

DOTT. GEOL. GIUSEPPE D'AGOSTINO
VIA L. PICCINATO, 21 - 82100 BENEVENTO
CELL. 3333244725
EMAIL: GEOGIUSE@GMAIL.COM
PEC: GIUDAGOS@EPAP.SICUREZZAPOSTALE.IT

COMUNE DI SERRAMEZZANA

PROVINCIA DI SALERNO

"INDAGINI GEOFISICHE A CORREDO DELLO STUDIO GEOLOGICO DEL P.U.C."

INDAGINI HOLISURFACE ED HVSR PER LA DEFINIZIONE DEL PROFILO VERTICALE V_s
E DEL PARAMETRO VS_{EQ}

COMMITTENTE: **DOTT. GEOL. ANTONIO CORRADINO P.C. AMM.NE COMUNALE DI SERRAMEZZANA**

APRILE 2019



DR. GEOL. GIUSEPPE D'AGOSTINO

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "G. D'Agostino", written over the stamp.

RELAZIONE ESPLICATIVA

Nell'ambito delle indagini per lo Studio Geologico del PUC di Serramezzana (SA), lo scrivente ha condotto, per conto del Geologo Dr. Antonio Corradino, una campagna di prospezioni geofisiche, allo scopo di definire la risposta sismica locale del sito in esame.

Nell'area investigata, al fine di determinare il parametro V_{SEQ} è stata condotta una campagna di indagini geofisiche consistite in acquisizioni ed analisi secondo la tecnica MFA (Multiple Filter Analysis – Dziewonsky et alii, 1969; Hermann, 2013; Pedersen et alii, 2003) opportunamente adattata al fine di sfruttare in maniera olistica tanto la componente radiale che quella verticale dell'onda di Rayleigh, quanto l'onda di Love e il rapporto HVSr.

A tal fine è stato impiegato il software HoliSurface® 2018 che implementa una metodologia innovativa (brevetto concesso il 01.04.2015); quest'ultima, in uno ad un'adeguata strumentazione hardware, consente di analizzare la propagazione delle onde di superficie al fine di determinare il profilo verticale della V_s .

Il termine HoliSurface® (da Holistic Surface) esprime il fatto che lo scopo del metodo/software è quello di analizzare la propagazione delle onde di superficie in modo completo, cioè olistico (dal greco ὅλος, cioè "totalità").

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni del Decreto 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" (G.U. n°42 del 20/02/2018 – Suppl. Ordinario n°8) che, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (V_s).

Il Piano di Indagini si compone di:

- N° 4 indagini sismiche in array lineare, con tecnica MFA (Multiple Filter Analysis);
- N° 1 indagine sismica passiva a stazione singola HVSr

GENERALITÀ SULLE TECNICHE DI INDAGINE UTILIZZATE

Come anticipato in premessa, è stata condotta una campagna di acquisizioni ed analisi secondo la tecnica MFA (Multiple Filter Analysis – Dziewonsky et al., 1969; Herrmann, 2013; Pedersen et al., 2003).

Sono inoltre state eseguite una serie di misure di microtremori atte ad analizzare il rapporto spettrale H/V (Horizontal to Vertical Spectral Ratio - HVSr) utile a definire eventuali risonanze di sito ed, unitamente a misure di dispersione delle onde di superficie, a meglio vincolare il profilo V_s (Dal Moro, 2010; 2011) dal momento che, a causa della pesante non-univocità della soluzione, una modellazione del solo HVSr senza quantitative informazione sulle V_s da parte di misure di sismica attiva (MASW o MFA) non risulta in grado di definire il profilo V_s .

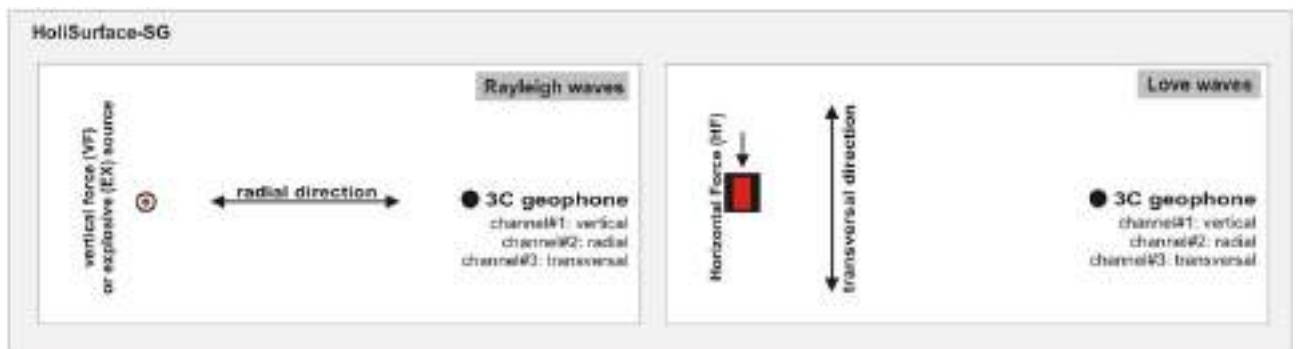
La classificazione dei terreni è stata svolta sulla base del valore della $V_{s,eq}$ definita dalla relazione:

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

in cui $V_{S,i}$ e h_i sono rispettivamente la velocità delle onde di taglio e lo spessore dell' i -esimo strato.

ACQUISIZIONE DEI DATI

Le acquisizioni di campagna sono state eseguite mediante l'impiego di un geofono triassiale equalizzato, marca Geospace Technologies (SN261379004), da 4.5Hz ed un sismografo GEA24 (SN17151) della PASI. Per l'elaborazione dei dati acquisiti è stato adoperato il software HoliSurface® 2018 della **Eliosoft geophysical software and services**.



RAPPORTI SPETTRALI H/V

Allo scopo di definire il periodo di risonanza di sito e migliorare (tramite analisi congiunta HoliSurface+HVSR) la definizione del profilo verticale V_S nelle porzioni più profonde, sono state effettuate alcune misurazioni di microtremori, utile a definire il rapporto H/V.

La tecnica di indagine impiegata, che trae origine dalle intuizioni di Nakamura, procede registrando il "rumore" sismico ambientale (i microtremori appunto) valutando la frequenza di risonanza di una struttura ideale stratificata in cui ad un orizzonte rigido in profondità sia sovrapposto un livello (sedimentario) più soffice.

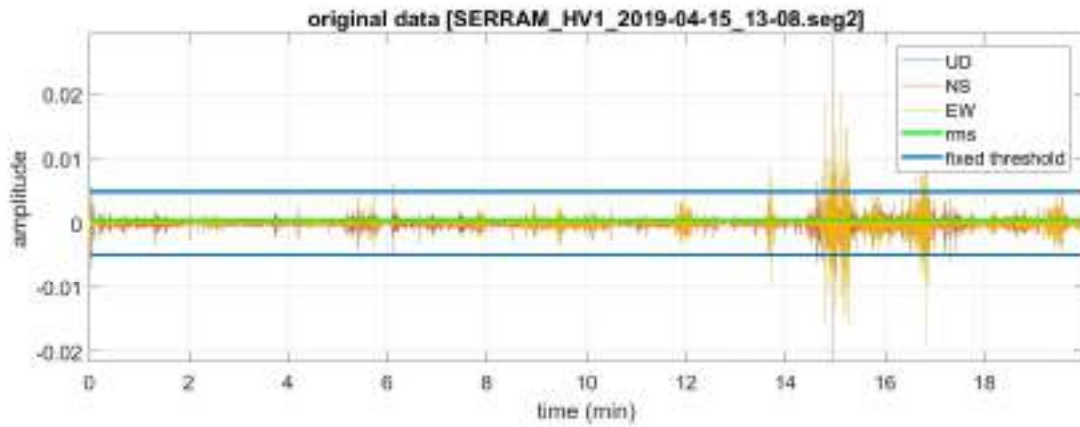
INDAGINI GEOFISICHE PUC SERRAMEZZANA (SA)

Punto di indagine P1: indagine HV

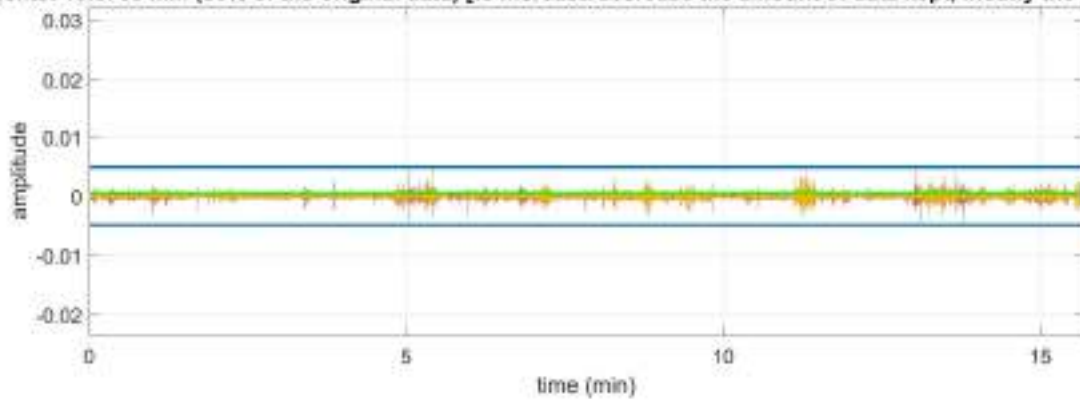
lat. 40°14'35.02"N

long. 15° 1'56.36"E

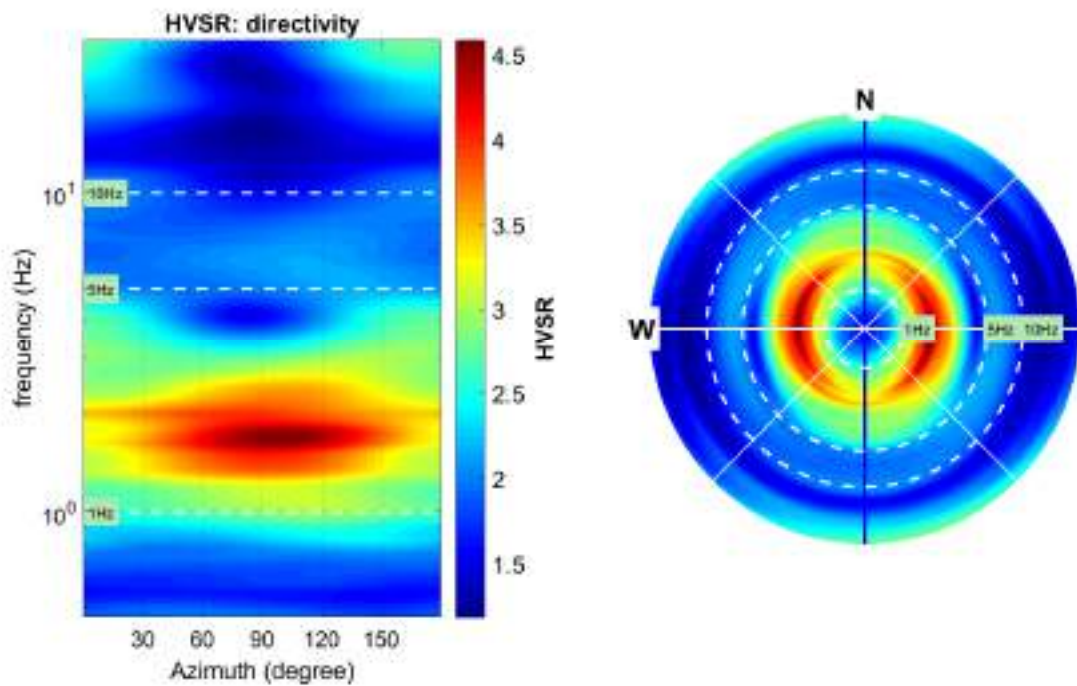




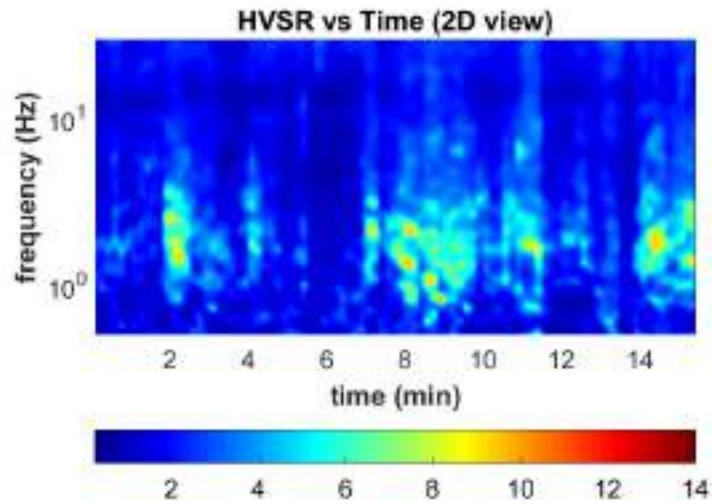
id segments: 15.6786 min (80% of the original data) [to increase/decrease the amount of data kept, modify the "amplitude"



tracce punto di indagine HV1 prima e dopo la rimozione manuale dei transienti

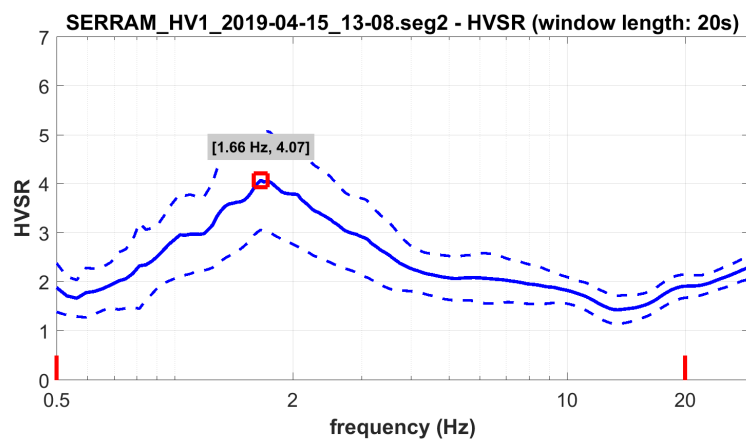
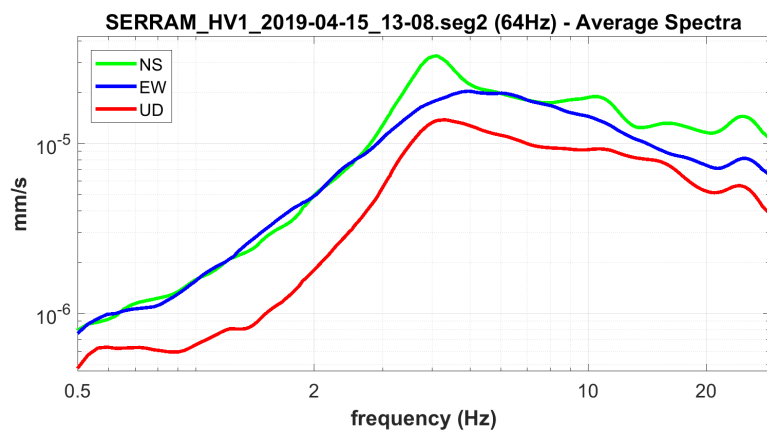


direttività dei dati sismici



persistenza delle misure nel tempo

Le curve HVSR e gli spettri medi delle tre componenti (NS, EW e verticale) sono riportate nella figura successiva. Il picco principale è stato intercettato alla frequenza di 1.66 Hz



spettri medi d'ampiezza delle tre componenti (in alto) e curva HV sperimentale (in basso)

Il computo dei criteri SESAME (che definiscono la robustezza statistica della curva HVSR e degli eventuali picchi presenti) relativi al picco evidenziato sono riportati di seguito.

DATA PROCESSING

Date: 17 4 2019
 Time: 11 29
 Sampling frequency (Hz): 64
 Window length (sec): 20
 Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz
 Length of analysed dataset (min): 20.0
 Tapering (%): 5
 Smoothing (%): 15

SESAME criteria

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

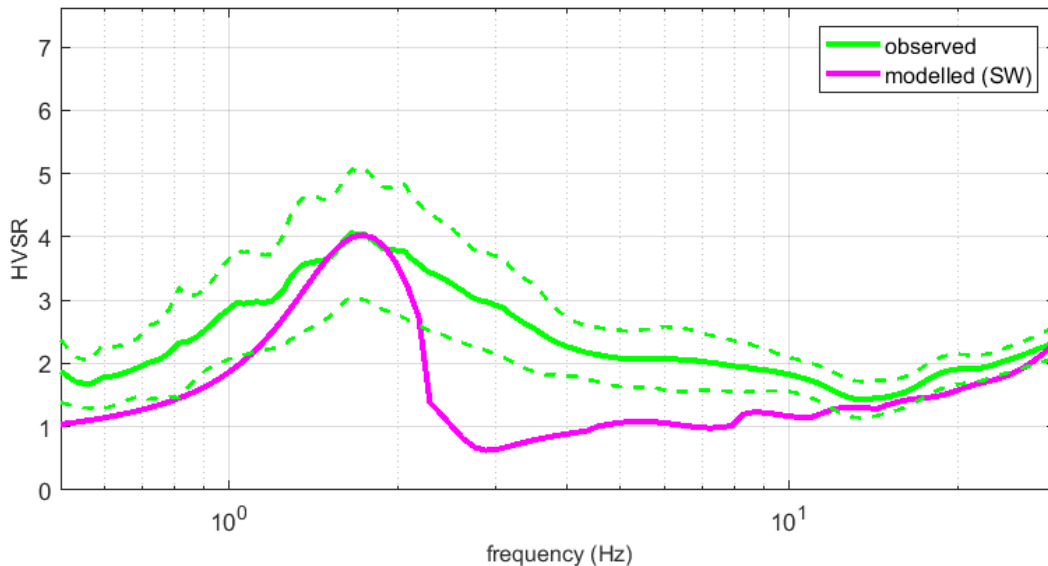
Peak frequency (Hz): 1.7 (±2.1)
 Peak HVSR value: 4.1 (±1.0)

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

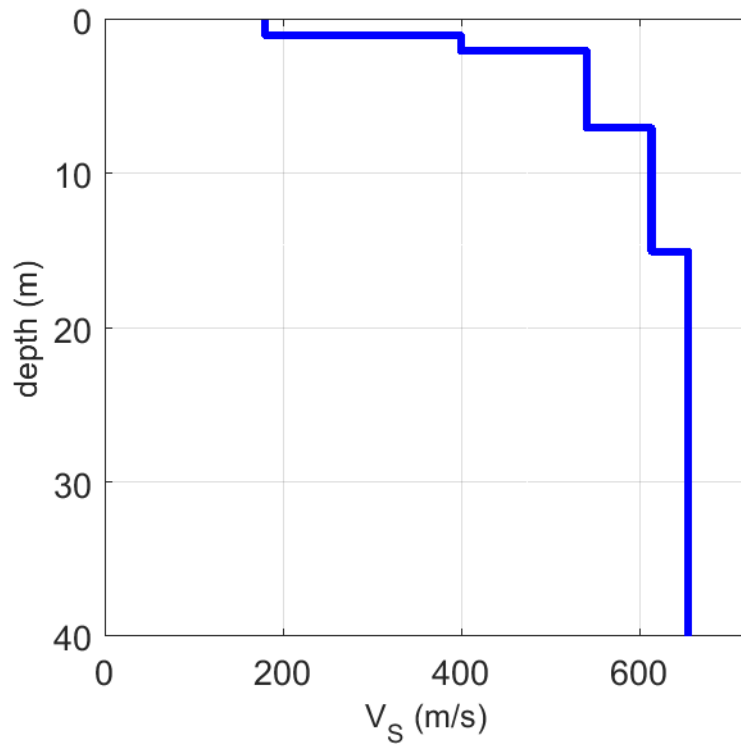
- #1. [f0 > 10/Lw]: 1.658 > 0.5 (OK)
- #2. [nc > 200]: 3084 > 200 (OK)
- #3. [f0>0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

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

- #1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: yes, at frequency 0.5Hz (OK)
- #2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: yes (considering standard deviations), at frequency Hz (OK)
- #3. [A0 > 2]: 4.1 > 2 (OK)
- #4. [fpeak[Ah/v(f) ± sigmaA(f)] = f0 ± 5%]: (OK)
- #5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 2.075 > 0.166 (NO)
- #6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 1.492 < 1.78 (OK)



curva HV osservata (in verde) e curva HV modellata sulla scorta del relativo profilo Vs (in rosa)



Vs model (Vs30 & VsE @ surface: 564 564 m/s)

| layer | Vs (m/s) | thickness (m) | depth (m) |
|-------|----------|---------------|-----------|
| 1 | 180 | 1 | 1 |
| 2 | 400 | 1 | 2 |
| 3 | 541 | 5 | 7 |
| 4 | 614 | 8 | 15 |
| 5 | 655 | 85 | 100 |
| 6 | 1530 | 0 | 0 |

Modello del sottosuolo individuato ($V_{s,eq}$: 564 m/s).

INDAGINI GEOFISICHE PUC SERRAMEZZANA (SA)

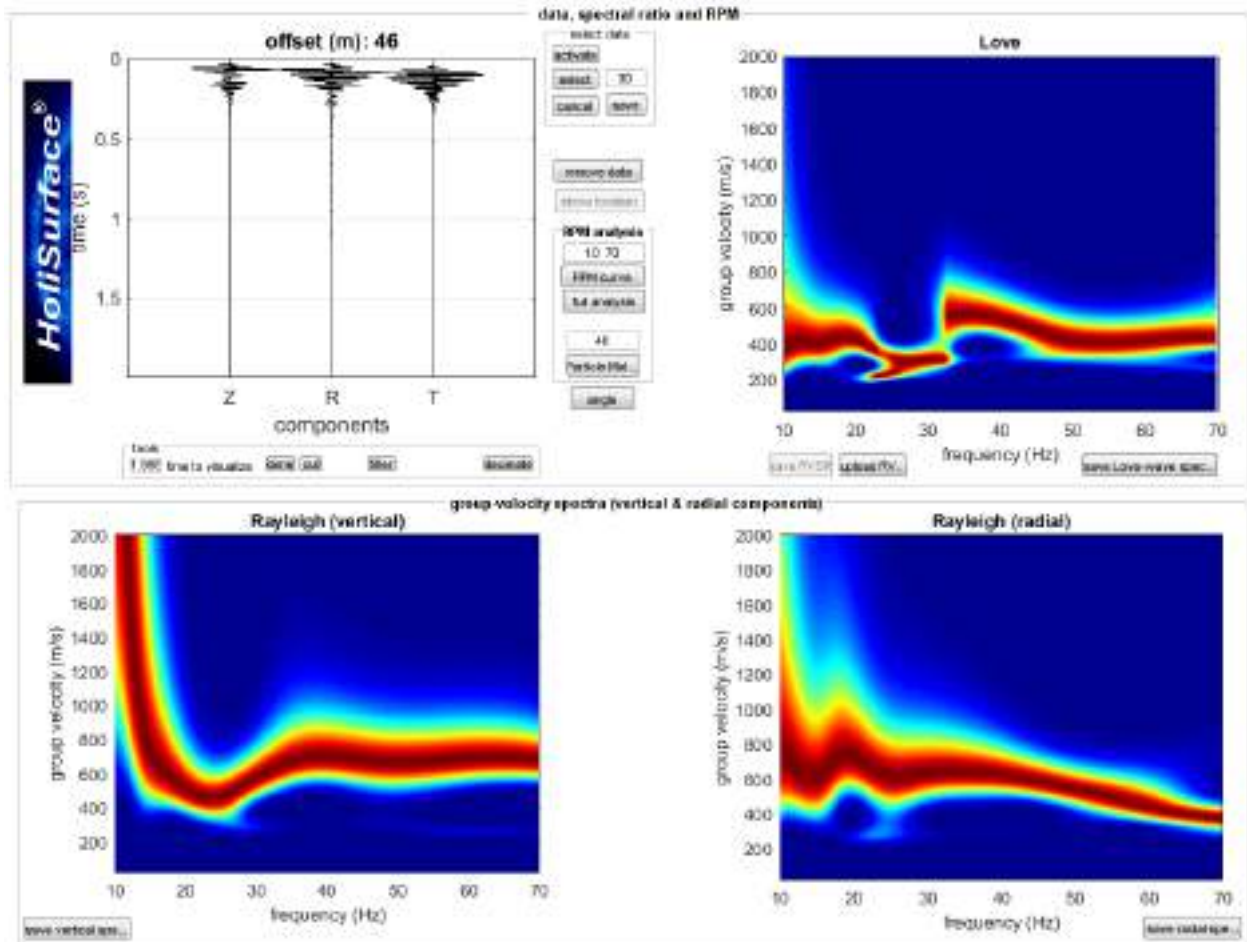
Punto di indagine **P2**: indagine HoliSurface

lat. 40°14'48.04"N

long. 15° 2' 07.40"E



La Figura seguente riporta le tracce acquisite in modalità attiva e gli spettri di velocità di gruppo (metodo MFA - Multiple Filter Analysis) delle componenti radiale e verticale dell'onda di Rayleigh e dell'onda di Love.



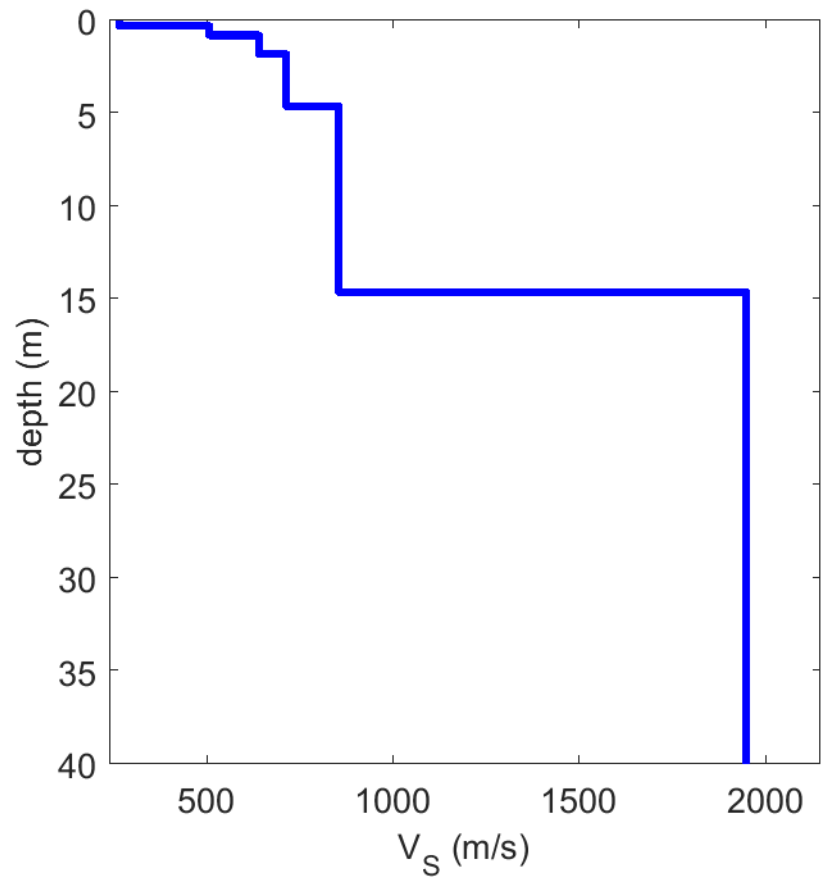
dati MFA relativi alle onde di superficie. In alto a sinistra le tre tracce acquisite in modalità attiva e sfruttate per definire gli spettri di velocità di gruppo per la componente verticale e radiale dell'onda di Rayleigh e per l'onda di Love

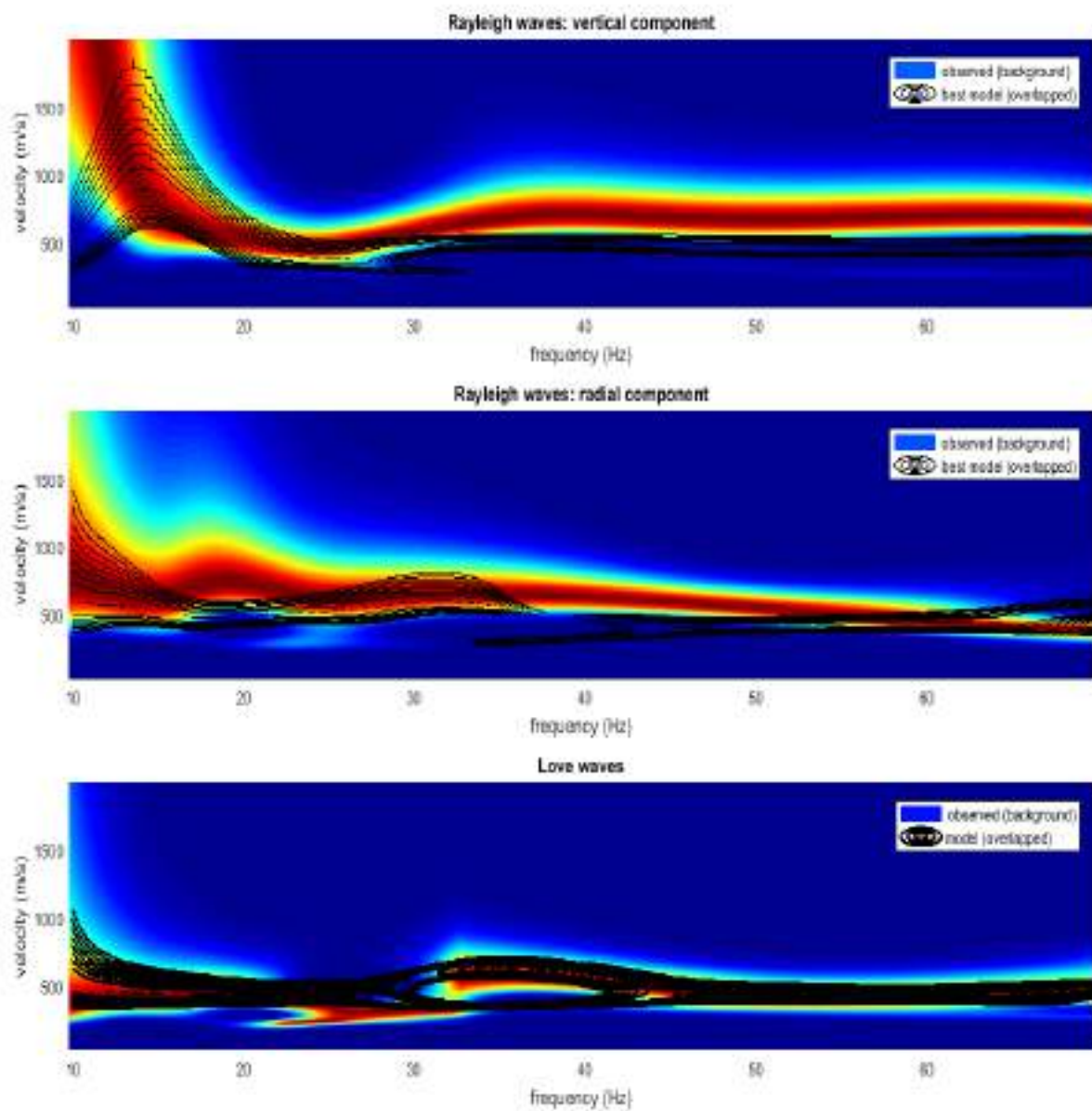
Si è quindi proceduto alla modellazione congiunta degli spettri di velocità, con i risultati di seguito riportati.

Vs model (Vs30 & VsE @ surface: 1103 606 m/s)

| layer | Vs (m/s) | thickness (m) | depth (m) |
|-------|----------|---------------|-----------|
| 1 | 266 | 0.3000 | 0.3000 |
| 2 | 508 | 0.5000 | 0.8000 |
| 3 | 641 | 1 | 1.8000 |
| 4 | 714 | 2.8000 | 4.6000 |
| 5 | 855 | 10 | 14.6000 |
| 6 | 1950 | 0 | 0 |

Modello del sottosuolo individuato ($V_{S,eq}$: 606 m/s).





overlay del risultato della modellazione congiunta sugli spettri di velocità di gruppo delle componenti radiale e verticale dell'onda di Rayleigh e dell'onda di Love

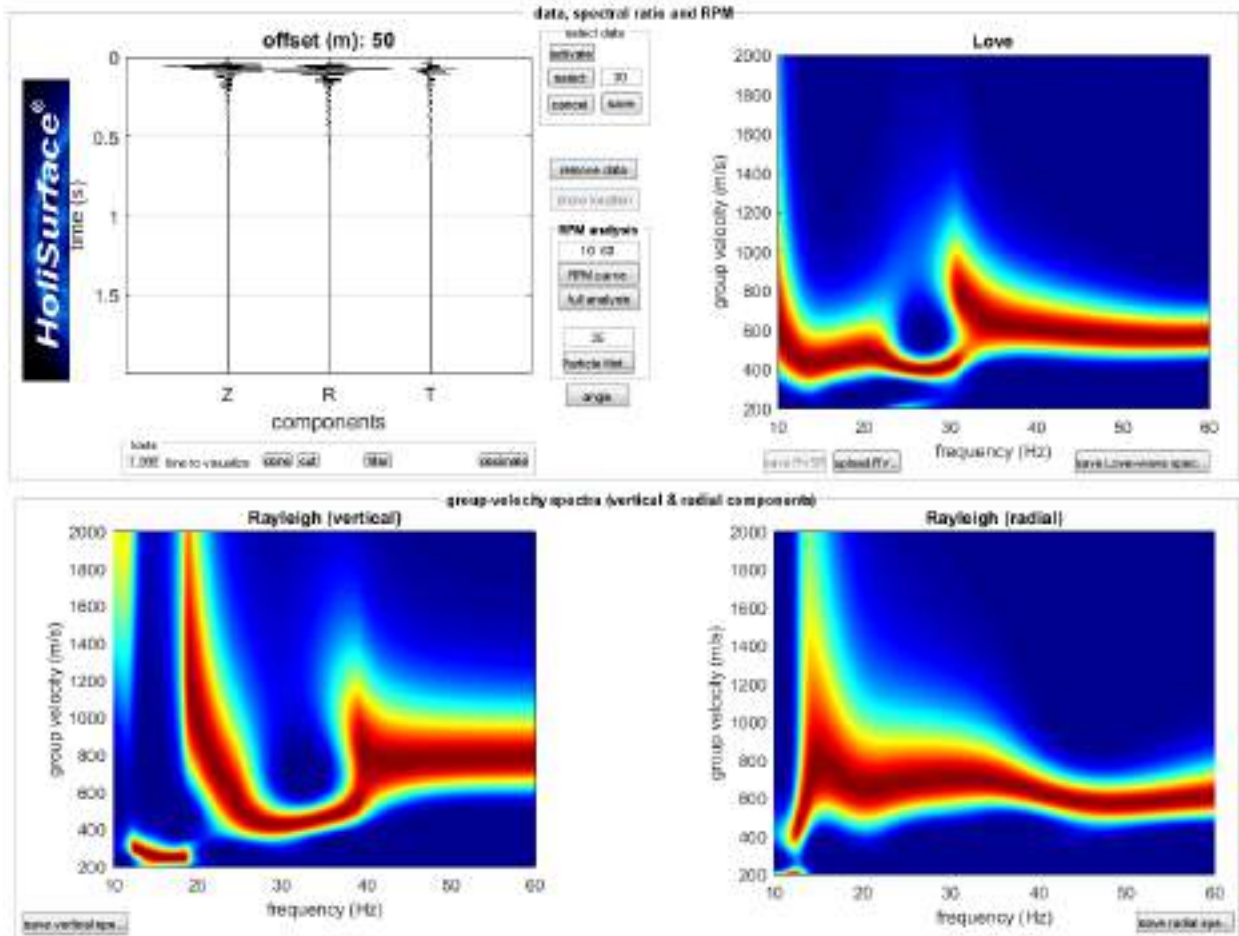
INDAGINI GEOFISICHE PUC SERRAMEZZANA (SA)

Punto di indagine P3: indagine HoliSurface

lat. 40°14'35.47"N
long. 15° 01' 36.25"E



La Figura seguente riporta le tracce acquisite in modalità attiva e gli spettri di velocità di gruppo (metodo MFA - Multiple Filter Analysis) delle componenti radiale e verticale dell'onda di Rayleigh e dell'onda di Love.



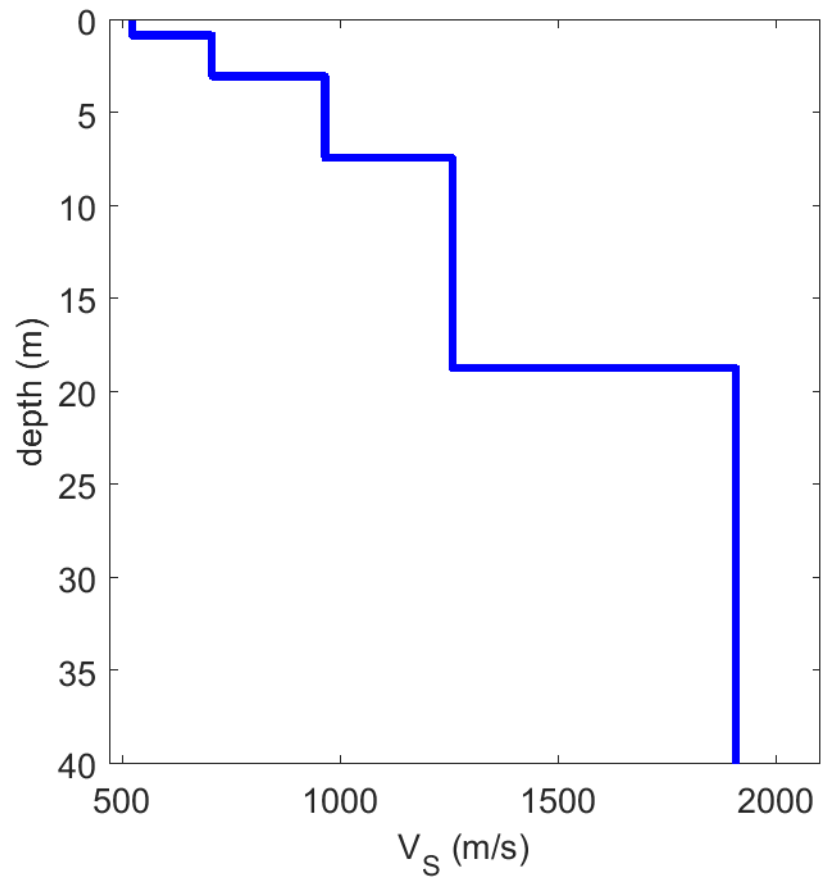
dati MFA relativi alle onde di superficie. In alto a sinistra le tre tracce acquisite in modalità attiva e sfruttate per definire gli spettri di velocità di gruppo per la componente verticale e radiale dell'onda di Rayleigh e per l'onda di Love

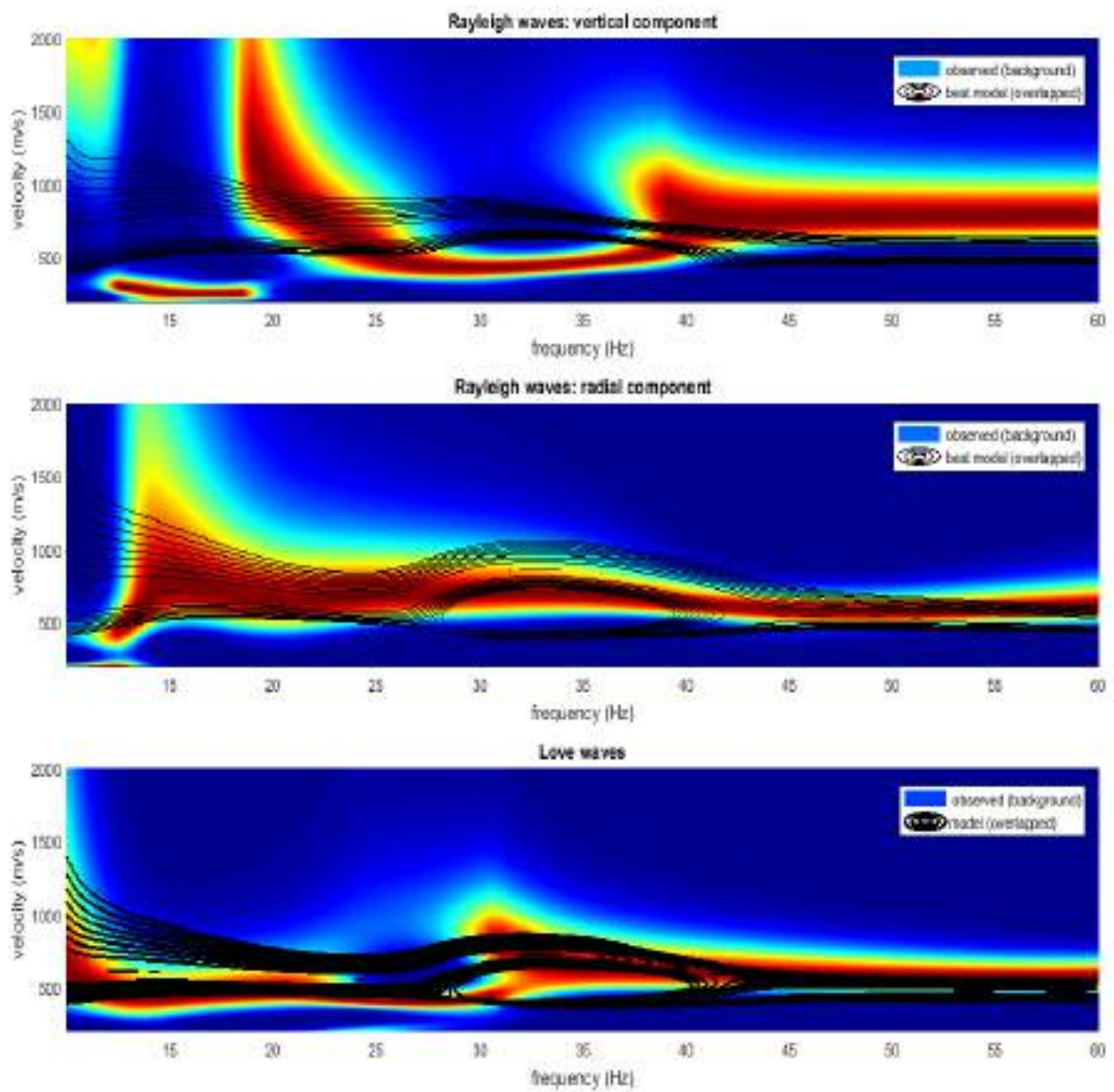
Si è quindi proceduto alla modellazione congiunta degli spettri di velocità, con i risultati di seguito riportati.

Vs model (Vs30 & VsE @ surface: 1245 645 m/s)

| layer | Vs (m/s) | thickness (m) | depth (m) |
|-------|----------|---------------|-----------|
| 1 | 522 | 0.8000 | 0.8000 |
| 2 | 706 | 2.2000 | 3 |
| 3 | 966 | 4.4000 | 7.4000 |
| 4 | 1259 | 11.3000 | 18.7000 |
| 5 | 1910 | 0 | 0 |

Modello del sottosuolo individuato ($V_{s,eq}$: 645 m/s).





overlay del risultato della modellazione congiunta sugli spettri di velocità di gruppo delle componenti radiale e verticale dell'onda di Rayleigh e dell'onda di Love

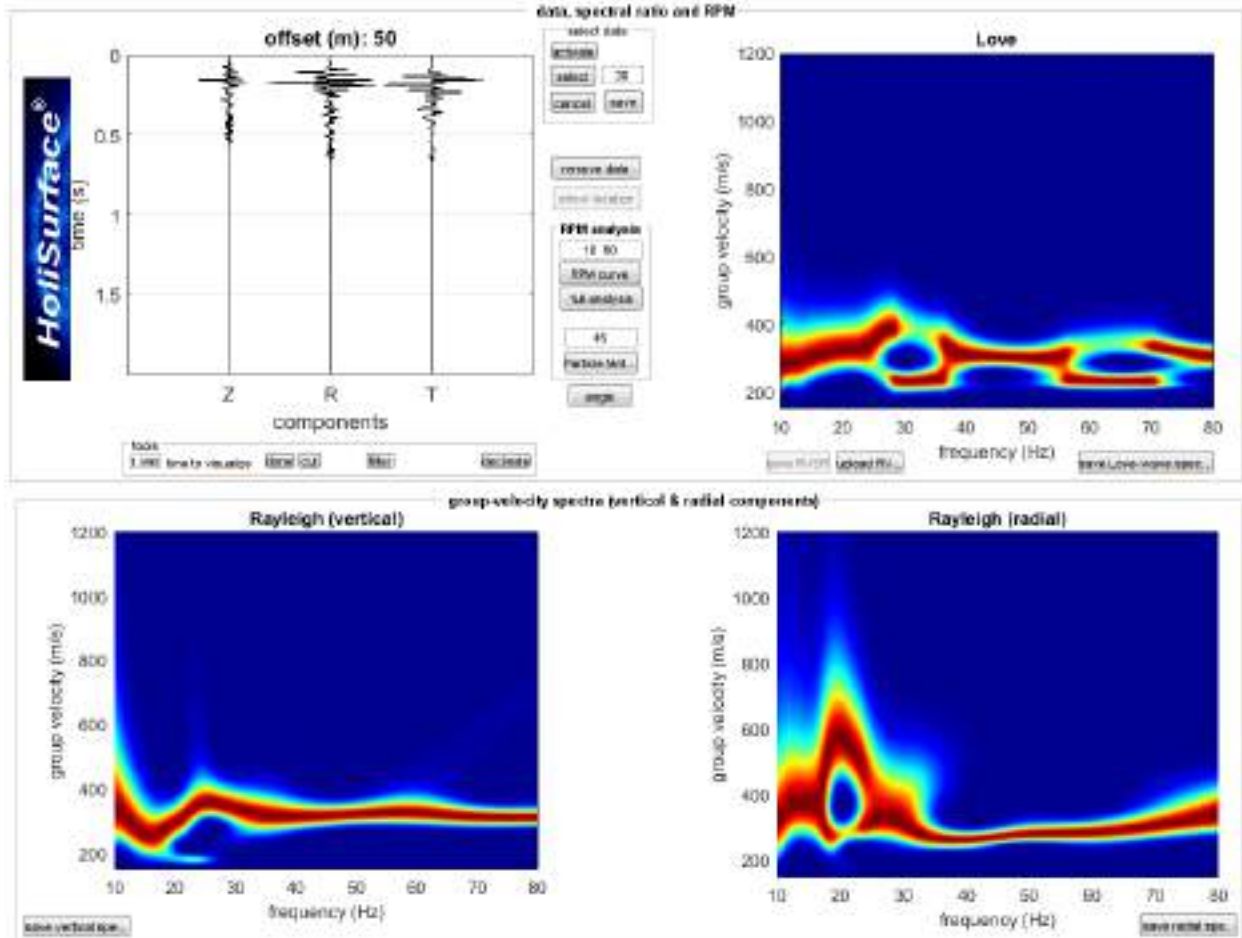
INDAGINI GEOFISICHE PUC SERRAMEZZANA (SA)

Punto di indagine **P4**: indagine HoliSurface

lat. 40°14'16.04"N
long. 15° 01' 35.46"E



La Figura seguente riporta le tracce acquisite in modalità attiva e gli spettri di velocità di gruppo (metodo MFA - Multiple Filter Analysis) delle componenti radiale e verticale dell'onda di Rayleigh e dell'onda di Love.



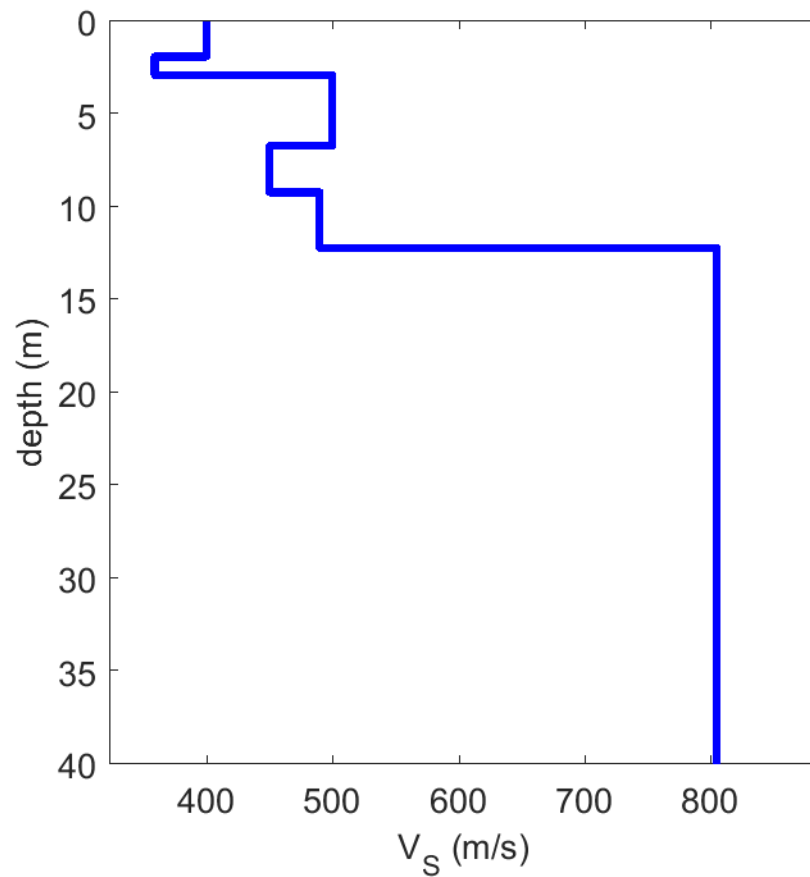
dati MFA relativi alle onde di superficie. In alto a sinistra le tre tracce acquisite in modalità attiva e sfruttate per definire gli spettri di velocità di gruppo per la componente verticale e radiale dell'onda di Rayleigh e per l'onda di Love

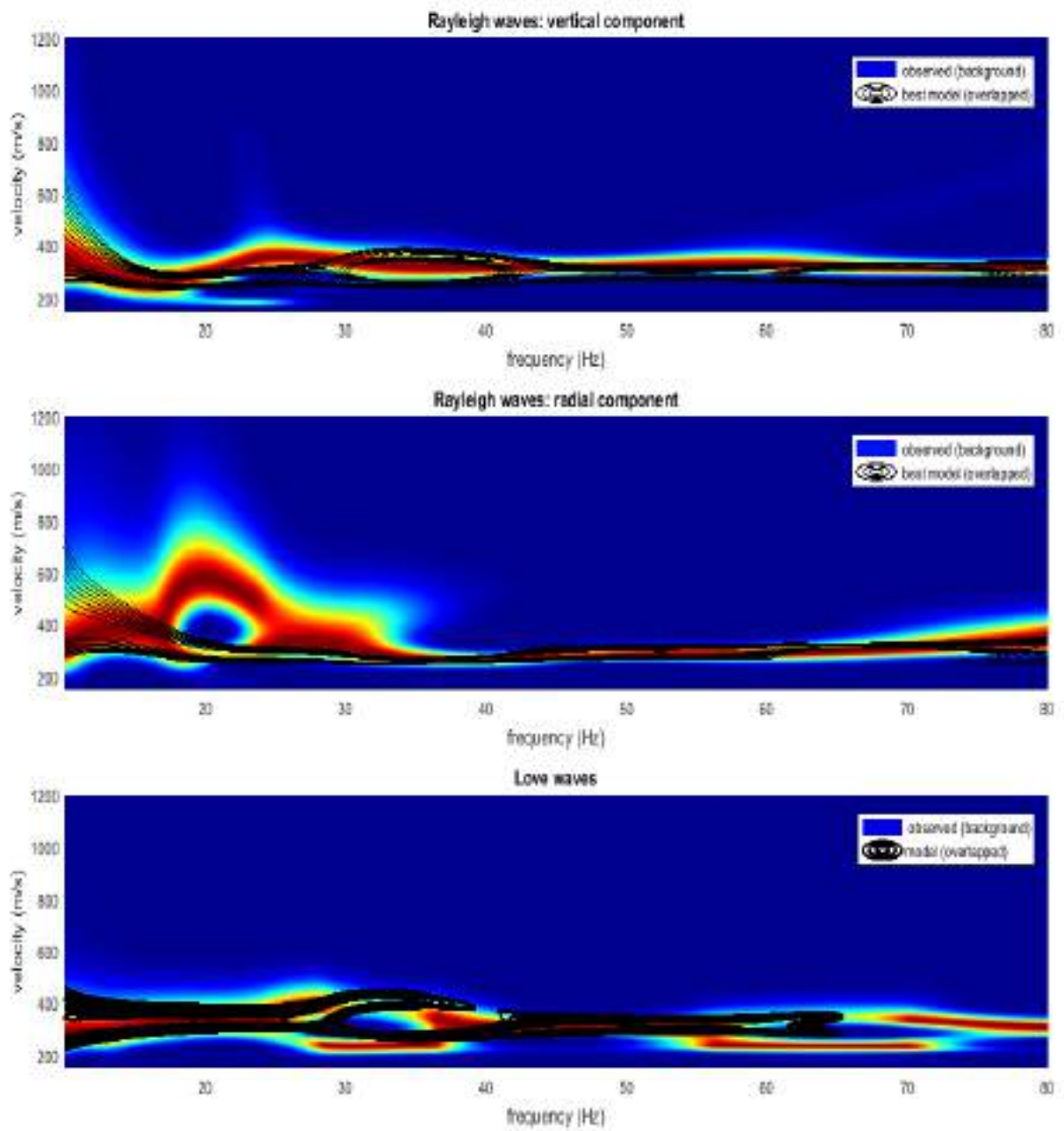
Si è quindi proceduto alla modellazione congiunta degli spettri di velocità, con i risultati di seguito riportati.

Vs model (Vs30 & VsE @ surface: 613 455 m/s)

| layer | Vs (m/s) | thickness (m) | depth (m) |
|-------|----------|---------------|-----------|
| 1 | 400 | 1.9000 | 1.9000 |
| 2 | 359 | 1 | 2.9000 |
| 3 | 500 | 3.8000 | 6.7000 |
| 4 | 450 | 2.5000 | 9.2000 |
| 5 | 490 | 3 | 12.2000 |
| 6 | 805 | 30 | 42.2000 |
| 7 | 1500 | 0 | 0 |

Modello del sottosuolo individuato ($V_{s,eq}$: 455 m/s).





overlay del risultato della modellazione congiunta sugli spettri di velocità di gruppo delle componenti radiale e verticale dell'onda di Rayleigh e dell'onda di Love

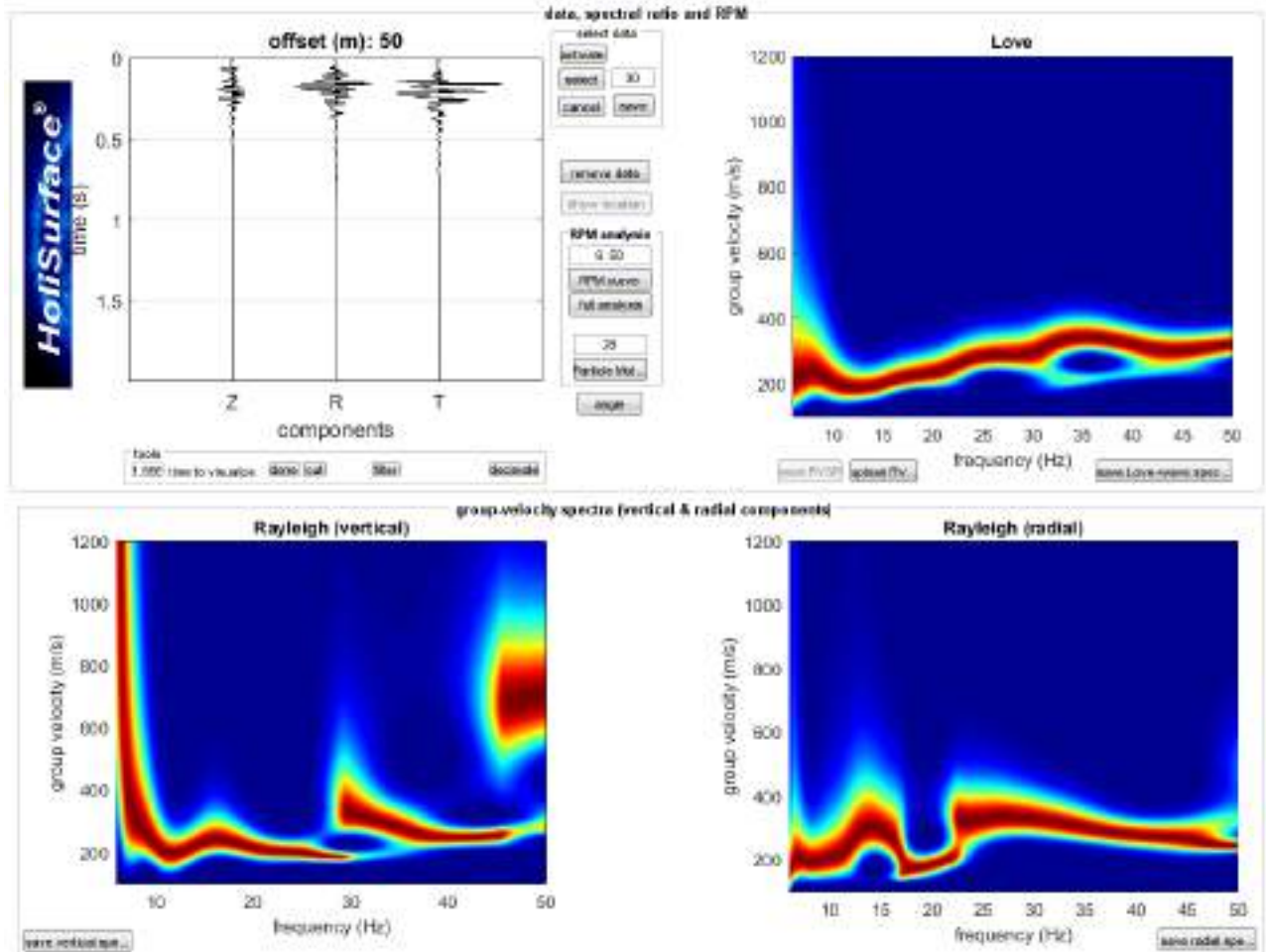
INDAGINI GEOFISICHE PUC SERRAMEZZANA (SA)

Punto di indagine **P5**: indagine HoliSurface

lat. 40°14'32.03"N
long. 15° 01' 21.53"E



La Figura seguente riporta le tracce acquisite in modalità attiva e gli spettri di velocità di gruppo (metodo MFA - Multiple Filter Analysis) delle componenti radiale e verticale dell'onda di Rayleigh e dell'onda di Love.



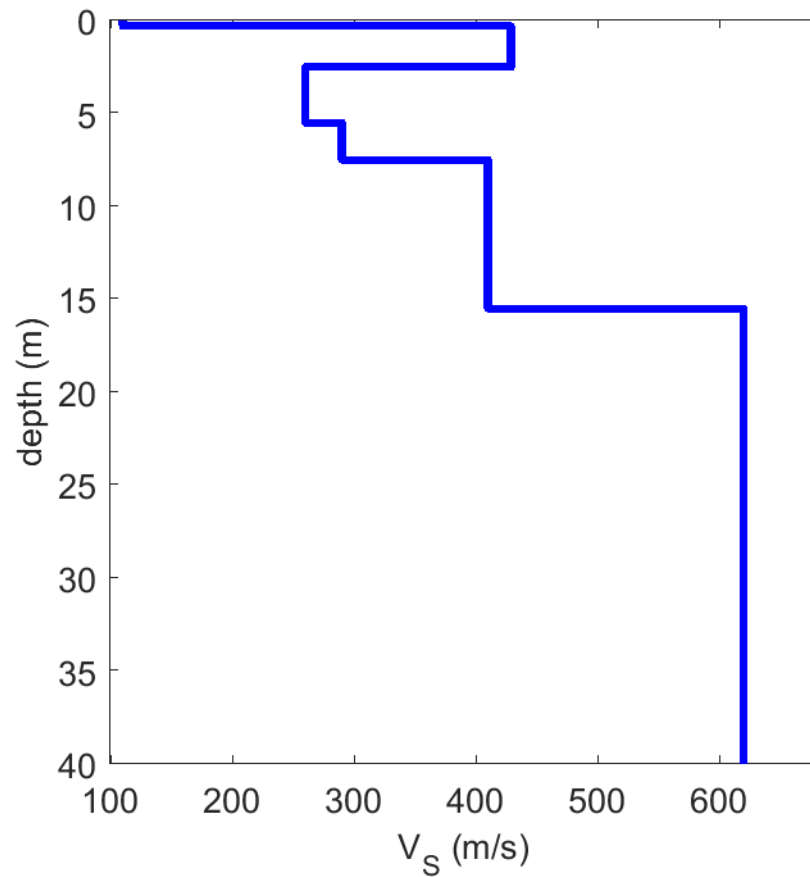
dati MFA relativi alle onde di superficie. In alto a sinistra le tre tracce acquisite in modalità attiva e sfruttate per definire gli spettri di velocità di gruppo per la componente verticale e radiale dell'onda di Rayleigh e per l'onda di Love

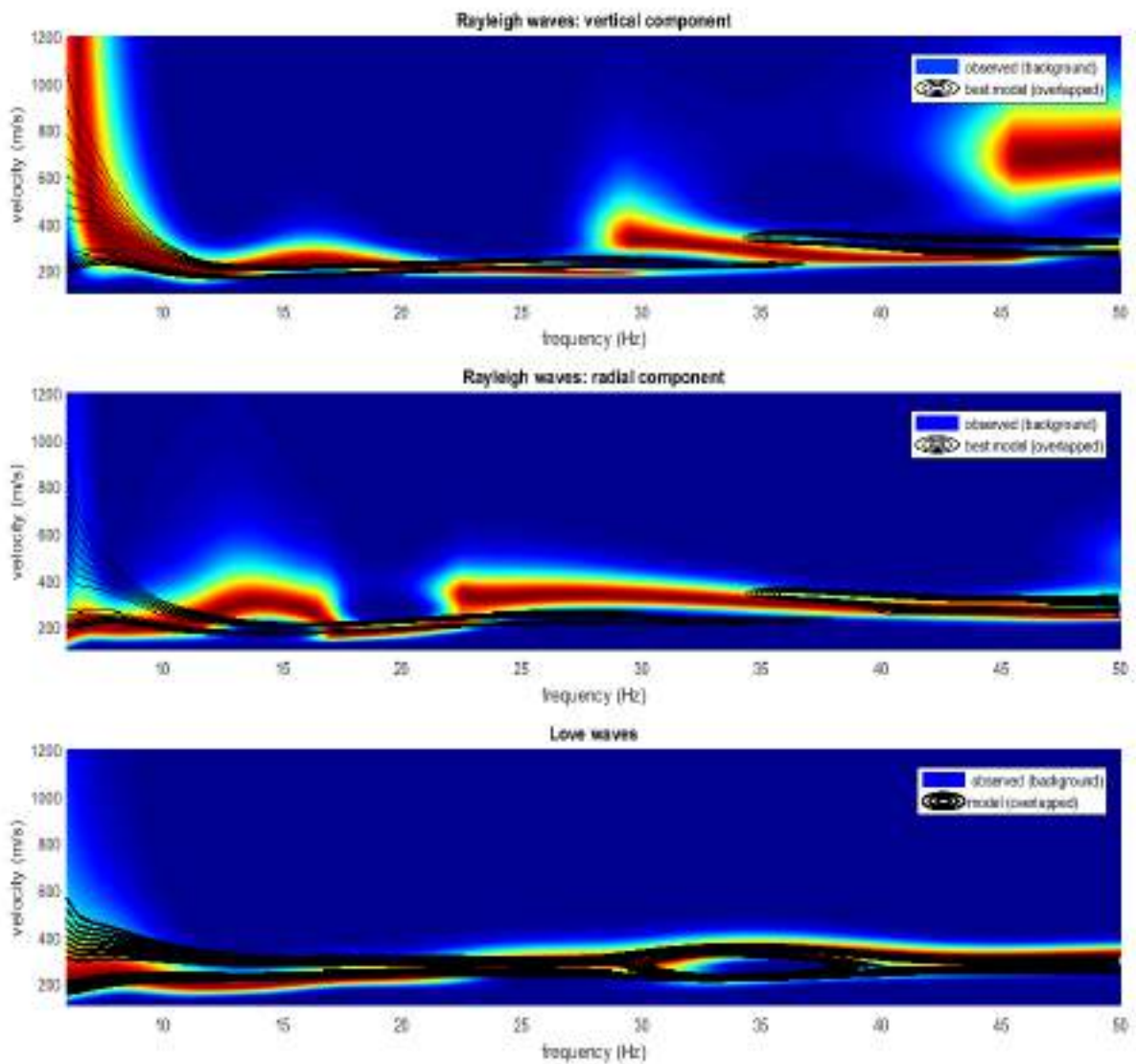
Si è quindi proceduto alla modellazione congiunta degli spettri di velocità, con i risultati di seguito riportati.

Vs model (Vs30 & VsE @ surface: 434 434 m/s)

| layer | Vs (m/s) | thickness (m) | depth (m) |
|-------|----------|---------------|-----------|
| 1 | 110 | 0.3000 | 0.3000 |
| 2 | 429 | 2.2000 | 2.5000 |
| 3 | 260 | 3 | 5.5000 |
| 4 | 290 | 2 | 7.5000 |
| 5 | 410 | 8 | 15.5000 |
| 6 | 620 | 0 | 0 |

Modello del sottosuolo individuato ($V_{s,eq}$: 434 m/s).





overlay del risultato della modellazione congiunta sugli spettri di velocità di gruppo delle componenti radiale e verticale dell'onda di Rayleigh e dell'onda di Love