

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO**

**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA**

**U.O. GEOLOGIA TECNICA, DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)**

**INDAGINI GEOFISICHE:**

– PROVA DOWN HOLE E MASW (PROGEO)

SCALA:

-

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

RS3T 30 D 69 IG GE0005 004 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	G. Pulelli <i>G. Pulelli</i>	Gennaio 2020	M. Sciarra G. Penna <i>M. Sciarra</i>	Gennaio 2020	A. Barreca <i>A. Barreca</i>	Gennaio 2020	M. Comedini Giugno 2020
B	Emissione Esecutiva	G. Pulelli <i>G. Pulelli</i>	Giugno 2020	M. Sciarra G. Penna <i>M. Sciarra</i>	Giugno 2020	A. Barreca <i>A. Barreca</i>	Giugno 2020	



## INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2. INDAGINE DOWN HOLE .....</b>	<b>6</b>
2.1. Attrezzature tecniche.....	6
2.2. Metodologia.....	6
2.3. Operazioni di campagna .....	7
2.4. Elaborazione dati .....	9
2.5. Certificati .....	11
<b>3. INDICAZIONI GENERALI SULLA ELASTICITÀ DEI MATERIALI .....</b>	<b>12</b>
3.1. Generalità .....	12
3.2. Principi sulla elasticità .....	12
3.3. Parametri elastici .....	13
<b>4. MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (M.A.S.W.) .....</b>	<b>14</b>
4.1 Metodologia di indagine per onde superficiali .....	14
4.1.1 Descrizione del metodo .....	14
4.1.2 Modalità di acquisizione .....	16
4.1.3 Elaborazione dati e stima della curva di dispersione .....	16
<b>5 INDAGINI DI SISMICA PASSIVA.....</b>	<b>20</b>
5.1 Metodologia HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio).....	20
5.1.1 Generalità .....	20
5.1.2 Basi teoriche .....	20
5.1.3 Attrezzature e modalità esecutive.....	21
5.1.4 Elaborazione dati .....	21
<b>6. NORMATIVA ANTISISMICA.....</b>	<b>24</b>
<b>7. CONCLUSIONI.....</b>	<b>25</b>

# ITAFERR SPA

## U.O. GEOLOGIA, TECNICA, DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

### DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA – PALERMO

### NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA

#### PROGETTO DEFINITIVO

#### TRATTA LERCARA DIR. – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)

#### Indagini geofisiche Down Hole e MASW

#### 1. PREMESSA

Su incarico di ITAFERR S.P.A. sono state eseguite indagini geofisiche per la caratterizzazione dei terreni su cui si sviluppa il progetto definitivo del LOTTO 3 - Tratta Lercara Dir. – Caltanissetta Xirbi.

Per lo studio del lotto in esame si sono applicate le procedure di indagine più adeguate per la progettazione in oggetto.

Allo scopo sono state realizzate le seguenti indagini geofisiche:

- n° 1 Down Hole;
- n° 4 MASW;
- n° 4 HVSR;

La misura sismica Down Hole è stata effettuata nel sondaggio S03 realizzato vicino all'abitato di Marianopoli in provincia di Caltanissetta sul nuovo tracciato della Dittaino-Lercara.

La misura è stata effettuata fino alla quota di -253.00 m dal piano campagna ogni metro per la misura delle velocità delle onde di compressione e taglio.

Le analisi geofisiche Down Hole sono state effettuate nel rispetto delle norme ASTM D7400-08 mentre la valutazione della  $V_{seq}$  è stata effettuata secondo quanto previsto Norme Tecniche per le Costruzioni del 17 gennaio 2018.

L'area dove è ubicato il sondaggio è vicino all'abitato di Marianopoli (CL) alle seguenti coordinate WGS84/UTM (fig. 1).

WGS84  
UTM zona 33 S

Latitudine 37.603100°  
Nord: 4162334.98

Longitudine 13.913070°  
Est: 404056.91



Figura 1.1 - Localizzazione del sondaggio per il Down Hole



Figura 1.2 – Immagine del sito d'indagine

Le 4 sezioni **MASW** sono state realizzate posizionando 12 ricevitori da 4.5 Hz spaziatati 5 metri per un totale di 55 metri cadauno, mediante i quali sono state effettuate misure sismiche attive. Al centro di ogni stendimento MASW è stata realizzata una prova **HVSR** di sismica passiva con tempo di acquisizione di 30 minuti cadauno (per un totale di 4 HVSR):

- 1) MASW 3a SI 13;
- 2) MASW 3b S09;
- 3) MASW 3b SI 11;
- 4) MASW IV03;

I dati acquisiti con le due tipologie d'indagine sono stati elaborati congiuntamente.

In coda alla relazione sono riportate le schede relative all'analisi MASW ed HVSR dei siti d'indagine (composte da 5 figure cadauna) con relativa ubicazione, elaborazione e risultanze.

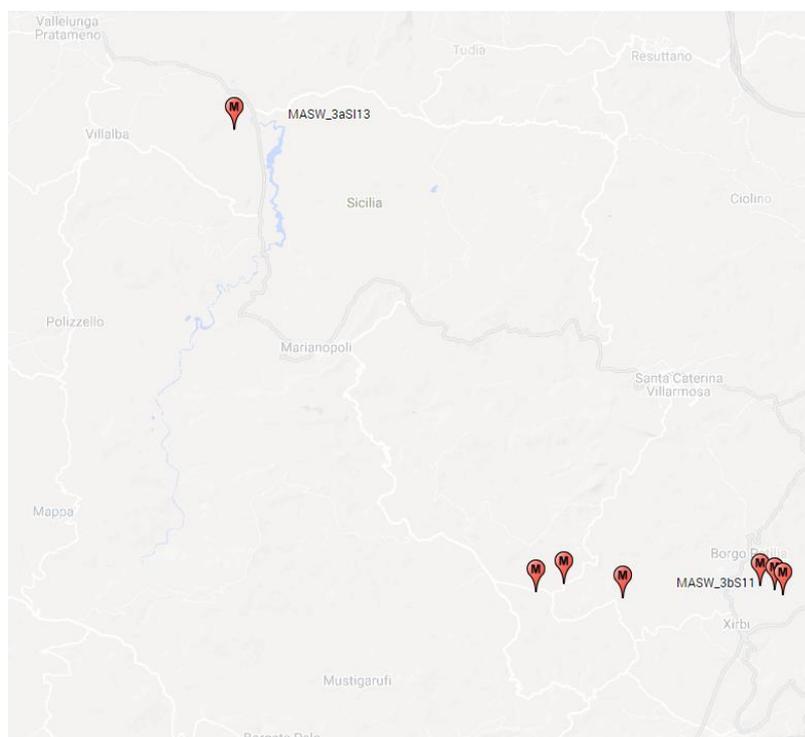


Figura 1.3 – Corografia di insieme indagini MASW-HVSR

In coda alla relazione sono riportati gli Allegati grafici relativi alle ubicazioni di tutte le indagini eseguite e risultanze delle stesse.

## 2. INDAGINE DOWN HOLE

### 2.1. Attrezzature tecniche

Sono state utilizzate le seguenti strumentazioni e software

#### Down Hole

Sismografi	n° 1 Geometrics Geode;
Ricevitori	Sonda sismica costituita da un gruppo di sensori da 14 hz in disposizione 3D.
Energizzazione	Shot mediante mazza strumentata da 10 Kg sia per le onde di compressione sia per le onde di taglio con polarizzazione orizzontale.
Software	Seisview e Down Hole (sviluppati dalla Progeo) per analisi in modalità tomografica.

### 2.2 Metodologia

La tecnica down-hole prevede la misura dei tempi di propagazione delle onde di compressione (P) e di taglio (S) tra il punto di energizzazione in superficie (shot) ed il punto di ricezione mobile in profondità entro il foro di sondaggio.

Per effettuare tali operazioni è necessario utilizzare una sorgente di energia a polarizzazione verticale ed orizzontale: con la prima si generano onde di compressione P mentre con la seconda onde di taglio polarizzate Sh.

L'apparato di ricezione è costituito da una sonda provvista di un apposito meccanismo di ancoraggio alle pareti del foro durante la registrazione dell'impulso e di disancoraggio per essere mobilizzato lungo la verticale del sondaggio stesso. (vedasi foto in figura 2.1, di una singola sonda).

Questa è costituita da un gruppo di sensori composto da tre geofoni da 14 Hz smorzati del 70%, dei quali uno con l'asse funzionale verticale (V) e due orizzontali (H1 e H2) fra loro ortogonali.

Oltre alla sonda calata entro il foro si utilizza in superficie un interruttore piezoelettrico applicato all'apparato energizzatore, il quale costituisce il dispositivo di trigger per l'inizio della registrazione ed alcuni geofoni di riferimento (5 nel nostro caso) posizionati nelle vicinanze della bocca del foro che rimangono fissi per tutte le misure effettuate nel sondaggio e che costituiscono il dispositivo di controllo del trigger affinché tutti gli impulsi sismici possano essere corretti con uno shift del tempo nella fase di preprocessing nel caso in cui si opti per una elaborazione di tipo progressivo tomografico.



Figura 2.1 - Sonda 3D

### 2.3. Operazioni di campagna

Dopo aver eseguito il collegamento al sismografo del cavo elettrico per i canali della sonda, dell'interruttore piezoelettrico solidale all'apparato di energizzazione e dei 5 geofoni di riferimento si è effettuato il posizionamento della sonda 3D a fondo foro e si sono realizzati alcuni shot di prova allo scopo di tarare i parametri di acquisizione dello strumento di registrazione dati.

Effettuata la taratura della strumentazione si è proceduto alla prospezione down-hole a partire da fondo foro.

Gli impulsi sismici ricevuti dalla sonda in foro sono stati acquisiti utilizzando l'apparecchiatura EG&G Geometrics Geode con un campionamento di 0.0125 millisec, tramite la quale, dopo amplificazione, conversione analogico/digitale e filtraggio, sono trasferiti e registrati su P.C.

Sui sismogrammi le tracce sono distinte secondo lo schema sottostante:

Sonda in pozzo

Canale 1 - segnale del geofono verticale	(V)
Canale 2 - segnale del geofono orizzontale	(H1)
Canale 3 - segnale del geofono orizzontale	(H2)

Sensori di controllo in superficie

Canale 4 - segnale del geofono di riferimento posizionato sul punto di battuta	(Rif 1)
Canale 5 - segnale del geofono di riferimento posizionato a 1 metro dal punto di battuta	(Rif 1)
Canale 6 - segnale del geofono di riferimento posizionato a 2 metro dal punto di battuta	(Rif 2)
Canale 7 - segnale del geofono di riferimento posizionato sulla bocca pozzo	(Rif 3)

Al fine della determinazione del tempo di arrivo dell'onda di taglio alle varie profondità si è provveduto alla registrazione di un impulso polarizzato sul piano orizzontale con la sonda posizionata a fondo foro, la registrazione relativa a tale impulso è riportata qui di seguito.

Vengono apportate correzioni di tempo alle tracce uniformando i tempi di arrivo sui geofoni di riferimento.

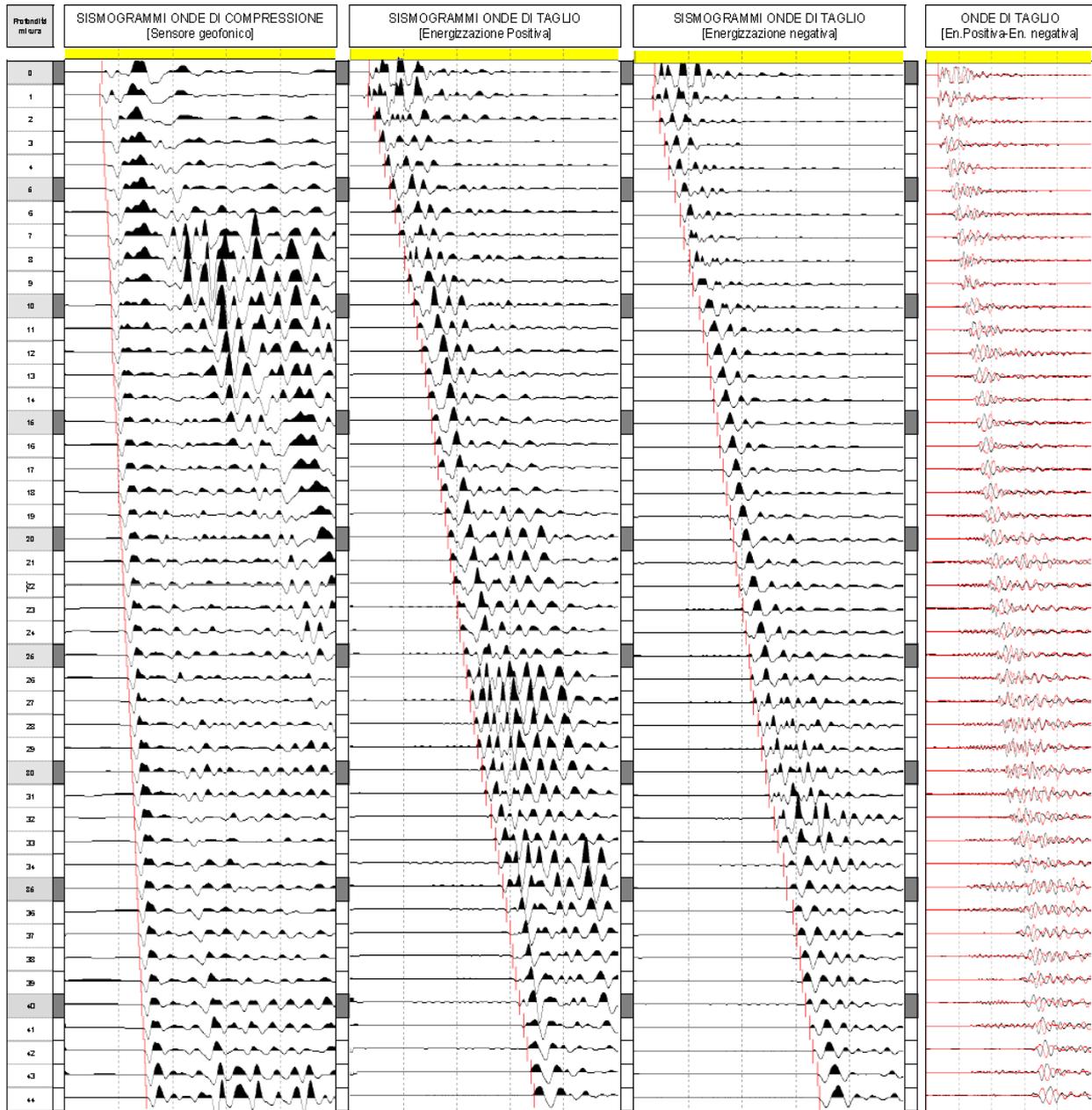


Figura 2.2 – Immagine di repertorio.

Sulla sinistra sono riportati i sismogrammi delle onde di compressione, a questo seguono i sismogrammi onde di taglio in fase di processing (a sin. il geofono H1, al centro quello sempre H1 ma con shot in inversione di fase e sulla destra il mix di entrambi [visualizzazione a farfalla] per valutare l'inversione di fase).

## 2.4. Elaborazione dati

Il procedimento elaborativo dei dati down hole si può realizzare fondamentalmente secondo due modalità ma in questo caso è stata utilizzata quella progressiva descritta di seguito:

Questa consiste nell'interpretazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione P e di taglio S. Per l'analisi di questi dati vengono utilizzati programmi di utilità originali della Progeo.

Il procedimento di calcolo si sviluppa secondo i seguenti ulteriori step.

### a) Definizione della geometria della ricerca

- coordinate del sensore in pozzo (2D o 3D),
- posizionamento punto di shot.

### b) Input tempi di arrivo onde P e onde S

Realizzazione dei file dei dati relativi ai tempi di arrivo delle onde P ed S associate alle coordinate spaziali delle stazioni di misura.

### c) Input modello di velocità

In base alle conoscenze stratigrafiche e sismiche vengono definiti degli intervalli a velocità costante lungo l'asse del foro in funzione dei quali viene realizzato il ray tracing (step n).

### d) Ray tracing

Vengono create le traiettorie dei raggi sismici in base ai modelli di velocità definiti allo step m).

Per il calcolo si sono utilizzati i seguenti parametri:

- anisotropia ellittica (massima velocità in senso verticale)
- tolleranza lineare (.05%)
- tolleranza angolare (1")
- numero di iterazioni (500)
- multi pathing (on)
- plane layer (on)

### e) Definizione dei parametri di calcolo

Il programma utilizzato necessita, per il calcolo della sezione in profondità lungo la verticale del foro e in funzione dei valori di velocità, dei seguenti parametri di calcolo:

- definizione tipo di griglia (1 cella ogni m)
- tipo di anisotropia del mezzo investigato (verticale)
- numero di iterazioni (500)
- algoritmo di calcolo (S.I.R.T.)

L'algoritmo S.I.R.T. (Simultaneous Iterative Reconstruction Technique) crea un'immagine di velocità apprezzabile, sufficientemente stabile e che converge velocemente verso i valori sperimentali.

### f) Analisi delle risultanze

Queste vengono inizialmente valutate dal punto di vista statistico attraverso gli scarti quadratici e le varianze dei tempi calcolati rispetto a quelli definiti in input. In base a tali valori possono essere modificati i parametri di calcolo per una migliore ottimizzazione. Si passa in seguito all'analisi delle velocità intergeofoniche relative alle onde P ed S dalla quale si ricava un modello di velocità più adeguato (a tale modello si farà riferimento in seguito come velocità intervallari). Il calcolo riprende perciò dallo step c) con l'input del nuovo modello di velocità e si procede fino a quando gli scarti e le varianze divengono minimi.

### q) Predisposizione tabelle e grafici dei dati

I dati calcolati al punto e) vengono riportati in un foglio elettronico appositamente predisposto allo scopo di calcolare i moduli elastici relativi e graficizzare le risultanze.

### r) Conversione in immagini computerizzate

La prospezione down hole con elaborazione tomografica si concretizza nella definizione di celle analitiche elementari; per ogni cella il valore della velocità tomografica rappresenta il valore medio risultante dei valori differenziali relativi a tutti i tragitti elementari dei raggi di investigazione che attraversano la cella considerata. La determinazione delle celle elementari che definiscono la rappresentazione tomografica deriva dalle variazioni dei parametri cinematici  $V_p$  e  $V_s$  in funzione del grado di consistenza differenziata del materiale.

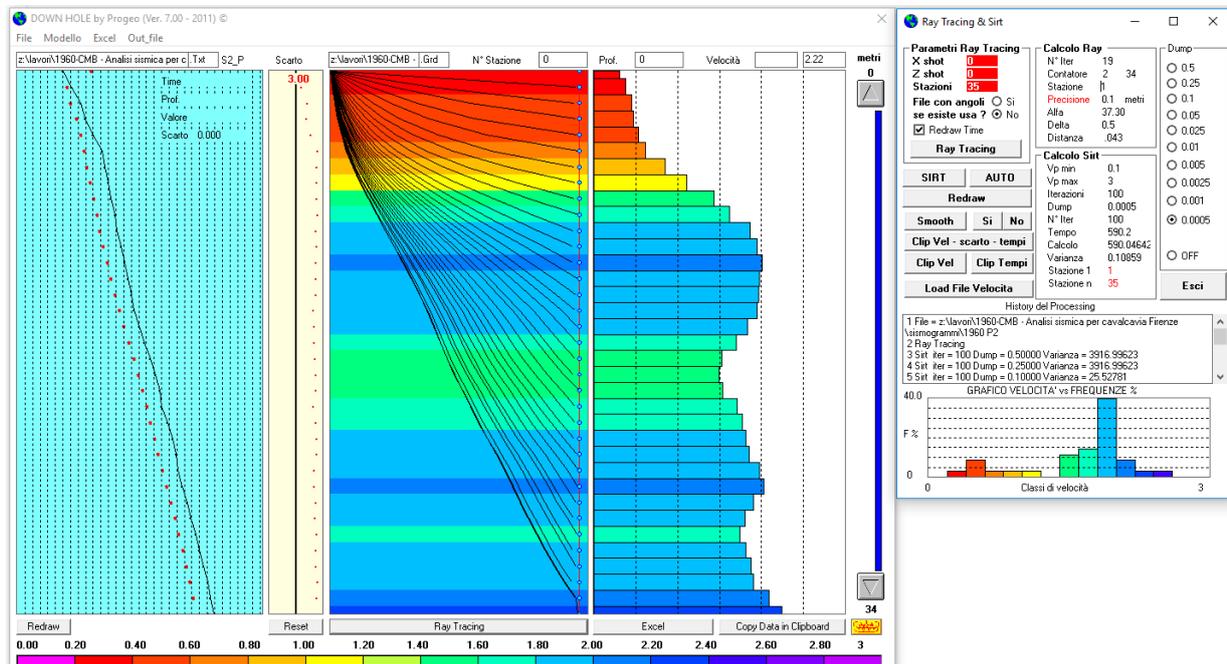


Figura 2.3 - Immagine di repertorio relativa ad uno step del processing tomografico del Down Hole

## 2.5. Certificati

I dati dei parametri elastici di una generica prova Down Hole si riferiscono alla verticale del foro di sondaggio.

Dalla prova si ottengono quindi i valori medi dei parametri elastici tra i vari punti di misura.

Il certificato di prova è rappresentato da:

1. Sismogrammi onde di compressione H1, taglio H2 e H3 e visualizzazione farfalla (H2/3).
2. Tabella parametri numerici Down Hole

Prof.	Quota della misura dal piano campagna;
T <sub>p</sub>	Tempi di arrivo delle onde di compressione;
T <sub>s</sub>	Tempi di arrivo delle onde di taglio;
V <sub>p</sub>	Velocità onde di compressione tomografica;
V <sub>s</sub>	Velocità onde di taglio tomografica;
v	Coefficiente di Poisson;
γ	Peso di volume;
E <sub>din</sub>	Modulo di Elasticità;
G <sub>din</sub>	Modulo di Taglio o Rigidità;
K <sub>din</sub>	Modulo di Compressibilità;

Nella porzione intermedia dell'elaborato è altresì riportata la colonna stratigrafica sintetica della stratigrafia del sondaggio per analisi e correlazioni di massima litostratigrafiche e geosismiche.

I dati rilevati ad ogni metro di profondità sono poi stati indicativamente accorpate per livelli litostratigrafici o geofisici omogenei ed i parametri medi di ciascun intervallo considerato sono riportati in ulteriori colonne distintive.

Di seguito sono riportate le varianze delle velocità delle onde di compressione e taglio.

In basso è indicato il valore della V<sub>seq</sub>, del G°<sub>eq</sub> e della categoria di suolo.

3. Diagrammi delle velocità delle onde di compressione V<sub>p</sub> e taglio V<sub>s</sub> per punti (con varianza) ed intervallari (da tabella al punto 2);  
Rapporto V<sub>p</sub>/V<sub>s</sub>;  
Parametri geotecnici estrapolati dal certificato del sondaggio (Pocket Penetrometer e nSPT);
4. Diagrammi dei parametri elastici (Coefficiente di Poisson, Modulo di Elasticità E°, Modulo di Taglio G°).

### 3. INDICAZIONI GENERALI SULLA ELASTICITÀ DEI MATERIALI

#### 3.1. 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 dei materiali attraversati.

#### 3.2. 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* ( $\epsilon_l$ ) 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* ( $\epsilon_o$ ).

Per piccole deformazioni, lo sforzo longitudinale è proporzionale alla deformazione  $\epsilon_l$ , 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 o, 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*.

### 3.3. 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 ( $\gamma_0 - \gamma_{din}$ )
- Modulo di Elasticità dinamico ( $E_0 - E_{din}$ )
- Modulo di Taglio dinamico ( $G_0 - G_{din}$ )
- Modulo di Compressibilità dinamico ( $K_0 - K_{din}$ )

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 (Progeo 1986) 
$$\gamma_{din} = 0.51 \cdot V_{p \frac{m}{sec}}^{0.19} \quad (\gamma_{din} \text{ in } t/m^3)$$

Peso di volume secco (Keçeli 2009-2012)<sup>i</sup> 
$$\gamma d_{din} = 0.44 \cdot V_{s \frac{m}{sec}}^{0.15} \quad (\gamma_{din} \text{ in } t/m^3)$$

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

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

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

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

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*

<sup>i</sup> Ali Keçeli, Soil parameters which can be determined with seismic velocities. Jeofisik, 2012, 16, 17-29

$G_{din}$  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).

#### 4. 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.

##### 4.1 Metodologia di indagine per onde superficiali

###### 4.1.1 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 (VR).

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 associati 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.

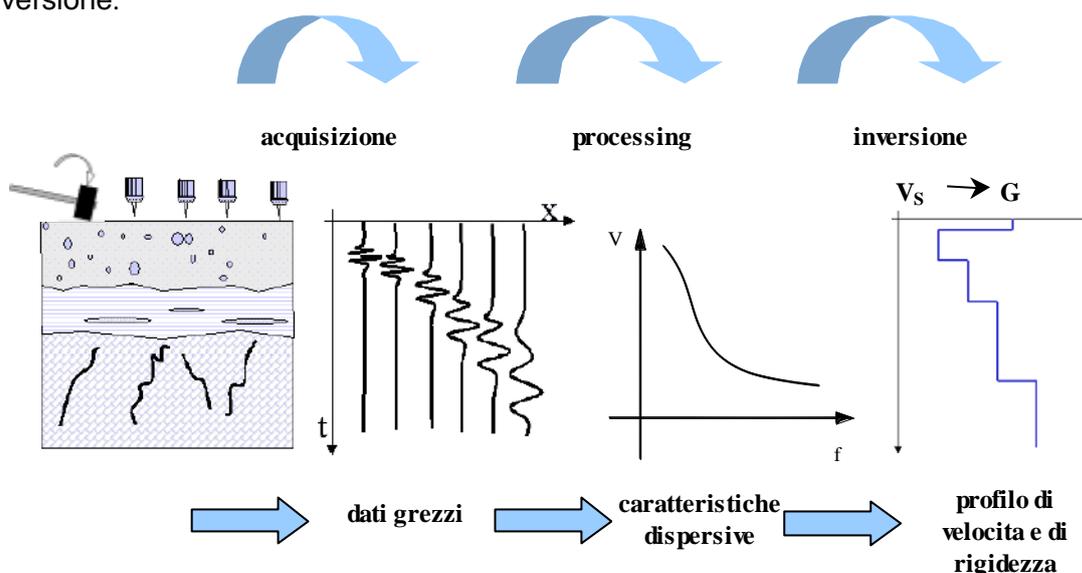
La curva di dispersione gioca un ruolo centrale nell'utilizzo delle onde di Rayleigh ai fini della caratterizzazione dei terreni; infatti, è funzione delle caratteristiche di rigidità del mezzo e, posto di riuscire a misurarla sperimentalmente, può essere utilizzata (come si vedrà più avanti) per un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



*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 rigidità 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.

#### 4.1.2 Modalità di acquisizione

Le sezione realizzata è costituita 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.

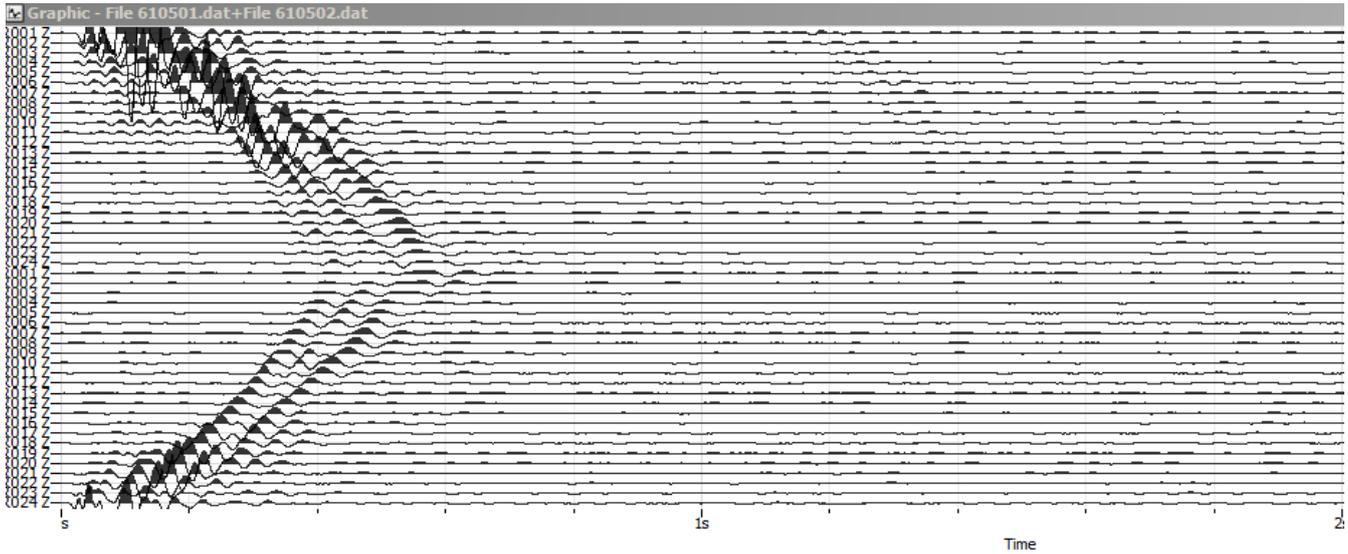
#### 4.1.3 Elaborazione dati e stima della curva di dispersione

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)™**.

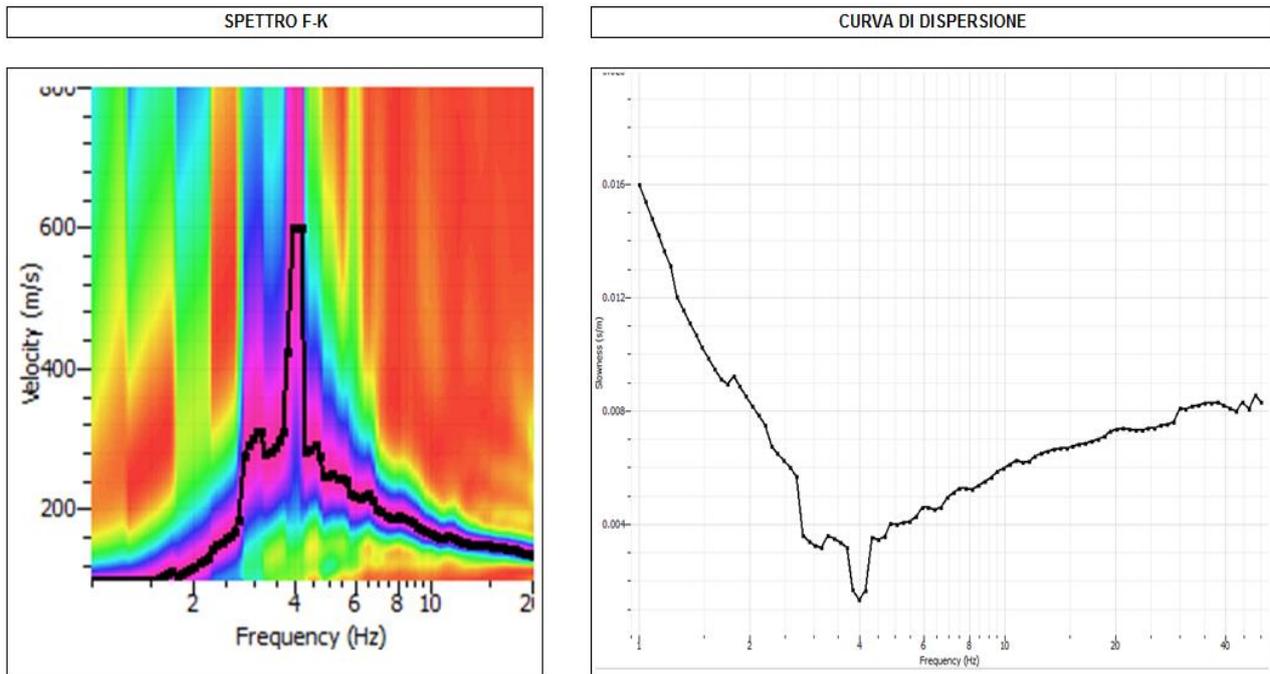
I dati vengono trasformati in dominio fk (frequenza-numero d'onda) tramite una doppia trasformata di Fourier e la curva di dispersione è ricavata con un algoritmo di ricerca dei massimi spettrali (ai quali è associata per l'appunto la propagazione delle onde di Rayleigh).

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 fk e la curva di dispersione.



*Esempio di registrazione MASW*

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



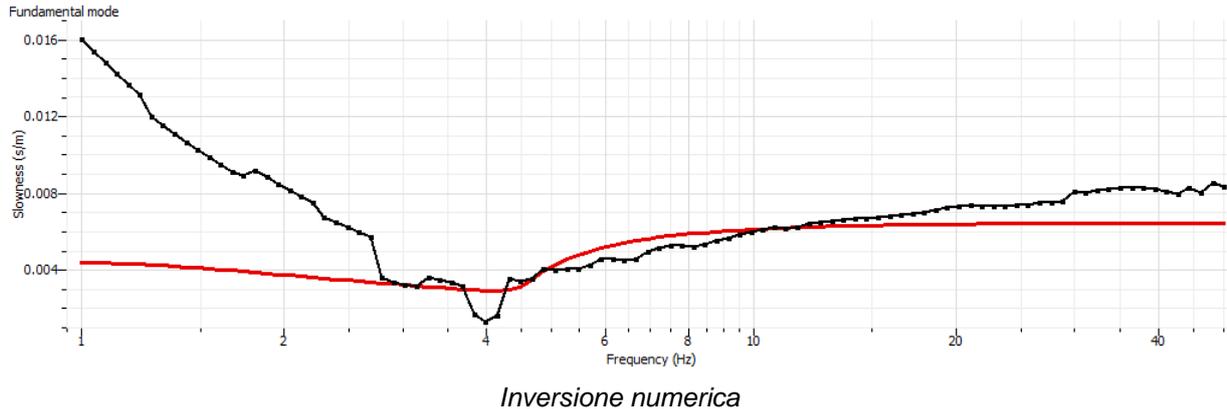
*Spettro FK e Curva di dispersione*

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  $f_k$  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.



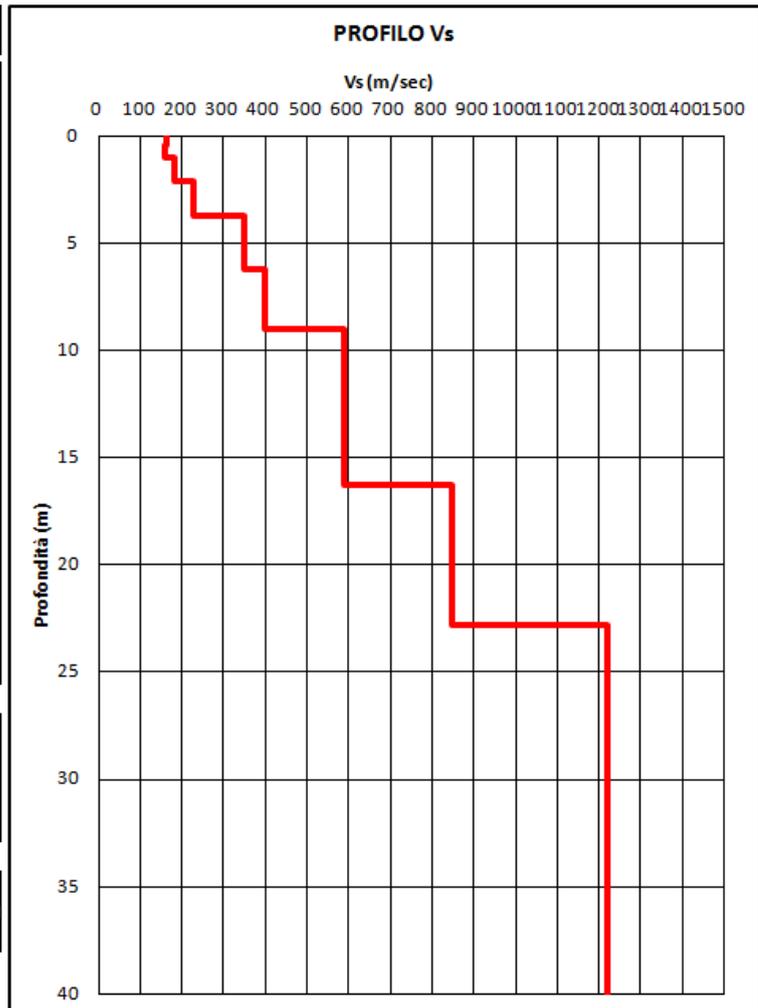
Analogamente è possibile ottenere anche la curva di migliore convergenza dei singoli modelli della prova HVSR (illustrata nel capitolo successivo)

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.

Profilo Vs				
Layer	Profondità m	Spessori m	Vs m/sec	Deviazione m/sec
1	0.40	0.40	162	10
2	1.00	0.60	158	16
3	2.10	1.10	182	19
4	3.70	1.60	228	16
5	6.20	2.50	350	25
6	9.00	2.80	400	24
7	16.30	7.30	590	37
8	22.80	6.50	848	54
9			1222	65
10				1339
11				1260
12				1967

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

<b>H<sub>bedrock</sub></b>	<b>16</b> m
<b>V<sub>Seq</sub></b>	<b>497</b> m/sec
<b>Categoria suolo</b>	<b>B</b>



Esempio Log Vseq

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  $V_{Seq}$  con la classificazione sismica del suolo secondo le normative vigenti

## 5 INDAGINI DI SISMICA PASSIVA

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

#### 5.1.1 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 sovrastante 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 (**S**ite **E**ffect **S** assessment using **A**mbient **E**xcitations) 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.

#### 5.1.2 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).

### 5.1.3 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.

### 5.1.4 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>ii</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  $f_r$  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

<sup>ii</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.

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

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

## 6. NORMATIVA ANTISISMICA

La caratterizzazione dei materiali in oggetto, vista l'elaborazione su tutta la profondità delle onde di taglio S, può quindi soddisfare anche i requisiti relativi all'entrata in vigore della normativa antisismica (**Decreto 17 gennaio 2108 – Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni**) come classificazione dei terreni locali.

Nel particolare, l'oggetto della norma qui di seguito riportata, disciplina la progettazione e la costruzione di opere d'arte soggette ad azioni sismiche, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento su opere esistenti soggette al medesimo tipo di azioni sismiche.

Al § 3.2.2 "Categorie di suolo di fondazione" si fa espresso riferimento ad indagini sismiche allo scopo di classificare il suolo di fondazione sulla base del valore di  $V_{s_{eq}}$  o  $V_{s_{30}}$  cioè del valore medio della velocità delle onde di taglio equivalente fino a 30 metri di profondità o comunque fino alla profondità significativa.

*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 di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) 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.*

## 7. CONCLUSIONI

L'indagine Down Hole eseguita si rileva a partire dal piano campagna un aumento graduale dei parametri elastici fino ad una profondità di circa 8 metri (probabilmente influenzata, per quanto riguarda la velocità delle onde di compressione, dall'incremento del grado di saturazione); dopodichè tali parametri aumentano gradualmente ma con valori decisamente inferiori per ogni metro di profondità rilevato.

La velocità delle onde di taglio presenta un graduale e repentino aumento dei propri valori per i primi 28 metri poi si assesta e aumenta molto lentamente fino a fondo foro fino ad un massimo di circa 800 m/sec.

Il valore di  $V_{seq}$  risulta essere 331 m/sec con suolo in categoria C.

La determinazione puntuale della velocità delle onde sismiche di taglio per circa 30 metri dal piano campagna e della frequenze di sito è stata ottenuta mediante indagini geofisiche costituite in stendimenti sismici per la misura delle onde superficiali **MASW** con al centro una misura di rumore ambientale **HVSR**.

I terreni interessati dalle strutture presentano valori di  $V_{seq}$  ricavabili al termine di ogni certificato di prova negli allegati grafici al piede della relazione (schede MASW/HVSR).

Con tali parametri è possibile caratterizzare i terreni in relazione all'entrata in vigore del nuovo Decreto Ministeriale 17/01/2018 sulla classificazione sismica dei suoli, ricavabile al termine di ogni certificato di prova.

Per le risultanze dettagliate di tali indagini si rimanda alle schede riportate in allegato in forma grafica e numerica a fine relazione:

Tabella riassuntiva risultanze indagine congiunta MASW – HVSR:

SITO	$f_0$ (Hz)	A0 (H/V)	H <sub>bedrock</sub>	$V_{seq}$ (m/s)	Classe Suolo
MASW 3a SI 13	0.686 ± 2.2	2.5 ± 0.8	>30m	356	C
MASW 3b S09	18.51 ± 5	3 ± 0	>30m	343	C
MASW 3b SI 11	16.6 ± 3.6	2.4 ± 0.2	>30m	302	C
MASW IV03	5.0 ± 4	2 ± 0	>30m	211	C

## PROGEO

Dott. Maurizio Furani

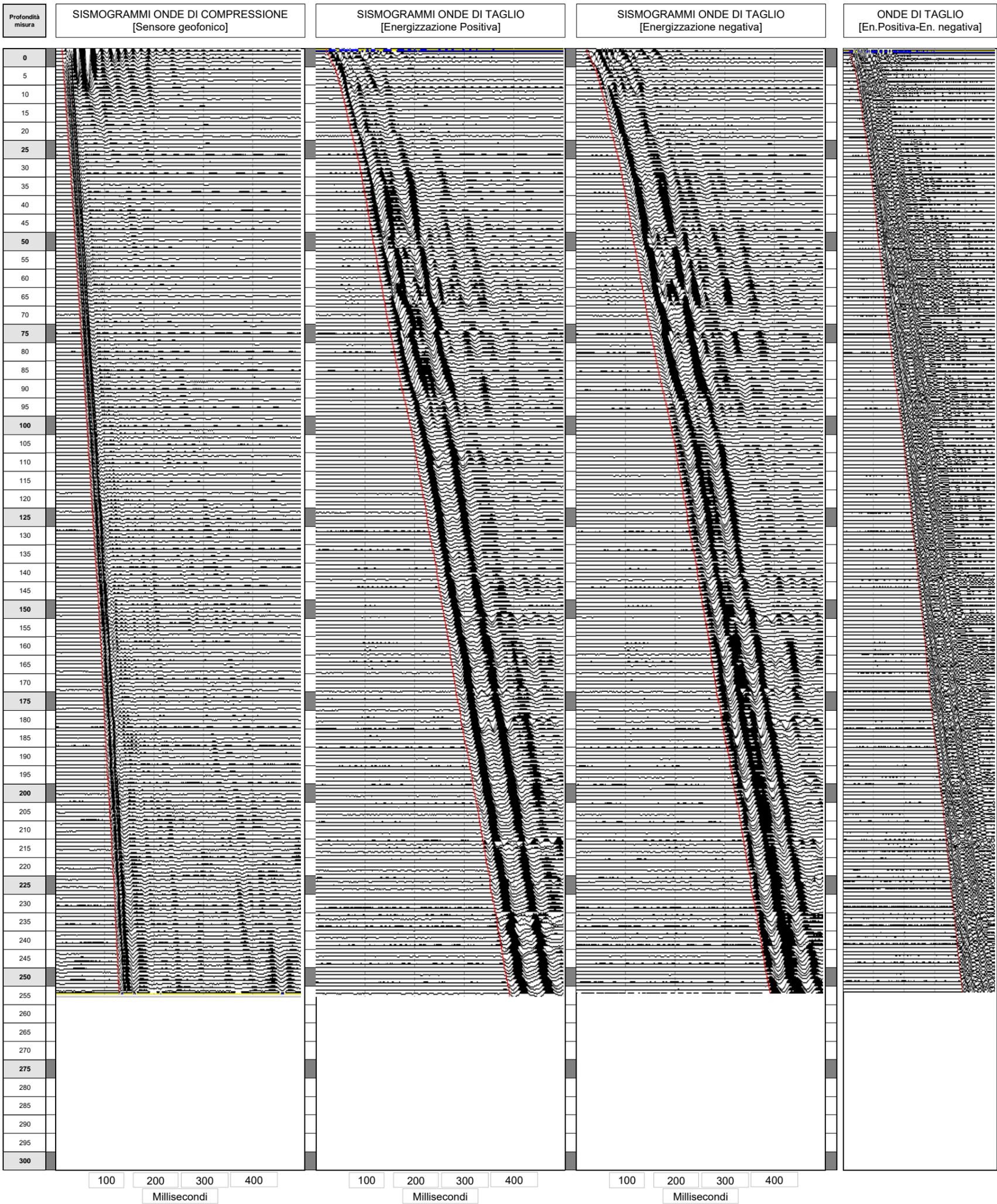


<b>COMMITTENTE</b>
<b>DOWN HOLE</b>
<b>Località - Progetto</b>
<b>Data acquisizione</b>

<b>ITALFERR</b>
<b>3A_S03</b>
<b>MARIANOPOLI</b>
<b>16 Novembre 2019</b>

<b>SISMOGRAMMI</b>
Misura eseguita con sonda 3d costituita da due gruppi di sensori, con orientamento tridirezionale, a distanza di 1 m
<b>Distanza bocca foro -shot = 5 m</b>

Sulla medesima immagine sono riportati i sismogrammi relativi ai sensori verticali per le onde di compressione e orizzontali per le onde di taglio, posti ad una interdistanza di 1 m.



<b>STRATIGRAFIA</b>
Da 0.00 a 3.00 m
Da 3.00 m a 17.00 m Pelti a struttura scagliettata, dure, compatte. Classificazione ISRM -S3.
Da 17.00 m a 26.50 m Pelti a struttura scagliettata, dure, compatte. Classificazione ISRM -S6
Da 26.50 m a 33.00 m Pelti a struttura caotica con livelli millimetrici di argilli sabbiose, dure, compatte.
Da 33.00 m a 53.00 m Pelti a struttura caotica, dure, compatte, alternate a livelli millimetrici di pelti leggermente plastiche. Classificazione ISRM -S5
Da 53.00 m a 76.00 m Pelti a struttura scagliettata, dure, a tratti fratturate. Classificazione ISRM -S5
Da 76.00 m a 79.00 m
Da 79.00 m a 125.00 m Marni argillose, dure, omogenee, alternate a livelli di marni debolmente arenacee. Classificazione ISRM -S6
Da 125.00 m a 148.00 m Pelti debolmente marnose con struttura omogenea, dure, compatte, a tratti fratturate. Classificazione ISRM -S5
Da 148.00 m a 175.50 m Marni argillose, dure, omogenee, alternate a livelli millimetrici di marni arenacee, a tratti fratturate. Classificazione ISRM -S6
Da 175.50 m a 184.00 m Argille debolmente marnose con rari livelli carbonatici duri.
Da 184.00 m a 200.00 m Marni argillose, dure, fratturate, con livelli debolmente arenacei (struttura brecciata). Classificazione ISRM -S5
Da 200.00 m a 217.80 m Marni debolmente calcaree, omogenee, asciutte, dure e fratturate con rari livelli marnosi arenacei. Classificazione ISRM -S6
Da 217.80 m a 255.00 m Marni debolmente calcaree, omogenee, asciutte, dure e fratturate con rari livelli marnosi arenacei. Classificazione ISRM -S6

Fig. 1

<b>COMMITTENTE</b>	<b>ITALFERR</b>
<b>DOWN HOLE</b>	<b>3A_S03</b>
<b>Località - Progetto</b>	<b>MARIANOPOLI</b>
<b>Data acquisizione</b>	<b>16 Novembre 2019</b>

<b>Metodologia Down Hole</b>
Differenziale
Progressivo
<b>Distanza bocca foro -shot = 5 m</b>



Falda 28m

Profondità misura	Tempi		Vp Km/sec.	Vs Km/sec.	v	γ T/m³	Edin Kg/cm²	Gdin Kg/cm²	Kdin Kg/cm²
	Onde p msec	Onde s msec							
0	6.25	0.00	0.97	0.17	0.48	1.58	1332	449	14541
1	6.92	29.36	0.97	0.17	0.48	1.59	1363	459	14663
2	7.02	29.87	0.99	0.18	0.48	1.62	1640	553	15454
3	7.50	32.96	1.21	0.20	0.49	1.65	1973	664	23962
4	7.99	34.78	1.33	0.20	0.49	1.66	2033	683	29154
5	8.42	36.56	1.42	0.22	0.49	1.70	2509	843	33932
6	8.87	38.79	1.46	0.24	0.49	1.74	3085	1038	36287
7	9.48	40.87	1.48	0.27	0.48	1.78	3805	1283	37943
8	9.95	43.26	1.51	0.29	0.48	1.82	4628	1563	40142
9	10.53	45.58	1.51	0.30	0.48	1.84	5068	1713	40406
10	11.04	48.02	1.51	0.32	0.48	1.86	5779	1957	40919
11	11.60	50.24	1.51	0.34	0.47	1.89	6608	2243	41021
12	12.10	52.50	1.51	0.35	0.47	1.91	7088	2409	41171
13	12.60	54.62	1.51	0.38	0.47	1.94	8323	2838	41419
14	13.10	56.78	1.52	0.39	0.46	1.96	9091	3105	42246
15	13.87	58.67	1.53	0.42	0.46	1.99	10493	3595	42988
16	14.41	60.60	1.56	0.44	0.46	2.02	11772	4043	44412
17	14.79	62.43	1.57	0.46	0.45	2.04	12892	4437	45379
18	15.21	64.25	1.59	0.49	0.45	2.07	14477	4998	46670
19	15.91	65.98	1.59	0.50	0.44	2.08	15494	5362	46799
20	16.47	67.66	1.60	0.53	0.44	2.11	17276	6002	47252
21	16.91	69.37	1.60	0.54	0.44	2.12	17856	6213	47235
22	17.53	71.02	1.62	0.56	0.43	2.14	19626	6854	47820
23	18.03	72.63	1.62	0.57	0.43	2.15	20419	7145	47873
24	18.42	74.22	1.61	0.58	0.42	2.16	21480	7541	47245
25	19.04	75.84	1.61	0.59	0.42	2.17	21915	7704	47038
26	19.53	77.44	1.61	0.60	0.42	2.17	22439	7902	46639
27	20.15	79.04	1.60	0.59	0.42	2.17	22092	7774	46588
28	20.59	80.66	1.61	0.60	0.42	2.18	22914	8077	46859
29	21.15	82.25	1.60	0.60	0.42	2.18	22796	8038	46393
30	21.71	83.86	1.61	0.60	0.42	2.18	22583	7956	46649
31	22.27	85.46	1.62	0.60	0.42	2.18	23083	8133	47518
32	22.84	87.04	1.63	0.61	0.42	2.19	23850	8416	47873
33	23.33	88.61	1.65	0.61	0.42	2.19	23730	8357	49357
34	23.90	90.20	1.67	0.62	0.42	2.20	24773	8733	50530
35	24.46	91.74	1.68	0.63	0.42	2.20	25120	8852	51658
36	24.77	93.26	1.71	0.64	0.42	2.21	25909	9125	53729
37	25.33	94.81	1.73	0.64	0.42	2.21	25942	9127	54870
38	25.71	96.31	1.74	0.65	0.42	2.22	26753	9419	55890
39	26.27	97.84	1.75	0.65	0.42	2.22	26819	9432	57045
40	26.58	99.37	1.76	0.65	0.42	2.22	27255	9593	57216
41	27.27	100.89	1.78	0.65	0.42	2.22	26788	9406	58756
42	27.64	102.42	1.78	0.65	0.42	2.22	26961	9468	58964
43	28.14	103.94	1.79	0.65	0.42	2.22	27065	9498	59891
44	28.70	105.47	1.80	0.65	0.42	2.22	27193	9541	60421
45	29.20	106.99	1.80	0.65	0.42	2.22	27520	9660	60746
46	29.70	108.51	1.80	0.65	0.42	2.22	27462	9638	60725
47	30.07	110.04	1.81	0.65	0.42	2.23	27687	9716	61317
48	30.70	111.57	1.83	0.65	0.43	2.22	27035	9460	63362
49	31.26	113.08	1.84	0.65	0.43	2.23	27742	9715	64032
50	31.63	114.61	1.85	0.65	0.43	2.22	27267	9535	64780
51	32.20	116.11	1.87	0.66	0.43	2.23	27855	9741	66194
52	32.74	117.60	1.87	0.66	0.43	2.23	28434	9952	66372
53	33.13	119.08	1.88	0.67	0.43	2.24	28887	10111	67286
54	33.77	120.55	1.90	0.67	0.43	2.24	29740	10413	68895
55	34.21	122.01	1.92	0.68	0.43	2.24	29898	10460	70276
56	34.85	123.45	1.94	0.68	0.43	2.25	30383	10625	72047
57	35.31	124.89	1.95	0.69	0.43	2.26	31646	11085	72602
58	35.95	126.32	1.96	0.70	0.43	2.26	31971	11198	73588
59	36.34	127.75	1.96	0.70	0.43	2.26	31786	11126	74055
60	36.86	129.18	1.96	0.70	0.43	2.27	32577	11420	73663

STRATIGRAFIA	Da 0.00 a 3.00 m Limo argilloso consistente.	Da 3.00 m a 17.00 m Pelliti a struttura scagliettata, dure, compatte. Classificazione ISRM :S3.	Da 17.00 m a 26.50 m Pelliti a struttura scagliettata, dure, compatte. Classificazione ISRM :S6.	Da 26.50 m a 33.00 m Pelliti a struttura caotica con livelli millimetrici di argilliti sabbiose, dure, compatte. Classificazione ISRM :S3.	Da 33.00 m a 53.00 m Pelliti a struttura caotica, dure, compatte, alternate a livelli millimetrici di pelliti leggermente plastiche. Classificazione ISRM :S5.	Da 53.00 m a 76.00 m Pelliti a struttura scagliettata, dure, a tratti fratturate. Classificazione ISRM :S5.
--------------	---	--	---	---	---	--

PARAMETRI INTERVALLARI MEDI						
Vp Km/sec.	Vs Km/sec.	v	γ T/m³	Edin Kg/cm²	Gdin Kg/cm²	Kdin Kg/cm²
1.04	0.18	0.48	1.61	1577	531	17155
1.49	0.32	0.47	1.85	6176	2101	39388
1.60	0.54	0.43	2.12	18387	6416	46995
1.62	0.60	0.42	2.18	23007	8107	47319
1.78	0.65	0.42	2.22	26925	9453	59289
1.97	0.69	0.43	2.26	31772	11120	74178

STIMA DEGLI ERRORI											
Vp (km/sec)				Vs (km/sec)							
min	media	max	ε	min	media	max	ε	min	media	max	ε
0.95	0.97	0.99	0.021	0.16	0.17	0.18	0.008	0.96	0.97	0.98	0.009
0.97	0.99	1.01	0.021	0.17	0.18	0.20	0.014	1.20	1.21	1.22	0.011
1.32	1.33	1.35	0.018	0.20	0.20	0.21	0.004	1.40	1.42	1.46	0.028
1.45	1.46	1.47	0.012	0.23	0.24	0.26	0.017	1.47	1.48	1.49	0.008
1.49	1.51	1.54	0.028	0.28	0.29	0.31	0.013	1.49	1.51	1.53	0.020
1.49	1.51	1.53	0.020	0.30	0.30	0.31	0.005	1.49	1.51	1.53	0.017
1.49	1.51	1.53	0.017	0.33	0.34	0.36	0.013	1.49	1.51	1.53	0.017
1.50	1.51	1.52	0.012	0.37	0.38	0.39	0.009	1.50	1.52	1.54	0.020
1.52	1.53	1.55	0.017	0.41	0.42	0.43	0.009	1.53	1.56	1.58	0.024
1.55	1.57	1.59	0.017	0.46	0.46	0.46	0.001	1.57	1.59	1.61	0.022
1.58	1.59	1.60	0.008	0.50	0.50	0.50	0.002	1.59	1.60	1.61	0.011
1.59	1.60	1.61	0.011	0.52	0.53	0.54	0.010	1.59	1.60	1.61	0.008
1.59	1.62	1.64	0.024	0.55	0.56	0.58	0.012	1.59	1.62	1.65	0.028
1.59	1.62	1.65	0.028	0.57	0.57	0.58	0.006	1.59	1.61	1.63	0.019
1.59	1.61	1.63	0.016	0.58	0.58	0.60	0.007	1.59	1.61	1.61	0.010
1.59	1.61	1.61	0.010	0.59	0.60	0.61	0.011	1.59	1.60	1.61	0.008
1.59	1.61	1.63	0.016	0.59	0.60	0.62	0.012	1.59	1.60	1.61	0.008
1.59	1.60	1.61	0.008	0.60	0.60	0.61	0.007	1.59	1.61	1.61	0.009
1.59	1.61	1.61	0.009	0.60	0.60	0.60	0.002	1.60	1.62	1.63	0.014
1.61	1.63	1.64	0.011	0.61	0.61	0.63	0.012	1.63	1.65	1.67	0.020
1.64	1.67	1.69	0.021	0.62	0.62	0.64	0.010	1.67	1.68	1.69	0.012
1.69	1.71	1.73	0.022	0.63	0.64	0.65	0.009	1.71	1.73	1.74	0.017
1.72	1.74	1.75	0.016	0.64	0.65	0.66	0.009	1.74	1.75	1.77	0.019
1.75	1.76	1.77	0.011	0.64	0.65	0.66	0.010	1.76	1.78	1.79	0.019
1.76	1.78	1.79	0.019	0.64	0.65	0.65	0.001	1.76	1.78	1.79	0.012
1.77	1.79	1.81	0.019	0.64	0.65	0.65	0.003	1.78	1.80	1.82	0.019
1.78	1.80	1.82	0.019	0.64	0.65	0.66	0.005	1.78	1.80	1.82	0.017
1.79	1.80	1.81	0.011	0.65	0.65	0.66	0.009	1.79	1.80	1.81	0.011
1.80	1.81	1.82	0.011	0.65	0.65	0.67	0.013	1.81	1.83	1.85	0.021
1.81	1.83	1.85	0.021	0.65	0.65	0.65	0.001	1.83	1.84	1.85	0.013
1.84	1.85	1.86	0.011	0.65	0.65	0.65	0.002	1.85	1.87	1.89	0.021
1.85	1.87	1.88	0.014	0.66	0.66	0.67	0.008	1.87	1.88	1.89	0.013
1.88	1.90	1.92	0.017	0.67	0.67	0.69	0.011	1.90	1.92	1.93	0.012
1.92	1.94	1.96	0.018	0.68	0.68	0.68	0.001	1.93	1.95	1.96	0.012
1.94	1.96	1.98	0.019	0.69	0.70	0.71	0.011	1.94	1.96	1.99	0.022
1.94	1.96	1.98	0.016	0.69	0.70	0.72	0.014				

<b>Legenda parametri dinamici</b>			
<b>Tp</b> Tempi onde di compressi millisecondi	<b>γ</b> Peso di volume	T/m³	
<b>Ts</b> Tempi onde di taglio millisecondi	<b>Edin</b> Modulo di Elasticità dinamica	Kg/cm	
<b>Vp</b> Velocità onde di compresse Km/sec	<b>Gdin</b> Modulo di Taglio dinamico	Kg/cm	
<b>Vs</b> Velocità onde di taglio Km/sec	<b>Kdin</b> Modulo di Compressibilità dinamica	Kg/cm	
<b>v</b> Coefficiente di Poisson	<b>1</b> Campioni di laboratorio		

CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI (NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI - D.M. del 17 gennaio 2018)

$$V_{S_{eq}} = \frac{H}{\sum_{i=1, H} \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

Quota Vs=800 m/sec > 30 m

$V_{S_{eq}} = 331$  m/sec

$G_{s,eq} = 2276$  Kg/cm²

**CATEGORIA SUOLO = C Fig. 2**

<b>COMMITTENTE</b>	<b>ITALFERR</b>
<b>DOWN HOLE</b>	<b>3A_S03</b>
<b>Località - Progetto</b>	<b>MARIANOPOLI</b>
<b>Data acquisizione</b>	<b>16 Novembre 2019</b>

<b>Metodologia Down Hole</b>
Differenziale
<b>Progressivo</b>
<b>Distanza bocca foro -shot = 5 m</b>



**PROGEO s.r.l.**  
Via Tevere 10/B  
I-71020 Fossano di Puglia (FG)  
tel. 0864 723889 fax. 0864 721486  
mail: proggeo@proggeo.com  
www.proggeo.com

Falda 28m

Profondità misura	Tempi		Vp Km/sec.	Vs Km/sec.	v -	γ T/m³	Edin Kg/cm²	Gdin Kg/cm²	Kdin Kg/cm²
	Onde p msec	Onde s msec							
60	36.86	129.18	1.96	0.70	0.43	2.27	32577	11420	73663
61	37.26	130.60	1.96	0.70	0.43	2.27	32532	11404	73674
62	37.76	132.03	1.96	0.70	0.43	2.27	32509	11396	73498
63	38.21	133.46	1.96	0.70	0.43	2.26	32214	11284	73948
64	38.72	134.88	1.97	0.70	0.43	2.26	31967	11190	74377
65	39.13	136.31	1.97	0.70	0.43	2.26	32314	11317	74468
66	39.65	137.73	1.98	0.70	0.43	2.26	32031	11206	75373
67	40.05	139.16	1.98	0.70	0.43	2.26	32498	11375	75782
68	40.47	140.59	1.98	0.70	0.43	2.26	31929	11167	75599
69	41.08	142.01	1.98	0.70	0.43	2.26	32241	11282	75559
70	41.52	143.44	1.99	0.70	0.43	2.27	32792	11480	76169
71	42.07	144.86	1.99	0.70	0.43	2.26	31914	11157	76207
72	42.53	146.30	1.98	0.70	0.43	2.26	31936	11168	75737
73	42.96	147.72	2.00	0.70	0.43	2.26	32503	11368	76899
74	43.45	149.15	1.99	0.70	0.43	2.26	32537	11383	76650
75	43.91	150.61	1.99	0.70	0.43	2.26	31934	11162	76559
76	44.46	152.06	2.00	0.69	0.43	2.26	31794	11105	77366
77	44.98	153.51	2.00	0.69	0.43	2.25	31307	10925	77672
78	45.56	154.95	2.02	0.69	0.43	2.26	31578	11016	78885
79	46.00	156.40	2.04	0.69	0.43	2.26	31697	11047	80775
80	46.39	157.83	2.06	0.70	0.44	2.26	32039	11157	83276
81	46.82	159.26	2.09	0.71	0.44	2.27	33153	11547	85739
82	47.28	160.68	2.12	0.71	0.44	2.27	33167	11538	88151
83	47.68	162.10	2.14	0.71	0.44	2.27	33110	11505	90423
84	48.22	163.51	2.14	0.71	0.44	2.27	33501	11648	90209
85	48.84	164.93	2.15	0.72	0.44	2.28	34345	11947	91398
86	49.21	166.33	2.15	0.72	0.44	2.28	34304	11930	91761
87	49.67	167.75	2.15	0.71	0.44	2.27	33451	11622	91546
88	50.17	169.16	2.15	0.72	0.44	2.28	34189	11890	91459
89	50.59	170.58	2.15	0.71	0.44	2.27	33626	11685	91749
90	51.05	172.01	2.16	0.71	0.44	2.27	33510	11639	92341
91	51.58	173.44	2.16	0.70	0.44	2.27	32896	11416	92498
92	51.95	174.87	2.16	0.71	0.44	2.27	33231	11538	92389
93	52.59	176.30	2.16	0.71	0.44	2.27	33214	11532	92370
94	53.01	177.73	2.16	0.70	0.44	2.26	32609	11314	92253
95	53.54	179.17	2.16	0.70	0.44	2.27	33042	11469	92499
96	53.98	180.60	2.16	0.70	0.44	2.27	32919	11424	92729
97	54.49	182.03	2.16	0.70	0.44	2.27	32908	11419	92920
98	54.87	183.46	2.17	0.70	0.44	2.27	33091	11483	93252
99	55.38	184.90	2.16	0.71	0.44	2.27	33484	11629	92560
100	55.89	186.33	2.15	0.70	0.44	2.26	32720	11356	91890
101	56.28	187.77	2.15	0.71	0.44	2.27	33282	11560	91757
102	56.80	189.20	2.15	0.71	0.44	2.27	33105	11495	91956
103	57.18	190.63	2.16	0.71	0.44	2.27	33372	11589	92419
104	57.69	192.07	2.16	0.71	0.44	2.27	33199	11528	92171
105	57.95	193.50	2.15	0.71	0.44	2.27	33308	11569	91806
106	58.83	194.93	2.15	0.70	0.44	2.26	32682	11343	91626
107	59.21	196.37	2.14	0.71	0.44	2.27	33415	11614	90645
108	59.59	197.80	2.15	0.70	0.44	2.26	32644	11332	91197
109	60.23	199.22	2.15	0.71	0.44	2.27	33568	11667	91116
110	60.73	200.66	2.15	0.71	0.44	2.27	33139	11510	91345
111	61.11	202.09	2.15	0.71	0.44	2.27	33363	11592	91287
112	61.76	203.52	2.14	0.71	0.44	2.27	33289	11568	90685
113	62.27	204.95	2.15	0.70	0.44	2.27	33000	11456	92017
114	62.66	206.39	2.15	0.70	0.44	2.26	32634	11326	91586
115	63.17	207.82	2.15	0.71	0.44	2.27	33205	11532	91847
116	63.82	209.25	2.15	0.71	0.44	2.27	33340	11581	91714
117	64.20	210.68	2.14	0.70	0.44	2.26	32596	11317	90731
118	64.66	212.12	2.15	0.71	0.44	2.27	33129	11508	91172
119	65.11	213.54	2.14	0.70	0.44	2.27	32864	11414	90818
120	65.52	214.97	2.14	0.71	0.44	2.27	33453	11628	90701
121	65.92	216.40	2.15	0.70	0.44	2.27	32937	11434	91878
122	66.48	217.82	2.15	0.71	0.44	2.27	33663	11702	90994
123	66.99	219.23	2.15	0.71	0.44	2.27	33486	11636	91357
124	67.37	220.63	2.15	0.71	0.44	2.27	33859	11770	91498
125	67.82	222.01	2.16	0.72	0.44	2.28	34863	12130	92312

STRATIGRAFIA

Da 53.00 m a 76.00 m  
Pelli a struttura scagliettata,  
dure, a tratti fratturate.  
Classificazione ISRM :S5

Da 76.00 m a 79.00 m  
Pelli debolmente mariose a  
struttura scagliettata, dure, a  
tratti fratturate.  
Classificazione ISRM :S6

STRATIGRAFIA

Da 79.00 m a 125.00 m  
Marne argillose, dure,  
omogenee, alternate a livelli  
di marne debolmente  
arenacee.  
Classificazione ISRM :S6

PARAMETRI INTERVALLARI MEDI						
Vp Km/sec.	Vs Km/sec.	v	γ T/m³	Edin Kg/cm²	Gdin Kg/cm²	Kdin Kg/cm²
1.97	0.69	0.43	2.26	31772	11120	74178
2.02	0.69	0.43	2.26	31527	10996	79111
2.15	0.71	0.44	2.27	33259	11554	91305

STIMA DEGLI ERRORI											
Vp (km/sec)				Vs (km/sec)				v			
min	media	max	ε	min	media	max	ε	min	media	max	ε
1.94	1.96	1.98	0.016	0.69	0.70	0.72	0.014				
1.95	1.96	1.97	0.014	0.69	0.70	0.72	0.012				
1.95	1.96	1.97	0.011	0.69	0.70	0.72	0.011				
1.95	1.96	1.97	0.011	0.69	0.70	0.71	0.006				
1.95	1.97	1.98	0.011	0.69	0.70	0.70	0.002				
1.96	1.97	1.98	0.011	0.69	0.70	0.71	0.007				
1.96	1.98	2.00	0.018	0.69	0.70	0.70	0.002				
1.96	1.98	2.01	0.022	0.69	0.70	0.71	0.009				
1.97	1.98	1.99	0.014	0.70	0.70	0.70	0.001				
1.97	1.98	1.99	0.011	0.70	0.70	0.71	0.005				
1.97	1.99	2.01	0.018	0.70	0.70	0.72	0.014				
1.97	1.99	2.00	0.014	0.70	0.70	0.70	0.001				
1.97	1.98	2.00	0.011	0.70	0.70	0.70	0.001				
1.97	2.00	2.02	0.023	0.70	0.70	0.71	0.009				
1.98	1.99	2.01	0.017	0.70	0.70	0.71	0.009				
1.98	1.99	2.00	0.011	0.69	0.70	0.70	0.005				
1.98	2.00	2.02	0.018	0.69	0.69	0.70	0.008				
1.99	2.00	2.01	0.013	0.69	0.69	0.69	0.003				
2.00	2.02	2.03	0.016	0.69	0.69	0.70	0.007				
2.02	2.04	2.05	0.018	0.69	0.69	0.70	0.005				
2.04	2.06	2.08	0.019	0.69	0.70	0.70	0.005				
2.07	2.09	2.11	0.016	0.69	0.71	0.73	0.017				
2.10	2.12	2.13	0.014	0.70	0.71	0.72	0.011				
2.12	2.14	2.16	0.021	0.70	0.71	0.71	0.005				
2.13	2.14	2.15	0.011	0.70	0.71	0.72	0.007				
2.13	2.15	2.16	0.016	0.71	0.72	0.74	0.017				
2.13	2.15	2.17	0.019	0.71	0.72	0.74	0.015				
2.13	2.15	2.16	0.014	0.71	0.71	0.71	0.003				
2.14	2.15	2.16	0.011	0.71	0.72	0.73	0.013				
2.14	2.15	2.16	0.012	0.71	0.71	0.72	0.005				
2.14	2.16	2.17	0.017	0.70	0.71	0.72	0.008				
2.14	2.16	2.17	0.016	0.70	0.70	0.71	0.004				
2.14	2.16	2.17	0.013	0.70	0.71	0.72	0.014				
2.14	2.16	2.17	0.012	0.70	0.71	0.72	0.014				
2.14	2.16	2.17	0.011	0.70	0.70	0.71	0.004				
2.14	2.16	2.17	0.013	0.70	0.70	0.72	0.011				
2.14	2.16	2.18	0.016	0.70	0.70	0.71	0.009				
2.14	2.16	2.18	0.019	0.70	0.70	0.71	0.009				
2.14	2.17	2.19	0.024	0.70	0.70	0.72	0.011				
2.14	2.16	2.17	0.015	0.70	0.71	0.73	0.018				
2.14	2.15	2.17	0.011	0.70	0.70	0.71	0.006				
2.14	2.15	2.17	0.011	0.70	0.71	0.73	0.015				
2.14	2.15	2.16	0.011	0.70	0.71	0.72	0.012				
2.14	2.16	2.18	0.017	0.70	0.71	0.73	0.016				
2.14	2.16	2.17	0.018	0.70	0.71	0.72	0.013				

<b>COMMITTENTE</b>	<b>ITALFERR</b>
<b>DOWN HOLE</b>	<b>3A_S03</b>
<b>Località - Progetto</b>	<b>MARIANOPOLI</b>
<b>Data acquisizione</b>	<b>16 Novembre 2019</b>

<b>Metodologia Down Hole</b>
Differenziale
<b>Progressivo</b>
<b>Distanza bocca foro -shot = 5 m</b>



**PROGEO s.r.l.**  
Via Tevere 10/B  
I-71020 Forlì  
tel. 0543 721489  
fax. 0543 721488  
mail: proggeo@progeo.com  
www.progeo.info

Falda 28m

Profondità misura	Tempi		Vp Km/sec.	Vs Km/sec.	v -	γ T/m³	Edin Kg/cm²	Gdin Kg/cm²	Kdin Kg/cm²	STRATIGRAFIA	PARAMETRI INTERVALLARI MEDI						STIMA DEGLI ERRORI								
	Onde p msec	Onde s msec									Vp Km/sec.	Vs Km/sec.	v -	γ T/m³	Edin Kg/cm²	Gdin Kg/cm²	Kdin Kg/cm²	Vp (km/sec)				Vs (km/sec)			
																		min	media	max	ε	min	media	max	ε
125	67.82	222.01	2.16	0.72	0.44	2.28	34863	12130	92312	Da 125.00 m a 148.00 m Pelti debolmente marnosecon struttura omogenea, dure, compatte, a tratti fratturate. Classificazione ISRM :S5	2.15	0.71	0.44	2.27	33259	11554	91305	2.15	2.16	2.17	0.011	0.71	0.72	0.74	0.013
126	68.26	223.38	2.18	0.73	0.44	2.29	35778	12453	93931		2.16	2.18	2.18	0.011	0.72	0.73	0.75	0.016							
127	68.64	224.73	2.20	0.73	0.44	2.29	35890	12480	96362		2.18	2.20	2.22	0.017	0.73	0.73	0.73	0.000							
128	69.27	226.08	2.22	0.75	0.44	2.30	37423	13028	97840		2.20	2.22	2.23	0.016	0.74	0.75	0.76	0.009							
129	69.79	227.41	2.23	0.75	0.44	2.30	37759	13143	98985		2.21	2.23	2.24	0.016	0.74	0.75	0.76	0.007							
130	70.18	228.75	2.23	0.76	0.43	2.31	38535	13429	98553		2.22	2.23	2.23	0.008	0.75	0.76	0.77	0.013							
131	70.68	230.07	2.23	0.75	0.44	2.30	37969	13218	99335		2.22	2.23	2.24	0.013	0.75	0.75	0.75	0.003							
132	70.93	231.41	2.23	0.76	0.43	2.31	38650	13469	98715		2.22	2.23	2.23	0.010	0.75	0.76	0.77	0.010							
133	71.44	232.74	2.23	0.76	0.43	2.31	38473	13406	98567		2.21	2.23	2.23	0.010	0.75	0.76	0.77	0.009							
134	71.95	234.07	2.22	0.75	0.44	2.31	38258	13329	98293		2.21	2.22	2.23	0.011	0.75	0.75	0.76	0.005							
135	72.33	235.40	2.23	0.76	0.43	2.31	39108	13637	98601		2.21	2.23	2.24	0.017	0.75	0.76	0.78	0.016							
136	72.85	236.73	2.22	0.75	0.43	2.31	38426	13389	98524		2.21	2.22	2.24	0.014	0.75	0.75	0.76	0.007							
137	73.35	238.07	2.22	0.75	0.44	2.30	38043	13252	98018		2.21	2.22	2.23	0.008	0.75	0.75	0.75	0.002							
138	73.86	239.39	2.21	0.76	0.43	2.31	38964	13594	97077		2.20	2.21	2.22	0.008	0.75	0.76	0.78	0.015							
139	74.38	240.72	2.22	0.76	0.43	2.31	38678	13487	97523	2.20	2.22	2.23	0.017	0.75	0.76	0.77	0.009								
140	74.89	242.04	2.22	0.75	0.43	2.30	38229	13321	97936	2.19	2.22	2.25	0.030	0.75	0.75	0.75	0.001								
141	75.40	243.37	2.20	0.76	0.43	2.31	39043	13632	95674	2.19	2.20	2.21	0.008	0.75	0.76	0.78	0.011								
142	75.91	244.71	2.21	0.75	0.43	2.31	38349	13370	97026	2.19	2.21	2.23	0.021	0.75	0.75	0.76	0.003								
143	76.29	246.04	2.21	0.76	0.43	2.31	38727	13512	96460	2.20	2.21	2.21	0.008	0.75	0.76	0.77	0.012								
144	76.68	247.38	2.22	0.75	0.43	2.31	38426	13393	97839	2.20	2.22	2.23	0.014	0.75	0.75	0.77	0.011								
145	77.06	248.71	2.22	0.75	0.44	2.30	38045	13252	98192	2.21	2.22	2.23	0.011	0.75	0.75	0.76	0.006								
146	77.46	250.04	2.23	0.75	0.44	2.30	38034	13244	98791	2.21	2.23	2.24	0.013	0.75	0.75	0.75	0.002								
147	77.93	251.36	2.24	0.75	0.44	2.31	38450	13387	100242	2.22	2.24	2.26	0.022	0.75	0.75	0.76	0.003								
148	78.45	252.67	2.25	0.76	0.44	2.31	39330	13700	101450	2.24	2.25	2.27	0.013	0.76	0.76	0.78	0.010								
149	78.87	253.97	2.28	0.77	0.44	2.32	40387	14066	104534	2.27	2.28	2.30	0.015	0.76	0.77	0.79	0.014								
150	79.30	255.26	2.31	0.77	0.44	2.32	40781	14190	107724	2.30	2.31	2.32	0.008	0.77	0.77	0.79	0.009								
151	79.71	256.54	2.35	0.78	0.44	2.33	41968	14598	111831	2.33	2.35	2.37	0.017	0.77	0.78	0.80	0.016								
152	80.13	257.82	2.38	0.78	0.44	2.33	41554	14433	114505	2.36	2.38	2.39	0.019	0.78	0.78	0.78	0.002								
153	80.47	259.09	2.38	0.79	0.44	2.33	42549	14793	114748	2.37	2.38	2.39	0.008	0.78	0.79	0.80	0.008								
154	80.99	260.35	2.38	0.79	0.44	2.33	43008	14959	114769	2.37	2.38	2.39	0.008	0.79	0.79	0.81	0.010								
155	81.39	261.62	2.37	0.80	0.44	2.34	43475	15132	114238	2.37	2.37	2.38	0.008	0.79	0.80	0.81	0.013								
156	82.02	262.88	2.38	0.80	0.44	2.34	43427	15111	114693	2.36	2.38	2.39	0.015	0.79	0.80	0.81	0.011								
157	82.28	264.15	2.38	0.80	0.44	2.34	43877	15276	114433	2.36	2.38	2.39	0.017	0.79	0.80	0.82	0.016								
158	82.67	265.41	2.37	0.80	0.44	2.34	43809	15254	114087	2.36	2.37	2.39	0.013	0.79	0.80	0.82	0.015								
159	83.05	266.67	2.38	0.80	0.44	2.34	44004	15321	114666	2.36	2.38	2.40	0.021	0.79	0.80	0.82	0.016								
160	83.56	267.93	2.38	0.80	0.44	2.34	43937	15297	114666	2.36	2.38	2.40	0.017	0.79	0.80	0.82	0.015								
161	83.95	269.19	2.38	0.79	0.44	2.34	43222	15035	115028	2.37	2.38	2.40	0.014	0.79	0.79	0.80	0.006								
162	84.45	270.45	2.39	0.80	0.44	2.34	43942	15291	116013	2.37	2.39	2.41	0.018	0.79	0.80	0.82	0.015								
163	84.91	271.71	2.40	0.80	0.44	2.34	43511	15129	116971	2.38	2.40	2.42	0.024	0.79	0.80	0.81	0.009								
164	85.34	272.97	2.40	0.80	0.44	2.34	43897	15270	116763	2.38	2.40	2.42	0.018	0.79	0.80	0.82	0.013								
165	85.74	274.24	2.40	0.79	0.44	2.34	43174	15005	117318	2.38	2.40	2.43	0.024	0.79	0.79	0.80	0.003								
166	86.07	275.50	2.40	0.80	0.44	2.34	43343	15070	116699	2.38	2.40	2.41	0.015	0.79	0.80	0.80	0.007								
167	86.44	276.76	2.40	0.79	0.44	2.33	42953	14926	117162	2.38	2.40	2.42	0.021	0.79	0.79	0.79	0.002								
168	86.86	278.02	2.40	0.79	0.44	2.34	43208	15021	116692	2.38	2.40	2.41	0.018	0.79	0.79	0.80	0.005								
169	87.24	279.28	2.38	0.79	0.44	2.33	42977	14945	115157	2.38	2.38	2.39	0.009	0.79	0.79	0.80	0.004								
170	87.74	280.55	2.39	0.79	0.44	2.33	42935	14926	115853	2.37	2.39	2.40	0.014	0.79	0.79	0.80	0.003								
171	87.89	281.82	2.39	0.80	0.44	2.34	43649	15185	115897	2.37	2.39	2.41	0.018	0.79	0.80	0.81	0.013								
172	88.42	283.09	2.38	0.80	0.44	2.34	43523	15144	115061	2.37	2.38	2.39	0.009	0.79	0.80	0.81	0.011								
173	89.02	284.36	2.39	0.79	0.44	2.33	42544	14784	115926	2.37	2.39	2.41	0.020	0.79	0.79	0.79	0.004								
174	89.42	285.65	2.39	0.79	0.44	2.34	43138	15001	115588	2.37	2.39	2.40	0.017	0.78	0.79	0.82	0.016								
175	89.87	286.93	2.39	0.79	0.44	2.33	42603	14803	116466	2.37	2.39	2.42	0.027	0.78	0.79	0.81	0.014								
176	90.17	288.21	2.38	0.79	0.44	2.33	42754	14864	115292	2.37	2.38	2.40	0.014	0.78	0.79	0.81	0.017								
177	90.55	289.50	2.38	0.78	0.44	2.33	41761	14507	114733	2.37	2.38	2.38	0.008	0.78	0.78	0.79	0.005								
178	90.87	290.78	2.37	0.78	0.44	2.33	41767	14512	114183	2.36	2.37	2.38	0.008	0.78	0.78	0.79	0.004								
179	91.40	292.06	2.37	0.79	0.44	2.33	42282	14699	114144	2.36	2.37	2.39	0.014	0.78	0.79	0.80	0.011								
180	91.83	293.35	2.37	0.79	0.44	2.33	42139	14647	114168	2.35	2.37	2.40	0.021	0.78	0.79	0.80	0.009								
181	92.33	294.64	2.36	0.78	0.44	2.33	41710	14499	112725	2.35	2.36	2.37	0.008	0.78	0.78	0.79	0.008								
182	92.81	295.94	2.37	0.78	0.44	2.32	41458	14404	113474	2.35	2.37	2.38	0.017	0.77											

<b>COMMITTENTE</b>	<b>ITALFERR</b>
<b>DOWN HOLE</b>	<b>3A_S03</b>
<b>Località - Progetto</b>	<b>MARIANOPOLI</b>
<b>Data acquisizione</b>	<b>16 Novembre 2019</b>

<b>Metodologia Down Hole</b>
Differenziale
<b>Progressivo</b>
<b>Distanza bocca foro -shot = 5 m</b>



Falda 28m

Profondità misura	Tempi		PARAMETRI INTERVALLARI MEDI							STRATIGRAFIA	STIMA DEGLI ERRORI														
	Onde p msec	Onde s msec	Vp Km/sec.	Vs Km/sec.	v -	γ T/m³	Edin Kg/cm²	Gdin Kg/cm²	Kdin Kg/cm²		Vp (km/sec)				Vs (km/sec)										
											min	media	max	ε	min	media	max	ε							
190	96.17	306.43	2.35	0.76	0.44	2.31	39734	13786	112395	Da 184.00 m a 200.00 m Marna argillose, dure, fratturate, con livelli debolmente arenacei (struttura brecciata). Classificazione ISRM :S5	2.36	0.77	0.44	2.31	39884	13839	112606	2.34	2.35	2.37	0.012	0.76	0.76	0.78	0.011
191	96.67	307.75	2.35	0.76	0.44	2.31	39371	13655	112434		2.34	2.35	2.37	0.015	0.76	0.76	0.77	0.006							
192	97.04	309.07	2.36	0.76	0.44	2.31	39135	13569	112721		2.34	2.36	2.38	0.021	0.76	0.76	0.76	0.003							
193	97.54	310.39	2.36	0.77	0.44	2.32	40125	13927	112528		2.34	2.36	2.38	0.019	0.76	0.77	0.79	0.016							
194	97.96	311.71	2.36	0.77	0.44	2.31	39861	13827	113311		2.34	2.36	2.40	0.030	0.76	0.77	0.78	0.012							
195	98.36	313.03	2.36	0.76	0.44	2.31	39303	13628	112936		2.34	2.36	2.39	0.024	0.76	0.76	0.77	0.005							
196	98.83	314.36	2.35	0.77	0.44	2.32	40143	13938	111609		2.34	2.35	2.35	0.009	0.76	0.77	0.79	0.017							
197	99.34	315.68	2.35	0.76	0.44	2.31	39663	13763	111997		2.34	2.35	2.37	0.015	0.76	0.76	0.78	0.010							
198	99.72	317.00	2.34	0.76	0.44	2.31	39546	13724	111157		2.33	2.34	2.35	0.008	0.76	0.76	0.78	0.010							
199	100.23	318.32	2.36	0.77	0.44	2.32	40094	13916	112385		2.34	2.36	2.37	0.018	0.76	0.77	0.79	0.017							
200	100.61	319.65	2.36	0.76	0.44	2.31	39687	13768	112537		2.34	2.36	2.37	0.014	0.76	0.76	0.78	0.012							
201	101.12	320.97	2.36	0.76	0.44	2.31	39009	13523	112770		2.35	2.36	2.36	0.010	0.76	0.76	0.76	0.003							
202	101.48	322.29	2.37	0.76	0.44	2.31	39592	13729	113630		2.35	2.37	2.38	0.017	0.76	0.76	0.78	0.010							
203	101.74	323.62	2.37	0.77	0.44	2.32	40101	13910	114065		2.35	2.37	2.39	0.017	0.76	0.77	0.79	0.017							
204	102.03	324.94	2.37	0.77	0.44	2.32	40076	13899	114571		2.36	2.37	2.40	0.020	0.76	0.77	0.79	0.017							
205	102.67	326.27	2.37	0.76	0.44	2.31	39532	13703	114501		2.36	2.37	2.39	0.017	0.75	0.76	0.78	0.011							
206	103.17	327.59	2.37	0.76	0.44	2.31	39264	13606	114564		2.36	2.37	2.39	0.018	0.75	0.76	0.77	0.007							
207	103.55	328.92	2.37	0.76	0.44	2.31	39383	13650	114475		2.36	2.37	2.39	0.015	0.75	0.76	0.77	0.009							
208	103.87	330.24	2.37	0.76	0.44	2.31	39142	13562	114501		2.36	2.37	2.38	0.012	0.75	0.76	0.77	0.006							
209	104.32	331.56	2.38	0.76	0.44	2.31	39791	13793	115139		2.36	2.38	2.39	0.013	0.75	0.76	0.78	0.014							
210	104.82	332.89	2.38	0.76	0.44	2.31	39597	13723	115204	2.37	2.38	2.39	0.011	0.75	0.76	0.78	0.012								
211	105.08	334.22	2.39	0.77	0.44	2.31	39984	13857	116469	2.37	2.39	2.41	0.023	0.75	0.77	0.79	0.016								
212	105.59	335.54	2.39	0.77	0.44	2.32	40052	13881	116486	2.37	2.39	2.41	0.020	0.75	0.77	0.79	0.017								
213	106.09	336.86	2.39	0.76	0.44	2.31	39305	13614	116019	2.37	2.39	2.39	0.011	0.76	0.76	0.77	0.006								
214	106.47	338.18	2.39	0.77	0.44	2.32	40045	13878	116628	2.37	2.39	2.41	0.017	0.76	0.77	0.79	0.015								
215	106.85	339.49	2.39	0.76	0.44	2.31	39561	13702	116914	2.38	2.39	2.41	0.015	0.76	0.76	0.77	0.005								
216	107.36	340.80	2.41	0.77	0.44	2.31	39955	13836	118781	2.39	2.41	2.44	0.029	0.76	0.77	0.77	0.006								
217	107.74	342.10	2.42	0.77	0.44	2.32	40550	14047	119271	2.40	2.42	2.43	0.017	0.76	0.77	0.78	0.008								
218	108.12	343.38	2.44	0.78	0.44	2.32	41252	14290	121505	2.42	2.44	2.45	0.018	0.77	0.78	0.79	0.009								
219	108.51	344.66	2.46	0.78	0.44	2.33	42207	14623	123732	2.45	2.46	2.47	0.011	0.78	0.78	0.80	0.012								
220	108.88	345.93	2.50	0.79	0.44	2.33	42770	14805	128257	2.48	2.50	2.51	0.017	0.78	0.79	0.80	0.007								
221	109.17	347.19	2.52	0.80	0.44	2.34	43889	15195	131187	2.51	2.52	2.53	0.011	0.79	0.80	0.81	0.012								
222	109.48	348.44	2.55	0.80	0.44	2.34	44413	15368	134435	2.52	2.55	2.57	0.024	0.80	0.80	0.81	0.010								
223	110.09	349.68	2.56	0.81	0.44	2.34	44861	15525	135432	2.53	2.56	2.57	0.017	0.80	0.81	0.82	0.009								
224	110.34	350.92	2.57	0.81	0.44	2.35	45340	15689	137243	2.55	2.57	2.60	0.027	0.80	0.81	0.82	0.011								
225	110.88	352.17	2.57	0.82	0.44	2.35	46074	15954	137104	2.56	2.57	2.58	0.013	0.80	0.82	0.84	0.017								
226	111.08	353.42	2.58	0.81	0.45	2.35	45248	15651	138415	2.56	2.58	2.60	0.019	0.80	0.81	0.82	0.010								
227	111.32	354.68	2.59	0.81	0.45	2.34	44946	15537	139734	2.57	2.59	2.62	0.026	0.80	0.81	0.82	0.010								
228	111.85	355.94	2.60	0.80	0.45	2.34	44242	15279	141277	2.57	2.60	2.64	0.036	0.80	0.80	0.81	0.006								
229	112.22	357.20	2.60	0.80	0.45	2.34	44801	15479	141215	2.58	2.60	2.63	0.027	0.80	0.80	0.82	0.013								
230	112.85	358.46	2.61	0.81	0.45	2.34	45009	15550	142213	2.59	2.61	2.65	0.030	0.79	0.81	0.83	0.017								
231	112.97	359.71	2.61	0.81	0.45	2.34	45014	15551	142488	2.59	2.61	2.64	0.025	0.79	0.81	0.83	0.017								
232	113.38	360.97	2.61	0.80	0.45	2.34	44019	15194	142689	2.60	2.61	2.64	0.020	0.79	0.80	0.80	0.004								
233	113.98	362.23	2.62	0.80	0.45	2.34	44220	15264	143085	2.60	2.62	2.64	0.021	0.79	0.80	0.81	0.007								
234	114.36	363.49	2.62	0.81	0.45	2.34	45042	15555	143811	2.60	2.62	2.66	0.027	0.79	0.81	0.83	0.017								
235	114.62	364.74	2.62	0.80	0.45	2.34	44020	15192	143396	2.60	2.62	2.64	0.018	0.79	0.80	0.80	0.004								
236	115.00	366.00	2.63	0.80	0.45	2.34	44079	15210	144128	2.60	2.63	2.65	0.025	0.79	0.80	0.80	0.005								
237	115.51	367.26	2.62	0.80	0.45	2.34	44372	15319	142887	2.61	2.62	2.62	0.008	0.79	0.80	0.81	0.009								
238	115.90	368.52	2.62	0.80	0.45	2.34	43906	15149	143794	2.61	2.62	2.64	0.016	0.79	0.80	0.80	0.003								
239	116.40	369.78	2.63	0.80	0.45	2.34	44739	15446	144072	2.61	2.63	2.64	0.018	0.79	0.80	0.82	0.013								
240	117.03	371.04	2.63	0.81	0.45	2.34	44880	15495	144301	2.61	2.63	2.65	0.018	0.79	0.81	0.82	0.015								
241	117.17	372.29	2.63	0.80	0.45	2.34	44458	15344	144572	2.61	2.63	2.65	0.019	0.79	0.80	0.81	0.010								
242	117.54	373.55	2.63	0.81	0.45	2.34	44911	15504	144872	2.61	2.63	2.65	0.021	0.80	0.81	0.82	0.014								
243	117.94	374.81	2.63	0.80	0.45	2.34	44153	15233	145157	2.61	2.63	2.66	0.022	0.80	0.80	0.80	0.004								
244	118.61	376.06	2.63	0.80	0.45	2.34	44598	15392	144971	2.61	2.63	2.65	0.018	0.80	0.80	0.82	0.010								
245	118.94	377.32	2.63	0.80	0.45	2.34	44417	15328	144772	2.62	2.63	2.64	0.014	0.80	0.80	0.81	0.008								
246	119.39	378.58	2.64	0.81	0.45	2.34	44987	15528	145711	2.62	2.64	2.66	0.024	0.80	0.81	0.82	0.015								
247	119.80	379.83	2.64	0.81	0.45	2.34	44945	15515	145286	2.62	2.64	2.65	0.017	0.80	0.81	0.82	0.013								
248	120.46	381.09	2.64	0.80	0.45	2.34	44499																		

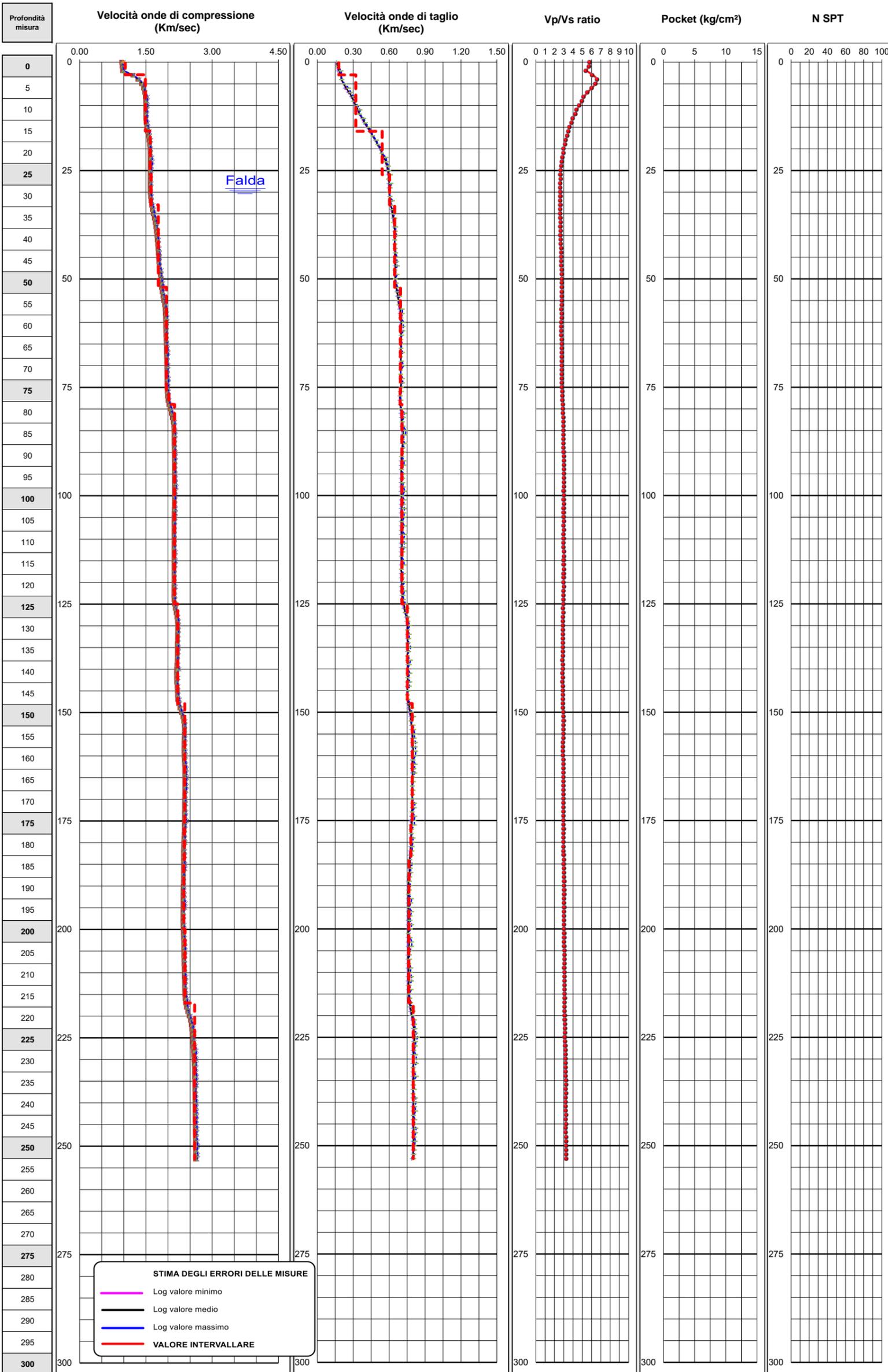
**COMMITTENTE**  
**DOWN HOLE**  
**Località**  
**Data acquisizione**

**ITALFERR**  
**3A\_S03**  
**MARIANOPOLI**  
**16 Novembre 2019**

**LOG DEI PARAMETRI ELASTICI**  
**Progressivo**  
**Distanza bocca foro -shot = 5 m**



**Stratigrafia sintetica**



Da 0.00 a 3.00 m
Da 3.00 m a 17.00 m Peliti a struttura scagliettata, dure, compatte. Classificazione ISRM :S3.
Da 17.00 m a 26.50 m Peliti a struttura scagliettata, dure, compatte. Classificazione ISRM :S6
Da 26.50 m a 33.00 m Peliti a struttura caotica con livelli millimetrici di argilliti sabbiose, dure, compatte.
Da 33.00 m a 53.00 m Peliti a struttura caotica, dure, compatte, alternate a livelli millimetrici di peliti leggermente plastiche. Classificazione ISRM :S5
Da 53.00 m a 76.00 m Peliti a struttura scagliettata, dure, a tratti fratturate. Classificazione ISRM :S5
Da 76.00 m a 79.00 m
Da 79.00 m a 125.00 m Marne argillose, dure, omogenee, alternate a livelli di marne debolmente arenacee. Classificazione ISRM :S6
Da 125.00 m a 148.00 m Peliti debolmente marnosecon struttura omogenea, dure, compatte, a tratti fratturate. Classificazione ISRM :S5
Da 148.00 m a 175.50 m Marne argillose, dure, omogenee, alternate a livelli millimetrici di marne arenacee, a tratti fratturate. Classificazione ISRM :S6
Da 175.50 m a 184.00 m Argille debolmente marnose con rari livelli carbonatici duri. Classificazione ISRM :S4
Da 184.00 m a 200.00 m Marne argillose, dure, fratturate, con livelli debolmente arenacei (struttura brecciata). Classificazione ISRM :S5
Da 200.00 m a 217.80 m Marne debolmente calcaree, omogenee, asciutte, dure e fratturate con rari livelli marnoso arenacei. Classificazione ISRM :S6
Da 217.80 m a 255.00 m Marne debolmente calcaree, omogenee, asciutte, dure e fratturate con rari livelli marnoso arenacei. Classificazione ISRM :S6

Fig. 6

<b>COMMITTENTE</b>
<b>DOWN HOLE</b>
<b>Località</b>
<b>Data acquisizione</b>

<b>ITALFERR</b>
<b>3A_S03</b>
<b>MARIANOPOLI</b>
<b>16 Novembre 2019</b>

<b>LOG DEI PARAMETRI ELASTICI</b>
<b>Progressivo</b>
<b>Distanza bocca foro -shot = 5 m</b>

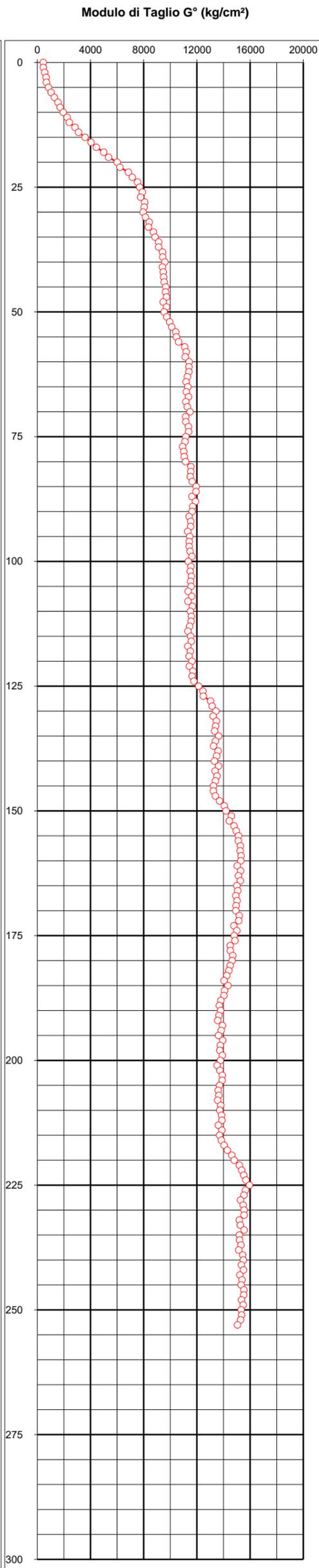
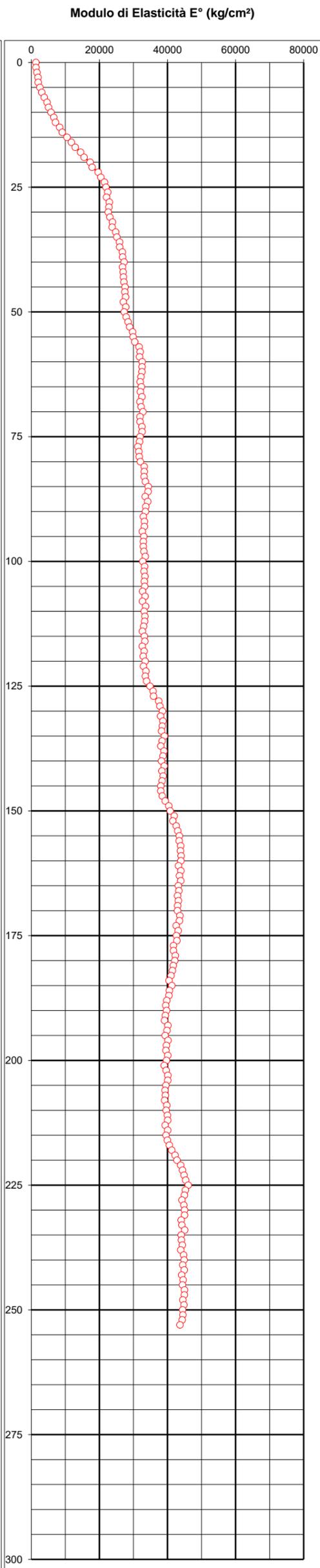
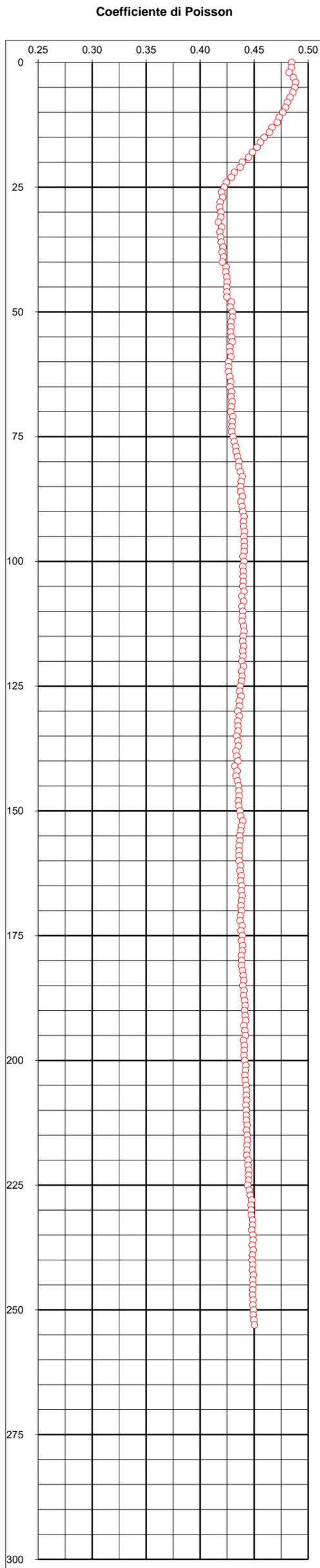


**PROGEO s.r.l.**  
 Via Tante 15/B  
 47100 Forlì  
 tel. 0543 723880  
 fax. 0543 721486  
 mail: proggeo@progeo.com  
 www.progeo.info

**Stratigrafia sintetica**

Profondità misura

0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65
70
75
80
85
90
95
100
105
110
115
120
125
130
135
140
145
150
155
160
165
170
175
180
185
190
195
200
205
210
215
220
225
230
235
240
245
250
255
260
265
270
275
280
285
290
295
300



Da 0.00 a 3.00 m
Da 3.00 m a 17.00 m Peliti a struttura scagliettata, dure, compatte. Classificazione ISRM :S3.
Da 17.00 m a 26.50 m Peliti a struttura scagliettata, dure, compatte. Classificazione ISRM :S6
Da 26.50 m a 33.00 m Peliti a struttura caotica con livelli millimetrici di argilliti sabbiose, dure, compatte.
Da 33.00 m a 53.00 m Peliti a struttura caotica, dure, compatte, alternate a livelli millimetrici di peliti leggermente plastiche. Classificazione ISRM :S5
Da 53.00 m a 76.00 m Peliti a struttura scagliettata, dure, a tratti fratturate. Classificazione ISRM :S5
Da 76.00 m a 79.00 m
Da 79.00 m a 125.00 m Marne argillose, dure, omogenee, alternate a livelli di marne debolmente arenacee. Classificazione ISRM :S6
Da 125.00 m a 148.00 m Peliti debolmente marnosecon struttura omogenea, dure, compatte, a tratti fratturate. Classificazione ISRM :S5
Da 148.00 m a 175.50 m Marne argillose, dure, omogenee, alternate a livelli millimetrici di marne arenacee, a tratti fratturate. Classificazione ISRM :S6
Da 175.50 m a 184.00 m Argille debolmente marnose con rari livelli carbonatici duri. Classificazione ISRM :S4
Da 184.00 m a 200.00 m Marne argillose, dure, fratturate, con livelli debolmente arenacei (struttura brecciata). Classificazione ISRM :S5
Da 200.00 m a 217.80 m Marne debolmente calcaree, omogenee, asciutte, dure e fratturate con rari livelli marnoso arenacei. Classificazione ISRM :S6
Da 217.80 m a 255.00 m Marne debolmente calcaree, omogenee, asciutte, dure e fratturate con rari livelli marnoso arenacei. Classificazione ISRM :S6

Fig. 7

# MAPPA INDAGINE CONGIUNTA MASW E HVSR

**Committente:** ITALFERR

**CODICE LAVORO:** 1982-12  
**CODICE PROVA:** MASW3aSI13+HVSR0001

**LOCALITA':** Sicilia  
**DATA PROVA:** 07/05/2020  
**LONGITUDINE:** 13.893205°  
**LATITUDINE:** 37.657159°  
**QUOTA (m. s.l.m.):** 376

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

## FOTO AEREA (Google Earth)



## FOTO AREA DI INDAGINE



# RAPPORTO SPETTRALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

**Committente:** ITALFERR

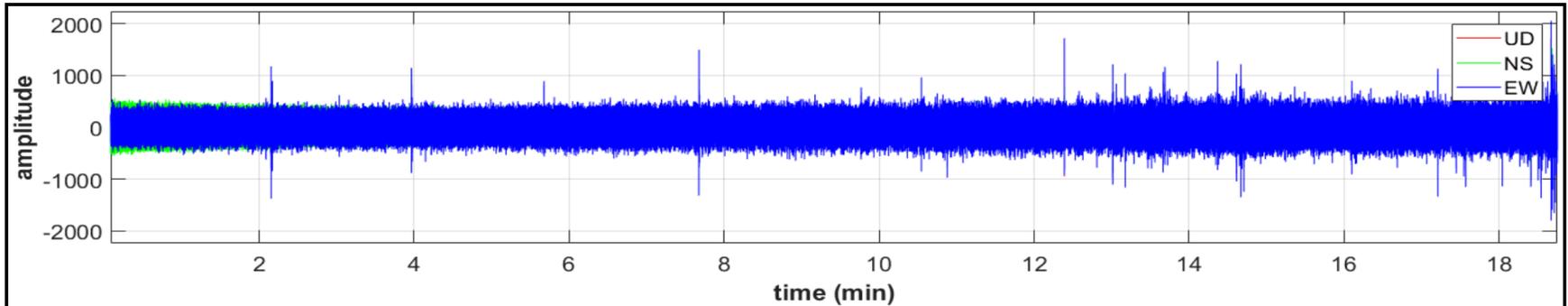
**CODICE LAVORO:** 1982-12  
**CODICE PROVA:** MASW3aSI13+HVSR0001

**LOCALITA':** Sicilia  
**DATA PROVA:** 07/05/2020

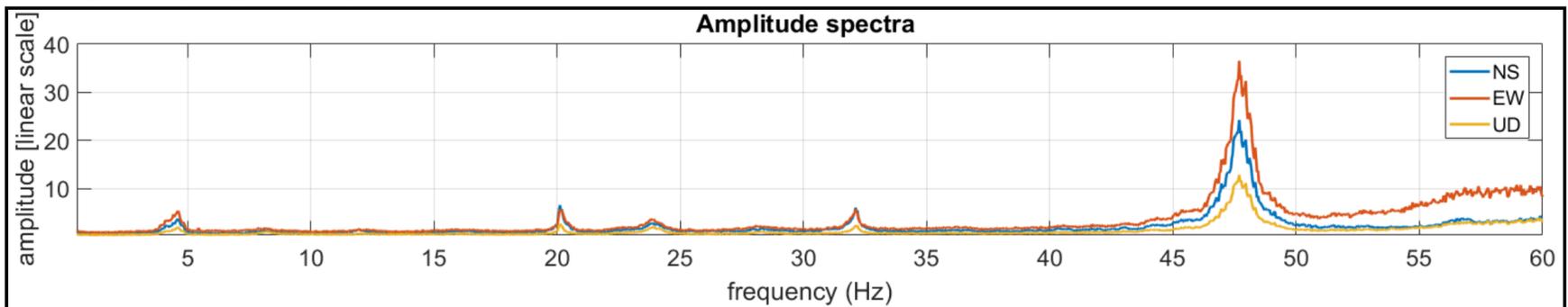
PARAMETRI DI ACQUISIZIONE	
Apparecchiatura di misura	SARA SL 06
Lunghezza registrazione	20 min
Fine registrazione	12:30:00
Frequenza di campionamento	200 Hz

PARAMETRI DI ELABORAZIONE	
Sampling frequency (Hz):	156
Window length (sec):	20
Minimum frequency soundly determined [10 cycles]:	0.5Hz
Length of analysed dataset (min):	20.0
Tapering (%):	5
Smoothing (%):	15

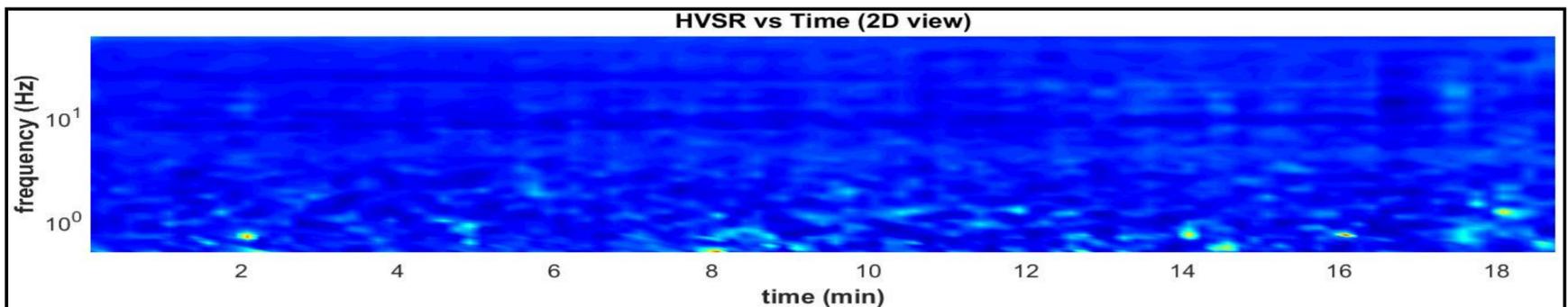
## Sismogrammi (Tempo)



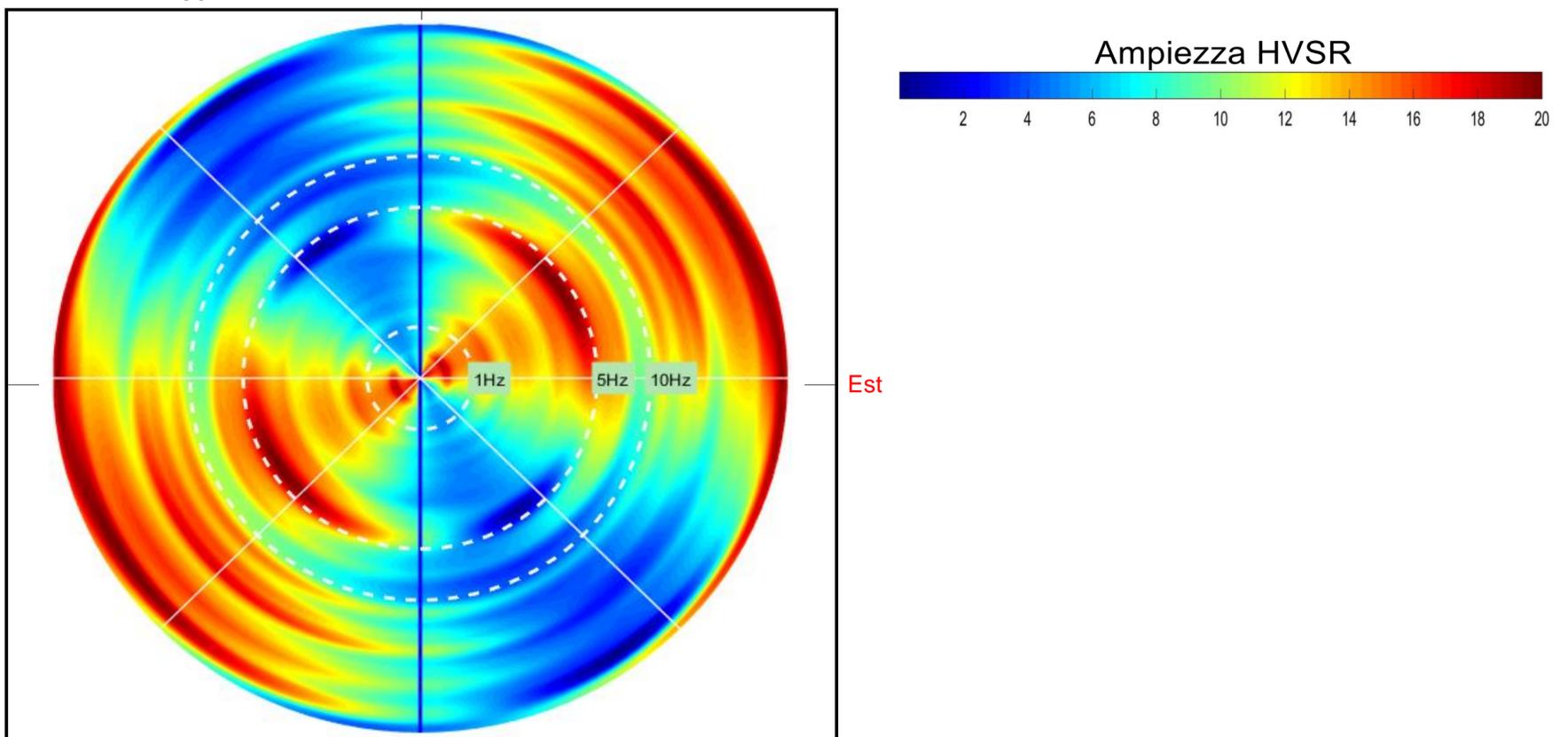
## Sismogrammi (Frequenza Hz)



## Persistenza rapporto HVSR



## Direzionalità rapporto HVSR



# RAPPORTO SPETTRALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

Committente: **ITALFERR**

CODICE LAVORO  
CODICE PROVA

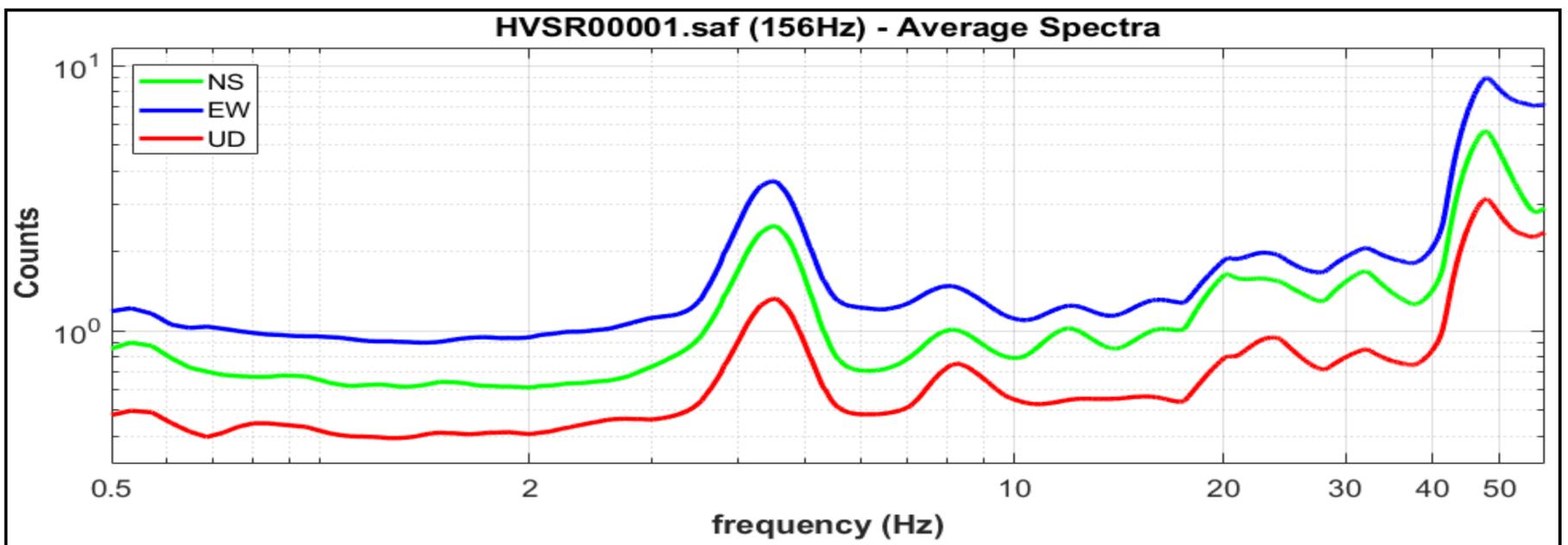
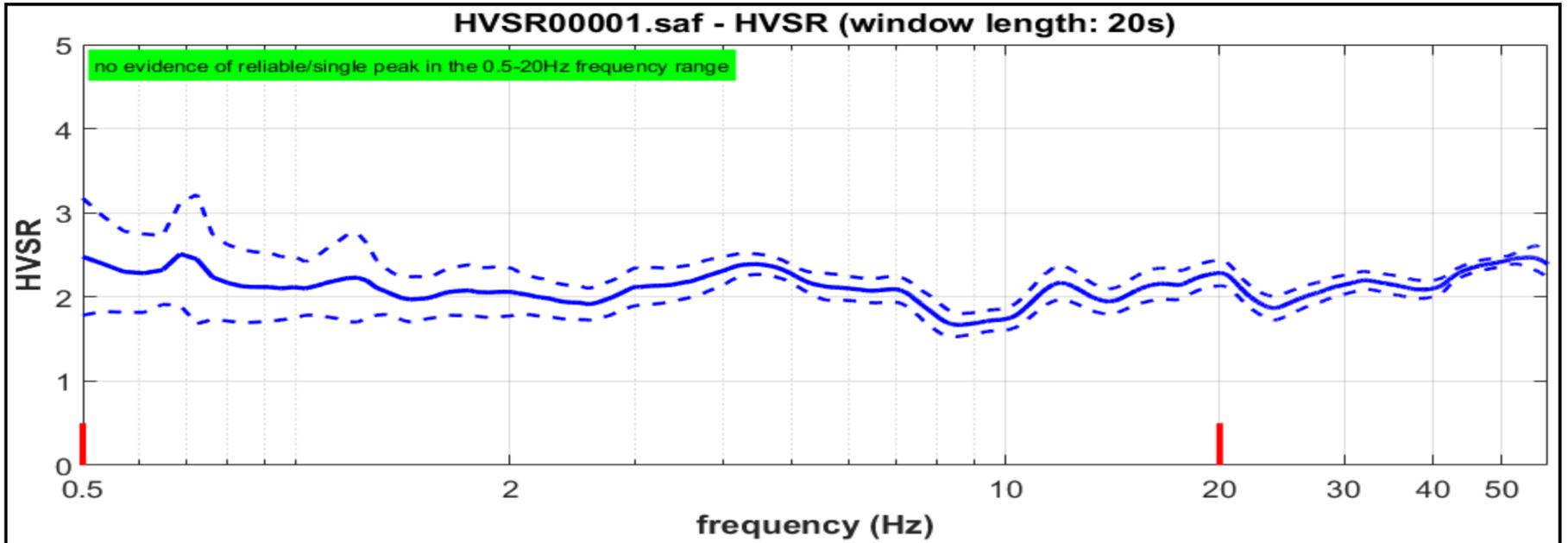
1982-12  
MASW3aSI13+HVSR0001

LOCALITA':  
DATA PROVA:

Sicilia  
07/05/2020

## RAPPORTO SPETTRALE H/V

Max HVSR  $0.686 \pm 2.2$  Hz.  $A0 = 2.5 \pm 0.8$



### Criteri per una curva H/V affidabile

[tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

f0 (Hz)	0.686
Lw (Sec)	20
nw	112
#1. [f0 > 10/Lw]: 0.686 > 0.5	<input checked="" type="checkbox"/>
#2. [nc > 200]: 1550 > 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]: 1550 > 200	<input checked="" type="checkbox"/>	
#3. [A0 > 2]: 2.5 > 2	<input checked="" type="checkbox"/>	
#4. [fpeak[Ah/v(f) ± sigmaA(f)] = f0 ± 5%]:		<input checked="" type="checkbox"/>
#5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 2.217 > 0.103		<input checked="" type="checkbox"/>
#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 2.267 < 2		<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 of $\sigma < \epsilon(f0)$

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 $\sigma A(f) < \theta(f0)$

Criterio soddisfatto  
 Criterio non soddisfatto

In accordo con SESAME Guidelines 2005

# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**Committente:** ITALFERR

**CODICE LAVORO** 1982-12  
**CODICE PROVA** MASW3aSI13+HVS000

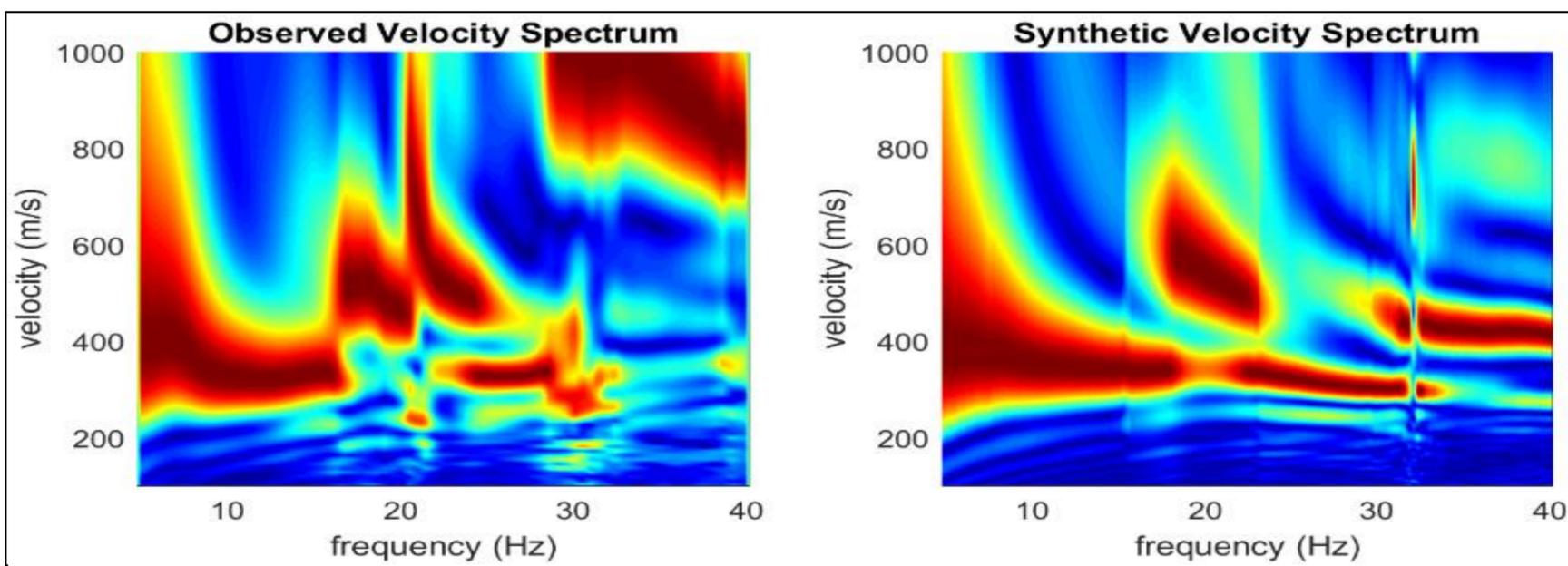
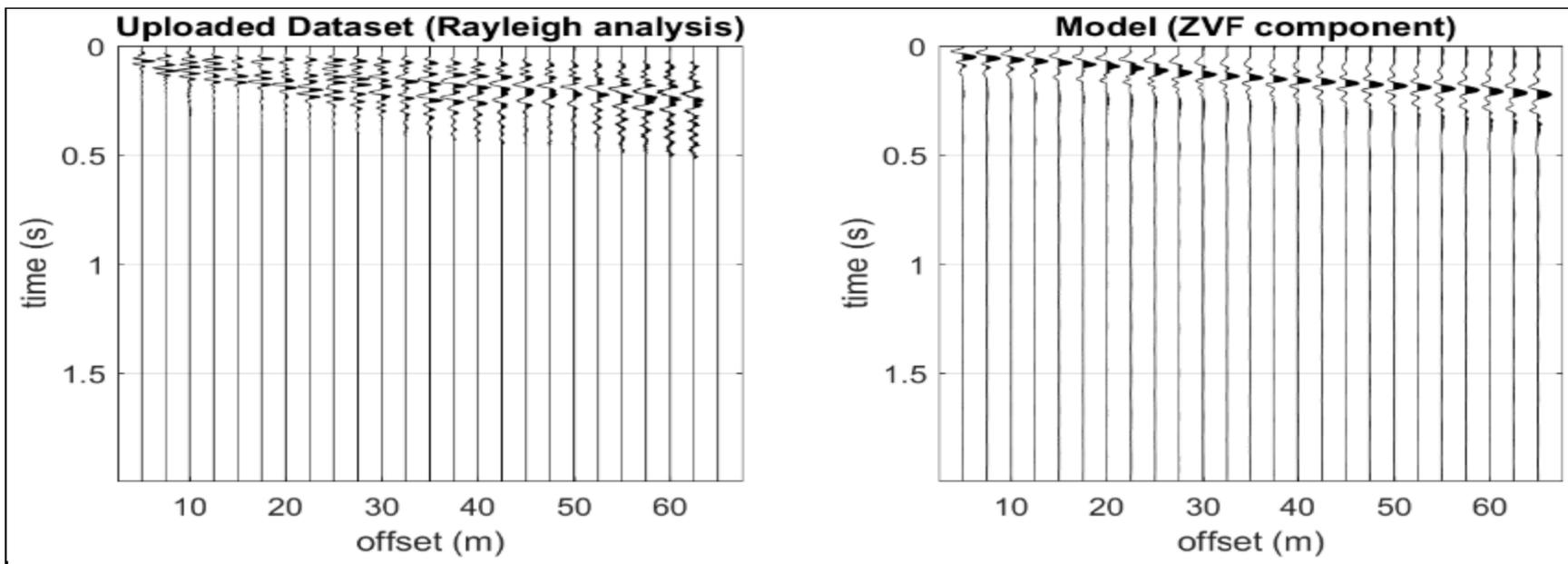
**LOCALITA':** Sicilia  
**DATA PROVA:** 07/05/2020

**STRUMENTAZIONE** Geometrics GEODE  
**N°CANALI** 12+12  
**SPACING** 2.5 m

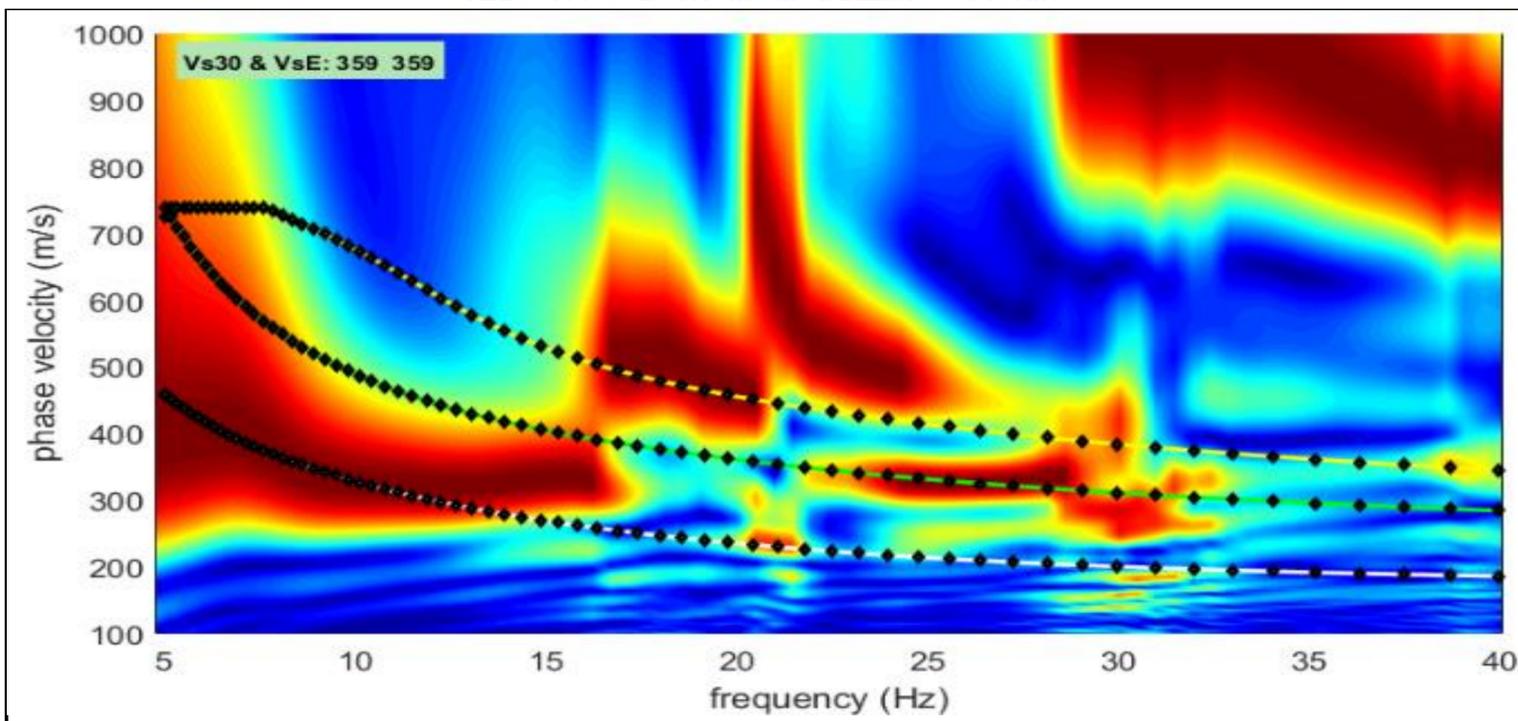
**RECORD TIME (Sec)** 2  
**SAMPLING (Sec)** 0.5

**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

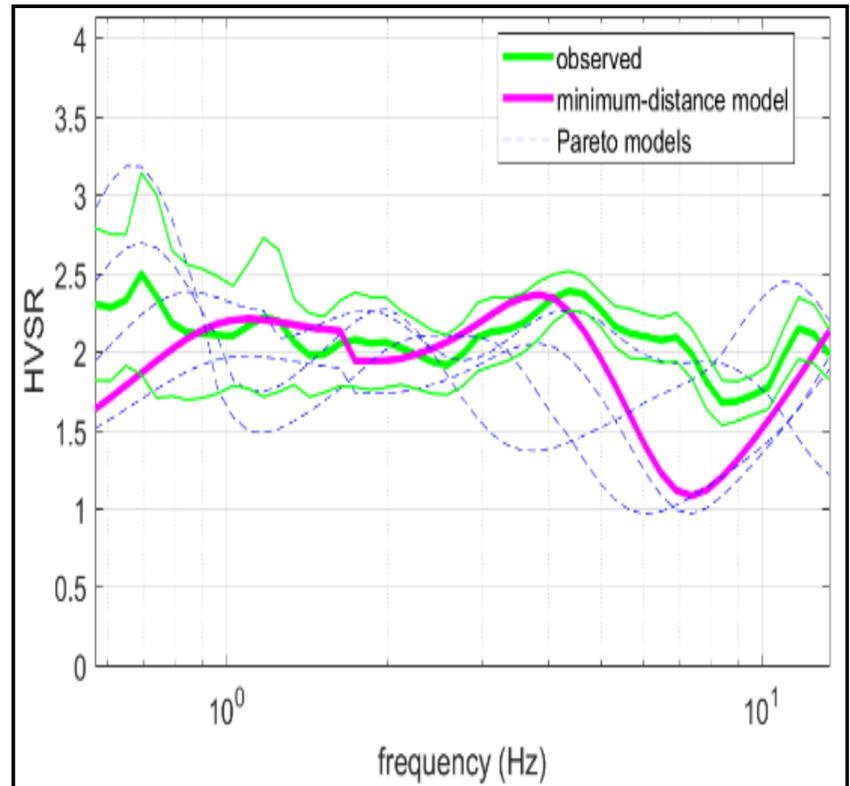
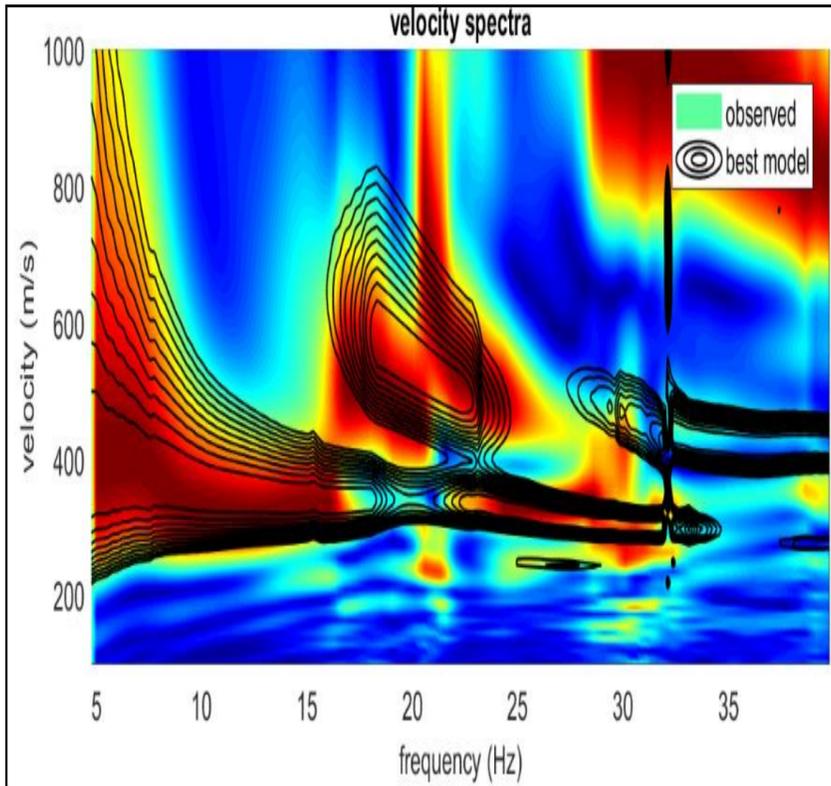
Committente: **ITALFERR**

CODICE LAVORO  
CODICE PROVA

1982-12  
MASW3aSI13+HVSR0001

LOCALITA': Sicilia  
DATA PROVA: 07/05/2020

## ELABORAZIONE DATI MASW



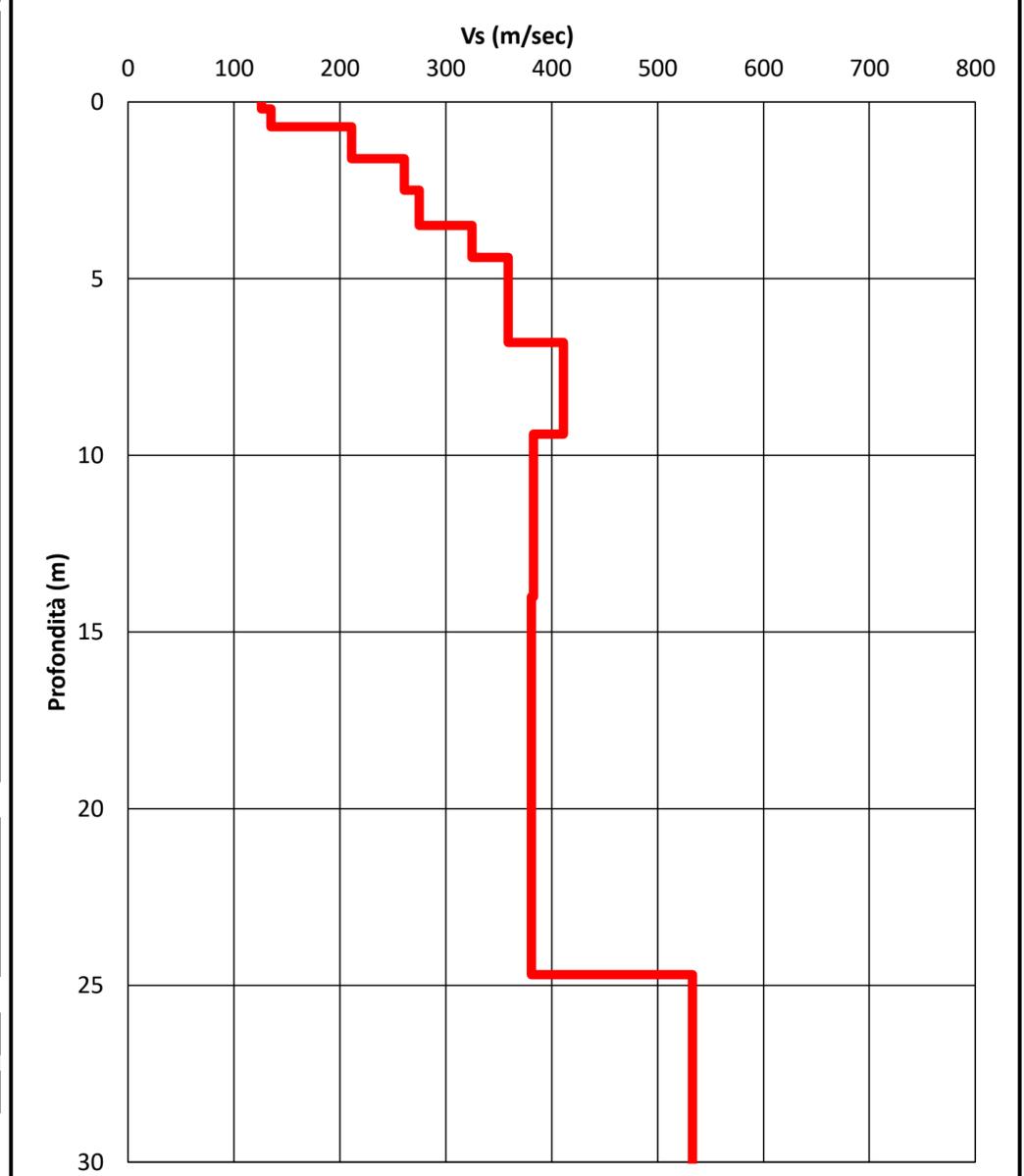
### Profilo Vs

Layer	Profondità m	Spessori m	Vs m/sec	Deviazione m/sec
1	0.20	0.20	126	16
2	0.70	0.50	135	15
3	1.60	0.90	211	17
4	2.50	0.90	261	17
5	3.50	1.00	275	11
6	4.40	0.90	325	21
7	6.80	2.40	359	23
8	9.40	2.60	411	32
9	14.00	4.60	383	32
10	24.70	10.70	381	43
11	30.00	5.30	533	72
12				

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

$H_{\text{bedrock}}$	>30	m
$V_{\text{Seq}}$	356	m/sec
Categoria suolo	<b>C</b>	

### PROFILO Vs



# MAPPA INDAGINE CONGIUNTA MASW E HVSR

**Committente:** ITALFERR

**CODICE LAVORO:** 1982-12  
**CODICE PROVA:** MASW 3B S09

**LOCALITA':** Caltanissetta  
**DATA PROVA:** 13/05/2020  
**LONGITUDINE:** 14.000935°  
**LATITUDINE:** 37.321163°  
**QUOTA (m. s.l.m.):** 358

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

## FOTO AEREA (Google Earth)



## FOTO AREA DI INDAGINE



# RAPPORTO SPETTRALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

**Committente:** ITALFERR

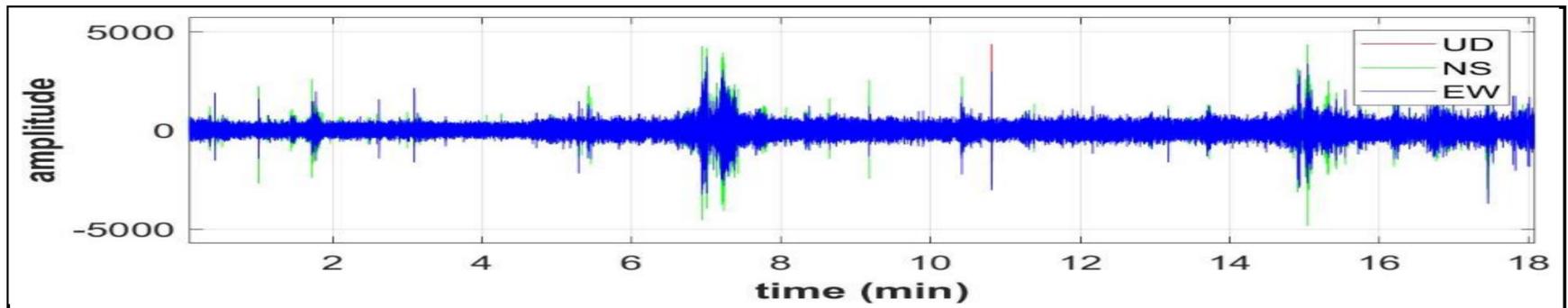
**CODICE LAVORO:** 1982-12  
**CODICE PROVA:** MASW 3B S09

**LOCALITA':** Caltanissetta  
**DATA PROVA:** 13/05/2020

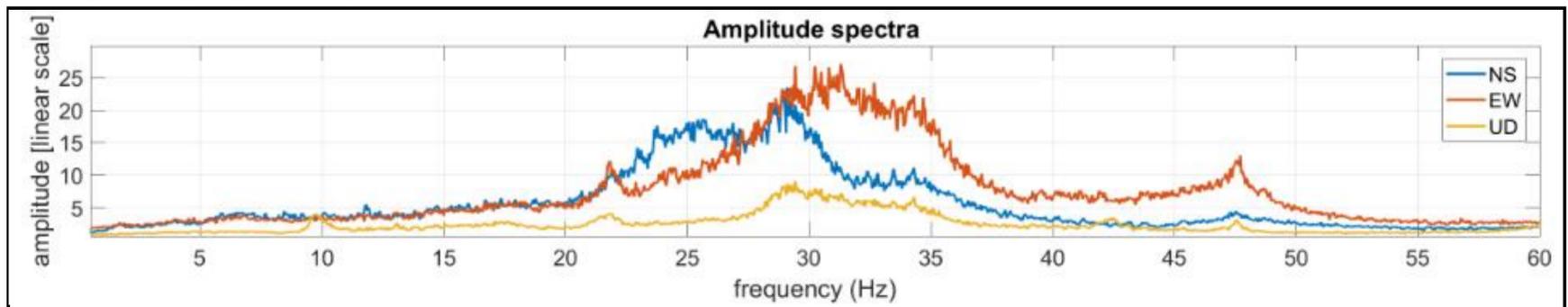
PARAMETRI DI ACQUISIZIONE	
Apparecchiatura di misura	SARA SL 06
Lunghezza registrazione	20 min
Fine registrazione	10:00:00
Frequenza di campionamento	200 Hz

PARAMETRI DI ELABORAZIONE	
Sampling frequency (Hz):	156
Window length (sec):	20
Minimum frequency soundly determined [10 cycles]:	0.5Hz
Length of analysed dataset (min):	20.4
Tapering (%):	5
Smoothing (%):	15

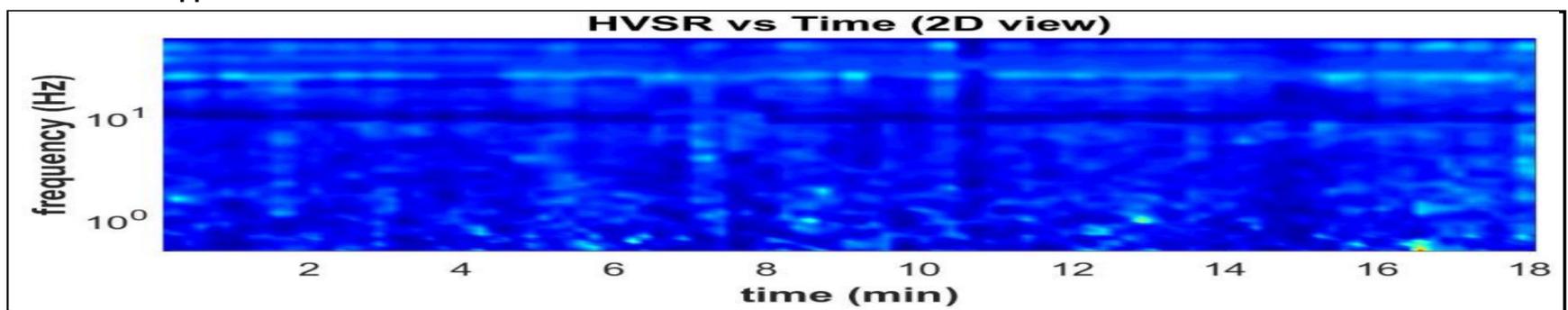
## Sismogrammi (Tempo)



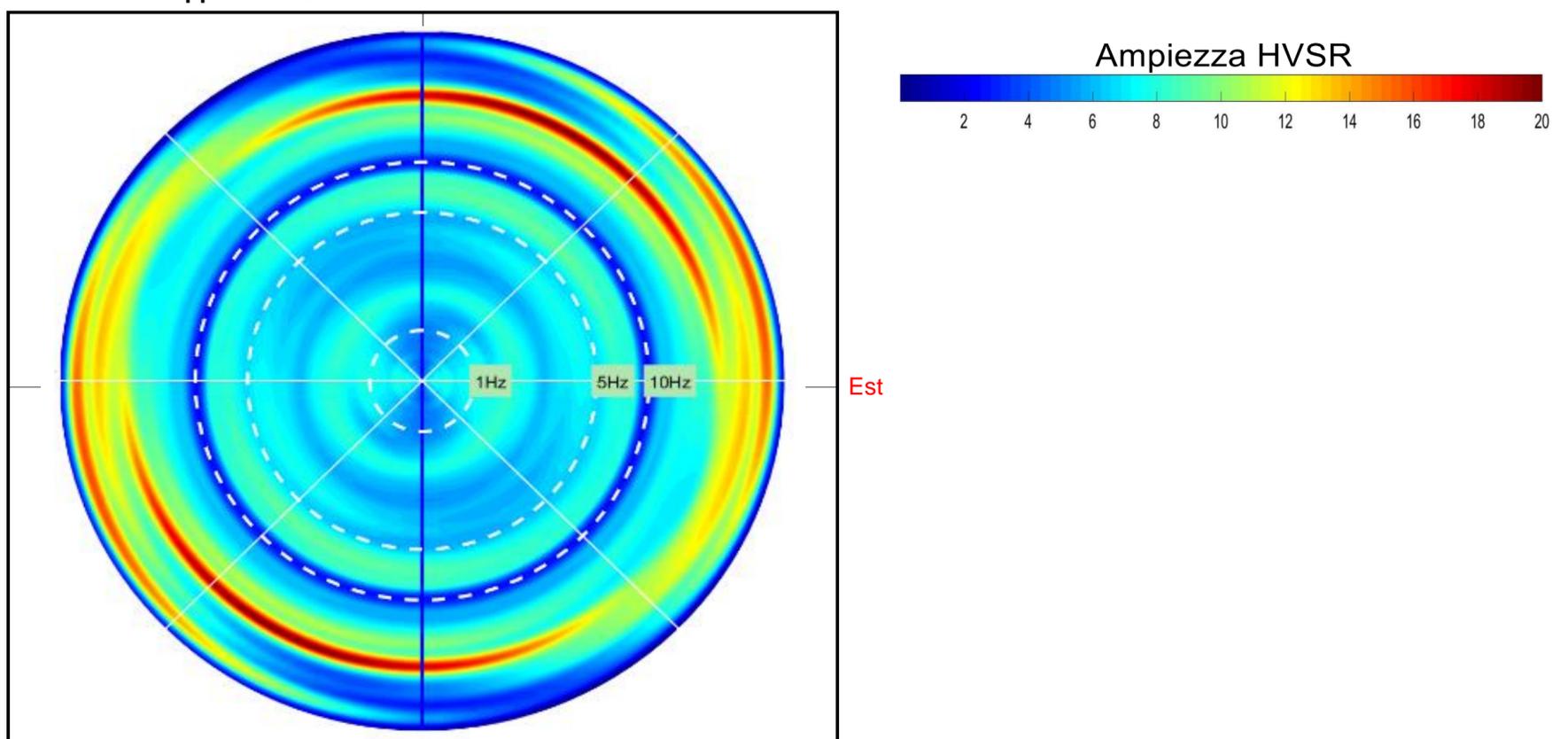
## Sismogrammi (Frequenza Hz)



## Persistenza rapporto HVSR



## Direzionalità rapporto HVSR



# RAPPORTO SPETTRALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

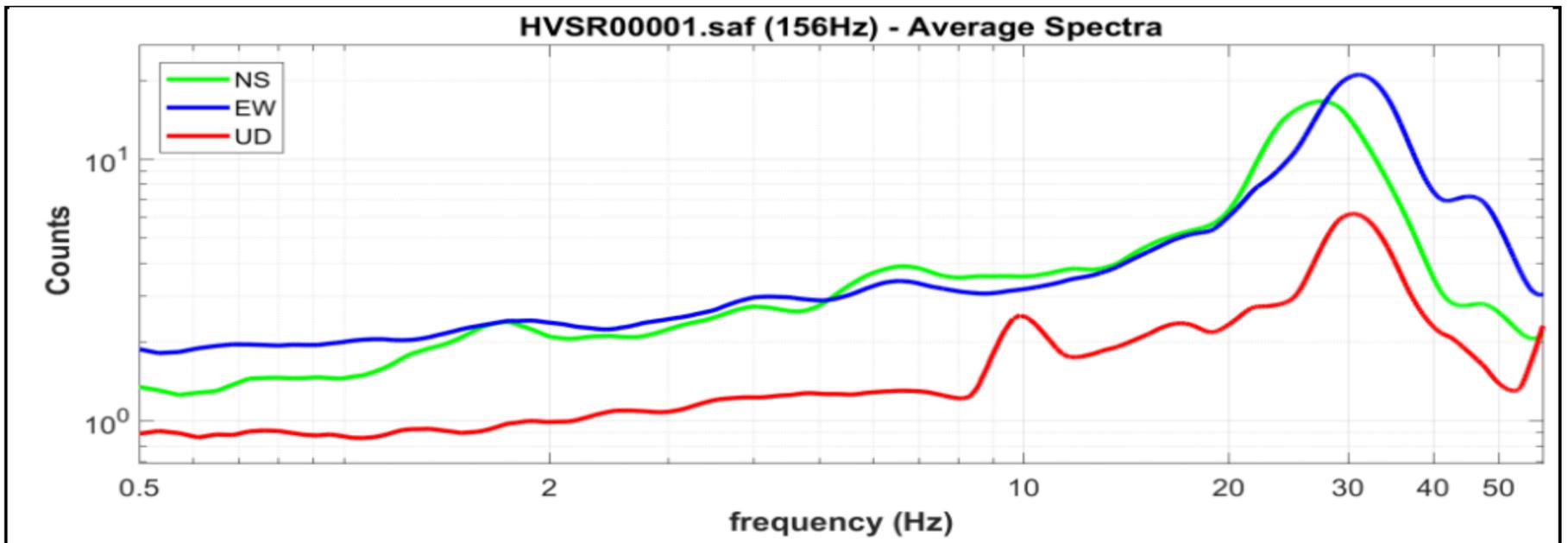
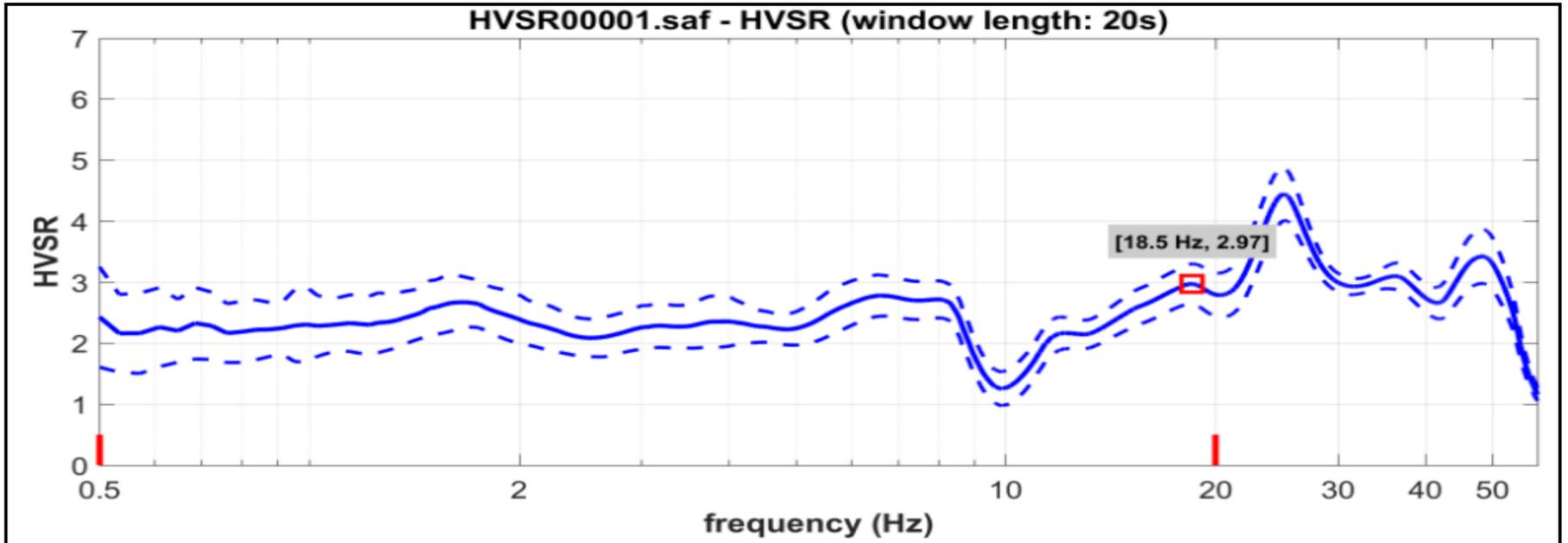
Committente: **ITALFERR**

CODICE LAVORO 1982-12  
 CODICE PROVA MASW 3B S09

LOCALITA': Caltanissetta  
 DATA PROVA: 13/05/2020

## RAPPORTO SPETTRALE H/V

Max HVSR 18.51 ± ±5. Hz. A0 = 3. ± 0.



### Criteri per una curva H/V affidabile

[tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

f0 (Hz)	18.51
Lw (Sec)	2
nw	109
#1. [f0 > 10/Lw]: 18.519 > 5	<input checked="" type="checkbox"/>
#2. [nc > 200]: 40371 > 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 9.4Hz	<input checked="" type="checkbox"/>	
#2. [nc > 200]: 40371 > 200	<input checked="" type="checkbox"/>	
#3. [A0 > 2]: 3.0 > 2	<input checked="" type="checkbox"/>	
#4. [fpeak[Ah/v(f) ± sigmaA(f)] = f0 ± 5%]:		<input checked="" type="checkbox"/>
#5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 5.529 > 0.926		<input checked="" type="checkbox"/>
#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.636 < 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 of σ < 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** 1982-12  
**CODICE PROVA** MASW 3B S09

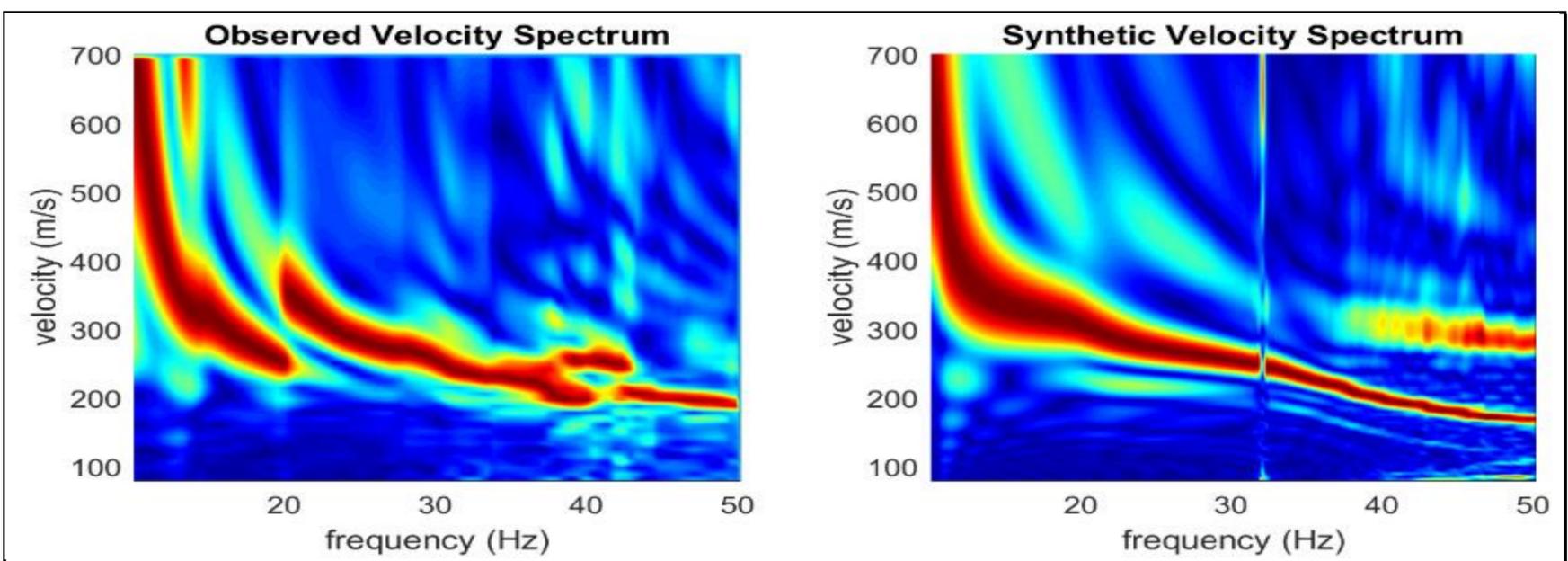
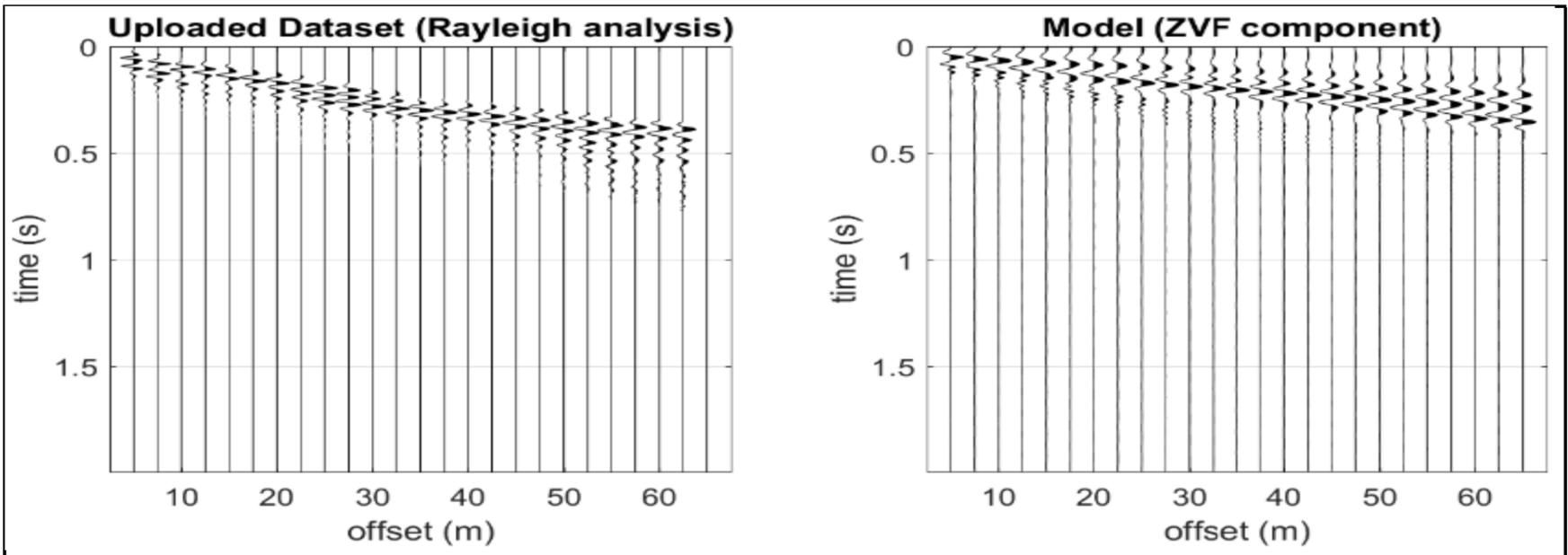
**LOCALITA':** Caltanissetta  
**DATA PROVA:** 13/05/2020

**STRUMENTAZIONE** Geometrics GEODE  
**N°CANALI** 12+12  
**SPACING** 2.5 m

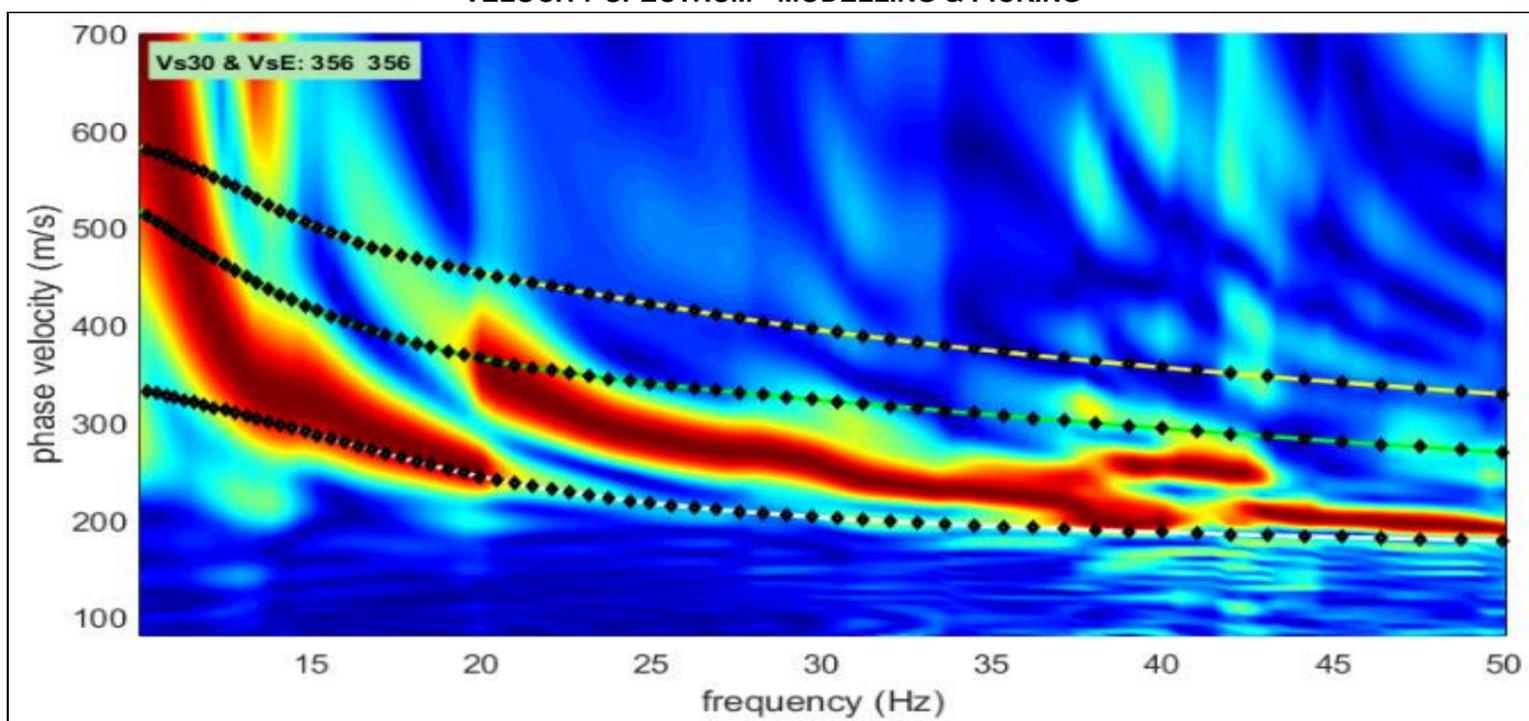
**RECORD TIME (Sec)** 2  
**SAMPLING (Sec)** 0.5

**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



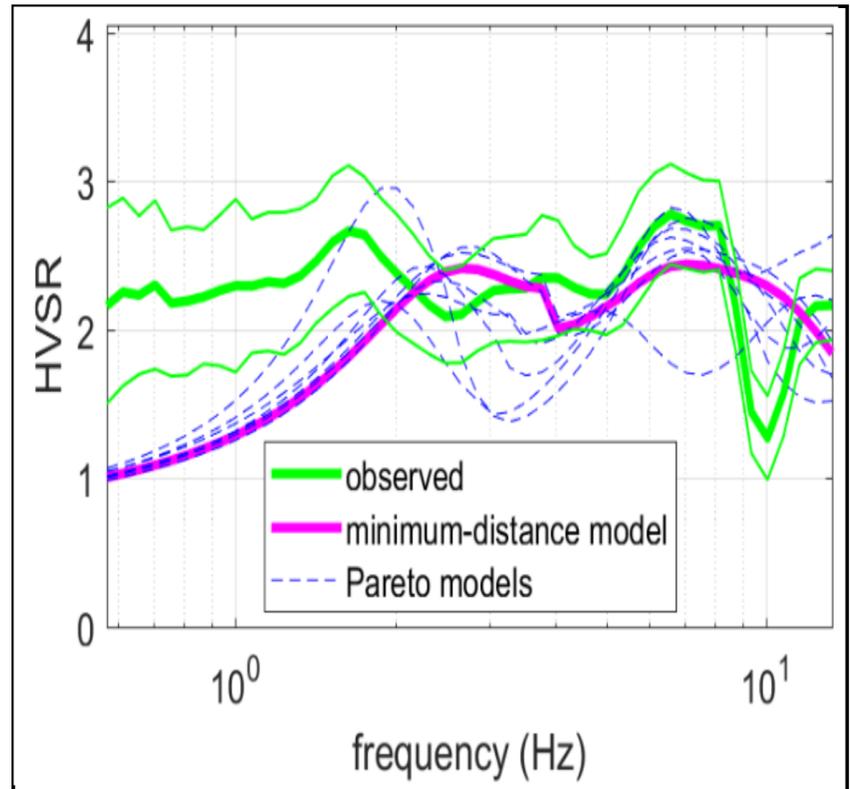
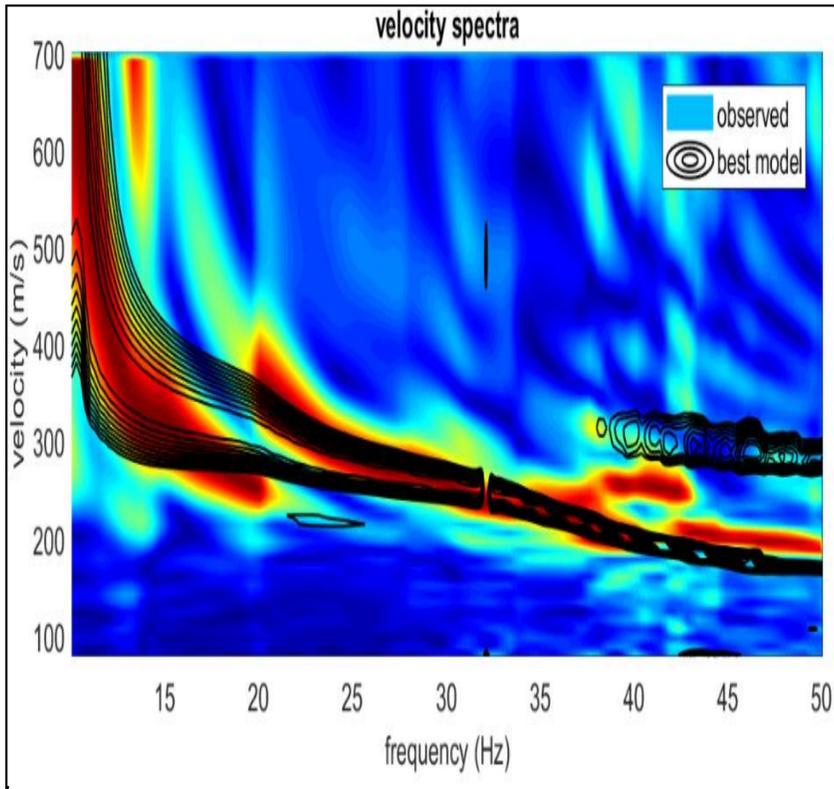
# ANALISI CONGIUNTA INDAGINE MASW & HVSR

Committente: **ITALFERR**

CODICE LAVORO 1982-12  
 CODICE PROVA MASW 3B S09

LOCALITA': Caltanissetta  
 DATA PROVA: 13/05/2020

## ELABORAZIONE DATI MASW



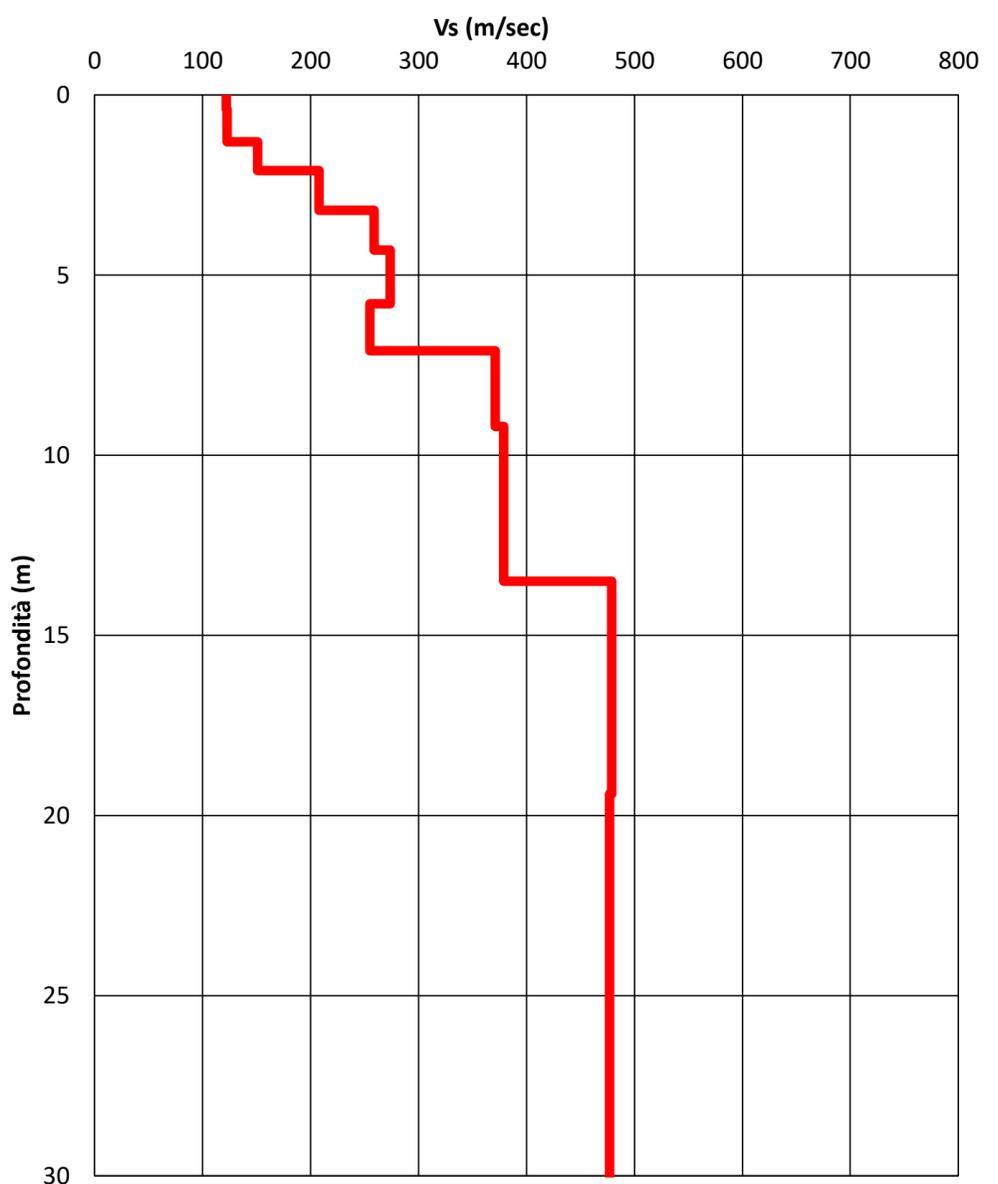
### Profilo Vs

Layer	Profondità m	Spessori m	Vs m/sec	Deviazione m/sec
1	0.40	0.40	122	10
2	1.30	0.90	123	16
3	2.10	0.80	151	19
4	3.20	1.10	208	16
5	4.30	1.10	259	25
6	5.80	1.50	274	24
7	7.10	1.30	255	37
8	9.20	2.10	371	54
9	13.50	4.30	379	65
10	19.40	5.90	479	1339
11	30.00	10.60	477	1260
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>343</b> m/sec
<b>Categoria suolo</b>	<b>C</b>

### PROFILO Vs



# MAPPA INDAGINE CONGIUNTA MASW E HVSR

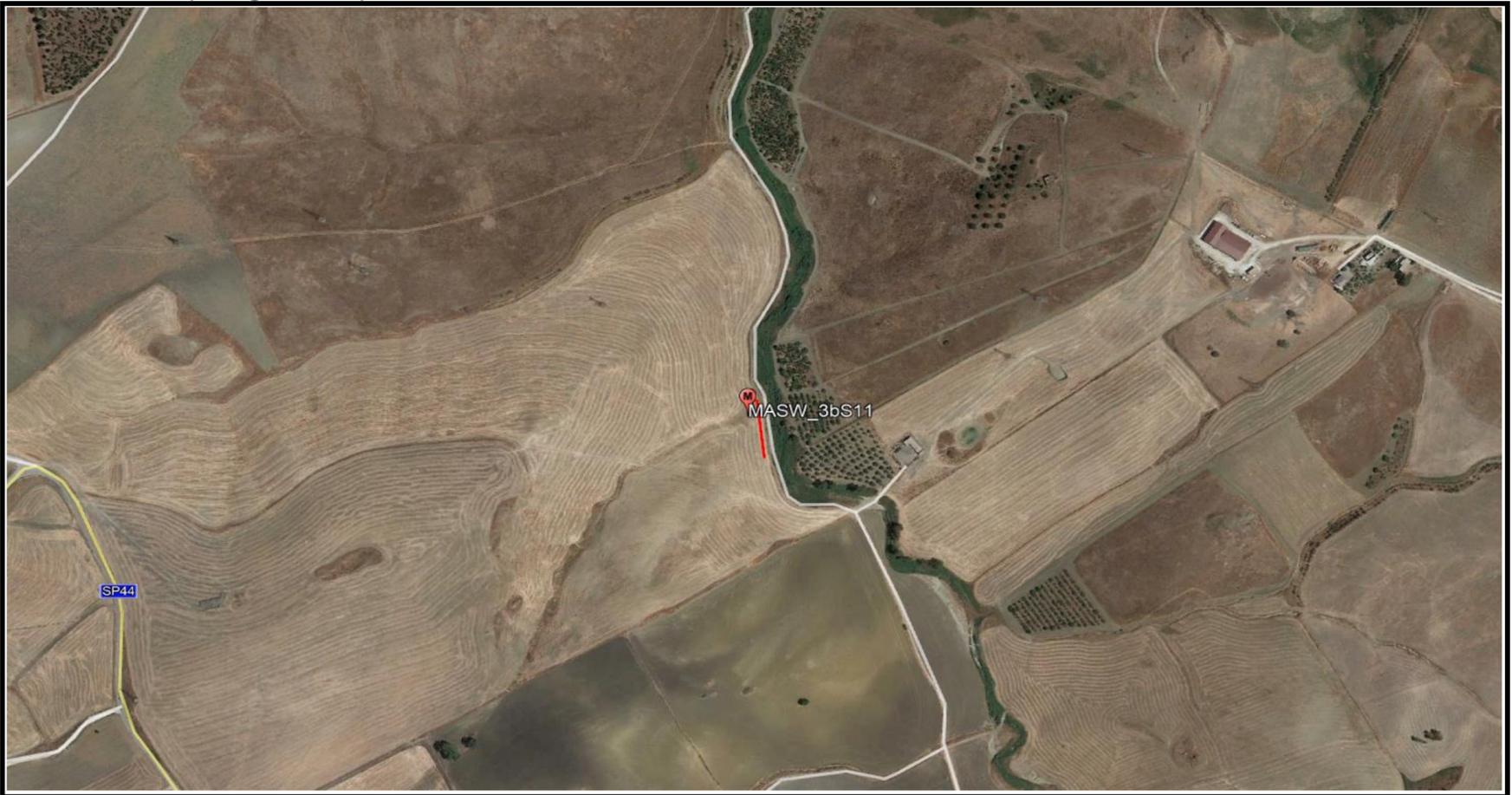
**Committente:** ITALFERR

**CODICE LAVORO:** 1982-12  
**CODICE PROVA:** MASW3bSI11+HVSR0001

**LOCALITA':** Caltanissetta  
**DATA PROVA:** 07/05/2020  
**LONGITUDINE:** 14.022194°  
**LATITUDINE:** 37.532810°  
**QUOTA (m. s.l.m.):** 358

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

## FOTO AEREA (Google Earth)



## FOTO AREA DI INDAGINE



# RAPPORTO SPETTRALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

**Committente:** ITALFERR

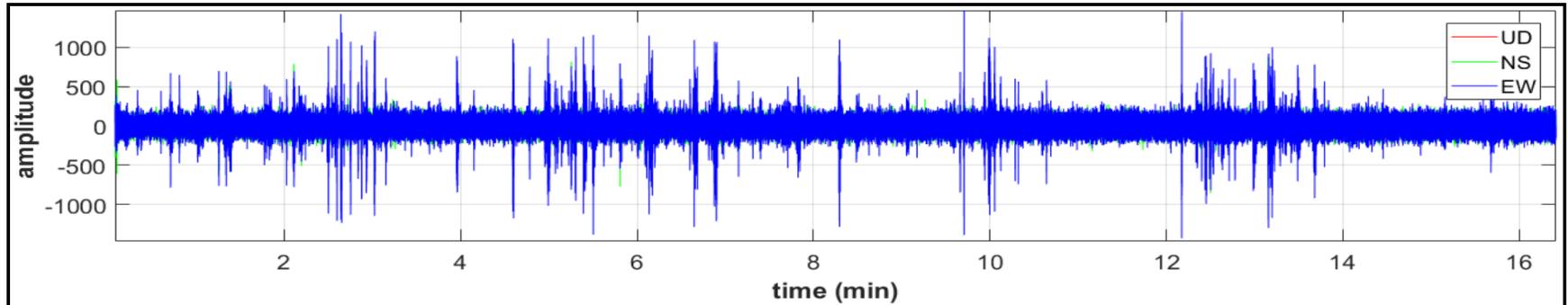
**CODICE LAVORO:** 1982-12  
**CODICE PROVA:** MASW3bSI11+HVSR0001

**LOCALITA':** Caltanissetta  
**DATA PROVA:** 07/05/2020

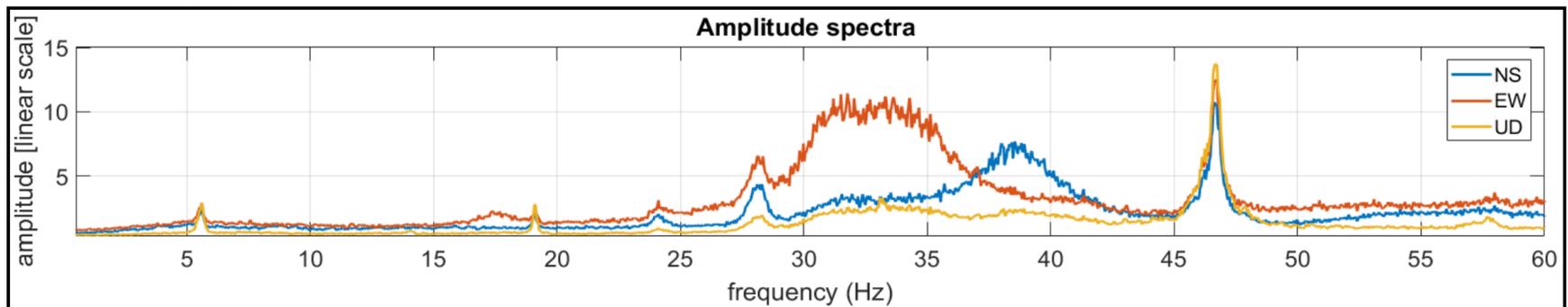
PARAMETRI DI ACQUISIZIONE	
Apparecchiatura di misura	SARA SL 06
Lunghezza registrazione	20 min
Fine registrazione	10:00:00
Frequenza di campionamento	200 Hz

PARAMETRI DI ELABORAZIONE	
Sampling frequency (Hz): 156	
Window length (sec): 20	
Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz	
Length of analysed dataset (min): 20.0	
Tapering (%): 5	
Smoothing (%): 15	

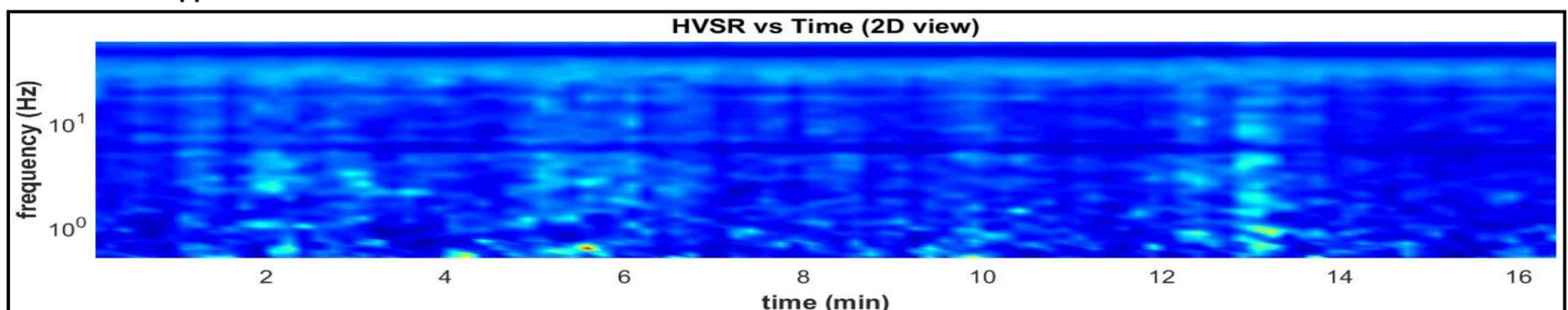
## Sismogrammi (Tempo)



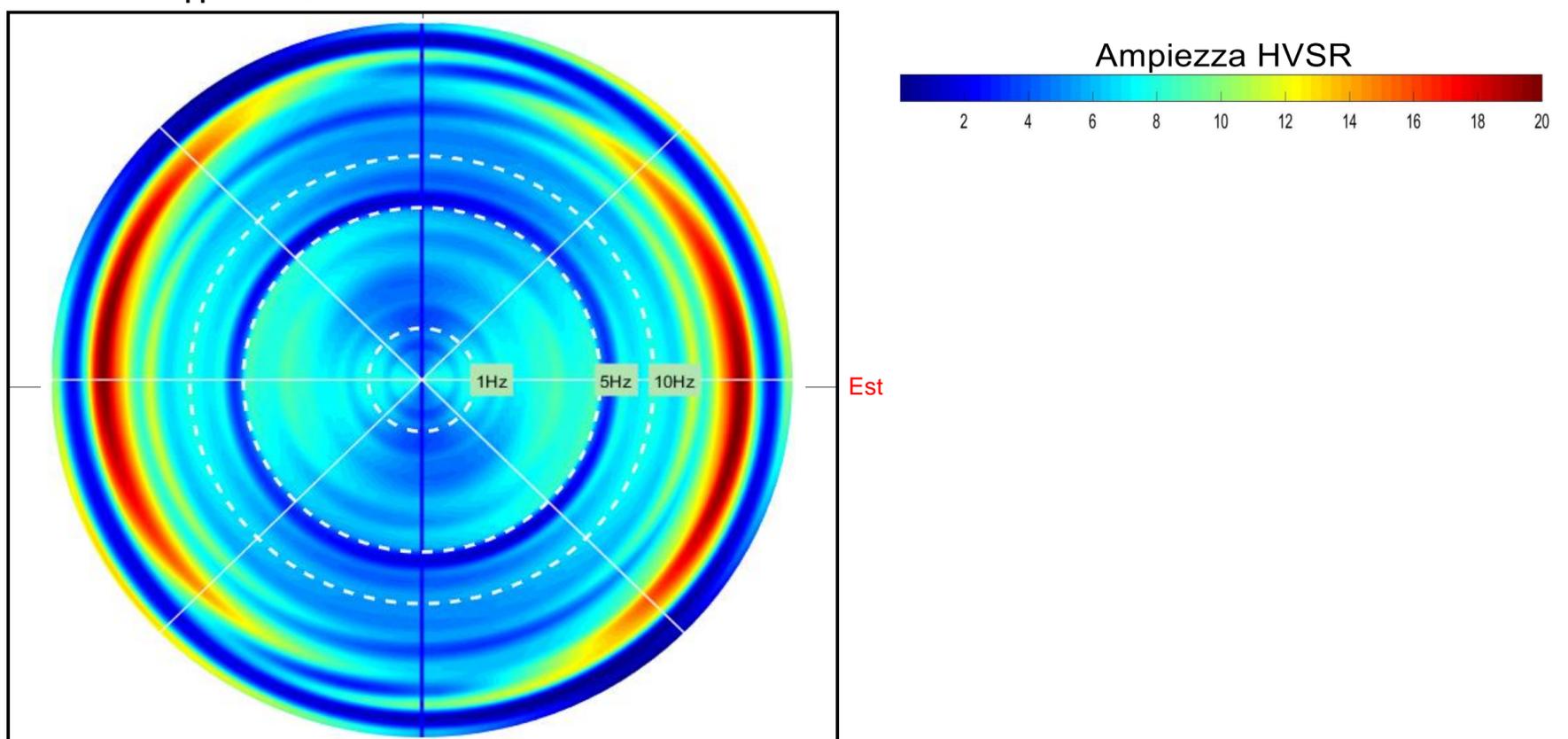
## Sismogrammi (Frequenza Hz)



## Persistenza rapporto HVSR



## Direzionalità rapporto HVSR



# RAPPORTO SPETTRALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

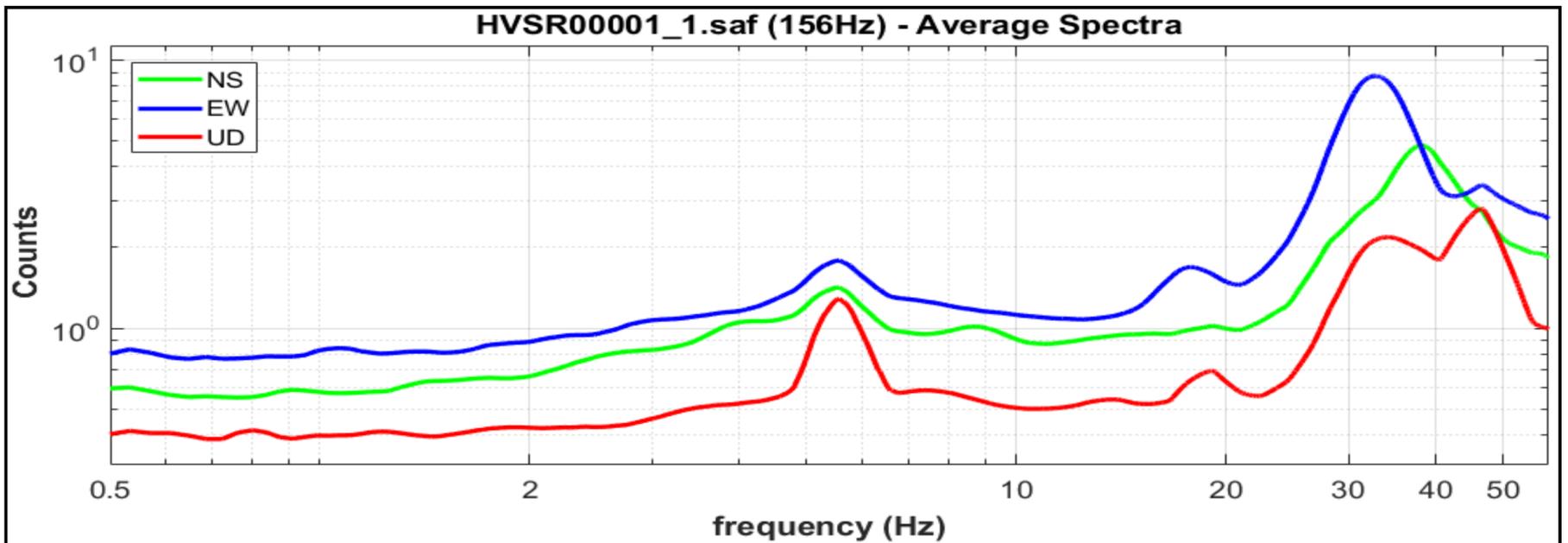
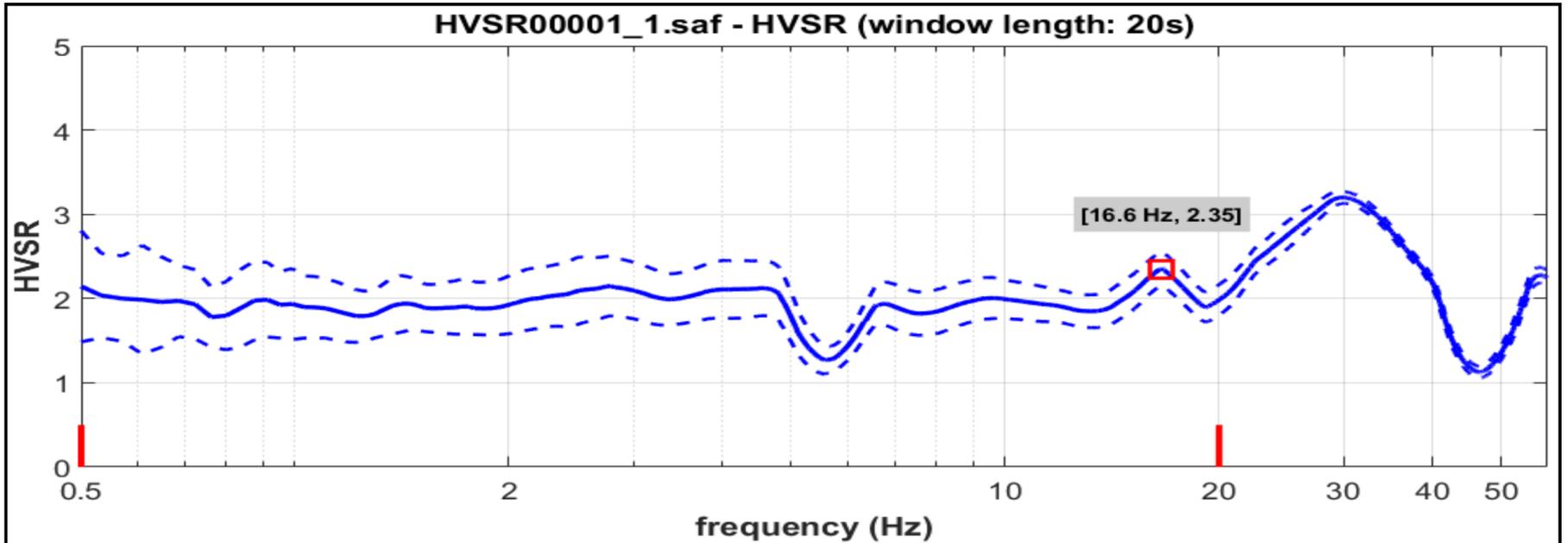
Committente: **ITALFERR**

CODICE LAVORO 1982-12  
 CODICE PROVA MASW3bSI11+HVSR0001

LOCALITA': Caltanissetta  
 DATA PROVA: 07/05/2020

## RAPPORTO SPETTRALE H/V

Max HVSR 16.614 ± 3.6 Hz. A0 = 2.4 ± 0.2



### Criteri per una curva H/V affidabile

[tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

f0 (Hz)	16.614
Lw (Sec)	20
nw	98
#1. [f0 > 10/Lw]: 16.614 > 0.5	<input checked="" type="checkbox"/>
#2. [nc > 200]: 32895 > 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 5.1Hz	<input checked="" type="checkbox"/>	
#2. [nc > 200]: 32895 > 200	<input checked="" type="checkbox"/>	
#3. [A0 > 2]: 2.4 > 2	<input checked="" type="checkbox"/>	
#4. [fpeak[Ah/v(f) ± sigmaA(f)] = f0 ± 5%]:		<input checked="" type="checkbox"/>
#5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 3.557 > 0.831		<input checked="" type="checkbox"/>
#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.402 < 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 of σ < 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** 1982-12  
**CODICE PROVA** MASW3bSI11+HVSRO00

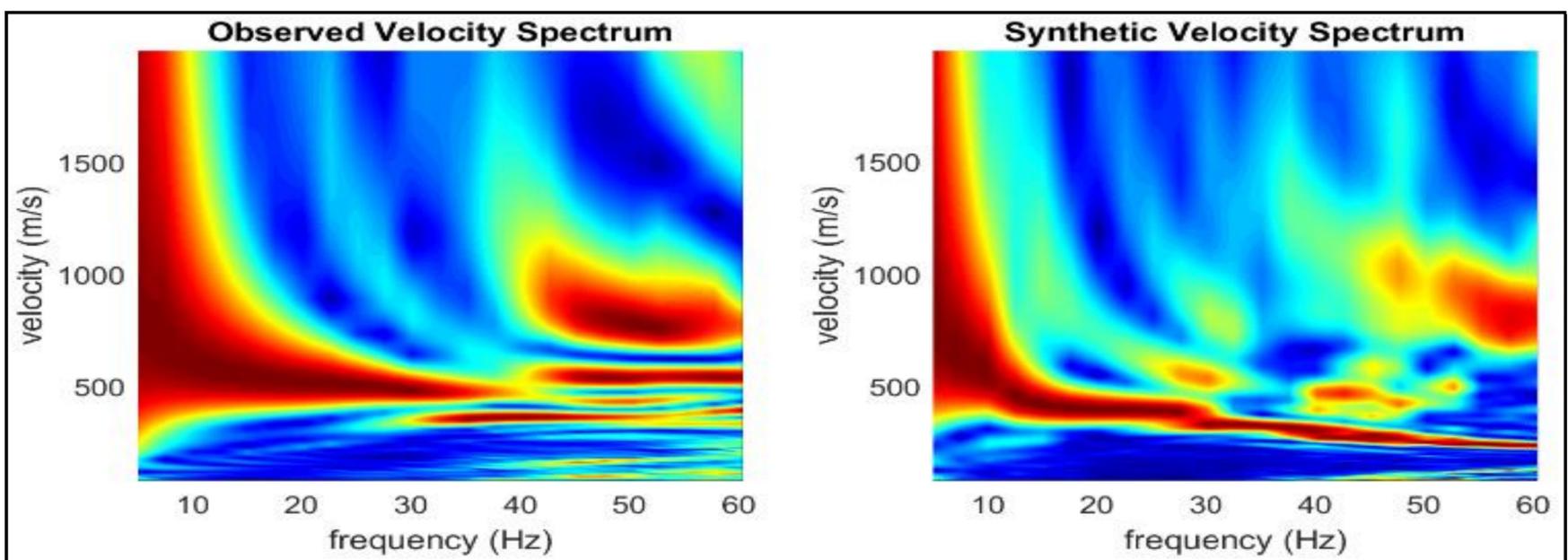
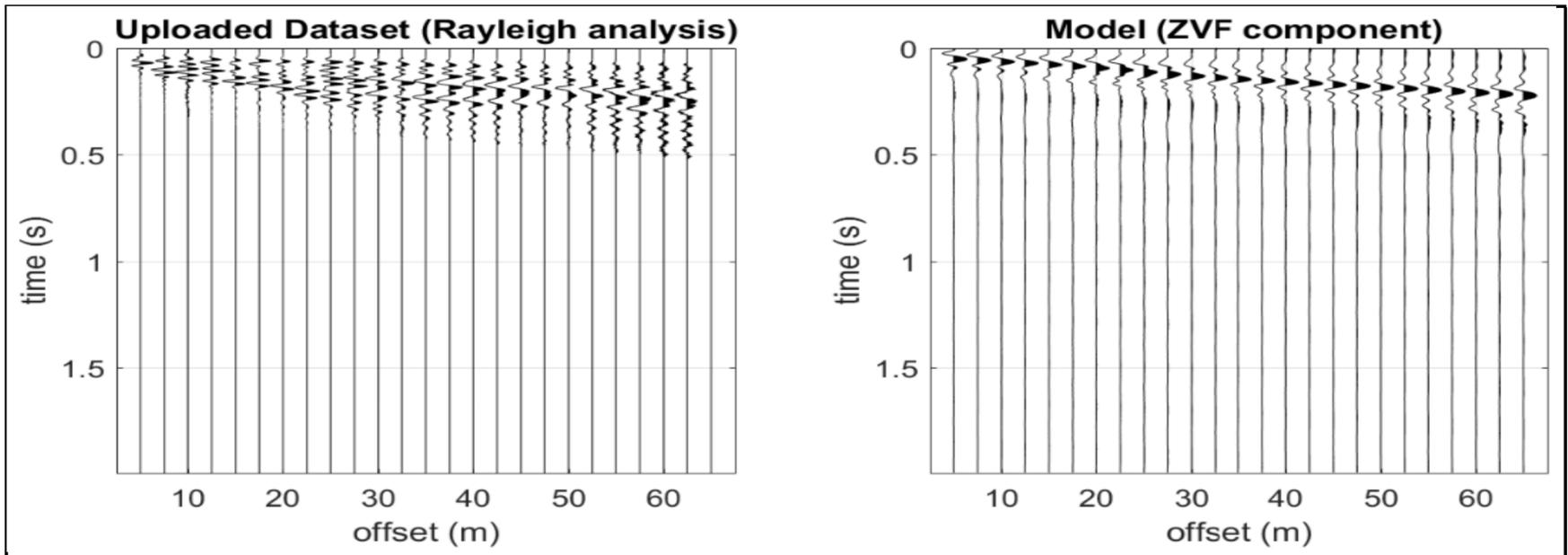
**LOCALITA':** Caltanissetta  
**DATA PROVA:** 07/05/2020

**STRUMENTAZIONE** Geometrics GEODE  
**N°CANALI** 12+12  
**SPACING** 2.5 m

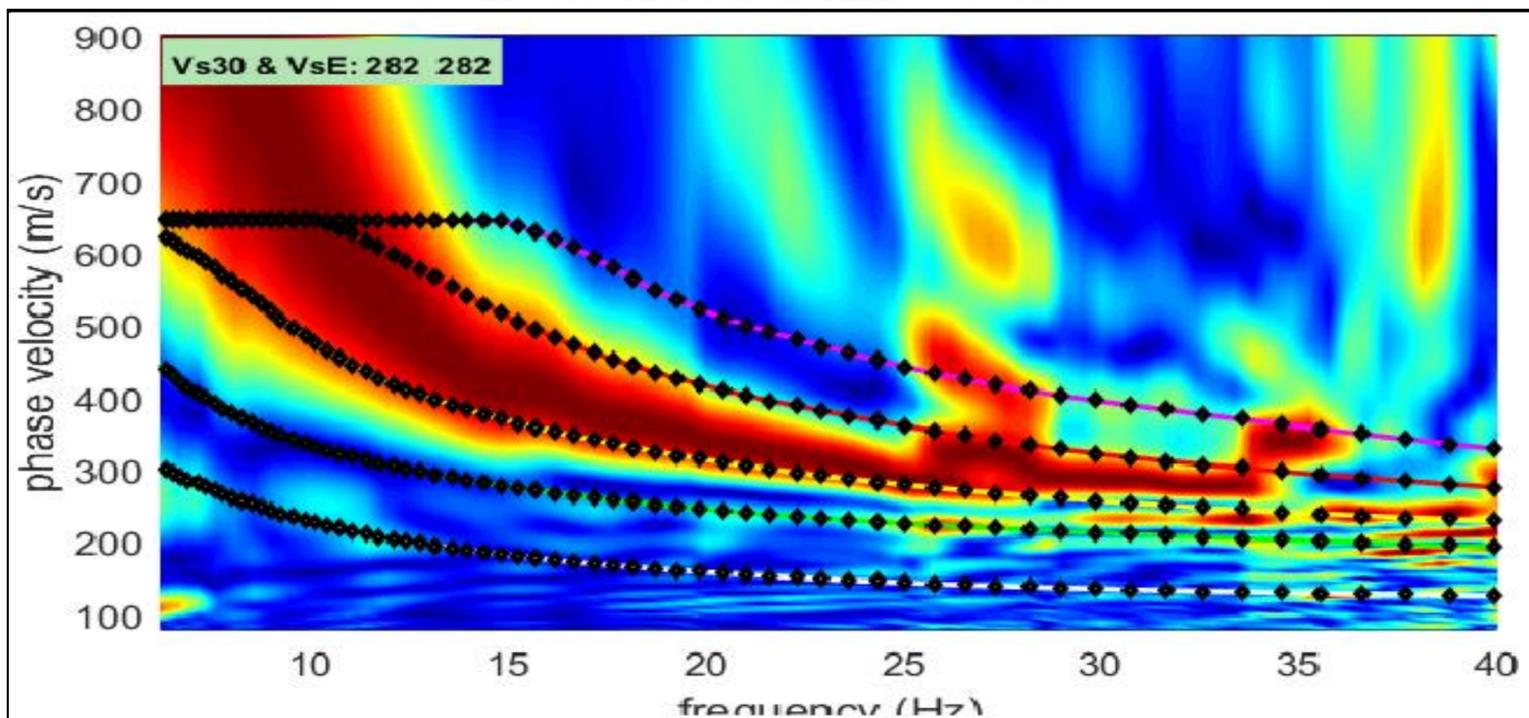
**RECORD TIME (Sec)** 2  
**SAMPLING (Sec)** 0.5

**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

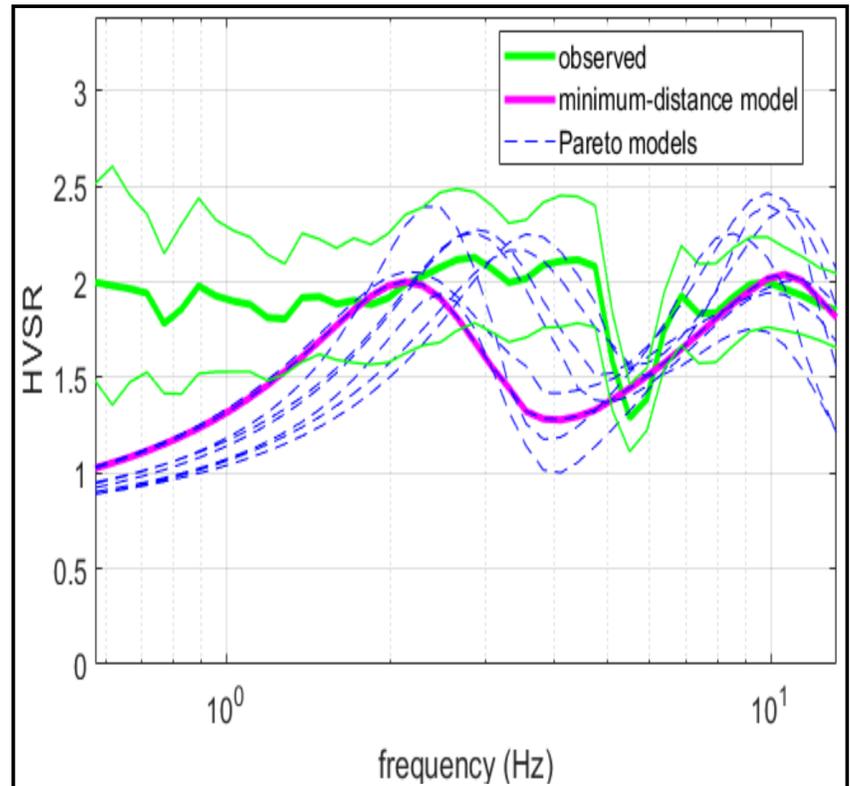
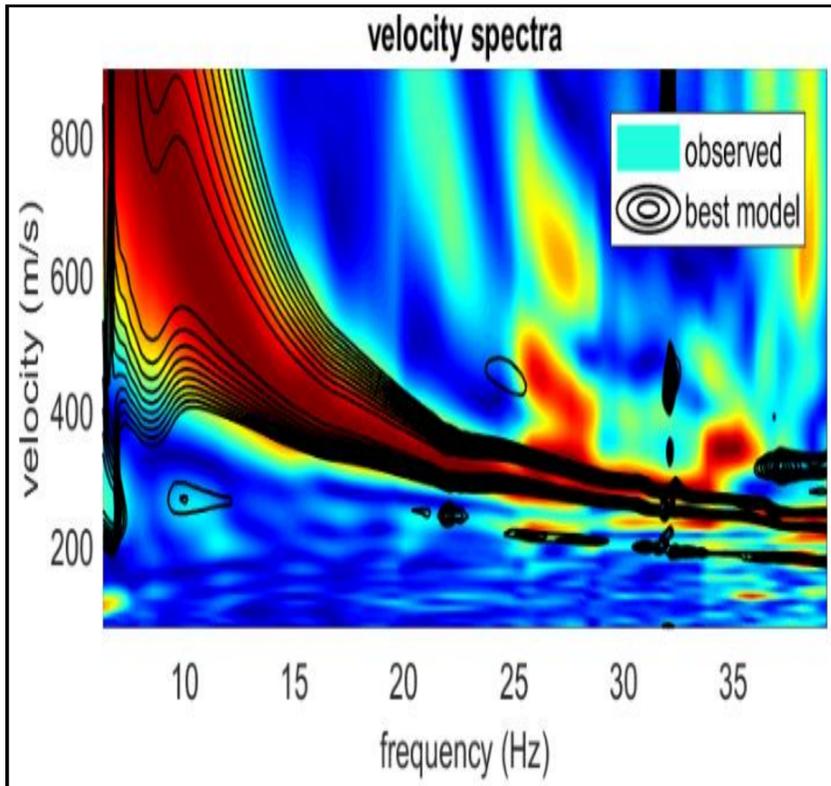
Committente: **ITALFERR**

CODICE LAVORO  
CODICE PROVA

1982-12  
MASW3bSI11+HVSR0001

LOCALITA':  
DATA PROVA: Caltanissetta  
07/05/2020

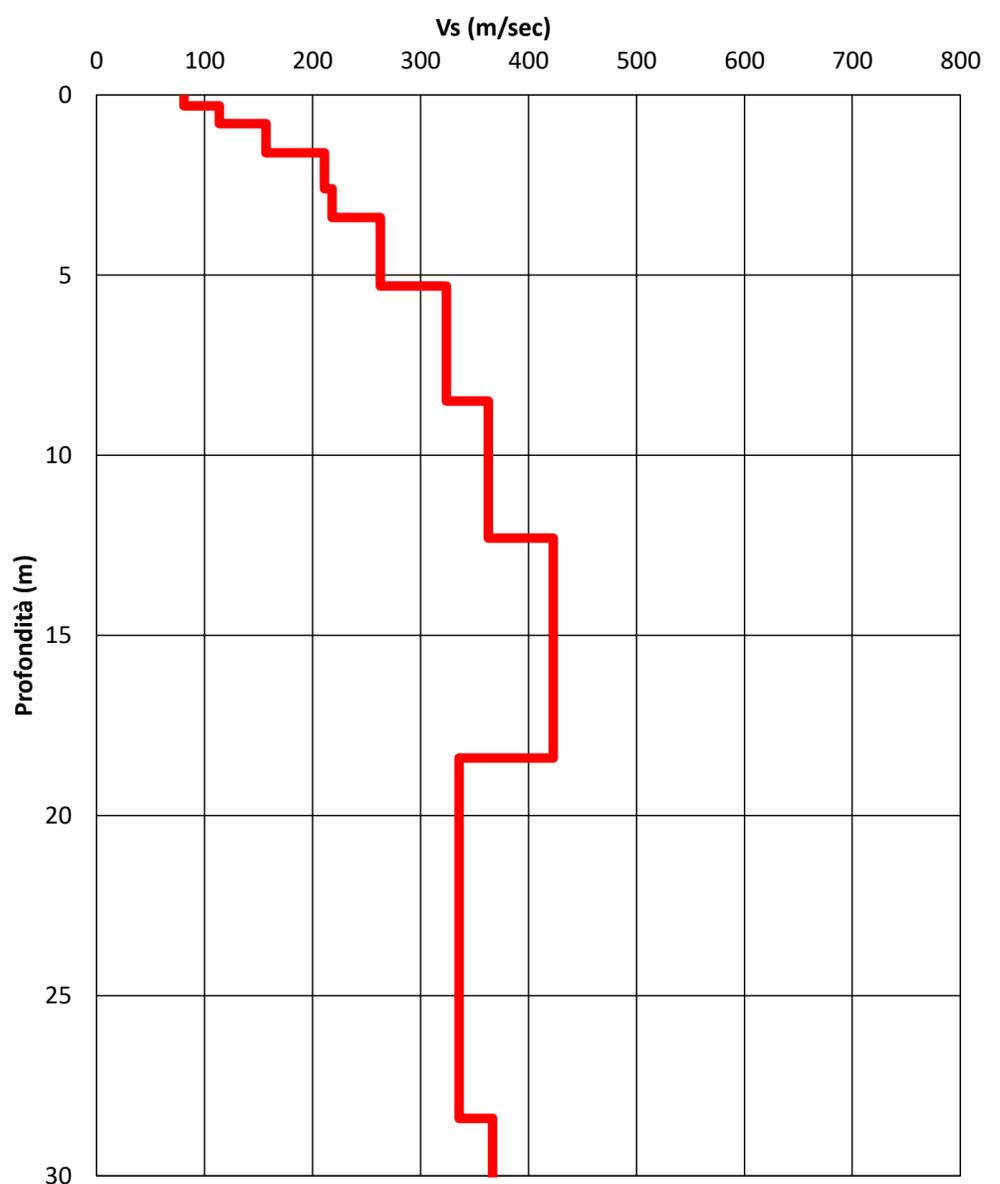
## ELABORAZIONE DATI MASW



### Profilo Vs

Layer	Profondità m	Spessori m	Vs m/sec	Deviazione m/sec
1	0.30	0.30	81	11
2	0.80	0.50	114	10
3	1.60	0.80	157	13
4	2.60	1.00	211	9
5	3.40	0.80	218	11
6	5.30	1.90	263	10
7	8.50	3.20	324	25
8	12.30	3.80	363	45
9	18.40	6.10	423	49
10	28.40	10.00	336	49
11	30.00	1.60	367	42
12				

### PROFILO Vs



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

$H_{bedrock}$	>30	m
$V_{Seq}$	302	m/sec
Categoria suolo	<b>C</b>	

# MAPPA INDAGINE CONGIUNTA MASW E HVSR

**Committente:** ITALFERR

**CODICE LAVORO:** 1982-12  
**CODICE PROVA:** MASW IV03

**LOCALITA':** Caltanissetta  
**DATA PROVA:** 13/05/2020  
**LONGITUDINE:** 13.593809°  
**LATITUDINE:** 37.320363°  
**QUOTA (m. s.l.m.):** 315

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

## FOTO AEREA (Google Earth)



## FOTO AREA DI INDAGINE



# RAPPORTO SPETTRALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

Committente: **ITALFERR**

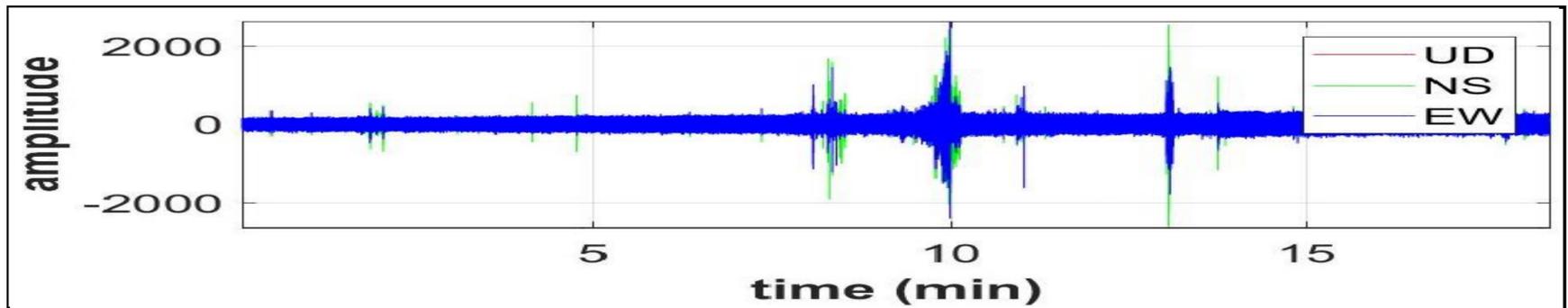
CODICE LAVORO: 1982-12  
 CODICE PROVA: MASW IV03

LOCALITA': Caltanissetta  
 DATA PROVA: 13/05/2020

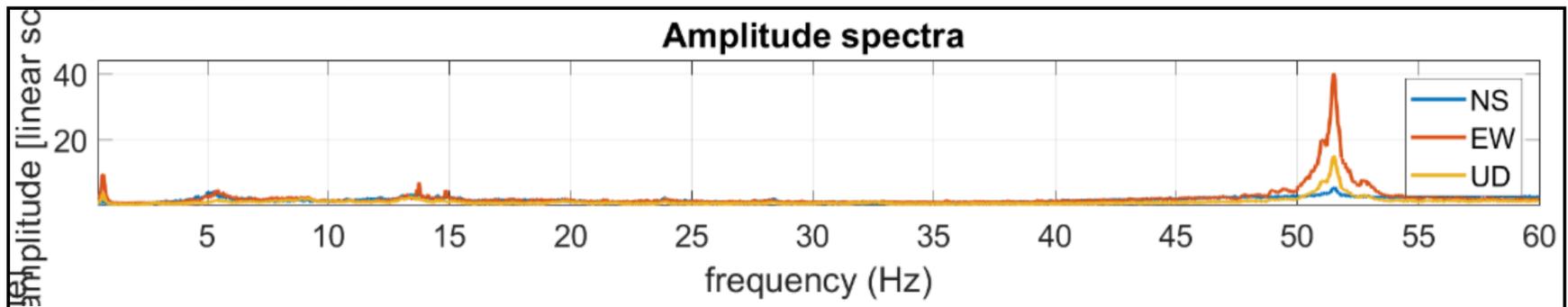
PARAMETRI DI ACQUISIZIONE	
Apparecchiatura di misura	SARA SL 06
Lunghezza registrazione	20 min
Fine registrazione	12:30:00
Frequenza di campionamento	200 Hz

PARAMETRI DI ELABORAZIONE
Sampling frequency (Hz): 156
Window length (sec): 20
Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz
Length of analysed dataset (min): 20.0
Tapering (%): 5
Smoothing (%): 15

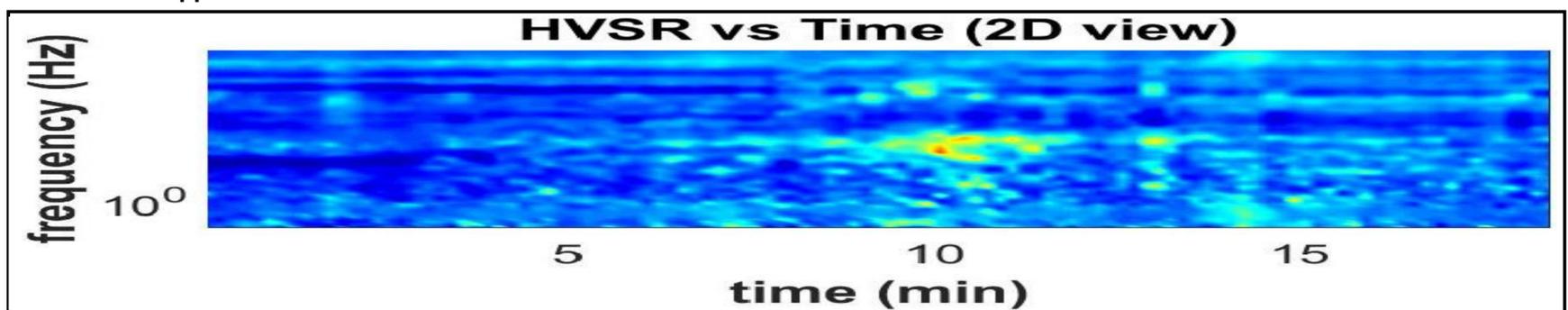
Sismogrammi (Tempo)



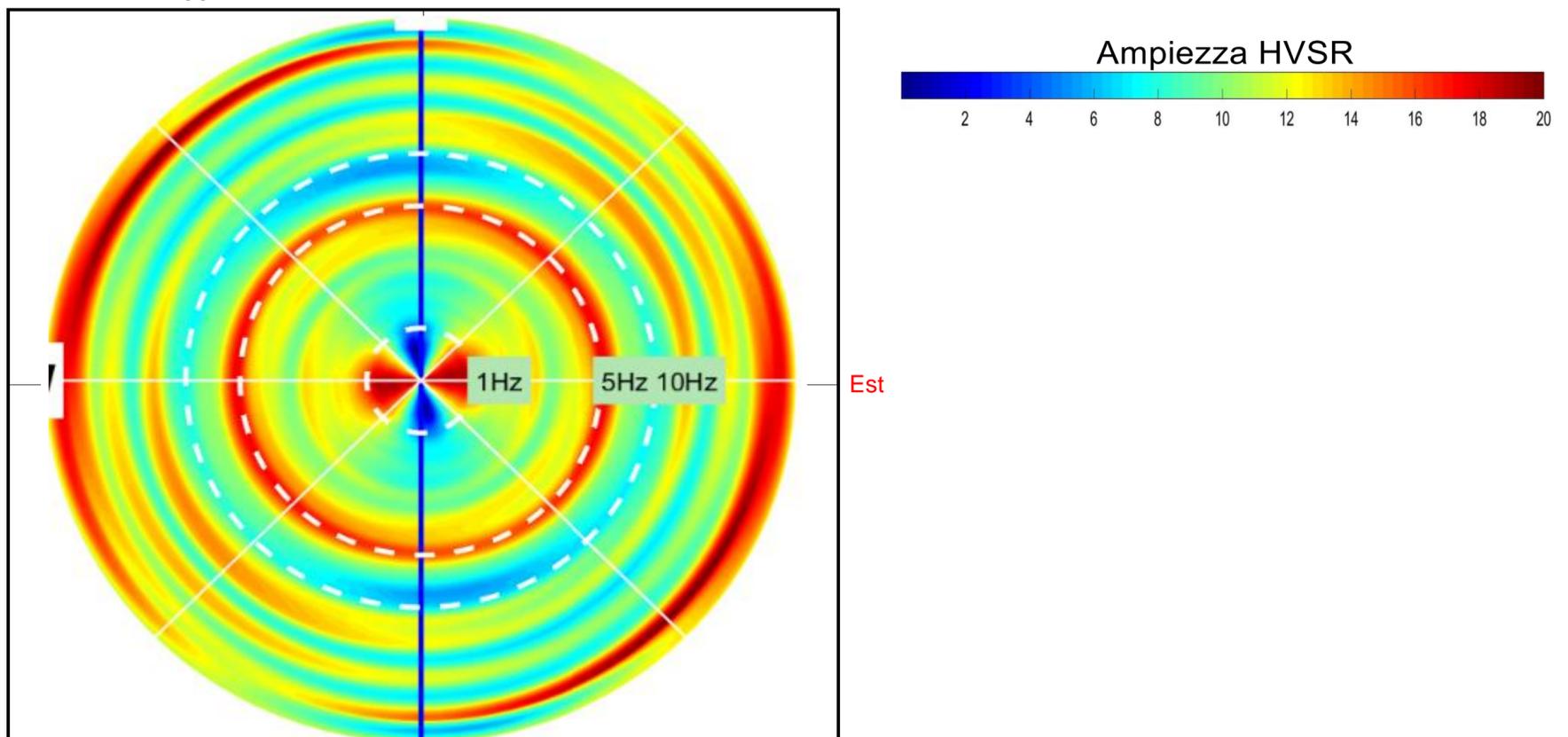
Sismogrammi (Frequenza Hz)



Persistenza rapporto HVSR



Direzionalità rapporto HVSR



# RAPPORTO SPETTRALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

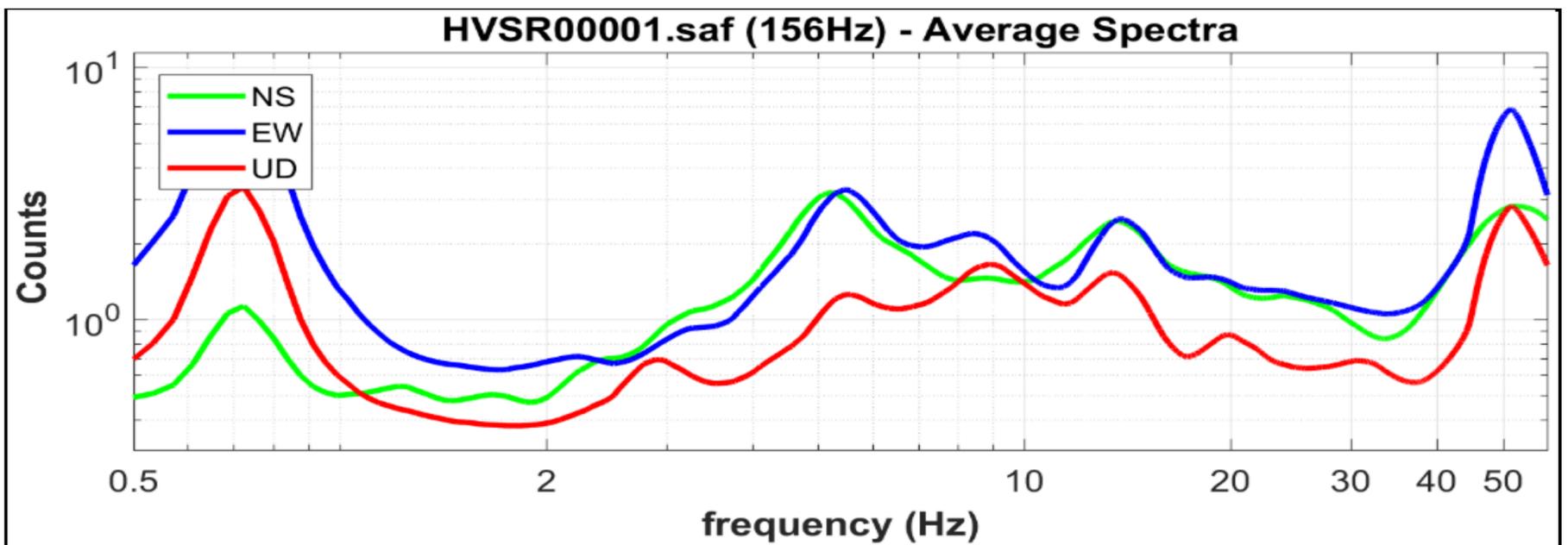
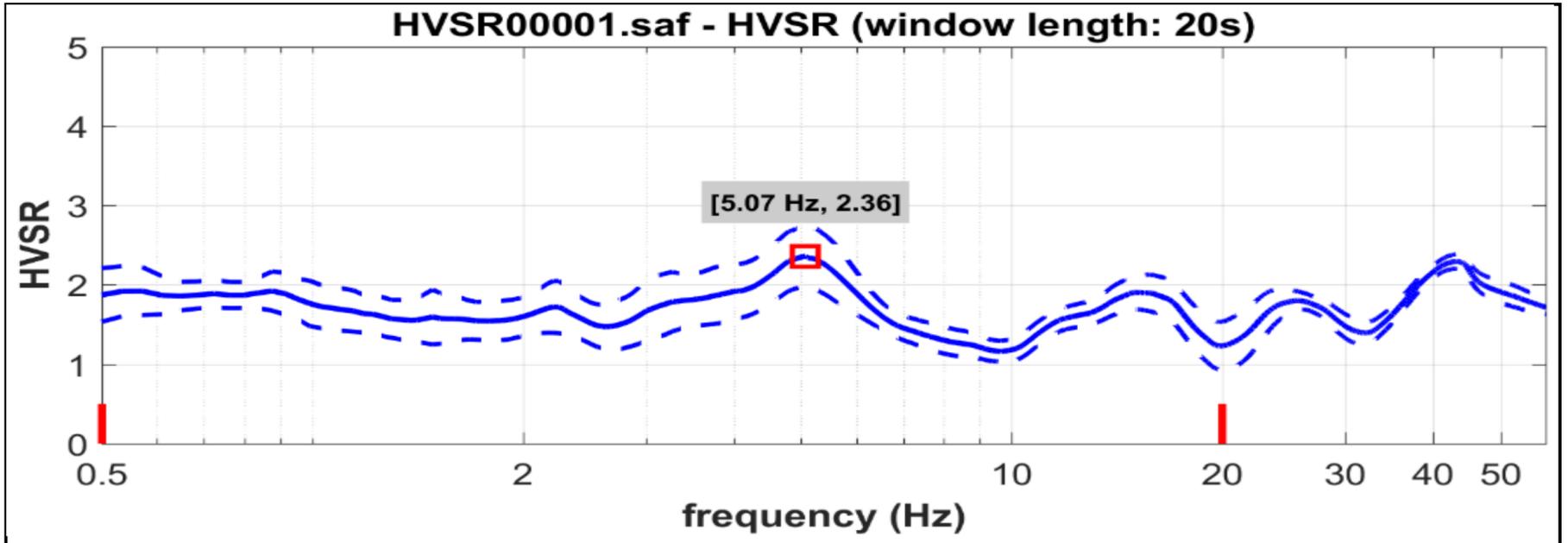
Committente: **ITALFERR**

CODICE LAVORO: 1982-12  
 CODICE PROVA: MASW IV03

LOCALITA': Caltanissetta  
 DATA PROVA: 13/05/2020

## RAPPORTO SPETTRALE H/V

Max HVSR 5.06 ± ±4. Hz. A0 = 2. ± 0.



### Criteri per una curva H/V affidabile

[tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

f0 (Hz)	5.06
Lw (Sec)	2
nw	111
#1. [f0 > 10/Lw]: 5.068 > 0.5	<input checked="" type="checkbox"/>
#2. [nc > 200]: 11251 > 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 1.3Hz	<input checked="" type="checkbox"/>
#2. [nc > 200]: 11251 > 200	<input checked="" type="checkbox"/>
#3. [A0 > 2]: 2.4 > 2	<input checked="" type="checkbox"/>
#4. [fpeak[Ah/v(f) ± sigmaA(f)] = f0 ± 5%]:	<input checked="" type="checkbox"/>
#5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 4.171 > 0.253	<input type="checkbox"/>
#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.723 < 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 of σ < 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** 1982-12  
**CODICE PROVA** MASW IV03

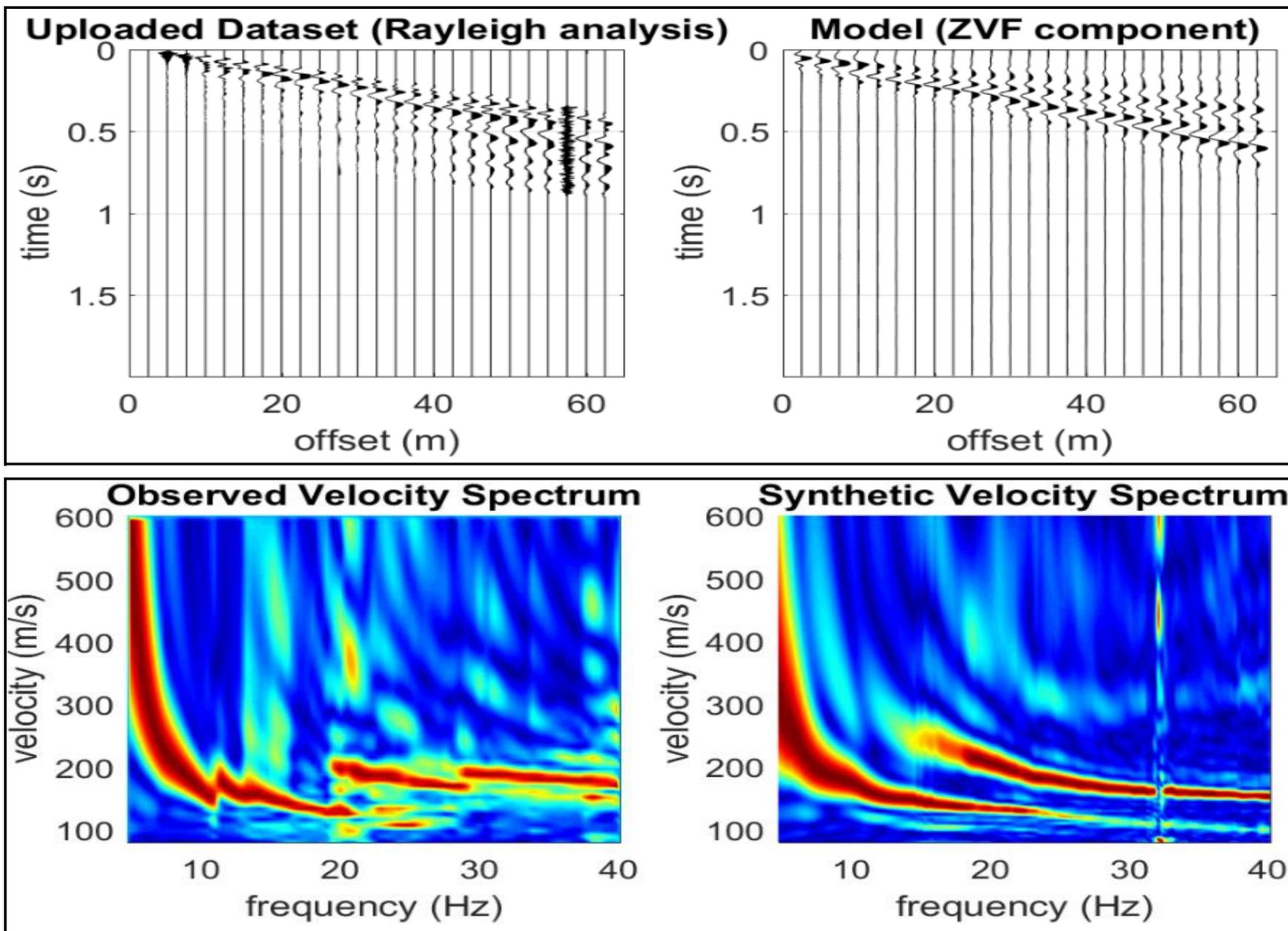
**LOCALITA':** Caltanissetta  
**DATA PROVA:** 13/05/2020

**STRUMENTAZIONE** Geometrics GEODE  
**N°CANALI** 12+12  
**SPACING** 2.5 m

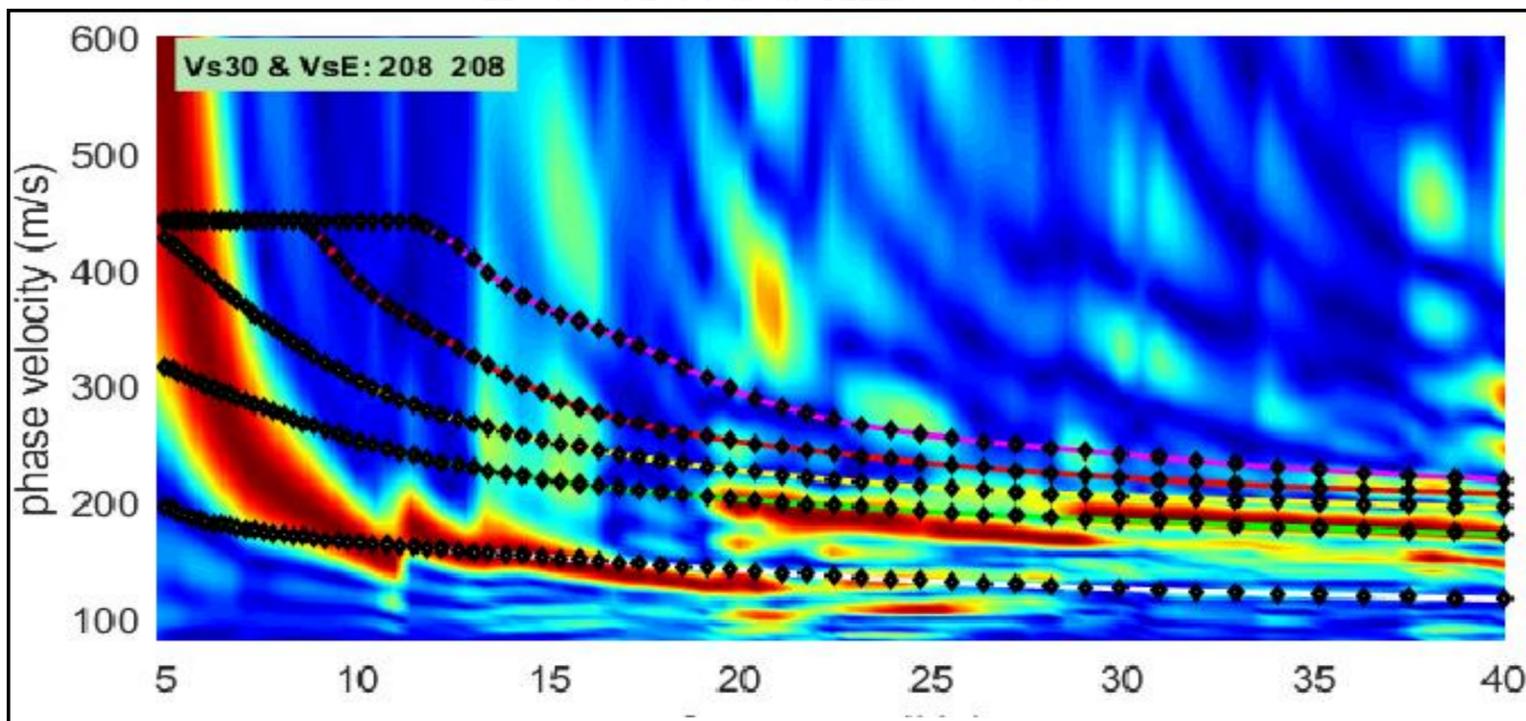
**RECORD TIME (Sec)** 2  
**SAMPLING (Sec)** 0.5

**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



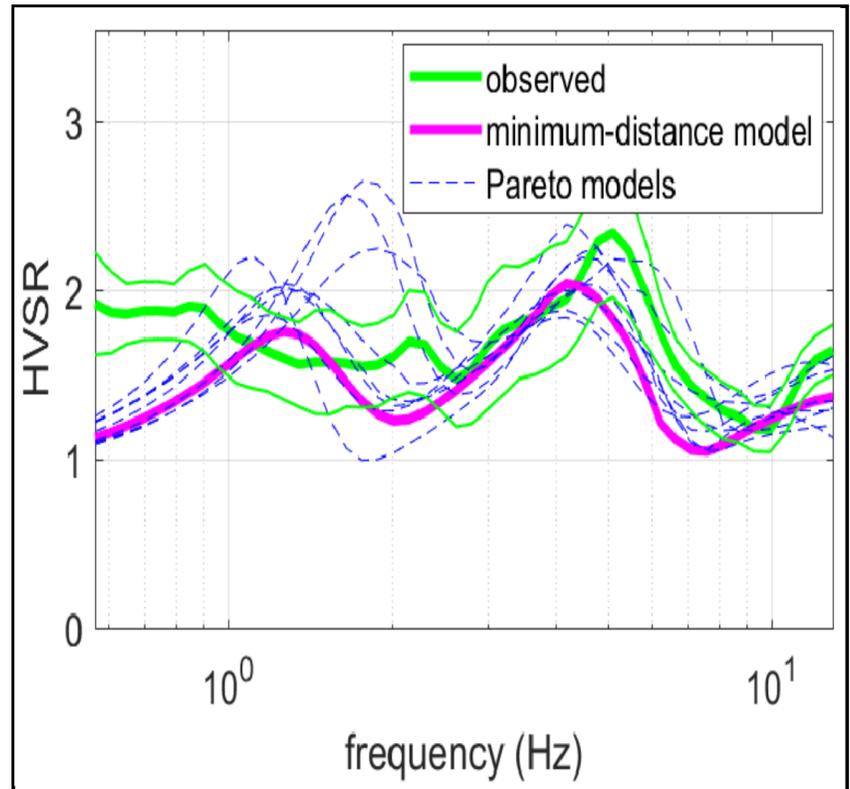
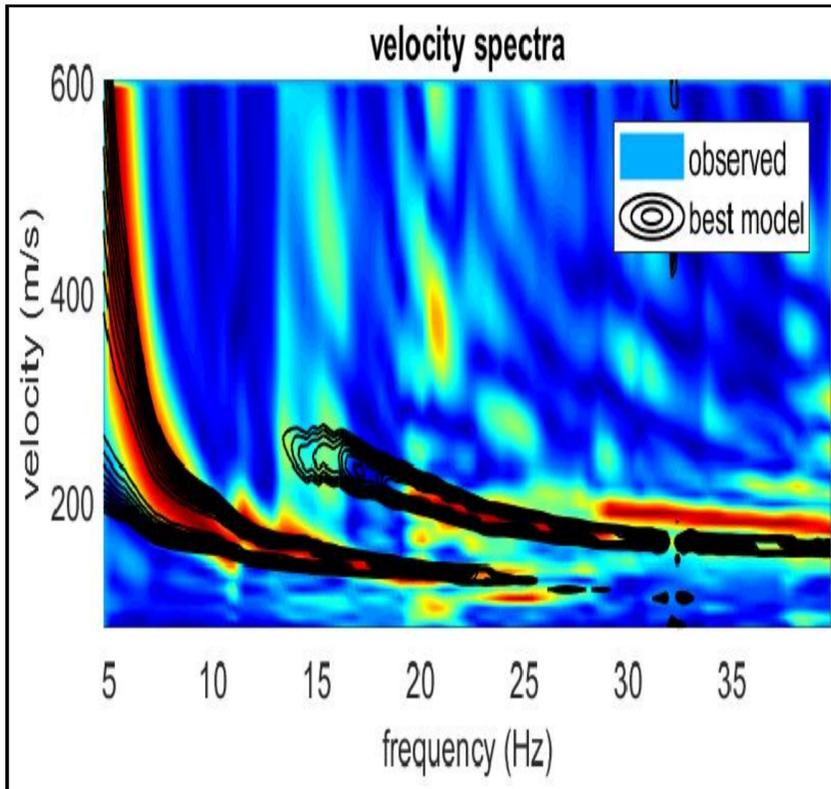
# ANALISI CONGIUNTA INDAGINE MASW & HVSR

Committente: **ITALFERR**

CODICE LAVORO: 1982-12  
 CODICE PROVA: MASW IV03

LOCALITA': Caltanissetta  
 DATA PROVA: 13/05/2020

## ELABORAZIONE DATI MASW



### Profilo Vs

Layer	Profondità m	Spessori m	Vs m/sec	Deviazione m/sec
1	0.40	0.40	76	16
2	1.00	0.60	97	15
3	2.20	1.20	132	17
4	3.60	1.40	188	37
5	4.50	0.90	136	21
6	7.10	2.60	185	20
7	10.30	3.20	259	38
8	13.40	3.10	240	26
9	17.60	4.20	292	19
10	29.30	11.70	320	36
11	30.00	0.70	371	43
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>211</b> m/sec
<b>Categoria suolo</b>	<b>C</b>

### PROFILO Vs

