

ESTIMATION OF NEAR-SURFACE SEISMIC ATTENUATION THROUGH VSP SURVEYING



GNGTS - GRUPPO NAZIONALE DI GEOFISICA DELLA TERRA SOLIDA



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

AUTORI:

FRANCESCO SAVERIO DESIDERI

MICHELE CERCATO

OBIETTIVI DEL LAVORO

Implementazione metodi per la stima dell'attenuazione tramite indagini in foro

Ottimizzare il processo di elaborazione in condizioni near-surface

Evidenziare criticità e problematiche dovute al particolare campo d'onda

Confrontare i risultati sperimentali tra i metodi

ATTENUAZIONE SISMICA

Utilizzando la definizione data da Knopoff, possiamo definire il fattore Q come il rapporto tra l'energia accumulate E e l'energia dissipata ΔE , ad ogni ciclo di eccitazione armonica all'interno dello stesso volume.

$$Q(f) = \frac{2\pi E}{\Delta E}$$

I valori di Q cambiano per ogni tipo di roccia a causa di vari fattori quali:

**MICROFRATTURE,
PRESSIONE,
SATURAZIONE,
GRANULOMETRIA** etc.

Alcuni valori tipici riguardo il fattore di qualità longitudinale sono elencati da Knopoff:

SILICIO (silica)	1250
CALCARE (limestone)	110
PIOMBO (lead)	36
ARENARIA (sandstone)	21

GEOMETRICAL
SPREADING

ATTENUAZIONE
INTRINSECA

SCATTERING

METODI SPERIMENTALI

Sono molti i metodi utilizzati per la misura sperimentale dell'attenuazione, o, in maniera analoga, del suo inverso, ovvero il fattore di Qualità. Una review sulle varie metodologie è presente in *Tonn, 1991*.



DOMINIO DEL TEMPO

- Amplitude Decay Method;
- Analitical Signal;
- Wavelet Modelling;
- Phase Modelling;
- Frequency Modelling;
- **RISETIME METHOD;**
- Pulse Amplitude Method.



DOMINIO DELLA FREQUENZA

- Matching Technique;
- Spectral Modelling;
- **SPECTRAL-RATIO METHOD;**

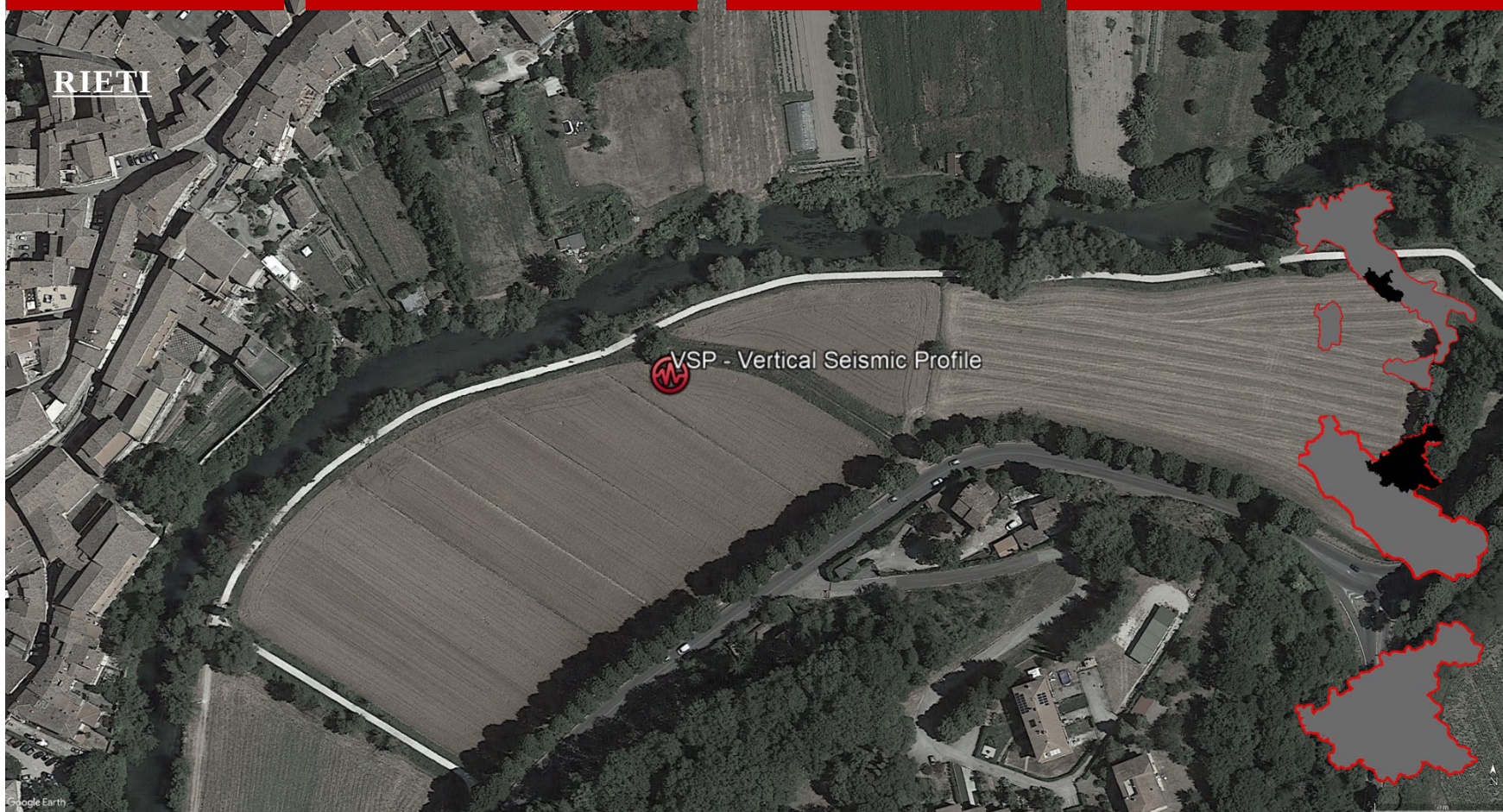
STRUMENTAZIONE PER NEAR-SURFACE VSP

**GEOFONI DA
FORO 4,5 HZ**

**CAVO SISMICO A
CONNESSIONE MULTIPLA**

**SISMOGRAFO A 12
CANALI E TRIGGER**

**SORGENTE CON MAZZA
BATTENTE DA 8 KG**



GNGTS - GRUPPO NAZIONALE DI GEOFISICA DELLA TERRA SOLIDA

RELIABLE ATTENUATION ESTIMATES

Li et al. *Tomographic inversion of near-surface Q factor by combining surface and cross-hole seismic surveys*

testing geometry should satisfy four conditions to obtain reliable near-surface Q estimates.



01

NOISE



02

SOURCE SIGNATURE



03

RECEIVER COUPLING

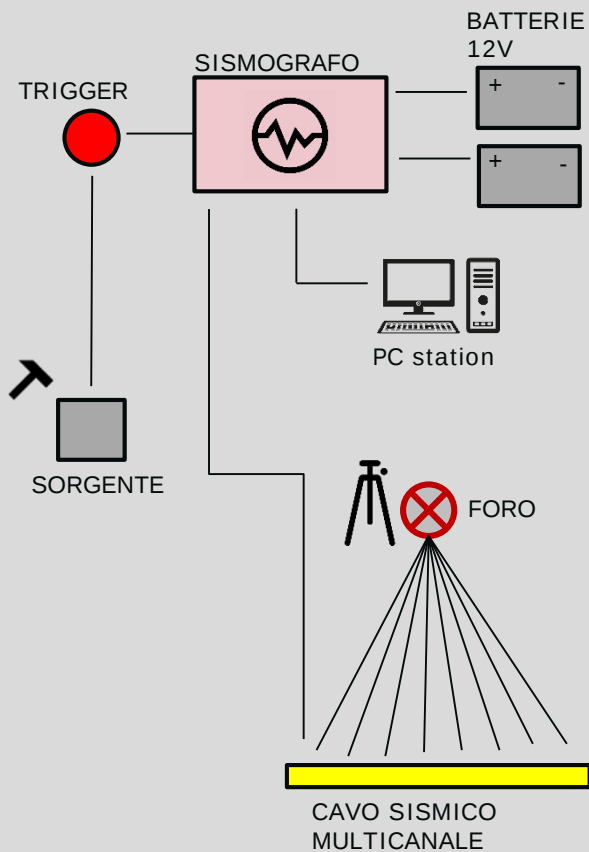


04

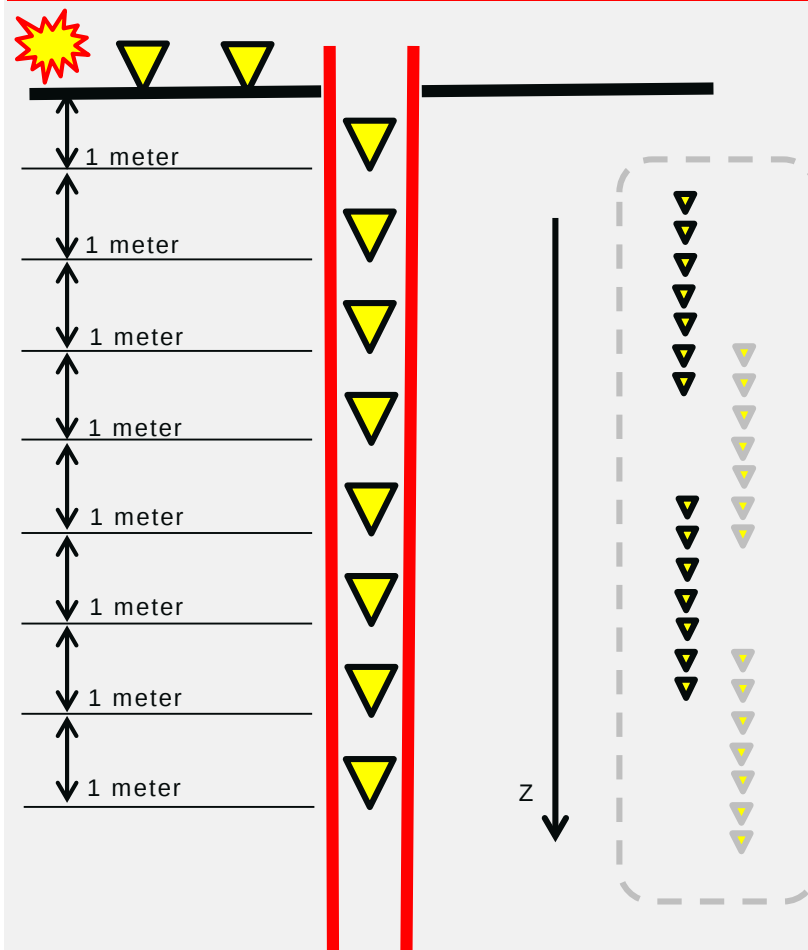
PROJECT COSTS

GEOMETRIA DELL'ACQUISIZIONE

SCHEMA INDAGINE



GEOMETRIA INDAGINE



STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

- ❑ **GEOFONI** VERTICALI a canale singolo, 2 in superficie ed 8 collegati ad 1 metro di interdistanza;
- ❑ **CAVO SISMICO MULTICANALE** ,lunghezza totale: 48 metri, 24 take-off;
- ❑ **SISMOGRAFO** Geode Geometrics;
- ❑ **SORGENTE IN ALLUMINIO**, radius 30 cm, con mazza battente da 6,5 kg;
- ❑ **BATTERIE 12V**;
- ❑ **TREMPIEDE** per il posizionamento dei cavi all'interno del foro;
- ❑ **TRIGGER**

DETTAGLI FORO DI INDAGINE

- ❑ **Lat:** 42° ,402415
- ❑ **Long:** 12° ,866859
- ❑ **Material:** PVC pipe with a 3" diameter and 0.5 cm thickness;
- ❑ **Cementation:** consisting of water, cement and bentonite

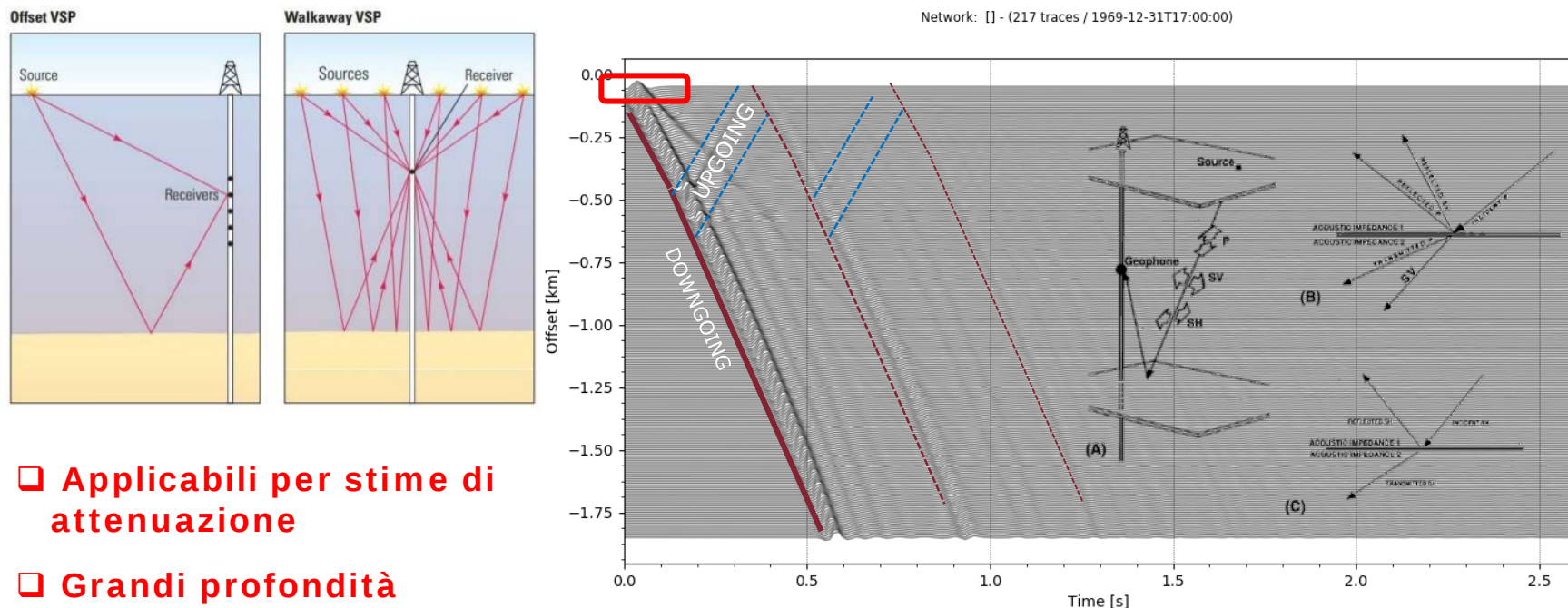


PARAMETRI DI ACQUISIZIONE

Frequenza di campionamento (Hz)	Numero di campioni (n)	Intervallo di campionamento	Lunghezza della registrazione
32000	16384	0.03125 ms	512 ms

VSP (VERTICAL SEISMIC PROFILING)

Nelle misure sismiche in pozzo, denominate VSP, un segnale emesso in superficie viene registrato da un geofono posto di volta in volta a differenti profondità di pozzo.



❑ Applicabili per stime di attenuazione

❑ Grandi profondità

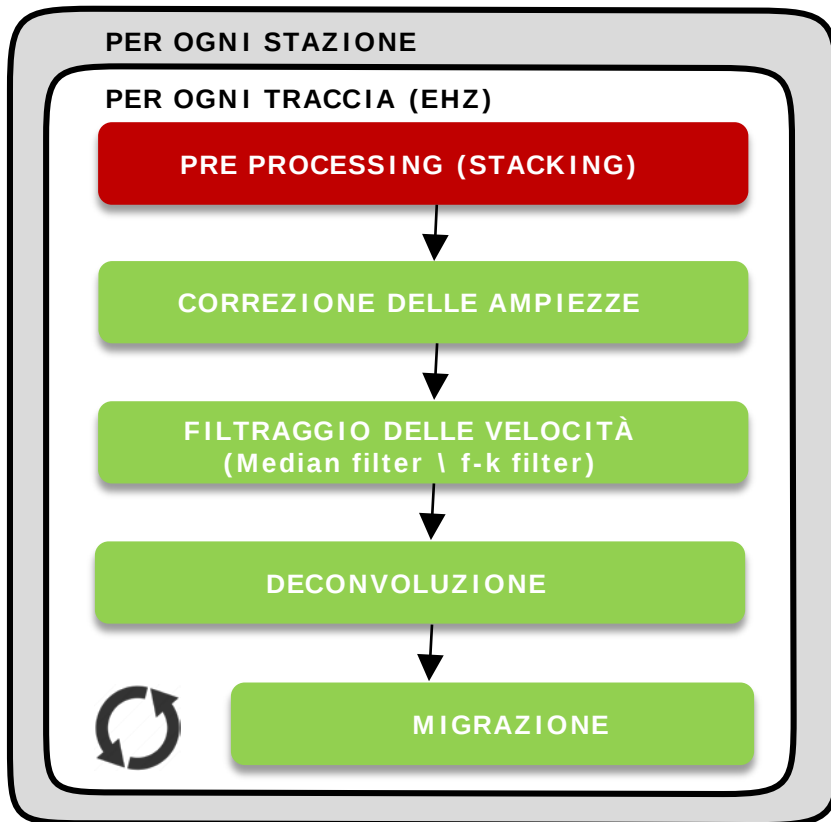
CONFIGURAZIONI

Le tecniche di prospezione sismica in pozzo possono essere considerate come rilievi su piccola scala. I geofoni sono calati nel pozzo per registrare sia le onde ascendenti, sia le onde discendenti (e riflessioni multiple). Esistono tre tipi fondamentali di rilievi VSP: *zero-offset VSP*, *offset VSP*, *walkaway VSP*

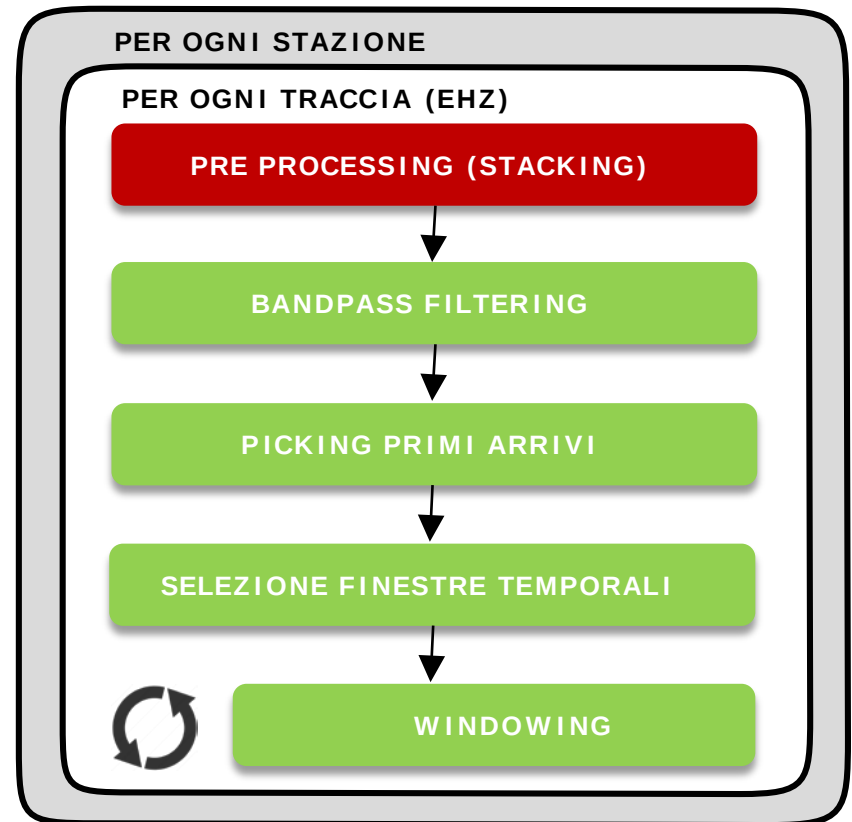
VSP PROCESSING

L'elaborazione dei dati VSP ha lo scopo di estrarre il segnale generato dalle superfici riflettenti e di descriverne l'andamento geometrico in una sezione verticale bidimensionale. L'immagine contiene il profilo del pozzo e indica l'estensione laterale delle caratteristiche fisiche individuate.

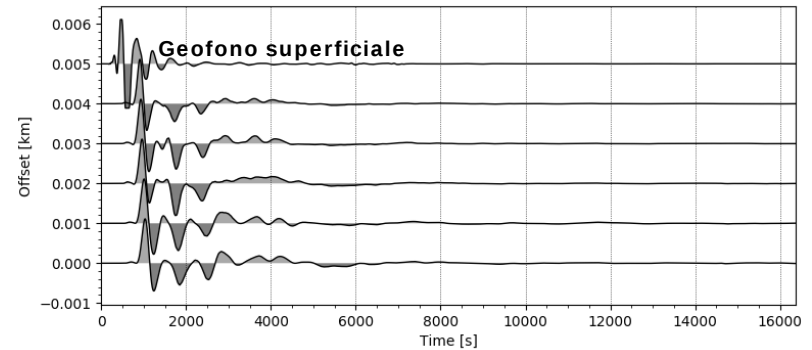
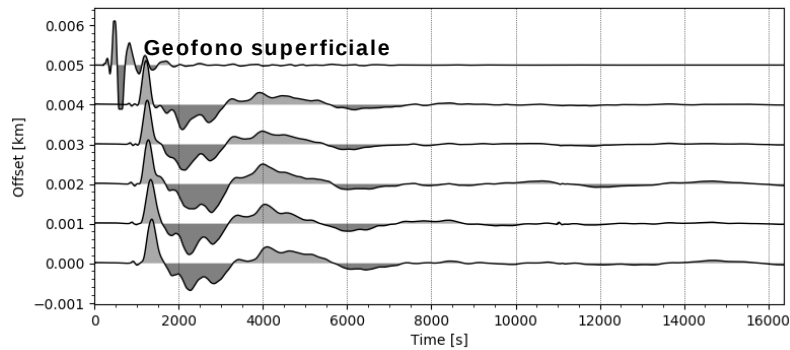
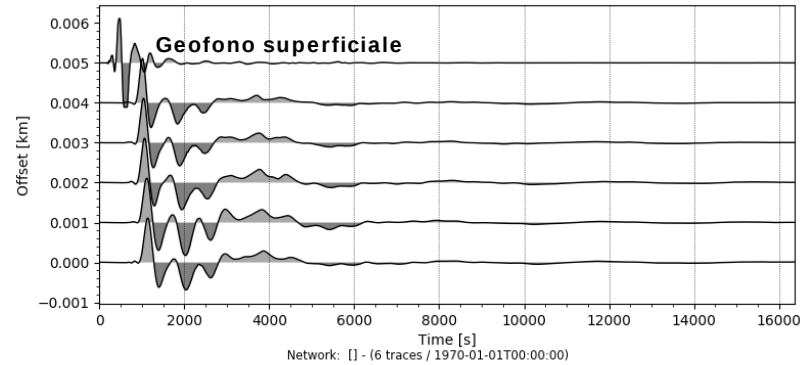
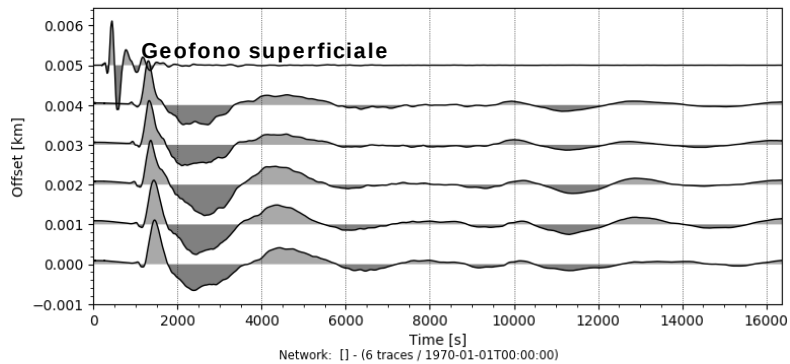
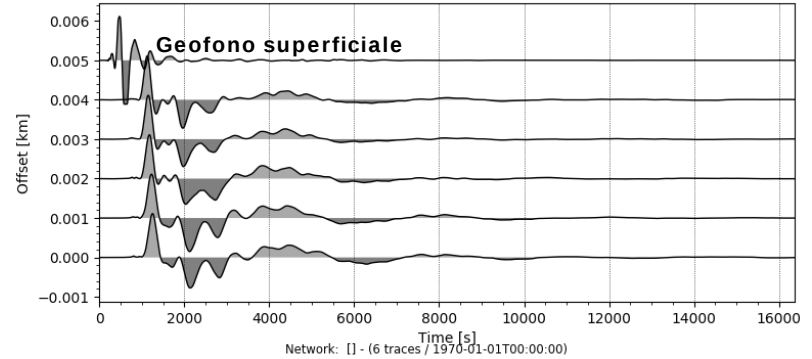
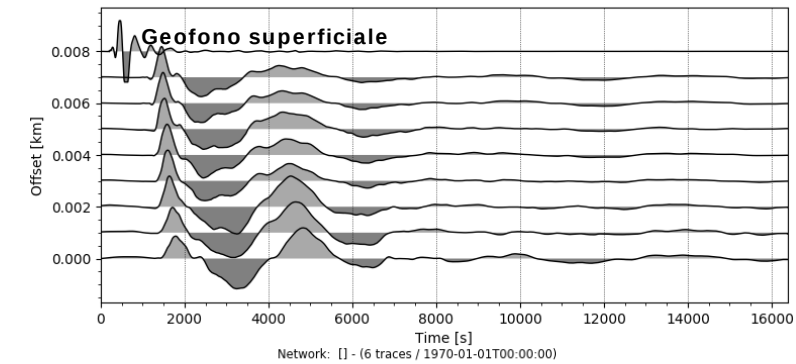
PROCESSING 1



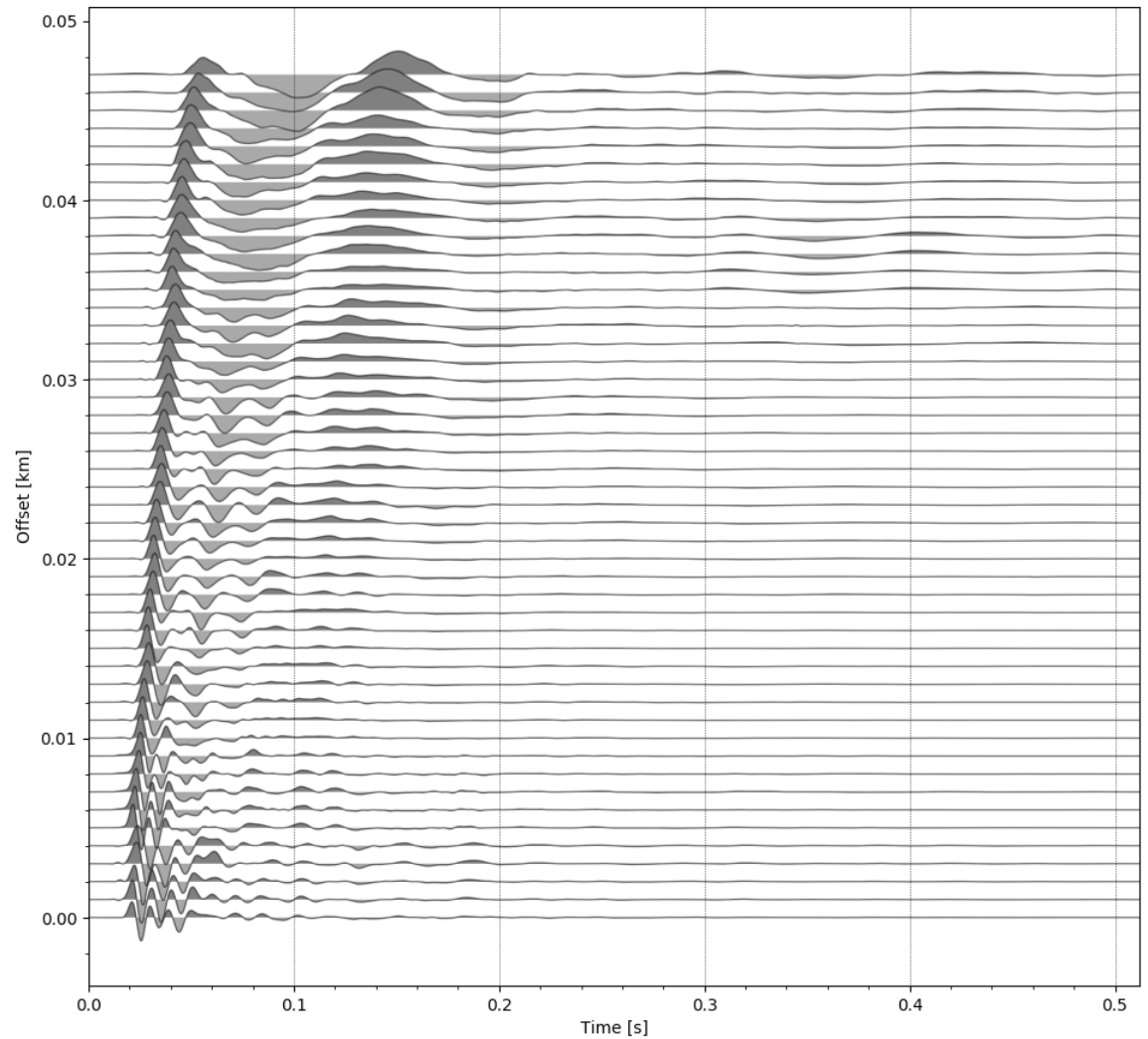
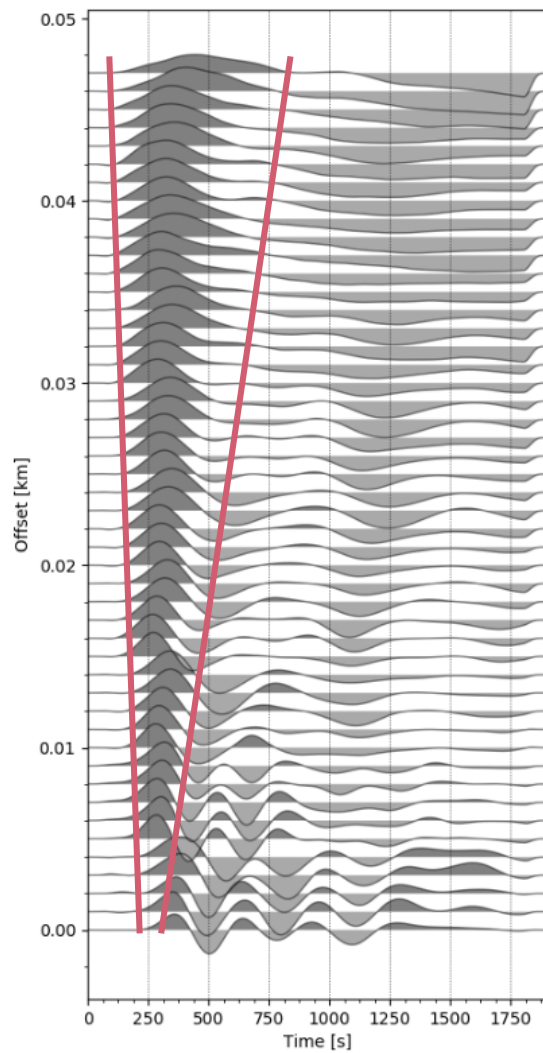
PROCESSING 2



SEISMIC GATHERS



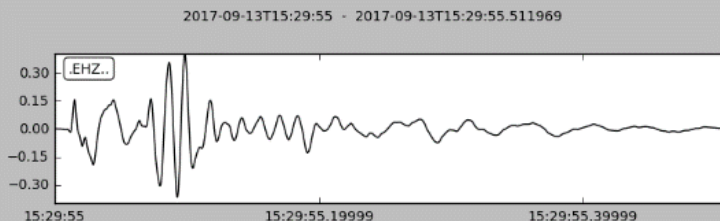
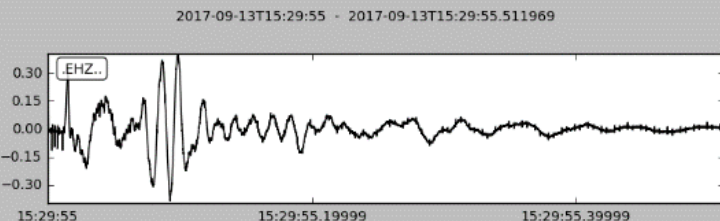
FULL PROCESSING SEISMIC GATHER



VSP PROCESSING

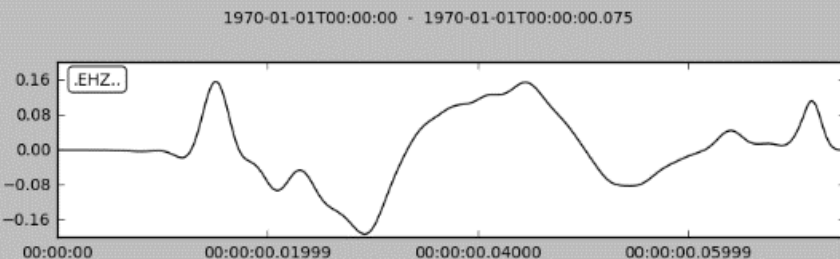
BANDPASS FILTERING

L'inserimento di un filtro passa-banda ha lo scopo di eliminare tutti i disturbi indesiderati facendo passare solamente la banda di frequenza sismica.



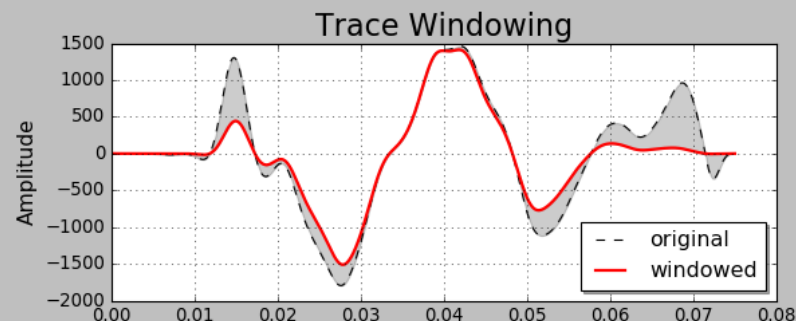
PICKING E SELEZIONE FINESTRE TEMPORALI

Viene effettuato il picking dei primi arrivi e selezionata una finestra di segnale pari a circa 10 ms nell'intorno del primo arrivo (first arrival time)



WINDOWING

Per il miglioramento dello spettro viene applicata una funzione finestra di tipo Blackman-Harris



SPECTRAL RATIO METHOD

STATION RATIO

L'ampiezza di un'onda sismica può essere indicata come il prodotto di più funzioni:

$$A(\omega) = S(\omega) \cdot I(\omega) \cdot G(\omega) \cdot C(\omega) \cdot M(\omega)$$

dove

$S_1(\omega)$ **Funzione sorgente**

$I(\omega)$ **Risposta strumentale**

$G(\omega)$ **Dispersione geometrica**

$C(\omega)$ **Effetti crostali**

$M(\omega)$ **Effetti di propagazione nel mantello**

$$M(\omega) = e^{-ft^*} = e^{-\pi f \int \frac{ds}{QV}}$$

Ipotizzando di avere la stessa funzione sorgente e la stessa risposta strumentale:

$$S_1(\omega) = S_2(\omega) \quad I_1(\omega) = I_2(\omega)$$

$$\ln \left| \frac{A_1(\omega)}{A_2(\omega)} \right| = \ln \frac{G_1}{G_2} \left| \frac{C_1(\omega)}{C_2(\omega)} \right| - \omega\pi \left[\int \frac{ds_1}{QV} - \int \frac{ds_2}{QV} \right]$$

Facendo il logaritmo del rapporto tra le ampiezze spettrali diventa una equazione di una retta del tipo

$$Y = -mx + q$$

Dove:

$$\ln \left| \frac{A_1(\omega)}{A_2(\omega)} \right| \longrightarrow \text{RAPPORTO SPETTRALE RIDOTTO}$$

$$\int \frac{ds_1}{QV} - \int \frac{ds_2}{QV} = t_1^* - t_2^* \longrightarrow \text{ATTENUAZIONE DIFFERENZIALE}$$

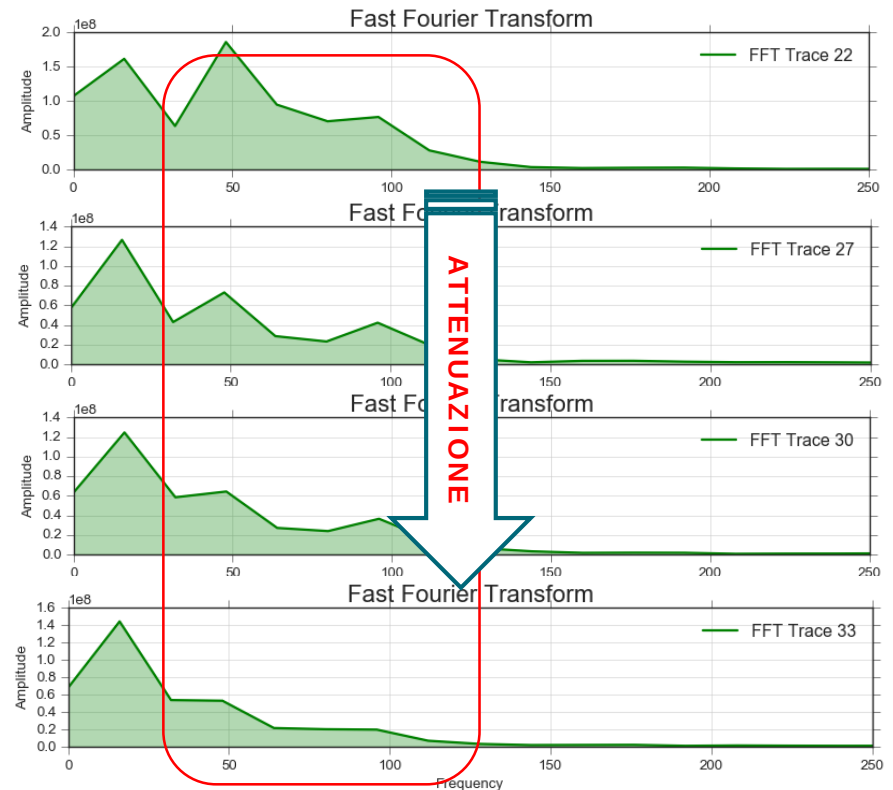
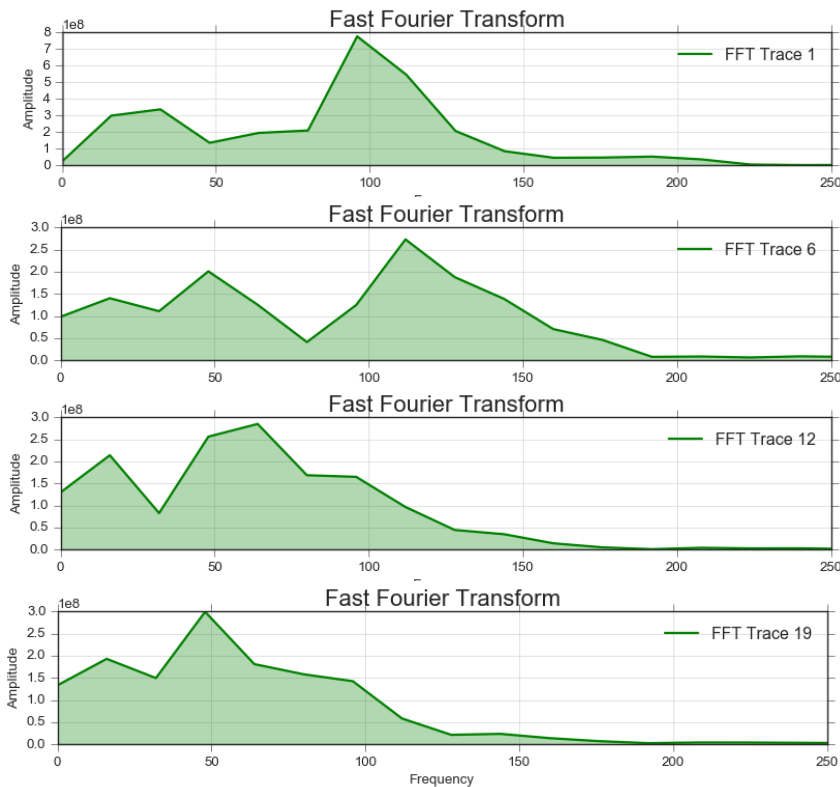
Per estrarre il valore di Q dall'attenuazione differenziale esistono tre metodi:

- CALCOLO DIRETTO DELL'INTEGRALE A DESTRA;
- INVERSIONE DELLA MATRICE DEI TEMPI DI PROPAGAZIONE;
- METODO DI RILASSAMENTO SUCCESSIVE (TRIAL AND ERROR).

SPECTRAL RATIO METHOD

01 FAST FOURIER TRANSFORM

$$X[k\Delta f] = \sum_{n=0} x[n\Delta t] e^{-j2\pi kn/N}$$

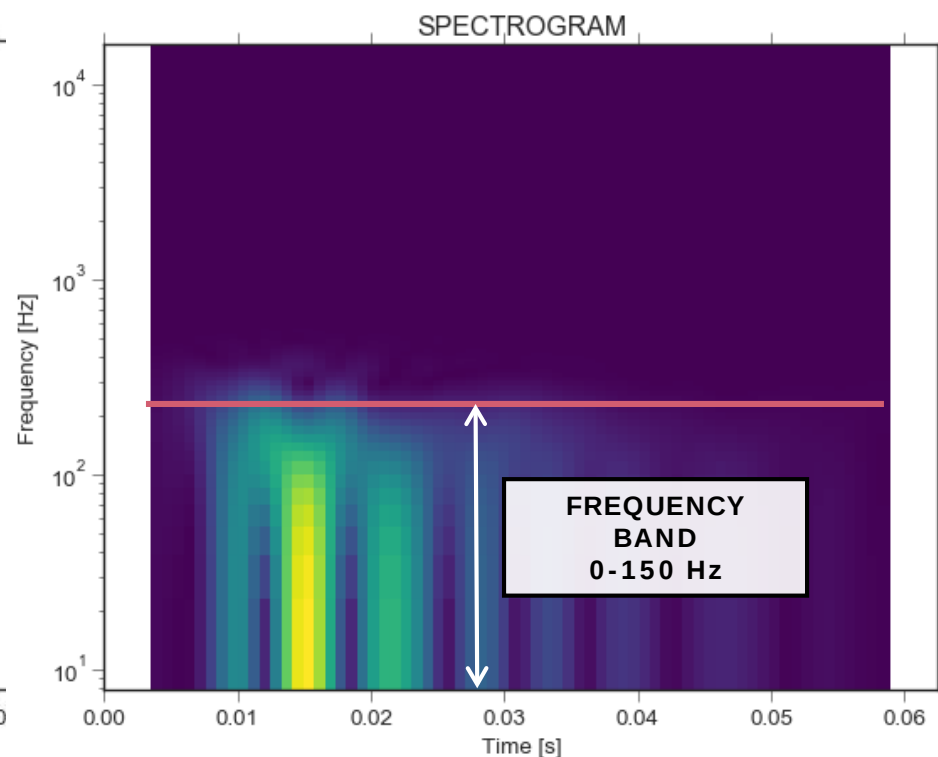
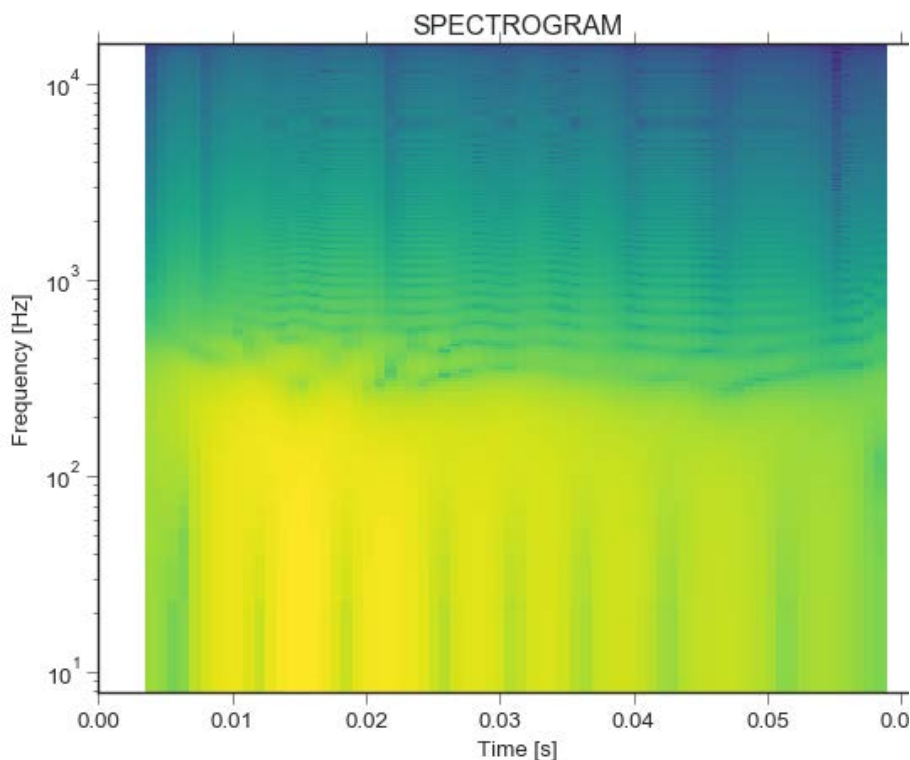


SPECTRAL RATIO METHOD

02 BANDA DI FREQUENZA

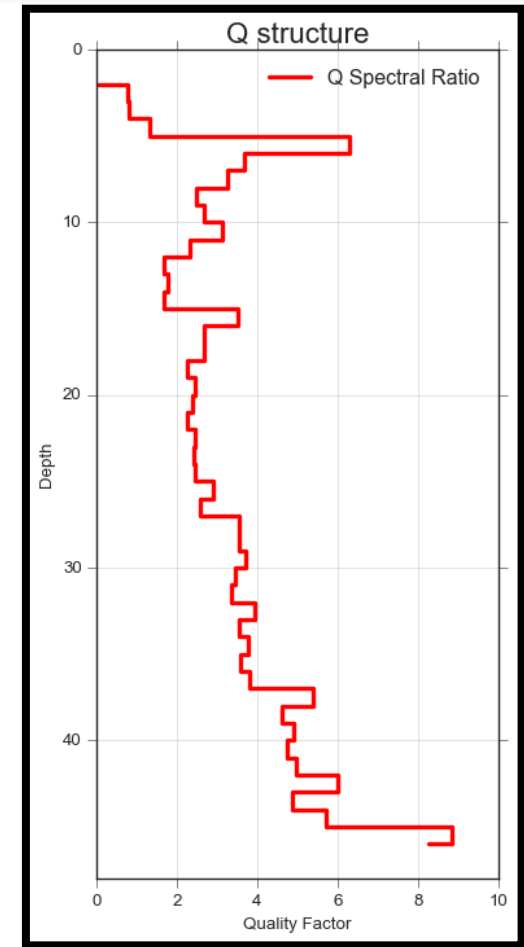
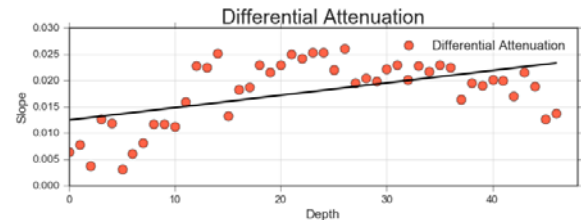
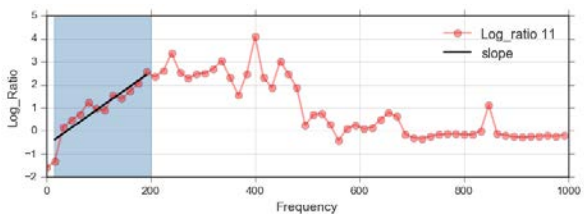
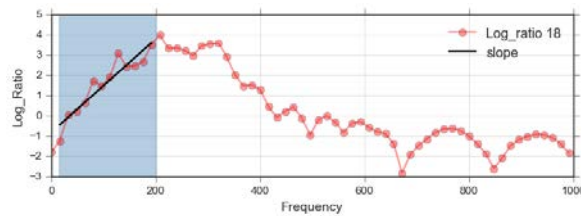
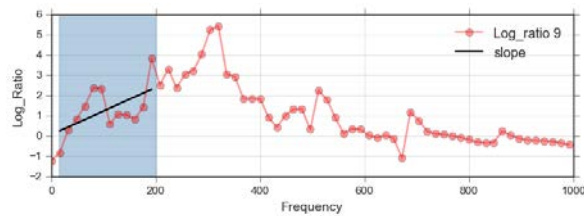
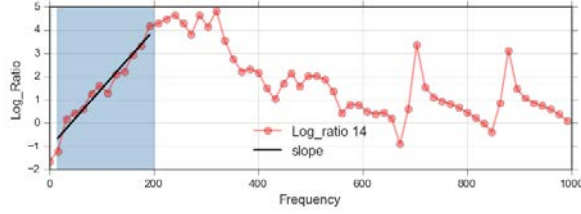
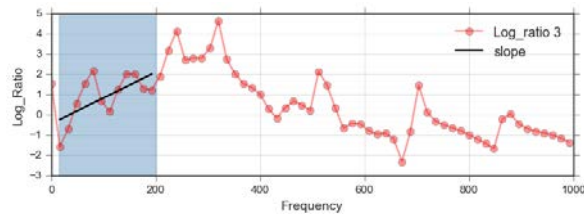
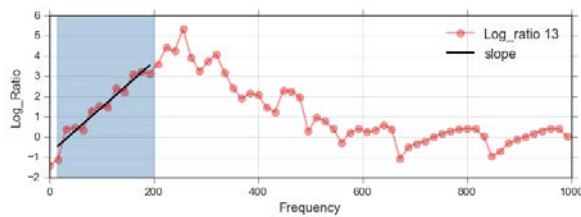
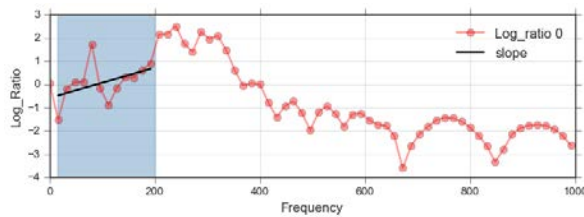
Un punto chiave nell'elaborazione del metodo è la scelta della corretta banda di frequenza su cui operare la regressione.

- ❑ SNR alto;
- ❑ Valori massimi dello spettro in ampiezza;



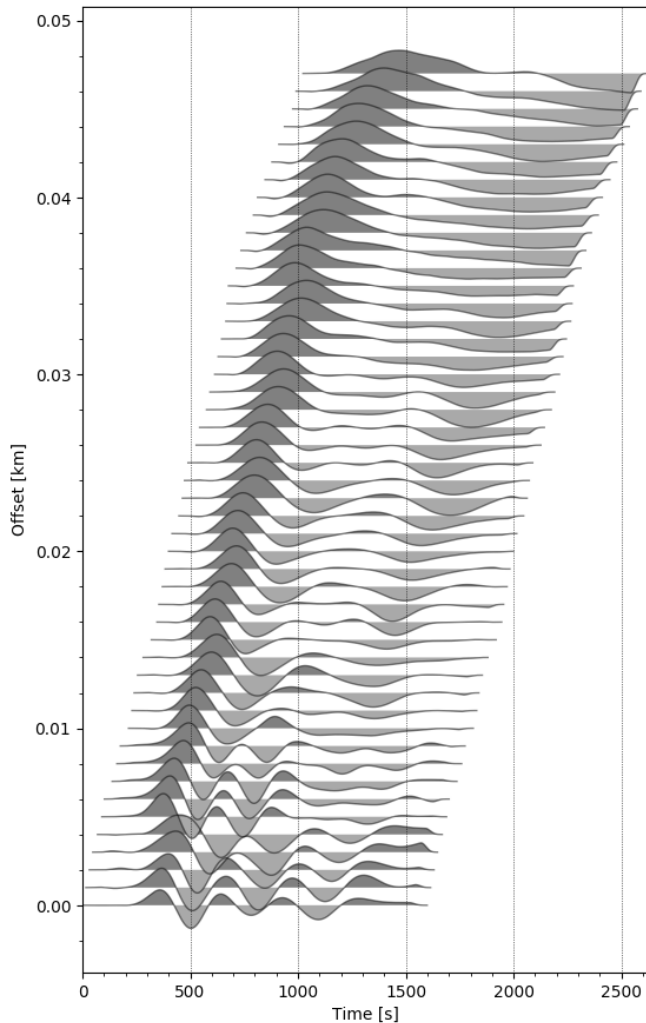
SPECTRAL RATIO METHOD

03 RAPPORTO LOGARITMICO



RISE TIME METHOD

Network: [] - (48 traces / 1970-01-01T00:05:16)

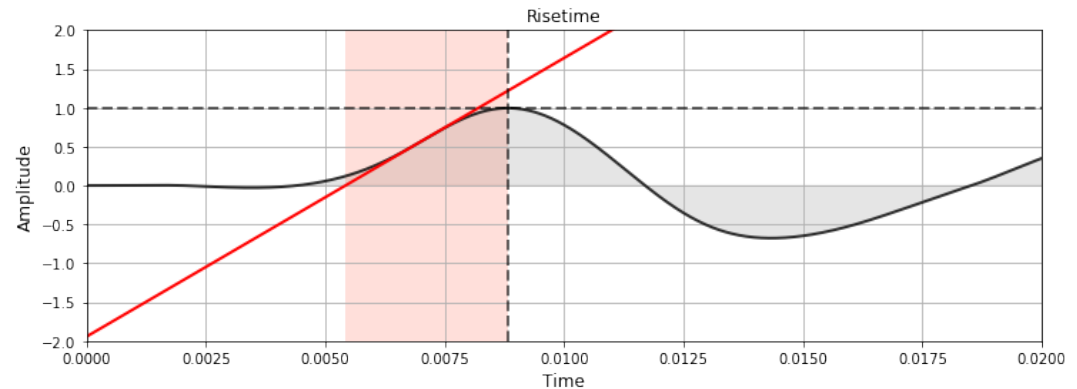


- Un modello matematico per descrivere realisticamente la dispersione dell'impulso in un mezzo non omogeneo è stato sviluppato da *Gladwin & Stacey (1974)* e *Stacey et al. (1975)*:

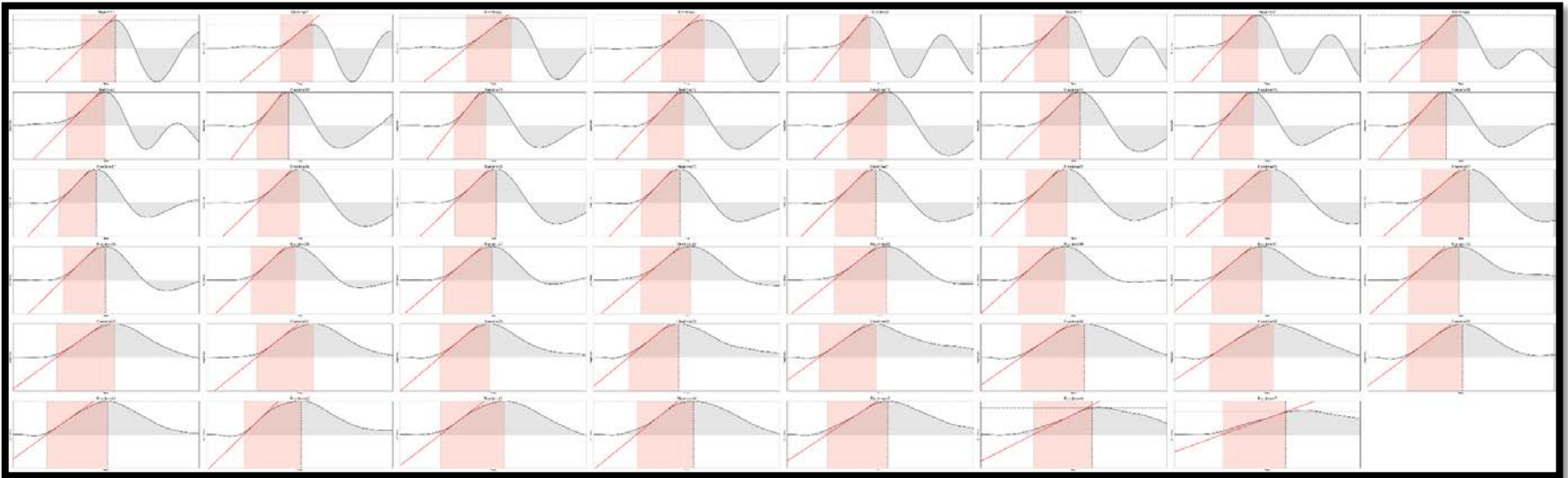
$$\tau = \tau_0 + C \int_{ray} \frac{ds}{V_P Q_P} = \tau_0 + C \int_{ray} \frac{dt}{Q_P}$$

RISE TIME

$$\tau = \frac{u_{max}}{\left(\frac{du}{dt}\right)_{max}}$$

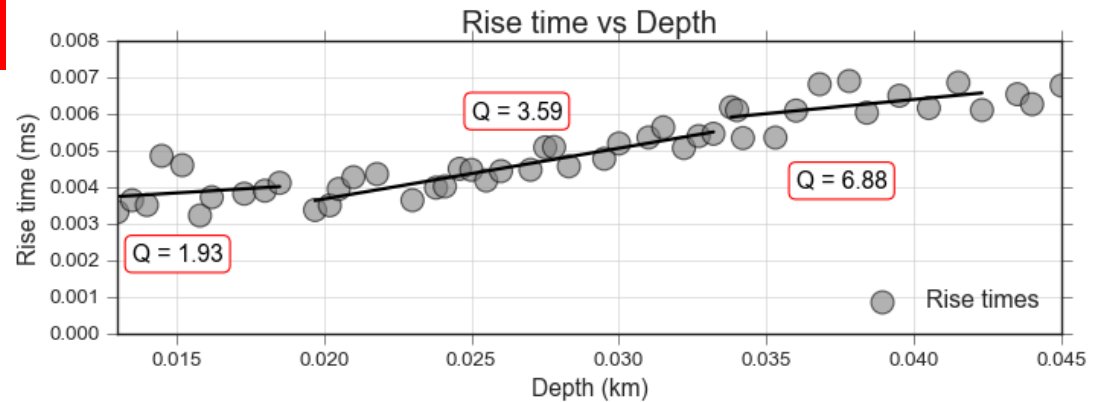


RISE TIME METHOD



ANALISI CRITICA

- STIMA V_p ;
- VALORI NON AFFIDABILI PER PICCOLI STRATI;
- RICHIEDE UNA FINESTRA DI REGISTRAZIONE MINORE;
- STABILE PER EFFETTI DI SCATTERING E RIFLESSIONI MULTIPLE.



CONFRONTO TRA I DUE METODI

Sui dati di Rieti ottenuti tramite un'indagine near-surface VSP è stato possibile operare un confronto tra i due metodi.

Depth range (m)	Quality Factor (Q_p)	
	Spectral Ratio (mean)	Risetime
0-8 (terreno da riporto e sabbie medio-fini)	1.41	1.93
8-32 (ghiaie)	2.69	3.59
32-47 (sabbie ghiaiose)	4.31	6.88

CONCLUSIONI

- ❑ STIMA DI Q_p TRAMITE INDAGINI SISMICHE IN FORO IN CONDIZIONI NEAR-SURFACE;
- ❑ IMPLEMENTAZIONE E CONFRONTO TRA I DUE METODI DI INDAGINE;
- ❑ FORNIRE UN PARAMETRO AGGIUNTIVO PER LE CARATTERIZZAZIONI DI SITO E MODELLAZIONI SISMICHE.

