



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

REGIONE
TOSCANA



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 dalla legge 24 giugno 2009, n. 77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione sulle indagini

Regione Toscana

Comune di Ponsacco

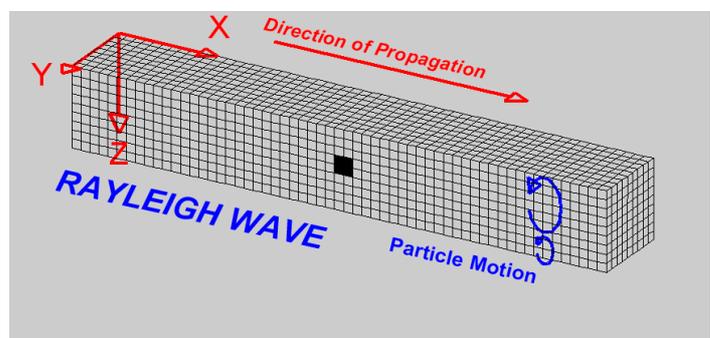


Regione	Soggetto realizzatore	Data
Toscana	Dott. Geol. Fabio Mezzetti	1 dicembre 2019

GENERALITÀ

L'indagine MASW viene effettuata per la caratterizzazione della velocità delle onde Sh dei terreni, per la determinazione del parametro VS_{30} , necessario al fine della classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto. L'interpretazione dei dati di campagna permette di ricavare una sequenza sismo-stratigrafica per l'area di indagine, con suddivisione in strati aventi analoghe caratteristiche delle velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali Sh.

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali.



Queste sono generate dall'interazione tra le onde di pressione (P) e le onde di taglio verticali (SV) ogni qualvolta esiste una superficie libera in un mezzo omogeneo e isotropo; possono essere viste come la sovrapposizione di due componenti separate, una longitudinale e l'altra trasversale, che si propagano lungo la superficie con la stessa velocità ma con differente attenuazione con la profondità. La propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla VP e dalla densità, è funzione innanzitutto della VS. Alla superficie libera hanno moto ellittico retrogrado (moto antiorario) che si inverte a una profondità di $\lambda/2\pi$. In presenza di un semispazio omogeneo la loro velocità non presenta dipendenza dalla frequenza: non si ha cioè la dispersione, che è la deformazione di un treno d'onde dovuta a una variazione di velocità di propagazione al variare della frequenza. Per le onde di Rayleigh questa deformazione si manifesta solo quando il terreno presenta una stratificazione. In caso di variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde a una diversa lunghezza d'onda.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere pertanto utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo comprende tre passi successivi:

- l'acquisizione delle onde superficiali (ground roll);
- la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
- l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s .

Per ottenere un profilo V_s bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale V_s dalla curva di dispersione e vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali.

Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh vengono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (back scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane.

Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni).

Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane. Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento.

Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno.

La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza indipendentemente dalla distanza dalla sorgente.

La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione.

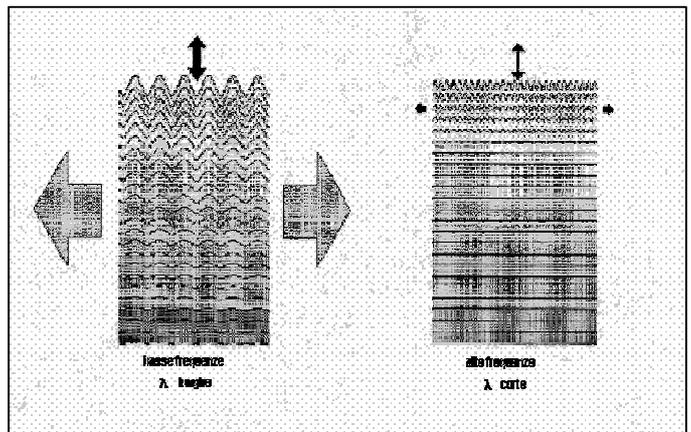
La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale. Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza. La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x ; y), il cui legame costituisce la curva di dispersione. E' anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma. In questo caso MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti S/N. Un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di indagine del profilo V_s di inversione.

Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a riflessione (CMP).

MASW può essere efficace con anche solo dodici canali di registrazione collegati a geofoni singoli a bassa frequenza (<10Hz).

L'illustrazione mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie.

Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste



proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

* * * * *

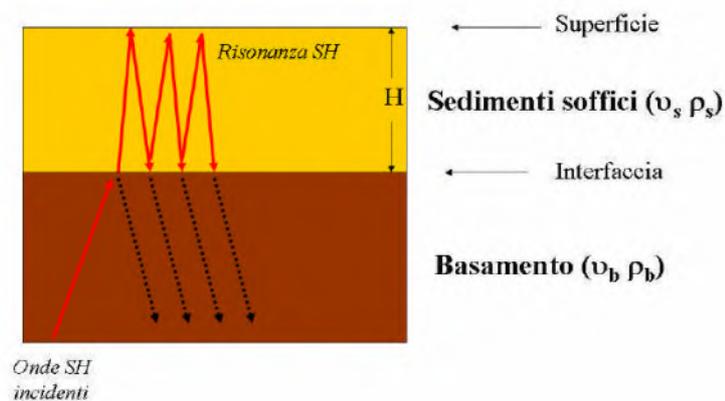
La sismica passiva studia il microtremore sismico ambientale (rumore sismico); questa sfrutta il fatto che il "rumore", pur non recando l'informazione relativa alla sua sorgente, risulta sensibile alla locale struttura presso la stazione di misura.

La strumentazione per eseguire misure di sismica passiva può operare in spazi ridotti, non necessita di energizzazioni e permette di indagare profondità molto elevate. I tempi di esecuzione sono relativamente bassi.

Il rumore sismico ambientale deriva dalla composizione di molte sorgenti che agiscono in tempi diversi e in zone diverse. Nel campo del rumore sono rappresentate sia onde di

volume (fronte d'onda sferico) sia onde di superficie (fronte d'onda cilindrico), ma le onde di superficie hanno carattere dominante, perché caratterizzate da minore attenuazione.

Quando fra 2 superfici esiste una variazione significativa dell'impedenza acustica si ha il fenomeno della risonanza, che deriva dall'intrappolamento di energia sismica (essenzialmente delle fasi SH) all'interno delle coperture ovvero fra la superficie e un basamento rigido qui inteso come una formazione "caratterizzata da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S significativamente maggiori di quelli relativi alle coperture localmente presenti" delle onde.



L'equazione della risonanza è la seguente:

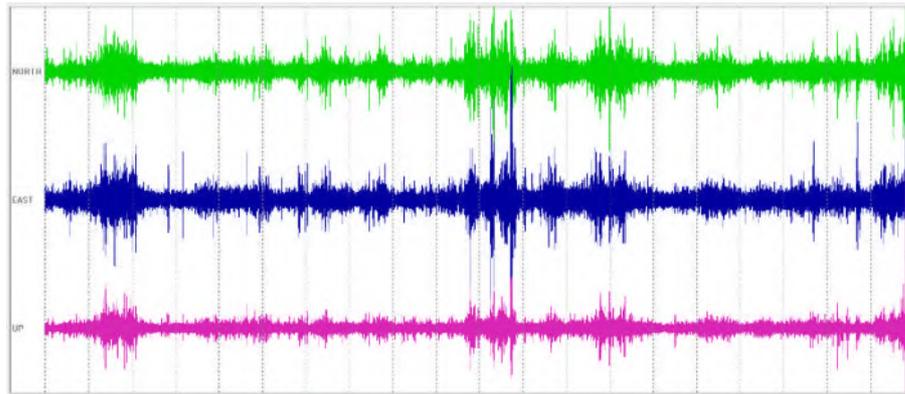
$$f = n \frac{V_s}{4H} \quad n = 1, 3, 5, \dots$$

dove n indica l'ordine del modo di vibrare (fondamentale, primo superiore ecc.), V_s è la velocità delle onde di taglio nello strato oggetto di risonanza e H è lo spessore di detto strato.

Nella maggior parte dei casi, a causa dell'attenuazione delle coperture, il solo modo visibile è il fondamentale.

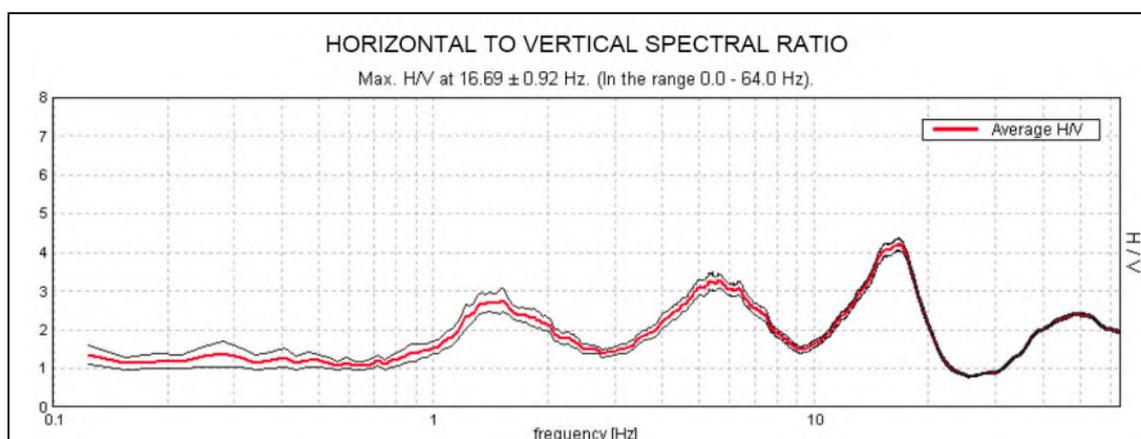
Le registrazioni in campagna vengono effettuate mediante un tromografo, che consiste in un'apparecchiatura che riunisce una terna di sensori velocimetrici orientati su tre direzioni ortogonali:

- 2 nella componente orizzontale dello spostamento (tra loro ortogonali) per misure su suoli ordinariamente corrispondenti alle direzioni NS ed EW;
- 1 nella componente verticale (up-down).



I diagrammi relativi a tali registrazioni vengono elaborati attraverso la determinazione dell'intensità del segnale in sottofinestre di determinata durata, e trasformati in spettri H/V.

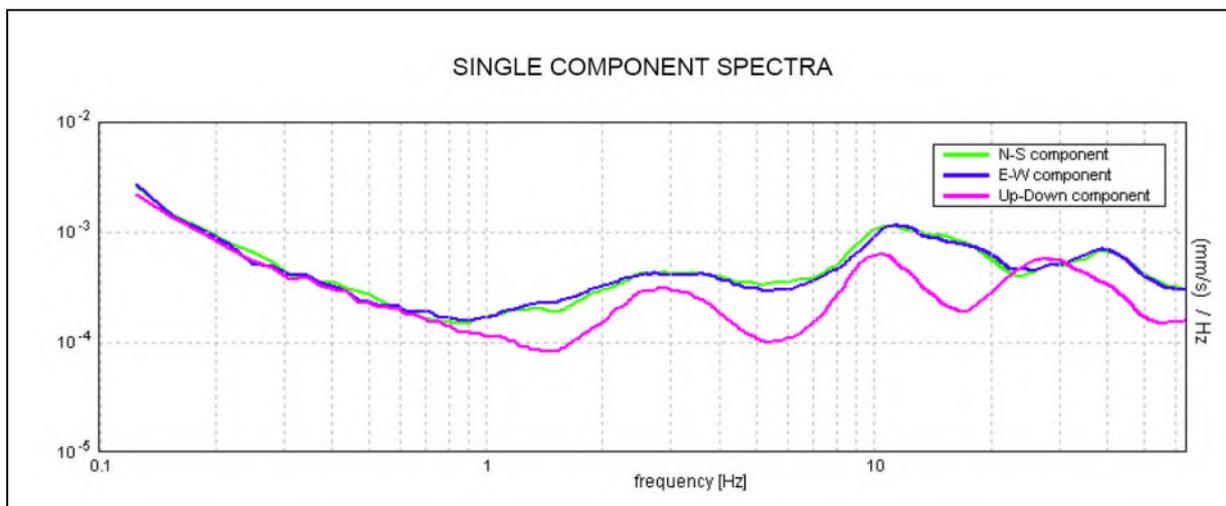
Nella pratica si utilizza il rapporto H/V perché è un buon normalizzatore e un buon estimatore delle frequenze di risonanza dei terreni; i valori assoluti degli spettri orizzontali e verticali variano infatti con il livello assoluto del rumore ambientale, mentre la forma dello spettro e in particolare il rapporto tra le ampiezze orizzontale e verticale si mantiene più stabile, e per il suo carattere stocastico mostra caratteristiche correlabili con la struttura locale del suolo. Alle frequenze caratteristiche di vibrazione dei suoli corrisponde infatti un decremento del segnale della componente verticale, che determina un picco nel rapporto spettrale rappresentato dal grafico seguente.



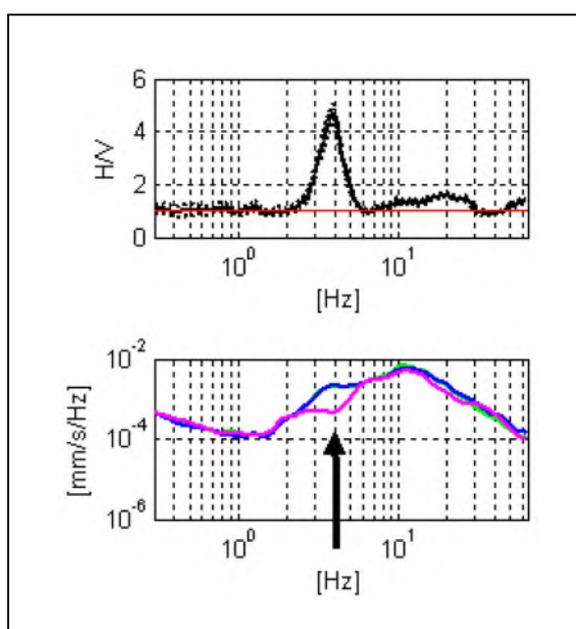
In un mezzo senza contrasti di impedenza (es. un ammasso roccioso sano) la curva H/V risulta teoricamente piatta e con valore medio tra 0,7 e 1,0 (in funzione del modulo μ).

La presenza di un picco nella curva H/V può essere data da un fenomeno di risonanza, causato da una variazione di velocità delle onde sismiche nel terreno, e quindi da passaggi stratigrafici caratterizzati da un notevole contrasto tra le velocità sismiche stesse.

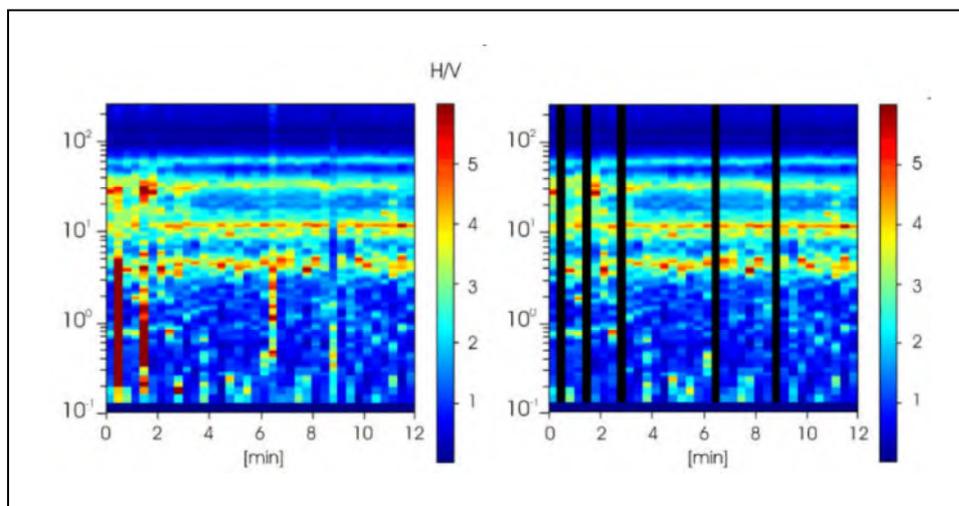
Dato che tali picchi su H/V possono essere dovuti anche ad artefatti e transienti, H/V deve essere sempre analizzato alla luce degli spettri delle singole componenti.



Un picco di natura stratigrafica (e non artefattuale) presenta un minimo locale della componente spettrale verticale, mentre picchi spettrali (di solito aguzzi) su tutte le 3 componenti del moto sono di origine antropica.

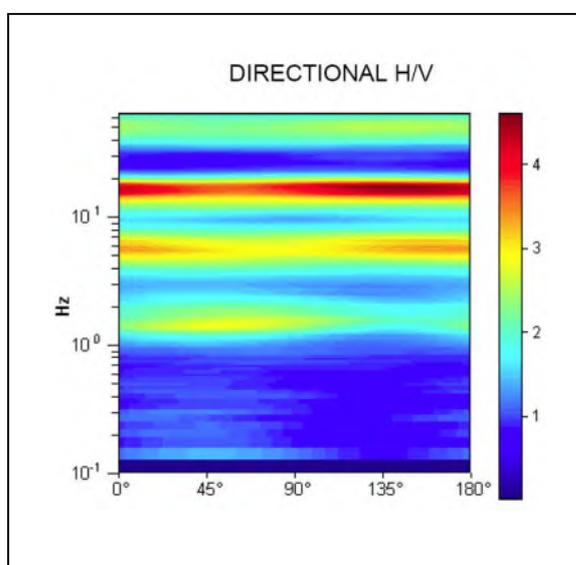


L'elaborazione degli spettri H/V comporta quindi un'analisi ragionata dei vari picchi, uno smoothing (nel nostro caso triangolare al 10%) e una valutazione sugli spettri nelle varie "finestre" di tempo in cui è stata suddivisa l'acquisizione, in modo da poter eventualmente rimuovere gli intervalli di misura caratterizzati da disturbi.



Di solito è consigliabile effettuare le correzioni nel dominio delle frequenze, e non operare nel dominio del tempo, in quanto in tale contesto non è agevole identificare quali siano artefatti e transienti.

Altro aspetto importante da considerare è la stabilità direzionale del segnale, che è un elemento a favore della valenza stratigrafica del picco analizzato.



CAMPAGNA DI PROSPEZIONI IN OGGETTO

Le prospezioni geofisiche effettuate sono relative a 15 aree sparse sul territorio comunale di Ponsacco, in zone ritenute significative sia per finalità urbanistiche che per l'approfondimento del quadro conoscitivo per gli aspetti di microzonazione sismica di livello 1.

In ogni area individuata sono state eseguite prospezioni MASW (in totale 15) ed acquisizioni in sismica passiva HVSR (in totale 15).

Le aree contraddistinte come "postazione 1" fino alla "postazione 13" ricadono in zone di pianura caratterizzata da depositi alluvionali olocenici prevalentemente fini, mentre le postazioni 14 e 15 ricadono in zone collinari di modesto rilievo, presenti nella porzione sud del territorio comunale di Ponsacco, caratterizzate da formazioni prevalentemente sabbiose del pleistocene.

Per ogni stazione di misura è stata redatta una scheda che illustra la posizione di dettaglio da cartografia e da documentazione fotografica, con le caratteristiche descrittive di ciascun sito di indagine.

PROSPEZIONI MASW

Per le indagini in oggetto si è impiegata un'attrezzatura AMBROGEO "ECHO 12-24/2002 Sismic Unit", avente le seguenti caratteristiche:

- ❖ numero di canali: 24
- ❖ sampler interval: 0,296 ms
- ❖ A/D conversion: 16 bit
- ❖ input impedance: 1KOhm
- ❖ Gain: 10 dB – 100 dB (step 1 dB)
- ❖ saturation tension: +/- 2,3 V
- ❖ saturation level: 100 dB
- ❖ distorsion: 0,01%
- ❖ sampler:
 - 25 ms (191 punti)
 - 50 ms (383 punti)
 - 100 ms (1530 punti)

- 200 ms (3060 punti)
- 400 ms (6121 punti)
- 1000 ms
- ❖ sampling: 130 micro/s
- ❖ filter low pass: 50/950 Hz, step 1 Hz
- ❖ digital filter low pass: 1000-50
- ❖ digital filter high pass: 0-250
- ❖ frequency response: 7-950 Hz, filter at 950 Hz
- ❖ dynamic range: 93 dB
- ❖ noise: 0,66 uV RMS, gain = 55 dB
- ❖ crosstalk: 52 dB, gain = 55 dB
- ❖ power: 12 V.

Il software di acquisizione dati è "ECHO 12-24" vers. 7.00. L'attrezzatura è completata da 2 cavi sismici a 12 takes out spazati a 2 m, con connettori cannon, montati su rullo, geofoni "Geospace" a 4,5 Hz, cannoncino per cartucce industriali, mazza di battuta da 8 Kg con interruttore starter, geofono starter, cavo trigger da 200 m montato su rullo.

Tutti gli stendimenti impiegati per i profili MASW avevano le seguenti caratteristiche:

- ➔ n. geofoni: 24
- ➔ spaziatura fra i geofoni: 2 m
- ➔ n. shots: sono state effettuate rilevazioni impiegando solo la mazza battente a distanza di 4 e 8 m dalla linea geofonica
- ➔ tempo di acquisizione: 1.000 ms.

SISMICA PASSIVA

Le prospezioni sono state eseguite mediante l'utilizzo di uno strumento TROMINO® della Micromed Geophysics, espressamente progettato per misure di microtremore.



TROMINO® è uno strumento efficiente per la misura del rumore sismico; presenta ridotte dimensioni e peso, e bassissimo consumo di energia. L'alta risoluzione dell'elettronica digitale impiegata consente di ottimizzare la misura del microtremore nell'intervallo di frequenze compreso fra 0.1 e 200 Hz; i sensori sono costituiti da una terna di velocimetri smorzati criticamente che trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore a dinamica non inferiore a 23 bit. Le caratteristiche progettuali consentono una accuratezza relativa maggiore di 10^{-4} sulle componenti spettrali al di sopra di 0.1 Hz.

L'assenza di cavi esterni consente inoltre di lasciare virtualmente imperturbato il campo d'onda presente nell'ambiente.

Lo strumento dispone di tre canali analogici connessi a tre velocimetri elettrodinamici ad alta risoluzione disposti secondo tre direzioni ortogonali. Il moto del terreno viene amplificato, convertito in forma digitale, organizzato e salvato su una memoria digitale di tipo Flash.

I dati registrati da TROMINO® possono essere scaricati, organizzati, archiviati, visualizzati e analizzati tramite il programma Grilla fornito assieme allo strumento. Esso include inoltre procedure per l'analisi spettrale di base e per l'analisi HVSR anche secondo le direttive fornite dal progetto di ricerca europeo SESAME.

* * * * *

Il lavoro si è articolato individuando, nelle aree di indagine, una serie di 6 stazioni di misura (per l'area 91 la misura è stata ripetuta in 2 diverse postazioni), per ciascuna delle quali è stata effettuata una rilevazione del microtremore sismico ambientale con le seguenti modalità:

- durata dell'acquisizione pari a 20';
- suddivisione dell'acquisizione stessa in "finestre" temporali di 20";
- frequenza di campionamento pari a 128 Hz.

In ogni sito lo strumento è stato orientato verso Nord, così che l'intero set delle misure è iso-orientato.

Si è cercato di non ubicare le stazioni di misura in prossimità di fonti di rumore tali da ostacolare e/o obliterare una corretta acquisizione dei segnali.

PROSPEZIONI MASW: ELABORAZIONE

In allegato sono riportati i risultati dell'elaborazione, eseguita mediante il software winMASW, che consente la determinazione di profili verticali della velocità delle onde di taglio Vs tramite l'inversione delle curve di dispersione ottenute, effettuata con algoritmi "genetici". Il programma è in grado di operare sui records in formato SGY prodotti dalla strumentazione Ambrogeo secondo la procedura specifica descritta nel capitolo introduttivo.

Il parametro Vs30 è calcolato utilizzando una media ponderata dei valori di velocità delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità con l'espressione seguente:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

La tabella seguente riporta i valori di V_{s30} ricavati per le singole postazioni.

Postazione	V_{s30} (m/s)	Postazione	V_{s30} (m/s)
Ponsacco1	191	Ponsacco9	224
Ponsacco2	246	Ponsacco10	225
Ponsacco3	198	Ponsacco11	188
Ponsacco4	241	Ponsacco12	245
Ponsacco5	197	Ponsacco13	196
Ponsacco6	238	Ponsacco14	305
Ponsacco7	200	Ponsacco15	328
Ponsacco8	154		

SISMICA PASSIVA: CRITERI DI ANALISI DELLE MISURE

I dati di campagna sono stati in primo luogo trattati con una procedura di analisi o trattamento consistente in:

- ❖ lisciatura triangolare all'8%
- ❖ analisi temporale dell'intero spettro (0-64 Hz) in sottofinestre di 20 s
- ❖ analisi direzionale con step di 5°

Successivamente, analizzati i dati ottenuti, si è deciso di mantenere una lisciatura triangolare all'8%, effettuando quindi (con l'eccezione della stazione 98b) una "pulizia" tramite eliminazione delle sottofinestre temporali contenenti sollecitazioni transienti, con nuova analisi sulle sole finestre selezionate, fino al raggiungimento di un risultato il più possibile chiaro.

La stazione 97 è l'unica in cui il maggior valore di H/V (a ca. 38 Hz) è in sostanza privo di significato lito-stratigrafico, e quindi nello specifico report le note finali relative alle linee guida SESAME non hanno interesse.

SISMICA PASSIVA: CRITERI DI CLASSIFICAZIONE DELLE MISURE

Le singole misure sono soggette alle valutazioni sulla "robustezza" statistica del dato secondo i criteri del protocollo SESAME, automaticamente inserito nei singoli report, secondo quanto accennato al paragrafo precedente.

Nell'interpretare la tabella SESAME di significatività dei picchi H/V bisogna considerare che ogni sito può generare più di una risonanza, e che non esiste una risonanza fondamentale in assoluto. In effetti è stato scelto il picco da analizzare in base al suo significato in relazione agli scopi del lavoro in oggetto.

- I primi 3 criteri della tabella dicono se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco considerata. E' opportuno che questi 3 criteri siano tutti soddisfatti. Se così non fosse, tipicamente è necessario rianalizzare la registrazione aumentando il parametro WINDOW SIZE.
- I secondi 6 criteri della tabella dicono se il picco è significativo da un punto di vista statistico. E' bene che ne siano soddisfatti il maggior numero possibile (preferibilmente almeno 5 su 6) ma si ricordi che eventuali NO su tutte le righe non implicano necessariamente che la registrazione è stata effettuata male ma implicano che non ci

sono picchi significativi. Ad esempio una registrazione su roccia “sana” darebbe NO su tutti questi criteri.

Un’ulteriore classificazione dei risultati può essere effettuata tenendo conto dei criteri adottati nello studio di “Microzonazione Sismica per la ricostruzione dell’area Aquilana” a cura del Dipartimento della Protezione Civile, e finalizzati a una valutazione più generale, e più restrittiva, della qualità del dato acquisito, secondo i seguenti parametri:

- stazionarietà del segnale nel campo dello sviluppo temporale dello spettro
- isotropia del segnale nel campo dello sviluppo direzionale dello spettro
- presenza di rumore elettromagnetico, con particolare riferimento al campo di frequenza di eventuali picchi
- plausibilità fisica del picco
- robustezza statistica del picco (comprensiva dei primi 3 criteri SESAME)
- durata della misura.

Le misure sono classificabili:

- in CLASSE A di qualità quando soddisfano tutti i criteri, fatta eccezione per gli spettri piatti che ovviamente disattendono i criteri SESAME per assenza di picchi significativi;
- in CLASSE B quando ne disattendono almeno uno ma mantengono buona leggibilità;
- in CLASSE C quando contengono elementi di disturbo invalidanti ai fini della corretta interpretazione.

Nel primo caso le misure sono utilizzabili anche da sole, nel secondo caso sono utilizzabili con cautela e unitamente ad altre misure effettuate nell’ambito della lunghezza d’onda di interesse, nel terzo caso vanno scartate. Limitatamente ai primi due casi sono poi definite le sottoclassi 1 e 2 in base alla presenza o meno di un picco chiaro.

SISMICA PASSIVA: OSSERVAZIONI SUI RISULTATI

Ponsacco1

Picco con significato stratigrafico a 1.84 Hz ($H/V=3.7$), stazionario, con buona stabilità direzionale. Classif. A1.

Ponsacco2

Assenza di picchi H/V significativi, se non alle altissime frequenze, senza significato litostratigrafico.

Ponsacco3

Assenza di picchi H/V significativi dal punto di vista litostratigrafico; un leggero picco di bassa entità e poco pronunciato a poco più di 1 Hz, e picchi non ben definiti tra i 20 ed i 35 Hz circa.

Ponsacco4

Assenza di picchi H/V significativi.

Ponsacco5

Picco (non netto) con significato stratigrafico a 1.84 Hz ($H/V=2.6$), stazionario, con buona stabilità direzionale. Classif. A2.

Ponsacco6

Assenza di picchi H/V significativi, se non alle altissime frequenze, senza significato litostratigrafico.

Ponsacco7

Picco con significato stratigrafico a 1.88 Hz ($H/V=2.8$), stazionario, con buona stabilità direzionale. Classif. A1.

Ponsacco8

Picco molto netto con significato stratigrafico a 1.84 Hz ($H/V=5.4$), stazionario, con stabilità direzionale. Classif. B1.

Ponsacco9

Picco non netto e poco intenso, con significato stratigrafico, ad alte frequenze (12.28 Hz - H/V=2.6), di buona stazionarietà, con stabilità direzionale.

Ponsacco10

Assenza di picchi H/V significativi, se non alle altissime frequenze, senza significato litostratigrafico.

Ponsacco11

Picco con significato stratigrafico a 1.13 Hz (H/V=2.9), stazionario, con stabilità direzionale. Classif. A1.

Ponsacco12

Assenza di picchi H/V significativi, se non alle altissime frequenze, senza significato litostratigrafico.

Ponsacco13

Picco non netto con significato stratigrafico a 1.06 Hz (H/V=2.9), stazionario, con buona stabilità direzionale. Classif. A2.

Ponsacco14

Assoluta assenza di picchi di H/V .

Ponsacco15

Assoluta assenza di picchi di H/V .

* * * * *

In apposita tavola sono stati raccolti, per confronto immediato, i grafici H/V relativi alle varie acquisizioni.

La tabella seguente riassume e sintetizza i dati significativi delle diverse stazioni di misura.

località	sigla	Δt	% analisi	picco basse f.	H/V	staz.	classe	sotto- classe	picco alte f.	H/V	staz.	stabilità direz.
Ponsacco	1	20'	95	1.84	3.7	X	A	1				
Ponsacco	2	20'	95									
Ponsacco	3	20'	90									
Ponsacco	4	20'	88									
Ponsacco	5	20'	90	1.84	2.6	X	A	2				
Ponsacco	6	20'	95									
Ponsacco	7	20'	90	1.88	2.8	X	A	1				
Ponsacco	8	20'	95	1.84	5.4	X	B	1				
Ponsacco	9	20'	93						12.28	2.6	(X)	X
Ponsacco	10	20'	92									
Ponsacco	11	20'	90	1.13	2.9	X	A	1				
Ponsacco	12	20'	85									
Ponsacco	13	20'	85	1.06	2.9	X	A	2				
Ponsacco	14	20'	90									
Ponsacco	15	20'	97									

Scheda riassuntiva risultati alle stazioni di misura

ALLEGATI:

- ❖ Monografie relative a ciascuna postazione
- ❖ Risultati elaborazione indagine sismica di superficie MASW
- ❖ SISMICA PASSIVA: reports relativi a ciascuna elaborazione
- ❖ SISMICA PASSIVA: tavola di confronto tra i grafici H/V

Agosto 2016

INDAGINE HVSR/MASW - COMUNE DI PONSACCO (PI)
LOCALITÀ VIA CIRO MENOTTI/VIA VECCHIA DI PONTEDERA - POSTAZIONE n.1



documentazione fotografica



ubicazione scala 1:1.000

orientazione > N

contesto globale : pianura alluvionale

contesto locale: prato - erba alta

condizioni atmosferiche: sereno

coordinate stazione - 43°37'37.64" N - 10°38'01.82" E

INDAGINE HVSR/MASW - COMUNE DI PONSACCO (PI)
VIA CURIGLIANA/VIALE ITALIA - POSTAZIONE n.2



documentazione fotografica



ubicazione scala 1:1.000

orientazione > N

contesto globale : pianura alluvionale

contesto locale: prato - erba bassa

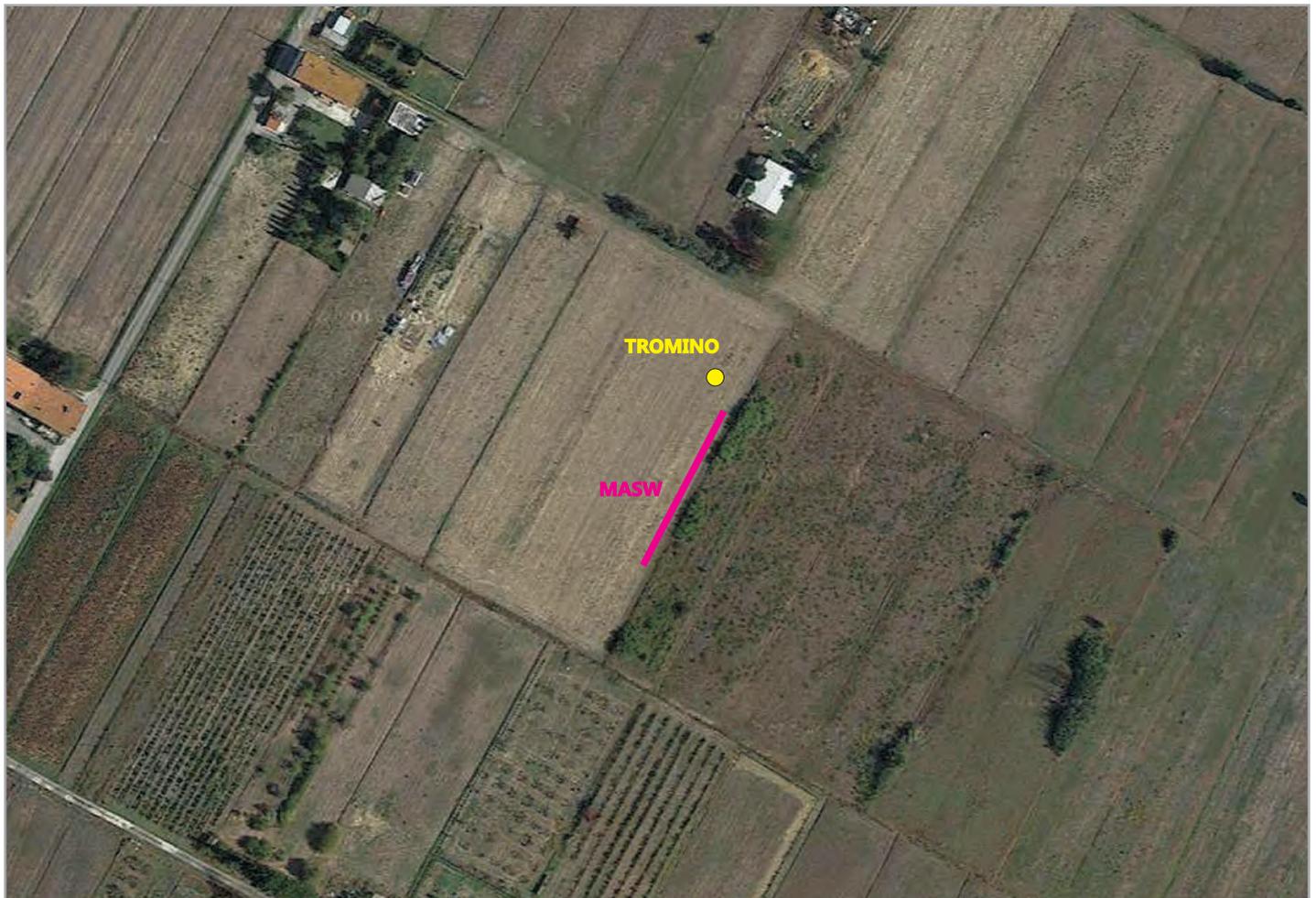
condizioni atmosferiche: sereno

coordinate stazione - 43°37'28.70" N - 10°36'54.02" E

INDAGINE HVSR/MASW - COMUNE DI PONSACCO (PI)
LOCALITÀ VIA MELORIE 65 - POSTAZIONE n.3



documentazione fotografica



ubicazione scala 1:1.000

orientazione > N

contesto globale : pianura alluvionale

contesto locale: prato - erba bassa

condizioni atmosferiche: sereno

coordinate stazione - 43°37'33.49" N - 10°36'22.67" E

INDAGINE HVSR/MASW - COMUNE DI PONSACCO (PI)
LOCALITÀ VIA LISBONA/VIALE ITALIA - POSTAZIONE n.4



documentazione fotografica



ubicazione scala 1:1.000

orientazione > N

contesto globale : pianura alluvionale

contesto locale: prato - erba bassa

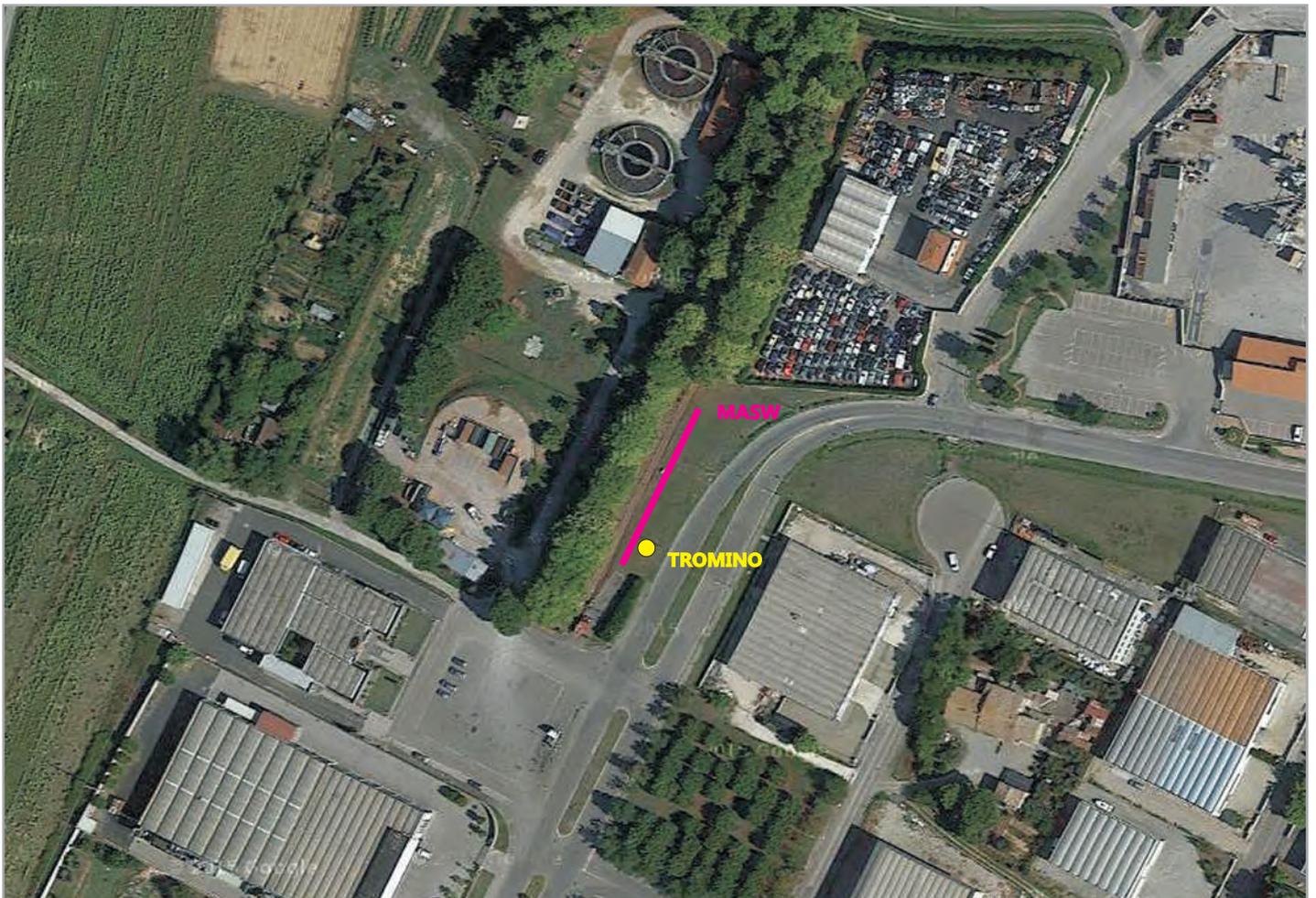
condizioni atmosferiche: sereno

coordinate stazione - 43°37'15.81" N - 10°36'49.81" E

INDAGINE HVSR/MASW - COMUNE DI PONSACCO (PI)
LOCALITÀ ISOLA ECOLOGICA/VIALE EUROPA - POSTAZIONE n.5



documentazione fotografica



ubicazione scala 1:1.000

orientazione > N

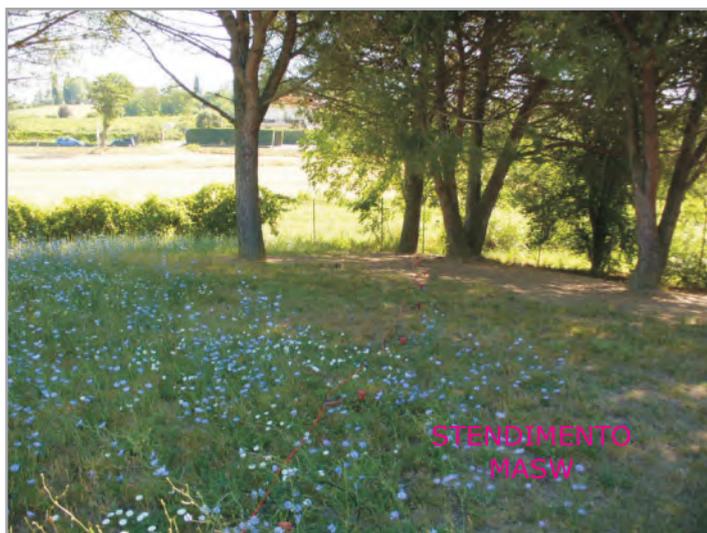
contesto globale : pianura alluvionale

contesto locale: prato - erba bassa

condizioni atmosferiche: sereno

coordinate stazione - 43°37'50.58" N - 10°37'09.86" E

INDAGINE HVSR/MASW - COMUNE DI PONSACCO (PI)
LOCALITÀ SCUOLA VAL DI CAVA/VIA II GIUGNO - POSTAZIONE n.6



documentazione fotografica



ubicazione scala 1:1.000

orientazione > N

contesto globale : pianura alluvionale (porzione in modesto rilievo)

contesto locale: prato - erba bassa

condizioni atmosferiche: sereno

coordinate stazione - 43°38'18.12" N - 10°38'59.15" E



documentazione fotografica



ubicazione scala 1:1.000

orientazione > N

contesto globale : pianura alluvionale

contesto locale: prato - erba bassa

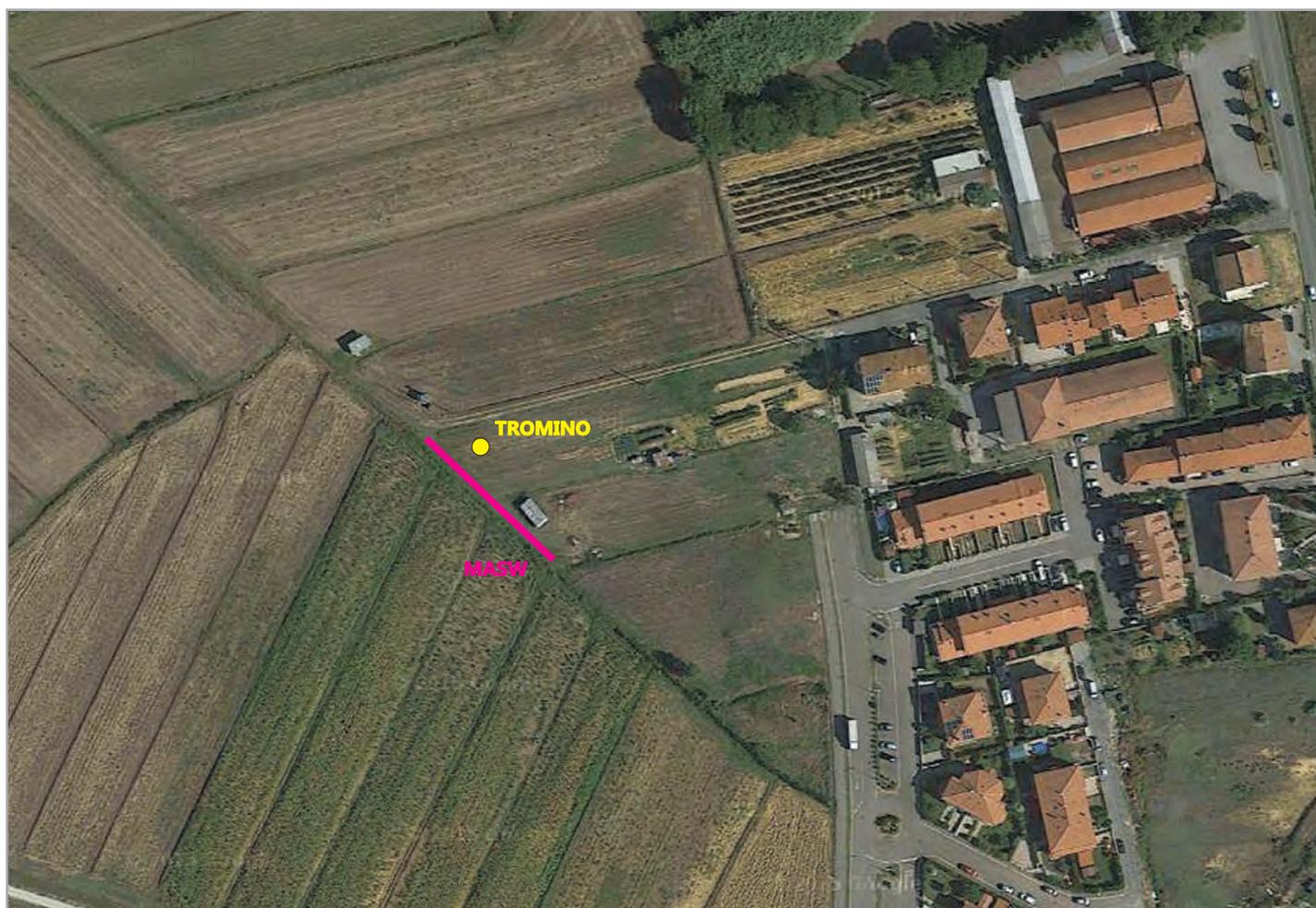
condizioni atmosferiche: sereno

coordinate stazione - 43°38'33.18" N - 10°38'47.67" E

INDAGINE HVSR/MASW - COMUNE DI PONSACCO (PI)
LOCALITÀ VAL DI CAVA/VIA DELLE COLLINE PER LEGOLI - POSTAZIONE n.8



documentazione fotografica



ubicazione scala 1:1.000

orientazione > N

contesto globale : pianura alluvionale

contesto locale: prato - erba bassa

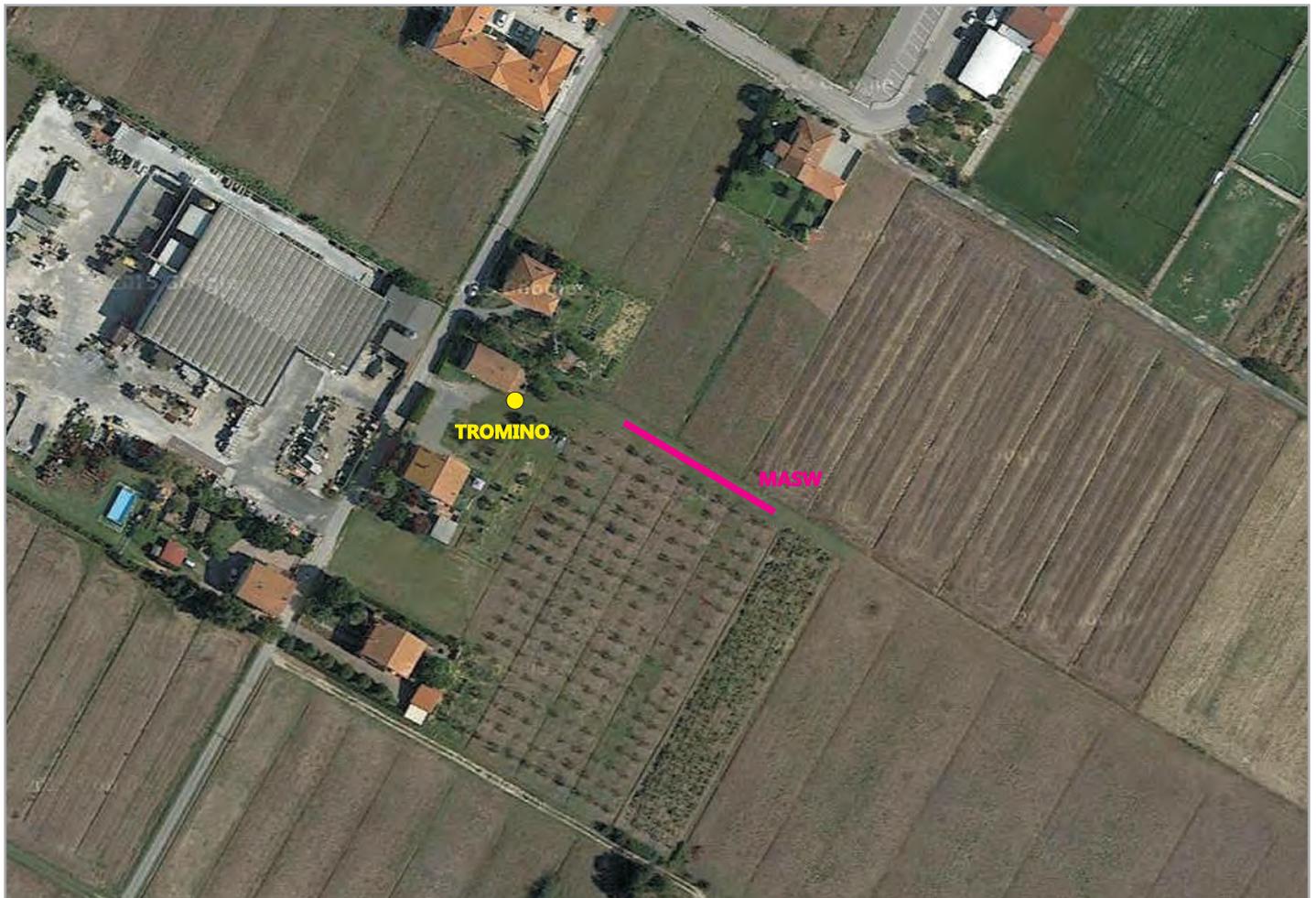
condizioni atmosferiche: sereno

coordinate stazione - 43°38'25.95" N - 10°38'50.47" E

INDAGINE HVSR/MASW - COMUNE DI PONSACCO (PI)
LOCALITÀ VIA MELORIE 53 - POSTAZIONE n.9



documentazione fotografica



ubicazione scala 1:1.000

orientazione > N

contesto globale : pianura alluvionale

contesto locale: prato - erba bassa

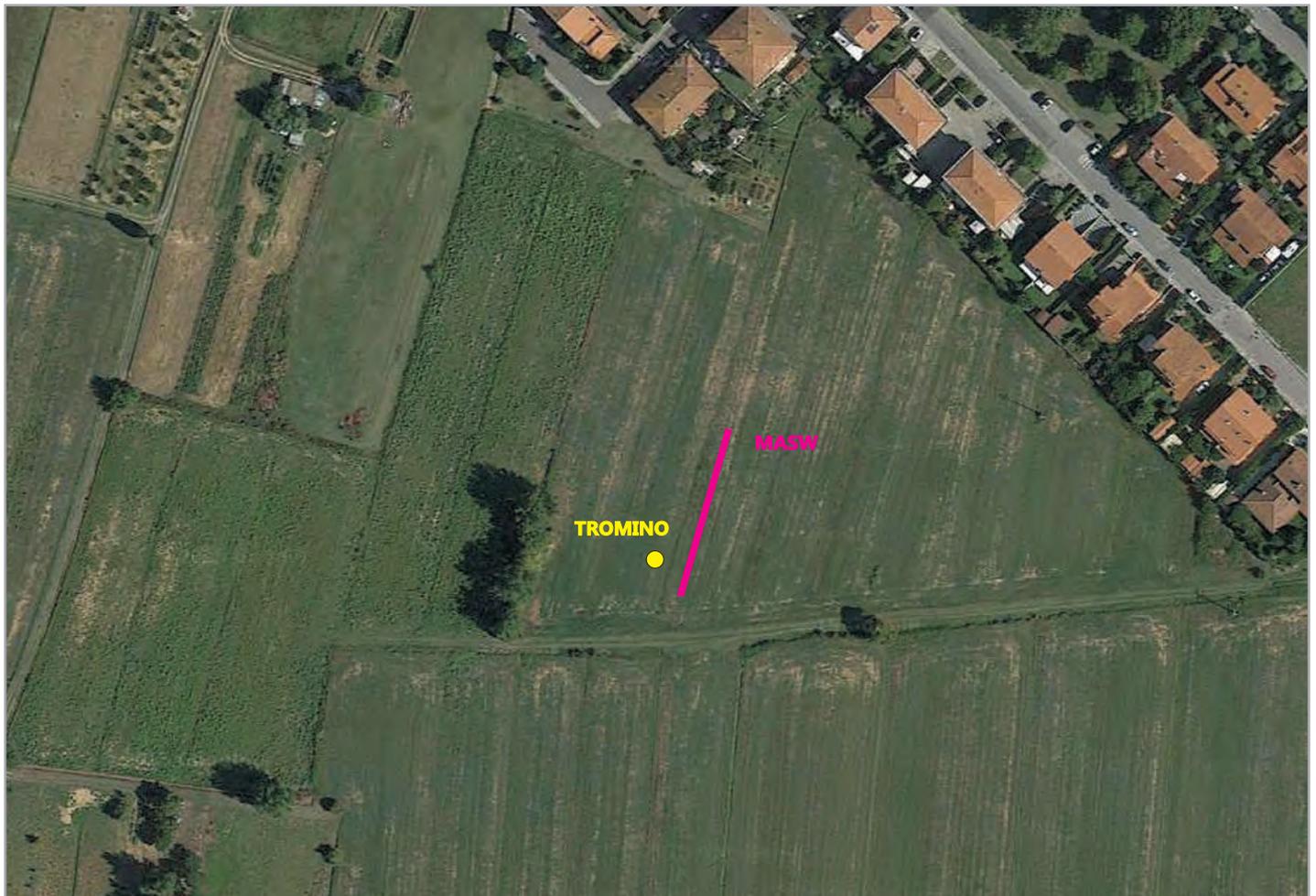
condizioni atmosferiche: sereno

coordinate stazione - 43°37'42.65" N - 10°36'23.68" E

INDAGINE HVSR/MASW - COMUNE DI PONSACCO (PI)
LOCALITÀ VIA GIOTTO/VIA RAFFAELLO SANZIO - POSTAZIONE n.10



documentazione fotografica



ubicazione scala 1:1.000

orientazione > N

contesto globale : pianura alluvionale

contesto locale: prato - erba bassa

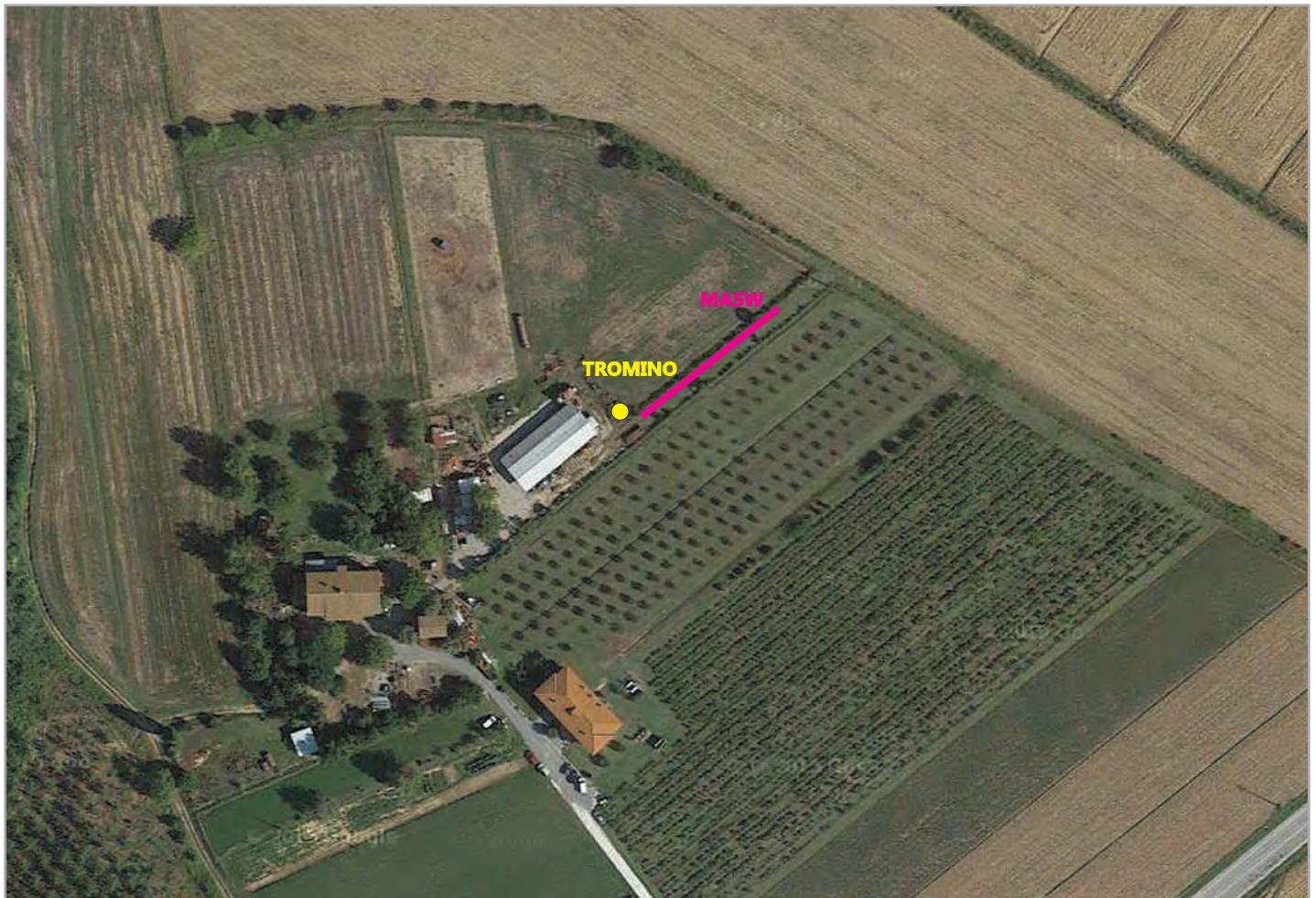
condizioni atmosferiche: sereno

coordinate stazione - 43°36'51.49" N - 10°38'13.27" E

INDAGINE HVSR/MASW - COMUNE DI PONSACCO (PI)
LOCALITÀ VIA MAREMMANA 5 - POSTAZIONE n.11



documentazione fotografica



ubicazione scala 1:1.000

orientazione > N

contesto globale : pianura alluvionale

contesto locale: prato - erba alta

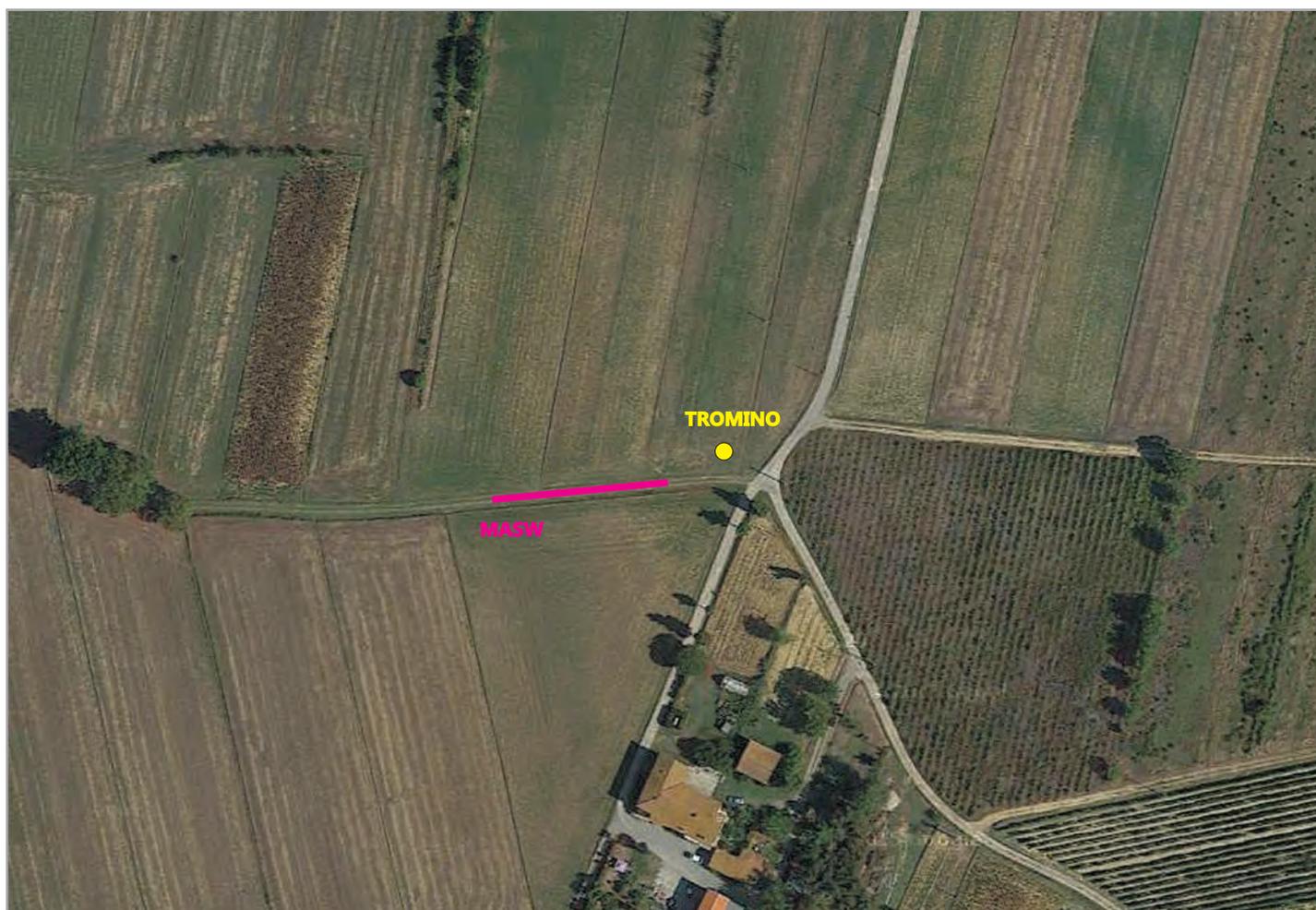
condizioni atmosferiche: sereno

coordinate stazione - 43°37'30.75" N - 10°38'56.76" E

INDAGINE HVSR/MASW - COMUNE DI PONSACCO (PI)
LOCALITÀ VAL DI CAVA/VIA DELLA COSTITUZIONE - POSTAZIONE n.12



documentazione fotografica



ubicazione scala 1:1.000

orientazione > N

contesto globale : pianura alluvionale

contesto locale: prato - erba bassa

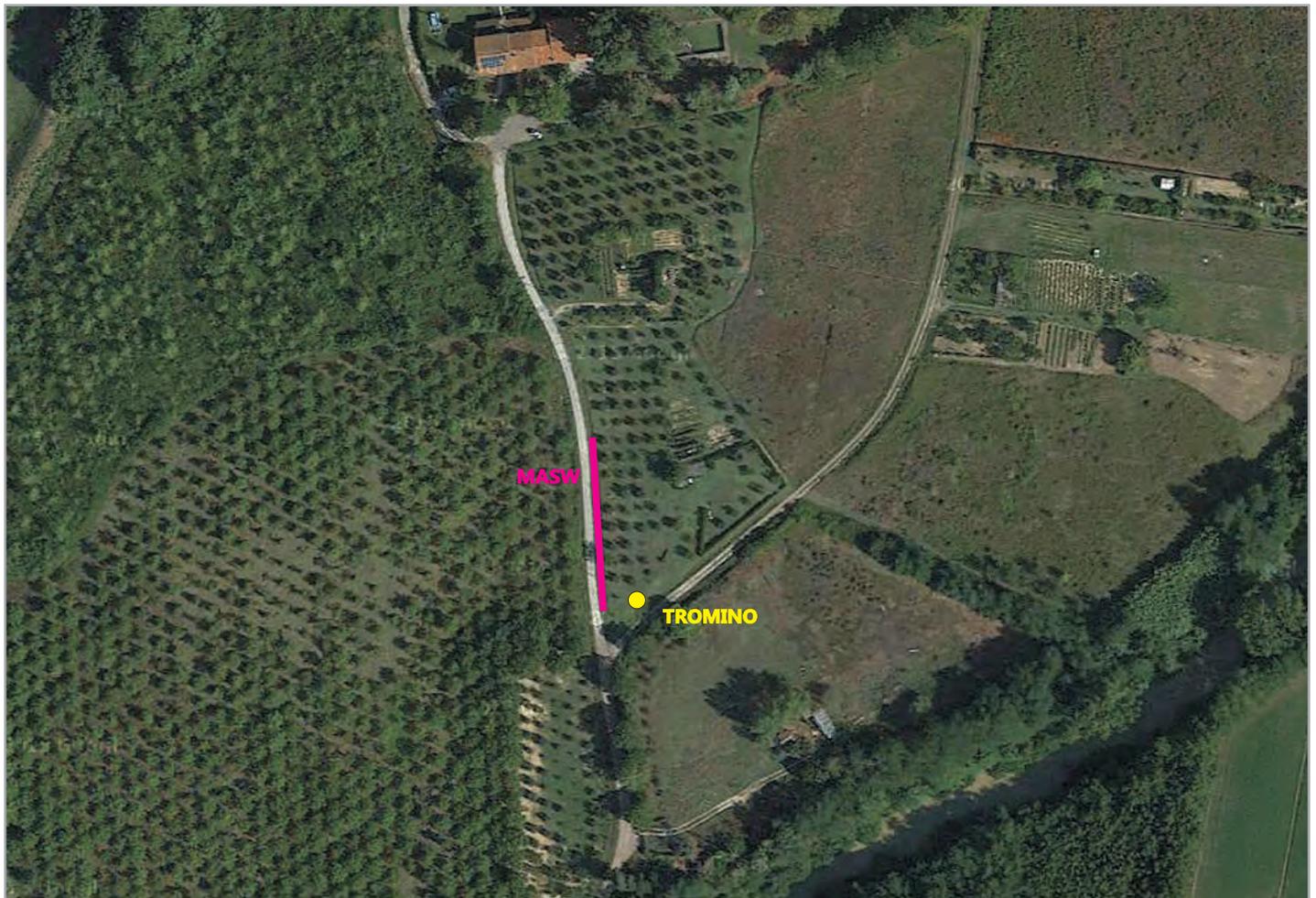
condizioni atmosferiche: sereno

coordinate stazione - 43°38'06.47" N - 10°38'32.84" E

INDAGINE HVSR/MASW - COMUNE DI PONSACCO (PI)
LOCALITÀ VIA PUNTALE 128 - POSTAZIONE n.13



documentazione fotografica



ubicazione scala 1:1.000

orientazione > N

contesto globale : pianura alluvionale

contesto locale: prato - erba bassa

condizioni atmosferiche: sereno

coordinate stazione - 43°37'38.90" N - 10°38'15.98" E

INDAGINE HVSR/MASW - COMUNE DI PONSACCO (PI)
LOCALITÀ VILLA DI CAMUGLIANO - POSTAZIONE n.14



documentazione fotografica



ubicazione scala 1:1.000

orientazione > N

contesto globale : collina (porzione alla base del rilevato)

contesto locale: prato - erba bassa

condizioni atmosferiche: sereno

coordinate stazione - 43°36'00.23" N - 10°39'08.93" E

INDAGINE HVSR/MASW - COMUNE DI PONSACCO (PI)
LOCALITÀ VIA DEL POGGINO 12 - POSTAZIONE n.15



documentazione fotografica



ubicazione scala 1:1.000

orientazione > N

contesto globale : collina (porzione in cresta)

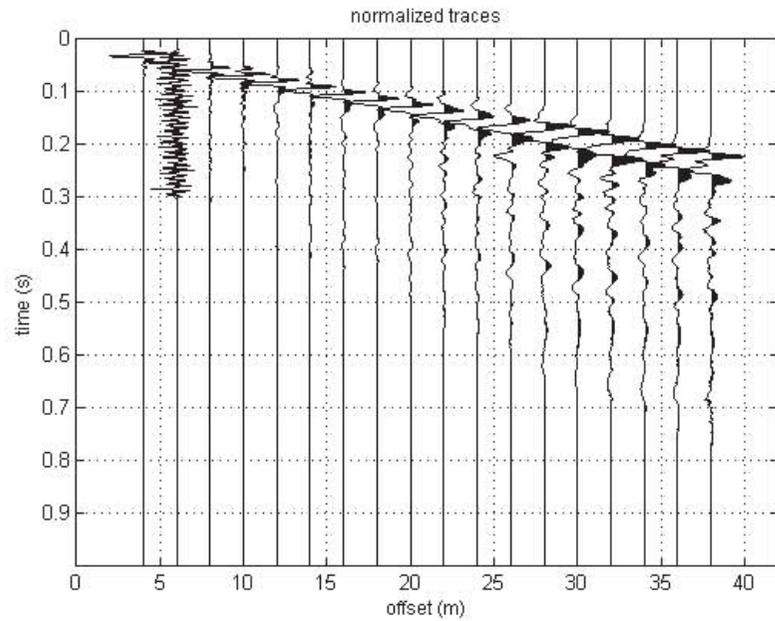
contesto locale: prato - erba bassa

condizioni atmosferiche: sereno

coordinate stazione - 43°36'00.81" N - 10°37'34.61" E

#1: data uploading & processing

dataset: 4m.sgy
sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
minimum offset: 4 m
geophone spacing: 2 m



resampling: 0.5, resample, accept

data selection: activate, select, 60, cancel, save

filtering & spectra: filter, cancel, spectrum, spectrog...

refr. & refl.: refr./refl. 0.2, upload, save, flip polar..., clear

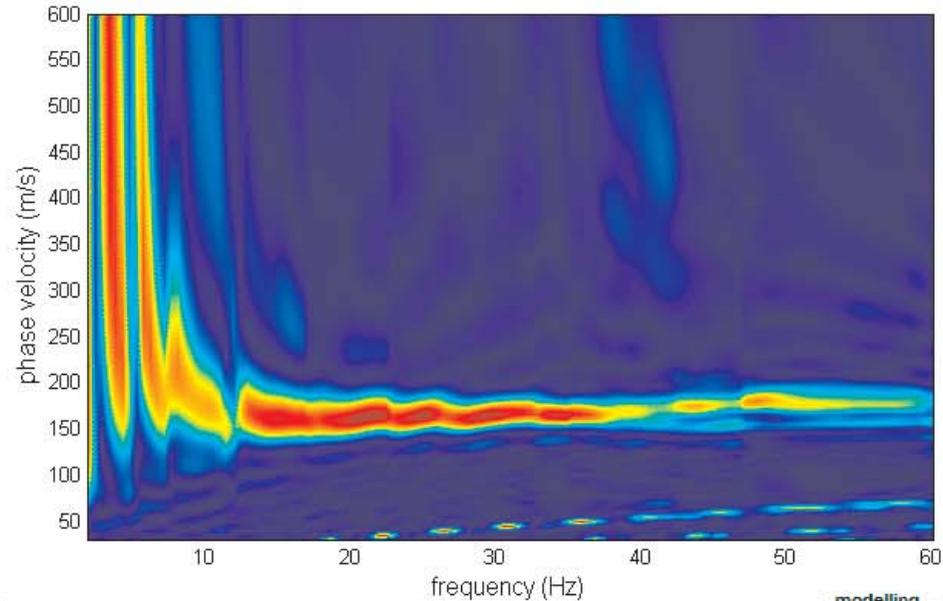
other tools & setting: 0.9981 time to visualize, done, cut, flip traces, test amplitu..., zero paddi...

#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
phase velocity f-k group velocity

handling the spectra
save upload merge

explore spectr...
mode separati...



visualize curves
input curve ?

picking
? show f-k
auto picking
dispersion curves
select mode
to select the last point of the considered mode
save picking ?
cancel pic...

inversion
inversion
Joint DC-HV i...

general setting: Rayleigh 5, phase ...
 H/V (body wa...
 H/V (surface ...

Vs	Qs	Poisson	thickness
80	10	0.33	0.3
130	16	0.35	0.5
150	19	0.35	1
190	24	0.35	2
220	28	0.35	4
250	31	0.35	5
300	38	0.35	7
400	50	0.3	10
800	100	0.2	40
1900	238	0.15	0
0	0	0.15	

modelling synthetics: ZVF, shows..., show mo..., just over..., synthetics

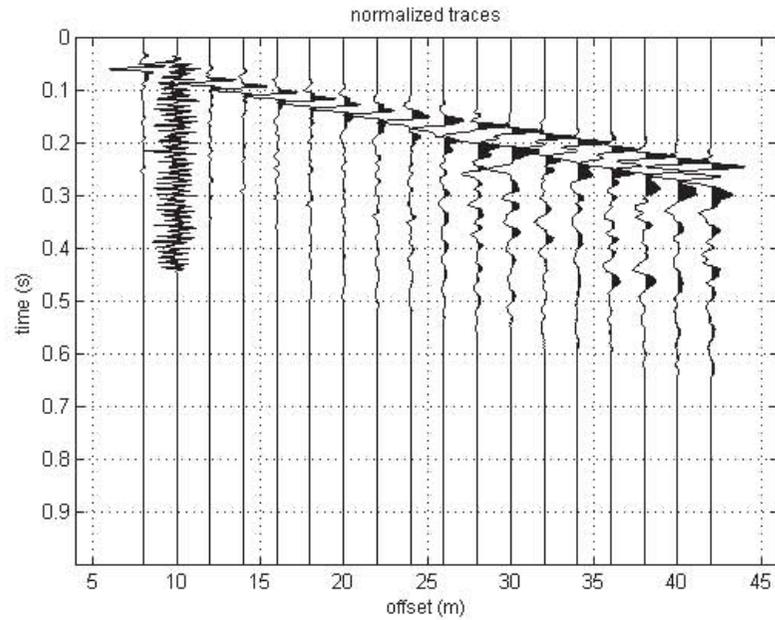
calculate, effective, report DC, report SS

www.winmasw.com

MASW Ponsacco1 - shot 4 m

#1: data uploading & processing

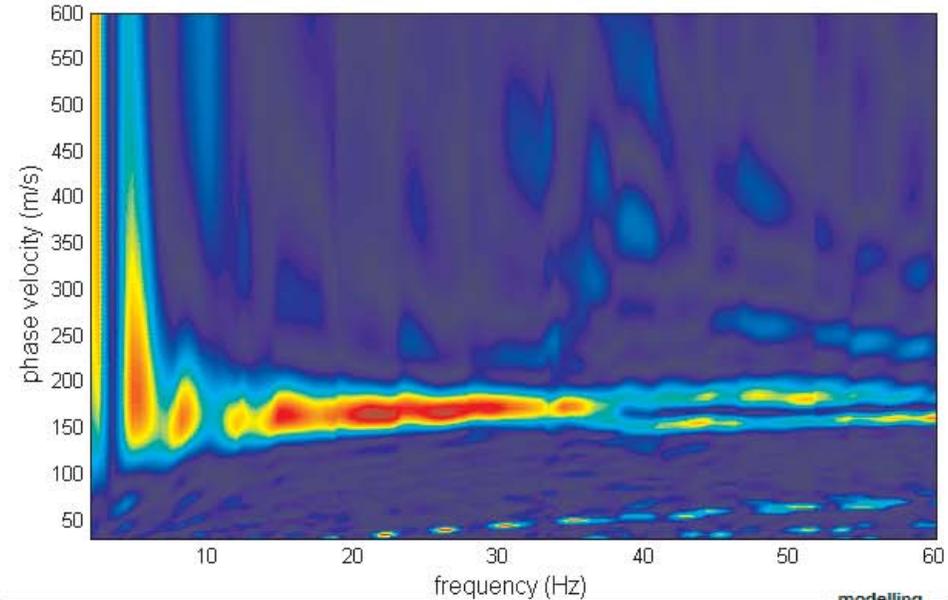
dataset: 8m.sgy
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
 minimum offset: 8 m
 geophone spacing: 2 m



#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f-k group velocity

handling the spectra



visualize curves

picking

 dispersion curves

inversion

resampling

0.5

data selection

60

filtering & spectra

refr. & refl.

refr./refl. 0.2

other tools & setting

0.9981 time to visualize

general setting

Rayleigh

Reference Refract...

H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

Vs	Qs	Poisson	thickness
80	10	0.33	0.3
130	16	0.35	0.5
150	19	0.35	1
190	24	0.35	2
220	28	0.35	4
250	31	0.35	5
300	38	0.35	7
400	50	0.3	10
800	100	0.2	40
1900	238	0.15	0
0	0	0.15	

modelling

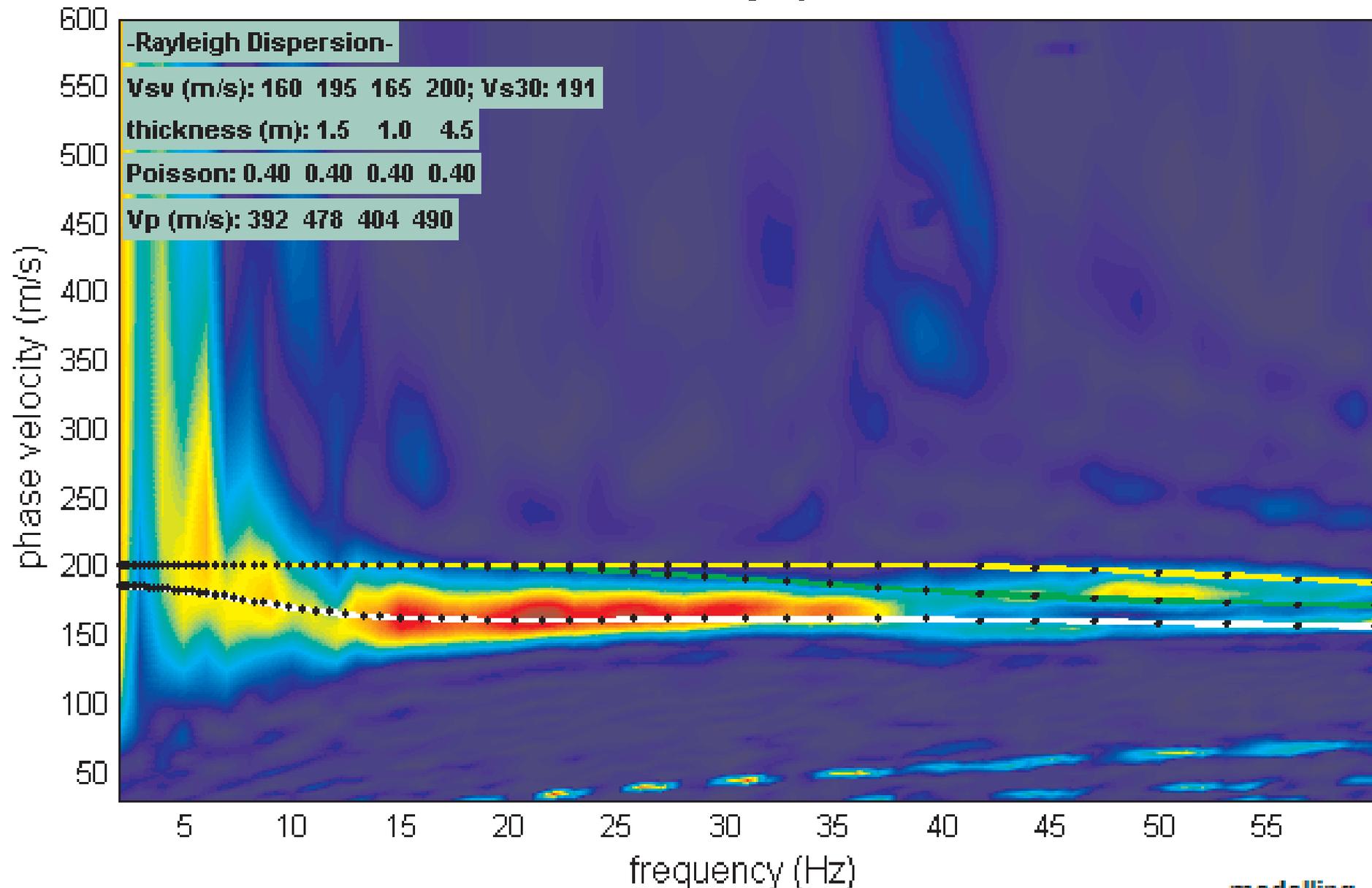
synthetics
 ZVF
 show mo...
 just over...

effective

www.winmasw.com

MASW Ponsacco1 - shot 8 m

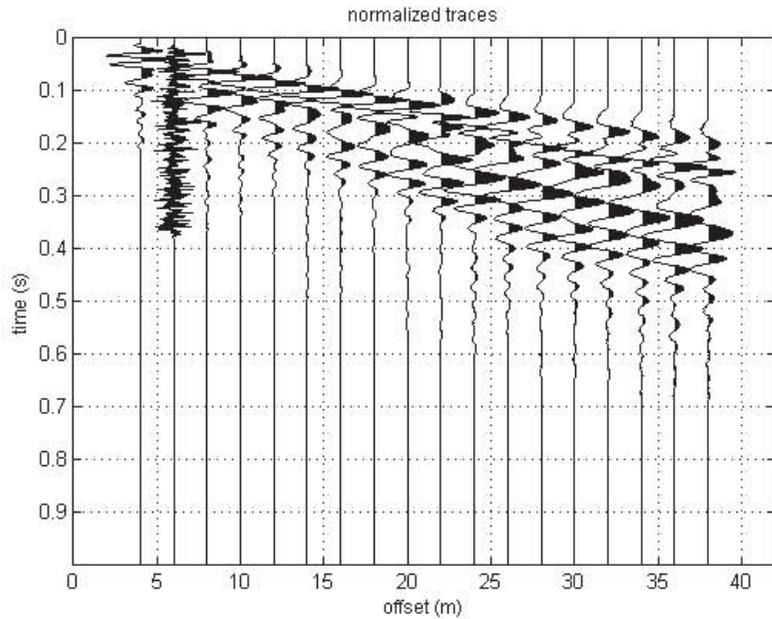
total velocity spectrum



MASW Ponsacco1

#1: data uploading & processing

dataset: 4m.sgy
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
 minimum offset: 4 m
 geophone spacing: 2 m

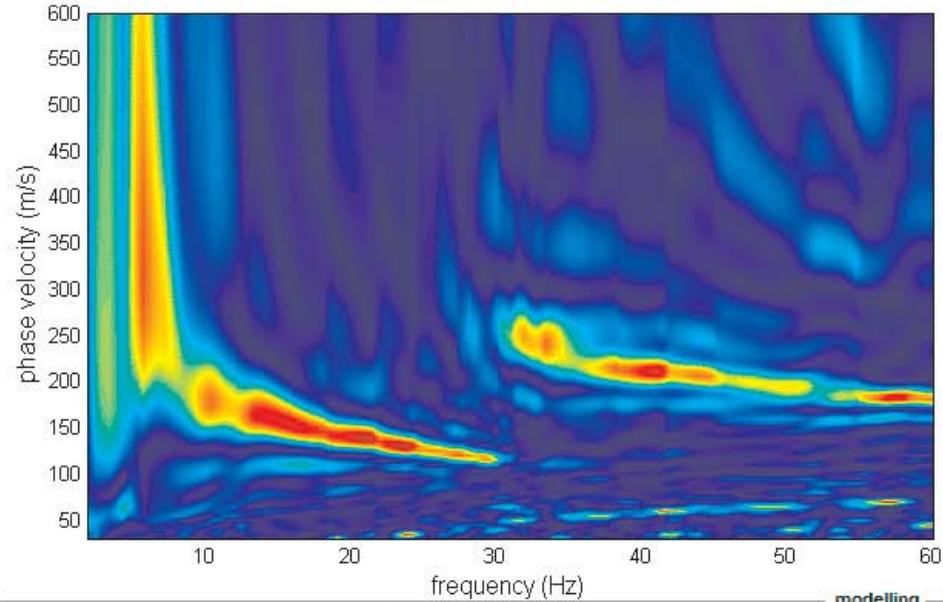


#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f-k group velocity

handling the spectra

visualize curves



picking

dispersion curves

inversion

resampling:

data selection:

filtering & spectra:

refr. & refl.:

other tools & setting:

about Poiss...

Vs	Qs	Poisson	thickness
80	10	0.33	0.3
130	16	0.35	0.5
150	19	0.35	1
190	24	0.35	2
220	28	0.35	4
250	31	0.35	5
300	38	0.35	7
400	50	0.3	10
800	100	0.2	40
1900	238	0.15	0
0	0	0.15	

general setting:

H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

effective

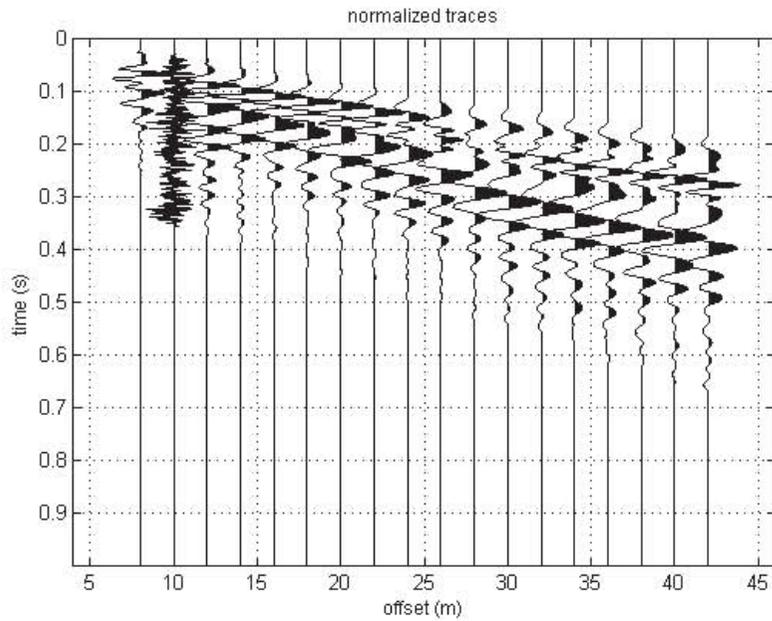
modelling synthetics: shows ... show mo... just over...

www.winmasw.com

MASW Ponsacco2 - shot 4 m

#1: data uploading & processing

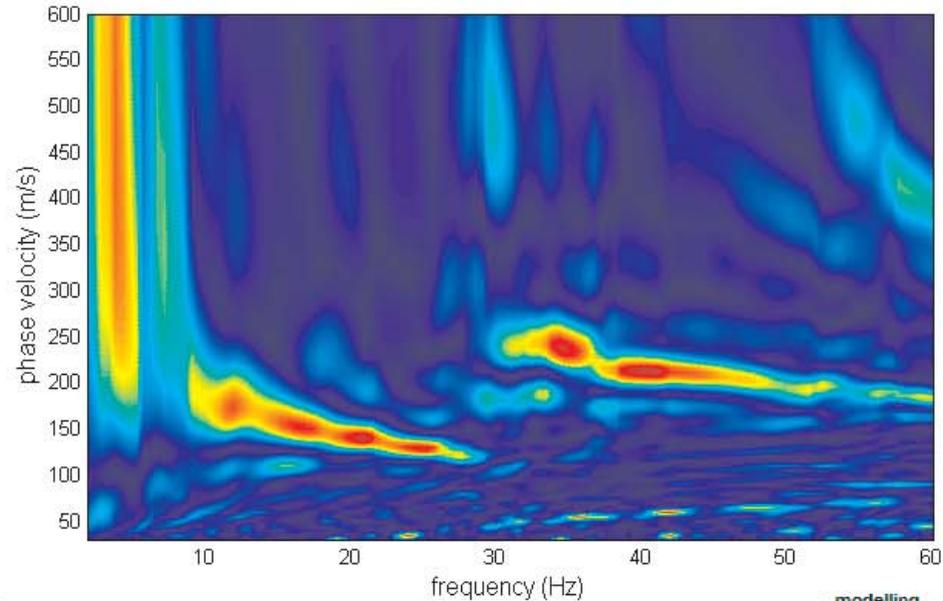
dataset: 8m.sgy
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
 minimum offset: 8 m
 geophone spacing: 2 m



#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f-k group velocity

handling the spectra



visualize curves

picking

dispersion curves

 to select the last point of the considered mode

inversion

resampling

0.5

data selection

filtering & spectra

refr. & refl.

refr./refl. 0.2

other tools & setting

0.9981 time to visualize

general setting

Rayleigh 5
 Reference Refract...
 H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

Vs	Qs	Poisson	thickness
80	10	0.33	0.3
130	16	0.35	0.5
150	19	0.35	1
190	24	0.35	2
220	28	0.35	4
250	31	0.35	5
300	38	0.35	7
400	50	0.3	10
800	100	0.2	40
1900	238	0.15	0
0	0	0.15	

effective

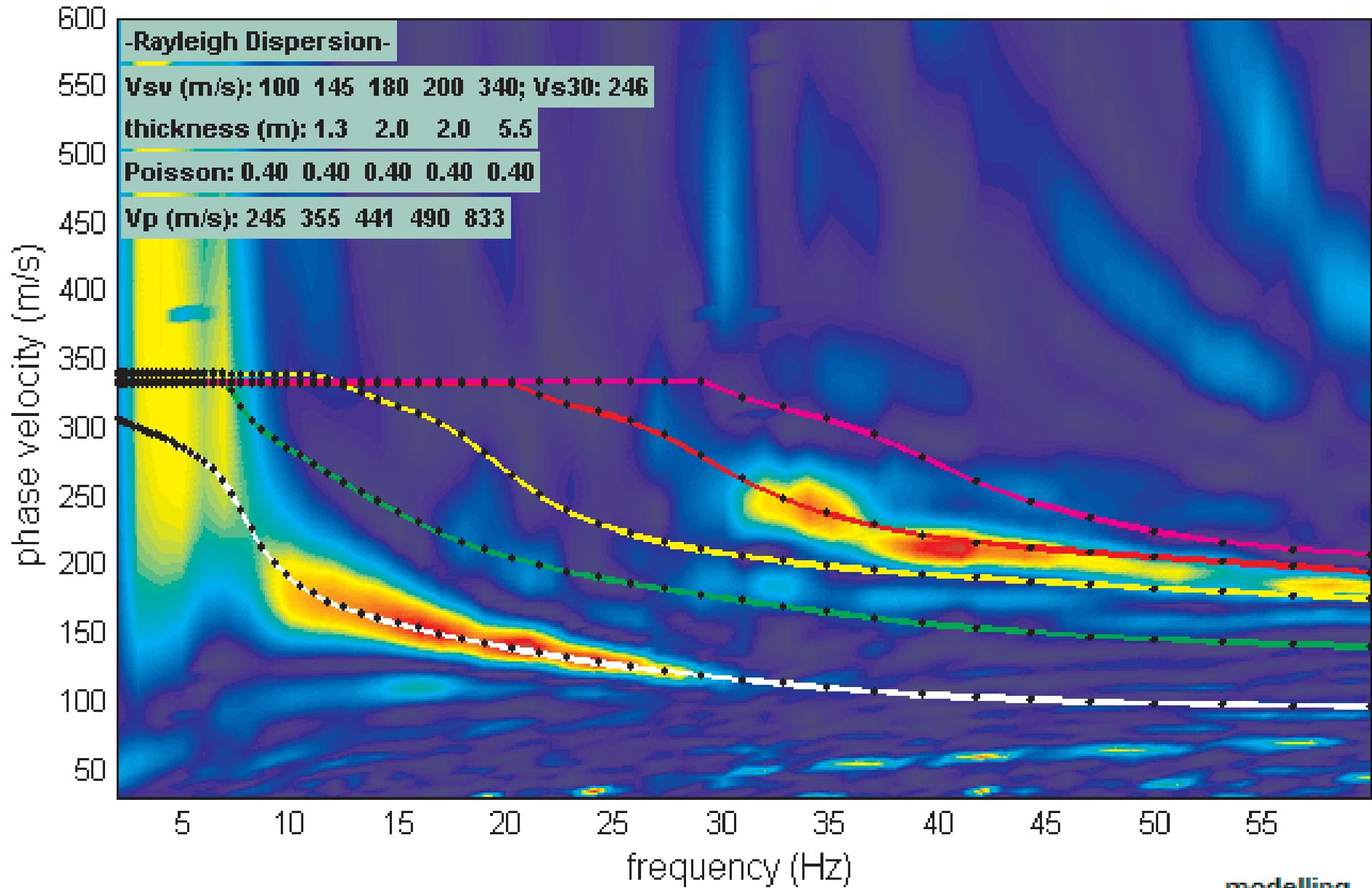
modelling

synthetics
 ZVF
 shows ...
 show mo...
 just over...

www.winmasw.com

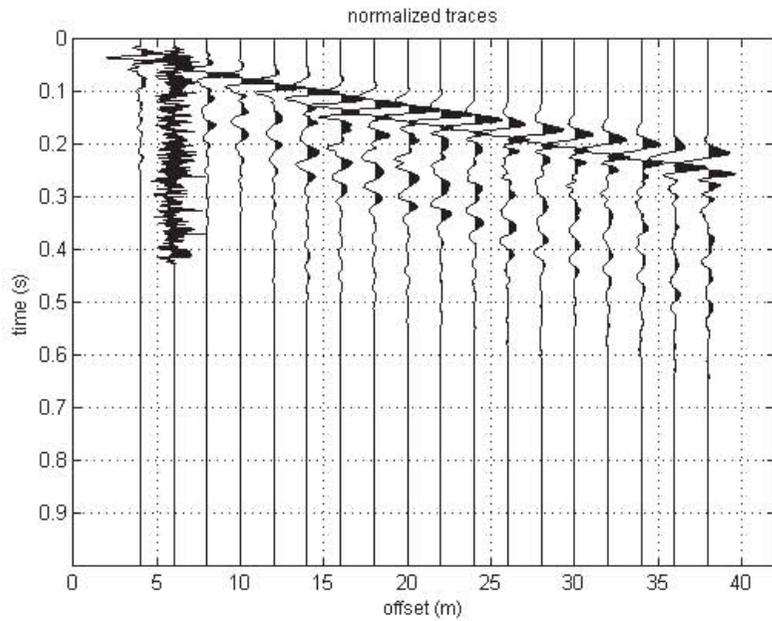
MASW Ponsacco2 - shot 8 m

total velocity spectrum



#1: data uploading & processing

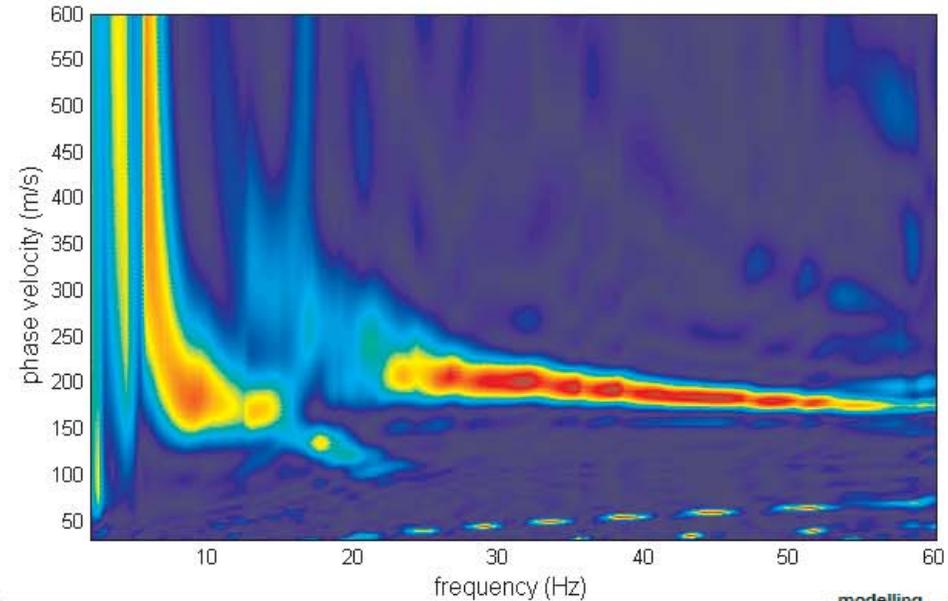
dataset: 4m.sgy
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
 minimum offset: 4 m
 geophone spacing: 2 m



#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f-k group velocity

handling the spectra



visualize curves

picking

 dispersion curves

inversion

resampling: 0.5
 data selection: 60
 filtering & spectra:
 spectrum:
 refr. & refl.: 0.2

other tools & setting
 0.9981 time to visualize

about Poiss...

Vs	Qs	Poisson	thickness
80	10	0.33	0.3
130	16	0.35	0.5
150	19	0.35	1
190	24	0.35	2
220	28	0.35	4
250	31	0.35	5
300	38	0.35	7
400	50	0.3	10
800	100	0.2	40
1900	238	0.15	0
0	0	0.15	

general setting
 Rayleigh
 Reference Refract...
 H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

modelling
 synthetics

 just over...

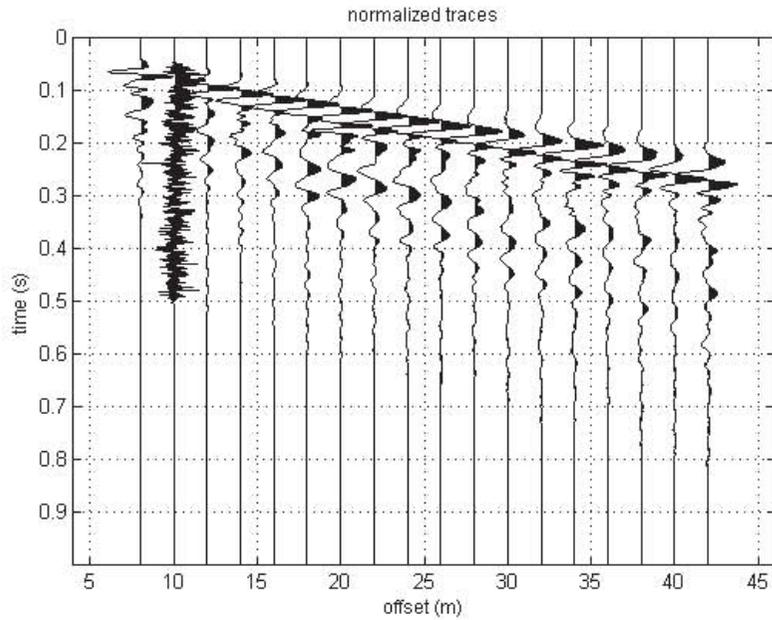
 effective

www.winmasw.com

MASW Ponsacco3 - shot 4 m

#1: data uploading & processing

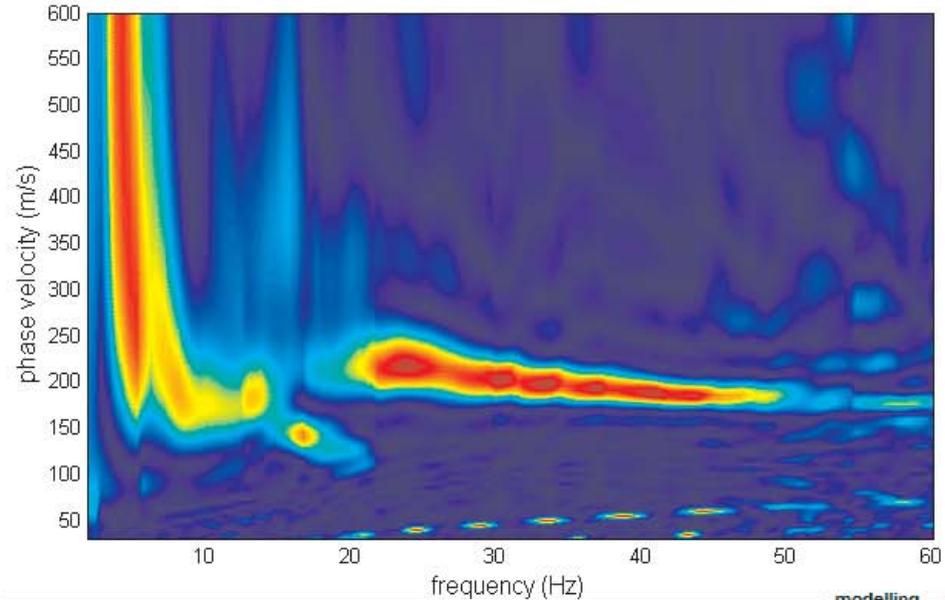
dataset: 8m.sgy
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
 minimum offset: 8 m
 geophone spacing: 2 m



#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f-k group velocity

handling the spectra



visualize curves

picking

dispersion curves

 to select the last point of the considered mode

inversion

resampling

0.5

data selection

60

filtering & spectra

refr. & refl.

0.2

other tools & setting

0.9981 time to visualize

general setting

Rayleigh

Reference Refract...

H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

Vs	Qs	Poisson	thickness
80	10	0.33	0.3
130	16	0.35	0.5
150	19	0.35	1
190	24	0.35	2
220	28	0.35	4
250	31	0.35	5
300	38	0.35	7
400	50	0.3	10
800	100	0.2	40
1900	238	0.15	0
0	0	0.15	

effective

modelling

synthetics

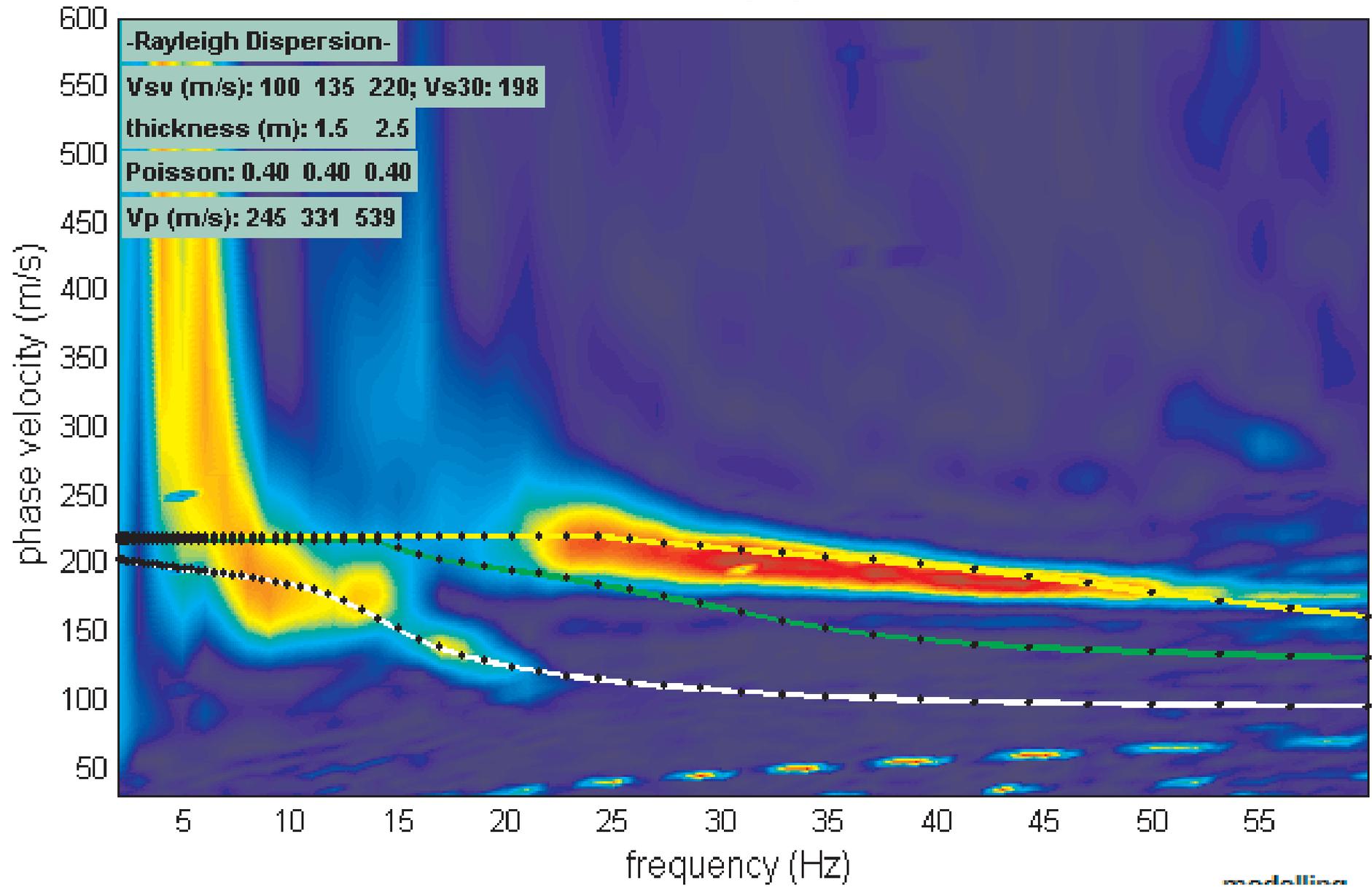
ZVF

just over...

www.winmasw.com

MASW Ponsacco3 - shot 8 m

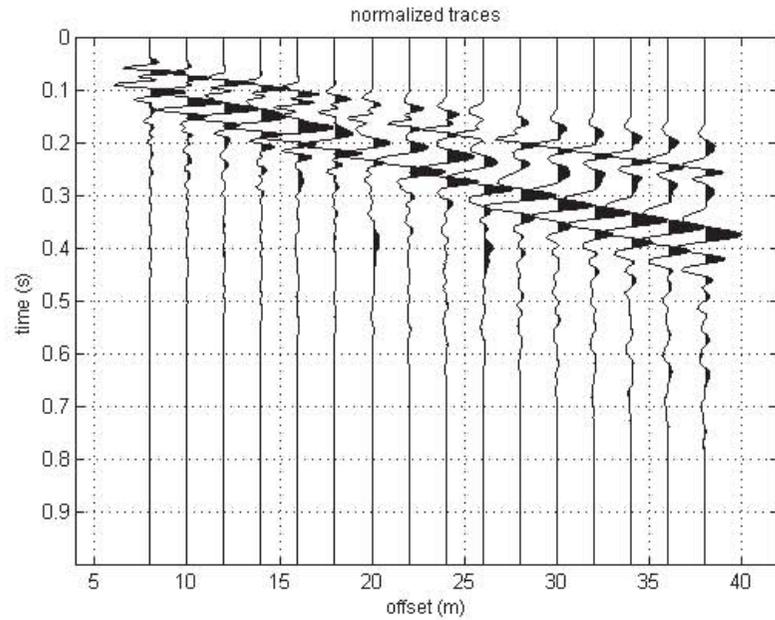
total velocity spectrum



MASW Ponsacco3

#1: data uploading & processing

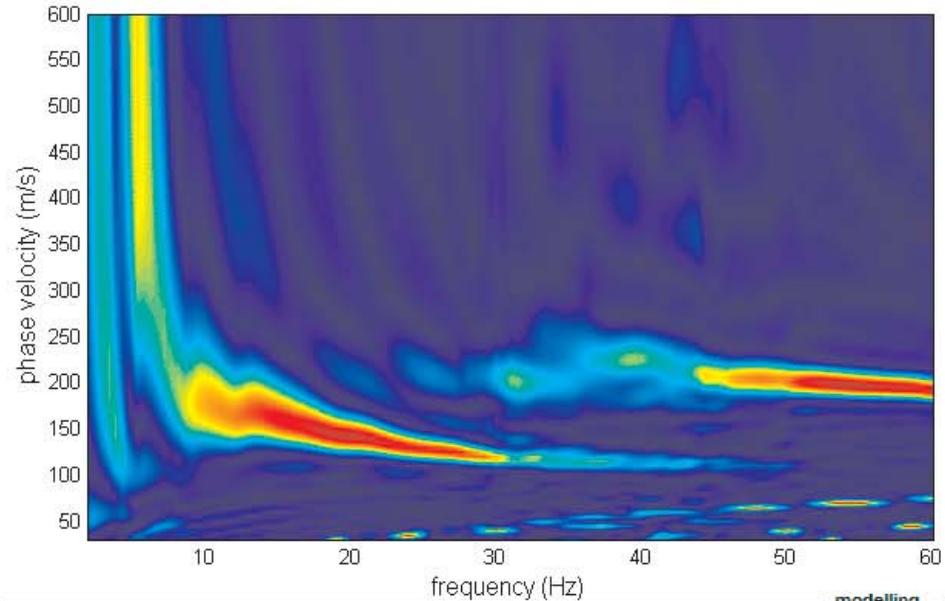
dataset: 4m.sgy
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
 minimum offset: 8 m
 geophone spacing: 2 m



#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f-k group velocity

handling the spectra



visualize curves

picking

 dispersion curves

inversion

resampling: 0.5
 data selection: 60
 filtering & spectra:
 spectrum:
 refr. & refl.: 0.2

other tools & setting
 0.9981 time to visualize

about Poiss...

Vs	Qs	Poisson	thickness
80	10	0.33	0.3
130	16	0.35	0.5
150	19	0.35	1
190	24	0.35	2
220	28	0.35	4
250	31	0.35	5
300	38	0.35	7
400	50	0.3	10
800	100	0.2	40
1900	238	0.15	0
0	0	0.15	

general setting
 Rayleigh
 Reference Refract...
 H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

modelling
 synthetics

 just over...

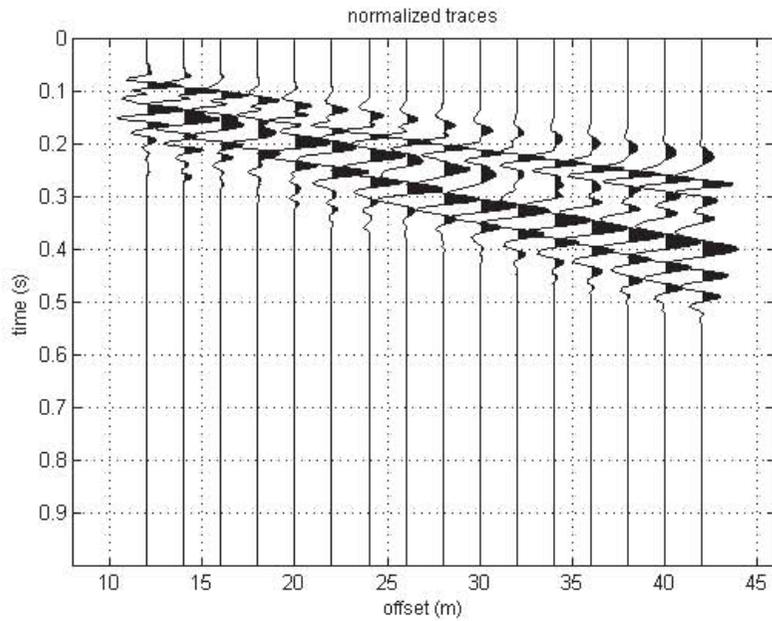
 effective

www.winmasw.com

MASW Ponsacco4 - shot 4 m

#1: data uploading & processing

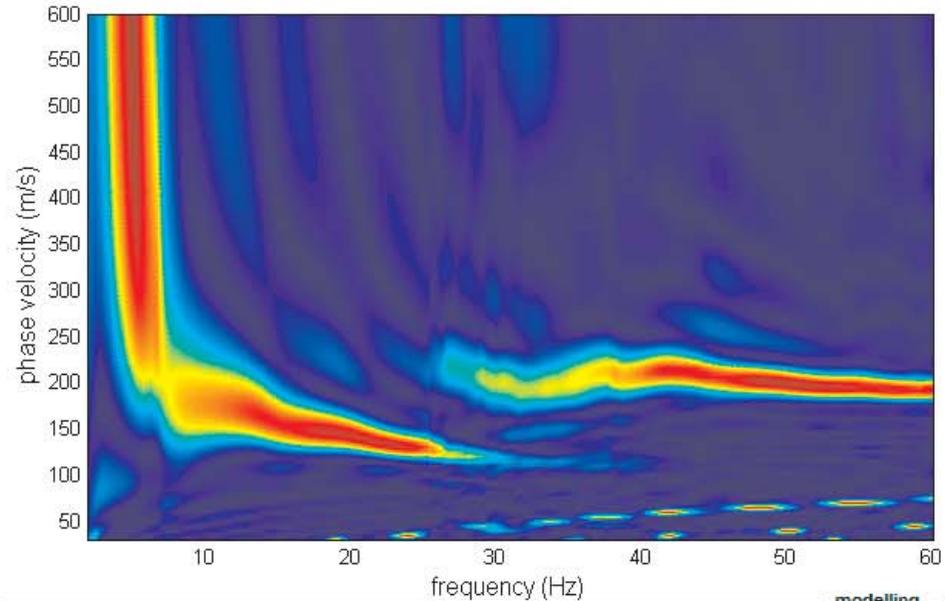
dataset: 8m.sgy
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
 minimum offset: 12 m
 geophone spacing: 2 m



#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f-k group velocity

handling the spectra



visualize curves

picking

 dispersion curves

inversion

resampling: 0.5
 data selection: 60
 filtering & spectra:
 spectrum:
 refr. & refl.: 0.2

other tools & setting
 0.9981 time to visualize

about Poiss...

Vs	Qs	Poisson	thickness
80	10	0.33	0.3
130	16	0.35	0.5
150	19	0.35	1
190	24	0.35	2
220	28	0.35	4
250	31	0.35	5
300	38	0.35	7
400	50	0.3	10
800	100	0.2	40
1900	238	0.15	0
0	0	0.15	

general setting
 Rayleigh 5
 Reference Refract...
 H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

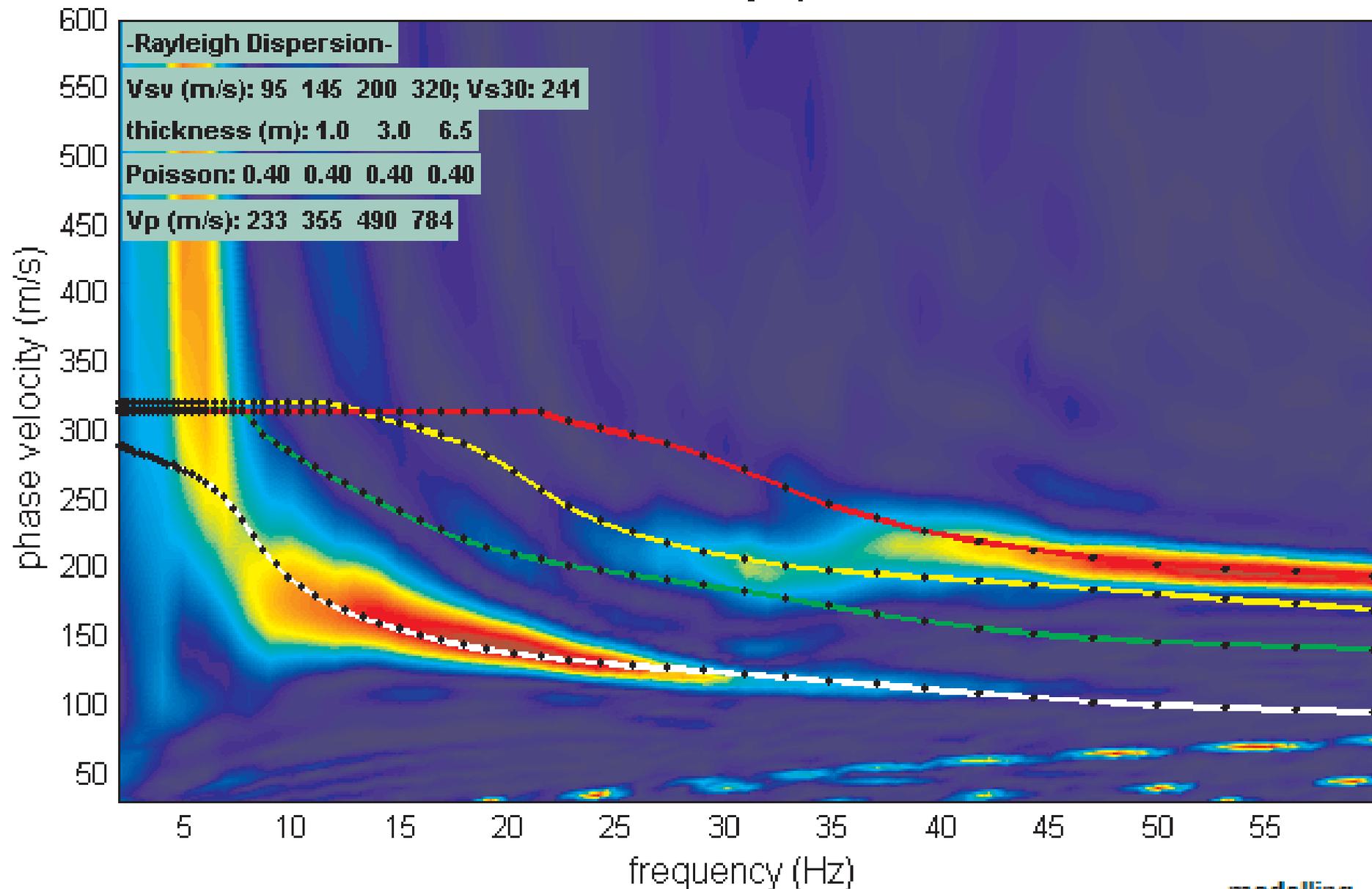
modelling
 synthetics
 ZVF
 just over...

 effective

www.winmasw.com

MASW Ponsacco4 - shot 8 m

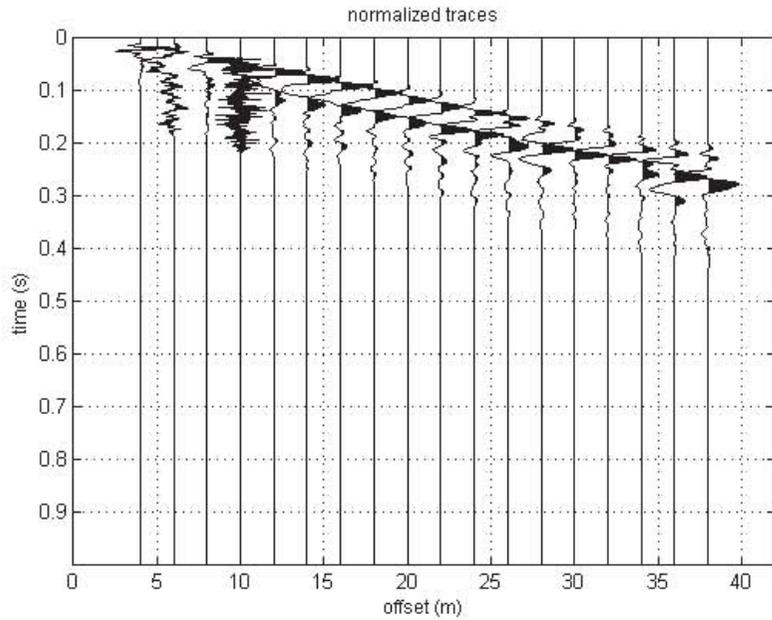
total velocity spectrum



MASW Ponsacco4

#1: data uploading & processing

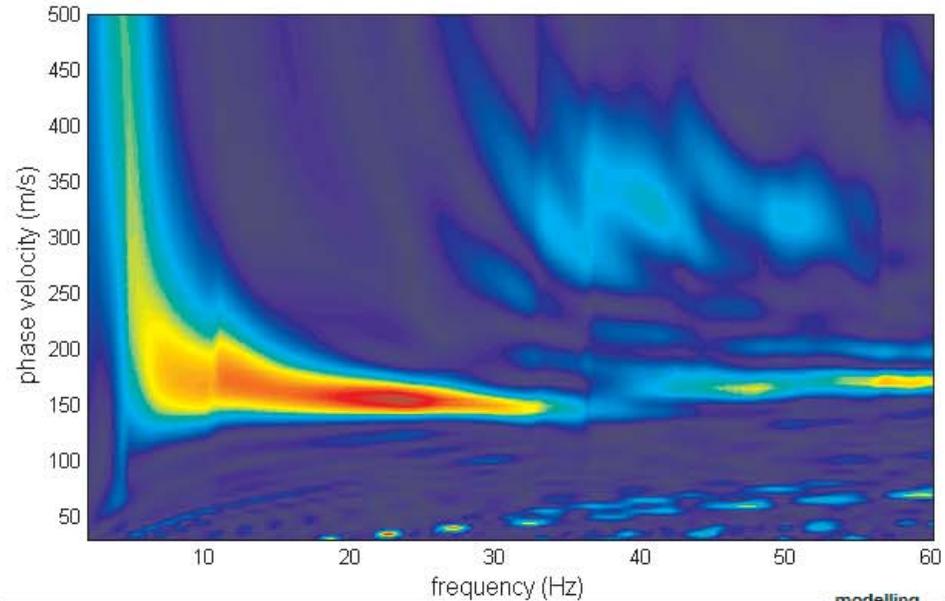
dataset: 4m.sgy
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
 minimum offset: 4 m
 geophone spacing: 2 m



#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f-k group velocity

handling the spectra



visualize curves

picking

dispersion curves

 to select the last point of the considered mode

inversion

resampling

0.5

data selection

60

filtering & spectra

refr. & refl.

0.2

other tools & setting

0.9981 time to visualize

general setting

Rayleigh 3
 Reference Refract...

H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

Vs	Qs	Poisson	thickness
130	10	0.4	1.5
175	16	0.4	3.5
170	19	0.4	7
230	24	0.4	0
0	28	0.4	0
0	31	0.35	0
0	38	0.35	0
0	50	0.3	0
0	100	0.2	0
0	238	0.15	0
0	0	0.15	0

effective

modelling

synthetics

ZVF
 shows ...
 show mo...

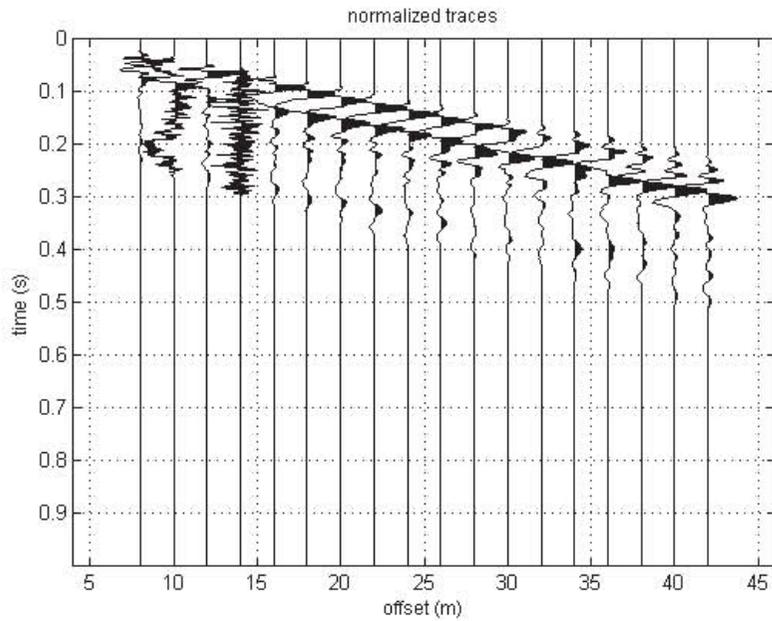
just over...

www.winmasw.com

MASW Ponsacco5 - shot 4 m

#1: data uploading & processing

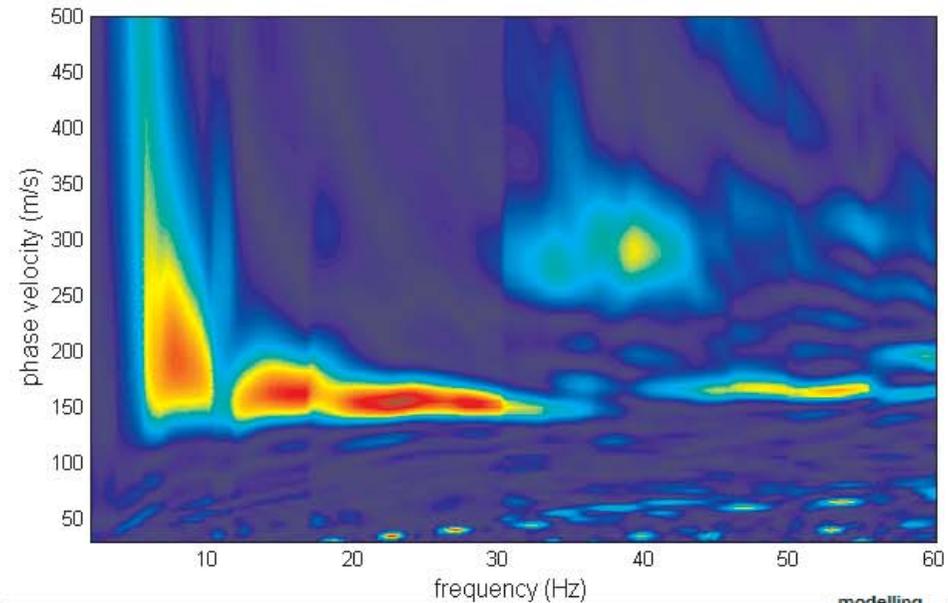
dataset: 8m-bis.sgy
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
 minimum offset: 8 m
 geophone spacing: 2 m



#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f-k group velocity

handling the spectra



visualize curves

picking

dispersion curves

 to select the last point of the considered mode

inversion

resampling

0.5

data selection

filtering & spectra

refr. & refl.

refr./refl. 0.2

other tools & setting

0.9981 time to visualize

general setting

Rayleigh 3
 Reference Refract...
 H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

Vs	Qs	Poisson	thickness
130	10	0.4	1.5
175	16	0.4	3.5
170	19	0.4	7
230	24	0.4	0
0	28	0.4	0
0	31	0.35	0
0	38	0.35	0
0	50	0.3	0
0	100	0.2	0
0	238	0.15	0
0	0	0.15	0

effective

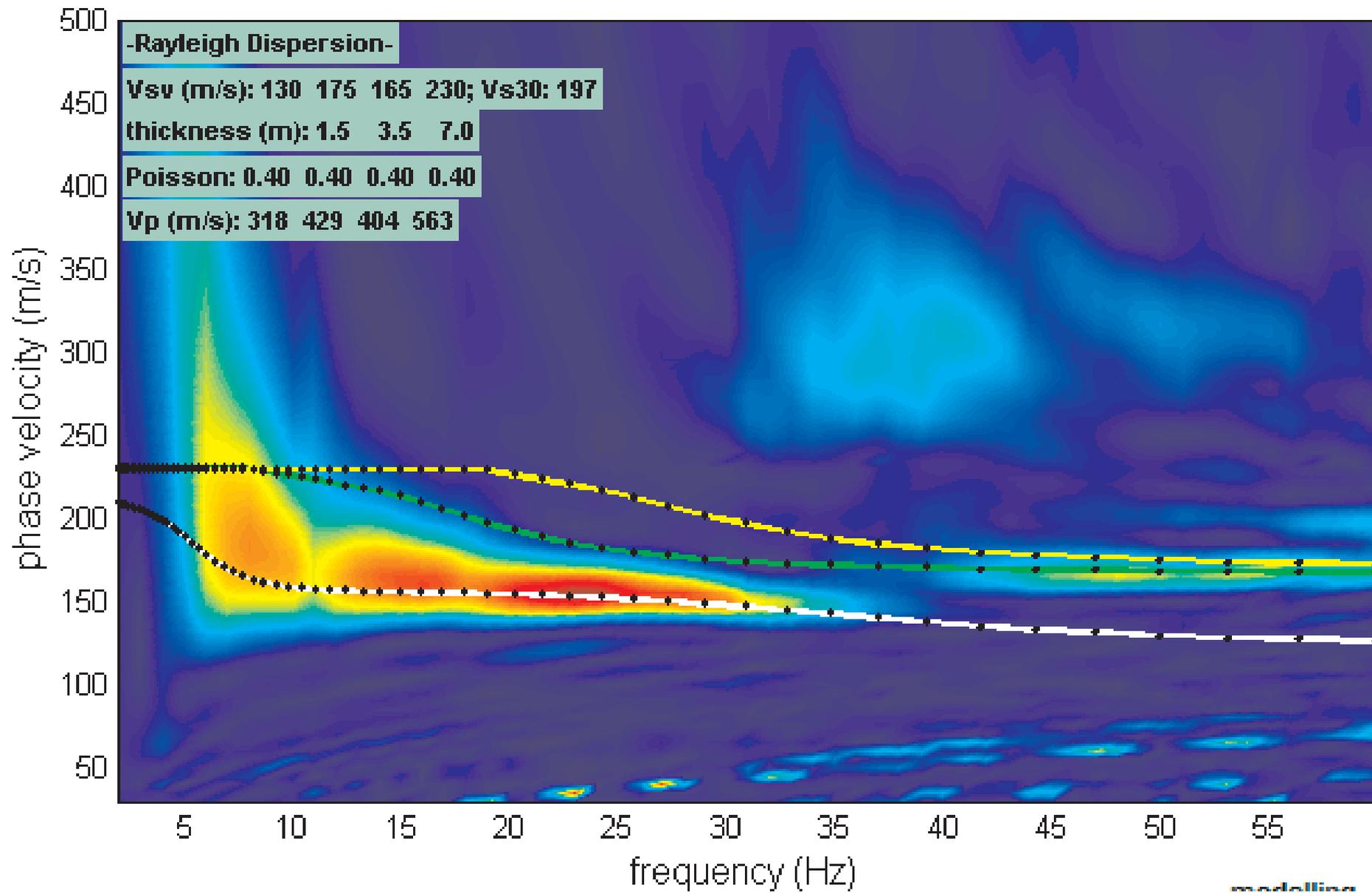
modelling

synthetics
 ZVF
 shows ...
 show mo...
 just over...

www.winmasw.com

MASW Ponsacco5 - shot 8 m

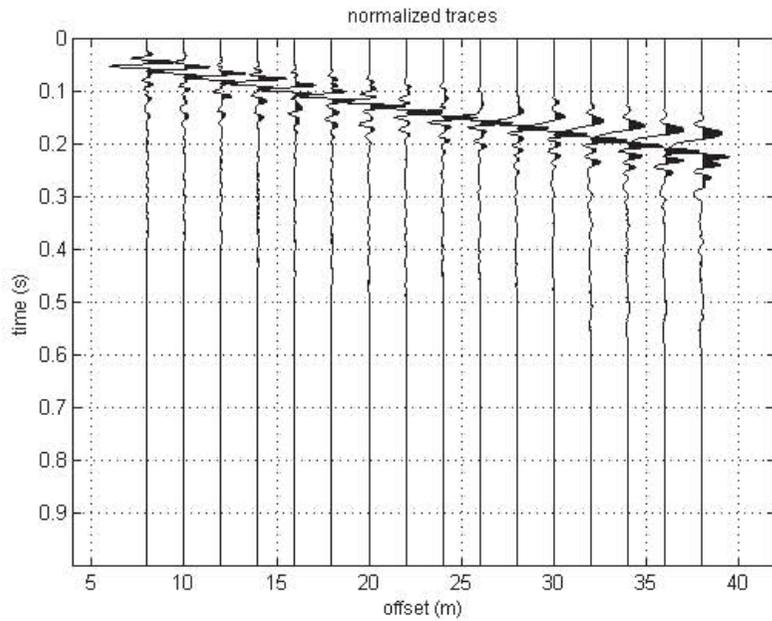
dispersion curves - model: total-spettro_m odello.mod



MASW Ponsacco5

#1: data uploading & processing

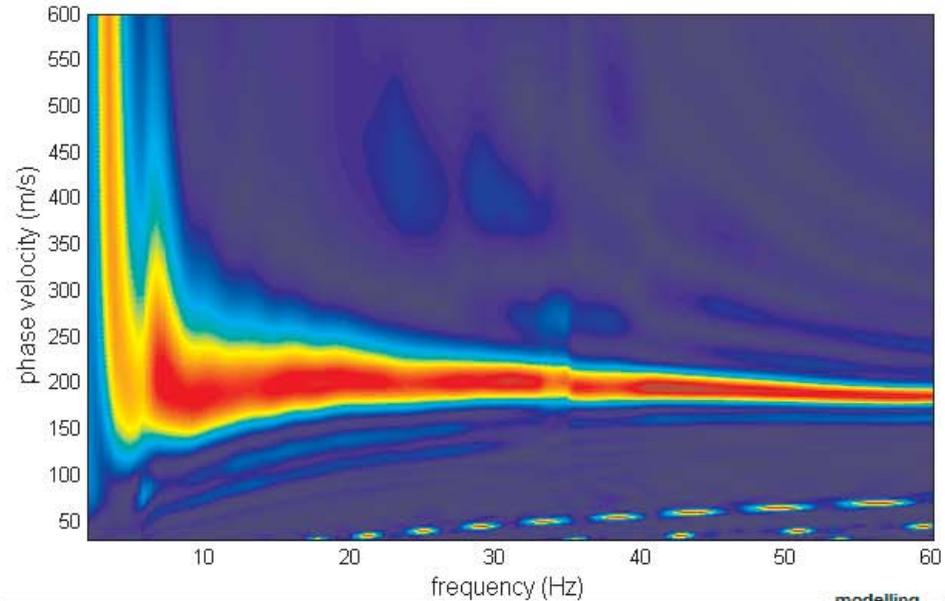
dataset: 4m.sgy
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
 minimum offset: 8 m
 geophone spacing: 2 m



#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f-k group velocity

handling the spectra



visualize curves

picking

dispersion curves

 to select the last point of the considered mode

inversion

resampling

0.5

data selection

60

filtering & spectra

refr. & refl.

0.2

other tools & setting

0.9981 time to visualize

general setting

Rayleigh

Reference Refract...

H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

Vs	Qs	Poisson	thickness
80	10	0.33	0.3
130	16	0.35	0.5
150	19	0.35	1
190	24	0.35	2
220	28	0.35	4
250	31	0.35	5
300	38	0.35	7
400	50	0.3	10
800	100	0.2	40
1900	238	0.15	0
0	0	0.15	

modelling

synthetics

ZVF

just over...

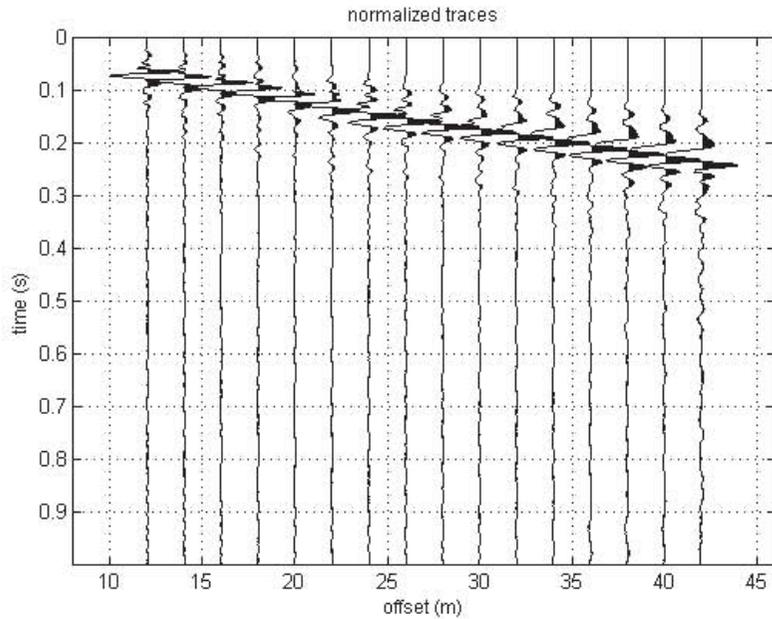
effective

www.winmasw.com

MASW Ponsacco6 - shot 4 m

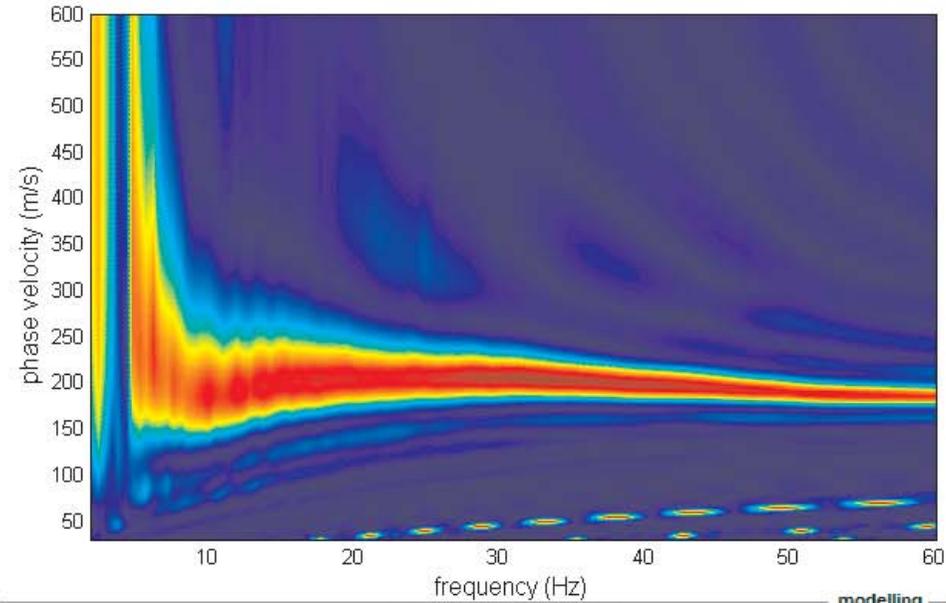
#1: data uploading & processing

dataset: 8m-bis.sgy
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
 minimum offset: 12 m
 geophone spacing: 2 m



#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity F-K group velocity
 handling the spectra: save upload merge
 explore spectr... mode separati...



general setting: Rayleigh 5 phase ...
 H/V (body wa... Refract...
 H/V (surface ...

Vs	Qs	Poisson	thickness
80	10	0.33	0.3
130	16	0.35	0.5
150	19	0.35	1
190	24	0.35	2
220	28	0.35	4
250	31	0.35	5
300	38	0.35	7
400	50	0.3	10
800	100	0.2	40
1900	238	0.15	0
0	0	0.15	

modelling: synthetics ZVF
 shows ...
 show mo...
 just over...
 calculate report DC report SS
 effective

visualize curves
 ?

picking

 dispersion curves

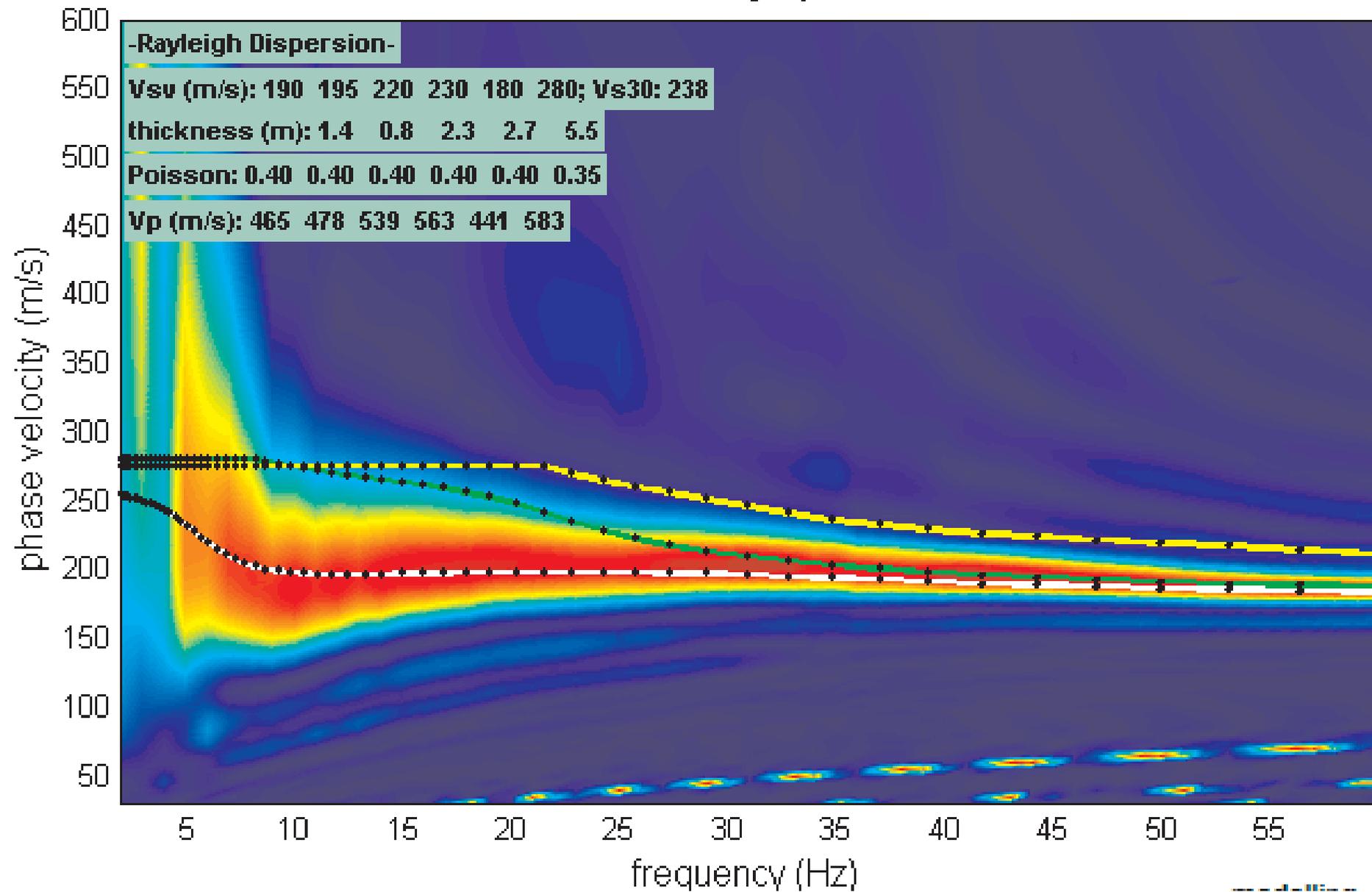
 to select the last point of the considered mode
 ?

inversion

www.winmasw.com

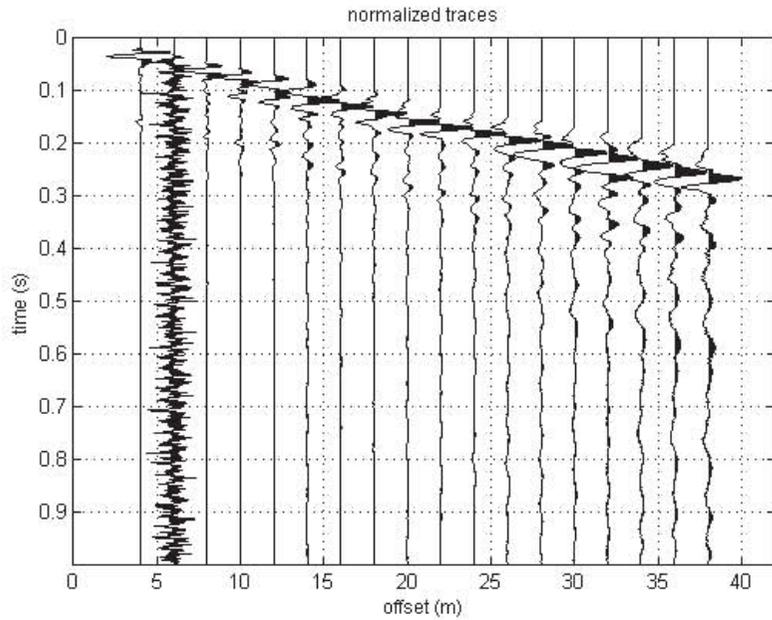
MASW Ponsacco6 - shot 8 m

total velocity spectrum



#1: data uploading & processing

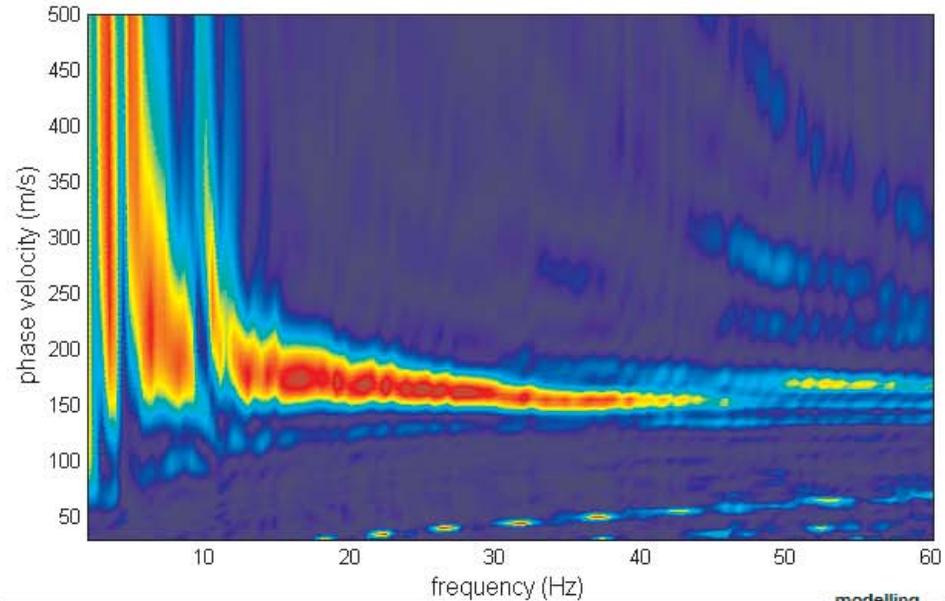
dataset: 4m-bis.sgy
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
 minimum offset: 4 m
 geophone spacing: 2 m



#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f-k group velocity

handling the spectra



visualize curves

picking

dispersion curves

 to select the last point of the considered mode

inversion

resampling

0.5 v

data selection

60

filtering & spectra

refr. & refl.

0.2

other tools & setting

0.9981 time to visualize

general setting

Rayleigh v 5

Reference Refract...

H/V (body wa...)

H/V (surface ...)

Vs	Qs	Poisson	thickness
80	10	0.33	0.3
130	16	0.35	0.5
150	19	0.35	1
190	24	0.35	2
220	28	0.35	4
250	31	0.35	5
300	38	0.35	7
400	50	0.3	10
800	100	0.2	40
1900	238	0.15	0
0	0	0.15	

effective

modelling

synthetics

ZVF v

shows ...

show mo...

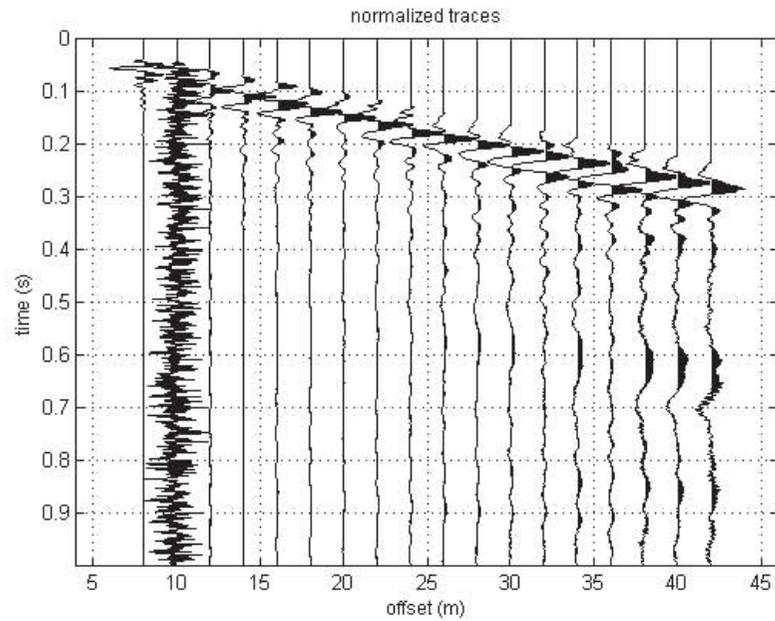
just over...

www.winmasw.com

MASW Ponsacco7 - shot 4 m

#1: data uploading & processing

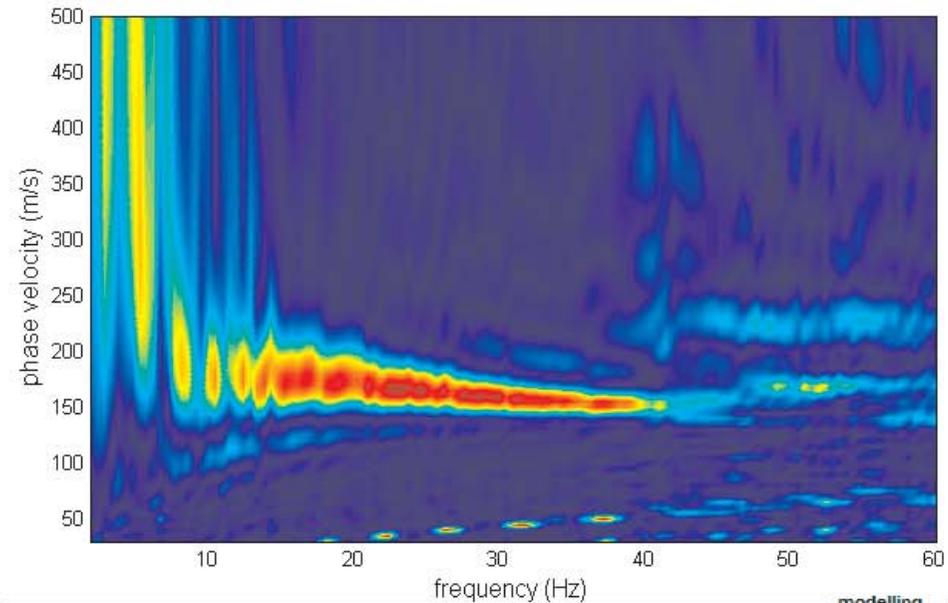
dataset: 8m-ter.sgy
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
 minimum offset: 8 m
 geophone spacing: 2 m



#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f-k group velocity

handling the spectra



visualize curves

picking

dispersion curves

inversion

resampling

0.5

data selection

60

filtering & spectra

refr. & refl.

refr./refl. 0.2

other tools & setting

0.9981 time to visualize

general setting

Rayleigh

Reference Refract...

H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

Vs	Qs	Poisson	thickness
80	10	0.33	0.3
130	16	0.35	0.5
150	19	0.35	1
190	24	0.35	2
220	28	0.35	4
250	31	0.35	5
300	38	0.35	7
400	50	0.3	10
800	100	0.2	40
1900	238	0.15	0
0	0	0.15	

effective

modelling

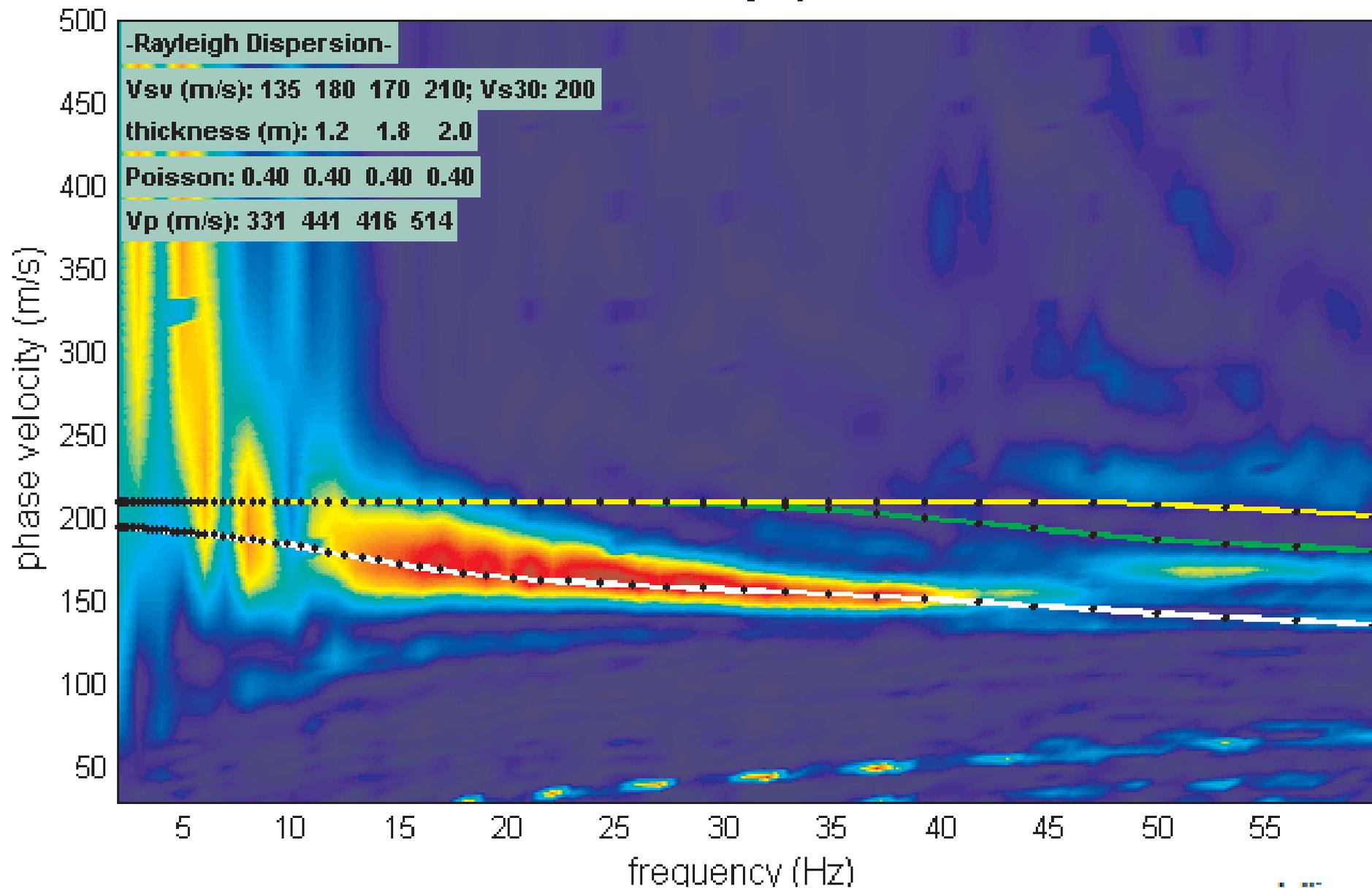
synthetics

ZVF
 show mo...
 just over...

www.winmasw.com

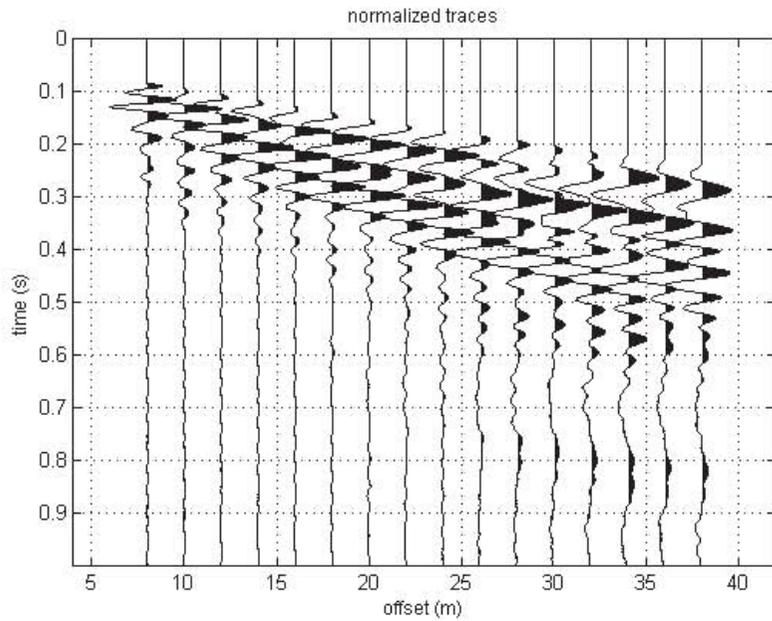
MASW Ponsacco7 - shot 8 m

total velocity spectrum



#1: data uploading & processing

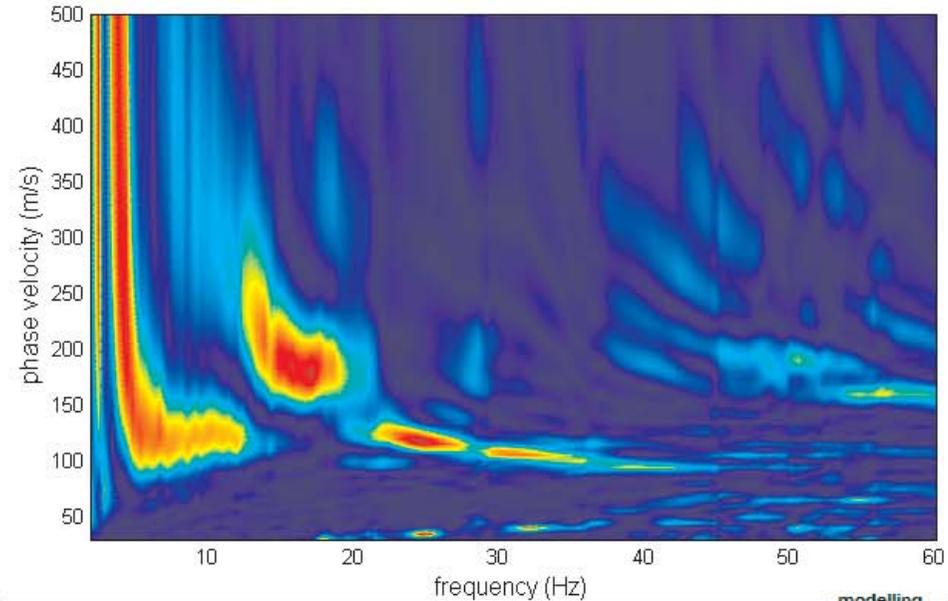
dataset: 4m.sgy
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
 minimum offset: 8 m
 geophone spacing: 2 m



#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f-k group velocity

handling the spectra



visualize curves

picking

dispersion curves

 to select the last
 point of the
 considered mode

inversion

resampling

0.5

data selection

filtering & spectra

refr. & refl.

refr./refl. 0.2

other tools & setting

0.9981 time to visualize

general setting

Rayleigh 5
 Reference Refract...
 H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

Vs	Qs	Poisson	thickness
80	10	0.33	0.3
130	16	0.35	0.5
150	19	0.35	1
190	24	0.35	2
220	28	0.35	4
250	31	0.35	5
300	38	0.35	7
400	50	0.3	10
800	100	0.2	40
1900	238	0.15	0
0	0	0.15	

modelling

synthetics
 ZVF
 shows ...
 show mo...
 just over...

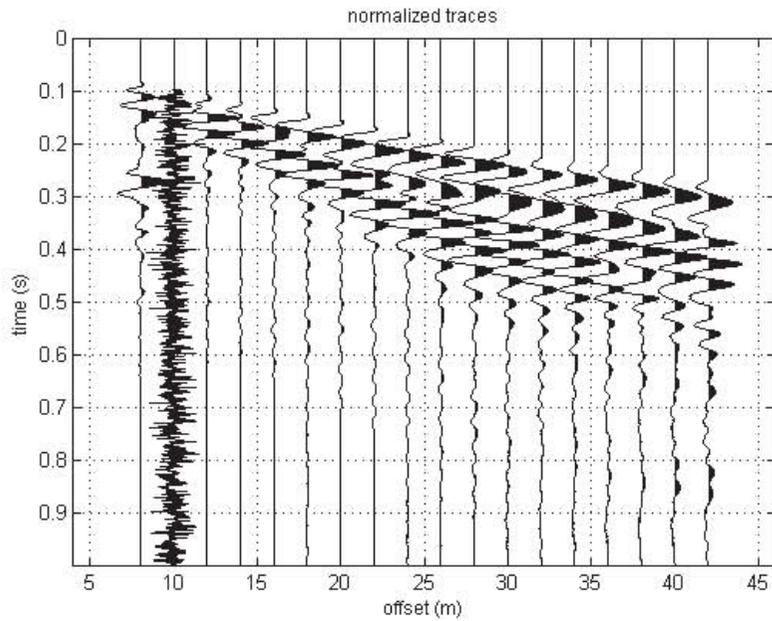
effective

www.winmasw.com

MASW Ponsacco8 - shot 4 m

#1: data uploading & processing

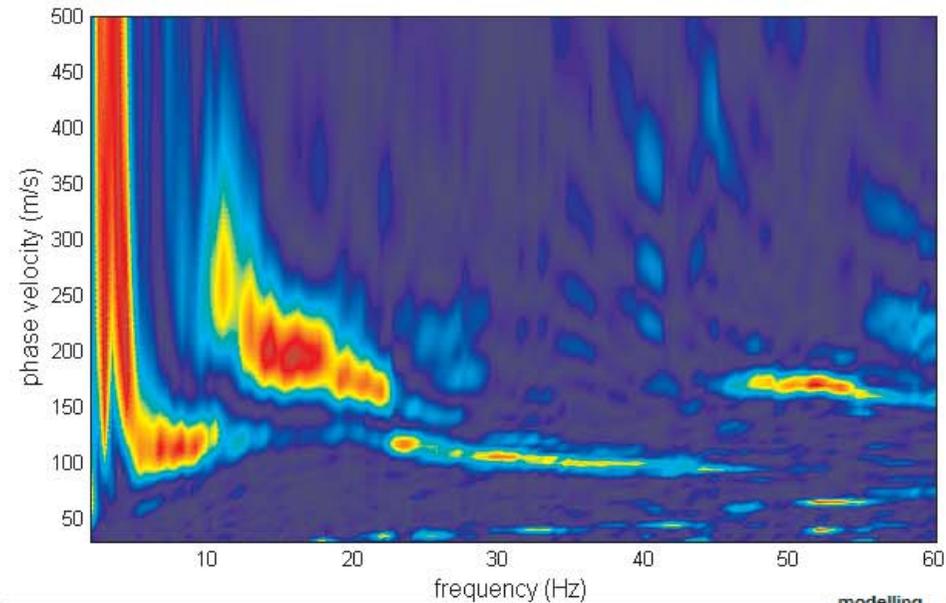
dataset: 8m-bis.sgy
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
 minimum offset: 8 m
 geophone spacing: 2 m



#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f-k group velocity

handling the spectra



visualize curves

picking

dispersion curves

 to select the last point of the considered mode

inversion

resampling

0.5

data selection

60

filtering & spectra

refr. & refl.

refr./refl. 0.2

other tools & setting

0.9981 time to visualize

general setting

Rayleigh 5
 Reference Refract...
 H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

Vs	Qs	Poisson	thickness
80	10	0.33	0.3
130	16	0.35	0.5
150	19	0.35	1
190	24	0.35	2
220	28	0.35	4
250	31	0.35	5
300	38	0.35	7
400	50	0.3	10
800	100	0.2	40
1900	238	0.15	0
0	0	0.15	

modelling

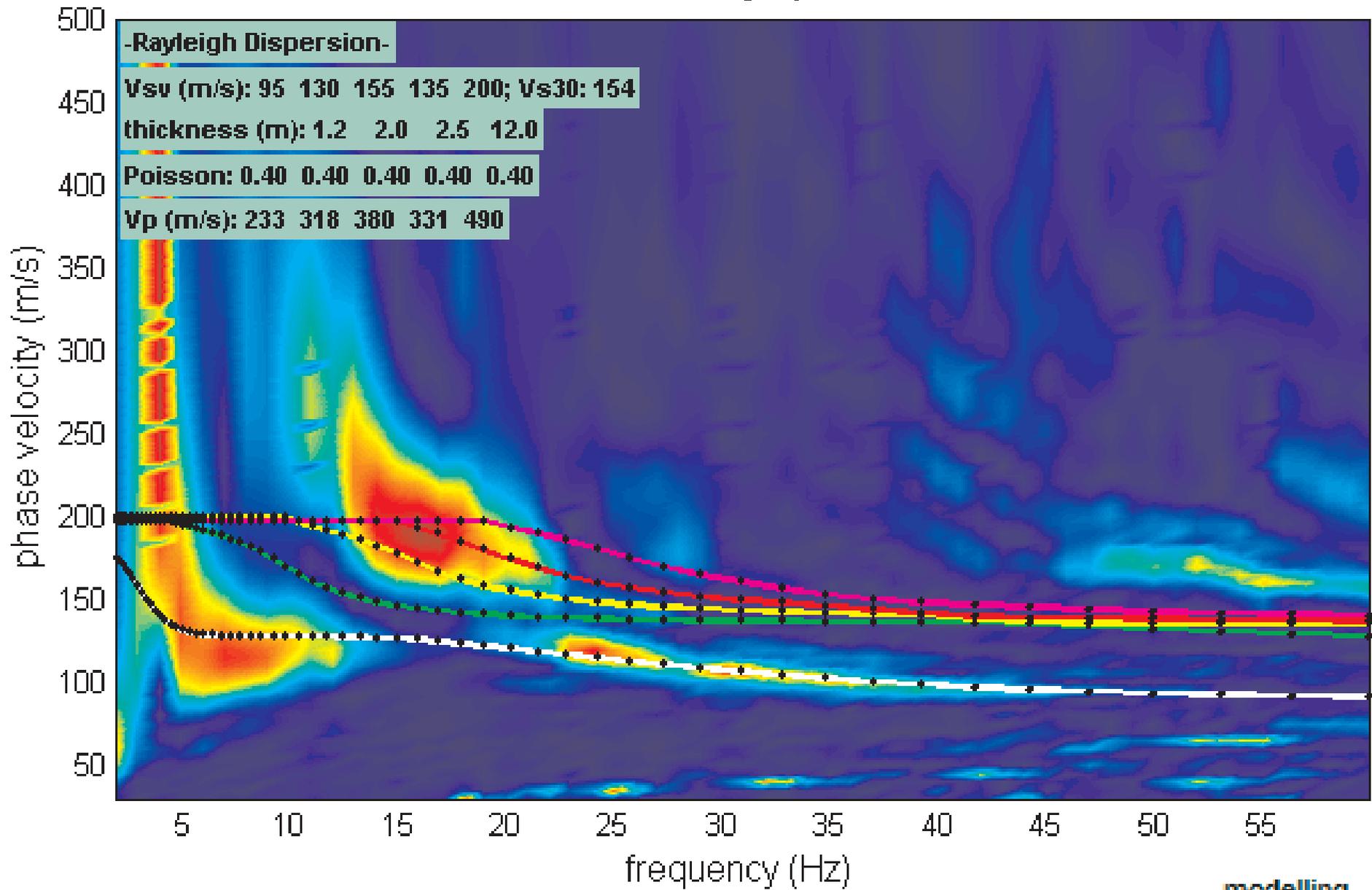
synthetics
ZVF
 shows ...
 show mo...
 just over...

effective

www.winmasw.com

MASW Ponsacco8 - shot 8 m

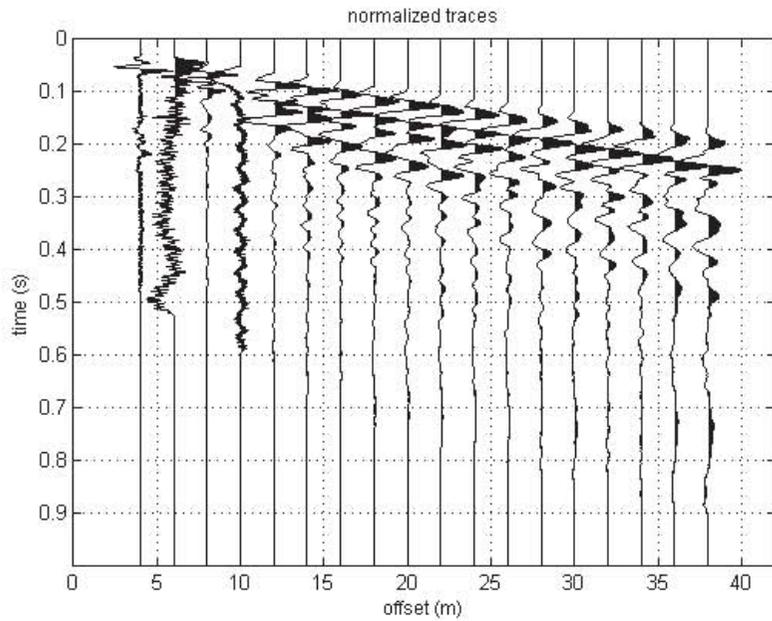
total velocity spectrum



MASW Ponsacco8

#1: data uploading & processing

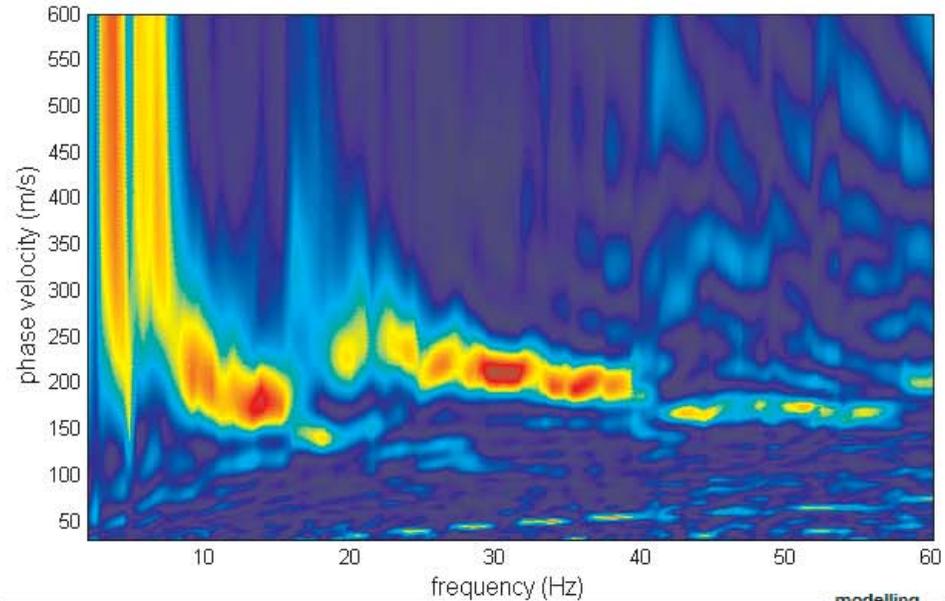
dataset: 4m.sgy
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
 minimum offset: 4 m
 geophone spacing: 2 m



#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f-k group velocity

handling the spectra



visualize curves

picking

 dispersion curves

inversion

resampling: 0.5
 data selection: 60
 filtering & spectra:
 spectrum:
 refr. & refl.: 0.2

other tools & setting
 0.9981 time to visualize

about Poiss...

Vs	Qs	Poisson	thickness
80	10	0.33	0.3
130	16	0.35	0.5
150	19	0.35	1
190	24	0.35	2
220	28	0.35	4
250	31	0.35	5
300	38	0.35	7
400	50	0.3	10
800	100	0.2	40
1900	238	0.15	0
0	0	0.15	

general setting: 5 Reference Refract...
 H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

modelling synthetics:
 shows ...
 show mo...
 just over...

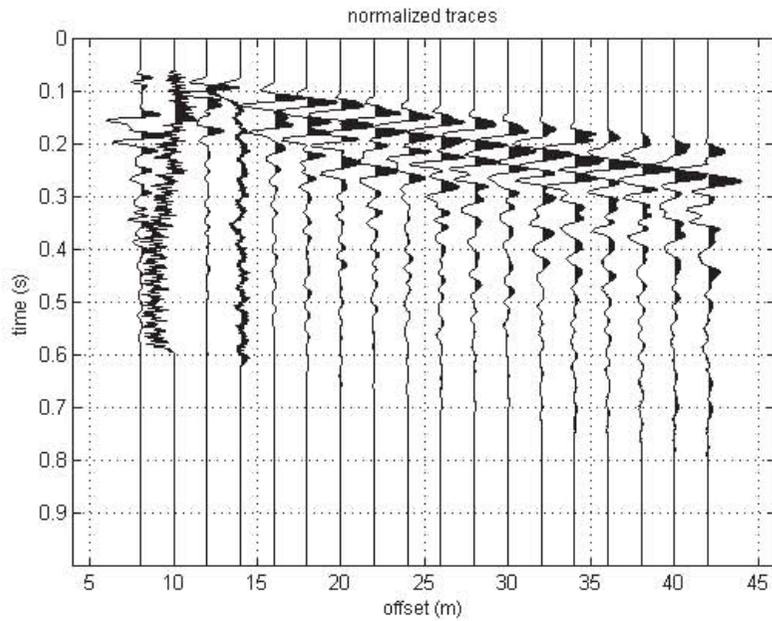
 effective

www.winmasw.com

MASW Ponsacco9 - shot 4 m

#1: data uploading & processing

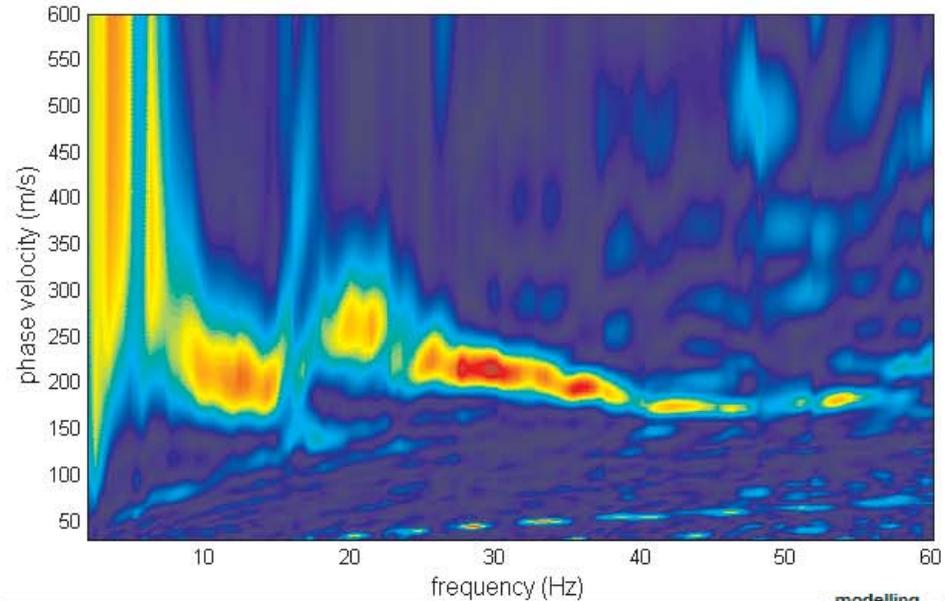
dataset: 8m-bis.sgy
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
 minimum offset: 8 m
 geophone spacing: 2 m



#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f-k group velocity

handling the spectra



visualize curves

picking

dispersion curves

inversion

resampling

0.5

data selection

60

filtering & spectra

refr. & refl.

refr./refl. 0.2

other tools & setting

0.9981 time to visualize

general setting

Rayleigh

Reference Refract...

H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

Vs	Qs	Poisson	thickness
80	10	0.33	0.3
130	16	0.35	0.5
150	19	0.35	1
190	24	0.35	2
220	28	0.35	4
250	31	0.35	5
300	38	0.35	7
400	50	0.3	10
800	100	0.2	40
1900	238	0.15	0
0	0	0.15	

modelling

synthetics

ZVF

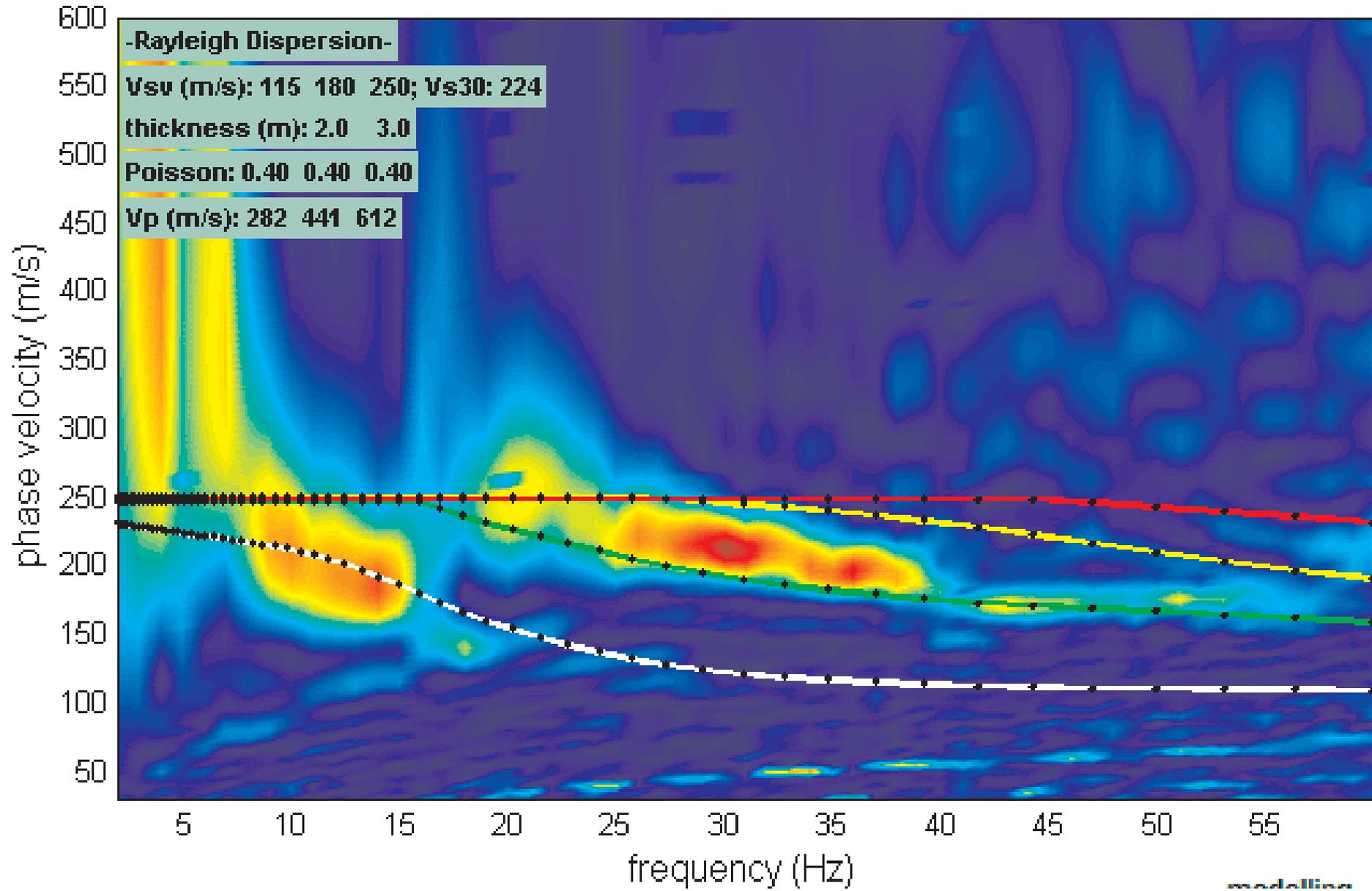
 just over...

effective

www.winmasw.com

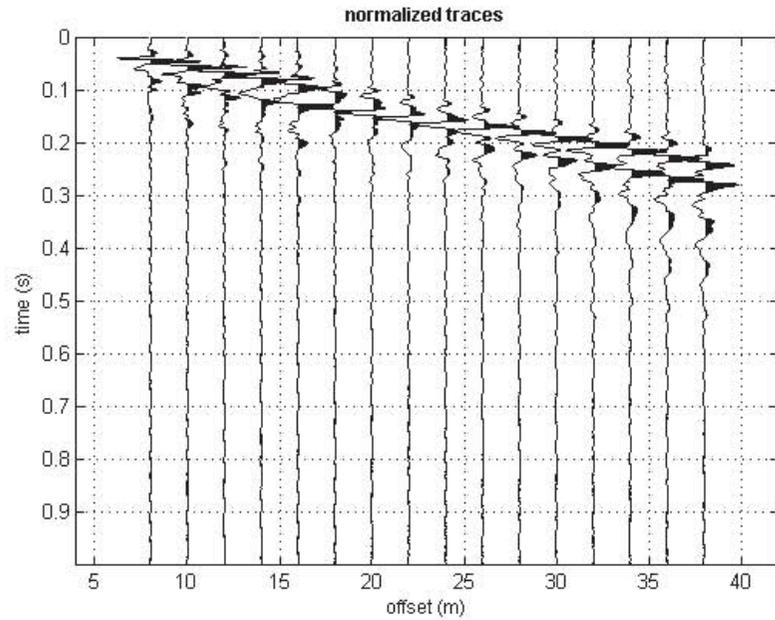
MASW Ponsacco9 - shot 8 m

total velocity spectrum



#1: data uploading & processing

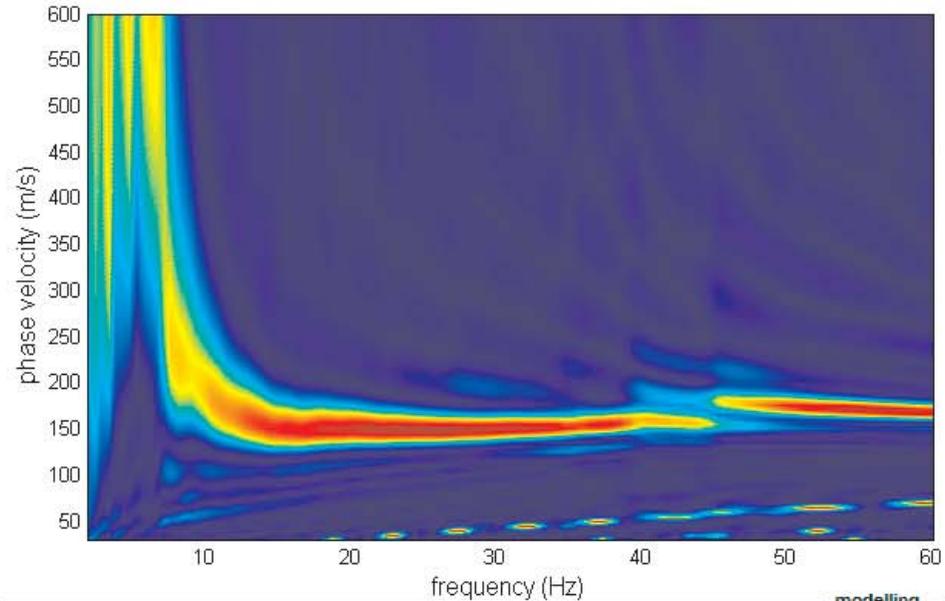
dataset: 4m.sgy
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
 minimum offset: 8 m
 geophone spacing: 2 m



#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f-k group velocity

handling the spectra



visualize curves

picking

 dispersion curves

inversion

resampling

data selection

filtering & spectra

refr. & refl.

other tools & setting

Vs	Qs	Poisson	thickness
80	10	0.33	0.3
130	16	0.35	0.5
150	19	0.35	1
190	24	0.35	2
220	28	0.35	4
250	31	0.35	5
300	38	0.35	7
400	50	0.3	10
800	100	0.2	40
1900	238	0.15	0
0	0	0.15	

general setting

 Reference Refract...
 H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

modelling

 effective

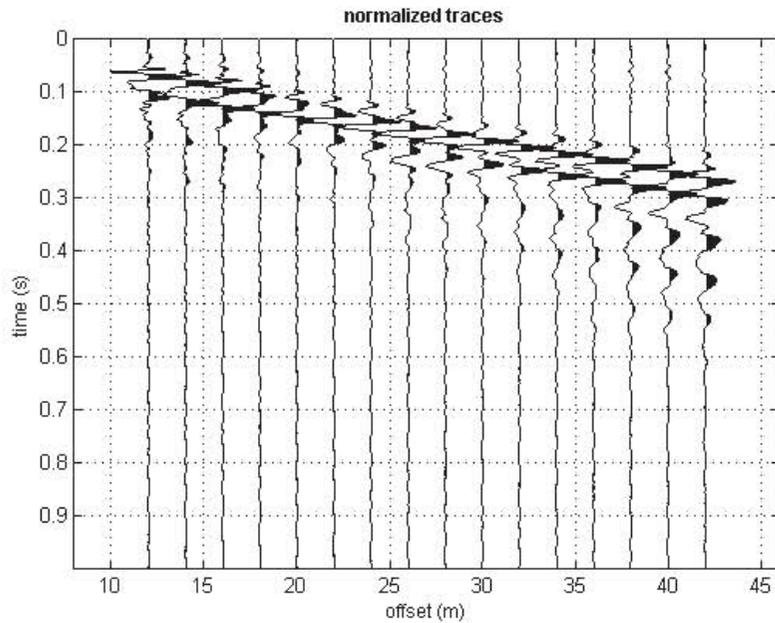
synthetics
 shows ...
 show mo...
 just over...

www.winmasw.com

MASW Ponsacco10 - shot 4 m

#1: data uploading & processing

dataset: 8m.sgy
sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
minimum offset: 12 m
geophone spacing: 2 m



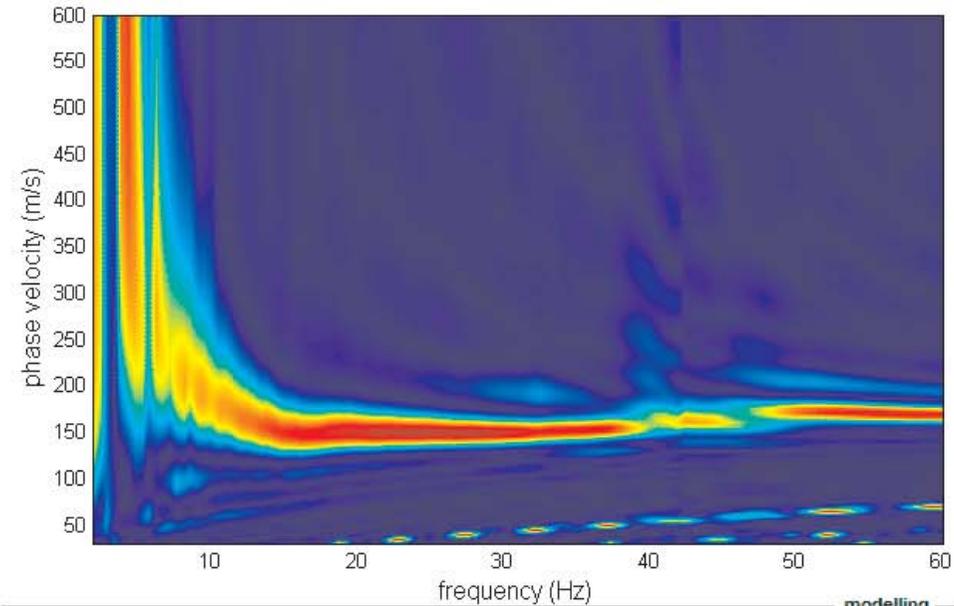
#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f-k group velocity

handling the spectra
save upload merge

explore spectr...
mode separati...

visualize curves
input curve ?



picking
? show f-k
auto picking

dispersion curves
select mode
to select the last
point of the
considered mode
save picking ?

cancel pic...

inversion
inversion
Joint DC-HV i...

resampling: 0.5 resample accept

data selection: activate select 60 cancel save

filtering & spectra: filter cancel spectrum spectrog...

refr. & refl.: refr./refl. 0.2 upload save flip polar... clear

other tools & setting: 0.9981 time to visualize done cut flip traces test amplitu... zero paddi...

about Poiss...

Vs	Qs	Poisson	thickness
80	10	0.33	0.3
130	16	0.35	0.5
150	19	0.35	1
190	24	0.35	2
220	28	0.35	4
250	31	0.35	5
300	38	0.35	7
400	50	0.3	10
800	100	0.2	40
1900	238	0.15	0
0	0	0.15	

general setting: Rayleigh 5 phase ...

Reference Refract...
 H/V (body wa...
 H/V (surface ...

upload mod. save model refresh

calculate effective

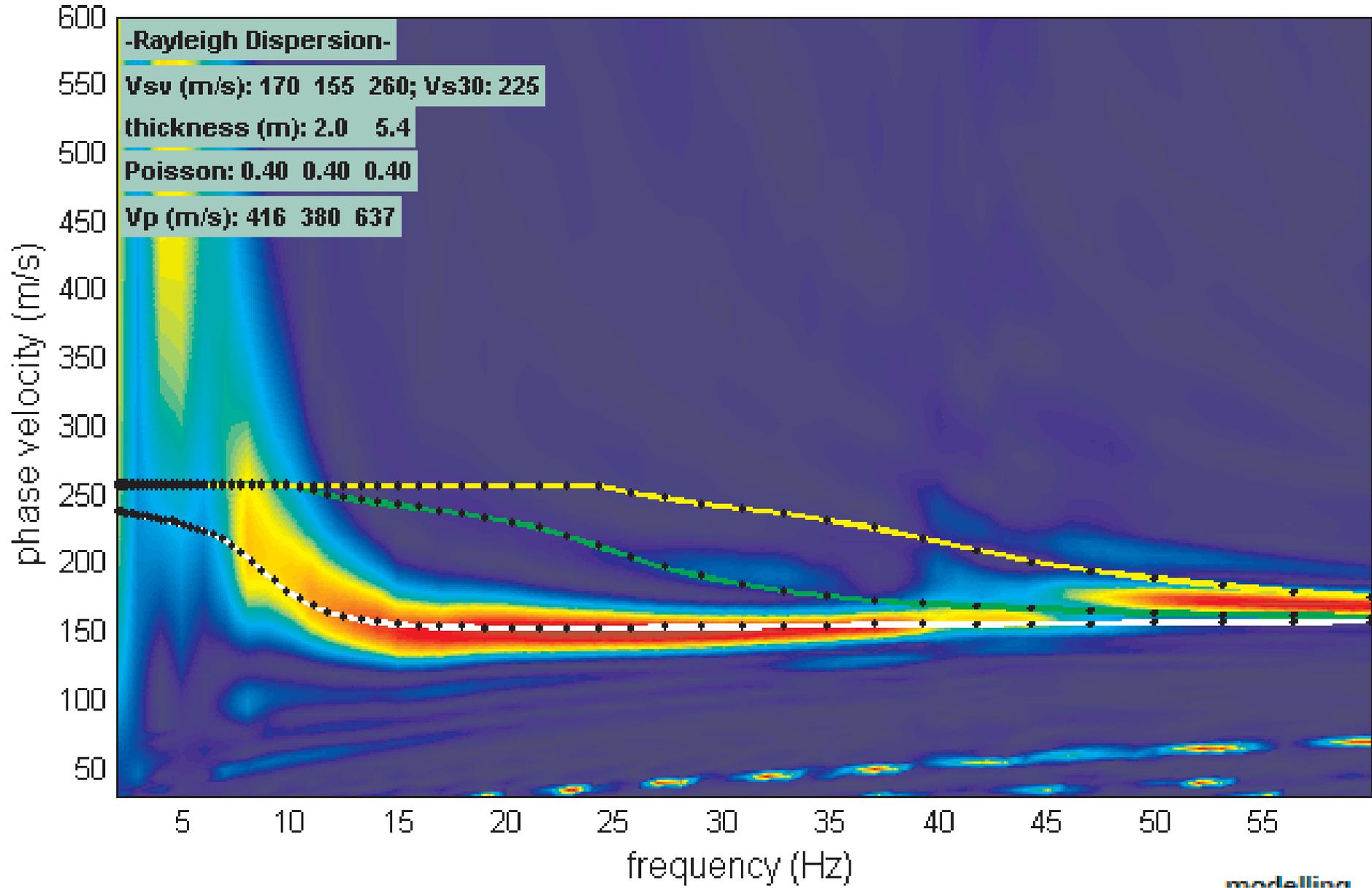
modelling synthetics: ZVF shows ... show mo... just over... synthetics

report DC report SS

www.winmasw.com

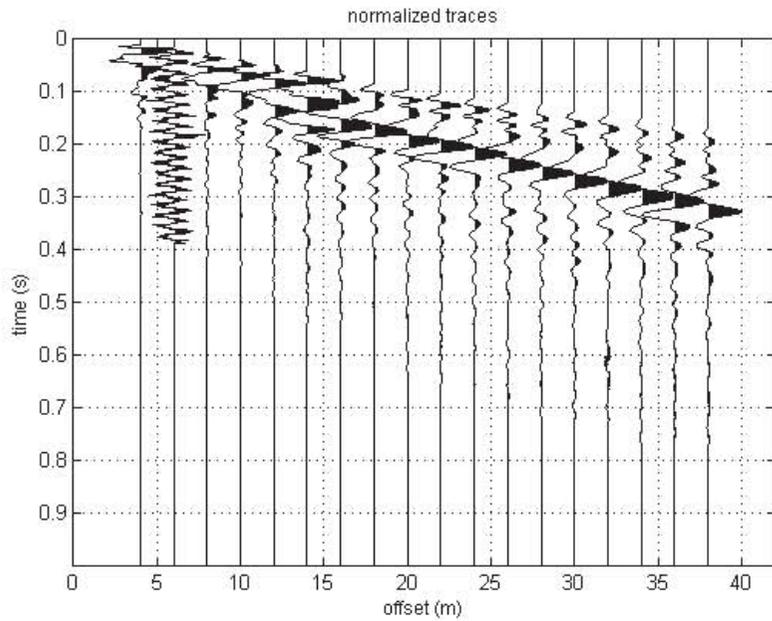
MASW Ponsacco10 - shot 8 m

total velocity spectrum



#1: data uploading & processing

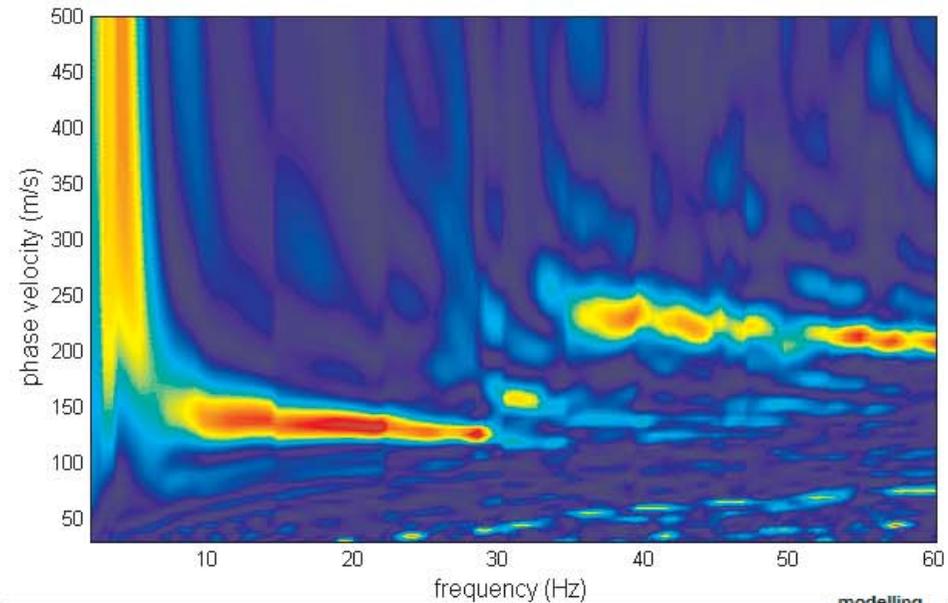
dataset: 4m.sgy
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
 minimum offset: 4 m
 geophone spacing: 2 m



#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f-k group velocity

handling the spectra



visualize curves

picking

 dispersion curves

inversion

resampling: 0.5
 data selection: 60
 filtering & spectra:
 spectrum:
 refr. & refl.: 0.2

other tools & setting
 0.9981 time to visualize

about Poiss...

Vs	Qs	Poisson	thickness
80	10	0.33	0.3
130	16	0.35	0.5
150	19	0.35	1
190	24	0.35	2
220	28	0.35	4
250	31	0.35	5
300	38	0.35	7
400	50	0.3	10
800	100	0.2	40
1900	238	0.15	0
0	0	0.15	

general setting
 Rayleigh
 Reference Refract...
 H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

modelling
 synthetics

 just over...

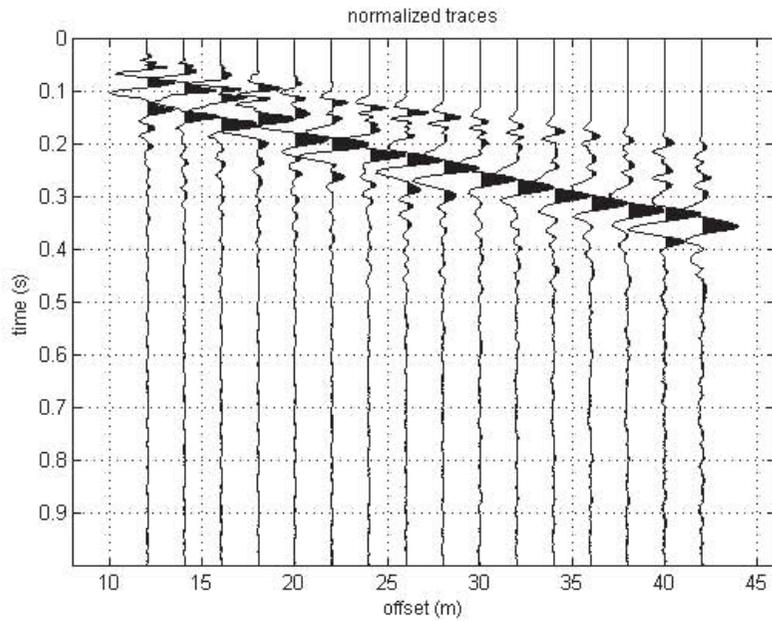
 effective

www.winmasw.com

MASW Ponsacco11 - shot 4 m

#1: data uploading & processing

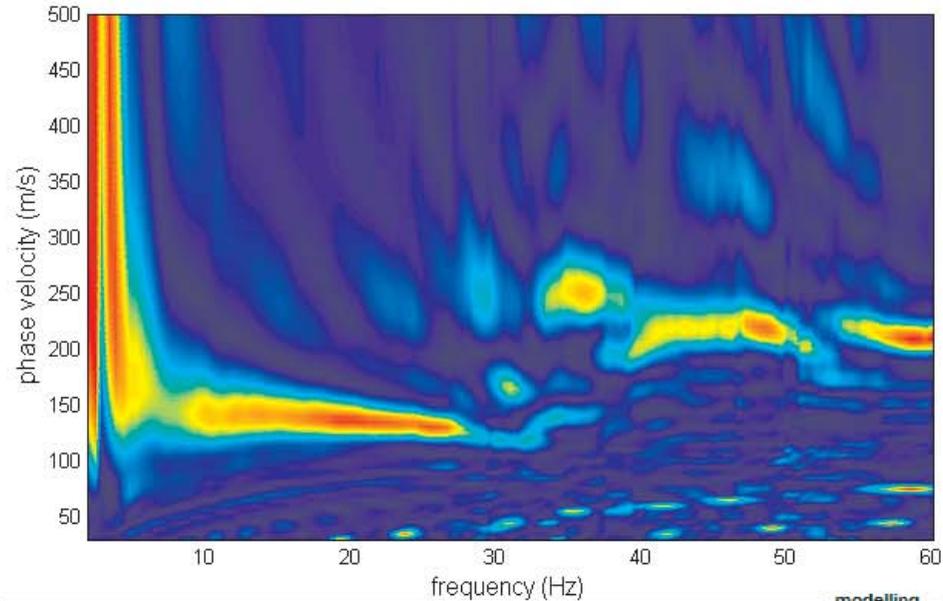
dataset: 8m.sgy
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
 minimum offset: 12 m
 geophone spacing: 2 m



#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f-k group velocity

handling the spectra



visualize curves

picking

dispersion curves

 to select the last point of the considered mode

inversion

resampling

0.5

data selection

60

filtering & spectra

refr. & refl.

refr./refl. 0.2

other tools & setting

0.9981 time to visualize

general setting

Rayleigh 5
 Reference Refract...
 H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

Vs	Qs	Poisson	thickness
80	10	0.33	0.3
130	16	0.35	0.5
150	19	0.35	1
190	24	0.35	2
220	28	0.35	4
250	31	0.35	5
300	38	0.35	7
400	50	0.3	10
800	100	0.2	40
1900	238	0.15	0
0	0	0.15	

effective

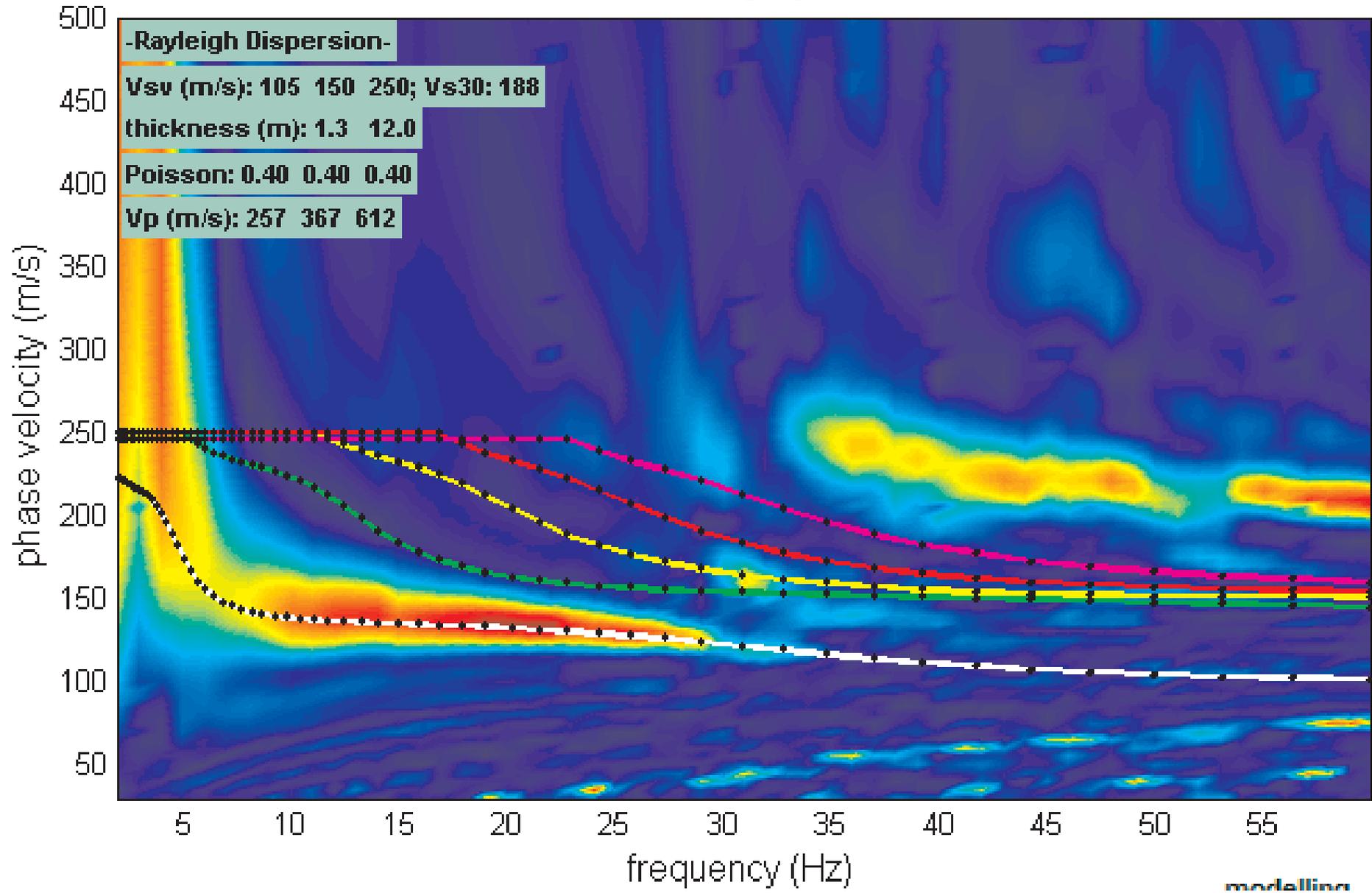
modelling

synthetics
ZVF
 shows ...
 show mo...
 just over...

www.winmasw.com

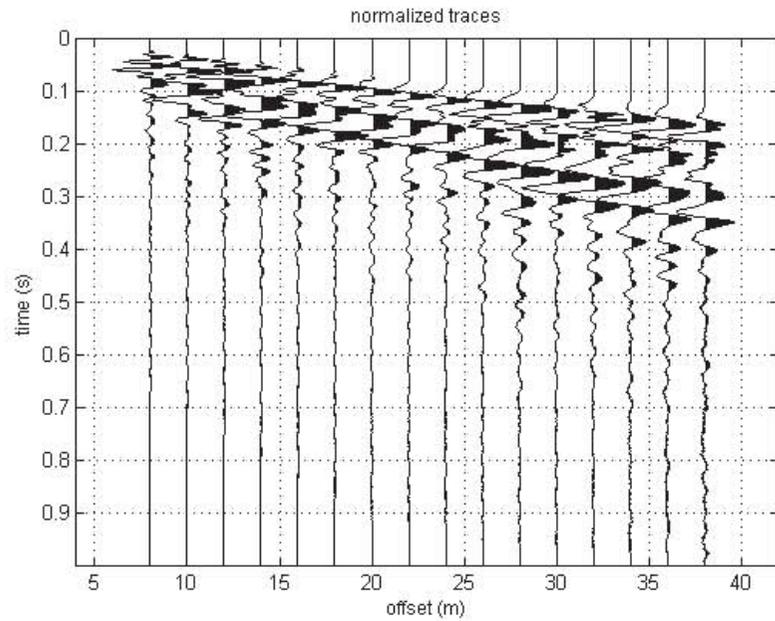
MASW Ponsacco11 - shot 8 m

total velocity spectrum



#1: data uploading & processing

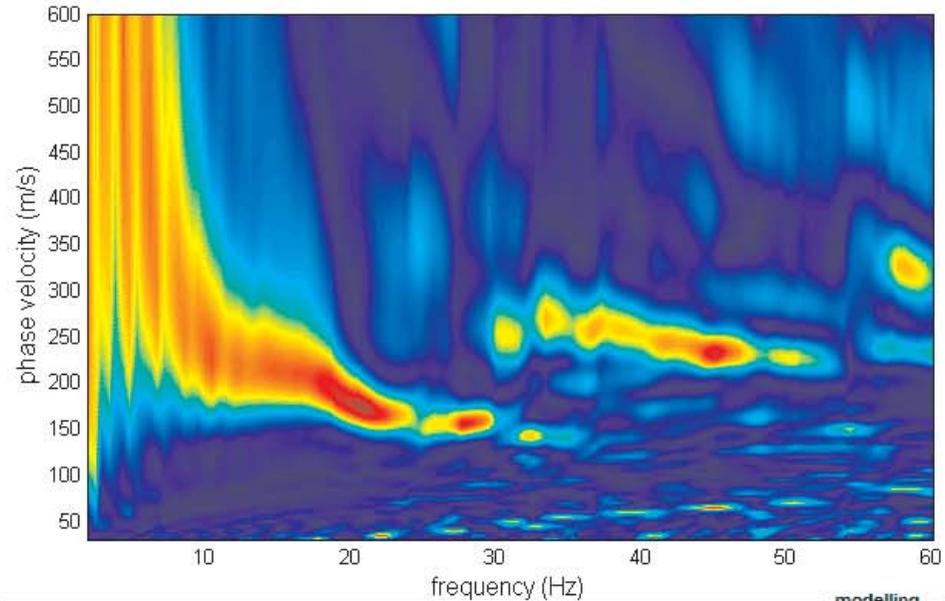
dataset: 4m.sgy
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
 minimum offset: 8 m
 geophone spacing: 2 m



#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f-k group velocity

handling the spectra



visualize curves

picking

 dispersion curves

inversion

resampling: 0.5
 data selection: 60
 filtering & spectra:
 spectrum:
 refr. & refl.: 0.2

other tools & setting
 0.9981 time to visualize

about Poiss...

Vs	Qs	Poisson	thickness
80	10	0.33	0.3
130	16	0.35	0.5
150	19	0.35	1
190	24	0.35	2
220	28	0.35	4
250	31	0.35	5
300	38	0.35	7
400	50	0.3	10
800	100	0.2	40
1900	238	0.15	0
0	0	0.15	

general setting
 Rayleigh
 Reference Refract...
 H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

modelling
 synthetics

 just over...

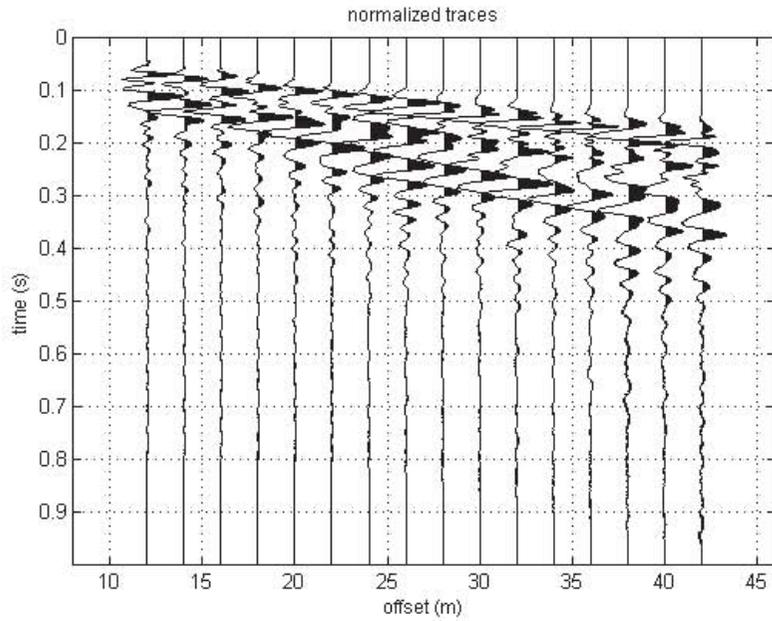
 effective

www.winmasw.com

MASW Ponsacco12 - shot 4 m

#1: data uploading & processing

dataset: 8m.sgy
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
 minimum offset: 12 m
 geophone spacing: 2 m

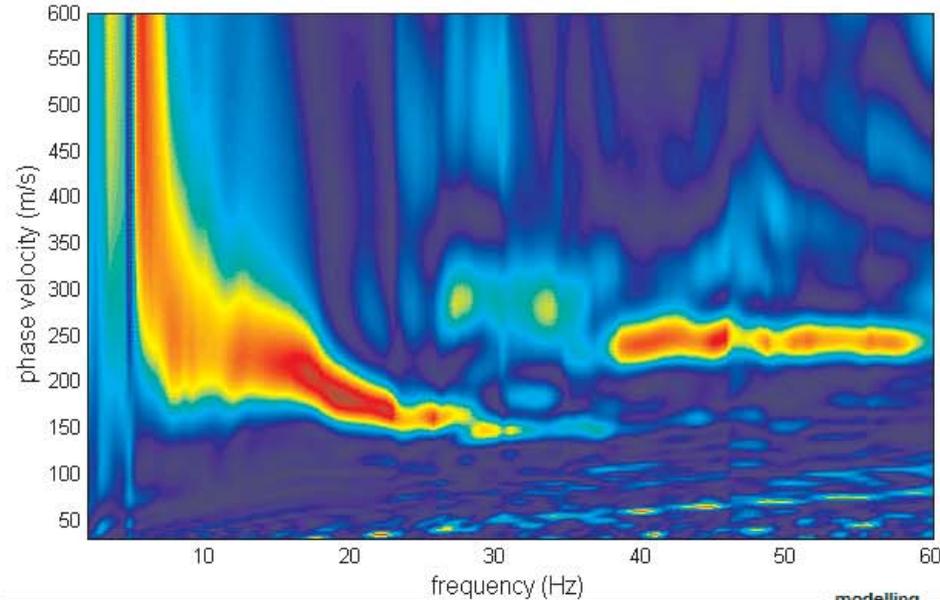


#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f-k group velocity

handling the spectra

visualize curves



picking

 dispersion curves

inversion

modelling

synthetics

 just over...

Vs	Qs	Poisson	thickness
80	10	0.33	0.3
130	16	0.35	0.5
150	19	0.35	1
190	24	0.35	2
220	28	0.35	4
250	31	0.35	5
300	38	0.35	7
400	50	0.3	10
800	100	0.2	40
1900	238	0.15	0
0	0	0.15	

effective

general setting

 Reference Refract...
 H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

refr. & refl.

filtering & spectra

data selection

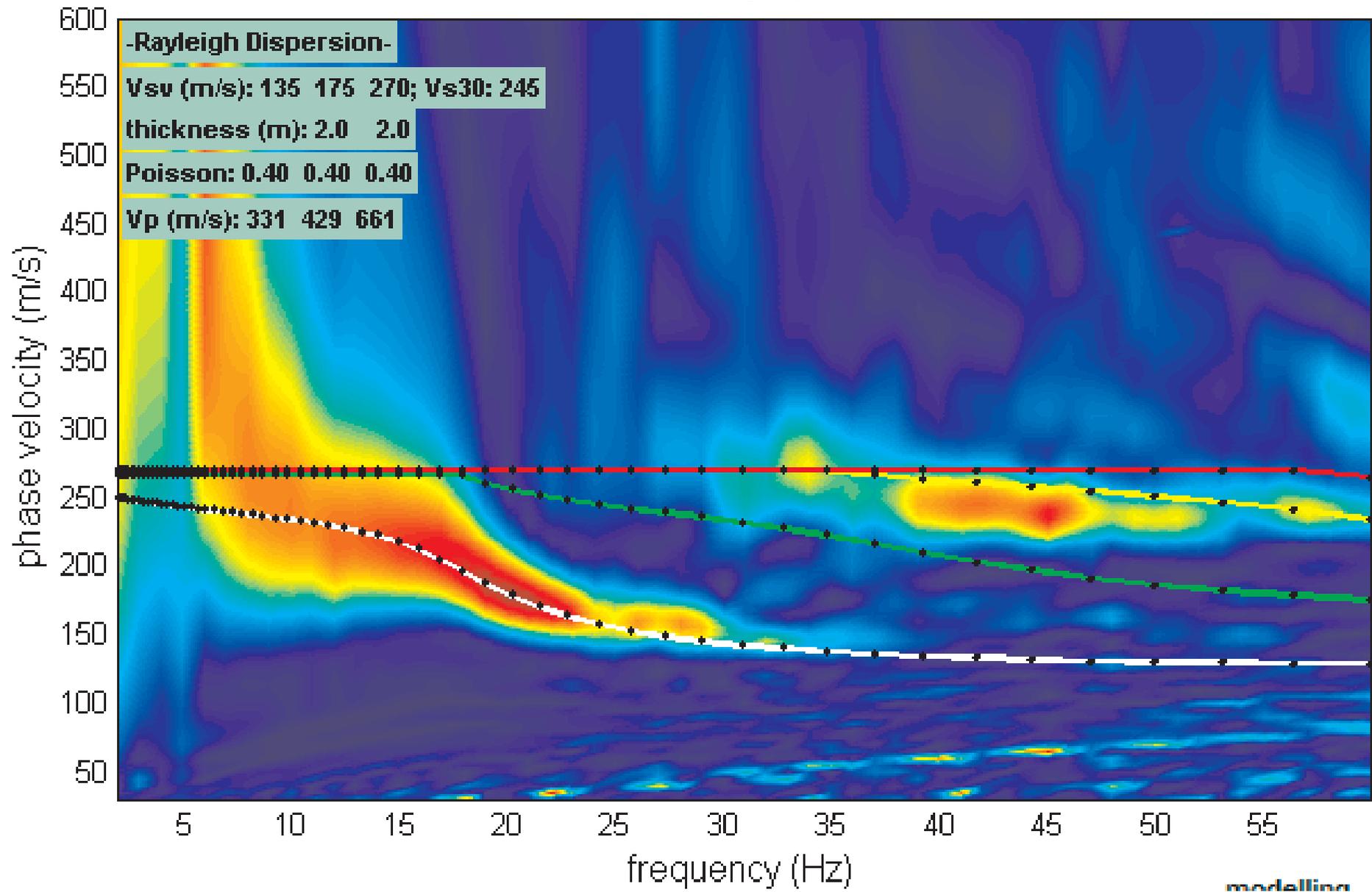
resampling

other tools & setting

www.wimsw.com

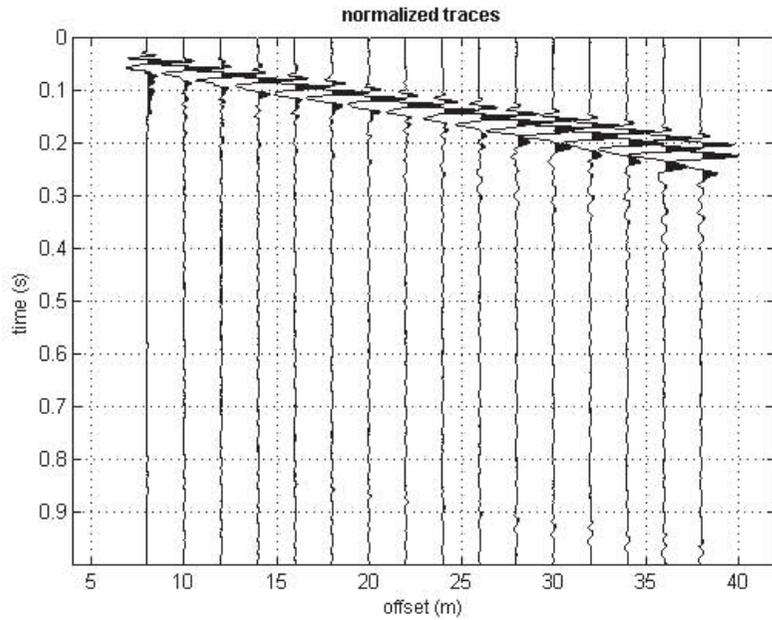
MASW Ponsacco12 - shot 8 m

total velocity spectrum



#1: data uploading & processing

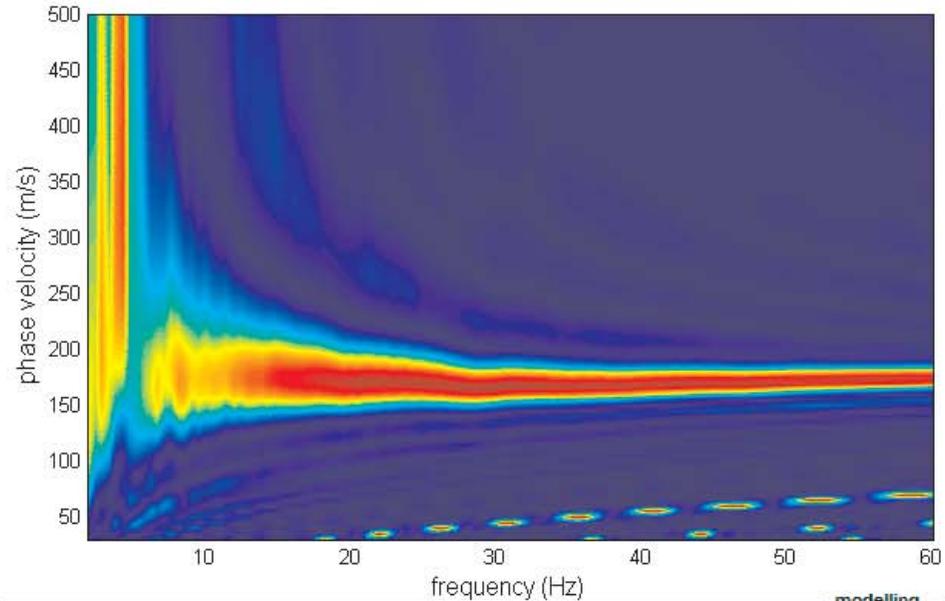
dataset: 4m.sgy
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
 minimum offset: 8 m
 geophone spacing: 2 m



#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f-k group velocity

handling the spectra



visualize curves

picking

dispersion curves

inversion

resampling

0.5

data selection

60

filtering & spectra

refr. & refl.

refr./refl. 0.2

other tools & setting

0.9981 time to visualize

general setting

Rayleigh

Reference Refract...

H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

Vs	Qs	Poisson	thickness
80	10	0.33	0.3
130	16	0.35	0.5
150	19	0.35	1
190	24	0.35	2
220	28	0.35	4
250	31	0.35	5
300	38	0.35	7
400	50	0.3	10
800	100	0.2	40
1900	238	0.15	0
0	0	0.15	

modelling

synthetics
ZVF
 just over...

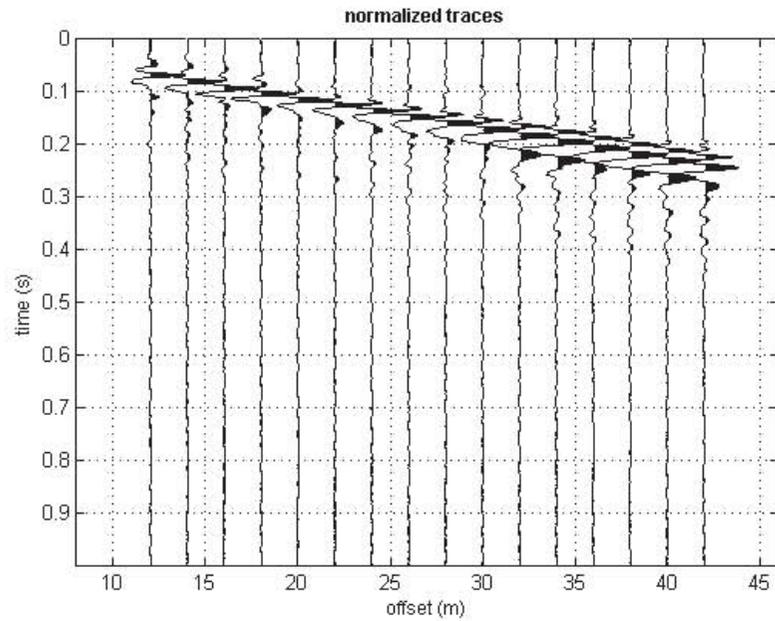
effective

www.winmasw.com

MASW Ponsacco13 - shot 4 m

#1: data uploading & processing

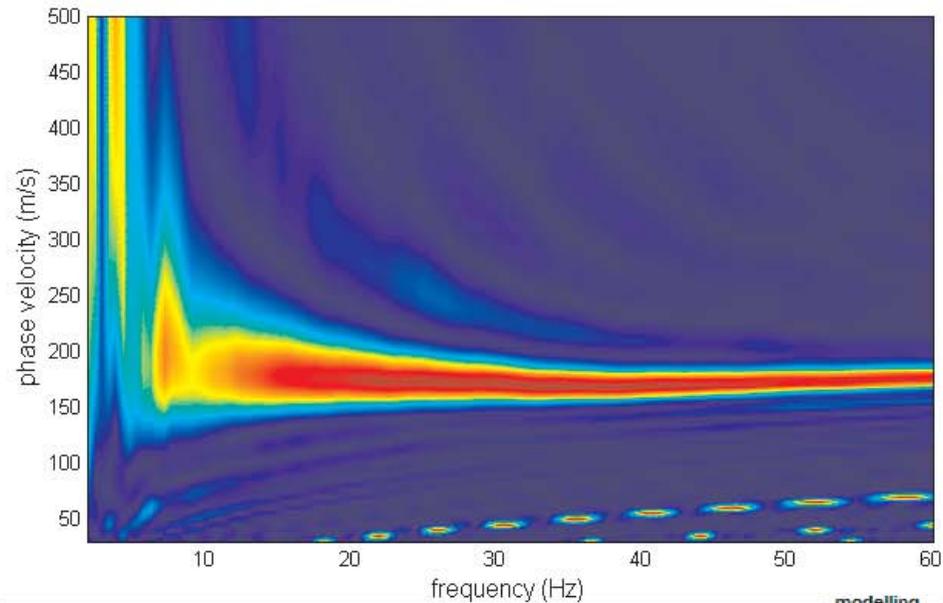
dataset: 8m-bis.sgy
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
 minimum offset: 12 m
 geophone spacing: 2 m



#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity *f-k* group velocity

handling the spectra



visualize curves
 ?

picking

dispersion curves

 ?

inversion

resampling

0.5

data selection

60

filtering & spectra

refr. & refl.

refr./refl. 0.2

other tools & setting

0.9981 time to visualize

general setting

Rayleigh

Reference Refract...

H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

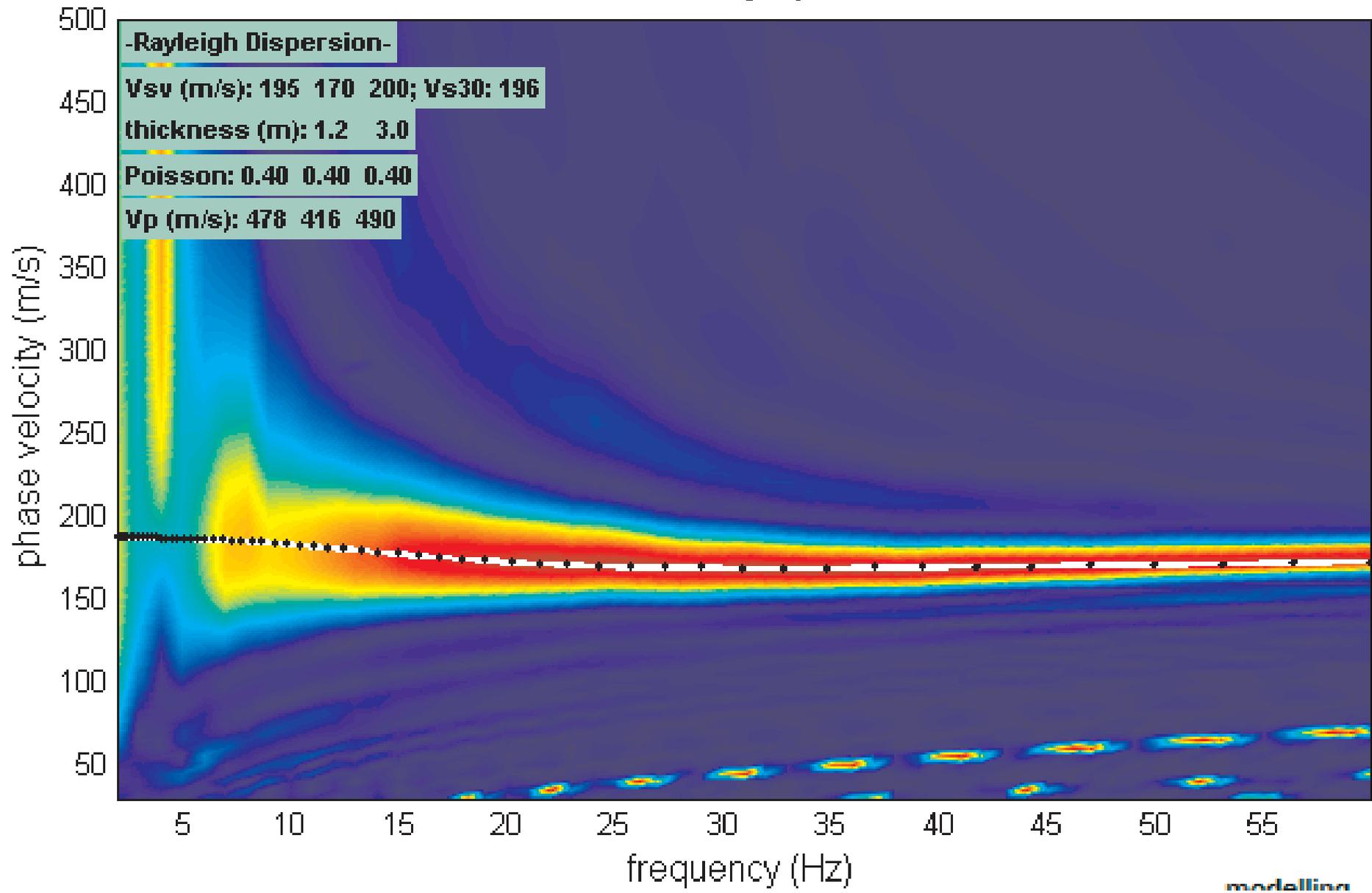
Vs	Qs	Poisson	thickness
80	10	0.33	0.3
130	16	0.35	0.5
150	19	0.35	1
190	24	0.35	2
220	28	0.35	4
250	31	0.35	5
300	38	0.35	7
400	50	0.3	10
800	100	0.2	40
1900	238	0.15	0
0	0	0.15	

effective

www.winmasw.com

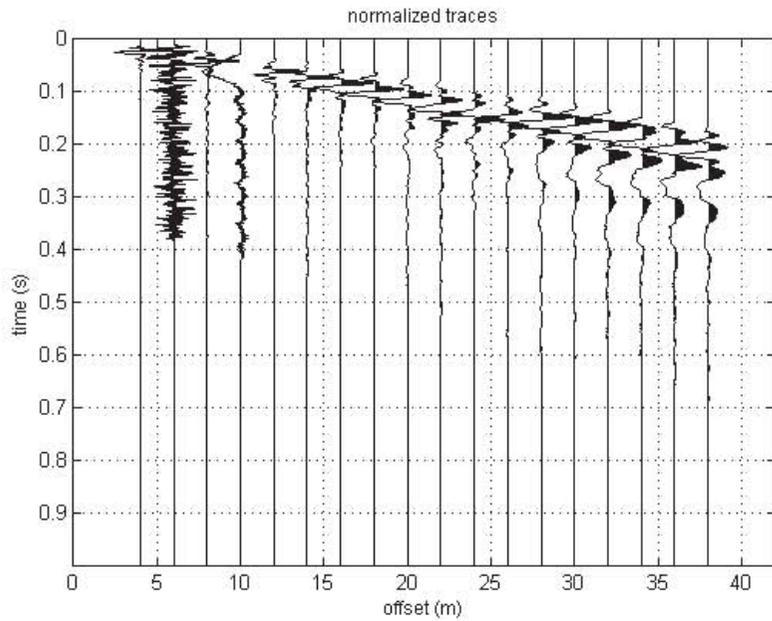
MASW Ponsacco13 - shot 8 m

total velocity spectrum



#1: data uploading & processing

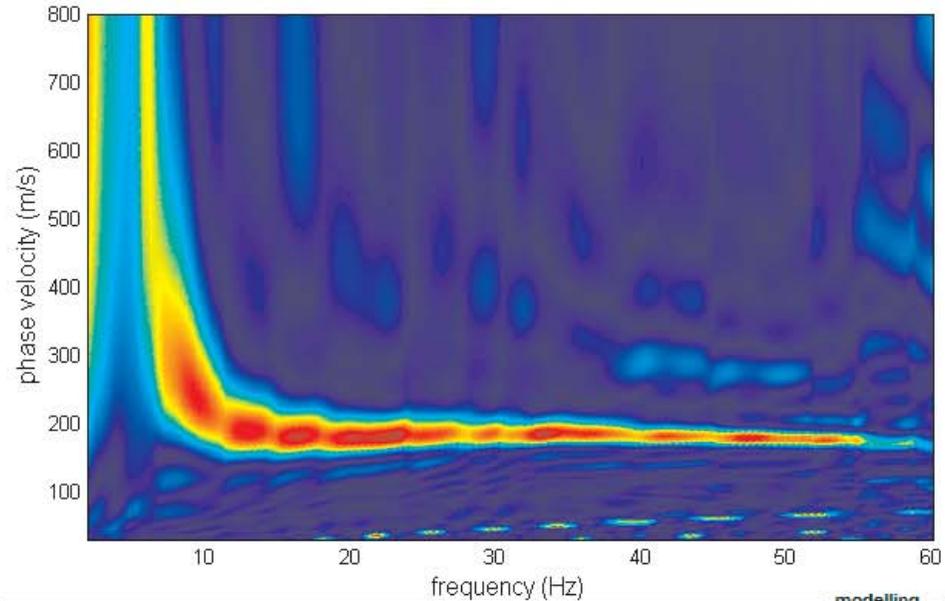
dataset: 4m-bis.sgy
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
 minimum offset: 4 m
 geophone spacing: 2 m



#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f-k group velocity

handling the spectra



visualize curves

picking

 dispersion curves

inversion

resampling: 0.5
 data selection: 60
 filtering & spectra:
 spectrum:
 refr. & refl.: 0.2

other tools & setting
 0.9981 time to visualize

about Poiss...

Vs	Qs	Poisson	thickness
80	10	0.33	0.3
130	16	0.35	0.5
150	19	0.35	1
190	24	0.35	2
220	28	0.35	4
250	31	0.35	5
300	38	0.35	7
400	50	0.3	10
800	100	0.2	40
1900	238	0.15	0
0	0	0.15	

general setting
 Rayleigh
 Reference Refract...
 H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

modelling
 synthetics

 just over...

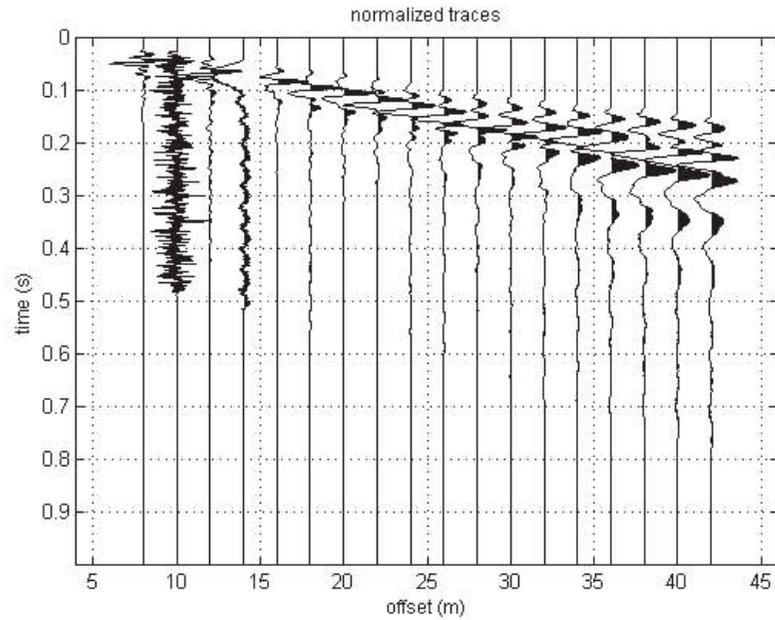
 effective

www.winmasw.com

MASW Ponsacco14 - shot 4 m

#1: data uploading & processing

dataset: 8m-bis.sgy
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
 minimum offset: 8 m
 geophone spacing: 2 m



resampling

0.5

data selection

60

filtering & spectra

refr. & refl.

refr./refl. 0.2

other tools & setting

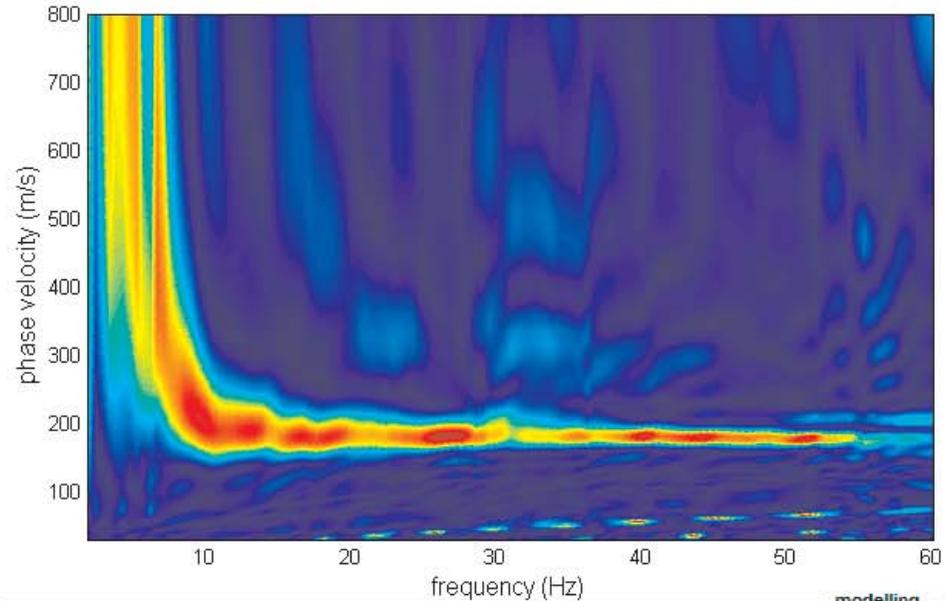
0.9981 time to visualize

#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum

f-k group velocity

handling the spectra



general setting

Rayleigh 5
 Reference Refract...
 H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

Vs	Qs	Poisson	thickness
80	10	0.33	0.3
130	16	0.35	0.5
150	19	0.35	1
190	24	0.35	2
220	28	0.35	4
250	31	0.35	5
300	38	0.35	7
400	50	0.3	10
800	100	0.2	40
1900	238	0.15	0
0	0	0.15	

modelling

synthetics
ZVF
 shows ...
 show mo...
 just over...

effective

visualize curves

picking

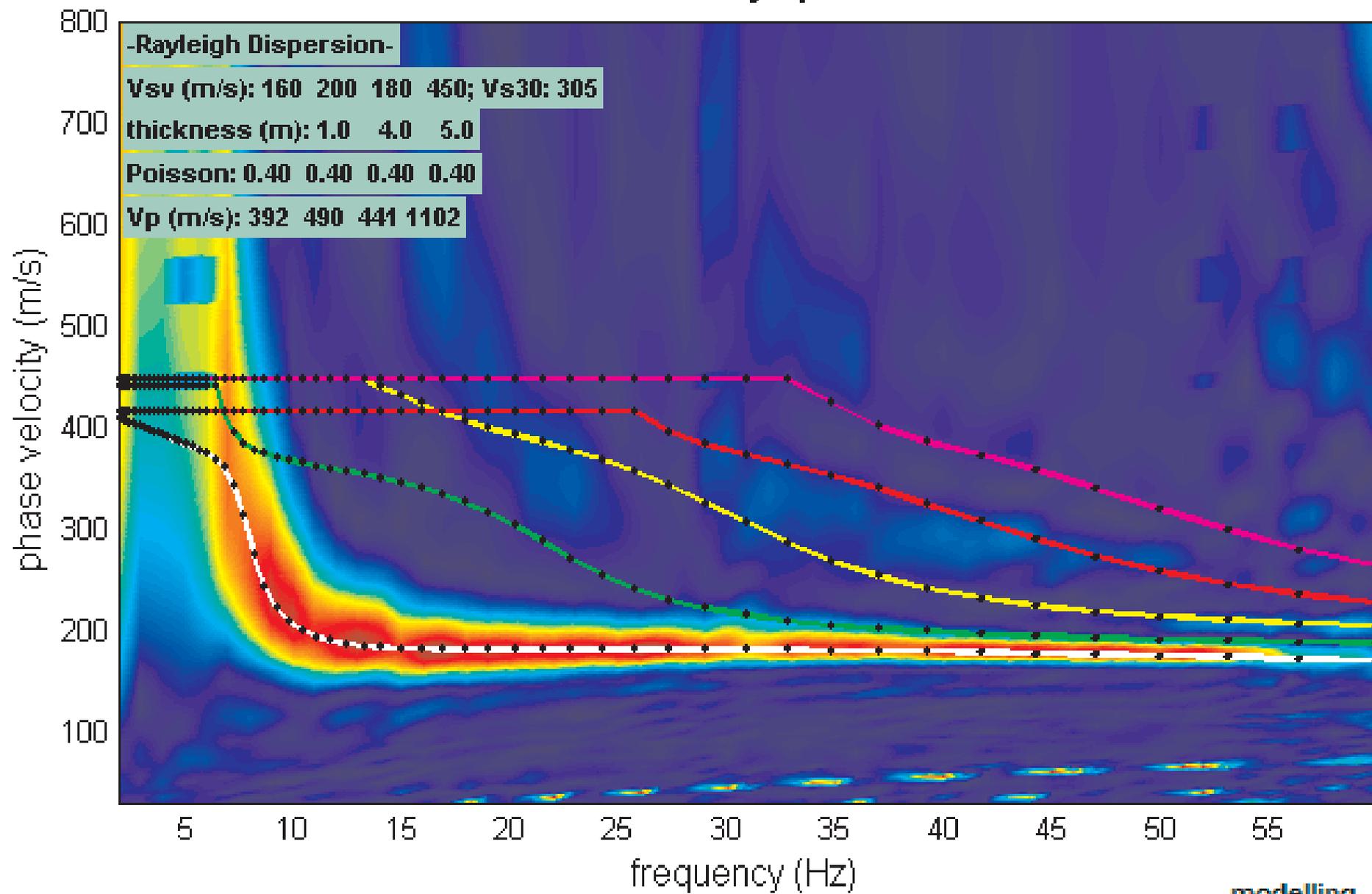
dispersion curves
select mode
to select the last point of the considered mode

inversion

www.winmasw.com

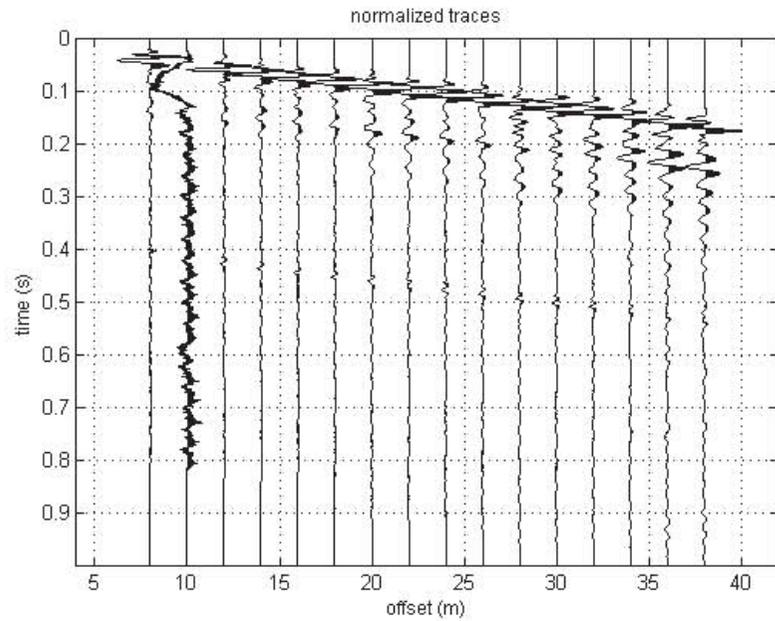
MASW Ponsacco14 - shot 8 m

total velocity spectrum



#1: data uploading & processing

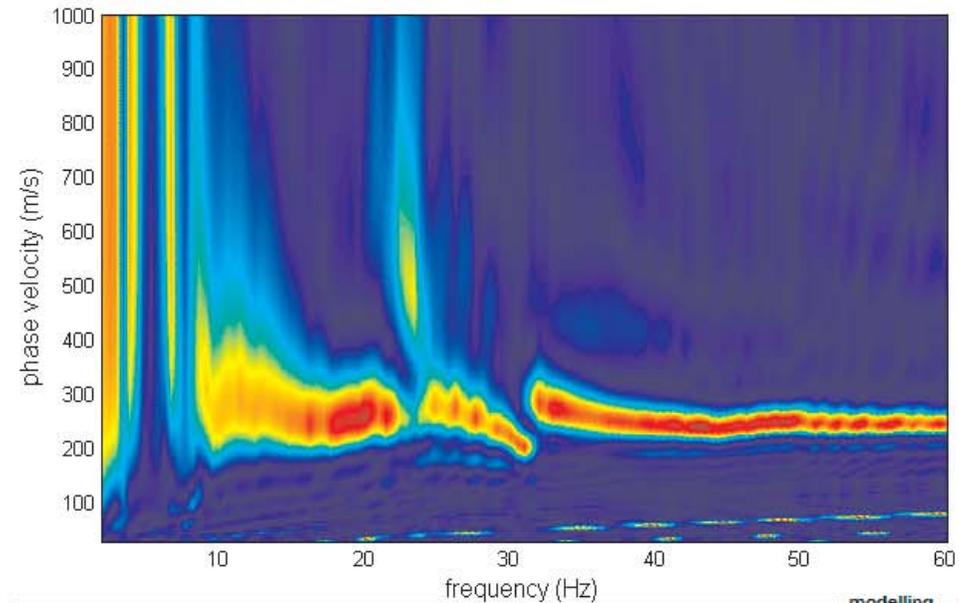
dataset: 4m-bis.sgy
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
 minimum offset: 8 m
 geophone spacing: 2 m



#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f-k group velocity

handling the spectra



visualize curves

picking

 dispersion curves

 to select the last point of the considered mode

inversion

resampling:

data selection:

filtering & spectra:

refr. & refl.:

other tools & setting
 time to visualize

about Poiss...

Vs	Qs	Poisson	thickness
80	10	0.33	0.3
130	16	0.35	0.5
150	19	0.35	1
190	24	0.35	2
220	28	0.35	4
250	31	0.35	5
300	38	0.35	7
400	50	0.3	10
800	100	0.2	40
1900	238	0.15	0
0	0	0.15	

general setting

 Reference Refract...
 H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

modelling
 synthetics

 shows ...
 show mo...
 just over...

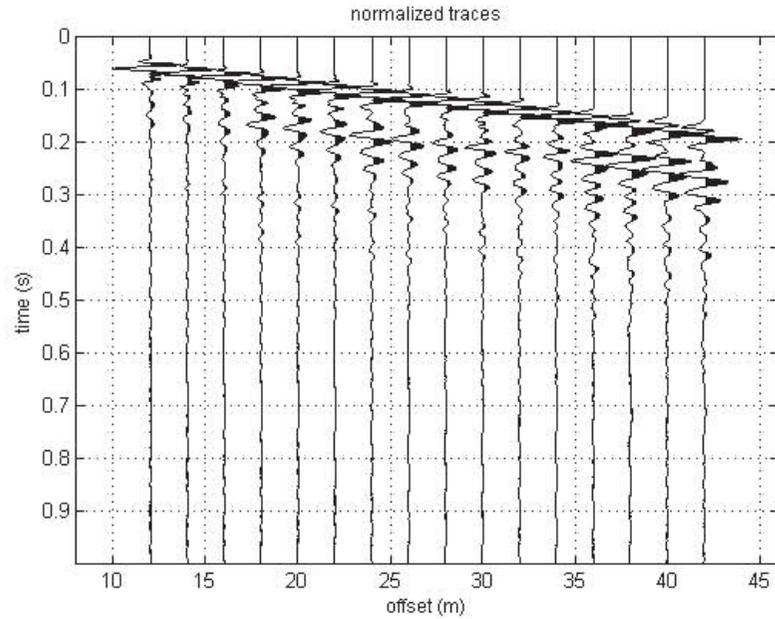
 effective

www.winmasw.com

MASW Ponsacco15 - shot 4 m

#1: data uploading & processing

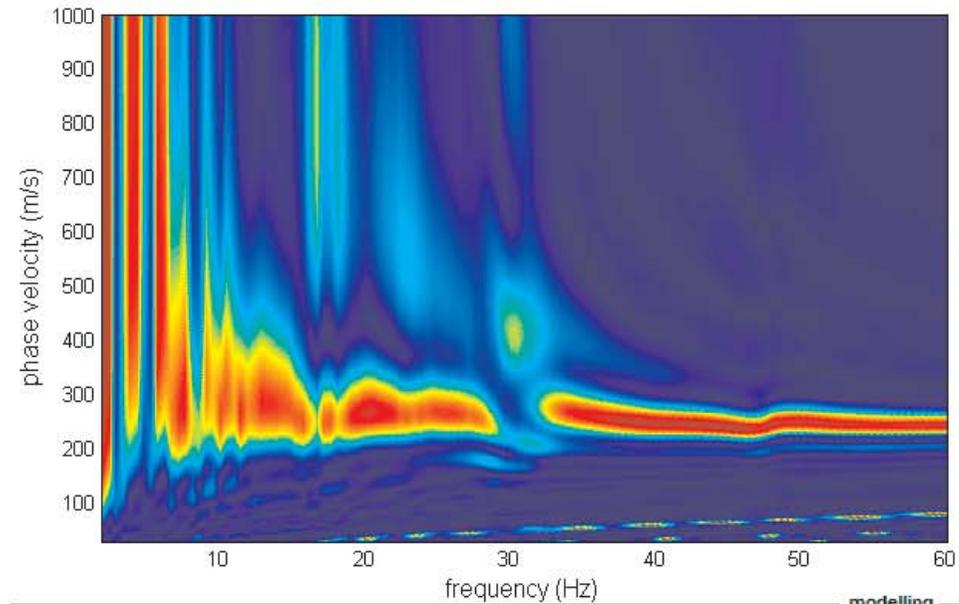
dataset: 8m-bis.sgy
 sampling: 0.256ms [3906.25Hz] - 3900 samples
 minimum offset: 12 m
 geophone spacing: 2 m



#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f-k group velocity

handling the spectra



visualize curves

picking

dispersion curves

 to select the last point of the considered mode

inversion

resampling

0.5

data selection

60

filtering & spectra

refr. & refl.

0.2

other tools & setting

0.9981 time to visualize

general setting

Rayleigh 5
 Reference Refract...
 H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

Vs	Qs	Poisson	thickness
80	10	0.33	0.3
130	16	0.35	0.5
150	19	0.35	1
190	24	0.35	2
220	28	0.35	4
250	31	0.35	5
300	38	0.35	7
400	50	0.3	10
800	100	0.2	40
1900	238	0.15	0
0	0	0.15	

modelling synthetics

ZVF
 shows ...
 show mo...
 just over...

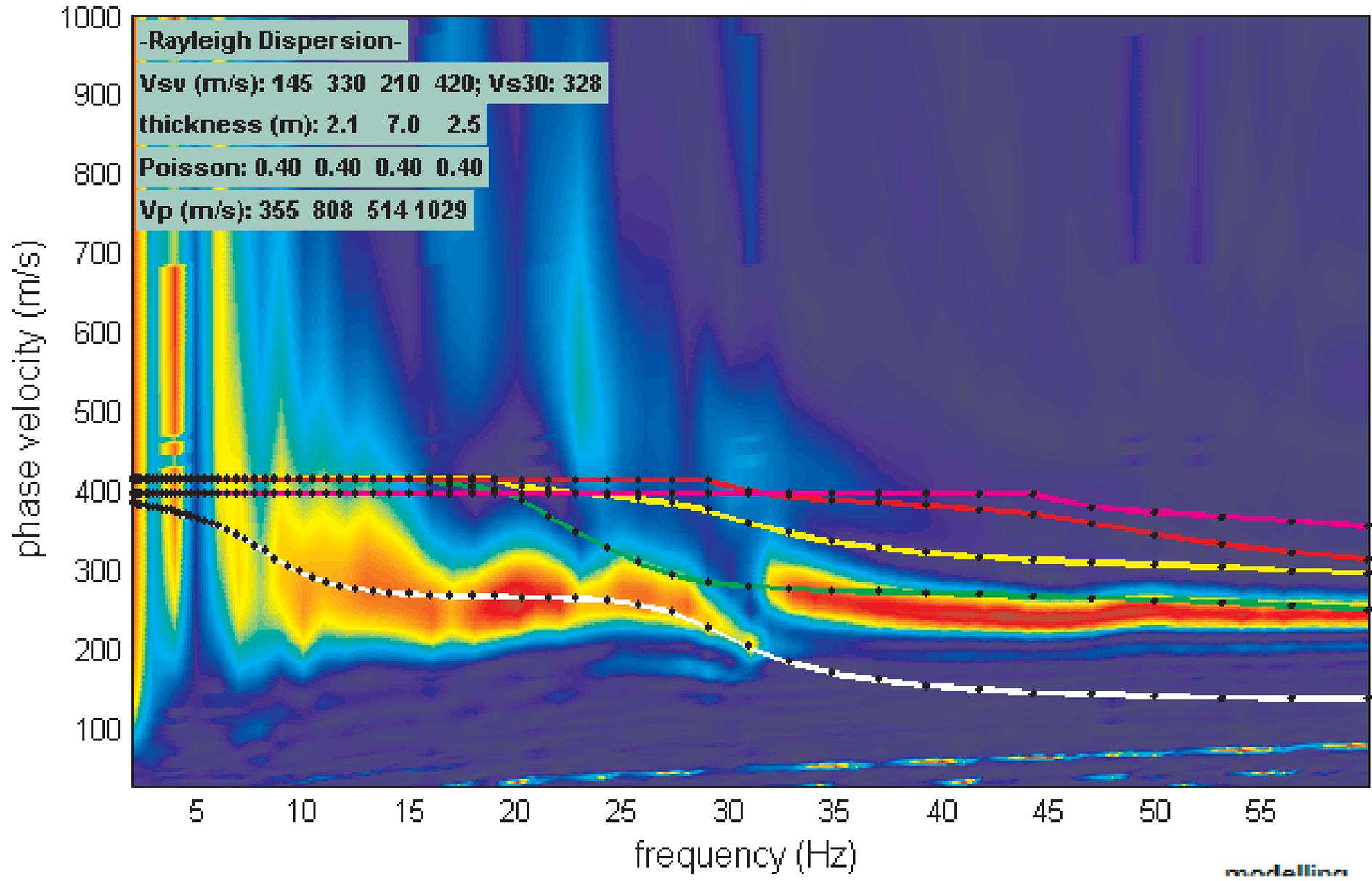
about Poiss...

effective

www.winmasw.com

MASW Ponsacco15 - shot 8 m

total velocity spectrum



PONSACCO2016, PONSACCO1

Strumento: TRZ-0158/01-11

Inizio registrazione: 11/07/16 16:50:35 Fine registrazione: 11/07/16 17:10:35

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 95% tracciato (selezione manuale)

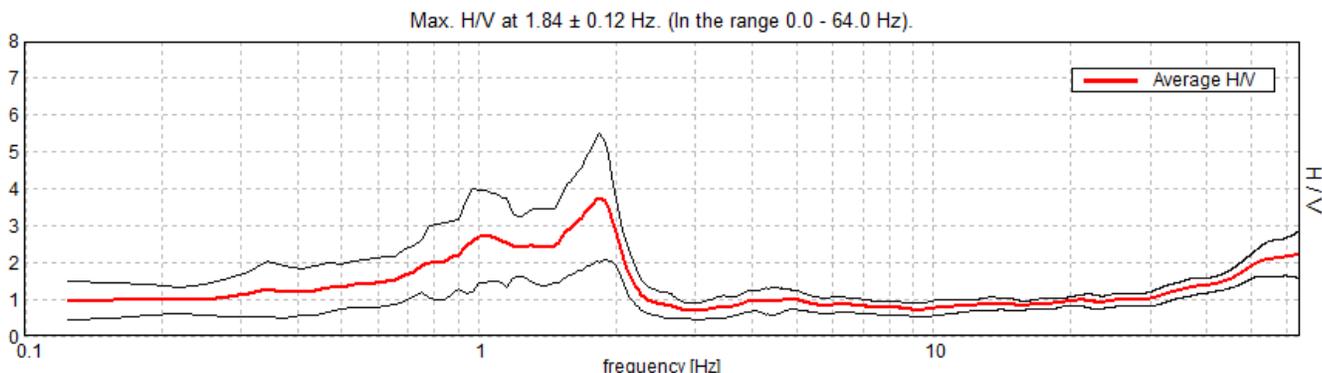
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

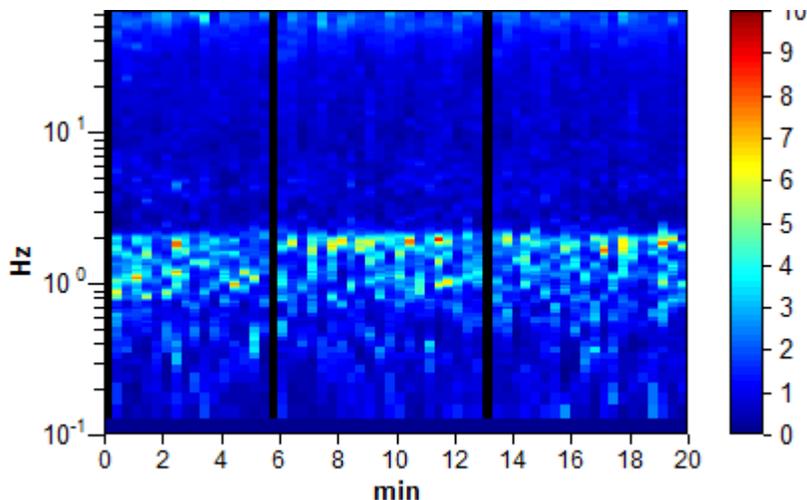
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 8%

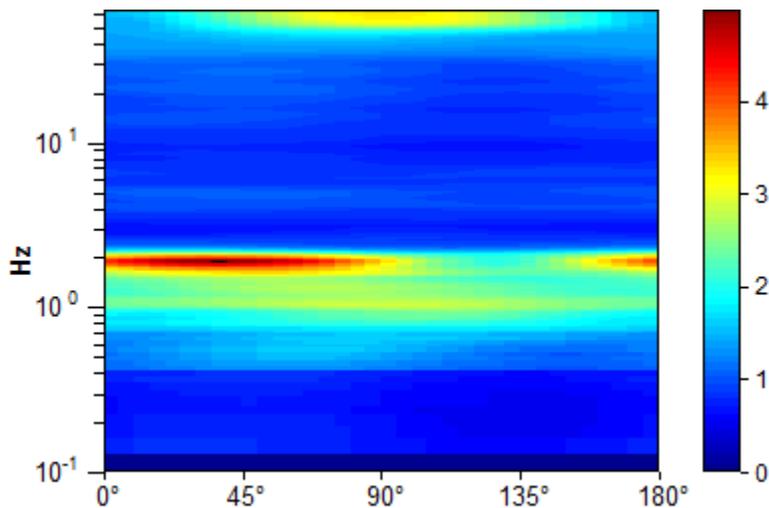
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



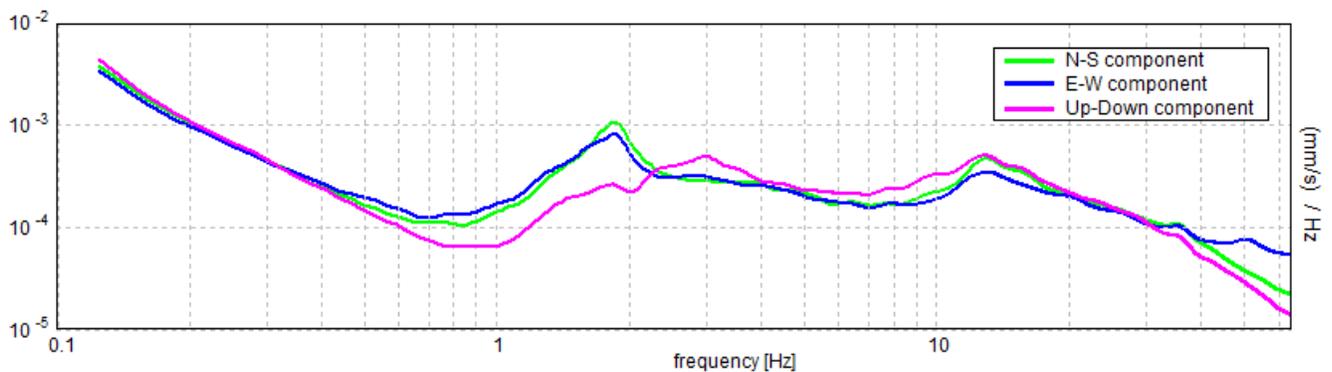
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 1.84 ± 0.12 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$: $1.84 > 0.50$ [OK]

$nc(f_0) > 200$: $2101.9 > 200$ [OK]

$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz

$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz Superato 0 volte su 90 [OK]

.....

Esiste f_- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$: 0.719 Hz [OK]

Esiste f_+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$: 2.125 Hz [OK]

$A_0 > 2$: $3.75 > 2$ [OK]

$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$: $|0.03288| < 0.05$ [OK]

$sf < e(f_0)$: $0.06062 < 0.18438$ [OK]

$sA(f_0) < q(f_0)$: $0.8672 < 1.78$ [OK]

PONSACCO2016, PONSACCO2

Strumento: TRZ-0158/01-11

Inizio registrazione: 11/07/16 15:08:17 Fine registrazione: 11/07/16 15:28:17

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 95% tracciato (selezione manuale)

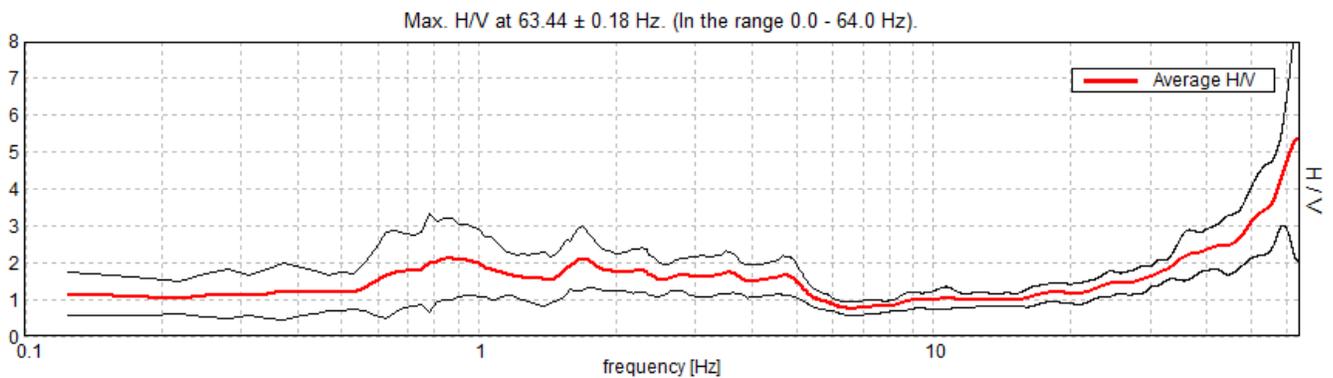
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

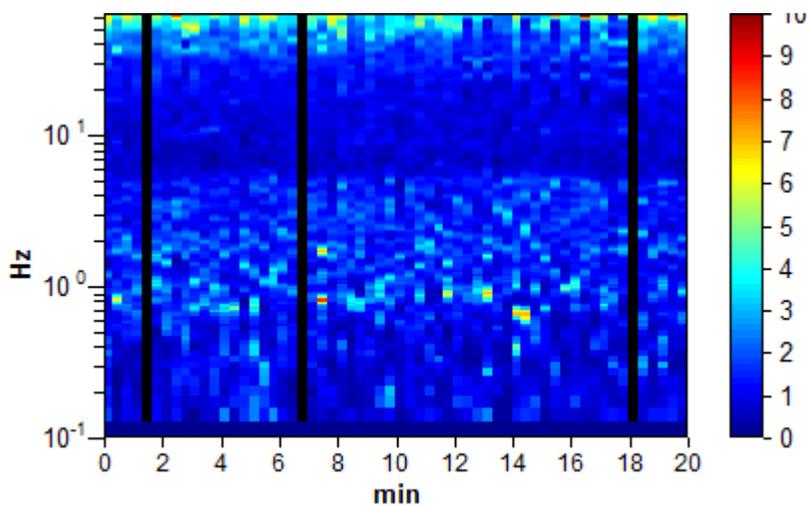
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 8%

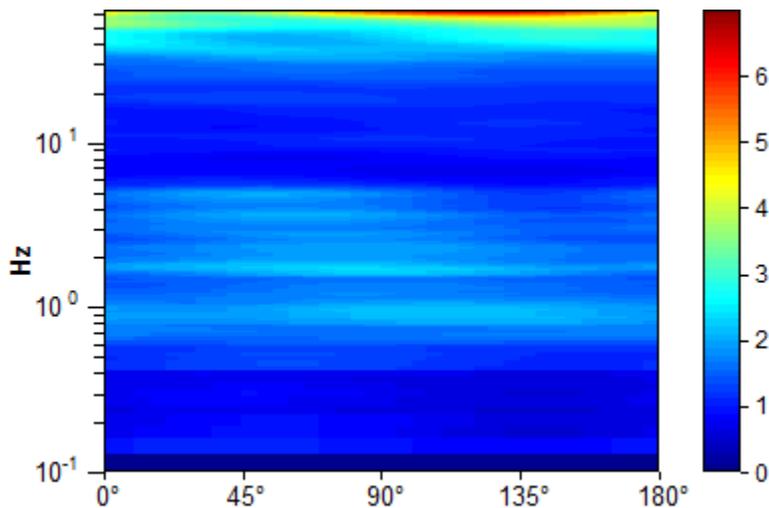
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



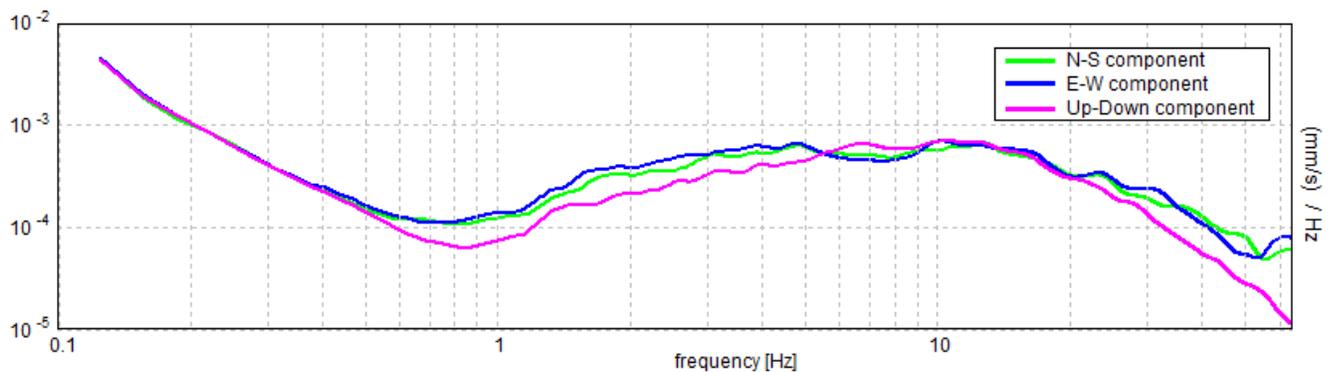
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 63.44 ± 0.18 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$: $63.44 > 0.50$ [OK]

$nc(f_0) > 200$: $72318.8 > 200$ [OK]

$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz

$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz **Superato 117 volte su 1034 [NO]**

.....

Esiste f_- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$: 47.563 Hz [OK]

Esiste f_+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$: -1.0 Hz [NO]

$A_0 > 2$: $5.39 > 2$ [OK]

$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$: $|0.00141| < 0.05$ [OK]

$sf < e(f_0)$: $0.08962 < 3.17188$ [OK]

$sA(f_0) < q(f_0)$: $1.6518 < 1.58$ [NO]

PONSACCO2016, PONSACCO3

Strumento: TRZ-0158/01-11

Inizio registrazione: 22/07/16 09:18:00 Fine registrazione: 22/07/16 09:38:00

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 90% tracciato (selezione manuale)

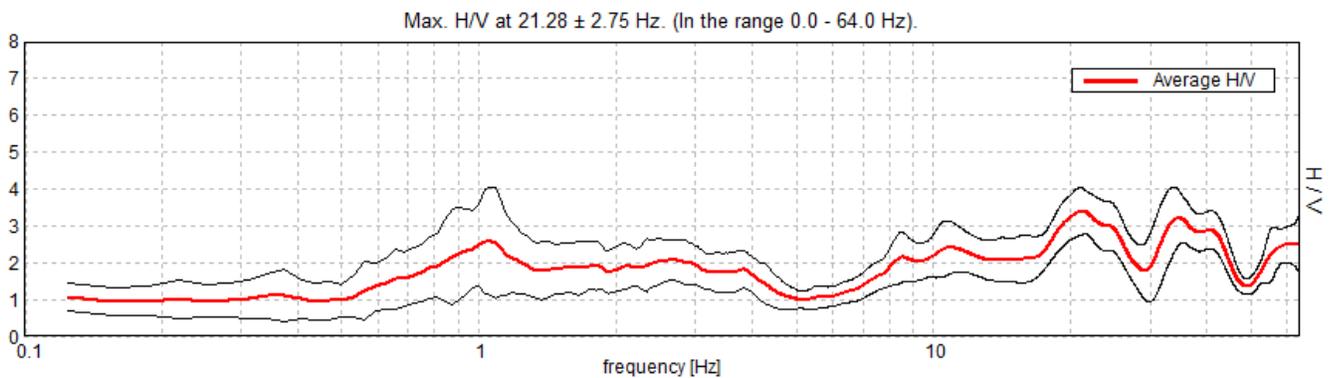
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

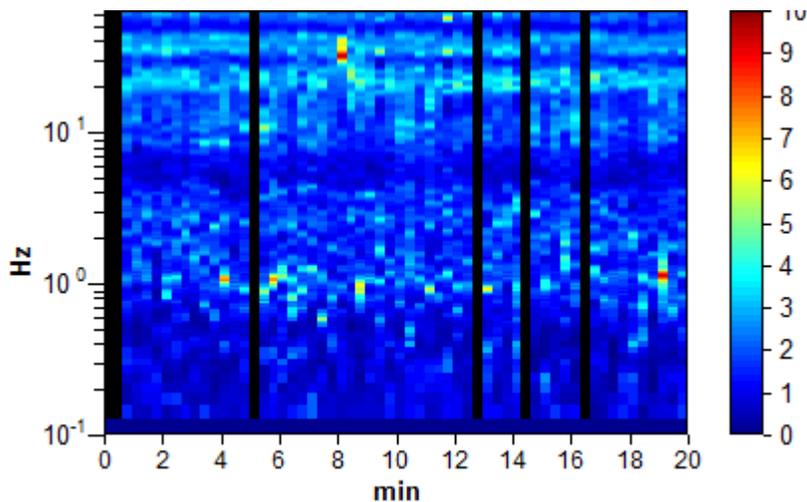
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 8%

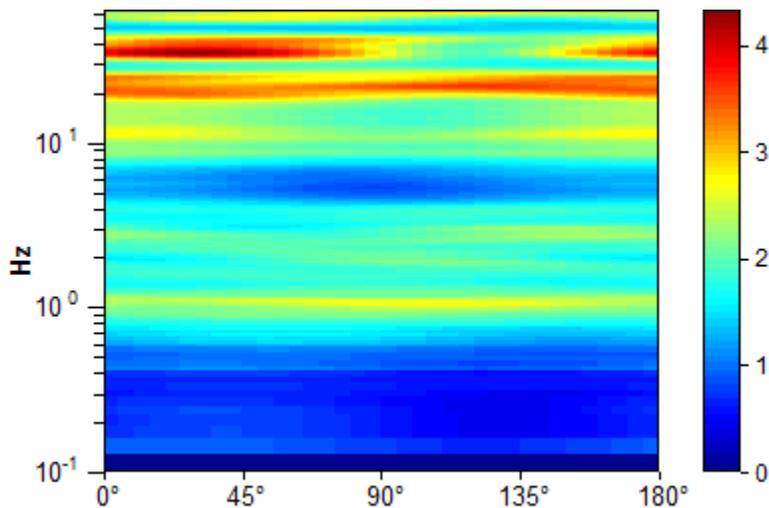
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



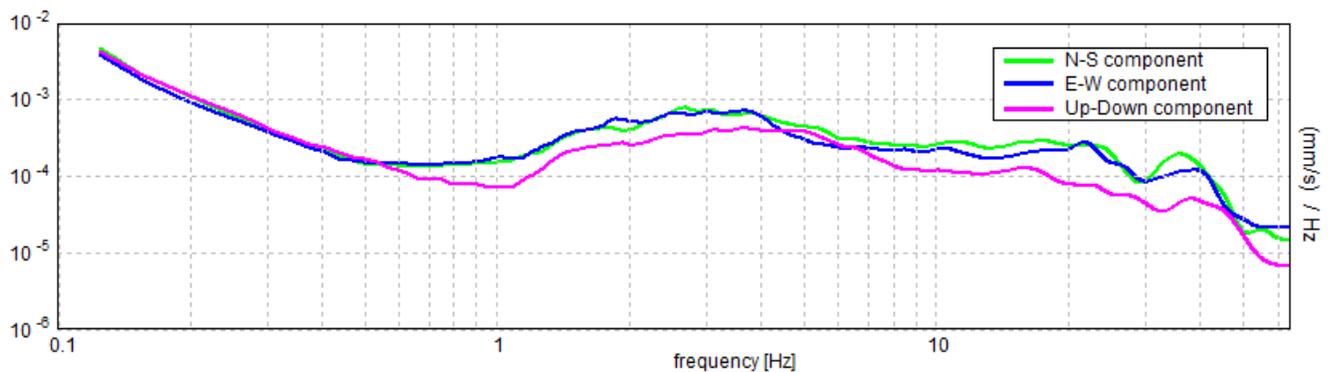
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 21.28 ± 2.75 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$: $21.28 > 0.50$ [OK]

$nc(f_0) > 200$: $22983.8 > 200$ [OK]

$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz

$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz Superato 0 volte su 1022 [OK]

.....

Esiste f_- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$: 7.719 Hz [OK]

Esiste f_+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$: 46.094 Hz [OK]

$A_0 > 2$: $3.39 > 2$ [OK]

$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$: $|0.06386| < 0.05$ [NO]

$sf < e(f_0)$: $1.35906 < 1.06406$ [NO]

$sA(f_0) < q(f_0)$: $0.3098 < 1.58$ [OK]

PONSACCO2016, PONSACCO4

Strumento: TRZ-0158/01-11

Inizio registrazione: 11/07/16 15:46:37 Fine registrazione: 11/07/16 16:06:37

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 88% tracciato (selezione manuale)

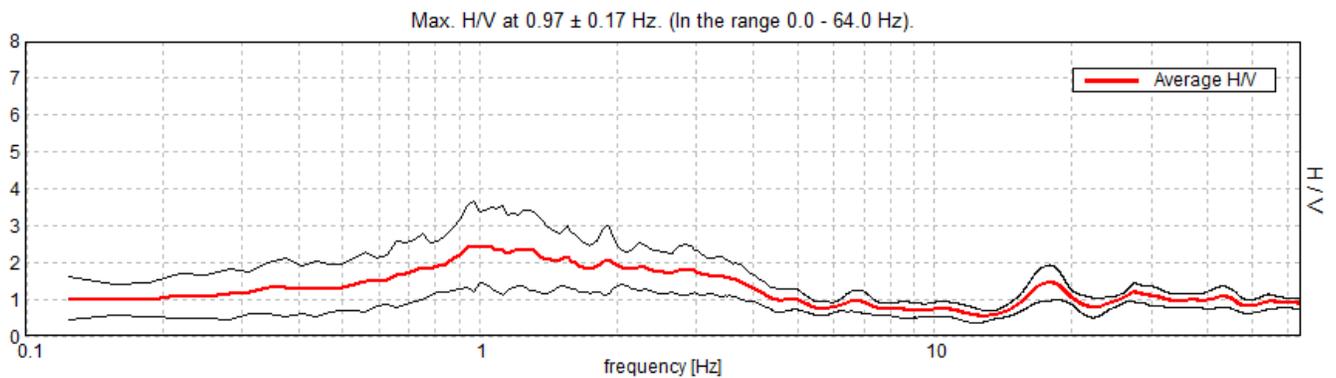
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

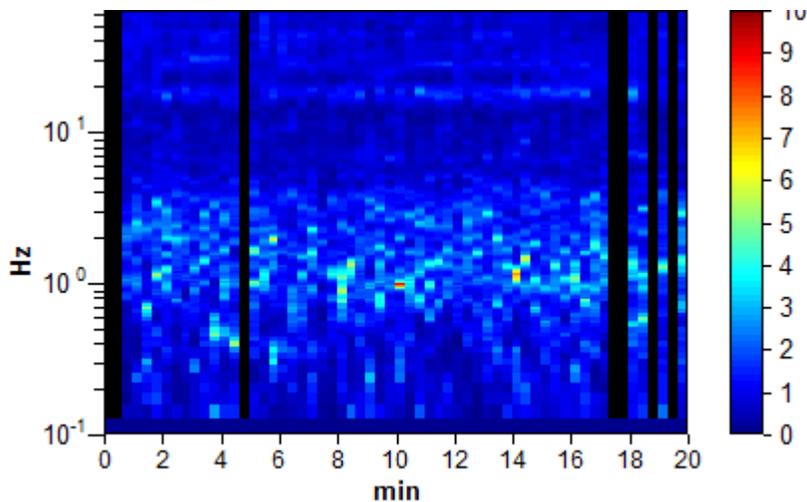
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 8%

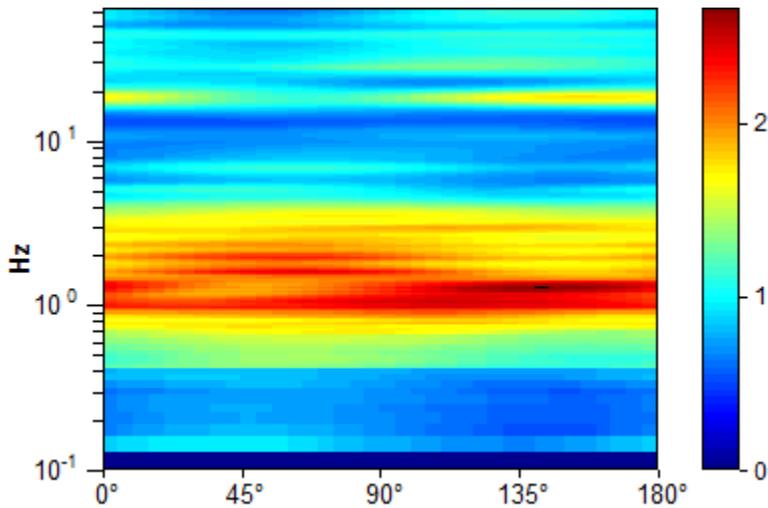
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



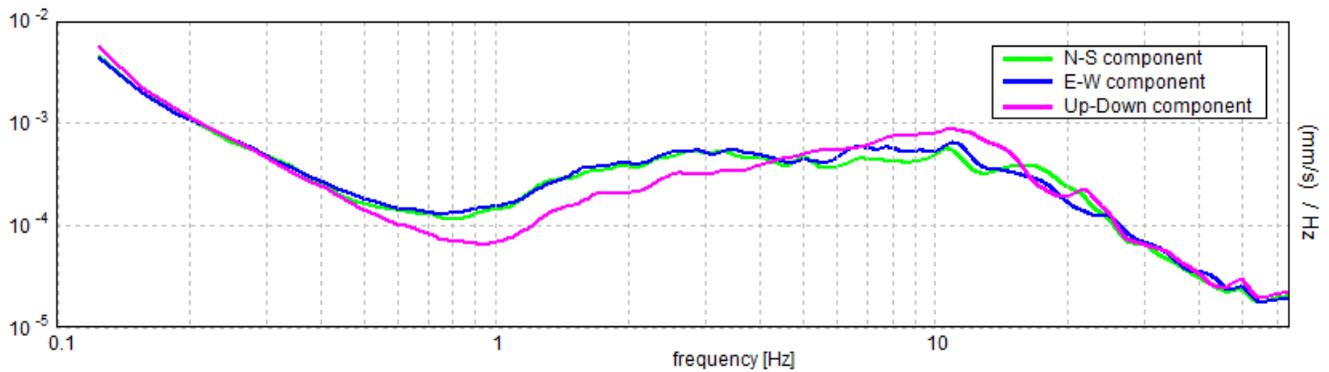
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 0.97 ± 0.17 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$: $0.97 > 0.50$ [OK]

$nc(f_0) > 200$: $1026.9 > 200$ [OK]

$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz

$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz Superato 0 volte su 48 [OK]

.....

Esiste f_- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$: 0.313 Hz [OK]

Esiste f_+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$: -1.0 Hz [NO]

$A_0 > 2$: $2.43 > 2$ [OK]

$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$: $|0.08682| < 0.05$ [NO]

$sf < e(f_0)$: $0.08411 < 0.14531$ [OK]

$sA(f_0) < q(f_0)$: $0.6122 < 2.0$ [OK]

PONSACCO2016, PONSACCO5

Strumento: TRZ-0158/01-11

Inizio registrazione: 11/07/16 14:29:21 Fine registrazione: 11/07/16 14:49:21

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 90% tracciato (selezione manuale)

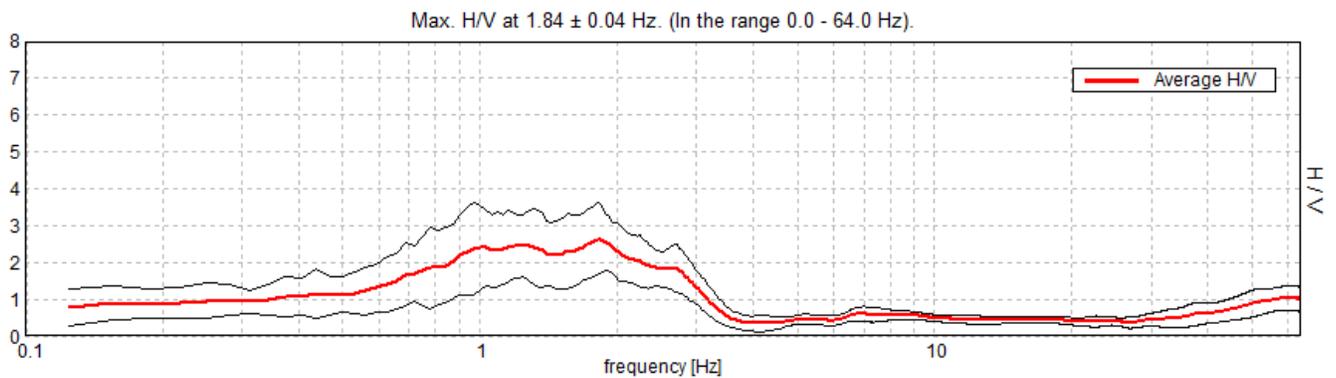
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

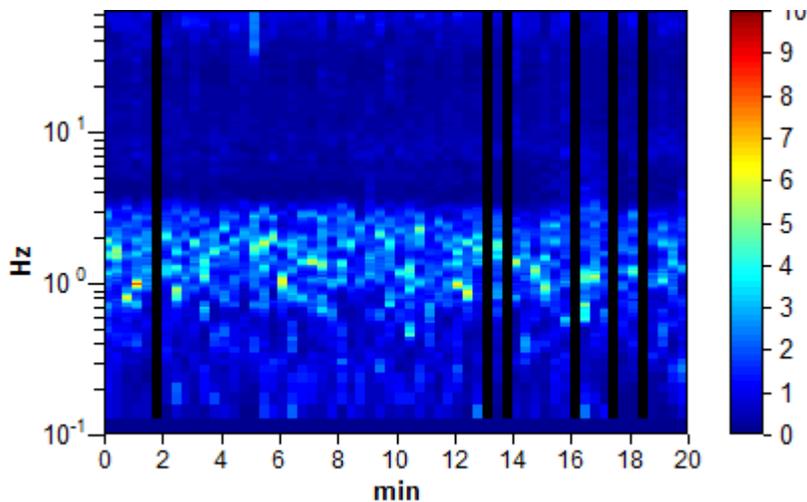
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 8%

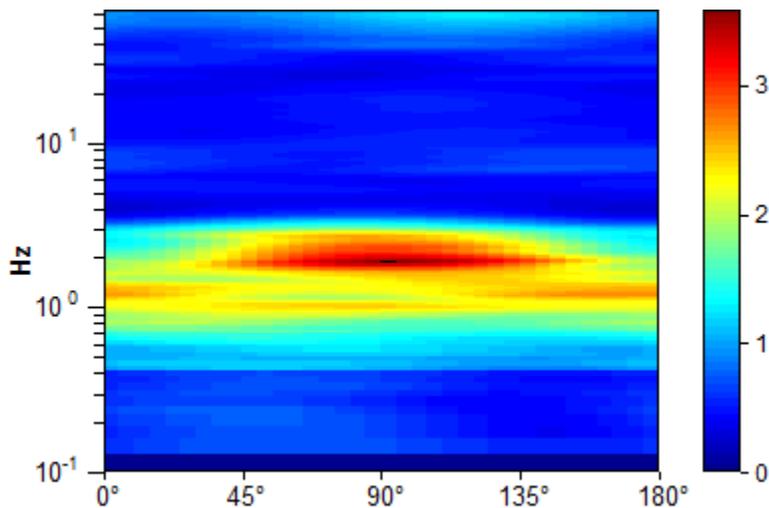
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



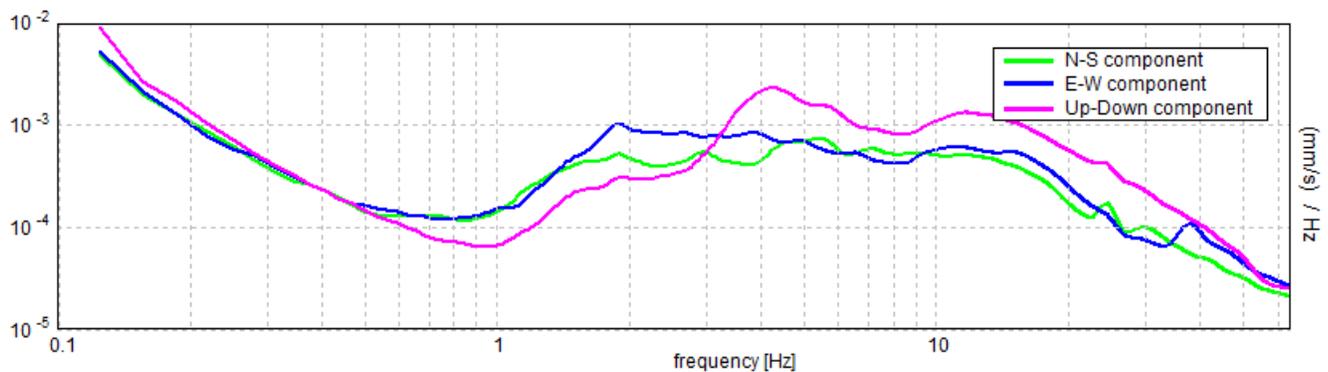
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 1.84 ± 0.04 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$: $1.84 > 0.50$ [OK]

$nc(f_0) > 200$: $1991.3 > 200$ [OK]

$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz

$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz Superato 0 volte su 90 [OK]

.....

Esiste f_- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$: 0.594 Hz [OK]

Esiste f_+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$: 3.0 Hz [OK]

$A_0 > 2$: $2.63 > 2$ [OK]

$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$: $|0.01192| < 0.05$ [OK]

$sf < e(f_0)$: $0.02198 < 0.18438$ [OK]

$sA(f_0) < q(f_0)$: $0.4685 < 1.78$ [OK]

PONSACCO2016, PONSACCO6

Strumento: TRZ-0158/01-11

Inizio registrazione: 12/07/16 10:08:19 Fine registrazione: 12/07/16 10:28:19

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 95% tracciato (selezione manuale)

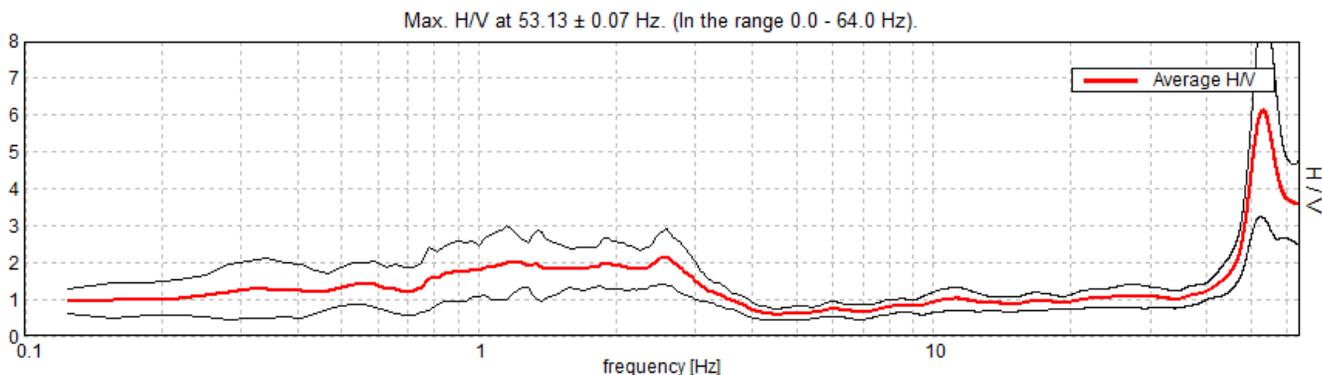
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

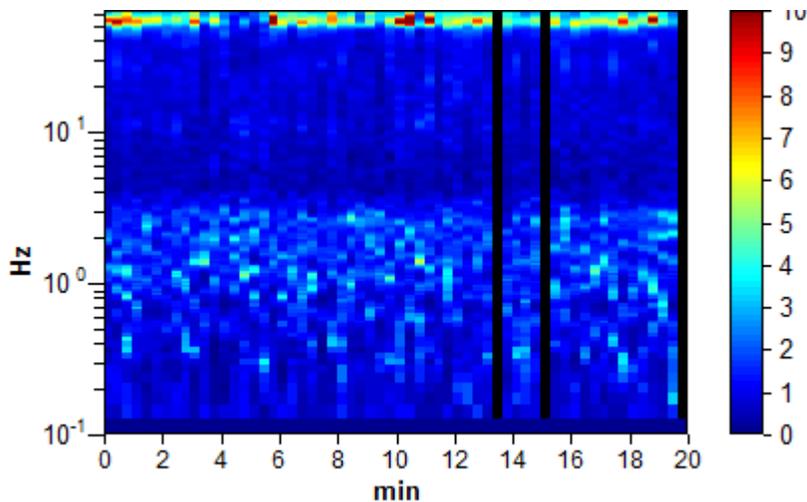
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 8%

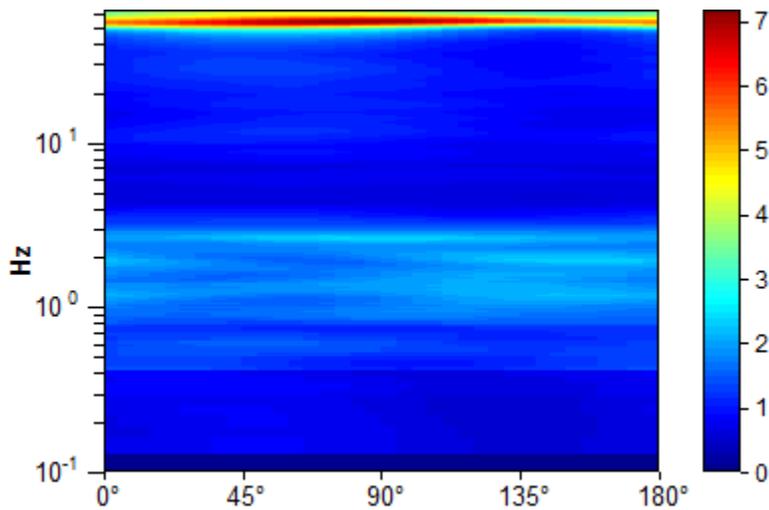
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



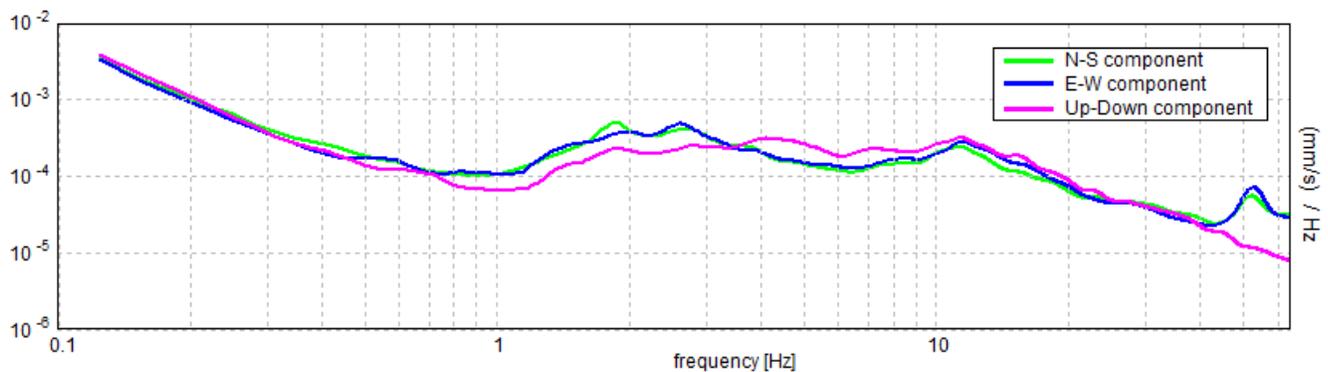
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 53.13 ± 0.07 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$: $53.13 > 0.50$ [OK]

$nc(f_0) > 200$: $60562.5 > 200$ [OK]

$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz

$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz **Superato 192 volte su 1199 [NO]**

.....

Esiste f_- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$: 48.625 Hz [OK]

Esiste f_+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$: -1.0 Hz [NO]

$A_0 > 2$: $6.12 > 2$ [OK]

$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$: $|0.00061| < 0.05$ [OK]

$sf < e(f_0)$: $0.03249 < 2.65625$ [OK]

$sA(f_0) < q(f_0)$: $1.4386 < 1.58$ [OK]

PONSACCO2016, PONSACCO7

Strumento: TRZ-0158/01-11

Inizio registrazione: 12/07/16 10:54:41 Fine registrazione: 12/07/16 11:14:41

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 90% tracciato (selezione manuale)

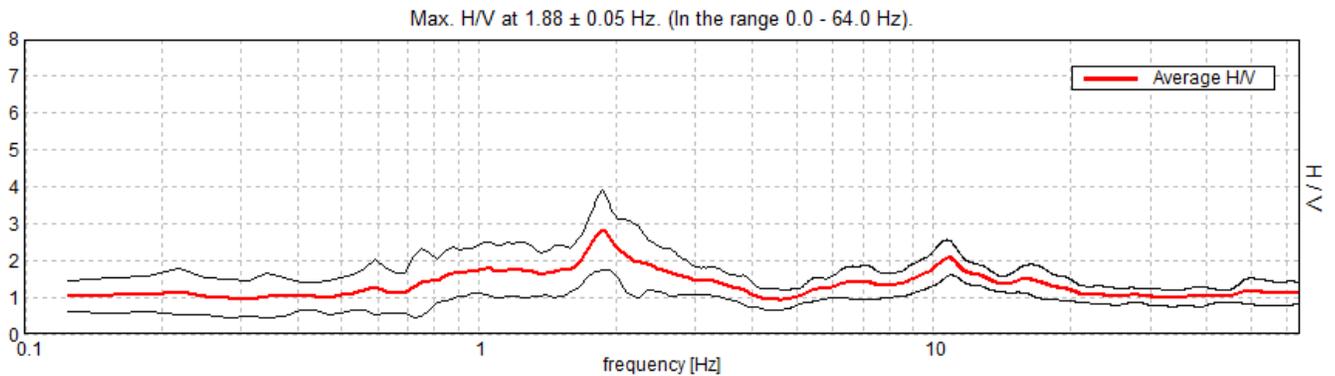
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

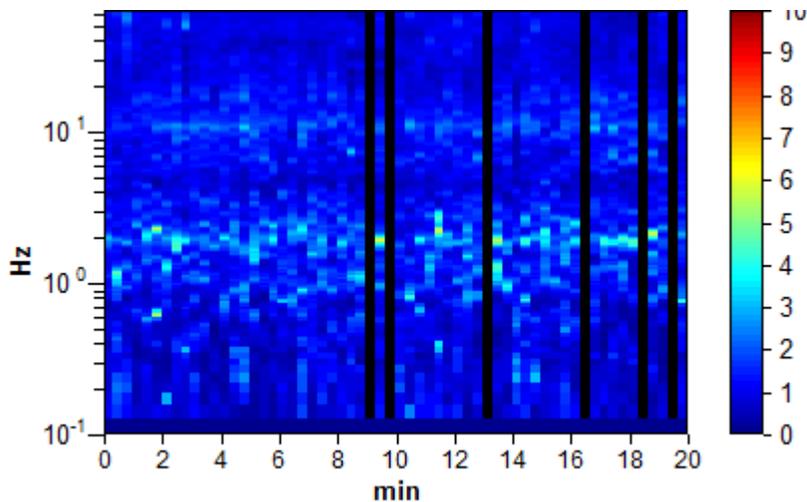
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 8%

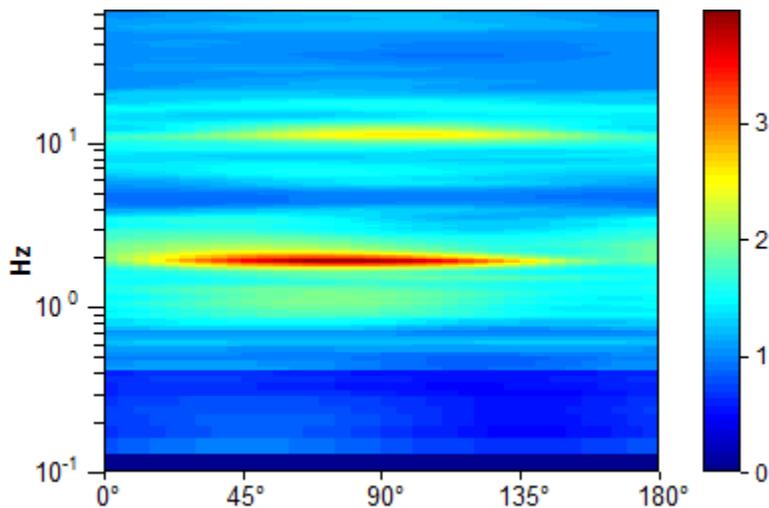
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



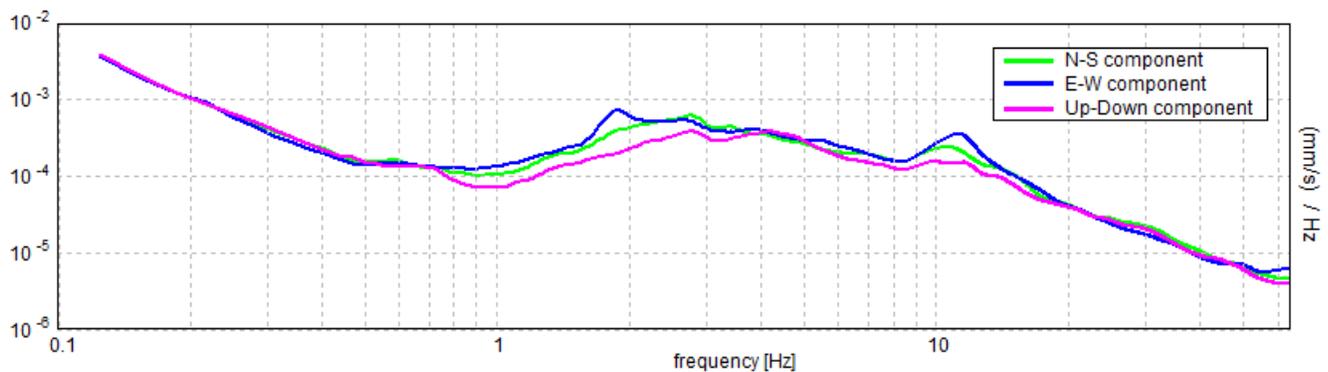
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 1.88 ± 0.05 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$: $1.88 > 0.50$ [OK]

$nc(f_0) > 200$: $2025.0 > 200$ [OK]

$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz

$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz Superato 0 volte su 91 [OK]

.....

Esiste f_- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$: 0.75 Hz [OK]

Esiste f_+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$: 3.344 Hz [OK]

$A_0 > 2$: $2.82 > 2$ [OK]

$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$: $|0.01271| < 0.05$ [OK]

$sf < e(f_0)$: $0.02383 < 0.1875$ [OK]

$sA(f_0) < q(f_0)$: $0.5326 < 1.78$ [OK]

PONSACCO2016, PONSACCO8

Strumento: TRZ-0158/01-11

Inizio registrazione: 12/07/16 11:26:28 Fine registrazione: 12/07/16 11:46:28

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 95% tracciato (selezione manuale)

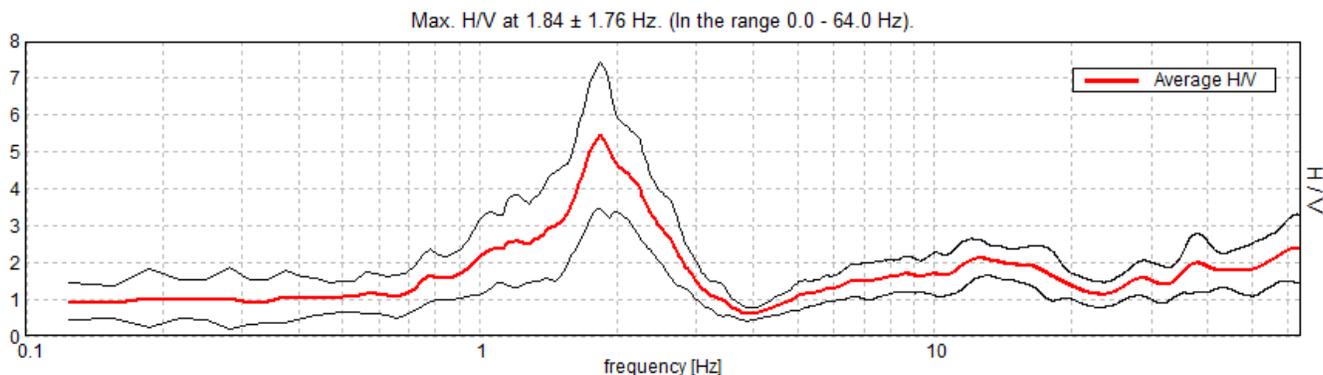
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

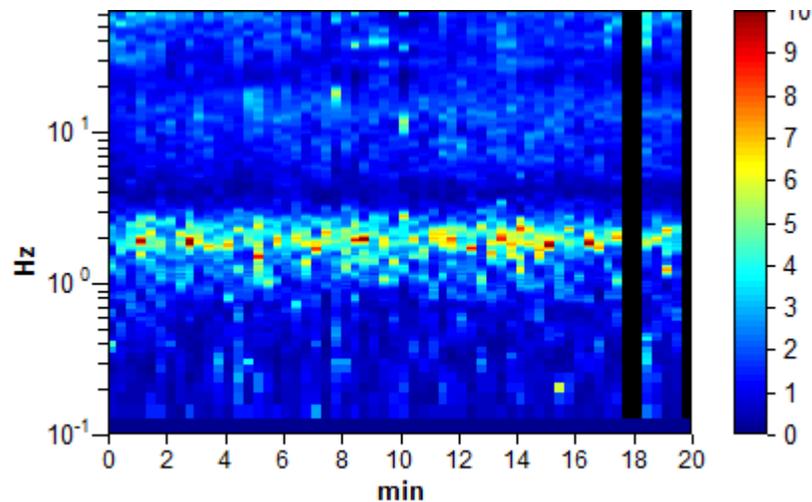
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 8%

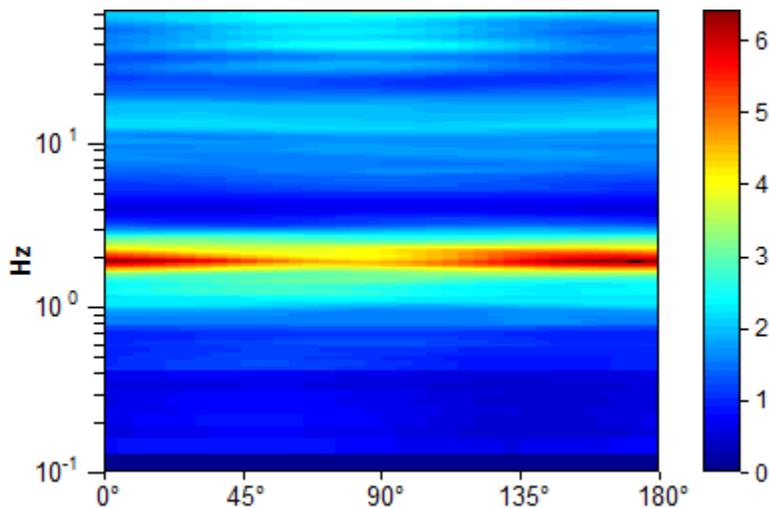
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



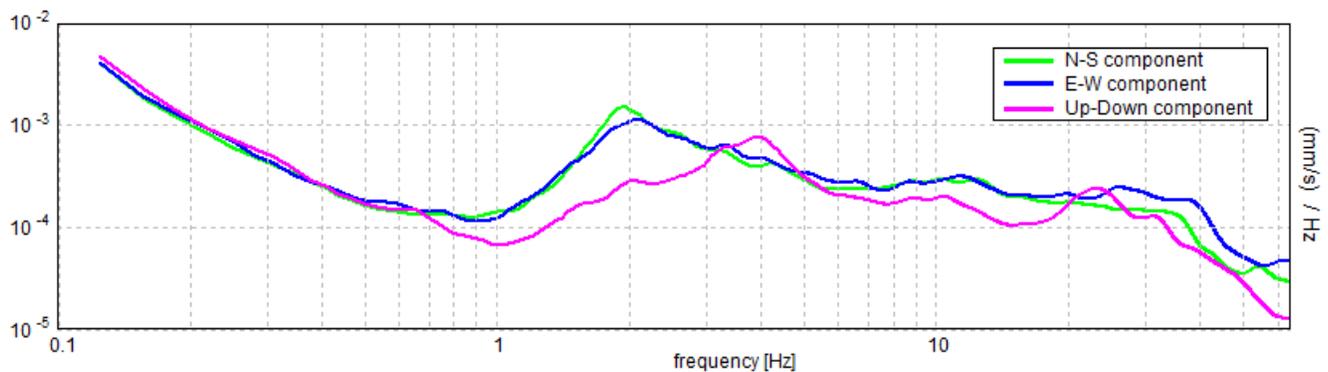
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 1.84 ± 1.76 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$: $1.84 > 0.50$ [OK]

$nc(f_0) > 200$: $2101.9 > 200$ [OK]

$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz

$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz **Superato 1 volte su 90** [NO]

.....

Esiste f_- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$: 1.344 Hz [OK]

Esiste f_+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$: 2.594 Hz [OK]

$A_0 > 2$: $5.45 > 2$ [OK]

$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$: $|0.47181| < 0.05$ [NO]

$sf < e(f_0)$: $0.8699 < 0.18438$ [NO]

$sA(f_0) < q(f_0)$: $0.991 < 1.78$ [OK]

PONSACCO2016, PONSACCO9

Strumento: TRZ-0158/01-11

Inizio registrazione: 22/07/16 08:46:07 Fine registrazione: 22/07/16 09:06:07

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 93% tracciato (selezione manuale)

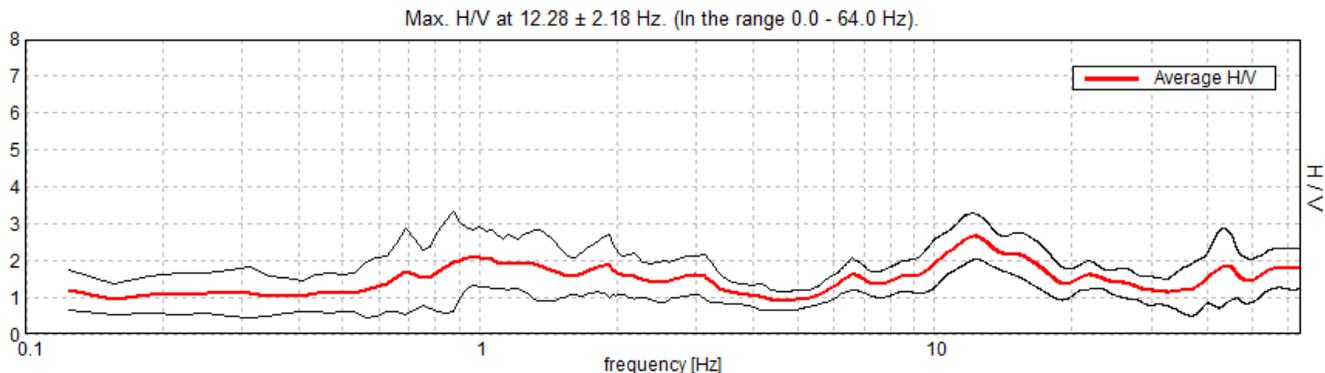
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

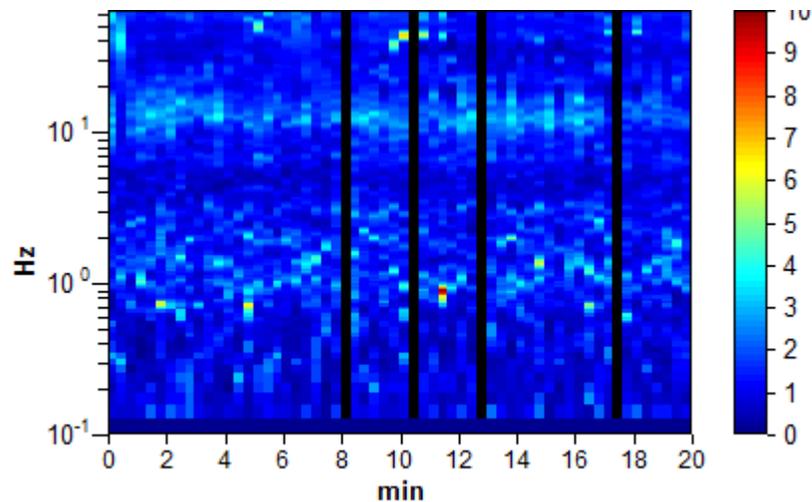
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 8%

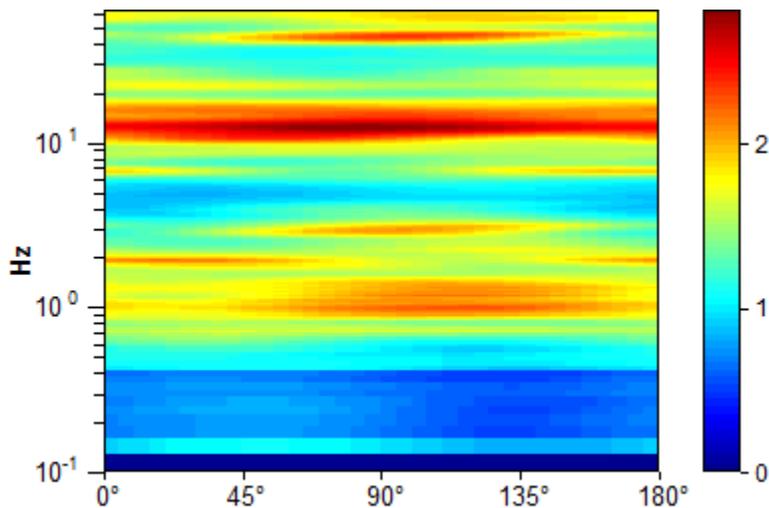
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



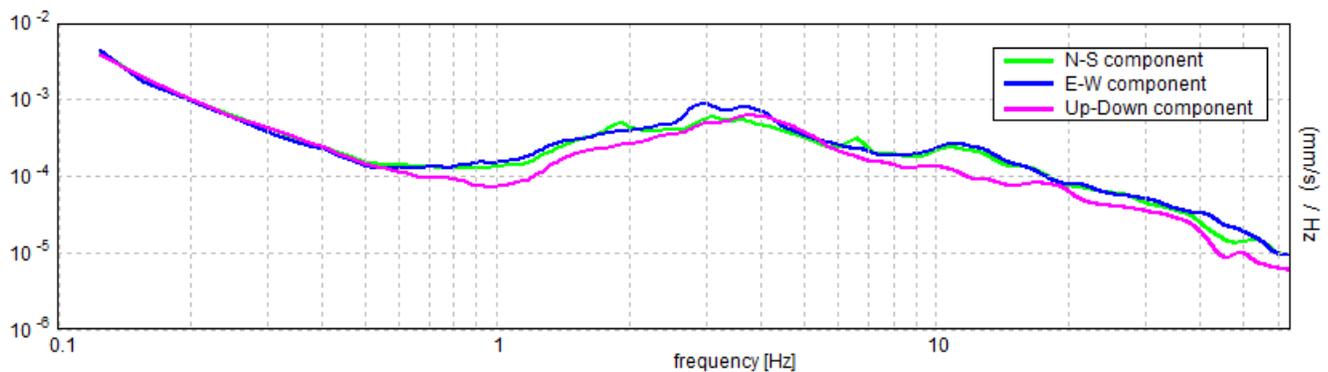
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 12.28 ± 2.18 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$: $12.28 > 0.50$ [OK]

$nc(f_0) > 200$: $13755.0 > 200$ [OK]

$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz

$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz Superato 0 volte su 590 [OK]

.....

Esiste f_- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$: 6.094 Hz [OK]

Esiste f_+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$: 27.344 Hz [OK]

$A_0 > 2$: $2.65 > 2$ [OK]

$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$: $|0.08756| < 0.05$ [NO]

$sf < e(f_0)$: $1.07538 < 0.61406$ [NO]

$sA(f_0) < q(f_0)$: $0.3057 < 1.58$ [OK]

PONSACCO2016, PONSACCO10

Strumento: TRZ-0158/01-11

Inizio registrazione: 22/07/16 09:57:53 Fine registrazione: 22/07/16 10:17:53

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 92% tracciato (selezione manuale)

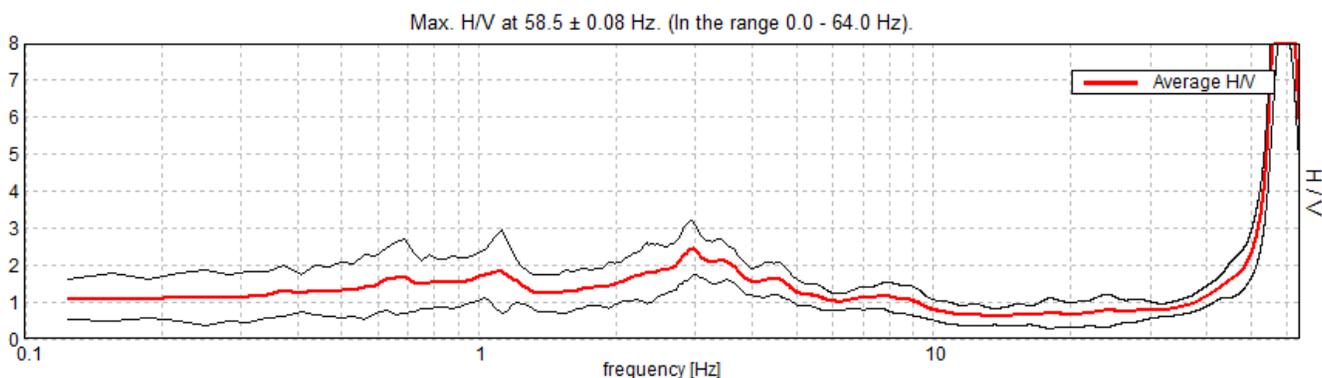
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

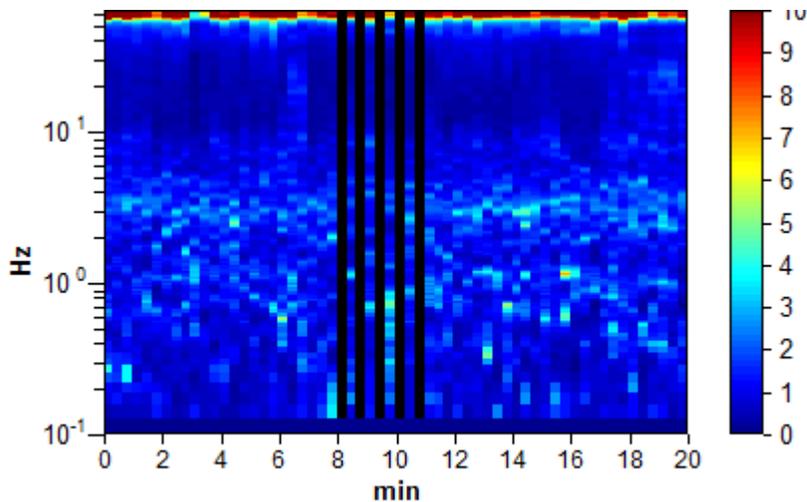
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 8%

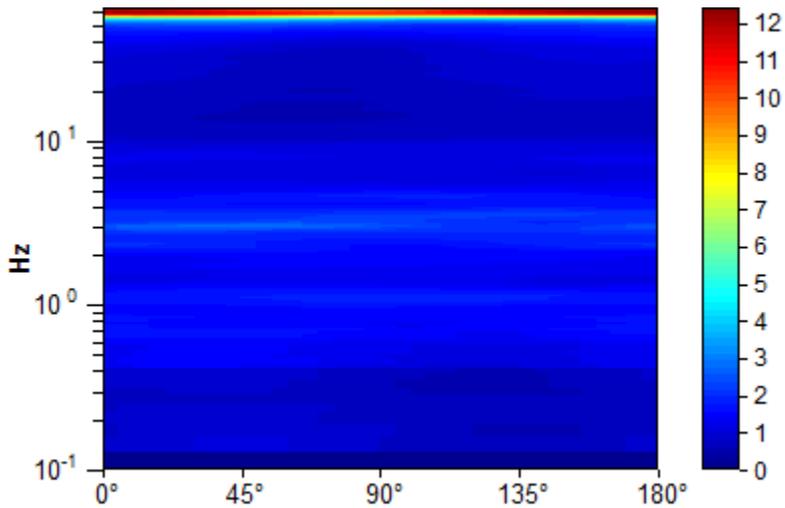
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



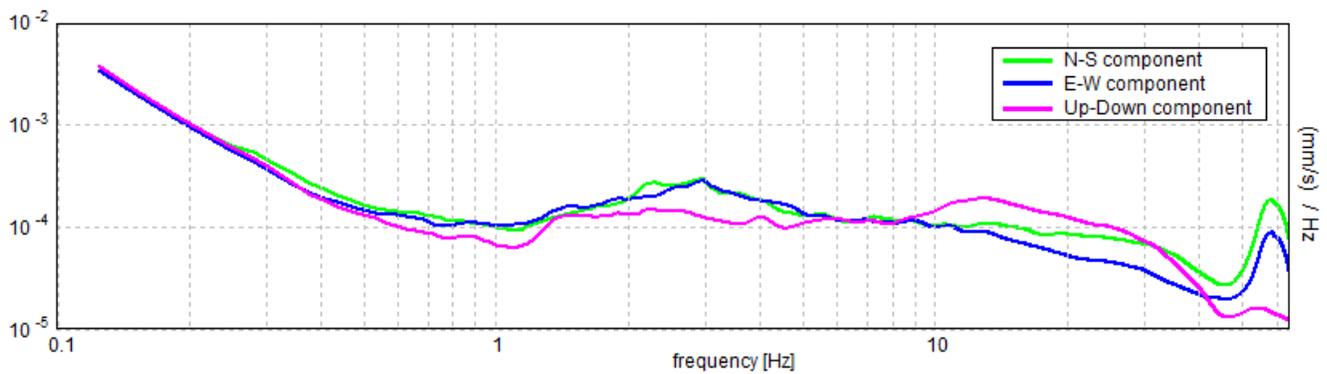
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 58.5 ± 0.08 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$: $58.50 > 0.50$ [OK]

$nc(f_0) > 200$: $64350.0 > 200$ [OK]

$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz

$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz Superato 177 volte su 1113 [NO]

.....

Esiste f_- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$: 54.5 Hz [OK]

Esiste f_+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$: -1.0 Hz [NO]

$A_0 > 2$: $11.03 > 2$ [OK]

$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$: $|0.00064| < 0.05$ [OK]

$sf < e(f_0)$: $0.03772 < 2.925$ [OK]

$sA(f_0) < q(f_0)$: $1.1235 < 1.58$ [OK]

PONSACCO2016, PONSACCO11

Strumento: TRZ-0158/01-11

Inizio registrazione: 22/07/16 12:16:17 Fine registrazione: 22/07/16 12:36:17

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 90% tracciato (selezione manuale)

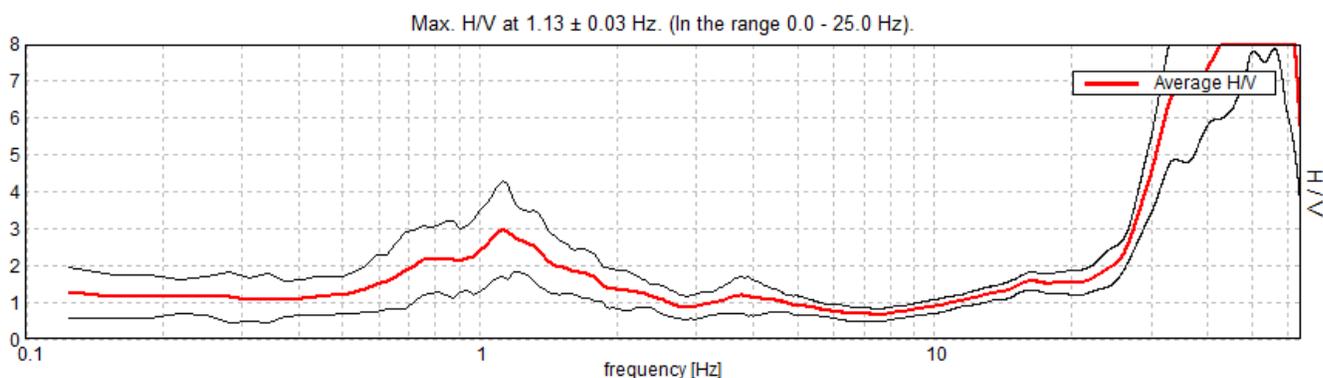
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

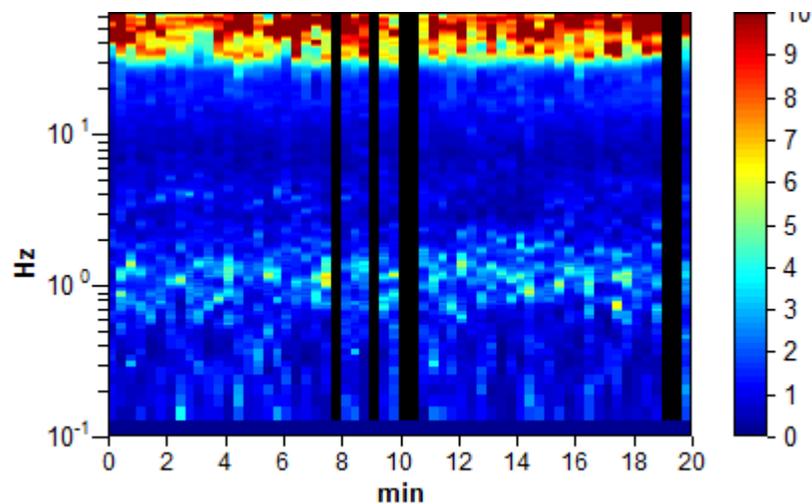
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 8%

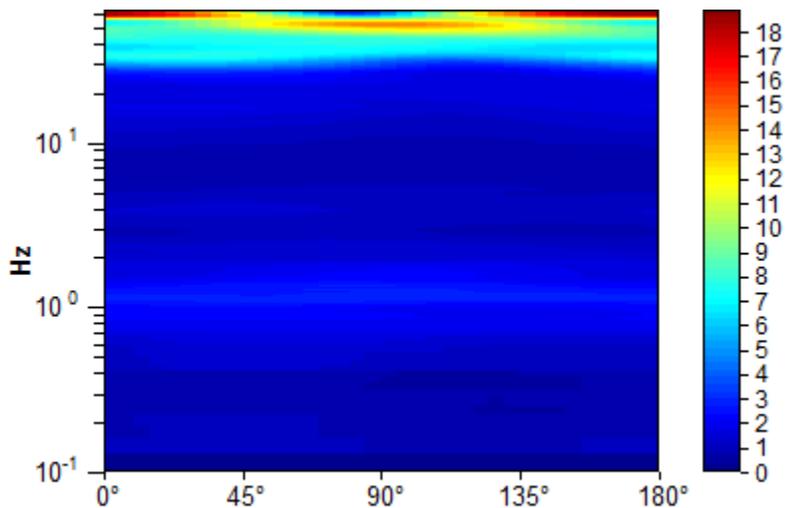
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



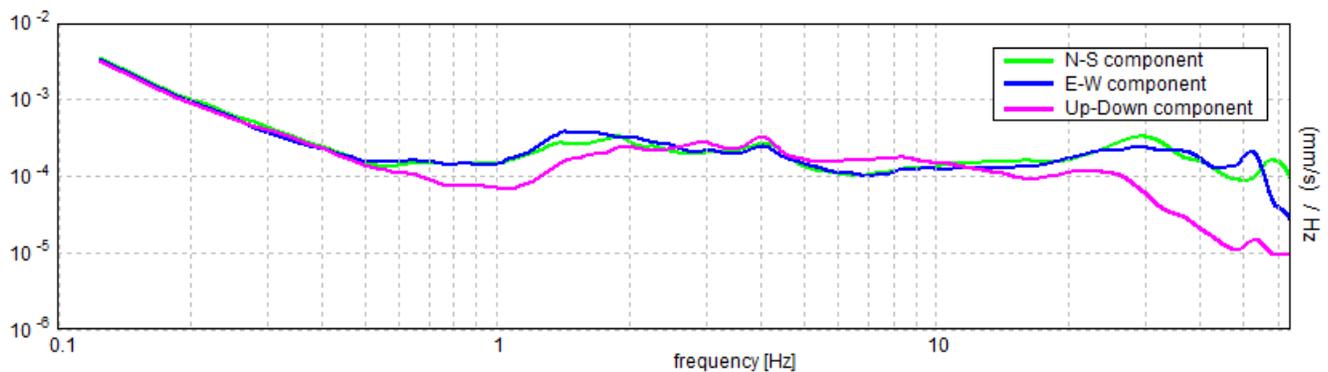
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 1.13 ± 0.03 Hz (nell'intervallo 0.0 - 25.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$: $1.13 > 0.50$ [OK]

$nc(f_0) > 200$: $1215.0 > 200$ [OK]

$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz

$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz Superato 0 volte su 55 [OK]

.....

Esiste f_- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$: 0.563 Hz [OK]

Esiste f_+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$: 1.875 Hz [OK]

$A_0 > 2$: $2.99 > 2$ [OK]

$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$: $|0.01416| < 0.05$ [OK]

$sf < e(f_0)$: $0.01593 < 0.1125$ [OK]

$sA(f_0) < q(f_0)$: $0.6426 < 1.78$ [OK]

PONSACCO2016, PONSACCO12

Strumento: TRZ-0158/01-11

Inizio registrazione: 22/07/16 10:39:47 Fine registrazione: 22/07/16 10:59:47

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 85% tracciato (selezione manuale)

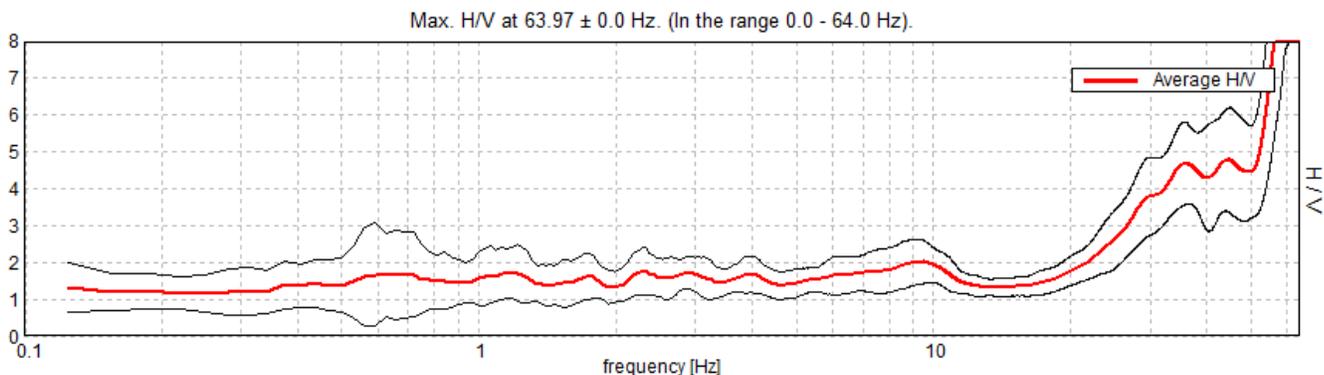
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

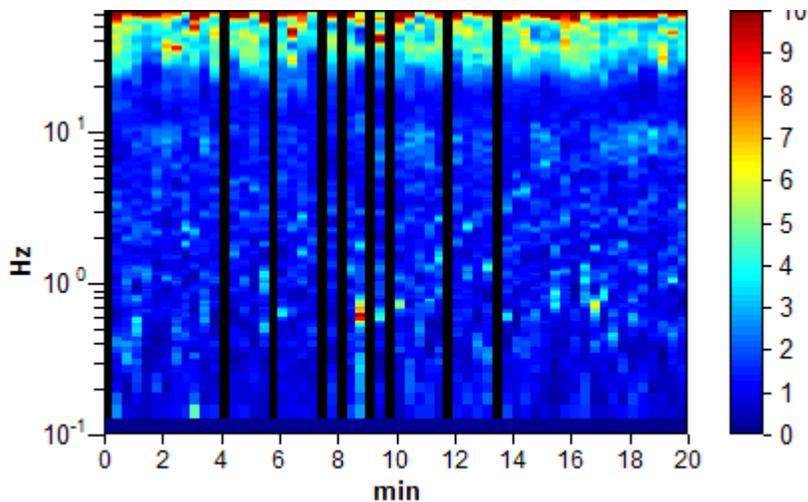
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 8%

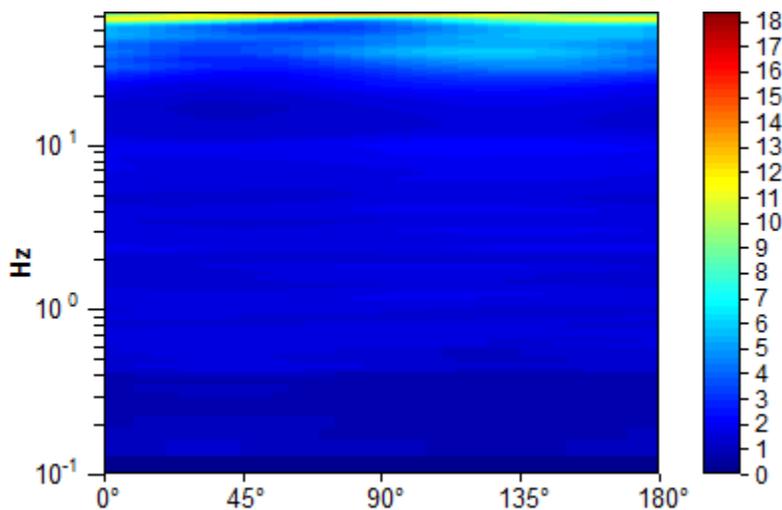
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



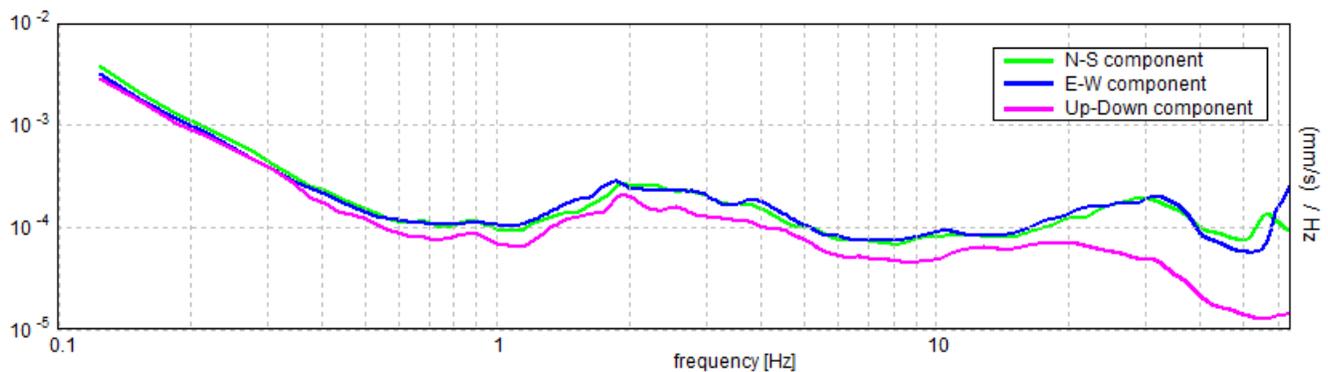
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 63.97 ± 0.0 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$: $63.97 > 0.50$ [OK]

$nc(f_0) > 200$: $65248.1 > 200$ [OK]

$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz

$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz **Superato 317 volte su 1026 [NO]**

.....

Esiste f_- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$: 53.375 Hz [OK]

Esiste f_+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$: -1.0 Hz [NO]

$A_0 > 2$: $11.24 > 2$ [OK]

$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$: $|0.0| < 0.05$ [OK]

$sf < e(f_0)$: $0.0 < 3.19844$ [OK]

$sA(f_0) < q(f_0)$: $1.0584 < 1.58$ [OK]

PONSACCO2016, PONSACCO13

Strumento: TRZ-0158/01-11

Inizio registrazione: 22/07/16 11:32:57 Fine registrazione: 22/07/16 11:52:57

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 85% tracciato (selezione manuale)

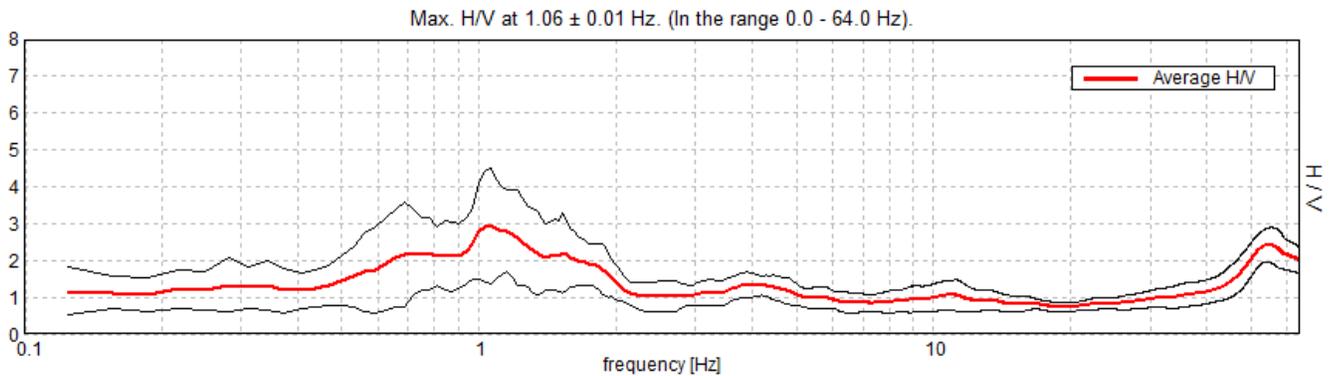
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

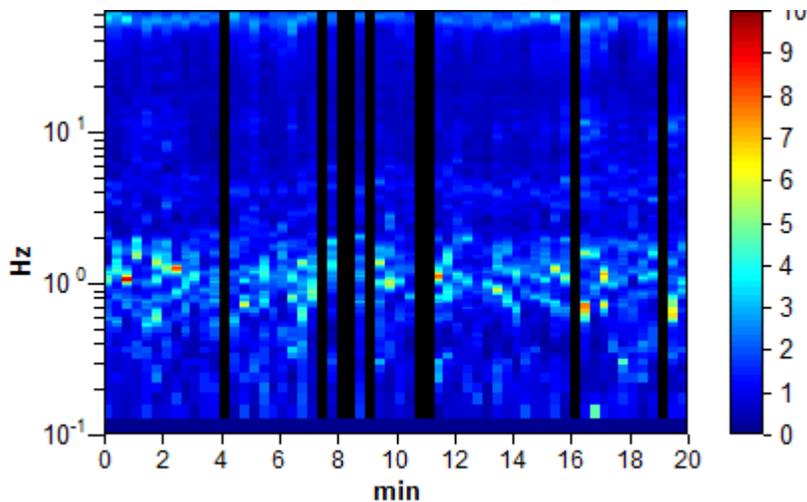
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 8%

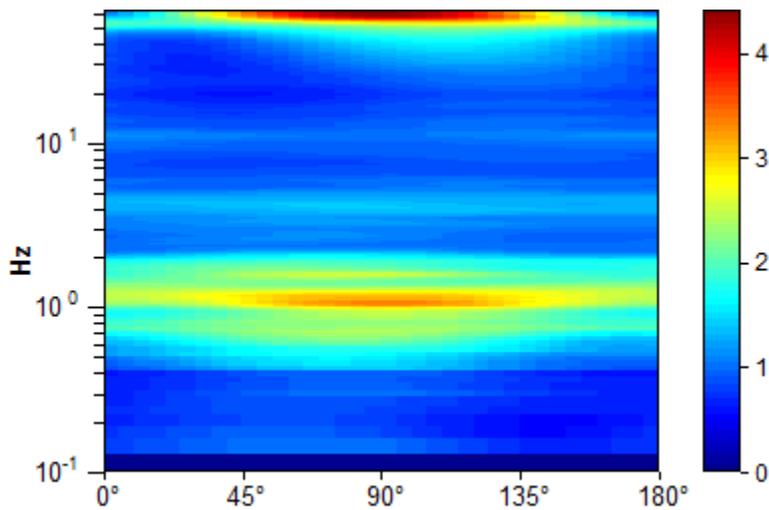
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



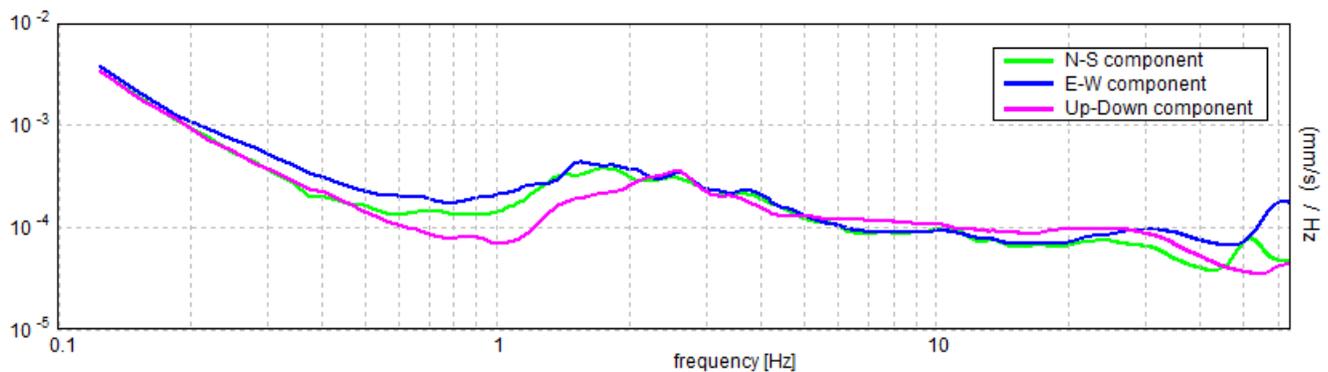
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 1.06 ± 0.01 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$: $1.06 > 0.50$ [OK]

$nc(f_0) > 200$: $1083.8 > 200$ [OK]

$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz

$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz Superato 0 volte su 52 [OK]

.....

Esiste f_- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$: 0.5 Hz [OK]

Esiste f_+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$: 2.0 Hz [OK]

$A_0 > 2$: $2.94 > 2$ [OK]

$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$: $|0.00509| < 0.05$ [OK]

$sf < e(f_0)$: $0.00541 < 0.10625$ [OK]

$sA(f_0) < q(f_0)$: $0.7696 < 1.78$ [OK]

PONSACCO2016, PONSACCO14

Strumento: TRZ-0158/01-11

Inizio registrazione: 22/07/16 15:06:39 Fine registrazione: 22/07/16 15:26:39

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 90% tracciato (selezione manuale)

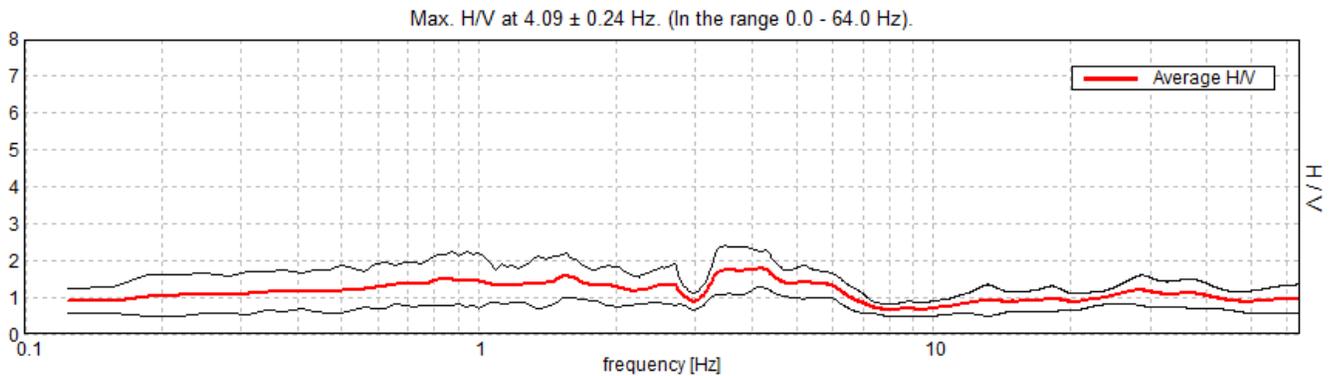
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

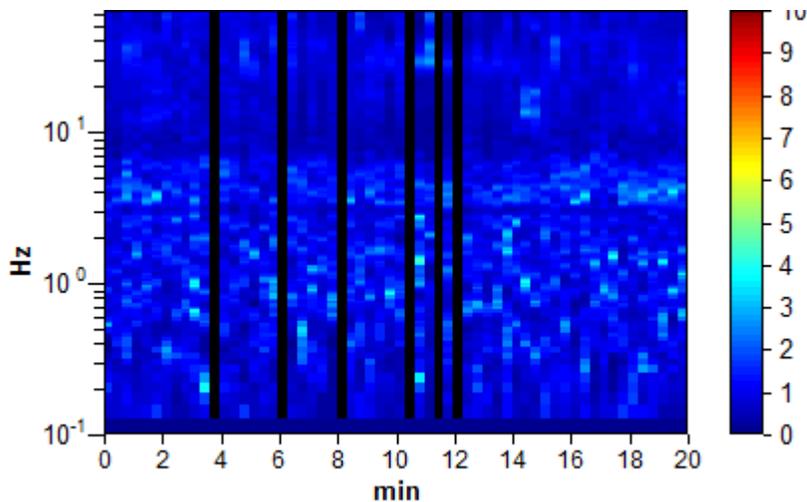
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 8%

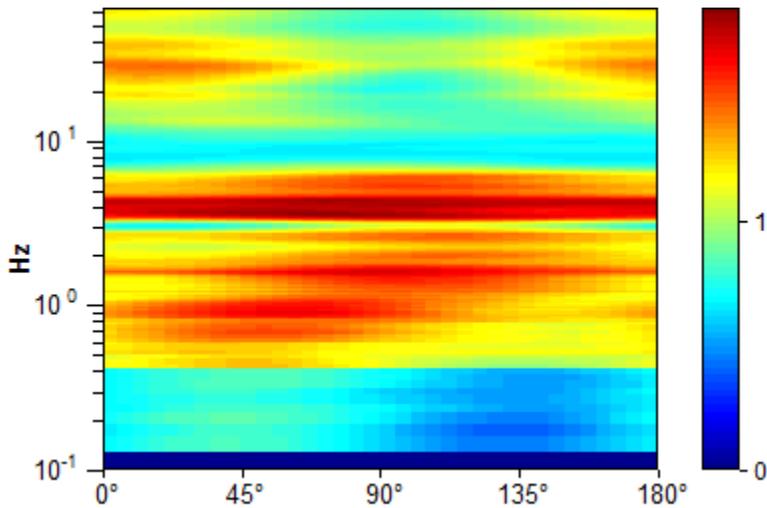
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



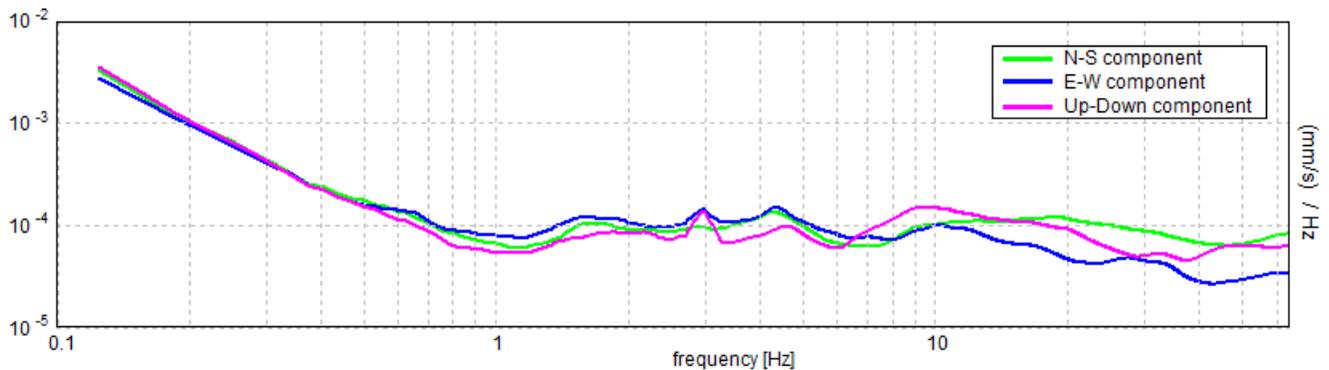
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 4.09 ± 0.24 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$: $4.09 > 0.50$ [OK]

$nc(f_0) > 200$: $4421.3 > 200$ [OK]

$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz

$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz Superato 0 volte su 198 [OK]

.....

Esiste f_- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$: 2.969 Hz [OK]

Esiste f_+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$: 6.875 Hz [OK]

$A_0 > 2$: $1.77 > 2$ [NO]

$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$: $|0.02947| < 0.05$ [OK]

$sf < e(f_0)$: $0.12064 < 0.20469$ [OK]

$sA(f_0) < q(f_0)$: $0.248 < 1.58$ [OK]

PONSACCO2016, PONSACCO15

Strumento: TRZ-0158/01-11

Inizio registrazione: 12/07/16 09:13:00 Fine registrazione: 12/07/16 09:33:00

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 97% tracciato (selezione manuale)

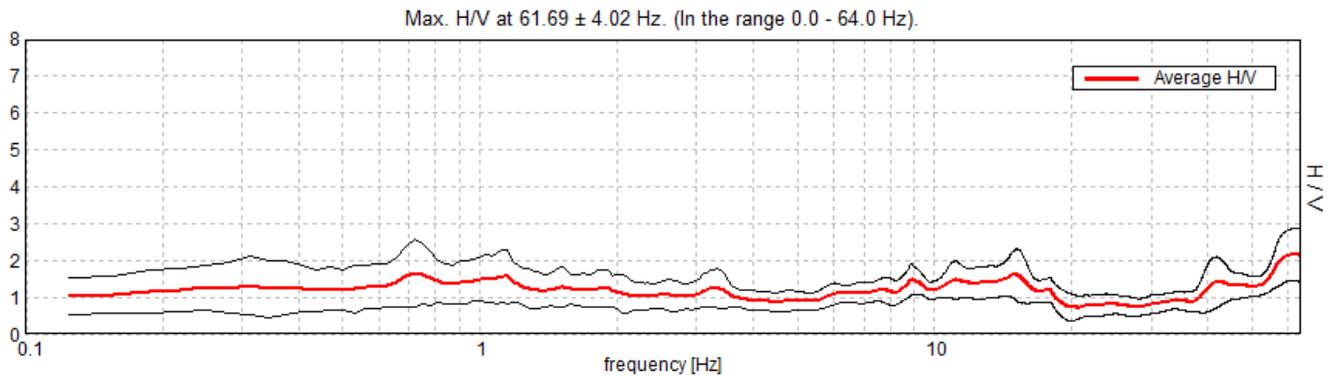
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

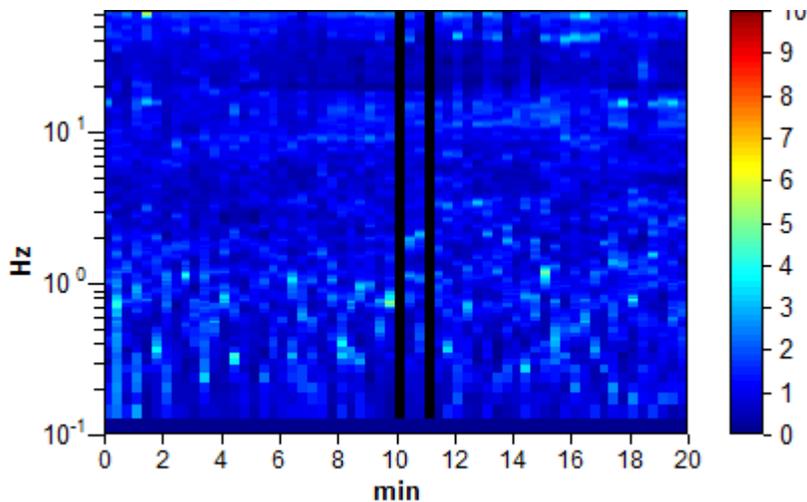
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 8%

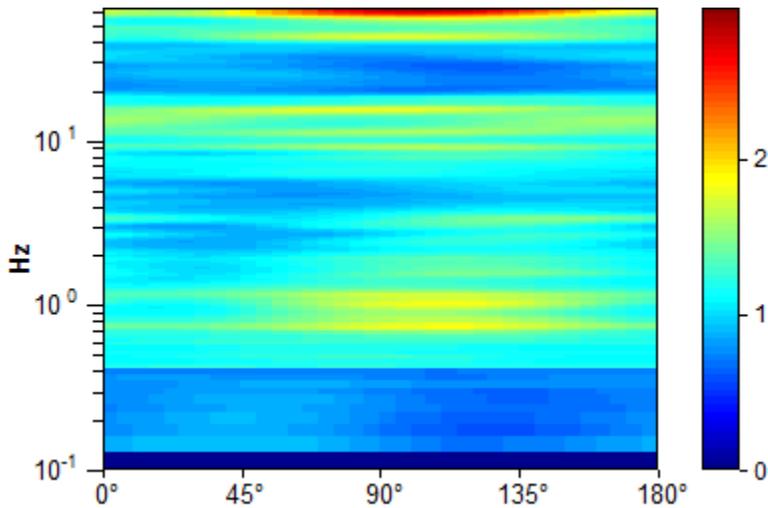
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



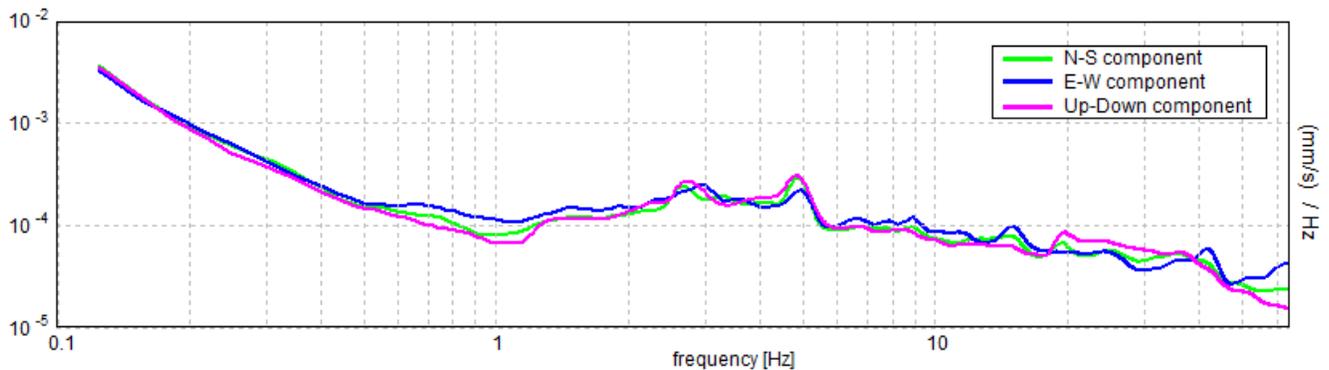
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 61.69 ± 4.02 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$: $61.69 > 0.50$ [OK]

$nc(f_0) > 200$: $71557.5 > 200$ [OK]

$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz

$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz Superato 0 volte su 1062 [OK]

.....

Esiste f_- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$: 38.938 Hz [OK]

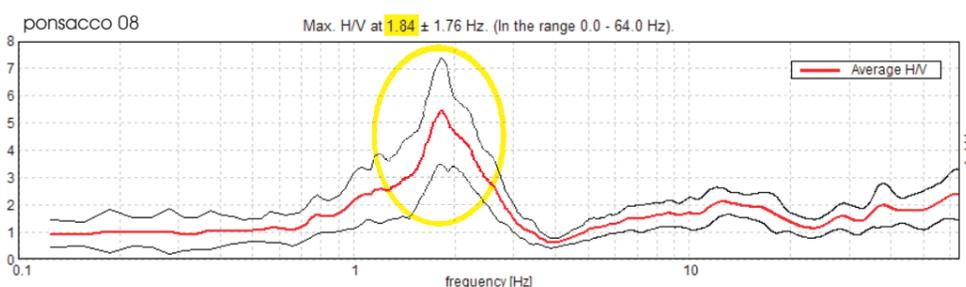
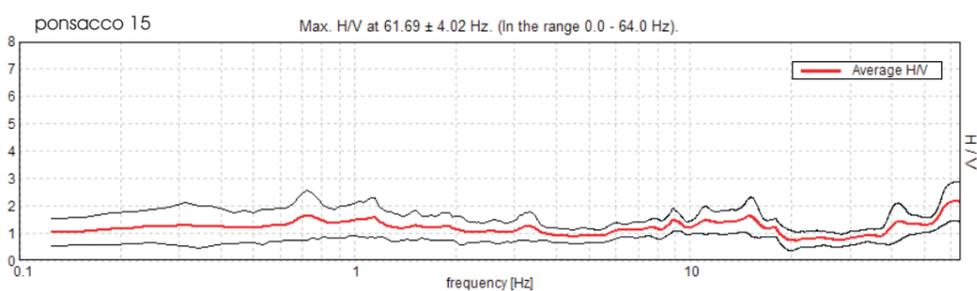
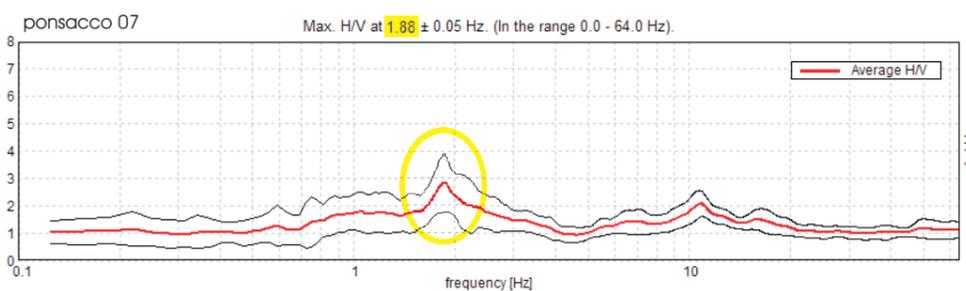
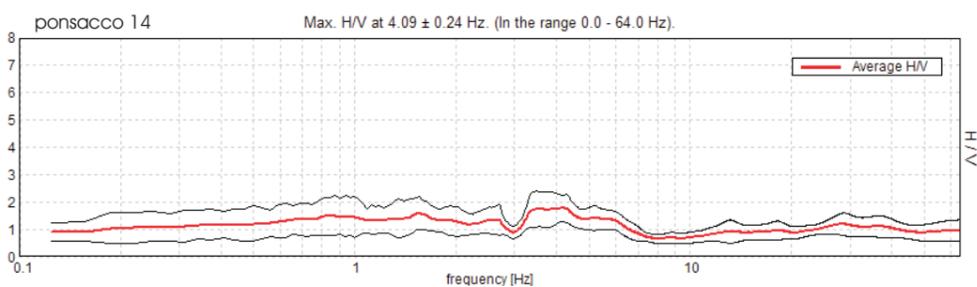
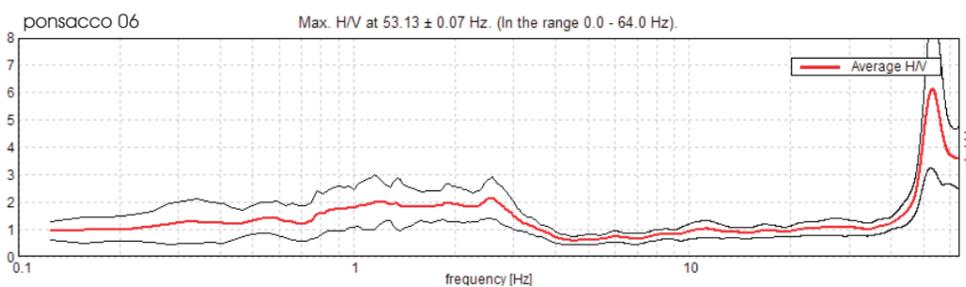
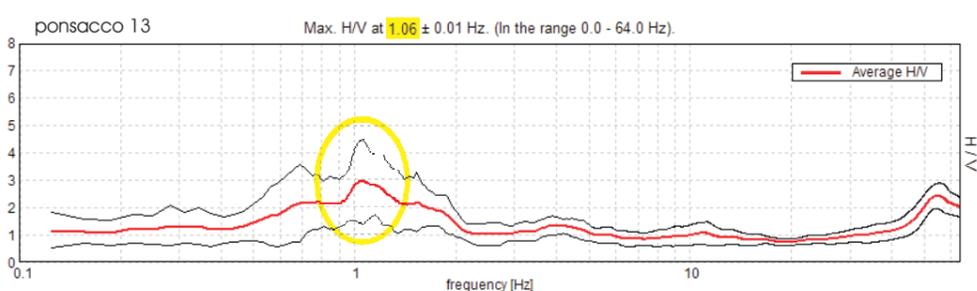
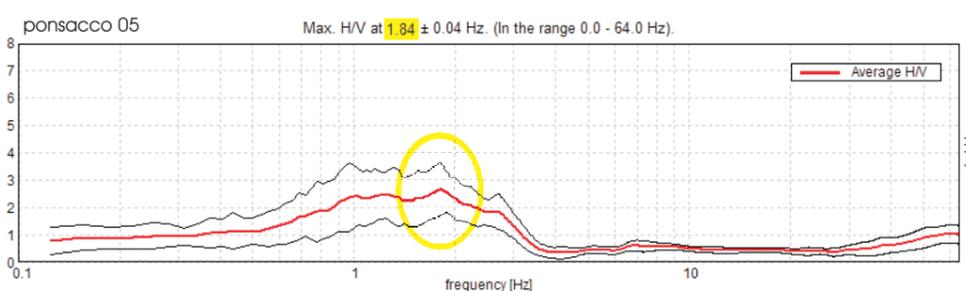
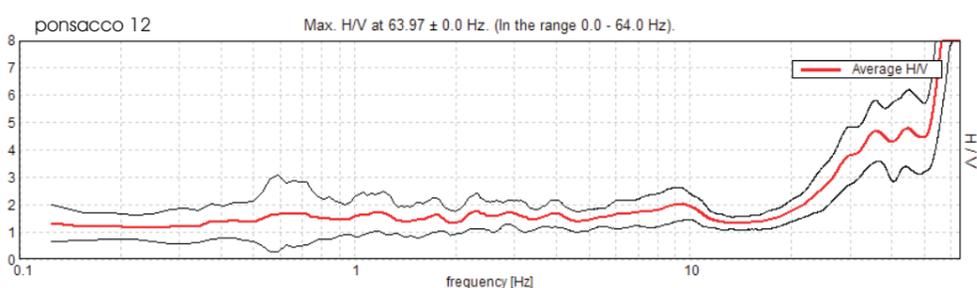
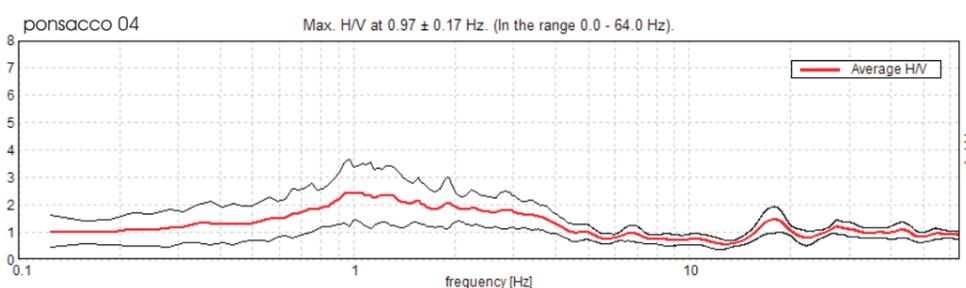
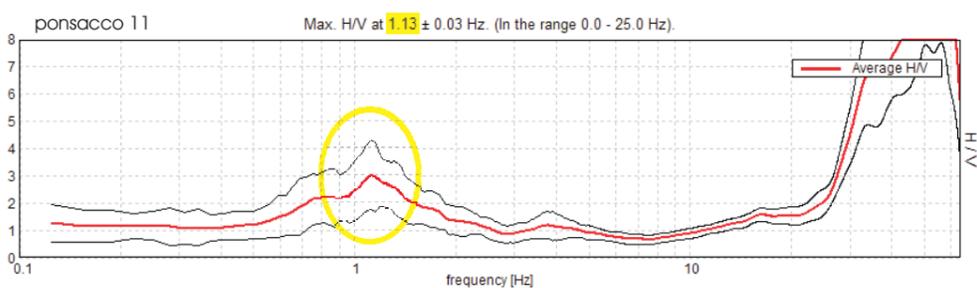
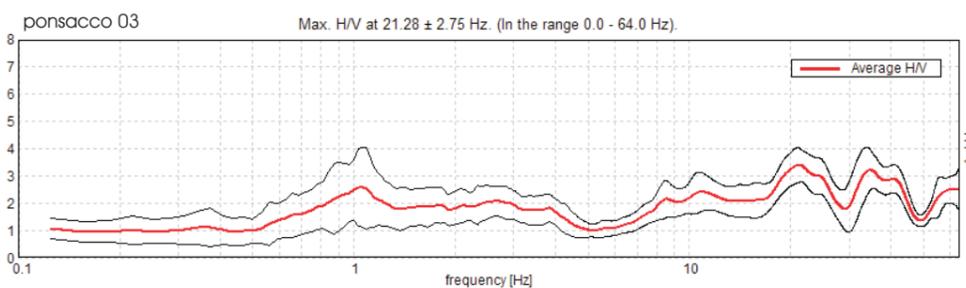
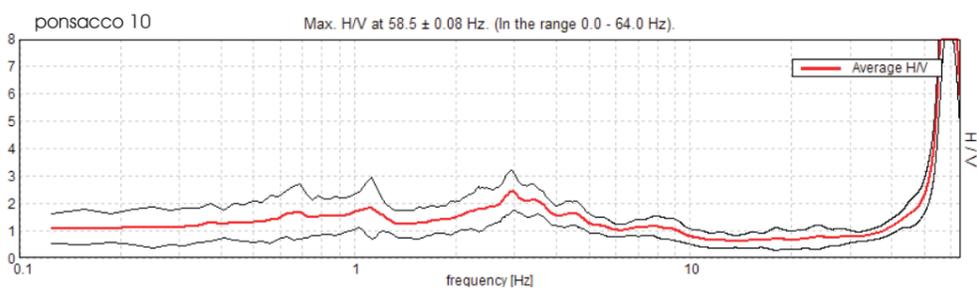
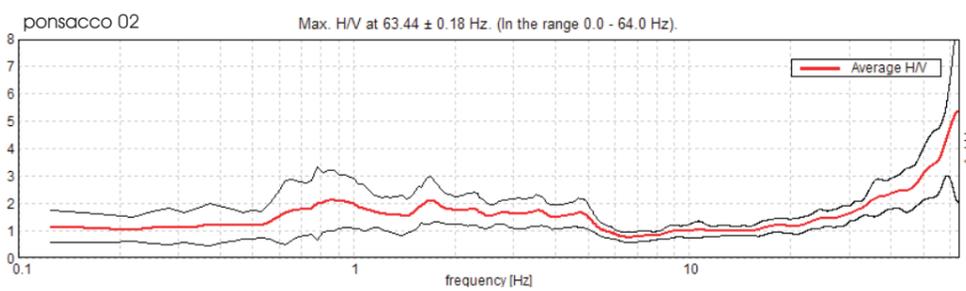
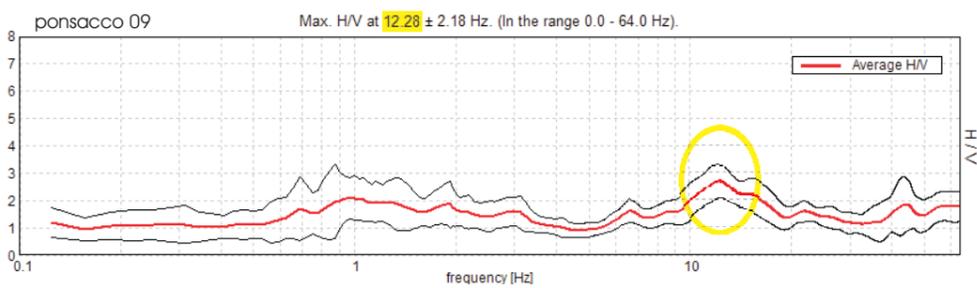
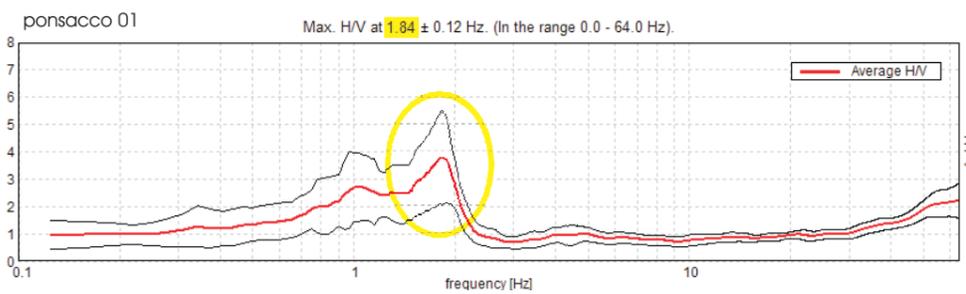
Esiste f_+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$: -1.0 Hz [NO]

$A_0 > 2$: $2.16 > 2$ [OK]

$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$: $|0.03225| < 0.05$ [OK]

$sf < e(f_0)$: $1.98952 < 3.08438$ [OK]

$sA(f_0) < q(f_0)$: $0.3444 < 1.58$ [OK]



CONFRONTO TRA I GRAFICI H/V PER I VARI SITI DI INDAGINE

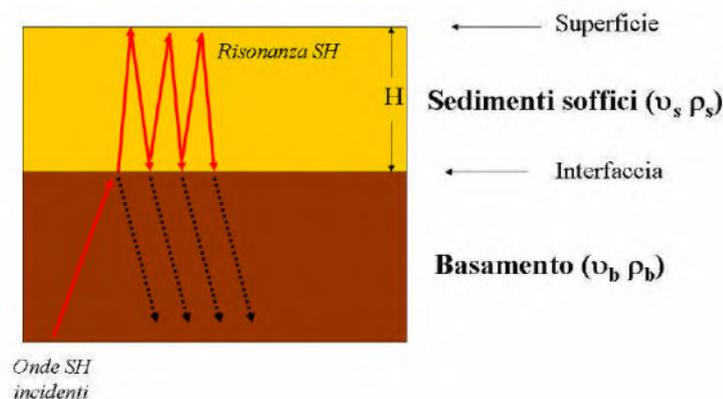
GENERALITÀ

La sismica passiva studia il microtremore sismico ambientale (rumore sismico); questa sfrutta il fatto che il "rumore", pur non recando l'informazione relativa alla sua sorgente, risulta sensibile alla locale struttura presso la stazione di misura.

La strumentazione per eseguire misure di sismica passiva può operare in spazi ridotti, non necessita di energizzazioni e permette di indagare profondità molto elevate. I tempi di esecuzione sono relativamente bassi.

Il rumore sismico ambientale deriva dalla composizione di molte sorgenti che agiscono in tempi diversi e in zone diverse. Nel campo del rumore sono rappresentate sia onde di volume (fronte d'onda sferico) sia onde di superficie (fronte d'onda cilindrico), ma le onde di superficie hanno carattere dominante, perché caratterizzate da minore attenuazione.

Quando fra 2 superfici esiste una variazione significativa dell'impedenza acustica si ha il fenomeno della risonanza, che deriva dall'intrappolamento di energia sismica (essenzialmente delle fasi SH) all'interno delle coperture ovvero fra la superficie e un basamento rigido qui inteso come una formazione "caratterizzata da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S significativamente maggiori di quelli relativi alle coperture localmente presenti" delle onde.



L'equazione della risonanza è la seguente:

$$f = n \frac{V_s}{4H} \quad n = 1, 3, 5, \dots$$

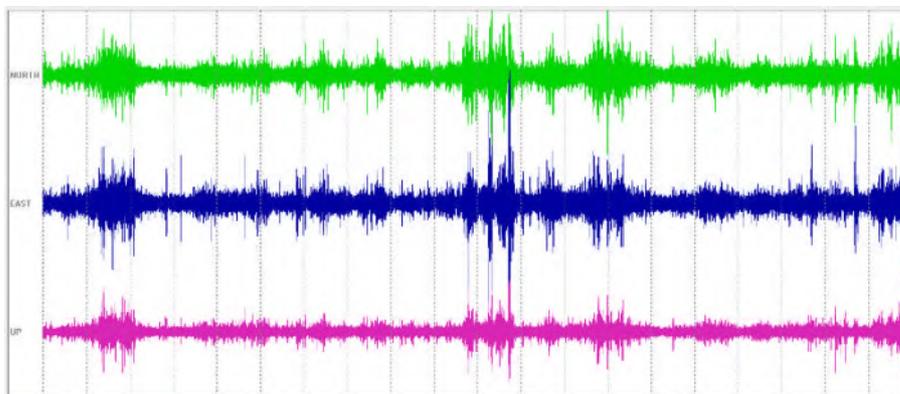
dove n indica l'ordine del modo di vibrare (fondamentale, primo superiore ecc.), V_s è la

velocità delle onde di taglio nello strato oggetto di risonanza e H è lo spessore di detto strato.

Nella maggior parte dei casi, a causa dell'attenuazione delle coperture, il solo modo visibile è il fondamentale.

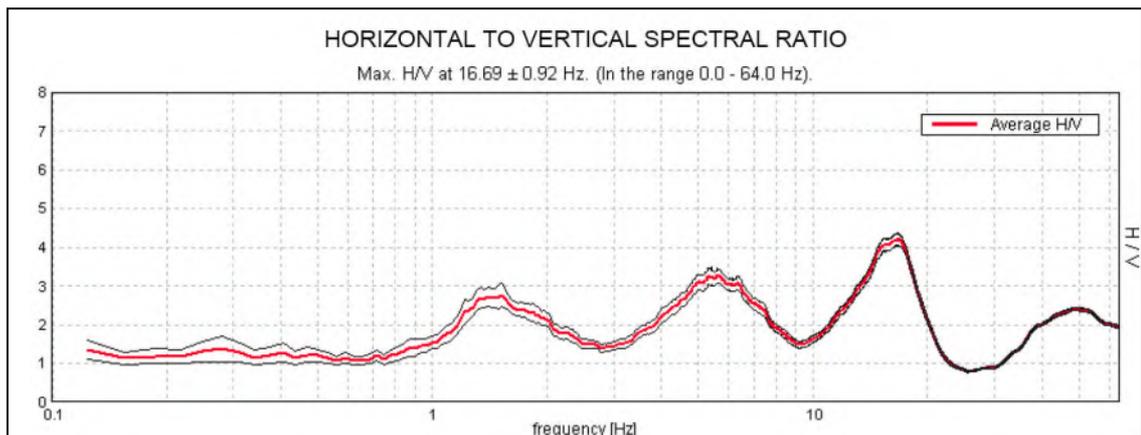
Le registrazioni in campagna vengono effettuate mediante un tromografo, che consiste in un'apparecchiatura che riunisce una terna di sensori velocimetrici orientati su tre direzioni ortogonali:

- 2 nella componente orizzontale dello spostamento (tra loro ortogonali) per misure su suoli ordinariamente corrispondenti alle direzioni NS ed EW;
- 1 nella componente verticale (up-down).



I diagrammi relativi a tali registrazioni vengono elaborati attraverso la determinazione dell'intensità del segnale in sottofinestre di determinata durata, e trasformati in spettri H/V.

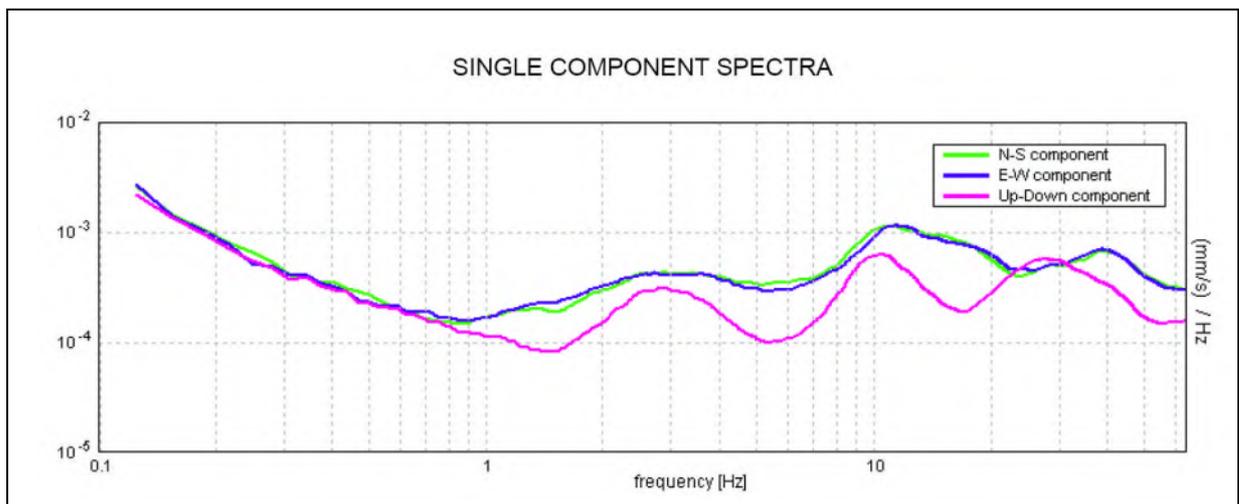
Nella pratica si utilizza il rapporto H/V perché è un buon normalizzatore e un buon estimatore delle frequenze di risonanza dei terreni; i valori assoluti degli spettri orizzontali e verticali variano infatti con il livello assoluto del rumore ambientale, mentre la forma dello spettro e in particolare il rapporto tra le ampiezze orizzontale e verticale si mantiene più stabile, e per il suo carattere stocastico mostra caratteristiche correlabili con la struttura locale del suolo. Alle frequenze caratteristiche di vibrazione dei suoli corrisponde infatti un decremento del segnale della componente verticale, che determina un picco nel rapporto spettrale rappresentato dal grafico seguente.



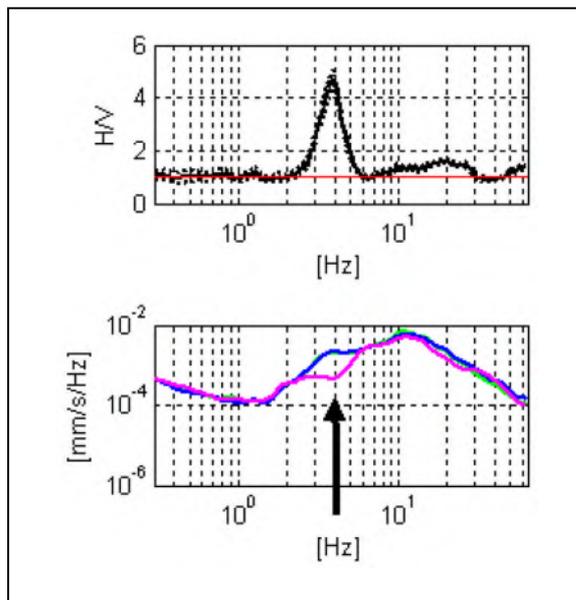
In un mezzo senza contrasti di impedenza (es. un ammasso roccioso sano) la curva H/V risulta teoricamente piatta e con valore medio tra 0,7 e 1,0 (in funzione del modulo μ).

La presenza di un picco nella curva H/V può essere data da un fenomeno di risonanza, causato da una variazione di velocità delle onde sismiche nel terreno, e quindi da passaggi stratigrafici caratterizzati da un notevole contrasto tra le velocità sismiche stesse.

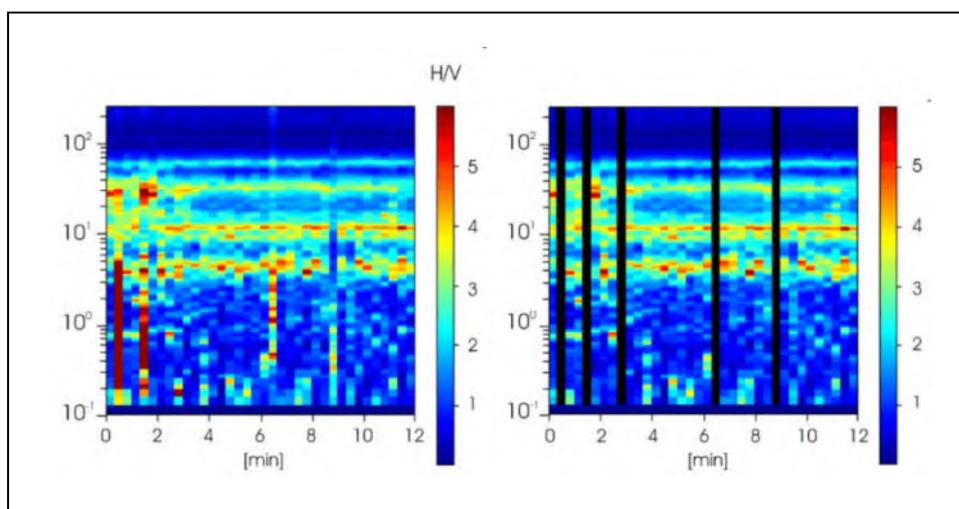
Dato che tali picchi su H/V possono essere dovuti anche ad artefatti e transienti, H/V deve essere sempre analizzato alla luce degli spettri delle singole componenti.



Un picco di natura stratigrafica (e non artefattuale) presenta un minimo locale della componente spettrale verticale, mentre picchi spettrali (di solito aguzzi) su tutte le 3 componenti del moto sono di origine antropica.

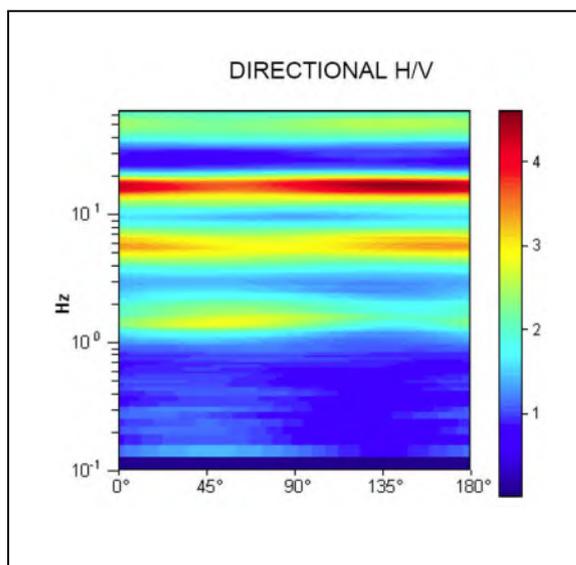


L'elaborazione degli spettri H/V comporta quindi un'analisi ragionata dei vari picchi, uno smoothing (nel nostro caso triangolare al 10%) e una valutazione sugli spettri nelle varie "finestre" di tempo in cui è stata suddivisa l'acquisizione, in modo da poter eventualmente rimuovere gli intervalli di misura caratterizzati da disturbi.



Di solito è consigliabile effettuare le correzioni nel dominio delle frequenze, e non operare nel dominio del tempo, in quanto in tale contesto non è agevole identificare quali siano artefatti e transienti.

Altro aspetto importante da considerare è la stabilità direzionale del segnale, che è un elemento a favore della valenza stratigrafica del picco analizzato.



CAMPAGNA DI PROSPEZIONI IN OGGETTO

Le prospezioni geofisiche effettuate sono relative a 2 aree all'interno del centro abitato del capoluogo (una in adiacenza del cimitero comunale, denominata "Ponsacco PSS1" e una in prossimità dell'ufficio postale, denominata "Ponsacco PSS2"), in zone ritenute significative sia per finalità urbanistiche che per l'approfondimento del quadro conoscitivo per gli aspetti di microzonazione sismica di livello 1.

Le due aree ricadono in zona di pianura caratterizzata da depositi alluvionali olocenici prevalentemente fini.

Per ogni stazione di misura è stata redatta una scheda che illustra la posizione di dettaglio da cartografia e da documentazione fotografica, con le caratteristiche descrittive di ciascun sito di indagine.

Le prospezioni sono state eseguite mediante l'utilizzo di uno strumento TROMINO® della Micromed Geophysics, espressamente progettato per misure di microtremore.



TROMINO® è uno strumento efficiente per la misura del rumore sismico; presenta ridotte dimensioni e peso, e bassissimo consumo di energia. L'alta risoluzione dell'elettronica digitale impiegata consente di ottimizzare la misura del microtremore nell'intervallo di frequenze compreso fra 0.1 e 200 Hz; i sensori sono costituiti da una terna di velocimetri smorzati criticamente che trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore a dinamica non inferiore a 23 bit. Le caratteristiche progettuali consentono una accuratezza relativa maggiore di 10^{-4} sulle componenti spettrali al di sopra di 0.1 Hz.

L'assenza di cavi esterni consente inoltre di lasciare virtualmente imperturbato il campo d'onda presente nell'ambiente.

Lo strumento dispone di tre canali analogici connessi a tre velocimetri elettrodinamici ad alta risoluzione disposti secondo tre direzioni ortogonali. Il moto del terreno viene amplificato, convertito in forma digitale, organizzato e salvato su una memoria digitale di tipo Flash.

I dati registrati da TROMINO® possono essere scaricati, organizzati, archiviati, visualizzati e analizzati tramite il programma Grilla fornito assieme allo strumento. Esso include inoltre procedure per l'analisi spettrale di base e per l'analisi HVSR anche secondo le direttive fornite dal progetto di ricerca europeo SESAME.

* * * * *

Il lavoro si è articolato individuando, nelle aree di indagine, stazioni di misura, per ciascuna delle quali è stata effettuata una rilevazione del microtremore sismico ambientale con le seguenti modalità:

- durata dell'acquisizione pari a 20';
- suddivisione dell'acquisizione stessa in "finestre" temporali di 20";
- frequenza di campionamento pari a 128 Hz.

In ogni sito lo strumento è stato orientato verso Nord, così che l'intero set delle misure è iso-orientato.

Si è cercato di non ubicare le stazioni di misura in prossimità di fonti di rumore tali da ostacolare e/o obliterare una corretta acquisizione dei segnali.

CRITERI DI ANALISI DELLE MISURE

I dati di campagna sono stati in primo luogo trattati con una procedura di analisi o trattamento consistente in:

- ❖ lisciatura al 10%
- ❖ analisi temporale dell'intero spettro (0-64 Hz) in sottofinestre di 20 s
- ❖ analisi direzionale con step di 5°

Successivamente, analizzati i dati ottenuti, si è deciso di mantenere una lisciatura triangolare all'8%, effettuando quindi una "pulizia" tramite eliminazione delle sottofinestre temporali contenenti sollecitazioni transienti, con nuova analisi sulle sole finestre selezionate, fino al raggiungimento di un risultato il più possibile chiaro.

CRITERI DI CLASSIFICAZIONE DELLE MISURE

Le singole misure sono soggette alle valutazioni sulla "robustezza" statistica del dato secondo i criteri del protocollo SESAME, automaticamente inserito nei singoli report, secondo quanto accennato al paragrafo precedente.

Nell'interpretare la tabella SESAME di significatività dei picchi H/V bisogna considerare che ogni sito può generare più di una risonanza, e che non esiste una risonanza fondamentale in assoluto. In effetti è stato scelto il picco da analizzare in base al suo significato in relazione agli scopi del lavoro in oggetto.

- I primi 3 criteri della tabella dicono se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco considerata. E' opportuno che questi 3 criteri siano tutti soddisfatti. Se così non fosse, tipicamente è necessario rianalizzare la registrazione aumentando il parametro WINDOW SIZE.

- o I secondi 6 criteri della tabella dicono se il picco è significativo da un punto di vista statistico. E' bene che ne siano soddisfatti il maggior numero possibile (preferibilmente almeno 5 su 6) ma si ricordi che eventuali NO su tutte le righe non implicano necessariamente che la registrazione è stata effettuata male ma implicano che non ci sono picchi significativi. Ad esempio una registrazione su roccia "sana" darebbe NO su tutti questi criteri.

Un'ulteriore classificazione dei risultati può essere effettuata tenendo conto dei criteri adottati nello studio di "Microzonazione Sismica per la ricostruzione dell'area Aquilana" a cura del Dipartimento della Protezione Civile, e finalizzati a una valutazione più generale, e più restrittiva, della qualità del dato acquisito, secondo i seguenti parametri:

- stazionarietà del segnale nel campo dello sviluppo temporale dello spettro
- isotropia del segnale nel campo dello sviluppo direzionale dello spettro
- presenza di rumore elettromagnetico, con particolare riferimento al campo di frequenza di eventuali picchi
- plausibilità fisica del picco
- robustezza statistica del picco (comprensiva dei primi 3 criteri SESAME)
- durata della misura.

Le misure sono classificabili:

- o in CLASSE A di qualità quando soddisfano tutti i criteri, fatta eccezione per gli spettri piatti che ovviamente disattendono i criteri SESAME per assenza di picchi significativi;
- o in CLASSE B quando ne disattendono almeno uno ma mantengono buona leggibilità;
- o in CLASSE C quando contengono elementi di disturbo invalidanti ai fini della corretta interpretazione.

Nel primo caso le misure sono utilizzabili anche da sole, nel secondo caso sono utilizzabili con cautela e unitamente ad altre misure effettuate nell'ambito della lunghezza d'onda di interesse, nel terzo caso vanno scartate. Limitatamente ai primi due casi sono poi definite le sottoclassi 1 e 2 in base alla presenza o meno di un picco chiaro.

OSSERVAZIONI SUI RISULTATI

Ponsacco PSS1

Picco H/V a 39.97 ± 5.08 Hz (nell'intervallo 0.0 - 40.0 Hz).

Ponsacco PSS2

Picco H/V a 0.69 ± 0.03 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

ALLEGATI:

- ❖ SISMICA PASSIVA: reports relativi a ciascuna elaborazione

Marzo 2017



INDAGINE HVSR - PONSACCO - UTOE CAPOLUOGO - POLO SOCIO SANITARIO
LOCALITÀ VIA ROSPICCIANO - POSTAZIONE PSS1



documentazione fotografica



ubicazione scala 1:1.000

orientazione > N

contesto globale : pianura alluvionale

contesto locale: prato - erba bassa

condizioni atmosferiche: sereno

coordinate stazione - 43°37'16.08" N - 10°37'35.01" E

INDAGINE HVSR - PONSACCO - UTOE CAPOLUOGO - POLO SOCIO SANITARIO
LOCALITÀ VIA TRIESTE - POSTAZIONE PSS2



documentazione fotografica



ubicazione scala 1:1.000

orientazione > N

contesto globale : pianura alluvionale

contesto locale: prato - erba bassa

condizioni atmosferiche: sereno

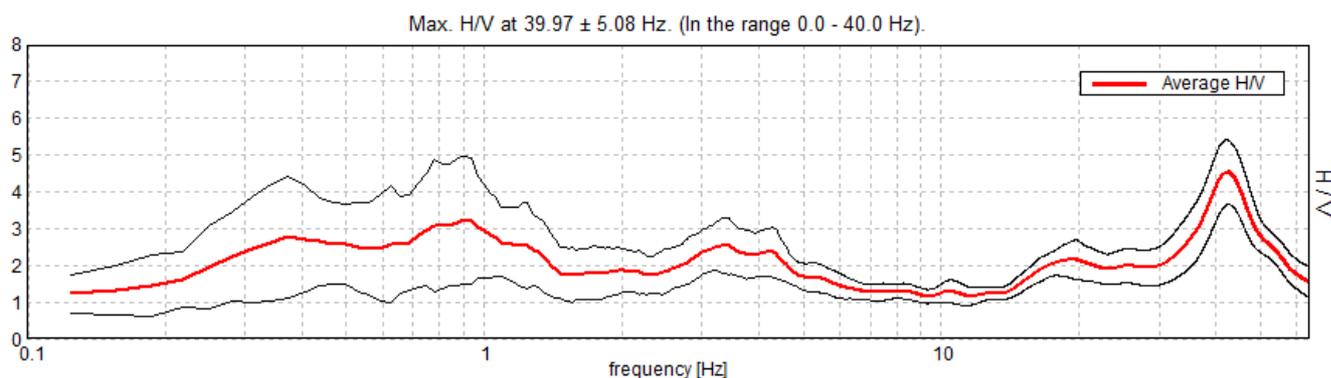
coordinate stazione - 43°37'15.38" N - 10°37'41.33" E

PONSACCO PSS1

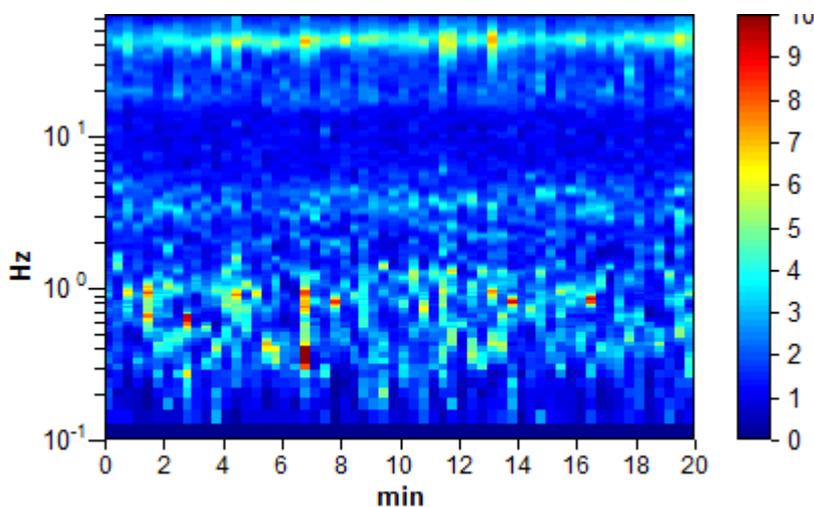
Strumento: TRZ-0158/01-11
Inizio registrazione: 08/03/17 17:09:28 Fine registrazione: 08/03/17 17:29:28
Tipo di lisciamento: Triangular window
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

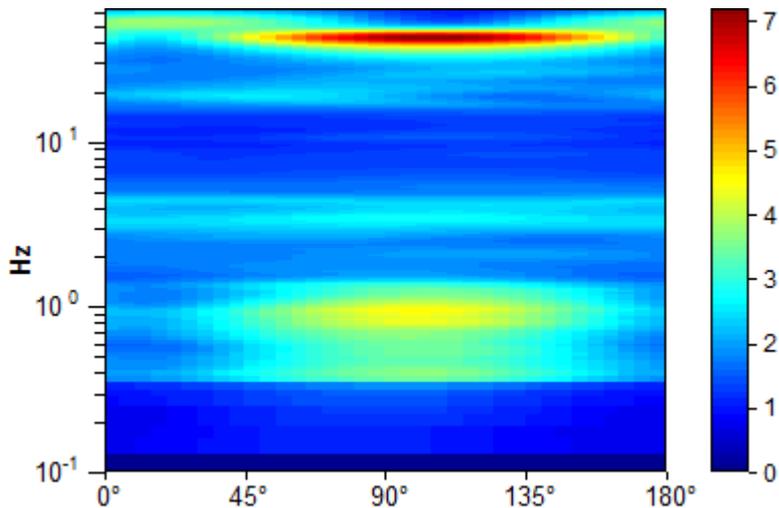
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



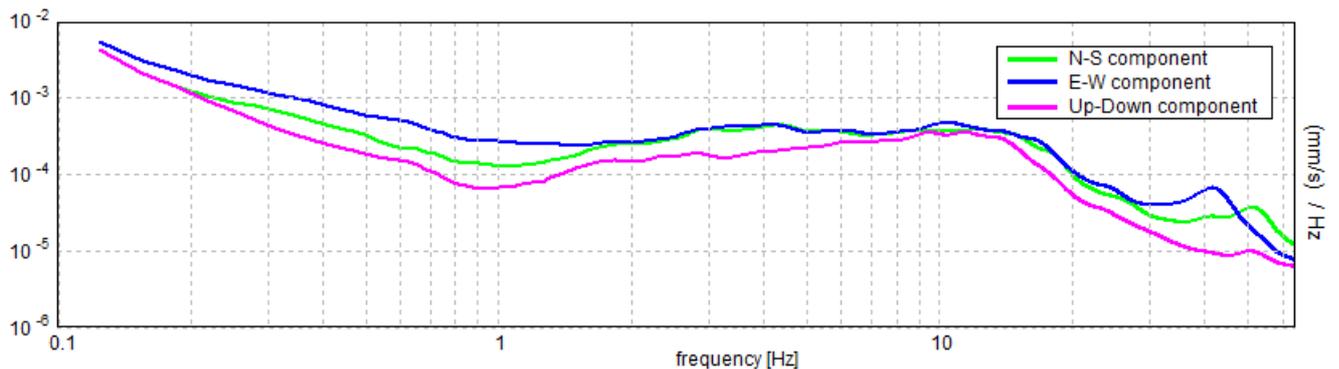
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 39.97 ± 5.08 Hz (nell'intervallo 0.0 - 40.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$: $39.97 > 0.50$ [OK]

$nc(f_0) > 200$: $47962.5 > 200$ [OK]

$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz

$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz Superato 0 volte su 1410 [OK]

.....

Esiste f_- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$: 30.906 Hz [OK]

Esiste f_+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$: 56.781 Hz [OK]

$A_0 > 2$: $4.12 > 2$ [OK]

$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$: $|0.06303| < 0.05$ [NO]

$sf < e(f_0)$: $2.5192 < 1.99844$ [NO]

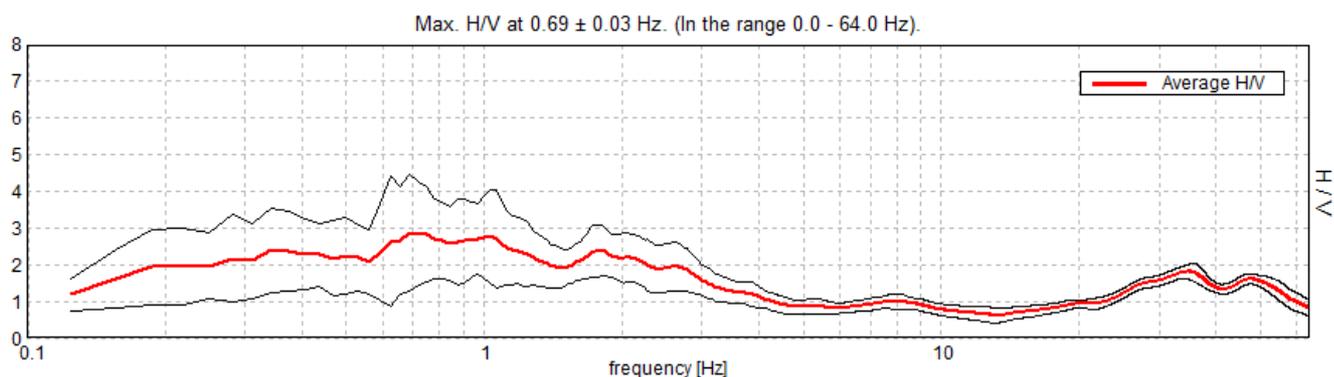
$sA(f_0) < q(f_0)$: $0.4536 < 1.58$ [OK]

PONSACCO PSS2

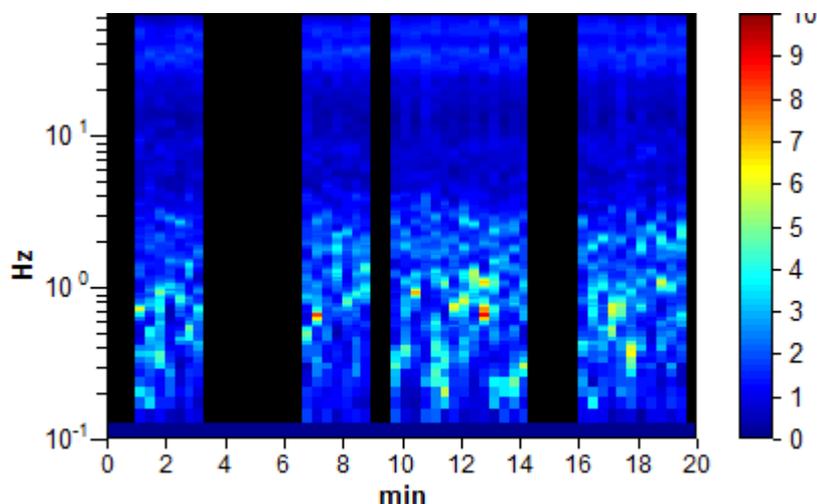
Strumento: TRZ-0158/01-11
Inizio registrazione: 08/03/17 17:41:52 Fine registrazione: 08/03/17 18:01:52
Tipo di lisciamento: Triangular window
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 65% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

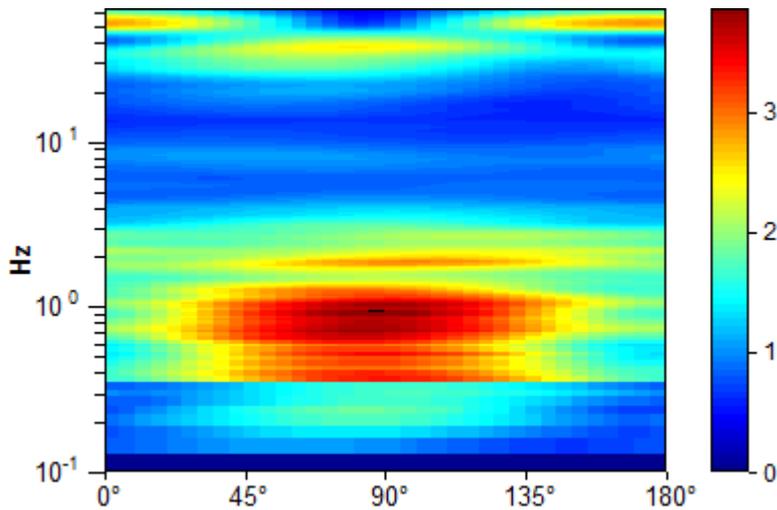
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



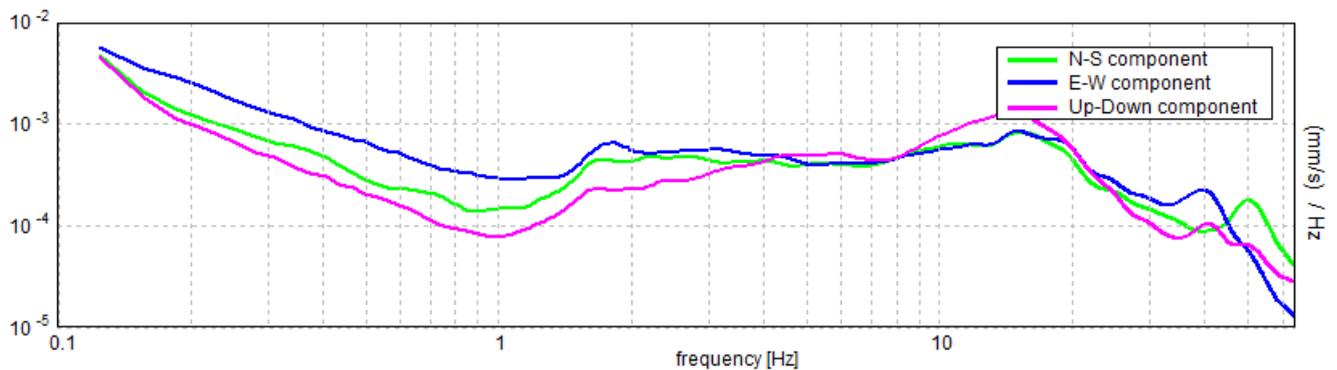
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 0.69 ± 0.03 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

$f_0 > 10 / Lw$: $0.69 > 0.50$ [OK]

$nc(f_0) > 200$: $536.3 > 200$ [OK]

$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$

$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$ Superato 0 volte su 34 [OK]

.....

-1.0 Hz [NO]

Esiste f_+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$: -1.0 Hz [NO]

$A_0 > 2$: $2.86 > 2$ [OK]

$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$: $|0.02019| < 0.05$ [OK]

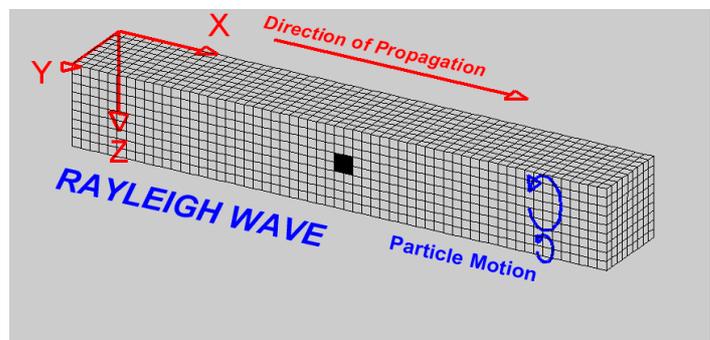
$sf < e(f_0)$: $0.01388 < 0.10313$ [OK]

$sA(f_0) < q(f_0)$: $0.7802 < 2.0$ [OK]

GENERALITÀ

L'indagine MASW viene effettuata per la caratterizzazione della velocità delle onde Sh dei terreni, per la determinazione del parametro VS_{30} , necessario al fine della classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto. L'interpretazione dei dati di campagna permette di ricavare una sequenza sismo-stratigrafica per l'area di indagine, con suddivisione in strati aventi analoghe caratteristiche delle velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali Sh.

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali.



Queste sono generate dall'interazione tra le onde di pressione (P) e le onde di taglio verticali (SV) ogni qualvolta esiste una superficie libera in un mezzo omogeneo e isotropo; possono essere viste come la sovrapposizione di due componenti separate, una longitudinale e l'altra trasversale, che si propagano lungo la superficie con la stessa velocità ma con differente attenuazione con la profondità. La propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla VP e dalla densità, è funzione innanzitutto della VS. Alla superficie libera hanno moto ellittico retrogrado (moto antiorario) che si inverte a una profondità di $\lambda/2\pi$. In presenza di un semispazio omogeneo la loro velocità non presenta dipendenza dalla frequenza: non si ha cioè la dispersione, che è la deformazione di un treno d'onde dovuta a una variazione di velocità di propagazione al variare della frequenza. Per le onde di Rayleigh questa deformazione si manifesta solo quando il terreno presenta una stratificazione. In caso di variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde a una diversa lunghezza d'onda.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere

pertanto utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo comprende tre passi successivi:

- l'acquisizione delle onde superficiali (ground roll);
- la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
- l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s .

Per ottenere un profilo V_s bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale V_s dalla curva di dispersione e vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali.

Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh vengono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (back scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane.

Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni).

Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane. Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento.

Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno.

La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza indipendentemente dalla distanza dalla sorgente.

La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione.

La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale. Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza. La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x ; y), il cui legame costituisce la curva di dispersione. E' anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma. In questo caso MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti S/N. Un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di indagine del profilo V_s di inversione.

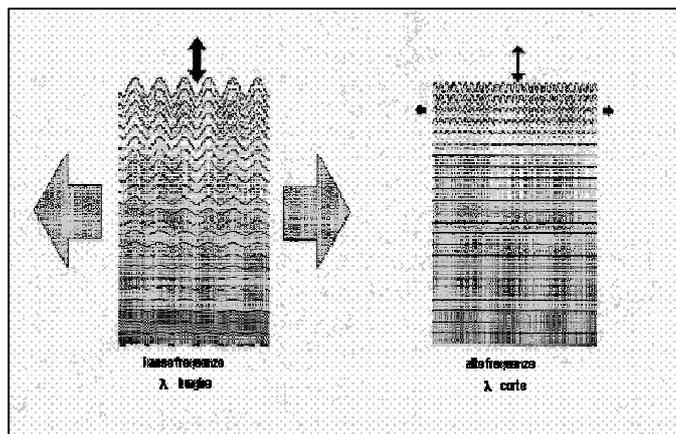
Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a

riflessione (CMP).

MASW può essere efficace con anche solo dodici canali di registrazione collegati a geofoni singoli a bassa frequenza (<10Hz).

L'illustrazione mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie.

Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale.



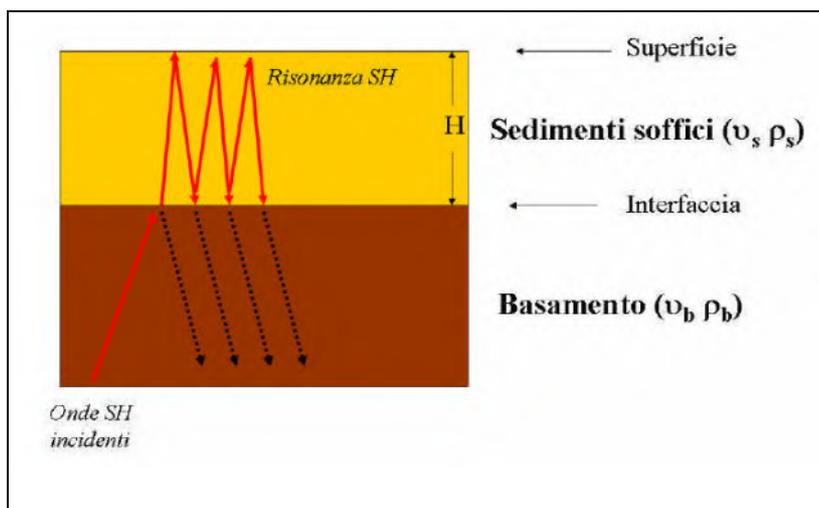
Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

* * * * *

La sismica passiva studia il microtremore sismico ambientale (rumore sismico); questa sfrutta il fatto che il "rumore", pur non recando l'informazione relativa alla sua sorgente, risulta sensibile alla locale struttura presso la stazione di misura.

La strumentazione per eseguire misure di sismica passiva

può operare in spazi ridotti, non necessita di energizzazioni e permette di indagare profondità



molto elevate. I tempi di esecuzione sono relativamente bassi.

Il rumore sismico ambientale deriva dalla composizione di molte sorgenti che agiscono in tempi diversi e in zone diverse. Nel campo del rumore sono rappresentate sia onde di volume (fronte d'onda sferico) sia onde di superficie (fronte d'onda cilindrico), ma le onde di superficie hanno carattere dominante, perché caratterizzate da minore attenuazione.

Quando fra 2 superfici esiste una variazione significativa dell'impedenza acustica si ha il fenomeno della risonanza, che deriva dall'intrappolamento di energia sismica (essenzialmente delle fasi SH) all'interno delle coperture ovvero fra la superficie e un basamento rigido qui inteso come una formazione "caratterizzata da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S significativamente maggiori di quelli relativi alle coperture localmente presenti" delle onde.

L'equazione della risonanza è la seguente:

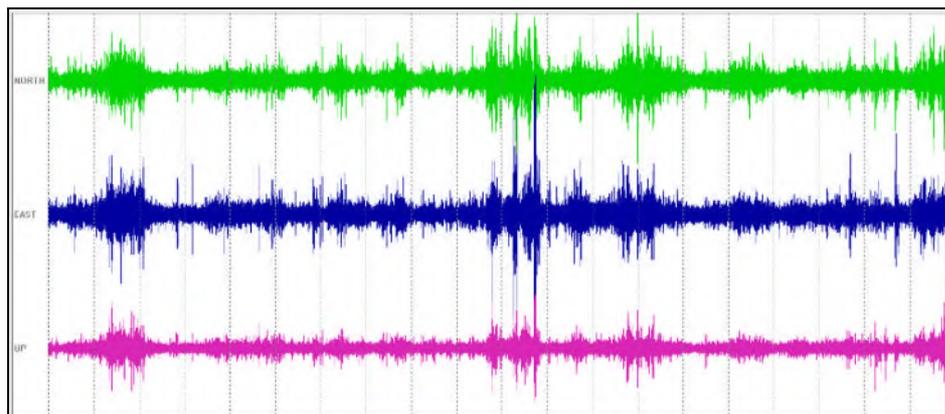
$$f = n \frac{V_s}{4H} \quad n=1,3,5,\dots$$

dove n indica l'ordine del modo di vibrare (fondamentale, primo superiore ecc.), V_s è la velocità delle onde di taglio nello strato oggetto di risonanza e H è lo spessore di detto strato.

Nella maggior parte dei casi, a causa dell'attenuazione delle coperture, il solo modo visibile è il fondamentale.

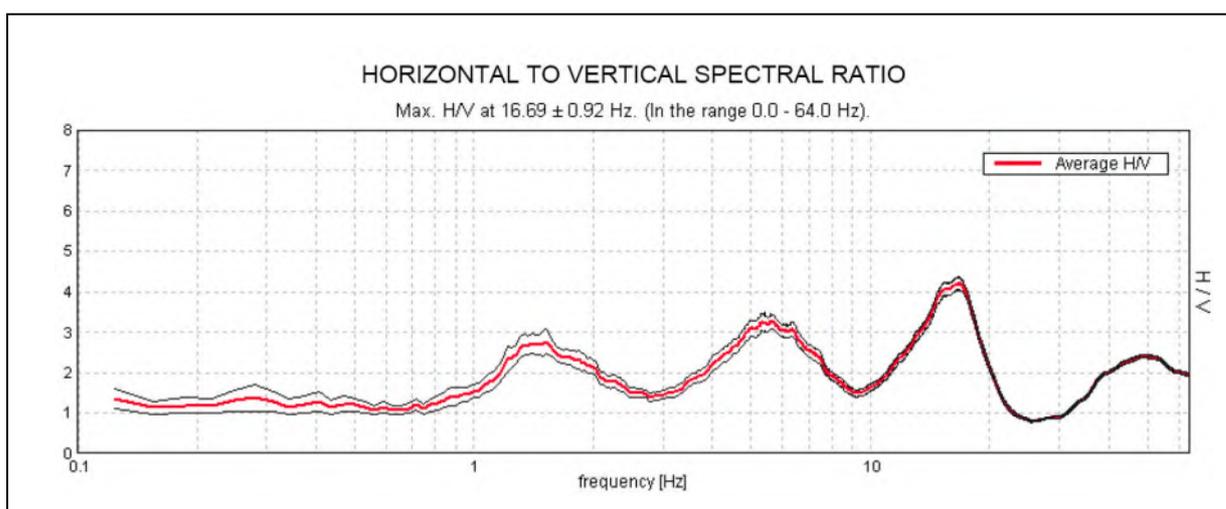
Le registrazioni in campagna vengono effettuate mediante un tromografo, che consiste in un'apparecchiatura che riunisce una terna di sensori velocimetrici orientati su tre direzioni ortogonali:

- 2 nella componente orizzontale dello spostamento (tra loro ortogonali) per misure su suoli ordinariamente corrispondenti alle direzioni NS ed EW;
- 1 nella componente verticale (up-down).



I diagrammi relativi a tali registrazioni vengono elaborati attraverso la determinazione dell'intensità del segnale in sottofinestre di determinata durata, e trasformati in spettri H/V.

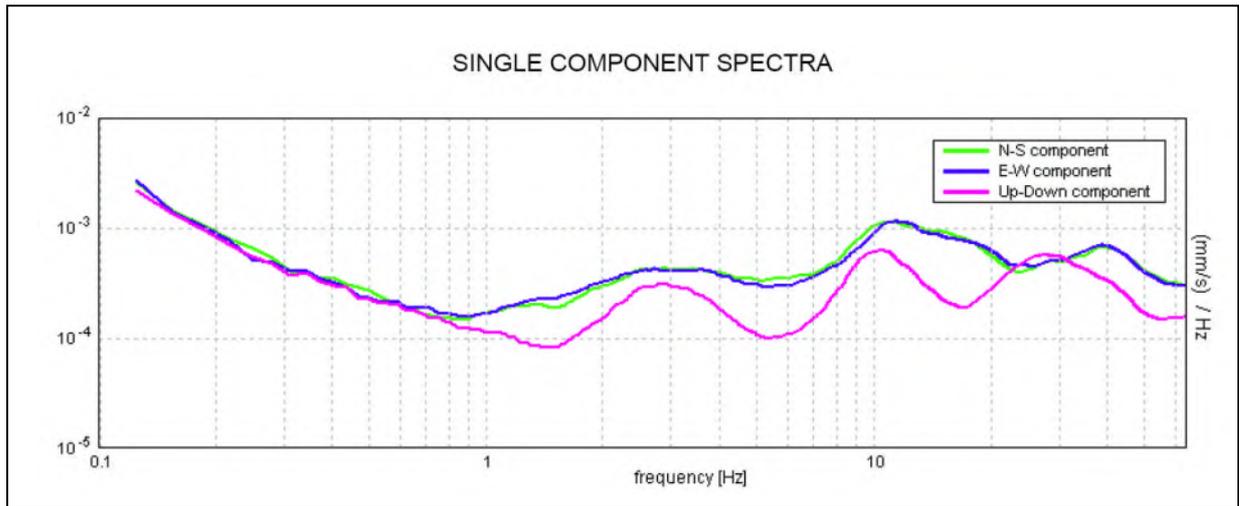
Nella pratica si utilizza il rapporto H/V perché è un buon normalizzatore e un buon estimatore delle frequenze di risonanza dei terreni; i valori assoluti degli spettri orizzontali e verticali variano infatti con il livello assoluto del rumore ambientale, mentre la forma dello spettro e in particolare il rapporto tra le ampiezze orizzontale e verticale si mantiene più stabile, e per il suo carattere stocastico mostra caratteristiche correlabili con la struttura locale del suolo. Alle frequenze caratteristiche di vibrazione dei suoli corrisponde infatti un decremento del segnale della componente verticale, che determina un picco nel rapporto spettrale rappresentato dal grafico seguente.



In un mezzo senza contrasti di impedenza (es. un ammasso roccioso sano) la curva H/V risulta teoricamente piatta e con valore medio tra 0,7 e 1,0 (in funzione del modulo μ).

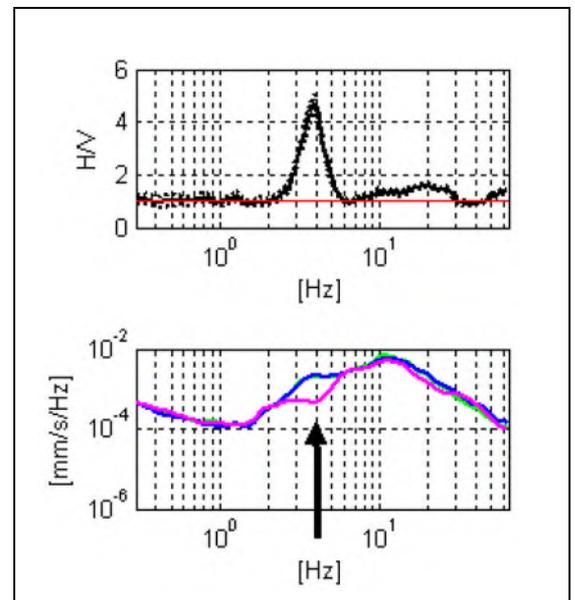
La presenza di un picco nella curva H/V può essere data da un fenomeno di risonanza, causato da una variazione di velocità delle onde sismiche nel terreno, e quindi da passaggi stratigrafici caratterizzati da un notevole contrasto tra le velocità sismiche stesse.

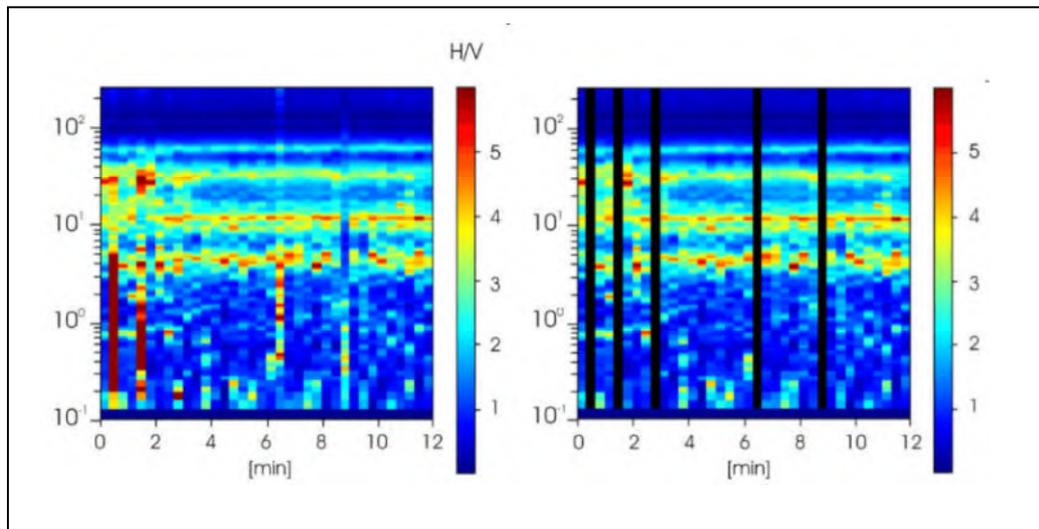
Dato che tali picchi su H/V possono essere dovuti anche ad artefatti e transienti, H/V deve essere sempre analizzato alla luce degli spettri delle singole componenti.



Un picco di natura stratigrafica (e non artefattuale) presenta un minimo locale della componente spettrale verticale, mentre picchi spettrali (di solito aguzzi) su tutte le 3 componenti del moto sono di origine antropica.

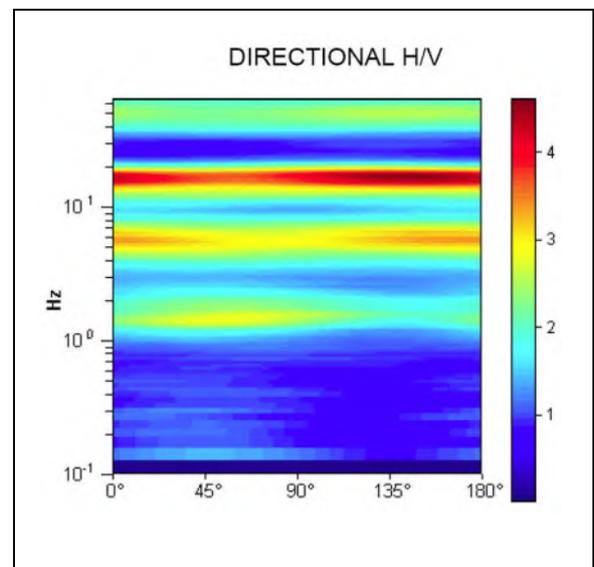
L'elaborazione degli spettri H/V comporta quindi un'analisi ragionata dei vari picchi, uno smoothing (nel nostro caso triangolare al 10%) e una valutazione sugli spettri nelle varie "finestre" di tempo in cui è stata suddivisa l'acquisizione, in modo da poter eventualmente rimuovere gli intervalli di misura caratterizzati da disturbi.





Di solito è consigliabile effettuare le correzioni nel dominio delle frequenze, e non operare nel dominio del tempo, in quanto in tale contesto non è agevole identificare quali siano artefatti e transienti.

Altro aspetto importante da considerare è la stabilità direzionale del segnale, che è un elemento a favore della valenza stratigrafica del picco analizzato.



PROSPEZIONI IN OGGETTO

Sono state eseguite 3 prospezioni di superficie MASW e 7 postazioni di acquisizione in sismica passiva.

PROSPEZIONI MASW

Per l'indagine in oggetto si è impiegata un'attrezzatura AMBROGEO "ECHO 12-24/2002 Sismic Unit", avente le seguenti caratteristiche:

- ❖ numero di canali: 24
- ❖ sampler interval: 0,296 ms

- ❖ A/D conversion: 16 bit
- ❖ input impedance: 1KOhm
- ❖ Gain: 10 dB – 100 dB (step 1 dB)
- ❖ saturation tension: +/- 2,3 V
- ❖ saturation level: 100 dB
- ❖ distorsion: 0,01%
- ❖ sampler:
 - 25 ms (191 punti)
 - 50 ms (383 punti)
 - 100 ms (1530 punti)
 - 200 ms (3060 punti)
 - 400 ms (6121 punti)
 - 1000 ms
- ❖ sampling: 130 micro/s
- ❖ filter low pass: 50/950 Hz, step 1 Hz
- ❖ digital filter low pass: 1000-50
- ❖ digital filter high pass: 0-250
- ❖ frequency response: 7-950 Hz, filter at 950 Hz
- ❖ dynamic range: 93 dB
- ❖ noise: 0,66 uV RMS, gain = 55 dB
- ❖ crosstalk: 52 dB, gain = 55 dB
- ❖ power: 12 V.

Il software di acquisizione dati è "ECHO 12-24" vers. 7.00. L'attrezzatura è completata da 2 cavi sismici a 12 takes out spazati a 2 m, con connettori cannon, montati su rullo, geofoni "Geospace" a 4,5 Hz, cannoncino per cartucce industriali, mazza di battuta da 8 Kg con interruttore starter, geofono starter, cavo trigger da 200 m montato su rullo.

Gli stendimenti impiegati per i profili MASW in oggetto hanno le seguenti caratteristiche:

- ➔ n. geofoni: 24
- ➔ spaziatura fra i geofoni: 2 m
- ➔ n. shots: sono state effettuate rilevazioni impiegando solo la

mazza battente a distanza di:

- 5 m^(*) e 8 m per MASW 1
- 5 m^(*) e 10 m per MASW 2
- 4 e 8 m^(*) per MASW 2

→ tempo di acquisizione: 1.000 ms.

^(*) acquisizione utilizzata per l'interpretazione.

INTERPRETAZIONE DEI DATI

Per l'interpretazione dei dati è stato utilizzato il software winMASW, il quale consente la determinazione di profili verticali della velocità delle onde di taglio Vs tramite l'inversione delle curve di dispersione ottenute, effettuata con algoritmi "genetici". Tale programma è in grado di operare sui records in formato SGY prodotti dalla strumentazione Ambrogeo secondo la procedura specifica descritta nel capitolo introduttivo.

Il parametro Vs30 viene calcolato utilizzando una media ponderata dei valori di velocità delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità con la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

Con i dati ottenuti si ha:

MASW	V _{s30} (m/s)
1	246
2	202
3	210

Si ricava una

categoria di suolo di fondazione "C".

A	Formazioni litoidi o suolo omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di V_{S30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessore di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} compresi tra 360m/s e 800 m/s (ovvero con $N_{SPT} > 50$, o $c_u > 250$ kPa).
C	Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{S30} compresi tra 180 m/s 360 m/s (ovvero con $15 < N_{SPT} < 50$, o $70 < c_u < 250$ kPa).
D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di $V_{S30} < 180$ m/s (ovvero con $N_{SPT} < 15$, o $c_u < 70$ kPa).
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, caratterizzati da valori di V_{S30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 m e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{S30} > 800$ m/s.
S1	Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ($PI > 40$) e contenuto d'acqua, caratterizzati da valori di $V_{S30} < 100$ m/s (ovvero con $10 < c_u < 20$ kPa).
S2	Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi presedenti.

SISMICA PASSIVA

La prospezione è stata eseguita mediante l'utilizzo di uno strumento TROMINO® della Micromed Geophysics, espressamente progettato per misure di microtremore.

TROMINO® è uno strumento efficiente per la misura del rumore sismico; presenta ridotte dimensioni e peso, e bassissimo consumo di energia. L'alta risoluzione dell'elettronica digitale impiegata consente di ottimizzare la misura del microtremore nell'intervallo di frequenze compreso fra 0.1 e 200 Hz; i sensori sono costituiti da una terna di velocimetri smorzati criticamente che trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore a dinamica non inferiore a 23 bit. Le caratteristiche progettuali consentono una accuratezza relativa maggiore di 10^{-4} sulle componenti spettrali al di sopra di 0.1 Hz.



L'assenza di cavi esterni consente inoltre di lasciare virtualmente imperturbato il campo d'onda presente nell'ambiente.

Lo strumento dispone di tre canali analogici connessi a tre velocimetri elettrodinamici ad alta risoluzione disposti secondo tre direzioni ortogonali. Il moto del terreno viene amplificato, convertito in forma digitale, organizzato e salvato su una memoria digitale di tipo Flash.

I dati registrati da TROMINO® possono essere scaricati, organizzati, archiviati, visualizzati e analizzati tramite il programma Grilla fornito assieme allo strumento. Esso include inoltre procedure per l'analisi spettrale di base e per l'analisi HVSR anche secondo le direttive fornite dal progetto di ricerca europeo SESAME.

CRITERI DI ANALISI DELLE MISURE

I dati di campagna sono stati in primo luogo trattati con una procedura di analisi o trattamento consistente in:

- ❖ lisciatura triangolare all'8%
- ❖ analisi temporale dell'intero spettro (0-64 Hz) in sottofinestre di 20 s
- ❖ analisi direzionale con step di 5°

Successivamente, analizzati i dati ottenuti, si è deciso di mantenere una lisciatura triangolare all'8%, effettuando quindi una "pulizia" tramite eliminazione delle sottofinestre temporali contenenti sollecitazioni transienti, con nuova analisi sulle sole finestre selezionate, fino al raggiungimento di un risultato il più possibile chiaro.

CRITERI DI CLASSIFICAZIONE DELLE MISURE

Le singole misure sono soggette alle valutazioni sulla "robustezza" statistica del dato

secondo i criteri del protocollo SESAME, automaticamente inserito nei singoli report, secondo quanto accennato al paragrafo precedente.

Nell'interpretare la tabella SESAME di significatività dei picchi H/V bisogna considerare che ogni sito può generare più di una risonanza, e che non esiste una risonanza fondamentale in assoluto.

In effetti è stato scelto il picco da analizzare in base al suo significato in relazione agli scopi del lavoro in oggetto.

- I primi 3 criteri della tabella dicono se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco considerata. E' opportuno che questi 3 criteri siano tutti soddisfatti. Se così non fosse, tipicamente è necessario rianalizzare la registrazione aumentando il parametro WINDOW SIZE.
- I secondi 6 criteri della tabella dicono se il picco è significativo da un punto di vista statistico. E' bene che ne siano soddisfatti il maggior numero possibile (preferibilmente almeno 5 su 6) ma si ricordi che eventuali NO su tutte le righe non implicano necessariamente che la registrazione è stata effettuata male ma implicano che non ci sono picchi significativi. Ad esempio una registrazione su roccia "sana" darebbe NO su tutti questi criteri.

Un'ulteriore classificazione dei risultati può essere effettuata tenendo conto dei criteri adottati nello studio di "Microzonazione Sismica per la ricostruzione dell'area Aquilana" a cura del Dipartimento della Protezione Civile, e finalizzati a una valutazione più generale, e più restrittiva, della qualità del dato acquisito, secondo i seguenti parametri:

- stazionarietà del segnale nel campo dello sviluppo temporale dello spettro
- isotropia del segnale nel campo dello sviluppo direzionale dello spettro
- presenza di rumore elettromagnetico, con particolare riferimento al campo di frequenza di eventuali picchi
- plausibilità fisica del picco
- robustezza statistica del picco (comprensiva dei primi 3 criteri SESAME)
- durata della misura.

Le misure sono classificabili:

- in CLASSE A di qualità quando soddisfano tutti i criteri, fatta eccezione per gli spettri

piatti che ovviamente disattendono i criteri SESAME per assenza di picchi significativi;

- o in CLASSE B quando ne disattendono almeno uno ma mantengono buona leggibilità;
- o in CLASSE C quando contengono elementi di disturbo invalidanti ai fini della corretta interpretazione.

Nel primo caso le misure sono utilizzabili anche da sole, nel secondo caso sono utilizzabili con cautela e unitamente ad altre misure effettuate nell'ambito della lunghezza d'onda di interesse, nel terzo caso vanno scartate. Limitatamente ai primi due casi sono poi definite le sottoclassi 1 e 2 in base alla presenza o meno di un picco chiaro.

OSSERVAZIONE SUI RISULTATI

In allegato sono riportati i grafici H/V relativi alle 7 stazioni di misura; i grafici stessi presentano una certa analogia, in quanto sono presenti 2 picchi H/V, non particolarmente netti né di forte entità. I grafici H/V di T2, T4, T5, T6, T7 evidenziano, come già accennato, forti picchi ad alte frequenze che non hanno significato stratigrafico ai fini della presente indagine, ma si riferiscono allo strato immediatamente superficiale di terreno.

Un picco a più basse frequenze è presente in T1, T2, T3, T4 fra 0,43 e 0,48 Hz, e in T5, T6, T7 a 0,38 Hz.

Un altro picco a frequenze sensibilmente maggiori è presente in T1, T2, T3, T7 fra 1,66 e 1,9 Hz, e in T4, T5, T6 fra 1,1 e 1,35 Hz.

Di questi picchi, tutti aventi significato stratigrafico, presentano un rapporto H/V superiore a 3 solo i seguenti:

- - T4: 1,16 Hz, H/V = 3.3
- - T5: 0,38 Hz, H/V = 3.4 - 1,1 Hz, H/V = 3.1
- - T6: 0,38 Hz, H/V = 3.0
- - T7: 0,38 Hz, H/V = 3.2

Nella seguente scheda riassuntiva sono riassunti i risultati delle varie analisi, relativamente al picco H/V più significativo; per i dettagli si hanno i report relativi alle singole acquisizioni.

località	sigla	durata	% analisi	picco basse f.	H/V	staz	stabil. direz.	classe	sotto-classe
PONSACCO	1	20'	95	1.88	2.4			A	2
PONSACCO	2	20'	100	1.66	2.6	X	X	A	2
PONSACCO	3	20'	95	0.44	2.4		X	B	2
PONSACCO	4	20'	93	1.16	3.3	X	X	A	1
PONSACCO	5	20'	100	0.38	3.4	X	X	B	1
PONSACCO	6	20'	92	0.38	3.0	X	X	B	1
PONSACCO	7	20'	92	0.38	3.2	X	X	B	1

SCHEDA RIASSUNTIVA RISULTATI ALLE STAZIONI DI MISURA

ALLEGATI :

- ❖ Monografie postazioni
- ❖ INDAGINI SISMICHE DI SUPERFICIE MASW: risultati elaborazione
- ❖ SISMICA PASSIVA: risultati elaborazione

Livorno, Luglio 2017

INDAGINE HVSR/MASW - COMUNE DI PONSACCO (PI)
LOCALITÀ VAL DI CAVA - VIA U. TERRACINI - POSTAZIONE n.1



documentazione fotografica



ubicazione scala 1:1.000

orientazione > N

contesto globale : pianura alluvionale

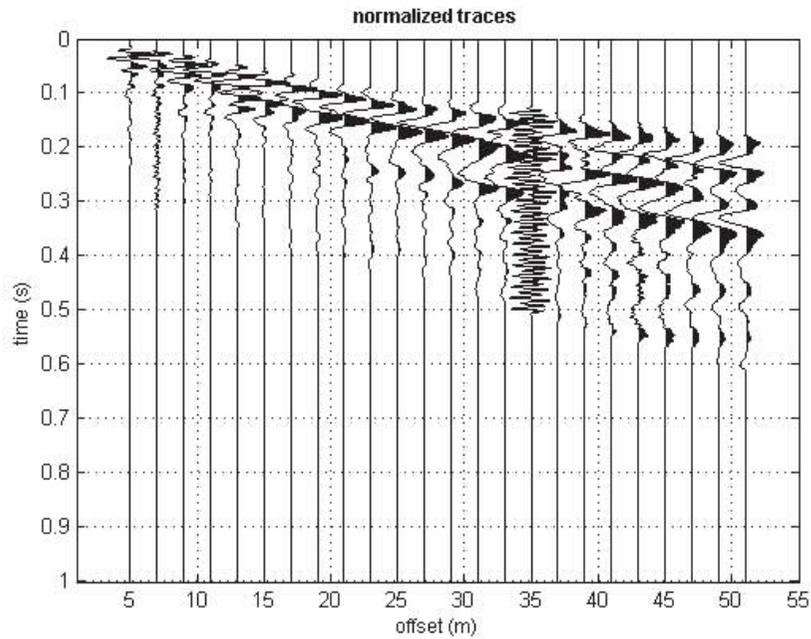
contesto locale: prato - erba bassa

condizioni atmosferiche: sereno

coordinate stazione - 43°38'35.62" N - 10°38'36.54" E

#1: data uploading & processing

dataset: 5-select.sgy
 sampling: 0.131 ms [7633.5878Hz] - 7651 samples
 minimum offset: 5 m
 geophone spacing: 2 m



resampling

0.5

data selection

60

filtering & spectra

refr. & refl.

refr./refl. 0.2

other tools & setting

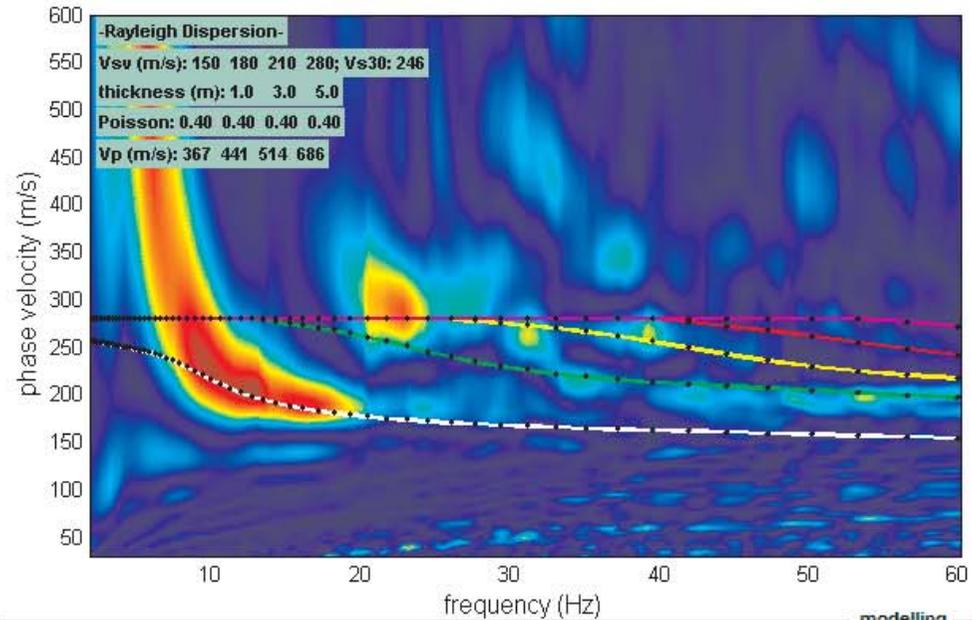
1.0021 time to visualize

#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum

f-k

handling the spectra



general setting

Rayleigh 5
 Reference Refract...
 H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

Vs	Qs	Poisson	thickness
150	10	0.4	1
180	16	0.4	3
210	19	0.4	5
280	24	0.4	0
0	28	0.35	0
0	31	0.35	0
0	38	0.35	0
0	50	0.3	0
0	100	0.2	0
0	238	0.15	0
0	0	0.15	

effective

modelling

synthetics

ZVF
 shows ...
 show mo...
 just over...

visualize curves

picking

dispersion curves

to select the last point of the considered mode

inversion

INDAGINE HVSR PONSACCO 2017 TROMO 1

Strumento: TRZ-0158/01-11

Inizio registrazione: 27/06/17 09:32:01 Fine registrazione: 27/06/17 09:52:01

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 95% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

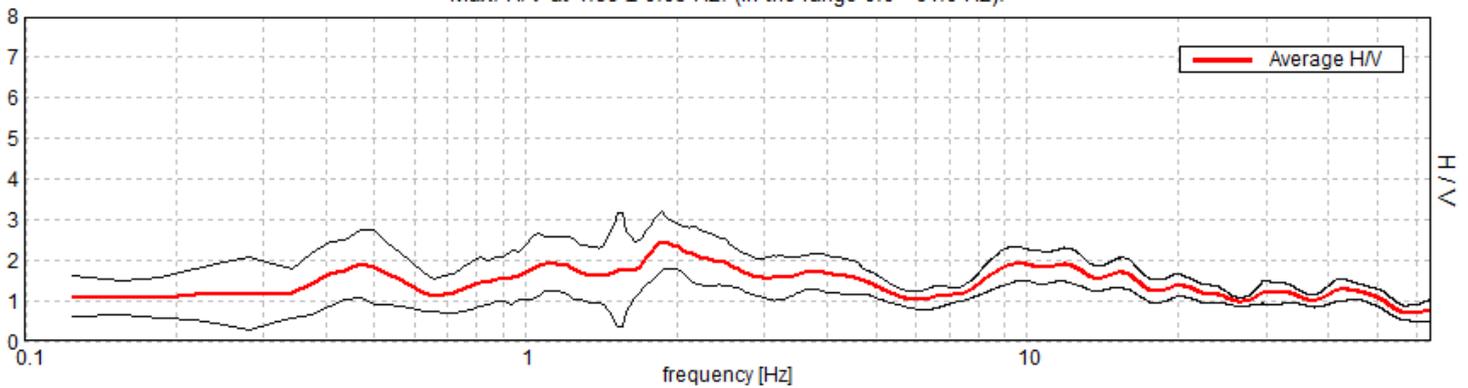
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

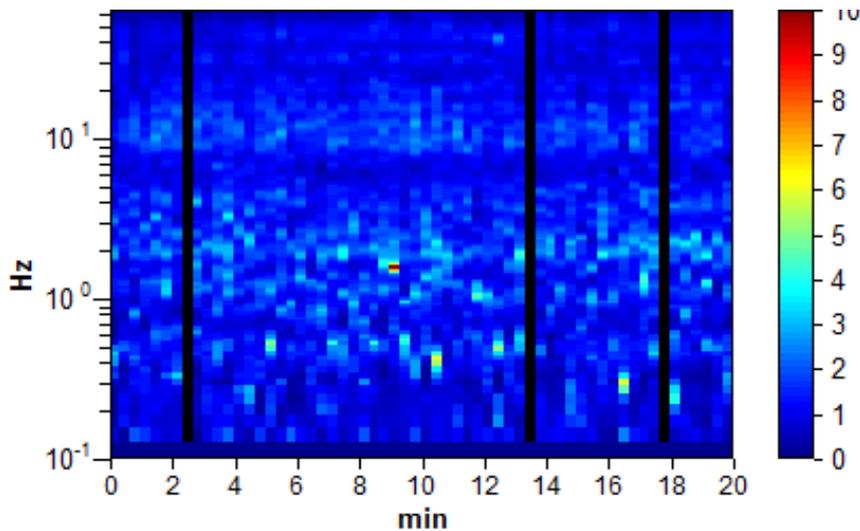
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

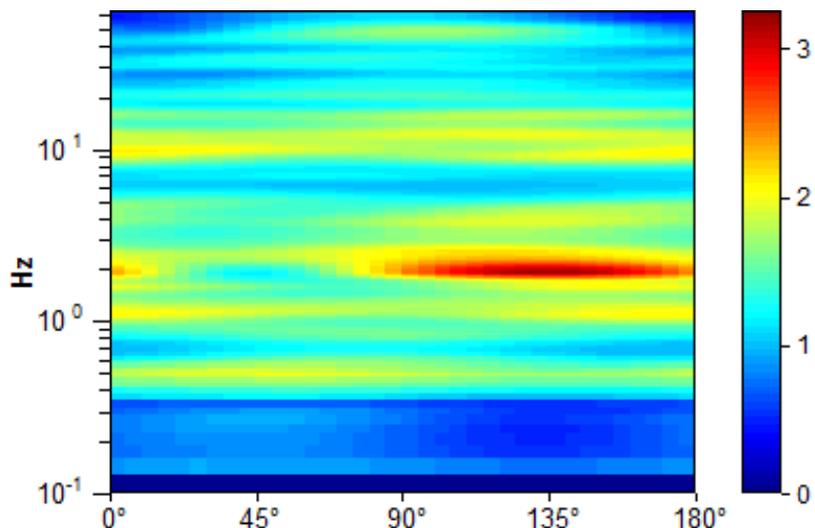
Max. H/V at 1.88 ± 0.05 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



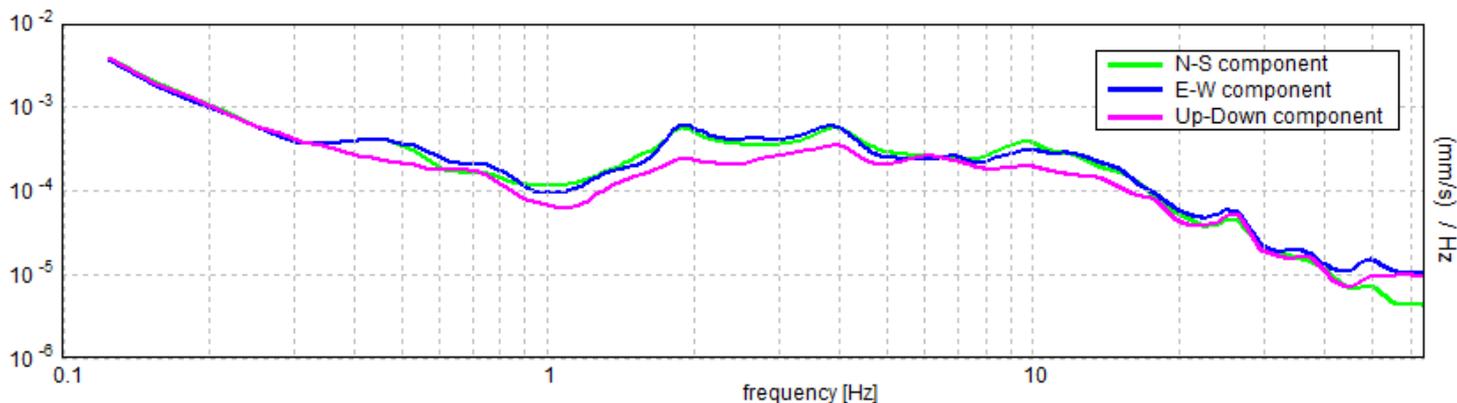
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 1.88 ± 0.05 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$: $1.88 > 0.50$ [OK]

$nc(f_0) > 200$: $2137.5 > 200$ [OK]

$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz

$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz Superato 0 volte su 91 [OK]

.....

Esiste f_- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$: 0.719 Hz [OK]

Esiste f_+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$: 5.25 Hz [OK]

$A_0 > 2$: $2.47 > 2$ [OK]

$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$: $|0.01316| < 0.05$ [OK]

$sf < e(f_0)$: $0.02468 < 0.1875$ [OK]

$sA(f_0) < q(f_0)$: $0.3598 < 1.78$ [OK]

INDAGINE HVSR - COMUNE DI PONSACCO (PI)
LOCALITA' VAL DI CAVA - VIA DELLE COLLINE PER LEGOLI - POSTAZIONE n.2



documentazione fotografica



ubicazione scala 1:1.000

orientazione > N

contesto globale : pianura alluvionale

contesto locale: prato - erba bassa

condizioni atmosferiche: sereno

coordinate stazione - 43°38'28.23" N - 10°38'57.32" E

INDAGINE HVSR PONSACCO 2017 - TROMO2

Strumento: TRZ-0158/01-11

Inizio registrazione: 27/06/17 10:06:56 Fine registrazione: 27/06/17 10:26:56

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.

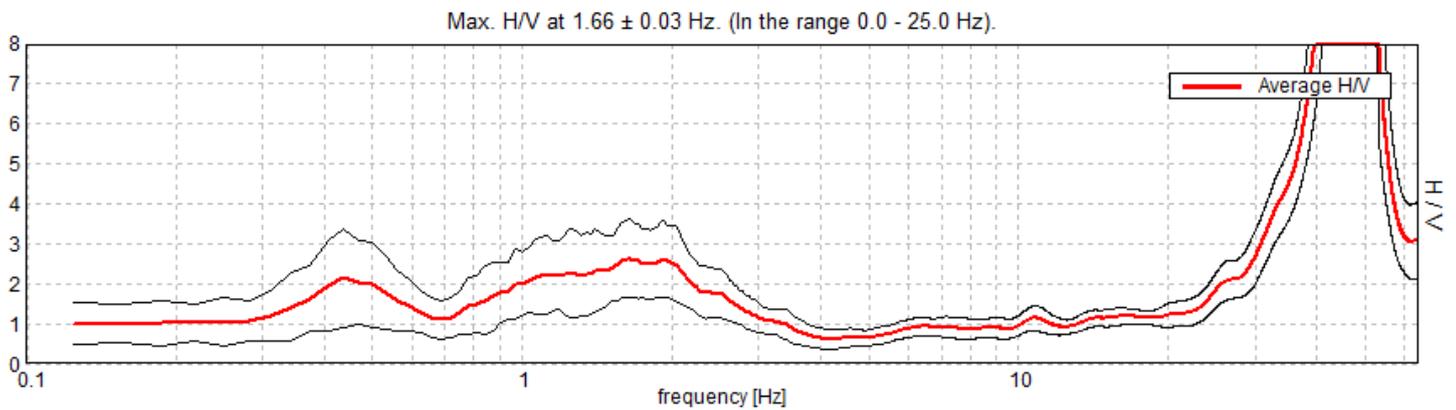
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

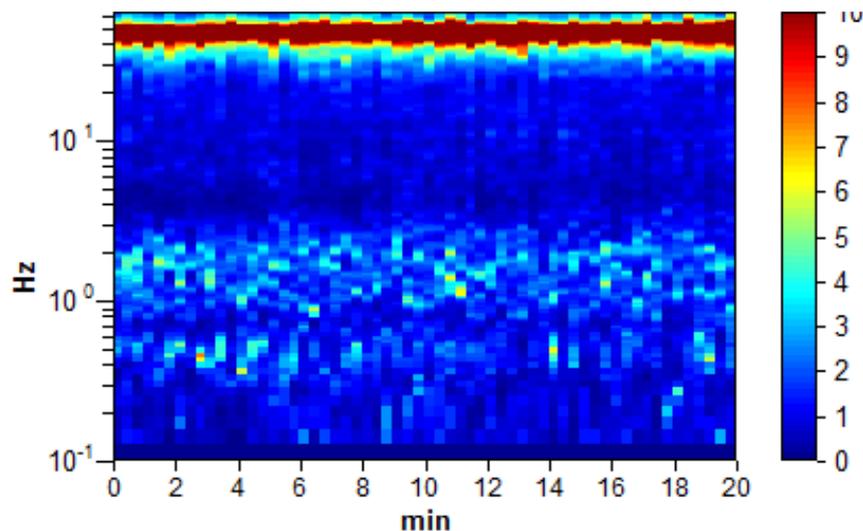
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 8%

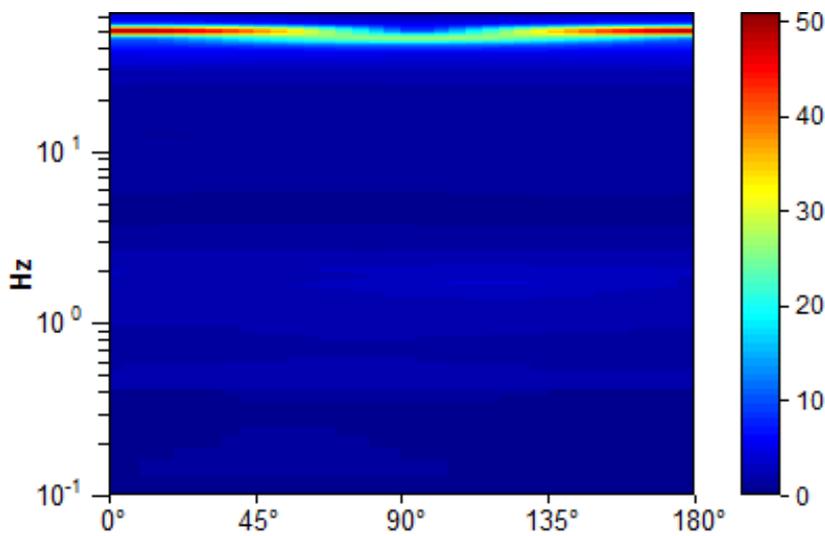
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



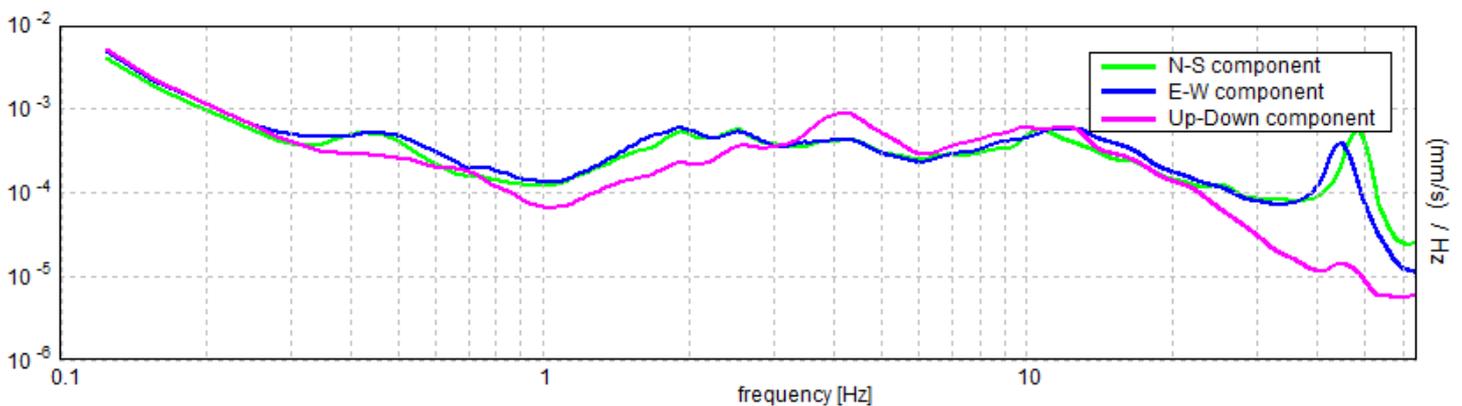
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 1.66 ± 0.03 Hz (nell'intervallo 0.0 - 25.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$: $1.66 > 0.50$ [OK]

$nc(f_0) > 200$: $1987.5 > 200$ [OK]

$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz

$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz Superato 0 volte su 80 [OK]

.....

Esiste f_- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$: 0.75 Hz [OK]

Esiste f_+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$: 2.844 Hz [OK]

$A_0 > 2$: $2.63 > 2$ [OK]

$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$: $|0.00779| < 0.05$ [OK]

$sf < e(f_0)$: $0.01291 < 0.16563$ [OK]

$sA(f_0) < q(f_0)$: $0.4854 < 1.78$ [OK]

INDAGINE HVSR - COMUNE DI PONSACCO (PI)
LOCALITÀ VAL DI CAVA - VIA C. PAVESE - POSTAZIONE n.3



documentazione fotografica



ubicazione scala 1:1.000

orientazione > N

contesto globale : pianura alluvionale

contesto locale: prato - erba bassa

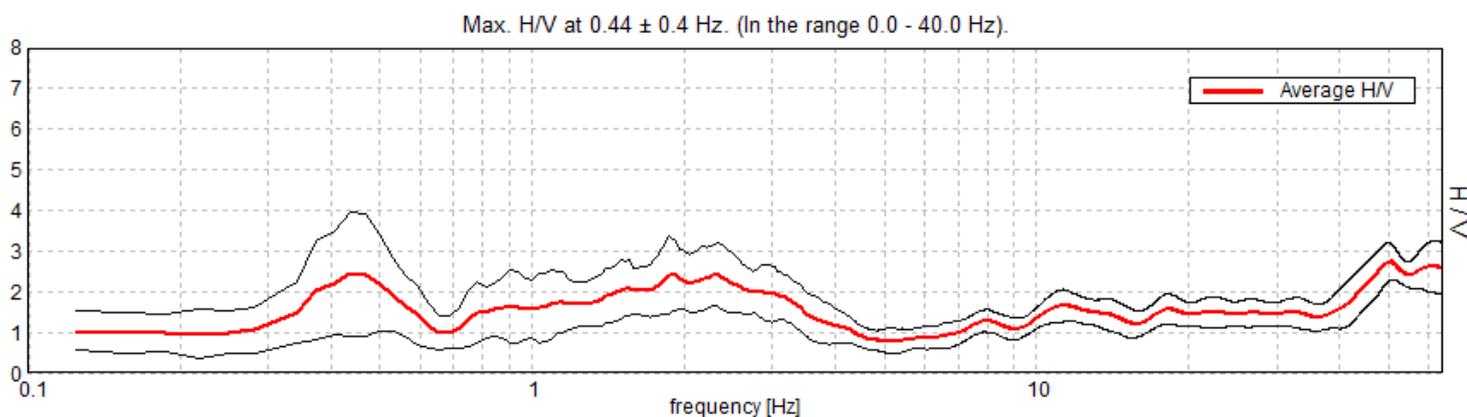
condizioni atmosferiche: sereno

coordinate stazione - 43°38'11.16" N - 10°39'05.85" E

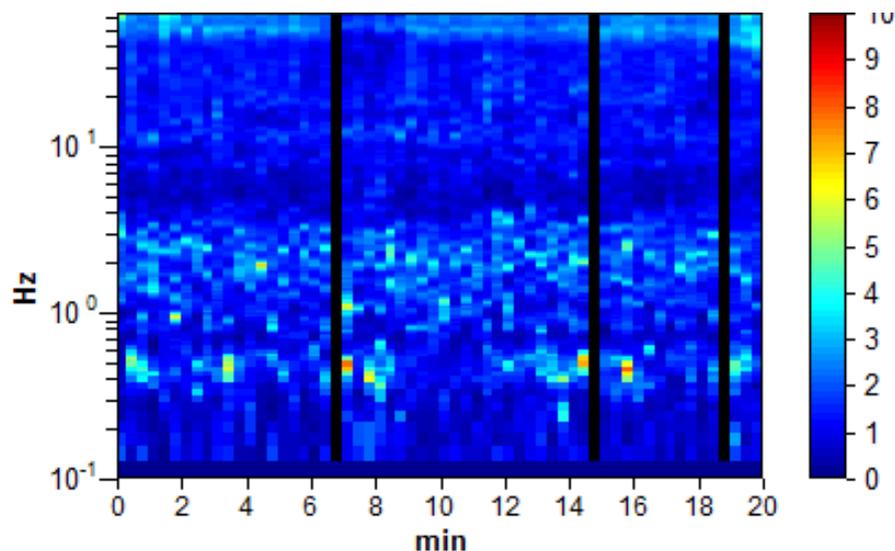
INDAGINE HVSR PONSACCO 2017-TROMO3

Strumento: TRZ-0158/01-11
Inizio registrazione: 27/06/17 10:47:49 Fine registrazione: 27/06/17 11:07:49
Tipo di lisciamento: Triangular window
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Dato GPS non disponibile
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 95% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 8%

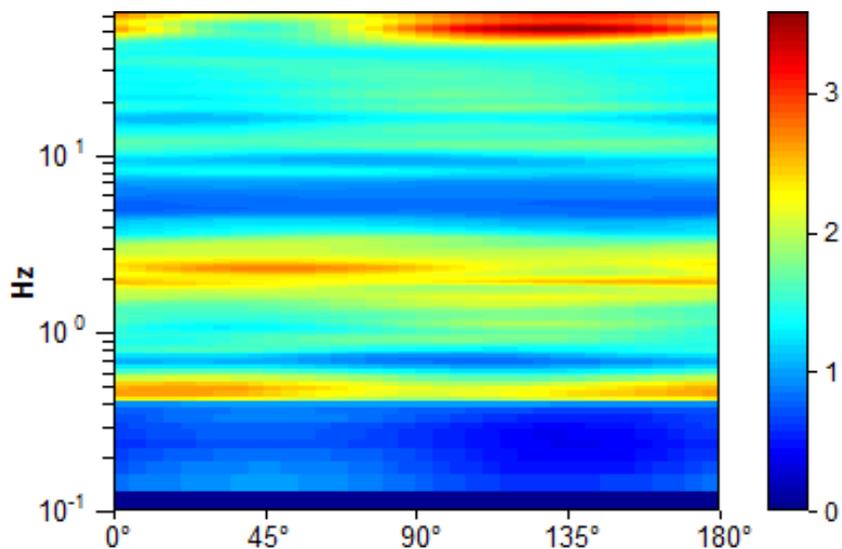
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



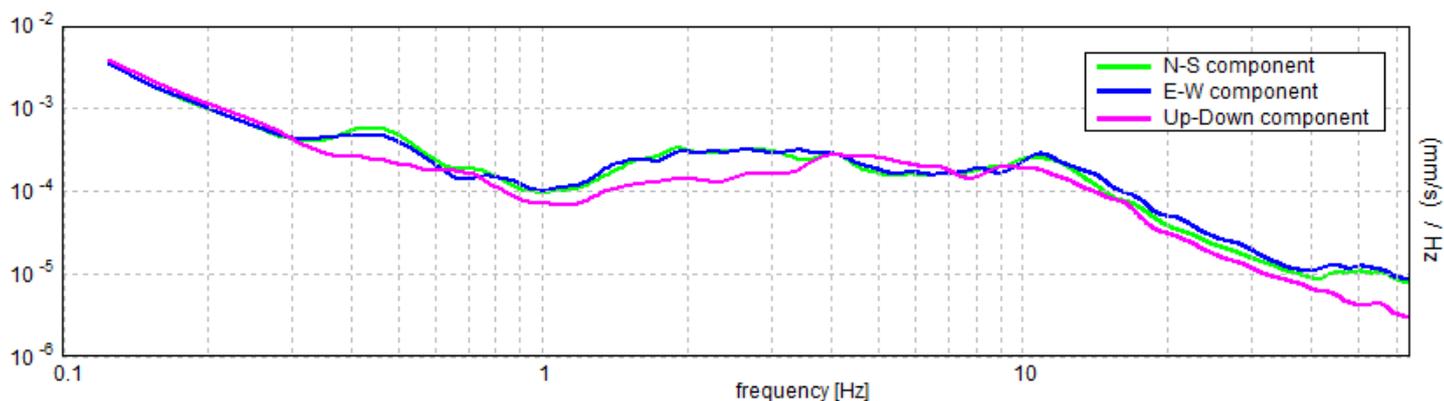
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 0.44 ± 0.4 Hz (nell'intervallo 0.0 - 40.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$: $0.44 > 0.50$ [NO]

$nc(f_0) > 200$: $498.8 > 200$ [OK]

$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz

$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz Superato 0 volte su 22 [OK]

.....

Esiste f_- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$: 0.281 Hz [OK]

Esiste f_+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$: 0.625 Hz [OK]

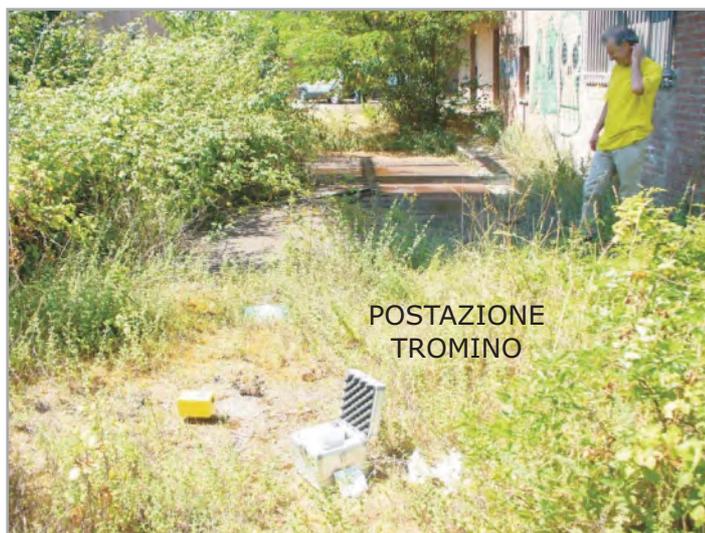
$A_0 > 2$: $2.43 > 2$ [OK]

$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$: $|0.44876| < 0.05$ [NO]

$sf < e(f_0)$: $0.19633 < 0.0875$ [NO]

$sA(f_0) < q(f_0)$: $0.7535 < 2.5$ [OK]

INDAGINE HVSR/MASW - COMUNE DI PONSACCO (PI)
LOCALITÀ FORNACE - VIA VECCHIA DI PONTEDERA - POSTAZIONE n.4



documentazione fotografica



ubicazione scala 1:1.000

orientazione > N

contesto globale : pianura alluvionale

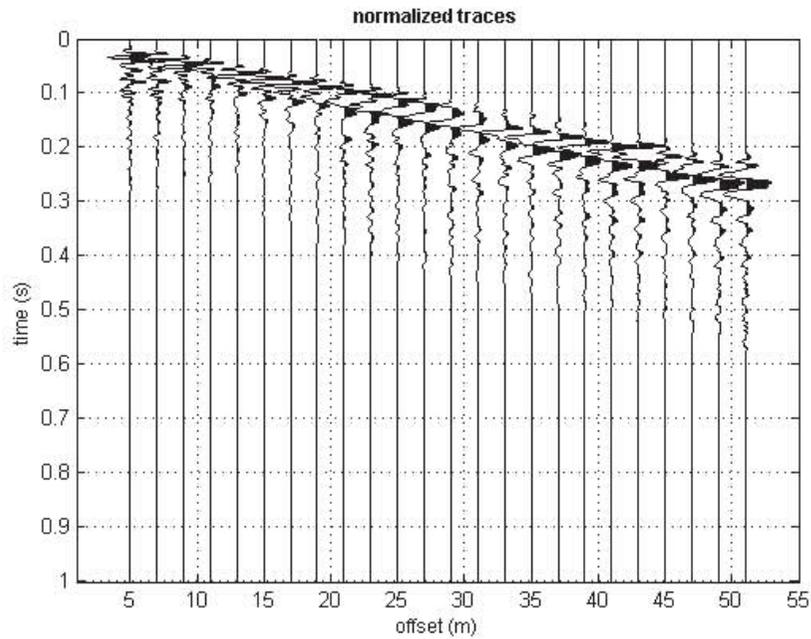
contesto locale: prato - erba alta

condizioni atmosferiche: sereno

coordinate stazione - 43°37'49.70" N - 10°38'05.84" E

#1: data uploading & processing

dataset: 5-select.sgy
 sampling: 0.131ms [7633.5878Hz] - 7651 samples
 minimum offset: 5 m
 geophone spacing: 2 m



resampling

0.5

data selection

60

filtering & spectra

refr. & refl.

refr./refl. 0.2

other tools & setting

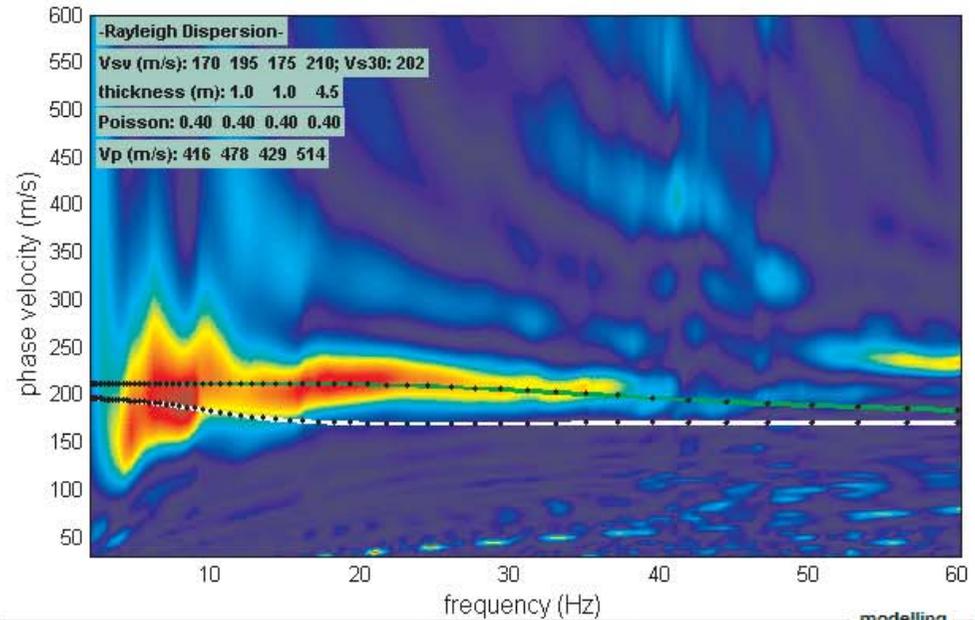
1.0021 time to visualize

#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum

f-k

handling the spectra



general setting

Rayleigh 2
 Reference Refract...
 H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

Vs	Qs	Poisson	thickness
170	10	0.4	1
195	16	0.4	1
175	19	0.4	4.5
210	24	0.4	0
0	28	0.35	0
0	31	0.35	0
0	38	0.35	0
0	50	0.3	0
0	100	0.2	0
0	238	0.15	0
0	0	0.15	

effective

modelling

synthetics

ZVF
 shows ...
 show mo...
 just over...

visualize curves

picking

dispersion curves

to select the last
 point of the
 considered mode

inversion

INDAGINE HVSR PONSACCO 2017 – TROMO 4

Strumento: TRZ-0158/01-11

Inizio registrazione: 27/06/17 11:37:02 Fine registrazione: 27/06/17 11:57:02

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 93% tracciato (selezione manuale)

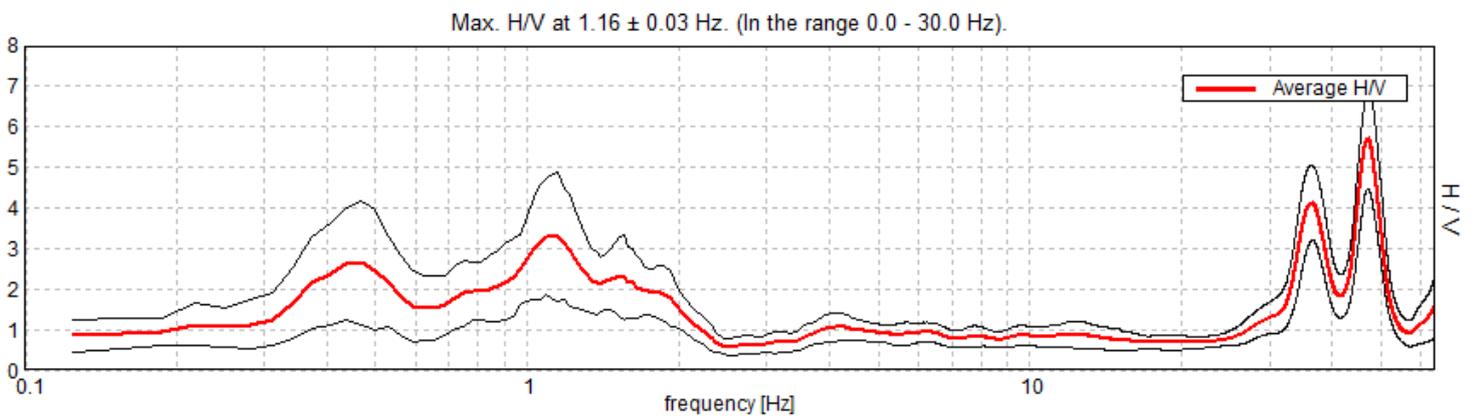
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

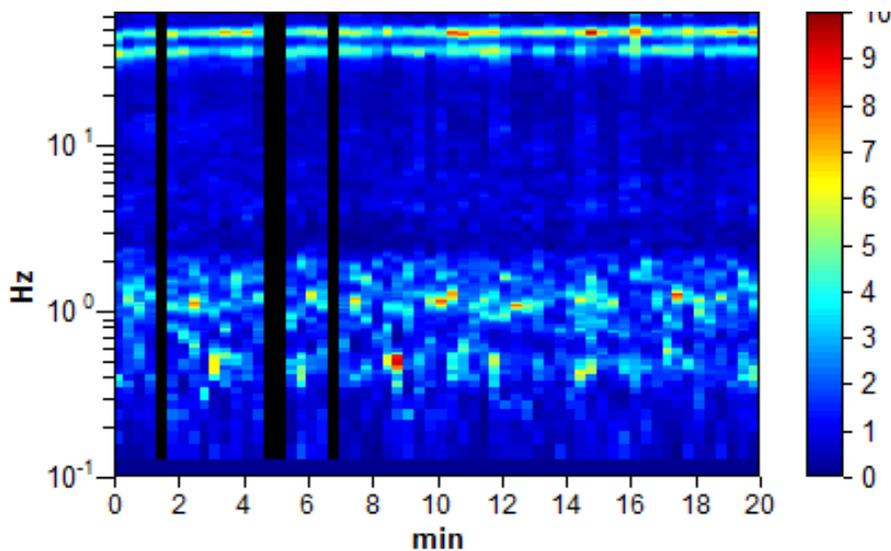
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 8%

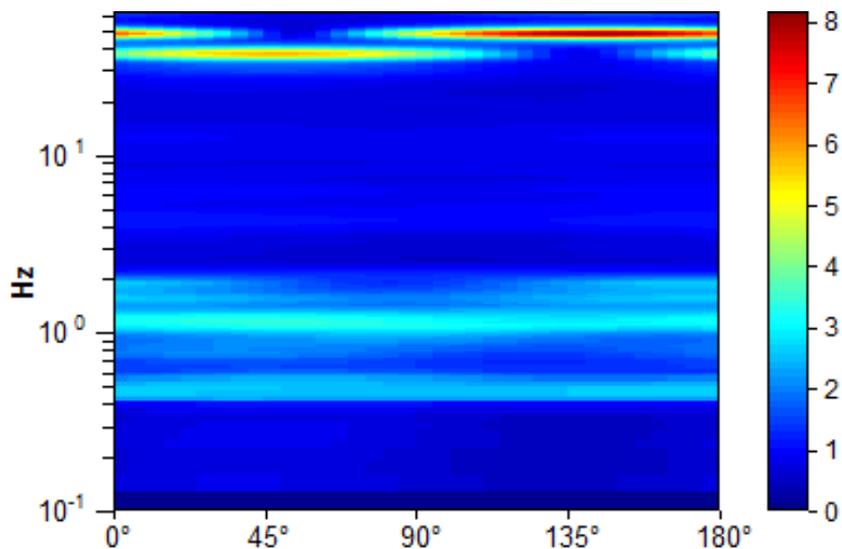
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



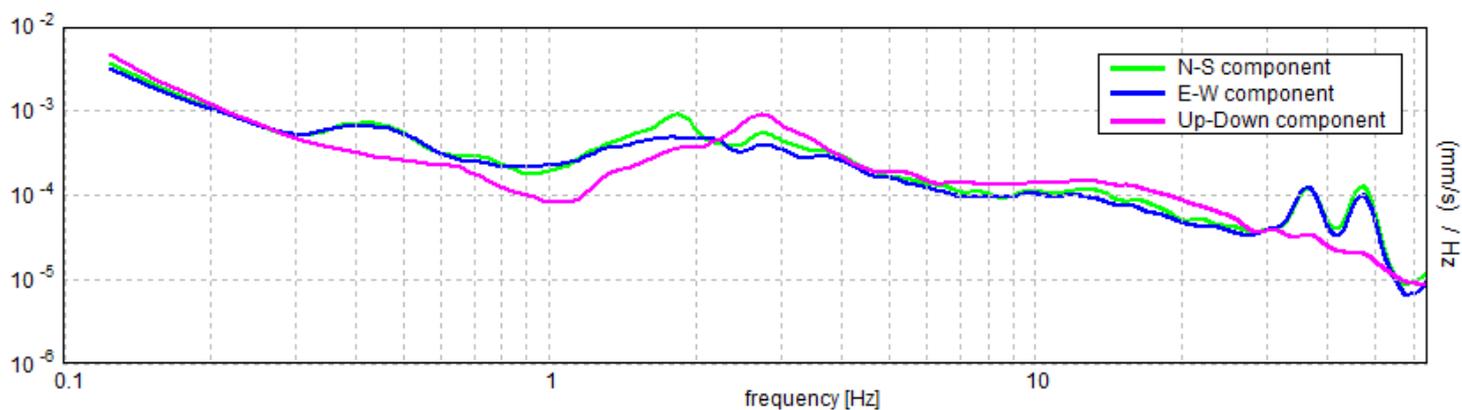
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 1.16 ± 0.03 Hz (nell'intervallo 0.0 - 30.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$: $1.16 > 0.50$ [OK]

$nc(f_0) > 200$: $1295.0 > 200$ [OK]

$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz

$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz Superato 0 volte su 56 [OK]

.....

Esiste f_- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$: 0.688 Hz [OK]

Esiste f_+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$: 2.0 Hz [OK]

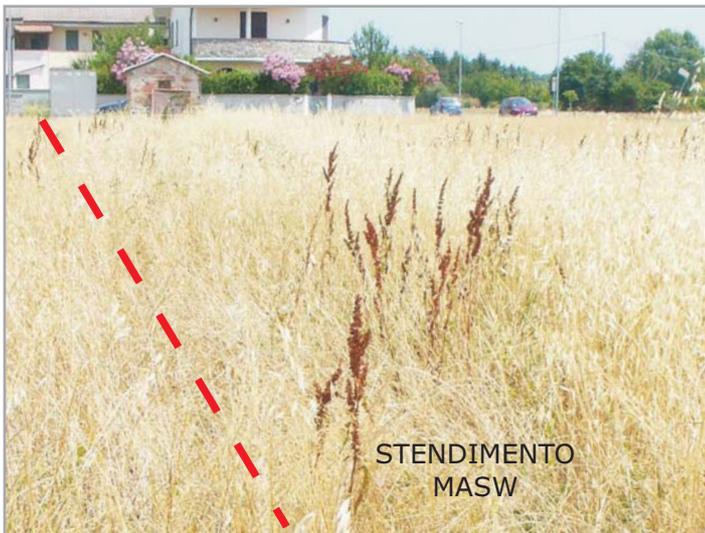
$A_0 > 2$: $3.29 > 2$ [OK]

$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$: $|0.01404| < 0.05$ [OK]

$sf < e(f_0)$: $0.01623 < 0.11563$ [OK]

$sA(f_0) < q(f_0)$: $0.7923 < 1.78$ [OK]

INDAGINE HVSR/MASW - COMUNE DI PONSACCO (PI)
PONSACCO - VIA MANDRIOLA - POSTAZIONE n.5



documentazione fotografica



ubicazione scala 1:1.000

orientazione > N

contesto globale : pianura alluvionale

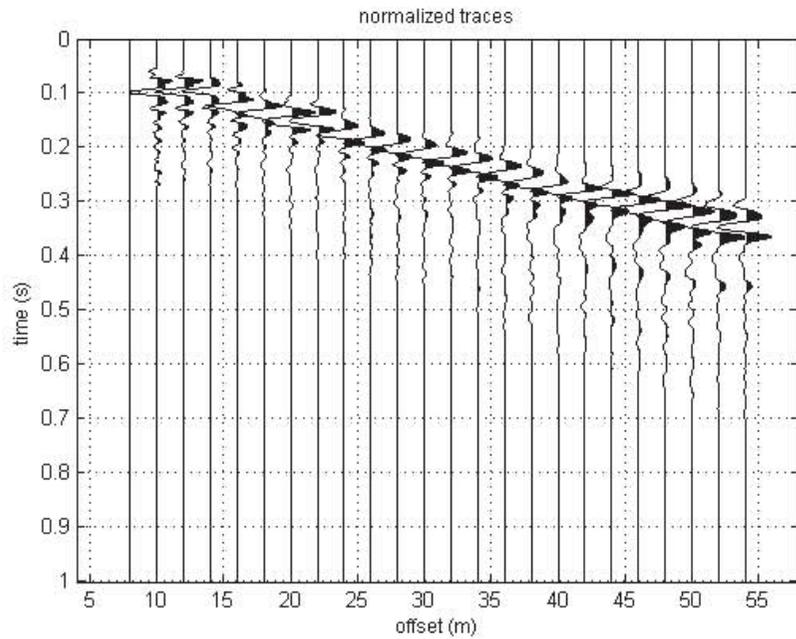
contesto locale: prato - erba bassa

condizioni atmosferiche: sereno

coordinate stazione - 43°37'55.29" N - 10°37'51.65" E

#1: data uploading & processing

dataset: 8.sgy
 sampling: 0.131ms [7633.5878Hz] - 7651 samples
 minimum offset: 8 m
 geophone spacing: 2 m



resampling

0.5

data selection

60

filtering & spectra

refr. & refl.

refr./refl. 0.2

other tools & setting

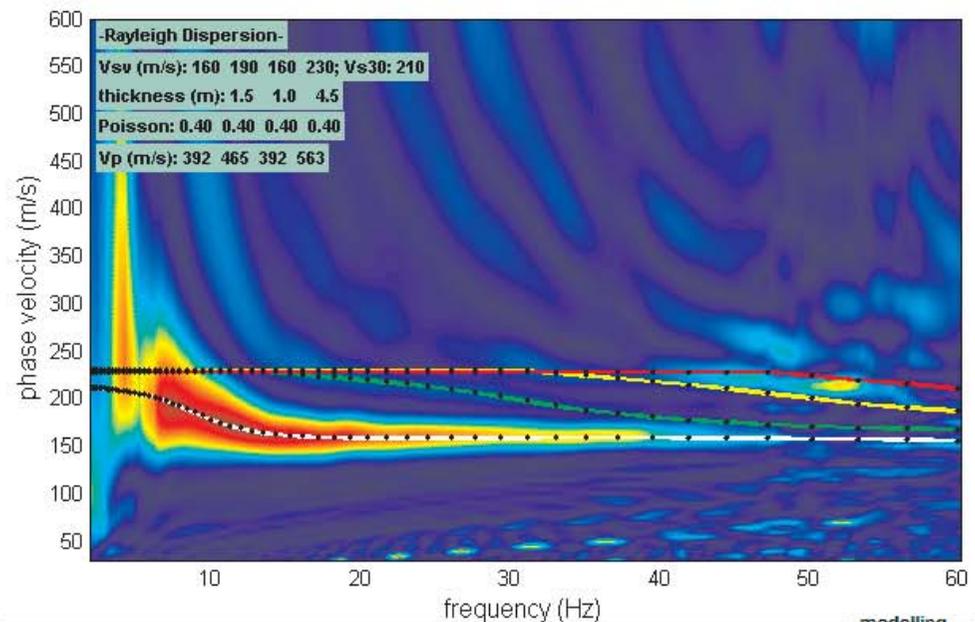
1.0021 time to visualize

#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum

f-k

handling the spectra



general setting

Rayleigh 5
 Reference Refract...
 H/V (body wa...)
 H/V (surface ...)

Vs	Qs	Poisson	thickness
160	10	0.4	1.5
190	16	0.4	1.0
160	19	0.4	4.5
230	24	0.4	0
0	28	0.35	0
0	31	0.35	0
0	38	0.35	0
0	50	0.3	0
0	100	0.2	0
0	238	0.15	0
0	0	0.15	

effective

modelling

synthetics

ZVF
 shows ...
 show mo...
 just over...

visualize curves

picking

dispersion curves

to select the last
 point of the
 considered mode

inversion

INDAGINE HVSR PONSACCO 2017 – TROMO 5

Strumento: TRZ-0158/01-11

Inizio registrazione: 27/06/17 12:15:40 Fine registrazione: 27/06/17 12:35:40

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.

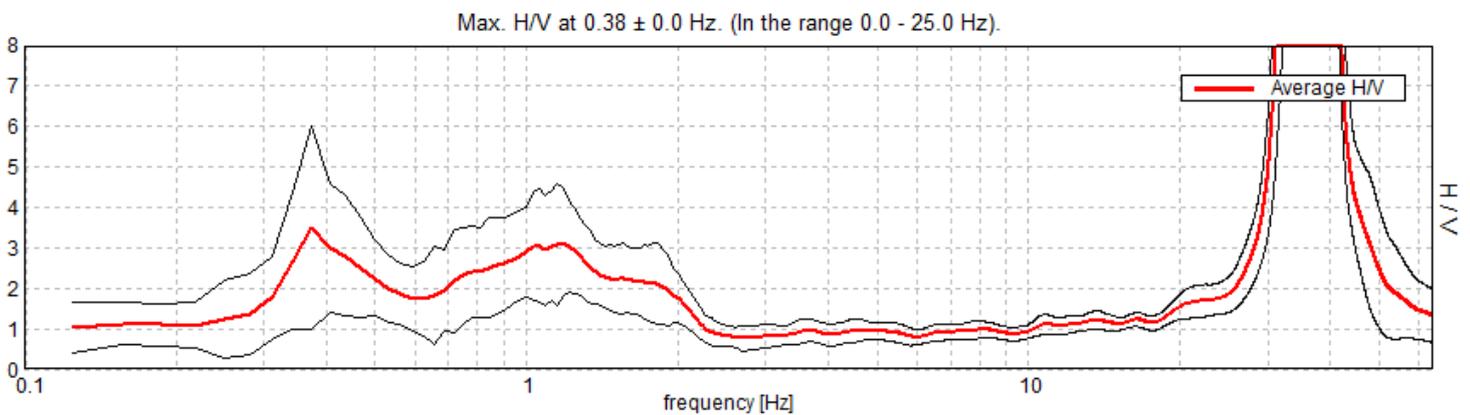
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

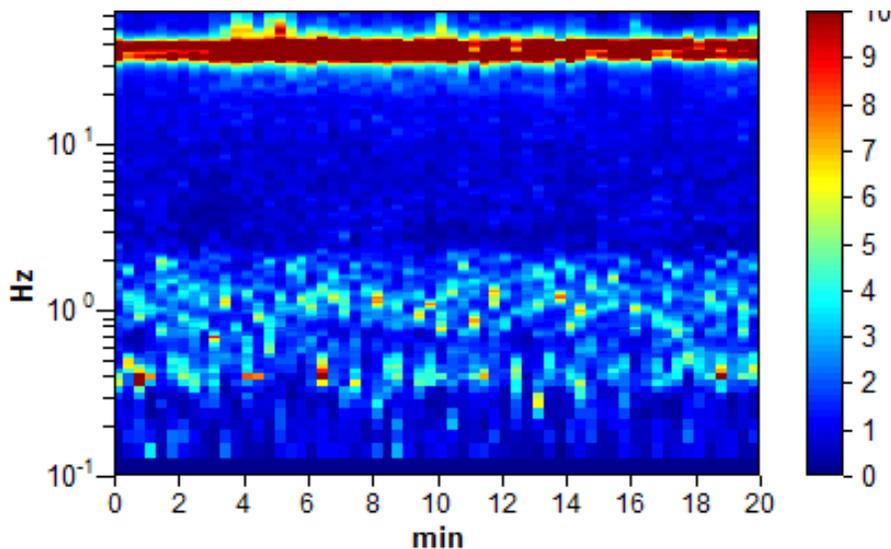
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 8%

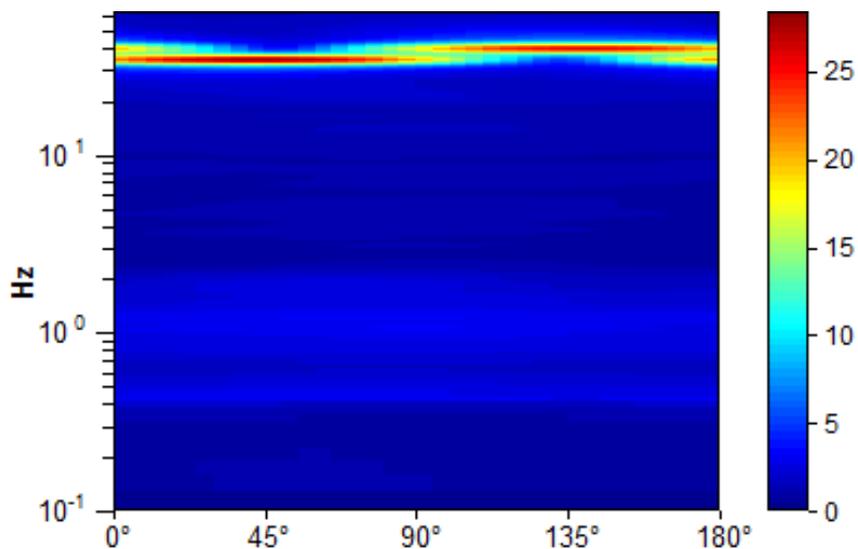
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



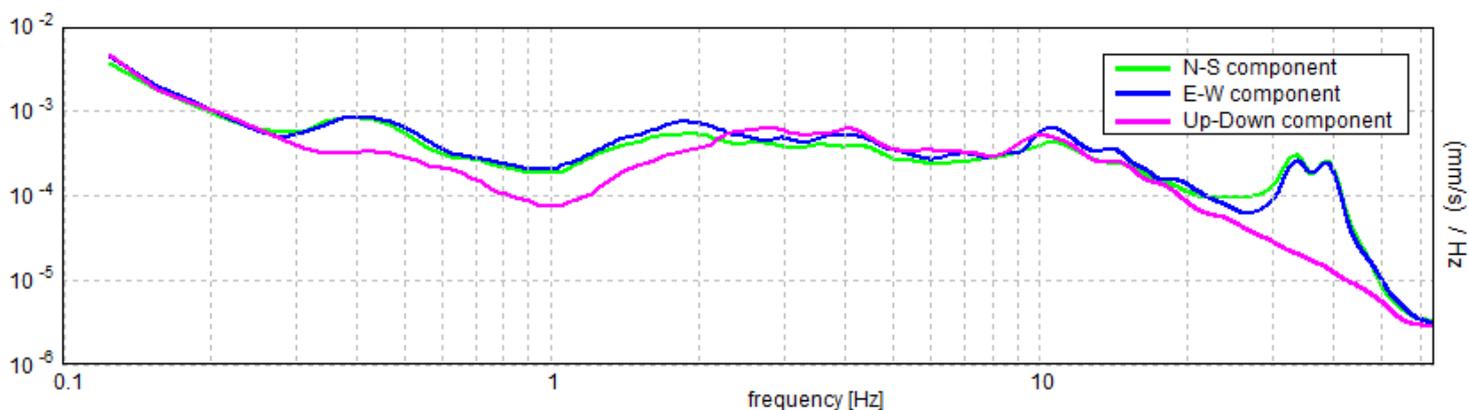
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 0.38 ± 0.0 Hz (nell'intervallo 0.0 - 25.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$: $0.38 > 0.50$ [NO]

$nc(f_0) > 200$: $450.0 > 200$ [OK]

$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz

$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz Superato 0 volte su 19 [OK]

.....

Esiste f_- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$: 0.281 Hz [OK]

Esiste f_+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$: 0.594 Hz [OK]

$A_0 > 2$: $3.49 > 2$ [OK]

$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$: $|0.00311| < 0.05$ [OK]

$sf < e(f_0)$: $0.00116 < 0.075$ [OK]

$sA(f_0) < q(f_0)$: $1.2387 < 2.5$ [OK]

INDAGINE HVSR - COMUNE DI PONSACCO (PI)
PONSACCO - VIA G. SARAGAT - POSTAZIONE n.6



documentazione fotografica



ubicazione scala 1:1.000

orientazione > N

contesto globale : pianura alluvionale

contesto locale: prato - erba bassa

condizioni atmosferiche: sereno

coordinate stazione - 43°37'44.40" N - 10°37'50.29" E

INDAGINE HVSR PONSACCO 2017 – TROMO 6

Strumento: TRZ-0158/01-11

Inizio registrazione: 27/06/17 12:47:29

Fine registrazione: 27/06/17 13:07:29

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 92% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

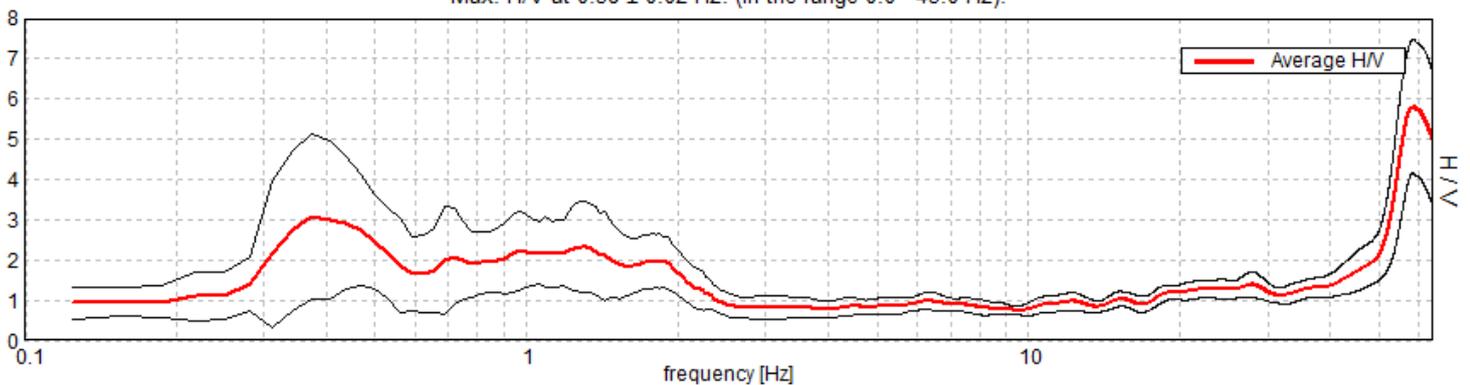
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

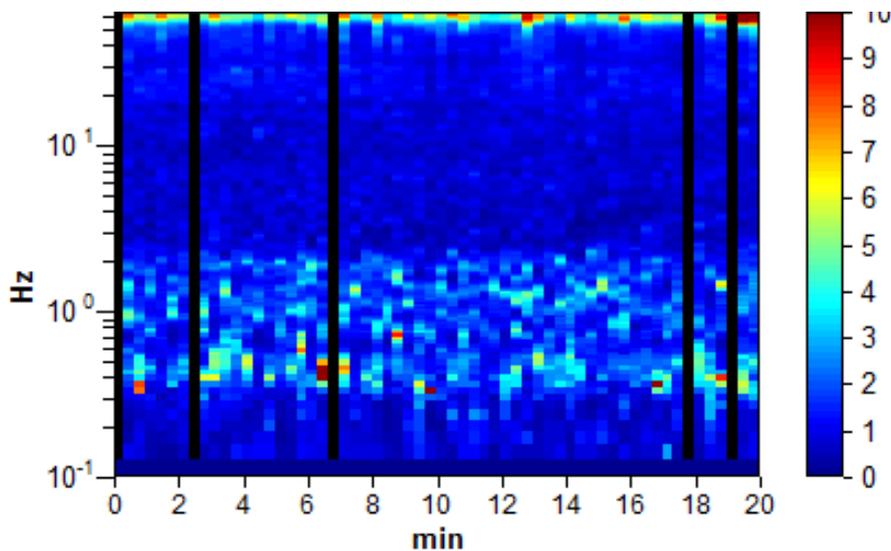
Lisciamento: 8%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

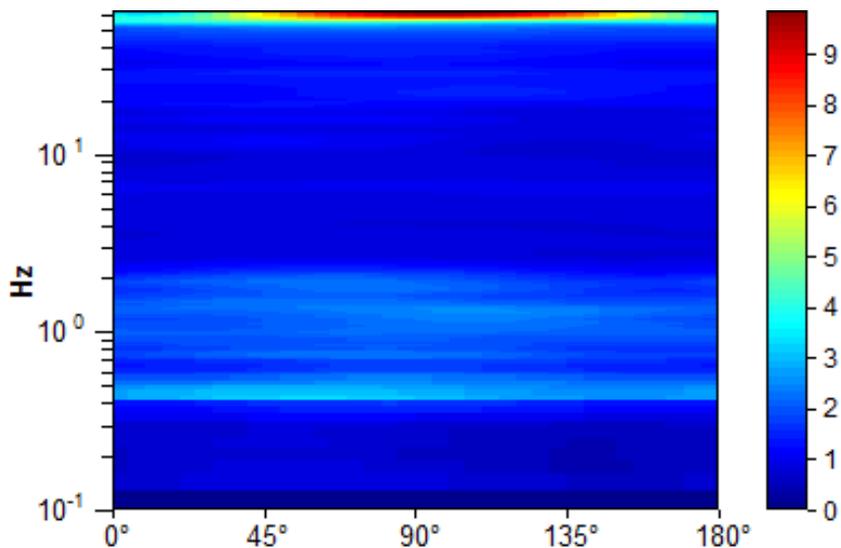
Max. H/V at 0.38 ± 0.02 Hz. (In the range 0.0 - 45.0 Hz).



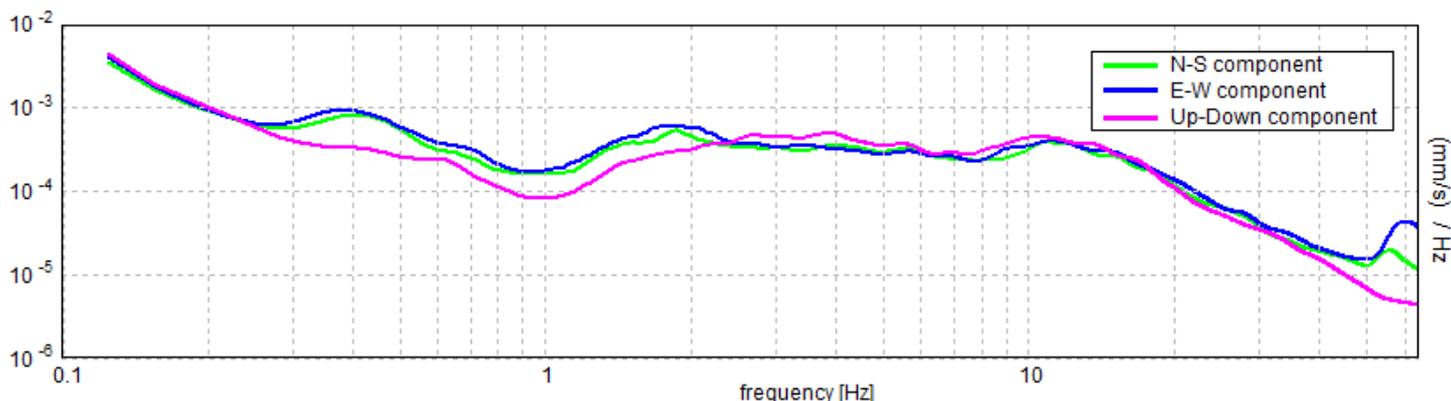
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 0.38 ± 0.02 Hz (nell'intervallo 0.0 - 45.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$: $0.38 > 0.50$ [NO]

$nc(f_0) > 200$: $412.5 > 200$ [OK]

$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz

$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz Superato 0 volte su 19 [OK]

.....

Esiste f_- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$: 0.281 Hz [OK]

Esiste f_+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$: -1.0 Hz [NO]

$A_0 > 2$: $3.08 > 2$ [OK]

$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$: $|0.02855| < 0.05$ [OK]

$sf < e(f_0)$: $0.01071 < 0.075$ [OK]

$sA(f_0) < q(f_0)$: $1.0202 < 2.5$ [OK]

INDAGINE HVSR - COMUNE DI PONSACCO (PI)
PONSACCO - VIA PAOLO BORSELLINO - POSTAZIONE n.7



documentazione fotografica



ubicazione scala 1:1.000

orientazione > N

contesto globale : pianura alluvionale

contesto locale: prato - erba bassa

condizioni atmosferiche: sereno

coordinate stazione - 43°37'38.02" N - 10°37'54.46" E

INDAGINE HVSR PONSACCO 2017 – TROMO 7

Strumento: TRZ-0158/01-11

Inizio registrazione: 27/06/17 13:19:39

Fine registrazione: 27/06/17 13:39:39

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 92% tracciato (selezione manuale)

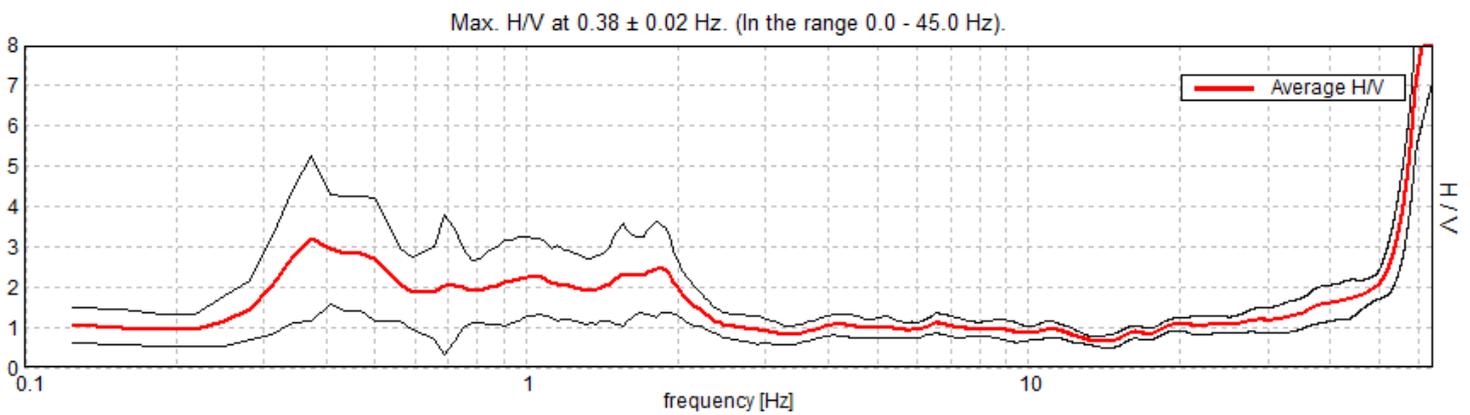
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

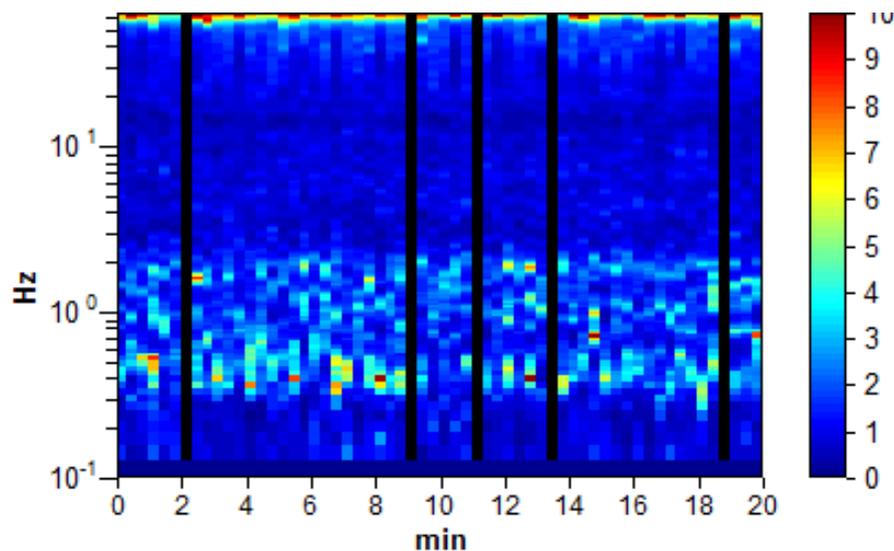
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 8%

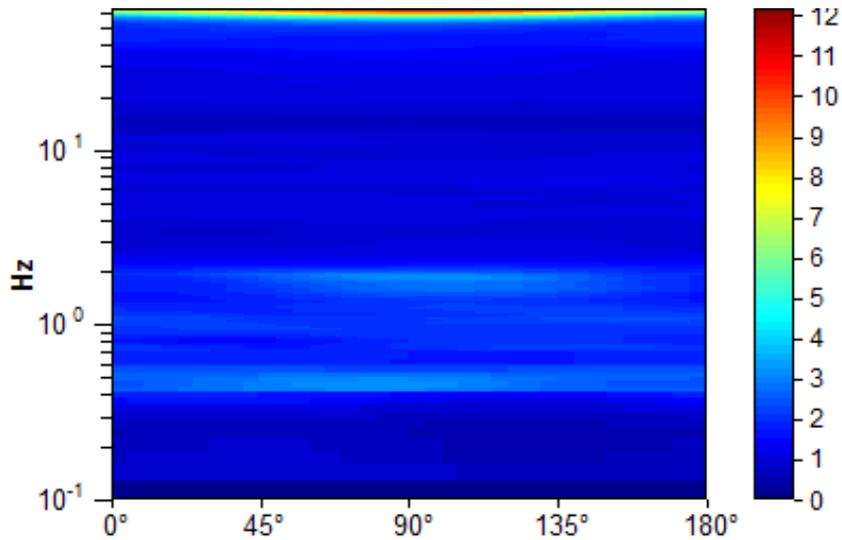
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



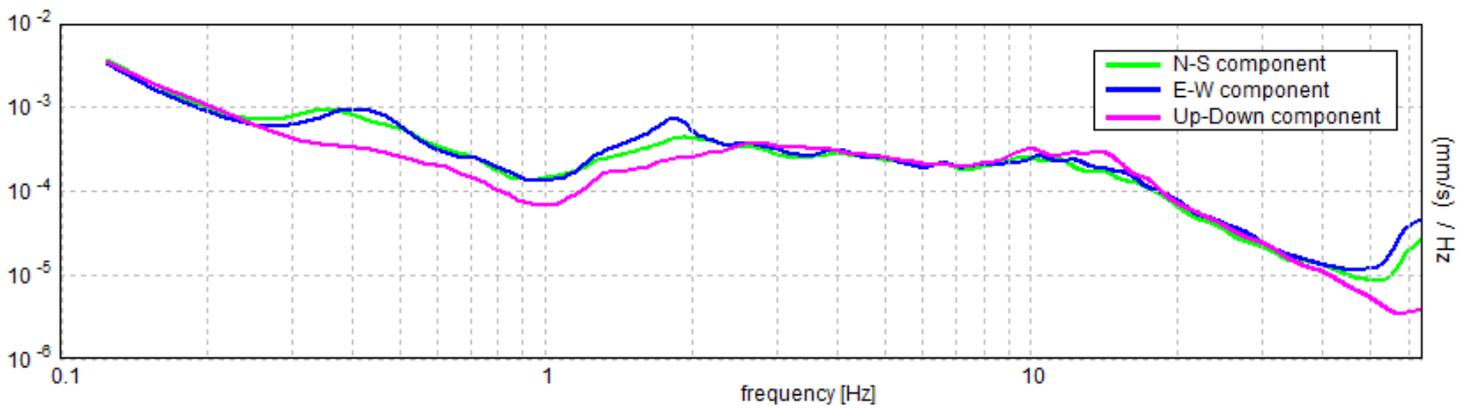
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a 0.38 ± 0.02 Hz (nell'intervallo 0.0 - 45.0 Hz).

$f_0 > 10 / L_w$: $0.38 > 0.50$ [NO]

$nc(f_0) > 200$: $412.5 > 200$ [OK]

$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$ Hz

$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$ Hz Superato 0 volte su 19 [OK]

.....

Esiste f- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f-) < A_0 / 2$: 0.281 Hz [OK]

Esiste f+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f+) < A_0 / 2$: -1.0 Hz [NO]

$A_0 > 2$: $3.20 > 2$ [OK]

$f_picco[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$: $|0.02761| < 0.05$ [OK]

$sf < e(f_0)$: $0.01035 < 0.075$ [OK]

$sA(f_0) < q(f_0)$: $1.0215 < 2.5$ [OK]

MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1
INDAGINI GEOFISICHE
REGIONE TOSCANA
COMUNE DI PONSACCO

HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)
ESAC (Extended Spatial Autocorrelation)
MARW (Multichannel Analysis of Reflected Waves)
Rifrazione (Onde P e Sh)

22/06/2018

COMMITTENTE: **COMUNE DI PONSACCO (PI)**

PROGRAMMAZIONE DELLE INDAGINI: **GEOL. FABIO MEZZETTI**



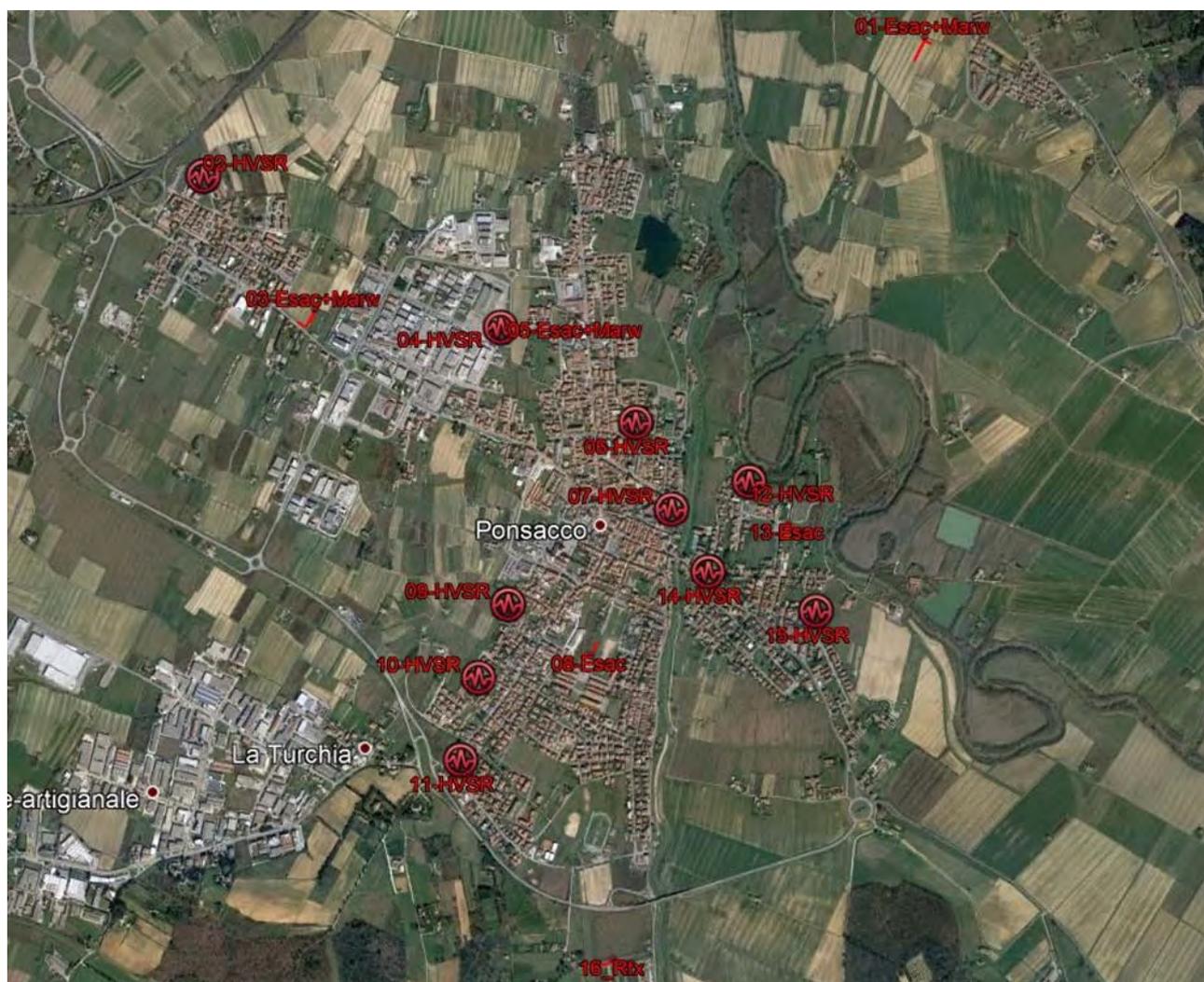
PREMESSA	3
STRUMENTAZIONE.....	4
TECNICA HVSR (metodo Nakamura).....	6
RISULTATI HVSR	7
TECNICA ESAC (Metodo Aki).....	9
MODALITÀ E GEOMETRIA DI ACQUISIZIONE ESAC	9
RISULTATI ESAC	13
TECNICA MARW	15
MODALITÀ E GEOMETRIA DI ACQUISIZIONE MARW	18
RISULTATI MARW.....	19
APPENDICE 1 – Report registrazioni HVSR	
APPENDICE 2 – Report registrazioni ESAC	
APPENDICE 3 – Report misure MARW	
APPENDICE 4 – Report rifrazione (onde P e Sh)	

PREMESSA

Su incarico dell'Amm.ne Comunale di Ponsacco è stata realizzata una campagna di indagini geofisiche volte all'individuazione delle principali caratteristiche sismostratigrafiche del sottosuolo in grado di generare possibili effetti di amplificazione locale e condizionare le attribuzioni di Pericolosità Sismica di cui al punto C5 dell'Allegato A al DPGR 53R/2011.

La campagna d'indagini ha visto la realizzazione di n°14 misure di sismica passiva di cui 10 mediante la registrazione del rumore sismico con la tecnica a stazione singola triassiale (HVSR) e 5 con la tecnica Array 2-D su noise ambientale (ESAC). A queste si sono affiancate ulteriori 4 misure di sismica attiva di cui una con tecnica a rifrazione e tre acquisite con tecnica MARW.

L'esecuzione delle misure sismiche di superficie si è svolta nei giorni 18-19-20-21/06/2018. L'ubicazione delle indagini è riportata in Figura 1.



Ubicazione registrazioni HVSR sul territorio comunale.

STRUMENTAZIONE

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati di campagna è la seguente:

Energizzatore	massa da 10 Kg su traversina	generazione segnale
Geofoni vert. (4,5 Hz)	4kOhm 4.5Hz	conversione segnale sismico in elettrico
Geofoni orizz. (4,5 Hz)	4kOhm 4.5Hz	conversione segnale sismico in elettrico
Sismografo SARA Do.Re.Mi.	digitalizzatori - 24 bit	conversione segnale e registrazione
Interfaccia Do.Re.Mi. master		alimentazione, collegamento PC,
Computer	Acer Aspire One D150-1Bw	visualizzazione, memorizzazione dati

Strumentazione di acquisizione per analisi MARW.

La strumentazione è composta da una serie di geofoni ad oscillazione verticale/orizzontale collegati ai canali di registrazione. Questi ultimi ricevono il segnale analogico generato dall'arrivo del treno di onde sismiche, prodotte dal sistema di energizzazione, e lo convertono istantaneamente in formato digitale.

Il dato acquisito viene quindi registrato nell'unità di memoria interna al canale stesso rendendosi disponibile per il successivo download, mediante interfaccia master, da parte del programma di acquisizione installato su computer portatile.

L'interfaccia master, oltre a permettere l'acquisizione dei dati, fornisce l'alimentazione elettrica necessaria allo strumento, registra con precisione il segnale start proveniente dalla fonte di energizzazione e consente una corretta comunicazione tra il personal computer e i canali di acquisizione.



Strumentazione d'acquisizione.

L'acquisizione e le analisi del rapporto spettrale H/V è stata eseguita mediante la seguente strumentazione:

Strumento	modello PF S SR04 GBX-45-NNG	
3 Sensori (4,5 Hz)	Numero canali: 3 Non ortogonalità: < 0.01% Frequenza naturale: 4.5Hz (+/-5%) Banda utilizzabile: 0.2-1000Hz Damping: 0.707 Massa inerziale: 24 g Sensibilità nominale: 80 V/m/s Movimento massa: 0.2mm Certificazioni:CE(EN55022, N55011)	campionamento simultaneo sui 3 canali
Interfaccia Do.Re.Mi.		download dei dati su PC,
Computer	Acer Aspire One D150-1Bw	visualizzazione, memorizzazione dati

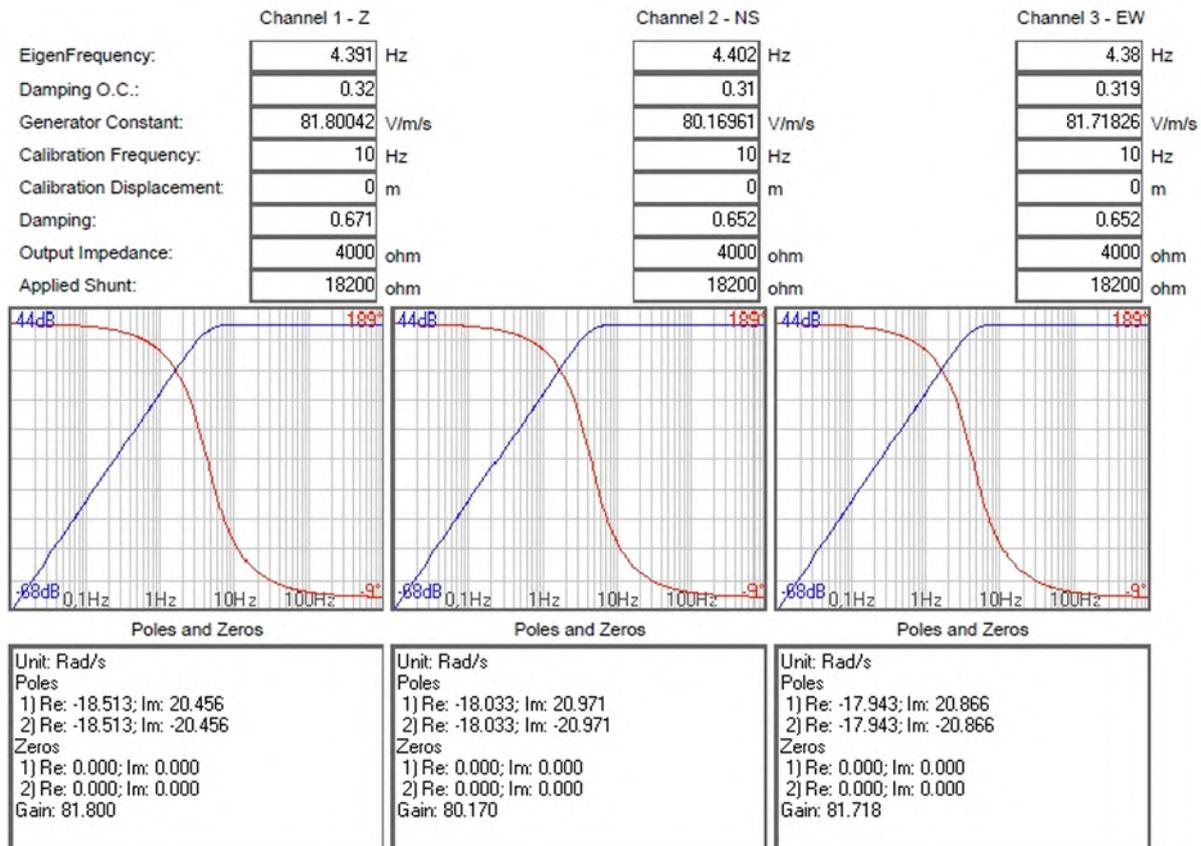
Strumentazione di acquisizione per analisi HVSR.

Il dispositivo sismico utilizzato in questa sede per le misure di vibrazione ambientale consiste in un digitalizzatore a 24 bit 3 canali ad altissima risoluzione collegato a un *personal computer* per il controllo dello strumento e la registrazione dei dati.

Tre supporti a vite regolabili e una livella consentono il posizionamento dello strumento secondo il piano orizzontale; l'alimentazione è garantita da una piccola batteria interna ricaricabile.

I dati acquisiti dai sensori sono trasferiti al PC mediante un cavo elettrico collegato a una porta seriale (RS232) e registrati in digitale da un software dedicato (modulo SEISMOLOG-MT della *suite* SEISMOWIN) per mezzo di un convertitore con frequenza di campionamento fino a 600 Hz.

Attraverso la specifica funzione di trasferimento è possibile, nel dominio delle frequenze, una correzione strumentale del dato. Di seguito si riporta quella specifica dello strumento utilizzato:



Measurement uncertainties

EigenFrequency:	+/-	0.1 Hz
Damping O.C.:	+/-	5 %
Generator Constant:	+/-	1 %
Calibration Frequency:	+/-	0.1 Hz
Calibration Displacement:	+/-	0.000002 m
Damping:	+/-	5 %
Output Impedance:	+/-	5 %
Applied Shunt:	+/-	1 %



Funzione di trasferimento dei sensori del tromografo digitale.

TECNICA HVSR (metodo Nakamura)

Lo scopo di questa particolare tecnica è l'individuazione, attraverso il metodo proposto da Nakamura sul rapporto spettrale H/V, delle discontinuità sismiche nel sottosuolo e la ricerca dell'eventuale *bedrock* geofisico. La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) è totalmente non invasiva, rapida e può essere applicata ovunque non necessitando di alcun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale.

I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

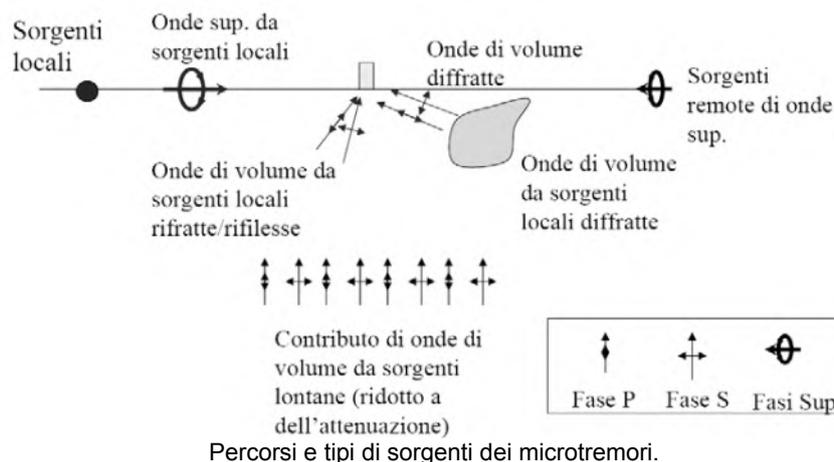
- la frequenza caratteristica di risonanza di un sito;
- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio;
- la velocità media delle onde di taglio Vs (solo se già noti gli spessori dei sismostrati);
- gli spessori della coltre di copertura del substrato litoide (solo se già note le Vs dei sismostrati).

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremori. La forma di un'onda registrata in un determinato sito dallo strumento dipende: dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s; dal percorso dell'onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni); dalle rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda; dalla risposta dello strumento; ovvero:

segnale registrazione al sito = sorgente * effetti di percorso * funzione trasferimento strumento

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento etc...) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Il rumore sismico viene denominato microtremore poiché riguarda oscillazioni molto piccole, sensibilmente inferiori a quelle prodotte dai terremoti.

I metodi che si basano sull'acquisizione delle vibrazioni ambientali vengono detti di tipo passivo, in quanto il segnale non è appositamente generato (come avviene per esempio con le energizzazioni della sismica attiva).



Nel tragitto dalla sorgente s al sito x le onde elastiche subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda e attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Di conseguenza l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica.



Diversamente con la tecnica dei microtrempi è possibile registrare una parte del segnale di partenza che contiene informazioni relative al percorso effettuato ovvero alla struttura sismostratigrafica in prossimità del sensore. In questo modo il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale da scartare nella sismologia tradizionale, viene sfruttato per ottenere utili informazioni per le analisi sismiche del sottosuolo. Queste risultano mascherate dal rumore casuale e possono essere estratte solo attraverso opportune tecniche di filtraggio.

Una di queste è la teoria dei rapporti spettrali o semplicemente HVSR che consente di fornire stime affidabili delle frequenze fondamentali dei sottosuoli.

RISULTATI HVSR

Per l'acquisizione dei dati sono stati utilizzati n°1 tromometri digitali (modello PF S SR04 GBX-45-NNG) a 3 canali con capacità di registrazione a 24 bit. Attraverso lo strumento, che racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ad alta definizione ortogonali tra loro, si sono registrate le vibrazioni ambientali i cui valori sono stati salvati in tempo reale nella memoria interna di un computer portatile. Gli assi di oscillazione dello strumento sono stati allineati a quelli geografici mediante l'utilizzo di una bussola.

I dati registrati sono stati convertiti in file ASCII nel formato .SAF mediante il software Seismolog-MT e successivamente elaborati per ottenere spettri di velocità in funzione della frequenza.

Durante il campionamento lo stesso software ha permesso di visualizzare in tempo reale la curva H/V e gli spettri assoluti sulle componenti sia verticale che orizzontale e di salvare un secondo file di registrazione già depurato dei transienti individuati durante il campionamento.

Per la postazione di registrazione il rumore sismico è stato acquisito per un periodo di 20 minuti. In fase di elaborazione la registrazione è stata suddivisa manualmente in intervalli della durata compresa tra 10 e 20 sec all'interno dei quali si è operato un'analisi spettrale nelle tre componenti (Verticale, N-S e E-W).

Per ciascun segmento si è quindi calcolato il rapporto spettrale fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale. Dei valori così ottenuti è stata calcolata la media.

Infine, per verificare che le misure ottenute dall'elaborazione dei dati di campagna fossero una stima dell'ellitticità delle onde di Rayleigh si è proceduto a verificare che:

- i rapporti H/V ottenuti sperimentalmente risultassero stabili, e frutto di un campionamento statistico adeguato,
- gli effetti di sorgente fossero effettivamente mediati, ovvero al netto di eventuali sorgenti dominanti,
- la misura non contenesse errori sistematici (come per esempio quelli generati da un cattivo accoppiamento dello strumento con il terreno).

Definendo i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si può ricavare il valore di frequenza caratteristica per ogni postazione del sito. Sapendo che a ogni picco in frequenza corrisponde una profondità in metri dell'orizzonte che genera il contrasto d'impedenza si può estrapolare una stratigrafia geofisica rappresentativa del sottosuolo.

Per ogni registrazione è stata individuata la **frequenza di risonanza del sito**, definita da un picco di frequenza (f_0 Hz) con un valore di ampiezza medio (A_0) generato dalla discontinuità nel sottosuolo.

Nelle schede di ogni singola registrazione HVSR sono indicati:

- la localizzazione geografica in coordinate WGS84 e sui riferimenti sia cartografico che su immagine satellitare;
- i riferimenti fotografici;
- segnali e finestrate;
- il rapporto spettrale H/V misurato e l'andamento dei valori spettrali assoluti per le tre componenti del moto vibrazionale;
- la persistenza del picco H/V con il tempo (time) e con la direzionalità del segnale (azimuth);
- la verifica di attendibilità/affidabilità della curva H/V per la frequenza f_0 di sito, secondo i criteri del Progetto SESAME 2005 (*Site EffectS assessment using Ambient Excitations*) che prevedono debbano essere verificati i primi tre criteri, mentre per avere un segnale chiaro e pulito del picco massimo devono essere soddisfatti almeno cinque dei sei criteri successivi.

Misura	Tipologia	X	Y	Z	f_0 (Hz)	A_0	f_1 (Hz)	A_1	CLASSE
02	HVSR	1'629'872	4'832'425	16	0.348	4.794	-	-	A2
04	HVSR	1'631'112	4'831'821	19	0.295	4.910	-	-	A1
06	HVSR	1'631'679	4'831'437	22	0.297	3.815	-	-	A1
07	HVSR	1'631'834	4'831'079	23	1.186	4.129	-	-	A1
09	HVSR	1'631'166	4'830'671	21	0.326	5.281	-	-	A1
10	HVSR	1'631'047	4'830'370	22	0.320	5.272	-	-	A1
11	HVSR	1'630'986	4'830'020	22	0.287	3.388	-	-	A1
12	HVSR	1'632'153	4'831'200	24	0.371	4.077	1.197	3.587	A2
14	HVSR	1'631'996	4'830'821	23	1.143	3.793	0.281	3.010	A2
15	HVSR	1'632'432	4'830'660	24	0.300	5.047	-	-	A1

Sintesi dei risultati HVSR.

In Appendice 1 sono riportati le ubicazioni e i risultati dell'elaborazione delle singole prove.

TECNICA ESAC (Metodo Aki)

Anche la tecnica ESAC (*Extended Spatial Auto-Correlation*) come quella HVSR, è di tipo passivo poiché si basa sulla registrazione del rumore ambientale per l'individuazione - in contesti sismo-stratigrafici piano-paralleli - di condizioni favorevoli alla generazione di fenomeni di risonanza con le strutture antropiche.

La tecnica ESAC sfrutta, attraverso una geometria di distribuzione bidimensionale dei sensori sul terreno, il principio dell'antenna sismica (array) per l'analisi dei rapporti di fase dei treni d'onda che l'attraversano e quindi per la determinazione delle velocità di propagazione V_s .

Poiché i microtremori ambientali, proprio a causa della eterogeneità delle sorgenti che li producono, generano segnali che si propagano nel terreno sotto forma di onde piane, caratterizzate da casualità nella distribuzione spazio-temporale, la conformazione 2D dell'array geofonico ESAC si dimostra efficace sia in termini di indipendenza dei risultati dall'azimut dei segnali sia per l'attendibilità dei valori derivati di V_s .

Il metodo d'indagine ESAC sviluppato da Aki (1957) si basa sul principio secondo il quale la funzione di correlazione media fra le registrazioni della componente verticale di un rumore isotropo effettuate su sensori distribuiti nelle diverse direzioni ha una forma che corrisponde alla funzione di *Bessel* di ordine 0, e dipende dalla distanza del singolo sensore da un sensore centrale. Si tratta dunque di calcolare, per una determinata frequenza, tutte le funzioni di autocorrelazione associate ad ogni singola distanza tra coppia di geofoni.

Il risultato ottenuto dall'elaborazione è una curva di dispersione che rappresenta una combinazione delle diverse curve modali "pesate" in base al loro specifico contenuto energetico del sito. Il vantaggio, soprattutto in presenza di inversioni di velocità o di forti contrasti di impedenza sismica, è di non dover identificare i vari modi di vibrazione.

Le elaborazioni sono state effettuate con il software WinMASW Academy (Dal Moro 2018).

MODALITÀ E GEOMETRIA DI ACQUISIZIONE ESAC

Per le misura ESAC sono stati utilizzati array 2D a forma di L costituiti da n°24 geofoni verticali da 4,5 Hz disposti, con spaziatura variabile da 3 a 5 m. La lunghezza degli stendimenti è stata stabilita tenendo conto della necessità di trovare un giusto rapporto tra le informazioni sui livelli più profondi (legati alle frequenze più basse) e la risoluzione degli strati superficiali.

I parametri di acquisizione e la geometria degli stendimenti adottati per l'acquisizione in oggetto sono di seguito specificati:

PARAMETRI DI ACQUISIZIONE-ELABORAZIONE	
Numero canali	24
Numero geofoni per canale	1
Frequenza naturale geofoni (P)	4,5 Hz
Passo campionamento	0,5 ms
Lunghezza registrazione	30 s
Numero di acquisizioni	30
Numero campioni per acquisizioni	450.000

GEOMETRIA STENDIMENTO		Misura_01ESAC
Conformazione		L
Apertura (°)		90
Azimut braccio principale(°)		27,10° N
Coordinate (X;Y)		1.632.839 ; 4.833.080
Braccio secondario	Lunghezza (m)	33
	Spaziatura geofoni (m)	3,0
Coordinate relative (X;Y)	G1	0;0
	G2	3;0
	G3	6;0
	G4	9;0
	G5	12;0
	G6	15;0
	G7	18;0
	G8	21;0
	G9	24;0
	G10	27;0
	G11	30;0
	G12	33;0
Braccio principale	Lunghezza (m)	60
	Spaziatura geofoni (m)	5,0
Coordinate relative (X;Y)	G13	33;5
	G14	33;10
	G15	33;15
	G16	33;20
	G17	33;25
	G18	33;30
	G19	33;35
	G20	33;40
	G21	33;45
	G22	33;50
	G23	33;55
	G24	33;60

GEOMETRIA STENDIMENTO		Misura_03ESAC
Conformazione		L
Apertura (°)		68
Azimut braccio principale(°)		28,90° N
Coordinate (X;Y)		1.630.309 ; 4.831.928
Braccio secondario	Lunghezza (m)	40
	Spaziatura geofoni (m)	5,0
Coordinate relative (X;Y)	G1	0;0
	G2	5;0
	G3	10;0
	G4	15;0
	G5	20;0
	G6	25;0
	G7	30;0
	G8	35;0
	G9	40;0
Braccio principale	Lunghezza (m)	75
	Spaziatura geofoni (m)	5,0
Coordinate relative (X;Y)	G10	38.127;4.636
	G11	36.254;9.272
	G12	34.381;13.908
	G13	32.508;18.544
	G14	30.635;23.180
	G15	28.762;27.816
	G16	26.889;32.451
	G17	25.016;37.087
	G18	23.143;41.723
	G19	21.270;46.359
	G20	19.397;50.995
	G21	17.524;55.63
	G22	15.651;60.267
	G23	13.778;64.903
	G24	11.905;69.539

GEOMETRIA STENDIMENTO		Misura_05ESAC
Conformazione		L
Apertura (°)		90
Azimut braccio principale(°)		177,70° N
Coordinate (X;Y)		1.631.126 ; 4.831.911
Braccio secondario	Lunghezza (m)	33
	Spaziatura geofoni (m)	3,0
Coordinate relative (X;Y)	G1	0;0
	G2	3;0
	G3	6;0
	G4	9;0
	G5	12;0
	G6	15;0
	G7	18;0
	G8	21;0
	G9	24;0
	G10	27;0
	G11	30;0
	G12	33;0
Braccio principale	Lunghezza (m)	60
	Spaziatura geofoni (m)	5,0
Coordinate relative (X;Y)	G13	33;5
	G14	33;10
	G15	33;15
	G16	33;20
	G17	33;25
	G18	33;30
	G19	33;35
	G20	33;40
	G21	33;45
	G22	33;50
	G23	33;55
	G24	33;60

GEOMETRIA STENDIMENTO		Misura_08ESAC
Conformazione		L
Apertura (°)		90
Azimut braccio principale(°)		22,45° N
Coordinate (X;Y)		1.631.509 ; 4.830.576
Braccio secondario	Lunghezza (m)	40
	Spaziatura geofoni (m)	5,0
Coordinate relative (X;Y)	G1	0;0
	G2	5;0
	G3	10;0
	G4	15;0
	G5	20;0
	G6	25;0
	G7	30;0
	G8	35;0
	G9	40;0
Braccio principale	Lunghezza (m)	75
	Spaziatura geofoni (m)	5,0
Coordinate relative (X;Y)	G10	40;5
	G11	40;10
	G12	40;15
	G13	40;20
	G14	40;25
	G15	40;30
	G16	40;35
	G17	40;40
	G18	40;45
	G19	40;50
	G20	40;55
	G21	40;60
	G22	40;65
	G23	40;70
	G24	40;75

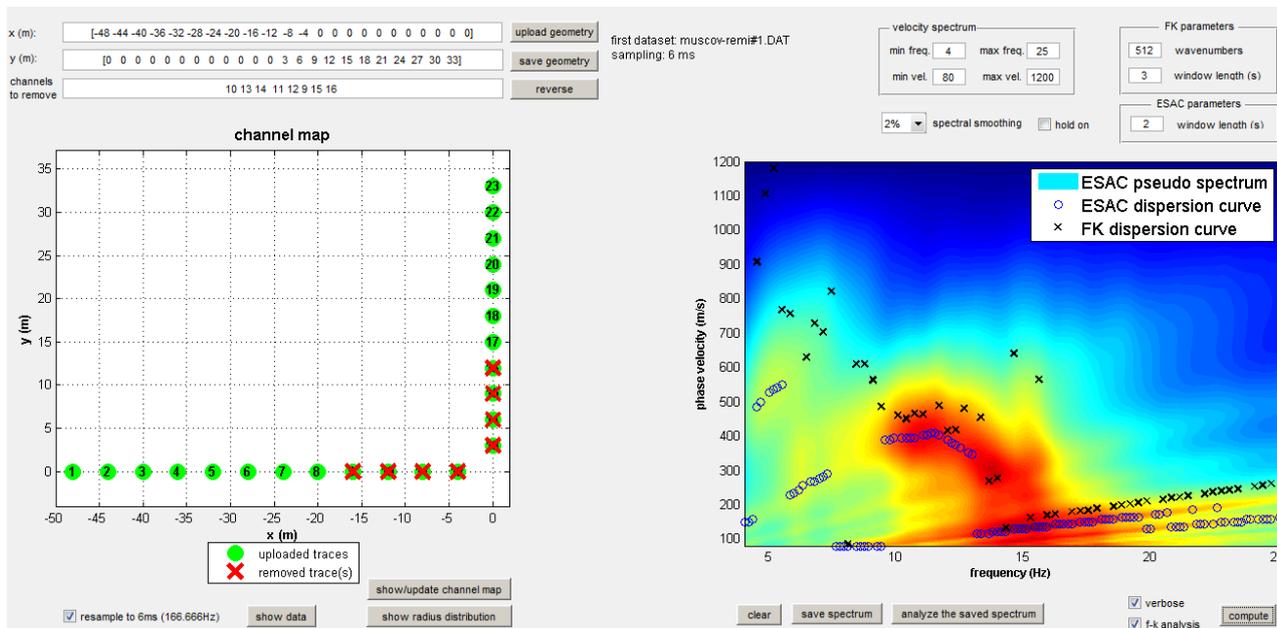


GEOMETRIA STENDIMENTO		Misura_13ESAC
Conformazione		L
Apertura (°)		90
Azimut braccio principale(°)		7,38° N
Coordinate (X;Y)		1.632.328 ; 4.831.064
Braccio secondario	Lunghezza (m)	33
	Spaziatura geofoni (m)	3,0
Coordinate relative (X;Y)	G1	0;0
	G2	3;0
	G3	6;0
	G4	9;0
	G5	12;0
	G6	15;0
	G7	18;0
	G8	21;0
	G9	24;0
	G10	27;0
	G11	30;0
	G12	33;0
Braccio principale	Lunghezza (m)	60
	Spaziatura geofoni (m)	5,0
Coordinate relative (X;Y)	G13	33;5
	G14	33;10
	G15	33;15
	G16	33;20
	G17	33;25
	G18	33;30
	G19	33;35
	G20	33;40
	G21	33;45
	G22	33;50
	G23	33;55
	G24	33;60

RISULTATI ESAC

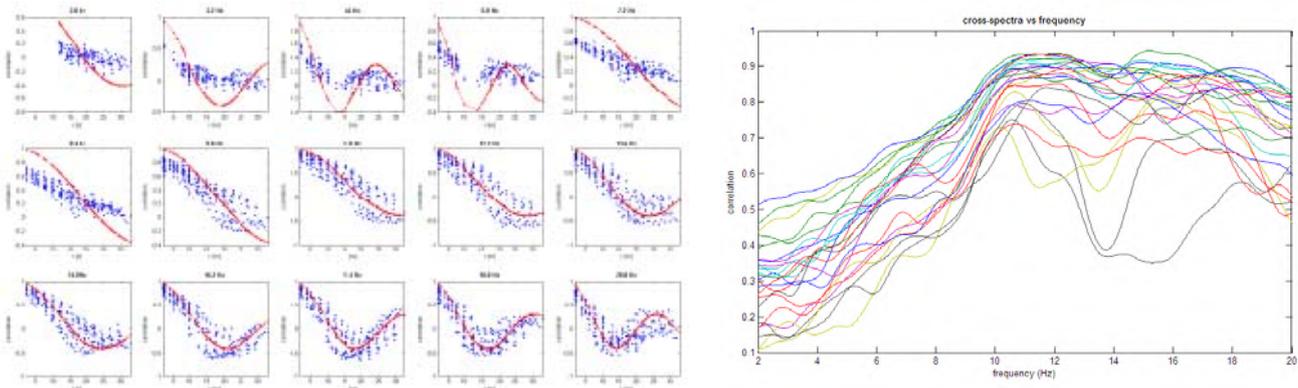
I dati sono stati elaborati mediante il software WinMASW Academy (G. Dal Moro, 2018) della *Eliosoft geophysical software and services*.

Le tracce acquisite hanno subito una prima fase di verifica di qualità del dato in seguito al quale è stato effettuato un processo di pulizia dei transienti ed un *resampling* delle tracce per favorire la velocità in fase di calcolo.



Preliminarmente alla determinazione dello spettro di velocità è stata inserita la geometrica dell'array bidimensionale e i parametri minimi e massimi delle frequenze e delle velocità investigate.

Successivamente è stata determinata la qualità del dato operando un confronto tra le correlazioni spaziali per le diverse frequenze e le funzioni di Bessel che meglio approssimano i risultati.



Sullo spettro frequenza-velocità di fase, ottenuto dal plottaggio dei dati derivanti dalle correlazioni spaziali, si è quindi operato una modellazione diretta per ricavare il miglior profilo di velocità 1D del sito indagato.

Per un maggior dettaglio sul profilo di velocità (V_{sv}) delle cinque verticali analizzate si riporta di seguito la sintesi numerica dei risultati.



Nelle tabelle sono rappresentate le profondità e le velocità di percorrenza delle onde sismiche di taglio nei domini litologici investigati.

Sismostrato	Vint (m/s)	Profondità (m)
1	172	6.3
2	257	13.9
3	301	17.5
4	370	22.3
5	480	29.8
6	580	40.0

Risultati analisi di velocità Misura 01 - ESAC.

Sismostrato	Vint (m/s)	Profondità (m)
1	195	6.4
2	214	9.8
3	183	12.7
4	307	20.8
5	320	26.4
6	470	50.0

Risultati analisi di velocità Misura 03 - ESAC.

Sismostrato	Vint (m/s)	Profondità (m)
1	190	3.1
2	172	6.4
3	244	12.3
4	195	20.1
5	258	25.1
6	248	28.5
7	477	40.0

Risultati analisi di velocità Misura 05 - ESAC.

Sismostrato	Vint (m/s)	Profondità (m)
1	160	6.6
2	166	9.1
3	246	16.1
4	251	19.1
5	151	24.1
6	326	26.6
7	430	50.0

Risultati analisi di velocità Misura 08 - ESAC.

Sismostrato	Vint (m/s)	Profondità (m)
1	142	3.0
2	171	10.5
3	231	16.5
4	231	23.5
5	248	30.5
6	202	33.6
7	391	40.0

Risultati analisi di velocità Misura 13 - ESAC.

TECNICA MARW

La tecnica sismica a riflessione classica si basa sulla registrazione dei tempi che intercorrono tra l'istante in cui viene generato uno specifico impulso elastico in superficie e l'istante di ricezione dell'impulso generato da una o più riflessioni su altrettante superfici (riflettenti) poste al di sotto del piano di campagna.

A differenza della sismica a rifrazione questa metodologia d'indagine non necessita dell'assunto che la velocità di propagazione dell'onda aumenti con la profondità. La riflessione infatti sfrutta il solo contrasto di impedenza sismica (sia positivo che negativo) tra materiali di diversa natura; così una variazione delle caratteristiche tra litotipi differenti, o all'interno dello stesso litotipo, dà luogo a una riflessione delle onde elastiche in corrispondenza della superficie di separazione.

Il vantaggio significativo di questa tecnica d'esplorazione è la capacità di penetrazione nel sottosuolo e l'accuratezza con cui è possibile localizzare le superfici riflettenti associate alla geometria e all'ubicazione delle discontinuità d'impedenza ivi presenti.

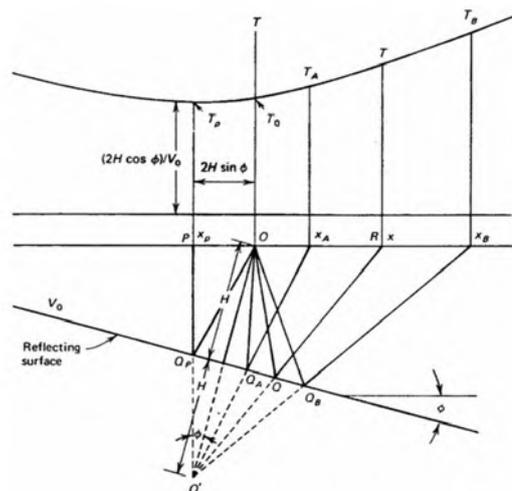
Per gli ambiti di indagine quale quello in oggetto, solitamente vengono impiegati sistemi di acquisizione a 24÷48 canali con digitalizzatori a 24 bit.

Tramite appositi sistemi di energizzazione sono immesse onde sismiche (P o SH) nel sottosuolo le cui riflessioni vengono registrate in superficie con una catena (*spread*) di ricevitori (geofoni).

L'equazione matematica semplificata che descrive la curva di un segnale riflesso è di tipo iperbolico (fig. successiva):

$$(V_1 \cdot t)^2 = 4H^2 + x^2 + 4H \cdot x \cdot \sin \phi$$

dove V_1 rappresenta la velocità dell'onda che si propaga nel mezzo considerato omogeneo; t il tempo d'arrivo nel punto di ascissa generica x ; H lo spessore dello strato interessato; x la distanza del geofono dalla sorgente energizzante; ϕ l'inclinazione della superficie riflettente.

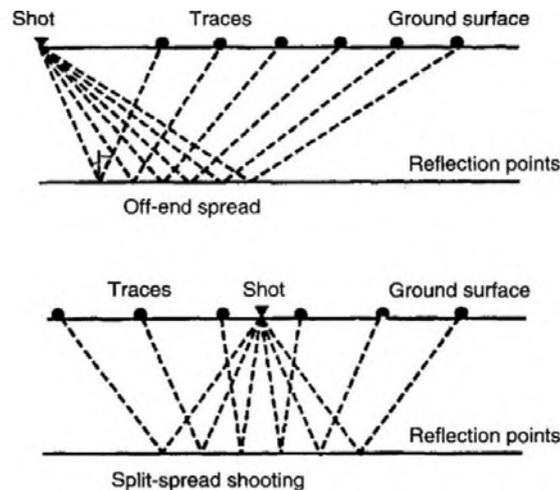


Traiettorie dei raggi sismici su un riflettore inclinato e relativo diagramma tempo-distanza.

In fase di acquisizione dei dati, i parametri fondamentali riguardanti la geometria dello stendimento sono:

- l'*offset* (distanza tra la sorgente energizzante e i sensori);
- il numero delle tracce registrate;
- la distanza tra le tracce.

La sorgente energizzante nella tecnica a riflessione può essere posta all'esterno dello stendimento geofonico (geometria *off-end spread*), oppure all'interno di esso (geometria *split-spread*).



Principali geometrie d'acquisizione.

Nelle acquisizioni 2D, solitamente vengono eseguite più misurazioni spostando la sorgente di energizzazione e lo stendimento geofonico in direzioni uguali oppure opposte, così da investigare una porzione più ampia di terreno.

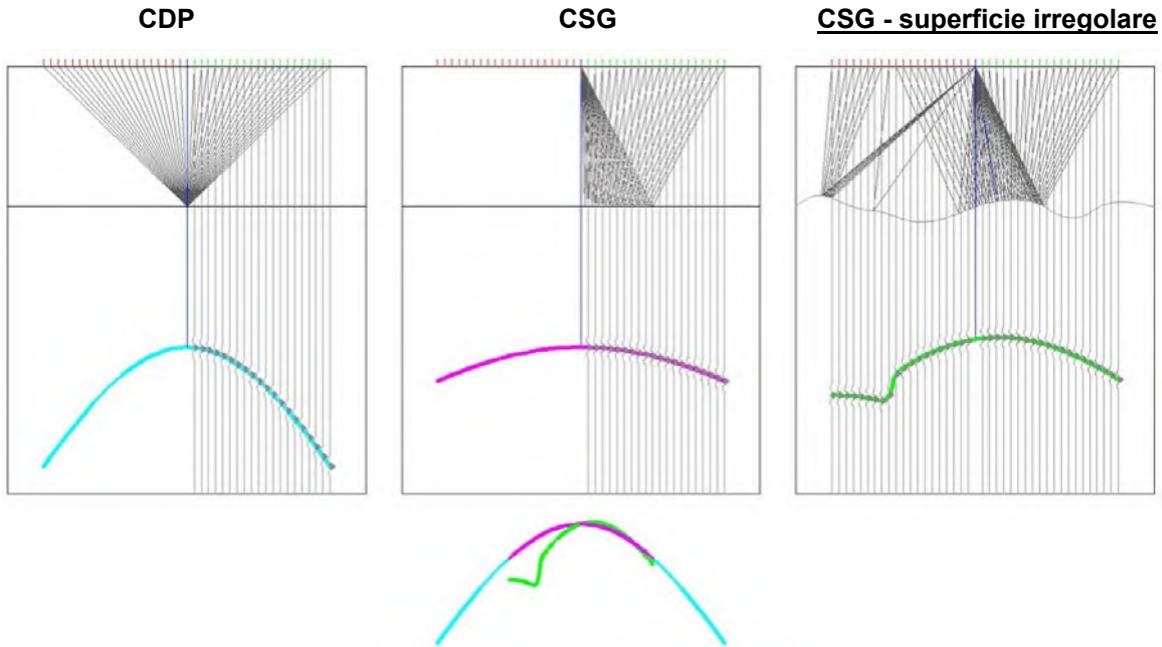
Su queste geometrie si basa la modalità di acquisizione del *common-depth-point* (CDP) che, energizzando in differenti posizioni permette di indagare (illuminare) più volte un dato punto in profondità ottenendo così più segnali associati. Tale processo consente di incrementare il rapporto *segnale/rumore* rendendo il risultato finale più nitido in quanto filtrato degli effetti generati dal rumore random o coerente.

Tale modalità d'acquisizione prevede dunque almeno due coperture per ogni CDP conseguenza per cui risulta utile operare con tecniche multicanale (*multifold coverage*).

Un aspetto importante del tipo di tecnica a riflessione è il campionamento del segnale. Quest'ultimo infatti è di tipo analogico (continuo nel tempo) mentre lo strumento di acquisizione (un calcolatore) è di tipo digitale (ossia in grado di campionare il segnale solo ad intervalli di tempo imposti dall'operatore). Di conseguenza la funzione *continua* che rappresenta il segnale viene campionata con un determinato intervallo di tempo Δt ed di distanza Δx . Pertanto risulta di grande importanza la scelta dei valori di campionamento per evitare che inesattezze in fase di registrazione digitale generino un'acquisizione imprecisa/falsata dei dati (*aliasing* temporale/spaziale).

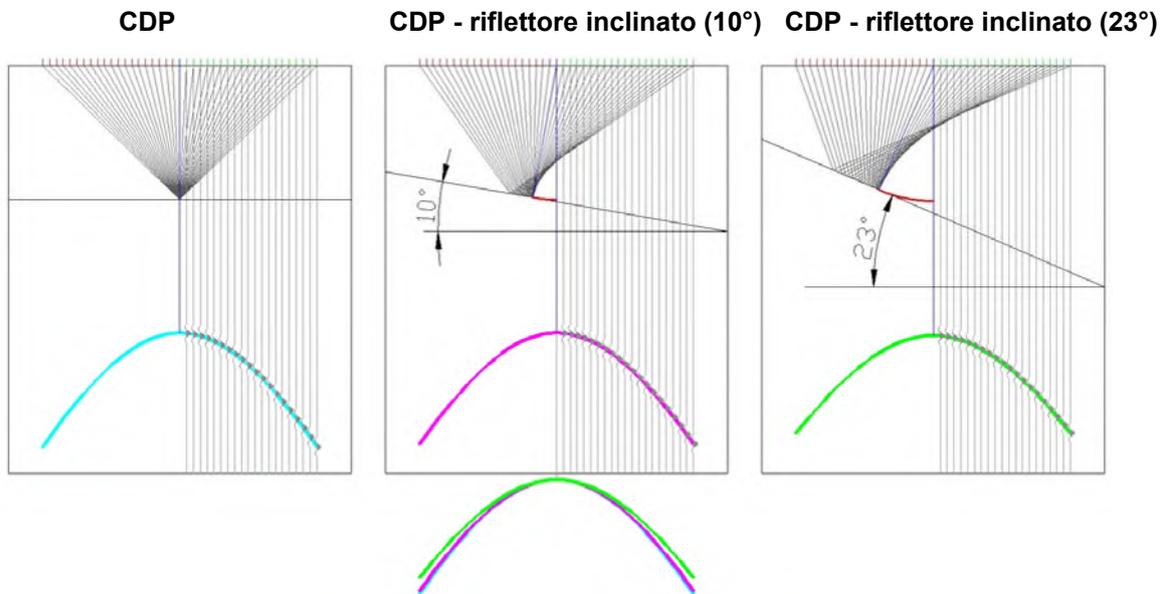
La tecnica **MARW** (*Multichannel Analysis of Reflected Waves*) è la semplificazione 1D della classica tecnica a riflessione 2D. Il vantaggio di tale tecnica deriva dalla semplificazione di acquisizione di un singolo CDP (*Common Depth Point*) o CSG (*Common Shot Gather*) da analizzare mediante il tradizionale *processing flow* della tecnica a riflessione 2D per ottenere una sismostratigrafia e un modello di velocità del sottosuolo su una verticale singola.

Acquisire un CDP o un CSG, nel caso si operi su superfici sub-pianeggianti e nel sottosuolo si abbiano contatti litologici continui con pendenze non superiori ai 10-15° è del tutto equivalente.



Metodologia di acquisizione Tecnica MARW.

Diversamente, se la superficie riflettente è molto irregolare o fortemente inclinata il solo metodo di acquisizione disponibile a garantire l'efficacia della tecnica è il CDP.



Metodologia di acquisizione Tecnica MARW.

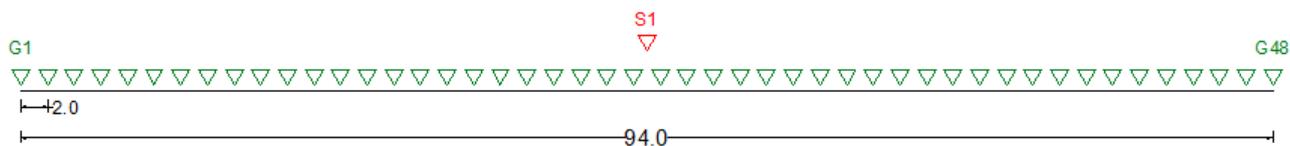
Infine, nel caso in cui la superficie riflettente superi una pendenza di 15°, in fase di elaborazione del dato, sarà necessario operare una correzione del DMO (*Dip Move Out*) per garantire una miglior rappresentazione grafica nella costruzione della *semblance* per l'analisi di velocità.

MODALITÀ E GEOMETRIA DI ACQUISIZIONE MARW

I parametri di acquisizione e la geometria degli stendimenti adottati per l'acquisizione in oggetto sono di seguito specificati:

PARAMETRI DI ACQUISIZIONE	MARW1 - MARW2 - MARW3 (SH)
Sismografo	Do.Re.Mi SARA
Numero canali	48
Numero geofoni per canale	1
Impedenza geofoni	600 Ω
Frequenza naturale geofoni	4,5 Hz
Copertura nominale	100%
Passo campionamento	1,0 ms
Lunghezza registrazione	2,0 s
GEOMETRIA STENDIMENTO	
Punti di energizzazione	Centro stendimento
Passo geofoni	2,0 m
Offset minimo	1,0 m
Offset massimo	47,0 m
Spread	Spit-spread

Parametri e settaggi d'acquisizione ST-1.



Caratteristiche di acquisizione in riflessione stendimento ST1-P.

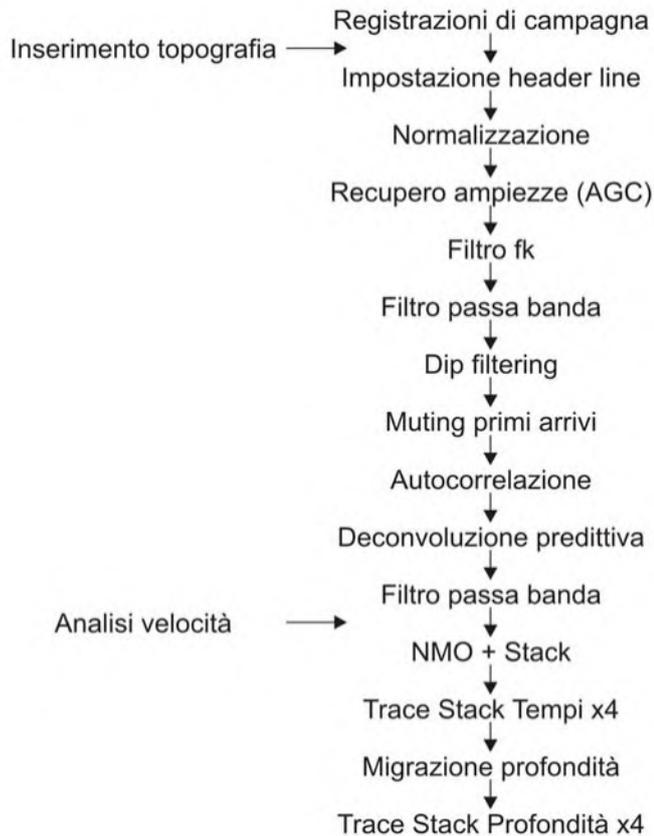
Per la realizzazione della stesa sismica è stata utilizzata una linea fissa (*fixed line*) con acquisizione *split-spread* posizionando lo scoppio al centro dello stendimento.

Per la generazione delle onde di taglio si è fatto ricorso all'utilizzo di una mazza sismica da 12 kg impattata direttamente su una travetta in legno. Nonostante la condizione di sostanziale bassa rumorosità ambientale dei siti indagati, per il punto d'energizzazione (*shot-point*) si è scelto di procedere ad un numero minimo di 6 registrazioni (*multistacking*), a vantaggio di un'ulteriore riduzione della componente di rumore ambientale nelle tracce.

In questo modo sono stati ottenuti sismogrammi in cui il segnale generato, essendo sempre in fase, è sommato n volte mentre il rumore (*random*) tende ad annullarsi, favorendo così il rapporto Segnale/Rumore di ciascuna traccia.

RISULTATI MARW

I dati acquisiti con lo stendimento sono stati sottoposti alla sequenza di processing di indicata a fianco.



Flow-Chart delle operazioni di Processing.

In Appendice 3 sono riportate le ubicazioni delle prove e i sismogrammi dei 3 *data-set* acquisiti ai quali sono state applicate le funzioni di processamento presenti nella *Flow-Chart*.

Nella fase di analisi di velocità dei riflettori, sui vari sismogrammi, è stato eseguito il picking delle riflessioni fino a tempi dove è osservabile del segnale coerente. Oltre tale limite temporale il rumore ambientale risulta predominante sul segnale rappresentato dalle riflessioni dunque l'analisi di velocità perde di attendibilità.

Per un maggior dettaglio sul profilo di velocità (V_{sh}) delle tre verticali analizzate si riporta di seguito la sintesi numerica dei risultati dove sono rappresentati i tempi T_0 di percorrenza dell'onda riflessa ad offset zero, la velocità di stack dei singoli riflettori (velocità quadratica media), la velocità intervallare dei domini litologici compresi tra due riflessioni continue e la profondità dei riflettori.



N.	Tempo 0 (sec)	Vstack (m/s)	Vint (m/s)	Profondità (m)
0	0.0000	138	138	0.00
1	0.0328	138	138	2.27
2	0.0739	171	194	6.25
3	0.1259	193	221	12.00
4	0.2052	243	306	24.14
5	0.2600	293	431	35.94
6	0.4899	404	500	93.40
7	0.6048	448	601	127.92
8	0.8073	520	691	non attendibile
9	2.0000	650	725	non attendibile

Risultati analisi di velocità Misura 01 - **MARW**.

N.	Tempo 0 (ms)	Vstack (m/s)	Vint (m/s)	Profondità (m)
0	0.0000	133	133	0.00
1	0.0356	133	133	2.36
2	0.1314	171	184	11.16
3	0.2052	230	308	22.53
4	0.2737	300	449	37.88
5	0.5720	400	474	108.50
6	0.7881	420	469	159.18
7	1.1384	460	539	non attendibile
8	2.0000	500	548	non attendibile

Risultati analisi di velocità Misura 03 - **MARW**.

N.	Tempo 0 (ms)	Vstack (m/s)	Vint (m/s)	Profondità (m)
0	0.0000	127	127	0.00
1	0.0410	127	127	2.61
2	0.2518	199	210	24.75
3	0.2950	199	199	29.05
4	0.3310	210	286	34.20
5	0.4379	293	464	58.96
6	0.4899	315	461	70.95
7	0.7498	348	403	123.39
8	2.0000	416	452	non attendibile

Risultati analisi di velocità Misura 05 - **MARW**.

TECNICA SISMICA A RIFRAZIONE (ONDE “P” E “SH”)

Le prospezioni sismiche a rifrazione sono considerate metodologie d'indagine indiretta tra le più efficaci per la ricostruzione della stratigrafia bidimensionale di un'area e per la caratterizzazione fisico-meccanica dei materiali presenti nel sottosuolo. Tuttavia, quali tecniche d'indagine indirette, sono soggette alle limitazioni di cui alla bibliografia specifica e pertanto richiedono la taratura con altre metodologie d'indagine e/o osservazioni dirette. Il metodo della rifrazione consiste nel generare artificialmente onde elastiche longitudinali o trasversali in un punto della superficie (*Shot*) e nel misurare il tempo impiegato dalle onde prodotte per propagarsi dalla sorgente ai ricevitori (Geofoni), opportunamente disposti sul terreno.

Il fondamento teorico di questa metodologia risiede nel fatto che le velocità e le direzioni di propagazione dei raggi sismici generati con lo shot sono strettamente correlate sia al comportamento elasto-meccanico dei terreni attraversati, e dunque alle loro peculiari caratteristiche fisico-meccaniche, che alla presenza di superfici di discontinuità.

Il campo di variazione delle velocità di un litotipo può essere ampio in quanto correlato ai parametri elastici intrinseci al litotipo stesso; questi a loro volta possono essere influenzati da numerosi fattori quali: compattezza, grado di litificazione, di alterazione, porosità, tessitura, contenuto dei fluidi, ecc.

Dall'interpretazione delle dromocrone (curve involuppo dei tempi di primo arrivo del segnale generato a ogni singolo geofono per ogni diverso punto di energizzazione) è possibile ricostruire l'andamento in profondità delle isocinetiche (curve che uniscono punti ad uguale velocità). Queste ultime, dopo un'accorta valutazione/interpretazione, possono essere ragionevolmente correlate con l'assetto lito-stratigrafico del sito.

La buona precisione raggiungibile, specie disponendo di indagini dirette di taratura, consente talora di elevare la prospezione sismica da semplice valutazione qualitativa a valido supporto quantitativo dell'indagine geognostica.

La tecnica dell'elaborazione tomografica del dato permette l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un alto potere risolutivo, consentendo la ricostruzione della morfologia sepolta anche nel caso di variazioni e discontinuità stratigrafiche particolarmente complesse: più rifrattori sovrapposti, variamente "accidentati", caratterizzati da velocità variabili lungo il profilo d'indagine, con morfologie di superficie non piane.

Con la tecnica di elaborazione tomografica si ottiene l'*imaging* della variabilità della velocità delle onde sismiche nel sottosuolo in relazione ai tempi di primo arrivo e alla geometria di acquisizione; ciò rende possibile la ricostruzione di un modello che è possibile affinare attraverso iterazioni successive. La fase di calcolo si conclude quando viene verificata la condizione di migliore sovrapposizione fra i tempi di primo arrivo calcolati e quelli misurati.

Il *processing* dei dati (eseguito con il programma RAYFRAC[®] 3.32) prosegue con la fase di inversione tomografica detta WET (*Wavepath Eikonal Traveltime*), che permette il calcolo delle traiettorie d'onda (*wavepath*) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'equazione che esprime le modalità di propagazione di un'onda in un mezzo isotropo.

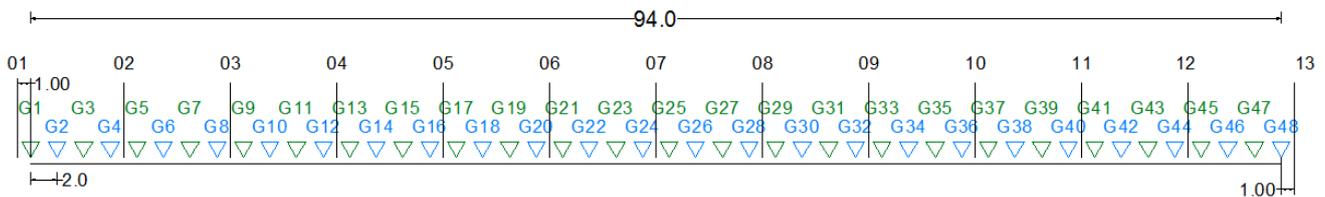
Successivamente, con la fase di *imaging*, si ottiene la rappresentazione grafica della sezione tomografica.

MODALITÀ E GEOMETRIA D'ACQUISIZIONE TOMOGRAFIA SISMICA A RIFRAZIONE

Di seguito si riportano le caratteristiche adottate per la prospezione a rifrazione:

Stendimento	ST1 (P)	ST1 (SH)
n° geofoni	48	48
distanza intergeofonica (m)	2,0	2,0
n° punti di scoppio	13	13
tempo di acquisizione (ms)	500	1000
freq. campionamento (Hz)	2000	1000

Parametri e settaggi di acquisizione.



Caratteristiche di acquisizione in rifrazione stendimento ST1_P-SH.

I dati acquisiti sono stati elaborati con tecnica tomografica secondo lo svolgimento delle seguenti fasi:

- determinazione dei tempi di primo arrivo attraverso il software RAYFRACT[®] 3.32,
- formazione di un *database* contenente la geometria della linea sismica;
- conversione dei dati in formato ASCII.
- processo di *smooth inversion* che permette di ottenere profili monodimensionali (1D) profondità/velocità.
- ottimizzazione del profilo, per iterazioni successive, mediante inversione tomografica WET
- controllo del “*fitting*” tra tempi misurati e tempi calcolati ed eventuale reiterazione del processo di inversione.
- *output* grafico della sezione tomografica.

Per maggiori dettagli sui risultati delle prove eseguite si rimanda agli elaborati grafici in allegato.

Documento verificato da:
Dott. Francesco Fiera

Documento approvato da:
Dott. Massimiliano Perini

Appendice 1: report registrazioni HVSR

(Horizontal to Vertical Spectral Ratio)



STATION INFORMATION

Station code: Postazione_1

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: 02-HVSR

Address: Via G. Verne

Latitude: 43.633335°

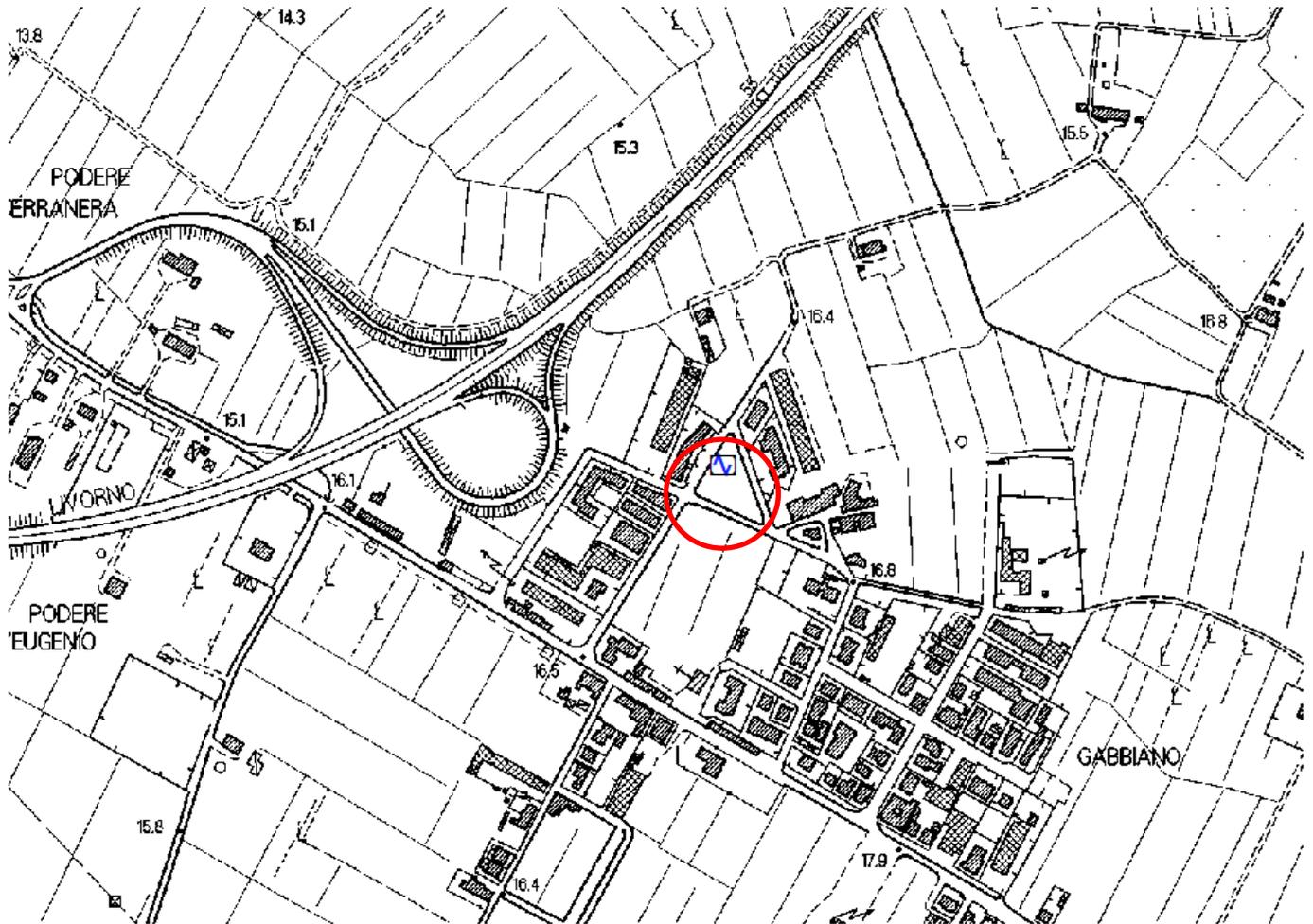
Longitude: 10.609605°

Coordinate system: WGS84

Elevation: 16 m s.l.m.

Weather: sunny - slightly windy

Notes: -



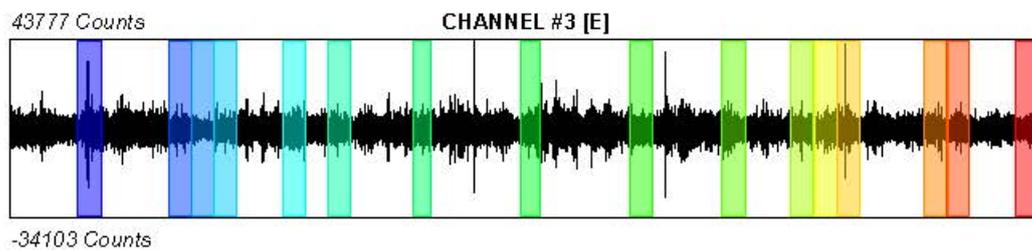
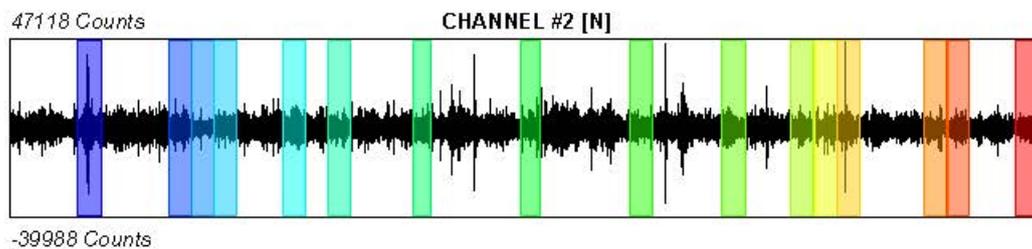
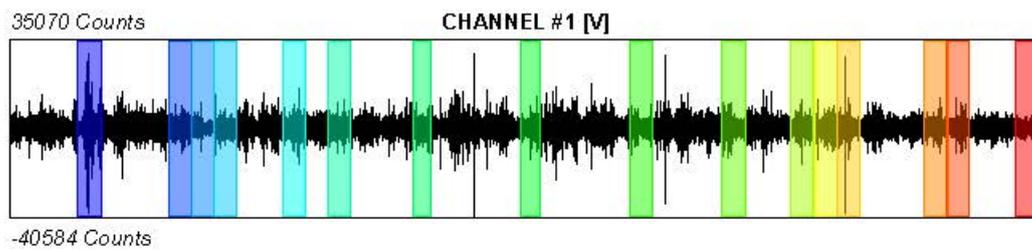
Misura 02 – HVSR - Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273160





SIGNAL AND WINDOWING

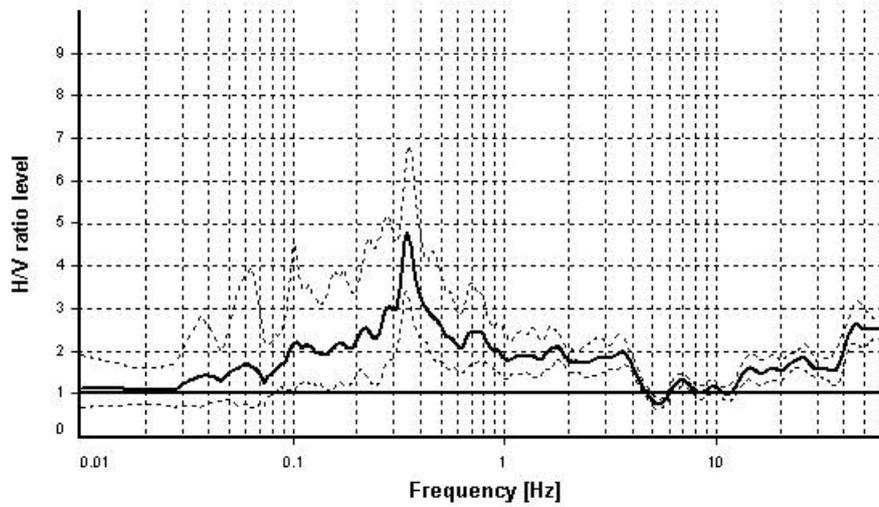
Sampling frequency: 300 Hz
Recording start time: 2018/06/20 11:40:52
Recording length: 30 min
Windows count: 16
Average windows length: 39.04
Signal coverage: 34.7%



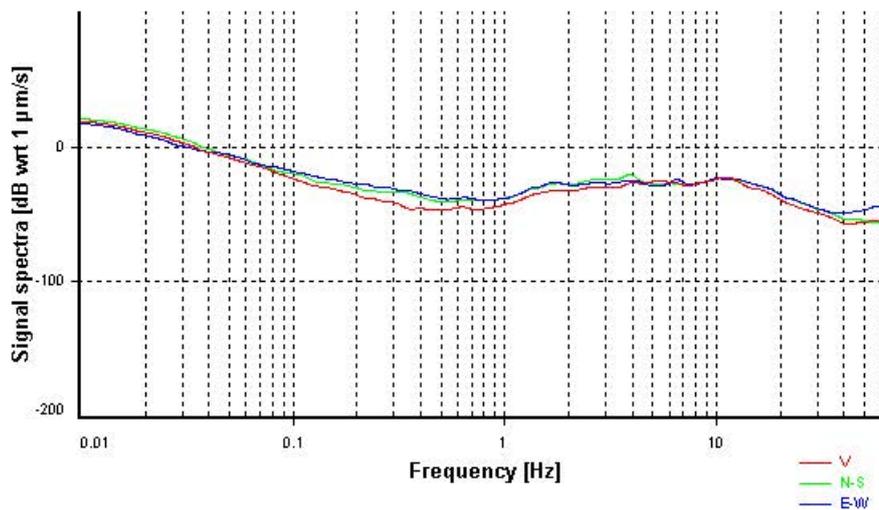
HVSR ANALYSIS

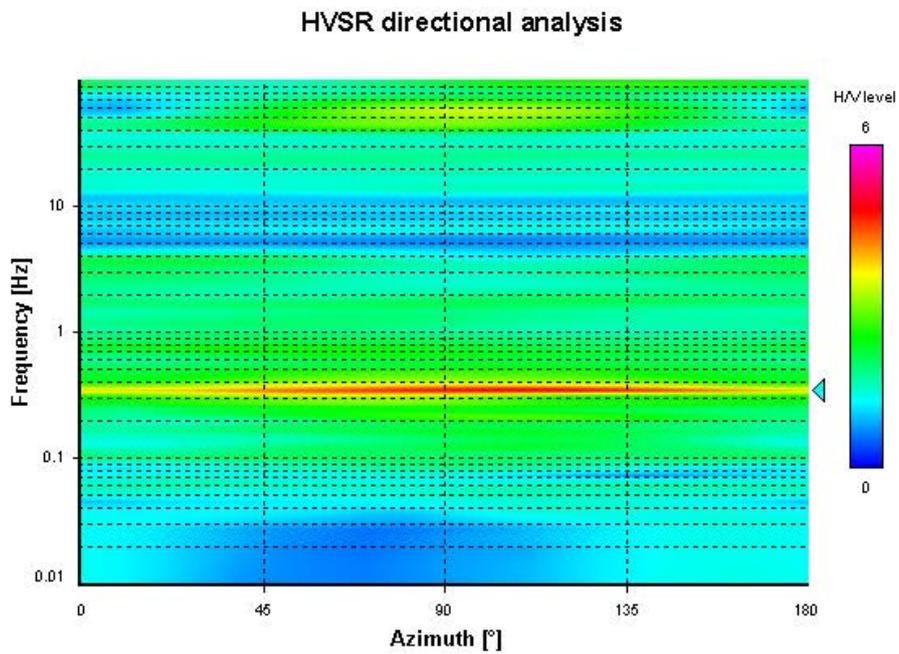
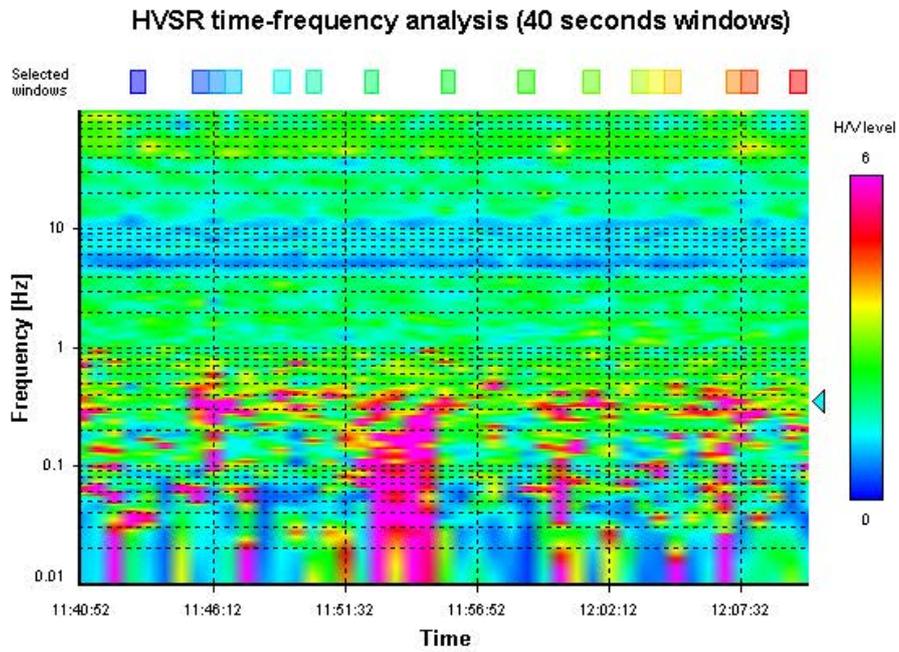
Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)
Instrumental correction: Enabled (Water level = 0.001 Hz)

HVSR average



Signal spectra average





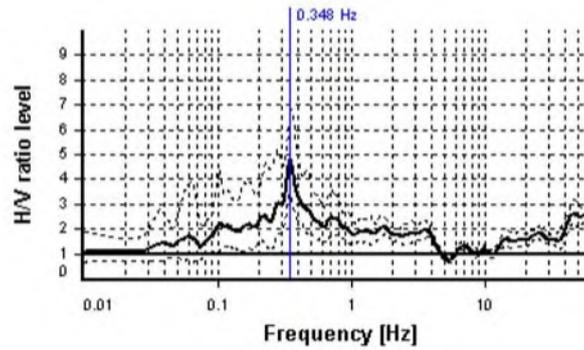
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

0.348 Hz

A_0 amplitude = 4.794

Average $f_0 = 0.328 \pm 0.056$



HVSr curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	16 valid windows (length > 28.74 s) out of 16	OK
$n_c(f_0) > 200$	217.37 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 151	OK
HVSr peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0.25433 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	0.52206 Hz	OK
$A_0 > 2$	4.79 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	2.8% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.05624 < 0.06959	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.41907 < 2.5	OK
Overall criteria fulfillment		OK

STATION INFORMATION

Station code: Postazione_1

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: 04-HVSR

Address: Via Milano

Latitude: 43.627688°

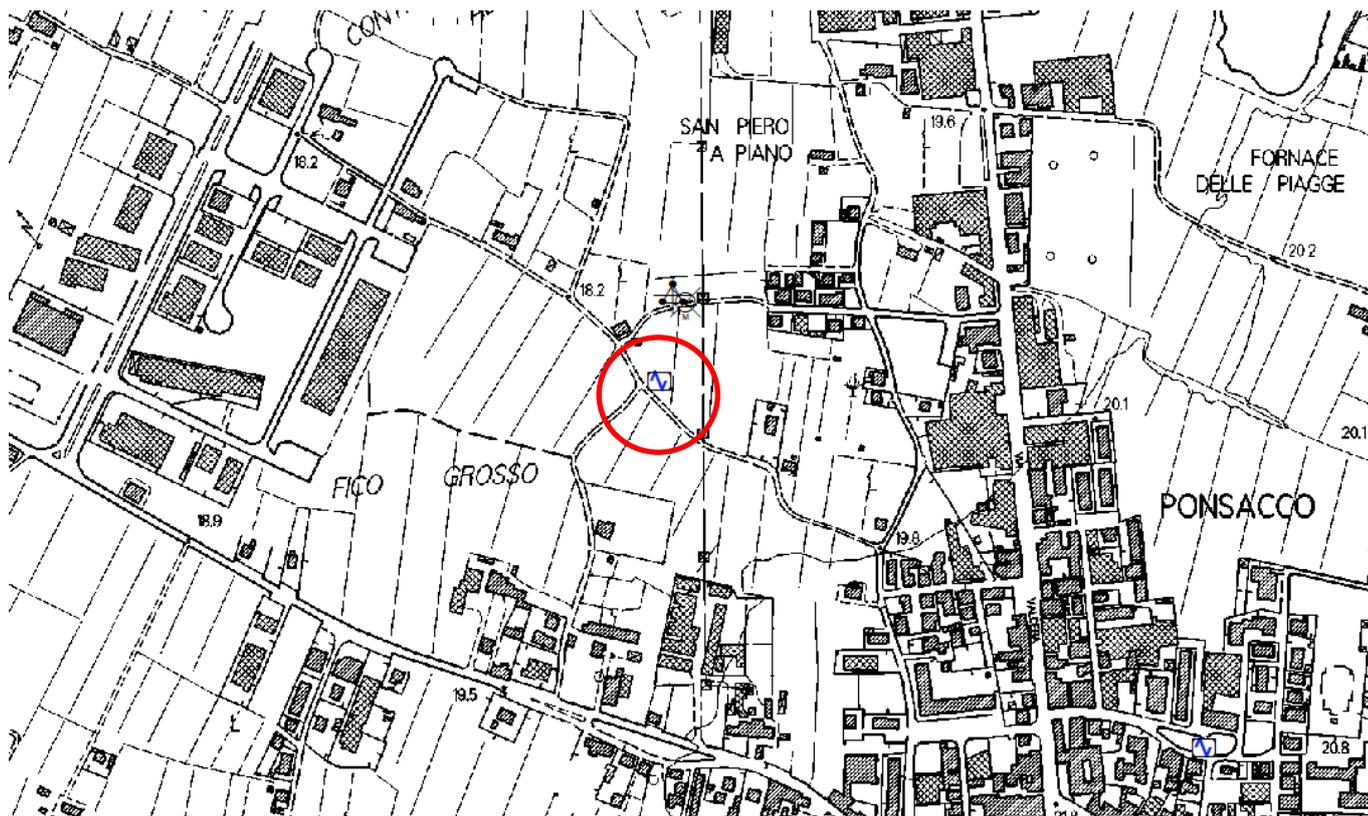
Longitude: 10.624833°

Coordinate system: WGS84

Elevation: 19 m s.l.m.

Weather: sunny - slightly windy

Notes: -



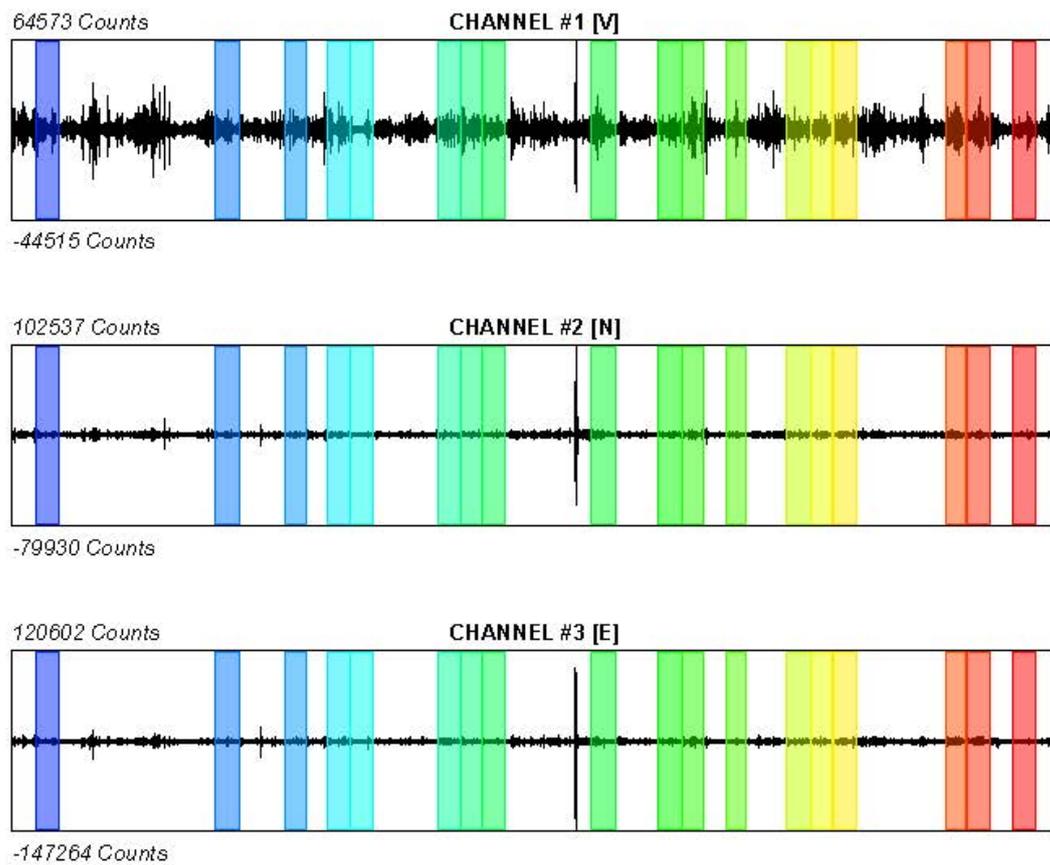
Misura 04 – HVSR - Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273160





SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz
Recording start time: 2018/06/19 17:56:52
Recording length: 30 min
Windows count: 18
Average window's length: 38.96
Signal coverage: 38.96%



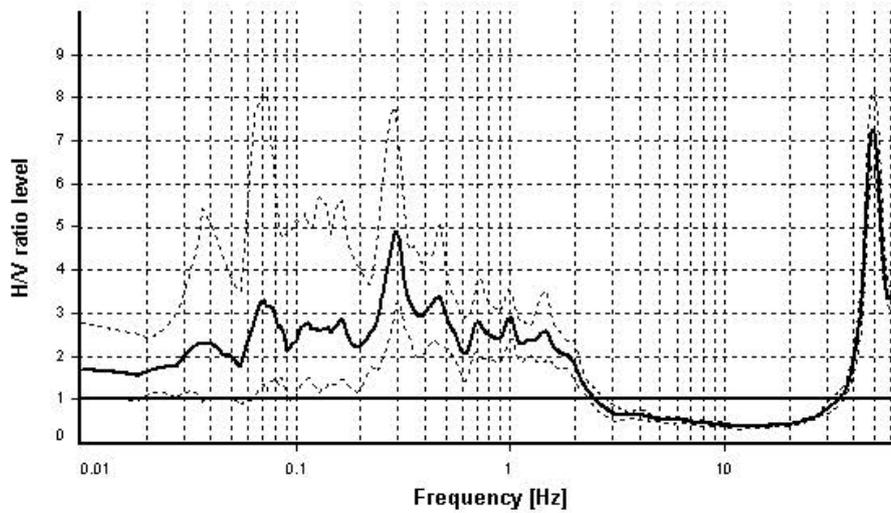
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

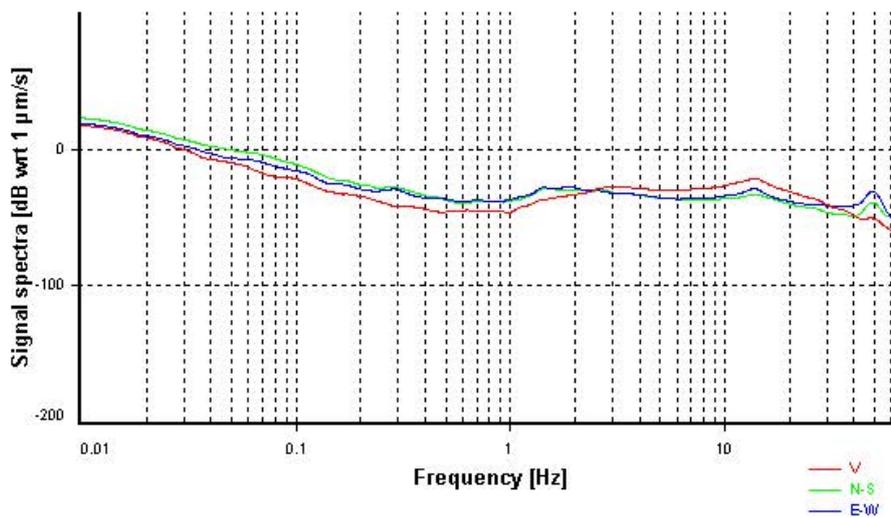
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

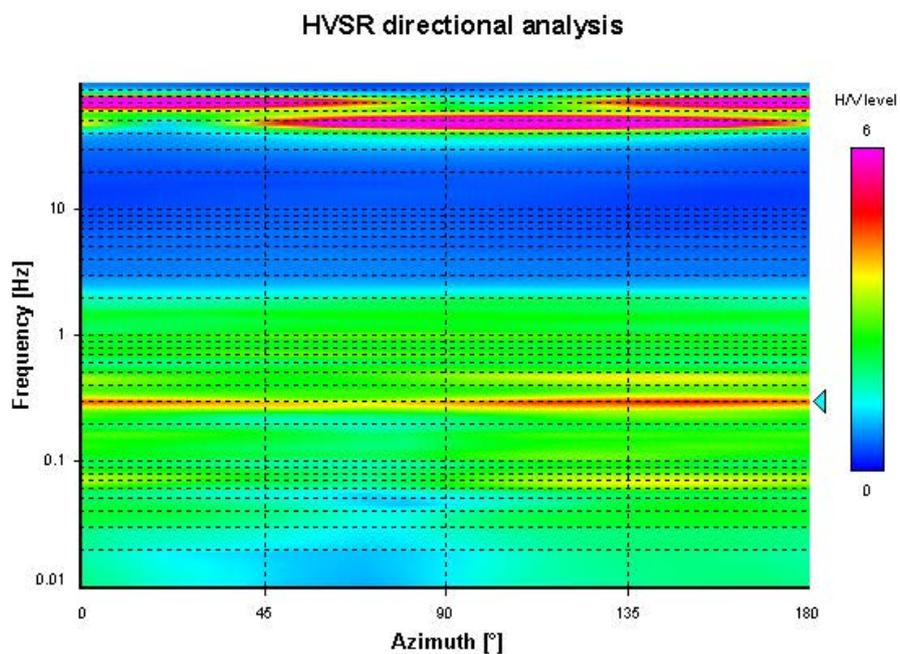
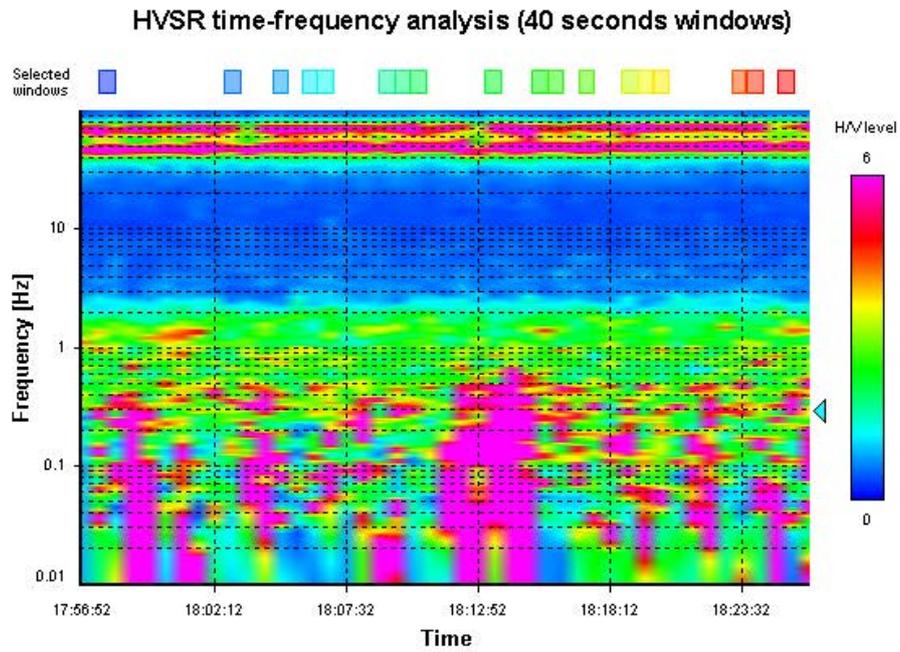
Instrumental correction: Enabled (Water level = 0.001 Hz)

HVSR average



Signal spectra average





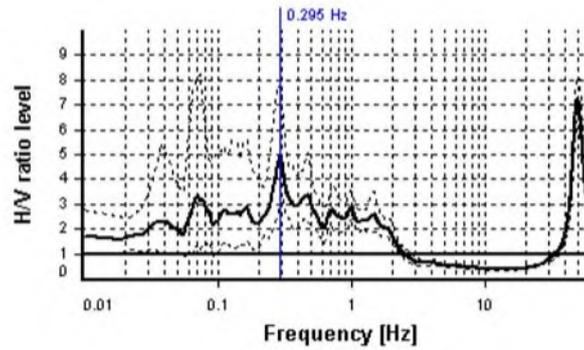
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

0.295 Hz

A_0 amplitude = 4.910

Average $f_0 = 0.285 \pm 0.043$



HVSr curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	18 valid windows (length > 33.93 s) out of 18	OK
$n_c(f_0) > 200$	206.7 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 151	OK
HVSr peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0.21544 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	0.56722 Hz	OK
$A_0 > 2$	4.91 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	3.62% \leq 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.04345 < 0.05895	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.53989 < 2.5	OK
Overall criteria fulfillment		OK

STATION INFORMATION

Station code: Postazione_1

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: 06-HVSR

Address: Via Bagnaia

Latitude: 43.624136°

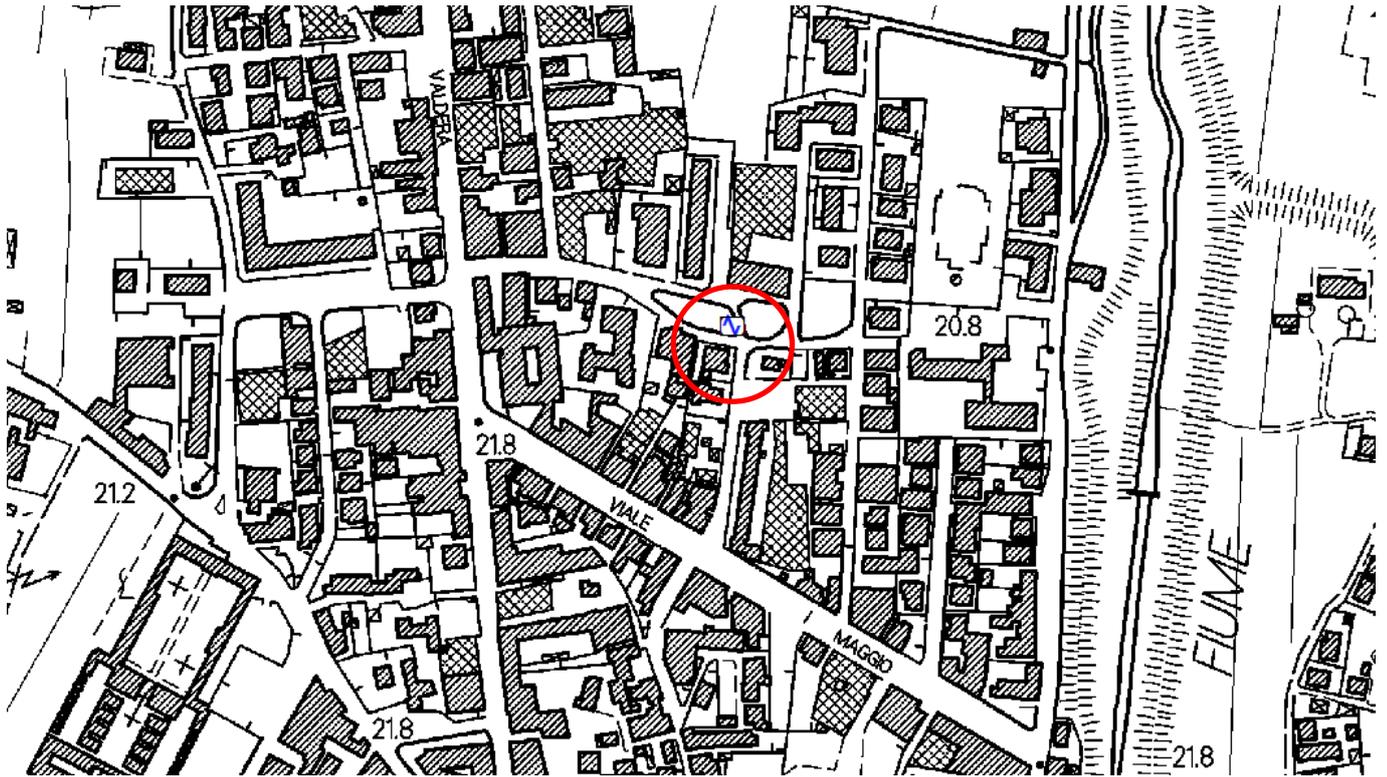
Longitude: 10.631765°

Coordinate system: WGS84

Elevation: 22 m s.l.m.

Weather: sunny - slightly windy

Notes: -



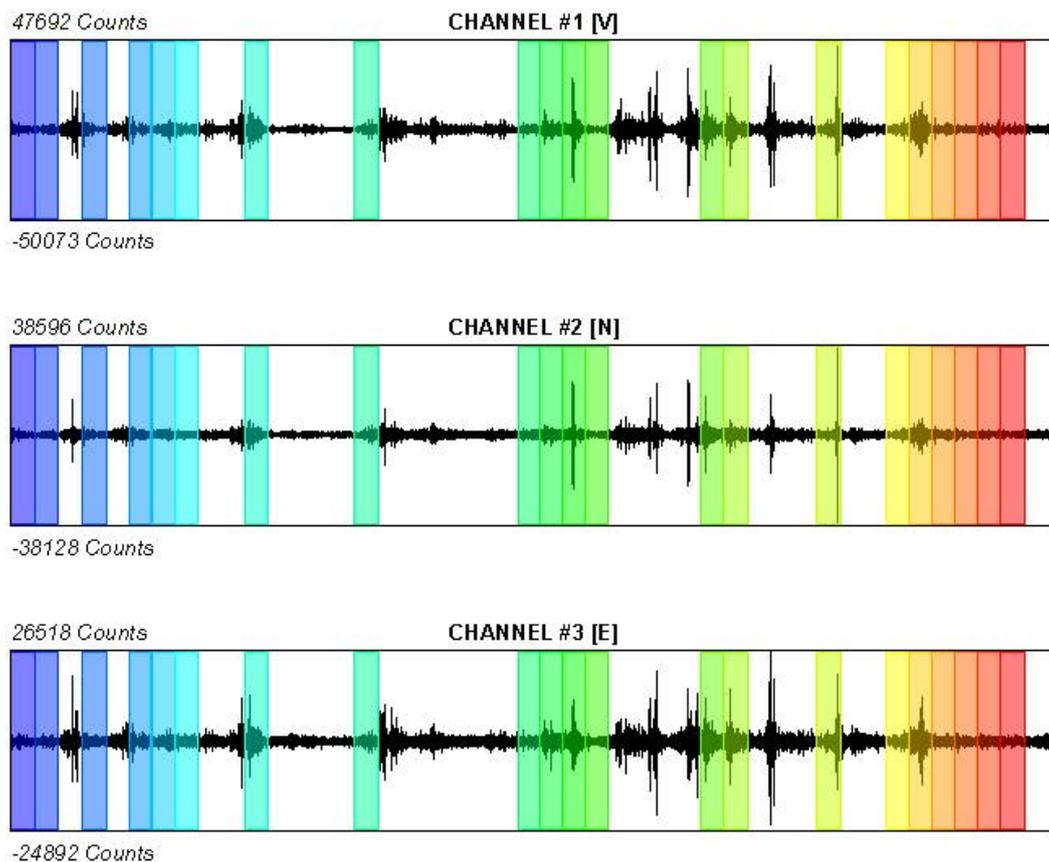
Misura 06 – HVSR - Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273160





SIGNAL AND WINDOWING

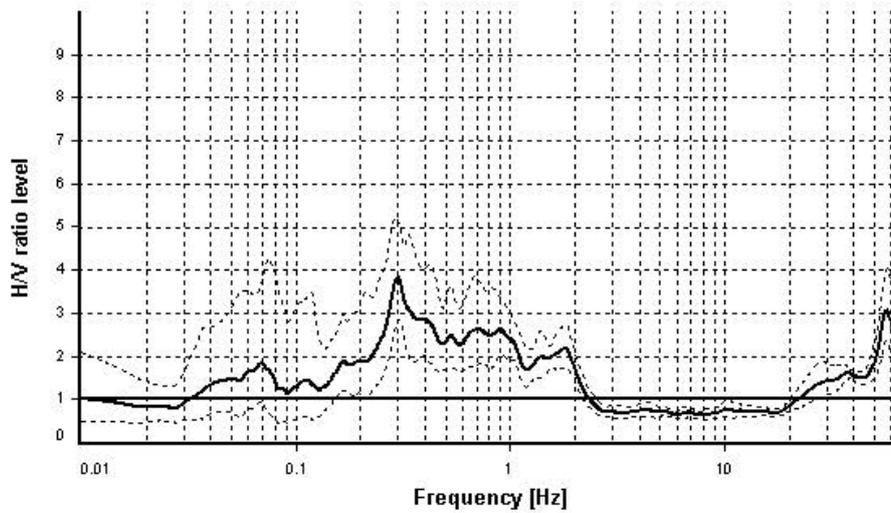
Sampling frequency: 300 Hz
Recording start time: 2018/06/20 06:07:20
Recording length: 30 min
Windows count: 21
Average window's length: 39.78
Signal coverage: 46.41%



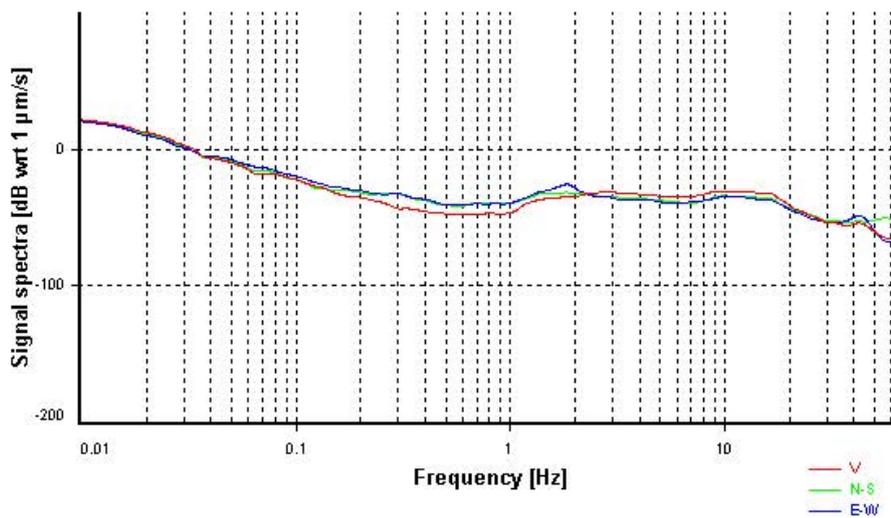
HVSR ANALYSIS

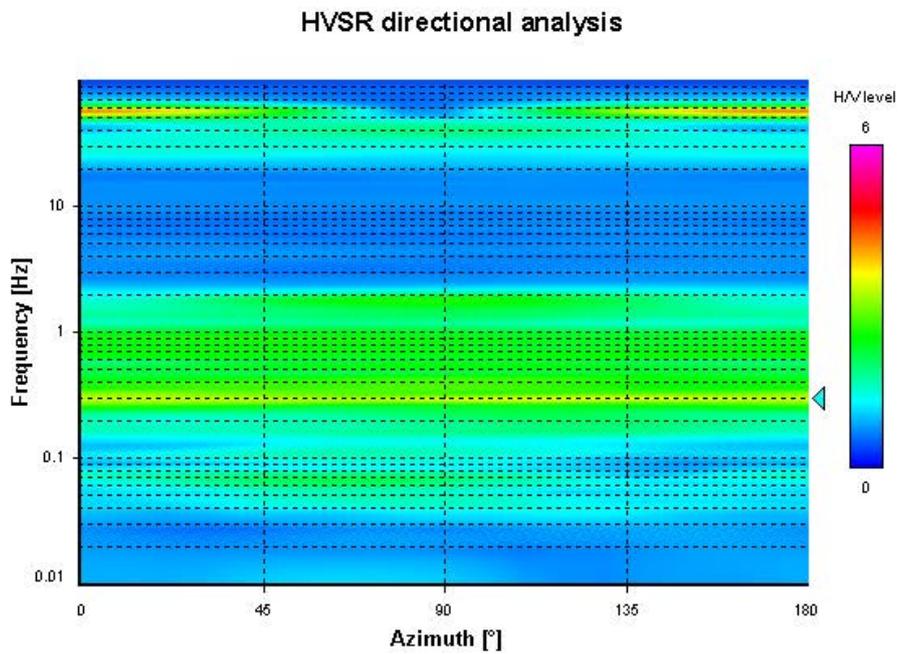
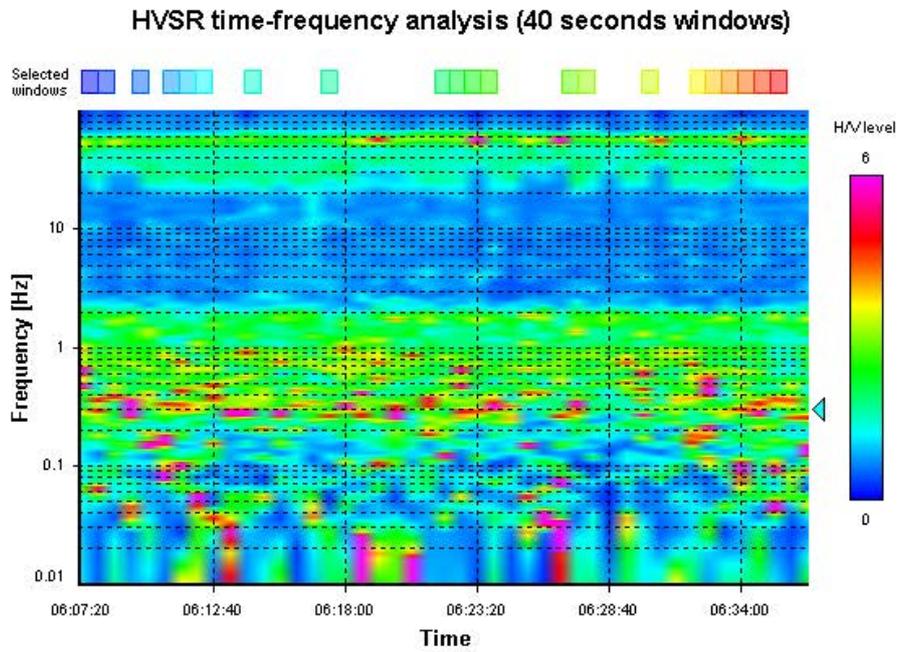
Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)
Instrumental correction: Enabled (Water level = 0.001 Hz)

HVSR average



Signal spectra average





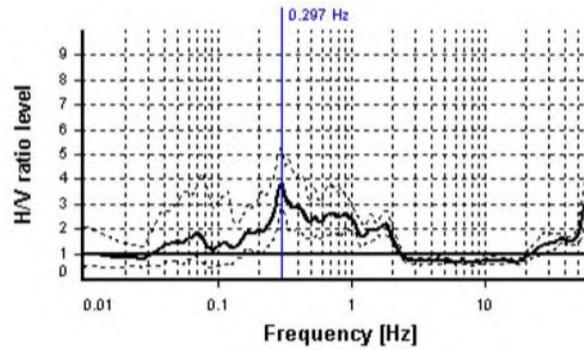
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

0.297 Hz

A_0 amplitude = 3.815

Average $f_0 = 0.302 \pm 0.058$



HVSr curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	21 valid windows (length > 33.61 s) out of 21	OK
$n_c(f_0) > 200$	248.5 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 151	OK
HVSr peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0.21347 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	1.12215 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.81 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	1.83% \leq 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.05817 < 0.0595	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.35674 < 2.5	OK
Overall criteria fulfillment		OK

STATION INFORMATION

Station code: Postazione_1

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: 07-HVSR

Address: P.zza Carducci

Latitude: 43.620877°

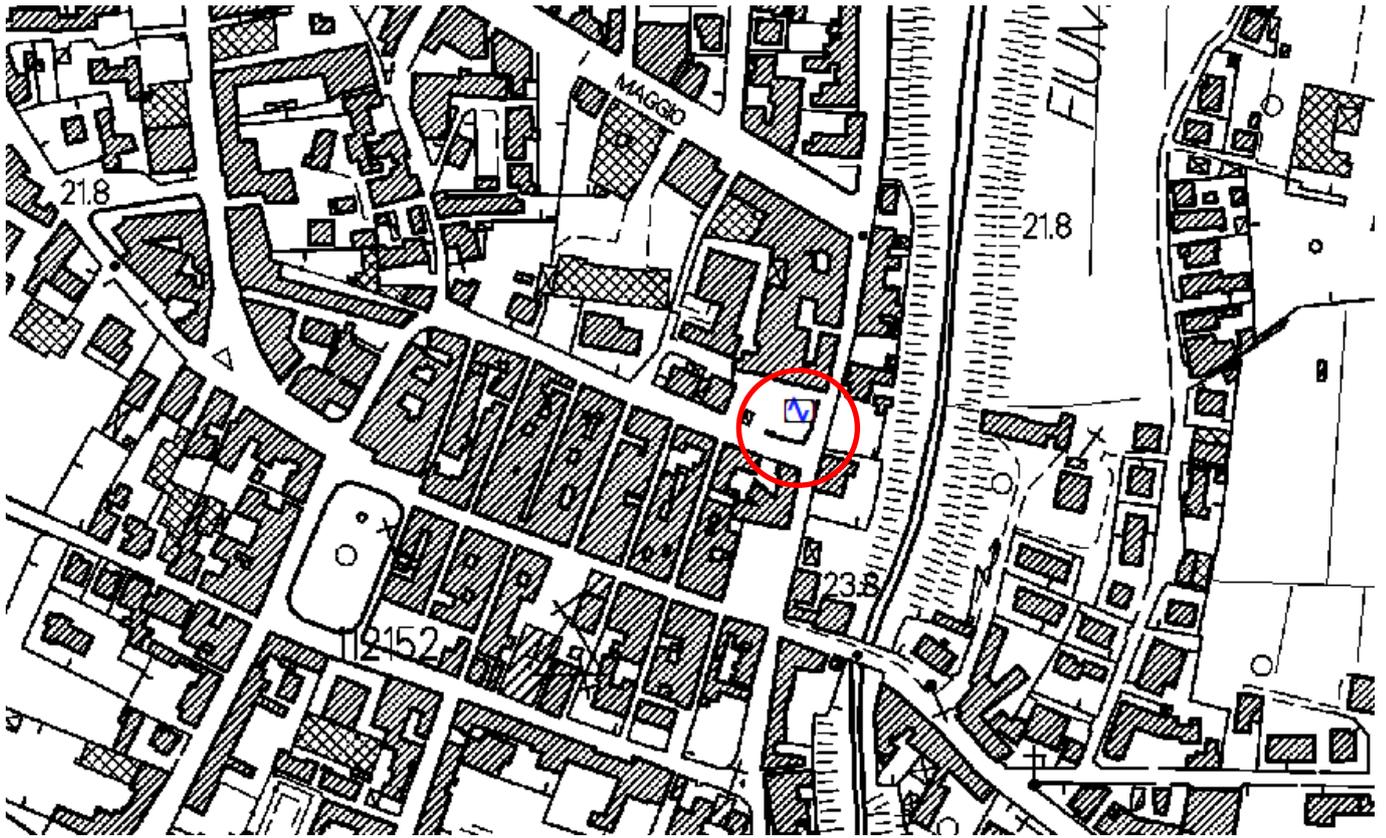
Longitude: 10.633639°

Coordinate system: WGS84

Elevation: 23 m s.l.m.

Weather: sunny - slightly windy

Notes: -



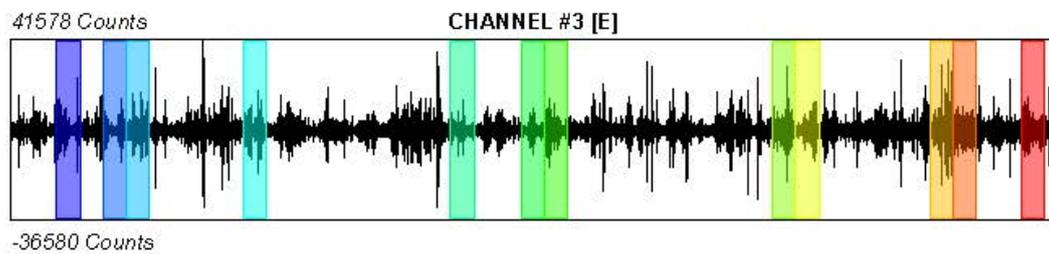
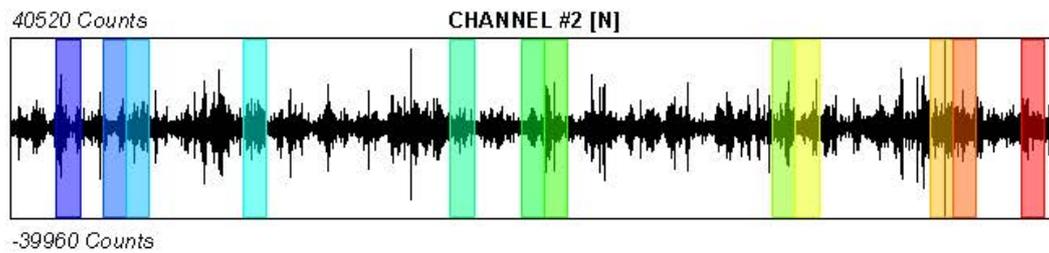
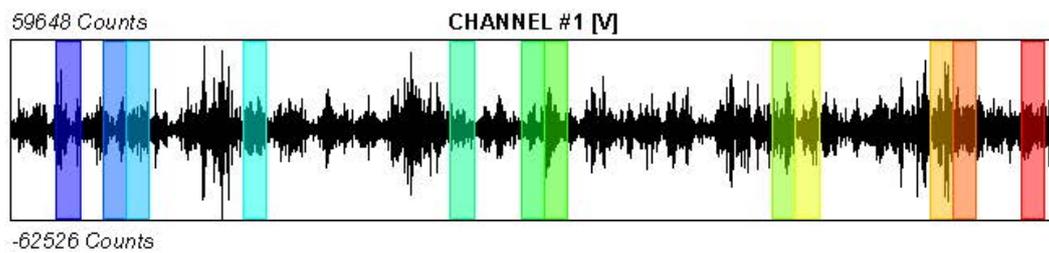
Misura 07 – HVSR - Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273160





SIGNAL AND WINDOWING

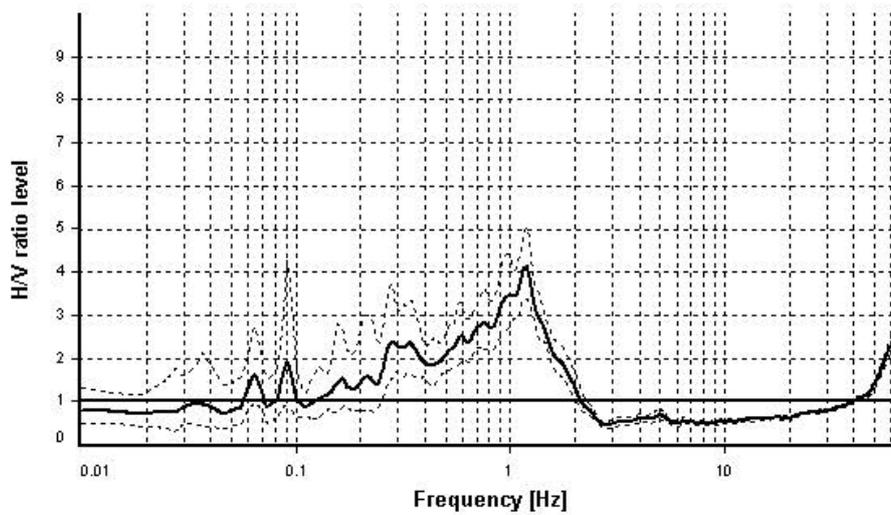
Sampling frequency: 300 Hz
Recording start time: 2018/06/20 06:44:45
Recording length: 30 min
Windows count: 12
Average windows length: 40
Signal coverage: 26.67%



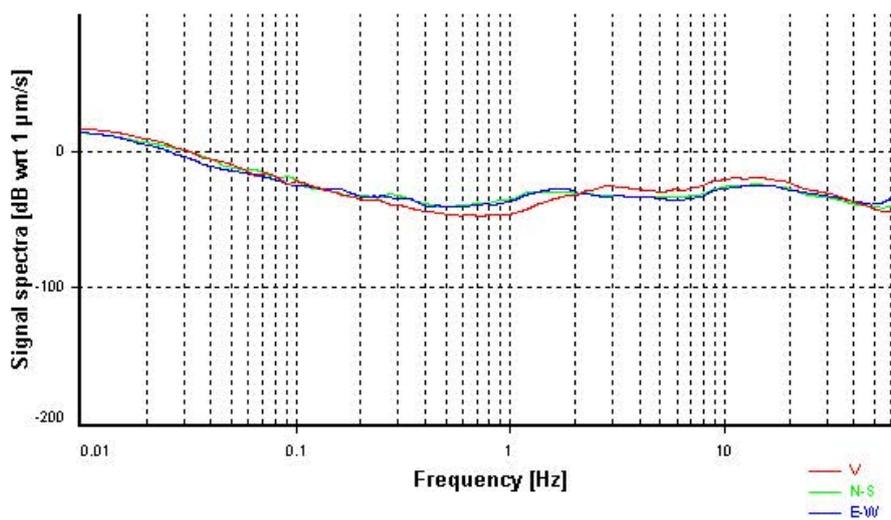
HVSR ANALYSIS

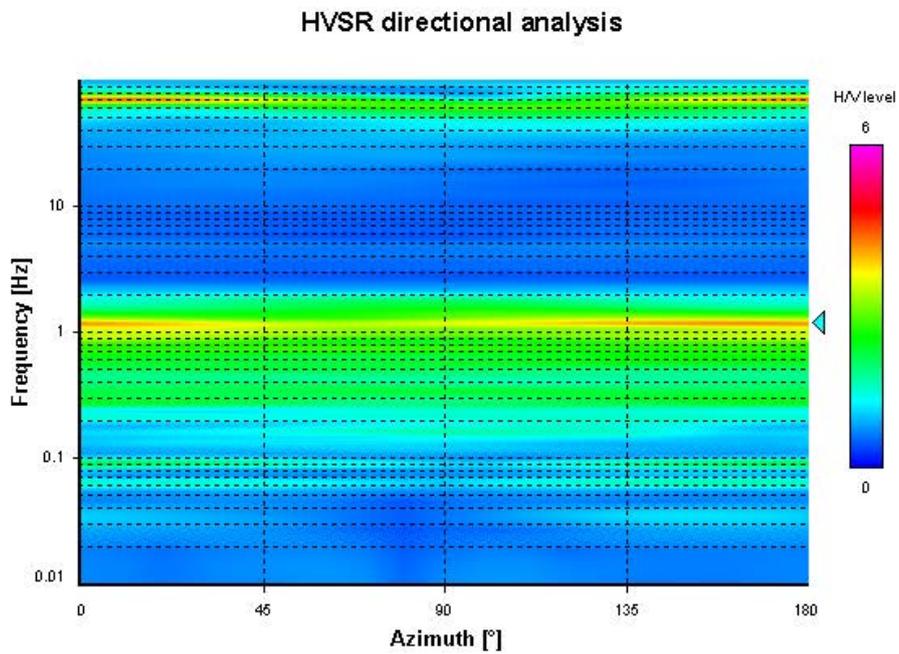
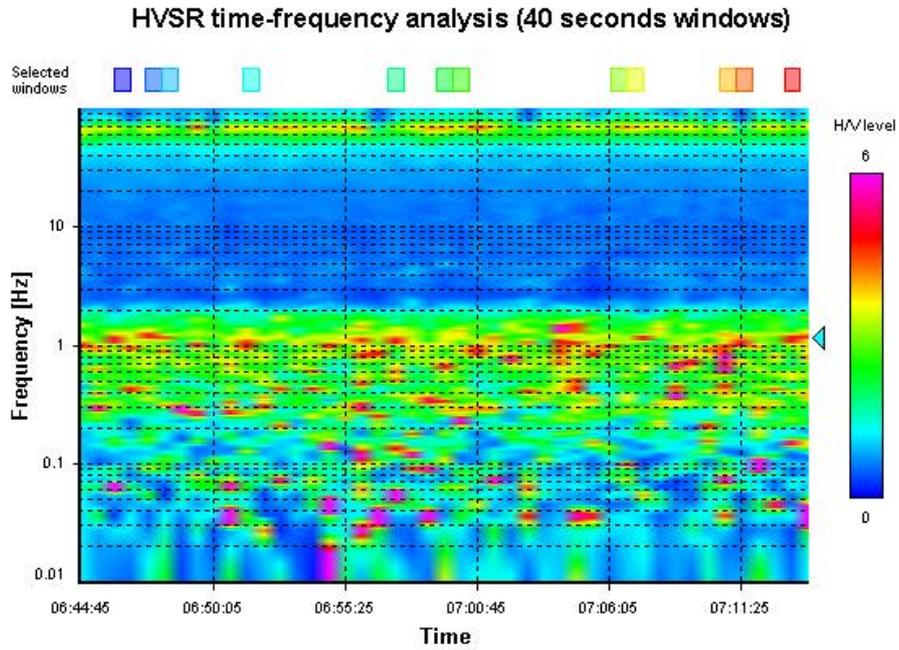
Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)
Instrumental correction: Enabled (Water level = 0.001 Hz)

HVSR average



Signal spectra average





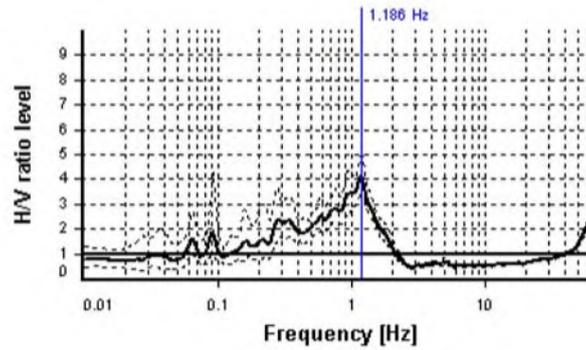
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

1.186 Hz

A_0 amplitude = 4.129

Average $f_0 = 1.165 \pm 0.108$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	12 valid windows (length > 8.43 s) out of 12	OK
$n_c(f_0) > 200$	569.27 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 151	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0.49396 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	1.6226 Hz	OK
$A_0 > 2$	4.13 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	1.83% \leq 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.10806 < 0.1186	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.21853 < 1.78	OK
Overall criteria fulfillment		OK

STATION INFORMATION

Station code: Postazione_1

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: 09-HVSR

Address: Via Rospicciano

Latitude: 43.617324°

Longitude: 10.625226°

Coordinate system: WGS84

Elevation: 21 m s.l.m.

Weather: sunny - slightly windy

Notes: -



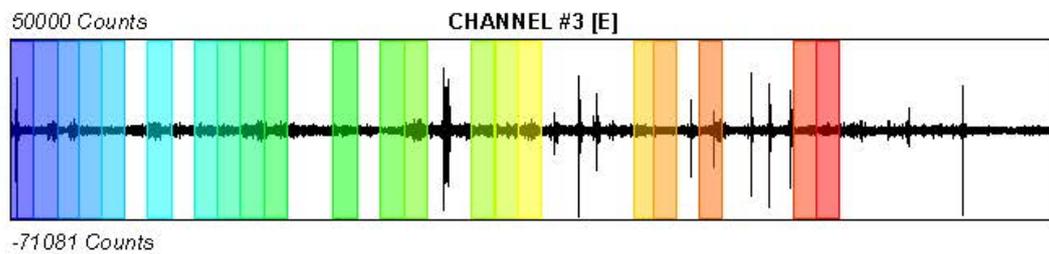
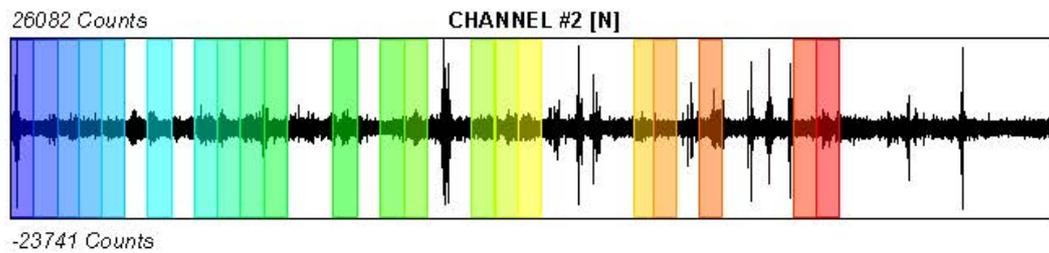
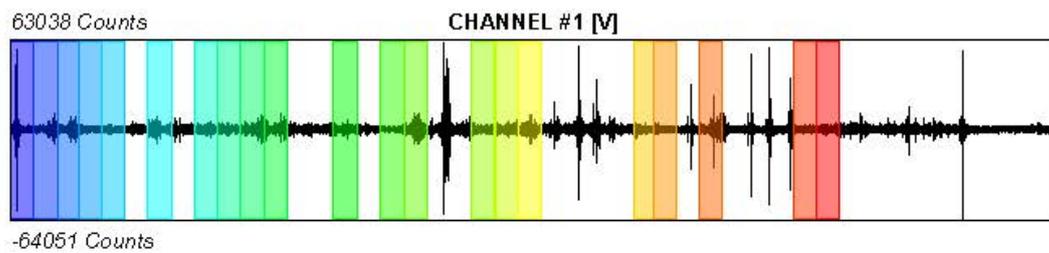
Misura 09 – HVSR - Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273160





SIGNAL AND WINDOWING

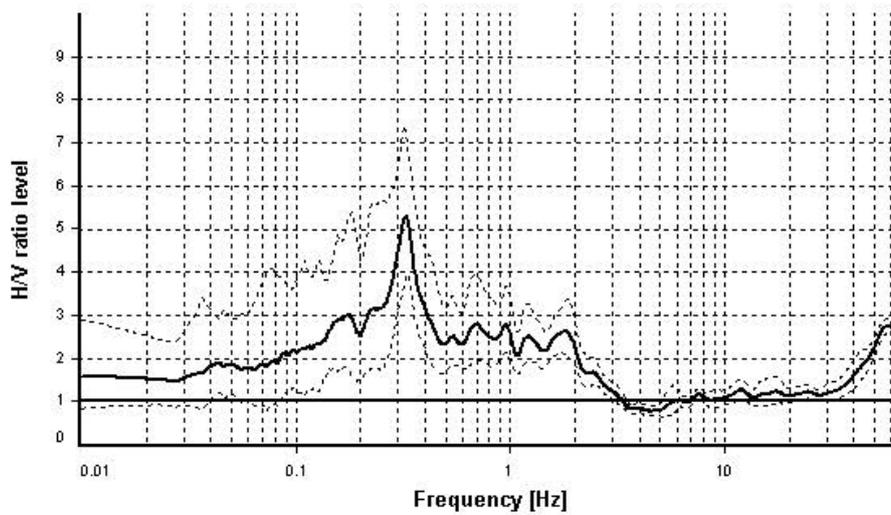
Sampling frequency: 300 Hz
Recording start time: 2018/06/20 10:48:59
Recording length: 30 min
Windows count: 21
Average window's length: 39.6
Signal coverage: 46.2%



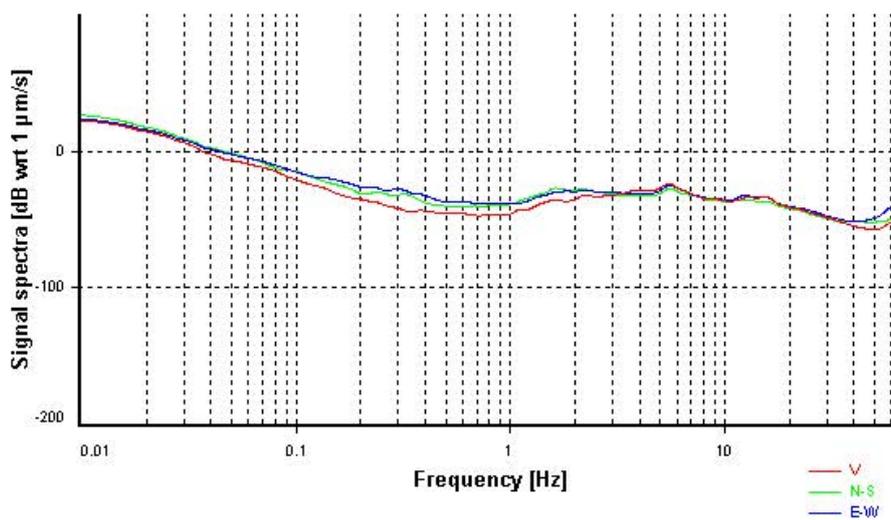
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)
Instrumental correction: Enabled (Water level = 0.001 Hz)

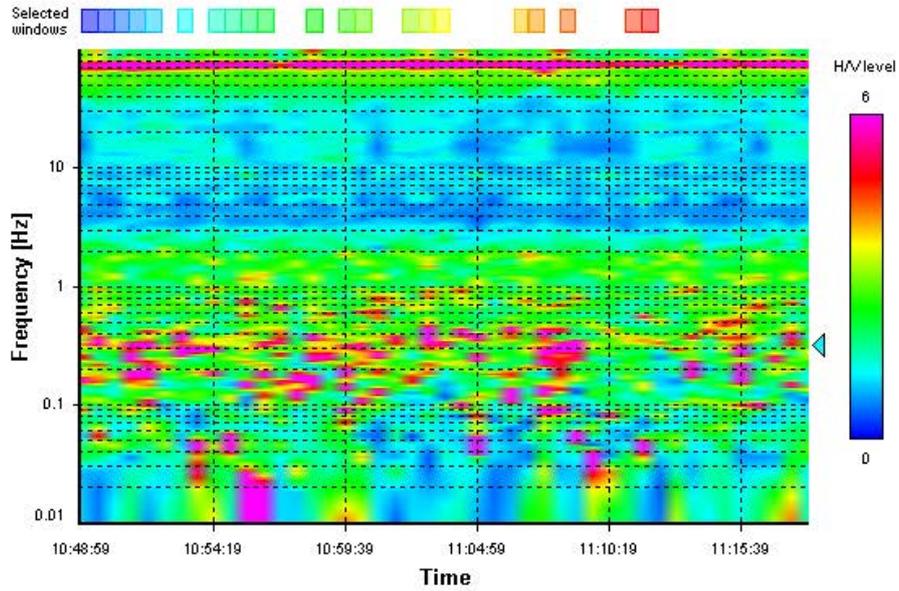
HVSR average



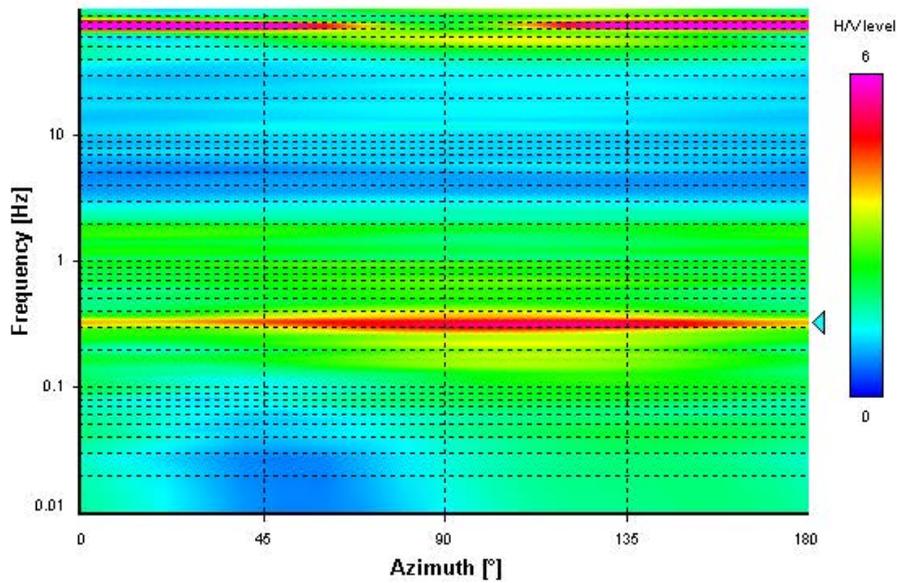
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (40 seconds windows)



HVSR directional analysis



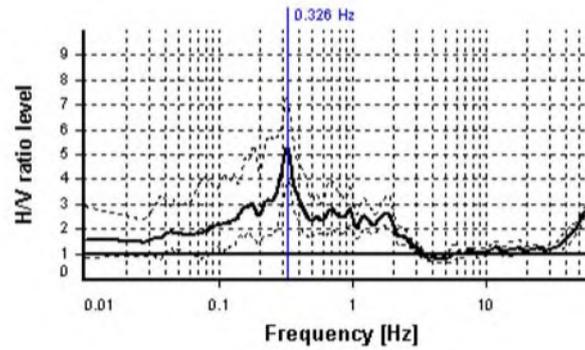
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

0.326 Hz

A_0 amplitude = 5.281

Average $f_0 = 0.315 \pm 0.051$



HVSr curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	21 valid windows (length > 30.65 s) out of 21	OK
$n_c(f_0) > 200$	271.29 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 151	OK
HVSr peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0.20385 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	0.44632 Hz	OK
$A_0 > 2$	5.28 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	1.86% \leq 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.05099 < 0.06524	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.35527 < 2.5	OK
Overall criteria fulfillment		OK

STATION INFORMATION

Station code: Postazione_1

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: 10-HVSR

Address: Via Cattaneo

Latitude: 43.614586°

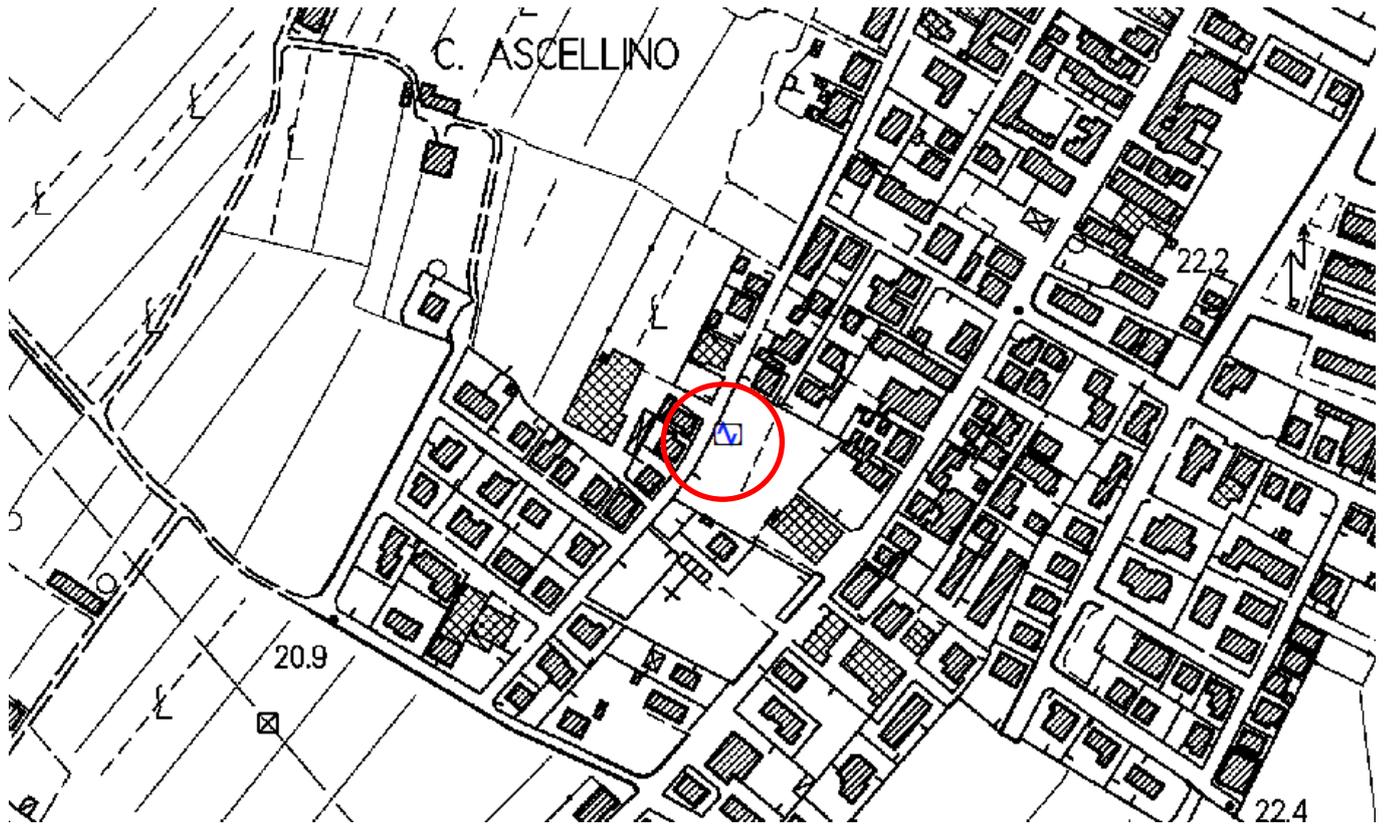
Longitude: 10.623712°

Coordinate system: WGS84

Elevation: 22 m s.l.m.

Weather: sunny - slightly windy

Notes: -



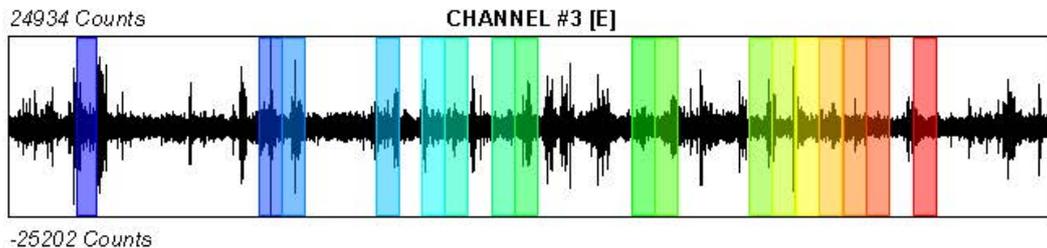
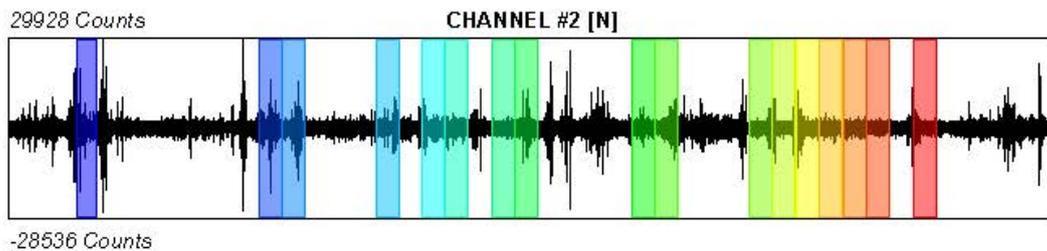
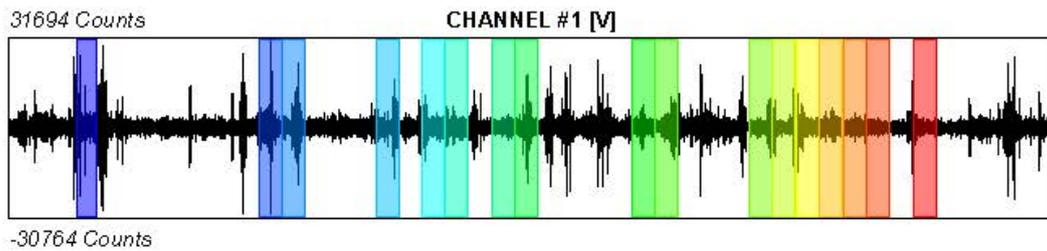
Misura 10 – HVSR - Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273160





SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz
Recording start time: 2018/06/20 10:06:18
Recording length: 30 min
Windows count: 17
Average window's length: 39.56
Signal coverage: 37.36%



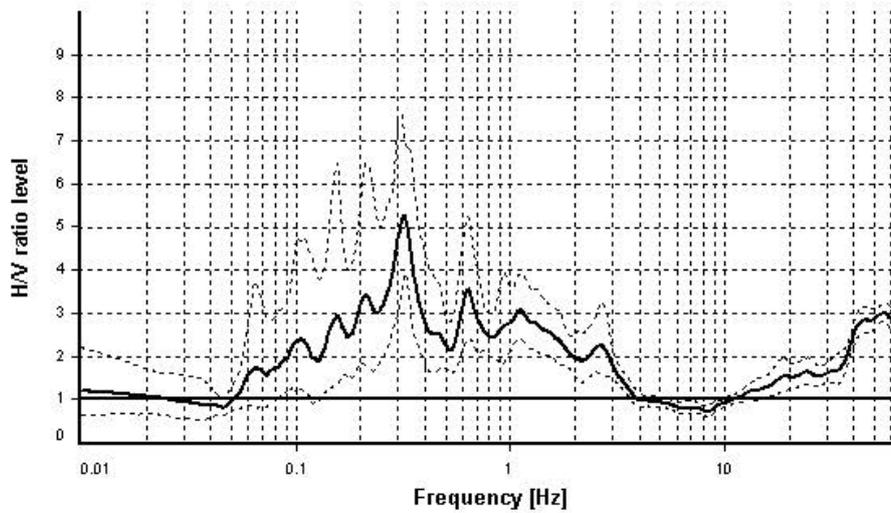
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

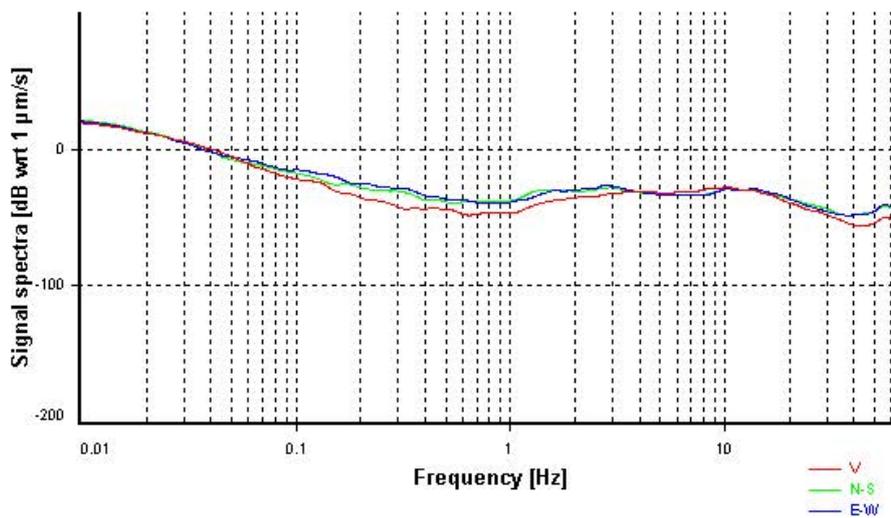
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

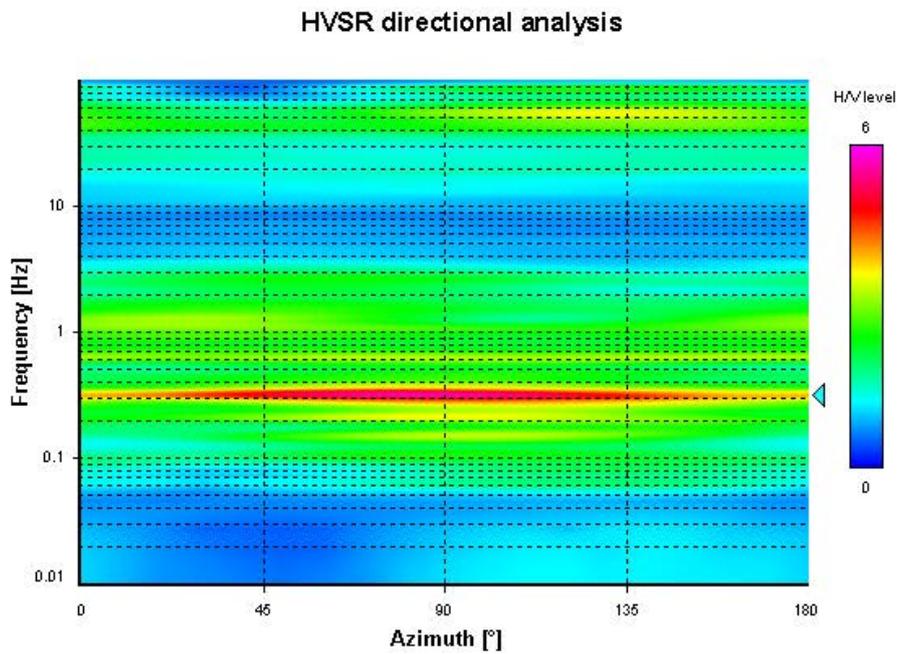
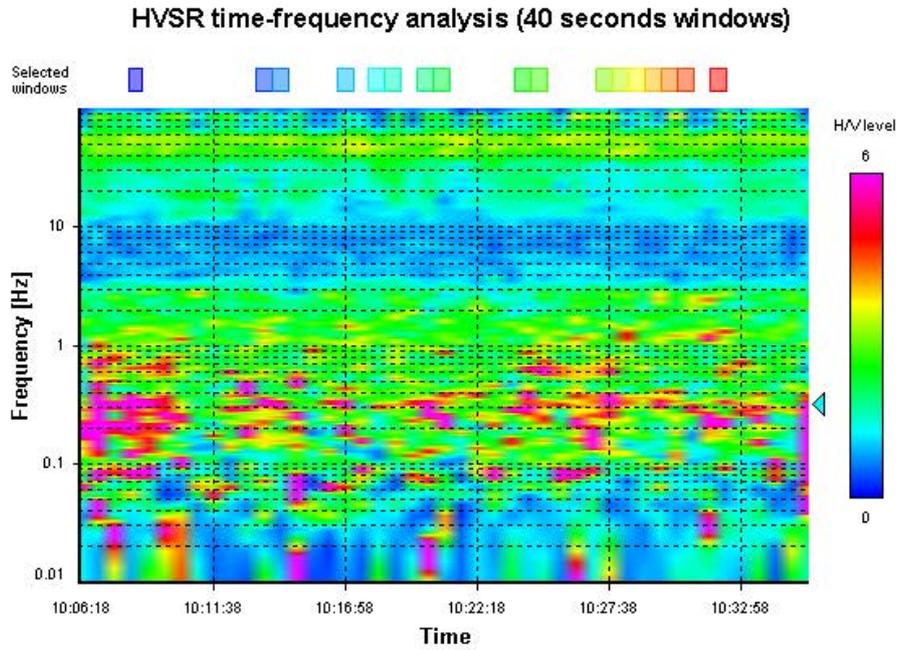
Instrumental correction: Enabled (Water level = 0.001 Hz)

HVSR average



Signal spectra average





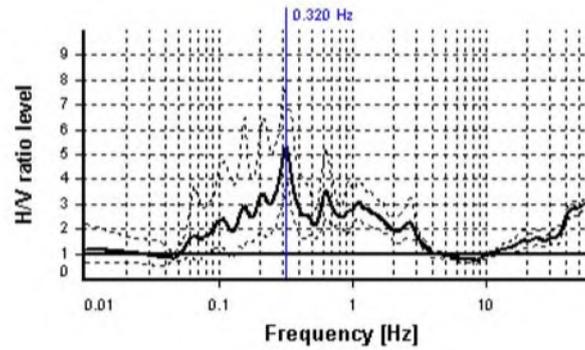
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

0.320 Hz

A_0 amplitude = 5.272

Average $f_0 = 0.303 \pm 0.063$



HVSr curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	17 valid windows (length > 31.22 s) out of 17	OK
$n_c(f_0) > 200$	215.37 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 151	OK
HVSr peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0.1859 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	0.41459 Hz	OK
$A_0 > 2$	5.27 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	2.73% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.06258 < 0.06405	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.35752 < 2.5	OK
Overall criteria fulfillment		OK

STATION INFORMATION

Station code: Postazione_1

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: 11-HVSR

Address: Via Cervi

Latitude: 43.611503°

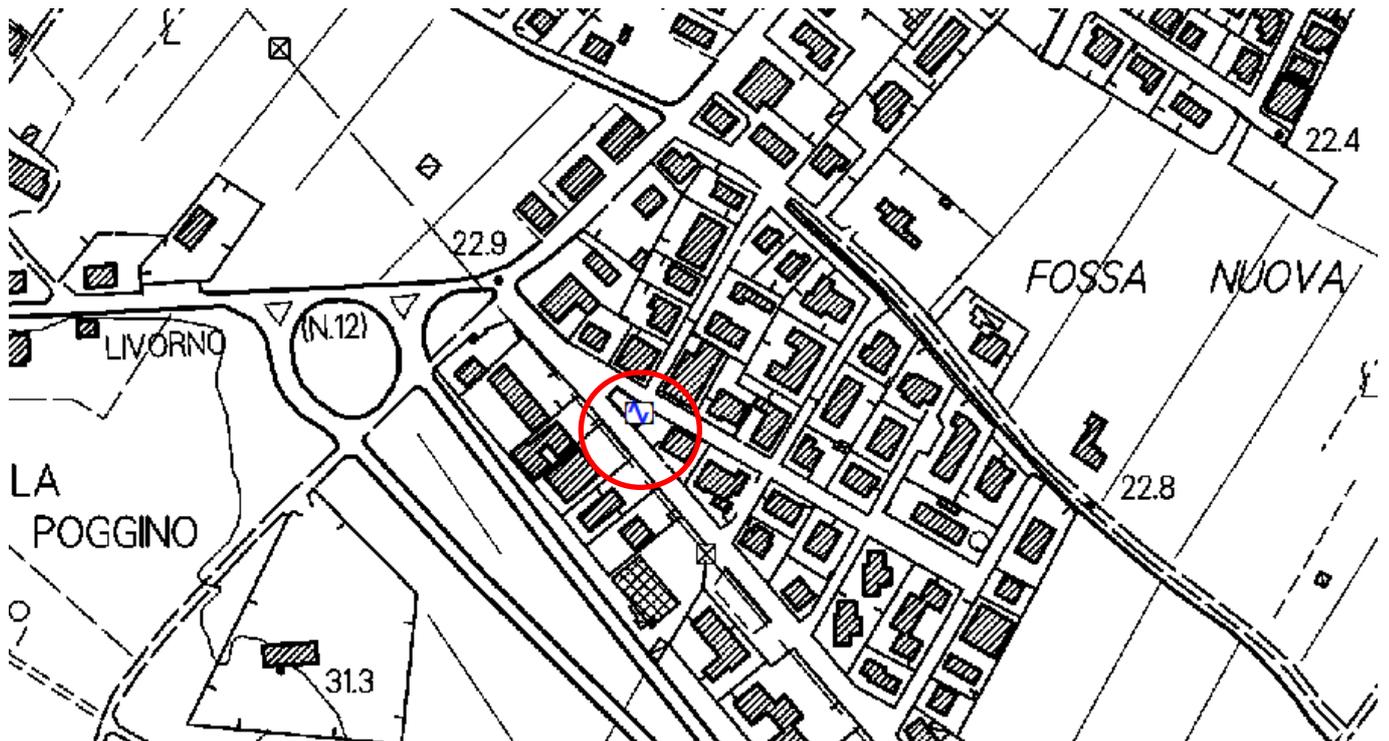
Longitude: 10.622825°

Coordinate system: WGS84

Elevation: 22 m s.l.m.

Weather: sunny - slightly windy

Notes: -



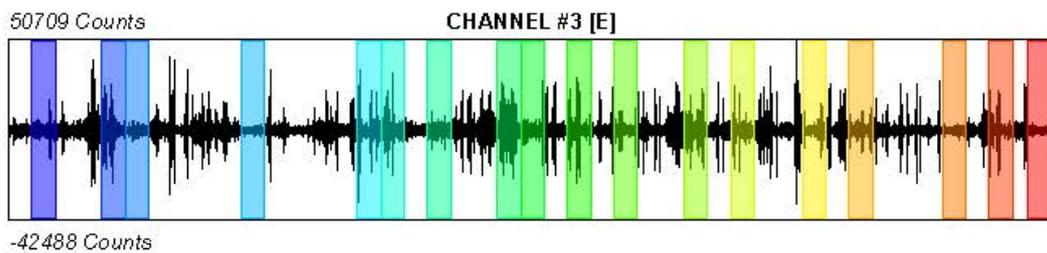
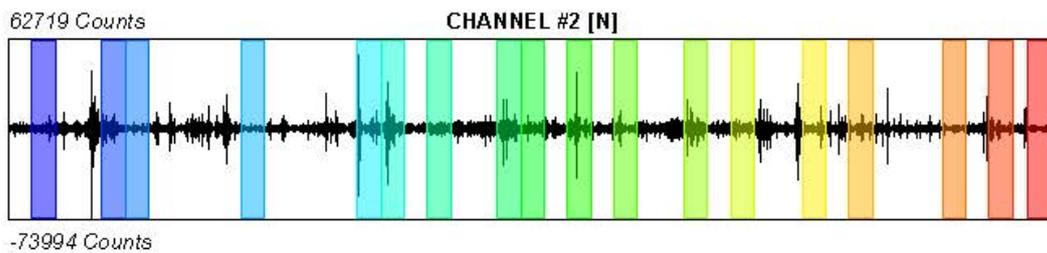
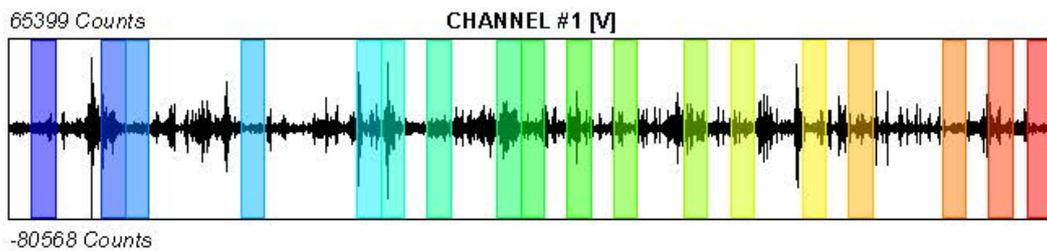
Misura 11 – HVSR - Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273160





SIGNAL AND WINDOWING

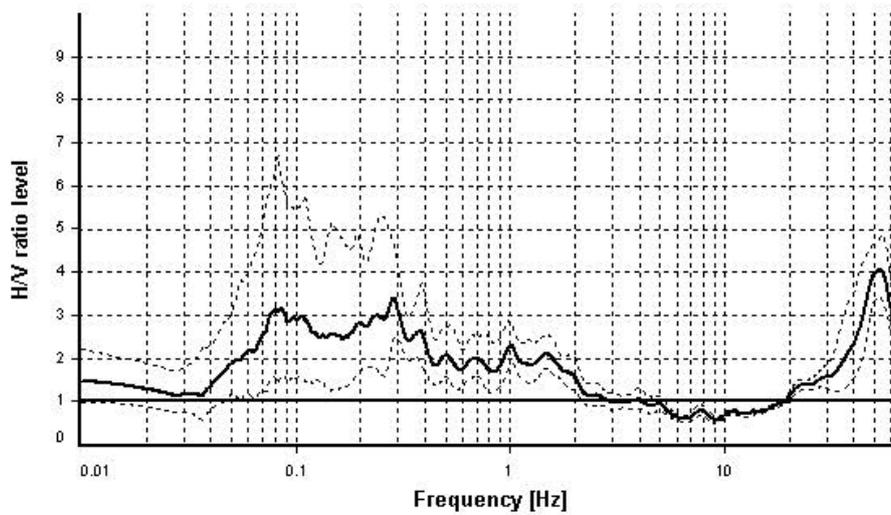
Sampling frequency: 300 Hz
Recording start time: 2018/06/20 09:22:32
Recording length: 30 min
Windows count: 18
Average windows length: 40
Signal coverage: 40%



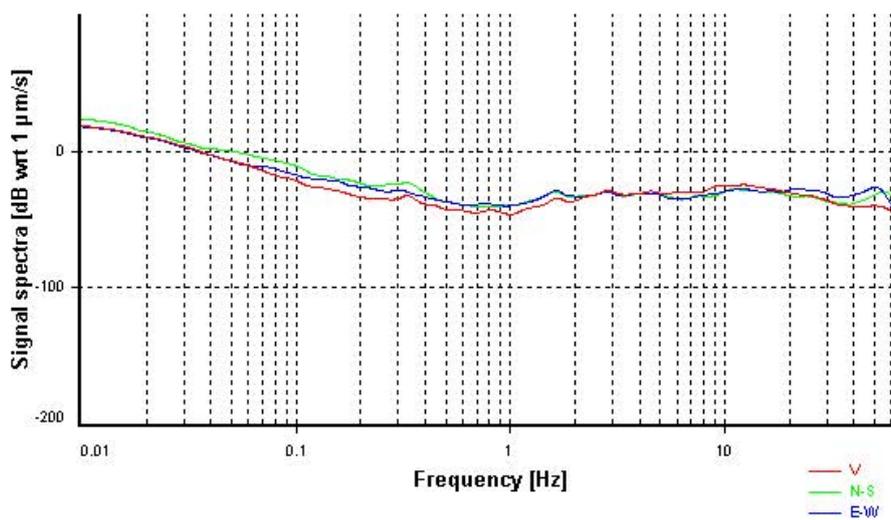
HVSR ANALYSIS

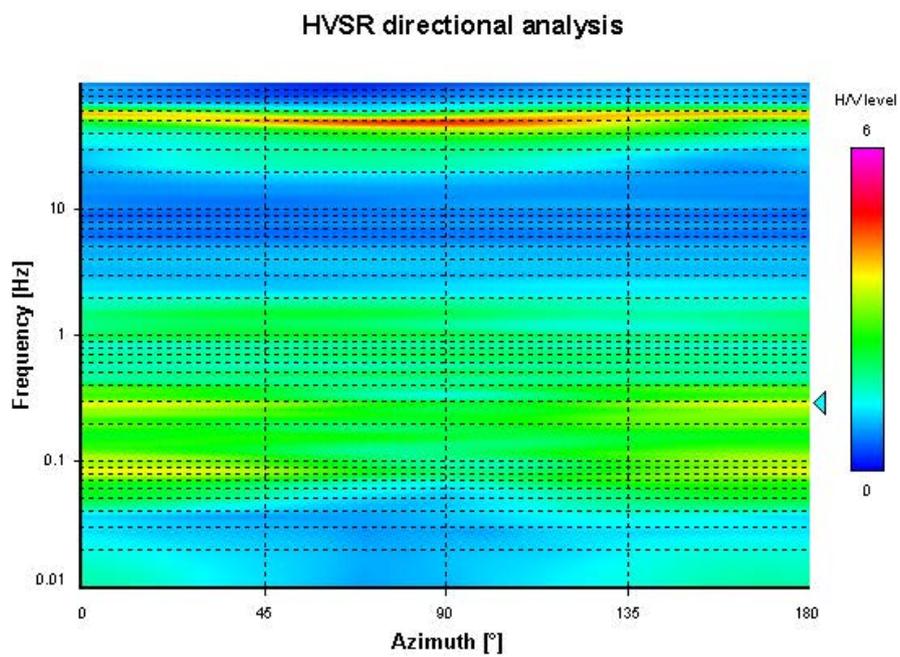
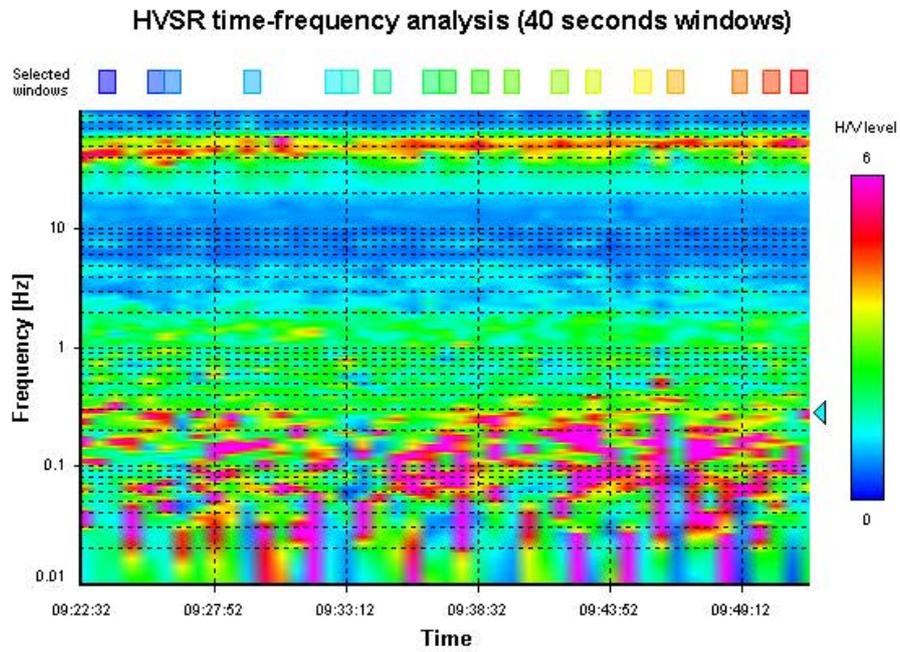
Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)
Instrumental correction: Enabled (Water level = 0.001 Hz)

HVSR average



Signal spectra average





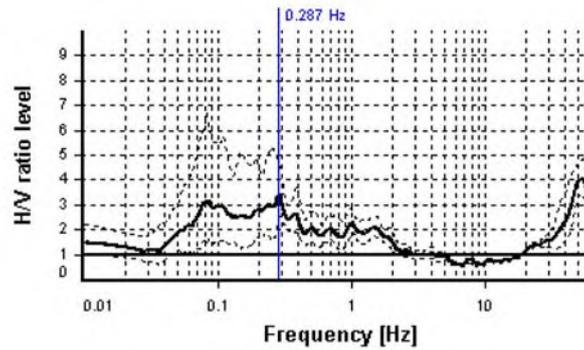
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

0.287 Hz

A_0 amplitude = 3.388

Average f_0 = 0.261 ± 0.069



HVSr curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	18 valid windows (length > 34.88 s) out of 18	OK
$n_c(f_0) > 200$	206.44 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 151	OK
HVSr peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0 Hz	NO
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	0.82019 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.39 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	13.71% > 5%	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.06874 >= 0.05734	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.36488 < 2.5	OK
Overall criteria fulfillment		NO

STATION INFORMATION

Station code: Postazione_1

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: 12-HVSR

Address: Puntale

Latitude: 43.621904°

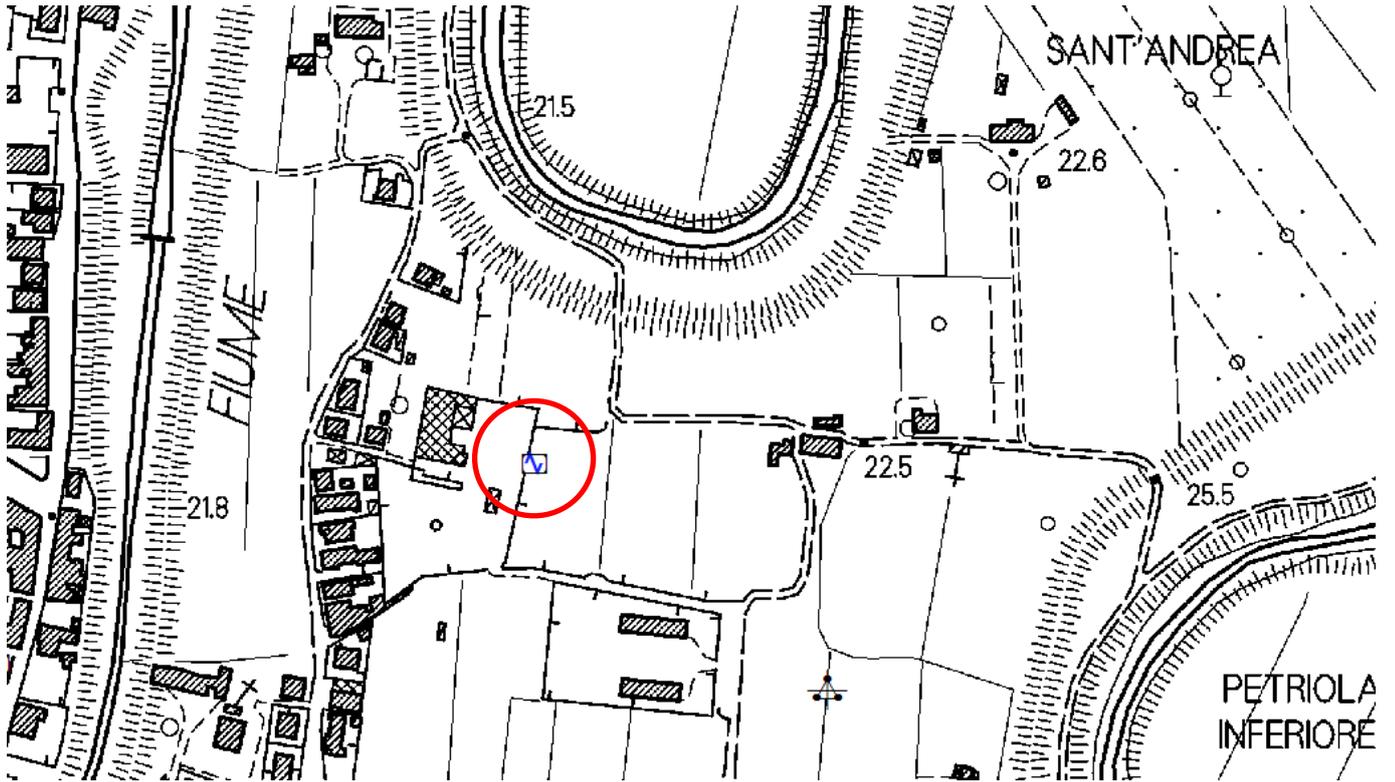
Longitude: 10.637587°

Coordinate system: WGS84

Elevation: 24 m s.l.m.

Weather: sunny - slightly windy

Notes: -



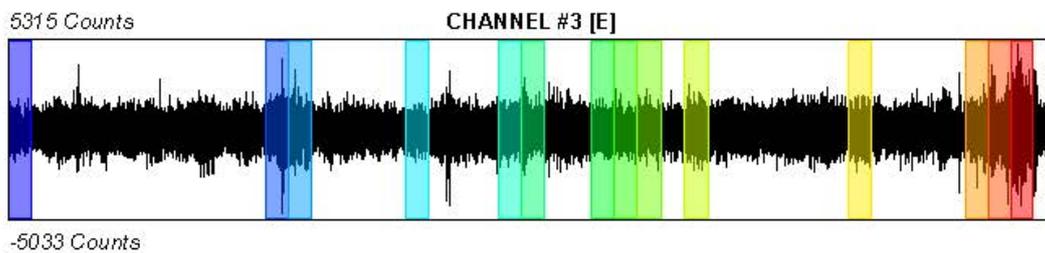
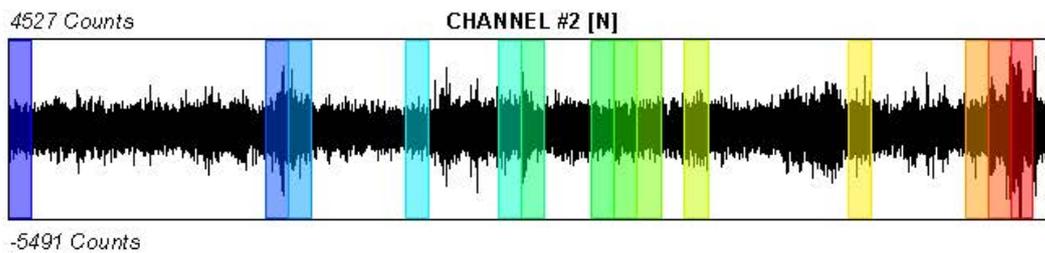
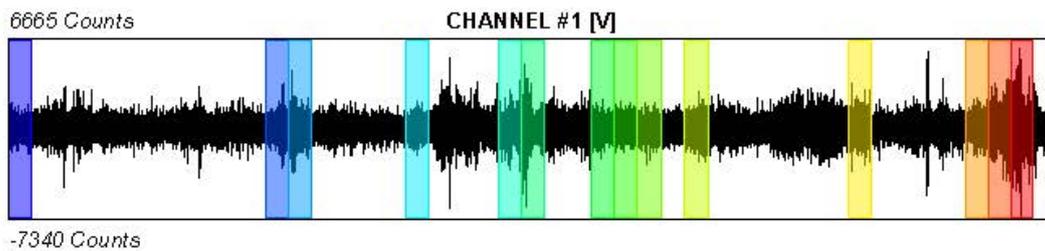
Misura 12 – HVSR - Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273160





SIGNAL AND WINDOWING

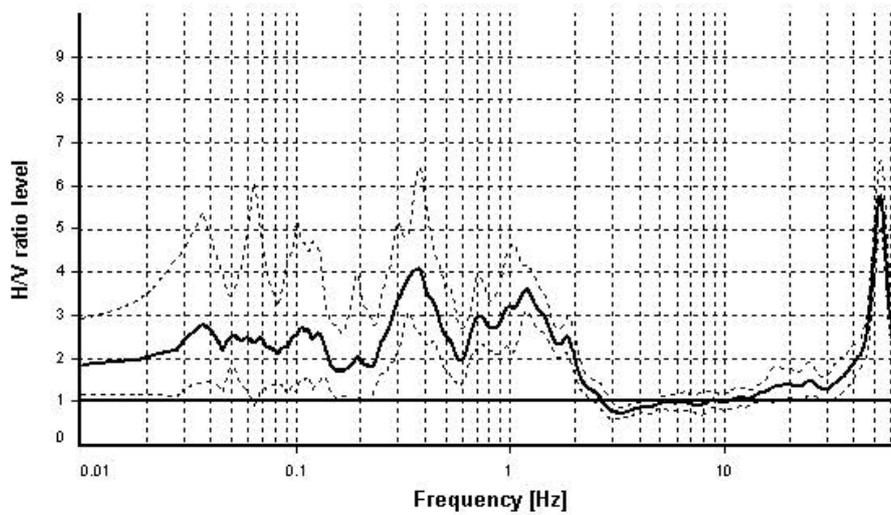
Sampling frequency: 300 Hz
Recording start time: 2018/06/19 15:56:32
Recording length: 30 min
Windows count: 14
Average windows length: 39.68
Signal coverage: 30.86%



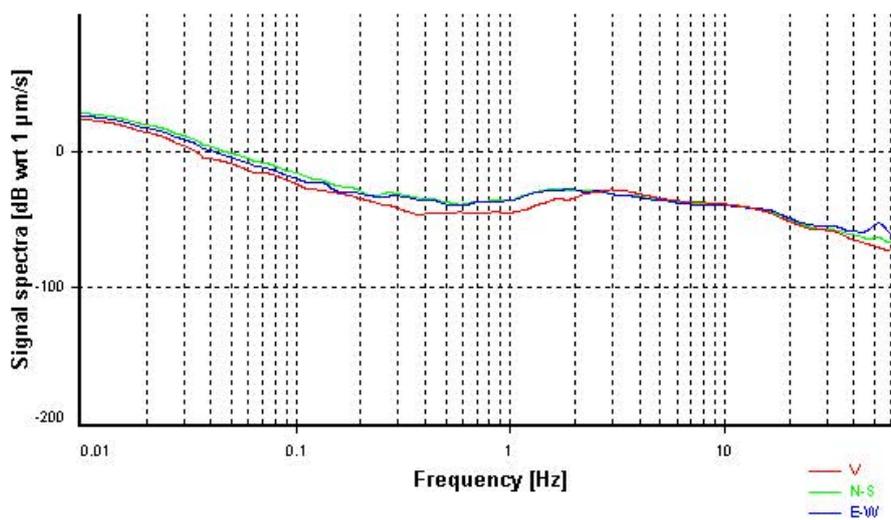
HVSR ANALYSIS

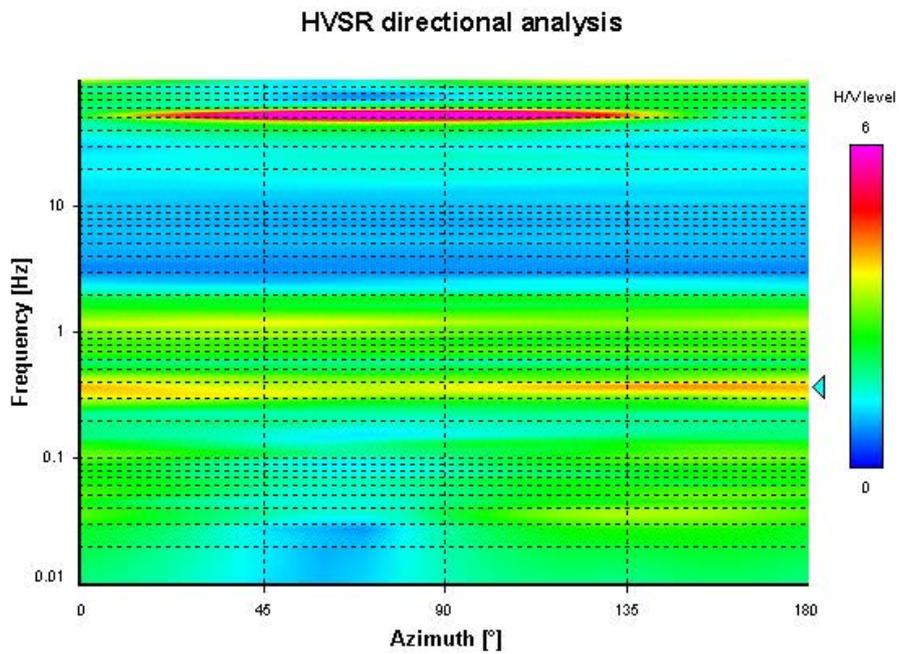
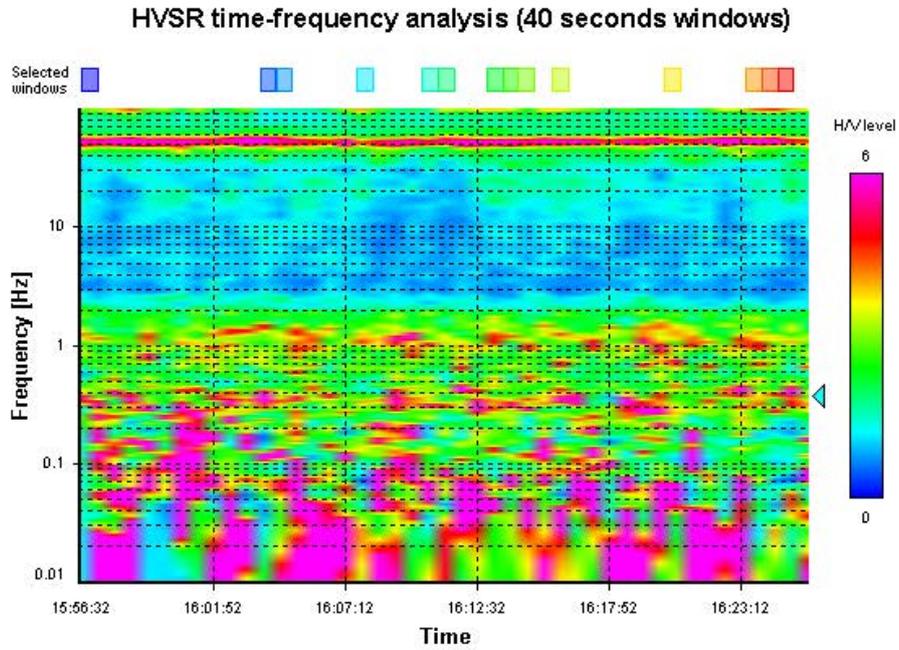
Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)
Instrumental correction: Enabled (Water level = 0.001 Hz)

HVSR average



Signal spectra average





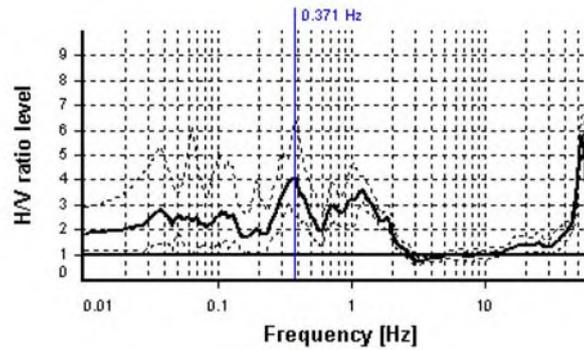
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

0.371 Hz

A_0 amplitude = 4.077

Average $f_0 = 0.360 \pm 0.075$



HVSr curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	14 valid windows (length > 26.94 s) out of 14	OK
$n_c(f_0) > 200$	206.17 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 151	OK
HVSr peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0.23844 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	0.56722 Hz	OK
$A_0 > 2$	4.08 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	9.64% > 5%	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.07522 \geq 0.07423	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.56276 < 2.5	OK
Overall criteria fulfillment		NO

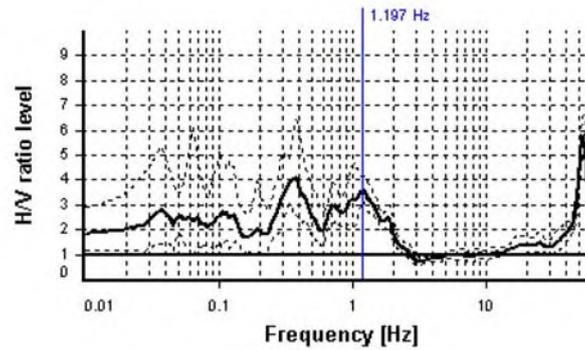
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

1.197 Hz

A_0 amplitude = 3.587

Average f_0 = 1.193 ± 0.169



HVSr curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	14 valid windows (length > 8.35 s) out of 14	OK
$n_c(f_0) > 200$	664.86 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 151	OK
HVSr peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0 Hz	NO
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	2.06212 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.59 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	13.71% > 5%	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.16855 \geq 0.1197	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.15438 < 1.78	OK
Overall criteria fulfillment		NO

STATION INFORMATION

Station code: Postazione_1

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: 14-HVSR

Address: Via Valdera-Capannoli

Latitude: 43.618509°

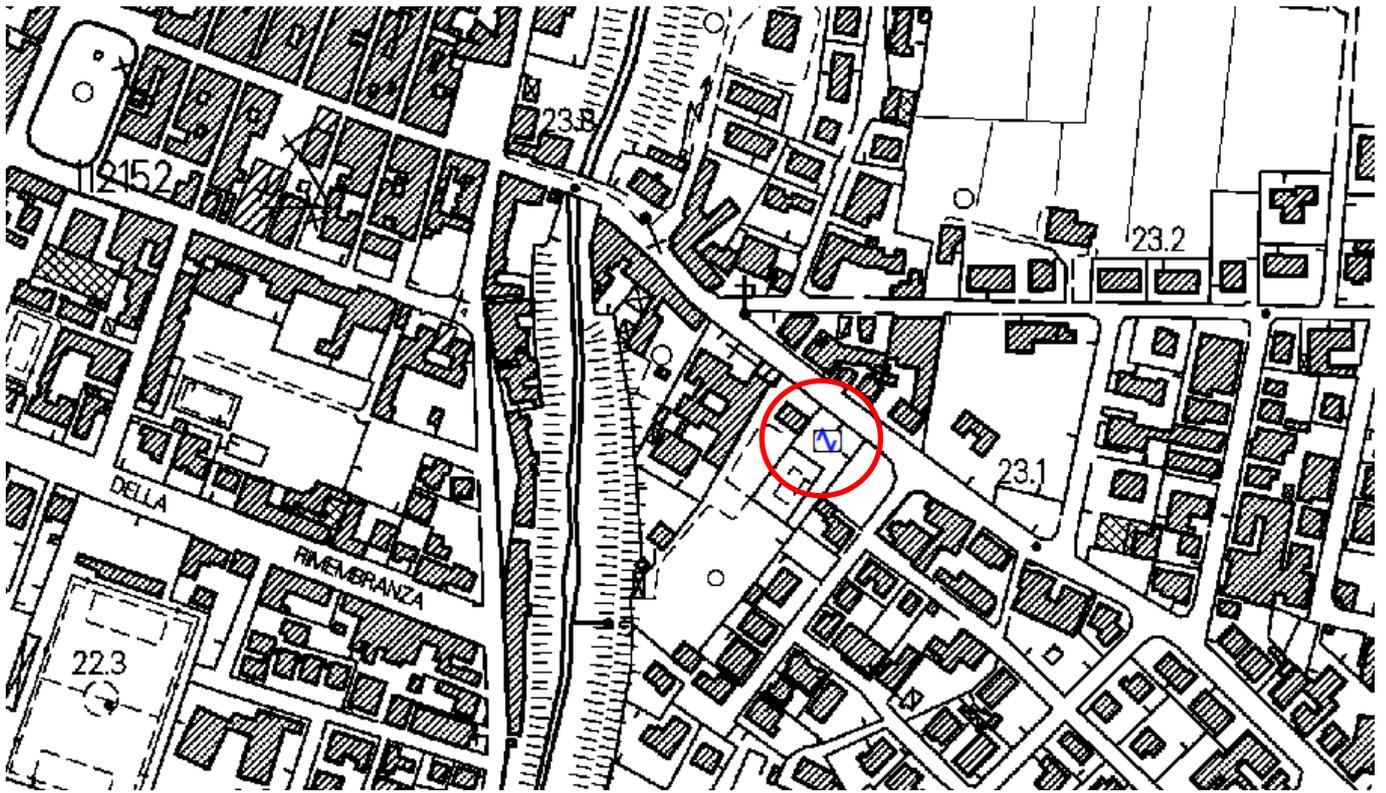
Longitude: 10.635609°

Coordinate system: WGS84

Elevation: 23 m s.l.m.

Weather: sunny - slightly windy

Notes: -



Misura 14 – HVSR - Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273160





SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz

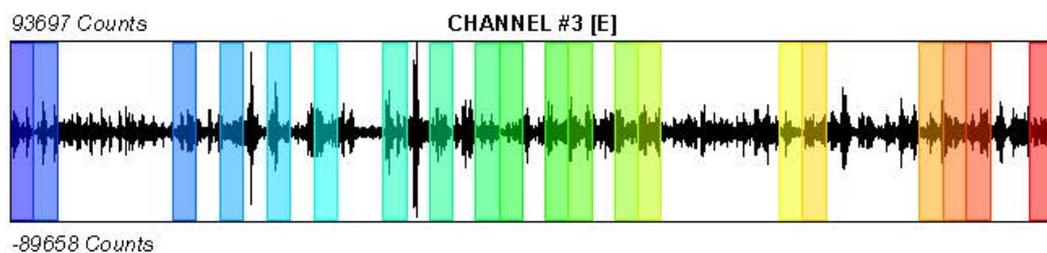
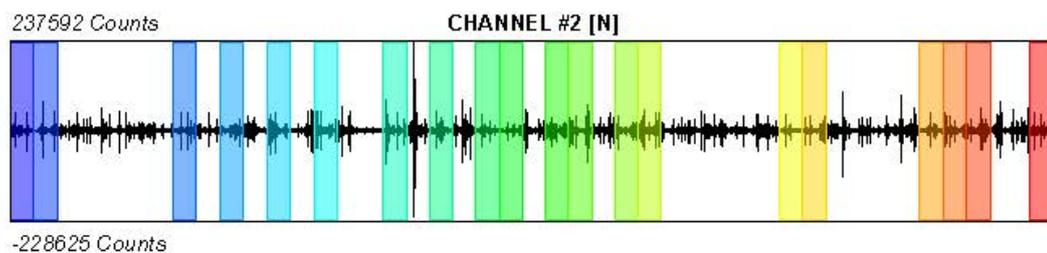
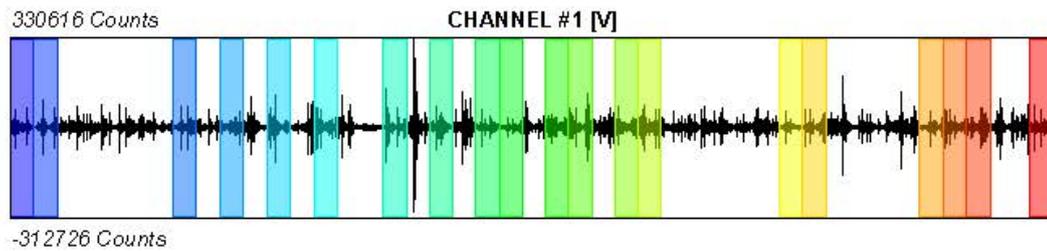
Recording start time: 2018/06/19 17:02:19

Recording length: 30 min

Windows count: 20

Average windows length: 40

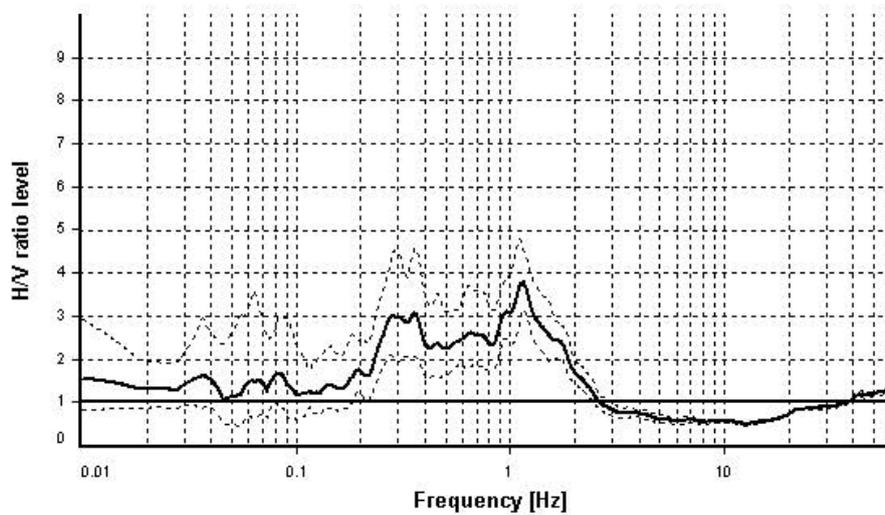
Signal coverage: 44.44%



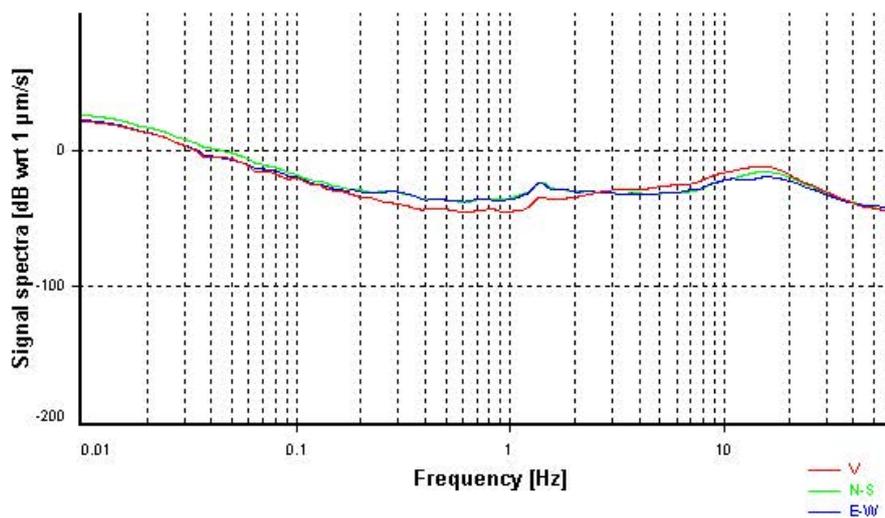
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)
Instrumental correction: Enabled (Water level = 0.001 Hz)

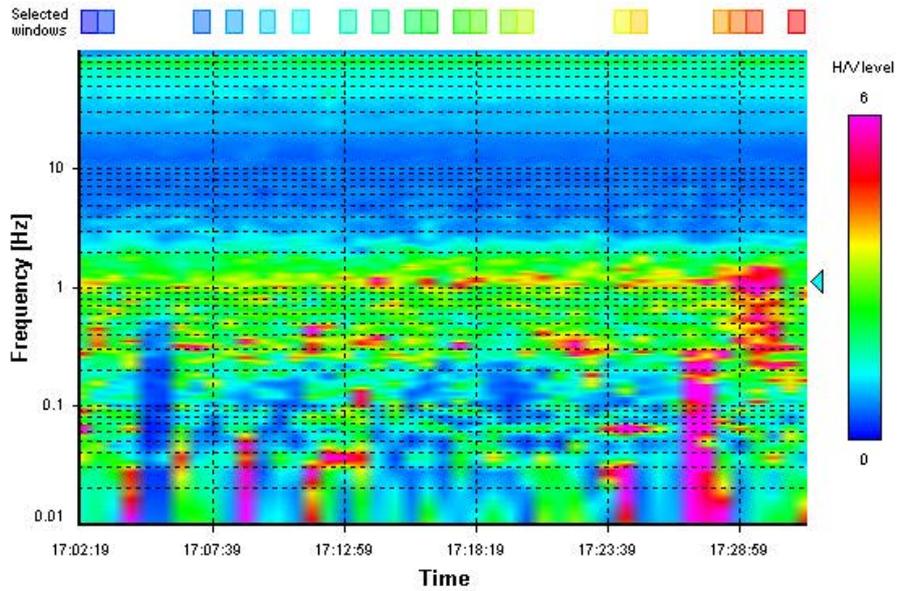
HVSR average



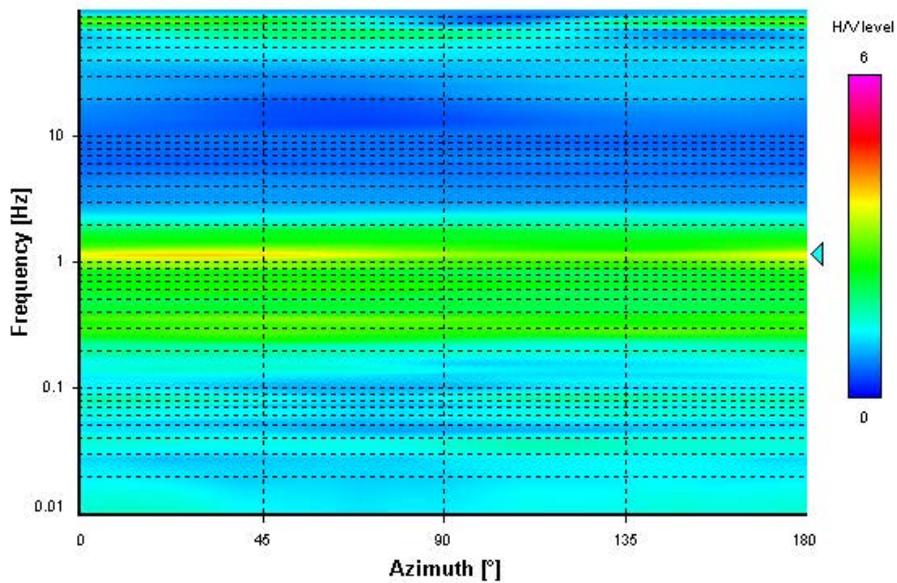
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (40 seconds windows)



HVSR directional analysis



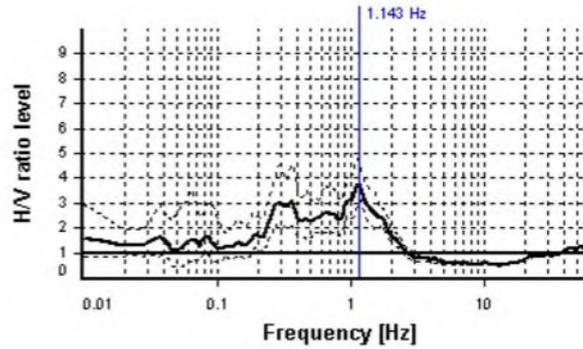
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

1.143 Hz

A_0 amplitude = 3.793

Average f_0 = 1.096 ± 0.177



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	20 valid windows (length > 8.75 s) out of 20	OK
$n_c(f_0) > 200$	914.42 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 151	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0 Hz	NO
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	1.93324 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.79 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	2.73% ≤ 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.17709 ≥ 0.1143	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.22718 < 1.78	OK
Overall criteria fulfillment		NO

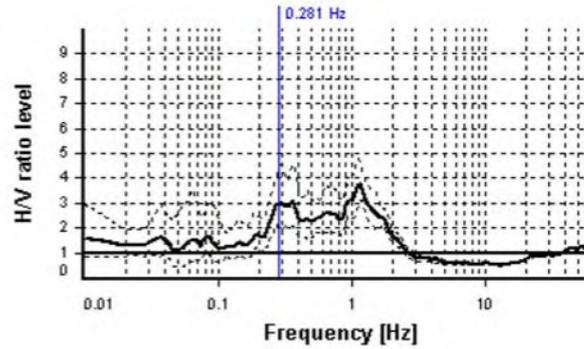
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

0.281 Hz

A_0 amplitude = 3.010

Average $f_0 = 0.312 \pm 0.053$



HVSr curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	20 valid windows (length > 35.53 s) out of 20	OK
$n_c(f_0) > 200$	225.18 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 151	OK
HVSr peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0.17752 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	0 Hz	NO
$A_0 > 2$	3.01 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	27.09% > 5%	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.0527 < 0.0563	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.45499 < 2.5	OK
Overall criteria fulfillment		NO

STATION INFORMATION

Station code: Postazione_1

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: 15-HVSR

Address: Via della Robbia

Latitude: 43.617042°

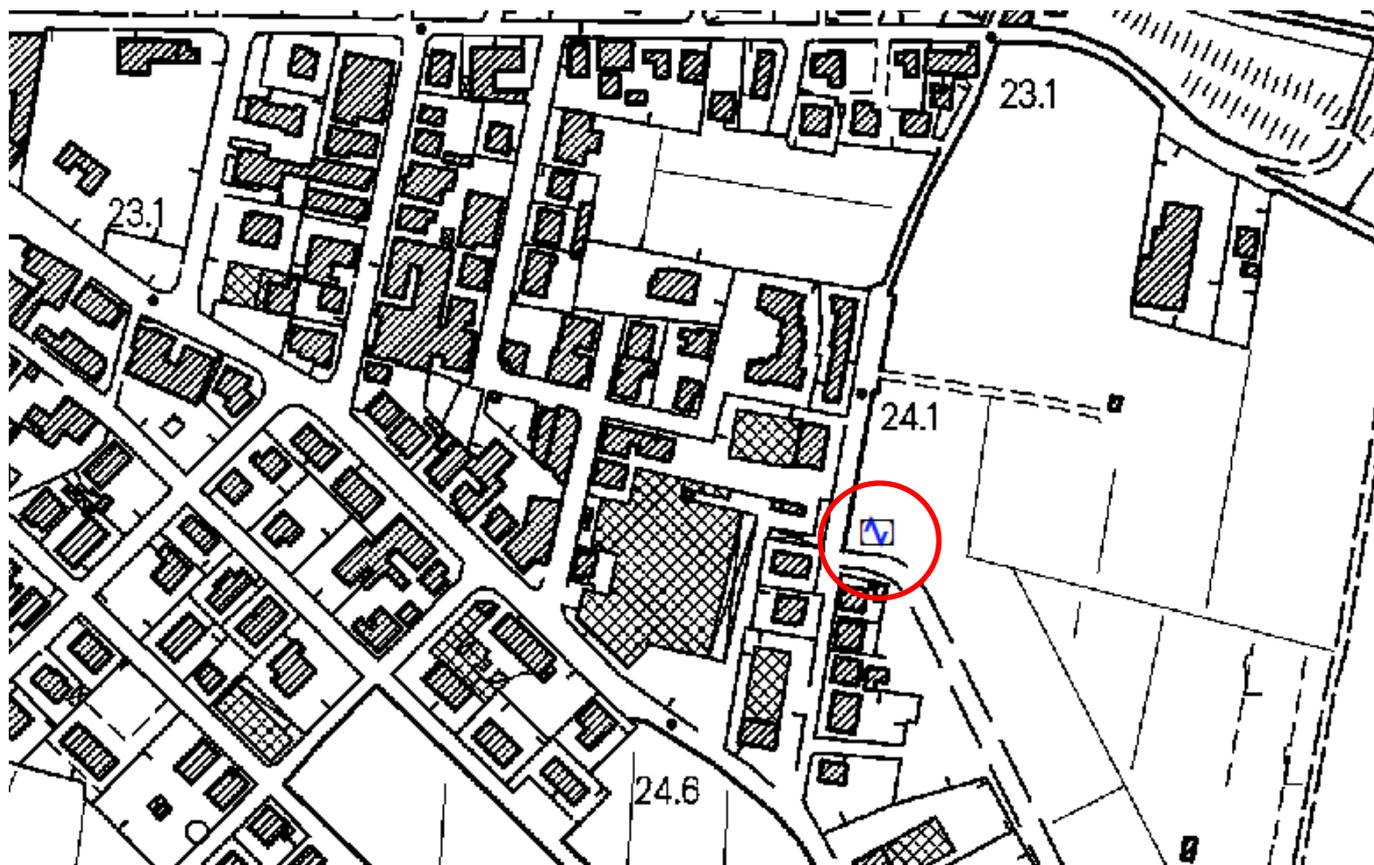
Longitude: 10.640998°

Coordinate system: WGS84

Elevation: 24 m s.l.m.

Weather: sunny - windy

Notes: -



Misura 15 – HVSR - Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273160

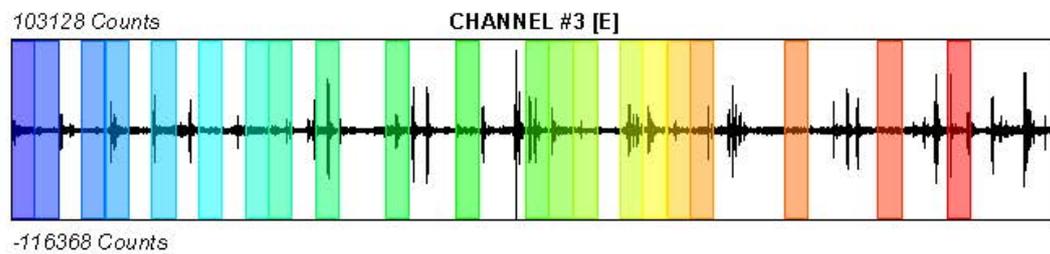
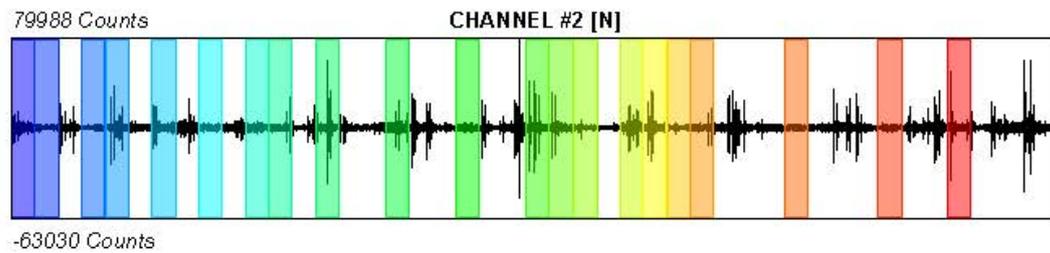
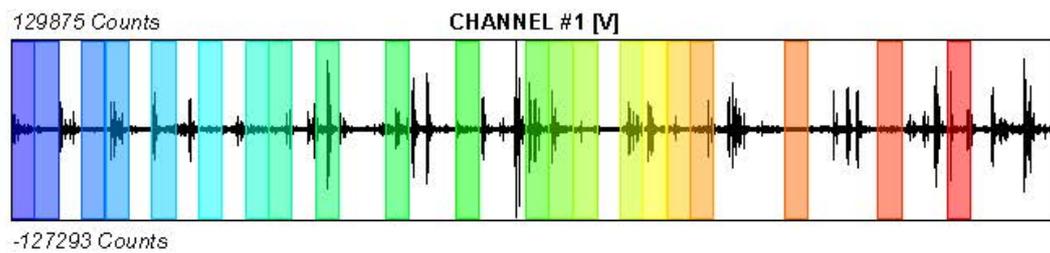


PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

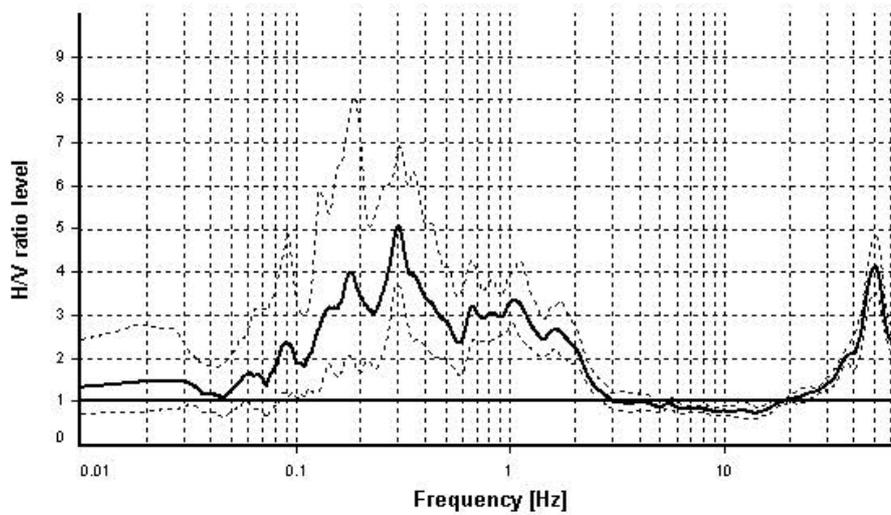
Sampling frequency: 300 Hz
Recording start time: 2018/06/19 13:41:33
Recording length: 30 min
Windows count: 21
Average window s length: 40
Signal coverage: 46.67%



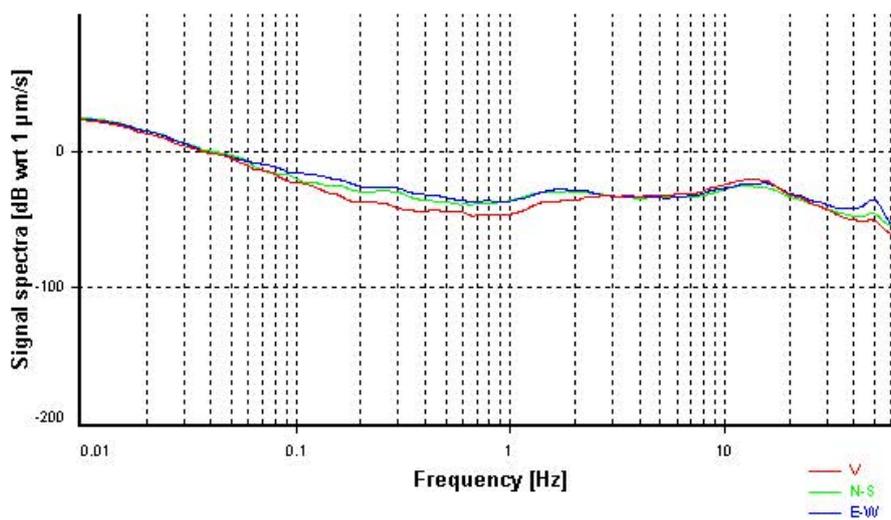
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)
Instrumental correction: Enabled (Water level = 0.001 Hz)

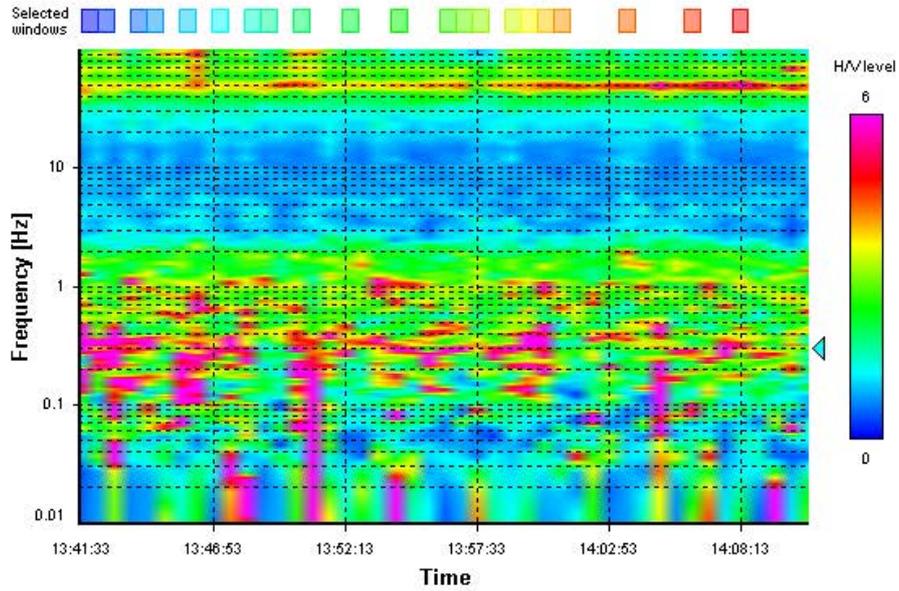
HVSR average



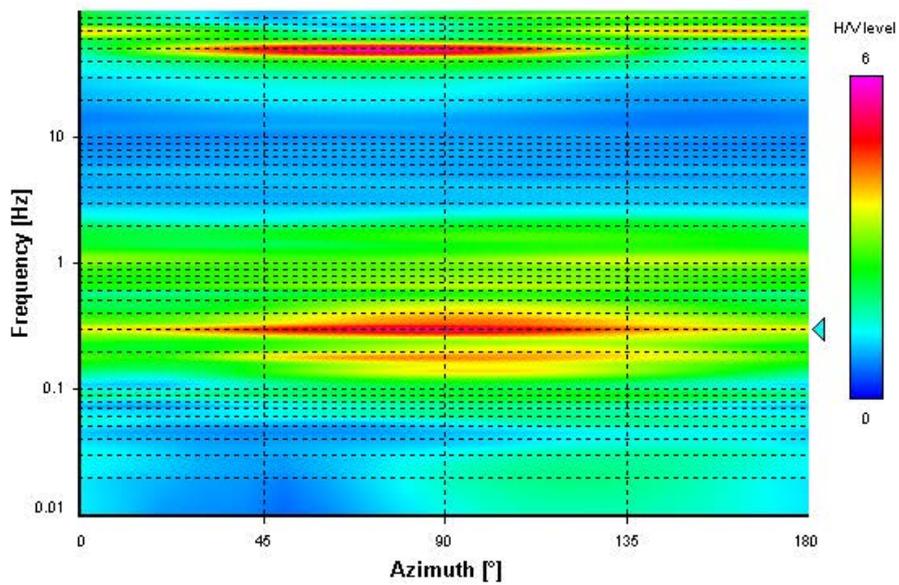
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (40 seconds windows)



HVSR directional analysis



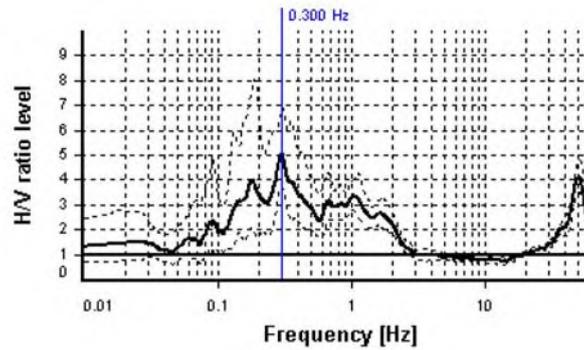
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

0.300 Hz

A_0 amplitude = 5.047

Average $f_0 = 0.297 \pm 0.066$



HVSr curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	21 valid windows (length > 33.31 s) out of 21	OK
$n_c(f_0) > 200$	252.21 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 151	OK
HVSr peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0.12391 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	0.54669 Hz	OK
$A_0 > 2$	5.05 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.93% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.06596 >= 0.06005	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.35402 < 2.5	OK
Overall criteria fulfillment		OK

Appendice 2: report registrazioni ESAC

(Extended Spatial Autocorrelation)

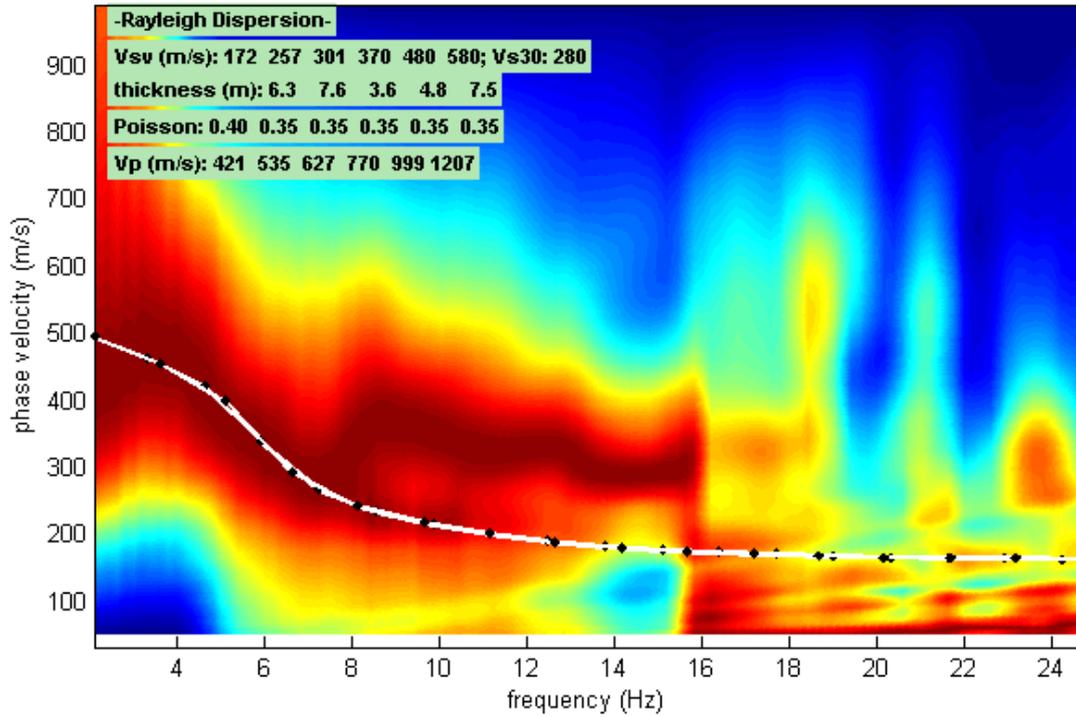




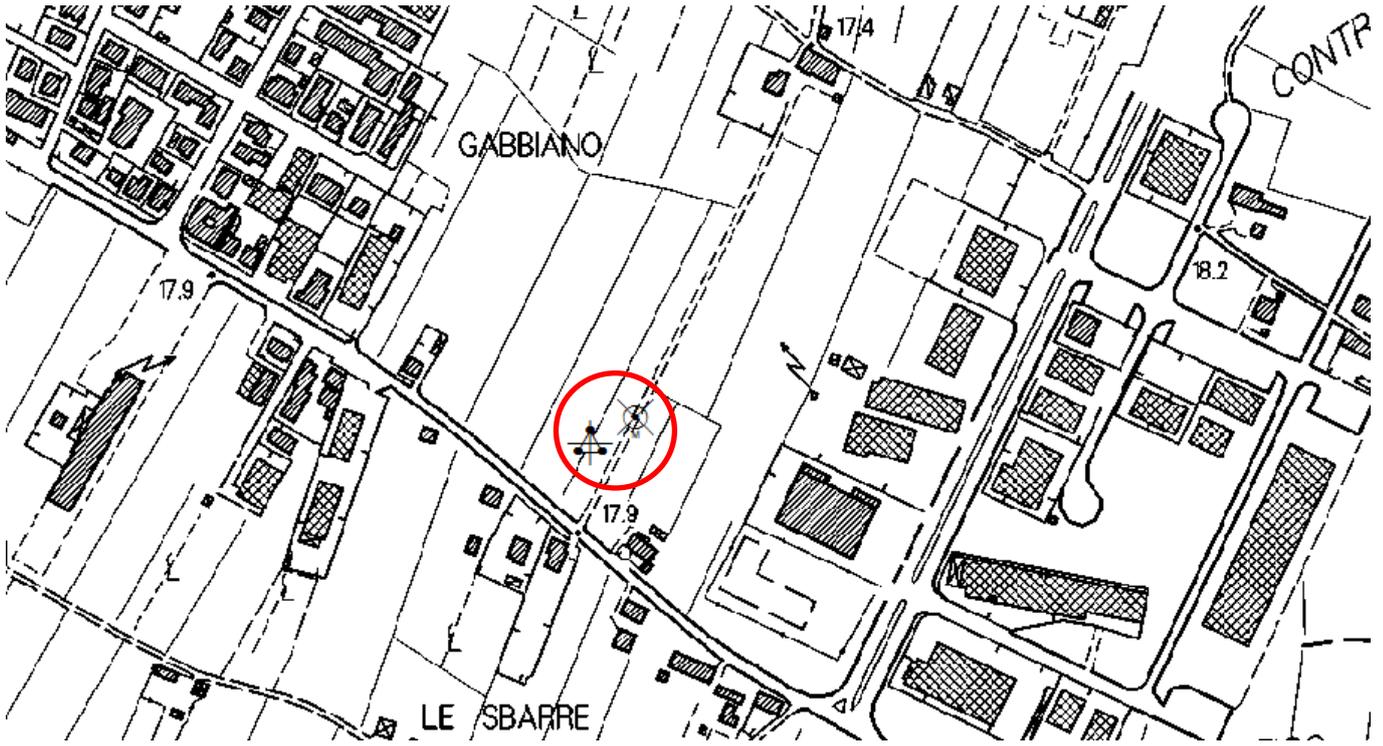
Misura 01 – Esac+Marw - Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273160



Risultati 01-ESAC
velocity spectrum



	Xcoordinates	Ycoordinates
⊗ 24	0	0
⊗ 23	3	0
⊗ 22	6	0
⊗ 21	9	0
⊗ 20	12	0
⊗ 19	15	0
⊗ 18	18	0
⊗ 17	21	0
⊗ 16	24	0
⊗ 15	27	0
⊗ 14	30	0
⊗ 13	33	0
⊗ ⊗ ⊗ ⊗ ⊗ ⊗ ⊗ ⊗ ⊗ ⊗ ⊗ ⊗	33	5
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	33	10
	33	15
	33	20
	33	25
	33	30
	33	35
	33	40
	33	45
	33	50
	33	55
	33	60

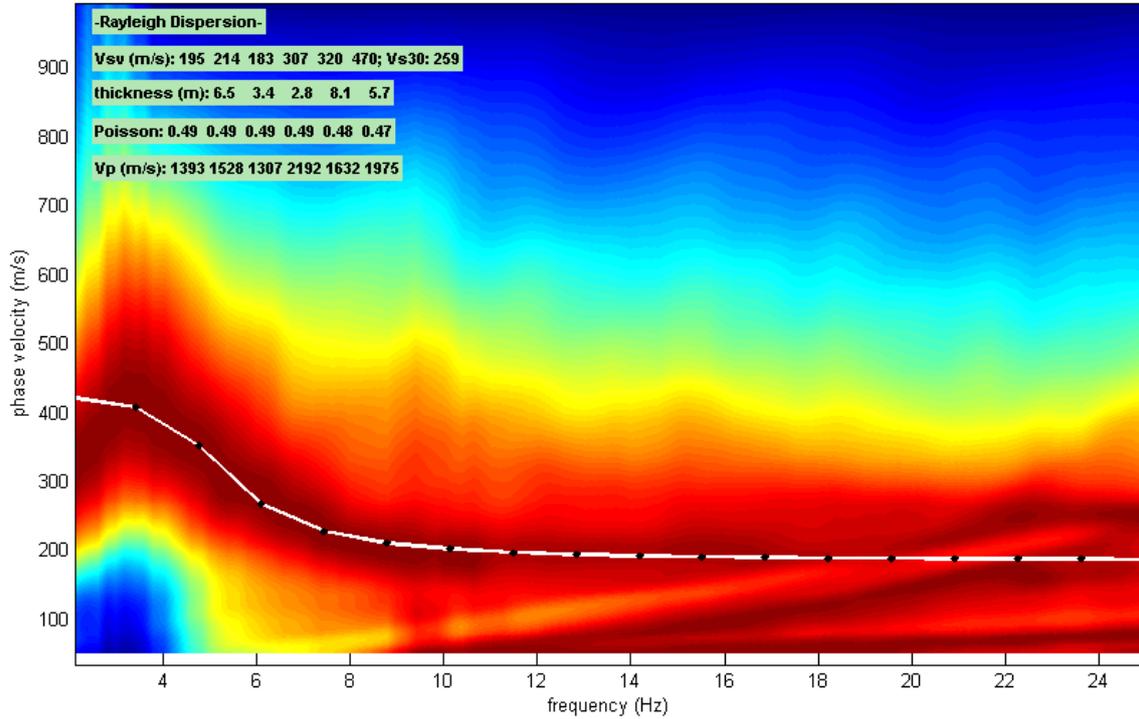


Misura 03 – Esac+Marw - Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273160

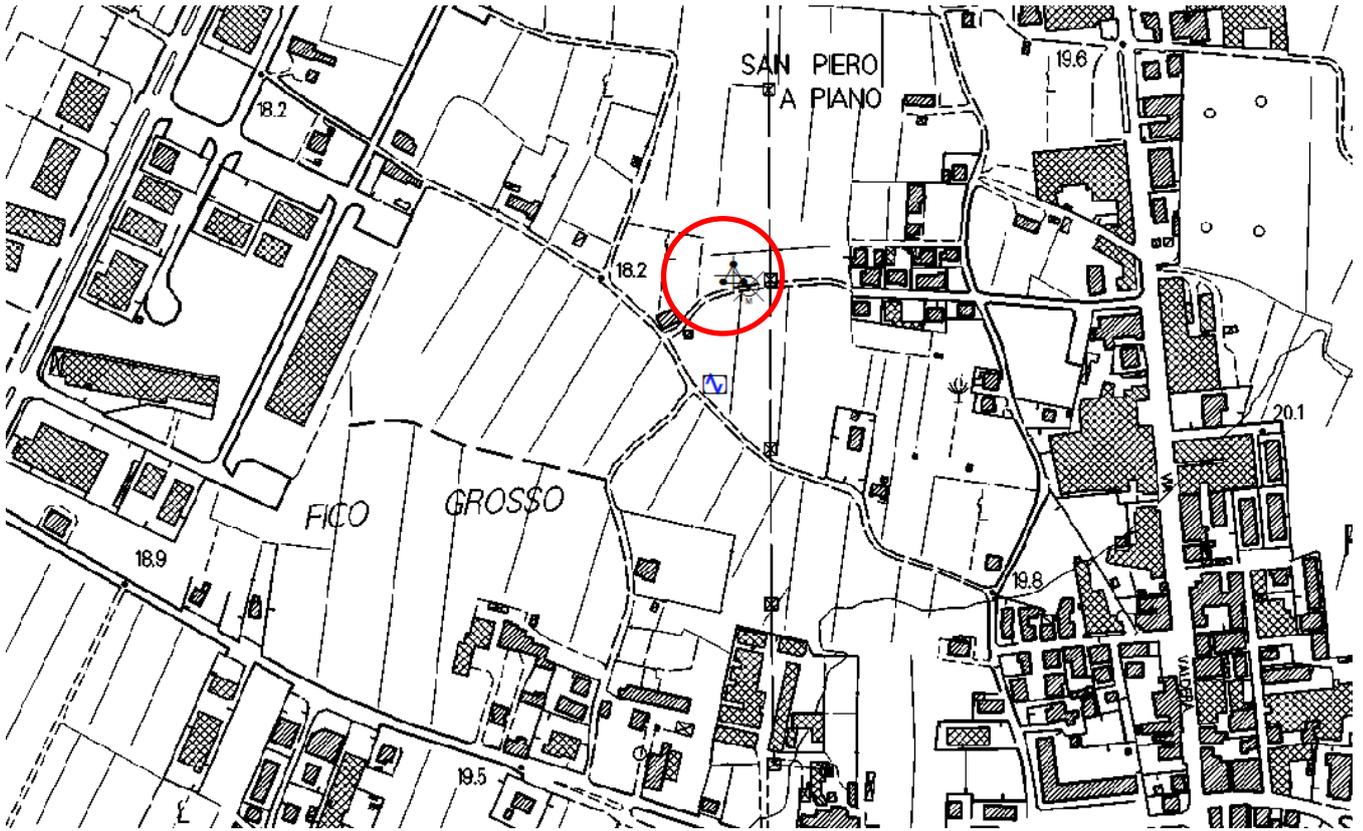


Risultati 03-ESAC

velocity spectrum



	Xcoordinates	Ycoordinates
⊗ 24	0	0
⊗ 23	5	0
⊗ 22	10	0
⊗ 21	15	0
⊗ 20	20	0
⊗ 19	25	0
⊗ 18	30	0
⊗ 17	35	0
⊗ 16	40	0
⊗ 15	38.127	4.636
⊗ 14	36.254	9.272
⊗ 13	34.381	13.908
⊗ 12	32.508	18.544
⊗ 11	30.635	23.180
⊗ 10	28.762	27.816
⊗ 9	26.889	32.451
⊗ 8	25.016	37.087
⊗ 7	23.143	41.723
⊗ 6	21.270	46.359
⊗ 5	19.397	50.995
⊗ 4	17.524	55.631
⊗ 3	15.651	60.267
⊗ 2	13.778	64.903
⊗ 1	11.905	69.539

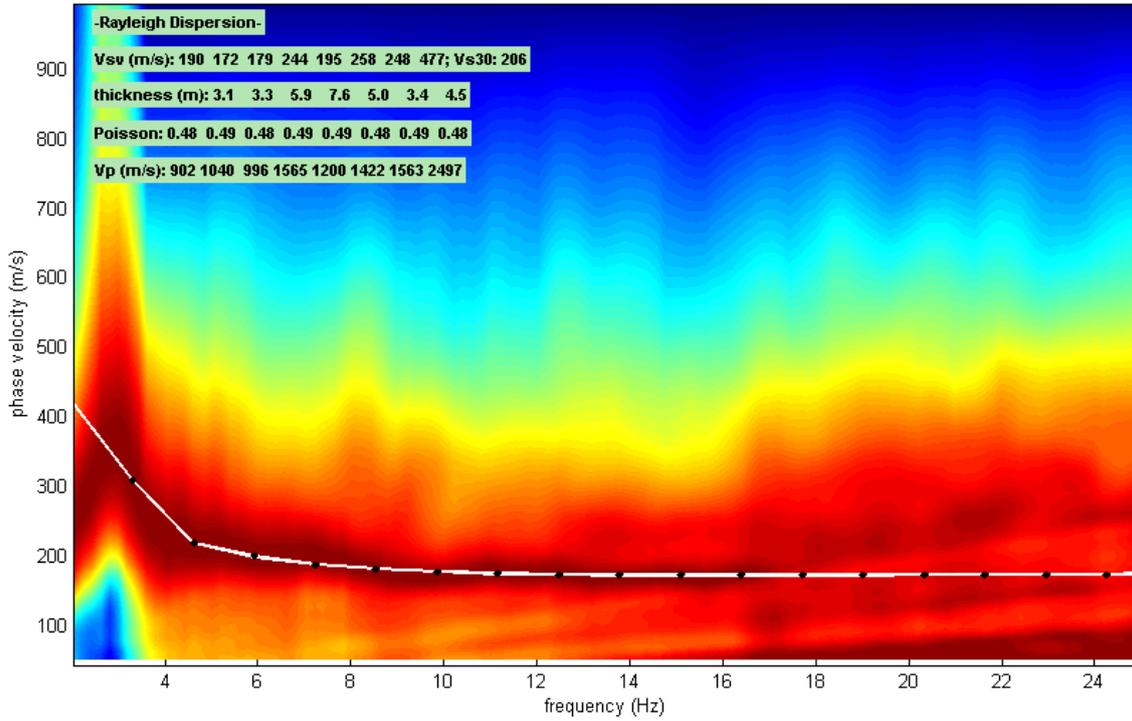


Misura 05 – Esac+Marw - Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273160

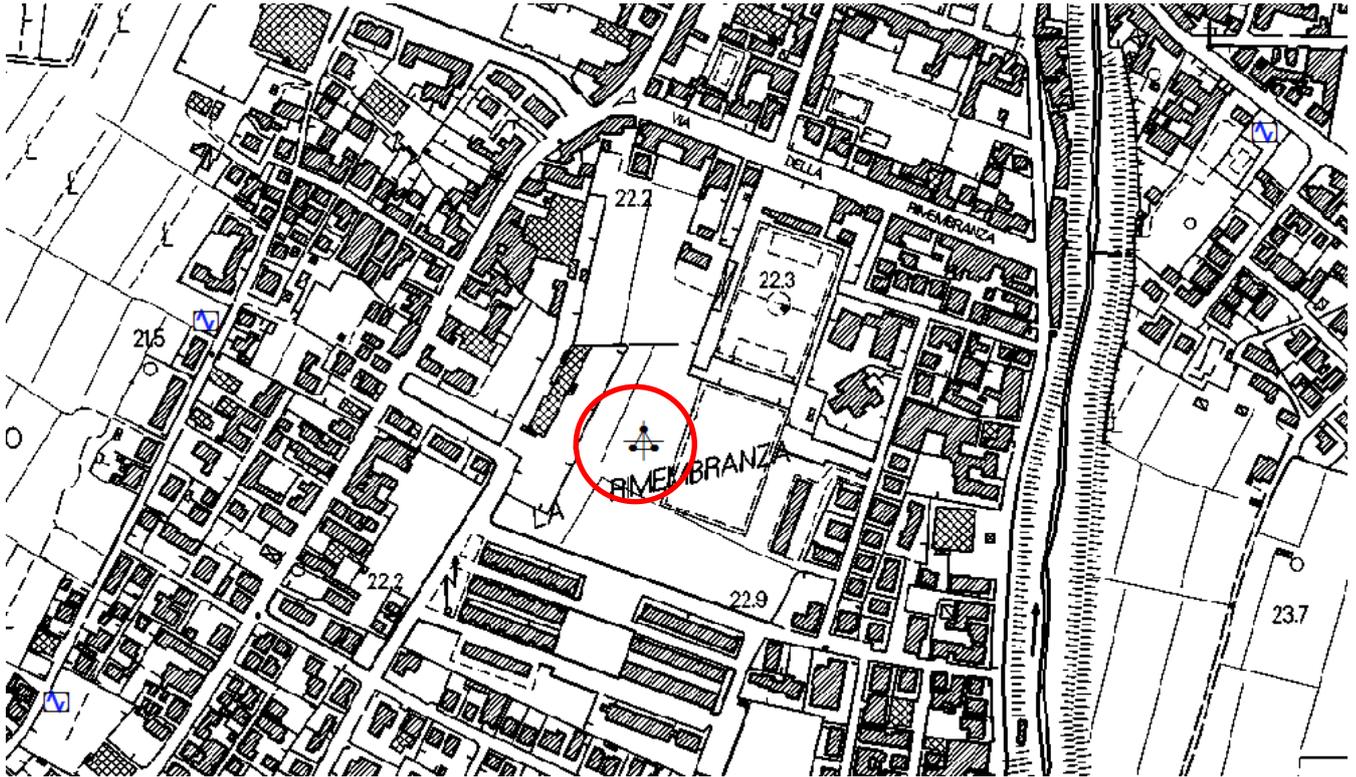


Risultati 05-ESAC

velocity spectrum



	Xcoordinates	Ycoordinates
☒ 24	0	0
☒ 23	3	0
☒ 22	6	0
☒ 21	9	0
☒ 20	12	0
☒ 19	15	0
☒ 18	18	0
☒ 17	21	0
☒ 16	24	0
☒ 15	27	0
☒ 14	30	0
☒ 13	33	0
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	33	5
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	33	10
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	33	15
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	33	20
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	33	25
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	33	30
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	33	35
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	33	40
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	33	45
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	33	50
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	33	55
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	33	60



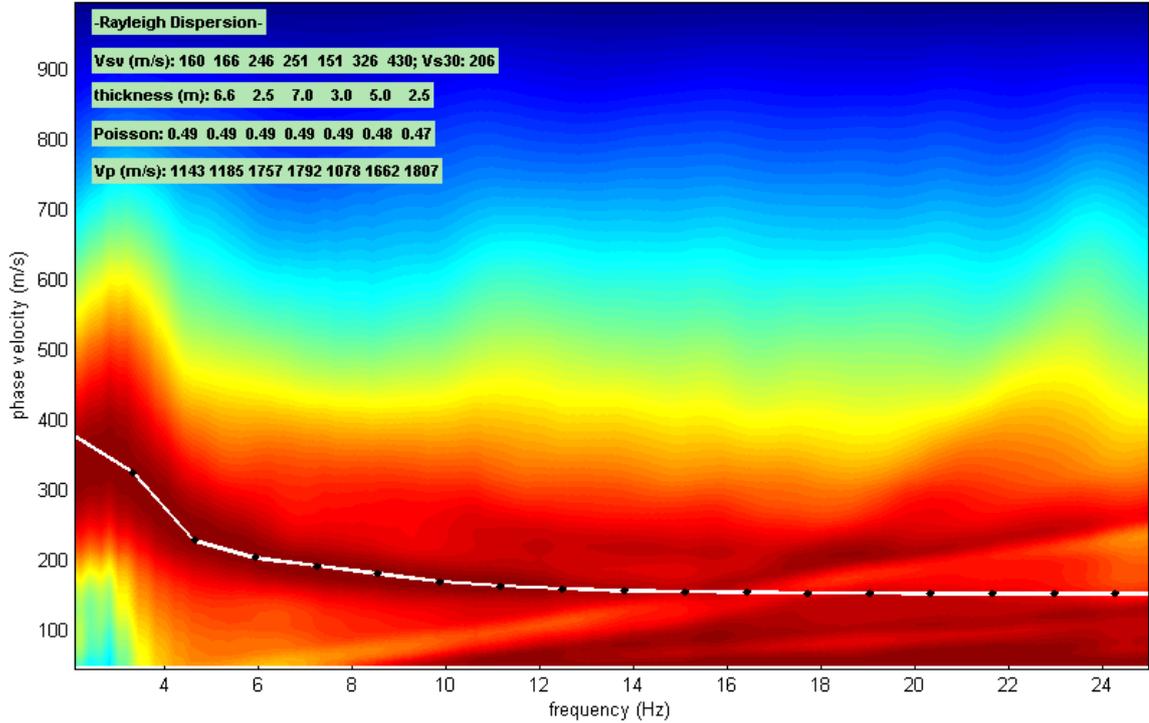
Misura 08 – Esac - Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273160



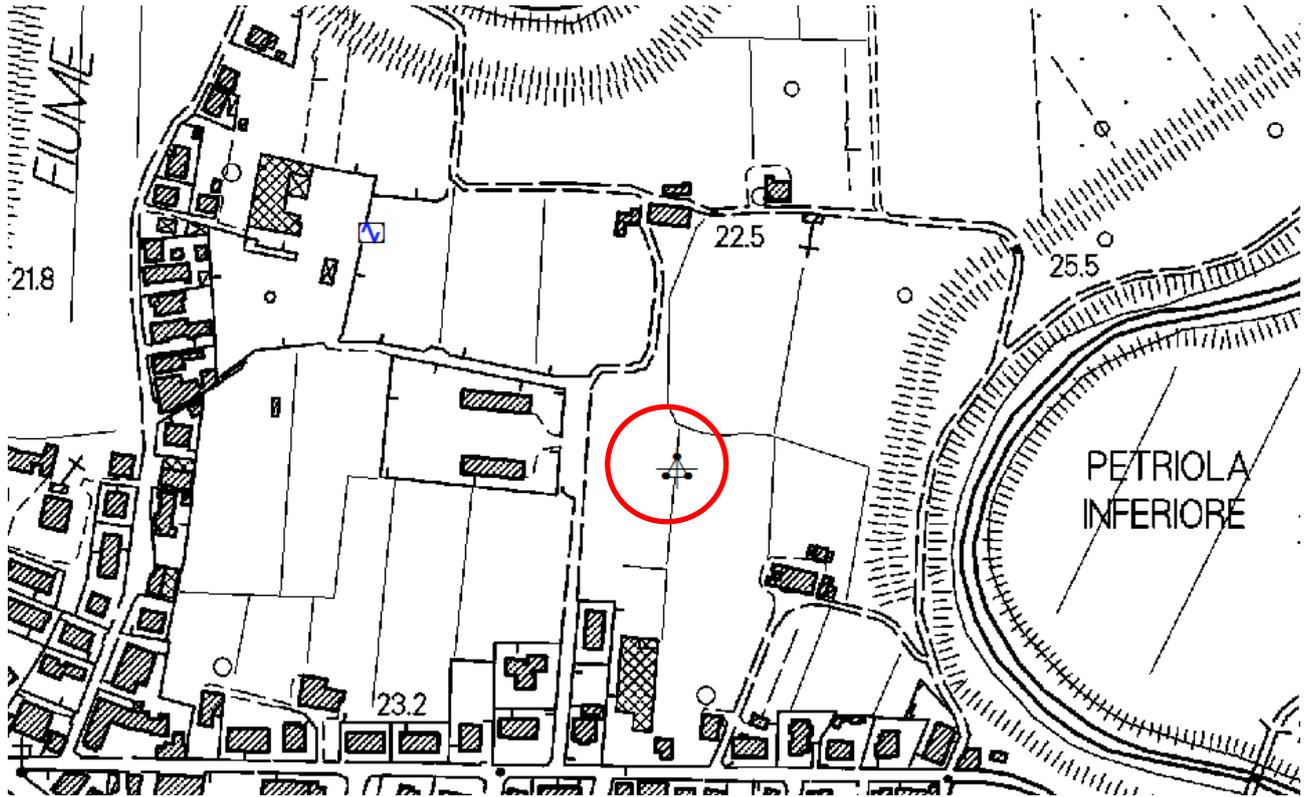


Risultati 08-ESAC

velocity spectrum



	Xcoordinates	Ycoordinates
	0	0
	5	0
	10	0
	15	0
	20	0
	25	0
	30	0
	35	0
	40	0
	40	5
	40	10
	40	15
	40	20
	40	25
	40	30
	40	35
	40	40
	40	45
	40	50
	40	55
	40	60
	40	65
	40	70
	40	75

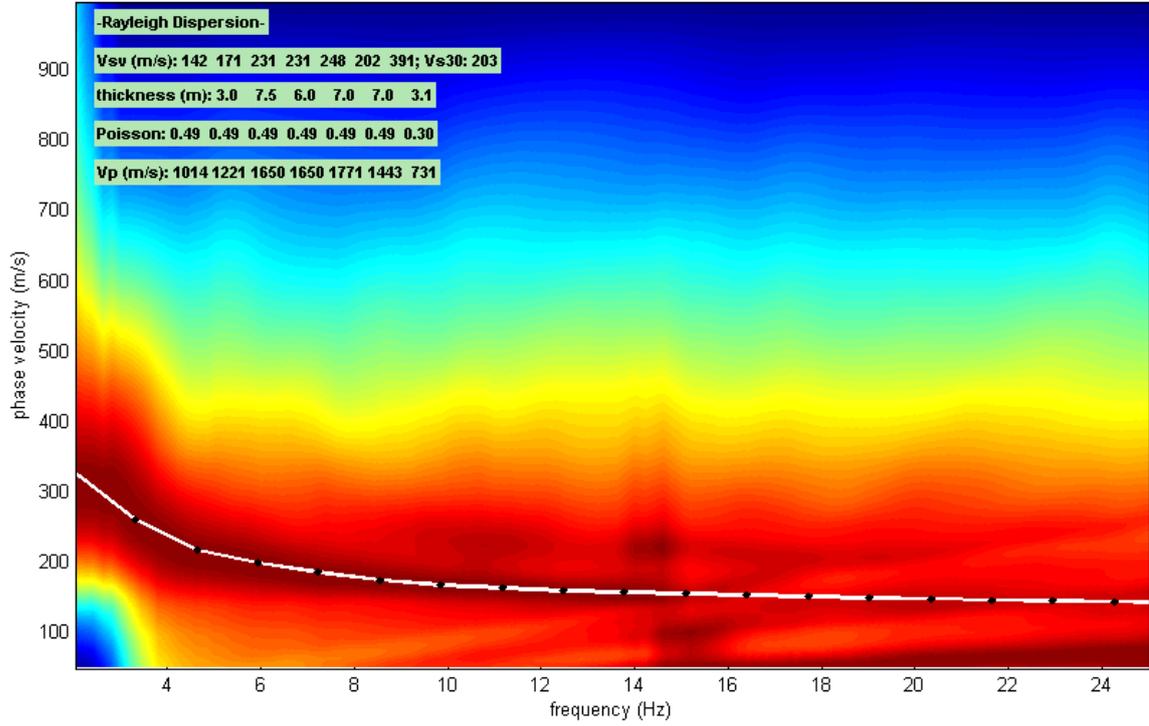


Misura 13 – Esac - Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273160



Risultati 13-ESAC

velocity spectrum



	Xcoordinates	Ycoordinates
☒ 24	0	0
☒ 23	3	0
☒ 22	6	0
☒ 21	9	0
☒ 20	12	0
☒ 19	15	0
☒ 18	18	0
☒ 17	21	0
☒ 16	24	0
☒ 15	27	0
☒ 14	30	0
☒ 13	33	0
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	33	5
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	33	10
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	33	15
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	33	20
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	33	25
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	33	30
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	33	35
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	33	40
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	33	45
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	33	50
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	33	55
☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒	33	60

Appendice 3: report misure MARW

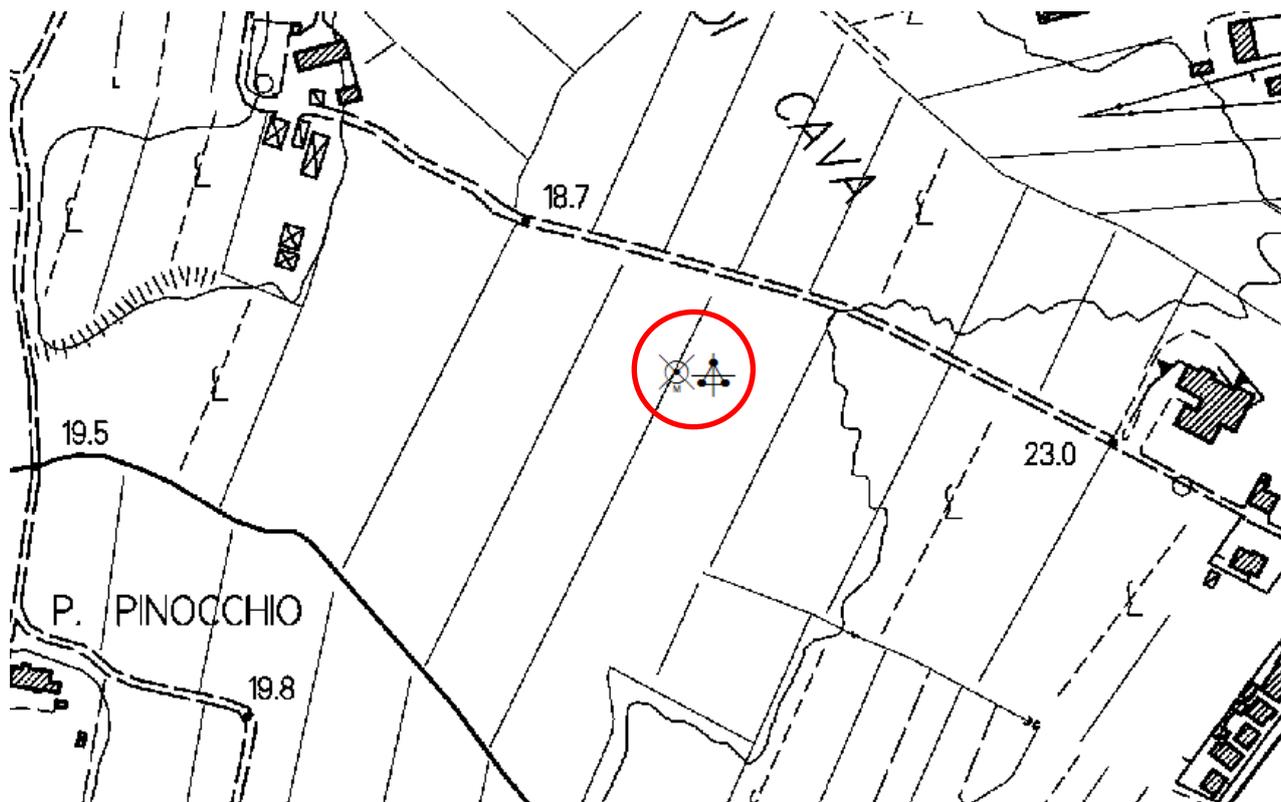
(Multichannel Analysis of Reflected Waves)



PROVA 01

Misura	Tipologia	X	Y	Z	L	l	ch	T	t
01	MARW	1'632'819	4'833'081	20	94 m	2 m	48	2 s	0.001 s





Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273160



Ubicazione Prova 01 ESAC+MARW – Lat.43.638729; Lon.10.646299

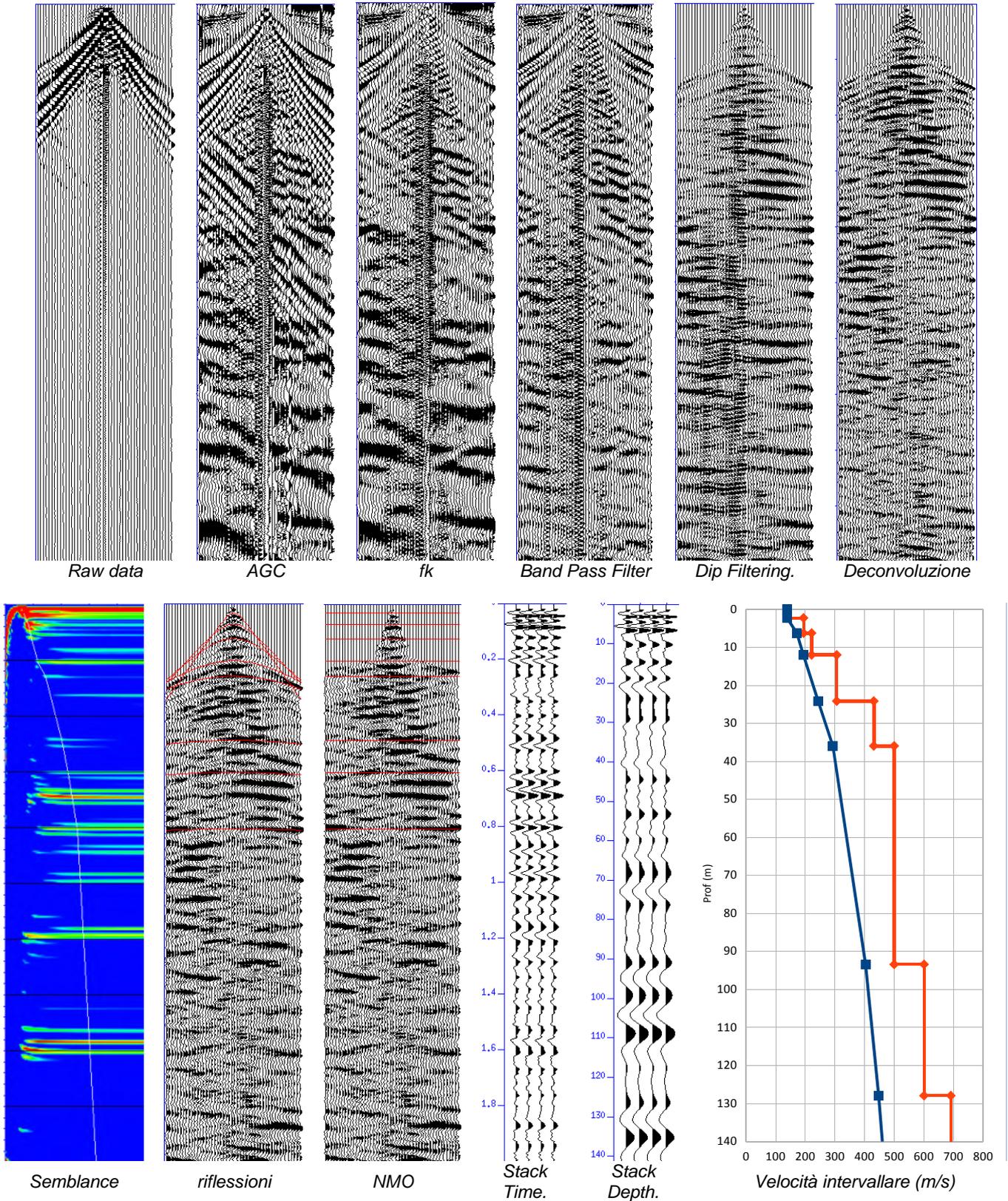
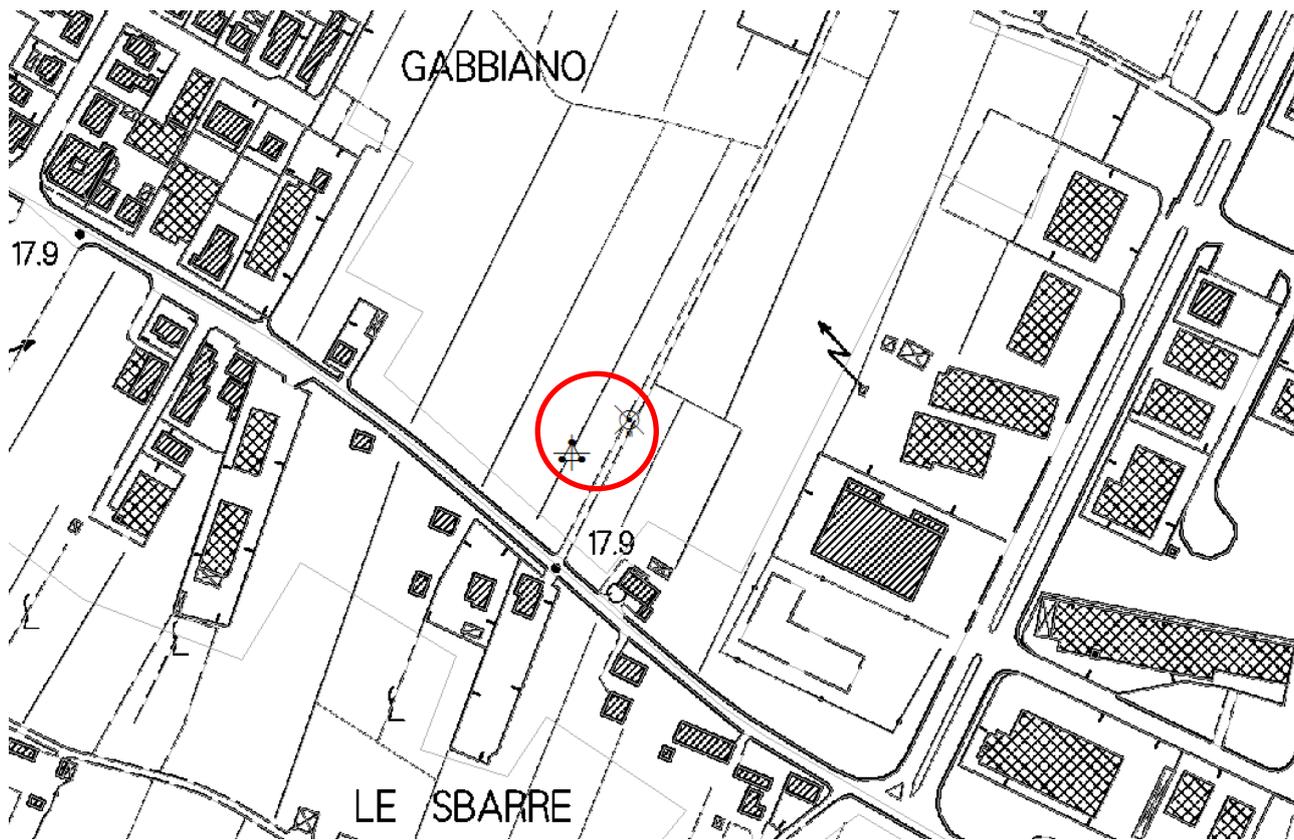


Fig. 1: MARW-01: Sismogrammi ottenuti dalle varie operazioni di Processing.

PROVA 03

Misura	Tipologia	X	Y	Z	L	I	ch	T	t
03	MARW	1'630'340	4'831'945	18	94 m	2 m	48	2 s	0.001 s





Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273160



Ubicazione Prova 03 ESAC+MARW – Lat.43.628944; Lon.10.615306

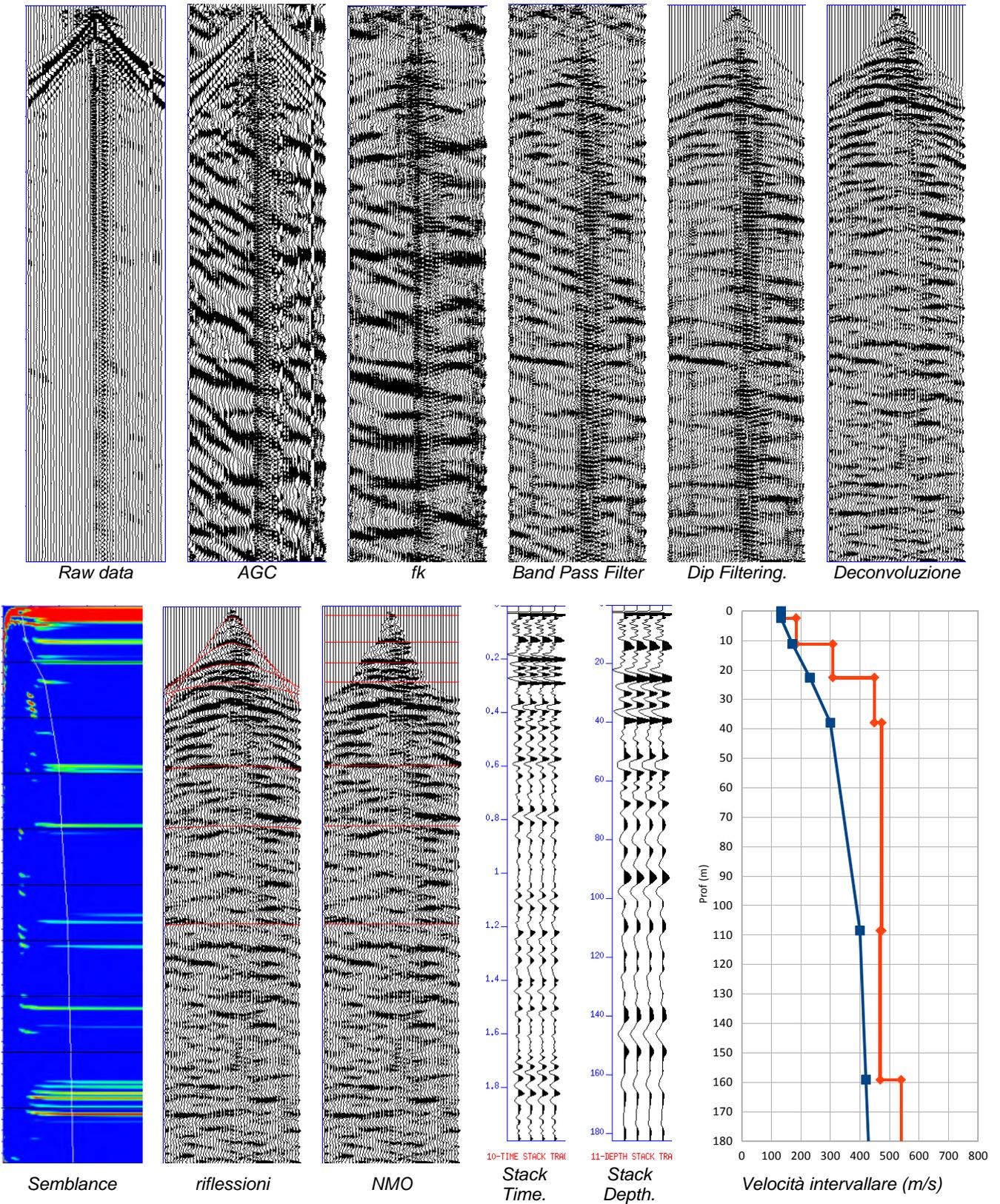
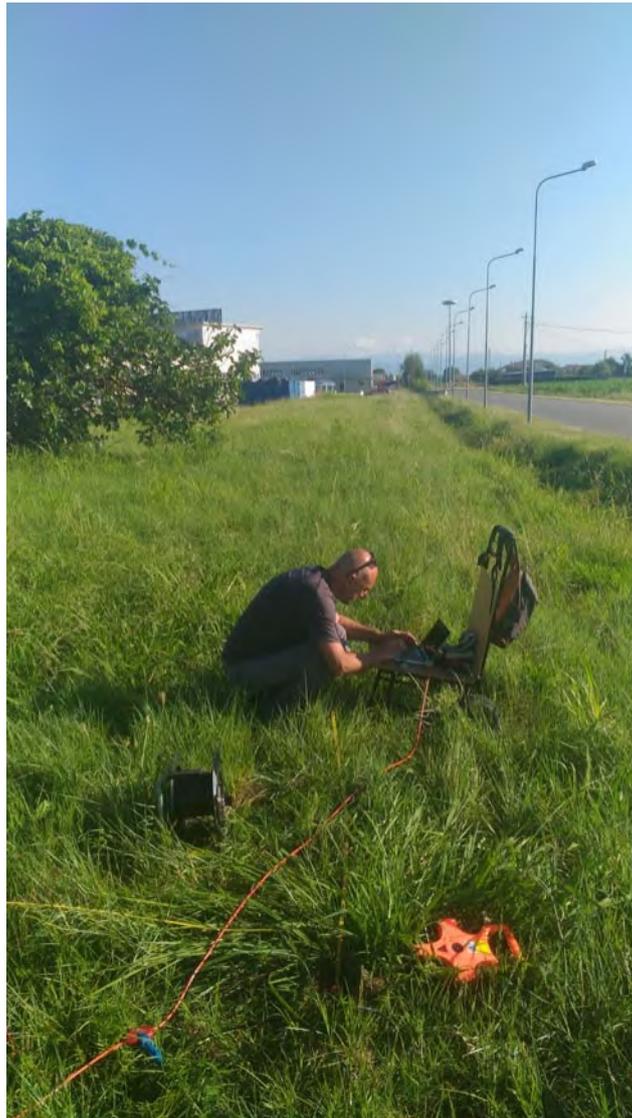


Fig. 1: MARW-03: Sismogrammi ottenuti dalle varie operazioni di Processing.

PROVA 05

Misura	Tipologia	X	Y	Z	L	I	ch	T	t
05	MARW	1'631'139	4'831'901	19	94 m	2 m	48	2 s	0.001 s





Riferimento cartografico CTR Toscana scala 1:10.000 - Sezione 273160



Ubicazione Prova 05 ESAC+MARW – Lat.43.6284103; Lon.10.625195

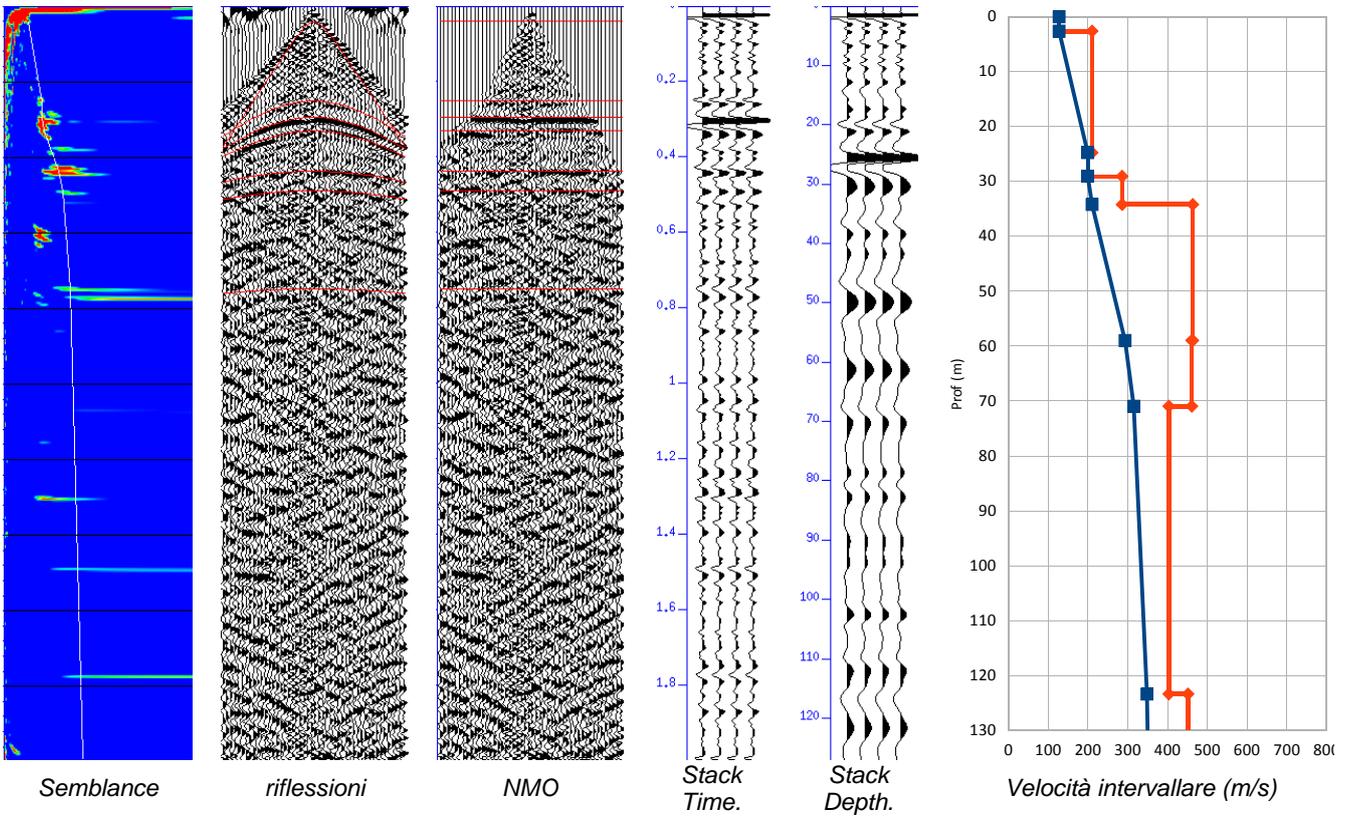
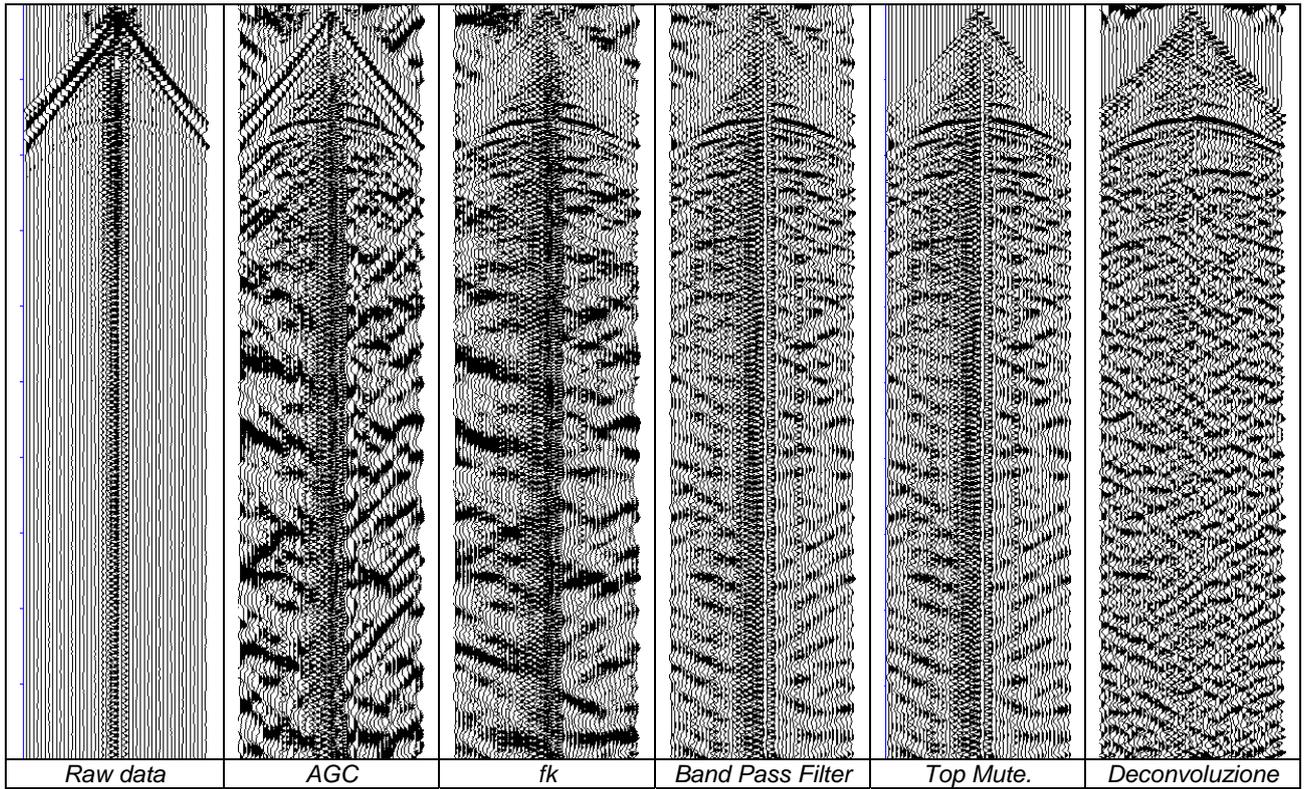


Fig. 1: MARW-03: Sismogrammi ottenuti dalle varie operazioni di *Processing*.

Appendice 4: rifrazione (onde P e Sh)

INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE "ST1-P"

(passo 2,0 m - 48 canali - fixed line)

RICHIEDENTE: Amm. C.le Ponsacco

LUOGO: Via Gramsci, Ponsacco (PI)

DATA: 21/06/2018

LEGENDA

- ▼ Geophones
- ★ Shots position
- refractor with classic methods (wavefront or CMP int. traveltimes met.)
- Vs logs from masw analysis
- ▼ Other seismic line
- Electrodes
- 386 Vel. rifrattore (m/s)

