

PUC

COMUNE DI QUARTO (NA)

PIANO

URBANISTICO

COMUNALE



STUDIO GEOLOGICO

(artt. 11, 12 e 14 L.R. n.9 del 07/01/1983, O.P.C.M. n.3274 del 20/03/2003 e D.M. 17/01/2018)

INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE

**ELAB.
D.1.3**

IL GEOLOGO

DR. CARMINE NEGRI CERCIELLO

DATA: settembre 2021

STUDIO di GEOLOGIA - Dr. Carmine Negri Cerciello

Via G. Galilei n.16 – 80030 – MARIGLIANELLA (NA)

☎/Fax 0818413658 Cell. 3285463455

e-mail carmine.nc@libero.it **PEC** carmine.nc@pec.it

<https://www.carminenegricerciello.it>

Committente: *Dott. Geol. Carmine Negri Cerciello*



Comune di Quarto

Provincia di Napoli

Indagini sismiche

Progetto

*Piano Urbanistico Comunale
(P.U.C.)*

Rev. 1

Il Consulente

Ph.D. Geol. Gerardo DE NISCO



Indice

<u>Premessa</u>	2
<u>Metodologie di analisi</u>	4
<i>MASW (Multi-channel Analysis of Surface waves)</i>	4
<i>Il rapporto spettrale HVSr</i>	7
<i>Inversione della curva di dispersione media delle velocità di fase</i>	11
<u>Strumentazione</u>	15
<u>Acquisizione ed elaborazione dati</u>	21
<i>Località: MW1 – Via A. Scarlatti</i>	21
<i>Località: MW2 - Scuola “E. De Filippo”</i>	24
<i>Località: MW3 - Via S. Maria</i>	27
<i>Località: MW4 – Scuola “M. Napoli”</i>	30
<i>Località: MW5 – Cooperative – Via Crocillo</i>	33
<i>Località: MW6 – Via Crocillo</i>	36
<i>Località: MW7 - Via Viticella</i>	38
<i>Località: MW8 – Via V. Mazzola</i>	41
<i>Località: MW9 - Via Spinelli</i>	44
<i>Località: MW10 - Via Spinelli</i>	47
<i>Località: MW11 - Via Vico</i>	50
<i>Località: MW12 - Via Pantaleo</i>	53
<i>Località: HV1 – Cooperative – Via Crocillo</i>	56
<i>Località: HV2 – Via S. Maria</i>	58
<i>Località: HV3 – Corso Italia</i>	60
<i>Località: HV4 – Via Viticella</i>	62
<i>Località: HV5 – Via Spinelli</i>	64
<i>Località: HV6 – Via Pantaleo</i>	66
<u>Conclusioni</u>	68
<u>Bibliografia</u>	70



Premessa

Il Comune di Quarto (NA) ha incaricato il Dott. Geol. Carmine Negri Cerciello della redazione dello studio geologico propedeutico alla stesura del *Piano Urbanistico Comunale*.

Il Tecnico ha successivamente incaricato lo Scrivente Ph.D. Geol. Gerardo De Nisco di eseguire la pianificata campagna di indagini sismiche, al fine di comprendere i rapporti sismostratigrafici dei principali litotipi presenti nel sottosuolo del territorio comunale e per ottemperare alle vigenti disposizioni normative vigenti per la difesa del rischio sismico.

Il piano di indagini, programmato dal RUP e recepito dal Dott. Geol. C. Negri Cerciello, ha previsto l'esecuzione di n. 12 indagini sismiche superficiali di tipo MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*), per la definizione di modelli di V_s del sottosuolo e n. 6 indagini sismiche passive di tipo HVSR al fine di poter stimare le frequenze di risonanza di sito.

La campagna di indagini è stata svolta tra il 29 aprile e l'01 luglio 2021 investigando n. 13 località del territorio comunale di Quarto e di seguito elencate:

- o Via A. Scarlatti
- o Scuola "E. De Filippo"
- o Via S. Maria
- o Scuola "M. Napoli"
- o Coop. – Via Crocillo
- o Via Crocillo
- o Via Viticella
- o Via V. Mazzola
- o Via Spinelli
- o Via Vico
- o Via Monteleone
- o Corso Italia
- o Via Pantaleo



La presente relazione, inerente la campagna di indagini sismiche a supporto dello studio geologico preliminare del redigendo Piano Urbanistico Comunale (P.U.C.) della Città di Quarto, è pertanto così articolata:

- **Metodologie di analisi**
- **Strumentazione**
- **Acquisizione dati**
- **Elaborazioni**
- **Conclusioni**
- *Bibliografia*



Metodologie di analisi

MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves)

La tecnica MASW, acronimo di Multi-channel Analysis of Surface Waves, consente di estrarre la curva di dispersione delle velocità di fase del modo fondamentale di oscillazione dell'onda di Rayleigh, elaborando una funzione tridimensionale, (spettro di velocità di fase), mediante una trasformazione integrale conosciuta come *phase shift* (Park et al., 1998; Park et al., 1999).

La tecnica prevede l'acquisizione sincrona di onde superficiali di Rayleigh, secondo profili sismici lineari, costituiti da geofoni verticali a bassa frequenza (≤ 4.5 Hz) con spaziatura compresa tra 1 – 3 m. La sorgente sismica è posta all'esterno dello stendimento ad una distanza tale da favorire il riconoscimento dei diversi modi di oscillazione dell'onda di Rayleigh. Maggiore è il numero di canali acquisiti, migliore risoluzione sarà lo spettro di fase elaborato. A tal fine le linee sismiche per rilievi di tipo MASW devono essere costituiti da almeno 24 canali.

Una generica acquisizione di segnali sismici lungo uno stendimento lineare, con sorgente esterna alla linea sismica, può essere rappresentata come una funzione $u(x, t)$ dove x è lo spazio e t il tempo (Fig. 1).

Applicando ai segnali la trasformata di Fourier lungo l'asse dei tempi otteniamo la funzione $U(x, f)$:

$$U(x, f) = \int u(x, t) e^{ift} dt \quad (1)$$

La funzione $U(x, f)$ può essere espressa come la moltiplicazione di due termini separati:

$$U(x, f) = P(x, f)A(x, f) \quad (2)$$

dove $P(x, f)$ e $A(x, f)$ rappresentano rispettivamente lo spettro di fase e di ampiezza.



Nella funzione $U(x, f)$ ogni componente in frequenza è completamente separata dalle altre e l'informazione del tempo di arrivo è preservata nello spettro di fase $P(x, f)$.

Nella funzione $P(x, f)$ sono contenute inoltre tutte le informazioni relative alla dispersione delle onde superficiali di Rayleigh mentre la funzione $A(x, f)$ contiene tutte le informazioni inerenti l'attenuazione e la divergenza sferica.

Tenendo conto della rappresentazione esponenziale dello spettro di fase la (2) può essere espressa come:

$$U(x, f) = e^{-i \cdot x} A(x, f) \quad (3)$$

dove $F=f/c_f$ con f = frequenza angolare e c_f = velocità di fase per ogni frequenza.

Operando un integrale di linea in dx e normalizzando per il modulo della funzione $|U(x, f)|$, si ottiene la funzione $V(f, \varphi)$:

$$V(f, \varphi) = \int e^{i \omega x} [U(x, f) / |U(x, f)|] dx = \int e^{-i(\Phi - \omega)x} [A(x, f) / |A(x, f)|] dx \quad (4)$$

La funzione $V(f, \varphi)$, ottenuta dalla trasformazione integrale, può essere pensata come la somma, lungo tutto lo stendimento, del campo d'onda relativo ad ogni frequenza, applicando uno shift di fase dipendente dall'offset, al campo d'onda, per un'assunta velocità di fase $c_f = f/\varphi$.

La normalizzazione al modulo della funzione $|U(x, f)|$, minimizza i fenomeni di attenuazione e di divergenza sferica.

Risulta ovvio che la funzione $V(f, \varphi)$ avrà un massimo in corrispondenza di un valore:

$$\varphi = F = f / c_f \quad (5)$$

Per un dato valore di φ dove si verifica un massimo della funzione $V(f, \varphi)$, la velocità di fase c_f può essere determinata.

Tenendo conto che $c_f = f/\varphi$ la funzione $V(f, \varphi)$ può essere trasformata nella funzione $I(f, c_f)$ che viene definita *spettro di velocità di fase* (Fig. 2). In essa lungo l'asse c_f appariranno dei picchi che soddisferanno, per ogni frequenza, l'equazione (5). Il luogo dei punti lungo questi massimi, per differenti valori di

frequenza f , permettono di identificare le curve di dispersione delle velocità di fase dei modi di oscillazione dell'onda superficiale di Rayleigh.

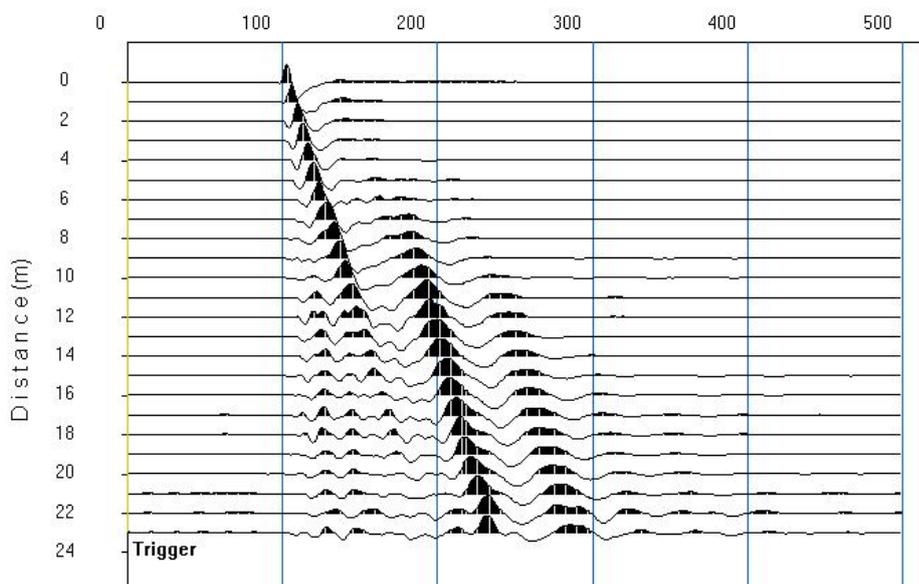


Figura 1 – Esempio di segnali sismici acquisiti lungo stendimento lineare a 24 canali con passo intergeofonico di 1 m. La rappresentazione numerica del campo d'onda può essere espressa come una funzione del tipo $u(x, t)$.

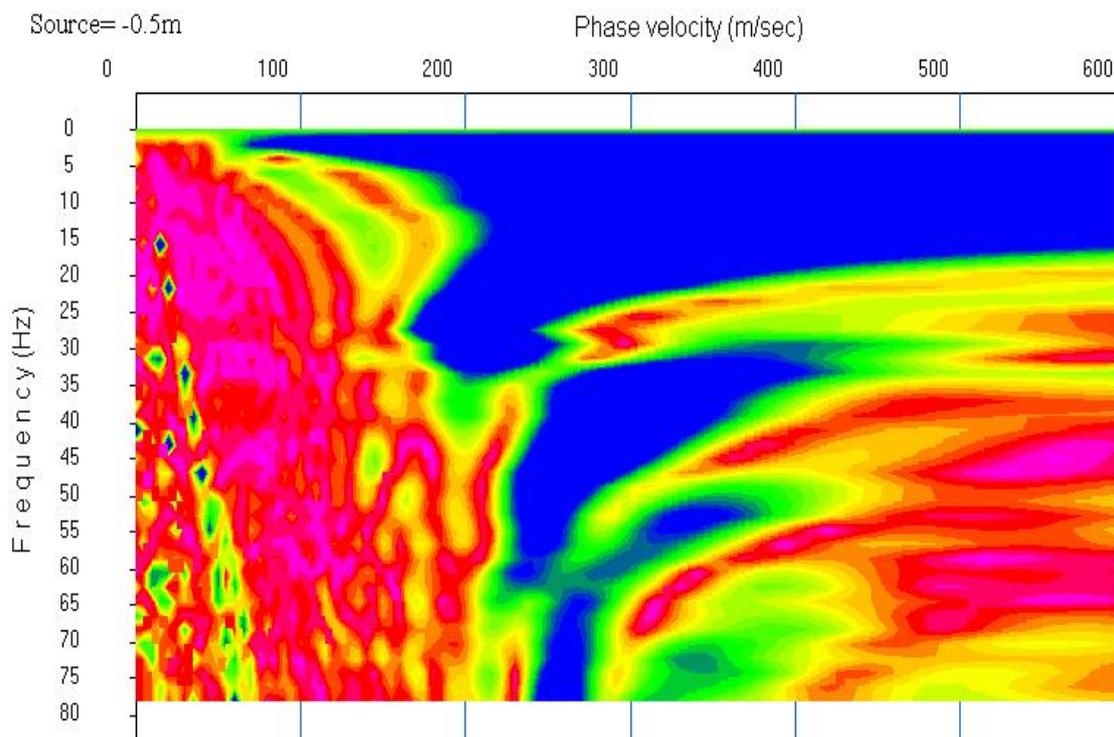


Figura 2 – Esempio di spettro di velocità di fase elaborato, a partire dai segnali di Figura 1, attraverso tecnica phase shift. I massimi energetici sono relativi ai diversi modi di oscillazione dell'onda di Rayleigh.



Il rapporto spettrale HVSR

La tecnica dei rapporti spettrali HVSR consente di stimare l'effetto di sito, legato ad una copertura sedimentaria, a partire da registrazioni di rumore sismico a singola stazione secondo tre componenti ortogonali. Il rapporto spettrale HVSR esibisce un picco in corrispondenza della frequenza fondamentale di sito, stimabile secondo la relazione:

$$f_0 = V_s/4H.$$

Nella sua formulazione originaria, proposta da Nakamura (1989) tale metodologia assume che i microtremori consistano di onde di volume e di superficie che si propagano in un singolo strato soffici su semispazio rigido e che la presenza di questo strato sia la causa dell'amplificazione di sito. Nel caso in cui nel campo d'onda predominino onde di tipo S_H , tale metodologia fornisce una buona stima della funzione di amplificazione della copertura sedimentaria, consentendo di separare i termini di sorgente-percorso e di sito tramite i rapporti tra le componenti del moto, senza utilizzare alcun sito di riferimento. Nel dominio delle frequenze, quattro sono gli spettri coinvolti: le componenti orizzontali e verticali del moto in superficie (H_s e V_s) e alla base dello strato (H_B e V_B).

Le ipotesi su cui si basa la tecnica di Nakamura sono le seguenti:

- i microtremori sono generati da sorgenti locali, e non da sorgenti profonde il cui contributo viene trascurato;
- le sorgenti dei microtremori in superficie non influenzano i microtremori alla base;
- la componente verticale del moto non risente di effetti di amplificazione locale (per la dimostrazione dell'applicabilità di questa assunzione si veda Castro *et al.*, 1996).

Sotto queste ipotesi, il rapporto fra le componenti verticali del moto in superficie ed alla base contiene solo termini delle sorgenti locali $A_s(\omega)$ e delle sorgenti alla base $A_B(\omega)$, ed è pari a:

$$R_v(\omega) = \frac{V_s(\omega)}{V_B(\omega)} = \frac{A_s(\omega)}{A_B(\omega)}$$



mentre il rapporto fra l'ampiezza dello spettro della componente orizzontale del moto in superficie (H_S) e alla base dello strato (H_B), contiene oltre che il termine di sorgente anche il termine di amplificazione di sito in superficie $S(\omega)$ e può essere espresso nel seguente modo:

$$R_h(\omega) = \frac{H_S(\omega)}{H_B(\omega)} = \frac{A_S(\omega)S_S(\omega)}{A_B(\omega)}$$

Per rimuovere l'effetto di sorgente dai segnali, Nakamura divide i due rapporti R fra loro ottenendo così la seguente espressione per la funzione di trasferimento di sito:

$$\frac{R_h(\omega)}{R_v(\omega)} = S_S(\omega) = \frac{H_S(\omega)}{H_B(\omega)} \cdot \frac{V_B(\omega)}{V_S(\omega)}$$

Ipotizzando infine che alla base dei sedimenti l'ampiezza spettrale della componente verticale e di quella orizzontale siano uguali e cioè:

$$\frac{V_B(\omega)}{H_B(\omega)} = 1$$

il fattore di amplificazione del moto orizzontale in superficie potrà essere valutato direttamente nel seguente modo:

$$S(\omega) = \frac{H_S(\omega)}{V_S(\omega)}$$

Le varie ipotesi sono state verificate sperimentalmente dallo stesso Nakamura con misure di microtremori in superficie e in pozzo. Le stesse assunzioni sono state verificate anche numericamente da altri autori, confrontando i risultati ottenuti con modelli di propagazione di onde di Rayleigh, modelli di propagazione 1D di onde S e con modelli di generazione sintetica di rumore. Le conclusioni a cui sono giunti gli studi suddetti sono che il picco visibile nei rapporti HVSR, ottenuti con il rumore simulato, è indipendente dalle caratteristiche della sorgente del rumore ed è invece fortemente dipendente dalla stratigrafia del terreno.

Nel caso in cui il campo d'onda sia prevalentemente costituito da onde superficiali di Rayleigh, la funzione HVSR calcolata fornisce una buona stima



della funzione di ellitticità del modo fondamentale di oscillazione dell'onda di Rayleigh (Nogoshi and Igarashi 1970, Fah et al., 2001, Fah et al., 2003, Nunziata 2007). Essa viene utilizzata per stimare il picco di ellitticità che si verifica in corrispondenza della frequenza fondamentale di sito F_0 . La funzione HVSR è pertanto strettamente dipendente dalle caratteristiche dinamiche e dallo spessore della copertura sedimentaria.

In genere non essendo nota *a priori* la natura del campo d'onda del rumore sismico, la correlazione tra la funzione HVSR e la funzione di trasferimento S_H può non essere verificata in termini di ampiezza assoluta, evidenziando al contrario una certa stabilità nella frequenza di picco, coincidente con la frequenza di risonanza della struttura sedimentaria.

Operativamente la funzione HVSR viene definita a partire da serie temporali superiori a 30 min., acquisite secondo le tre componenti del moto. Le registrazioni di rumore sismico vengono sottoposte ad operazioni di rimozione della media, di *detrending*, e di filtraggio in un'opportuna banda di frequenza di interesse. Successivamente vengono suddivise in finestre temporale regolari (20 – 40 s) (Fig. 8), applicando ad esse una funzione di *tapering* per minimizzare gli effetti di troncamento della serie temporale. Per ogni singola finestra vengono calcolate le trasformate di Fourier, in un'opportuna banda di frequenze, applicando agli spettri di ampiezza definiti una funzione di *smoothing* (lisciamento). Per ogni singola finestra temporale viene calcolato un funzione spettrale HVSR come rapporto tra la media aritmetica o del modulo degli spettri delle componenti orizzontali e quello della componente verticale. Successivamente i singoli rapporti spettrali sono mediati sull'intero intervallo temporale, definendo una funzione media HVSR, caratteristica del sito d'indagine (Fig. 9).

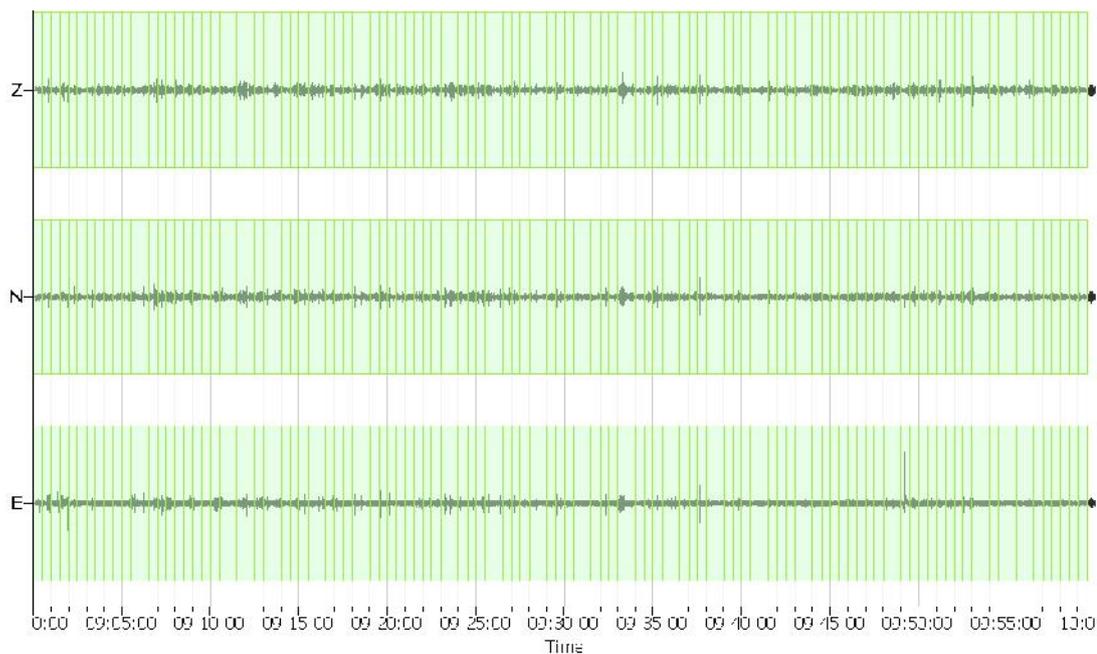


Figura 8 – Esempio di registrazione di rumore sismico secondo le tre componenti del moto suddiviso in finestre temporali di 30 s.

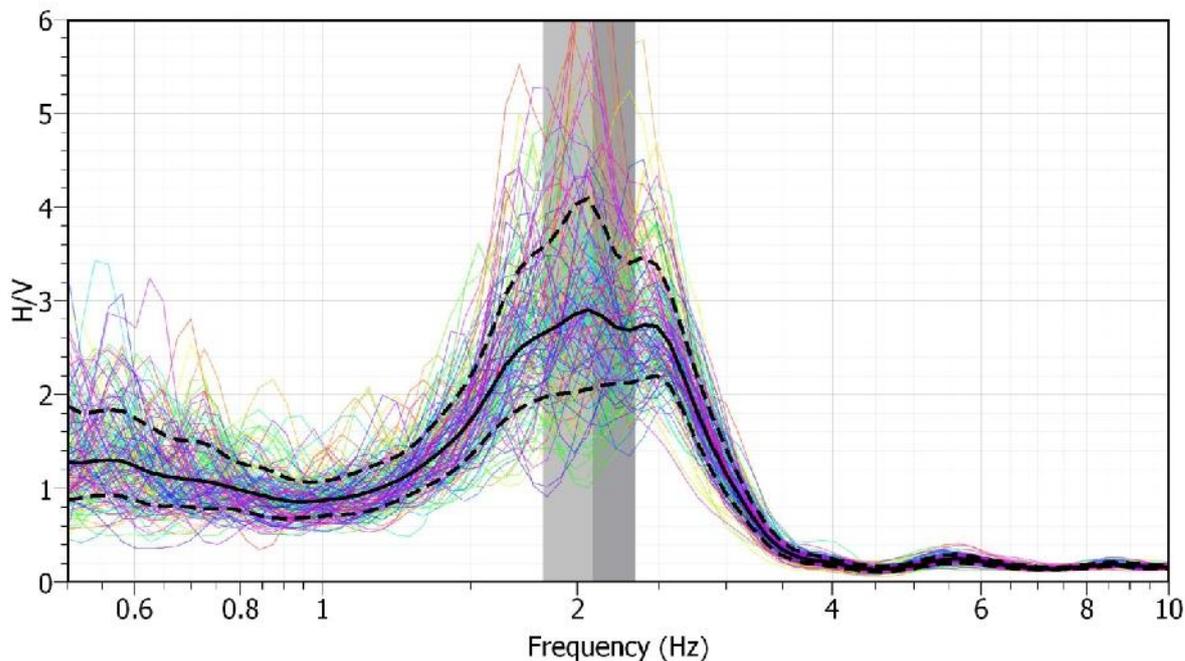


Figura 9 – Esempio di funzione media HVSR (curva nera) e relativa deviazione standard (curve nere tratteggiate) ottenuta dalle 120 finestre di 30 s in cui sono suddivisi i segnali di figura 4. Le bande opache indicano la frequenza di picco (2.1 Hz) con relativa deviazione standard della funzione HVSR.



Inversione della curva di dispersione media delle velocità di fase.

L'algoritmo di inversione utilizzato nel presente lavoro è quello proposto da Wathelet (2008). Esso si basa sull'approccio non lineare degli "intorni" (*neighbourhood algorithm*) proposto da Sambridge (1999) ed adattato dal precedente autore nella formulazione di problemi inversi relativi alle proprietà delle onde superficiali di Rayleigh (dispersione, autocorrelazione, ellitticità). Tale algoritmo rappresenta un'ottimizzazione del metodo di inversione di tipo Monte Carlo che prevede il campionamento random di un predefinito spazio dei parametri al fine di determinare il migliore *best fit* tra i dati sperimentali ed i valori teorici calcolati. Quando la dimensione dello spazio dei parametri cresce, la generazione di modelli random può non essere efficace per un'adeguata esplorazione dello spazio stesso. L'algoritmo di Sambridge (1999) propone pertanto una partizione dello spazio dei parametri in celle nelle quali ricadono solo i modelli con una discrepanza accettabile tra valori teorici e dati sperimentali. L'algoritmo di calcolo prevede la generazione random di n modelli, uniformemente distribuiti nelle celle, per i quali una funzione di *misfit* viene calcolata. La cella in cui ricade il modello con minore *misfit* viene successivamente suddivisa in m nuove celle per le quali n nuovi modelli vengono generati. Il processo di calcolo ha termine nel momento in cui viene raggiunta la condizione di *misfit* definita *a priori* e per la quale saranno soluzione del problema inverso n modelli di velocità delle onde di taglio. La funzione di misfit è definita come:

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_{si} - x_{ti})^2}{\sigma_i^2 n_F}}$$

dove x_{si} e x_{ti} rappresentano rispettivamente i valori sperimentali e teorici per le i -esime frequenze; σ_i rappresenta l'errore sulla misura e n_F indica il numero di frequenze campionate.

Nel presente lavoro i dati sperimentali del problema inverso sono la dispersione delle velocità di fase.



Il criterio di scelta del modello di V_s rappresentativo del set di soluzioni ottenuto è quello con il minimo *misfit*.



Strumentazione

La strumentazione utilizzata nelle acquisizioni delle linee sismiche è costituita da un sismografo mod. **Geode** 24 canali della *Geometrics* (Fig. 12) con risoluzione a 24 bit adatto, per qualsiasi tipo di prospezione sismica. Allo strumento è collegato un notebook mod. *Acer Aprire ONE* sul quale sono installati il programma *Seismodule Controller* della *Geometrics*, per la gestione dell'acquisizione, ed il software *Seisimager*, su licenza *Geometrics*, per l'analisi preliminare dei dati in campagna. Di seguito si riportano le caratteristiche principali del sismografo:

Configurations:

- Lightweight field-rugged PC with no seismic channels for use as a stand-alone field computer or controller for Geode distributed modules
 - Integrated seismic recorder - add 3, 6, 8, 12 or 16 to 64 built-in channels (in 8 channel increments)
 - Connect multiple NZ's and operate from a single keypad
- Runs Windows™ XP operating system and includes all software for controlling internal channels and up to 4 lines of Geode modules. Total number of channels limited only by practical survey requirements.

A/D Conversion: 24-bit result using Crystal Semiconductor sigma-delta converters and Geometrics proprietary over-sampling.

Dynamic Range: 144 dB (system), 110 dB (instantaneous) at 2 ms, 24 dB.

Distortion: 0.0005% @ 2 ms, 1.75 to 208 Hz.

Bandwidth: 1.75 Hz to 20 kHz. Low corner frequency option available.

Common Mode Rejection: > 100dB at <= 100 Hz, 36 dB.

Cross Talk: -125 dB at 23.5 Hz, 24 dB, 2 ms.

Noise Floor: 0.20 µV, RFI at 2 ms, 36 dB, 1.75 to 208 Hz.

Stacking Trigger Accuracy: 1/32 of sample interval.

Maximum Input Signal: 2.8V PP, 0 dB, 177 mV PP, 24 dB.

Input Impedance: 20 kOhm, 0.02 µF.

Preamplifier Gains: Standard factory configuration is 24 and 36 db, selectable in software. Optionally, can be jumpered for software selectable 12 and 24 dB or can be jumpered in four channel blocks as a single fixed gain of 0 dB for high-voltage devices.

Anti-alias Filters: Set automatically, -3 dB at 83% of Nyquist down 90 dB.

Acquisition Filters:

Low Cut: OUT, 10, 15, 25, 35, 50, 70, 100, 140, 200, 280, 400 Hz, 24 dB/octave, Butterworth.

Notch: 50, 60, 150, 180 Hz and OUT, with the 50 dB rejection bandwidth 2% of center frequency.

High Cut: OUT, 250, 500 or 1000 Hz, 24 dB/octave.

Customer filter frequencies available as an option.

Display filters can also be applied to the data with any user-defined corner frequency, but do not affect the recorded results.

Sample Interval: 0.02, 0.03125, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 ms.

Correlation: Built-in high-speed hardware correlator for Vibroseis. Optional pilot conditioning for acquisition of pseudo-random (MiniSosie) sources.

Record Length: 16,384 samples standard, 65,536 samples optional.

Pre-trigger Data: Up to full record length.

Intelligent Self-Trigger: Available for earthquake and vibration monitoring.



Figura 12 – Sismografo Geode Geometrics a 24 canali.

Il sismografo è equipaggiato con geofoni verticali da superficie a bassa frequenza del tipo, Geospace GS 11D da 4.5 Hz (Fig. 13) utilizzabili sia sul terreno che sull'asfalto. Al sismografo è collegato un geofono trigger dotato di una prolunga opzionale di 130 m per gli stendimenti con offset minimo superiore a 10 m.



Figura 13 – Geofono Geospace GS 11D da 4.5 Hz.

La sorgente energizzante è costituita da martello sismico del peso di 10 kg e da una piastra metallica di spessore opportuno (Fig. 14).



Figura 14 – Martello sismico da 10 kg impiegato come sorgente sismica.

Le acquisizioni di microtremori sono state effettuate con l'ausilio di un tomografo **Tromino Zero** della *Micromed* a tre componenti (Fig. 15) con risoluzione a 24 bit del peso di circa 1 kg. Esso consente la registrazione del moto del suolo in un range di frequenze compreso tra 0.1 – 1024 Hz. La strumentazione è totalmente integrata ed indipendente da qualsiasi collegamento esterno. Il tomografo è alimentato da due batterie stilo (1.5 V) che garantiscono oltre 100 ore di registrazione in continuo. Lo strumento è dotato di tre piedini intercambiabili che lo rendono utilizzabile sia sul terreno che su asfalto. Di seguito si riportano le principali caratteristiche tecniche dello strumento.



Alimentazione	2 batterie alcaline x 1.5 VDC AA
Voltaggio interno	+3.3 V, +3.6 V per la sezione analogica
Consumi	75 mW (GPS disattivato), 450 mW (GPS attivo)
Durata delle batterie	80 h di misura continua con GPS disattivato
Numero di canali	3+1 analogici
Amplificatori	tutti canali con input differenziali
Rumore	< 0.5 μ V r.m.s. @128 Hz sampling
Impedenza dell'input	10 ⁶ Ohm
Range di frequenze	DC - 360 Hz
Frequenza di campionamento	16384 Hz per canale
Frequenze di sovracampionamento	32x, 64x, 128x
Conversione A/D	equivalente a 24 bit
Massimo input analogico	51.2 mV (781 nV/digit)
Display grafico	grafico, 128 x 64 pixel, retroilluminato
Tastiera	4 tasti a membrana
Orologio	interno, permanente con datario e allarme, può essere visualizzato anche durante l'acquisizione
GPS	12 channels with time-marker (precision 1 μ s), può essere visualizzato anche durante l'acquisizione
Livella	a bolla d'aria, elevata precisione orizzontale, sensibilità 5' d'arco (0.083°)
Conessioni	porta USB, tipo B
Registrazione dati	memoria interna, standard 512 Mb, opzionale fino a 2 Gb
Dimensione e peso	10 x 14 x 7.7 (altezza) cm 1.1 kg contenitore di alluminio
Accoppiamento col terreno	su punte e cuscinetto reologico
Condizioni operative	temperatura - 10 / +70°C umidità 0-90% senza condensa
Impermeabilità	indice di protezione IP = 65 (resistente alla polvere, resistente agli spruzzi)
Sensori	3 velocimetri elettrodinamici ortogonali ad alta risoluzione autobloccaggio quando non in acquisizione



Figura 15 – Tromino mod. Zero della Micromed.



Acquisizione ed elaborazione dati

Nel territorio comunale di Quarto (NA) sono state effettuate:

- n. 12 indagini di tipo MASW
- n. 6 indagini di tipo HVSR.

Di seguito si riportano le coordinate geografiche delle località caratterizzate simicamente (Tab.1):

Cod.N.	Località	Tipologia di indagine	Latitudine (°N)	Longitudine (°E)
MW1	Via A. Scarlatti	MASW	40.877916	14.124997
MW2	Scuola "E. De Filippo"	MASW	40.878502	14.139268
MW3	Via S. Maria	MASW	40.879581	14.153517
MW4	Scuola "M. Napoli"	MASW	40.885110	14.155161
MW5	Coop. – Via Crocillo	MASW	40.883278	14.149341
MW6	Via Crocillo	MASW	40.883461	14.139883
MW7	Via Viticella	MASW	40.874076	14.139274
MW8	Via V. Mazzola	MASW	40.871662	14.126455
MW9	Via Spinelli	MASW	40.877350	14.106231
MW10	Via Spinelli	MASW	40.890016	14.108121
MW11	Via Vico	MASW	40.896845	14.114557
MW12	Via Monteleone	MASW	40.900060	14.111571
HV1	Cooperative – via Crocillo	HVSR	40.883507	14.149107
HV2	Via S. Maria	HVSR	40.879015	14.151755
HV3	Corso Italia	HVSR	40.878217	14.136695
HV4	Via Viticella	HVSR	40.871278	14.133218
HV5	Via Spinelli	HVSR	40.877416	14.106190
HV6	Via Pantaleo	HVSR	40.901386	14.116585

Tabella 1 – Coordinate geografiche delle località caratterizzate.

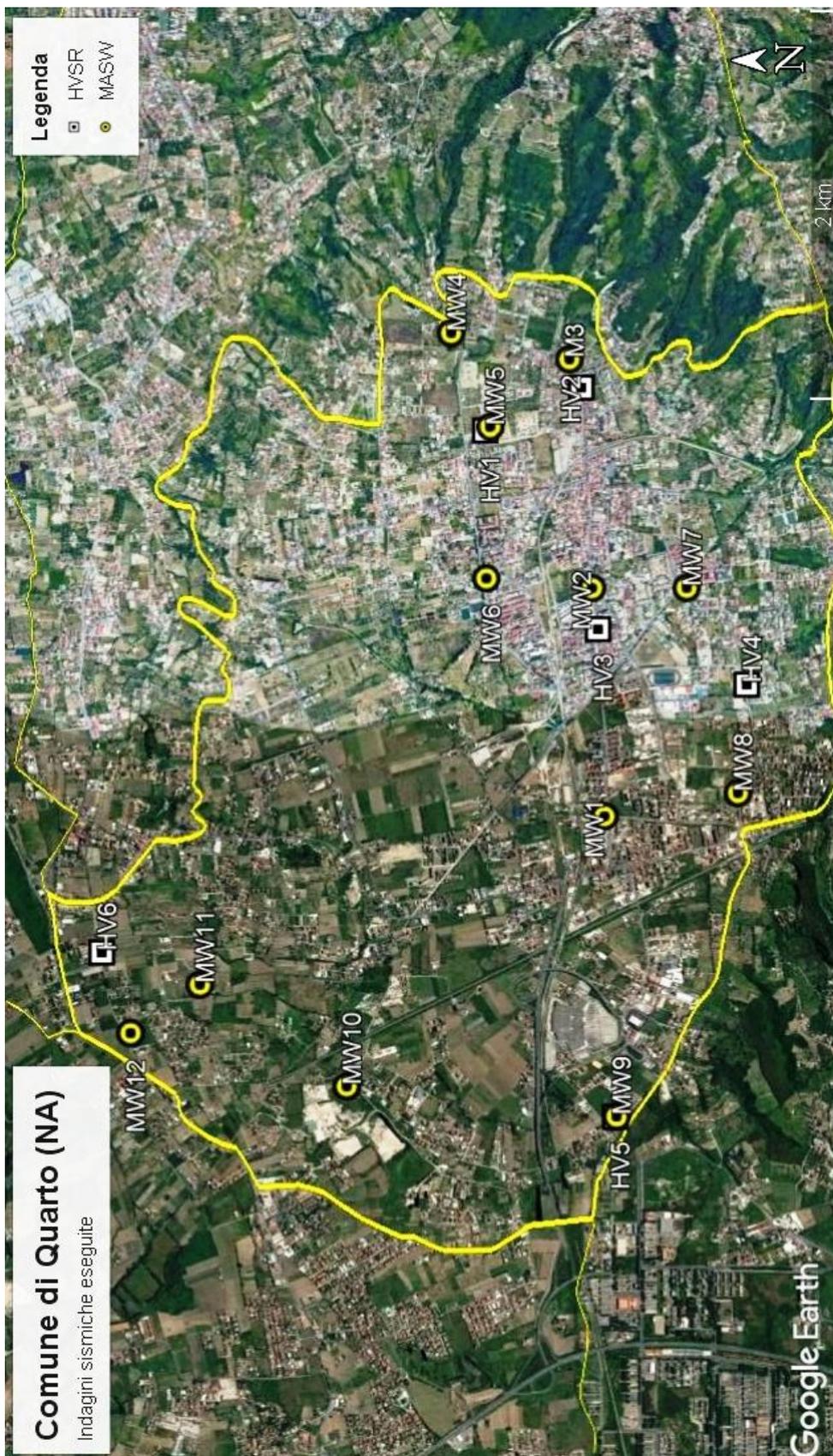


Figura 18 – Ortofoto del territorio comunale di Quarto (NA) con la localizzazione dei siti di indagine.



Per ogni stendimento sismico sono stati definiti i valori medi di dispersione di velocità di fase dell'onda di Rayleigh, con relative incertezze sperimentali, in un intervallo di frequenze estremamente variabile.

Le misure di rumore sismico sono state eseguite con una frequenza di campionamento di 128 Hz e durate temporali comprese tra 20 – 30 minuti. Le serie temporali acquisite sono state elaborate con la tecnica dei rapporti spettrali HVSR impiegando una finestra di analisi di 20 – 30 secondi. Le funzioni HVSR sono state definite in un intervallo di frequenze compreso tra 0.5 – 20 Hz, all'interno del quale è stata individuata la frequenza fondamentale di risonanza.

Le curve media di dispersione sono state invertite con algoritmo non lineare per definire un modello medio di V_s per ogni sito di indagine.

Per ogni località sono stati riportati *ubicazione del rilievo, esempi dei segnali acquisiti, documentazione fotografica e sintesi dei risultati ottenuti* (schematizzabili in: curva media di dispersione, funzione HVSR, frequenza fondamentale di risonanza, modello di V_s).

Località: MW1 - A. Scarlatti

Data: 01/07/2021



Località Via A. Scarlatti – Ubicazione del rilievo sismico espletato.



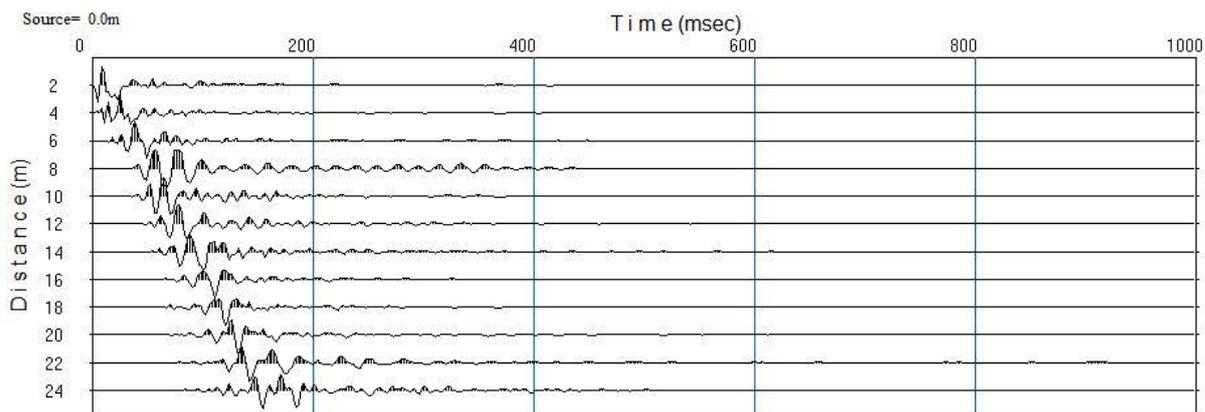
Località Via A. Scarlatti – Documentazione fotografica.



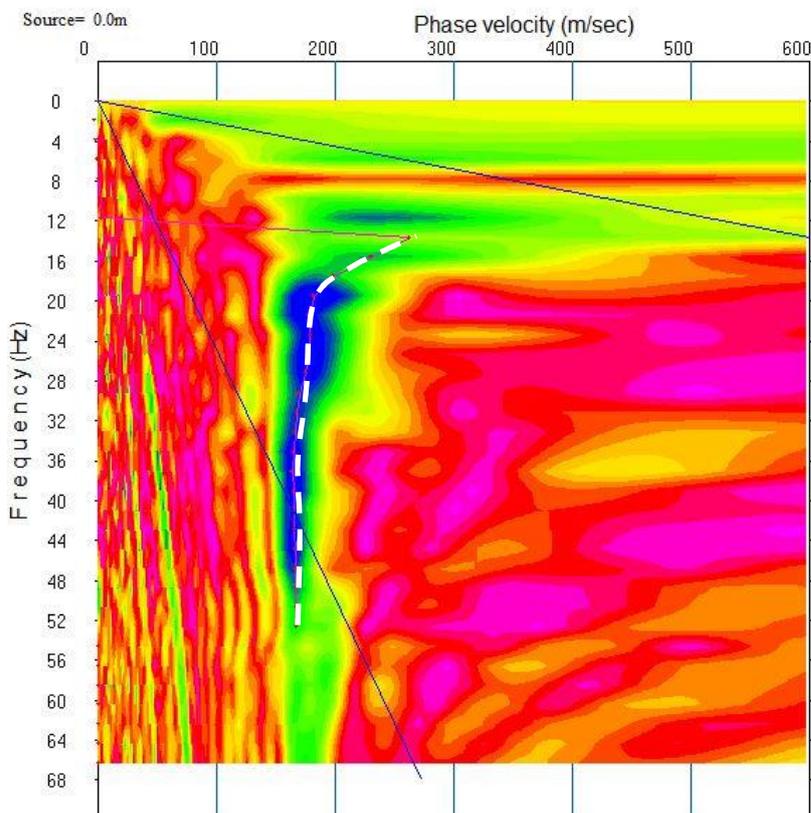
Località: MW1 - Via A. Scarlatti

Data: 01/07/2021

Canali: 12
 Intervallo di campionamento: 2 ms
 Passo intergeofonico: 2 m
 Offset minimo: 2 m
 Offset massimo: 24 m
 Numero Battute: 5



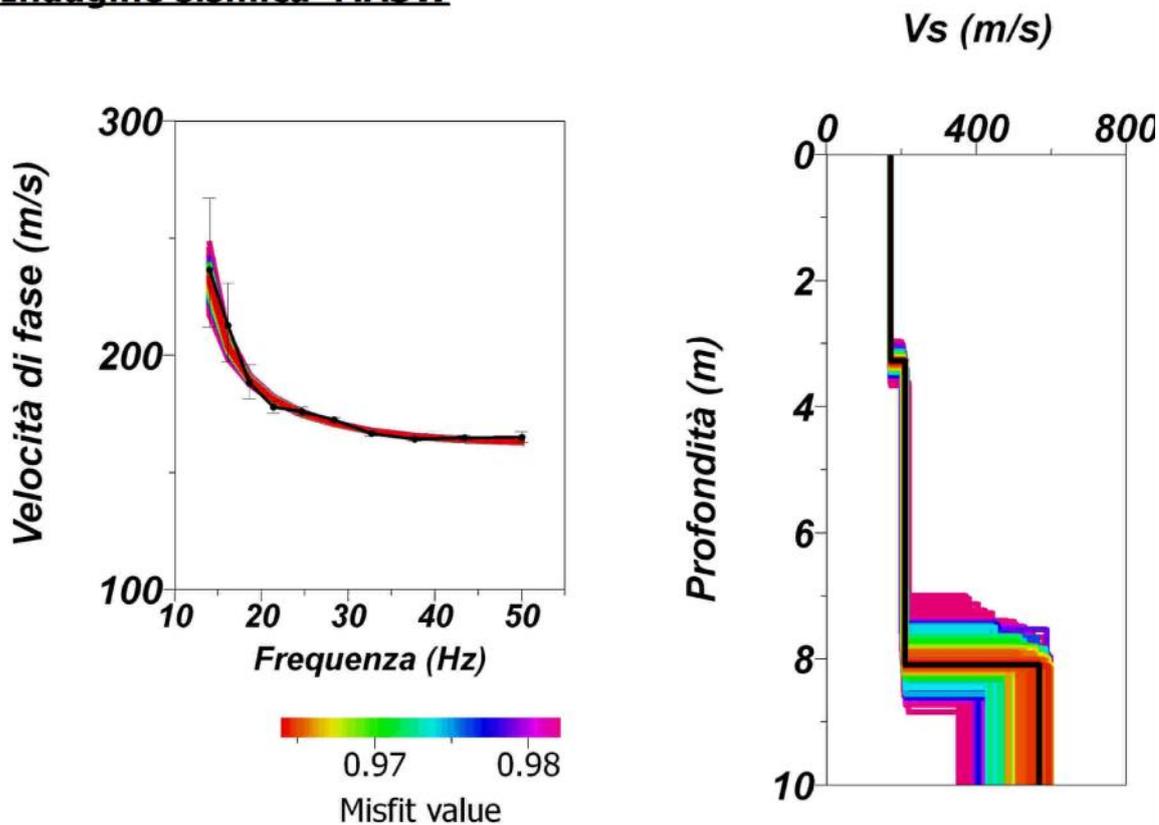
Località Via A. Scarlatti - Sismica attiva (finestra temporale 1 s).



Località Via A. Scarlatti – Spettro di velocità di fase.



Comune di Quarto
Località: Via A. Scarlatti
Indagine sismica MASW



<i>N. sismostrato</i>	<i>h (m)</i>	<i>V_s (m/s)</i>
1	3	170
2	5	210
3	2	570

Località: MW2 - Scuola "E. De Filippo"

Data: 12/05/2021



Località Scuola "E. De Filippo" – Ubicazione del rilievo sismico espletato.



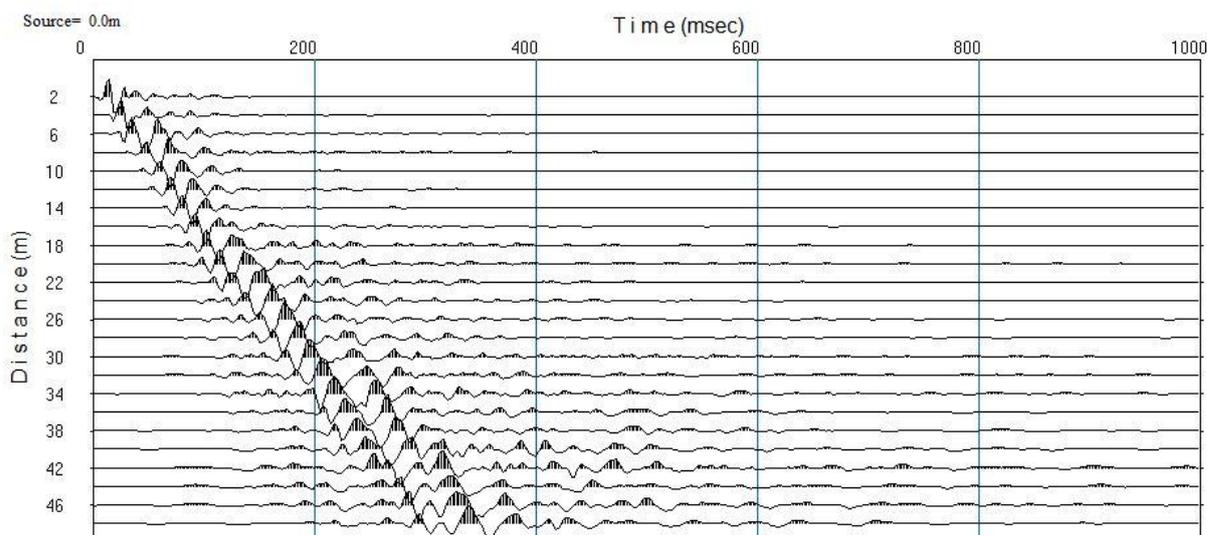
Località Scuola "E. De Filippo" – Documentazione fotografica.



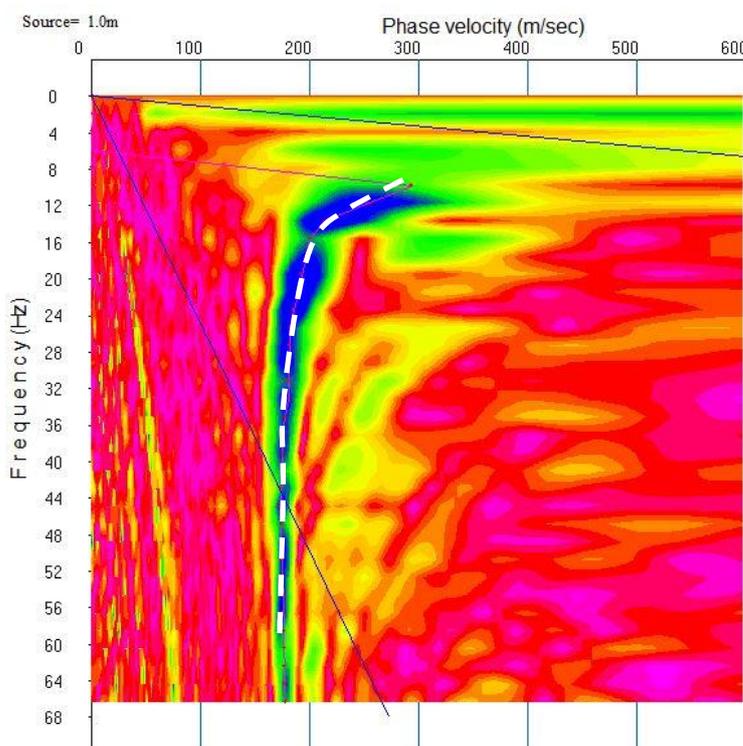
Località: MW2 - Scuola "E. De Filippo"

Data: 12/05/2021

Canali: 24
 Intervallo di campionamento: 2 ms
 Passo intergeofonico: 2 m
 Offset minimo: 2 m
 Offset massimo: 48 m
 Numero Battute: 6



Località Scuola "E. De Filippo" - Sismica attiva (finestra temporale 1 s).



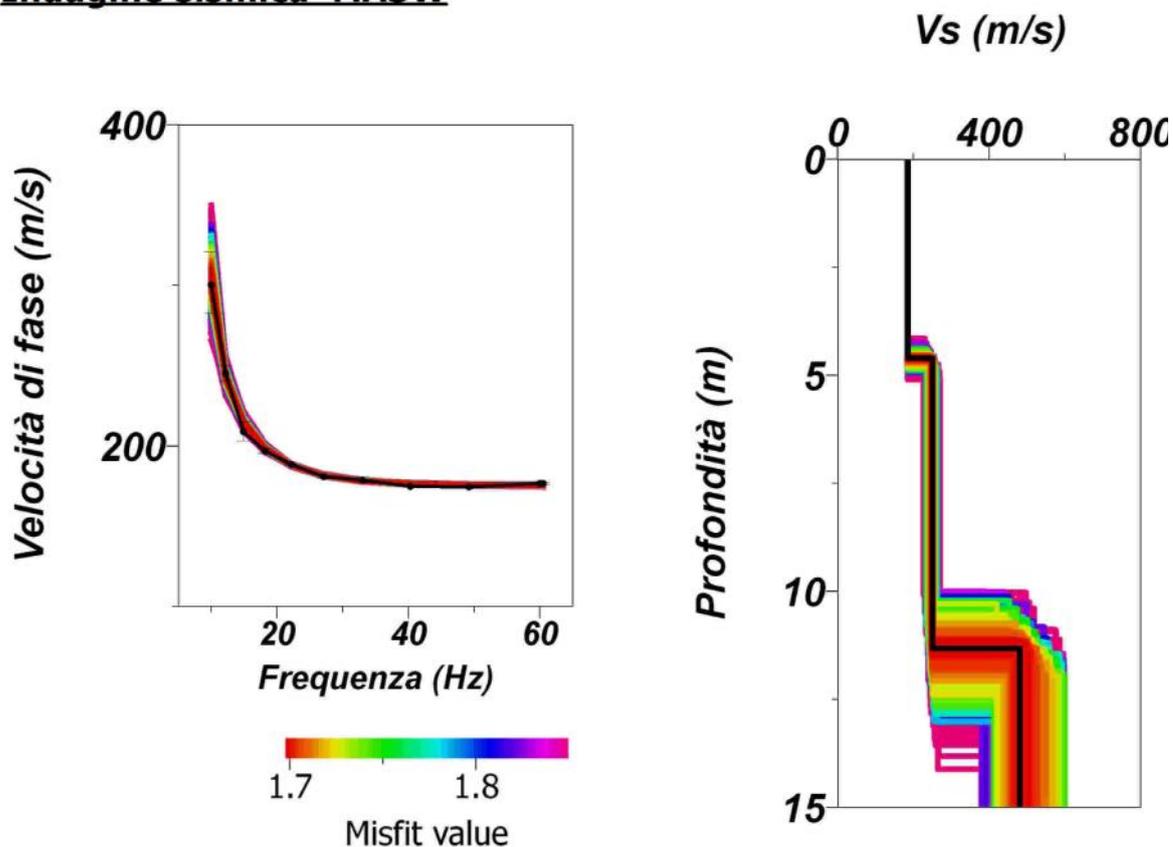
Località Scuola "E. De Filippo" - Spettro di velocità di fase



Comune di Quarto

Località: MW2 - Scuola "E. De Filippo"

Indagine sismica MASW



<i>N. sismostrato</i>	<i>h (m)</i>	<i>V_s (m/s)</i>
1	5	190
2	7	250
3	3	490

Località: MW3 - Via S. Maria

Data: 06/05/2021



Località Via S. Maria – Ubicazione del rilievo sismico espletato.



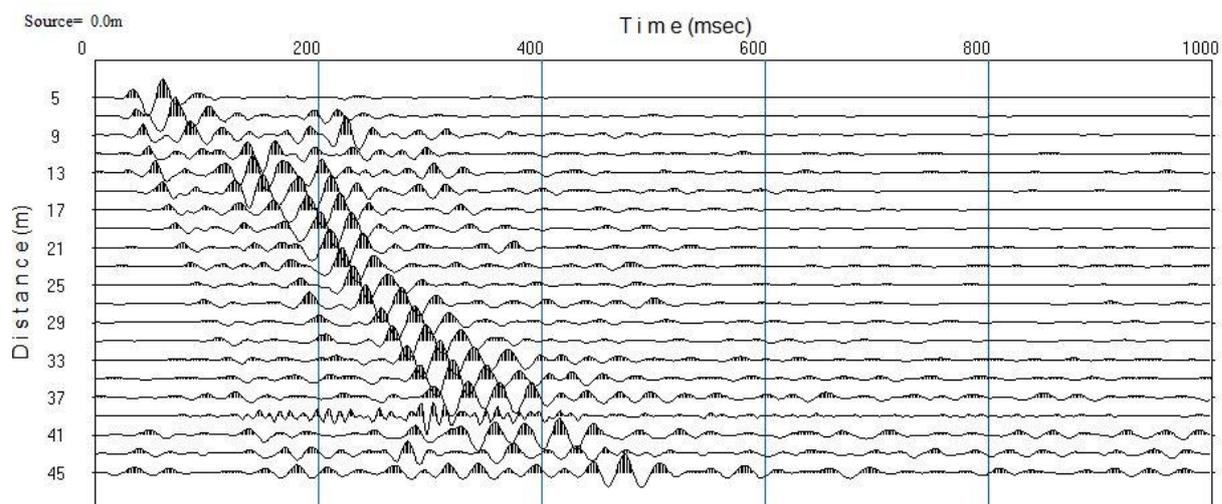
Località Via S. Maria – Documentazione fotografica.



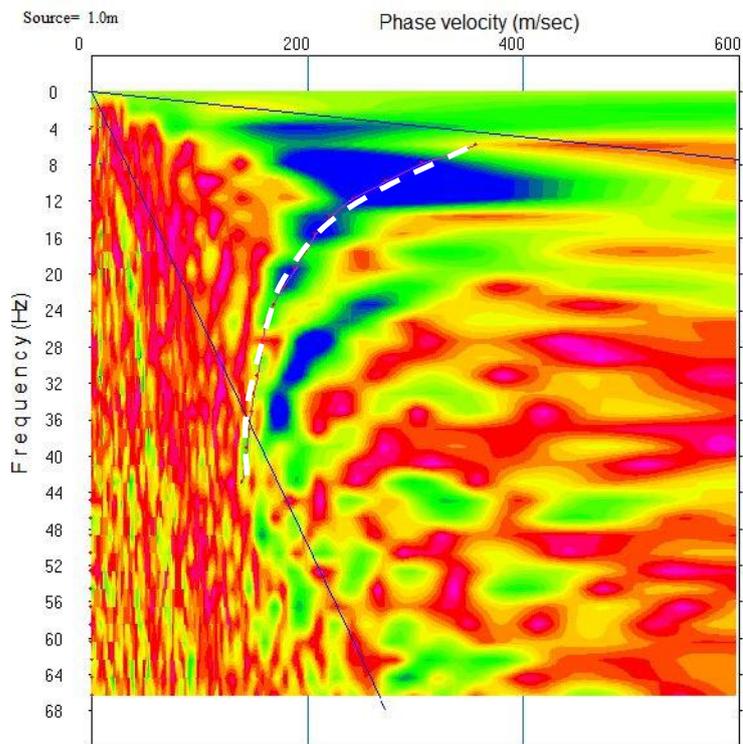
Località: MW3 - Via S. Maria

Data: 06/05/2021

Canali: 21
 Intervallo di campionamento: 2 ms
 Passo intergeofonico: 2 m
 Offset minimo: 5 m
 Offset massimo: 45 m
 Numero Battute: 6



Località **Via S. Maria** - Sismica attiva (finestra temporale 1 s).



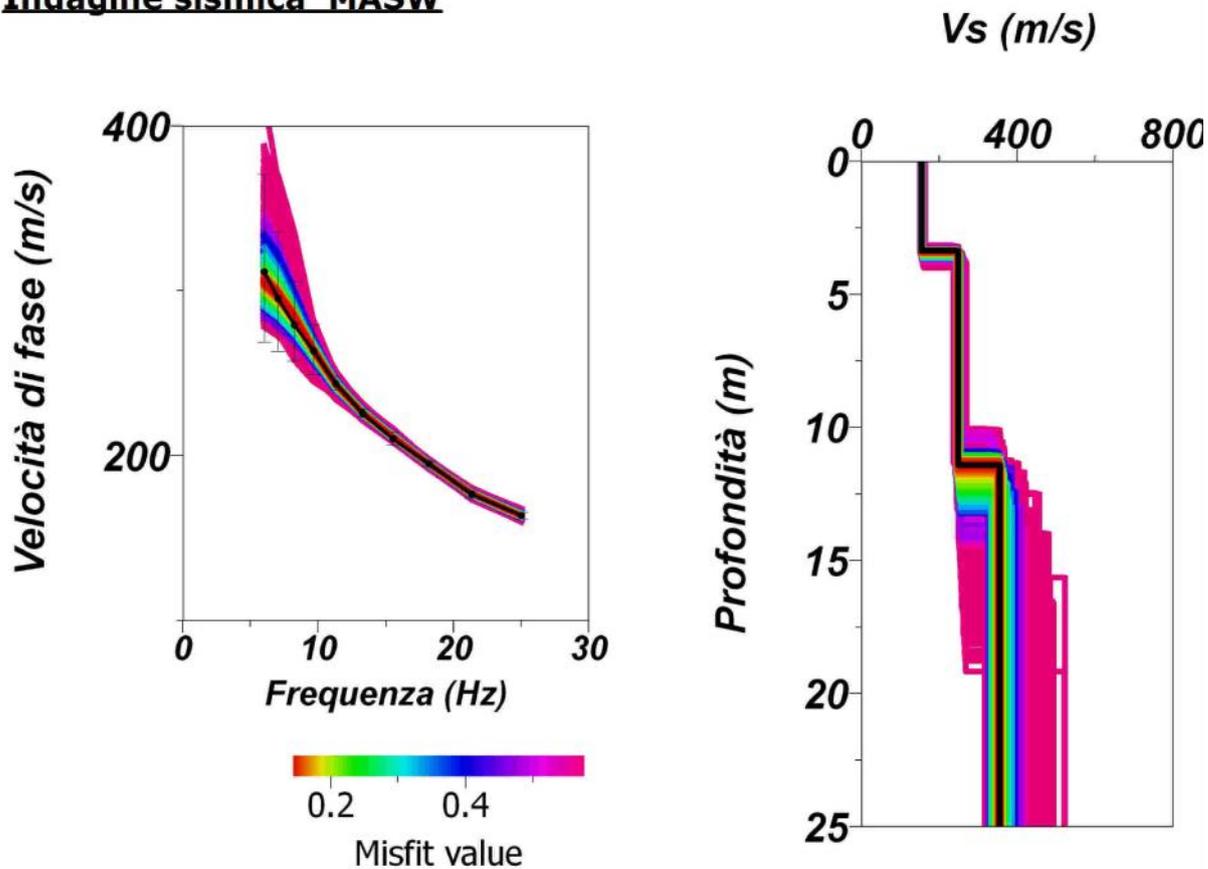
Località **Via S. Maria** - Spettro di velocità di fase.



Comune di Quarto

Località: MW3 - Via S. Maria

Indagine sismica MASW



N. sismostrato	h (m)	V _s (m/s)
1	3	150
2	8	250
3	14	360

Località: MW4 – Scuola “M Napoli”

Data: 12/05/2021



Località Scuola “M. Napoli” – Ubicazione del rilievo sismico espletato.



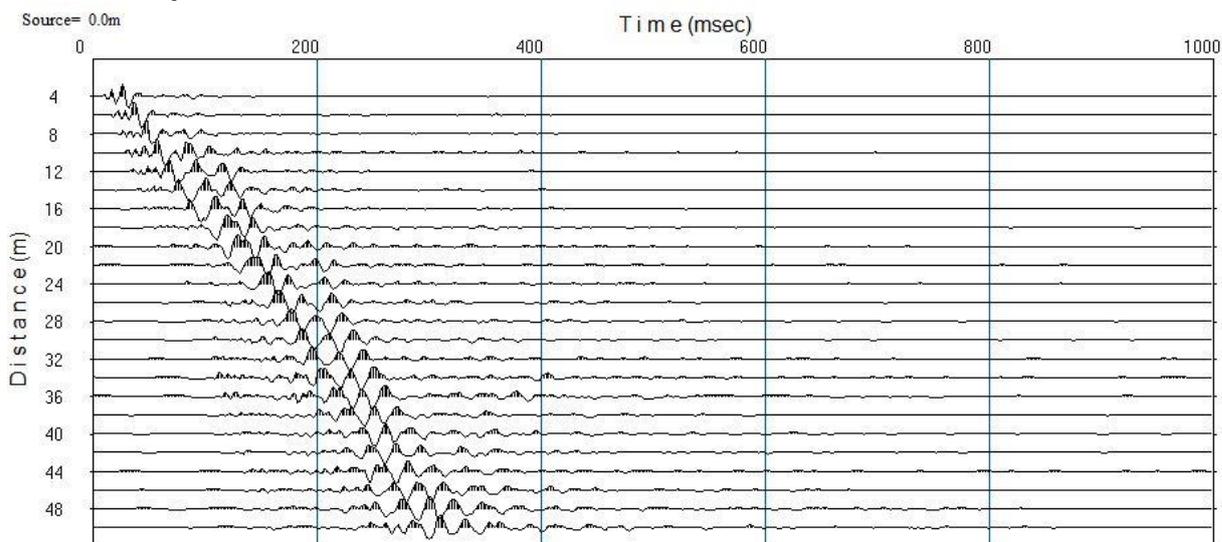
Località Scuola “M. Napoli” – Documentazione fotografica



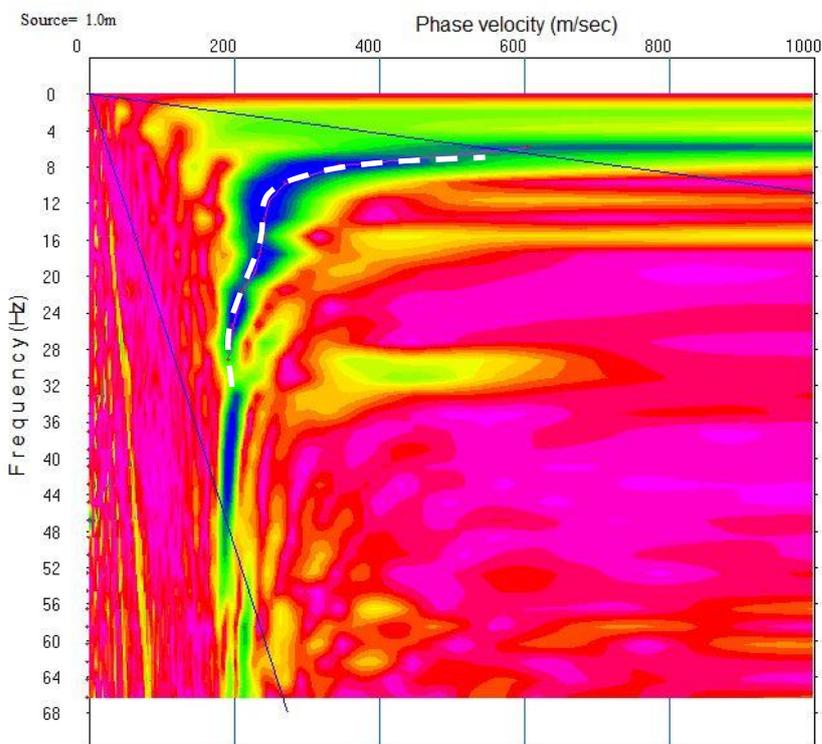
Località: MW 4 – Scuola “M. Napoli”

Data: 12/05/2021

Canali: 24
 Intervallo di campionamento: 2 ms
 Passo intergeofonico: 2 m
 Offset minimo: 4m
 Offeset massimo: 50 m
 Numero Acquisizioni: 8



Località Scuola “M. Napoli” - Sismica passiva (finestra temporale 16 min.).



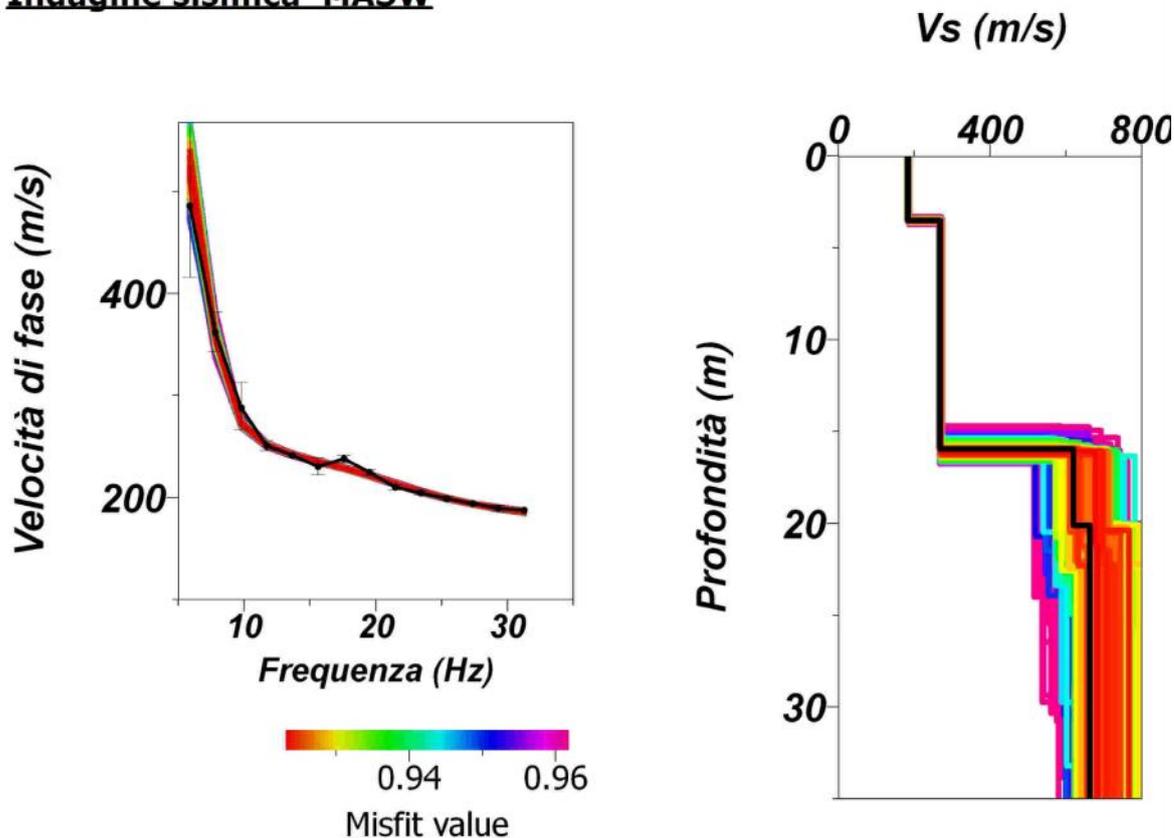
Località Scuola “M. Napoli” – Spettro di velocità di fase.



Comune di Quarto

Località: MW4 - Scuola "M. Napoli"

Indagine sismica MASW



<i>N. sismostrato</i>	<i>h (m)</i>	<i>V_s (m/s)</i>
1	3	180
2	12	270
3	4	620
4	16	660

Località: MW5 - Cooperative - Via Crocillo

Data: 06/05/2021



Località Cooperative - Via Crocillo – Ubicazione del rilievo sismico espletato.



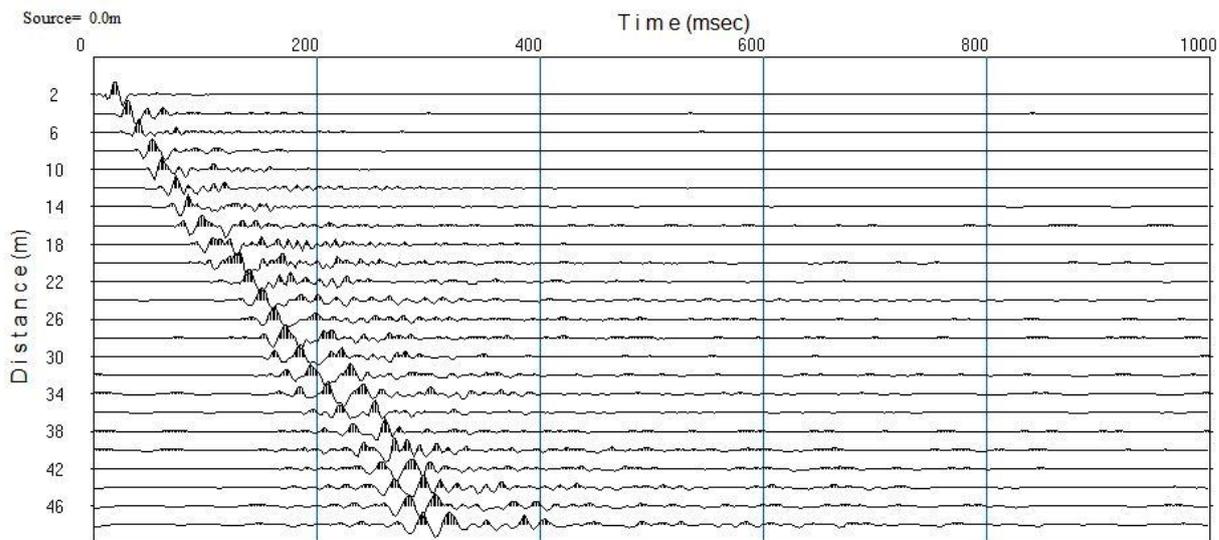
Località Cooperative - Via Crocillo – Documentazione fotografica.



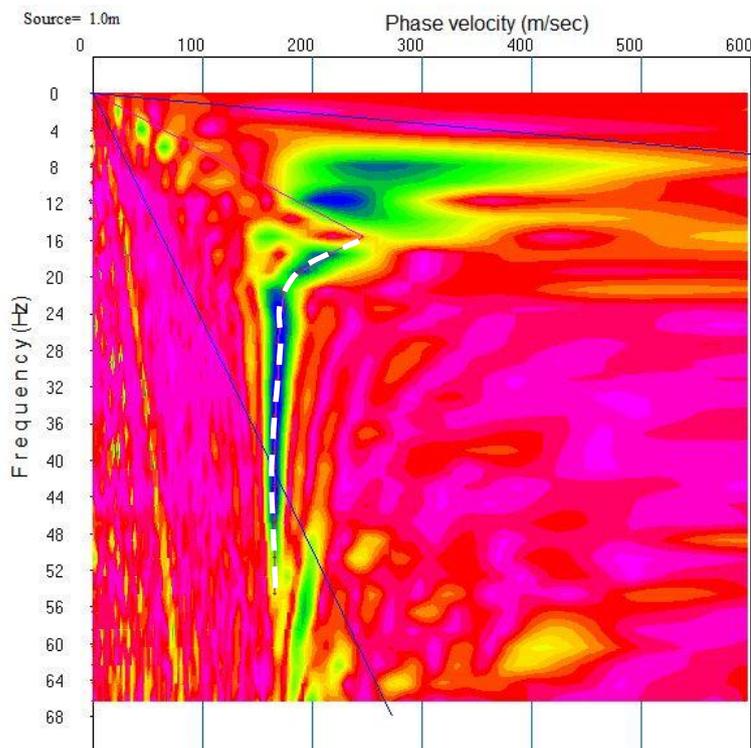
Località: MW55 - Cooperative - Via Crocillo

Data: 06/05/2021

Canali: 24
Intervallo di campionamento: 2 ms
Passo intergeofonico: 2 m
Offset minimo: 4 m
Offset massimo: 50 m
Numero Battute: 8



Località Cooperative - Via Crocillo - Sismica attiva (finestra temporale 1 s).



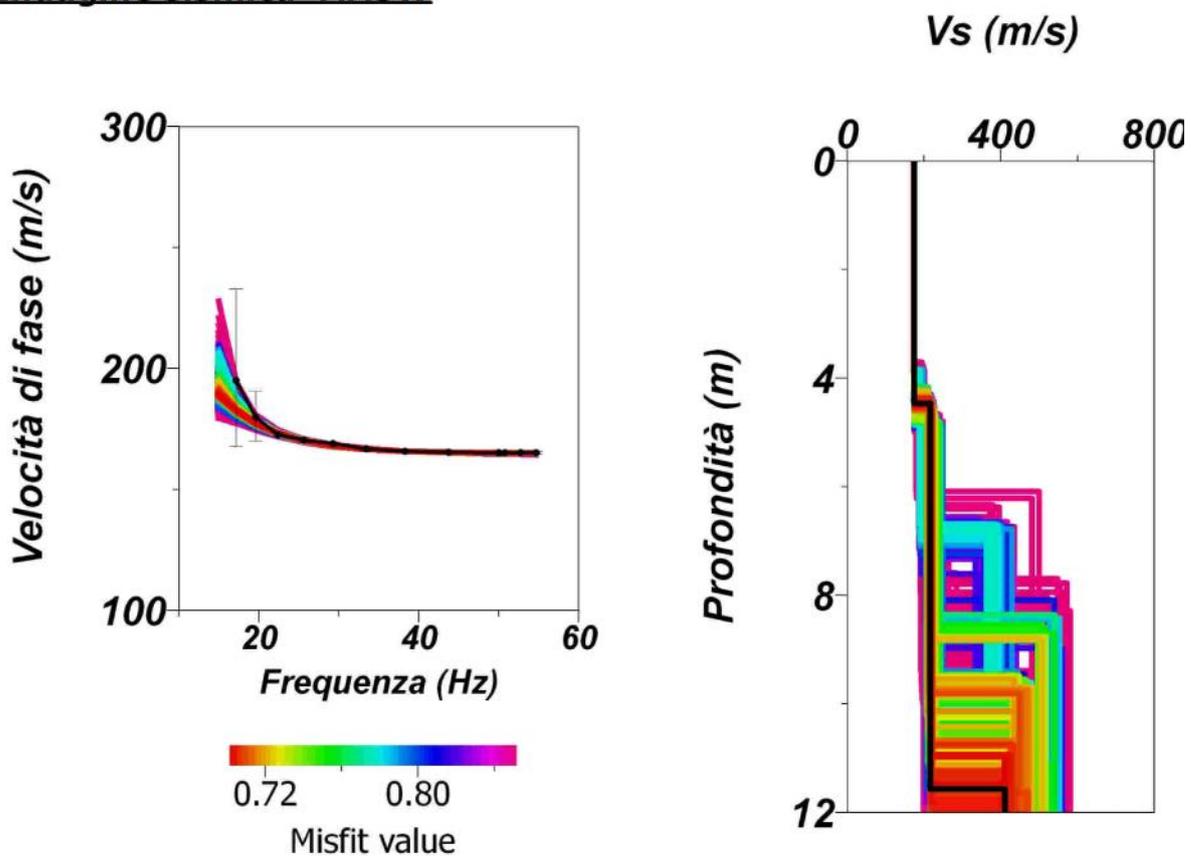
Località Cooperative - Via Crocillo - Spettro di velocità di fase.



Comune di Quarto

Località: MW5 - Cooperative - Via Crocillo

Indagine sismica MASW



N. sismostrato	h (m)	V _s (m/s)
1	4	170
2	7	220
3	1	410

Località: MW6 – Via Crocillo

Data: 01/07/2021



Località **Via Crocillo**– Ubicazione del rilievo sismico espletato.



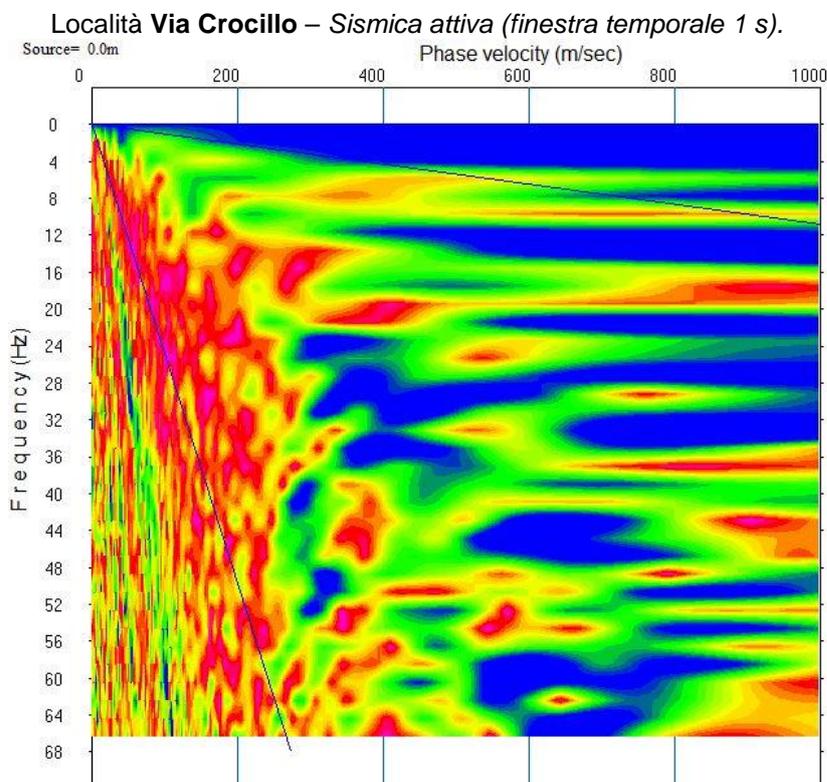
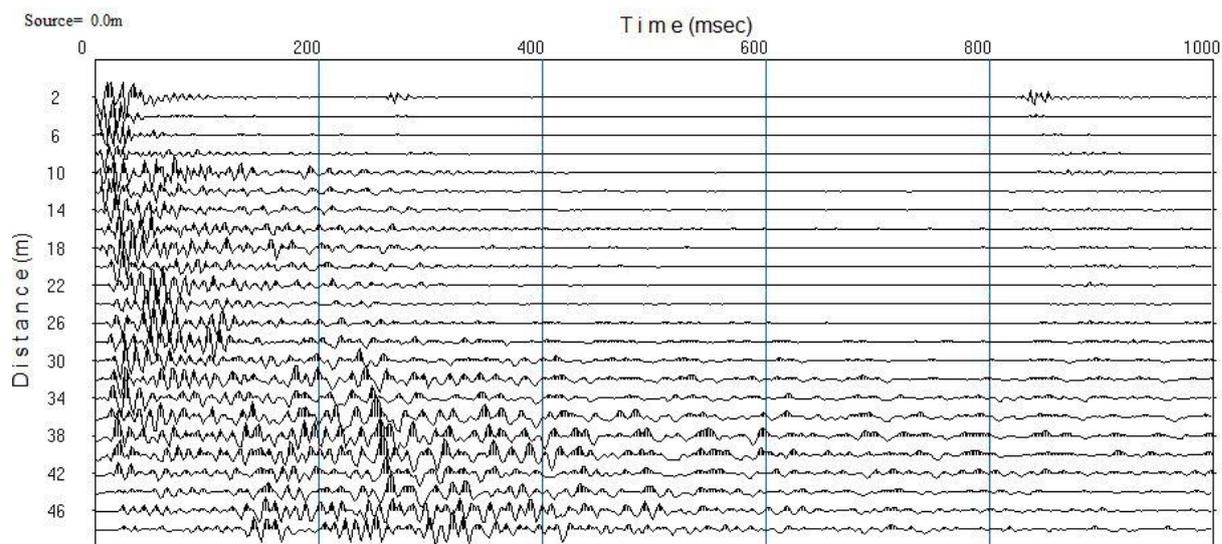
Località **Via Crocillo**– Documentazione fotografica.



Località: MW6 – Via Crocillo

Data: 01/07/2021

Canali: 24
 Intervallo di campionamento: 2 ms
 Passo intergeofonico: 2 m
 Offset minimo: 2 m
 Offset massimo: 48 m
 Numero Battute: 7



Località **Via Crocillo** – Spettro di velocità di fase.

Località: MW7 – Via Viticella

Data: 01/07/2021



Località Via Viticella – Ubicazione del rilievo sismico espletato.



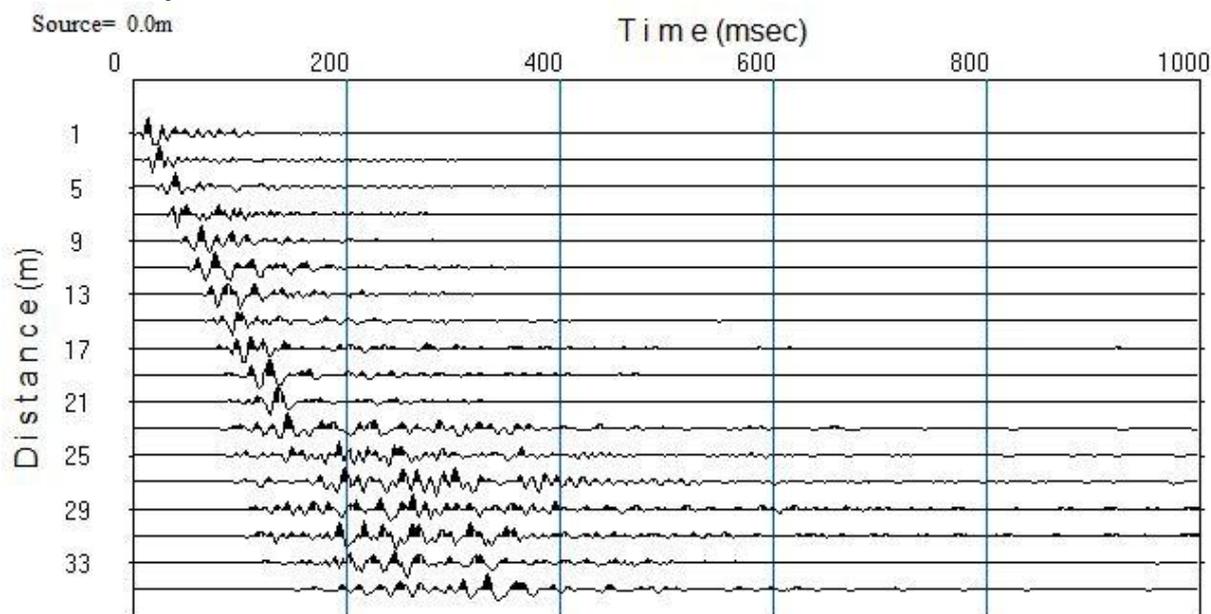
Località Via Viticella – Documentazione fotografica



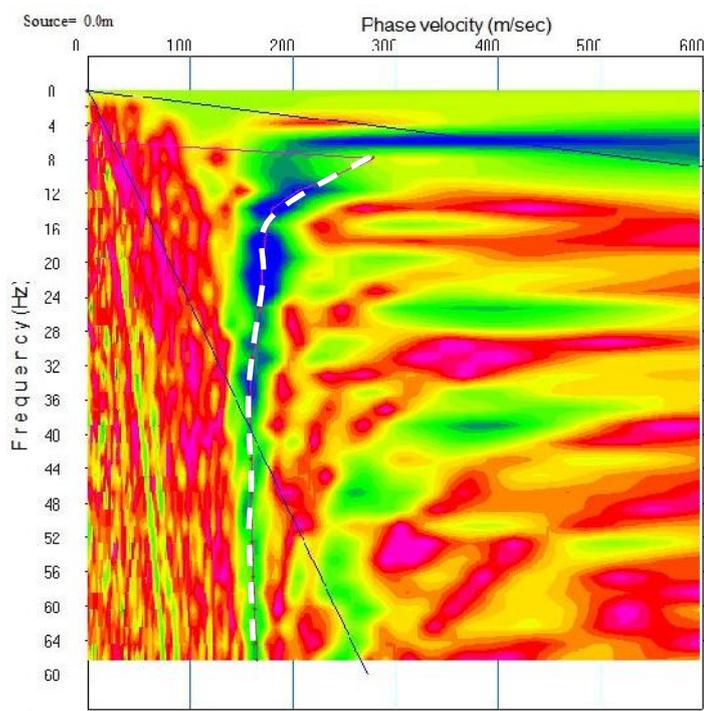
Località: MW7 - Via Viticella

Data: 01/07/2021

Canali: 18
Intervallo di campionamento: 2 ms
Passo intergeofonico: 2 m
Offset minimo: 1 m
Offsetset massimo: 35 m
Numero Acquisizioni: 5



Località Via Viticella - Sismica passiva (finestra temporale 1 s).



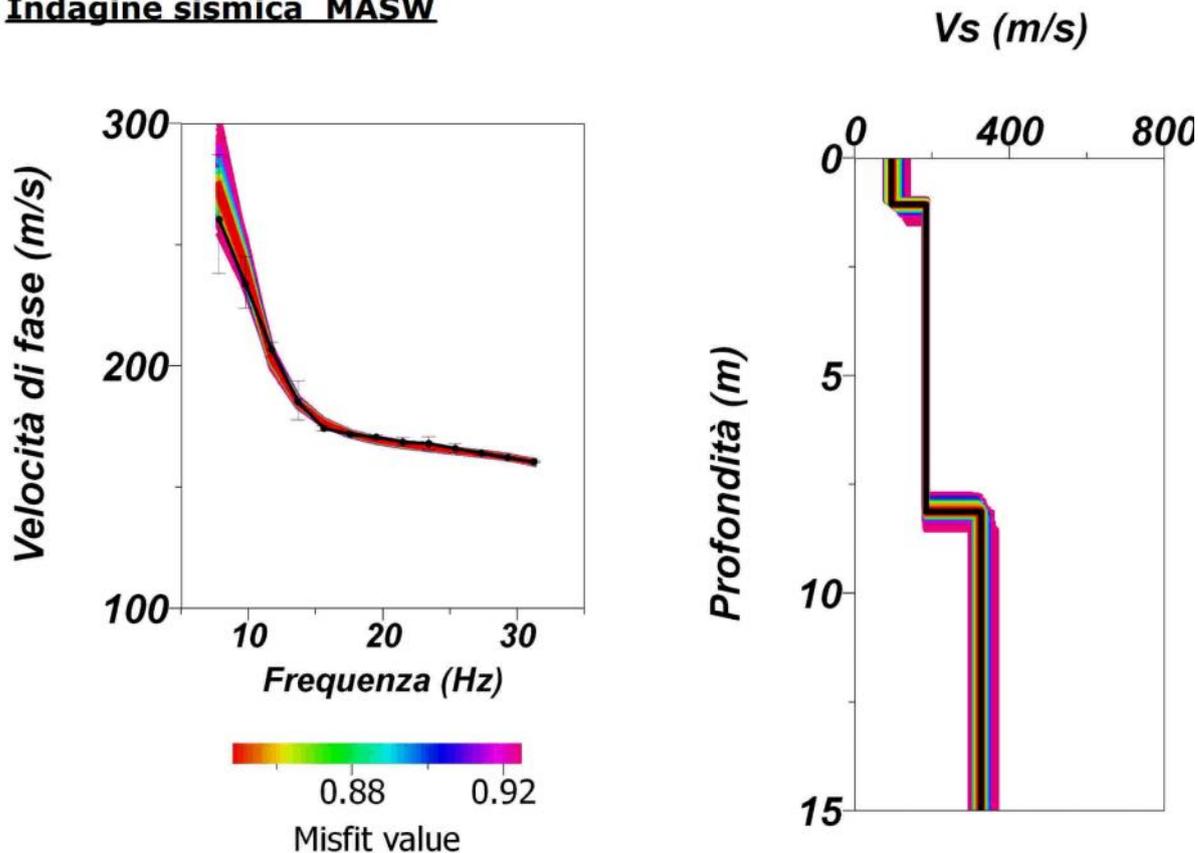
Località Via Viticella – Spettro di velocità di fase.



Comune di Quarto

Località: MW7 - Via Viticella

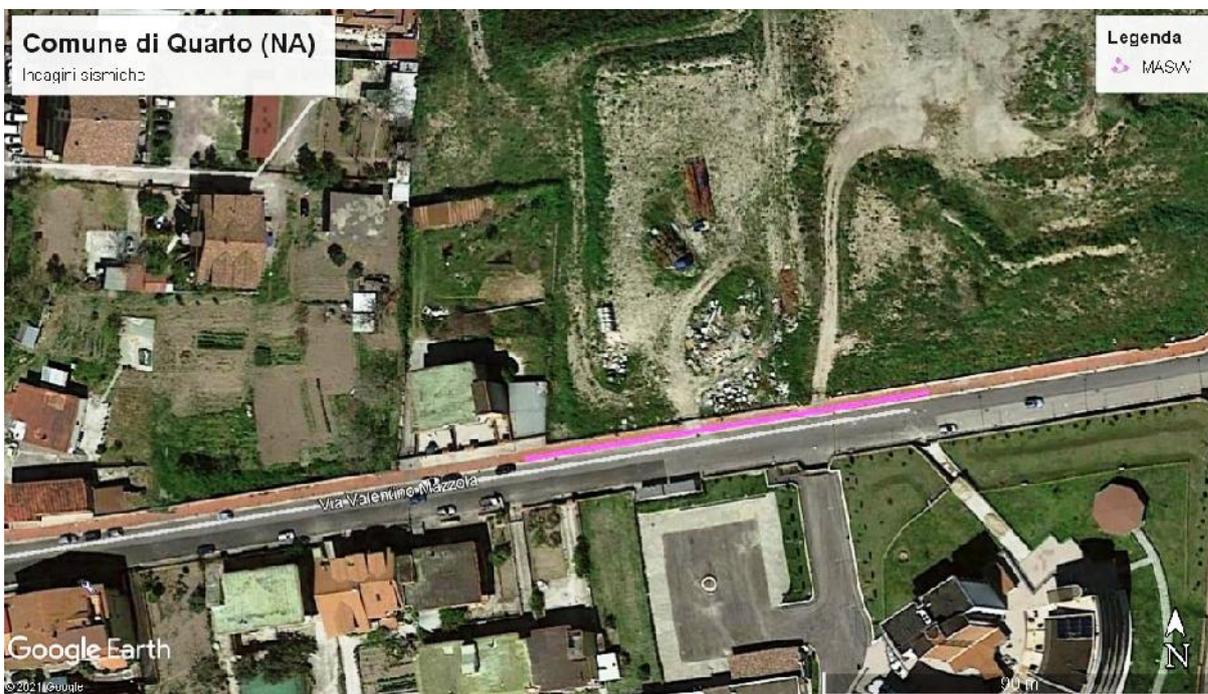
Indagine sismica MASW



N. sismostrato	h (m)	V _s (m/s)
1	1	100
2	7	180
3	7	320

Località: MW8 – Via V. Mazzola

Data: 06/05/2021



Località **Via V. Mazzola**– Ubicazione del rilievo sismico espletato.



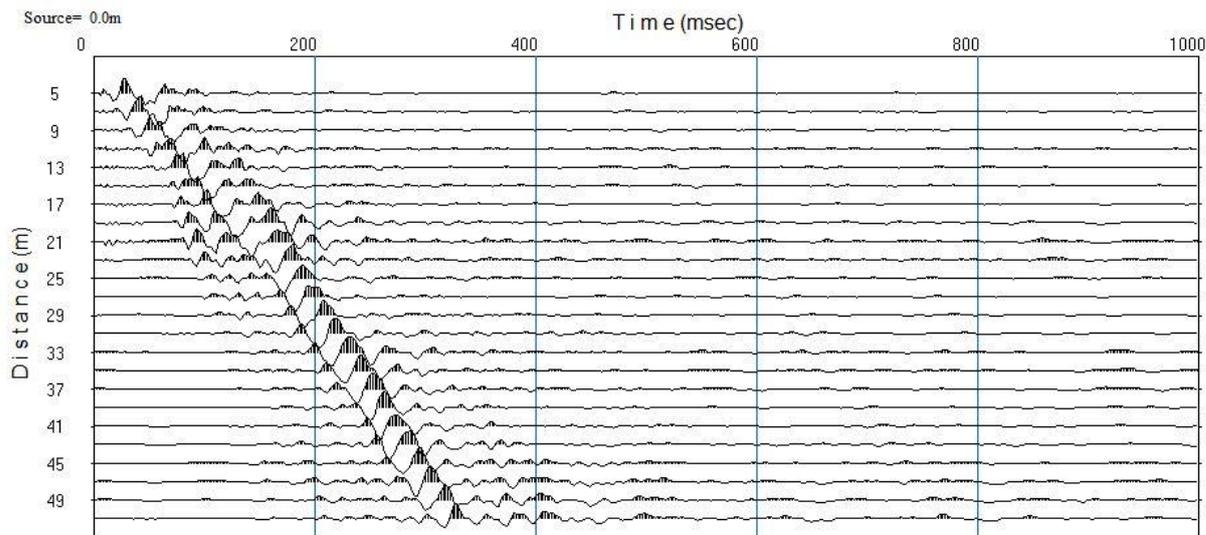
Località **Via V. Mazzola**– Documentazione fotografica.



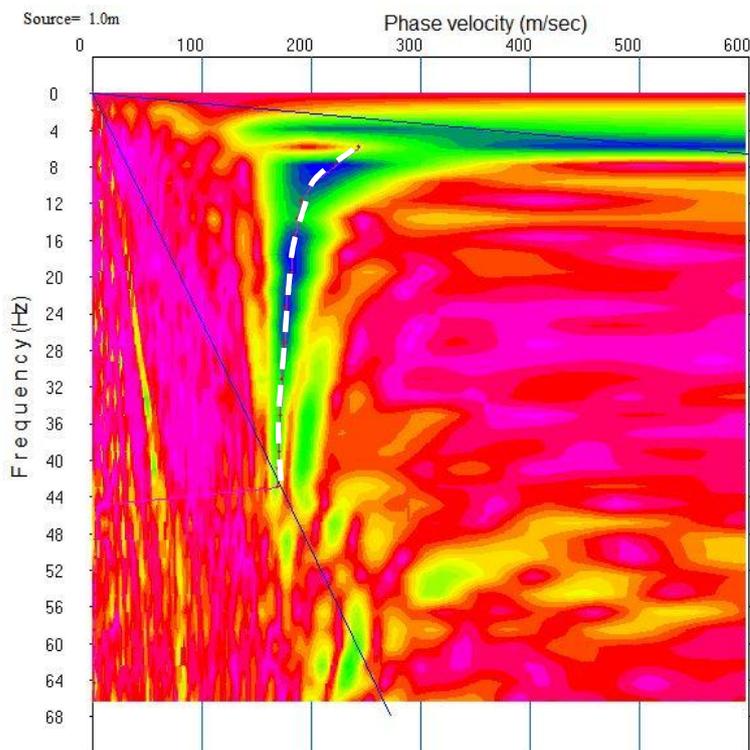
Località: MW8 – Via V. Mazzola

Data: 06/05/2021

Canali: 24
 Intervallo di campionamento: 2 ms
 Passo intergeofonico: 2 m
 Offset minimo: 5 m
 Offset massimo: 51 m
 Numero Battute: 5



Località **Via V. Mazzola**- Sismica attiva (finestra temporale 1 s).



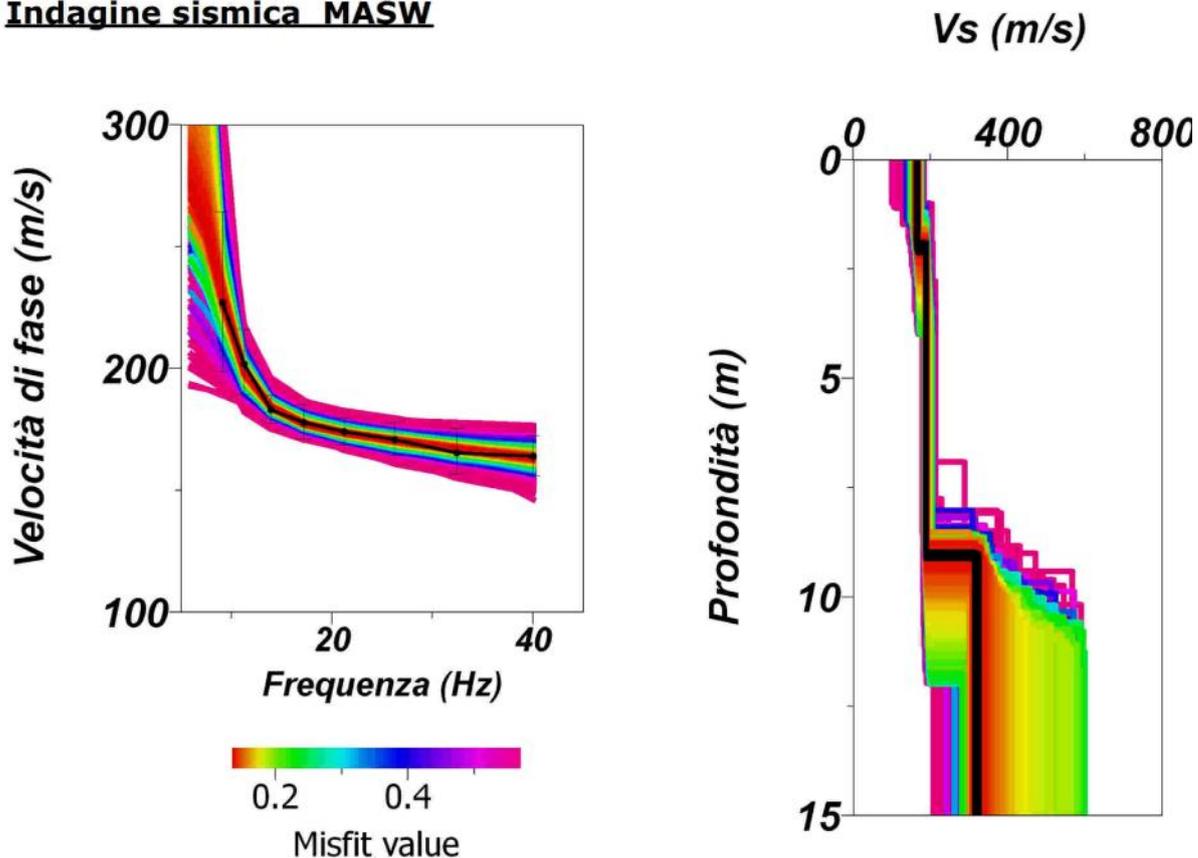
Località **Via V. Mazzola**- Spettro di velocità di fase.



Comune di Quarto

Località: MW8 - Via V. Mazzola

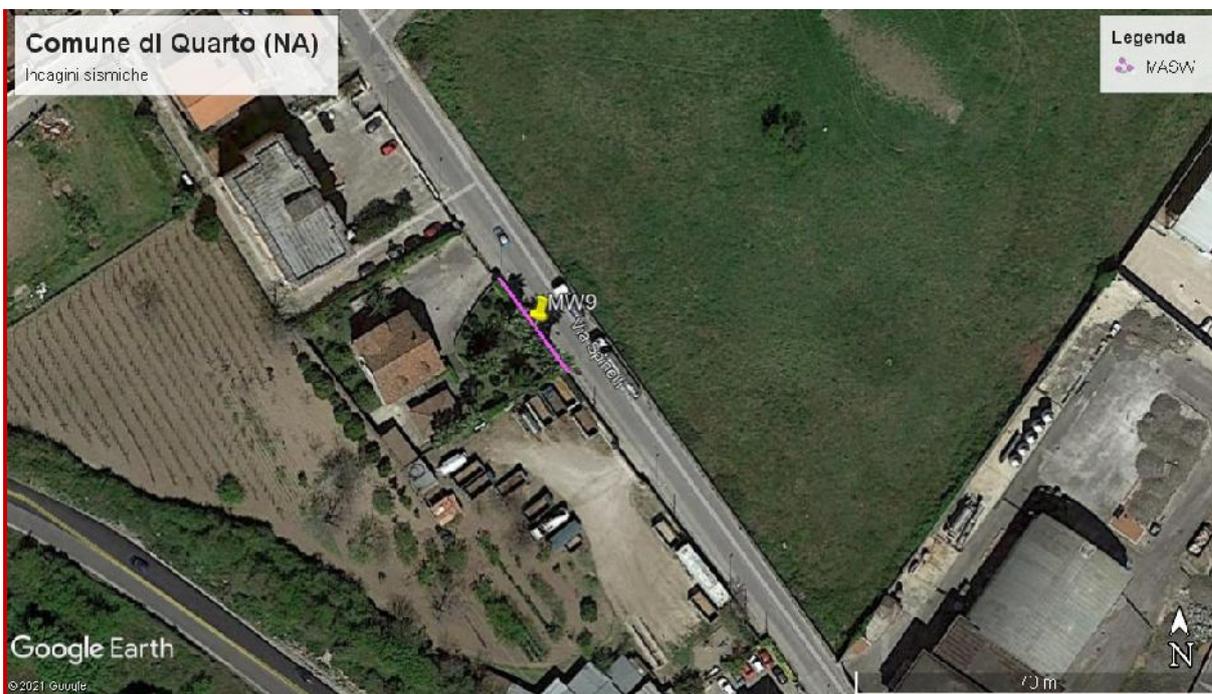
Indagine sismica MASW



<i>N. sismostrato</i>	<i>h (m)</i>	<i>V_s (m/s)</i>
1	2	160
2	7	190
3	6	320

Località: MW9 – Via Spinelli

Data: 01/07/2021



Località **Via Spinelli**– Ubicazione del rilievo sismico espletato.



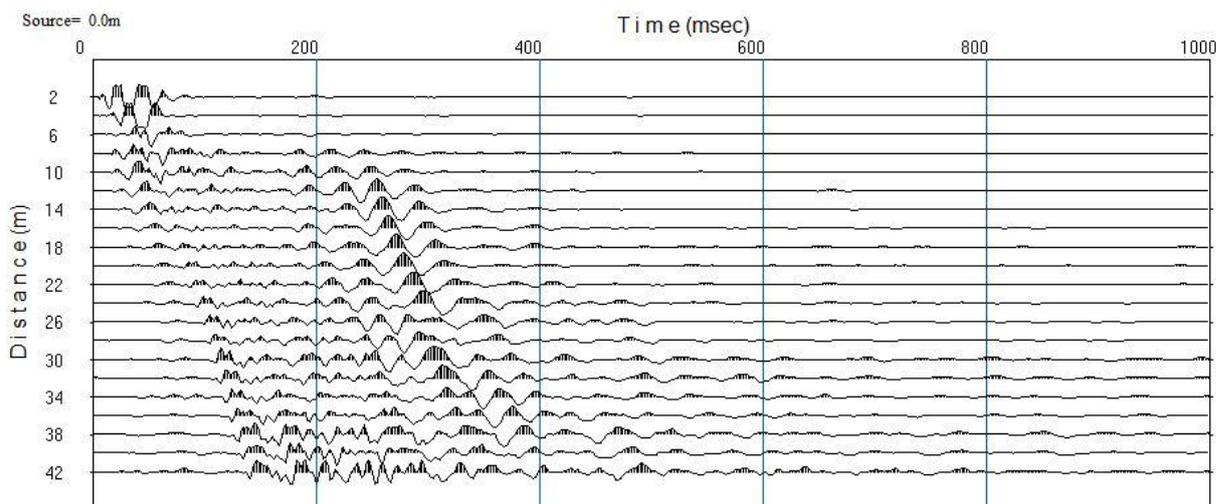
Località **Via Spinelli** – Documentazione fotografica.



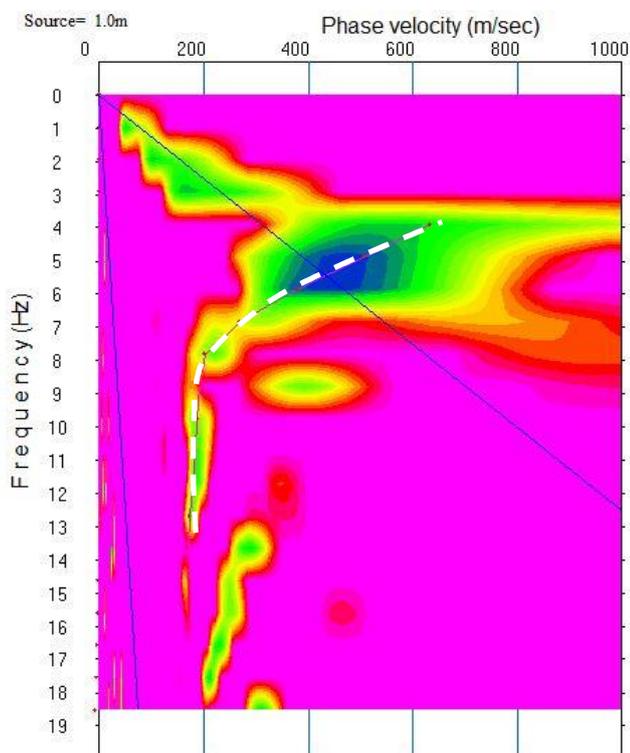
Località: Via Spinelli

Data: 01/07/2021

Canali: 24
 Intervallo di campionamento: 2 ms
 Passo intergeofonico: 2 m
 Offset minimo: 2 m
 Offset massimo: 42 m
 Numero Battute: 7



Località **Via Spinelli** - Sismica attiva (finestra temporale 1 s).



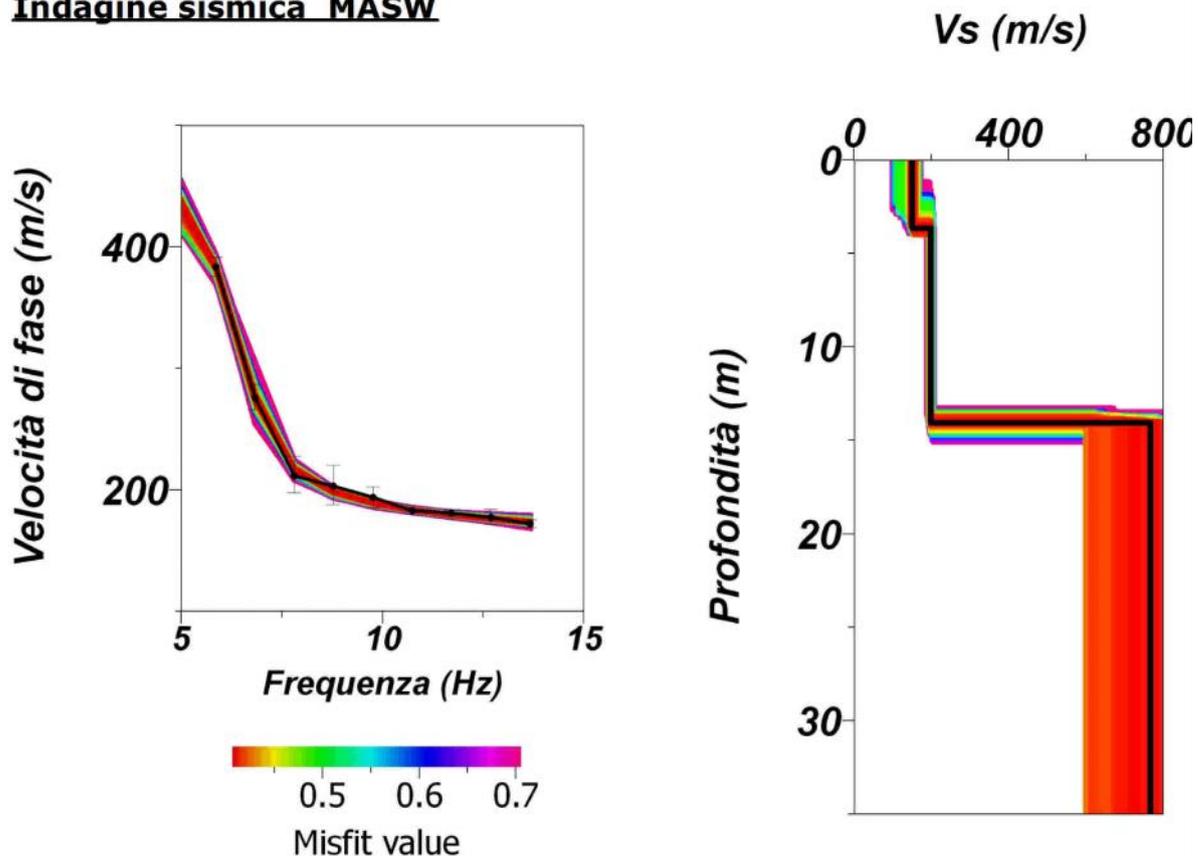
Località **Via Spinelli** – Spettro di velocità di fase.



Comune di Quarto

Località: MW9 - Via Spinelli

Indagine sismica MASW



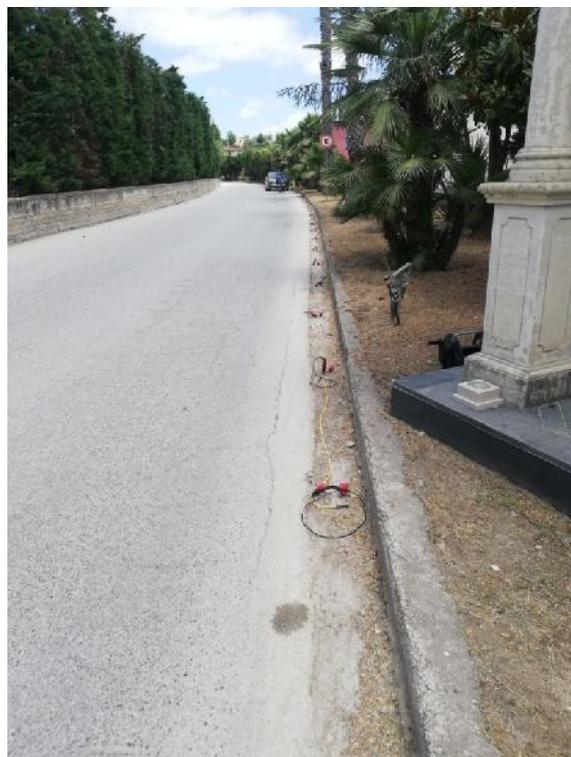
N. sismostrato	h (m)	Vs (m/s)
1	4	150
2	10	200
3	21	760

Località: MW10 – Via Spinelli

Data: 01/07/2021



Località Via Spinelli – Ubicazione del rilievo sismico espletato.



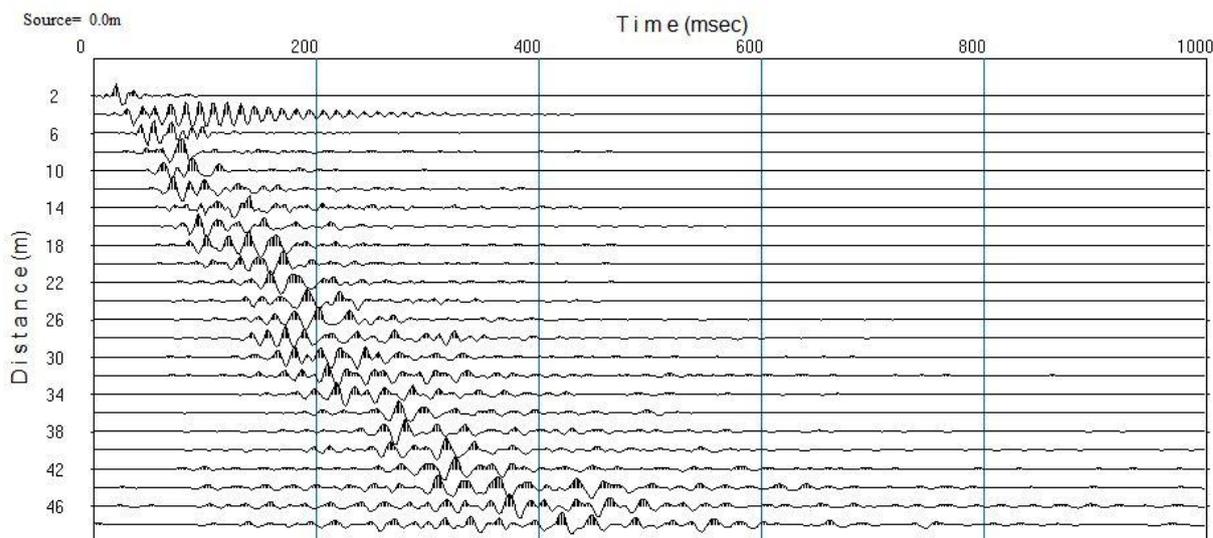
Località Via Spinelli – Documentazione fotografica.



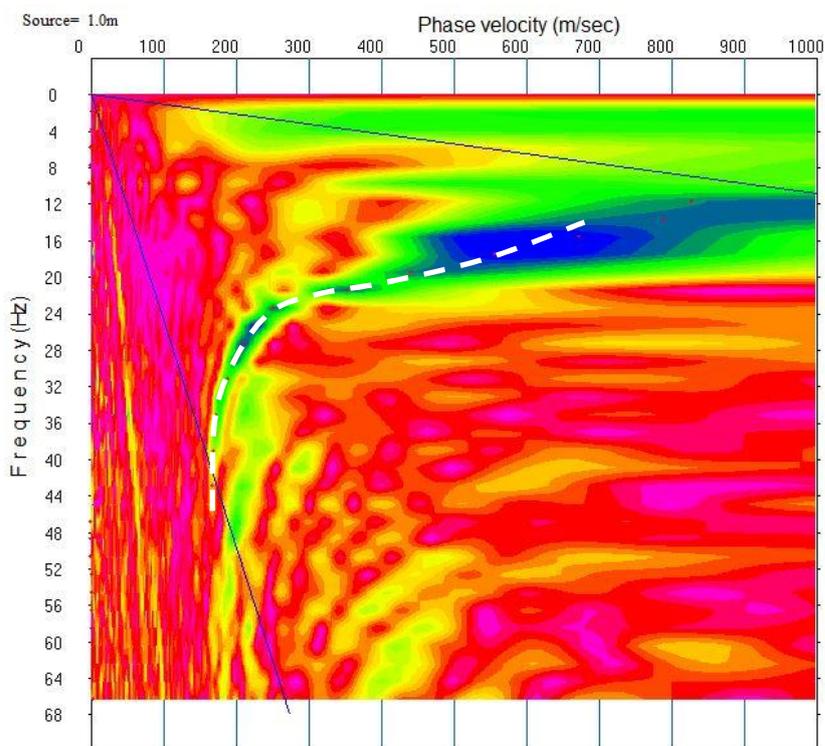
Località: MW10 – Via Spinelli

Data: 01/07/2021

Canali: 24
 Intervallo di campionamento: 2 ms
 Passo intergeofonico: 2 m
 Offset minimo: 2 m
 Offset massimo: 48m
 Numero Battute: 5



Località Via Spinelli- Sismica attiva (finestra temporale 1 s).



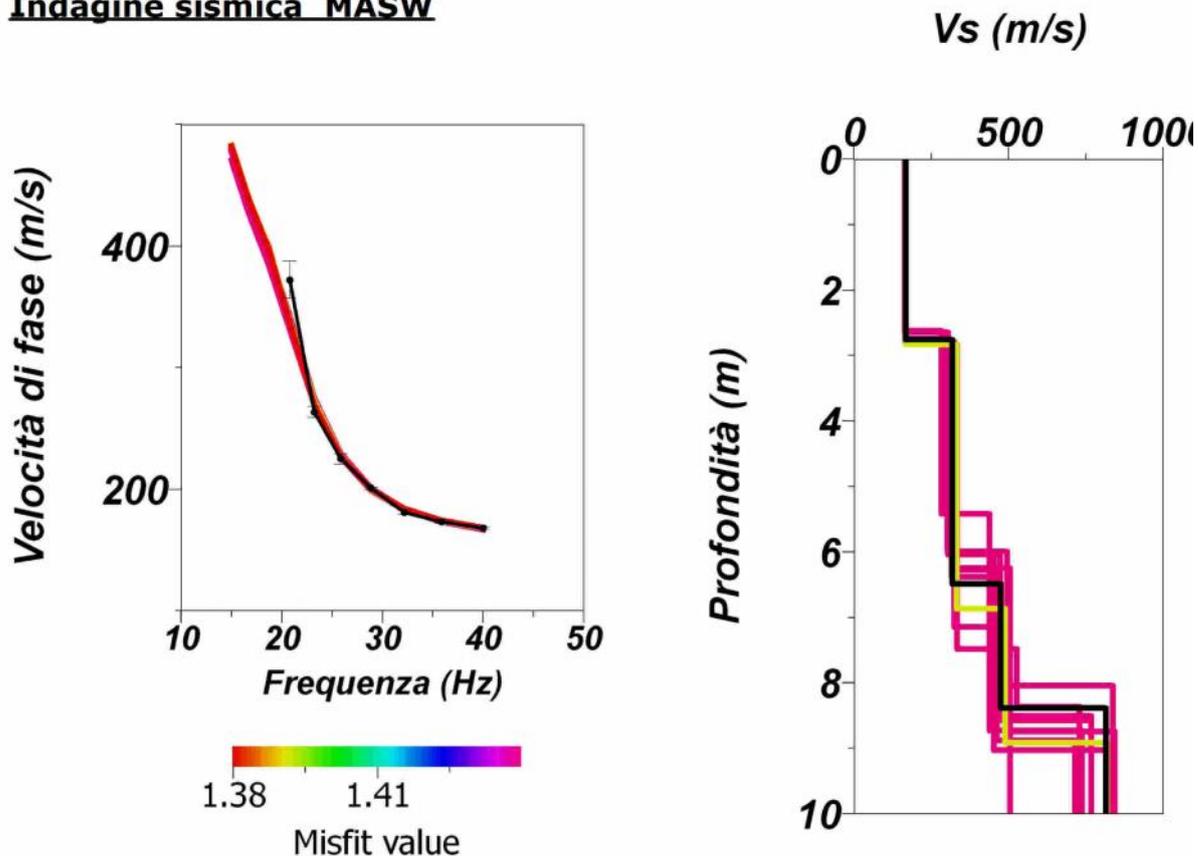
Località Via Spinelli - Spettro di velocità di fase.



Comune di Quarto

Località: MW10 - Via Spinelli

Indagine sismica MASW



N. sismostrato	h (m)	V _s (m/s)
1	3	170
2	4	320
3	2	470
4	2	810

Località: MW11 – Via Vico

Data: 12/05/2021



Località **Via Vico**– Ubicazione del rilievo sismico espletato.



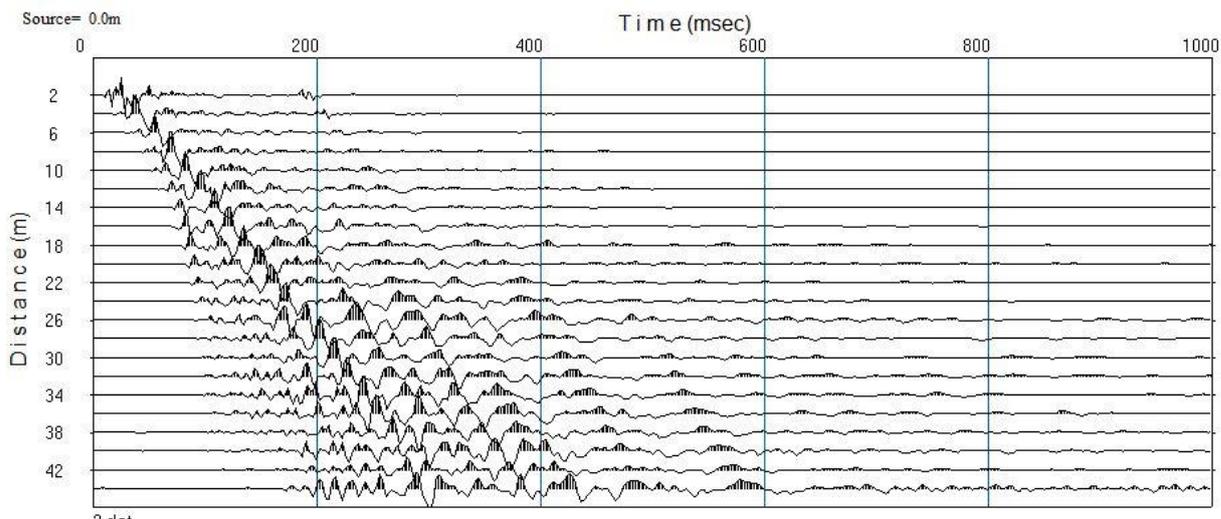
Località **Via Vico**– Documentazione fotografica.



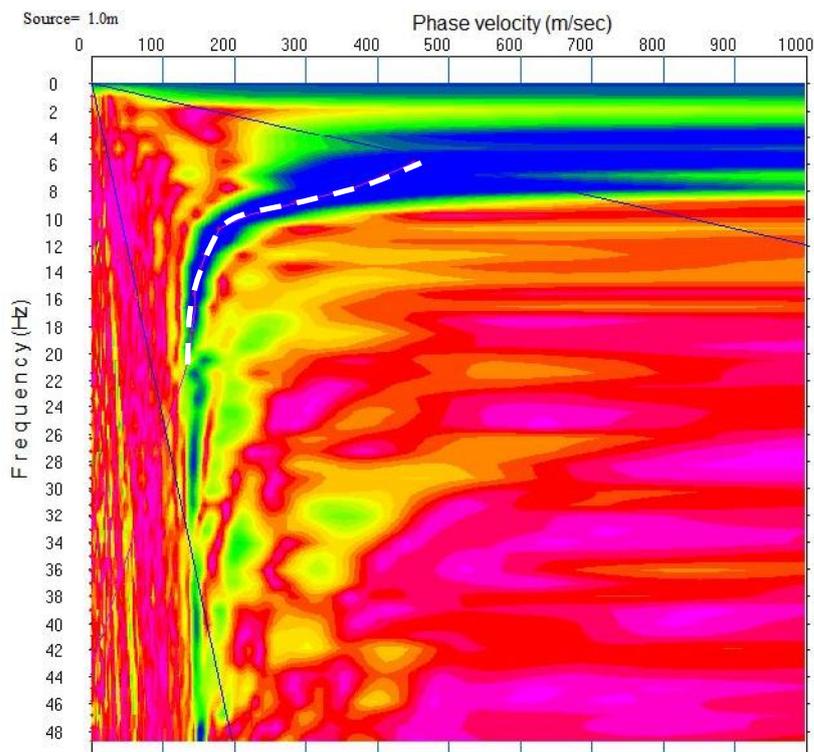
Località: MW11 – Via Vico

Data: 12/05/2021

Canali: 22
Intervallo di campionamento: 2 ms
Passo intergeofonico: 2 m
Offset minimo: 2 m
Offset massimo: 44m
Numero Battute: 5



Località Via Vico– Segnali acquisiti (finestre temporale di 1.0 s).



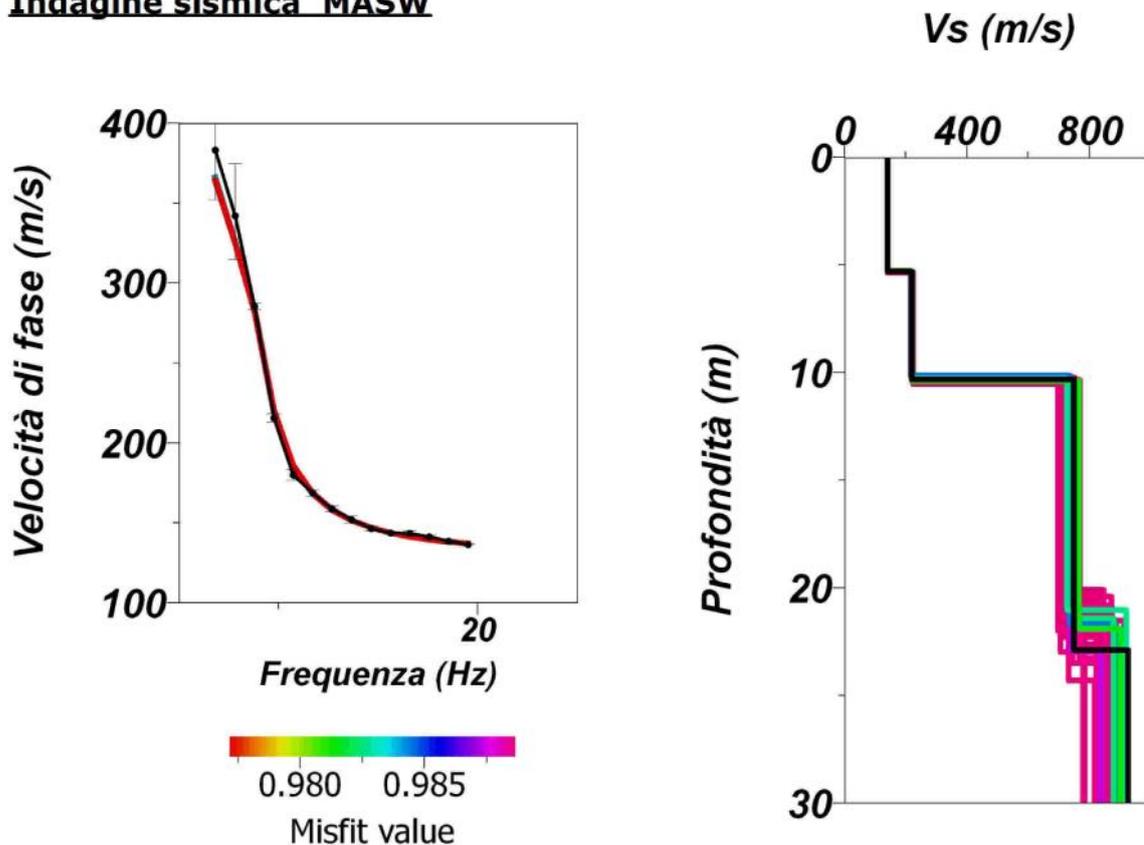
Località Via Vico- Spettro di velocità di fase.



Comune di Quarto

Località: MW11 - Via Vico

Indagine sismica MASW



N. sismostrato	h (m)	V _s (m/s)
1	5	140
2	5	220
3	12	750
4	8	930

Località: MW12 – Via Pantaleo

Data: 12/05/2021



Località **Via Monteleone**– Ubicazione del rilievo sismico espletato.



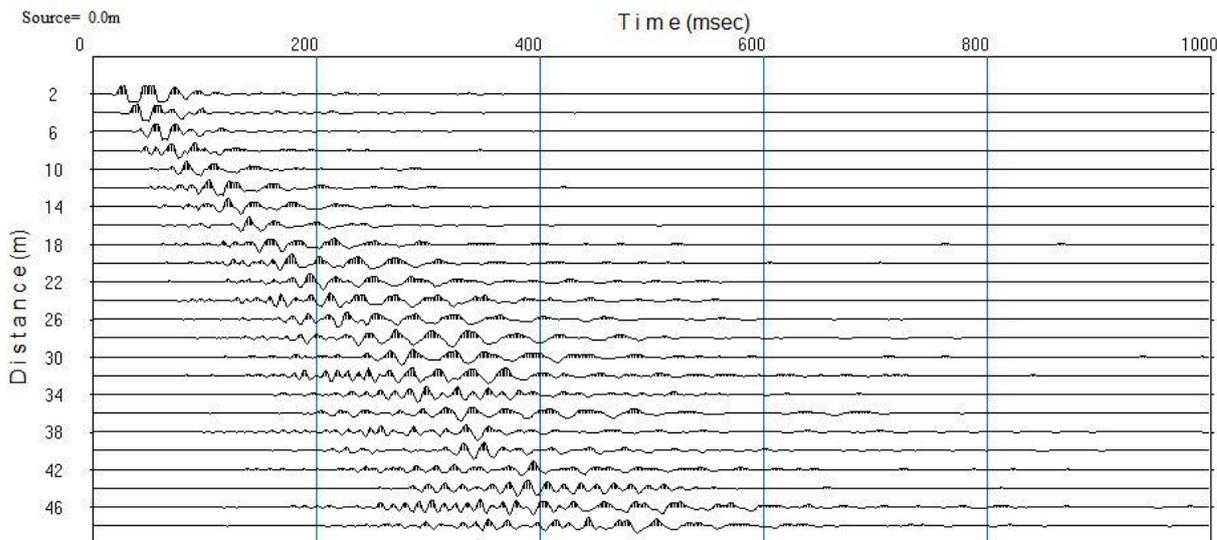
Località **Via Monteleone** – Documentazione fotografica.



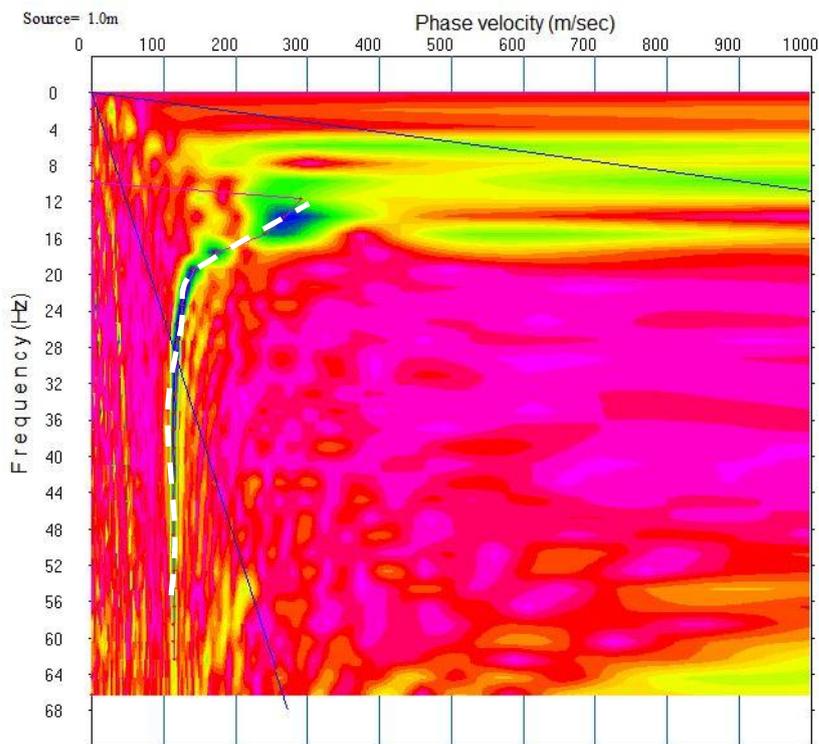
Località: MW12–Via Pantaleo

Data: 12/05/2021

Canali: 24
 Intervallo di campionamento: 2 ms
 Passo intergeofonico: 2 m
 Offset minimo: 2 m
 Offset massimo: 48 m
 Numero Battute: 5



Località Via Pantaleo – Segnali acquisiti (finestre temporale di 1.0 s).



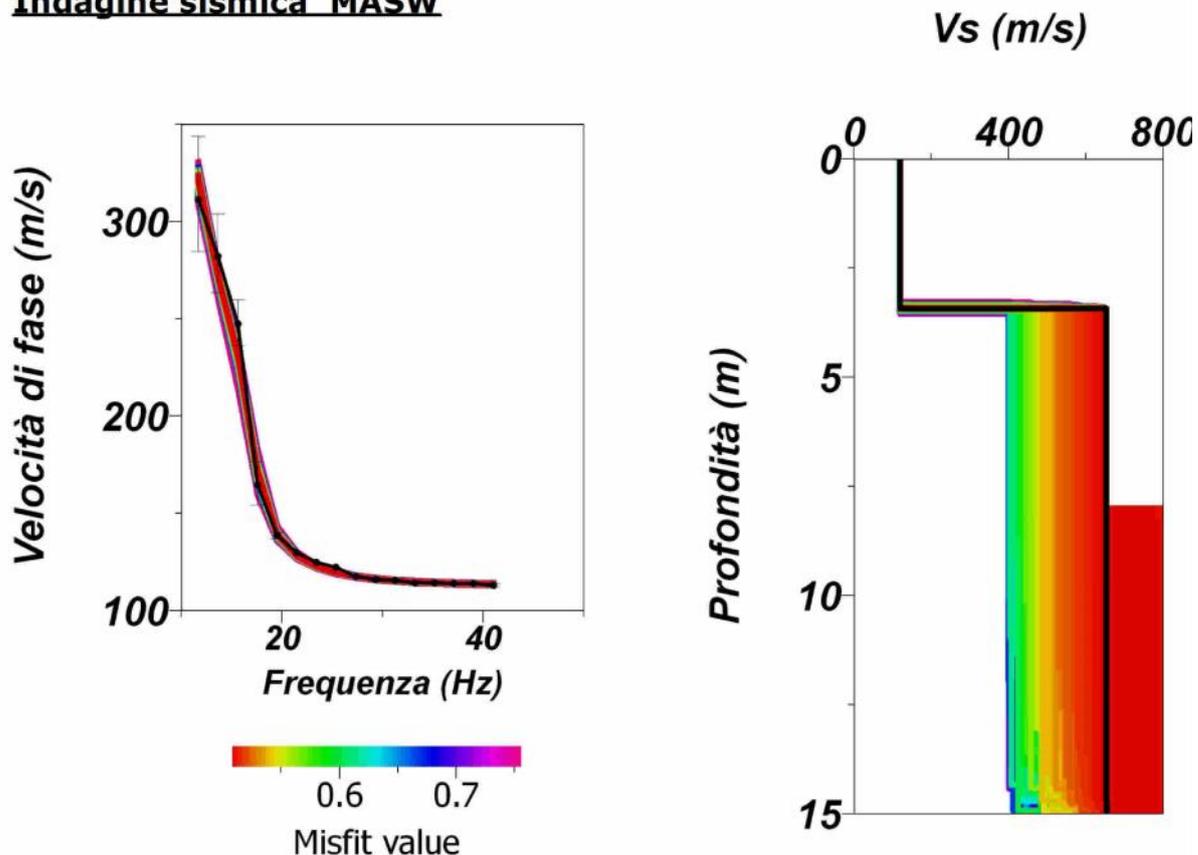
Località Via Monteleone – Spettro di velocità di fase.



Comune di Quarto

Località: MW12 - Via Pantaleo

Indagine sismica MASW



<i>N. sismostrato</i>	<i>h (m)</i>	<i>V_s (m/s)</i>
1	3	120
2	12	650

Località: HV1 – Cooperative – Via Crocillo

Data: 29/04/2021



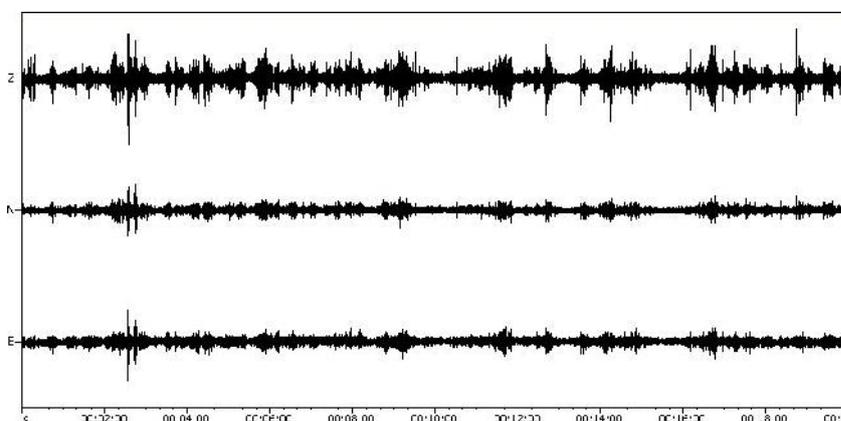
Località Cooperative – Via Crocillo – Ubicazione del rilievo sismico espletato.



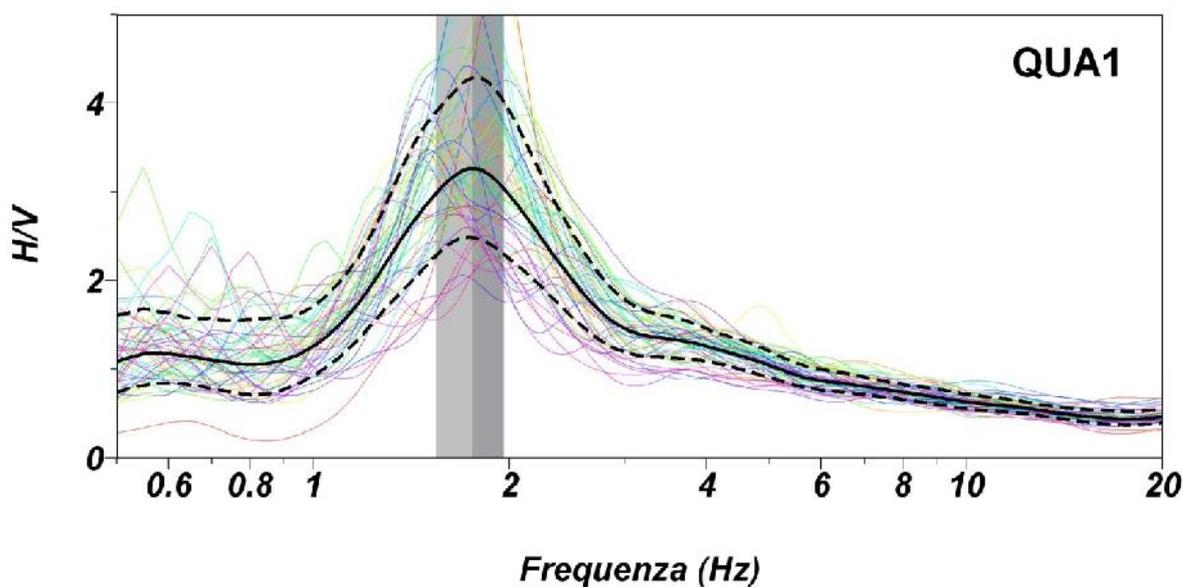
Località Cooperative – Via Crocillo – Documentazione fotografica.



Punto di Misura:	HV1 – Cooperative via Crocillo
Data di acquisizione:	29/04/2021
Latitudine:	40.883507°N
Longitudine:	14.149107°E
Altezza slm:	54 m
Durata temporale:	20 min
Frequenza di campionamento:	128 Hz
Lunghezza finestra di analisi	20 s
Funzione di lisciamento	Konno e Omachi
Fattore di lisciamento	20
F₀	1.75 ± 0.21 Hz



Località **Cooperative – Via Crocillo** – Segnali acquisiti (durata temporale 20 min.).



Località **Cooperative – Via Crocillo** – Funzione media HVSR

Località: HV2 – Via S. Maria

Data: 29/04/2021



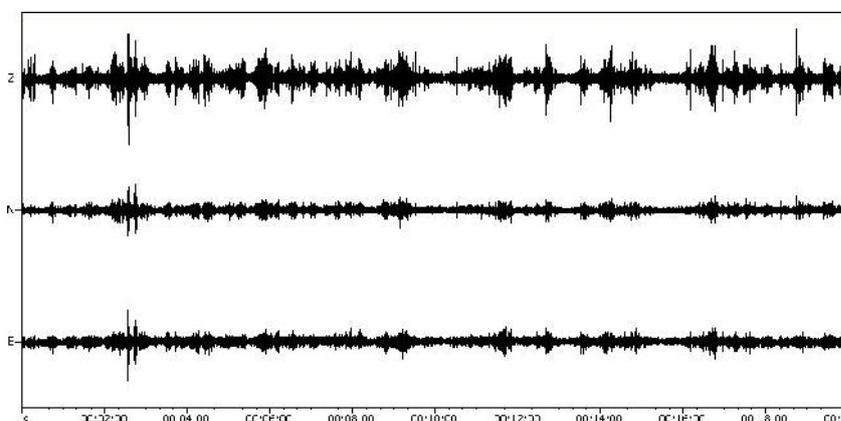
Località **Via S. Maria** – Ubicazione del rilievo sismico espletato.



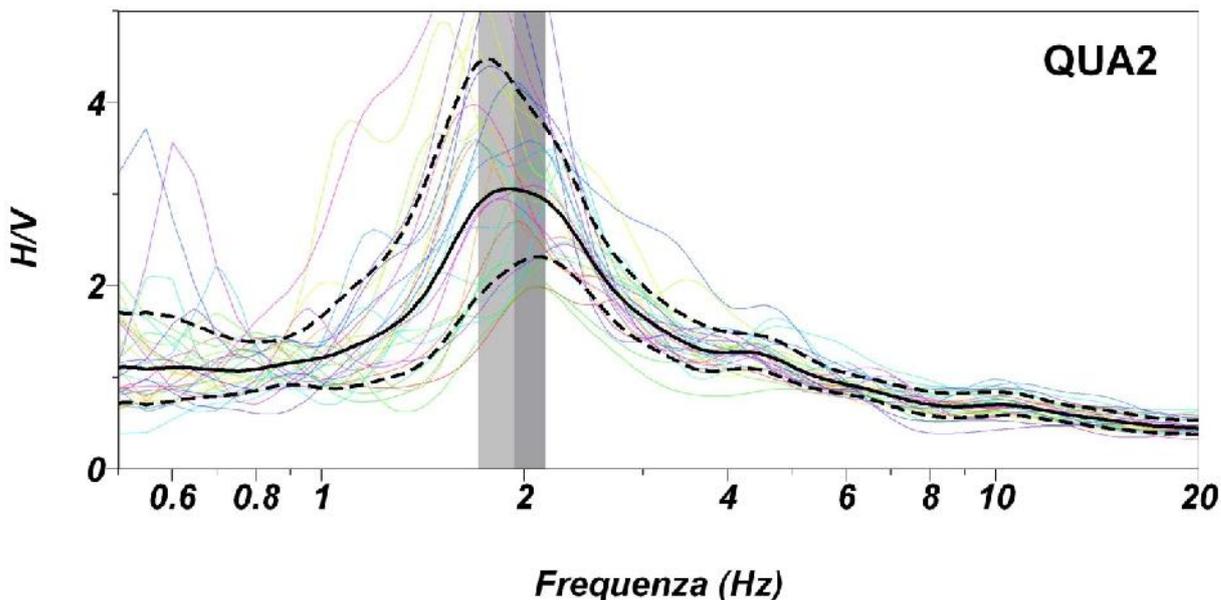
Località **Via S. Maria** – Documentazione fotografica.



Punto di Misura:	HV2 – Via S. Maria
Data di acquisizione:	29/04/2021
Latitudine:	40.879015°N
Longitudine:	14.151755°E
Altezza slm:	60 m
Durata temporale:	20 min
Frequenza di campionamento:	128 Hz
Lunghezza finestra di analisi	20 s
Funzione di lisciamento	Konno e Omachi
Fattore di lisciamento	20
F₀	1.93 ± 0.22 Hz



Località **Via S. Maria** – Segnali acquisiti (durata temporale 20 min.).



Località **Via S. Maria** – Funzione media HVSR

Località: HV3 – Corso Italia

Data: 29/04/2021



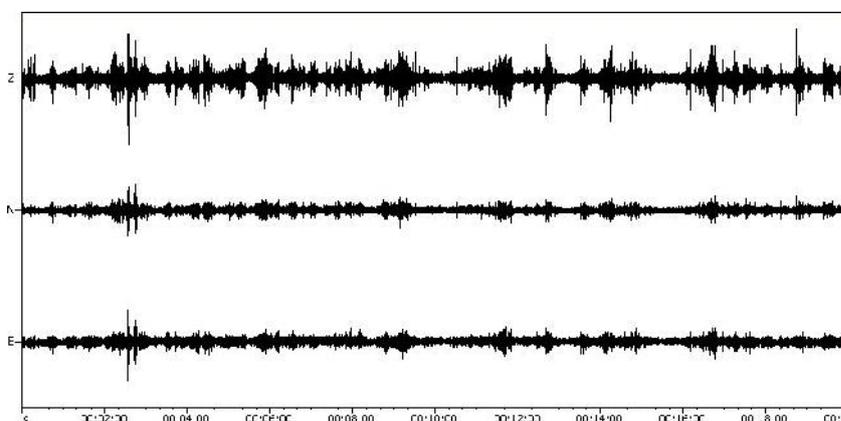
Località **Corso Italia** – Ubicazione del rilievo sismico espletato.



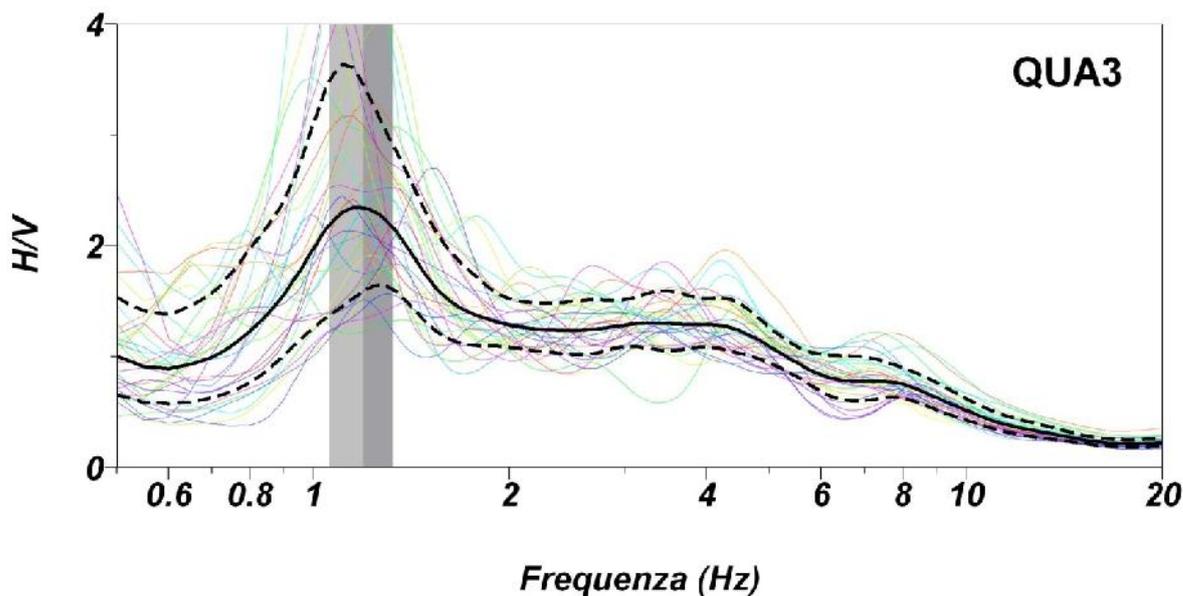
Località **Corso Italia** – Documentazione fotografica.



Punto di Misura:	HV3 – Corso Italia
Data di acquisizione:	29/04/2021
Latitudine:	40.878217 °N
Longitudine:	14.136695 °E
Altezza slm:	46 m
Durata temporale:	20 min
Frequenza di campionamento:	128 Hz
Lunghezza finestra di analisi	20 s
Funzione di lisciamento	Konno e Omachi
Fattore di lisciamento	20
F₀	1.19 ± 0.13 Hz



Località **Corso Italia** – Segnali acquisiti (durata temporale 20 min.).



Località **Corso Italia** – Funzione media HVSR.

Località: HV4 – Via Viticella

Data: 29/04/2021



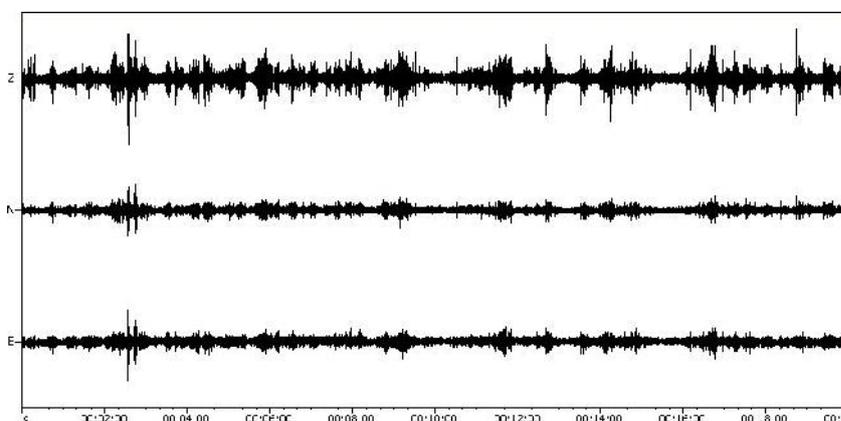
Località Via Viticella – Ubicazione del rilievo sismico espletato.



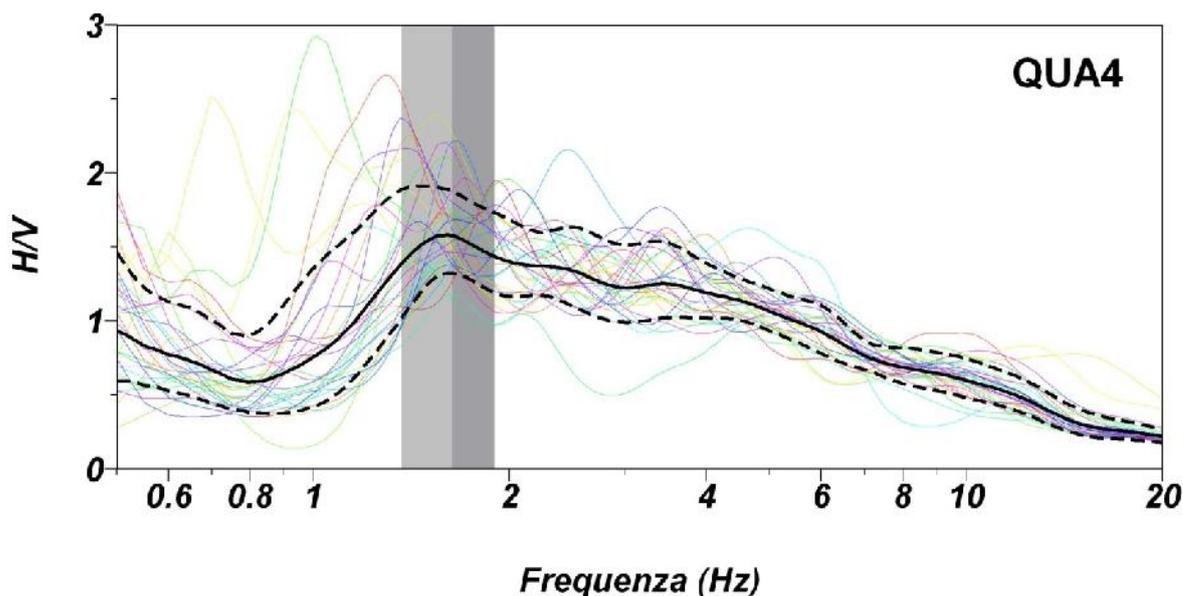
Località Via Viticella – Documentazione fotografica.



Punto di Misura:	HV4 – Via Viticella
Data di acquisizione:	29/04/2021
Latitudine:	40.871278 °N
Longitudine:	14.133218 °E
Altezza slm:	60 m
Durata temporale:	20 min
Frequenza di campionamento:	128 Hz
Lunghezza finestra di analisi	20 s
Funzione di lisciamento	Konno e Omachi
Fattore di lisciamento	20
F₀	1.63 ± 0.26 Hz



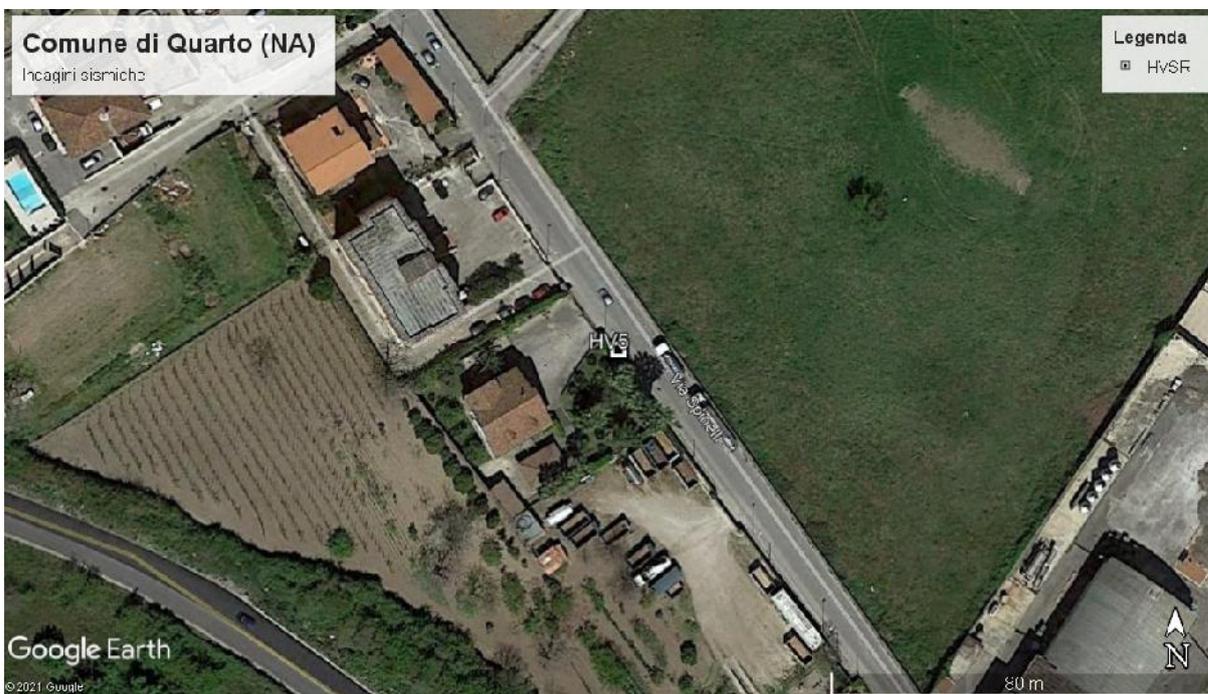
Località **Via Viticella** – Segnali acquisiti (durata temporale 20 min.).



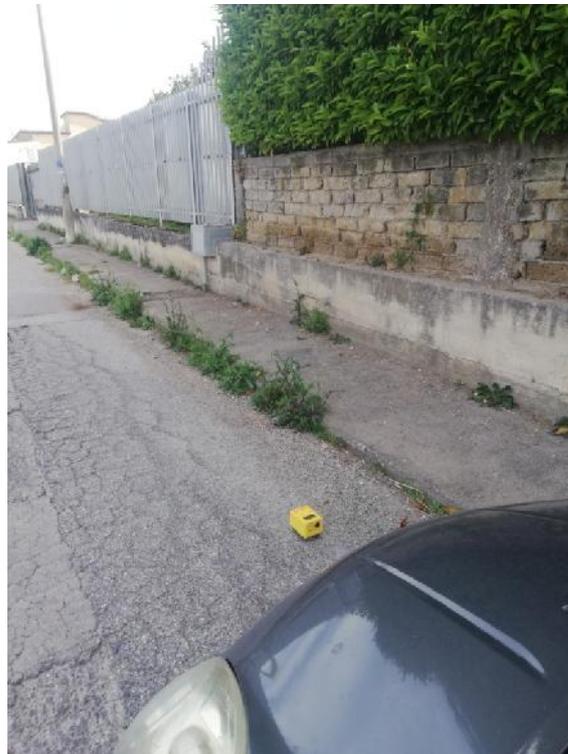
Località **Via Viticella** – Funzione media HVSR.

Località: HV5 – Via Spinelli

Data: 29/04/2021



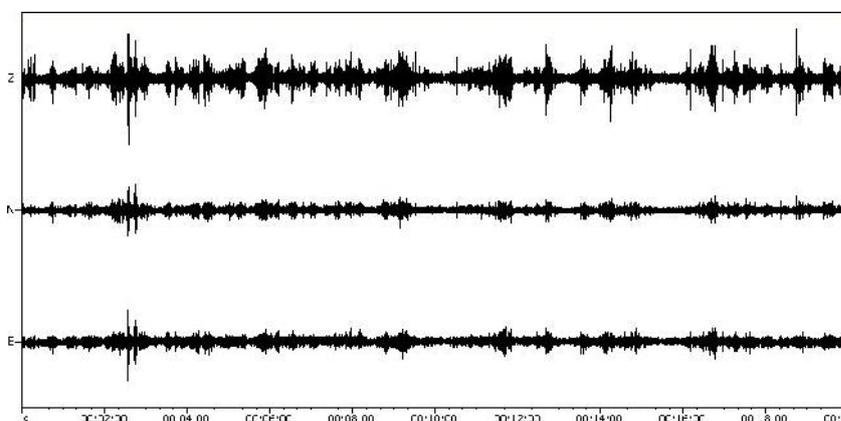
Località Via Spinelli – Ubicazione del rilievo sismico espletato.



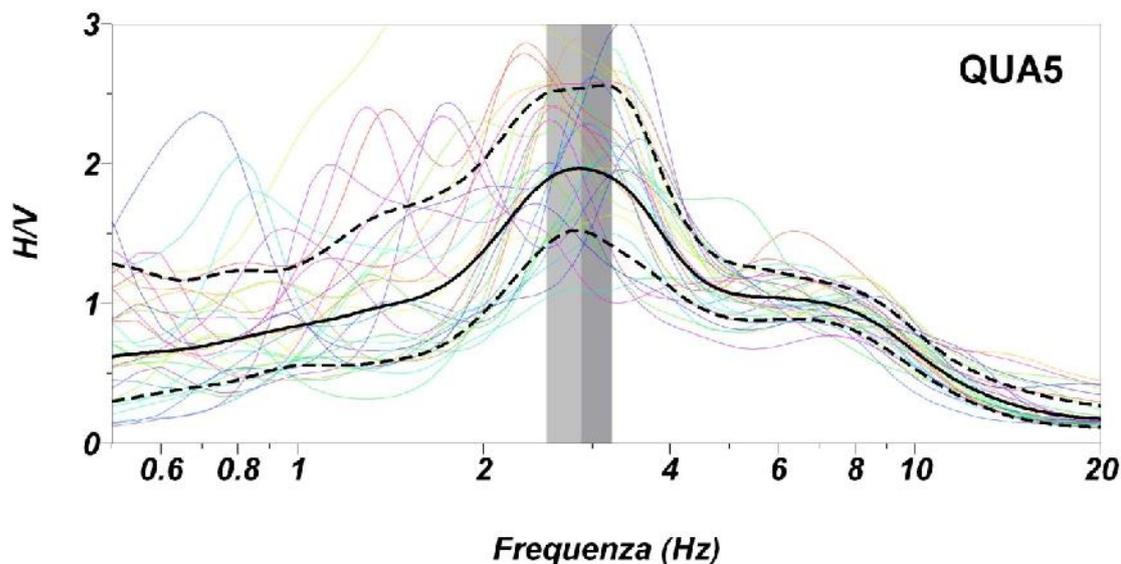
Località Via Spinelli – Documentazione fotografica.



Punto di Misura:	HV5 – Via Spinelli
Data di acquisizione:	29/04/2021
Latitudine:	40.877416°N
Longitudine:	14.106190°E
Altezza slm:	48 m
Durata temporale:	20 min
Frequenza di campionamento:	128 Hz
Lunghezza finestra di analisi	20 s
Funzione di lisciamento	Konno e Omachi
Fattore di lisciamento	15
F₀	2.88 ± 0.34 Hz



Località **Via Spinelli** – Segnali acquisiti (durata temporale 20 min.).



Località **Via Spinelli** – Funzione media HVSR.

Località: HV6 – Via Pantaleo

Data: 29/04/2021



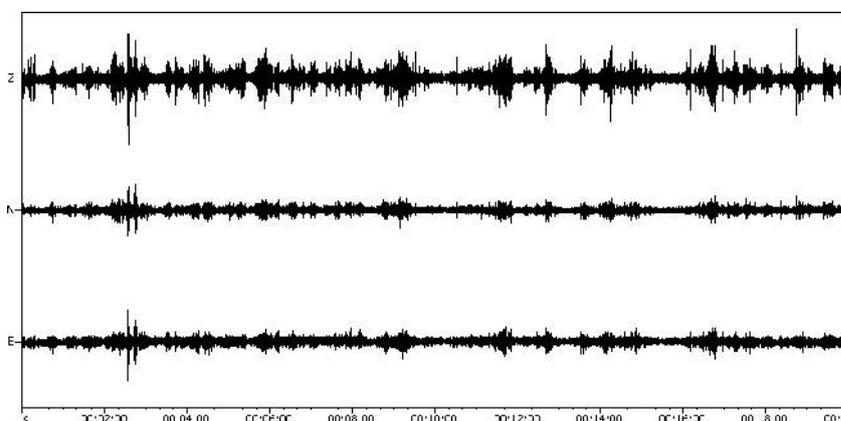
Località Via Pantaleo – Ubicazione del rilievo sismico espletato.



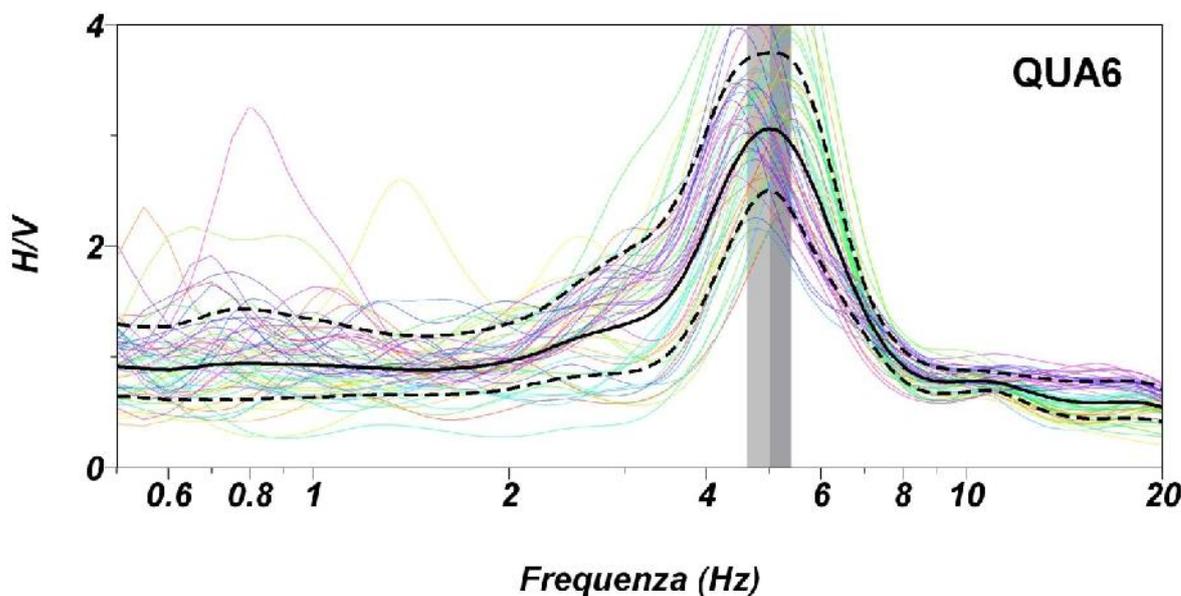
Località Via Pantaleo – Documentazione fotografica.



Punto di Misura:	HV6 – Via Pantaleo
Data di acquisizione:	29/04/2021
Latitudine:	40.901386 °N
Longitudine:	14.116585 °E
Altezza slm:	100 m
Durata temporale:	20 min
Frequenza di campionamento:	128 Hz
Lunghezza finestra di analisi	20 s
Funzione di lisciamento	Konno e Omachi
Fattore di lisciamento	15
F₀	5.00 ± 0.40 Hz



Località **Via Pantaleo** – Segnali acquisiti (durata temporale 20 min.).



Località **Via Pantaleo** – Funzione media HVSR.



Conclusioni

La campagna di indagini sismiche, svolta di supporto allo studio geologico al redigendo P.U.C. del Comune di Quarto, ha consentito di definire i rapporti sismostratigrafici, in termini di V_s , che intercorrono tra i litotipi più superficiali presenti nel territorio comunale.

Le indagini sismiche MASW hanno infatti restituito modelli di velocità delle onde di taglio la cui profondità di indagine varia tra 10 e 35 metri. I valori di V_s sono associabili principalmente a depositi piroclastici sciolti il cui grado di addensamento tende ad aumentare con la profondità, raggiungendo, in alcune località, valori che indicano un discreto stato di addensamento (MW1 – *Vai Scarlatti*, MW2 – *Scuola “E. De Filippo”*). Valori di V_s superiori a 600 m/s sono stati individuati per MW9 – *Via Spinelli*, MW10 – *Via Spinelli*, MW11 – *Via Vico*, MW12 – *Via Pantaleo* indicando la presenza di corpi a consistenza tufacea nel sottosuolo a profondità variabile tra 3 e 14 metri dal piano campagna. Solo per l'indagine eseguita in località MW6 – *Via Crocillo* non è stato possibile eseguire la modellizzazione delle velocità delle onde di taglio, ritenendo che l'acquisizione dei dati sismici sia stata alterata da strutture antropiche nel sottosuolo.

Le misure di microtremori HVSR hanno individuato frequenze di risonanza comprese tra 1.19 - 5.00 Hz che, sulla base delle conoscenze geologiche generali del territorio comunale, si ritiene possano essere attribuite alla frequenza fondamentale di risonanza:

N.	Località	Frequenza fondamentale di risonanza (Hz)
HV1	<i>Cooperative – via Crocillo</i>	1.75
HV2	<i>Via S. Maria</i>	1.93
HV3	<i>Corso Italia</i>	1.19
HV4	<i>Via Viticella</i>	1.63



HV5	Via Spinelli	2.88
HV6	Via Pantaleo	5.00

Le misure eseguite nelle località da HV1 a HV4 hanno restituito valori di frequenza compresi tra 1.19 – 1.93 Hz mentre valori più alti sono stati misurati per le località HV5 - Via Spinelli e HV6 - Via Pantaleo (rispettivamente 2.88 e 5.00 Hz). Tale scostamento indica una quota più superficiale del substrato sismico che, in linea con le conoscenze generali, è attribuibile alla formazione tufacea di base.

Tanto si doveva per l'incarico ricevuto.

PORTICI, 13/09/2021

Il Consulente

Ph.D. Geol. Gerardo DE NISCO



Bibliografia

Bellucci F., 1998 "Nuove Conoscenze stratigrafiche sui depositi effusive ed esplosivi nel sottosuolo dell'area Somma – Vesuvio". Boll. Soc. Geol. It. 117, 385 – 405.

De Nisco G., Nunziata C., 2011. V_s Profiles from Noise Cross Correlation at Local and Small Scale. *Pure appl. geophys* 168, 509 – 520.

De Nisco G., Nunziata C., Vaccari F., Panza G. F., 2008 "Shear wave velocities from noise correlation at local scale". In: A. Santini, N. Moraci (Ed.) - 2008 *Seismic Engineering International Conference commemorating the 1908 Messina and Reggio Calabria Earthquake, Reggio Calabria 8 -11 July 2008*. American Institute of Physics, AIP Conference Proceedings 1020, Melville, New York, 356 – 361.

Dziewonski A., Bloch S., Landisman M., 1969."A technique for the analysis of transient seismic signals". *B.S.S.A.*, 59, 427-444.

Fah D., Kind F , Giardini D., 2003. "Inversion of S-wave velocity structure from average HVSR ratios, and their use for the estimation of site-effects. *J. of Seismology* 7, 449 – 467.

Konno K., and Ohmachi T.,1998. "Ground motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor". *B.S.S.A.*, 88, 228-241.

Nakamura Y., 1989 . "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface". *QR or RTRI*, 30(1), 25 – 33.

Nogoshi M. and Igarashi T., 1970. "On the propagation characteristics of microtremor". *J. Seism. Soc. Jpn.*, 23, 264-280.

Nunziata C., 2007. "A physically sound way of using noise measurements in seismic microzonation, applied to the urban area of Napoli". *Eng. Geol.*, 93, 17-30.

Nunziata C., Natale M., Panza G. F., 2004 "Seismic Characterization of Neapolitan Soils" , *Pure appl. geophys*. Pp. 1285-1300.

Nunziata C., De Nisco G., Imperio F., Natale M., 2007 "Centro Specializzato Monitoraggio Zonazione Sismica". Piattaforme Evolute di Telecomunicazioni e



di Information Tecnology per l' Offerta di Servizi al settore Ambiente PETIT-OSA, a cura di Concettina Nunziata. ARACNE editrice.

Nunziata. C., De Nisco G., Panza G. F., 2009. "S-waves from noise cross correlation at small scale". *Eng. Geo.* 105, 161 - 170.

Park C. B., Xia J., Miller R. D., 1998. "Imaging dispersion curves of surface waves on multi - channel record". *SEG Expanded Abstract*: 1377 - 1380.

Park C. B., Miller R. D., Xia J., 1999. "Multichannel analysis of surface waves (MASW)". *Geophysics*, 64: 800 - 808.

Sambridge M., 1999. "Geophysical inversion with a neighbourhood algorithm: I. Searching a parameter space". *Geophys. J. Int.*, 138, 479 - 494.