

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

MICROZONAZIONE SISMICA

RELAZIONE DELLE INDAGINI GEOFISICHE

Regione Toscana

Comune di Montelupo Fiorentino (FI)



Regione	Soggetto realizzatore:	Data
Regione Toscana – Settore Sismica	Unione dei Comuni Circondario Empolese Valdelsa Per comune di Montelupo Fiorentino RUP Dott.sa Monica Salvadori Professionisti incaricati: Dott. Geol. Francesco Puccetti Dott. Geol. Cristian Pieroni Coordinamento: Geo Eco Progetti Geoprogetti	Luglio 2022

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 GEOFISICHE

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 Montelupo Fiorentino (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 Montelupo Fiorentino 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. 4 indagini sismiche attive P/SH, per la determinazione dei profili sismostratigrafici;

n. 8 indagini sismiche attive congiunte MASW-ESAC (Multichannel Analysis of Surface Waves), per la determinazione dei profili di velocità Vs nel sottosuolo;

n. 42 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).

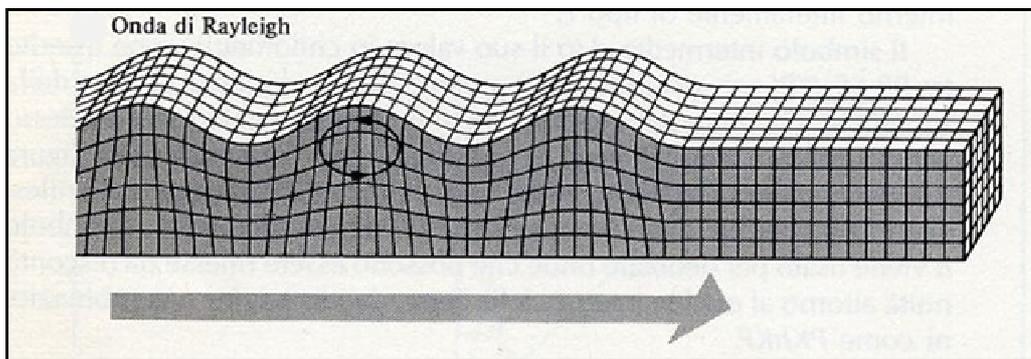


Fig. 1 - Schema di propagazione delle Onde di Rayleigh (fonte immagine www.ingv.it)

- 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.

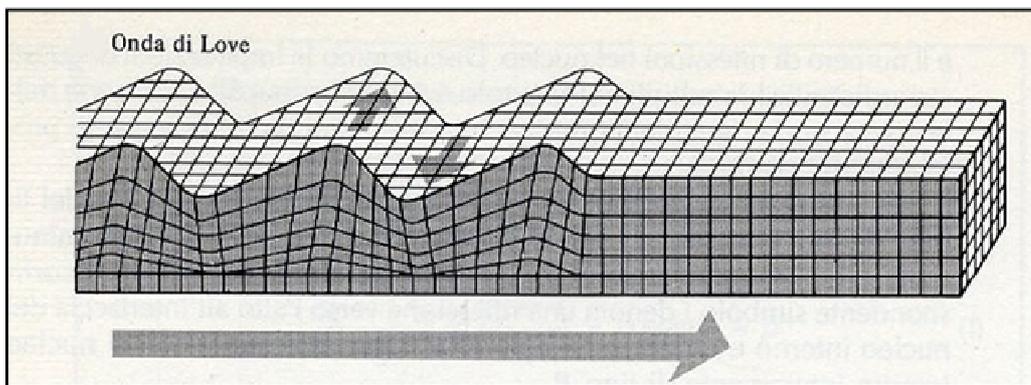


Fig. 2 - Schema di propagazione delle onde di Love (fonte immagine www.ingv.it)

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).

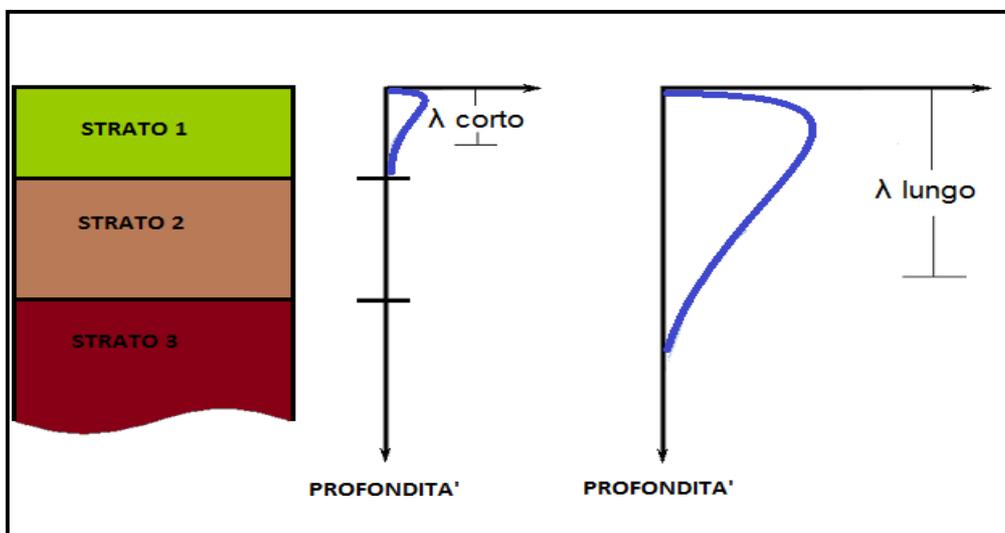


Fig. 3 - Corrispondenza tra lunghezza d'onda e profondità investigata

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).

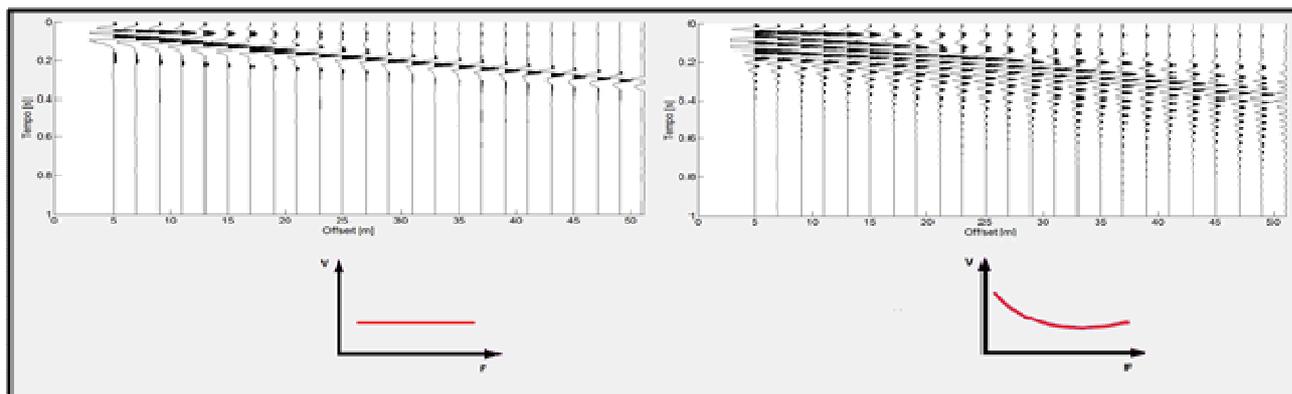


Fig. 4 - A sinistra, sismogramma risultante su terreno non dispersivo con sotto relativo andamento della curva di dispersione. A destra, sismogramma risultante su terreno dispersivo con sotto relativo andamento della curva di dispersione.

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 Vs 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 Vs 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).

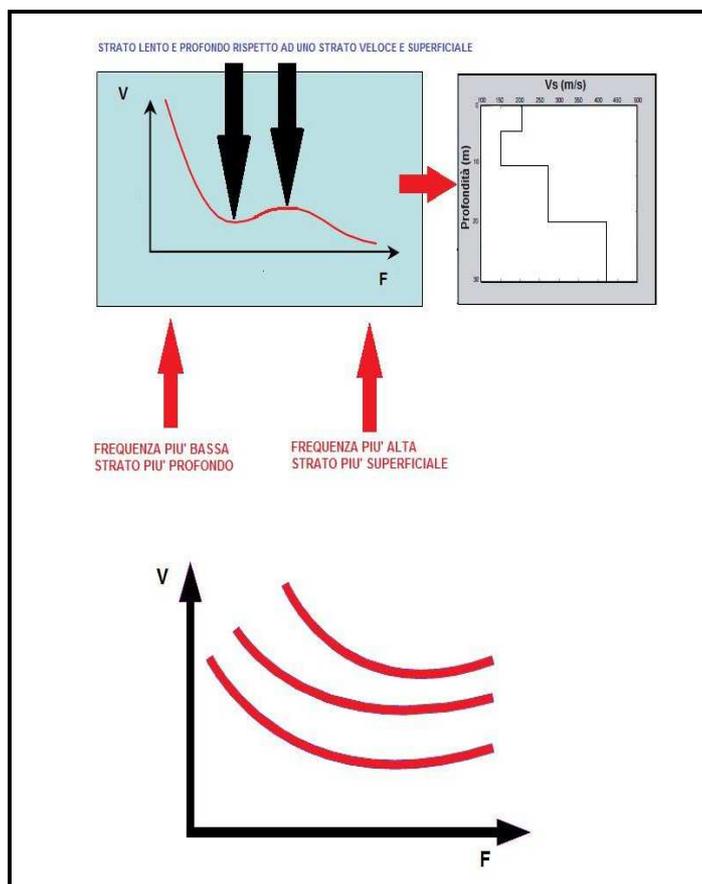


Fig. 5 - In alto, curva di dispersione con la presenza di inversione di velocità. In basso, andamento tipico della curva di dispersione (Modo Fondamentale e Modi Superiori); all'aumentare della frequenza diminuisce la velocità.

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 rifrattore (distanza intergeofonica), per cui la sua determinazione permette di ottenere una precisa stima della velocità delle onde sismiche sul rifrattore 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 VS 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.

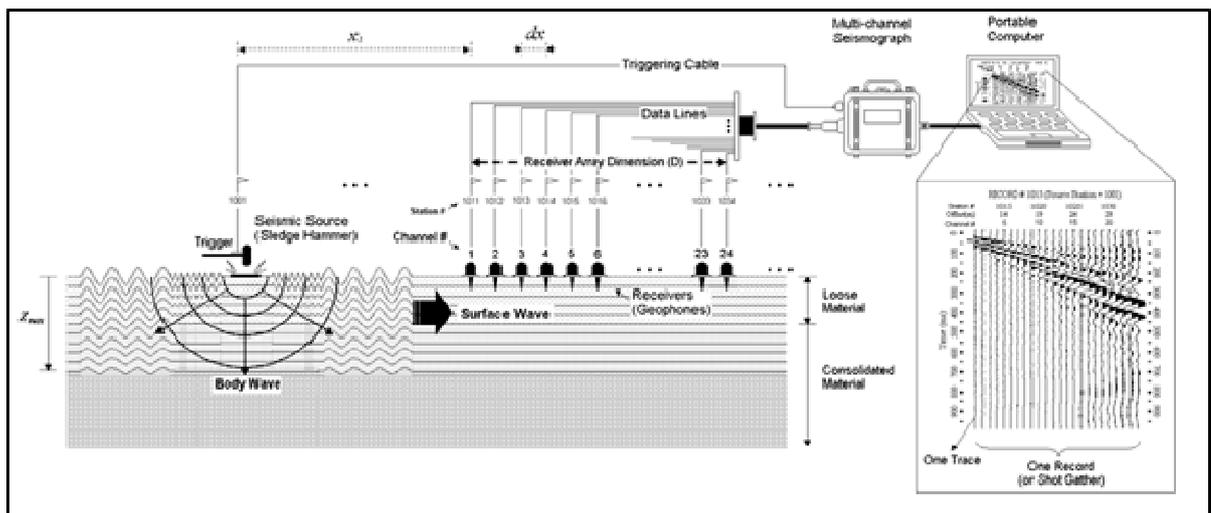


Fig. 6 - Schema di acquisizione delle Onde Superficiali (Fonte immagine www.kgs.ku.edu).

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.

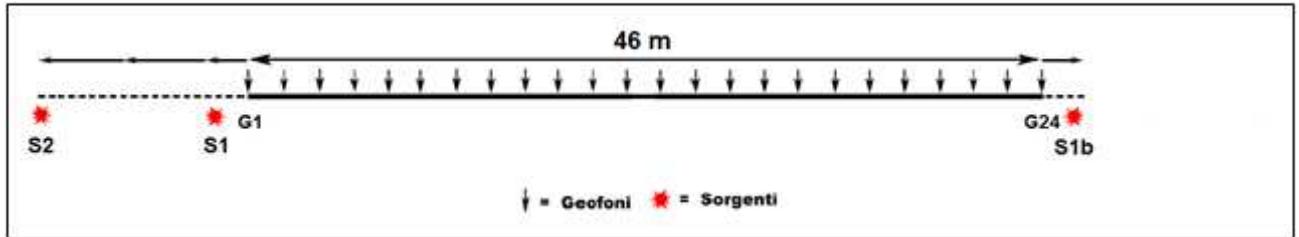


Fig. 7 - Geometria di acquisizione massima per le onde superficiali utilizzando 24 geofoni e $dx=2$.

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 dispersioni 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.

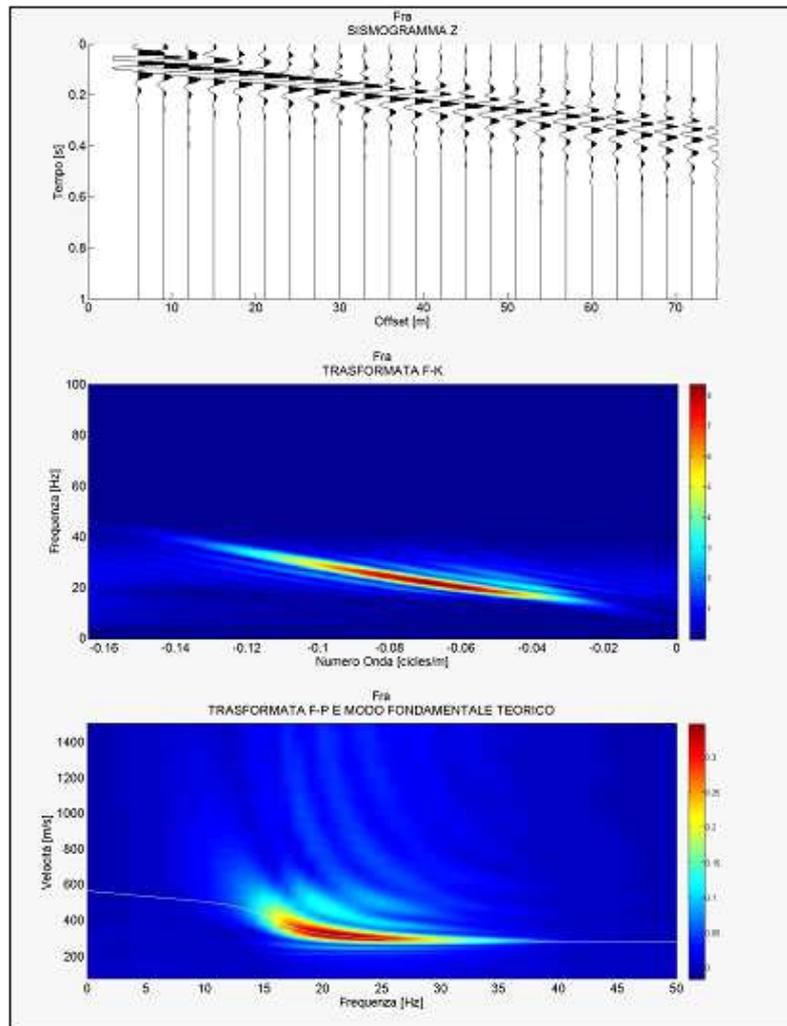


Fig. 8 - Semplice modello preso dalla letteratura composto da due strati a velocità crescente ($V_p = 650$ e 1400 m/sVs = 300 e 600 m/s spessore h fino al semispazio di 8 m). Dall'alto al basso si può vedere il sismogramma sintetico (componente verticale), lo spettro f-k e lo spettro f-v (con modo fondamentale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

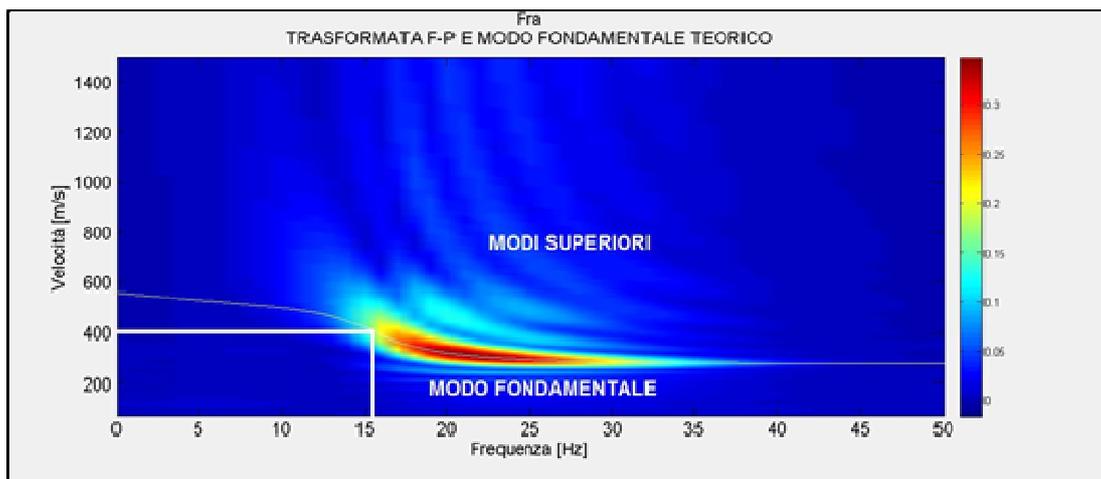


Fig. 9 - Calcolato lo spettro f-v per determinare in maniera approssimata la profondità massima raggiunta dalla prova si prendono le coordinate f-v dell'ultimo punto chiaramente visibile del modo fondamentale e si esegue la seguente formula: $Z = v / 2f$. In questo caso $v = 400$ m/s, $f = 15.5$ Hz quindi $Z = 400 / 31 = 12.9$ 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, dove possibile, è stata di **24 geofoni** intervallati da una distanza di **2 m** (Lunghezza stendimento pari quindi a **46 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

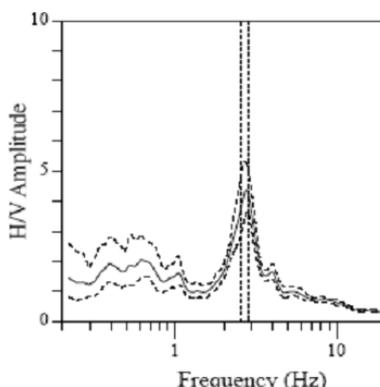
Quindi se la curva H/V per un dato sito soddisfa almeno 5 di queste 6 condizioni, il valore di f_0 è da considerarsi rappresentativo della frequenza fondamentale; se l'ampiezza di picco A_0 è

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_o	Frequency statistics from individual windows			
			f_0 [Hz]	σ_f [Hz]	A_0	$\sigma_{A_0}(f_0)$
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.

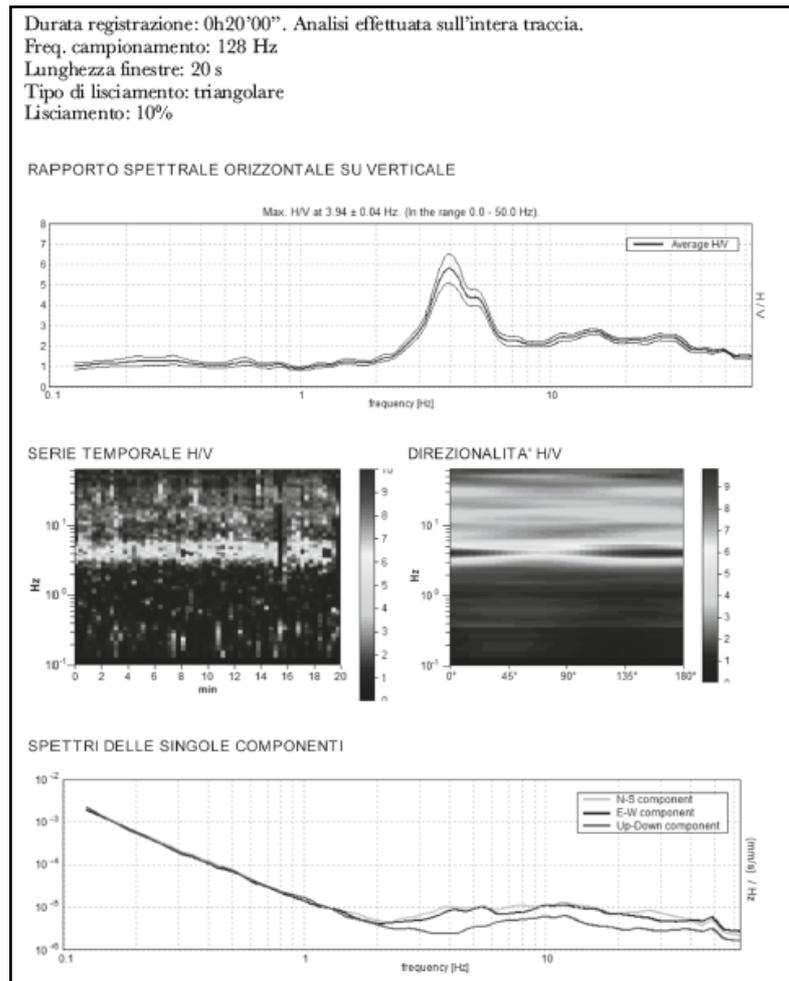
Questo deriva dal fatto che, nonostante la natura stocastica del fenomeno, in presenza di un campo d'onda diffuso, ovvero caratterizzato da sorgenti posizionate in maniera statisticamente omogenea attorno al sito di misura che si attivano in maniera non coordinata, l'andamento medio del segnale risulterà 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 3.9 ± 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	
$\sigma_A(f_0) < 0.7f_0$	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 di campagna 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: ELABORAZIONI INDAGINI SISMICA A RIFRAZIONE P/SH – MASW/ESAC
- ALLEGATO GRAFICO: UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOFISICHE

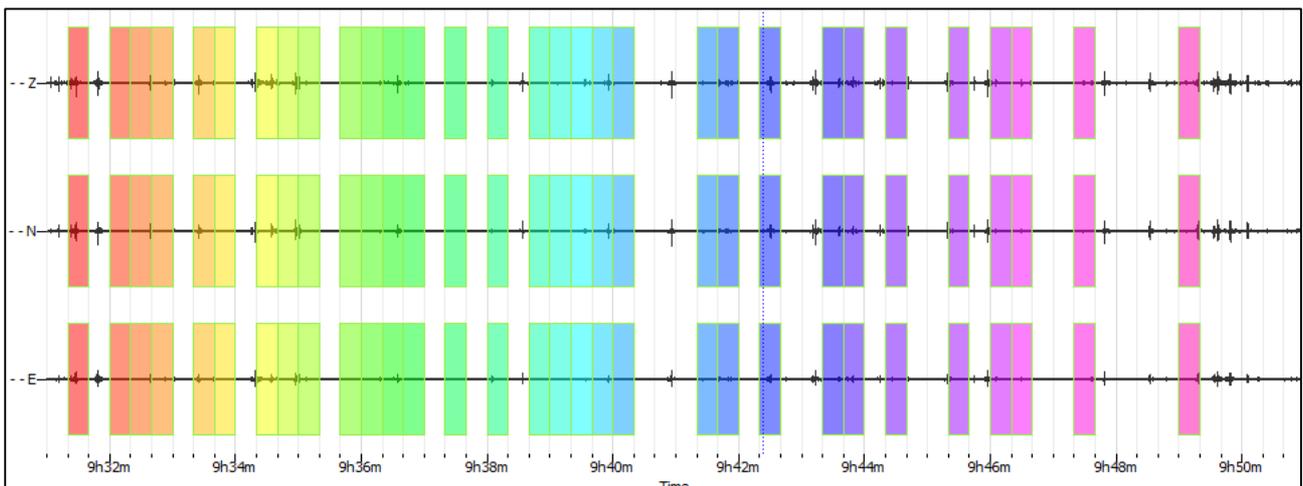
- **ALLEGATO GRAFICO: ACQUISIZIONI MICROTREMORI – RAPPORTO SPETTRALE H/V – SPETTRO DELLE SINGOLE COMPONENTI – CRITERI DI AFFIDABILITÀ SESAME – CLASSIFICAZIONE PROPOSTA DA ALBARELLO ET ALII**

Stazione	1
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Maggio 2022
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	31 (48% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

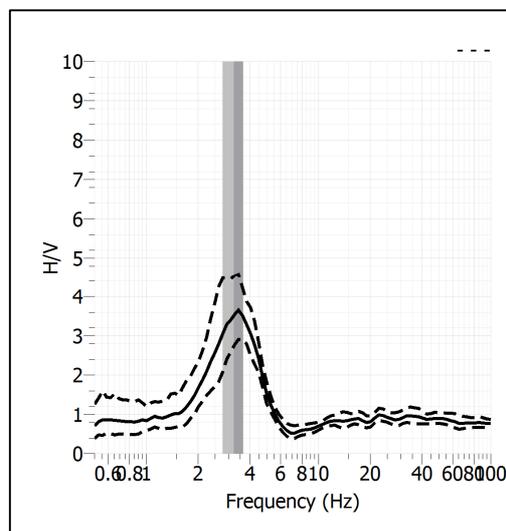


Frequenza del picco H/V	3.21 Hz
Ampiezza Media della frequenza	3.52

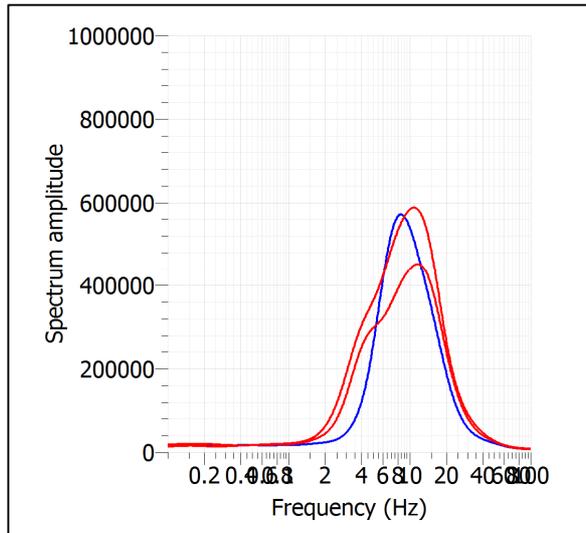
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



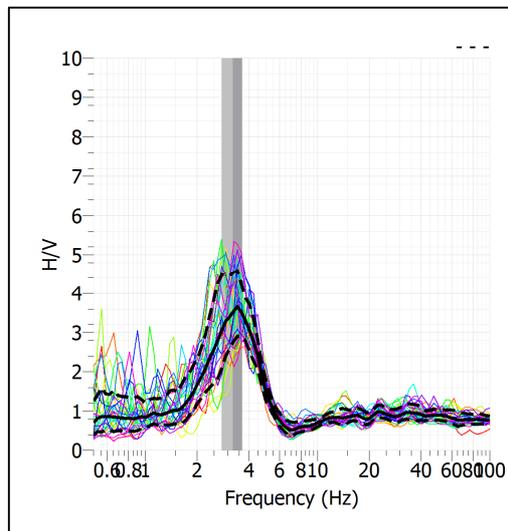
RAPPORTO SPETTRALE H/V



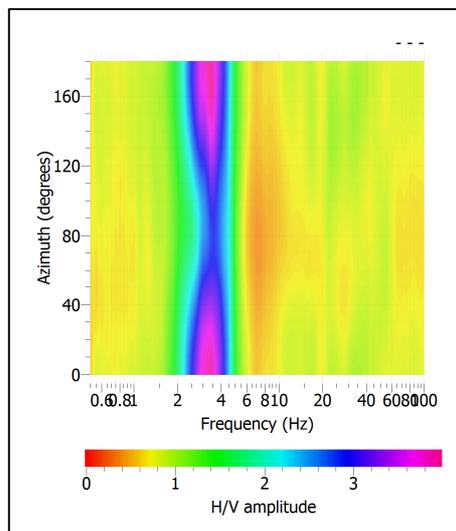
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	31	1994	3.216	0.44	3.52	1.29	MODERATO
Criteria per una curva H/V affidabile [Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			3.216	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			1994	>	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
	$A_0 > 2$			3.5188	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.4352	>	0.1608	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2862	<	1.5800	OK

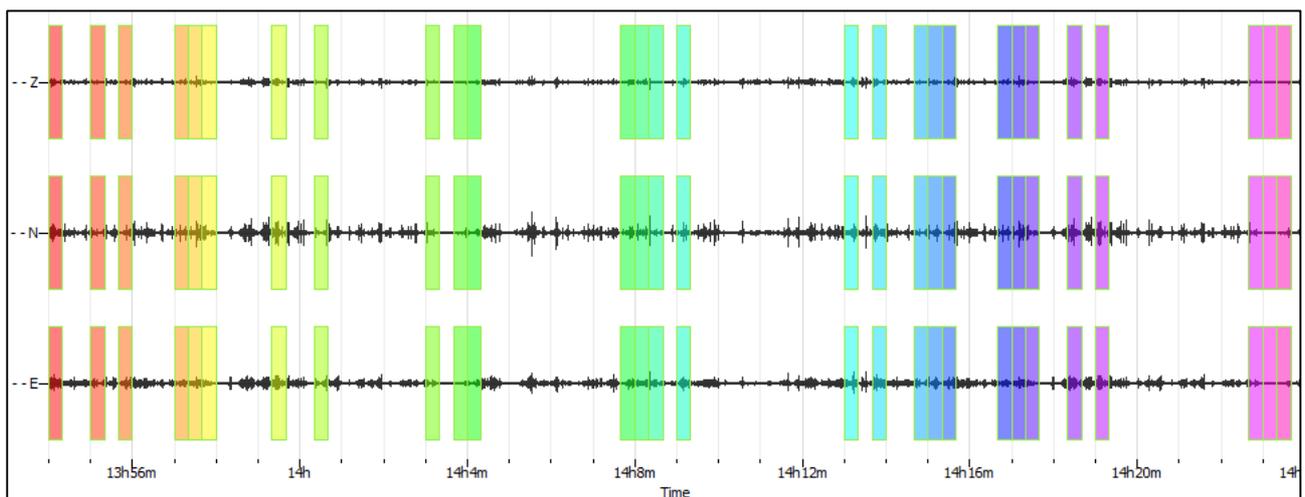
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico 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

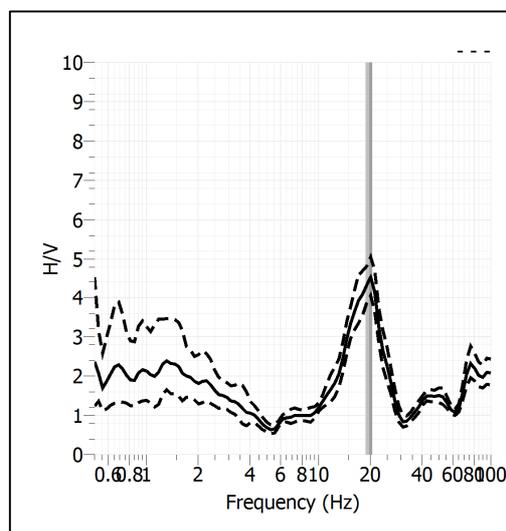
Stazione	2	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	30 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	28 (31% del tracciato)	
Tipo di lisciamiento	Konno & Ohmachi	
Lisciamiento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

Frequenza del picco H/V	19.68 Hz
Ampiezza Media della frequenza	4.44

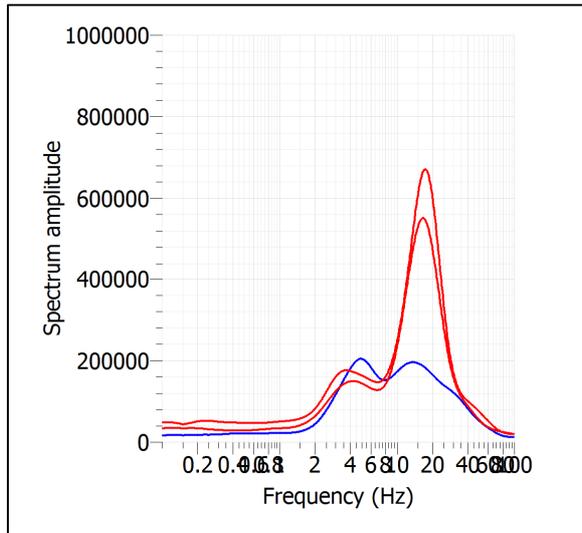
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



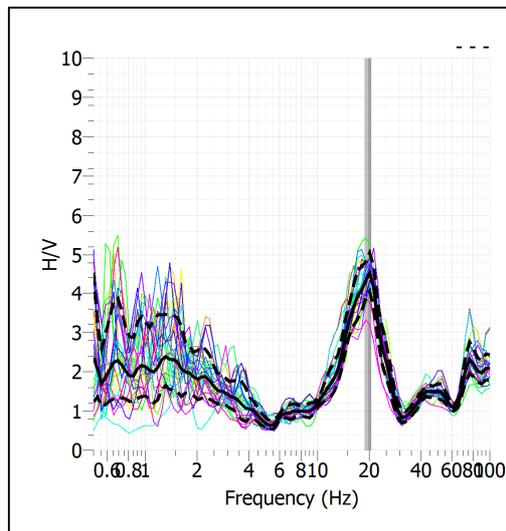
RAPPORTO SPETTRALE H/V



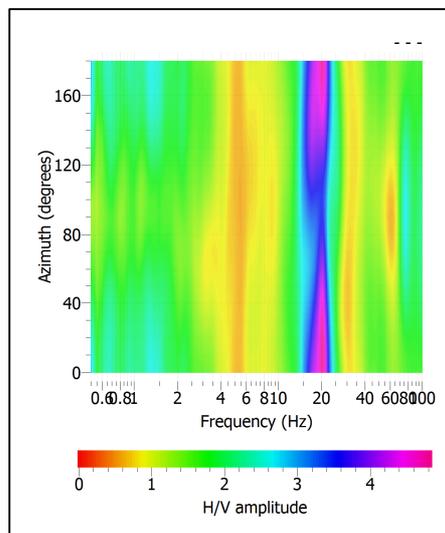
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	28	11020	19.679	0.86	4.44	1.12	ALTO
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			19.679	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			11020	>	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
	$A_0 > 2$			4.4427	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						OK
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.8621	<	0.9839	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.1177	<	1.5800	OK

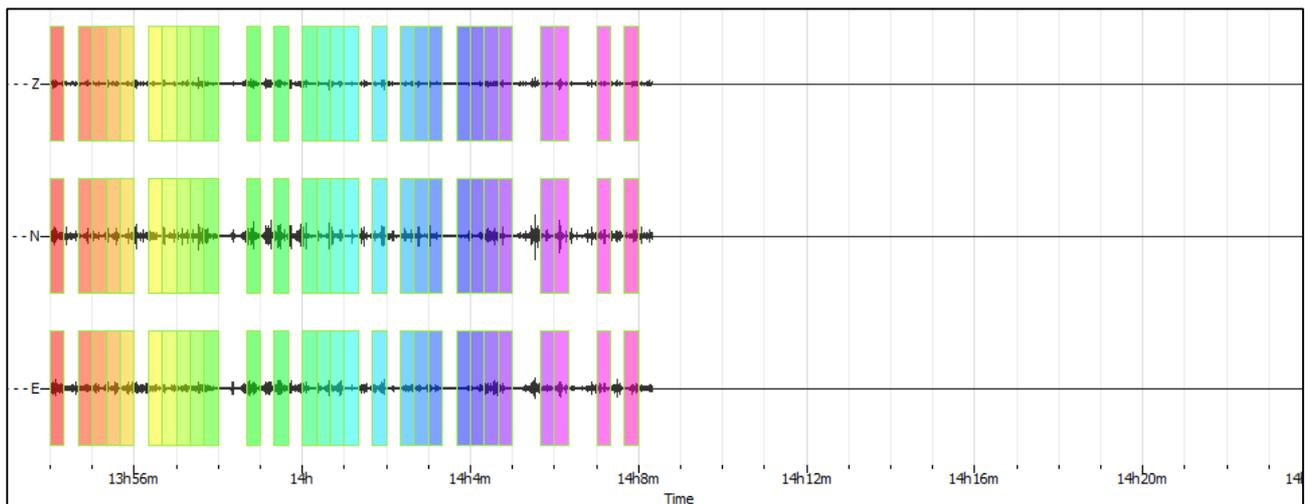
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico 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

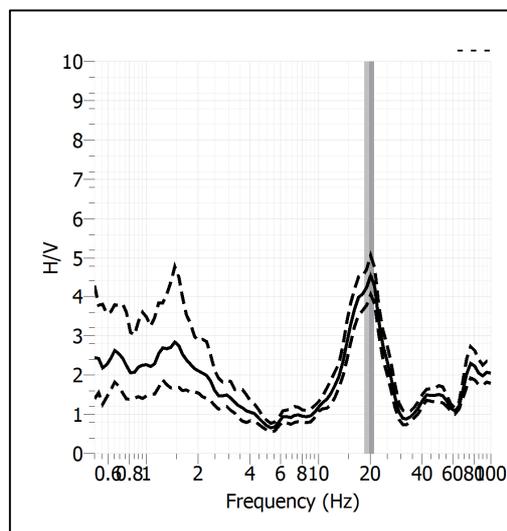
Stazione	3	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	30 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	28 (31% del tracciato)	
Tipo di lisciamo	Konno & Ohmachi	
Lisciamo	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

Frequenza del picco H/V	19.70 Hz
Ampiezza Media della frequenza	4.42

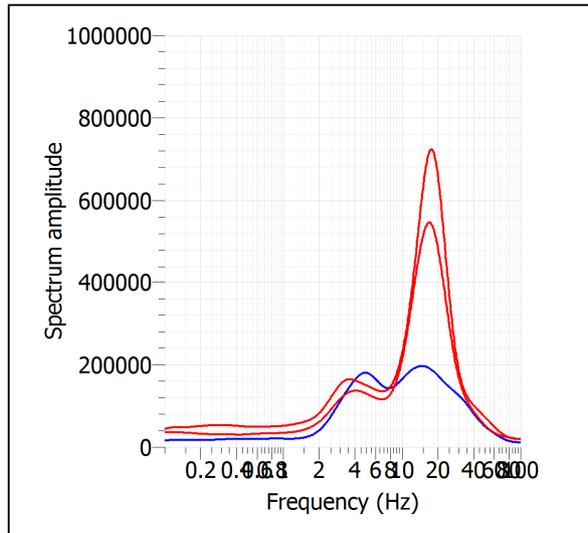
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



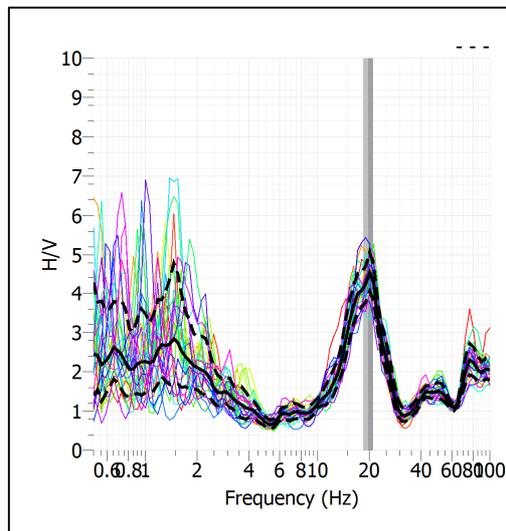
RAPPORTO SPETTRALE H/V



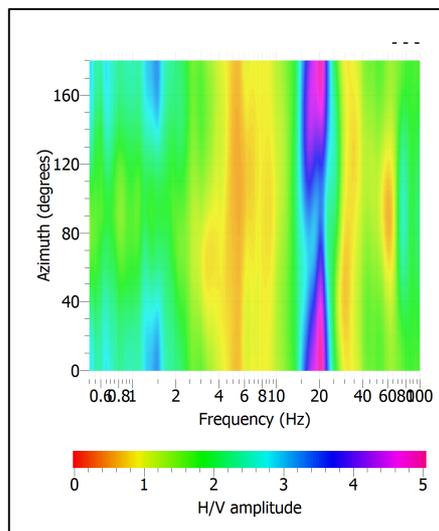
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	11034	19.704	1.30	4.42	1.12	ALTO	
Criteri per una curva H/V affidabile								
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]								
$f_0 > 10/L_w$						19.704 > 0.500	OK	
$n_c(f_0) > 200$						11034 > 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 $f_0 < 0.5\text{Hz}$								
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	
	$A_0 > 2$						4.4223 > 2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						OK	
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$						1.2964 > 0.9852	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$						1.1188 < 1.5800	OK

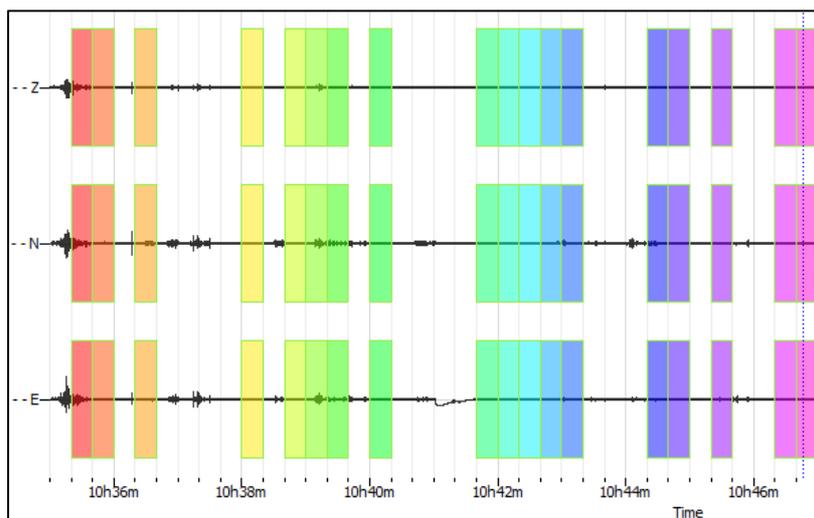
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum L_w$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico 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

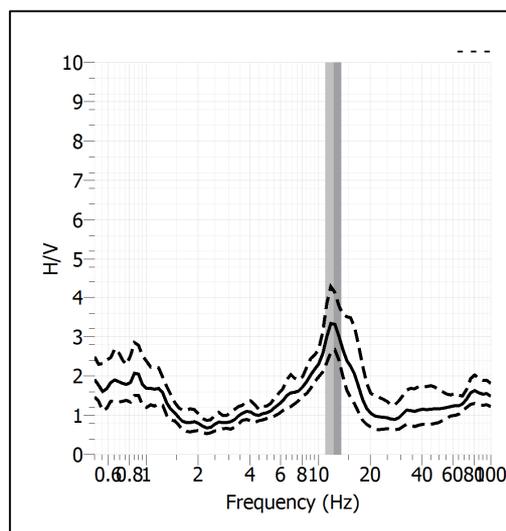
Stazione	4	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	20 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	18 (30% del tracciato)	
Tipo di lisciamo	Konno & Ohmachi	
Lisciamo	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

Frequenza del picco H/V	12.24 Hz
Ampiezza Media della frequenza	3.32

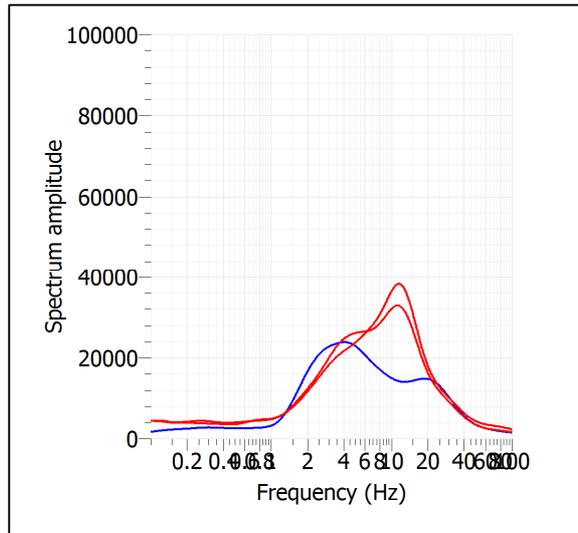
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



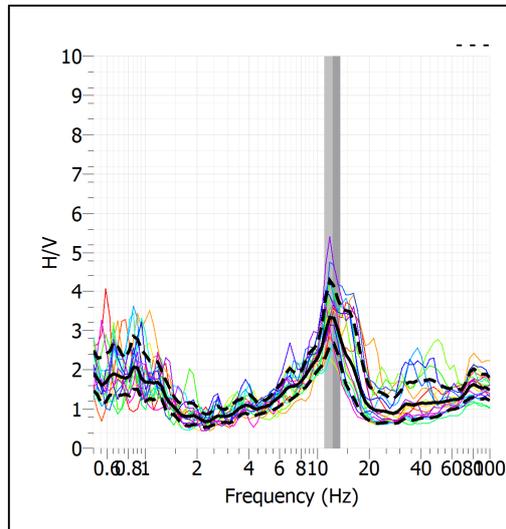
RAPPORTO SPETTRALE H/V



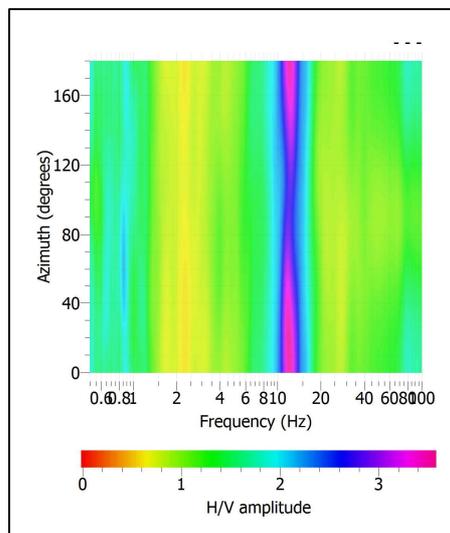
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	18	4408	12.243	1.31	3.32	1.26	MODERATO
Criteria per una curva H/V affidabile [Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/L_w$			12.243	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			4408	>	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
	$A_0 > 2$			3.3239	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						OK
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			1.3072	>	0.6122	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2648	<	1.5800	OK

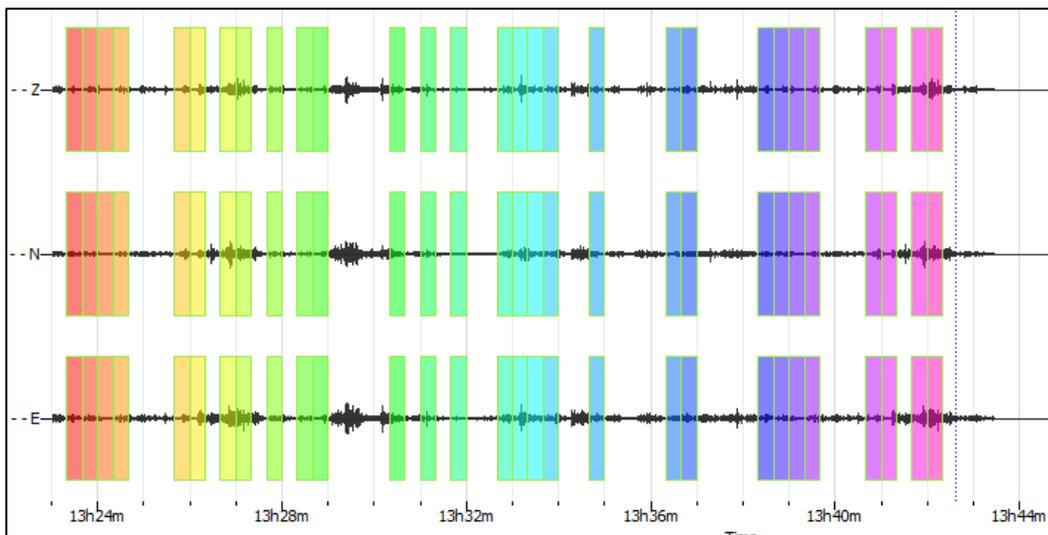
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum L_w$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico 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

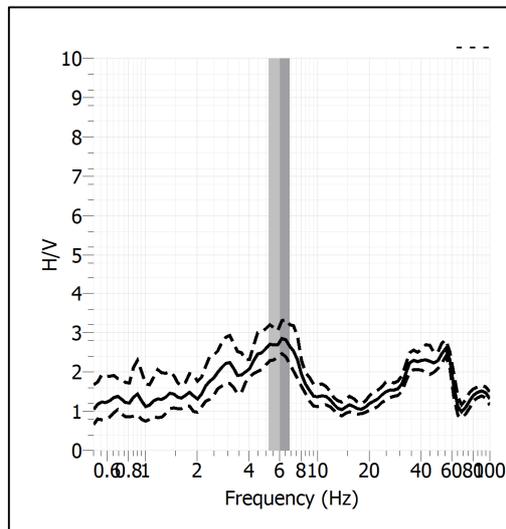
Stazione	5	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	30 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	29 (32% del tracciato)	
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi	
Lisciamento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

Frequenza del picco H/V	6.04 Hz
Ampiezza Media della frequenza	2.78

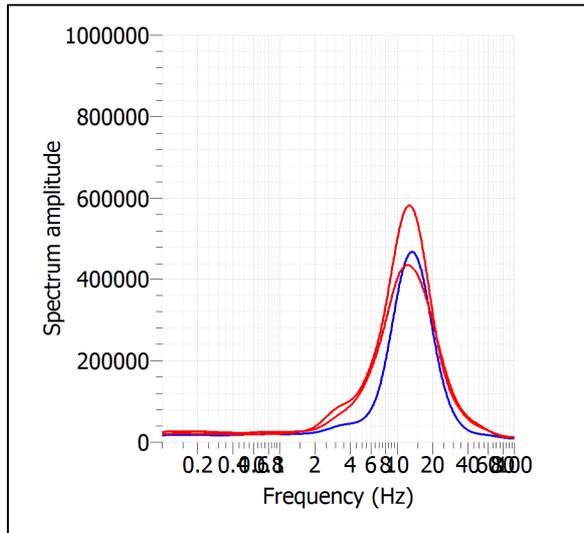
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



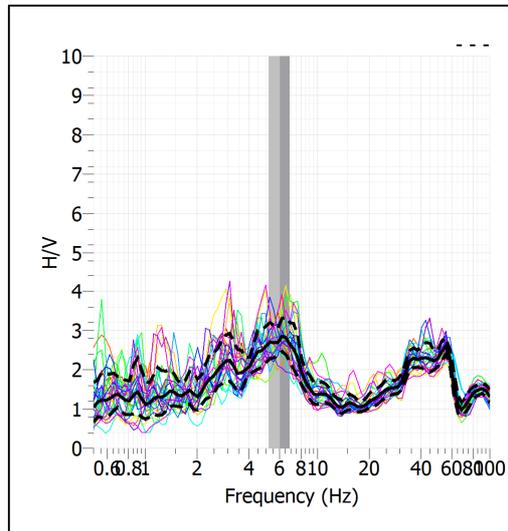
RAPPORTO SPETTRALE H/V



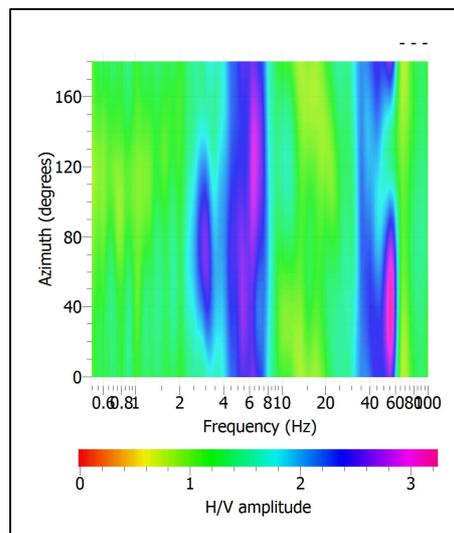
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	3504	6.042	0.85	2.78	1.15	BASSO
Criteria per una curva H/V affidabile							
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/L_w$			6.042	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			3504	>	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
	$A_0 > 2$			2.7800	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.8472	>	0.3021	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.1477	<	1.5800	OK

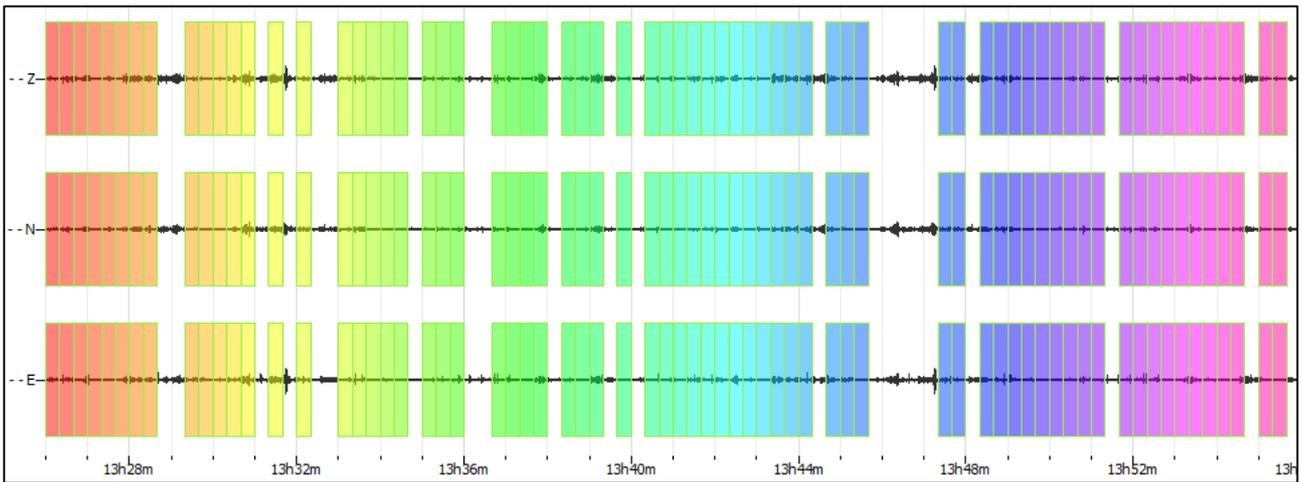
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum L_w$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico 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

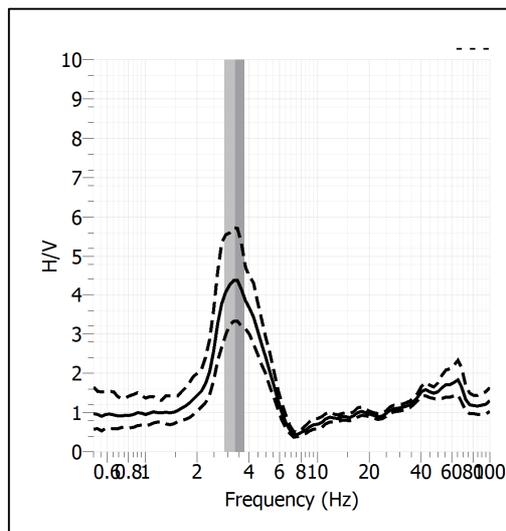
Stazione	6	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	30 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	68 (76% del tracciato)	
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi	
Lisciamento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

Frequenza del picco H/V	3.32 Hz
Ampiezza Media della frequenza	4.36

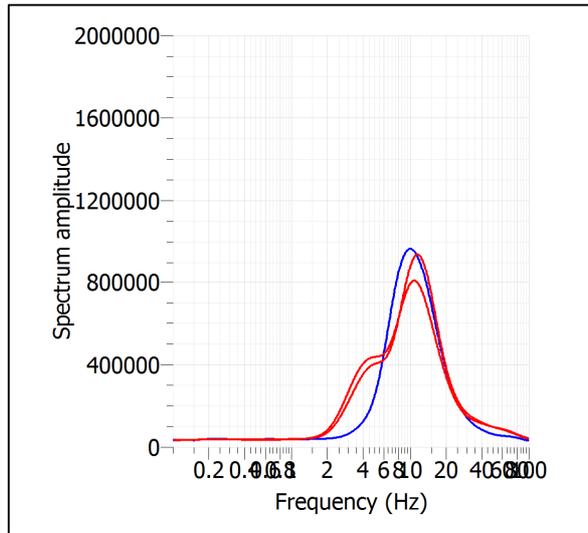
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



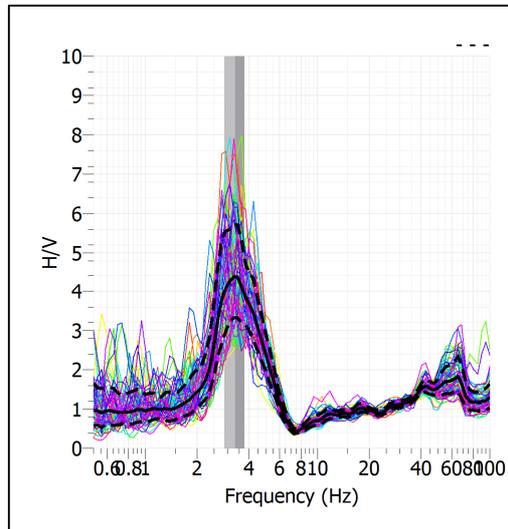
RAPPORTO SPETTRALE H/V



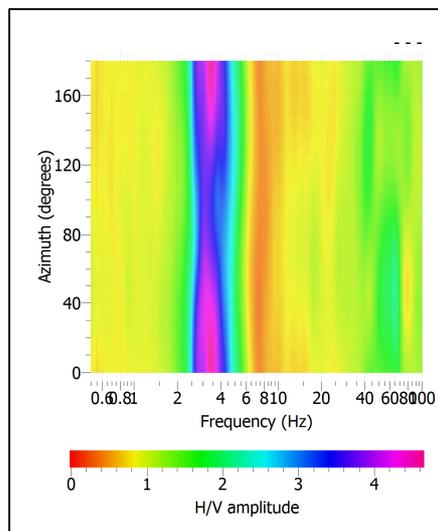
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	68	4520	3.323	0.44	4.36	1.31	ALTO
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			3.323	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			4520	>	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
	$A_0 > 2$			4.3647	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						OK
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.4440	>	0.1662	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.3114	<	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

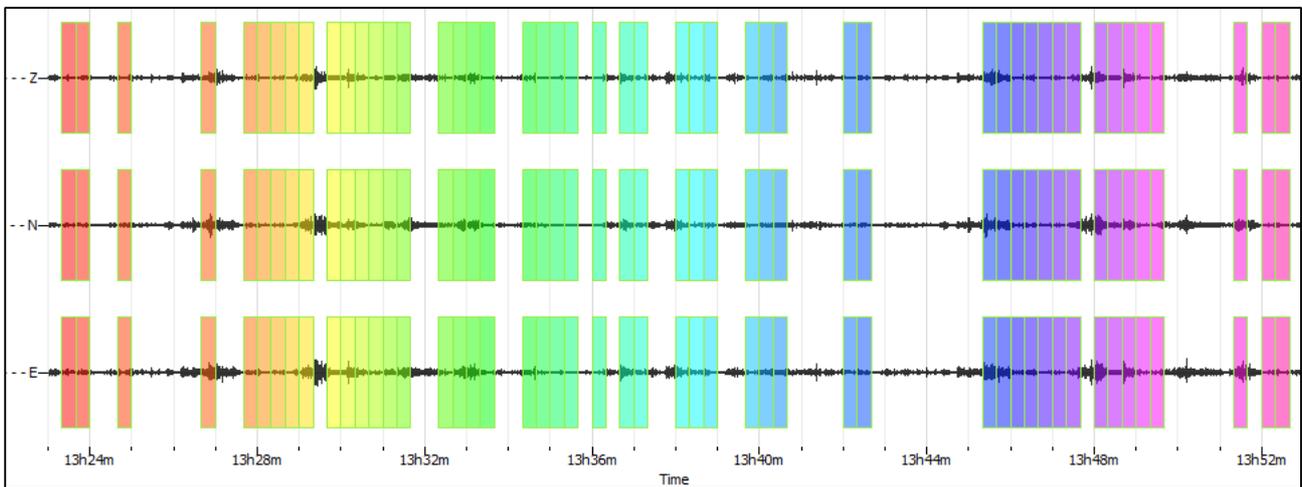
CLASSE | A1

Stazione	7
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Maggio 2022
Durata registrazione	30 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	68 (55% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

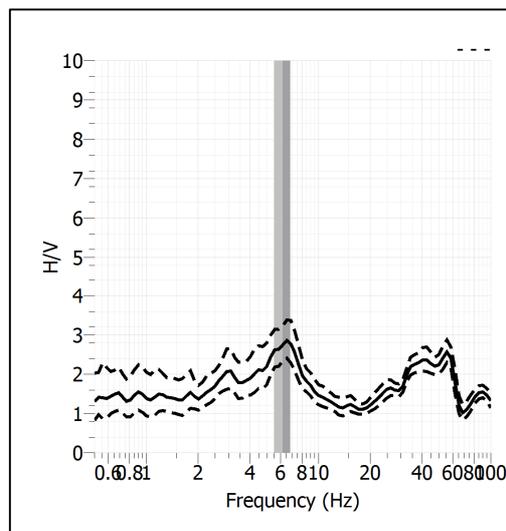


Frequenza del picco H/V	6.20 Hz
Ampiezza Media della frequenza	2.76

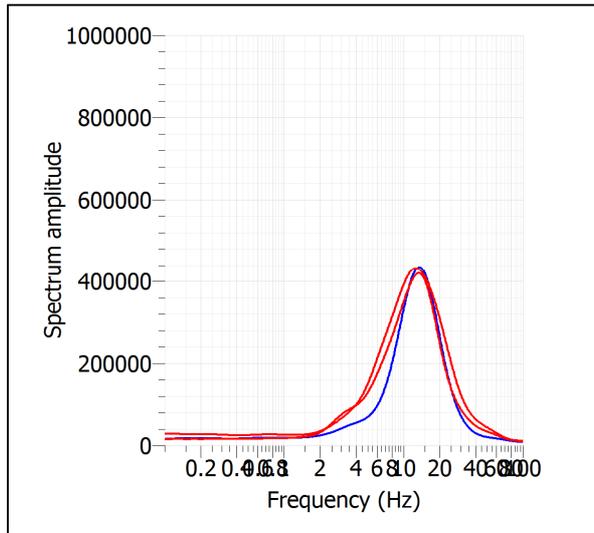
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



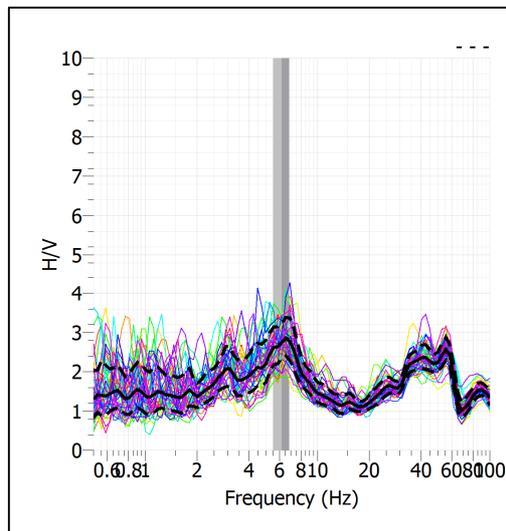
RAPPORTO SPETTRALE H/V



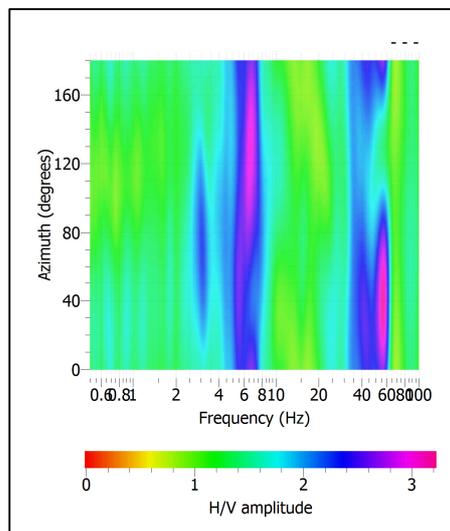
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	49	6084	6.208	0.66	2.76	1.18	BASSO
Criteria per una curva H/V affidabile							
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/L_w$			6.208	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			6084	>	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
	$A_0 > 2$			2.7575	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.6638	>	0.3104	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.1768	<	1.5800	OK

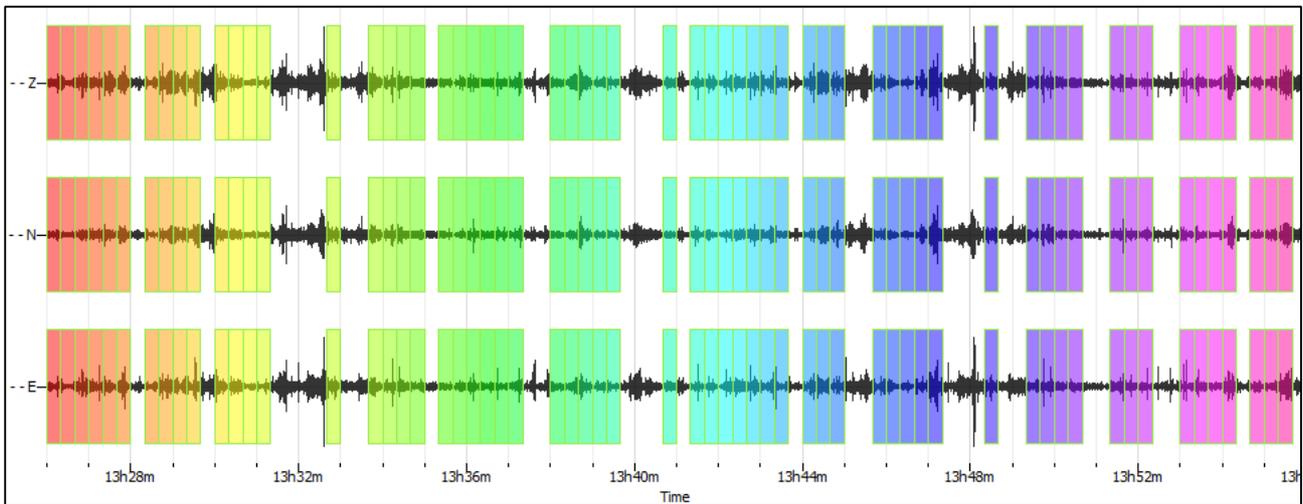
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum L_w$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico 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

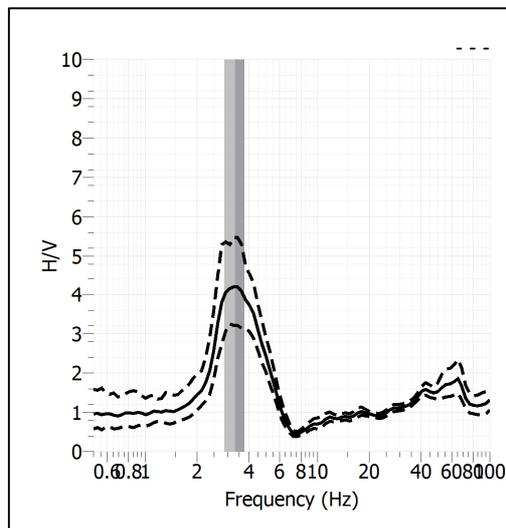
Stazione	8	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	30 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	61 (68% del tracciato)	
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi	
Lisciamento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

Frequenza del picco H/V	3.32 Hz
Ampiezza Media della frequenza	4.20

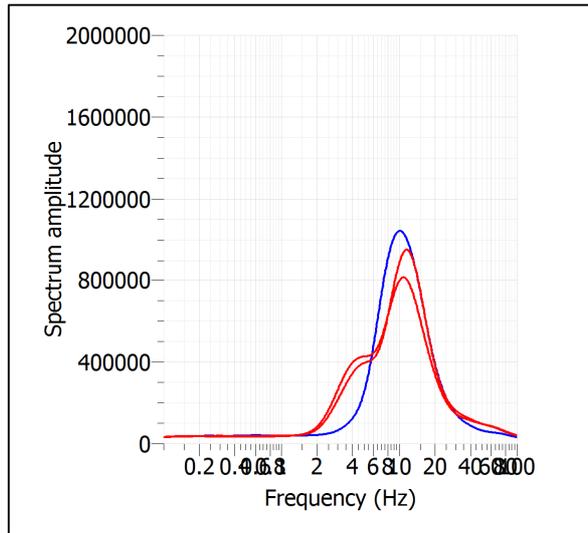
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



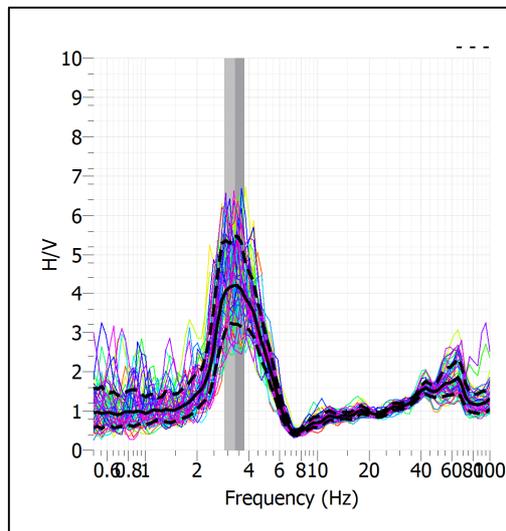
RAPPORTO SPETTRALE H/V



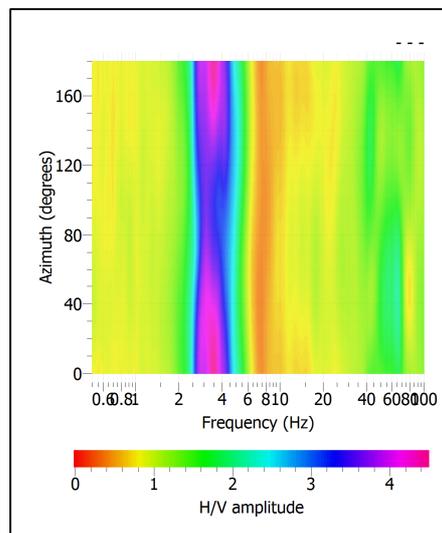
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	61	4050	3.319	0.44	4.20	1.30	ALTO
Criteria per una curva H/V affidabile							
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			3.319	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			4050	>	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
	$A_0 > 2$			4.1968	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.4424	>	0.1660	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.3046	<	1.5800	OK

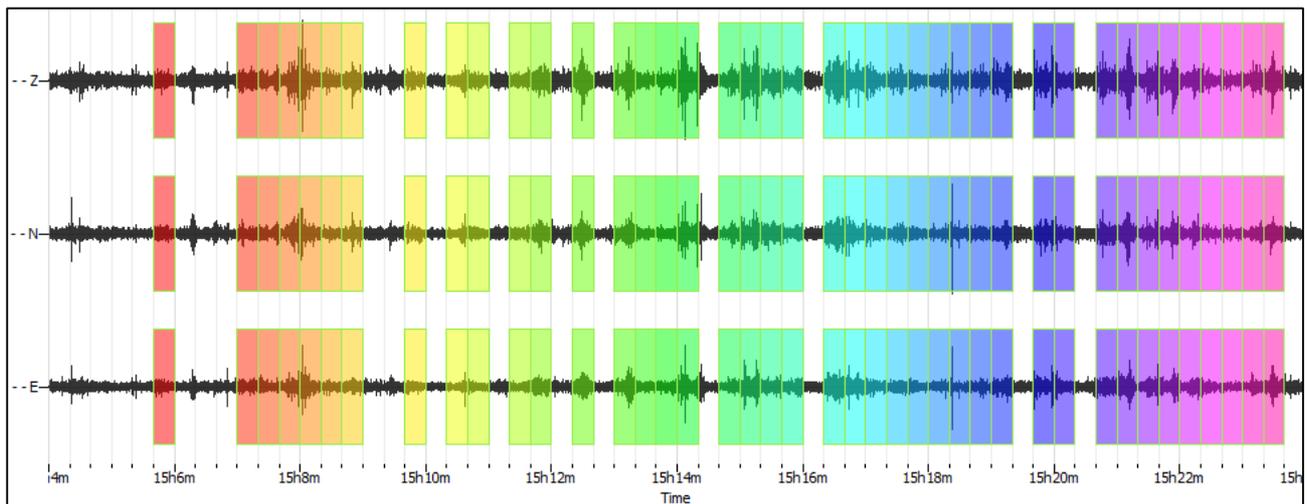
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico 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

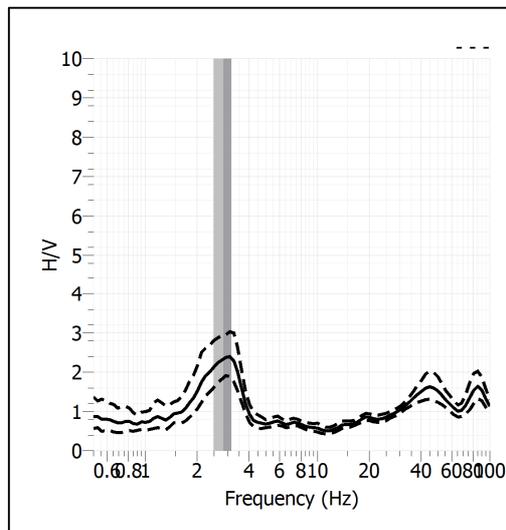
Stazione	9	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	20 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	41 (69% del tracciato)	
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi	
Lisciamento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

Frequenza del picco H/V	2.83 Hz
Ampiezza Media della frequenza	2.34

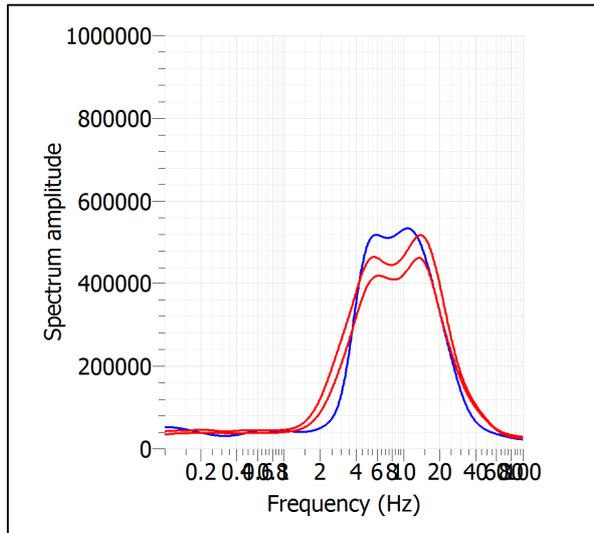
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



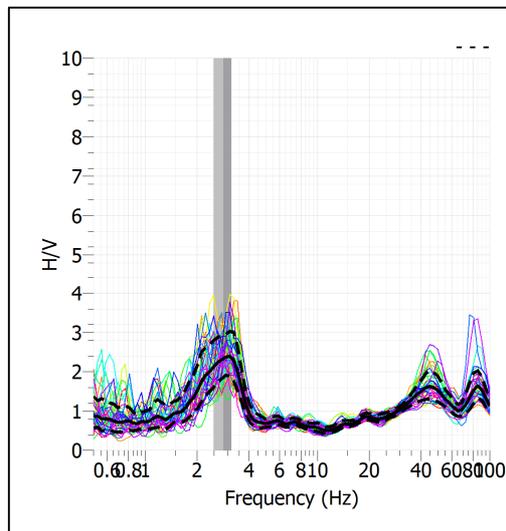
RAPPORTO SPETTRALE H/V



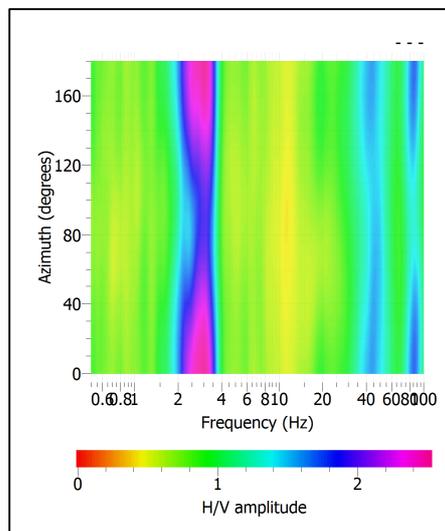
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	2325	2.836	0.34	2.34	1.26	BASSO
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			2.836	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			2325	>	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
	$A_0 > 2$			2.3383	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.3403	>	0.1418	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2579	<	1.5800	OK

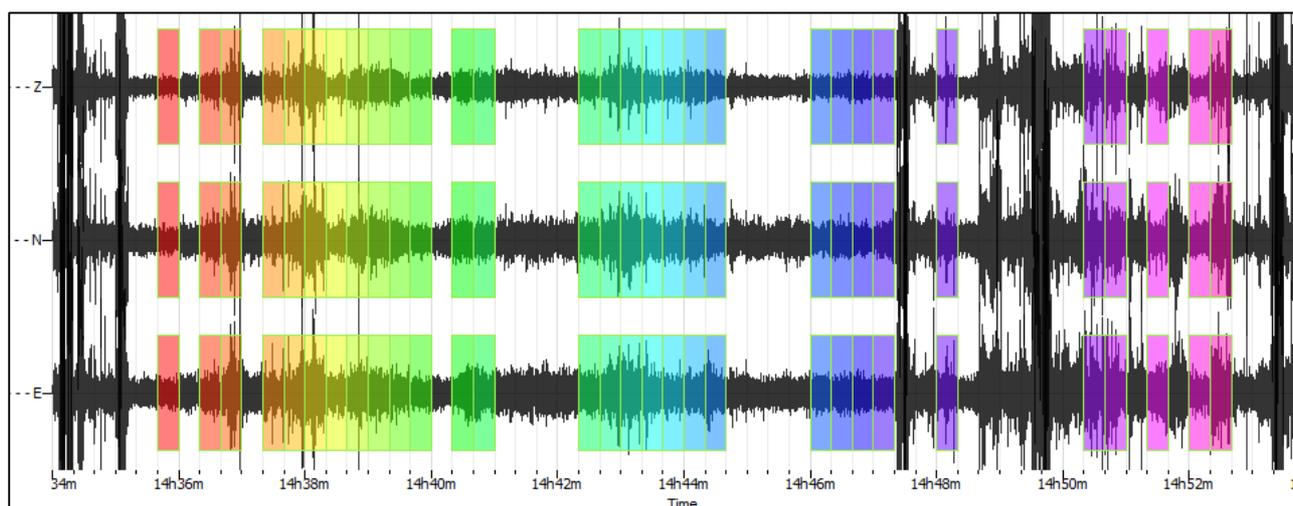
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico 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

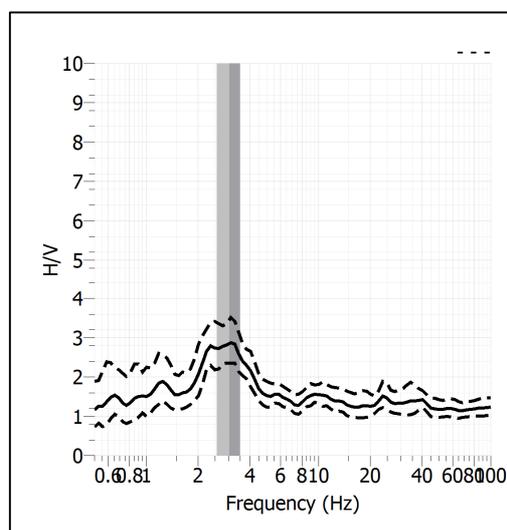
Stazione	10	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	20 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	30 (50% del tracciato)	
Tipo di lisciamiento	Konno & Ohmachi	
Lisciamiento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

Frequenza del picco H/V	3.03 Hz
Ampiezza Media della frequenza	2.86

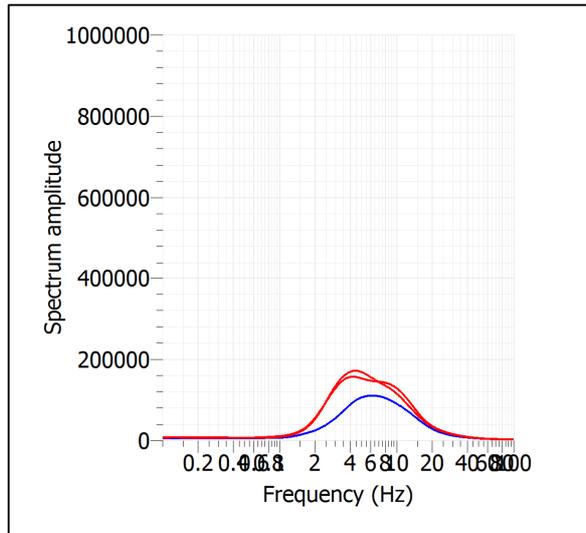
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



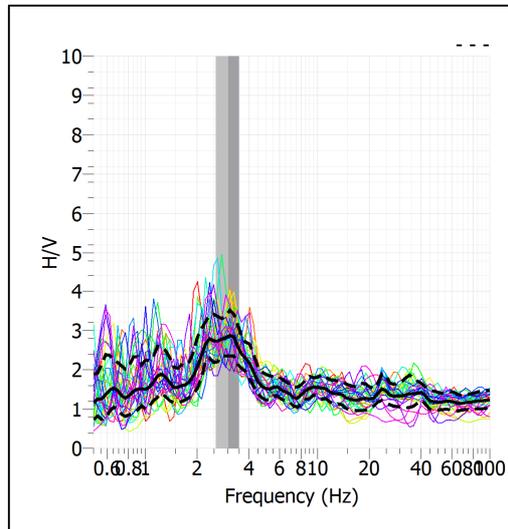
RAPPORTO SPETTRALE H/V



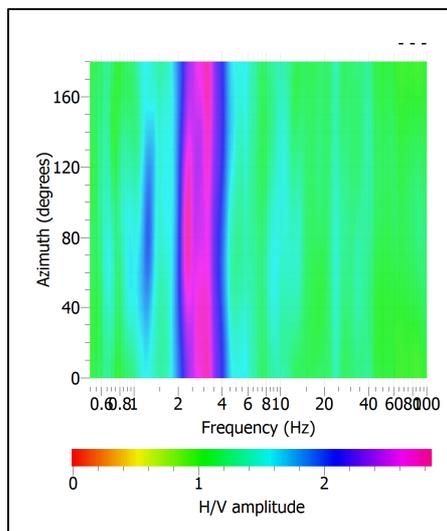
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	1823	3.038	0.46	2.86	1.21	BASSO
Criteria per una curva H/V affidabile [Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			3.038	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			1823	>	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
	$A_0 > 2$			2.8589	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						OK
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.4639	>	0.1519	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2138	<	1.5800	OK

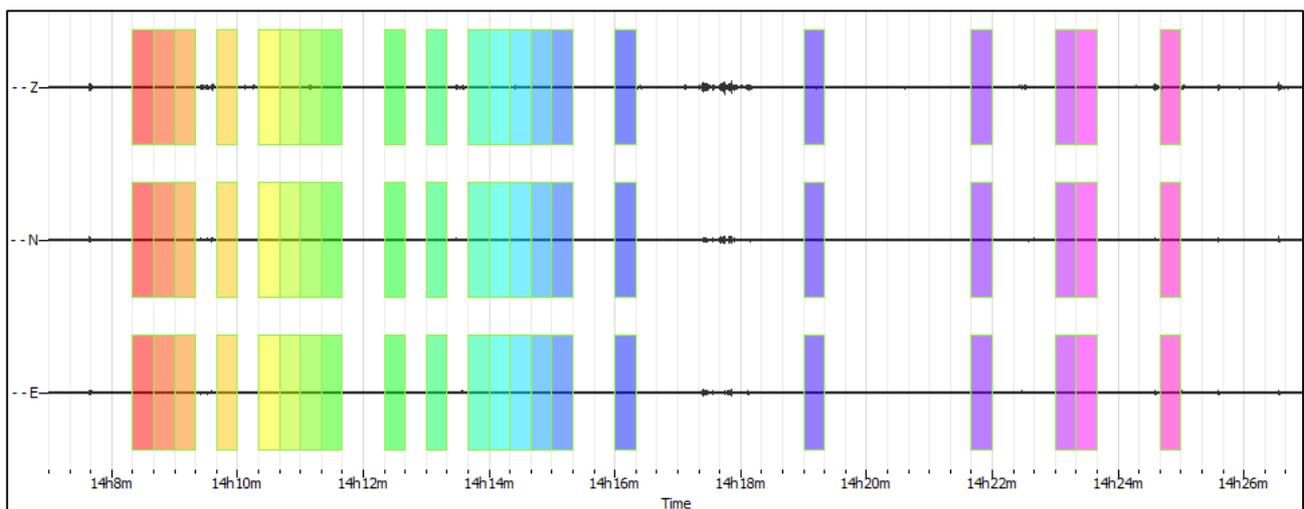
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico 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

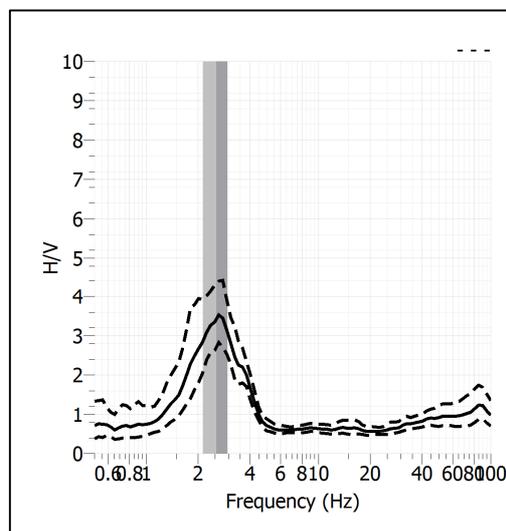
Stazione	11	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	20 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	21 (32% del tracciato)	
Tipo di lisciamo	Konno & Ohmachi	
Lisciamo	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

Frequenza del picco H/V	2.54 Hz
Ampiezza Media della frequenza	3.42

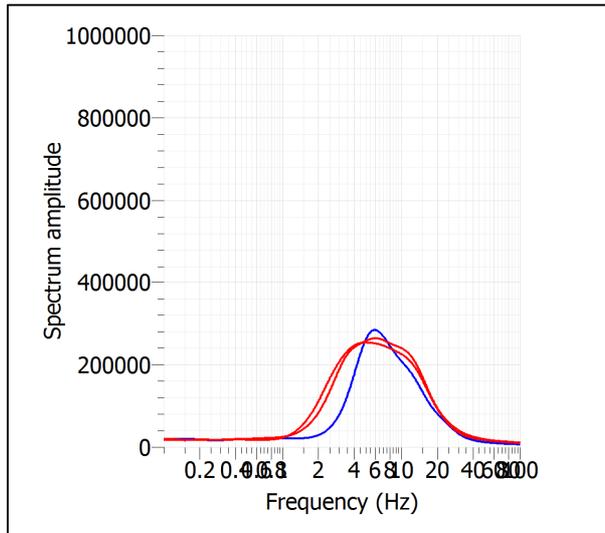
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



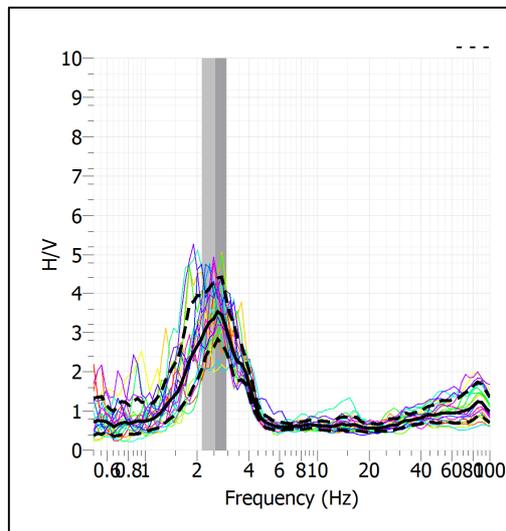
RAPPORTO SPETTRALE H/V



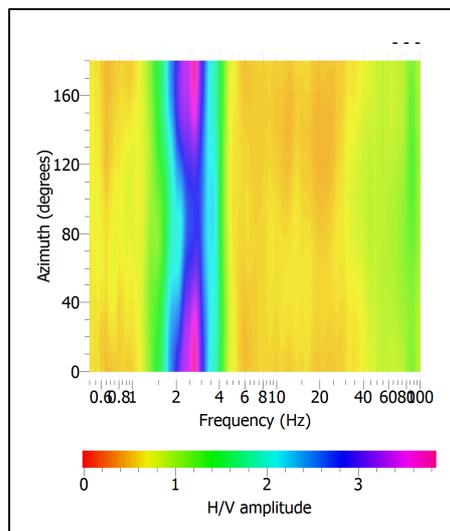
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	21	1069	2.545	0.41	3.42	1.26	MODERATO
Criteria per una curva H/V affidabile							
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/L_w$			2.545	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			1069	>	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
	$A_0 > 2$			3.4222	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.4117	>	0.1273	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2640	<	1.5800	OK

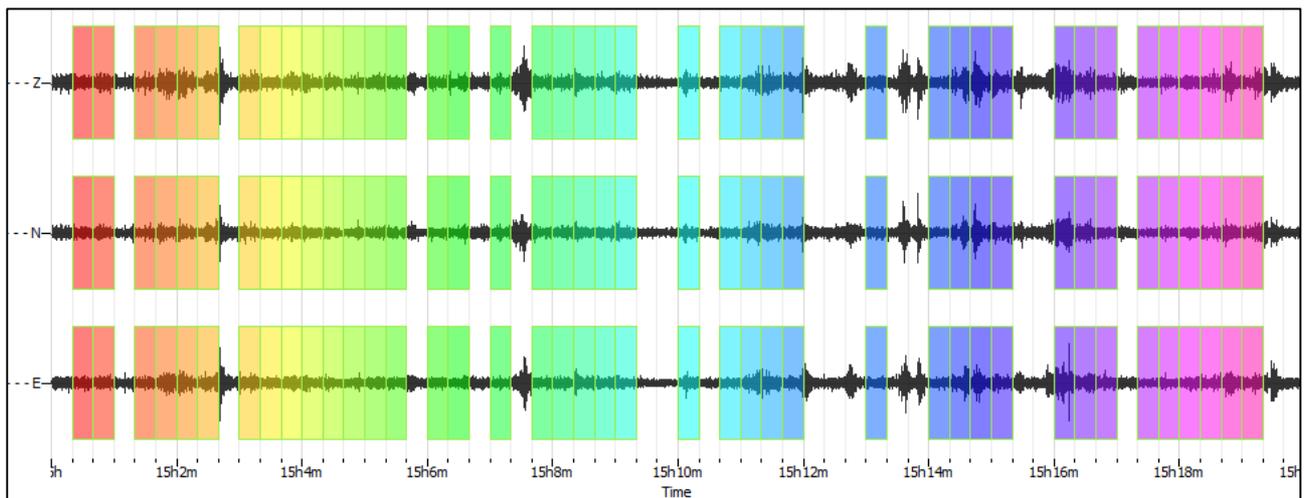
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum L_w$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico 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

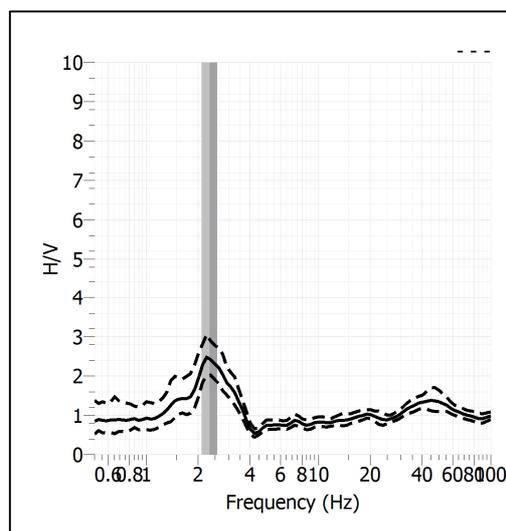
Stazione	12	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	20 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	41 (69% del tracciato)	
Tipo di lisciamiento	Konno & Ohmachi	
Lisciamiento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

Frequenza del picco H/V	2.34 Hz
Ampiezza Media della frequenza	2.43

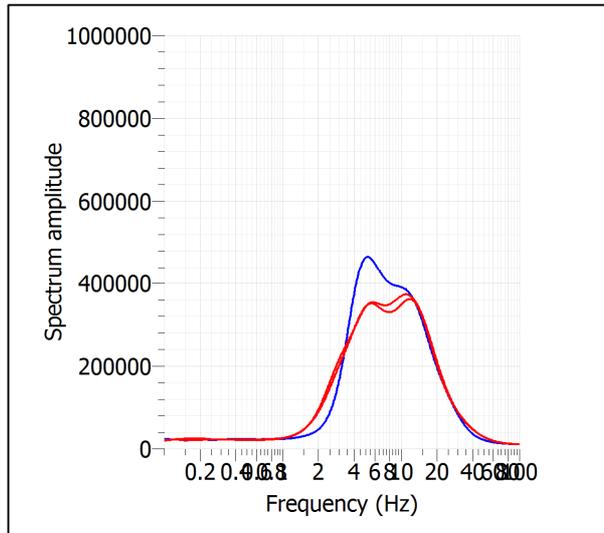
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



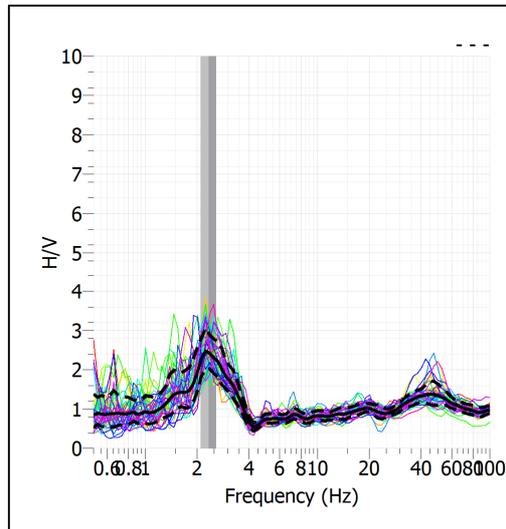
RAPPORTO SPETTRALE H/V



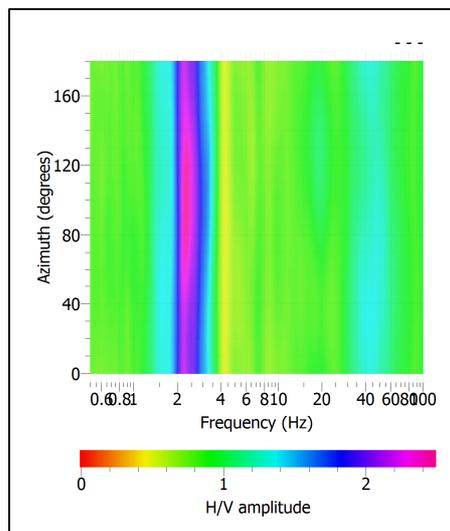
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	1918	2.339	0.24	2.43	1.22	BASSO
Criteria per una curva H/V affidabile							
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/L_w$			2.339	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			1918	>	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
	$A_0 > 2$			2.4306	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						OK
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.2415	>	0.1169	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2238	<	1.5800	OK

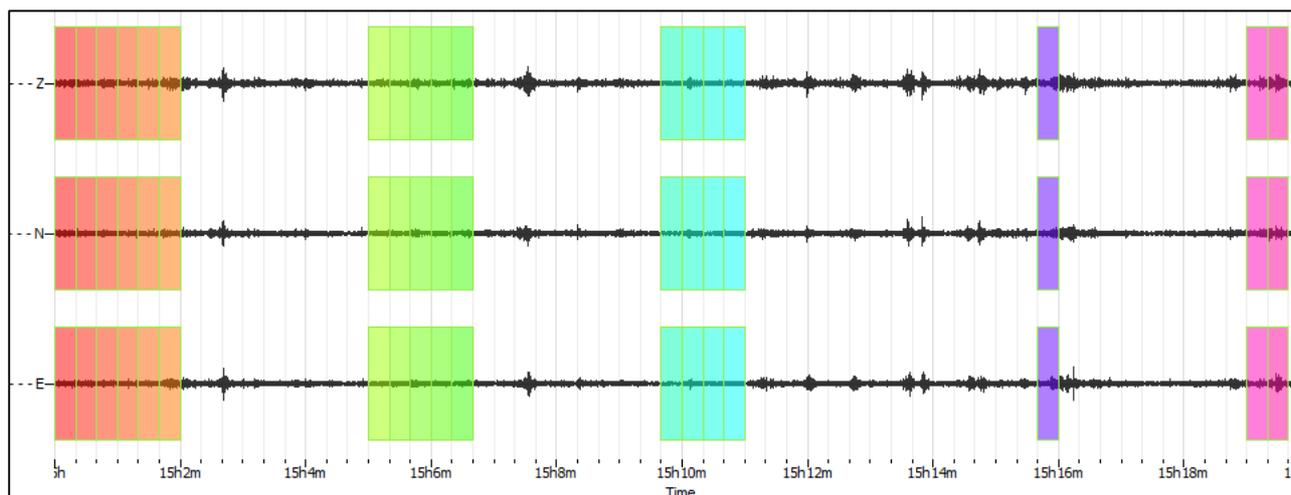
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum L_w$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico 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

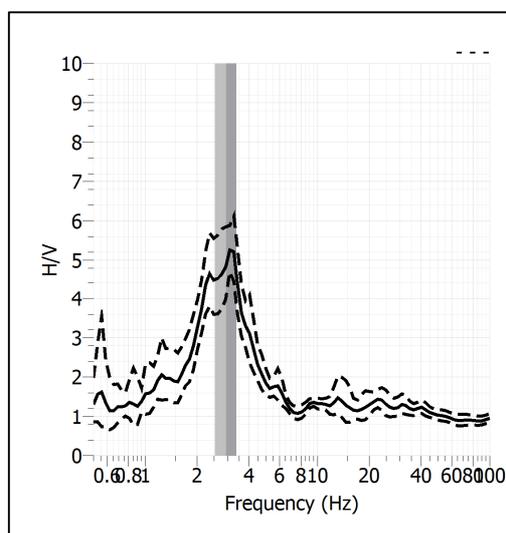
Stazione	13	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	20 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	18 (30% del tracciato)	
Tipo di lisciamiento	Konno & Ohmachi	
Lisciamiento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

Frequenza del picco H/V	2.95 Hz
Ampiezza Media della frequenza	4.91

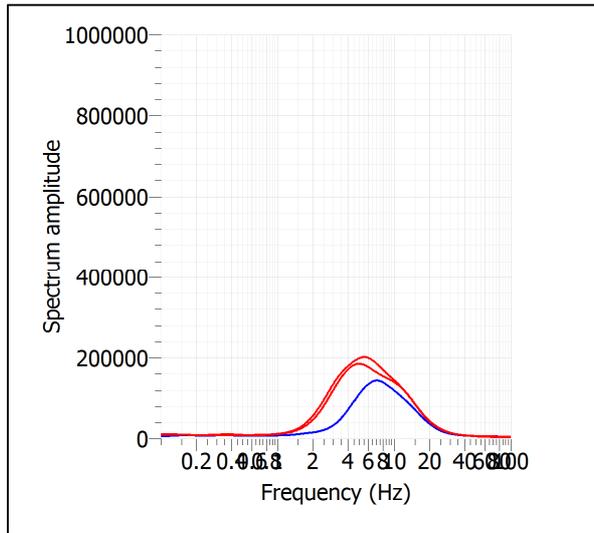
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



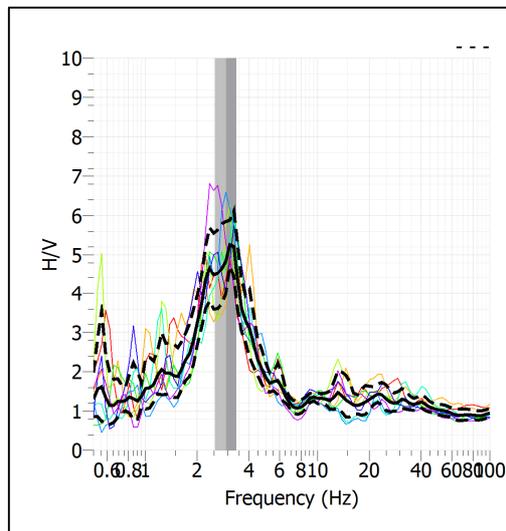
RAPPORTO SPETTRALE H/V



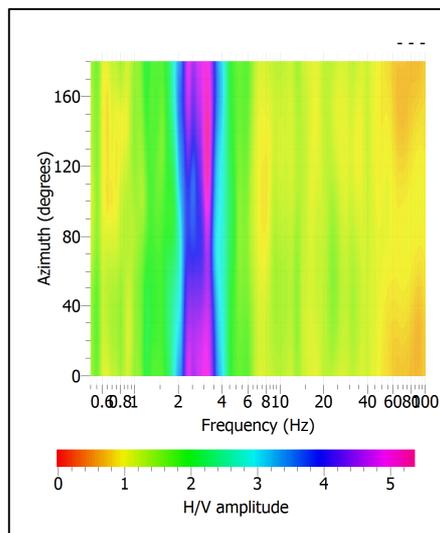
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	8	472	2.953	0.42	4.91	1.19	ALTO
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			2.953	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			472	>	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
	$A_0 > 2$			4.9100	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.4216	>	0.1477	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.1915	<	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

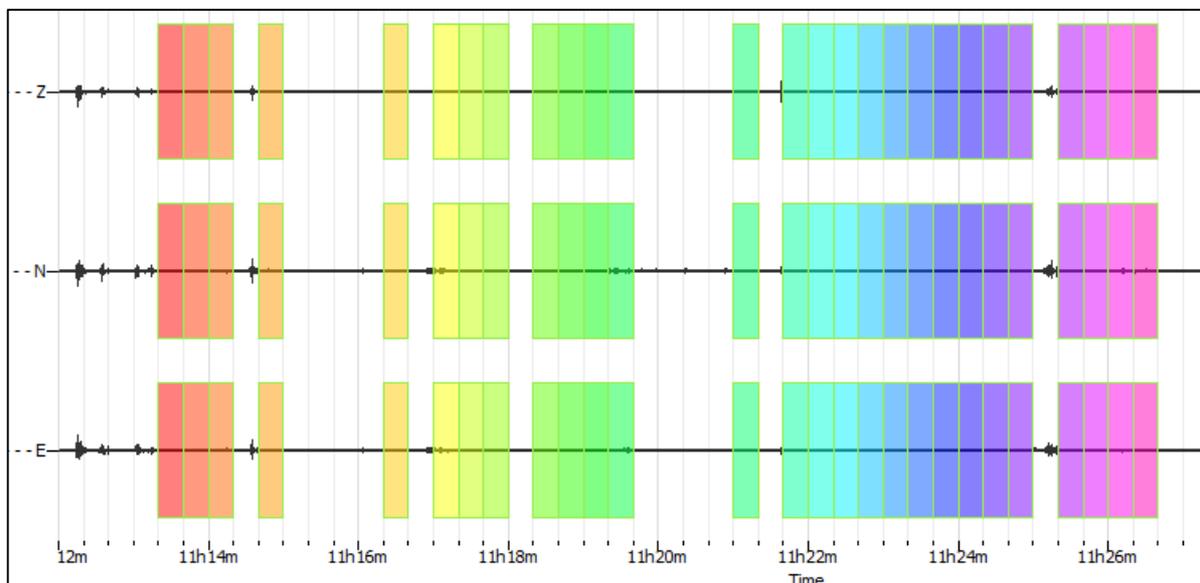
CLASSE | A1

Stazione	14
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Maggio 2022
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	18 (30% del tracciato)
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi
Lisciamento	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

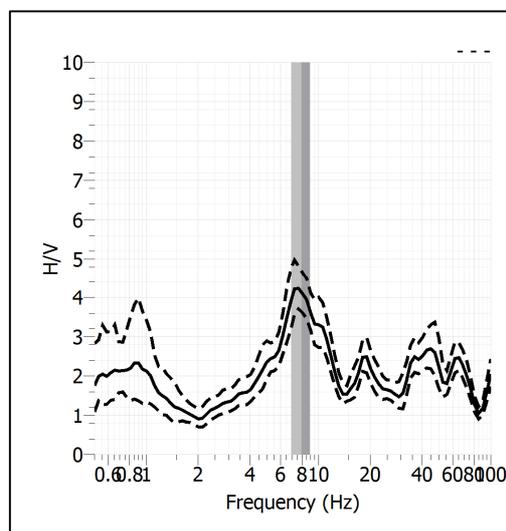


Frequenza del picco H/V	7.95 Hz
Ampiezza Media della frequenza	4.14

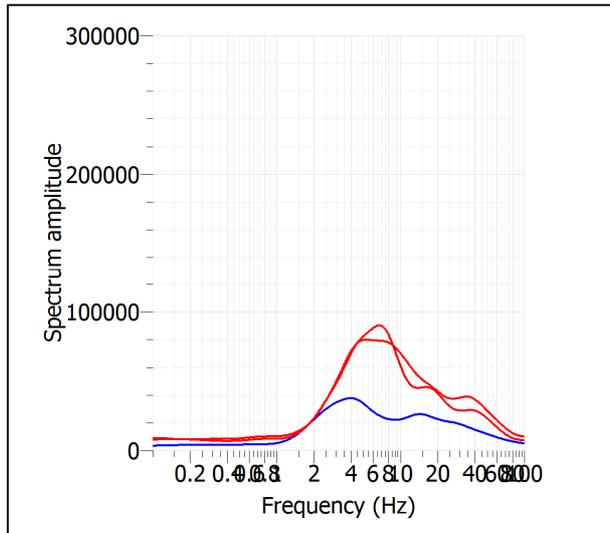
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



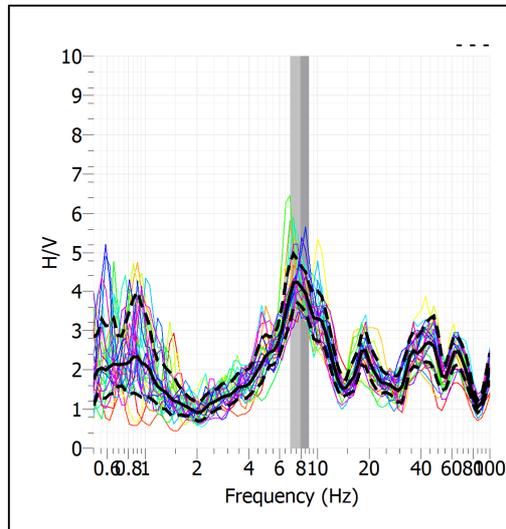
RAPPORTO SPETTRALE H/V



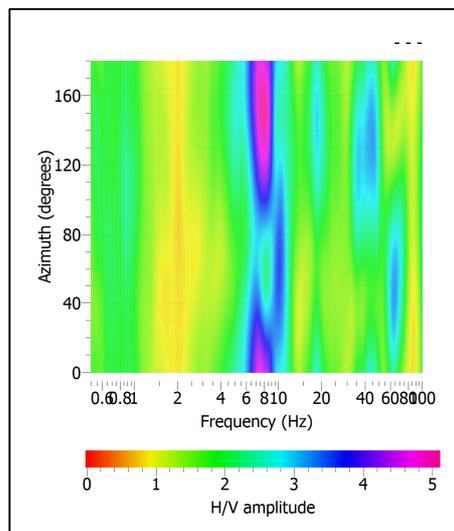
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	27	4292	7.949	1.00	4.14	1.14	ALTO
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			7.949	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			4292	>	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
	$A_0 > 2$			4.1380	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.9964	>	0.3974	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.1382	<	1.5800	OK

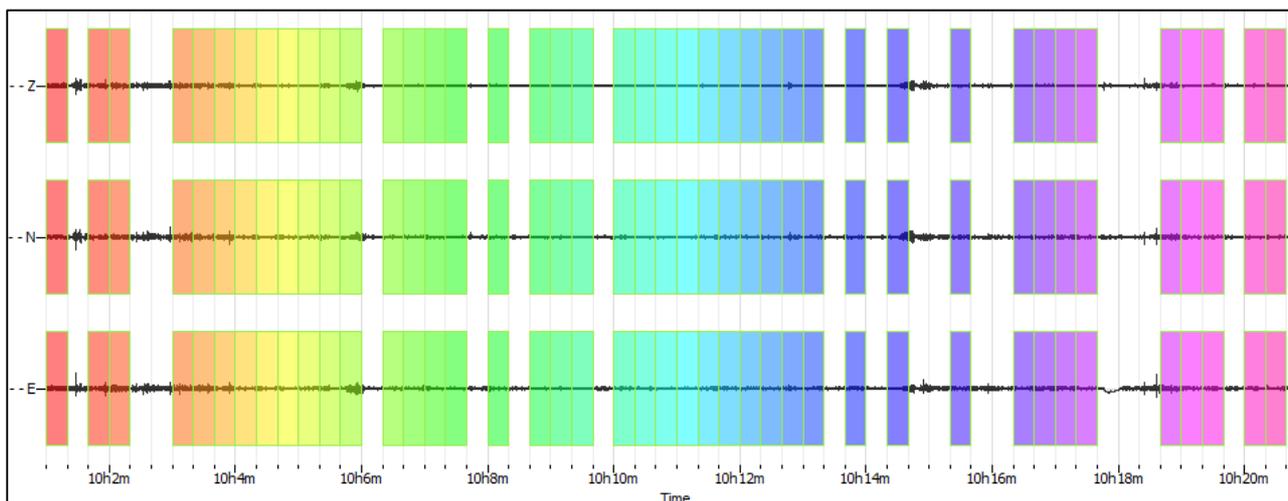
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico 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

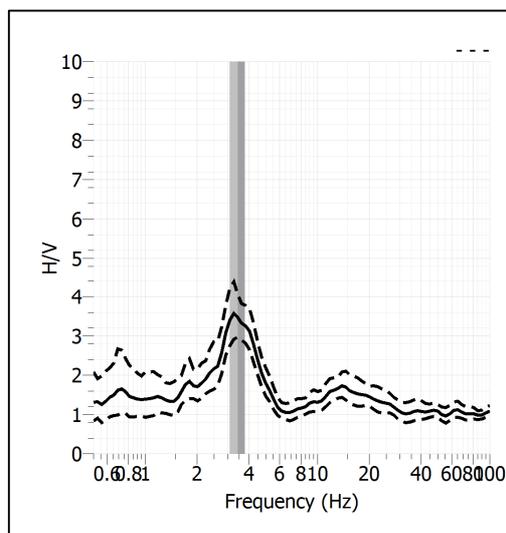
Stazione	15	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	20 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	42 (71% del tracciato)	
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi	
Lisciamento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

Frequenza del picco H/V	3.42 Hz
Ampiezza Media della frequenza	3.48

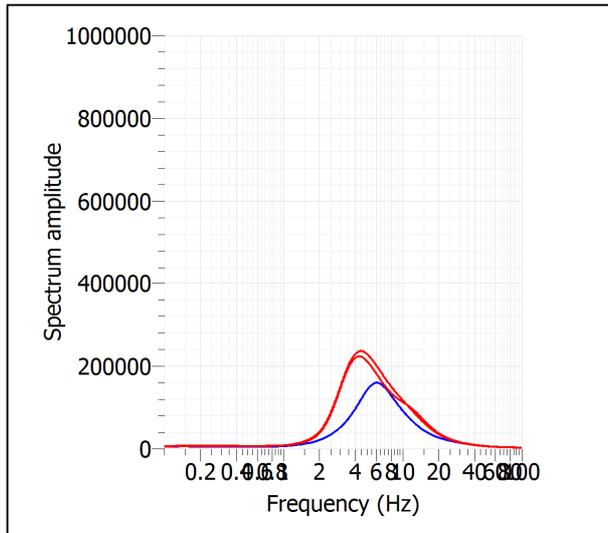
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



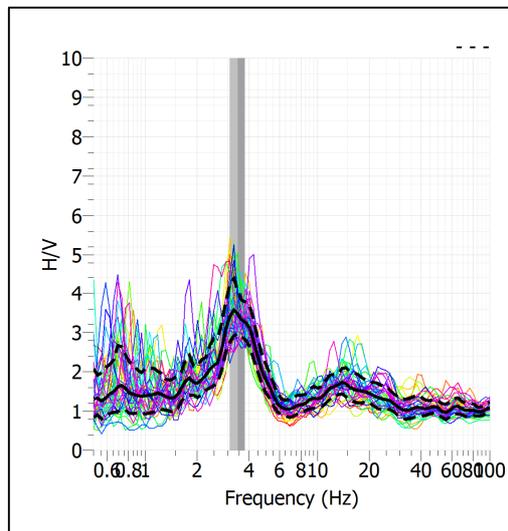
RAPPORTO SPETTRALE H/V



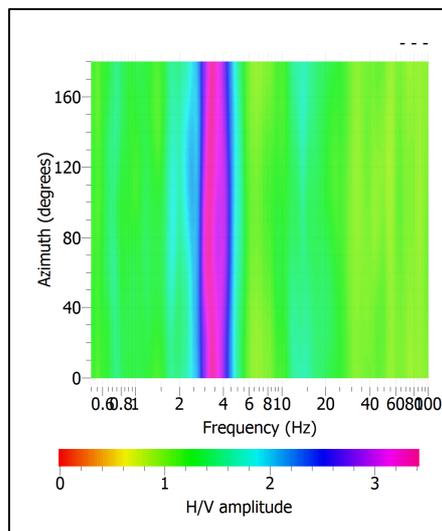
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	2880	3.428	0.35	3.48	1.21	MODERATO
Criteria per una curva H/V affidabile [Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/L_w$			3.428	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			2880	>	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
	$A_0 > 2$			3.4807	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.3456	>	0.1714	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2145	<	1.5800	OK

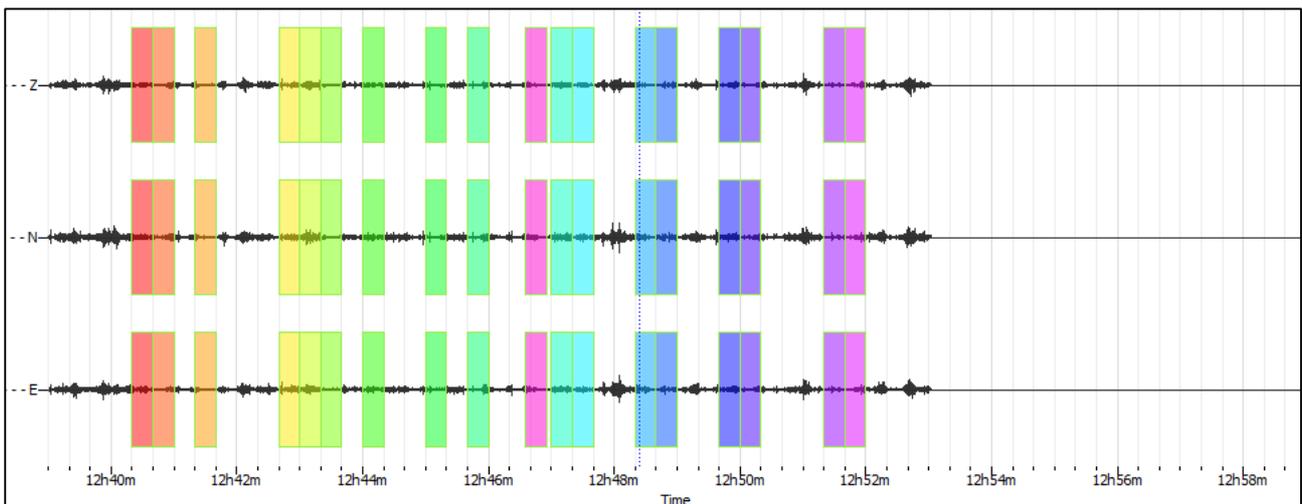
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum L_w$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico 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

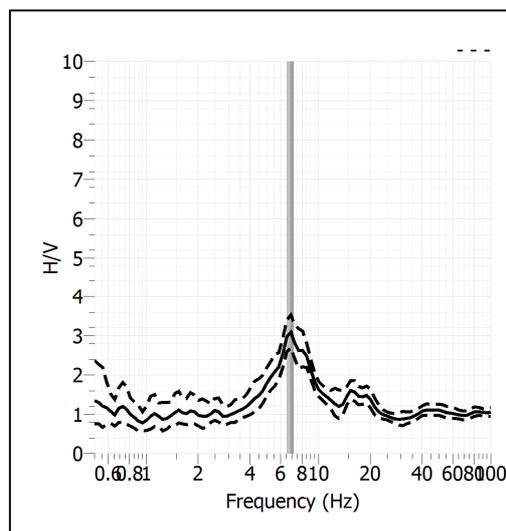
Stazione	16	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	20 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	18 (30% del tracciato)	
Tipo di lisciamiento	Konno & Ohmachi	
Lisciamiento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

Frequenza del picco H/V	6.87 Hz
Ampiezza Media della frequenza	3.08

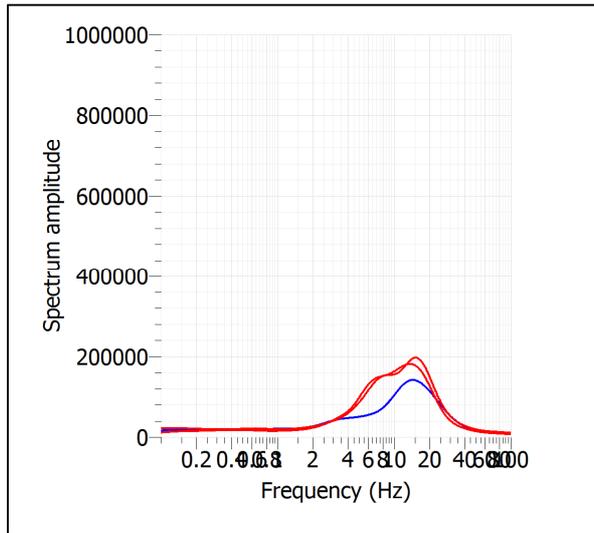
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



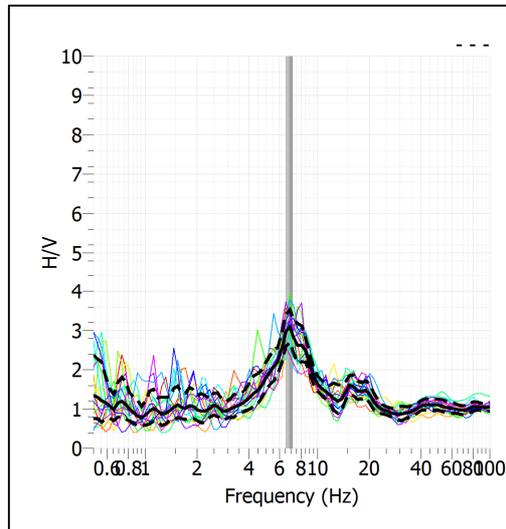
RAPPORTO SPETTRALE H/V



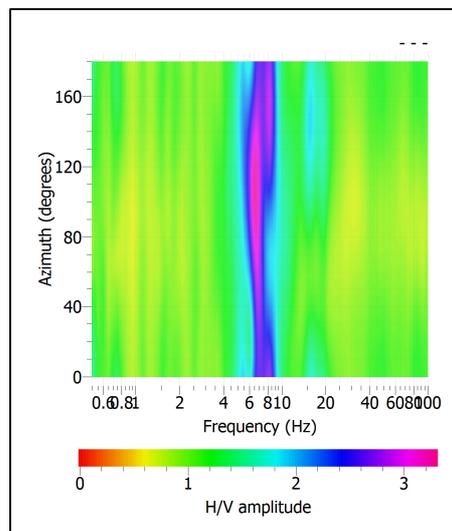
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	18	2474	6.871	0.33	3.08	1.14	MODERATO
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			6.871	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			2474	>	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
	$A_0 > 2$			3.0802	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						OK
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.3257	<	0.3436	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.1435	<	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

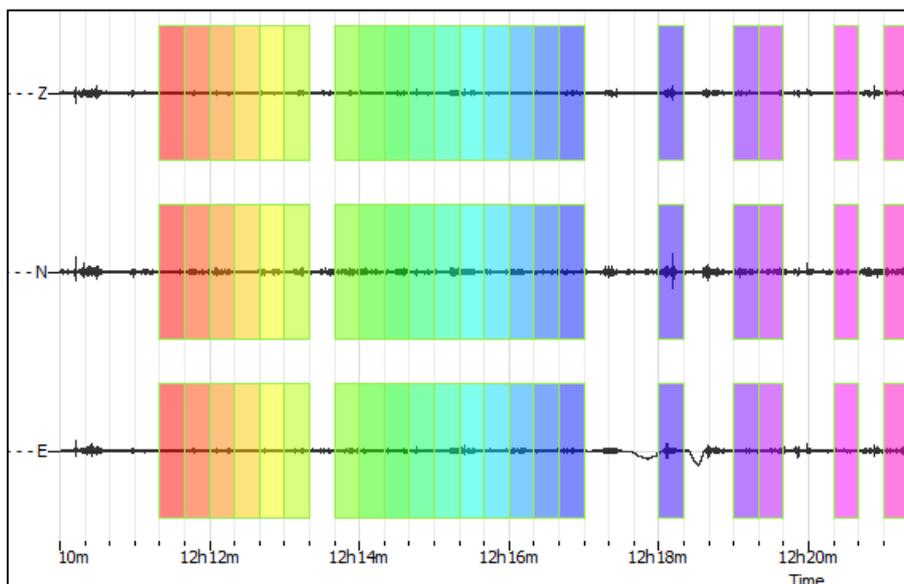
CLASSE | A1

Stazione	17
Strumento	Theremino
Data acquisizione	Maggio 2022
Durata registrazione	20 minuti
Freq. Campionamento	500 Hz
Lunghezza finestre	20 s
Numero di finestre analizzate	21 (33% del tracciato)
Tipo di lisciamo	Konno & Ohmachi
Lisciamo	40
Orientamento strumentazione	0° N
Terreno di misura	Suolo naturale
Meteo	Sereno

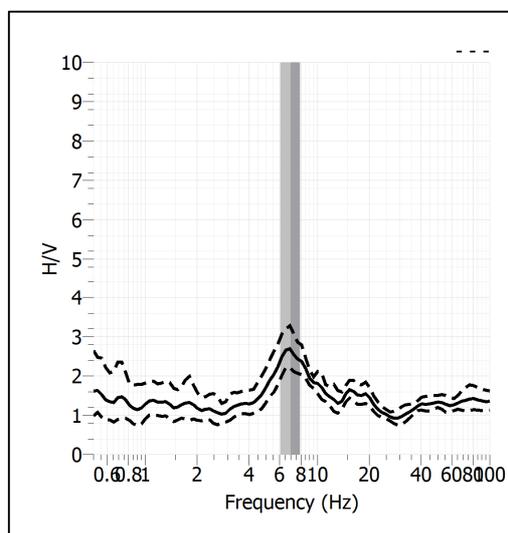


Frequenza del picco H/V	6.92 Hz
Ampiezza Media della frequenza	2.67

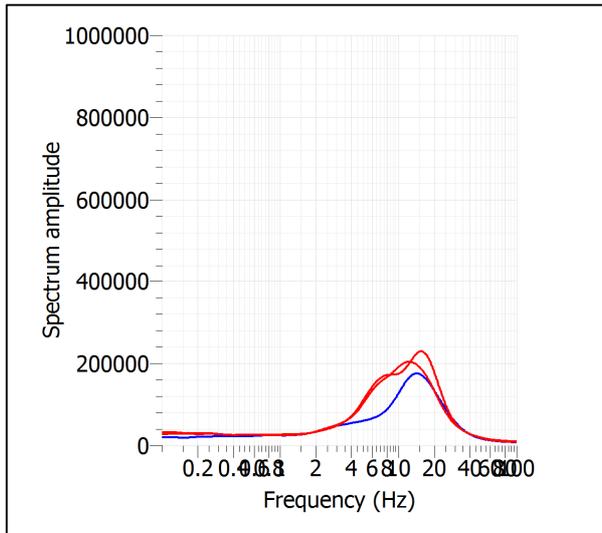
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



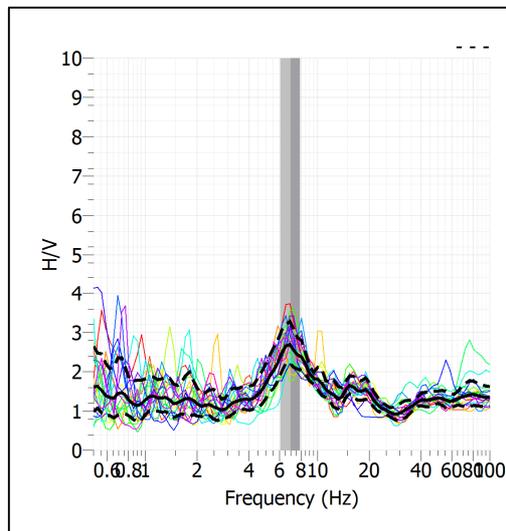
RAPPORTO SPETTRALE H/V



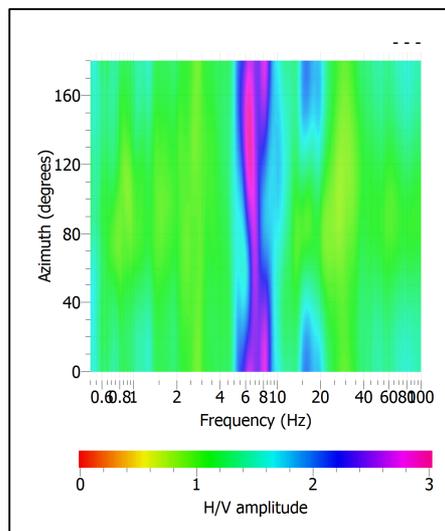
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	21	2909	6.927	0.61	2.77	1.16	BASSO
Criteria per una curva H/V affidabile							
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/L_w$			6.927	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			2909	>	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
	$A_0 > 2$			2.7715	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.6128	>	0.3464	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.1596	<	1.5800	OK

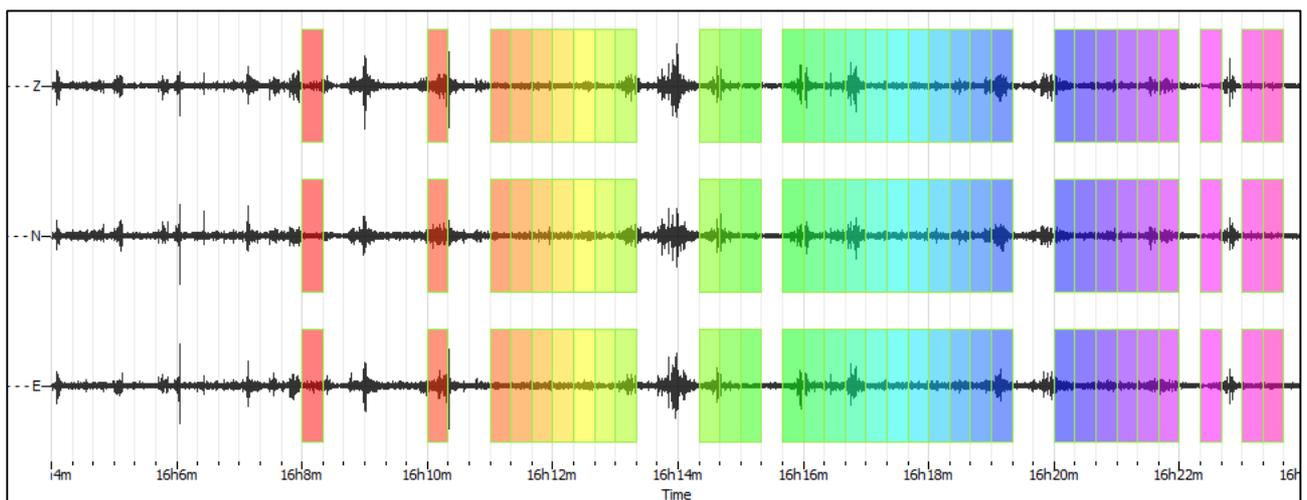
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum L_w$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico 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

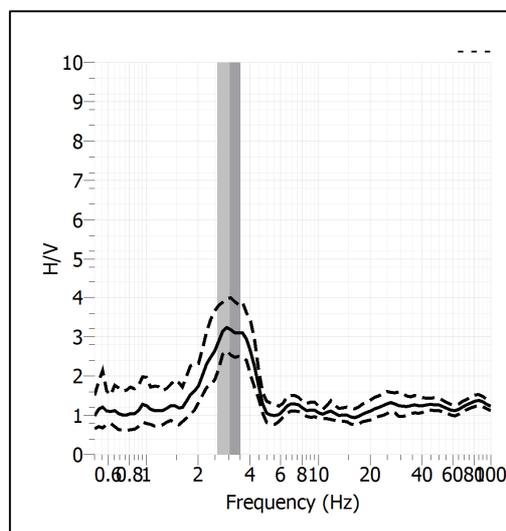
Stazione	18	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	20 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	32 (54% del tracciato)	
Tipo di lisciamto	Konno & Ohmachi	
Lisciamto	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

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

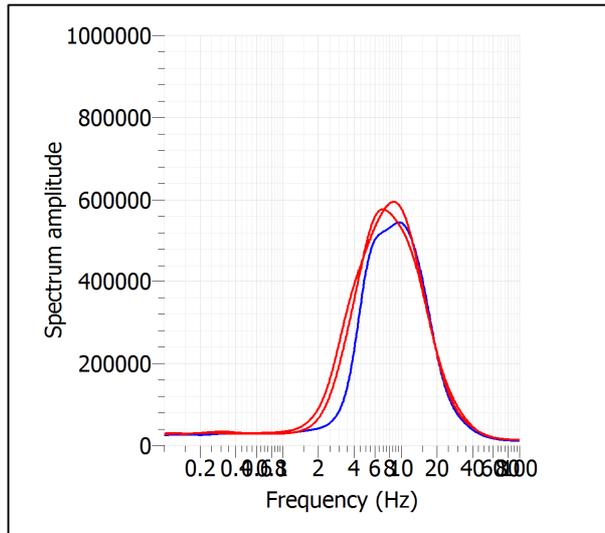
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



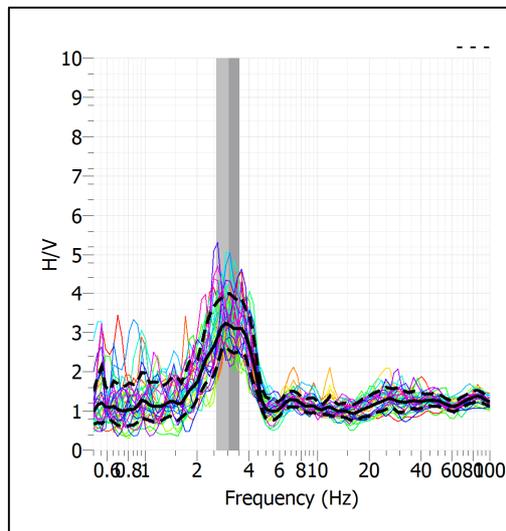
RAPPORTO SPETTRALE H/V



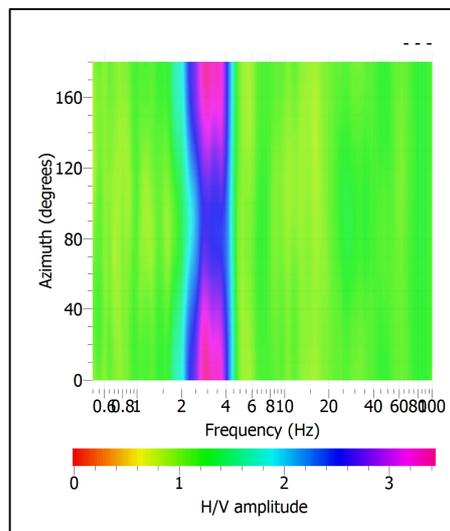
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	1.24	MODERATO
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			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
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
	$A_0 > 2$			3.1924	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						OK
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.4728	>	0.1529	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2358	<	1.5800	OK

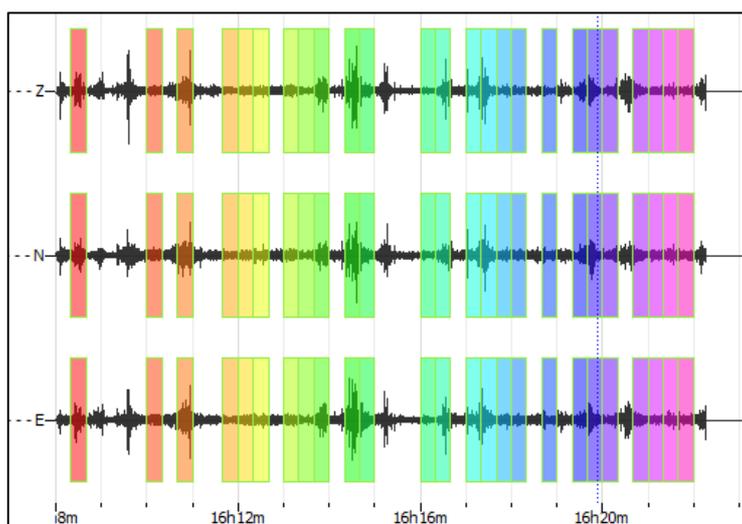
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico 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

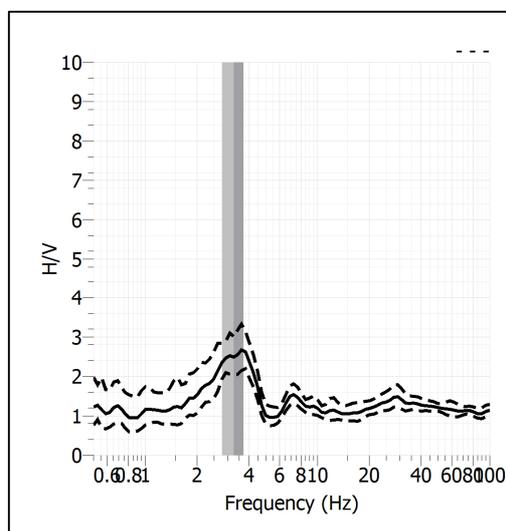
Stazione	19	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	30 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	25 (30% del tracciato)	
Tipo di lisciamiento	Konno & Ohmachi	
Lisciamiento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

Frequenza del picco H/V	3.26 Hz
Ampiezza Media della frequenza	2.49

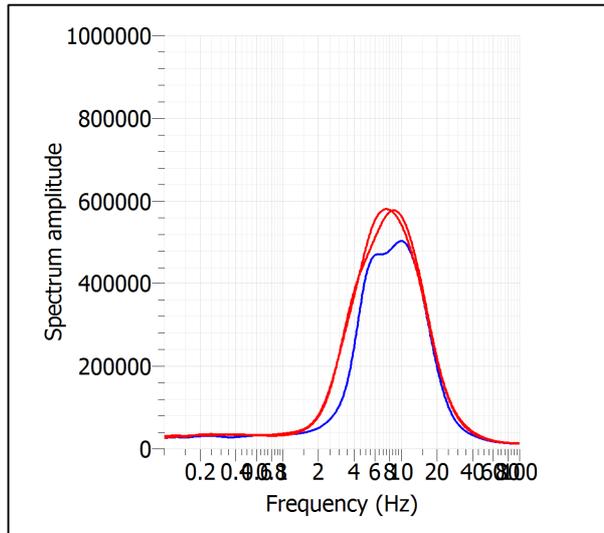
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



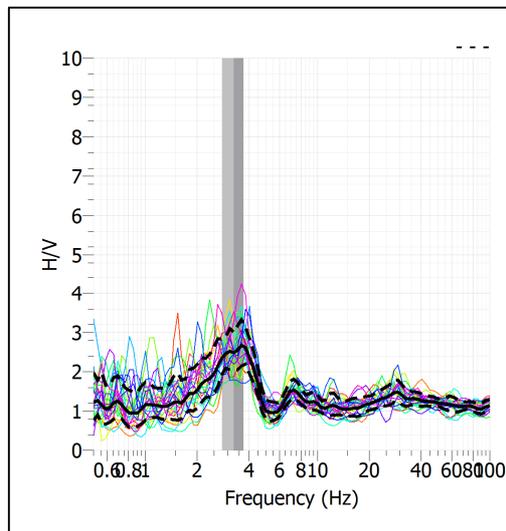
RAPPORTO SPETTRALE H/V



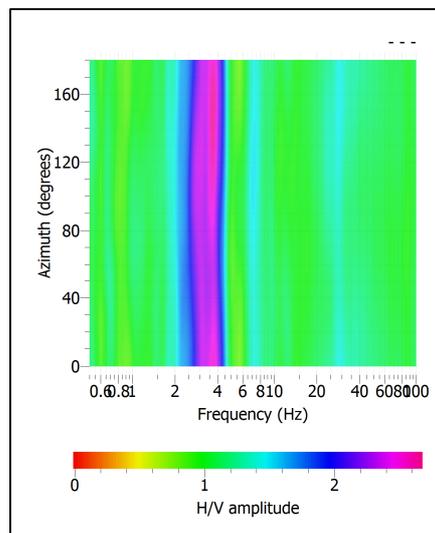
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	25	1630	3.260	0.47	2.49	1.21	BASSO	
Criteria per una curva H/V affidabile [Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]								
$f_0 > 10/Lw$			3.260	>	0.500		OK	
$n_c(f_0) > 200$			1630	>	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	
	$A_0 > 2$			2.4891	>	2		OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO	
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.4716	>	0.1630		OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2148	<	1.5800		OK

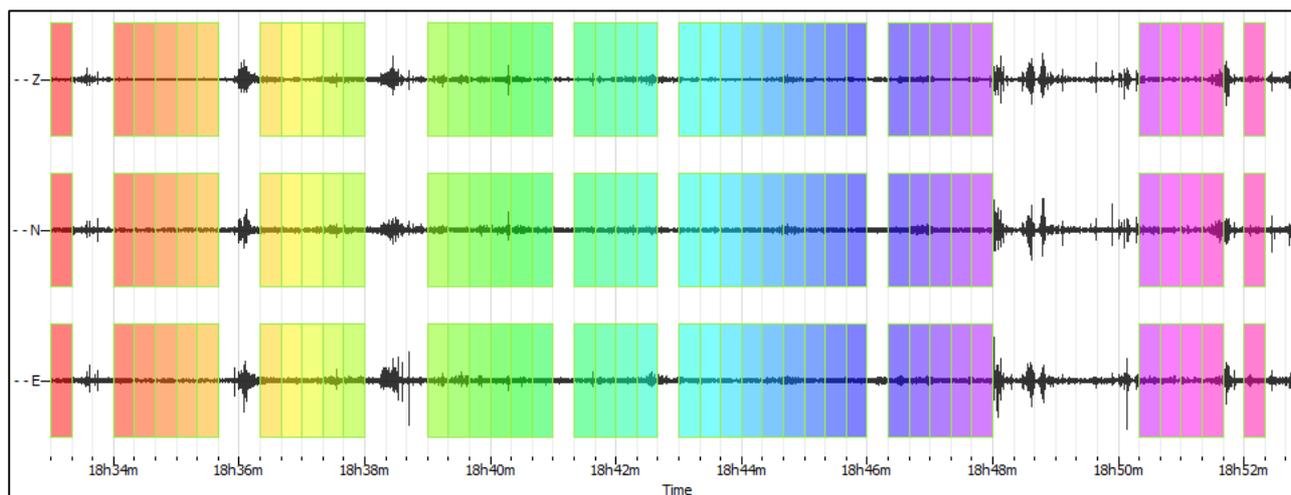
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico 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

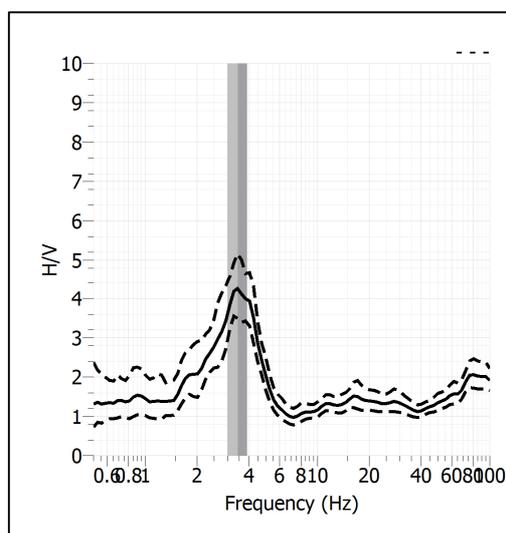
Stazione	20	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	20 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	40 (75% del tracciato)	
Tipo di lisciamiento	Konno & Ohmachi	
Lisciamiento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

Frequenza del picco H/V	3.45 Hz
Ampiezza Media della frequenza	4.24

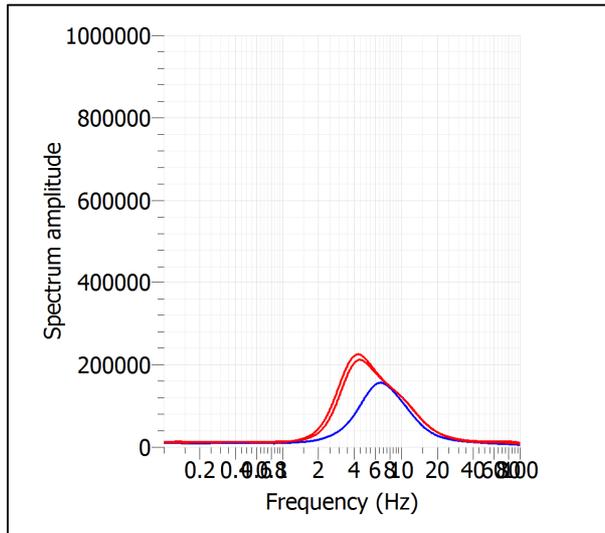
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



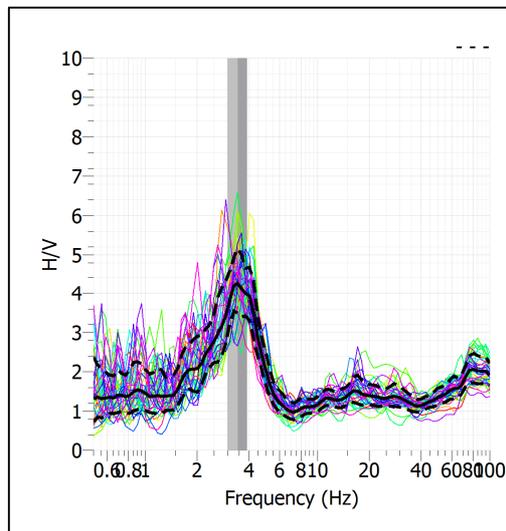
RAPPORTO SPETTRALE H/V



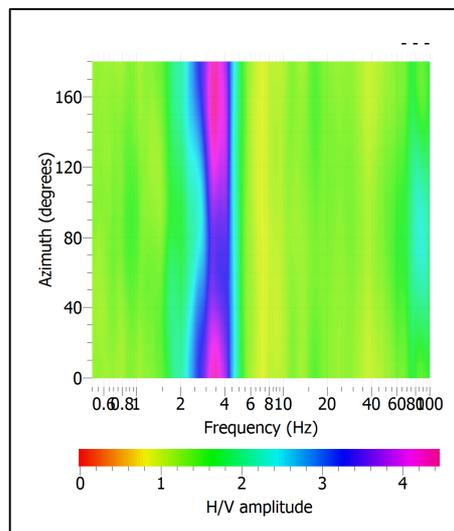
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	40	2763	3.453	0.45	4.24	1.22	ALTO
Criteria per una curva H/V affidabile							
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			3.453	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			2763	>	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
	$A_0 > 2$			4.2353	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.4517	>	0.1727	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2157	<	1.5800	OK

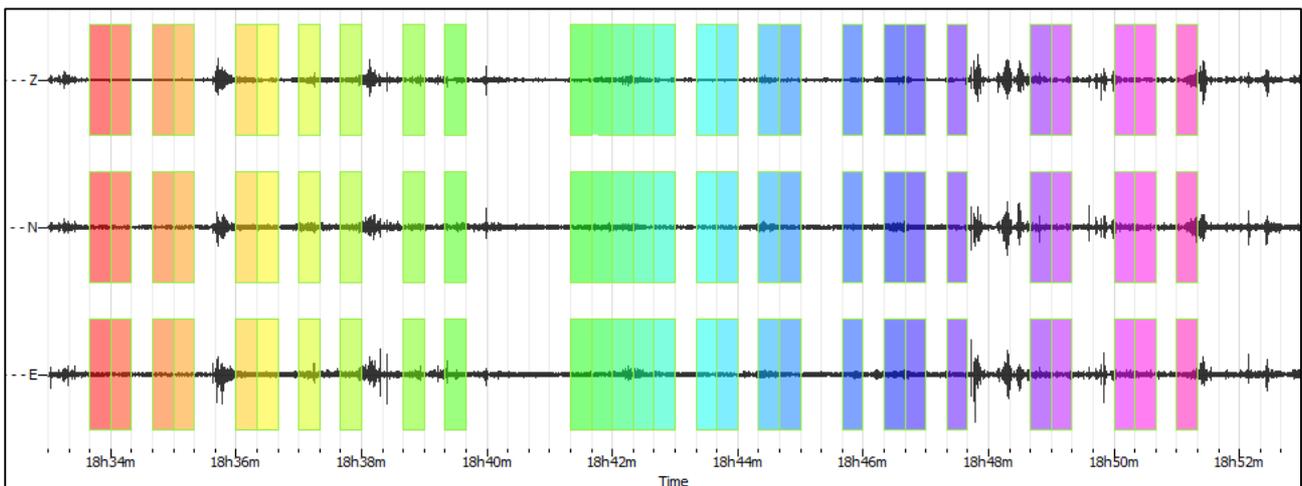
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico 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

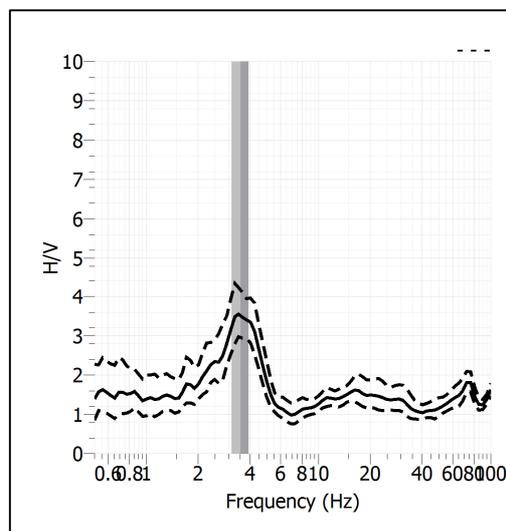
Stazione	21	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	20 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	28 (46% del tracciato)	
Tipo di lisciamiento	Konno & Ohmachi	
Lisciamiento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

Frequenza del picco H/V	3.53 Hz
Ampiezza Media della frequenza	3.51

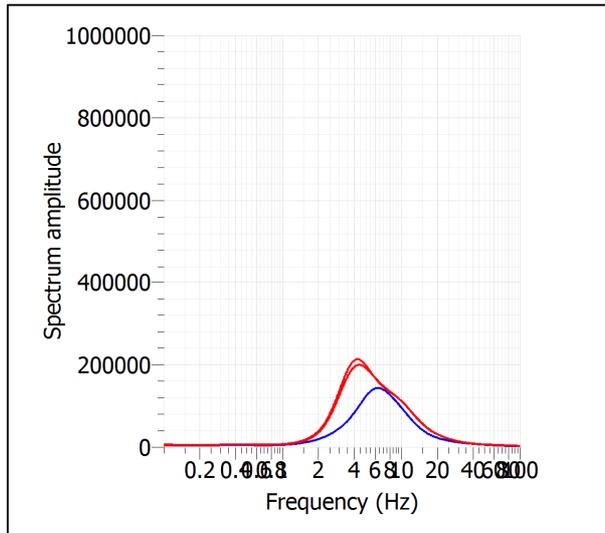
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



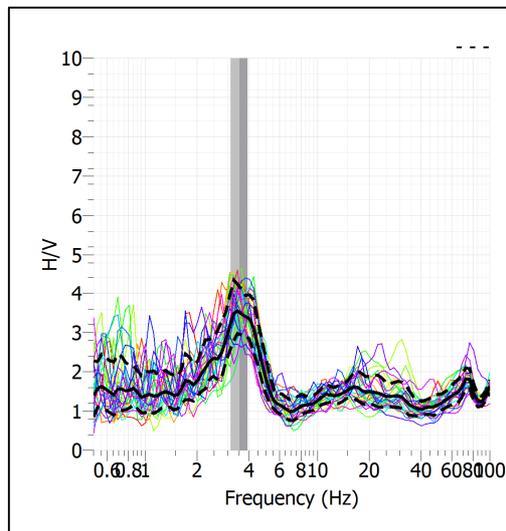
RAPPORTO SPETTRALE H/V



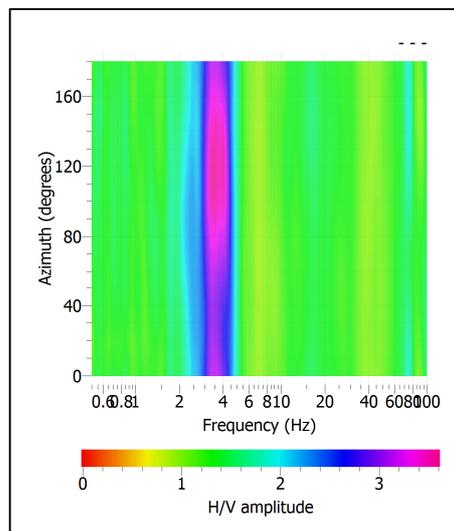
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	28	1979	3.534	0.40	3.51	1.19	MODERATO
Criteri per una curva H/V affidabile							
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			3.534	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			1979	>	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
	$A_0 > 2$			3.5101	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.3960	>	0.1767	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.1862	<	1.5800	OK

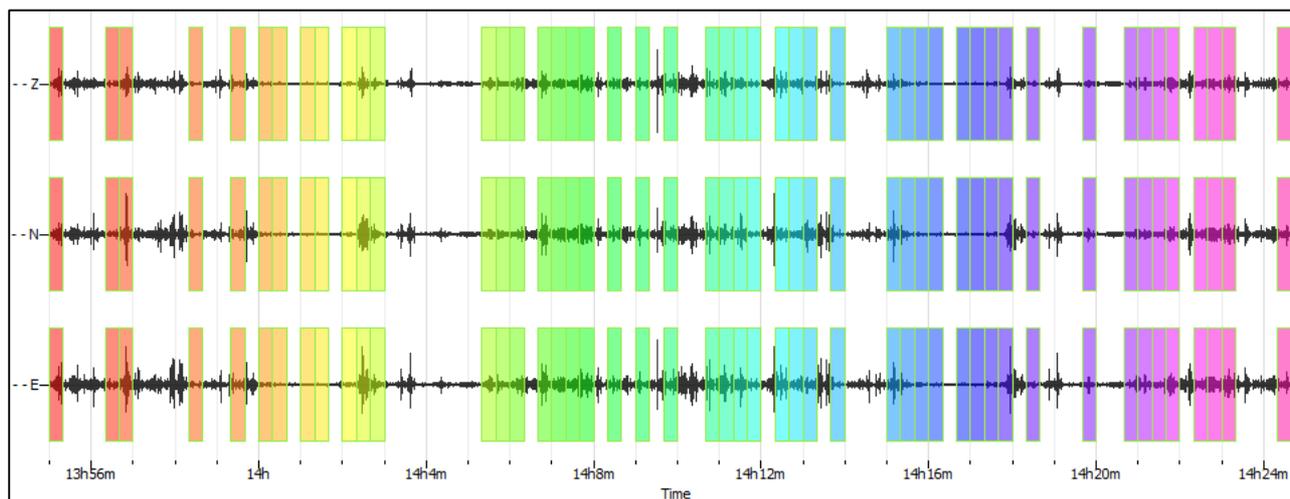
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico 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

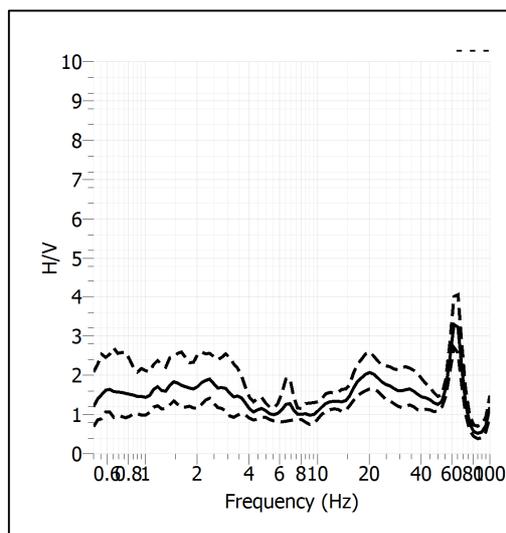
Stazione	22	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	30 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	48 (54% del tracciato)	
Tipo di lisciamto	Konno & Ohmachi	
Lisciamto	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

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

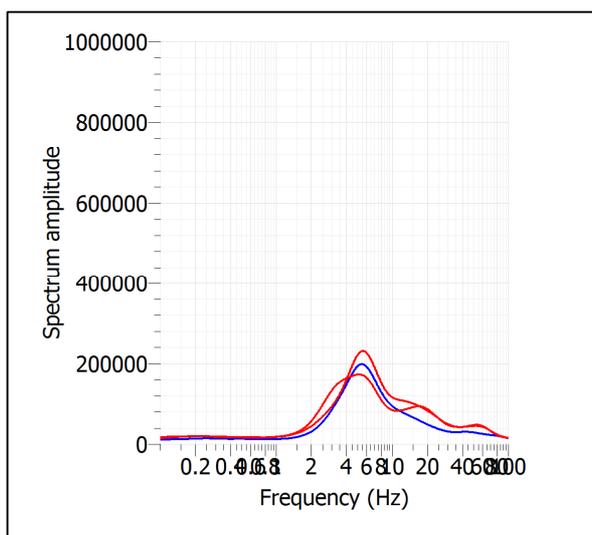
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



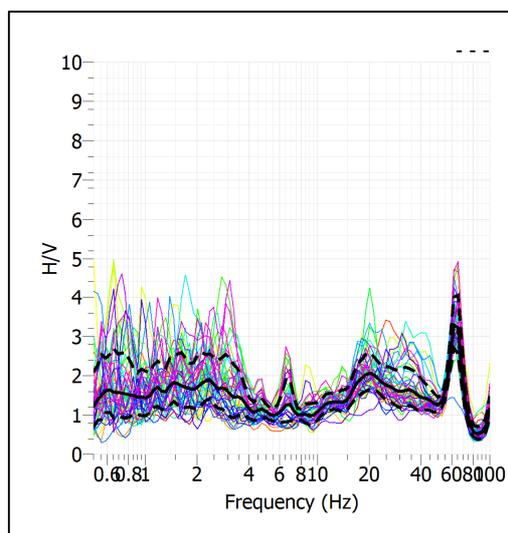
RAPPORTO SPETTRALE H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



CRITERI SESAME

ULTERIORI CRITERI (D.Albarelo, 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	NO
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	NO
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

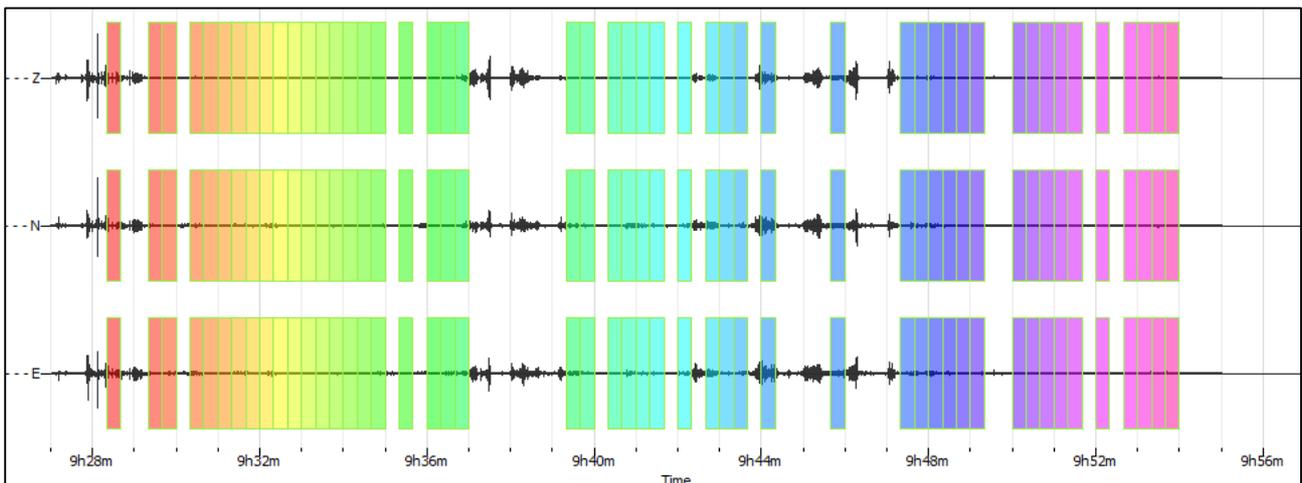
CLASSE | A2

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

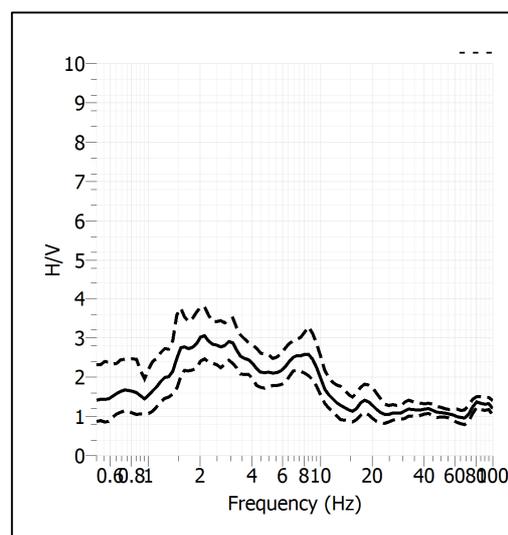
Stazione	23	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	30 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	49 (55% del tracciato)	
Tipo di lisciamiento	Konno & Ohmachi	
Lisciamiento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

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

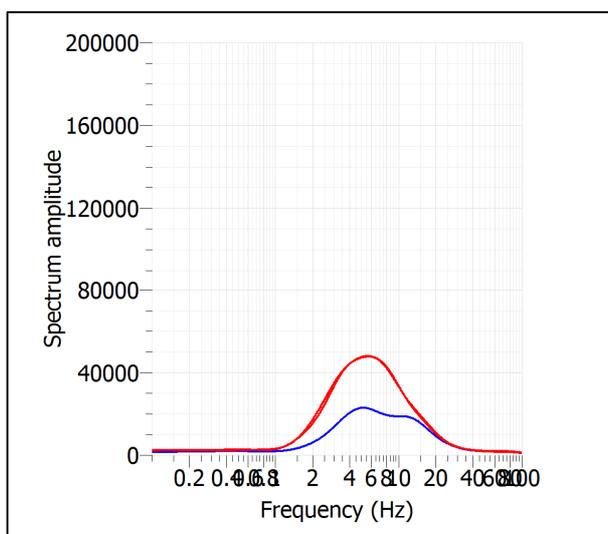
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



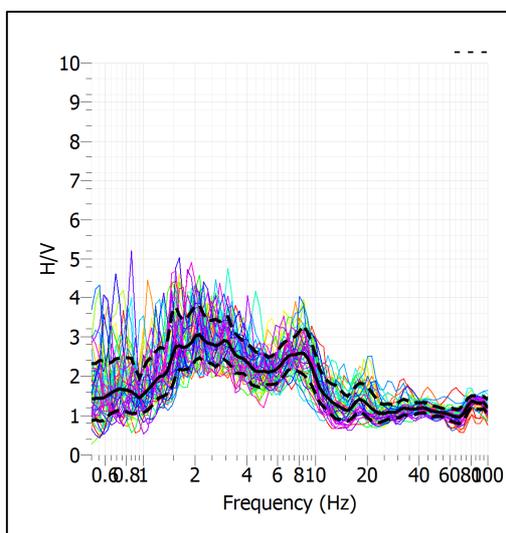
RAPPORTO SPETTRALE H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	NO
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	NO
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	NO

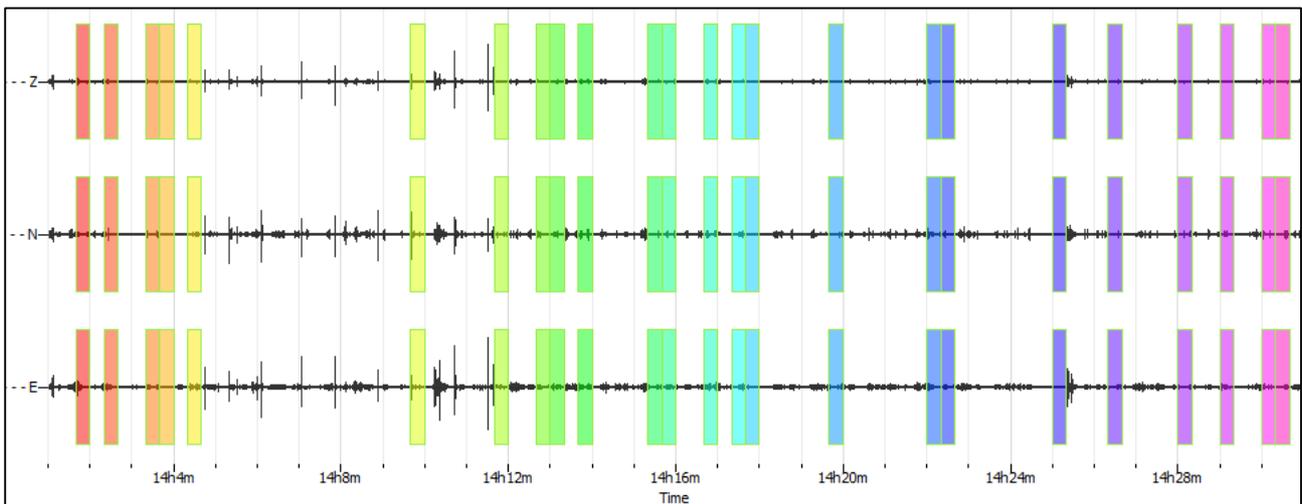
CLASSE | A2

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

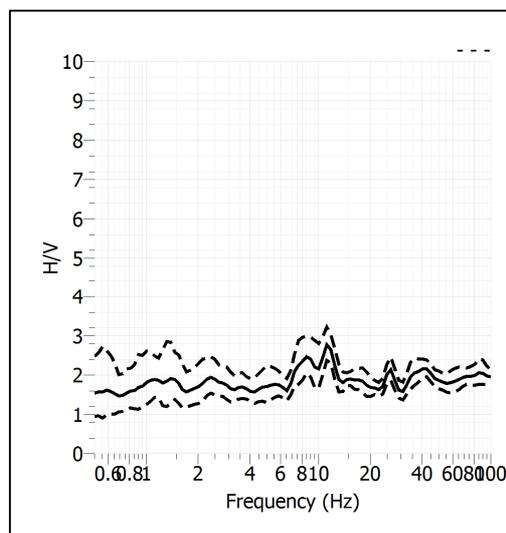
Stazione	24	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	30 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	49 (55% del tracciato)	
Tipo di lisciamiento	Konno & Ohmachi	
Lisciamiento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

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

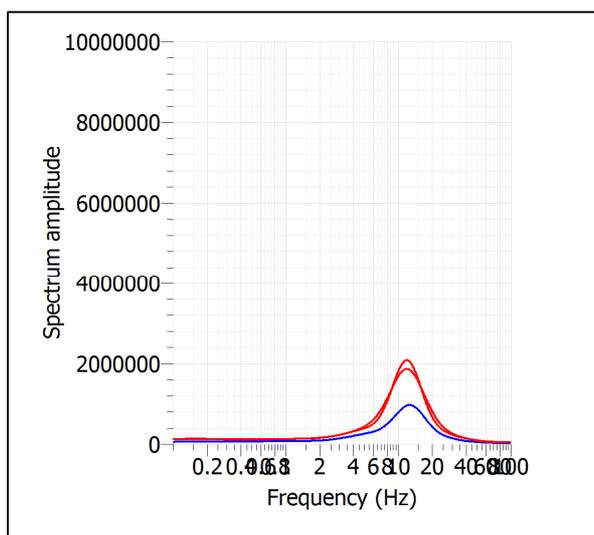
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



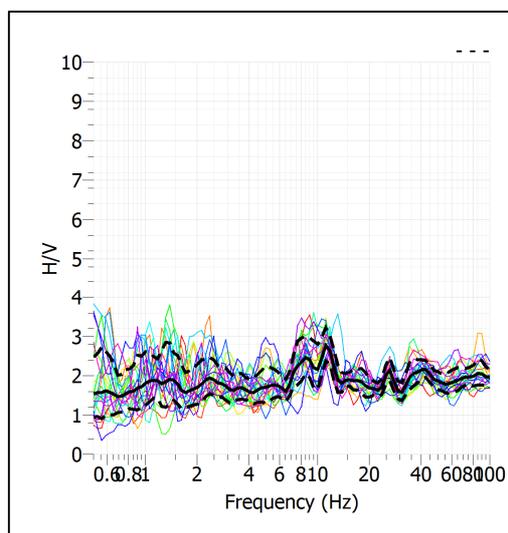
RAPPORTO SPETTRALE H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



CRITERI SESAME

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	NO
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	NO
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

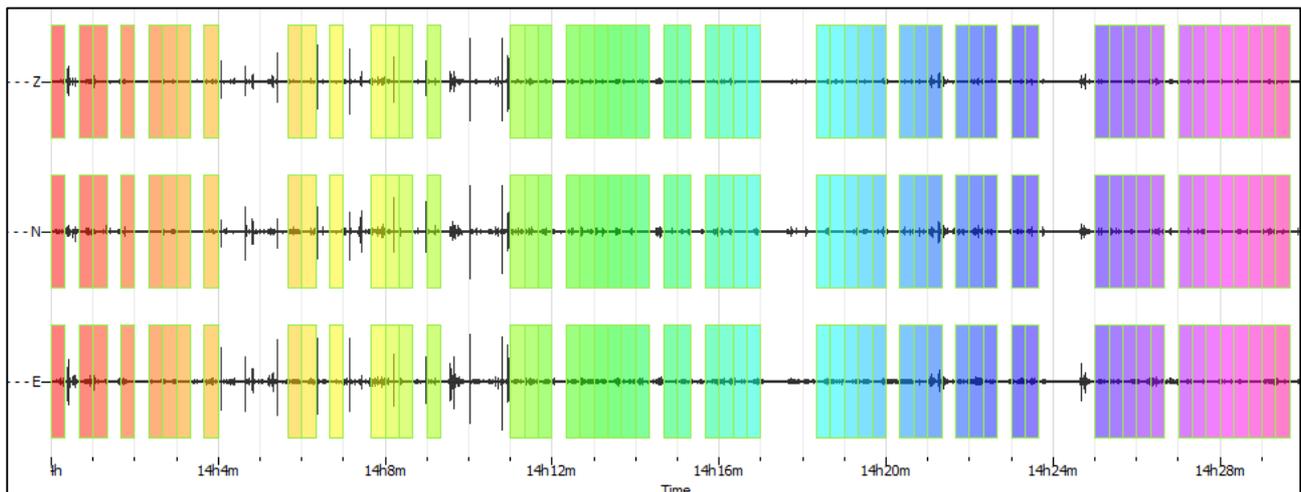
CLASSE | A2

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

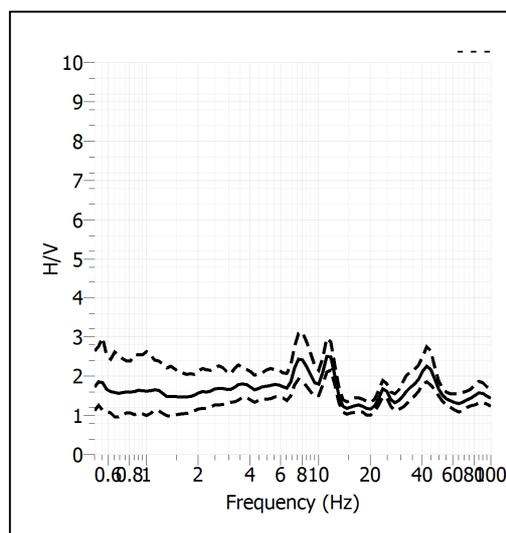
Stazione	25	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	30 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	56 (64% del tracciato)	
Tipo di lisciamto	Konno & Ohmachi	
Lisciamto	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

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

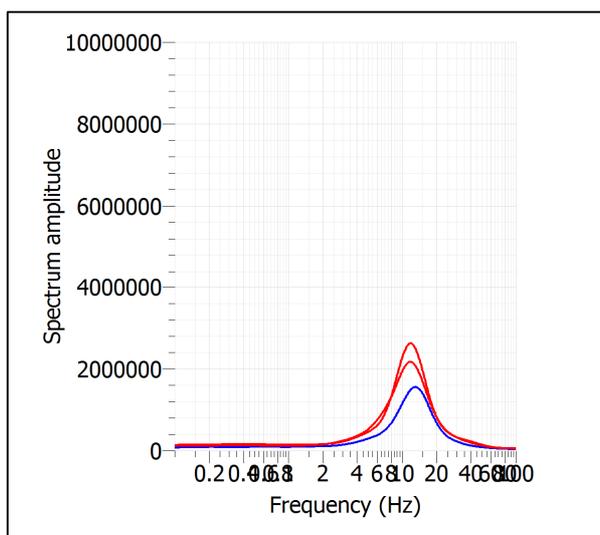
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



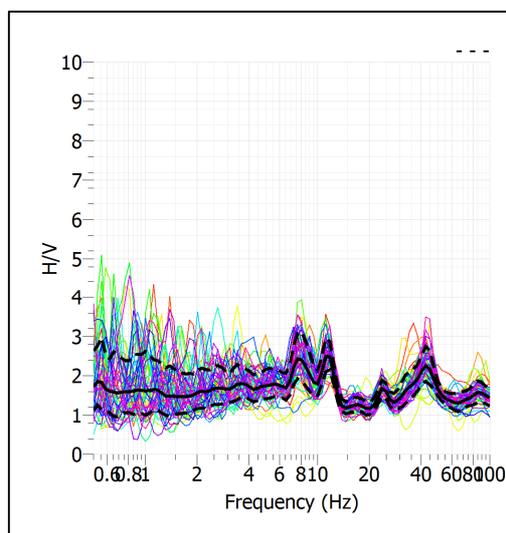
RAPPORTO SPETTRALE H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	NO
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	NO
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

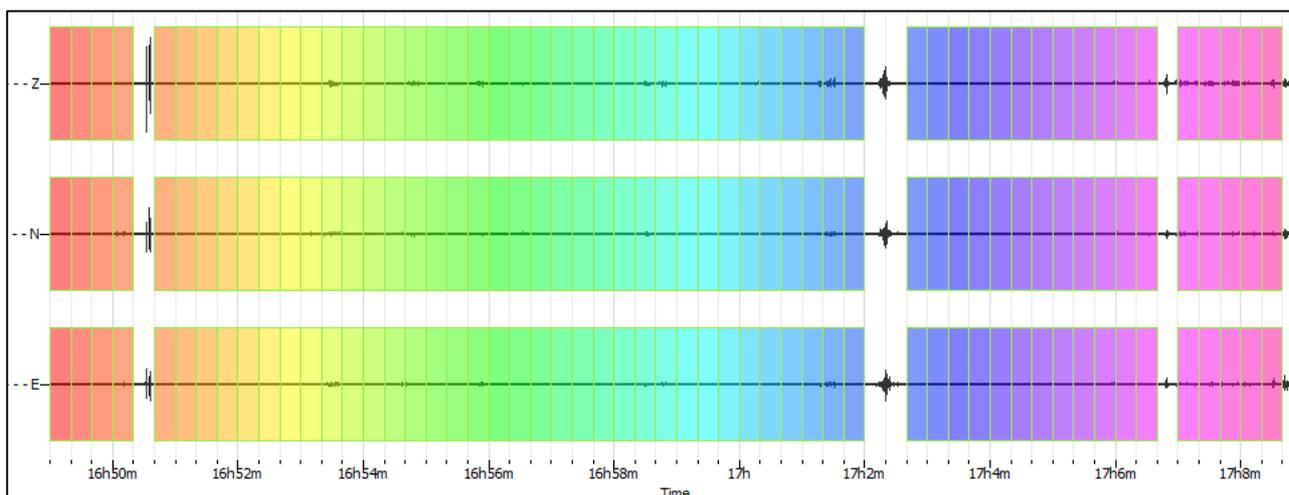
CLASSE | A2

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

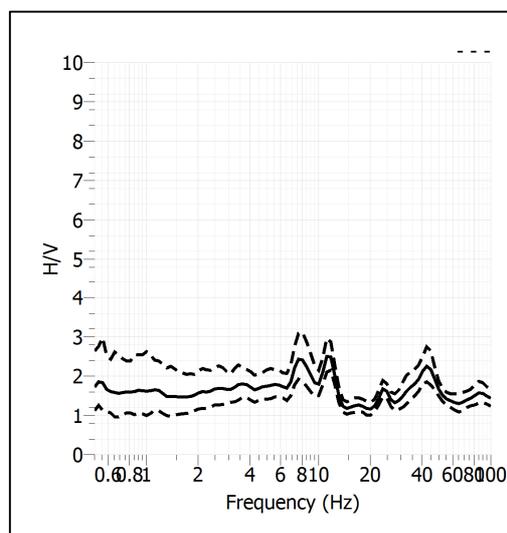
Stazione	26	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	20 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	55 (98% del tracciato)	
Tipo di lisciamiento	Konno & Ohmachi	
Lisciamiento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

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

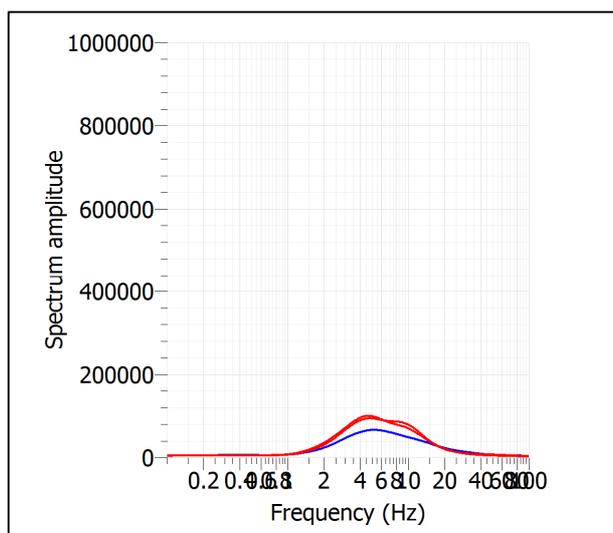
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



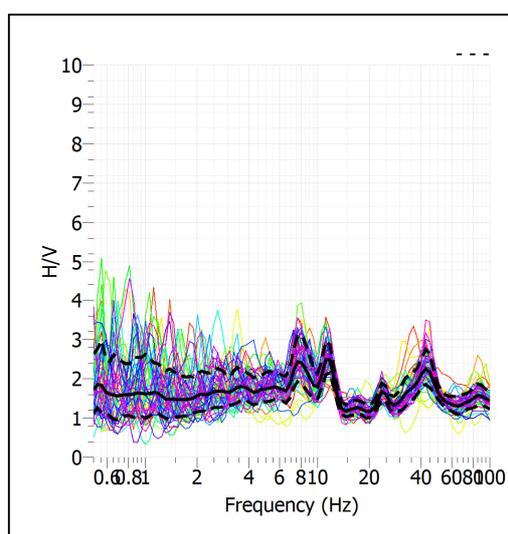
RAPPORTO SPETTRALE H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	NO
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	NO
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

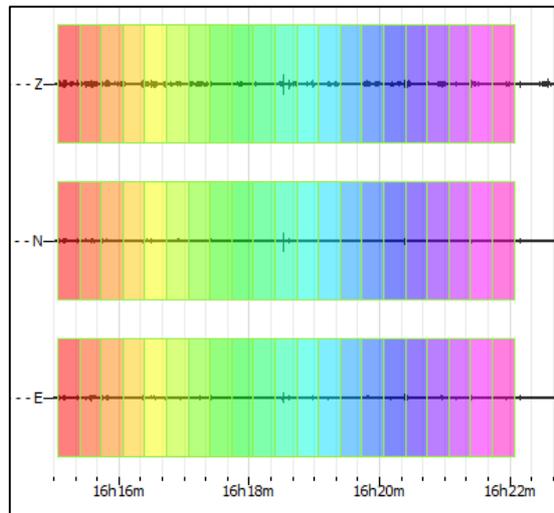
CLASSE | A2

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

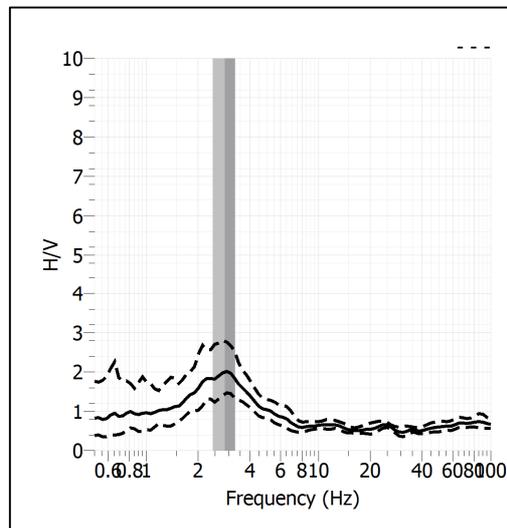
Stazione	27	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	20 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	21 (30% del tracciato)	
Tipo di lisciamento	Konno & Ohmachi	
Lisciamento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

Frequenza del picco H/V	2.85 Hz
Ampiezza Media della frequenza	2.00

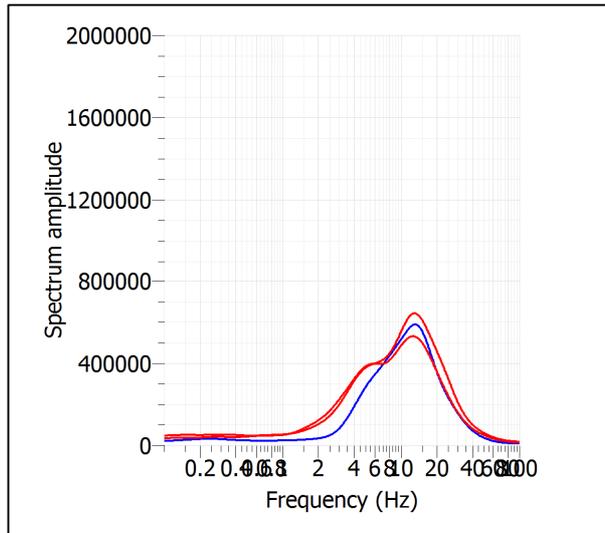
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



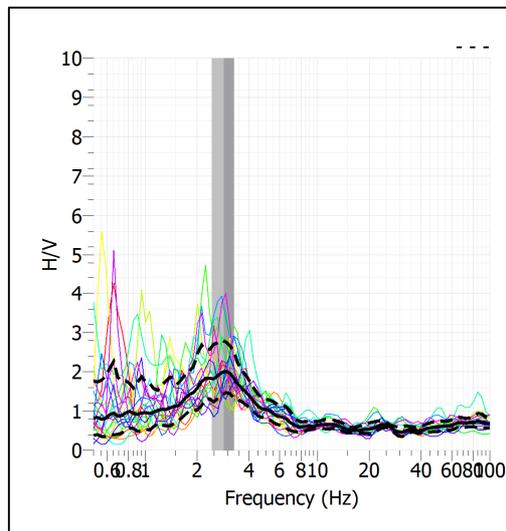
RAPPORTO SPETTRALE H/V



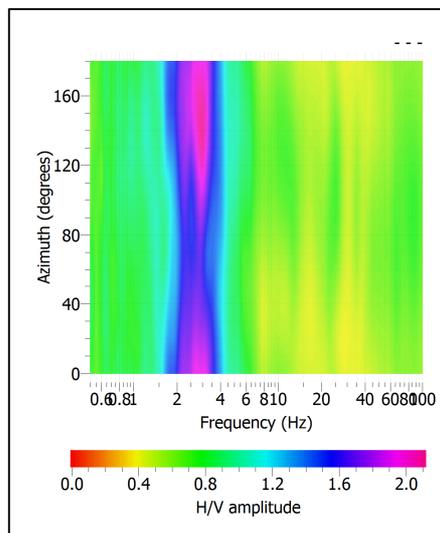
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	21	1200	2.857	0.42	2.00	1.39	BASSO
Criteria per una curva H/V affidabile							
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			2.857	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			1200	>	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
	$A_0 > 2$						1.9999 < 2 NO
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						OK
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$						0.4237 > 0.1429 OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$						1.3920 < 1.5800 OK

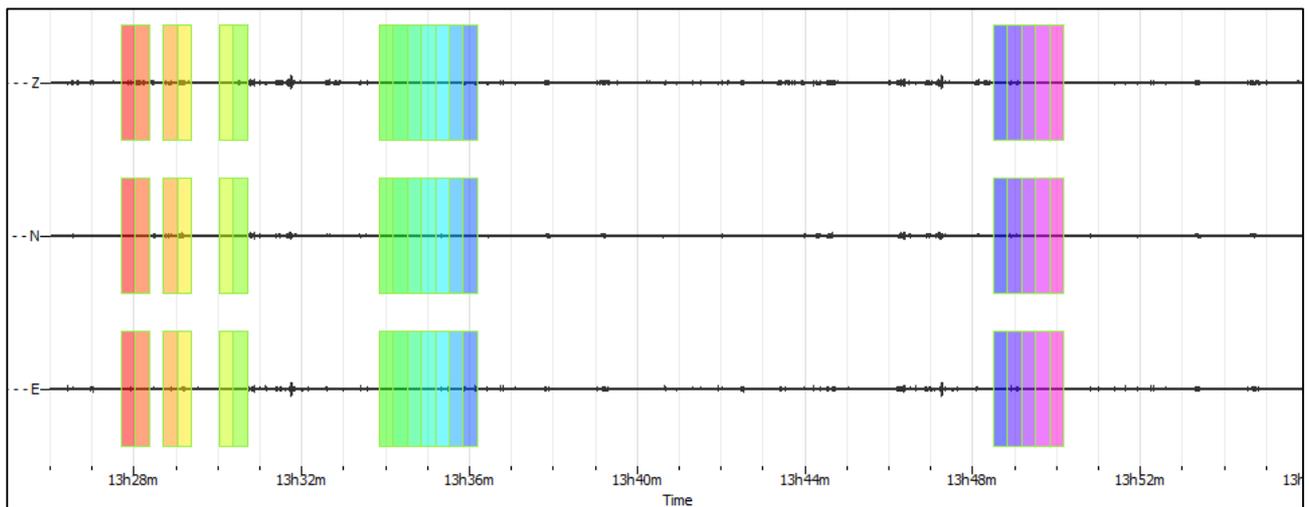
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico 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

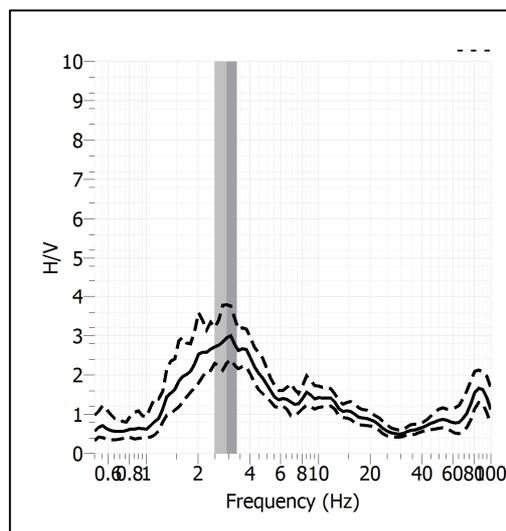
Stazione	28	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	20 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	21 (30% del tracciato)	
Tipo di lisciamo	Konno & Ohmachi	
Lisciamo	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

Frequenza del picco H/V	2.93 Hz
Ampiezza Media della frequenza	2.96

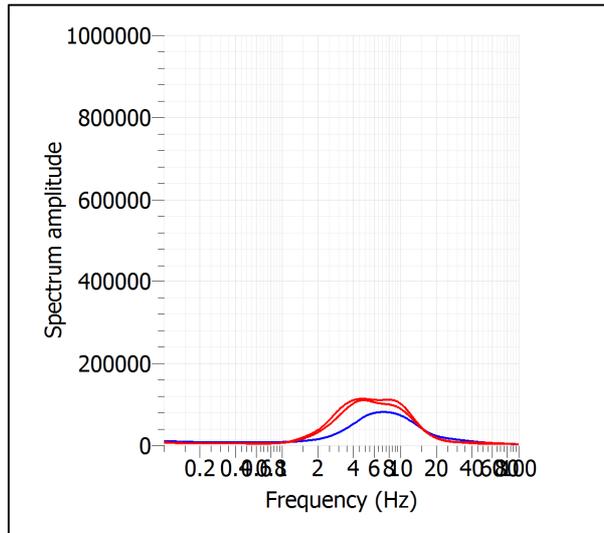
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



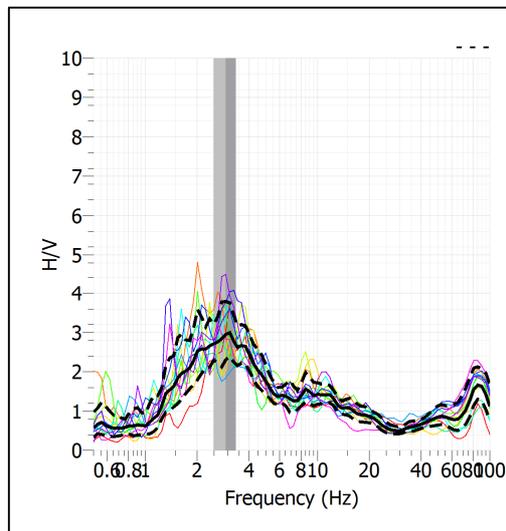
RAPPORTO SPETTRALE H/V



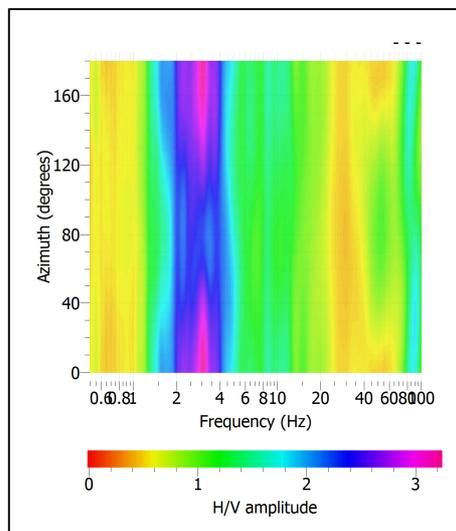
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	762	2.929	0.43	2.96	1.28	BASSO
Criteri per una curva H/V affidabile							
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/L_w$			2.929	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			762	>	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
	$A_0 > 2$			2.9563	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.4330	>	0.1464	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2771	<	1.5800	OK

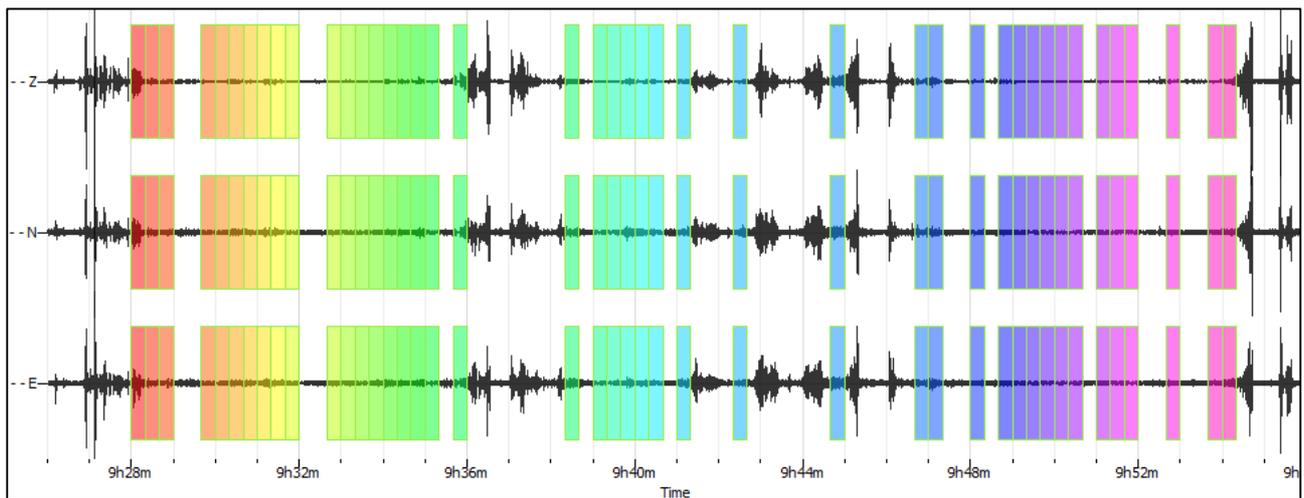
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum L_w$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico 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

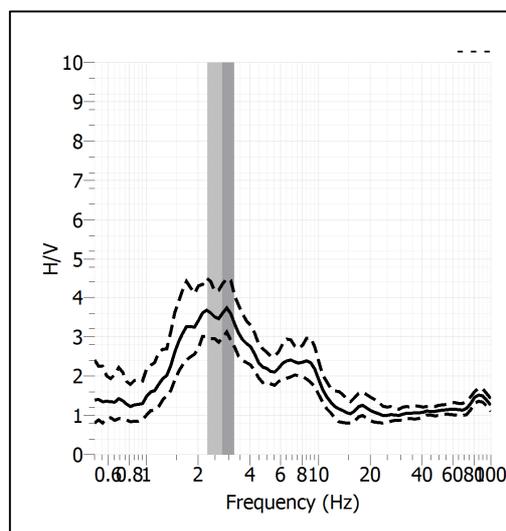
Stazione	29	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	30 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	43 (46% del tracciato)	
Tipo di lisciamiento	Konno & Ohmachi	
Lisciamiento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

Frequenza del picco H/V	2.76 Hz
Ampiezza Media della frequenza	3.59

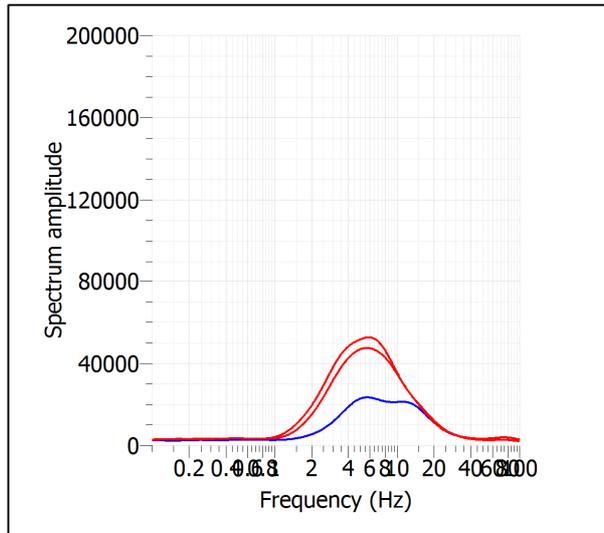
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



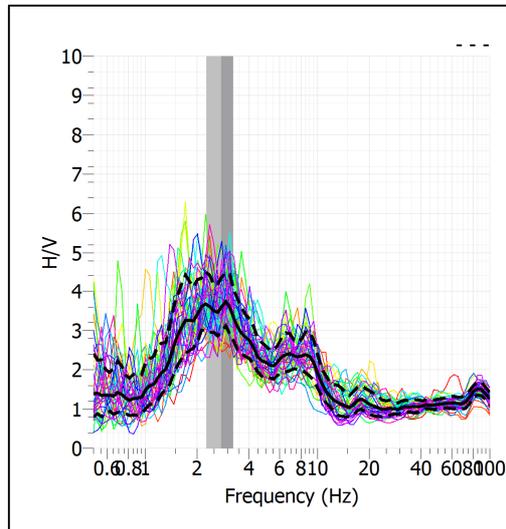
RAPPORTO SPETTRALE H/V



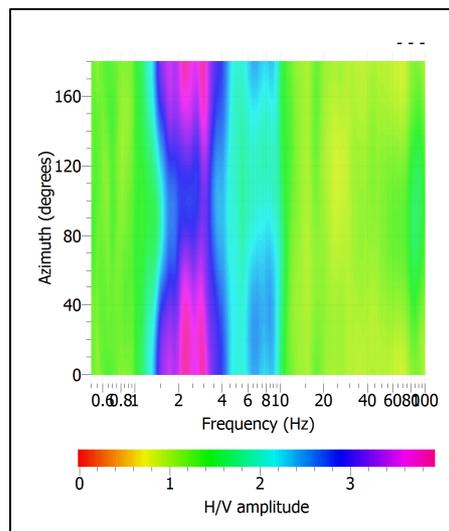
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	2374	2.760	0.49	3.59	1.21	MODERATO
Criteria per una curva H/V affidabile							
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/L_w$			2.760	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			2374	>	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
	$A_0 > 2$			3.5940	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.4899	>	0.1380	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2075	<	1.5800	OK

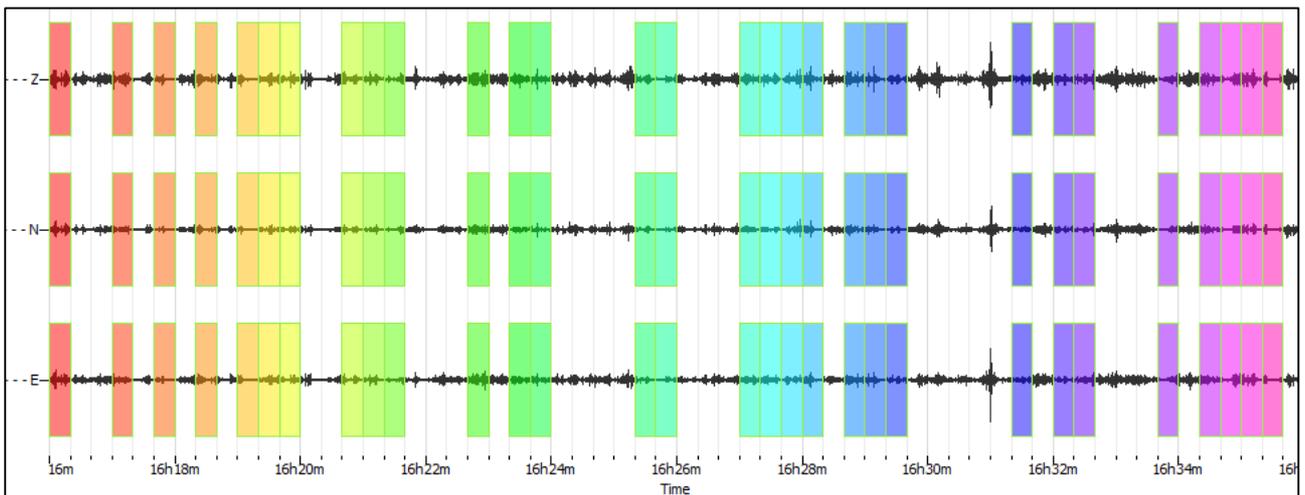
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum L_w$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico 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

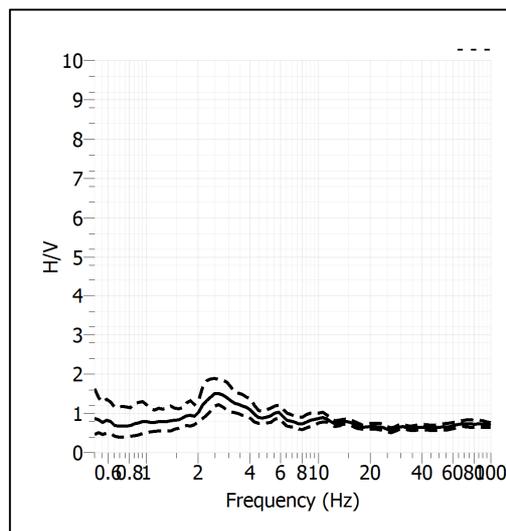
Stazione	30	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	20 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	30 (49% del tracciato)	
Tipo di lisciamiento	Konno & Ohmachi	
Lisciamiento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

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

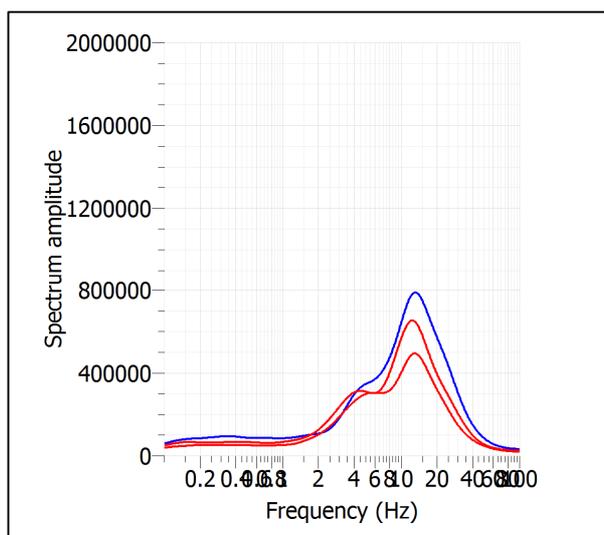
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



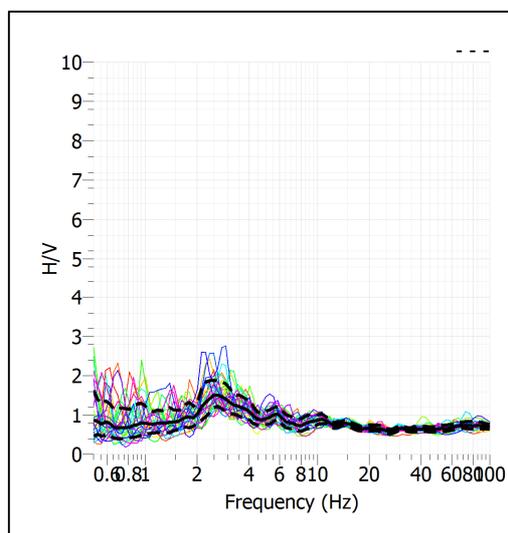
RAPPORTO SPETTRALE H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



CRITERI SESAME

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	NO
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	NO
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

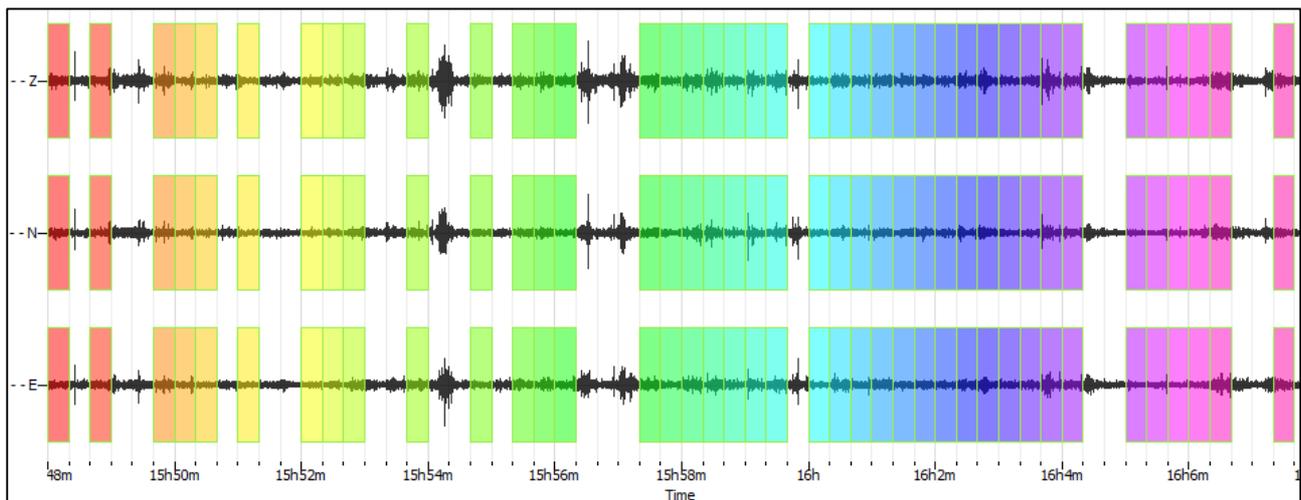
CLASSE | A2

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

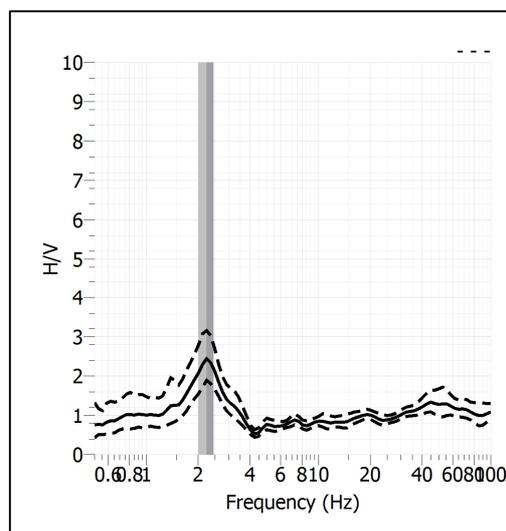
Stazione	31	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	20 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	42 (71% del tracciato)	
Tipo di lisciamiento	Konno & Ohmachi	
Lisciamiento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

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

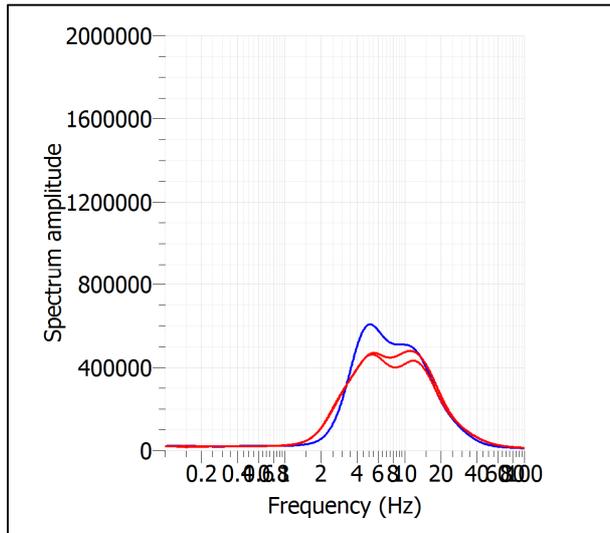
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



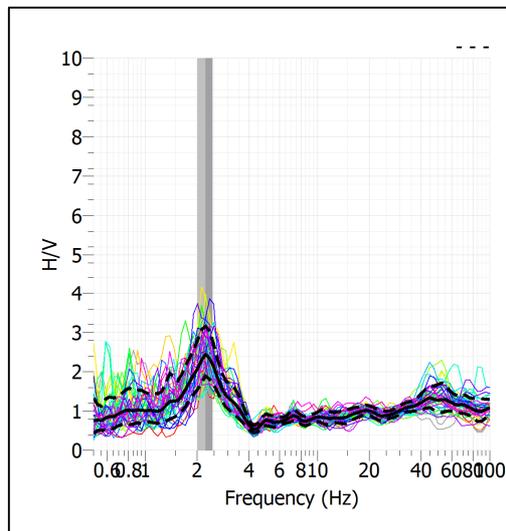
RAPPORTO SPETTRALE H/V



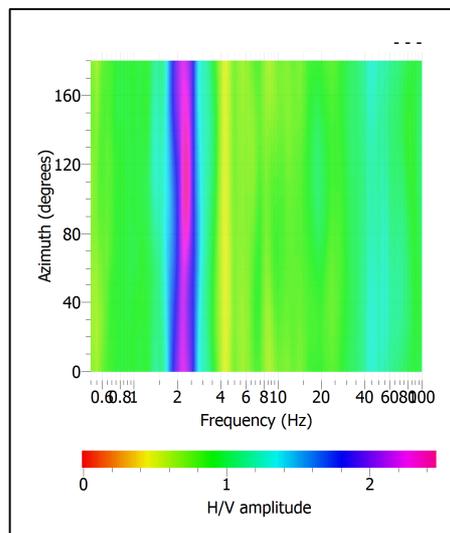
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	1880	2.238	0.23	2.44	1.29	BASSO
Criteri per una curva H/V affidabile							
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			2.238	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			1880	>	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
	$A_0 > 2$			2.4413	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						OK
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.2268	>	0.1119	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.2942	<	1.5800	OK

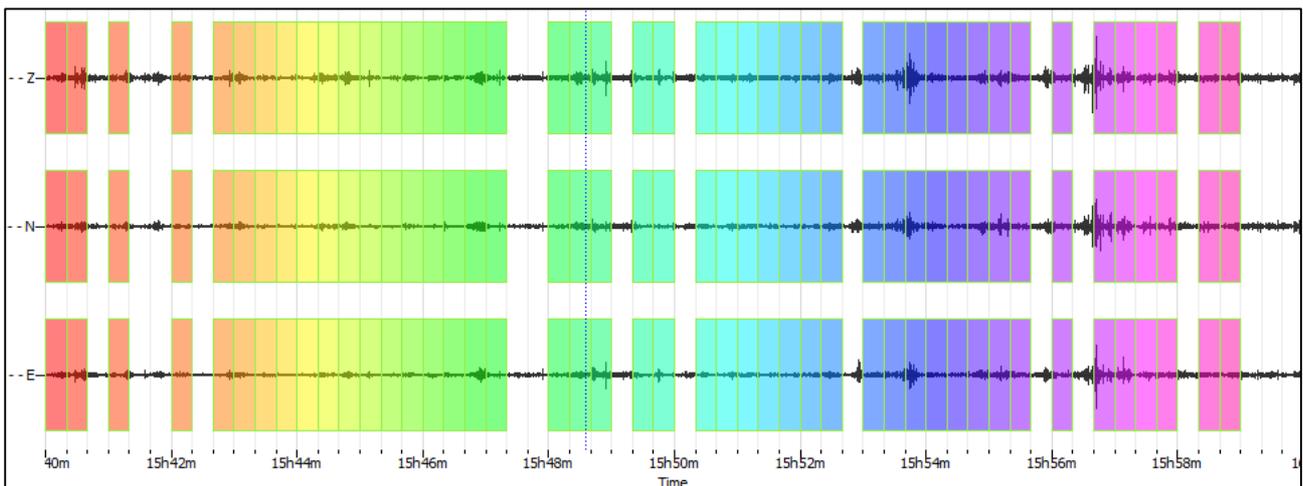
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico 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

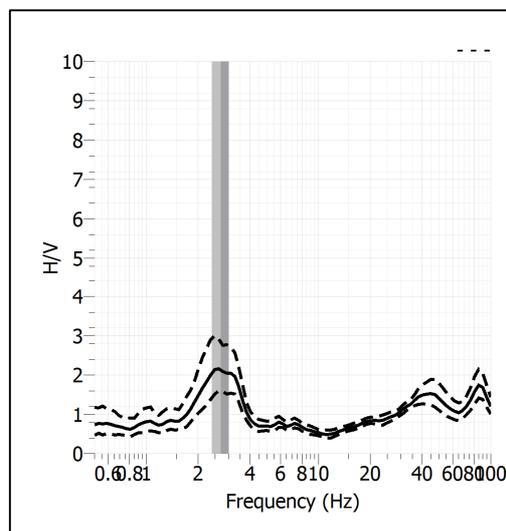
Stazione	32	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	20 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	45 (76% del tracciato)	
Tipo di lisciamiento	Konno & Ohmachi	
Lisciamiento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

Frequenza del picco H/V	2.71 Hz
Ampiezza Media della frequenza	2.12

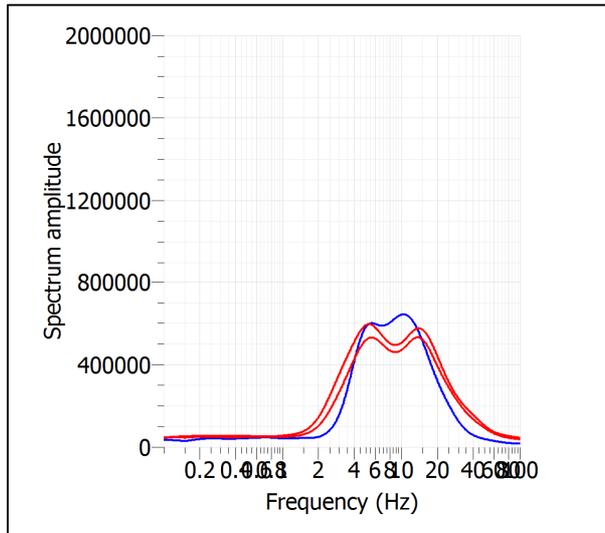
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



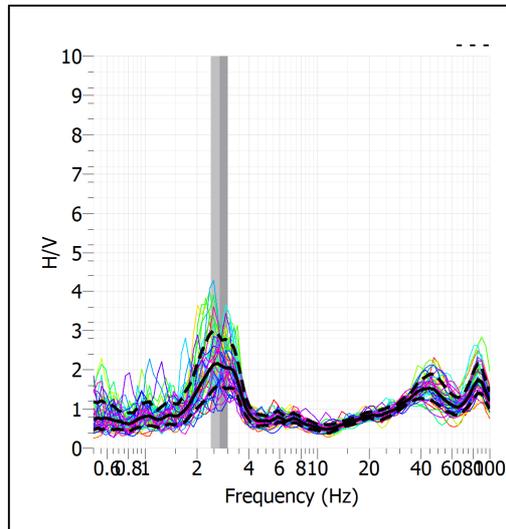
RAPPORTO SPETTRALE H/V



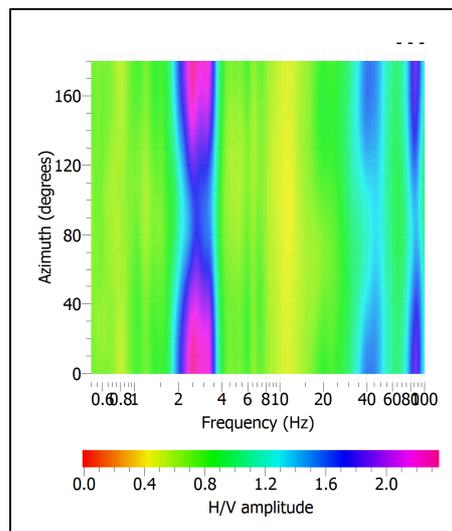
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	2442	2.714	0.30	2.12	1.34	BASSO
Criteria per una curva H/V affidabile							
[Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			2.714	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			2442	>	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
	$A_0 > 2$			2.1185	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						NO
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.3029	>	0.1357	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.3396	<	1.5800	OK

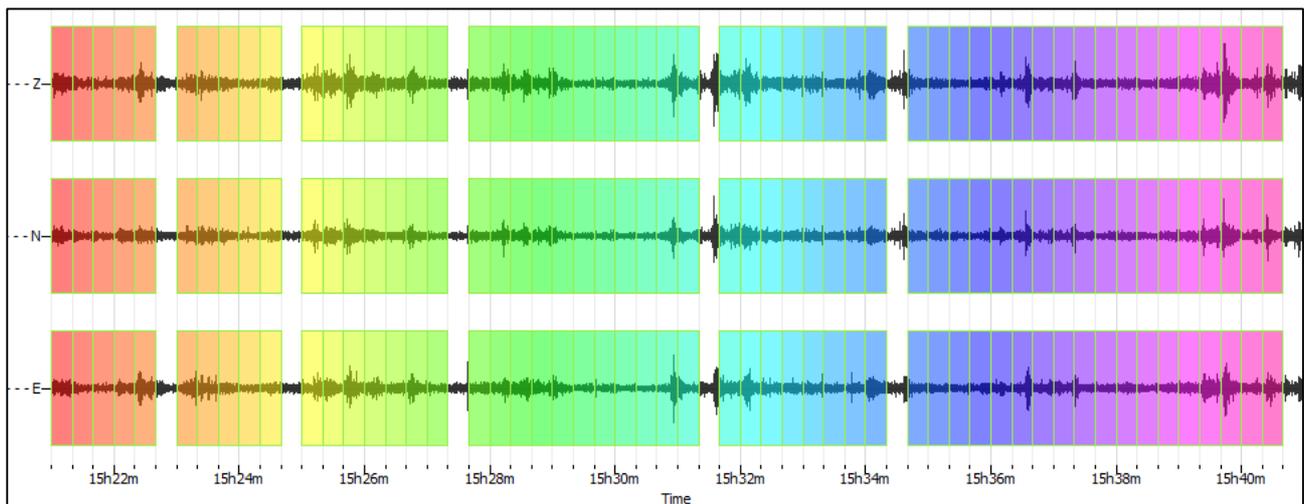
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico 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

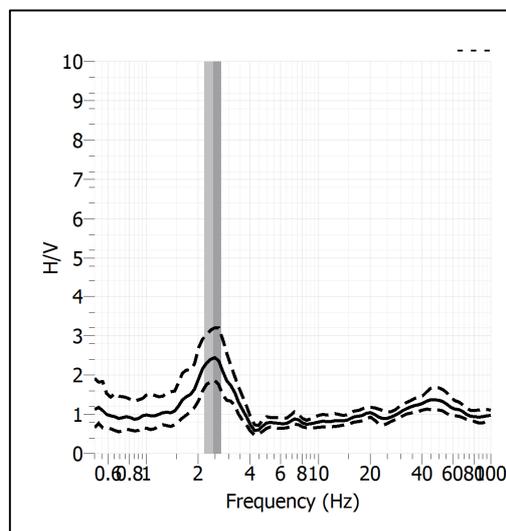
Stazione	33	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	20 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	54 (90% del tracciato)	
Tipo di lisciamo	Konno & Ohmachi	
Lisciamo	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

Frequenza del picco H/V	2.45 Hz
Ampiezza Media della frequenza	2.43

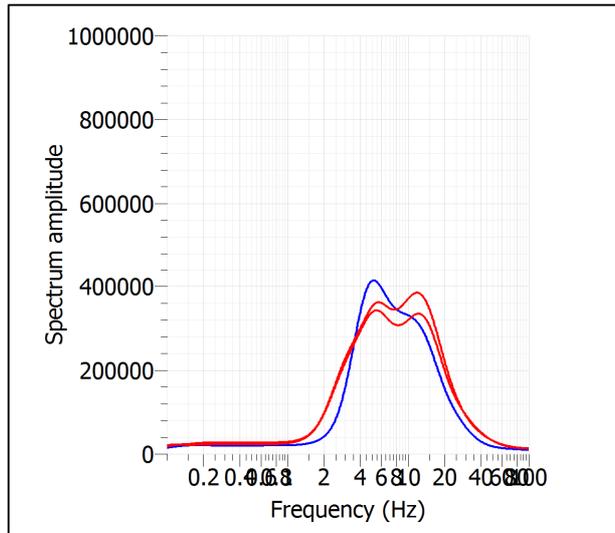
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



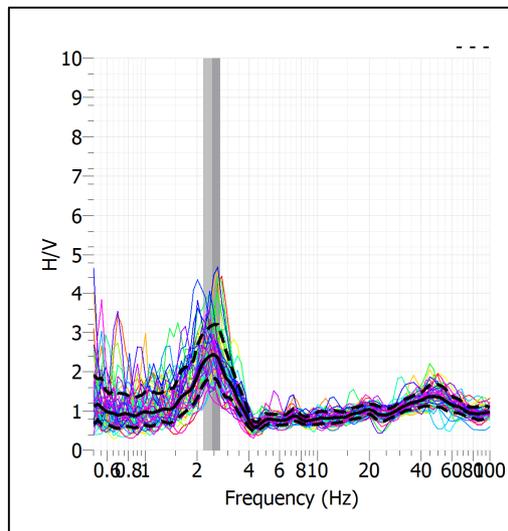
RAPPORTO SPETTRALE H/V



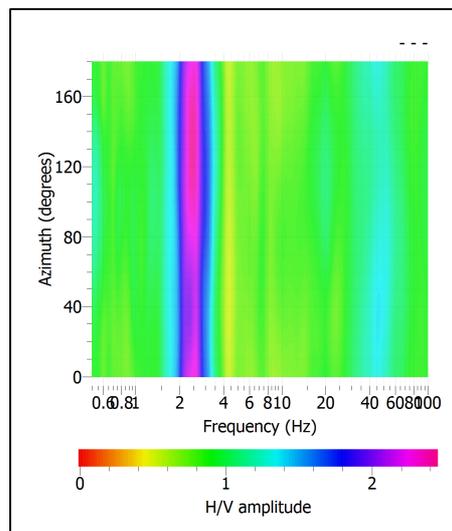
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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	54	2645	2.449	0.28	2.43	1.31	BASSO
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]							
$f_0 > 10/Lw$			2.449	>	0.500		OK
$n_c(f_0) > 200$			2645	>	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
	$A_0 > 2$			2.4284	>	2	OK
Stability conditions	$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$						OK
	$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$			0.2755	>	0.1225	OK
	$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$			1.3104	<	1.5800	OK

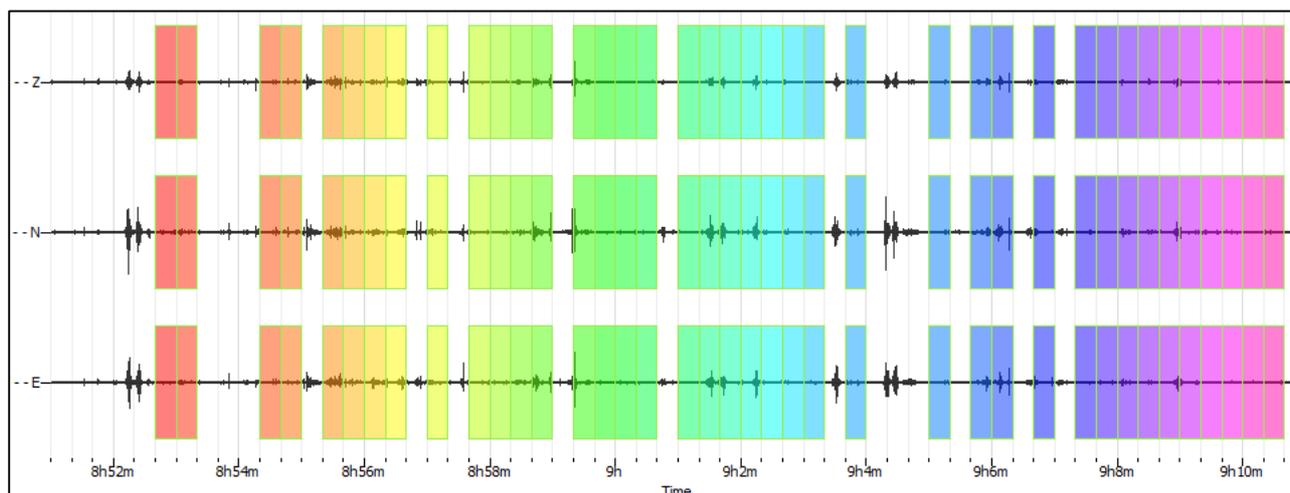
ULTERIORI CRITERI (D.Albarello, S.Castellaro, 2011)		
DURATA	Durata minima registrazione 20 minuti	SI
STAZIONARIETA'	% ($\sum Lw$ /durata registrazione) almeno 30%	SI
ISOTROPIA	Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo	SI
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico 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

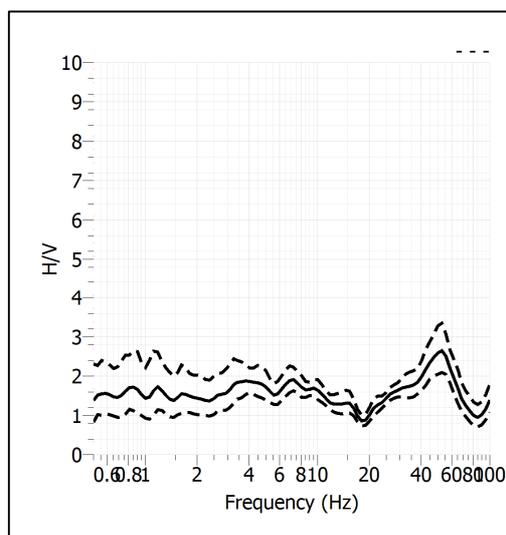
Stazione	34	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	20 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	39 (66% del tracciato)	
Tipo di lisciamiento	Konno & Ohmachi	
Lisciamiento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

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

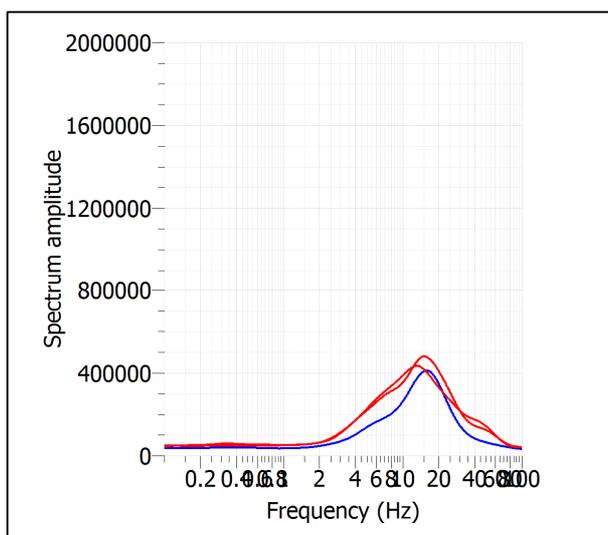
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



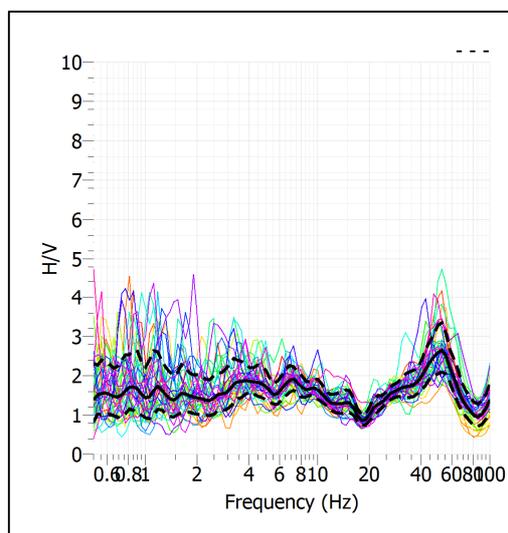
RAPPORTO SPETTRALE H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



CRITERI SESAME

ULTERIORI CRITERI (D.Albarelo, 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	NO
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	NO
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

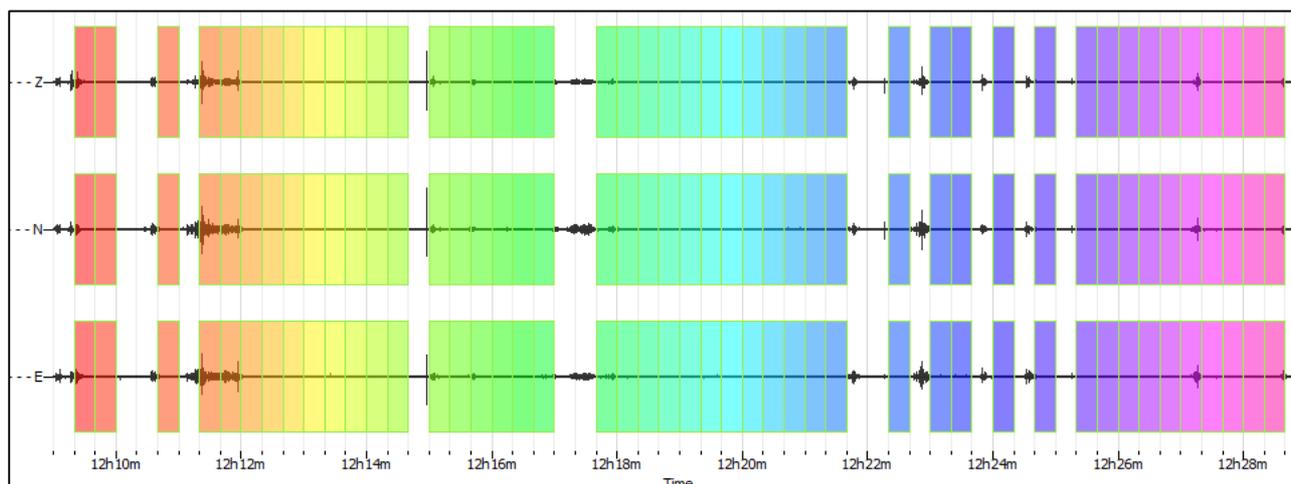
CLASSE | A2

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

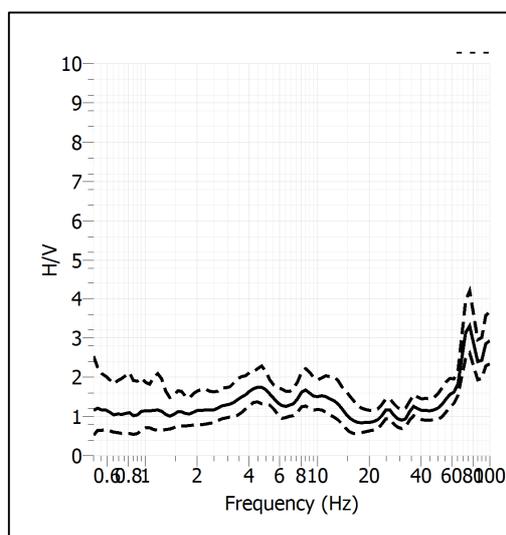
Stazione	35	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	20 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	46 (78% del tracciato)	
Tipo di lisciamiento	Konno & Ohmachi	
Lisciamiento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

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

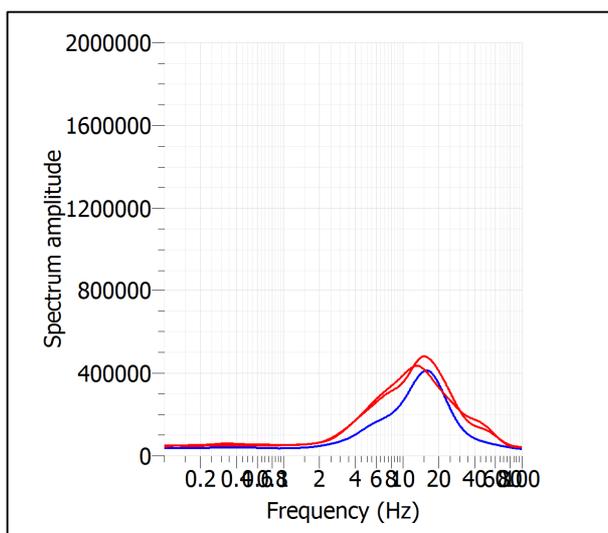
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



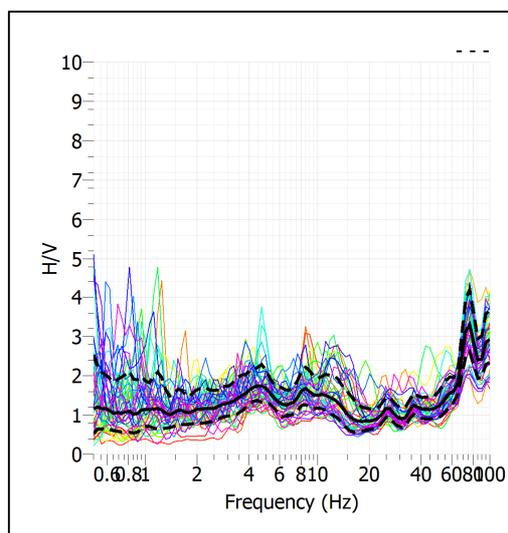
RAPPORTO SPETTRALE H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



CRITERI SESAME

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	NO
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	NO
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

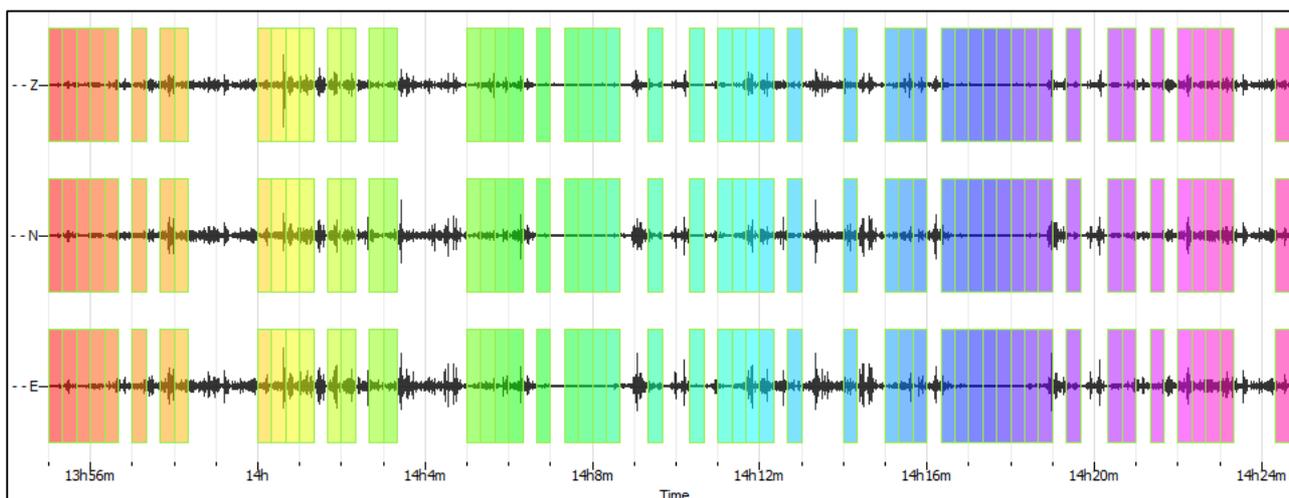
CLASSE | A2

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

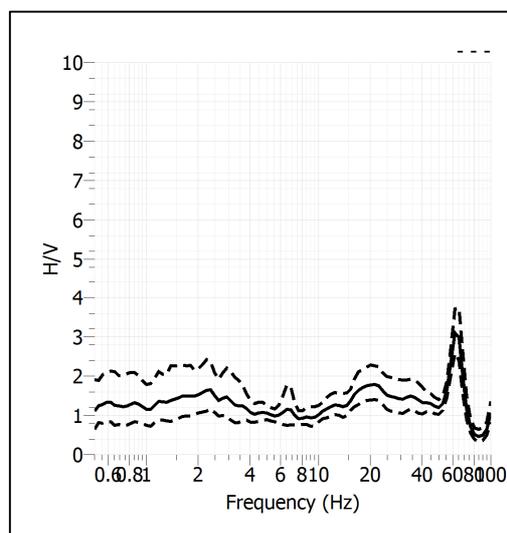
Stazione	36	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	30 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	53 (60% del tracciato)	
Tipo di lisciamiento	Konno & Ohmachi	
Lisciamiento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

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

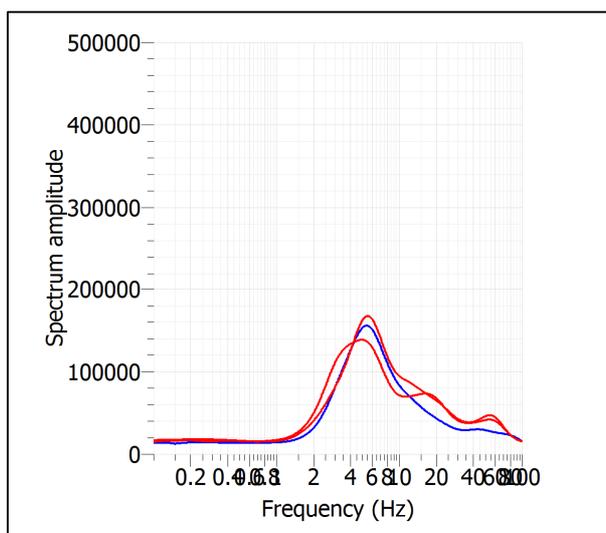
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



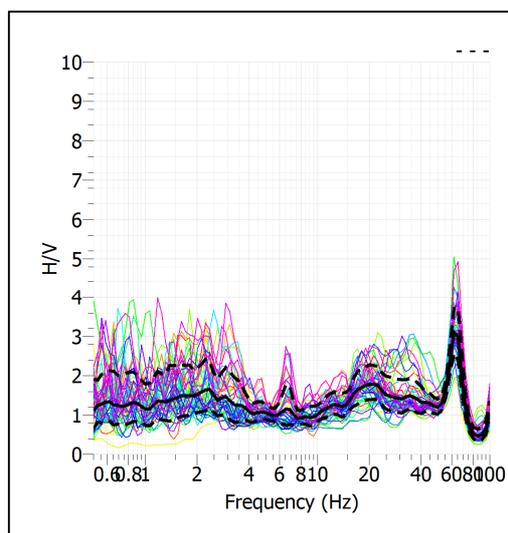
RAPPORTO SPETTRALE H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



CRITERI SESAME

ULTERIORI CRITERI (D.Albarelo, 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	NO
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	NO
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

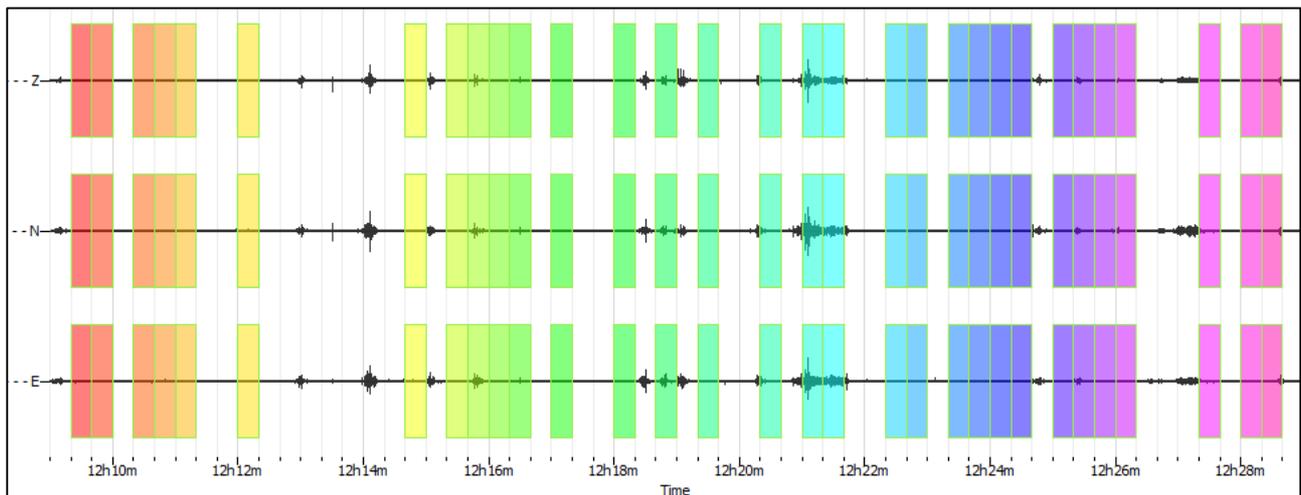
CLASSE | A2

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

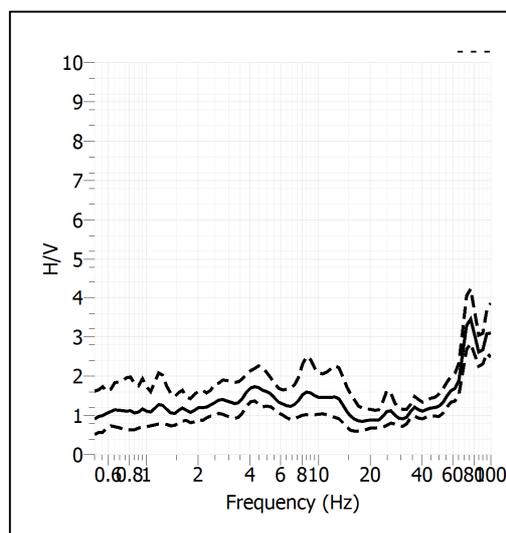
Stazione	37	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	20 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	31 (52% del tracciato)	
Tipo di lisciamiento	Konno & Ohmachi	
Lisciamiento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

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

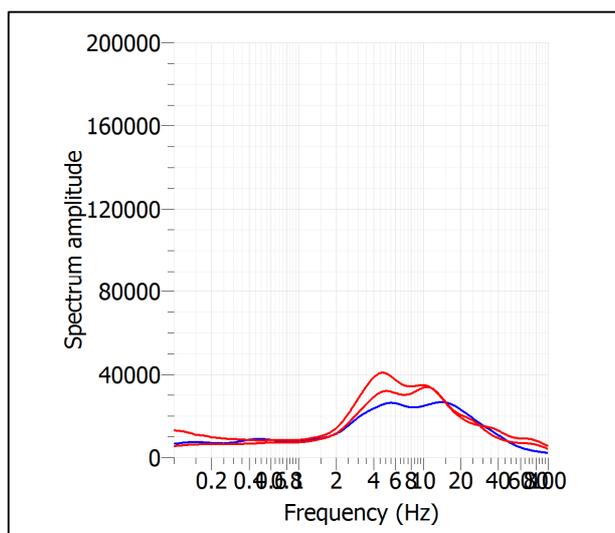
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



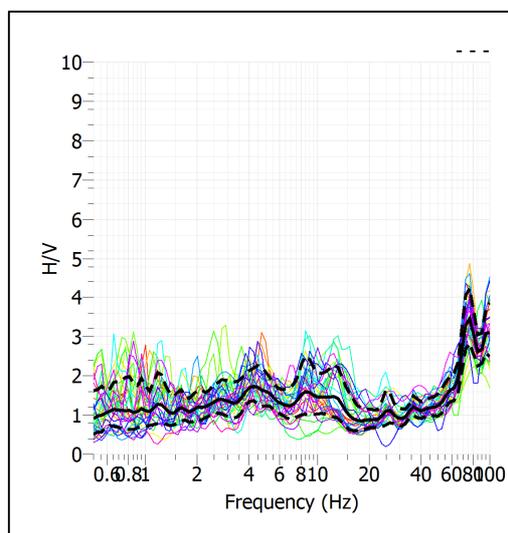
RAPPORTO SPETTRALE H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



CRITERI SESAME

ULTERIORI CRITERI (D.Albarelli, 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	NO
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	NO
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

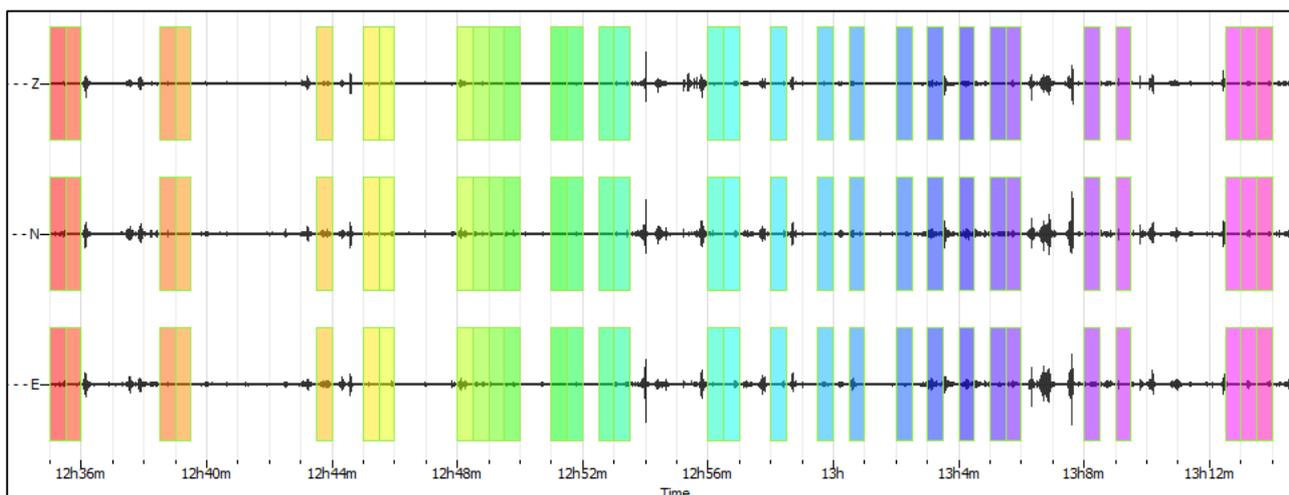
CLASSE | A2

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

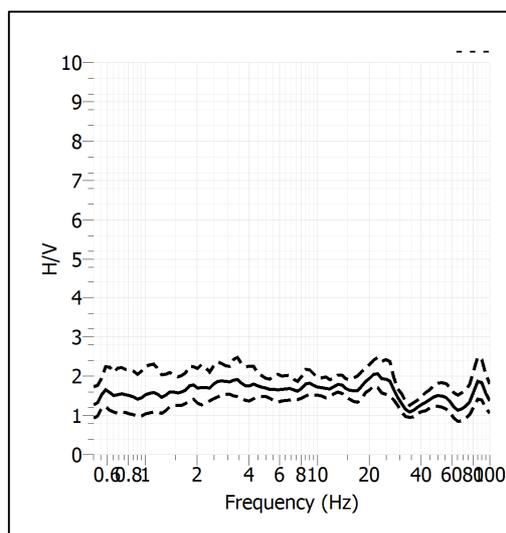
Stazione	38	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	40 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	30 (35% del tracciato)	
Tipo di lisciamiento	Konno & Ohmachi	
Lisciamiento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

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

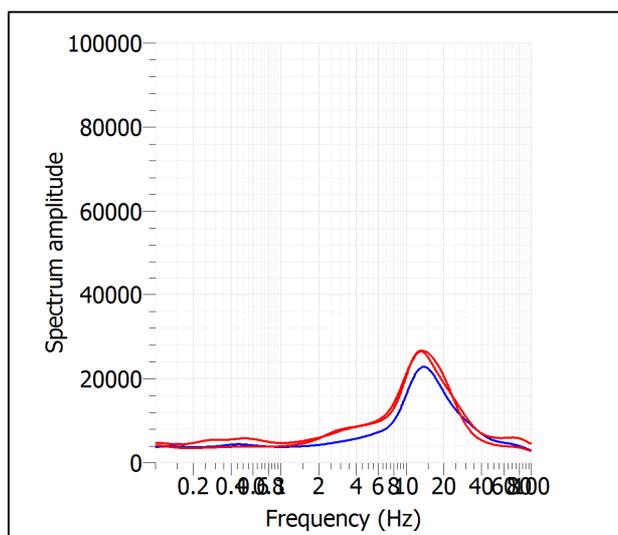
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



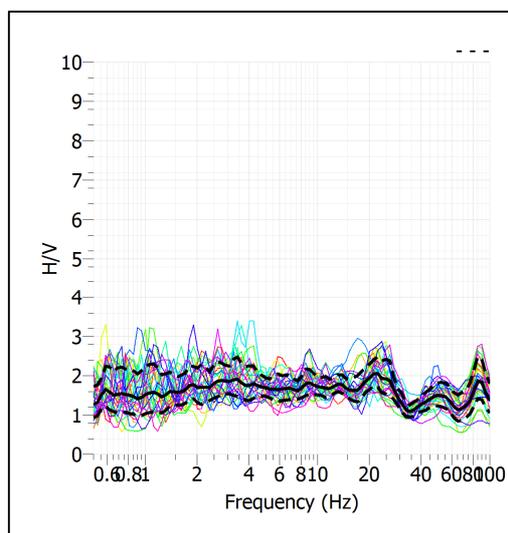
RAPPORTO SPETTRALE H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



CRITERI SESAME

ULTERIORI CRITERI (D.Albarelo, 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	NO
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	NO
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

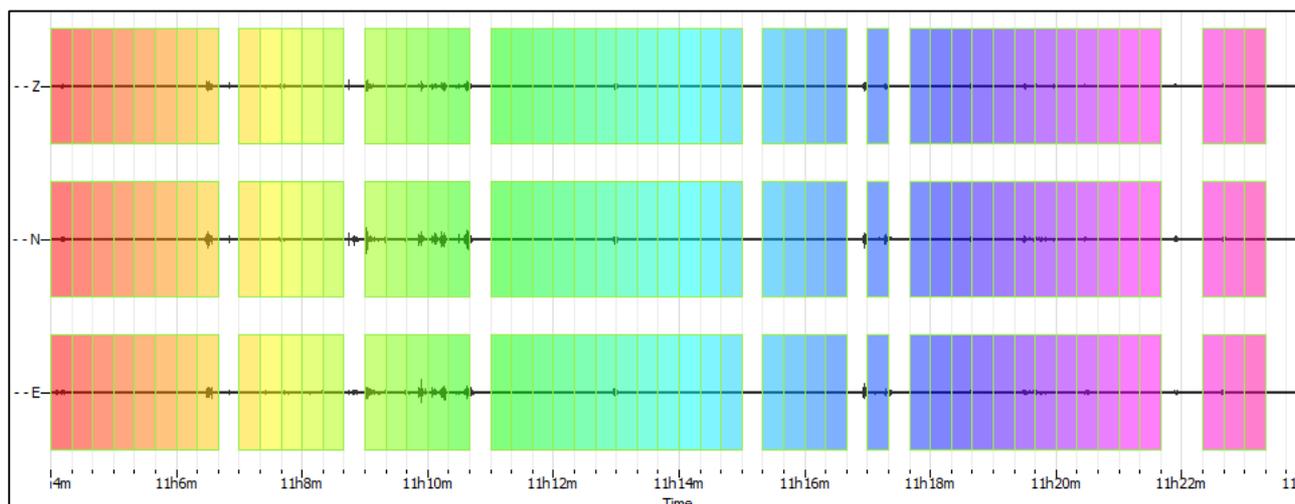
CLASSE | A2

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

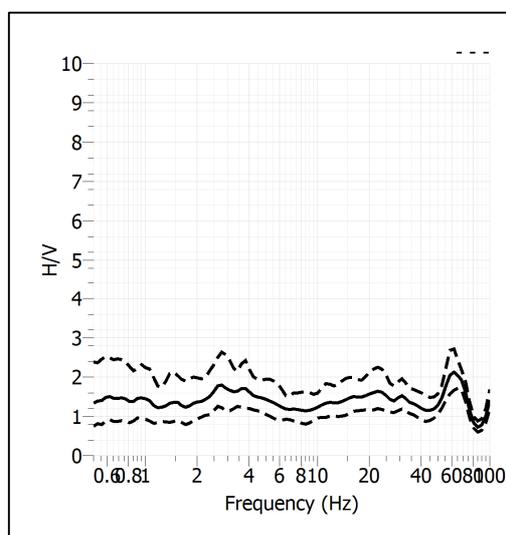
Stazione	39	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	20 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	50 (80% del tracciato)	
Tipo di lisciamiento	Konno & Ohmachi	
Lisciamiento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

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

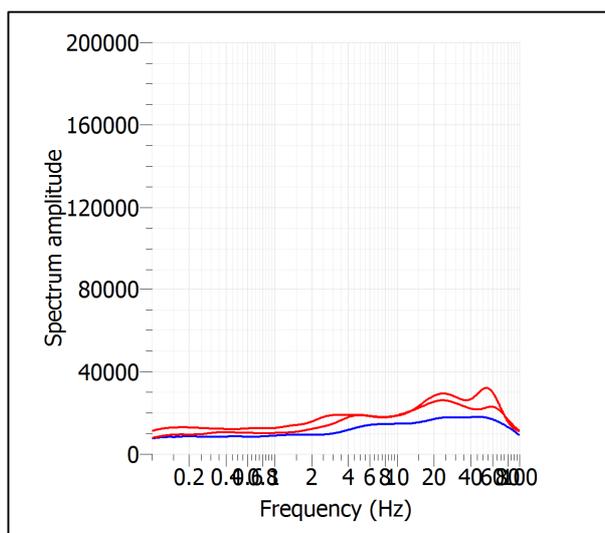
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



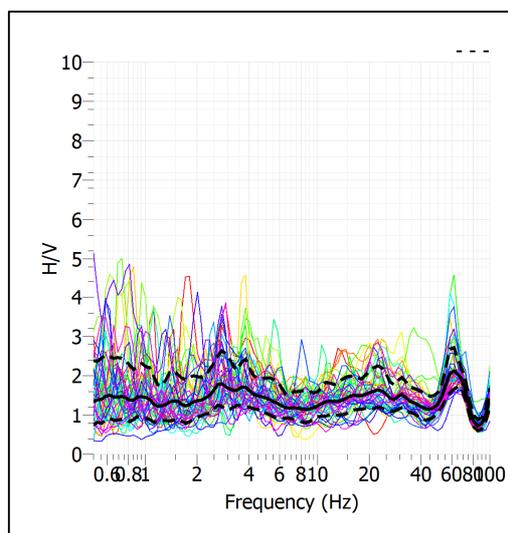
RAPPORTO SPETTRALE H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



CRITERI SESAME

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	NO
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	NO
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

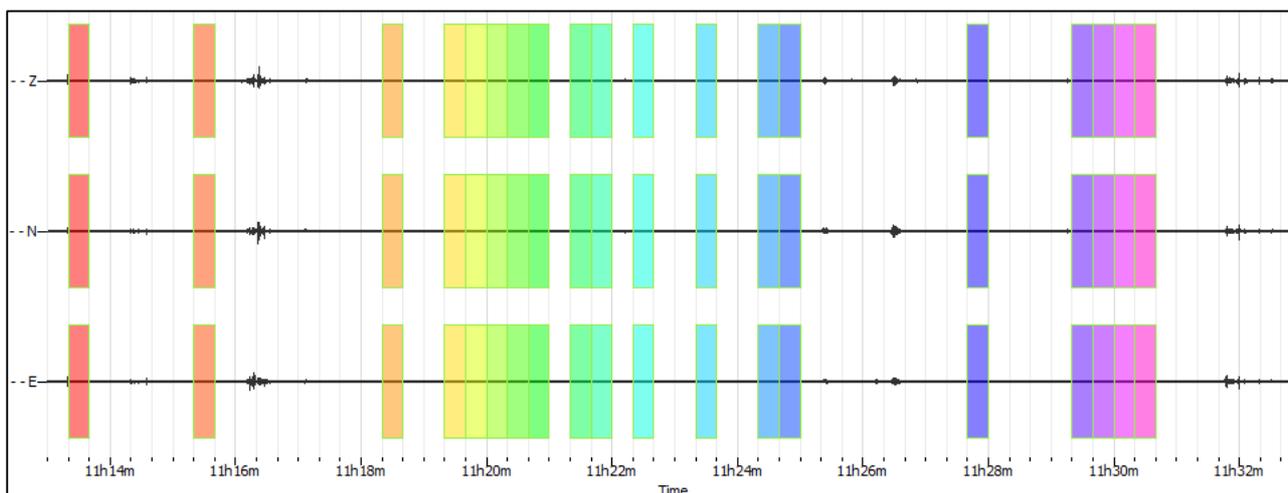
CLASSE | A2

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

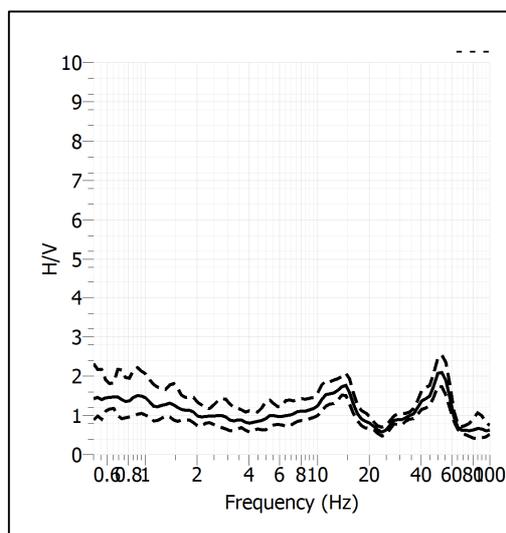
Stazione	40	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	20 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	19 (31% del tracciato)	
Tipo di lisciamiento	Konno & Ohmachi	
Lisciamiento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

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

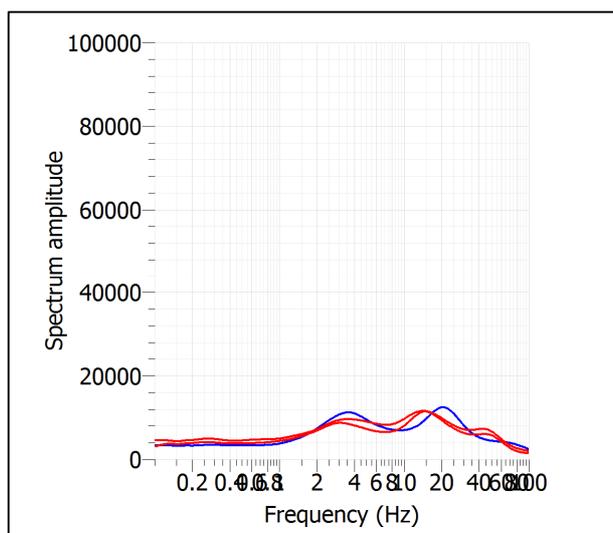
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



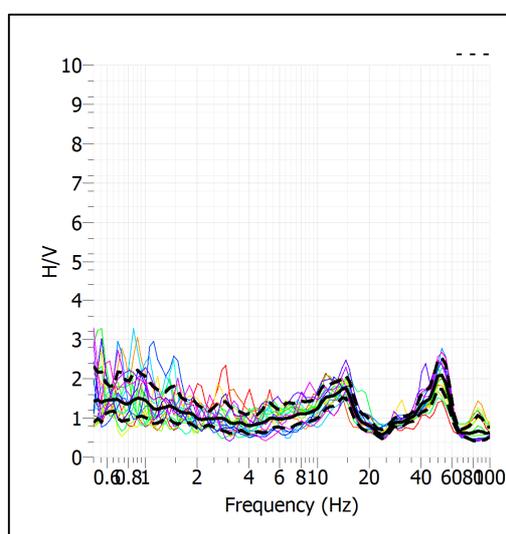
RAPPORTO SPETTRALE H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



CRITERI SESAME

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	NO
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	NO
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

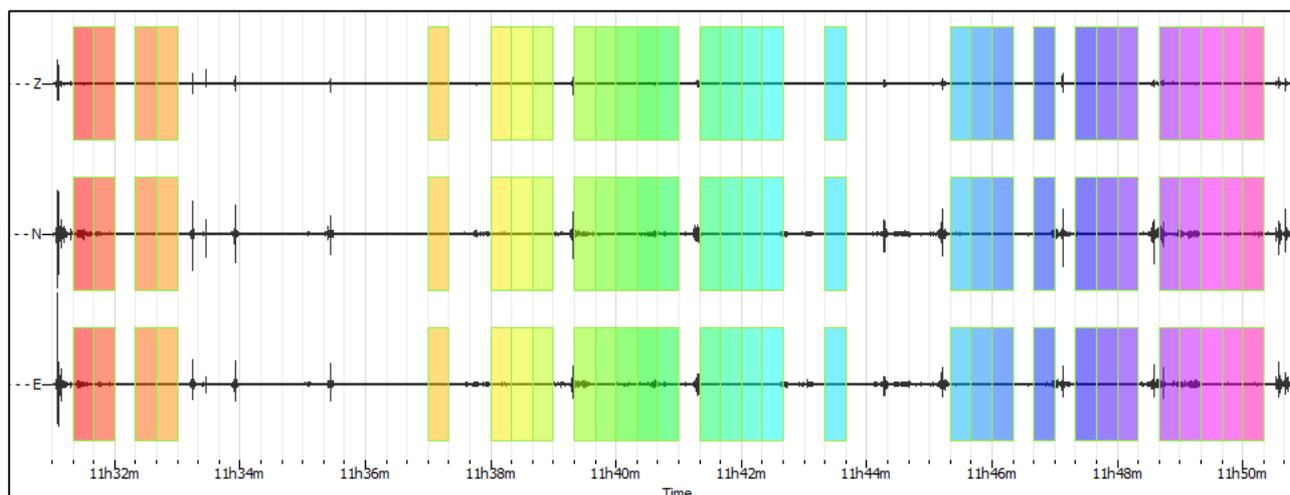
CLASSE | A2

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

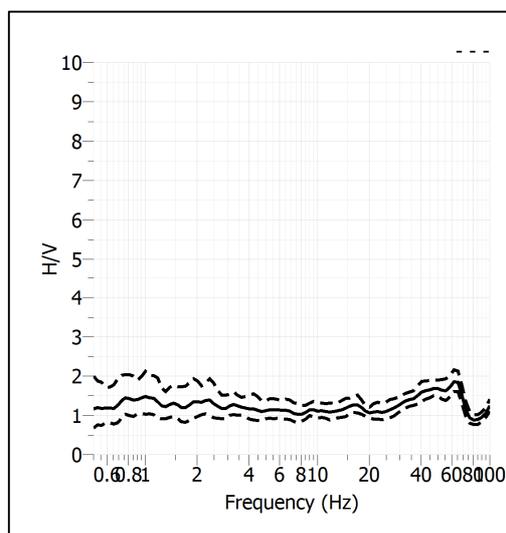
Stazione	41	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	20 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	30 (51% del tracciato)	
Tipo di lisciamiento	Konno & Ohmachi	
Lisciamiento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

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

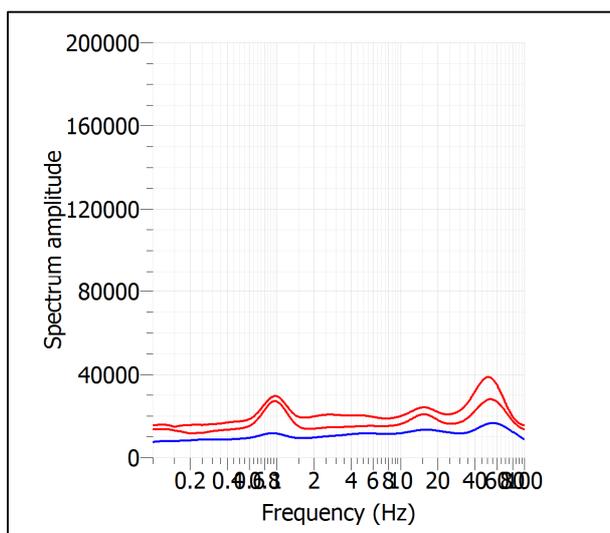
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



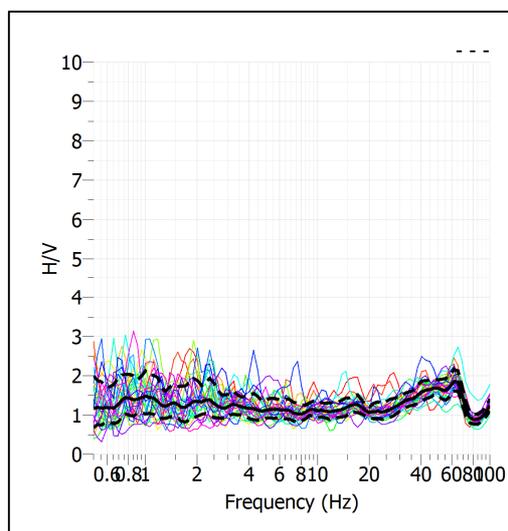
RAPPORTO SPETTRALE H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



CRITERI SESAME

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	NO
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	NO
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

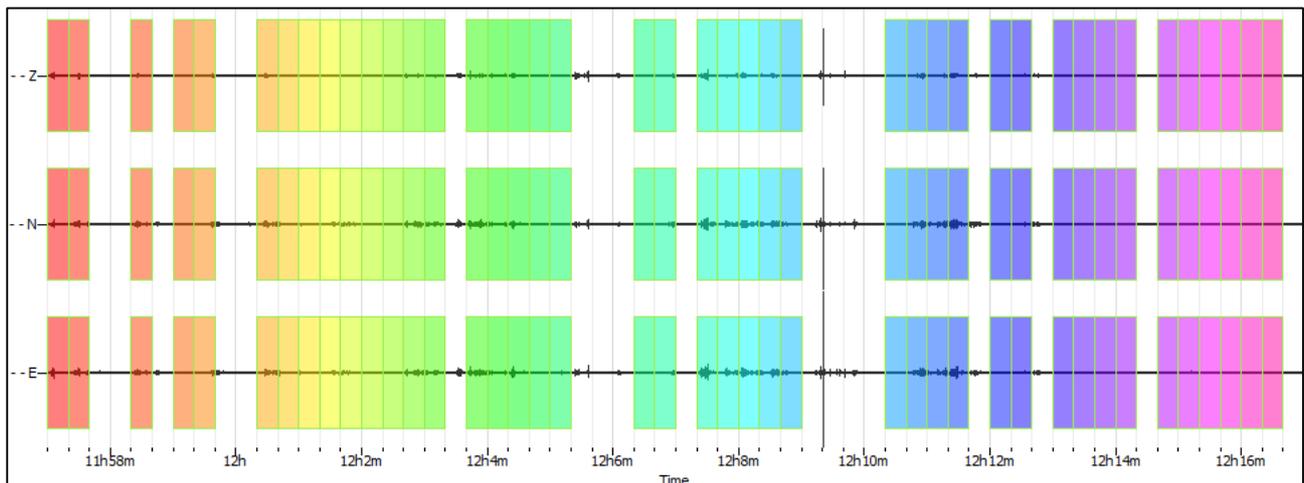
CLASSE | A2

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

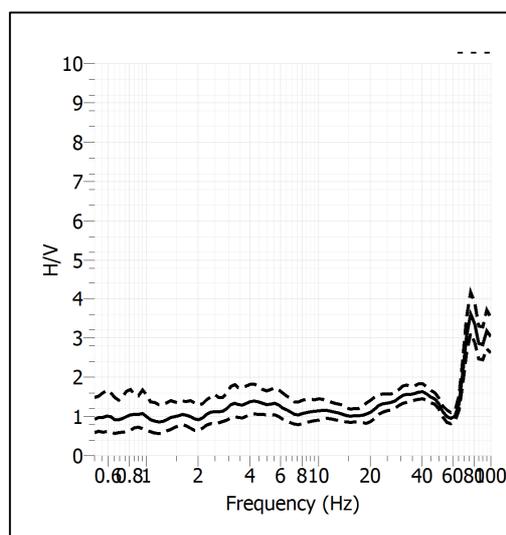
Stazione	42	
Strumento	Theremino	
Data acquisizione	Maggio 2022	
Durata registrazione	20 minuti	
Freq. Campionamento	500 Hz	
Lunghezza finestre	20 s	
Numero di finestre analizzate	42 (70% del tracciato)	
Tipo di lisciamiento	Konno & Ohmachi	
Lisciamiento	40	
Orientamento strumentazione	0° N	
Terreno di misura	Suolo naturale	
Meteo	Sereno	

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

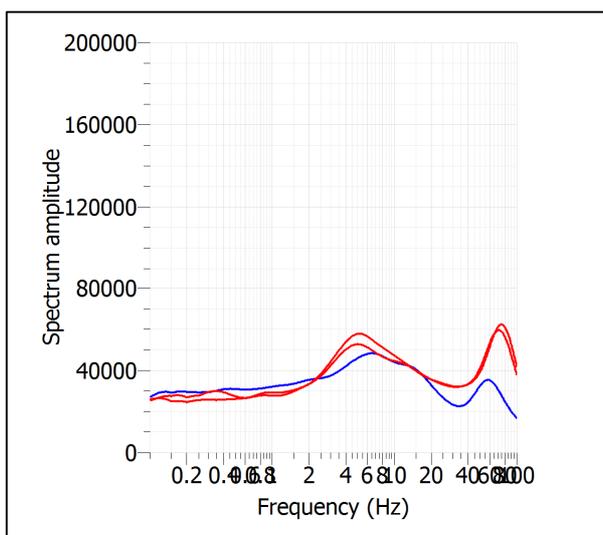
ACQUISIZIONE E FINESTRE DI ELABORAZIONE



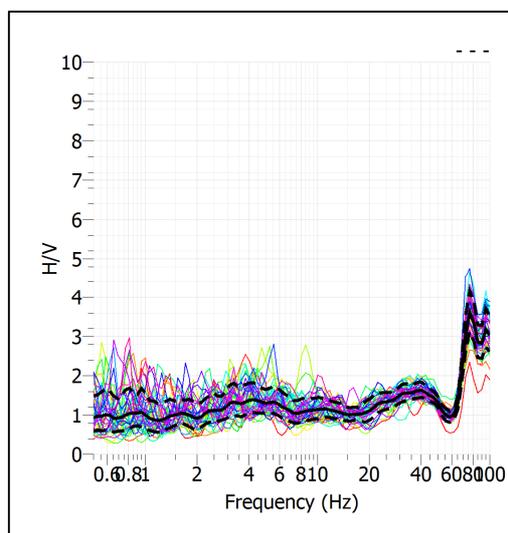
RAPPORTO SPETTRALE H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



CRITERI SESAME

ULTERIORI CRITERI (D.Albarelo, 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	NO
ASSENZA DISTURBI	Non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse	NO
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)

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

SR_1: SISMICA A RIFRAZIONE P-SH

Easy Refract

Le indagini di sismica a rifrazione consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti.

Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell.

Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore.

La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde o, equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza θ_i mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione θ_r . La formulazione matematica è:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Dove v_1 e v_2 sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità.

Per $v_1 > v_2$ si ha che $\theta_i > \theta_r$ e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per $v_1 < v_2$ si ha che $\theta_i < \theta_r$ ed esiste un angolo limite di incidenza per cui $\theta_r = 90^\circ$ ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'espressione che definisce l'angolo limite è:

$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo T dato dalla relazione

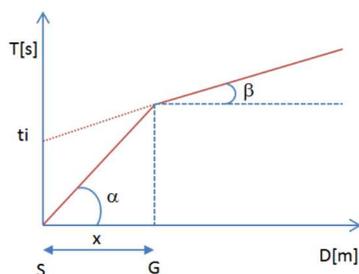
$$T = x_i / V_1$$

dove x_i è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione.

L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come

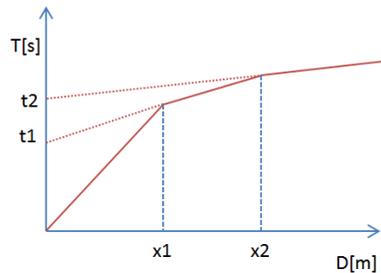
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo t_i che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione.

Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.

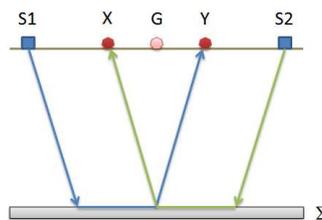


Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left(t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

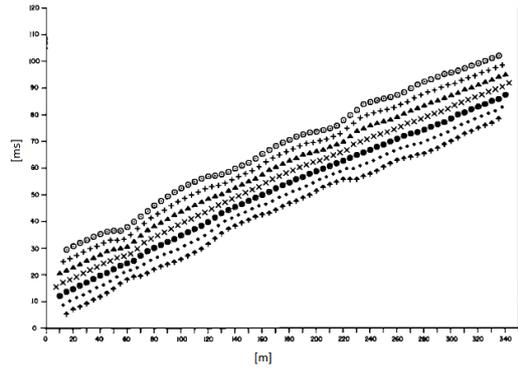
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifrattore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multi strato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantoming per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori.

Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$



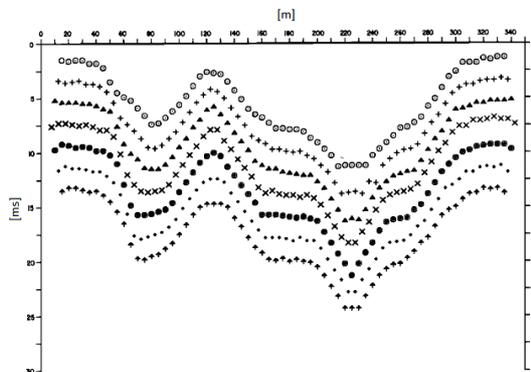
dove T_{S_1Y} e T_{S_2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre $T_{S_1S_2}$ è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_V è il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

Il calcolo della funzione T_V viene eseguito per ogni valore di XY compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l'XY ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente angolare.

Per mezzo della **funzione tempo-profondità** è possibile trovare la profondità del rifrattore espressa in unità di tempo. L'espressione di tale funzione è:

$$T_G = \frac{T_{S_1Y} + T_{S_2X} - \left(T_{S_1S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Dove V_n è la velocità del rifrattore.



Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo.

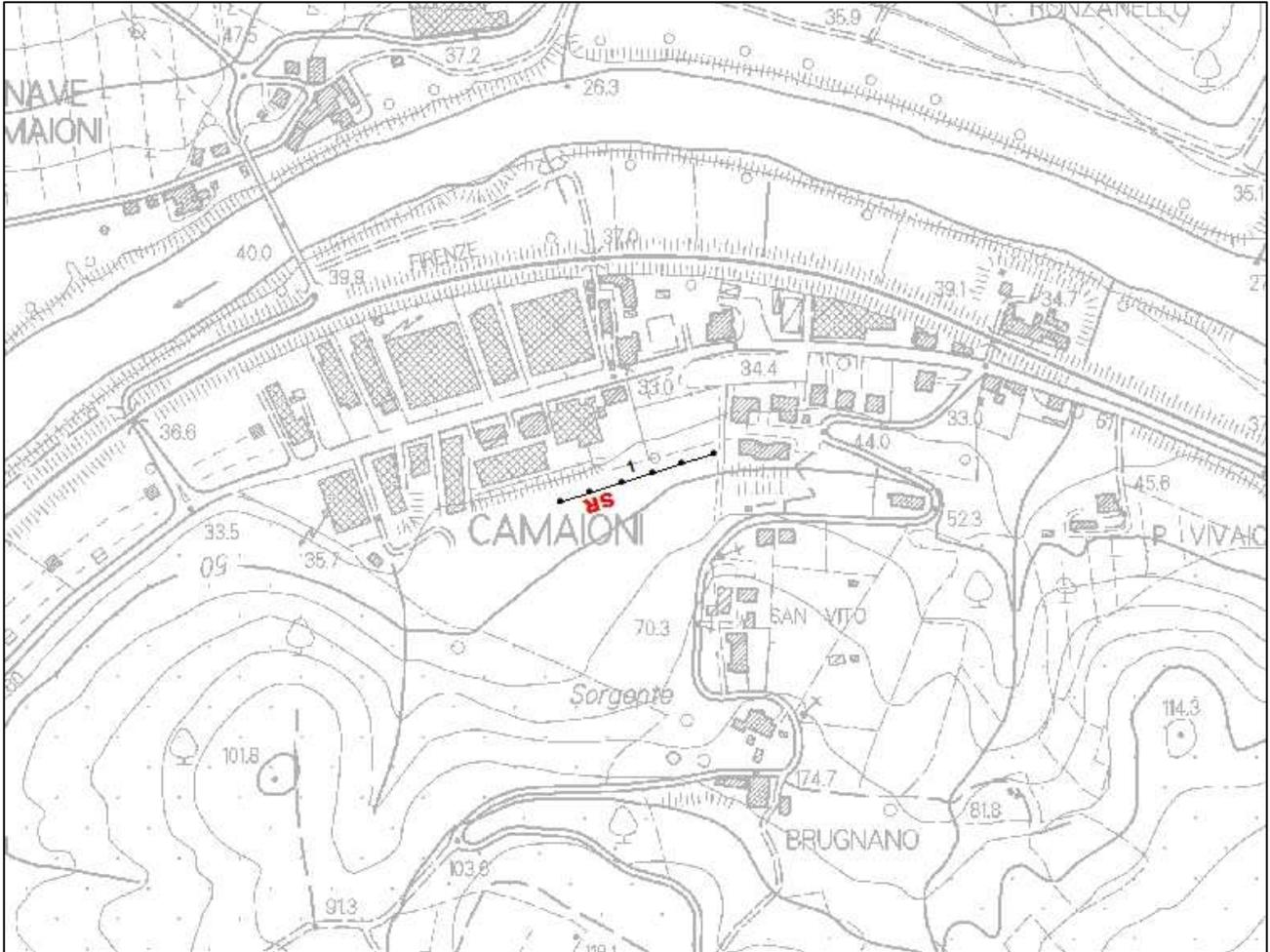
Infine, è possibile determinare lo spessore del rifrattore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

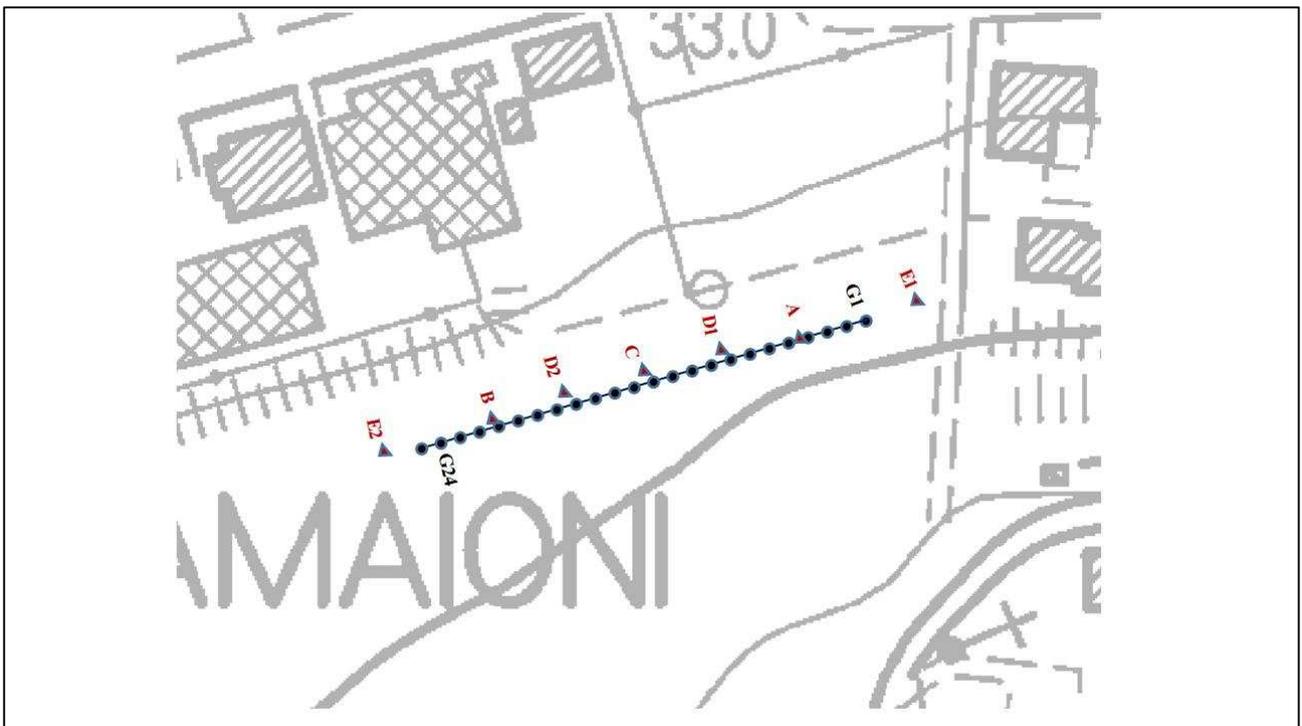
h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h.

Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°

Planimetria Scala 1:5000



Planimetria Scala 1:1000



Geometria dello stendimento

Numero Geofoni: 24

Intervallo (m): 4 m

Lunghezza Stendimento (m): 92 m

Quota (m.s.l.m.): 35

Punti di energizzazione

	A Estremo SX	D1 Intermedio SX	D2 Intermedio SX	C Centrale	D3 Intermedio DX	D4 Intermedio SX	B Estremo DX
Posizione da Geofono G1 (m)	-2.0	14	30	46	62	78	94

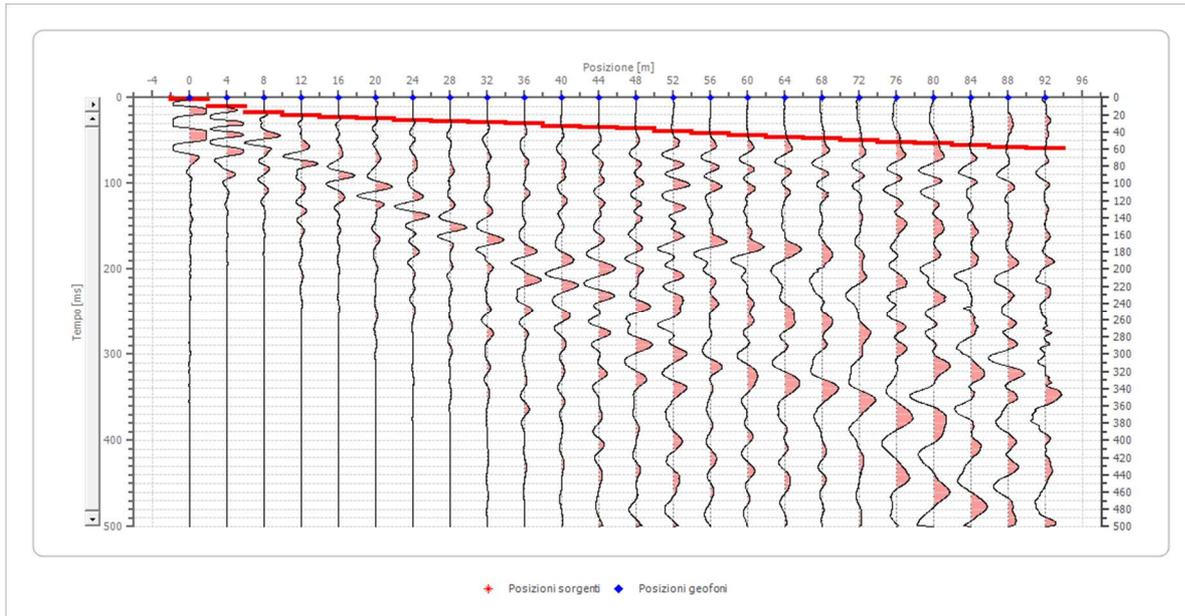
Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	0.0
2	4.0	0.0
3	8.0	0.0
4	12.0	0.0
5	16.0	0.0
6	20.0	0.0
7	24.0	0.0
8	28.0	0.0
9	32.0	0.0
10	36.0	0.0
11	40.0	0.0
12	44.0	0.0
13	48.0	0.0
14	52.0	0.0
15	56.0	0.0
16	60.0	0.0
17	64.0	0.0
18	68.0	0.0
19	72.0	0.0
20	76.0	0.0
21	80.0	0.0
22	84.0	0.0
23	88.0	0.0
24	92.0	0.0

Dati battute – ONDE P

Battuta 1

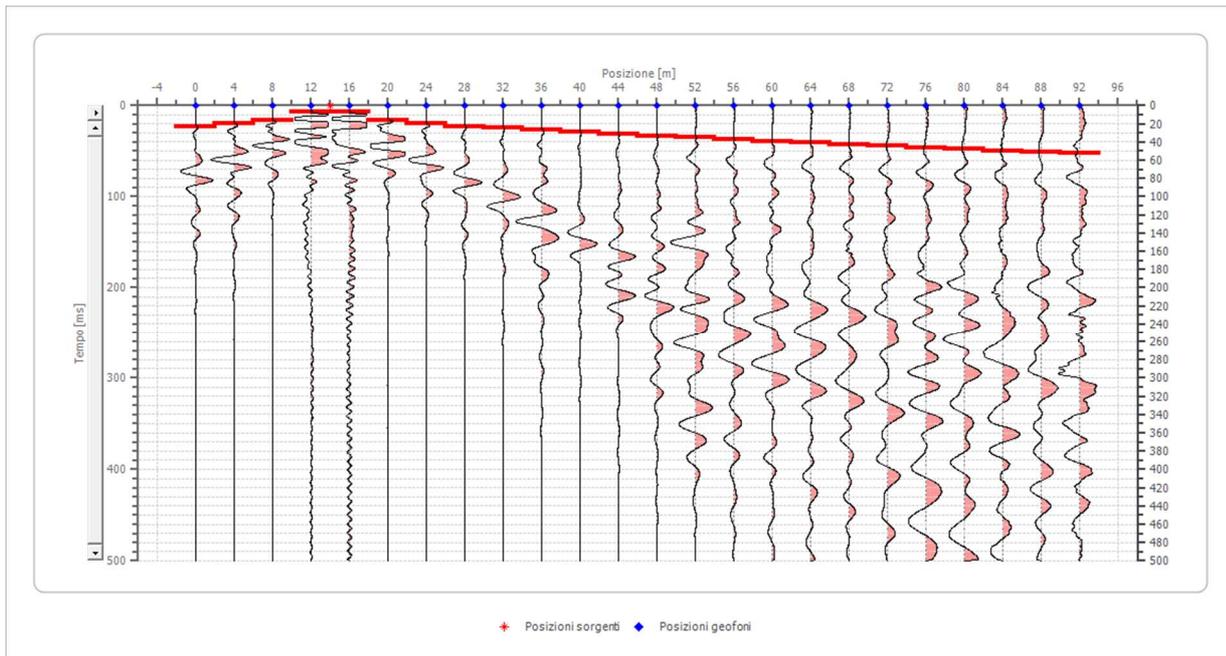
Posizione sorgente X -2 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	2.4931
4.0	10.2493
8.0	18.0055
12.0	20.4986
16.0	23.5457
20.0	24.0997
24.0	26.7442
28.0	27.7008
32.0	29.0859
36.0	30.2326
40.0	33.7209
44.0	34.8837
48.0	36.0465
52.0	39.5349
56.0	41.8605
60.0	44.1860
64.0	46.5116
68.0	47.6744
72.0	50.0000
76.0	52.3256
80.0	53.4884
84.0	55.8140
88.0	58.1395
92.0	59.3023

Battuta 2

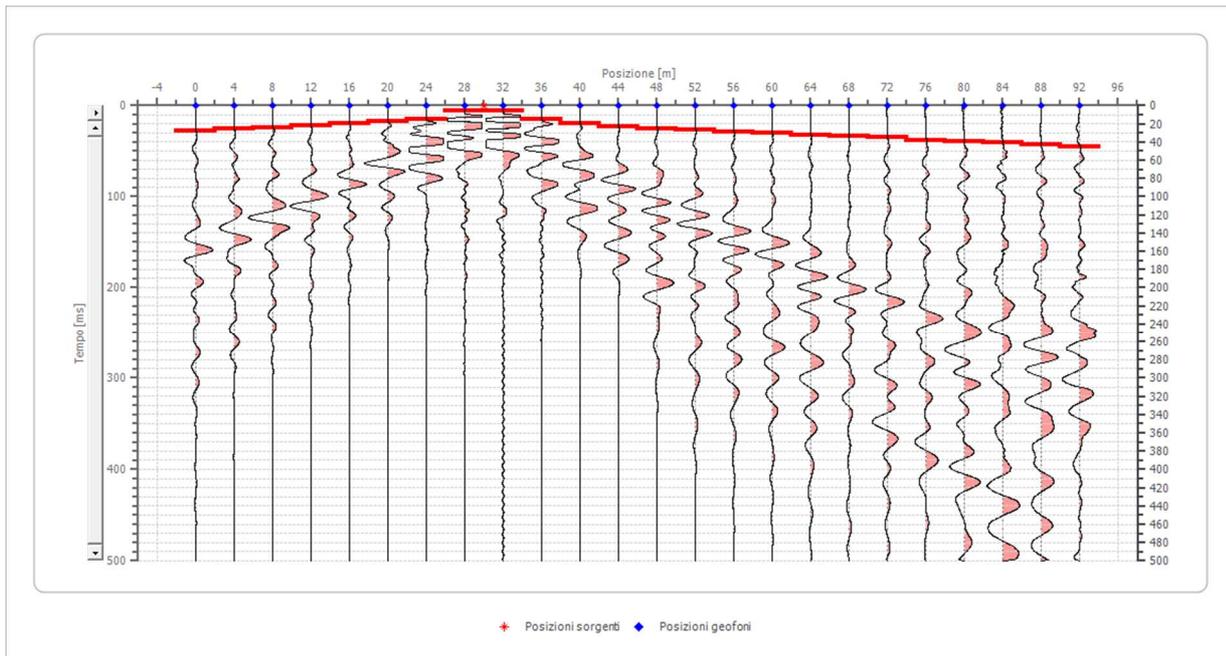
Posizione sorgente X 14 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	22.9917
4.0	19.6676
8.0	15.7895
12.0	6.6482
16.0	6.6482
20.0	15.7895
24.0	19.3906
28.0	22.7147
32.0	24.6537
36.0	26.5928
40.0	28.8089
44.0	31.5789
48.0	33.7950
52.0	35.4571
56.0	37.1191
60.0	39.3352
64.0	41.2742
68.0	43.2133
72.0	44.5983
76.0	46.8144
80.0	47.9224
84.0	49.8615
88.0	50.6925
92.0	52.3546

Battuta 3

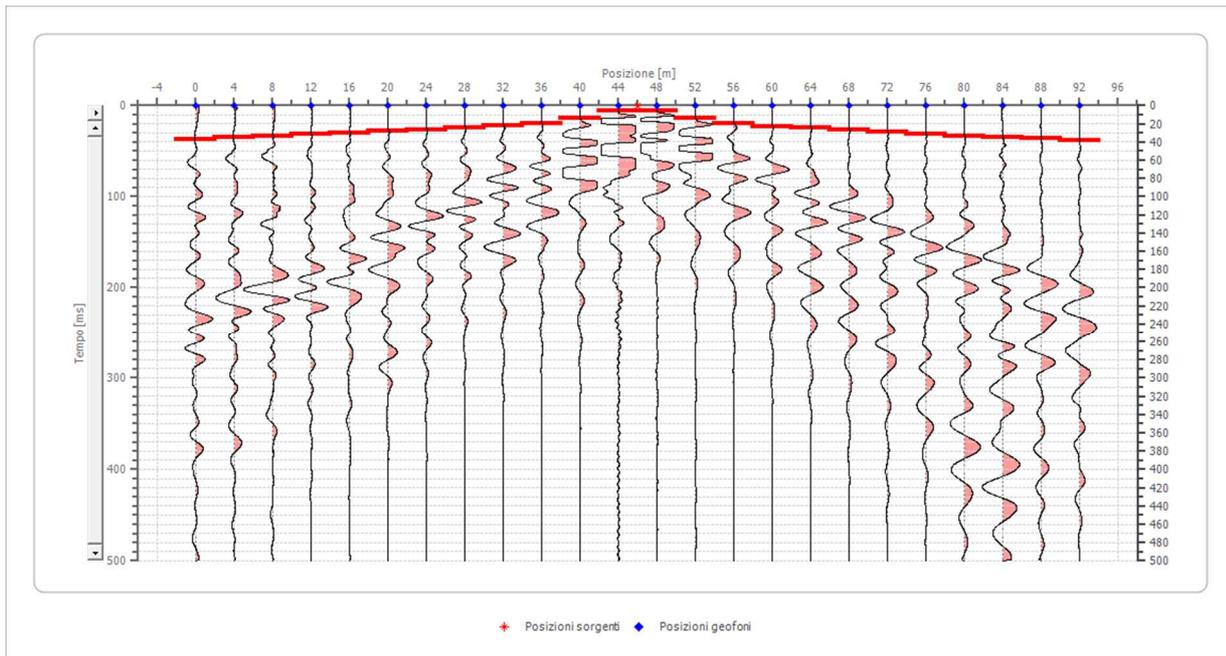
Posizione sorgente X 30 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	27.7008
4.0	26.0388
8.0	24.3767
12.0	22.1607
16.0	19.9446
20.0	17.7285
24.0	15.5125
28.0	6.0942
32.0	5.5402
36.0	15.5125
40.0	19.3906
44.0	22.7147
48.0	25.4848
52.0	26.5928
56.0	28.8089
60.0	29.9169
64.0	32.1330
68.0	33.7950
72.0	35.4571
76.0	38.2271
80.0	39.3352
84.0	40.9972
88.0	43.2133
92.0	44.8753

Battuta 4

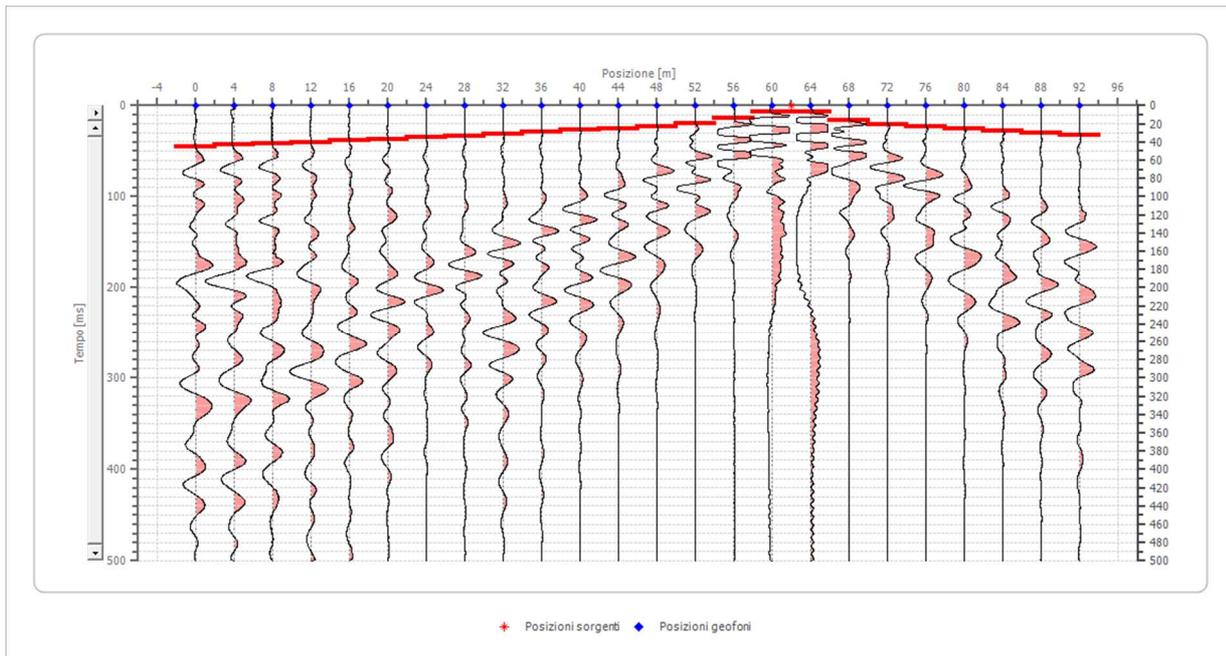
Posizione sorgente X 46 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	37.6731
4.0	35.4571
8.0	33.2410
12.0	31.5789
16.0	30.4709
20.0	28.2548
24.0	26.5928
28.0	24.3767
32.0	22.1607
36.0	19.9446
40.0	13.8504
44.0	6.0942
48.0	6.0942
52.0	13.8504
56.0	19.3906
60.0	22.7147
64.0	24.9307
68.0	27.1468
72.0	29.3629
76.0	31.0249
80.0	33.2410
84.0	34.9030
88.0	36.0111
92.0	38.2271

Battuta 5

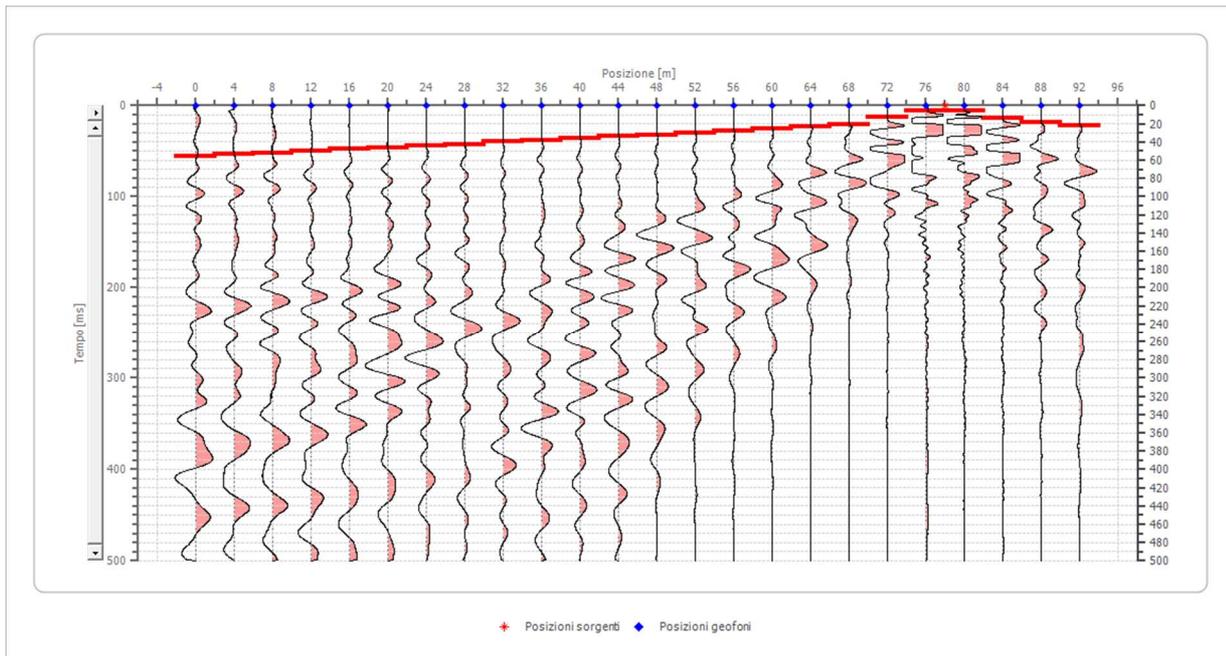
Posizione sorgente X 62 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	45.4294
4.0	43.2133
8.0	42.1053
12.0	40.4432
16.0	38.7812
20.0	37.1191
24.0	35.4571
28.0	33.2410
32.0	31.5789
36.0	29.3629
40.0	27.1468
44.0	25.4848
48.0	23.2687
52.0	19.3906
56.0	14.4044
60.0	6.6482
64.0	7.2022
68.0	16.0665
72.0	21.0526
76.0	23.8227
80.0	25.4848
84.0	28.2548
88.0	29.9169
92.0	32.1330

Battuta 6

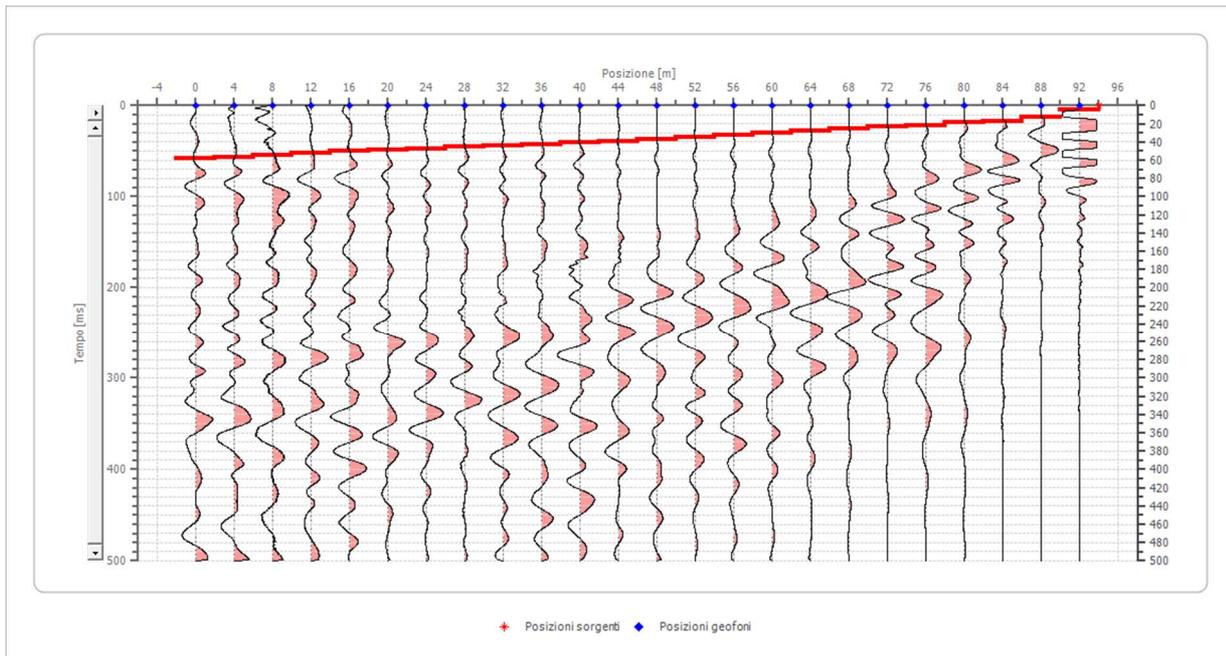
Posizione sorgente X 78 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	55.9557
4.0	53.7396
8.0	52.0776
12.0	50.4155
16.0	48.1994
20.0	46.5374
24.0	44.3213
28.0	42.6593
32.0	39.8892
36.0	38.2271
40.0	36.0111
44.0	33.7950
48.0	32.1330
52.0	30.4709
56.0	28.2548
60.0	26.0388
64.0	23.2687
68.0	20.4986
72.0	13.2964
76.0	5.5402
80.0	5.5402
84.0	14.4044
88.0	18.8366
92.0	22.1607

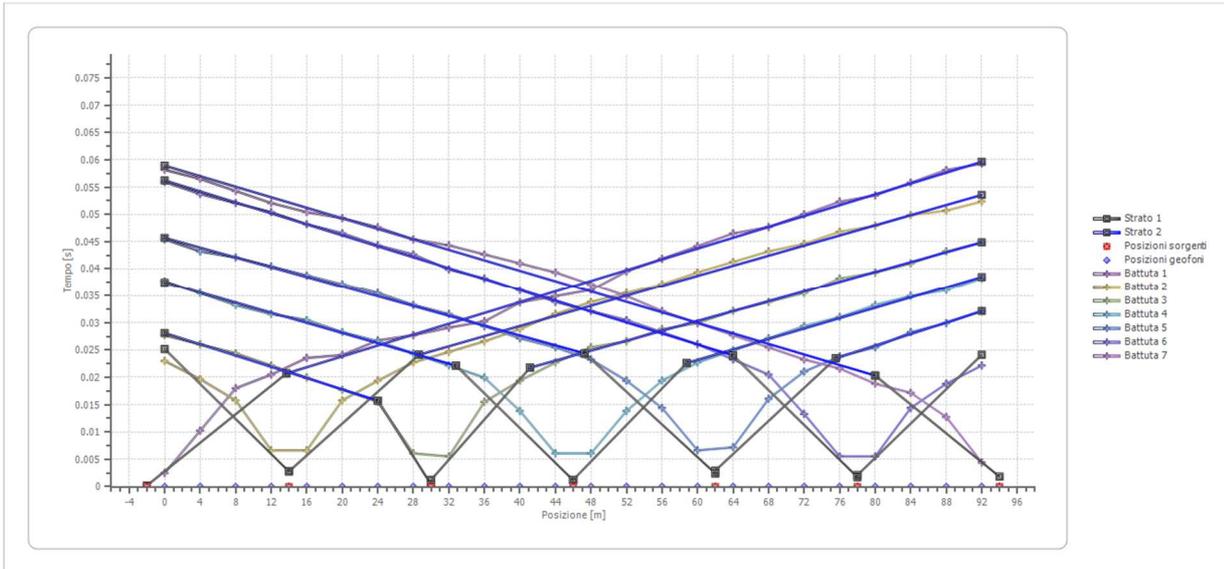
Battuta 7

Posizione sorgente X 94 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

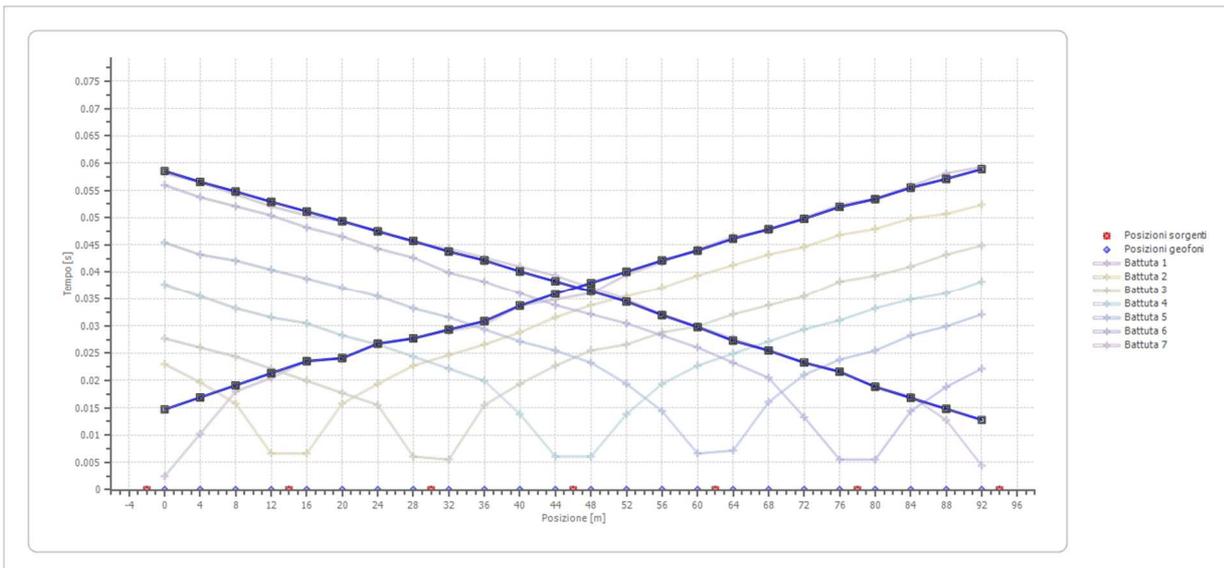


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	58.1717
4.0	56.5097
8.0	54.2936
12.0	52.0776
16.0	50.4155
20.0	49.3075
24.0	47.6454
28.0	45.4294
32.0	44.3213
36.0	42.6593
40.0	40.9972
44.0	39.3352
48.0	37.1191
52.0	34.9030
56.0	32.1330
60.0	29.9169
64.0	27.7008
68.0	25.4848
72.0	23.2687
76.0	21.6066
80.0	18.8366
84.0	17.1745
88.0	12.7424
92.0	4.4321

Dromocrone



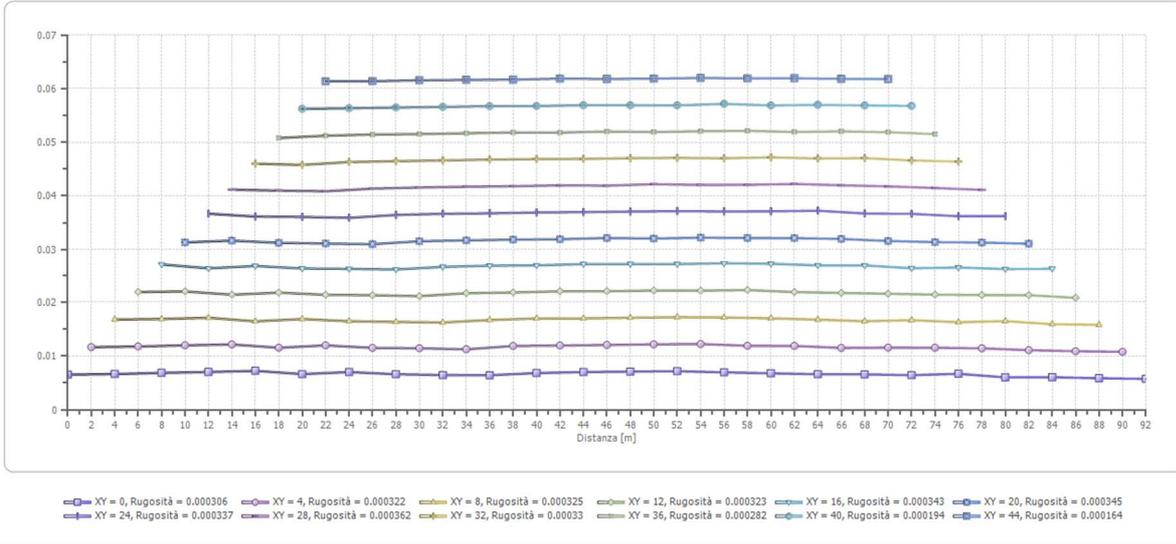
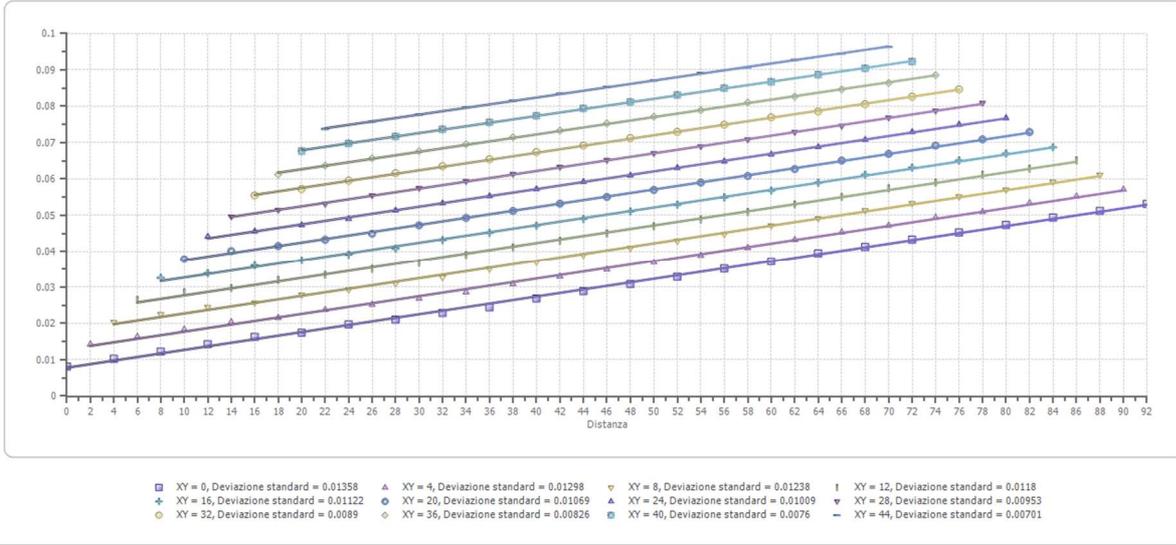
Dromocrone traslate



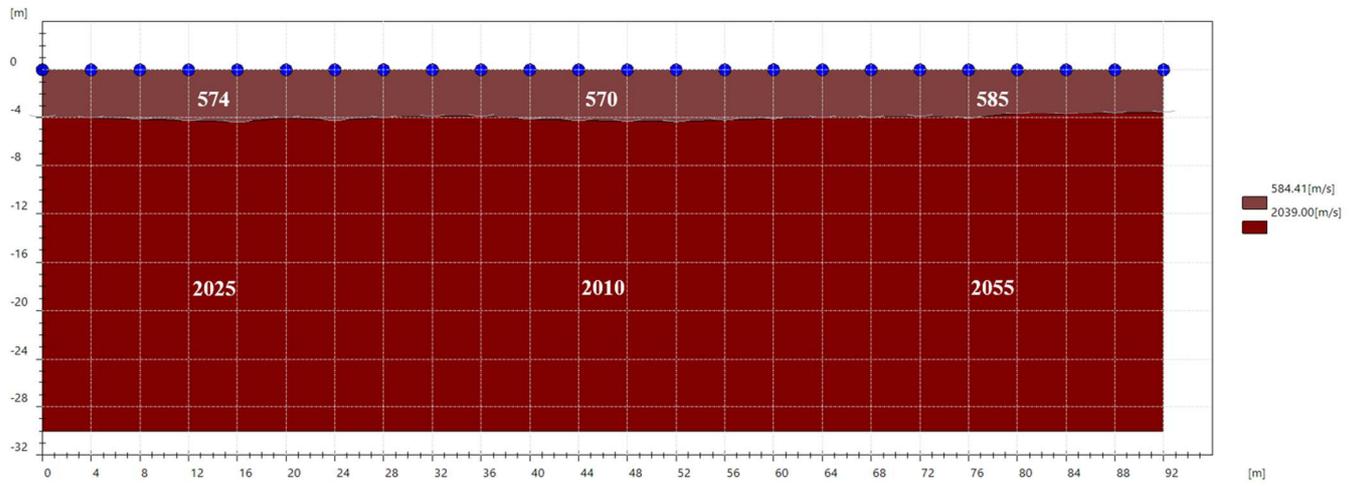
Interpretazione col metodo G,.R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 0.0 [m]	4.0	--
G= 4.0 [m]	4.0	--
G= 8.0 [m]	4.2	--
G= 12.0 [m]	4.3	--
G= 16.0 [m]	4.4	--
G= 20.0 [m]	4.0	--
G= 24.0 [m]	4.3	--
G= 28.0 [m]	4.0	--
G= 32.0 [m]	3.9	--
G= 36.0 [m]	3.9	--
G= 40.0 [m]	4.2	--
G= 44.0 [m]	4.3	--
G= 48.0 [m]	4.3	--
G= 52.0 [m]	4.4	--
G= 56.0 [m]	4.2	--
G= 60.0 [m]	4.1	--
G= 64.0 [m]	4.0	--
G= 68.0 [m]	4.0	--
G= 72.0 [m]	3.9	--
G= 76.0 [m]	4.1	--
G= 80.0 [m]	3.7	--
G= 84.0 [m]	3.7	--
G= 88.0 [m]	3.6	--
G= 92.0 [m]	3.5	--
Velocità [m/sec]	584.4	2039.0
Descrizione		



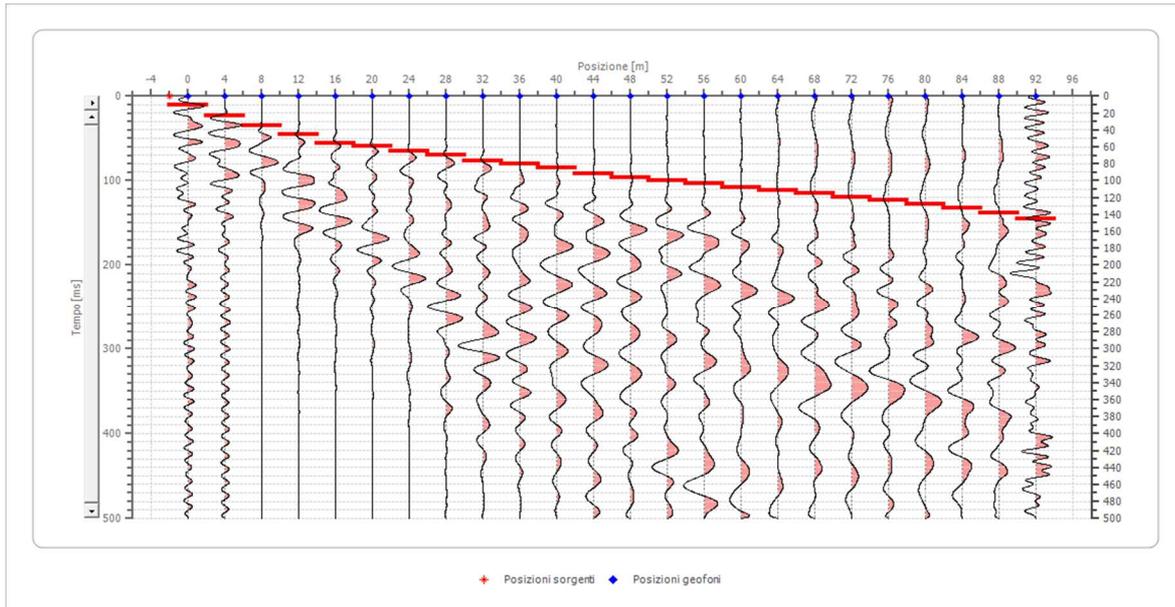
SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA – ONDE P



Dati battute – ONDE SH

Battuta 1

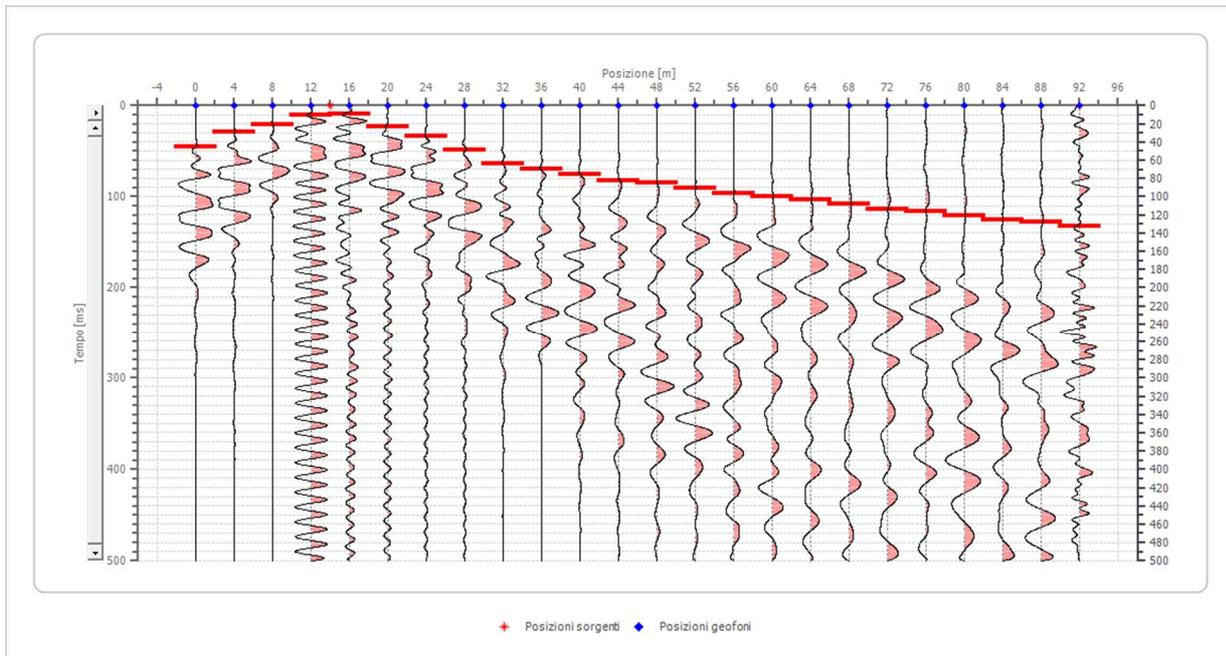
Posizione sorgente X -2 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	10.4703
4.0	23.2674
8.0	34.9012
12.0	45.3715
16.0	55.8419
20.0	59.3320
24.0	65.1488
28.0	69.8023
32.0	76.7826
36.0	80.2727
40.0	84.9262
44.0	91.9064
48.0	96.5599
52.0	100.0500
56.0	103.5401
60.0	108.1936
64.0	111.6837
68.0	115.1738
72.0	119.8273
76.0	123.3174
80.0	127.9709
84.0	132.6244
88.0	138.4413
92.0	145.4215

Battuta 2

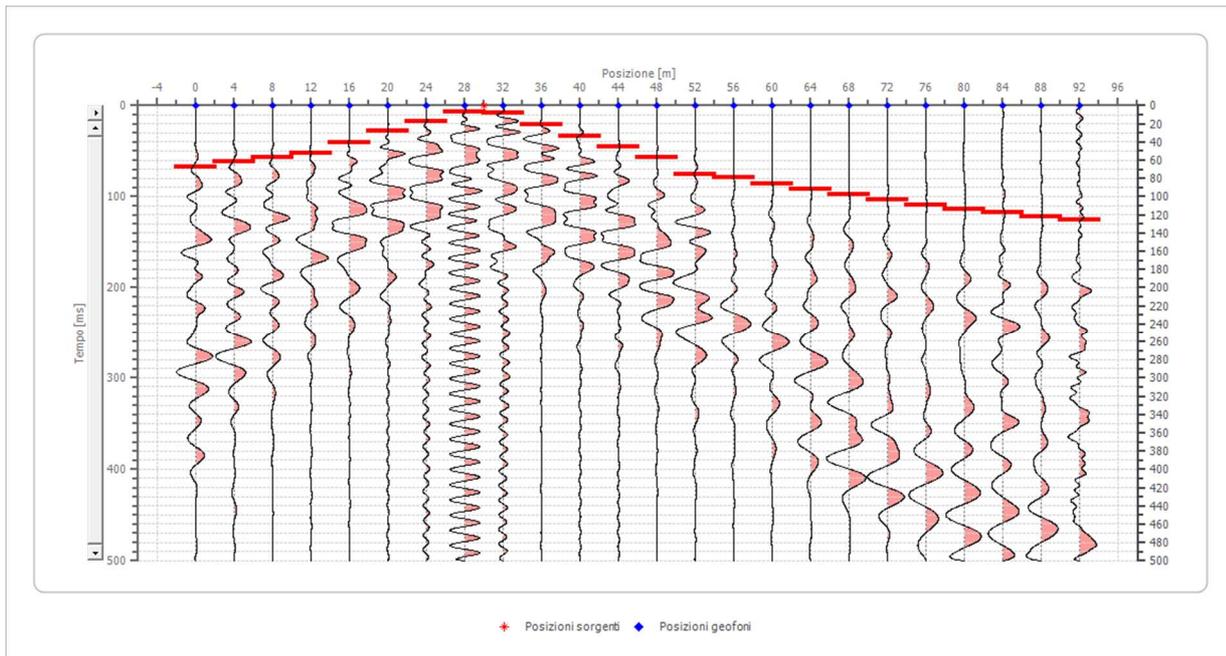
Posizione sorgente X 14 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	45.3715
4.0	29.0843
8.0	20.9407
12.0	10.4703
16.0	9.7001
20.0	23.5575
24.0	33.2576
28.0	48.5007
32.0	63.9855
36.0	69.8023
40.0	75.6192
44.0	82.5994
48.0	84.9262
52.0	90.7430
56.0	96.5599
60.0	100.0500
64.0	103.5401
68.0	108.1936
72.0	114.0105
76.0	116.3372
80.0	120.9907
84.0	125.6442
88.0	127.9709
92.0	132.6244

Battuta 3

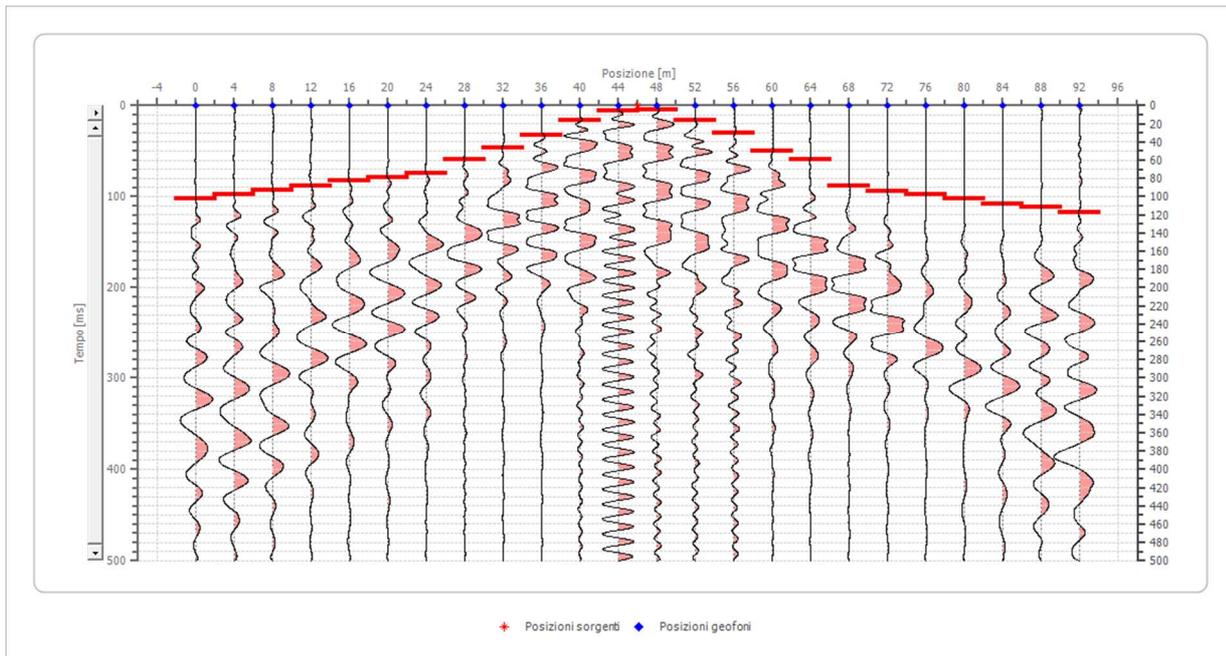
Posizione sorgente X 30 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	67.4756
4.0	61.6587
8.0	57.0052
12.0	52.3517
16.0	40.7180
20.0	27.9209
24.0	17.4506
28.0	6.9287
32.0	8.3144
36.0	20.7860
40.0	33.7378
44.0	45.3715
48.0	57.0052
52.0	75.6192
56.0	79.1093
60.0	86.0895
64.0	91.9064
68.0	97.7233
72.0	103.5401
76.0	109.3570
80.0	114.0105
84.0	117.5006
88.0	122.1541
92.0	125.6442

Battuta 4

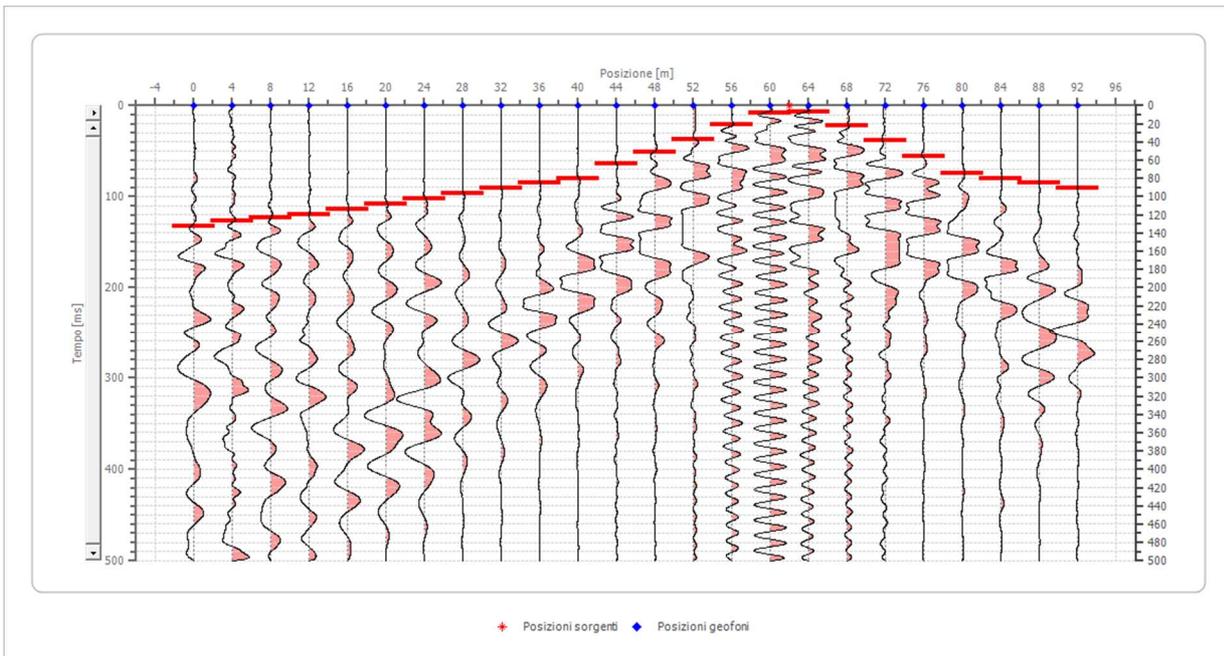
Posizione sorgente X 46 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	102.3767
4.0	97.7233
8.0	93.0698
12.0	88.4163
16.0	82.5994
20.0	79.1093
24.0	74.4558
28.0	59.3320
32.0	46.5349
36.0	32.5744
40.0	16.2872
44.0	5.8169
48.0	4.6535
52.0	16.2872
56.0	30.2477
60.0	50.0250
64.0	59.3320
68.0	88.4163
72.0	94.2331
76.0	97.7233
80.0	102.3767
84.0	108.1936
88.0	111.6837
92.0	117.5006

Battuta 5

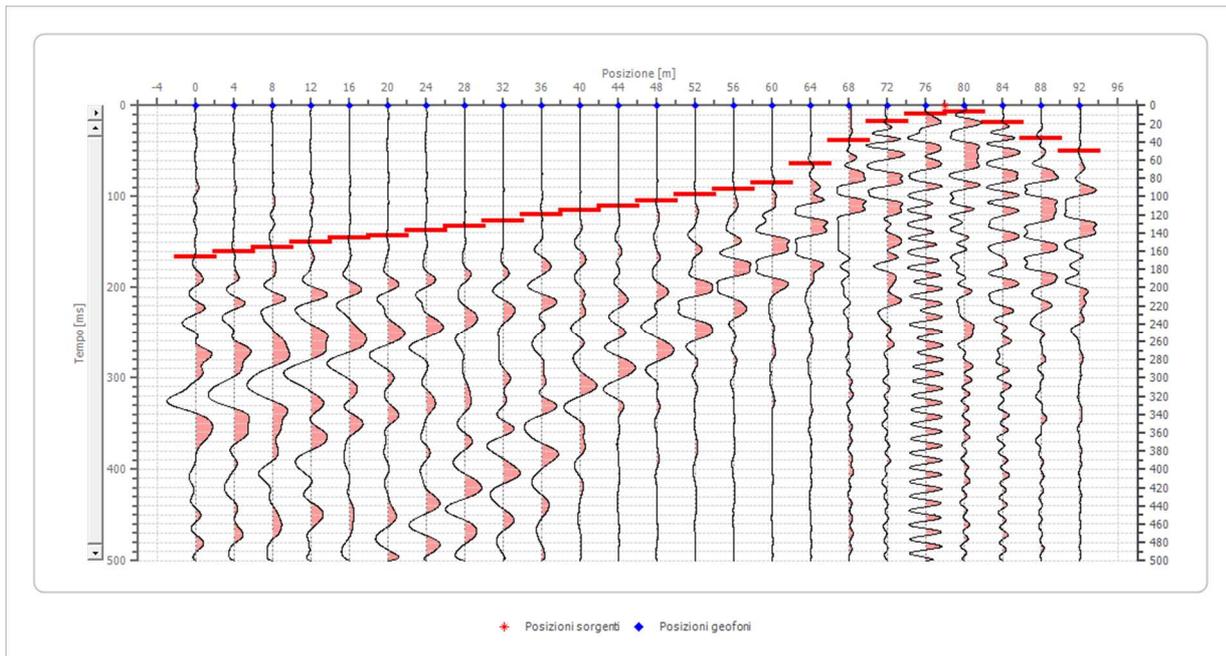
Posizione sorgente X 62 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	132.6244
4.0	126.8076
8.0	123.3174
12.0	119.8273
16.0	114.0105
20.0	108.1936
24.0	102.3767
28.0	96.5599
32.0	90.7430
36.0	84.9262
40.0	80.3726
44.0	63.7438
48.0	51.2722
52.0	37.4148
56.0	20.7860
60.0	8.3144
64.0	6.9287
68.0	22.1717
72.0	38.8006
76.0	55.4294
80.0	74.8296
84.0	80.2727
88.0	84.9262
92.0	90.7430

Battuta 6

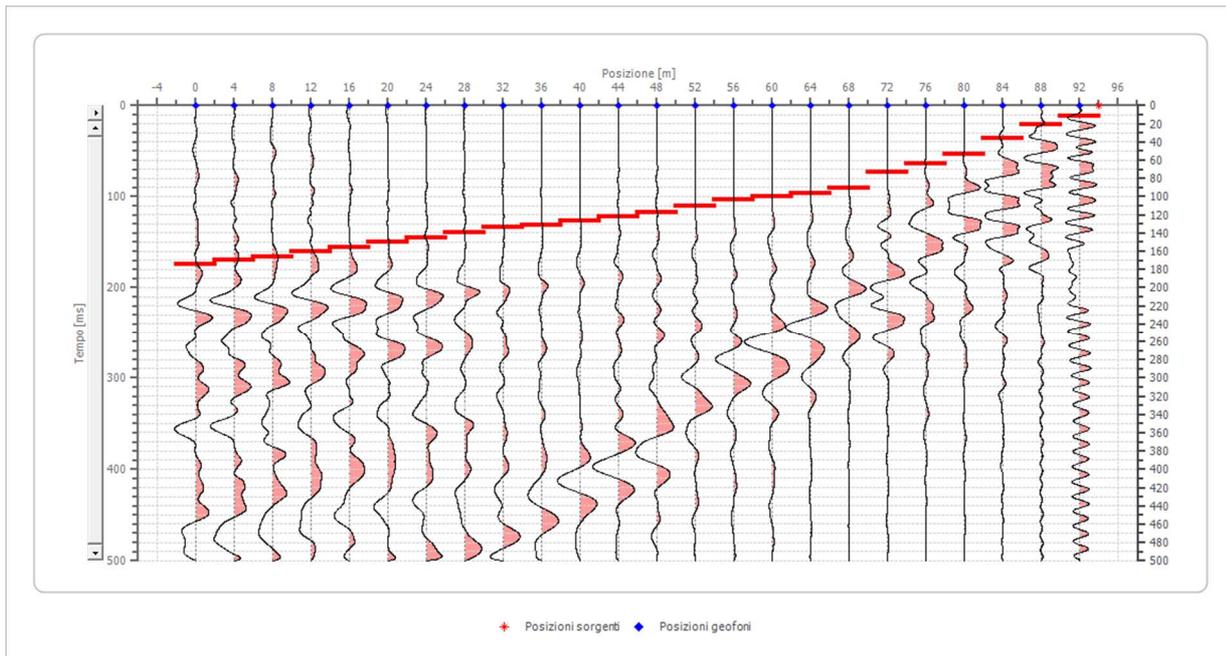
Posizione sorgente X 78 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	166.3622
4.0	160.5453
8.0	155.8919
12.0	150.0750
16.0	145.4215
20.0	143.0948
24.0	137.2779
28.0	132.6244
32.0	126.8076
36.0	119.8273
40.0	115.1738
44.0	110.5203
48.0	104.7035
52.0	97.7233
56.0	91.9064
60.0	84.9262
64.0	63.9855
68.0	38.3913
72.0	17.4506
76.0	9.7001
80.0	6.9802
84.0	18.6140
88.0	36.0645
92.0	50.0250

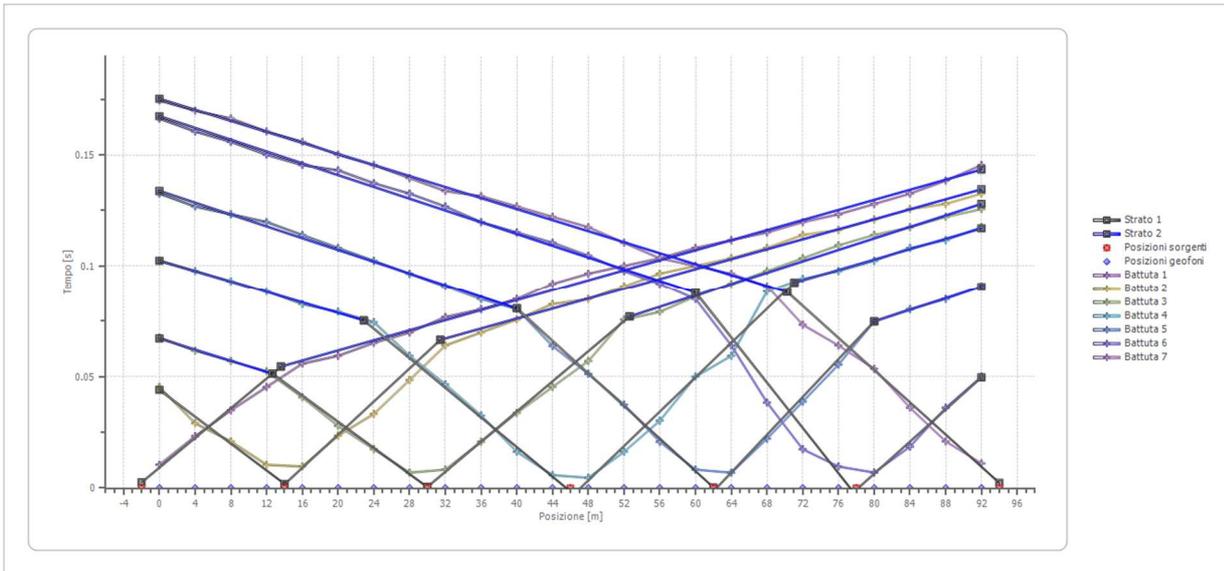
Battuta 7

Posizione sorgente X 94 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

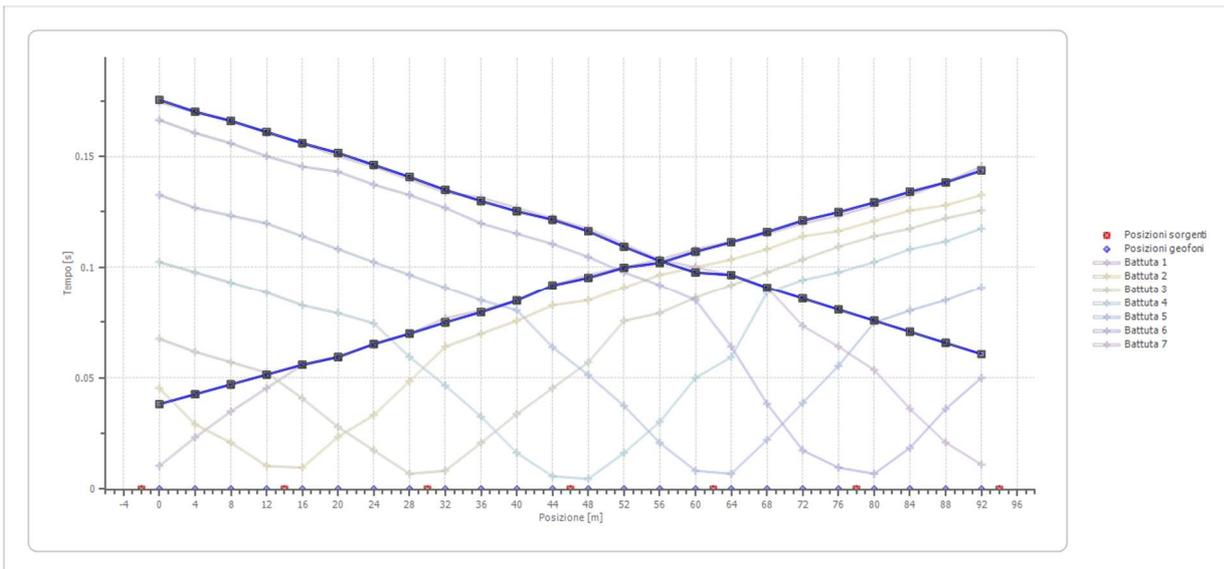


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	174.5058
4.0	169.8523
8.0	166.3622
12.0	160.5453
16.0	155.8919
20.0	150.0750
24.0	145.4215
28.0	139.6046
32.0	133.7878
36.0	131.4610
40.0	126.8076
44.0	122.1541
48.0	117.5006
52.0	110.5203
56.0	103.5401
60.0	100.0500
64.0	96.5599
68.0	90.7430
72.0	73.2924
76.0	63.9855
80.0	53.5151
84.0	36.0645
88.0	20.9407
92.0	11.0859

Dromocrone



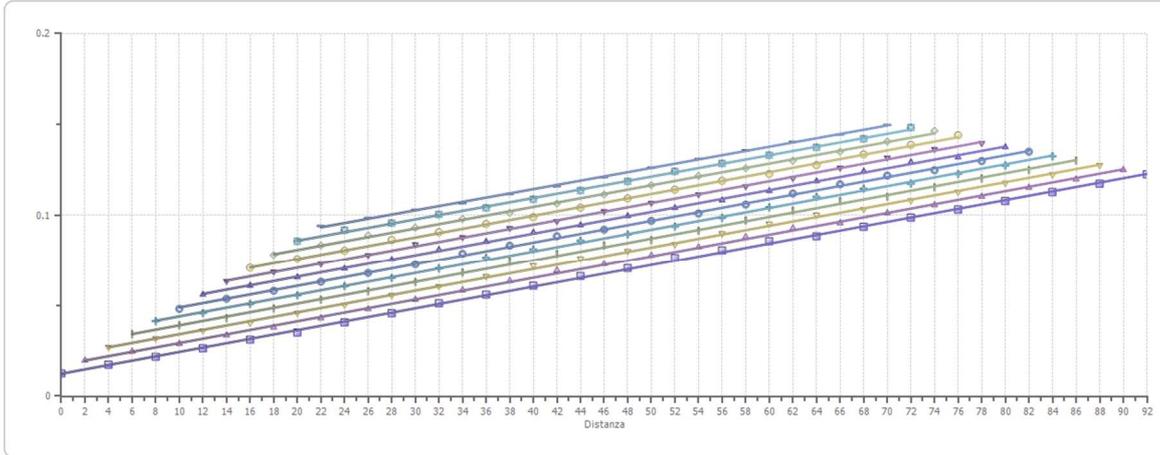
Dromocrone traslate



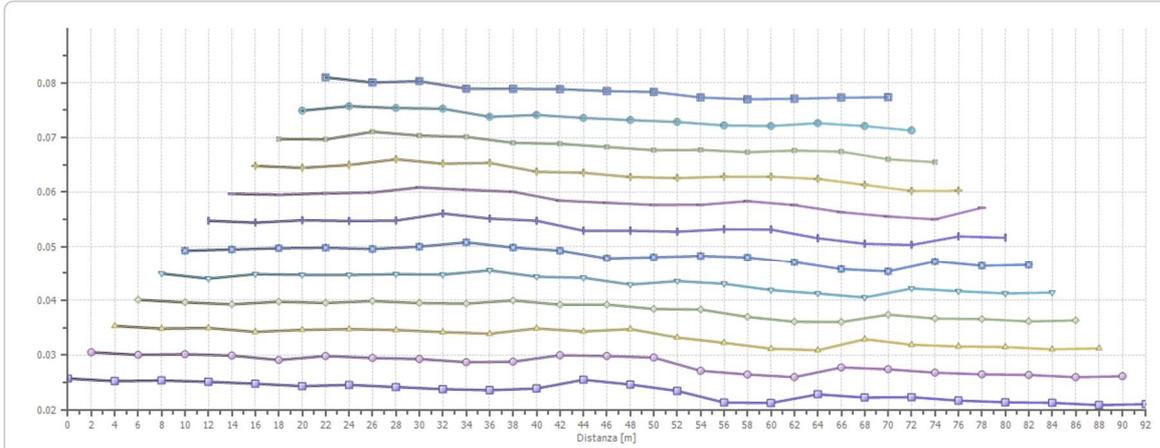
Interpretazione col metodo G.,R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 0.0 [m]	7.9	21.9
G= 4.0 [m]	7.8	21.7
G= 8.0 [m]	7.8	21.6
G= 12.0 [m]	7.7	17.4
G= 16.0 [m]	7.6	12.8
G= 20.0 [m]	7.5	8.2
G= 24.0 [m]	7.5	7.5
G= 28.0 [m]	7.4	7.4
G= 32.0 [m]	7.3	8.7
G= 36.0 [m]	7.3	11.3
G= 40.0 [m]	7.3	11.6
G= 44.0 [m]	7.8	10.9
G= 48.0 [m]	7.6	10.8
G= 52.0 [m]	7.2	10.5
G= 56.0 [m]	6.6	8.1
G= 60.0 [m]	6.5	6.5
G= 64.0 [m]	7.0	7.0
G= 68.0 [m]	6.8	6.8
G= 72.0 [m]	6.9	6.9
G= 76.0 [m]	6.7	8.1
G= 80.0 [m]	6.6	12.4
G= 84.0 [m]	6.5	16.9
G= 88.0 [m]	6.4	21.2
G= 92.0 [m]	6.5	21.3
Velocità [m/sec]	288.6	832.3
Descrizione		



- XY = 0, Deviazione standard = 0.03327
- ▲ XY = 4, Deviazione standard = 0.0319
- ▽ XY = 8, Deviazione standard = 0.03052
- ∩ XY = 12, Deviazione standard = 0.02914
- ◆ XY = 16, Deviazione standard = 0.02775
- XY = 20, Deviazione standard = 0.02636
- ▲ XY = 24, Deviazione standard = 0.0249
- ▼ XY = 28, Deviazione standard = 0.0235
- XY = 32, Deviazione standard = 0.02214
- ◇ XY = 36, Deviazione standard = 0.02057
- XY = 40, Deviazione standard = 0.01897
- XY = 44, Deviazione standard = 0.01746



- XY = 0, Rugosità = 0.001439
- XY = 4, Rugosità = 0.001468
- ▲ XY = 8, Rugosità = 0.001412
- ◇ XY = 12, Rugosità = 0.001357
- ▽ XY = 16, Rugosità = 0.001361
- ∩ XY = 20, Rugosità = 0.001356
- ◆ XY = 24, Rugosità = 0.00141
- XY = 28, Rugosità = 0.001394
- XY = 32, Rugosità = 0.001427
- ◇ XY = 36, Rugosità = 0.001311
- XY = 40, Rugosità = 0.001178
- XY = 44, Rugosità = 0.001055

SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA – ONDE SH

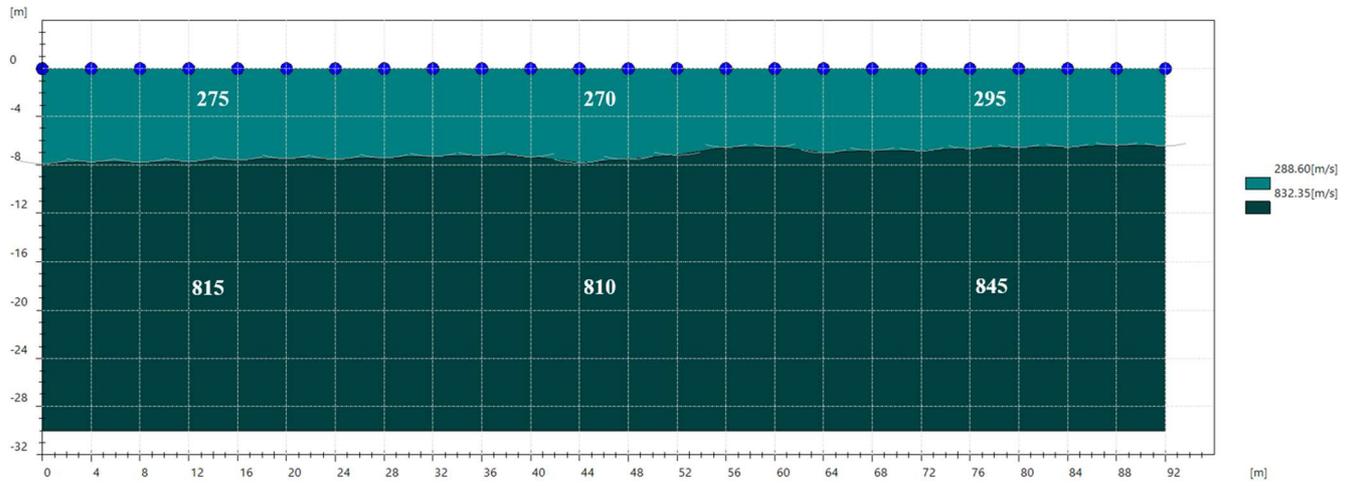




Foto – Indagine sismica a rifrazione SR_1

SR_2: SISMICA A RIFRAZIONE P-SH

Easy Refract

Le indagini di sismica a rifrazione consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti.

Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell.

Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore.

La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde o, equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza θ_i mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione θ_r . La formulazione matematica è:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Dove v_1 e v_2 sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità.

Per $v_1 > v_2$ si ha che $\theta_i > \theta_r$ e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per $v_1 < v_2$ si ha che $\theta_i < \theta_r$ ed esiste un angolo limite di incidenza per cui $\theta_r = 90^\circ$ ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'espressione che definisce l'angolo limite è:

$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo T dato dalla relazione

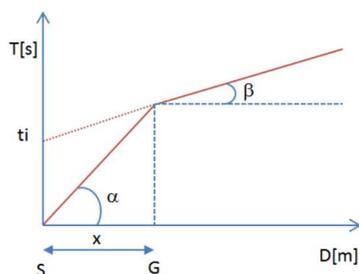
$$T = x_i / V_1$$

dove x_i è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione.

L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come

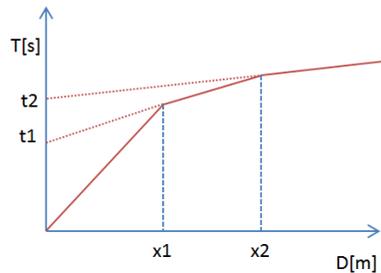
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo t_i che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione.

Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.

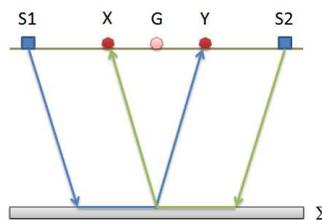


Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left(t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

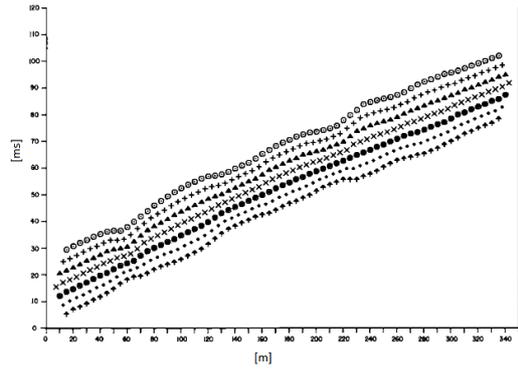
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifrattore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multi strato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantoming per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori.

Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$



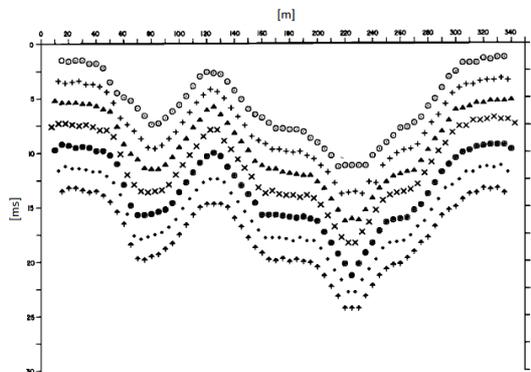
dove T_{S_1Y} e T_{S_2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre $T_{S_1S_2}$ è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_V è il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

Il calcolo della funzione T_V viene eseguito per ogni valore di XY compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l'XY ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente angolare.

Per mezzo della **funzione tempo-profondità** è possibile trovare la profondità del rifrattore espressa in unità di tempo. L'espressione di tale funzione è:

$$T_G = \frac{T_{S_1Y} + T_{S_2X} - \left(T_{S_1S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Dove V_n è la velocità del rifrattore.



Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo.

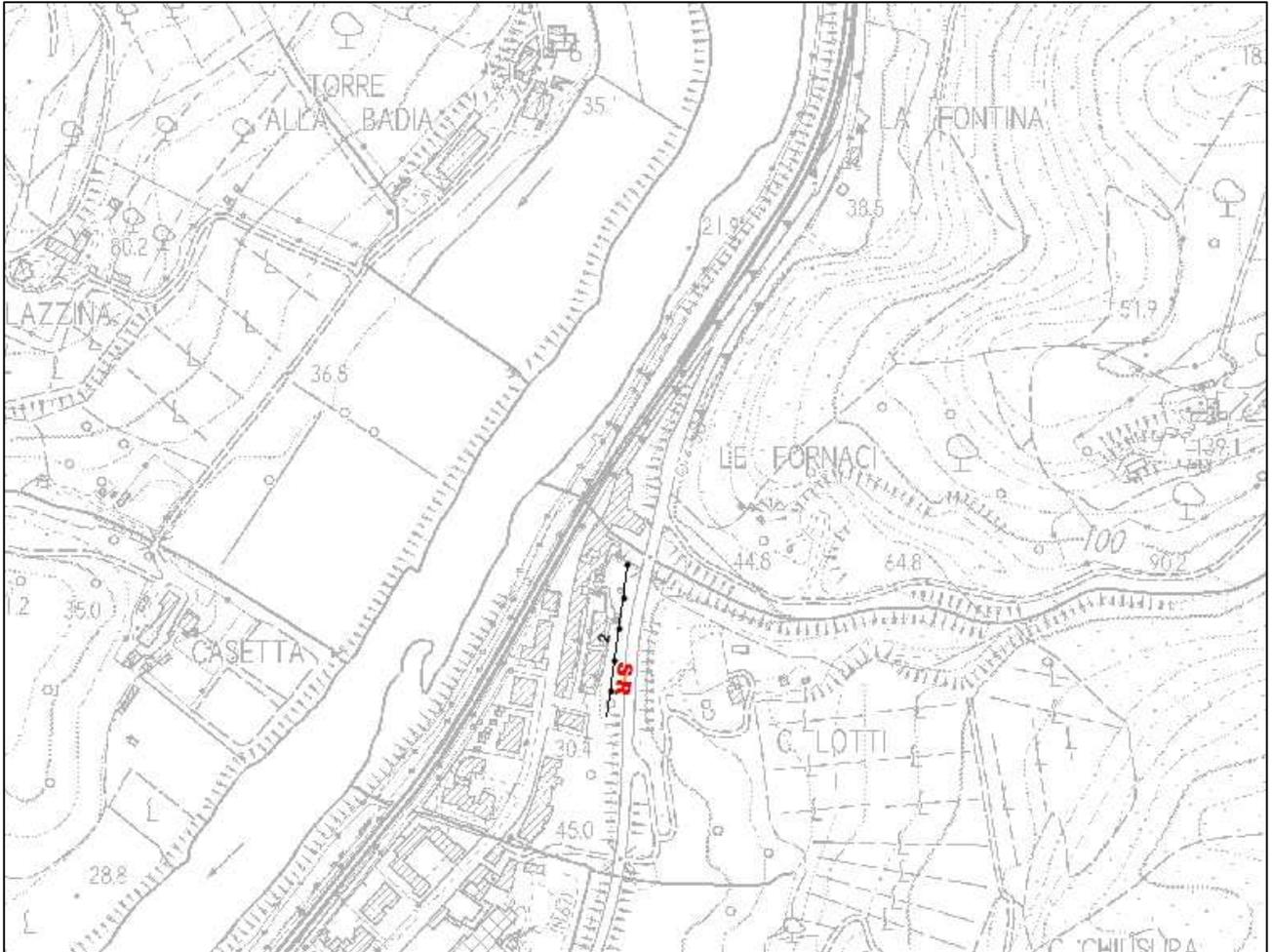
Infine, è possibile determinare lo spessore del rifrattore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

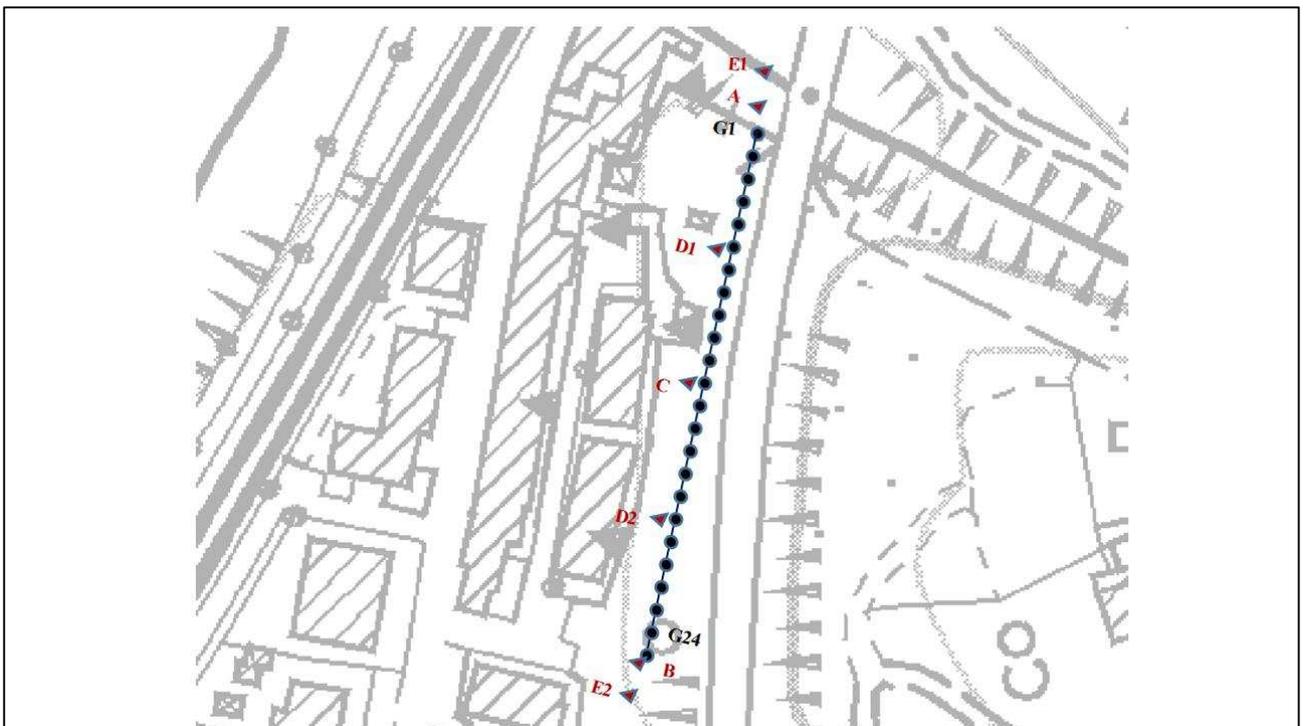
h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h.

Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°

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.): 30

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)	-20	-2.5	27.5	57.5	87.5	117.5	135

Geometria geofoni

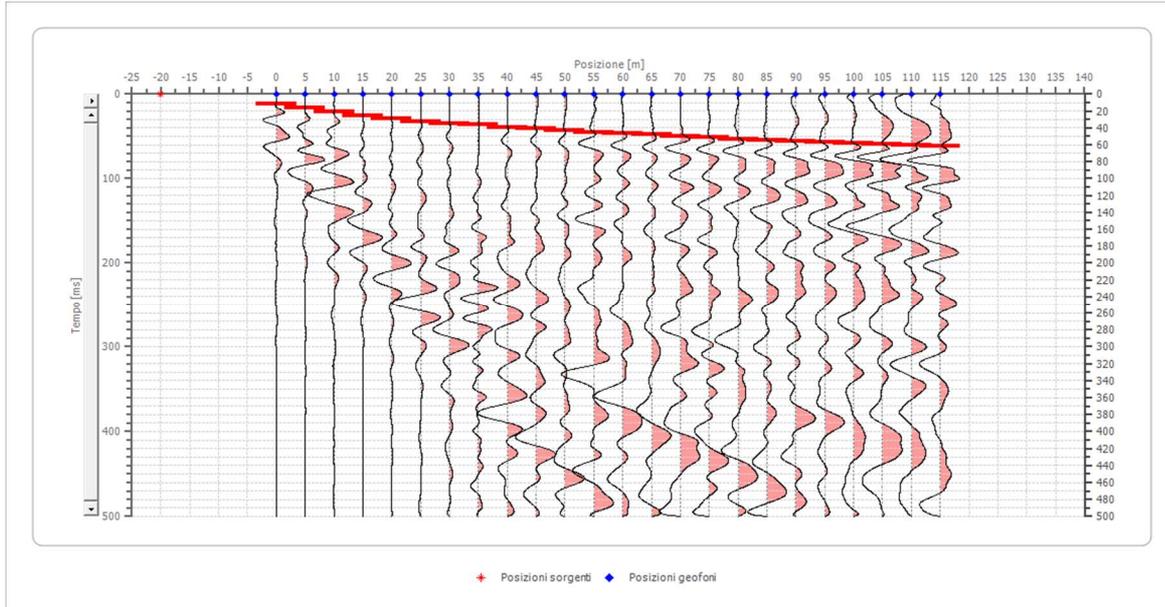
	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	0.0
2	5.0	0.0
3	10.0	0.0
4	15.0	0.0
5	20.0	0.0
6	25.0	0.0
7	30.0	0.0
8	35.0	0.0
9	40.0	0.0
10	45.0	0.0
11	50.0	0.0
12	55.0	0.0
13	60.0	0.0
14	65.0	0.0
15	70.0	0.0
16	75.0	0.0
17	80.0	0.0
18	85.0	0.0
19	90.0	0.0
20	95.0	0.0
21	100.0	0.0
22	105.0	0.0
23	110.0	0.0
24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

Dati battute – ONDE P

Battuta 1

Posizione sorgente X -20 [m]

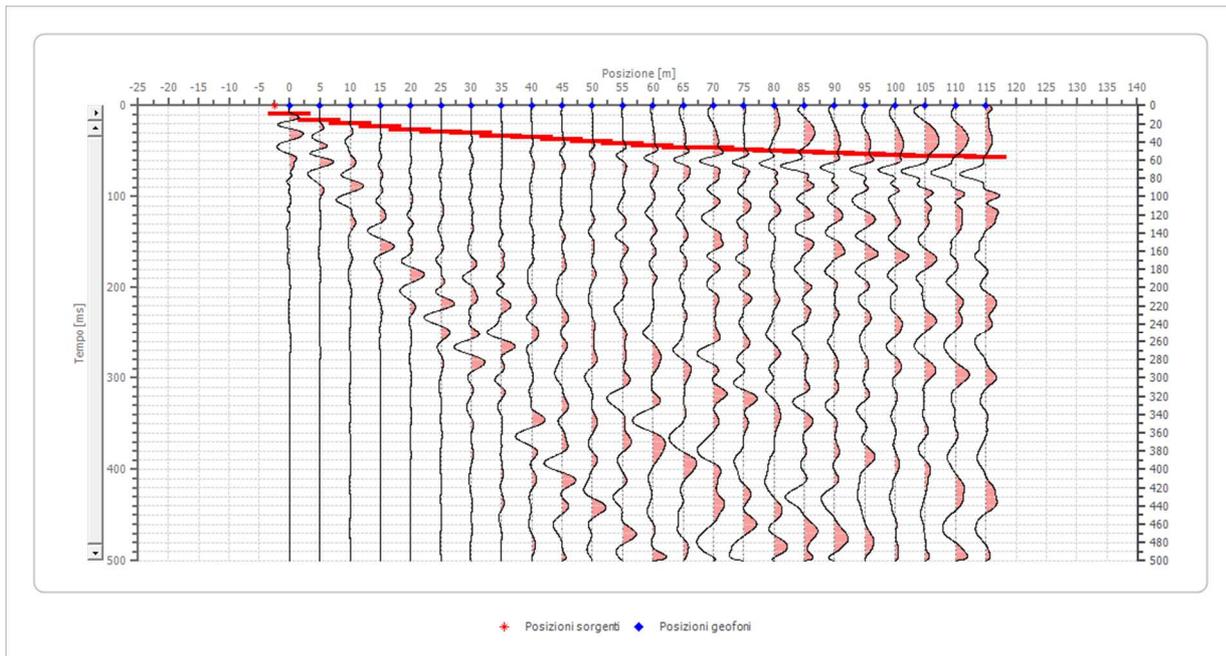
Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	11.8605
5.0	16.5116
10.0	20.6977
15.0	25.3488
20.0	29.0698
25.0	32.6870
30.0	34.7500
35.0	36.5651
40.0	39.0000
45.0	40.9972
50.0	43.2133
55.0	45.4294
60.0	46.5116
65.0	47.9070
70.0	50.2326
75.0	51.1628
80.0	53.2558
85.0	54.6512
90.0	55.8140
95.0	56.7442
100.0	58.1395
105.0	59.0698
110.0	60.4651
115.0	61.1628

Battuta 2

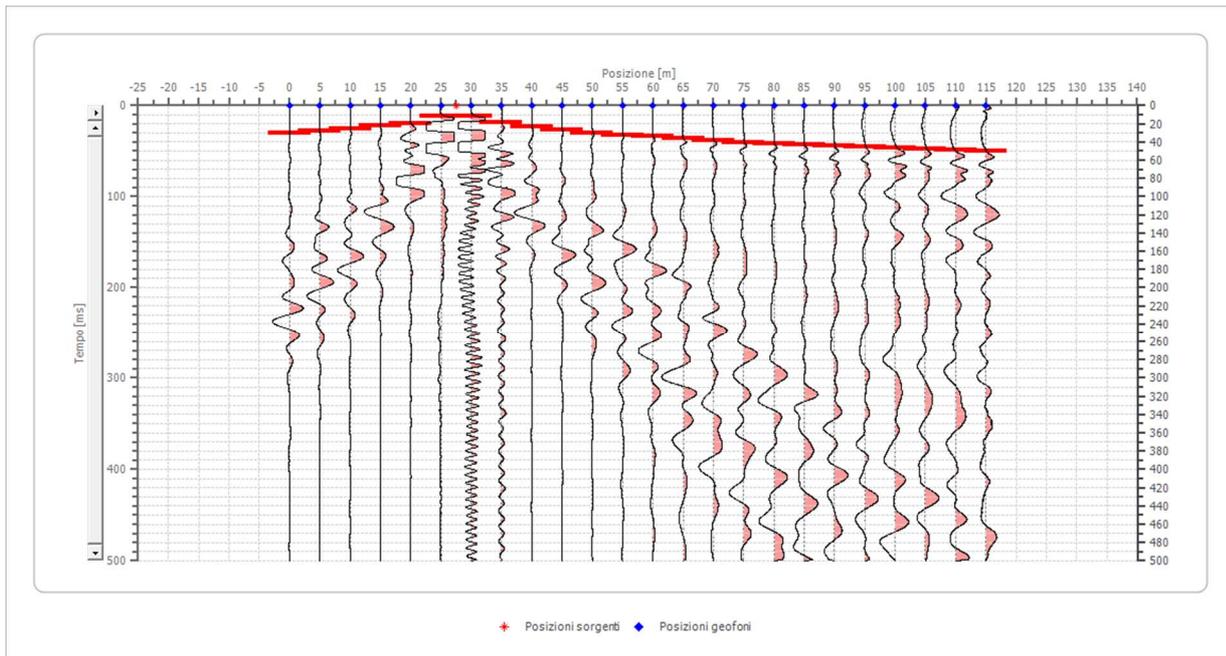
Posizione sorgente X -2.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	9.7001
5.0	16.6288
10.0	20.2500
15.0	23.5575
20.0	26.5928
25.0	29.2500
30.0	30.0000
35.0	33.2410
40.0	34.9030
45.0	37.6731
50.0	39.8892
55.0	41.5512
60.0	43.7673
65.0	45.9834
70.0	47.0914
75.0	48.7535
80.0	49.8615
85.0	50.9302
90.0	51.8605
95.0	53.2558
100.0	54.1860
105.0	55.5814
110.0	56.0465
115.0	57.2093

Battuta 3

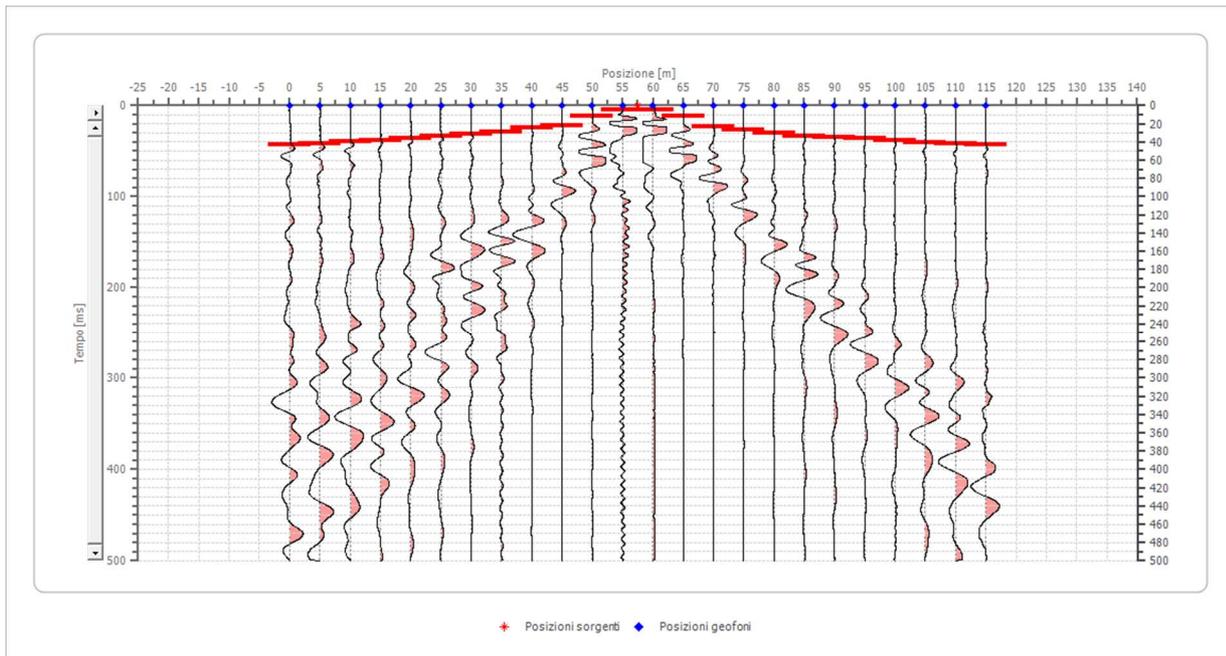
Posizione sorgente X 27.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	30.4709
5.0	27.7008
10.0	25.2500
15.0	22.5000
20.0	20.0000
25.0	11.0859
30.0	11.0859
35.0	18.2825
40.0	22.7147
45.0	26.5928
50.0	30.4709
55.0	32.1330
60.0	34.2500
65.0	36.0111
70.0	38.2271
75.0	40.9972
80.0	42.0930
85.0	43.2558
90.0	44.4186
95.0	45.5814
100.0	46.7442
105.0	47.6744
110.0	48.6047
115.0	49.7674

Battuta 4

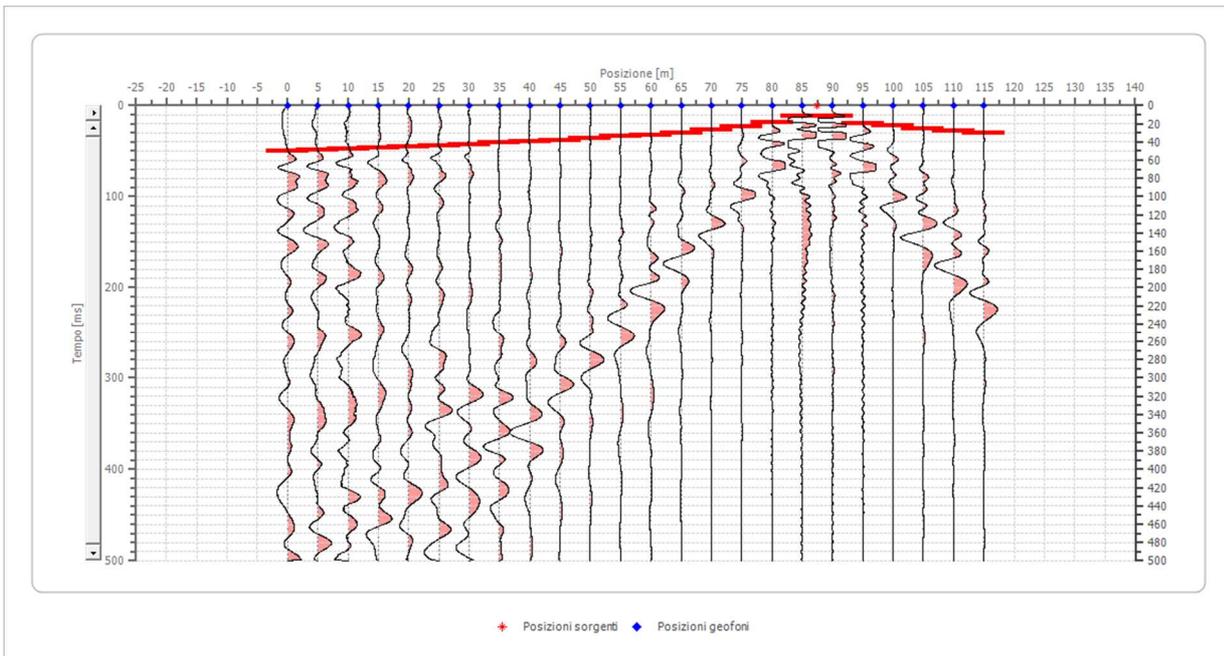
Posizione sorgente X 57.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	42.6593
5.0	41.5512
10.0	39.8892
15.0	38.2271
20.0	36.0111
25.0	33.7950
30.0	31.5789
35.0	28.8089
40.0	24.9307
45.0	21.6066
50.0	11.6343
55.0	4.9861
60.0	4.9861
65.0	11.6343
70.0	23.2687
75.0	27.1468
80.0	29.9169
85.0	33.7950
90.0	34.9030
95.0	36.5651
100.0	38.7812
105.0	40.4432
110.0	42.1053
115.0	43.2133

Battuta 5

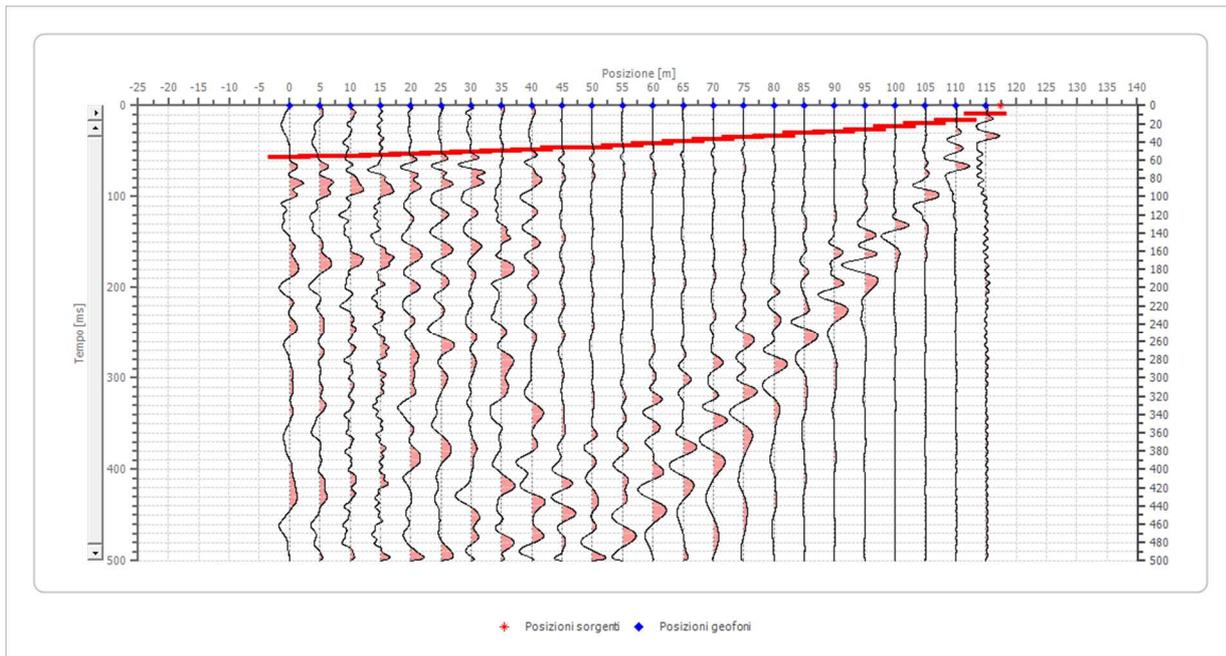
Posizione sorgente X 87.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	50.2326
5.0	48.8372
10.0	47.6744
15.0	46.0465
20.0	45.3488
25.0	44.4186
30.0	42.5581
35.0	40.9302
40.0	39.7674
45.0	38.2271
50.0	36.0111
55.0	34.2500
60.0	32.1330
65.0	30.4709
70.0	26.5928
75.0	22.7147
80.0	18.2825
85.0	11.0859
90.0	11.0859
95.0	20.0000
100.0	22.5000
105.0	25.2500
110.0	27.7008
115.0	30.4709

Battuta 6

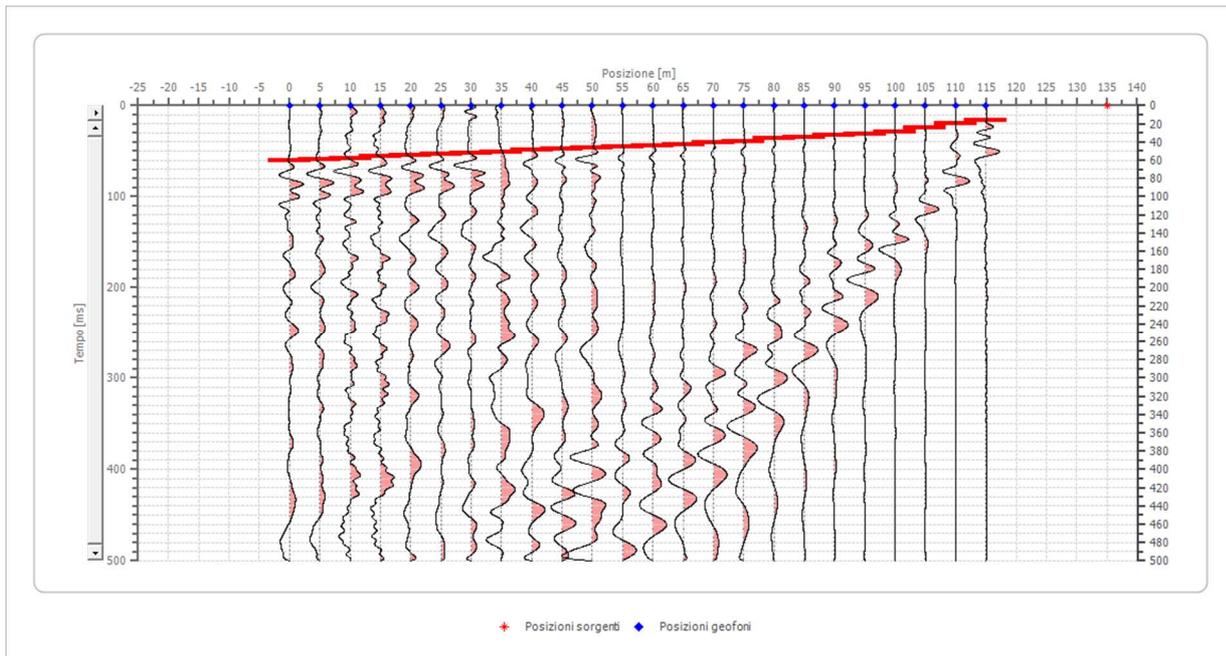
Posizione sorgente X 117.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	57.2093
5.0	56.0465
10.0	55.5814
15.0	54.1860
20.0	53.2558
25.0	51.8605
30.0	50.9302
35.0	49.8615
40.0	48.7535
45.0	47.0914
50.0	45.9834
55.0	43.7673
60.0	41.5512
65.0	39.8892
70.0	37.6731
75.0	34.9030
80.0	33.2410
85.0	30.0000
90.0	29.2500
95.0	26.5928
100.0	23.5575
105.0	20.2500
110.0	16.6288
115.0	9.7001

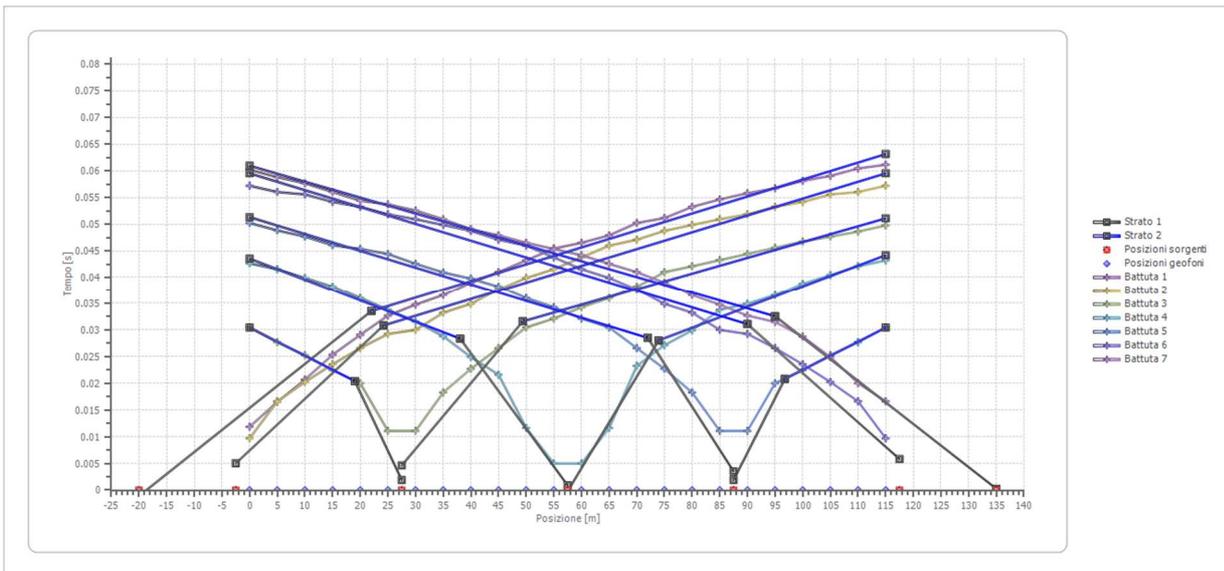
Battuta 7

Posizione sorgente X 135 [m]
Posizione sorgente Z 0 [m]

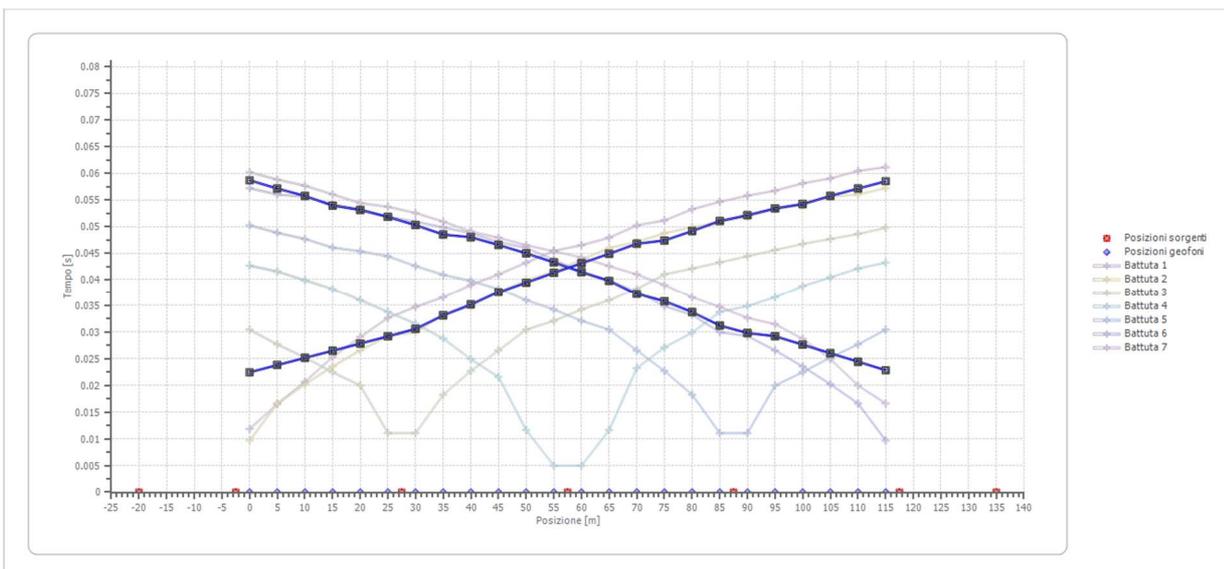


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	60.2326
5.0	58.8372
10.0	57.6744
15.0	56.0465
20.0	54.4186
25.0	53.7209
30.0	52.5581
35.0	50.9302
40.0	49.0698
45.0	47.9070
50.0	46.5116
55.0	45.3488
60.0	44.1860
65.0	42.5581
70.0	40.9972
75.0	39.0000
80.0	36.5651
85.0	34.7500
90.0	32.6870
95.0	31.5000
100.0	28.7500
105.0	24.9432
110.0	20.0000
115.0	16.6288

Dromocrone



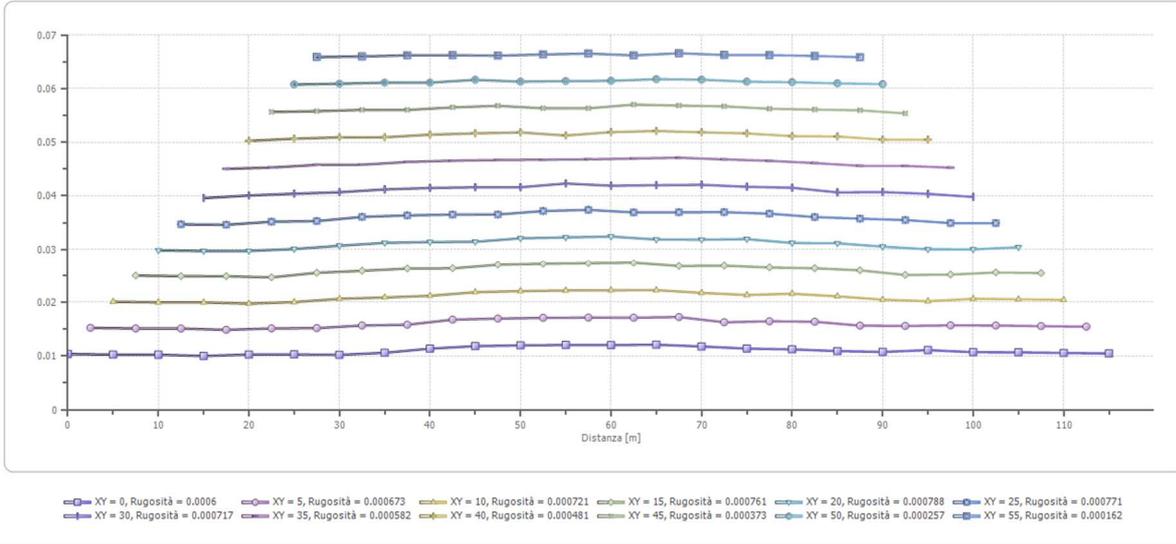
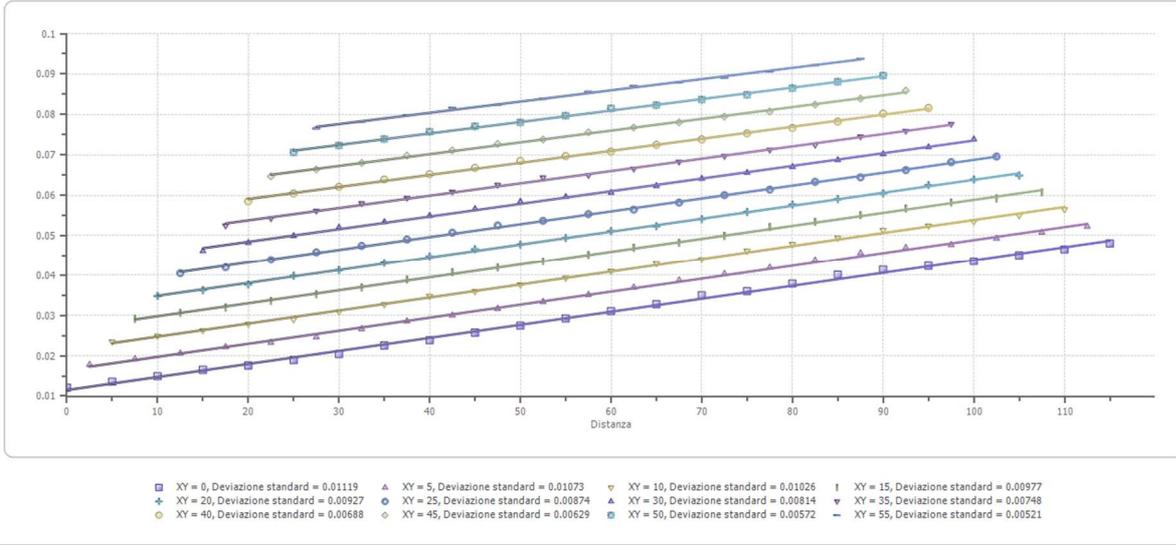
Dromocrone traslate



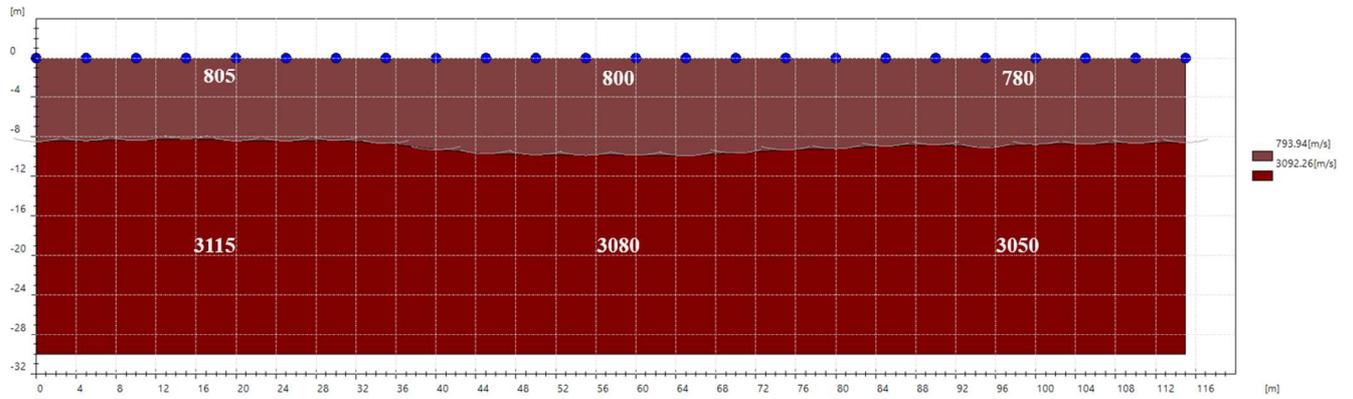
Interpretazione col metodo G.,R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 0.0 [m]	8.5	19.4
G= 5.0 [m]	8.4	19.9
G= 10.0 [m]	8.4	20.2
G= 15.0 [m]	8.2	18.5
G= 20.0 [m]	8.4	22.2
G= 25.0 [m]	8.4	21.0
G= 30.0 [m]	8.4	22.9
G= 35.0 [m]	8.7	22.3
G= 40.0 [m]	9.3	24.4
G= 45.0 [m]	9.7	23.5
G= 50.0 [m]	9.8	23.7
G= 55.0 [m]	9.9	23.9
G= 60.0 [m]	9.9	24.7
G= 65.0 [m]	9.9	25.3
G= 70.0 [m]	9.7	26.1
G= 75.0 [m]	9.3	25.5
G= 80.0 [m]	9.2	24.8
G= 85.0 [m]	9.0	24.6
G= 90.0 [m]	8.8	24.4
G= 95.0 [m]	9.1	25.4
G= 100.0 [m]	8.8	22.2
G= 105.0 [m]	8.8	24.6
G= 110.0 [m]	8.7	26.0
G= 115.0 [m]	8.6	26.8
Velocità [m/sec]	793.9	3092.3
Descrizione		



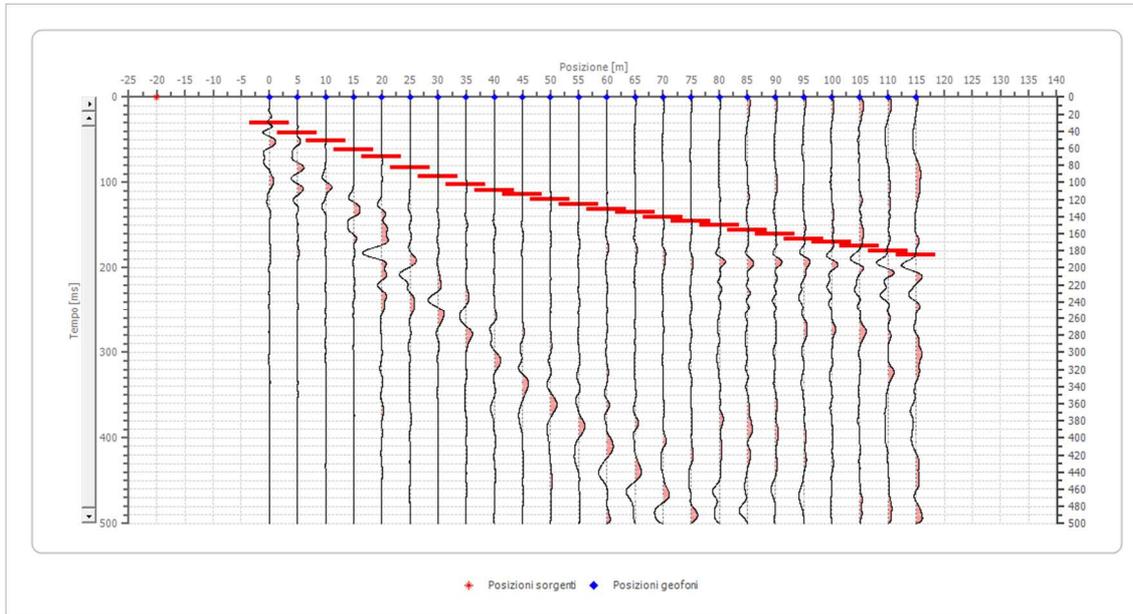
SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA – ONDE P



Dati battute – ONDE SH

Battuta 1

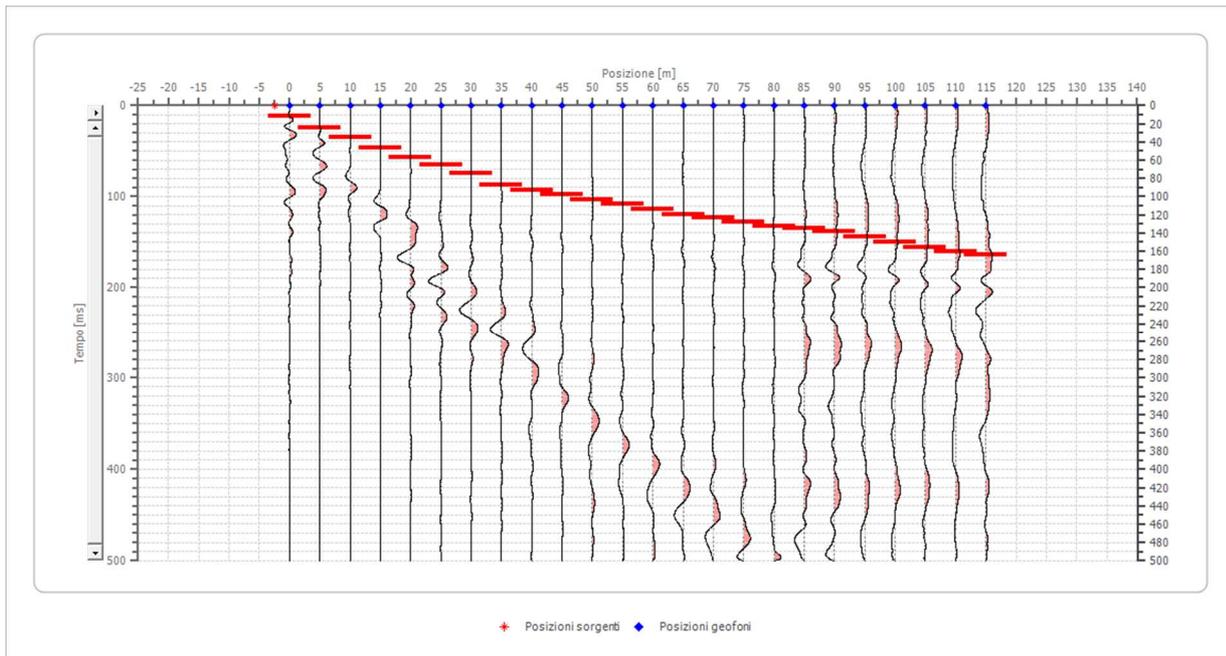
Posizione sorgente X -20 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	30.2477
5.0	41.8814
10.0	51.1884
15.0	61.6587
20.0	69.8023
25.0	82.5994
30.0	93.0698
35.0	102.3767
40.0	109.3570
45.0	114.0105
50.0	119.8273
55.0	125.6442
60.0	131.4610
65.0	134.9512
70.0	140.7680
75.0	145.4215
80.0	150.0750
85.0	155.8919
90.0	160.5453
95.0	166.3622
100.0	169.8523
105.0	174.5058
110.0	180.3227
115.0	184.9762

Battuta 2

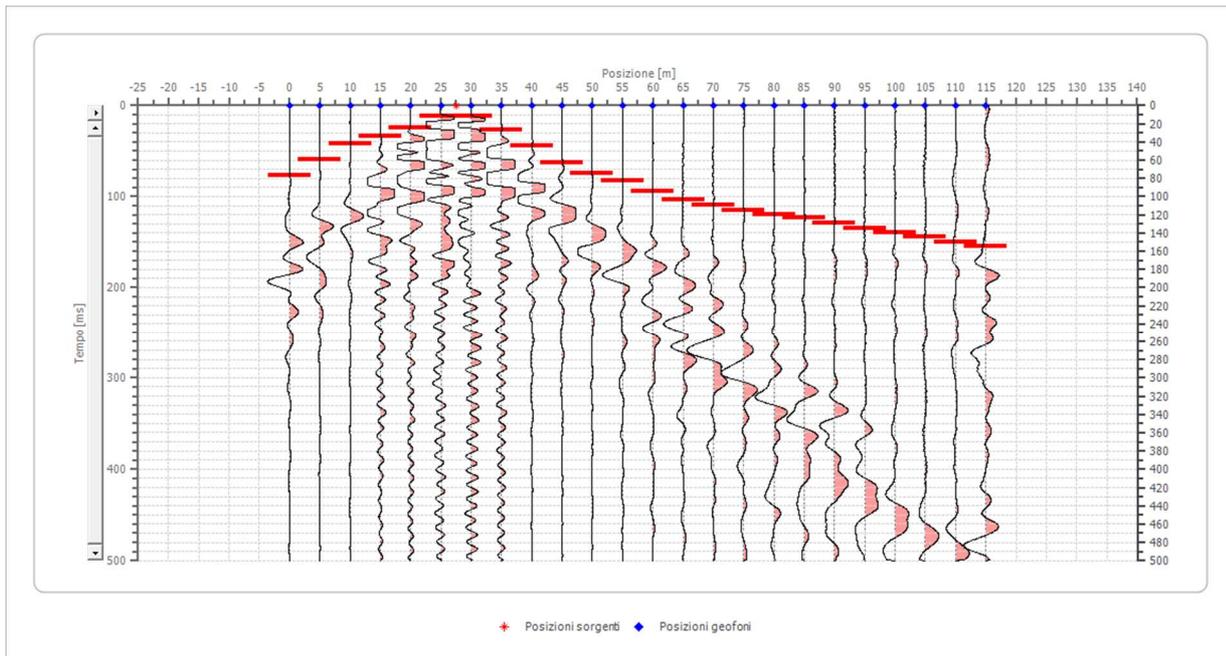
Posizione sorgente X -2.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	11.0859
5.0	24.4308
10.0	34.9012
15.0	46.5349
20.0	57.0052
25.0	65.1488
30.0	74.4558
35.0	87.2529
40.0	93.0698
45.0	97.7233
50.0	103.5401
55.0	108.1936
60.0	114.0105
65.0	119.8273
70.0	123.3174
75.0	127.9709
80.0	132.6244
85.0	134.9512
90.0	138.4413
95.0	144.2581
100.0	150.0750
105.0	155.8919
110.0	160.5453
115.0	164.0355

Battuta 3

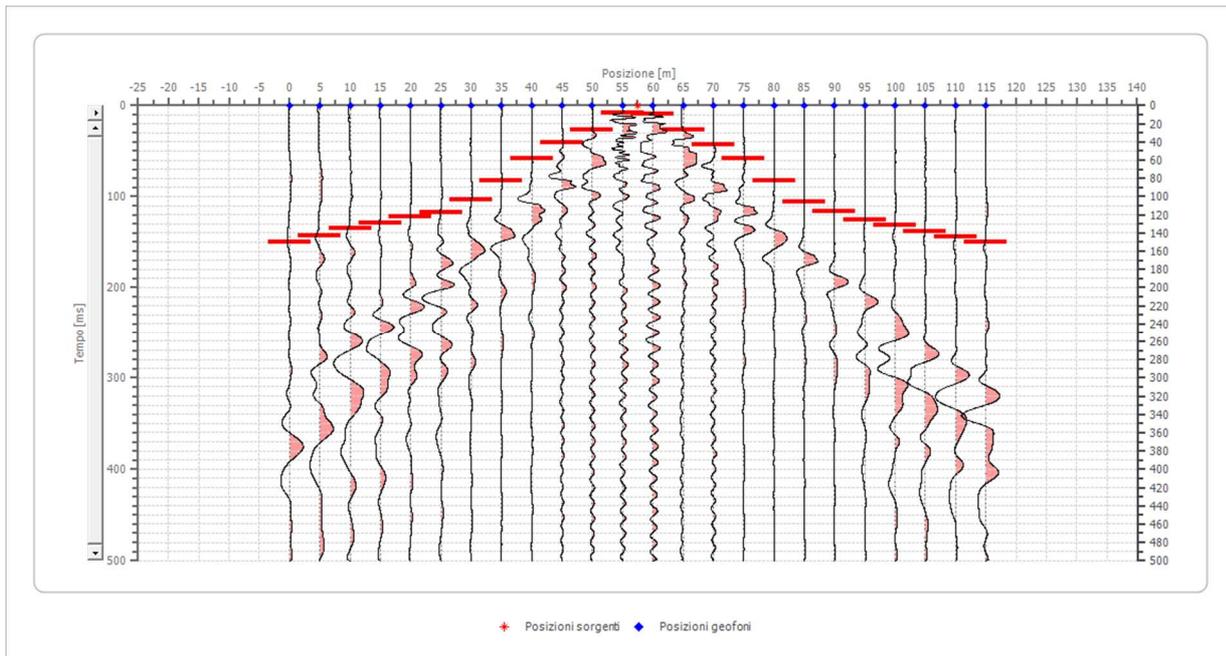
Posizione sorgente X 27.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	76.7826
5.0	59.3320
10.0	41.8814
15.0	33.7378
20.0	24.9432
25.0	11.0859
30.0	11.0859
35.0	26.3289
40.0	44.3435
45.0	62.3580
50.0	74.4558
55.0	82.5994
60.0	94.2331
65.0	103.5401
70.0	109.3570
75.0	115.1738
80.0	119.8273
85.0	123.3174
90.0	129.1343
95.0	134.9512
100.0	139.6046
105.0	144.2581
110.0	150.0750
115.0	154.7285

Battuta 4

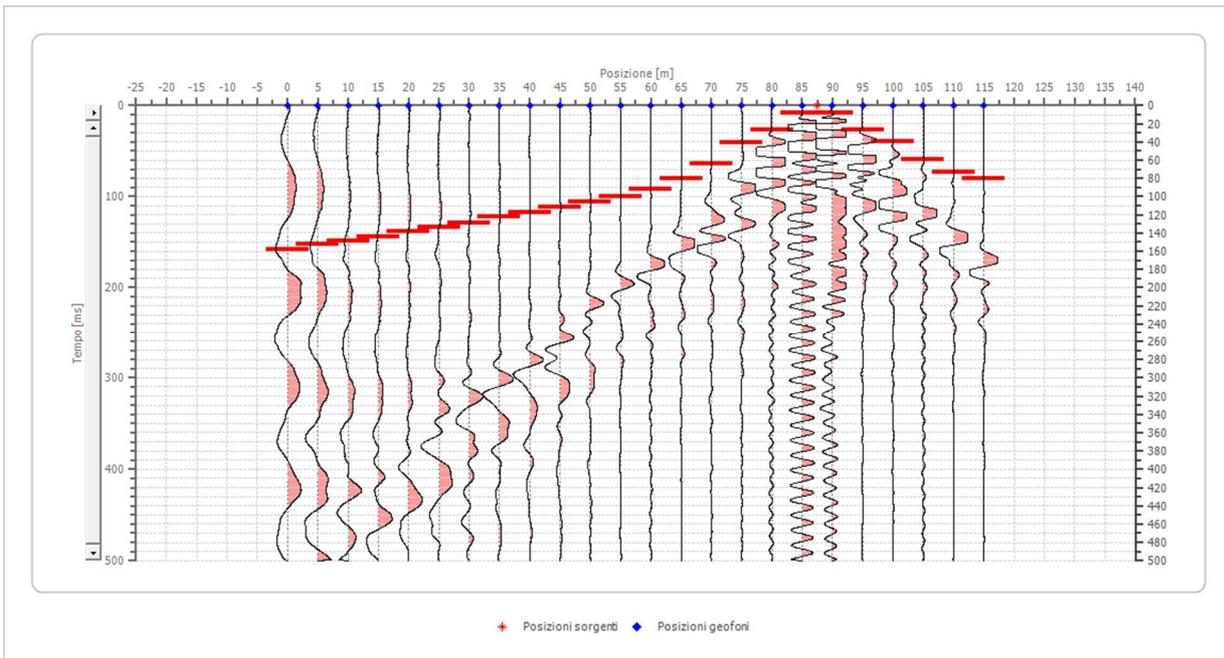
Posizione sorgente X 57.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	150.0750
5.0	143.0948
10.0	134.4162
15.0	129.1343
20.0	122.1541
25.0	117.7874
30.0	103.9301
35.0	83.1441
40.0	58.2008
45.0	40.1863
50.0	26.3289
55.0	8.3144
60.0	9.7001
65.0	26.3289
70.0	42.9578
75.0	58.2008
80.0	83.1441
85.0	105.3158
90.0	116.4017
95.0	126.1018
100.0	131.6447
105.0	138.4413
110.0	144.2581
115.0	150.0750

Battuta 5

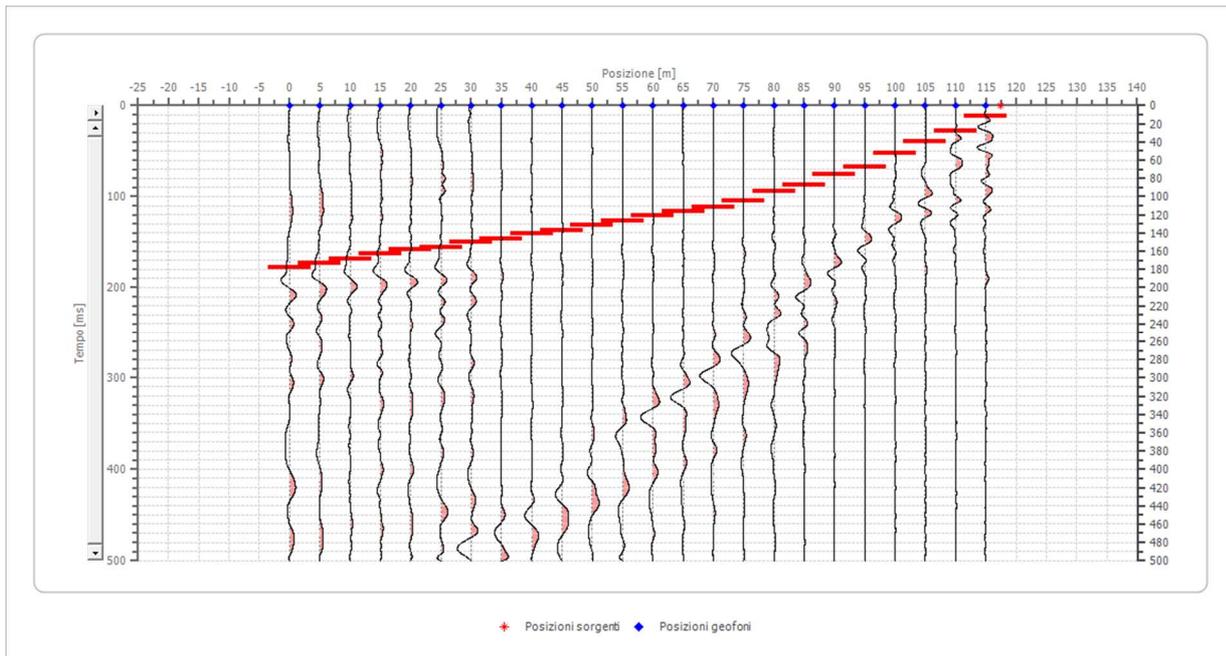
Posizione sorgente X 87.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	158.2186
5.0	152.4017
10.0	148.9116
15.0	144.2581
20.0	138.4413
25.0	133.7878
30.0	129.1343
35.0	122.1541
40.0	117.5006
45.0	111.6837
50.0	105.8669
55.0	100.0500
60.0	91.9064
65.0	80.2727
70.0	63.9855
75.0	40.7180
80.0	26.3289
85.0	8.3144
90.0	8.3144
95.0	26.3289
100.0	39.5546
105.0	59.3320
110.0	73.2924
115.0	80.2727

Battuta 6

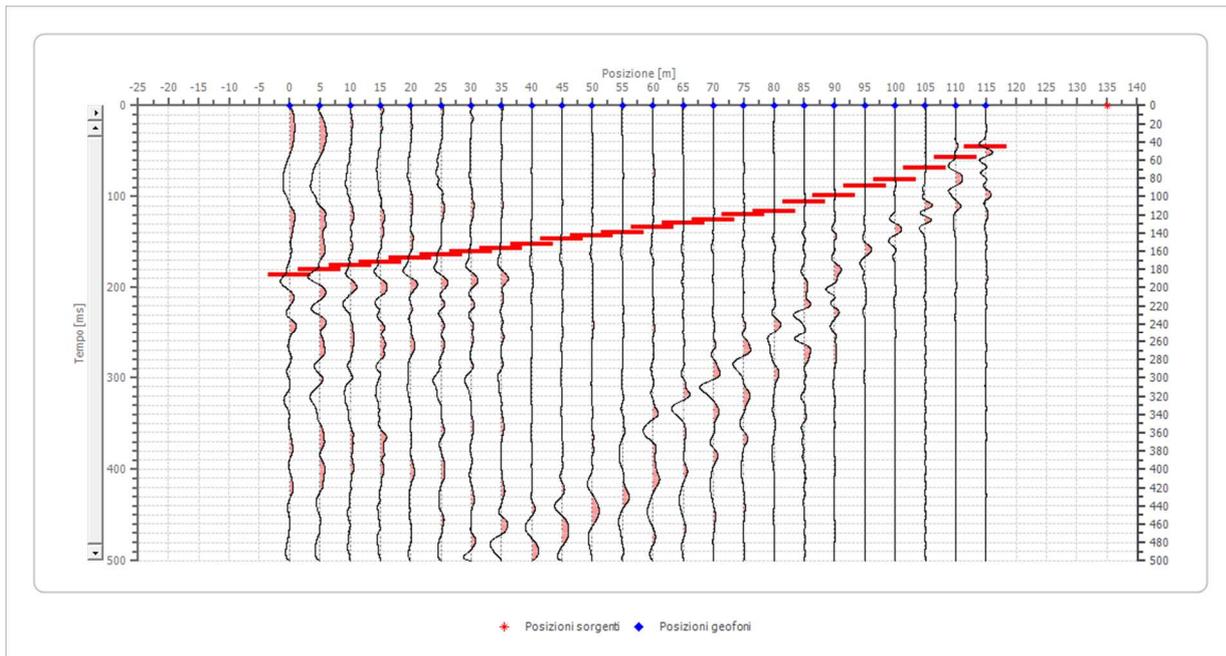
Posizione sorgente X 117.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	177.9959
5.0	173.3424
10.0	168.6889
15.0	162.8721
20.0	158.2186
25.0	155.8919
30.0	150.0750
35.0	146.5849
40.0	140.7680
45.0	137.2779
50.0	131.4610
55.0	126.8076
60.0	120.9907
65.0	116.3372
70.0	111.6837
75.0	104.7035
80.0	94.2331
85.0	87.2529
90.0	75.6192
95.0	67.4756
100.0	52.3517
105.0	39.5546
110.0	27.7147
115.0	11.0859

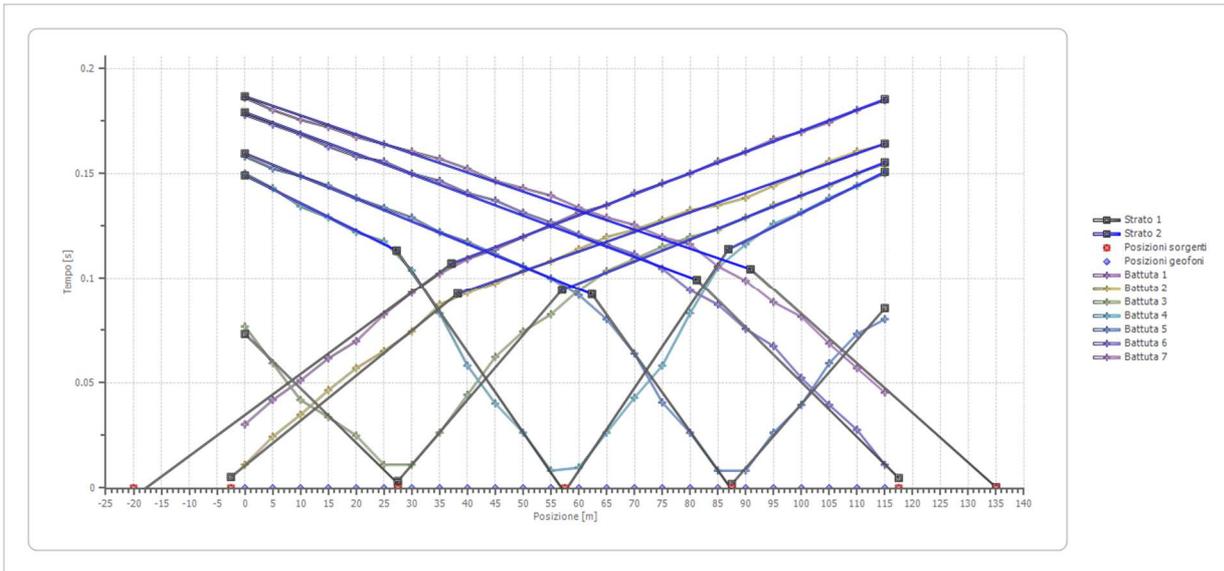
Battuta 7

Posizione sorgente X 135 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

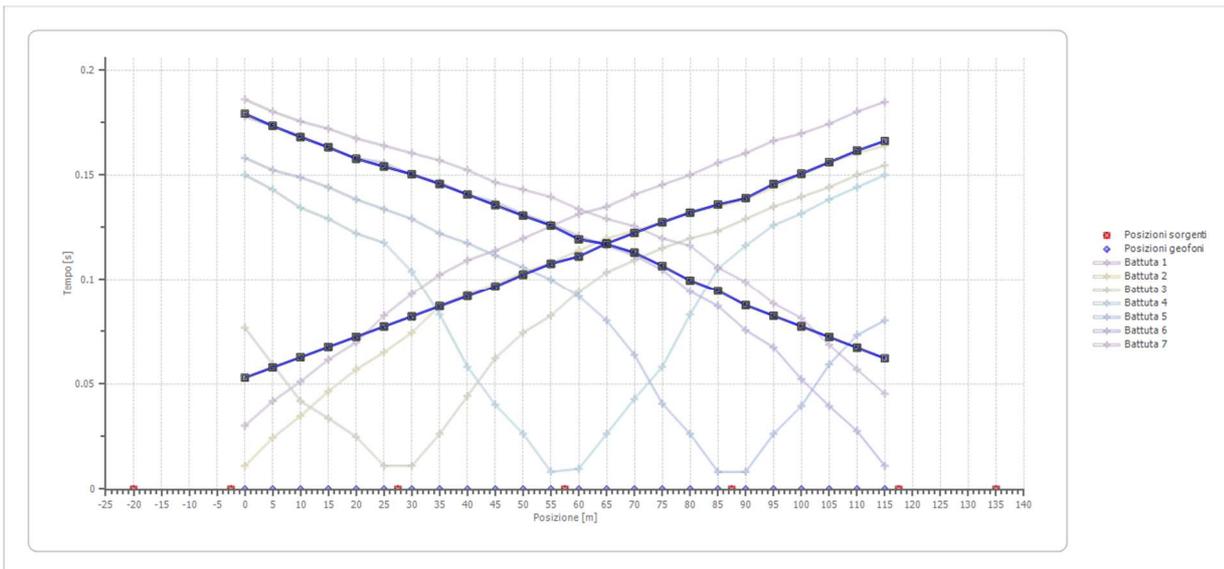


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	186.1395
5.0	180.3227
10.0	175.6692
15.0	172.1791
20.0	167.5256
25.0	164.0355
30.0	160.5453
35.0	157.0552
40.0	152.4017
45.0	146.5849
50.0	143.0948
55.0	139.6046
60.0	133.7878
65.0	129.1343
70.0	125.6442
75.0	119.8273
80.0	116.3372
85.0	105.8669
90.0	98.8866
95.0	88.4163
100.0	81.4360
105.0	68.6390
110.0	57.0052
115.0	45.3715

Dromocrone



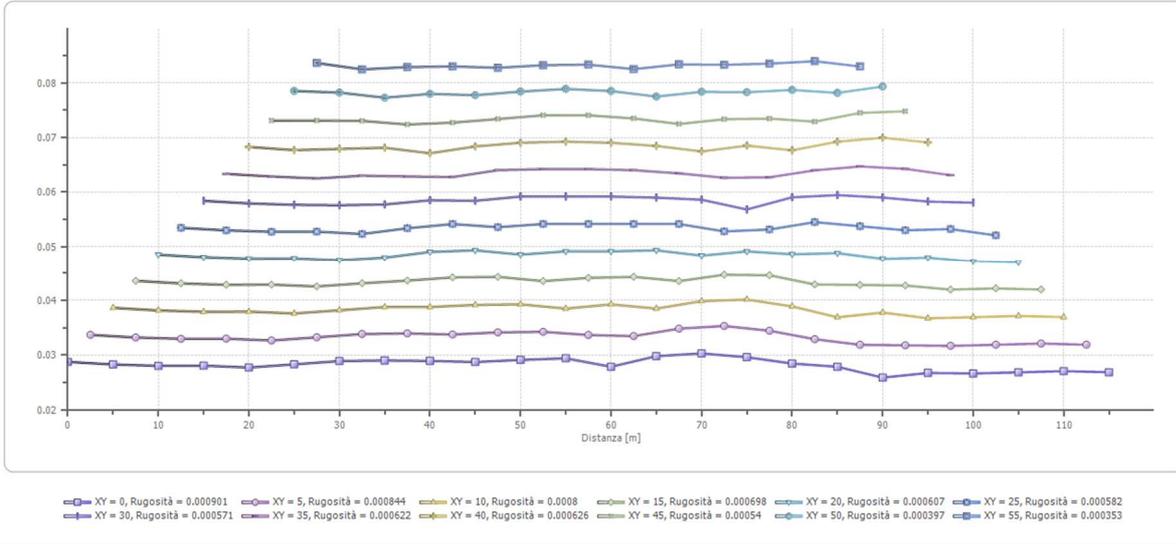
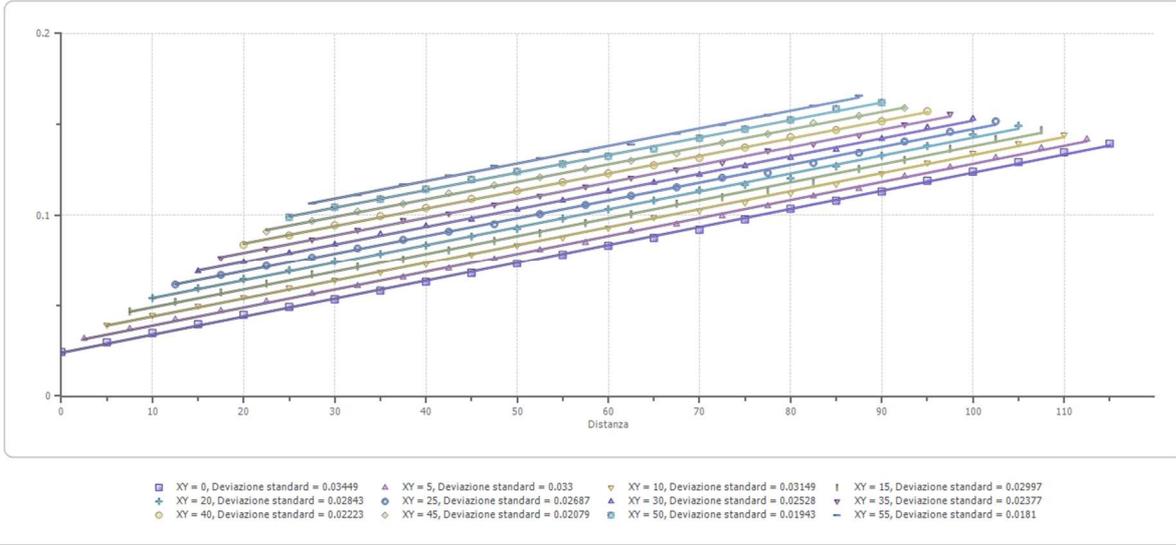
Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.,R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 0.0 [m]	11.3	--
G= 5.0 [m]	11.1	--
G= 10.0 [m]	11.0	--
G= 15.0 [m]	11.0	--
G= 20.0 [m]	10.9	--
G= 25.0 [m]	11.1	--
G= 30.0 [m]	11.3	--
G= 35.0 [m]	11.4	--
G= 40.0 [m]	11.3	--
G= 45.0 [m]	11.3	--
G= 50.0 [m]	11.4	--
G= 55.0 [m]	11.5	--
G= 60.0 [m]	10.9	--
G= 65.0 [m]	11.7	--
G= 70.0 [m]	11.9	--
G= 75.0 [m]	11.6	--
G= 80.0 [m]	11.2	--
G= 85.0 [m]	10.9	--
G= 90.0 [m]	10.2	--
G= 95.0 [m]	10.5	--
G= 100.0 [m]	10.4	--
G= 105.0 [m]	10.5	--
G= 110.0 [m]	10.6	--
G= 115.0 [m]	10.5	--
Velocità [m/sec]	365.4	1003.4
Descrizione		



SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA – ONDE SH

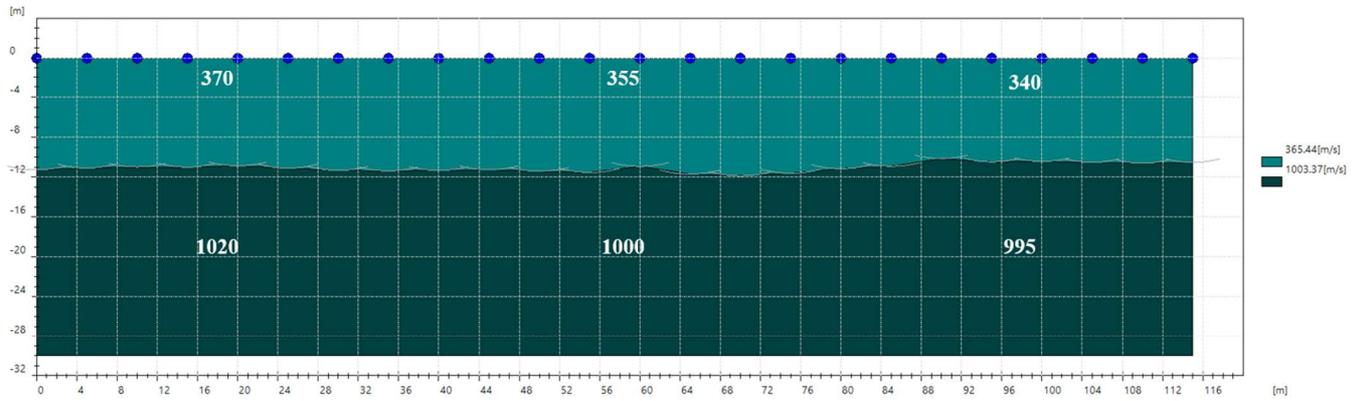




Foto – Indagine sismica a rifrazione SR_2

SR_3: SISMICA A RIFRAZIONE P-SH

Easy Refract

Le indagini di sismica a rifrazione consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti.

Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell.

Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore.

La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde o, equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza θ_i mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione θ_r . La formulazione matematica è:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Dove v_1 e v_2 sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità.

Per $v_1 > v_2$ si ha che $\theta_i > \theta_r$ e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per $v_1 < v_2$ si ha che $\theta_i < \theta_r$ ed esiste un angolo limite di incidenza per cui $\theta_r = 90^\circ$ ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'espressione che definisce l'angolo limite è:

$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo T dato dalla relazione

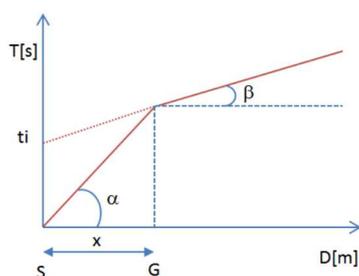
$$T = x_i / V_1$$

dove x_i è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione.

L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come

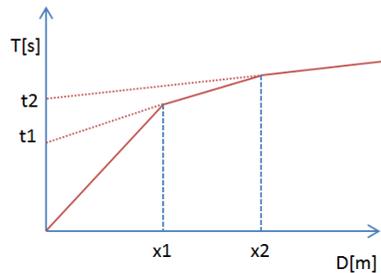
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo t_i che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione.

Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.

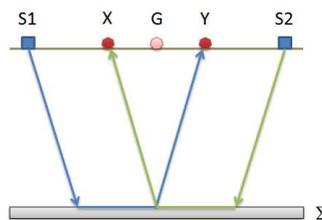


Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left(t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

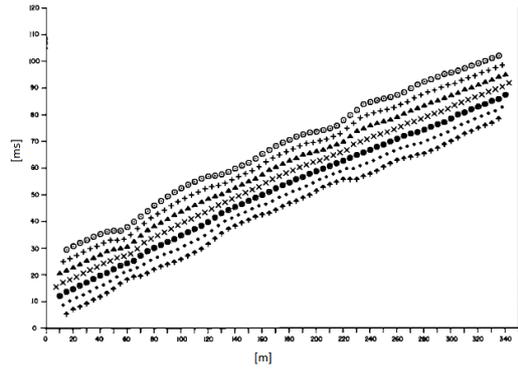
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifrattore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multi strato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantoming per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori.

Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$



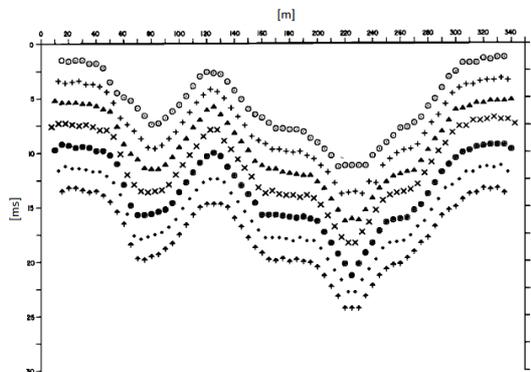
dove T_{S_1Y} e T_{S_2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre $T_{S_1S_2}$ è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_V è il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

Il calcolo della funzione T_V viene eseguito per ogni valore di XY compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l'XY ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente angolare.

Per mezzo della **funzione tempo-profondità** è possibile trovare la profondità del rifrattore espressa in unità di tempo. L'espressione di tale funzione è:

$$T_G = \frac{T_{S_1Y} + T_{S_2X} - \left(T_{S_1S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Dove V_n è la velocità del rifrattore.



Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo.

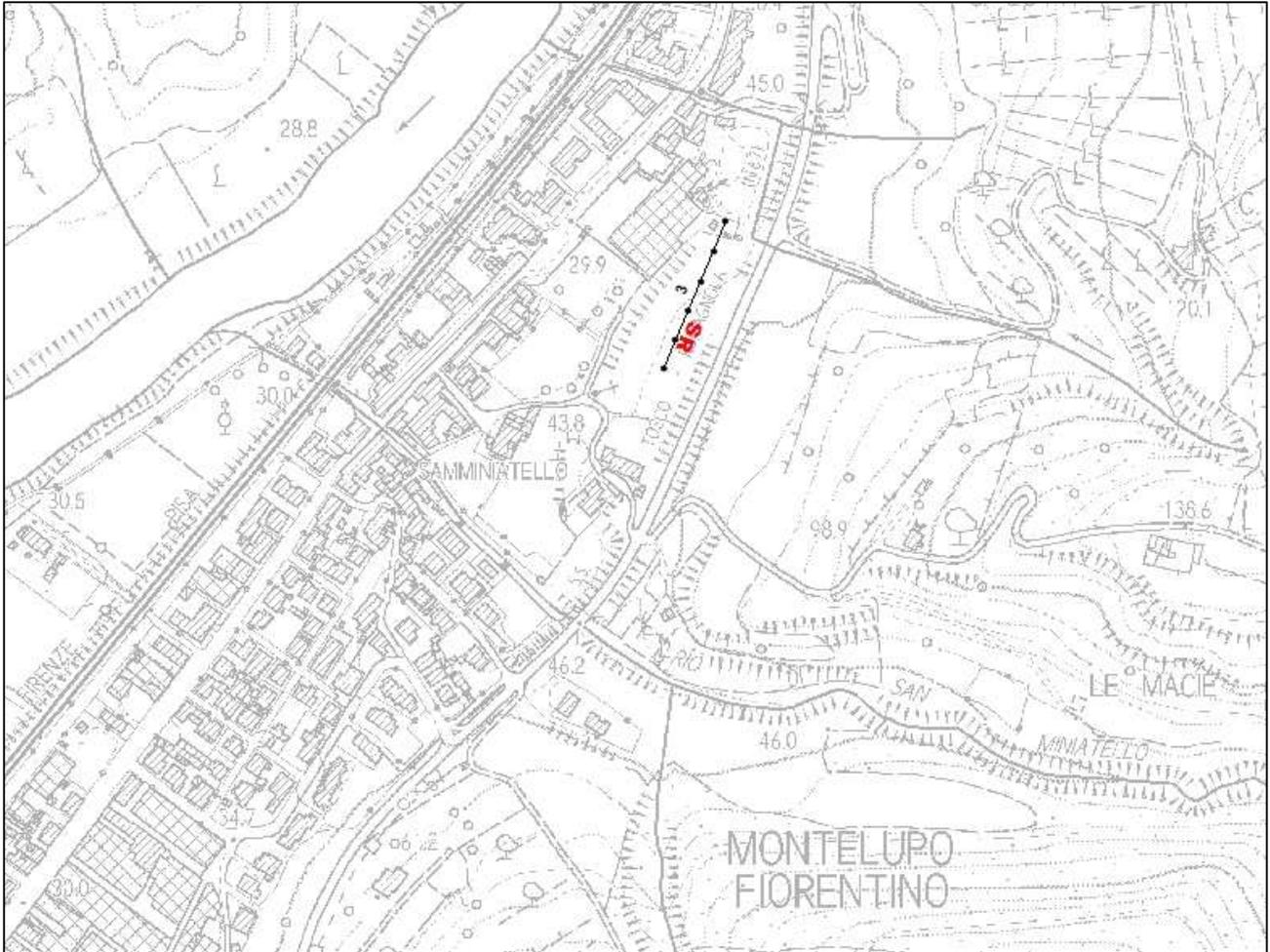
Infine, è possibile determinare lo spessore del rifrattore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

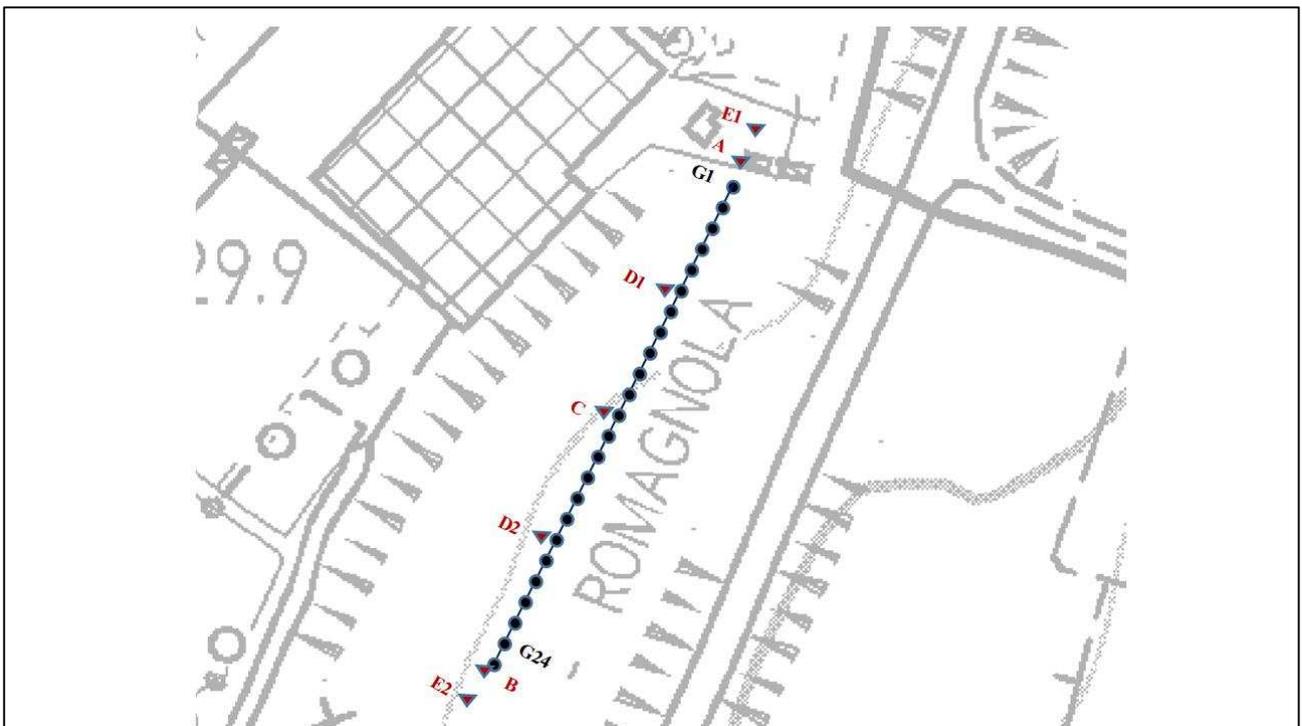
h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h.

Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°

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.): 30

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)	-20	-2.5	27.5	57.5	87.5	117.5	135

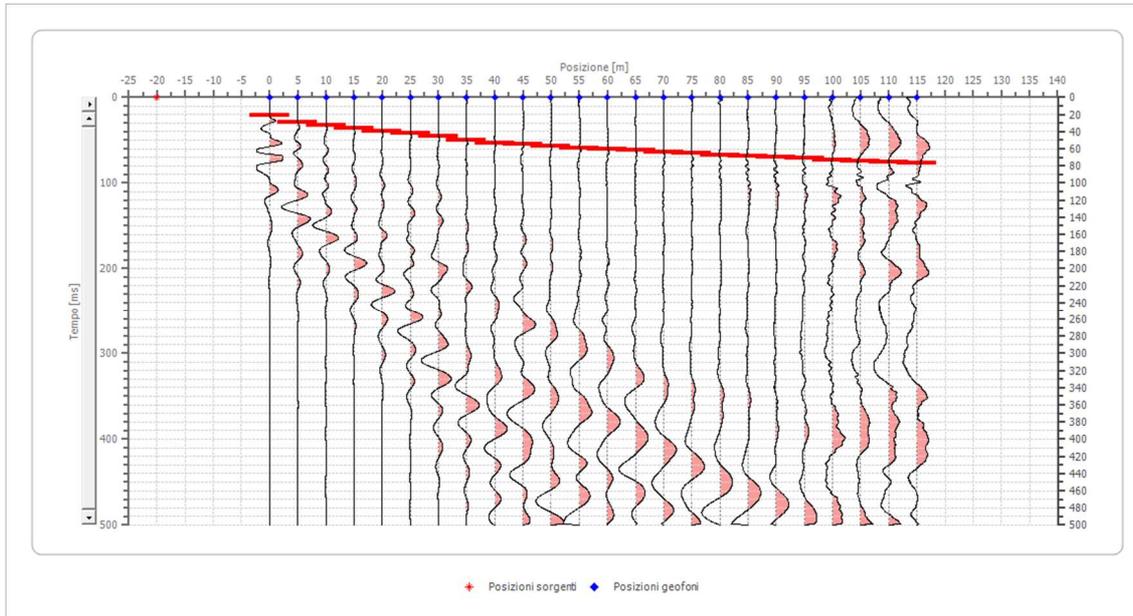
Geometria geofoni

	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 – ONDE P

Battuta 1

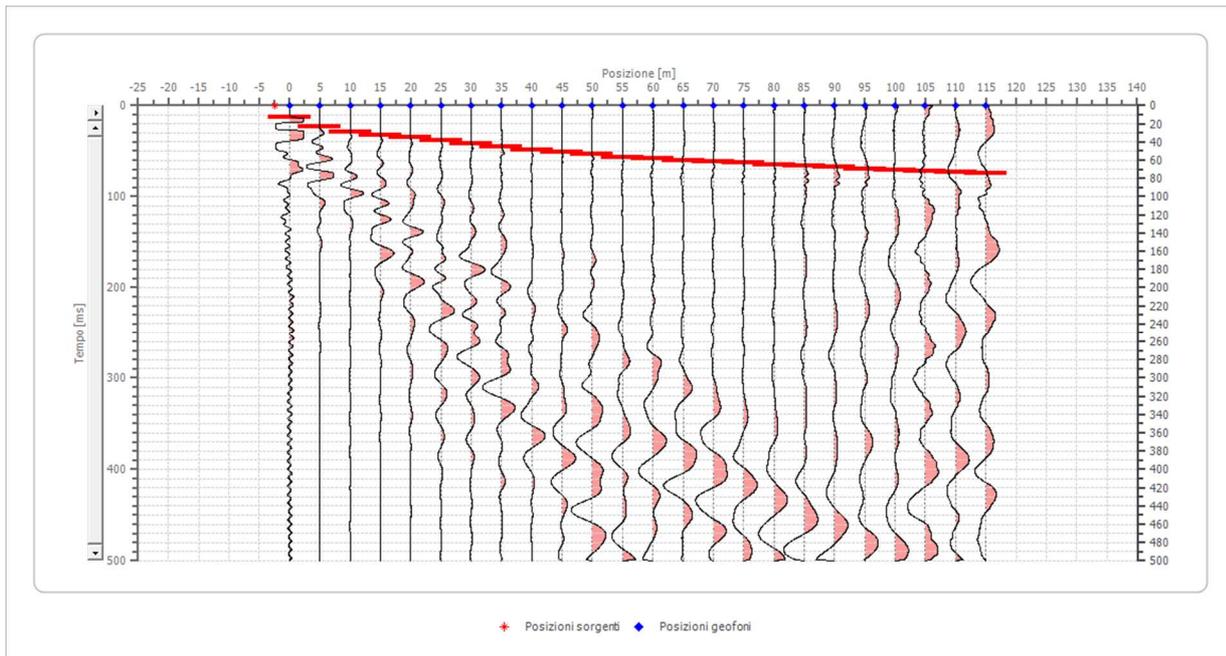
Posizione sorgente X -20 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	20.7860
5.0	28.8372
10.0	32.7907
15.0	36.0465
20.0	39.0698
25.0	41.6279
30.0	45.5814
35.0	49.8864
40.0	53.0233
45.0	54.8837
50.0	56.5116
55.0	59.0698
60.0	60.6977
65.0	61.8605
70.0	63.4884
75.0	64.8837
80.0	66.9767
85.0	68.8372
90.0	70.0000
95.0	71.1628
100.0	72.7907
105.0	74.1860
110.0	75.5814
115.0	76.7442

Battuta 2

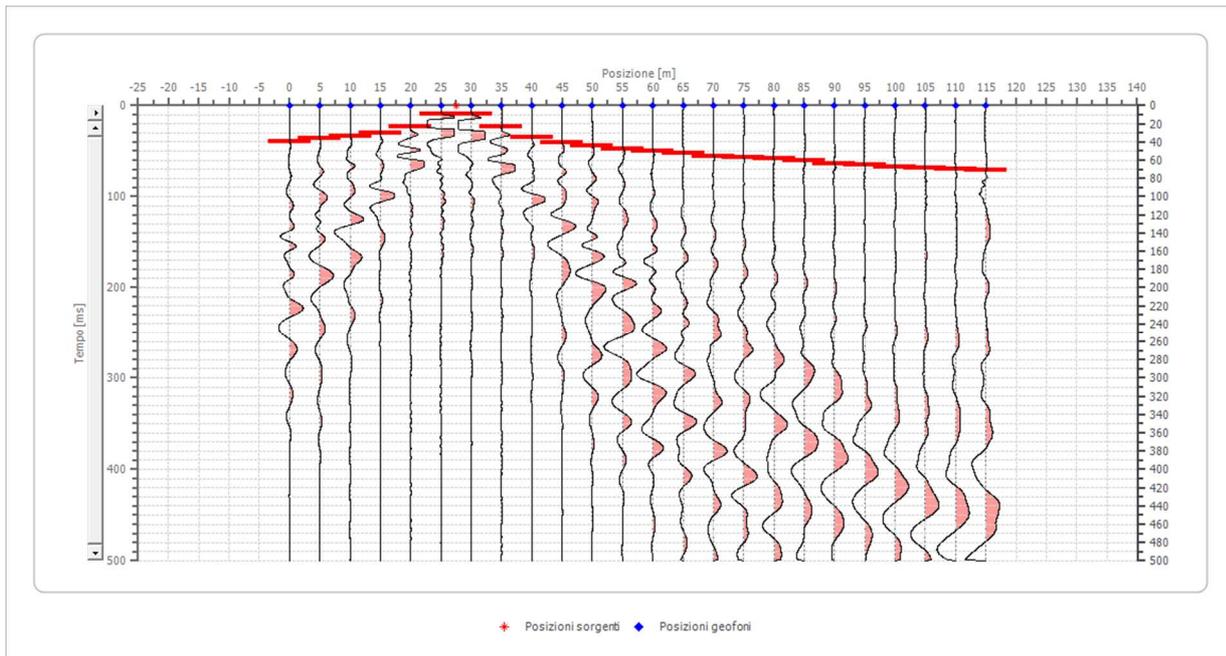
Posizione sorgente X -2.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	12.4716
5.0	22.7907
10.0	28.8372
15.0	32.3256
20.0	35.1163
25.0	38.3721
30.0	41.3953
35.0	45.1163
40.0	48.8372
45.0	50.6977
50.0	53.7209
55.0	56.5116
60.0	58.1395
65.0	60.0000
70.0	61.3953
75.0	63.0233
80.0	64.6512
85.0	66.2791
90.0	67.6744
95.0	69.3023
100.0	70.9302
105.0	72.3256
110.0	73.4884
115.0	74.6512

Battuta 3

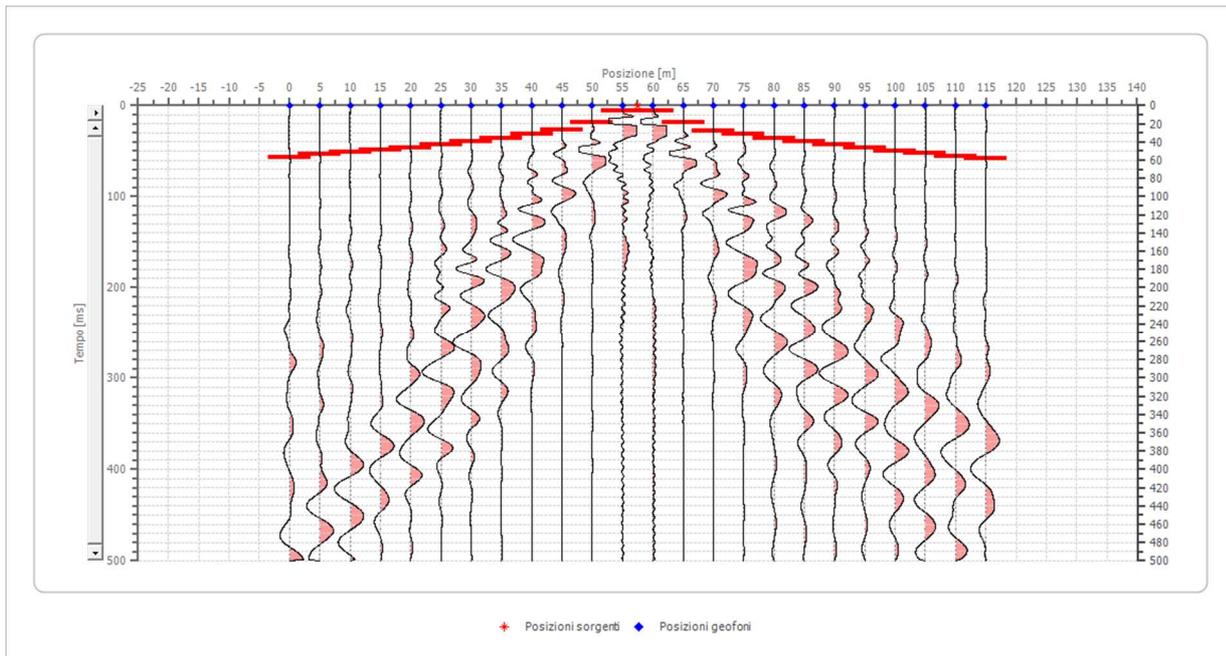
Posizione sorgente X 27.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	39.0698
5.0	36.0465
10.0	33.2558
15.0	30.0000
20.0	23.0233
25.0	9.7001
30.0	9.7001
35.0	22.7907
40.0	34.6434
45.0	40.1863
50.0	44.3435
55.0	47.1150
60.0	49.8864
65.0	52.6579
70.0	55.4294
75.0	56.8151
80.0	58.2008
85.0	60.9723
90.0	63.7438
95.0	65.1295
100.0	66.9767
105.0	68.3721
110.0	69.7674
115.0	71.1628

Battuta 4

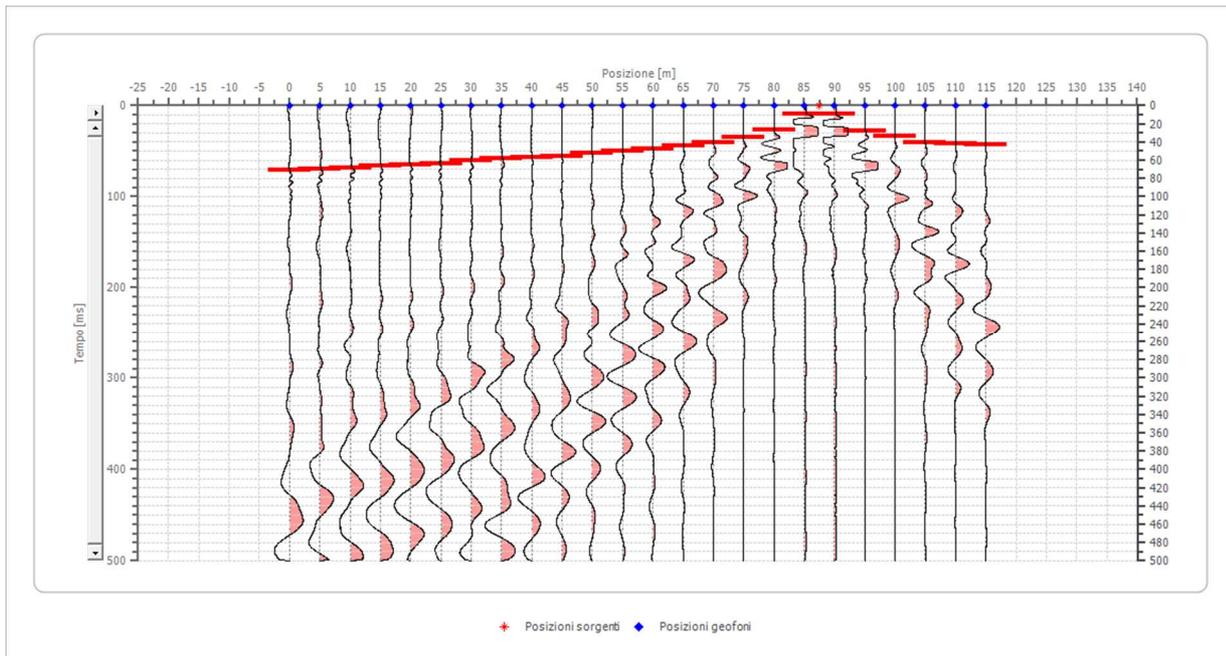
Posizione sorgente X 57.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	56.7442
5.0	53.2558
10.0	51.1628
15.0	48.6047
20.0	46.2791
25.0	43.2558
30.0	39.3023
35.0	35.5814
40.0	31.1628
45.0	26.7442
50.0	18.3721
55.0	6.0465
60.0	6.0465
65.0	18.6047
70.0	27.4419
75.0	31.6279
80.0	35.5814
85.0	39.3023
90.0	43.2558
95.0	46.2791
100.0	49.7674
105.0	52.0930
110.0	56.0465
115.0	58.1395

Battuta 5

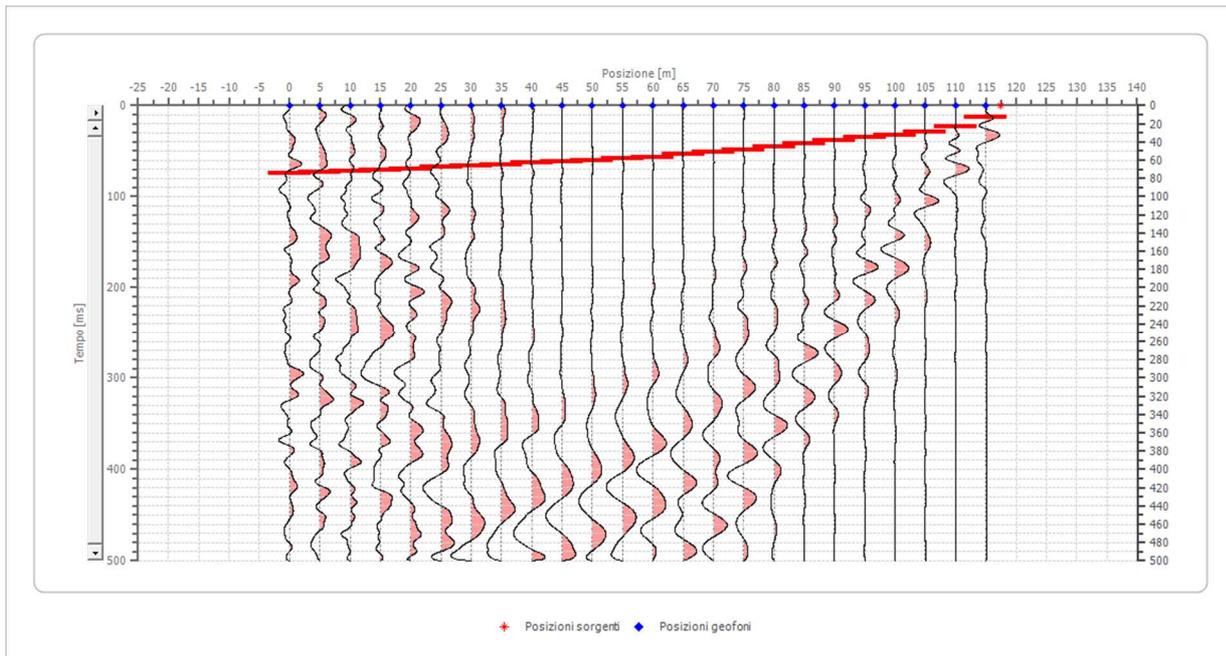
Posizione sorgente X 87.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	70.6977
5.0	69.3023
10.0	68.1395
15.0	66.5116
20.0	65.1295
25.0	63.7438
30.0	60.9723
35.0	58.2008
40.0	56.8151
45.0	55.4294
50.0	52.6579
55.0	49.8864
60.0	47.1150
65.0	44.3435
70.0	40.1863
75.0	34.6434
80.0	26.3289
85.0	9.7001
90.0	9.7001
95.0	27.7147
100.0	33.7209
105.0	40.4651
110.0	41.6279
115.0	43.0233

Battuta 6

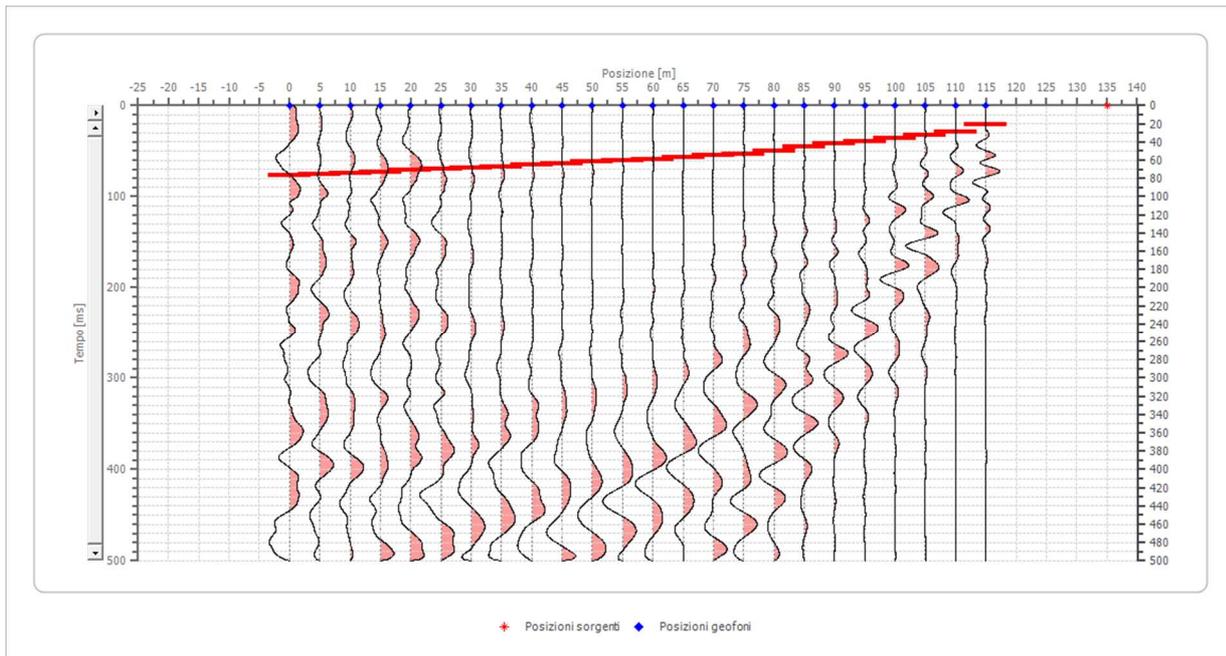
Posizione sorgente X 117.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	74.6512
5.0	73.4884
10.0	72.3256
15.0	70.9302
20.0	69.3023
25.0	67.6744
30.0	66.2791
35.0	64.6512
40.0	63.0233
45.0	61.3953
50.0	60.0000
55.0	58.1395
60.0	56.5116
65.0	53.7209
70.0	50.6977
75.0	48.8372
80.0	45.1163
85.0	41.3953
90.0	38.3721
95.0	35.1163
100.0	32.3256
105.0	28.8372
110.0	22.7907
115.0	12.4716

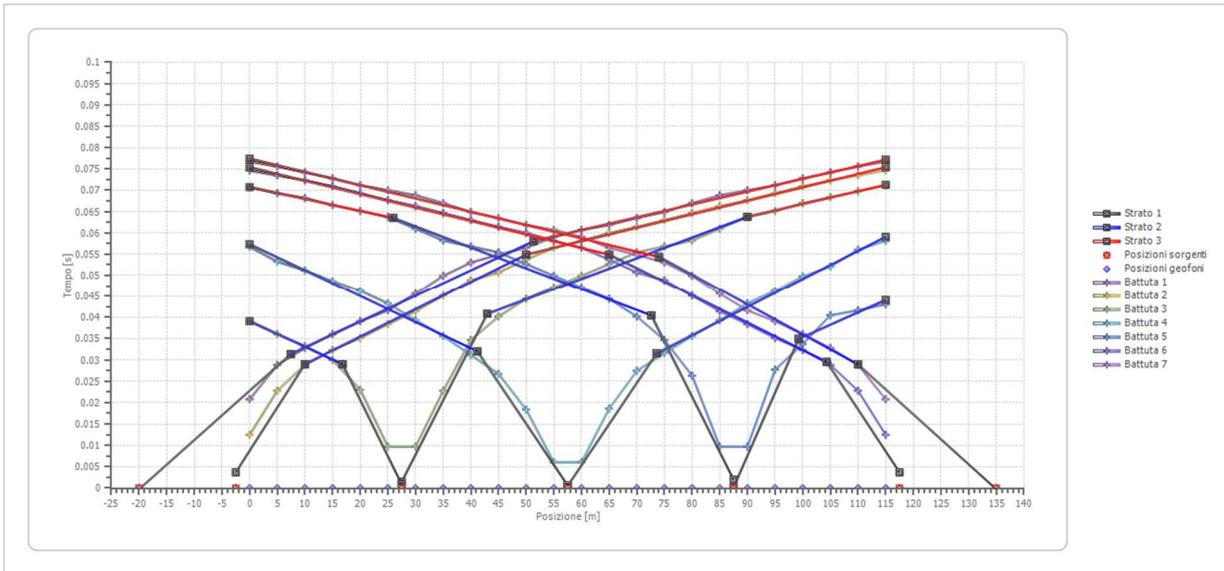
Battuta 7

Posizione sorgente X 135 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

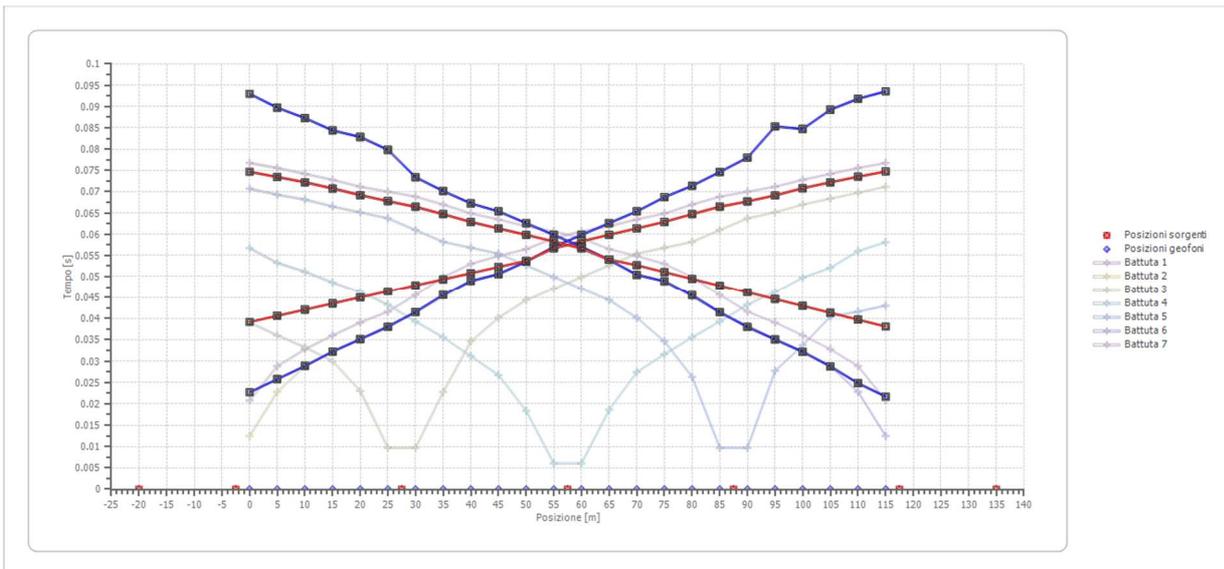


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	76.7442
5.0	75.5814
10.0	74.1860
15.0	72.7907
20.0	71.1628
25.0	70.0000
30.0	68.8372
35.0	66.9767
40.0	64.8837
45.0	63.4884
50.0	61.8605
55.0	60.6977
60.0	59.0698
65.0	56.5116
70.0	54.8837
75.0	53.0233
80.0	49.8864
85.0	45.5814
90.0	41.6279
95.0	39.0698
100.0	36.0465
105.0	32.7907
110.0	28.8372
115.0	20.7860

Dromocrone



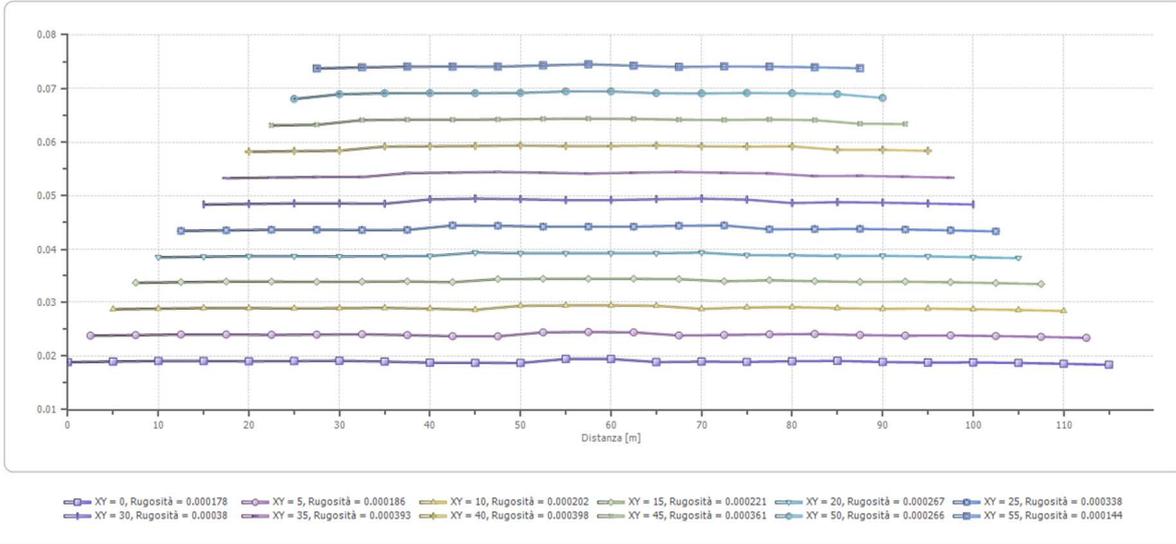
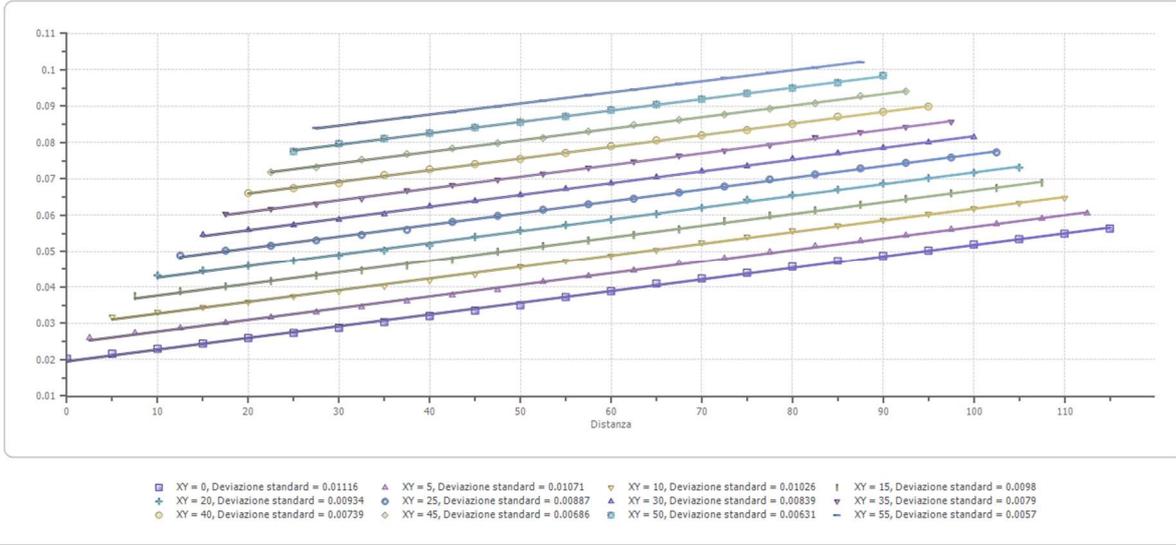
Dromocrone traslate



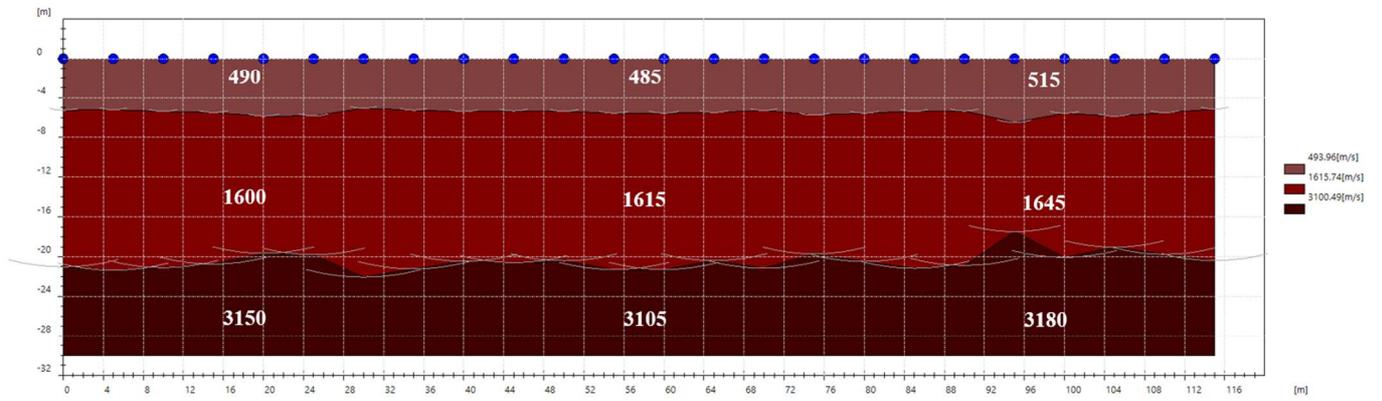
Interpretazione col metodo G.,R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 0.0 [m]	5.3	21.0	--
G= 5.0 [m]	5.2	21.3	--
G= 10.0 [m]	5.4	21.1	--
G= 15.0 [m]	5.5	20.7	--
G= 20.0 [m]	5.9	19.7	--
G= 25.0 [m]	5.8	19.8	--
G= 30.0 [m]	5.1	22.1	--
G= 35.0 [m]	5.3	21.2	--
G= 40.0 [m]	5.4	20.5	--
G= 45.0 [m]	5.3	20.6	--
G= 50.0 [m]	5.4	20.4	--
G= 55.0 [m]	5.6	21.3	--
G= 60.0 [m]	5.6	21.3	--
G= 65.0 [m]	5.5	20.4	--
G= 70.0 [m]	5.3	21.1	--
G= 75.0 [m]	5.8	19.7	--
G= 80.0 [m]	5.6	20.5	--
G= 85.0 [m]	5.4	21.2	--
G= 90.0 [m]	5.3	20.9	--
G= 95.0 [m]	6.5	17.5	--
G= 100.0 [m]	5.6	20.1	--
G= 105.0 [m]	5.9	19.0	--
G= 110.0 [m]	5.5	19.8	--
G= 115.0 [m]	5.2	20.4	--
Velocità [m/sec]	494.0	1615.7	3100.5
Descrizione			



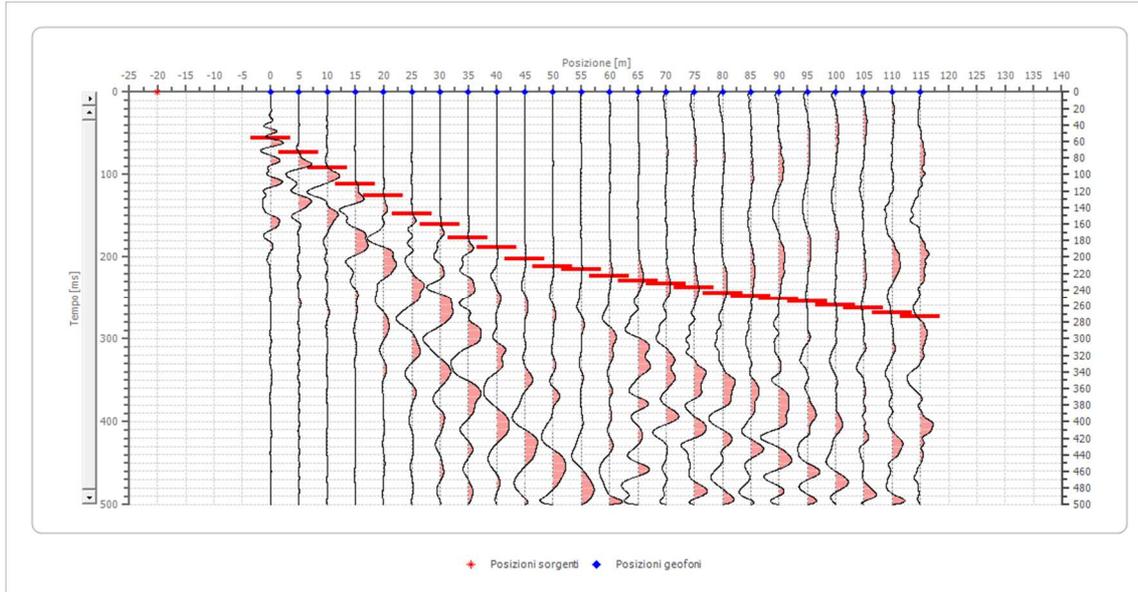
SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA – ONDE P



Dati battute – ONDE SH

Battuta 1

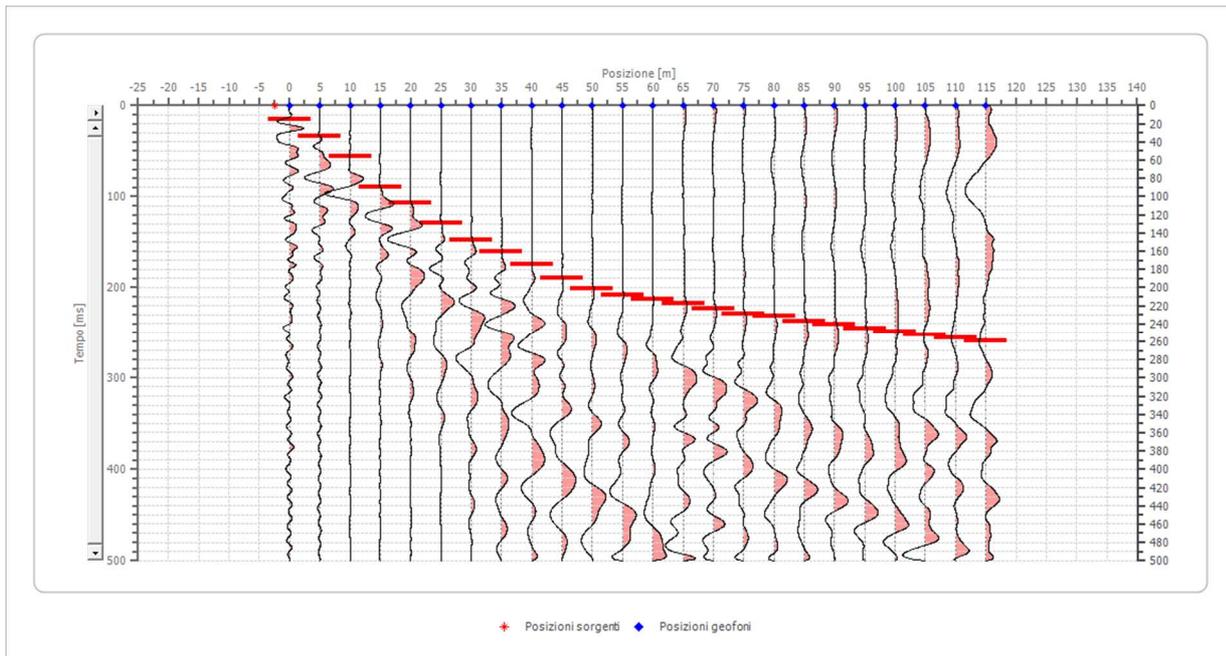
Posizione sorgente X -20 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	55.8419
5.0	73.2924
10.0	91.9064
15.0	111.6837
20.0	125.6442
25.0	148.2736
30.0	160.7452
35.0	177.3740
40.0	188.4598
45.0	202.3172
50.0	212.0173
55.0	214.7888
60.0	223.1032
65.0	228.6461
70.0	232.8033
75.0	236.9605
80.0	243.8892
85.0	248.0464
90.0	250.8179
95.0	254.9751
100.0	259.1323
105.0	263.2895
110.0	268.8324
115.0	272.9896

Battuta 2

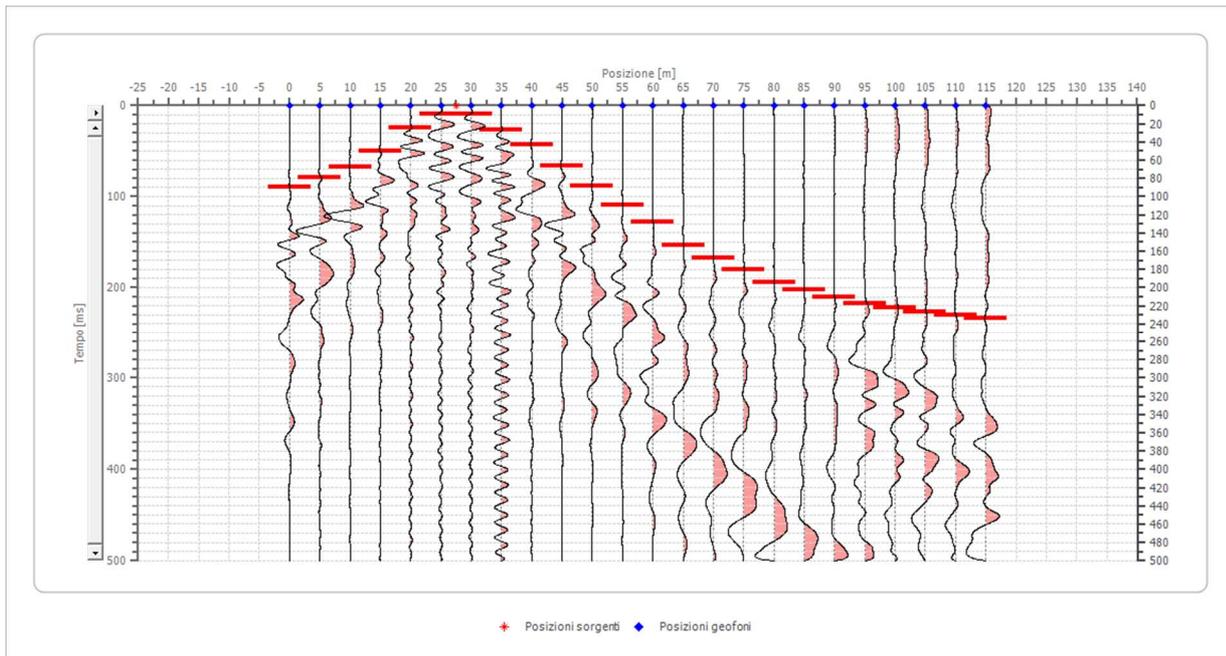
Posizione sorgente X -2.5 [m]
Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	15.2431
5.0	33.2576
10.0	55.4294
15.0	90.0727
20.0	106.7015
25.0	128.8733
30.0	148.2736
35.0	160.7452
40.0	174.6025
45.0	189.8456
50.0	200.9315
55.0	207.8601
60.0	213.4031
65.0	217.5603
70.0	223.1032
75.0	228.6461
80.0	231.4176
85.0	236.9605
90.0	241.1177
95.0	245.2750
100.0	249.4322
105.0	252.2036
110.0	256.3608
115.0	259.1323

Battuta 3

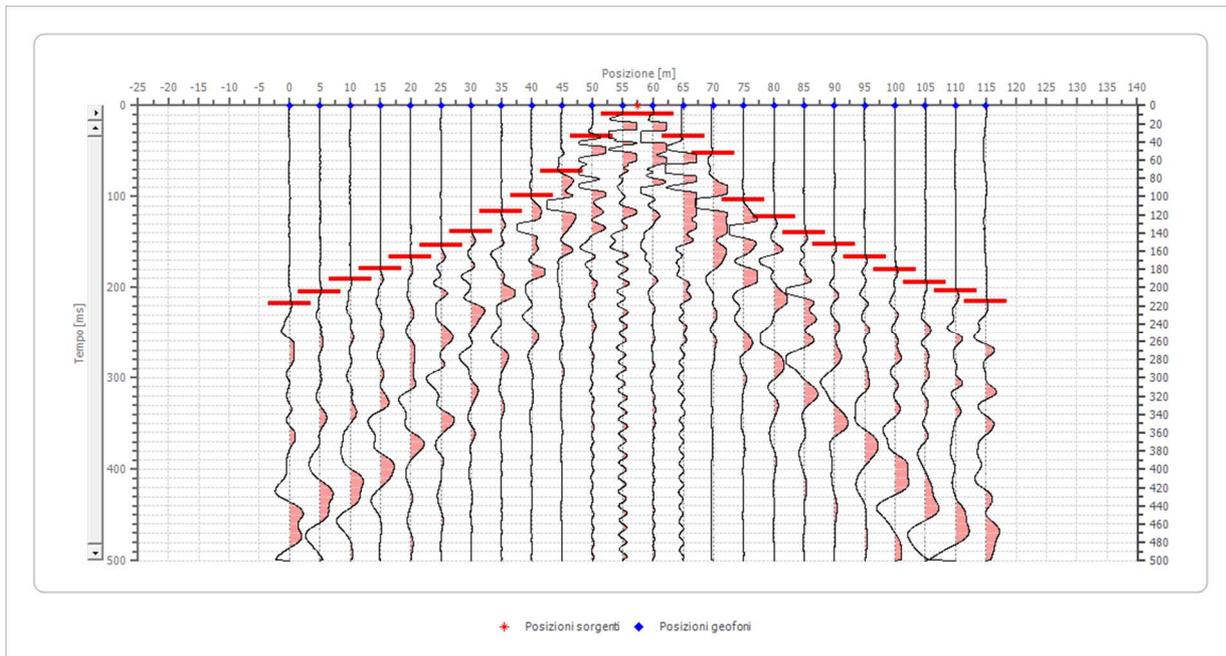
Posizione sorgente X 27.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	90.0727
5.0	78.9868
10.0	67.9010
15.0	49.8864
20.0	24.9432
25.0	9.7001
30.0	9.7001
35.0	26.3289
40.0	42.9578
45.0	66.5152
50.0	88.6870
55.0	109.4730
60.0	127.4875
65.0	153.8165
70.0	167.6738
75.0	180.1454
80.0	194.0028
85.0	202.3172
90.0	210.6316
95.0	217.5603
100.0	222.2041
105.0	226.8575
110.0	230.0319
115.0	233.8378

Battuta 4

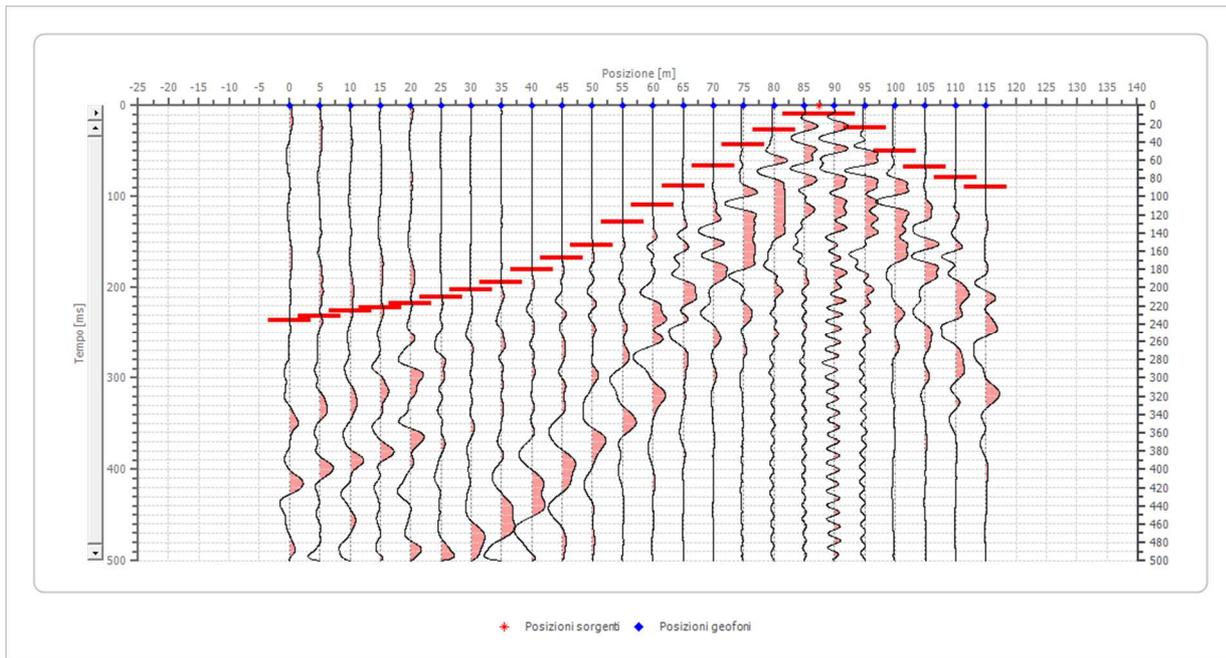
Posizione sorgente X 57.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	217.5603
5.0	205.0887
10.0	191.2313
15.0	178.7597
20.0	166.2881
25.0	153.8165
30.0	138.5734
35.0	116.4017
40.0	98.3871
45.0	72.0582
50.0	33.2576
55.0	9.7001
60.0	9.7001
65.0	33.2576
70.0	52.6579
75.0	103.9301
80.0	121.9446
85.0	139.9592
90.0	152.4308
95.0	166.2881
100.0	180.1454
105.0	194.0028
110.0	203.7029
115.0	214.7888

Battuta 5

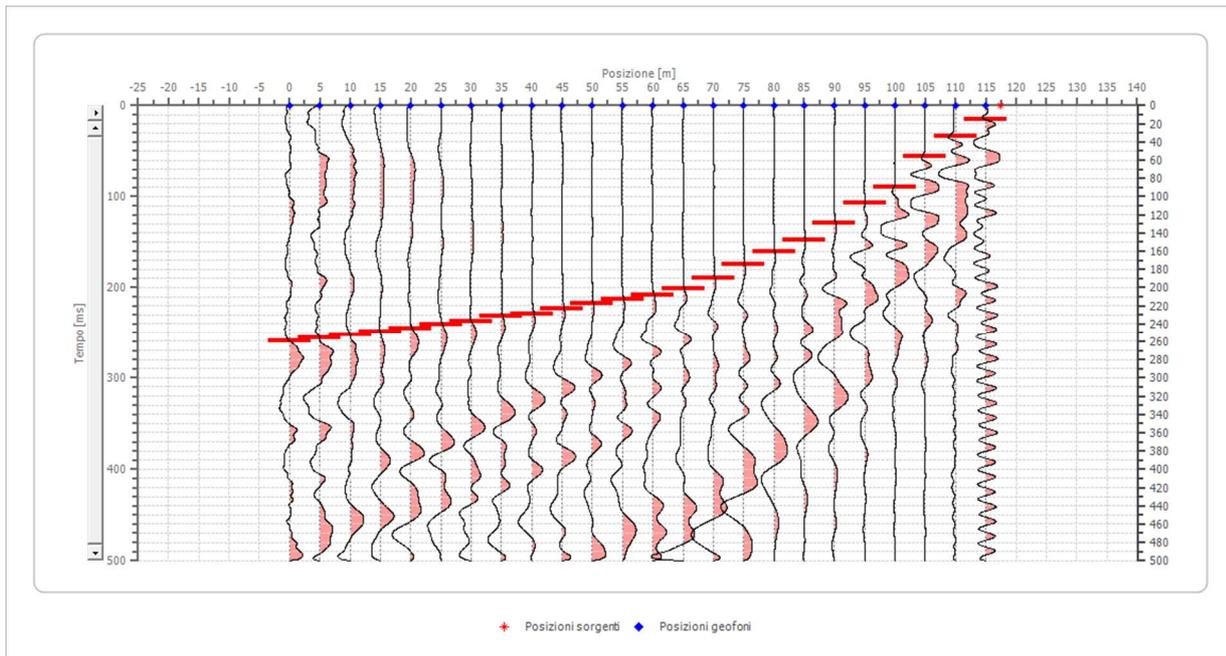
Posizione sorgente X 87.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	236.1645
5.0	231.5110
10.0	225.6942
15.0	222.2041
20.0	217.5603
25.0	210.6316
30.0	202.3172
35.0	194.0028
40.0	180.1454
45.0	167.6738
50.0	153.8165
55.0	127.4875
60.0	109.4730
65.0	88.6870
70.0	66.5152
75.0	42.9578
80.0	26.3289
85.0	9.7001
90.0	9.7001
95.0	24.9432
100.0	49.8864
105.0	67.9010
110.0	78.9868
115.0	90.0727

Battuta 6

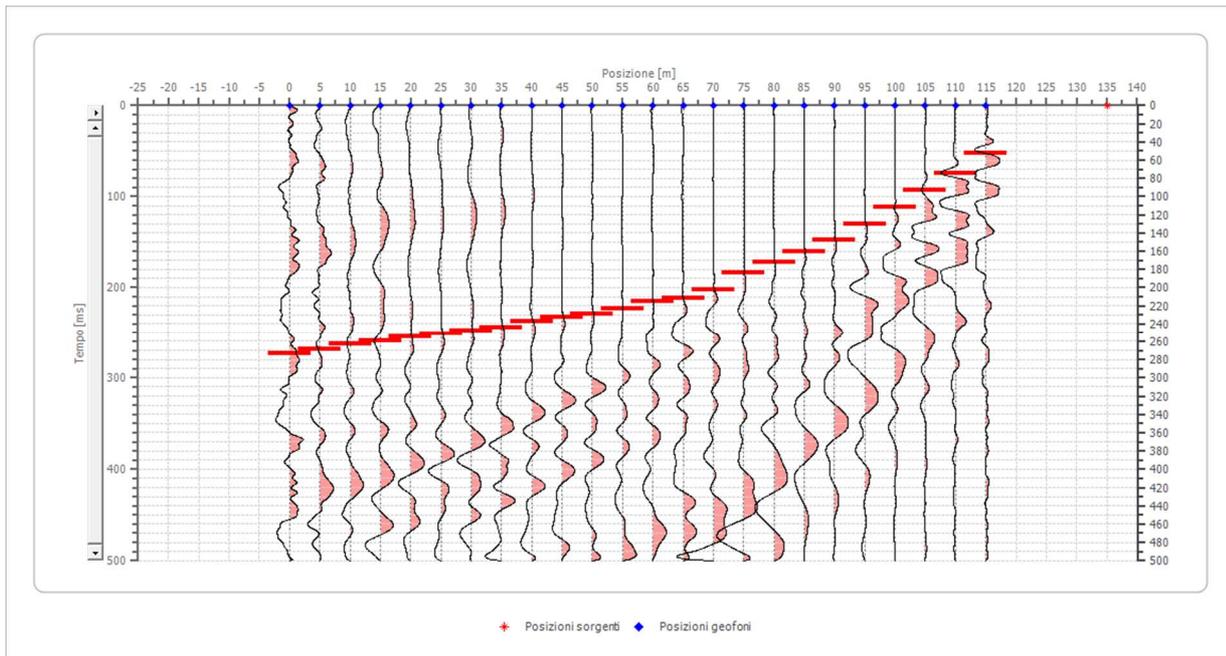
Posizione sorgente X 117.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	259.1323
5.0	256.3608
10.0	252.2036
15.0	249.4322
20.0	245.2750
25.0	241.1177
30.0	236.9605
35.0	231.4176
40.0	228.6461
45.0	223.1032
50.0	217.5603
55.0	213.4031
60.0	207.8601
65.0	200.9315
70.0	189.8456
75.0	174.6025
80.0	160.7452
85.0	148.2736
90.0	128.8733
95.0	106.7015
100.0	90.0727
105.0	55.4294
110.0	33.2576
115.0	15.2431

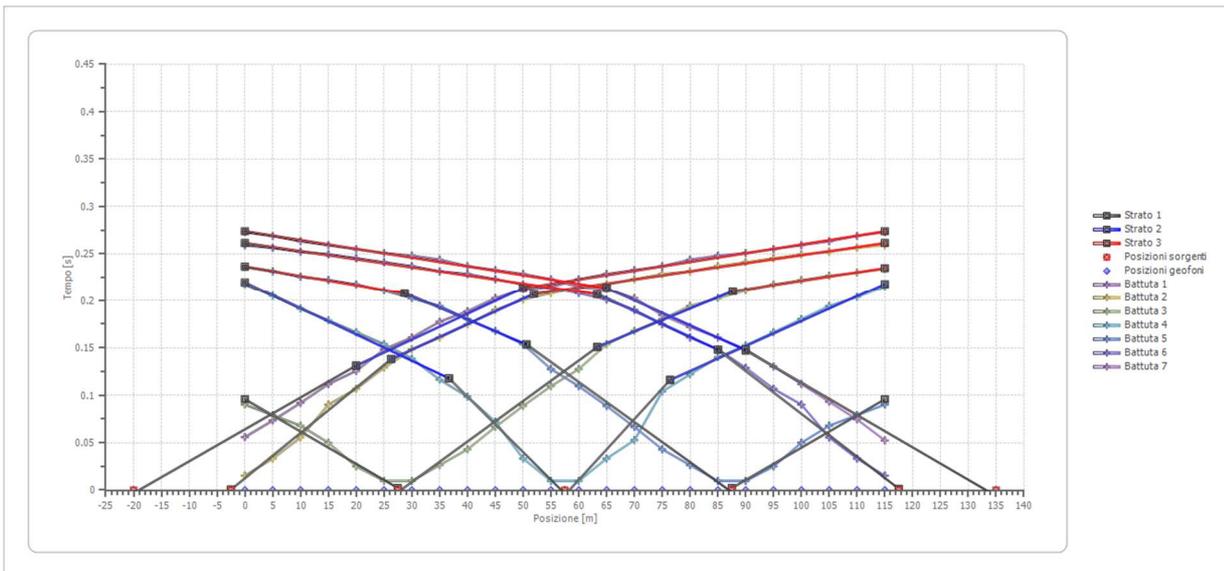
Battuta 7

Posizione sorgente X 135 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

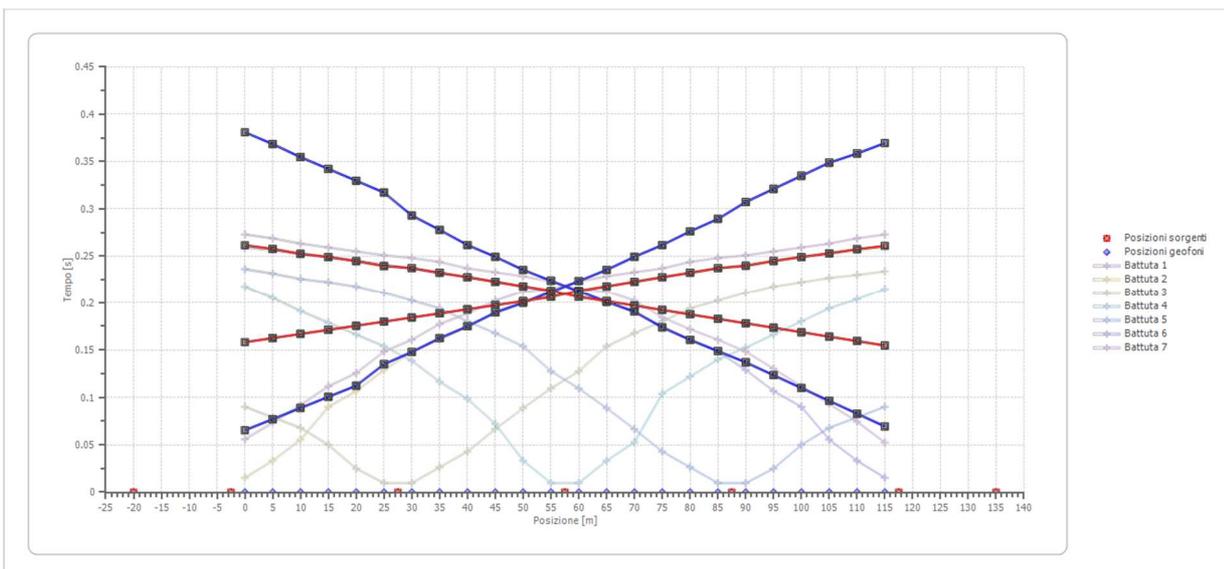


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	272.9896
5.0	268.8324
10.0	263.2895
15.0	259.1323
20.0	254.9751
25.0	250.8179
30.0	248.0464
35.0	243.8892
40.0	236.9605
45.0	232.8033
50.0	228.6461
55.0	223.1032
60.0	214.7888
65.0	212.0173
70.0	202.3172
75.0	184.3026
80.0	171.8310
85.0	160.7452
90.0	148.2736
95.0	130.2590
100.0	111.6837
105.0	93.0698
110.0	74.4558
115.0	52.3517

Dromocrone



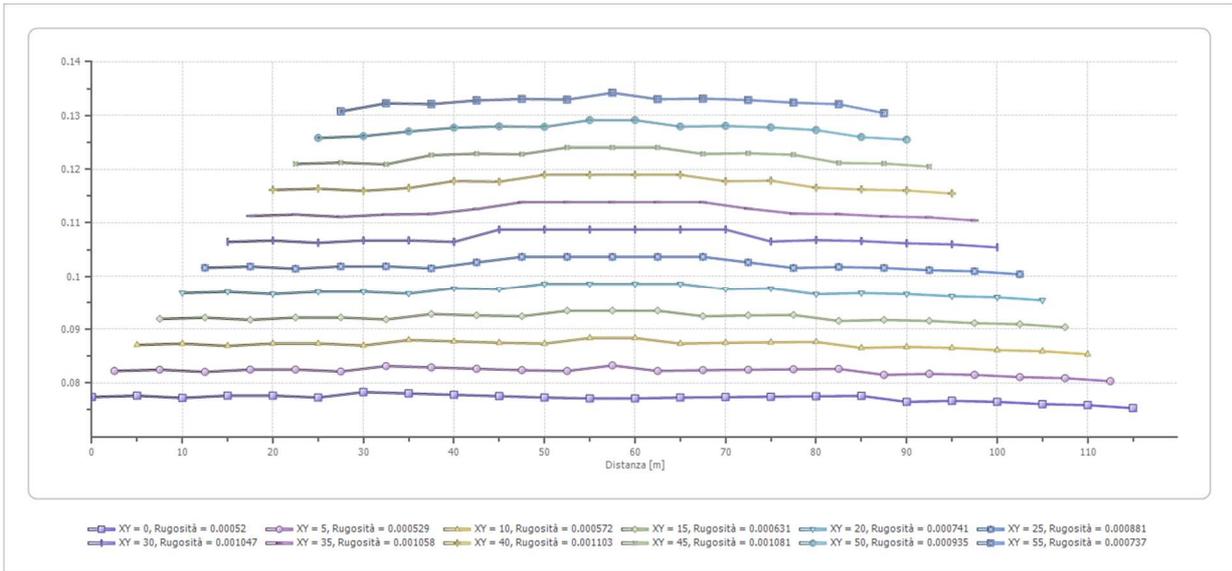
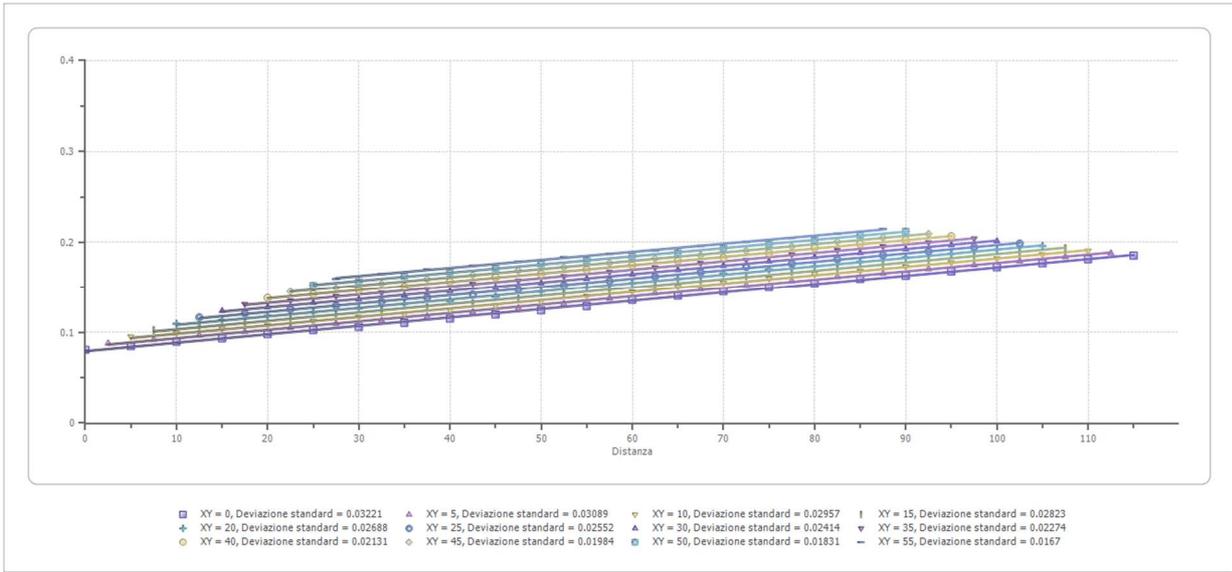
Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.,R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 0.0 [m]	10.6	24.8	--
G= 5.0 [m]	10.5	24.9	--
G= 10.0 [m]	10.1	25.0	--
G= 15.0 [m]	10.0	25.2	--
G= 20.0 [m]	9.9	25.3	--
G= 25.0 [m]	11.6	24.2	--
G= 30.0 [m]	9.7	25.6	--
G= 35.0 [m]	9.6	25.6	--
G= 40.0 [m]	9.0	25.8	--
G= 45.0 [m]	9.3	25.5	--
G= 50.0 [m]	8.8	25.7	--
G= 55.0 [m]	8.8	25.7	--
G= 60.0 [m]	8.9	25.6	--
G= 65.0 [m]	8.9	25.7	--
G= 70.0 [m]	9.5	25.4	--
G= 75.0 [m]	8.8	25.8	--
G= 80.0 [m]	9.0	25.7	--
G= 85.0 [m]	9.3	25.6	--
G= 90.0 [m]	10.2	24.6	--
G= 95.0 [m]	10.3	24.7	--
G= 100.0 [m]	10.4	24.5	--
G= 105.0 [m]	10.4	24.3	--
G= 110.0 [m]	9.8	24.6	--
G= 115.0 [m]	9.4	24.6	--
Velocità [m/sec]	248.1	371.3	1074.4
Descrizione			



SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA – ONDE SH

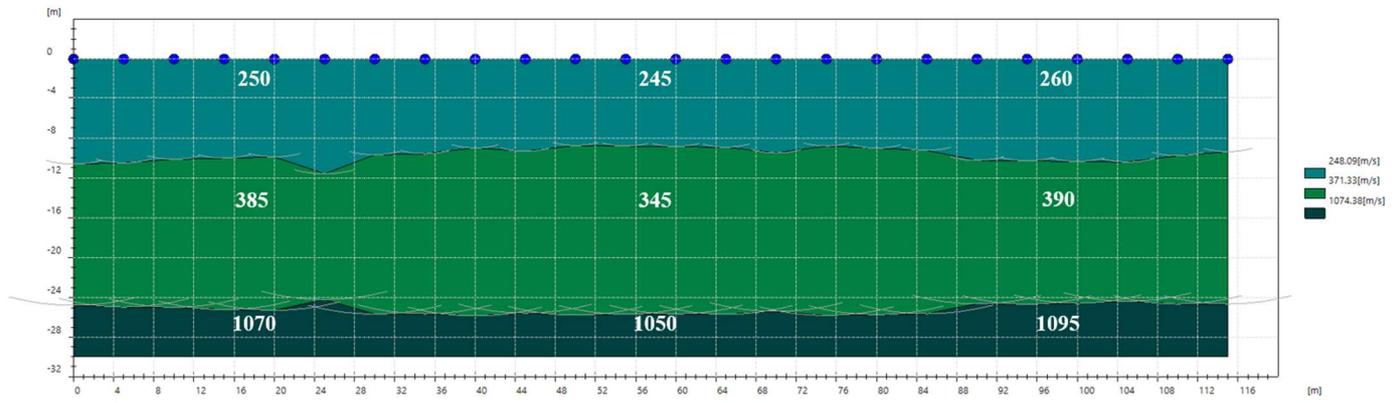




Foto – Indagine sismica a rifrazione SR_3

SR_4: SISMICA A RIFRAZIONE P-SH

Easy Refract

Le indagini di sismica a rifrazione consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti.

Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell.

Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore.

La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde o, equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza θ_i mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione θ_r . La formulazione matematica è:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Dove v_1 e v_2 sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità.

Per $v_1 > v_2$ si ha che $\theta_i > \theta_r$ e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per $v_1 < v_2$ si ha che $\theta_i < \theta_r$ ed esiste un angolo limite di incidenza per cui $\theta_r = 90^\circ$ ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'espressione che definisce l'angolo limite è:

$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo T dato dalla relazione

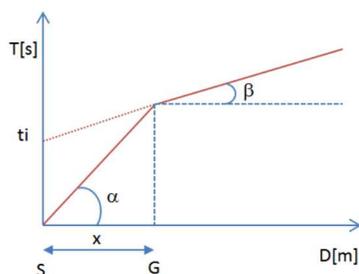
$$T = x_i / V_1$$

dove x_i è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione.

L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come

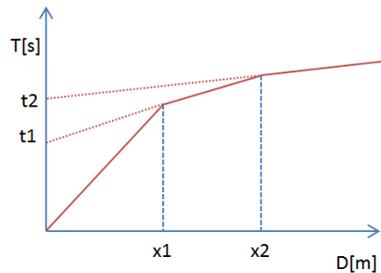
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo t_i che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione.

Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.

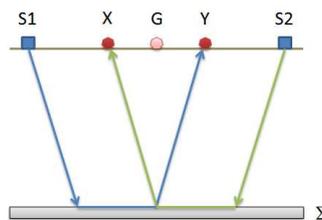


Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left(t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

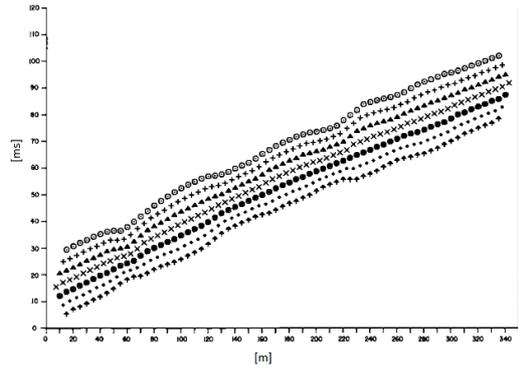
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifrattore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multi strato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantoming per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori.

Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$



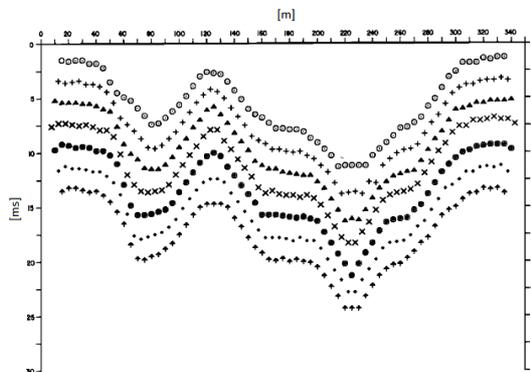
dove T_{S_1Y} e T_{S_2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre $T_{S_1S_2}$ è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_V è il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

Il calcolo della funzione T_V viene eseguito per ogni valore di XY compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l'XY ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente angolare.

Per mezzo della **funzione tempo-profondità** è possibile trovare la profondità del rifrattore espressa in unità di tempo. L'espressione di tale funzione è:

$$T_G = \frac{T_{S_1Y} + T_{S_2X} - \left(T_{S_1S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Dove V_n è la velocità del rifrattore.



Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo.

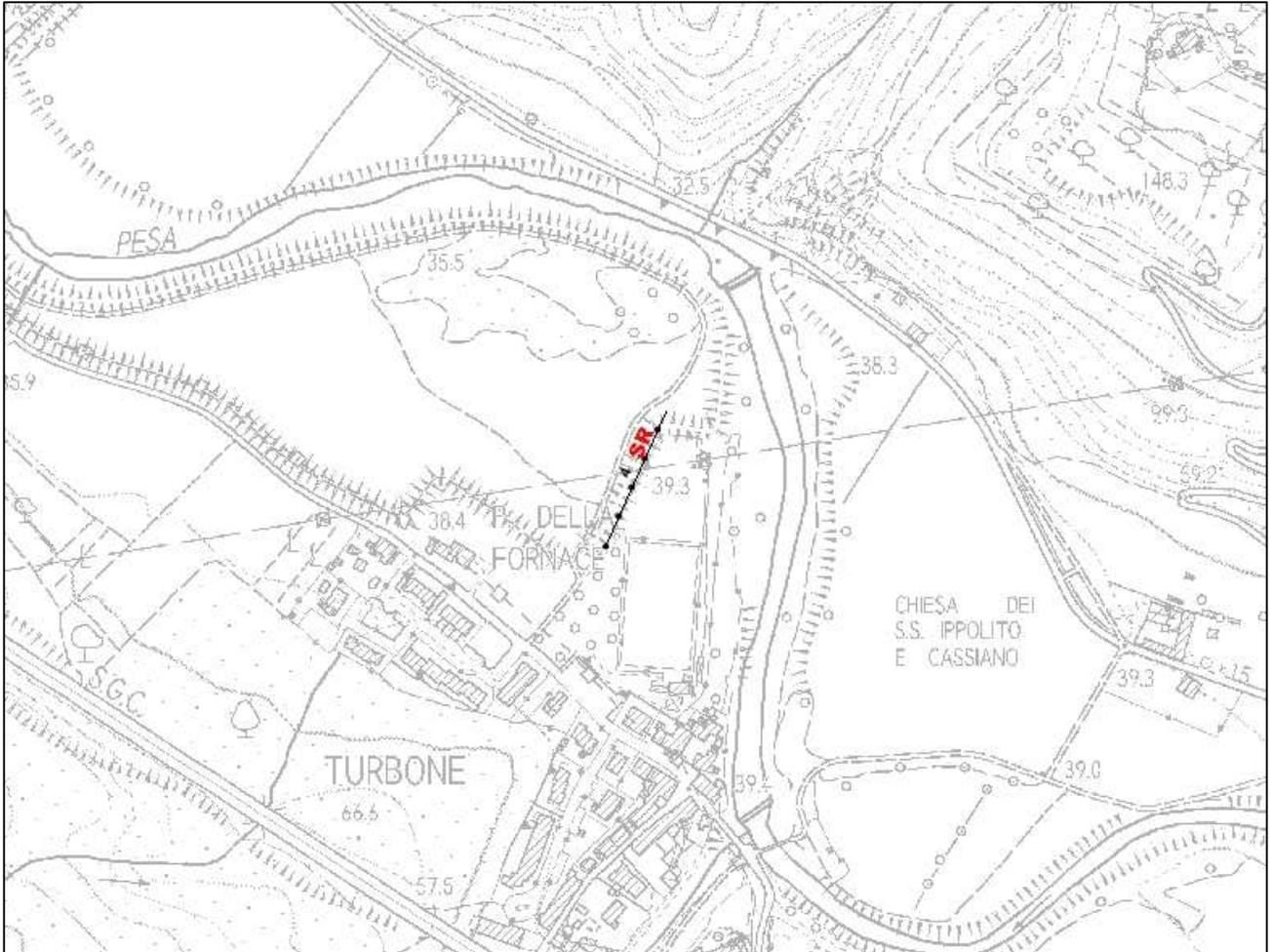
Infine, è possibile determinare lo spessore del rifrattore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

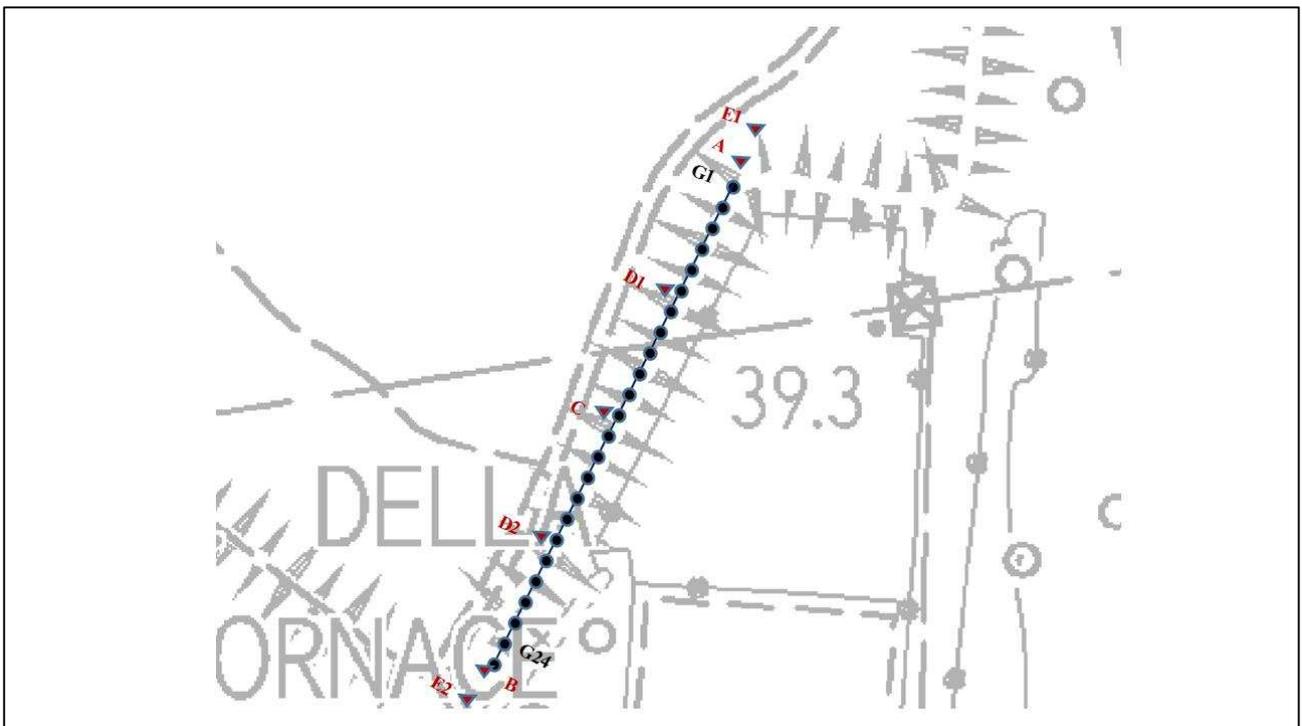
h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h.

Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°

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.): 39

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)	-15	-2.5	27.5	57.5	87.5	117.5	130

Geometria geofoni

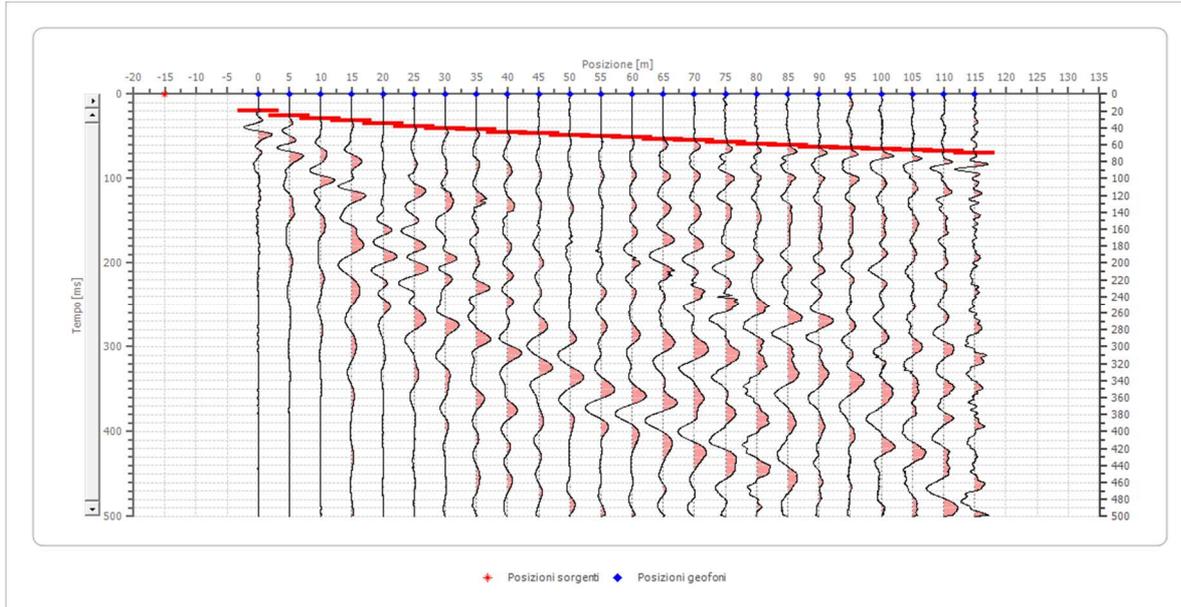
	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	0.0
2	5.0	0.0
3	10.0	0.0
4	15.0	0.0
5	20.0	0.0
6	25.0	0.0
7	30.0	0.0
8	35.0	0.0
9	40.0	0.0
10	45.0	0.0
11	50.0	0.0
12	55.0	0.0
13	60.0	0.0
14	65.0	0.0
15	70.0	0.0
16	75.0	0.0
17	80.0	0.0
18	85.0	0.0
19	90.0	0.0
20	95.0	0.0
21	100.0	0.0
22	105.0	0.0
23	110.0	0.0
24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

Dati battute – ONDE P

Battuta 1

Posizione sorgente X -15 [m]

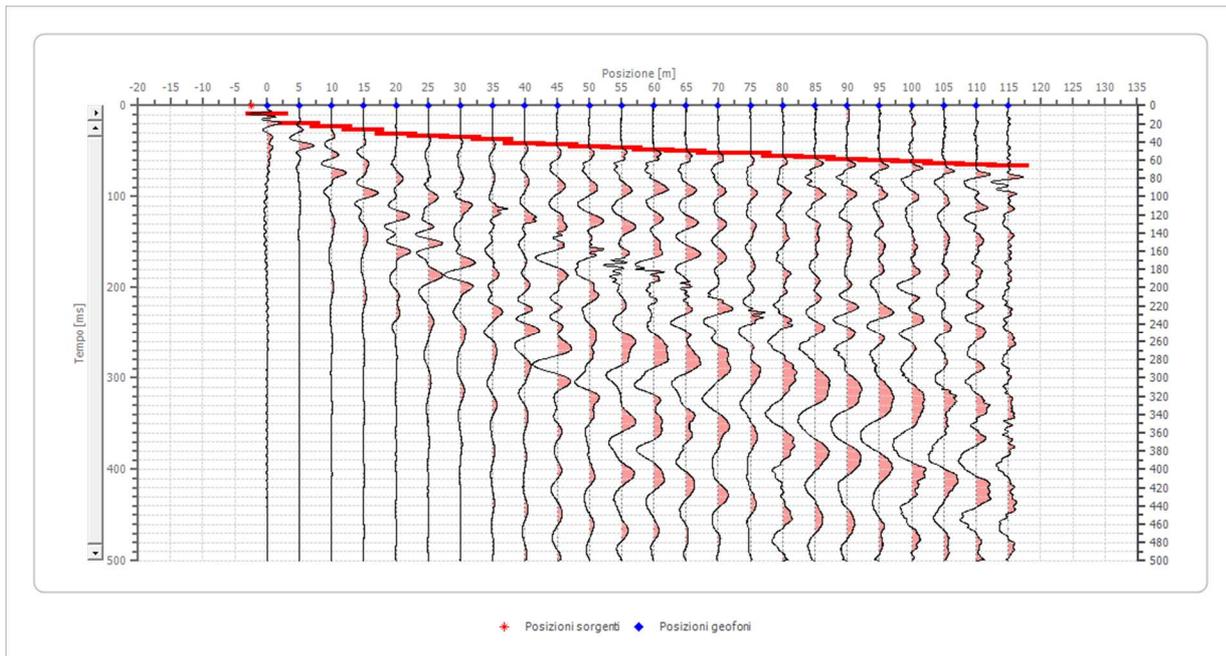
Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	19.3023
5.0	25.5814
10.0	29.0698
15.0	31.2500
20.0	34.7500
25.0	38.2500
30.0	40.2326
35.0	41.5000
40.0	45.0000
45.0	46.5116
50.0	48.3721
55.0	49.7674
60.0	51.1628
65.0	53.2558
70.0	54.8837
75.0	56.8151
80.0	58.8372
85.0	60.9723
90.0	62.3256
95.0	63.7209
100.0	65.3488
105.0	66.2791
110.0	67.6744
115.0	69.5349

Battuta 2

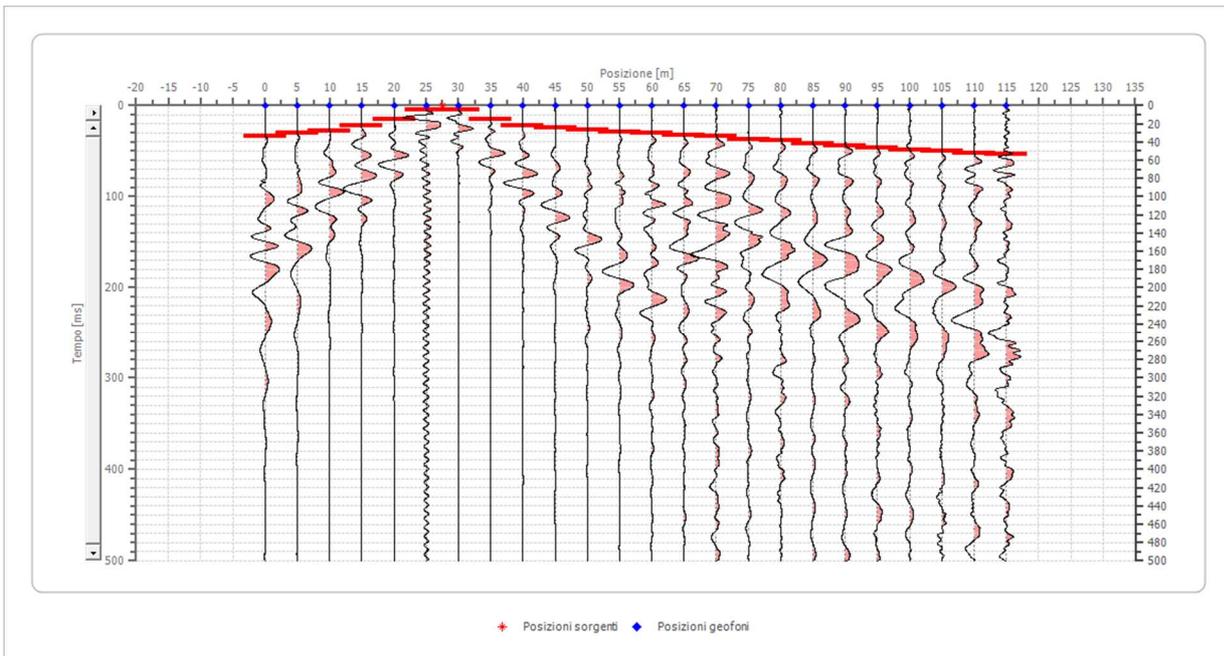
Posizione sorgente X -2.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



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	45.5814
55.0	47.0000
60.0	48.5000
65.0	50.2500
70.0	51.8605
75.0	52.6579
80.0	55.2500
85.0	57.2093
90.0	59.0698
95.0	60.2500
100.0	61.6279
105.0	63.4884
110.0	64.6512
115.0	66.0465

Battuta 3

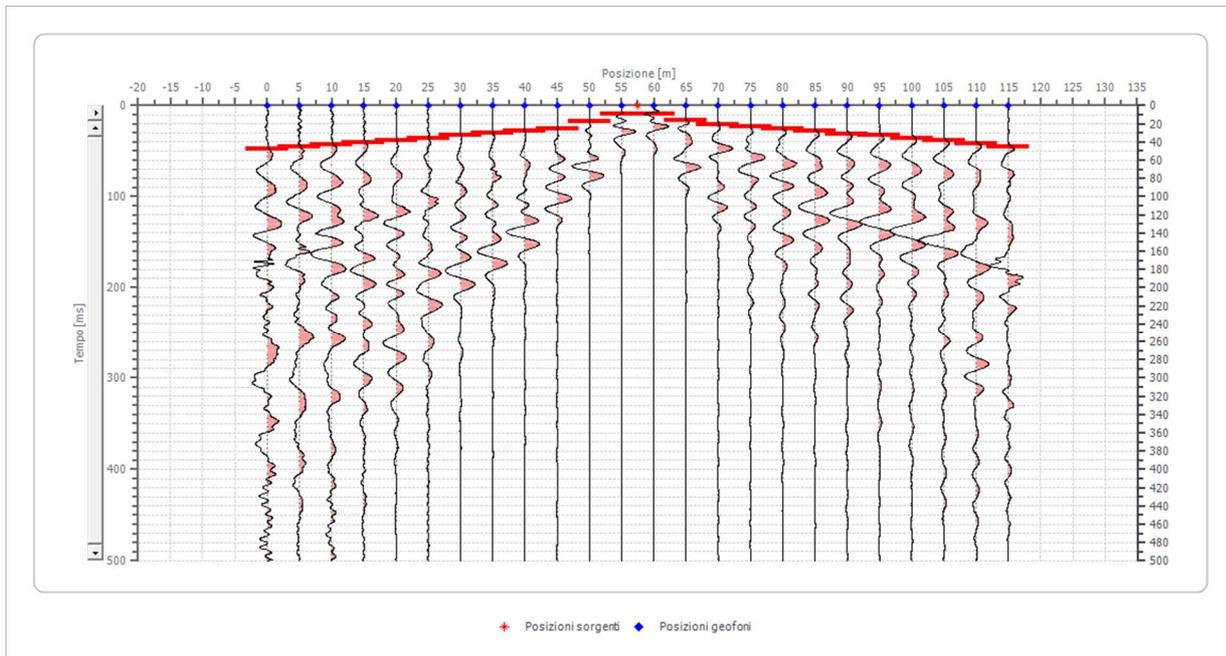
Posizione sorgente X 27.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	33.7209
5.0	30.2326
10.0	28.1395
15.0	22.0930
20.0	15.3488
25.0	4.8837
30.0	4.8837
35.0	14.6512
40.0	21.8605
45.0	24.6512
50.0	26.7442
55.0	28.8372
60.0	30.4651
65.0	32.0930
70.0	33.9535
75.0	36.9767
80.0	38.6047
85.0	41.6279
90.0	44.1860
95.0	46.0465
100.0	48.3721
105.0	50.2326
110.0	52.0930
115.0	53.4884

Battuta 4

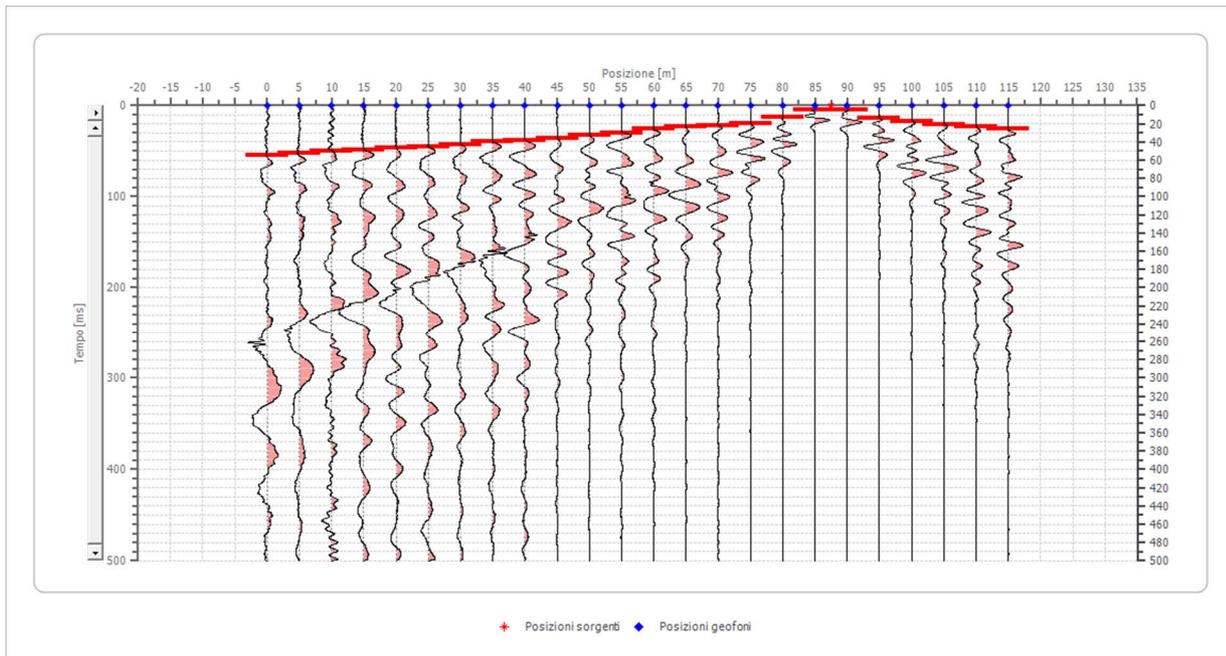
Posizione sorgente X 57.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	47.9070
5.0	45.1163
10.0	42.5000
15.0	40.2326
20.0	38.3721
25.0	36.0465
30.0	32.7907
35.0	29.7674
40.0	27.4419
45.0	25.1163
50.0	18.0145
55.0	9.7001
60.0	9.7001
65.0	16.6288
70.0	20.4651
75.0	23.2558
80.0	25.1163
85.0	27.9070
90.0	30.9302
95.0	32.5581
100.0	35.5814
105.0	38.6047
110.0	42.0930
115.0	44.8837

Battuta 5

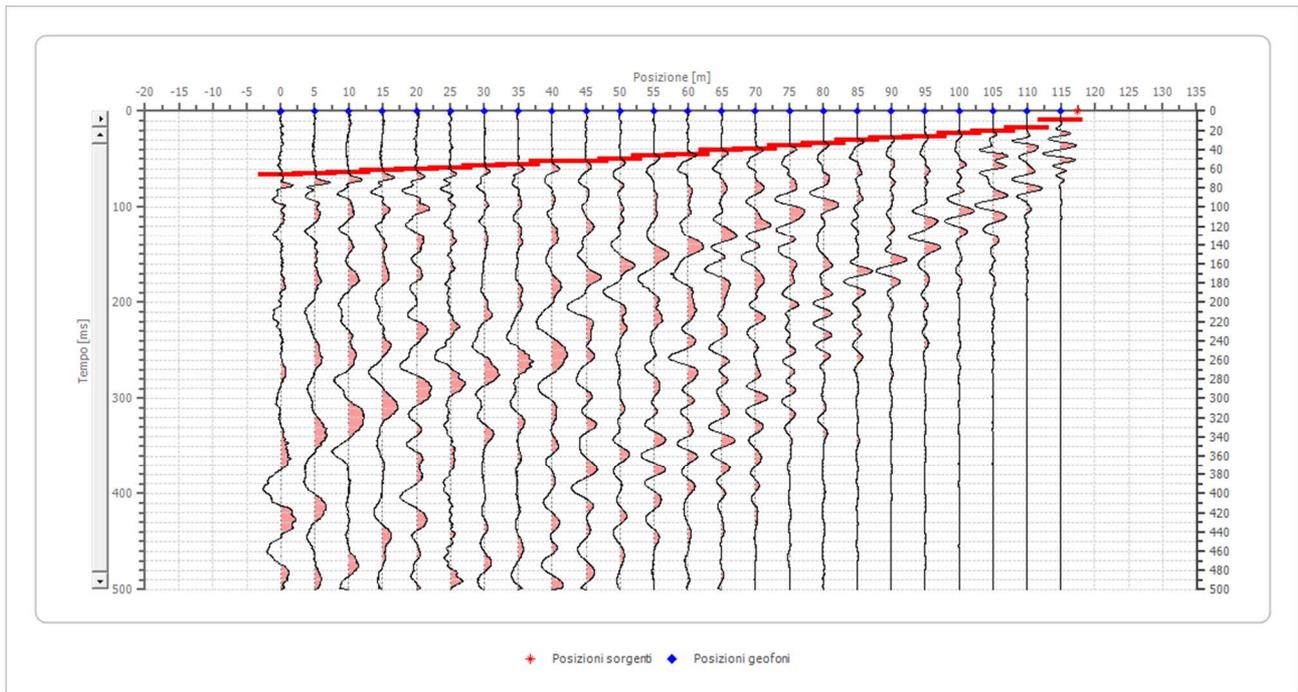
Posizione sorgente X 87.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	54.4186
5.0	52.3256
10.0	50.2326
15.0	48.3721
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	13.0233
85.0	4.1860
90.0	4.1572
95.0	13.7209
100.0	17.4419
105.0	20.4651
110.0	23.4884
115.0	25.3488

Battuta 6

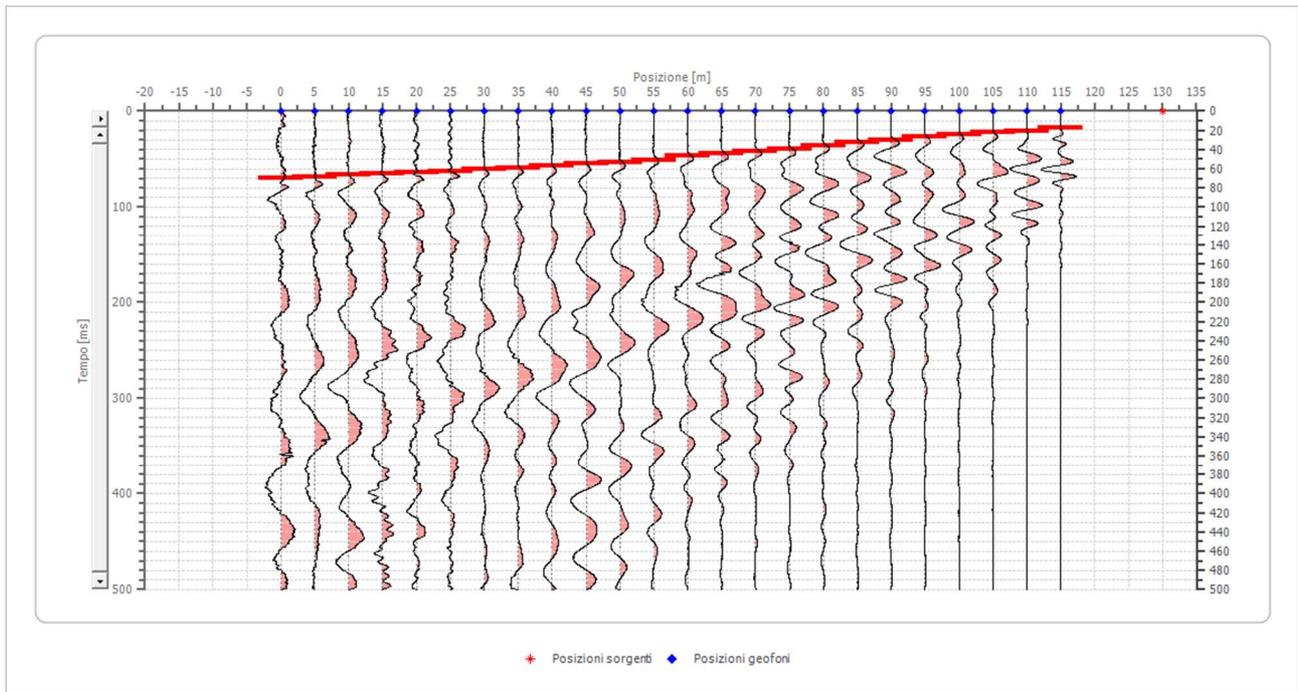
Posizione sorgente X 117.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	66.0465
5.0	64.6512
10.0	63.4884
15.0	61.6279
20.0	60.2500
25.0	59.0698
30.0	57.2093
35.0	55.2500
40.0	52.6579
45.0	51.8605
50.0	50.2500
55.0	48.5000
60.0	47.0000
65.0	45.5814
70.0	42.9578
75.0	41.5000
80.0	37.5000
85.0	34.7500
90.0	33.2500
95.0	31.0000
100.0	27.2500
105.0	23.2500
110.0	20.0000
115.0	9.7001

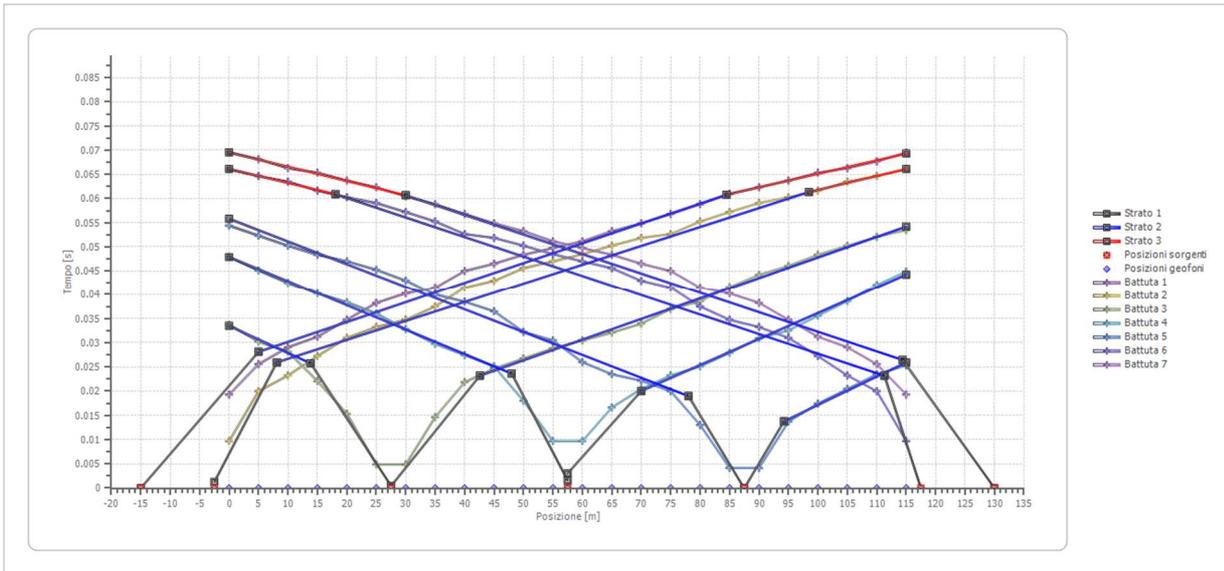
Battuta 7

Posizione sorgente X 130 [m]
Posizione sorgente Z 0 [m]

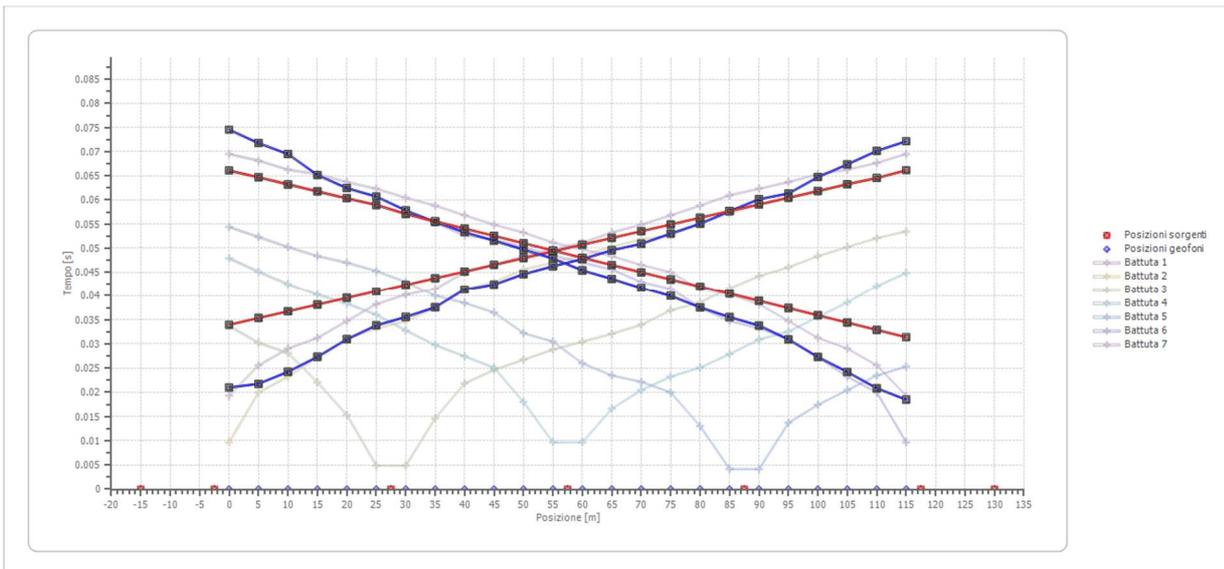


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	69.5349
5.0	68.1395
10.0	66.2791
15.0	65.3488
20.0	63.7209
25.0	62.3256
30.0	60.4651
35.0	58.8372
40.0	56.8151
45.0	54.8837
50.0	53.2558
55.0	51.1628
60.0	49.7674
65.0	48.3721
70.0	46.5116
75.0	45.0000
80.0	41.5000
85.0	40.2326
90.0	38.2500
95.0	34.7500
100.0	31.2500
105.0	29.0698
110.0	25.5814
115.0	19.3023

Dromocrone



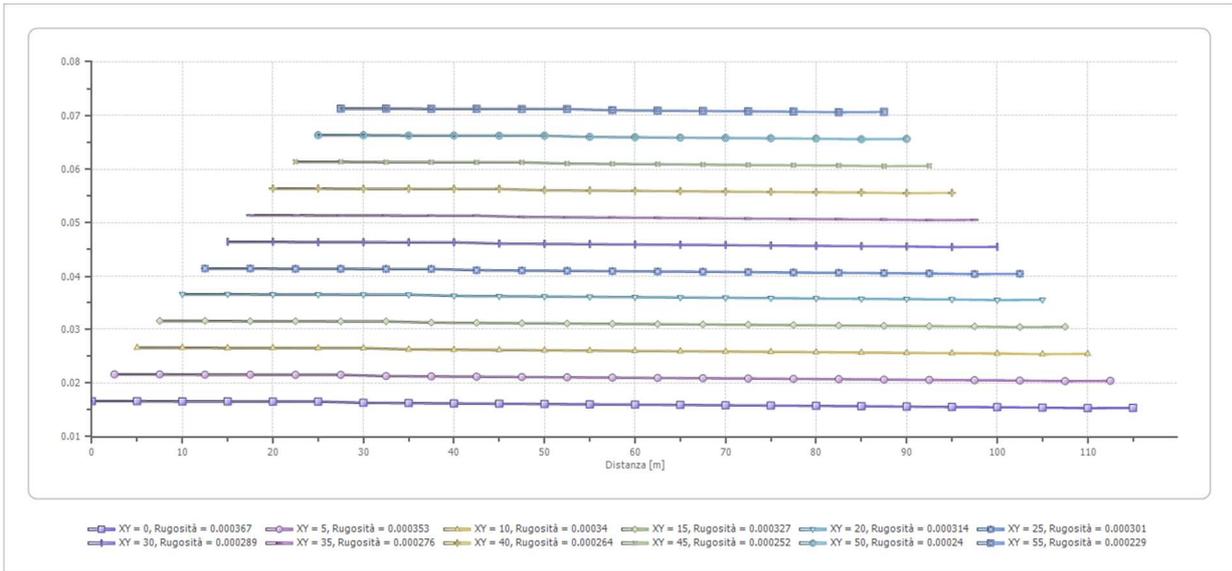
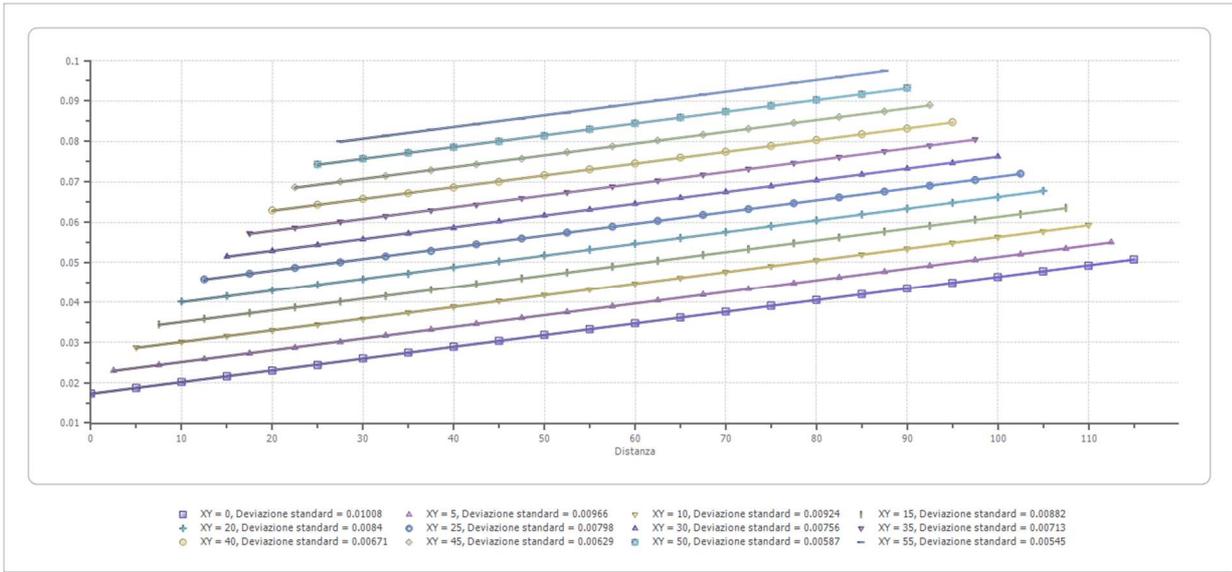
Dromocrone traslate



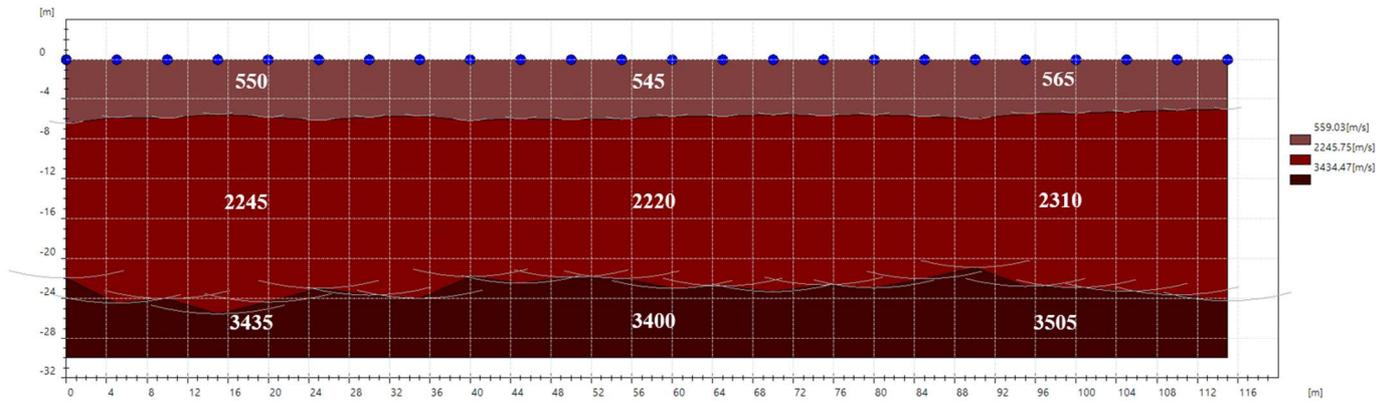
Interpretazione col metodo G.,R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 0.0 [m]	6.5	21.9	--
G= 5.0 [m]	5.9	24.4	--
G= 10.0 [m]	5.9	24.0	--
G= 15.0 [m]	5.6	25.5	--
G= 20.0 [m]	5.8	24.3	--
G= 25.0 [m]	6.2	23.0	--
G= 30.0 [m]	5.8	23.6	--
G= 35.0 [m]	5.7	24.0	--
G= 40.0 [m]	6.2	21.8	--
G= 45.0 [m]	6.0	22.5	--
G= 50.0 [m]	6.1	21.9	--
G= 55.0 [m]	6.0	22.0	--
G= 60.0 [m]	5.8	23.0	--
G= 65.0 [m]	5.8	22.7	--
G= 70.0 [m]	5.6	23.3	--
G= 75.0 [m]	5.7	22.6	--
G= 80.0 [m]	5.6	22.9	--
G= 85.0 [m]	5.8	22.0	--
G= 90.0 [m]	6.0	20.9	--
G= 95.0 [m]	5.5	22.8	--
G= 100.0 [m]	5.4	22.9	--
G= 105.0 [m]	5.3	23.3	--
G= 110.0 [m]	5.1	23.6	--
G= 115.0 [m]	5.0	24.2	--
Velocità [m/sec]	559.0	2245.7	3434.5
Descrizione			



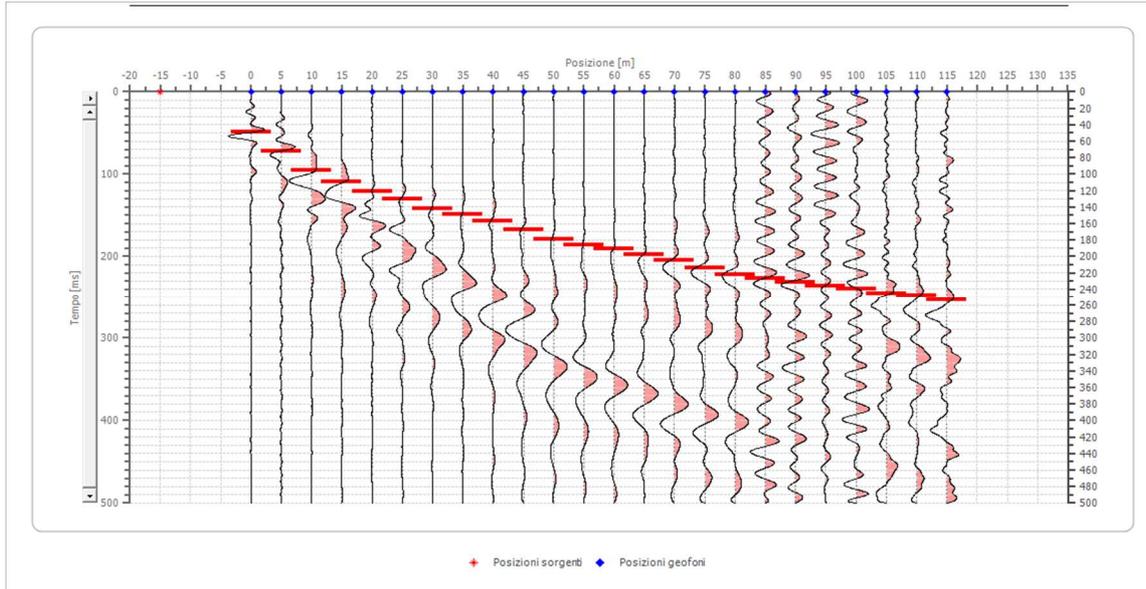
SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA – ONDE P



Dati battute – ONDE SH

Battuta 1

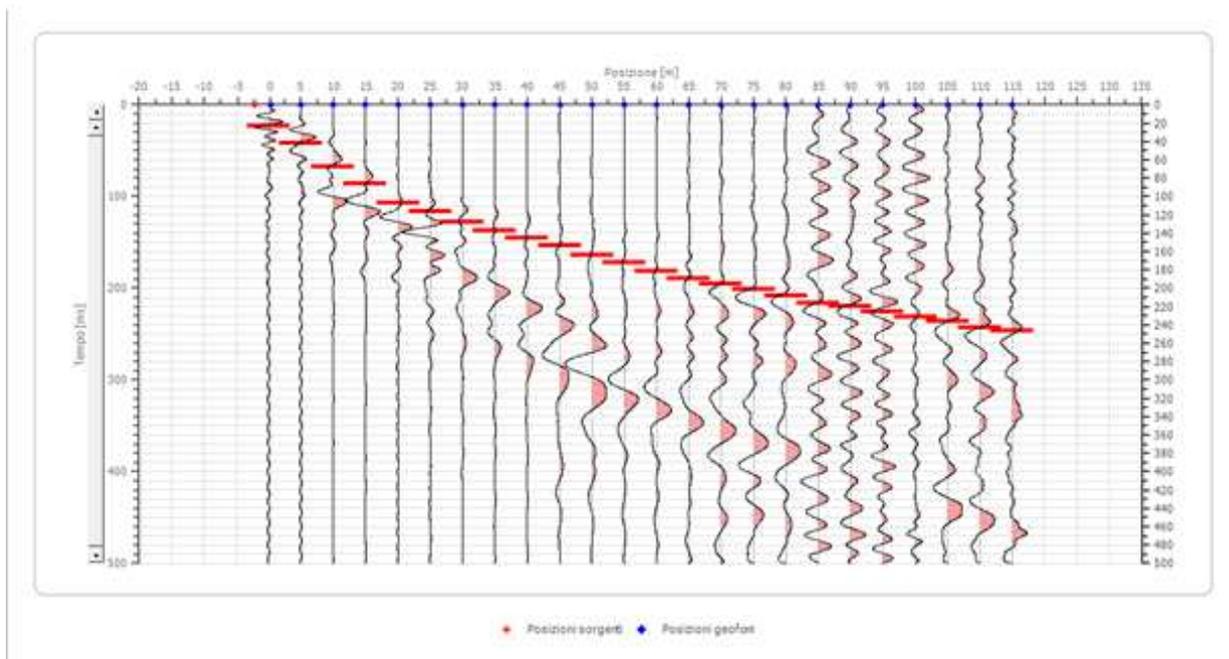
Posizione sorgente X -15 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



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

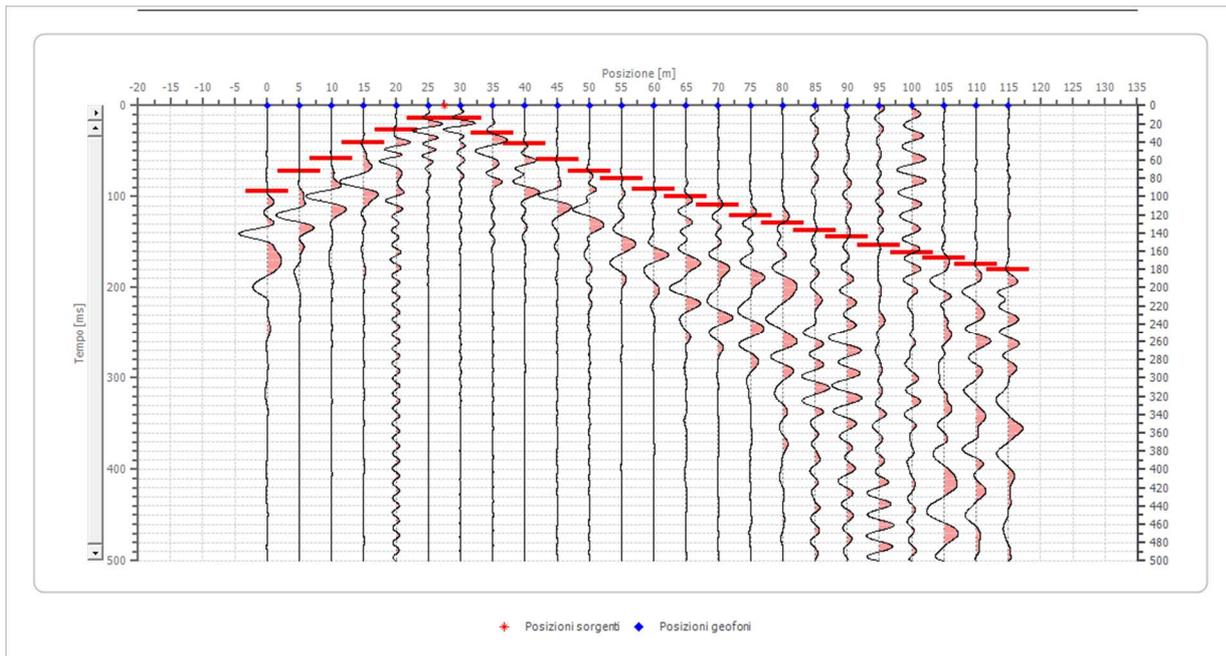
Posizione sorgente X -2.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



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

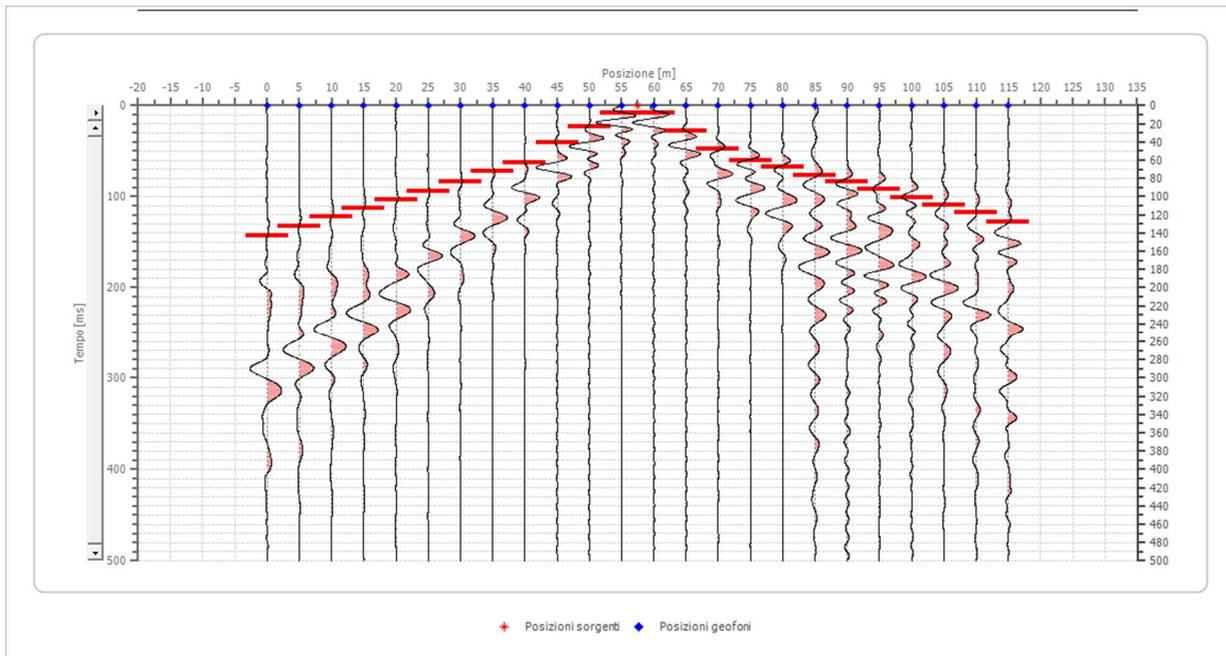
Posizione sorgente X 27.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



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

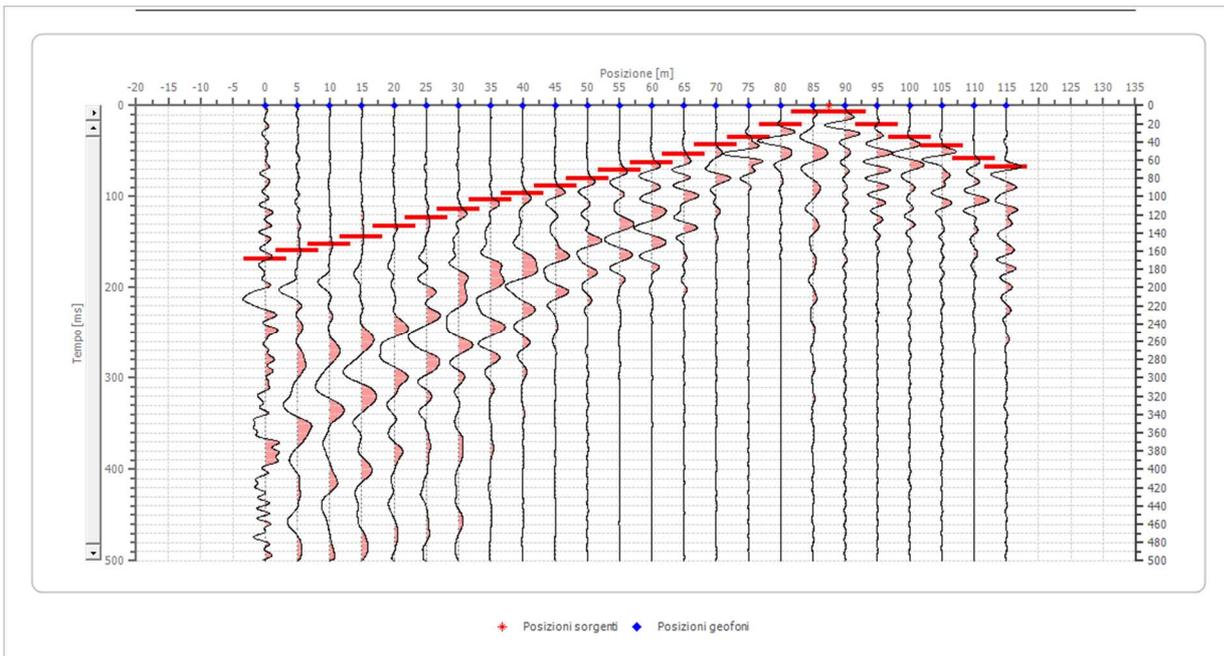
Posizione sorgente X 57.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



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

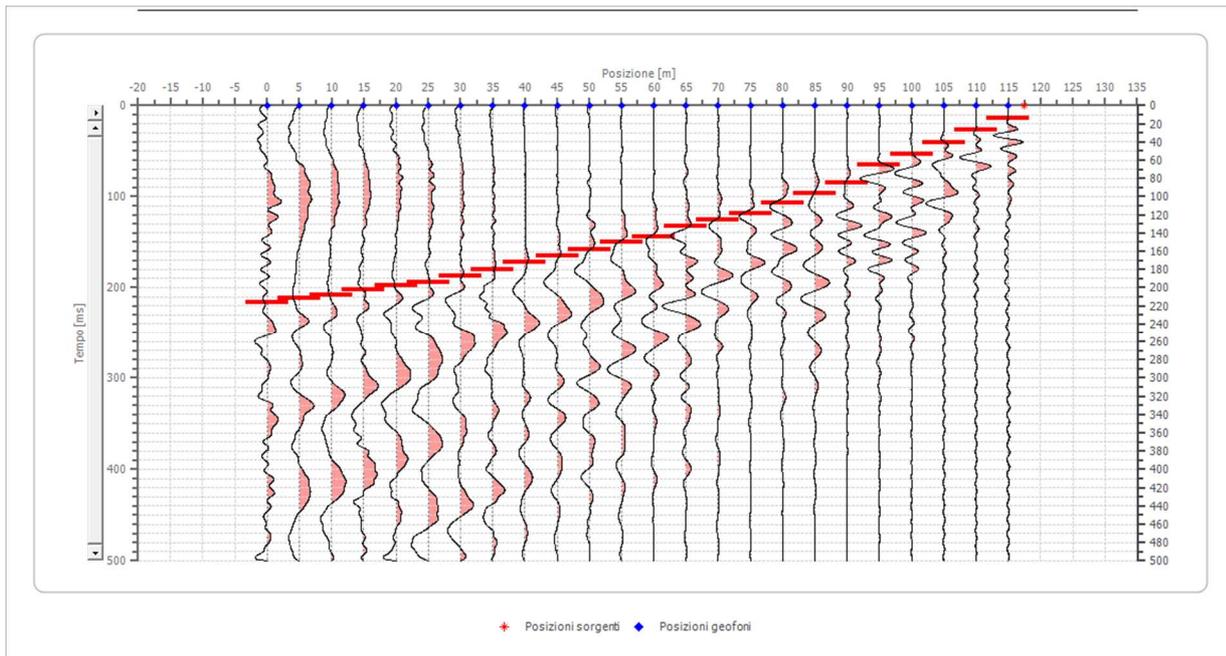
Posizione sorgente X 87.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



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

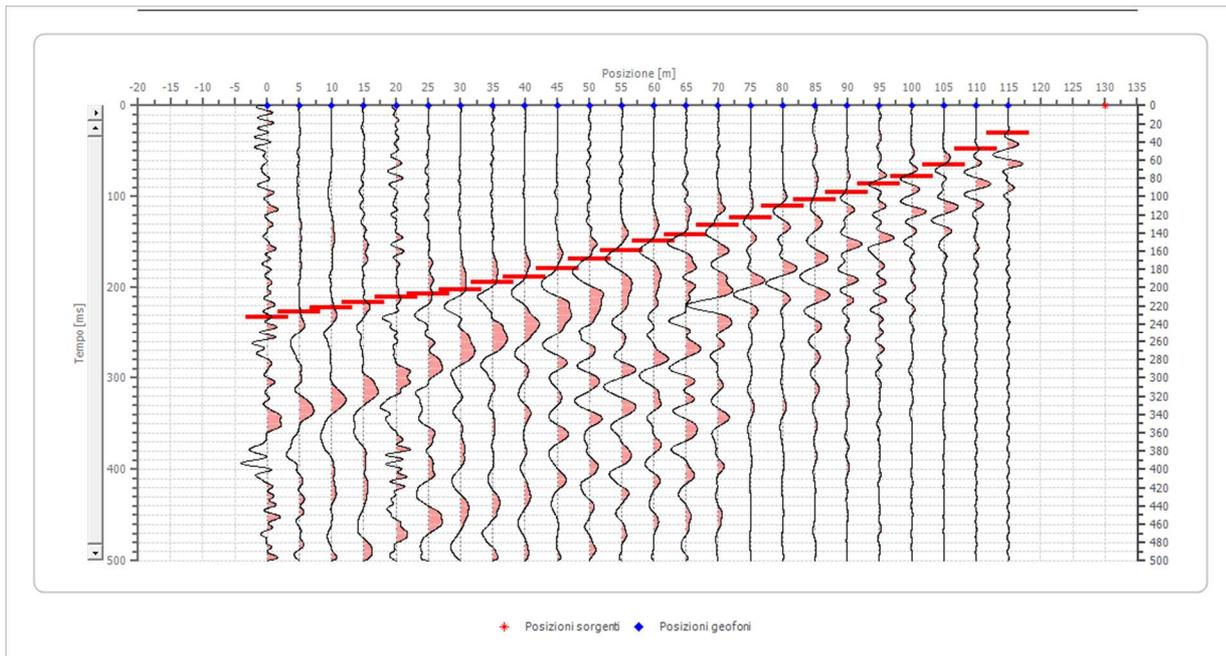
Posizione sorgente X 117.5 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



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 130 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

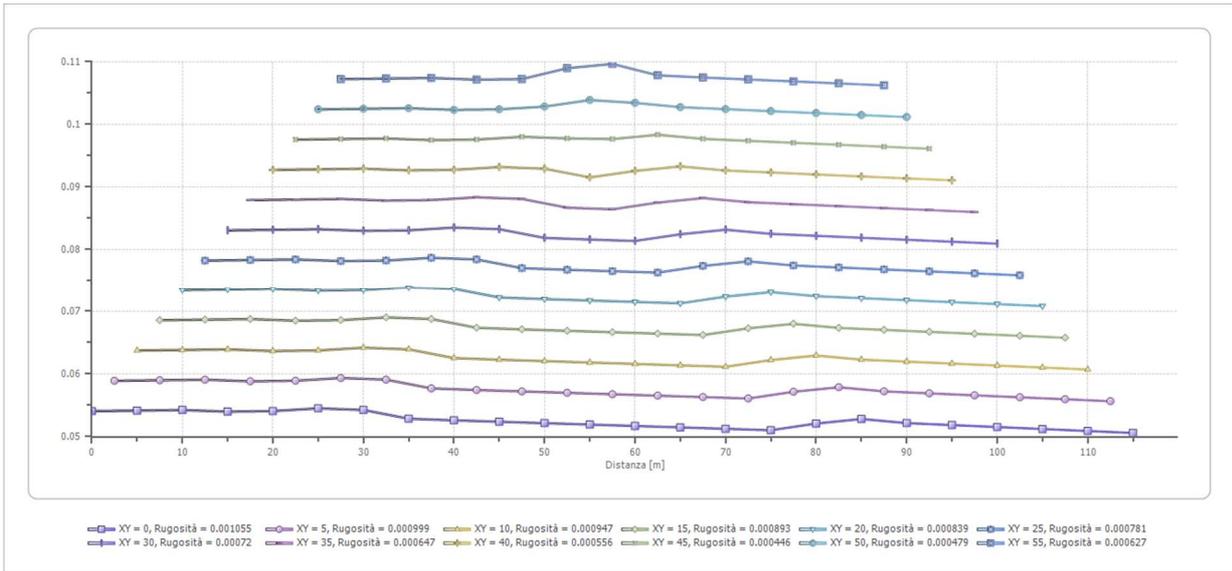
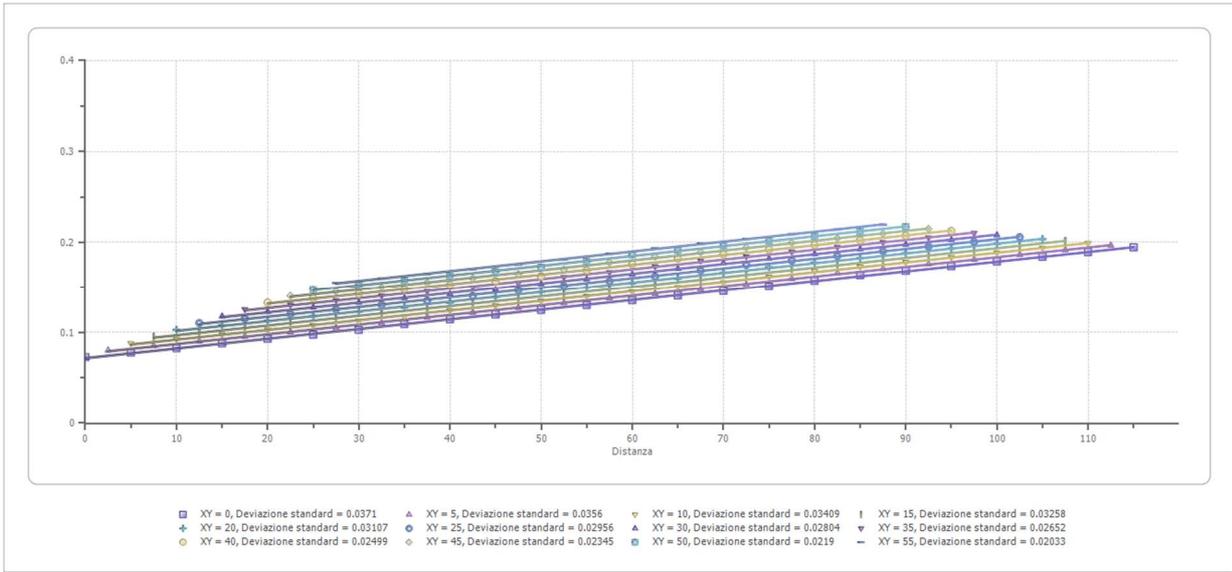


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	232.8033
5.0	227.2604
10.0	221.7174
15.0	216.1745
20.0	210.6316
25.0	206.4744
30.0	202.3172
35.0	194.0028
40.0	188.4598
45.0	178.7597
50.0	169.0596
55.0	159.3594
60.0	148.2735
65.0	141.3449
70.0	131.6447
75.0	123.3303
80.0	110.8587
85.0	103.9301
90.0	95.6156
95.0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

Interpretazione col metodo G.,R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 0.0 [m]	10.5	27.0	--
G= 5.0 [m]	9.8	27.7	--
G= 10.0 [m]	9.3	28.3	--
G= 15.0 [m]	8.8	28.6	--
G= 20.0 [m]	10.1	27.4	--
G= 25.0 [m]	10.1	27.7	--
G= 30.0 [m]	10.2	27.4	--
G= 35.0 [m]	9.7	26.9	--
G= 40.0 [m]	9.9	26.5	--
G= 45.0 [m]	10.6	25.6	--
G= 50.0 [m]	10.9	25.2	--
G= 55.0 [m]	10.6	25.3	--
G= 60.0 [m]	10.7	25.1	--
G= 65.0 [m]	10.5	25.1	--
G= 70.0 [m]	10.1	25.3	--
G= 75.0 [m]	11.1	24.1	--
G= 80.0 [m]	10.2	25.9	--
G= 85.0 [m]	10.2	26.4	--
G= 90.0 [m]	9.5	26.7	--
G= 95.0 [m]	9.7	26.2	--
G= 100.0 [m]	9.8	25.9	--
G= 105.0 [m]	8.7	26.8	--
G= 110.0 [m]	8.4	26.9	--
G= 115.0 [m]	8.2	27.0	--
Velocità [m/sec]	320.8	562.1	932.9
Descrizione			



SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA – ONDE SH

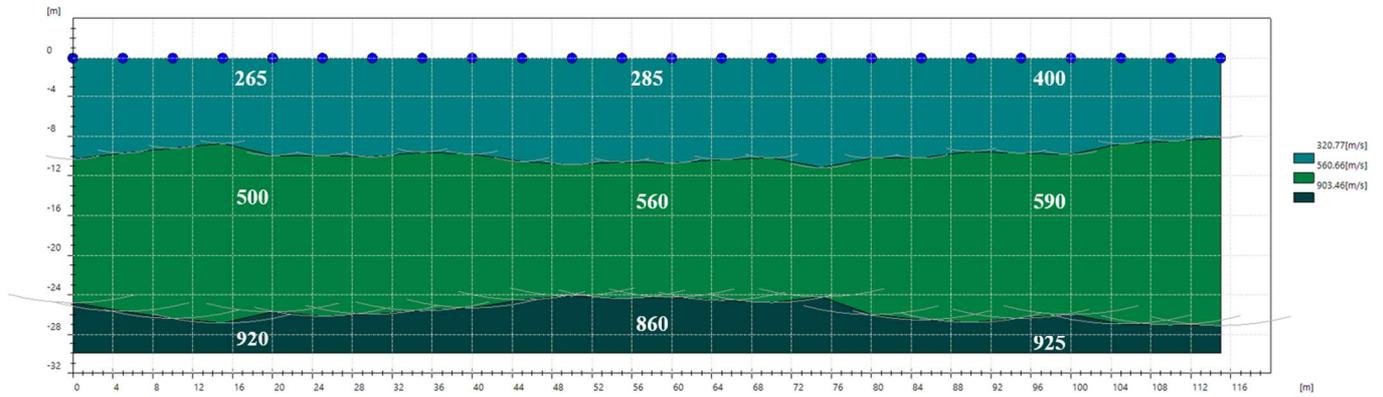
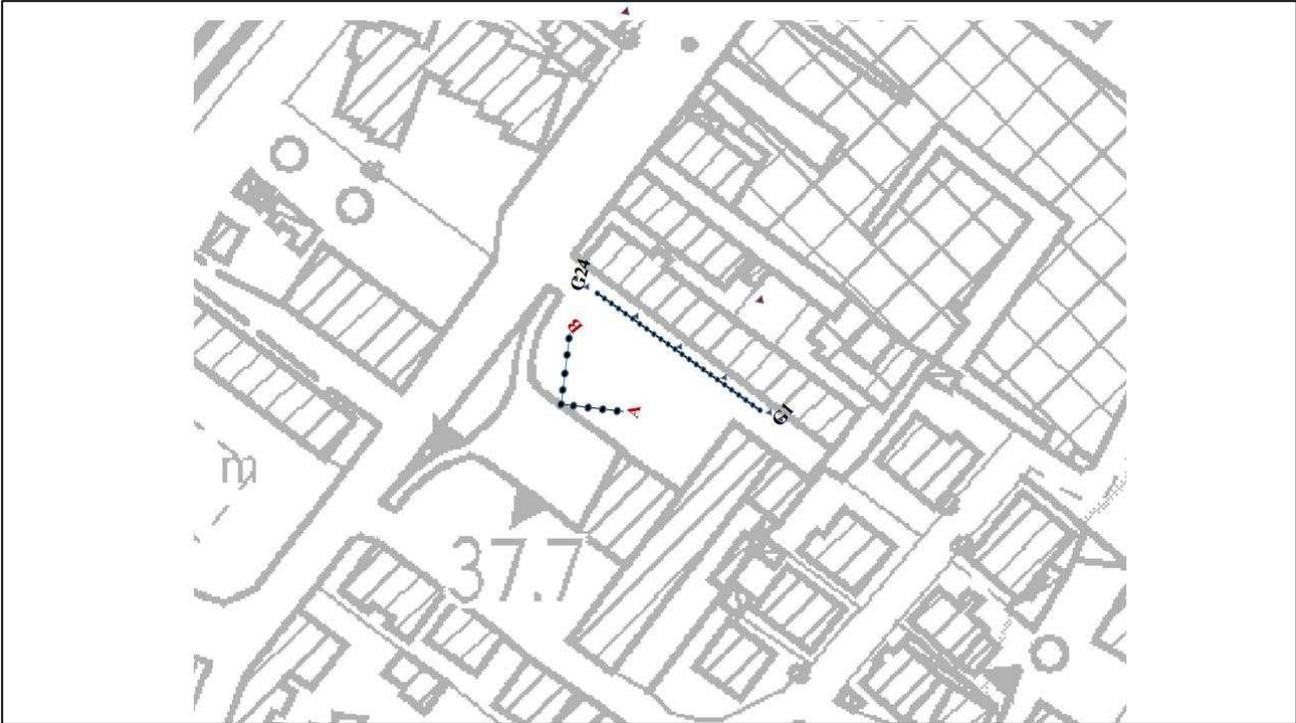




Foto – Indagine sismica a rifrazione SR_4

INDAGINE SISMICA MASW_1 + ESAC_1

Planimetria Scala 1:2000



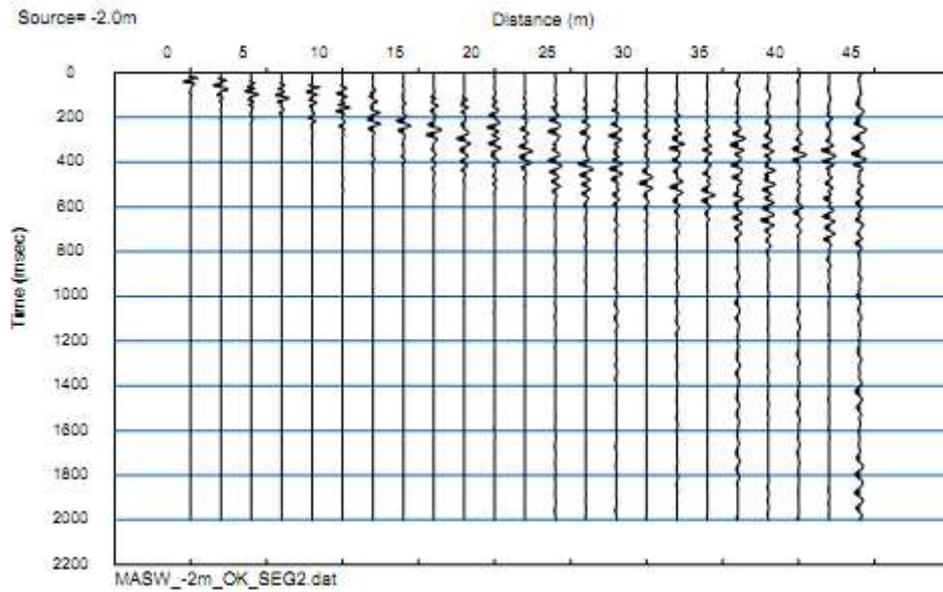
Geometria dello stendimento MASW_1

Numero Geofoni: 24

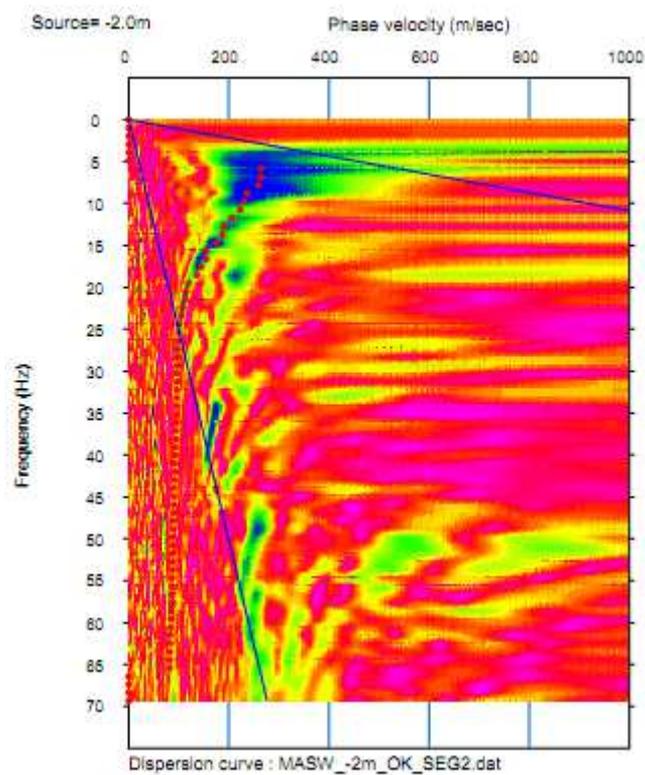
Intervallo (m): 2 m

Lunghezza Stendimento (m): 46 m

Sismogramma MASW 1



Curva Dispersione MASW 1



Geometria dello stendimento ESAC_1

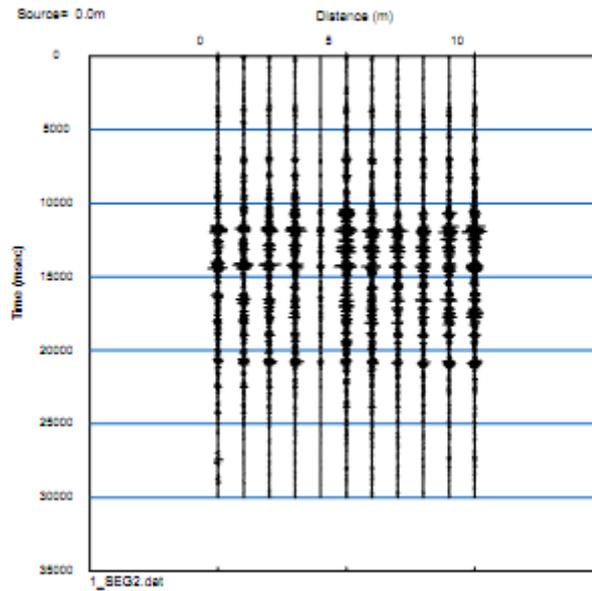
Geometria Stendimento: L

Numero Geofoni: 11

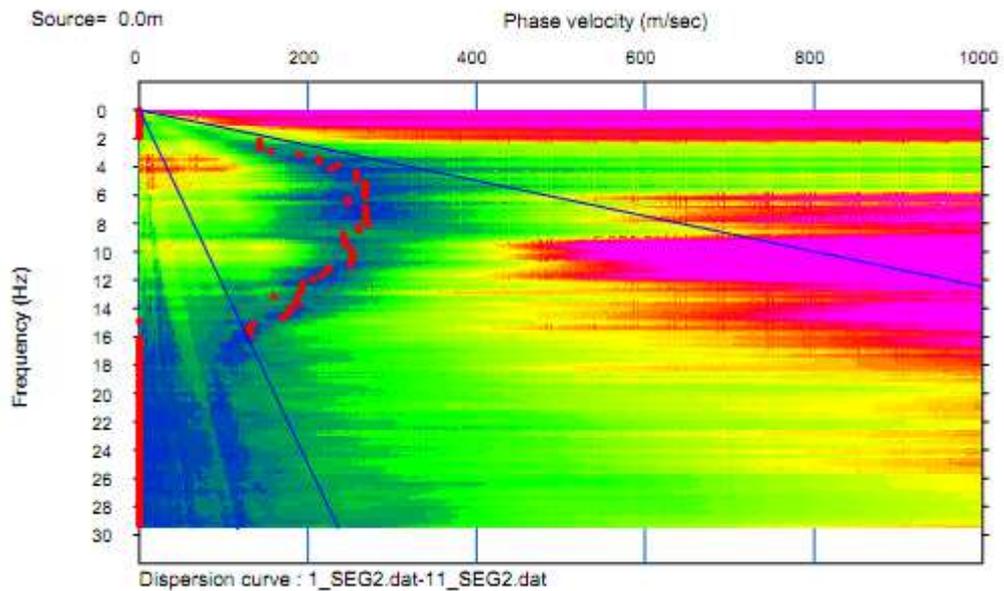
Intervallo (m): 2.5 m

Lunghezza Stendimento (m): 12.5 m

MAM 2D ESAC 1

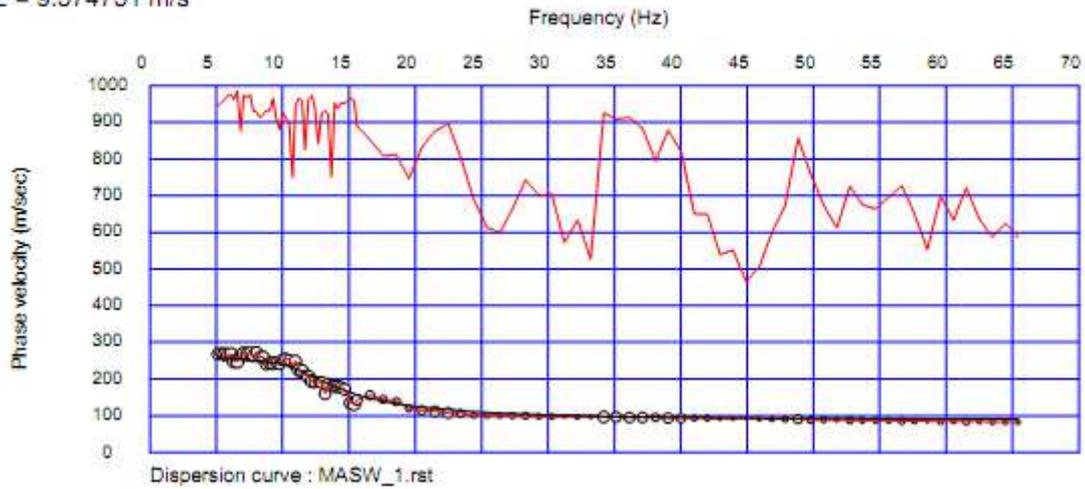


Curva Dispersione ESAC 1



Curva Teorica e Sperimentale MASW 1 + ESAC 1

RMSE = 9.574751 m/s



Profilo Vs MASW 1 + ESAC 1

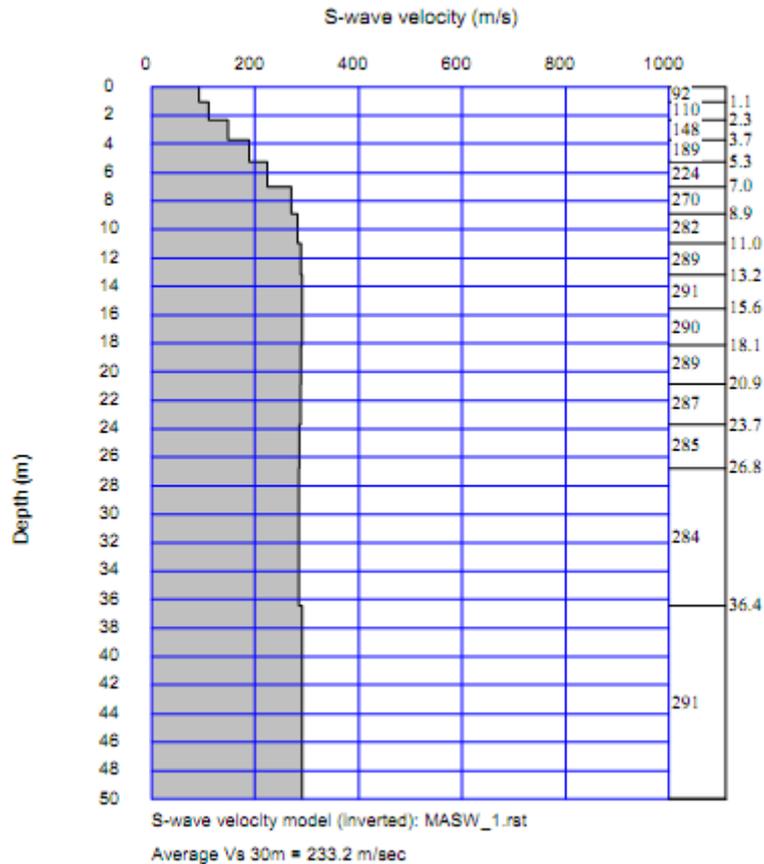
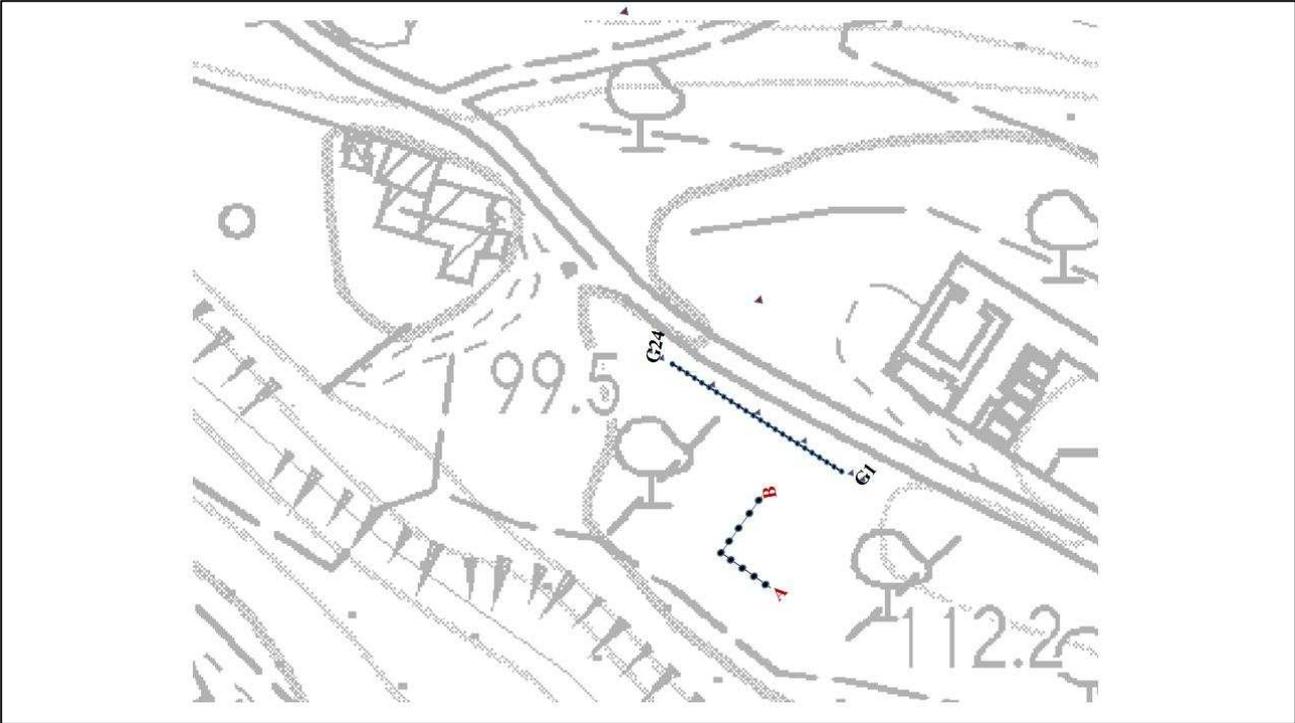




Foto – Indagine sismica MASW-ESAC_1

INDAGINE SISMICA MASW_2 + ESAC_2

Planimetria Scala 1:2000



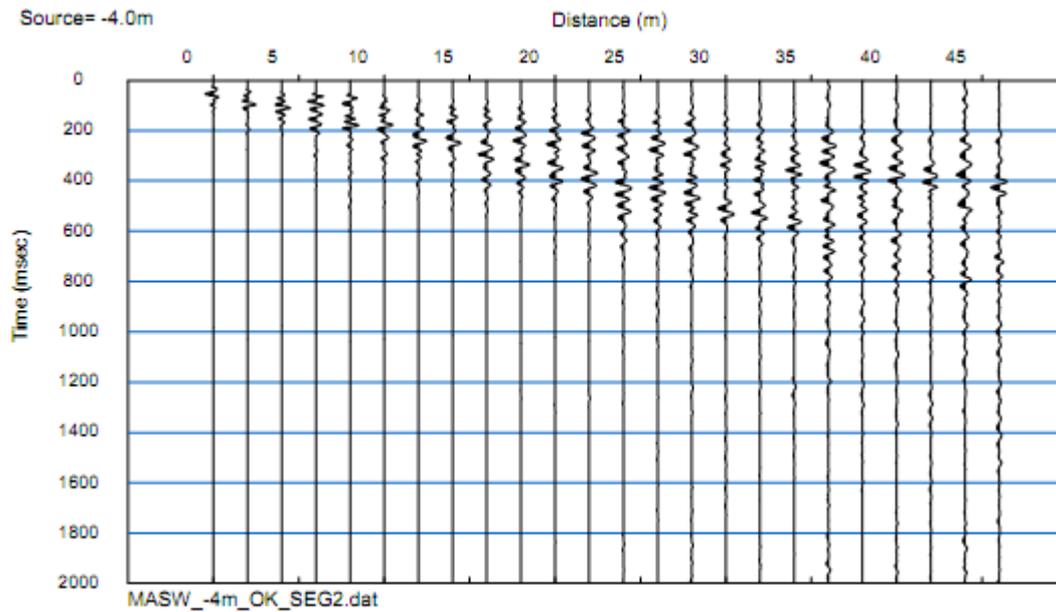
Geometria dello stendimento MASW_2

Numero Geofoni: 24

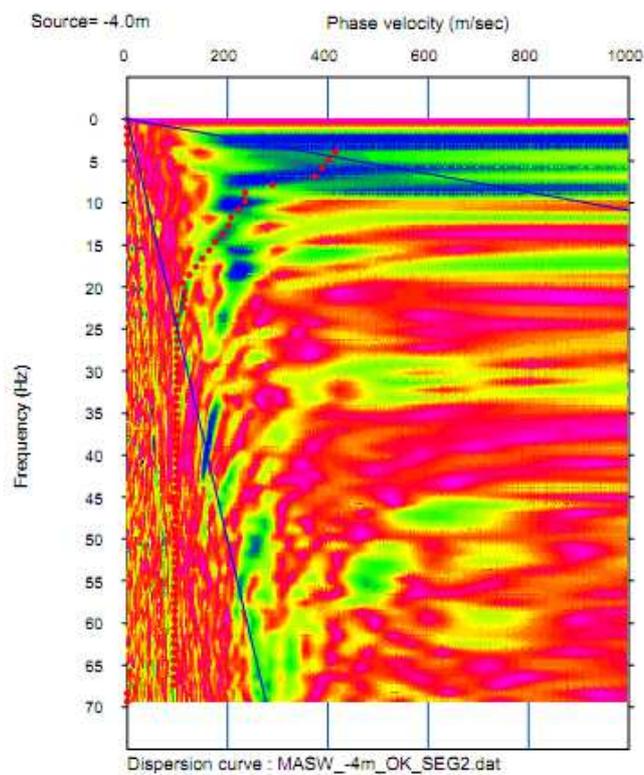
Intervallo (m): 2 m

Lunghezza Stendimento (m): 46 m

Sismogramma MASW 2



Curva Dispersione MASW 2



Geometria dello stendimento ESAC_2

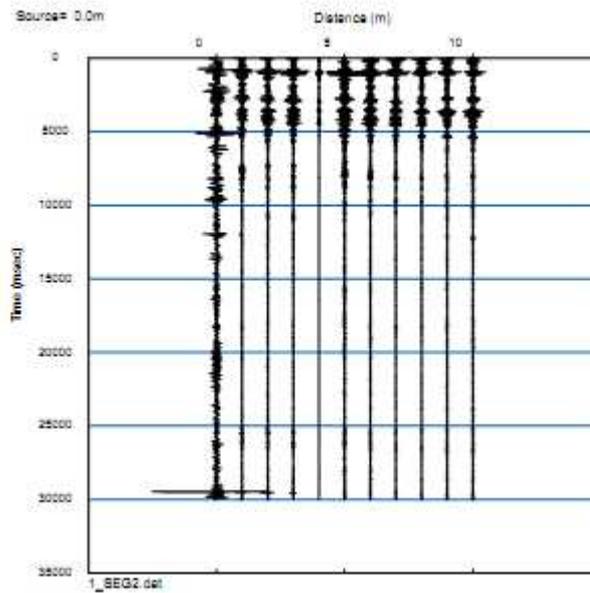
Geometria Stendimento: L

Numero Geofoni: 11

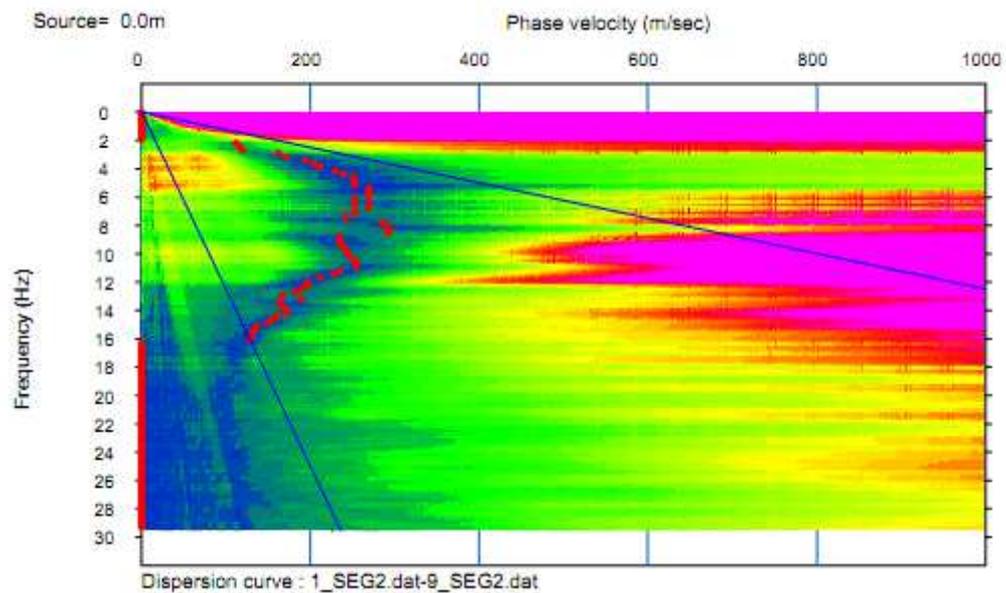
Intervallo (m): 2.5 m

Lunghezza Stendimento (m): 12.5 m

MAM 2D ESAC 2

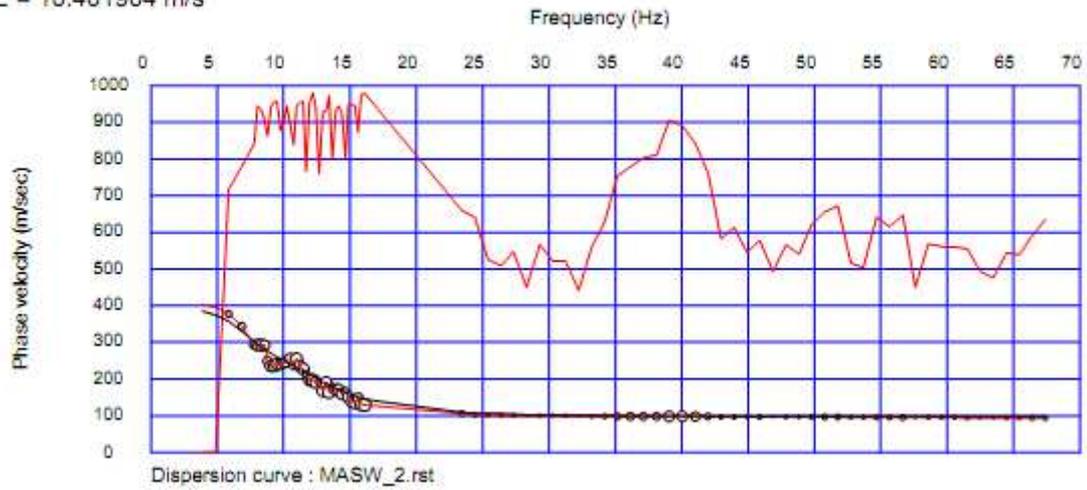


Curva Dispersione ESAC 2



Curva Teorica e Sperimentale MASW 2 + ESAC 2

RMSE = 10.401904 m/s



Profilo Vs MASW 2 + ESAC 2

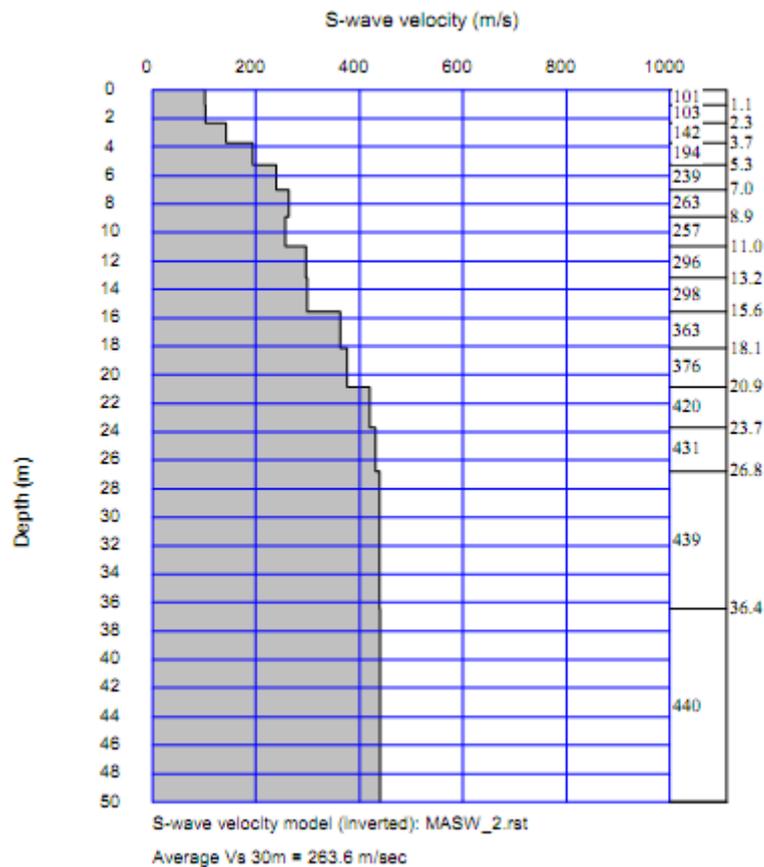
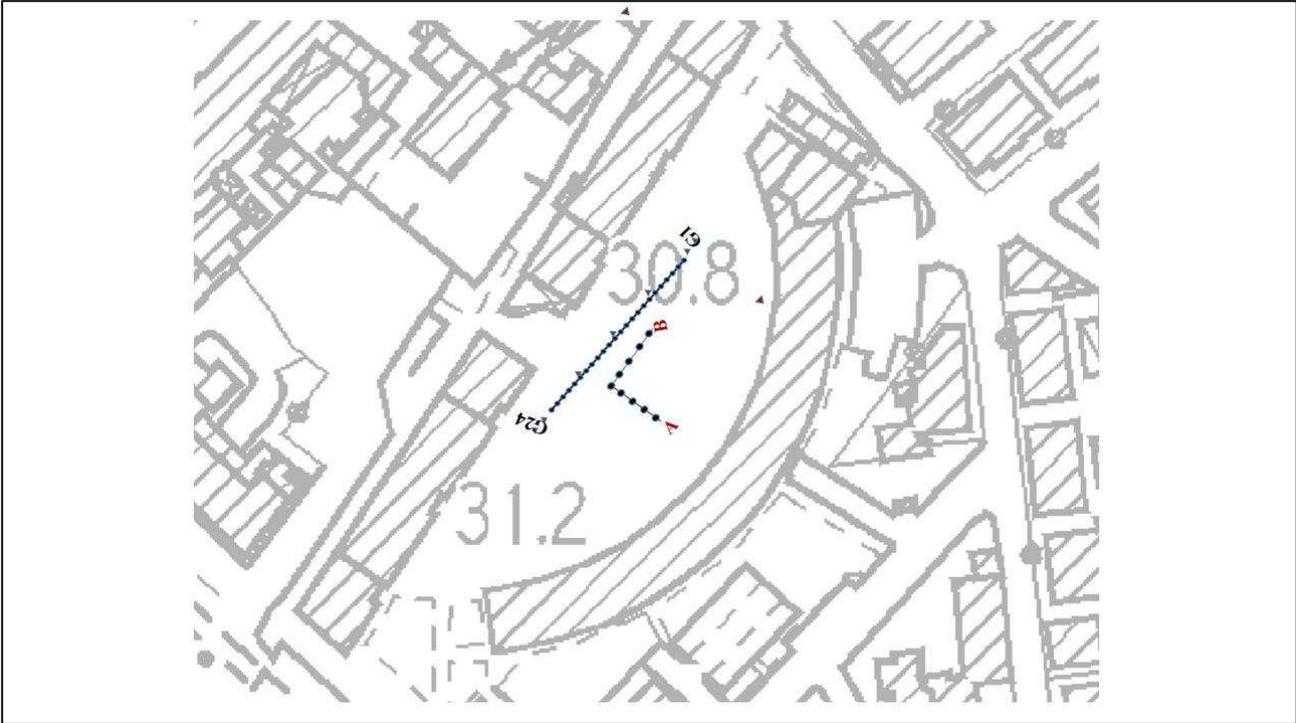




Foto – Indagine sismica MASW-ESAC_2

INDAGINE SISMICA MASW_3 + ESAC_3

Planimetria Scala 1:2000



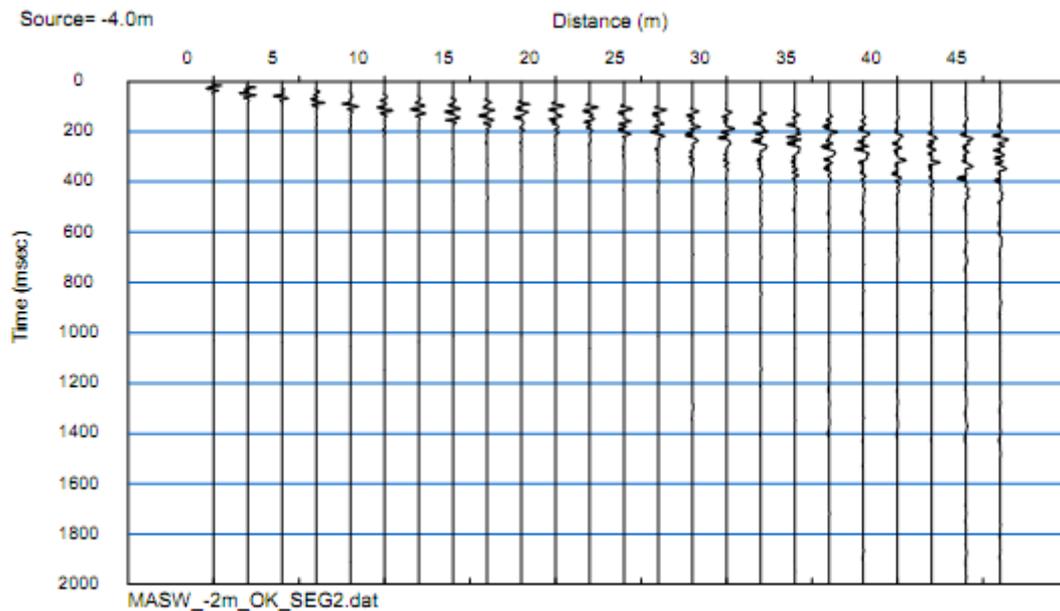
Geometria dello stendimento MASW_3

Numero Geofoni: 24

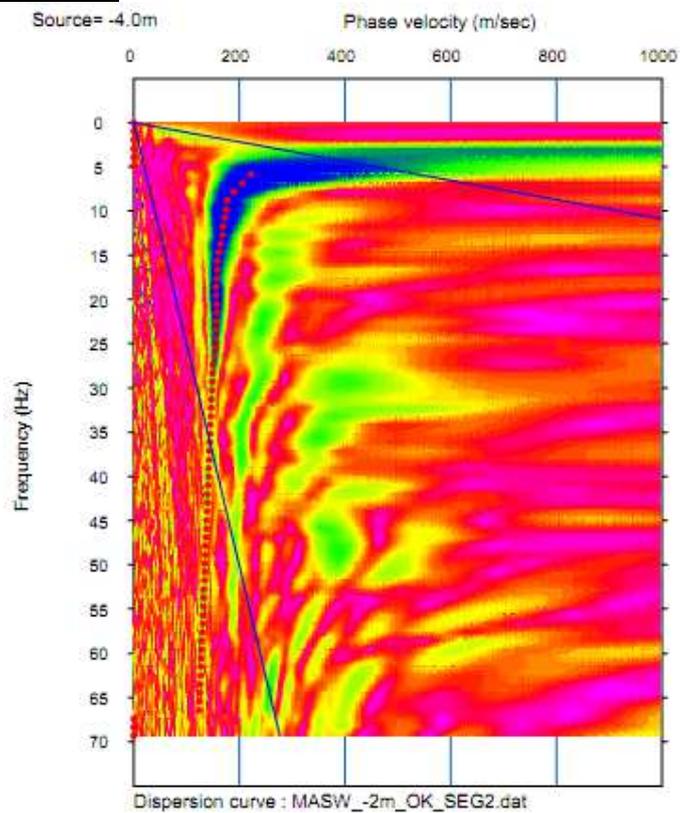
Intervallo (m): 2 m

Lunghezza Stendimento (m): 46 m

Sismogramma MASW 3



Curva Dispersione MASW 2



Geometria dello stendimento ESAC_3

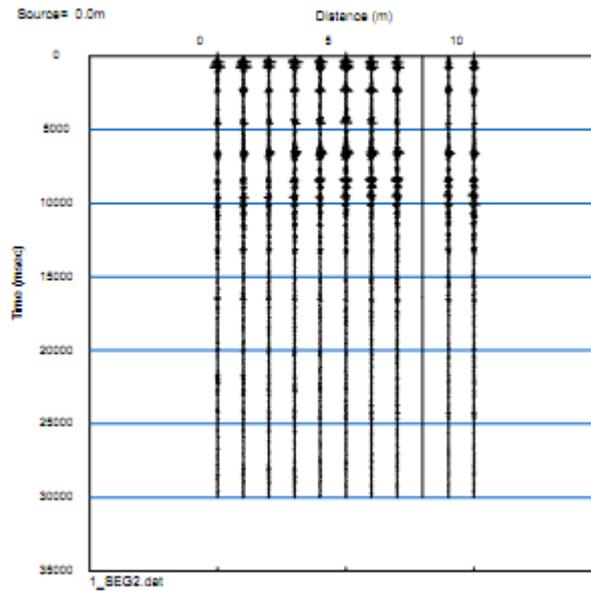
Geometria Stendimento: L

Numero Geofoni: 11

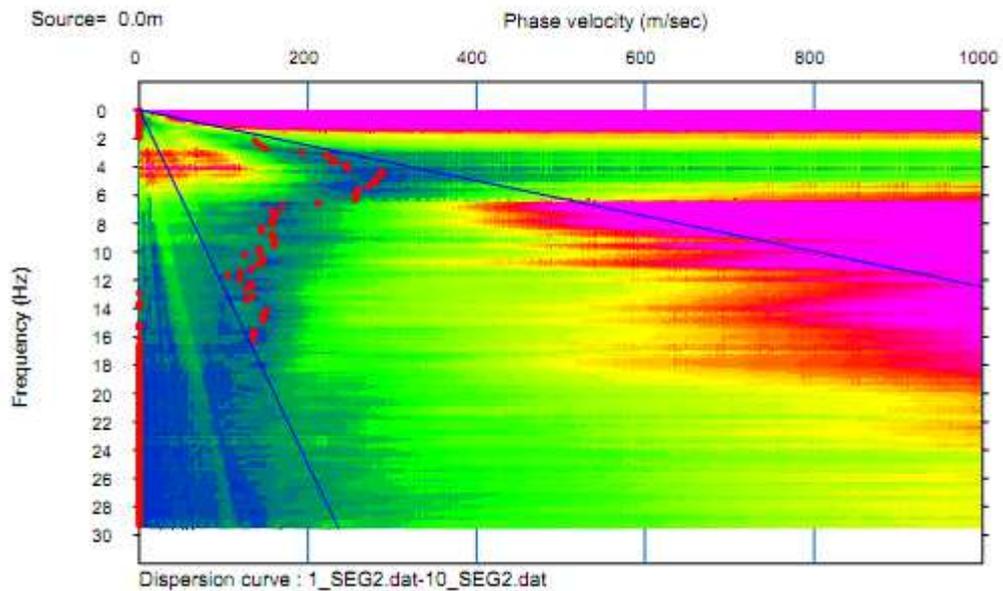
Intervallo (m): 2.5 m

Lunghezza Stendimento (m): 12.5 m

MAM 2D ESAC 3

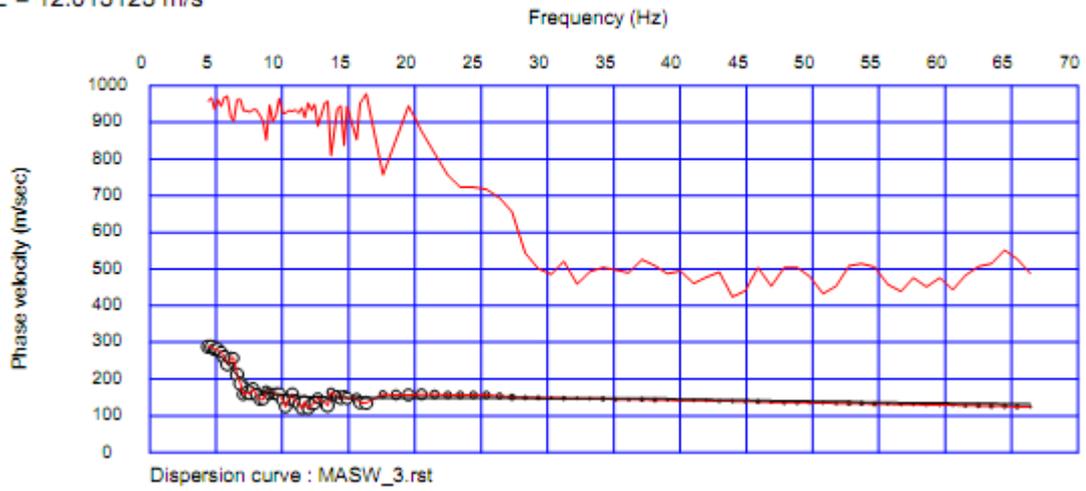


Curva Dispersione ESAC 3



Curva Teorica e Sperimentale MASW 3 + ESAC 3

RMSE = 12.013123 m/s



Profilo Vs MASW 3 + ESAC 3

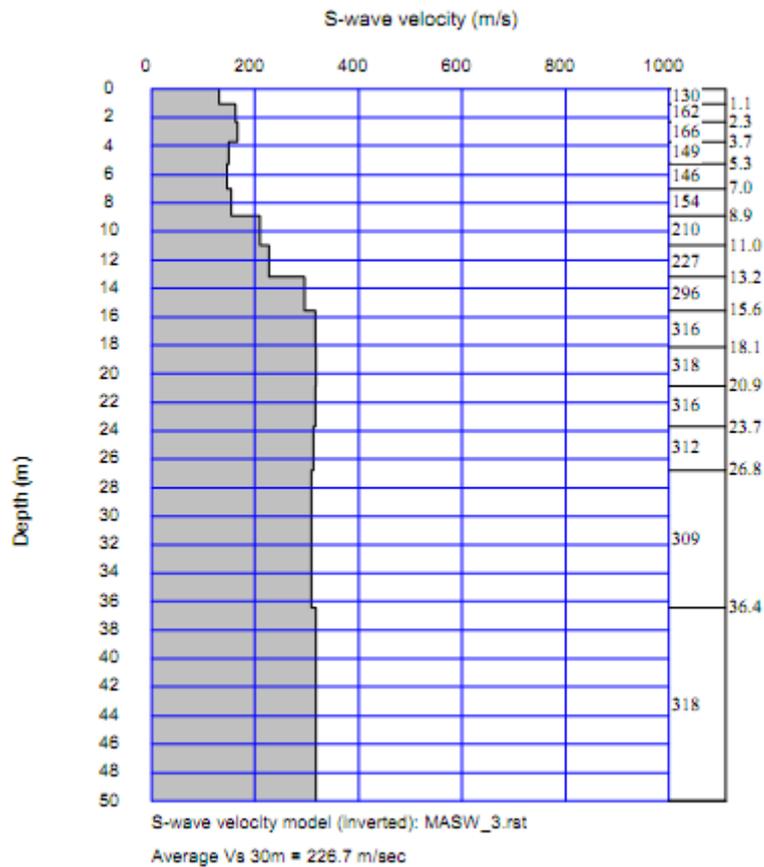




Foto – Indagine sismica MASW-ESAC_3

INDAGINE SISMICA MASW_4 + ESAC_4

Planimetria Scala 1:2000



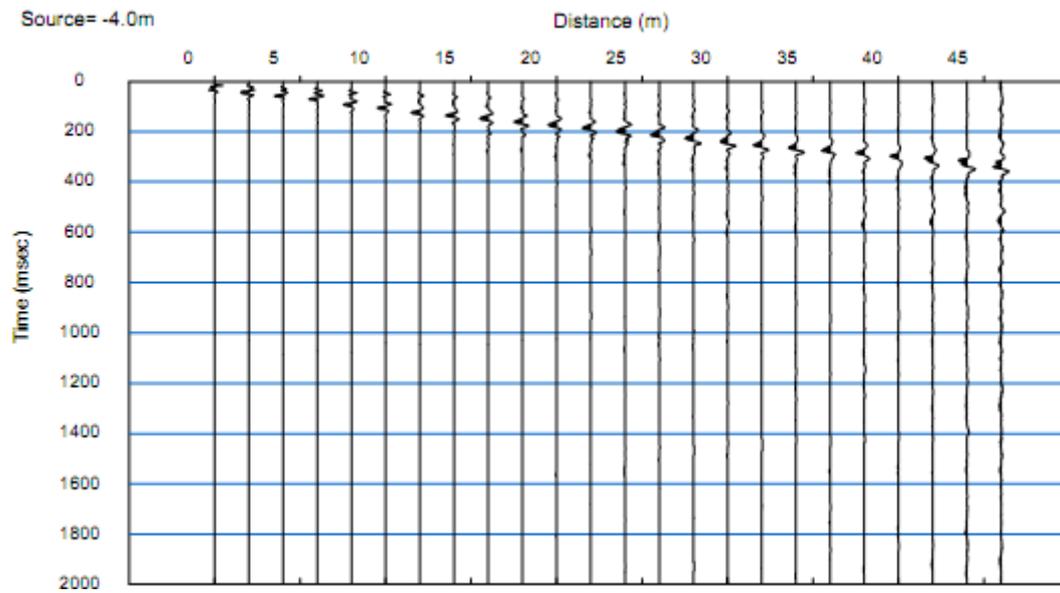
Geometria dello stendimento MASW_4

Numero Geofoni: 24

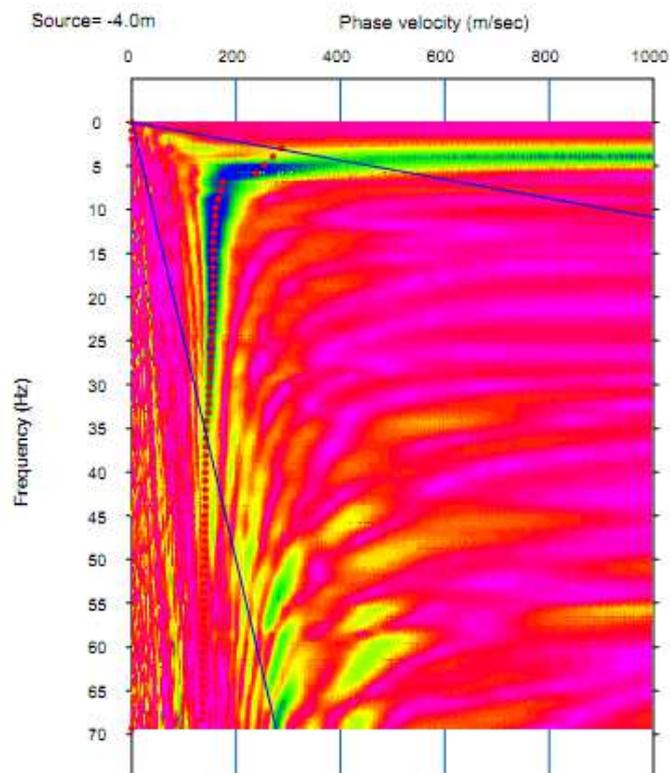
Intervallo (m): 2 m

Lunghezza Stendimento (m): 46 m

Sismogramma MASW 4



Curva Dispersione MASW 4



Geometria dello stendimento ESAC_4

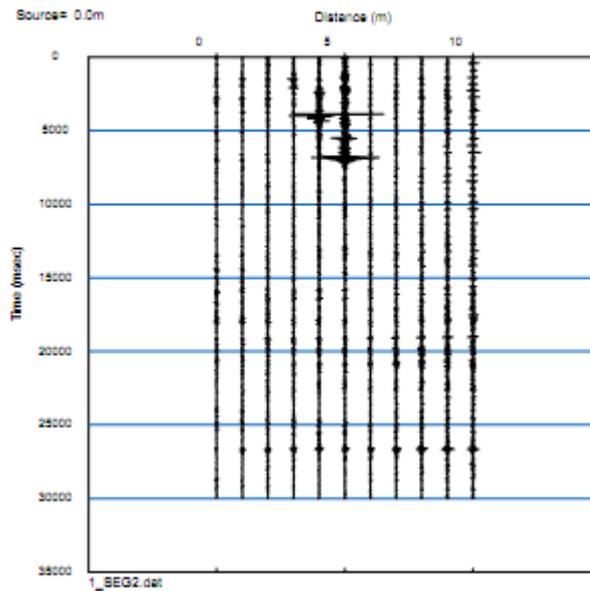
Geometria Stendimento: L

Numero Geofoni: 11

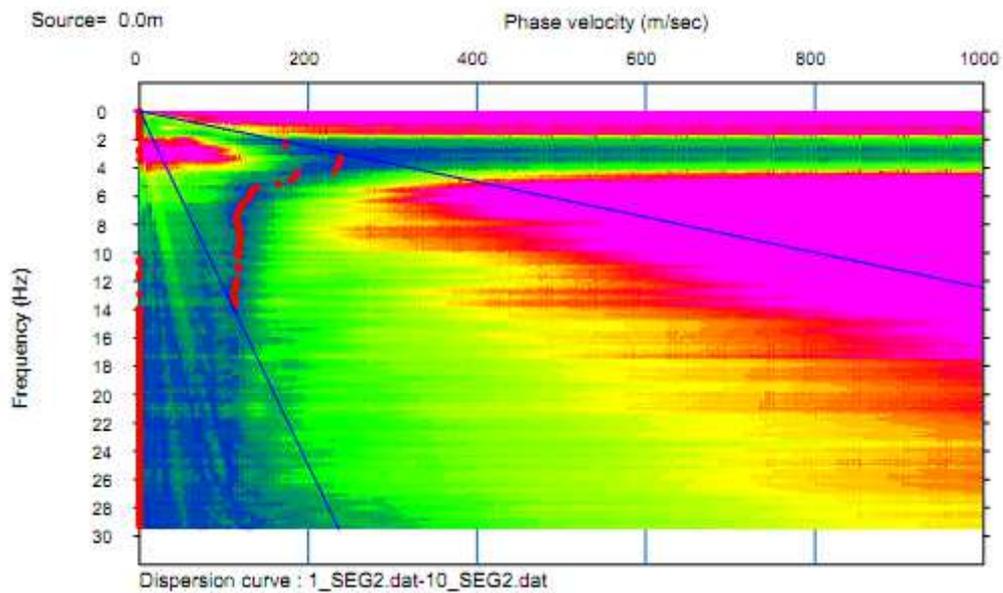
Intervallo (m): 2.5 m

Lunghezza Stendimento (m): 12.5 m

MAM 2D ESAC 4

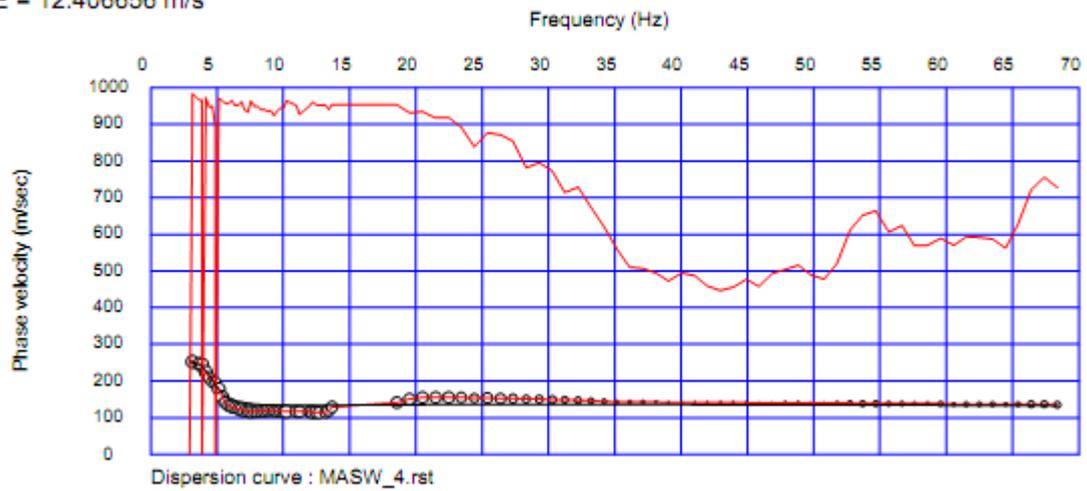


Curva Dispersione ESAC 4

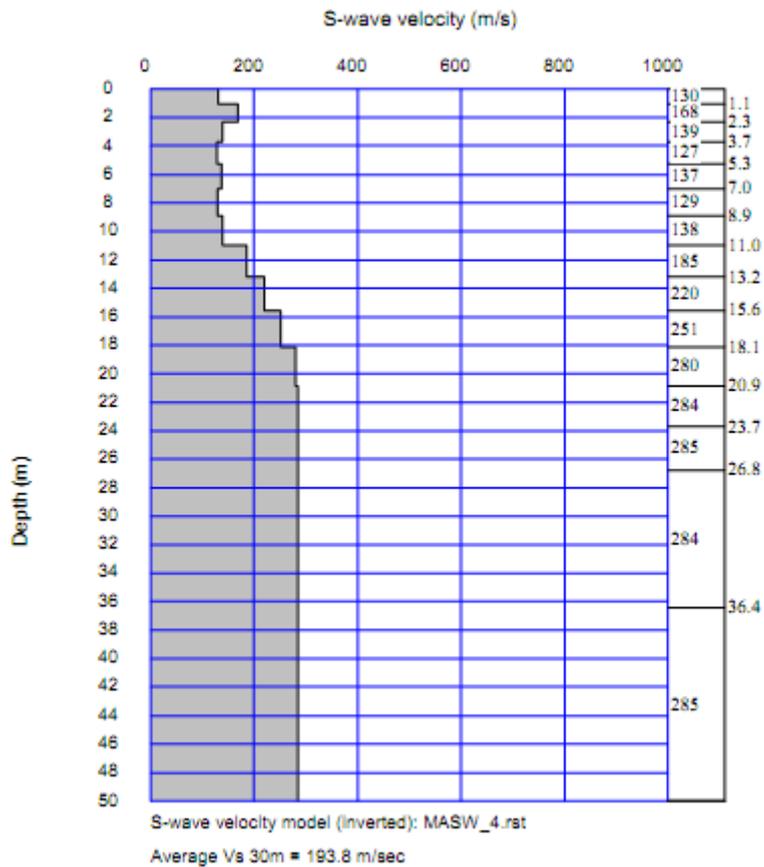


Curva Teorica e Sperimentale MASW 4 + ESAC 4

RMSE = 12.406656 m/s



Profilo Vs MASW 4 + ESAC 4



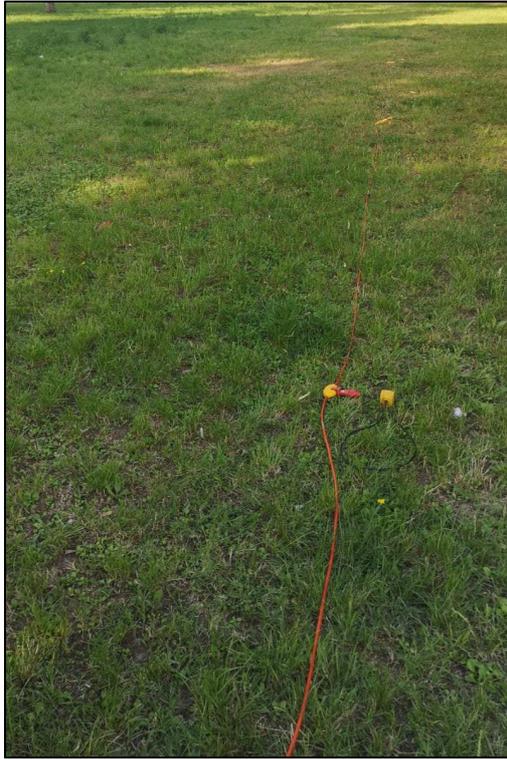
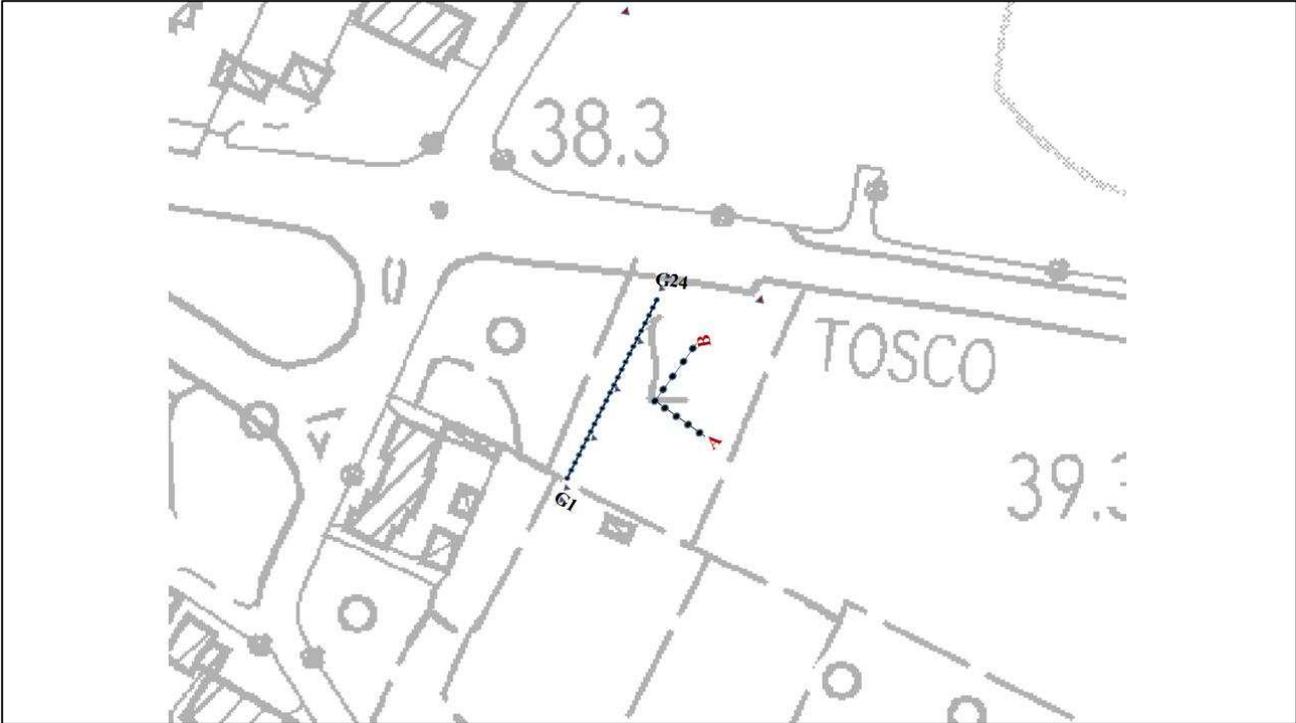


Foto – Indagine sismica MASW-ESAC_4

INDAGINE SISMICA MASW_5 + ESAC_5

Planimetria Scala 1:2000



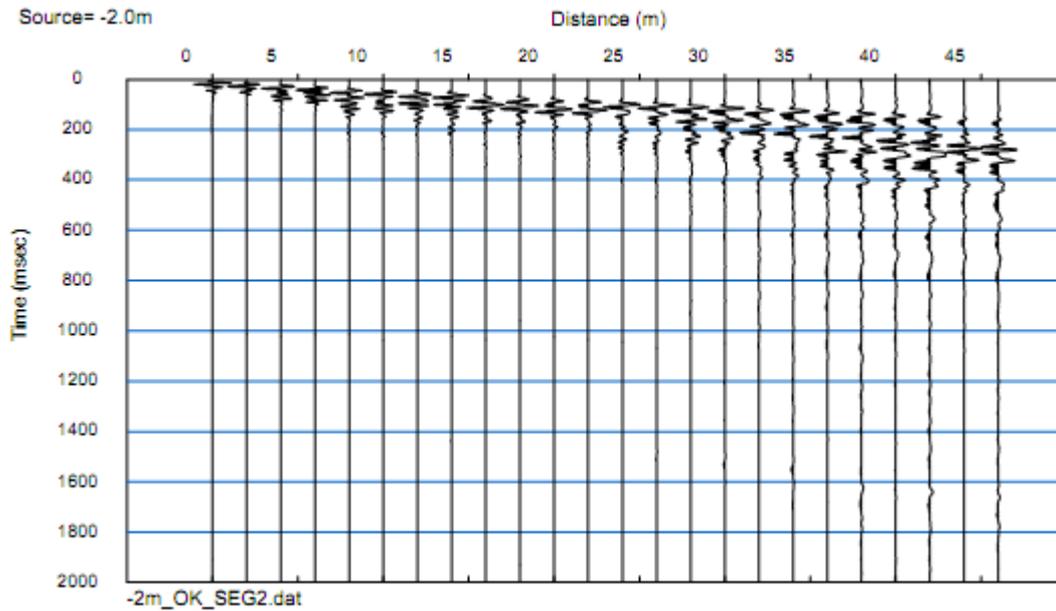
Geometria dello stendimento MASW_5

Numero Geofoni: 24

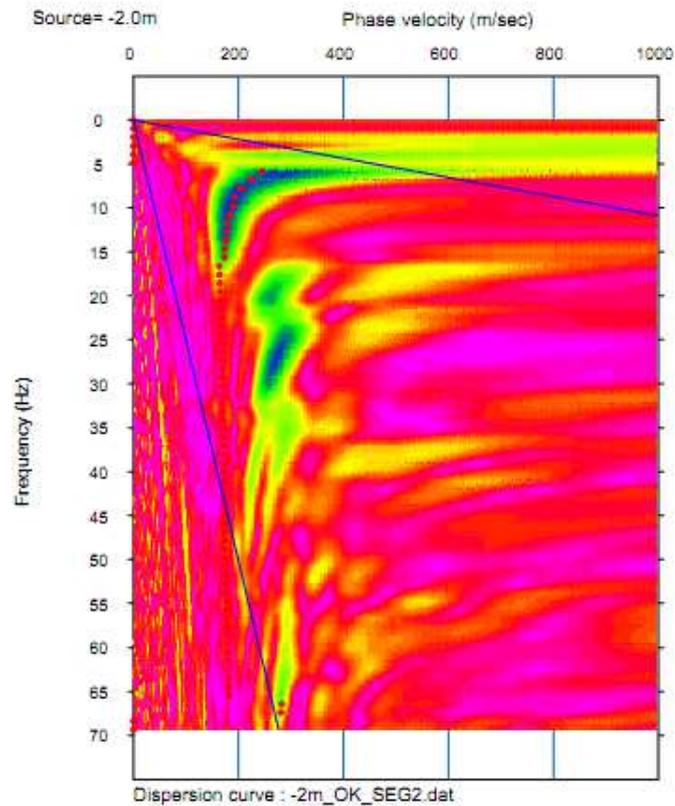
Intervallo (m): 2 m

Lunghezza Stendimento (m): 46 m

Sismogramma MASW 5



Curva Dispersione MASW 5



Geometria dello stendimento ESAC_5

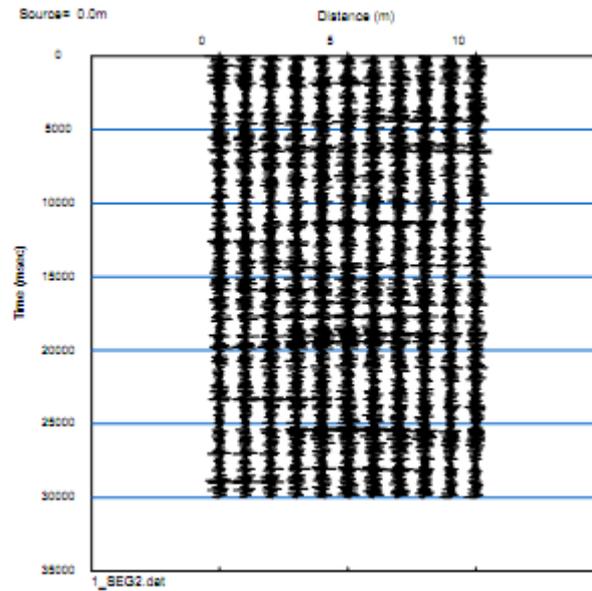
Geometria Stendimento: L

Numero Geofoni: 11

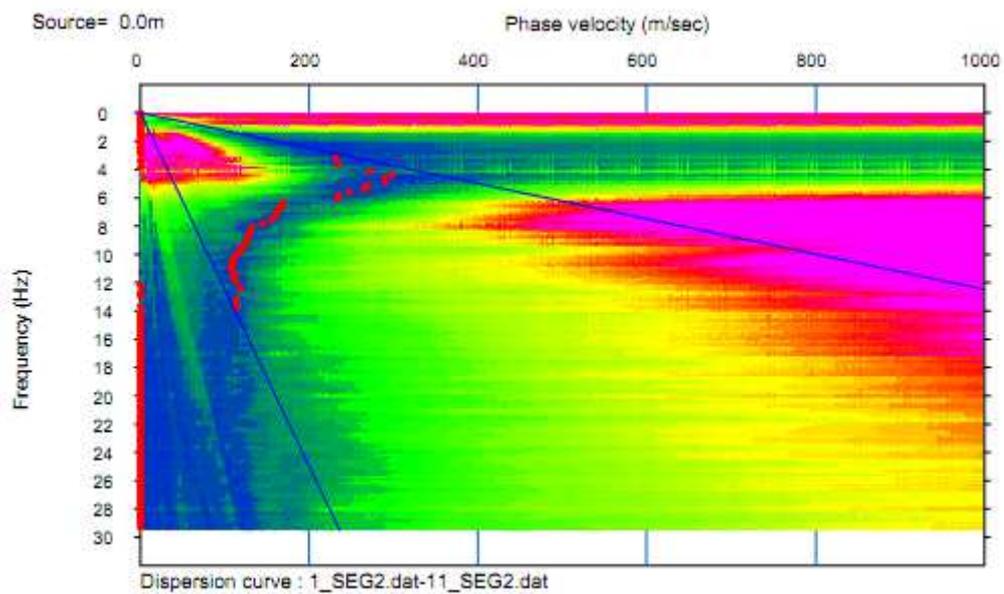
Intervallo (m): 2.5 m

Lunghezza Stendimento (m): 12.5 m

MAM 2D ESAC 5

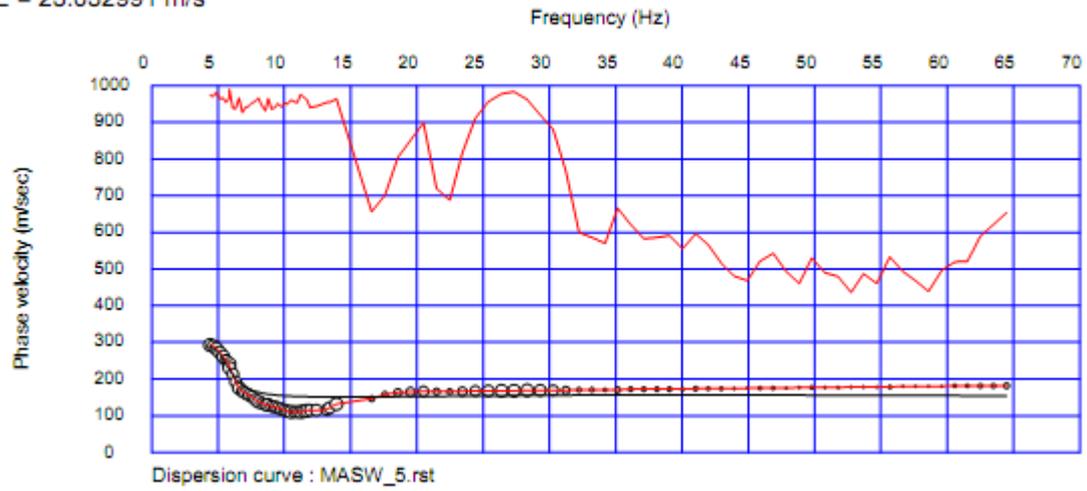


Curva Dispersione ESAC 5



Curva Teorica e Sperimentale MASW 5 + ESAC 5

RMSE = 23.032991 m/s



Profilo Vs MASW 5 + ESAC 5

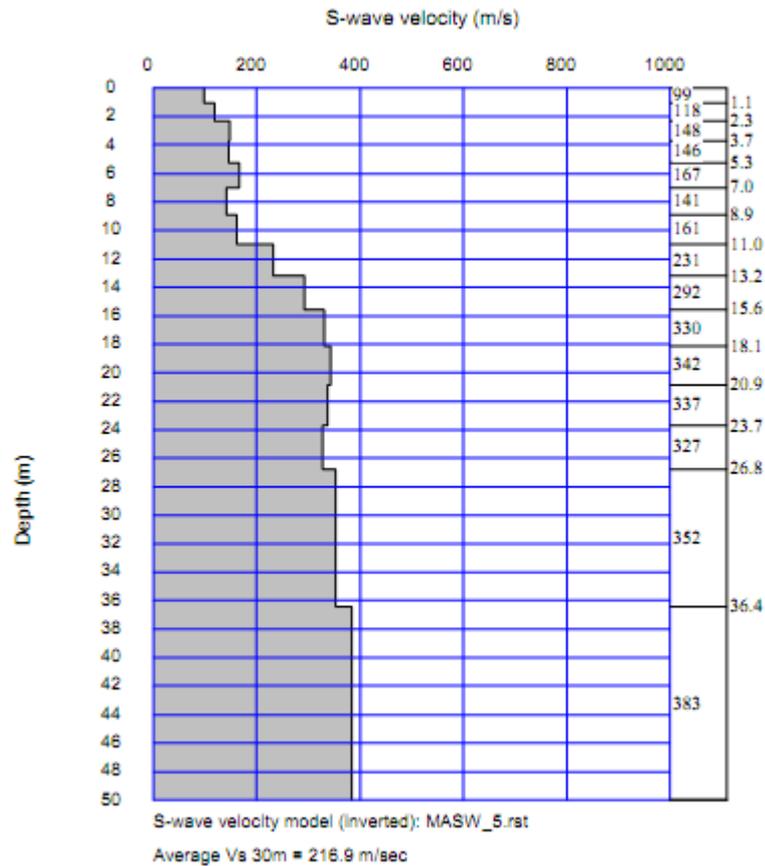
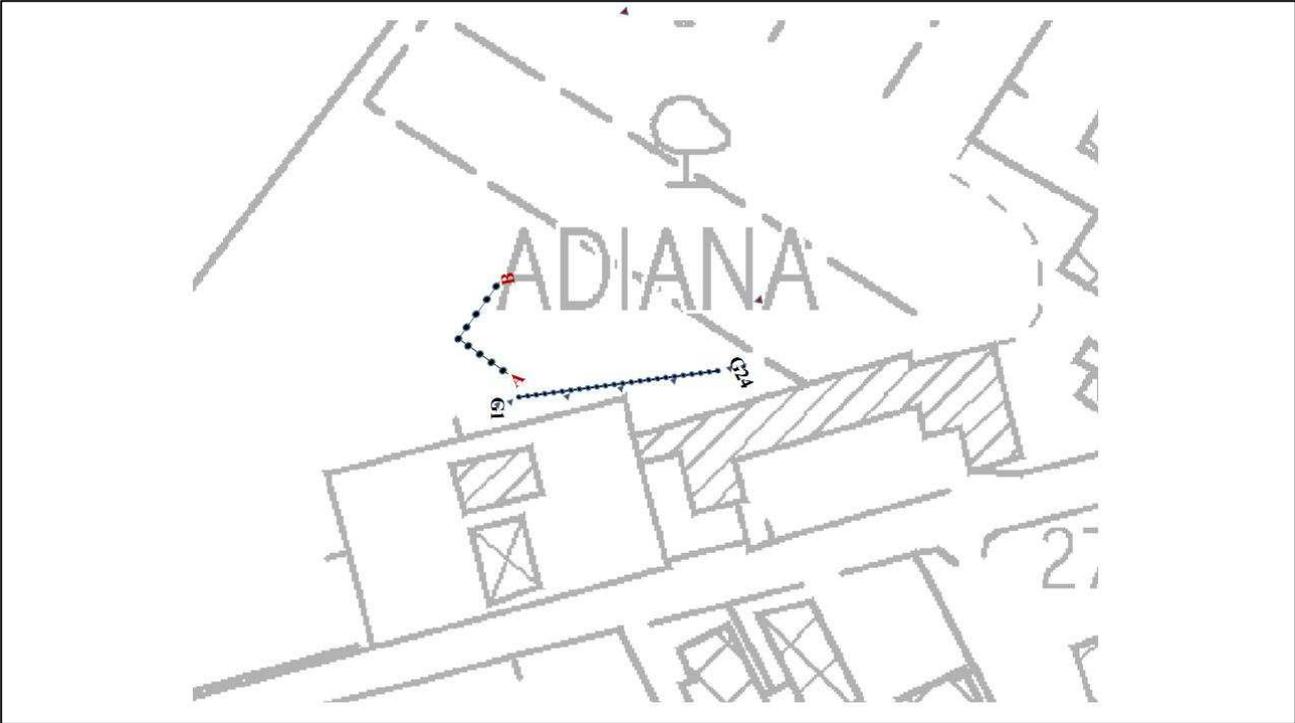




Foto – Indagine sismica MASW-ESAC_5

INDAGINE SISMICA MASW_6 + ESAC_6

Planimetria Scala 1:2000



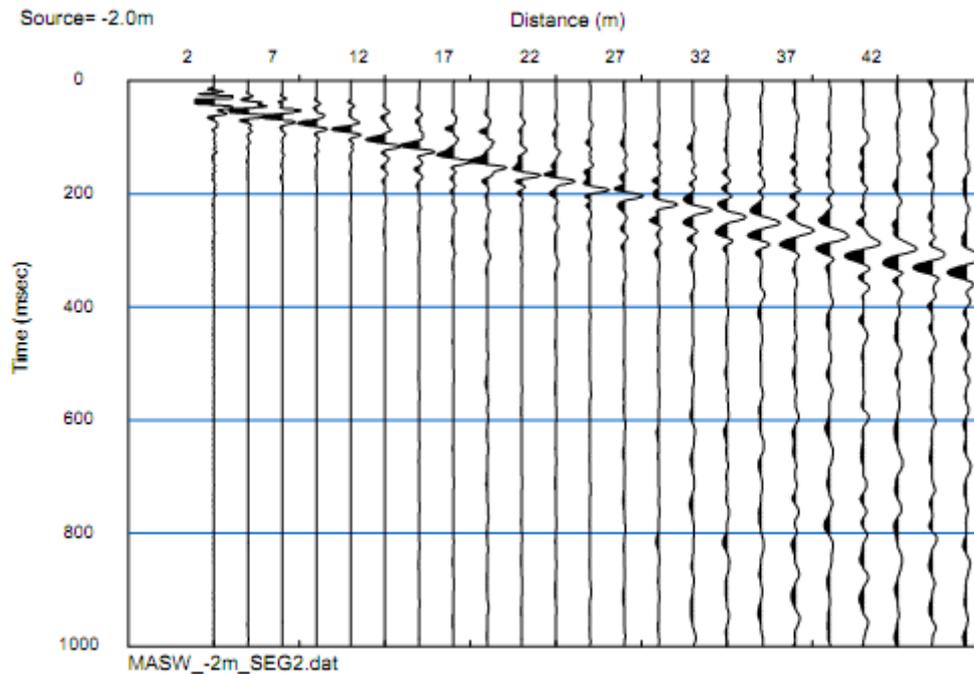
Geometria dello stendimento MASW_6

Numero Geofoni: 24

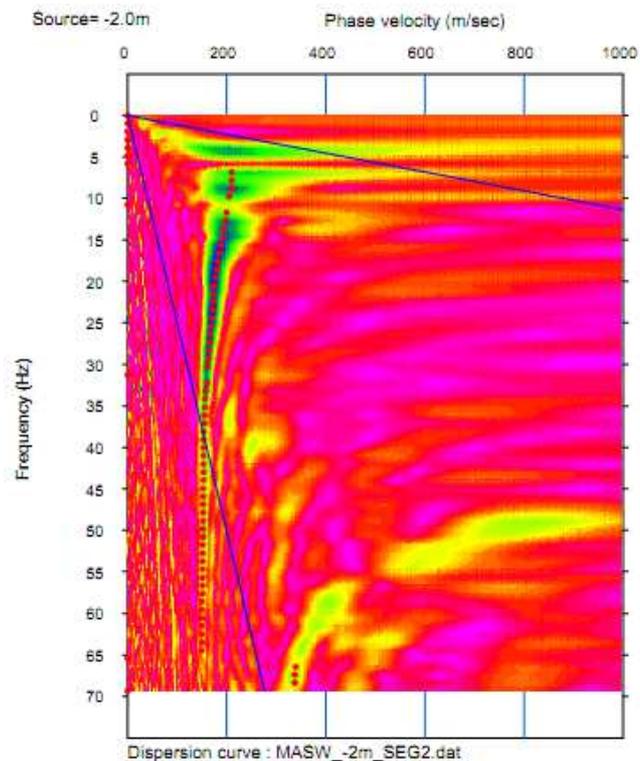
Intervallo (m): 2 m

Lunghezza Stendimento (m): 46 m

Sismogramma MASW 6



Curva Dispersione MASW 6



Geometria dello stendimento ESAC_6

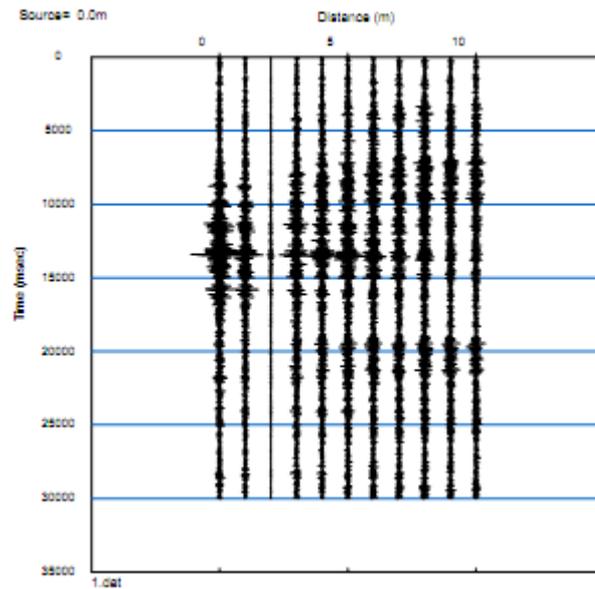
Geometria Stendimento: L

Numero Geofoni: 11

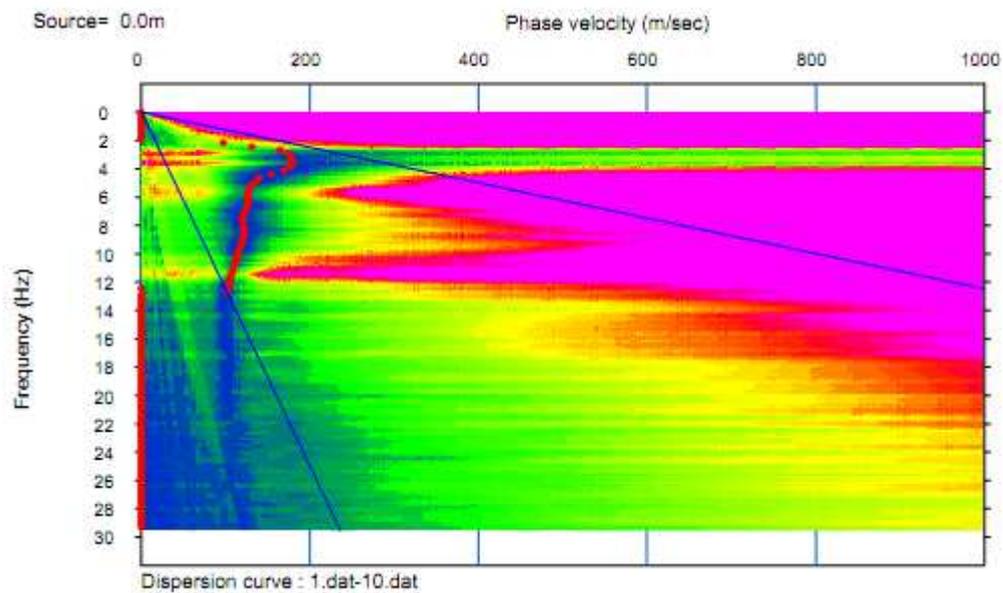
Intervallo (m): 2.5 m

Lunghezza Stendimento (m): 12.5 m

MAM 2D ESAC 6

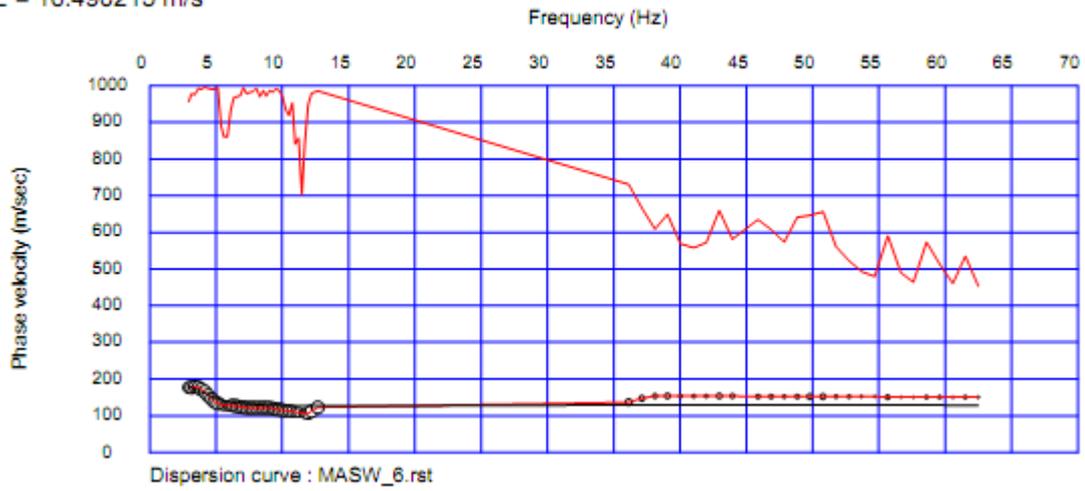


Curva Dispersione ESAC 6



Curva Teorica e Sperimentale MASW 6 + ESAC 6

RMSE = 16.490215 m/s



Profilo Vs MASW 6 + ESAC 6

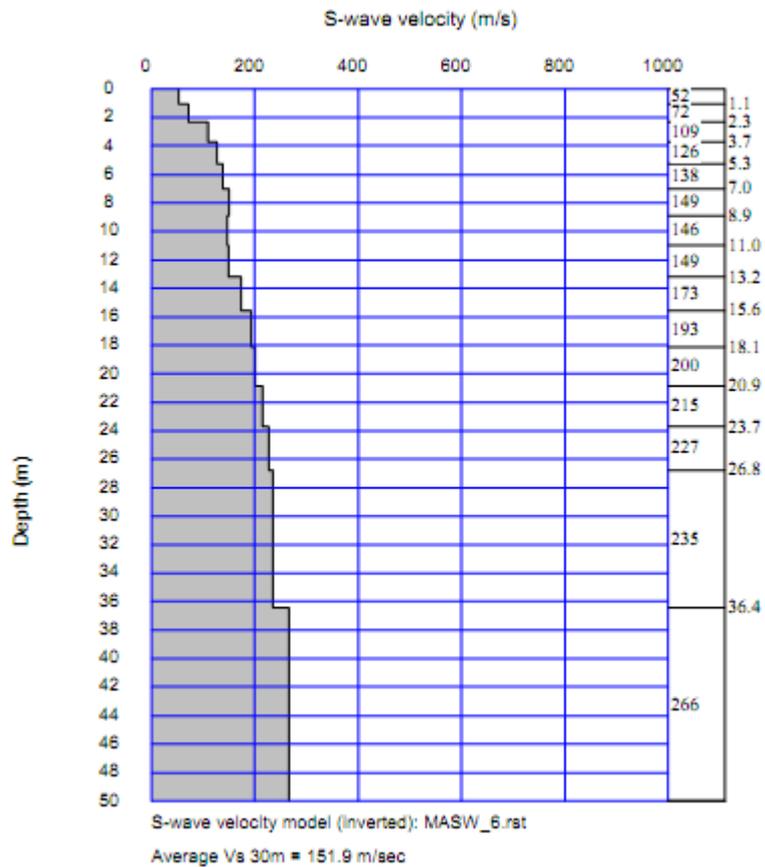
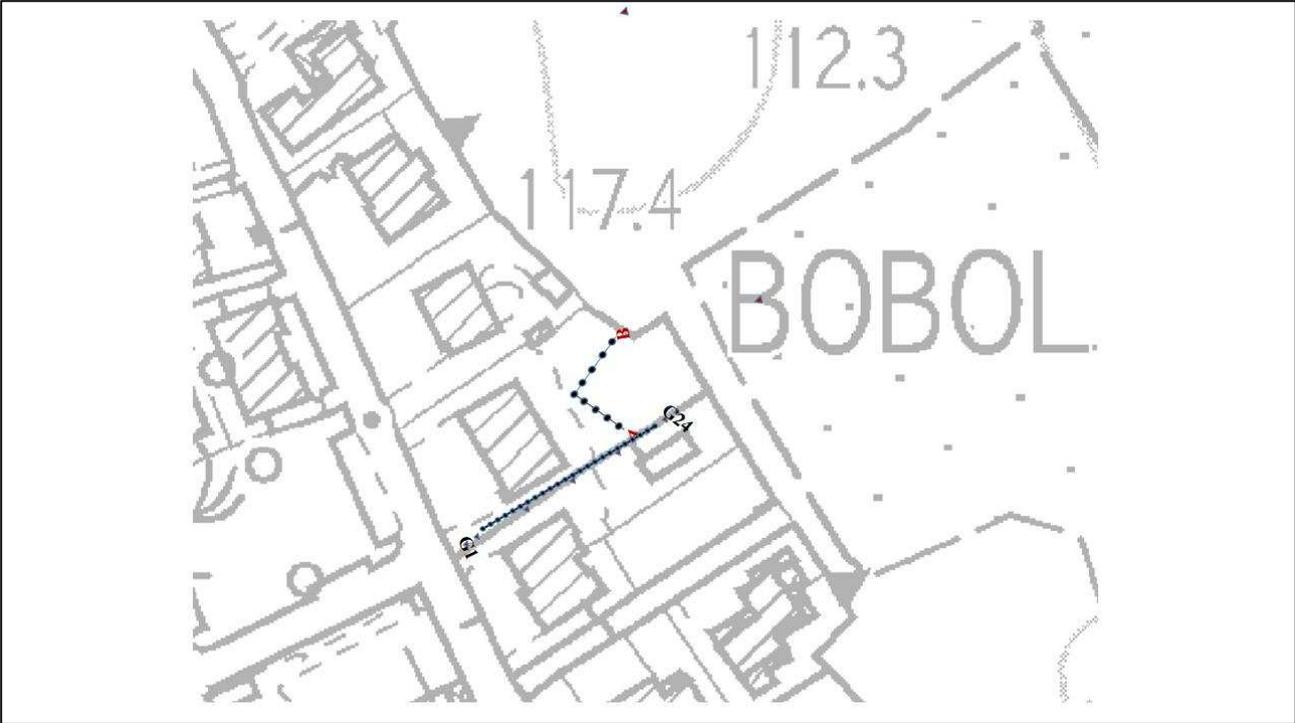




Foto – Indagine sismica MASW-ESAC_6

INDAGINE SISMICA MASW_7 + ESAC_7

Planimetria Scala 1:2000



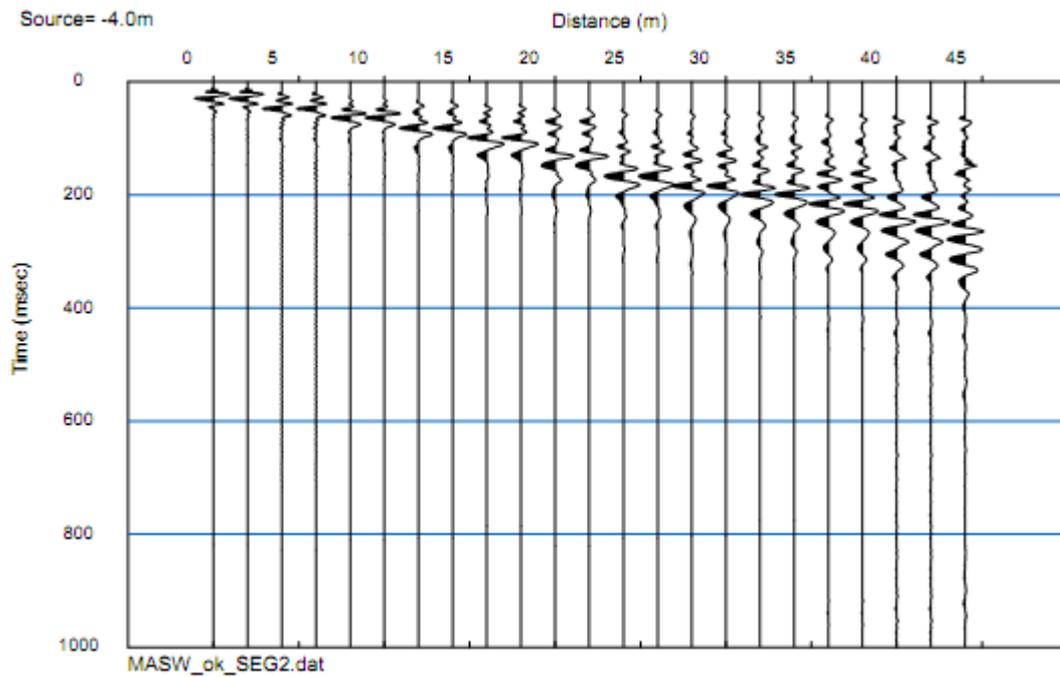
Geometria dello stendimento MASW_7

Numero Geofoni: 24

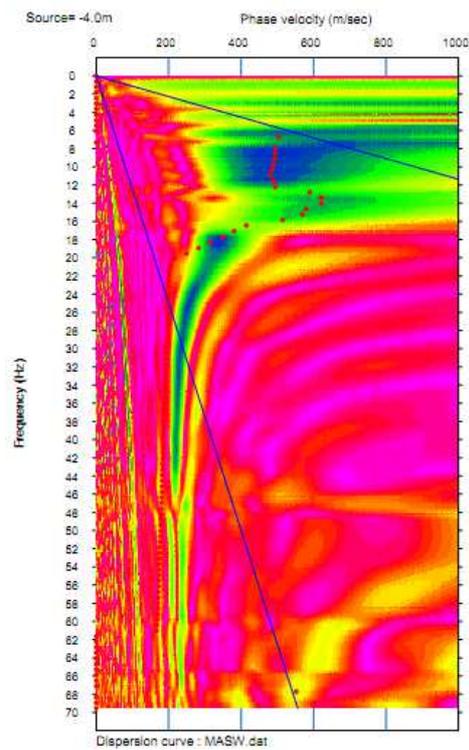
Intervallo (m): 2 m

Lunghezza Stendimento (m): 46 m

Sismogramma MASW 7



Curva Dispersione MASW 7



Geometria dello stendimento ESAC_7

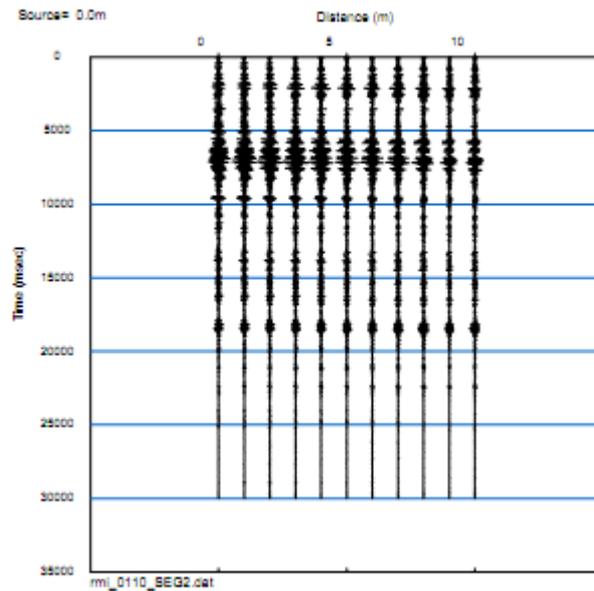
Geometria Stendimento: L

Numero Geofoni: 11

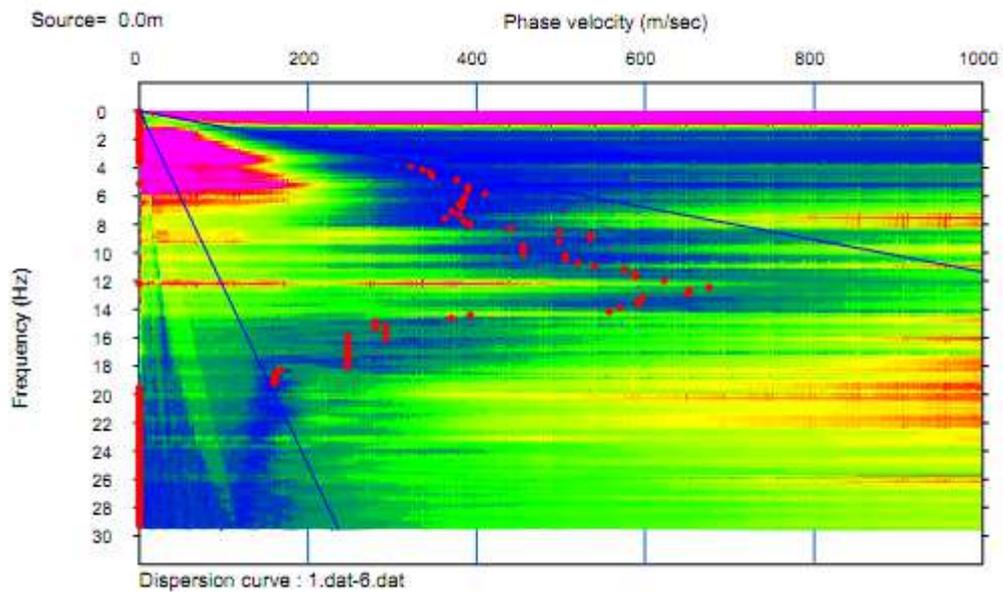
Intervallo (m): 2.5 m

Lunghezza Stendimento (m): 12.5 m

MAM 2D ESAC 7

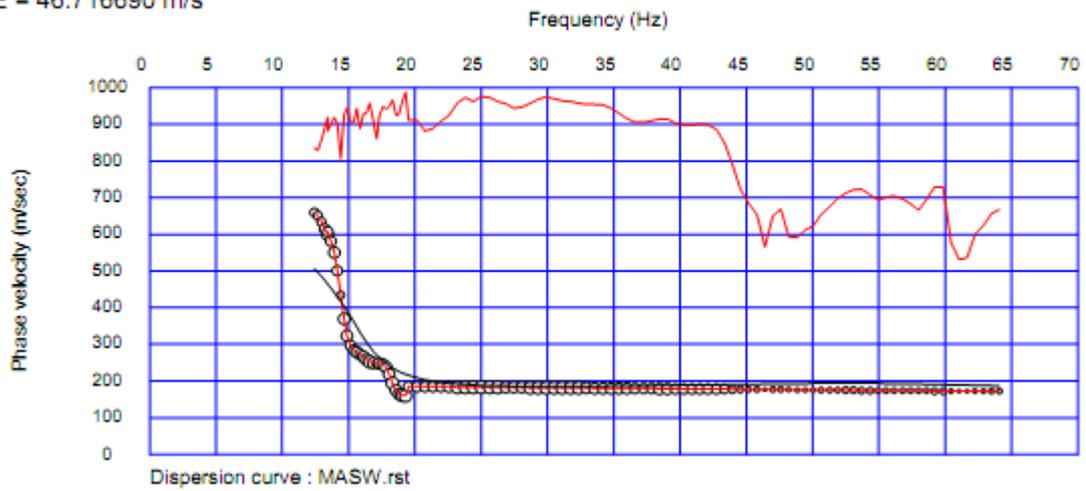


Curva Dispersion ESAC 7



Curva Teorica e Sperimentale MASW 7 + ESAC 7

RMSE = 46.716690 m/s



Profilo Vs MASW 7 + ESAC 7

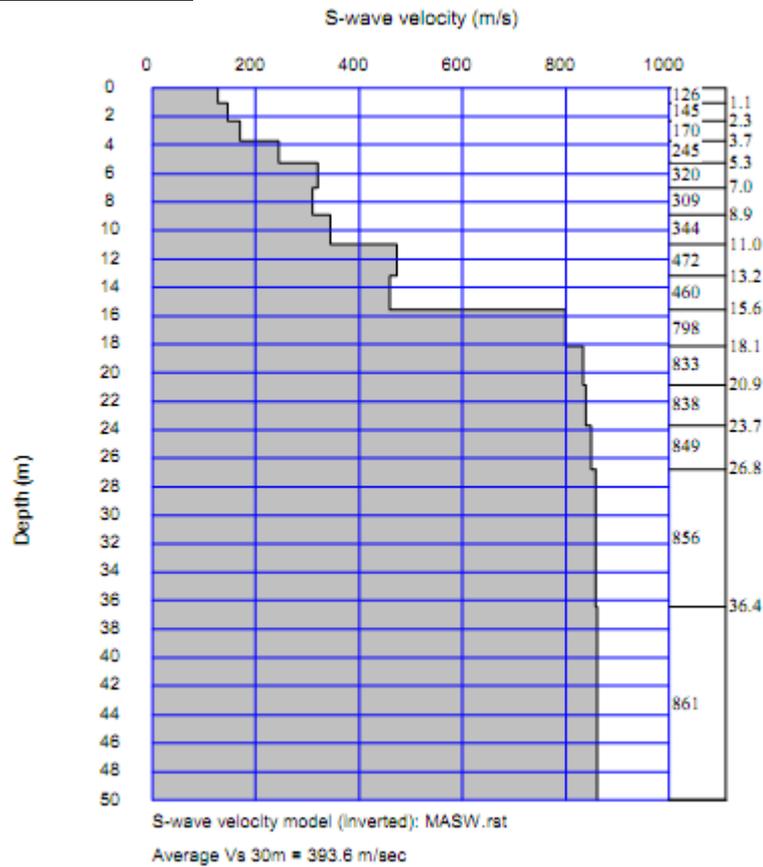
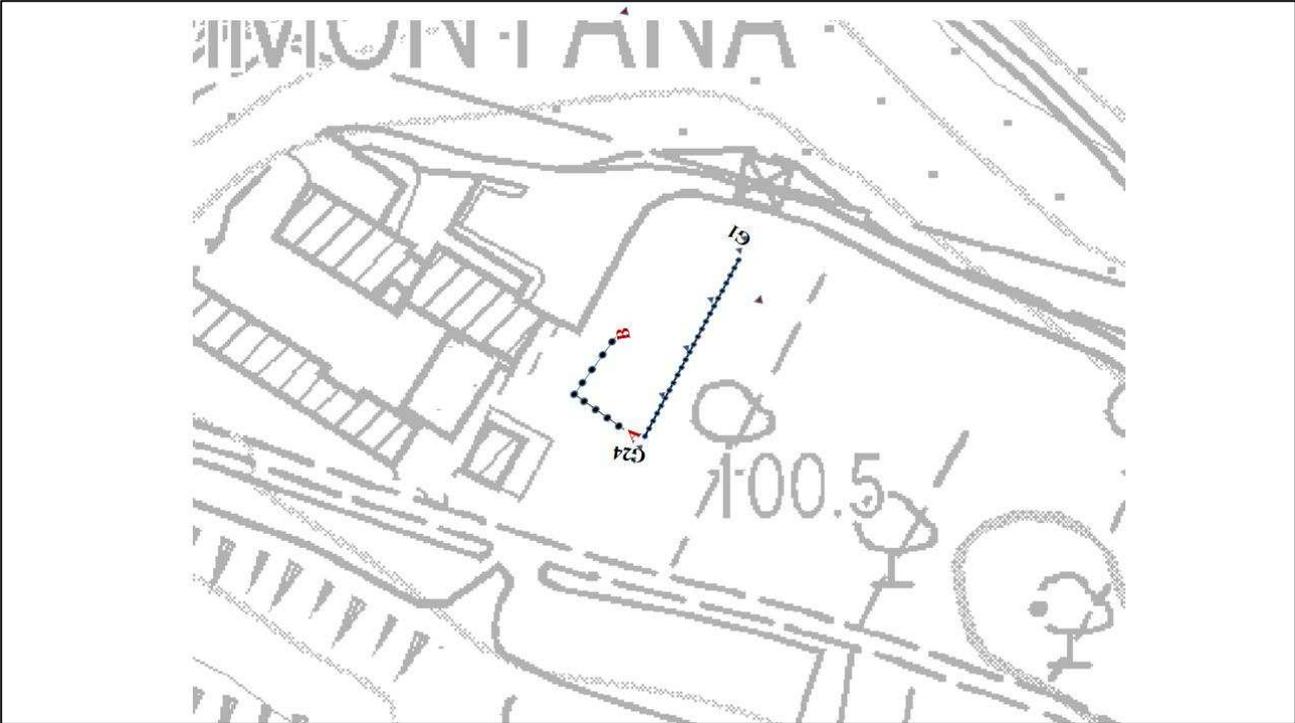




Foto – Indagine sismica MASW-ESAC_7

INDAGINE SISMICA MASW_8 + ESAC_8

Planimetria Scala 1:2000



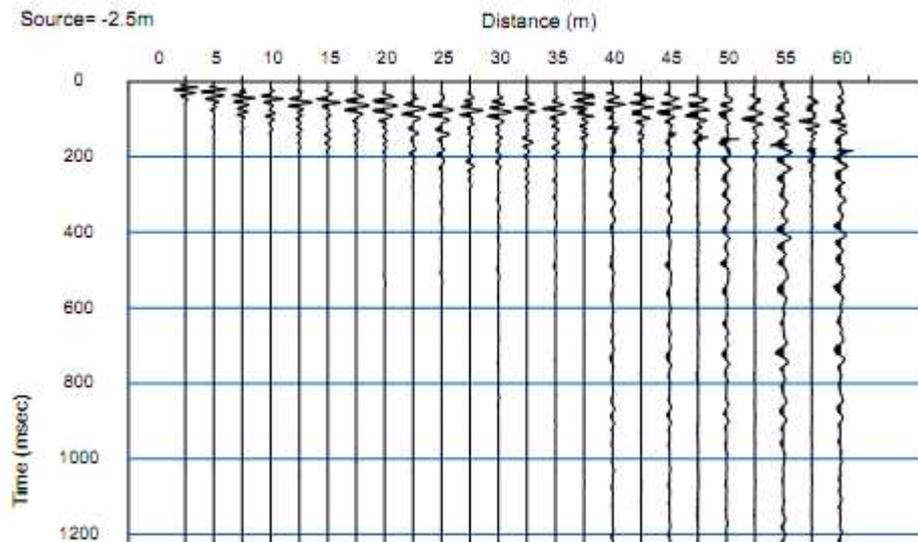
Geometria dello stendimento MASW_8

Numero Geofoni: 24

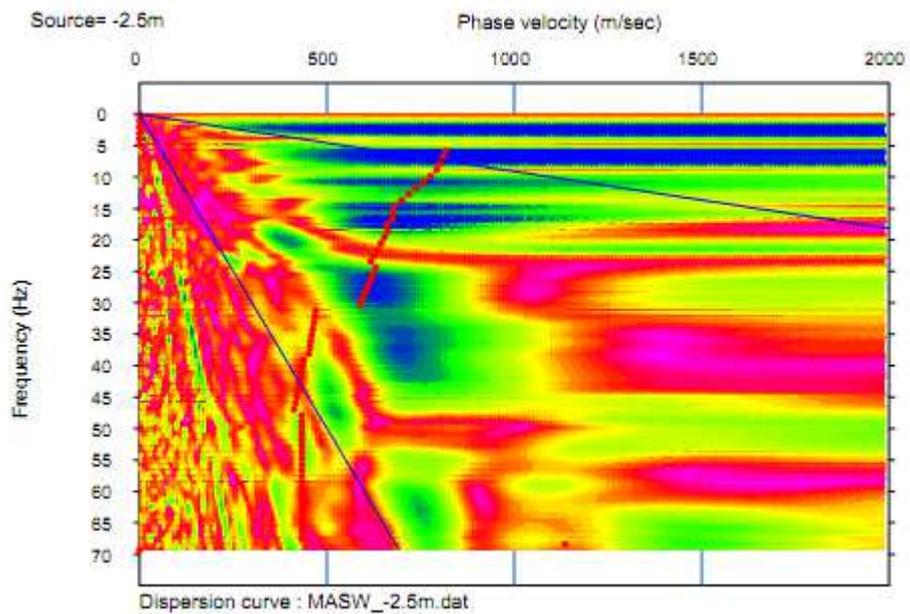
Intervallo (m): 2.5 m

Lunghezza Stendimento (m): 57.5 m

Sismogramma MASW 8



Curva Dispersione MASW 8



Geometria dello stendimento ESAC_8

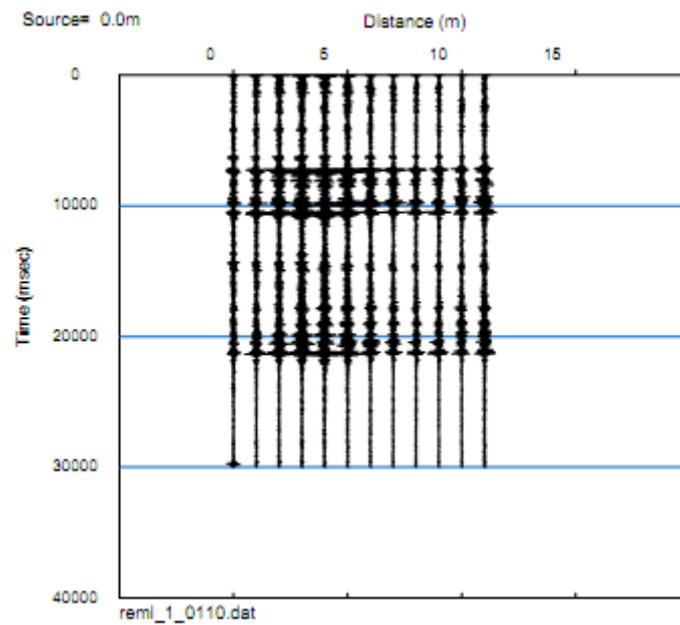
Geometria Stendimento: L

Numero Geofoni: 11

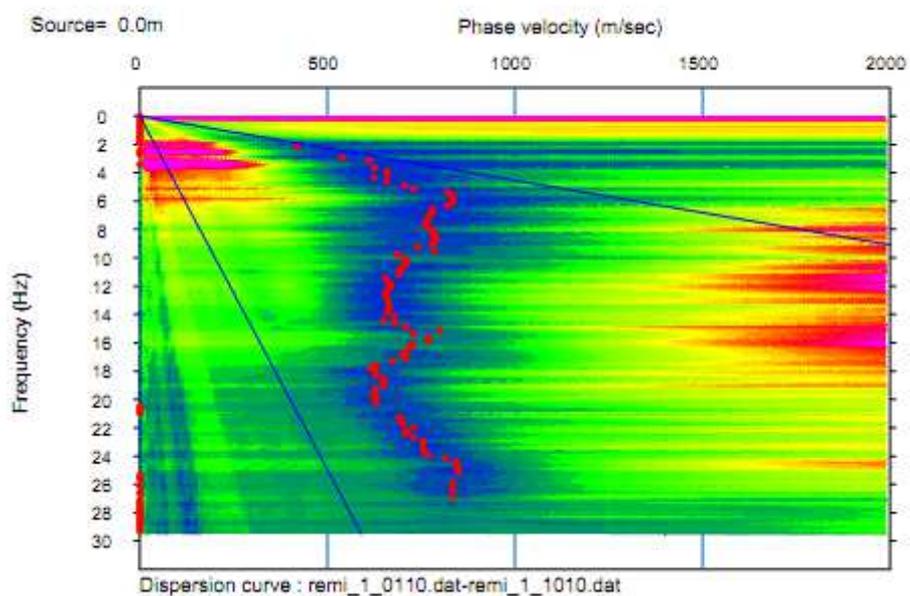
Intervallo (m): 2.5 m

Lunghezza Stendimento (m): 12.5 m

MAM 2D ESAC 8

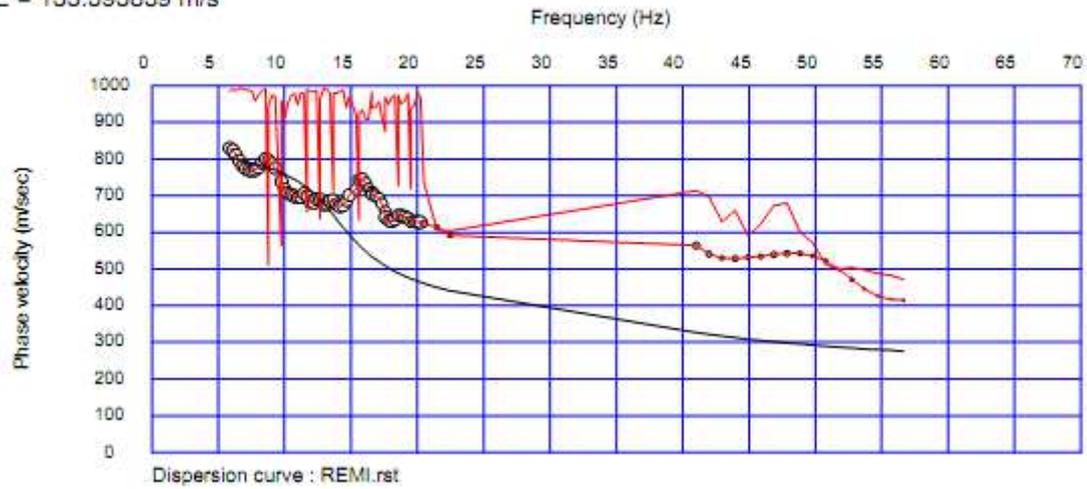


Curva Dispersione ESAC 8



Curva Teorica e Sperimentale MASW 8 + ESAC 8

RMSE = 133.393839 m/s



Profilo Vs MASW 8 + ESAC 8

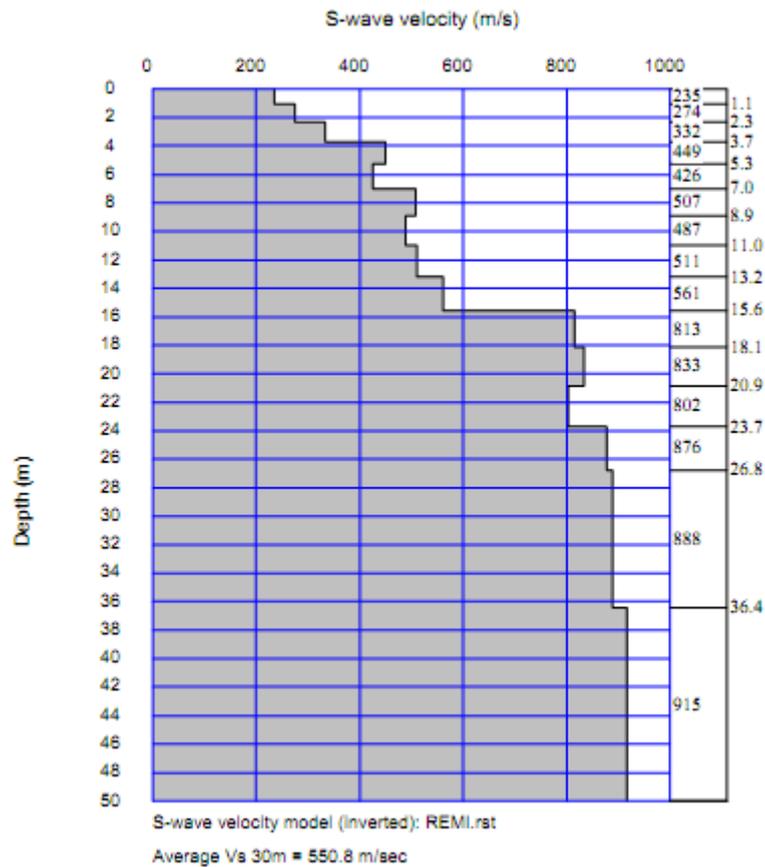




Foto – Indagine sismica MASW-ESAC_8

- **ALLEGATO GRAFICO: UBICAZIONE DELLE INDAGINI**

Legenda



Via Andrea Del Castagno, 8
50132 Firenze (FI)
Tel/Fax: 055571393

Esecutori indagini geofisiche e geognostiche:
Dott. Geol. Francesco Puccetti
Dott. Geol. Cristian Pieroni

-  ESAC
-  Misura di microtremore a stazione singola
-  MASW
-  Sismica a Rifrazione in onde P-Sh

0 0,35 0,7 1,4 Miles

