Comune di Castelpoto
Provincia di Benevento

Il Sindaco
Dr. Vito Fusco

Consigliere delegato
Leonardo Ciarmoli

2025

Piano Urbanistico Comunale (PUC)

ex L.R. 16/2004, Reg. di Attuazione n.5 del 04.08.2011 e Regolamento regionale n.7 del 13/09/2019

Responsabile unico del procedimento
Architetto Antonio Soriano

Il progettista
Architetto Pianificatore Territoriale
Luca Servodio

Studio agronomico
Dr. Pietro Biele

Studio geologico
Geologo Modestino Boscaino

Studio archeologico
Dott.ssa Natascia Pizzano

Valutazione ambientale strategica
Architetto Pianificatore Territoriale
Luca Servodio

COMPONENTE STRUTTURALE
STUDIO GEOLOGICO

GEO_13

Indagini geofisiche

Firmato digitalmente da

Modestino Boscaino

CN = Modestino Boscaino
T = Geologo
C = IT

FASCICOLO INDAGINI SISMICHE PREGRESSE

Elenco indagini sismiche pregresse, riorganizzate in funzione della nomenclatura utilizzata nel presente studio geologico.

- **M1 – M4:**
  "Indagini sismiche a corredo dello Studio Geologico del Piano Urbanistico Comunale" (indagini eseguite ex-novo – anno 2023)*;*

- **M5 – M10**:
  "Lavori per il risanamento, la bonifica e la rifunzionalizzazione dell'arteria primaria di collegamento SP 150 – SP Castelpoto – Montesarchio e di Via Aldo Moro"

- **M11 – M13:**
  "Messa in sicurezza del centro storico Longobardo, Via sopra i Merli – Via Roma"

DOTT. GEOL. GIUSEPPE D'AGOSTINO
VIA PONTE A CAVALLO, 61 - 82100 BENEVENTO
CELL. 3333244725
EMAIL: GEOGIUSE@GMAIL.COM
PEC: GIUDAGOS@EPAP.SICUREZZAPOSTALE.IT

COMUNE DI CASTELPOTO

PROVINCIA DI BENEVENTO

"Indagini sismiche a corredo dello Studio Geologico del Piano Urbanistico Comunale"

COMMITTENTE: DOTT. GEOL. M. BOSCAINO

BENEVENTO, AGOSTO 2023



DR. GEOL. GIUSEPPE D'AGOSTINO

RELAZIONE ESPLICATIVA SULLE INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE

Nell'area investigata, al fine di determinare il parametro $\mathbf{V_{Seq}}$, è stata eseguita una serie di 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.

Nella fattispecie in esame, il piano di indagini geofisiche è stato articolato come segue:

- N° 4 acquisizioni ed analisi secondo la tecnica MFA (Multiple Filter Analysis – Dziewonsky et al., 1969; Herrmann, 2013; Pedersen et al., 2003), mediante analisi congiunta delle componenti verticale e radiale dell'onda di Rayleigh;
- N° 1 acquisizione sismica passiva a stazione singola, elaborata con la tecnica dei rapporti spettrali HVSR, associata all'array sismico HS1.

A tal fine è stato impiegato il software HoliSurface® 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 Vs.

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 (Vs).

Nella fattispecie in esame, il piano di indagini geofisiche consiste in n° 3 acquisizioni ed analisi secondo la tecnica MFA (Multiple Filter Analysis – Dziewonsky et al., 1969; Herrmann, 2013; Pedersen et al., 2003), mediante analisi congiunta delle componenti verticale e radiale dell'onda di Rayleigh e dell'onda di Love.

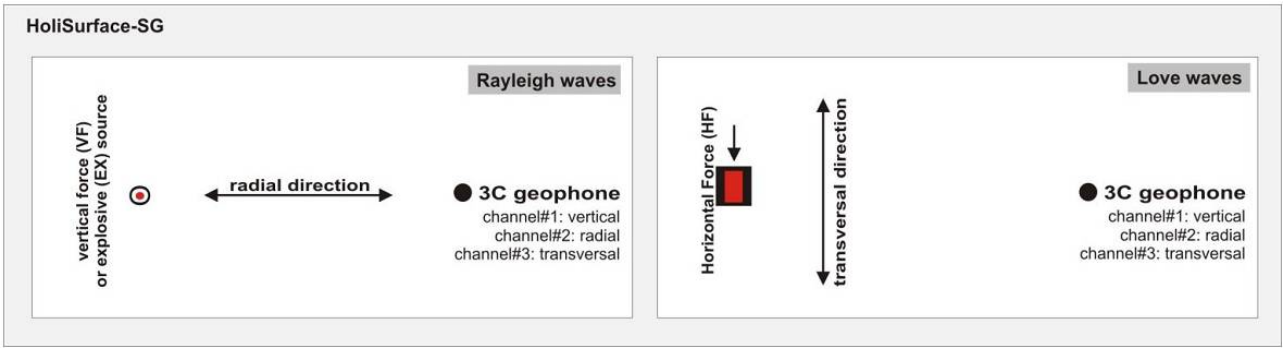
La classificazione dei terreni è stata svolta sulla base del valore della $V_{S,eq}$ definita dalla relazione:

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

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

Le acquisizioni di campagna sono state eseguite mediante l'impiego di un geofono triassiale equalizzato, marca Geospace Technologies (S/N:261379004), da 4.5Hz ed un sismografo GEA24 (S/N:17151) della PASI.

Per l'elaborazione dei dati acquisiti è stato adoperato il software HoliSurface® della ***Eliosoft geophysical software***.



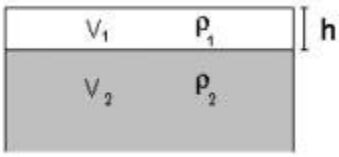
HVSR è l'acronimo per Horizontal to Vertical Spectral Ratio. Si tratta di una tecnica di indagine sviluppara a partire dalle intuizioni di Nakamura.

L'indagine procede registrando il "rumore" sismico ambientale, 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. La registrazione prolungata per diversi minuti (20 – 30 min) con frequenza di campionamento nell'ordine della centinaia di Hz permette di ottenere un adeguato segnale da cui calcolare i rapporti spettrali e valutare le frequenze risonanti.

Dallo spettro mediato è possibile dedurre la stratigrafia mediante un procedimento di inversione.

Tale tecnica costituisce una parte importante nella valutazione del rischio sismico di un determinato sito perché permette di calcolarne la frequenza fondamentale o frequenza di risonanza.

Se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia: ne risulta che il metodo HVSR può essere, in linea di principio, usato come strumento stratigrafico. Le basi teoriche dell'HVSR sono relativamente semplici, considerato un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D).



copertura di spessore h sovrastante un bed-rock rigido o un bedrock-like.

Consideriamo il sistema di figura precedente in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ1 e ρ2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2).

Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'orizzonte che separa i due strati. L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte o suoi multipli dispari lo spessore *h* del primo strato.

In altre parole la frequenza fondamentale di risonanza (*fr*) dello strato 1 relativa alle onde P è pari a:

$$fr = VP1/(4\ h);$$

mentre quella relativa alle onde S è:

$$fr = VS1/(4\ h);$$

Teoricamente questo effetto è sommabile, cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati.

Questa informazione è per lo più contenuta nella componente verticale del moto ma la prassi di usare il rapporto tra gli spettri orizzontali e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per:

a) il contenuto in frequenza;

b) la risposta strumentale;

c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

I dati di rumore ambientale sono acquisiti alla frequenza di campionamento di 64 Hz, amplificati e digitalizzati a 24 bit. Il processing dei dati ha restituito il valore medio dei rapporti spettrali tra le componenti verticali ed orizzontali del moto del suolo in funzione della frequenza consentendo di determinare le attuali frequenze fondamentali di vibrazione del terreno.

Si sono eseguite le seguenti operazioni:

1. Il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo di circa 15 minuti;
2. Sono stati rimossi manualmente i transienti;
3. Le tracce risultante è stata suddivisa in finestre temporali della durata di 20 sec. ;
4. Per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale del segmento nelle sue tre componenti;
5. Per ciascun segmento si calcolano i rapporti spettrali fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale;
6. Vengono calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.

Per considerare la misura ottenuta come una stima dell'ellitticità delle onde di Rayleigh è necessario che:

- I rapporti H/V ottenuti sperimentalmente siano "stabili" ovvero frutto di un campionamento statistico adeguato;
- Gli effetti di sorgente siano stati effettivamente mediati, ovvero non ci siano state sorgenti "dominanti";
- La misura non contenga errori sistematici (ad esempio dovuti ad un cattivo accoppiamento dello strumento con il terreno).

Il Progetto europeo SESAME (Site Effects assessment using AMbient Excitations), infine, si è recentemente occupato di stabilire linee guida per la corretta esecuzione delle misure di microtremore ambientale in stazione singola ed in array. Esso ha, inoltre, fornito dei criteri per valutare la bontà delle curve HVSR e la significatività dei picchi H/V eventualmente trovati.

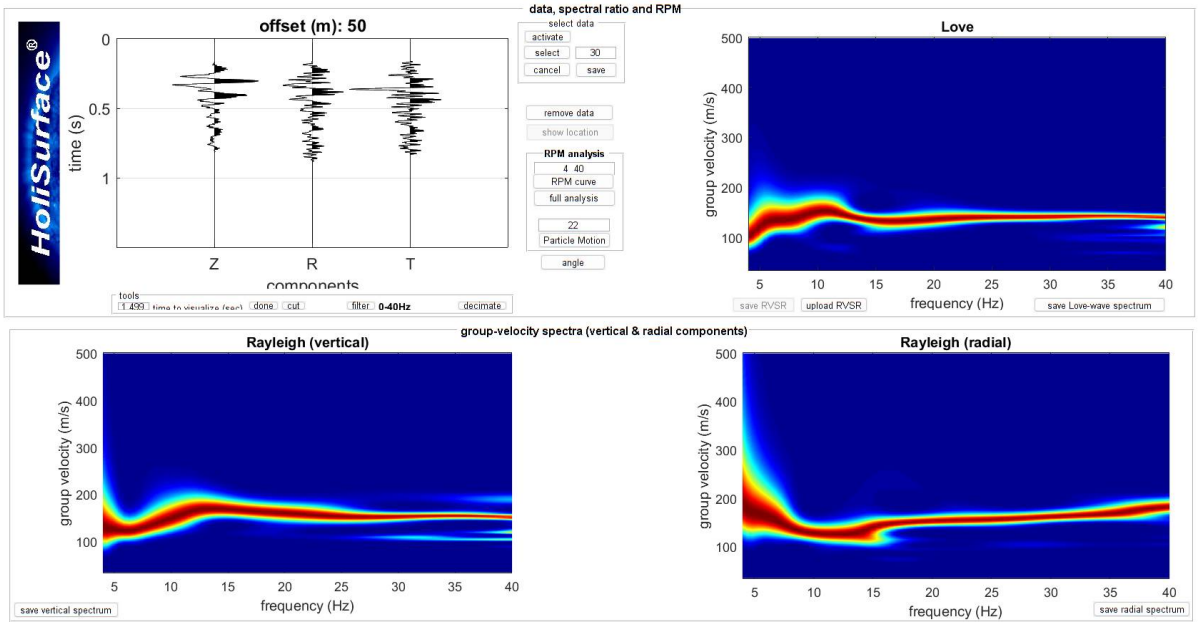
Riferimenti bibliografici:

- Dal Moro G., 2012, Onde di Superficie in Geofisica Applicata - acquisizione ed analisi secondo le tecniche MASW e HVSR, Dario Flaccovio Editore, 196pp.
- Dal Moro G. e Marques Moura R.M., 2013. Multi-component Acquisition and Joint Analysis of Surface Waves: some Issues and Two Case Studies, inviato alla rivista J. Appl. Geophysics.
- Dal Moro G., 2014. Surface Wave Analysis for Near Surface Applications. ISBN 978-0-12- 800770-9, Elsevier, 252pp.
- 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., 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 Near-Surface EAGE 2015 (Turin - Italy)
- Dal Moro G., Ponta R., Mauro R., 2015c. Unconventional Optimized Surface Wave Acquisition and Analysis: Comparative Tests in a Perilagoon Area. J. Appl. Geophysics, 114, 158-167
- Dal Moro G., 2019. Acquisizione e analisi di dati sismici e vibrazionali per studi di caratterizzazione sismica e geotecnica; Dario Flaccovio Editore, ISBN 9788857908786, 280pp
- Dziewonsky A., Bloch S., Landisman N., 1969, "A technique for the analysis of transient seismic signals", Bull. Seism. Soc. Am., vol. 59, pp. 427–444 Herrmann R.B. 2003, Computer Programs in Seismology. Open files (http://www.eas.slu.edu/People/RBHerrmann/CPS330.html)
- Luo Y., Xia J., Xu Y. & Zeng C., 2011, Analysis of group-velocity dispersion of high-frequency Rayleigh waves for near-surface applications. Journal of Applied Geophysics, 74, 157-165.
- Pedersen H. A., Mars J. I., Amblard P., 2003, Improving surface-wave group velocity measurements by energy reassignment, Geophysics, vol. 68, no. 2, pp. 677–684

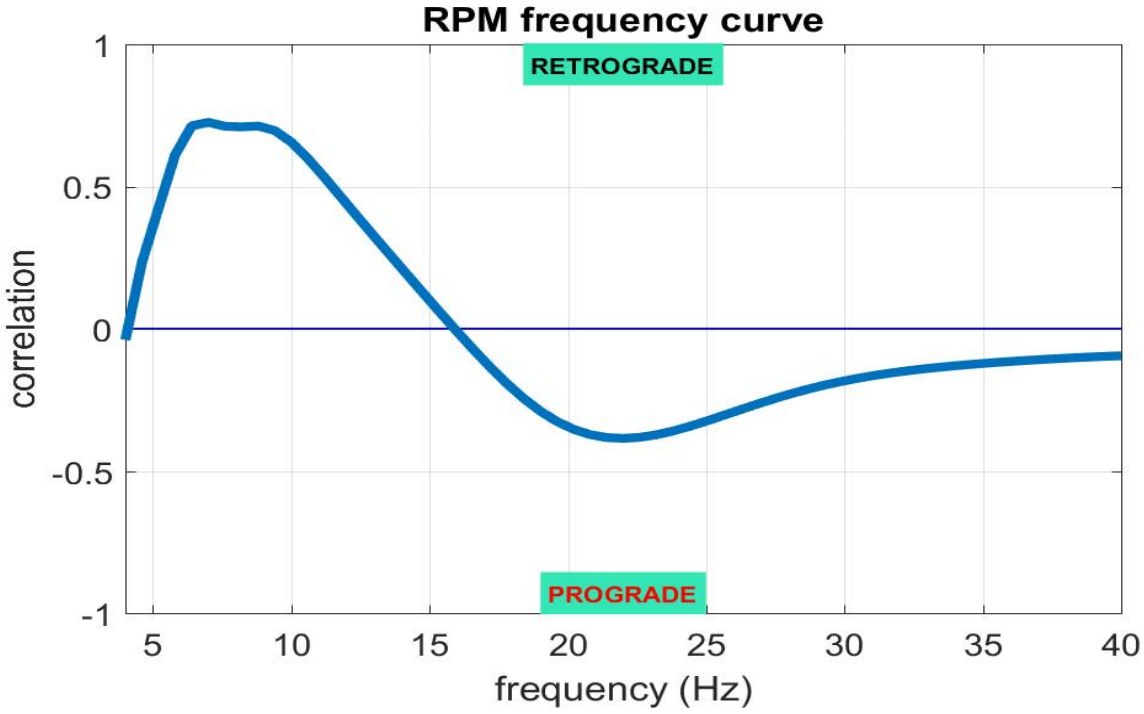
PUNTO DI INDAGINE HS1 – Hv1





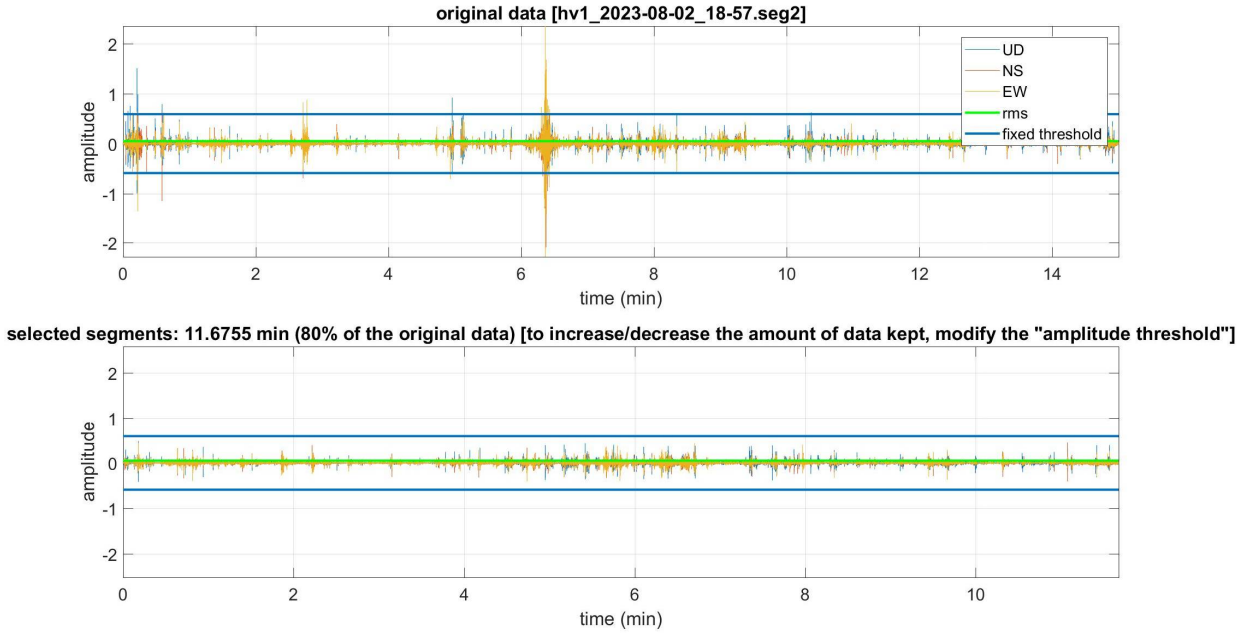


dati MFA relativi alle onde di superficie. In alto a sinistra le tre tracce acquisite in modalità attiva e sfruttate per definire gli spettri di velocità di gruppo per la componente verticale e radiale dell'onda di Rayleigh - indagine Hs1

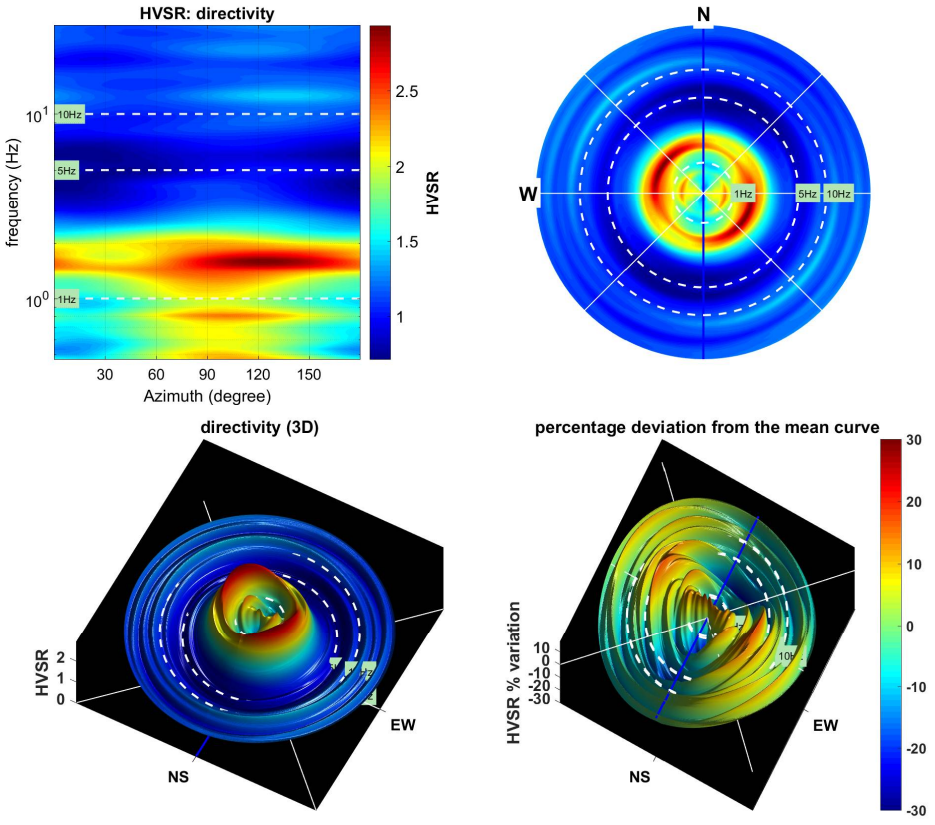


curva RPM (Rayleigh-wave Particle Motion) indicante il moto delle particelle dell'onda di Rayleigh nel sito d'indagine

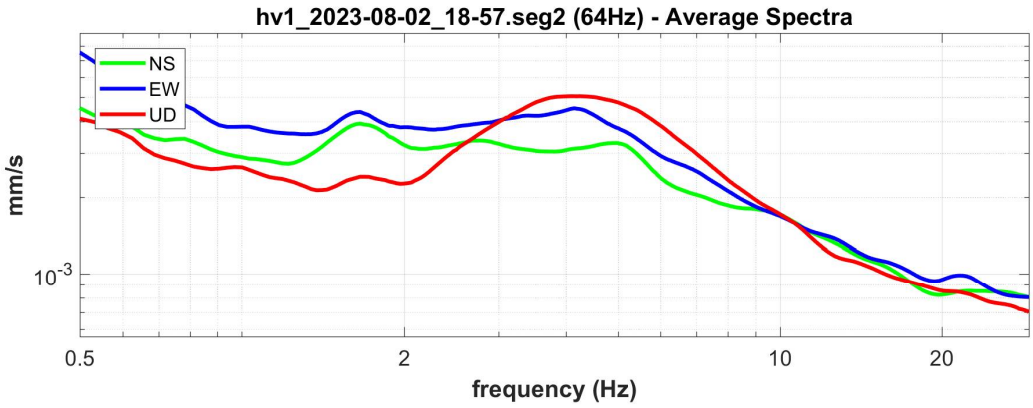
Si è quindi proceduto alla modellazione congiunta degli spettri di velocità della sismica passiva a stazione singola HVSR, con i risultati di seguito riportati:

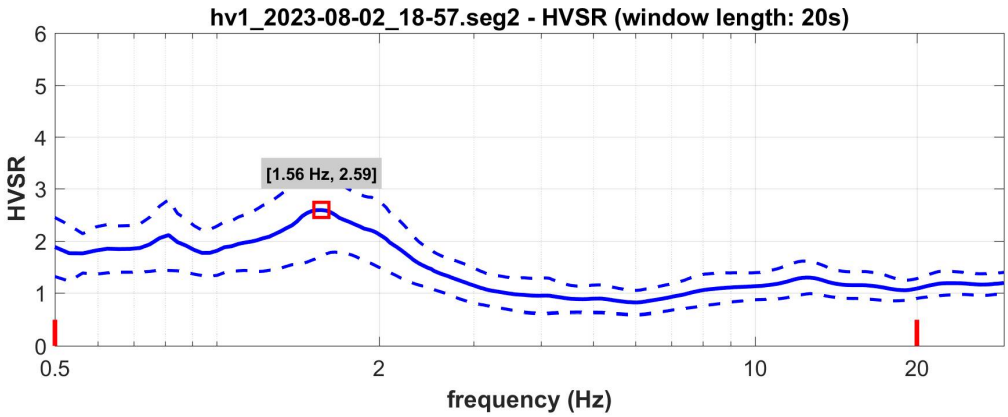


Report con registrazioni delle tracce sismiche prima e dopo la rimozione dei transienti



Direzionalità del rapporto H/V



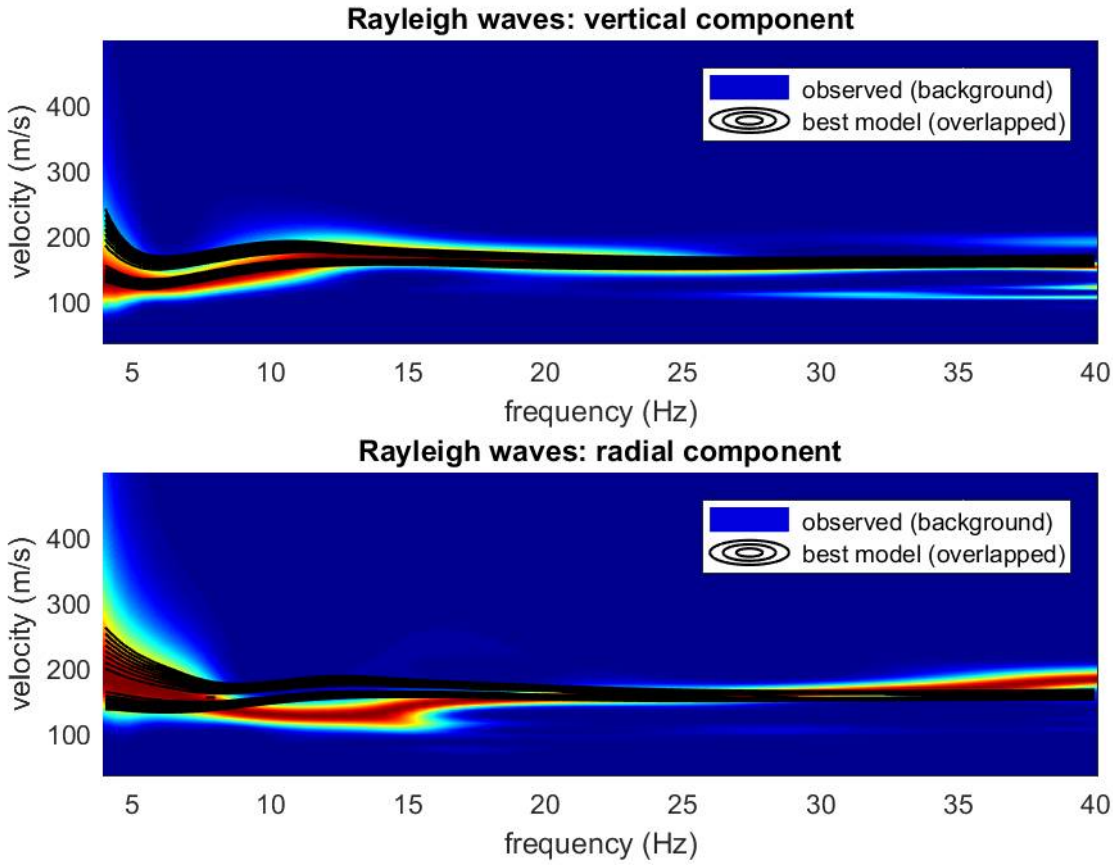


DATA PROCESSING
Date: 3 8 2023
Time: 9 22
Sampling frequency (Hz): 64
Window length (sec): 20
Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz
Length of analysed dataset (min): 15.0
Tapering (%): 2
Smoothing (%): 15

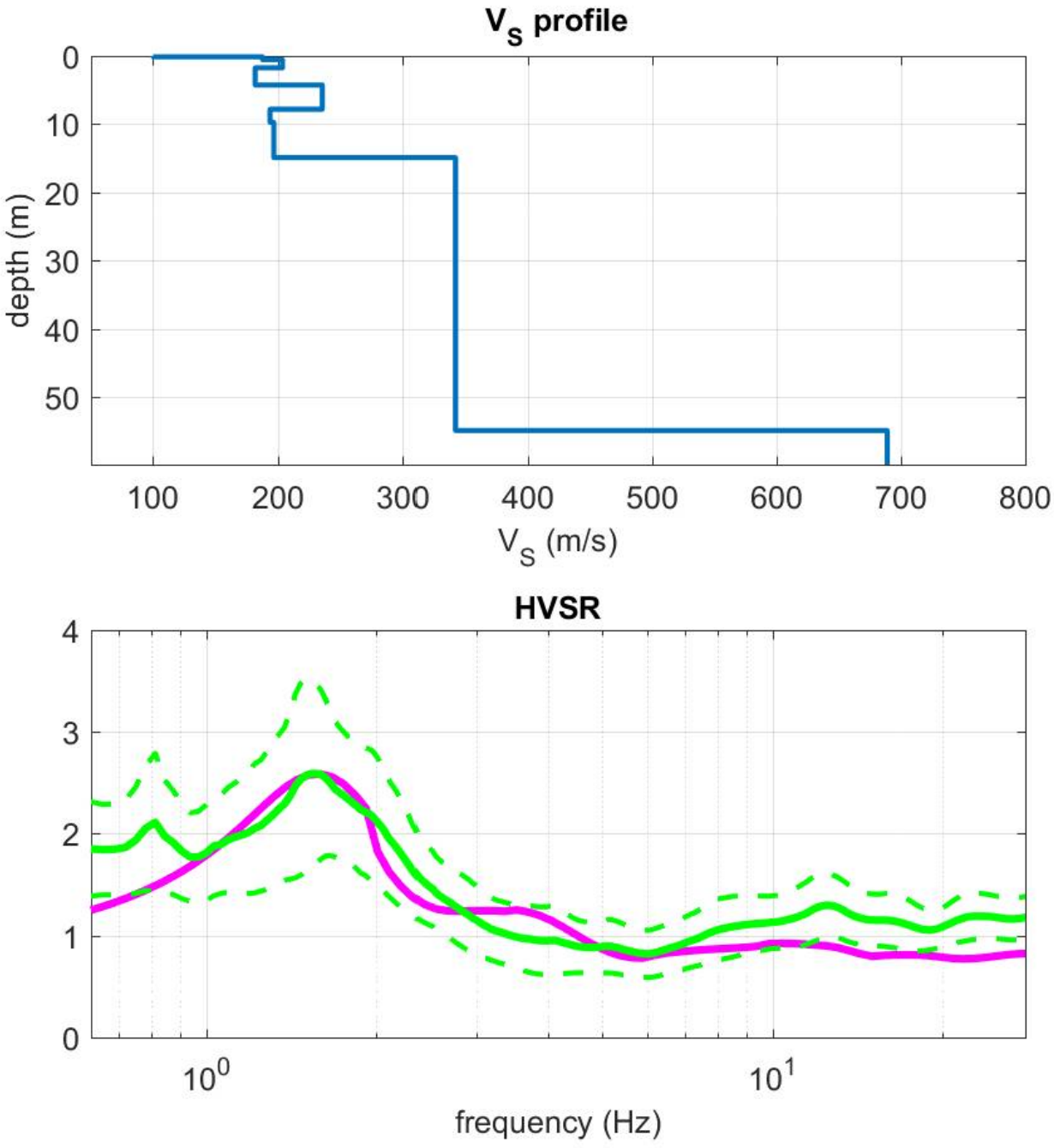
########## **SESAME criteria** ##########
In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range
Peak frequency (Hz): 1.6 (±2.4)
Peak HVSR value: 2.6 (±0.8)

=== Criteria for a reliable H/V curve ==========
#1. [f0 > 10/Lw]: 1.564 > 0.5 (OK)
#2. [nc > 200]: 2158 > 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 (considering standard deviations), at frequency 0.4Hz (OK)
#2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: yes, at frequency 2.8Hz (OK)
#3. [A0 > 2]: 2.6 > 2 (OK)
#4. [fpeak[Ah/v(f) ą sigmaA(f)] = f0 ą 5%]: (NO)
#5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 2.431 > 0.156 (NO)
#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.966 < 1.78 (OK)



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



profilo di Vs identificato (in alto) e overlay della curva HV sintetica su quella sperimentale, relativa al modello elastico determinato (in basso)

tabella riepilogativa dei sismostrati individuati – indagine combinata Hs1-Hv1

Vs model (Vs30 & VsE @ surface: 253 253 m/s)

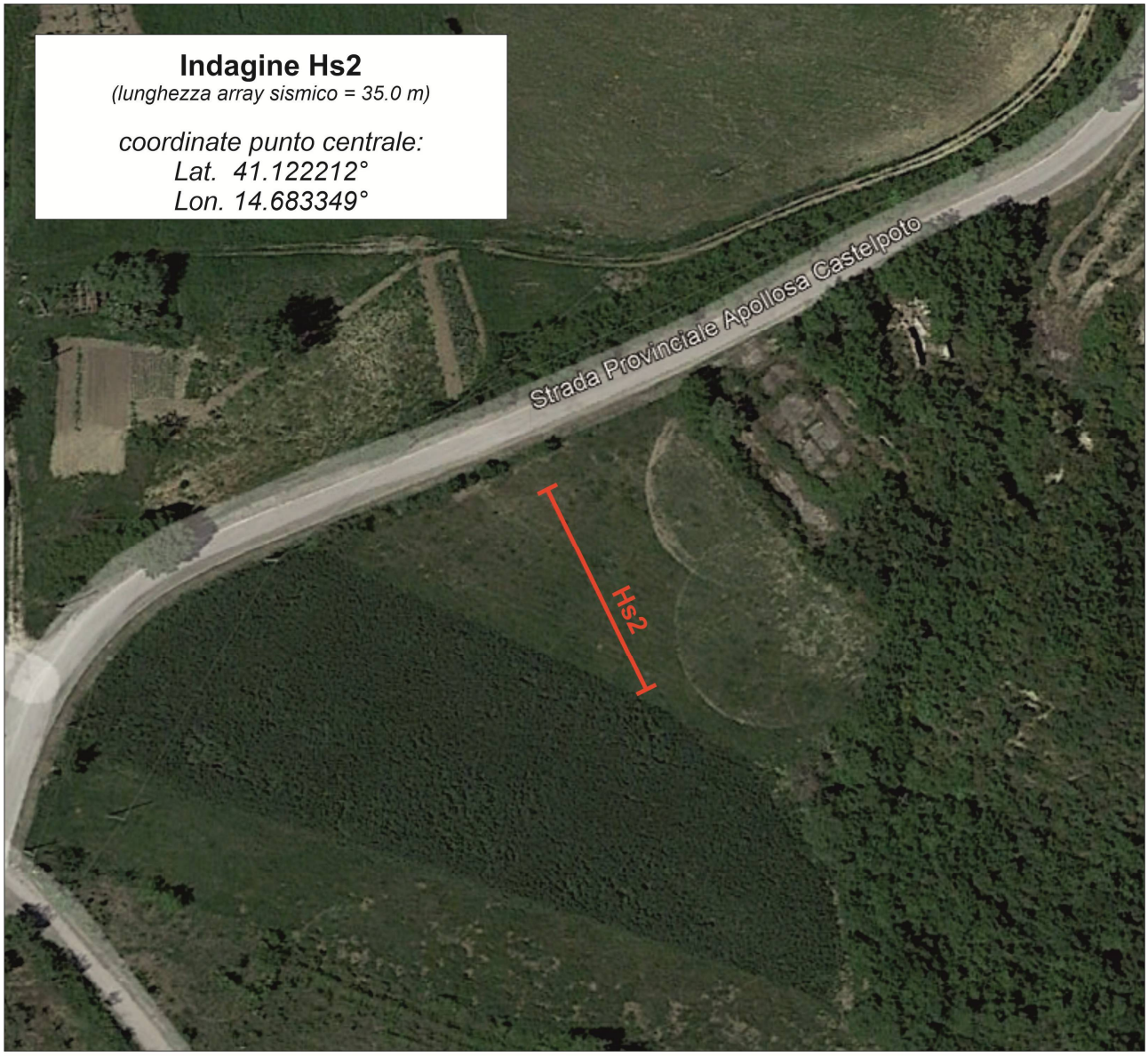
layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	100	0.1300	0.1300
2	188	0.4100	0.5400
3	204	1.2000	1.7400
4	182	2.5200	4.2600
5	236	3.5500	7.8100
6	194	1.9200	9.7300
7	197	5.1700	14.9000
8	342	40	54.9000
9	689	0	0

Vs_{eq} (al p.c.) = 253 metri/sec

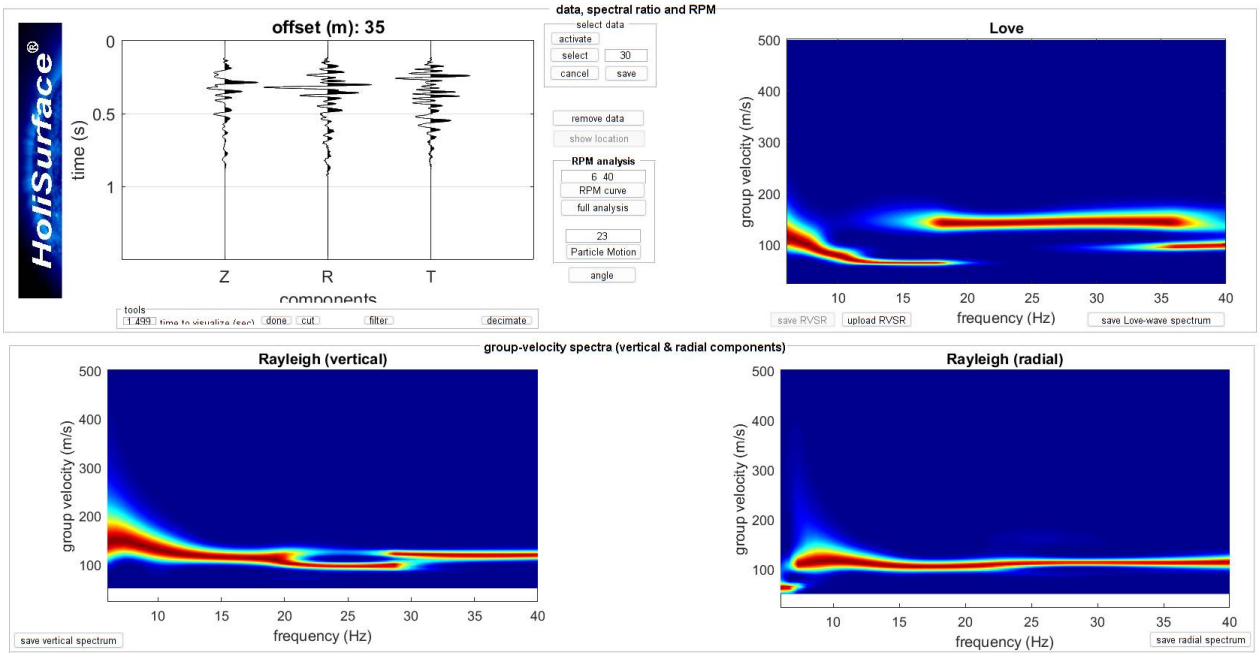
CATEGORIA SUOLO DI FONDAZIONE = C

Frequenza propria di sito ≈ 1.6 Hz

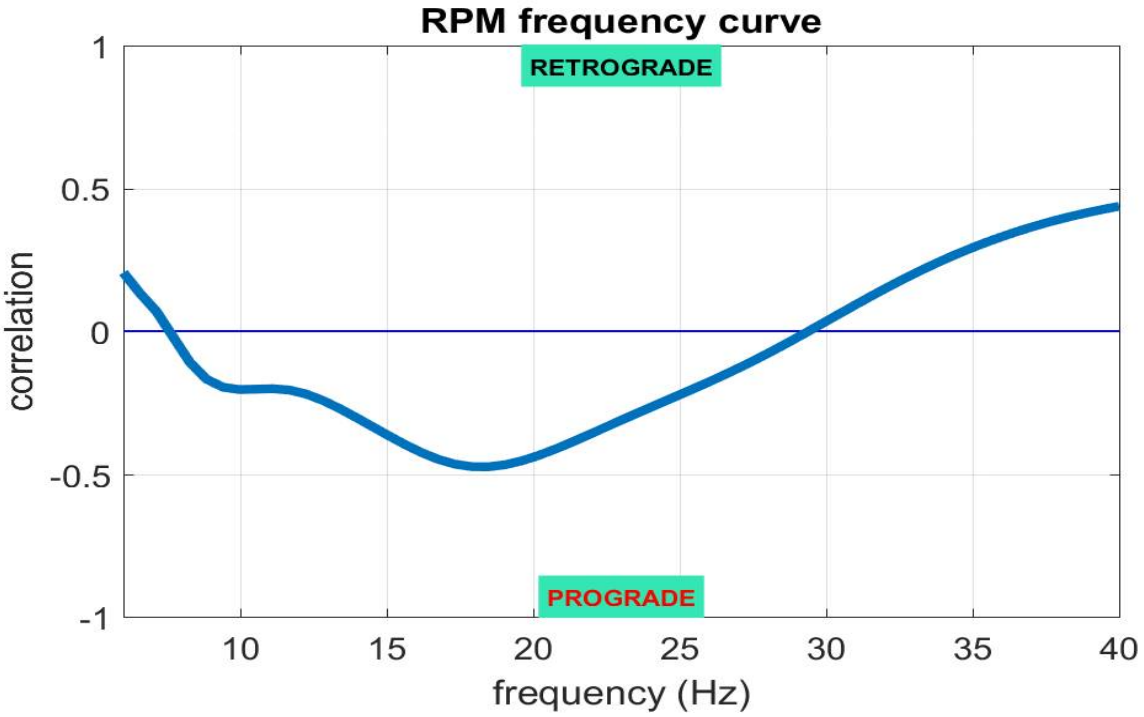
PUNTO DI INDAGINE HS2



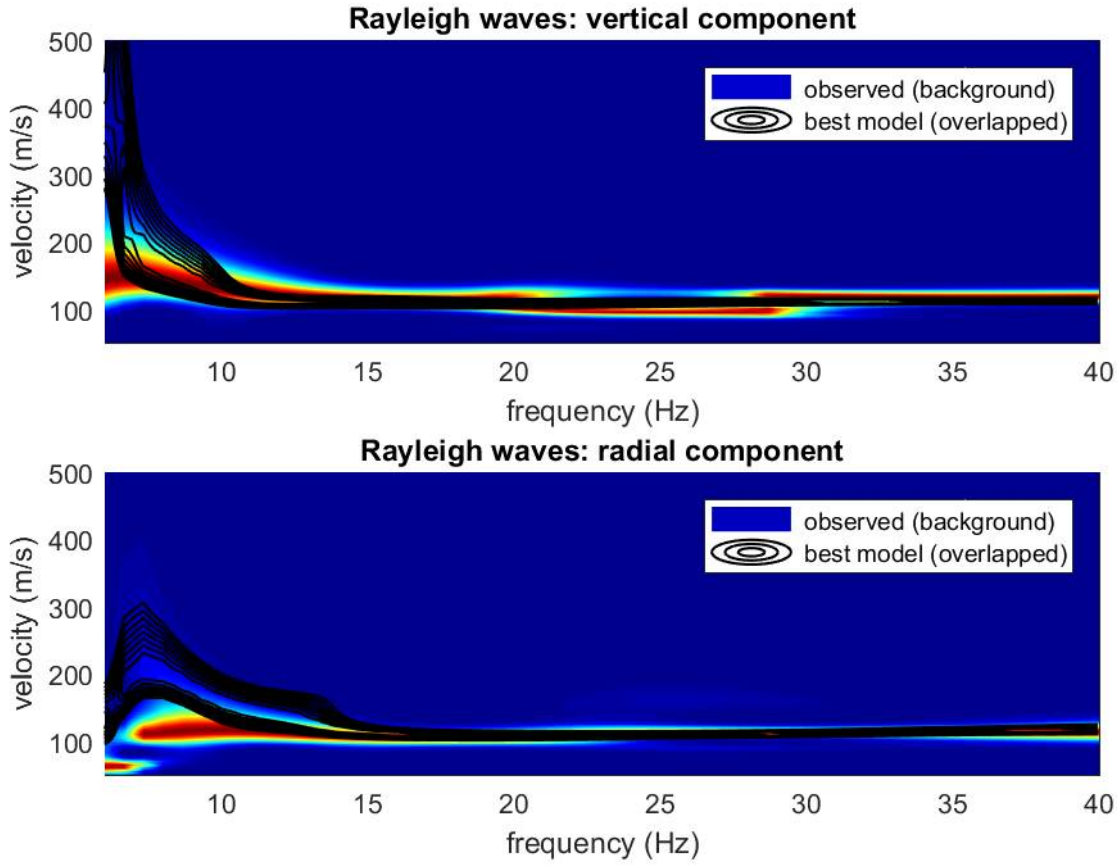




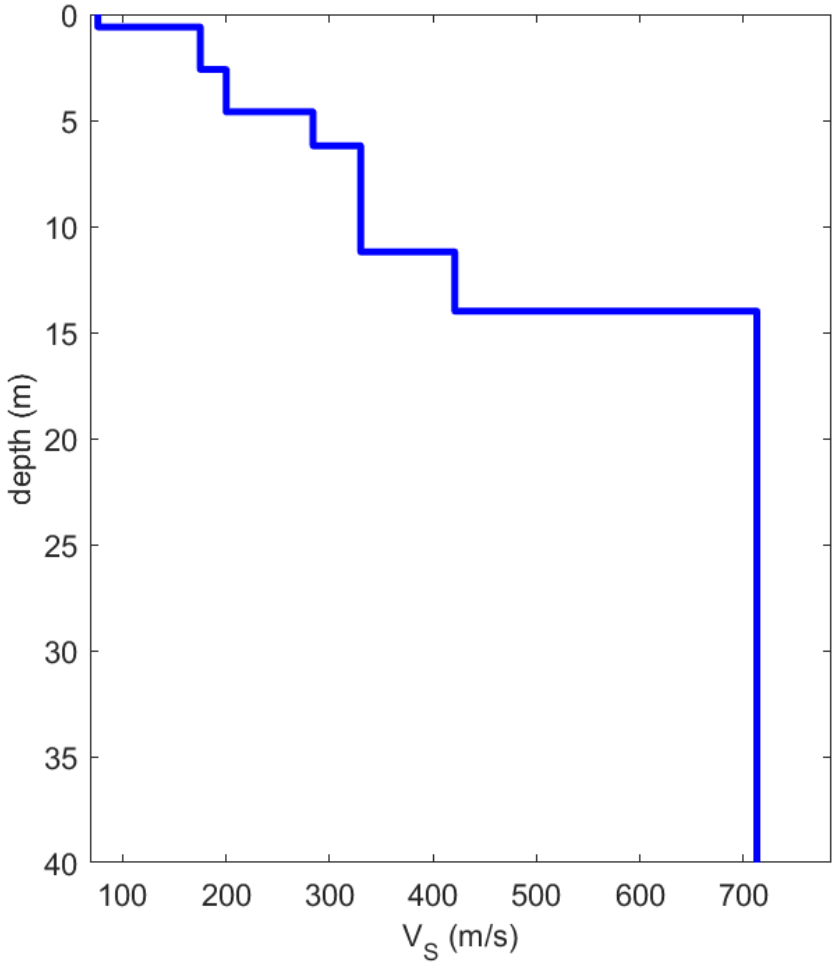
dati MFA relativi alle onde di superficie. In alto a sinistra le tre tracce acquisite in modalità attiva e sfruttate per definire gli spettri di velocità di gruppo per la componente verticale e radiale dell'onda di Rayleigh e dell'onda di Love- indagine Hs2



curva RPM (Rayleigh-wave Particle Motion) indicante il moto delle particelle dell'onda di Rayleigh



overlay del risultato della modellazione congiunta sugli spettri di velocità di gruppo delle componenti delle onde di superficie (Hs2)



profilo di VS identificato, relativo al punto di indagine Hs2

tabella riepilogativa dei sismostrati individuati – indagine Hs2

Vs model (Vs30 & VsE @ surface: 379 379 m/s)

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	76	0.6000	0.6000
2	175	2	2.6000
3	200	2	4.6000
4	284	1.6000	6.2000
5	330	5	11.2000
6	421	2.8000	14
7	713	0	0

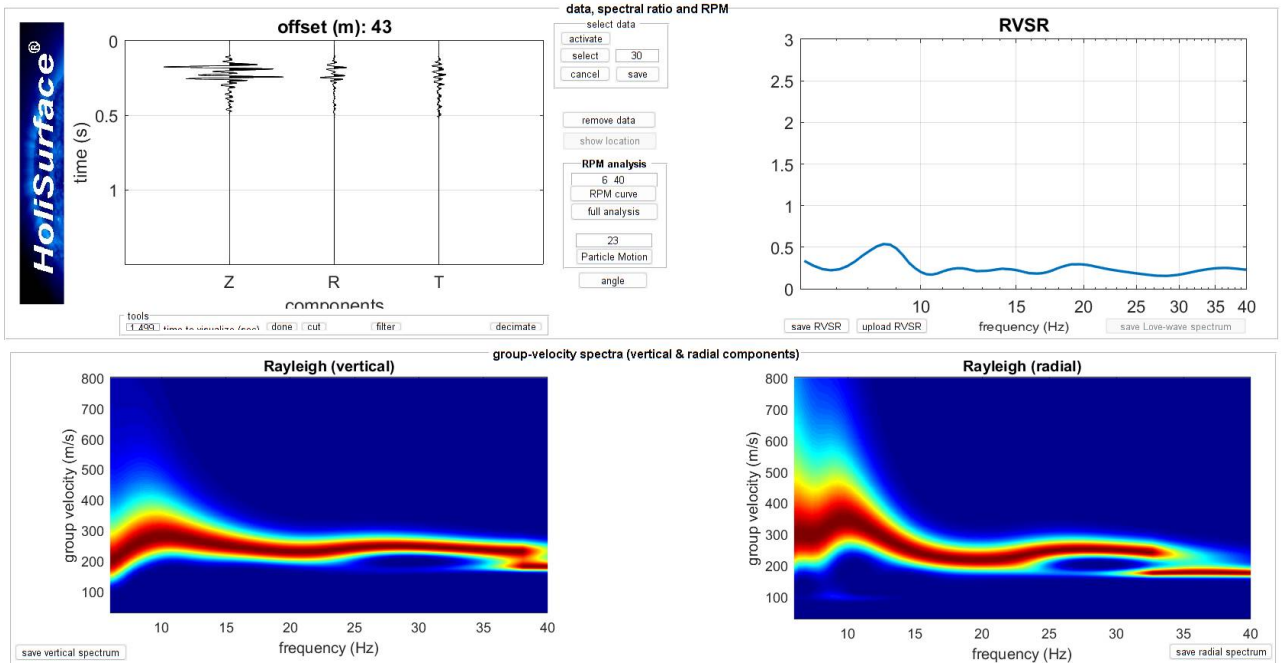
Vs_{eq} (al p.c.) = 379 metri/sec

CATEGORIA SUOLO DI FONDAZIONE = B

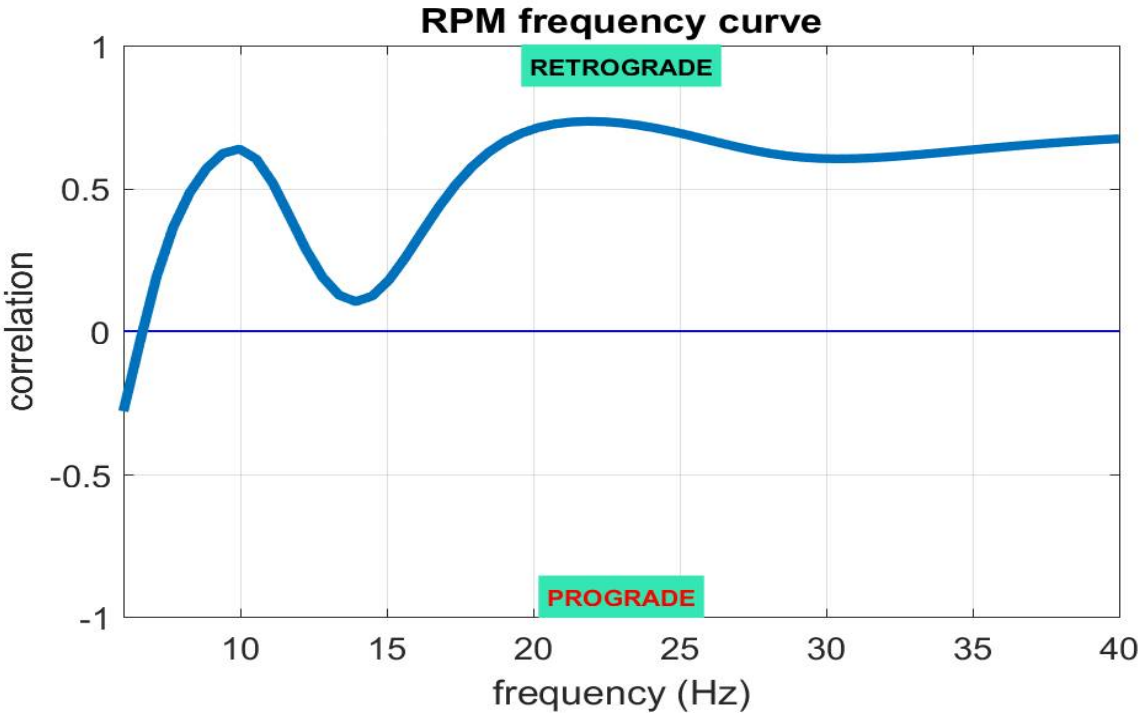
PUNTO DI INDAGINE HS3



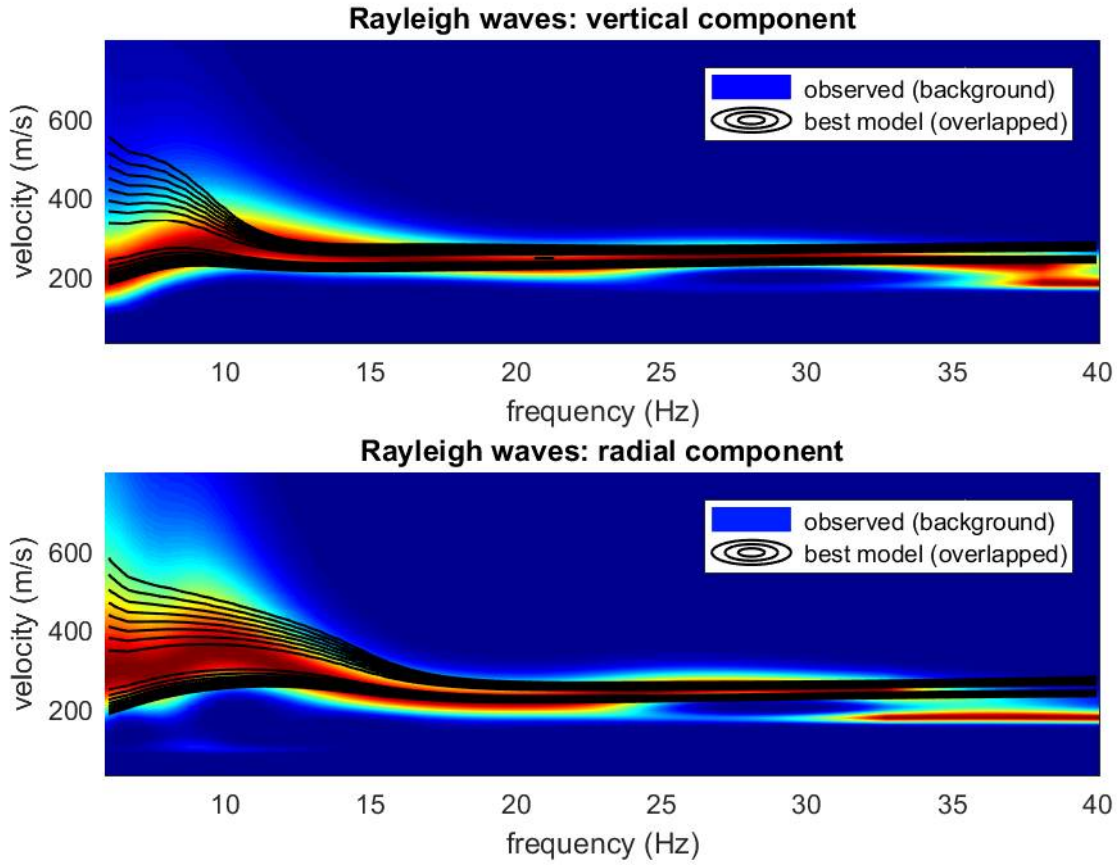




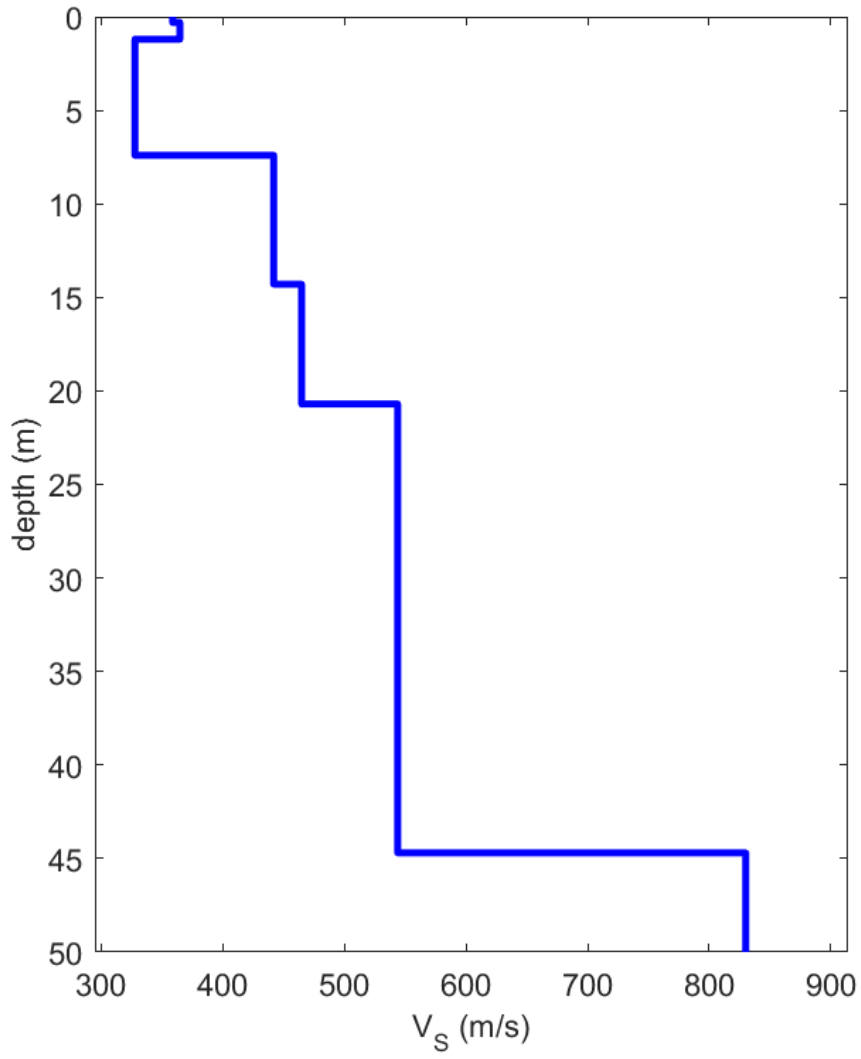
dati MFA relativi alle onde di superficie. In alto a sinistra le tre tracce acquisite in modalità attiva e sfruttate per definire gli spettri di velocità di gruppo per la componente verticale e radiale dell'onda di Rayleigh - indagine Hs3



curva RPM (Rayleigh-wave Particle Motion) indicante il moto delle particelle dell'onda di Rayleigh



overlay del risultato della modellazione congiunta sugli spettri di velocità di gruppo delle componenti delle onde di superficie (Hs3)



profilo di VS identificato, relativo al punto di indagine Hs3

tabella riepilogativa dei sismostrati individuati – indagine Hs3

Vs model (Vs30 & VsE @ surface: 437 437 m/s)

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	359	0.3000	0.3000
2	365	0.9000	1.2000
3	328	6.2000	7.4000
4	442	6.9000	14.3000
5	465	6.4000	20.7000
6	544	24	44.7000
7	830	0	0

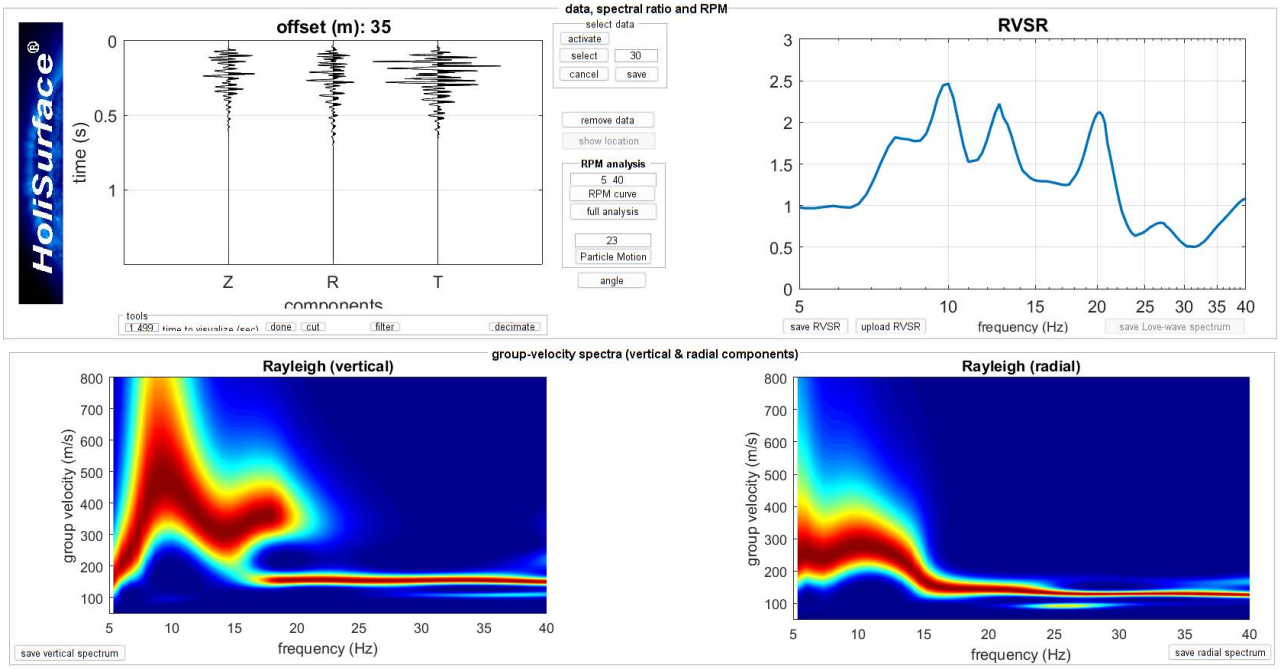
Vs_{eq} (al p.c.) = 437 metri/sec

CATEGORIA SUOLO DI FONDAZIONE = B

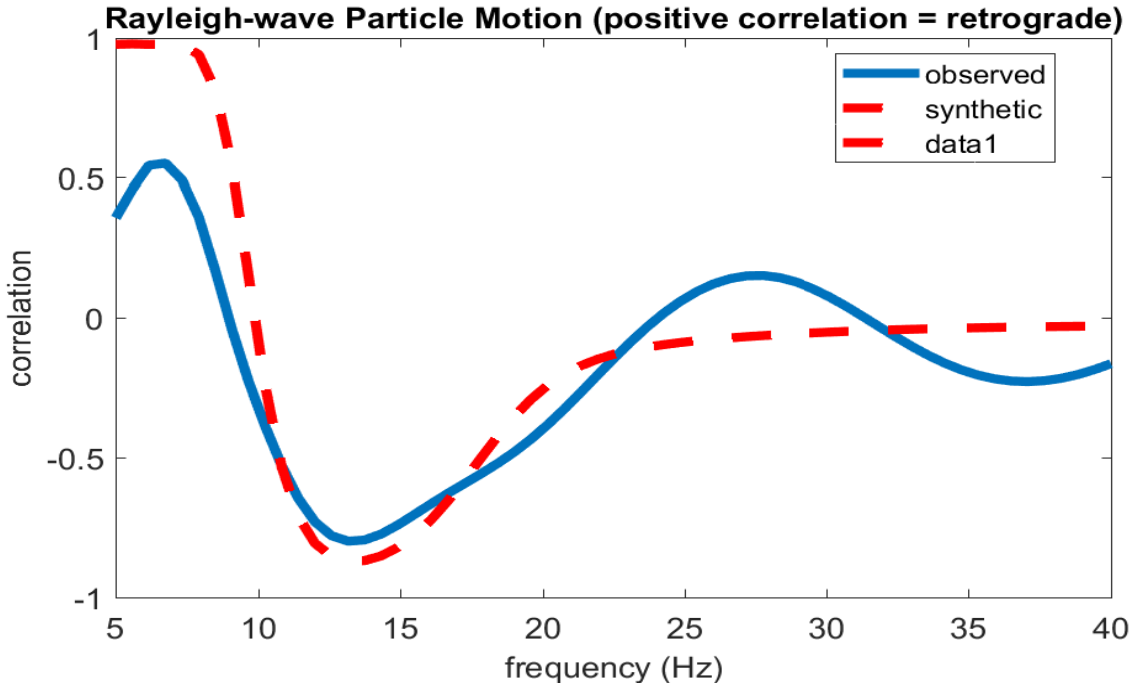
PUNTO DI INDAGINE HS4



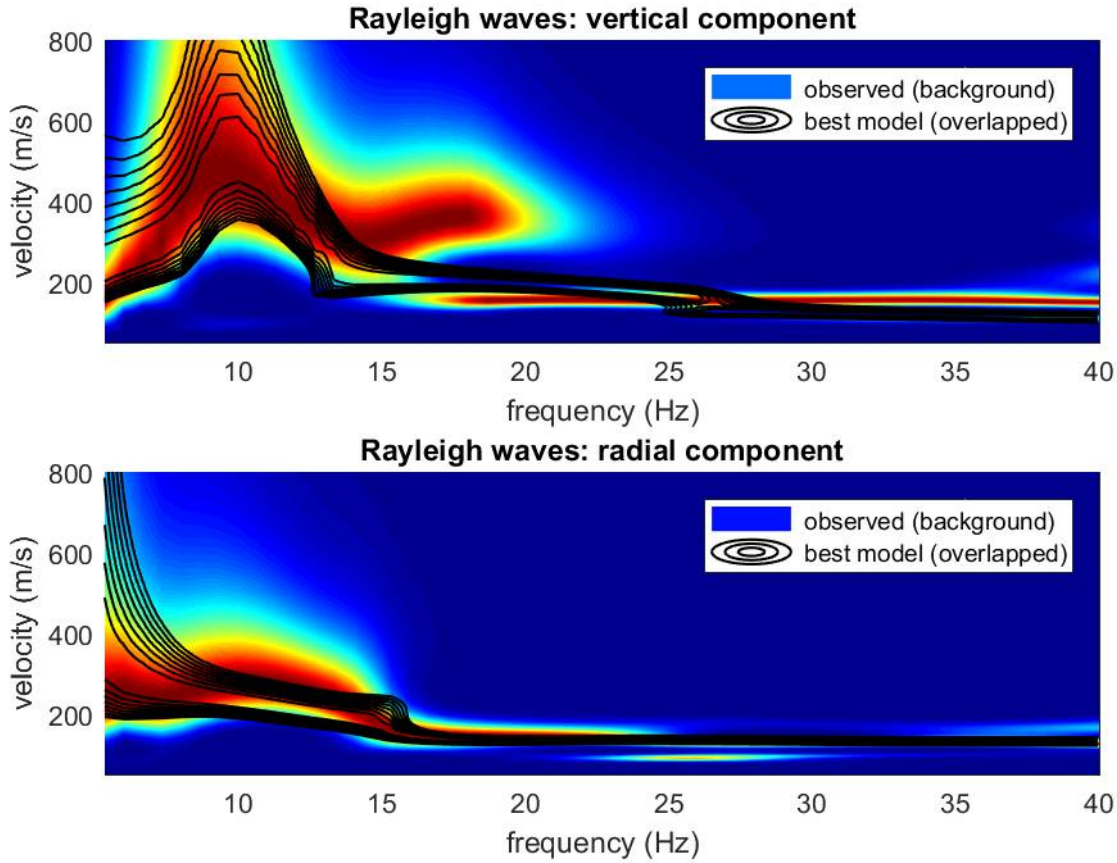




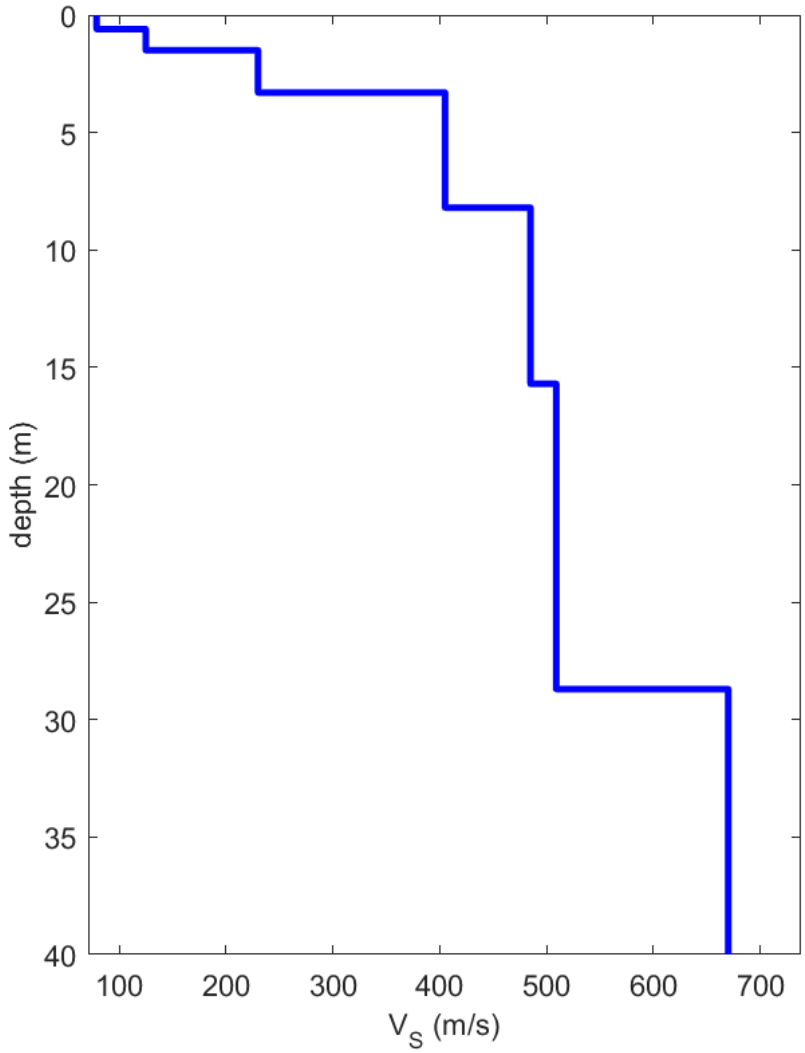
dati MFA relativi alle onde di superficie. In alto a sinistra le tre tracce acquisite in modalità attiva e sfruttate per definire gli spettri di velocità di gruppo per la componente verticale e radiale dell'onda di Rayleigh - indagine Hs4



curva RPM (Rayleigh-wave Particle Motion) indicante il moto delle particelle dell'onda di Rayleigh



overlay del risultato della modellazione congiunta sugli spettri di velocità di gruppo delle componenti delle onde di superficie (Hs4)



profilo di VS identificato, relativo al punto di indagine Hs4

tabella riepilogativa dei sismostrati individuati – indagine Hs4

Vs model (Vs30 & VsE @ surface: 386 386 m/s)

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	79	0.6000	0.6000
2	125	0.9000	1.5000
3	230	1.8000	3.3000
4	405	4.9000	8.2000
5	485	7.5000	15.7000
6	509	13	28.7000
7	670	0	0

Vs_{eq} (al p.c.) = 386 metri/sec

CATEGORIA SUOLO DI FONDAZIONE = B

ESITI D'INDAGINE

L'analisi congiunta della propagazione delle onde di superficie eseguita tramite la metodologia MFA, ha consentito di determinare il profilo verticale della V_S e, di conseguenza, del parametro $\mathbf{V_{Seq}}$.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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	*Depositi 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	*Depositi 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.

Rispetto alle norme tecniche per le costruzioni (Decreto 17 gennaio 2018, c.d. NTC2018), compatibilmente con la stratigrafia locale, i siti in esame possono essere, quindi, classificati (vedi Tab. 3.2.II in figura precedente, così come riportato nel D.M. 17/01/2018):

- Punto d'indagine HS1-HV1 = CATEGORIA SUOLO **C**;
- Punto d'indagine HS2 = CATEGORIA SUOLO **B**;
- Punto d'indagine HS3 = CATEGORIA SUOLO **B**;
- Punto d'indagine HS4 = CATEGORIA SUOLO **B**.

Soil Project s.a.s
Viale Europa snc, loc. Cubante, 82018 Calvi (BN)
Tel: 0824 1816668; info: www.soilprojectsas.it; email: info@soilprojectsas.it; P.I. 01515280624

Autorizzazione Ministero
dei Lavori Pubblici
n 342 del 10/07/2019

COMUNE DI CASTELPOTO (BN)

COMMITTENTE: **Spett.le AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI CASTELPOTO**

RICHIEDENTE: **Dott. Geol. GIUSEPPE D'AGOSTINO**

OGGETTO: **"LAVORI PER IL RISANAMENTO, LA BONIFICA E LA RIFUNZIONALIZZAZIONE DELL'ARTERIA PRIMARIA DI COLLEGAMENTO SP 150 – SP CASTELPOTO – MONTESARCHIO E DI VIA ALDO MORO"**

LOCALITA': **TERRITORIO COMUNALE – CASTELPOTO (BN)**

PROSPEZIONI SISMICHE

SOIL PROJECT S.a.s.
Viale Europa, snc
82010 CALVI (BN)
Partita IVA 01 515 280 624

dr. Giovanni Turco
geologo

COMUNE DI CASTELPOTO (BN)

INDAGINE SISMICA HOLISURFACE PER LA DETERMINAZIONE DEL PROFILO VERTICALE

V_S E DEL PARAMETRO V_{SEQ} AI SENSI DEL DECRETO 17/01/2018

"LAVORI PER IL RISANAMENTO, LA BONIFICA E LA RIFUNZIONALIZZAZIONE DELLA ARTERIA PRIMARIA DI COLLEGAMENTO SP 150 – SP CASTELPOTO – MONTESARCHIO E DI VIA ALDO MORO"

RELAZIONE SISMICA ESPLICATIVA

COMMITTENTE: SOIL PROJECT SAS PER CONTO DEL COMUNE DI CASTELPOTO

SETTEMBRE 2021

DR. GEOL. GIOVANNI TURCO

ORDINE DEI GEOLOGI della Regione Campania
Dr. geol. Giovanni TURCO Albo n. 1941

RELAZIONE ESPLICATIVA SULLE INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE

Nell'area investigata, al fine di determinare il parametro $V_{S,EQ}$ è stata eseguita una serie di 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 Rayleig, quanto l'onda di Love.

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 Vs.

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 (Vs).

Nella fattispecie in esame, il piano di indagini geofisiche è stato articolato come segue:

- N° 6 acquisizioni ed analisi secondo la tecnica MFA (Multiple Filter Analysis – Dziewonsky et al., 1969; Herrmann, 2013; Pedersen et al., 2003), mediante analisi congiunta delle componenti verticale e radiale dell'onda di Rayleigh;

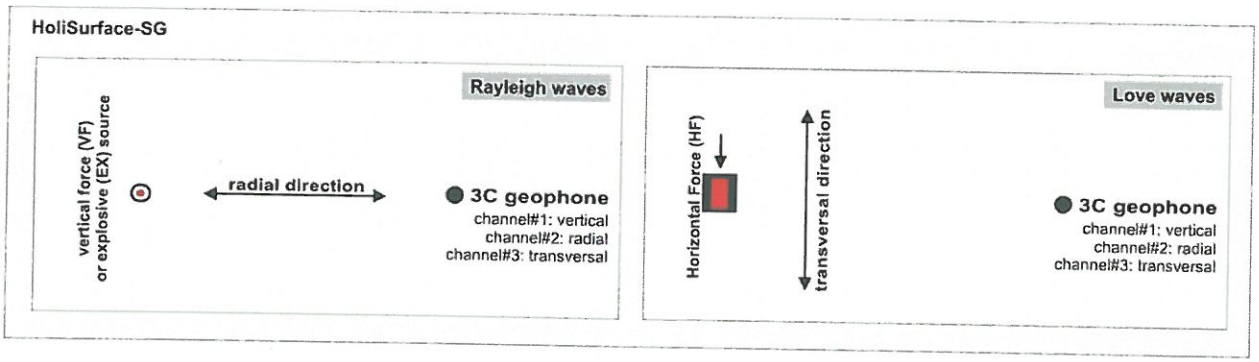
La classificazione dei terreni è stata svolta sulla base del valore della $V_{S,eq}$ definita dalla relazione:

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

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

Le acquisizioni di campagna sono state eseguite mediante l'impiego di un geofono triassiale equalizzato, marca Geospace Technologies (S/N:261379004), da 4.5Hz ed un sismografo GEA24 (S/N:17151) della PASI.

Per l'elaborazione dei dati acquisiti è stato adoperato il software HoliSurface® 2018 della ***Eliosoft geophysical software***.



Riferimenti bibliografici:

- Dal Moro G., 2012, Onde di Superficie in Geofisica Applicata - acquisizione ed analisi secondo le tecniche MASW e HVSR, Dario Flaccovio Editore, 196pp.
- Dal Moro G. e Marques Moura R.M., 2013. Multi-component Acquisition and Joint Analysis of Surface Waves: some Issues and Two Case Studies, inviato alla rivista J. Appl. Geophysics.
- Dal Moro G., 2014. Surface Wave Analysis for Near Surface Applications. ISBN 978-0-12- 800770-9, Elsevier, 252pp.
- 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., 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 Near-Surface EAGE 2015 (Turin - Italy)
- Dal Moro G., Ponta R., Mauro R., 2015c. Unconventional Optimized Surface Wave Acquisition and Analysis: Comparative Tests in a Perilagoon Area. J. Appl. Geophysics, 114, 158-167
- Dal Moro G., 2019. Acquisizione e analisi di dati sismici e vibrazionali per studi di caratterizzazione sismica e geotecnica; Dario Flaccovio Editore, ISBN 9788857908786, 280pp
- Dziewonsky A., Bloch S., Landisman N., 1969, "A technique for the analysis of transient seismic signals", Bull. Seism. Soc. Am., vol. 59, pp. 427–444 Herrmann R.B. 2003, Computer Programs in Seismology. Open files (http://www.eas.slu.edu/People/RBHerrmann/CPS330.html)
- Luo Y., Xia J., Xu Y. & Zeng C., 2011, Analysis of group-velocity dispersion of high-frequency Rayleigh waves for near-surface applications. Journal of Applied Geophysics, 74, 157-165.
- Pedersen H. A., Mars J. I., Amblard P., 2003, Improving surface-wave group velocity measurements by energy reassignment, Geophysics, vol. 68, no. 2, pp. 677–684

INDAGINE HS1



Array sismico Hs1

coordinate ricevitore: Lat 41.138330° - Long 14.699440°



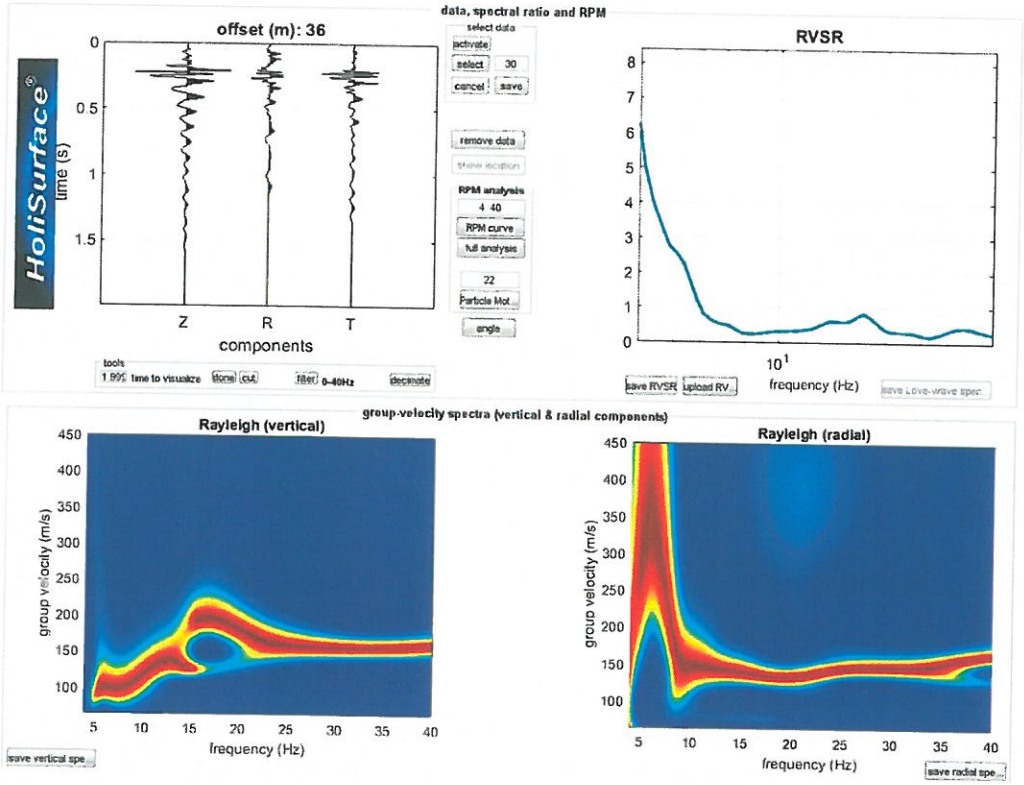


Figura 1: dati MFA relativi alle onde di superficie. In alto a sinistra le tre tracce acquisite in modalità attiva e sfruttate per definire gli spettri di velocità di gruppo per la componente verticale e radiale dell'onda di Rayleigh - indagine HS1

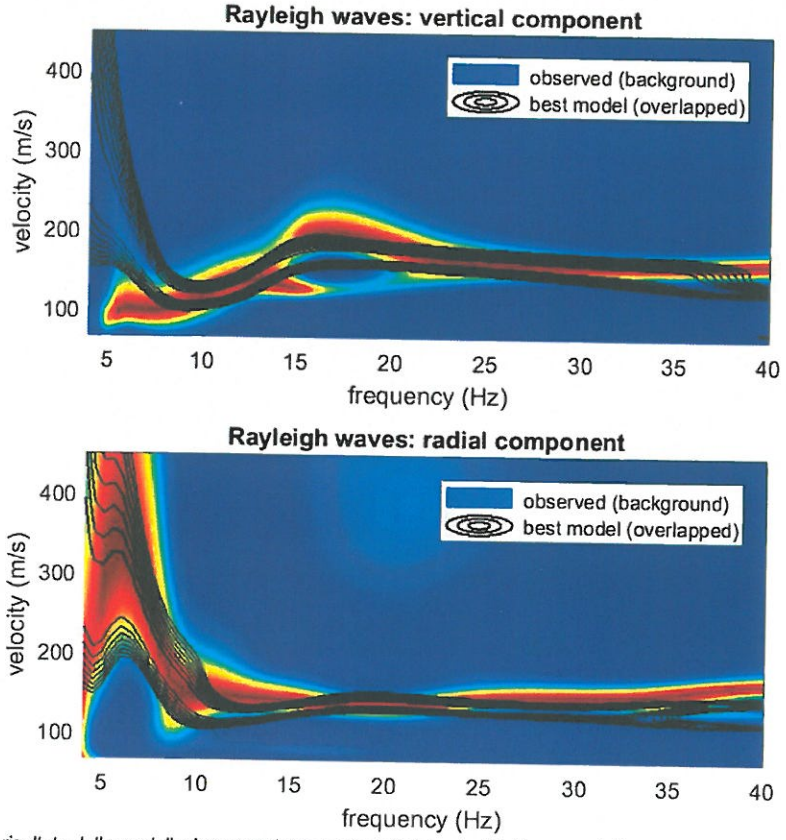


Figura 2: overlay del risultato della modellazione congiunta sugli spettri di velocità di gruppo delle componenti delle onde di superficie (HS1)

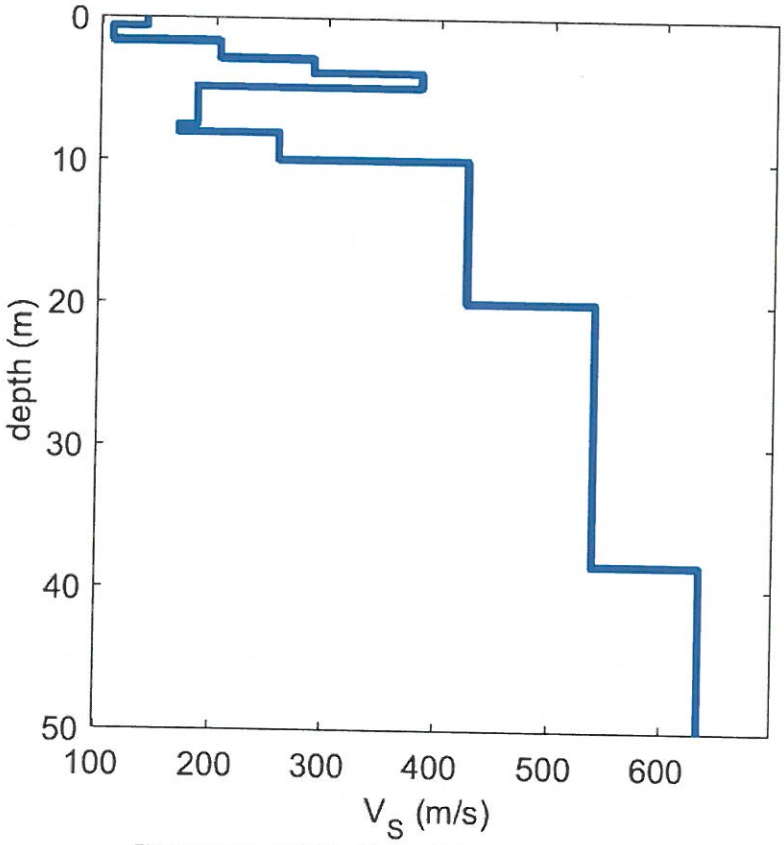


Figura 3: profilo di VS identificato, relativo al punto di indagine HS1

Vs model (Vs30 & VsE @ surface: 325 325 m/s)

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	140	0.6000	0.6000
2	110	1	1.6000
3	205	1.2000	2.8000
4	288	1	3.8000
5	384	1	4.8000
6	185	2.7000	7.5000
7	169	0.5000	8
8	258	1.9000	9.9000
9	426	10	19.9000
10	539	18.4000	38.3000
11	634	37.9000	76.2000
12	870	0	0

Figura 4: tabella dei sismostrati individuati - ***valore di VS_{EQ} = 325 m/sec***

INDAGINE HS2



Array sismico Hs2
coordinate ricevitore: Lat 41.119260° - Long 14.686484°





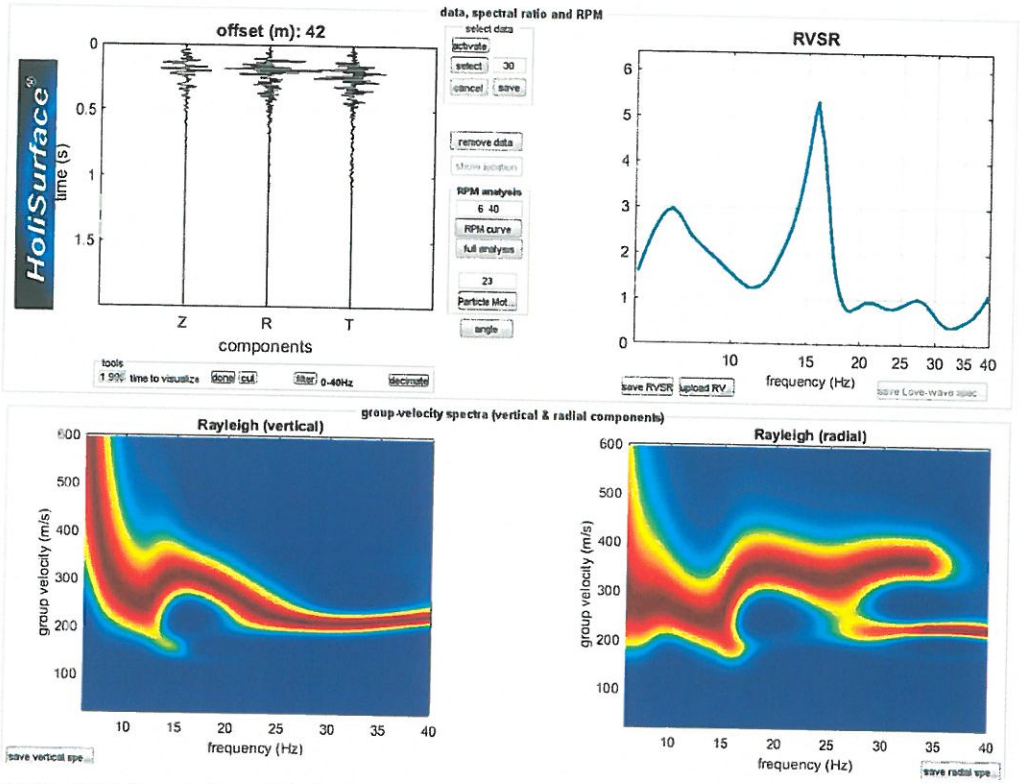


Figura 5: dati MFA relativi alle onde di superficie. In alto a sinistra le tre tracce acquisite in modalità attiva e sfruttate per definire gli spettri di velocità di gruppo per la componente verticale e radiale dell'onda di Rayleigh - indagine HS2

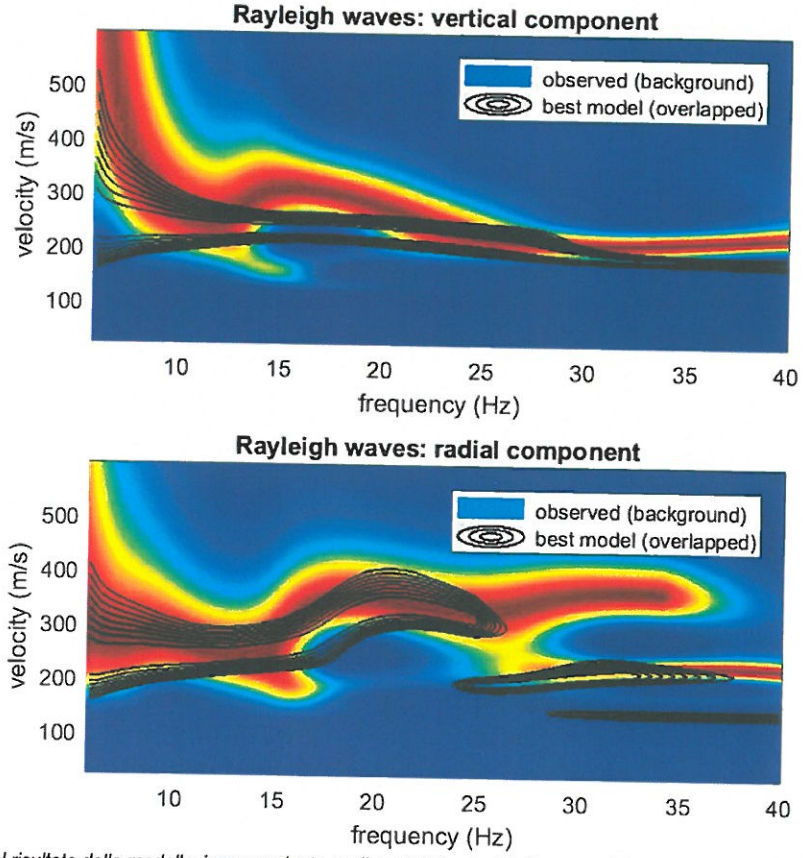


Figura 6: overlay del risultato della modellazione congiunta sugli spettri di velocità di gruppo delle componenti delle onde di superficie (HS2)

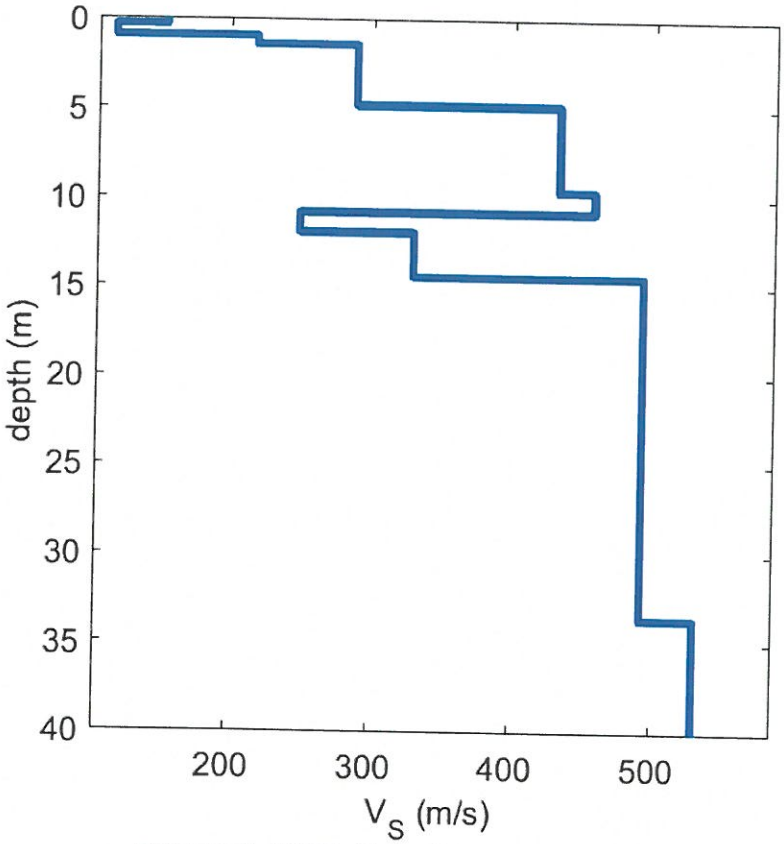


Figura 7: profilo di VS identificato, relativo al punto di indagine HS2

Vs model (Vs30 & VsE @ surface: 383 383 m/s)

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	155	0.3000	0.3000
2	120	0.6000	0.9000
3	219	0.5000	1.4000
4	289	3.4000	4.8000
5	433	4.8000	9.6000
6	458	1.2000	10.8000
7	250	1.1000	11.9000
8	330	2.5000	14.4000
9	493	19.2000	33.6000
10	531	16.2000	49.8000
11	556	0	0

Figura 8: tabella dei sismostrati individuati - ***valore di VS_{EQ} = 383 m/sec***

INDAGINE HS3



Array sismico Hs3

coordinate ricevitore: Lat 41.120630° - Long 14.688694°





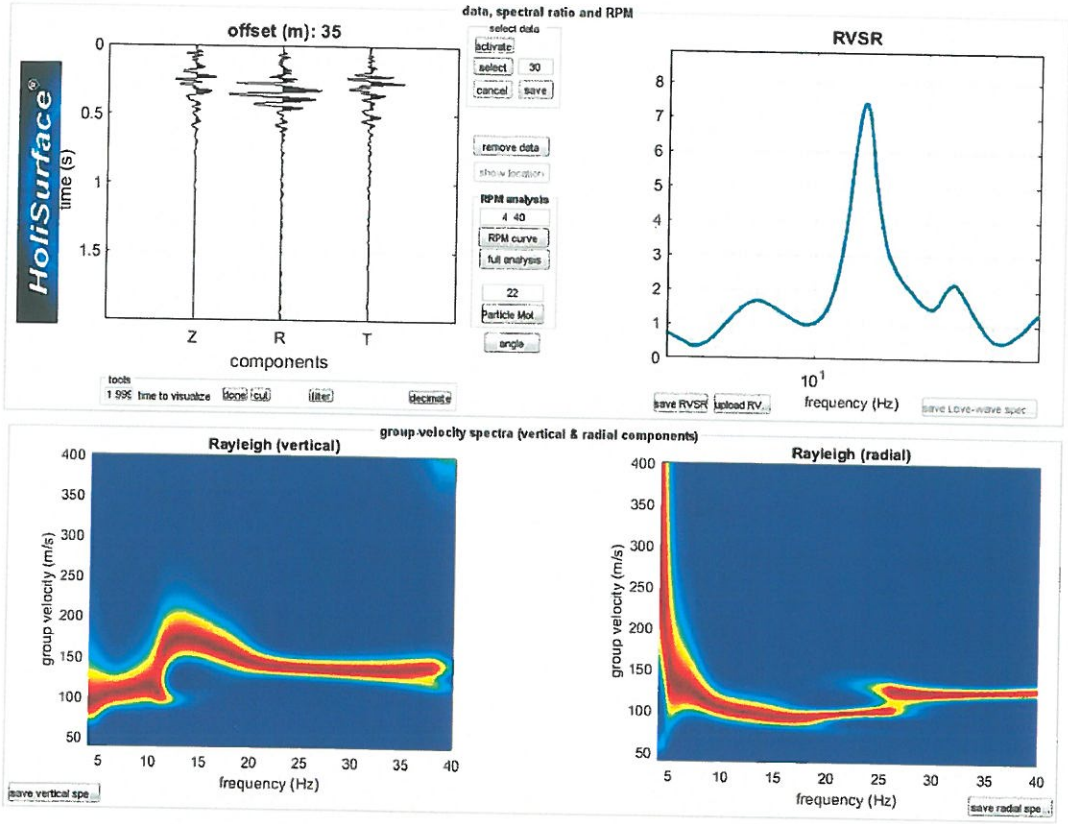


Figura 9: dati MFA relativi alle onde di superficie. In alto a sinistra le tre tracce acquisite in modalità attiva e sfruttate per definire gli spettri di velocità di gruppo per la componente verticale e radiale dell'onda di Rayleigh - indagine HS3

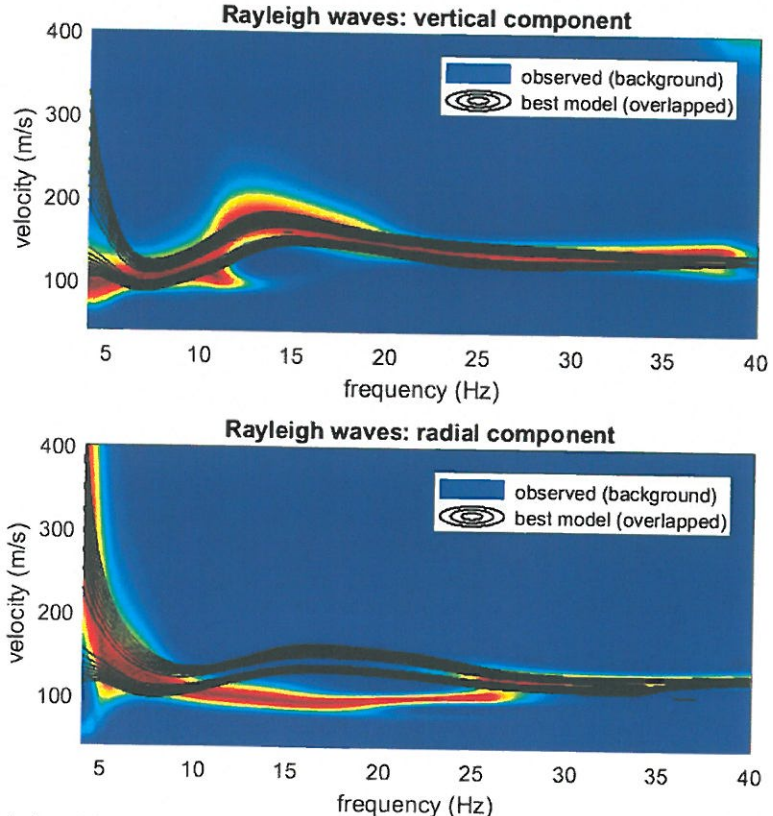


Figura 10: overlay del risultato della modellazione congiunta sugli spettri di velocità di gruppo delle componenti delle onde di superficie (HS3)

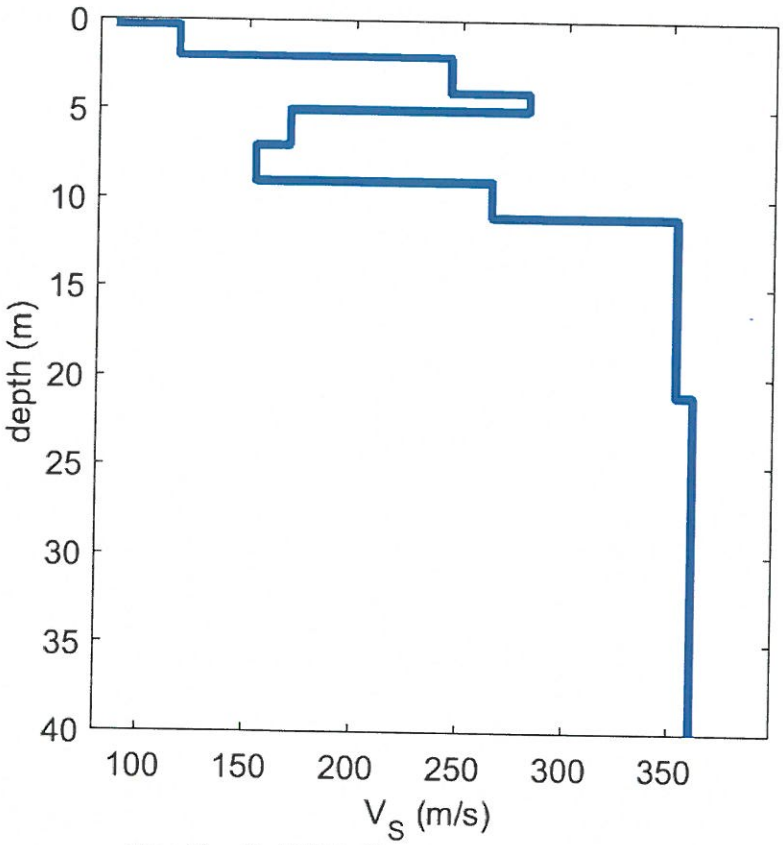


Figura 11: profilo di VS identificato, relativo al punto di indagine HS3

Vs model (Vs30 & VsE @ surface: 261 261 m/s)

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	89	0.3000	0.3000
2	118	1.7000	2
3	245	2	4
4	282	1	5
5	170	2	7
6	154	2	9
7	265	2	11
8	353	10	21
9	361	24	45
10	584	0	0

Figura 12: tabella dei sismostrati individuati - ***valore di VS_{EQ} = 261 m/sec***

INDAGINE HS4



Array sismico Hs4

coordinate ricevitore: Lat 41.124691° - Long 14.708885°



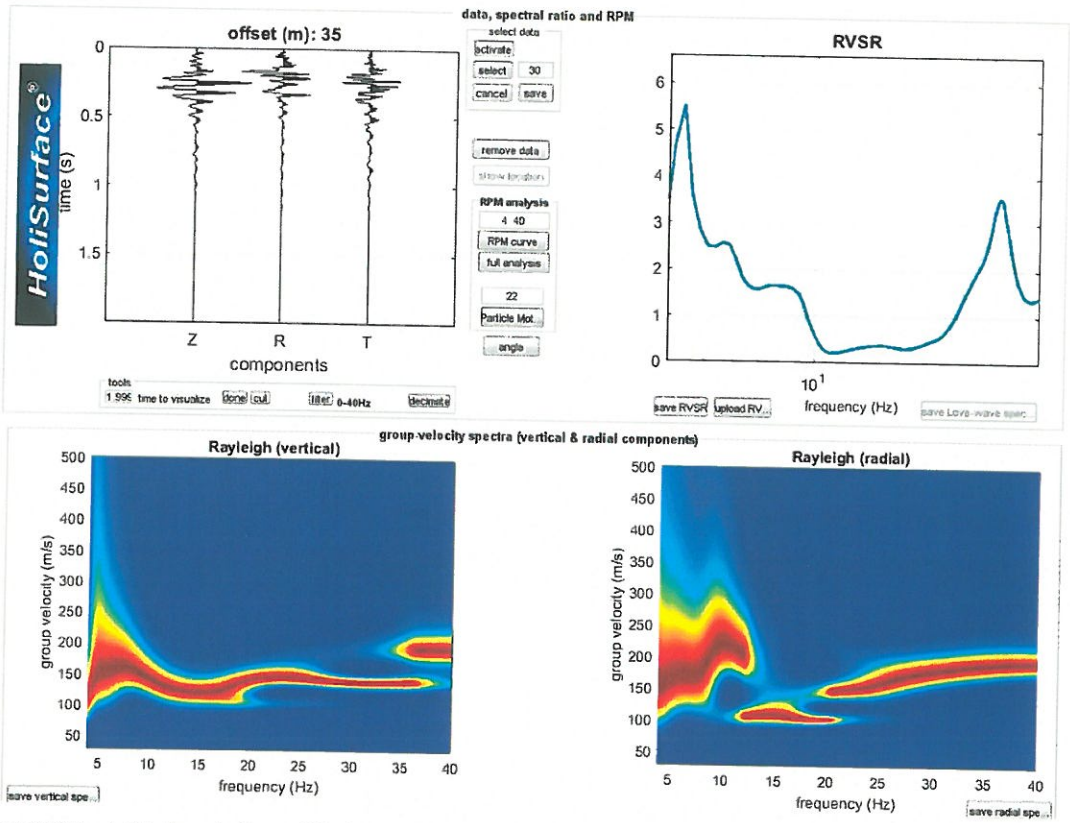


Figura 13: dati MFA relativi alle onde di superficie. In alto a sinistra le tre tracce acquisite in modalità attiva e sfruttate per definire gli spettri di velocità di gruppo per la componente verticale e radiale dell'onda di Rayleigh - indagine HS4

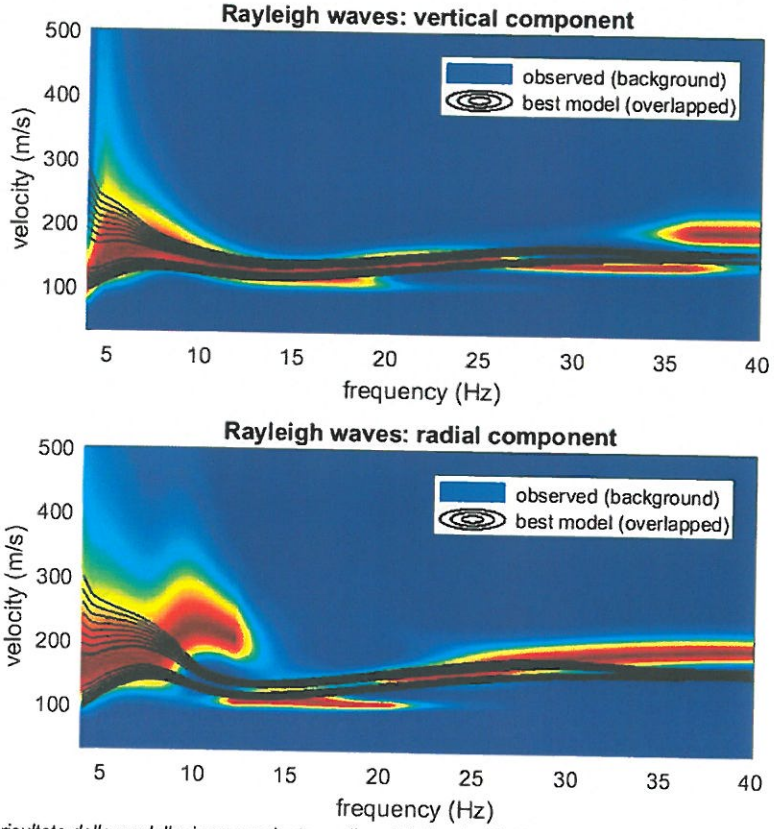


Figura 14: overlay del risultato della modellazione congiunta sugli spettri di velocità di gruppo delle componenti delle onde di superficie (HS4)

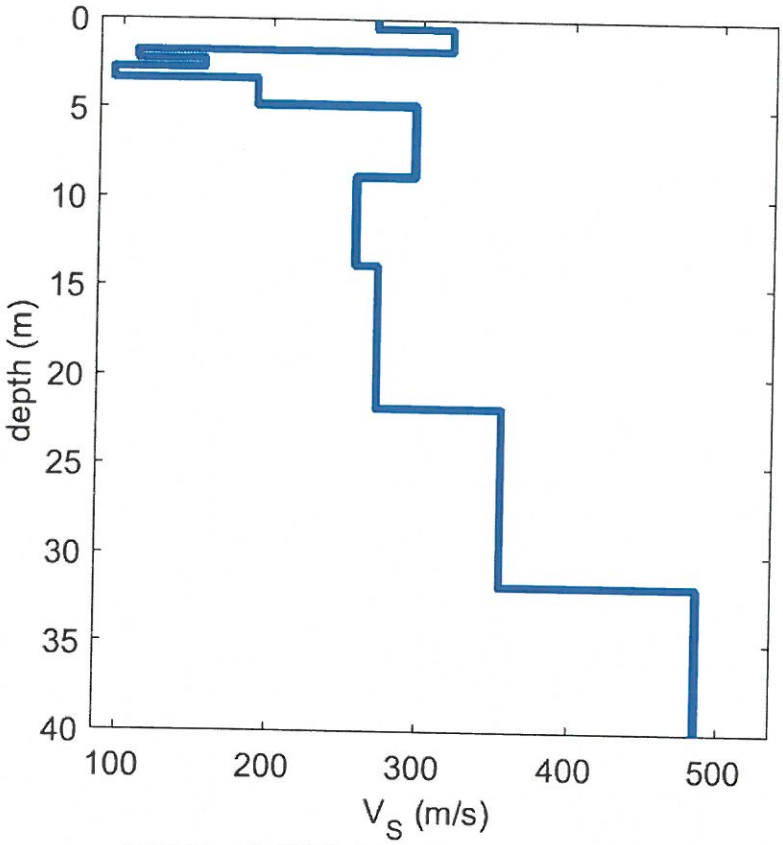


Figura 15: profilo di VS identificato, relativo al punto di indagine HS4

Vs model (Vs30 & VsE @ surface: 265 265 m/s)

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	270	0.5000	0.5000
2	320	1.2000	1.7000
3	111	0.5000	2.2000
4	155	0.5000	2.7000
5	95	0.6000	3.3000
6	190	1.5000	4.8000
7	296	4	8.8000
8	257	5	13.8000
9	272	8	21.8000
10	355	10	31.8000
11	486	0	0

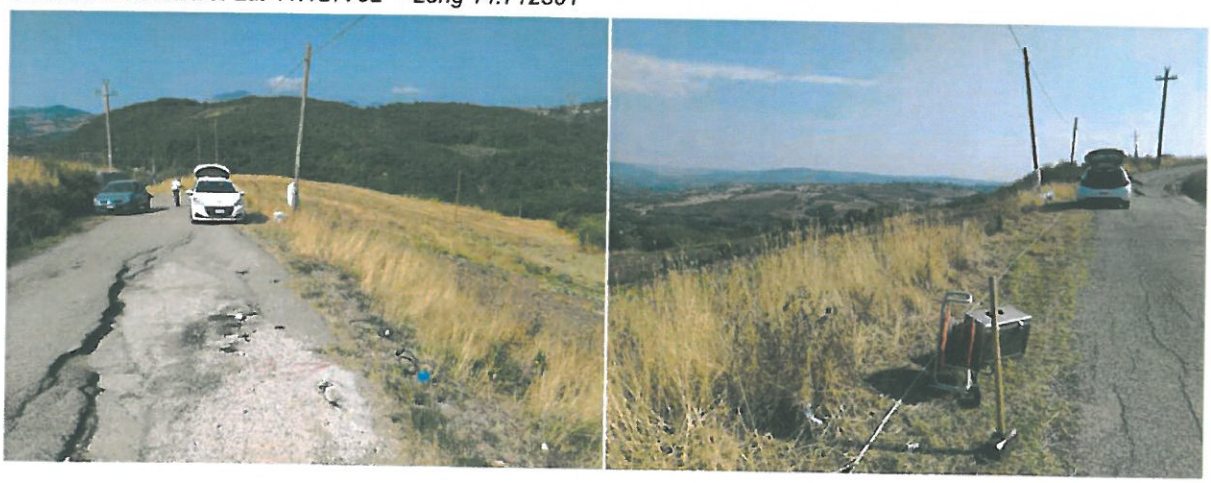
Figura 16: tabella dei sismostrati individuati - ***valore di VS_{EQ} = 265 m/sec***

INDAGINE HS5



Array sismico Hs5

coordinate ricevitore: Lat 41.127702° - Long 14.712301°



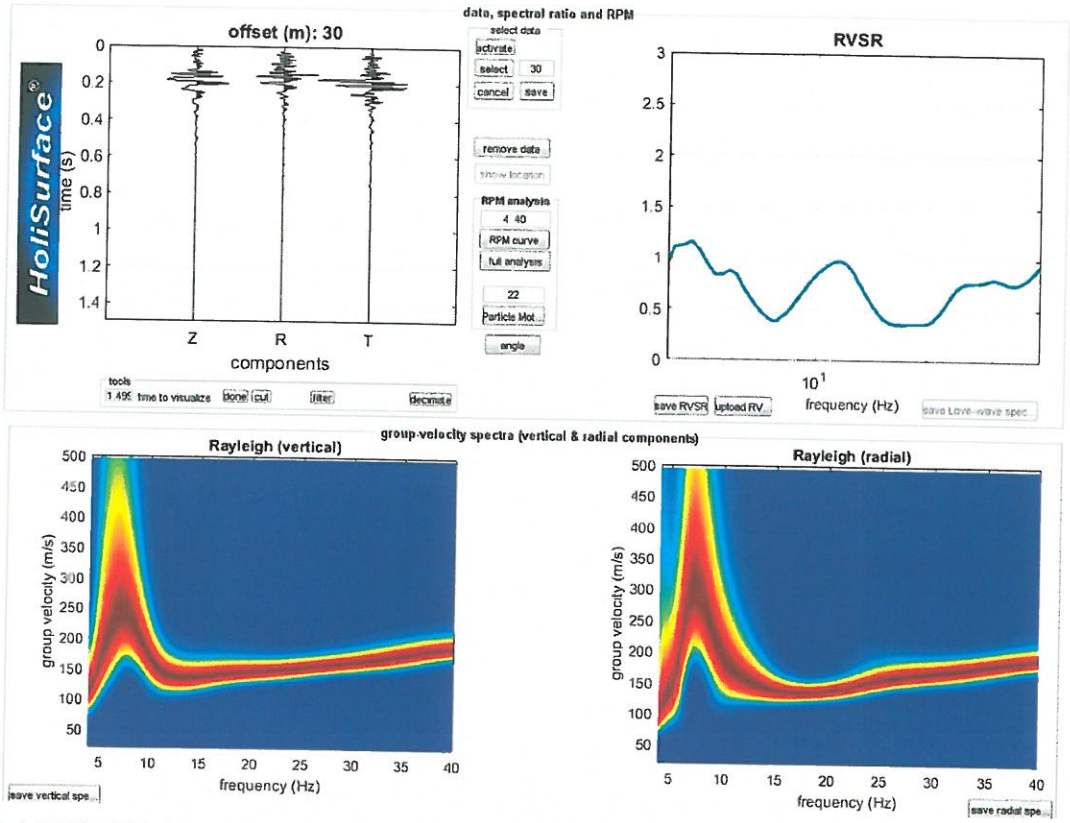


Figura 17: dati MFA relativi alle onde di superficie. In alto a sinistra le tre tracce acquisite in modalità attiva e sfruttate per definire gli spettri di velocità di gruppo per la componente verticale e radiale dell'onda di Rayleigh - indagine HS5

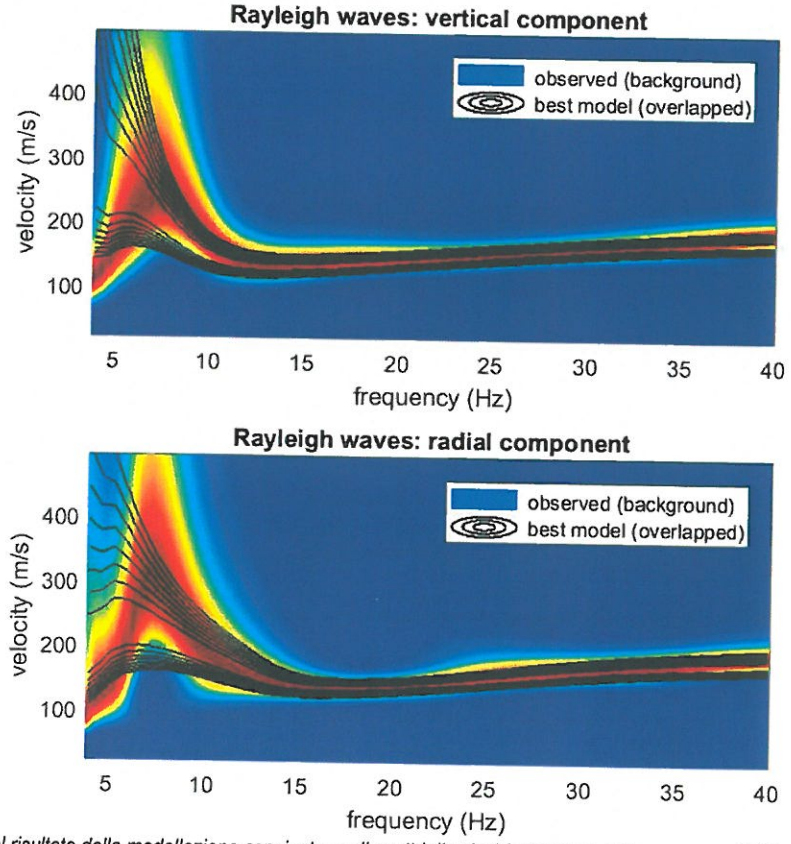


Figura 18: overlay del risultato della modellazione congiunta sugli spettri di velocità di gruppo delle componenti delle onde di superficie (HS5)

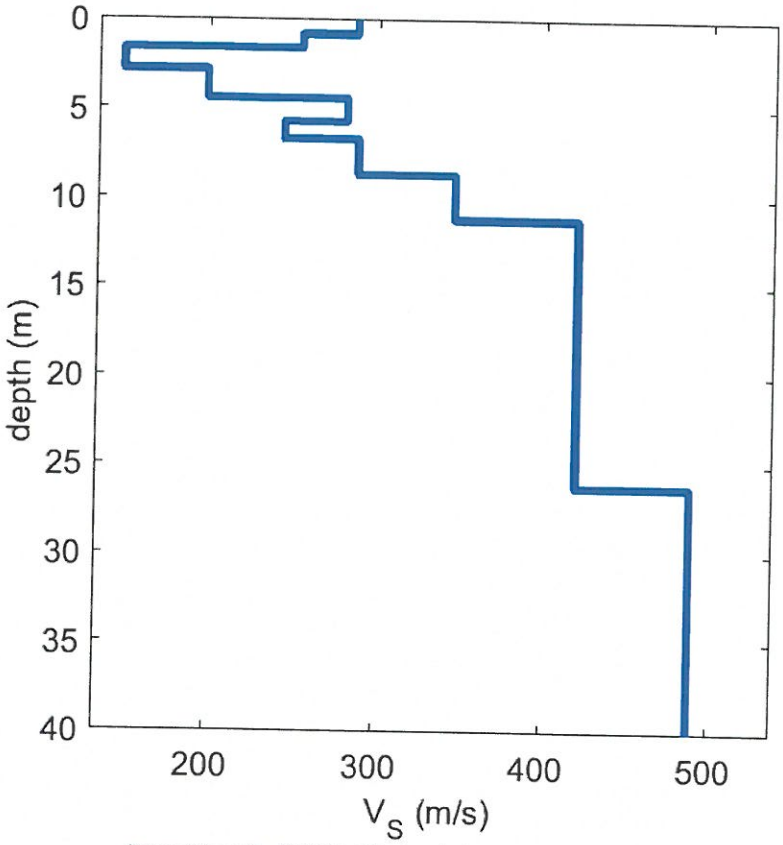


Figura 19: profilo di VS identificato, relativo al punto di indagine HS5

Vs model (Vs30 & VsE @ surface: 340 340 m/s)

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	288	0.8000	0.8000
2	255	0.8000	1.6000
3	149	1.2000	2.8000
4	199	1.6000	4.4000
5	282	1.3000	5.7000
6	245	1	6.7000
7	289	2	8.7000
8	347	2.5000	11.2000
9	421	15	26.2000
10	489	60	86.2000
11	970	0	0

Figura 20: tabella dei sismostrati individuati - ***valore di VS_{EQ} = 340 m/sec***

INDAGINE HS6



Array sismico Hs6

coordinate ricevitore: Lat 41.131280° - Long 14.716076°





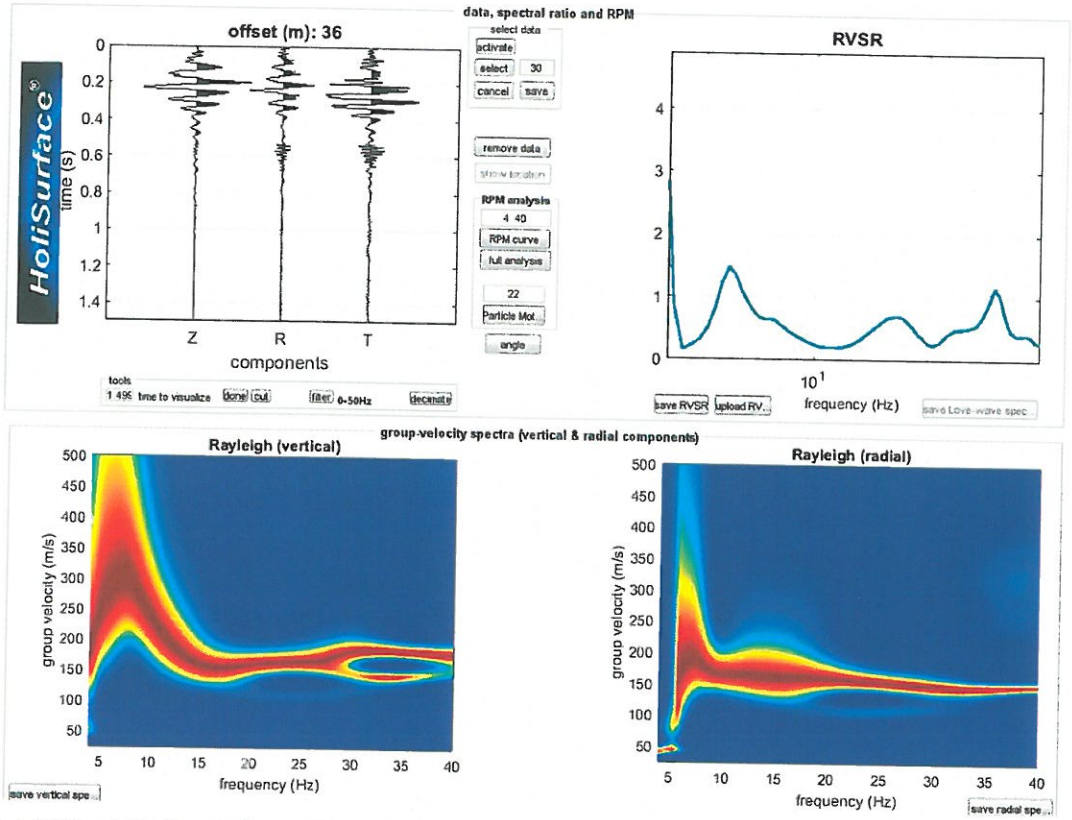


Figura 21: dati MFA relativi alle onde di superficie. In alto a sinistra le tre tracce acquisite in modalità attiva e sfruttate per definire gli spettri di velocità di gruppo per la componente verticale e radiale dell'onda di Rayleigh - indagine HS6

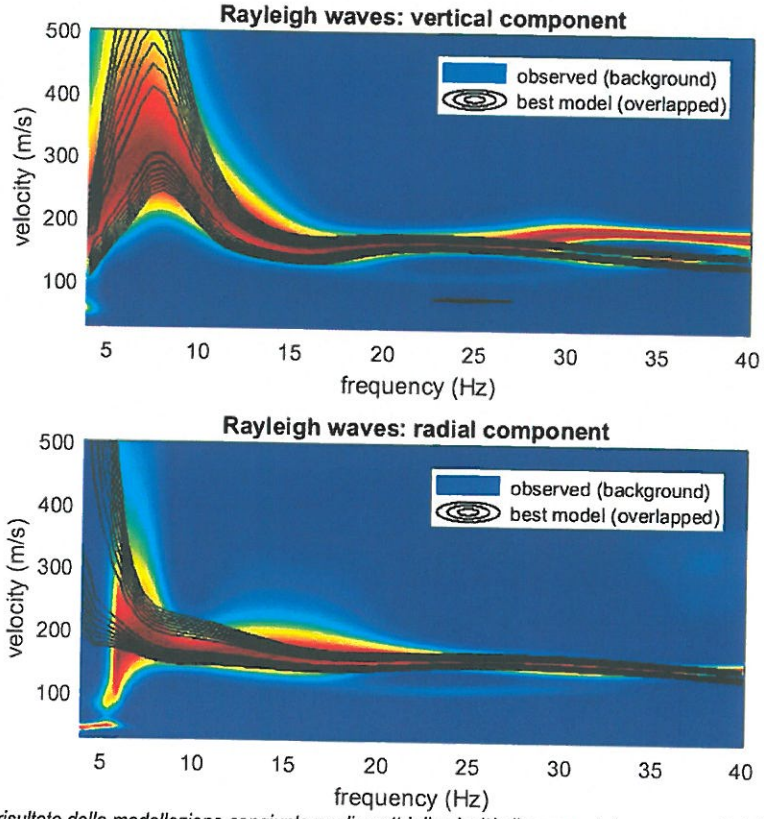


Figura 22: overlay del risultato della modellazione congiunta sugli spettri di velocità di gruppo delle componenti delle onde di superficie (HS6)

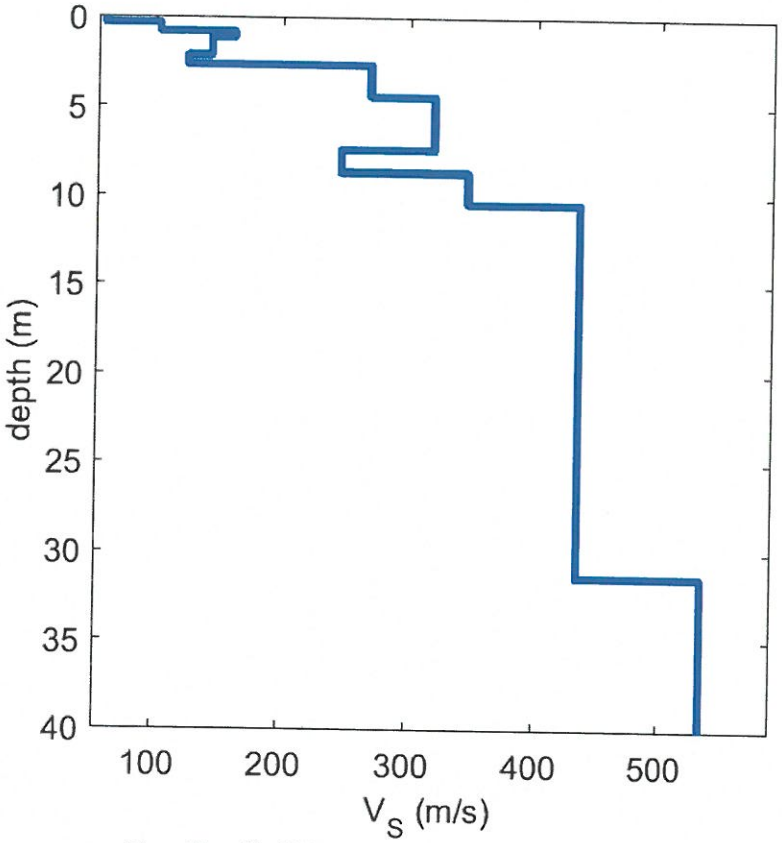


Figura 23: profilo di VS identificato, relativo al punto di indagine HS6

Vs model (Vs30 & VsE @ surface: 321 321 m/s)

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	61	0.3000	0.3000
2	104	0.4500	0.7500
3	163	0.3500	1.1000
4	145	1	2.1000
5	126	0.5000	2.6000
6	270	1.8000	4.4000
7	320	3	7.4000
8	247	1.2500	8.6500
9	347	1.7500	10.4000
10	435	21	31.4000
11	534	0	0

Figura 24: tabella dei sismostrati individuati - ***valore di VS_{EQ} = 321 m/sec***

Sommario

Premessa ***1***
Ubicazione delle indagini ***2***
Indagine MASW ***5***
Elaborazione ***6***
MASW_1 – Via Sopra i Merli **6**
MASW_2 – Nuovo asse viario **14**
MASW_3 – Nuovo asse viario **21**
Conclusioni ***27***

Premessa

Nel mese di marzo del corrente anno sono state eseguite tre indagini geofisiche Masw per i lavori in titolo.

Le suddette indagini hanno avuto come scopo precipuo la caratterizzazione dinamica del sottosuolo nelle prime decine di metri con l'individuazione delle principali unità geofisiche e delle relative proprietà meccaniche elastiche.

Al fine di caratterizzare la risposta sismica del sito in esame sono state quindi effettuate una serie di acquisizioni MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves), analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva utili a definire il profilo verticale della VS (velocità equivalenti di propagazione delle onde di taglio). Per il Sito in Via Sopra I Merli sono stati anche acquisiti sismogrammi da elaborare con tecnica Re.Mi.

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo all'Adeguamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni del D.M. 17 gennaio 2018.

Queste, in estrema sintesi, permettono di correlare la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (VS) e procedere alla classificazione del terreno investigato. Nel rispetto di quanto previsto dal suddetto D.M., la classificazione dei terreni è stata effettuata sulla base del valore della Vs equivalenti,

dal momento che per tutte le indagini la profondità del substrato è risultata maggiore di 30m dal piano di posa delle fondazioni definita dalla relazione:

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

in cui $V_{S,i}$ e hi sono rispettivamente la velocità delle onde di taglio e lo spessore dell'i-esimo strato e 30 è il valore attribuito, secondo quanto previsto dalla vigente normativa, al parametro "H" rappresentativo della profondità del substrato.

Ubicazione delle indagini

Per la caratterizzazione del Sito "Via dei Merli" lo stendimento sismico è di seguito denominato MASW_1; per il sito "Nuovo asse viario" gli stendimenti sono indicati con MASW_2 e MASW_3 e risultano ubicati nelle aree di sedime come nella seguente figura.



Figura 1: Ubicazione stendimenti sismici

Acquisizione dati



Figura 2: Stendimento sismico MASW 1



Figura 3: Stendimento sismico MASW 2



Figura 4: Stendimento sismico MASW 3

Per l'acquisizione dei dati è stata utilizzata la seguente attrezzatura:

- Sismografo SARA Electronic mod:"Doremi" a 12 canali (MASW_1 e MASW_3) e a 24 canali (MASW_2);
- Geofoni verticali monocomponente elettromagnetici a bobina mobile e massa sospesa con frequenza propria di 4,5Hz, trasduttori in grado di convertire in impulsi elettrici la velocità di spostamento del suolo quando attraversato da onde sismiche;
- Mazza di 8Kg battente su shot plate in polimero dal diametro di 250mm;
- Geofono starter per individuare l'esatto istante (t_0) in cui la sorgente viene attivata e fissare l'inizio della registrazione;
- Software di acquisizione "DOREMI".

I sismogrammi acquisiti sono stati quindi elaborati in fase di post-processing attraverso il software "MASW" (c) Vitantonio Roma.

Indagine MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva, che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi geofoni posti sulla superficie del suolo. Nell'indagine MASW (metodo attivo) le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori ed è possibile ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz; quindi si produrranno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30m-50m, in funzione della sua rigidezza. Il metodo MASW consiste in tre fasi (Roma, 2002):

Calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale;

Calcolo della velocità di fase apparente numerica,

Individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, modificando opportunamente lo spessore h, le velocità delle onde di taglio Vs e di compressione Vp (o in maniera alternativa alle velocità Vp è possibile assegnare il coefficiente di Poisson u), la densità di massa r degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra le curve di dispersione sperimentale e numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

Dopo aver determinato il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs è possibile procedere al calcolo della velocità equivalente nei primi 30m di profondità Vs30 e quindi individuare la categoria sismica del suolo.

Elaborazione

MASW_1 – Via Sopra i Merli

1 - Dati sperimentali

Nome del file delle tracce..... C:\Castelpoto masw_1_Merli\SEG2.dat
Numero di ricevitori..... 12
Distanza tra i sensori:..... 1m
Numero di campioni temporali..... 2000
Passo temporale di acquisizione.....1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 12
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 1999ms

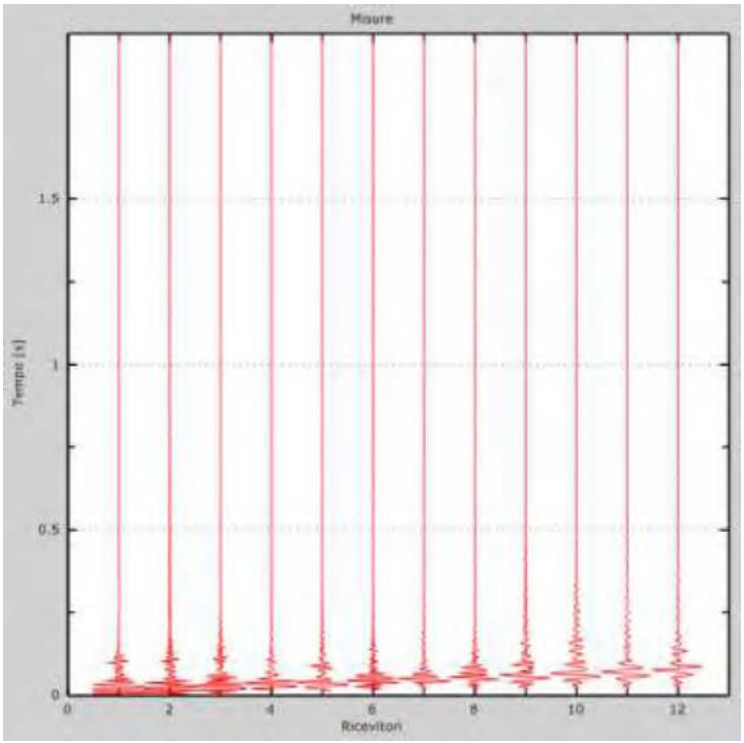


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale 70Hz
Frequenza iniziale 20Hz

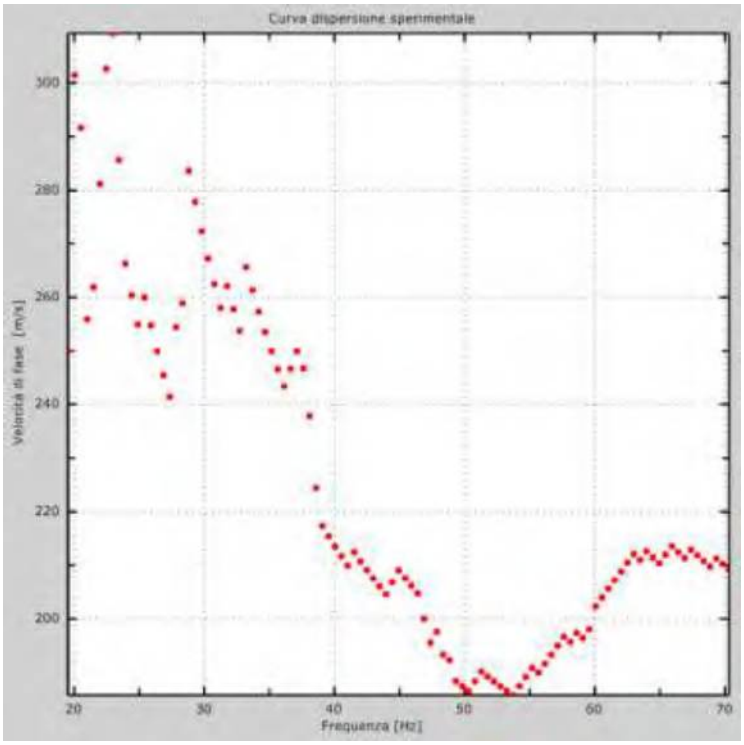


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

3 - Risultati delle analisi Re.Mi. (tecnica passiva)

Nome del file delle tracce.....C:\Castelpoto Re.Mi_Merli\SEG2.dat
Numero di ricevitori..... 12
Numero di campioni temporali..... 3.26787e-312
Passo temporale di acquisizione.....2ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 12
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 299998ms

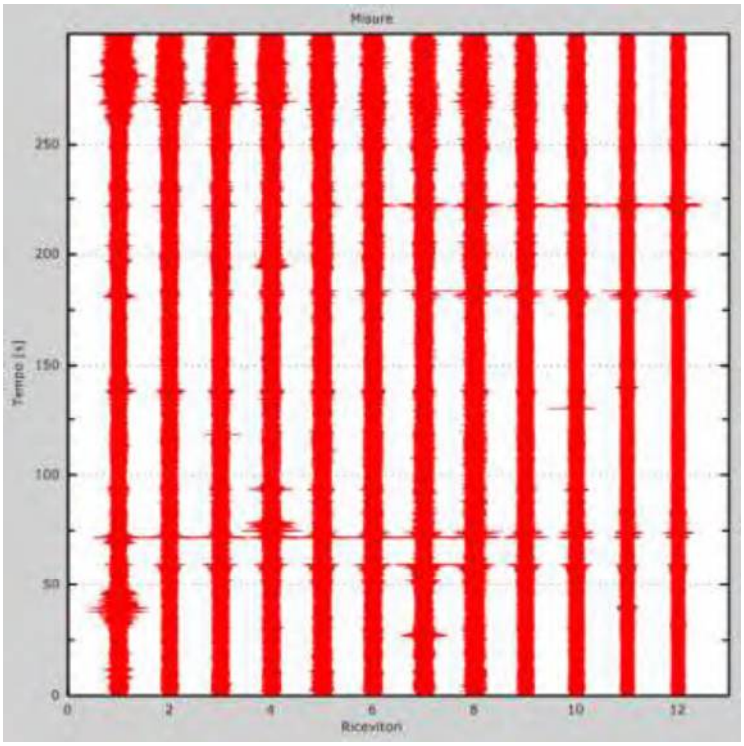


Figura 3: Tracce sperimentali

4 - Curva di dispersione

Tabella 1:Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
5.00697	277.313	262.903	291.723
8.41777	286.237	267.815	304.66
10.4241	277.313	260.022	294.605
11.9289	283.199	268.171	298.227
15.2394	283.199	262.16	304.238
23.4654	271.667	252.306	291.027
26.6756	256.027	236.375	275.679
31.4908	256.027	233.919	278.136
34.4001	253.594	234.314	272.874
37.9112	237.776	216.589	258.964
43.4286	204.91	193.896	215.925
47.5417	198.804	188.436	209.172
51.5544	187.621	179.706	195.536
55.0655	190.297	183.512	197.083
59.0782	197.333	188.578	206.089
64.2947	209.742	198.202	221.282
69.2103	211.404	201.355	221.453

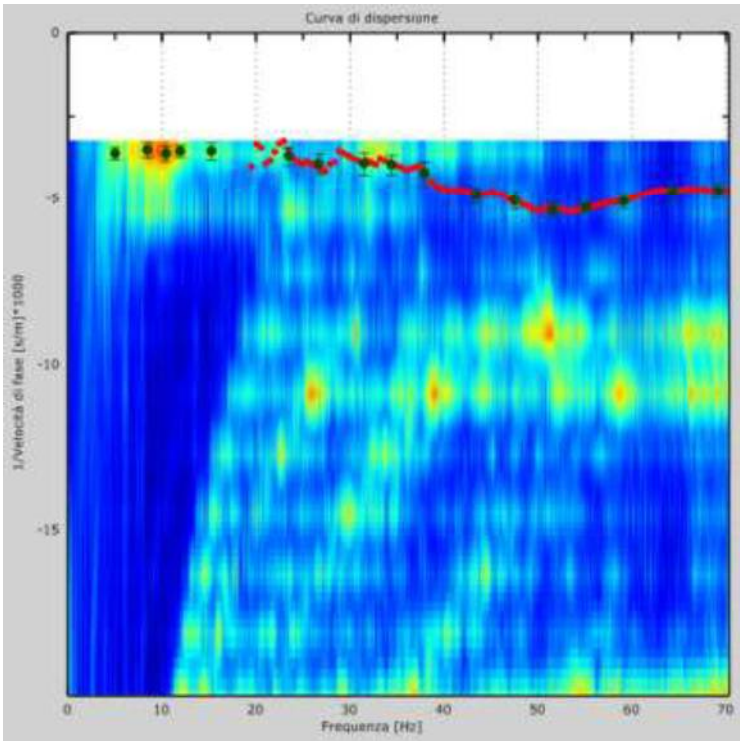


Figura 4: Curva di dispersione

5 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio).....9
Spaziatura ricevitori [m] 1m
Numero ricevitori..... 12
Numero modi.....1
Numero iterazioni 10
Massimo errore [%] 5.000000e-002

Strato 1

h [m] 2
z [m]..... -2
Densità [kg/m^3] 1800
Poisson..... 0.2
Vs [m/s]..... 235
Vp [m/s] 384
Vs min [m/s] 117
Vs max [m/s]..... 470
Vs fin.[m/s] 235

Strato 2

h [m] 3

z [m] ..... -5
Densità [kg/m^3] 1800
Poisson 0.2
Vs [m/s] 284
Vp [m/s] 464
Vs min [m/s] 142
Vs max [m/s] 569
Vs fin.[m/s] 284

Strato 3

h [m] 3
z [m] ..... -8
Densità [kg/m^3] 1800
Poisson 0.2
Vs [m/s] 315
Vp [m/s] 514
Vs min [m/s] 157
Vs max [m/s] 629
Vs fin.[m/s] 315

Strato 4

h [m] 4
z [m] ..... -12
Densità [kg/m^3] 1800
Poisson 0.2
Vs [m/s] 315
Vp [m/s] 514
Vs min [m/s] 157
Vs max [m/s] 629
Vs fin.[m/s] 315

Strato 5

h [m] 4
z [m] ..... -16
Densità [kg/m^3] 1800
Poisson 0.2
Vs [m/s] 318
Vp [m/s] 519
Vs min [m/s] 159
Vs max [m/s] 636
Vs fin.[m/s] 318

Strato 6

h [m] 5
z [m] .....-21
Densità [kg/m^3] 1800
Poisson.....0.2
Vs [m/s].....308
Vp [m/s] 503
Vs min [m/s] 154
Vs max [m/s].....616
Vs fin.[m/s] 308

Strato 7

h [m] 5
z [m] .....-26
Densità [kg/m^3] 1800
Poisson.....0.2
Vs [m/s].....308
Vp [m/s] 503
Vs min [m/s] 154
Vs max [m/s].....616
Vs fin.[m/s] 308

Strato 8

h [m] 6
z [m] .....-32
Densità [kg/m^3] 1800
Poisson.....0.2
Vs [m/s].....308
Vp [m/s] 503
Vs min [m/s] 154
Vs max [m/s].....616
Vs fin.[m/s] 308

Strato 9

h [m] 0
z [m] .....-oo
Densità [kg/m^3] 1800
Poisson.....0.2
Vs [m/s].....308
Vp [m/s] 503
Vs min [m/s] 154
Vs max [m/s].....616
Vs fin.[m/s] 308

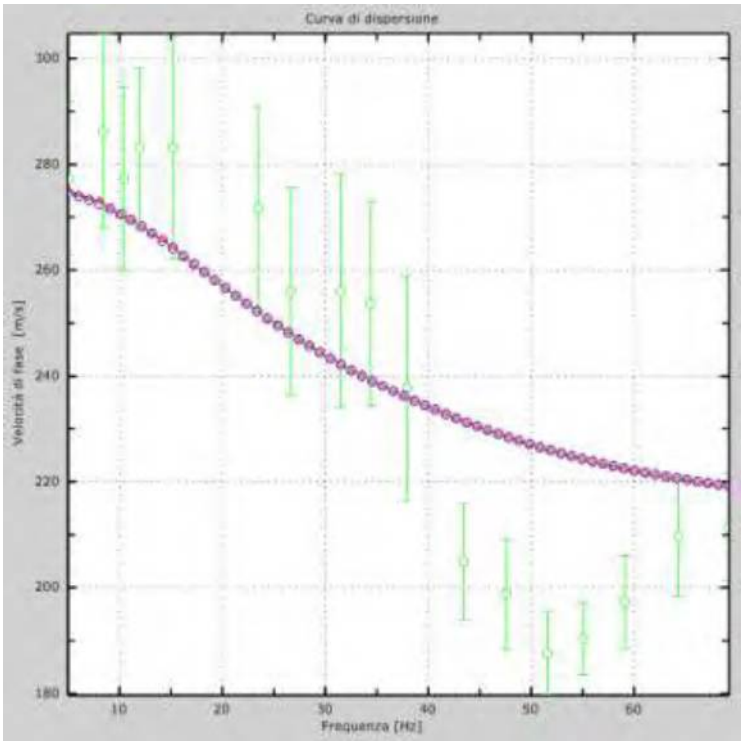


Figura 5: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigth (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

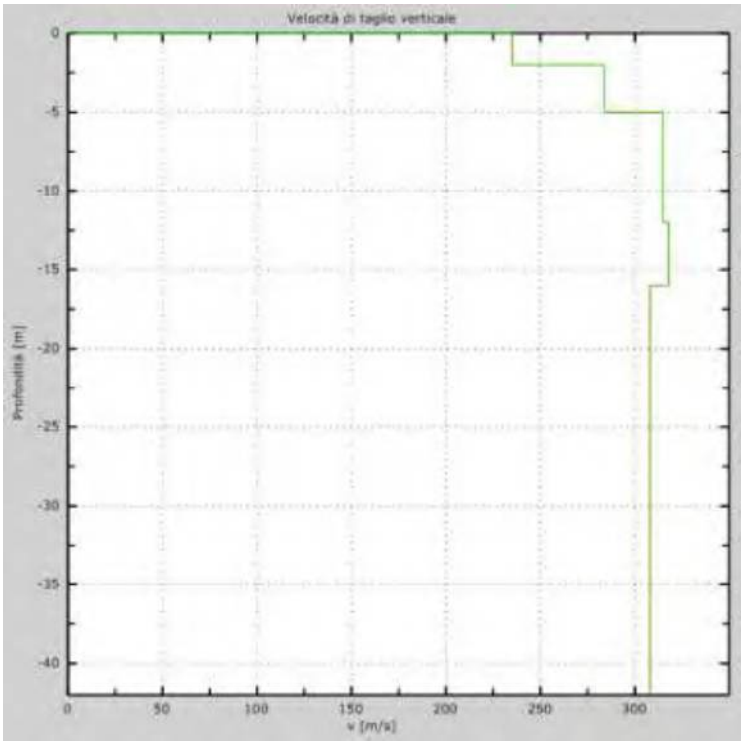


Figura 6: Velocità

6 - Risultati finali

Piano di riferimento z=0 [m].....0
Vs equivalente [m/s] 302
La normativa applicata è il DM 17 gennaio 2018
La profondità del substrato è superiore a 30m dal piano di posa delle fondazioni.
Le caratteristiche meccaniche degli strati migliorano gradualmente con la profondità
Tipo di suolo C

MASW_2 – Nuovo asse viario

Nome del file delle tracce.....C:\Castelpoto masw_2_strada\SEG2.dat
Numero di ricevitori..... 24
Distanza tra i sensori:..... 1m
Numero di campioni temporali 2000
Passo temporale di acquisizione 1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 24
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 1999ms

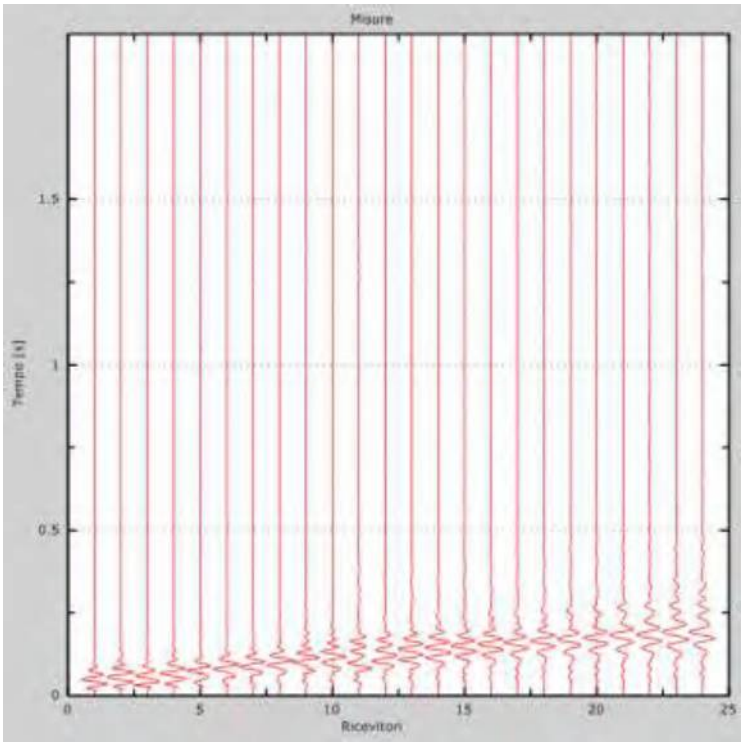


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale 70Hz
Frequenza iniziale 2Hz

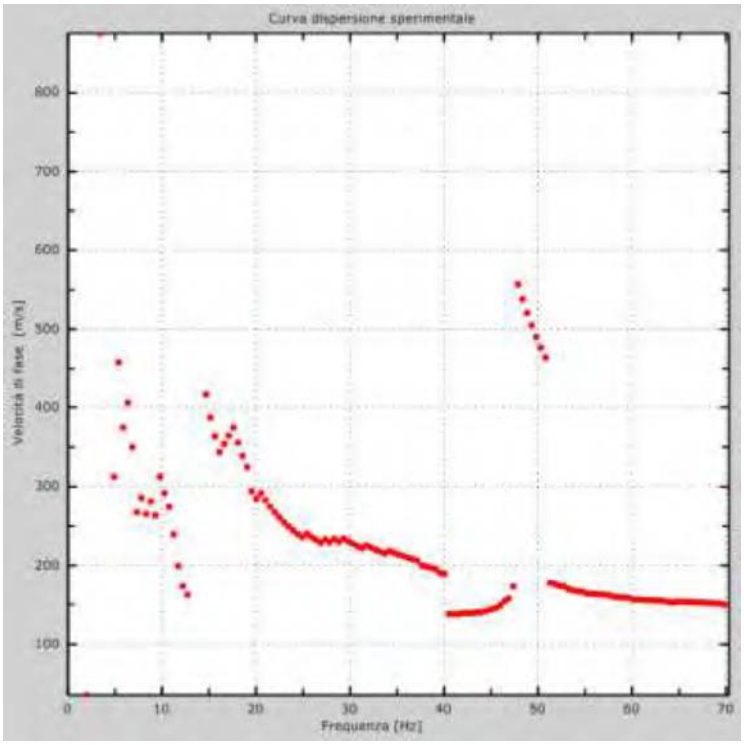


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

3 - Curva di dispersione

Tabella 1:Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
6.04077	363.096	323.747	402.444
15.6963	358.177	327.026	389.328
19.1099	322.107	295.874	348.34
22.5235	263.084	240.13	286.037
26.7174	233.572	208.979	258.165
32.1791	218.816	197.502	240.13
37.4458	200.781	176.188	225.374
42.0297	136.839	115.525	158.153
46.8088	153.234	131.92	174.548
53.0507	167.99	143.397	192.583
58.2199	156.514	133.56	179.467
62.9989	154.874	128.641	181.107
67.7779	153.234	123.723	182.746

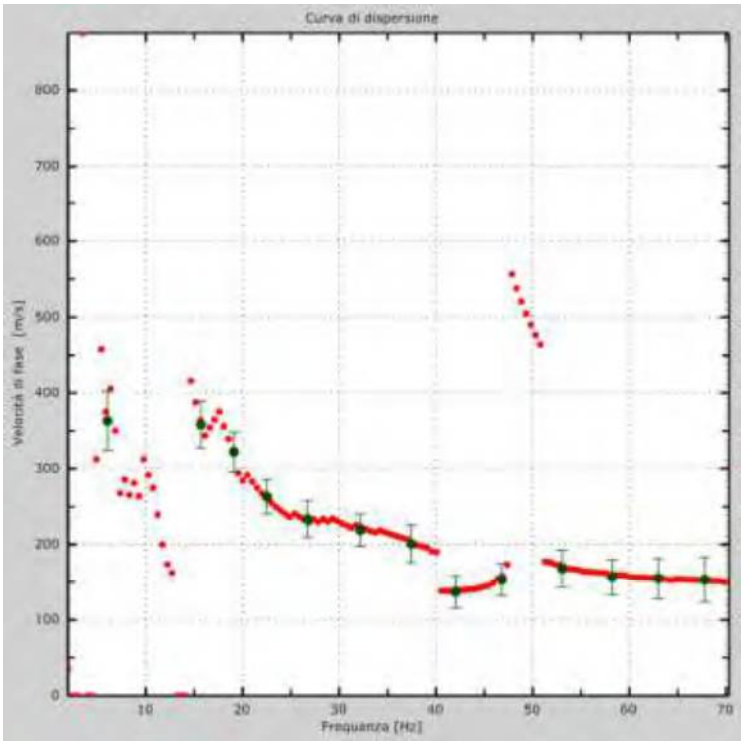


Figura 3: Curva di dispersione

4 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio).....7
Spaziatura ricevitori [m] 1m
Numero ricevitori..... 24
Numero modi.....4

Strato 1

h [m] 0,2
z [m]..... -0.2
Densità [kg/m^3] 1800
Poisson..... 0.2
Vs [m/s]..... 172
Vp [m/s] 281
Vs min [m/s] 86
Vs max [m/s]..... 344
Vs fin.[m/s] 172

Strato 2

h [m] 3
z [m]..... -3.2
Densità [kg/m^3] 1800

Poisson..... 0.4
Vs [m/s]..... 178
Vp [m/s]..... 436
Vs min [m/s]..... 130
Vs max [m/s]..... 267
Vs fin.[m/s]..... 178

Strato 3

h [m]..... 1,4
z [m]..... -4.6
Densità [kg/m^3]..... 1800
Poisson..... 0.35
Vs [m/s]..... 320
Vp [m/s]..... 666
Vs min [m/s]..... 179
Vs max [m/s]..... 480
Vs fin.[m/s]..... 320

Strato 4

h [m]..... 0,8
z [m]..... -5.4
Densità [kg/m^3]..... 1800
Poisson..... 0,38
Vs [m/s]..... 287
Vp [m/s]..... 652
Vs min [m/s]..... 199
Vs max [m/s]..... 431
Vs fin.[m/s]..... 287

Strato 5

h [m]..... 6
z [m]..... -11.4
Densità [kg/m^3]..... 1800
Poisson..... 0.33
Vs [m/s]..... 363
Vp [m/s]..... 721
Vs min [m/s]..... 199
Vs max [m/s]..... 545
Vs fin.[m/s]..... 363

Strato 6

h [m]..... 1,4
z [m]..... -12.8

Densità [kg/m^3] 1800
Poisson..... 0.3
Vs [m/s]..... 384
Vp [m/s] 718
Vs min [m/s] 202
Vs max [m/s]..... 576
Vs fin.[m/s] 384

Strato 7

h [m] 0
z [m].....-oo
Densità [kg/m^3] 1800
Poisson..... 0.25
Vs [m/s]..... 446
Vp [m/s] 772
Vs min [m/s] 202
Vs max [m/s]..... 669
Vs fin.[m/s] 446

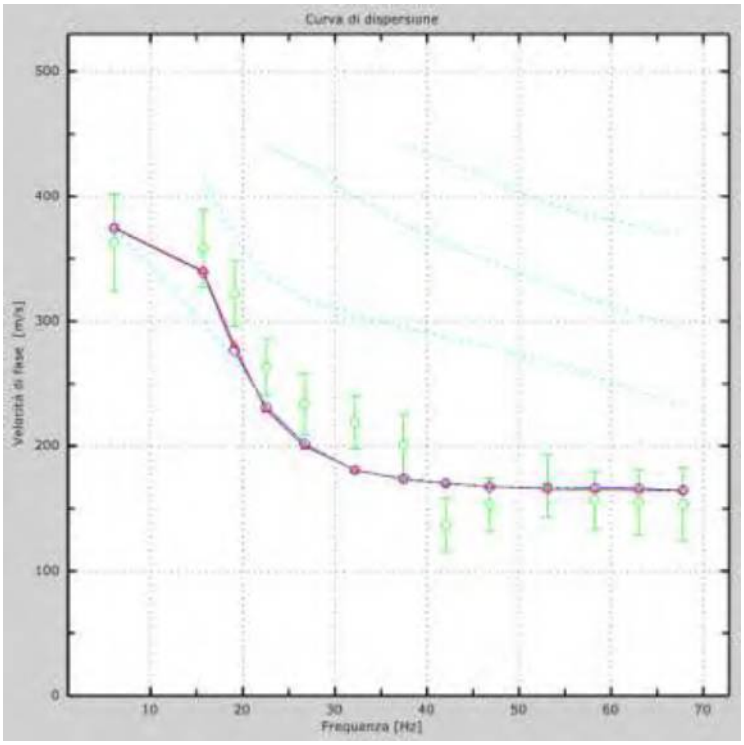


Figura 4: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigth (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

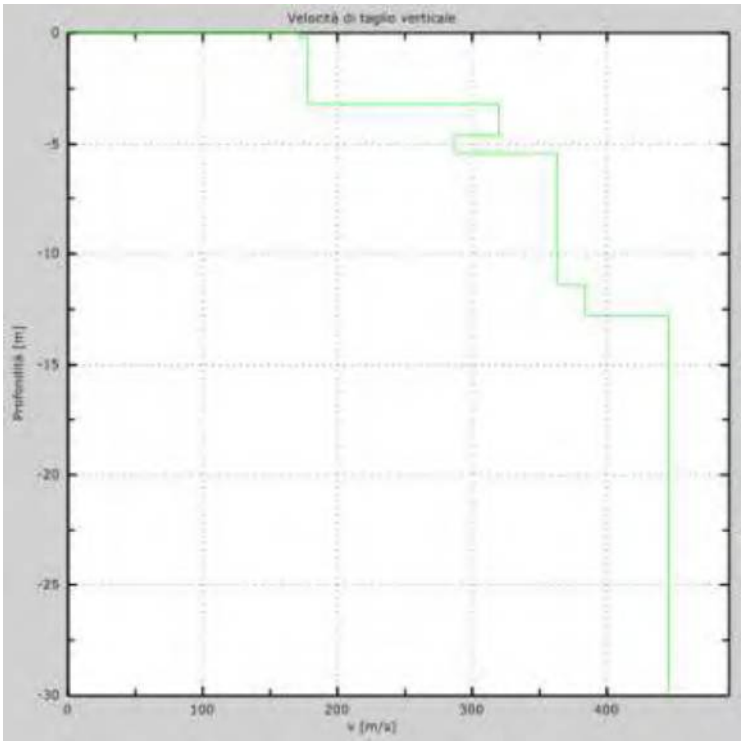


Figura 5: Profilo Vs numerico

5 - Risultati finali

Piano di riferimento z=0 [m].....0
Vs equivalente [m/s] 357
La normativa applicata è il DM 17 gennaio 2018
La profondità del substrato è superiore a 30m dal piano di posa delle fondazioni.
Le caratteristiche meccaniche degli strati migliorano gradualmente con la profondità
Tipo di suolo C

MASW_3 – Nuovo asse viario

1 - Dati sperimentali

Nome del file delle tracce.....C:\Castelpoto masw_3_strada\SEG2.dat
Numero di ricevitori..... 12
Distanza tra i sensori:..... 2m
Numero di campioni temporali..... 4000
Passo temporale di acquisizione.....1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 12
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 3999ms

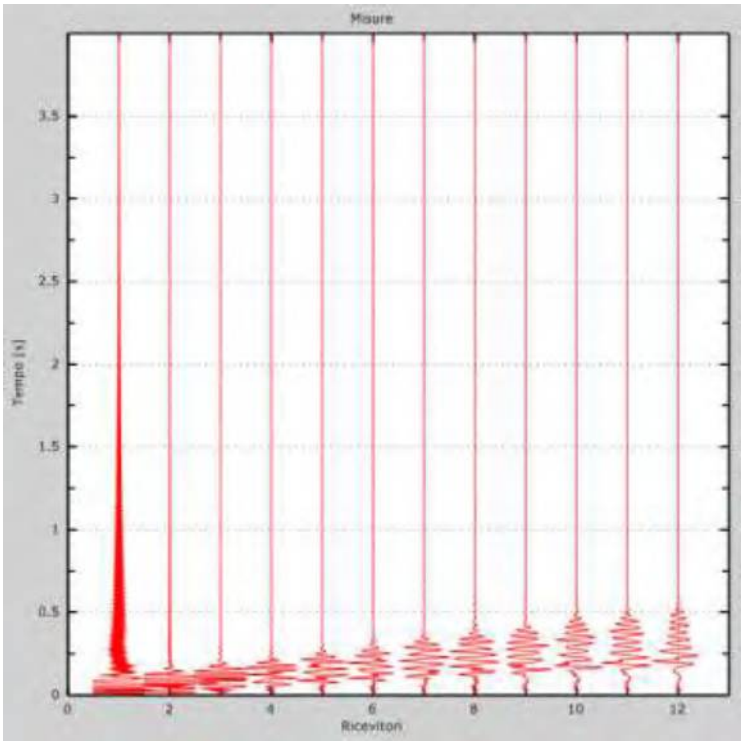


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale 50Hz
Frequenza iniziale 5Hz

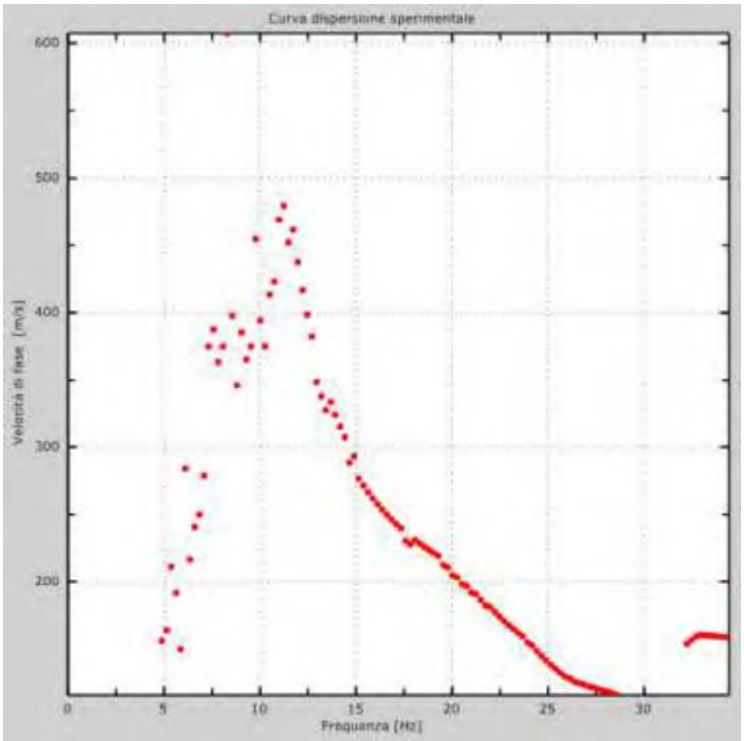


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

3 - Curva di dispersione

Tabella 1:Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
7.90578	395.286	364.57	426.003
10.3545	414.626	371.396	457.857
12.6099	382.772	347.506	418.039
14.8653	295.174	266.733	323.615
18.0229	238.292	216.677	259.907
21.116	192.787	173.447	212.126
24.5958	149.556	130.216	168.896
27.4956	122.253	97.2248	147.281
32.3286	151.832	132.492	171.171
33.6818	158.657	138.18	179.135

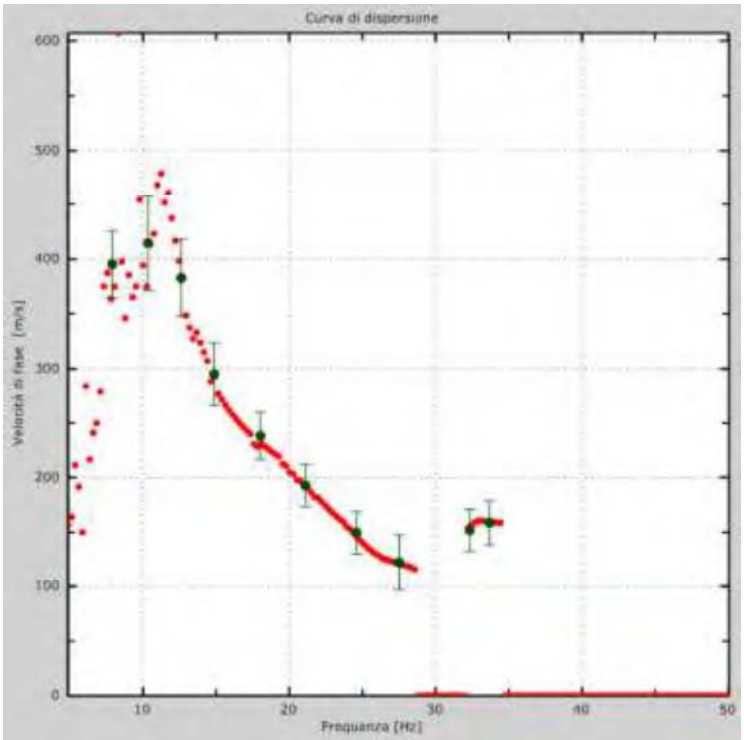


Figura 3: Curva di dispersione

4 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio).....5
Spaziatura ricevitori [m] 2m
Numero ricevitori..... 12
Numero modi 1

Strato 1

h [m] 0,8
z [m].....-0.8
Densità [kg/m^3] 1800
Poisson..... 0.48
Vs [m/s]..... 136
Vp [m/s] 693
Vs min [m/s] 68
Vs max [m/s]..... 272
Vs fin.[m/s] 136

Strato 2

h [m] 3
z [m].....-3.8

Densità [kg/m^3] 1900
Poisson..... 0.48
Vs [m/s]..... 154
Vp [m/s] 785
Vs min [m/s] 107
Vs max [m/s]..... 231
Vs fin.[m/s] 154

Strato 3

h [m] 1
z [m]..... -4.8
Densità [kg/m^3] 1900
Poisson..... 0.48
Vs [m/s]..... 265
Vp [m/s] 1351
Vs min [m/s] 132
Vs max [m/s]..... 530
Vs fin.[m/s] 265

Strato 4

h [m] 4
z [m]..... -8.8
Densità [kg/m^3] 2000
Poisson..... 0.48
Vs [m/s]..... 328
Vp [m/s] 1672
Vs min [m/s] 164
Vs max [m/s]..... 656
Vs fin.[m/s] 328

Strato 5

h [m] 0
z [m]..... -oo
Densità [kg/m^3] 2100
Poisson..... 0.48
Vs [m/s]..... 439
Vp [m/s] 2238
Vs min [m/s] 220
Vs max [m/s]..... 878
Vs fin.[m/s] 439

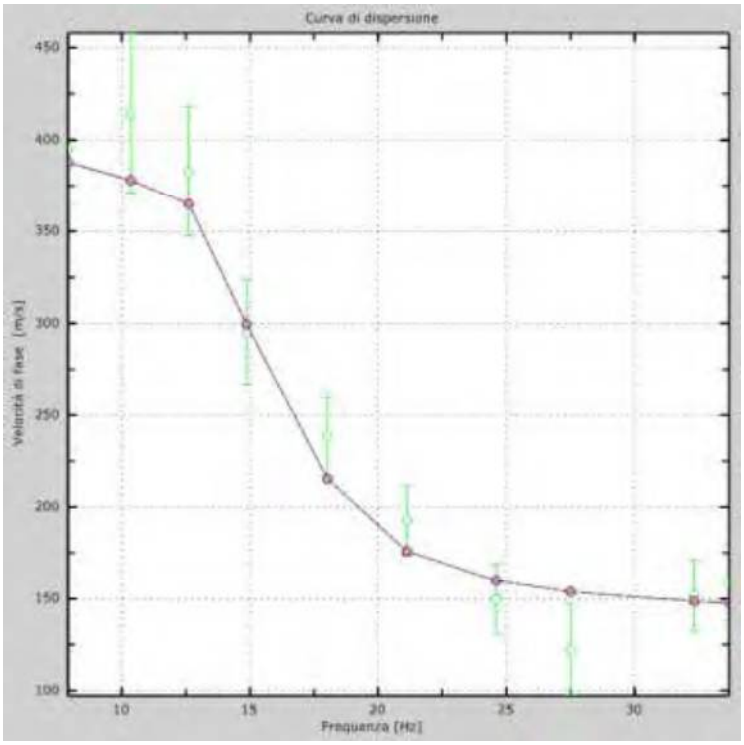


Figura 4: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigth (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

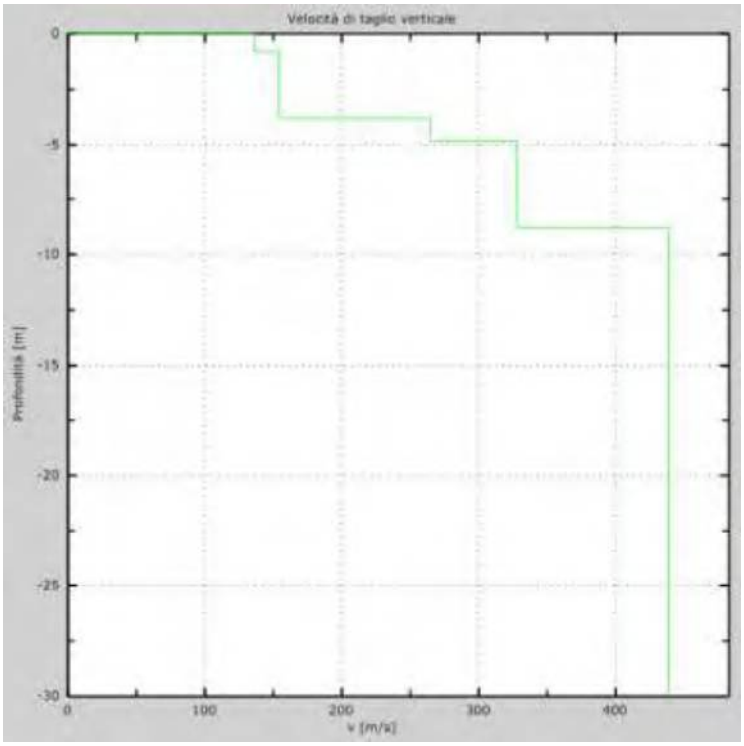


Figura 5: Profilo Vs numerico

5 - Risultati finali

Piano di riferimento z=0 [m] 0
Vs equivalente [m/s].....334
La normativa applicata è il DM 17 gennaio 2018
La profondità del substrato è superiore a 30m dal piano di posa delle fondazioni.
Le caratteristiche meccaniche degli strati migliorano gradualmente con la profondità
Tipo di suolo C

Conclusioni

L'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh a partire da dati di sismica attiva (MASW) e passiva (REMI) ha consentito di determinare il profilo verticale della Vs e, di conseguenza, del parametro Vs equivalente considerando come riferimento il piano campagna, consentendo la classificazione rispetto alle norme tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018) dei siti in esame come sintetizzato nella seguente tabella.

STENDIMENTO	VALORE Vs equivalente (m/s)	PIANO DI RIFERIMENTO (m dal p.c.)	CAT. SUOLO
MASW 1	302	0	C
MASW 2	357	0	C
MASW 3	334	0	C

Guardia S., _____

_____