

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIREZIONE TECNICA  
U.O. GEOLOGIA, GESTIONE TERRE E BONIFICHE**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**LINEA ROMA VITERBO**

**RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE**

**INDAGINI GEOFISICHE INTEGRATIVE  
EMISSIONE A SEGUITO PARERE CSSLPP**

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

NR1J 01 D 69 IG GE0001 002 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione definitiva	G.PULELLI	Nov. 19	F. Mancini	Nov. 19	URCIOLI	Nov. 19	F. MARCHESE Novembre 2019
						RAOLETTI		

ITALFERR S.p.A.  
Dott. Geologo Francesco MARCHESE  
RUBRICA GEOLOGIA, GESTIONE TERRE E BONIFICHE  
Ordine Geologi Lazio n. 179 ES

File:

n. Elab.: 31.1

## INDICE

1.	INDICAZIONI GENERALI	3
2.	AZIONE SISMICA	4
2.1	<i>Categorie di suolo di fondazione</i>	4
3.	MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (M.A.S.W.)	5
3.1.1	<i>Descrizione del metodo</i>	5
3.1.2	<i>Modalità di acquisizione</i>	7
3.1.3	<i>Elaborazione dati e stima della curva di dispersione</i>	7
4.	INDAGINI DI SISMICA PASSIVA	10
4.1	<i>Metodologia HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)</i>	10
4.1.1	<i>Generalità</i>	10
4.1.2	<i>Basi teoriche</i>	10
4.1.3	<i>Attrezzature e modalità esecutive</i>	11
4.1.4	<i>Elaborazione dati</i>	12
5.	INDICAZIONI GENERALI SULLA ELASTICITÀ DEI MATERIALI	14
5.1.	<i>Generalità</i>	14
5.2.	<i>Principi sulla elasticità</i>	14
5.3.	<i>Parametri elastici</i>	15
6.	CONCLUSIONI	17

# ITOLFERR

**DIREZIONE TECNICA  
U.O. GEOLOGIA, GESTIONE TERRE E BONIFICHE**

**LINEA ROMA VITERBO  
RADDOPPIO TRATTA CESANO VIGNA DI VALLE**

**INDAGINI GEOFISICHE  
RELAZIONE TECNICA**

## 1. INDICAZIONI GENERALI

Su incarico della committenza ITOLFERR SPA sono state eseguite indagini geofisiche per la caratterizzazione dei terreni su cui verrà progettata l'opera ferroviaria in oggetto.

Per lo studio del sito in esame con finalità di classificazione sismica si sono applicate le procedure di indagine più adeguate per la progettazione definitiva per la soppressione P.L. Gornalunga.

Allo scopo di valutare gli elementi sopra indicati, si sono realizzati in questa fase geognostica:

n° 6 MASW

n° 6 HVSR prova di sismica passiva;

Le n°6 sezioni **MASW** realizzate sono composte in linea generale da 12 ricevitori da 4.5 Hz spaziate 5 metri per un totale di 55 metri cadauna, mediante i quali sono state effettuate misure sismiche attive. Al centro di ogni stendimento MASW è stato realizzato una prova HVSR a sismica passiva con tempo di acquisizione di 30 minuti.

Le indagini geofisiche sono state realizzate in modo di avere la massima copertura possibile su tutta l'opera ed avere il maggior numero di parametri geofisici possibili.

Tutte le sezioni sono state oggetto di rilievo mediante GNSS (GPS) differenziale riportate sulla cartografia a disposizione.

In coda alla relazione nelle fig 1 - 30 sono riportate le risultanze dei 6 siti d'indagine dove sono state acquisiti MASW ed HVSR elaborati con tecnica congiunta.

## 2. AZIONE SISMICA

### 2.1 Categorie di suolo di fondazione

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ .

I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità  $V_s$  per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2. I valori di  $V_s$  sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1,H} \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni  $\epsilon < 10^{-6}$ ) dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti.

Ai fini della definizione della azione sismica di progetto si definiscono le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

C - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

	<b>LINEA ROMA - VITERBO</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CESANO – VIGNA DI VALLE</b>					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA NR1J	LOTTO 01	CODIFICA D 69 IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A

### 3. MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (M.A.S.W.)

L'analisi della propagazione delle onde superficiali entro il sottosuolo con la metodologia M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) per la determinazione della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) è stata effettuata mediante l'utilizzo di uno stendimento sismico di superficie composti da 24 geofoni da 4.5 Hz interdistanti 2.5 m per una lunghezza complessiva di 57.5 m; l'elaborazione, mediante software d'inversione, della prova sismica ha fornito un log di  $V_s$  posizionato al centro della sezione il quale permette di individuare eventuali variazioni verticali dei valori cinematici corrispondenti a variazioni delle caratteristiche meccaniche dei terreni indagati.

#### 3.1.1 Descrizione del metodo

Considerando un semispazio elastico, omogeneo ed isotropo, si dimostra che la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh è indipendente dalla frequenza e che il moto indotto dalla propagazione si smorza rapidamente con la profondità, sino ad estinguersi ad una profondità circa pari ad una lunghezza d'onda [Richart et al., 1970].

Ciò vuol dire che la profondità raggiunta dipende dalla lunghezza d'onda, e che, a diverse lunghezze d'onda corrisponde la stessa velocità di fase ( $V_R$ ).

In un mezzo verticalmente eterogeneo, costituito cioè da strati aventi proprietà meccaniche diverse, il comportamento delle onde superficiali è differente.

In particolare, la propagazione presenta un comportamento dispersivo (a frequenze diverse corrispondono diverse velocità di fase).

Ciò vuol dire che lunghezze d'onda diverse interessano strati diversi ai quali sono associate proprietà meccaniche differenziate: ogni lunghezza d'onda si propaga ad una velocità di fase che dipende dalle caratteristiche dello strato interessato dalla propagazione.

Quindi, nel caso di mezzo eterogeneo, le onde superficiali non hanno una singola velocità, ma una velocità di fase che è funzione della frequenza: tale fenomeno, dipendente dalla distribuzione spaziale delle proprietà sismiche del sottosuolo è noto come dispersione geometrica e la relazione che lega la frequenza alla velocità di fase prende il nome di curva di dispersione.

Alle alte frequenze, la velocità di fase coincide con la velocità delle onde di Rayleigh dello strato più superficiale, mentre, alle basse frequenze, l'effetto degli strati più profondi diventa importante, e la velocità di fase tende asintoticamente alla velocità dello strato più profondo come se questo fosse esteso infinitamente in profondità.

La curva di dispersione gioca un ruolo centrale nell'utilizzo delle onde di Rayleigh ai fini della caratterizzazione dei terreni; infatti, è funzione delle caratteristiche di rigidità del mezzo e, posto di riuscire a misurarla sperimentalmente, può essere utilizzata (come si vedrà più avanti) per un processo inverso avente come obiettivo la stima delle caratteristiche di rigidità stesse.

La propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo verticalmente eterogeneo, è un fenomeno multi-modale: data una determinata stratigrafia, in corrispondenza di una certa frequenza, possono esistere diverse lunghezze d'onda.

Di conseguenza, ad una determinata frequenza possono corrispondere diverse velocità di fase, ad ognuna delle quali corrisponde un modo di propagazione, e differenti modi di vibrazione possono esibirsi simultaneamente.

Il processo di caratterizzazione basato sul metodo delle onde superficiali, schematizzato nella figura qui di seguito presentata, può essere suddiviso in tre fasi:

- 1) Acquisizione;
- 2) Processing;
- 3) Inversione.

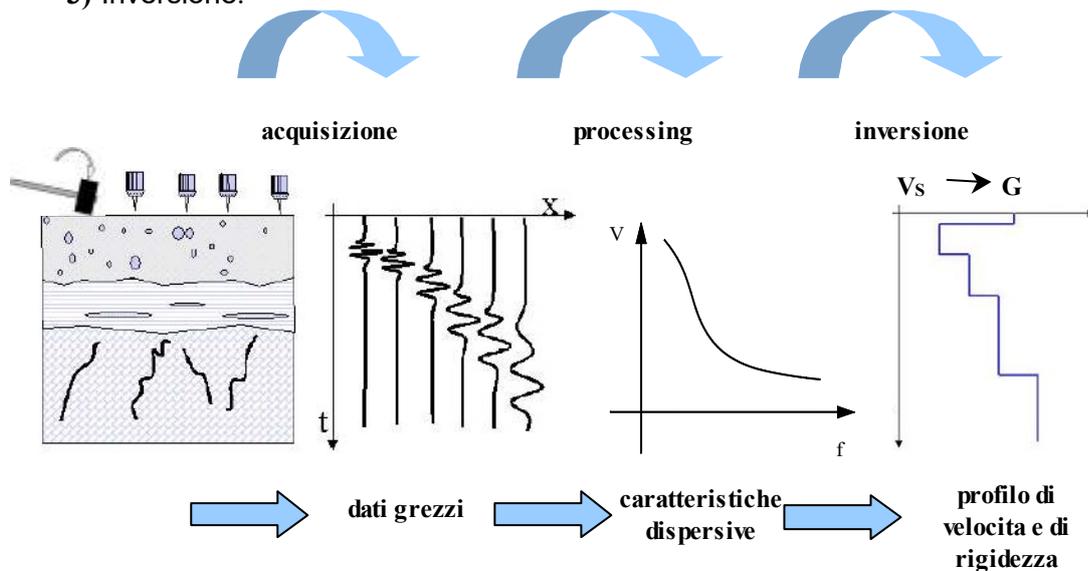


Fig. 3.1 Fasi del metodo delle onde superficiali (SWM).

I dati acquisiti, vengono sottoposti ad una fase di processing che consente di stimare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto ovvero, la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza.

Esistono diverse tecniche di processing per estrarre dai sismogrammi le caratteristiche dispersive del sito.

La metodologia più diffusa è l'analisi spettrale in dominio  $fk$  (frequenza-numero d'onda) [Strobbia, 2003].

La curva di dispersione ottenuta, viene successivamente utilizzata per un processo di inversione che fornisce come risultato finale il profilo verticale della velocità delle onde di taglio nel terreno e quindi una stima della rigidezza in funzione della profondità.

Quindi, le informazioni riguardanti la curva di dispersione sperimentale (associata a un mezzo le cui caratteristiche sono incognite) vengono sfruttate per affrontare il problema inverso della caratterizzazione: se le caratteristiche dispersive del sito possono essere valutate sperimentalmente, allora è possibile valutare le corrispondenti proprietà del terreno [Strobbia, 2002].

La risoluzione del problema inverso, deve essere preceduta da una parametrizzazione del sottosuolo, che viene di norma schematizzato come un mezzo visco-elastico a strati piano-paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati.

Come già sottolineato in precedenza, l'utilizzo di un modello monodimensionale è un'ipotesi che deve essere in linea di massima soddisfatta dal deposito di terreno per garantire la validità del risultato finale.

Il processo di inversione è iterativo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla base di metodi semplificati, ed eventualmente dalle informazioni note a priori riguardo la stratigrafia, il problema diretto viene risolto diverse volte variando i parametri che definiscono il modello.

Il processo termina quando viene individuato quel set di parametri di modello che minimizza la differenza fra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione simulata).

Usualmente, algoritmi di minimizzazione ai minimi quadrati vengono utilizzati per automatizzare la procedura.

### 3.1.2 Modalità di acquisizione

Le sezioni realizzate sono costituite da uno stendimento sismico di superficie composti da 24 geofoni da 4.5 Hz interdistanti 2.5 m per una lunghezza complessiva di 57.5 m.

Il sismografo utilizzato è un dispositivo modulare da 24 canali GEODE (Geometrics); l'intervallo di campionamento è stato selezionato a 0.5 millisecc e il tempo di registrazione è stato fissato in 2-3 secondi.

Il sistema di energizzazione utilizzato è stato un grosso martello strumentato lasciato cadere con forza al suolo. Sono state effettuate due serie di energizzazioni esterne allo stendimento sia dal lato del ricevitore 1 sia dal lato del ricevitore 24.

L'esecuzione di più registrazioni separate invece della tradizionale procedura di stacking dei dati in acquisizione consente, senza un sensibile incremento dei tempi di acquisizione, di effettuare una serie di controlli statistici sulla qualità dei dati. In particolare è possibile stimare l'incertezza sui punti della curva di dispersione e verificare che l'ipotesi di monodimensionalità sia rispettata dal sito.

### 3.1.3 Elaborazione dati e stima della curva di dispersione

La fase di processing è quella che segue l'acquisizione dei dati grezzi e permette di stimare, a partire dai sismogrammi acquisiti, le caratteristiche dispersive del sito, ovvero la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza del segnale sismico (curva di dispersione sperimentale).

Il software utilizzato per l'elaborazione dei dati è stato **GEOPSY “GEOPhysical Signal database for noise arraY processing” (ISTerre Grenoble, France)<sup>TM</sup>**.

I dati vengono trasformati in dominio  $f_k$  (frequenza-numero d'onda) tramite una doppia trasformata di Fourier e la curva di dispersione è ricavata con un algoritmo di ricerca dei massimi spettrali (ai quali è associata per l'appunto la propagazione delle onde di Rayleigh).

Qui di seguito si presenta un esempio dei vari steep del processing dei dati acquisiti lungo i vari stendimenti; qui di seguito viene riportato inizialmente esempio di registrazione dagli estremi dello stendimento nella stringa in alto sono presenti i nomi dei due sismogrammi registrati (in questo caso 610501 e 610502. Lo spettro  $f_k$  e la curva di dispersione.

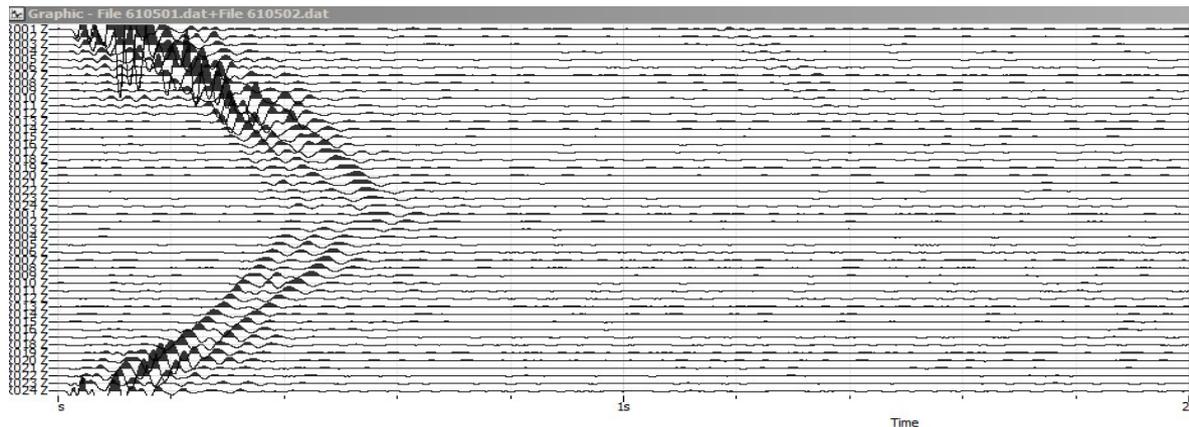


Fig. 3.2 – Esempio di registrazione MASW

Qui di seguito per lo stessa registrazione è riportato il dettaglio dello spettro FK e la curva di dispersione

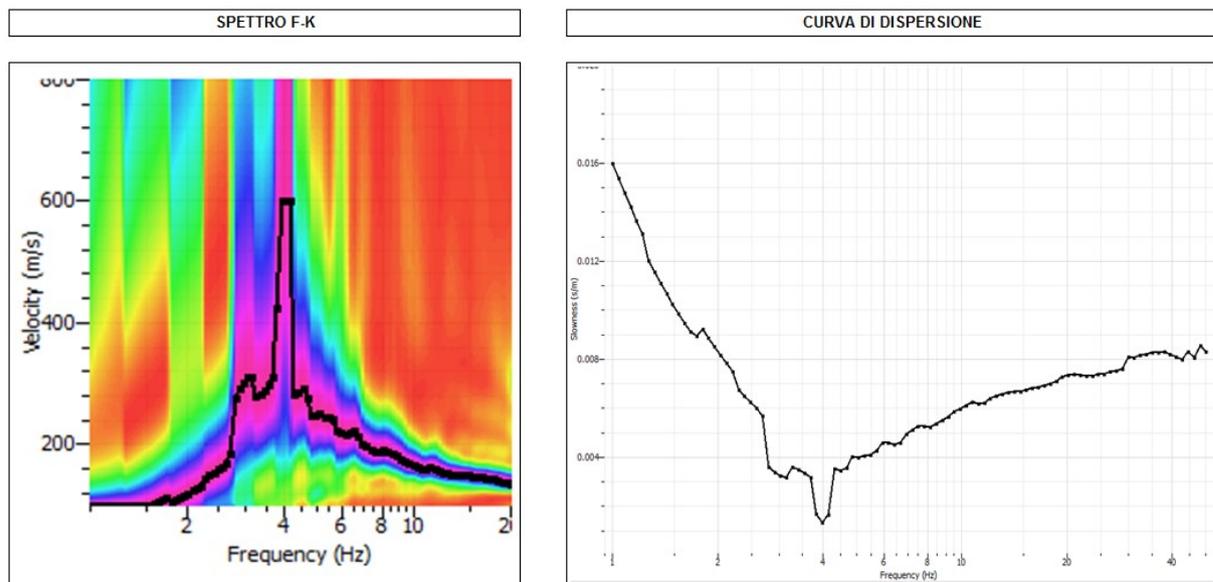


Fig. 3.3 – Spettro FK e Curva di dispersione

Un confronto tra varie curve di dispersione può denotare differenze tra le stesse che possono essere imputate a varie cause quali eventuali variazioni di quota dei geofoni o, in secondo luogo, a variazioni laterali, lungo lo stendimento, delle caratteristiche meccaniche del sottosuolo.

Analizzando poi le curve di dispersione si possono altresì notare la presenza di diversi modi di vibrazione; l'energia cioè tende a propagarsi maggiormente sul modo fondamentale verso basse frequenze oppure secondo modi più elevati di vibrazione.

Lo spettro fk può poi mettere in evidenza un intervallo di frequenze significativamente ampio; a seconda dei casi, è possibile una concentrazione di energia verso varie frequenze o, dall'altro lato, una propagazione di energia che presenta un livello simile.

Dall'analisi della curva di dispersione ottenuta, si può poi risalire alla determinazione delle caratteristiche dei terreni investigati. Mediante l'interpolazione di un certo numero di curve che si avvicinano sempre più a quella ottenuta. Nel grafico sottostante è visibile solo la curva che si avvicina nel modo migliore a quella calcolata nel grafico FK.

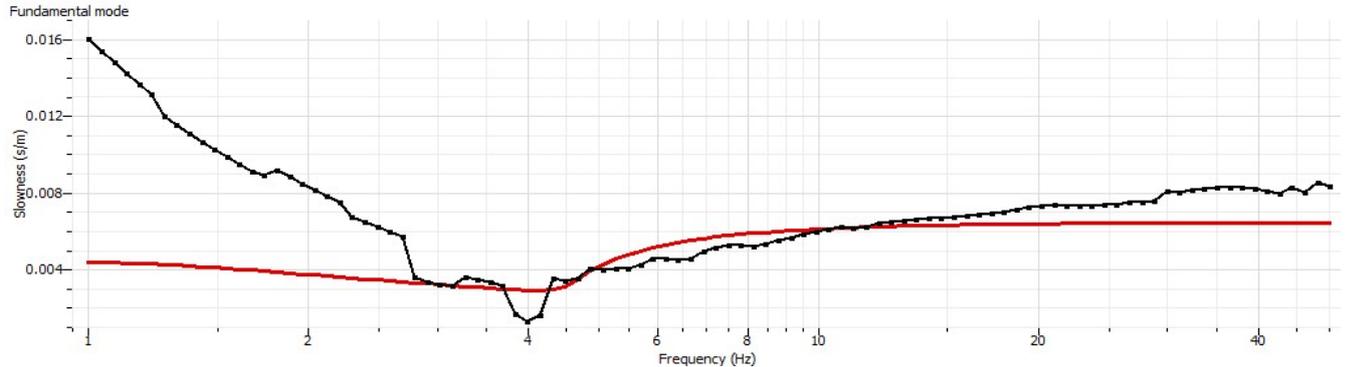


Fig. 3.4 – Inversione numerica

Analogamente è possibile ottenere anche la curva di migliore convergenza dei singoli modelli della prova HVSR (illustrata nel capitolo successivo)

Il software calcola poi il miglior modello di velocità delle onde di taglio nella zona indagata vincolando ogni singolo modello alle due curve descritte precedentemente.

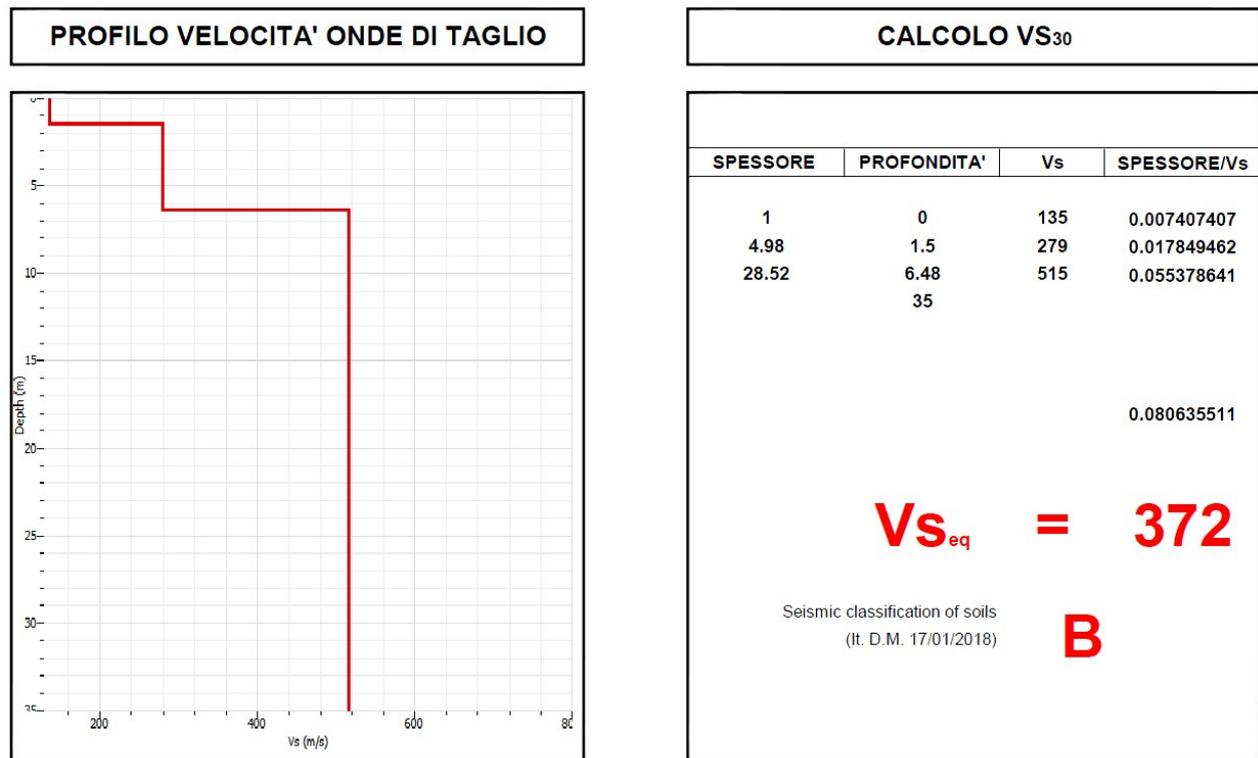


Fig. 3.5 – Log  $V_{s_{eq}}$

Come accennato in precedenza, l'inversione è l'ultima delle tre fasi che caratterizzano il metodo delle onde superficiali e consente di ottenere, a partire da un profilo di primo tentativo e da una curva di dispersione sperimentale (effettivamente una curva per l'indagine MASW e una curva per l'indagine HVSR) ricavata in sito, un modello stratigrafico finale.

A fianco del modello è riportato anche il calcolo dei valori di  $V_{s_{eq}}$  con la classificazione sismica del suolo secondo le normative vigenti

## 4 INDAGINI DI SISMICA PASSIVA

### 4.1 Metodologia HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

#### 4.1.1 Generalità

La metodologia, chiamata anche tecnica di Nakamura (1989), è stata introdotta da Nogoshi e Igarashi (1971) sulla base degli studi di Kanai e Tanaka (1961).

Questa tecnica si basa essenzialmente sul rapporto spettrale H/V di rumore ambientale (seismic noise) e permette di valutare gli effetti locali di sito.

La tecnica proposta da Nakamura assume che i microtremori (il cosiddetto rumore di fondo registrabile in qualunque momento posizionando un sensore sismico sul terreno) consistano principalmente di un tipo di onde superficiali, le onde di Rayleigh, che si propagano in un singolo strato sofficie su semispazio e che la presenza di questo strato sia la causa dell'amplificazione al sito.

Per l'applicazione e l'interpretazione di questa tecnica è fondamentale una buona conoscenza dell'ingegneria sismologica combinata con un background di informazioni relative alle caratteristiche geologiche, geofisiche e geotecniche del sito.

Questa tecnica presenta il vantaggio di poter essere adoperata pressoché ovunque, purché siano garantite l'assenza di forti vibrazioni indotte da attività umane nelle vicinanze del punto di misura.

Il metodo è generalmente applicato per studi di microzonazione e per valutare la risposta sismica locale.

Questa tecnologia è stata oggetto del progetto di ricerca SESAME (Site EffectS assessment using Ambient Excitations) ed a questo si rimanda per le linee guida della tecnica H/V spectral ratio (<http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>).

La sismica passiva a stazione singola fornisce informazioni sui terreni di indagine relativamente alle frequenze naturali e di risonanza.

#### 4.1.2 Basi teoriche

Le basi teoriche dell'HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D) è abbastanza semplice.

Si consideri un sistema in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità ( $\rho_1$  e  $\rho_2$ ) 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, e questa una volta riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente ( $\lambda$ ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore  $h$  del primo strato.

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

$$f_r = V_{p1}/(4h)$$

mentre quella relativa alle onde S è:

$$f_r = V_{s1}/(4h)$$

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

Questo, insieme ad una stima della velocità, è in grado di fornire previsioni sullo spessore  $h$  degli strati.

Questa informazione è per lo più contenuta nella componente verticale del moto, ma la prassi di usare il rapporto degli 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 e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

La normalizzazione, che rende più semplice l'interpretazione del segnale, è alla base della popolarità del metodo.

Si rileva inoltre come i microtremori siano solo in parte costituiti da onde di volume, P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh (Lachet e Bard, 1994).

Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S.

L'applicabilità pratica della semplice formula sopra riportata relativa alle onde S è stata già dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica sia nell'ambito ingegneristico.

Poiché la situazione illustrata è tipica delle coltri sedimentarie sovrastanti basamenti rocciosi, il metodo HVSR è parso immediatamente applicabile alla determinazione dello spessore delle coltri sedimentarie (Ibs-Von Seht e Wohleberg, 1999).

#### **4.1.3 Attrezzature e modalità esecutive**

La misura prevede la registrazione, senza utilizzo di alcun strumento di energizzazione del terreno, del microtremore sismico ambientale nel dominio del tempo, sulle tre componenti dello spazio attraverso il posizionamento di adeguati strumenti sismometrici costituiti da sensori tridimensionali.

Per queste misure è sconsigliato l'impiego di accelerometri, non sufficientemente sensibili a frequenze inferiori a 1 Hz, né di accelerometri sismologici.

Essendo la stabilità una caratteristica fondamentale non sono impiegabili sismometri broadband con periodo naturale  $> 20$  sec. in quanto richiedono lunghi tempi di stabilizzazione, come non sono raccomandabili sensori con frequenza naturale inferiore alla più bassa frequenza di interesse.

Indicativamente, la frequenza di sito è funzione diretta della vicinanza del bedrock dalla superficie topografica e della rigidità dei materiali.

Per l'installazione lo strumento di misura dovrà essere orientato secondo le direzioni geografiche (E e W) e dovrà essere dotato di bolla sferica per il posizionamento mentre l'accoppiamento con la superficie dovrà essere diretto o assicurato con piedini o puntazze in terreni morbidi.

Bisognerà altresì fare attenzione alla presenza di radici, sottoservizi, vicinanza edifici, vento ecc., in quanto creano disturbo nel segnale H/V inducendo una forte perturbazione a bassa frequenza.

Per uno studio di risposta di sito è consigliabile effettuare almeno tre misure per punto, possibilmente in tempi diversi durante la giornata, da cui derivare il valore di frequenza di risonanza.

La strumentazione di acquisizione presenta le seguenti specifiche:

1. trasduttori tricomponenti (N-S, E-W, verticale) a bassa frequenza ( $< 1-2$  Hz);
2. amplificatori;
3. digitalizzatore;

4. frequenza di campionamento: > 50 Hz;
5. convertitore A/D (analogico digitale) a 24 bit;
6. durata registrazione: >10 minuti;
7. collegamento al tempo GPS per la referenziazione temporale.

#### 4.1.4 Elaborazione dati

L'elaborazione dei dati raccolti impiega un software (**Geopsy**) in grado di consentire la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo mediante la tecnica dei rapporti spettrali secondo le linee guida del progetto europeo SESAME (Site EffectS assessment using Ambient Excitations, 2005).

Il processing dei dati verte sul rapporto spettrale tra il segnale del sensore verticale e quelli orizzontali operando su finestre di selezione del segnale che dovranno essere non meno di 10 per un segnale complessivo utile non inferiore a 200-400 secondi.

I principali passi del processing sono i seguenti:

1. FFT (incluso il tapering);
2. operatore di smoothing (Konno & Ohmachi);
3. merging dei componenti orizzontali;
4. H/V Spectral Ratio per ogni finestra utilizzata (>10);
5. media degli spettri H/V;
6. valutazione della deviazione standard.

Le risultanze dell'elaborazione sono presentate mediante graficazione dei rapporti spettrali H/V delle varie componenti indicando il massimo del rapporto HVSR nel valore di  $f_0$  – Frequenza/e di risonanza e la sua deviazione standard.

Il certificato finale della prova presenta:

(<http://www.geo.uib.no/seismo/REPORTS/SESAME/USER-GUIDELINES/SESAME-HV-User-Guidelines.doc>):

1. i criteri di attendibilità della misura;
2. i criteri di validità del picco di  $f_0$ ;
3. i valori di soglia delle condizioni di stabilità;
4. l'analisi dei criteri in particolare con verifica rispetto alla frequenza del sensore ed alla presenza di rumore di origine industriale;
5. l'interpretazione di  $f_0$  e dello spettro H/V nei termini di caratteristiche del sito.

Per gli scopi e finalità dell'indagine le misure HVSR offrono la possibilità di determinare la valutazione dell'omogeneità del sito rispetto alle frequenze di risonanza e spessori della coltre di copertura.

#### Frequenze

Per quanto riguarda la mappatura delle frequenze principali di risonanza, tale elaborazione permette di valutare il grado di omogeneità sulla risposta di sito relativamente alle frequenze dei materiali.

L'analisi di queste permette di definire il campo delle frequenze significative di risonanza da utilizzare direttamente nella progettazione degli edifici.

#### Spessori<sup>1</sup>

L'assunzione di base è che, per un modello di sottosuolo monodimensionale (stratificazione piana e parallela) costituito da sedimenti soffici sovrastanti il substrato, la frequenza di risonanza

<sup>1</sup> Ibs-von Seht M. and Wohlenberg J. (1999). Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments. Bull. Seism. Soc. Am., 89 (1): 250-259.

Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, QR Railway Tech. Res. Inst., 30: 25-33.

$f_r$  dovuta alla propagazione di onde S incidenti perpendicolarmente la base del substrato è data dalla relazione:

$$f_r = \frac{V_s}{4Z}$$

dove Z è lo spessore dello strato di sedimenti e  $V_s$  dipende dalla velocità delle onde di taglio al suo interno.

In base a tale relazione, quindi, a partire da valori misurati di  $f_r$  e  $V_s$  ricavati è possibile stimare lo spessore della coltre sedimentaria di un bacino.

Tuttavia, non essendo sempre presente la misura di  $V_s$  come profilo sismico fino al bedrock geofisico, allora si può far riferimento alla relazione di Ibs-von Seht e Wohlenberg (1999).

Poiché l'andamento del log in  $V_s$  in terreni sedimentari è principalmente regolato dall'incremento del modulo di rigidezza al crescere della pressione di confinamento e quindi della profondità, a partire dai valori di  $V_s$  per la porzione più superficiale del terreno, è possibile estrapolare l'andamento delle  $V_s$  a profondità più elevate tramite l'impiego di relazioni empiriche.

A questo scopo, Ibs-von Seht e Wohlenberg (1999) suggeriscono la seguente funzione:

$$V_s = V_0 (1 + Z)^a$$

dove  $V_0$  è la velocità al tetto dello strato ed  $a$  un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.).

Questa relazione, combinata con la precedente, consente infatti la stima dello spessore della coltre di sedimenti soffici:

$$Z = \left[ \frac{V_0(1-a)}{4f_r} + 1 \right]^{1/(1-a)} - 1$$

Nei casi più complessi è possibile invertire le curve HVSR creando una serie di modelli teorici da confrontare con quello sperimentale fino a considerare ottimale il modello teorico più prossimo alle curve sperimentali.

Per l'inversione delle curve si può far riferimento alle procedure descritte in Arai e Tokimatsu (2004)<sup>2</sup> usando il modo fondamentale delle onde di Rayleigh e Love.

Per ogni prova Masw è stata realizzata n° 1 misure di noise ambientale con tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) su stazione singola allo scopo di valutare la frequenza di sito.

Su ogni prova è possibile notare se mostrano una attendibilità<sup>3</sup> della misura della frequenza di risonanza (i primi tre check dei certificati sono validi) ed anche se i criteri di chiarezza per picco HVSR non sempre sono ben definiti; questo ad indicare che l'inversione della misura del rumore sismico porta ad un sistema geofisico multistrato e non ad una sola interfaccia come confermato dalle prove dirette in sito ((Criteri Sesame).

I grafici relativi alle singole stazioni di misura sono riportati al termine della relazione.

<sup>2</sup> Arai H. e Tokimatsu, 2004. S-Wave Velocità Profilino by Inversion of Microtremor H/V Spectrum. Bull. Seismol. Soc. Am., 94, p. 53-63

<sup>3</sup> Per l'attendibilità si fa riferimento alle specifiche SESAME (2005)

## 5. INDICAZIONI GENERALI SULLA ELASTICITÀ DEI MATERIALI

### 5.1. Generalità

L'elasticità di un corpo dipende soprattutto da tre fattori: isotropia, omogeneità e continuità.

Per isotropia si intende uguaglianza delle proprietà vettoriali di un corpo in tutte le direzioni; per omogeneità si intende la distribuzione spaziale uniforme dei vari costituenti del materiale nella sua struttura interna; per continuità si intende l'assenza di interruzioni nei legami che uniscono tra loro i vari costituenti del materiale.

Da ciò si deduce che l'elasticità non può essere che una schematizzazione teorica perché nessun corpo reale può rispondere ai requisiti richiesti di isotropia, omogeneità e continuità.

Nei corpi reali ogni deformazione provoca nell'interno un assetamento strutturale che è irreversibile, per cui non ci può essere un recupero istantaneo e totale della deformazione al cessare della sollecitazione.

Tuttavia questa schematizzazione teorica può avere una sua validità reale se considerata entro certi limiti di intensità e durata dell'applicazione della sollecitazione.

Nel campo delle indagini sismiche con generazione di onde p ed s tutti i materiali rientrano nel campo delle deformazioni elastiche essendo sia l'intensità della forza applicata ed il tempo in cui questa agisce ridotta ad alcuni millisecondi.

Le onde sismiche si propagano nell'interno della terra con velocità, frequenza e ampiezza che dipendono dalle proprietà elastiche delle rocce.

### 5.2. Principi sulla elasticità

Vengono qui di seguito richiamati alcuni principi sulla elasticità per comprendere le relazioni che legano le velocità delle onde sismiche alle caratteristiche elastiche dei materiali.

Si definisce come *sforzo*  $S$  il rapporto tra la forza applicata ad una piccola superficie e l'area di tale superficie.

Se la forza viene applicata normalmente all'area lo sforzo è di *trazione* o di *compressione* se in direzione opposta.

Quando invece la forza è parallela all'area lo sforzo è *tangenziale* o di *taglio*.

Lo sforzo di compressione provoca un accorciamento del corpo, quello di trazione un allungamento e quello di taglio una deformazione angolare.

La *deformazione longitudinale* ( $\epsilon_i$ ) è il rapporto tra l'allungamento (o l'accorciamento) e la lunghezza originale del corpo.

L'angolo di cui ruota il corpo in seguito ad uno sforzo di taglio è la *deformazione tangenziale* ( $\epsilon_\omega$ ).

Per piccole deformazioni, lo sforzo longitudinale è proporzionale alla deformazione  $\epsilon_i$ , e la costante di proporzionalità è il *Modulo di Young* o di *Elasticità normale*.

Lo stesso dicasi per lo sforzo di taglio la cui deformazione tangenziale è proporzionale al *Modulo di Taglio* o di *Rigidità*.

Se lo sforzo viene applicato tridimensionalmente (lungo tutti tre gli assi cartesiani) applicando una pressione idrostatica uniforme si avranno componenti dello sforzo uguali e la deformazione sarà rappresentata da una variazione di volume indicata numericamente dal coefficiente di compressibilità  $\sigma$ , inversamente, dal *Modulo di Compressibilità* o *Modulo di Volume*.

Da un punto di vista bidimensionale, uno sforzo di trazione o compressione, causa sia un allungamento o raccorciamento e contemporaneamente una contrazione o dilatazione; la costante che lega tali variazioni è il *coefficiente di Poisson*.

### 5.3. Parametri elastici

Per la caratterizzazione del sito e del terreno in esame, specialmente in termini di deformabilità dei materiali in associazione ai dati geotecnici ricavati dalle prove geomeccaniche, può essere opportuno fornire al Progettista altri parametri (oltre ai singoli valori di velocità sismica) contemporaneamente alla rilevazione delle velocità di propagazione delle onde sismiche ( $V_p$  e  $V_s$ ) nel sottosuolo.

Si tratta dei Moduli elastici dinamici del terreno i quali possono contribuire ad una migliore definizione dei carichi e delle spinte da parte del manufatto sul terreno di fondazione.

Attraverso la determinazione sia delle velocità delle onde di compressione sia delle velocità delle onde di taglio è possibile ricavare vari parametri (per ulteriori dettagli si veda, tra i più recenti, "The rock physics handbook – tools for seismic analysis in porous media" di G. Mavko, T. Mukerji e J. Dvorkin, Cambridge University Press, UK, pp. 1-329, 1998);

- Coefficiente di Poisson ( $\nu$ )
- Peso di volume ( $\gamma_{din}$ )
- Modulo di Elasticità dinamico ( $E_{din}$ )
- Modulo di Taglio dinamico ( $G_{din}$ )
- Modulo di Compressibilità dinamico ( $K_{din}$ )

Le formule utilizzate per il calcolo dei parametri elastici, in funzione di  $V_p$ ,  $V_s$  sono le seguenti:

Coefficiente di Poisson  $\nu = \frac{V_p^2 - 2 \cdot V_s^2}{2 \cdot (V_p^2 - V_s^2)}$

Peso di volume  $\gamma_{din} = 0.51 \cdot V_p^{0.19} \text{ m/sec}$  ( $\gamma_{din}$  in  $T/m^3$ )

Densità geofisica  $\delta_{din} = \frac{\gamma}{g}$  ( $g = 9.8$  – accelerazione di gravità m/sec)

Modulo di Elasticità  $E_{din} = V_p^2 \cdot \delta_{din} \cdot \frac{(1-\nu) \cdot (1-2\nu)}{(1-\nu)}$  ( $E_{din}$  in  $Kg/cm^2$ )

Modulo di Taglio  $G_{din} = \delta_{din} \cdot V_s^2$  ( $G_{din}$  in  $Kg/cm^2$ )

Modulo di Compressibilità  $K_{din} = \frac{E_{din}}{3 \cdot (1-2 \cdot \nu)}$  ( $K_{din}$  in  $Kg/cm^2$ )

Per gli scopi dell'indagine uno dei parametri più significativi per identificare le possibili deformazioni dell'ammasso può essere rappresentato dal Modulo di Taglio dinamico; il *Modulo di*

*Taglio* o di *Rigidità*  $G_{din}$  definisce la *deformazione tangenziale* di un corpo, intesa come l'angolo di cui ruota il corpo stesso in seguito ad uno sforzo di taglio.

Anche il *coefficiente di Poisson* può ben identificare lo stato di consistenza e deformabilità del materiale d'ammasso; tale parametro può presentare un range di variazione compreso tra un massimo di 0.5 ed un minimo di 0.

Le indicazioni seguenti fanno riferimento a valori caratteristici del parametro sempre consci che il sistema geologico non è mai né isotropo né perfettamente elastico oltre ad essere multifase (solido, acqua e gas).

Valori di Poisson di 0.5 sono caratteristici di materiali che si deformano senza cambiamenti di volume (es. acqua), valori leggermente inferiori (0.47 - 0.498) sono tipici di argille o materiali molto saturi; valori inferiori sono indicativi di materiali da poco consolidati a sovraconsolidati; per le rocce si presentano range di variazioni molto ampi collegati in particolare sia al grado di fratturazione sia alla presenza di cavità, stratificazioni e litologie e comunque tra (0.46 e 0.20).

E' importante sottolineare che i moduli dinamici risultano comunque sempre più elevati di quelli statici forniti da prove di carico in situ in quanto gli impulsi sismici sono di breve durata e le sollecitazioni ad essi associate sono relativamente modeste e rientrano nel campo delle deformazioni istantanee.

## 6 CONCLUSIONI

Per la caratterizzazione sismica dei suoli in cui si dovranno realizzare le opere di raddoppio della linea si sono eseguite, in questa fase, indagini geofisiche per determinare il profilo di velocità delle onde di taglio.

Le indagini geofisiche, eseguite sulla linea ferroviaria Roma Viterbo, sono costituite da indagini MASW ed al centro di ogni stendimento una misura HVSR.

Le indagini geofisiche hanno consentito di determinare le frequenze di sito e la velocità delle onde di taglio per circa 30 metri dal piano campagna.

La caratterizzazione dei materiali in oggetto può quindi soddisfare i requisiti relativi alla entrata in vigore del nuovo decreto ministeriale.

I terreni interessati dalle strutture presentano valori di  $V_{s_{eq}}$  ricavabili al termine di ogni certificato di prova negli allegati grafici al piede della relazione.

In particolare si può desumere che tutte le prove realizzate hanno intercettato a profondità variabile da pochissimi metri (MASW 5) fino a circa 20 metri dal piano campagna livelli di materiale ad alta velocità delle onde di taglio (>500 m/sec) molto probabilmente tale materiale è di origine vulcanica e può presentare gradi di fratturazione variabili.

Tutte le indagini effettuate mostrano tale caratteristica a parte il MASW 4 che presenta una diminuzione repentina della velocità fino a valori di circa 200 m/sec ad una profondità di 35 -40 metri associabile a litologie decisamente più fini o a materiali lapidei molto fratturati

Non è stato possibile determinare la profondità e quindi la potenza di tali coltri in quanto le indagini realizzate non hanno raggiunto profondità superiori a 50 metri circa

**PROGEO S.r.l.**

Dott. Gabriele Pulelli



Hanno collaborato:  
Dott. Andrea Fabbri  
Dott. Maurizio Furani

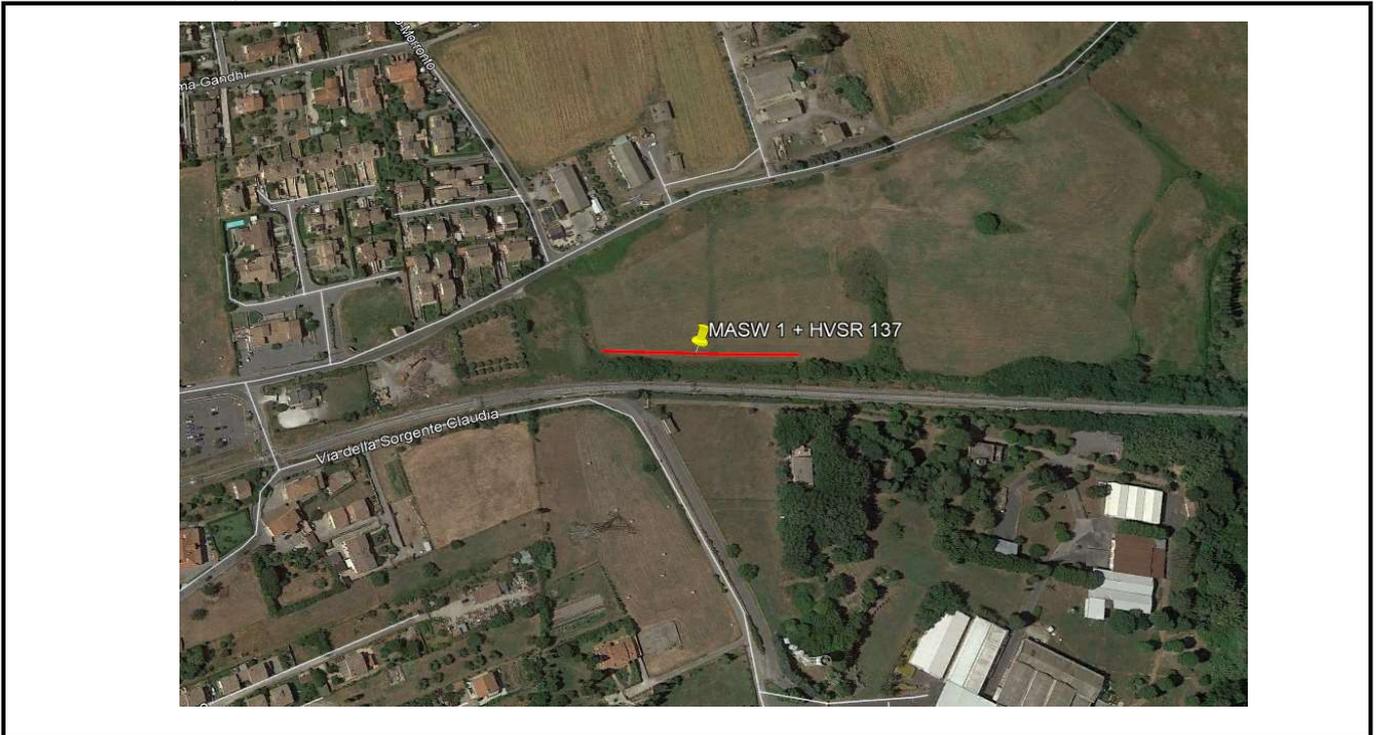
# MAPPA INDAGINE CONGIUNTA MASW E HVSR

**Committente:** ITALFERR  
**CODICE LAVORO:** 1982-03  
**CODICE PROVA:** MASW 1+HVSR137

**LOCALITA':** ACQUA CLAUDIA  
**DATA PROVA:** 29/10/2019  
**LONGITUDINE:** 12.299665°  
**LATITUDINE:** 42.068544°  
**QUOTA (m. s.l.m.):** 166

**STRUMENTAZIONE** SARA SL 06  
**TERRENO DI MISURA:** Naturale  
**ACCOPIAMENTO:** Appoggiato al terreno  
**ORIENTAMENTO:** Nord  
**CONDIZIONI METEO:** Nuvoloso

## FOTO AEREA (Google Earth)



## FOTO AREA DI INDAGINE



# RAPPORTO SPETTRALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

**Committente:** ITALFERR

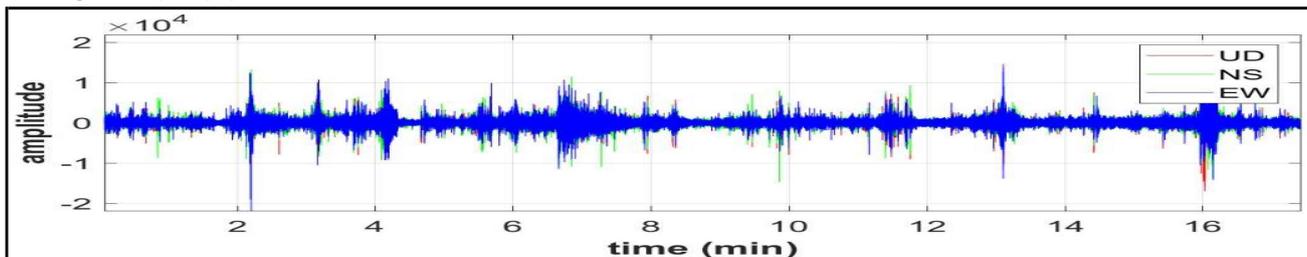
**CODICE LAVORO:** 1982-03  
**CODICE PROVA:** MASW 1+HVSR137

**LOCALITA':** ACQUA CLAUDIA  
**DATA PROVA:** 29/10/2019

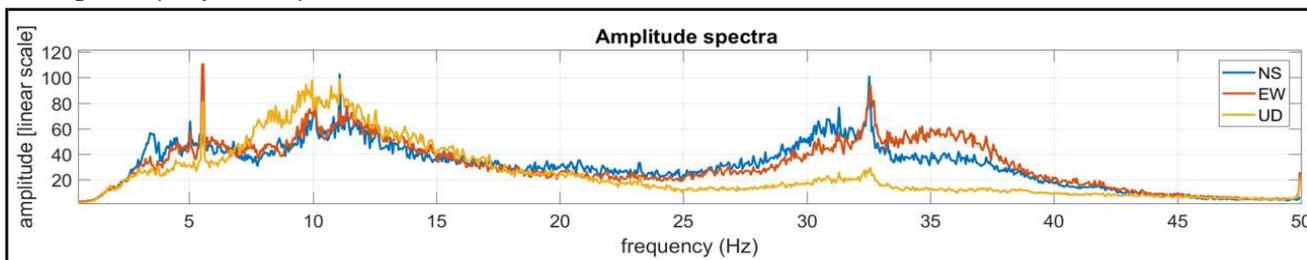
PARAMETRI DI ACQUISIZIONE	
Apparecchiatura di misura	SARA SL 06
Lunghezza registrazione	20 min
Fine registrazione	15:15:00
Frequenza di campionamento	200 Hz

PARAMETRI DI ELABORAZIONE	
Sampling frequency (Hz):	100
Window length (sec):	20
Minimum frequency soundly determined [10 cycles]:	0.5Hz
Length of analysed dataset (min):	20.0
Tapering (%):	5
Smoothing (%):	15

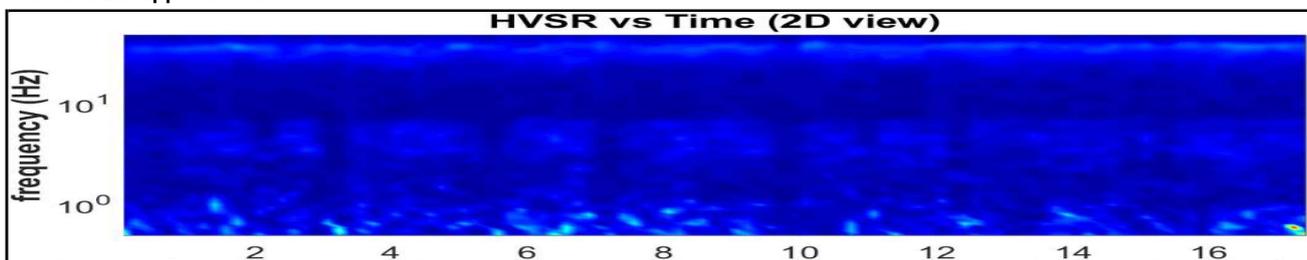
## Sismogrammi (Tempo)



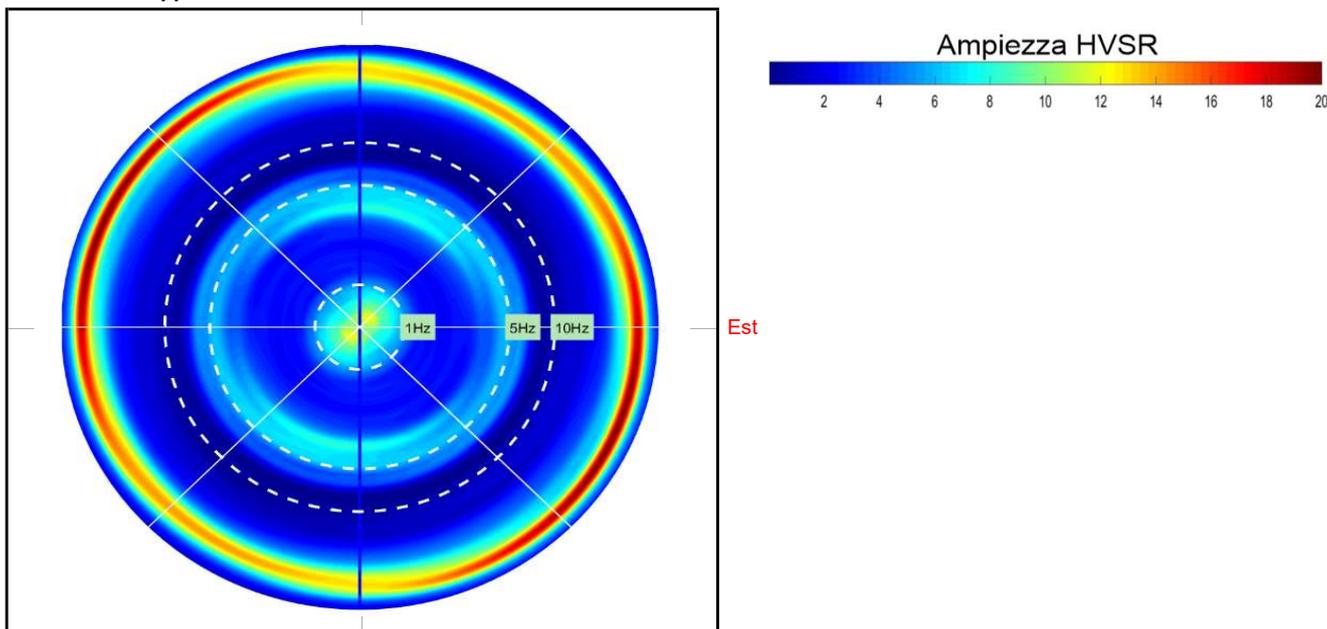
## Sismogrammi (Frequenza Hz)



## Persistenza rapporto HVSR



## Direzionalità rapporto HVSR



# RAPPORTO SPETTRALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

Committente:

ITALFERR

CODICE LAVORO  
CODICE PROVA

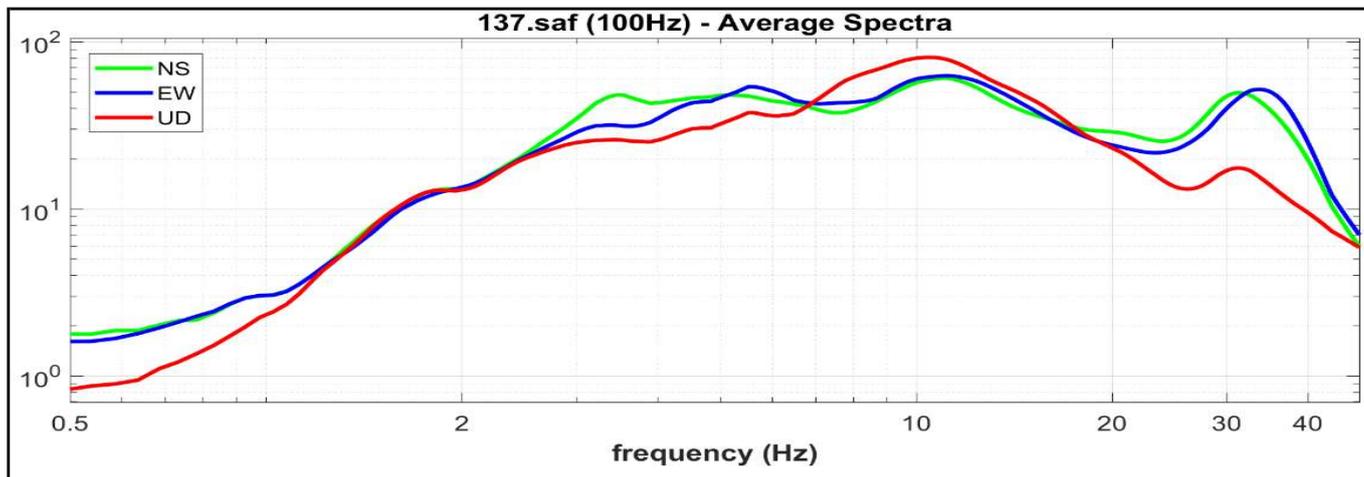
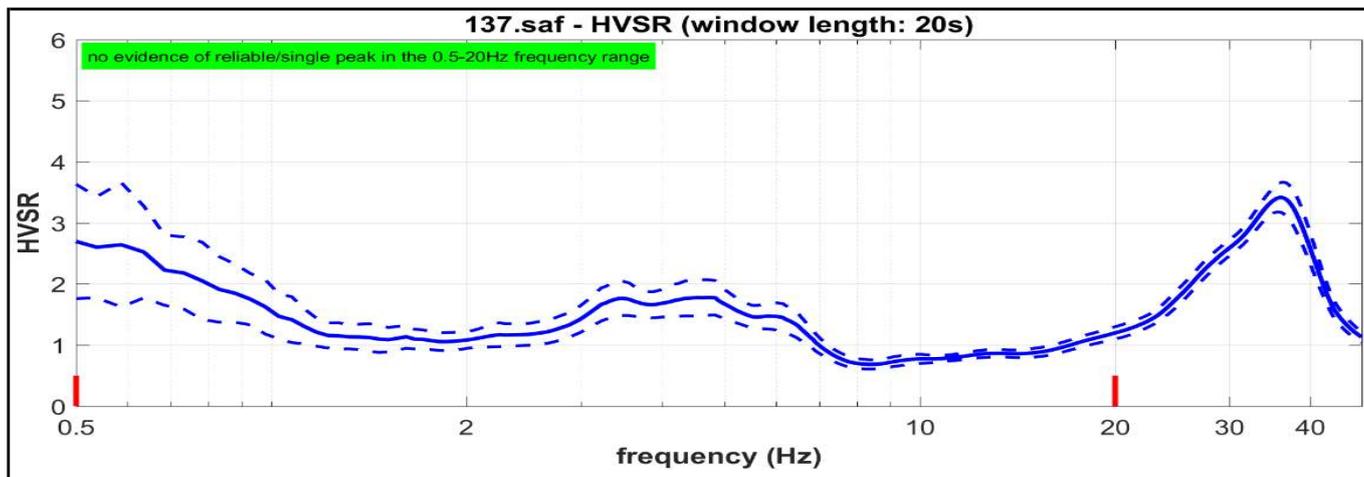
1982-03  
MASW 1+HVSR137

LOCALITA':  
DATA PROVA:

ACQUA CLAUDIA  
29/10/2019

## RAPPORTO SPETTRALE H/V

Max HVSR 0.489 ± 1.0 Hz. A0 = 2.7 ± 0.8



### Criteri per una curva H/V affidabile

[tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

f0 (Hz)	0.489	
Lw (Sec)	20	
nw	104	
#1. [f0 > 10/Lw]: 0.489 < 0.5		☒
#2. [nc > 200]: 1026 > 200	☑	
#3. [f0 < 0.5Hz; sigmaA(f) < 3 for 0.5f0 < f < 2f0]	☑	

### Criteri per un picco H/V chiaro

[almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

#1. [exists f- in the range [f0/4, f0]   AH/V(f-) < A0/2]:		☒
#2. [nc > 200]: 1026 > 200	☑	
#3. [A0 > 2]: 2.7 > 2	☑	
#4. [fpeak[Ah/v(f) ± sigmaA(f)] = f0 ± 5%]:		☒
#5. [sigmaAf < epsilon(f0)]: 0.999 > 0.098		☒
#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 66.520 < 2.5		☒

Lw	Window length
nW	Number of windows used in the analysis
nc = Lw nW f0	Number of significant cycles
f	Current frequency
f0	H/V peak frequency
σf	Standard deviation of H/V peak frequency
ε(f0)	Threshold value for the stability condition σA(f) < ε(f0)

A0	H/V peak amplitude at frequency f0
AH/V(f)	H/V curve amplitude at frequency f
f-	Frequency between f0/4 and f0 for which AH/V(f-) < A0/2
f+	Frequency between f0 and 4f0 for which AH/V(f+) < A0/2
σA(f)	Standard deviation of AH/V(f), σA(f) is the factor by which the mean AH/V(f) curve should be multiplier or divided
σlogH/V(f)	Standard deviation of log AH/V(f) curve
θ(f0)	Threshold value for the stability condition σA(f) < θ(f0)

☑ Criterio soddisfatto  
☒ Criterio non soddisfatto

In accordo con SESAME Guidelines 2005

# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**Committente:**

**ITALFERR**

**CODICE LAVORO**  
**CODICE PROVA**

1982-03  
MASW 1+HVSR137

**LOCALITA':**  
**DATA PROVA:**

ACQUA CLAUDIA  
29/10/2019

**STRUMENTAZIONE**  
**N°CANALI**  
**SPACING**

Geometrics GEODE  
10  
da 1 a 5 m

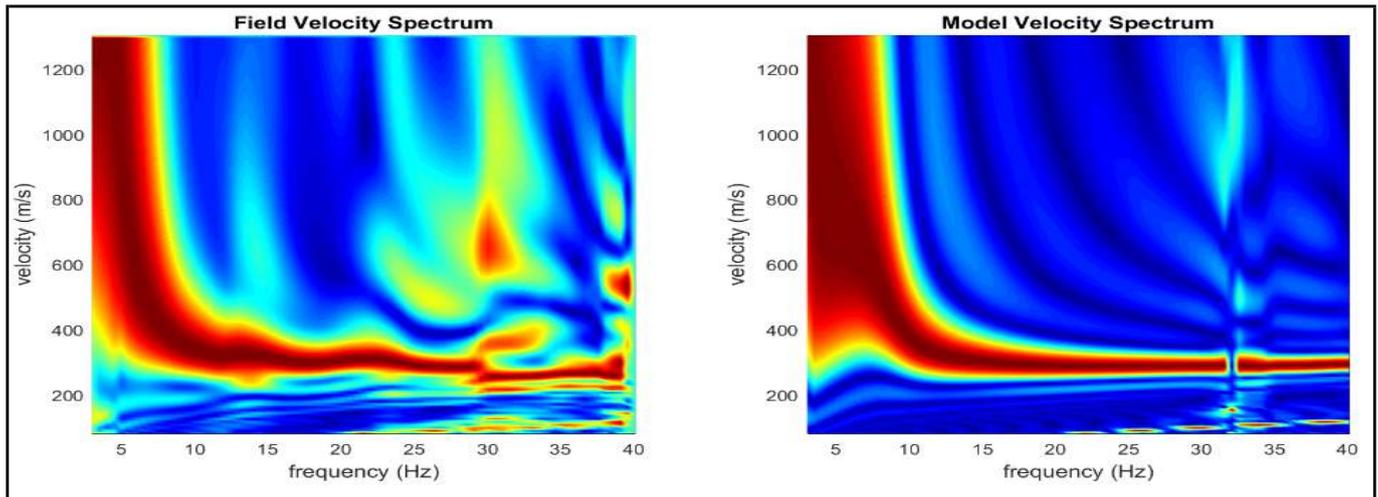
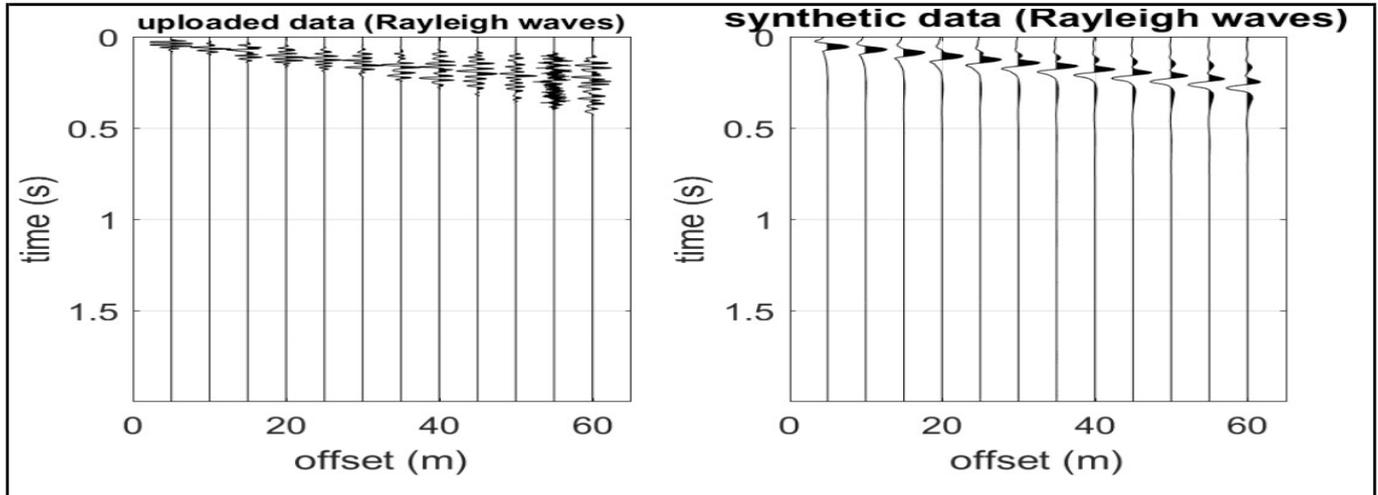
**RECORD TIME (Sec)**  
**SAMPLING (Sec)**

5  
0.5

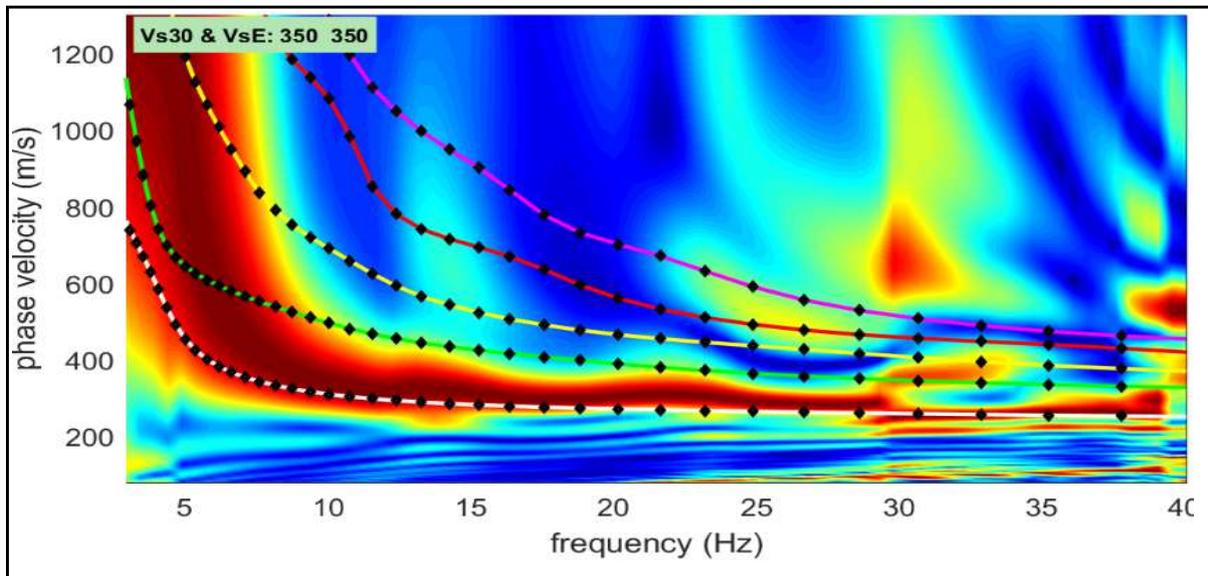
**MISURA ESEGUITA CON**  
**ACQUISIZIONE DI:**

Acquisizione onde di Rayleigh  
Acquisizione onde di Love

Utilizzo di geofoni verticali da 4.5 Hz  
Utilizzo di geofoni orizzontali da 4.5 Hz



**VELOCITY SPECTRUM - MODELLING & PICKING**



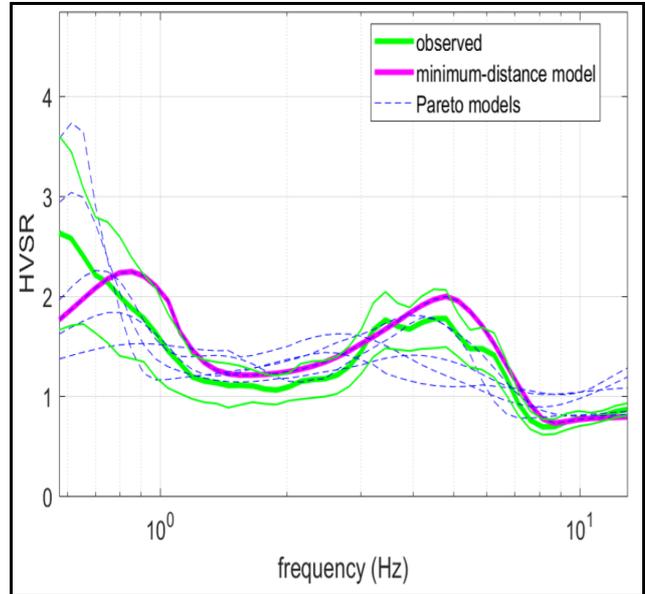
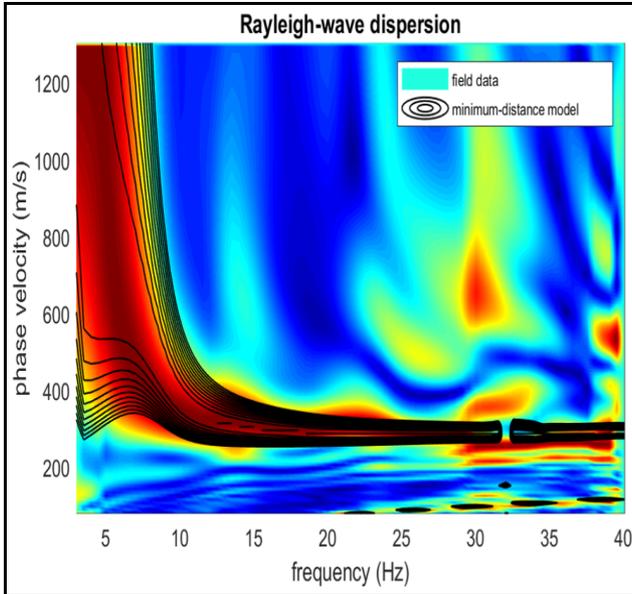
# ANALISI CONGIUNTA INDAGINE MASW & HVSR

Committente: **ITALFERR**

CODICE LAVORO 1982-03  
 CODICE PROVA MASW 1+HVSR137

LOCALITA': ACQUA CLAUDIA  
 DATA PROVA: 29/10/2019

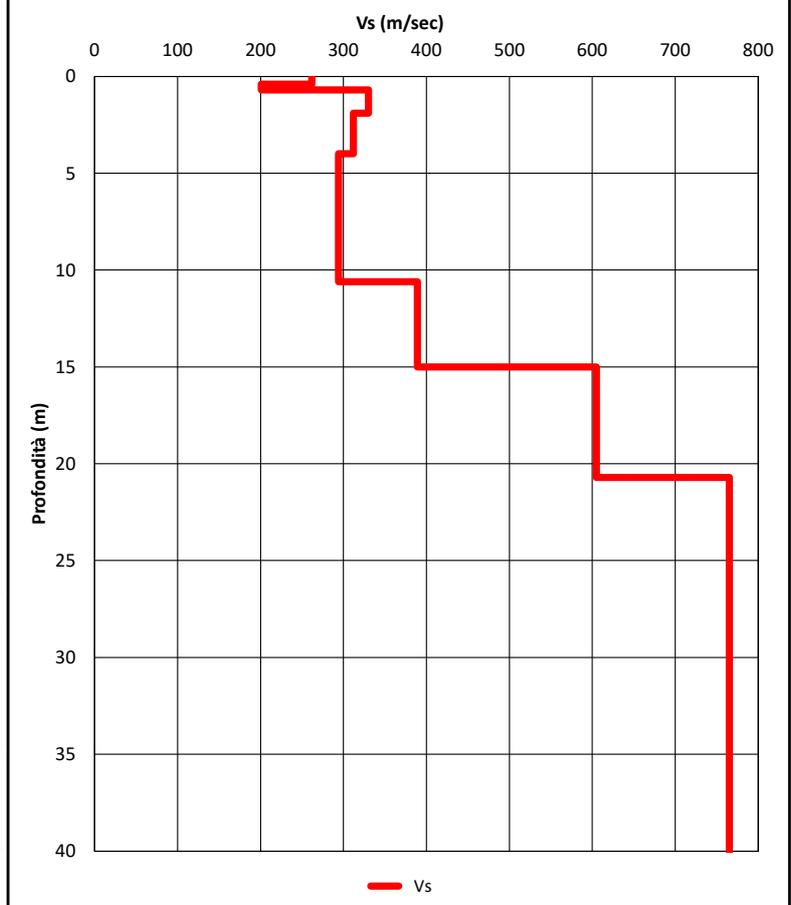
## ELABORAZIONE CONGIUNTA DATI MASW & HVSR



### Profilo Vs

Layer	Profondità m	Spessori m	Vs m/sec	Deviazione m/sec
1	0.40	0.40	262	27
2	0.70	0.30	201	13
3	1.90	1.20	330	28
4	4.00	2.10	312	15
5	10.60	6.60	294	42
6	15.00	4.40	389	22
7	20.70	5.70	605	18
8	57.50	36.80	765	45
9				
10				
11				
12				

### PROFILO Vs



**NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI  
 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI  
 (D.M. 17/01/2018)**

<b>H<sub>bedrock</sub></b>	<b>&gt; 30</b> m
<b>V<sub>Seq</sub></b>	<b>441</b> m/sec
<b>Categoria suolo</b>	<b>B</b>

Elaborazione dati: WinMasw Academy 7.1  
 ITALFERR -- 1982-03 -- MASW 1+HVSR137

Fig. 5

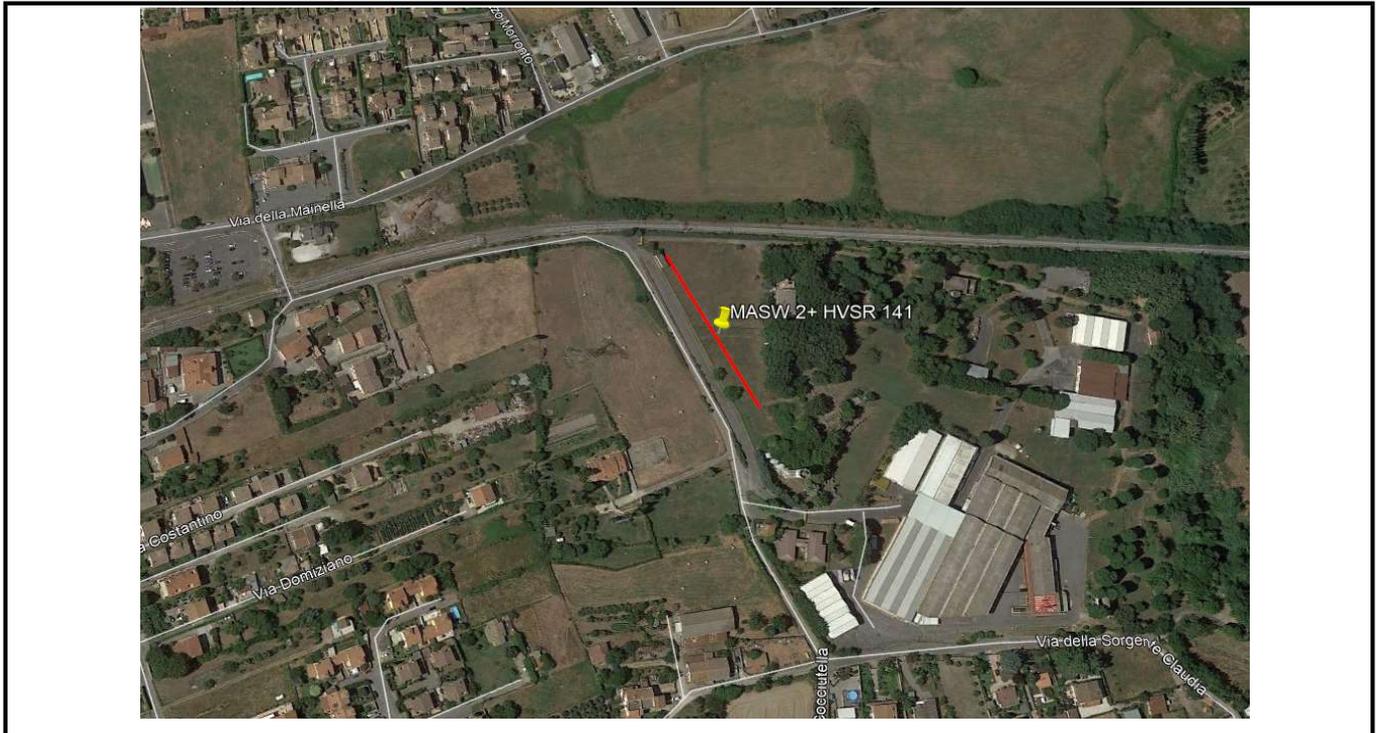
# MAPPA INDAGINE CONGIUNTA MASW E HVSR

**Committente:** ITALFERR  
**CODICE LAVORO:** 1982-03  
**CODICE PROVA:** MASW 2+HVSR141

**LOCALITA':** ACQUA CLAUDIA  
**DATA PROVA:** 29/10/2019  
**LONGITUDINE:** 12.299909°  
**LATITUDINE:** 42.067662°  
**QUOTA (m. s.l.m.):** 165

**STRUMENTAZIONE:** SARA SL 06  
**TERRENO DI MISURA:** Naturale  
**ACCOPIAMENTO:** Appoggiato al terreno  
**ORIENTAMENTO:** Nord  
**CONDIZIONI METEO:** Nuvoloso

## FOTO AEREA (Google Earth)



## FOTO AREA DI INDAGINE



# RAPPORTO SPETTRALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

**Committente:** ITALFERR

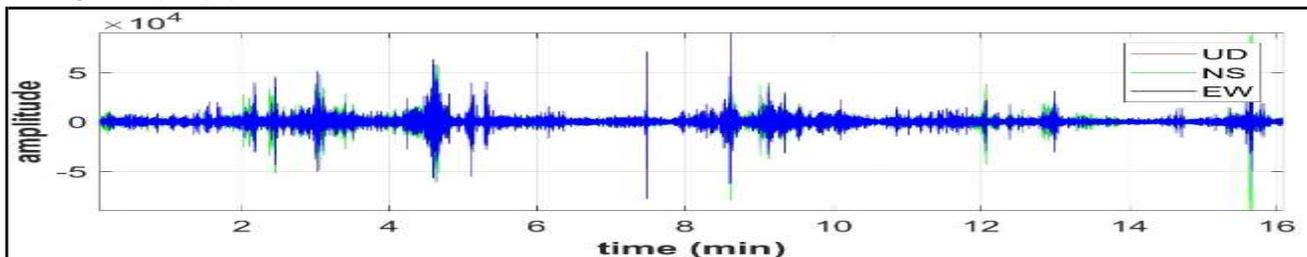
**CODICE LAVORO:** 1982-03  
**CODICE PROVA:** MASW 2+HVSR141

**LOCALITA':** ACQUA CLAUDIA  
**DATA PROVA:** 29/10/2019

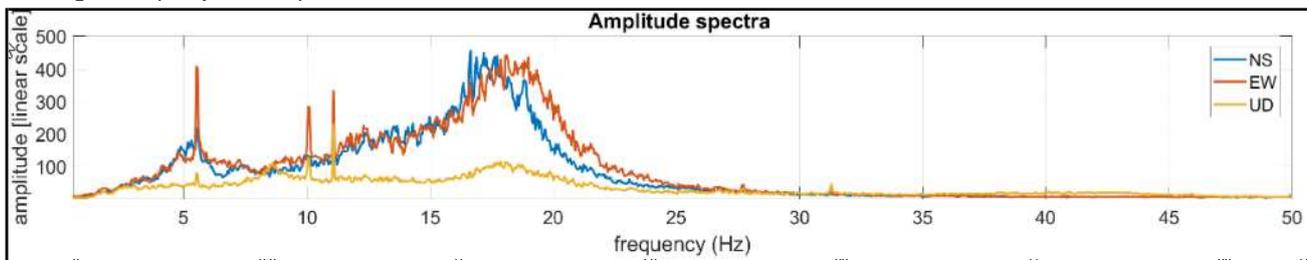
PARAMETRI DI ACQUISIZIONE	
Apparecchiatura di misura	SARA SL 06
Lunghezza registrazione	20 min
Fine registrazione	16:15:00
Frequenza di campionamento	200 Hz

PARAMETRI DI ELABORAZIONE	
Sampling frequency (Hz):	100
Window length (sec):	20
Minimum frequency soundly determined [10 cycles]:	0.5Hz
Length of analysed dataset (min):	20.0
Tapering (%):	5
Smoothing (%):	15

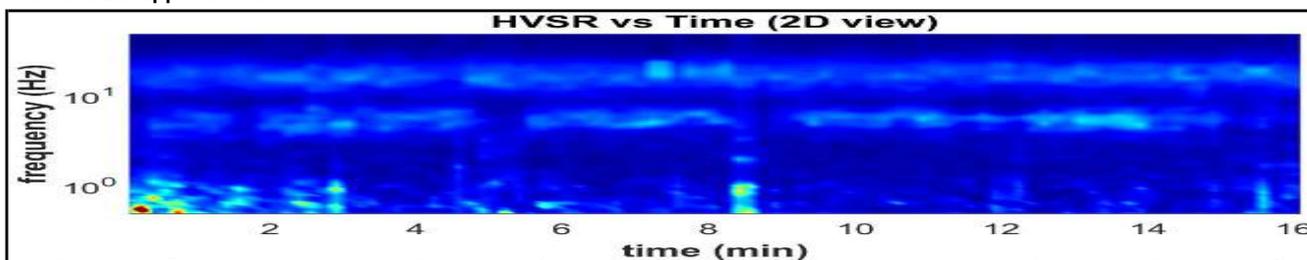
## Sismogrammi (Tempo)



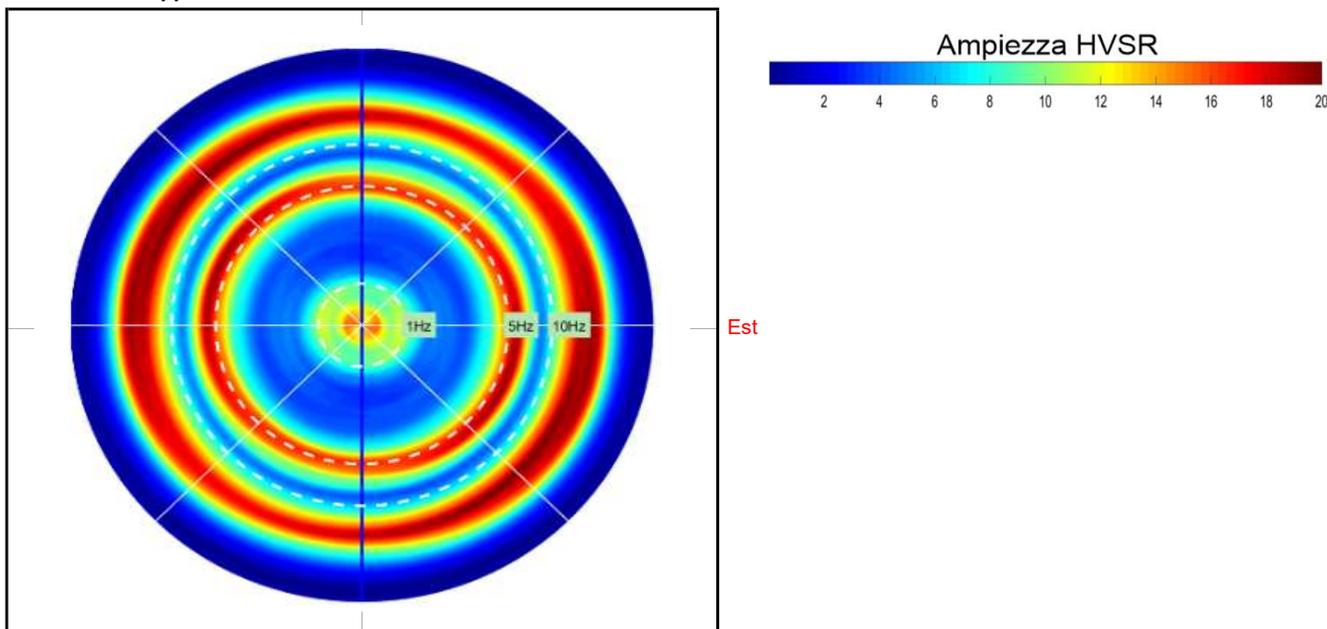
## Sismogrammi (Frequenza Hz)



## Persistenza rapporto HVSR



## Direzionalità rapporto HVSR



# RAPPORTO SPETTRALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

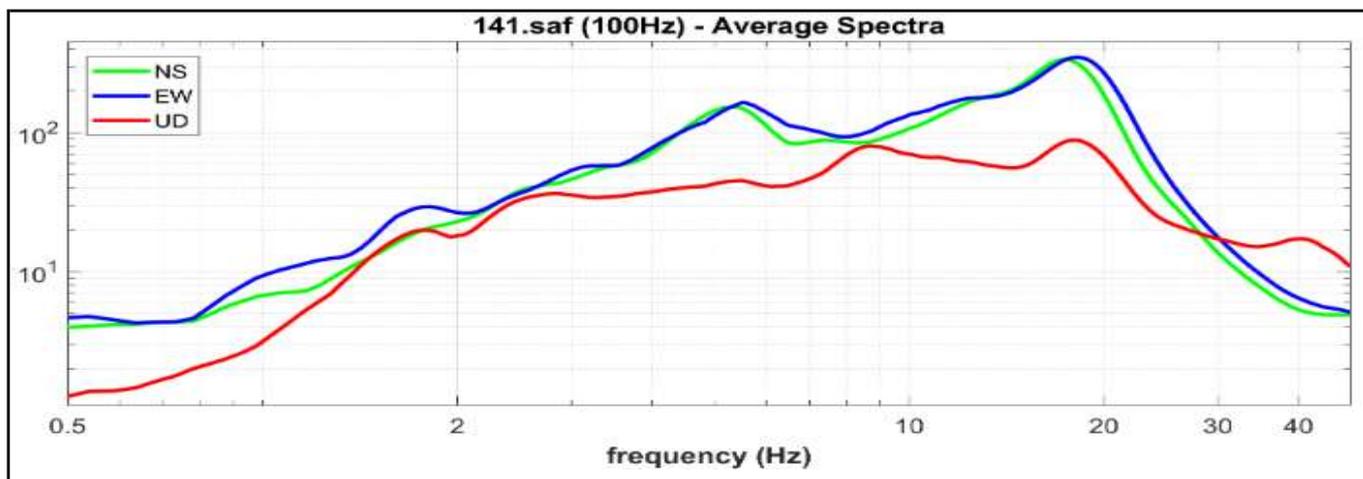
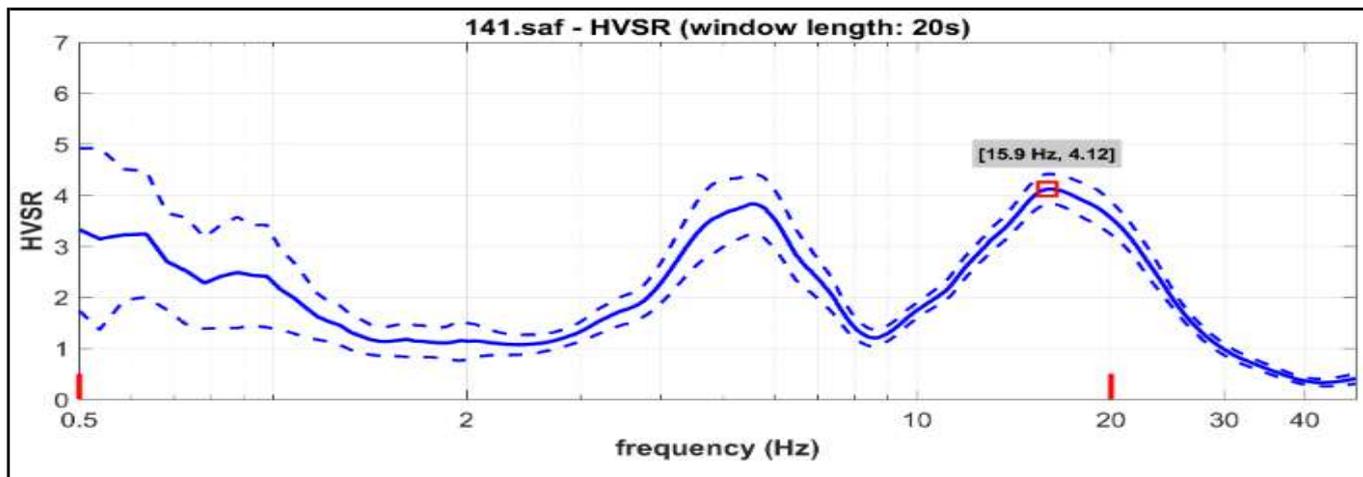
Committente: ITALFERR

CODICE LAVORO 1982-03  
 CODICE PROVA MASW 2+HVSR141

LOCALITA': ACQUA CLAUDIA  
 DATA PROVA: 29/10/2019

## RAPPORTO SPETTRALE H/V

Max HVSR 15.934 ± 6.0 Hz. A0 = 4.1 ± 0.3



### Criteri per una curva H/V affidabile

[tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

f0 (Hz)	15.934
Lw (Sec)	20
nw	96
#1. [f0 > 10/Lw]: 15.934 > 0.5	<input checked="" type="checkbox"/>
#2. [nc > 200]: 30911 > 200	<input checked="" type="checkbox"/>
#3. [f0 > 0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0]	<input checked="" type="checkbox"/>

### Criteri per un picco H/V chiaro

[almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

#1. [exists f- in the range [f0/4, f0]   AH/V(f-) < A0/2]: yes, at frequency 7.4Hz	<input checked="" type="checkbox"/>
#2. [nc > 200]: 30911 > 200	<input checked="" type="checkbox"/>
#3. [A0 > 2]: 4.1 > 2	<input checked="" type="checkbox"/>
#4. [fpeak[Ah/v(f) ± sigmaA(f)] = f0 ± 5%]:	<input type="checkbox"/>
#5. [sigmaAf < epsilon(f0)]: 5.997 > 0.797	<input type="checkbox"/>
#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.595 < 1.58	<input checked="" type="checkbox"/>

Lw	Window lenght
nW	Number of windows used in the analysis
nc = Lw nW f0	Number of significant cycles
f	Current frequency
f0	H/V peak frequency
σf	Standard deviation of H/V peak frequency
ε(f0)	Threshold value for the stability condition σf < ε(f0)

A0	H/V peak amplitude at frequency f0
AH/V(f)	H/V curve amplitude at frequency f
f-	Frequency between f0/4 and f0 for which AH/V(f-) < A0/2
f+	Frequency between f0 and 4f0 for which AH/V(f+) < A0/2
σA(f)	Standard deviation of AH/V(f), σA(f) is the factor by which the mean AH/V(f) curve should be multiplier or divided
σlogH/V(f)	Standard deviation of log AH/V(f) curve
θ(f0)	Threshold value for the stability condition σA(f) < θ(f0)

Criterio soddisfatto  
 Criterio non soddisfatto

In accordo con SESAME Guidelines 2005

# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**Committente:**

**ITALFERR**

**CODICE LAVORO**  
**CODICE PROVA**

1982-03  
MASW 2+HVSR141

**LOCALITA':** ACQUA CLAUDIA  
**DATA PROVA:** 29/10/2019

**STRUMENTAZIONE**  
**N°CANALI**  
**SPACING**

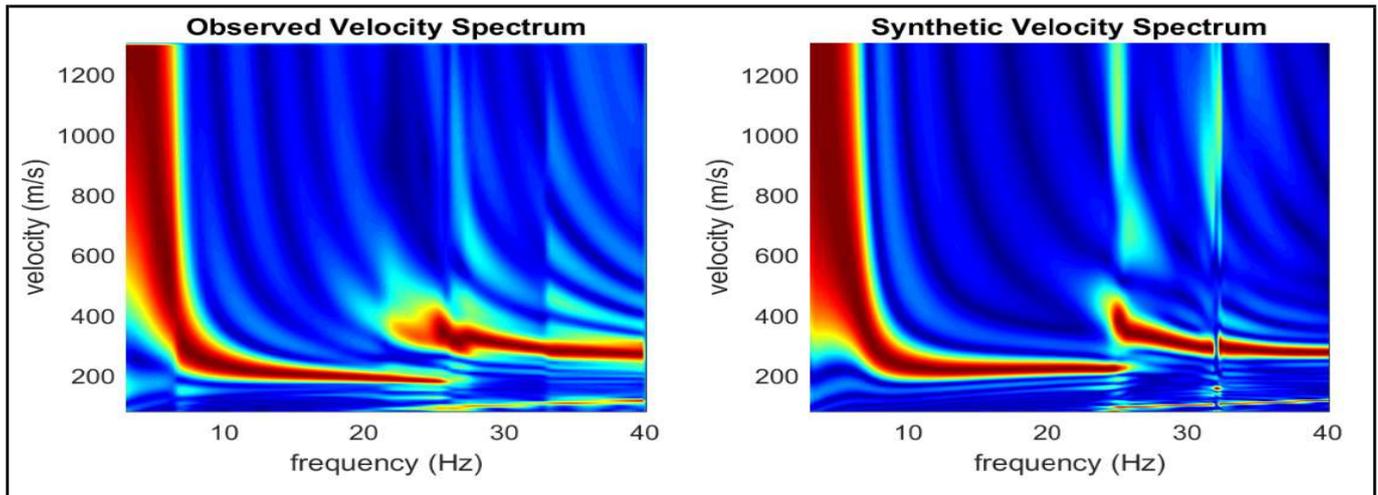
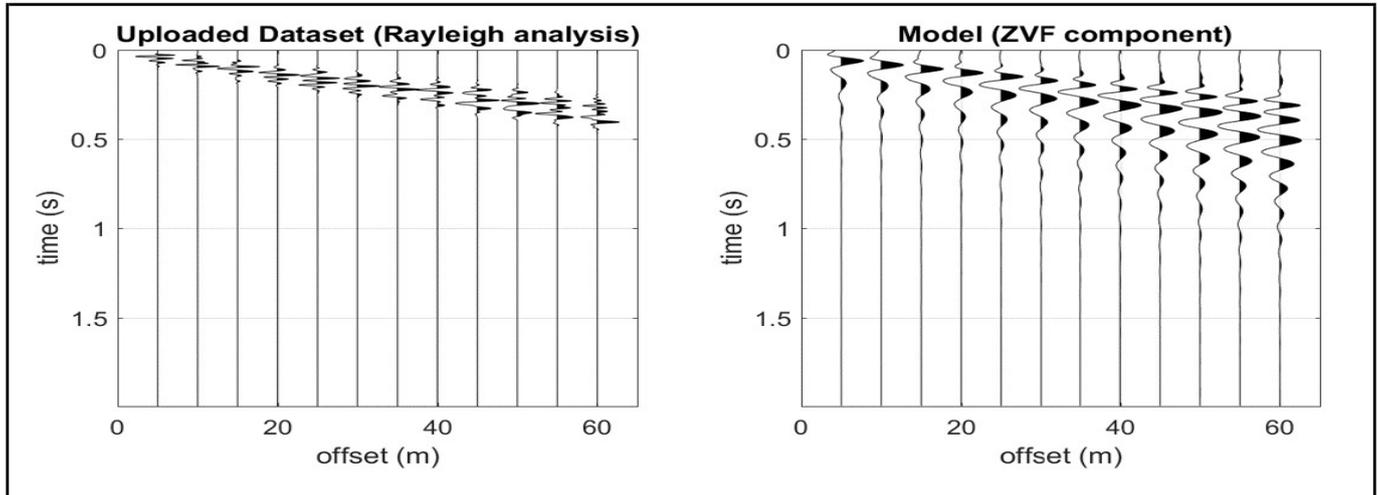
Geometrics GEODE  
10  
da 1 a 5 m

**RECORD TIME (Sec)** 5  
**SAMPLING (Sec)** 0.5

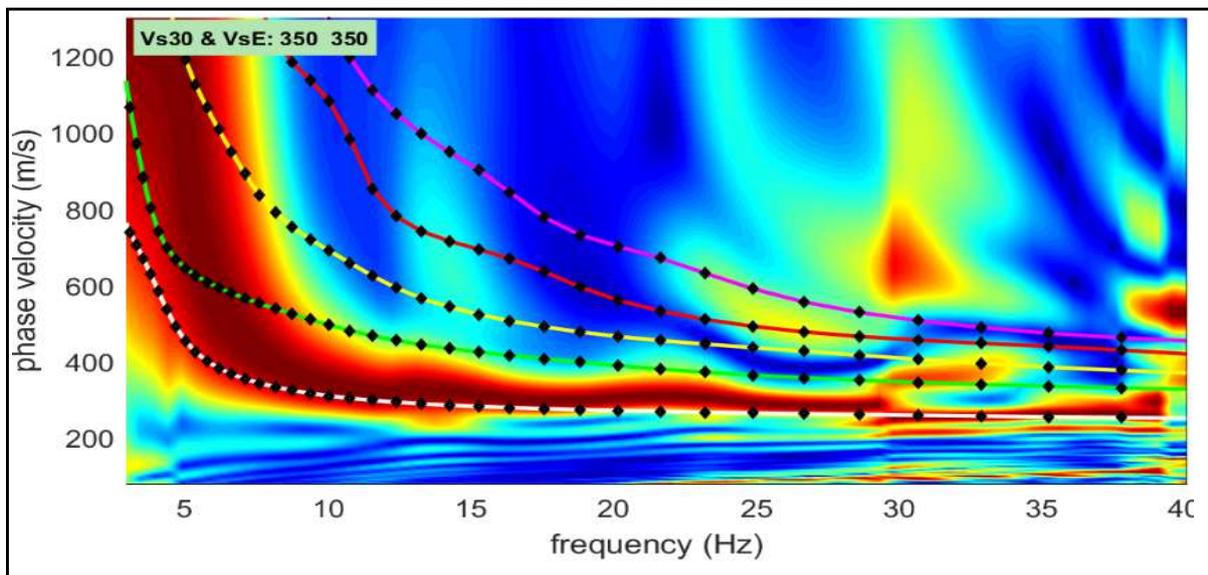
**MISURA ESEGUITA CON**  
**ACQUISIZIONE DI:**

Acquisizione onde di Rayleigh  
Acquisizione onde di Love

Utilizzo di geofoni verticali da 4.5 Hz  
Utilizzo di geofoni orizzontali da 4.5 Hz



VELOCITY SPECTRUM - MODELLING & PICKING



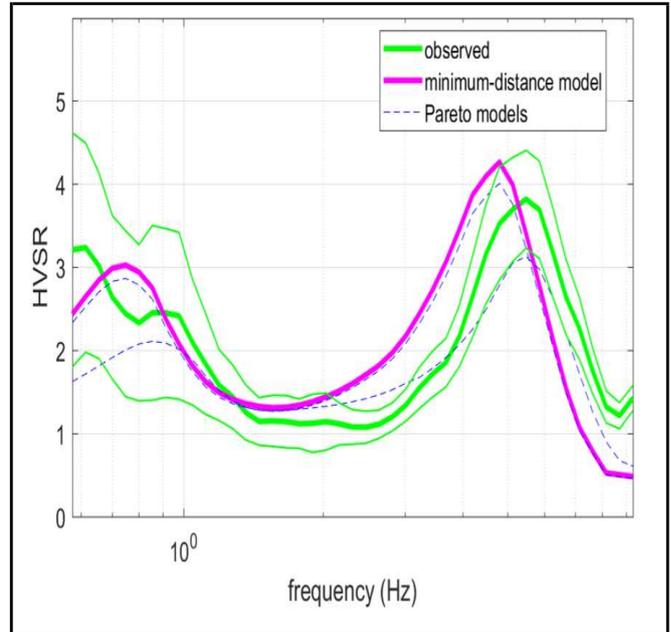
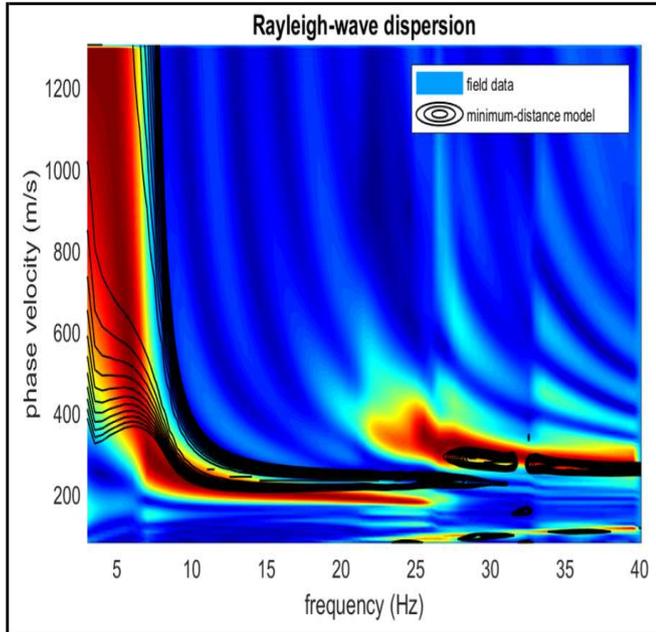
# ANALISI CONGIUNTA INDAGINE MASW & HVSR

Committente: **ITALFERR**

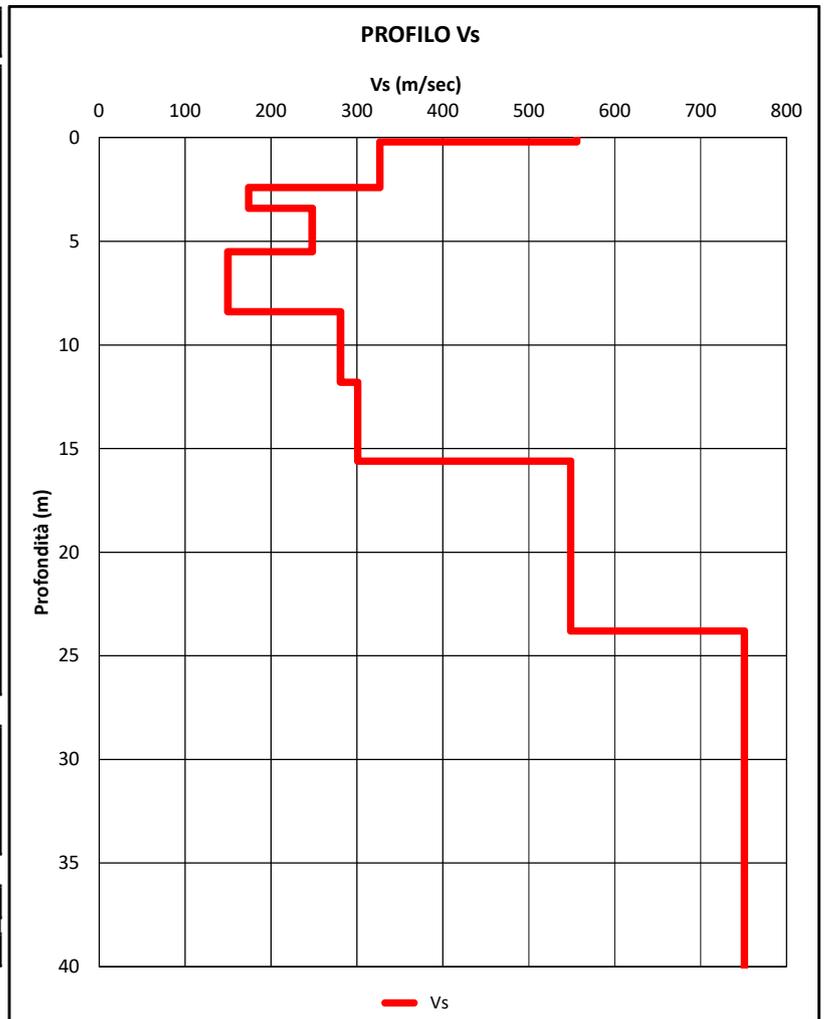
CODICE LAVORO: 1982-03  
 CODICE PROVA: MASW 2+HVSR141

LOCALITA': ACQUA CLAUDIA  
 DATA PROVA: 29/10/2019

## ELABORAZIONE CONGIUNTA DATI MASW & HVSR



Profilo Vs				
Layer	Profondità m	Spessori m	Vs m/sec	Deviazione m/sec
1	0.20	0.20	556	54
2	2.40	2.20	327	9
3	3.40	1.00	174	4
4	5.50	2.10	248	35
5	8.40	2.90	150	1
6	11.80	3.40	281	16
7	15.60	3.80	301	13
8	23.80	8.20	549	9
9	53.70	29.90	751	
10				
11				
12				



**NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI  
 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI  
 (D.M. 17/01/2018)**

H <sub>bedrock</sub>	> 30	m
V <sub>Seq</sub>	338	m/sec
Categoria suolo	C	

# MAPPA INDAGINE CONGIUNTA MASW E HVSR

**Committente:** ITALFERR  
**CODICE LAVORO:** 1982-03  
**CODICE PROVA:** MASW 3+HVSR136

**LOCALITA':** ACQUA CLAUDIA  
**DATA PROVA:** 29/10/2019  
**LONGITUDINE:** 12.299448°  
**LATITUDINE:** 42.067654°  
**QUOTA (m. s.l.m.):** 164

**STRUMENTAZIONE:** SARA SL 06  
**TERRENO DI MISURA:** Naturale  
**ACCOPIAMENTO:** Appoggiato al terreno  
**ORIENTAMENTO:** Nord  
**CONDIZIONI METEO:** Nuvoloso

## FOTO AEREA (Google Earth)



## FOTO AREA DI INDAGINE



# RAPPORTO SPETTRALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

**Committente:** ITALFERR

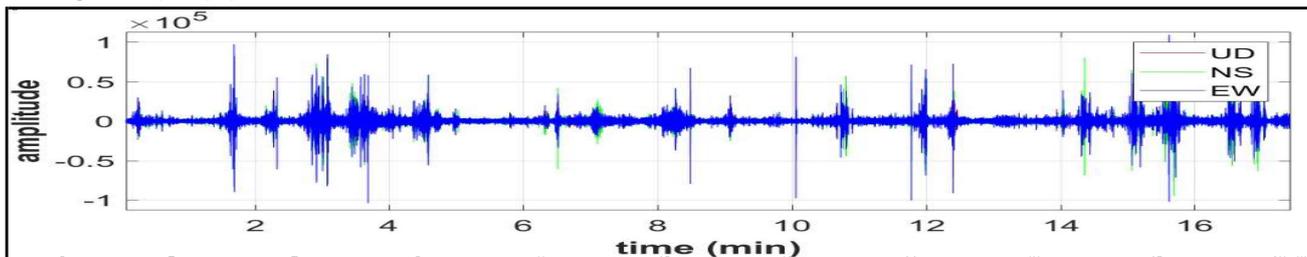
**CODICE LAVORO:** 1982-03  
**CODICE PROVA:** MASW 3+HVSR136

**LOCALITA':** ACQUA CLAUDIA  
**DATA PROVA:** 29/10/2019

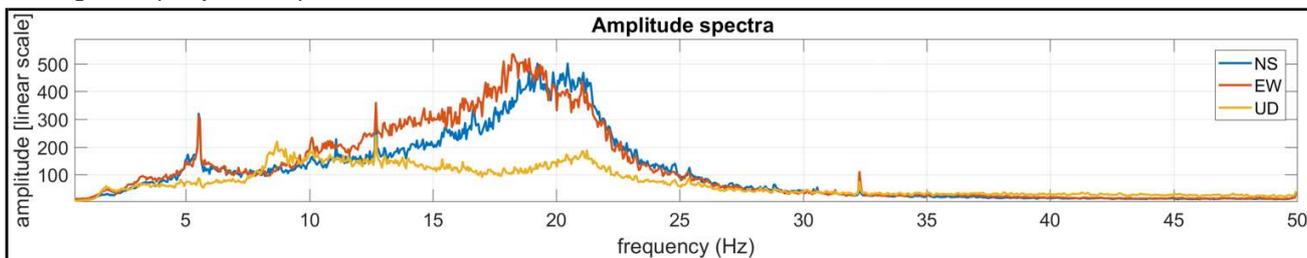
PARAMETRI DI ACQUISIZIONE	
Apparecchiatura di misura	SARA SL 06
Lunghezza registrazione	20 min
Fine registrazione	08:07:00
Frequenza di campionamento	200 Hz

PARAMETRI DI ELABORAZIONE	
Sampling frequency (Hz):	100
Window length (sec):	20
Minimum frequency soundly determined [10 cycles]:	0.5Hz
Length of analysed dataset (min):	20.0
Tapering (%):	5
Smoothing (%):	15

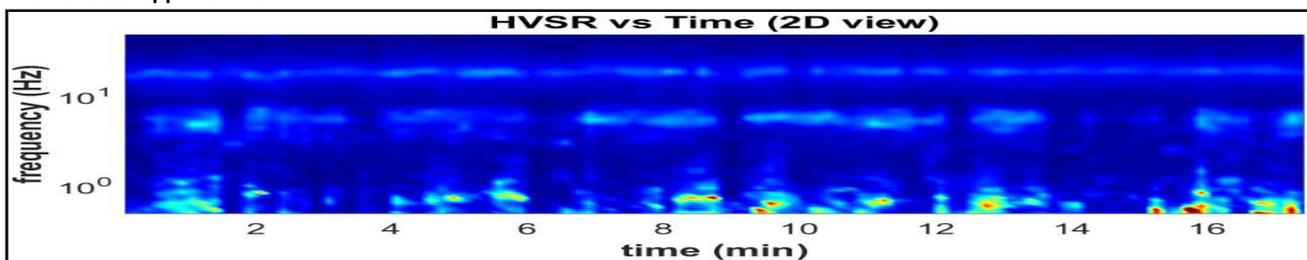
## Sismogrammi (Tempo)



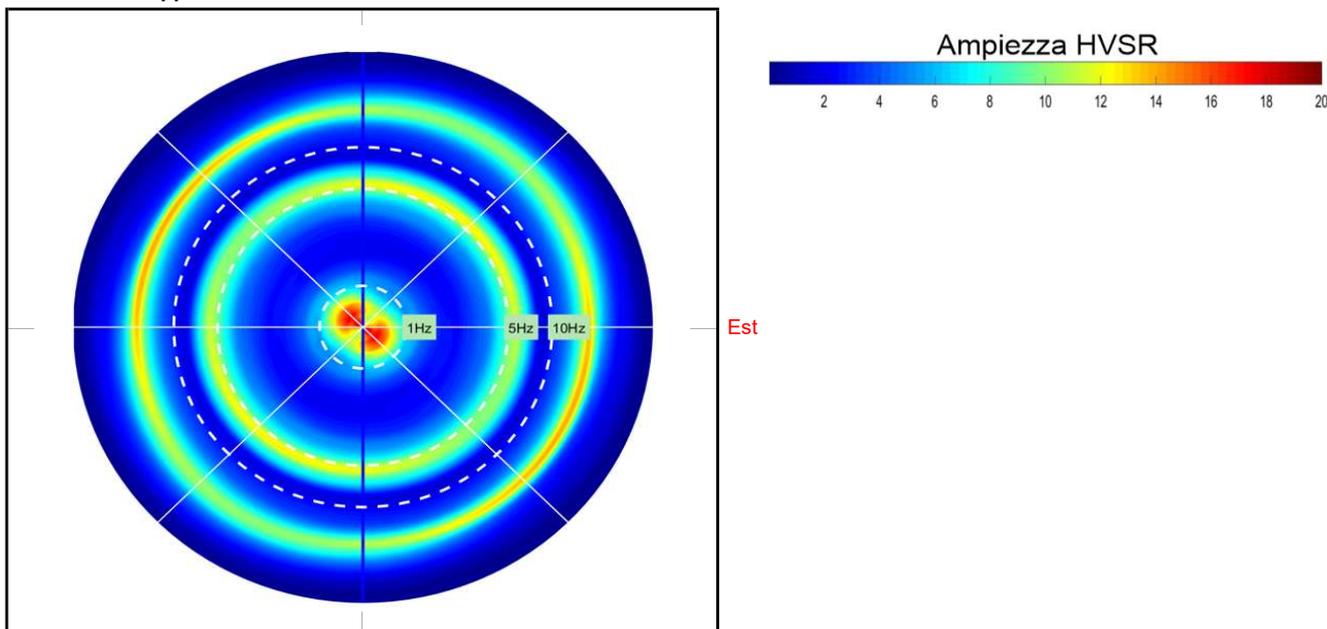
## Sismogrammi (Frequenza Hz)



## Persistenza rapporto HVSR



## Direzionalità rapporto HVSR



# RAPPORTO SPETTRALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

Committente:

ITALFERR

CODICE LAVORO  
CODICE PROVA

1982-03  
MASW 3+HVSR136

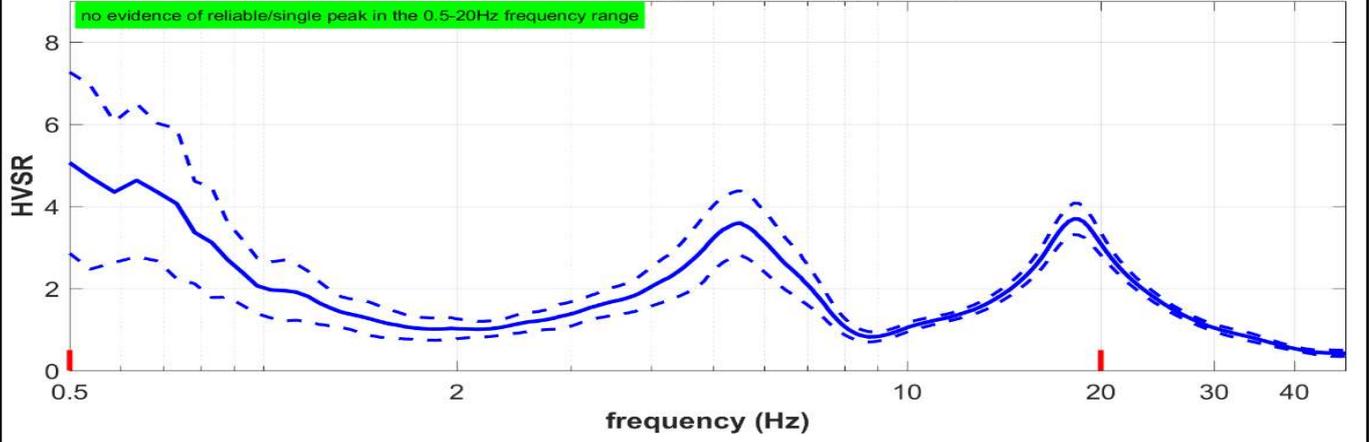
LOCALITA':  
DATA PROVA:

ACQUA CLAUDIA  
29/10/2019

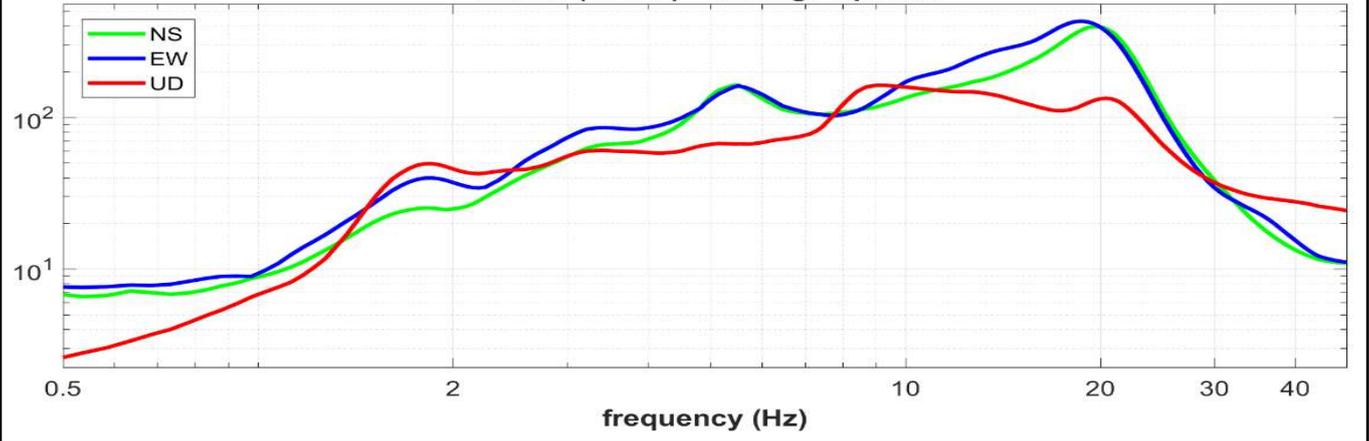
## RAPPORTO SPETTRALE H/V

Max HVSR 0.489 ± 6.2 Hz. A0 = 5.2 ± 2.2

### 136.saf - HVSR (window length: 20s)



### 136.saf (100Hz) - Average Spectra



### Criteria per una curva H/V affidabile

[tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

f0 (Hz)	0.489	
Lw (Sec)	20	
nw	104	
#1. [f0 > 10/Lw]: 0.489 < 0.5		☒
#2. [nc > 200]: 1026 > 200	☑	
#3. [f0 < 0.5Hz; sigmaA(f) < 3 for 0.5f0 < f < 2f0]	☑	

### Criteria per un picco H/V chiaro

[almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

#1. [exists f- in the range [f0/4, f0]   AH/V(f-) < A0/2]:		☒
#2. [nc > 200]: 1026 > 200	☑	
#3. [A0 > 2]: 5.2 > 2	☑	
#4. [fpeak[Ah/v(f) ± sigmaA(f)] = f0 ± 5%]:		☒
#5. [sigmaAf < epsilon(f0)]: 6.248 > 0.098		☒
#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 46.097 < 2.5		☒

Lw	Window length
nW	Number of windows used in the analysis
nc = Lw nW f0	Number of significant cycles
f	Current frequency
f0	H/V peak frequency
σf	Standard deviation of H/V peak frequency
ε(f0)	Threshold value for the stability condition σf < ε(f0)

A0	H/V peak amplitude at frequency f0
AH/V(f)	H/V curve amplitude at frequency f
f-	Frequency between f0/4 and f0 for which AH/V(f-) < A0/2
f+	Frequency between f0 and 4f0 for which AH/V(f+) < A0/2
σA(f)	Standard deviation of AH/V(f), σA(f) is the factor by which the mean AH/V(f) curve should be multiplier or divided
σlogH/V(f)	Standard deviation of log AH/V(f) curve
θ(f0)	Threshold value for the stability condition σA(f) < θ(f0)

☑ Criterio soddisfatto  
☒ Criterio non soddisfatto

In accordo con SESAME Guidelines 2005

# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**Committente:** ITALFERR

**CODICE LAVORO** 1982-03  
**CODICE PROVA** MASW 3+HVSR136

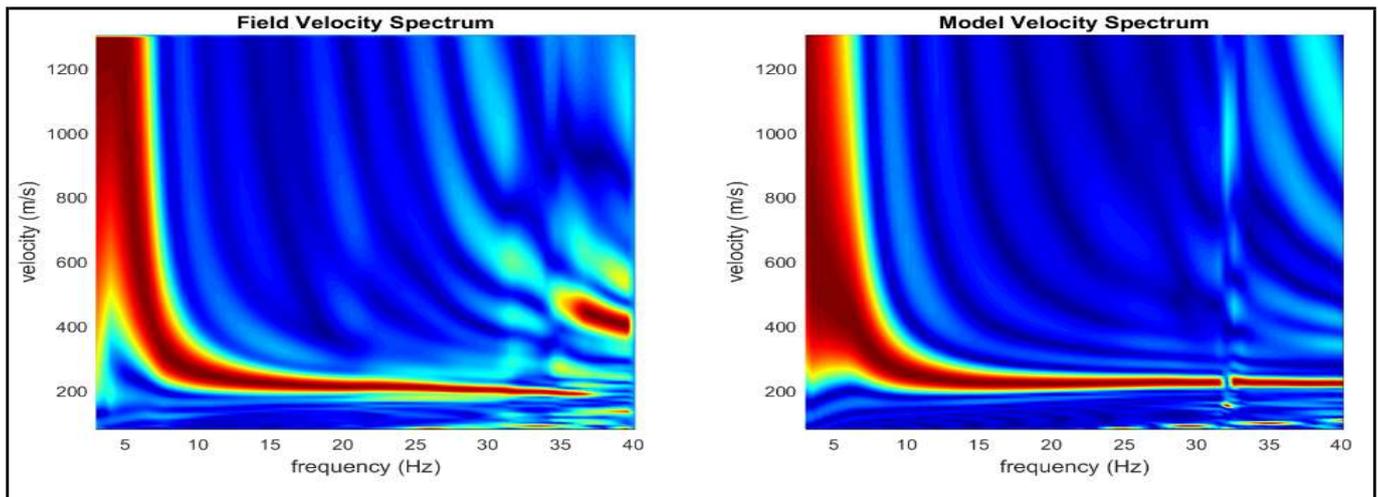
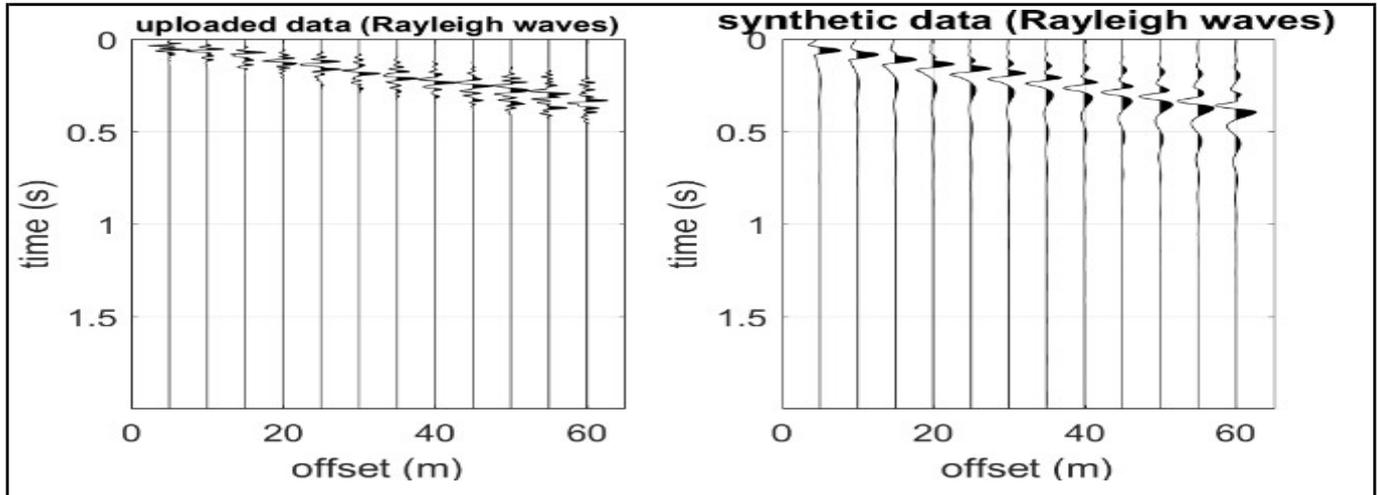
**LOCALITA':** ACQUA CLAUDIA  
**DATA PROVA:** 29/10/2019

**STRUMENTAZIONE** Geometrics GEODE  
**N°CANALI** 10  
**SPACING** da 1 a 5 m

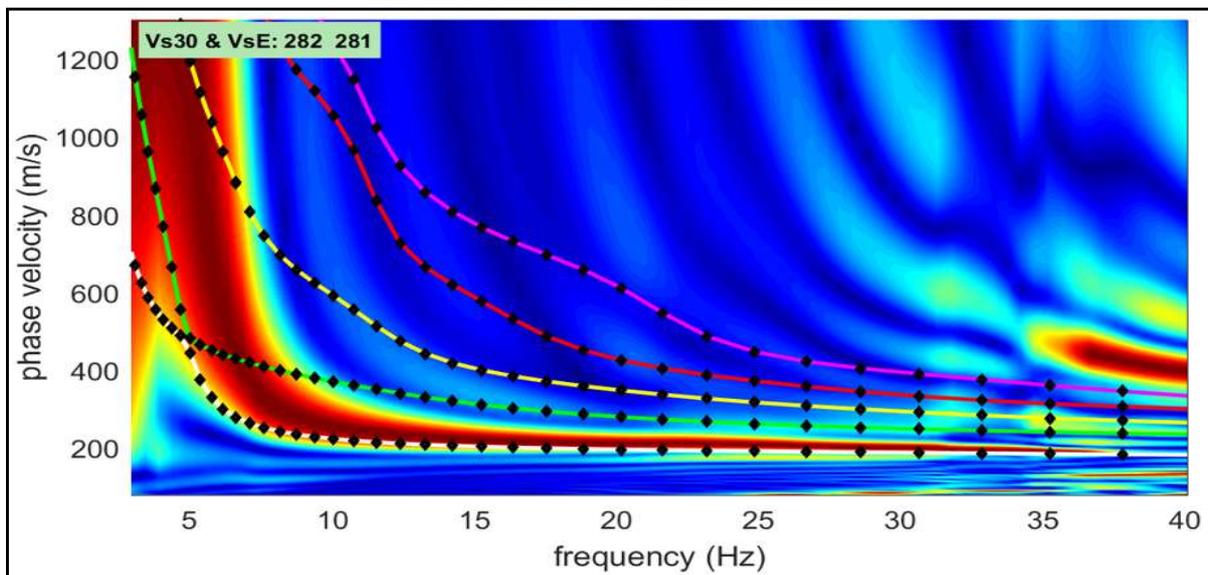
**RECORD TIME (Sec)** 5  
**SAMPLING (Sec)** 0.5

**MISURA ESEGUITA CON**  Acquisizione onde di Rayleigh  
**ACQUISIZIONE DI:** Acquisizione onde di Love

Utilizzo di geofoni verticali da 4.5 Hz  
 Utilizzo di geofoni orizzontali da 4.5 Hz



VELOCITY SPECTRUM - MODELLING & PICKING



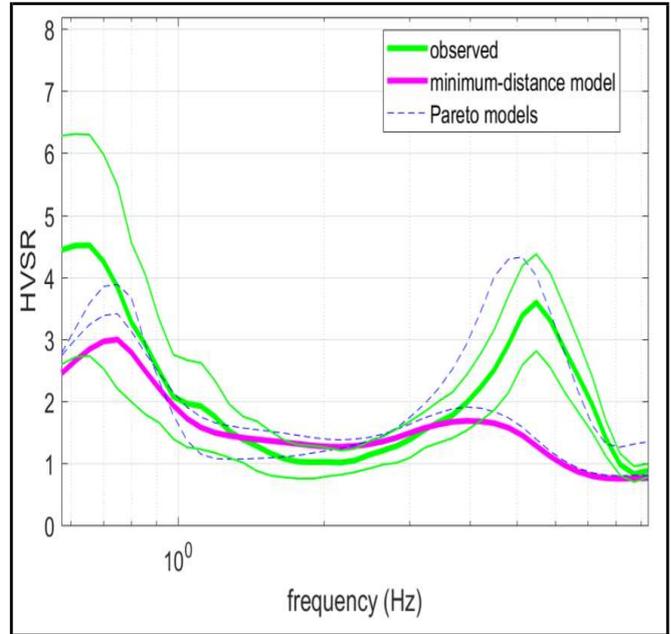
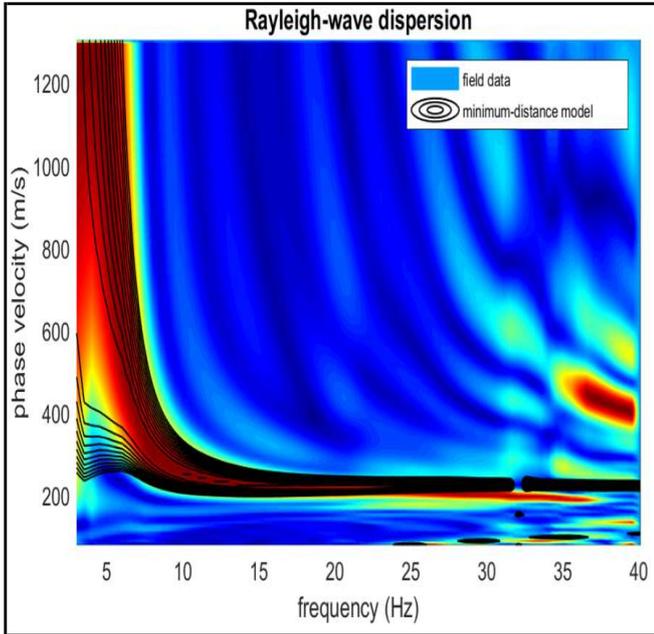
# ANALISI CONGIUNTA INDAGINE MASW & HVSR

Committente: **ITALFERR**

CODICE LAVORO 1982-03  
 CODICE PROVA MASW 3+HVSR136

LOCALITA': ACQUA CLAUDIA  
 DATA PROVA: 29/10/2019

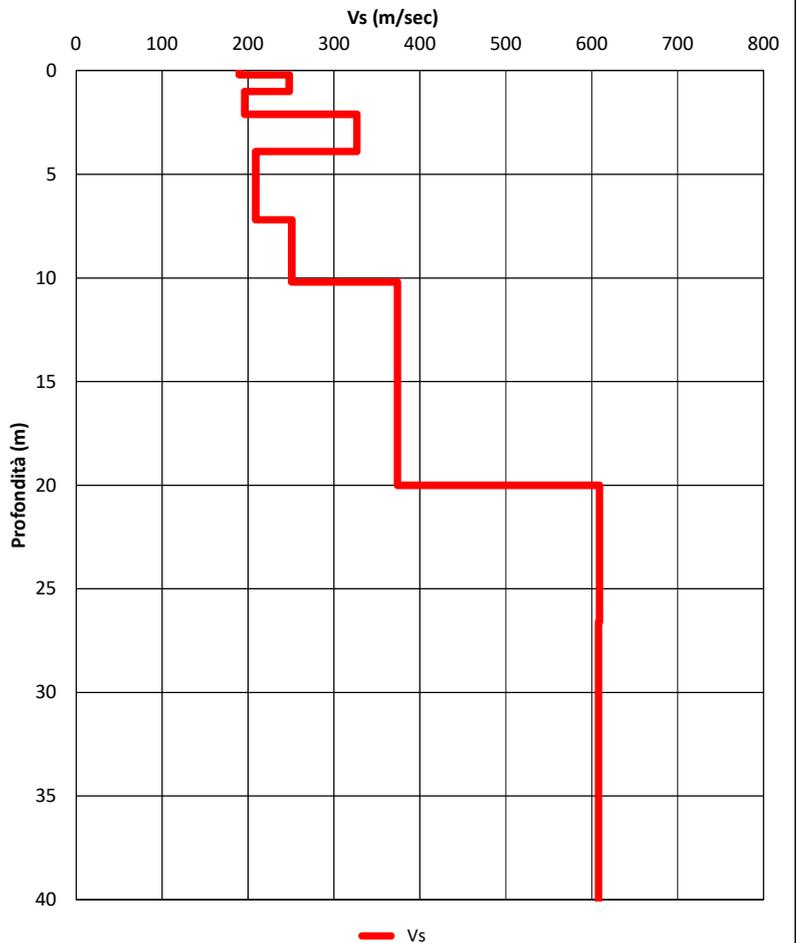
## ELABORAZIONE CONGIUNTA DATI MASW & HVSR



### Profilo Vs

Layer	Profondità m	Spessori m	Vs m/sec	Deviazione m/sec
1	0.20	0.20	190	10
2	1.00	0.80	248	30
3	2.10	1.10	196	8
4	3.90	1.80	327	38
5	7.20	3.30	209	27
6	10.20	3.00	251	51
7	20.00	9.80	374	1
8	26.60	6.60	609	13
9	106.30	79.70	608	
10				
11				
12				

### PROFILO Vs



**NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI  
 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI  
 (D.M. 17/01/2018)**

**H<sub>bedrock</sub>**

**> 30** m

**V<sub>Seq</sub>**

**351** m/sec

**Categoria suolo**

**C**

# MAPPA INDAGINE CONGIUNTA MASW E HVSR

**Committente:** ITALFERR  
**CODICE LAVORO:** 1982-03  
**CODICE PROVA:** MASW 4+HVSR138

**LOCALITA':** ACQUA CLAUDIA  
**DATA PROVA:** 29/10/2019  
**LONGITUDINE:** 12.303071°  
**LATITUDINE:** 42.067121°  
**QUOTA (m. s.l.m.):** 157

**STRUMENTAZIONE:** SARA SL 06  
**TERRENO DI MISURA:** Naturale  
**ACCOPIAMENTO:** Appoggiato al terreno  
**ORIENTAMENTO:** Nord  
**CONDIZIONI METEO:** Nuvoloso

## FOTO AEREA (Google Earth)



## FOTO AREA DI INDAGINE



# RAPPORTO SPETTRALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

**Committente:** ITALFERR

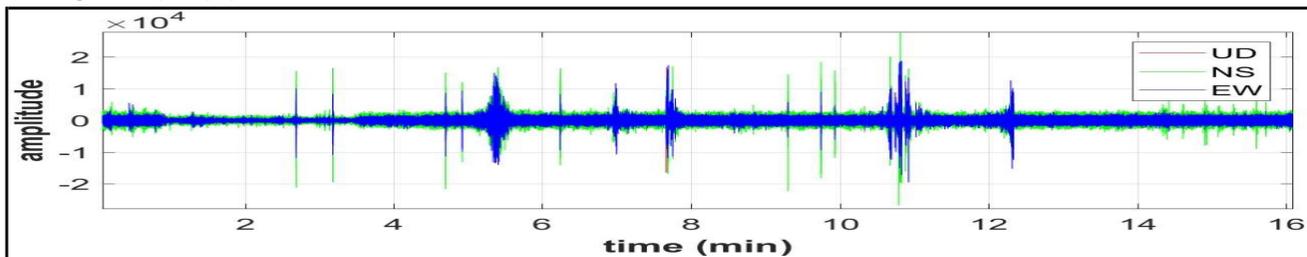
**CODICE LAVORO:** 1982-03  
**CODICE PROVA:** MASW 4+HVSR138

**LOCALITA':** ACQUA CLAUDIA  
**DATA PROVA:** 29/10/2019

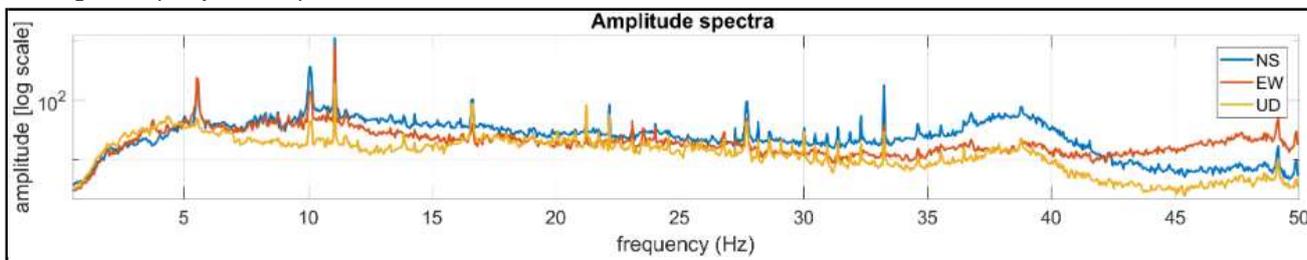
PARAMETRI DI ACQUISIZIONE	
Apparecchiatura di misura	SARA SL 06
Lunghezza registrazione	20 min
Fine registrazione	10:12:00
Frequenza di campionamento	200 Hz

PARAMETRI DI ELABORAZIONE	
Sampling frequency (Hz):	100
Window length (sec):	20
Minimum frequency soundly determined [10 cycles]:	0.5Hz
Length of analysed dataset (min):	20.0
Tapering (%):	5
Smoothing (%):	15

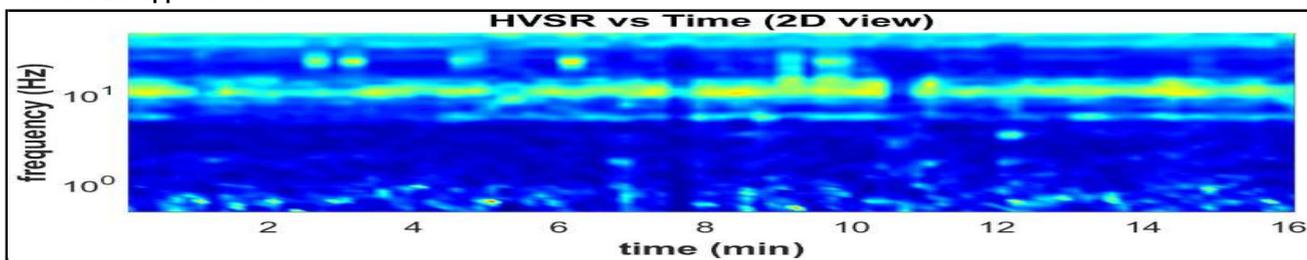
## Sismogrammi (Tempo)



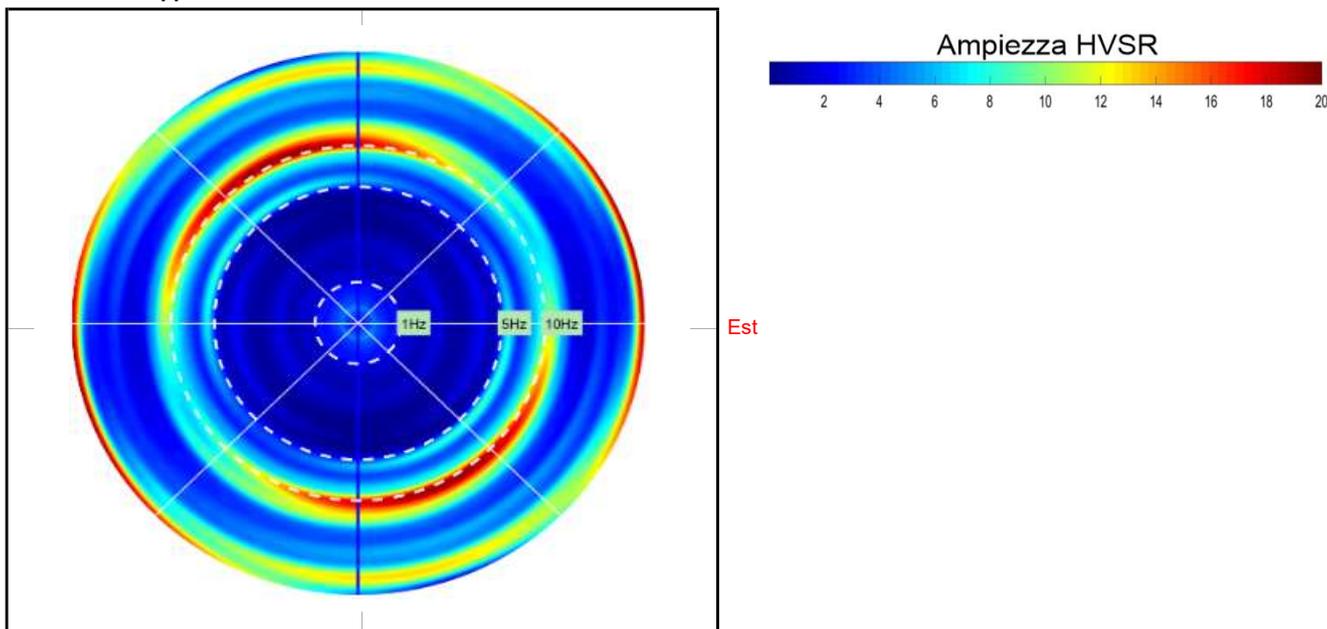
## Sismogrammi (Frequenza Hz)



## Persistenza rapporto HVSR



## Direzionalità rapporto HVSR



# RAPPORTO SPETTRALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

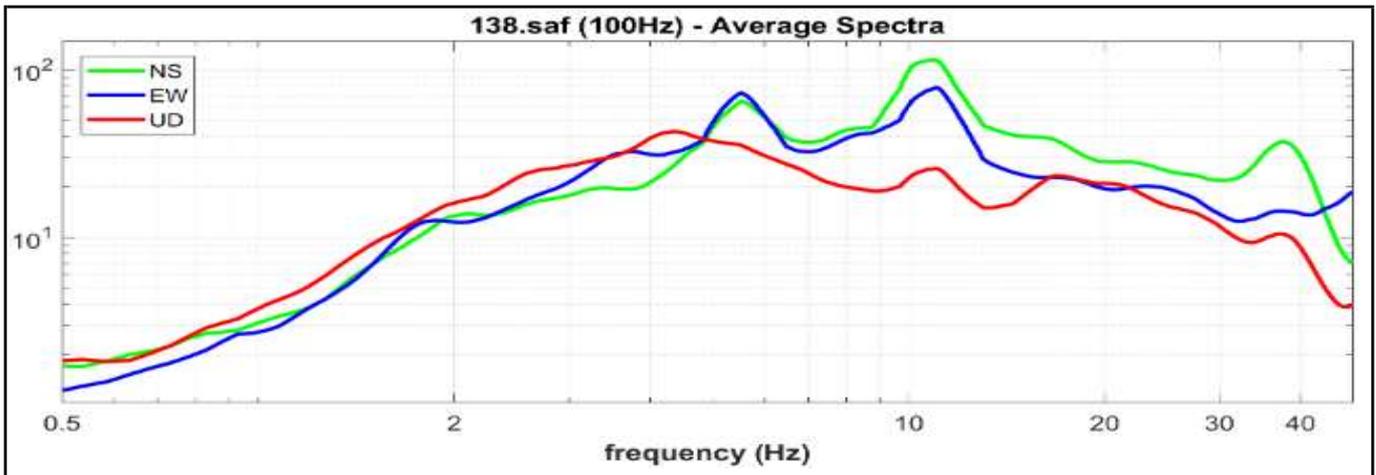
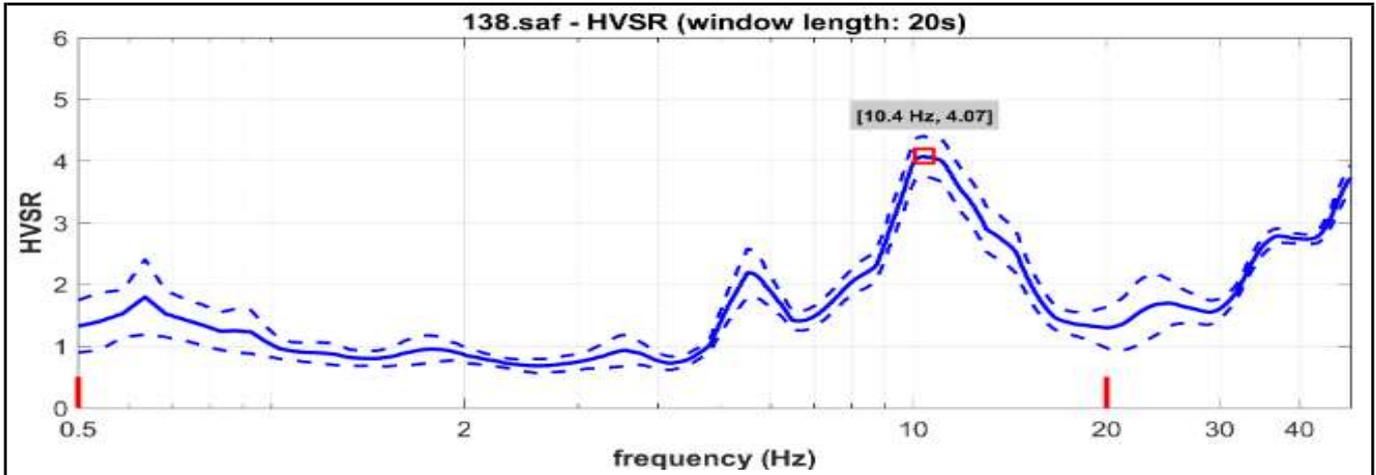
Committente: **ITALFERR**

CODICE LAVORO 1982-03  
 CODICE PROVA MASW 4+HVSR138

LOCALITA': ACQUA CLAUDIA  
 DATA PROVA: 29/10/2019

## RAPPORTO SPETTRALE H/V

Max HVSR 10.411 ± 3.5 Hz. A0 = 4.1 ± 0.3



### Criteria per una curva H/V affidabile

[tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

f0 (Hz)	10.411
Lw (Sec)	20
nw	96
#1. [f0 > 10/Lw]: 10.411 > 0.5	<input checked="" type="checkbox"/>
#2. [nc > 200]: 20196 > 200	<input checked="" type="checkbox"/>
#3. [f0 > 0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0]	<input checked="" type="checkbox"/>

### Criteria per un picco H/V chiaro

[almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

#1. [exists f- in the range [f0/4, f0]   AH/V(f-) < A0/2]: yes, at frequency 2.6Hz	<input checked="" type="checkbox"/>
#2. [nc > 200]: 20196 > 200	<input checked="" type="checkbox"/>
#3. [A0 > 2]: 4.1 > 2	<input checked="" type="checkbox"/>
#4. [fpeak[Ah/v(f) ± sigmaA(f)] = f0 ± 5%]:	<input checked="" type="checkbox"/>
#5. [sigmaAf < epsilon(f0)]: 3.533 > 0.521	<input type="checkbox"/>
#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.657 < 1.58	<input checked="" type="checkbox"/>

Lw	Window lenght
nW	Number of windows used in the analysis
nc = Lw nW f0	Number of significant cycles
f	Current frequency
f0	H/V peak frequency
σf	Standard deviation of H/V peak frequency
ε(f0)	Threshold value for the stability condition σf < ε(f0)

A0	H/V peak amplitude at frequency f0
AH/V(f)	H/V curve amplitude at frequency f
f-	Frequency between f0/4 and f0 for which AH/V(f-) < A0/2
f+	Frequency between f0 and 4f0 for which AH/V(f+) < A0/2
σA(f)	Standard deviation of AH/V(f), σA(f) is the factor by which the mean AH/V(f) curve should be multiplier or divided
σlogH/V(f)	Standard deviation of log AH/V(f) curve
θ(f0)	Threshold value for the stability condition σA(f) < θ(f0)

Criterio soddisfatto  
 Criterio non soddisfatto

In accordo con SESAME Guidelines 2005

# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**Committente:** ITALFERR

**CODICE LAVORO** 1982-03  
**CODICE PROVA** MASW 4+HVSR138

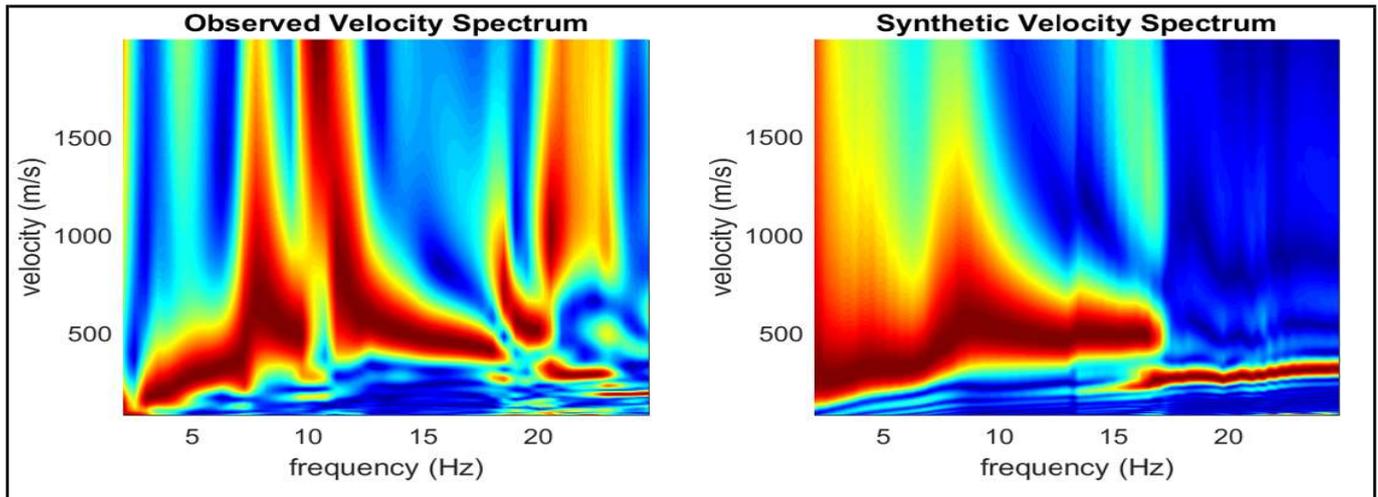
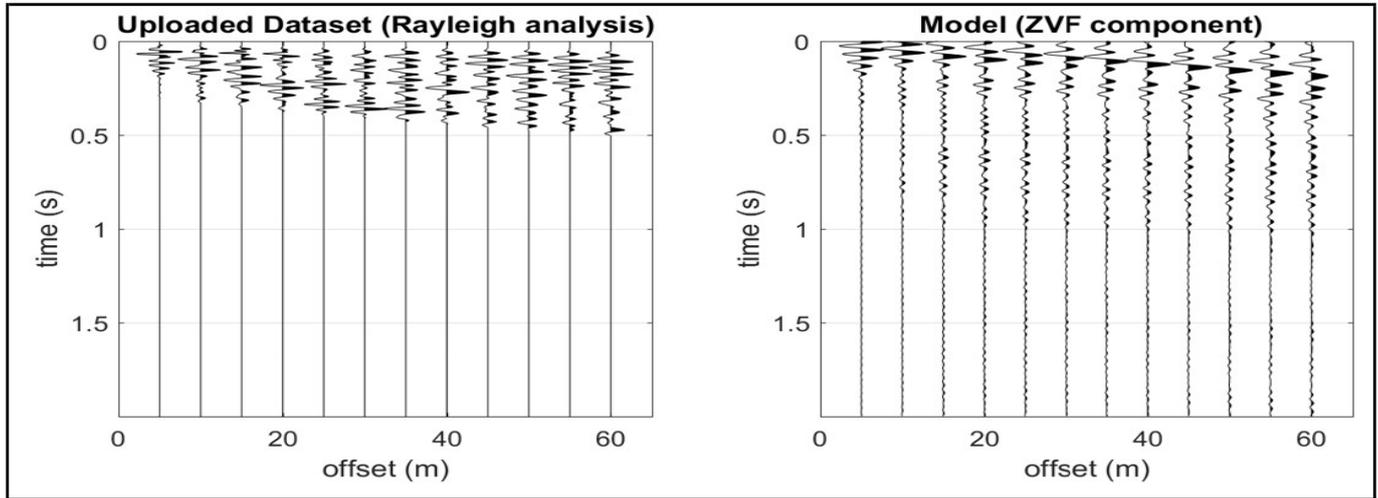
**LOCALITA':** ACQUA CLAUDIA  
**DATA PROVA:** 29/10/2019

**STRUMENTAZIONE** Geometrics GEODE  
**N°CANALI** 10  
**SPACING** da 1 a 5 m

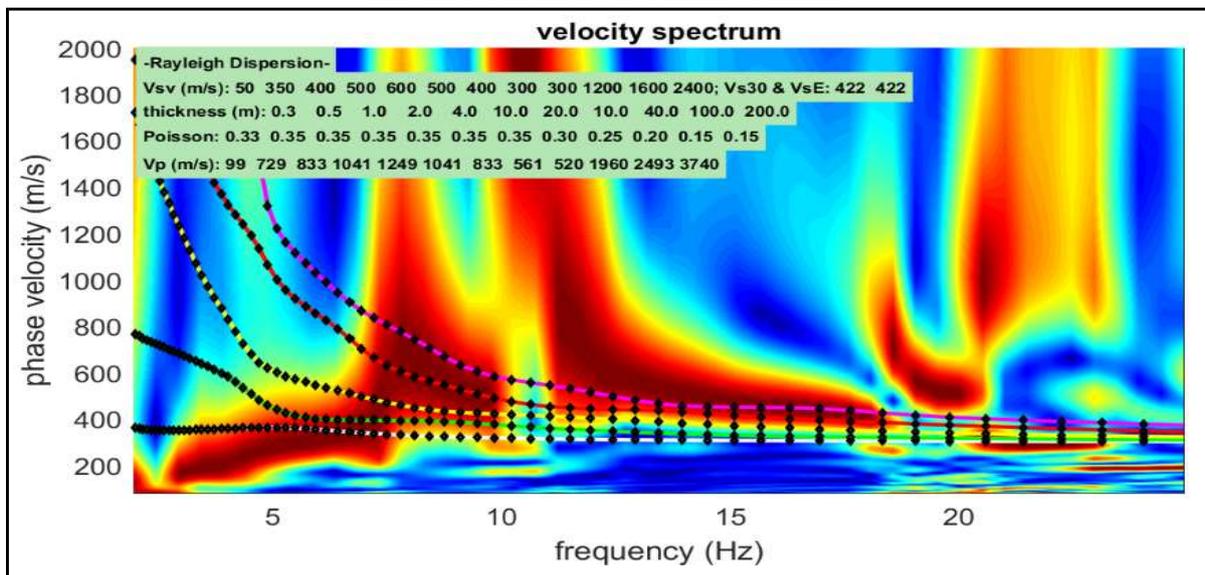
**RECORD TIME (Sec)** 5  
**SAMPLING (Sec)** 0.5

**MISURA ESEGUITA CON**  Acquisizione onde di Rayleigh  
**ACQUISIZIONE DI:** Acquisizione onde di Love

Utilizzo di geofoni verticali da 4.5 Hz  
 Utilizzo di geofoni orizzontali da 4.5 Hz



VELOCITY SPECTRUM - MODELLING & PICKING



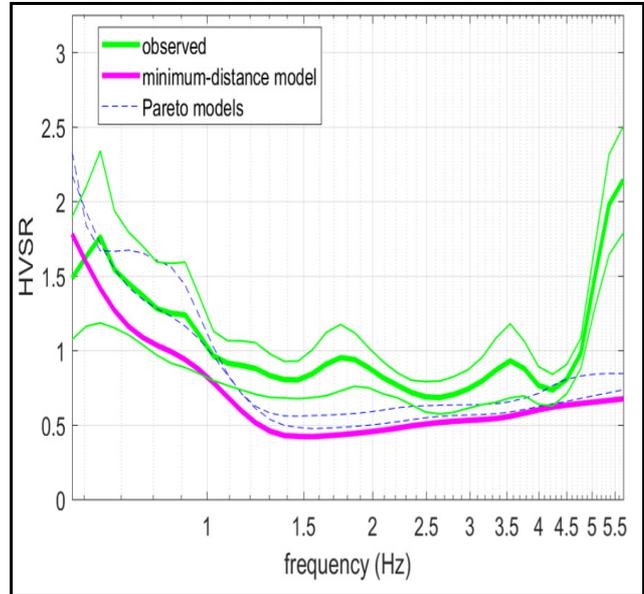
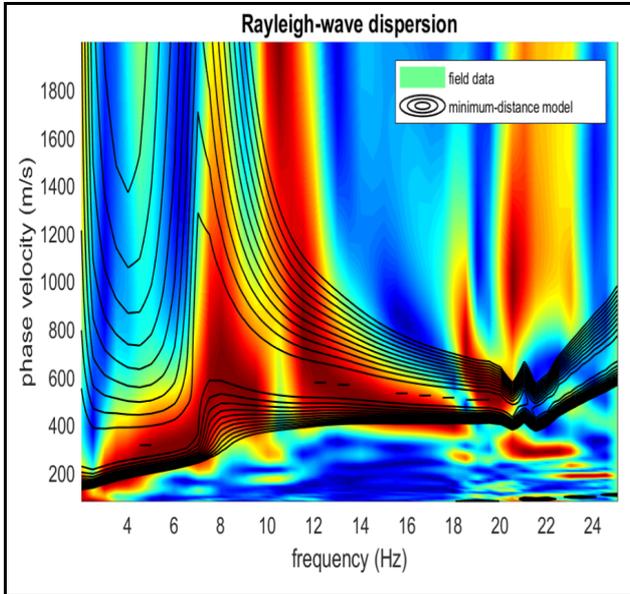
# ANALISI CONGIUNTA INDAGINE MASW & HVSR

Committente: **ITALFERR**

CODICE LAVORO 1982-03  
 CODICE PROVA MASW 4+HVSR138

LOCALITA': ACQUA CLAUDIA  
 DATA PROVA: 29/10/2019

## ELABORAZIONE CONGIUNTA DATI MASW & HVSR

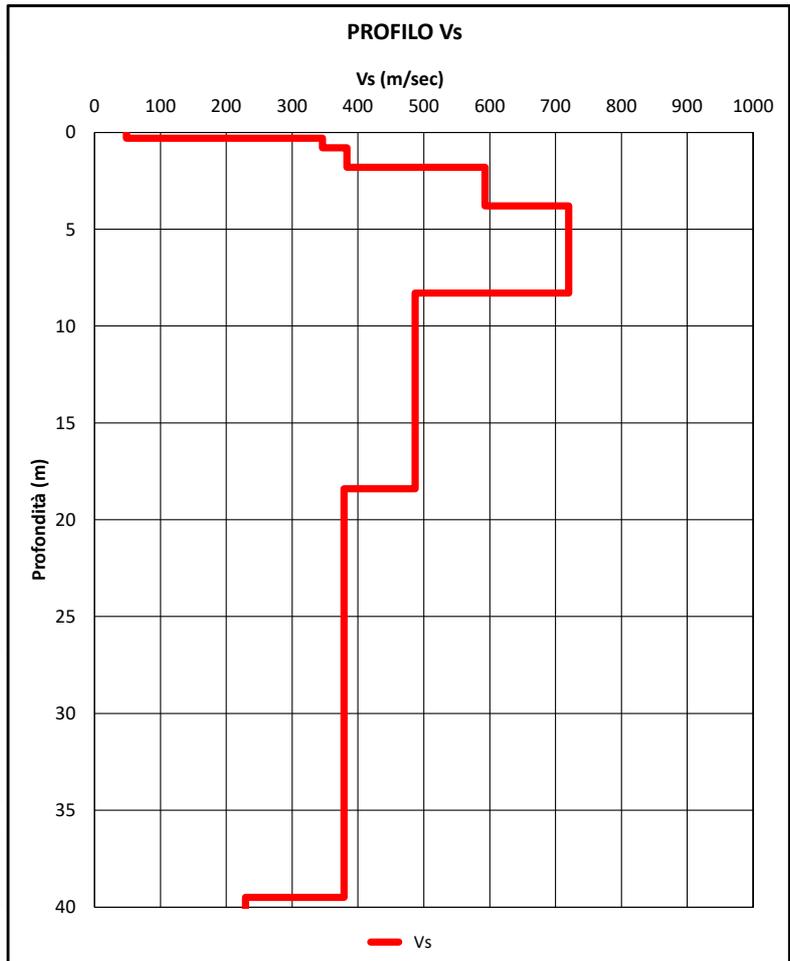


### Profilo Vs

Layer	Profondità m	Spessori m	Vs m/sec	Deviazione m/sec
1	0.30	0.30	48	4
2	0.80	0.50	346	4
3	1.80	1.00	383	61
4	3.80	2.00	593	95
5	8.30	4.50	720	171
6	18.40	10.10	487	86
7	39.50	21.10	379	47
8	48.70	9.20	229	8
9	90.90	42.20	341	
10				
11				
12				

**NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI  
 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI  
 (D.M. 17/01/2018)**

<b>H<sub>bedrock</sub></b>	<b>&gt; 30</b> m
<b>V<sub>Seq</sub></b>	<b>419</b> m/sec
<b>Categoria suolo</b>	<b>B</b>



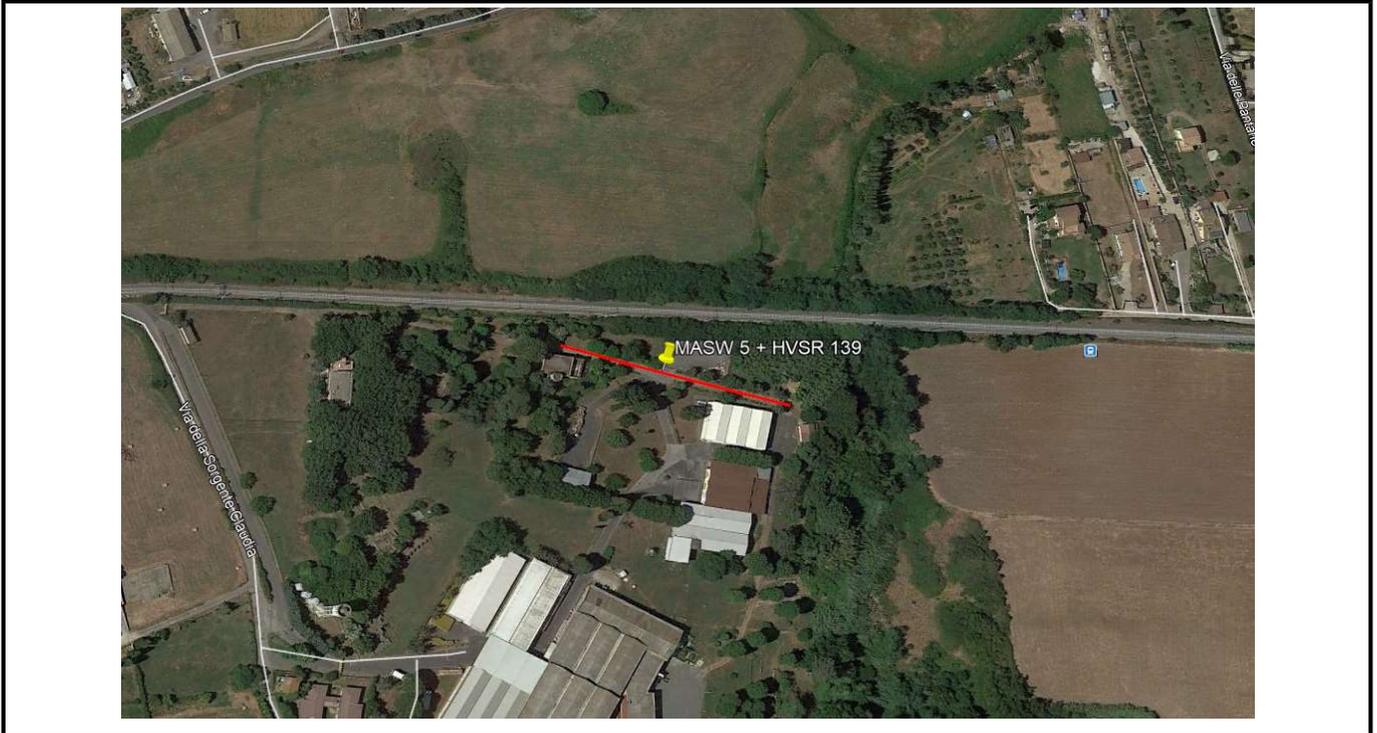
# MAPPA INDAGINE CONGIUNTA MASW E HVSR

**Committente:** ITALFERR  
**CODICE LAVORO:** 1982-03  
**CODICE PROVA:** MASW 5+HVSR139

**LOCALITA':** ACQUA CLAUDIA  
**DATA PROVA:** 29/10/2019  
**LONGITUDINE:** 12.302375°  
**LATITUDINE:** 42.067963°  
**QUOTA (m. s.l.m.):** 160

**STRUMENTAZIONE** SARA SL 06  
**TERRENO DI MISURA:** Naturale  
**ACCOPIAMENTO:** Appoggiato al terreno  
**ORIENTAMENTO:** Nord  
**CONDIZIONI METEO:** Nuvoloso

## FOTO AEREA (Google Earth)



## FOTO AREA DI INDAGINE



# RAPPORTO SPETTRALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

**Committente:** ITALFERR

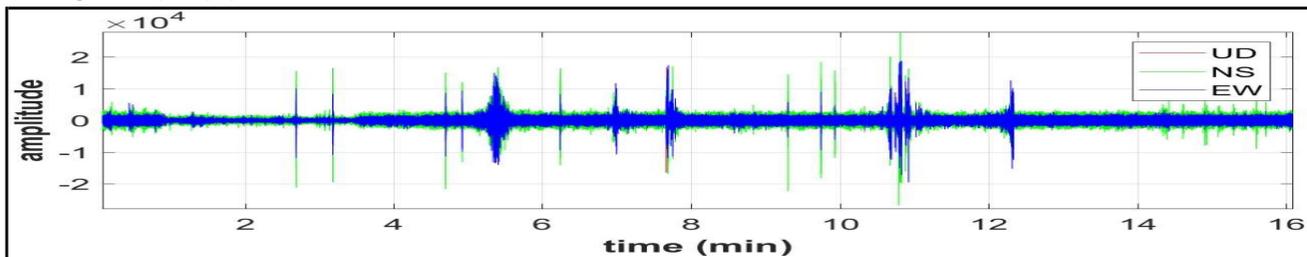
**CODICE LAVORO:** 1982-03  
**CODICE PROVA:** MASW 5+HVSR139

**LOCALITA':** ACQUA CLAUDIA  
**DATA PROVA:** 29/10/2019

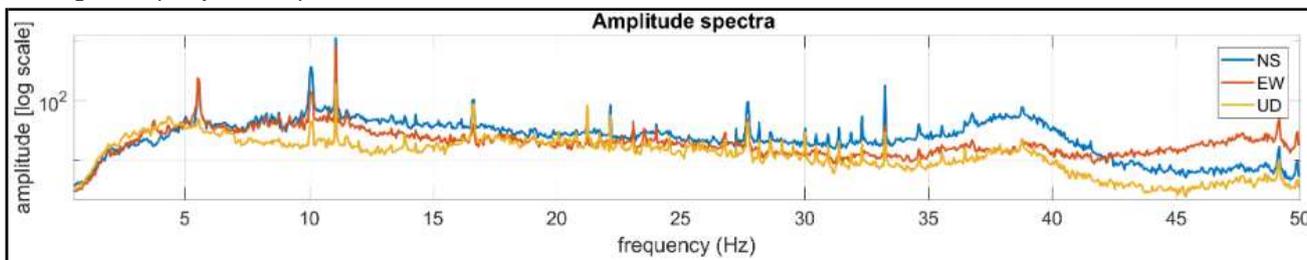
PARAMETRI DI ACQUISIZIONE	
Apparecchiatura di misura	SARA SL 06
Lunghezza registrazione	20 min
Fine registrazione	11:23:00
Frequenza di campionamento	200 Hz

PARAMETRI DI ELABORAZIONE	
Sampling frequency (Hz):	100
Window length (sec):	20
Minimum frequency soundly determined [10 cycles]:	0.5Hz
Length of analysed dataset (min):	20.0
Tapering (%):	5
Smoothing (%):	15

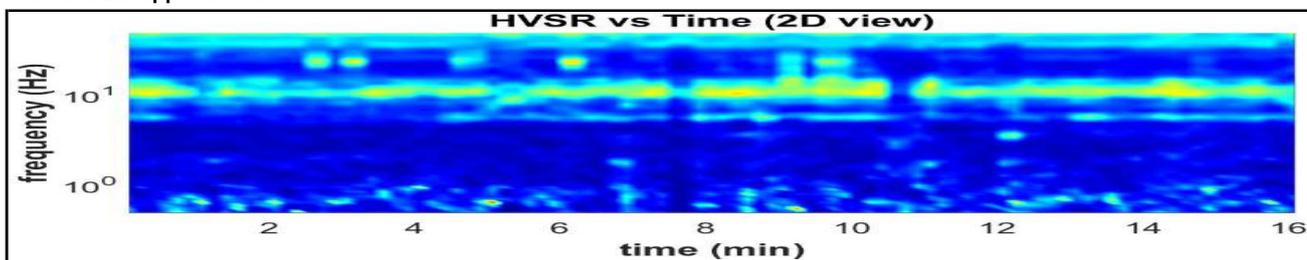
## Sismogrammi (Tempo)



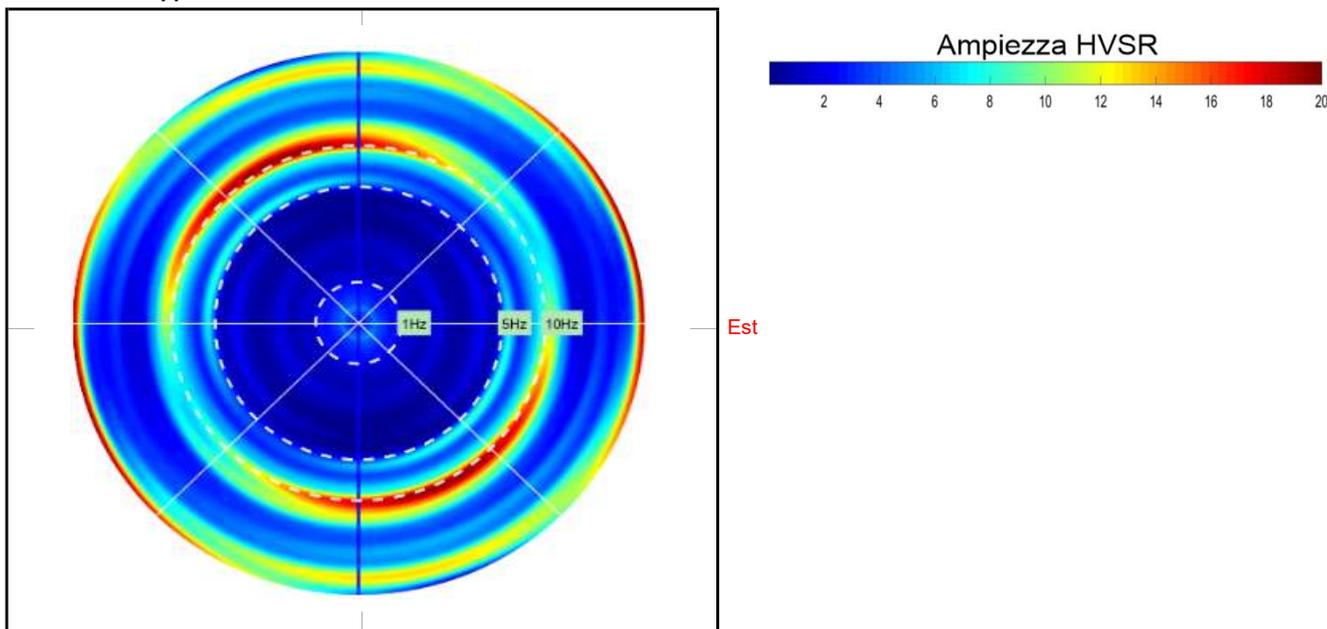
## Sismogrammi (Frequenza Hz)



## Persistenza rapporto HVSR



## Direzionalità rapporto HVSR



# RAPPORTO SPETTRALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

Committente:

ITALFERR

CODICE LAVORO  
CODICE PROVA

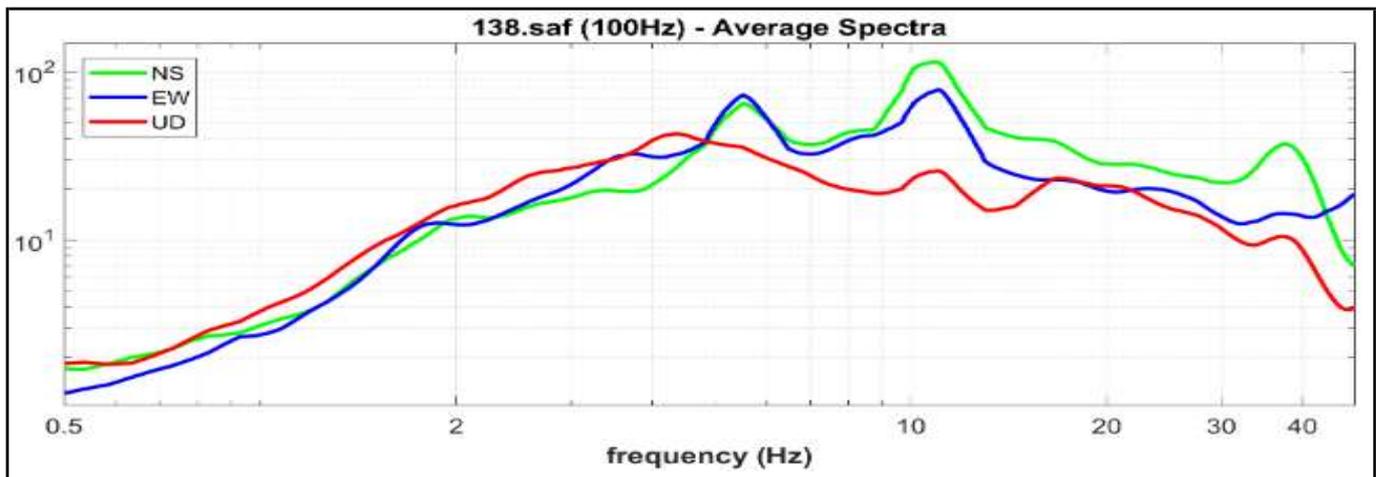
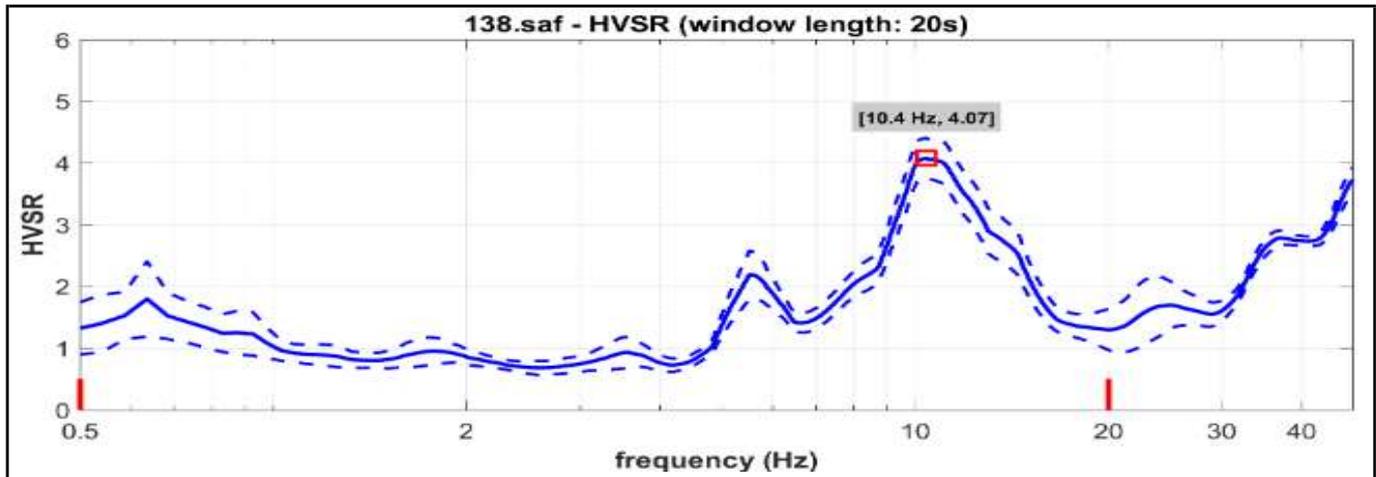
1982-03  
MASW 5+HVSR139

LOCALITA':  
DATA PROVA:

ACQUA CLAUDIA  
29/10/2019

## RAPPORTO SPETTRALE H/V

Max HVSR 0.635 ± 5.5 Hz. A0 = 1.7 ± 0.4



### Criteri per una curva H/V affidabile

[tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

f0 (Hz)	0.635
Lw (Sec)	20
nw	105
#1. [f0 > 10/Lw]: 0.635 > 0.5	<input checked="" type="checkbox"/>
#2. [nc > 200]: 1334 > 200	<input checked="" type="checkbox"/>
#3. [f0 > 0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0]	<input checked="" type="checkbox"/>

### Criteri per un picco H/V chiaro

[almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

#1. [exists f- in the range [f0/4, f0]   AH/V(f-) < A0/2]: yes (considering standard deviations), at frequency 0.2Hz	<input checked="" type="checkbox"/>	
#2. [nc > 200]: 1334 > 200	<input checked="" type="checkbox"/>	
#3. [A0 > 2]: 1.7 < 2		<input type="checkbox"/>
#4. [fpeak[Ah/v(f) ± sigmaA(f)] = f0 ± 5%]:		<input type="checkbox"/>
#5. [sigmaAf < epsilon(f0)]: 5.484 > 0.095		<input type="checkbox"/>
#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 3.937 < 2		<input type="checkbox"/>

Lw	Window lenght
nW	Number of windows used in the analysis
nc = Lw nW f0	Number of significant cycles
f	Current frequency
f0	H/V peak frequency
σf	Standard deviation of H/V peak frequency
ε(f0)	Threshold value for the stability condition σf < ε(f0)

A0	H/V peak amplitude at frequency f0
AH/V(f)	H/V curve amplitude at frequency f
f-	Frequency between f0/4 and f0 for which AH/V(f-) < A0/2
f+	Frequency between f0 and 4f0 for which AH/V(f+) < A0/2
σA(f)	Standard deviation of AH/V(f), σA(f) is the factor by which the mean AH/V(f) curve should be multiplier or divided
σlogH/V(f)	Standard deviation of log AH/V(f) curve
θ(f0)	Threshold value for the stability condition σA(f) < θ(f0)

Criterio soddisfatto  
 Criterio non soddisfatto

In accordo con SESAME Guidelines 2005

# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**Committente:** ITALFERR

**CODICE LAVORO** 1982-03  
**CODICE PROVA** MASW 5+HVSR139

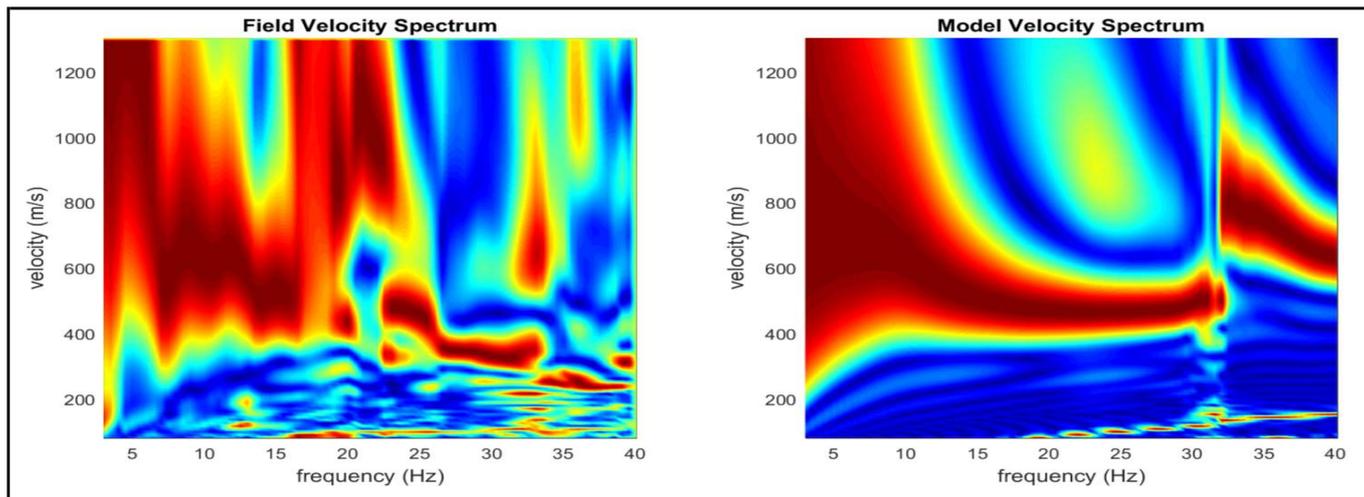
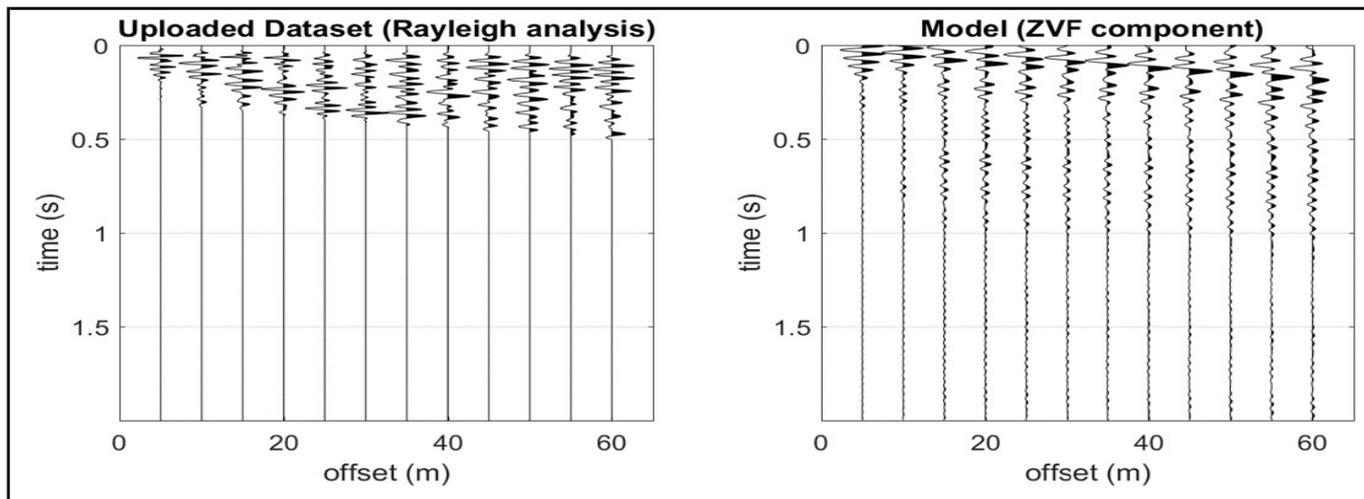
**LOCALITA':** ACQUA CLAUDIA  
**DATA PROVA:** 29/10/2019

**STRUMENTAZIONE** Geometrics GEODE  
**N°CANALI** 10  
**SPACING** da 1 a 5 m

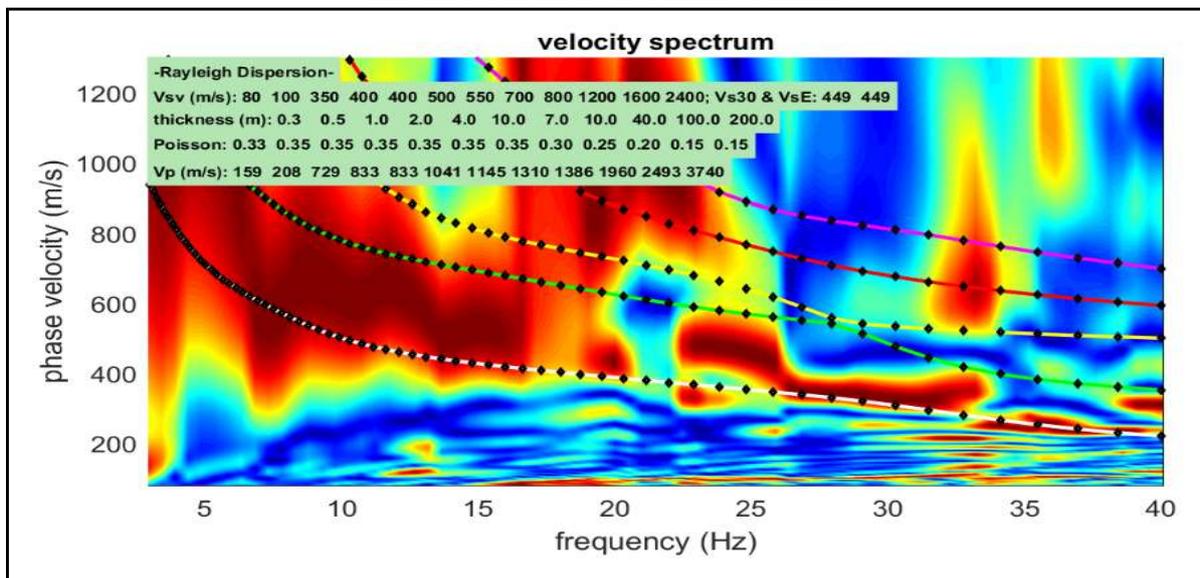
**RECORD TIME (Sec)** 5  
**SAMPLING (Sec)** 0.5

**MISURA ESEGUITA CON**  Acquisizione onde di Rayleigh  
**ACQUISIZIONE DI:** Acquisizione onde di Love

Utilizzo di geofoni verticali da 4.5 Hz  
 Utilizzo di geofoni orizzontali da 4.5 Hz



## VELOCITY SPECTRUM - MODELLING & PICKING



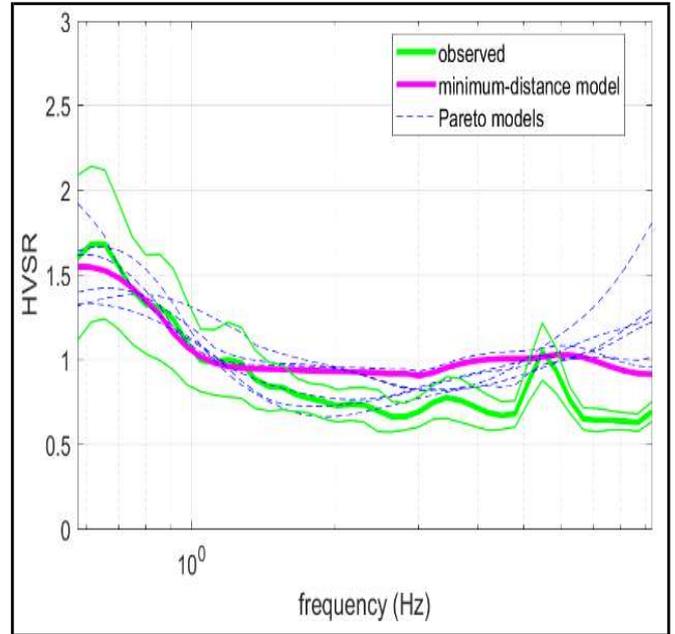
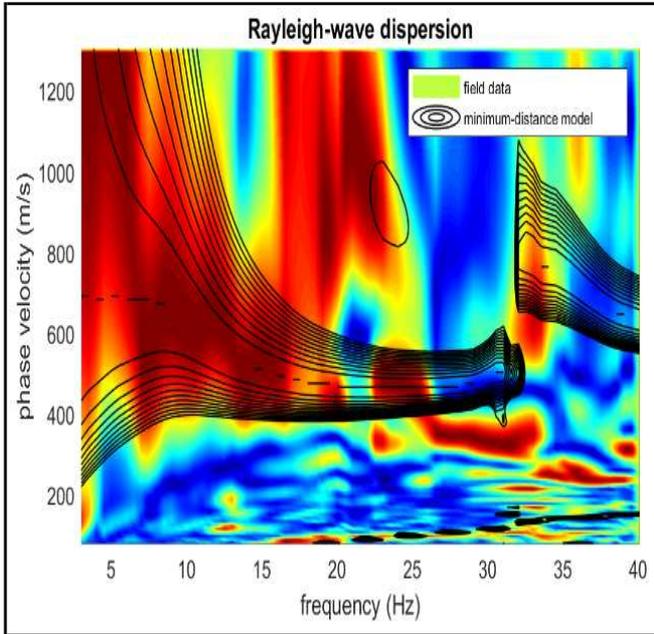
# ANALISI CONGIUNTA INDAGINE MASW & HVSR

Committente: **ITALFERR**

CODICE LAVORO 1982-03  
 CODICE PROVA MASW 5+HVSR139

LOCALITA': ACQUA CLAUDIA  
 DATA PROVA: 29/10/2019

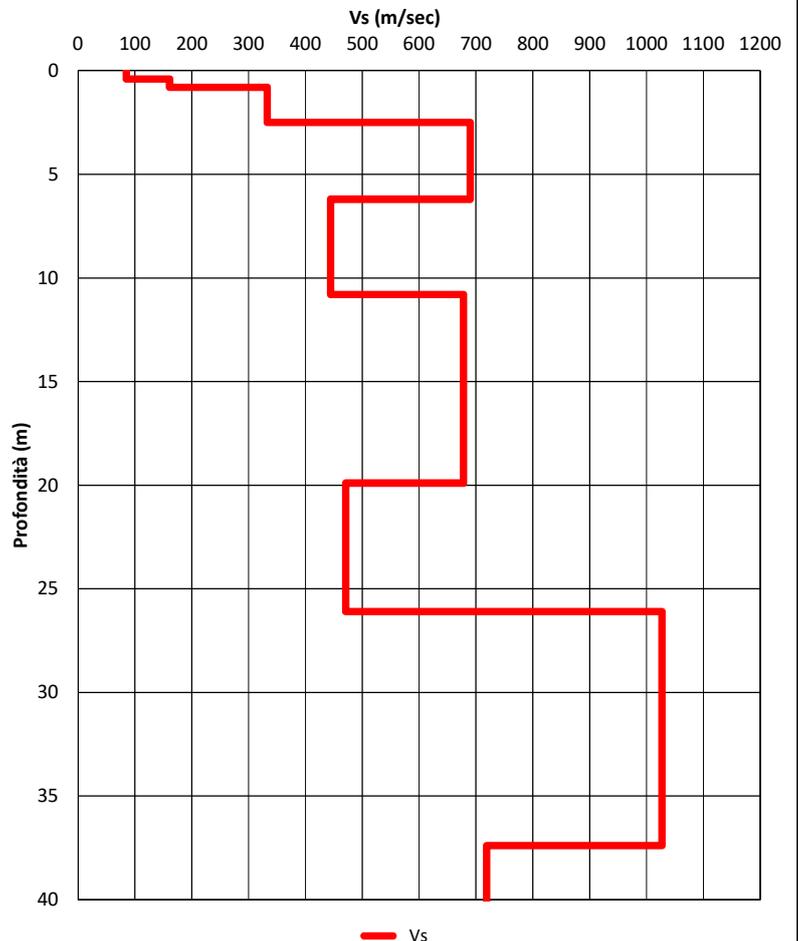
## ELABORAZIONE CONGIUNTA DATI MASW & HVSR



### Profilo Vs

Layer	Profondità m	Spessori m	Vs m/sec	Deviazione m/sec
1	0.40	0.40	85	26
2	0.80	0.40	161	131
3	2.50	1.70	333	35
4	6.20	3.70	690	69
5	10.80	4.60	444	195
6	19.90	9.10	678	135
7	26.10	6.20	471	65
8	37.40	11.30	1027	564
9	97.10	59.70	719	
10				
11				
12				

### PROFILO Vs



**NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI  
 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI  
 (D.M. 17/01/2018)**

**H<sub>bedrock</sub>**

**26.1** m

**V<sub>Seq</sub>**

**479** m/sec

**Categoria suolo**

**B**

# MAPPA INDAGINE CONGIUNTA MASW E HVSR

**Committente:** ITALFERR  
**CODICE LAVORO:** 1982-03  
**CODICE PROVA:** MASW 6+HVSR140

**LOCALITA':** ACQUA CLAUDIA  
**DATA PROVA:** 29/10/2019  
**LONGITUDINE:** 12.300421°  
**LATITUDINE:** 42.067712°  
**QUOTA (m. s.l.m.):** 167

**STRUMENTAZIONE** SARA SL 06  
**TERRENO DI MISURA:** Naturale  
**ACCOPIAMENTO:** Appoggiato al terreno  
**ORIENTAMENTO:** Nord  
**CONDIZIONI METEO:** Nuvoloso

## FOTO AEREA (Google Earth)



## FOTO AREA DI INDAGINE



# RAPPORTO SPETTRALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

**Committente:** ITALFERR

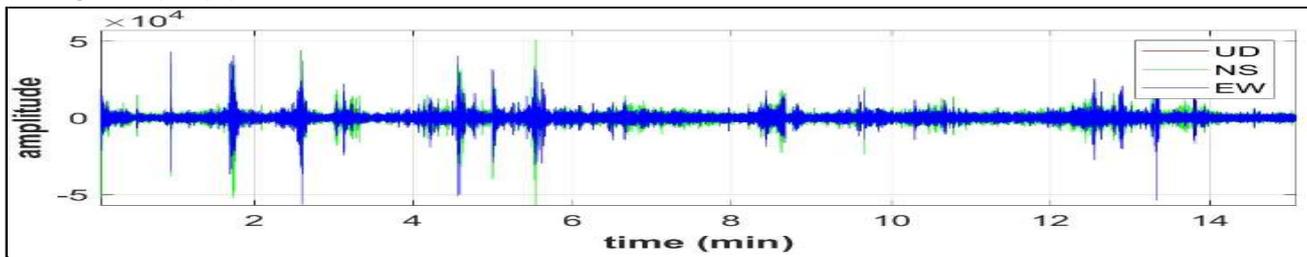
**CODICE LAVORO:** 1982-03  
**CODICE PROVA:** MASW 6+HVSR140

**LOCALITA':** ACQUA CLAUDIA  
**DATA PROVA:** 29/10/2019

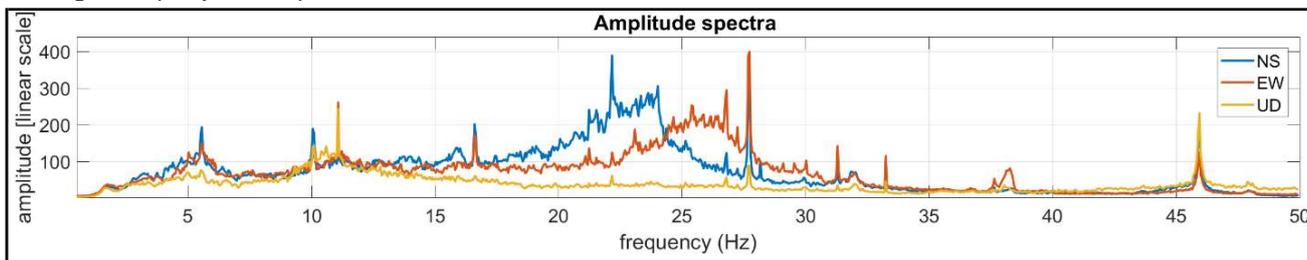
PARAMETRI DI ACQUISIZIONE	
Apparecchiatura di misura	SARA SL 06
Lunghezza registrazione	20 min
Fine registrazione	11:23:00
Frequenza di campionamento	200 Hz

PARAMETRI DI ELABORAZIONE	
Sampling frequency (Hz):	100
Window length (sec):	20
Minimum frequency soundly determined [10 cycles]:	0.5Hz
Length of analysed dataset (min):	20.0
Tapering (%):	5
Smoothing (%):	15

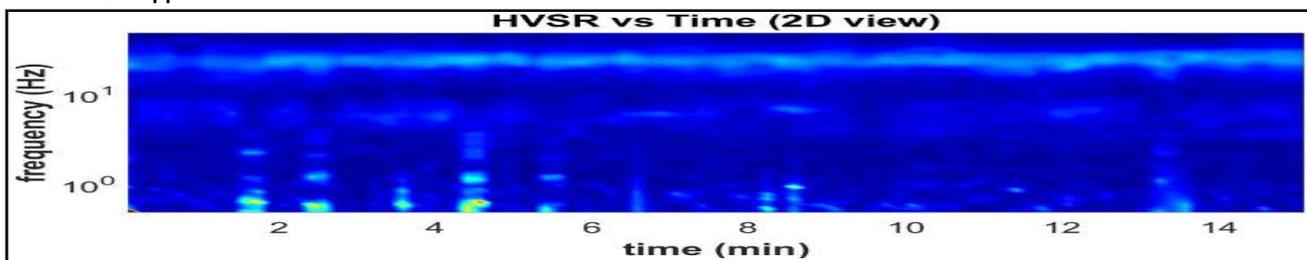
## Sismogrammi (Tempo)



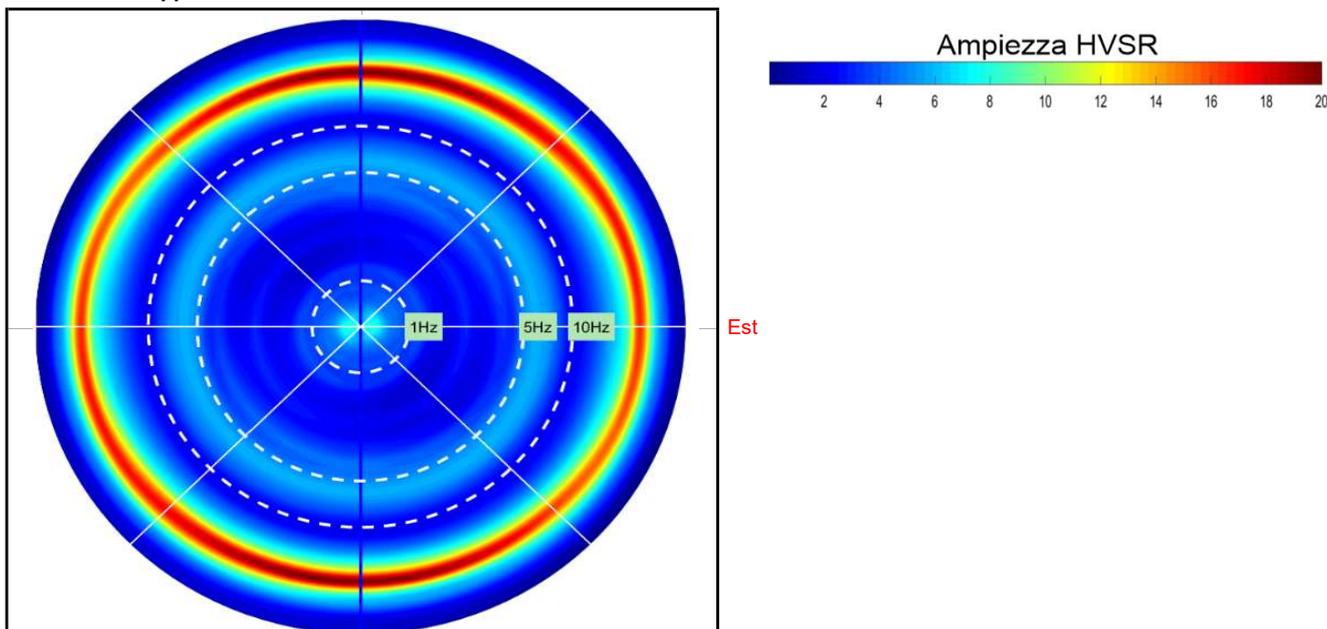
## Sismogrammi (Frequenza Hz)



## Persistenza rapporto HVSR



## Direzionalità rapporto HVSR



# RAPPORTO SPETTRALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

Committente:

ITALFERR

CODICE LAVORO  
CODICE PROVA

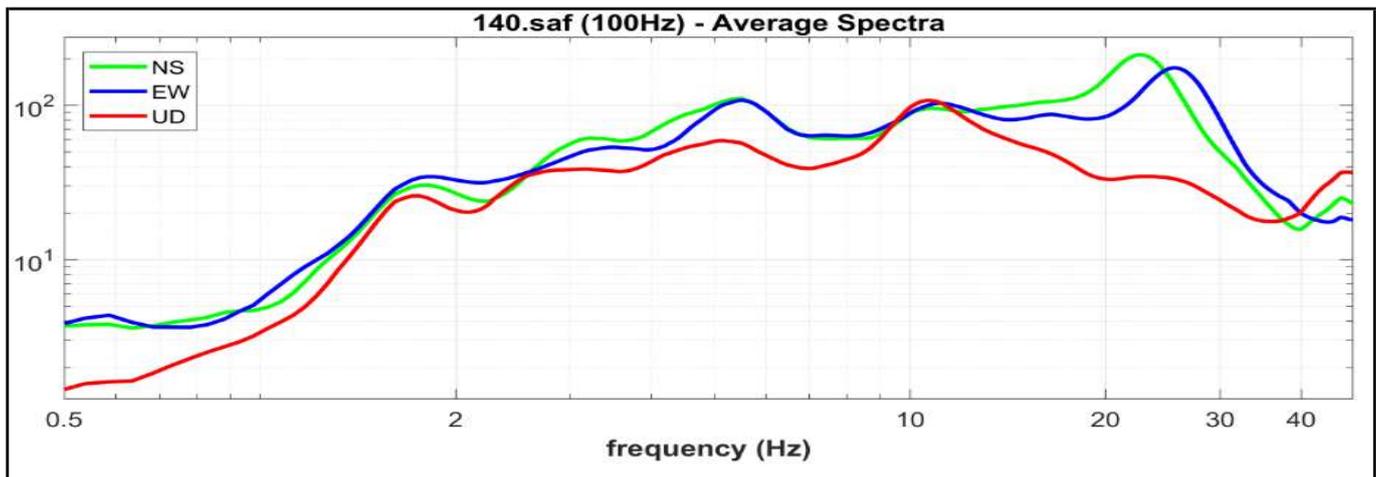
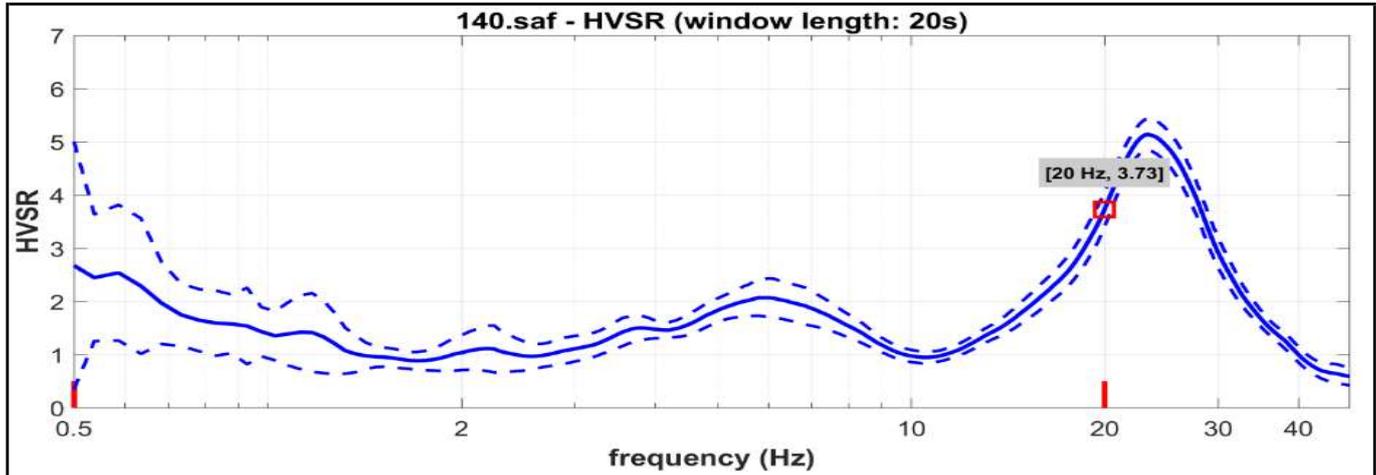
1982-03  
MASW 6+HVSR140

LOCALITA':  
DATA PROVA:

ACQUA CLAUDIA  
29/10/2019

## RAPPORTO SPETTRALE H/V

Max HVSR  $19.990 \pm 8.9$  Hz.  $A0 = 3.7 \pm 0.3$



### Criteria per una curva H/V affidabile

[tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

f0 (Hz)	19.990
Lw (Sec)	20
nw	91
#1. [f0 > 10/Lw]: 19.990 > 0.5	<input checked="" type="checkbox"/>
#2. [nc > 200]: 36382 > 200	<input checked="" type="checkbox"/>
#3. [f0 > 0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0]	<input checked="" type="checkbox"/>

### Criteria per un picco H/V chiaro

[almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

#1. [exists f- in the range [f0/4, f0]   AH/V(f-) < A0/2]: yes, at frequency 5.0Hz	<input checked="" type="checkbox"/>	
#2. [nc > 200]: 36382 > 200	<input checked="" type="checkbox"/>	
#3. [A0 > 2]: 3.7 > 2	<input checked="" type="checkbox"/>	
#4. [fpeak[Ah/v(f) ± sigmaA(f)] = f0 ± 5%]:		<input type="checkbox"/>
#5. [sigmaAf < epsilon(f0)]: 8.852 > 1.000		<input type="checkbox"/>
#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.675 < 1.58	<input checked="" type="checkbox"/>	

Lw	Window length
nW	Number of windows used in the analysis
nc = Lw nW f0	Number of significant cycles
f	Current frequency
f0	H/V peak frequency
σf	Standard deviation of H/V peak frequency
ε(f0)	Threshold value for the stability condition σf < ε(f0)

A0	H/V peak amplitude at frequency f0
AH/V(f)	H/V curve amplitude at frequency f
f-	Frequency between f0/4 and f0 for which AH/V(f-) < A0/2
f+	Frequency between f0 and 4f0 for which AH/V(f+) < A0/2
σA(f)	Standard deviation of AH/V(f), σA(f) is the factor by which the mean AH/V(f) curve should be multiplier or divided
σlogH/V(f)	Standard deviation of log AH/V(f) curve
θ(f0)	Threshold value for the stability condition σA(f) < θ(f0)

Criterio soddisfatto  
 Criterio non soddisfatto

In accordo con SESAME Guidelines 2005

# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**Committente:** ITALFERR

**CODICE LAVORO** 1982-03  
**CODICE PROVA** MASW 6+HVSR140

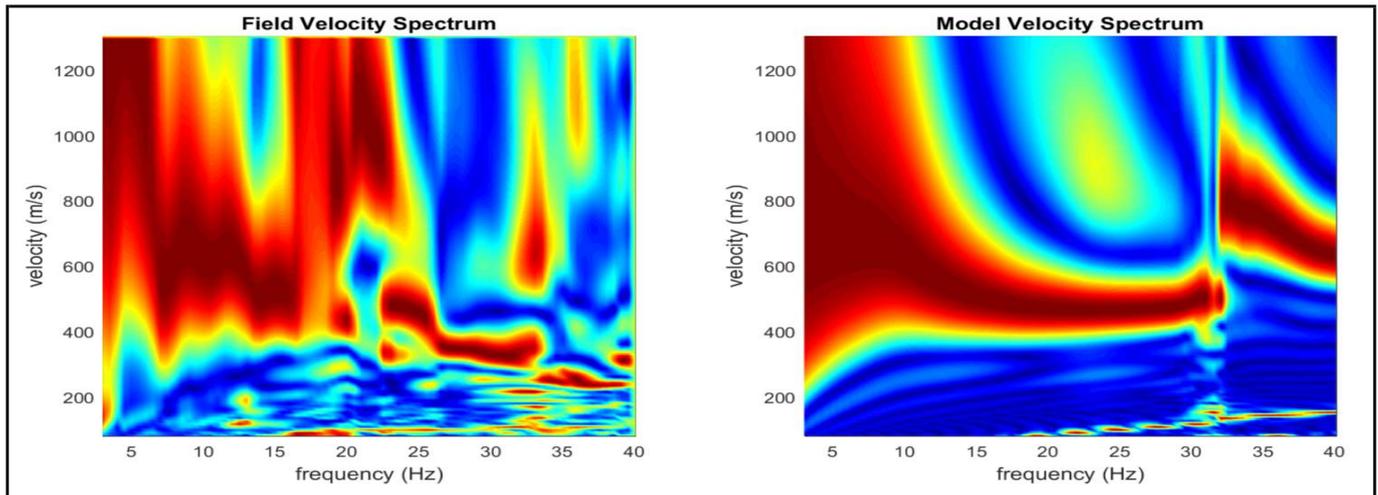
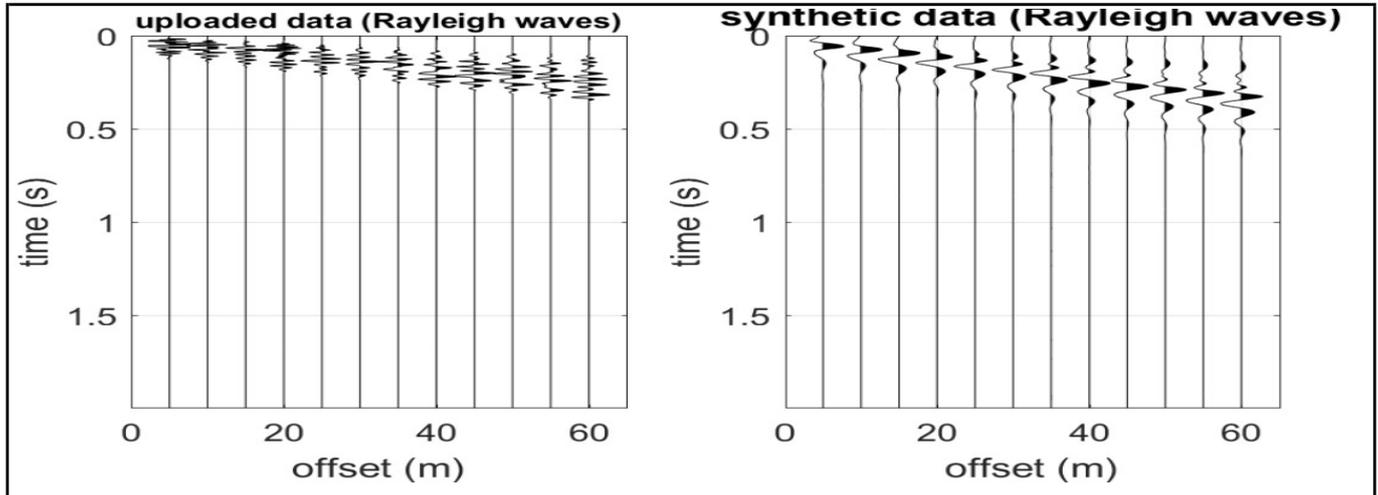
**LOCALITA':** ACQUA CLAUDIA  
**DATA PROVA:** 29/10/2019

**STRUMENTAZIONE** Geometrics GEODE  
**N°CANALI** 10  
**SPACING** da 1 a 5 m

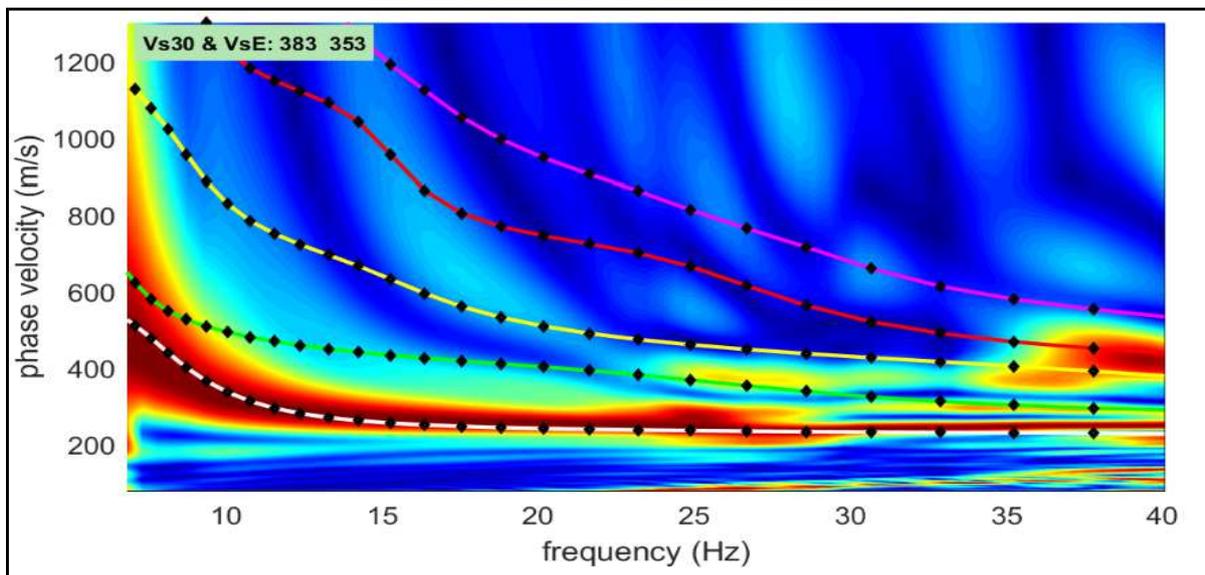
**RECORD TIME (Sec)** 5  
**SAMPLING (Sec)** 0.5

**MISURA ESEGUITA CON**  Acquisizione onde di Rayleigh  
**ACQUISIZIONE DI:** Acquisizione onde di Love

Utilizzo di geofoni verticali da 4.5 Hz  
 Utilizzo di geofoni orizzontali da 4.5 Hz



VELOCITY SPECTRUM - MODELLING & PICKING



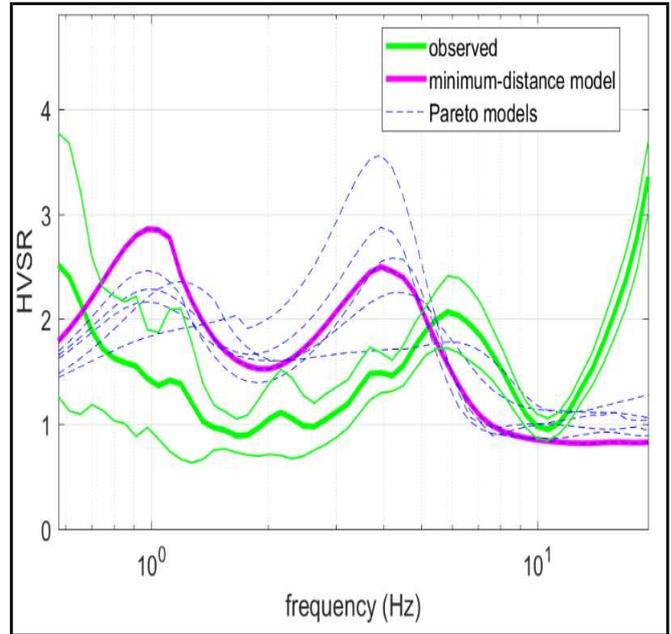
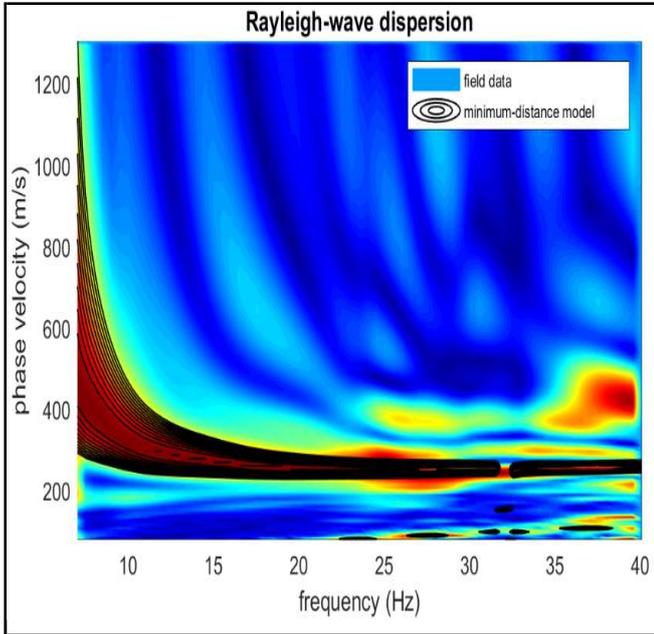
# ANALISI CONGIUNTA INDAGINE MASW & HVSR

Committente: **ITALFERR**

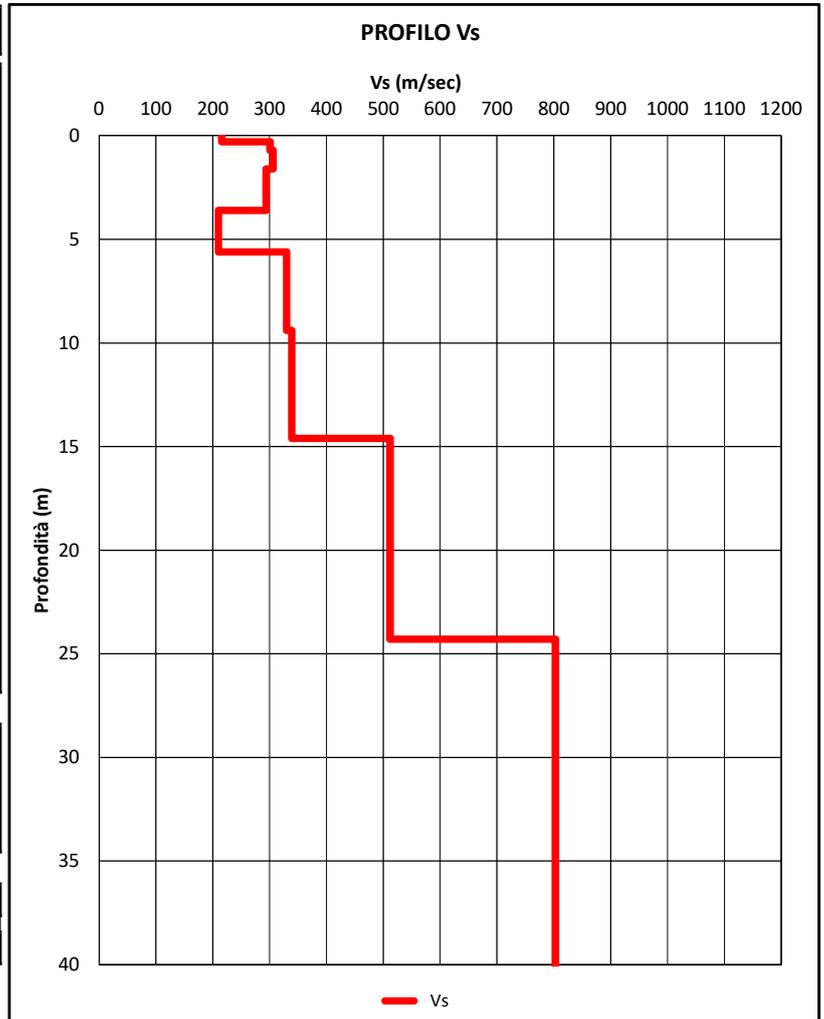
CODICE LAVORO 1982-03  
 CODICE PROVA MASW 6+HVSR140

LOCALITA': ACQUA CLAUDIA  
 DATA PROVA: 29/10/2019

## ELABORAZIONE CONGIUNTA DATI MASW & HVSR



Profilo Vs				
Layer	Profondità m	Spessori m	Vs m/sec	Deviazione m/sec
1	0.30	0.30	216	11
2	0.70	0.40	301	34
3	1.60	0.90	306	48
4	3.60	2.00	294	5
5	5.60	2.00	210	33
6	9.40	3.80	330	24
7	14.60	5.20	339	78
8	24.30	9.70	512	40
9	58.60	34.30	803	
10				
11				
12				



**NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI  
 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI  
 (D.M. 17/01/2018)**

H <sub>bedrock</sub>	24.3	m
V <sub>Seq</sub>	358	m/sec
Categoria suolo	E	