



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



Regione Toscana



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 2

Regione Toscana
Comune di Capraia e Limite (FI)

Relazione delle indagini geofisiche

<p>Regione Regione Toscana - Settore Sismica</p>	<p>Soggetto realizzatore: Comune di Capraia e Limite/Servizio Assetto del Territorio/RUP Professionisti incaricati: Dott. Geol. Eros Aiello Dott. Geol. Gabriele Grandini Dott. Geol. Cristian Pieroni Dott. Geol. Francesco Puccetti</p>  <p><small>Via Andrea del Castagno, 8 - 50132 Firenze tel. 055/271193 - 055/271094 - fax 055/262229 it info@greco-progetti.com</small></p>	<p>Data Marzo 2020</p>
--	--	----------------------------

INDICE RELAZIONE

1 – PREMESSA	2
1.1 UBICAZIONE AREA DI STUDIO	2
1.2 INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE	2
1.3 STRUTTURA DELLA RELAZIONE	2
2 – LE ONDE DI SUPERFICIE	3
2.1 DESCRIZIONE DELLE ONDE DI SUPERFICIE	3
2.2 CENNI TEORICI	4
2.3 PROPRIETA' RIASSUNTIVE DELLE ONDE SUPERFICIALI	7
3 – INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE	9
3.1 PROCEDURE DI CAMPAGNA	9
3.2 METODI DI ELABORAZIONE DEI DATI SISMICI A RIFRAZIONE	10
4 – INDAGINE SISMICA MASW-ESAC (Multichannel Analysis of Surface Waves)	12
4.1 ACQUISIZIONE DEI DATI MASW	14
4.1.1 PARAMETRI DI ACQUISIZIONE TEORICI ED UTILIZZATI	15
4.1.2 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	18
4.1.3 ESECUZIONE INDAGINE MASW	18
4.2 ELABORAZIONE (PROCESSING) ED INVERSIONE DEI DATI MASW	20
5 – INDAGINE SISMICA PASSIVA HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Noise Ratio)	24
5.1 ACQUISIZIONE DEI DATI DI RUMORE A STAZIONE SINGOLA	25
5.2 ANALISI DEI DATI	26
5.3 IL PROGETTO SESAME	26
5.3.1 CRITERI DI AFFIDABILITA' DEL PICCO	26
5.3.2 CRITERI DI CHIAREZZA DEL PICCO	28
5.3.3 INFORMAZIONI AGGIUNTIVE AI CRITERI SESAME	29
5.4 VALUTAZIONE DELLA QUALITA' DELLE MISURE HVSR	31
5.5 CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	33
6 – BIBLIOGRAFIA	35

ALLEGATI

- ALLEGATO GRAFICO: ACQUISIZIONI MICROTREMORI – RAPPORTO SPETTRALE H/V – SPETTRO DELLE SINGOLE COMPONENTI – CRITERI DI AFFIDABILITÀ SESAME – CLASSIFICAZIONE PROPOSTA DA ALBARELLO ET ALII
- ALLEGATO GRAFICO: ELABORAZIONI INDAGINI SISMICA A RIFRAZIONE P/SH – MASW/ESAC
- ALLEGATO GRAFICO: UBICAZIONE DELLE INDAGINI CAPRAIA (Scala 1:5000) - LIMITE 1 – LIMITE 2 (Scala 1:8000)

1 – PREMESSA

Il presente documento riguarda la descrizione, l'elaborazione e i risultati delle indagini geofisiche, di tipo sismico attivo e passivo, condotte a supporto degli studi di microzonazione sismica di livello 2 del Comune di Capraia e Limite (FI).

Lo studio di microzonazione sismica (MS) di livello 2 rappresenta un livello propedeutico a successivi studi di MS (livello 3) e consiste in un approfondimento di indagini al fine di determinare il fattore di amplificazione di ciascuna area individuata nello studio di MS1.

Tale approfondimento quindi è finalizzato alla realizzazione della Carta dei fattori di amplificazione in prospettiva sismica e quindi alla valutazione della pericolosità utile per le scelte di pianificazione attuativa, con l'intento di perseguire ed assicurare la riduzione del rischio sismico, evidenziando le criticità e identificando le aree per le quali sono richiesti studi di approfondimento (MS3).

1.1 – UBICAZIONE AREA DI STUDIO

Le indagini geofisiche integrate, sono state eseguite all'interno del territorio del Comune di Capraia e Limite sia in aree urbane sia in aree limitrofe per meglio correlare ed interpretare i dati ottenuti.

Per la visualizzazione dell'ubicazione di ciascuna indagine geofisica svolta si rimanda alla cartografia tematica realizzata.

1.2 – INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE

La caratterizzazione dal punto vista sismico del terreno è stata condotta mediante la realizzazione delle seguenti tipologie di prove geofisiche sia attive che passive:

n. 1 indagini sismiche attive P/SH, per la determinazione dei profili sismostratigrafici;

n. 1 indagine sismica attiva MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), per la determinazione dei profili di velocità Vs nel sottosuolo;

n. 5 indagini sismiche attive congiunte MASW-ESAC (Multichannel Analysis of Surface Waves), per la determinazione dei profili di velocità Vs nel sottosuolo;

n. 33 indagini sismiche passive HVSR per determinare la frequenza di risonanza di sito.

1.3 – STRUTTURA DELLA RELAZIONE

La presente relazione descriverà i metodi di indagine utilizzati, illustrerà la metodologia di acquisizione, la strumentazione utilizzata, le tecniche e modalità di inversione/interpretazione, e verranno mostrati, in allegato, i risultati ottenuti con la campagna di prospezione geofisica sismica integrata, a supporto della caratterizzazione sismica del sottosuolo relativamente alle diverse aree di indagine.

Verranno quindi in un primo momento illustrate e descritte le varie tecniche di acquisizione dei dati geofisiche, successivamente verranno riportate le modalità di elaborazione dei dati ed infine mostrati i risultati ottenuti.

2 – LE ONDE DI SUPERFICIE

2.1 – DESCRIZIONE DELLE ONDE DI SUPERFICIE

Le onde superficiali si generano ogni qual volta esiste una superficie libera.

Vengono a crearsi quindi a causa dell'interazione delle onde di corpo con una superficie di discontinuità fisica, la più studiata delle quali è la superficie libera della Terra.

Queste onde si propagano solo lungo la superficie o nell'interfaccia tra due strati con proprietà fisiche diverse.

La velocità delle onde di superficie è inferiore alla velocità delle onde di volume, per cui il loro arrivo è successivo all'arrivo delle Onde P ed S.

Esistono due tipi di onde di superficie, chiamate coi nomi dei due fisici che per primi le studiarono: Onde di Rayleigh e Onde di Love.

- Onde di Rayleigh

Quando un'onda S (componente SV) assieme ad un'onda P incide sulla superficie libera dalla componente vettoriale delle due si generano onde superficiali che si propagano lungo la superficie stessa.

Queste onde esistono sia in semispazi omogenei (in questo caso la loro velocità è circa 0,92 volte la velocità delle onde S) che disomogenei (in cui risulta essere un'onda dispersa, ossia la sua velocità è anche funzione della sua frequenza).

Il loro moto è vincolato in uno spazio verticale contenente la direzione di propagazione dell'onda.

Si dimostra che una particella investita da questo tipo di onda vicina alla superficie, percorre un moto ellittico retrogrado lungo la direzione di propagazione (Fig. 1).

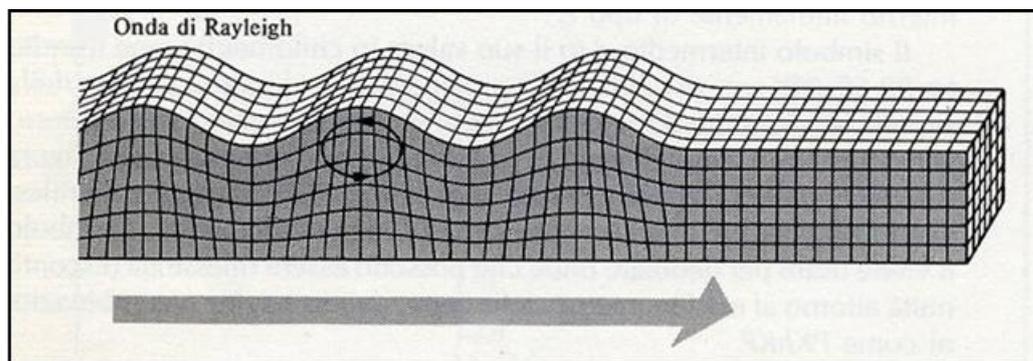


Fig. 1 - Schema di propagazione delle Onde di Rayleigh (fonte immagine www.ingv.it)

- Onde di Love

Le onde di Love sono onde superficiali, anch'esse generate dall'incontro delle Onde S (componente SH) con la superficie libera del terreno, ma vengono generate solo nei mezzi in cui la velocità delle Onde S aumenta con la profondità (un mezzo quindi disomogeneo) di conseguenza sono onde sempre disperse.

Le Onde di Love fanno vibrare il terreno sul piano orizzontale in direzione ortogonale rispetto alla direzione di propagazione dell'onda (Fig. 2).

La velocità delle onde di Love è maggiore di quella delle onde S negli strati più superficiali della crosta, ma minore della stessa negli strati più bassi.

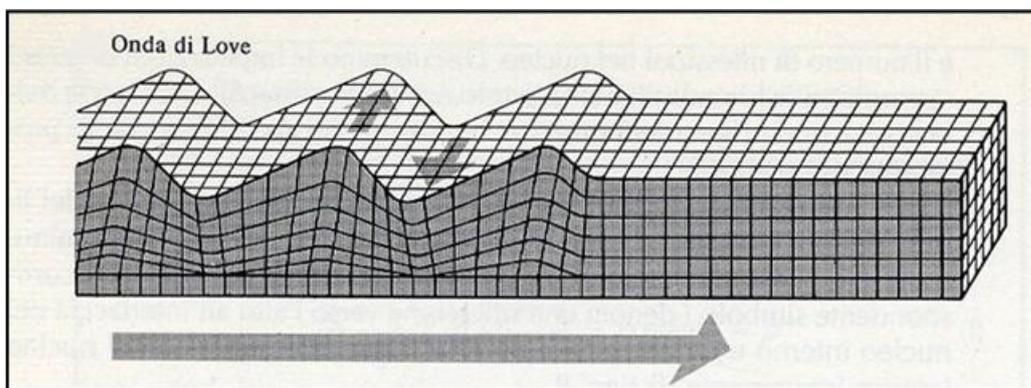


Fig. 2 - Schema di propagazione delle onde di Love (fonte immagine www.ingv.it)

2.2 – CENNI TEORICI

Nella maggior parte delle indagini sismiche di superficie, quando viene utilizzata una sorgente di onde di compressione, oltre due terzi del totale di energia sismica complessivamente generata è trasmessa mediante onde di Rayleigh.

Se consideriamo la variazione di velocità verticale in mezzi eterogenei noteremo che le onde di Rayleigh hanno un comportamento dispersivo, vale a dire che la velocità di gruppo non coincide con la velocità di fase di ciascuna frequenza.

Detto questo all'aumentare della lunghezza d'onda λ aumenta la profondità della parte interessata dalla perturbazione.

Sapendo che la lunghezza d'onda è legata al periodo T dell'onda mediante la relazione:

$$\lambda = V \cdot T$$

se ne deduce che, a parità di velocità (V), la profondità cresce all'aumentare del periodo e al diminuire della frequenza (si ricorda che $T = 1/f$ dove f è la frequenza).

In pratica, al crescere del periodo, aumenta la sensibilità dell'onda a caratteristiche del terreno sempre più profonde.

Il terreno inoltre agisce da filtro passa basso quindi le frequenze più alte possono essere indicative soltanto per gli strati più superficiali.

Nel caso delle onde Rayleigh, lo strato coinvolto nella perturbazione ha uno spessore dell'ordine di circa 0.5λ (Choon B.Park et al, 1997).

L'immagine sottostante (Fig. 3) riassume il concetto per cui considerando due componenti una ad alta frequenza e corta lunghezza d'onda (a sinistra) e una a bassa frequenza e quindi grande lunghezza d'onda (a destra), la velocità di propagazione della prima dipende dal materiale più superficiale (quindi dalle caratteristiche ad esempio del primo strato) mentre la seconda viaggerà ad una velocità che dipende da tutto il materiale fino in profondità (quindi dalle caratteristiche di tutti gli strati che compongono questo ipotetico modello).

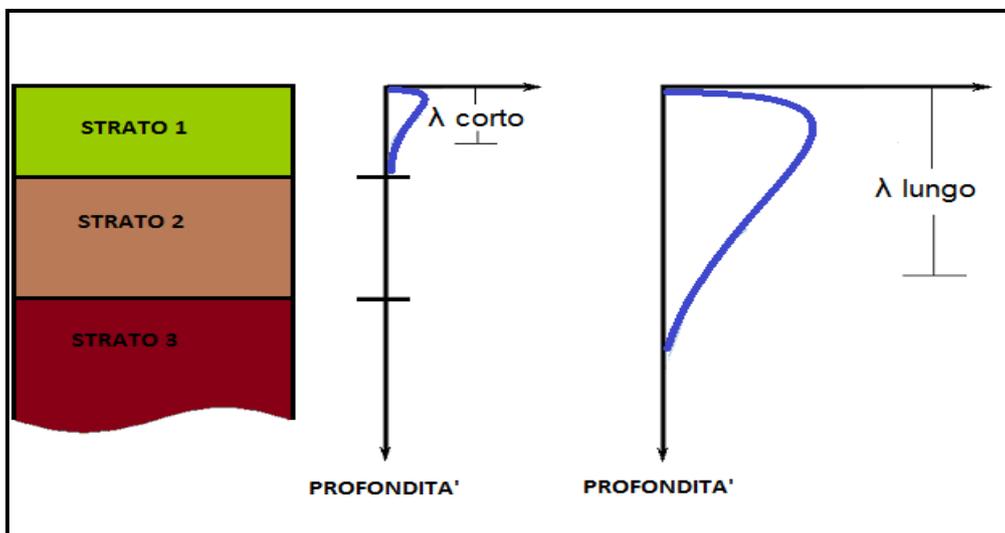


Fig. 3 - Corrispondenza tra lunghezza d'onda e profondità investigata

La distribuzione della velocità di fase in funzione della frequenza prende il nome di curva di dispersione.

E' chiaro quindi che più un modello di terreno è eterogeneo e maggiore sarà il grado di dispersione delle onde superficiali (Fig. 4).

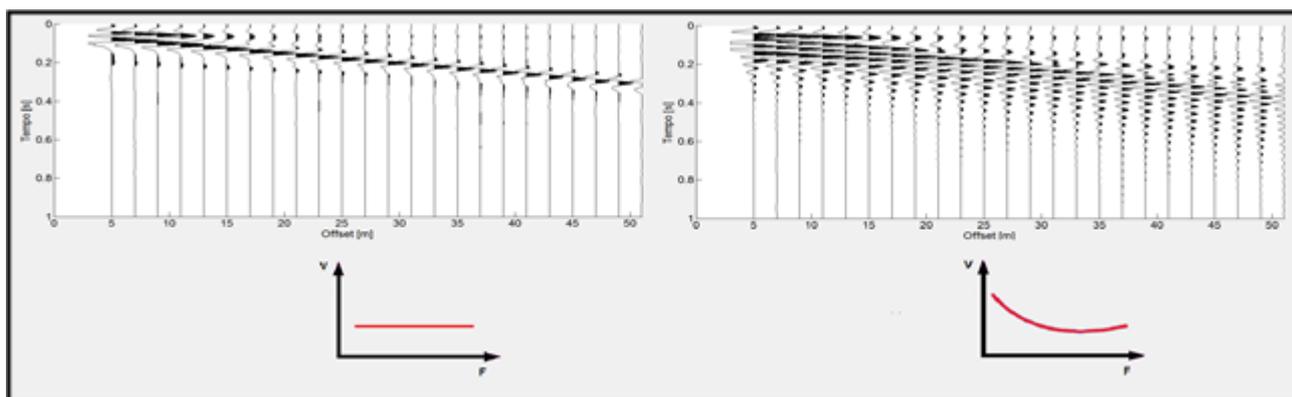


Fig. 4 - A sinistra, sismogramma risultante su terreno non dispersivo con sotto relativo andamento della curva di dispersione. A destra, sismogramma risultante su terreno dispersivo con sotto relativo andamento della curva di dispersione.

Un altro importante aspetto è connesso con la possibilità che questo tipo di onde, in presenza di eterogeneità verticali, manifestino anche una natura multimodale, vale a dire che la loro propagazione può avvenire, per una data frequenza, solo a determinate velocità (modi di propagazione).

Il modo che presenta la velocità di propagazione più bassa è detto modo fondamentale, mentre i restanti costituiscono i modi superiori.

In caso di strati eterogenei e con velocità crescenti il modo fondamentale è quello più energetico.

E' stato osservato che i modi superiori hanno origine in presenza di inversioni di velocità (Fig. 5) o di contrasti di velocità molto forti tra due strati (Cercato, 2008).

In questo caso i modi superiori sono caratterizzati da energia superiore rispetto al modo fondamentale.

Molto spesso può accadere che ci siano dei “salti di modo” tra il fondamentale e i superiori e viceversa quindi il solo basarsi sul modo fondamentale implica in alcuni casi una scorretta inversione dei dati.

I modi superiori vengono sempre più usati infatti il loro utilizzo nelle elaborazioni unitamente al modo fondamentale, può aiutare a vincolare meglio il modello V_s del sottosuolo, soprattutto in profondità. I più comuni software in commercio ne prevedono l'uso.

La dispersione delle onde superficiali quindi, elemento di disturbo negli altri tipi di indagini (sismica a rifrazione e a riflessione), risulta invece, grazie a questa sua proprietà, estremamente utile per calcolare le proprietà elastiche dei mezzi presenti in superficie.

Dalla curva di dispersione, in particolare dallo studio del modo fondamentale, infatti si può ricavare, attraverso l'operazione di inversione dei dati, il profilo di Velocità V_s e gli spessori degli strati indagati, parametri fondamentali sia in ingegneria sia in geofisica di esplorazione.

La stessa curva di dispersione inoltre può essere calcolata a partire dal sismogramma iniziale $x-t$ (offset-tempi) sia in forma generale in un diagramma $F-V$ (frequenze-velocità), sia in un diagramma $F-L$ (frequenze-lentezze dal momento che $L = 1/V$), sia in un diagramma $F-K$ (frequenze-energie dal momento che $f=1/T$ quindi $V = \lambda f = 2\pi f / K$) sia in un diagramma $T-V$ o $T-L$ (tempi-velocità o tempi-lentezze).

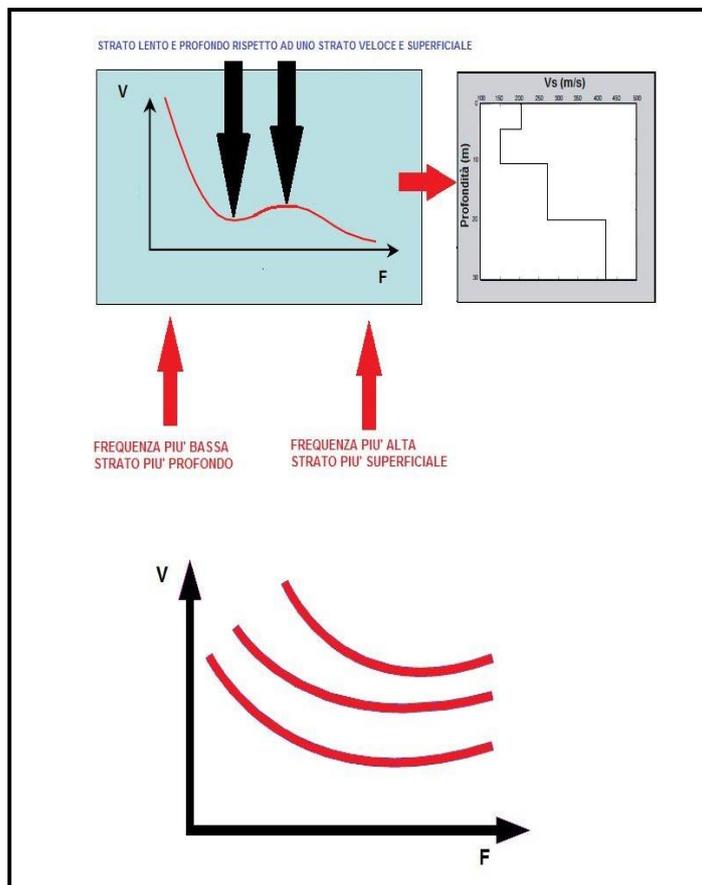


Fig. 5 - In alto, curva di dispersione con la presenza di inversione di velocità. In basso, andamento tipico della curva di dispersione (Modo Fondamentale e Modi Superiori); all'aumentare della frequenza diminuisce la velocità.

2.3 – PROPRIETÀ RIASSUNTIVE DELLE ONDE SUPERFICIALI

1. Circa il 67% dell'energia rilasciata da un qualsiasi tipo di sorgente genera onde di superficie.
2. L'ampiezza delle onde superficiali caratterizzate da un fronte d'onda cilindrico, la cui area risulta $2\pi xz$, è notevolmente maggiore rispetto alle onde di corpo che invece presentano fronte d'onda sferico.

Questo significa che per conservare l'energia (dal momento che l'energia è proporzionale al quadrato dell'ampiezza dell'onda) l'ampiezza dell'onda di superficie alla distanza X deve essere proporzionale a $1/X$. Il fronte d'onda delle onde di corpo invece è sferico (area relativa $4\pi x^2$) quindi

l'ampiezza alla distanza X è proporzionale a X^{-2} il che significa che decade molto più velocemente delle onde superficiali.

3. Lo studio delle onde superficiali non è limitato, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità.

4. La propagazione delle onde di Rayleigh è influenzata prevalentemente da V_s e dallo spessore h degli strati mentre le velocità V_p e la densità possono essere trascurate. La velocità delle onde di Rayleigh è circa il 90 % della velocità delle V_s .

5. La proprietà della dispersività permette il calcolo della curva di dispersione dalla quale è possibile ricavare i parametri fondamentali del modello di terreno in superficie. Le indagini geofisiche nell'ambito della seguente relazione sono state svolte utilizzando un sismografo DOREMI prodotto dall'azienda SARA Electronic Instruments s.r.l.

3 – INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE

Le indagini geofisiche nell'ambito della seguente relazione sono state svolte utilizzando un sismografo DOREMI prodotto dall'azienda SARA Electronic Instruments s.r.l.

Di seguito vengono elencate le caratteristiche tecniche:

Classe strumentale: sismografo multicanale per geofisica

Topologia: rete differenziale RS485 half-duplex multipunto

Lunghezza max rete: virtualmente illimitata con l'uso di ripetitori

N. max canali per tratta: 255

Dimensioni elemento: 80x55x18 mm

Peso: 250 g (per elemento con cavo di 5 metri)

Cavo: per geofisica 1x2x0.5 + 1x2x0.25 twisted pair schermato

Memoria: 60 kBytes (30000 campioni)

Frequenze selezionabili: da 500 a 20000 Hz (passi di campionamento da 2 a 0.05 ms)

Convertitore: tipo SAR a 16 bit (96 dB)

Amplificatore: ultra-low noise con ingresso differenziale

Banda passante: 2Hz - 200Hz

Reiezione modo comune: >80dB

Diafonia (crosstalk): zero, la trasmissione è digitale

Dinamica del sistema Risoluzione: 7.6 μ V @ 27dB; 0.076 μ V @ 60dB

Dinamica di base: 96dB (16 bit) S/N ratio fra 0.5 e 30Hz: >94dB (> 150dB con l'uso del PGA)

Alimentazione: batteria ricaricabile interna operativa 10-15Vdc

Consumo di energia: Interfaccia 80 mA, canale 30mA per una stringa da 12 canali: < 500mA

3.1 – PROCEDURE DI CAMPAGNA

I cavi sismici sono stati stesi lungo la zona di interesse e ad essi sono stati collegati i geofoni precedentemente infissi nel terreno alle equidistanze prestabilite.

L'energizzazione del terreno per generare onde elastiche di tipo P è stata effettuata mediante massa battente da 8 Kg: l'impatto rende operativo, tramite un accelerometro posto in prossimità della piastra di battuta (trigger), il sistema di acquisizione dati, permettendo così la registrazione ai geofoni della forma d'onda rappresentativa della velocità di spostamento del suolo.

Per quanto riguarda invece l'energizzazione delle onde SH è stata utilizzata sempre una mazza da 8 Kg e la battuta è stata eseguita all'interno di buche con pareti a 90° colpendo su ambo i lati in maniera trasversale allo stendimento dei geofoni.

Al fine di ottenere una migliore risoluzione della sismo-stratigrafia, i punti di energizzazione, detti punti di scoppio (shot points), sono stati disposti simmetricamente rispetto al profilo: ai suoi estremi, esternamente ed a distanze variabili entro il profilo stesso (in questo caso solo in posizione centrale).

La profondità di investigazione è, in linea teorica direttamente correlata alla lunghezza del profilo, alla distanza dei punti di energizzazione esterni e soprattutto al contrasto di velocità dei mezzi attraversati.

I tempi di arrivo delle onde sismiche nel terreno sono funzione della distanza tra i geofoni, delle caratteristiche meccaniche dei litotipi attraversati e della loro profondità.

3.2 – METODI DI ELABORAZIONE DEI DATI SISMICI A RIFRAZIONE

La procedura d'elaborazione dati consiste di due fasi: la lettura dei tempi d'arrivo ai vari geofoni dello stendimento per ciascuna energizzazione effettuata e la loro successiva elaborazione mediante metodi di calcolo.

I tempi di primo arrivo delle onde sismiche vengono riportati su diagrammi spazio-tempo (dromocrone) nei quali l'asse dei tempi ha l'origine coincidente con l'istante in cui viene prodotta l'onda sismica (to), mentre nelle ascisse si hanno le distanze relative fra i geofoni dello stendimento.

Tali diagrammi consentono di determinare, nei punti di flesso, le variazioni di velocità fra i vari strati attraversati dai raggi sismici e, tramite elaborazioni, le profondità a cui si verificano tali variazioni.

Il procedimento di elaborazione dei tempi d'arrivo per ottenere le profondità dei rifrattori, utilizza più metodi: il Metodo del tempo di ritardo (delay time), il Metodo del tempo di intercetta, il Metodo reciproco generalizzato (G.R.M.) proposto da Palmer (1980) ed il Metodo Tomografico.

Il G.R.M. è un metodo interpretativo che si basa su tempi d'arrivo da energizzazioni coniugate, effettuate cioè da parti opposte del profilo sismico: tramite la determinazione di due funzioni (analisi della velocità e tempo-profondità) si determinano le velocità e quindi le profondità dei rifrattori individuati sulle dromocrone.

La funzione di analisi della velocità corrisponde al tempo necessario al raggio sismico a percorrere un tratto di lunghezza nota sul rifratore (distanza intergeofonica), per cui la sua determinazione permette di ottenere una precisa stima della velocità delle onde sismiche sul rifratore stesso.

Tramite un procedimento di migrazione dei dati, sia la funzione tempo-profondità che quella di analisi della velocità vengono calcolate per distanze intergeofoniche crescenti (da 0 a multipli interi dell'equidistanza dei geofoni): viene scelta poi quella distanza per la quale le curve presentano il miglior andamento rettilineo.

Il G.R.M., a differenza del metodo del tempo d'intercetta, permette anche di verificare e di individuare, con metodi di calcoli indiretti, la presenza di eventuali strati nascosti (di limitato spessore e/o basso contrasto di velocità) e strati a bassa velocità nella serie stratigrafica.

Negli strati nascosti si ha sempre un aumento di velocità con la profondità, ma il loro spessore è sottile e/o il contrasto di velocità con lo strato sottostante è piccolo, per cui i raggi sismici che partono da questi strati vengono oscurati dai raggi che partono dallo strato sottostante. Gli strati a bassa velocità presentano invece una velocità sismica minore rispetto allo strato sovrastante (inversione di velocità), per cui alla loro interfaccia non si verifica una rifrazione critica e così non vengono evidenziati sul grafico tempo-distanza.

L'individuazione di eventuali strati nascosti e/o inversioni di velocità viene effettuata attraverso il confronto fra i valori delle funzioni tempo-velocità misurate e quelle ricalcolate in base al valore di XY utilizzata per l'elaborazione (Palmer 1980).

Il Metodo tomografico permette di intervenire sui parametri del modello e di "controllare" le iterazioni successive, al fine di ridurre l'errore quadratico medio (indice della differenza tra i percorsi delle onde sismiche calcolati e quelli misurati).

A partire dal modello con parametri predefiniti dall'operatore (numero di iterazioni da effettuare, intervallo delle velocità sismiche di riferimento, posizione delle celle, dimensione delle celle e forma delle celle), i valori iniziali di velocità sismica relativi alle singole celle vengono modificati mediante iterazioni successive allo scopo di "fittare" i segmenti dei percorsi sismici e renderli compatibili con le misure sperimentali.

L'obiettivo è quindi il calcolo del tempo di transito dell'onda attraverso le celle del modello ed il confronto di tale tempo con quello sperimentale.

Attraverso successivi processi iterativi si determina un modello di velocità sismica finale che permette di soddisfare contemporaneamente le caratteristiche dei vari raggi sismici.

4 – INDAGINE SISMICA MASW-ESAC (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Per le proprietà descritte precedentemente può risultare quindi conveniente l'utilizzo delle onde superficiali per la caratterizzazione di un determinato sito di indagine per stimare il profilo di Vs dalla velocità delle onde superficiali.

E' stato dimostrato ampiamente che la curva di dispersione delle onde superficiali è influenzata soprattutto dalla velocità delle onde S ma anche dallo spessore di ciascuno strato mentre risultano poco influenti le velocità delle onde P (totalmente nel caso delle onde di Love) e la densità di ciascuno strato.

E' quindi possibile stimare oltre al profilo di velocità delle onde S anche i diversi spessori degli strati.

La registrazione di tali forme d'onda viene effettuata mediante la tecnica MASW, l'acronimo sta per Multichannel Analysis of Surface Waves.

Bisogna precisare subito che la tecnica MASW non si basa solo ed esclusivamente sullo studio delle onde di Rayleigh in quanto anche le onde di Love sono onde superficiali anch'esse soggette al fenomeno della dispersione.

In questa specifica tecnica verranno però prese in considerazione solo le onde di Rayleigh.

Come è stato descritto in precedenza le onde di Rayleigh sono caratterizzate da una polarizzazione sul piano verticale e sono quindi registrabili lungo le due componenti verticale e radiale quindi possono essere registrate sia tramite geofoni verticali (per quanto riguarda la componente verticale) sia tramite geofoni orizzontali posti parallelamente allo stendimento (per quanto riguarda la registrazione della componente radiale).

Il tipo di sorgente dovrà comunque essere di tipo verticale per entrambe le componenti.

Questa precisazione è stata fatta perché molto spesso il solo utilizzo della componente verticale e/o orizzontale delle onde di Rayleigh, come unica tecnica MASW, senza avere dati geologici di base su un determinato sito, può non essere sufficiente per una corretta interpretazione dei diversi modi e la successiva inversione dei dati potrebbe dare qualche problematica.

LIMITAZIONI DEL METODO MASW

In generale è bene precisare che il metodo MASW presenta alcune limitazioni tra le quali:

1. Il modello di terreno deve essere a strati piani e paralleli viceversa la prova MASW perderebbe di attendibilità.
2. In riferimento a quanto previsto al precedente punto 1, non ci devono essere significative variazioni laterali del terreno.
3. La quota topografica dello stendimento dei geofoni non deve avere variazioni consistenti.

4. Le caratteristiche elastiche del terreno possono in alcuni casi attenuare completamente le onde superficiali rendendo quindi il metodo MASW inutilizzabile.

5. La profondità di investigazione è dipendente anche dalla lunghezza dello stendimento.

6. Poiché il profilo V_s finale viene calcolato mediante un processo di inversione, è possibile pervenire ad una curva di dispersione non univoca, ovvero quest'ultima soddisfa più modelli differenti di terreno (vedere seguito).

I metodi di prospezione sismica **MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves) quindi, consentono di ottenere un modello verticale delle V_s a partire dalle modalità di propagazione delle onde di superficie, in particolare le onde di Rayleigh, e non attraverso quelle di volume come invece accade per i metodi propri della sismica più tradizionale.

In particolare osservando le caratteristiche dispersive del sito e applicando opportune tecniche di inversione è possibile stimare alcune proprietà meccaniche del sottosuolo in condizioni di sollecitazione sismica.

È noto che la propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei; non esiste più una unica velocità, ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda.

Queste interessano il terreno a diverse profondità e risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche, appunto variabili con la profondità.

Questo comportamento viene definito dispersione in frequenza ed è fondamentale nello sviluppo dei metodi sismici che utilizzano le onde di superficie.

Ovviamente le lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario le lunghezze d'onda più piccole, poiché sono associate alle frequenze più alte rimangono nelle immediate vicinanze della superficie.

I metodi di prospezione sismica che utilizzano le onde di superficie si basano su modelli fisico-matematici nei quali il sottosuolo viene schematizzato come una serie di strati sovrapposti con caratteristiche elastiche lineari.

Per ogni strato si devono definire quattro parametri: lo spessore H dello strato, ad esclusione dell'ultimo considerato infinito; la densità ρ dello strato; la velocità di propagazione delle onde di taglio V_s all'interno dello strato; il coefficiente di Poisson.

A partire dai parametri del sottosuolo è quindi possibile ricavare le proprietà dispersive delle onde di Rayleigh, per il sito in esame.

Quanto detto rappresenta il problema diretto: quello cioè che a partire dalla conoscenza delle caratteristiche del terreno permette di descrivere la dispersione delle onde di Rayleigh.

Nella prospezione occorre invece affrontare il problema inverso: a partire dalla curva di dispersione rilevata, si arriva al modello di stratificazione del terreno con i relativi parametri meccanici e sismici.

La procedura utilizzata può essere suddivisa in tre fasi di seguito descritte in maniera semplificata:

Acquisizione: registrazione e osservazione dei dati sismici “grezzi” contenenti le onde di Rayleigh per un intervallo sufficientemente ampio di frequenze;

Processing: trattamento dei dati attraverso filtraggio e altre tecniche finalizzate all'estrazione delle caratteristiche di dispersione, in particolare espresse come velocità di fase in funzione della frequenza (Spettro FP) e operazione di *Picking* della Curva di dispersione ottenuta;

Inversione: uso di un modello del terreno che permette di ricavare un profilo monodimensionale della velocità delle onde S ed altri parametri in funzione della profondità riconducibile col minor scarto di errore possibile al *Picking* della Curva di dispersione sperimentale ottenuta.

4.1 – ACQUISIZIONE DEI DATI MASW

Le analisi della dispersione delle onde superficiali partono dall'acquisizione dei dati con una geometria di tipo off-end ovvero lo stendimento dei geofoni si trova allineato da una stessa parte rispetto alla sorgente (Fig. 6) oppure split-spread quando invece la sorgente è posta all'interno dello stendimento di geofoni.

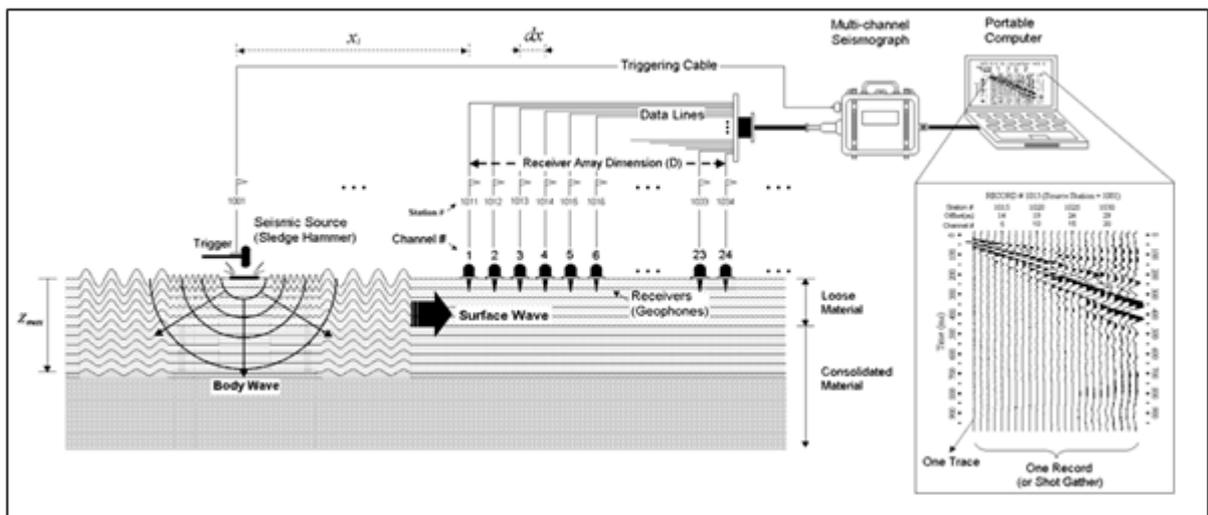


Fig. 6 - Schema di acquisizione delle Onde Superficiali (Fonte immagine www.kgs.ku.edu).

La strumentazione necessaria deve comprendere:

- Sismografo e suoi componenti (Cavi, Trigger, Sistema di acquisizione dati e inversione)
- Geofoni verticali e orizzontali
- Sorgente: martello, grave in caduta libera o fucile sismico
- Piastra per la battuta o traversina
- Appositi supporti per ciascun geofono in caso di presenza di asfalto o roccia

4.1.1 – PARAMETRI DI ACQUISIZIONE TEORICI ED UTILIZZATI

Ecco nel dettaglio i vari parametri necessari per un'acquisizione dati MASW:

1- Sorgente

Il tipo di sorgente utilizzata è stato di tipo verticale (martellata).

Qualora la registrazione fosse risultata problematica a causa della distanza e/o dell'attenuazione intrinseca del terreno è stato aumentato il numero di stack (ovvero il numero di colpi per registrazione). Ciò in generale tende a migliorare il rapporto segnale/rumore, la qualità delle registrazioni e quindi degli spettri di velocità su cui si andrà a fare il picking.

2 - Lunghezza dello stendimento Array Dimension (D)

Lo stendimento, in teoria, deve avere la lunghezza (D) maggiore possibile (in base alla disponibilità di spazio e di geofoni) in quanto dalla sua lunghezza derivano le frequenze più basse registrabili (λ max) e quindi di conseguenza, come descritto in precedenza, una maggiore profondità di investigazione (Z).

La sua lunghezza non deve comunque essere superiore a 46 m (la distanza tra geofoni deve essere pari a 2 m per un array di 24 geofoni). In caso di utilizzo di più geofoni possono essere comunque possibili anche lunghezze superiori.

Dalla lunghezza dello stendimento dipende inoltre la risoluzione dei vari spettri, maggiore è la lunghezza e maggiore è la risoluzione. Di conseguenza sarà più facile effettuare l'operazione di picking.

In prima approssimazione quindi, sempre in via teorica, $D \approx Z \approx \lambda$ max dove λ max è la lunghezza d'onda massima misurata (corrispondente alla minima frequenza).

3 – Distanza tra i geofoni (dx)

Dipende molto dal numero di geofoni (in questo caso 24), dalla lunghezza dello stendimento e quindi dalla disponibilità di spazio. Utilizzando 24 geofoni la dx deve essere massimo di 2 m.

A maggior ragione se venisse utilizzato lo spettro f-k per l'individuazione dei modi delle onde superficiali deve essere comunque sempre utilizzata una dx piccola (2 m massimo).

Questo a causa del problema dell'*aliasing spaziale* ovvero la non sufficientemente ridotta distanza tra geofoni non consente di campionare a sufficienza i segnali a più alta frequenza.

Tale problema si presenta qualsiasi spettro si utilizzi, ma nel caso $f - v$ è più facilmente individuabile e non compromette l'interpretazione del dato rispetto allo spettro $f - k$.

Dalla distanza tra i geofoni dipendono inoltre le frequenze più alte registrabili quindi le informazioni inerenti gli strati più superficiali.

Una dx troppo grande inoltre (utilizzando 24 geofoni) ridurrebbe la "ridondanza", cioè quel fenomeno che permette di registrare la stessa frequenza da più stazioni e consente di avere un migliore rapporto segnale/rumore e quindi una migliore definizione della curva di dispersione ottimale.

In prima approssimazione quindi, in questo caso, la profondità minima di esplorazione $z \approx dx \approx \lambda_{\min}$, dove λ_{\min} è la lunghezza d'onda minima (massima frequenza).

4 - Distanza sorgente-primario ricevitore (offset minimo X_1)

Per quanto riguarda l'offset minimo bisogna tenere in considerazione il fatto che una sorgente troppo vicina causa problemi di *near offset* e non si rispetta la condizione di onda piana in quanto l'onda generata ha un fronte sferico.

La teoria prevede che un'onda può considerarsi piana ad una distanza circa la metà della massima lunghezza d'onda desiderata (se vogliamo ad esempio avere un profilo che interessa i primi 30 metri di profondità si deve considerare una lunghezza d'onda di circa 60-70 metri, quindi un offset minimo di 30-40 m).

In pratica molto spesso ciò non è possibile, ma buoni risultati si possono ottenere anche ad offset minimi inferiori.

E' necessario quindi effettuare registrazioni con diversi offset in modo da poter valutare, nella fase di elaborazione dati, diversi spettri di velocità derivanti da diverse configurazioni sorgente-ricevitori ed ottenere dal loro confronto un quadro più completo che agevoli il riconoscimento dei modi delle onde di Rayleigh effettivamente presenti, non essendo possibile stabilire a priori, in campagna, quale sia la migliore configurazione.

In questo modo si può avere inoltre un riscontro sulla conformazione 1D del sottosuolo (presenza o meno di variazioni laterali) ma anche risultati che interessino porzioni di terreno sempre più profonde.

5 - Tipo di geofoni

E' raccomandato per questo tipo di registrazioni l'utilizzo di geofoni in grado di registrare basse frequenze (4.5 Hz o inferiore).

I geofoni verticali vengono utilizzati per la misura della componente verticale delle onde di Rayleigh mentre quelli orizzontali, eventualmente, per la componente radiale delle onde di Rayleigh.

I geofoni vengono posizionati in maniera ben solidale al terreno; in presenza di roccia o di asfalto si utilizzano gli appositi supporti. Il numero di geofoni utilizzati in questa campagna è di 24.

6 – Intervallo di campionamento (dt)

Per quanto riguarda le onde superficiali si parla di onde che hanno un range di frequenze teoricamente <100 Hz per questo motivo è sufficiente utilizzare un passo di campionamento molto ampio (anche 4 ms).

7 – Tempo di registrazione

Il tempo di registrazione dipende molto dal tipo di terreno. Se omogeneo o quasi il fenomeno della dispersione non è molto accentuato, se invece è molto eterogeneo il “ventaglio” della dispersione è molto ampio.

Pertanto la lunghezza della registrazione deve essere di almeno 1-2 secondi.

Nella tabella successiva vengono riassunti i parametri utilizzati appena descritti:

SORGENTE	Onde di Rayleigh: verticale (martellata)
LUNGHEZZA DELLO STENDIMENTO (D)	46 metri
DISTANZA TRA GEOFONI (dx)	2 m
OFFSET MINIMO (X ₁)	≈ dx e ≈ D/2
NUMERO DI SCOPPI	2
TIPO DI GEOFONI	4.5 Hz (verticali per la componente verticale delle onde di Rayleigh)
NUMERO DI GEOFONI	24
TEMPO DI REGISTRAZIONE	1-2 secondi
INTERVALLO DI CAMPIONAMENTO (dt)	0.5 – 2 ms
NOTE	Le tracce non sono state filtrate e è stato aggiunto AGC (Automatic Gain Control)

4.1.2 – STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Le indagini geofisiche nell'ambito della seguente campagna geofisica sono state svolte utilizzando un sismografo *DOREMI* prodotto dall'azienda SARA Electronic Instruments s.r.l.

Di seguito vengono elencate le caratteristiche tecniche:

Classe strumentale: sismografo multicanale per geofisica

Topologia: rete differenziale RS485 half-duplex multipunto

Lunghezza max rete: virtualmente illimitata con l'uso di ripetitori

N. max canali per tratta: 255

Dimensioni elemento: 80x55x18 mm

Peso: 250 g (per elemento con cavo di 5 metri)

Cavo: per geofisica 1x2x0.5 + 1x2x0.25 twisted pair schermato

Memoria: 60 kBytes (30000 campioni)

Frequenze selezionabili: da 500 a 20000 Hz (passi di campionamento da 2 a 0.05 ms)

Convertitore: tipo SAR a 16 bit (96 dB)

Amplificatore: ultra-low noise con ingresso differenziale

Banda passante: 2Hz - 200Hz

Reiezione modo comune: >80dB

Diafonia (crosstalk): zero, la trasmissione è digitale

Dinamica del sistema Risoluzione: 7.6 μ V @ 27dB; 0.076 μ V @ 60dB

Dinamica di base: 96dB (16 bit) S/N ratio fra 0.5 e 30Hz: >94dB (> 150dB con l'uso del PGA)

Alimentazione: batteria ricaricabile interna operativa 10-15Vdc

Consumo di energia: Interfaccia 80 mA, canale 30mA per una stringa da 12 canali: < 500mA

4.1.3 – ESECUZIONE INDAGINE MASW

La geometria di acquisizione utilizzata è indicata nello schema sottostante.

E' bene precisare che una geometria di acquisizione "fissa" non esiste, poiché questa dipende dalle singole caratteristiche fisiche di ciascun sito indagato.

La geometria proposta, compatibilmente con le condizioni logistico-morfologiche, rappresenta il giusto compromesso tra pratica e teoria.

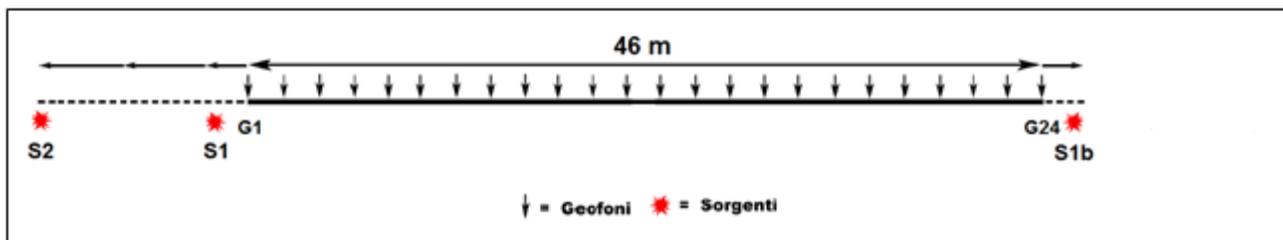


Fig. 7 - Geometria di acquisizione massima per le onde superficiali utilizzando 24 geofoni e $dx=2$.

S1: a distanza adeguata da G1.

S2: a distanza $D/2$ da G1 pari alla semi lunghezza dell'array di geofoni (D).

S1b: a distanza da G24 speculare rispetto a S1

La scelta di utilizzare due scoppi S1 e S2 di cui quest'ultimo a distanza, ove possibile, pari a $D/2$ è stata fatta per i seguenti motivi:

- Scoppi posti a distanza considerevole permettono di mettere in evidenza tutto il range di frequenze ottenibile dalla sorgente utilizzata, dalle più alte (S1) a quelle più basse (S2);
- I modi superiori, se presenti, sono maggiormente individuabili e discriminabili da quello fondamentale, il che in caso contrario porterebbe ad una interpretazione errata a seguito della fase di inversione dei dati;
- La similarità tra i due spettri F-V ricavabili dai due scoppi permette di stabilire se siamo in condizione di piani paralleli e/o assenza di variazioni laterali significative;
- In aggiunta al punto precedente, per verificare il parallelismo e l'omogeneità degli strati, in caso non ci sia lo spazio necessario per lo scoppio S2, eventualmente, ove possibile, è buona norma ricorrere ad uno scoppio (S1b) posto nella parte opposta dello stendimento in posizione geometricamente speculare allo scoppio S1.

Una volta stabilita la geometria di acquisizione si passa alla fase di montaggio della strumentazione in campagna.

I cavi sismici vengono stesi lungo la zona di interesse e ad essi vengono collegati i geofoni precedentemente infissi nel terreno alle equidistanze prestabilite.

L'energizzazione del terreno per generare onde elastiche di tipo P è stata effettuata mediante massa battente da 8 Kg: l'impatto rende operativo, tramite un accelerometro posto in prossimità della piastra di battuta (trigger), il sistema di acquisizione dati, permettendo così la registrazione ai geofoni della forma d'onda rappresentativa della velocità di spostamento del suolo.

La profondità di investigazione è, in linea teorica come descritto precedentemente, direttamente correlata alla lunghezza del profilo, alla distanza dei punti di energizzazione esterni e soprattutto al contrasto di velocità dei mezzi attraversati.

I tempi di arrivo delle onde sismiche nel terreno sono funzione della distanza tra i geofoni, delle caratteristiche meccaniche dei litotipi attraversati e della loro profondità.

4.2 – ELABORAZIONE (PROCESSING) E INVERSIONE DEI DATI MASW

L'analisi della dispersione delle onde superficiali (qualsiasi tipo esse siano) al fine di determinare il profilo delle Vs di un determinato sito è composta da due fasi fondamentali:

1 – Determinazione dello spettro di velocità (generalmente nel dominio $f - v$) dal quale vengono determinate le caratteristiche delle onde superficiali quindi le curve di dispersione.

2 – l'inversione, ovvero il passaggio dalle curve di dispersione al modello di terreno, dei diversi modi precedentemente individuati (in particolare il modo fondamentale). Una volta registrate le tracce seguendo la metodologia precedentemente descritta si ottiene il dataset dei dati nel dominio $x - t$ ovvero spazio - tempo. E' chiaramente impossibile lavorare in questo dominio quindi si deve passare al dominio $f - k$ (frequenze - numeri d'onda) oppure al dominio $f - v$ (frequenze - velocità) (Fig. 8).

Alcuni punti chiave da tenere in considerazione per il controllo di qualità dei dati sono:

1 – La registrazione corretta ben visibile in tutte le tracce.

2 – Spettro di velocità chiaro ed interpretabile.

3 – Attenzione ai modi superiori se presenti.

4 – Utilizzare come modello iniziale i dati geologici e/o i dati forniti dalla sismica a rifrazione. Trattandosi infatti di un problema inverso, la parametrizzazione del modello di riferimento deve essere adeguata rispetto all'informazione effettivamente disponibile (Foti, 2008).

5 - La corrispondenza tra curva di dispersione sperimentale e curva di dispersione numerica relativa all'ultima iterazione del processo di inversione, minimizzando gli scarti, deve essere adeguata per tutto il campo di frequenza per il quale sono disponibili informazioni sperimentali (Foti, 2008).

6 – In caso di incertezze legate alla NON UNIVOCITA' DELLA SOLUZIONE è necessaria quindi una taratura mediante dati diretti di esplorazione del sottosuolo.

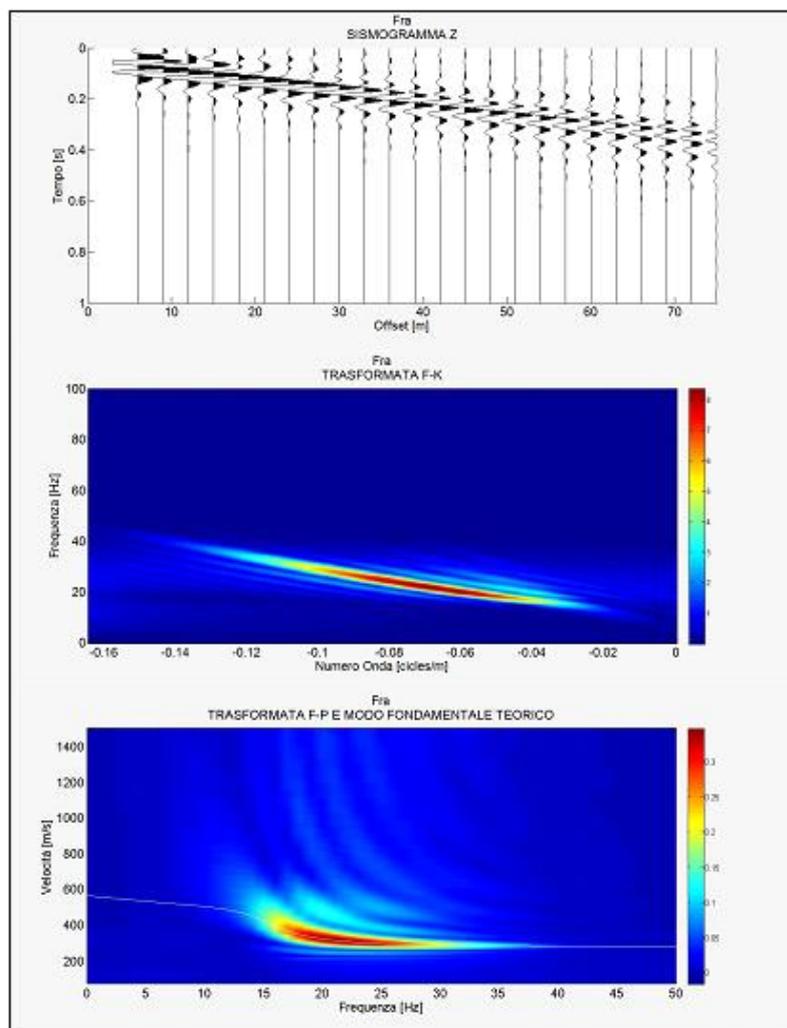


Fig. 8 - Semplice modello preso dalla letteratura composto da due strati a velocità crescente ($V_p = 650$ e 1400 m/sVs = 300 e 600 m/s spessore h fino al semispazio di 8 m). Dall'alto al basso si può vedere il sismogramma sintetico (componente verticale), lo spettro f-k e lo spettro f-v (con modo fondamentale teorico).

Una volta calcolato lo spettro f –v è buona norma verificare la profondità massima raggiunta dall'indagine (Fig. 9) in modo da meglio vincolare il modello da utilizzare nella fase di inversione, dopo di che si entra nella parte più delicata, ovvero il picking, l'individuazione cioè dei diversi modi.

La loro individuazione è quindi soggettiva (di contro all'oggettività dello spettro calcolato) e le scelte che si fanno devono essere ponderate con cura per non inficiare in maniera determinante il processo di inversione.

E' di uso comune interpretare il modo fondamentale come quello a più alta energia.

Questo non è sempre vero. In base infatti alla complessità del sito geologico i modi superiori potrebbero essere molto più energetici o addirittura talmente energetici che nello spettro il modo fondamentale non è visibile.

Non bisogna in maniera categorica basarsi sul picking e inversione automatica che molti software consentono di fare.

E' necessario quindi fare riferimento a prove invasive presenti nelle vicinanze (penetrometrie, carotaggi ecc.). Più dati si hanno a disposizione e maggiore è la probabilità di ricostruire, dalla curva di dispersione, il modello di terreno più veritiero che l'ha determinata, riducendo al minimo così i problemi di non univocità.

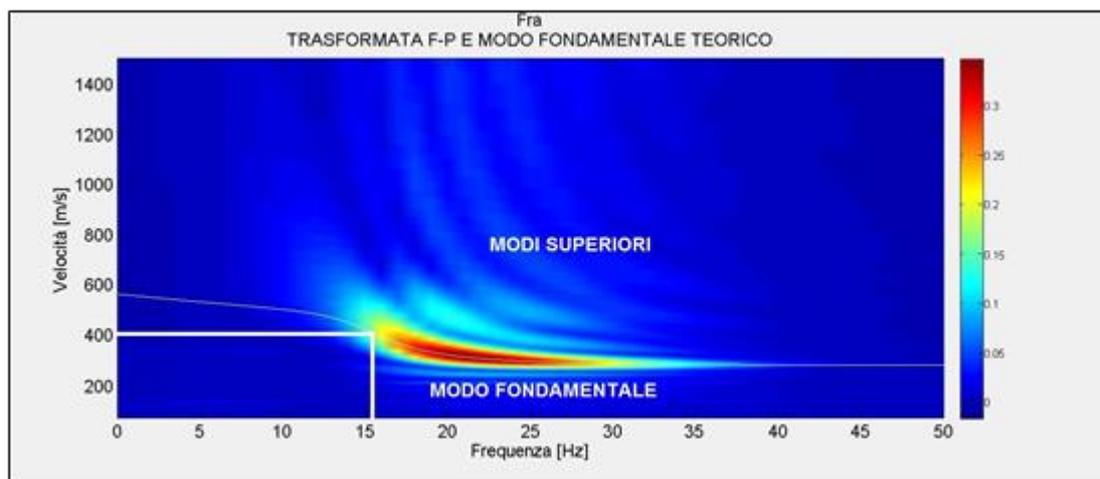


Fig. 9 - Calcolato lo spettro f-v per determinare in maniera approssimata la profondità massima raggiunta dalla prova si prendono le coordinate f-v dell'ultimo punto chiaramente visibile del modo fondamentale e si esegue la seguente formula: $Z = v / 2f$. In questo caso $v = 400$ m/s, $f = 15.5$ Hz quindi $Z = 400 / 31 = 12.9$ m

Il metodo di prospezione **ESAC** (Extended Spatial Autocorrelation Method) invece avviene tramite la registrazione dei microtremori come sorgenti sismiche con stendimenti bidimensionali e attraverso il processo di inversione della curva di dispersione effettiva (anziché modale come nel caso dell'indagine MASW).

Nel metodo ESAC si registra il segnale relativo a microtremori spontaneamente presenti nell'ambiente, cioè sollecitazioni di qualsiasi origine, provenienti da sorgenti ignote e isotropiche (disposte in tutte le direzioni) rispetto ad uno stendimento sismico non lineare.

In assenza di spazi sufficientemente lunghi e in presenza di ambienti urbanizzati, acquisizioni con stendimenti 2D (a "L", croci o cerchi) e di breve durata, consentono in maniera speditiva l'analisi del microtremore sismico.

L'acquisizione secondo una geometria bidimensionale risolve alcuni problemi legati alle velocità apparenti, presenti nei dati acquisiti mediante array unidirezionali (ReMi).

Uno stendimento ESAC è realizzato mediante l'utilizzo della classica strumentazione per l'esecuzione di una prospezione sismica MASW con geofoni a componenti verticale da 4,5 Hz disposti secondo una geometria 2D (a "L", croci o cerchi).

Al contrario di ciò che avviene con le tecniche attive, il metodo ESAC, consente una rapida ed agevole acquisizione dei dati senza dover operare con una sorgente attiva e l'acquisizione può essere eseguita, al limite, anche da un solo operatore.

Con la metodologia ESAC viene studiata la direzionalità del microtremore e valutata la velocità di fase alle diverse frequenze.

Il metodo consente di definire la cosiddetta **curva di dispersione effettiva**, che rappresenta una combinazione delle diverse curve modali "pesate" in base al loro specifico contenuto energetico nel sito.

Nel caso di profili normalmente dispersivi, la curva di dispersione effettiva coincide con la curva relativa al modo fondamentale.

In altri casi, per esempio in presenza di inversioni di velocità o di forti contrasti di impedenza sismica, la curva di dispersione effettiva risulta frutto di una combinazione dei diversi modi in funzione della relativa energia.

Un vantaggio quindi della tecnica ESAC è quello di non dovere identificare (come in altre metodologie) i vari modi di vibrazione, che sono invece trattati, più semplicemente, in modo unitario.

Mediante software dedicato viene calcolata automaticamente la curva di dispersione effettiva, dalla quale può essere eseguita la **modellazione delle velocità di taglio (Vs)**.

Le analisi ESAC sono mirate ed utili a definire le basse frequenze, ma non risultano altrettanto efficaci alle alte (ove invece le analisi di sismica attiva si rivelano decisamente superiori).

Per questo motivo si utilizzano tecniche passive con **analisi congiunta** con dati provenienti da sismica attiva (**ESAC+MASW**) al fine di risalire ad un modello sismostratigrafico affidabile lungo tutta la profondità di indagine.

La geometria dello stendimento **MASW** utilizzata è stata di **24 geofoni** intervallati da una distanza di **5 m** (Lunghezza stendimento pari quindi a **115 m**) mentre i parametri di acquisizione sono stati settati in maniera consona a questo tipo di indagine (tempo di registrazione più lungo e bassa frequenza di campionamento).

La geometria dello stendimento **ESAC** è stata invece di tipo a **L** utilizzando spaziature variabili in base alla logistica dei luoghi.

In base alle indagini sismiche effettuata quindi, è stato possibile ricavare più sequenze sismo-stratigrafiche relativamente all'area d'indagine, con suddivisione in strati aventi analoghe caratteristiche della velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali, nei primi 30 metri di profondità ed oltre (**Vs30/Vseq**).

5 – INDAGINE SISMICA PASSIVA HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Noise Ratio)

Il metodo reso popolare da Nakamura nel 1989 è una valutazione di tipo sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie terrestre misurati puntualmente mediante l'utilizzo di un apposito sismometro a tre componenti (due orizzontali ortogonali tra di loro ed una verticale).

Proprio dal fatto che tale metodo si basa su di un rapporto viene anche denominato indagine HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Noise Ratio) o più semplicemente prova "di Nakamura".

Rumore al di sotto degli 0.5 Hz è generato prevalentemente da onde marine e perturbazioni atmosferiche mentre al di sopra degli 0.5 Hz il contributo prevalente è dato da vento, traffico veicolare e attività industriali.

Il risultato di tale misura viene mostrato in un grafico in cui il rapporto H/V (in ordinata) è messo in relazione con la frequenza (in ascissa).

Le frequenze alle quali la curva H/V mostra dei picchi sono le frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura.

La risonanza è un fenomeno che si viene a creare quando si hanno forti contrasti di impedenza sismica tra uno strato e il sottostante.

In caso quindi di misura effettuata al di sopra di una roccia la curva H/V non presenterà picchi significativi ma avrà un andamento piano con ampiezza pari ad 1. Maggiore quindi è il contrasto sismico e maggiore sarà la precisione della misura H/V.

Geologicamente quindi una copertura soffice al di sopra di un basamento rigido rappresenta la condizione ottimale per questa metodologia di misurazione.

In questa configurazione molto semplice è possibile quindi mettere in relazione la frequenza di risonanza (f) con la velocità media delle onde S (Vs) e lo spessore della copertura soffice (h) mediante la seguente relazione:

$$f = V_s/4h$$

Data quindi la frequenza di risonanza calcolata tramite il metodo H/V e la velocità media delle Vs delle coperture è quindi possibile ricavare la profondità dello strato a forte impedenza sismica e quindi fare successivamente una valutazione sulla possibile amplificazione sismica del sito in esame.

E' importante però che questo metodo (data la sua natura stocastica) sia utilizzato assieme ad una conoscenza generale dell'area di studio dal punto di vista geologico ed a prove di sismica quali MASW e/o rifrazione in modo da avere una conoscenza a priori della natura del sito e della velocità delle coperture.

In assenza di qualsiasi vincolo infatti esistono infiniti modelli (cioè combinazioni Vs-H) che soddisfano la stessa curva H/V.

5.1 – ACQUISIZIONE DEI DATI DI RUMORE A STAZIONE SINGOLA

Le misure di rumore a stazione singola si effettuano mediante l'utilizzo di sismometri a tre componenti (chiamati anche tromografi) con una sensibilità tra 0.1 e 20 Hz (corrispondenti ai modi di vibrare della maggior parte delle strutture).

Per quanto riguarda l'acquisizione in campagna bisogna prestare molta cura ed attenzione al posizionamento dello strumento.

L'accoppiamento dello strumento con il terreno deve essere fatto il più solidale possibile evitando interfacce intermedie (ad esempio cemento, fondo stradale ecc.) le quali causano grossi problemi dovuti all'inversione di velocità la cui conseguenza in molti casi è il non corretto risultato della curva H/V.

Importante è la messa in bolla dello strumento, se questo non fosse verificato le misure sarebbero completamente errate. Evitare la misura in giornate particolarmente avverse dal punto di vista meteorologico.

E' sempre consigliabile posizionare lo strumento all'interno di una piccola buca nel terreno in modo da mantenerlo oltre che perfettamente solidale anche al riparo da possibili agenti di disturbo.

Dal momento che le frequenze di interesse ingegneristico non superano i 25 Hz la frequenza di campionamento non deve essere inferiore ai 50 Hz.

Particolarmente importante è la durata della registrazione. Come accennato in precedenza, la misura di rumore è un fenomeno detto stocastico quindi per avere una validità dal punto di vista statistico è necessaria una consistente quantità di dati i quali si ottengono registrando il rumore per una durata commisurata alla frequenza di risonanza di interesse.

In generale quindi per avere un dato concreto riguardante un bedrock sismico profondo (basse frequenze di risonanza) sarà necessario un tempo di registrazione più lungo rispetto ad un bedrock sismico superficiale (alte frequenze di risonanza).

L'orientamento dello strumento in via convenzionale deve essere rivolto verso il Nord geografico.

In presenza di elementi topografici o morfologici lo strumento dovrebbe essere allineato secondo gli assi di questi in modo da cogliere eventuali effetti di direttività. Quest'ultima può essere causata o da una non omogenea distribuzione delle sorgenti attorno allo strumento di misura o da cause derivanti dalla natura del sottosuolo sia per motivi topografici (misure a bordo di una scarpata ad esempio) sia per motivi stratigrafici (valli sepolte, stratificazioni inclinate ecc.). Le misure quindi in cui è presente questa problematica vanno interpretate con cautela.

5.2 – ANALISI DEI DATI

Una volta registrate le serie temporali di ciascuna componente il calcolo della curva H/V avviene passando al dominio delle frequenze e facendo il rapporto tra la componente H e la componente V. La componente H è la media delle due componenti orizzontali.

Per quanto riguarda le fasi dettagliate del processing si fa riferimento alle linee guide fornite dal progetto SESAME (2004).

La fase di interpretazione successiva deve essere fatta con alcuni accorgimenti fondamentali:

- 1- La curva H/V deve essere statisticamente significativa, ovvero deve avere una deviazione standard sia in ampiezza che in frequenza ridotta. Se questo non fosse verificato, premesso che la prova è stata acquisita tenendo presente tutti gli accorgimenti descritti nel precedente paragrafo, è necessario “pulire” la curva H/V. SESAME (2004) propone la rimozione nella serie temporale di quelle finestre in cui la deviazione standard del segnale STA (media a breve termine) è maggiore della media a lungo termine (LTA). Si tratta quindi dell’eliminazione di quelle finestre in cui è evidente la presenza di segnali di disturbo (detti transienti).
- 2- La curva H/V deve essere SEMPRE osservata insieme agli spettri di ciascuna componente in modo da poter effettivamente individuare quei picchi di natura stratigrafica. In condizioni normali infatti le tre componenti hanno ampiezze simili. Alla frequenza di risonanza si ha un picco del rapporto H/V in quanto diminuisce la componente verticale determinando una forma a “occhio” o “ogiva” indice di una risonanza stratigrafica. I picchi di forma differente non sono attribuibili a cause stratigrafiche.

5.3 – IL PROGETTO SESAME

Il progetto SESAME ha stabilito delle direttive per garantire la riproducibilità delle misure H/V, indispensabile per ottenere dei dati rappresentativi e poco influenzati dal contesto di misura ed ambientale.

Le direttive fornite dal progetto SESAME descrivono diversi criteri da seguire mediante i quali è possibile valutare l’attendibilità della curva H/V.

5.3.1 – CRITERI DI AFFIDABILITÀ DEL PICCO

Le seguenti condizioni di affidabilità sono state stabilite grazie al progetto SESAME (Site Effects Assessment Using Ambient Excitations), a seguito dei numerosi studi condotti (SESAME 2004).

La prima condizione necessaria per ritenere una curva H/V affidabile, è la sua riproducibilità nello stesso sito con altre sorgenti e tipologie di rumore ambientale, e mediante una differente selezione di finestre.

In sintesi i primi tre criteri tutti da soddisfare sono i seguenti:

1. $f_0 > 10 / l_w$, ovvero che alla frequenza di interesse devono trovarsi almeno 10 cicli significativi nella finestra selezionata.; l_w è la lunghezza della finestra.
2. $n_c = l_w \cdot n_w \cdot f_0 > 200$, ossia che il numero di cicli significativi sia maggiore di 200; n_w è il numero di finestre selezionate per condurre l'analisi.
3. un basso livello di scattering tra le finestre. Deviazioni standard troppo elevate sono riportabili a situazioni di scarsa stazionarietà ed alta perturbazione del segnale, quindi ad una bassa rappresentatività. In particolare la deviazione standard deve essere minore di 2 (se $f_0 > 0.5$) nell'intervallo $0.5f_0 < f < 2f_0$ e minore di 3 (se $f_0 < 0.5$) sempre nel solito intervallo.

Per quanto detto nei punti I e II quindi un picco ad 1 Hz per la sua corretta affidabilità devono esserci almeno 20 finestre di 10 s ognuna, o per un picco a 0,5 Hz, 10 finestre a 40s.

Nella tabella sottostante vengono indicati parametri di affidabilità a seconda del picco di interesse.

f_0 [Hz]	Minimum value for l_w [s]	Minimum number of significant cycles (n_c)	Minimum number of windows	Minimum useful signal duration [s]	Recommended minimum record duration [min]
0.2	50	200	10	1000	30'
0.5	20	200	10	400	20'
1	10	200	10	200	10'
2	5	200	10	100	5'
5	5	200	10	40	3'
10	5	200	10	20	2'

Poiché i transienti eventualmente presenti nella registrazione vanno eliminati in fase di processing, è opportuno allungare il tempo di registrazione.

La tabella sopra indicata, fornita dal progetto SESAME deve comunque essere utilizzata in maniera molto indicativa.

Nella realtà infatti bisogna tenere presente che per la registrazione corretta di un picco a basse frequenze (bedrock sismico profondo quindi) a seconda delle caratteristiche geologiche del sito sono necessari tempi di registrazione superiori (anche nell'ordine delle ore).

E' quindi buona norma prima di effettuare misure di rumore conoscere la geologia della zona da investigare e fare riferimento a tutte le prove pregresse effettuate nel sito.

5.3.2 – CRITERI DI CHIAREZZA DEL PICCO

Nel migliore dei casi, la curva mostra un singolo picco 'netto', definibile in termini di ampiezza, deviazione standard relativa ed assoluta. In termini di ampiezza deve soddisfare le seguenti condizioni:

1. Esistenza di una frequenza f^- tra $f_0/4$ ed f_0 tale che $A_0 / A_{H/V}(f^-) > 2$; dove A_0 rappresenta l'ampiezza media del picco e $A_{H/V}(f^-)$ l'ampiezza della frequenza f^- .
2. Esistenza di un'altra frequenza f^+ , compresa tra f_0 e $4f_0$, tale che $A_0 / A_{H/V}(f^+) > 2$;
3. $A_0 > 2$.

Viceversa le condizioni di **stabilità** sono che:

1. Il picco deve apparire alla stessa frequenza sulle curve H/V corrispondenti alla somma e differenza della deviazione standard, con una percentuale del 5%;
2. La deviazione standard del picco in frequenza σ_f , deve essere inferiore ad una soglia massima $\varepsilon(f_0)$;
3. La deviazione standard del picco in ampiezza $\sigma_A(f_0)$, deve essere inferiore ad una soglia massima $\theta(f_0)$; Il valore $\sigma_A(f_0)$ rappresenta il numero con cui moltiplicare e dividere la curva media H/V per ottenere le curve relative alla deviazione standard.

Di seguito sono inseriti i valori massimi accettabili per le deviazioni standard a diversi range di frequenza del picco.

Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.20 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

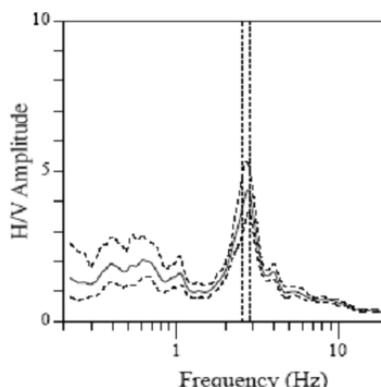
Quindi se la curva H/V per un dato sito soddisfa almeno 5 di queste 6 condizioni, il valore di f_0 è da considerarsi rappresentativo della frequenza fondamentale; se l'ampiezza di picco A_0 è

maggiore di 4 o 5, si può affermare con certezza che esiste una discontinuità ed un contrasto di velocità ad una qualche profondità.

Bisogna infine verificare che:

1. la frequenza f_0 è consistente con la frequenza di cut-off del sensore e con la sensibilità;
2. il picco non ha origine industriale.

In basso si riporta un esempio di curva H/V, con picco ‘netto’ che soddisfa le condizioni di stabilità.



Window length t_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows			
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$
41	14	1561	2.72	0.11	4.4	1.2

Fig. 10 - Esempio di picco netto da SESAME (2004)

Non sempre la curva H/V mostra dei picchi netti. Talora sono poco chiari o allargati, e non soddisfano le condizioni sopra citate.

In questi casi sono imputabili a diversi fattori quali: un contrasto di impedenza moderato o alla bassa frequenza delle vibrazioni ambientali; condizioni di misura ventose e perturbate; un disaccoppiamento suolo-sensore; disturbi a bassa frequenza (camion, macchine a grande distanza); parametri di smoothing inadeguati; sensore a frequenza e sensibilità troppo basse.

5.3.3 – INFORMAZIONI AGGIUNTIVE AI CRITERI SESAME

A questo punto verificati i punti sopra elencati occorre allegare a tali risultati altre informazioni non descritte nel progetto SESAME per dare maggiore stabilità all’indagine.

Di seguito l’elenco completo:

1. Stazionarietà temporale dei rapporti spettrali.

In pratica una volta effettuata la registrazione, il dato viene diviso dall’operatore in finestre temporali, per ciascuna di esse il software calcola la curva H/V e come output restituisce un diagramma FT in cui al variare del tempo viene mostrato l’andamento del segnale.

Il segnale è stazionario se la forma dell'H/V nell'intervallo di frequenze di interesse rimane stazionaria per almeno il 30% circa della durata della misura.

2. Direttività del segnale (azimuth).

Il software calcola una volta selezionate le finestre la direttività del segnale ovvero la sua provenienza rispetto all'orientazione degli assi dei sensori dello strumento (di norma la componente orizzontale NS deve essere rivolta verso Nord).

La direttività corretta si ha quando il picco H/V (nel caso sia presente uno solo altrimenti tutti i picchi) è presente da 0 a 180° (da 180° a 360° è superfluo poiché la distribuzione del segnale è speculare) ovvero le sorgenti intorno allo strumento sono uniformi in tutte le direzioni.

Viceversa in caso di segnali direttivi in un range ridotto di frequenze le cause possono essere varie tra cui sorgenti non uniformi (es. rumori industriali).

In questo caso il risultato della registrazione non è attendibile. le variazioni azimuthali di ampiezza non devono superare il 30% del massimo.

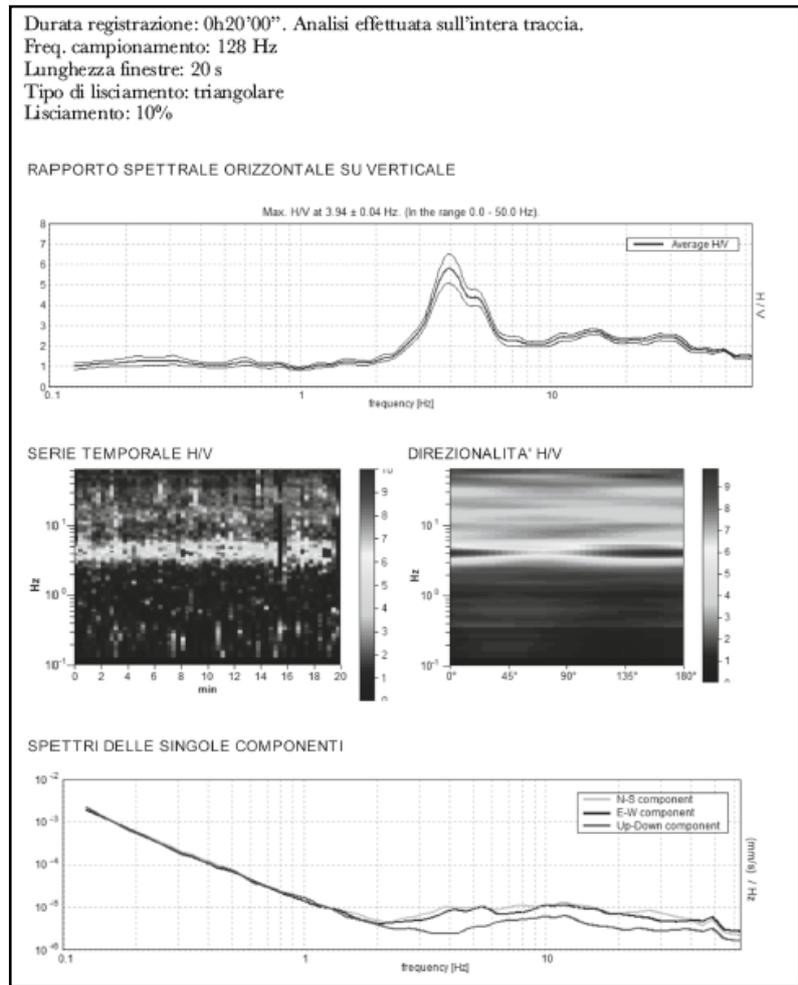
Questo deriva dal fatto che, nonostante la natura stocastica del fenomeno, in presenza di un campo d'onda diffuso, ovvero caratterizzato da sorgenti posizionate in maniera statisticamente omogenea attorno al sito di misura che si attivano in maniera non coordinata, l'andamento medio del segnale risulterà statisticamente indipendente dalla loro natura e posizione e sarà condizionato soprattutto dalla struttura del sottosuolo.

3. Si deve inoltre allegare l'andamento complessivo del rapporto H/V e gli spettri di ciascuna componente.

Ciò è utile per verificare che in corrispondenza del picco ci sia un effettivo abbassamento della componente verticale rispetto alle componenti orizzontali (plausibilità fisica).

Inoltre mediante il confronto dei vari spettri è possibile verificare se lo strumento è bene in bolla e l'eventuale presenza di inversioni di velocità caratterizzate contrariamente da quanto detto in precedenza da un abbassamento delle componenti orizzontali rispetto alla componente verticale.

4. Bisogna verificare l'assenza di rumore elettromagnetico caratterizzato da una forte direttività e da picchi molto stretti nella curva H/V.



Picco H/V a 3.94 ± 0.04 Hz (nell'intervallo 0.0 - 50.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	3.94 > 0.50	OK	
$n_s(f_0) > 200$	4725.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 190	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^* in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^*) < A_0 / 2$	3.031 Hz	OK	
Esiste f^* in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^*) < A_0 / 2$	5.938 Hz	OK	
$A_0 > 2$	5.79 > 2	OK	
$f_{\text{max}} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.00462 < 0.05	OK	
$\sigma_f < g(f_0)$	0.01818 < 0.19688	OK	
$\sigma_A(f_0) < 0(f_0)$	0.3534 < 1.58	OK	

Fig. 11 - Esempio di acquisizione corretta e presentazione dei risultati (D.Albarello,S.Castellaro, 2011)

5.4 – VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELLE MISURE HVSR

E' proposta, quale metodo di valutazione della qualità tecnica delle misure HVSR acquisite, la classificazione proposta da Albarello et alii, 2010 e Albarello & Castellaro,2011.

L'obiettivo della classificazione è fornire una indicazione immediata circa la qualità delle singole misure H/V, con lo scopo di aiutare gli operatori nella fase interpretativa e nel confronto con altri dati osservati.

La classificazione di Albarello et alii, 2010 e Albarello & Castellaro, 2011 si divide in 3 classi principali: Classe A, Classe B e Classe C.

Classe A: H/V affidabile e interpretabile: può essere utilizzata anche da sola.

1. la forma dell'H/V nell'intervallo di frequenze di interesse rimane stazionaria per almeno il 30% circa della durata della misura (stazionarietà)

2. le variazioni azimuthali di ampiezza non superano il 30% del massimo (isotropia)

3. non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse (assenza di disturbi)

4. i massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale (plausibilità fisica)

5. i criteri di SESAME per una curva H/V attendibile (primi 3 criteri) sono verificati (robustezza statistica)

6. la misura è durata almeno 15/20 minuti (durata)

ECCEZIONE per la Classe A: misure effettuate su roccia integra affiorante o in zone alluvionali fini con basamento sismico molto profondo (tipicamente > 1 km) possono non mostrare alcun picco statisticamente significativo della curva H/V nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico, a causa dell'assenza di contrasti di impedenza sufficientemente marcati. In questi casi, in cui la curva H/V apparirà piatta e con ampiezza circa pari a 1, il criterio 5 risulterà non verificato anche se la misura è di fatto attendibile.

Classe B: curva H/V sospetta (da "interpretare"): va utilizzata con cautela e solo se coerente con altre misure ottenute nelle vicinanze

1. almeno una delle condizioni della classe A non è soddisfatta, a condizione che non si rientri nell'ECCEZIONE per la Classe A.

Classe C: curva H/V scadente e di difficile interpretazione: non va utilizzata

1. misura di tipo B nella quale la curva H/V mostra una ampiezza crescente al diminuire della frequenza (deriva), indice di un movimento dello strumento durante la misura

2. misura di tipo B nella quale si evidenzia la presenza di rumore elettromagnetico nell'intervallo di frequenze di potenziale interesse.

Per le sole Classi A e B si possono pertanto definire due sottoclassi delle classi precedenti, ossia: Tipo 1. Presenta almeno un picco "chiaro" secondo i criteri di SESAME: possibile

risonanza Tipo 2. Non presenta picchi “chiari” nell’intervallo di frequenze di interesse: assenza di risonanza

5.5 – CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Le misure di rumore HVSR sono state tutte registrate mediante l’utilizzo del tromografo *THEREMINO*, costituito da geofoni con frequenza di 4.5 Hz

La sua particolare forma e utilizzo è il risultato di alcune considerazioni sperimentali e non per motivi estetici o di designer:

- 1- Forma circolare per avere la minima resistenza al vento;
- 2- Cupola emisferica ribassata per avere la minima resistenza al vento;
- 3- Baricentro molto ribassato per avere la massima stabilità;
- 4- Peso aumentato da una zavorra in piombo;
- 5- Diametro sufficientemente largo per avere una maggiore stabilità;
- 6- Materiale in policarbonato per isolare acusticamente i geofoni dai rumori antropici ed ambientali;
- 7- I cavi non devono essere posizionati verticalmente rispetto allo strumento perché causano vibrazioni dovute al vento, il cavo ha l'effetto " bandiera " generando frequenze orizzontali che non hanno nulla a che fare con i microtremori;
- 8- Aumento della larghezza della base di appoggio, in questo modo i tre puntali che poggiano sul terreno aumentano la stabilità dello strumento e garantiscono una riduzione della rumorosità strumentale indotta da vento e rumori antropici;
- 9- Distanza identica tra i vari puntali, in questo modo si ha una eguale distribuzione a 360° delle vibrazioni indotte dal terreno;
- 10- Con il piombo di zavorra si è aumentata la pressione sul terreno evitando così saltellamenti verticali e garantendo una maggiore aderenza e continuità tra terreno e strumento;
- 11- La zavorra in piombo posizionata nella parte medio bassa della piastra e l'alleggerimento della cupola hanno spostato il baricentro strumentale a pochi cm dal piano di appoggio sul terreno, ciò va a favore della stabilità;
- 12- La forma rotondeggiante della piastra e la forma emisferica della cupola permette di avere un alto grado di permeabilità al vento, possibile affondare la piastra di 4- 5 cm nel terreno estirpando la cortina erbosa superficiale, in questo modo dal piano si campagna spunta solo la cupola riducendo ulteriormente l'effetto vento;

-
- 13- Isolamento acustico del geofono grazie allo spessore della cupola, in questo modo di riduce l'effetto "microfono" dei geofoni che trasformano i rumori acustici in fastidiosi disturbi e rumori random;
 - 14- Spessori centimetrici delle pareti dell'ufo per evitare vibrazioni dannose dovute a spessori millimetrici dei contenitori spesso in plastica della scatola utilizzata;
 - 15- Minima superficie laterale per ridurre l'impatto con il vento;
 - 16- La forma tondeggiante e emisferica della piastra e della cupola permette di avere la medesima disposta al vento in tutti i 360 gradi;
 - 17- Contenitore basso e largo, e pesante al contrario di molti strumenti stretti alti e leggeri con pareti di lamierino sottile (vere casse acustiche), il contrario di come dovrebbero essere;
 - 18- Molta cura nel posizionamento all'interno dello strumento dell'elettronica e dei geofoni, riduzione al massimo di componenti inutili che hanno lo scopo di sporcare il segnale e una cura per schermare il segnale da inquinamento elettromagnetico.

6 – BIBLIOGRAFIA

C. Park, R. Miller, J. Xia. Multichannel Analysis of Surface Waves, *Geophysics*, 64(3), 800-808, 1999.

C. Park, R. Miller, J. Xia and J. Ivanov. Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) – active and passive methods, *The Leading Edge* (January 2007).

M. Cercato. Addressing non-uniqueness in linearized multichannel surface wave inversion, *Geophysical Prospecting*, 00, 1-21, 2008.

S. Foti, F. Santucci de Magistris, F. Silvestri, C. Eva. Valutazione degli standard di esecuzione e dell'efficacia delle indagini di sismica attiva e passiva, 2008.

D. Albarello, S. Castellaro. Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola *Ingegneria Sismica Anno XXVIII – n. 2 – 2011*.

M. Bour*, D. Fouissac, P. Dominique & C. Martin. On the use of microtremor recordings in seismic microzonation (1998).

SESAME European research project. Guidelines for implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations, measurements, processing and interpretation (2004).

ALLEGATI

- ALLEGATO GRAFICO: ACQUISIZIONI MICROTREMORI – RAPPORTO SPETTRALE H/V – SPETTRO DELLE SINGOLE COMPONENTI – CRITERI DI AFFIDABILITÀ SESAME – CLASSIFICAZIONE PROPOSTA DA ALBARELLO ET ALII

- ALLEGATO GRAFICO: - ALLEGATO GRAFICO: ELABORAZIONI INDAGINI SISMICA A RIFRAZIONE P/SH – MASW/ESAC

- ALLEGATO GRAFICO: UBICAZIONE DELLE INDAGINI CAPRAIA (SCALA 1:5000) - LIMITE 1 – LIMITE 2 (SCALA 1:8000)

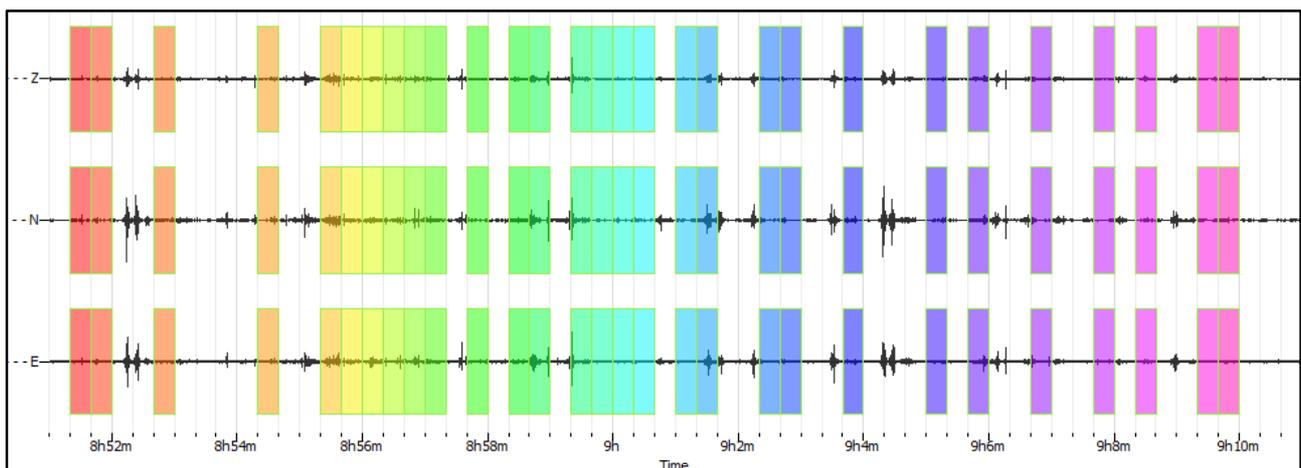
-

- **ALLEGATO GRAFICO: ACQUISIZIONI MICROTREMORI – RAPPORTO SPETTRALE H/V – SPETTRO DELLE SINGOLE COMPONENTI – CRITERI DI AFFIDABILITÀ SESAME – CLASSIFICAZIONE PROPOSTA DA ALBARELLO ET ALII**

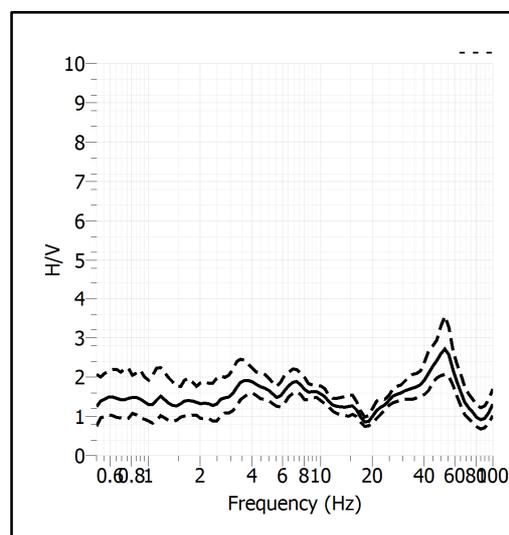
Stazione	1
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	29 (48% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	NP
Ampiezza Media della frequenza	-

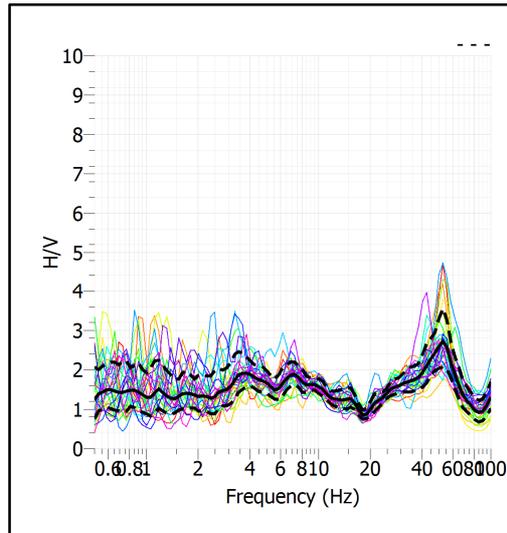
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



RAPPORTO SPETTRALE H/V



SERIE TEMPORALE H/V



CRITERI SESAME

ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

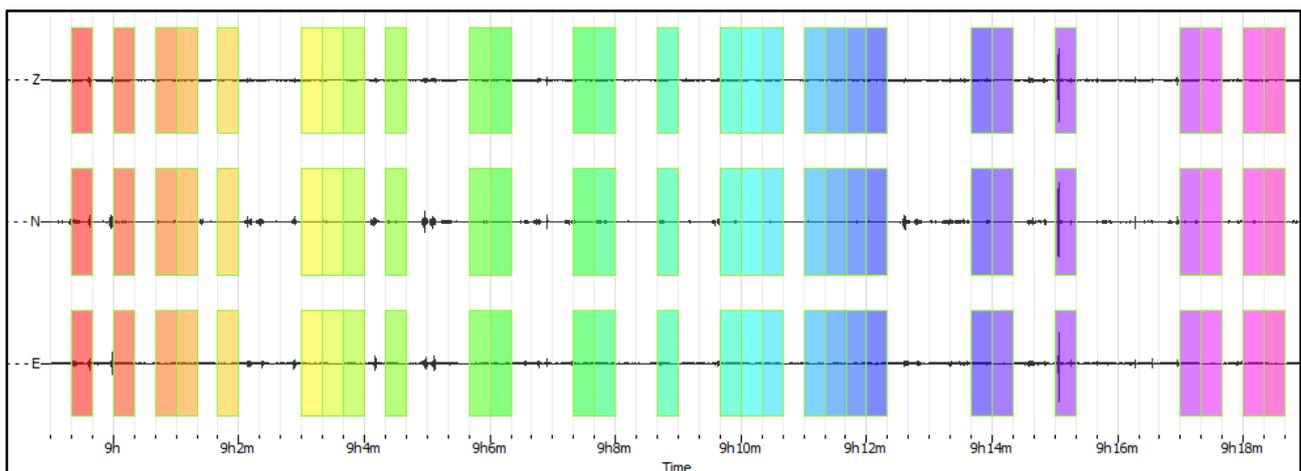
CLASSE | A2

Non ci sono picchi significativi nel range di frequenze utile (0.5 – 20 Hz)

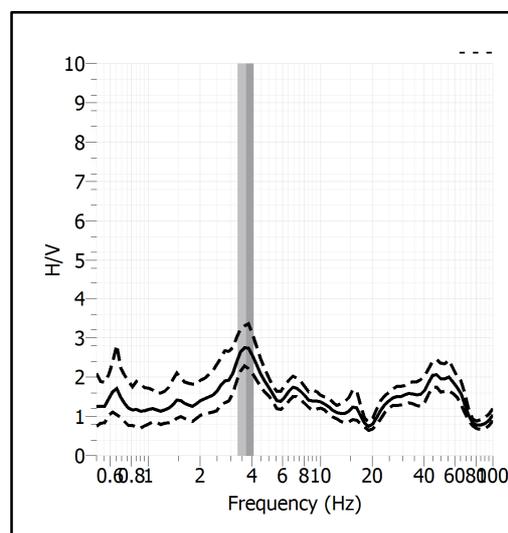
Stazione	2
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	28 (47% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	3.70 Hz
Ampiezza Media della frequenza	2.74

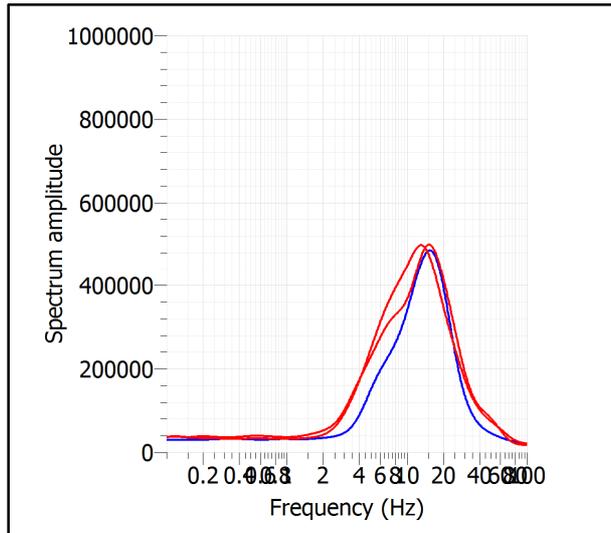
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



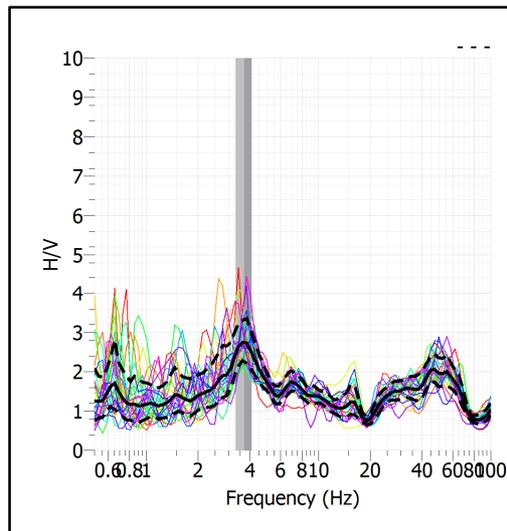
RAPPORTO SPETTRALE H/V



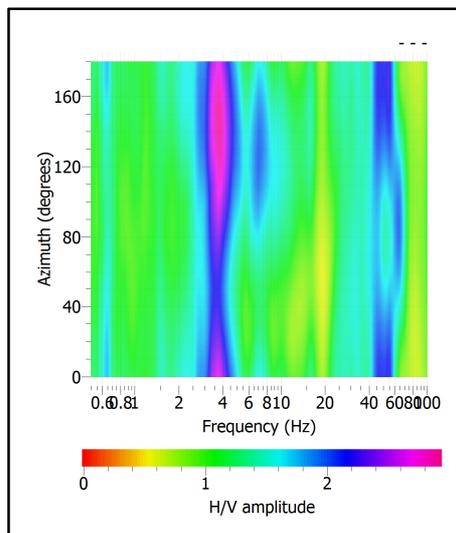
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



CRITERI SESAME

Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows				Grado del contrasto di impedenza sismica
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$	
20.00	28	2073	3.702	0.41	2.74	1.22	BASSO
Criteri per una curva H/V affidabile							
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/L_w$			3.702	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			2073	>	200		OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$			Superato 0 volte su 27				OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$							OK
Criteri per un picco H/V chiaro							
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]							
Amplitude conditions	Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$						OK
	Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$						OK
	$A_0 > 2$			2.7414	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						OK
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.4084	>	0.1851	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2163	<	1.5800	OK

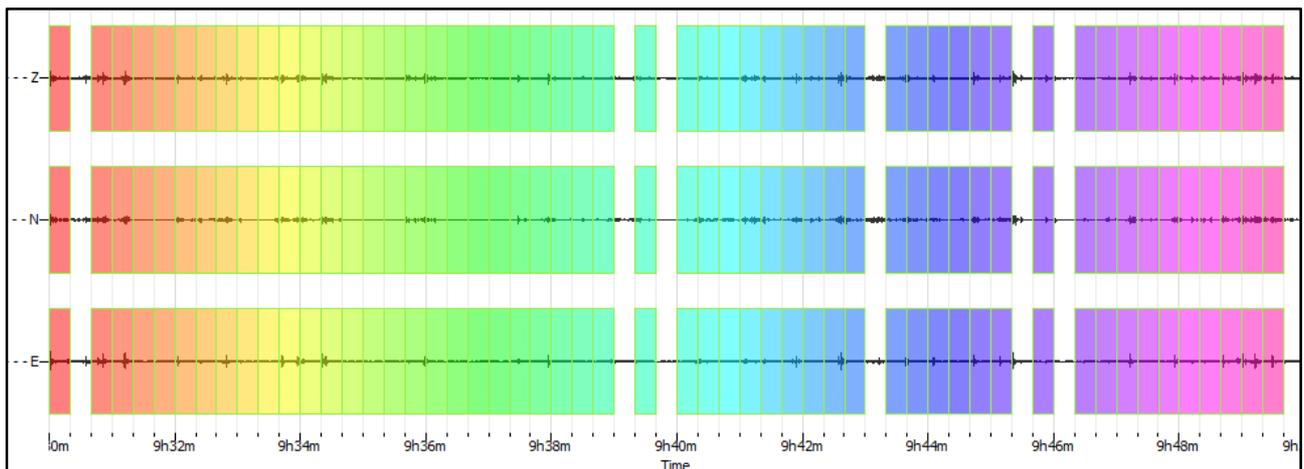
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum L_w$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

CLASSE | A1

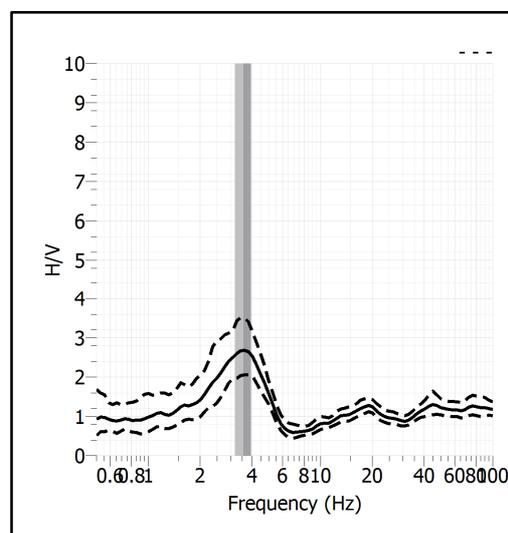
Stazione	3
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	53 (88% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	3.56 Hz
Ampiezza Media della frequenza	2.68

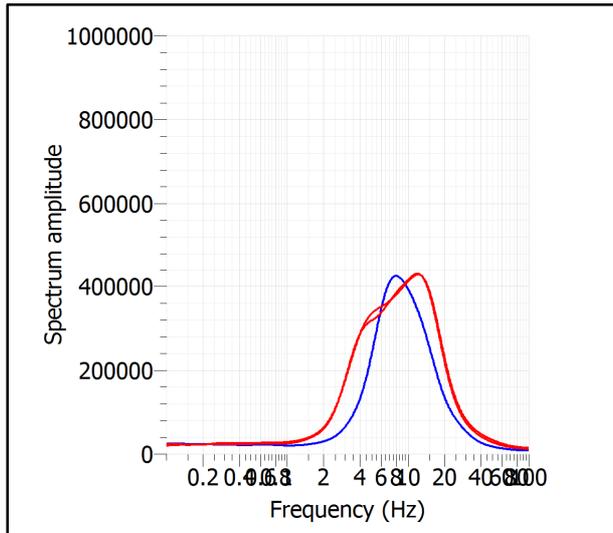
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



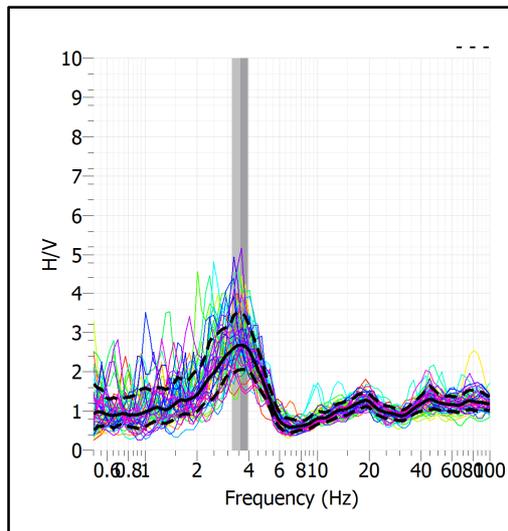
RAPPORTO SPETTRALE H/V



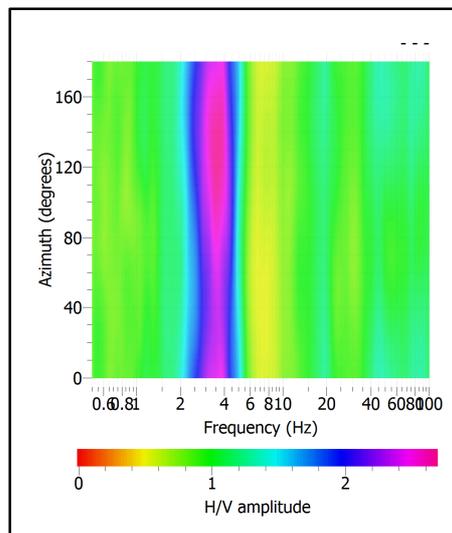
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



CRITERI SESAME

Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows				Grado del contrasto di impedenza sismica
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$	
20.00	53	3778	3.564	0.39	2.68	1.31	BASSO
Criteria per una curva H/V affidabile							
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/L_w$			3.564	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			3778	>	200		OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$			Superato 0 volte su 27				OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$							OK
Criteria per un picco H/V chiaro							
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]							
Amplitude conditions	Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$						OK
	Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$						OK
	$A_0 > 2$			2.6818	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.3891	>	0.1782	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.3089	<	1.5800	OK

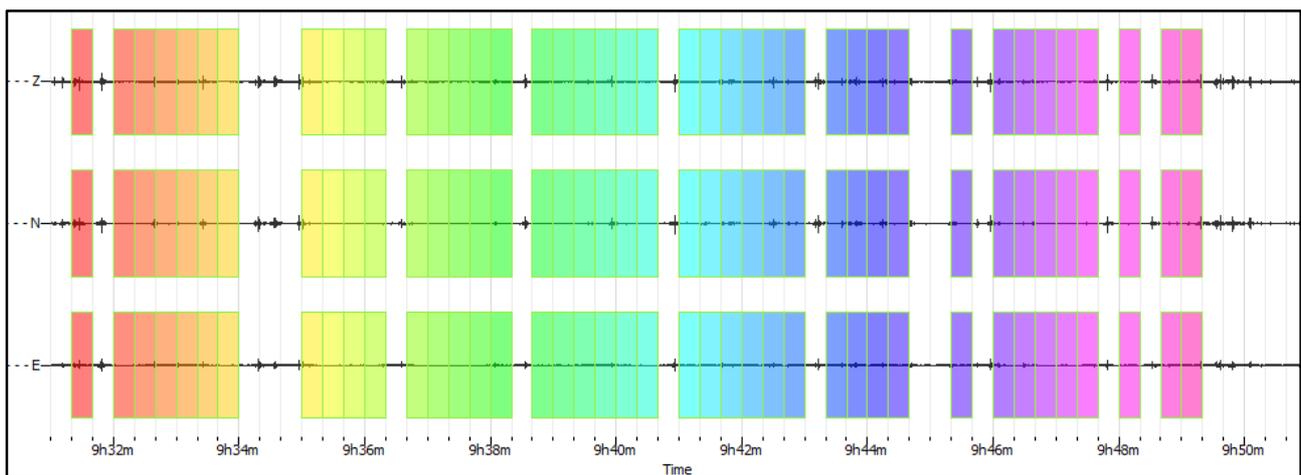
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum L_w$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

CLASSE | A1

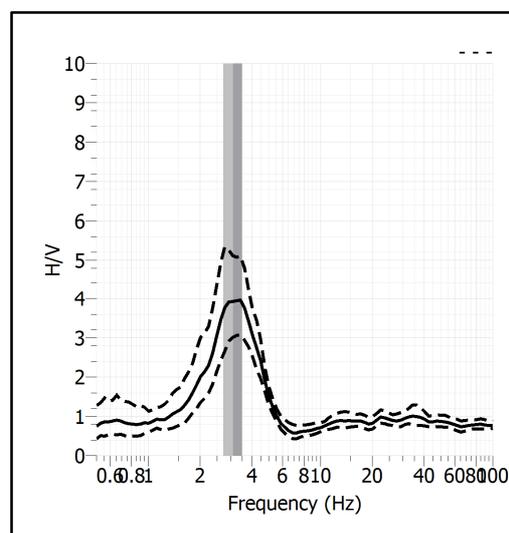
Stazione	4
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	41 (68% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	3.11 Hz
Ampiezza Media della frequenza	3.92

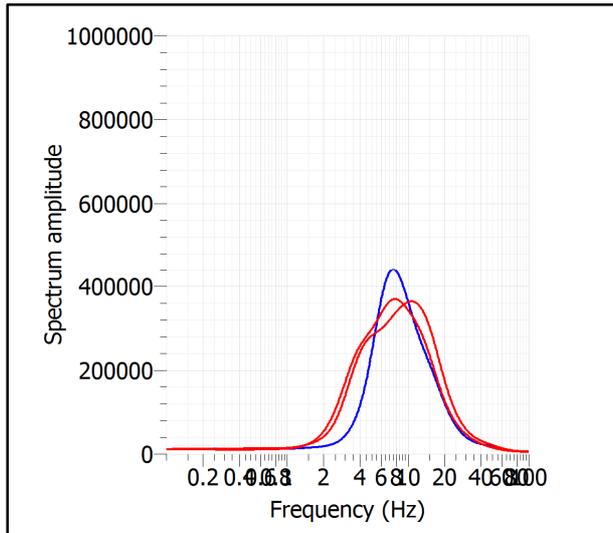
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



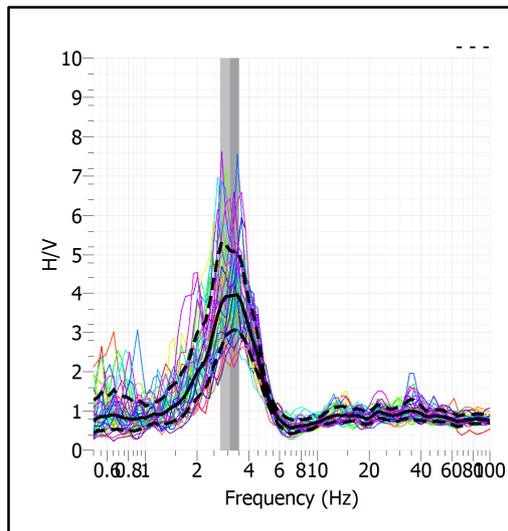
RAPPORTO SPETTRALE H/V



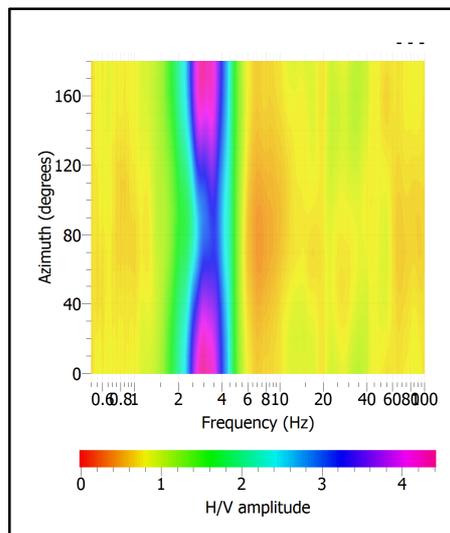
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



CRITERI SESAME

Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows				Grado del contrasto di impedenza sismica
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$	
20.00	41	2553	3.113	0.39	3.92	1.30	MODERATO
Criteria per una curva H/V affidabile [Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/L_w$			3.113	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			2553	>	200		OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$			Superato 0 volte su 27				OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$							OK
Criteria per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]							
Amplitude conditions	Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$						OK
	Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$						OK
	$A_0 > 2$			3.9247	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.3940	>	0.1556	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2972	<	1.5800	OK

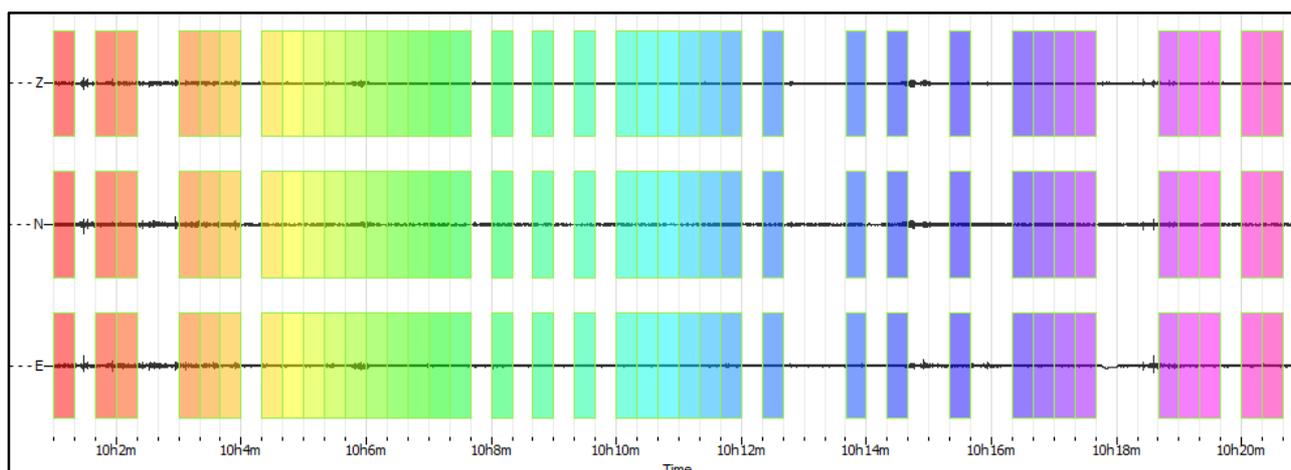
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum L_w$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

CLASSE | A1

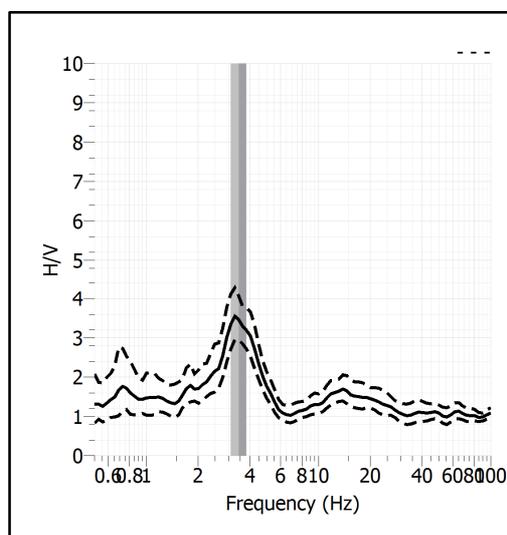
Stazione	5
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	38 (63% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	3.43 Hz
Ampiezza Media della frequenza	3.47

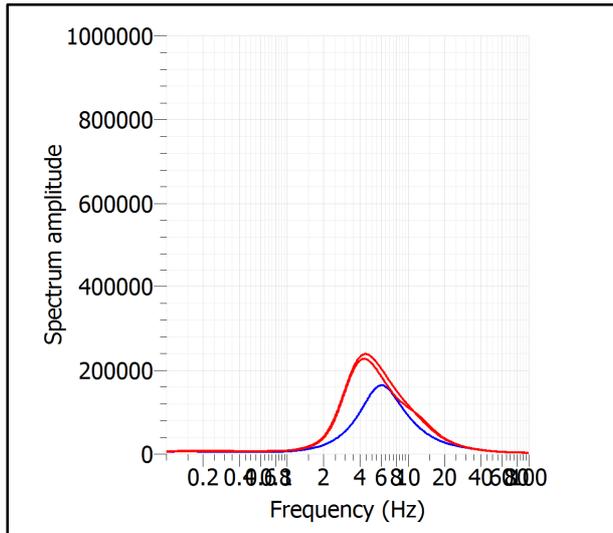
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



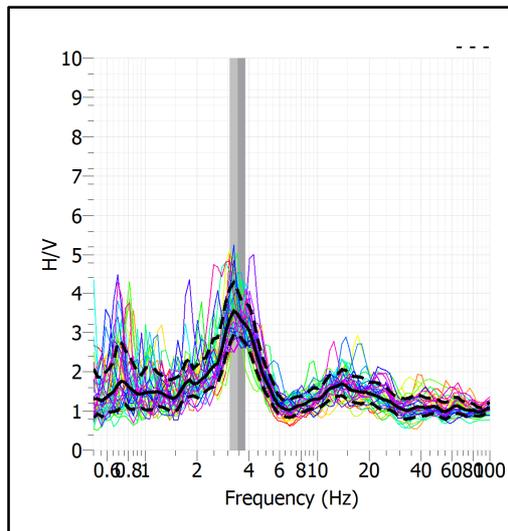
RAPPORTO SPETTRALE H/V



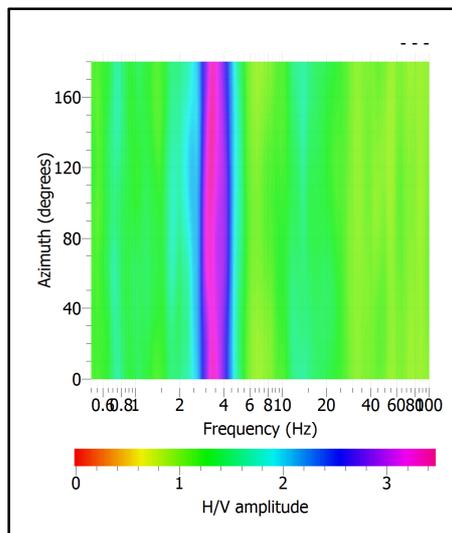
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



CRITERI SESAME

Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows				Grado del contrasto di impedenza sismica
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$	
20.00	38	2612	3.436	0.35	3.47	1.16	MODERATO
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			3.436	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			2612	>	200		OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$			Superato 0 volte su 26				OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$							OK
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]							
Amplitude conditions	Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$						OK
	Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$						OK
	$A_0 > 2$			3.4686	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.3542	>	0.1718	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.1567	<	1.5800	OK

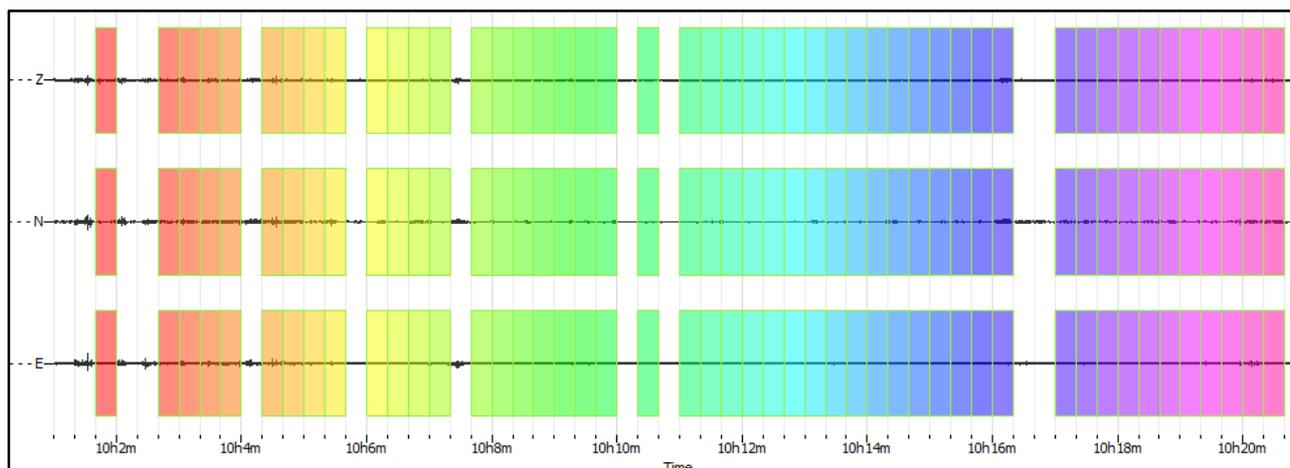
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

CLASSE | A1

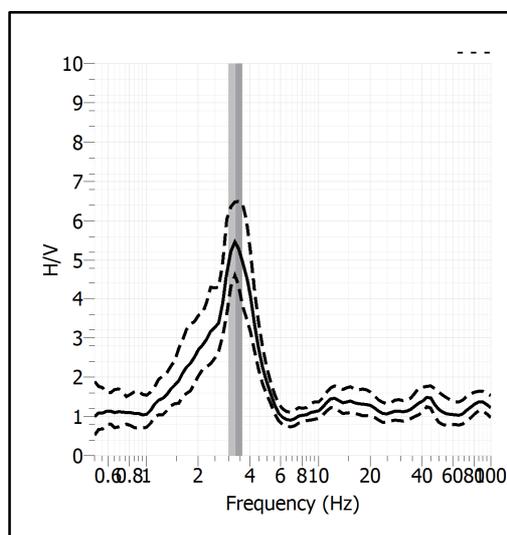
Stazione	6
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	48 (80% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	3.31 Hz
Ampiezza Media della frequenza	5.41

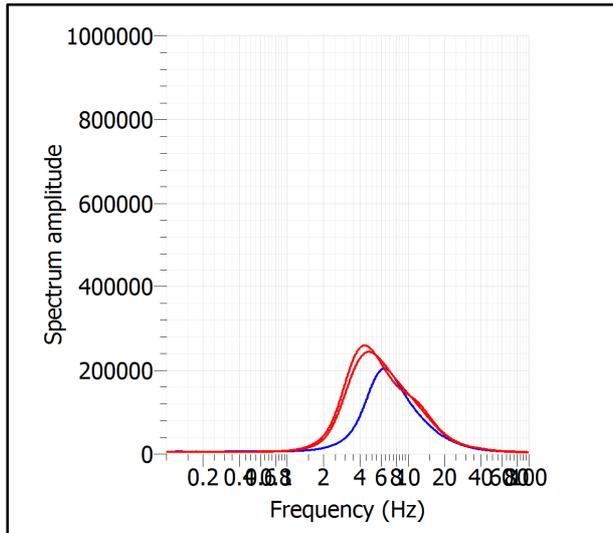
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



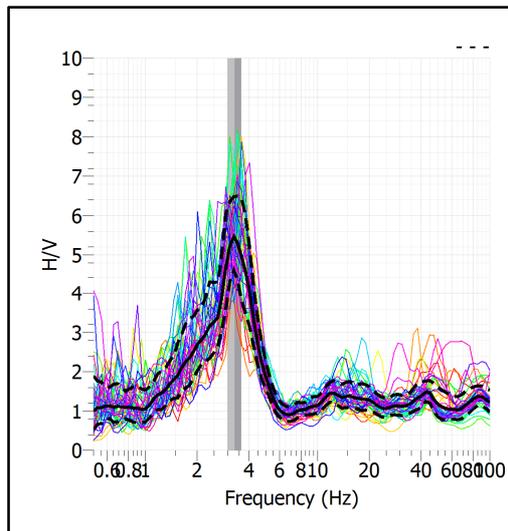
RAPPORTO SPETTRALE H/V



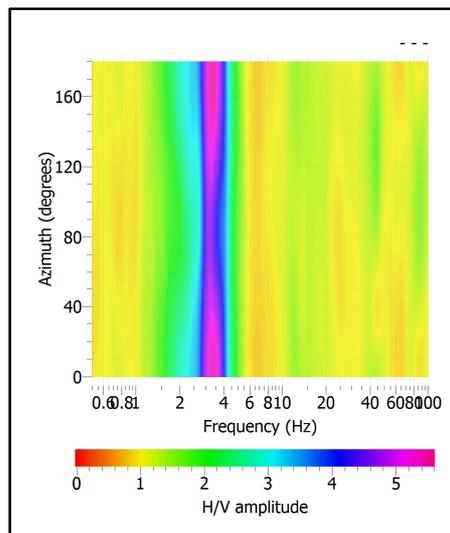
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



CRITERI SESAME

Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows				Grado del contrasto di impedenza sismica
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$	
20.00	48	3183	3.316	0.30	5.41	1.21	ALTO
Criteria per una curva H/V affidabile [Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/L_w$			3.316	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			3183	>	200		OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$			Superato 0 volte su 27				OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$							OK
Criteria per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]							
Amplitude conditions	Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$						OK
	Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$						OK
	$A_0 > 2$			5.4128	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						OK
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.2999	>	0.1658	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2093	<	1.5800	OK

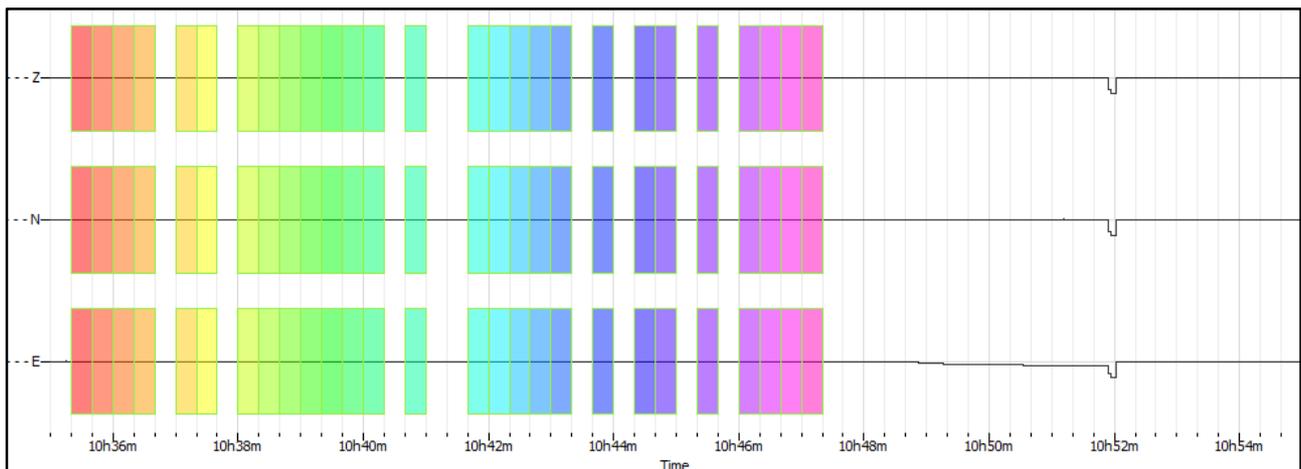
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum L_w$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

CLASSE | A1

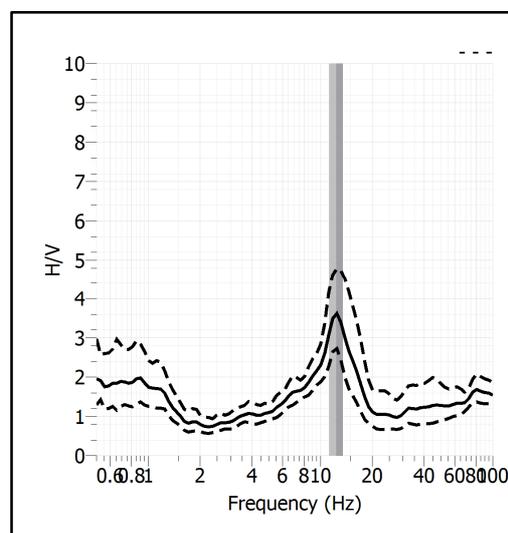
Stazione	7
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	27 (45% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	12.37 Hz
Ampiezza Media della frequenza	3.61

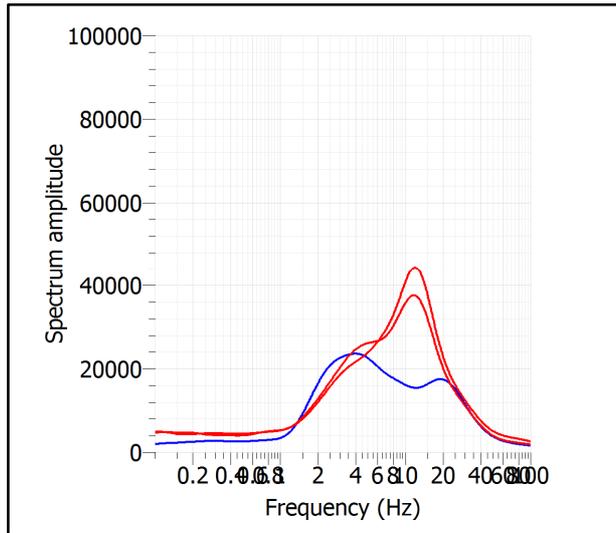
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



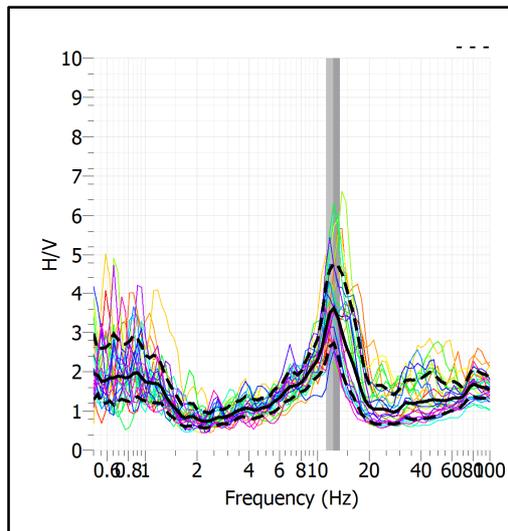
RAPPORTO SPETTRALE H/V



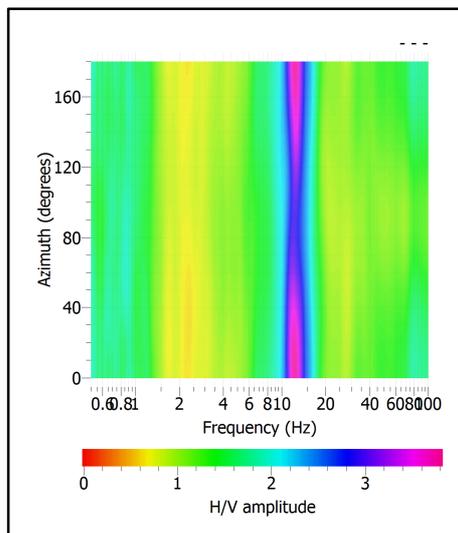
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



CRITERI SESAME

Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows				Grado del contrasto di impedenza sismica
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$	
20.00	27	6684	12.378	1.15	3.61	1.32	MODERATO
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			12.378	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			6684	>	200		OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$			Superato 0 volte su 26				OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$							OK
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]							
Amplitude conditions	Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$						OK
	Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$						OK
	$A_0 > 2$			3.6111	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						OK
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			1.1509	>	0.6189	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.3238	<	1.5800	OK

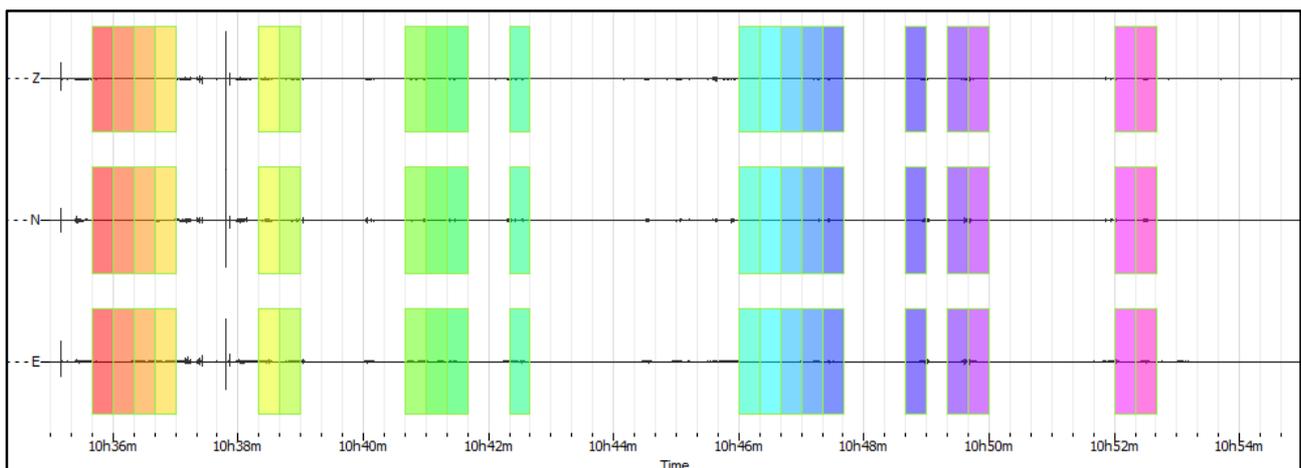
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

CLASSE | A1

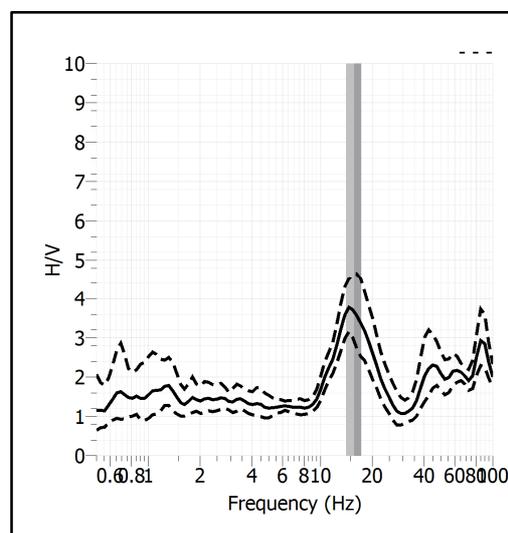
Stazione	8
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	20 (33% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	15.68 Hz
Ampiezza Media della frequenza	3.67

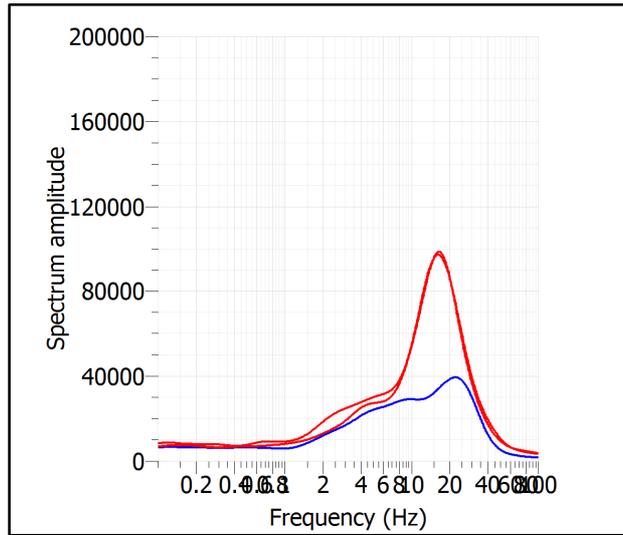
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



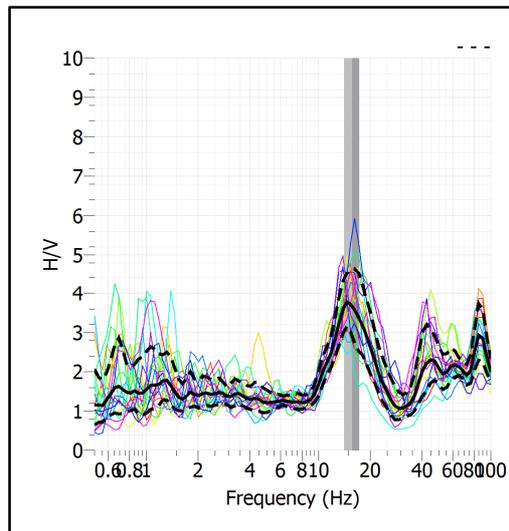
RAPPORTO SPETTRALE H/V



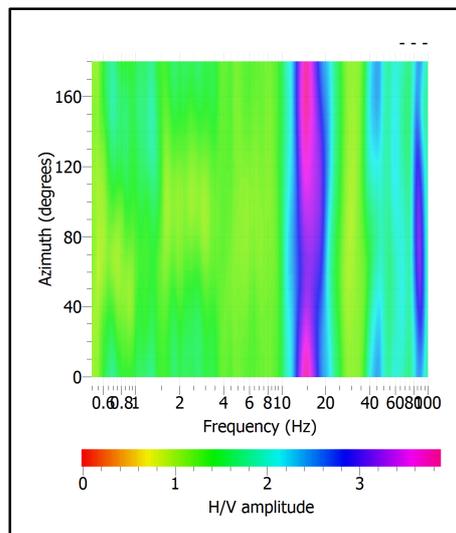
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



CRITERI SESAME

Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows				Grado del contrasto di impedenza sismica
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$	
20.00	20	6275	15.688	1.60	3.67	1.27	MODERATO
Criteria per una curva H/V affidabile							
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			15.688	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			6275	>	200		OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$			Superato 0 volte su 27				OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$							OK
Criteria per un picco H/V chiaro							
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]							
Amplitude conditions	Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$						OK
	Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$						OK
	$A_0 > 2$			3.6650	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			1.5966	>	0.7844	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2718	<	1.5800	OK

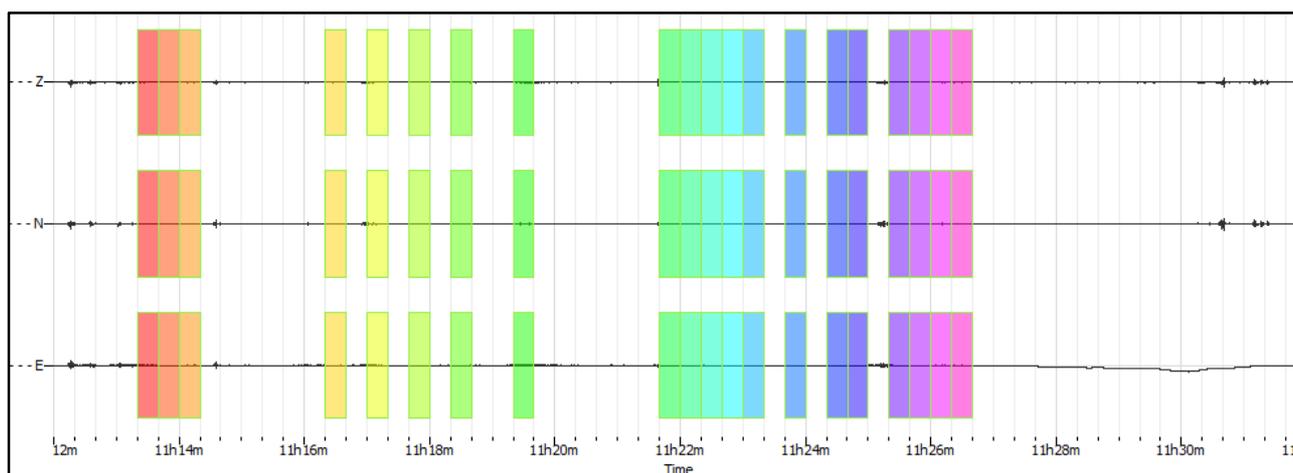
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

CLASSE | A1

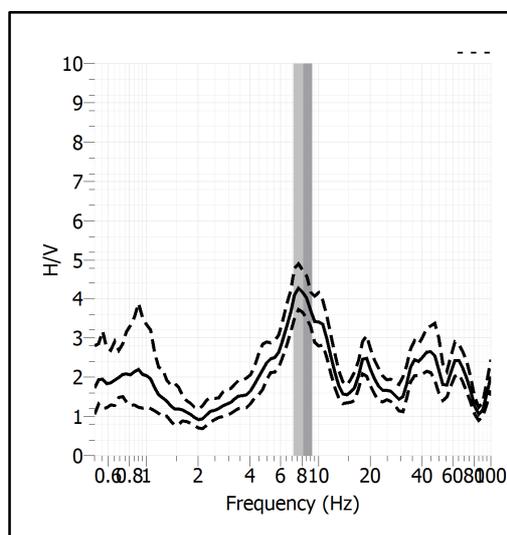
Stazione	9
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	20 (33% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	8.18 Hz
Ampiezza Media della frequenza	4.13

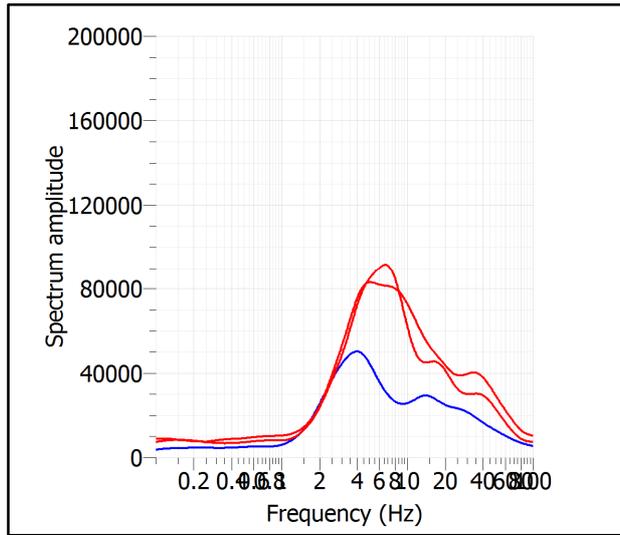
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



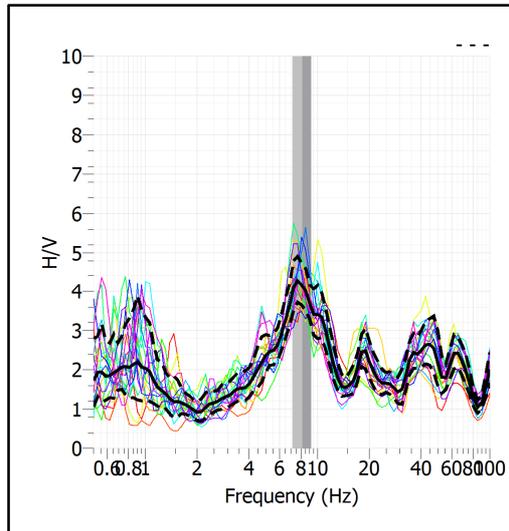
RAPPORTO SPETTRALE H/V



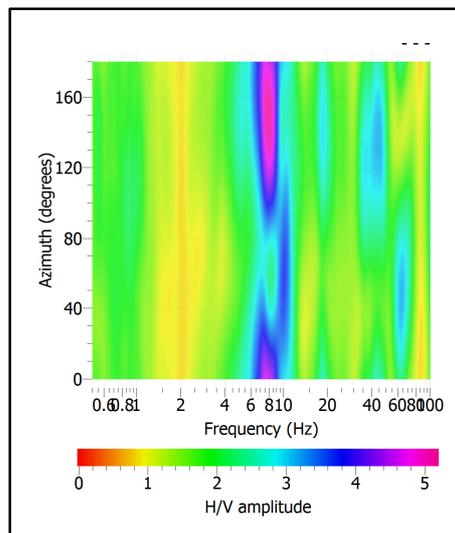
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



CRITERI SESAME

Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows				Grado del contrasto di impedenza sismica
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$	
20.00	20	3273	8.182	1.02	4.13	1.15	ALTO
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			8.182	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			3273	>	200		OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$			Superato 0 volte su 27				OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$							OK
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]							
Amplitude conditions	Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$						OK
	Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$						OK
	$A_0 > 2$			4.1318	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			1.0151	>	0.4091	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.1468	<	1.5800	OK

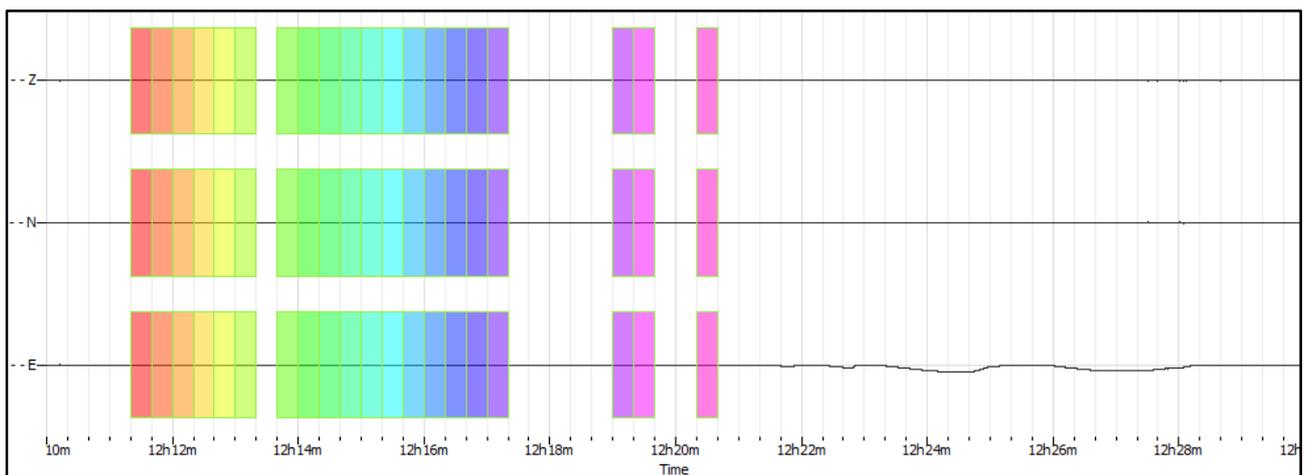
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

CLASSE | A1

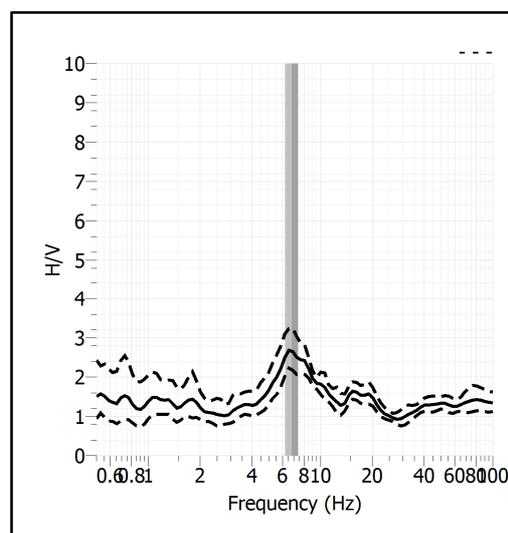
Stazione	10
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	20 (33% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	6.83 Hz
Ampiezza Media della frequenza	2.66

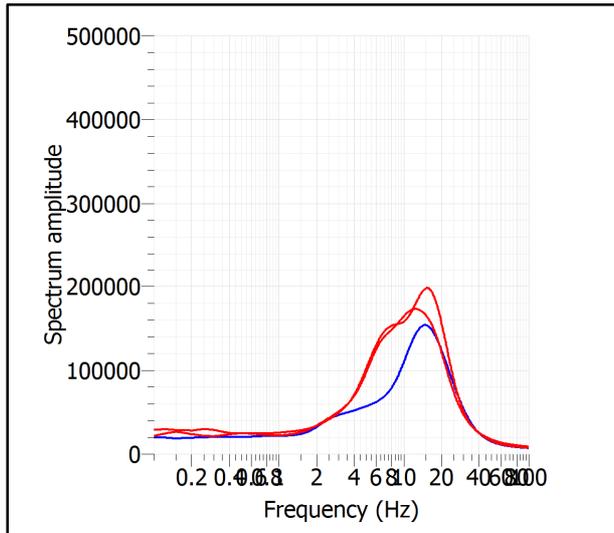
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



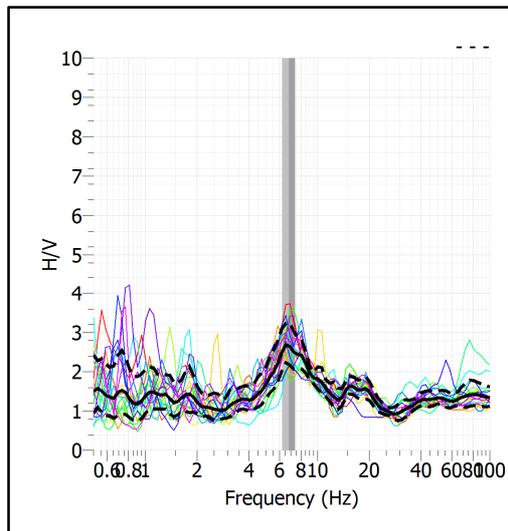
RAPPORTO SPETTRALE H/V



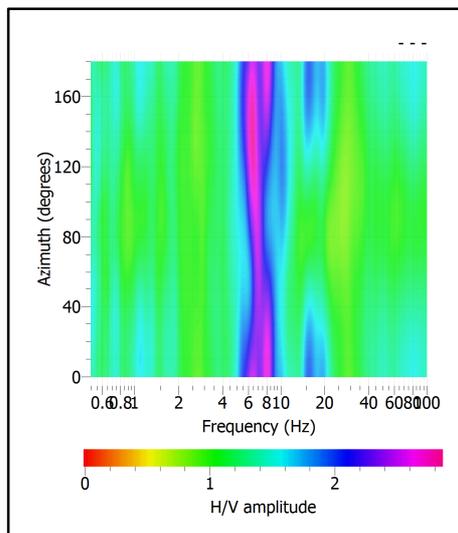
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



CRITERI SESAME

Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows				Grado del contrasto di impedenza sismica
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$	
20.00	20	2734	6.834	0.58	2.66	1.21	BASSO
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			6.834	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			2734	>	200		OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$			Superato 0 volte su 27				OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$							OK
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]							
Amplitude conditions	Esiste f^* in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$						OK
	Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$						OK
	$A_0 > 2$			2.6573	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						OK
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.5836	>	0.3417	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2071	<	1.5800	OK

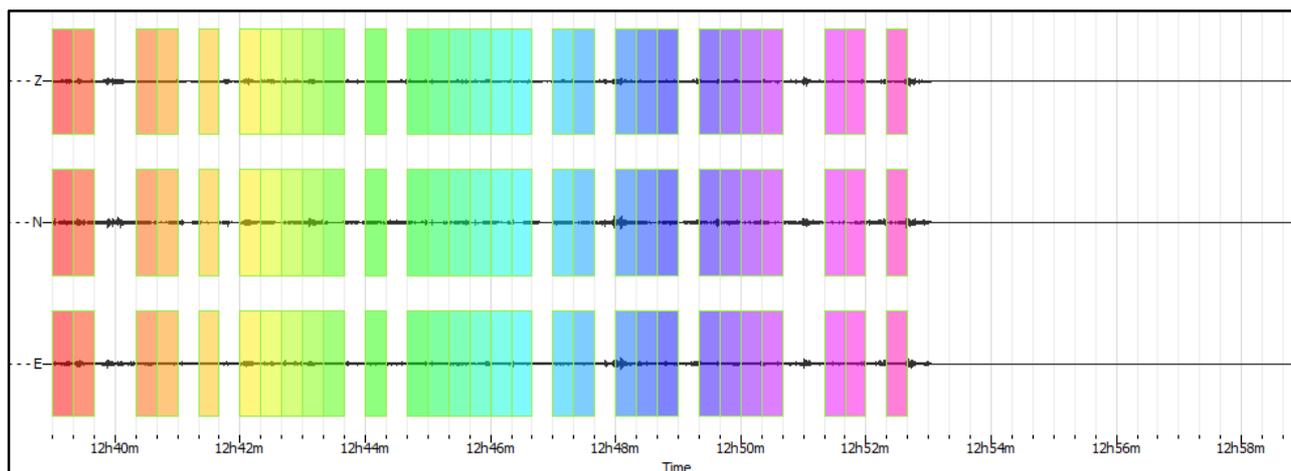
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

CLASSE | A1

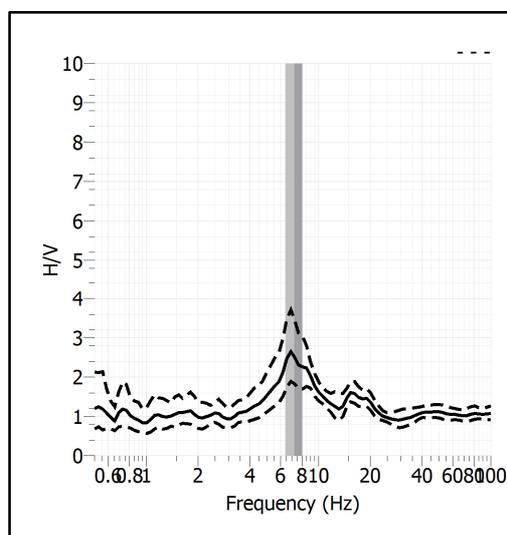
Stazione	11
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	29 (48% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	7.25 Hz
Ampiezza Media della frequenza	2.52

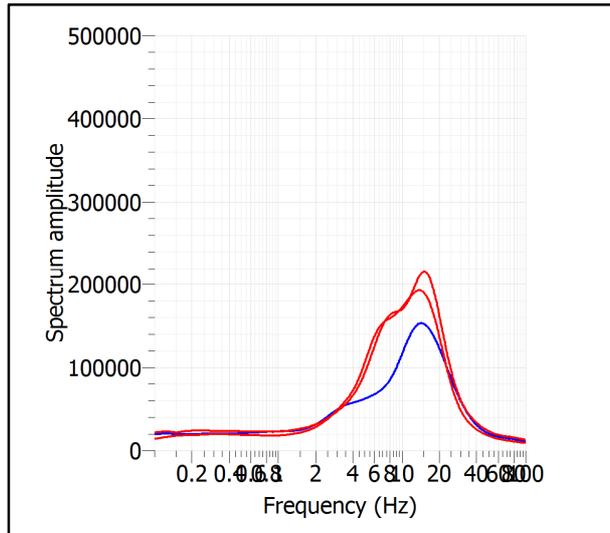
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



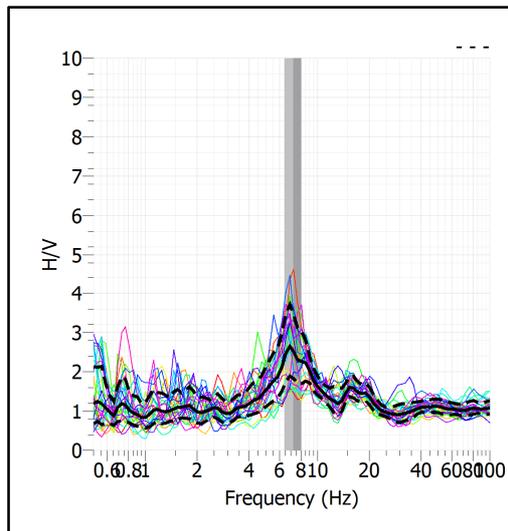
RAPPORTO SPETTRALE H/V



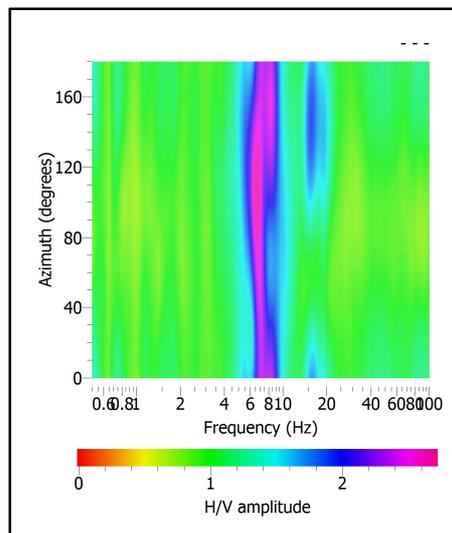
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



CRITERI SESAME

Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows				Grado del contrasto di impedenza sismica
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$	
20.00	29	4205	7.250	0.82	2.52	1.40	BASSO
Criteria per una curva H/V affidabile							
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/L_w$			7.250	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			4205	>	200		OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$			Superato 0 volte su 26				OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$							OK
Criteria per un picco H/V chiaro							
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]							
Amplitude conditions	Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$						OK
	Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$						OK
	$A_0 > 2$			2.5198	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.8249	>	0.3625	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.3990	<	1.5800	OK

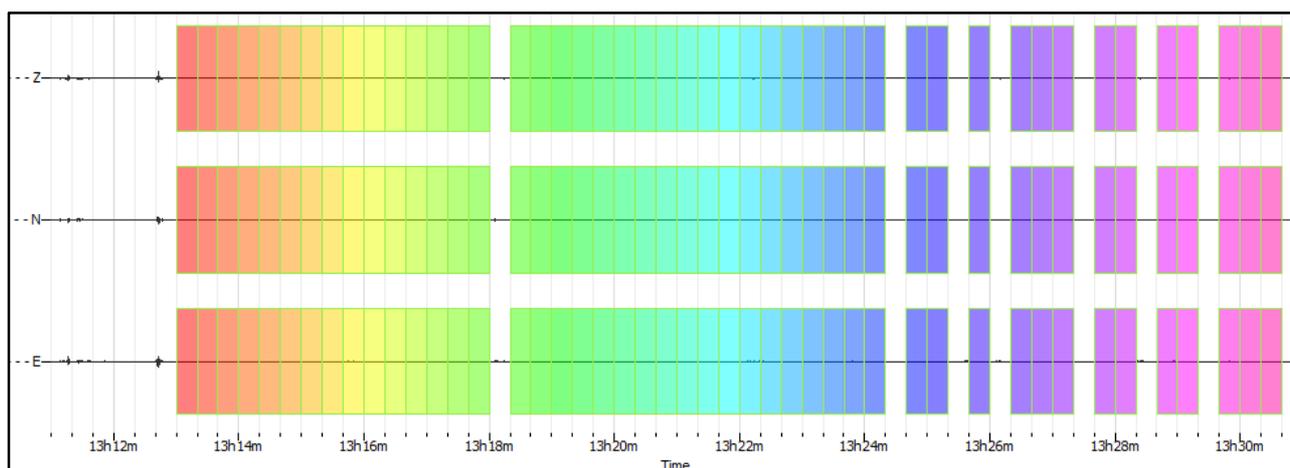
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum L_w$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

CLASSE | A1

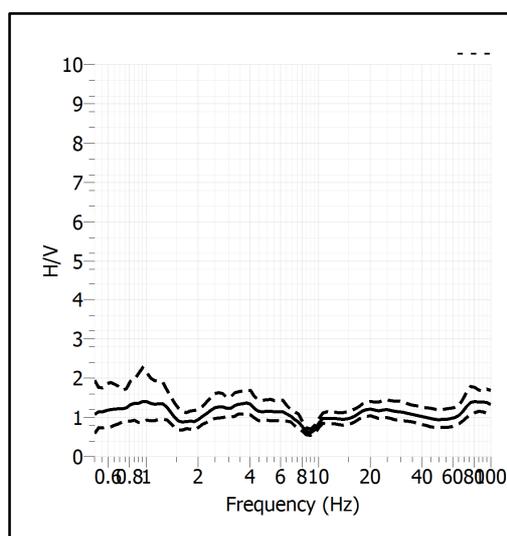
Stazione	12
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	46 (77% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	NP
Ampiezza Media della frequenza	-

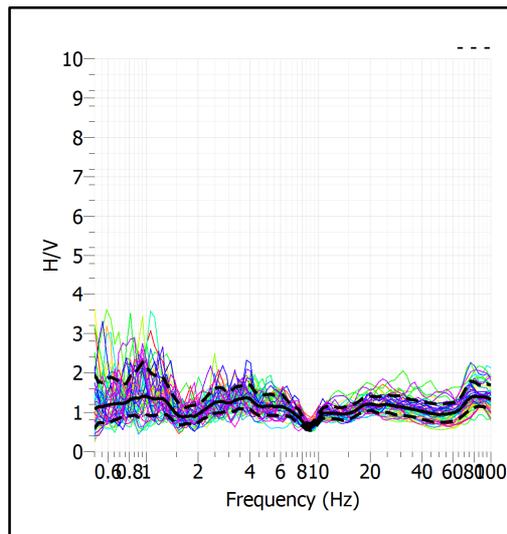
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



RAPPORTO SPETTRALE H/V



SERIE TEMPORALE H/V



CRITERI SESAME

ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	NO
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	NO

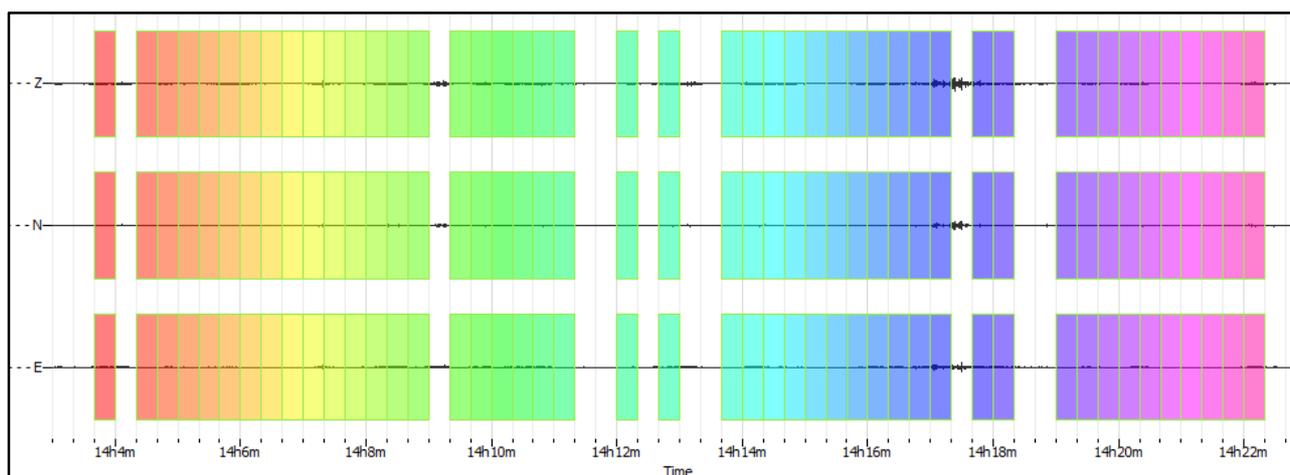
CLASSE A2

Non ci sono picchi significativi nel range di frequenze utile (0.5 – 20 Hz)

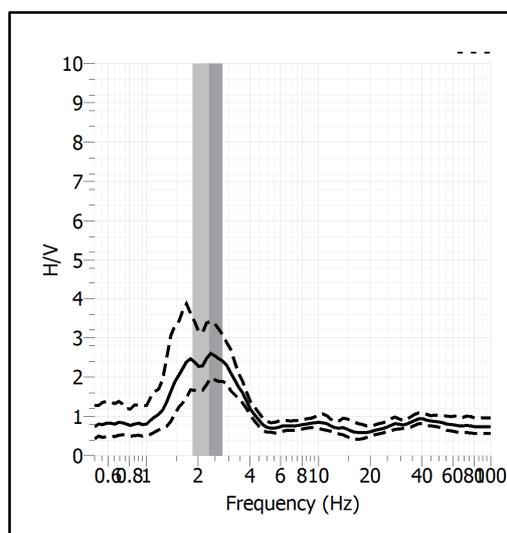
Stazione	13
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	46 (77% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	2.32 Hz
Ampiezza Media della frequenza	2.56

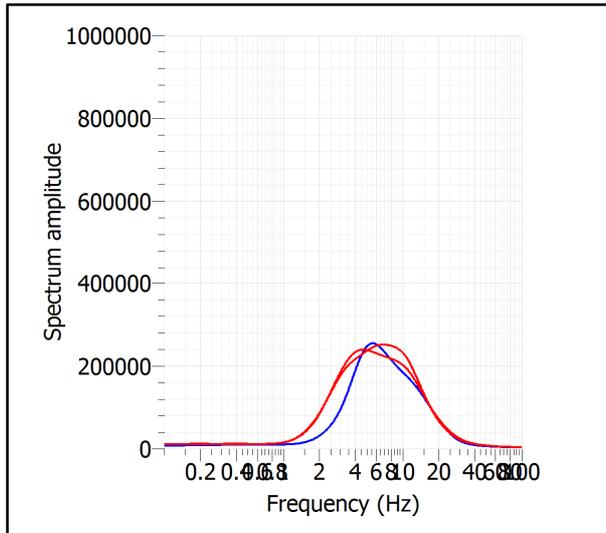
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



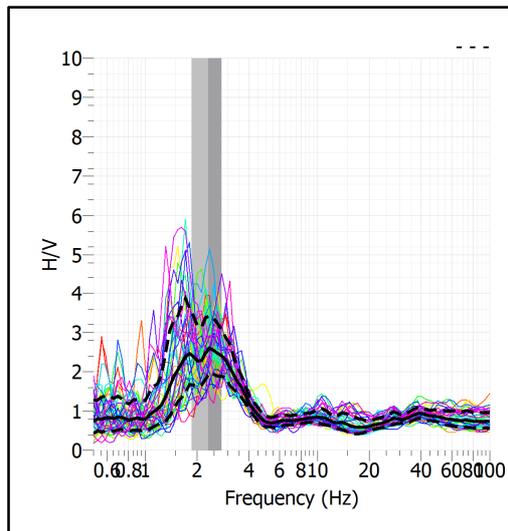
RAPPORTO SPETTRALE H/V



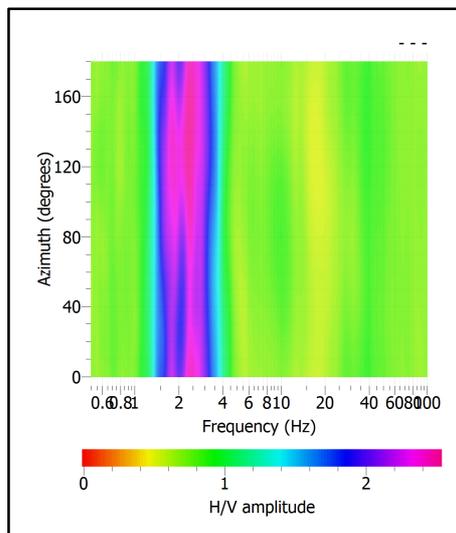
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



CRITERI SESAME

Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows				Grado del contrasto di impedenza sismica
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$	
20.00	46	2133	2.319	0.46	2.56	1.33	BASSO
Criteria per una curva H/V affidabile [Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			2.319	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			2133	>	200		OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$			Superato 0 volte su 27				OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$							OK
Criteria per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]							
Amplitude conditions	Esiste f^* in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$						OK
	Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$						OK
	$A_0 > 2$			2.5576	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.4584	>	0.1159	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.3309	<	1.5800	OK

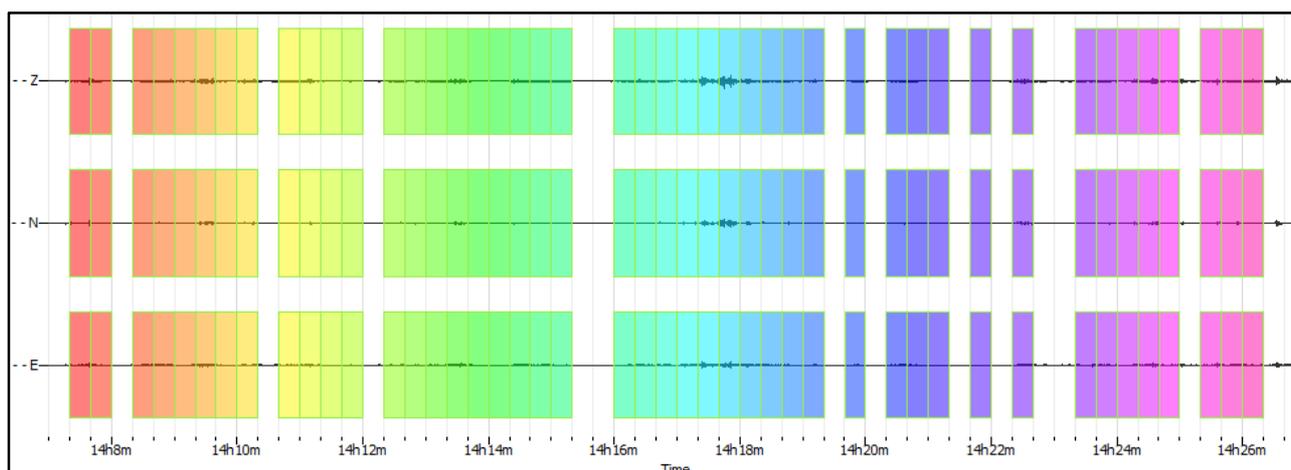
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

CLASSE | A1

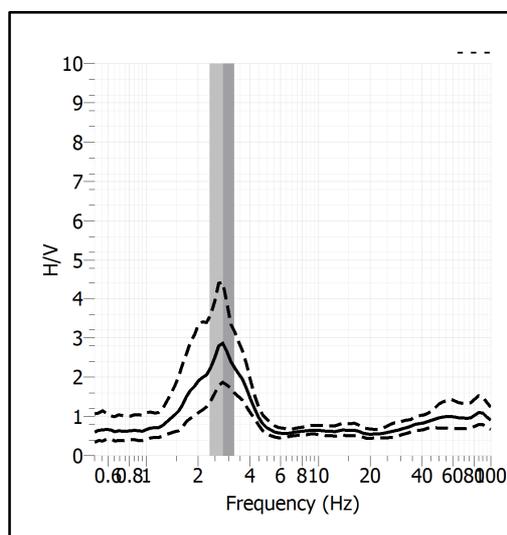
Stazione	14
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	45 (75% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	2.78 Hz
Ampiezza Media della frequenza	2.84

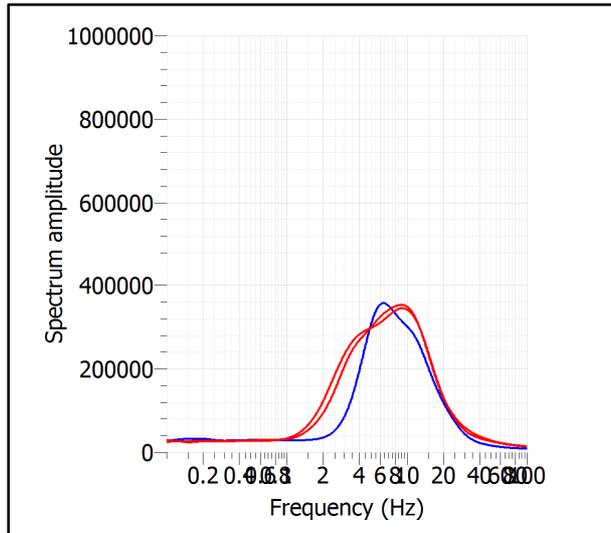
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



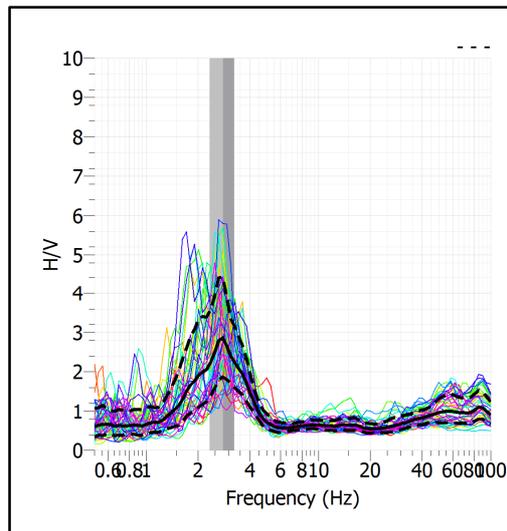
RAPPORTO SPETTRALE H/V



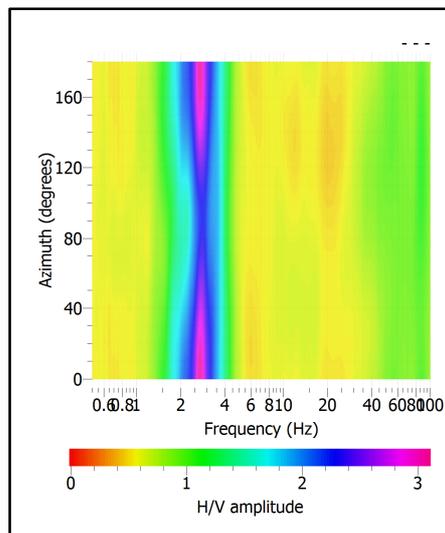
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



CRITERI SESAME

Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows				Grado del contrasto di impedenza sismica
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$	
20.00	45	2509	2.788	0.46	2.84	1.48	BASSO
Criteria per una curva H/V affidabile							
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/L_w$			2.788	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			2509	>	200		OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$			Superato 0 volte su 27				OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$							OK
Criteria per un picco H/V chiaro							
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]							
Amplitude conditions	Esiste f^* in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$						OK
	Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$						OK
	$A_0 > 2$			2.8417	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						OK
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.4553	>	0.1394	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.4789	<	1.5800	OK

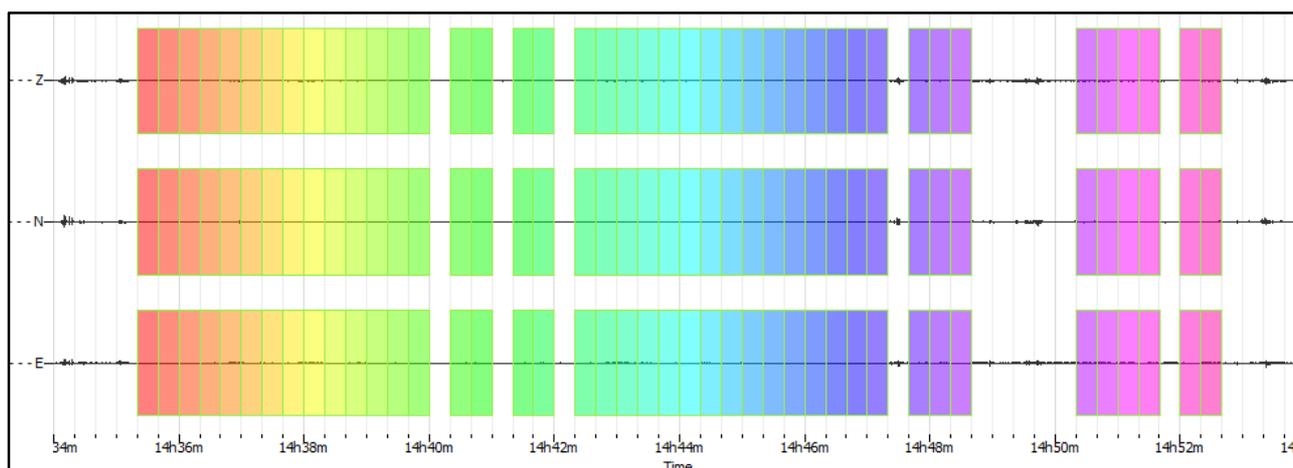
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum L_w$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

CLASSE | A1

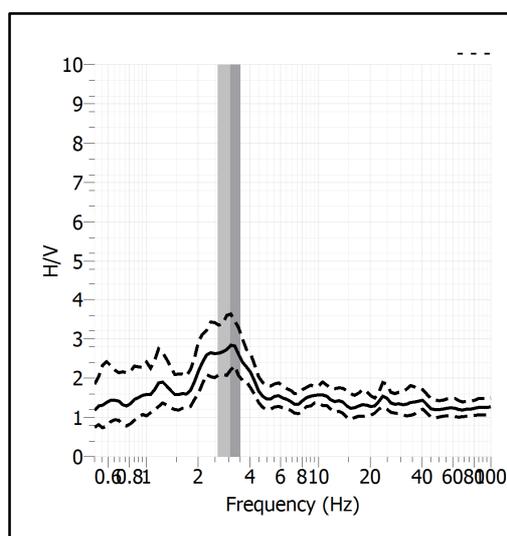
Stazione	15
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	42 (70% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	3.06 Hz
Ampiezza Media della frequenza	2.82

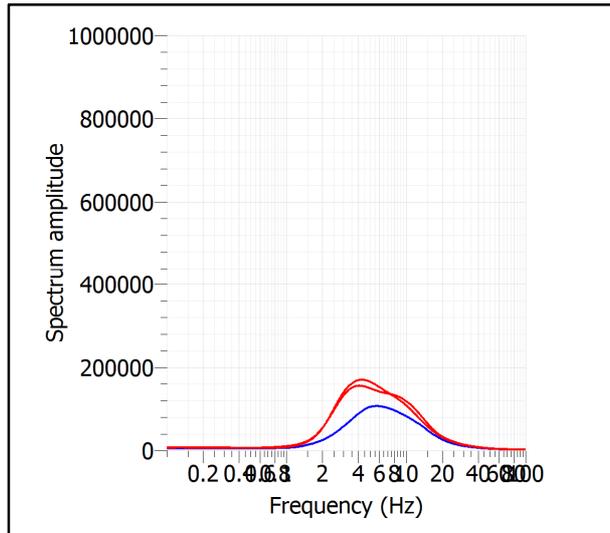
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



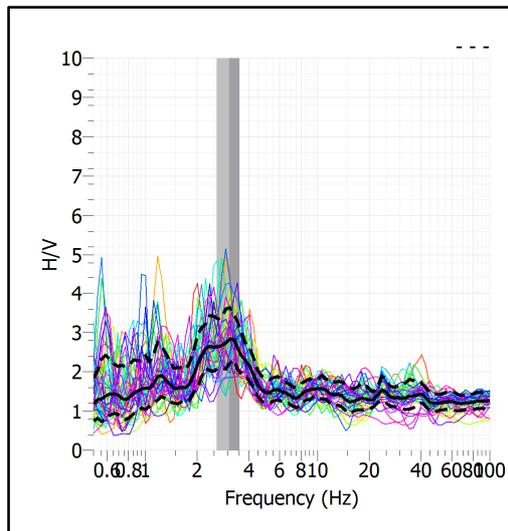
RAPPORTO SPETTRALE H/V



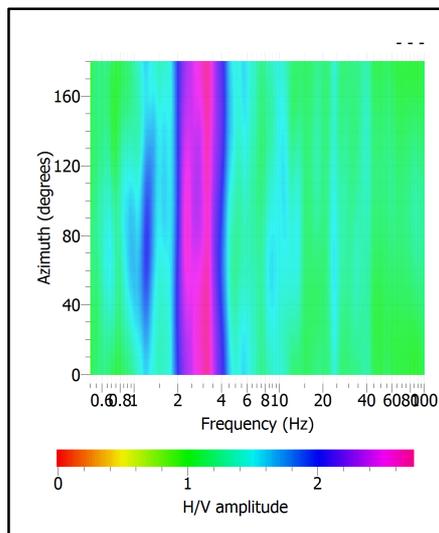
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



CRITERI SESAME

Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows				Grado del contrasto di impedenza sismica
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$	
20.00	42	2574	3.065	0.46	2.82	1.28	BASSO
Criteria per una curva H/V affidabile							
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			3.065	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			2574	>	200		OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$			Superato 0 volte su 27				OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$							OK
Criteria per un picco H/V chiaro							
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]							
Amplitude conditions	Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$						OK
	Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$						OK
	$A_0 > 2$			2.8224	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.4635	>	0.1532	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2837	<	1.5800	OK

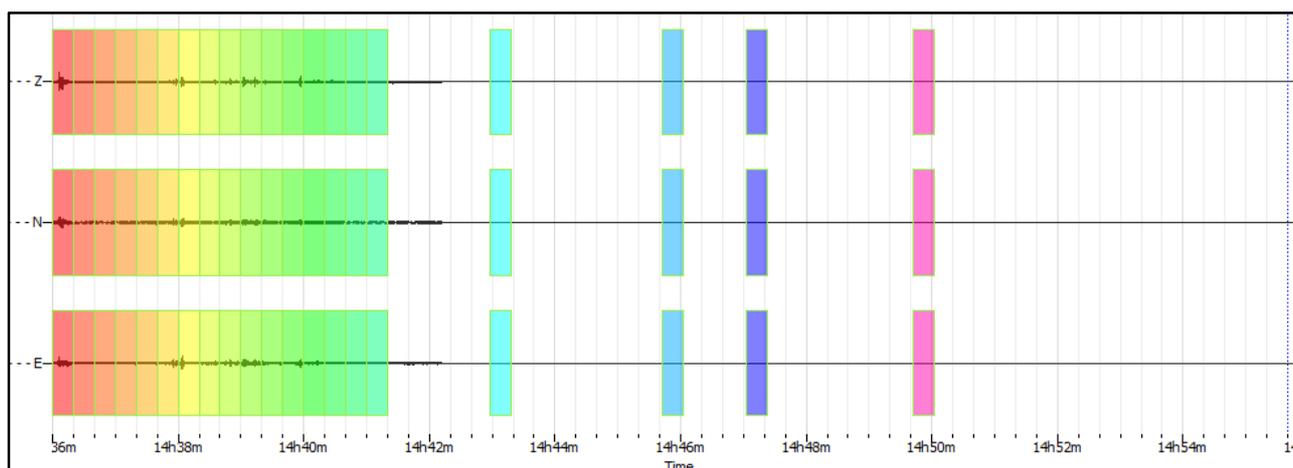
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

CLASSE | A1

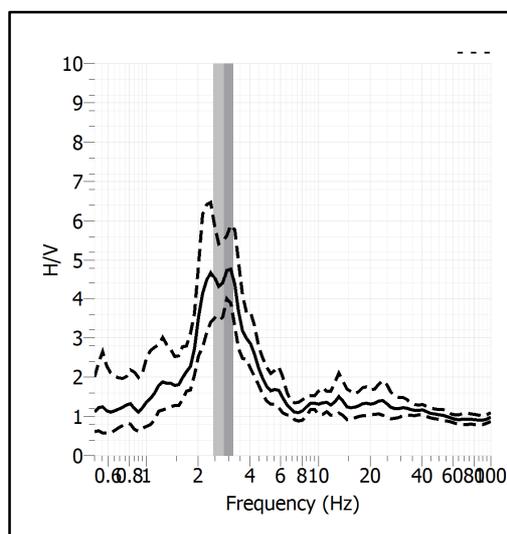
Stazione	16
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	20 (33% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	2.82 Hz
Ampiezza Media della frequenza	4.52

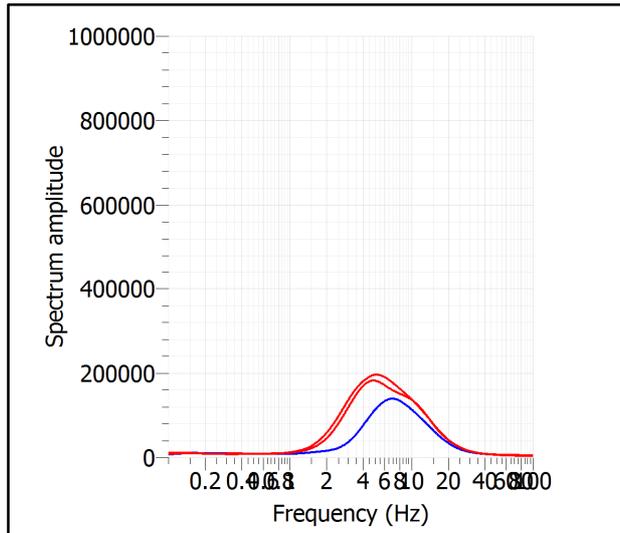
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



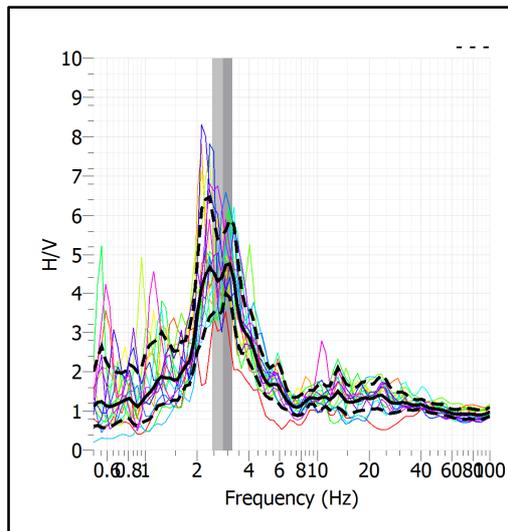
RAPPORTO SPETTRALE H/V



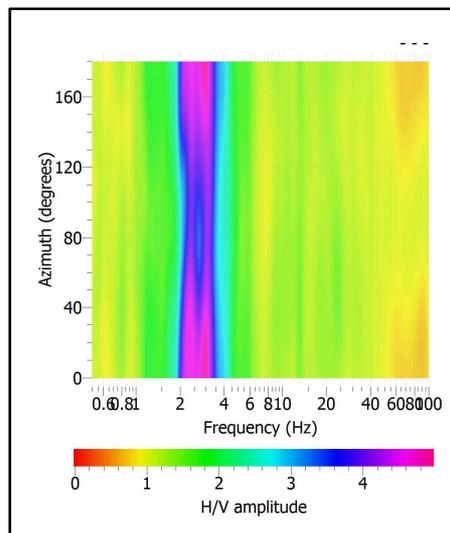
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



CRITERI SESAME

Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows				Grado del contrasto di impedenza sismica
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$	
20.00	17	960	2.825	0.38	4.52	1.22	ALTO
Criteria per una curva H/V affidabile							
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/L_w$			2.825	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			960	>	200		OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$			Superato 0 volte su 27				OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$							OK
Criteria per un picco H/V chiaro							
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]							
Amplitude conditions	Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$						OK
	Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$						OK
	$A_0 > 2$			4.5202	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.3838	>	0.1412	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2244	<	1.5800	OK

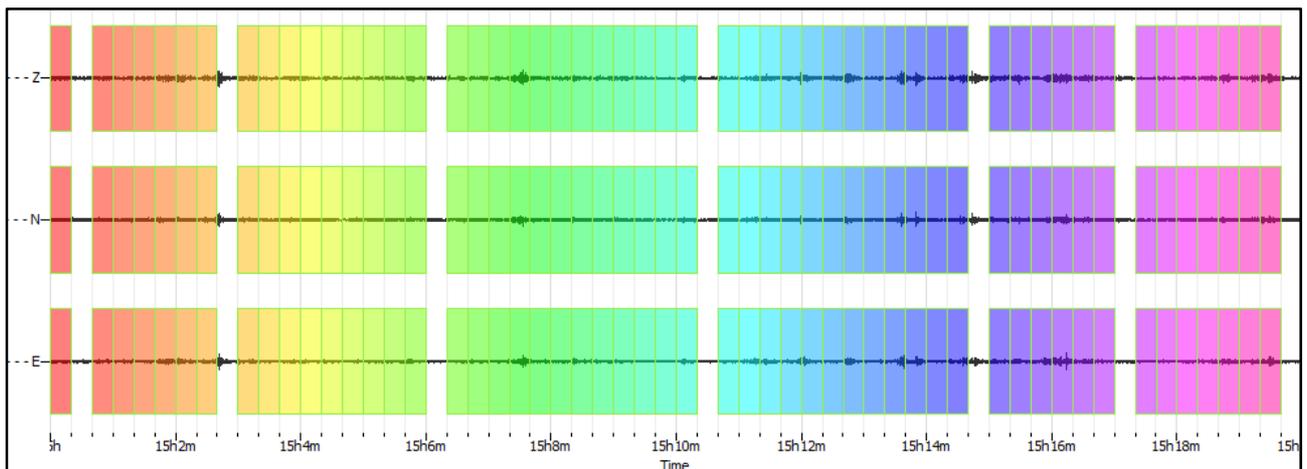
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum L_w$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

CLASSE | A1

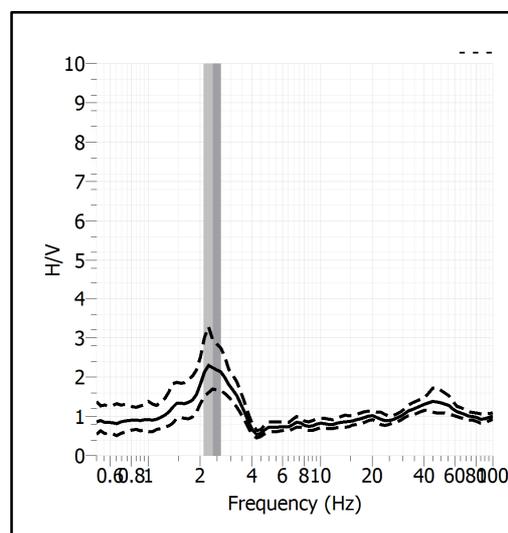
Stazione	17
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	53 (88% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	2.36 Hz
Ampiezza Media della frequenza	2.24

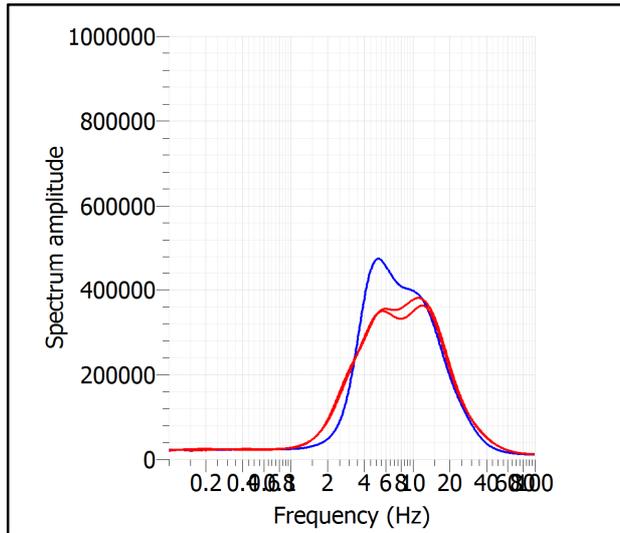
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



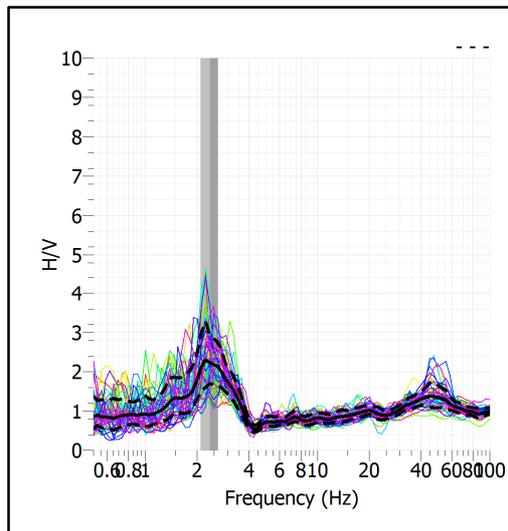
RAPPORTO SPETTRALE H/V



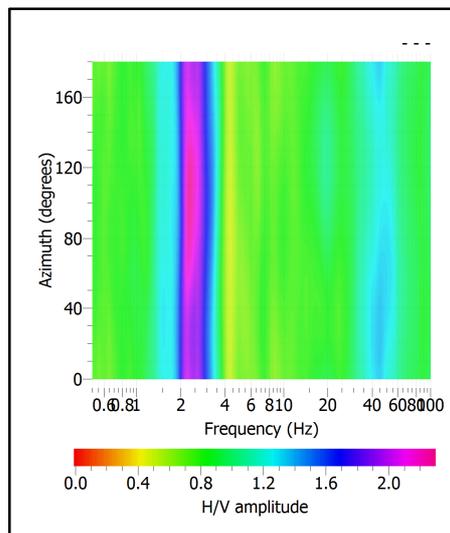
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



CRITERI SESAME

Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows				Grado del contrasto di impedenza sismica
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$	
20.00	53	2501	2.360	0.27	2.24	1.39	BASSO
Criteria per una curva H/V affidabile [Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			2.360	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			2501	>	200		OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$			Superato 0 volte su 26				OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$							OK
Criteria per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]							
Amplitude conditions	Esiste f^* in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$						OK
	Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$						OK
	$A_0 > 2$			2.2369	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.2743	>	0.1180	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.3903	<	1.5800	OK

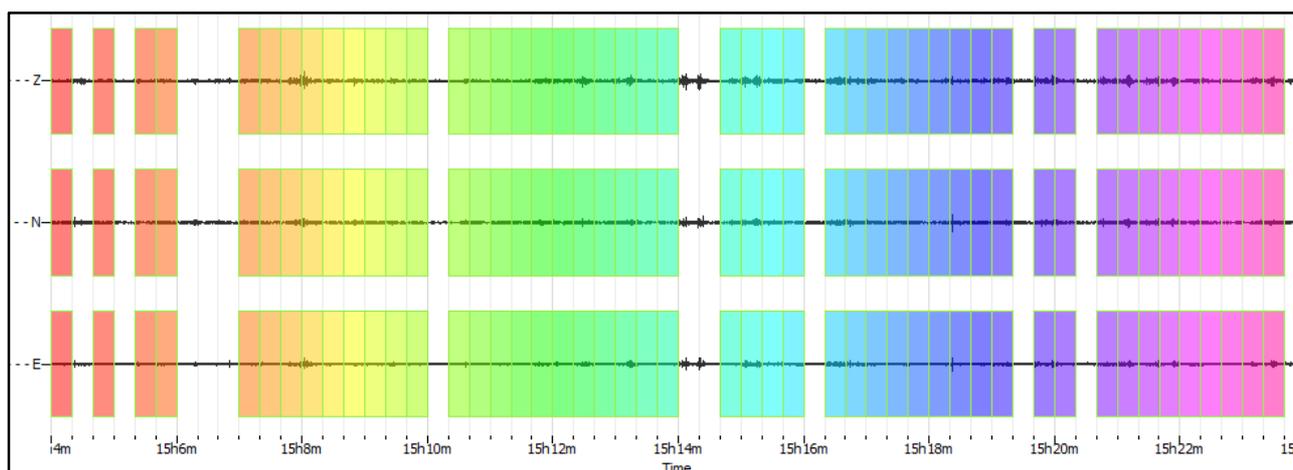
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

CLASSE | A1

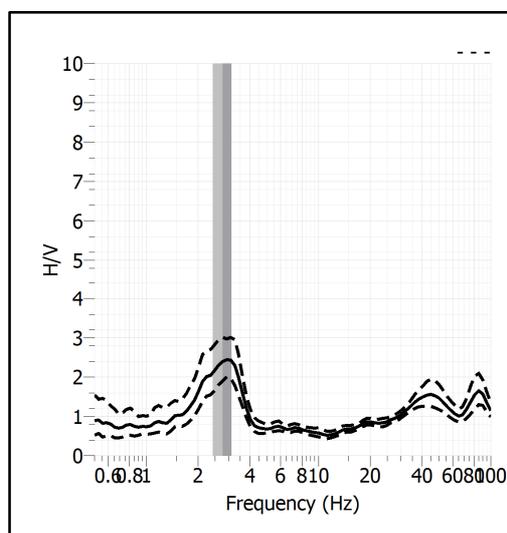
Stazione	18
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	48 (80% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	2.77 Hz
Ampiezza Media della frequenza	2.39

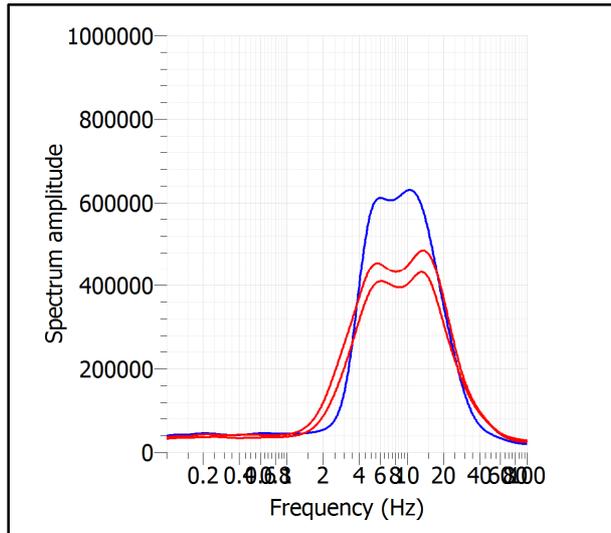
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



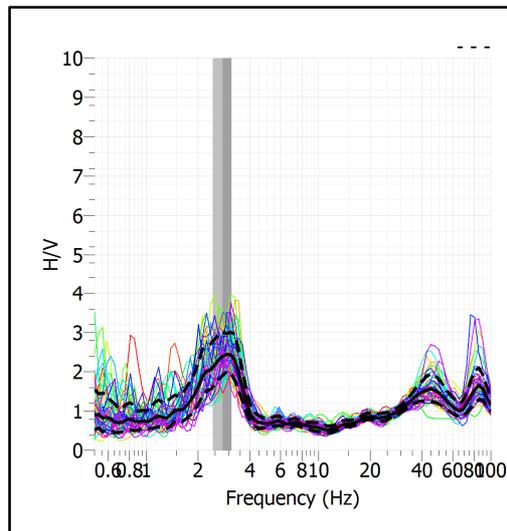
RAPPORTO SPETTRALE H/V



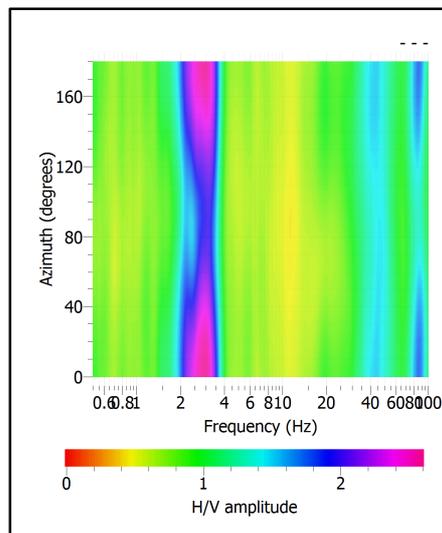
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



CRITERI SESAME

Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows				Grado del contrasto di impedenza sismica
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$	
20.00	48	2664	2.775	0.35	2.39	1.25	BASSO
Criteria per una curva H/V affidabile							
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			2.775	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			2664	>	200		OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$			Superato 0 volte su 26				OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$							OK
Criteria per un picco H/V chiaro							
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]							
Amplitude conditions	Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$						OK
	Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$						OK
	$A_0 > 2$			2.3949	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.3479	>	0.1388	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2498	<	1.5800	OK

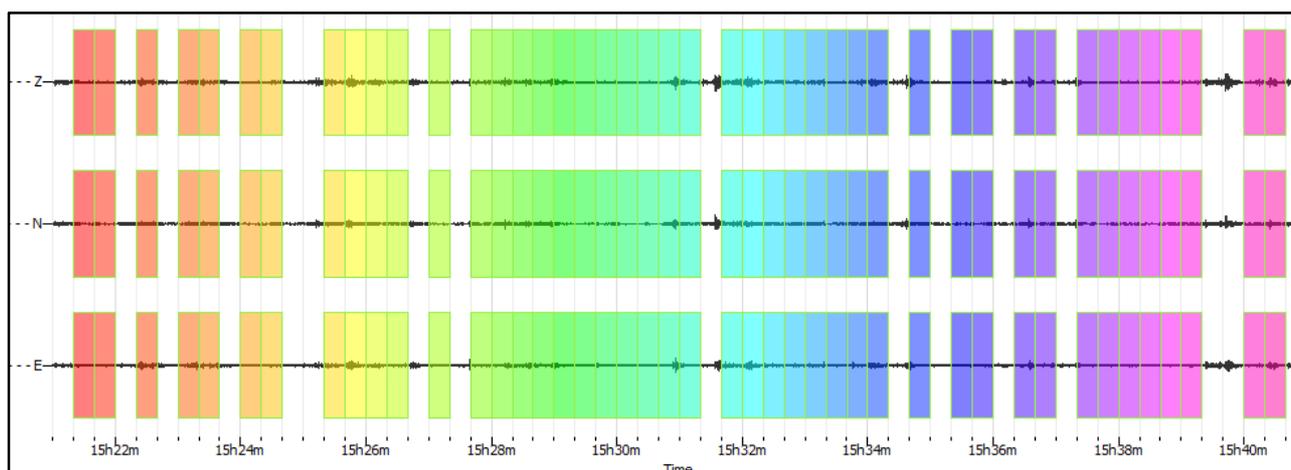
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

CLASSE | A1

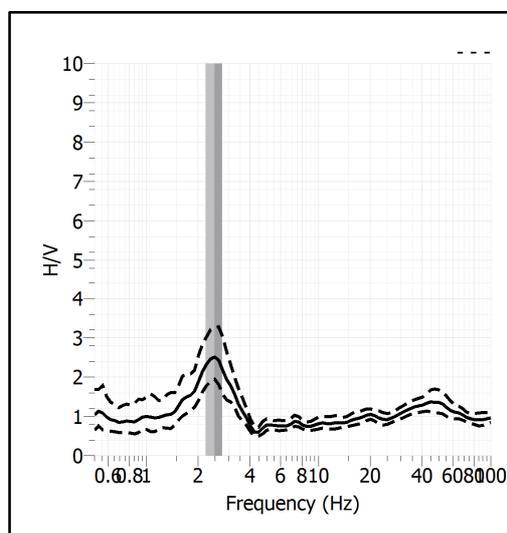
Stazione	19
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	44 (74% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	2.48 Hz
Ampiezza Media della frequenza	2.51

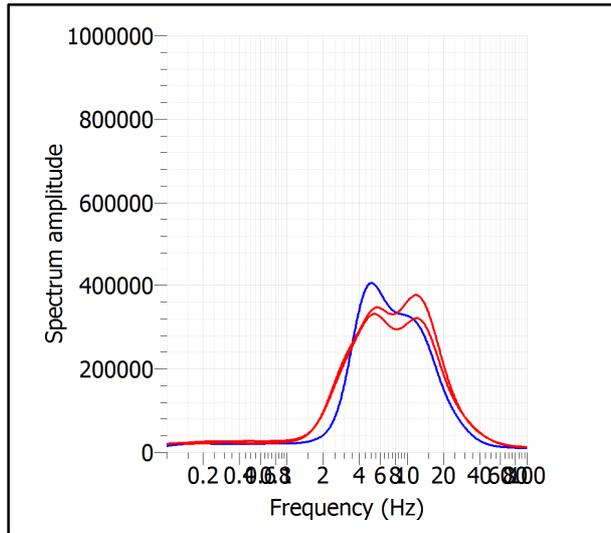
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



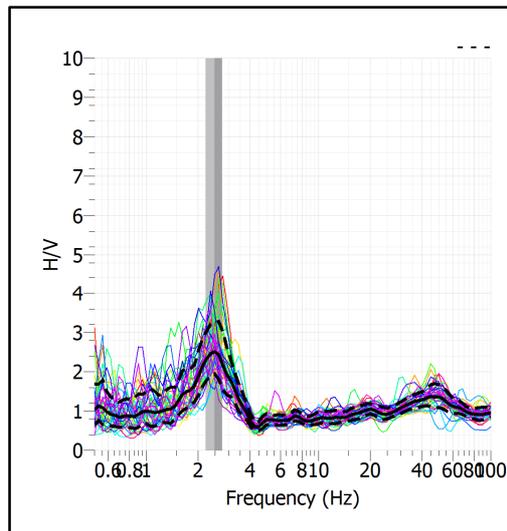
RAPPORTO SPETTRALE H/V



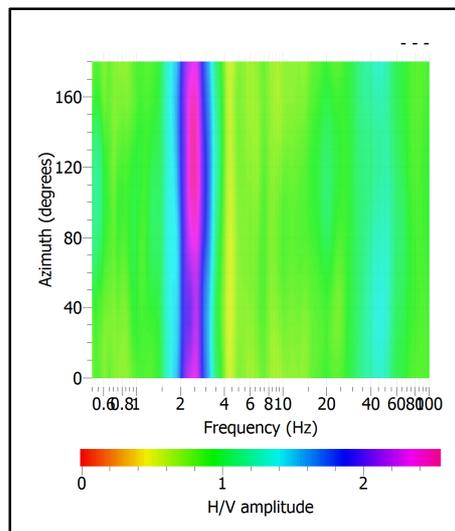
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



CRITERI SESAME

Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows				Grado del contrasto di impedenza sismica
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$	
20.00	44	2186	2.484	0.28	2.51	1.29	BASSO
Criteria per una curva H/V affidabile							
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/L_w$			2.484	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			2186	>	200		OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$			Superato 0 volte su 27				OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$							OK
Criteria per un picco H/V chiaro							
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]							
Amplitude conditions	Esiste f^* in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$						OK
	Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$						OK
	$A_0 > 2$			2.5139	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.2761	>	0.1242	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2929	<	1.5800	OK

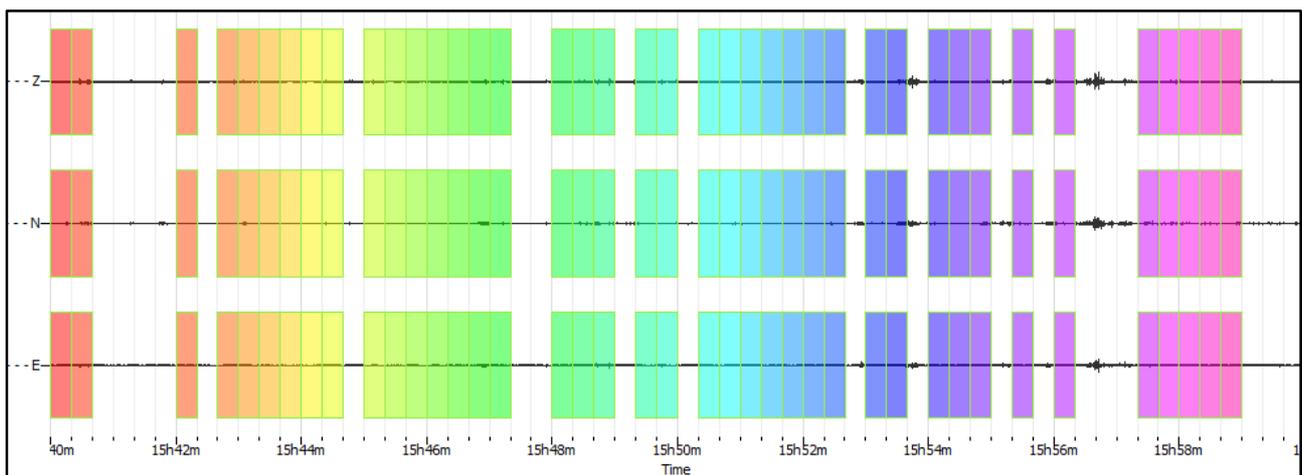
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum L_w$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

CLASSE | A1

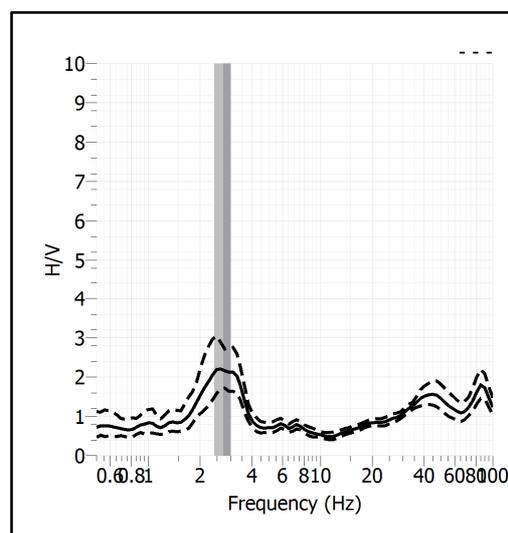
Stazione	20
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	40 (70% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	2.72 Hz
Ampiezza Media della frequenza	2.18

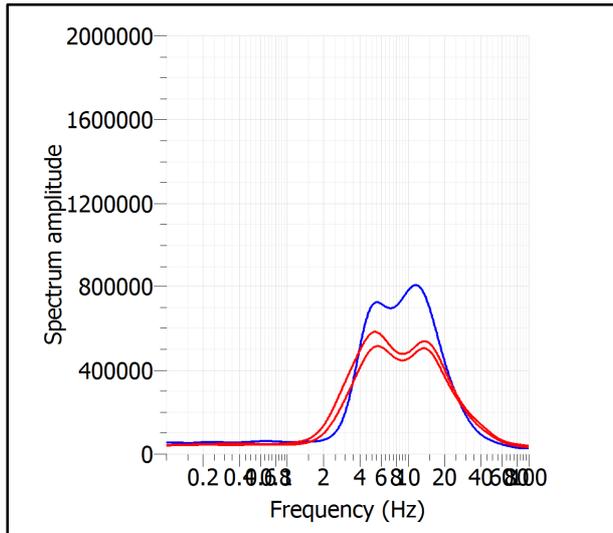
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



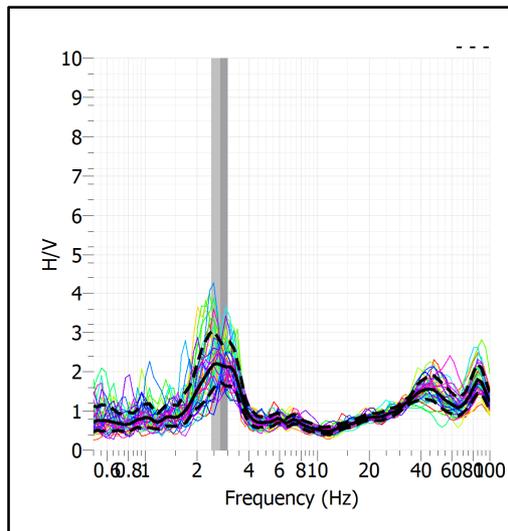
RAPPORTO SPETTRALE H/V



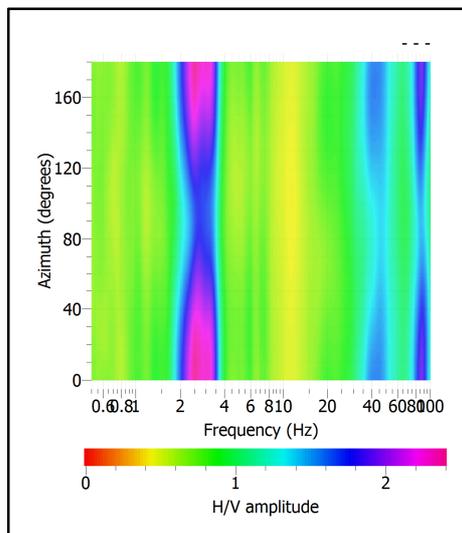
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



CRITERI SESAME

Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows				Grado del contrasto di impedenza sismica
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$	
20.00	40	2178	2.723	0.31	2.18	1.29	BASSO
Criteri per una curva H/V affidabile							
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			2.723	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			2178	>	200		OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$			Superato 0 volte su 27				OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$							OK
Criteri per un picco H/V chiaro							
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]							
Amplitude conditions	Esiste f^* in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$						OK
	Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$						OK
	$A_0 > 2$			2.1759	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.3054	>	0.1361	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2870	<	1.5800	OK

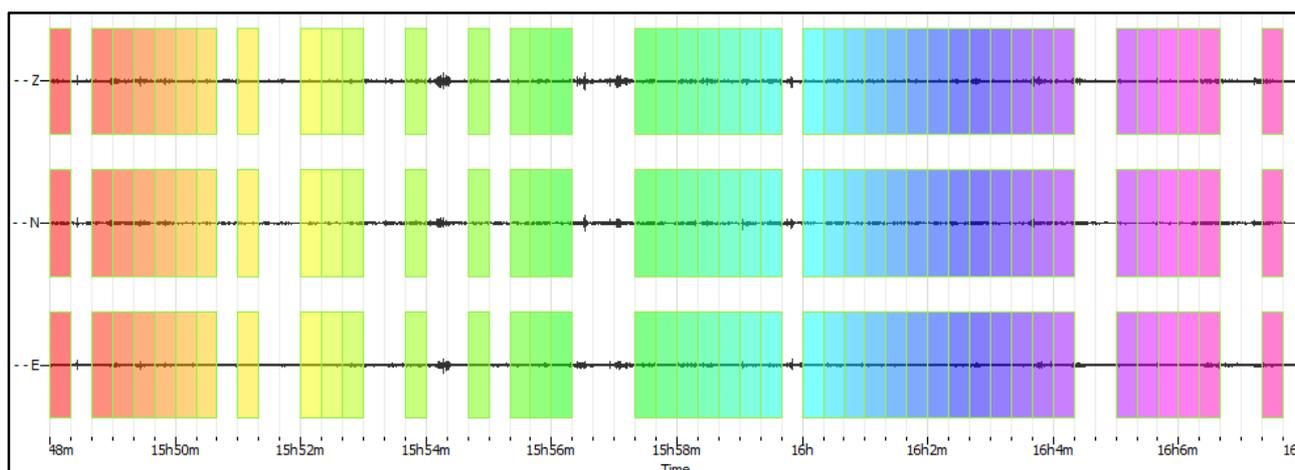
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

CLASSE | A1

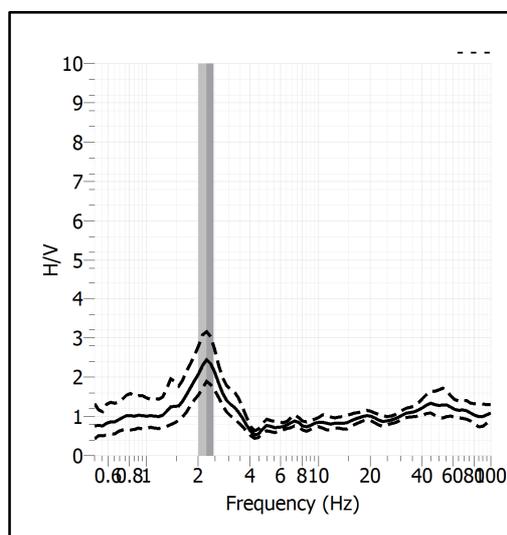
Stazione	21	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Dicembre 2019	
Coordinate Lat.		
Coordinate Long.		
Durata registrazione	20 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	42 (72% del tracciato)	
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi	
Lisciamento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

Frequenza del picco H/V	2.23 Hz
Ampiezza Media della frequenza	2.44

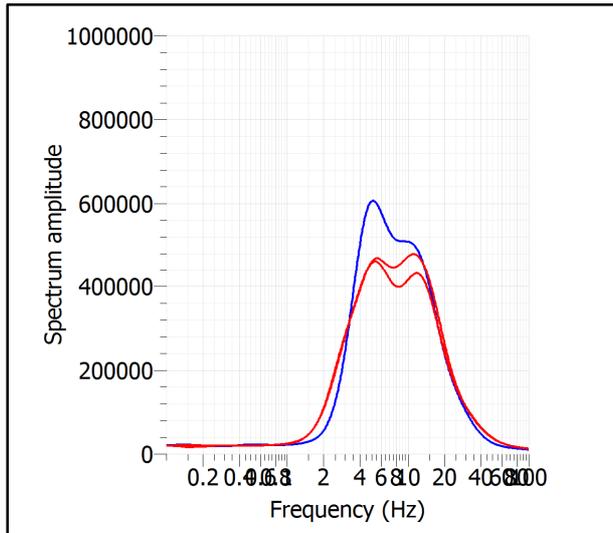
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



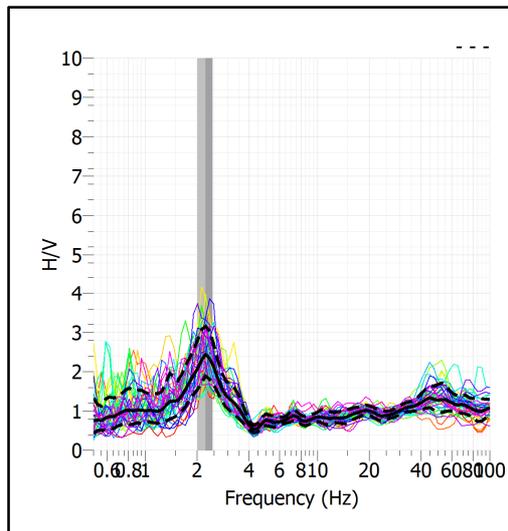
RAPPORTO SPETTRALE H/V



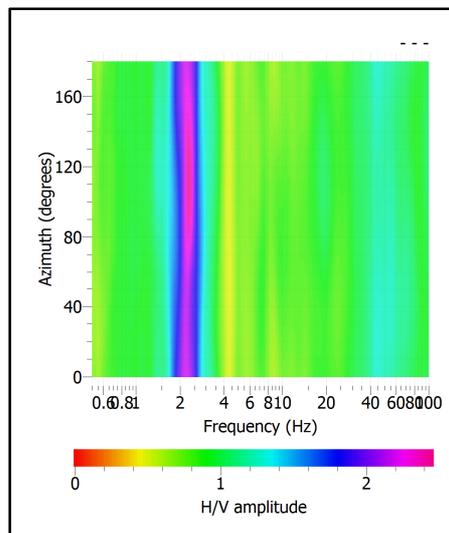
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



CRITERI SESAME

Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows				Grado del contrasto di impedenza sismica
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$	
20.00	42	1877	2.235	0.23	2.44	1.30	BASSO
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			2.235	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			1877	>	200		OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$			Superato 0 volte su 26				OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$							OK
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]							
Amplitude conditions	Esiste f' in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f') < A_0/2$						OK
	Esiste f'' in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f'') < A_0/2$						OK
	$A_0 > 2$			2.4360	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						OK
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.2259	>	0.1117	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2962	<	1.5800	OK

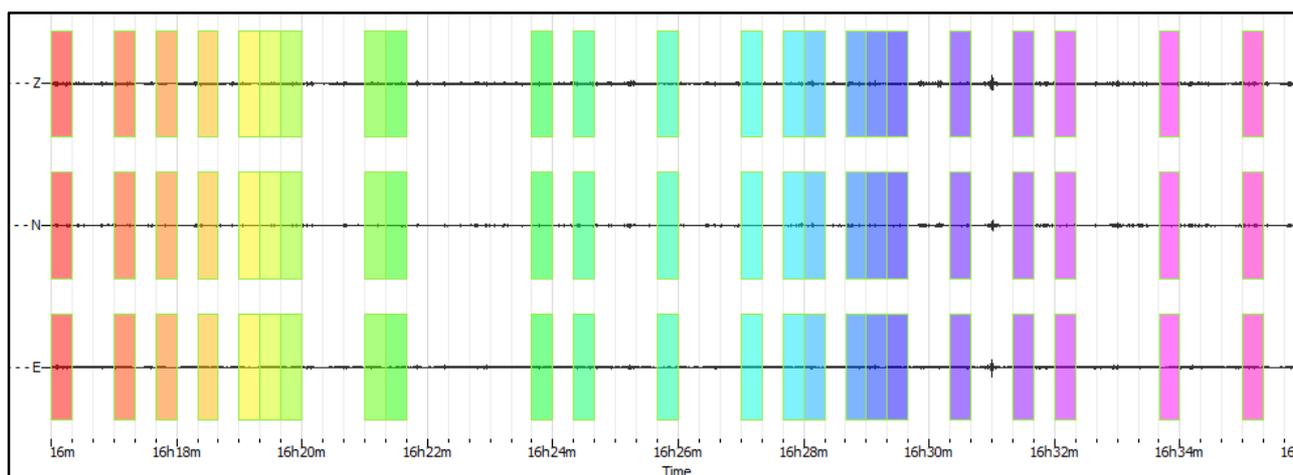
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

CLASSE | A1

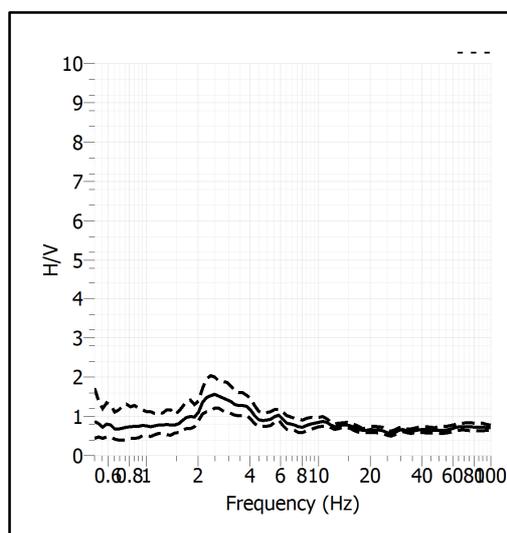
Stazione	22
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	23 (36% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	NP
Ampiezza Media della frequenza	-

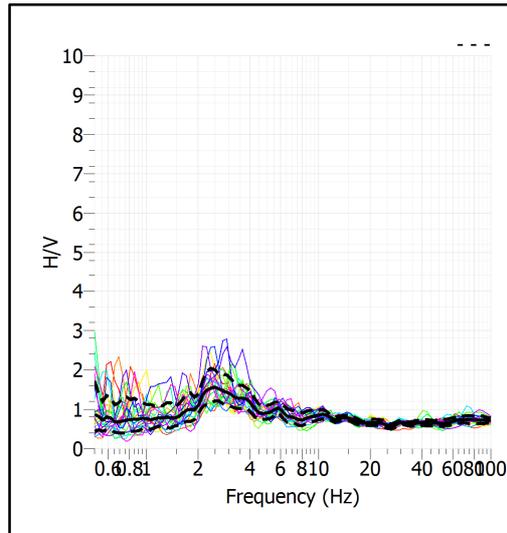
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



RAPPORTO SPETTRALE H/V



SERIE TEMPORALE H/V



CRITERI SESAME

ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

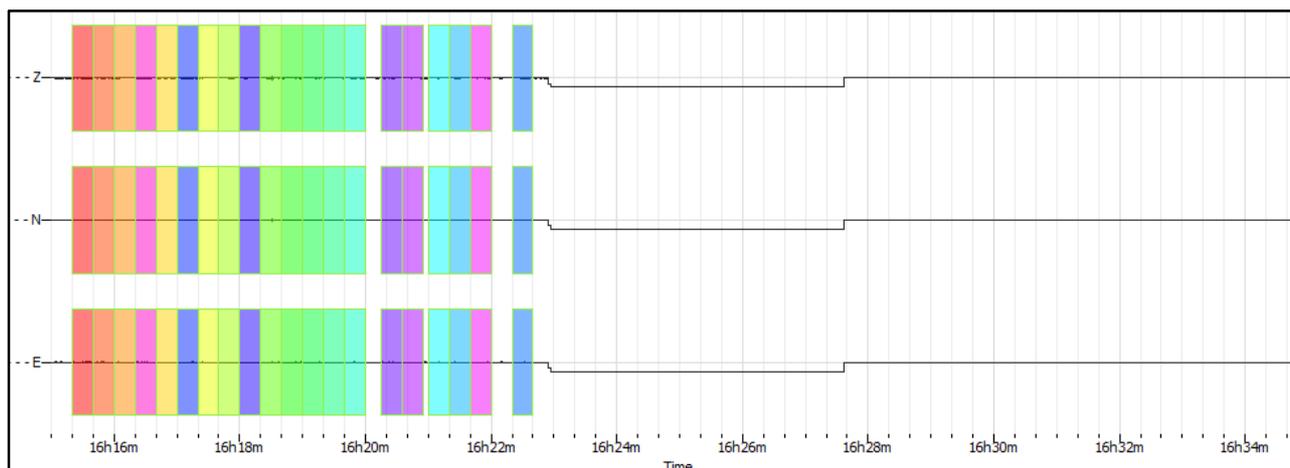
CLASSE | A2

Non ci sono picchi significativi nel range di frequenze utile (0.5 – 20 Hz)

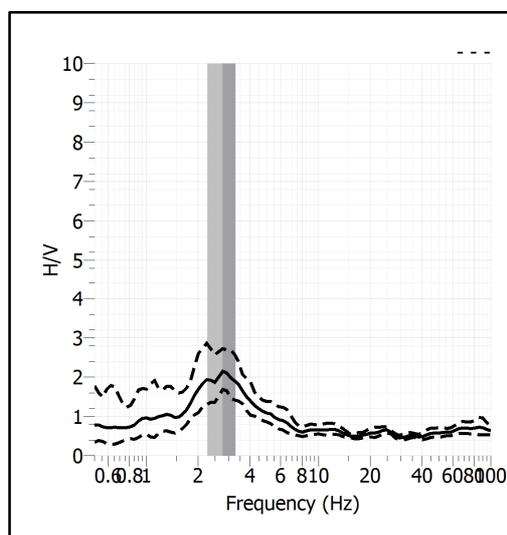
Stazione	23
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	20 (33% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	2.78 Hz
Ampiezza Media della frequenza	2.14

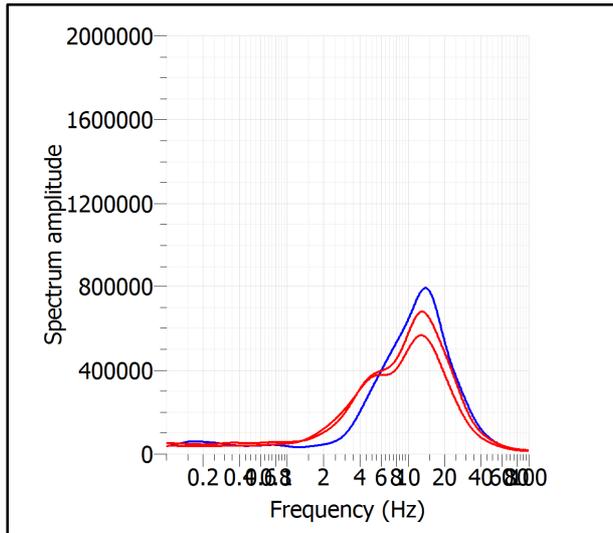
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



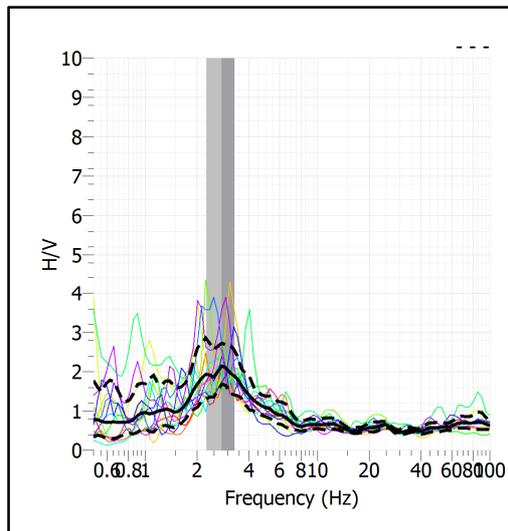
RAPPORTO SPETTRALE H/V



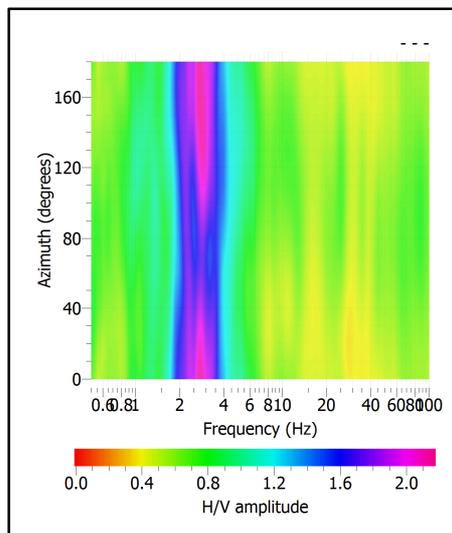
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



CRITERI SESAME

Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows				Grado del contrasto di impedenza sismica
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$	
20.00	14	779	2.782	0.52	2.14	1.28	BASSO
Criteria per una curva H/V affidabile							
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/L_w$			2.782	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			779	>	200		OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$			Superato 0 volte su 27				OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$							OK
Criteria per un picco H/V chiaro							
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]							
Amplitude conditions	Esiste f^* in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$						OK
	Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$						OK
	$A_0 > 2$			2.1423	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.5162	>	0.1391	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2764	<	1.5800	OK

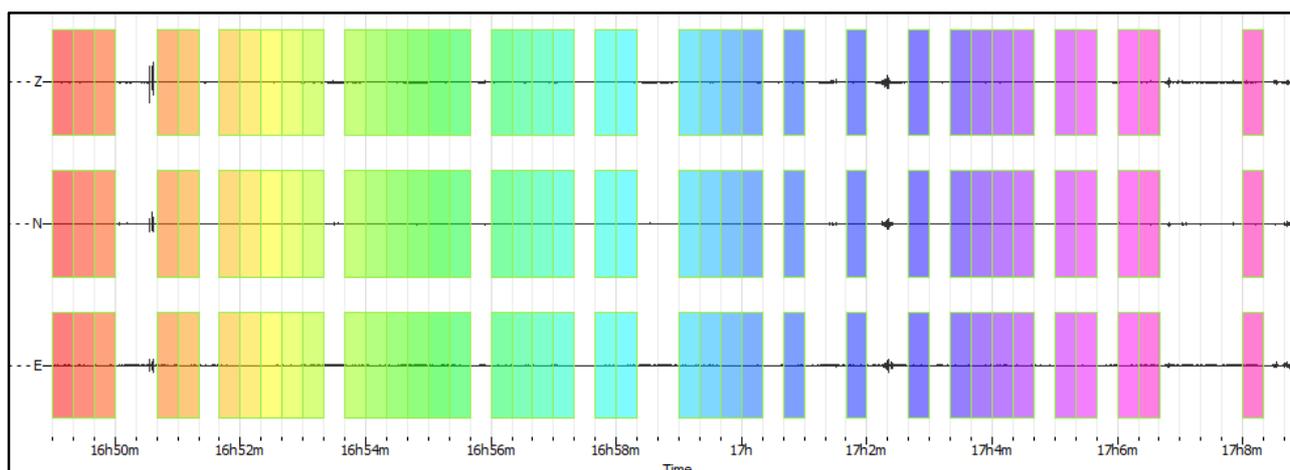
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum L_w$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

CLASSE | A1

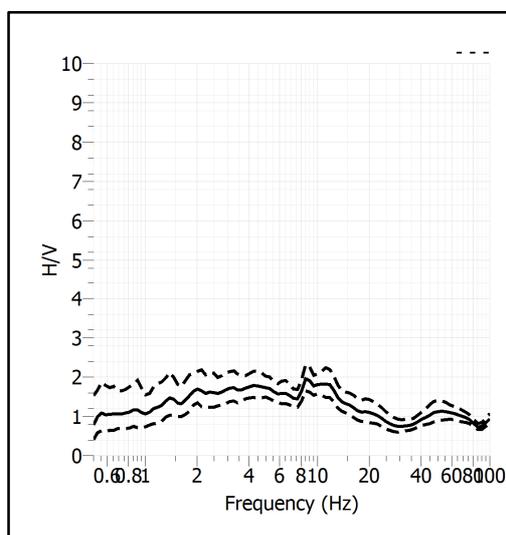
Stazione	24
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	38 (63% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	NP
Ampiezza Media della frequenza	-

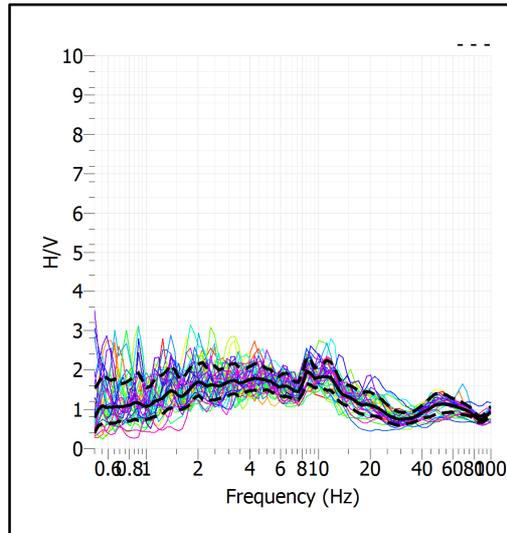
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



RAPPORTO SPETTRALE H/V



SERIE TEMPORALE H/V



CRITERI SESAME

ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	NO
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	NO

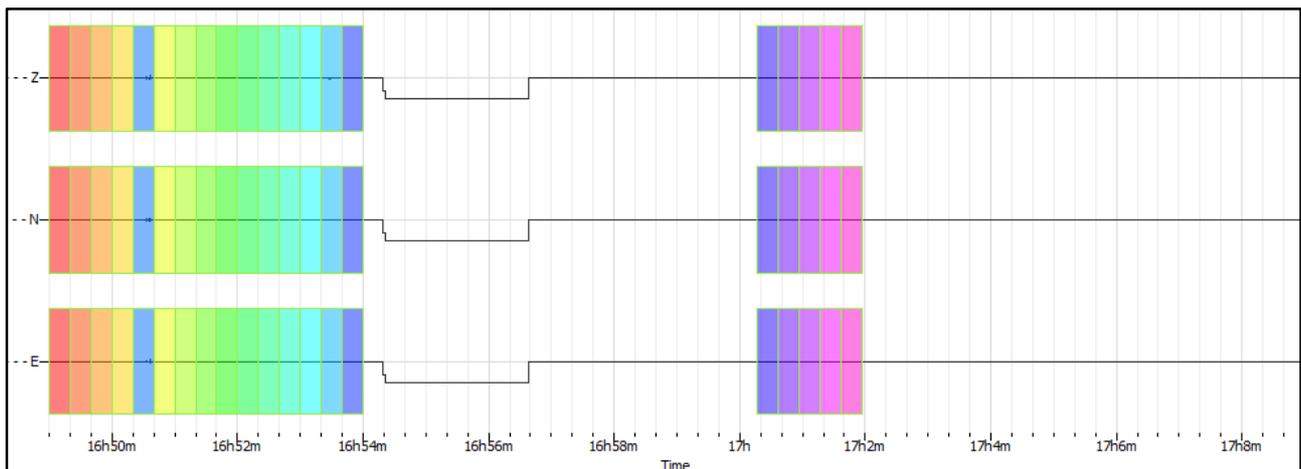
CLASSE | A2

Non ci sono picchi significativi nel range di frequenze utile (0.5 – 20 Hz)

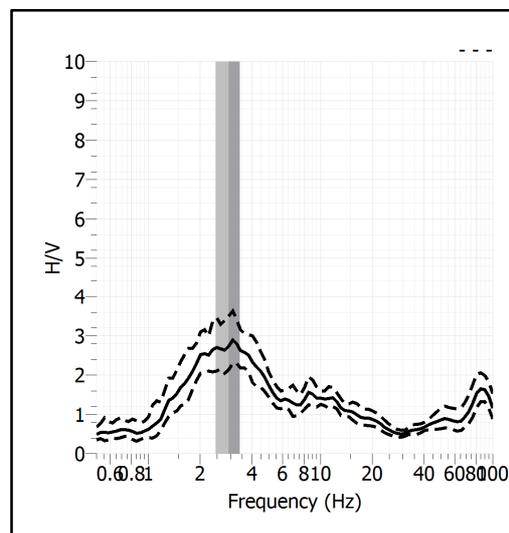
Stazione	25
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	20 (33% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	2.93 Hz
Ampiezza Media della frequenza	2.74

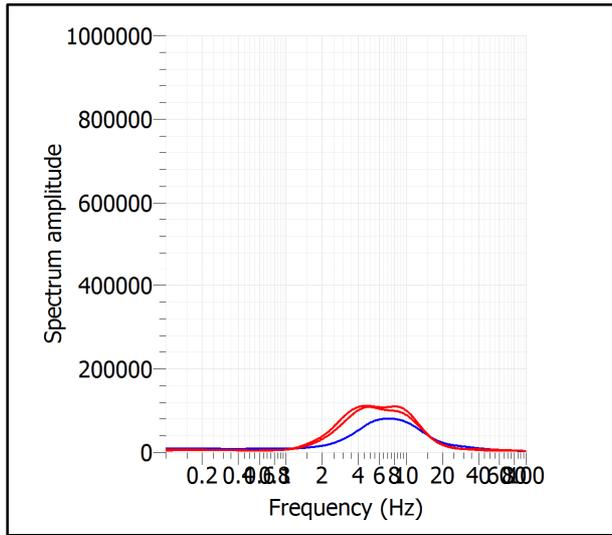
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



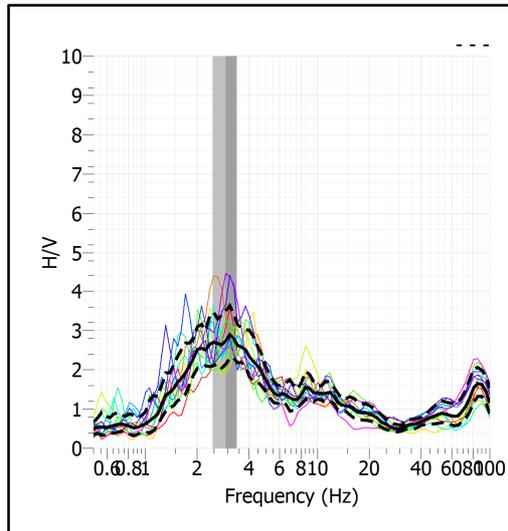
RAPPORTO SPETTRALE H/V



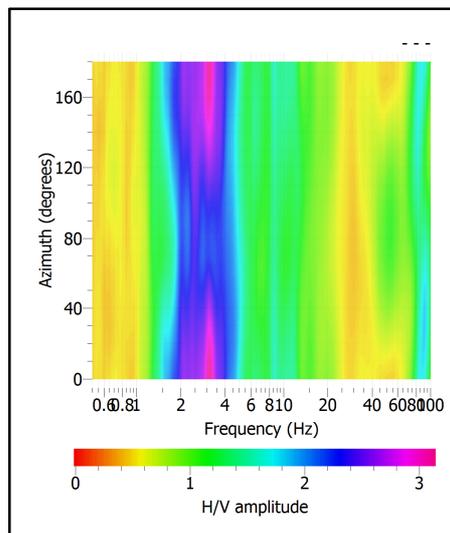
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



CRITERI SESAME

Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows				Grado del contrasto di impedenza sismica
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$	
20.00	13	763	2.933	0.46	2.74	1.28	BASSO
Criteria per una curva H/V affidabile							
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			2.933	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			763	>	200		OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$			Superato 0 volte su 27				OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$							OK
Criteria per un picco H/V chiaro							
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]							
Amplitude conditions	Esiste f^* in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$						OK
	Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$						OK
	$A_0 > 2$			2.7446	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.4634	>	0.1466	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2795	<	1.5800	OK

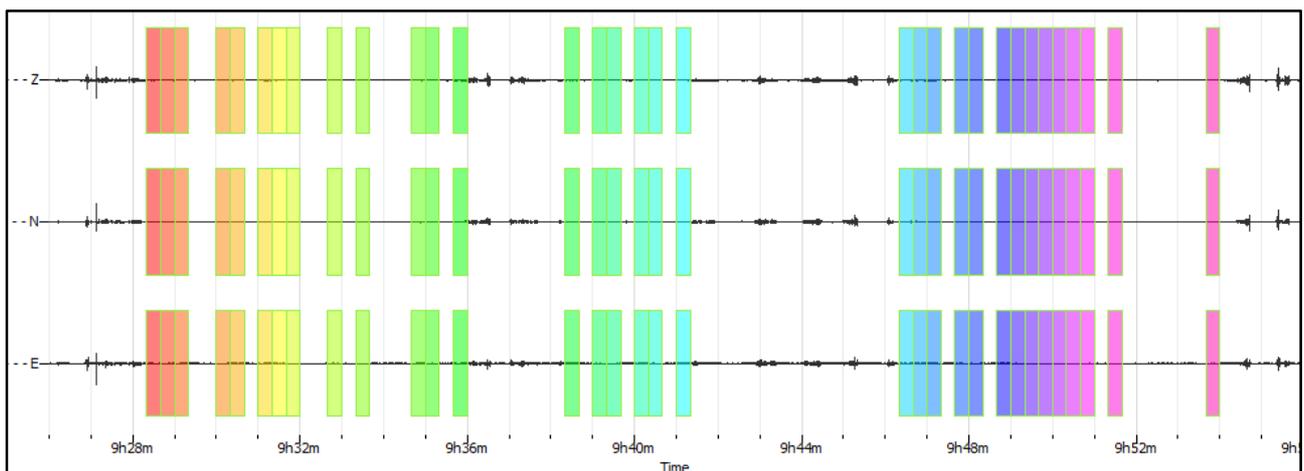
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

CLASSE | A1

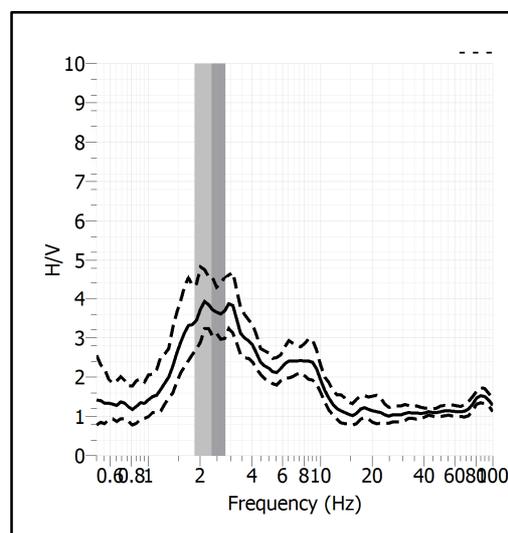
Stazione	26
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	30 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	33 (36% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	2.34 Hz
Ampiezza Media della frequenza	3.73

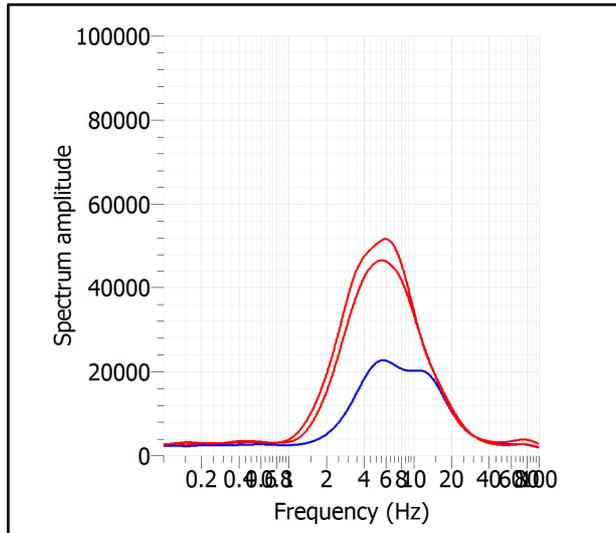
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



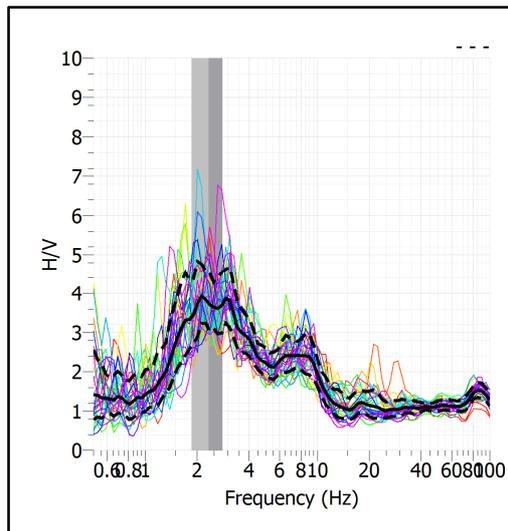
RAPPORTO SPETTRALE H/V



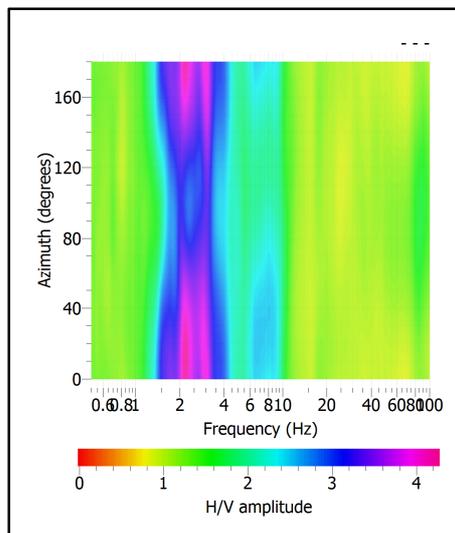
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



CRITERI SESAME

Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows				Grado del contrasto di impedenza sismica
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$	
20.00	33	1544	2.340	0.48	3.73	1.20	MODERATO
Criteria per una curva H/V affidabile							
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/L_w$			2.340	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			1544	>	200		OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$			Superato 0 volte su 27				OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$							OK
Criteria per un picco H/V chiaro							
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]							
Amplitude conditions	Esiste f' in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f') < A_0/2$						OK
	Esiste f'' in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f'') < A_0/2$						NO
	$A_0 > 2$			3.7311	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.4774	>	0.1170	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.1950	<	1.5800	OK

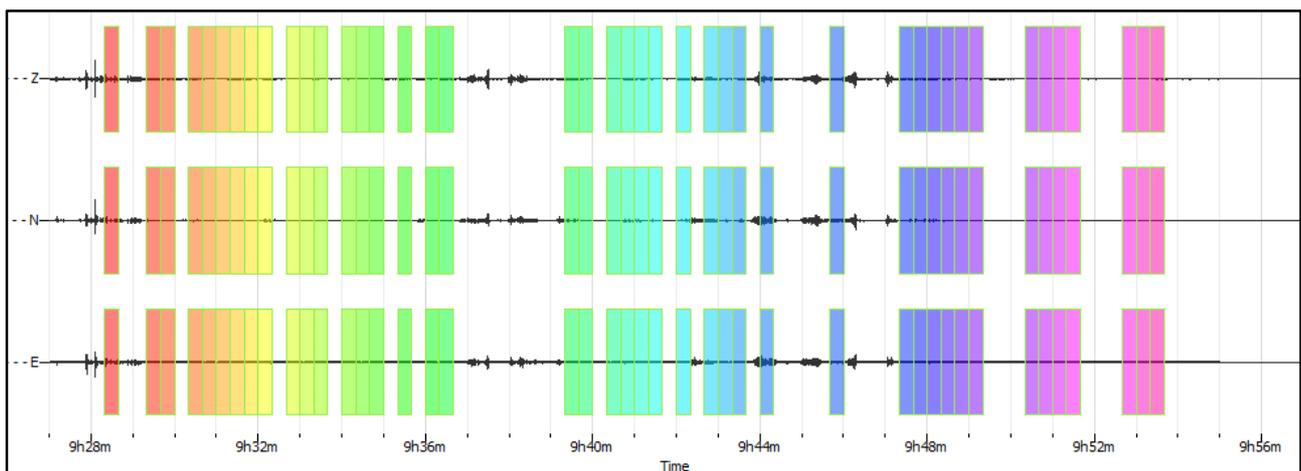
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum L_w$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

CLASSE | A1

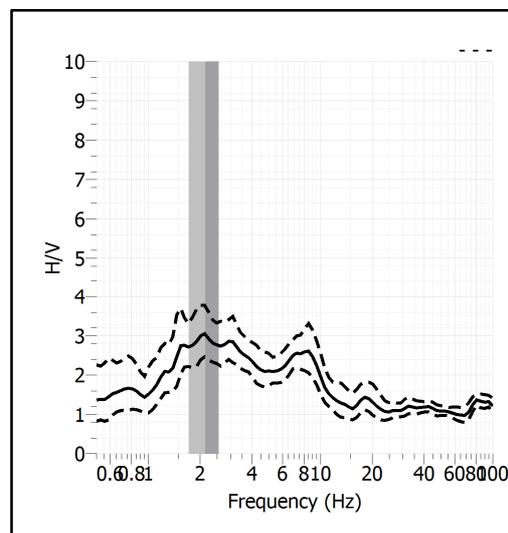
Stazione	27
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	30 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	43 (48% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	2.13 Hz
Ampiezza Media della frequenza	3.04

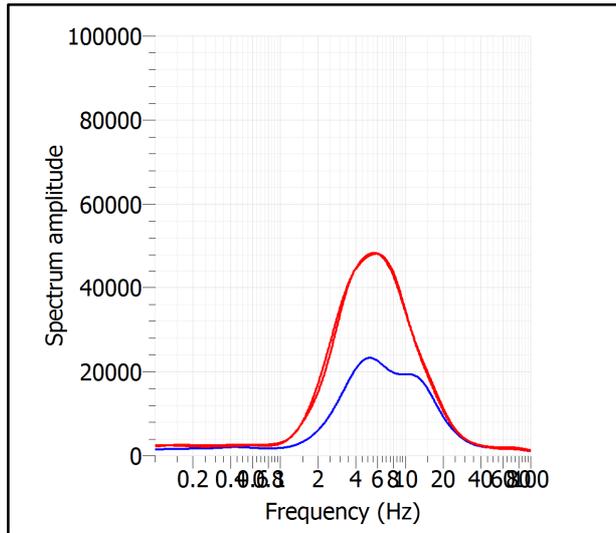
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



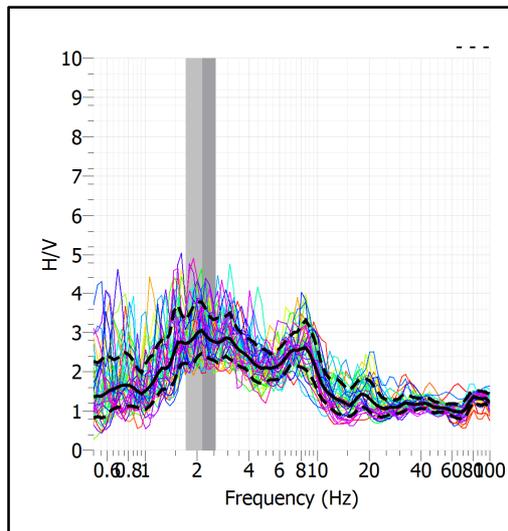
RAPPORTO SPETTRALE H/V



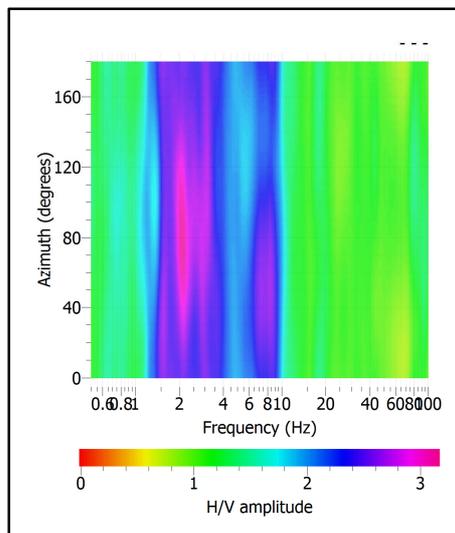
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



CRITERI SESAME

Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows				Grado del contrasto di impedenza sismica
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$	
20.00	43	1836	2.134	0.43	3.04	1.23	MODERATO
Criteria per una curva H/V affidabile [Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			2.134	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			1836	>	200		OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$			Superato 0 volte su 27				OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$							OK
Criteria per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]							
Amplitude conditions	Esiste f^* in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$						OK
	Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$						NO
	$A_0 > 2$			3.0378	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.4260	>	0.1067	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2314	<	1.5800	OK

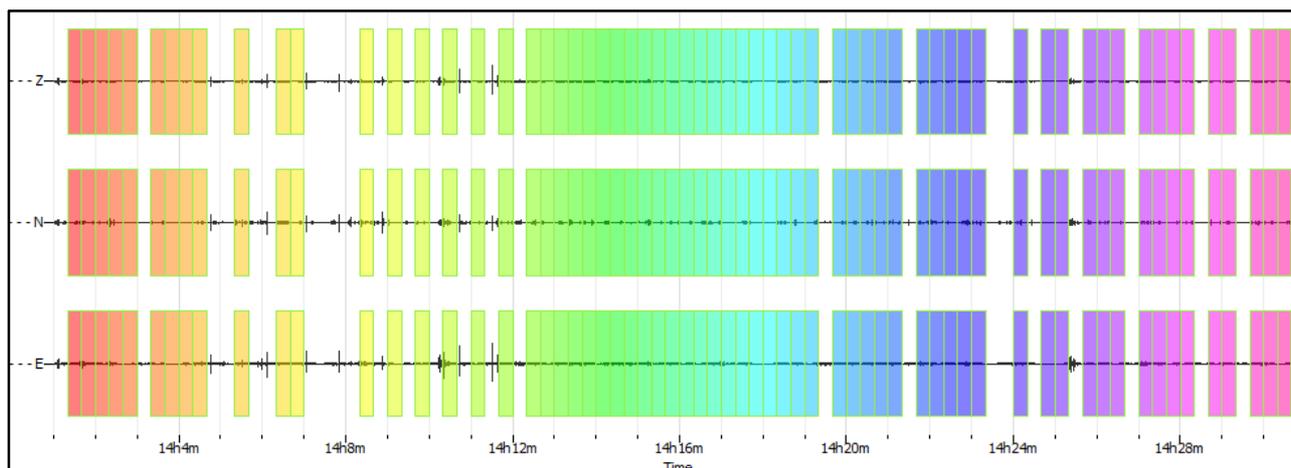
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

CLASSE | A1

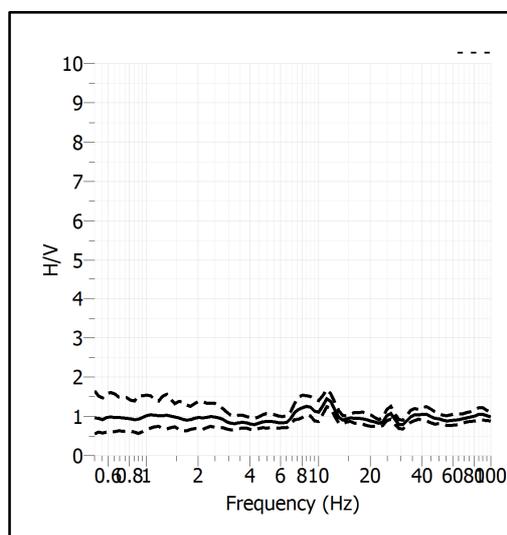
Stazione	28	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Dicembre 2019	
Coordinate Lat.		
Coordinate Long.		
Durata registrazione	30 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	64 (71% del tracciato)	
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi	
Lisciamento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

Frequenza del picco H/V	NP
Ampiezza Media della frequenza	-

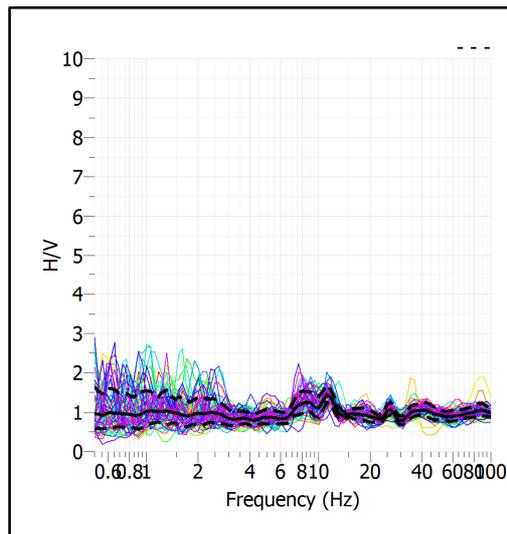
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



RAPPORTO SPETTRALE H/V



SERIE TEMPORALE H/V



CRITERI SESAME

ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	NO
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	NO

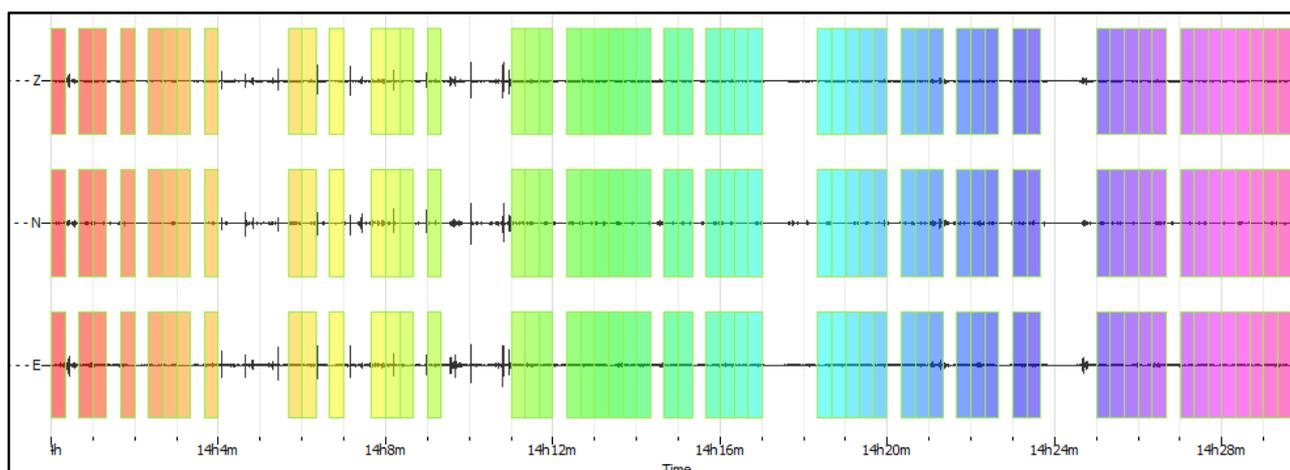
CLASSE | A2

Non ci sono picchi significativi nel range di frequenze utile (0.5 – 20 Hz)

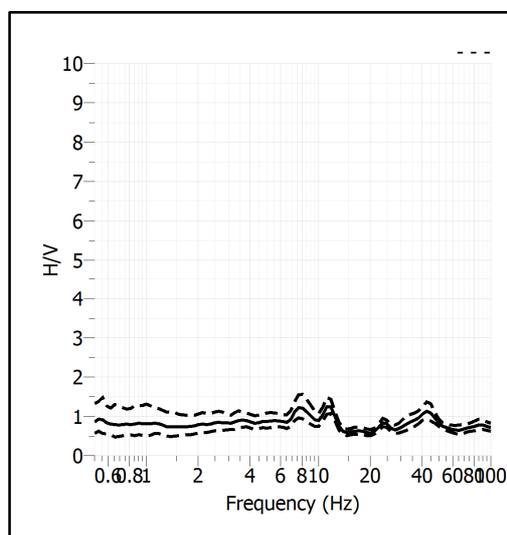
Stazione	29
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	30 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	56 (62% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	NP
Ampiezza Media della frequenza	-

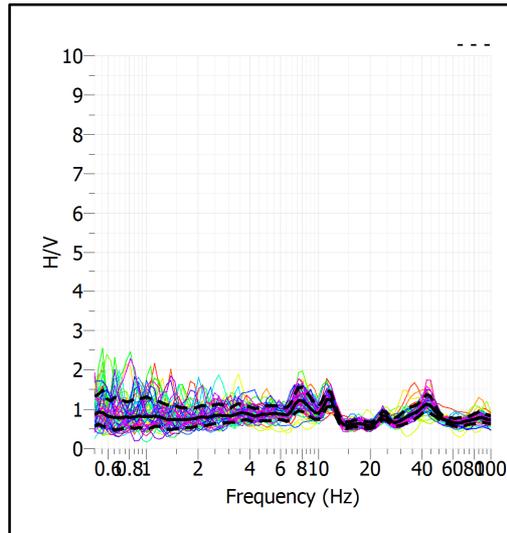
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



RAPPORTO SPETTRALE H/V



SERIE TEMPORALE H/V



CRITERI SESAME

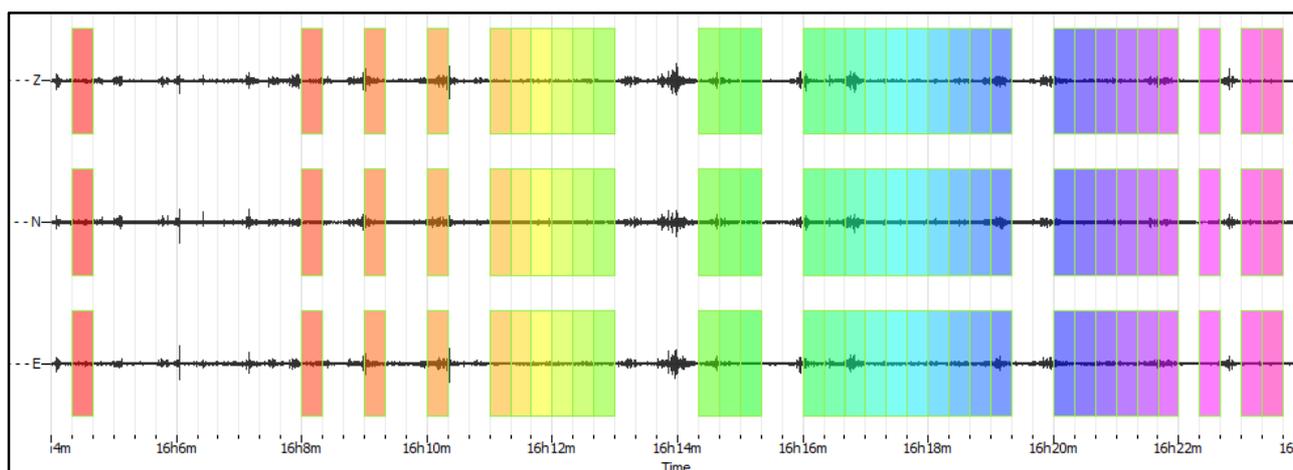
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	NO
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	NO

CLASSE | A2

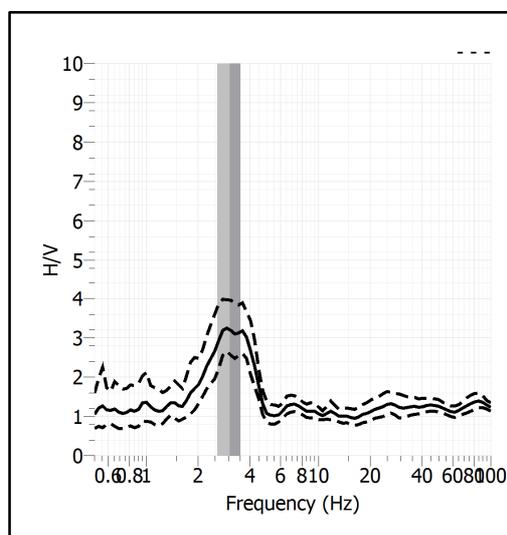
Stazione	30
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	32 (53% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	3.05 Hz
Ampiezza Media della frequenza	3.19

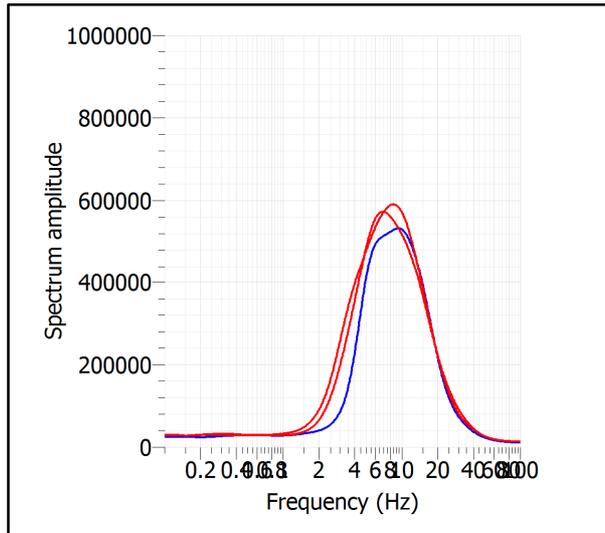
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



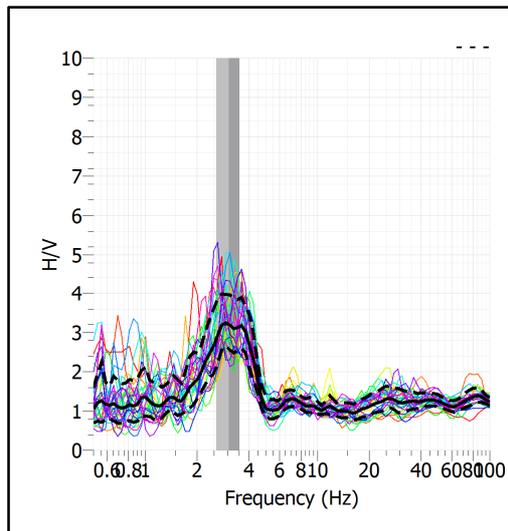
RAPPORTO SPETTRALE H/V



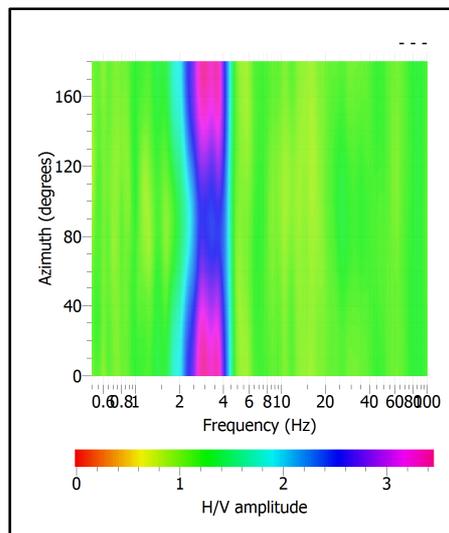
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



CRITERI SESAME

Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows				Grado del contrasto di impedenza sismica
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$	
20.00	32	1957	3.057	0.47	3.19	1.23	MODERATO
Criteria per una curva H/V affidabile [Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/L_w$			3.057	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			1957	>	200		OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$			Superato 0 volte su 27				OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$							OK
Criteria per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]							
Amplitude conditions	Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$						OK
	Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$						OK
	$A_0 > 2$			3.1925	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.4728	>	0.1529	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2258	<	1.5800	OK

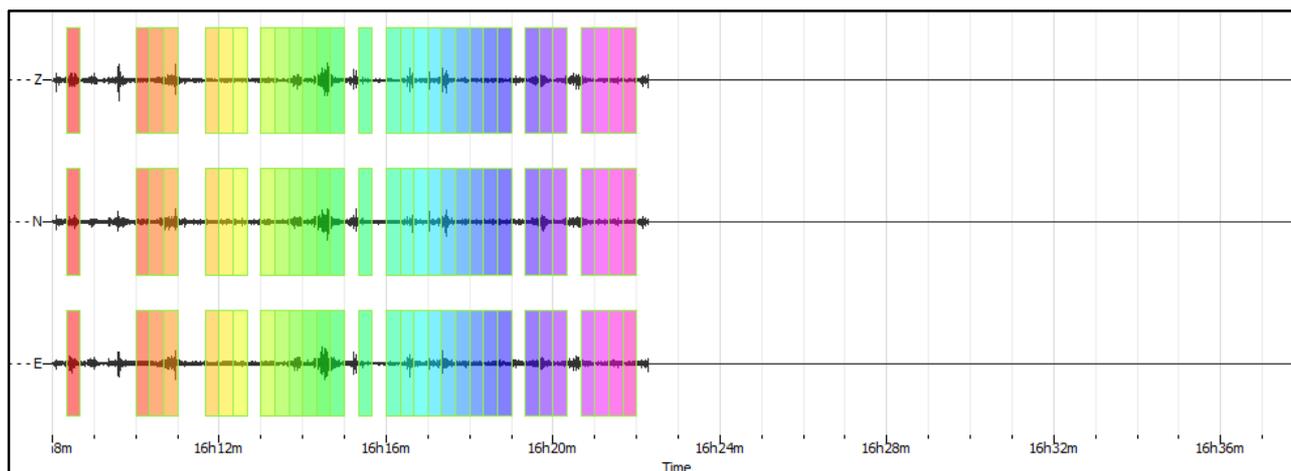
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum L_w$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

CLASSE | A1

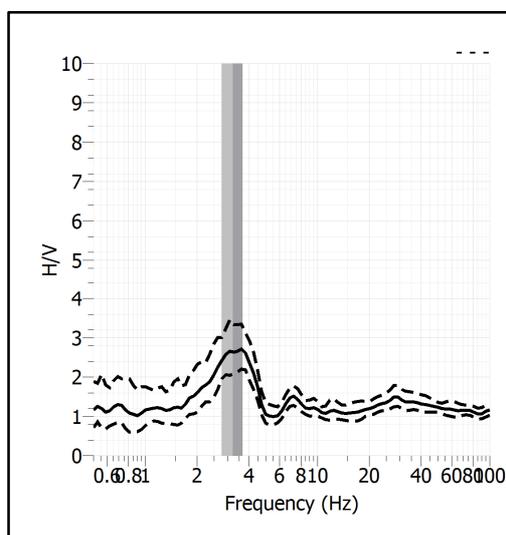
Stazione	31
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	30 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	30 (33% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	3.22 Hz
Ampiezza Media della frequenza	2.64

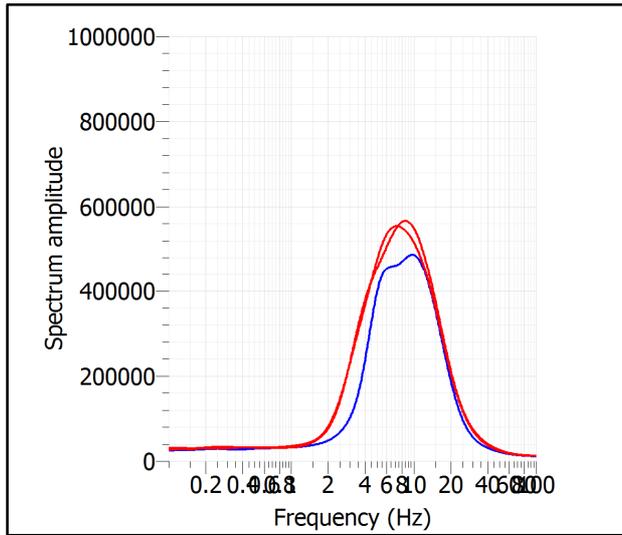
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



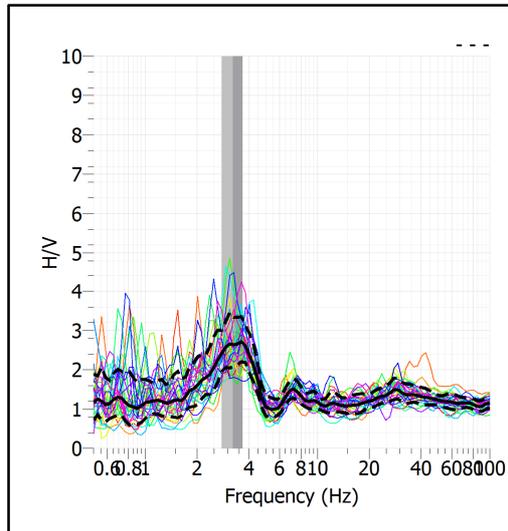
RAPPORTO SPETTRALE H/V



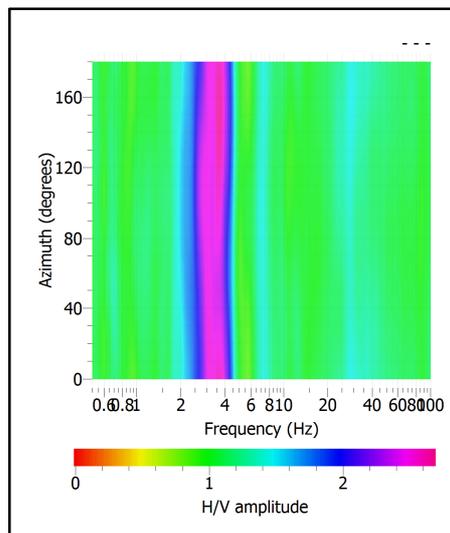
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



CRITERI SESAME

Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows				Grado del contrasto di impedenza sismica
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$	
20.00	30	1936	3.227	0.45	2.64	1.29	BASSO
Criteri per una curva H/V affidabile							
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/L_w$			3.227	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			1936	>	200		OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$			Superato 0 volte su 27				OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$							OK
Criteri per un picco H/V chiaro							
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]							
Amplitude conditions	Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$						OK
	Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$						OK
	$A_0 > 2$			2.6376	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.4502	>	0.1614	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2872	<	1.5800	OK

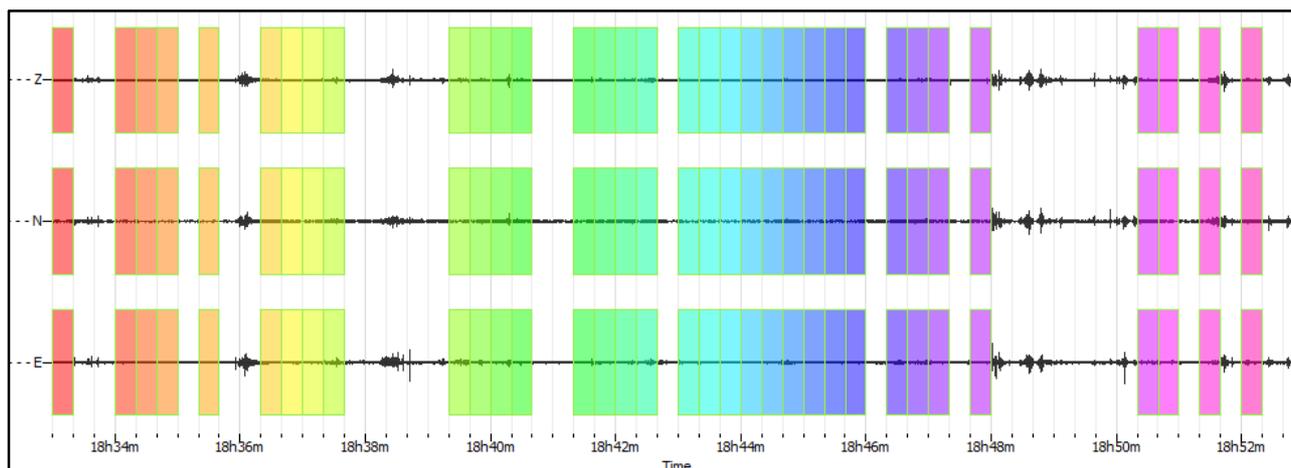
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum L_w$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

CLASSE | A1

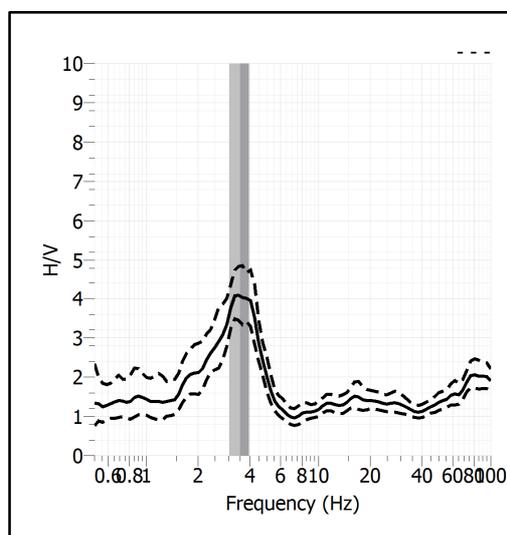
Stazione	32
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	34 (57% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	3.50 Hz
Ampiezza Media della frequenza	4.07

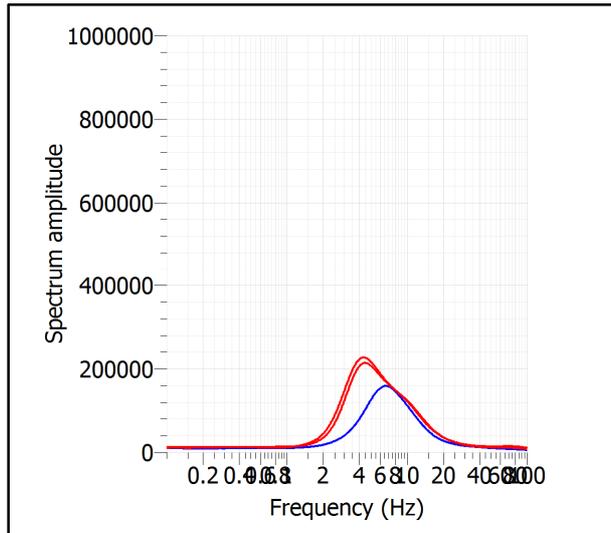
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



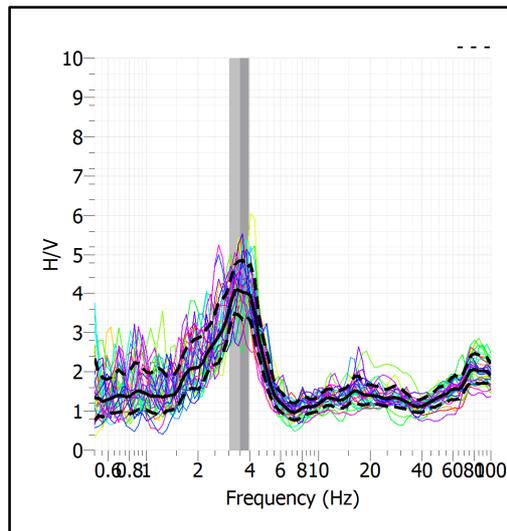
RAPPORTO SPETTRALE H/V



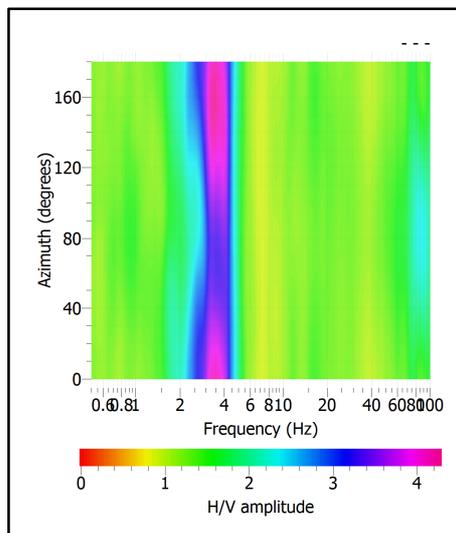
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



CRITERI SESAME

Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows				Grado del contrasto di impedenza sismica
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$	
20.00	34	2378	3.497	0.46	4.07	1.20	ALTO
Criteria per una curva H/V affidabile [Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/L_w$			3.497	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			2378	>	200		OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$			Superato 0 volte su 27				OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$							OK
Criteria per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]							
Amplitude conditions	Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$						OK
	Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$						OK
	$A_0 > 2$			4.0657	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.4641	>	0.1748	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.1987	<	1.5800	OK

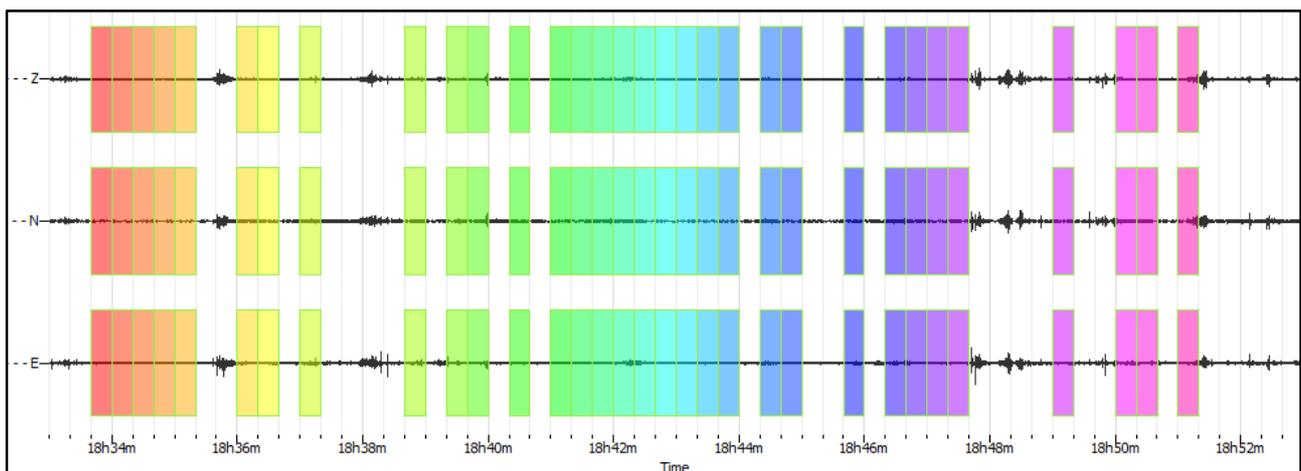
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum L_w$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

CLASSE | A1

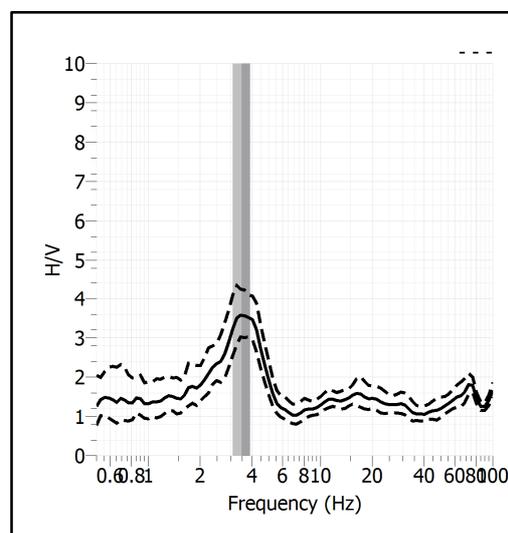
Stazione	33
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Dicembre 2019
Coordinate Lat.	
Coordinate Long.	
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	32 (53% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

Frequenza del picco H/V	3.49 Hz
Ampiezza Media della frequenza	3.57

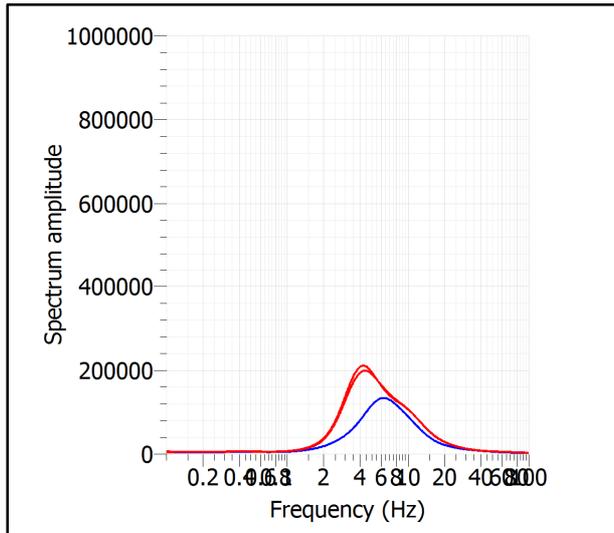
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



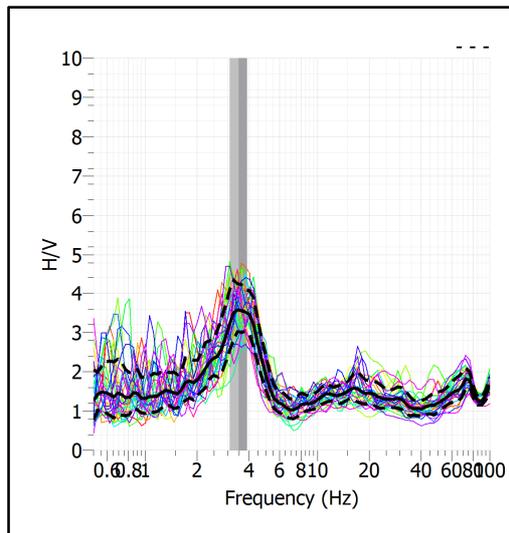
RAPPORTO SPETTRALE H/V



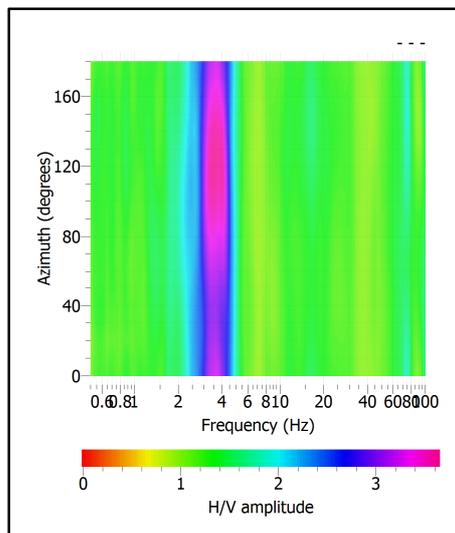
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



CRITERI SESAME

Window length l_w [s]	Number of windows n_w	Number of significant cycles n_c	Frequency statistics from individual windows				Grado del contrasto di impedenza sismica
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_A(f_0)$	
20.00	32	2237	3.496	0.40	3.57	1.18	MODERATO
Criteria per una curva H/V affidabile							
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/L_w$			3.496	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			2237	>	200		OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$			Superato 0 volte su 27				OK
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$							OK
Criteria per un picco H/V chiaro							
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]							
Amplitude conditions	Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$						OK
	Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$						OK
	$A_0 > 2$			3.5748	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.4034	>	0.1748	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.1841	<	1.5800	OK

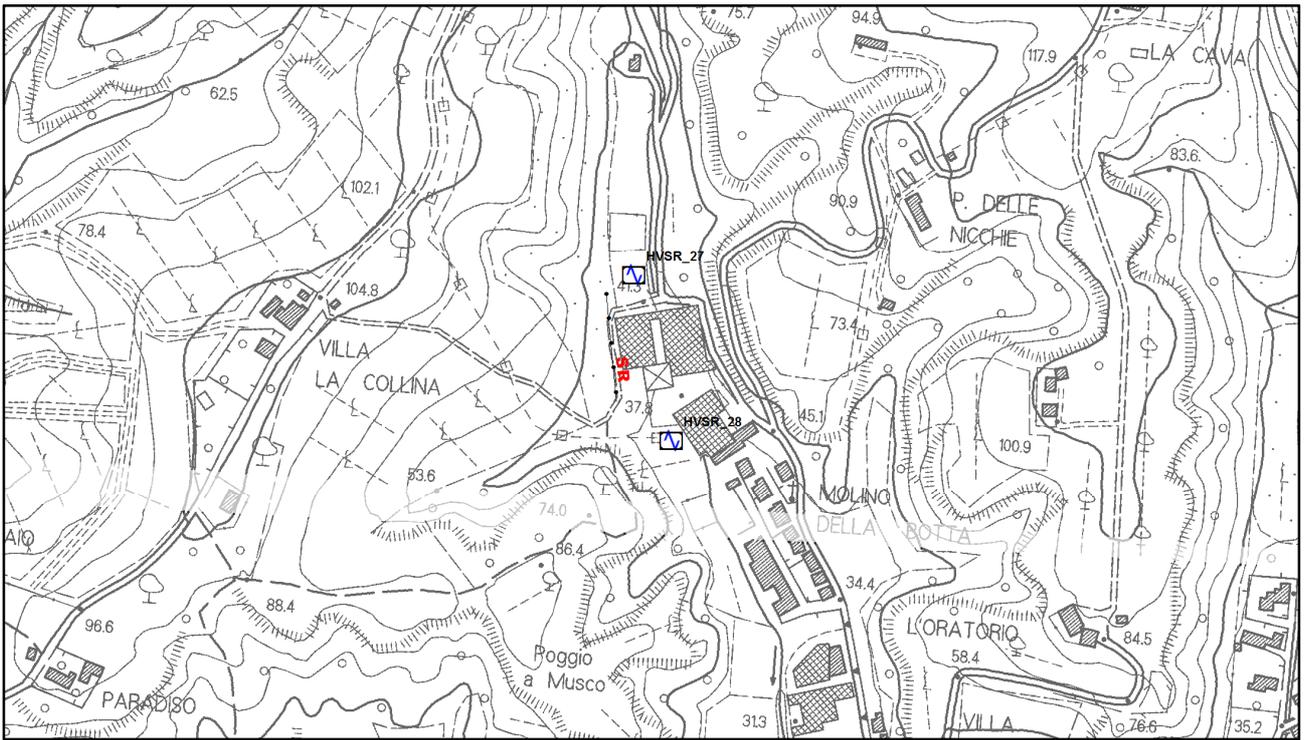
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum L_w$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	SI
PLAUSIBILITA' FISICA	I massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale	SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Verificati i tre Criteri SESAME per curva affidabile	SI

CLASSE | A1

- **ALLEGATO GRAFICO: ELABORAZIONI SISMICA A RIFRAZIONE P/SH – MASW/ESAC**

SR_1: SISMICA A RIFRAZIONE P-SH/MASW_6

Planimetria Scala 1:5000



Planimetria Scala 1:1000



Geometria dello stendimento

Numero Geofoni: 24

Intervallo (m): 5 m

Lunghezza Stendimento (m): 115 m

Quota (m.s.l.m.): 38

Punti di energizzazione

	E1 Esterno SX	A Estremo SX	D1 Intermedio SX	C Centrale	D2 Intermedio DX	B Estremo DX	E2 Esterno DX
Posizione da Geofono G1 (m)	-7.5	-2.5	27.5	57.5	87.5	117.5	122.5

Coordinate Geofoni (WGS84 UTM33N)

Geofoni	Longitudine	Latitudine
G1		
G24		

Geometria geofoni

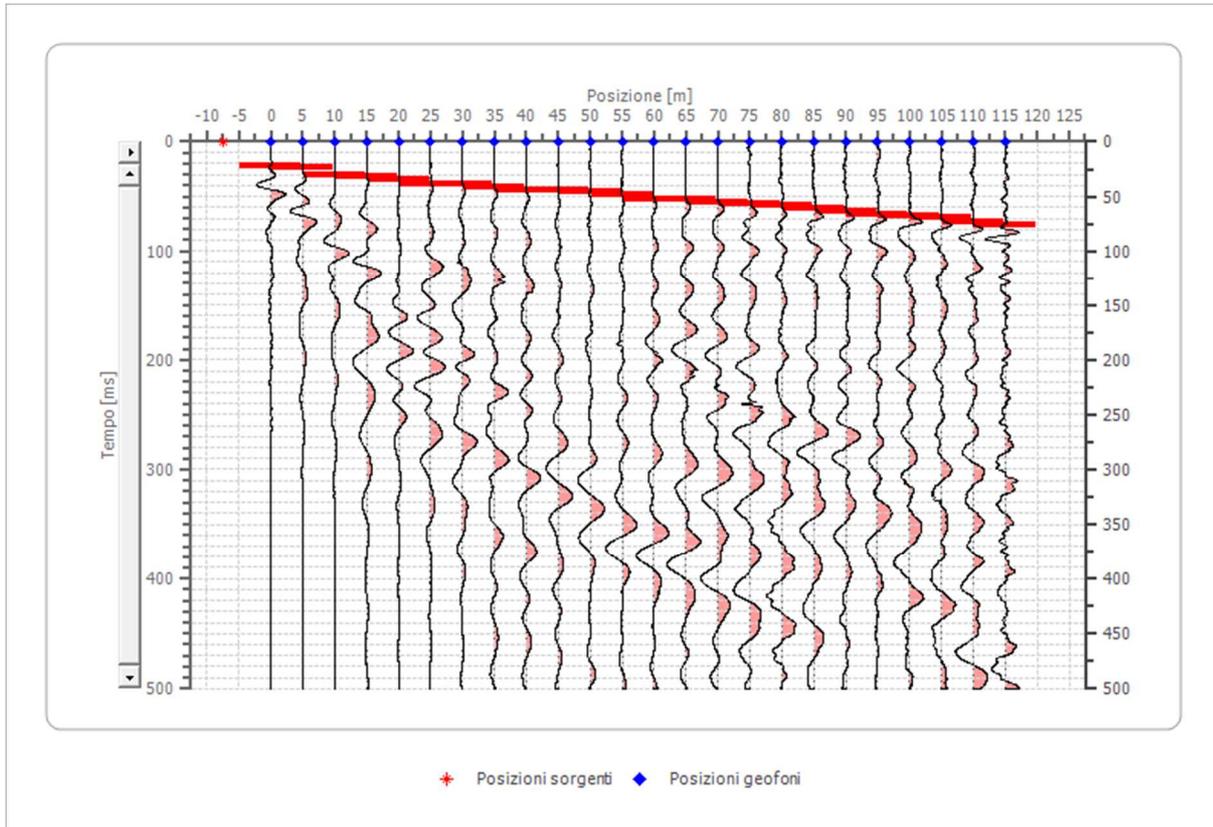
	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	0.0
2	5.0	0.0
3	10.0	0.0
4	15.0	0.0
5	20.0	0.0
6	25.0	0.0
7	30.0	0.0
8	35.0	0.0
9	40.0	0.0
10	45.0	0.0
11	50.0	0.0
12	55.0	0.0
13	60.0	0.0
14	65.0	0.0
15	70.0	0.0
16	75.0	0.0
17	80.0	0.0
18	85.0	0.0
19	90.0	0.0
20	95.0	0.0
21	100.0	0.0
22	105.0	0.0
23	110.0	0.0
24	115.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X -7.5 [m]

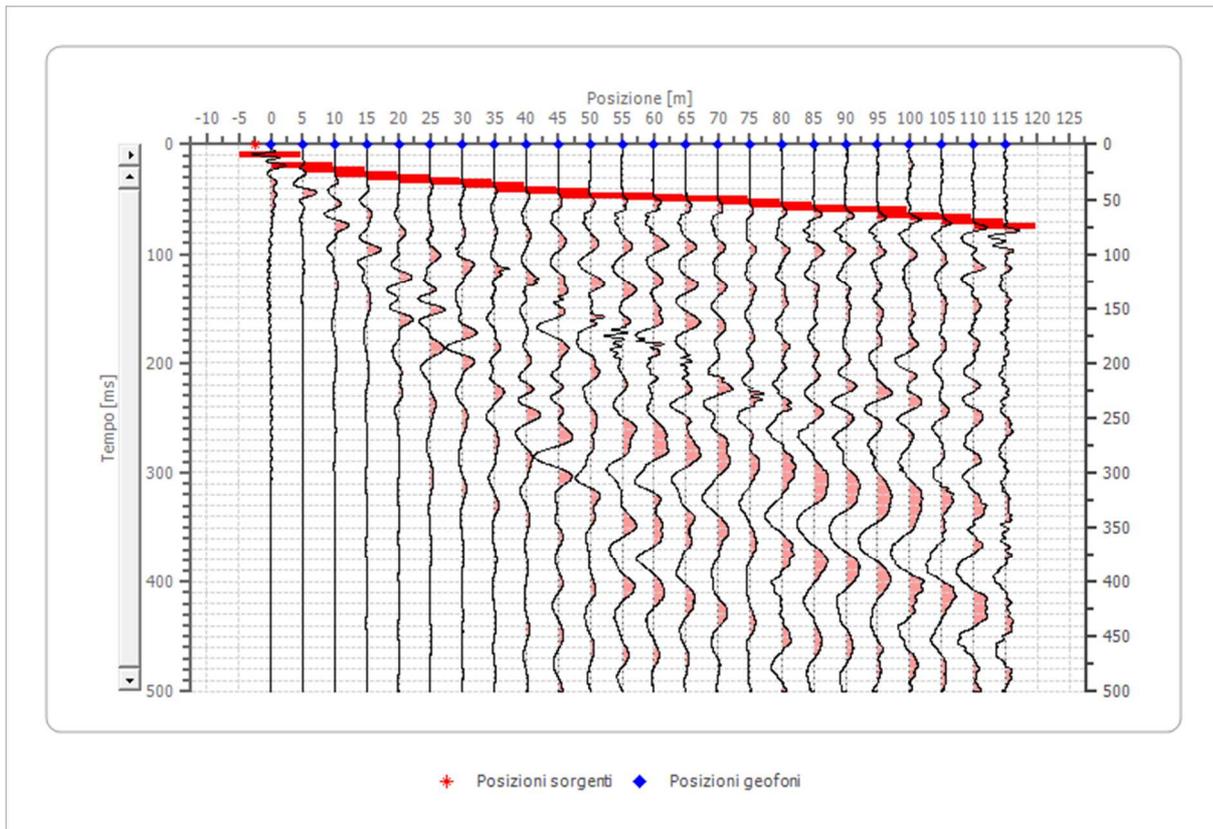
Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	22.0000
5.0	24.2500
10.0	30.7500
15.0	31.2500
20.0	34.7500
25.0	38.2500
30.0	38.5000
35.0	41.5000
40.0	45.0000
45.0	43.7500
50.0	45.2500
55.0	48.5007
60.0	53.2500
65.0	52.2500
70.0	55.5000
75.0	56.8151
80.0	58.7500
85.0	60.9723
90.0	63.5000
95.0	66.5000
100.0	67.9010
105.0	69.2867
110.0	73.4439
115.0	75.7500

Battuta 2

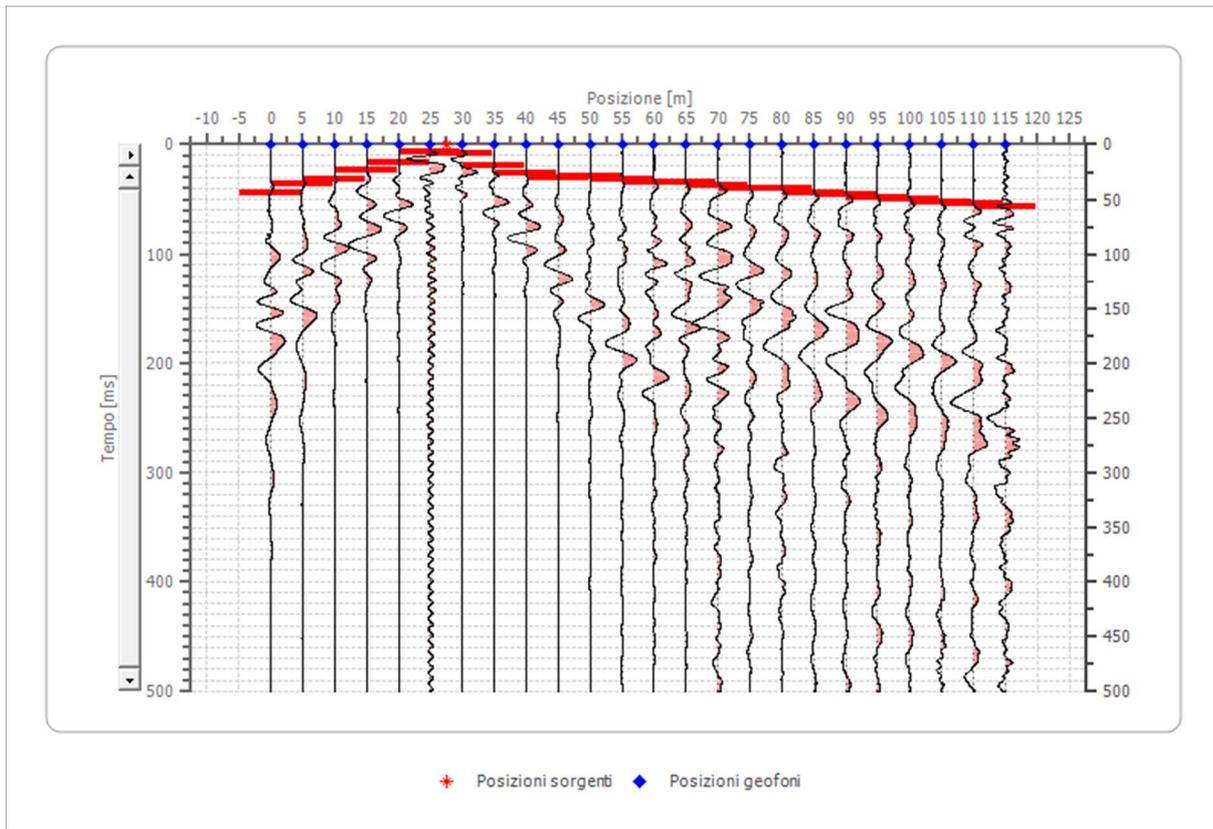
Posizione sorgente X -2.5 [m]
Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	9.7001
5.0	20.0000
10.0	23.2500
15.0	27.2500
20.0	31.0000
25.0	33.2500
30.0	34.7500
35.0	37.5000
40.0	41.5000
45.0	42.9578
50.0	47.1150
55.0	47.0000
60.0	48.5000
65.0	50.2500
70.0	50.0000
75.0	52.6579
80.0	55.2500
85.0	58.5000
90.0	60.0000
95.0	60.2500
100.0	64.5000
105.0	66.0000
110.0	70.2500
115.0	75.2500

Battuta 3

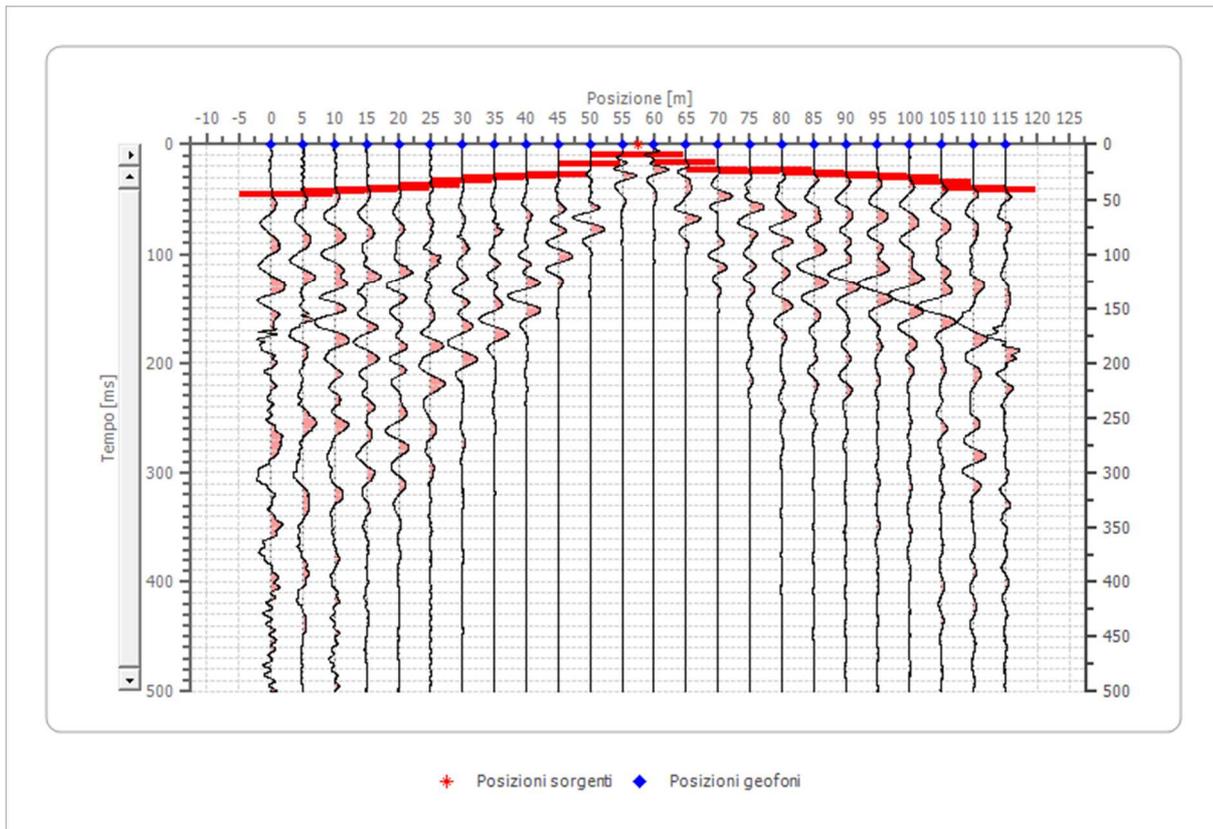
Posizione sorgente X 27.5 [m]
Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	44.3435
5.0	36.0291
10.0	31.8719
15.0	23.5000
20.0	16.6288
25.0	6.9287
30.0	8.3144
35.0	20.0000
40.0	26.3289
45.0	31.0000
50.0	29.2500
55.0	32.0000
60.0	34.6434
65.0	34.7500
70.0	37.4148
75.0	39.5000
80.0	40.1863
85.0	44.3435
90.0	45.7292
95.0	48.7500
100.0	49.8864
105.0	53.2500
110.0	54.2500
115.0	56.8151

Battuta 4

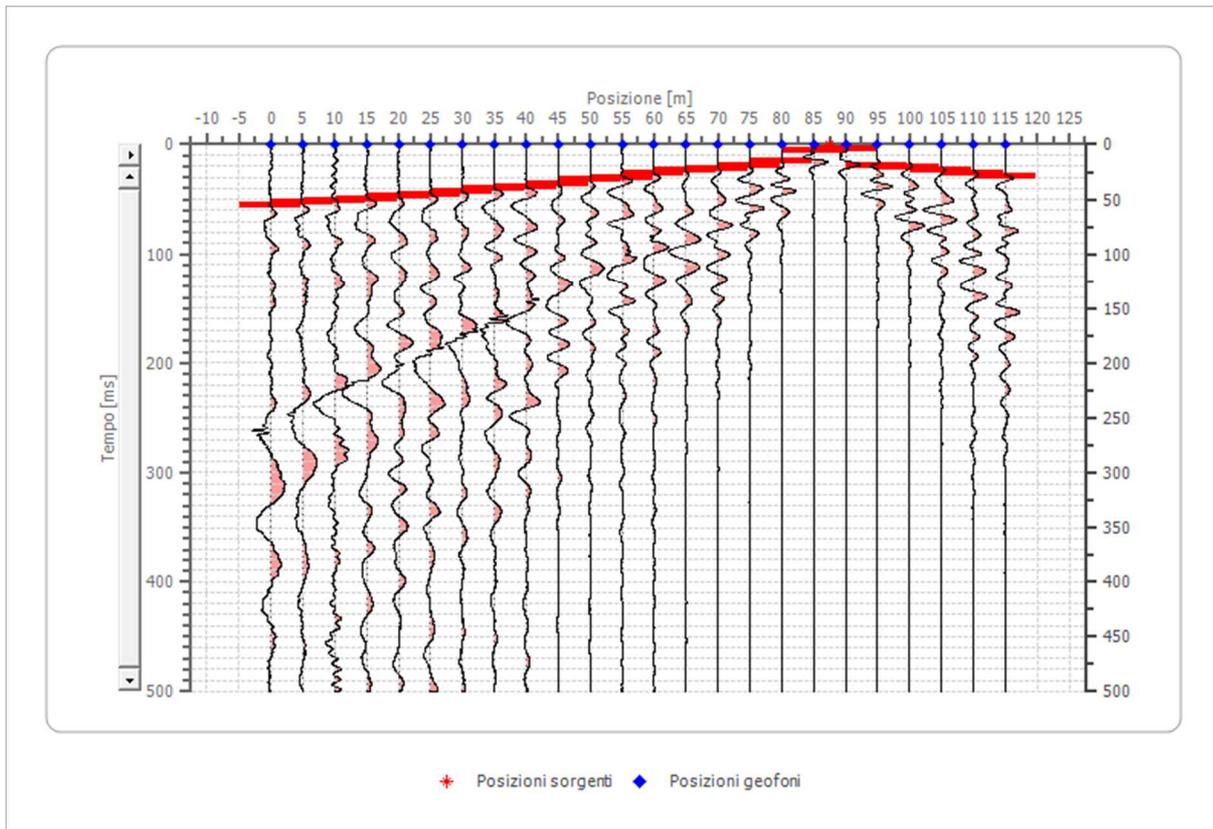
Posizione sorgente X 57.5 [m]
Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	45.5000
5.0	45.7292
10.0	42.5000
15.0	41.0000
20.0	40.1863
25.0	37.4148
30.0	33.2576
35.0	30.4862
40.0	29.1004
45.0	27.7147
50.0	18.0145
55.0	9.7001
60.0	9.7001
65.0	16.6288
70.0	23.5575
75.0	24.9432
80.0	23.2500
85.0	26.3289
90.0	28.0000
95.0	29.7500
100.0	31.0000
105.0	34.7500
110.0	39.7500
115.0	41.0000

Battuta 5

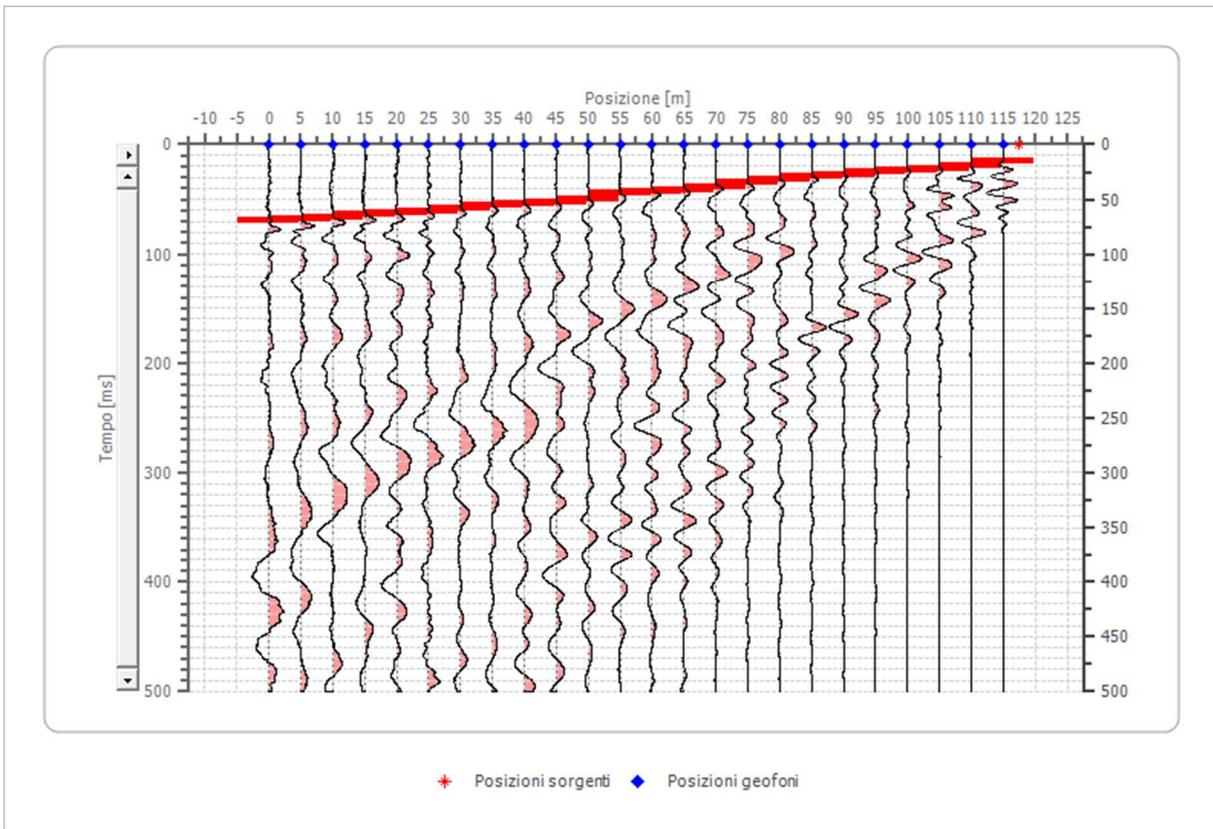
Posizione sorgente X 87.5 [m]
Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	55.4294
5.0	52.6579
10.0	50.7500
15.0	49.7500
20.0	47.0000
25.0	45.2500
30.0	43.0000
35.0	40.0000
40.0	38.5000
45.0	36.5000
50.0	32.2500
55.0	30.4862
60.0	26.0000
65.0	23.5000
70.0	22.1717
75.0	20.0000
80.0	15.2431
85.0	5.5429
90.0	4.1572
95.0	20.0000
100.0	20.7860
105.0	23.5575
110.0	26.3289
115.0	29.1004

Battuta 6

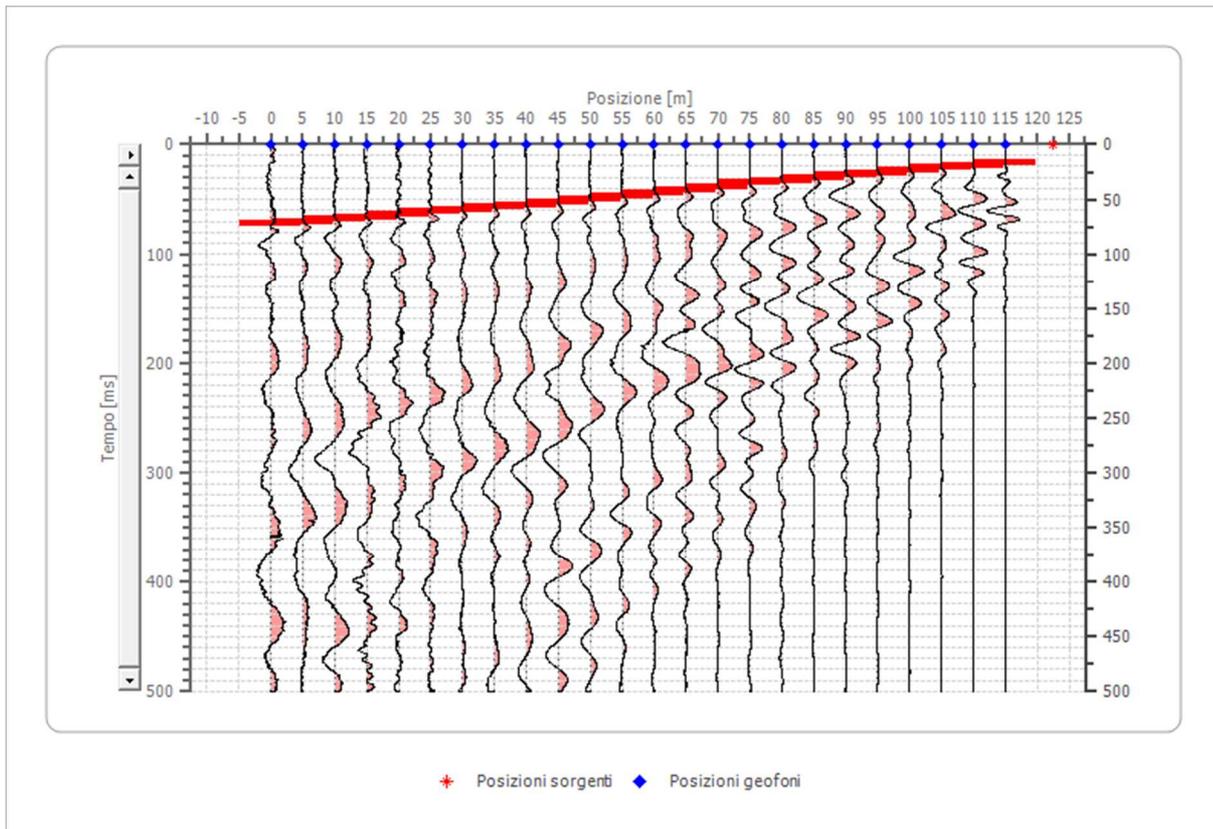
Posizione sorgente X 117.5 [m]
Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	69.2867
5.0	67.9010
10.0	66.5152
15.0	63.7438
20.0	62.3580
25.0	60.9723
30.0	58.2008
35.0	55.2500
40.0	54.0000
45.0	52.5000
50.0	49.8864
55.0	44.3435
60.0	42.9578
65.0	41.5720
70.0	38.8006
75.0	35.0000
80.0	31.2500
85.0	28.5000
90.0	27.7147
95.0	24.9432
100.0	23.5575
105.0	22.1717
110.0	20.0000
115.0	15.2431

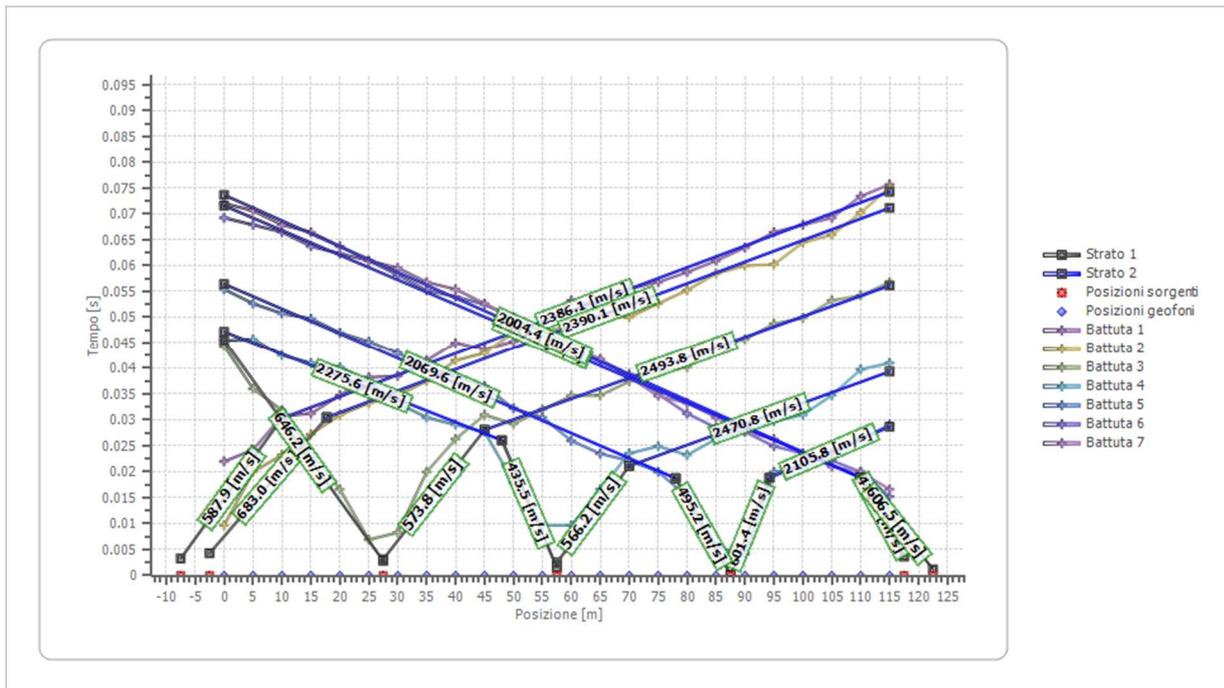
Battuta 7

Posizione sorgente X 122.5 [m]
Posizione sorgente Z 0 [m]

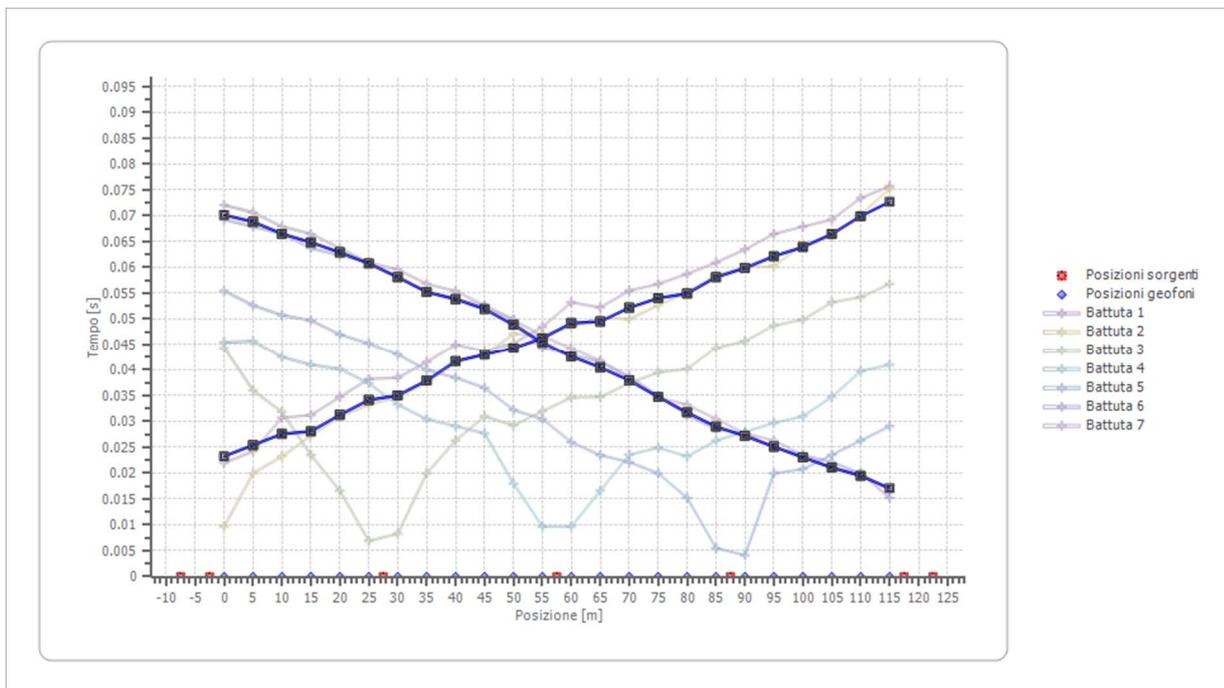


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	72.0582
5.0	70.6724
10.0	67.9010
15.0	66.5152
20.0	63.7438
25.0	60.9723
30.0	59.5866
35.0	56.8151
40.0	55.4294
45.0	52.6579
50.0	49.8864
55.0	46.7500
60.0	44.2500
65.0	41.7500
70.0	38.2500
75.0	34.6434
80.0	33.2576
85.0	30.4862
90.0	27.7147
95.0	26.3289
100.0	23.5575
105.0	21.0000
110.0	20.0000
115.0	16.6288

Dromocrone



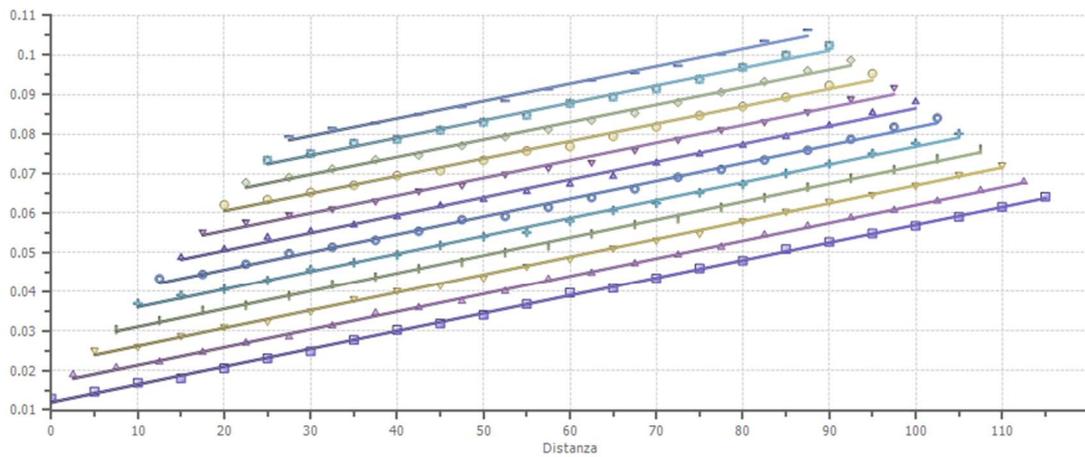
Dromocrone traslate



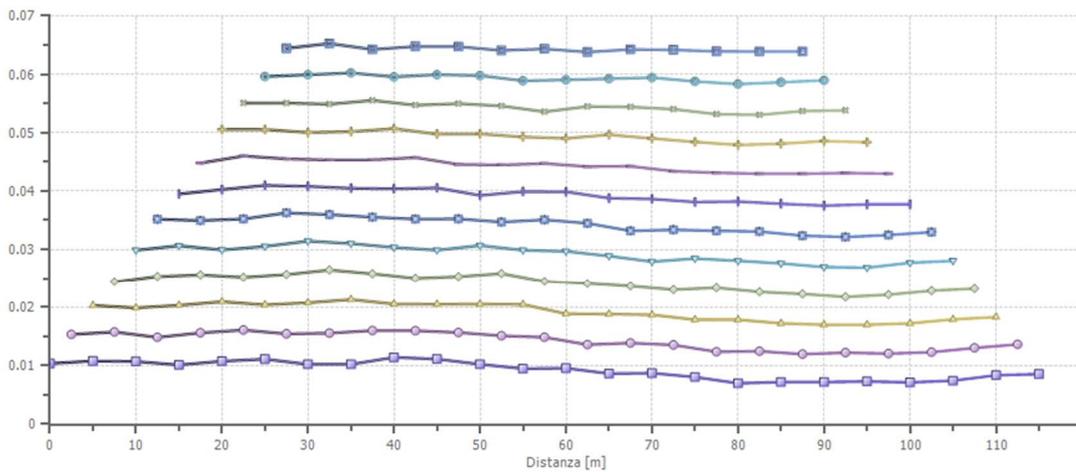
Interpretazione col metodo G,.R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 0.0 [m]	6.0	--
G= 5.0 [m]	6.3	--
G= 10.0 [m]	6.2	--
G= 15.0 [m]	5.9	--
G= 20.0 [m]	6.2	--
G= 25.0 [m]	6.4	--
G= 30.0 [m]	5.9	--
G= 35.0 [m]	5.9	--
G= 40.0 [m]	6.6	--
G= 45.0 [m]	6.4	--
G= 50.0 [m]	5.9	--
G= 55.0 [m]	5.5	--
G= 60.0 [m]	5.5	--
G= 65.0 [m]	5.0	--
G= 70.0 [m]	5.1	--
G= 75.0 [m]	4.7	--
G= 80.0 [m]	4.1	--
G= 85.0 [m]	4.2	--
G= 90.0 [m]	4.2	--
G= 95.0 [m]	4.2	--
G= 100.0 [m]	4.1	--
G= 105.0 [m]	4.3	--
G= 110.0 [m]	4.8	--
G= 115.0 [m]	5.0	--
Velocità [m/sec]	560.9	2217.7
Descrizione		

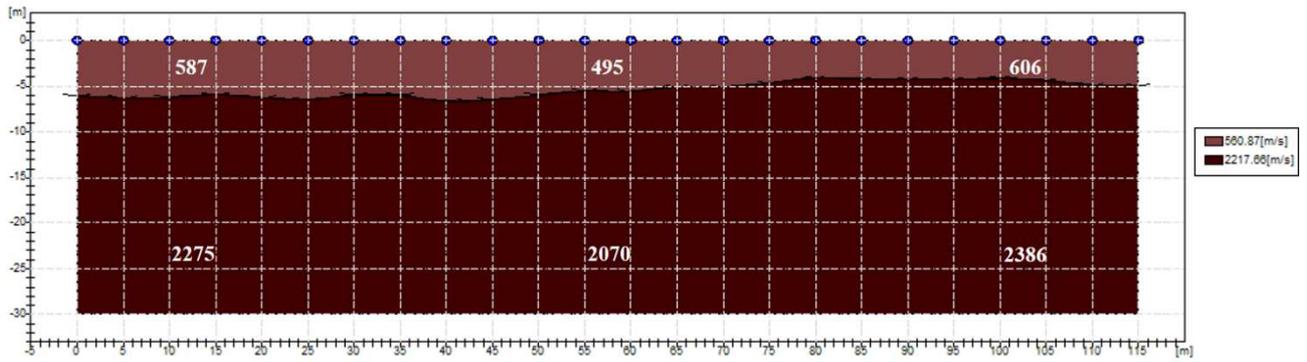


- XY = 0, Deviazione standard = 0.01561
- ▲ XY = 5, Deviazione standard = 0.015
- ▼ XY = 10, Deviazione standard = 0.0144
- ⊥ XY = 15, Deviazione standard = 0.01377
- ⊕ XY = 20, Deviazione standard = 0.01306
- ⊙ XY = 25, Deviazione standard = 0.01237
- ▲ XY = 30, Deviazione standard = 0.0117
- ▼ XY = 35, Deviazione standard = 0.01092
- ◊ XY = 40, Deviazione standard = 0.01017
- ◊ XY = 45, Deviazione standard = 0.00954
- XY = 50, Deviazione standard = 0.00891
- XY = 55, Deviazione standard = 0.00824



- XY = 0, Rugosità = 0.001335
- XY = 5, Rugosità = 0.001341
- ▲ XY = 10, Rugosità = 0.001325
- ◊ XY = 15, Rugosità = 0.001262
- ▲ XY = 20, Rugosità = 0.001246
- XY = 25, Rugosità = 0.001178
- ▲ XY = 30, Rugosità = 0.001053
- XY = 35, Rugosità = 0.000892
- ▲ XY = 40, Rugosità = 0.000785
- ◊ XY = 45, Rugosità = 0.000625
- ▲ XY = 50, Rugosità = 0.00047
- XY = 55, Rugosità = 0.000321

SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA – ONDE P

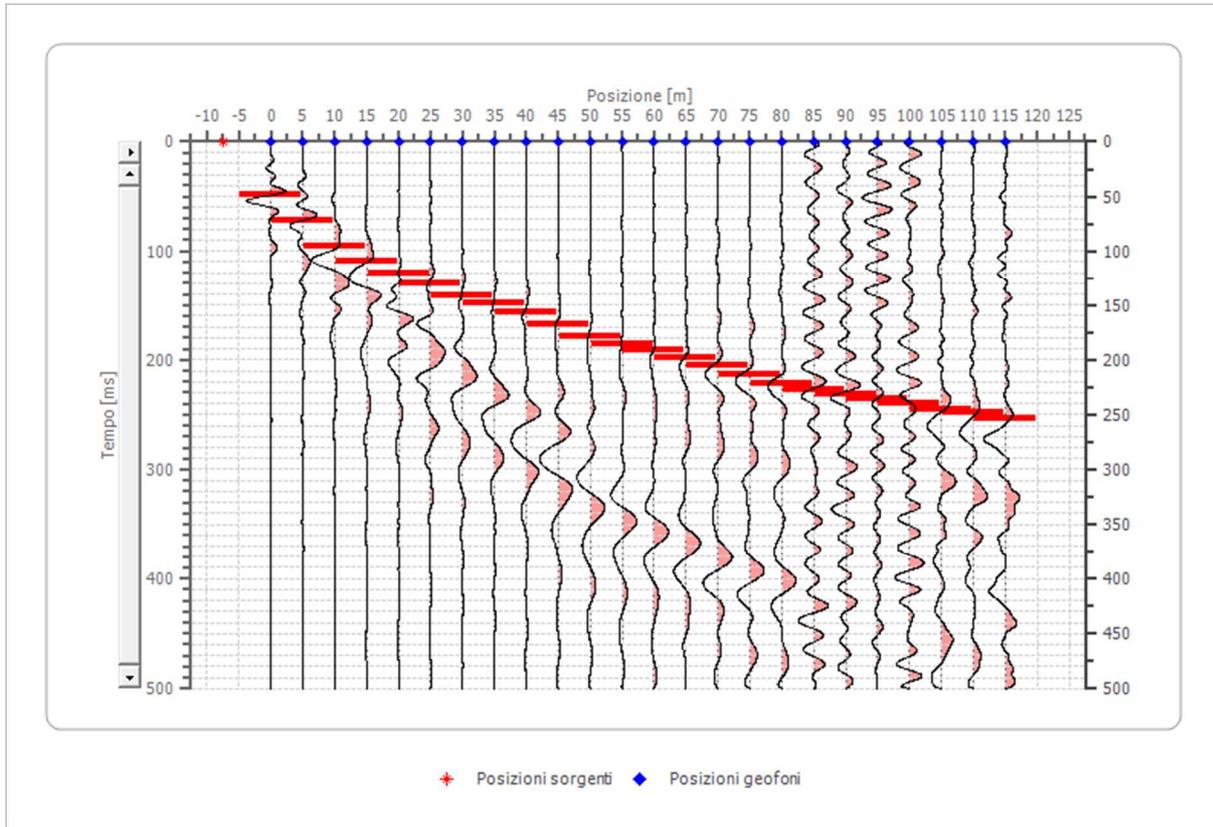


Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X -7.5 [m]

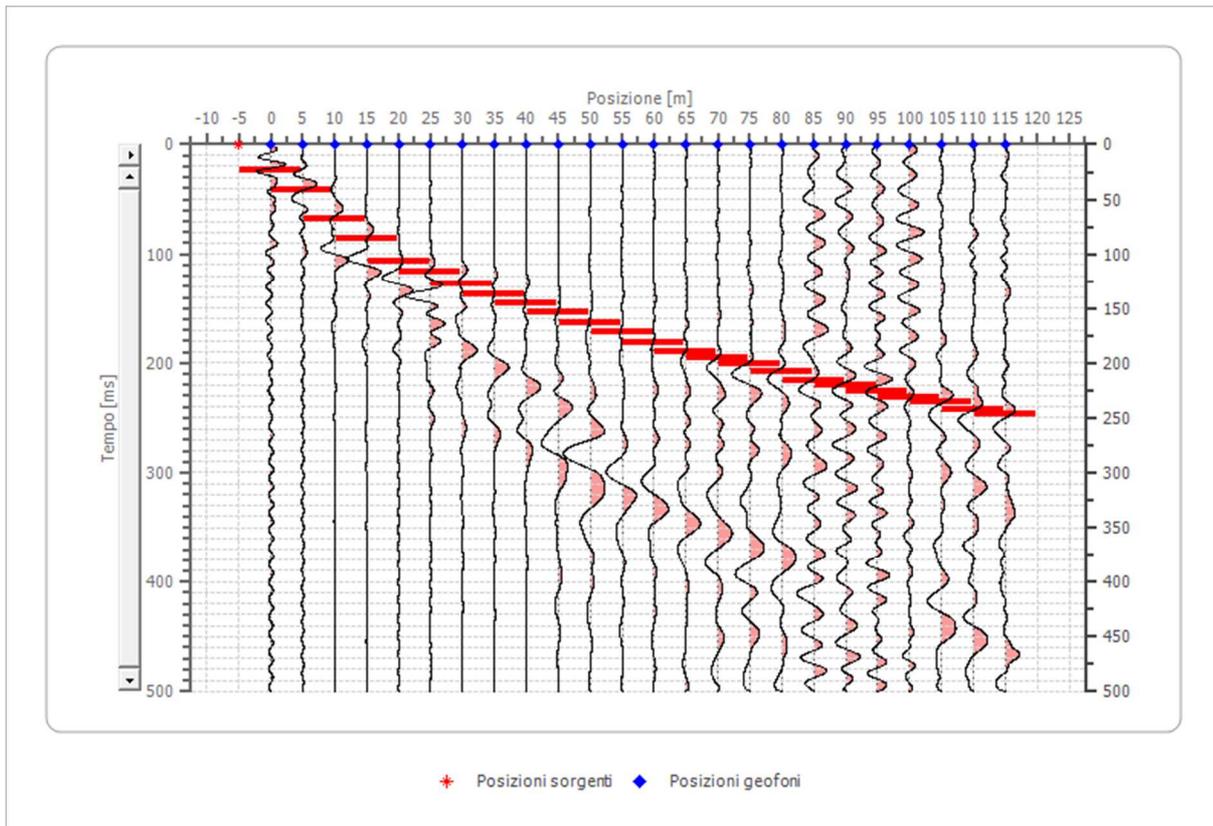
Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	48.5007
5.0	72.0582
10.0	95.6156
15.0	109.4730
20.0	120.5589
25.0	130.2590
30.0	141.3449
35.0	148.2735
40.0	156.5879
45.0	167.6738
50.0	178.7597
55.0	185.6884
60.0	191.2313
65.0	198.1600
70.0	205.0886
75.0	213.4030
80.0	221.7174
85.0	227.2604
90.0	231.4176
95.0	235.5748
100.0	239.7320
105.0	245.2749
110.0	248.0464
115.0	253.5893

Battuta 2

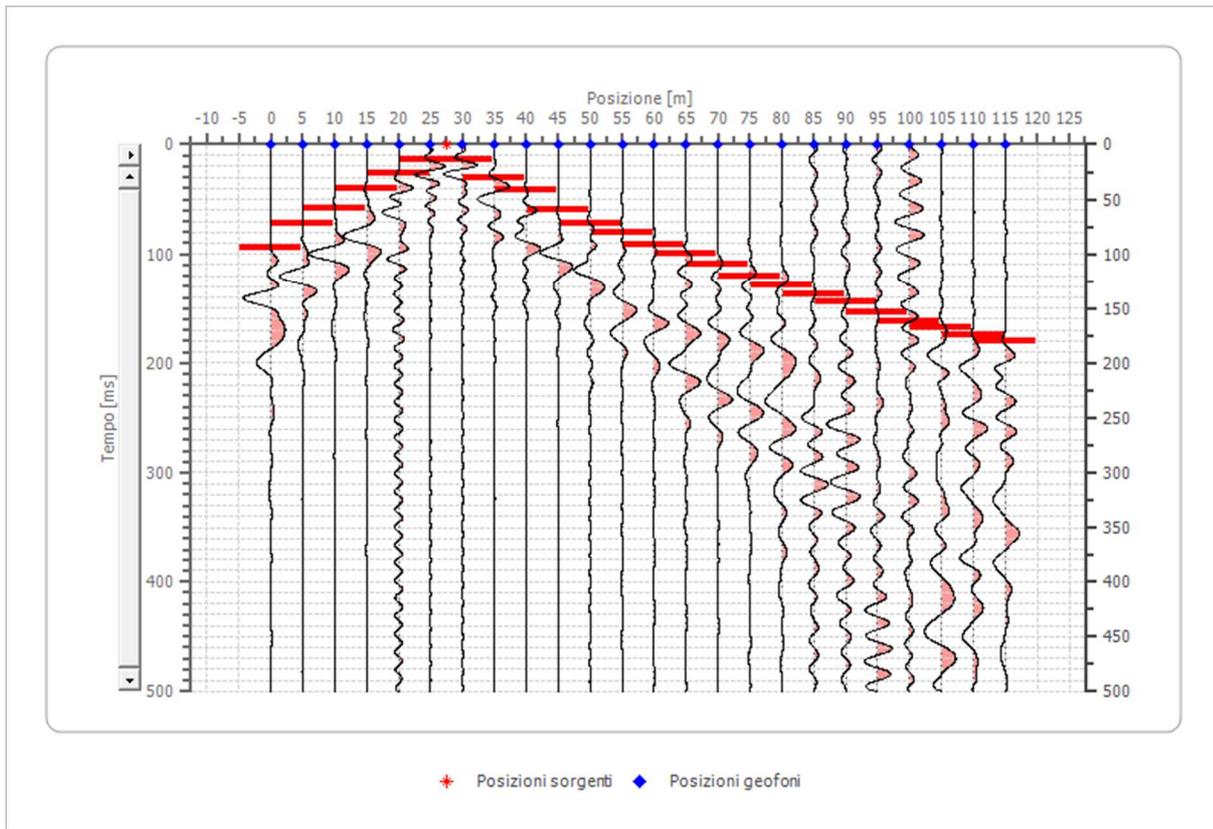
Posizione sorgente X -2.5 [m]
Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	23.5575
5.0	41.5720
10.0	67.9010
15.0	85.9155
20.0	106.7015
25.0	116.4017
30.0	127.4875
35.0	137.1877
40.0	145.5021
45.0	153.8165
50.0	163.5166
55.0	171.8310
60.0	181.5312
65.0	189.8456
70.0	195.3885
75.0	200.9314
80.0	207.8601
85.0	216.1745
90.0	220.3317
95.0	225.8746
100.0	231.4176
105.0	235.5748
110.0	242.5035
115.0	246.6607

Battuta 3

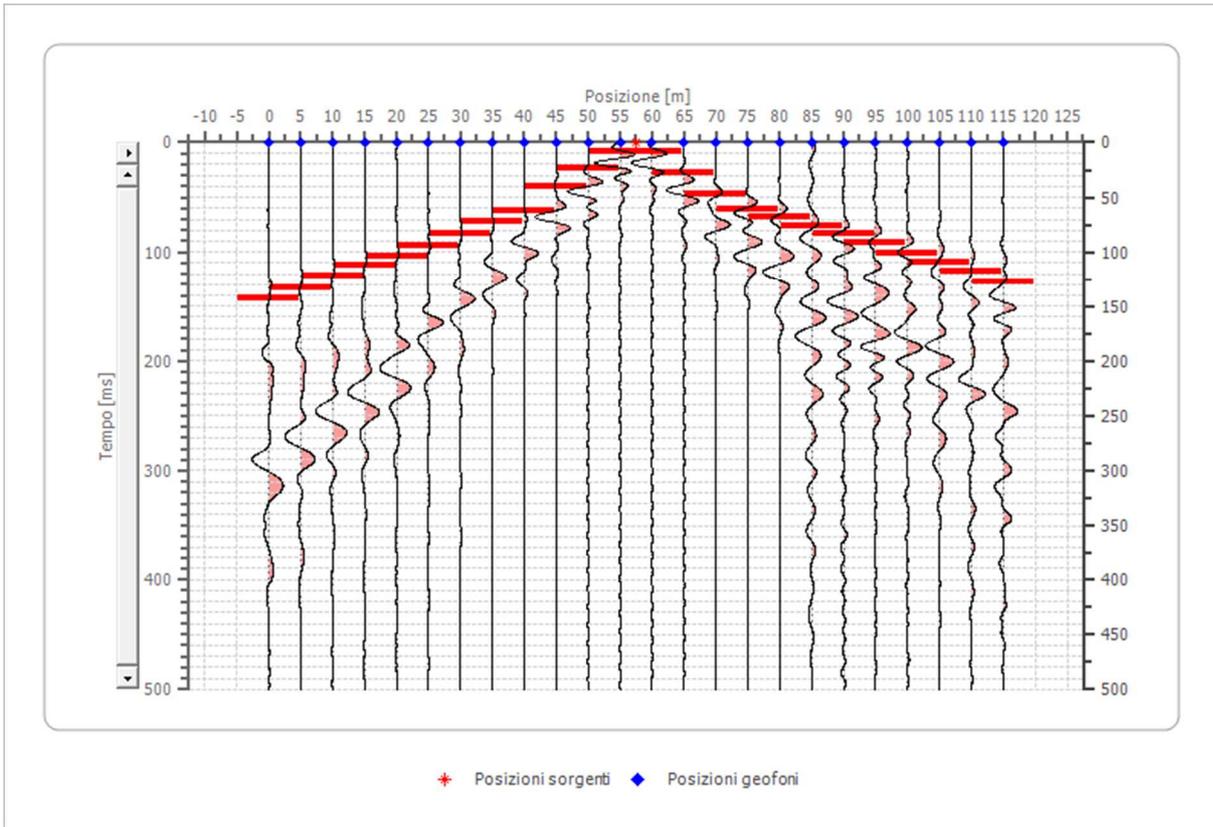
Posizione sorgente X 27.5 [m]
Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	94.2299
5.0	72.0582
10.0	58.2008
15.0	40.1863
20.0	26.3289
25.0	13.8573
30.0	13.8573
35.0	30.4861
40.0	41.5720
45.0	59.5866
50.0	72.0582
55.0	80.3726
60.0	91.4584
65.0	99.7728
70.0	109.4730
75.0	120.5589
80.0	128.8733
85.0	137.1877
90.0	144.1163
95.0	153.8165
100.0	162.1309
105.0	167.6738
110.0	174.6025
115.0	180.1454

Battuta 4

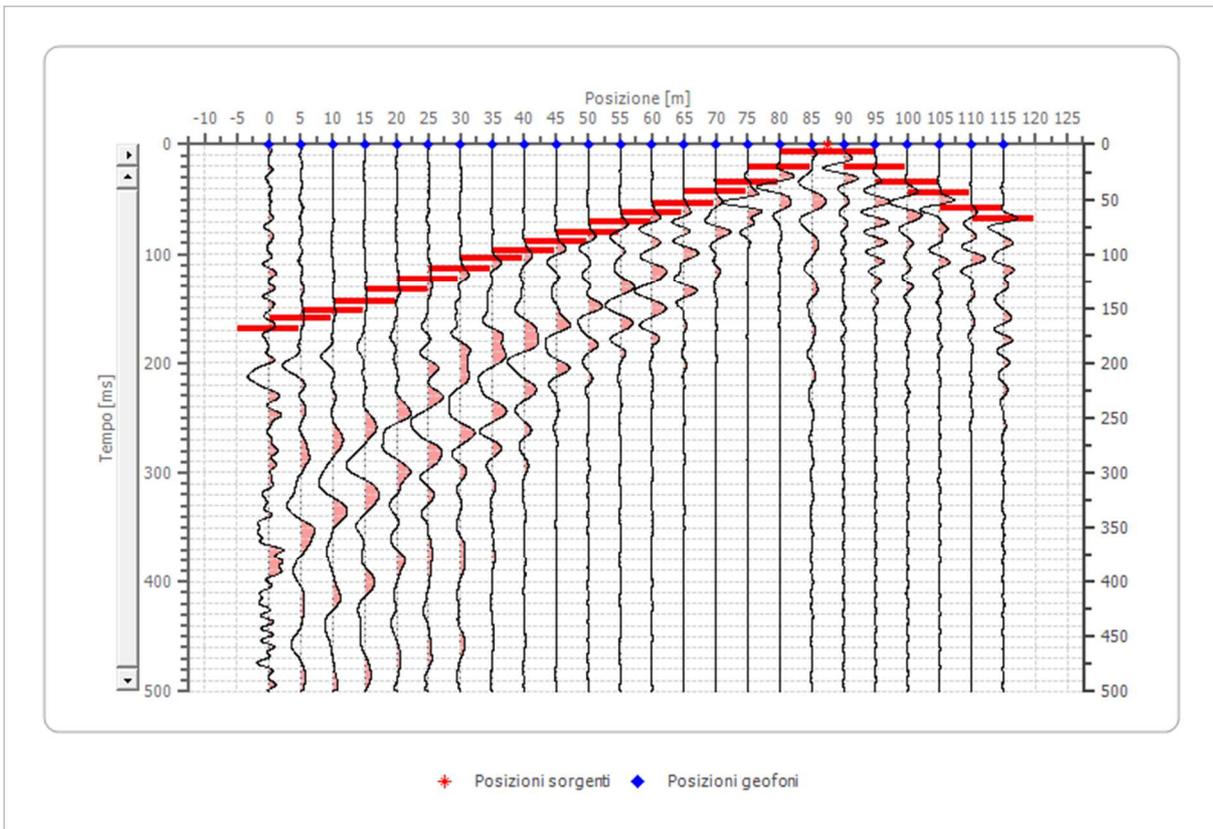
Posizione sorgente X 57.5 [m]
Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	142.7306
5.0	133.0305
10.0	121.9446
15.0	112.2445
20.0	103.9301
25.0	94.2299
30.0	83.1440
35.0	72.0582
40.0	62.3580
45.0	40.1863
50.0	23.5575
55.0	8.3144
60.0	8.3144
65.0	27.7147
70.0	47.1150
75.0	60.9723
80.0	67.9010
85.0	76.2154
90.0	83.1440
95.0	91.4584
100.0	101.1586
105.0	109.4730
110.0	117.7874
115.0	127.4875

Battuta 5

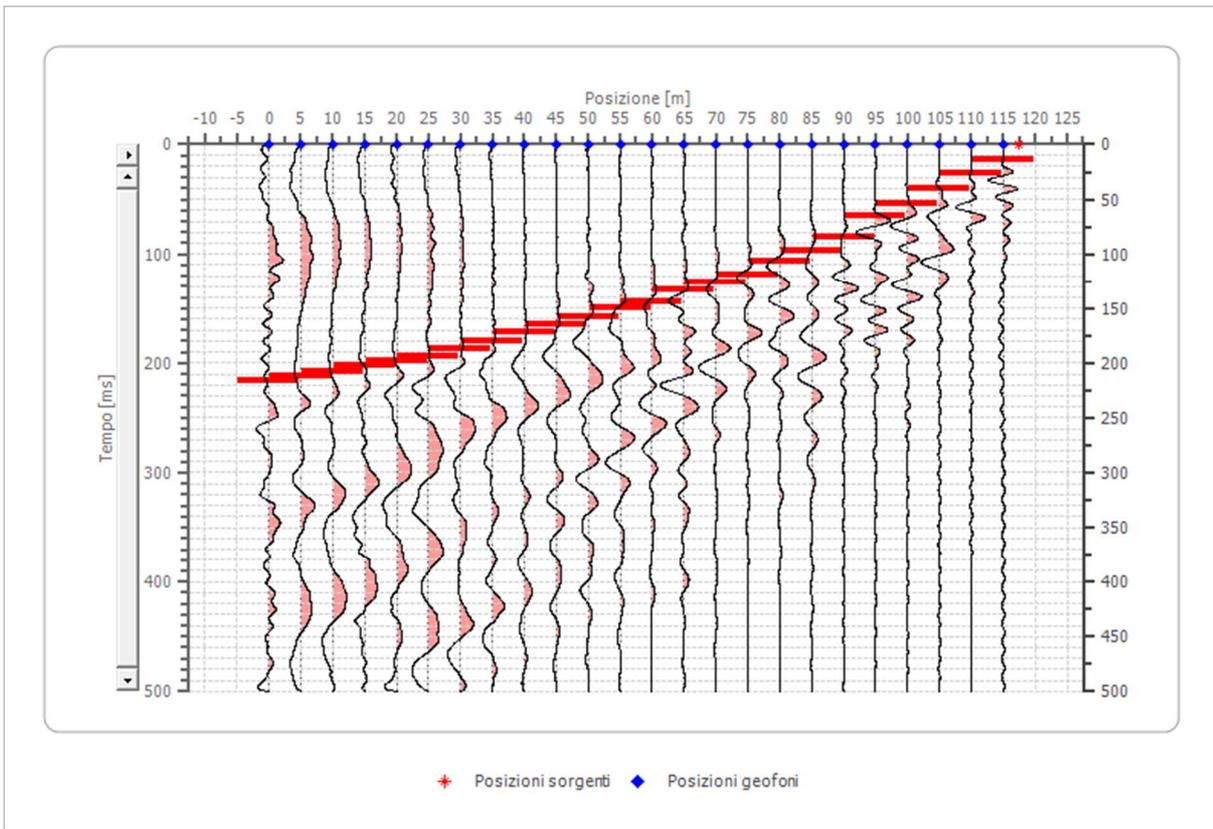
Posizione sorgente X 87.5 [m]
Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	169.0596
5.0	159.3594
10.0	152.4307
15.0	144.1163
20.0	133.0305
25.0	123.3303
30.0	113.6302
35.0	103.9301
40.0	97.0014
45.0	88.6870
50.0	80.3726
55.0	70.6724
60.0	62.3580
65.0	54.0436
70.0	42.9578
75.0	34.6434
80.0	20.7860
85.0	6.9287
90.0	6.9287
95.0	20.7860
100.0	34.6434
105.0	44.3435
110.0	58.2008
115.0	67.9010

Battuta 6

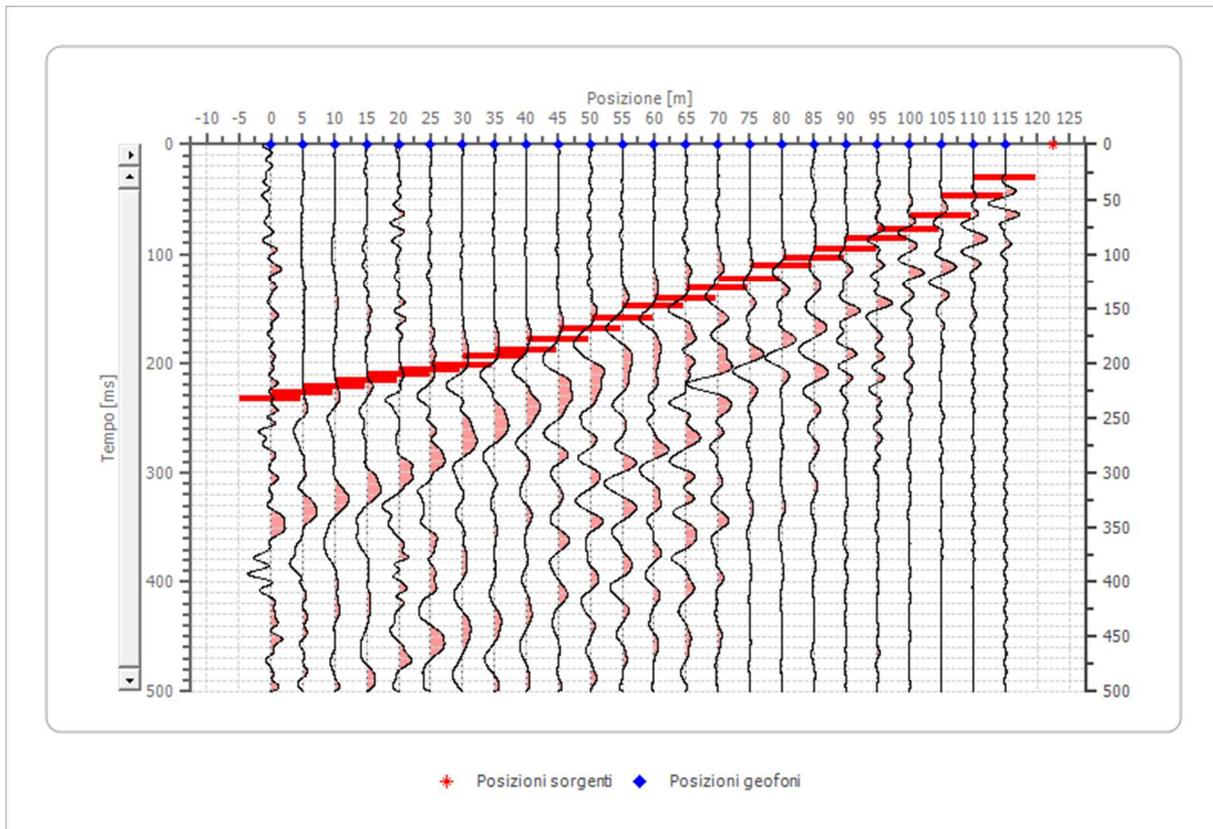
Posizione sorgente X 117.5 [m]
Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	216.1745
5.0	212.0173
10.0	207.8601
15.0	202.3172
20.0	198.1600
25.0	194.0028
30.0	187.0741
35.0	180.1454
40.0	171.8310
45.0	164.9023
50.0	157.9737
55.0	149.6593
60.0	144.1163
65.0	133.0305
70.0	126.1018
75.0	119.1731
80.0	106.7015
85.0	97.0014
90.0	84.5298
95.0	65.1295
100.0	54.0436
105.0	40.1863
110.0	26.3289
115.0	13.8573

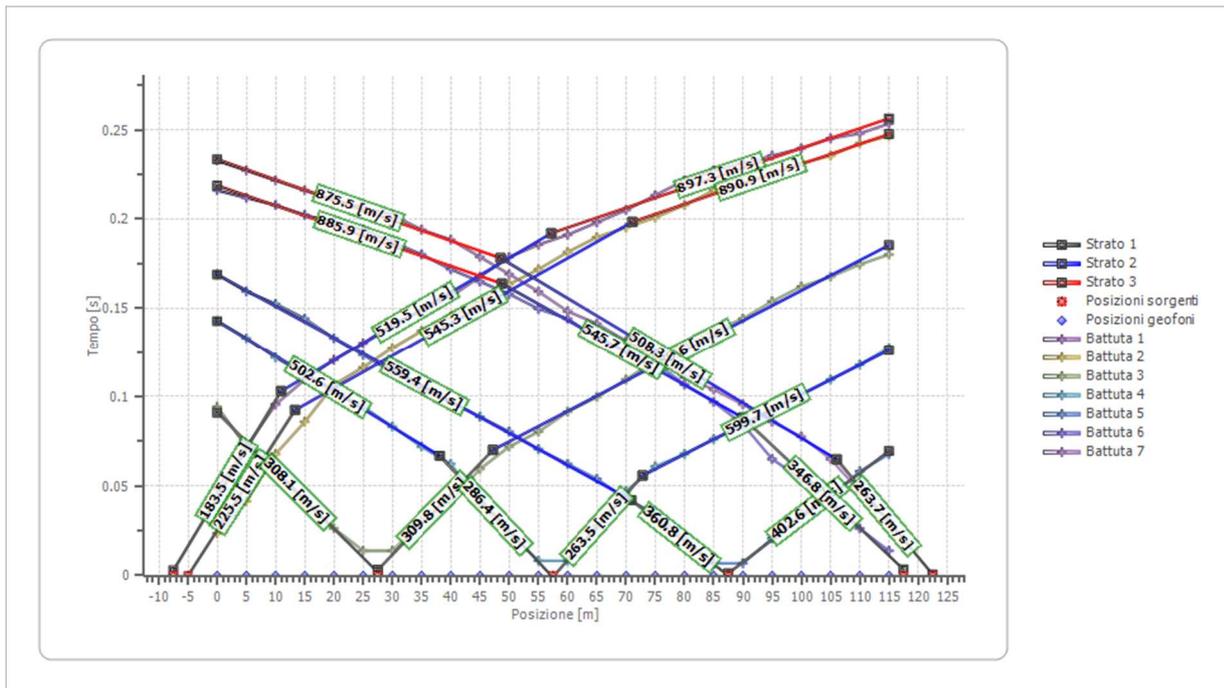
Battuta 7

Posizione sorgente X 122.5 [m]
Posizione sorgente Z 0 [m]

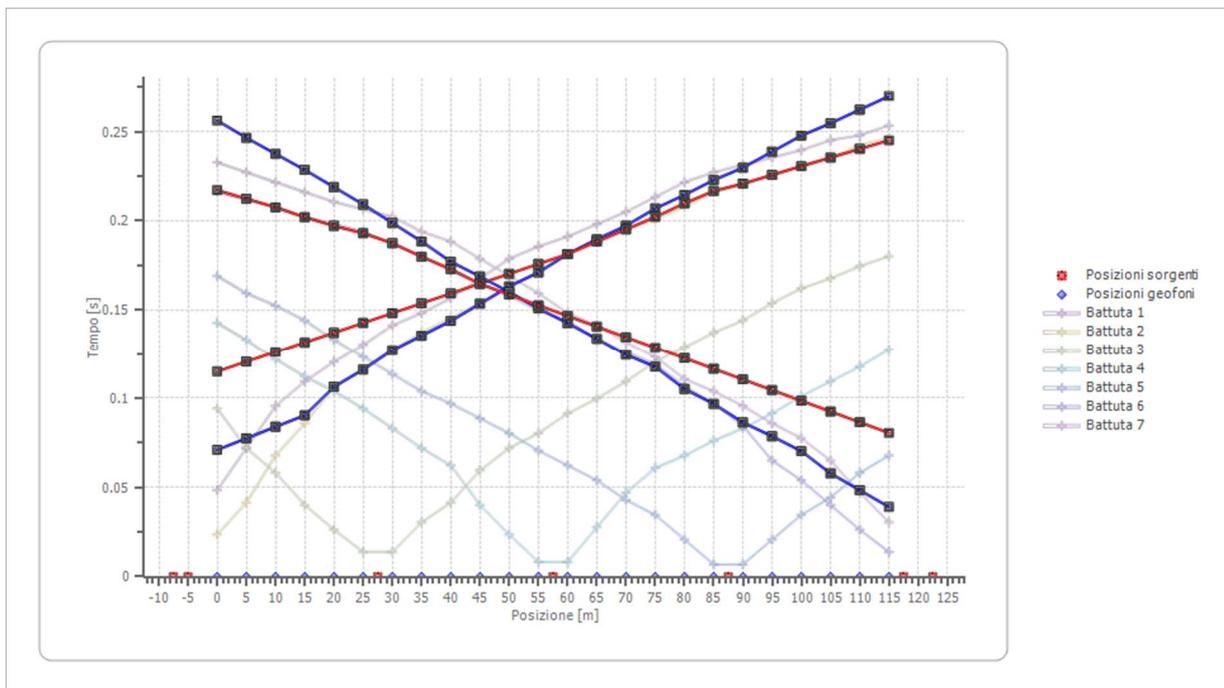


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	232.8033
5.0	227.2604
10.0	221.7174
15.0	216.1745
20.0	210.6316
25.0	206.4744
30.0	202.3172
35.0	194.0028
40.0	188.4598
45.0	178.7597
50.0	169.0596
55.0	159.3594
60.0	148.2735
65.0	141.3449
70.0	131.6447
75.0	123.3303
80.0	110.8587
85.0	103.9301
90.0	95.6156
95.0	85.9155
100.0	77.6011
105.0	65.1295
110.0	47.1150
115.0	30.4861

Dromocrone



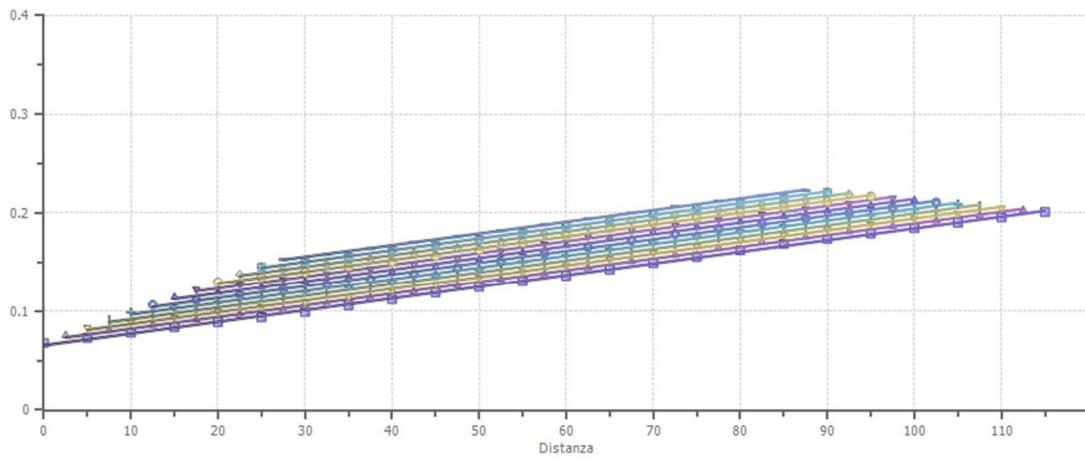
Dromocrone traslate



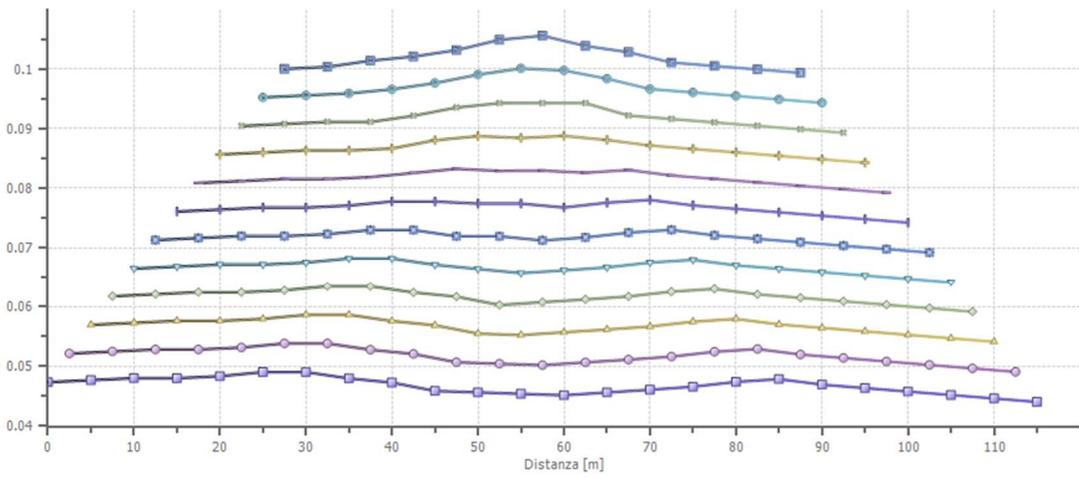
Interpretazione col metodo G.,R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 0.0 [m]	9.8	21.6	--
G= 5.0 [m]	9.2	22.6	--
G= 10.0 [m]	8.8	23.4	--
G= 15.0 [m]	8.3	24.0	--
G= 20.0 [m]	9.4	22.8	--
G= 25.0 [m]	9.4	23.3	--
G= 30.0 [m]	9.5	23.2	--
G= 35.0 [m]	9.2	22.9	--
G= 40.0 [m]	8.6	23.1	--
G= 45.0 [m]	8.9	21.7	--
G= 50.0 [m]	9.1	21.3	--
G= 55.0 [m]	8.8	21.5	--
G= 60.0 [m]	9.2	20.8	--
G= 65.0 [m]	9.1	21.3	--
G= 70.0 [m]	8.8	22.0	--
G= 75.0 [m]	9.3	21.7	--
G= 80.0 [m]	8.4	23.4	--
G= 85.0 [m]	8.4	23.8	--
G= 90.0 [m]	7.8	23.9	--
G= 95.0 [m]	8.0	23.2	--
G= 100.0 [m]	8.2	22.6	--
G= 105.0 [m]	7.2	23.4	--
G= 110.0 [m]	6.9	23.4	--
G= 115.0 [m]	6.6	23.4	--
Velocità [m/sec]	295.1	548.7	839.5
Descrizione			

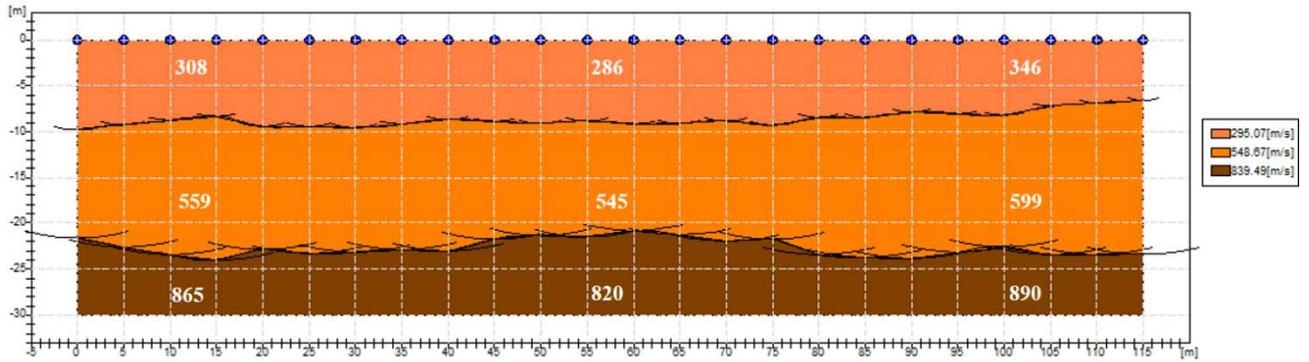


- XY = 0, Deviazione standard = 0.04123
- ▲ XY = 5, Deviazione standard = 0.03957
- ▼ XY = 10, Deviazione standard = 0.0379
- XY = 15, Deviazione standard = 0.03623
- + XY = 20, Deviazione standard = 0.03455
- XY = 25, Deviazione standard = 0.03285
- ▲ XY = 30, Deviazione standard = 0.03115
- ▼ XY = 35, Deviazione standard = 0.02942
- XY = 40, Deviazione standard = 0.02768
- ◇ XY = 45, Deviazione standard = 0.02589
- XY = 50, Deviazione standard = 0.02406
- XY = 55, Deviazione standard = 0.02217

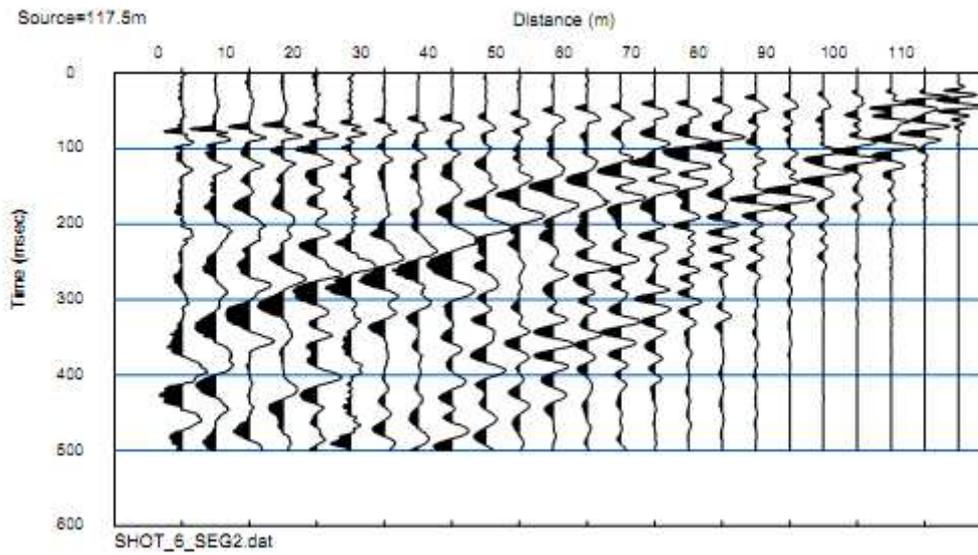
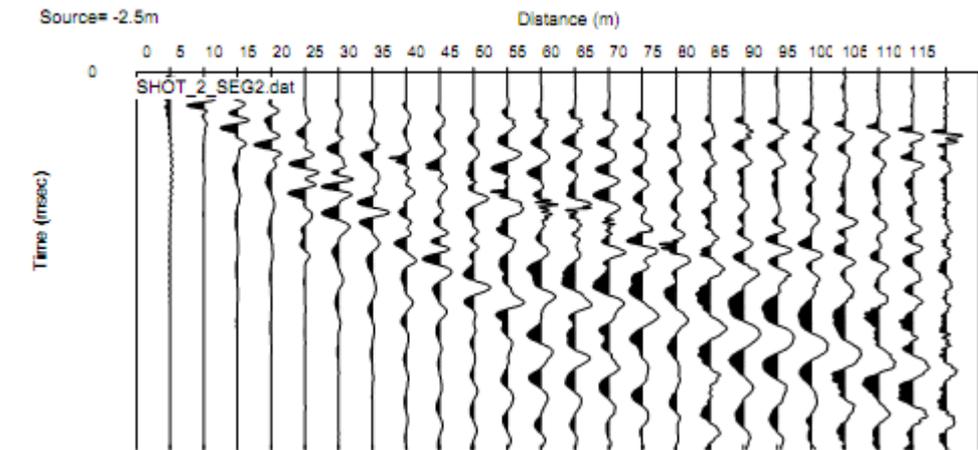


- XY = 0, Rugosità = 0.001187
- XY = 5, Rugosità = 0.001111
- ▲ XY = 10, Rugosità = 0.001022
- ◇ XY = 15, Rugosità = 0.00092
- XY = 20, Rugosità = 0.000834
- XY = 25, Rugosità = 0.000766
- ▲ XY = 30, Rugosità = 0.000801
- ▼ XY = 35, Rugosità = 0.000931
- ▲ XY = 40, Rugosità = 0.001123
- ◇ XY = 45, Rugosità = 0.001348
- XY = 50, Rugosità = 0.001538
- XY = 55, Rugosità = 0.001669

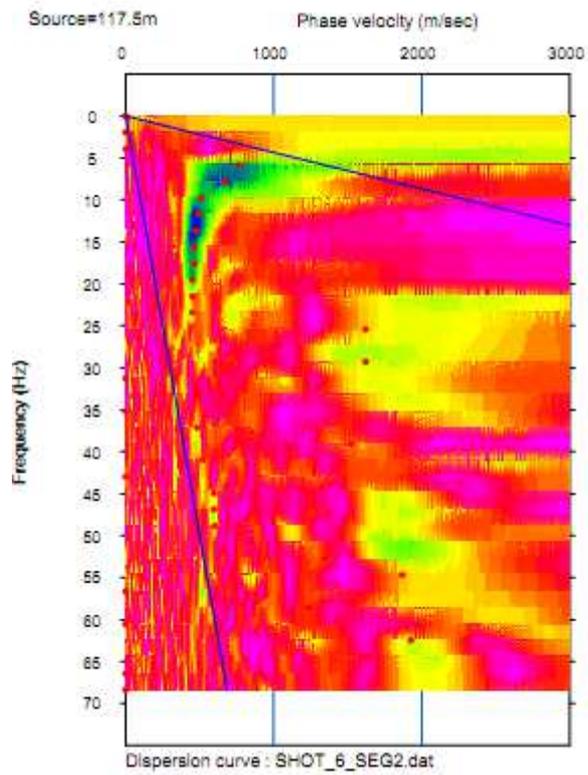
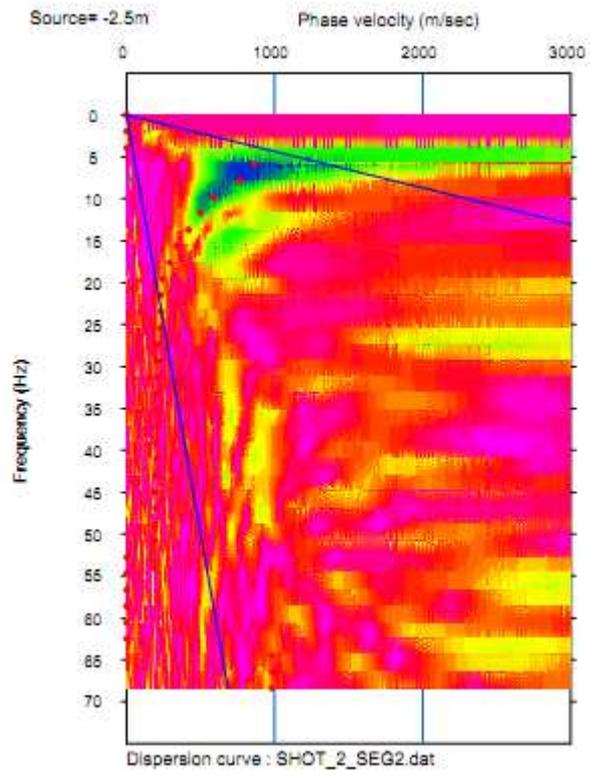
SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA – ONDE SH



Sismogramma MASW 6

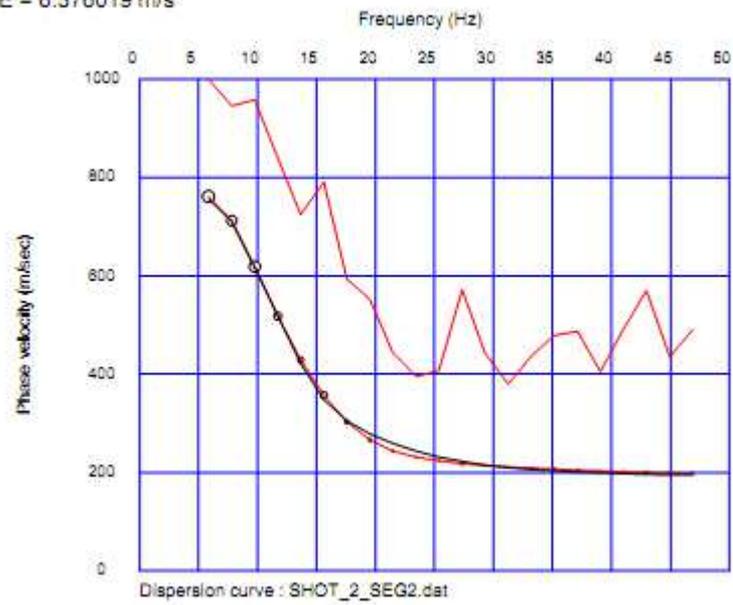


Curva Dispersione MASW 6

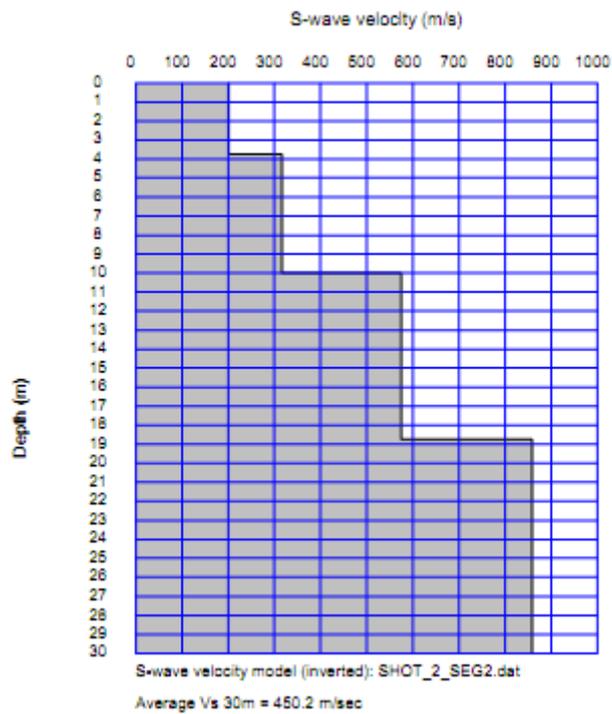


Curva Teorica e Sperimentale MASW 6

RMSE = 6.376019 m/s



Profilo Vs MASW 6



INDAGINE MASW_1 + ESAC_1

Geometria dello stendimento MASW_1

Numero Geofoni: 24

Intervallo (m): 2 m

Lunghezza Stendimento (m): 46 m

Coordinate Geofoni (WGS84 UTM33N)

Geofoni	Longitudine	Latitudine
G1		
G24		

Geometria dello stendimento ESAC_1

Geometria Stendimento: L

Numero Geofoni: 11

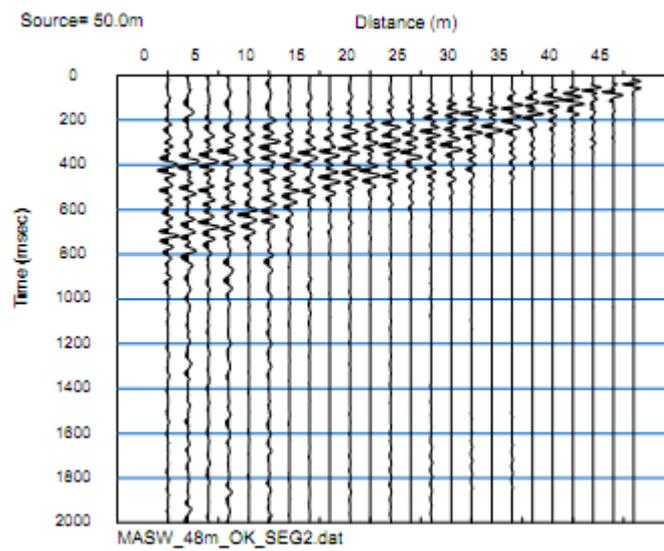
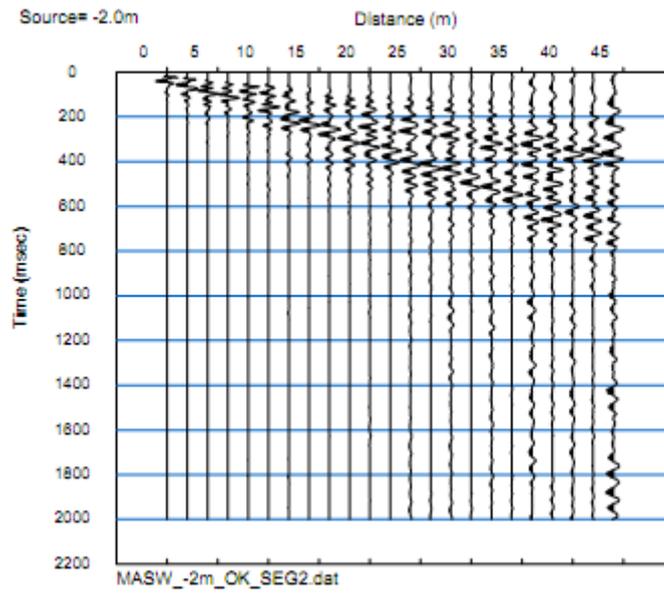
Intervallo (m): 2.5 m

Lunghezza Stendimento (m): 12.5 m

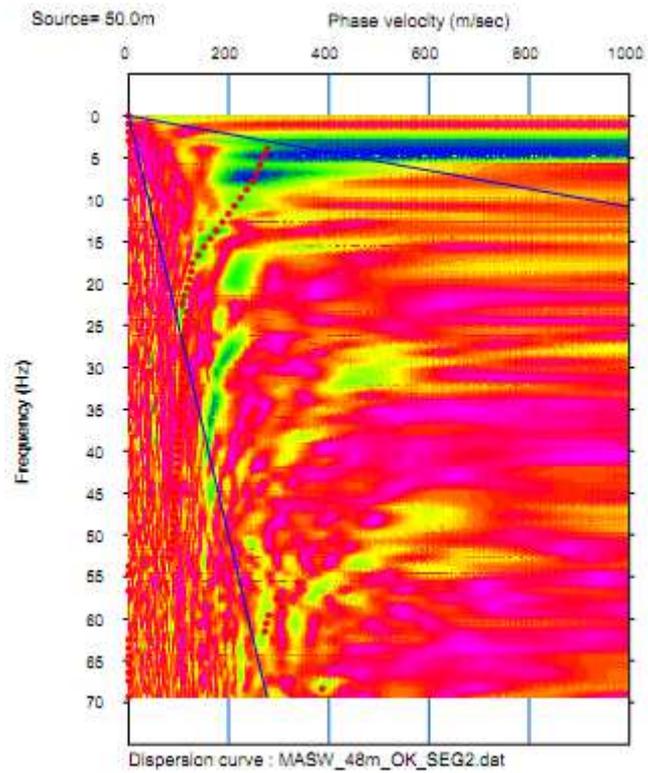
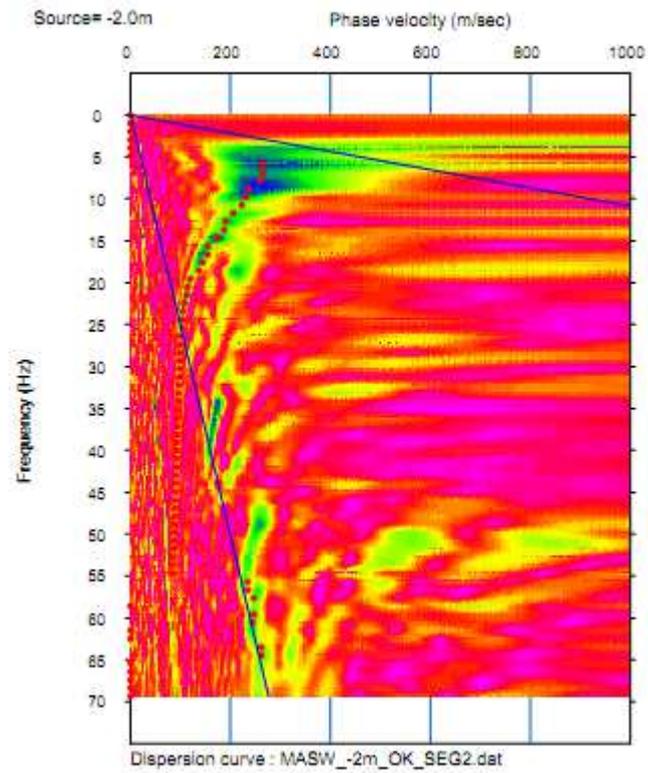
Coordinate (WGS84 UTM33N)

Longitudine	Latitudine

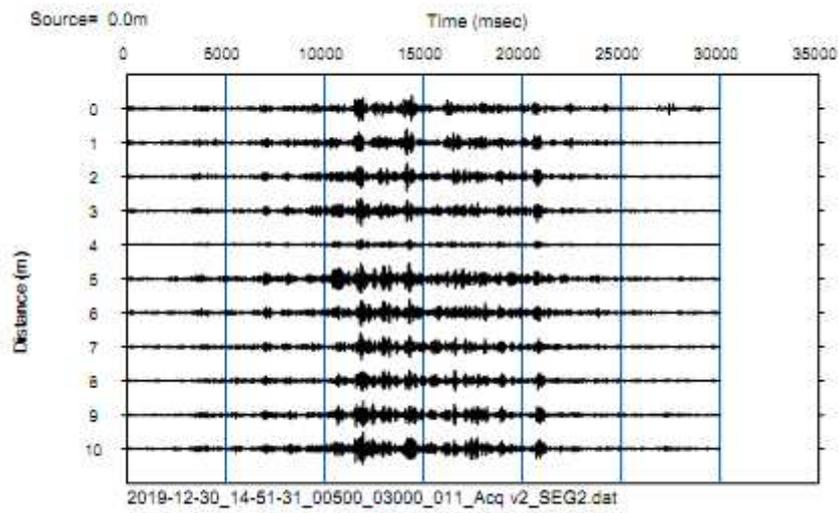
Sismogramma MASW 1



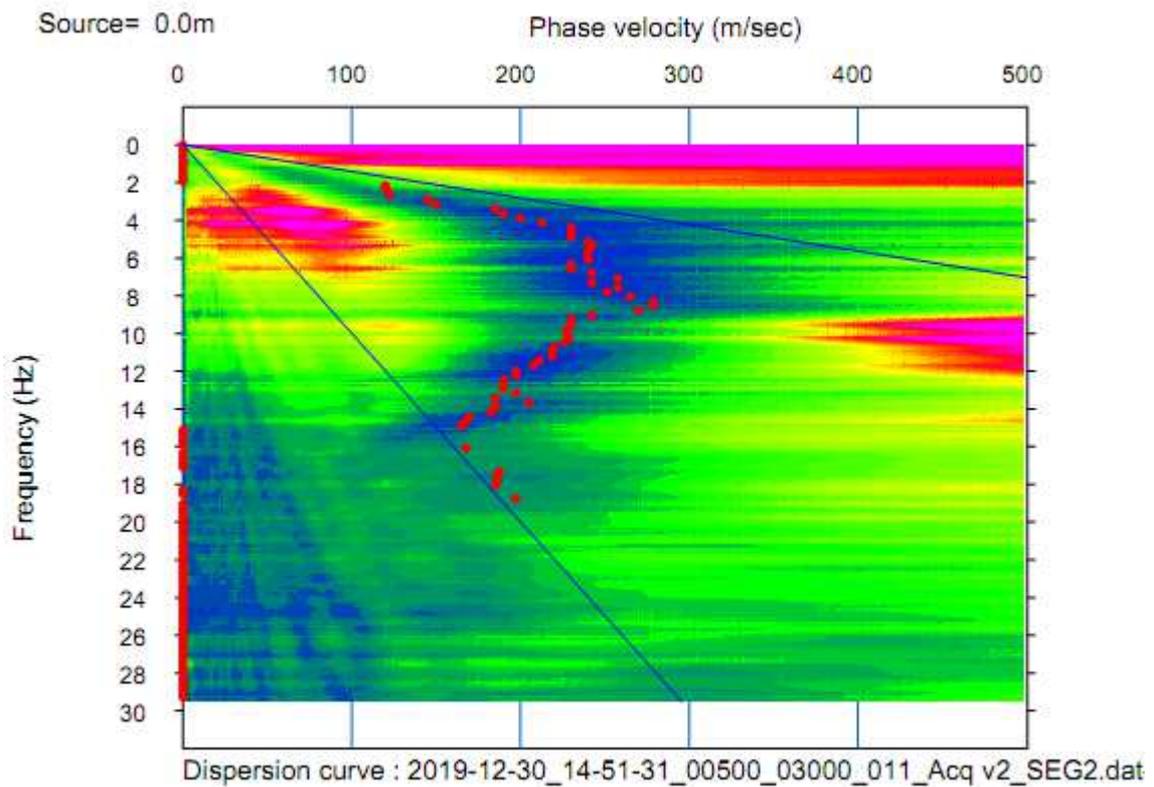
Curva Dispersione MASW 1



MAM 2D ESAC 1

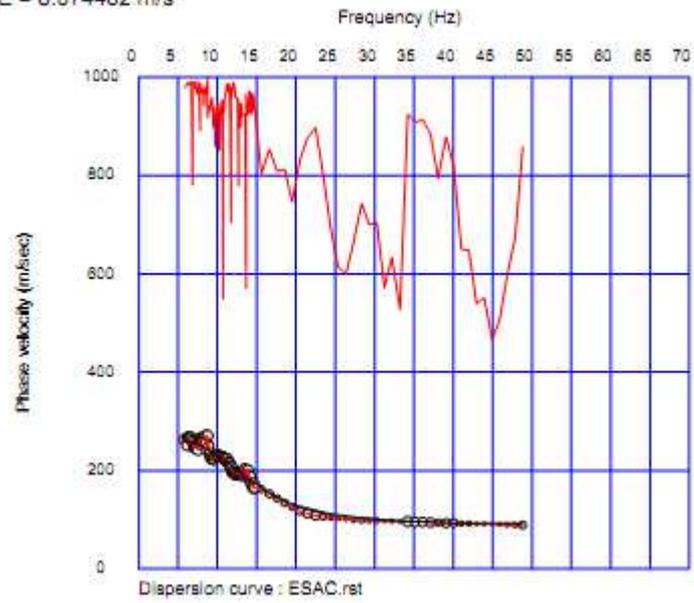


Curva Dispersione ESAC 1

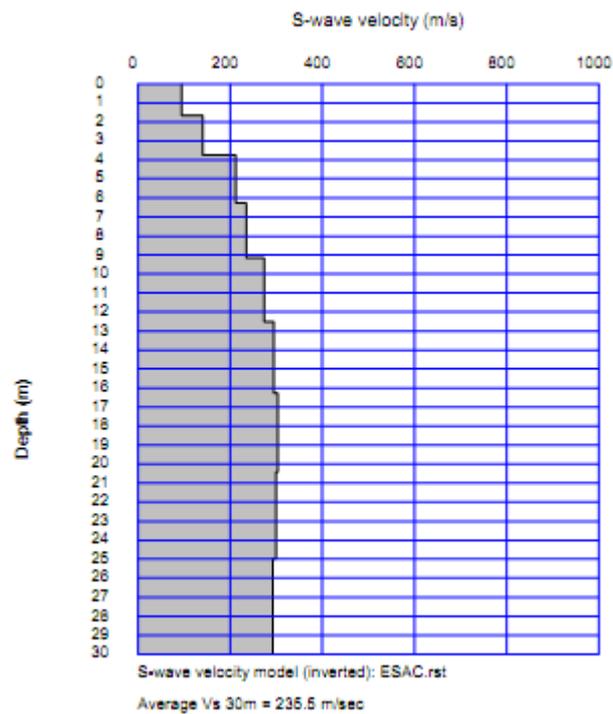


Curva Teorica e Sperimentale MASW 1 + ESAC 1

RMSE = 8.074462 m/s



Profilo Vs MASW 1 + ESAC 1



INDAGINE MASW_2 + ESAC_2

Geometria dello stendimento MASW_2

Numero Geofoni: 24

Intervallo (m): 2 m

Lunghezza Stendimento (m): 46 m

Coordinate Geofoni (WGS84 UTM33N)

Geofoni	Longitudine	Latitudine
G1		
G24		

Geometria dello stendimento ESAC_2

Geometria Stendimento: L

Numero Geofoni: 11

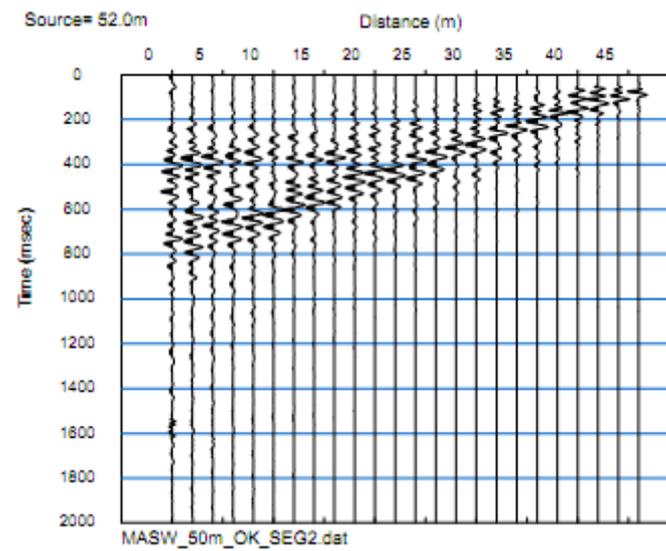
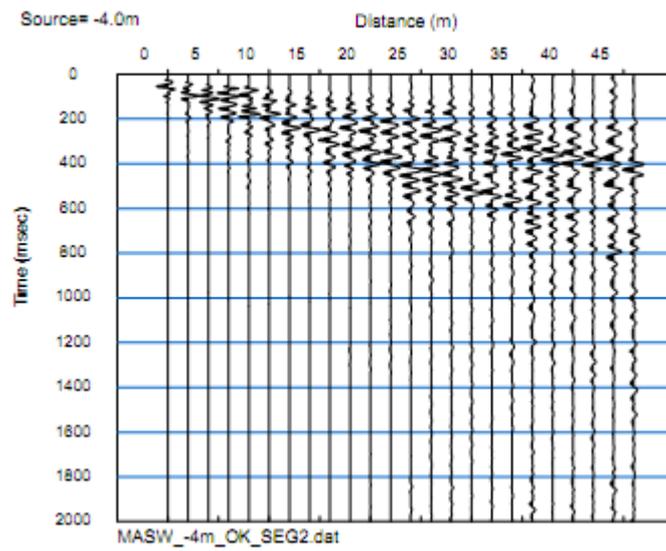
Intervallo (m): 2.5 m

Lunghezza Stendimento (m): 12.5 m

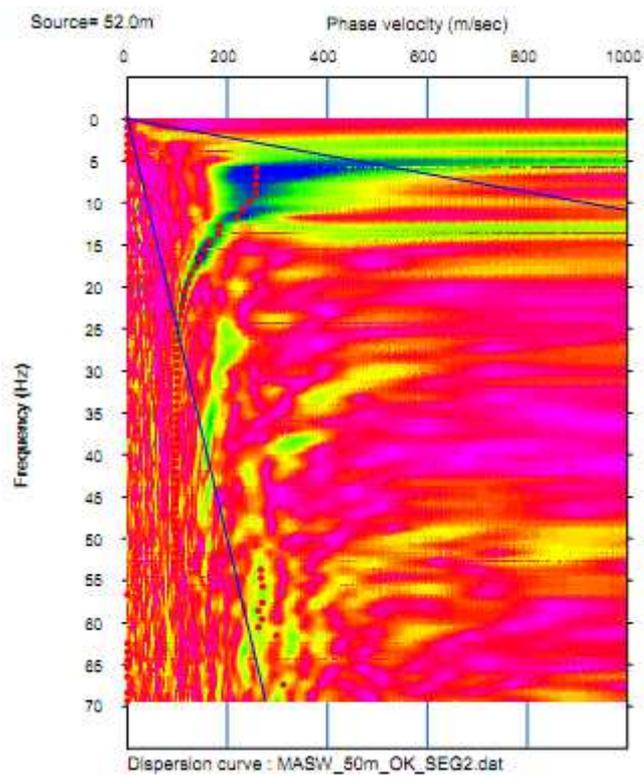
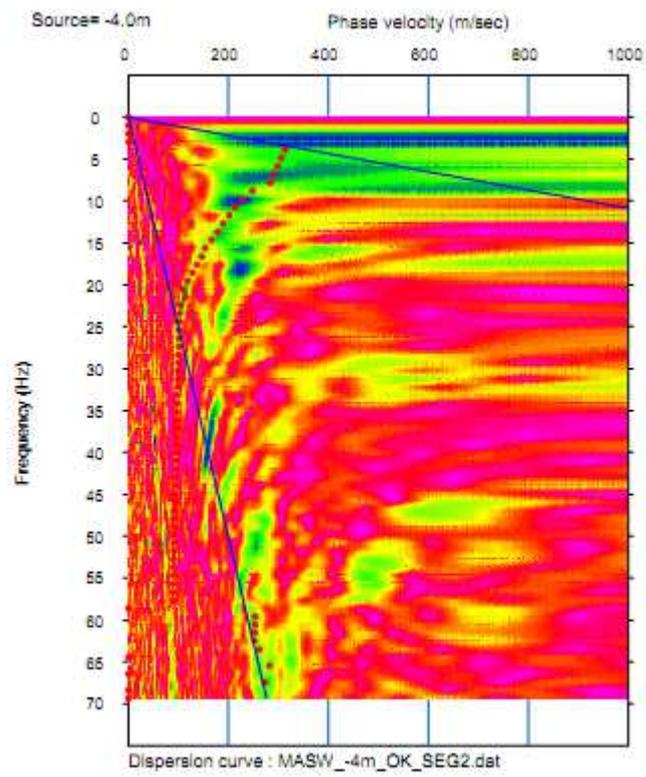
Coordinate (WGS84 UTM33N)

Longitudine	Latitudine

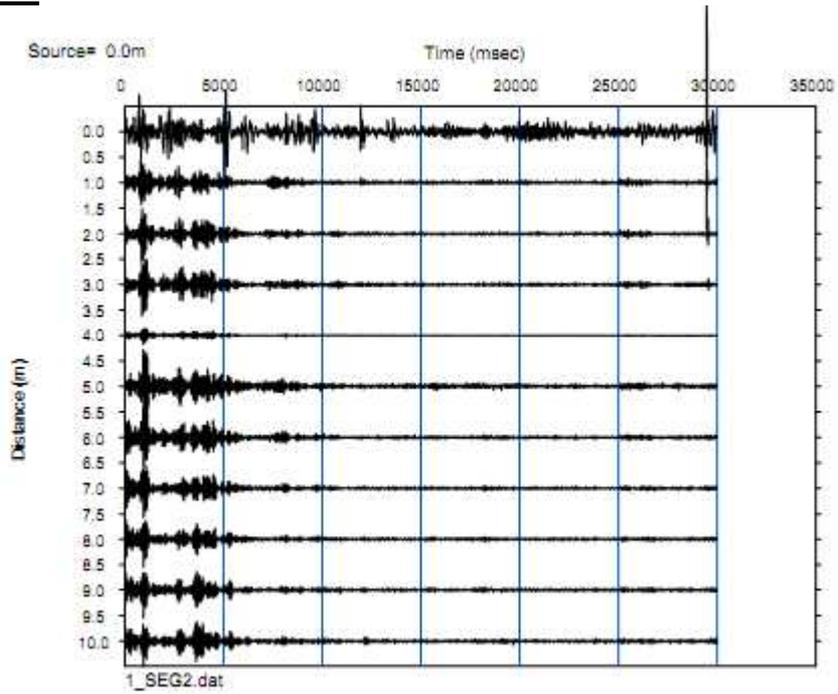
Sismogramma MASW 2



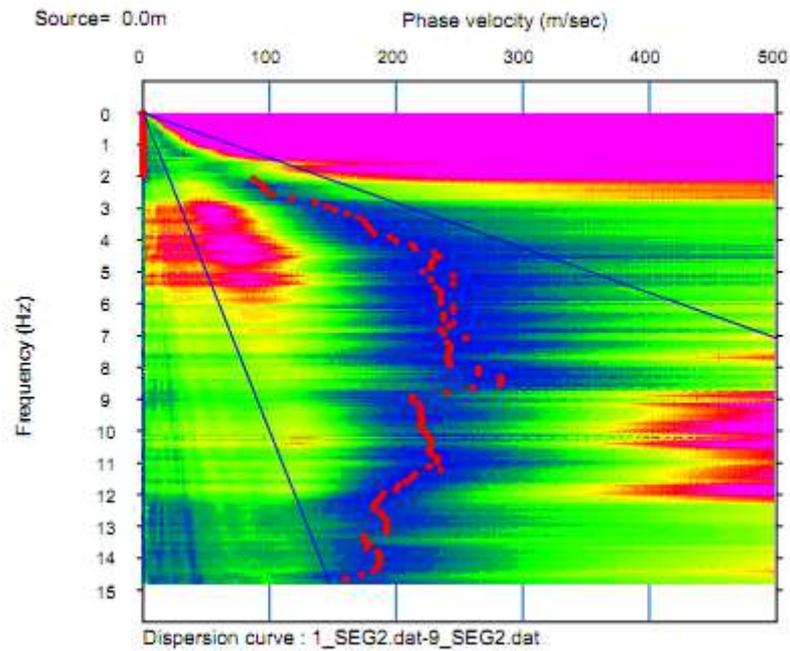
Curva Dispersione MASW 2



MAM 2D ESAC 2

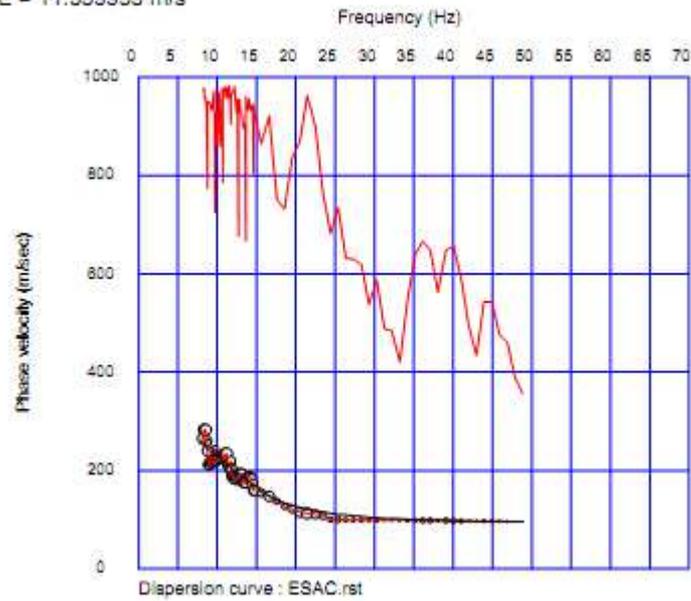


Curva Dispersion ESAC 2

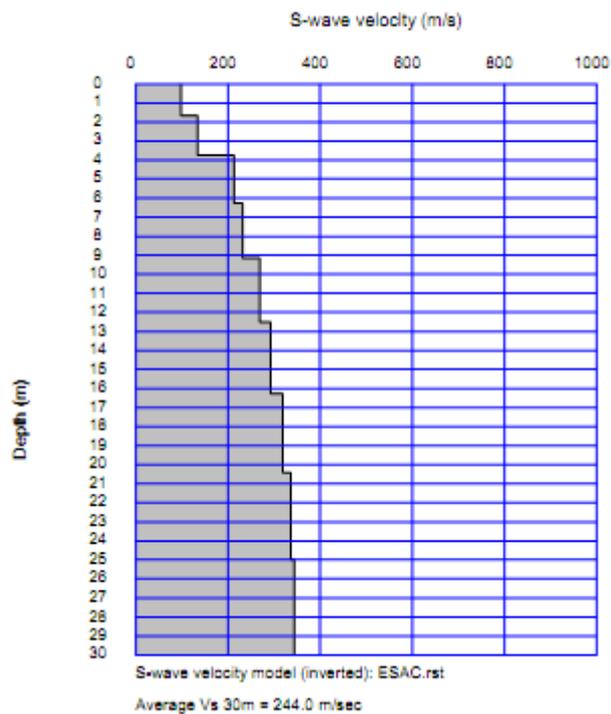


Curva Teorica e Sperimentale MASW 2 + ESAC 2

RMSE = 11.359953 m/s



Profilo Vs MASW 2 + ESAC 2



INDAGINE MASW_3 + ESAC_3

Geometria dello stendimento MASW_3

Numero Geofoni: 24

Intervallo (m): 2 m

Lunghezza Stendimento (m): 46 m

Coordinate Geofoni (WGS84 UTM33N)

Geofoni	Longitudine	Latitudine
G1		
G24		

Geometria dello stendimento ESAC_3

Geometria Stendimento: L

Numero Geofoni: 11

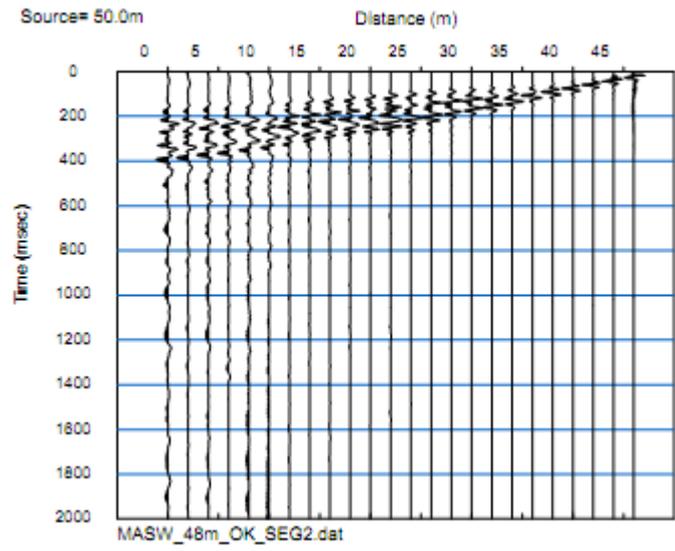
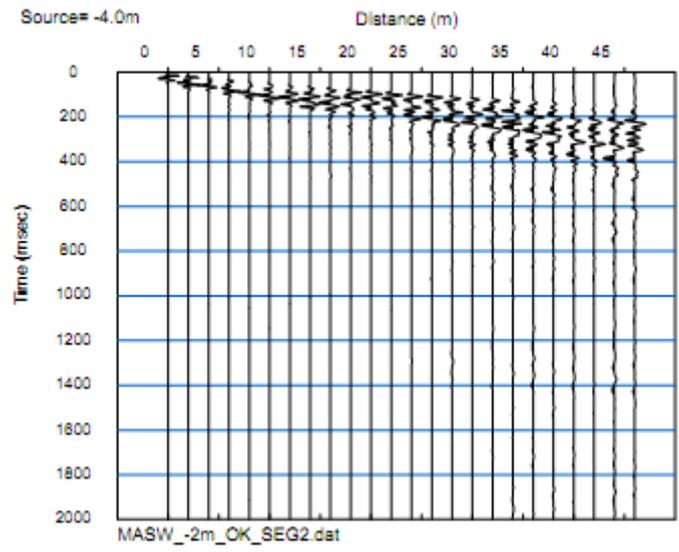
Intervallo (m): 3 m

Lunghezza Stendimento (m): 15 m

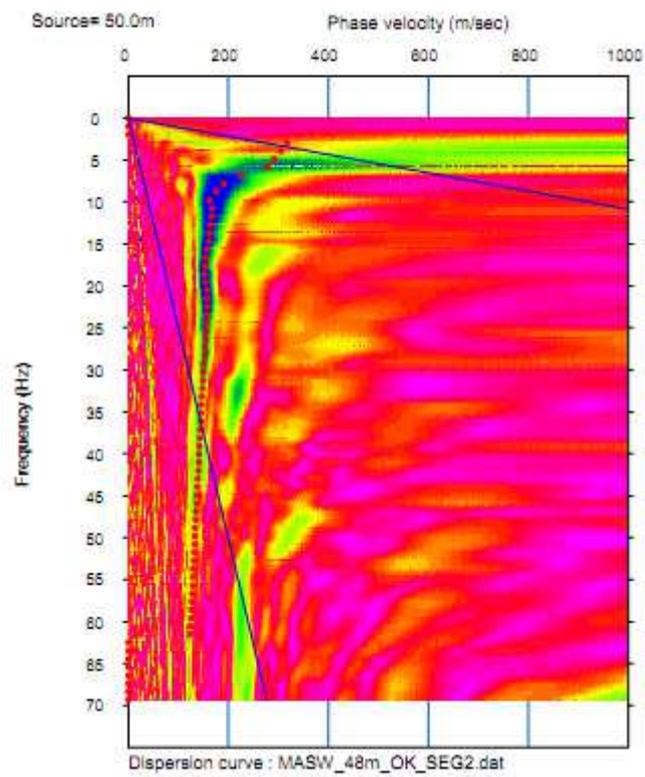
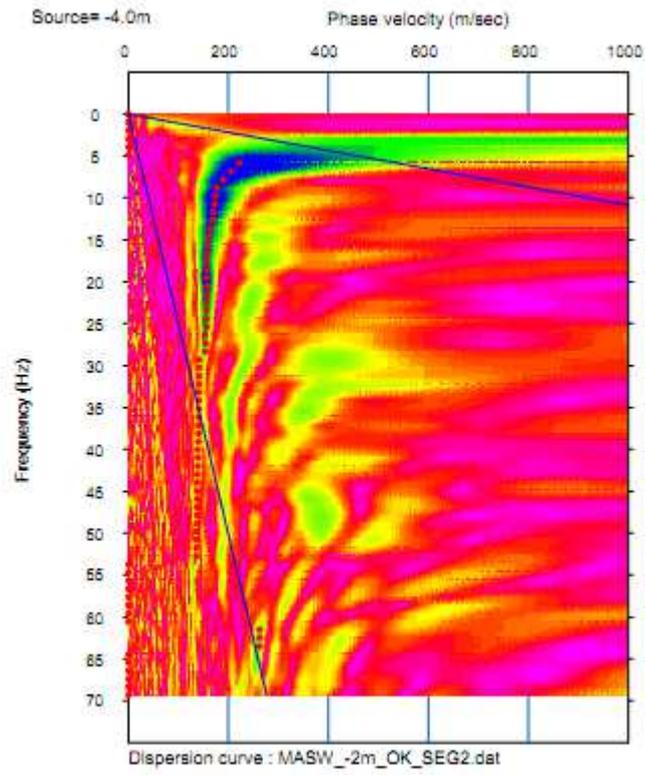
Coordinate (WGS84 UTM33N)

Longitudine	Latitudine

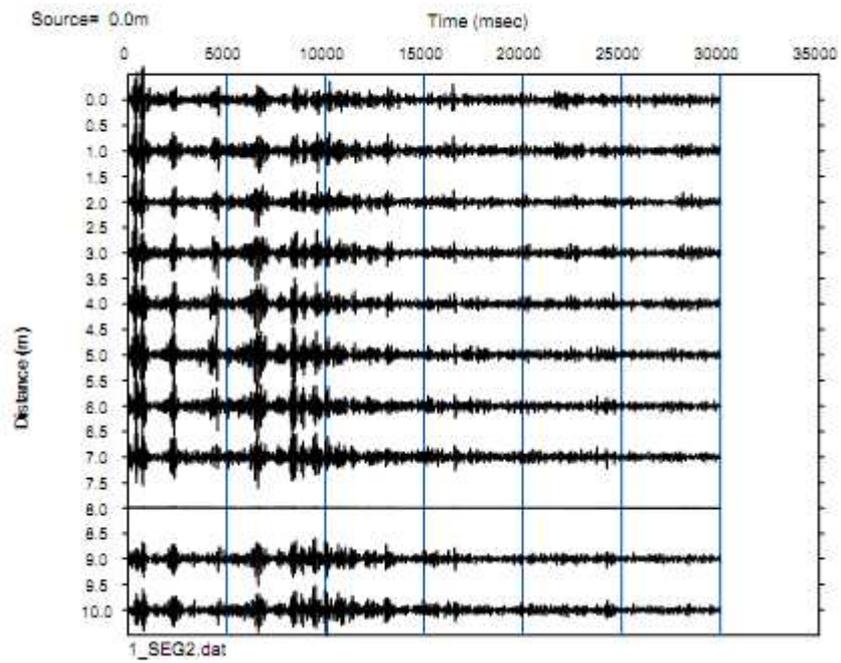
Sismogramma MASW 3



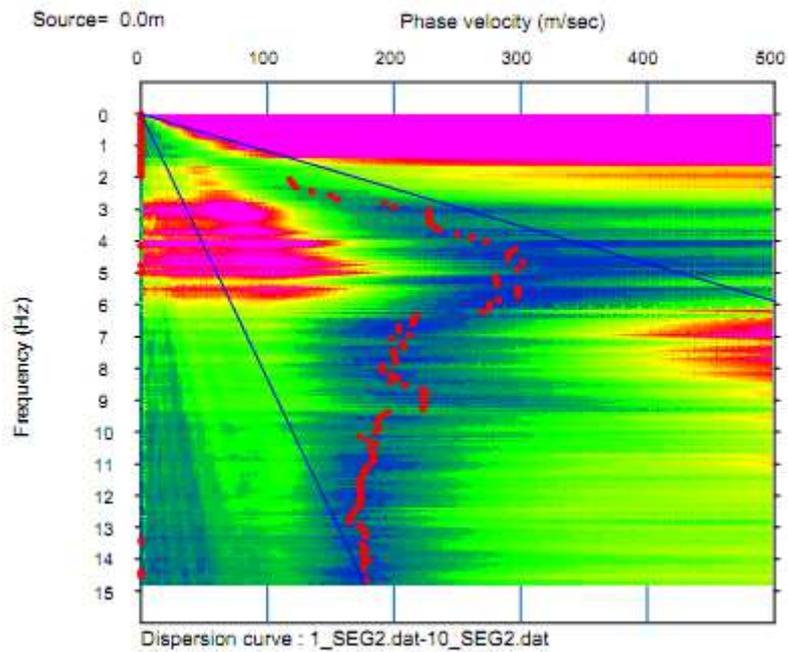
Curva Dispersione MASW 3



MAM 2D ESAC 3

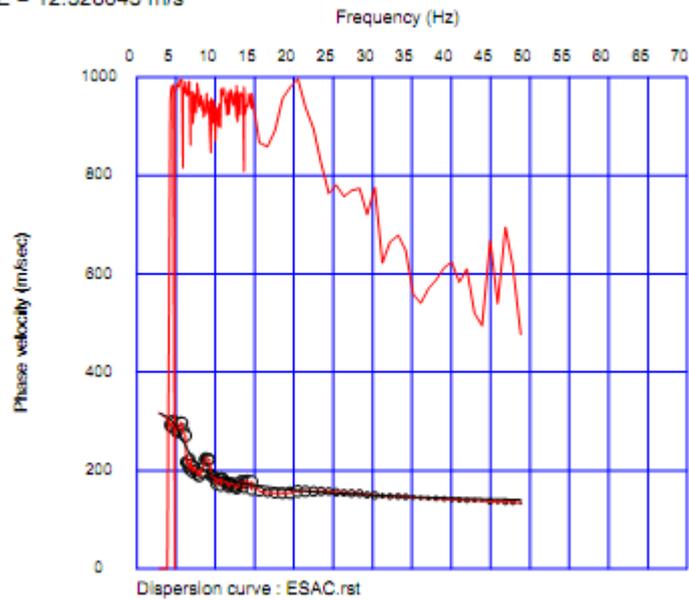


Curva Dispersion ESAC 3

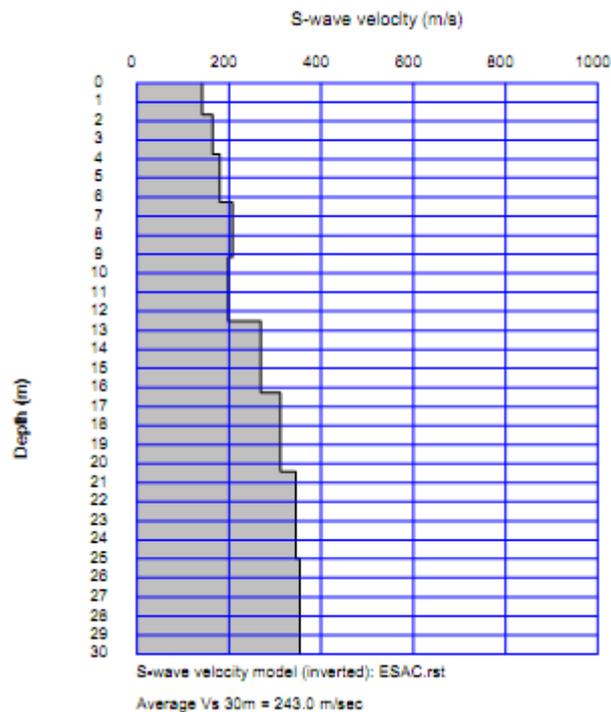


Curva Teorica e Sperimentale MASW 3 + ESAC 3

RMSE = 12.326043 m/s



Profilo Vs MASW 3 + ESAC 3



INDAGINE MASW_4 + ESAC_4

Geometria dello stendimento MASW_3

Numero Geofoni: 24

Intervallo (m): 2 m

Lunghezza Stendimento (m): 46 m

Coordinate Geofoni (WGS84 UTM33N)

Geofoni	Longitudine	Latitudine
G1		
G24		

Geometria dello stendimento ESAC_3

Geometria Stendimento: L

Numero Geofoni: 11

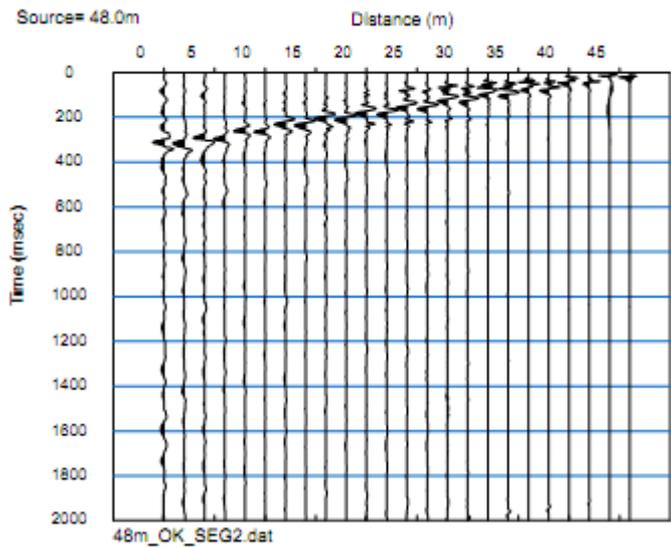
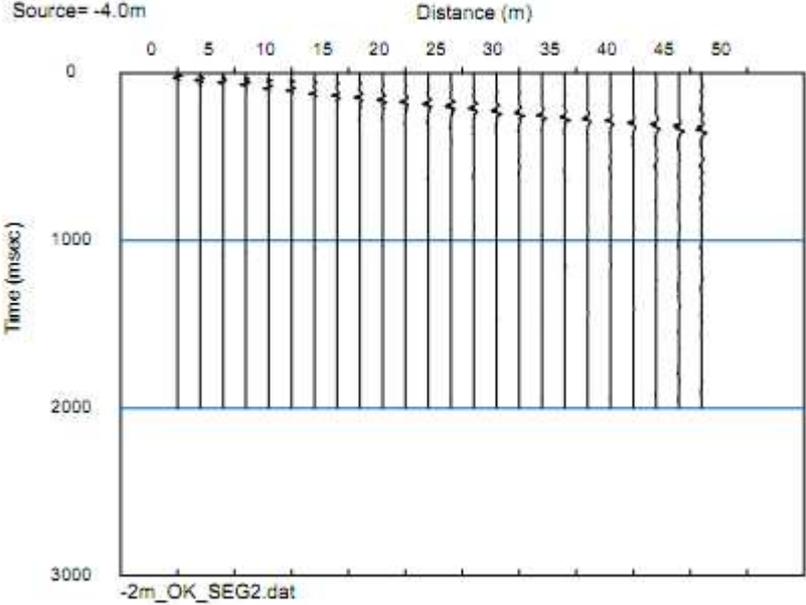
Intervallo (m): 4 m

Lunghezza Stendimento (m): 20 m

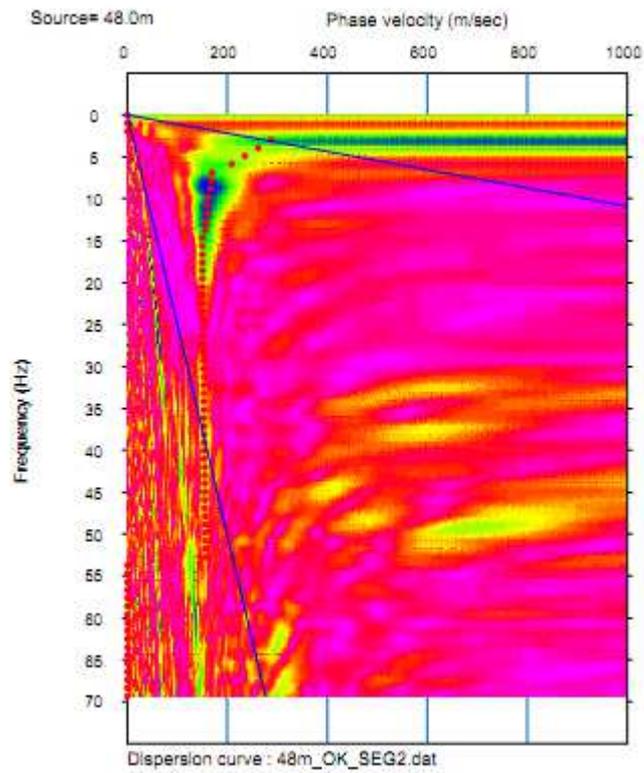
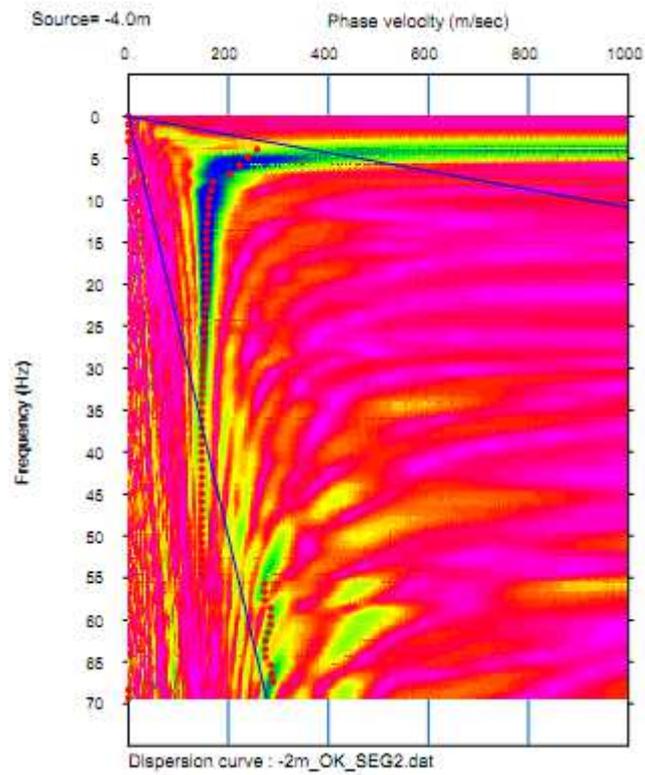
Coordinate (WGS84 UTM33N)

Longitudine	Latitudine

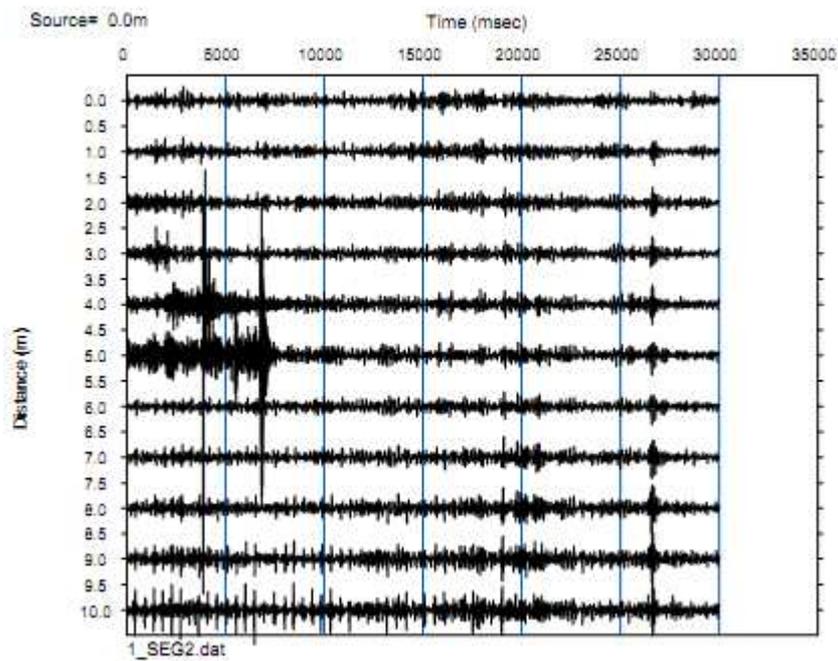
Sismogramma MASW 4



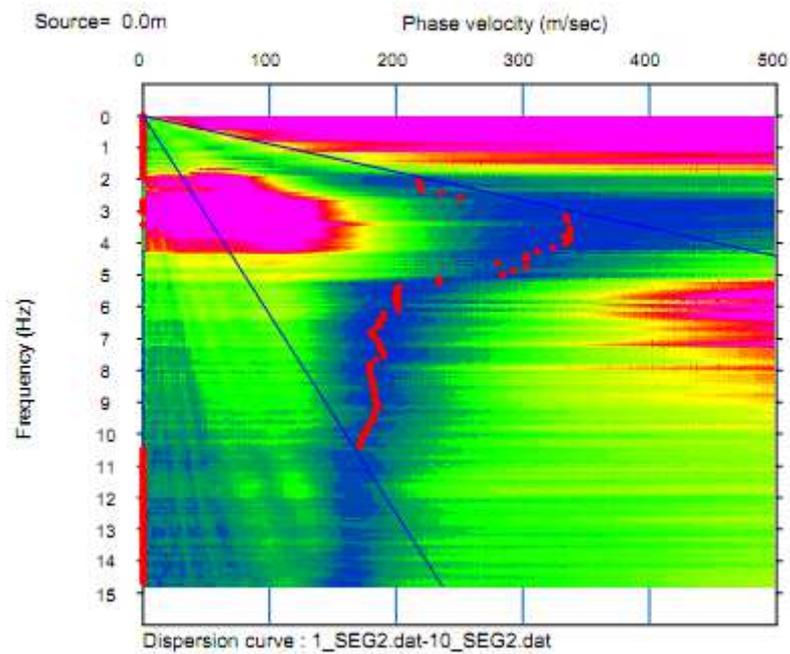
Curva Dispersione MASW 4



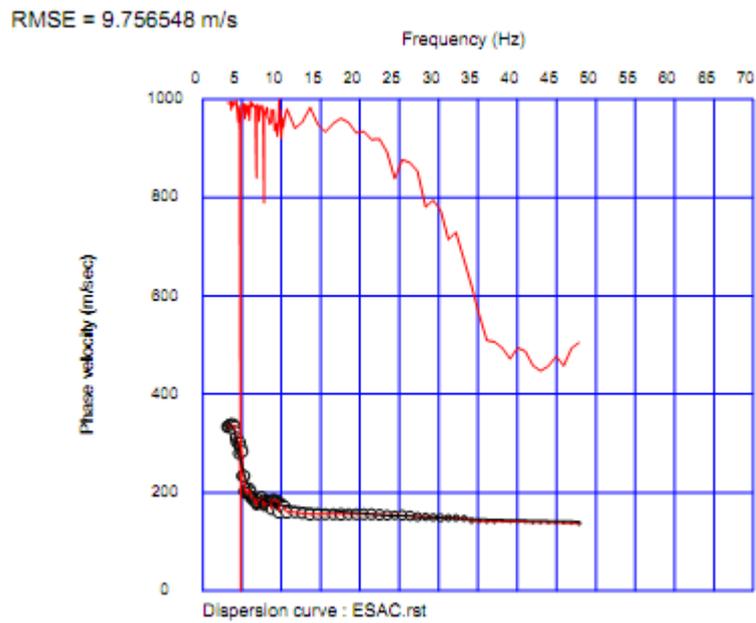
MAM 2D ESAC 4



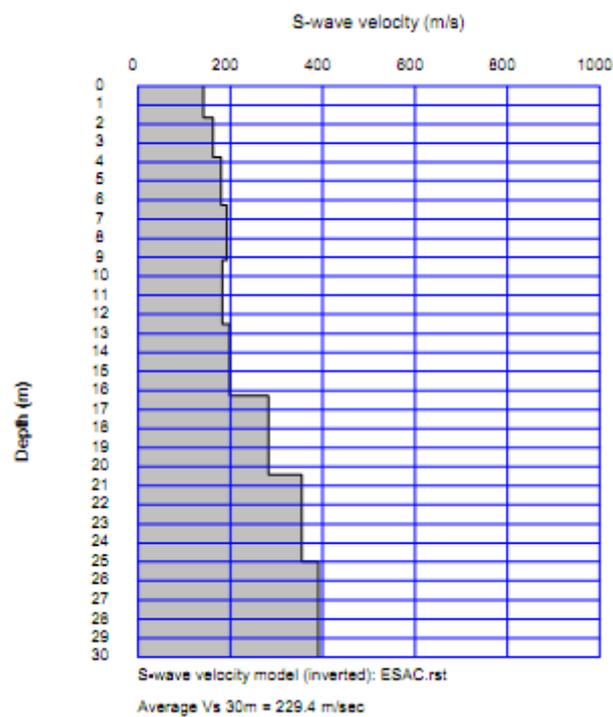
Curva Dispersion ESAC 4



Curva Teorica e Sperimentale MASW 4 + ESAC 4



Profilo Vs MASW 4 + ESAC 4



INDAGINE MASW_5 + ESAC_5

Geometria dello stendimento MASW_3

Numero Geofoni: 24

Intervallo (m): 2 m

Lunghezza Stendimento (m): 46 m

Coordinate Geofoni (WGS84 UTM33N)

Geofoni	Longitudine	Latitudine
G1		
G24		

Geometria dello stendimento ESAC_3

Geometria Stendimento: L

Numero Geofoni: 11

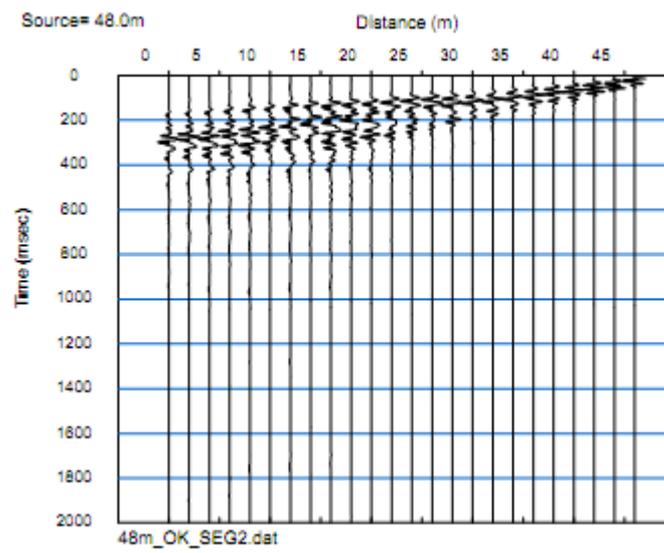
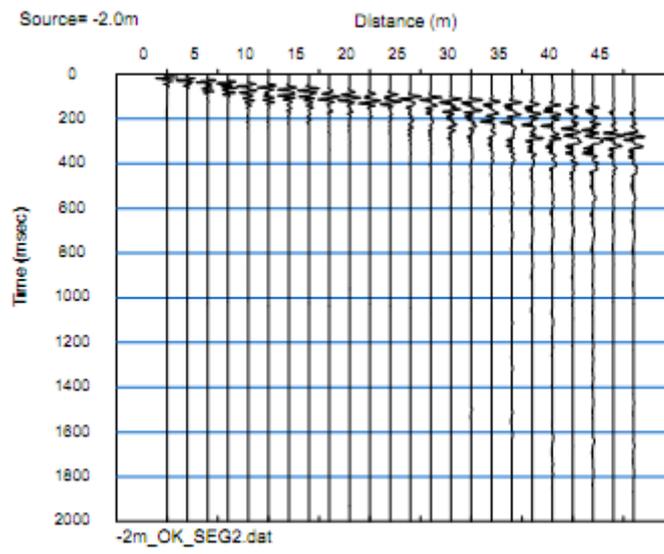
Intervallo (m): 4 m

Lunghezza Stendimento (m): 20 m

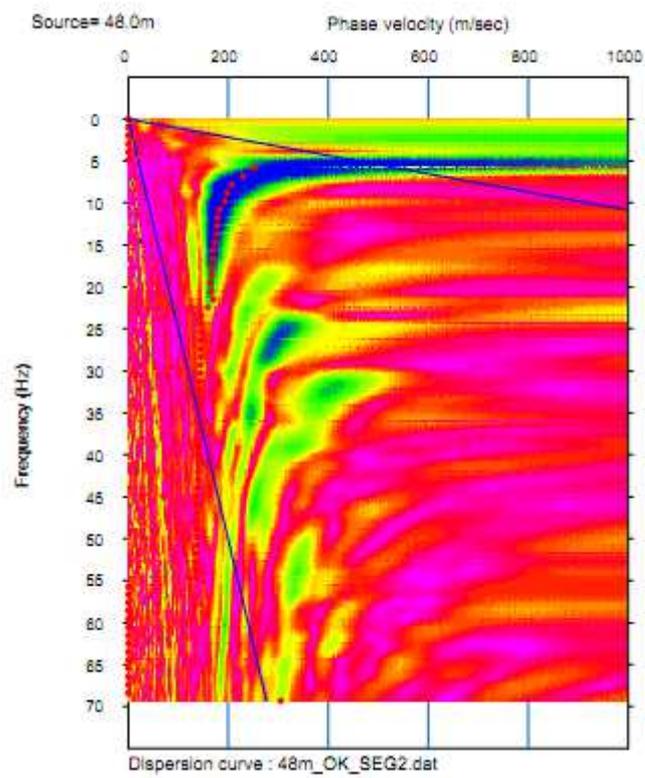
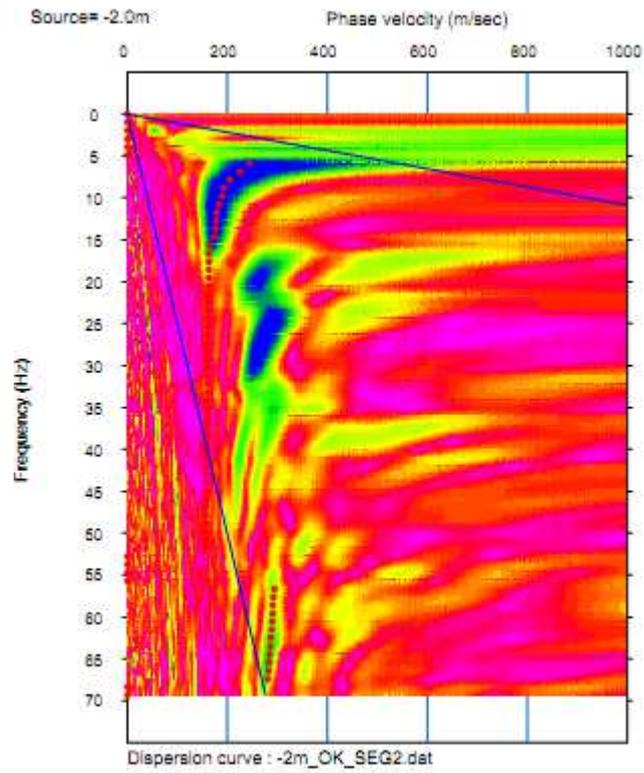
Coordinate (WGS84 UTM33N)

Longitudine	Latitudine

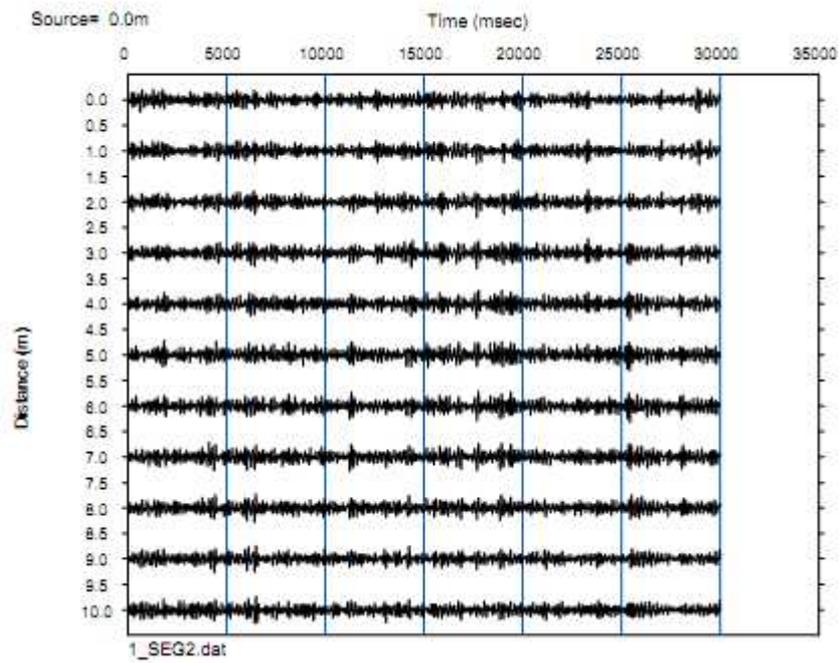
Sismogramma MASW 5



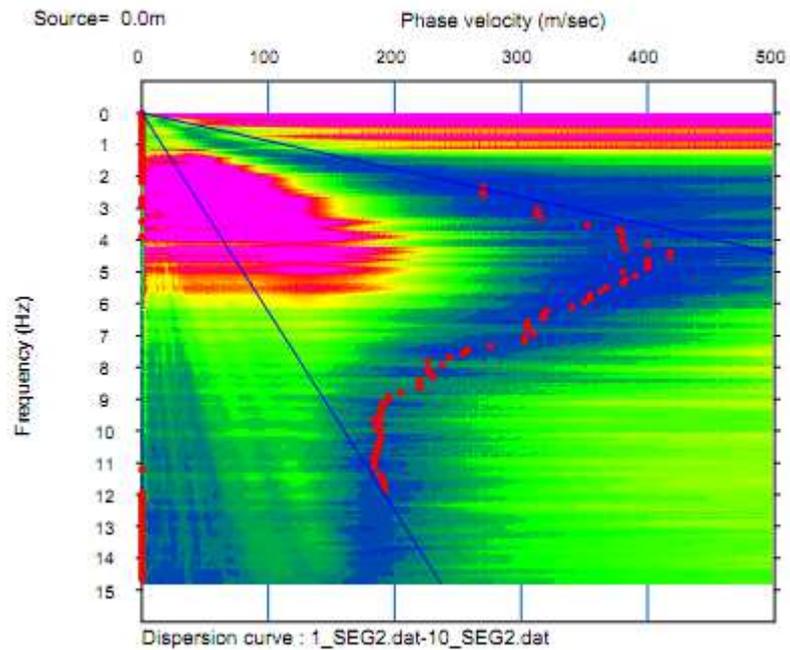
Curva Dispersione MASW 5



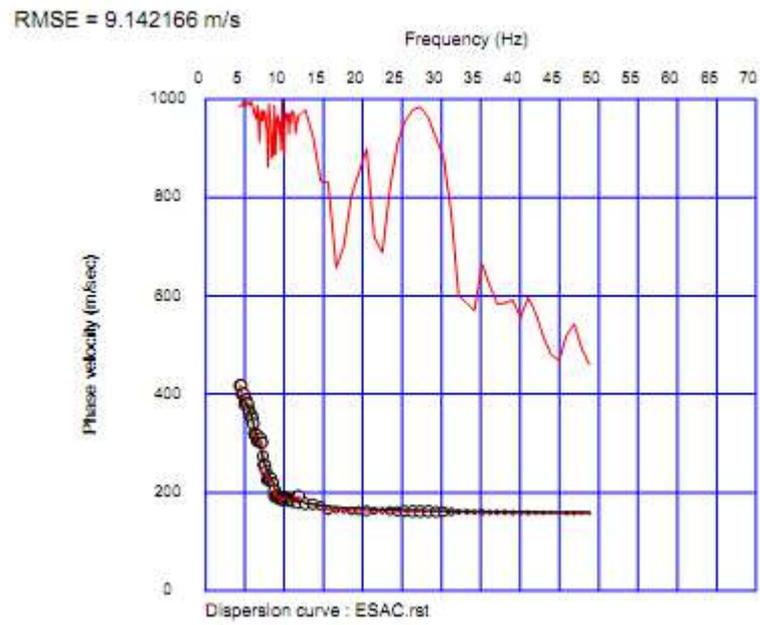
MAM 2D ESAC 5



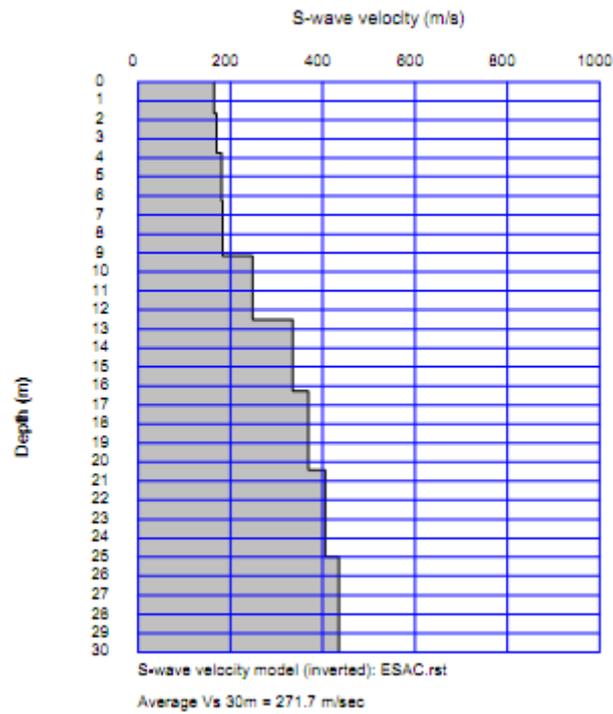
Curva Dispersion ESAC 5



Curva Teorica e Sperimentale MASW 5 + ESAC 5



Profilo Vs MASW 5 + ESAC 5



- **ALLEGATO GRAFICO: UBICAZIONE DELLE INDAGINI CAPRAIA (Scala 1:5000) - LIMITE 1 –
LIMITE 2 (Scala 1:8000)**

