

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



CUP: J71H92000020011

**DIREZIONE TECNICA**

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

**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

**VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA**

**QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA**

**RELAZIONE**

**INDAGINI GEOFISICHE**

SCALA:

---

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

I Q 0 1    0 1    R    6 9    I G    G E 0 0 0 1    0 0 1    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	P. Chiara	Ottobre 2020	F. Paolucci 	Novembre 2020	M. Berlingieri 	Gennaio 2021	M. Comedini Gennaio 2021 

File: IQ0101R69IGGE0001001A.doc

n. Elab.

**INDICE**

<b>1.</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>4</b>
1.1	PREMESSA E SCOPI DELL'INDAGINE GEOFISICA .....	4
<b>2.</b>	<b>METODOLOGIE IMPIEGATE .....</b>	<b>7</b>
2.1	INDAGINE SISMICA TOMOGRAFICA.....	7
2.1.2	Principi base della tecnica sismica a rifrazione e limiti del metodo.....	7
2.1.3	Configurazione delle misure ed elaborazione dati.....	9
2.2	INDAGINE SISMICA PER ONDE SUPERFICIALI MASW.....	11
2.3	INDAGINE HVSR.....	13
<b>3.</b>	<b>RISULTATI.....</b>	<b>18</b>
3.1	PREMESSA .....	18
3.2	RISULTATI DELLE TOMOGRAFIE SISMICHE A RIFRAZIONE – ALLEGATO 1...	18
3.2.1	Linea RIFR1 .....	18
3.3	RISULTATI MASW – ALLEGATO 2 .....	19
3.3.1	MASW 01 .....	20
3.3.2	MASW 02 .....	21
3.3.3	MASW 03 .....	22
3.3.4	MASW 04 .....	23
3.3.5	MASW 05 .....	24
3.3.6	MASW 06 .....	25
3.3.7	MASW 07 .....	26
3.3.8	MASW 08 .....	27
3.3.9	MASW 09 .....	28
3.3.10	MASW 10 .....	29
3.3.11	MASW 11 .....	30
3.3.12	MASW 12 .....	31
3.3.13	MASW 13 .....	32
3.3.14	MASW 14 .....	33
3.4	RISULTATI HVSR – ALLEGATO 3 .....	34
3.4.1	HVSR 01 .....	34
3.4.2	HVSR 02 .....	35



**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

**VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA  
QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA**

RELAZIONE  
INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 69 IG	GE0001 001	A	3 di 60

3.4.3	HVSR 03 .....	37
3.4.4	HVSR 04 .....	38
3.4.5	HVSR 05 .....	40
3.4.6	HVSR 06 .....	41
3.4.7	HVSR 07 .....	43
3.4.8	HVSR 08 .....	44
3.4.9	HVSR 09 .....	46
3.4.10	HVSR 10 .....	47
3.4.11	HVSR 11 .....	49
3.4.12	HVSR 12 .....	50
3.4.13	HVSR 13 .....	52
3.4.14	HVSR 14 .....	53
<b>4.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>55</b>
<b>5.</b>	<b>ALLEGATO N.1 – RISULTATI INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONI TOMOGRAPICHE .....</b>	<b>58</b>
<b>6.</b>	<b>ALLEGATO N.2 – RISULTATI INDAGINI M.A.S.W. ....</b>	<b>59</b>
<b>7.</b>	<b>ALLEGATO N.3 – RISULTATI INDAGINI HVSR .....</b>	<b>60</b>

**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA****VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA  
QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA**RELAZIONE  
INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 69 IG	GE0001 001	A	4 di 60

## 1. INTRODUZIONE

### 1.1 Premessa e scopi dell'indagine geofisica

Il quadruplicamento della tratta Tortona-Voghera si inserisce nel quadro complessivo degli interventi previsti nello scenario di potenziamento dell'offerta ferroviaria delle direttrici Milano-Genova e Torino-Alessandria-Piacenza.

Nell'ambito dei Progetti per il Piano Lombardia ed al fine di dare continuità all'attivazione del Terzo Valico dei Giovi, RFI ha valutato l'opportunità di effettuare un potenziamento infrastrutturale del corridoio Milano – Genova, includendo negli interventi da realizzare anche il quadruplicamento della tratta Tortona-Voghera.

Il quadruplicamento tra Tortona e Voghera permetterà di disporre della capacità necessaria per soddisfare gli incrementi di traffico sulle due direttrici. Il layout infrastrutturale di progetto consentirà una separazione dei flussi di traffico tra i collegamenti Torino/Alessandria - Piacenza e le relazioni Milano – Genova garantendo una riduzione delle interferenze negli impianti, a beneficio di un incremento complessivo della regolarità di circolazione.

In particolare, è prevista in progetto un'opera di scavalco consentirà di instradare i treni provenienti da Genova (via TVG)/Alessandria e diretti verso Piacenza sulla "linea Piacenza" senza interferire con i treni provenienti da Milano e diretti verso Genova (via TVG)/Alessandria, che costituiscono il flusso principale secondo il nuovo modello di esercizio. Con quest'opera, da un lato si eliminano le interferenze sulla "linea Milano" in stazione di Tortona, dall'altro si consente una più equa ripartizione dei flussi sui quattro binari.

Il progetto prevede la realizzazione di una nuova coppia di binari tra la Stazione di Tortona e di Voghera, in affiancamento a quella esistente, per un'estesa di circa 16 km.

Le caratteristiche di progetto della linea sono le seguenti:

modulo linea 750 m

peso assiale D4

- 1) Codifica per Trasporto Combinato P/C 80
- 2) velocità di progetto 200 km/h in rango C, salvo riduzioni puntuali
- 3) tipologia di traffico: misto (passeggeri e merci)
- 4) profilo minimo degli ostacoli: PMO 5

È previsto un sistema di distanziamento a 5 minuti tra due treni a seguito. La gestione ed il comando della circolazione dell'insieme della linea quadruplicata, avverrà dal Posto Centrale di Milano Greco Pirelli.

Il regime di circolazione previsto è ERTMS L2 sovrapposto al segnalamento laterale.

Il perimetro dell'intervento riguarda la tratta Tortona (esclusa) – Voghera (esclusa). Gli interventi previsti negli impianti di Tortona e Voghera sono minimali e atti ad



accogliere i nuovi binari di quadruplicamento.

È previsto l'adeguamento della fermata di Pontecurone per l'inserimento dei due nuovi binari e di conseguenza saranno adeguati a STI i marciapiedi a servizio viaggiatori (altezza pari a H=55 cm e lunghezza utile di 250 m). Inoltre, il sottopasso dovrà essere opportunamente adeguato per garantire la piena accessibilità anche alle PRM. Le periferiche laP installate nella fermata dovranno essere adeguate per caratteristiche e quantitativi allo standard RFI.

Il Piano di Committenza del progetto prevede un unico appalto multidisciplinare e trattative private singole per le riconfigurazioni tecnologiche degli apparati esistenti.

La presente relazione illustra i risultati della campagna di prospezioni geofisiche integrative, condotte secondo le modalità previste nelle specifiche tecniche Italferr.

Le indagini, la cui ubicazione generale è riportata in Figura 1.1.1, sono state eseguite utilizzando le seguenti metodologie:

- indagini sismiche tomografiche a rifrazione (n.1)
- indagini sismiche tipo MASW (n.14);
- indagini HVSR (n.14).

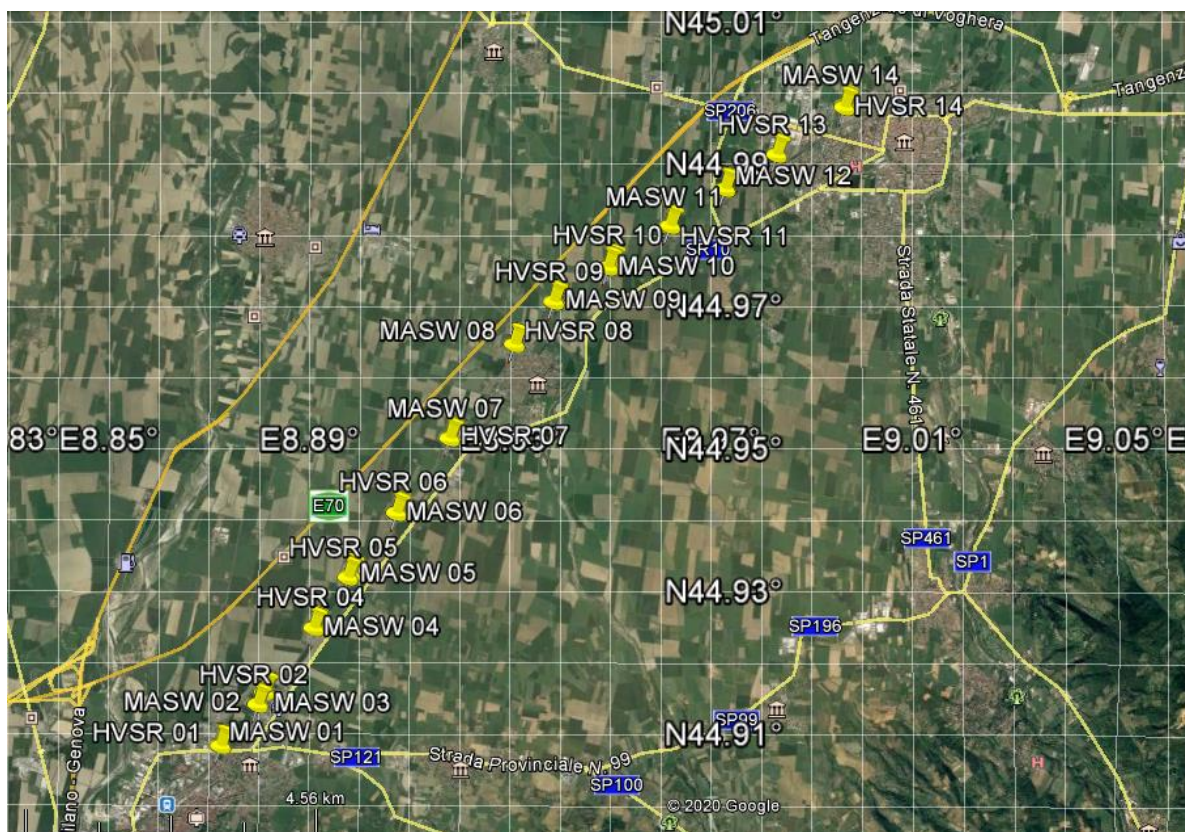


Figura 1.1.1 – Inquadramento generale: Posizioni delle indagini eseguite (foto satellitare non in scala).



**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

**VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA  
QUADRUPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA**

RELAZIONE  
INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 69 IG	GE0001 001	A	6 di 60

L'indagine sismica a rifrazione con interpretazione tomografica è stata impiegata al fine di definire, nei limiti delle metodologie impiegate, gli spessori e le velocità delle onde di compressione e di taglio dei terreni indagati e fornire dalle sezioni ottenute per le onde di taglio  $S_h$  la categoria del sottosuolo sulla verticale ritenuta rappresentativa, nel rispetto alle NTC 2018.

Le indagini sismiche per onde superficiali con metodologie M.A.S.W sono state eseguite con lo scopo di ottenere la distribuzione monodimensionale della velocità di propagazione delle Onde di Taglio  $V_s$ , lungo un profilo verticale, utile alla attribuzione della categoria del sottosuolo pertinente rispetto alle NTC 2018.

Al fine di ottenere delle misure dirette delle frequenze di risonanza dei terreni sono state effettuate delle registrazioni di microtremore sismico ambientale (HVSR).

Il presente documento, oltre a riportare le evidenze dei risultati emersi dalle campagne di acquisizione dati condotte in sito, contiene una breve descrizione delle metodologie geofisiche utilizzate.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA  QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA</b>					
<b>RELAZIONE  INDAGINI GEOFISICHE</b>	<b>COMMESSA</b> IQ01	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> R 69 IG	<b>DOCUMENTO</b> GE0001 001	<b>REV.</b> A	<b>FOGLIO</b> 7 di 60

## 2. METODOLOGIE IMPIEGATE

### 2.1 INDAGINE SISMICA TOMOGRAFICA

#### 2.1.1 Principi di funzionamento e cenni sul metodo

Per il presente lavoro è stato utilizzato un sismografo ECHO 48/2014. Lo strumento (Figura 2.2.1.1), prodotto dalla Ambrogeo (Piacenza, Italia), è un sistema di acquisizione con le seguenti caratteristiche tecniche principali:

- Numero di canali 48+1 (ampliabile a 96+1);
- Convertitore analogico digitale A/D a 24-bits;
- intervalli di campionamento: 32, 64, 128, 256, 480 e 960 us;
- Filtri in acquisizione passa basso: 10-15-25-35-50-70-100-200-280-400 Hz;
- Accuratezza nel trigger di 1/32 dell'intervallo di campionamento.



Figura 2.2.1.1: Sismografo digitale a 24 bit.

Per la rilevazione delle onde di compressione e di taglio sono stati utilizzati rispettivamente geofoni ad azione verticale ed orizzontale, entrambi con frequenza propria di oscillazione di 14Hz e 10 Hz.

#### 2.1.2 Principi base della tecnica sismica a rifrazione e limiti del metodo

La sismica a rifrazione consiste in una serie di tecniche basate sul principio fisico del fenomeno della rifrazione di un'onda sismica che incide su una discontinuità individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattore). Sulla superficie da investigare si posizionano i trasduttori del moto del suolo (geofoni)



**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA****VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA  
QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA**RELAZIONE  
INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 69 IG	GE0001 001	A	8 di 60

ad una certa distanza dalla sorgente sismica che può essere una massa battente (diversamente applicata e guidata) o una carica esplosiva a seconda della lunghezza dello stendimento e della profondità di indagine richiesta.

Nell'indagine sismica a rifrazione i trasduttori situati più vicino alla sorgente rilevano prima l'onda diretta che arriva con velocità legata alle caratteristiche meccaniche dello strato di terreno più superficiale, mentre quelli più lontani rilevano le onde rifratte che viaggiano a velocità più elevata. Conoscendo i tempi di primo arrivo e la distanza geofono-sorgente, tramite la ricostruzione e l'analisi delle curve tempo-distanza (dromocrone) con i metodi descritti al successivo paragrafo, si possono determinare i campi di velocità delle onde di compressione P e delle onde di taglio Sh che caratterizzano i vari strati interessati dall'indagine; da qui produrre una stratigrafia sismica da correlare alle formazioni geologiche o discontinuità presenti nella serie investigata nel sottosuolo.

In fase di elaborazione è importante considerare che per uno stesso tipo di roccia, la velocità di propagazione delle onde elastiche nel suolo diminuisce col grado di fratturazione-alterazione e aumenta con la profondità. Anche la giacitura della stratificazione gioca un ruolo fondamentale sui risultati delle indagini sismiche a rifrazione in quanto, in rocce stratificate e/o deformate duttilmente (piegate), tra le velocità rilevate lungo i piani di strato o di clivaggio e quelle rilevate perpendicolarmente agli stessi si possono manifestare sensibili differenze. La velocità delle onde di compressione, in particolare modo nelle formazioni terrigene, è fortemente influenzata dalla presenza della falda acquifera e quindi dal grado di saturazione dei terreni, diversamente da quelle trasversali che non si trasmettono nell'acqua.

Sulla base di tali considerazioni deriva che una roccia fortemente fratturata e del materiale detritico saturo, pur trattandosi di litotipi differenti, possano avere uguali velocità delle onde sismiche compressionali, per cui l'interpretazione sismostratigrafica non necessariamente corrisponderà con il reale assetto stratigrafico.

Il metodo sismico a rifrazione pur essendo un sistema di valenza generalmente riconosciuta presenta comunque delle limitazioni:

- un livello di spessore minore di 1/3 del passo intergeofonico ed in relazione alla sua profondità può non essere rilevabile;
- in una successione stratigrafica uno strato potrà essere rilevato soltanto se la velocità di trasmissione delle onde longitudinali al suo interno risulterà maggiore di quella dei livelli soprastanti;



**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

**VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA  
QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA**

RELAZIONE  
INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 69 IG	GE0001 001	A	9 di 60

- un livello di velocità intermedia vincolato sopra e sotto rispettivamente da uno strato a velocità minore e da uno a velocità sensibilmente maggiore può non risultare rilevabile in quanto i primi arrivi possono essere mascherati dallo strato sottostante (effetto dello strato nascosto);

- all'aumentare della distanza intergeofonica si registra un aumento della profondità di investigazione ma, allo stesso tempo, può ridursi la precisione nella determinazione della profondità delle interfacce tra i diversi livelli individuati;

- all'interno di una formazione geologica caratterizzata da incrementi graduali di velocità con la profondità le forme delle dromocrone consentono più schemi interpretativi. Per tale motivazione, ai fini di ridurre quanto più possibile l'errore interpretativo, diviene necessario il disporre di sondaggi di taratura.

I metodi di elaborazione dei dati di più recente pubblicazione (la metodologia sismica tomografica ad esempio) consentono almeno in parte di risolvere tali limitazioni permettendo l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un alto potere risolutivo ed offrono la possibilità di ricostruire anomalie e discontinuità stratigrafiche anche particolarmente complesse.

### 2.1.3 Configurazione delle misure ed elaborazione dati

Per l'esecuzione dei profili sismici sono stati utilizzati n. 2 cavi sismici multiconduttori a 24 geofoni ciascuno, impiegati simultaneamente per ottenere allineamenti (basi sismiche) a 48 stazioni (geofoni) o più, attraverso spostamenti con parti di profilo in sovrapposizione.

Lungo ogni base sismica sono state utilizzate 11 postazioni di energizzazione; per ogni postazione sono state acquisite molteplici registrazioni al fine di ottimizzare il segnale in risposta. Il sistema di energizzazione impiegato è una massa battente (mazza da 10 kg) per entrambi i tipi di onde; l'energizzazione delle onde Sh è stata effettuata per ognuna delle postazioni con doppia polarità (+ e -) agendo lateralmente su un blocco ancorato al terreno.

Per ogni linea i dati di campagna relativi alle onde P ed Sh sono stati acquisiti nel corso della medesima giornata.

Per il processing dei dati è stato utilizzato il Software RAYFRACT (ver. 3.35) della Intelligent Resources Inc. (Canada), creato per l'elaborazione di dati tomografici sismici a rifrazione, realizzabili sia con acquisizioni per onde di compressione P che di taglio SH, per scopi geologici, geotecnico-ingegneristici, ambientali, nonché per l'esplorazione nel campo delle georisorse.



**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

**VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA  
QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA**

RELAZIONE  
INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 69 IG	GE0001 001	A	10 di 60

Il software citato consente la realizzazione di dettagliati modelli di velocità del sottosuolo con le più evolute tecniche tomografiche, al fine di caratterizzarne gli orizzonti presenti in termini sismo-stratigrafici.

Lo schema di interpretazione utilizzato nel presente lavoro è basato sulla creazione di un modello iniziale ottenuto mediante interpretazione con una tecnica sofisticata di processo dei tempi di primo arrivo basata sui metodi dei “Volumi di Fresnel” (Watanabe 1999) al fine di elaborare un primo modello di partenza con una tecnica del Gradiente “smooth” 1D, a partire dal modello sopraccitato; il codice di calcolo per la modellazione tomografica utilizza, nell’algoritmo d’inversione, un “raytracing” con raggi curvilinei e metodi di calcolo ai minimi quadrati attraverso il metodo Delta t-v (Gebrande and Miller 1985), al fine di migliorare il riconoscimento e la localizzazione di strutture di forma anomala, stabilizzando la soluzione dell’algoritmo d’iterazione.

In generale, il tempo di percorrenza di un’onda sismica lungo un percorso S attraverso un mezzo bidimensionale (2D) può essere scritto come

$$t = \int_S u[\mathbf{r}(x, y)] \quad (2)$$

dove  $u(r)$  è il campo delle lentezze (l’inverso delle velocità) e  $r$  è il vettore posizione. Discretizzando il campo di lentezze  $u(r)$  con  $m$  celle equidimensionali ognuna caratterizzata da una lentezza costante  $u_k$  ( $k=1, 2, \dots, m$ ) la dromocrona  $i$ -esima delle  $n$  disponibili può essere scritta come

$$t_i = \sum_{k=1}^m l_{ik} \cdot u_k \quad (3)$$

dove  $l_{ik}$  rappresenta la porzione dell’ $i$ -esima dromocrona nella cella  $k$ -esima.

Considerando tutte le dromocrone disponibili si ottiene il seguente sistema

$$\mathbf{t} = \mathbf{M} \cdot \mathbf{u} \quad (4)$$


dove  $\mathbf{t}$  è il vettore dei dati sperimentali (tempi di primo arrivo letti sui sismogrammi),  $\mathbf{M}$  è la matrice rettangolare contenente le porzioni dei percorsi nelle varie celle,  $\mathbf{u}$  è il vettore delle lentezze (incognite del problema). Il problema inverso da risolvere è pertanto

$$\mathbf{u} = \tilde{\mathbf{M}}^{-1} \cdot \mathbf{t} \quad (5)$$

dove  $\tilde{\mathbf{M}}^{-1}$  è la matrice inversa generalizzata. Poiché i percorsi sismici dipendono dalle lentezze, la matrice  $\mathbf{M}$  dipende anche dalle lentezze e quindi il problema inverso (5) è un problema non-lineare che deve essere risolto iterativamente partendo da una soluzione iniziale (modello di partenza). L’equazione da considerare è pertanto la seguente

$$\mathbf{J} \cdot \Delta \mathbf{u} = \Delta \mathbf{t} \quad (5)$$

dove  $\Delta \mathbf{t} = \mathbf{t} - \mathbf{t}(\mathbf{u}_0)$  è la differenza tra i tempi sperimentali e i tempi calcolati per il modello di lentezze iniziale  $\mathbf{u}_0$ ;  $\Delta \mathbf{u}$  è la perturbazione del modello iniziale; e  $\mathbf{J}$  è la matrice jacobiana contenente le derivate parziali delle dromocrone rispetto alle

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA</b> <b>QUADRUPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA</b>					
RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 11 di 60

lentezze nelle celle  $\frac{\partial t_i}{\partial u_k}$ .

Poiché il problema è parzialmente sovradeterminato (per alcune celle si hanno molti percorsi) e parzialmente sottodeterminato (per alcune celle non è disponibile nessun percorso) esso è stato risolto con la tecnica dei minimi quadrati smorzati, cioè è stata minimizzata con la seguente funzione errore

$$\varphi = \|\mathbf{J} \cdot \Delta \mathbf{u} - \Delta \mathbf{t}\|^2 + \lambda \|\mathbf{L}_2 \mathbf{u}\|^2 \quad (6)$$

dove  $\lambda$  è il fattore di smorzamento e la matrice  $\mathbf{L}_2$  è una matrice derivata seconda (operatore laplaciano) che forza la soluzione verso la soluzione più regolare possibile (smoothest solution).

L'affinamento della soluzione è stato ottenuto attraverso un processo tomografico di inversione basato sul metodo WET (Wavepath Eikonal Traveltime inversion: Theory, 1993, Geophysics, Volume 58, Issue 9, pp. 1314-1323), spinto fino a 100 iterazioni per ottimizzarne il risultato finale e risolvere al meglio le zone con inversioni di velocità.

I risultati grafici che rappresentano la distribuzione delle velocità delle onde di compressione ( $V_p$ ) e di taglio ( $V_s$ ) nei terreni indagati, sono visualizzati nell'allegato con campiture a colori caratterizzate da una scala cromatica rappresentativa della dinamica dei valori di velocità incontrati (espressi in m/s, metri al secondo). Tale rappresentazione consente di identificare aree omogenee (medesimo comportamento cromatico) in termini sismo-stratigrafici. Queste zone di isovalori, di  $V_p$  per le onde di compressione, e di  $V_s$ , per quelle di taglio, sono correlabili ad ammassi di materiale con caratteristiche affini.

## 2.2 INDAGINE SISMICA PER ONDE SUPERFICIALI MASW

### 2.2.1 Principi di funzionamento e cenni sul metodo

Nelle diverse aree sono state allestite stese sismiche per onde superficiali con tecnica multicanale identificata con l'acronimo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).

La propagazione delle onde superficiali (o di Rayleigh) avviene, in un mezzo eterogeneo, secondo modalità dispersive. Cioè, a differenti frequenze, corrispondono velocità di fase diverse: in particolare la dispersione geometrica, in opposizione alla dispersione intrinseca dei materiali, dipende dalle geometrie (spessori) delle formazioni o delle stratificazioni attraversate.

In un terreno non omogeneo o stratificato avente proprietà meccaniche variabili, il comportamento delle onde superficiali varia con tali caratteristiche. Differenti lunghezze d'onda, pertinenti a diverse profondità, coinvolgono materiali con disuguali proprietà meccaniche: ciascuna lunghezza d'onda si propaga secondo velocità di fase dipendenti dalle medesime proprietà meccaniche di cui sopra.

Le onde di superficie dunque non possiedono una singola velocità bensì una velocità

di fase in funzione della frequenza; la relazione tra frequenza e velocità di fase è contenuta nelle curve di dispersione e di attenuazione. Attraverso un procedimento matematico di inversione è possibile risalire ai profili verticali delle onde di taglio S, proporzionali alle velocità di fase delle onde di superficie secondo un coefficiente invariabile.

Il metodo MASW, impiegato solo qualitativamente ai fini della ricostruzione sismo-stratigrafica di massima, è invece efficace per il calcolo speditivo del parametro  $V_{s,eq}$ .

Il 22 marzo 2018 è entrato in vigore il D.M. 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni” (NTC 2018) pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n° 42 del 20.2.2018 che prevede nell’impiego, nell’approccio semplificato nella progettazione, della classificazione del sottosuolo in base ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall’espressione riportata di seguito:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad (1)$$

con

$h_i$  = spessore dello stato i-esimo;

$V_{s,i}$  = velocità delle onde di taglio nell’i-esimo strato;


N = numero di strati;

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/sec.

Dal valore del parametro  $V_{s,eq}$  è possibile risalire alla categoria di sottosuolo secondo il D.M. 2018 dal quale è tratta la Tab. 3.2.II.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>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.</i>



	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA  QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA</b>					
RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 13 di 60

### 2.2.2 Strumentazione utilizzata, configurazione di indagine, codice di configurazione ed inversione dati

Per il presente lavoro è stato utilizzato un sismografo ECHO 48/2014, il medesimo indicato nel precedente paragrafo di descrizione della rifrazione § 2.1.1.

L'indagine per onde superficiali è stata condotta secondo le seguenti specifiche:

- sismografo utilizzato in configurazione a 24 canali;
- 24 geofoni con frequenza naturale a 4.5 Hz e distanza intergeofonica di 2 m;
- piastra di battuta in alluminio;
- massa battente da 12 Kg con interruttore starter e cavo trigger;
- finestra di acquisizione pari a 1 e/o 2 secondi in relazione alla tipologia di terreno.

La tecnica di trattamento dati utilizzata è basata sul “f-k processing”. I file grezzi subiscono un primo “processing” di muting selettivo per eliminare le tracce o le porzioni di tracce ad elevato rumore. Quindi si esegue un calcolo della FFT usando un “windowing” opportuno. Attraverso una procedura semiautomatica si ricercano i massimi dello spettro (ricerca degli zeri della funzione secolare di Rayleigh) per ricavare i punti appropriati per la costruzione della curva di dispersione da utilizzarsi in un processo di inversione multimodale.

La tecnica di trattamento dati utilizzata è stata ottimizzata utilizzando un Software commerciale validato (SWAN, Italia).

## **2.3 INDAGINE HVSR**

### 2.3.1 Principi di funzionamento e cenni sul metodo

Le registrazioni di microtremore sismico ambientale forniscono la misura diretta delle frequenze di risonanza dei livelli sedimentari sovrastanti il “bedrock”.

In particolare la tecnica di sismica passiva si basa sul concetto di contrasto di impedenza.

Per sismostrato si intende un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche e la densità del mezzo attraversato dalle medesime.

Il rumore sismico ambientale è l'insieme delle piccole vibrazioni sismiche presenti ovunque sulla superficie terrestre e generate da sorgenti naturali o antropiche, per esempio le perturbazioni atmosferiche, l'effetto delle onde del mare, il traffico veicolare e le attività industriali.

Il rumore sismico ambientale diventa una sorgente di eccitazione per la risonanza del sottosuolo ma anche delle strutture e degli Edifici, da cui la possibilità di estrarre da esso, mediante opportune tecniche di analisi, alcune informazioni sui sistemi

risonanti studiati e, nel nostro caso sui modi di vibrare dei suoli correlata alla amplificazione sismica di sito.

Nel caso del presente studio, si tratta pertanto di misurare la distribuzione delle frequenze di risonanza dei suoli (laddove per frequenza di risonanza si intende la frequenza a cui l'amplificazione è massima), la quale è correlata generalmente alla profondità dei riflettori che la creano.

I metodi basati su dati acquisiti con tecniche di sismica passiva, consentono di estrarre l'informazione relativa al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito.

Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970).

Studi recenti hanno dimostrato che picchi a frequenza maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria e picchi a frequenze minori di quella del bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bedrock stesso (es. Guillier et al., 2005). Riconosciuta questa capacità è possibile anche, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, convertire in stratigrafia le frequenze di risonanza (e.g., Kanai e Tanaka, 1954; Lermo, 1993; Yamanaka et al., 1993, Ibs-Von Seht and Wohlenberg 1999; Castellaro et al., 2005; Guillier et al., 2005 e molti altri); ne risulta che il metodo H/V può essere usato come strumento stratigrafico efficace, se correttamente impiegata, con una accuratezza comparabile a quella delle tecniche classiche di prospezione geofisica.

Si rimanda in ogni caso per la trattazione teorica sui modi di vibrare dei suoli ai testi degli Autori in precedenza citati e contenuti in Bibliografia, non ultimo il programma SESAME, 2005, impiegato talora, nonostante la sua non completa esaustività nell'affrontare le diverse condizioni sismostratigrafiche, come criterio di significatività dei picchi di risonanza.

In questa sede si rammenta solamente che le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un sistema bistrato del tipo sedimenti + bedrock in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D). Il microtremore sismico è basato sul calcolo del rapporto degli spettri di Fourier del rumore nel piano orizzontale H (generalmente lo spettro H viene calcolato come media degli spettri di Fourier delle componenti orizzontali NS ed EW) e della componente verticale V (Nakamura, 1989).

L'onda di superficie che viaggia nello strato superficiale viene riflessa all'interfaccia tra gli strati. Nel caso in cui la frequenza dell'onda  $f_m$  sia uguale a:

$$f_m = \frac{V_s}{4H} (2m - 1)$$

dove  $V_s$  è la velocità di propagazione dell'onda di superficie ed  $m$  rappresenta i vari modi di vibrazione incidente, l'onda riflessa interferisce costruttivamente con le onde incidenti, si somma e raggiunge ampiezze massime per l'effetto di risonanza.

Quindi ritornando al nostro mezzo semplice, formato da due soli strati, tutto sommato molto simile al caso di studio, ovvero uno strato superficiale più soffice che poggia su di uno strato profondo e rigido, denominato bedrock la profondità  $h$  della discontinuità sismica viene ricavata tramite la formula semplice della risonanza  $H = V_s / (4 f_r)$ , ovvero

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

o, al più, tramite la formula [1] in cui  $V_0$  è la velocità delle onde di taglio al tetto dello strato,  $x$  un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e  $f_r$  la frequenza fondamentale di risonanza (cf. ad esempio Ibs-Von Seht e Wohlenberg, 1999).

$$h = \left[ \frac{V_0(1-x)}{4f_r} + 1 \right]^{\frac{1}{1-x}} - 1 \quad [1]$$

Nei sistemi multistrato, come precedentemente notato, teoricamente l'effetto di risonanza è sommabile, ma non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva  $H/V$  relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1].

L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto  $H/V$ , che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per

- contenuto in frequenza;
- risposta strumentale;
- l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti  $H/V$  misurati con quelli "sintetici", cioè con quelli calcolati relativamente ad un modello in cui si simula il campo d'onde di superficie completo (Rayleigh e Love), nei modi fondamentale e superiori, in sistemi multistrato 1-D.

L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini (si rimanda alla letteratura per le basi teoriche, es. Aki, 1964; Ben-Menahem e Singh, 1981, Fäh et al. 2001-2003; Castellaro and Mulargia, 2007, Mulargia and Castellaro, 2007).

La  $f_r$  in precedenza citata, può essere individuata come picco del rapporto  $H/V$ .

Le frequenze proprie del sottosuolo possono essere quindi eccitate dal rumore di fondo e diventare visibili nello spettro del rumore sismico misurato in superficie.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA</b>					
RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 16 di 60

### 2.3.2 Metodologia di misura, strumentazione e software utilizzati

La strumentazione utilizzata in questa indagine consiste in un sismometro costruito e commercializzato dalla MOHO S.r.l. (Italia), impiegato per le misure HVSR.

Il TROMINO ENGI® impiegato, nello specifico, nel presente studio è un sensore passivo (tromografo) progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico.

Questo sensore è dotato di una doppia terna di accelerometri e velocimetri (questi ultimi anche di doppia sensibilità), capaci di misurare vibrazioni e microtremori in continuo secondo le tre componenti spaziali con una autonomia di oltre 100 ore di registrazione in continuo.

Le principali caratteristiche del Tromino Engi impiegato sono di seguito elencate:

- Alimentazione con 2 batterie AA da 1,5 V;
- canali velocimetrici per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale (fino a  $\pm 1.5$  mm/s  $\sim$ );
- 3 canali velocimetrici per la registrazione di vibrazioni forti (fino a  $\pm 5$  cm/s  $\sim$ );
- 3 canali accelerometrici per monitoraggio di vibrazioni;
- Ricevitore GPS integrato, antenna interna e/o esterna per eventuale localizzazione e/o sincronizzazione tra diverse unità, senza cavi esterni;
- Modulo radio per eventuale sincronizzazione tra diverse unità e trasmissione di allarmi;
- I dati di rumore sono amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti.



Figura 2.3.2.1: Tromografo per la misura microtremori - TROMINO©Engi.

Tutte le misure sono state effettuate poggiando gli strumenti direttamente sul terreno. Sono state eseguite misure di lunghezza pari a 30 minuti, con attivi tutti e 9 i sensori e con una frequenza di campionamento pari a 128 Hz.

L'elaborazione delle tracce acquisite è stata effettuata mediante il software Grilla




**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

**VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA  
QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA**

RELAZIONE  
INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 69 IG	GE0001 001	A	17 di 60

realizzato dalla stessa ditta produttrice dello strumento. Tale software permette l'analisi della vibrazione, l'equalizzazione del segnale, l'analisi della traccia e l'analisi H/V per valutare gli effetti di sito.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA</b>					
RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 18 di 60

### 3. RISULTATI

#### 3.1 PREMESSA

I risultati delle indagini geofisiche relative al PD Quadruplicamento ferroviario Tortona-Voghera sono riportati negli Allegati grafici alla presente Relazione.

#### 3.2 Risultati delle tomografie sismiche a rifrazione – Allegato 1

La localizzazione del profilo Rifr1 eseguito è riportata su immagine satellitare nella Tavola 1 dell'Allegato grafico 1. I principali risultati sono descritti di seguito.

##### 3.2.1 Linea RIFR1

Il profilo (v. Tavola 2 dell'Allegato 1) è stato eseguito per una lunghezza totale di 142 metri.

La rifrazione ha consentito di indagare i terreni fino alla profondità di circa 60 m e 50 m dal piano campagna, rispettivamente a mezzo delle Onde di compressione P e di taglio SH.

I risultati della rifrazione sono stati tarati sulla base della stratigrafia del sondaggio a carotaggio continuo SS11bis.

Nella parte superficiale della sezione sismica si individua un primo sismostrato con valori di velocità compresi tra 300 m/s e 800 m/s per le Onde P e tra 150 m/s e 300/350 m/s per le Onde SH. Lo spessore del sismostrato è di circa 11/12 m tra inizio sezione e la progressiva 82 m; a partire dalla scarpata di sponda del fiume verso la fine della sezione lo spessore si riduce fino a massimi di 6/8 m. Tale sismostrato, sulla base della stratigrafia di riferimento, è attribuibile alle argille limose debolmente sabbiose.

Segue un secondo sismostrato con valori di velocità delle Onde P ed SH rispettivamente negli intervalli 800 – 1.500/1.550 m/s e 300/350 – 550/600 m/s, associabile allo strato di ghiaie; lo spessore dell'orizzonte è di circa 18/20 m. All'interno del sismostrato sono presenti variazioni di velocità sia laterali che verticali.

In profondità è presente un terzo sismostrato nel quale le onde di compressione si propagano con velocità comprese tra 1.500/1.550 m/s e 2.300 m/s mentre le onde di taglio assumono valori tra 550/600 m/s e 1.100/1.200 m/s. Tale orizzonte è associabile alle argille limose e sulla base delle distribuzioni delle velocità di compressione e di taglio può essere suddiviso in due sub-sismostrati A e B. Il sub-sismostrato A è caratterizzato da valori di  $V_p$  e di  $V_s$  rispettivamente negli intervalli 1.500/1.550 – 1.700 m/s e 550/600 – 800 m/s, mentre il tipo B tra 1.700 m/s e 2.300 per le P e tra 800 e 1.100/1.200 m/s, per le S. Le differenti velocità tra i due sub-sismostrati si traducono probabilmente in un diverso grado di consistenza/durezza.

Nella parte più profonda, al di sotto dei 50 m dal piano campagna, nel settore esaminato esclusivamente a mezzo delle onde di compressione, i valori di velocità sono compresi tra i 2.300 m/s ed i 3050 m/s. Il sismostrato in oggetto è attribuito alle



	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA</b>					
RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 19 di 60

argille limose ghiaiose (v. Tavola 2 dell'Allegato grafico 1).

I valori di velocità estrapolati metro-metro dalle sezioni per onde P e SH, al di sotto del piano campagna in corrispondenza della verticale del sondaggio S11bis sono stati elaborati fino alla profondità comune dei 50 m dal p.c. ed utilizzati per il calcolo dei parametri dinamici medi (v. Tavola 3 dell'Allegato grafico 1) e del parametro  $V_{s,eq}$  richiesto dal DM 2018.

Il parametro  $V_{s,eq}$  è calcolato come sommatoria (nei 30 metri di spessore del sottosuolo, nel nostro caso a partire dalla quota -1 m dal piano campagna) dei valori delle velocità di intervallo, pesati rispetto agli spessori associati alla stratificazione dei materiali. Esso è stato calcolato per uno spessore  $H = 30$  m applicando l'equazione contemplata nelle N.T.C 2018.

Il valore del parametro  $V_{s,eq} = V_{s,(30)}$  rappresentativo del sito in esame è pari a **364 m/s** e la categoria di sottosuolo di fondazione risultante è la “**B**” al limite con la “**C**”. Tenuto conto dello scarto esiguo rispetto al limite tra le due categorie imposto dalla Normativa, si consiglia in via cautelativa la categoria di sottosuolo “**C**”.

### 3.3 Risultati MASW – Allegato 2

Nell'Allegato grafico 2, per ciascun MASW, sono riportati il sismogramma medio utilizzato per l'elaborazione, il profilo monodimensionale di velocità onde S inerente, lo spettro F-K e la curva di dispersione sperimentale oggetto del “picking” dei massimi sulla curva F-K sovrapposta a quella ottimizzata secondo il modello interpretativo che meglio si accoppia a quello sperimentale.

Si riporta infine il calcolo della  $V_{s,eq}$  e l'attribuzione del valore alla classe di suolo idonea. Si ricorda che, per la progettazione di opere civili, il DM 2018 non prevede l'applicabilità del metodo semplificato con attribuzione della categoria di sottosuolo nei casi siano presenti inversioni di velocità lungo il profilo verticale.

Nella presente indagine, in fase di elaborazione dei dati, il comportamento sismostratigrafico nei primi 30 m a partire dal piano di calpestio (di seguito indicato come p.c.) è stato ottimizzato con un modello a 30 sismostrati, ciascuno indicativamente di uguale spessore minimo pari a 1 m. Questa procedura permette di approssimare al meglio il modello fisico reale della velocità delle onde S nel sottosuolo, caratterizzandolo secondo variazioni graduali quasi continue all'interno dei terreni oggetto di prospezione. Tale approccio consente un processo di affinamento dei risultati e accresce la confidenza tra la curva sperimentale di dispersione e quella del modello ai fini dell'inversione, permettendo di ottenere una curva Velocità onde S – Spessori in funzione della profondità del sottosuolo, la più attendibile possibile.

### 3.3.1 MASW 01

A seguito dell'indagine e dell'elaborazione effettuata, i risultati del MASW 01 acquisito sono riassunti nella tabella sottostante.

*Tabella 3.3.1.1: Modello sismo-stratigrafico dei terreni – M.A.S.W 01.*

Sismostrato	Spessore (m)	Profondità (m dal p.c.)	Vs (m/s)
1	1	0	157
2	1	1	125
3	1	2	196
4	1	3	248
5	1	4	274
6	1	5	298
7	1	6	331
8	1	7	371
9	1	8	411
10	1	9	443
11	1	10	466
12	1	11	478
13	1	12	478
14	1	13	468
15	1	14	450
16	1	15	427
17	1	16	400
18	1	17	372
19	1	18	345
20	1	19	320
21	1	20	300
22	1	21	285
23	1	22	276
24	1	23	273
25	1	24	276
26	1	25	284
27	1	26	298
28	1	27	315
29	1	28	337
30	INF	29	361

Sulla base del profilo di velocità delle onde di taglio Vs nei primi 30 m dal piano campagna (massima profondità raggiunta), è possibile determinare la velocità equivalente  $V_{s,eq} = V_{s,(30)}$ .

Il valore calcolato per H = 30 m (H spessore delle terre poste al di sopra del substrato di riferimento rigido 800 m/s) è pari a  $V_{s,(30)} = 304$  m/s; vista la stratigrafia presente ed il profilo di velocità delle onde di taglio, il sito appartiene alla categoria di sottosuolo di fondazione di riferimento "C". Si fa presente che lungo il profilo verticale di distribuzione delle onde di taglio sono presenti inversioni di velocità.



### 3.3.2 MASW 02

Dall'indagine e dall'elaborazione effettuata, i risultati del MASW 02 acquisito sono riassunti nella tabella sottostante.

Tabella 3.3.2.1: Modello sismo-stratigrafico dei terreni – M.A.S.W 02.

Sismostrato	Spessore (m)	Profondità (m dal p.c.)	Vs (m/s)
1	1	0	166
2	1	1	163
3	1	2	184
4	1	3	224
5	1	4	270
6	1	5	313
7	1	6	348
8	1	7	373
9	1	8	386
10	1	9	389
11	1	10	384
12	1	11	372
13	1	12	356
14	1	13	339
15	1	14	322
16	1	15	306
17	1	16	294
18	1	17	284
19	1	18	279
20	1	19	277
21	1	20	278
22	1	21	283
23	1	22	289
24	1	23	298
25	1	24	307
26	1	25	318
27	1	26	329
28	1	27	340
29	1	28	352
30	INF	29	363

Sulla base del profilo di velocità delle onde di taglio Vs nei primi 30 m dal piano campagna (massima profondità raggiunta), è possibile determinare la velocità equivalente  $V_{s,eq} = V_{s,(30)}$

Il valore calcolato è pari a  $V_{s,(30)} = 291$  m/s; vista la stratigrafia presente ed il profilo di velocità delle onde di taglio, il sito appartiene alla categoria di sottosuolo di riferimento "C". Si fa presente che lungo il profilo di velocità sono presenti delle inversioni di velocità.

### 3.3.3 MASW 03

A seguito dell'indagine e dell'elaborazione effettuata, i risultati del MASW 03 eseguito sono riassunti nella tabella sottostante.

*Tabella 3.3.3.1: Modello sismo-stratigrafico dei terreni – M.A.S.W 03.*

Sismostrato	Spessore (m)	Profondità (m dal p.c.)	Vs (m/s)
1	1	0	159
2	1	1	147
3	1	2	180
4	1	3	240
5	1	4	283
6	1	5	310
7	1	6	331
8	1	7	354
9	1	8	379
10	1	9	402
11	1	10	420
12	1	11	431
13	1	12	433
14	1	13	427
15	1	14	413
16	1	15	394
17	1	16	372
18	1	17	348
19	1	18	325
20	1	19	305
21	1	20	288
22	1	21	276
23	1	22	270
24	1	23	269
25	1	24	274
26	1	25	284
27	1	26	298
28	1	27	316
29	1	28	337
30	INF	29	360

Sulla base del profilo di velocità delle onde di taglio Vs nei primi 30 m dal piano campagna (massima profondità raggiunta), è possibile determinare la velocità equivalente  $V_{s,eq} = V_{s,(30)}$

Il valore calcolato è pari a  $V_{s,(30)} = 298$  m/s; vista la stratigrafia presente ed il profilo di velocità delle onde di taglio, il sito appartiene alla categoria di sottosuolo di riferimento "C". Si fa presente che lungo il profilo verticale di distribuzione delle onde di taglio sono presenti inversioni di velocità.

### 3.3.4 MASW 04

A seguito dell'indagine e dell'elaborazione effettuata, i risultati del MASW 04 eseguito sono riassunti nella tabella sottostante.

*Tabella 3.3.4.1: Modello sismo-stratigrafico dei terreni – M.A.S.W 04.*

Sismostrato	Spessore (m)	Profondità (m dal p.c.)	Vs (m/s)
1	1	0	115
2	1	1	122
3	1	2	187
4	1	3	242
5	1	4	253
6	1	5	248
7	1	6	257
8	1	7	285
9	1	8	317
10	1	9	339
11	1	10	346
12	1	11	337
13	1	12	316
14	1	13	286
15	1	14	256
16	1	15	228
17	1	16	208
18	1	17	197
19	1	18	194
20	1	19	200
21	1	20	211
22	1	21	225
23	1	22	242
24	1	23	259
25	1	24	275
26	1	25	290
27	1	26	304
28	1	27	317
29	1	28	328
30	INF	29	339

Sulla base del profilo di velocità delle onde di taglio Vs nei primi 30 m dal piano campagna (massima profondità raggiunta), è possibile determinare la velocità equivalente  $V_{s,eq} = V_{s,(30)}$

Il valore calcolato è pari a  $V_{s,(30)} = 239$  m/s; vista la stratigrafia presente ed il profilo di velocità delle onde di taglio, il sito appartiene alla categoria di sottosuolo di riferimento "C". Si fa presente che lungo il profilo di velocità è presente una inversione di velocità.

### 3.3.5 MASW 05

Il MASW 5 ha fornito i seguenti risultati.

*Tabella 3.3.5.1: Modello sismo-stratigrafico dei terreni – M.A.S.W 05.*

Sismostrato	Spessore (m)	Profondità (m dal p.c.)	Vs (m/s)
1	1	0	133
2	1	1	120
3	1	2	106
4	1	3	190
5	1	4	252
6	1	5	285
7	1	6	296
8	1	7	294
9	1	8	282
10	1	9	263
11	1	10	241
12	1	11	224
13	1	12	219
14	1	13	231
15	1	14	260
16	1	15	298
17	1	16	341
18	1	17	383
19	1	18	420
20	1	19	452
21	1	20	478
22	1	21	497
23	1	22	511
24	1	23	520
25	1	24	527
26	1	25	534
27	1	26	541
28	1	27	551
29	1	28	565
30	INF	29	584

Sulla base del profilo di velocità delle onde di taglio Vs nei primi 30 m dal piano campagna (massima profondità raggiunta), è possibile determinare la velocità equivalente  $V_{s,eq} = V_{s,(30)}$

Il valore calcolato è pari a  $V_{s,(30)} = 283$  m/s; vista la stratigrafia presente ed il profilo di velocità delle onde di taglio, il sito appartiene alla categoria di sottosuolo di riferimento "C". Si fa presente che lungo il profilo di velocità è presente una inversione di velocità.

### 3.3.6 MASW 06

I risultati del MASW 06 eseguito sono riassunti nella tabella sottostante.

*Tabella 3.3.6.1: Modello sismo-stratigrafico dei terreni – M.A.S.W 06.*

Sismostrato	Spessore (m)	Profondità (m dal p.c.)	Vs (m/s)
1	1	0	204
2	1	1	211
3	1	2	251
4	1	3	315
5	1	4	375
6	1	5	417
7	1	6	442
8	1	7	455
9	1	8	463
10	1	9	469
11	1	10	476
12	1	11	484
13	1	12	491
14	1	13	497
15	1	14	500
16	1	15	500
17	1	16	494
18	1	17	484
19	1	18	469
20	1	19	450
21	1	20	427
22	1	21	403
23	1	22	378
24	1	23	357
25	1	24	342
26	1	25	337
27	1	26	344
28	1	27	365
29	1	28	399
30	INF	29	446

Sulla base del profilo di velocità delle onde di taglio Vs nei primi 30 m dal piano campagna (massima profondità raggiunta), è possibile determinare la velocità equivalente  $V_{s,eq} = V_{s,(30)}$

Il valore calcolato è pari a  $V_{s,(30)} = 385$  m/s; vista la stratigrafia presente ed il profilo di velocità delle onde di taglio, il sito appartiene alla categoria di sottosuolo di riferimento "B". Si fa presente che lungo il profilo di velocità è presente una inversione di velocità.

### 3.3.7 MASW 07

I risultati del MASW 07 eseguito sono riassunti nella tabella sottostante.

Tabella 3.3.7.1: Modello sismo-stratigrafico dei terreni – M.A.S.W 07.

Sismostrato	Spessore (m)	Profondità (m dal p.c.)	Vs (m/s)
1	1	0	182
2	1	1	177
3	1	2	190
4	1	3	232
5	1	4	290
6	1	5	350
7	1	6	397
8	1	7	428
9	1	8	439
10	1	9	432
11	1	10	410
12	1	11	378
13	1	12	343
14	1	13	311
15	1	14	286
16	1	15	272
17	1	16	271
18	1	17	282
19	1	18	304
20	1	19	333
21	1	20	366
22	1	21	402
23	1	22	437
24	1	23	473
25	1	24	506
26	1	25	538
27	1	26	567
28	1	27	593
29	1	28	618
30	INF	29	640

Sulla base del profilo di velocità delle onde di taglio Vs nei primi 30 m dal piano campagna (massima profondità raggiunta), è possibile determinare la velocità equivalente  $V_{s,eq} = V_{s,(30)}$

Il valore calcolato è pari a  $V_{s,(30)} = 339$  m/s; vista la stratigrafia presente ed il profilo di velocità delle onde di taglio, il sito appartiene alla categoria di sottosuolo di riferimento “C”. Il profilo di velocità presenta inversione di velocità.

### 3.3.8 MASW 08

I risultati del MASW 08 eseguito sono riassunti nella tabella sottostante.

Tabella 3.3.8.1: Modello sismo-stratigrafico dei terreni – M.A.S.W 08.

Sismostrato	Spessore (m)	Profondità (m dal p.c.)	Vs (m/s)
1	1	0	184
2	1	1	202
3	1	2	222
4	1	3	222
5	1	4	222
6	1	5	249
7	1	6	304
8	1	7	367
9	1	8	422
10	1	9	464
11	1	10	490
12	1	11	501
13	1	12	502
14	1	13	495
15	1	14	486
16	1	15	477
17	1	16	471
18	1	17	470
19	1	18	476
20	1	19	487
21	1	20	503
22	1	21	524
23	1	22	547
24	1	23	572
25	1	24	597
26	1	25	623
27	1	26	648
28	1	27	672
29	1	28	695
30	INF	29	717

Sulla base del profilo di velocità delle onde di taglio Vs nei primi 30 m dal piano campagna (massima profondità raggiunta), è possibile determinare la velocità equivalente  $V_{s,eq} = V_{s,(30)}$

Il valore calcolato è pari a  $V_{s,(30)} = 396$  m/s; vista la stratigrafia presente ed il profilo di velocità delle onde di taglio, il sito appartiene alla categoria di sottosuolo di riferimento “B”. Il profilo di velocità presenta inversione di velocità.

### 3.3.9 MASW 09

I risultati del MASW 09 eseguito sono riassunti nella tabella sottostante.

*Tabella 3.3.9.1: Modello sismo-stratigrafico dei terreni – M.A.S.W 09.*

Sismostrato	Spessore (m)	Profondità (m dal p.c.)	Vs (m/s)
1	1	0	208
2	1	1	192
3	1	2	156
4	1	3	168
5	1	4	231
6	1	5	294
7	1	6	336
8	1	7	356
9	1	8	360
10	1	9	355
11	1	10	347
12	1	11	341
13	1	12	339
14	1	13	343
15	1	14	352
16	1	15	364
17	1	16	378
18	1	17	393
19	1	18	407
20	1	19	421
21	1	20	433
22	1	21	444
23	1	22	454
24	1	23	464
25	1	24	475
26	1	25	486
27	1	26	500
28	1	27	515
29	1	28	533
30	INF	29	553

Sulla base del profilo di velocità delle onde di taglio Vs nei primi 30 m dal piano campagna (massima profondità raggiunta), è possibile determinare la velocità equivalente  $V_{s,eq} = V_{s,(30)}$

Il valore calcolato è pari a  $V_{s,(30)} = 335$  m/s; vista la stratigrafia presente ed il profilo di velocità delle onde di taglio, il sito appartiene alla categoria di sottosuolo di riferimento “C”. Il profilo di velocità presenta inversione di velocità.



### 3.3.10 MASW 10

I risultati del MASW 10 eseguito sono riassunti nella tabella sottostante.

*Tabella 3.3.10.1: Modello sismo-stratigrafico dei terreni – M.A.S.W 10.*

Sismostrato	Spessore (m)	Profondità (m dal p.c.)	Vs (m/s)
1	1	0	168
2	1	1	171
3	1	2	184
4	1	3	208
5	1	4	231
6	1	5	248
7	1	6	258
8	1	7	264
9	1	8	271
10	1	9	280
11	1	10	292
12	1	11	308
13	1	12	326
14	1	13	345
15	1	14	364
16	1	15	381
17	1	16	397
18	1	17	410
19	1	18	420
20	1	19	429
21	1	20	435
22	1	21	440
23	1	22	443
24	1	23	446
25	1	24	448
26	1	25	450
27	1	26	452
28	1	27	455
29	1	28	458
30	INF	29	463

Sulla base del profilo di velocità delle onde di taglio Vs nei primi 30 m dal piano campagna (massima profondità raggiunta), è possibile determinare la velocità equivalente  $V_{s,eq} = V_{s,(30)}$

Il valore calcolato è pari a  $V_{s,(30)} = 315$  m/s; vista la stratigrafia presente ed il profilo di velocità delle onde di taglio, il sito appartiene alla categoria di sottosuolo di riferimento "C".

### 3.3.11 MASW 11

I risultati del MASW 11 eseguito sono riassunti nella tabella sottostante.

*Tabella 3.3.11.1: Modello sismo-stratigrafico dei terreni – M.A.S.W 11.*

Sismostrato	Spessore (m)	Profondità (m dal p.c.)	Vs (m/s)
1	1	0	174
2	1	1	165
3	1	2	197
4	1	3	251
5	1	4	282
6	1	5	285
7	1	6	274
8	1	7	264
9	1	8	263
10	1	9	271
11	1	10	283
12	1	11	296
13	1	12	306
14	1	13	312
15	1	14	317
16	1	15	320
17	1	16	324
18	1	17	329
19	1	18	337
20	1	19	347
21	1	20	360
22	1	21	374
23	1	22	389
24	1	23	404
25	1	24	418
26	1	25	432
27	1	26	443
28	1	27	454
29	1	28	462
30	INF	29	469

Sulla base del profilo di velocità delle onde di taglio Vs nei primi 30 m dal piano campagna (massima profondità raggiunta), è possibile determinare la velocità equivalente  $V_{s,eq} = V_{s,(30)}$

Il valore calcolato è pari a  $V_{s,(30)} = 305$  m/s; vista la stratigrafia presente ed il profilo di velocità delle onde di taglio, il sito appartiene alla categoria di sottosuolo di riferimento "C".

### 3.3.12 MASW 12

Il MASW 12 ha fornito i risultati riassunti nella tabella sottostante.

*Tabella 3.3.12.1: Modello sismo-stratigrafico dei terreni – M.A.S.W 12.*

Sismostrato	Spessore (m)	Profondità (m dal p.c.)	Vs (m/s)
1	1	0	170
2	1	1	133
3	1	2	144
4	1	3	186
5	1	4	233
6	1	5	277
7	1	6	315
8	1	7	345
9	1	8	368
10	1	9	382
11	1	10	390
12	1	11	393
13	1	12	393
14	1	13	391
15	1	14	389
16	1	15	388
17	1	16	389
18	1	17	393
19	1	18	400
20	1	19	409
21	1	20	421
22	1	21	435
23	1	22	450
24	1	23	467
25	1	24	484
26	1	25	502
27	1	26	521
28	1	27	539
29	1	28	572
30	INF	29	609

Sulla base del profilo di velocità delle onde di taglio Vs nei primi 30 m dal piano campagna (massima profondità raggiunta), è possibile determinare la velocità equivalente  $V_{s,eq} = V_{s,(30)}$

Il valore calcolato è pari a  $V_{s,(30)} = 331$  m/s; vista la stratigrafia presente ed il profilo di velocità delle onde di taglio, il sito appartiene alla categoria di sottosuolo di riferimento "C".

### 3.3.13 MASW 13

Il MASW 13 eseguito ha fornito i dati riassunti nella tabella sottostante.

Tabella 3.3.13.1: Modello sismo-stratigrafico dei terreni – M.A.S.W 13.

Sismostrato	Spessore (m)	Profondità (m dal p.c.)	Vs (m/s)
1	1	0	279
2	1	1	275
3	1	2	297
4	1	3	356
5	1	4	427
6	1	5	489
7	1	6	532
8	1	7	554
9	1	8	560
10	1	9	554
11	1	10	540
12	1	11	521
13	1	12	500
14	1	13	479
15	1	14	457
16	1	15	437
17	1	16	418
18	1	17	401
19	1	18	386
20	1	19	375
21	1	20	368
22	1	21	365
23	1	22	369
24	1	23	378
25	1	24	394
26	1	25	416
27	1	26	443
28	1	27	476
29	1	28	513
30	INF	29	555

Sulla base del profilo di velocità delle onde di taglio Vs nei primi 30 m dal piano campagna (massima profondità raggiunta), è possibile determinare la velocità equivalente  $V_{s,eq} = V_{s,(30)}$

Il valore calcolato è pari a  $V_{s,(30)} = 420$  m/s; vista la stratigrafia presente ed il profilo di velocità delle onde di taglio, il sito appartiene alla categoria di sottosuolo di riferimento “B”. Il profilo di velocità presenta inversione di velocità.

### 3.3.14 MASW 14

I risultati del MASW 14 eseguito sono riassunti nella tabella sottostante.

Tabella 3.3.14.1: Modello sismo-stratigrafico dei terreni – M.A.S.W 14.

Sismostrato	Spessore (m)	Profondità (m dal p.c.)	Vs (m/s)
1	1	0	203
2	1	1	84
3	1	2	133
4	1	3	189
5	1	4	239
6	1	5	274
7	1	6	306
8	1	7	335
9	1	8	360
10	1	9	380
11	1	10	395
12	1	11	405
13	1	12	410
14	1	13	411
15	1	14	409
16	1	15	405
17	1	16	401
18	1	17	396
19	1	18	393
20	1	19	391
21	1	20	391
22	1	21	393
23	1	22	398
24	1	23	405
25	1	24	414
26	1	25	426
27	1	26	440
28	1	27	468
29	1	28	493
30	INF	29	518

Sulla base del profilo di velocità delle onde di taglio Vs nei primi 30 m dal piano campagna (massima profondità raggiunta), è possibile determinare la velocità equivalente  $V_{s,eq} = V_{s,(30)}$

Il valore calcolato è pari a  $V_{s,(30)} = 308$  m/s; vista la stratigrafia presente ed il profilo di velocità delle onde di taglio, il sito appartiene alla categoria di sottosuolo di riferimento “C”. Il profilo di velocità presenta inversione di velocità.

### 3.4 RISULTATI HVSR – ALLEGATO 3

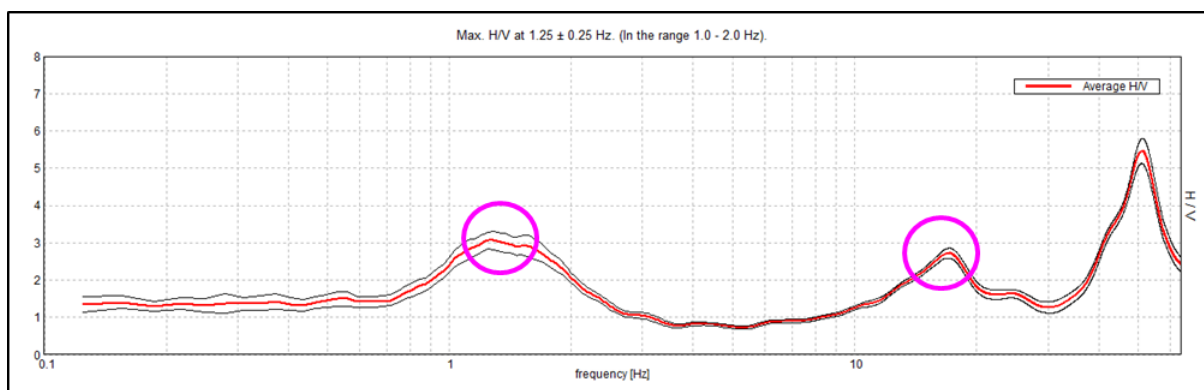
Nell'allegato grafico 3, per ciascuna indagine sono riportati lo spettro del rapporto H/V, il grafico del rapporto H/V nel tempo e lo spettro delle varie componenti. Inoltre, per ogni picco di H/V evidenziato, è presente la verifica ai criteri SESAME.

#### 3.4.1 HVSR 01

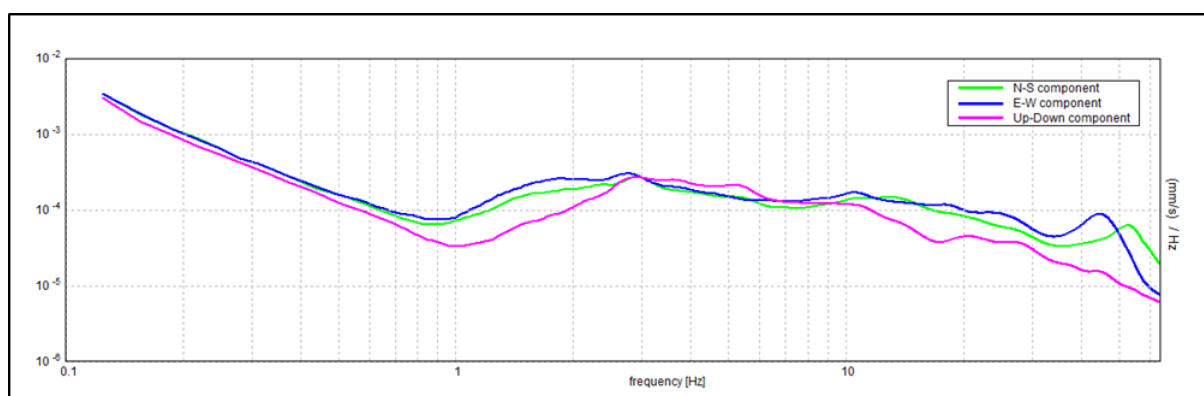
I risultati completi comprensivi del report sul rispetto degli aspetti SESAME sono visibili nelle tavole allegate.

Picco rilevato	Frequenza (Hz)
1	1,25
2	17,25

*Tabella 3.4.1.1 – Picchi in frequenza evidenziati nell'indagine HVSR*



*Figura 3.4.1.1: Rapporto H/V in funzione della frequenza*



*Figura 3.4.1.2: Spettro delle singole componenti*

L'analisi dei risultati ottenuti ha mostrato la presenza di 2 picchi principali generati da contrasti di impedenza nei terreni a diversa profondità.

Il picco a 1,25 Hz non rispetta due dei criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 500 m/s e sfruttando la seguente formula:

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

si evince una profondità del contatto di circa 100 m.

Il picco a 17,19 Hz rispetta tutti i criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 200 m/s e sfruttando la seguente formula:

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

si evince una profondità del contatto di circa 2,6 m.

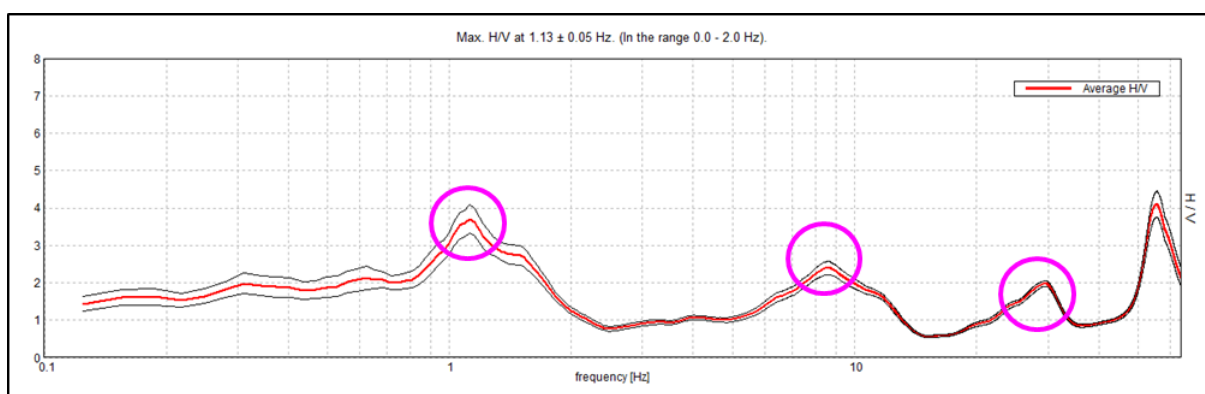
Il rapporto H/V, per frequenze comprese tra 2,9 e 8,1 Hz, risulta essere inferiore ad 1. Tale andamento indica una inversione di velocità al di sotto dei terreni più superficiali.

### 3.4.2 HVSR 02

I risultati completi comprensivi del report sul rispetto degli aspetti SESAME sono visibili nelle tavole allegate.

Picco rilevato	Frequenza (Hz)
1	1,13
2	8,69
3	29,69

*Tabella 3.4.2.1 – Picchi in frequenza evidenziati nell'indagine HVSR*



*Figura 3.4.2.1: Rapporto H/V in funzione della frequenza*

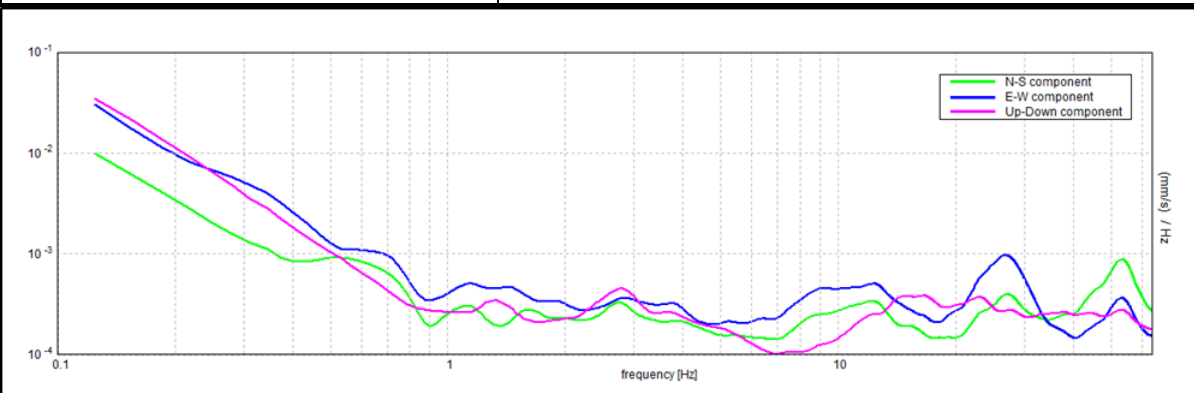


Figura 3.4.2.2: Spettro delle singole componenti

L'analisi dei risultati ottenuti ha mostrato la presenza di 3 picchi principali generati da contrasti di impedenza nei terreni a diversa profondità.

Il picco a 1,13 Hz rispetta tutti i criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 500 m/s e sfruttando la seguente formula:

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

si evince una profondità del contatto di circa 110 m.

Il picco a 8,69 Hz rispetta tutti i criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 200 m/s e sfruttando la seguente formula:

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

si evince una profondità del contatto di circa 5,7 m.

Il picco a 29,69 Hz rispetta tutti i criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 150 m/s e sfruttando la seguente formula:

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

si evince una profondità del contatto di circa 1,2 m.

Il rapporto H/V, per frequenze comprese tra 13 e 21 Hz, risulta essere inferiore ad 1. Tale andamento indica una inversione di velocità al di sotto dei terreni superficiali.

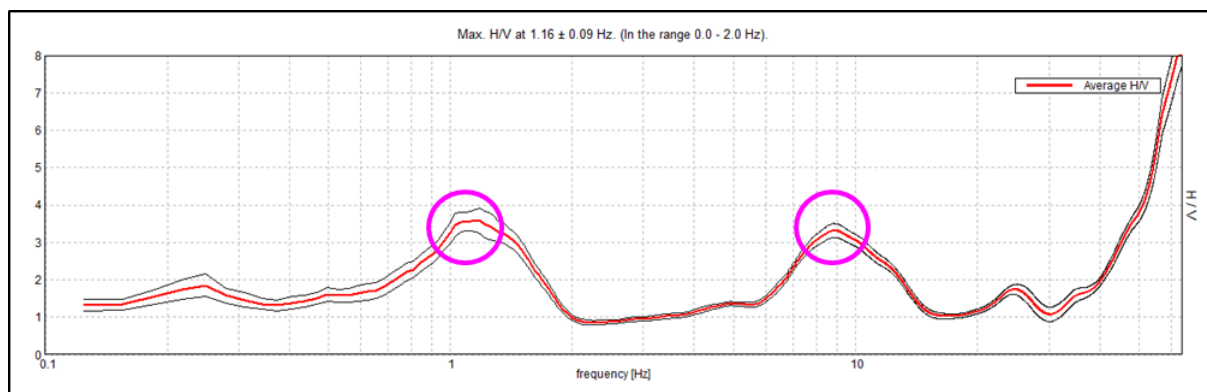


### 3.4.3 HVSR 03

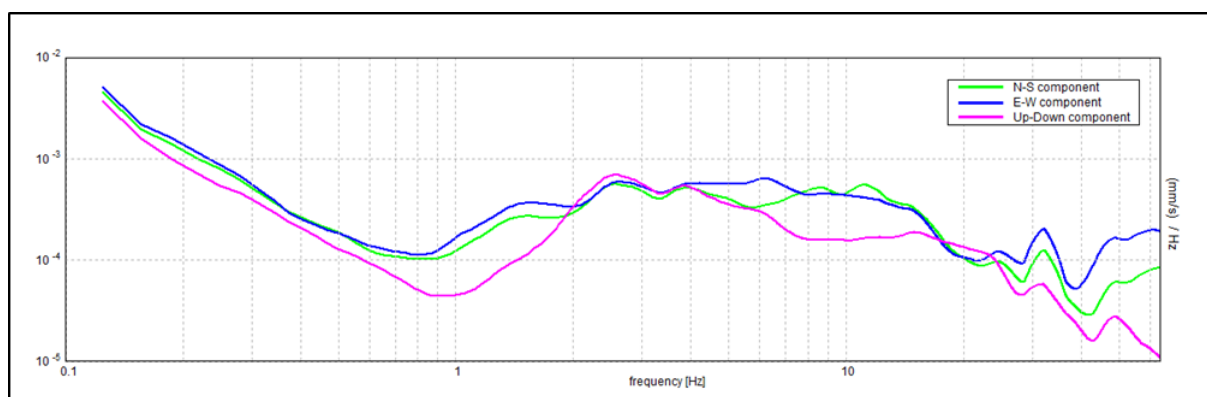
I risultati completi comprensivi del report sul rispetto degli aspetti SESAME sono visibili nelle tavole allegate.

Picco rilevato	Frequenza (Hz)
1	1,16
2	8,78

*Tabella 3.4.3.1 – Picchi in frequenza evidenziati nell'indagine HVSR*



*Figura 3.4.3.1: Rapporto H/V in funzione della frequenza*



*Figura 3.4.3.2: Spettro delle singole componenti*

L'analisi dei risultati ottenuti ha mostrato la presenza di 2 picchi principali generati da contrasti di impedenza nei terreni a diversa profondità.

Il picco a 1,16 Hz non rispetta uno dei criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 500 m/s e sfruttando la seguente formula:

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

si evince una profondità del contatto di circa 107 m.

Il picco a 8,78 Hz rispetta tutti i criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 200 m/s e sfruttando la seguente formula:

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

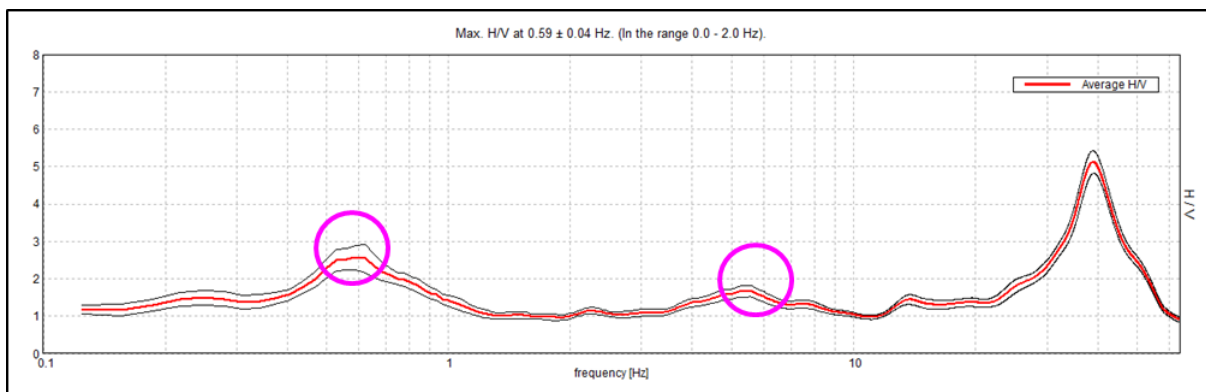
si evince una profondità del contatto di circa 5,7 m.

### 3.4.4 HVSR 04

I risultati completi comprensivi del report sul rispetto degli aspetti SESAME sono visibili nelle tavole allegate.

Picco rilevato	Frequenza (Hz)
1	0,59
2	5,53

*Tabella 3.4.4.1 – Picchi in frequenza evidenziati nell'indagine HVSR*



*Figura 3.4.4.1: Rapporto H/V in funzione della frequenza*

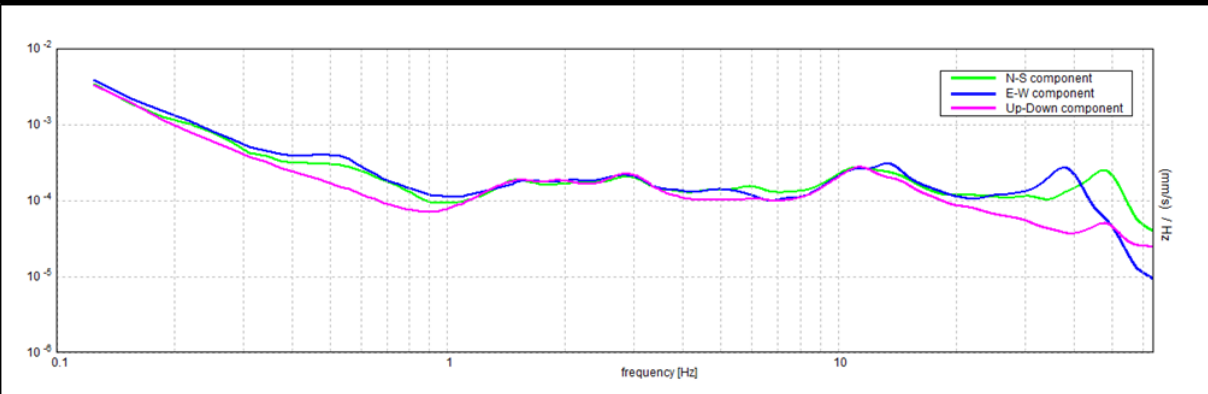


Figura 3.4.4.2: Spettro delle singole componenti

L'analisi dei risultati ottenuti ha mostrato la presenza di 2 picchi principali generati da contrasti di impedenza nei terreni a diversa profondità.

Il picco a 0,59 Hz non rispetta uno dei criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 500 m/s e sfruttando la seguente formula:

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

si evince una profondità del contatto di circa 211 m.

Il picco a 5,53 Hz non rispetta cinque criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 250 m/s e sfruttando la seguente formula:

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

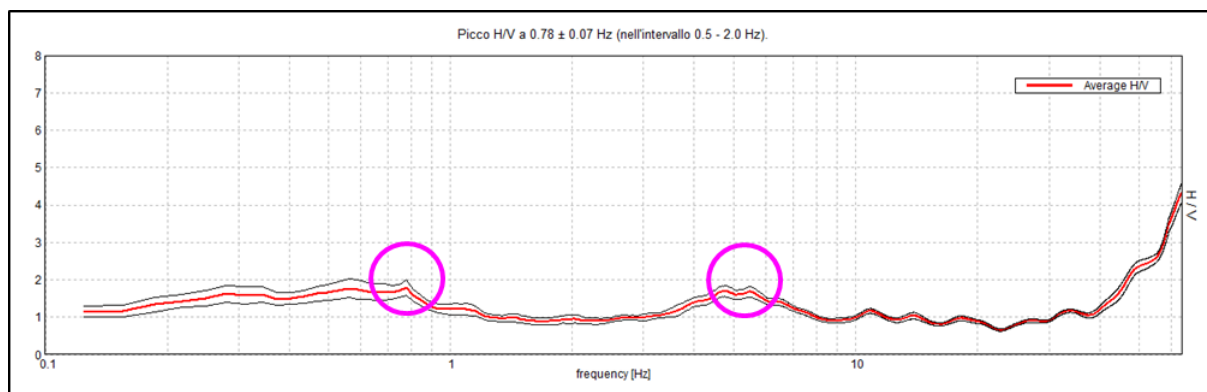
si evince una profondità del contatto di circa 11 m.

### 3.4.5 HVSR 05

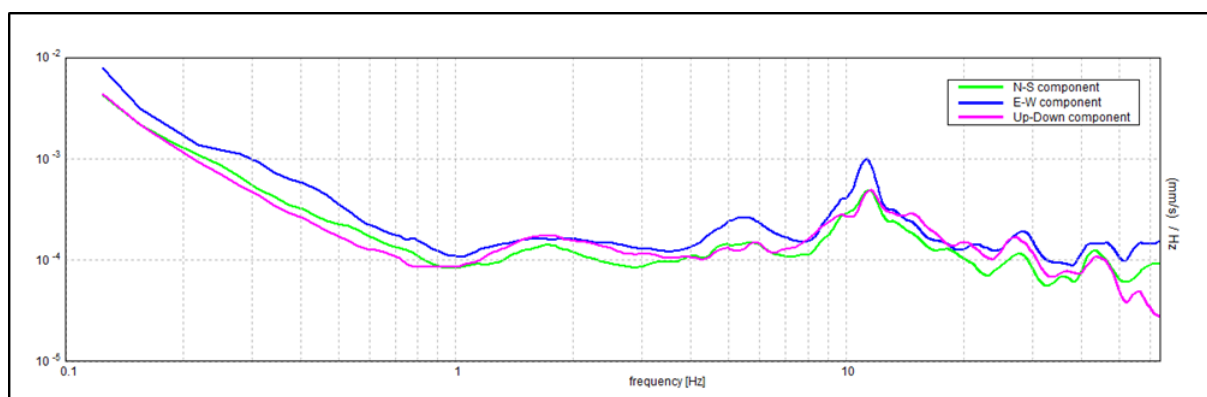
I risultati completi comprensivi del report sul rispetto degli aspetti SESAME sono visibili nelle tavole allegate.

Picco rilevato	Frequenza (Hz)
1	0,78
2	5,44

*Tabella 3.4.5.1 – Picchi in frequenza evidenziati nell'indagine HVSR*



*Figura 3.4.5.1: Rapporto H/V in funzione della frequenza*



*Figura 3.4.5.2: Spettro delle singole componenti*

L'analisi dei risultati ottenuti ha mostrato la presenza di 2 picchi principali generati da contrasti di impedenza nei terreni a diversa profondità.

Il picco a 0,78 Hz non rispetta tre dei criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 500 m/s e sfruttando la seguente formula:

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

si evince una profondità del contatto di circa 160 m.

Il picco a 5,44 Hz non rispetta quattro criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 200 m/s e sfruttando la seguente formula:

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

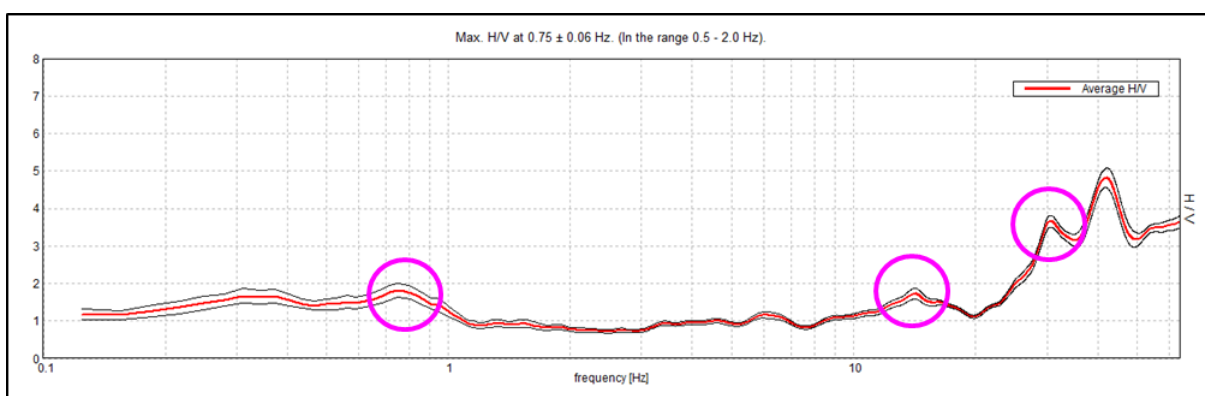
si evince una profondità del contatto di circa 9,2 m.

### 3.4.6 HVSR 06

I risultati completi comprensivi del report sul rispetto degli aspetti SESAME sono visibili nelle tavole allegate.

Picco rilevato	Frequenza (Hz)
1	0,75
2	14,22
3	30,94

*Tabella 3.4.6.1 – Picchi in frequenza evidenziati nell'indagine HVSR*



*Figura 3.4.6.1: Rapporto H/V in funzione della frequenza*

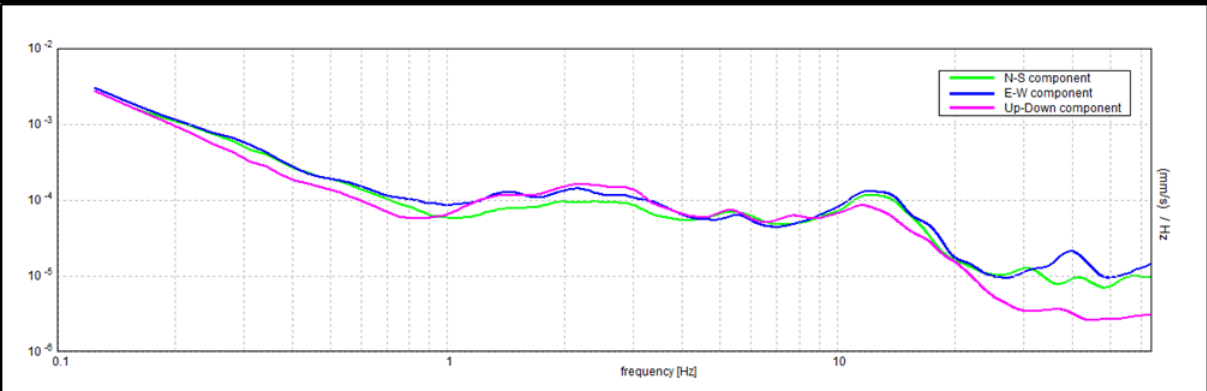


Figura 3.4.6.2: Spettro delle singole componenti

L'analisi dei risultati ottenuti ha mostrato la presenza di 3 picchi principali generati da contrasti di impedenza nei terreni a diversa profondità.

Il picco a 0,75 Hz non rispetta tre criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 500 m/s e sfruttando la seguente formula:

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

si evince una profondità del contatto di circa 166 m.

Il picco a 14,22 Hz rispetta quattro criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 220 m/s e sfruttando la seguente formula:

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

si evince una profondità del contatto di circa 3,8 m.

Il picco a 30,49 Hz rispetta tutti i criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 200 m/s e sfruttando la seguente formula:

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

si evince una profondità del contatto di circa 1,6 m.

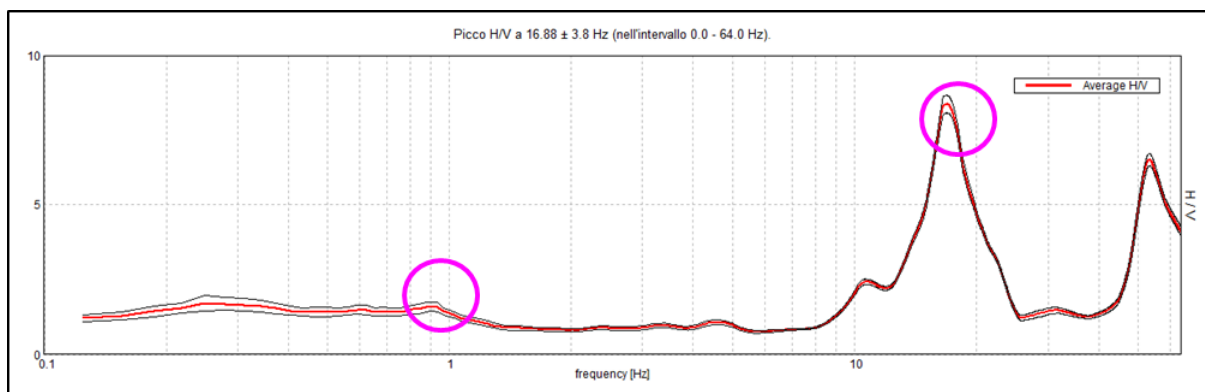
Il rapporto  $H/V$ , per frequenze comprese tra 6,8 e 8,6 Hz, risulta essere inferiore ad 1. Tale andamento indica una inversione di velocità al di sotto dei terreni più superficiali.

### 3.4.7 HVSR 07

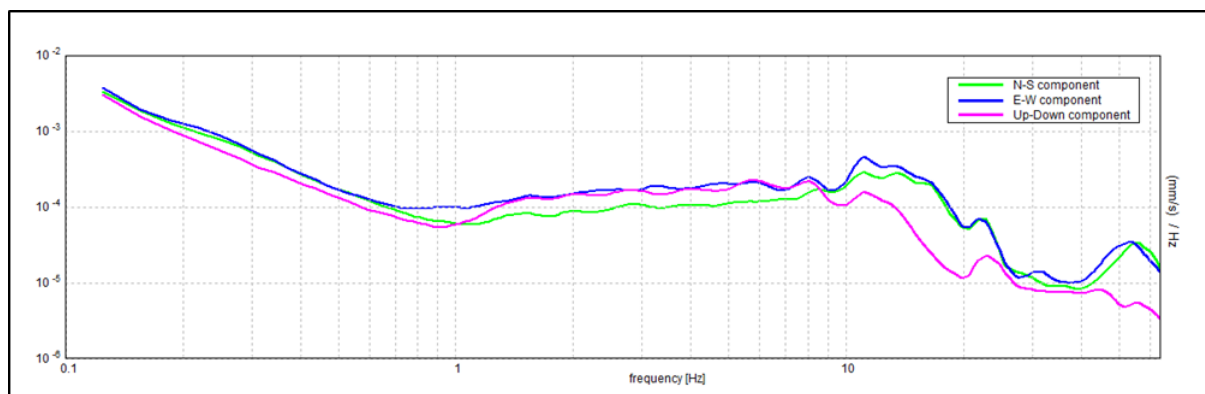
I risultati completi comprensivi del report sul rispetto degli aspetti SESAME sono visibili nelle tavole allegate.

Picco rilevato	Frequenza (Hz)
1	0,88
2	16,88

*Tabella 3.4.7.1 – Picchi in frequenza evidenziati nell'indagine HVSR*



*Figura 3.4.7.1: Rapporto H/V in funzione della frequenza*



*Figura 3.4.7.2: Spettro delle singole componenti*

L'analisi dei risultati ottenuti ha mostrato la presenza di 2 picchi principali generati da contrasti di impedenza nei terreni a diversa profondità.

Il picco a 0,88 Hz non rispetta tre dei criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 500 m/s e sfruttando la seguente formula:



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

si evince una profondità del contatto di circa 142 m.

Il picco a 16,88 Hz non rispetta due criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 180 m/s e sfruttando la seguente formula:

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

si evince una profondità del contatto di circa 3 m.

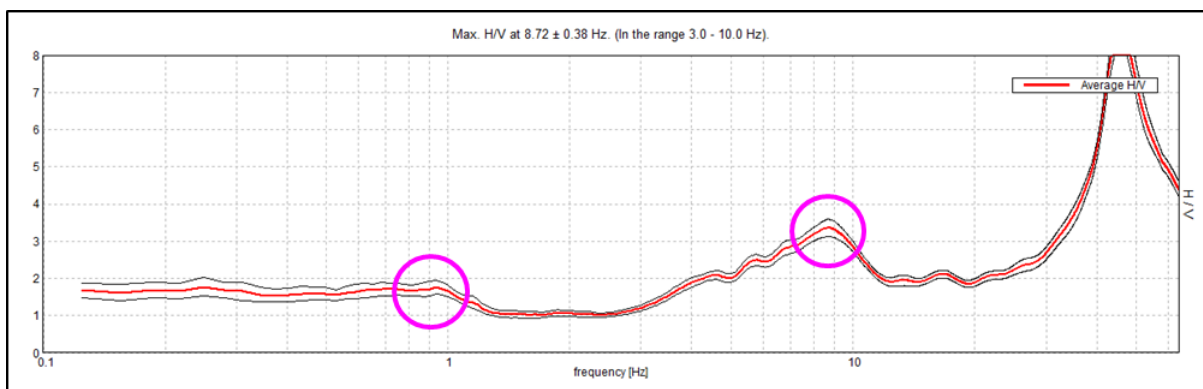
Il rapporto H/V, per frequenze comprese tra 5 e 8,1 Hz, risulta essere inferiore ad 1. Tale andamento indica una inversione di velocità al di sotto dei terreni più superficiali.

### 3.4.8 HVSR 08

I risultati completi comprensivi del report sul rispetto degli aspetti SESAME sono visibili nelle tavole allegate.

Picco rilevato	Frequenza (Hz)
1	0,81
2	8,72

*Tabella 3.4.8.1 – Picchi in frequenza evidenziati nell'indagine HVSR*



*Figura 3.4.8.1: Rapporto H/V in funzione della frequenza*

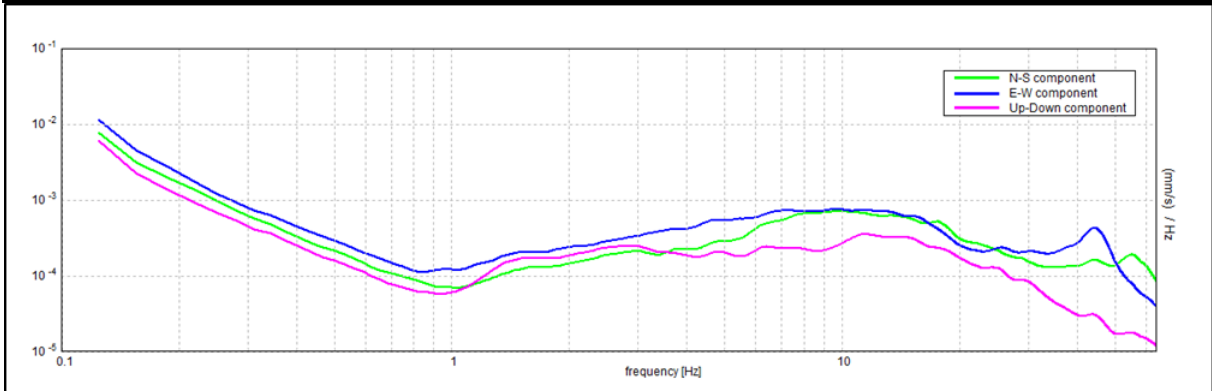


Figura 3.4.8.2: Spettro delle singole componenti

L'analisi dei risultati ottenuti ha mostrato la presenza di 2 picchi principali generati da contrasti di impedenza nei terreni a diversa profondità.

Il picco a 0,81 Hz non rispetta cinque dei criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 500 m/s e sfruttando la seguente formula:

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

si evince una profondità del contatto di circa 154 m.

Il picco a 8,72 Hz non rispetta uno dei criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 220 m/s e sfruttando la seguente formula:

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

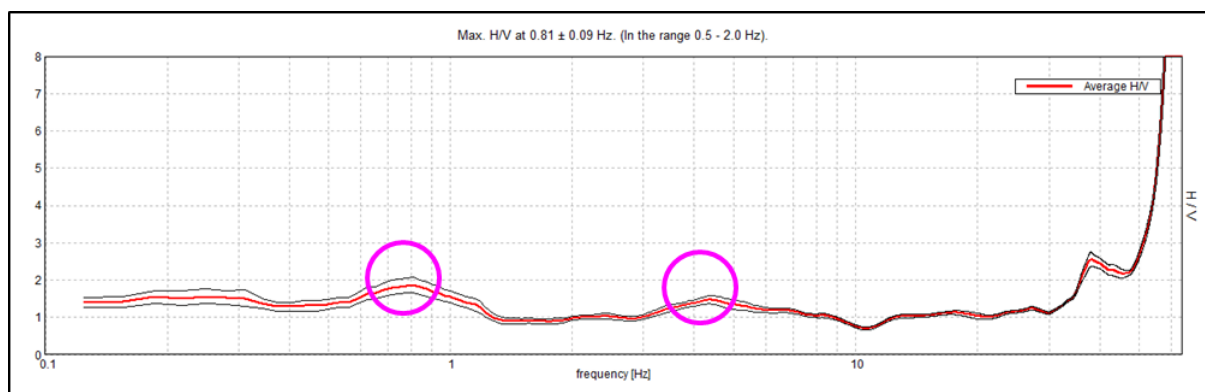
si evince una profondità del contatto di circa 6,3 m.

### 3.4.9 HVSR 09

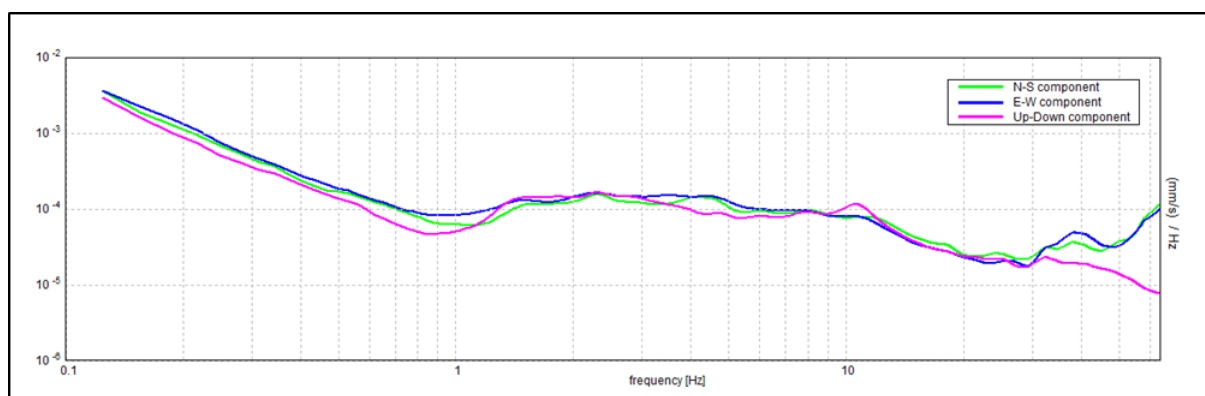
I risultati completi comprensivi del report sul rispetto degli aspetti SESAME sono visibili nelle tavole allegate.

Picco rilevato	Frequenza (Hz)
1	0,81
2	4,25

*Tabella 3.4.9.1 – Picchi in frequenza evidenziati nell'indagine HVSR*



*Figura 3.4.9.1: Rapporto H/V in funzione della frequenza*



*Figura 3.4.9.2: Spettro delle singole componenti*

L'analisi dei risultati ottenuti ha mostrato la presenza di 2 picchi principali generati da contrasti di impedenza nei terreni a diversa profondità.

Il picco a 0,81 Hz non rispetta tre dei criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 500 m/s e sfruttando la seguente formula:

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

si evince una profondità del contatto di circa 154 m.

Il picco a 4,25 Hz non rispetta quattro criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 290 m/s e sfruttando la seguente formula:

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

si evince una profondità del contatto di circa 17,9 m.

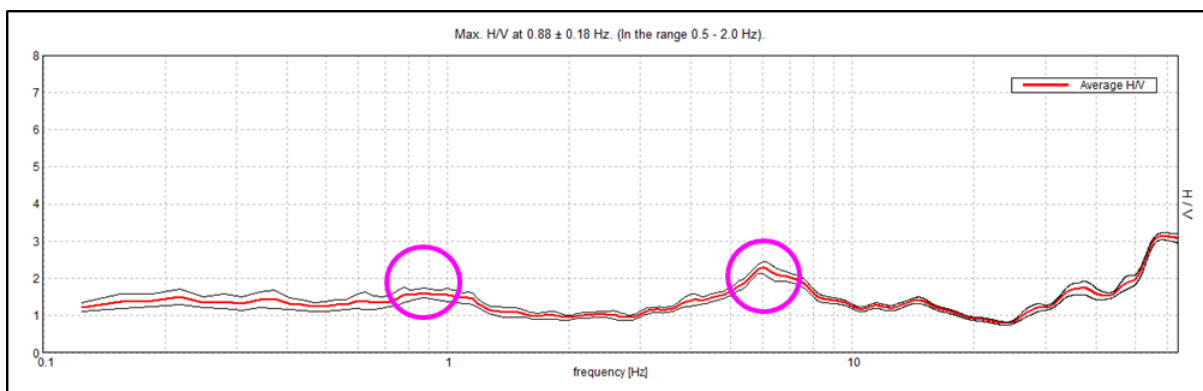
Il rapporto H/V, per frequenze comprese tra 8.2 e 14 Hz, risulta essere inferiore ad 1. Tale andamento indica una inversione di velocità al di sotto dei terreni più superficiali.

### 3.4.10 HVSR 10

I risultati completi comprensivi del report sul rispetto degli aspetti SESAME sono visibili nelle tavole allegate.

Picco rilevato	Frequenza (Hz)
1	0,88
2	6,03

*Tabella 3.4.10.1 – Picchi in frequenza evidenziati nell'indagine HVSR*



*Figura 3.4.10.1: Rapporto H/V in funzione della frequenza*

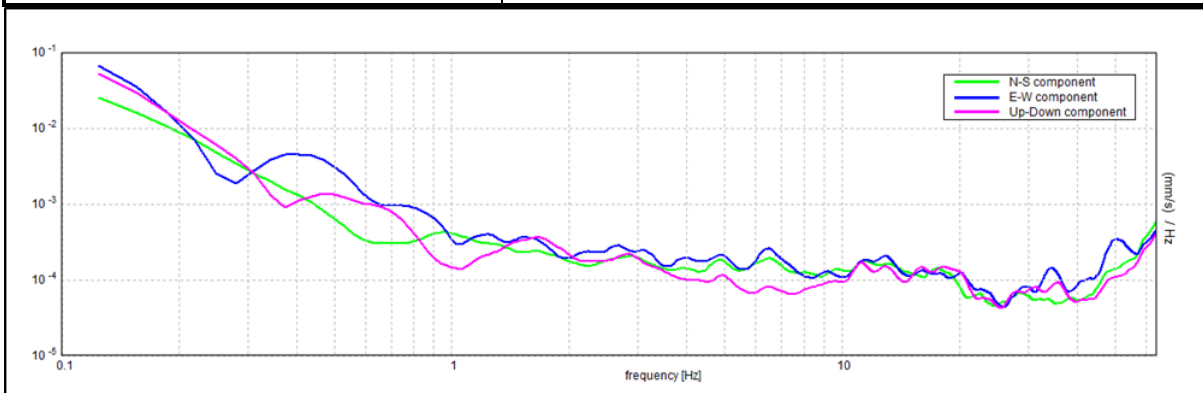


Figura 3.4.10.2: Spettro delle singole componenti

L'analisi dei risultati ottenuti ha mostrato la presenza di 2 picchi principali generati da contrasti di impedenza nei terreni a diversa profondità.

Il picco a 0,88 Hz non rispetta cinque dei criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 500 m/s e sfruttando la seguente formula:

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

si evince una profondità del contatto di circa 142 m.

Il picco a 6,03 Hz non rispetta due criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 250 m/s e sfruttando la seguente formula:

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

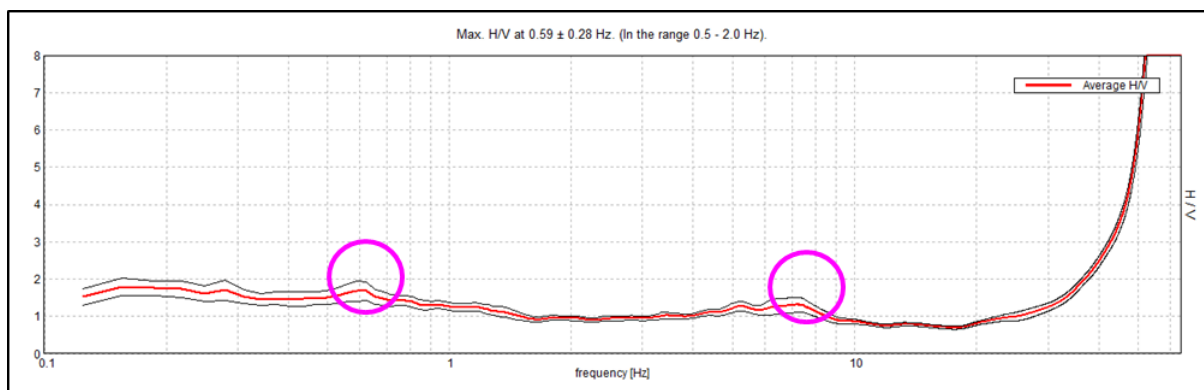
si evince una profondità del contatto di circa 10,3 m.

### 3.4.11 HVSR 11

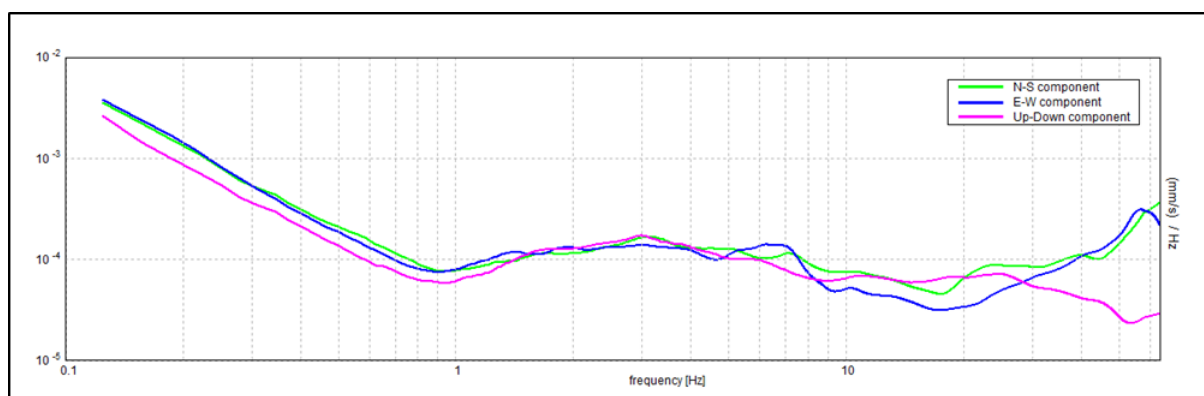
I risultati completi comprensivi del report sul rispetto degli aspetti SESAME sono visibili nelle tavole allegate.

Picco rilevato	Frequenza (Hz)
1	0,59
2	7,03

*Tabella 3.4.11.1 – Picchi in frequenza evidenziati nell'indagine HVSR*



*Figura 3.4.11.1: Rapporto H/V in funzione della frequenza*



*Figura 3.4.11.2: Spettro delle singole componenti*

L'analisi dei risultati ottenuti ha mostrato la presenza di 2 picchi principali generati da contrasti di impedenza nei terreni a diversa profondità.

Il picco a 0,59 Hz non rispetta cinque dei criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 500 m/s e sfruttando la seguente formula:

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

si evince una profondità del contatto di circa 212 m.

Il picco a 7,03 Hz non rispetta cinque criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 240 m/s e sfruttando la seguente formula:

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

si evince una profondità del contatto di circa 8,5 m.

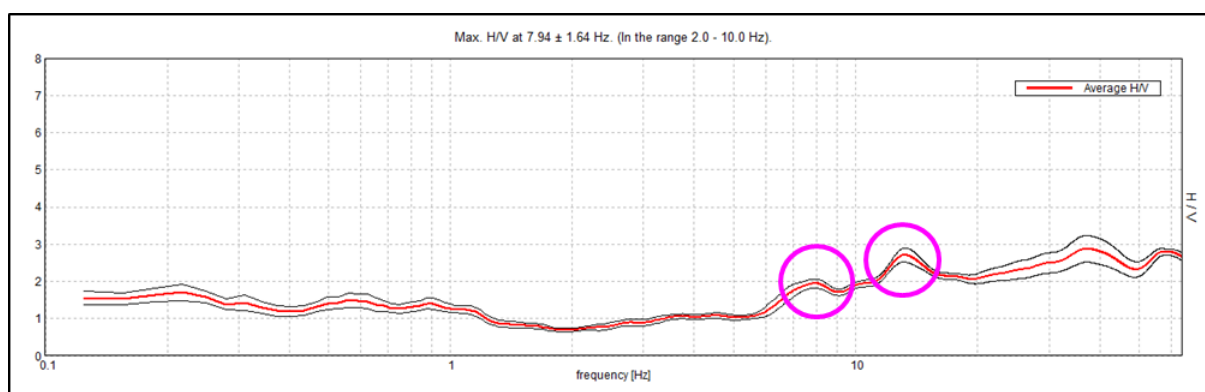
Il rapporto H/V, per frequenze comprese tra 8.3 e 14 Hz, risulta essere inferiore ad 1. Tale andamento indica una inversione di velocità al di sotto dei terreni più superficiali.

### 3.4.12 HVSR 12

I risultati completi comprensivi del report sul rispetto degli aspetti SESAME sono visibili nelle tavole allegate.

Picco rilevato	Frequenza (Hz)
1	7,94
2	13,28

*Tabella 3.4.12.1 – Picchi in frequenza evidenziati nell'indagine HVSR*



*Figura 3.4.12.1: Rapporto H/V in funzione della frequenza*



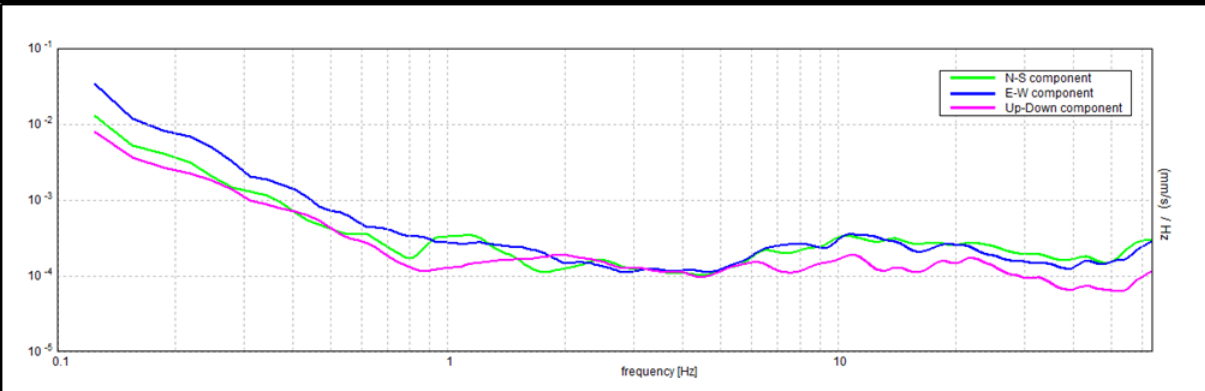


Figura 3.4.12.2: Spettro delle singole componenti

L'analisi dei risultati ottenuti ha mostrato la presenza di 2 picchi principali generati da contrasti di impedenza nei terreni a diversa profondità.

Il picco a 7,94 Hz non rispetta quattro dei criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 300 m/s e sfruttando la seguente formula:

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

si evince una profondità del contatto di circa 10 m.

Il picco a 13,28 Hz non rispetta cinque criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 180 m/s e sfruttando la seguente formula:

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

si evince una profondità del contatto di circa 3,5 m.

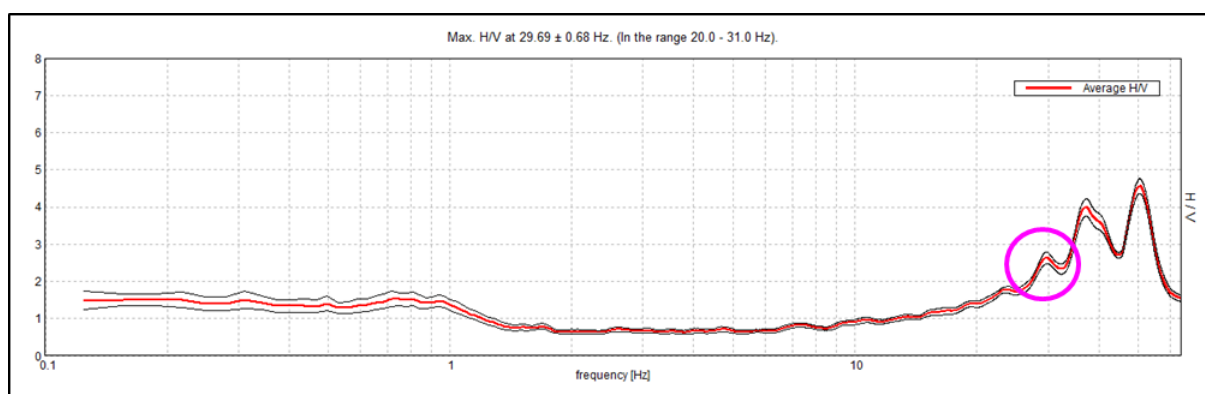
Il rapporto H/V, per frequenze comprese tra 1,2 e 3,2 Hz, risulta essere inferiore ad 1. Tale andamento indica una inversione di velocità al di sotto dei terreni più superficiali.

### 3.4.13 HVSR 13

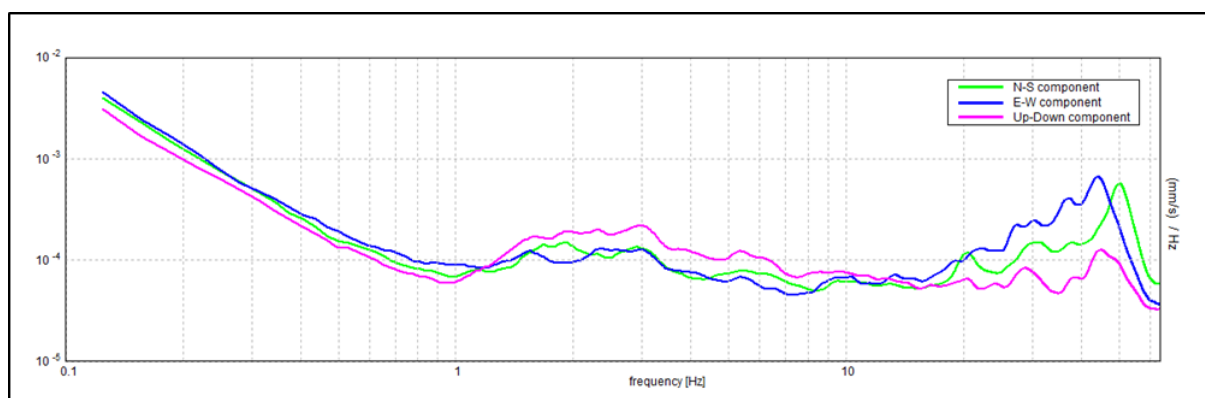
I risultati completi comprensivi del report sul rispetto degli aspetti SESAME sono visibili nelle tavole allegate.

Picco rilevato	Frequenza (Hz)
1	29,69

*Tabella 3.4.13.1 – Picchi in frequenza evidenziati nell'indagine HVSR*



*Figura 3.4.13.1: Rapporto H/V in funzione della frequenza*



*Figura 3.4.13.2: Spettro delle singole componenti*

L'analisi dei risultati ottenuti ha mostrato la presenza di 1 picco principale generato dal contrasto di impedenza nei terreni.

Il picco a 29,69 Hz non rispetta uno dei criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 280 m/s e sfruttando la seguente formula:

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

si evince una profondità del contatto di circa 2,4 m.

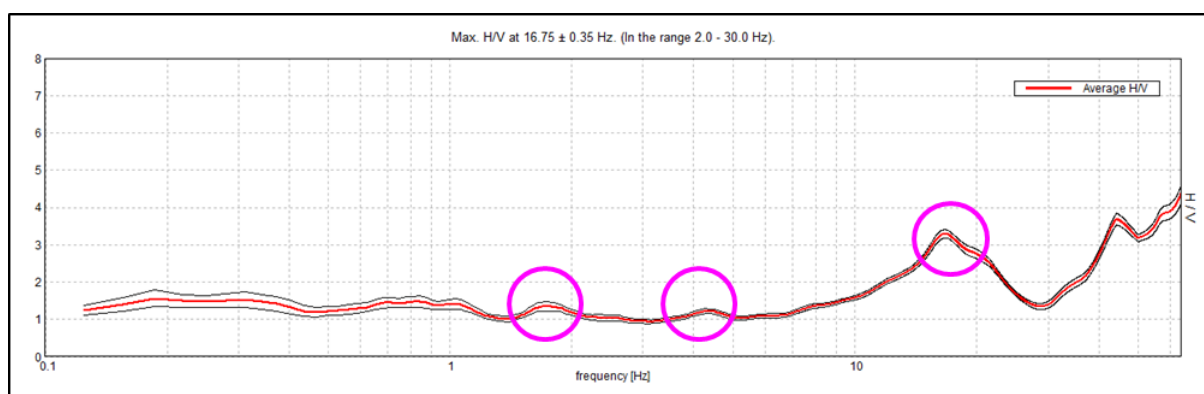
Il rapporto H/V, per frequenze comprese tra 1,2 e 13 Hz, risulta essere inferiore ad 1. Tale andamento indica una inversione di velocità al di sotto dei terreni più superficiali.

### 3.4.14 HVSR 14

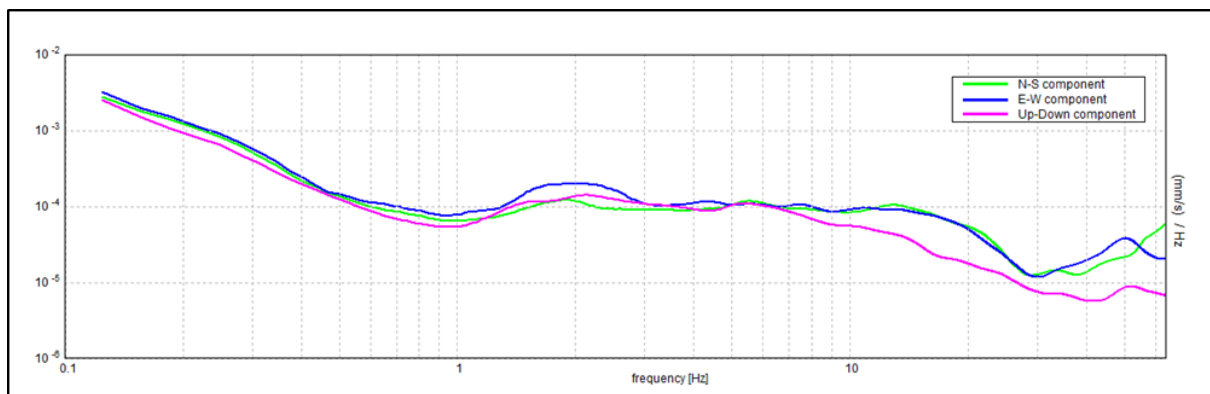
I risultati completi comprensivi del report sul rispetto degli aspetti SESAME sono visibili nelle tavole allegate.

Picco rilevato	Frequenza (Hz)
1	1,72
2	4,38
3	16,75

*Tabella 3.4.14.1 – Picchi in frequenza evidenziati nell'indagine HVSR*



*Figura 3.4.14.1: Rapporto H/V in funzione della frequenza*



*Figura 3.4.14.2: Spettro delle singole componenti*



PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA  
QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA

RELAZIONE  
INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 69 IG	GE0001 001	A	54 di 60

L'analisi dei risultati ottenuti ha mostrato la presenza di 3 picchi principali generati da contrasti di impedenza nei terreni a diversa profondità.

Il picco a 1,72 Hz non rispetta tre criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 450 m/s e sfruttando la seguente formula:

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

si evince una profondità del contatto di circa 65 m.

Il picco a 4,38 Hz rispetta tre criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 350 m/s e sfruttando la seguente formula:

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


si evince una profondità del contatto di circa 20 m.

Il picco a 16,75 Hz rispetta tutti i criteri SESAME.

Considerando una velocità media delle onde di taglio in tali depositi di circa 200 m/s e sfruttando la seguente formula:

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

si evince una profondità del contatto di circa 3 m.

	<b>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA</b>					
RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 55 di 60

#### 4. BIBLIOGRAFIA

Aki K., 1964. A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the earth's crust, *Geophysics*, 29, 665–666.

Ben-Menahem A. E SINGH S.J., 1981. *Seismic Waves and Sources*, Springer-Verlag, New York.

Bindi D., Parolai S., Spallarossa D., Cattaneo M., 2000. Site effects by H/V ratio: comparison of two different procedures, *J. Earthq. Eng.*, 4, 97-113.

Castellaro S., Mulargia F. E Bianconi L., 2005. Stratigrafia sismica passiva: una nuova tecnica accurata, rapida ed economica, *Geologia Tecnica e Ambientale*, vol. 3.

Castellaro, S., and Mulargia, F., 2007. Constrained H/V only estimates of Vs30, *Bull. Seism. Soc. Am.*, submitted.

Castellaro, S., and Mulargia, F., Estimates of Vs30 Based on Constrained H/V Ratio Measurements Alone, in: *Increasing Seismic Safety by Combining Engineering Technologies and Seismological Data*, DORDRECHT, Springer, 2009, pp. 85 – 97

Castellaro, S., and Mulargia, F, The Effect of Velocity Inversions on H/V, «PURE AND APPLIED GEOPHYSICS», 2009, 166, pp. 567 – 592

Castellaro, S., and Mulargia, F., VS30 Estimates Using Constrained H/V Measurements, «BULLETIN OF THE SEISMOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA», 2009, 99, pp. 761 – 773

Cavinato, G. P., Di Luzio, E., Moscatelli, M., Vallone, R., Averardi, M., Valente, A., and Papale, S. [2006] The new Col di Tenda tunnel between Italy and France: Integrated geological investigations and geophysical prospecting for preliminary studies on the Italian side. *Engineering Geology* 88, 90-109.

Coffeen, J.A., 1978. "Seismic exploration fundamentals". Pubb. Co.;

Dahlin, T., Bjelm, L., and Svensson, C. [1999] Use of electrical imaging in site investigations for a railway tunnel through the Hallandsås Horst, Sweden. *Quarterly Journal of Engineering Geology* 32, 163-172.

D. ALBARELLO, S. CASTELLARO, Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola, «INGEGNERIA SISMICA», 2012, 2, pp. 32 – 61

Diebold J.B. and Stoffa P.L. 1981. The travelttime equation, tau-p mapping, and

Dobrin, M.B., 1976. "Introduction to Geophysical prospecting". McGraw-Hill Book Co.;

European Commission (2005), User guideline for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibration: Measurement, processing and interpretation, Res. Gen. Dir. Proj. EVG1-CT-2000- 00026 SESAME, Rep. D23.12, 62 pp., Brussels. (Available at <http://SESAME-fp5.obs.ujf-grenoble.fr>.)

Fa'H, D., et al. (2001), A theoretical investigation of average H/V ratios, *Geophys. J. Int.*, 145, 535–549.

**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA****VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA  
QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA**RELAZIONE  
INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 69 IG	GE0001 001	A	56 di 60

Fa' H, D., et al. (2003), Inversion of local S-wave velocity structures from average H/V ratios, and their use for the estimation of site-effects, *J. Seismol.*, 7, 449–467.

Foti S., 2000, Multi-Station Methods for Geotechnical Characterisation Using Surface Waves, PhD Diss., Politecnico di Torino, 229 pp.;

Ganerød, G. V., Rønning, J. S., Dalsegg, E., Elvebakk, H., Holmøy, K., Nilsen, B., and Braathen, A. [2006] Comparison of geophysical methods for sub-surface mapping of faults and fracture zones in a section of the Viggja road tunnel, Norway. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 65, 231-243.

Gebrande H and Miller H., 1985. Refraktionsseismik (in German). In: F. Bender (Editor), *Angewandte Geowissenschaften II*. Ferdinand Enke, Stuttgart; pp. 226-260. ISBN 3-432-91021-5.

Hagedoorn J.G. 1959. The Plus-Minus Method of Interpreting Seismic Refraction Sections. *Geophysical Prospecting*, volume 7, p. 158-182.

Herrmann R.B. and Ammon C. J., 2002. "Computer Programs in Seismology" ver. 3.20.

Kanai, K., Tanaka, T. (1954). Measurement of the microtremor, *Bulletin of Earthquake Research Institute* 32, 199–209.

Ibs-Von Seht M., and Wohlenberg J., Microtremor Measurements Used to Map Thickness of Soft Sediments, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 89, No. 1, pp. 250-259, February 1999.

Jansen S. 2010. Parameter investigation for subsurface tomography with refraction seismic data, Master thesis, Niels Bohr Institute, University of Copenhagen.

John m. Reynolds, (1997). "An introduction to applied and environmental geophysics", pp. 415-488, Wiley, England.

Jones G.M. and Jovanovich D.B. 1985. A ray inversion method for refraction analysis. *Geophysics*, volume 50, p. 1701-1720.

Jun-Su Choi , Hee-Hwan Ryu, In-Mo Lee , Gye-Chun Cho, (2006). "Rock Mass Classification Using Electrical Resistivity – an Analytical Study", *Key Engineering Material*, Vols. 321-323, pp. 1411-1414, Trans Tech Publications, Switzerland.

Lecomte, I.; Gjoystdal, H.; Dahle, A.; Pedersen, O.C., 2000, Improving modeling and inversion in refraction seismics with a first-order Eikonal solver, *Geophysical Prospecting*, Vol. 48, 437-454.

Lermo J., Chavez-Garcia F.J. (1993). Site effect evaluation using spectral ratios with only one station, *Bulletin of Seismological Society of America*, 83, 1574–1594.

MacPhail M.R. 1967. The midpoint method of interpreting a refraction survey. In: Musgrave A.W. (Editor), *Seismic*.

Milton B. Dobrin, Carl H. Savit, 1988, *Introduction to Geophysical Prospecting*, fourth Edition, McGraw-Hill International Editions e R.E. Goodman, 1989, *Introduction to Rock Mechanics*, second Edition, John Wiley & Sons.

**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA****VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA  
QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA**RELAZIONE  
INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 69 IG	GE0001 001	A	57 di 60

Mcmechan G.A., Yedlin M.J., 1981, Analysis of dispersive wave by wave field transformation, *Geophysics*, 46, 869-874;

Mulargia F., Castellaro S., Passive Imaging in Nondiffuse Acoustic Wavefields, «*PHYSICAL REVIEW LETTERS*», 2008, 100, pp. 218501-1 - 218501-4

Nakamura, Y. (1989), A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *Quat. Rep. Railway Tech. Res. Inst.*, 30 (1), 25–30.

Nazarian S., Stokoe K.H., 1986, Use of surface waves in pavement evaluation, *Transp. Res. Rec*, 1070, 132-144;

Palmer, D., 2010, Non-uniqueness with refraction inversion – a syncline model study, *Geophysical Prospecting*, Vol. 58, 203-218.

Park C.B., Miller R.D., Xia J., 2001, Offset and resolution of dispersion curve in multichannel analysis of surface waves (MASW), *proc. SAGEEP 2001*;

Sasaki Y., 1994, 3-D resistivity inversion using the finite-element method, *Geophysics*, 59(11), 1839-1848.

Schuster G T, Aksel Q B. 1993. Wave-path Eikonal travel-time inversion: Theory. *Geophysics*, 58(9): 1314–1323.

Stokoe K.H., Wright S.G., Bay J., Roesset J.M., 1994, characterization of geotechnical sites by SASW method, in *Geophysical characterization of sites*, (ISSMFE TC#10) by R.D. Woods (ed), Oxford & IBH Publ., pp. 15-25;

Xia J., Miller R.D., Park C.B., 1999, Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves, *Geophysics*, 64, 691-700.

Yamanaka, H., Dravinski, M., Kagami, H. (1993). Continuous measurements of microtremors on sediments and basement in Los Angeles, California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 83,1595–1609.

Watanabe, T.; Matsuoka, T.; Ashida, Y., 1999, Seismic travelttime tomography using Fresnel volume approach, *SEG Houston 1999, Expanded Abstracts*. <http://dx.doi.org/10.1190/1.1820777>.





**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

**VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA  
QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA**

RELAZIONE  
INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 69 IG	GE0001 001	A	58 di 60

**5. ALLEGATO N.1 – Risultati indagini sismiche a rifrazioni tomografiche**



# INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE TOMOGRAFICA RIFR1

## Ubicazione dell'indagine



## Fase di acquisizione dati



## Fase di acquisizione dati



TAVOLA

1

### OGGETTO:

Indagine geofisiche

RIFRAZIONE  
TOMOGRFICA  
Onde P-SH

### PROGETTO:

PD Quadruplicamento  
Linea  
Tortona-Voghera



Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

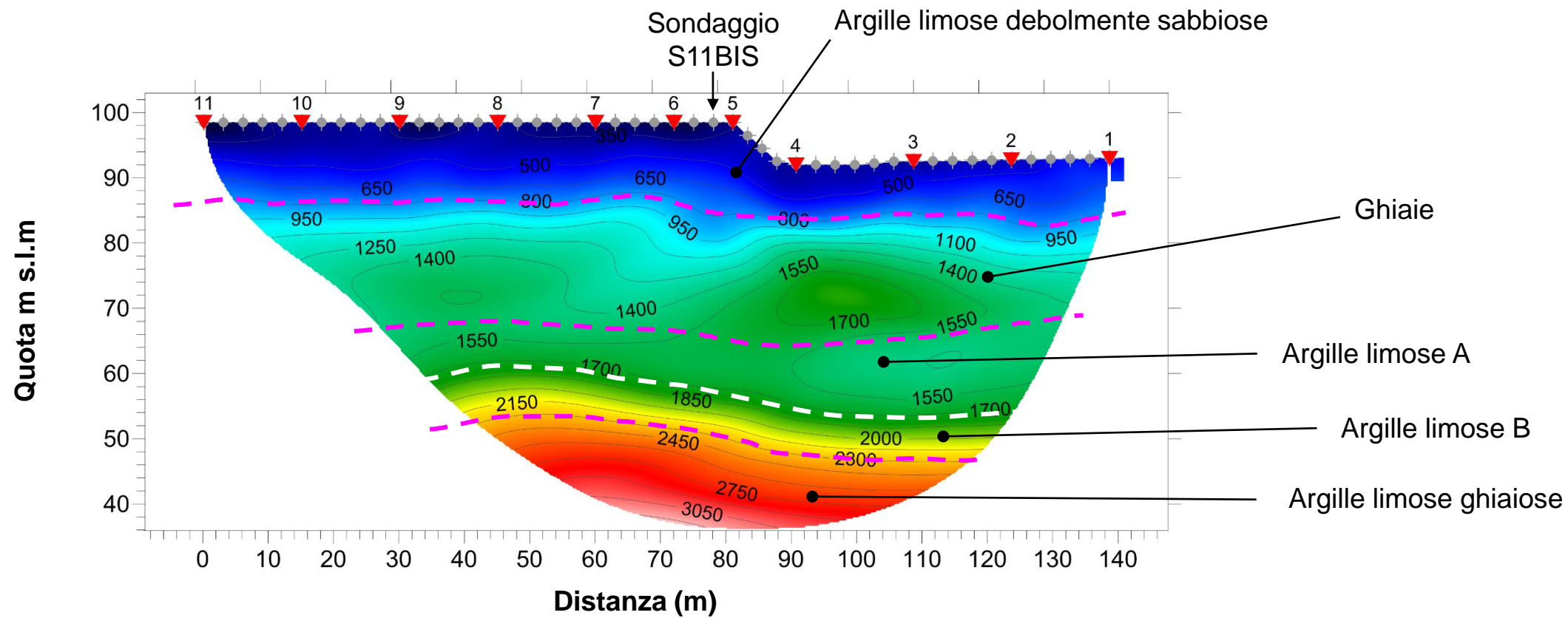
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

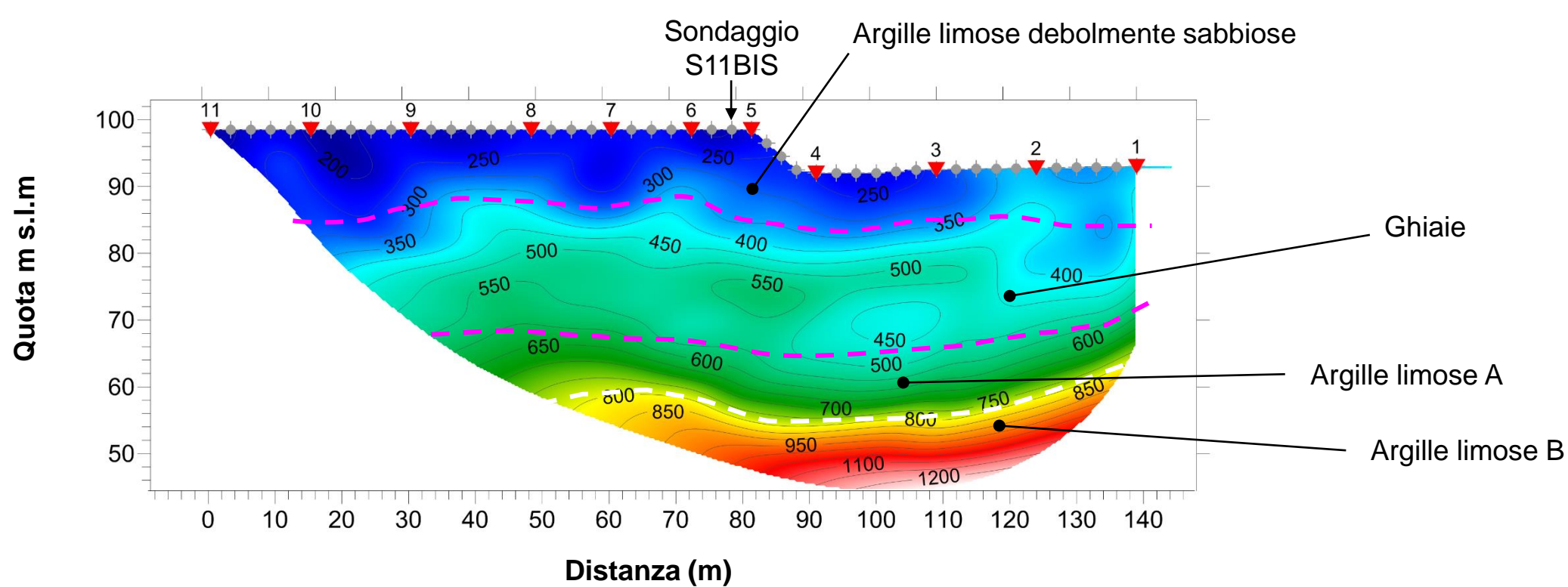


# INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE TOMOGRAFICA

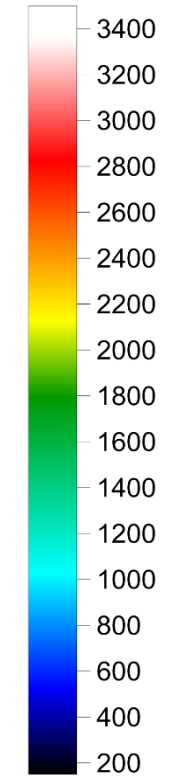
## Sezione Sismica a Rifrazione Tomografica – RIFR1 Onde P



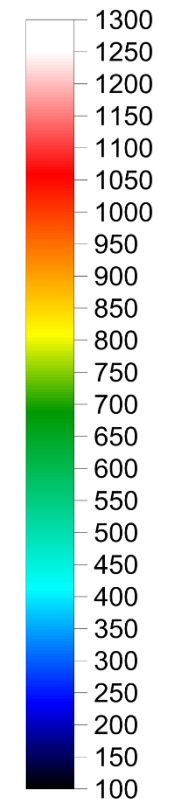
## Sezione Sismica a Rifrazione Tomografica – RIFR1 Onde S



Scala di velocità  
Onde P (m/s)



Scala di velocità  
Onde S (m/s)



TAVOLA

2

**OGGETTO:**  
Indagine geofisiche

RIFRAZIONE  
TOMOGRAFICA  
Onde P-SH

**PROGETTO:**  
PD Quadruplicamento  
Linea  
Tortona-Voghera



**Per la**  
**SOING Strutture e**  
**Ambiente srl**

**ELAB** G. Luciani  
E. Benvenuti

**VERIFICA** A. Morelli

**APPROV.** P. Chiara

# INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE TOMOGRAFICA

**Tabella delle velocità delle onde P ed S  
in corrispondenza del sondaggio S11bis**

Strato	Profondità (m dal p.c.)	Spessore (m)	Velocità Vp media (m/s)	Velocità Vs media (m/s)
1	da -1 a -2 m	1	338	188
2	da -2 a -3 m	1	369	213
3	da -3 a -4 m	1	406	238
4	da -4 a -5 m	1	444	256
5	da -5 a -6 m	1	481	269
6	da -6 a -7 m	1	519	281
7	da -7 a -8 m	1	556	294
8	da -8 a -9 m	1	594	304
9	da -9 a -10 m	1	631	312
10	da -10 a -11 m	1	669	321
11	da -11 a -12 m	1	706	329
12	da -12 a -13 m	1	744	337
13	da -13 a -14 m	1	781	346
14	da -14 a -15 m	1	819	363
15	da -15 a -16 m	1	856	388
16	da -16 a -17 m	1	894	413
17	da -17 a -18 m	1	931	438
18	da -18 a -19 m	1	958	463
19	da -19 a -20 m	1	973	488
20	da -20 a -21 m	1	1034	513
21	da -21 a -22 m	1	1141	538
22	da -22 a -23 m	1	1247	551
23	da -23 a -24 m	1	1317	553
24	da -24 a -25 m	1	1350	554
25	da -25 a -26 m	1	1383	553
26	da -26 a -27 m	1	1419	541
27	da -27 a -28 m	1	1456	524
28	da -28 a -29 m	1	1494	506
29	da -29 a -30 m	1	1531	489
30	da -30 a -31 m	1	1557	498
31	da -31 a -32 m	1	1570	533
32	da -32 a -33 m	1	1583	556
33	da -33 a -34 m	1	1596	569
34	da -34 a -35 m	1	1609	581
35	da -35 a -36 m	1	1622	594
36	da -36 a -37 m	1	1635	613
37	da -37 a -38 m	1	1648	638
38	da -38 a -39 m	1	1661	663
39	da -39 a -40 m	1	1674	688
40	da -40 a -41 m	1	1690	725
41	da -41 a -42 m	1	1738	775
42	da -42 a -43 m	1	1813	813
43	da -43 a -44 m	1	1900	838
44	da -44 a -45 m	1	2000	869
45	da -45 a -46 m	1	2100	906
46	da -46 a -47 m	1	2188	934
47	da -47 a -48 m	1	2263	953
48	da -48 a -49 m	1	2338	972
49	da -49 a -50 m	1	2413	991

**Tabella dei parametri dinamici medi e Vs,eq  
in corrispondenza del sondaggio S11bis**

Strato	Profondità (m dal p.c.)	Spessore (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Poisson	Young (MPa)	Share (MPa)	Bulk (MPa)	Vseq (da -1 m per H=30 m)
1	da -1 a -2 m	1	16.68	0.28	146.81	57.49	109.62	364
2	da -2 a -3 m	1	16.74	0.25	185.51	74.12	124.37	
3	da -3 a -4 m	1	16.81	0.24	230.71	93.00	148.11	
4	da -4 a -5 m	1	16.89	0.25	271.84	108.75	181.12	
5	da -5 a -6 m	1	16.96	0.27	305.99	120.15	225.07	
6	da -6 a -7 m	1	17.04	0.29	341.47	132.17	273.40	
7	da -7 a -8 m	1	17.11	0.31	378.43	144.81	326.18	
8	da -8 a -9 m	1	17.19	0.32	412.34	155.94	386.30	
9	da -9 a -10 m	1	17.26	0.34	442.29	165.32	454.16	
10	da -10 a -11 m	1	17.34	0.35	472.70	175.01	527.06	
11	da -11 a -12 m	1	17.41	0.36	503.69	185.01	605.06	
12	da -12 a -13 m	1	17.49	0.37	535.34	195.33	688.22	
13	da -13 a -14 m	1	17.56	0.38	567.75	205.98	776.58	
14	da -14 a -15 m	1	17.64	0.38	626.45	227.29	856.44	
15	da -15 a -16 m	1	17.71	0.37	715.30	260.83	925.76	
16	da -16 a -17 m	1	17.79	0.36	810.11	296.82	997.64	
17	da -17 a -18 m	1	17.86	0.36	910.92	335.29	1072.10	
18	da -18 a -19 m	1	17.92	0.35	1013.06	375.81	1109.65	
19	da -19 a -20 m	1	17.95	0.33	1114.33	418.23	1106.72	
20	da -20 a -21 m	1	18.07	0.34	1244.36	465.37	1272.00	
21	da -21 a -22 m	1	18.28	0.36	1405.95	517.95	1641.35	
22	da -22 a -23 m	1	18.49	0.38	1517.50	550.30	2086.54	
23	da -23 a -24 m	1	18.63	0.39	1554.23	557.82	2424.13	
24	da -24 a -25 m	1	18.70	0.40	1575.44	563.19	2591.31	
25	da -25 a -26 m	1	18.77	0.41	1578.76	561.80	2772.77	
26	da -26 a -27 m	1	18.84	0.41	1531.38	541.19	2996.87	
27	da -27 a -28 m	1	18.91	0.43	1450.73	508.77	3254.86	
28	da -28 a -29 m	1	18.99	0.44	1369.75	477.23	3518.51	
29	da -29 a -30 m	1	19.06	0.44	1289.03	446.56	3787.87	
30	da -30 a -31 m	1	19.11	0.44	1338.97	463.92	3922.47	
31	da -31 a -32 m	1	19.14	0.43	1527.41	532.21	3913.87	
32	da -32 a -33 m	1	19.17	0.43	1662.63	581.54	3931.40	
33	da -33 a -34 m	1	19.19	0.43	1737.75	608.79	3979.20	
34	da -34 a -35 m	1	19.22	0.42	1814.49	636.71	4026.96	
35	da -35 a -36 m	1	19.24	0.42	1892.84	665.28	4074.70	
36	da -36 a -37 m	1	19.27	0.42	2010.96	708.92	4103.20	
37	da -37 a -38 m	1	19.30	0.41	2171.61	769.01	4110.63	
38	da -38 a -39 m	1	19.32	0.41	2337.44	831.63	4115.55	
39	da -39 a -40 m	1	19.35	0.40	2508.27	896.78	4117.94	
40	da -40 a -41 m	1	19.38	0.39	2771.63	998.98	4096.21	
41	da -41 a -42 m	1	19.48	0.38	3156.45	1147.12	4236.24	
42	da -42 a -43 m	1	19.63	0.37	3492.06	1270.53	4628.53	
43	da -43 a -44 m	1	19.80	0.38	3757.43	1361.95	5193.77	
44	da -44 a -45 m	1	20.00	0.38	4096.61	1480.29	5871.72	
45	da -45 a -46 m	1	20.20	0.39	4508.52	1626.95	6566.83	
46	da -46 a -47 m	1	20.38	0.39	4844.15	1744.49	7235.41	
47	da -47 a -48 m	1	20.53	0.39	5091.17	1828.57	7865.49	
48	da -48 a -49 m	1	20.68	0.40	5345.08	1915.11	8524.90	
49	da -49 a -50 m	1	20.83	0.40	5606.01	2004.15	9214.11	

TAVOLA

3

OGGETTO:

Indagine geofisiche

RIFRAZIONE  
TOMOGRAFICA

Onde P-SH  
Moduli Dinamici

-  
Vs eq

PROGETTO:

PD Quadruplicamento  
Linea  
Tortona-Voghera



Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani  
E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara



**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

**VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA  
QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA**

RELAZIONE  
INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 69 IG	GE0001 001	A	59 di 60

**6. ALLEGATO N.2 – Risultati indagini M.A.S.W.**



**Ubicazione dell'indagine**



**Fase di acquisizione dati**



**OGGETTO:**

Indagine geofisiche

M.A.S.W

**PROGETTO:**

PD Quadruplicamento ferroviario  
Tortona-Voghera



**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente srl**

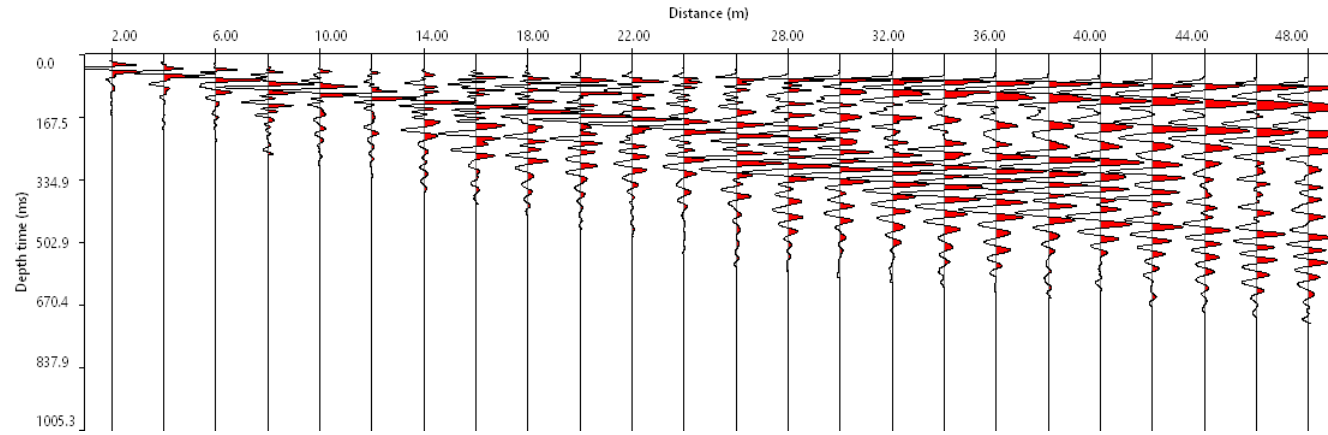
**ELAB** G. Luciani

**VERIFICA** A. Morelli

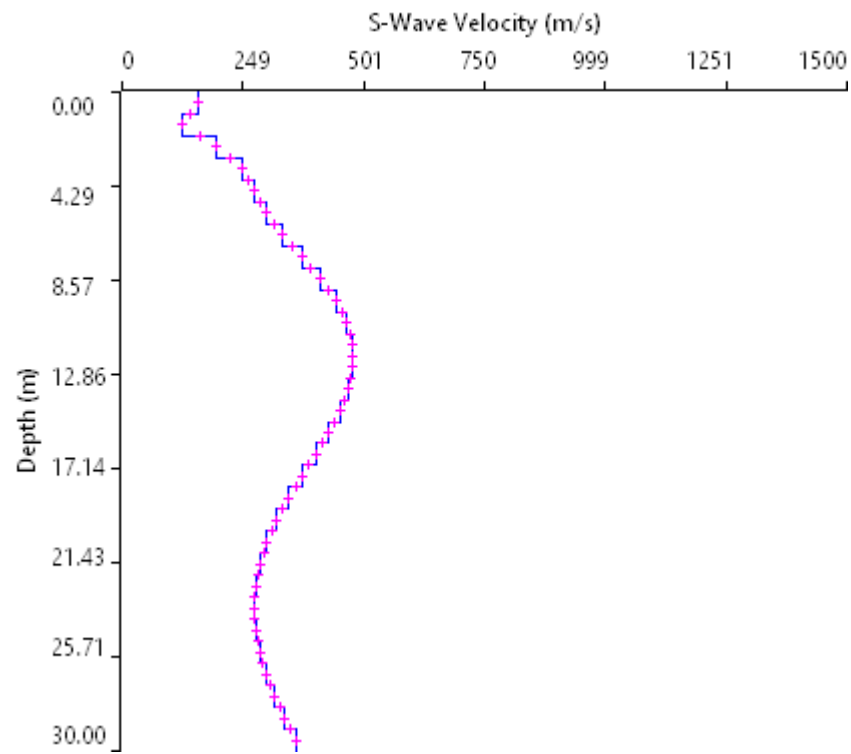
**APPROV.** P. Chiara



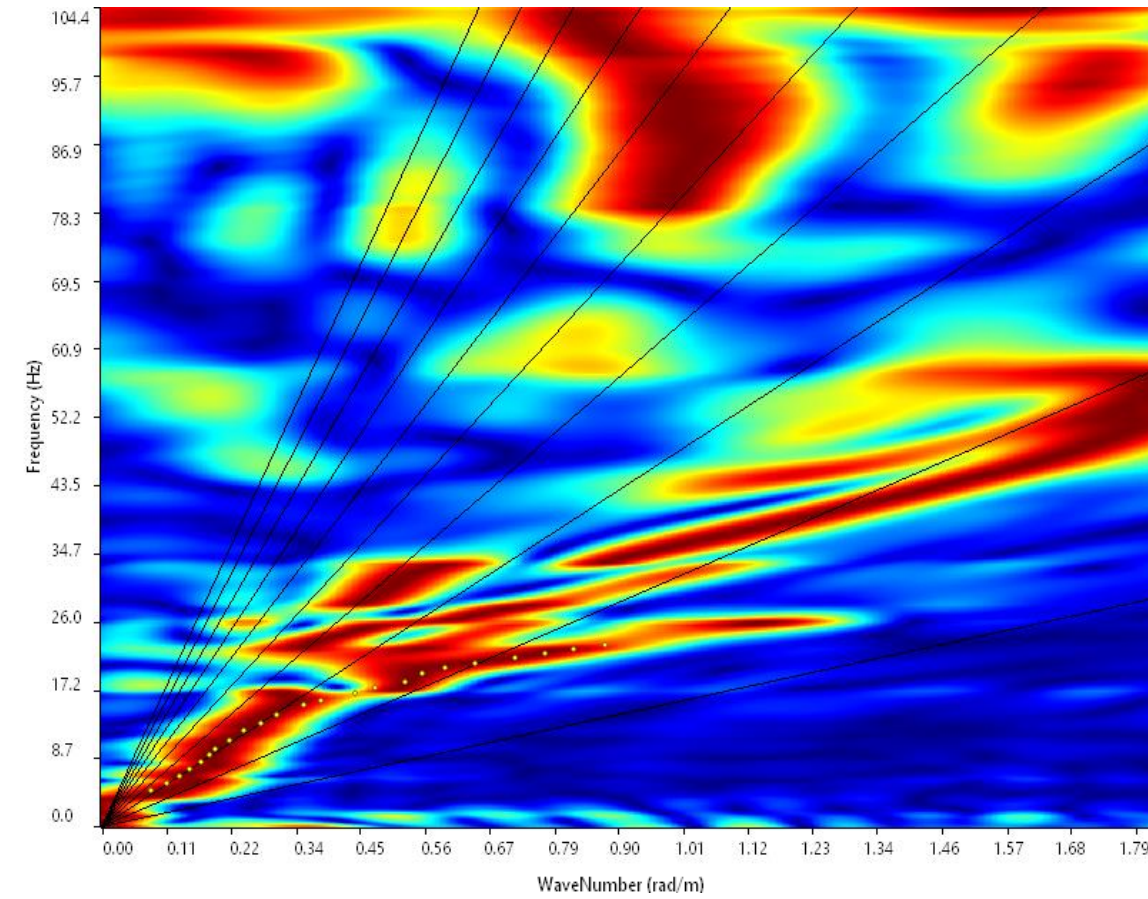
# INDAGINE SISMICA MASW 1



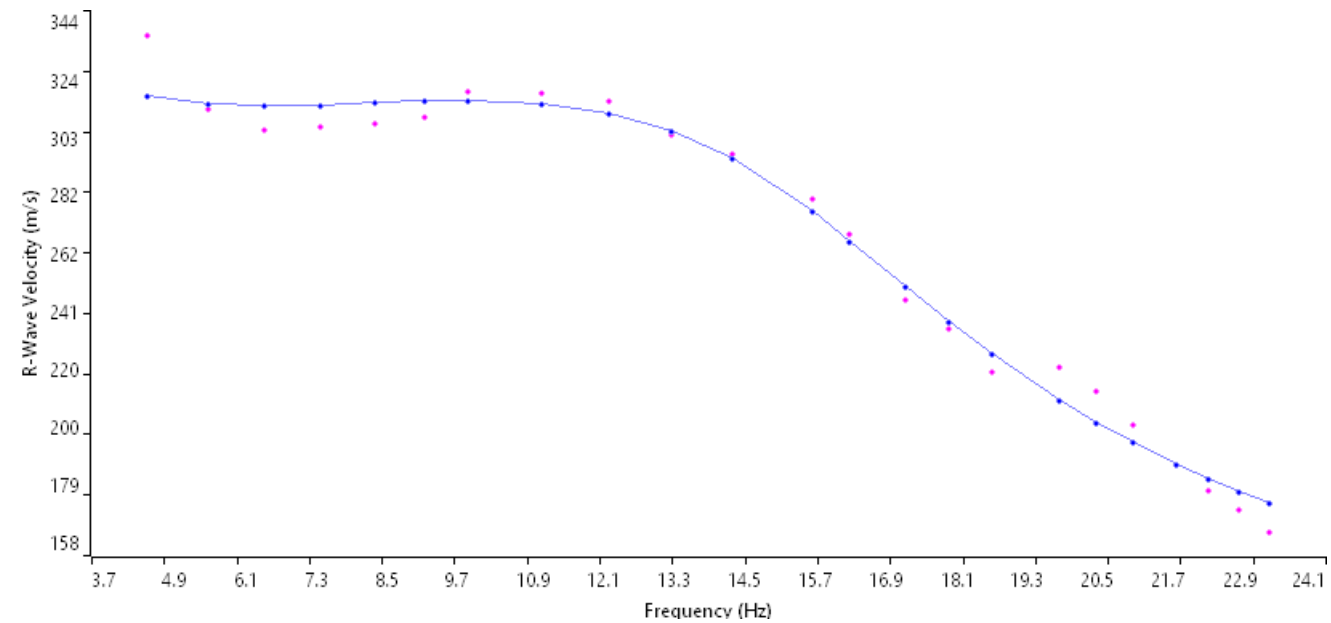
Sismogramma medio utilizzato



Profilo velocità onde S



Spettro F-K



Accoppiamento curve di dispersione

TAVOLA

2

**OGGETTO:**  
Indagine geofisiche

M.A.S.W

**PROGETTO:**  
PD Quadruplicamento  
ferroviario  
Tortona-Voghera



**Per la**  
**SOING Strutture e**  
**Ambiente srl**

**ELAB** G. Luciani

**VERIFICA** A. Morelli

**APPROV.** P. Chiara



Ubicazione dell'indagine



Fase di acquisizione dati



**OGGETTO:**  
Indagine geofisiche  
M.A.S.W

**PROGETTO:**  
PD Quadruplicamento  
ferroviario  
Tortona-Voghera



**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente srl**

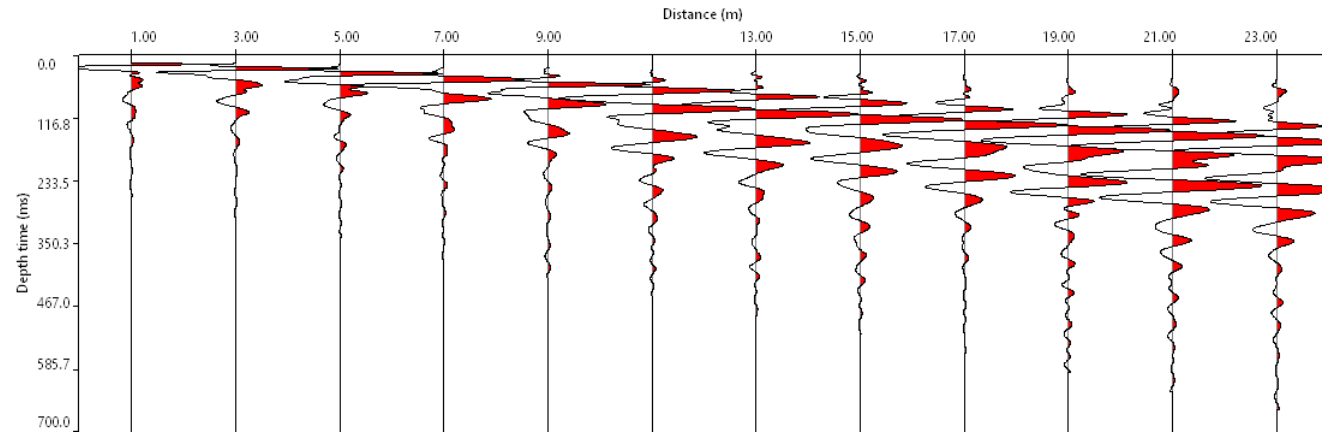
**ELAB** G. Luciani

**VERIFICA** A. Morelli

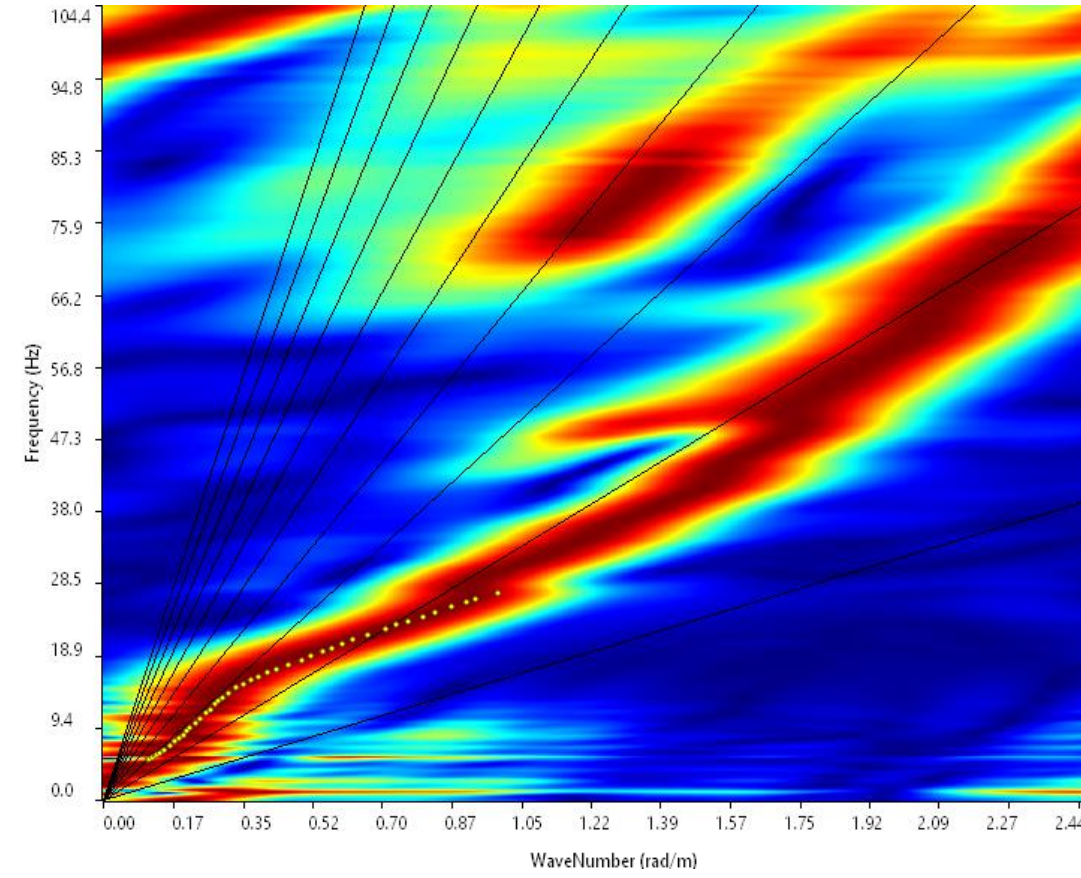
**APPROV.** P. Chiara



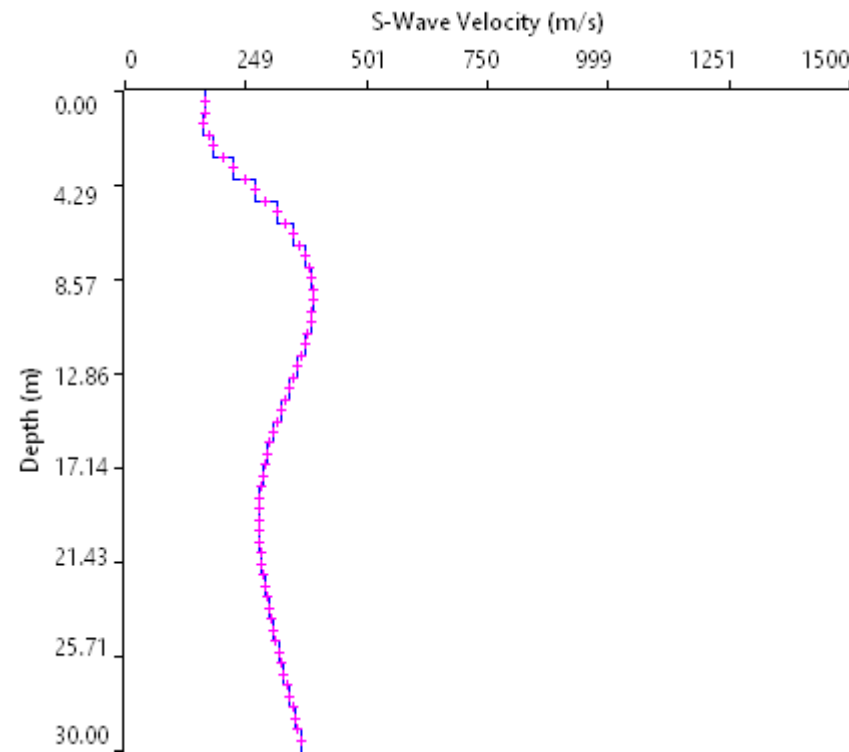
# INDAGINE SISMICA MASW 2



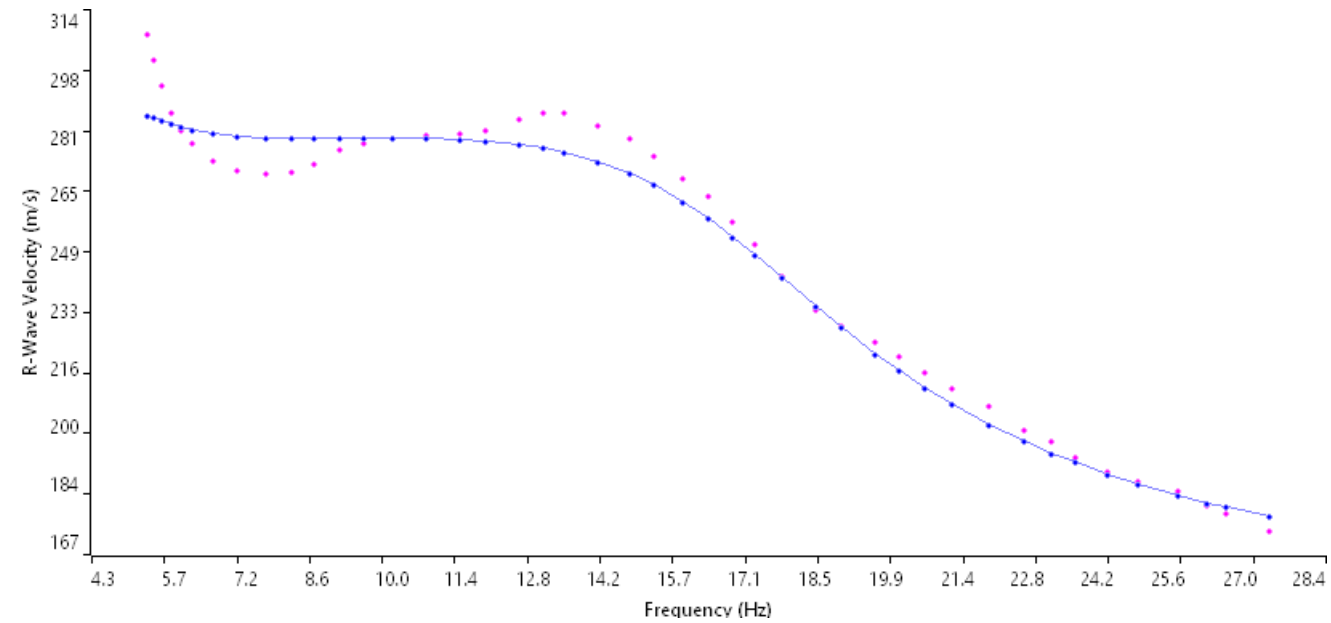
Sismogramma medio utilizzato



Spettro F-K



Profilo velocità onde S



Accoppiamento curve di dispersione

TAVOLA

4

**OGGETTO:**  
Indagine geofisiche

M.A.S.W

**PROGETTO:**  
PD Quadruplicamento  
ferroviario  
Tortona-Voghera



**Per la**  
**SOING Strutture e**  
**Ambiente srl**

**ELAB** G. Luciani

**VERIFICA** A. Morelli

**APPROV.** P. Chiara



**Ubicazione dell'indagine**



**Fase di acquisizione dati**



**OGGETTO:**  
Indagine geofisiche

M.A.S.W

**PROGETTO:**  
PD Quadruplicamento  
ferroviario  
Tortona-Voghera



**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente srl**

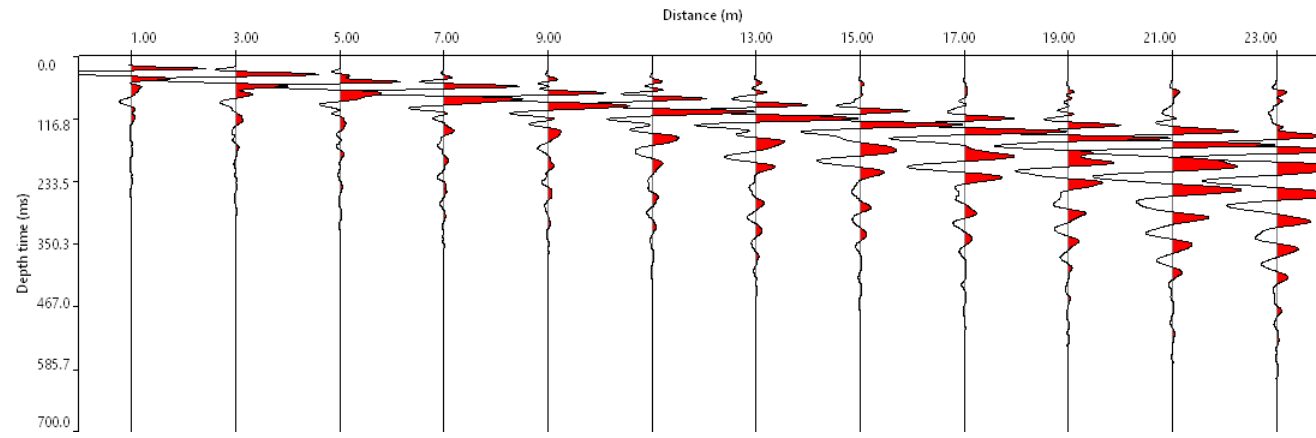
**ELAB** G. Luciani

**VERIFICA** A. Morelli

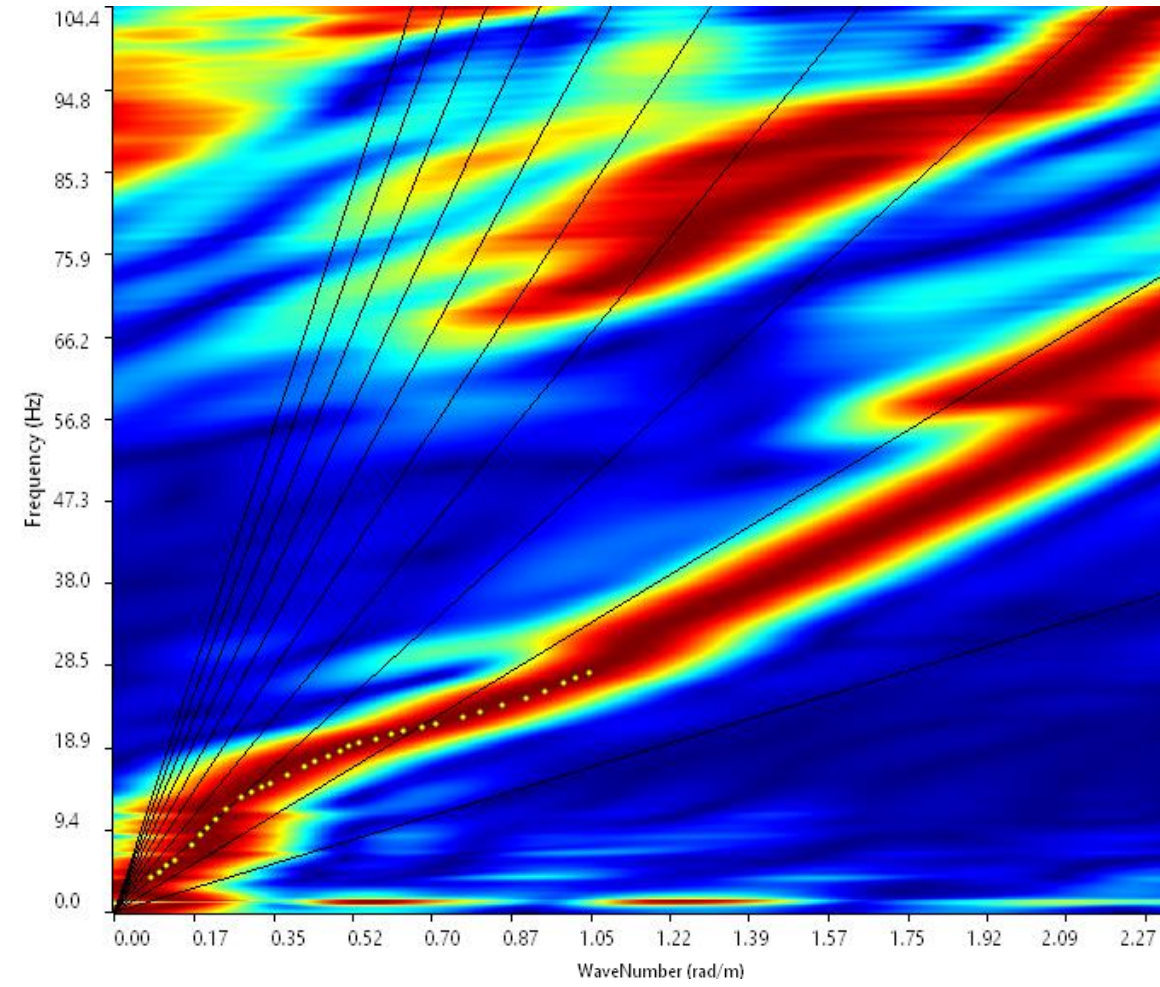
**APPROV.** P. Chiara



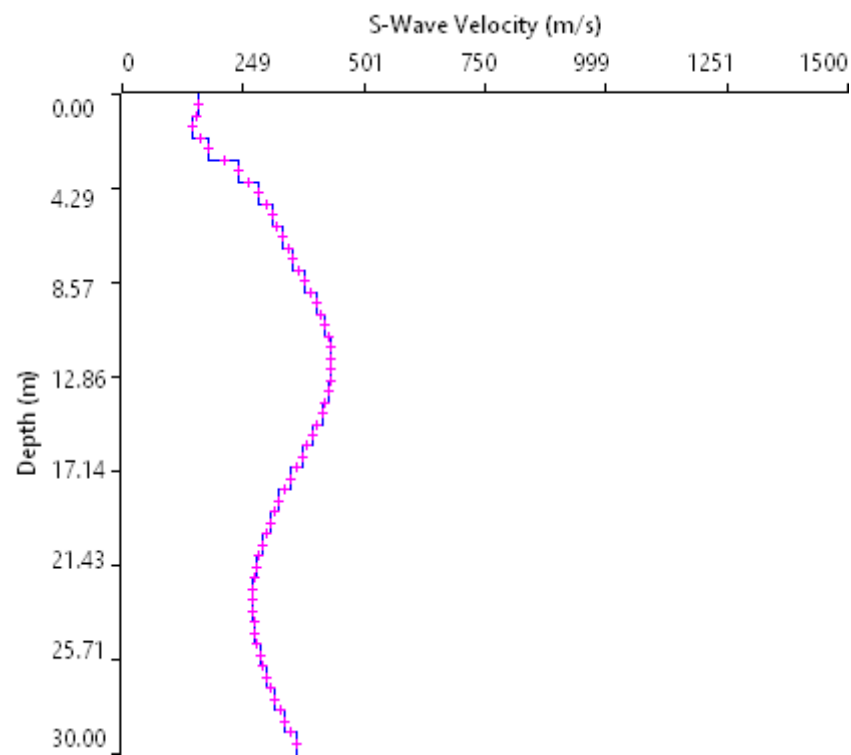
# INDAGINE SISMICA MASW 3



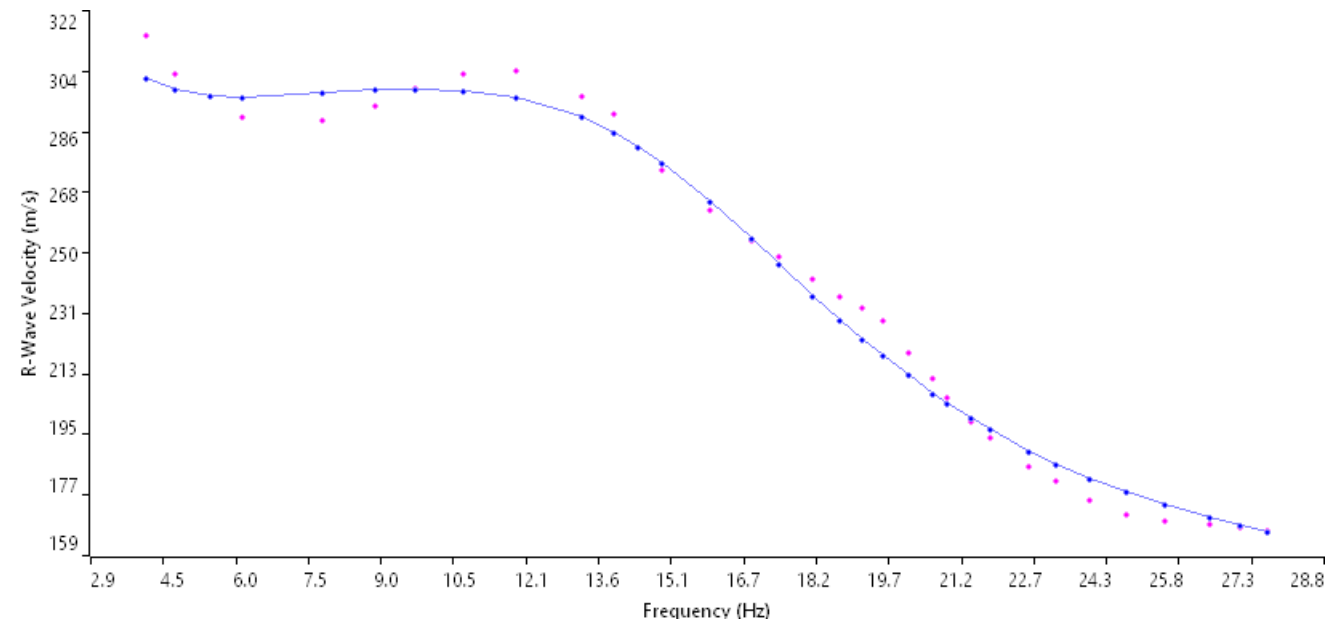
Sismogramma medio utilizzato



Spettro F-K



Profilo velocità onde S



Accoppiamento curve di dispersione

TAVOLA

6

**OGGETTO:**  
Indagine geofisiche

M.A.S.W

**PROGETTO:**  
PD Quadruplicamento  
ferroviario  
Tortona-Voghera



**Per la**  
**SOING Strutture e**  
**Ambiente srl**

**ELAB** G. Luciani

**VERIFICA** A. Morelli

**APPROV.** P. Chiara



**Ubicazione dell'indagine**



**Fase di acquisizione dati**



**OGGETTO:**  
Indagine geofisiche

M.A.S.W

**PROGETTO:**  
PD Quadruplicamento  
ferroviario  
Tortona-Voghera



**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente srl**

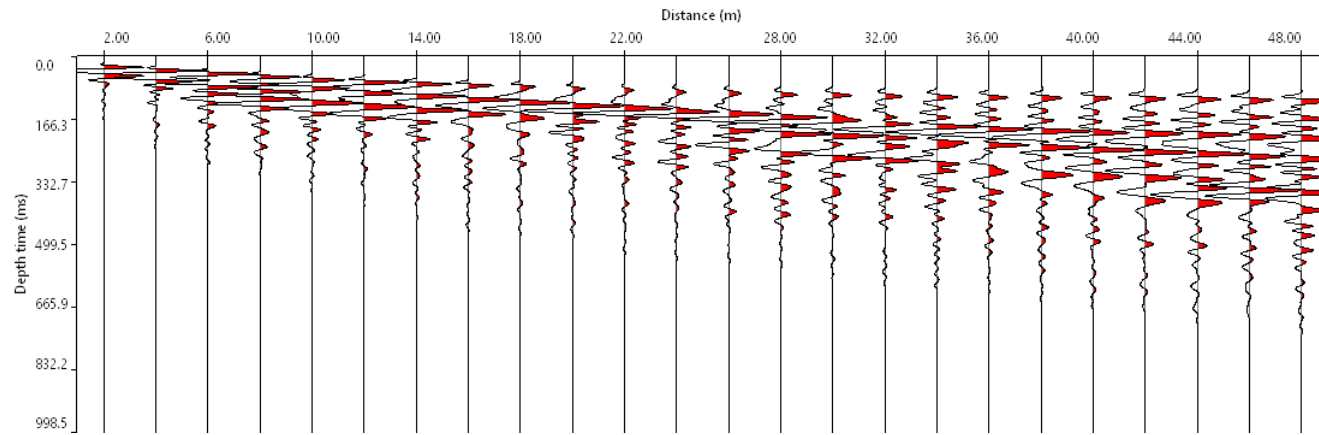
**ELAB** G. Luciani

**VERIFICA** A. Morelli

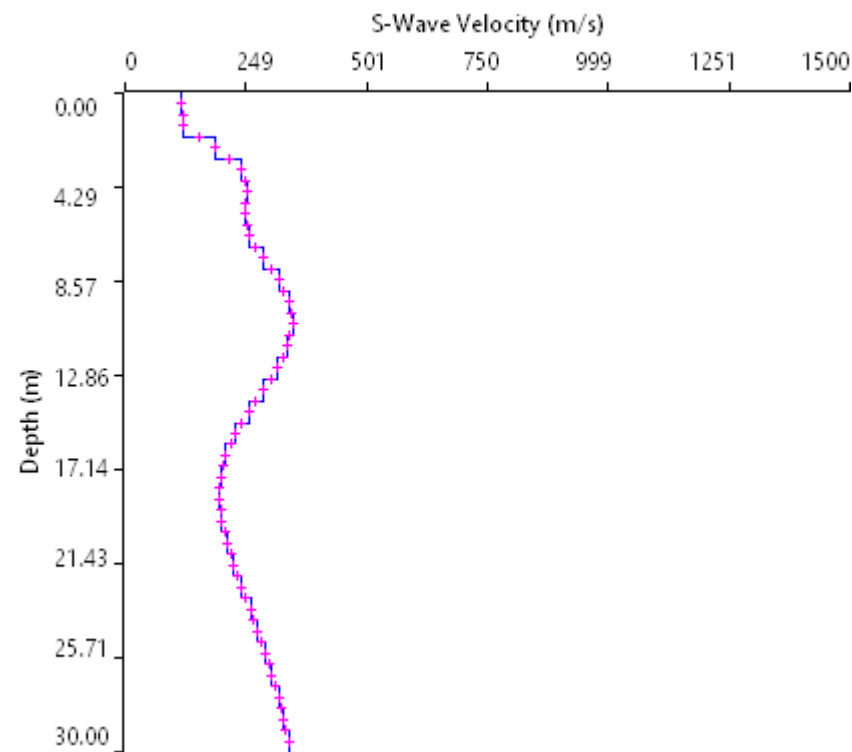
**APPROV.** P. Chiara



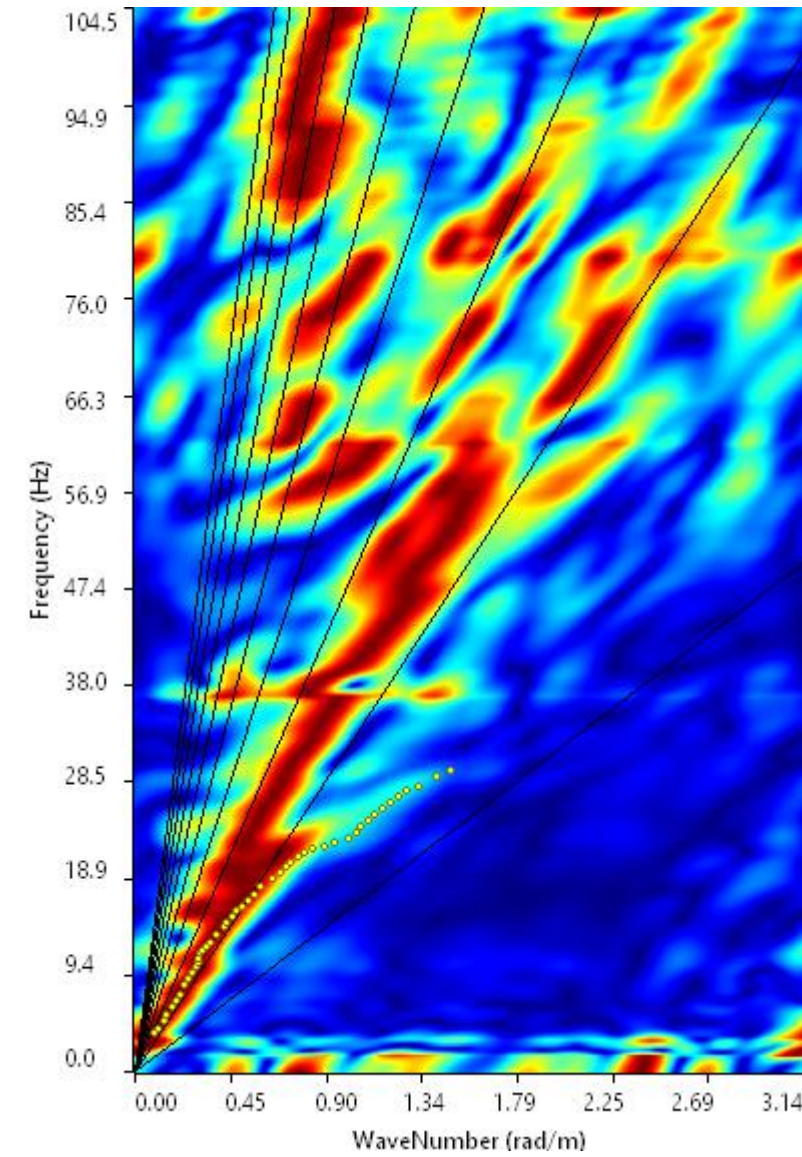
# INDAGINE SISMICA MASW 4



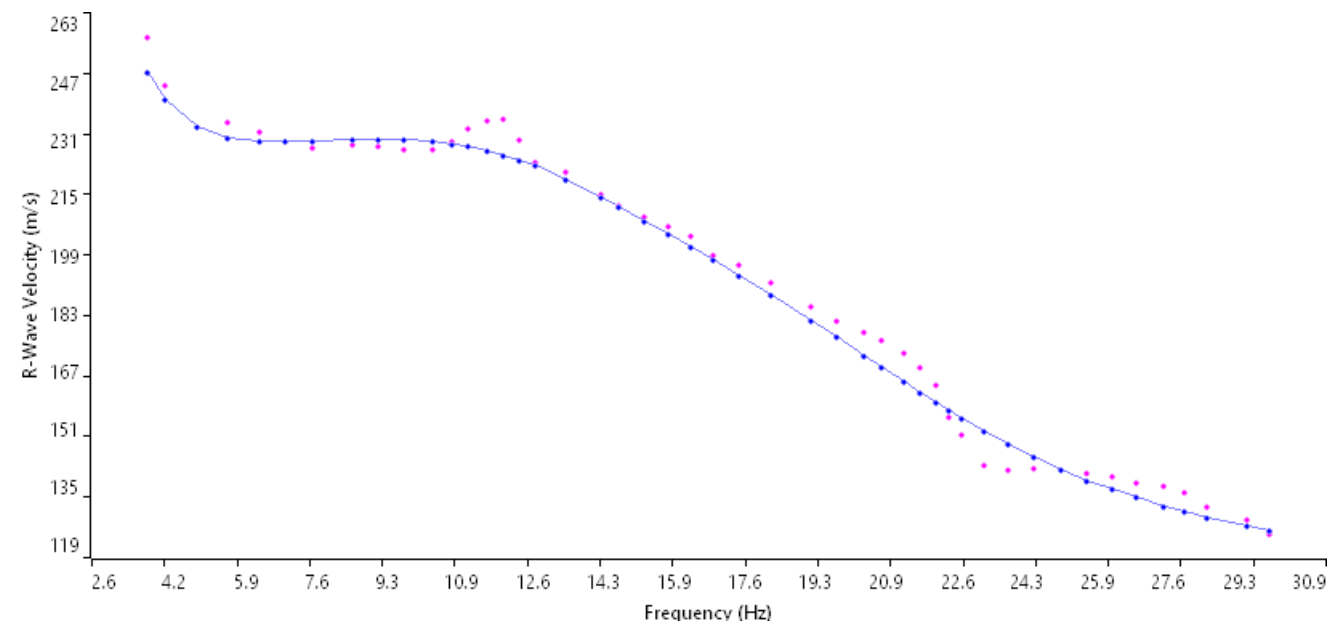
Sismogramma medio utilizzato



Profilo velocità onde S



Spettro F-K



Accoppiamento curve di dispersione

TAVOLA

8

**OGGETTO:**  
Indagine geofisiche

M.A.S.W

**PROGETTO:**  
PD Quadruplicamento  
ferroviario  
Tortona-Voghera



**Per la**  
**SOING Strutture e**  
**Ambiente srl**

**ELAB** G. Luciani

**VERIFICA** A. Morelli

**APPROV.** P. Chiara



**Ubicazione dell'indagine**



**Fase di acquisizione dati**



**OGGETTO:**  
Indagine geofisiche

M.A.S.W

**PROGETTO:**  
PD Quadruplicamento  
ferroviario  
Tortona-Voghera



**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente srl**

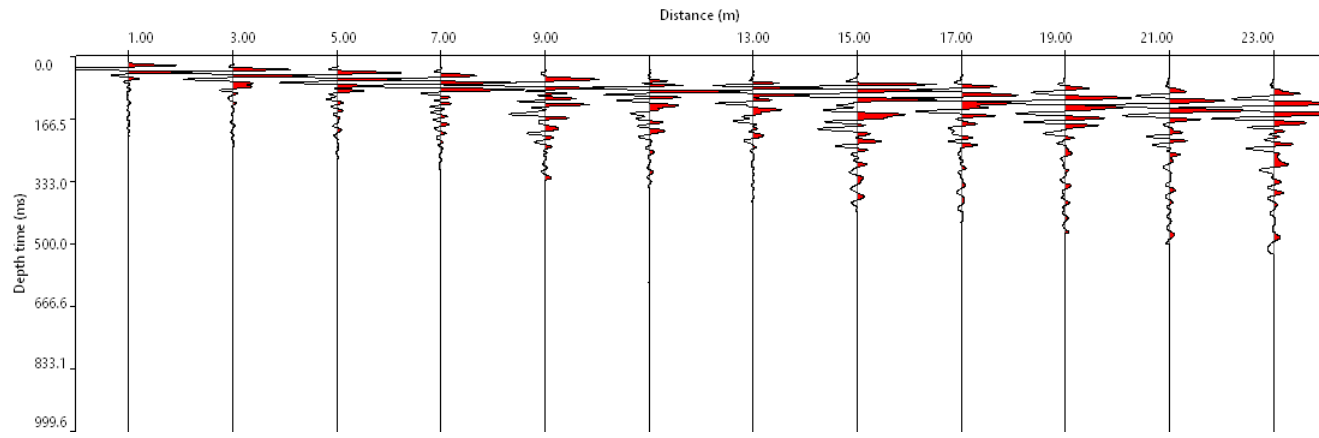
**ELAB** G. Luciani

**VERIFICA** A. Morelli

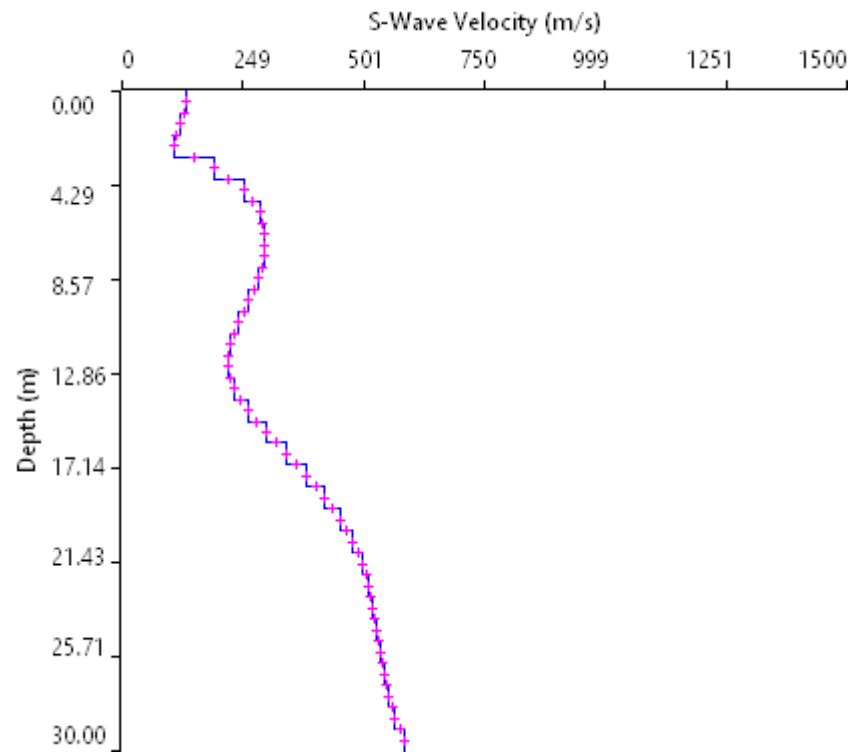
**APPROV.** P. Chiara



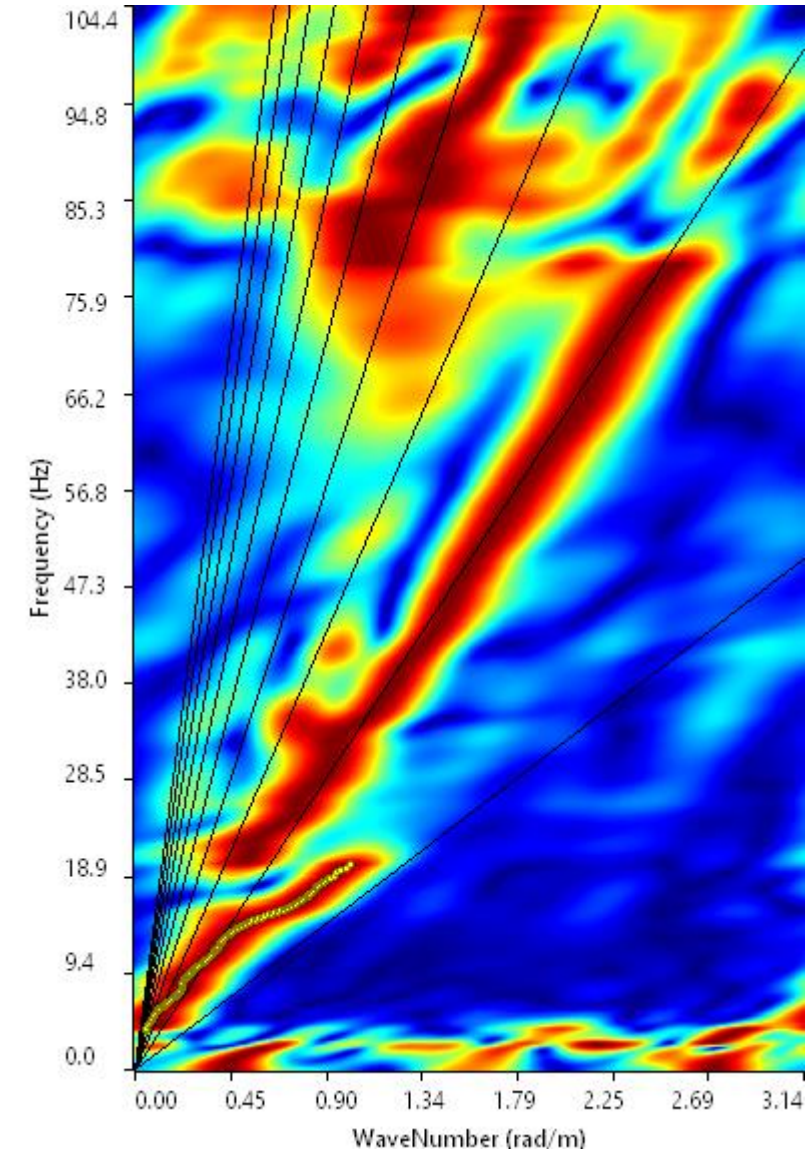
# INDAGINE SISMICA MASW 5



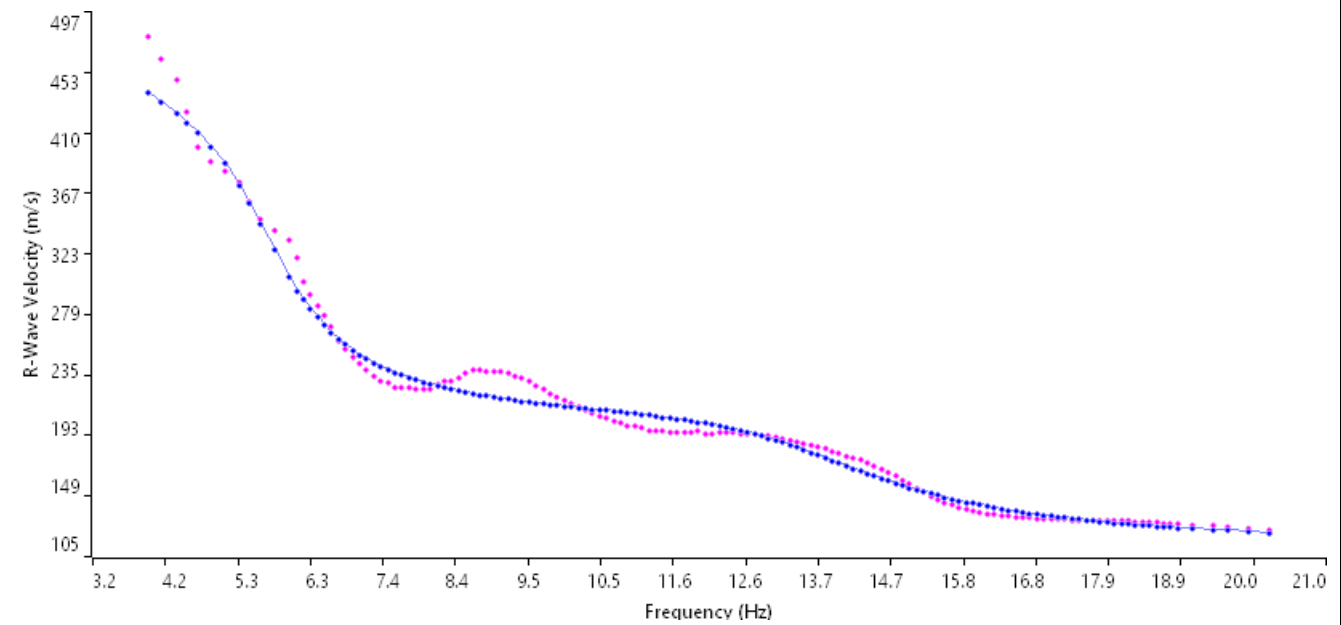
Sismogramma medio utilizzato



Profilo velocità onde S



Spettro F-K



Accoppiamento curve di dispersione

TAVOLA  
10

**OGGETTO:**  
Indagine geofisiche

M.A.S.W

**PROGETTO:**  
PD Quadruplicamento  
ferroviario  
Tortona-Voghera



**Per la**  
**SOING Strutture e**  
**Ambiente srl**

**ELAB** G. Luciani

**VERIFICA** A. Morelli

**APPROV.** P. Chiara



**Ubicazione dell'indagine**



**Fase di acquisizione dati**



**OGGETTO:**  
Indagine geofisiche

M.A.S.W

**PROGETTO:**  
PD Quadruplicamento  
ferroviario  
Tortona-Voghera



**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente srl**

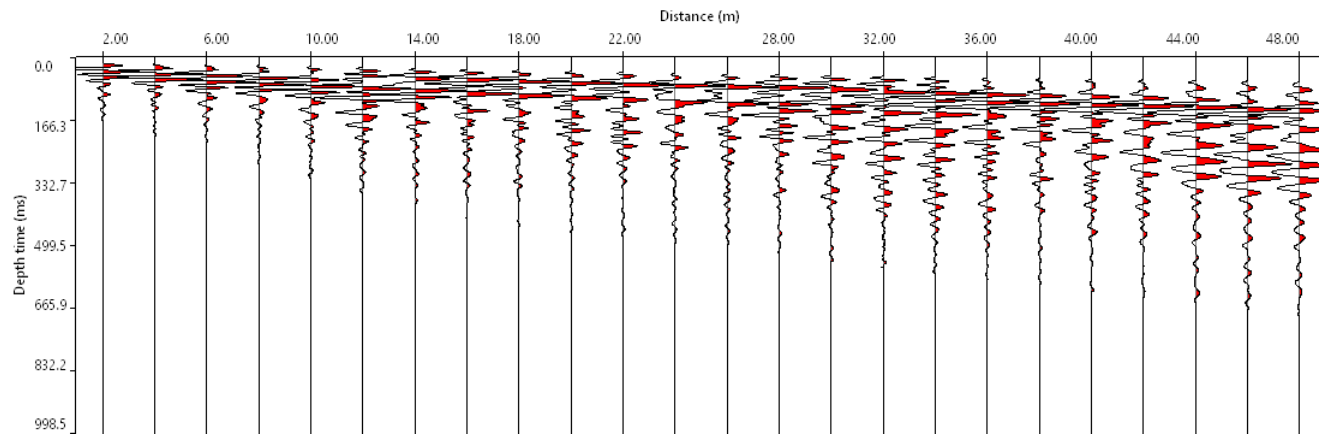
**ELAB** G. Luciani

**VERIFICA** A. Morelli

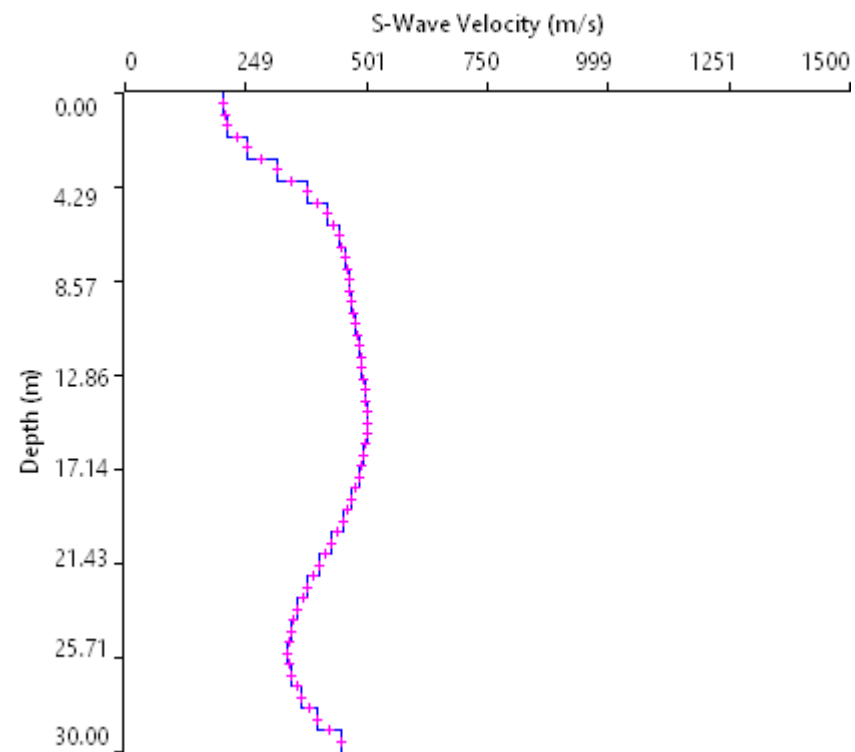
**APPROV.** P. Chiara



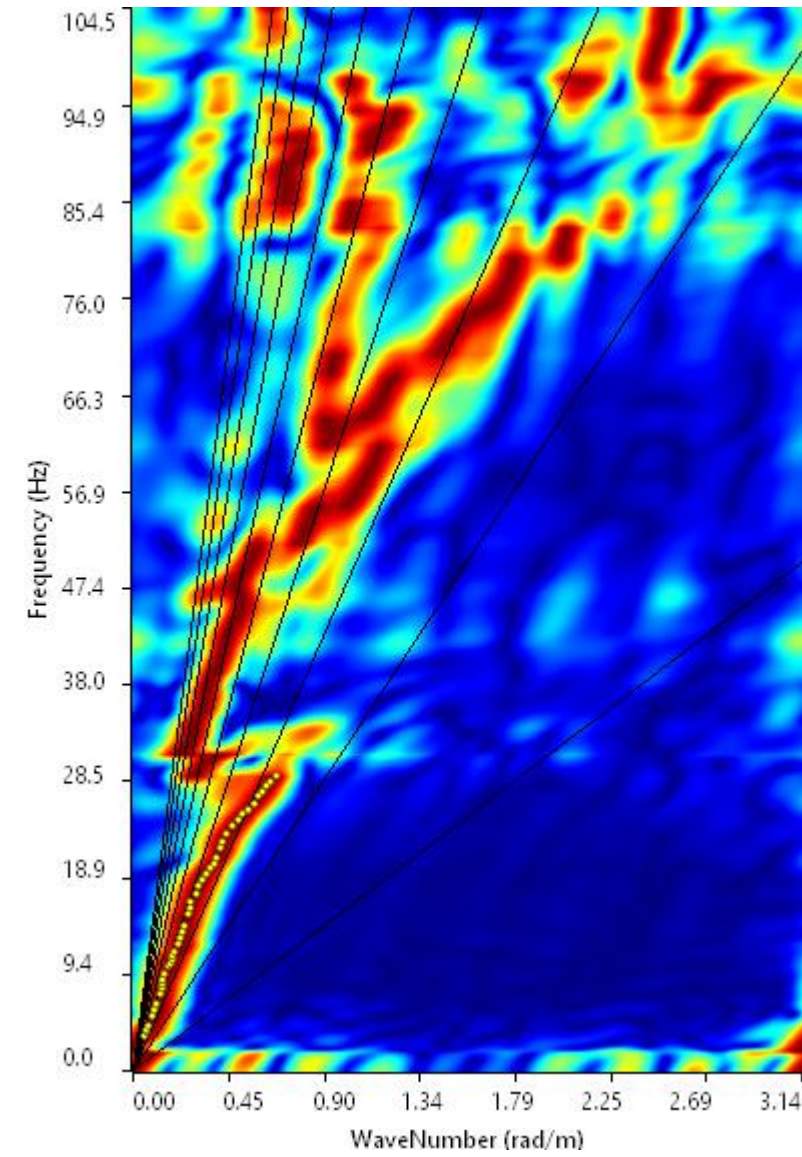
# INDAGINE SISMICA MASW 6



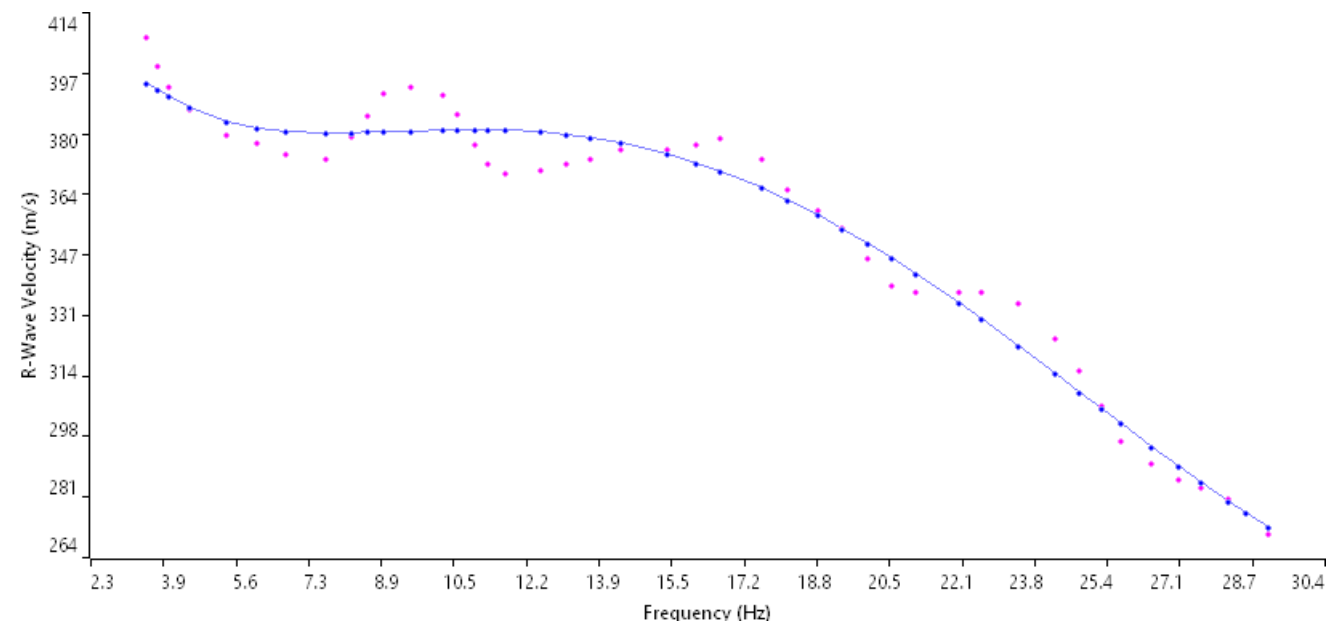
Sismogramma medio utilizzato



Profilo velocità onde S



Spettro F-K



Accoppiamento curve di dispersione

TAVOLA

12

**OGGETTO:**  
Indagine geofisiche

M.A.S.W

**PROGETTO:**  
PD Quadruplicamento  
ferroviario  
Tortona-Voghera



**Per la**  
**SOING Strutture e**  
**Ambiente srl**

**ELAB** G. Luciani

**VERIFICA** A. Morelli

**APPROV.** P. Chiara



Ubicazione dell'indagine



Fase di acquisizione dati



**OGGETTO:**  
Indagine geofisiche

M.A.S.W

**PROGETTO:**  
PD Quadruplicamento  
ferroviario  
Tortona-Voghera



**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente srl**

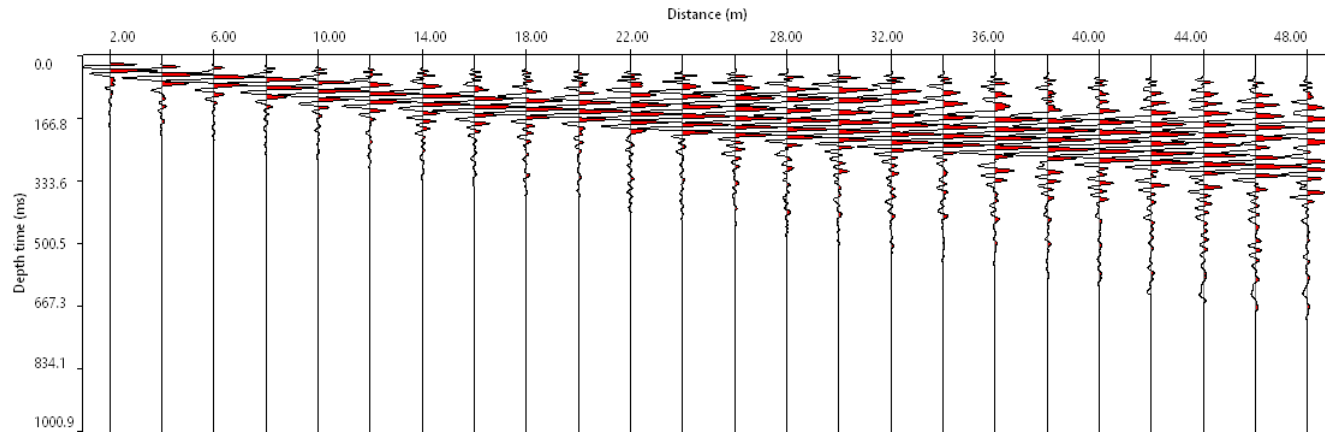
**ELAB** G. Luciani

**VERIFICA** A. Morelli

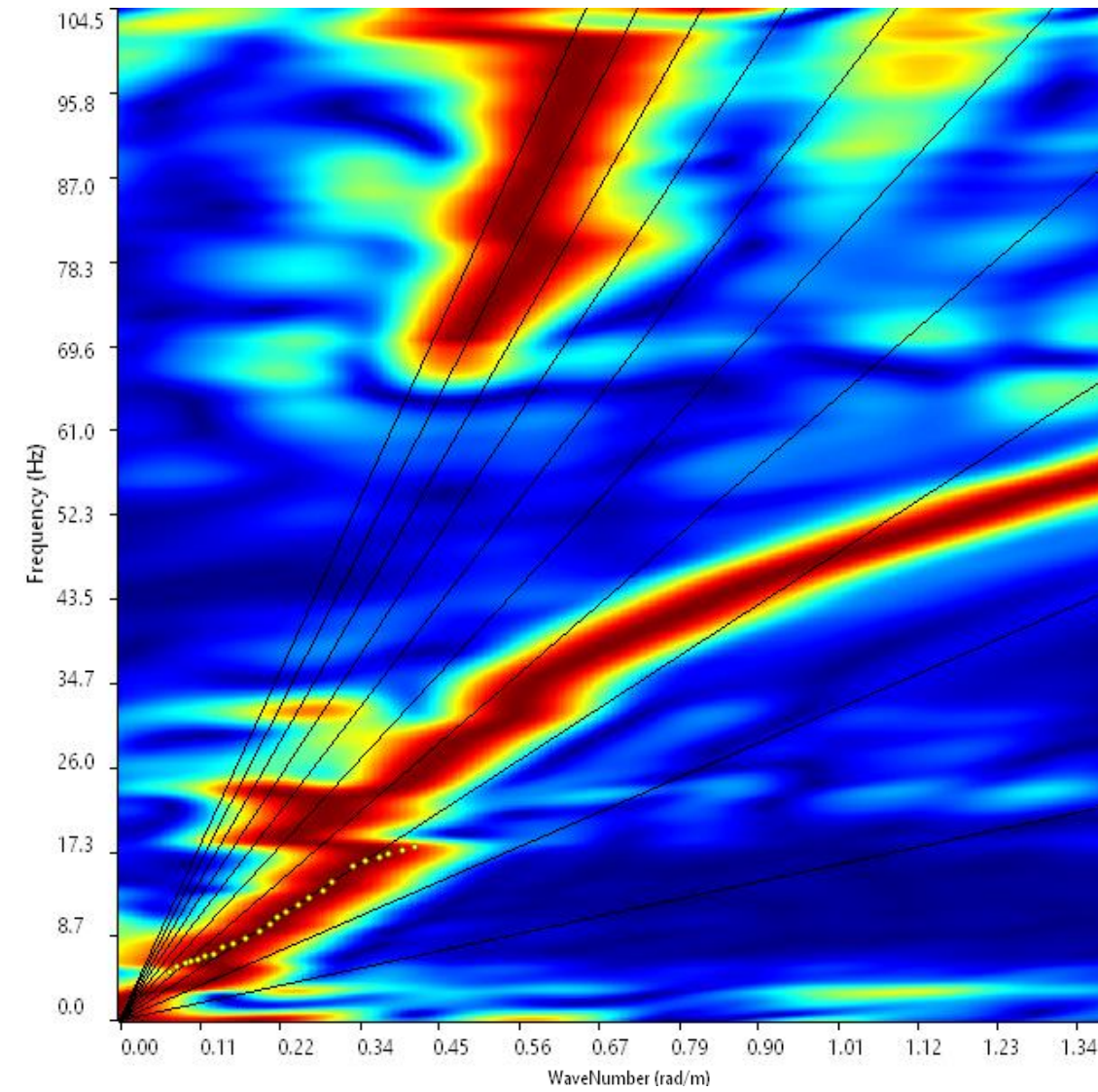
**APPROV.** P. Chiara



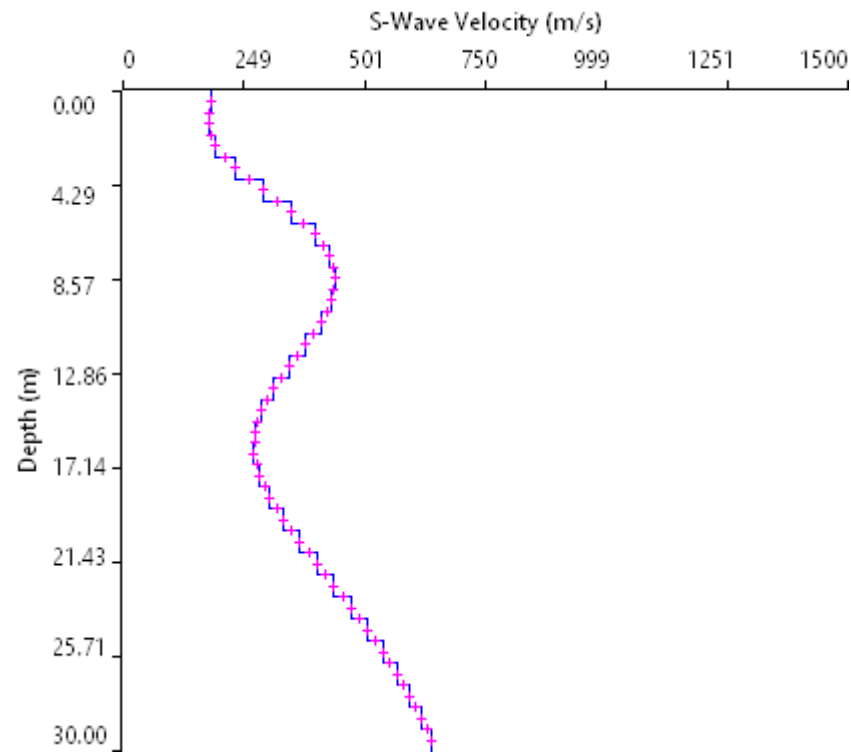
# INDAGINE SISMICA MASW 7



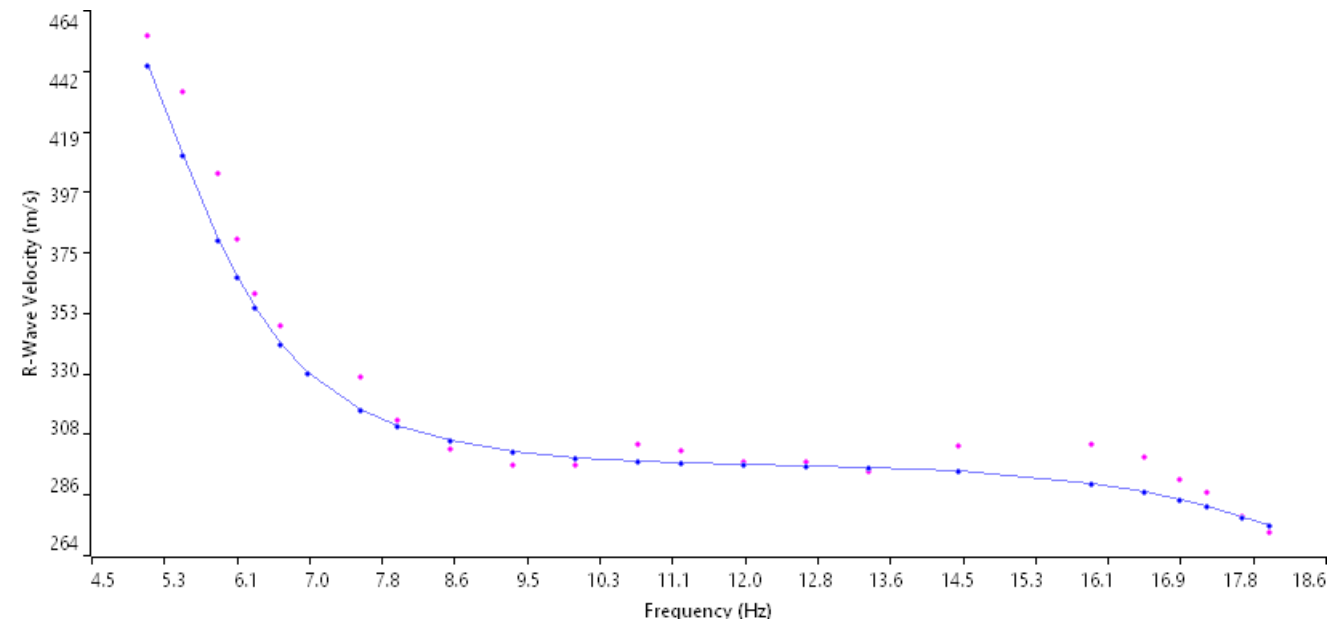
Sismogramma medio utilizzato



Spettro F-K



Profilo velocità onde S



Accoppiamento curve di dispersione

TAVOLA

14

**OGGETTO:**  
Indagine geofisiche

M.A.S.W

**PROGETTO:**  
PD Quadruplicamento  
ferroviario  
Tortona-Voghera



**Per la**  
**SOING Strutture e**  
**Ambiente srl**

**ELAB** G. Luciani

**VERIFICA** A. Morelli

**APPROV.** P. Chiara



Ubicazione dell'indagine



Fase di acquisizione dati



**OGGETTO:**  
Indagine geofisiche

M.A.S.W

**PROGETTO:**  
PD Quadruplicamento  
ferroviario  
Tortona-Voghera



**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente srl**

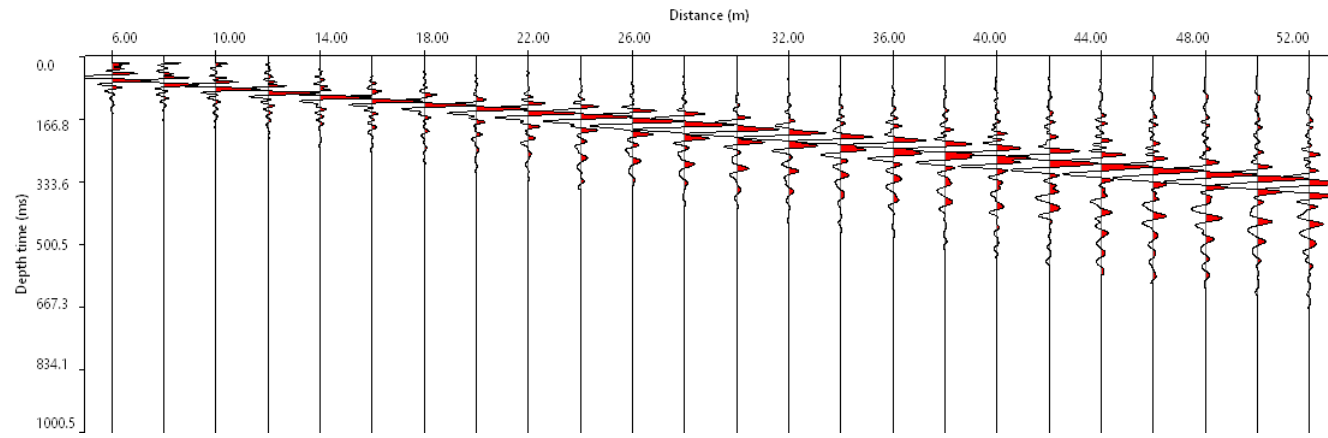
**ELAB** G. Luciani

**VERIFICA** A. Morelli

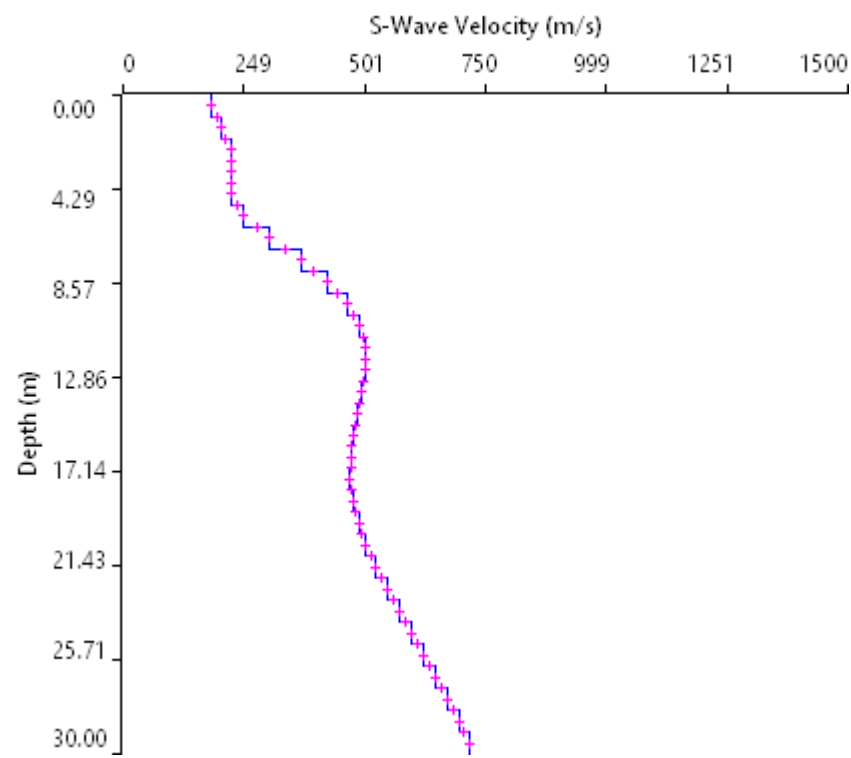
**APPROV.** P. Chiara



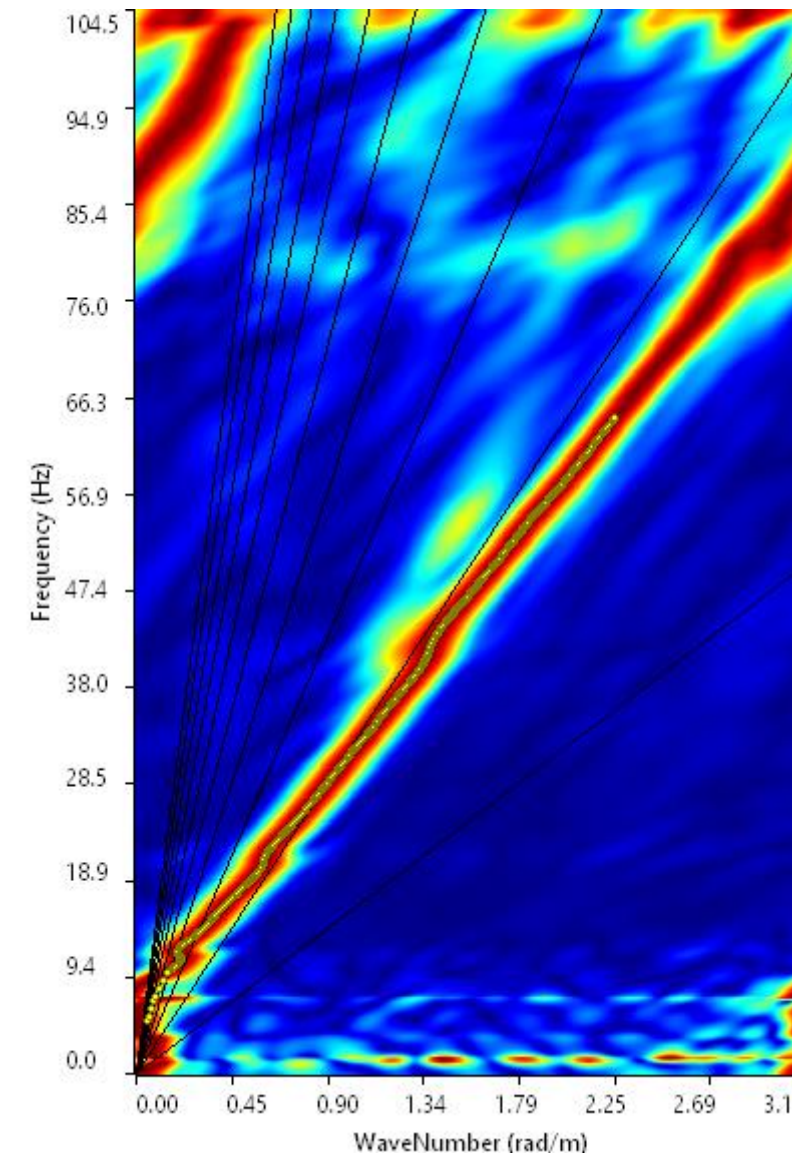
# INDAGINE SISMICA MASW 8



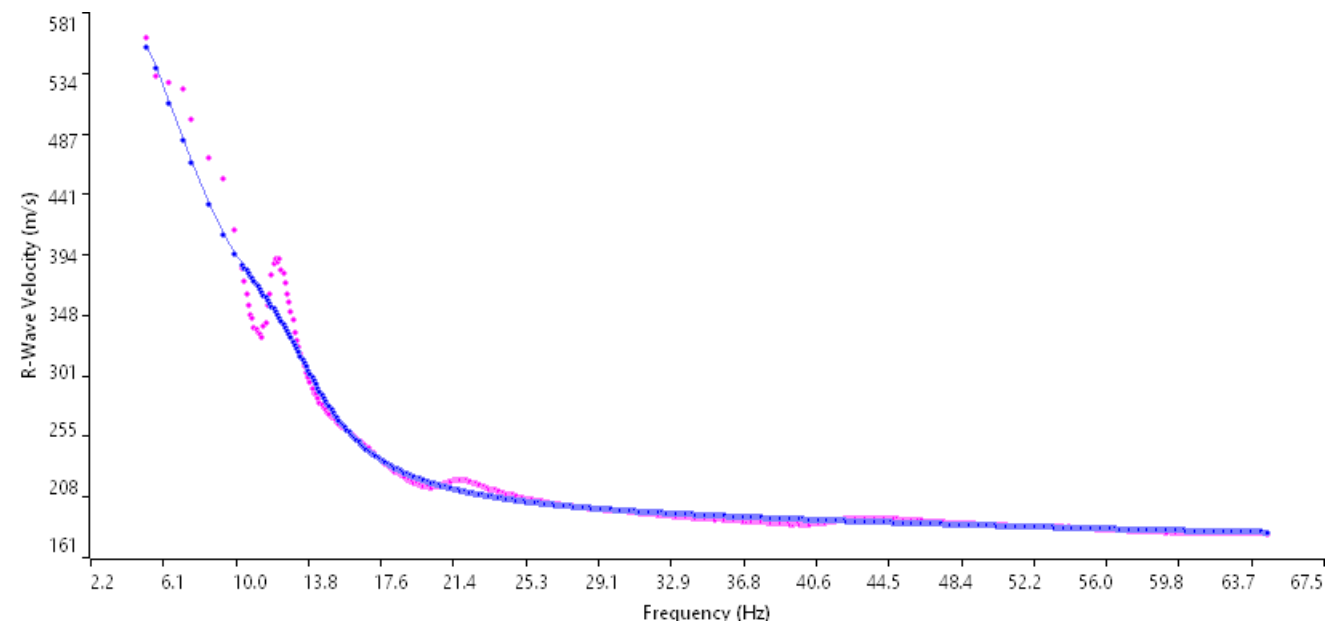
Sismogramma medio utilizzato



Profilo velocità onde S



Spettro F-K



Accoppiamento curve di dispersione

TAVOLA

16

**OGGETTO:**  
Indagine geofisiche

M.A.S.W

**PROGETTO:**  
PD Quadruplicamento  
ferroviario  
Tortona-Voghera



**Per la**  
**SOING Strutture e**  
**Ambiente srl**

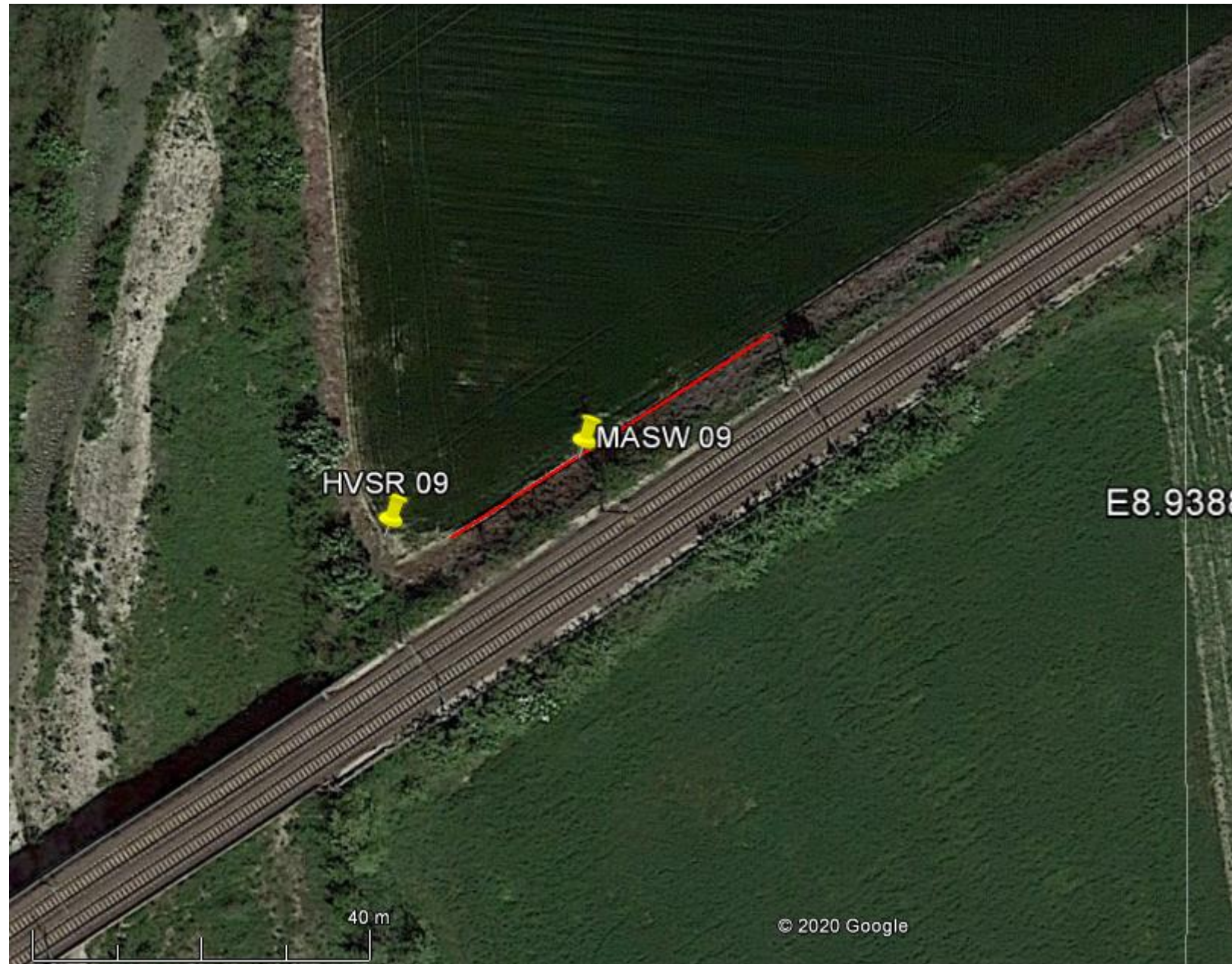
**ELAB** G. Luciani

**VERIFICA** A. Morelli

**APPROV.** P. Chiara



**Ubicazione dell'indagine**



**Fase di acquisizione dati**



**OGGETTO:**  
Indagine geofisiche

M.A.S.W

**PROGETTO:**  
PD Quadruplicamento  
ferroviario  
Tortona-Voghera



**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente srl**

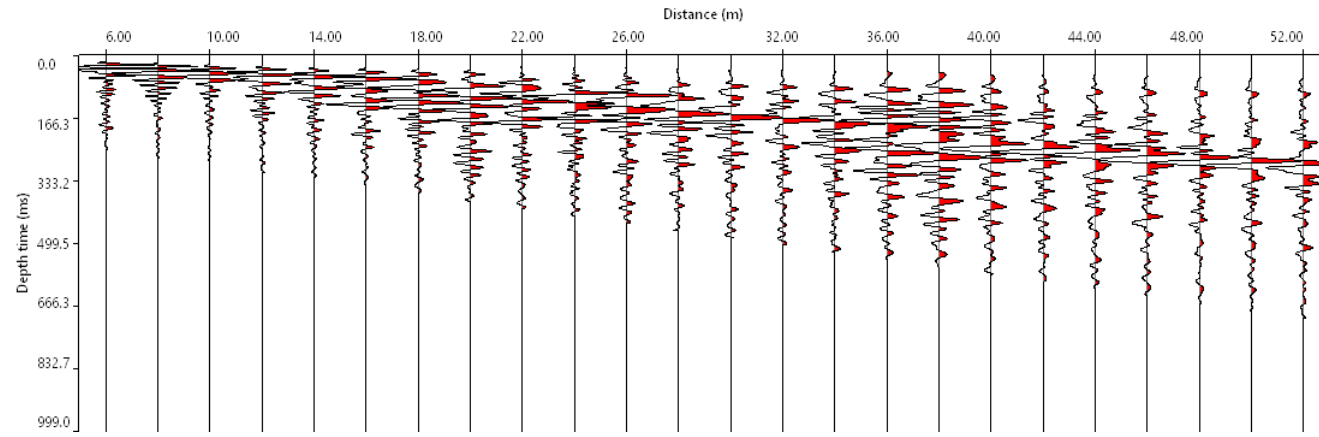
**ELAB** G. Luciani

**VERIFICA** A. Morelli

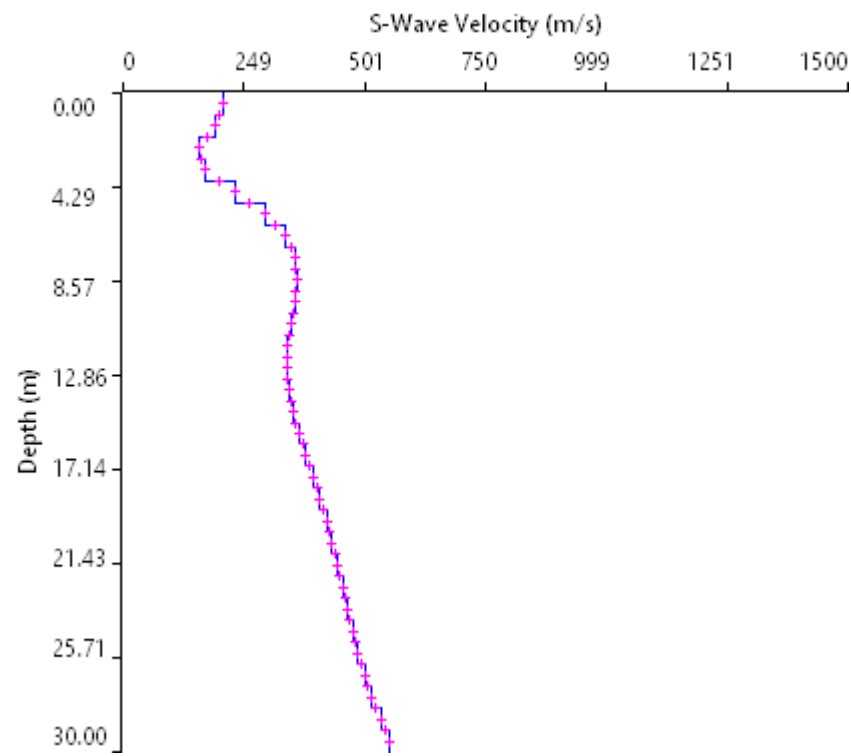
**APPROV.** P. Chiara



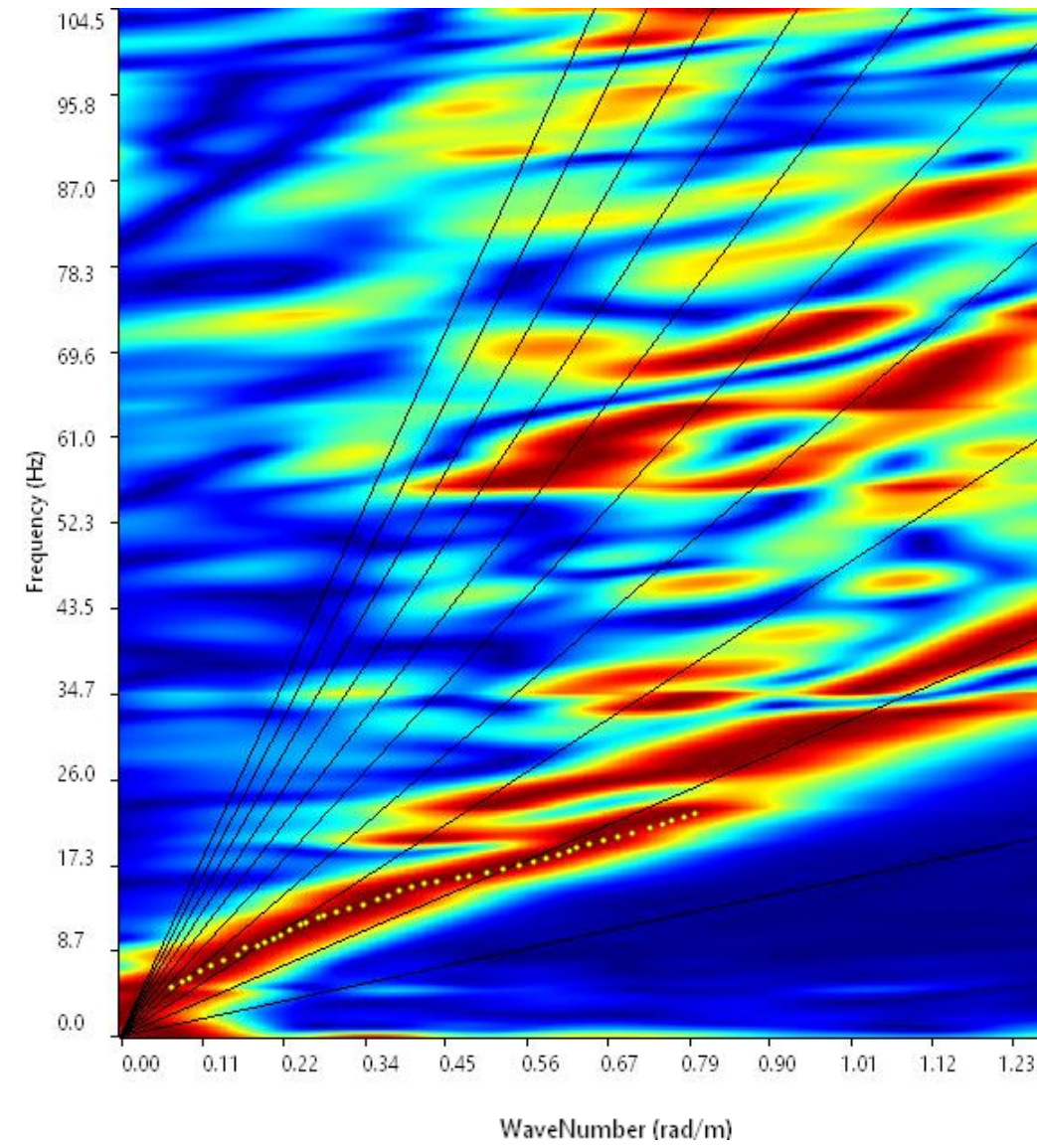
# INDAGINE SISMICA MASW 9



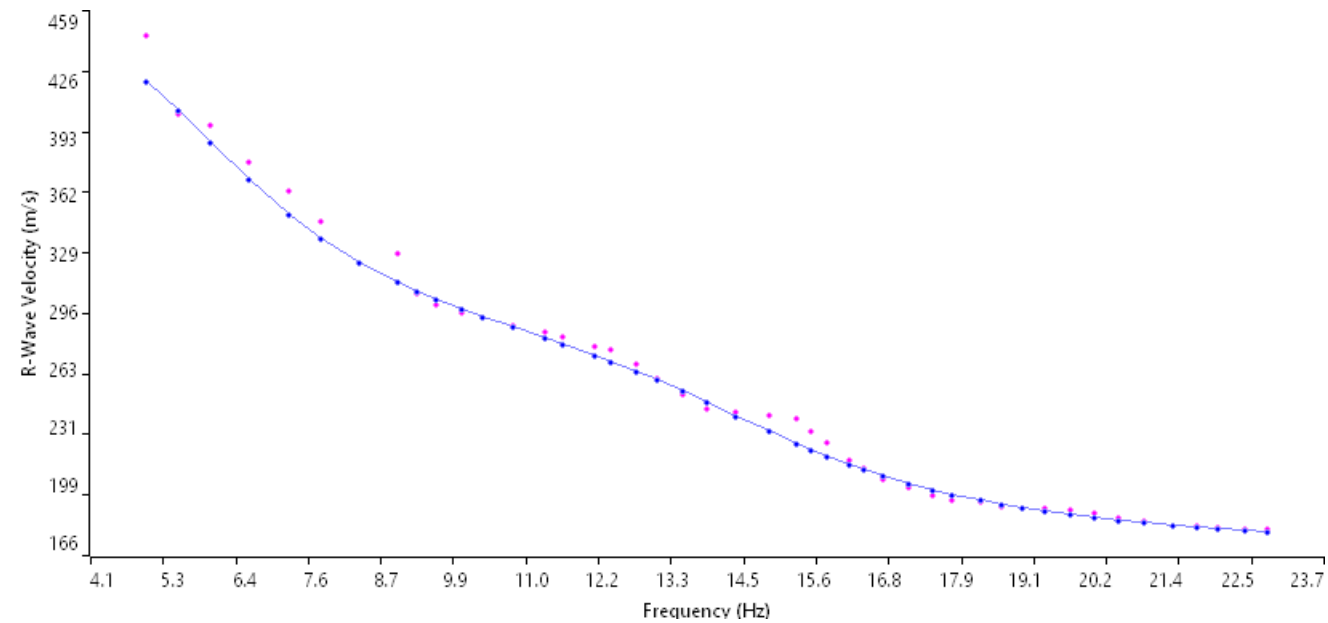
Sismogramma medio utilizzato



Profilo velocità onde S



Spettro F-K



Accoppiamento curve di dispersione

TAVOLA

18

**OGGETTO:**  
Indagine geofisiche

M.A.S.W

**PROGETTO:**  
PD Quadruplicamento  
ferroviario  
Tortona-Voghera



**Per la**  
**SOING Strutture e**  
**Ambiente srl**

**ELAB** G. Luciani

**VERIFICA** A. Morelli

**APPROV.** P. Chiara



Ubicazione dell'indagine



Fase di acquisizione dati



**OGGETTO:**  
Indagine geofisiche

M.A.S.W

**PROGETTO:**  
PD Quadruplicamento  
ferroviario  
Tortona-Voghera



**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente srl**

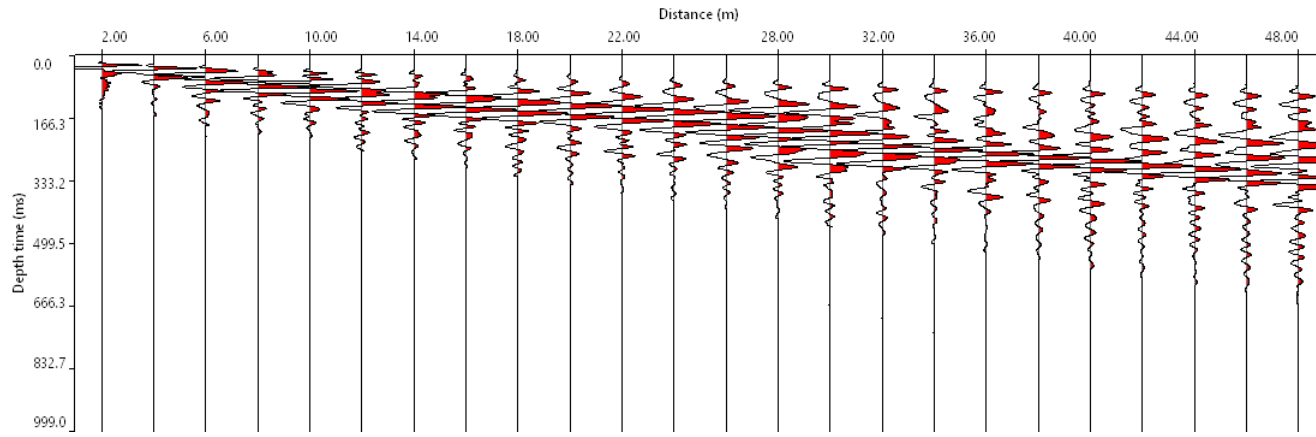
**ELAB** G. Luciani

**VERIFICA** A. Morelli

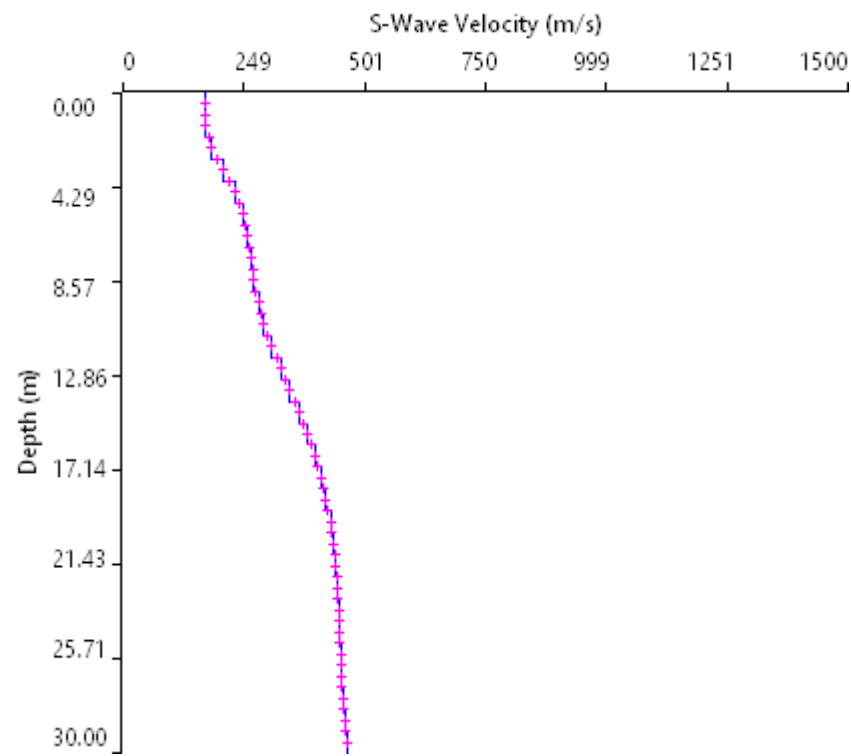
**APPROV.** P. Chiara



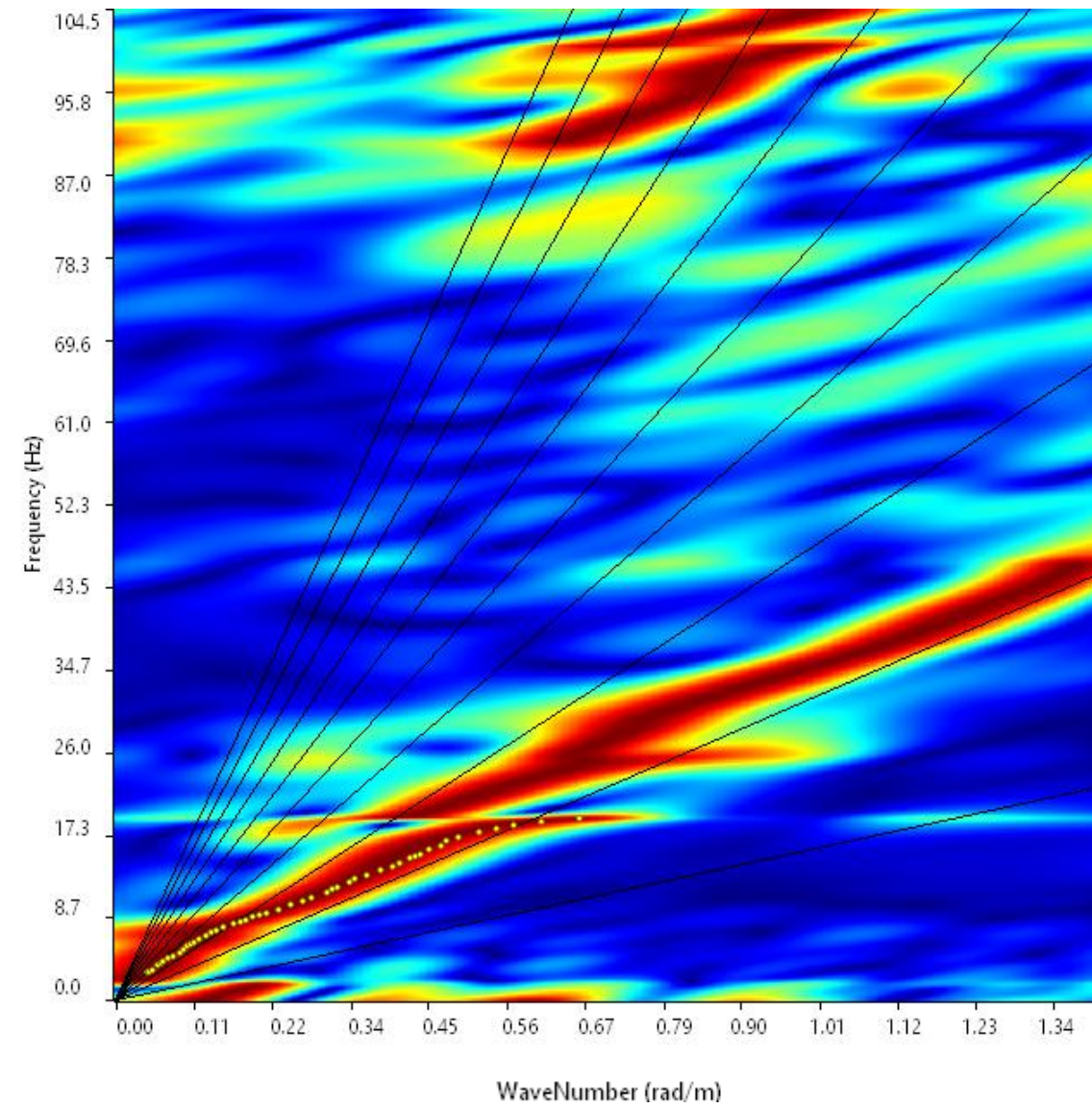
# INDAGINE SISMICA MASW 10



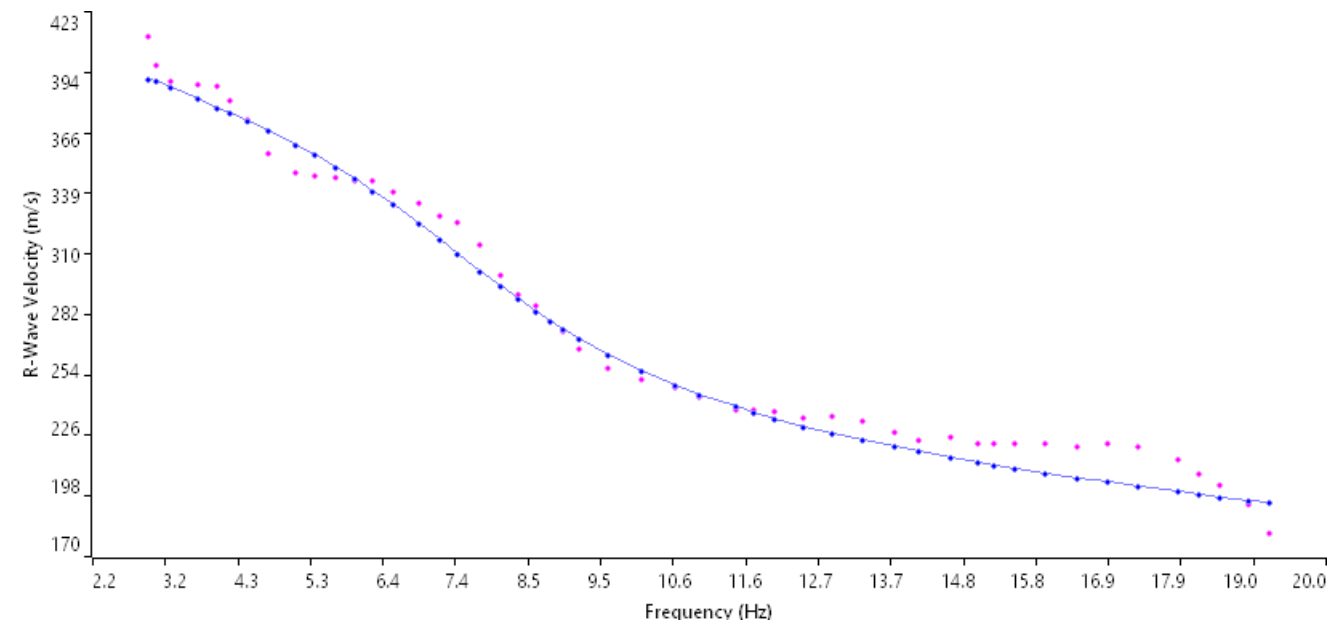
Sismogramma medio utilizzato



Profilo velocità onde S



Spettro F-K



Accoppiamento curve di dispersione

TAVOLA  
20

**OGGETTO:**  
Indagine geofisiche

M.A.S.W

**PROGETTO:**  
PD Quadruplicamento  
ferroviario  
Tortona-Voghera



**Per la**  
**SOING Strutture e**  
**Ambiente srl**

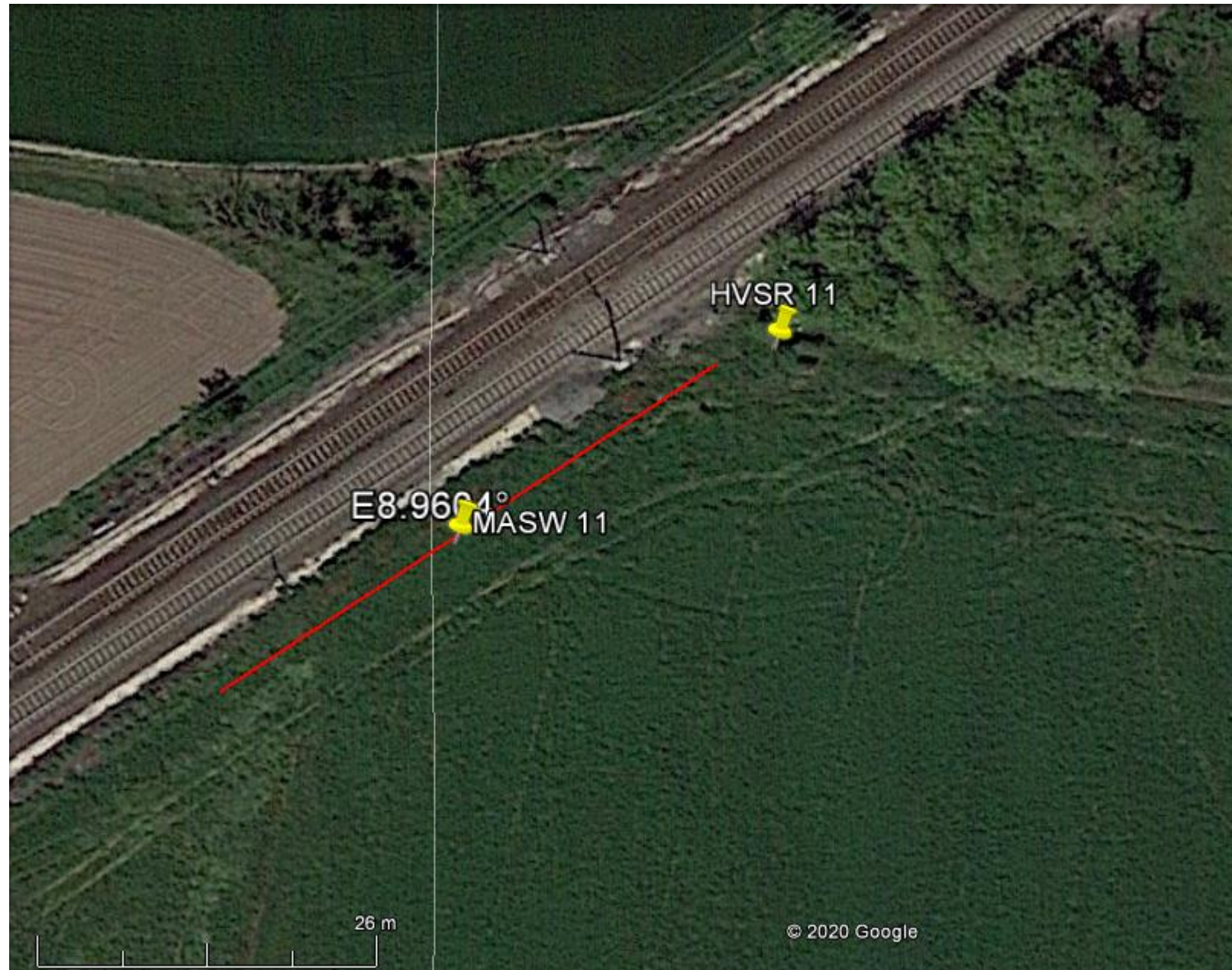
**ELAB** G. Luciani

**VERIFICA** A. Morelli

**APPROV.** P. Chiara



**Ubicazione dell'indagine**



**Fase di acquisizione dati**



**OGGETTO:**  
Indagine geofisiche

M.A.S.W

**PROGETTO:**  
PD Quadruplicamento  
ferroviario  
Tortona-Voghera

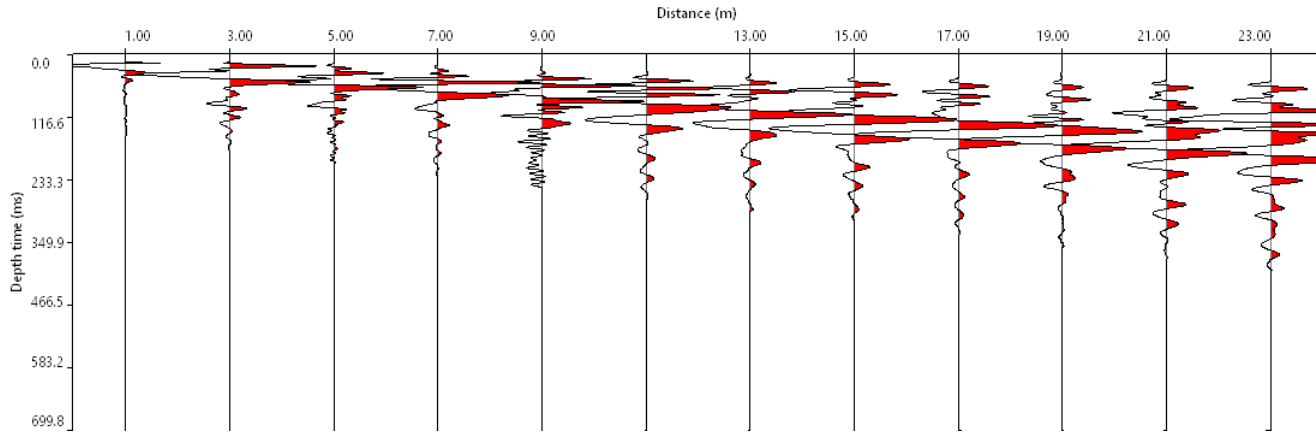


**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente srl**

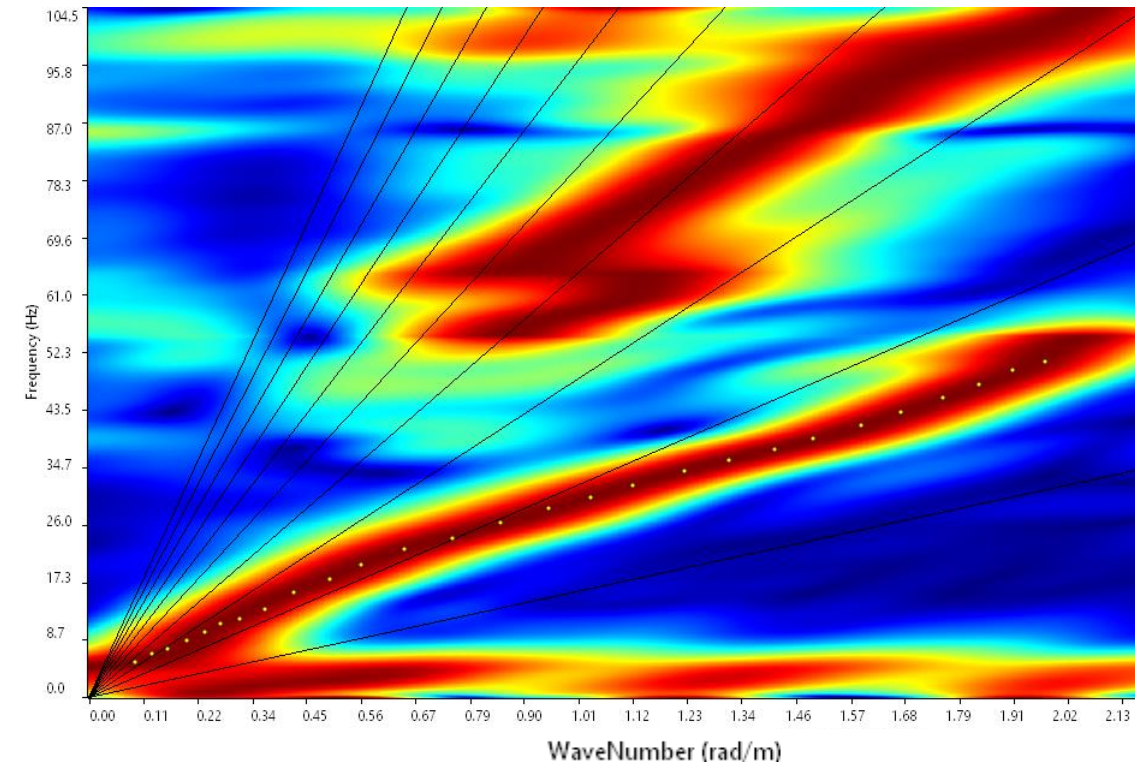
<b>ELAB</b>	G. Luciani
<b>VERIFICA</b>	A. Morelli
<b>APPROV.</b>	P. Chiara



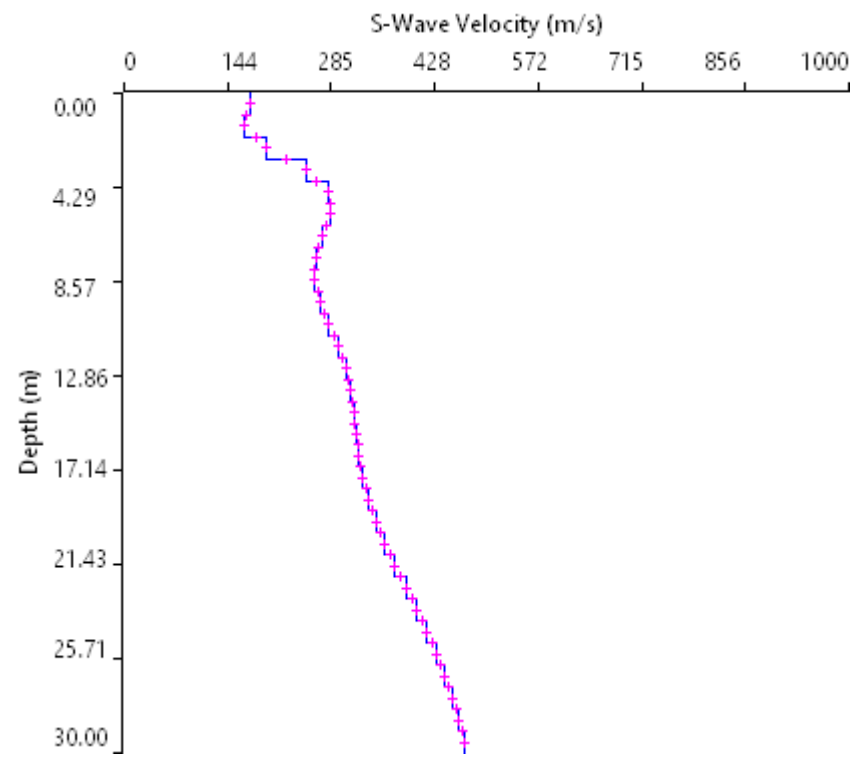
# INDAGINE SISMICA MASW 11



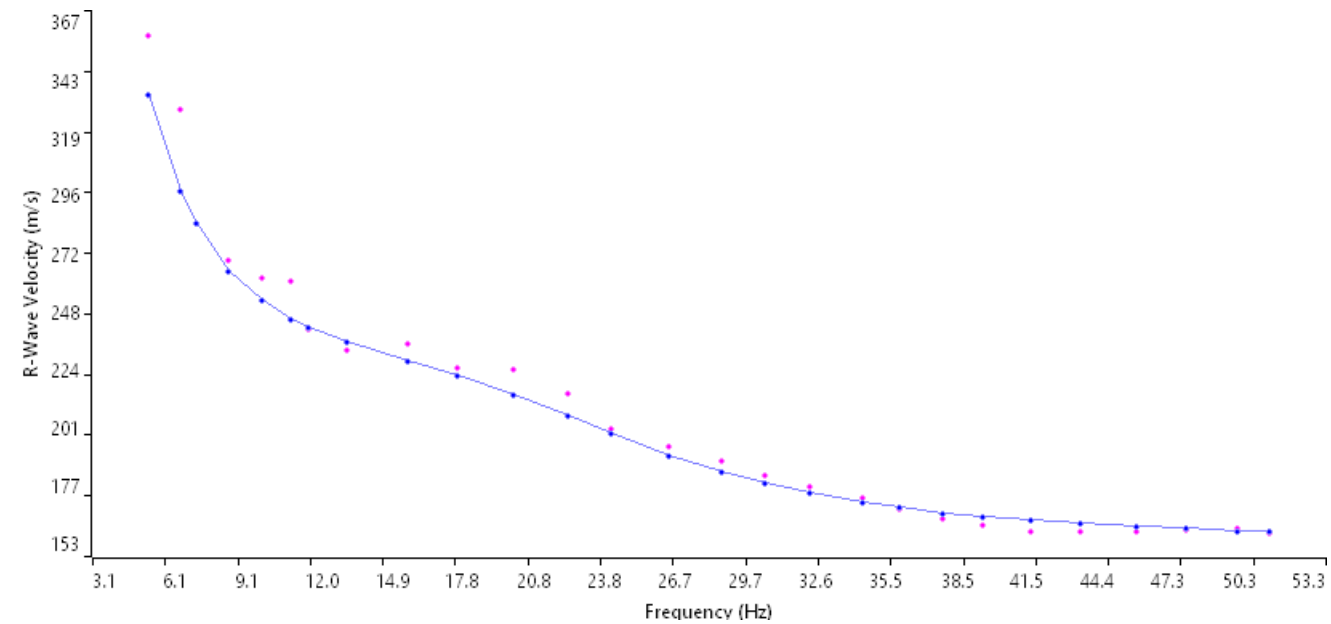
Sismogramma medio utilizzato



Spettro F-K



Profilo velocità onde S



Accoppiamento curve di dispersione

TAVOLA

22

**OGGETTO:**  
Indagine geofisiche

M.A.S.W

**PROGETTO:**  
PD Quadruplicamento  
ferroviario  
Tortona-Voghera



**Per la**  
**SOING Strutture e**  
**Ambiente srl**

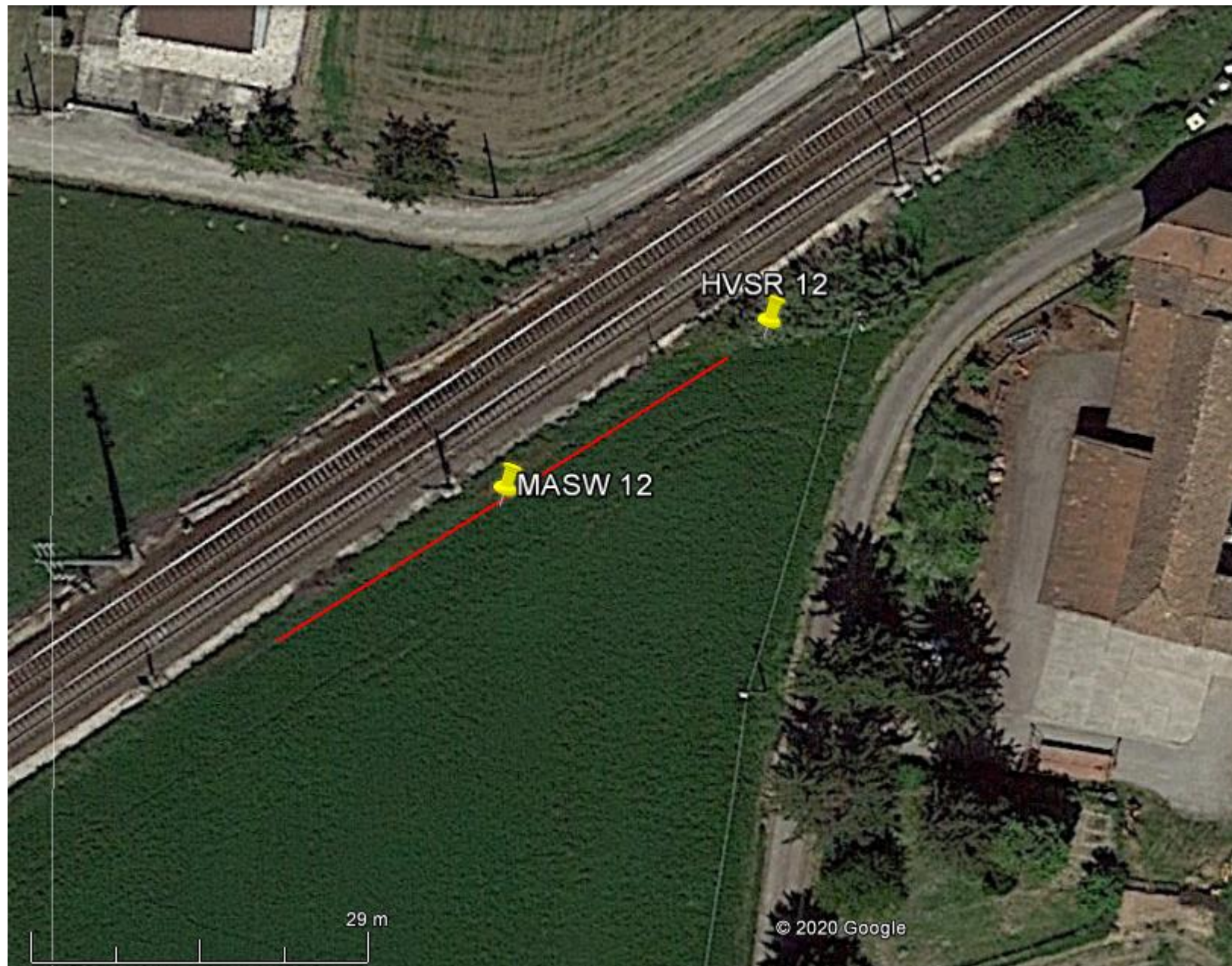
**ELAB** G. Luciani

**VERIFICA** A. Morelli

**APPROV.** P. Chiara



**Ubicazione dell'indagine**



**Fase di acquisizione dati**



**OGGETTO:**  
Indagine geofisiche

M.A.S.W

**PROGETTO:**  
PD Quadruplicamento  
ferroviario  
Tortona-Voghera



**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente srl**

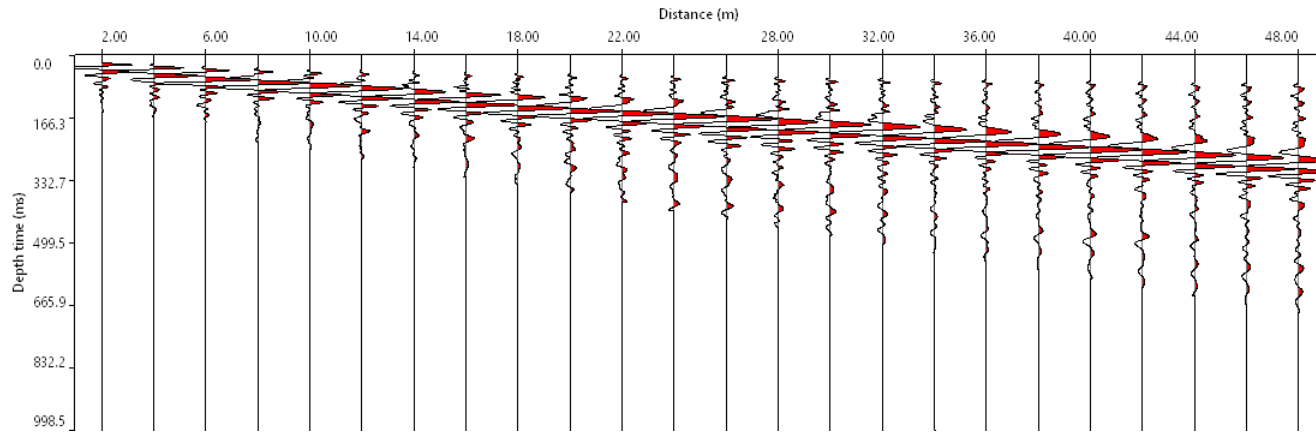
**ELAB** G. Luciani

**VERIFICA** A. Morelli

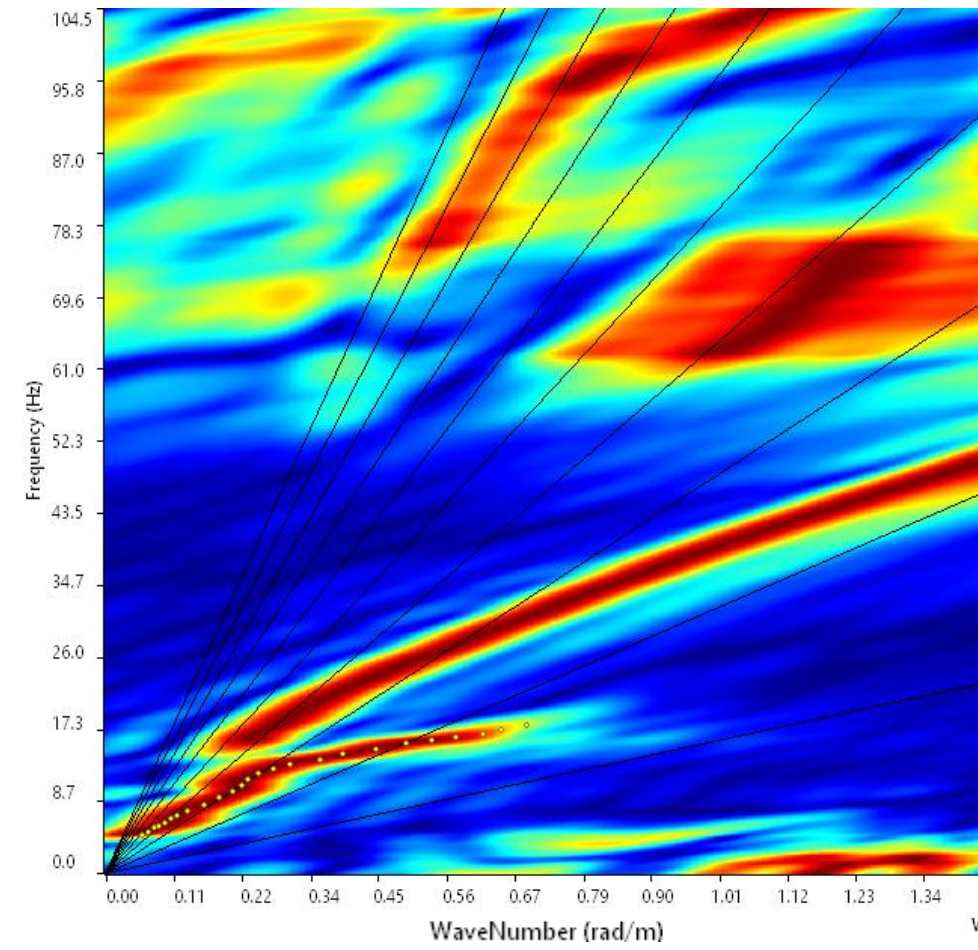
**APPROV.** P. Chiara



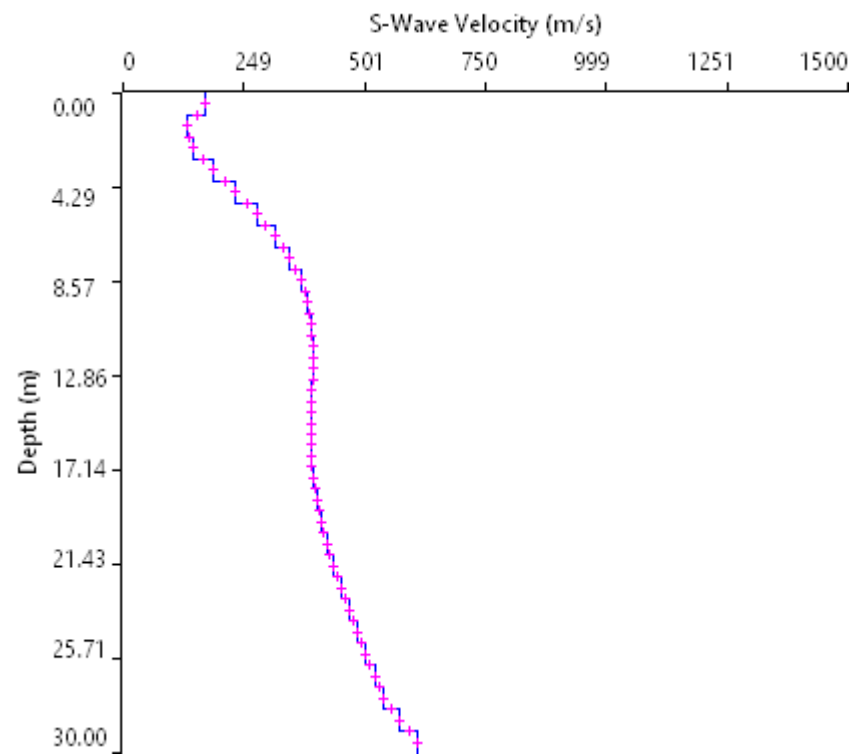
# INDAGINE SISMICA MASW 12



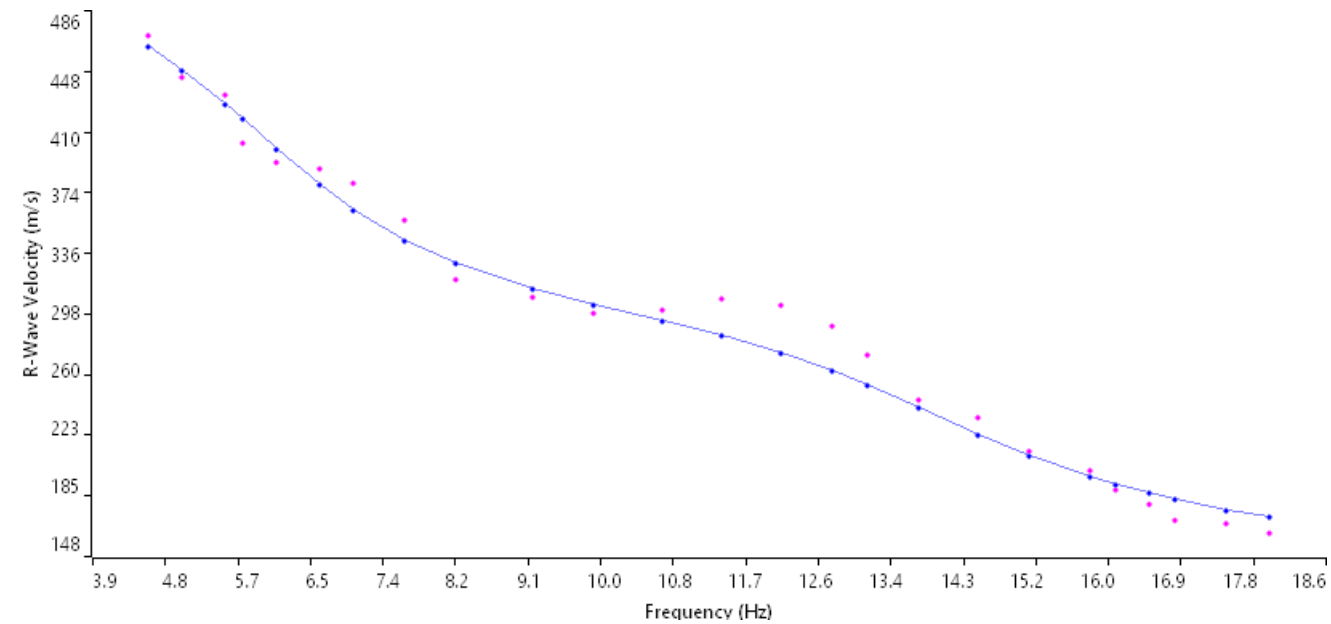
Sismogramma medio utilizzato



Spettro F-K



Profilo velocità onde S



Accoppiamento curve di dispersione

TAVOLA  
24

**OGGETTO:**  
Indagine geofisiche

M.A.S.W

**PROGETTO:**  
PD Quadruplicamento  
ferroviario  
Tortona-Voghera



**Per la**  
**SOING Strutture e**  
**Ambiente srl**

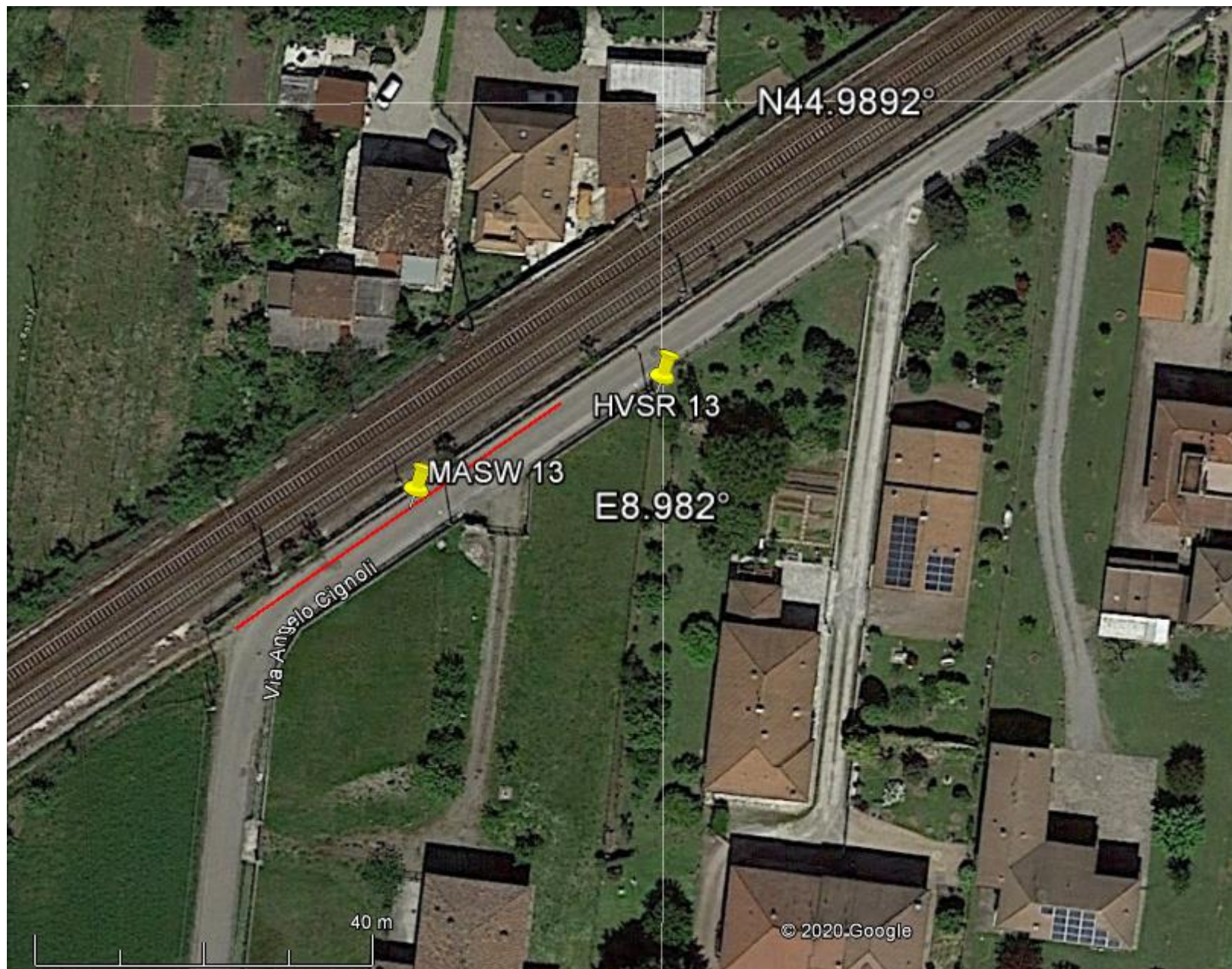
**ELAB** G. Luciani

**VERIFICA** A. Morelli

**APPROV.** P. Chiara



**Ubicazione dell'indagine**



**Fase di acquisizione dati**



**OGGETTO:**  
Indagine geofisiche

M.A.S.W

**PROGETTO:**  
PD Quadruplicamento  
ferroviario  
Tortona-Voghera



**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente srl**

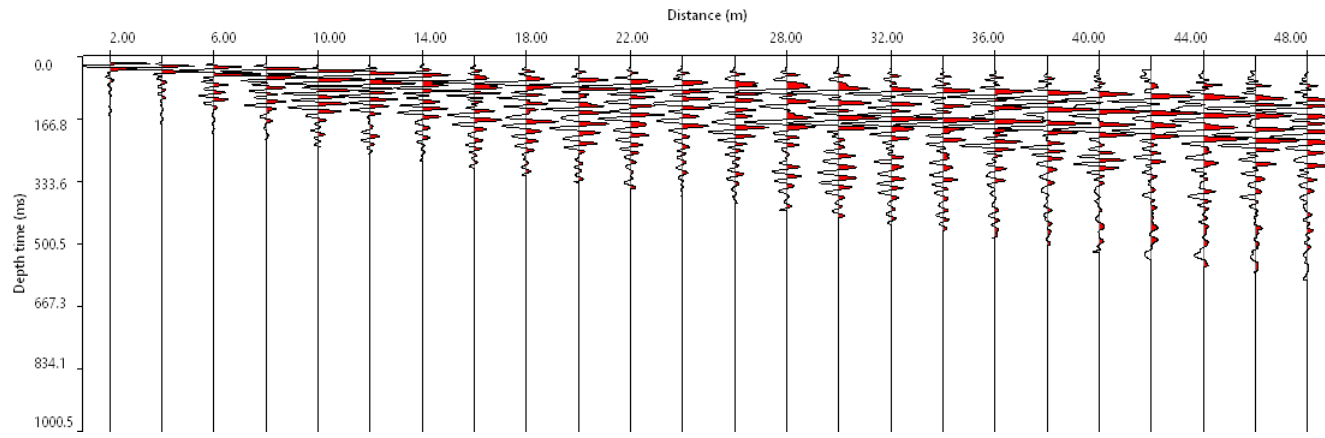
**ELAB** G. Luciani

**VERIFICA** A. Morelli

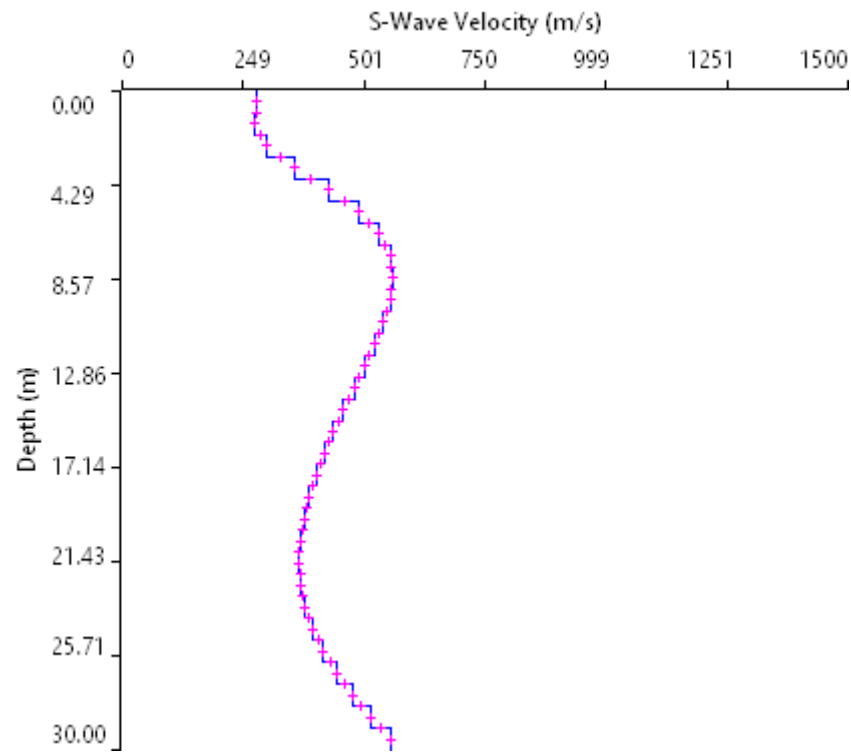
**APPROV.** P. Chiara



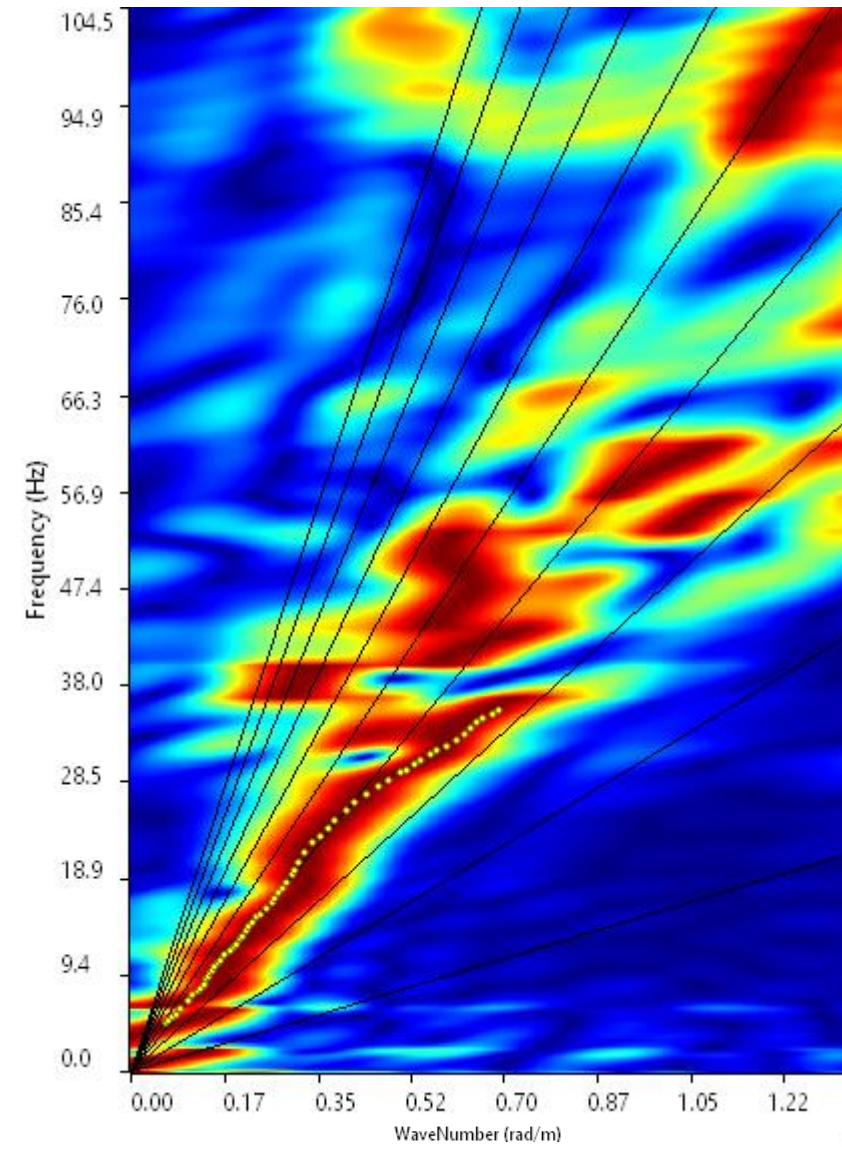
# INDAGINE SISMICA MASW 13



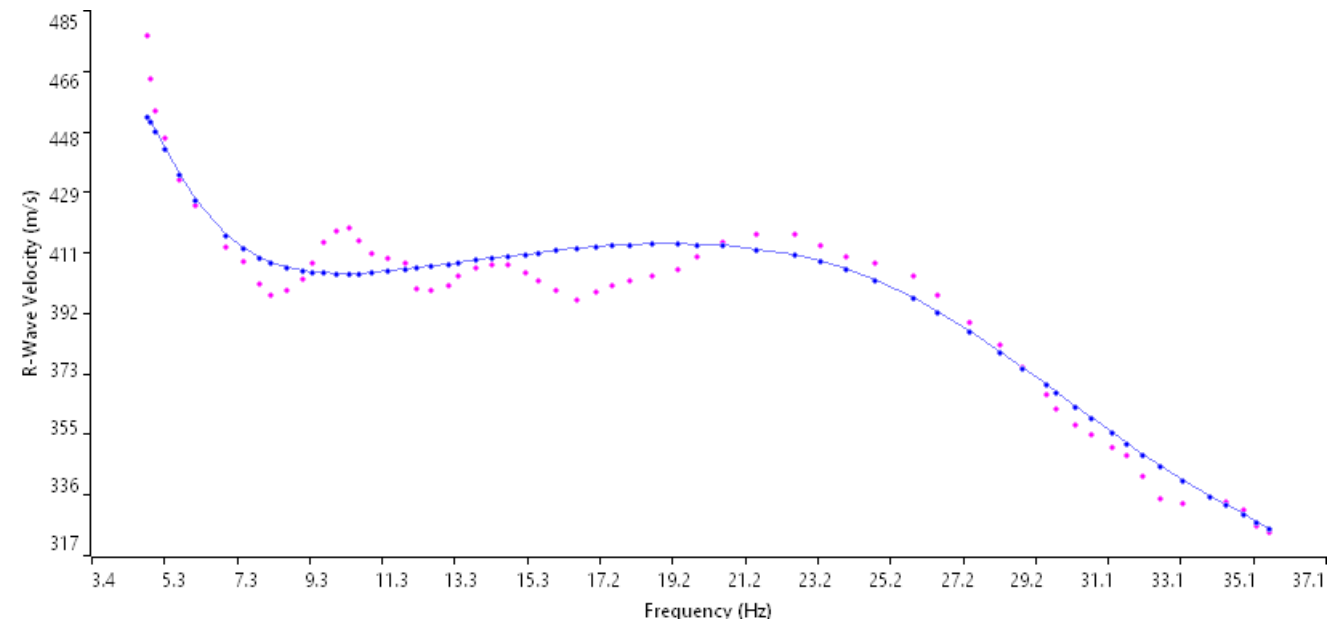
Sismogramma medio utilizzato



Profilo velocità onde S



Spettro F-K



Accoppiamento curve di dispersione

TAVOLA

26

**OGGETTO:**  
Indagine geofisiche

M.A.S.W

**PROGETTO:**  
PD Quadruplicamento  
ferroviario  
Tortona-Voghera



**Per la**  
**SOING Strutture e**  
**Ambiente srl**

**ELAB** G. Luciani

**VERIFICA** A. Morelli

**APPROV.** P. Chiara



**Ubicazione dell'indagine**



**Fase di acquisizione dati**



**OGGETTO:**  
Indagine geofisiche

M.A.S.W

**PROGETTO:**  
PD Quadruplicamento  
ferroviario  
Tortona-Voghera



**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente srl**

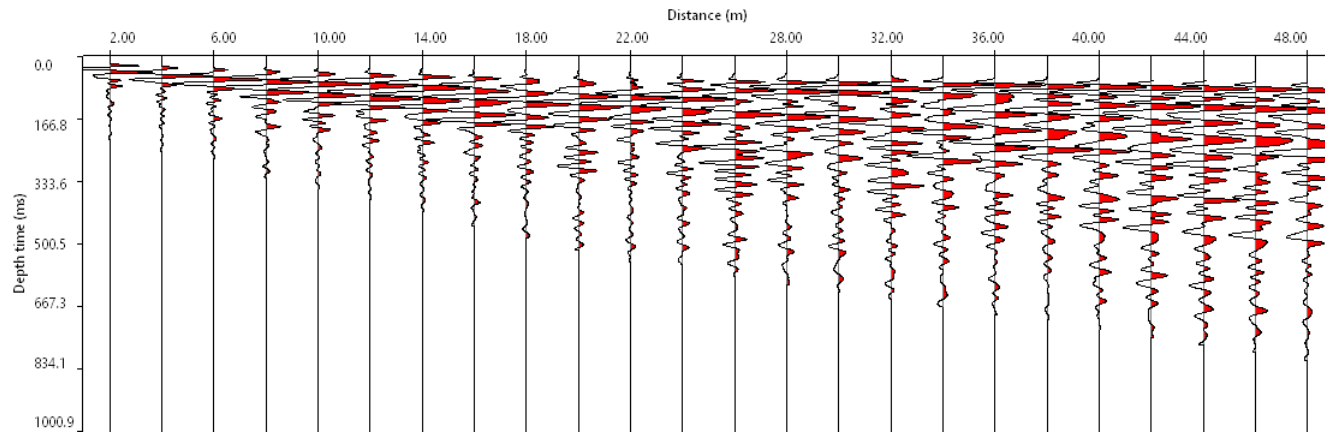
**ELAB** G. Luciani

**VERIFICA** A. Morelli

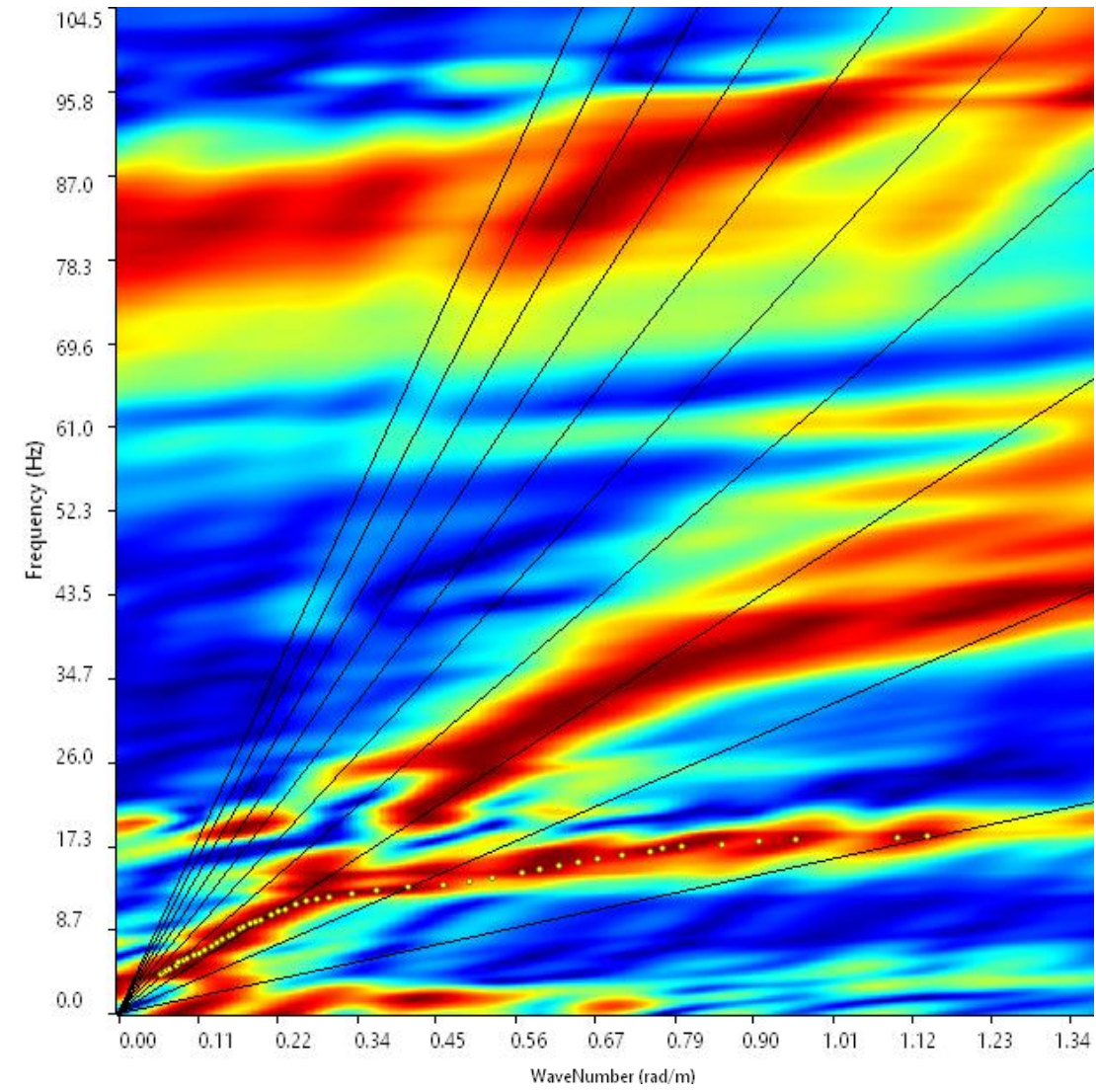
**APPROV.** P. Chiara



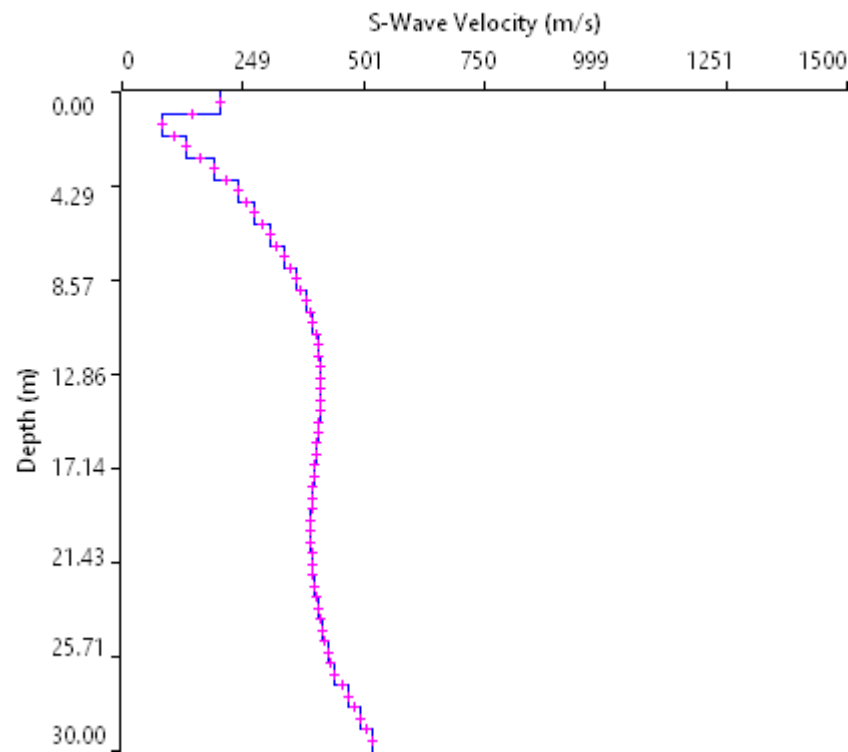
# INDAGINE SISMICA MASW 14



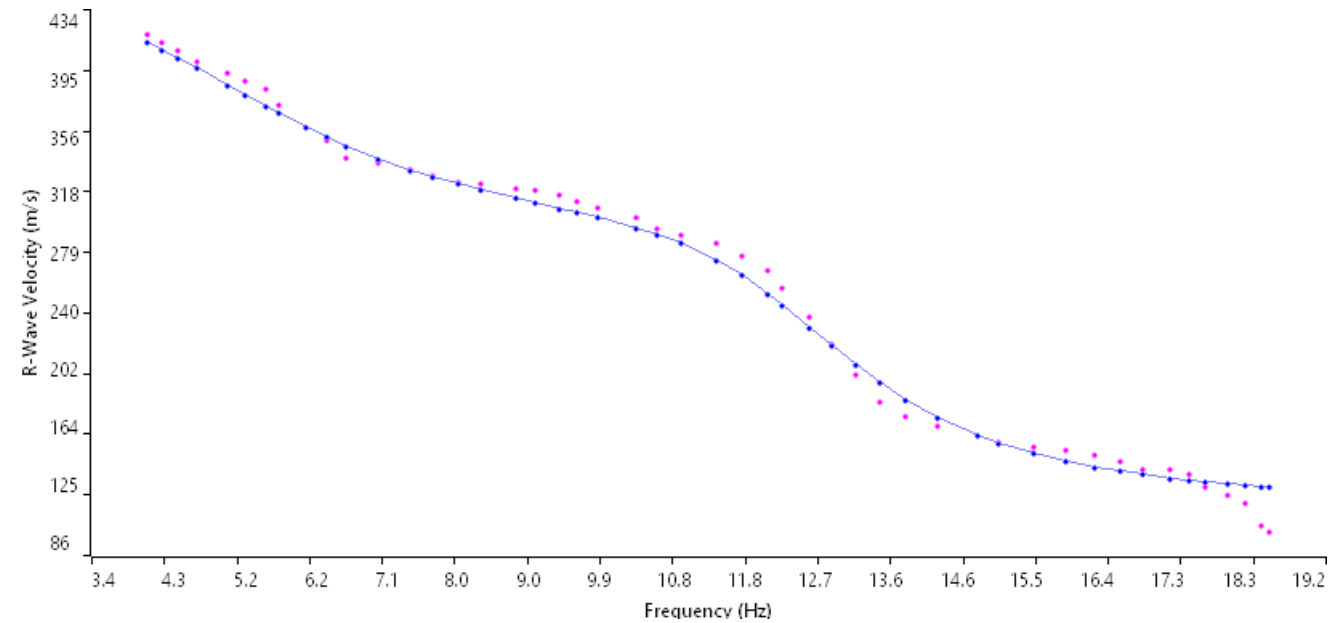
Sismogramma medio utilizzato



Spettro F-K



Profilo velocità onde S



Accoppiamento curve di dispersione

TAVOLA

28

**OGGETTO:**  
Indagine geofisiche

M.A.S.W

**PROGETTO:**  
PD Quadruplicamento  
ferroviario  
Tortona-Voghera



**Per la**  
**SOING Strutture e**  
**Ambiente srl**

**ELAB** G. Luciani

**VERIFICA** A. Morelli

**APPROV.** P. Chiara



**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

**VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA**

**QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA**

RELAZIONE  
INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 69 IG	GE0001 001	A	60 di 60

## 7. ALLEGATO N.3 – Risultati indagini HVSR



Ubicazione Indagine



Immagine area indagine



**OGGETTO:**

Indagine geofisiche  
HVSR

**Progetto:**

PD  
QUADRUPPLICAMENTO  
FERROVIARIO  
TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

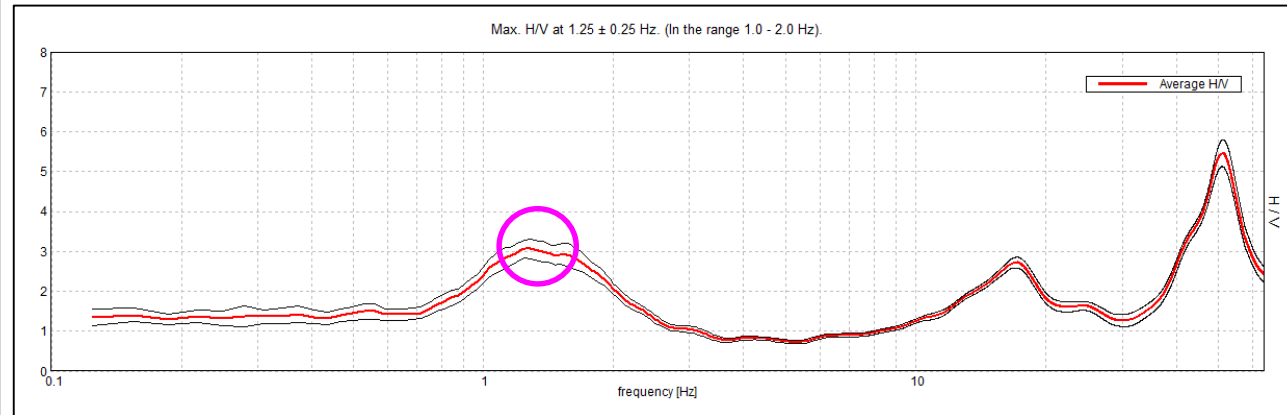
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

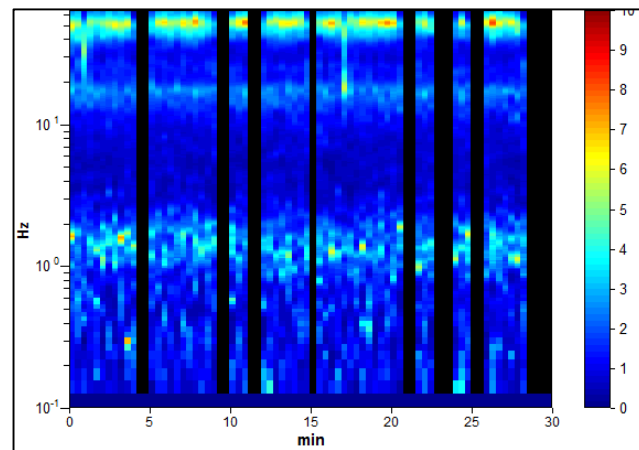


# INDAGINI SISMICHE HVSR 01

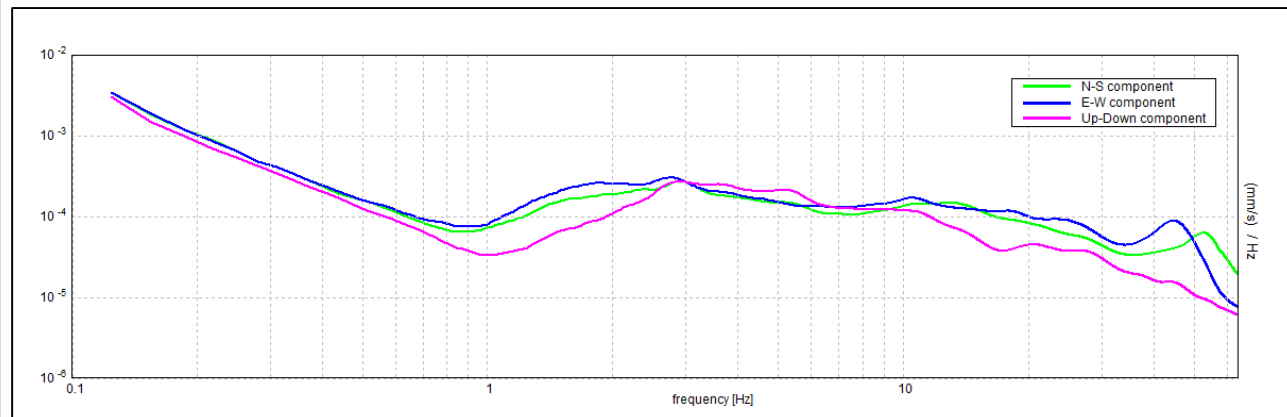
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



## ITALFERR TRIESTE, TRIESTE HVSR ADSP-2

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 08/10/20 11:24:58 Fine registrazione: 08/10/20 11:54:58  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 68% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 12%

**Picco H/V a 1.25 ± 0.25 Hz (nell'intervallo 1.0 - 2.0 Hz).**

### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	1.25 > 0.43	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1725.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 61	OK	
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$			

### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.719 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.344 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.06 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.20114  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.25143 < 0.125		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2253 < 1.78	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

2

### OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

### Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

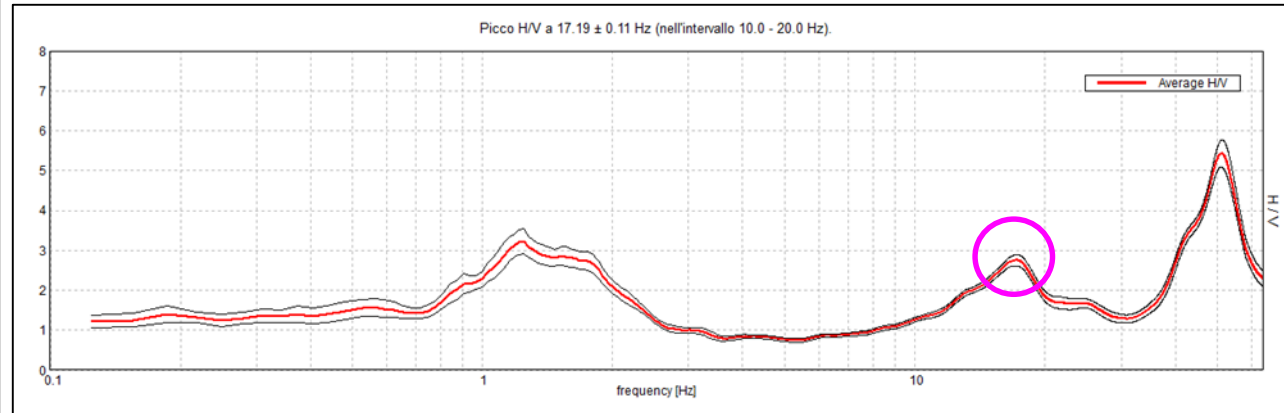
ELAB E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli

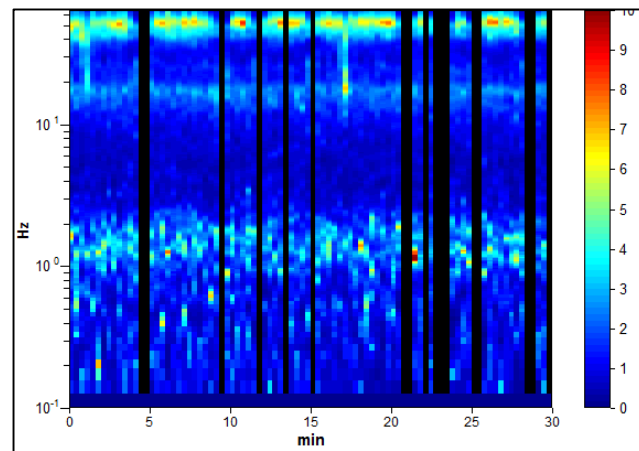
APPROV. P. Chiara

# INDAGINI SISMICHE HVSR 01

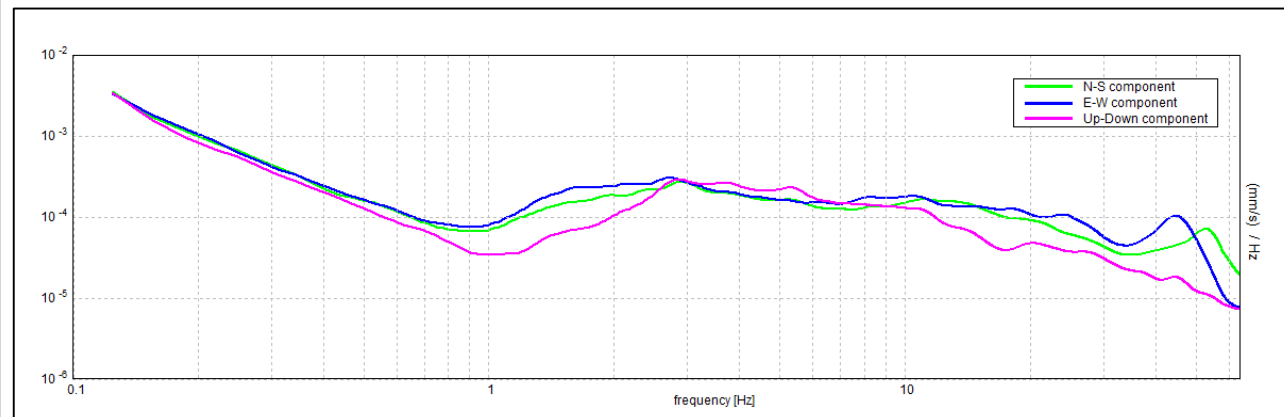
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



### ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 1

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 22/09/20 16:36:15 Fine registrazione: 22/09/20 17:06:15  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 81% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 10%

**Picco H/V a 17.19 ± 0.11 Hz (nell'intervallo 10.0 - 20.0 Hz).**

#### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	17.19 > 0.50	OK
$n_c(f_0) > 200$	25093.8 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 826	OK

#### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	10.938 Hz	OK
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	28.063 Hz	OK
$A_0 > 2$	2.75 > 2	OK
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00634  < 0.05$	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.10905 < 0.85938	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1421 < 1.58	OK

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione log $A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

#### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

3

### OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

### Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara



Ubicazione Indagine



Immagine area indagine



**OGGETTO:**

Indagine geofisiche  
HVSR

**Progetto:**

PD  
QUADRUPPLICAMENTO  
FERROVIARIO  
TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

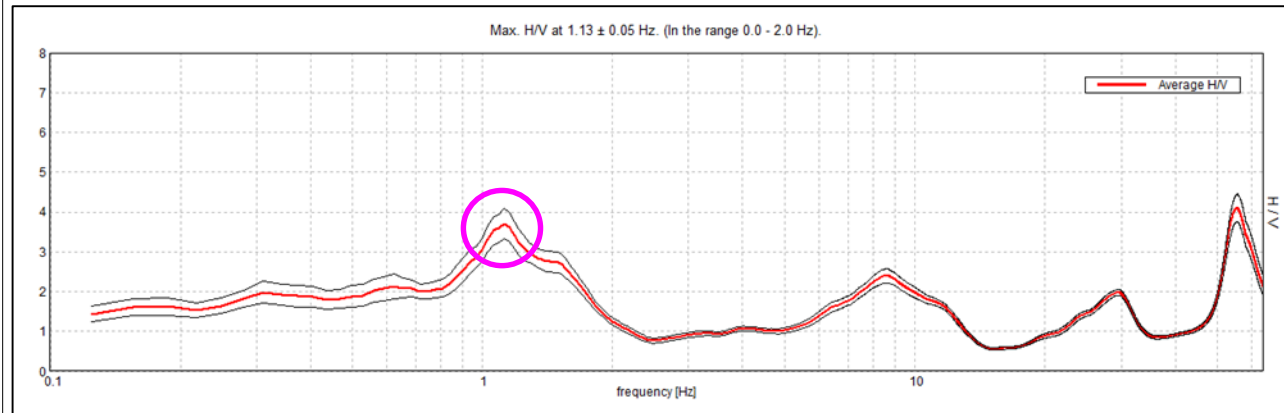
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

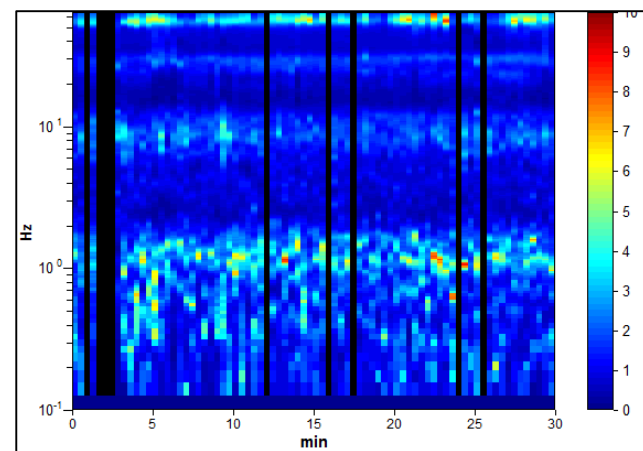


# INDAGINI SISMICHE HVSR 02

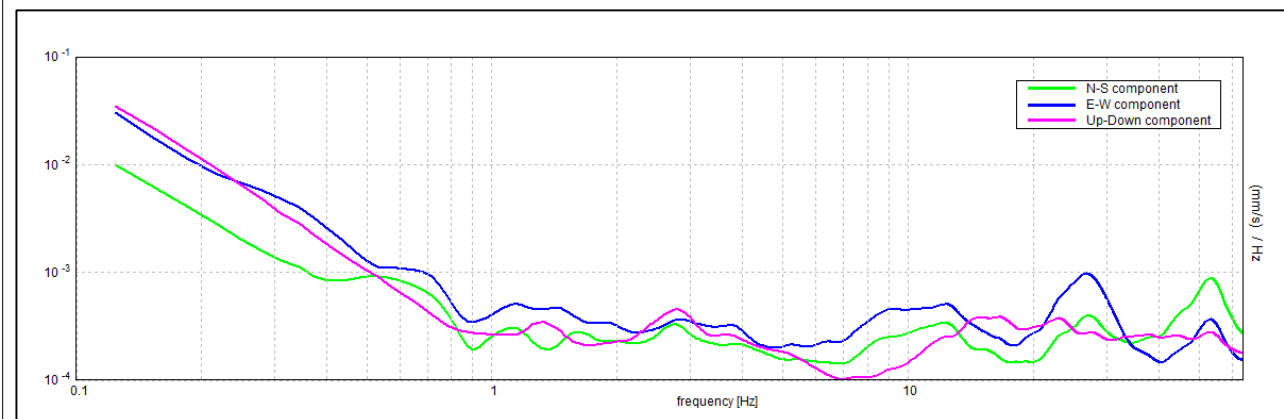
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



### ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 2

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 22/09/20 15:46:41 Fine registrazione: 22/09/20 16:16:41  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 88% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 23 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 10%

**Picco H/V a 1.13 ± 0.05 Hz (nell'intervallo 0.0 - 2.0 Hz).**

#### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	1.13 > 0.43	OK
$n_c(f_0) > 200$	1785.4 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 55	OK

#### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.469 Hz	OK
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.781 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.70 > 2	OK
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04634  < 0.05$	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.05213 < 0.1125	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3748 < 1.78	OK

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

#### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

5

### OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

### Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

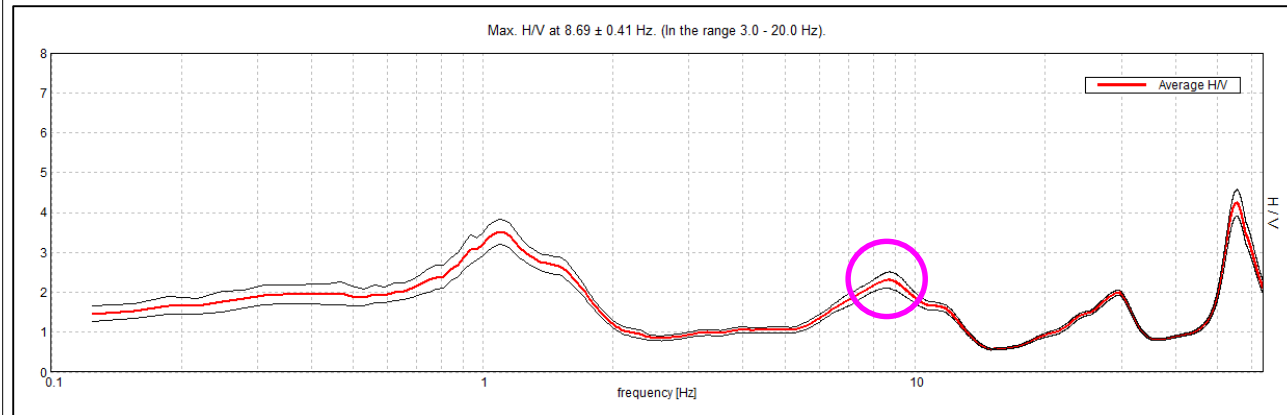
ELAB E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli

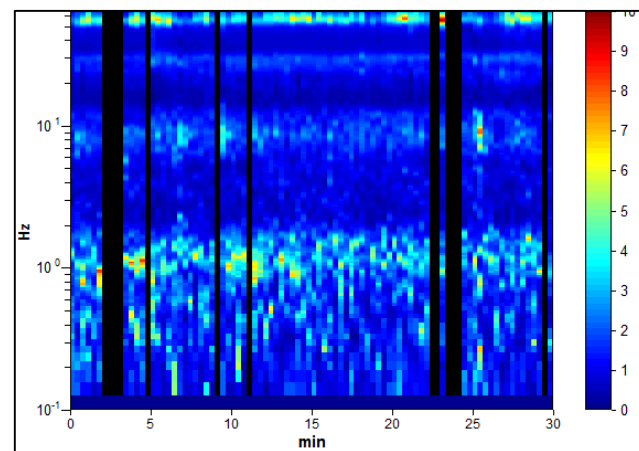
APPROV. P. Chiara

# INDAGINI SISMICHE HVSR 02

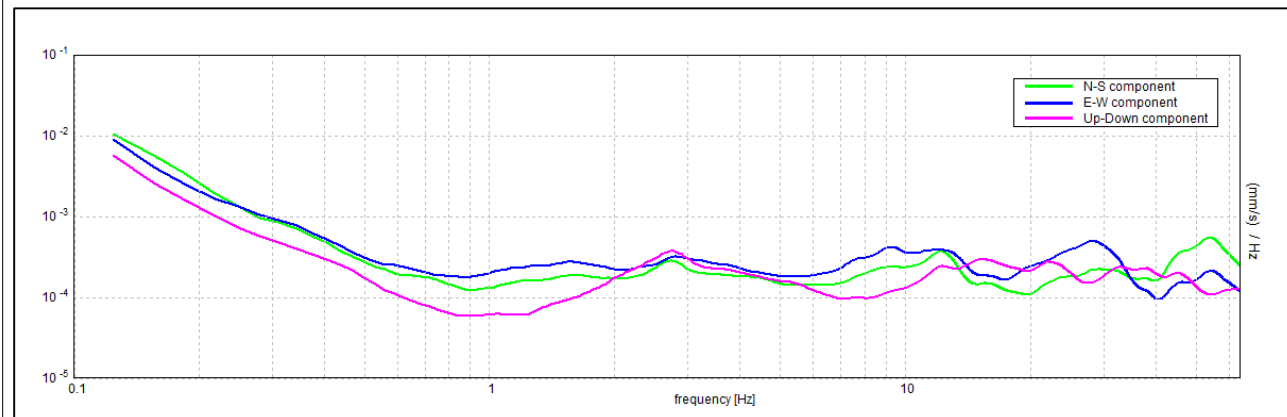
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



### ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 2

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 22/09/20 15:46:41 Fine registrazione: 22/09/20 16:16:41  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 86% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 10%

**Picco H/V a 8.69 ± 0.41 Hz (nell'intervallo 3.0 - 20.0 Hz).**

#### Criteria per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	8.69 > 0.50	OK
$n_c(f_0) > 200$	13378.8 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 418	OK

#### Criteria per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	5.563 Hz	OK
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	12.844 Hz	OK
$A_0 > 2$	2.31 > 2	OK
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04704  < 0.05$	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.40868 < 0.43438	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2065 < 1.58	OK

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

#### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

6

### OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

### Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

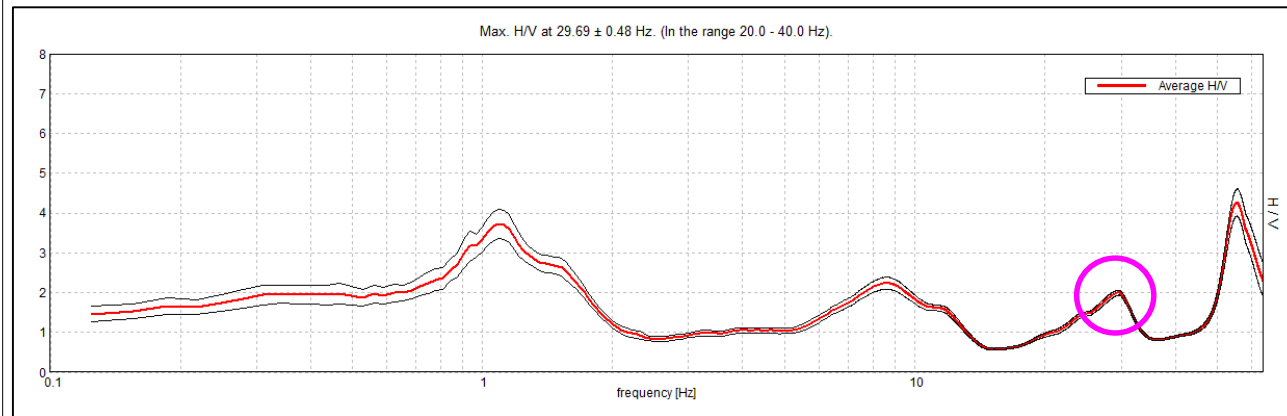
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

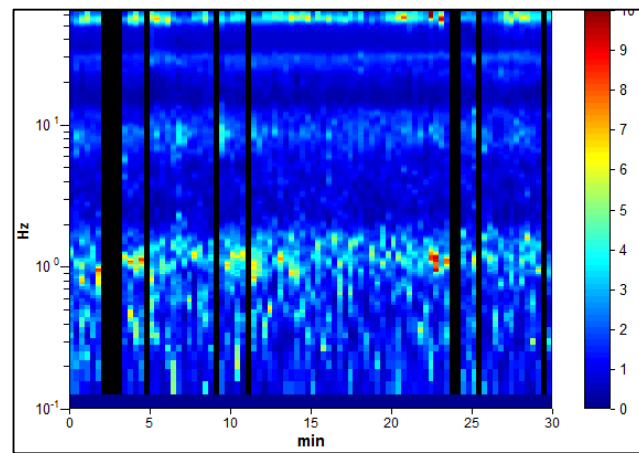


# INDAGINI SISMICHE HVSR 02

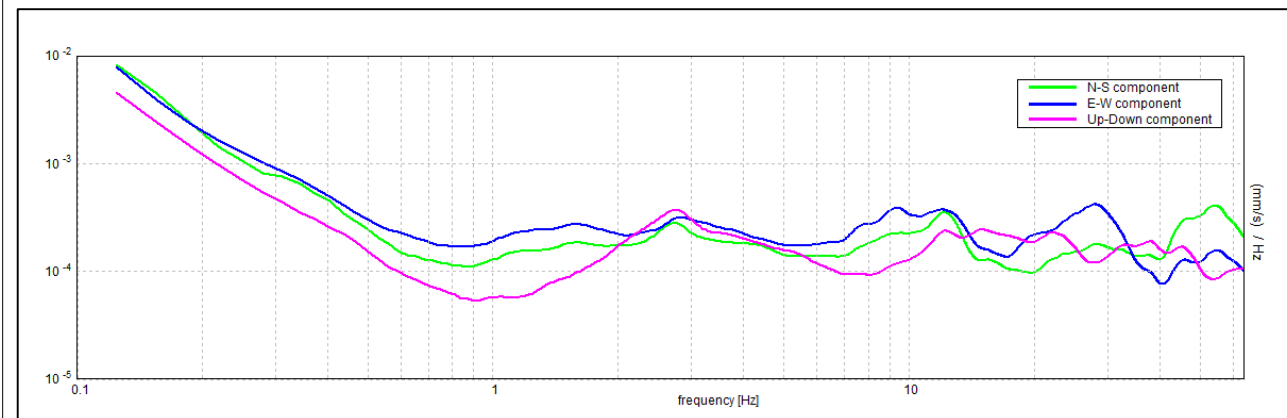
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



## ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 2

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 22/09/20 15:46:41 Fine registrazione: 22/09/20 16:16:41  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 88% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di liscio: Triangular window  
 Liscio: 10%

**Picco H/V a 29.69 ± 0.48 Hz (nell'intervallo 20.0 - 40.0 Hz).**

### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	29.69 > 0.50	OK
$n_c(f_0) > 200$	46906.3 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1426	OK

### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	20.969 Hz	OK
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	33.688 Hz	OK
$A_0 > 2$	2.00 > 2	OK
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01633  < 0.05$	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.48475 < 1.48438	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.0622 < 1.58	OK

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

7

### OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

### Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara



Ubicazione Indagine



Immagine area indagine



**OGGETTO:**

Indagine geofisiche  
HVSR

**Progetto:**

PD  
QUADRUPPLICAMENTO  
FERROVIARIO  
TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

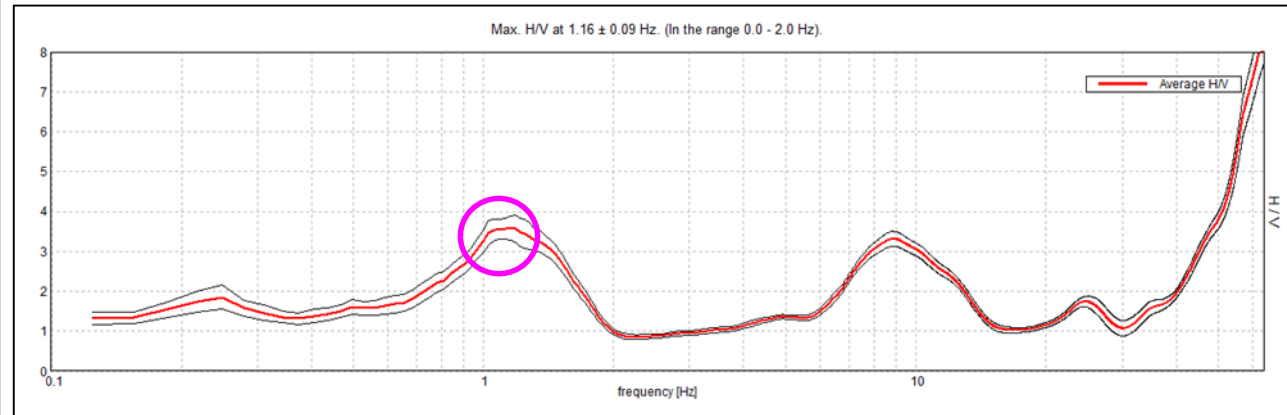
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

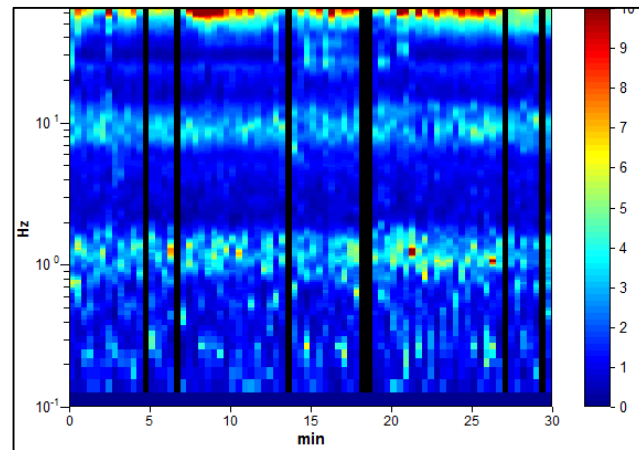


# INDAGINI SISMICHE HVSR 03

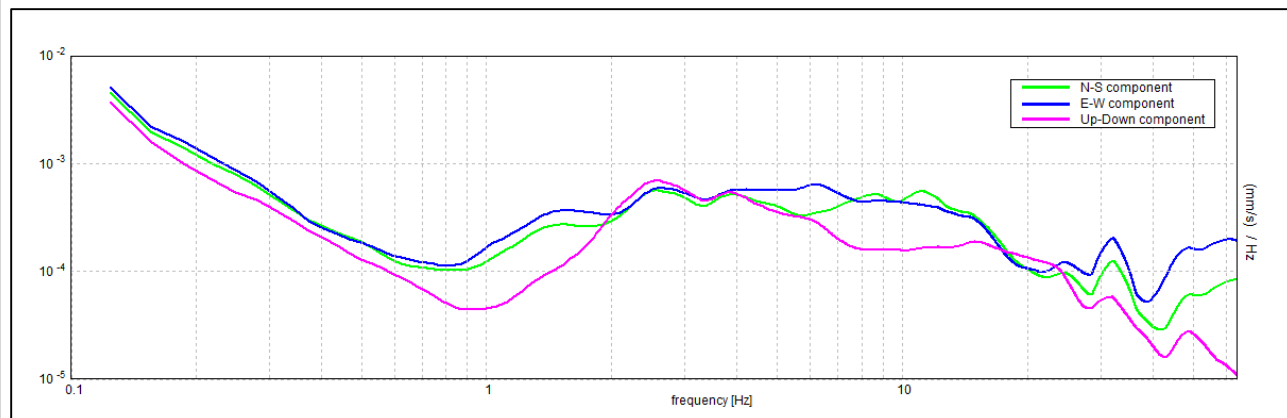
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



### ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 3

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 22/09/20 15:08:29 Fine registrazione: 22/09/20 15:38:29  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00" Analizzato 91% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 23 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 12%

**Picco H/V a 1.16 ± 0.09 Hz (nell'intervallo 0.0 - 2.0 Hz).**

#### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	1.16 > 0.43	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1888.2 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 56	OK	
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$			

#### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.656 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.75 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.58 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.07778  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.08993 < 0.11563	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3056 < 1.78	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

#### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

9

### OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

### Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

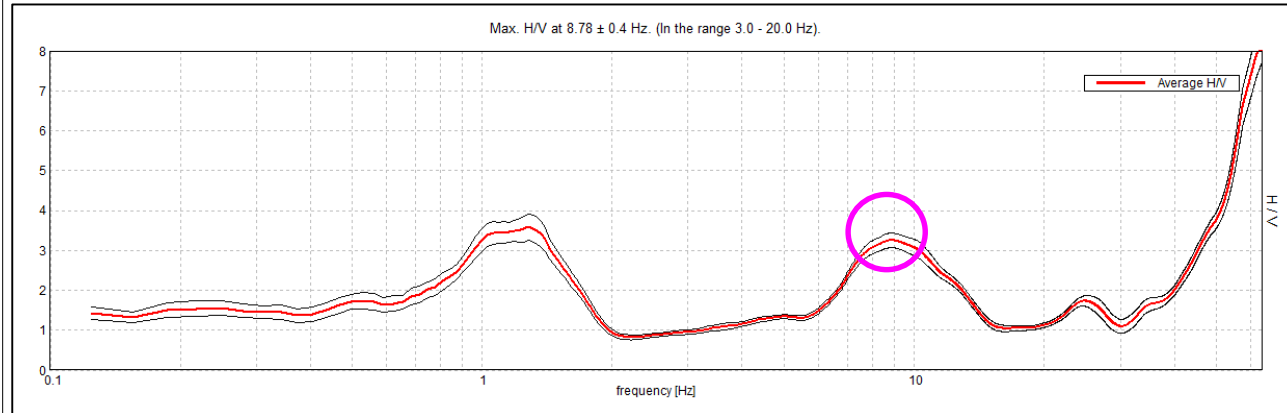
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

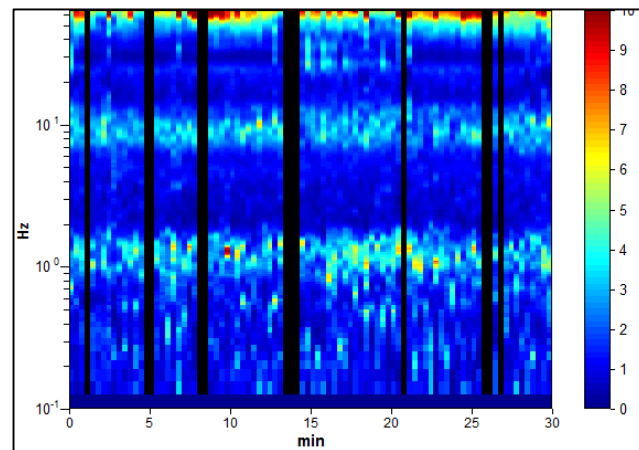


# INDAGINI SISMICHE HVSR 03

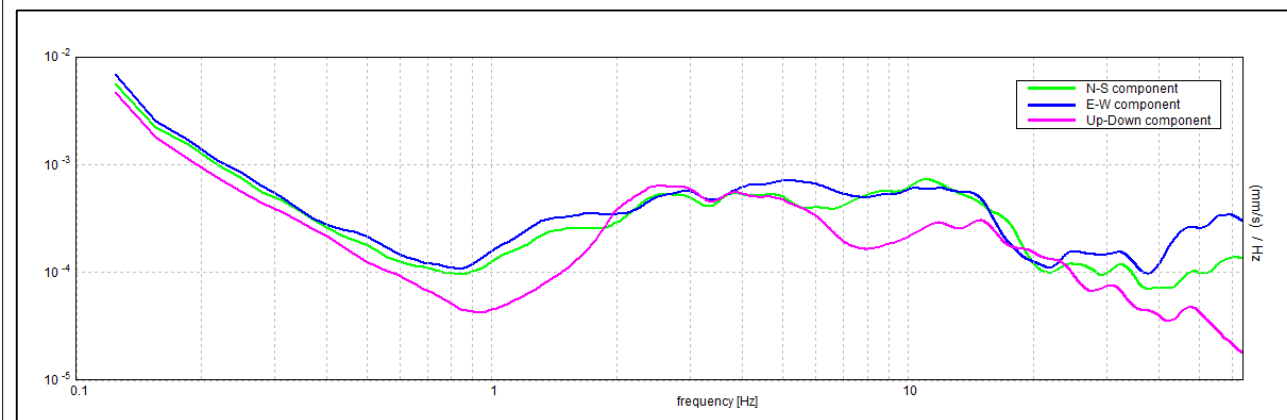
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



### ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 3

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 22/09/20 15:08:29 Fine registrazione: 22/09/20 15:38:29  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 87% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 11%

**Picco H/V a 8.78 ± 0.4 Hz (nell'intervallo 3.0 - 20.0 Hz).**

#### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	8.78 > 0.50	OK
$n_c(f_0) > 200$	13698.8 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 422	OK

#### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	6.188 Hz	OK
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	13.75 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.25 > 2	OK
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04592  < 0.05$	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.4032 < 0.43906	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1838 < 1.58	OK

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione log $A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

#### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

10

### OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

### Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara



Ubicazione Indagine

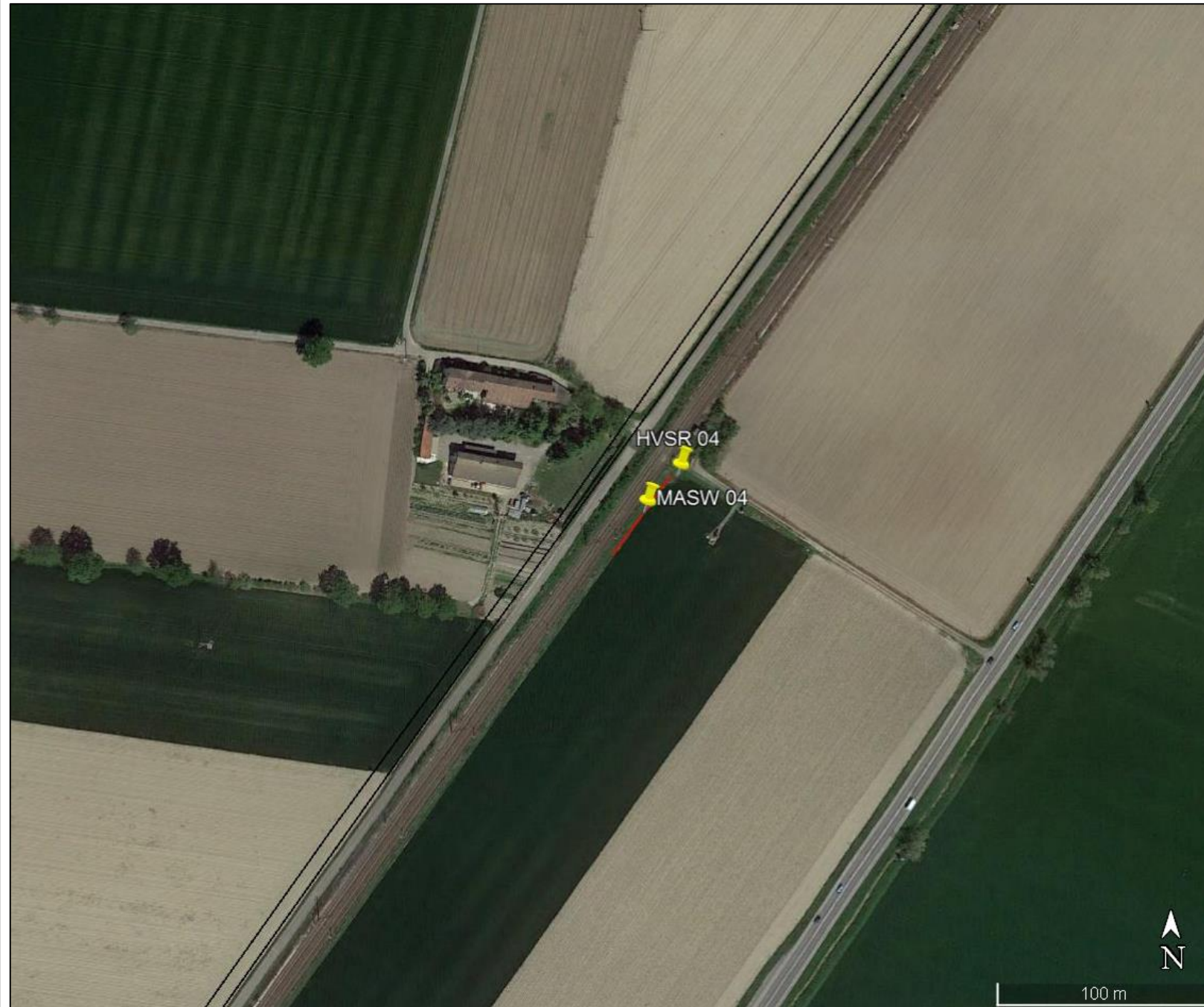


Immagine area indagine



**OGGETTO:**

Indagine geofisiche  
HVSR

**Progetto:**

PD  
QUADRUPPLICAMENTO  
FERROVIARIO  
TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

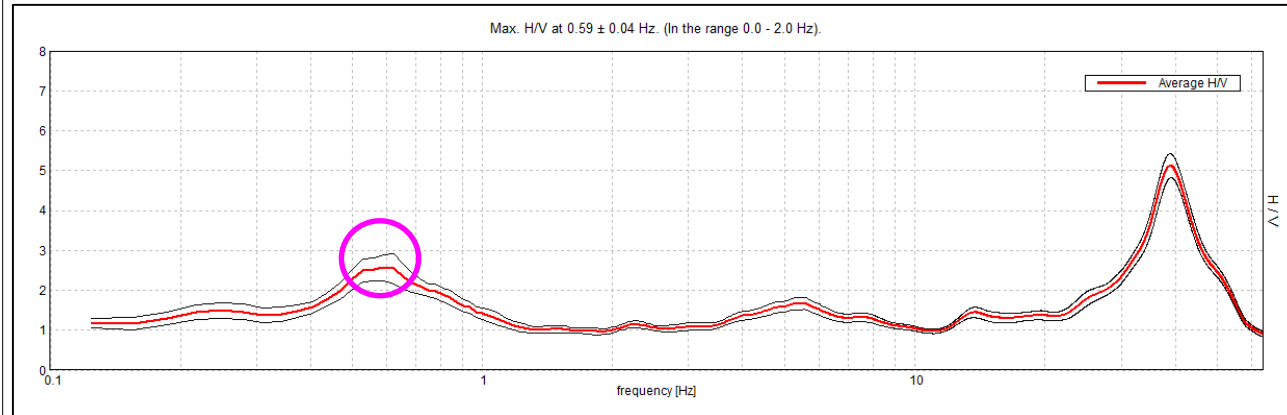
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

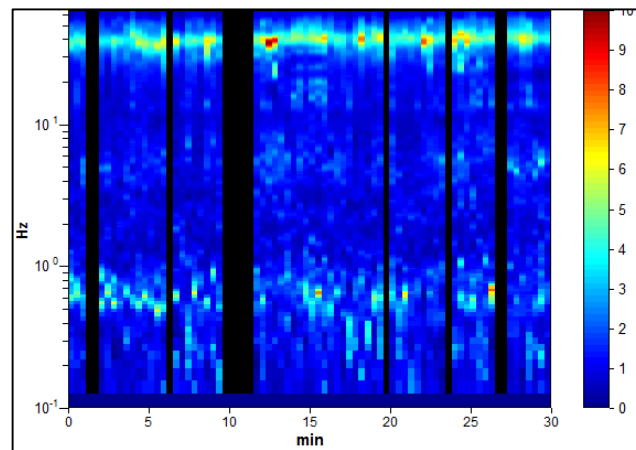


# INDAGINI SISMICHE HVSR 04

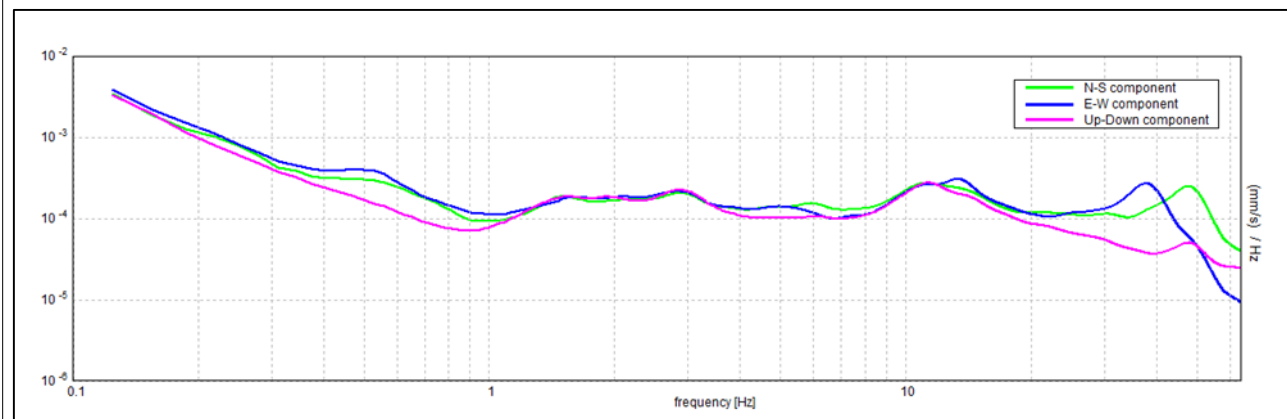
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



### ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 4

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 23/09/20 11:27:40 Fine registrazione: 23/09/20 11:57:40  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 85% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 23 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 10%

**Picco H/V a 0.59 ± 0.04 Hz (nell'intervallo 0.0 - 2.0 Hz).**

#### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	0.59 > 0.43	OK	
$n_c(f_0) > 200$	901.3 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 30	OK	

#### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.156 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.094 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.56 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.07185  < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.04266 < 0.08906	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3362 < 2.0	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

#### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

12

### OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

### Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

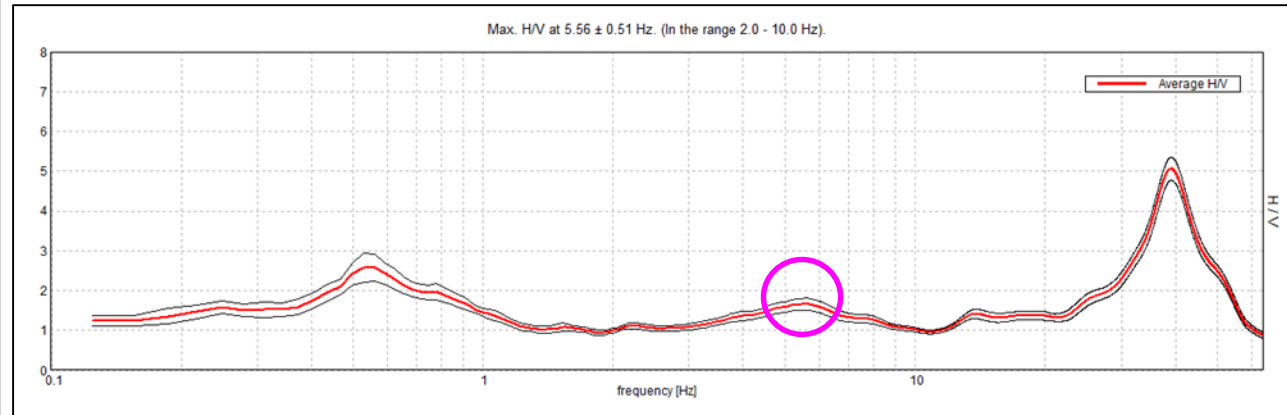
ELAB E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli

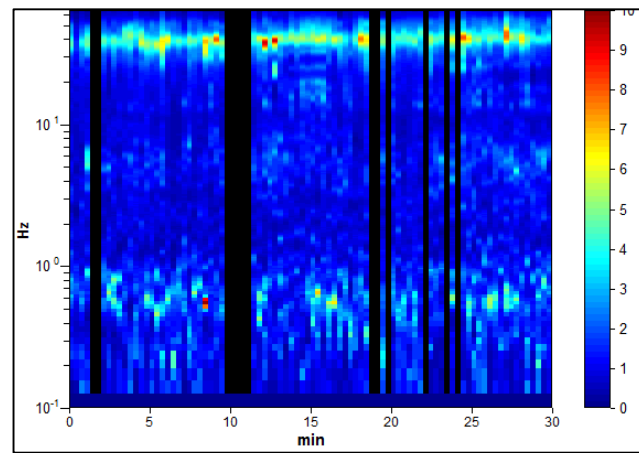
APPROV. P. Chiara

# INDAGINI SISMICHE HVSR 04

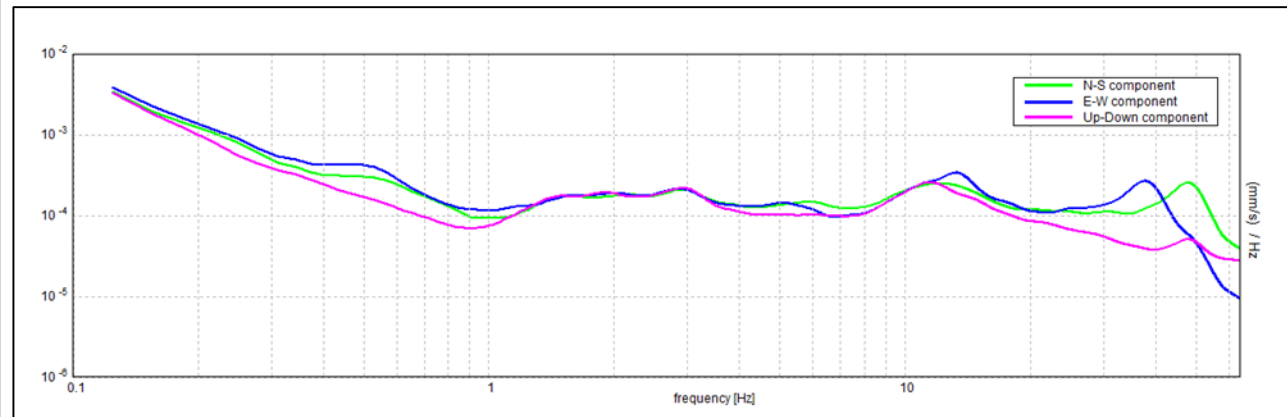
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



### ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 4

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 23/09/20 11:27:40 Fine registrazione: 23/09/20 11:57:40  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 86% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 10%

**Picco H/V a 5.56 ± 0.51 Hz (nell'intervallo 2.0 - 10.0 Hz).**

#### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	5.56 > 0.50	OK
$n_c(f_0) > 200$	8566.3 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 268	OK

#### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$		NO
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$		NO
$A_0 > 2$	1.66 > 2	NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.09138  < 0.05$	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.50831 < 0.27813	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1497 < 1.58	OK

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

#### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

13

### OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

### Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara



Ubicazione Indagine



Immagine area indagine



**OGGETTO:**

Indagine geofisiche  
HVSR

**Progetto:**

PD  
QUADRUPPLICAMENTO  
FERROVIARIO  
TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

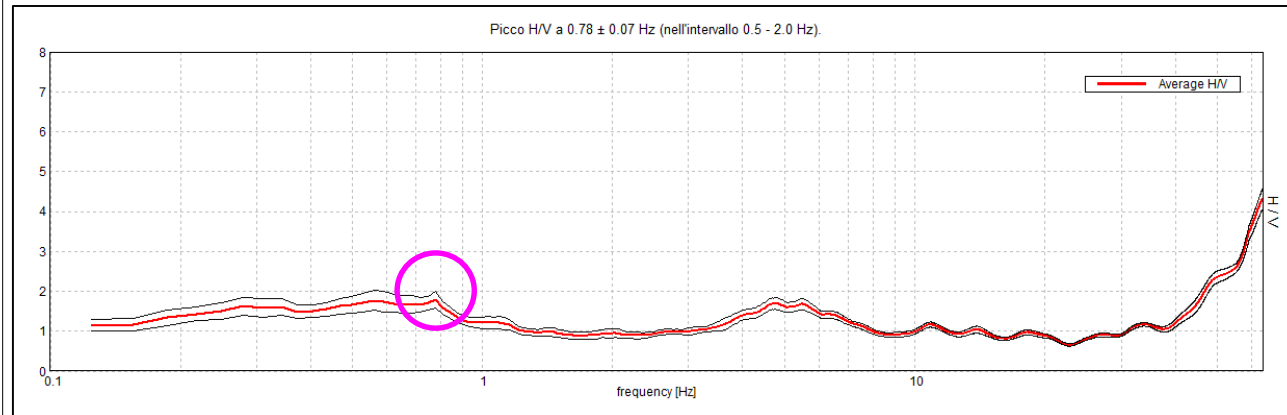
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

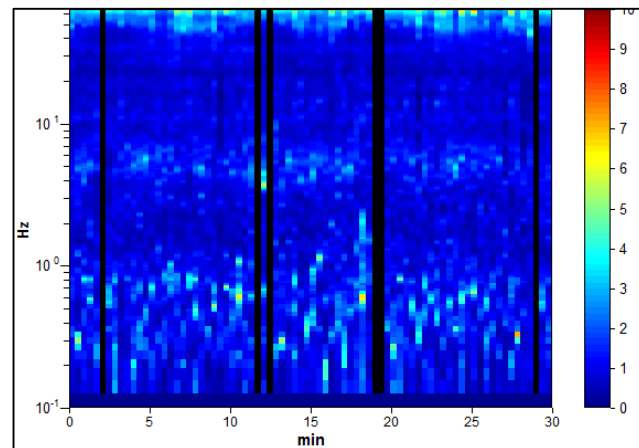


# INDAGINI SISMICHE HVSR 05

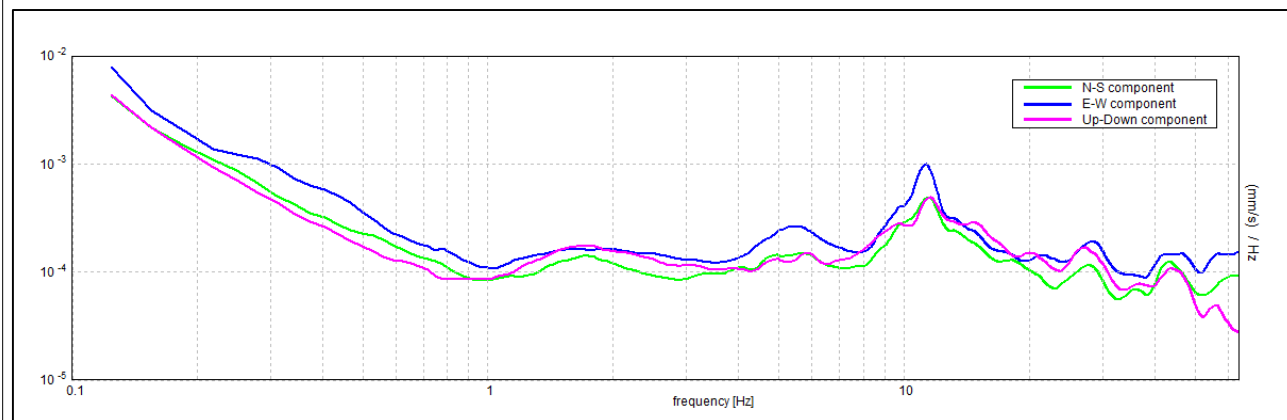
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



### ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 5

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 22/09/20 13:00:15 Fine registrazione: 22/09/20 13:30:15  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y- ; X+ X- ; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 92% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 23 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 8%

**Picco H/V a 0.78 ± 0.07 Hz (nell'intervallo 0.5 - 2.0 Hz).**

#### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	0.78 > 0.43	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1293.8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 38	OK	

#### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.625 Hz	OK	
$A_0 > 2$	1.79 > 2		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.09475  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.07402 < 0.11719	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2194 < 2.0	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

#### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

15

### OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

### Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

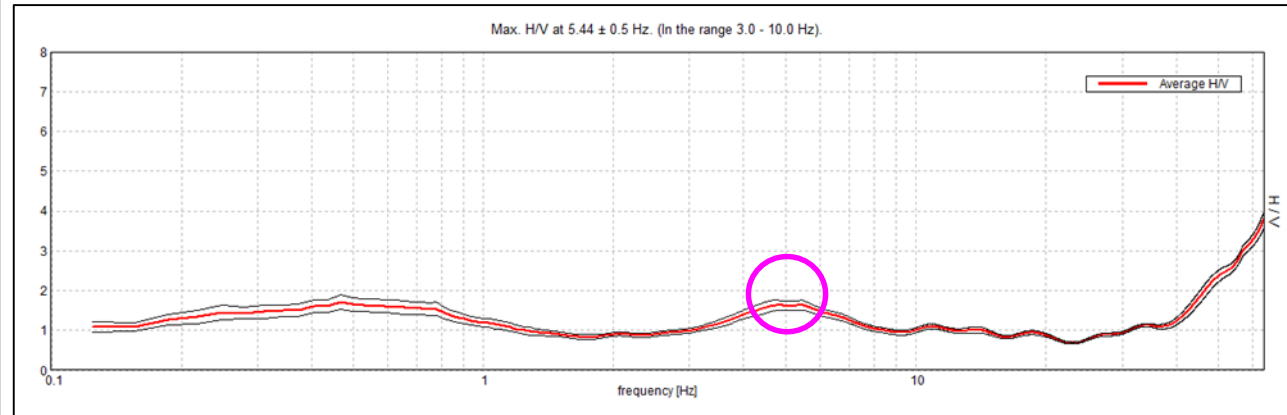
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

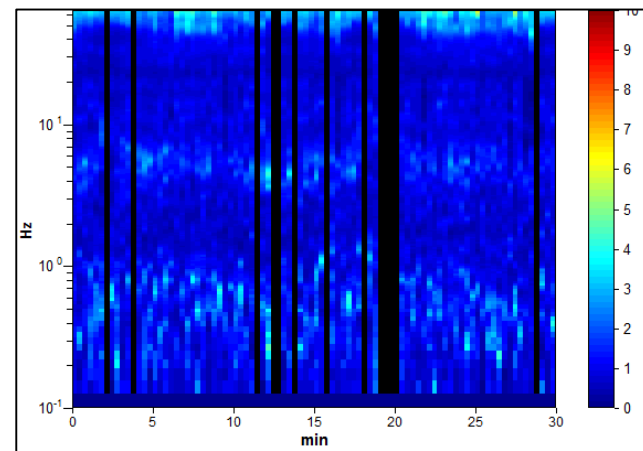


# INDAGINI SISMICHE HVSR 05

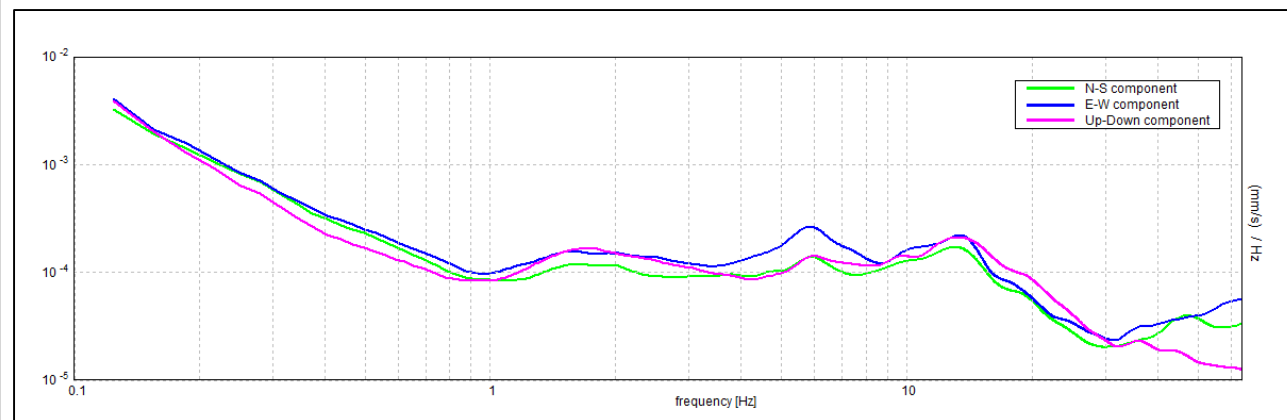
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



### ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 5

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 22/09/20 13:00:15 Fine registrazione: 22/09/20 13:30:15  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down; Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 86% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 12%

**Picco H/V a 5.44 ± 0.5 Hz (nell'intervallo 3.0 - 10.0 Hz).**

#### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	5.44 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	8373.8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 262	OK	

#### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]   A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]   A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	20.75 Hz	OK	
$A_0 > 2$	1.64 > 2		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.09232  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.50199 < 0.27188$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.121 < 1.58$	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

#### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

16

### OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

### Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara



**Ubicazione Indagine**



**Immagine area indagine**



**OGGETTO:**

Indagine geofisiche  
HVSR

**Progetto:**

PD  
QUADRUPPLICAMENTO  
FERROVIARIO  
TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

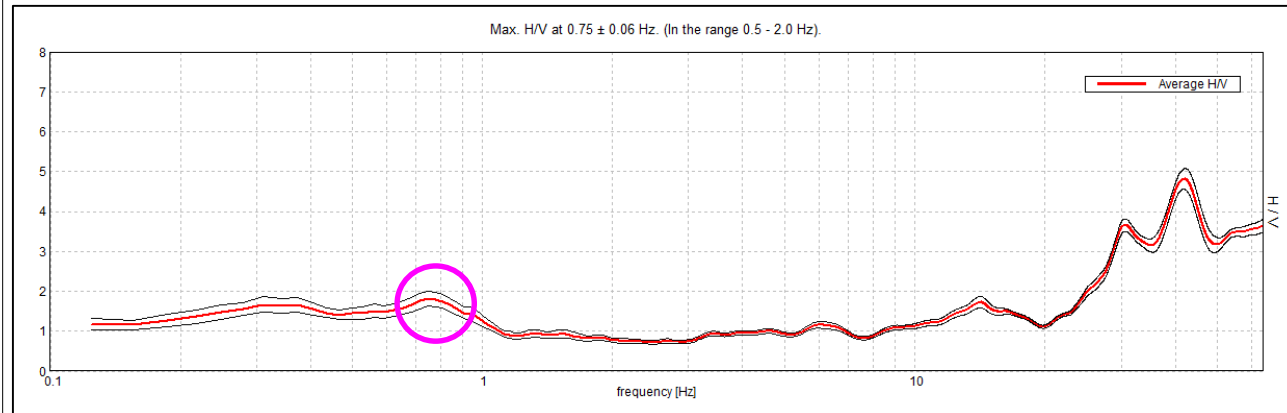
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

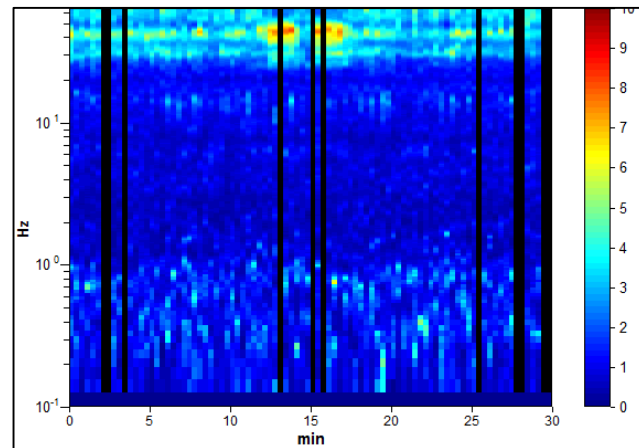


# INDAGINI SISMICHE HVSR 06

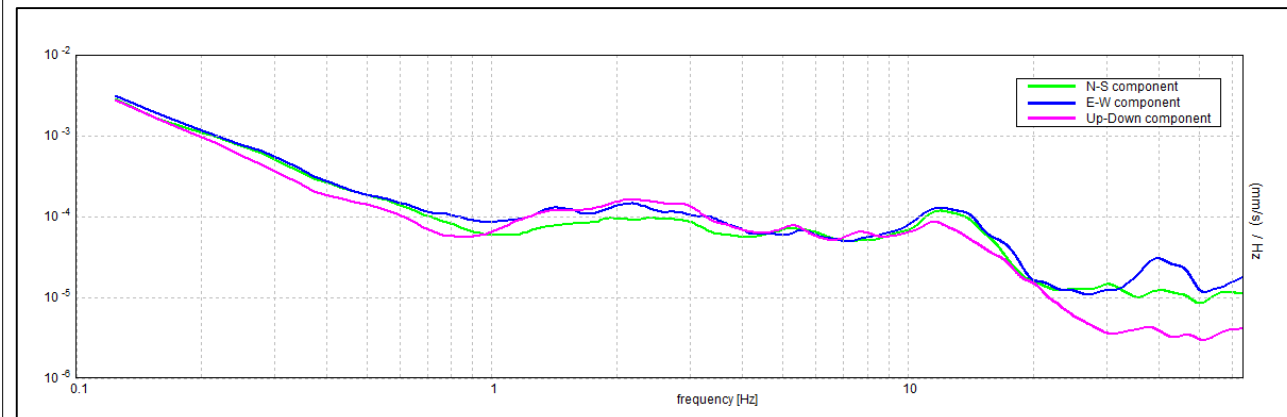
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



### ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 6

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 22/09/20 12:18:00 Fine registrazione: 22/09/20 12:48:00  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 88% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 8%

**Picco H/V a 0.75 ± 0.06 Hz (nell'intervallo 0.5 - 2.0 Hz).**

#### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	0.75 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1185.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 37	OK	

#### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.188 Hz	OK	NO
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.81 > 2		NO
$A_0 > 2$	$ 0.07969  < 0.05$		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.05977 < 0.1125	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.1847 < 2.0	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

#### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

18

### OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

### Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

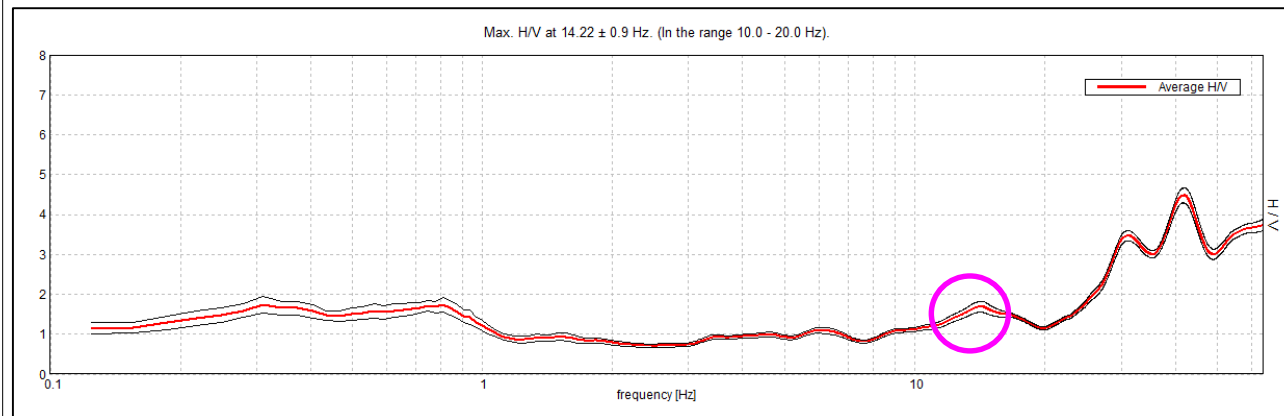
ELAB E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli

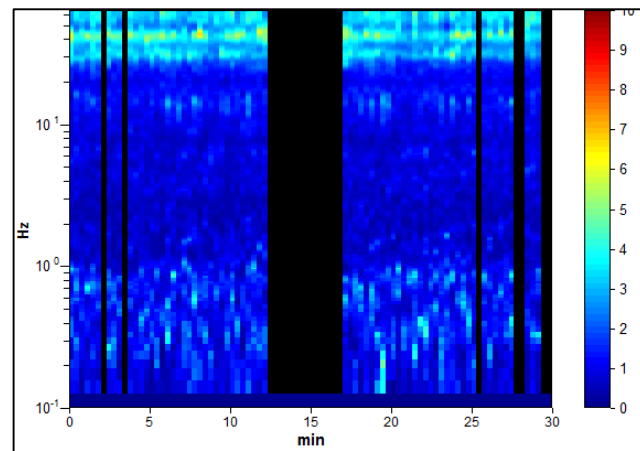
APPROV. P. Chiara

# INDAGINI SISMICHE HVSR 06

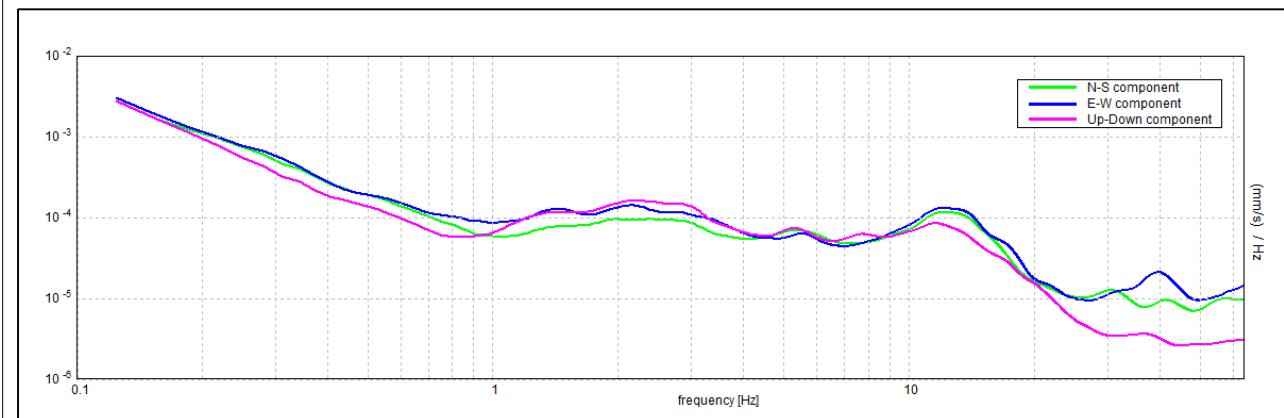
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



### ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 6

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 22/09/20 12:18:00 Fine registrazione: 22/09/20 12:48:00  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 77% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 10%

**Picco H/V a 14.22 ± 0.9 Hz (nell'intervallo 10.0 - 20.0 Hz).**

#### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	14.22 > 0.50	OK
$n_c(f_0) > 200$	19621.9 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 684	OK

#### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	7.875 Hz	OK
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$		NO
$A_0 > 2$	1.69 > 2	NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.06309  < 0.05$	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.89708 < 0.71094$	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1388 < 1.58$	OK

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

#### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

19

### OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

### Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

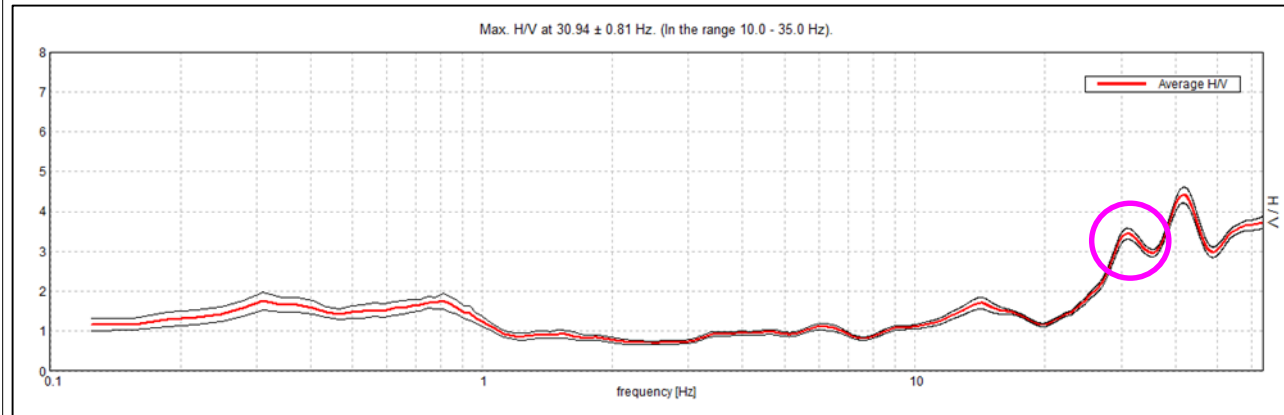
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

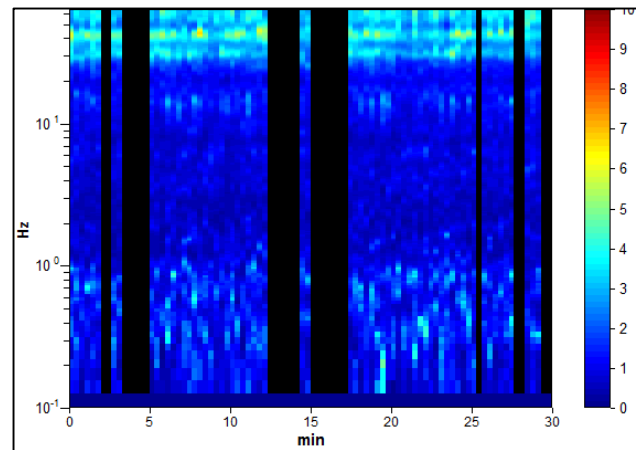


# INDAGINI SISMICHE HVSR 06

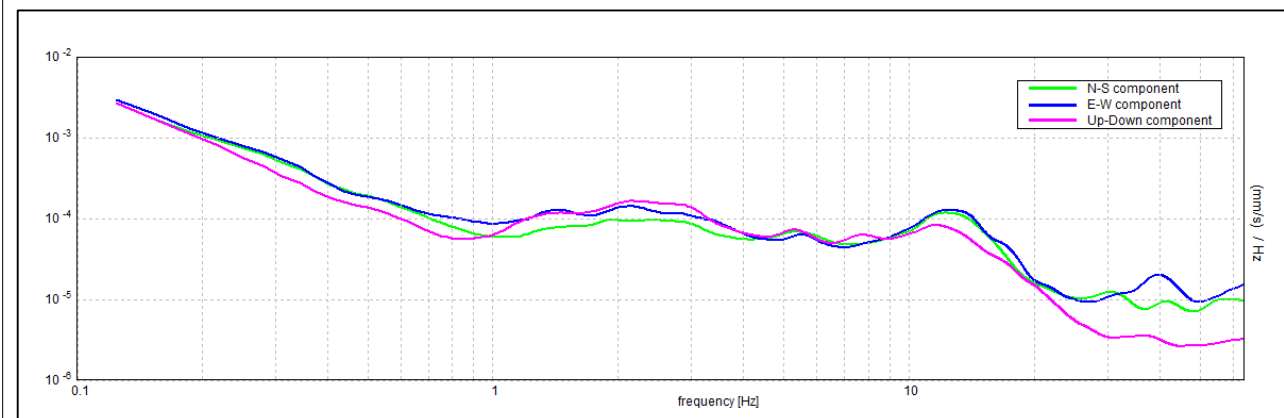
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



### ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 6

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 22/09/20 12:18:00 Fine registrazione: 22/09/20 12:48:00  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y- ; X+ X- ; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 72% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 10%

**Picco H/V a 30.94 ± 0.81 Hz (nell'intervallo 10.0 - 35.0 Hz).**

#### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	30.94 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	40218.8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1486	OK	
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$			

#### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	24.531 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	3.44 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02608  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.80692 < 1.54688	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1394 < 1.58	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

#### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

20

### OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

### Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara



Ubicazione Indagine



Immagine area indagine



**OGGETTO:**

Indagine geofisiche  
HVSR

**Progetto:**

PD  
QUADRUPPLICAMENTO  
FERROVIARIO  
TORTONA-VOGHERA



**Per la  
SOING Strutture e  
Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

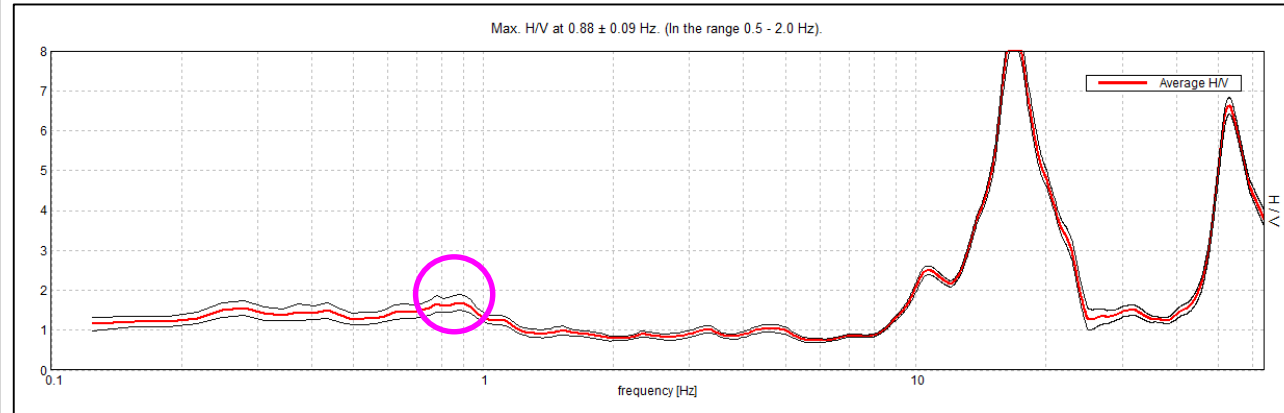
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

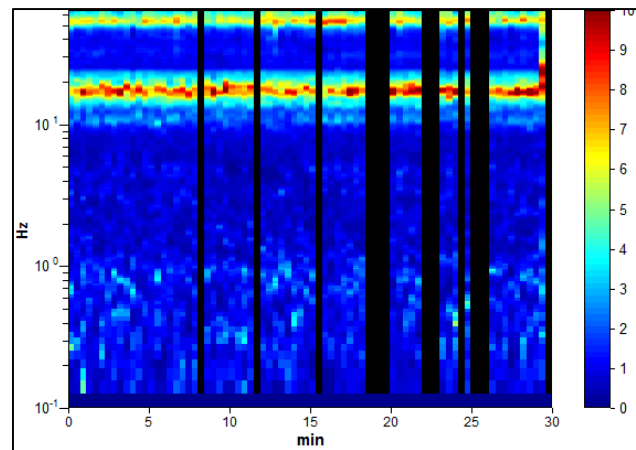


# INDAGINI SISMICHE HVSR 07

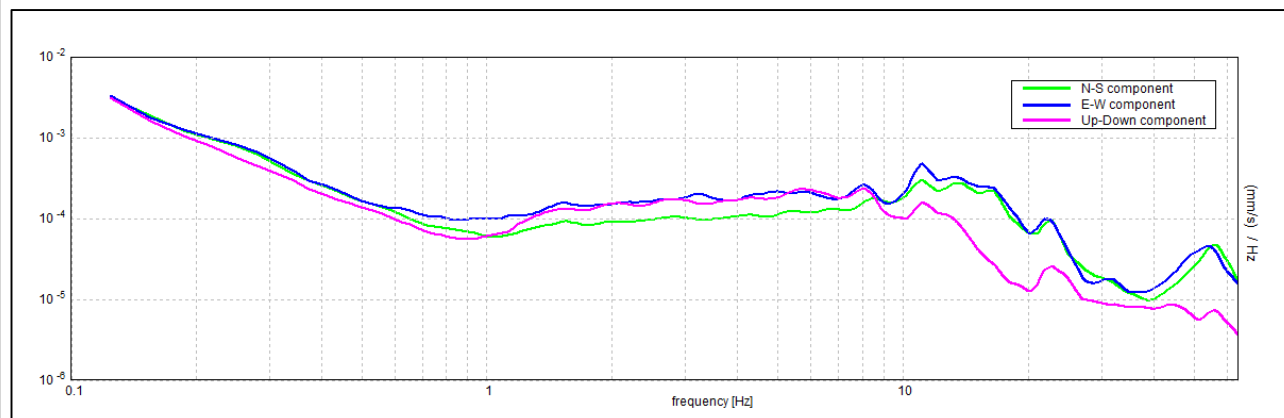
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



### ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 7

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 22/09/20 11:37:12 Fine registrazione: 22/09/20 12:07:12  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 81% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 23 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 8%

**Picco H/V a 0.88 ± 0.09 Hz (nell'intervallo 0.5 - 2.0 Hz).**

#### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	0.88 > 0.43	OK
$n_c(f_0) > 200$	1267.9 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 43	OK

#### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.875 Hz	OK	
$A_0 > 2$	1.69 > 2		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.09724  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.08508 < 0.13125	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.197 < 2.0	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

#### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

22

### OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

### Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



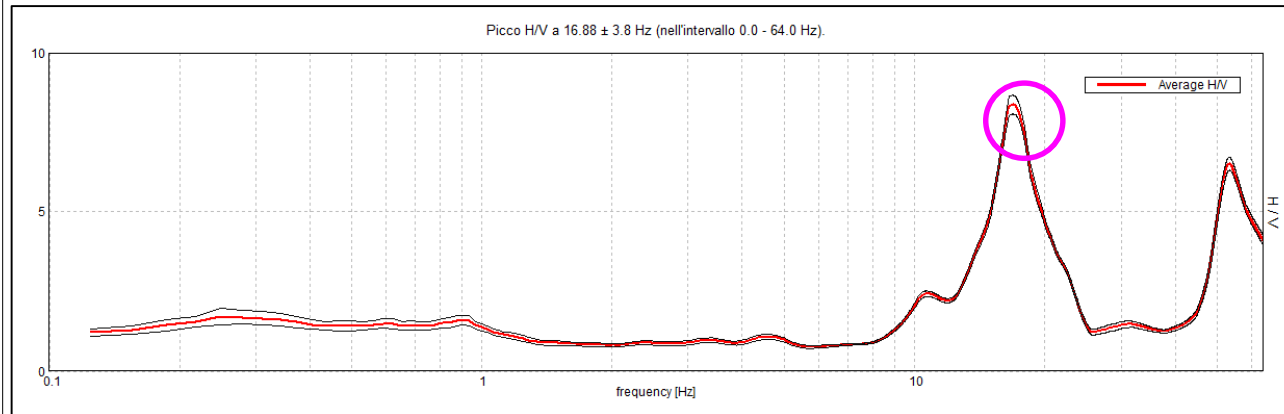
Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

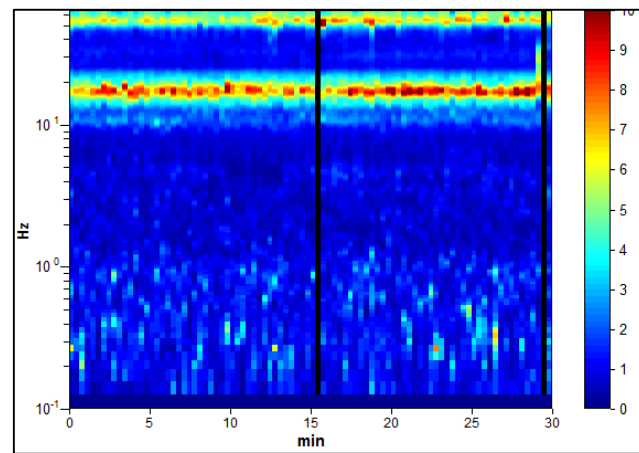
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

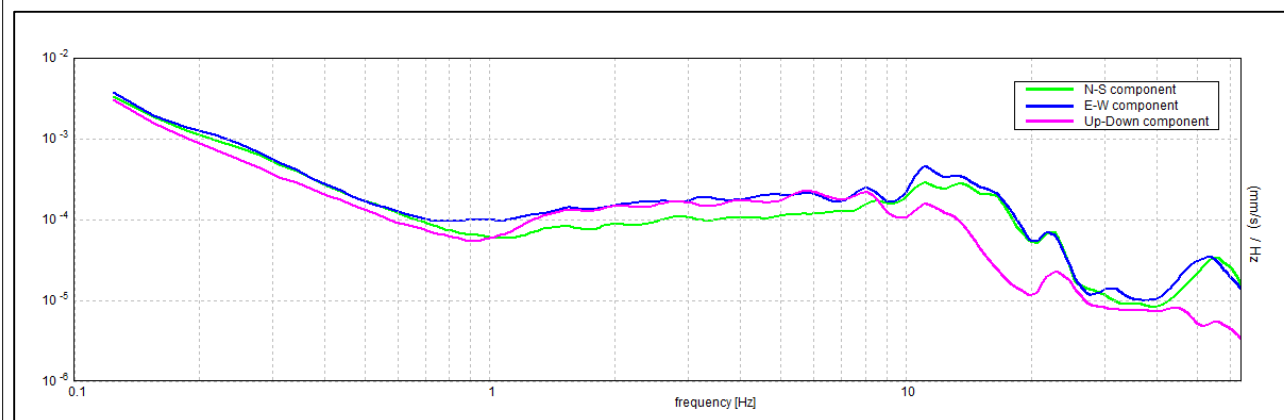
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA



ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 7

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 22/09/20 11:37:12 Fine registrazione: 22/09/20 12:07:12  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00" Analizzato 98% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di liscio: Triangular window  
 Liscio: 10%

**Picco H/V a 16.88 ± 3.8 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**  
 [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	16.88 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	29700.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 811	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**  
 [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	14.313 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	20.688 Hz	OK	
$A_0 > 2$	8.38 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.22525  < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	3.80117 < 0.84375		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2931 < 1.58	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara



Ubicazione Indagine



Immagine area indagine



**OGGETTO:**

Indagine geofisiche  
HVSR

**Progetto:**

PD  
QUADRUPPLICAMENTO  
FERROVIARIO  
TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

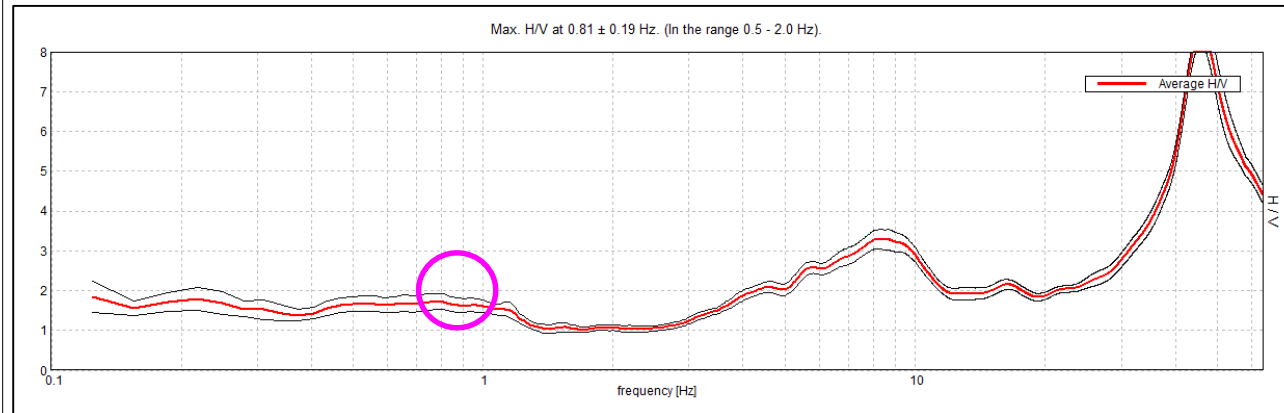
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

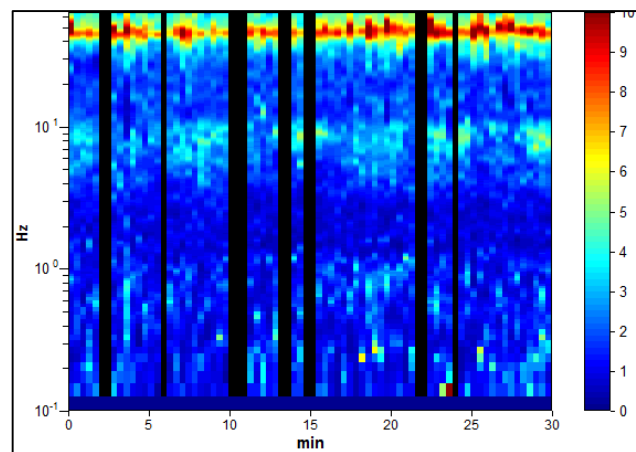


# INDAGINI SISMICHE HVSR 08

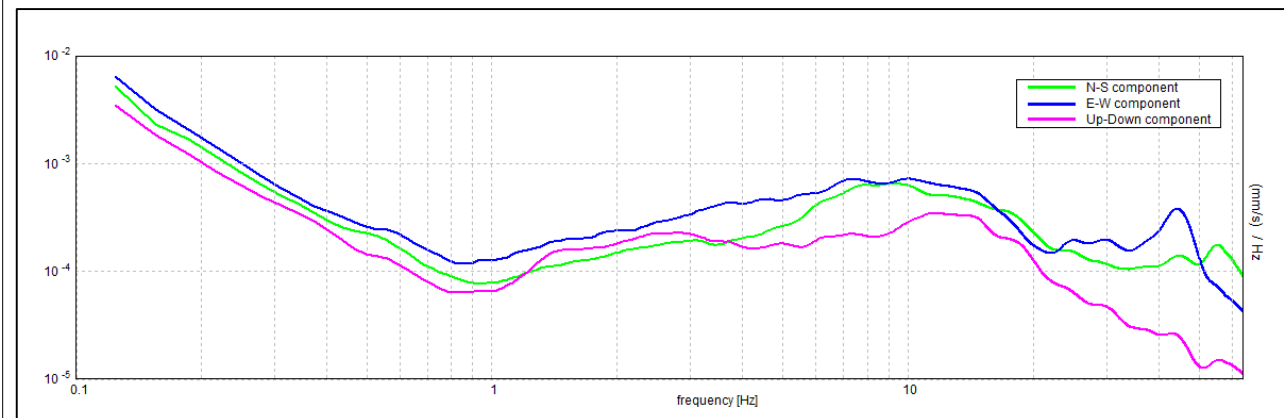
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



### ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 8

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 21/09/20 17:30:57 Fine registrazione: 21/09/20 18:00:57  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 83% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 23 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 10%

**Picco H/V a 0.81 ± 0.19 Hz (nell'intervallo 0.5 - 2.0 Hz).**

#### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	0.81 > 0.43	OK
$n_c(f_0) > 200$	1214.7 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 40	OK

#### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$		NO
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$		NO
$A_0 > 2$	1.72 > 2	NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.23924  < 0.05$	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.19438 < 0.12188	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1927 < 2.0	OK

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

#### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

25

### OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

### Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

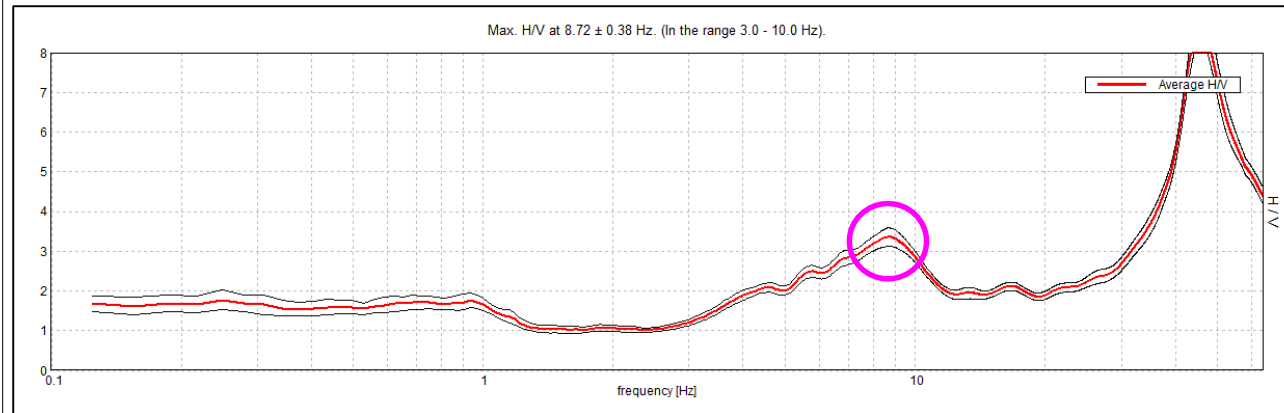
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

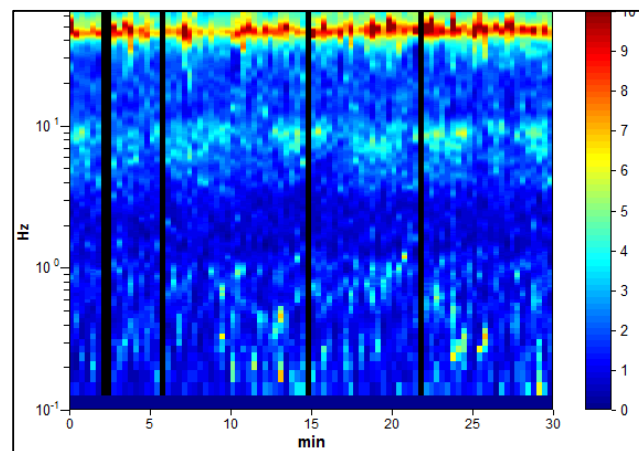


# INDAGINI SISMICHE HVSR 08

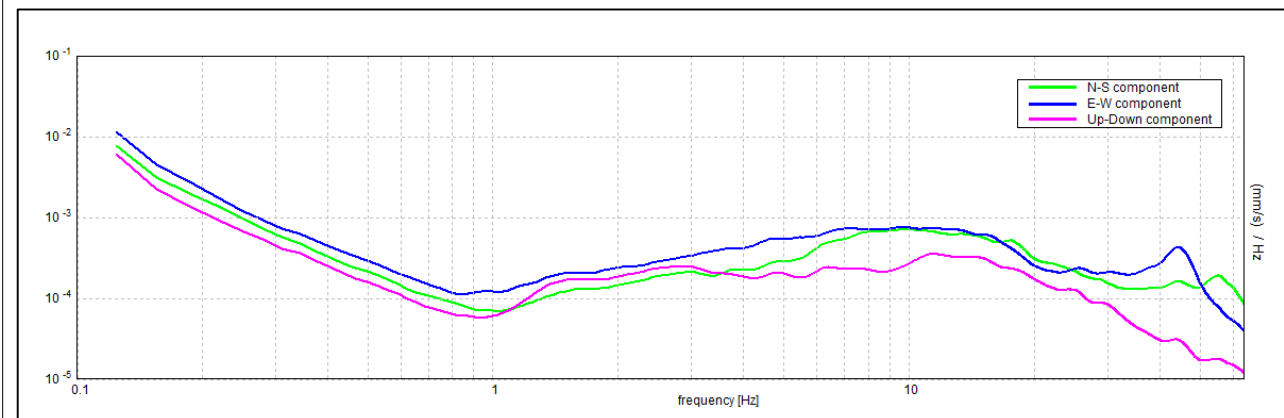
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



### ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 8

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 21/09/20 17:30:57 Fine registrazione: 21/09/20 18:00:57  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 94% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 10%

**Picco H/V a 8.72 ± 0.38 Hz (nell'intervallo 3.0 - 10.0 Hz).**

#### Criteria per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	8.72 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	14821.9 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 420	OK	

#### Criteria per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.656 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	3.36 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04405  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.38404 < 0.43594$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2319 < 1.58$	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

#### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

26

### OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

### Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara



Ubicazione Indagine



Immagine area indagine



**OGGETTO:**

Indagine geofisiche  
HVSR

**Progetto:**

PD  
QUADRUPPLICAMENTO  
FERROVIARIO  
TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

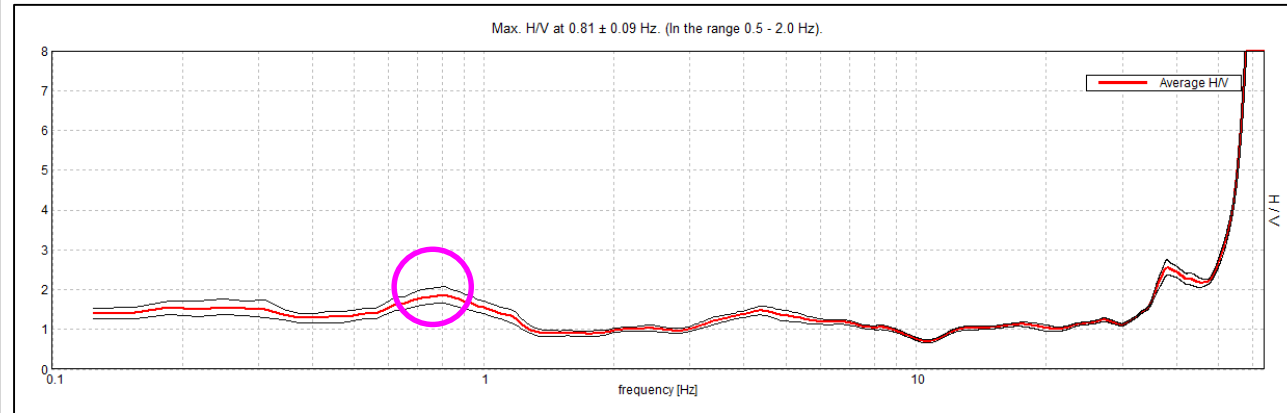
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

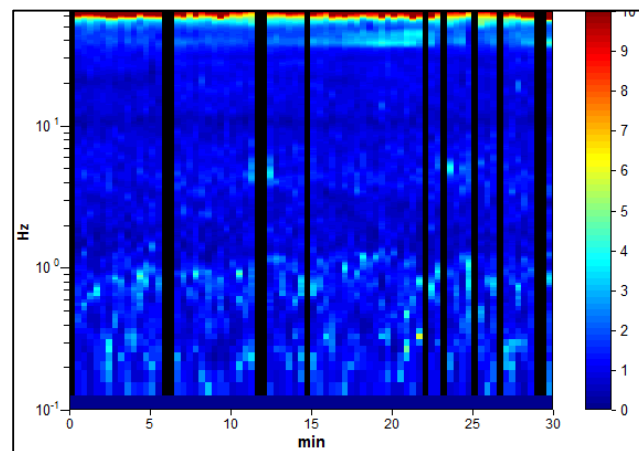


# INDAGINI SISMICHE HVSR 09

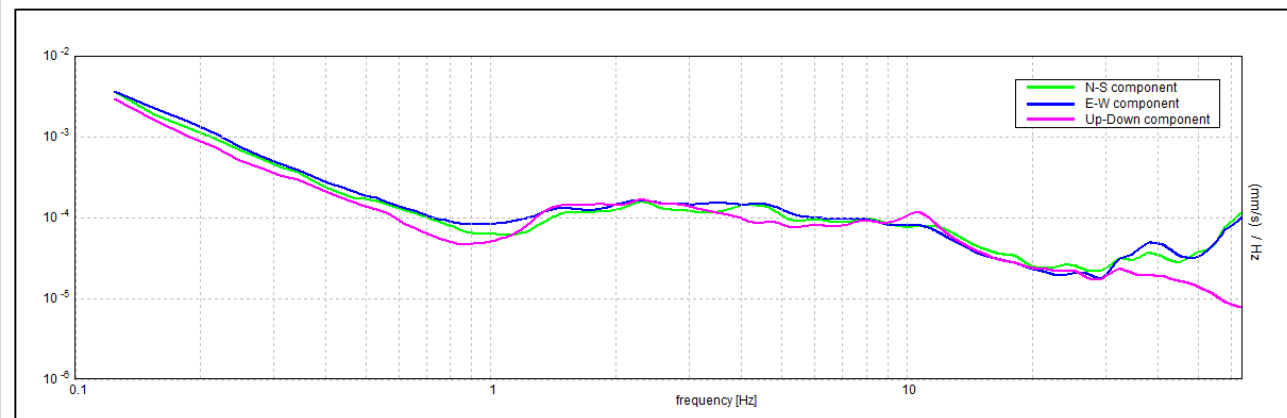
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



### ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 9

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 21/09/20 16:28:50 Fine registrazione: 21/09/20 16:58:50  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 85% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 23 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 10%

**Picco H/V a 0.81 ± 0.09 Hz (nell'intervallo 0.5 - 2.0 Hz).**

#### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	0.81 > 0.43	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1233.4 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 40	OK	
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$			

#### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.344 Hz	OK	
$A_0 > 2$	1.87 > 2		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.10501  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.08532 < 0.12188	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2005 < 2.0	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

#### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

28

### OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

### Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

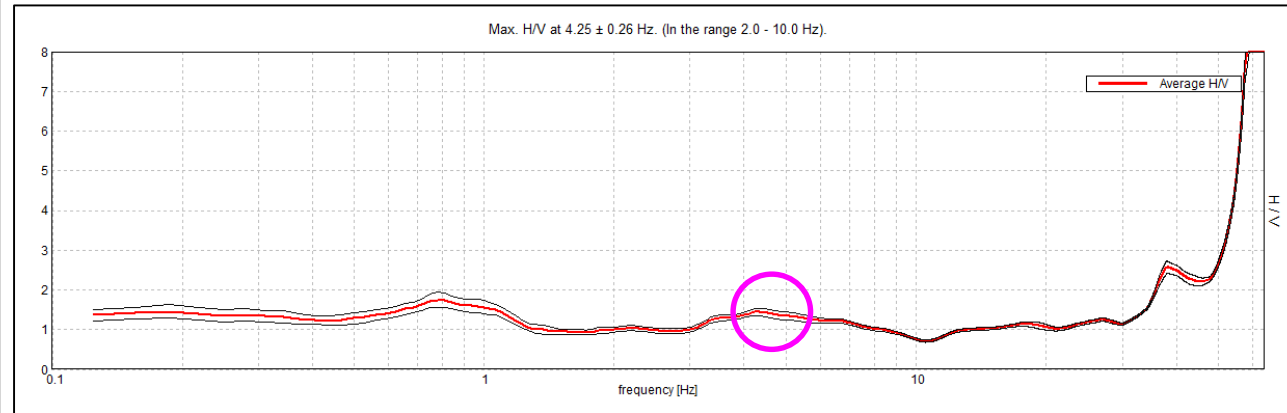
ELAB E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli

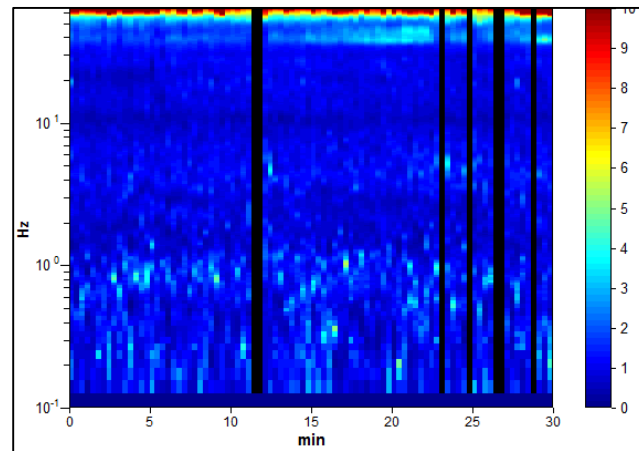
APPROV. P. Chiara

# INDAGINI SISMICHE HVSR 09

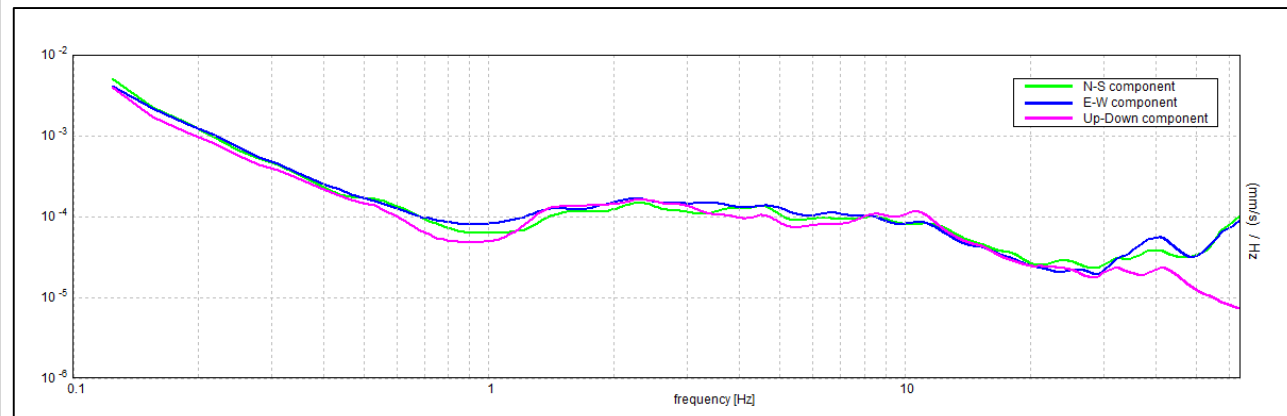
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



### ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 9

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 21/09/20 16:28:50 Fine registrazione: 21/09/20 16:58:50  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 92% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 11%

**Picco H/V a 4.25 ± 0.26 Hz (nell'intervallo 2.0 - 10.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**  
 [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	4.25 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	7055.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 205	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**  
 [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	10.313 Hz	OK	
$A_0 > 2$	1.44 > 2		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.06101  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.25931 < 0.2125		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.0864 < 1.58	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

29

**OGGETTO:**

Indagine geofisiche HVSR

**Progetto:**

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara



Ubicazione Indagine



Immagine area indagine



**OGGETTO:**

Indagine geofisiche  
HVSR

**Progetto:**

PD  
QUADRUPPLICAMENTO  
FERROVIARIO  
TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

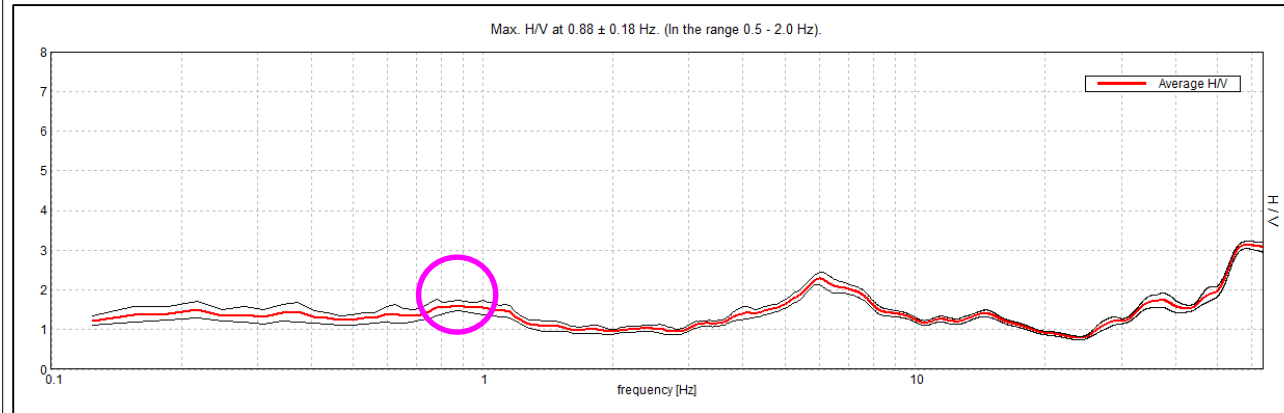
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

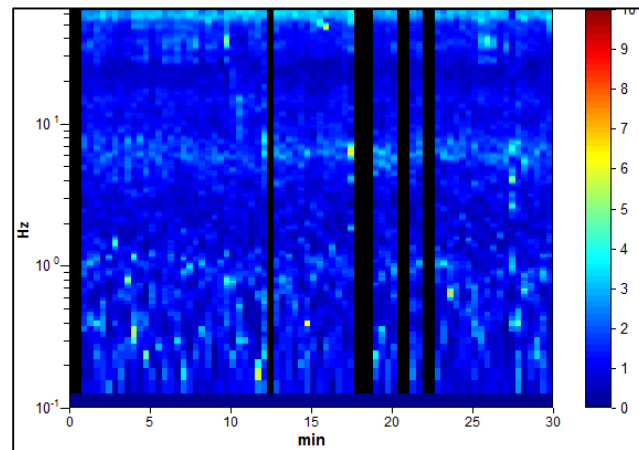


# INDAGINI SISMICHE HVSR 10

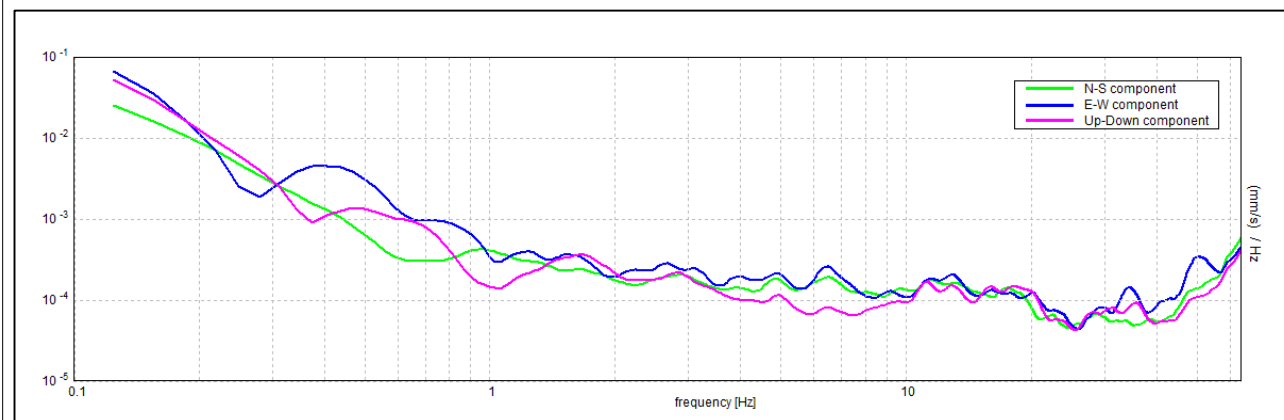
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



### ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 10

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 22/09/20 09:15:57 Fine registrazione: 22/09/20 09:45:57  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00" Analizzato 87% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 23 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 8%

**Picco H/V a 0.88 ± 0.18 Hz (nell'intervallo 0.5 - 2.0 Hz).**

#### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	0.88 > 0.43	OK
$n_c(f_0) > 200$	1368.5 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 43	OK

#### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]   A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$		NO
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]   A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$		NO
$A_0 > 2$	1.61 > 2	NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.20337  < 0.05$	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.17795 < 0.13125$	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1385 < 2.0$	OK

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

#### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

31

### OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

### Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

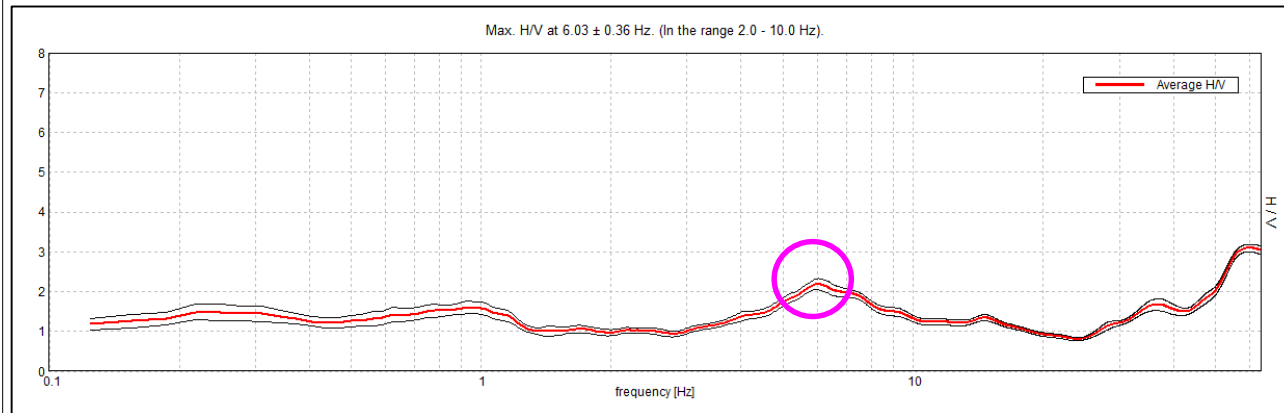
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

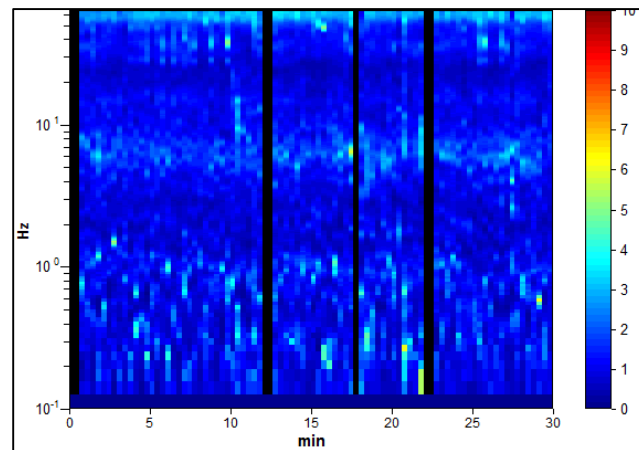


# INDAGINI SISMICHE HVSR 10

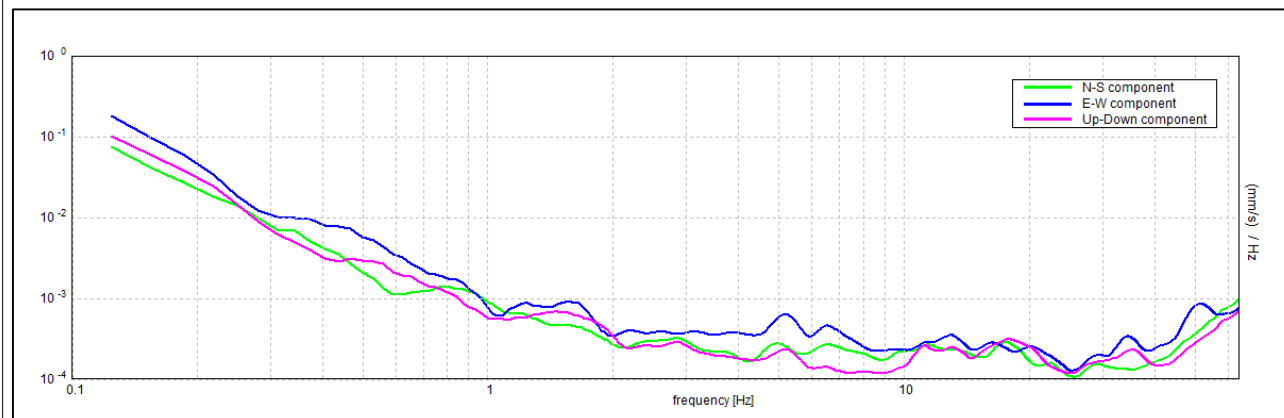
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



### ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 10

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 22/09/20 09:15:57 Fine registrazione: 22/09/20 09:45:57  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 92% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di liscio: Triangular window  
 Liscio: 10%

**Picco H/V a 6.03 ± 0.36 Hz (nell'intervallo 2.0 - 10.0 Hz).**

#### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	6.03 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	10011.9 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 290	OK	

#### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.188 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	17.344 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.19 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.05999  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.36179 < 0.30156		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1394 < 1.58	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

#### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

32

### OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

### Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara



Ubicazione Indagine



Immagine area indagine



**OGGETTO:**

Indagine geofisiche  
HVSR

**Progetto:**

PD  
QUADRUPPLICAMENTO  
FERROVIARIO  
TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

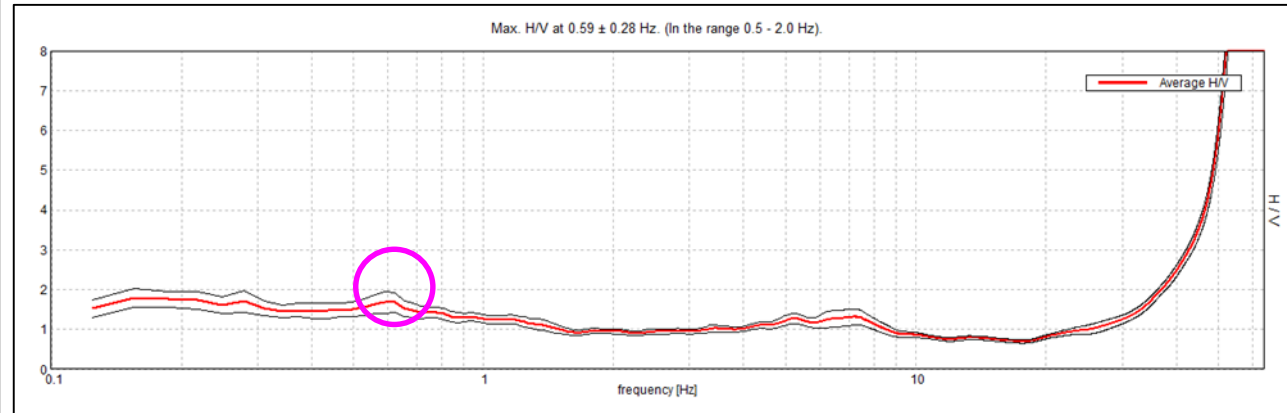
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

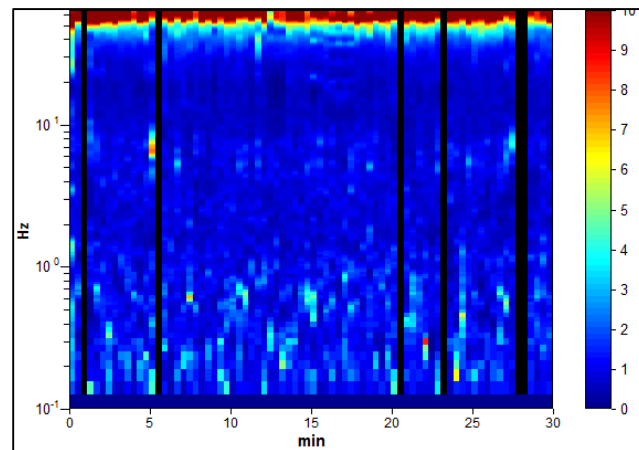


# INDAGINI SISMICHE HVSR 11

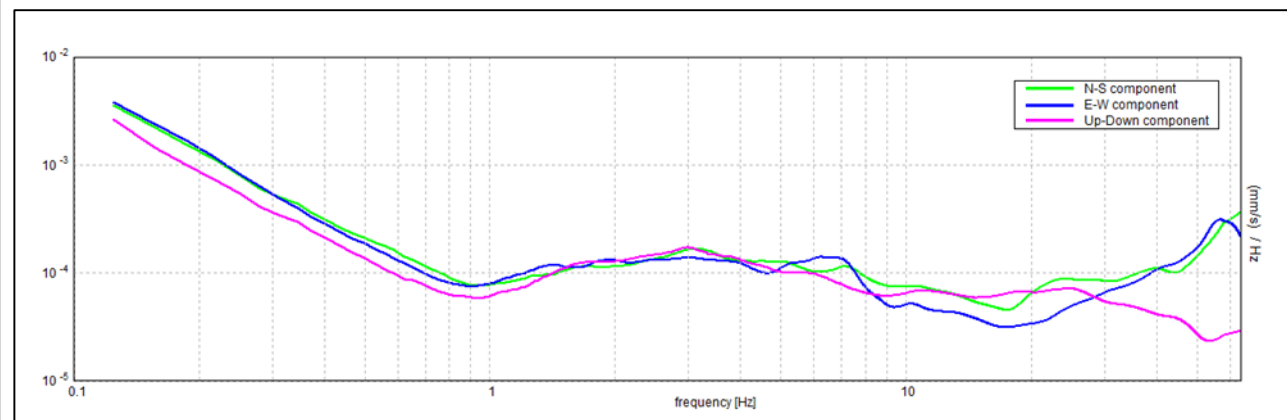
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



### ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 11

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 21/09/20 18:19:29 Fine registrazione: 21/09/20 18:49:29  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 92% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 23 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 10%

**Picco H/V a 0.59 ± 0.28 Hz (nell'intervallo 0.5 - 2.0 Hz).**

#### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	0.59 > 0.43	OK
$n_c(f_0) > 200$	983.3 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 30	OK

#### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$		NO
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$		NO
$A_0 > 2$	1.68 > 2	NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.46466  < 0.05$	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.27589 < 0.08906	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2695 < 2.0	OK

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

#### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

34

### OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

### Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

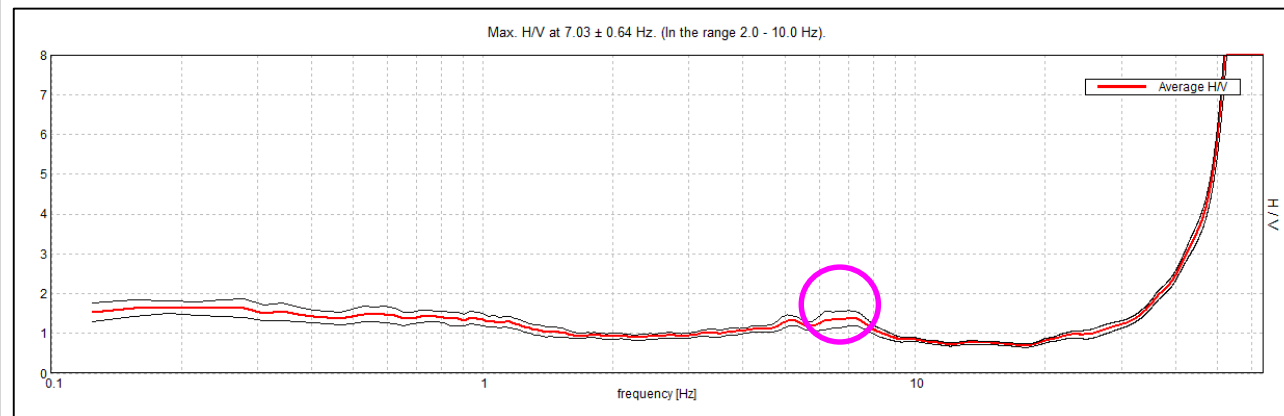
ELAB E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli

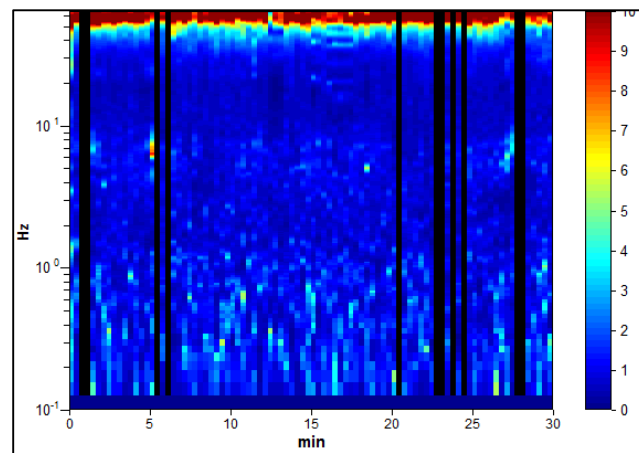
APPROV. P. Chiara

# INDAGINI SISMICHE HVSR 11

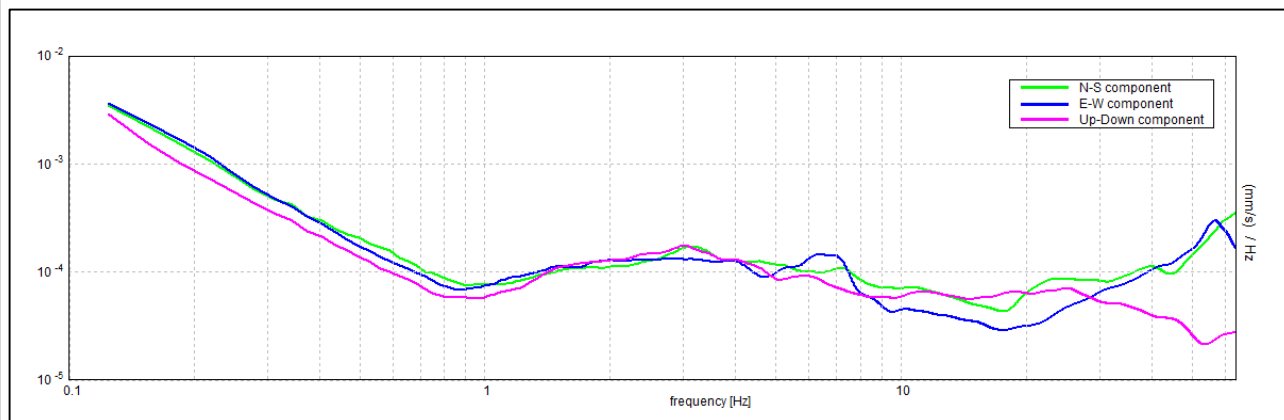
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



### ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 11

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 21/09/20 18:19:29 Fine registrazione: 21/09/20 18:49:29  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y- ; X+ X- ; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 88% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 8%

**Picco H/V a 7.03 ± 0.64 Hz (nell'intervallo 2.0 - 10.0 Hz).**

#### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	7.03 > 0.50	OK
$n_c(f_0) > 200$	11109.4 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 338	OK

#### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$		NO
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$		NO
$A_0 > 2$	1.38 > 2	NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.09127  < 0.05$	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.64174 < 0.35156$	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1977 < 1.58$	OK

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

#### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

35

### OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

### Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara



Ubicazione Indagine



Immagine area indagine



**OGGETTO:**

Indagine geofisiche  
HVSR

**Progetto:**

PD  
QUADRUPPLICAMENTO  
FERROVIARIO  
TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

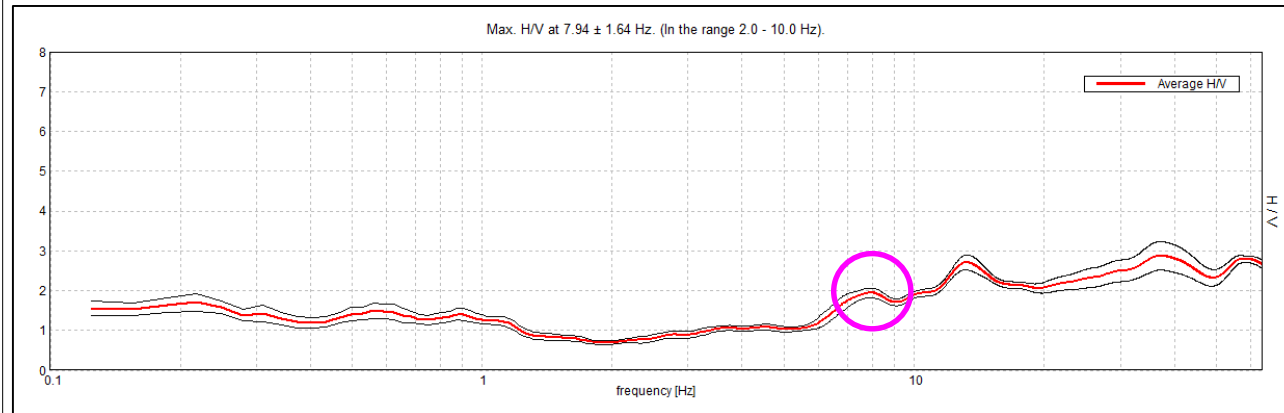
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

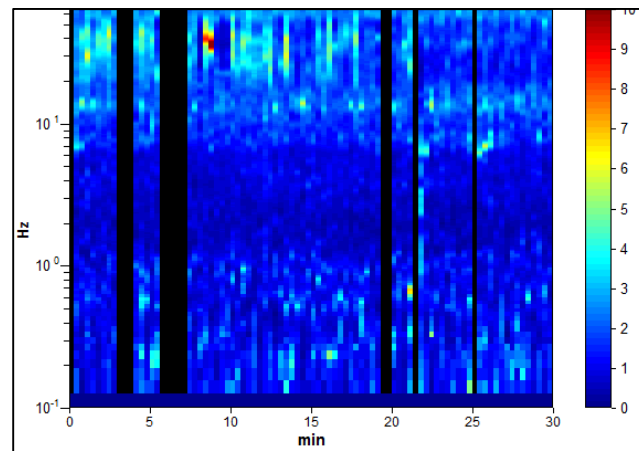


# INDAGINI SISMICHE HVSR 12

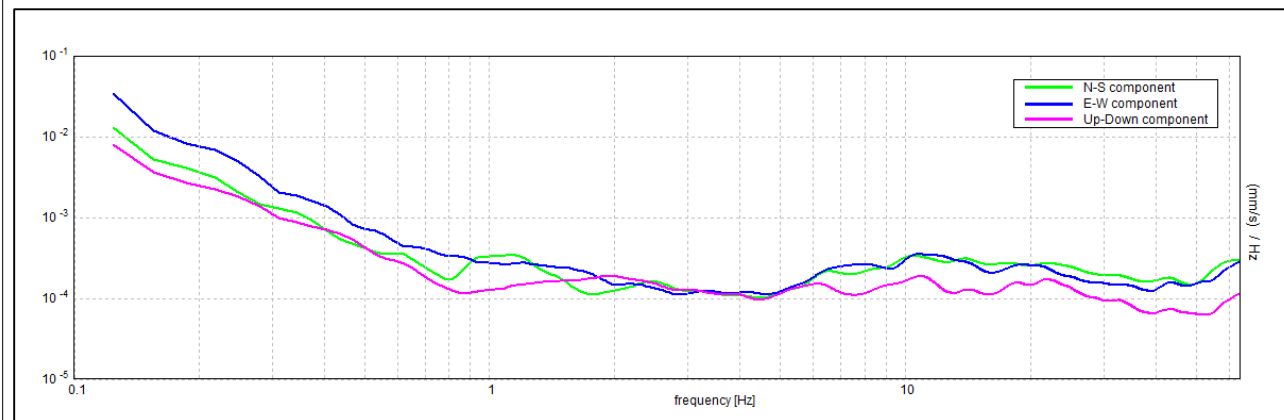
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



### ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 12

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 21/09/20 19:04:01 Fine registrazione: 21/09/20 19:34:01  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 86% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 10%

**Picco H/V a 7.94 ± 1.64 Hz (nell'intervallo 2.0 - 10.0 Hz).**

#### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	7.94 > 0.50	OK
$n_c(f_0) > 200$	12223.8 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 382	OK

#### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.25 Hz	OK
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$		NO
$A_0 > 2$	1.94 > 2	NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.20663  < 0.05$	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.64014 < 0.39688	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1219 < 1.58	OK

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

#### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

37

### OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

### Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

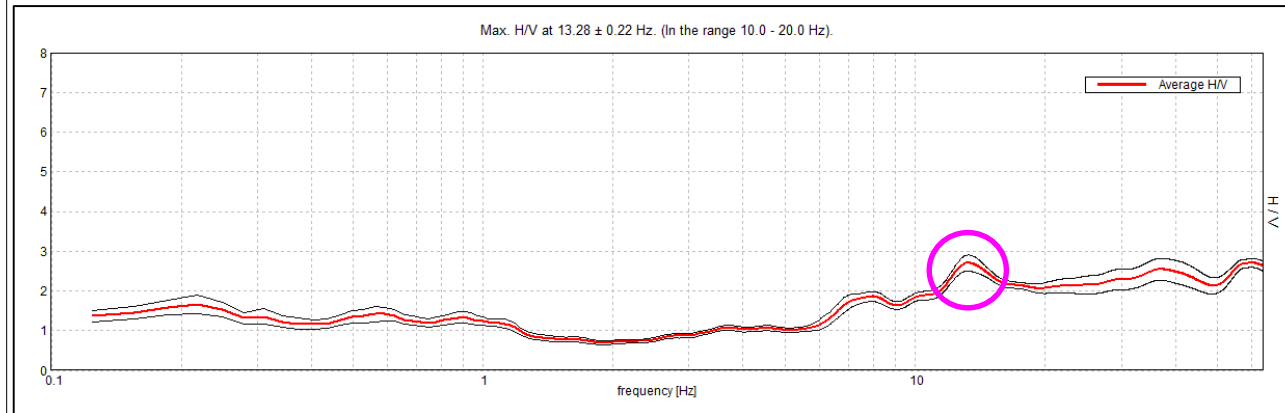
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

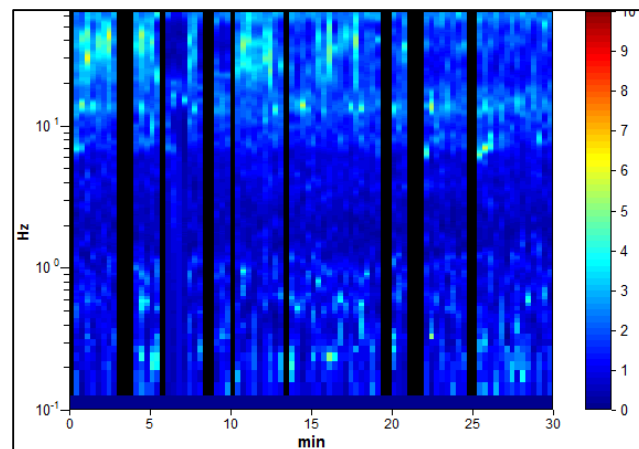


# INDAGINI SISMICHE HVSR 12

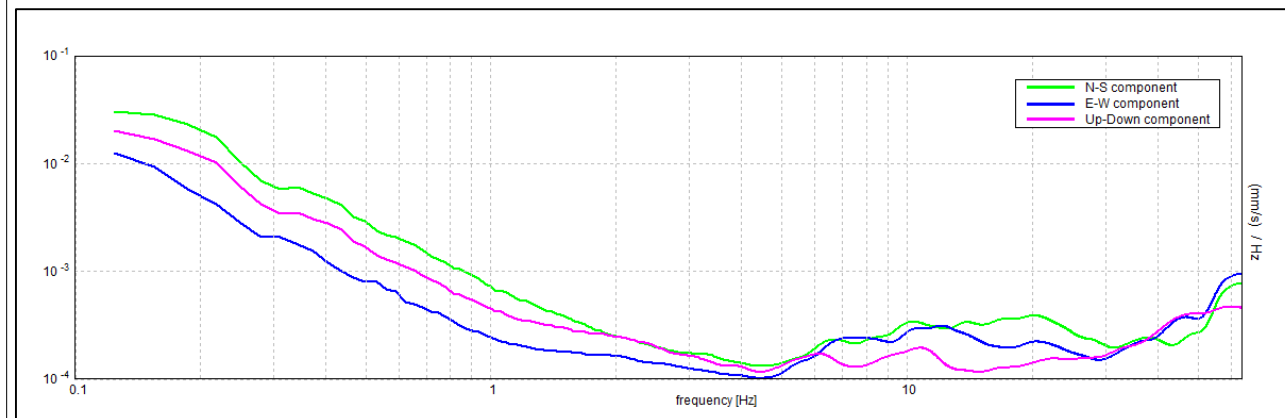
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



### ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 12

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 21/09/20 19:04:01 Fine registrazione: 21/09/20 19:34:01  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 82% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 10%

**Picco H/V a 13.28 ± 0.22 Hz (nell'intervallo 10.0 - 20.0 Hz).**

#### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	13.28 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	19656.3 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 638	OK	

#### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	6.406 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2.70 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0169  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.22447 < 0.66406	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2019 < 1.58	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

#### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

38

### OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

### Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara



Ubicazione Indagine



Immagine area indagine



**OGGETTO:**

Indagine geofisiche  
HVSR

**Progetto:**

PD  
QUADRUPPLICAMENTO  
FERROVIARIO  
TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

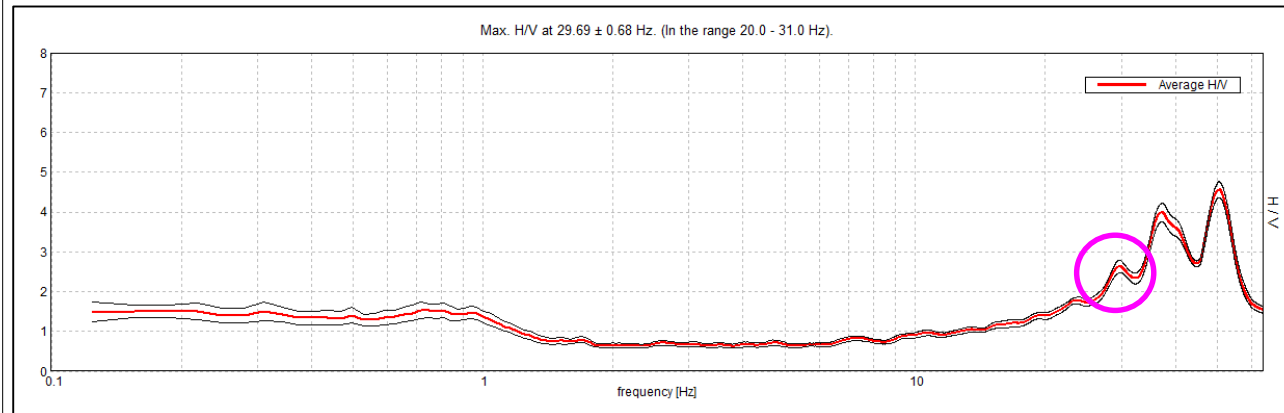
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

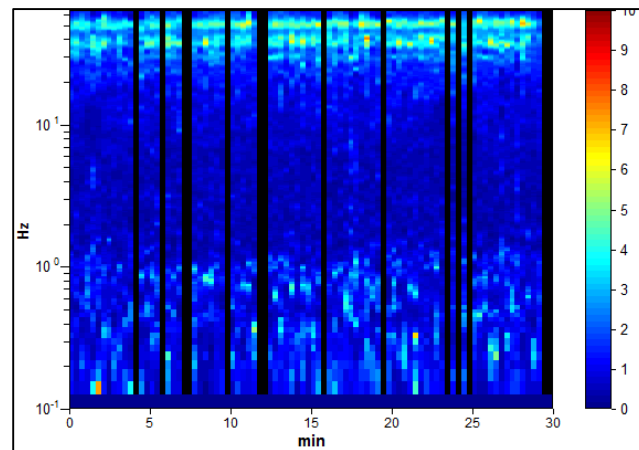


# INDAGINI SISMICHE HVSR 13

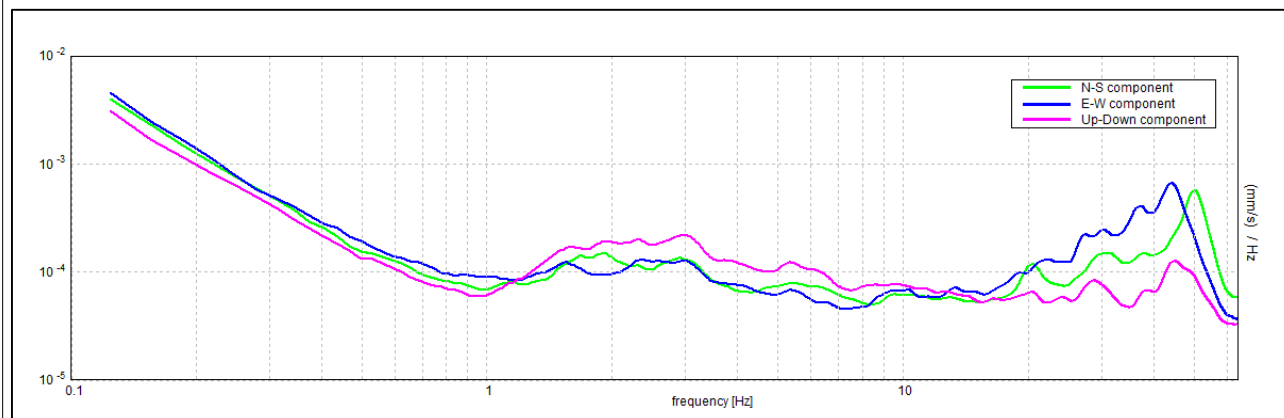
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



### ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 13

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 22/09/20 10:00:00 Fine registrazione: 22/09/20 10:30:00  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 84% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 6%

**Picco H/V a 29.69 ± 0.68 Hz (nell'intervallo 20.0 - 31.0 Hz).**

#### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	29.69 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	45125.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1426	OK	

#### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	18.469 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2.63 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02286  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.67866 < 1.48438	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1584 < 1.58	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

#### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

40

### OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

### Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara



Ubicazione Indagine



Immagine area indagine



**OGGETTO:**

Indagine geofisiche  
HVSR

**Progetto:**

PD  
QUADRUPPLICAMENTO  
FERROVIARIO  
TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e  
Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

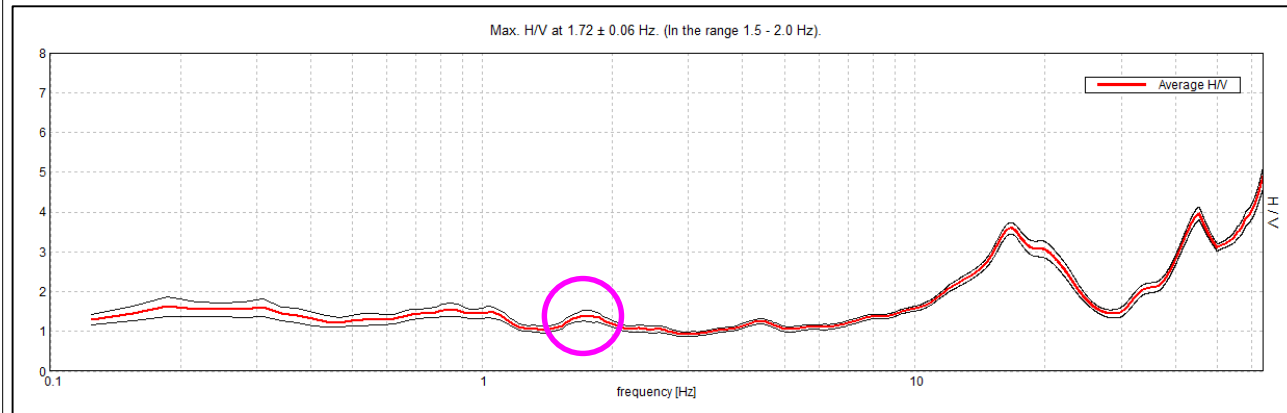
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

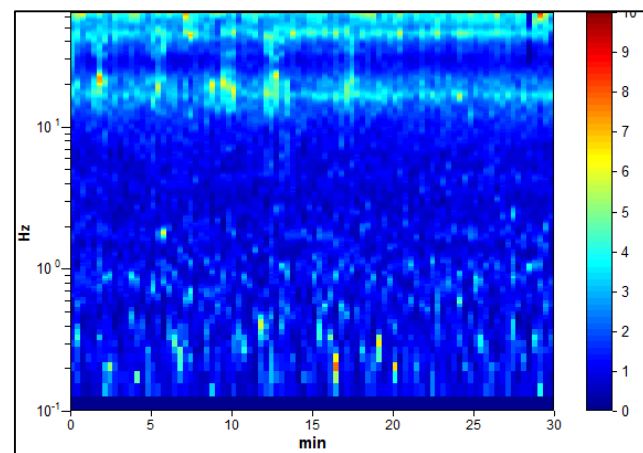


# INDAGINI SISMICHE HVSR 14

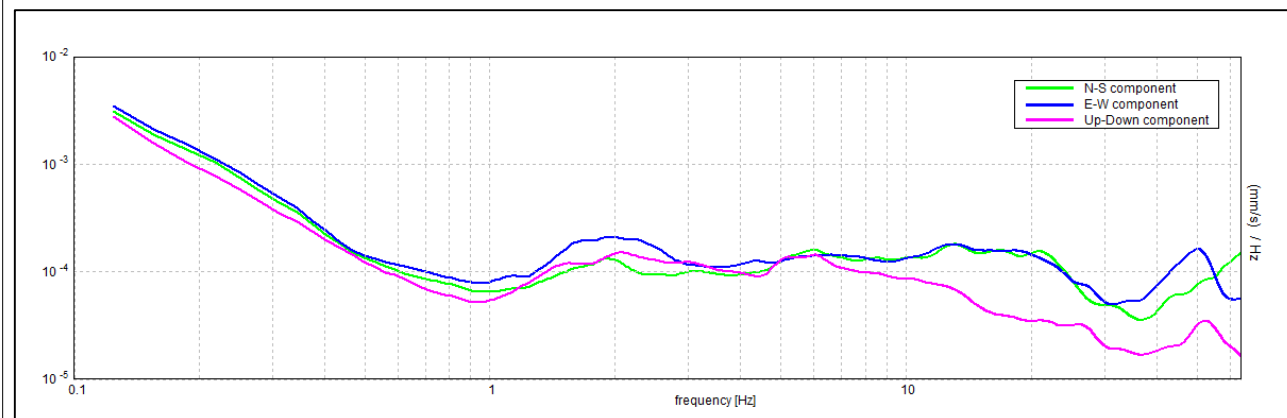
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



### ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 14

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 22/09/20 10:43:15 Fine registrazione: 22/09/20 11:13:15  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 10%

**Picco H/V a 1.72 ± 0.06 Hz (nell'intervallo 1.5 - 2.0 Hz).**

#### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	1.72 > 0.50	OK
$n_c(f_0) > 200$	3093.8 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 84	OK

#### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$		NO
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$		NO
$A_0 > 2$	1.39 > 2	NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.03487  < 0.05$	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.05993 < 0.17188	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1325 < 1.78	OK

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

#### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

42

### OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

### Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

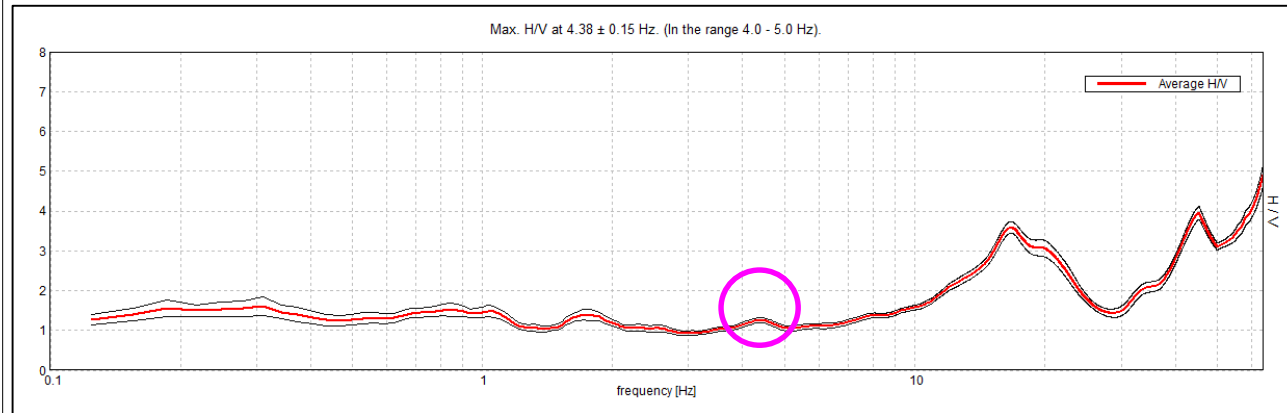
ELAB E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli

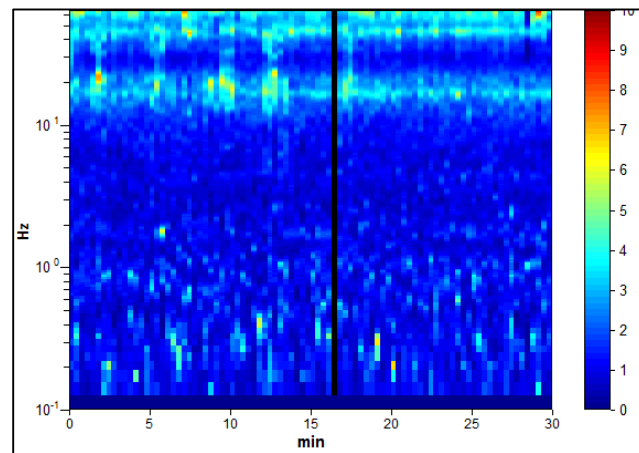
APPROV. P. Chiara

# INDAGINI SISMICHE HVSR 14

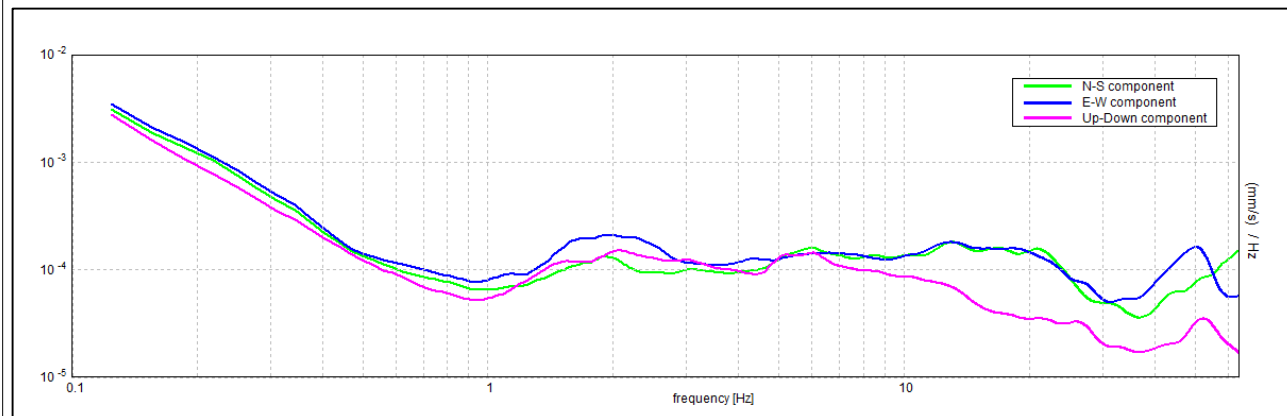
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



### ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 14

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 22/09/20 10:43:15 Fine registrazione: 22/09/20 11:13:15  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 99% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 10%

**Picco H/V a 4.38 ± 0.15 Hz (nell'intervallo 4.0 - 5.0 Hz).**

#### Criteria per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	4.38 > 0.50	OK
$n_c(f_0) > 200$	7787.5 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 211	OK

#### Criteria per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$		NO
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$		NO
$A_0 > 2$	1.25 > 2	NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.03357  < 0.05	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.14687 < 0.21875	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.0639 < 1.58	OK

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

#### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

43

### OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

### Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

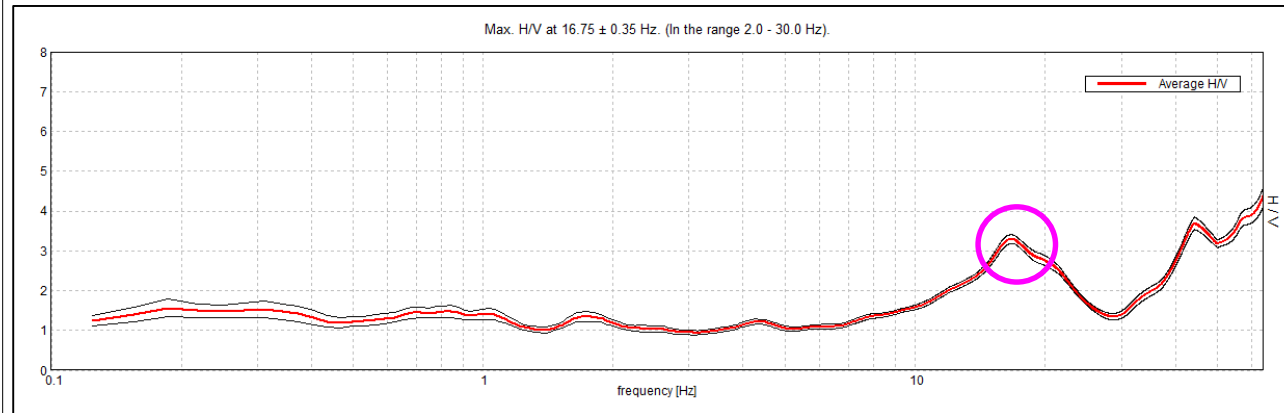
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

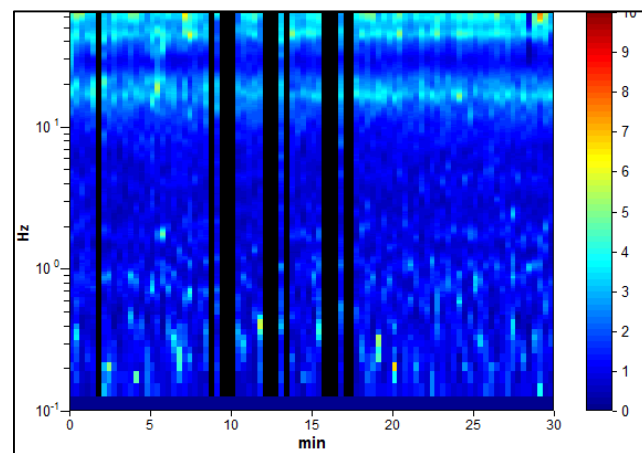


# INDAGINI SISMICHE HVSR 14

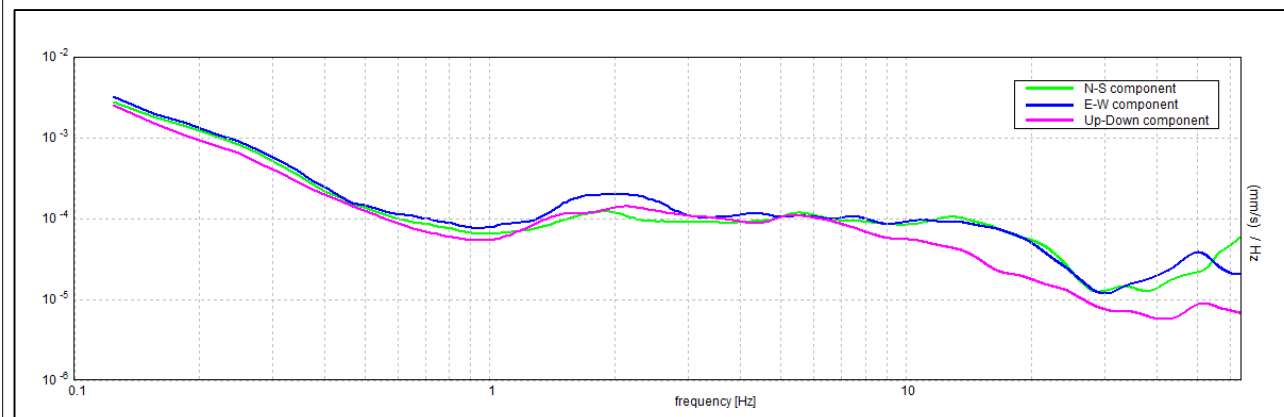
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



## H/V TIME HISTORY



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



### ITALFERR TORTONA, TORTONA HVSR 14

Strumento: TEP-0155/01-11  
 Formato dati: 16 byte  
 Fondo scala [mV]: n.a.  
 Inizio registrazione: 22/09/20 10:43:15 Fine registrazione: 22/09/20 11:13:15  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down;  
 Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 84% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz  
 Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window  
 Lisciamento: 13%

**Picco H/V a 16.75 ± 0.35 Hz (nell'intervallo 2.0 - 30.0 Hz).**

#### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	16.75 > 0.50	OK
$n_c(f_0) > 200$	25460.0 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 805	OK

#### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	10.438 Hz	OK
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	25.25 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.29 > 2	OK
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02076  < 0.05$	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.34771 < 0.8375$	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1105 < 1.58$	OK

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

#### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TAVOLA

44

### OGGETTO:

Indagine geofisiche HVSR

### Progetto:

PD  
 QUADRUPPLICAMENTO  
 FERROVIARIO  
 TORTONA-VOGHERA



Per la  
**SOING Strutture e Ambiente Srl**

ELAB E. Benvenuti

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara