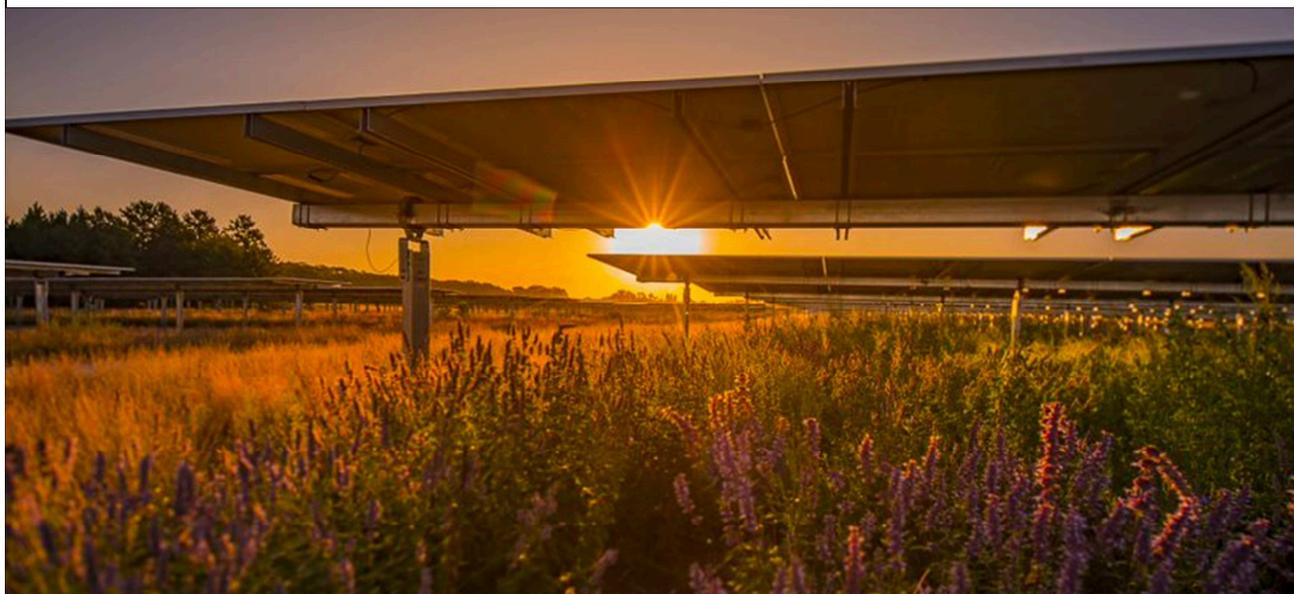


LOCALIZZAZIONE

REGIONE SICILIA
 PROVINCIA DI TRAPANI
 COMUNI DI TRAPANI E MARSALA



TITOLO BREVE

AGROVOLTAICO "CUDDIA"

SPAZIO PER ENTI (VISTI, PROTOCOLLI, APPROVAZIONI, ALTRO)

REVISIONI	REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
	00	10/02/2022	PRIMA EMISSIONE ELABORATO	Geol. Nicola Messina	Geol. Nicola Messina	Claudio Rizzo

PROPONENTE

X-ELIO+

X-ELIO ITALIA 6 S.r.l.
 Corso Vittorio Emanuele II, 349
 00186 - ROMA
 C.F./P.IVA 15465311007

PROGETTAZIONE E SERVIZI



ENVLAB s.r.l.s. - C.F./P. IVA 02920050842
 Via Smeraldo n. 39 - 92016 RIBERA (AG)
 0925 096280 - envlab@pec.it - www.envlab.it

CODICE ELABORATO

XE-CUDDIA-AFV-PD-R-1.1.4.0-r0A-R00

FOGLIO

1/21

FORMATO

A4

SCALA



IL GEOLOGO INCARICATO

Nicola Messina
 Dott. Geol.
 NICOLA
 MESSINA
 N. 2578

PROGETTO

IMPIANTO AGROVOLTAICO "CUDDIA"
 PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO DELLA
 POTENZA DI 46.39 MW E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN
 RICADENTE NEI COMUNI DI TRAPANI E MARSALA

OGGETTO ELABORATO

PROGETTO DEFINITIVO
 RAPPORTI DI PROVA DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

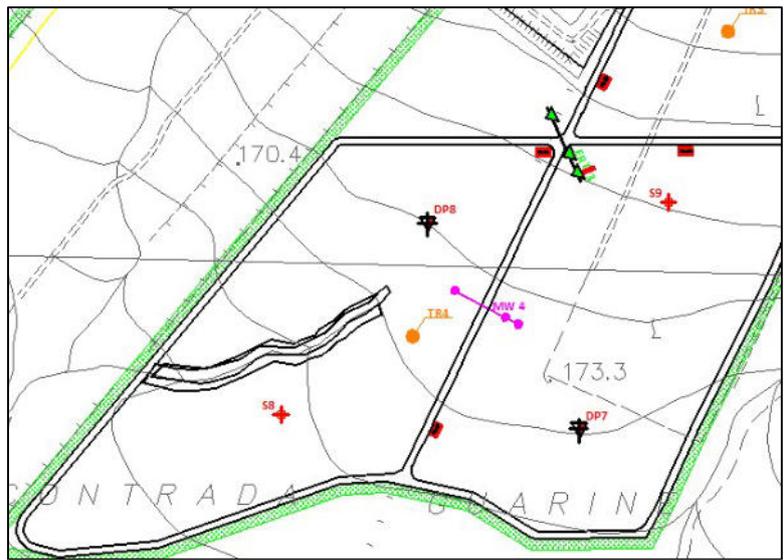
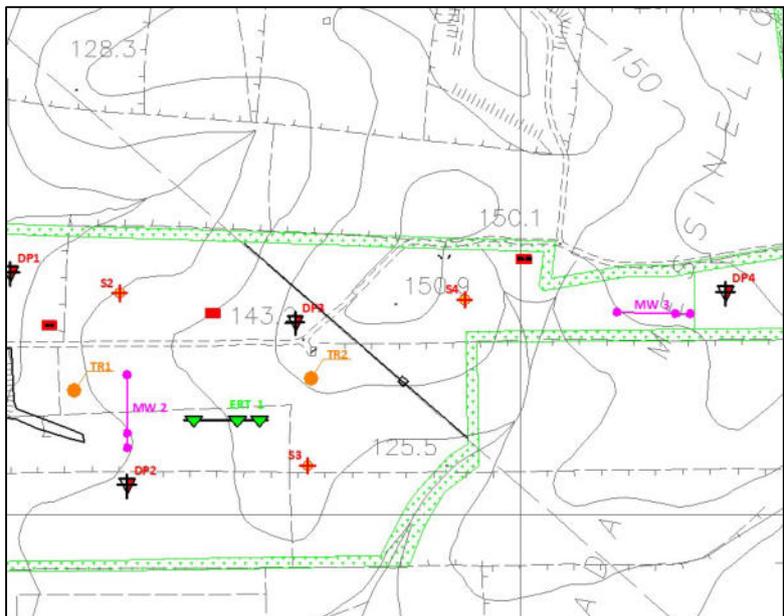
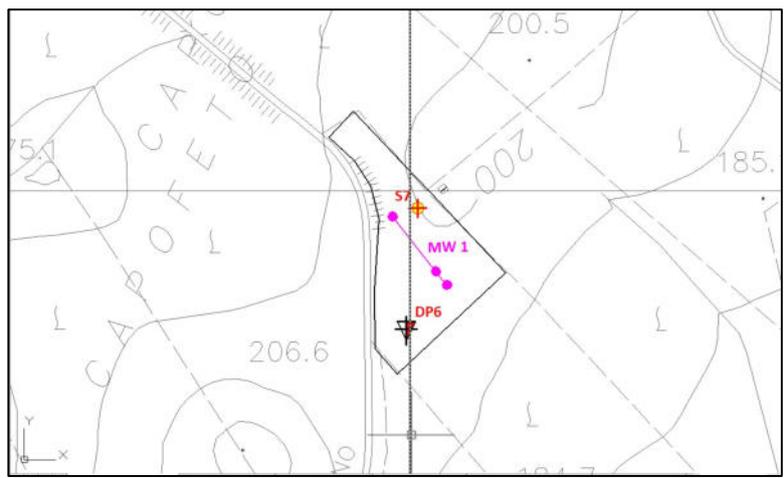


Figura 1: carta delle indagini

INDICE

PREMESSA

IL METODO MASW

STRUMENTAZIONE E PARAMETRI DI ACQUISIZIONE

SOFTWARE DI ELABORAZIONE ED ANALISI

DATI SPERIMENTALI

MASW n° 1: interpretazione dati sperimentali, Calcolo della V_{eq} delle onde S e calcolo parametri Elastici

MASW n° 2: interpretazione dati sperimentali, Calcolo della V_{eq} delle onde S e calcolo parametri Elastici

MASW n° 3: interpretazione dati sperimentali, Calcolo della V_{eq} delle onde S e calcolo parametri Elastici

MASW n° 4: interpretazione dati sperimentali, Calcolo della V_{eq} delle onde S e calcolo parametri Elastici

1. PREMESSA

Lo scopo dell'indagine MASW è ricostruire, per il sito di progetto, un modello monodimensionale di velocità delle onde S, al fine di stimare gli effetti sismici di sito e definire l'azione sismica di progetto. Il modello di velocità delle onde S consente infatti di conoscere l'incidenza delle locali condizioni topografiche e stratigrafiche e correggere la pericolosità sismica di base (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008 e D.M. 17/01/2018).

2. IL METODO MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), messo a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999), è una tecnica di indagine non invasiva per la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s studiando, attraverso un array di sensori, le caratteristiche di propagazione e dispersione delle onde di Rayleigh.

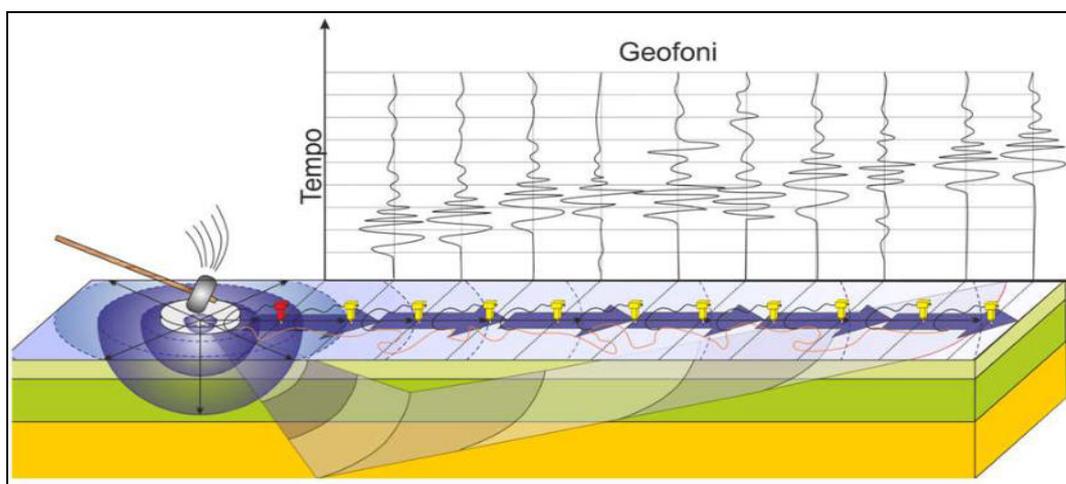


Figura 2: Array per acquisizione MASW

Nelle prospezioni sismiche per le quali si utilizzano le onde di tipo P, la maggior parte dell'energia sismica totale generata si propaga come onde superficiali di tipo Rayleigh. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente in frequenza di queste onde è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) e quindi da una diversa lunghezza d'onda. Questa proprietà si chiama dispersione e può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali. La costruzione di un profilo verticale di velocità è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Per ottenere un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s), dall'analisi della modalità di propagazione delle onde di Rayleigh bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarli minimizzando il rumore.

La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a rifrazione. La procedura MASW si realizza attraverso una fase di acquisizione dei dati sperimentali, di successiva elaborazione ed Estrazione della curva di dispersione sperimentale, si conclude con l'inversione della curva di dispersione e la stima dei parametri del modello verticale di velocità V_s .

3. STRUMENTAZIONE E PARAMETRI DI ACQUISIZIONE

Per l'acquisizione dei dati sperimentali delle 6 indagini MASW (figura 7, 13, 19, 25, 31 e 37) è stato utilizzato un sismografo echo 12/24 della Ambrogeo, accoppiato a geofoni verticali da 4,5 Hz, mentre per l'energizzazione è stata utilizzata una massa battente da 10 Kg con un piattello metallico per l'accoppiamento con il terreno.



Figura 3: Foto strumentazione utilizzata

Di seguito in tabella vengono riportati i parametri scelti per l'acquisizione dei dati sperimentali:

PARAMETRI D'ACQUISIZIONE				
Numero di ricevitori	Distanza intergeofonica	Finestra di acquisizione	Distanza shot / 1° geofono	Sampling
24	2.00 m	1.00 s	-8, -4, -2, +2, +4, +8 (m)	0.956 ms

4. SOFTWARE DI ELABORAZIONE ED ANALISI

I dati sperimentali sono stati analizzati con il software GEOPSY, l'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "phase velocity-frequency (c-f)" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica.

Le curve di dispersione sperimentali, ottenute dal picking dei massimi di densità spettrale, sono state invertite utilizzando il software DINVER, questo software risolve il problema inverso attraverso il Neighbourhood Algorithm, appartenente alla classe degli algoritmi genetici, ed utilizza una tecnica di discretizzazione del mezzo a strati omogenei piani e paralleli.

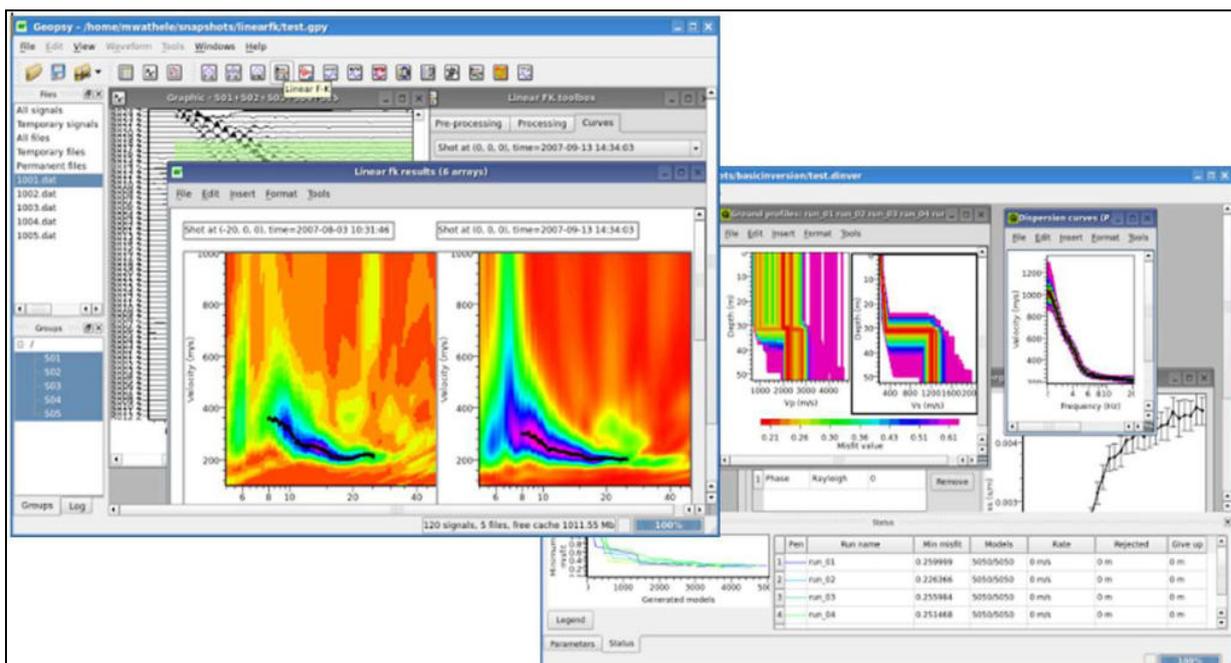


Figura 4: software open-source Geopsy e dinver (Wathelet M. et al.)

5. MASW N° 1



Figura 5: Ubicazione MASW N°1



Figura 6: Documentazione Fotografica MASW N°1

5.1. Interpretazione dati

Sullo spettro di velocità normalizzato di figura 8 è possibile distinguere il modo fondamentale di propagazione delle onde di Rayleigh, dominante nell'intervallo di frequenza 5 – 35 Hz.

Dall'inversione della curva di dispersione sperimentale, sono stati ottenuti i modello verticali di velocità delle onde S e P di figura 9, il modello che presenta il miglior accordo (minima deviazione standard) tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione calcolata come risposta del modello sintetico (figura 10) è caratterizzato da un misfit inferiore al 1.00% circa e la tabella 1 ne riassume i principali parametri fisici.

MODELLO				
Strato	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Spessore (m)	Profondità tetto (m)
1	290	143	1.00	0.00
2	440	216	9.00	-1.00
3	950	390	indefinito	-10.00

Tabella 1: Modello 1D di velocità delle onde S.

5.2. Calcolo della Velocità equivalente delle onde S ($V_{S,eq}$)

Per il calcolo della $V_{S,eq}$ si fa riferimento all'espressione 3.2.1, definita al paragrafo 3.2.2 del D.M. 17.01.2018

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i:1}^n H_i/V_i}$$

Dove:

H è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

H_i e **V_i** indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo,

N rappresenta il numero di strati presenti.

Quindi utilizzando l'espressione 3.2.2 e considerando il modello sismico monodimensionale descritto in tabella 1, si ottiene:

$$V_{S,eq} = 30 / 0.1 = 300 \text{ m/s}$$

Che corrisponde ad una categoria di sottosuolo di tipo **C**

Categoria	Descrizione delle categorie di sottosuolo
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

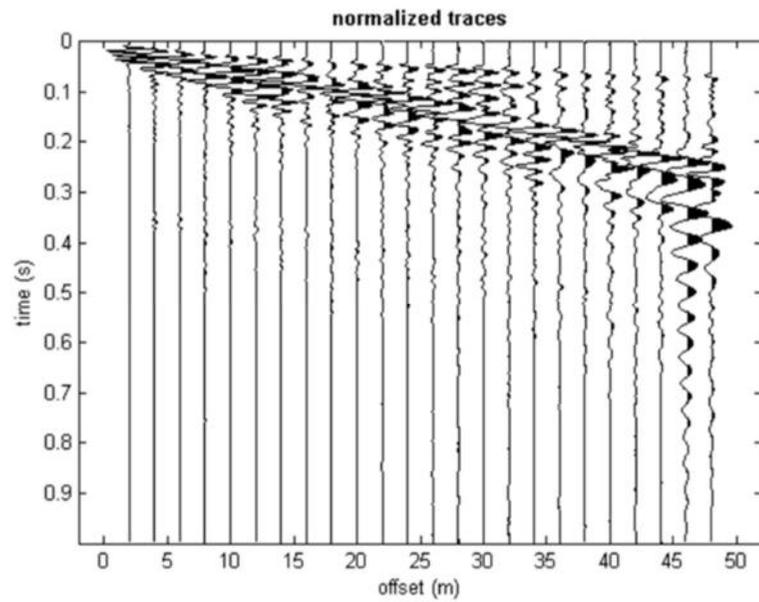


Figura 7: Tracce sperimentali

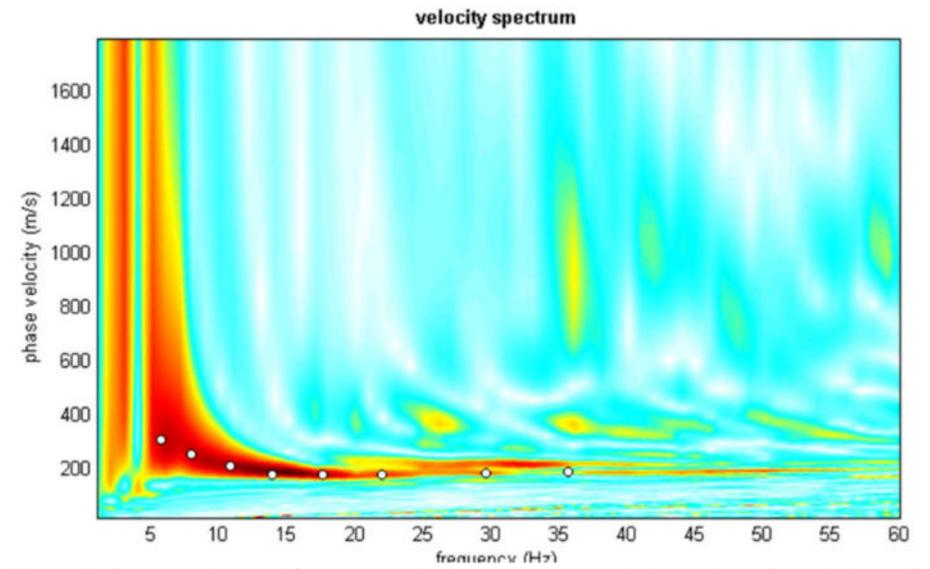


Figura 8: Spettro di velocità norm. e picking della curva di dispersione (punti bianchi)

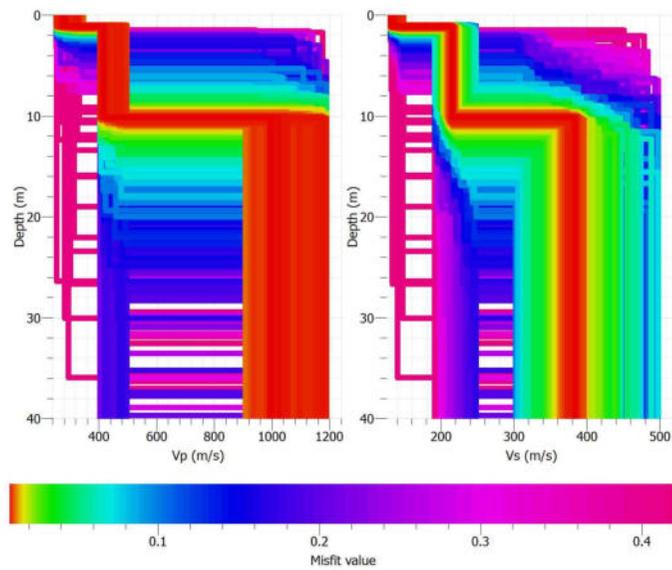


Figura 9: modelli 1D di velocità delle onde S e P (misfit max 10%)

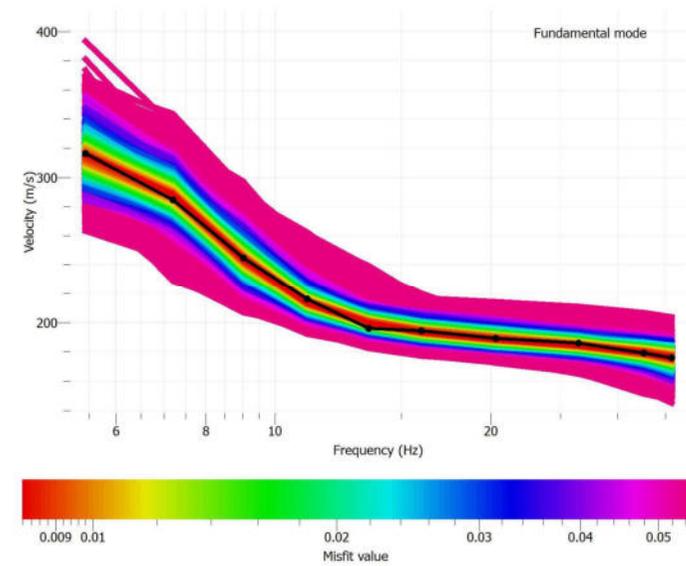


Figura 10: Confronto tra la curva di sperimentale e le curve di dispersione calcolate con misfit max 10%,

5.3. Calcolo parametri elastici

Sulla base dei valori di velocità delle onde S stimati dall'indagine sismica, sulla base dei valori di densità dei terreni indagati riportati nella relazione geologica e/o ricavati dalla letteratura e nell'ipotesi di comportamento di tipo elastico-lineare (bassi livelli di deformazione) dei terreni indagati è possibile sfruttare le leggi della teoria dell'elasticità e stimare i seguenti parametri:

- Modulo di taglio (G);
- Modulo di elasticità dinamico (Ed);
- Coefficiente di Poisson (ν) (estrapolato da letteratura tecnico-scientifica);
- Rigidità sismica (R);
- Periodo fondamentale dello strato (T);
- Frequenza fondamentale dello strato (f)

Strati	S	Vs	Vp	G	Ed	ν	R
	(m)	(m/s ²)	(m/s ²)	(MPa)	(MPa)		(KN/m ³)*m/s ²
S1	1.00	143	290	33.35	89.34	0.33937	2288
S2	9.00	216	440	85.60	229.64	0.34125	3888
S3	20.00	390	950	310.09	867.422	0.39865	7800

Tabella 2: parametri elastici del modello

6. MASW n° 2

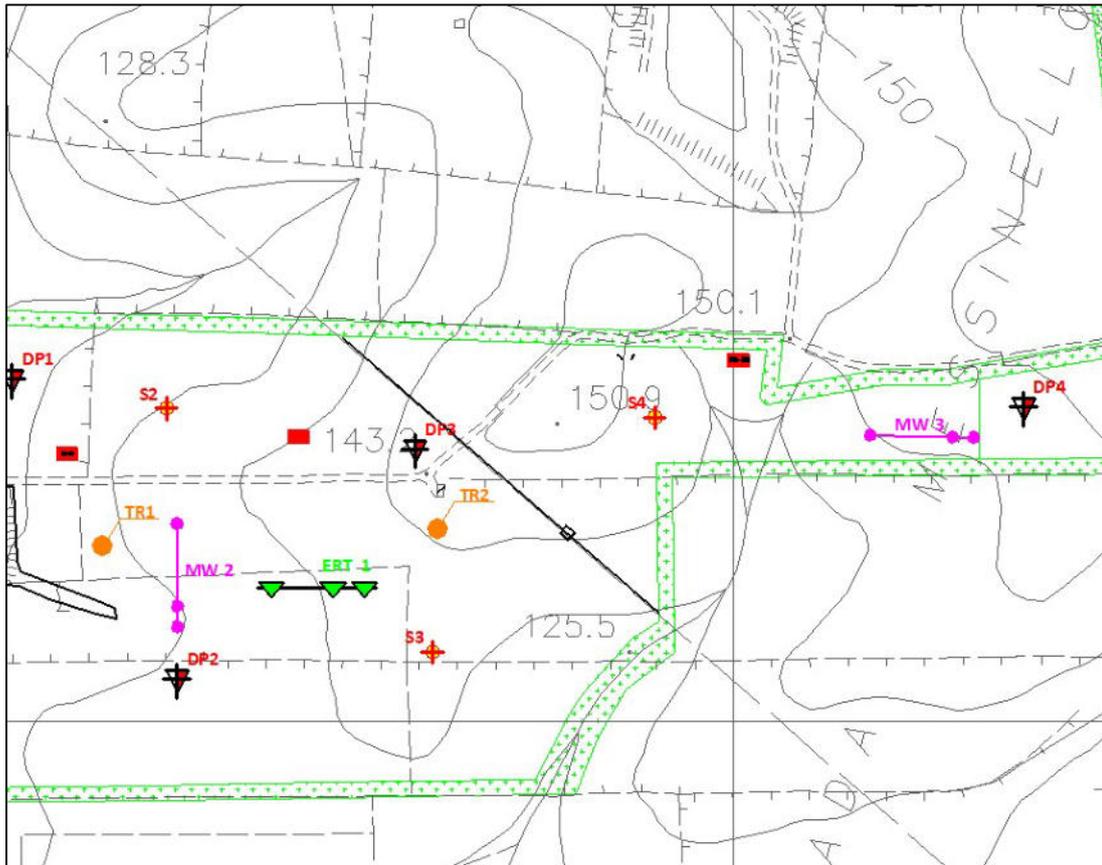


Figura 11: Ubicazione MASW N°2



Figura 12: Documentazione Fotografica MASW N°2

6.1. Interpretazione dati

Sullo spettro di velocità normalizzato di figura 14 è possibile distinguere il modo fondamentale di propagazione delle onde di Rayleigh, dominante nell'intervallo di frequenza 7 – 22Hz.

Dall'inversione della curva di dispersione sperimentale, sono stati ottenuti i modello verticali di velocità delle onde S e P di figura 15, il modello che presenta il miglior accordo (minima deviazione standard) tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione calcolata come risposta del modello sintetico (figura 16) è caratterizzato da un misfit inferiore al 1.00% e la tabella 3 ne riassume i principali parametri fisici.

MODELLO				
Strato	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Spessore (m)	Profondità tetto (m)
1	215	114	1.60	0.00
2	333	200	5.90	-1.60
3	1030	518	>22.50	-7.50

Tabella 3: Modello 1D di velocità delle onde S.

6.2. Calcolo della Velocità equivalente delle onde S ($V_{S,eq}$)

Per il calcolo della $V_{S,eq}$ si fa riferimento all'espressione 3.2.1, definita al paragrafo 3.2.2 del D.M. 17.01.2018

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i:1}^n H_i/V_i}$$

Dove:

H è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

H_i e **V_i** indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo,

N rappresenta il numero di strati presenti.

Quindi utilizzando l'espressione 3.2.2 e considerando il modello sismico monodimensionale descritto in tabella 1, si ottiene:

$$V_{S,eq} = 30 / 0.087 = 345 \text{ m/s}$$

Che corrisponde ad una categoria di sottosuolo di tipo **C**

Categoria	Descrizione delle categorie di sottosuolo
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

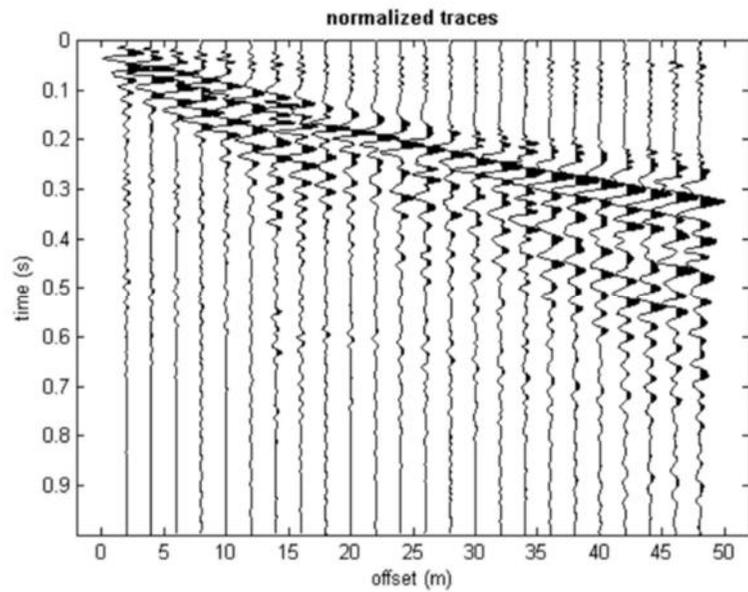


Figura 13: Tracce sperimentali

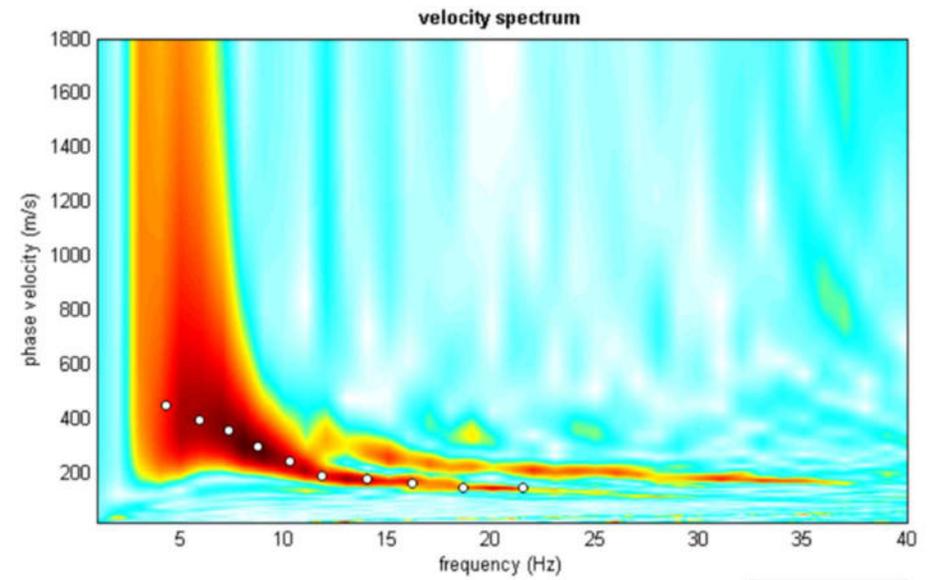


Figura 14: Spettro di velocità norm. e picking della curva di dispersione (punti bianchi)

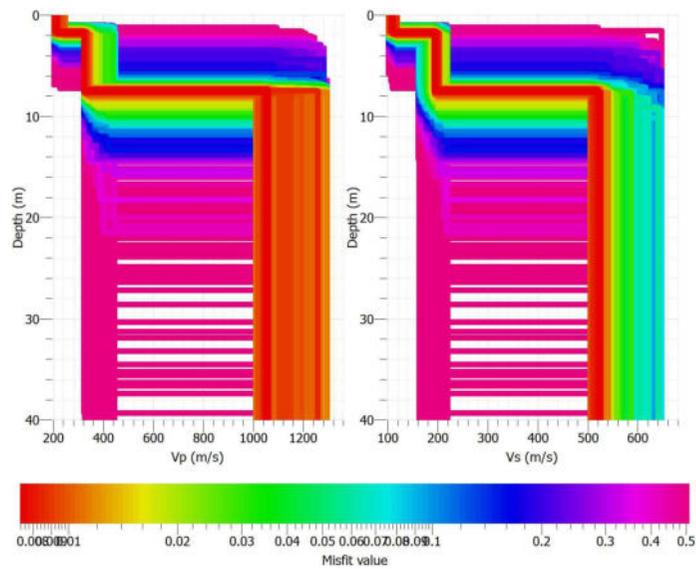


Figura 15: modelli 1D di velocità delle onde S e P (misfit max 10%)

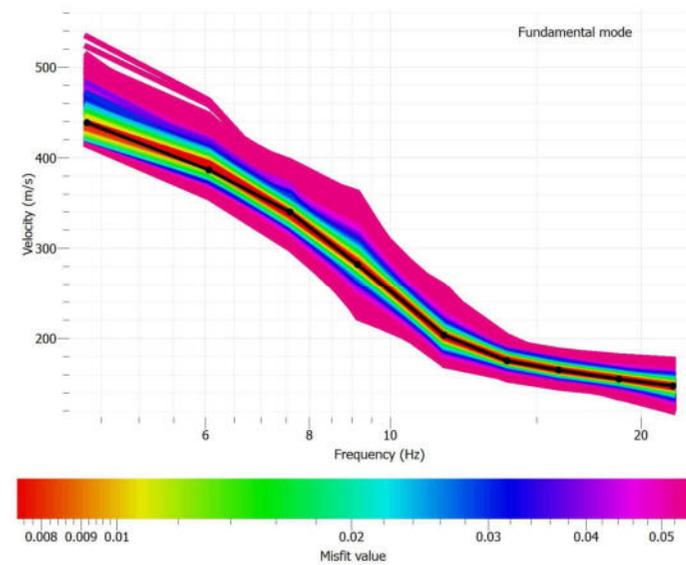


Figura 16: Confronto tra la curva di sperimentale e le curve di dispersione calcolate con misfit max 10%,

6.3. Calcolo parametri elastici

Sulla base dei valori di velocità delle onde S stimati dall'indagine sismica, sulla base dei valori di densità dei terreni indagati riportati nella relazione geologica e/o ricavati dalla letteratura e nell'ipotesi di comportamento di tipo elastico-lineare (bassi livelli di deformazione) dei terreni indagati è possibile sfruttare le leggi della teoria dell'elasticità e stimare i seguenti parametri:

- Modulo di taglio (G);
- Modulo di elasticità dinamico (Ed);
- Coefficiente di Poisson (ν) (estrapolato da letteratura tecnico-scientifica);
- Rigidità sismica (R);
- Periodo fondamentale dello strato (T);
- Frequenza fondamentale dello strato (f)

<i>Strati</i>	<i>S</i> (m)	<i>Vs</i> (m/s ²)	<i>Vp</i> (m/s ²)	<i>G</i> (MPa)	<i>Ed</i> (MPa)	<i>ν</i>	<i>R</i> (KN/m ³)*m/s ²
S1	1.60	114	215	21.19	55.29	0.30445	1824
S2	5.90	200	333	73.39	178.76	0.21787	3600
S3	<i>indefinito</i>	518	1030	547.04	1455.92	0.33073	10360

Tabella 4: parametri elastici del modello

7. MASW n° 3

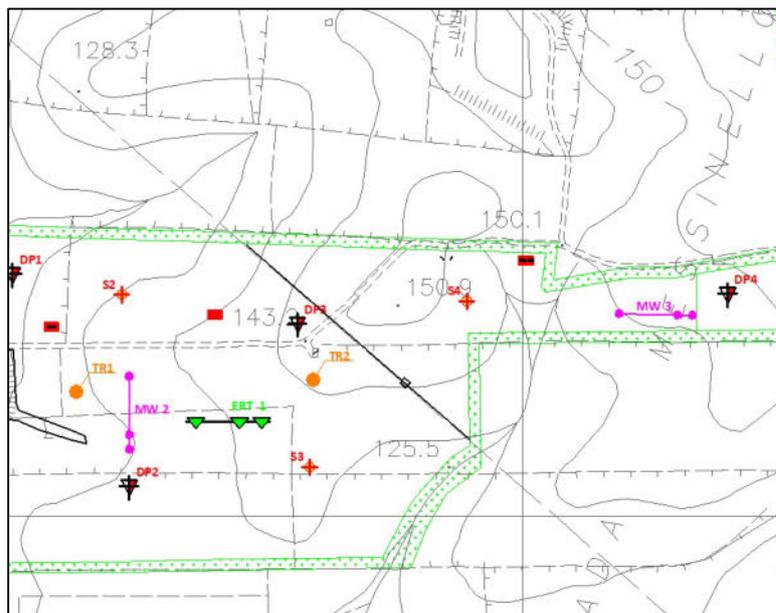


Figura 17: Ubicazione MASW N°3



Figura 18: Documentazione Fotografica MASW N°3

7.1. Interpretazione dati

Sullo spettro di velocità normalizzato di figura 20 è possibile distinguere il modo fondamentale ed il primo modo superiore di propagazione delle onde di Rayleigh, dominanti rispettivamente negli intervalli di frequenza 5 – 20Hz e 20-30 Hz.

Dall'inversione della curva di dispersione sperimentale, sono stati ottenuti i modelli verticali di velocità delle onde S e P di figura 21, il modello che presenta il miglior accordo (minima deviazione standard) tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione calcolata come risposta del modello sintetico (figura 22) è caratterizzato da un misfit del 2.00% circa e la tabella 5 ne riassume i principali parametri fisici.

MODELLO				
Strato	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Spessore (m)	Profondità tetto (m)
1	186	100	1.20	0.00
2	395	150	6.10	-1.20
4	770	470	>22.70	-7.30

Tabella 5: Modello 1D di velocità delle onde S.

7.2. Calcolo della Velocità equivalente delle onde S ($V_{S,eq}$)

Per il calcolo della $V_{S,eq}$ si fa riferimento all'espressione 3.2.1, definita al paragrafo 3.2.2 del D.M. 17.01.2018

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i:1}^n H_i/V_i}$$

Dove:

H è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

H_i e **V_i** indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo,

N rappresenta il numero di strati presenti.

Quindi utilizzando l'espressione 3.2.2 e considerando il modello sismico monodimensionale descritto in tabella 1, si ottiene:

$$V_{S,eq} = 30 / 0.10 = 297 \text{ m/s}$$

Che corrisponde ad una categoria di sottosuolo di tipo **C**

Categoria	Descrizione delle categorie di sottosuolo
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

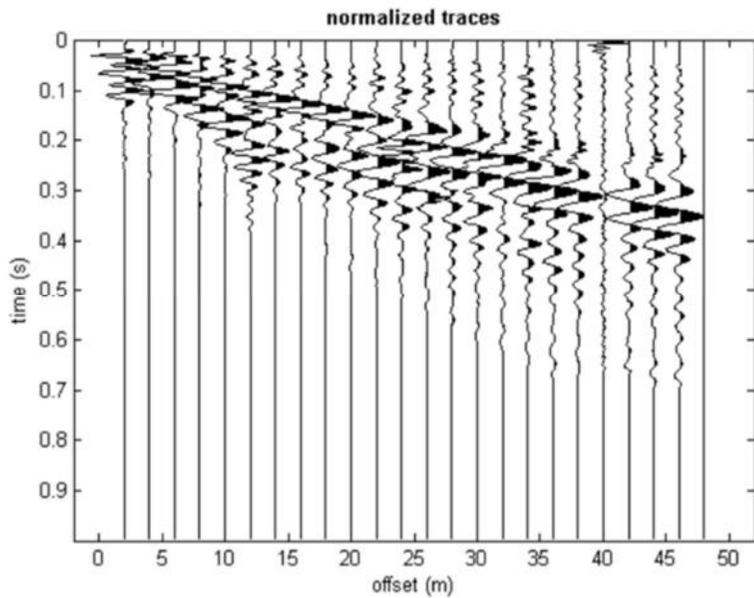


Figura 19: Tracce sperimentali

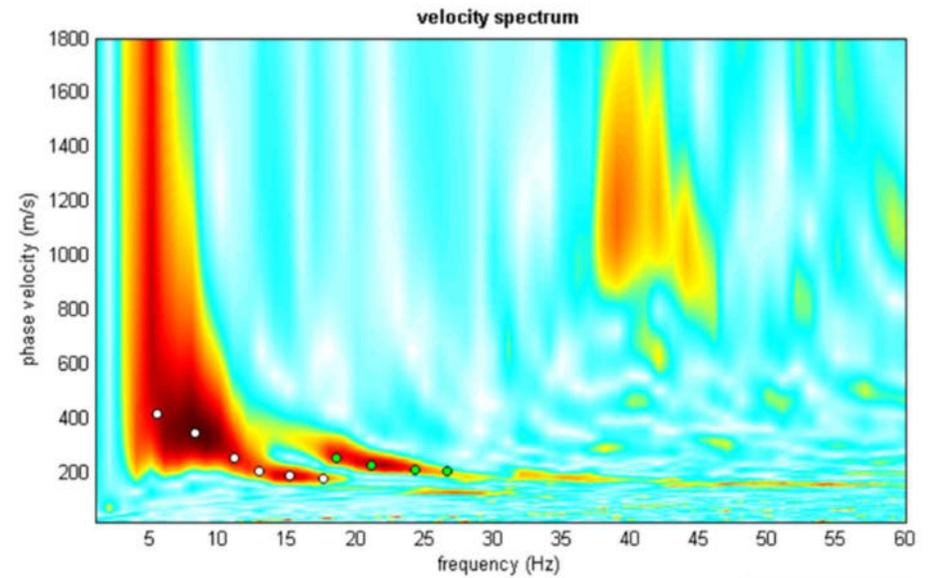


Figura 20: Spettro di velocità norm. e picking della curva di dispersione (punti bianchi)

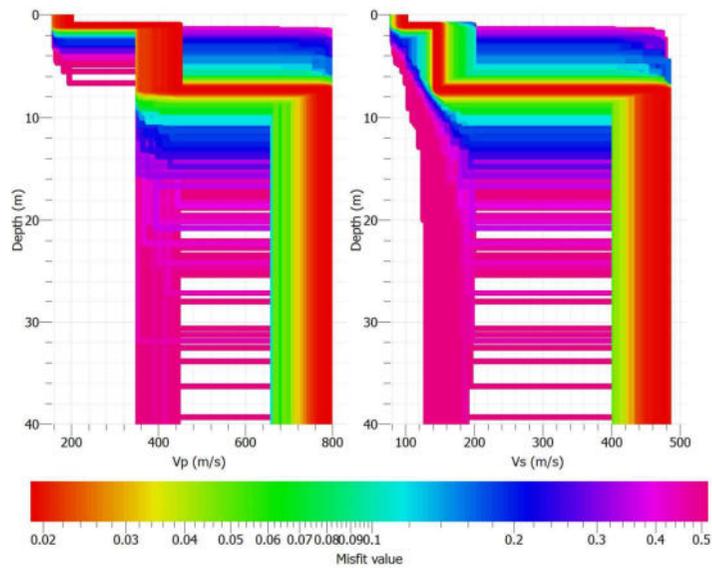


Figura 21: modelli 1D di velocità delle onde S e P (misfit max 10%)

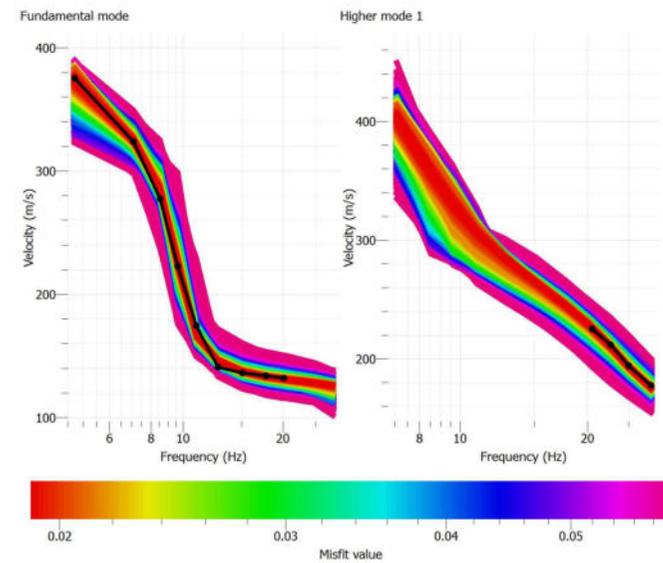


Figura 22: Confronto tra la curva di sperimentale e le curve di dispersione calcolate con misfit max 10%

7.3. Calcolo parametri elastici

Sulla base dei valori di velocità delle onde S stimati dall'indagine sismica, sulla base dei valori di densità dei terreni indagati riportati nella relazione geologica e/o ricavati dalla letteratura e nell'ipotesi di comportamento di tipo elastico-lineare (bassi livelli di deformazione) dei terreni indagati è possibile sfruttare le leggi della teoria dell'elasticità e stimare i seguenti parametri:

- Modulo di taglio (G);
- Modulo di elasticità dinamico (Ed);
- Coefficiente di Poisson (ν) (estrapolato da letteratura tecnico-scientifica);
- Rigidità sismica (R);
- Periodo fondamentale dello strato (T);
- Frequenza fondamentale dello strato (f).

<i>Strati</i>	<i>S</i> (m)	<i>Vs</i> (m/s ²)	<i>Vp</i> (m/s ²)	<i>G</i> (MPa)	<i>Ed</i> (MPa)	<i>ν</i>	<i>R</i> (KN/m ³)*m/s ²
S1	1.20	100	186	16.30	42.29	0.29671	1600
S2	6.10	150	395	41.28	116.89	0.41575	2700
S3	22.70	470	770	450.35	1083.64	0.20309	9400

Tabella 6: parametri elastici del modello

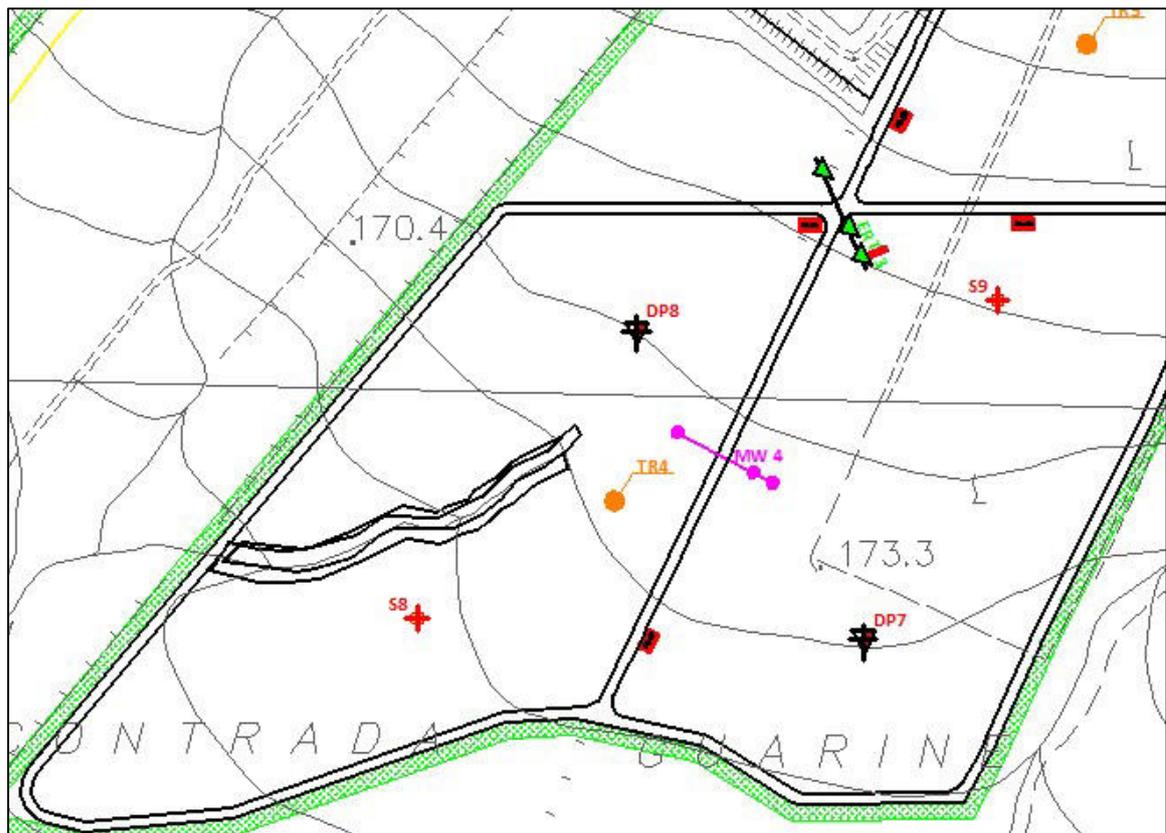


Figura 23: Ubicazione MASW N°4



Figura 24: Documentazione Fotografica MASW N°4

8.1. Interpretazione dati

Sullo spettro di velocità normalizzato di figura 26 è possibile distinguere il modo fondamentale di propagazione delle onde di Rayleigh, dominante nell'intervallo di frequenza 5 – 27 Hz.

Dall'inversione della curva di dispersione sperimentale, sono stati ottenuti i modello verticali di velocità delle onde S e P di figura 27, il modello che presenta il miglior accordo (minima deviazione standard) tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione calcolata come risposta del modello sintetico (figura 28) è caratterizzato da un misfit del 2.00% circa e la tabella 7 ne riassume i principali parametri fisici.

MODELLO				
Strato	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Spessore (m)	Profondità tetto (m)
1	190	90	1.00	0.00
2	401	140	5.20	-1.00
3	850	420	>23.8	-6.20

Tabella 7: Modello 1D di velocità delle onde S.

8.2. Calcolo della Velocità equivalente delle onde S ($V_{S,eq}$)

Per il calcolo della $V_{S,eq}$ si fa riferimento all'espressione 3.2.1, definita al paragrafo 3.2.2 del D.M. 17.01.2018

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i:1}^n H_i/V_i}$$

Dove:

H è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

H_i e **V_i** indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo,

N rappresenta il numero di strati presenti.

Quindi utilizzando l'espressione 3.2.2 e considerando il modello sismico monodimensionale descritto in tabella 1, si ottiene:

$$V_{S,eq} = 30 / 0.11 = 286 \text{ m/s}$$

Che corrisponde ad una categoria di sottosuolo di tipo **C**

Categoria	Descrizione delle categorie di sottosuolo
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

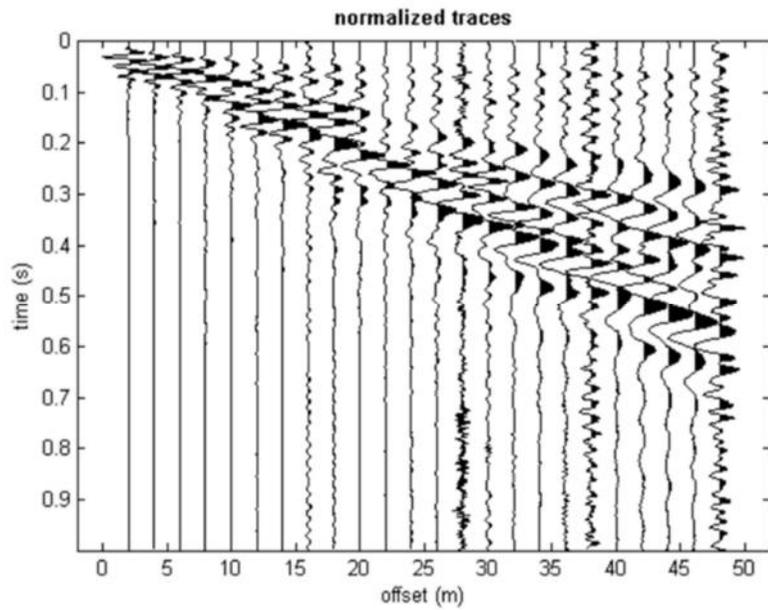


Figura 25: Tracce sperimentali

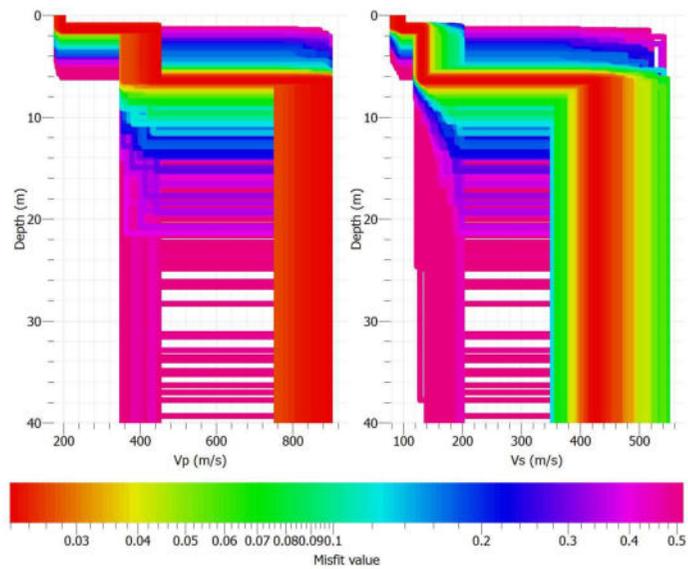


Figura 27: modelli 1D di velocità delle onde S e P (misfit max 10%)

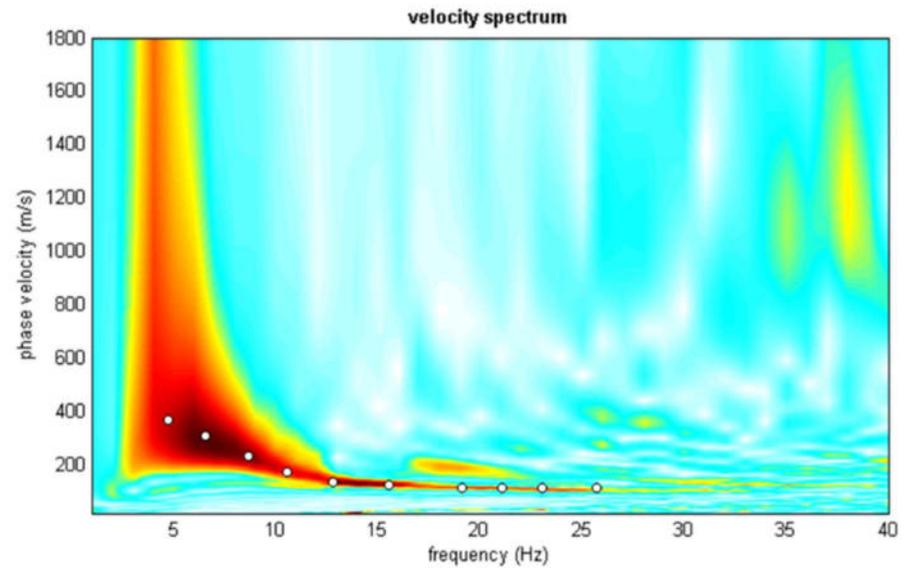


Figura 26: Spettro di velocità norm. e pick. della curva di dispersione (punti bianchi)

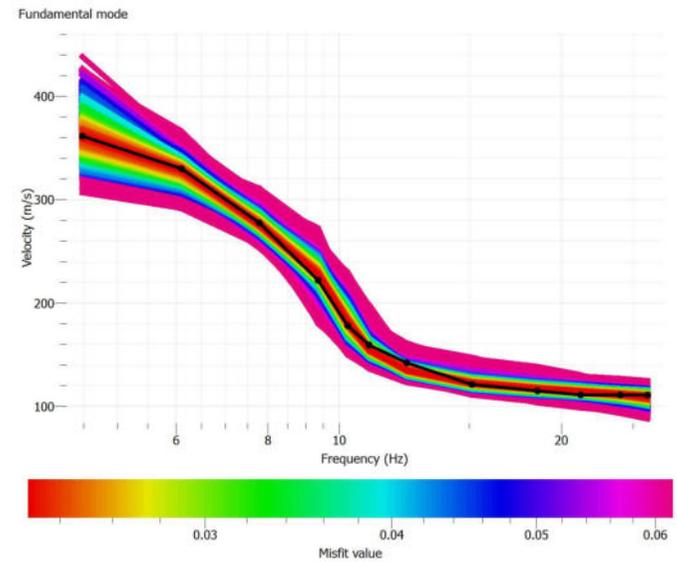


Figura 28: Confronto tra la curva di sperimentale e le curve di dispersione calcolate con misfit max 10%,

8.3. Calcolo parametri elastici

Sulla base dei valori di velocità delle onde S stimati dall'indagine sismica, sulla base dei valori di densità dei terreni indagati riportati nella relazione geologica e/o ricavati dalla letteratura e nell'ipotesi di comportamento di tipo elastico-lineare (bassi livelli di deformazione) dei terreni indagati è possibile sfruttare le leggi della teoria dell'elasticità e stimare i seguenti parametri:

- Modulo di taglio (G);
- Modulo di elasticità dinamico (Ed);
- Coefficiente di Poisson (ν) (estrapolato da letteratura tecnico-scientifica);
- Rigidità sismica (R);
- Periodo fondamentale dello strato (T);
- Frequenza fondamentale dello strato (f)

<i>Strati</i>	<i>S</i> (m)	<i>Vs</i> (m/s ²)	<i>Vp</i> (m/s ²)	<i>G</i> (MPa)	<i>Ed</i> (MPa)	<i>ν</i>	<i>R</i> (KN/m ³)*m/s ²
S1	1.00	90	190	13.21	35.81	0.35536	1440
S2	5.20	140	401	35.96	102.89	0.4306	2520
S3	23.80	420	850	359.63	962.73	0.33849	8400

Tabella 8: parametri elastici del modello