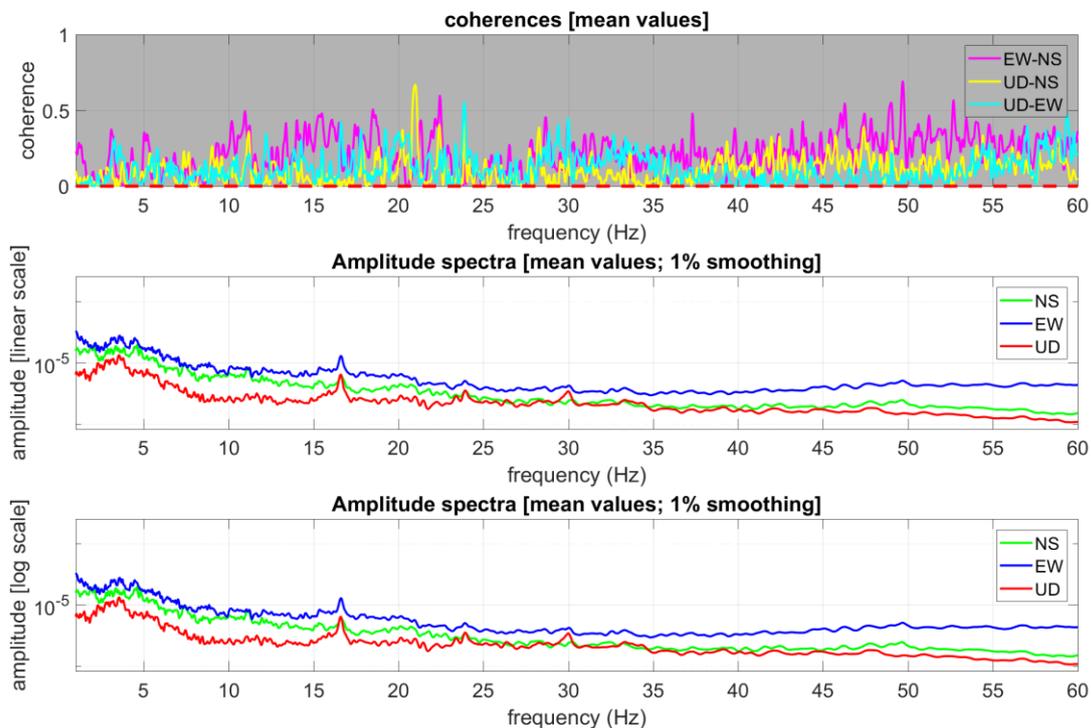
Spettri di ampiezza (*smoothing 15%*) e, in basso, curva HVSr media e mediana.



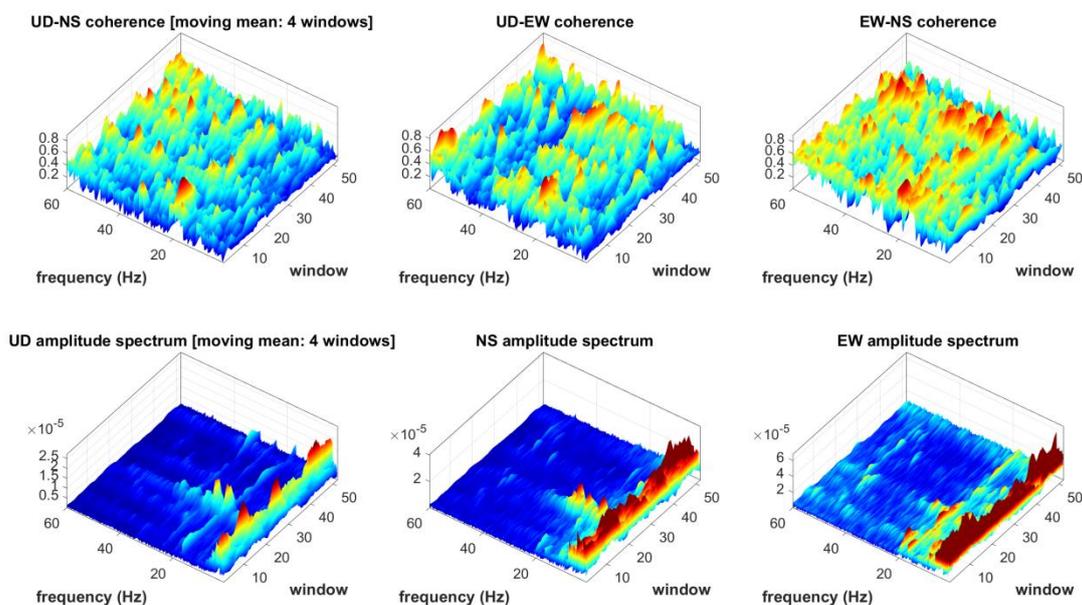
Continuità (sopra) e direttività (sotto) del rapporto H/V (si segnala la presenza di un'importante direttività lungo la massima pendenza analoga al precedente dataset).

3.3 HVSR monte

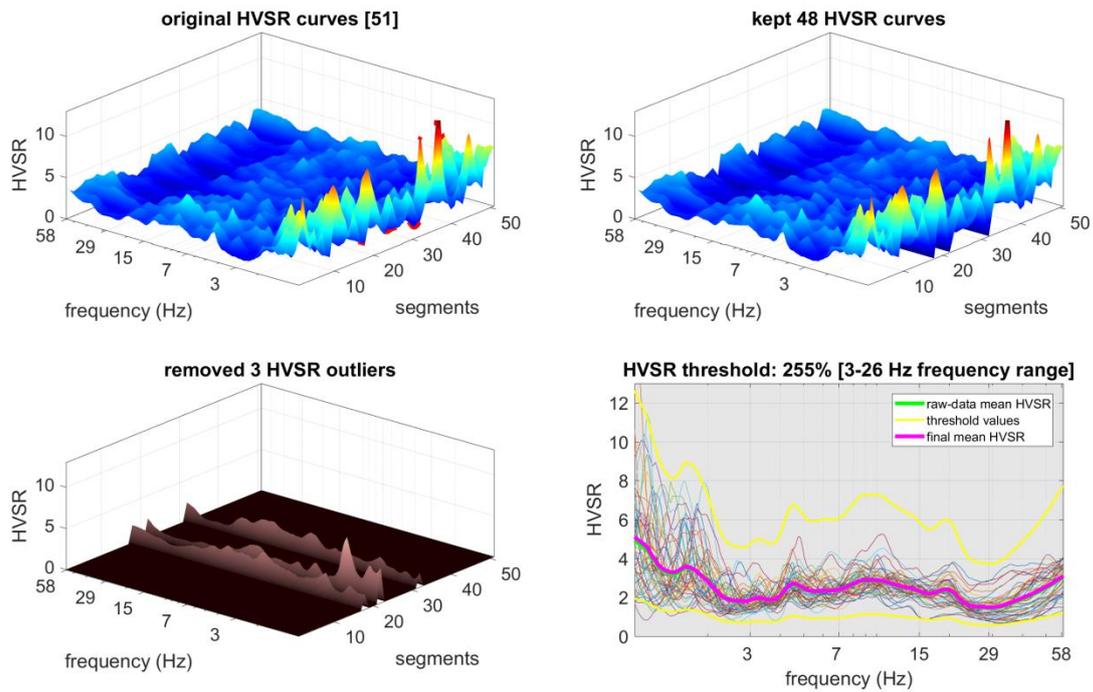
ubicazione	punto a maximum offset dello stendimento (estremità est)
asse nord-sud strumentale	parallelo all'asse stradale ed ortogonale alla massima pendenza
frequenza di campionamento	250 Hz (con ri-campionamento a 128 Hz in fase di elaborazione)
tempo di registrazione	10 minuti



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 (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 *outliers*); 4) curve HVSR con indicato il limite fissato (curva in giallo) oltre il quale le curve vengono rimosse in quanto *outliers*.

show current data | spectrograms | reset

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

step#2 - HV computation
remove events: both Rad & Tr | clean axes
window length (s): 10 | Min. freq.: 1 Hz
tapering (%): 5
amplitude threshold: 5 | test removal
255 HVSR threshold | whole | save clean data
15% smoothing: triangular
4 moving mean | HOLD-4.5 Hz
6 detrending order
full output | remove industrial
particle motion, all HVSRs, time lapse videos
close windows | save videos | quadratic mean | compute

continuity | show 3D motion | 0.7 coherence limit

directivity analysis
frequencies to highlight: 2.0 10.0 20.0 Hz | compute

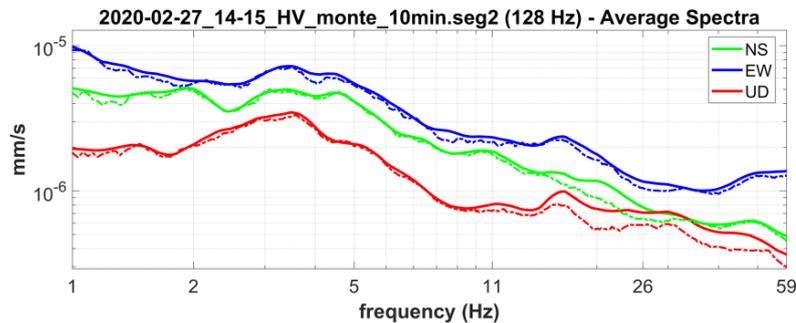
save-option#1: save HVSR as it is
save HV from 1 to 60 Hz
save HV curve (as it is)

picking HV or amplitude spectra
HVSR | pick data
save picked HV | compute

quick analysis (f=Vs/4H)
200 average Vs (m/s) (from surface to bedrock)
20 depth of the bedrock (m)
1000 Vs of the bedrock
clean | compute

highlight a frequency
draw/highlight: 10 Hz | upload HVSR curve

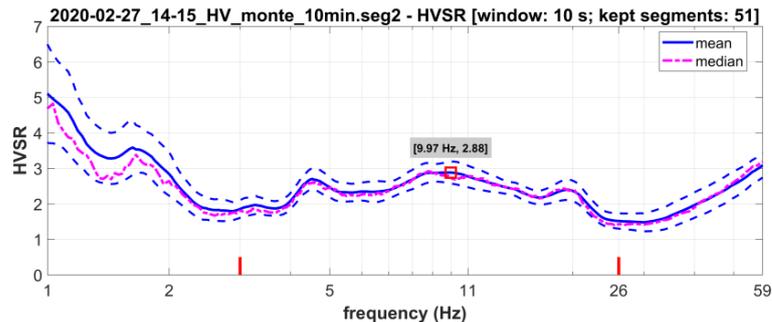
directivity over time
directivity in time: time 80 s



open working folder
show location
default axes
insert field notes

advanced
filtering
BAZ

your comments to the data/analysis



Criteria for a reliable HV curve

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

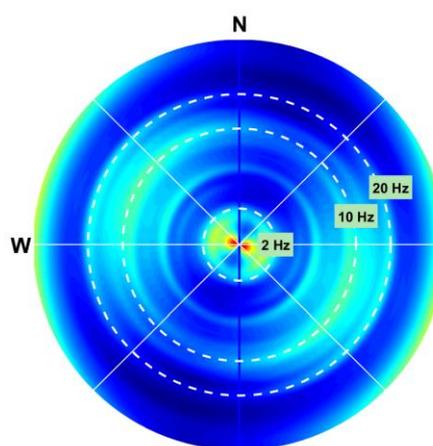
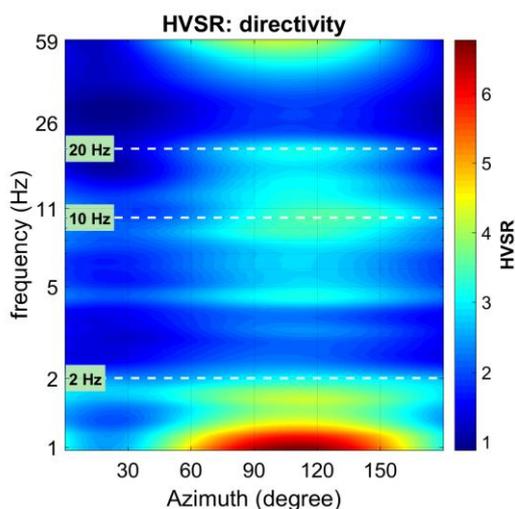
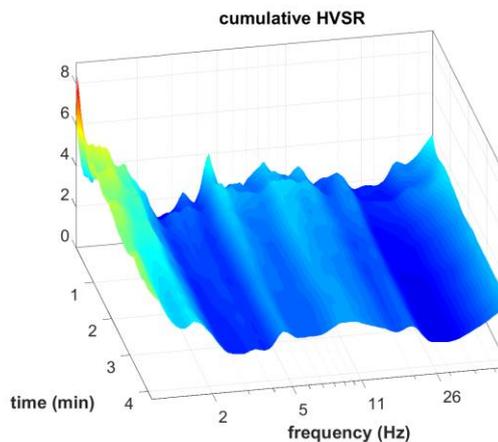
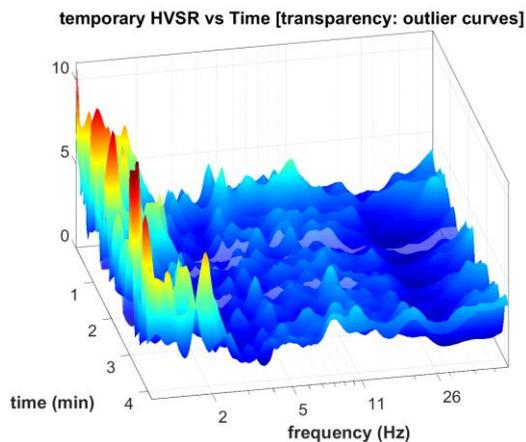
Criteria for a clear HV peak [9.97 Hz]

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

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

multiple HVSR processing

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



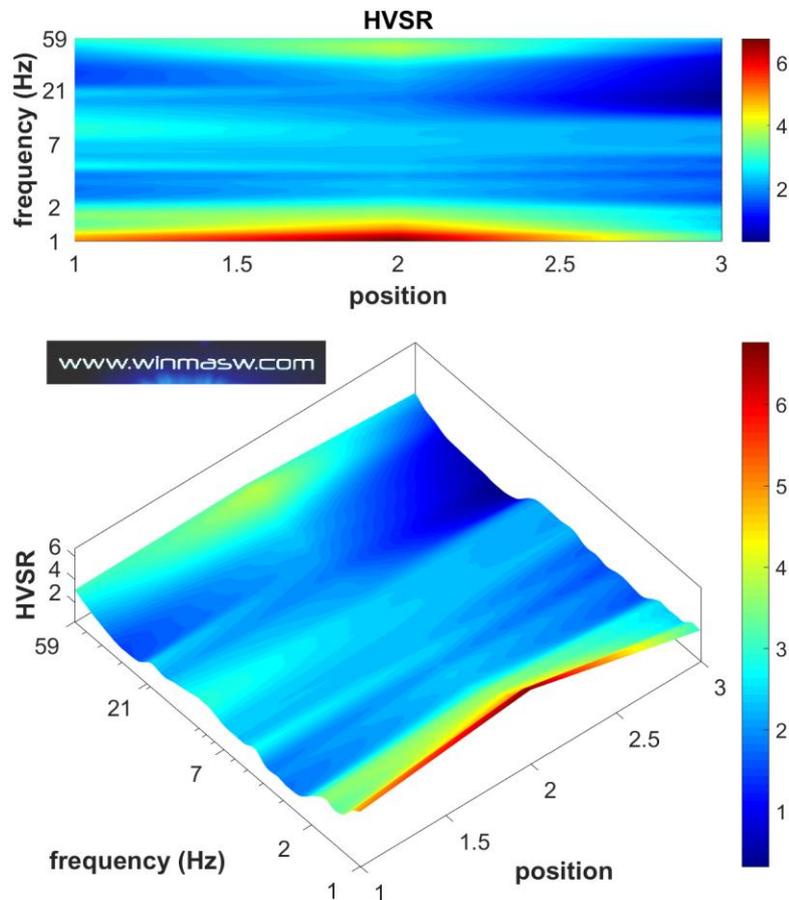
Continuità (sopra) e direttività (sotto) del rapporto H/V (si segnala la presenza di un'importante direttività lungo la massima pendenza analoga ai precedenti *datasets*).

Commento generale ai dati HVSR

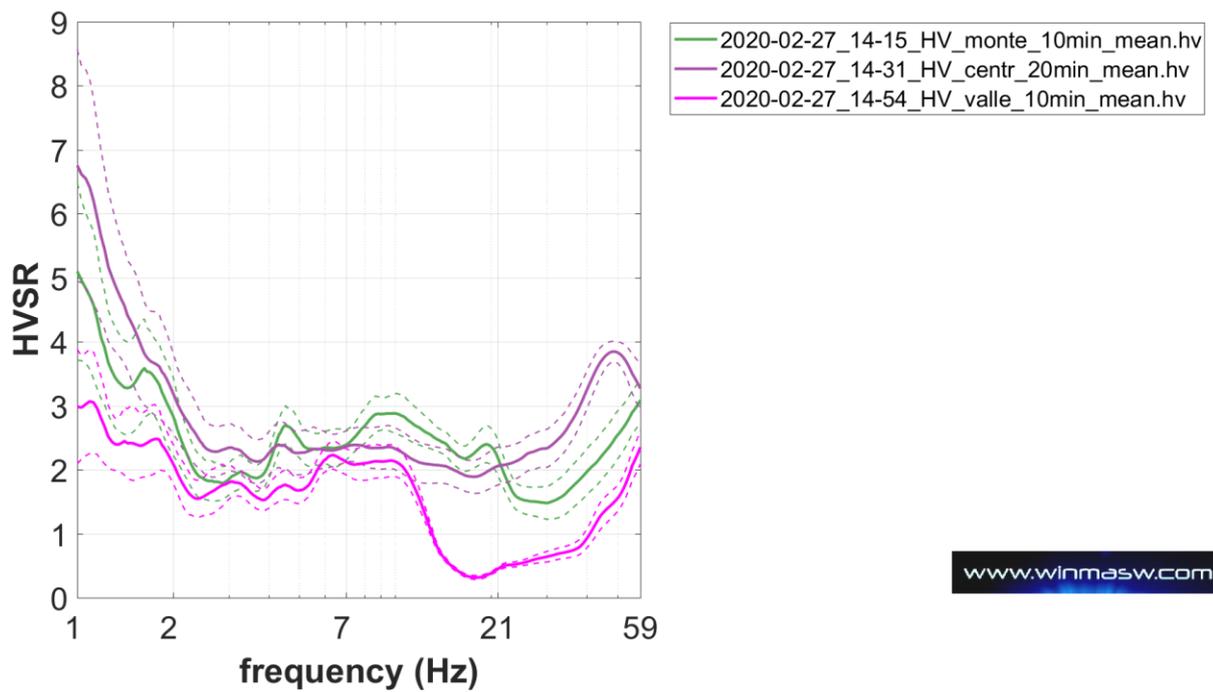
Nell'intervallo di frequenze qui di maggiore interesse (3-20 Hz) non si verifica la presenza di picchi significativi, né di artefatti legati a segnali di tipo industriale. Al di sotto dei 3 Hz si osservano valori HVSR crescenti al diminuire della frequenza ma, in tali condizioni topografiche, è sempre piuttosto difficile valutare la significatività di tali frequenze. Si noti la direttività tipicamente osservata in caso di misure su versanti.

3.4 Computo della curva HVSR media

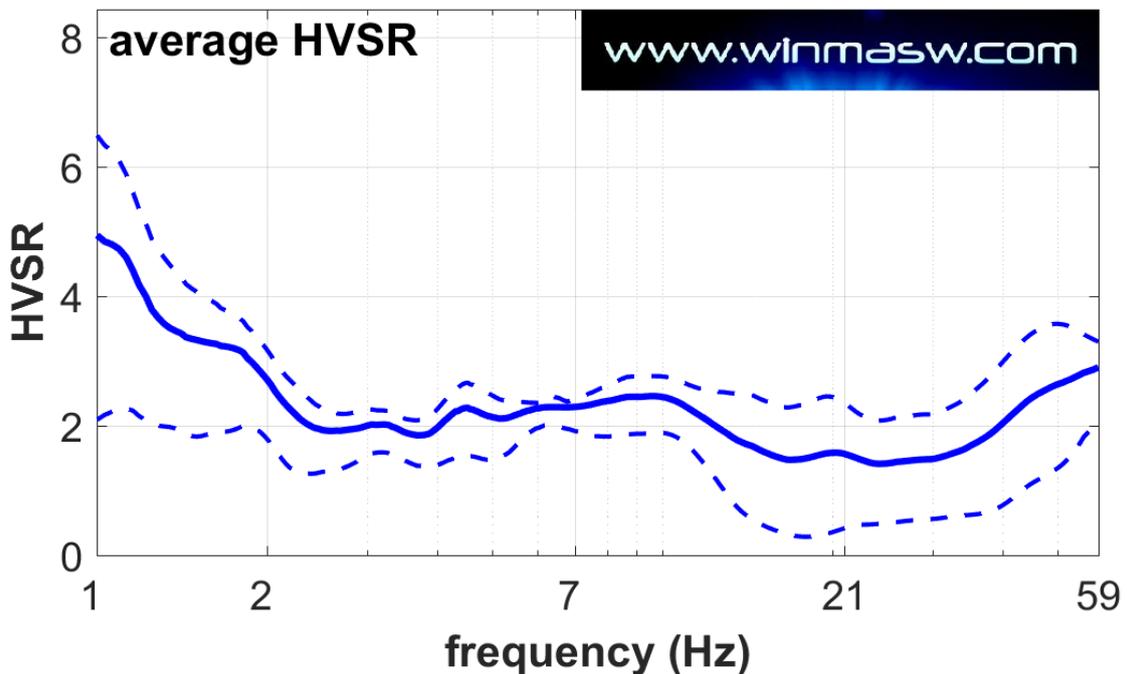
Le tre curve HVSR precedentemente riportate mostrano differenze non irrilevanti. Ad esempio, mentre le curve “centrale” e “monte” sono simili, la curva “valle” presenta un andamento che si discosta da queste due. Questa evidenza può indicare variazioni laterali nel sottosuolo che determinano una configurazione bi- o tri-dimensionale dello stesso. Per risolvere tali problematiche e ricondurre l’analisi ad un caso monodimensionale le tre curve sono utilizzate/confrontate al fine di ottenere la curva HVSR media poi invertita/modellata congiuntamente ai dati di dispersione (spettri di velocità di gruppo).



Rappresentazione bi- e tri-dimensionale della variabilità del rapporto HVSR tra le tre curve analizzate (position 1= valle, position 2= centrale, position 3= monte).



Confronto fra le tre curve HVSR utilizzate per la determinazione della curva media



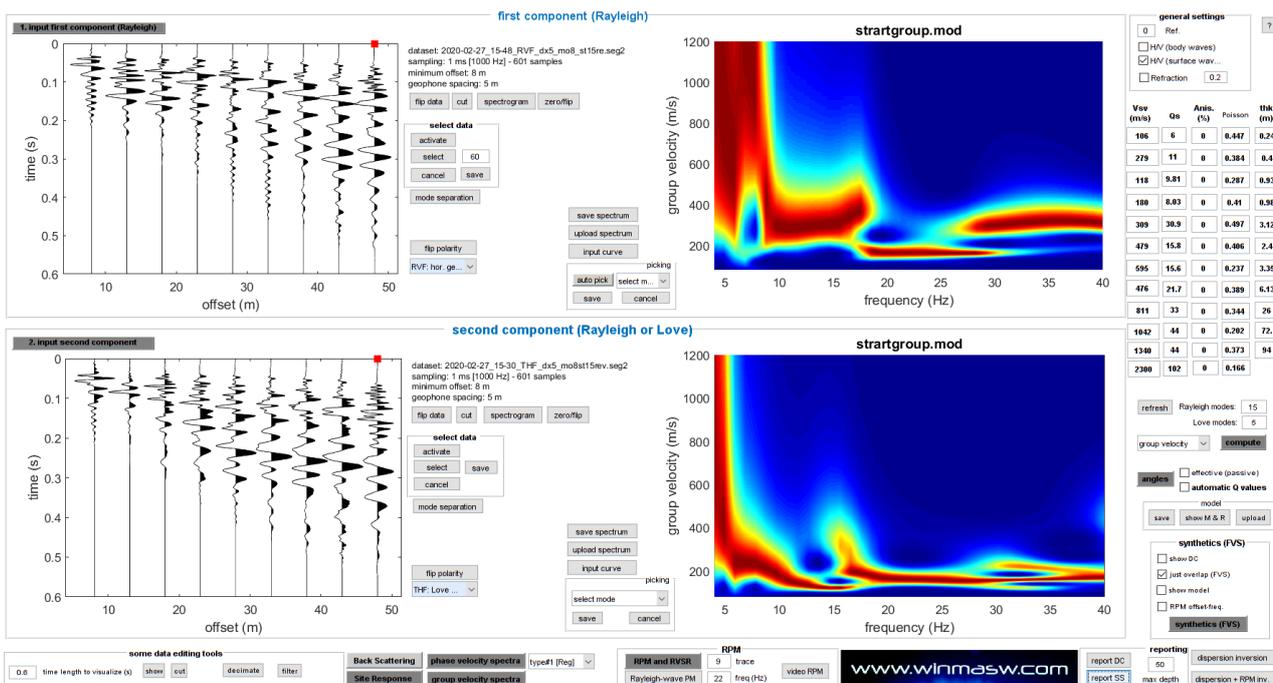
Curva HVSR media: a causa delle significative differenze fra le tre curve considerate, per frequenze superiori a circa 11 Hz la deviazione standard è particolarmente elevata. Durante l'analisi congiunta con gli spettri di velocità di gruppo R+T (vedi prossima sezione), si è dunque considerata la curva HVSR media solo per frequenze inferiori a 11 Hz.

3.5 Analisi congiunta R+T+HVSR

Gli spettri di velocità di gruppo delle componenti R e T (radiale dell'onda di Rayleigh e onda di Love), ricavate dalle ultime tracce dell'acquisizione MASW multi-componente (RVF e THF) e multi-offset, sono state invertite congiuntamente alla curva HVSR media (determinata cioè come media delle tre curve HVSR considerate – vedi precedente sezione) - di fatto - secondo l'approccio *HoliSurface*[®].

Poiché per frequenze superiori a circa 11 Hz le tre curve HVSR deviano molto fra loro, durante l'analisi congiunta con gli spettri delle velocità di gruppo si sono considerate solamente le frequenze inferiori a tale valore.

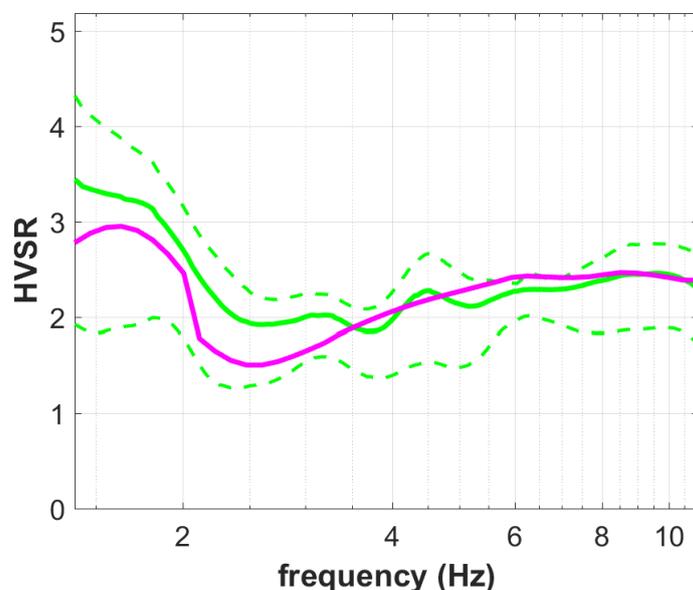
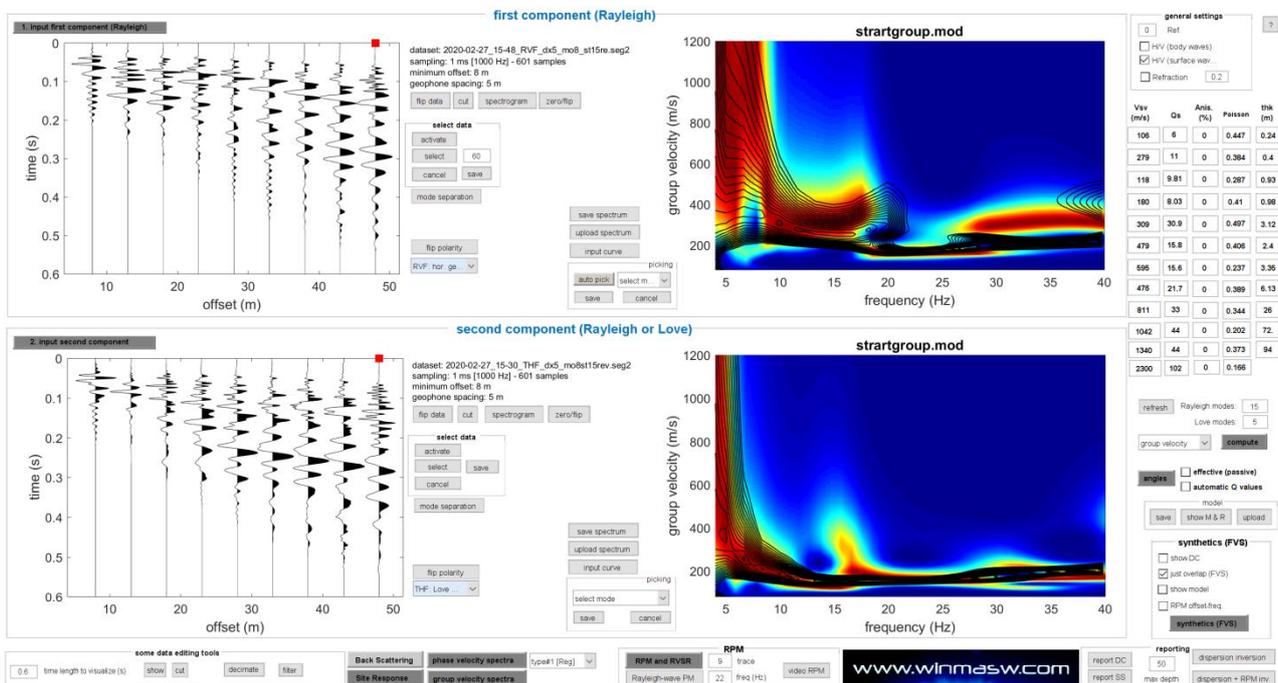
Gli spettri di velocità sono stati analizzati secondo l'approccio FVS (*Full Velocity Spectrum* – Dal Moro 2014; 2019) quindi senza alcun *picking*/interpretazione in termini di curve di dispersione.



Determinazione dei due spettri di velocità di gruppo per le componenti RVF (sopra - martellata verticale, geofoni orizzontali orientati con asse parallelo allo stendimento) e THF (sotto - martellata orizzontale su traversina, geofoni orizzontali orientati con asse perpendicolare allo stendimento [vedi anche Figura 4]). Il quadrato rosso (vedi tracce sulla sinistra) indica la traccia utilizzata per determinare le velocità di gruppo (mostrate sulla parte destra).

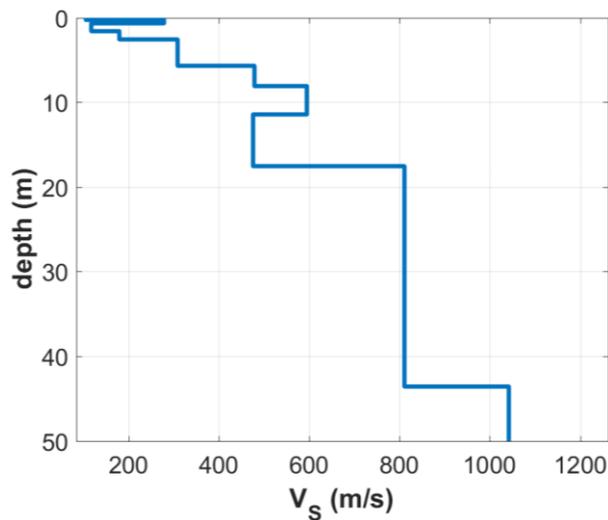
Nota bene: le tracce sono state acquisite per determinare gli spettri di velocità di fase (classico metodo cosiddetto "MASW") ma poiché tali spettri erano piuttosto complessi (cosa non infrequente in questo genere di situazioni), si è invece optato per la determinazione delle velocità di gruppo da un unico offset (il maggiore).

In pratica, è come se avessimo acquisito solamente un'unica traccia (per componente) a 48 m di distanza dalla sorgente (le prime 8 tracce sono state cioè del tutto ignorate) [il metodo *HoliSurface*[®] puro si basa sull'acquisizione fatta da un unico triassiale posto ad una distanza fissa dalla sorgente].



Risultato dell'inversione/modellazione 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 il buon accordo di tutti i tre "oggetti" (*observables*) considerati. I colori di fondo sono gli spettri sperimentali mentre le *contour lines* rappresentano il modello identificato. La curva HVSR sperimentale (con le relative deviazioni standard) è riportata in verde, mentre in magenta quella relativa al modello.

Nota importante: un'analisi congiunta è per sua natura necessariamente un *compromesso*. Se si considera un unico *observable* (ad esempio lo spettro di velocità di un'unica componente o l'HVSR) è semplicissimo trovare un modello che lo fitta perfettamente. Nel momento in cui utilizziamo due o più oggetti di analisi questo diventa di fatto impossibile e l'obiettivo è trovare un modello che sia in ragionevole accordo con tutti gli oggetti utilizzati. Per un altro esempio, ulteriori approfondimenti e dettagli vedi ad esempio Dal Moro & Puzzilli (2018).



layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	106	0.2400	0.2400
2	279	0.4000	0.6400
3	118	0.9300	1.5700
4	180	0.9800	2.5500
5	309	3.1200	5.6700
6	479	2.4000	8.0700
7	595	3.3500	11.4200
8	476	6.1300	17.5500
9	811	26	43.5500
10	1042	72	115.5500
11	1340	94	209.5500
12	2300	0	0

Modello del sottosuolo identificato tramite analisi congiunta R+T (velocità di gruppo) + HVSR.

Sulla base delle analisi dei dati, i primi 5-6 m appaiono costituiti da materiale poco competente che si posiziona al di sopra di un insieme di strati con caratteristiche meccaniche migliori ($V_s=400-600$ m/s). **Il bedrock sismico ($V_s \geq 800$ m/s) si colloca ad una profondità di circa 18 m dal piano campagna (p.c.), mentre la V_s equivalente risulta pari a 347 m/s (rispetto allo stesso p.c.).**

I risultati appaiono coerenti con il contesto locale ed attestano l'applicabilità delle metodologie descritte in siti complessi ed "estremi" come quello oggetto del presente studio, ricavando utili informazioni di natura geologica-geotecnica.

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.



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

Giancarlo Dal Moro



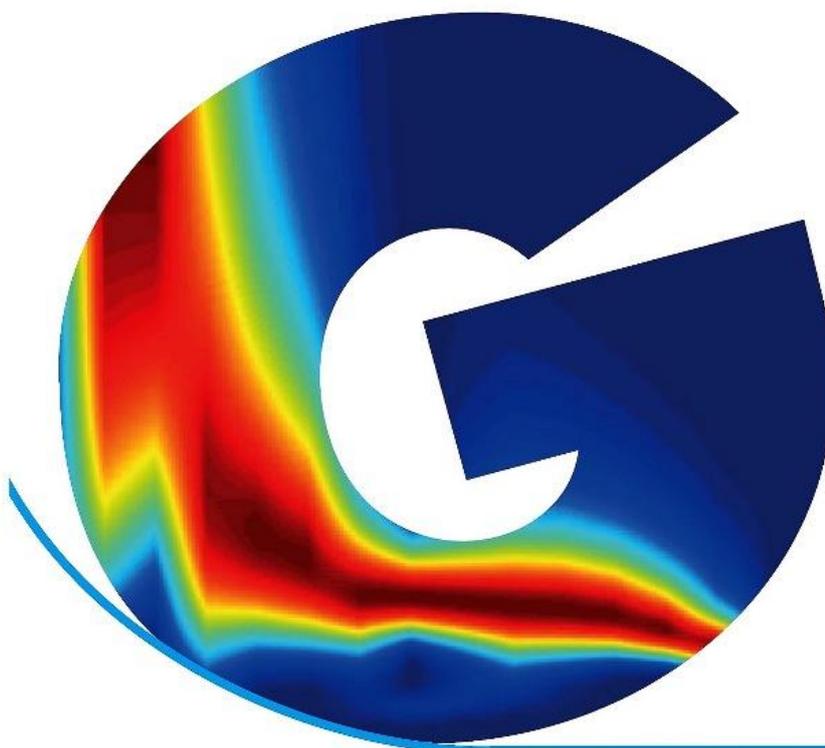
Dario Flaccovio Editore

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**



HS www.holisurface.com

contact: winmasw@winmasw.com