

www.winmasw.com

HoliSurface[®]

Holistic Tool for Surface Wave Analysis

Analisi e inversione automatica della curva HVSR con HoliSurface[®] 2025: un breve esempio

INDICE

1.1	Breve inquadramento geologico.....	2
1.2	HVSR (<i>Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio</i>): una sintetica introduzione	3
1.3	Computo dell'HVSR dai microtremori.....	4
1.4	Inversione della curva HVSR.....	7
1.5	Riferimenti bibliografici.....	8



1.1 BREVE INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area in oggetto appartiene alla parte orientale della Bassa Pianura Friulana, da un punto di vista geolitologico i terreni della zona sono riferibili alla glaciazione Wurmiana e al postglaciale recente. Nella fase anaglaciale del Wurmiano si è avuta la formazione dell'Alta Pianura ghiaiosa a monte dell'attuale zona delle risorgive che continuano in una Bassa Pianura sabbiosa-limo-argillosa intersecata da lame ghiaiose in corrispondenza delle maggiori correnti fluvio-glaciali defluenti verso sud; è seguita una fase di transizione e un periodo corrispondente al ritiro del ghiacciaio dalla zona dell'anfiteatro morenico e una convergenza delle acque di fusione per l'attuale corso del fiume Tagliamento. Le acque di fusione del ghiacciaio scendenti verso sud formarono il basamento dei terreni del sottosuolo dell'area in esame, con probabile apporto delle correnti fluvio-glaciali dell'Isonzo e del Natisone. Nel postglaciale le acque del Torre e del Natisone si riversarono ripetutamente sul territorio, rimaneggiando i terreni e depositando nuove alluvioni. Nell'area in esame, i depositi quaternari presentano uno spessore di circa 350 m, in linea con l'andamento generale che vede una risalita del substrato prequaternario da ovest verso est, il cui andamento quindi si approfondisce a partire dal settore orientale, in cui affiora ad est di Monfalcone, fino alla pianura occidentale in cui si riscontra ad una profondità stimata da alcuni attorno ai 900 m (Figura 1).

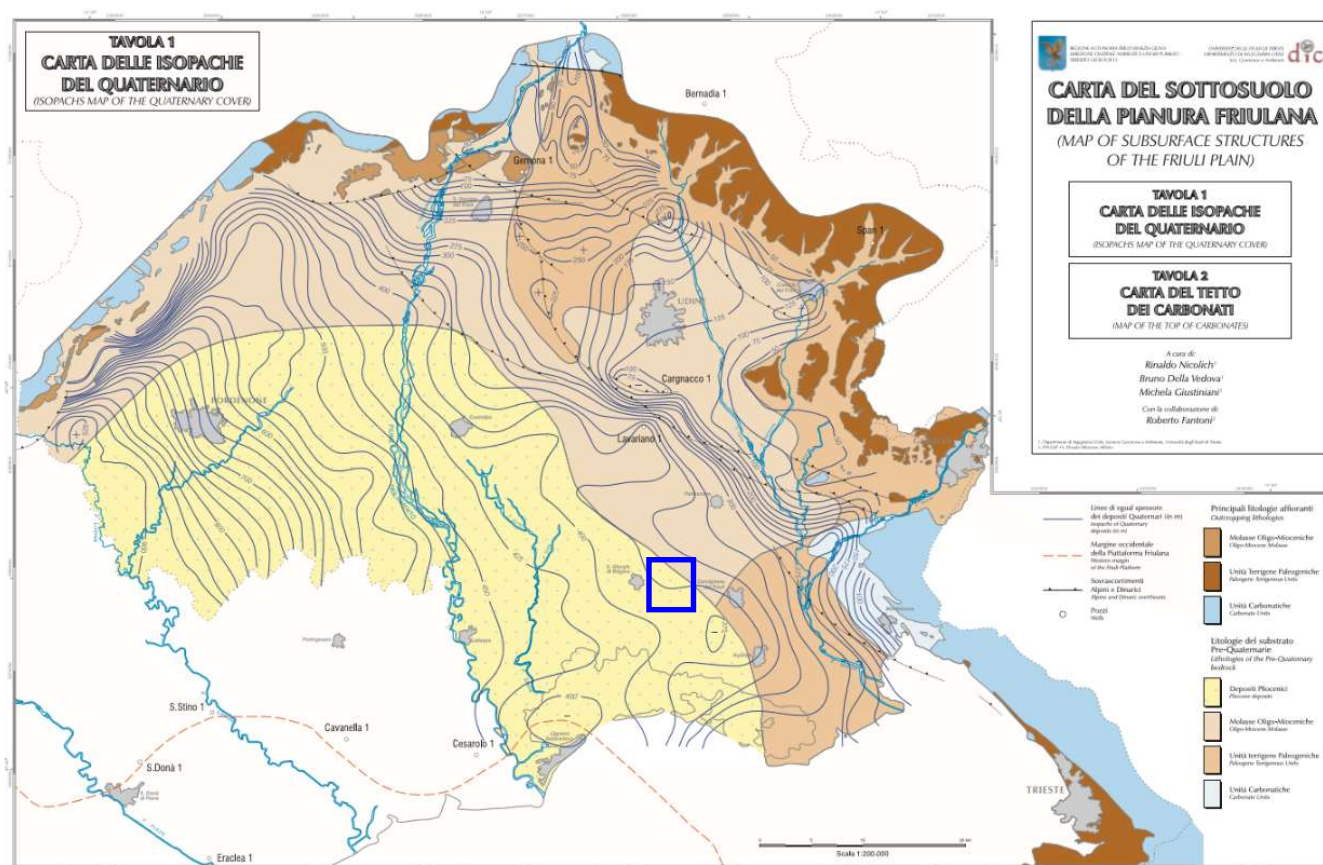


Figura 1. Carta del sottosuolo della Pianura Friulana (Regione Friuli Venezia Giulia – Direzione Centrale Ambiente e Lavori Pubblici – Servizio Geologico, 2004)

1.2 HVSR (*HORIZONTAL-TO-VERTICAL SPECTRAL RATIO*): UNA SINTETICA INTRODUZIONE

Il rapporto HVSR è in uso in sismologia indicativamente dalla fine degli anni '60 (vedi, ad esempio, Mark & Sutton, 1975).

Di fatto, non è mai stata dimostrata in modo universale (sul piano teorico e dunque pratico) una chiara relazione tra amplificazione e curva HVSR. Considerazioni teoriche e osservazioni sperimentali non supportano, infatti, l'idea (molto diffusa) che la curva HVSR rappresenti, *sic et simpliciter*, la cosiddetta amplificazione di sito.

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 alla curva HVSR (vedi, ad esempio, dati riportati in Figura 2).

Se, quindi, unitamente 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 (ad es. Arai & Tokimatsu, 2005; Dal Moro, 2023), esso non deve essere semplicisticamente inteso, *sic et simpliciter*, come stima dell'amplificazione di sito.

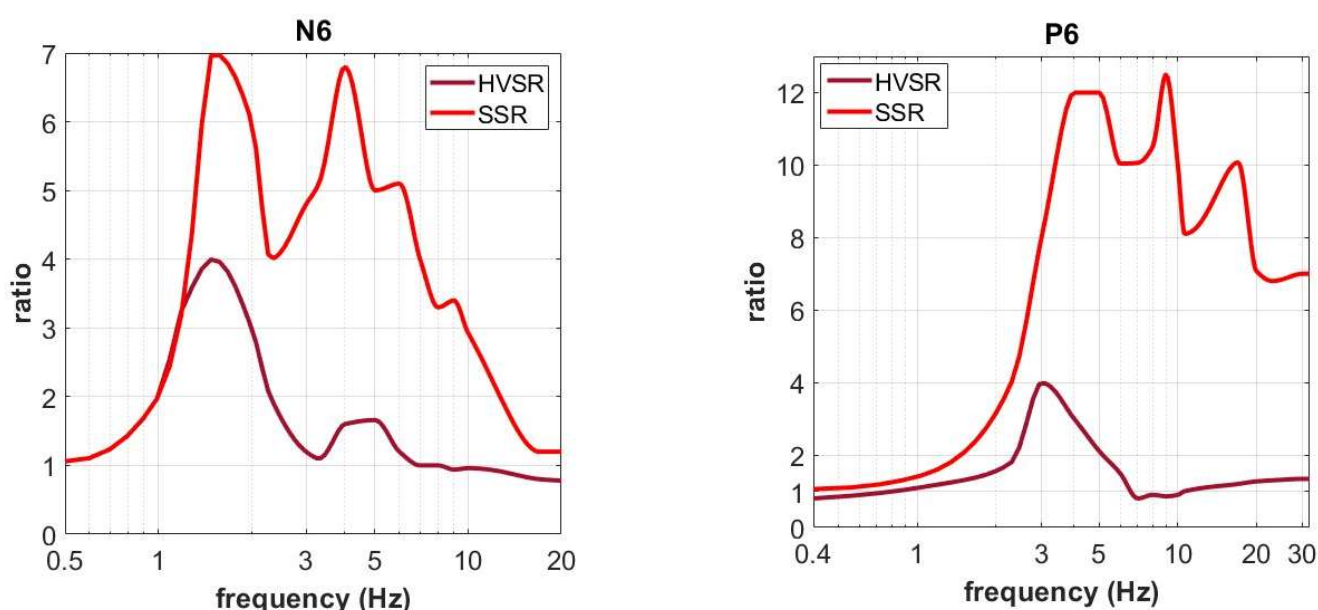


Figura 2. Confronto tra curva HVSR e curva di amplificazione reale (da analisi SSR – *Standard Spectral Ratio*) in caso di evento sismico (da Perron et al., 2018). Si noti la profonda differenza tra curva HVSR ed amplificazione effettivamente misurata.

I fenomeni di “deformazione” di un segnale prodotto da un evento sismico sono un fenomeno complesso che non dipende unicamente dal sito ma anche dalle caratteristiche dell'evento sismico: lo stesso sito può rispondere in modo diverso al variare delle caratteristiche dell'evento considerato (vedi riferimenti bibliografici in Dal Moro, 2023).

1.3 COMPUTO DELL'HVSR DAI MICROTREMORI

Le immagini di seguito riportate sintetizzano le principali evidenze raccolte dall'analisi dei microtremori utilizzati per il computo del rapporto H/V nel sito investigato (lunghezza della registrazione: circa 24 minuti). Nonostante la presenza di un paio di componenti industriali monocromatiche (Figura 4), queste non vanno a incidere significativamente sull'HVSR (in caso contrario si sarebbe potuto facilmente rimuoverne l'effetto grazie agli strumenti di individuazione e rimozione di tale genere di segnale presenti in HoliSurface®). Il picco del rapporto H/V a 2.25 Hz è riferibile al passaggio tra sedimenti poco addensati superficiali e sedimenti più addensati ben noti nella zona in esame.

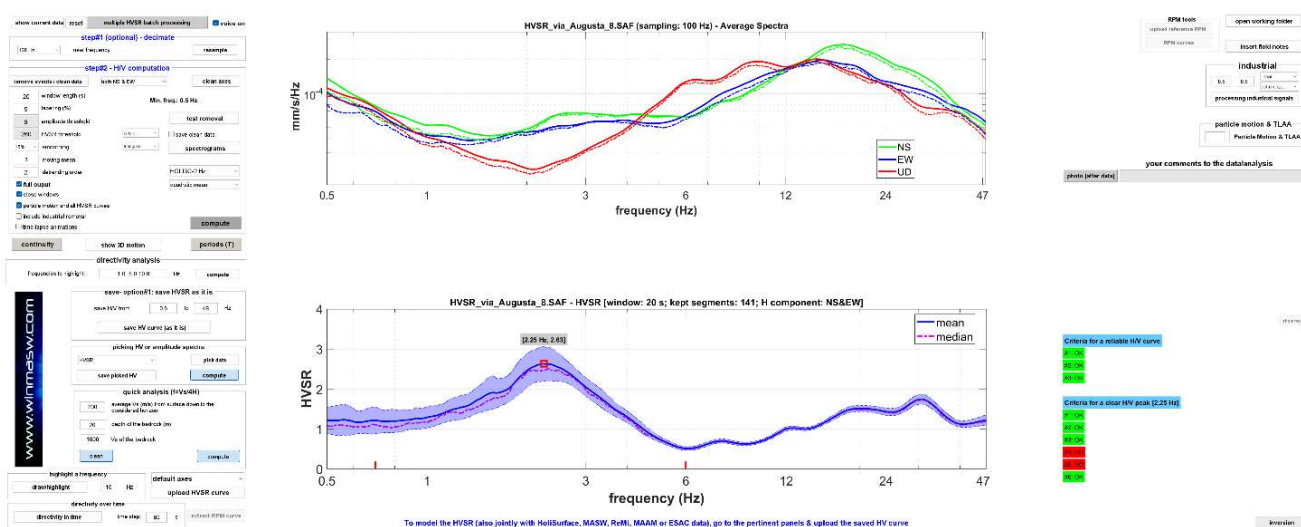


Figura 3. HVSR – spettri di ampiezza delle tre componenti e curva HVSR media.

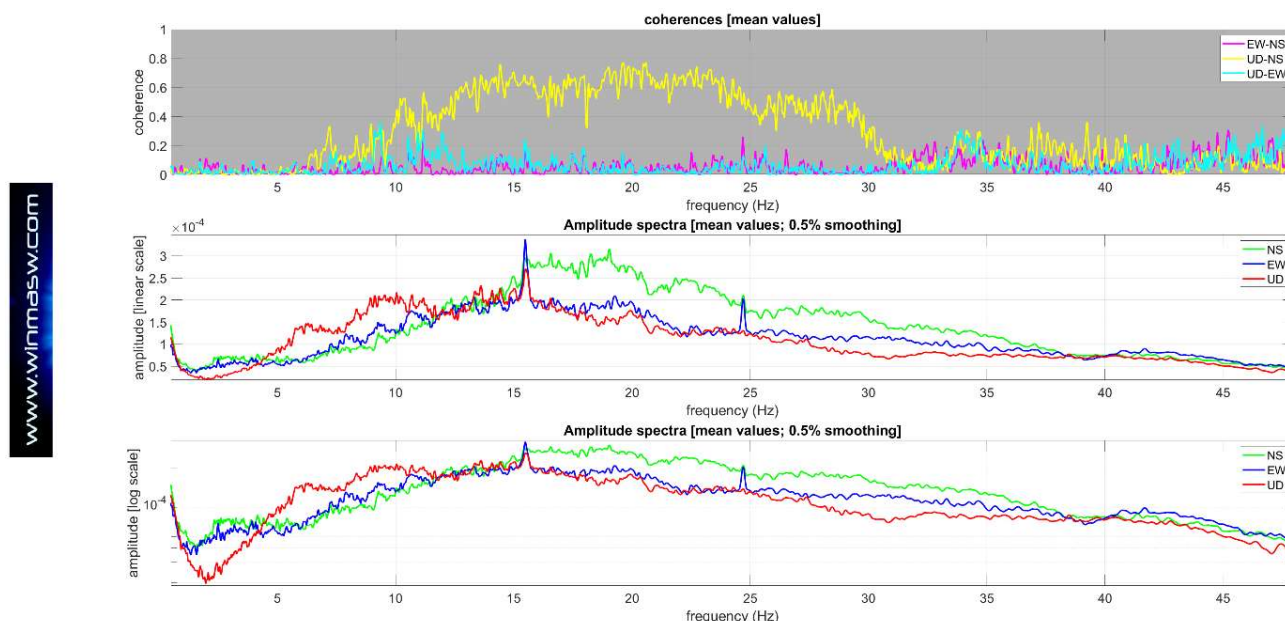


Figura 4. Funzioni di coerenza per i tre sensori indicati e spettri di ampiezza smussati solo dello 0.5%. Si possono osservare due modeste componenti industriali monocromatiche (circa 15.5 e 24.5 Hz) che, come evidentemente mostrato dai dati in Figura 3, non vanno ad alterare significativamente l'HVSR.

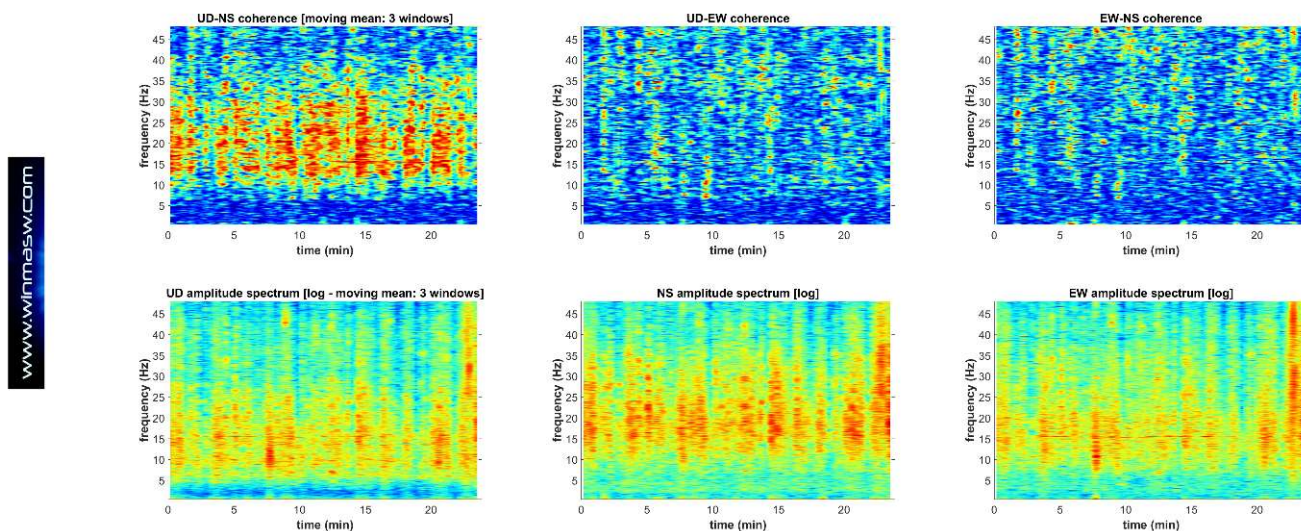


Figura 5. HVSR – evoluzione temporale delle funzioni di coerenza tra sensori e degli spettri di ampiezza: non si evidenziano fenomeni di particolare rilevanza.

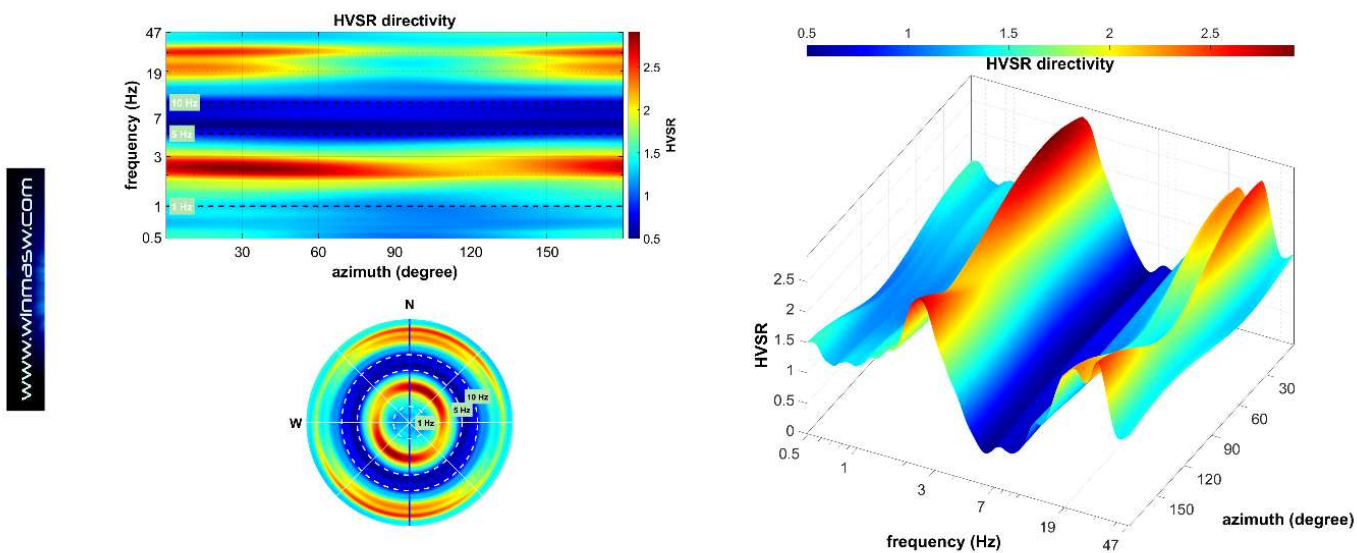


Figura 6. HVSR – direttività dell'HVSR.

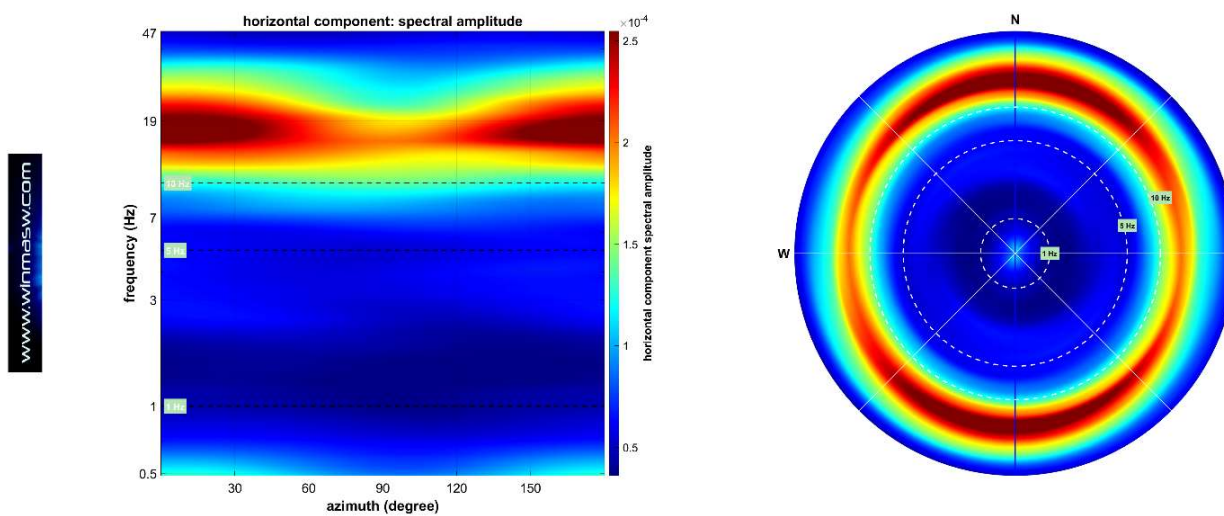


Figura 7. HVSR – Direttività dell'ampiezza dei microtremori sul piano orizzontale.

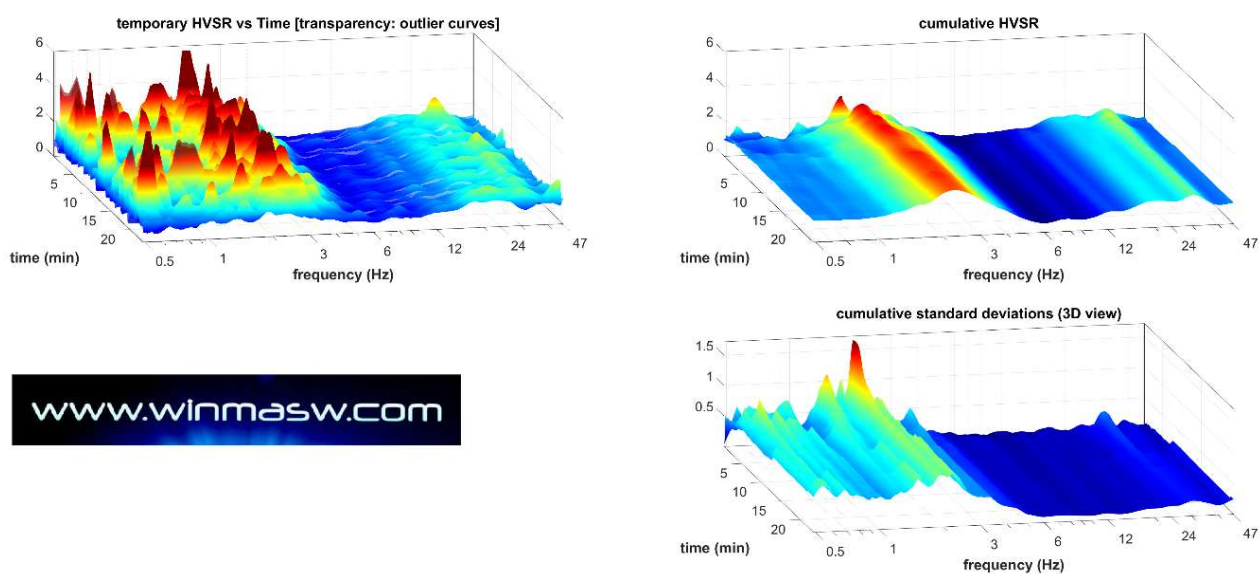


Figura 8. HVSR – Evoluzione nel tempo dell'HVSR e della sua deviazione standard.

1.4 INVERSIONE DELLA CURVA HVSR

La curva HVSR ottenuta è stata dunque invertita basandosi sui dati (vincoli sugli spessori e sui valori delle V_s massimi e minimi per ciascun strato) forniti dalla prova penetrometrica e dalla conoscenza dei terreni che caratterizzano l'area in oggetto, nel corso degli anni ampiamente esplorata anche con dati di dispersione. Il processo di inversione è stato svolto tramite una tecnica euristica di ottimizzazione del *misfit* basata sull'utilizzo degli algoritmi genetici (GA – *Genetic Algorithm*) [HoliSurface® 2025] e il modello ottenuto è riportato qui di seguito. È da sottolineare come l'ottimo accordo tra dato sperimentale di campagna e curva del modello sintetico abbia valore solo in relazione ai vincoli forniti in fase di inversione della curva (è infatti noto quanto la curva HVSR sia altrimenti soggetta a non-univocità).

Riguardo allo *stiff layer* superficiale, si può ipotizzare una qualche relazione con le note strutture archeologiche romane qui ben note.

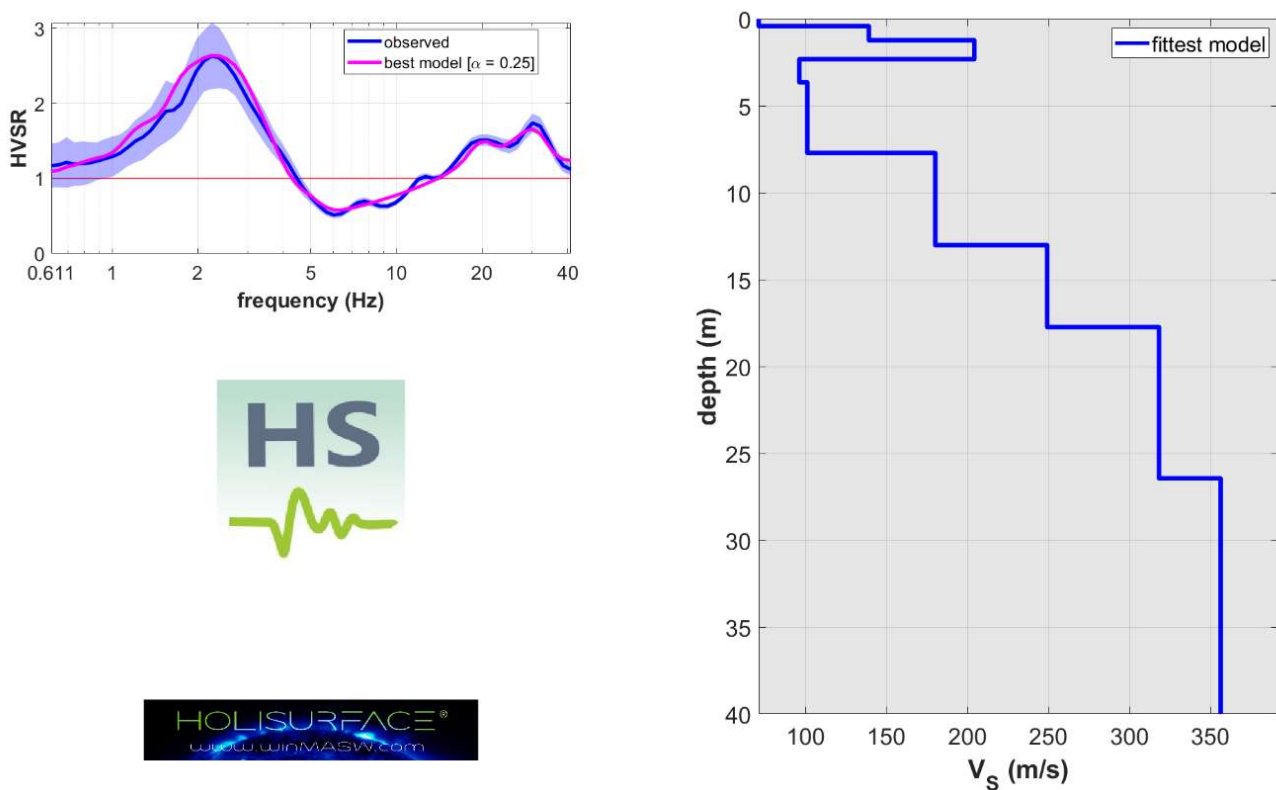


Figura 9. Risultato dell'inversione vincolata della curva HVSR.

V_s (m/s): 71, 139, 204, 96, 101, 180, 249, 318, 356, 409, 369, 922

Thickness [spessori] (m): 0.4, 0.8, 1.1, 1.3, 4.1, 5.3, 4.7, 8.7, 21.9, 23.3, 341.7

Estimated densities [densità stimate] (gr/cm³): 1.56 1.74 1.84 1.64 1.65 1.81 1.9 1.96 1.99 2.03 2 2.25

V_{s30} & V_{seq} (m/s): 191 191

La V_{seq} (in questo caso pari alla V_{s30}) è risultata pari a 191 m/s, quindi ai sensi del D.M. 17.01.2018 (Tab.3.2.11), risulta una classe di terreno di tipo C (*depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine 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 e 360 m/s*).

1.5 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

Dal Moro, G., 2023. **Lezioni di sismica** (onde di volume, di superficie, sezioni 2D e amplificazioni), Dario Flaccovio Editore, ISBN 9788857911946

Mark, N., Sutton, G.H., 1975. Lunar shear velocity structure at Apollo sites 12, 14, and 15. J. Geophys. Res. 80, 4932–4938

Perron V., Gélis C., Froment B., Hollender F., Bard P.-Y., Cultrera G., Cushing E.C., 2018. Can broad-band earthquake site responses be predicted by the ambient noise spectral ratio? Insight from observations at two sedimentary basins. Geophysical Journal International, 215, 1442–1454



info@winmasw.com