



REGIONE BASILICATA  
PROVINCIA DI POTENZA  
COMUNE DI MELFI



AUTORIZZAZIONE UNICA  
ex. d.lgs. 387/03

Progetto Definitivo per la realizzazione del parco  
eolico "SANTA IRENE" e relative opere connesse  
nel comune di MELFI (Pz)

Titolo elaborato

A2.1 - Report di Fine Campagna  
Geognostica

Codice elaborato

COMMESSA	FASE	ELABORATO	REV.
F0389	A	R03	A

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

Scala

---

**Dott. Geol. Maurizio GIACOMINO**

Via Lucana, 337 - 75100 Matera  
Tel. 3409134882 - mauriziogiacomino@pec.it



Proponente

**Oceano Rinnovabili s.r.l.**

Largo Augusto 3  
20122 Milano



Progettazione



**F4 Ingegneria srl**

Via Di Giura - Centro direzionale, 85100 Potenza  
Tel: +39 0971 1944797 - Fax: +39 0971 55452  
www.f4ingegneria.it - f4ingegneria@pec.it

Il Direttore Tecnico  
(ing. Giovanni DI SANTO)



Società certificata secondo la norma UNI-EN ISO  
9001:2015 per l'erogazione di servizi di ingegneria  
nei settori: civile, idraulica, acustica, energia,  
ambiente (settore IAF: 34).





## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITU</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE INDIRETTE: PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE (ONDE P)</b>	<b>11</b>
2.1.1	ACQUISIZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI DATI	13
2.1.2	STENDIMENTO SISMICO ST01	14
2.1.3	STENDIMENTO SISMICO ST02	18
2.1.4	STENDIMENTO SISMICO ST03	21
2.1.5	STENDIMENTO SISMICO ST04	24
2.1.6	STENDIMENTO SISMICO ST05	27
2.1.7	STENDIMENTO SISMICO ST06	30
2.1.8	STENDIMENTO SISMICO ST07	33
2.1.9	STENDIMENTO SISMICO ST08	36
<b>2.2</b>	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE INDIRETTE: PROSPEZIONI SISMICHE MASW</b>	<b>39</b>
2.2.1	ACQUISIZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI DATI	39
2.2.2	STENDIMENTO SISMICO MASW01	40
2.2.3	STENDIMENTO SISMICO MASW02	42
2.2.4	STENDIMENTO SISMICO MASW03	44
2.2.5	STENDIMENTO SISMICO MASW04	46
2.2.6	STENDIMENTO SISMICO MASW05	48
2.2.7	STENDIMENTO SISMICO MASW06	50
2.2.8	STENDIMENTO SISMICO MASW07	52
2.2.9	STENDIMENTO SISMICO MASW08	54
<b>2.3</b>	<b>CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE</b>	<b>56</b>
<b>2.4</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE ELASTO-MECCANICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE</b>	<b>58</b>

### ALLEGATI AL TESTO

<b>TAVOLA A. 1</b>	UBICAZIONE INDAGINI IN SITU	(SCALA 1: 2.000)
<b>TAVOLA A. 2</b>	SEZIONI STRATIGRAFICHE INTERPRETATIVE-ONDE P	(SCALA 1: 200)



## 1 PREMESSA

Su incarico conferitomi dal **Geol. Maurizio GIACOMINO**, con studio in Via Lucana n° 337 nel Comune di Matera (MT), è stata redatta la seguente relazione a seguito del concludersi delle indagini geognostiche realizzate nell'ambito del progetto definitivo di "Realizzazione di un Parco Eolico da Ubicare in Agro del Comune di Melfi (PZ)". Le aree interessate dall'intervento sono localizzate presso la frazione di San Nicolas di Melfi nella parte Nord-Ovest dell'ambito amministrativo del Comune di Melfi (PZ), così come riportato in allegato alla **Tavola A. 1 "Ubicazione Indagini in Situ"**. La campagna di indagini geognostiche (**Tavola A. 1 "Ubicazione Indagini in Situ"**), di tipo indirette, ha visto la realizzazione di:

- **N° 8 Prospezioni Sismiche a Rifrazione** in onde P per la ricostruzione del modello sismostratigrafico e la determinazione delle principali grandezze elasto-meccaniche dei terreni investigati;
- **N° 8 Prospezioni Sismiche MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves) in onde di Rayleigh per la caratterizzazione sismica e la definizione della categoria di sottosuolo come da normativa in materia antisismica vigente.

Il presente studio, volto a definire le caratteristiche litologico-stratigrafiche e sismiche del sito, è stato condotto in osservanza della normativa tecnica vigente in materia e in particolare: DM 17 Gennaio 2018 (Aggiornamento delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni"), Circolare 21 Gennaio 2019 n° 7 (Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni"), Circolare 2 Febbraio 2009 n° 617, prescrizioni AGI 1997, OPCM 3274/03 e successive modifiche (DGR 153/04, OPCM 3519/06) nonché tenendo in debito conto le "Linee Guida per Indagini Geofisiche" redatte a cura dell'Associazione Società di Geofisica Italiana.

In seguito alle prove summenzionate ed alle elaborazioni condotte, sono stati redatti i seguenti elaborati cartografici allegati alla presente relazione :

<b>TAVOLA A. 1</b>	UBICAZIONE INDAGINI IN SITU	(SCALA 1: 2.000)
<b>TAVOLA A. 2</b>	SEZIONI STRATIGRAFICHE INTERPRETATIVE-ONDE P	(SCALA 1: 200)

Di seguito si riportano le ubicazioni degli stendimenti eseguiti.

559170

559570

4548030

4548030

Nord (mt)

4547630

4547630

559170

559570

Est (mt)



G1 ST01 G12

### Tavola A. 1 "Ubicazione Indagini in Situ" Sito M1

#### Legenda

 Stendimento sismico  
(ST01= 44,00 ml)

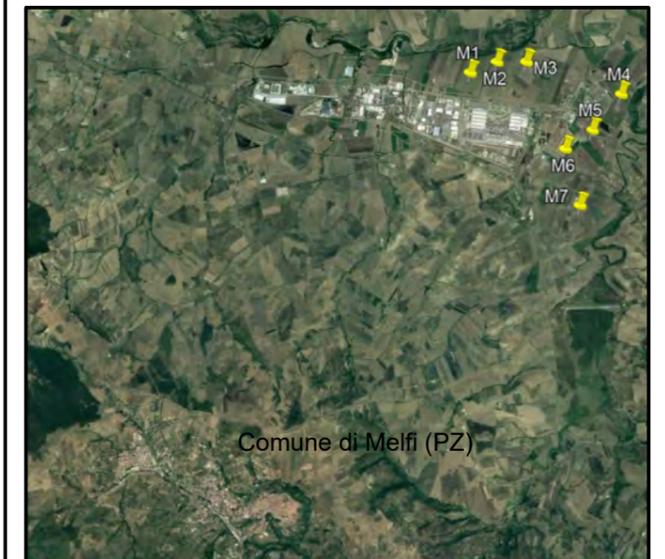
 Gn  
Geofono

 Battuta per indagine MASW

 Impianto eolico M1

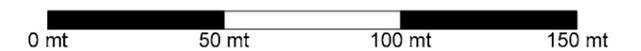
Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T

Base cartografica: Carta Tecnica Regionale (RSDI-Regione Basilicata)



Comune di Melfi (PZ)

Scala 1: 2.000



559750

560150

4548320

4548320

Nord (mt)

4547920

4547920

559750

560150

Est (mt)



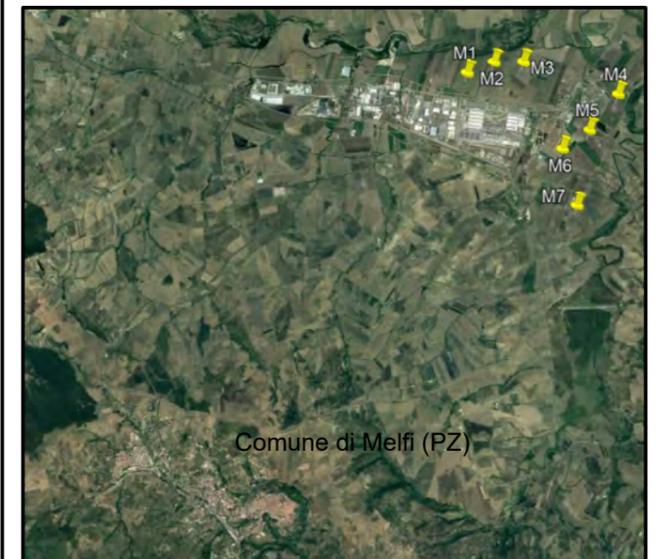
### Tavola A. 1 "Ubicazione Indagini in Situ" Sito M2

#### Legenda

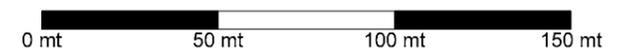
-  Stendimento sismico (ST01= 44,00 ml)
-  Gn Geofono
-  Battuta per indagine MASW
-  Impianto eolico M2

Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T

Base cartografica: Carta Tecnica Regionale (RSDI-Regione Basilicata)



Scala 1: 2.000



560550

560950

4548320

4548320

Nord (mt)

4547920

4547920

560550

560950

Est (mt)



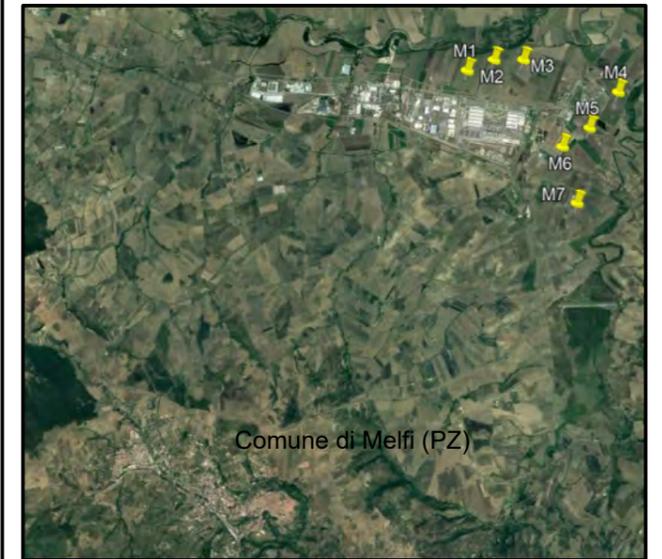
### Tavola A. 1 "Ubicazione Indagini in Situ" Sito M3

#### Legenda

-  Stendimento sismico (ST01= 44,00 ml)
-  Gn Geofono
-  Battuta per indagine MASW
-  Impianto eolico M3

Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T

Base cartografica: Carta Tecnica Regionale (RSDI-Regione Basilicata)



Scala 1: 2.000

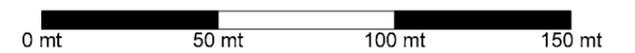


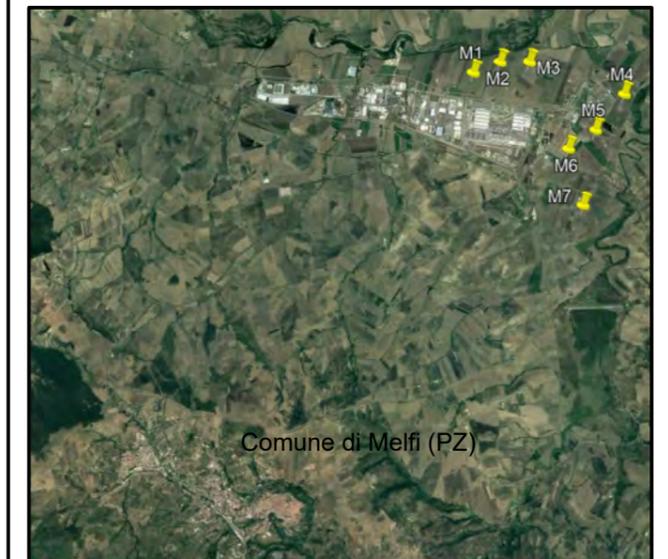
Tavola A. 1  
 "Ubicazione Indagini in Situ"  
 Sito M4

Legenda

-  Stendimento sismico  
(ST01= 44,00 ml)
-  Gn Geofono
-  Battuta per indagine MASW
-  Impianto eolico M4

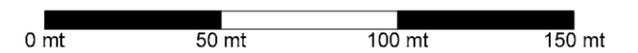
Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T

Base cartografica: Carta Tecnica Regionale (RSDI-Regione Basilicata)



Est (mt)

Scala 1: 2.000



561880

562280



4546860

Nord (mt)



4546460

561880

562280

Est (mt)

### Tavola A. 1 "Ubicazione Indagini in Situ" Sito M5

#### Legenda

 Stendimento sismico  
(ST01= 44,00 ml)

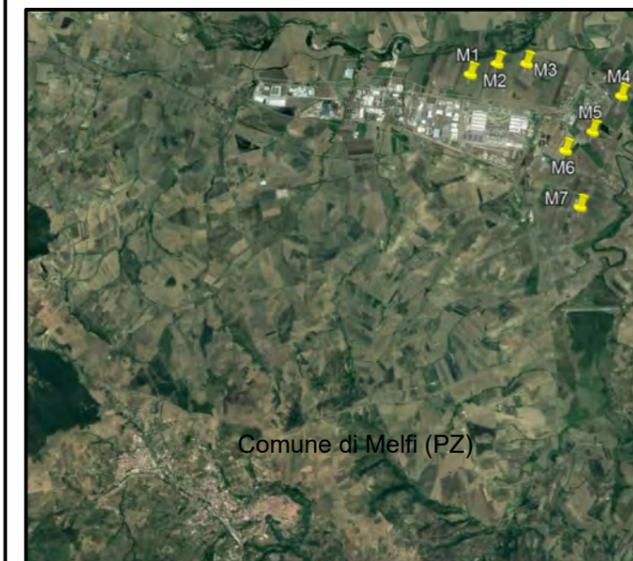
 Gn  
Geofono

 Battuta per indagine MASW

 Impianto eolico M5

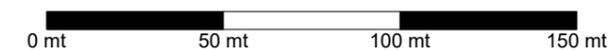
Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T

Base cartografica: Carta Tecnica Regionale (RSDI-Regione Basilicata)



Comune di Melfi (PZ)

Scala 1: 2.000



561270

561670

Nord (mt)

4546450

4546050

561270

561670

Est (mt)



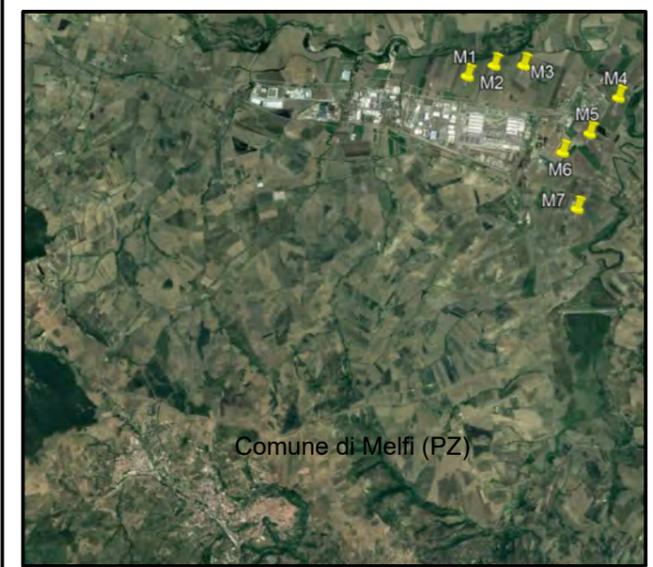
### Tavola A. 1 "Ubicazione Indagini in Situ" Sito M6

#### Legenda

-  Stendimento sismico (ST01= 44,00 ml)
-  Gn Geofono
-  Battuta per indagine MASW
-  Impianto eolico M6

Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T

Base cartografica: Carta Tecnica Regionale (RSDI-Regione Basilicata)



Comune di Melfi (PZ)

Scala 1: 2.000



561670

562070



Nord (mt)

Est (mt)

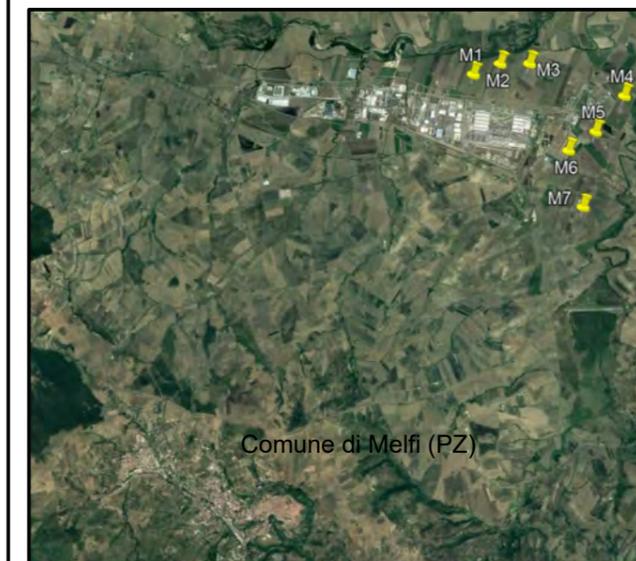
### Tavola A. 1 "Ubicazione Indagini in Situ" Sito M7

#### Legenda

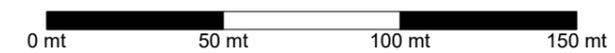
-  Stendimento sismico (ST01= 44,00 ml)
-  Gn Geofono
-  Battuta per indagine MASW
-  Impianto eolico M7

Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T

Base cartografica: Carta Tecnica Regionale (RSDI-Regione Basilicata)



Scala 1: 2.000



554770

555170

4545970

4545970

Nord (mt)

4545570

4545570

554770

555170

Est (mt)



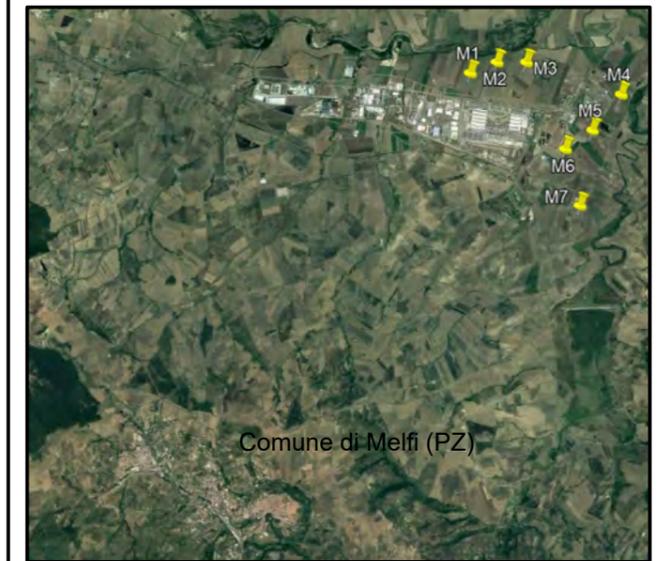
### Tavola A. 1 "Ubicazione Indagini in Situ" Sito M8

#### Legenda

-  Stendimento sismico (ST01= 44,00 ml)
-  Gn Geofono
-  Battuta per indagine MASW
-  Sottostazione

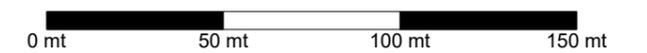
Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T

Base cartografica: Carta Tecnica Regionale (RSDI-Regione Basilicata)



Comune di Melfi (PZ)

Scala 1: 2.000





## 2 INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITU

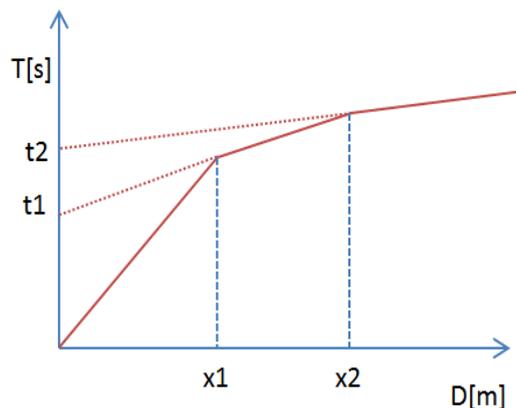
Per la ricostruzione del modello geologico-stratigrafico del sito e la parametrizzazione geomeccanica del volume significativo di terreno relativo all'intervento si è fatto riferimento alle informazioni fornite dall'esecuzione n° 8 prospezioni sismiche a rifrazione in onde P e n° 8 prospezioni sismiche MASW le cui posizioni sono riportate in allegato alla **Tavola A. 1 "Ubicazione Indagini in Situ"**. Le prove sono state realizzate nelle immediate vicinanze dei futuri siti di realizzazione degli impianti eolici in progetto e, in accordo con la committenza, in maniera tale da investigare il terreno di sedime cercando un giusto compromesso tra la profondità massima di investigazione e gli spazi fisici a disposizione.

### 2.1 Indagini Geognostiche Indirette: Prospezioni Sismiche a Rifrazione (Onde P)

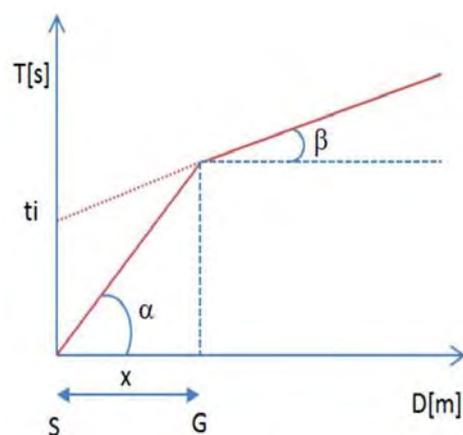
Le indagini di sismica a rifrazione (P e/o S), consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). Altro scopo è quello di tarare e vincolare l'altro metodo di indagine (MASW) per tutto lo spessore investigato dall'indagine sismica, contribuendo a diminuire l'incertezza sulla determinazione delle velocità delle onde sismiche  $V_s$ . La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione tradizionale è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti. Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda  $\lambda$ , comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell. Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore. La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde  $\lambda$ , equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza  $\vartheta_i$ ; mentre quello formato tra il raggio



rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione  $\vartheta_r$ . La formula matematica è:  $v_2 \sin\vartheta_i = v_1 \sin\vartheta_r$ . Dove  $v_1$  e  $v_2$  sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità. Per  $v_1 > v_2$  si ha che  $\vartheta_i > \vartheta_r$  e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per  $v_1 < v_2$  si ha che  $\vartheta_i < \vartheta_r$  ed esiste un angolo limite d'incidenza per cui  $\vartheta_r = 90^\circ$  ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'angolo limite è definito come:  $\vartheta_i \arcsin (v_1 / v_2)$ .



Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posta in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo  $T$  dato dalla relazione:  $T = x_i / V_1$ , dove  $x_i$  è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione. L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità  $V_1$  del primo mezzo come:  $V_1 = 1/\tan\alpha$ . I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette. La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo  $t_i$  che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione. Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi. Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:



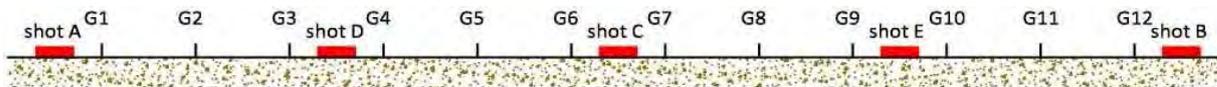
$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left( t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

### 2.1.1 Acquisizione ed Interpretazione dei Dati

Le indagini sono state condotte utilizzando la seguente strumentazione:

- Sismografo con 24 canali, della ditta "PASI Srl" modello GEA24 con acquisizione computerizzata dei dati mediante laptop;
- Sorgente di energizzazione costituita da un maglio del peso di 10 Kg battente verticalmente su piastra rettangolare in alluminio posta direttamente sul piano campagna per la generazione prevalentemente di onde P e secondariamente di onde  $S_v$ ;
- n. 12 geofoni verticali del tipo elettromagnetico a bobina mobile a massa sospesa, con frequenza di acquisizione pari a 4,5 Hz.

La distanza intergeofonica è stata posta pari a 4 mt per tutti gli stendimenti realizzati, denominati di seguito rispettivamente ST01, ST02, ST03, ST04, ST05, ST06, ST07 e ST08, con punti di battuta A e B poste a 5 mt rispettivamente dal 1° e dal 12° geofono, in posizione esterna allo stendimento, la battuta C posta al centro dello stendimento (fra il 6° e il 7° geofono), mentre le altre due battute intermedie D ed E poste rispettivamente tra 3° e 4° geofono e tra il 9° e il 10° geofono come riportato in **Figura 1**:



**Figura 1**-Configurazione geometrica dello stendimento sismico a rifrazione

In fase di acquisizione dei sismogrammi è stato applicato un filtro passa alto, con frequenza di taglio pari a 10 Hz, per una migliore ricezione dei segnali. L'elaborazione dei dati è stata eseguita secondo la procedura descritta schematicamente di seguito:

- Inserimento delle geometrie mediante il software EasyRefract (distanze fra geofoni e posizioni dei punti di scoppio);
- Applicazione di un filtro "low-pass" per la lettura ottimale dei primi arrivi eliminando le frequenze di disturbo;
- *Picking* dei primi arrivi;
- Definizione delle dromocrone;
- Calcolo dromocrone traslate;
- Definizione del modello sismostratigrafico.

Bisogna precisare che, l'elaborazione dei dati di sismica a rifrazione rappresentano l'andamento dei sismostrati lungo la sezione corrispondente al profilo in superficie, ed il modello sismostratigrafico che ne deriva rappresenta l'interpretazione degli stessi sismostrati in funzione della geologia del sito, ottenuto

correlando le velocità medie di ciascun sismostrato con i dati geologici noti e le loro velocità sismiche caratteristiche. Ai fini della corretta interpretazione dei risultati dell'indagine sismica è importante puntualizzare che:

- I sismostrati non sono necessariamente associabili a litotipi ben definiti, ma sono rappresentativi di livelli con simili caratteristiche elastiche, in cui le onde sismiche si propagano con la stessa velocità;
- La risoluzione del metodo è funzione della profondità d'indagine e la risoluzione diminuisce con la profondità: considerato uno strato di spessore  $h$  ubicato a profondità  $z$  dal piano campagna, in generale non è possibile individuare sismostrati in cui  $h < 0,25 * z$ ;
- Nelle indagini superficiali, le onde di taglio, meno veloci, arrivano in un tempo successivo, per cui il segnale registrato sarà la risultante delle onde S con le onde P e quindi la lettura dei tempi di arrivo delle onde S può risultare meno precisa della lettura dei tempi di arrivo delle onde P;
- I terreni esaminati possono ricoprire un ampio campo delle velocità sismiche, in relazione alla presenza di materiale di riporto, di terreno vegetale e di acqua di falda nonché ai vari gradi di stratificazione, carsificazione e di fratturazione dell'ammasso roccioso.

Di seguito sono stati riportati, in **Tabella 1**, i valori di velocità delle onde sismiche di compressione P tipici di alcuni litotipi ricorrenti.

Litotipo	V <sub>p</sub> (m/sec)	Litotipo	V <sub>p</sub> (m/sec)
Areato superficiale	300-800	Calcere cristallino	5700-6400
Argille	1100-2900	Piroclastiti coerenti (tufo)	750-2450
Sabbia asciutta	200-1000	Piroclastiti incoerenti (pozzolana)	350-1000
Sabbie umida	600-1800	Arenaria	1400-4500
Terreni alluvionali sciolti	400-2100	Granito, Monzonite, Granodiorite, Gabbro, Diabase, Basalto	4000-6000
Acqua	1400-1500	Anidride	3500-5500
Calcere fratturato	700-4200	Gesso	1800-4000
Calcere compatto	2800-6400	Gneiss e scisti	3500-7500

**Tabella 1**-Valori di velocità tipiche delle onde di compressione P (da "Le indagini geofisiche per lo studio del sottosuolo" di Carrara-Rapolla-Roberti, "Il manuale del geologo" di Cassadio-Elmi)

### 2.1.2 Stendimento Sismico ST01

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area destinata a seminativo agricolo, senza variazioni altimetriche significative, per una estensione totale della linea sismica pari a 44 mt così come si può osservare in **Fotografia 1, 2, 3 e 4**. Per l'interpretazione litostratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla **Tavola A. 2 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"**.



2. Indagini Geognostiche in Situ



**Fotografia 1**-Visione verso Nord-Ovest dello stendimento sismico ST01



**Fotografia 2**-Visione verso Sud-Est dello stendimento sismico ST01



**Fotografia 3**-Sismografo PASI modello GEA24



**Fotografia 4**-Geofono verticale

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo investigato, identificando tre sismostrati, ciascuno caratterizzato da un determinato valore medio di velocità delle onde di compressione. Assimilando tali valori di velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area, in prima analisi, è stato ricostruito il seguente assetto litostratigrafico, evidenziando come i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

1. **Sismostrato A:** terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ghiaiosa, mediamente consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 511 m/sec per una profondità media di circa -2,30 mt da pc;



2. *Indagini Geognostiche in Situ*

2. **Sismostrato B:** deposito di natura limo-sabbiosa con ghiaia, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1450 m/sec per una profondità media di circa -8,70 mt da pc;
3. **Sismostrato C:** deposito di natura ghiaioso-sabbiosa, molto consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 2638 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15 mt da pc).

Sezione Stratigrafica - Stendimento ST01 - Onde P

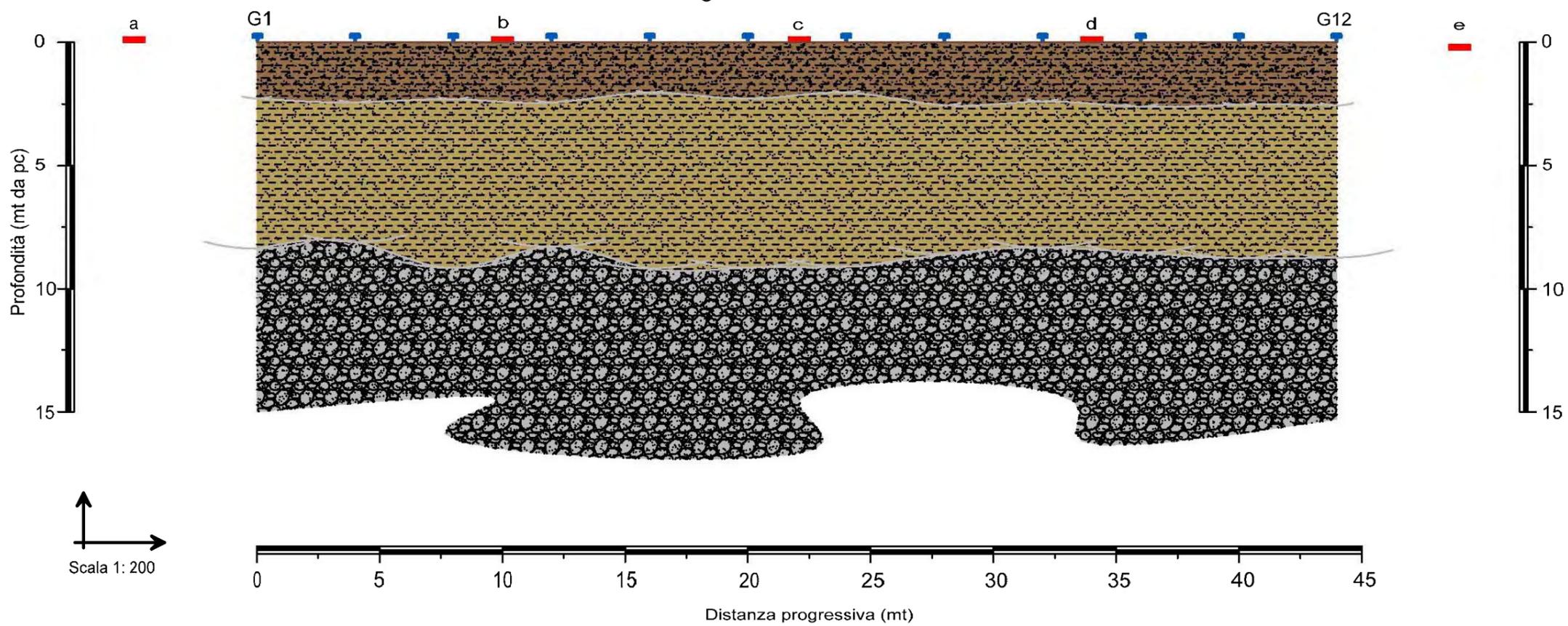
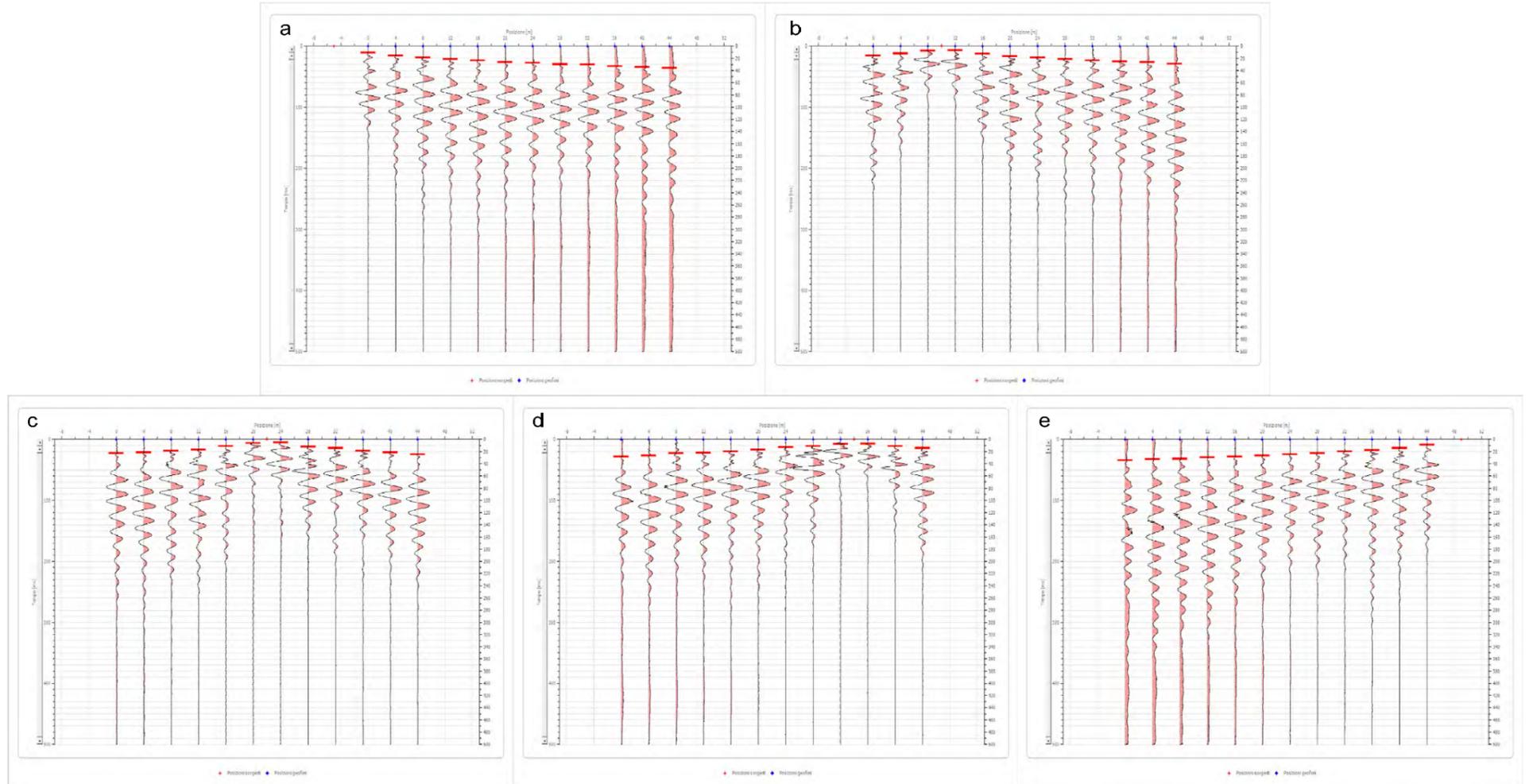


Tavola A. 2  
"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"  
Stendimento ST01

Legenda

-  Terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ghiaiosa, mediamente consistente  $V_p = 511$  m/sec
-  Deposito di natura limo-sabbiosa con ghiaia, ben consistente  $V_p = 1450$  m/sec
-  Deposito di natura ghiaioso-sabbiosa, molto consistente  $V_p = 2638$  m/sec
-  Geofono
-  a Punto di energizzazione

Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi



### 2.1.3 Stendimento Sismico ST02

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area destinata a seminativo agricolo, senza variazioni altimetriche significative, per una estensione totale della linea sismica pari a 44 mt così come si può osservare in **Fotografia 5, 6, 7 e 8**. Per l'interpretazione litostratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla **Tavola A. 2 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"**.



**Fotografia 5**-Visione verso Sud-Ovest dello stendimento sismico ST02



**Fotografia 6**-Visione verso Nord-Est dello stendimento sismico ST02



**Fotografia 7**-Sismografo PASI modello GEA24



**Fotografia 8**-Geofono verticale

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo investigato, identificando tre sismostrati, ciascuno caratterizzato da un determinato valore medio di velocità delle onde di compressione. Assimilando tali valori di velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area, in prima analisi, è stato ricostruito il seguente assetto litostratigrafico, evidenziando come i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:



2. *Indagini Geognostiche in Situ*

1. **Sismostrato A:** terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ghiaiosa, poco consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 352 m/sec per una profondità media di circa -2,00 mt da pc;
2. **Sismostrato B:** deposito di natura limo-sabbiosa con ghiaia, moderatamente consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 831 m/sec per una profondità media di circa -10,20 mt da pc;
3. **Sismostrato C:** deposito di natura ghiaioso-sabbiosa, molto consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 2577 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15 mt da pc).

Sezione Stratigrafica - Stendimento ST02 - Onde P

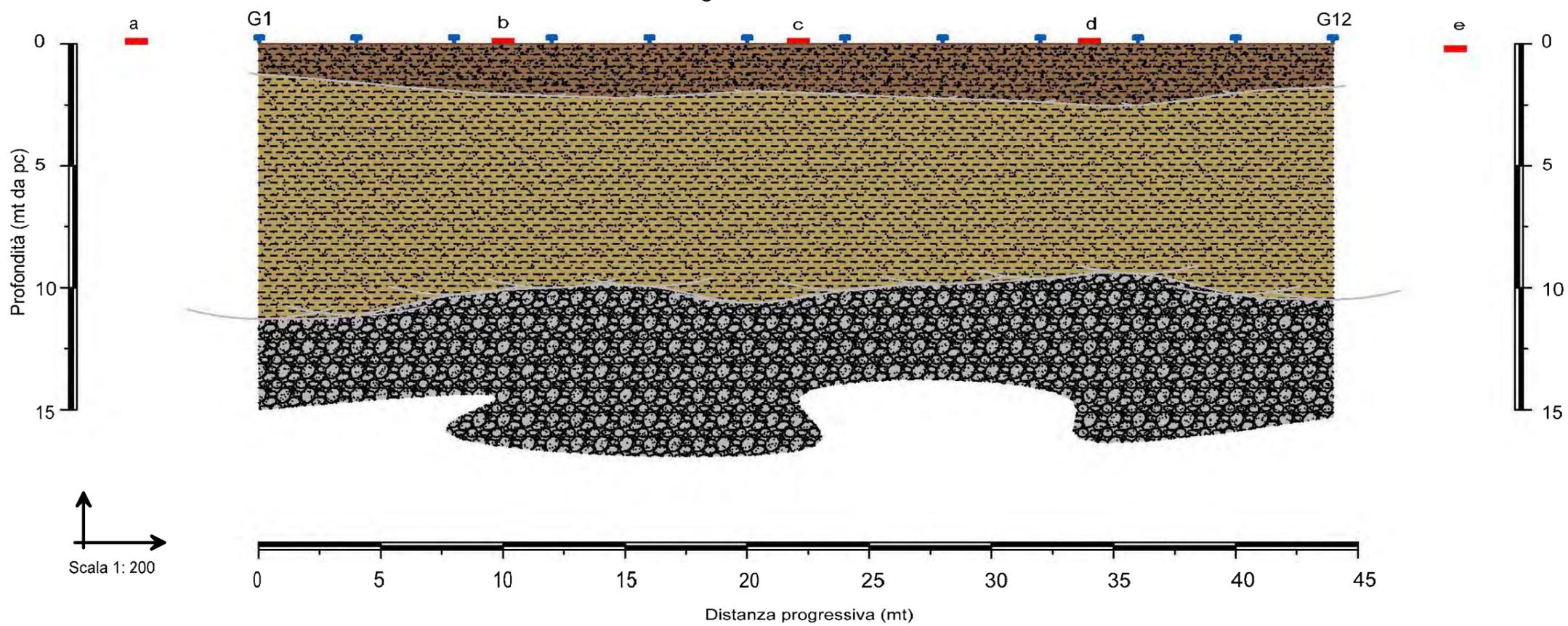
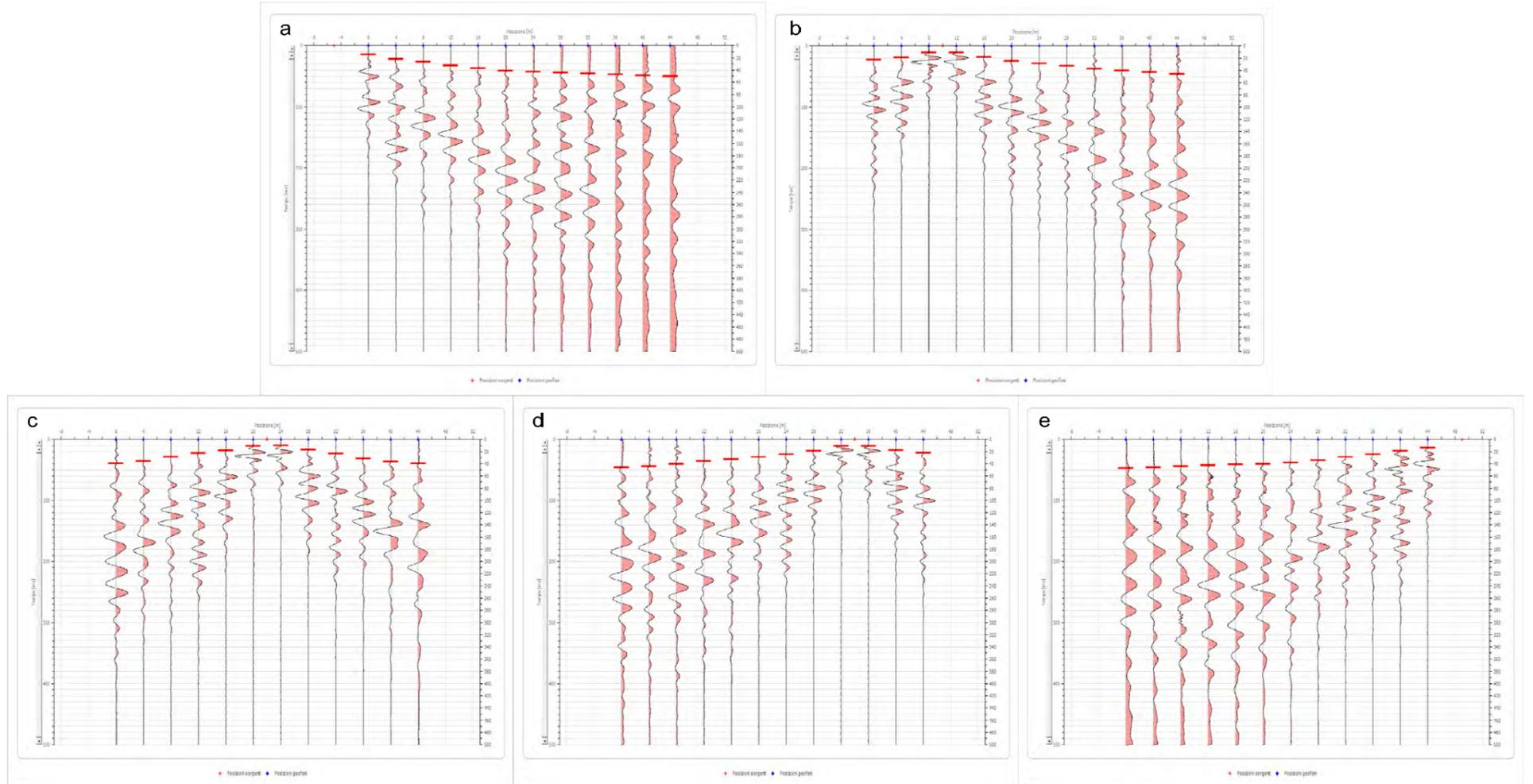


Tavola A. 2  
"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"  
Stendimento ST02

Legenda

-  Terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ghiaiosa, poco consistente  $V_p = 352$  m/sec
-  Deposito di natura limo-sabbiosa con ghiaia, moderatamente consistente  $V_p = 831$  m/sec
-  Deposito di natura ghiaioso-sabbiosa, molto consistente  $V_p = 2577$  m/sec
-  Geofono
-  a Punto di energizzazione

Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi



## 2.1.4 Stendimento Sismico ST03

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area destinata a seminativo agricolo, senza variazioni altimetriche significative, per una estensione totale della linea sismica pari a 44 mt così come si può osservare in **Fotografia 9, 10, 11 e 12**. Per l'interpretazione litostratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla **Tavola A. 2 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"**.



**Fotografia 9**-Visione verso Sud-Ovest dello stendimento sismico ST03



**Fotografia 10**-Visione verso Nord-Est dello stendimento sismico ST03



**Fotografia 11**-Sismografo PASI modello GEA24



**Fotografia 12**-Geofono verticale

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo investigato, identificando tre sismostrati, ciascuno caratterizzato da un determinato valore medio di velocità delle onde di compressione. Assimilando tali valori di velocità di propagazione delle onde P alle



litologie presenti nell'area, in prima analisi, è stato ricostruito il seguente assetto litostratigrafico, evidenziando come i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

1. **Sismostrato A:** terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ghiaiosa, mediamente consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 403 m/sec per una profondità media di circa -2,40 mt da pc;
2. **Sismostrato B:** deposito di natura limo-sabbiosa con ghiaia, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1468 m/sec per una profondità media di circa -8,10 mt da pc;
3. **Sismostrato C:** deposito di natura ghiaioso-sabbiosa, molto consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 2478 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15 mt da pc).

560550

560950

4548320

4548320

Nord (mt)

4547920

4547920

560550

560950

Est (mt)



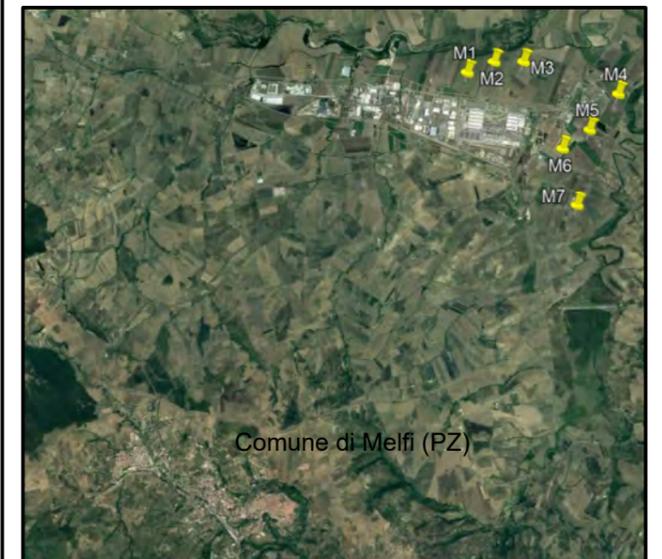
Tavola A. 1  
 "Ubicazione Indagini in Situ"  
 Sito M3

Legenda

-  Stendimento sismico (ST01= 44,00 ml)
-  Gn Geofono
-  Battuta per indagine MASW
-  Impianto eolico M3

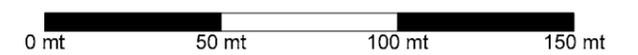
Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T

Base cartografica: Carta Tecnica Regionale (RSDI-Regione Basilicata)



Comune di Melfi (PZ)

Scala 1: 2.000



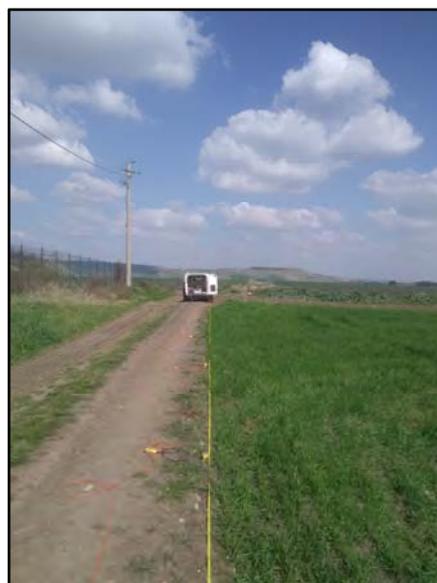


### 2.1.5 Stendimento Sismico ST04

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area destinata a seminativo agricolo, senza variazioni altimetriche significative, per una estensione totale della linea sismica pari a 44 mt così come si può osservare in **Fotografia 13, 14, 15 e 16**. Per l'interpretazione litostratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla **Tavola A. 2 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"**.



**Fotografia 13**-Visione verso Sud-Ovest dello stendimento sismico ST04



**Fotografia 14**-Visione verso Nord-Est dello stendimento sismico ST04



**Fotografia 15**-Sismografo PASI modello GEA24



**Fotografia 16**-Geofono verticale



Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo investigato, identificando tre sismostrati, ciascuno caratterizzato da un determinato valore medio di velocità delle onde di compressione. Assimilando tali valori di velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area, in prima analisi, è stato ricostruito il seguente assetto litostratigrafico, evidenziando come i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

1. **Sismostrato A:** terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ghiaiosa, mediamente consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 427 m/sec per una profondità media di circa -2,00 mt da pc;
2. **Sismostrato B:** deposito di natura limo-sabbiosa con ghiaia, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1113 m/sec per una profondità media di circa -9,70 mt da pc;
3. **Sismostrato C:** deposito di natura ghiaioso-sabbiosa, molto consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 2064 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15 mt da pc).

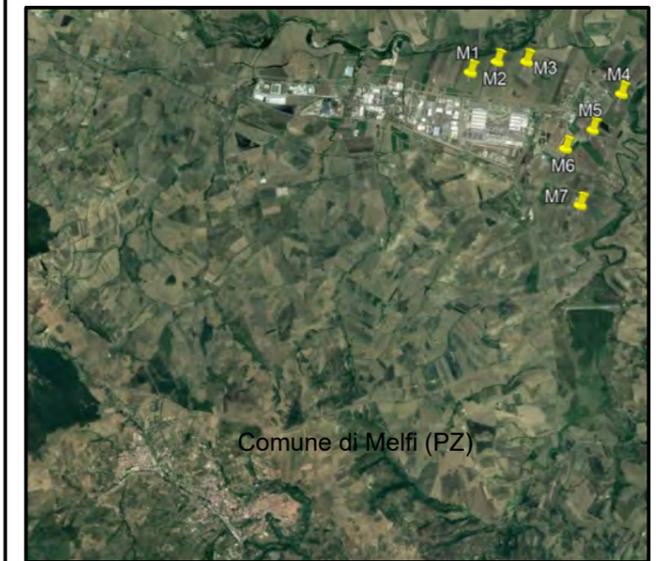
Tavola A. 1  
 "Ubicazione Indagini in Situ"  
 Sito M4

Legenda

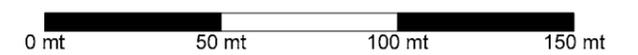
-  Stendimento sismico (ST01= 44,00 ml)
-  Gn Geofono
-  Battuta per indagine MASW
-  Impianto eolico M4

Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T

Base cartografica: Carta Tecnica Regionale (RSDI-Regione Basilicata)



Scala 1: 2.000



## 2.1.6 Stendimento Sismico ST05

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area destinata a seminativo agricolo, senza variazioni altimetriche significative, per una estensione totale della linea sismica pari a 44 mt così come si può osservare in **Fotografia 17, 18, 19 e 20**. Per l'interpretazione litostratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla **Tavola A. 2 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"**.



**Fotografia 17**-Visione verso Sud-Ovest dello stendimento sismico ST05



**Fotografia 18**-Visione verso Nord-Est dello stendimento sismico ST05



**Fotografia 19**-Sismografo PASI modello GEA24



**Fotografia 20**-Geofono verticale

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo investigato, identificando tre sismostrati, ciascuno caratterizzato da un determinato valore medio di velocità delle onde di compressione. Assimilando tali valori di velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area, in prima analisi, è stato ricostruito il seguente assetto litostratigrafico, evidenziando come i relativi spessori subiscano delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:



2. *Indagini Geognostiche in Situ*

1. **Sismostrato A:** terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ghiaiosa, poco consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 377 m/sec per una profondità media di circa -1,90 mt da pc;
2. **Sismostrato B:** deposito di natura limo-sabbiosa con ghiaia, moderatamente consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 726 m/sec per una profondità media di circa -10,20 mt da pc;
3. **Sismostrato C:** deposito di natura sabbioso-ghiaiosa, consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1865 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15 mt da pc).

561880

562280

4546860

Nord (mt)

4546460

561880

562280

Est (mt)



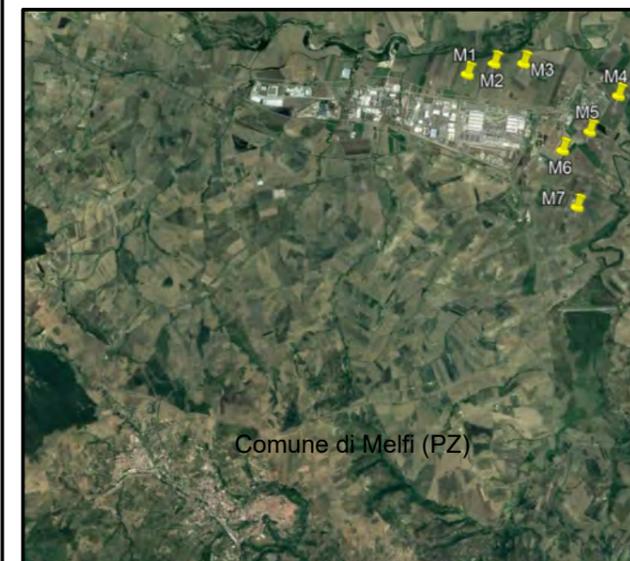
Tavola A. 1  
 "Ubicazione Indagini in Situ"  
 Sito M5

Legenda

-  Stendimento sismico (ST01= 44,00 ml)
-  Gn Geofono
-  Battuta per indagine MASW
-  Impianto eolico M5

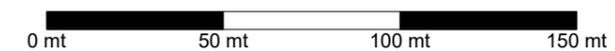
Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T

Base cartografica: Carta Tecnica Regionale (RSDI-Regione Basilicata)



Comune di Melfi (PZ)

Scala 1: 2.000



### 2.1.7 Stendimento Sismico ST06

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area destinata a seminativo agricolo, senza variazioni altimetriche significative, per una estensione totale della linea sismica pari a 44 mt così come si può osservare in **Fotografia 21, 22, 23 e 24**. Per l'interpretazione litostratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla **Tavola A. 2 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"**.



**Fotografia 21**-Visione verso Sud-Est dello stendimento sismico ST06



**Fotografia 22**-Visione verso Nord-Ovest dello stendimento sismico ST06



**Fotografia 23**-Sismografo PASI modello GEA24



**Fotografia 24**-Geofono verticale

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo investigato, identificando tre sismostrati, ciascuno caratterizzato da un determinato valore medio



di velocità delle onde di compressione. Assimilando tali valori di velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area, in prima analisi, è stato ricostruito il seguente assetto litostratigrafico, evidenziando come i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

1. **Sismostrato A:** terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ghiaiosa, poco consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 294 m/sec per una profondità media di circa -2,00 mt da pc;
2. **Sismostrato B:** deposito di natura limo-sabbiosa con ghiaia, moderatamente consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 679 m/sec per una profondità media di circa -9,60 mt da pc;
3. **Sismostrato C:** deposito di natura sabbioso-ghiaiosa, consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1554 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15 mt da pc).

561270

561670

Nord (mt)

4546450

4546050

561270

561670

Est (mt)



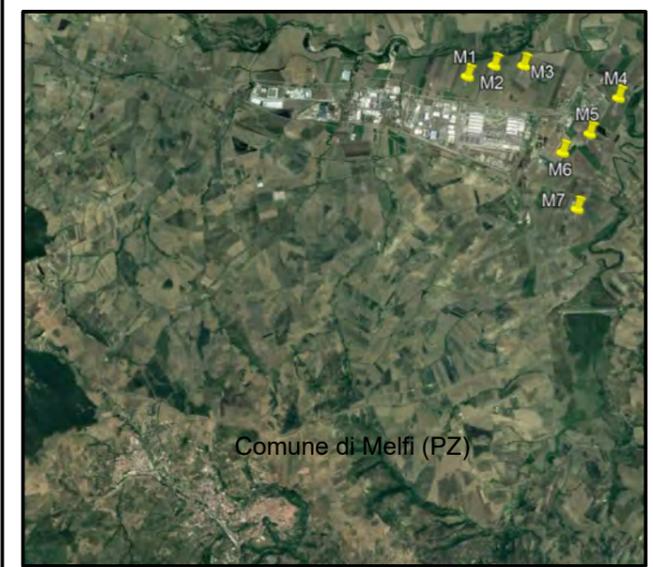
Tavola A. 1  
 "Ubicazione Indagini in Situ"  
 Sito M6

Legenda

-  Stendimento sismico (ST01= 44,00 ml)
-  Gn Geofono
-  Battuta per indagine MASW
-  Impianto eolico M6

Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T

Base cartografica: Carta Tecnica Regionale (RSDI-Regione Basilicata)



Comune di Melfi (PZ)

Scala 1: 2.000



## 2.1.8 Stendimento Sismico ST07

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area destinata a seminativo agricolo, senza variazioni altimetriche significative, per una estensione totale della linea sismica pari a 44 mt così come si può osservare in **Fotografia 25, 26, 27 e 28**. Per l'interpretazione litostratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla **Tavola A. 2 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"**.



**Fotografia 25**-Visione verso Sud dello stendimento sismico ST07



**Fotografia 26**-Visione verso Nord dello stendimento sismico ST07



**Fotografia 27**-Sismografo PASI modello GEA24



**Fotografia 28**-Geofono verticale



Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo investigato, identificando tre sismostrati, ciascuno caratterizzato da un determinato valore medio di velocità delle onde di compressione. Assimilando tali valori di velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area, in prima analisi, è stato ricostruito il seguente assetto litostratigrafico, evidenziando come i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

1. **Sismostrato A:** terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ghiaiosa, poco consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 331 m/sec per una profondità media di circa -2,10 mt da pc;
2. **Sismostrato B:** deposito di natura limo-sabbiosa con ghiaia, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1462 m/sec per una profondità media di circa -8,00 mt da pc;
3. **Sismostrato C:** deposito di natura sabbioso-ghiaiosa, molto consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 2099 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15 mt da pc).

561670

562070



Nord (mt)

Est (mt)

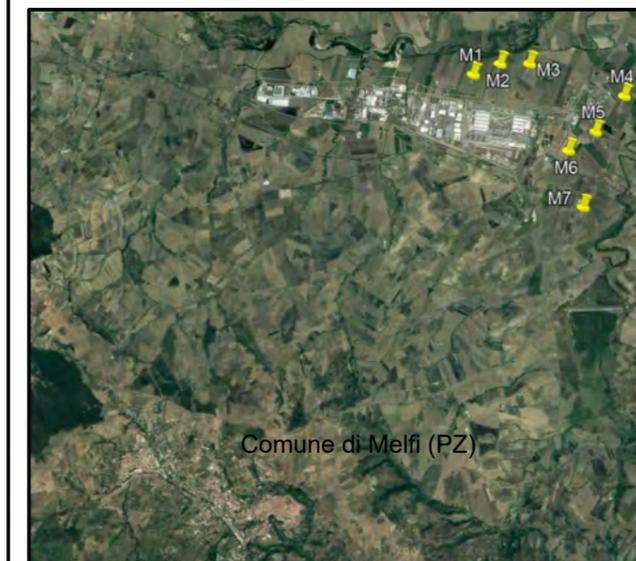
### Tavola A. 1 "Ubicazione Indagini in Situ" Sito M7

#### Legenda

-  Stendimento sismico (ST01= 44,00 ml)
-  Gn Geofono
-  Battuta per indagine MASW
-  Impianto eolico M7

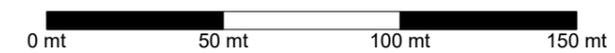
Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T

Base cartografica: Carta Tecnica Regionale (RSDI-Regione Basilicata)



Comune di Melfi (PZ)

Scala 1: 2.000



## 2.1.9 Stendimento Sismico ST08

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area destinata a seminativo agricolo, senza variazioni altimetriche significative, per una estensione totale della linea sismica pari a 44 mt così come si può osservare in **Fotografia 29, 30, 31 e 32**. Per l'interpretazione litostratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla **Tavola A. 2 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"**.



**Fotografia 29**-Visione verso Sud-Ovest dello stendimento sismico ST08



**Fotografia 30**-Visione verso Nord-Est dello stendimento sismico ST08



**Fotografia 31**-Sismografo PASI modello GEA24



**Fotografia 32**-Geofono verticale

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo investigato, identificando tre sismostrati, ciascuno caratterizzato da un determinato valore medio di velocità delle onde di compressione. Assimilando tali valori di velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area, in prima analisi, è stato ricostruito il seguente assetto litostratigrafico, evidenziando come i relativi spessori subiscano delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:



2. *Indagini Geognostiche in Situ*

1. **Sismostrato A:** terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ghiaiosa, moderatamente consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 468 m/sec per una profondità media di circa -2,10 mt da pc;
2. **Sismostrato B:** deposito di natura limo-sabbioso, consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 964 m/sec per una profondità media di circa -9,40 mt da pc;
3. **Sismostrato C:** deposito di natura sabbioso-limosa, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1842 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15 mt da pc).

554770

555170

4545970

4545970

Nord (mt)

4545570

4545570

554770

555170

Est (mt)



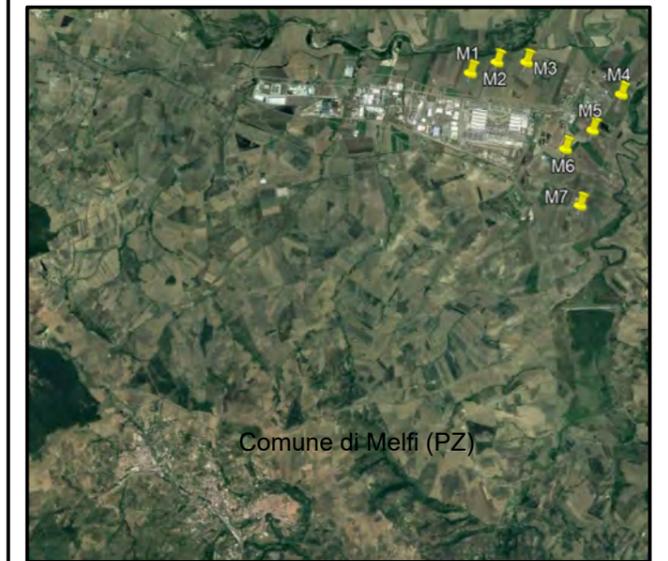
Tavola A. 1  
 "Ubicazione Indagini in Situ"  
 Sito M8

Legenda

-  Stendimento sismico (ST01= 44,00 ml)
-  Gn Geofono
-  Battuta per indagine MASW
-  Sottostazione

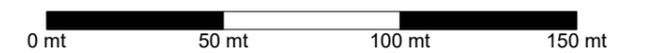
Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T

Base cartografica: Carta Tecnica Regionale (RSDI-Regione Basilicata)



Comune di Melfi (PZ)

Scala 1: 2.000



## 2.2 Indagini Geognostiche Indirette: Prospezioni Sismiche MASW

Il metodo MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$ , sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) posti sulla superficie del terreno. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono di tipo dispersive (fenomeno della dispersione geometrica), cioè onde con diverse frequenze si propagano con diverse velocità di fase (o di gruppo) apparente (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) ovvero la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile alla specificità che le onde ad alta frequenza hanno di propagarsi negli strati più superficiali, fornendo quindi informazioni sulla parte più alta del terreno, mentre le onde a bassa frequenza, propagandosi negli strati più profondi, restituiscono indicazioni sulla parte più bassa del terreno. Il metodo MASW è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del terreno (energizzazione con mazza battente parallelamente all'array) e misurate da un array lineare di geofoni. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5÷10 Hz e 70÷100 Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del terreno, generalmente compreso nei primi 30÷50 mt, in funzione della rigidità del terreno e della caratteristica della sorgente.

### 2.2.1 Acquisizione ed Interpretazione dei Dati

Per il caso in esame, è stato utilizzato un sismografo a 24 canali, della ditta PASI Srl modello GEA24 con acquisizione computerizzata dei dati e una sorgente ad impatto verticale per la generazione di onde Rayleigh rilevate da 12 geofoni aventi frequenza pari a 4,5 Hz con una spaziatura di 4 mt per tutti gli stendimenti, denominati di seguito rispettivamente MASW01, MASW02, MASW03, MASW04, MASW05, MASW06, MASW07 e MASW08, considerando le stesse

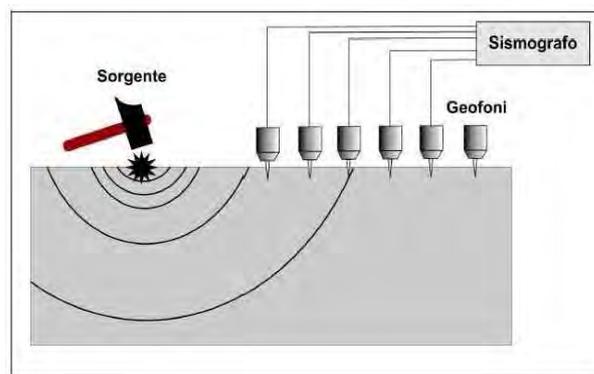


Figura 2-Schema realizzativo indagine MASW (Onde di Rayleigh)

linee utilizzate per le acquisizioni delle indagini di sismica a rifrazione. Sono stati effettuati, per ogni singola indagine, n. 4 battute per l'acquisizione dei sismogrammi utilizzando degli offset minimi rispettivamente a -5 mt e -10 mt dal 1° geofono e +5 mt e +10 mt dal 12° geofono. L'intervallo di campionamento è stato pari a 1 ms (millisecondo) con un tempo di registrazione di 2 secondi. Lo schema organizzativo della prova è

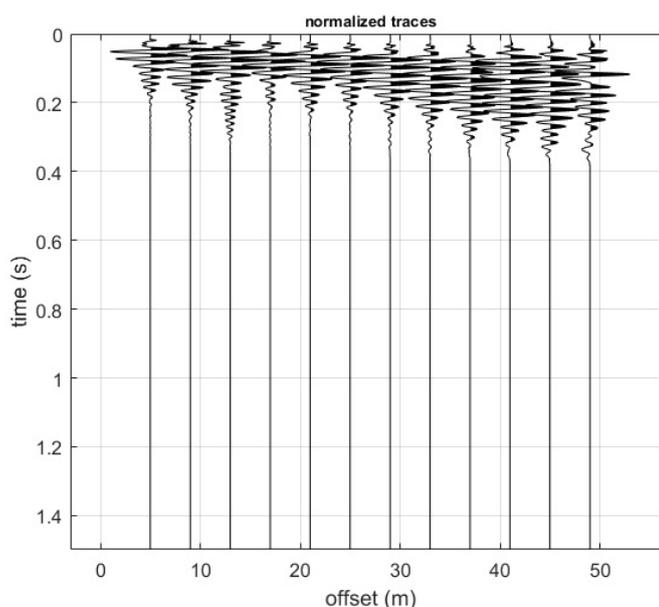
riportata in **Figura 2**, mentre per l'ubicazione dei profili sismici si faccia riferimento in allegato alla **Tavola A. 1 "Ubicazione Indagini in Situ"**. La procedura adottata per ricostruire la distribuzione delle onde di taglio nel terreno ( $V_s$ ) può essere così descritta:

- 1) Acquisizione dei sismogrammi contenenti le onde di superficie (onde di Rayleigh con componente verticale) per un intervallo di tempo sufficiente e un'adeguata frequenza di campionamento;
- 2) Processing dei sismogrammi acquisiti individuando le onde di superficie utili alla costruzione dello spettro di velocità ed individuazione delle curve di dispersione;
- 3) Inversione dei dati usando un modello di terreno che permetta di ricavare un profilo monodimensionale della velocità delle onde S ed ulteriori parametri in funzione della profondità compatibile con il contesto geologico in esame. Tale inversione avviene attraverso l'utilizzo di algoritmi genetici che rappresentano un tipo di procedura di ottimizzazione appartenente alla classe degli algoritmi euristici (o anche *global search methods* o *soft computing*).

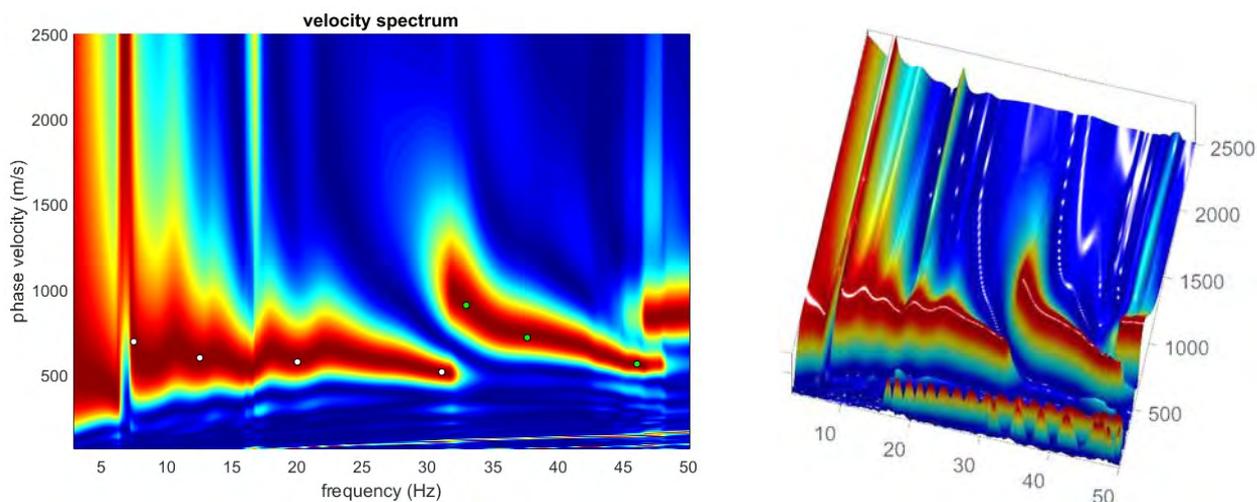
Per il trattamento e l'analisi dei dati acquisiti in situ si è utilizzato il software "WinMASW 3C" release 7.1 della Eliosoft Srl.

### 2.2.2 Stendimento Sismico MASW01

Considerando le n. 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare quella che presentava un rapporto segnale/rumore superiore, di conseguenza, per la determinazione del profilo verticale della velocità media delle onde S, si è selezionato il set di dati relativamente allo *shot* effettuato a +5 mt dal 12° geofono (**Figura 3**) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (**Figura 4**).

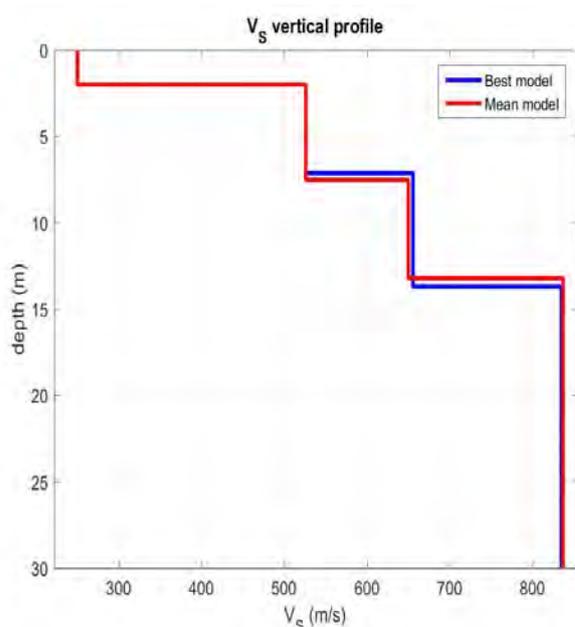


**Figura 3**-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

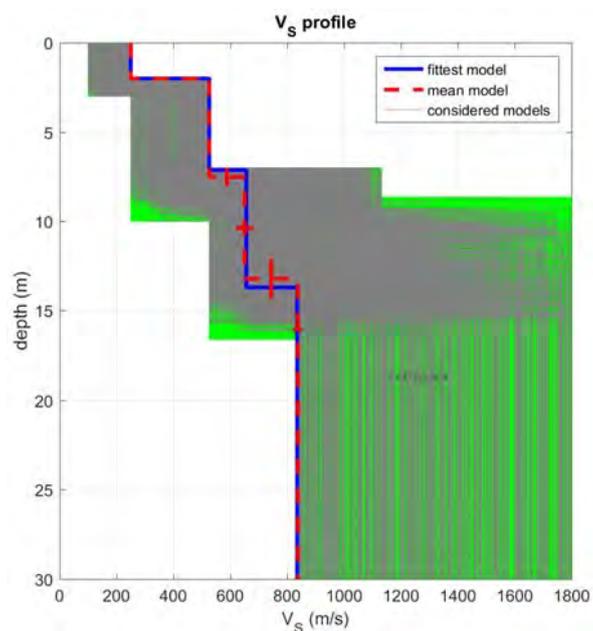


**Figura 4**-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

L'analisi dello spettro "frequenza-velocità di fase" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio  $V_S$  in funzione della profondità (**Figura 5**). Si precisa infine che, il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità derivata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione (circa 22,00 mt da inizio stendimento sismico). Di seguito si riporta lo spettro di velocità sul quale è stata riportata la curva di dispersione "piccata" (picking pallini fucsia), la curva di dispersione del "modello migliore" (pallini blu) e del "modello medio" (croci verdi), **Figura 7**, rispetto a tutti i modelli testati durante il processo di inversione, **Figura 6**. Viene riportato, inoltre, il grafico inerente il "misfit evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, **Figura 8**.



**Figura 5**-Profilo  $V_{S, \text{equ}} = 494$  m/sec calcolato a partire dal piano campagna



**Figura 6**-Modelli testati durante il processo di inversione

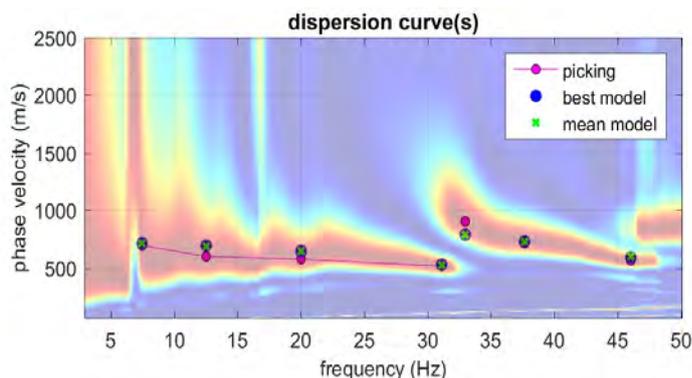


Figura 7-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative “best model” (pallini blu) e “mean model” (croci verdi)

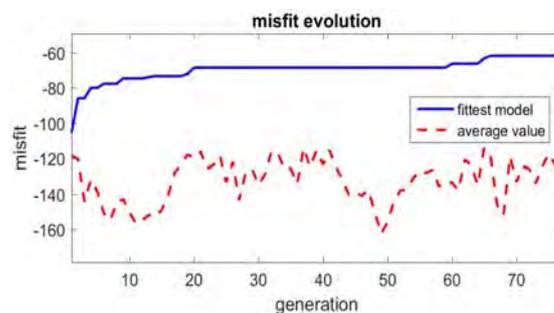


Figura 8-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 2.2.3 Stendimento Sismico MASW02

Considerando le n. 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare quella che presentava un rapporto segnale/rumore superiore, di conseguenza, per la determinazione del profilo verticale della velocità media delle onde S, si è selezionato il set di dati relativamente allo *shot* effettuato a -10 mt dal 1° geofono (Figura 9) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (Figura 10).

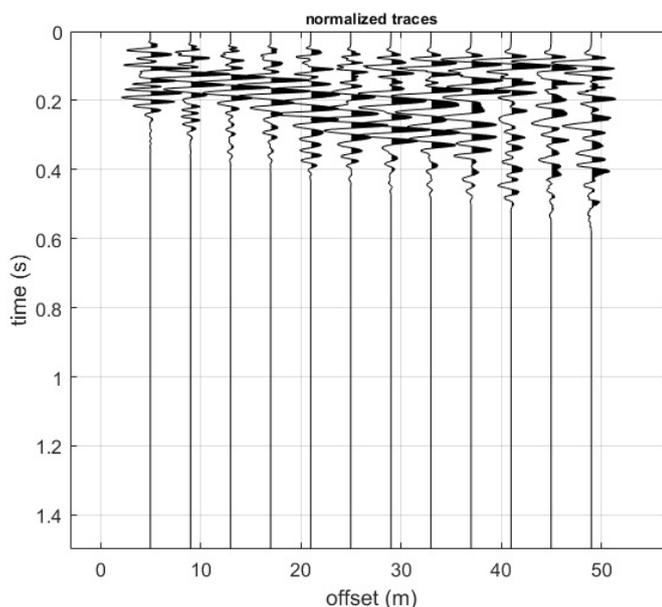
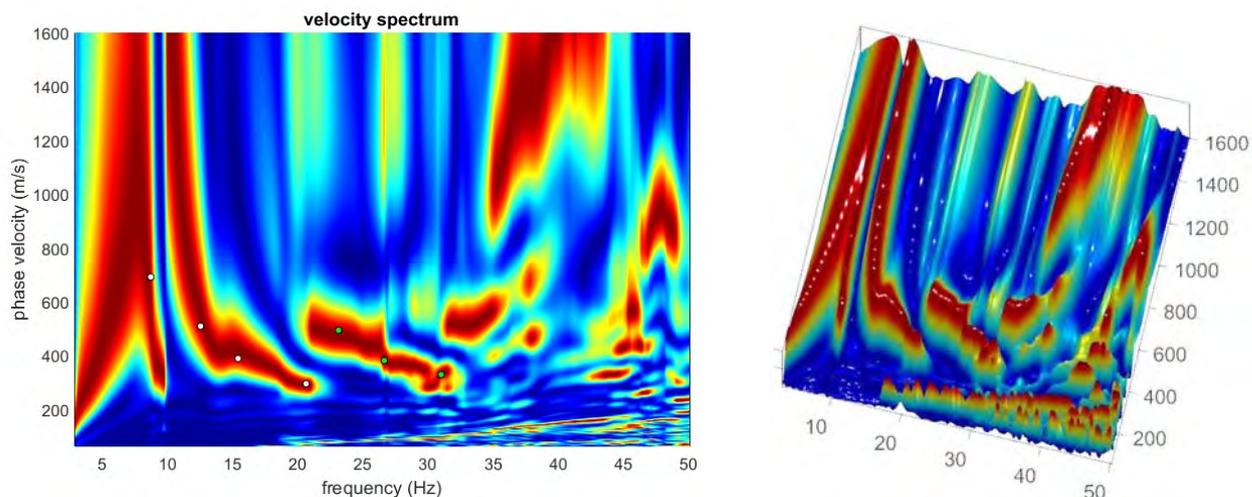


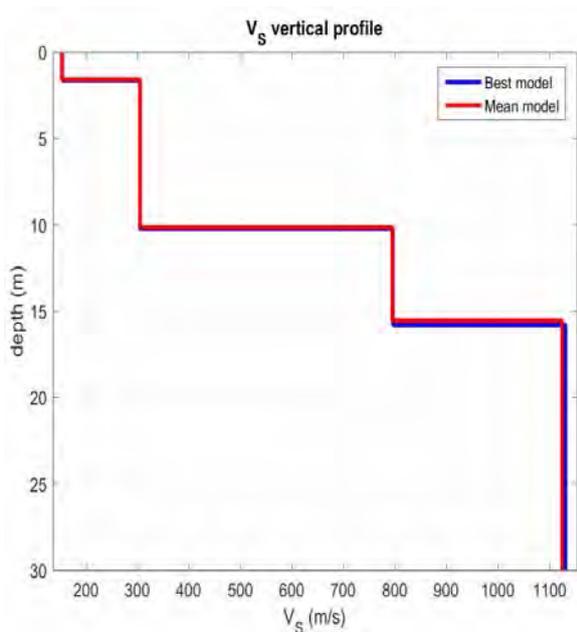
Figura 9-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

## 2. Indagini Geognostiche in Situ

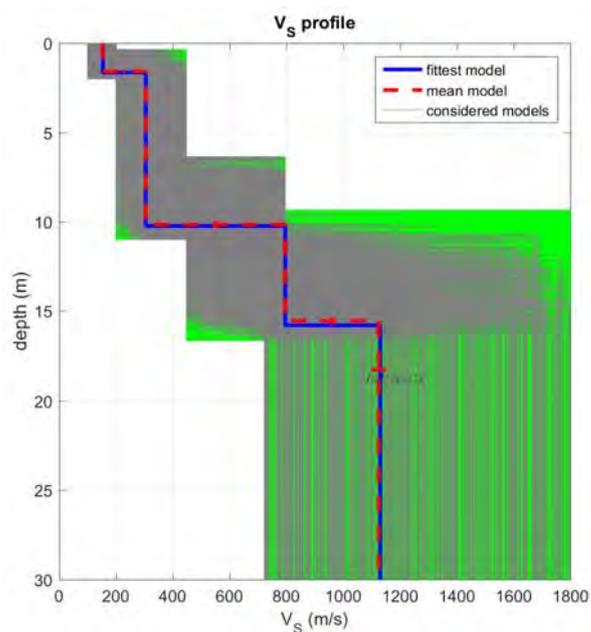


**Figura 10**-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

L'analisi dello spettro "frequenza-velocità di fase" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio  $V_S$  in funzione della profondità (**Figura 11**). Si precisa infine che, il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità derivata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione (circa 22,00 mt da inizio stendimento sismico). Di seguito si riporta lo spettro di velocità sul quale è stata riportata la curva di dispersione "piccata" (picking pallini fucsia), la curva di dispersione del "modello migliore" (pallini blu) e del "modello medio" (croci verdi), **Figura 13**, rispetto a tutti i modelli testati durante il processo di inversione, **Figura 12**. Viene riportato, inoltre, il grafico inerente il "misfit evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, **Figura 14**.



**Figura 11**-Profilo  $V_{S, equ} = 346$  m/sec calcolato a partire dal piano campagna



**Figura 12**-Modelli testati durante il processo di inversione

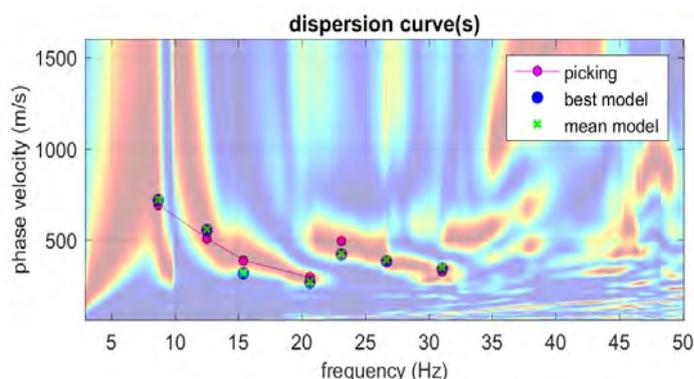


Figura 13-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)

#### 2.2.4 Stendimento Sismico MASW03

Considerando le n. 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare quella che presentava un rapporto segnale/rumore superiore, di conseguenza, per la determinazione del profilo verticale della velocità media delle onde S, si è selezionato il set di dati relativamente allo *shot* effettuato a -5 mt dal 1° geofono (Figura 15) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (Figura 16).

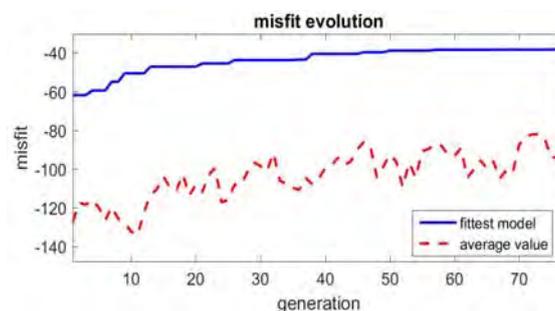


Figura 14-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

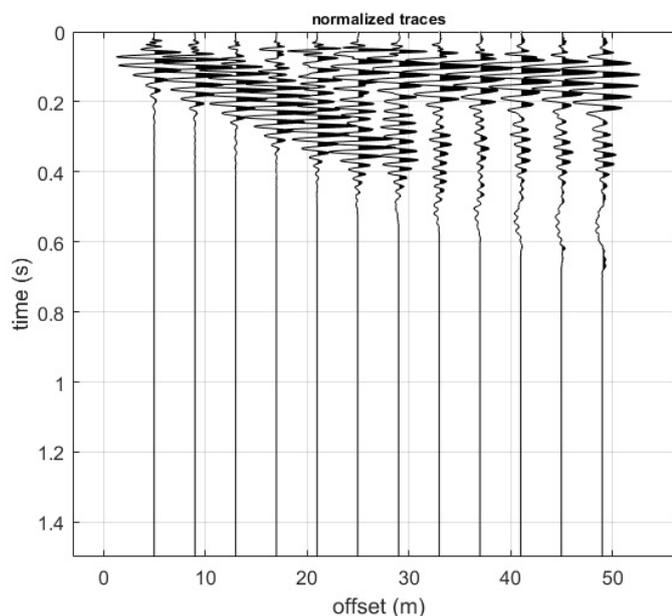


Figura 15-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

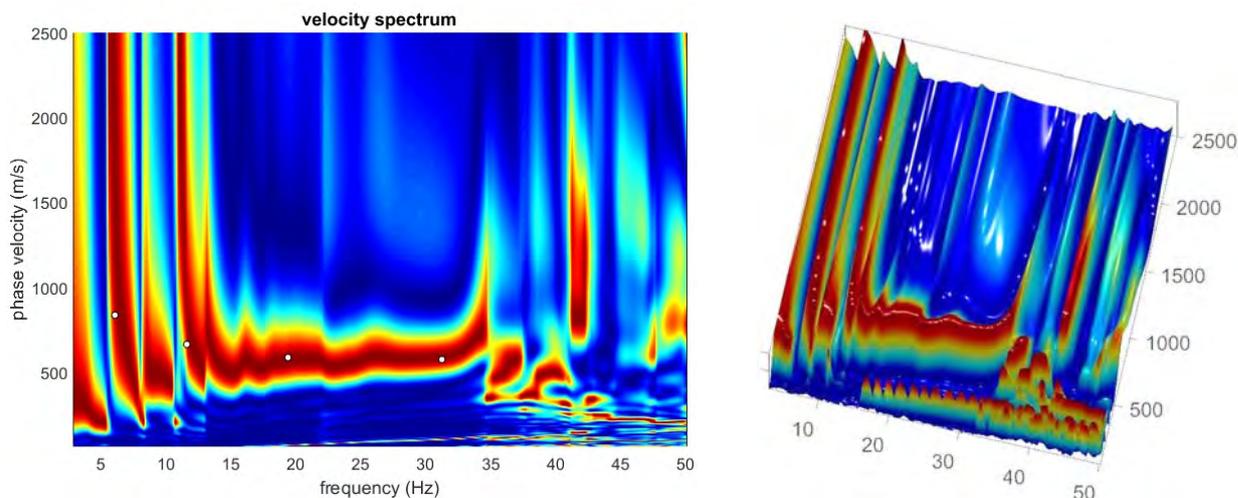


Figura 16-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi)

L'analisi dello spettro "frequenza-velocità di fase" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio  $V_S$  in funzione della profondità (Figura 17). Si precisa infine che, il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità derivata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione (circa 22,00 mt da inizio stendimento sismico). Di seguito si riporta lo spettro di velocità sul quale è stata riportata la curva di dispersione "piccata" (picking pallini fucsia), la curva di dispersione del "modello migliore" (pallini blu) e del "modello medio" (croci verdi), Figura 19, rispetto a tutti i modelli testati durante il processo di inversione, Figura 18. Viene riportato, inoltre, il grafico inerente il "misfit evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, Figura 20.

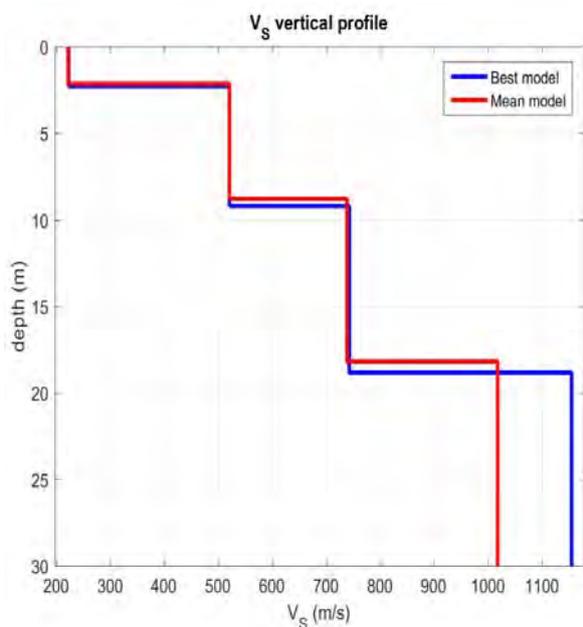


Figura 17-Profilo  $V_{S, equ} = 515$  m/sec calcolato a partire dal piano campagna

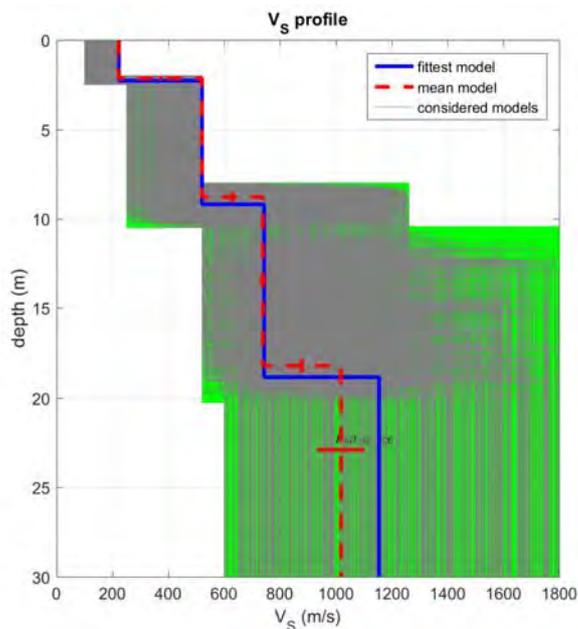


Figura 18-Modelli testati durante il processo di inversione

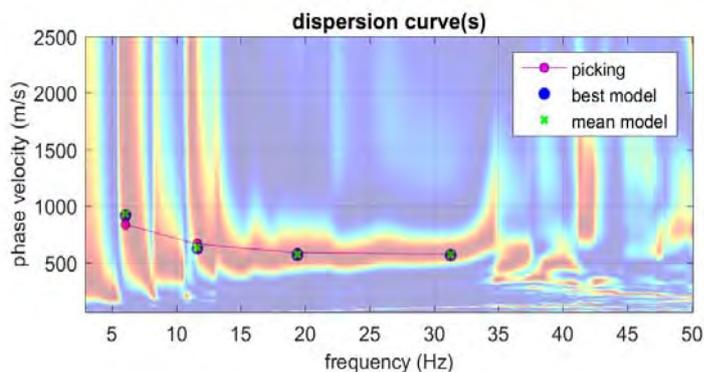


Figura 19-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)

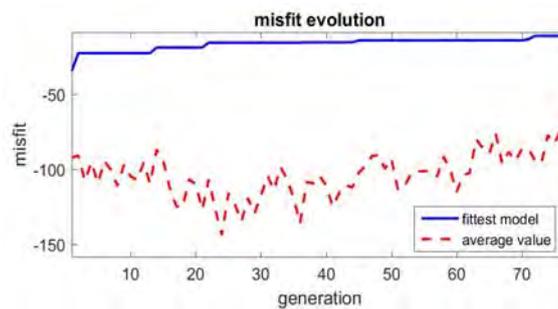


Figura 20-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 2.2.5 Stendimento Sismico MASW04

Considerando le n. 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare quella che presentava un rapporto segnale/rumore superiore, di conseguenza, per la determinazione del profilo verticale della velocità media delle onde S, si è selezionato il set di dati relativamente allo *shot* effettuato a -10 mt dal 1° geofono (Figura 21) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (Figura 22).

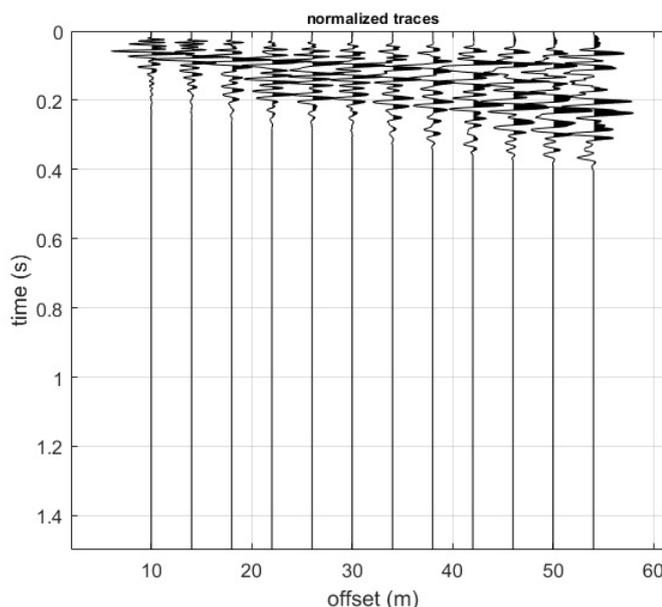
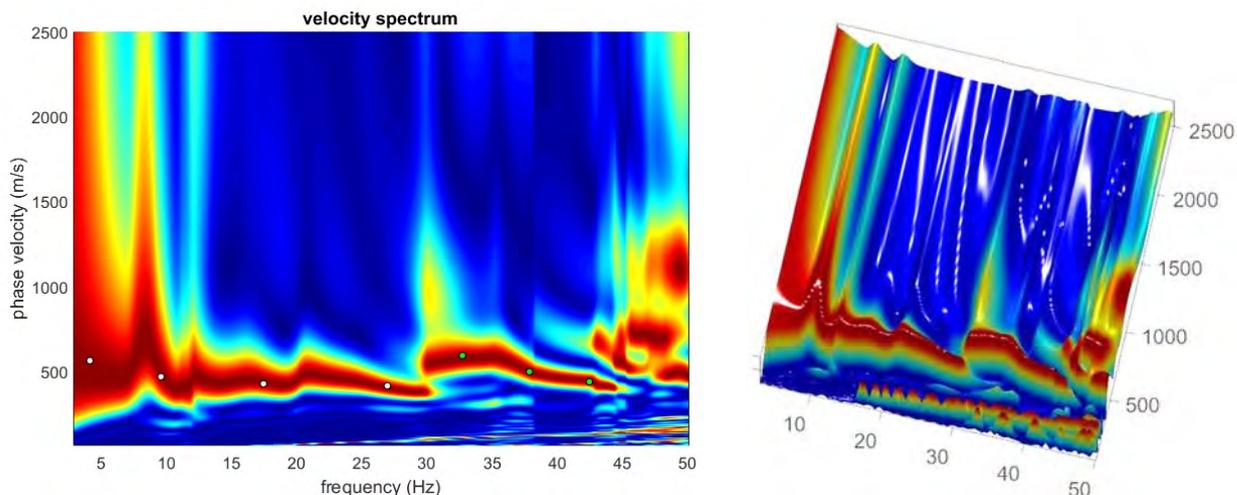
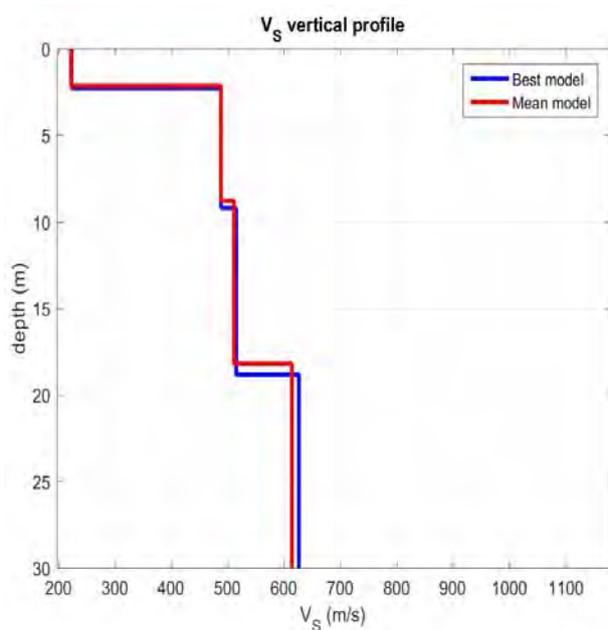


Figura 21-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

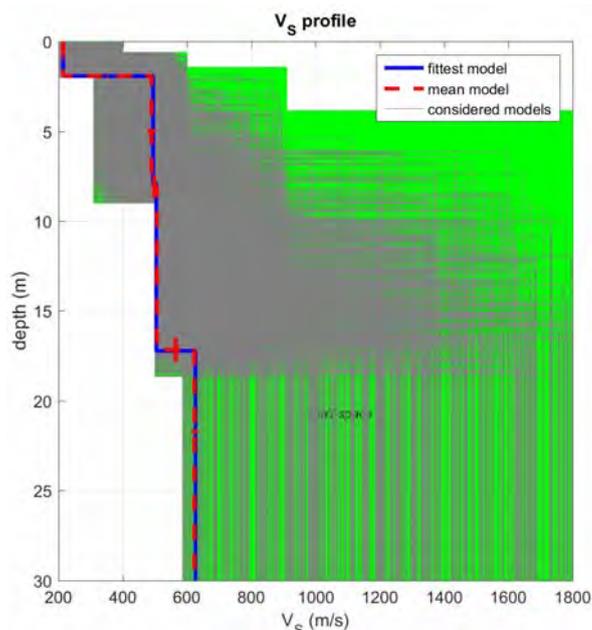


**Figura 22**-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

L'analisi dello spettro "frequenza-velocità di fase" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio  $V_S$  in funzione della profondità (**Figura 23**). Si precisa infine che, il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità derivata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione (circa 22,00 mt da inizio stendimento sismico). Di seguito si riporta lo spettro di velocità sul quale è stata riportata la curva di dispersione "piccata" (picking pallini fucsia), la curva di dispersione del "modello migliore" (pallini blu) e del "modello medio" (croci verdi), **Figura 25**, rispetto a tutti i modelli testati durante il processo di inversione, **Figura 24**. Viene riportato, inoltre, il grafico inerente il "misfit evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, **Figura 26**.



**Figura 23**-Profilo  $V_{S, equ} = 500$  m/sec calcolato a partire dal piano campagna



**Figura 24**-Modelli testati durante il processo di inversione

## 2. Indagini Geognostiche in Situ

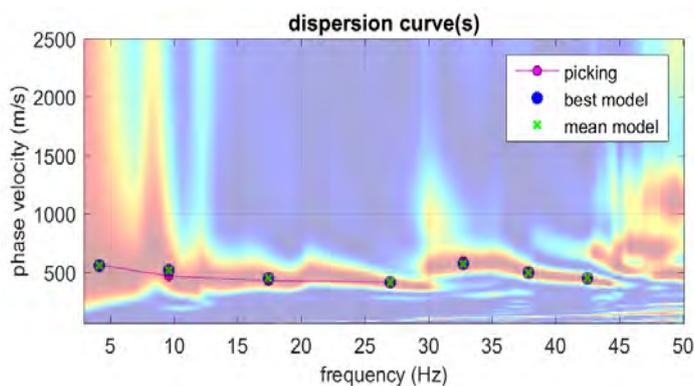


Figura 25-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)

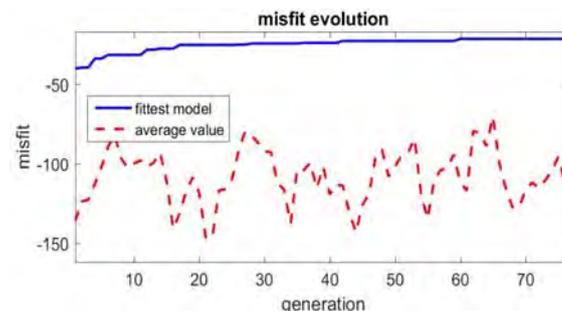


Figura 26-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

## 2.2.6 Stendimento Sismico MASW05

Considerando le n. 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare quella che presentava un rapporto segnale/rumore superiore, di conseguenza, per la determinazione del profilo verticale della velocità media delle onde S, si è selezionato il set di dati relativamente allo *shot* effettuato a -10 mt dal 1° geofono (Figura 27) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (Figura 28).

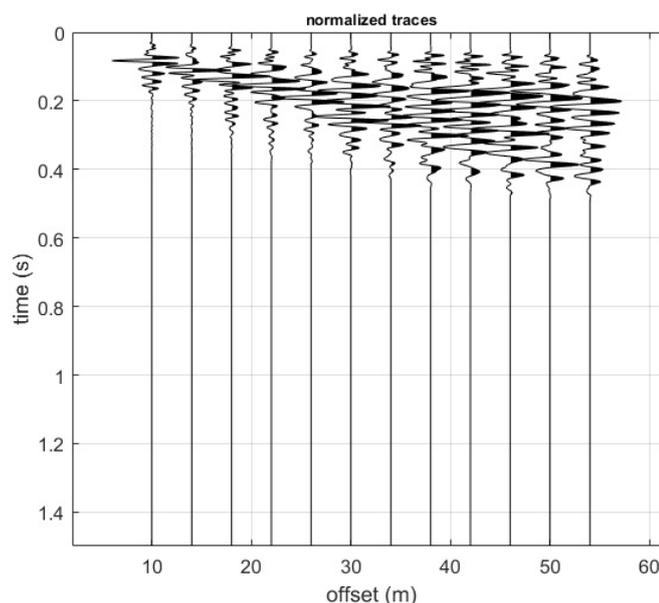
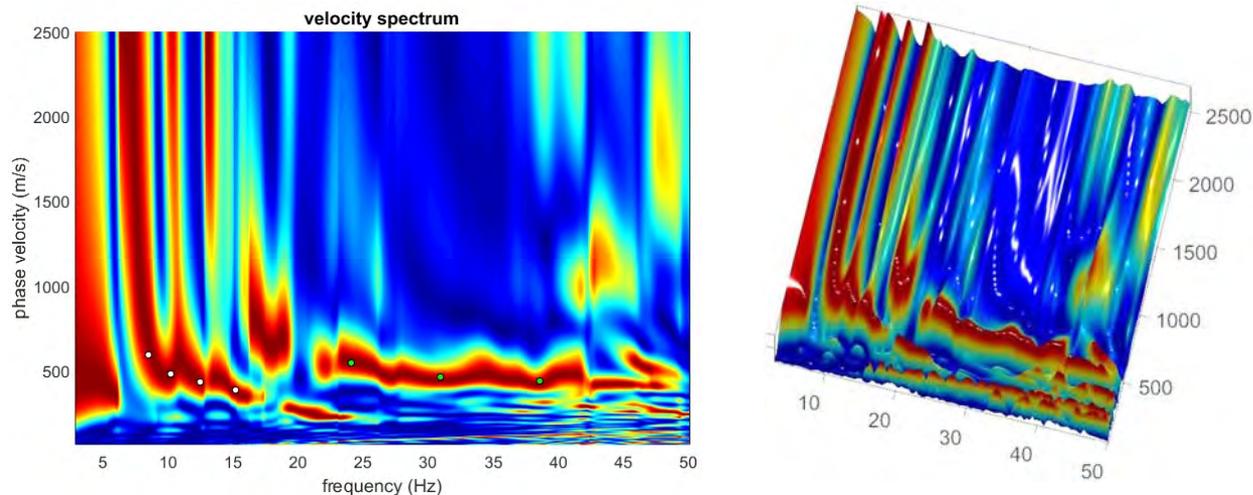
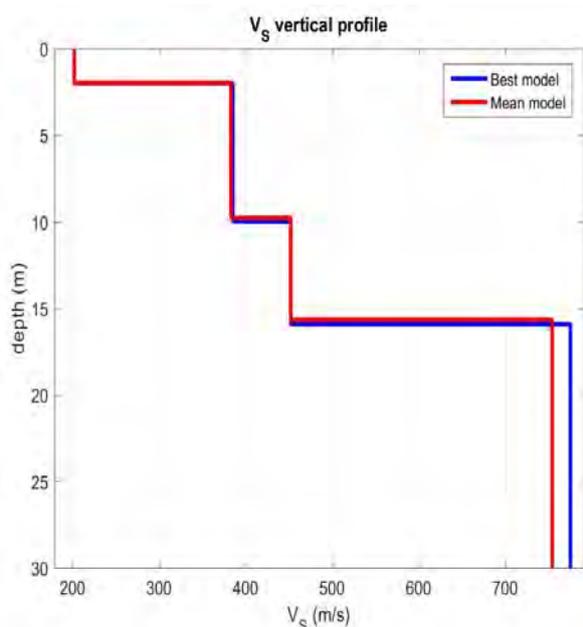


Figura 27-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

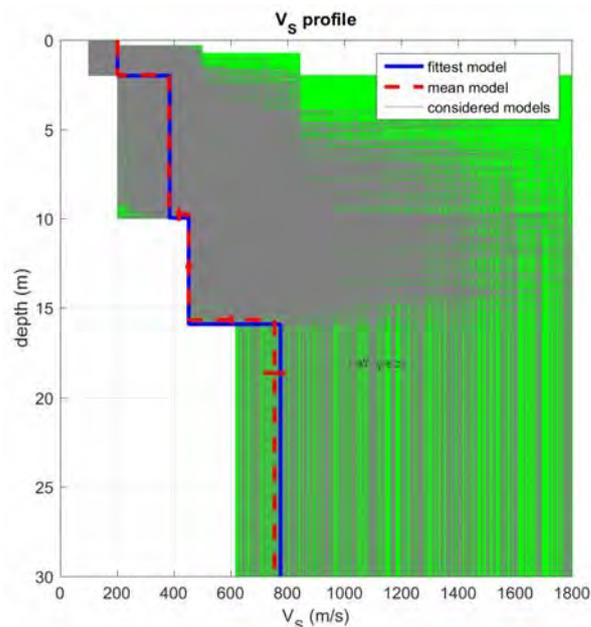


**Figura 28**-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

L'analisi dello spettro "frequenza-velocità di fase" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio  $V_S$  in funzione della profondità (**Figura 29**). Si precisa infine che, il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità derivata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione (circa 22,00 mt da inizio stendimento sismico). Di seguito si riporta lo spettro di velocità sul quale è stata riportata la curva di dispersione "piccata" (picking pallini fucsia), la curva di dispersione del "modello migliore" (pallini blu) e del "modello medio" (croci verdi), **Figura 31**, rispetto a tutti i modelli testati durante il processo di inversione, **Figura 30**. Viene riportato, inoltre, il grafico inerente il "misfit evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, **Figura 32**.



**Figura 29**-Profilo  $V_{S, equ} = 484$  m/sec calcolato a partire dal piano campagna



**Figura 30**-Modelli testati durante il processo di inversione

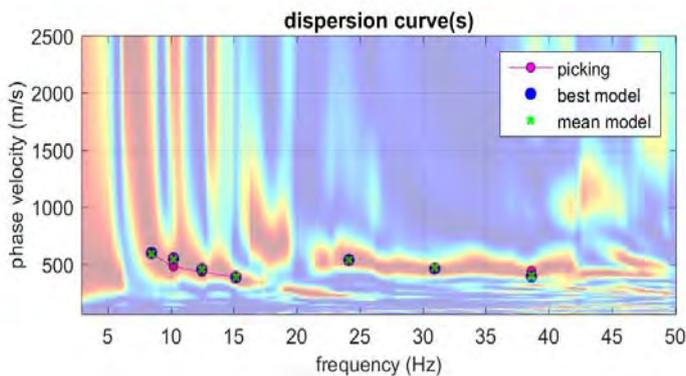


Figura 31-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)

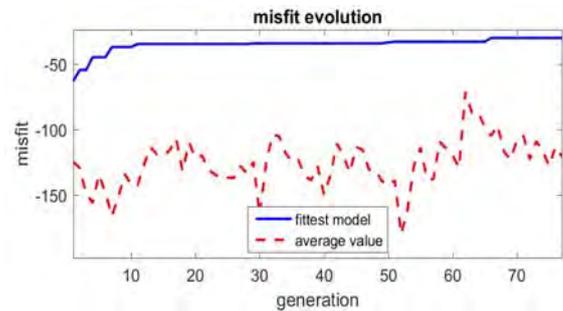


Figura 32-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 2.2.7 Stendimento Sismico MASW06

Considerando le n. 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare quella che presentava un rapporto segnale/rumore superiore, di conseguenza, per la determinazione del profilo verticale della velocità media delle onde S, si è selezionato il set di dati relativamente allo *shot* effettuato a -10 mt dal 1° geofono (Figura 33) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (Figura 34).

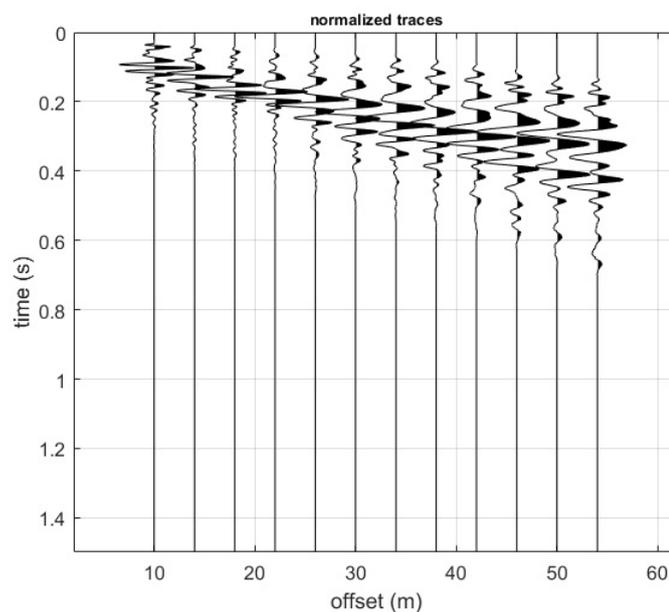
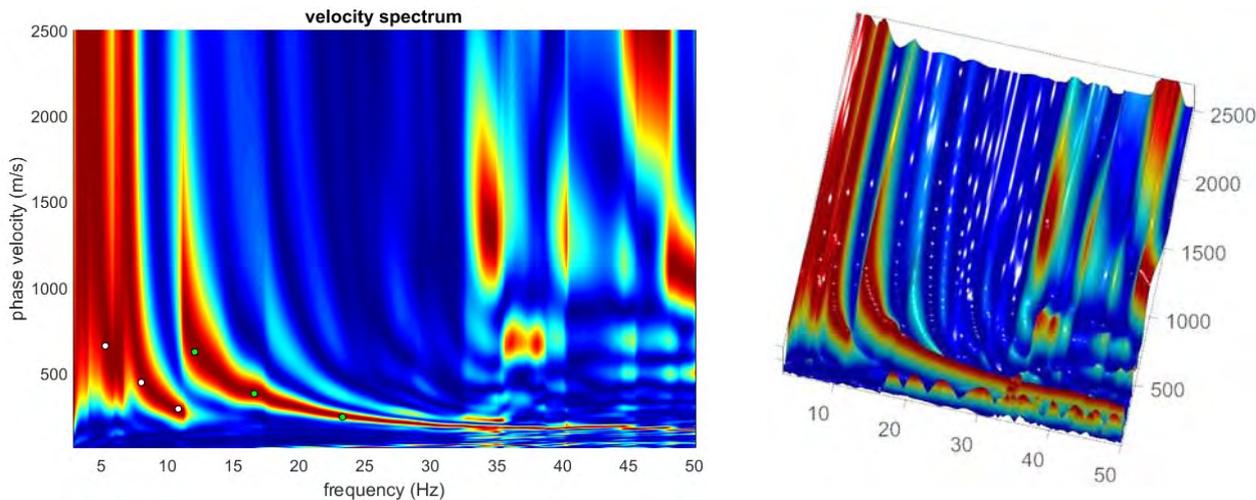


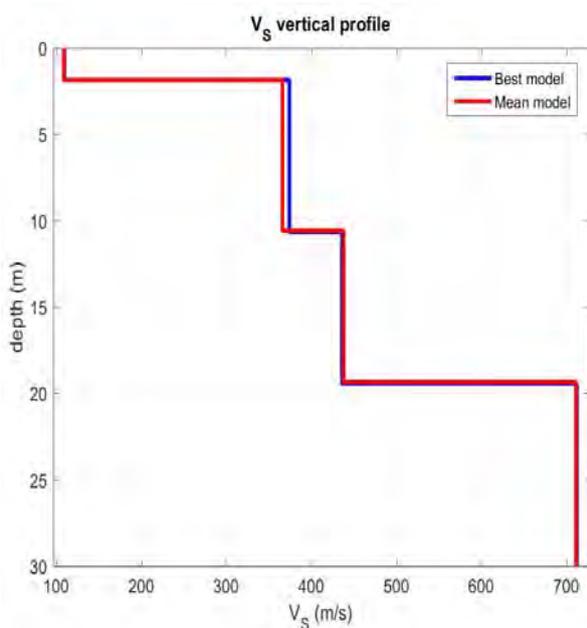
Figura 33-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

## 2. Indagini Geognostiche in Situ

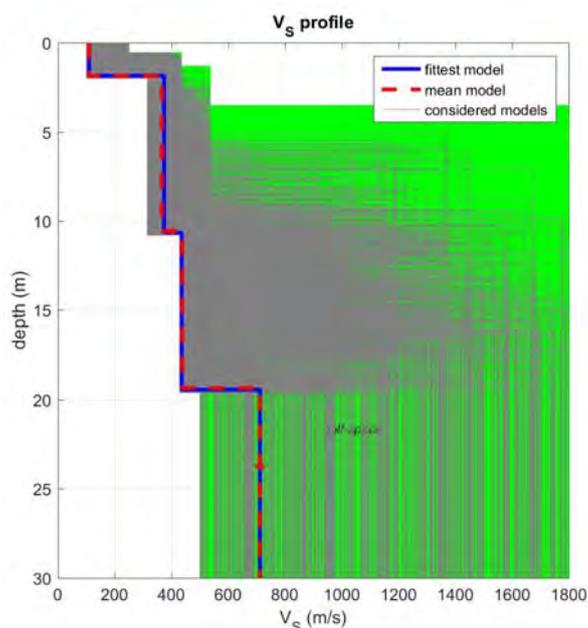


**Figura 34**-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

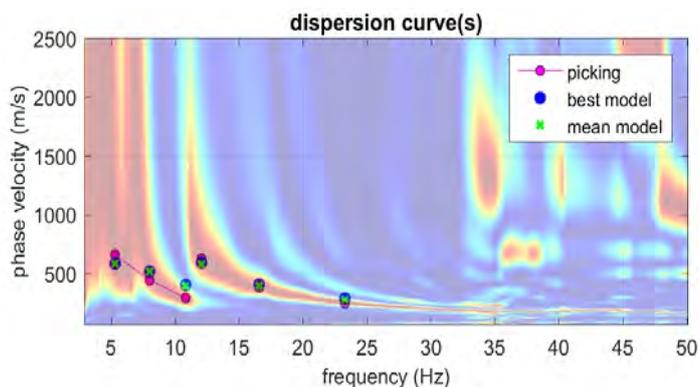
L'analisi dello spettro "frequenza-velocità di fase" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio  $V_S$  in funzione della profondità (**Figura 35**). Si precisa infine che, il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità derivata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione (circa 22,00 mt da inizio stendimento sismico). Di seguito si riporta lo spettro di velocità sul quale è stata riportata la curva di dispersione "piccata" (picking pallini fucsia), la curva di dispersione del "modello migliore" (pallini blu) e del "modello medio" (croci verdi), **Figura 37**, rispetto a tutti i modelli testati durante il processo di inversione, **Figura 36**. Viene riportato, inoltre, il grafico inerente il "misfit evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, **Figura 38**.



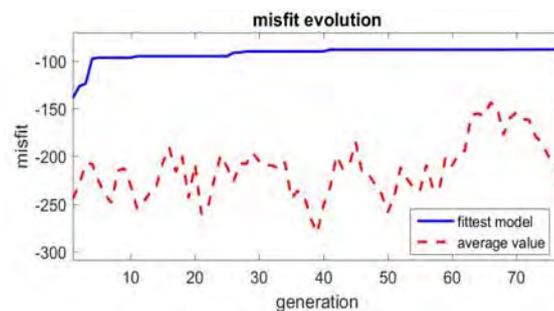
**Figura 35**-Profilo  $V_{S, \text{equ}} = 398$  m/sec calcolato a partire dal piano campagna



**Figura 36**-Modelli testati durante il processo di inversione



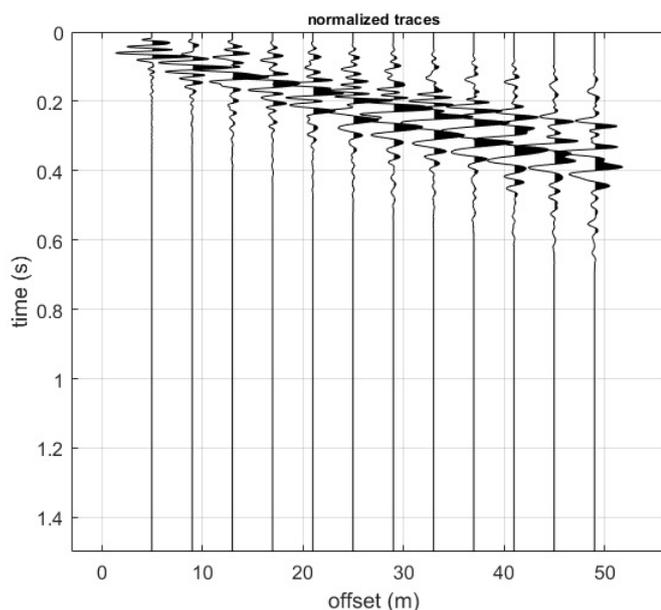
**Figura 37**-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)



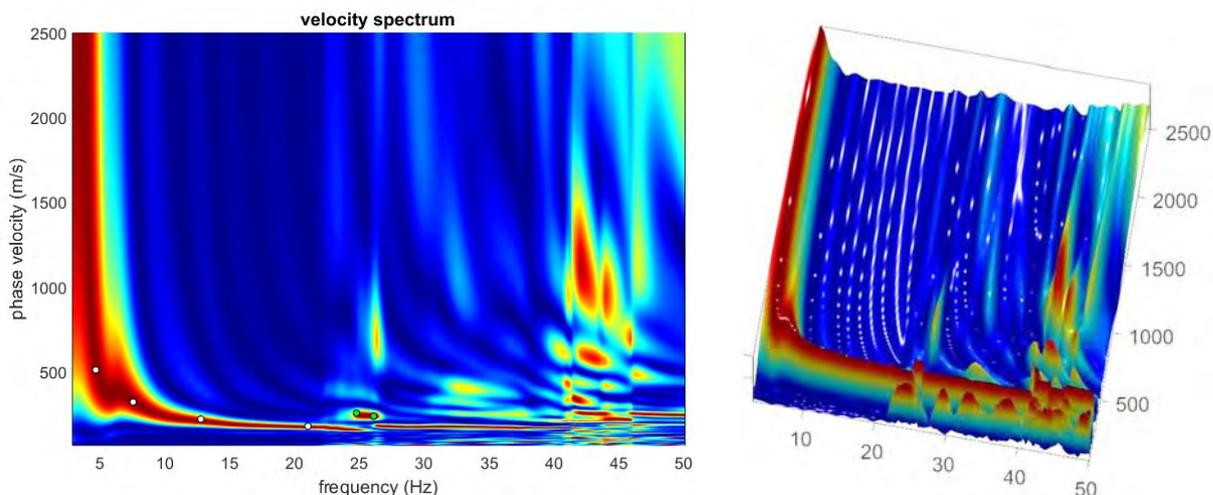
**Figura 38**-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 2.2.8 Stendimento Sismico MASW07

Considerando le n. 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare quella che presentava un rapporto segnale/rumore superiore, di conseguenza, per la determinazione del profilo verticale della velocità media delle onde S, si è selezionato il set di dati relativamente allo *shot* effettuato a +5 mt dal 12° geofono (**Figura 39**) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (**Figura 40**).

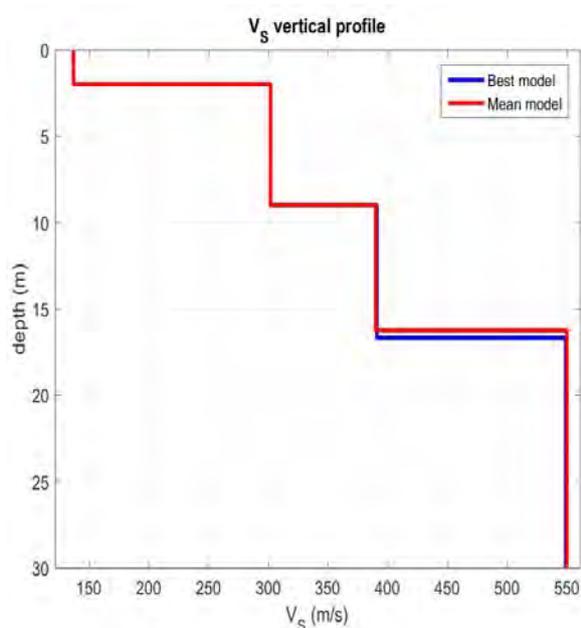


**Figura 39**-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità



**Figura 40**-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

L'analisi dello spettro "frequenza-velocità di fase" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio  $V_s$  in funzione della profondità (**Figura 41**). Si precisa infine che, il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità derivata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione (circa 22,00 mt da inizio stendimento sismico). Di seguito si riporta lo spettro di velocità sul quale è stata riportata la curva di dispersione "piccata" (picking pallini fucsia), la curva di dispersione del "modello migliore" (pallini blu) e del "modello medio" (croci verdi), **Figura 43**, rispetto a tutti i modelli testati durante il processo di inversione, **Figura 42**. Viene riportato, inoltre, il grafico inerente il "misfit evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, **Figura 44**.

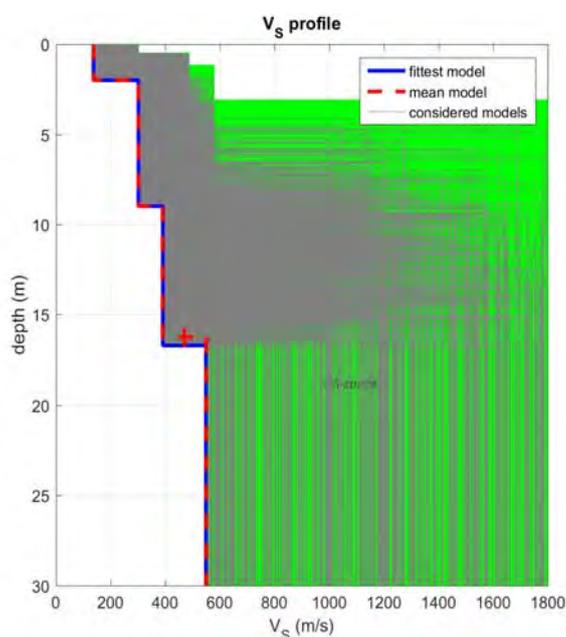


**Figura 41**-Profilo  $V_{s, equ} = 367$  m/sec calcolato a partire

dal piano campagna

Marzo 2021

Rev. 00



**Figura 42**-Modelli testati durante il processo di inversione

53

S.O.: Via N. De Giosa n° 4-70015 Nocì (BA)

Tel/Fax: 080/2473484-Cell: 338/4274387

E-mail: [massimo.colucci76@gmail.com](mailto:massimo.colucci76@gmail.com)

Http: [www.geomodelling.it](http://www.geomodelling.it)

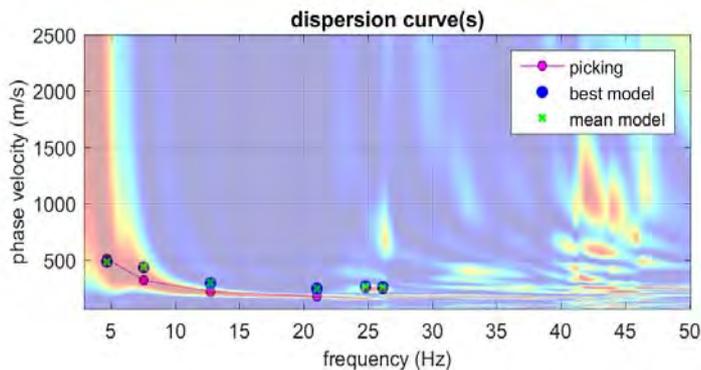


Figura 43-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)

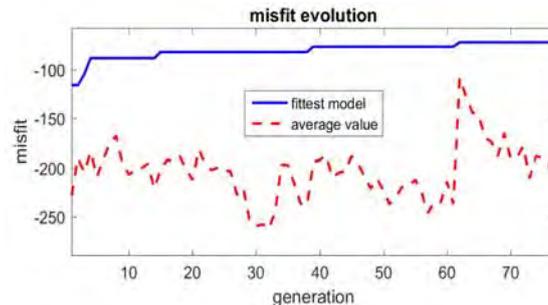


Figura 44-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 2.2.9 Stendimento Sismico MASW08

Considerando le n. 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare quella che presentava un rapporto segnale/rumore superiore, di conseguenza, per la determinazione del profilo verticale della velocità media delle onde S, si è selezionato il set di dati relativamente allo *shot* effettuato a -10 mt dal 1° geofono (Figura 45) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (Figura 46).

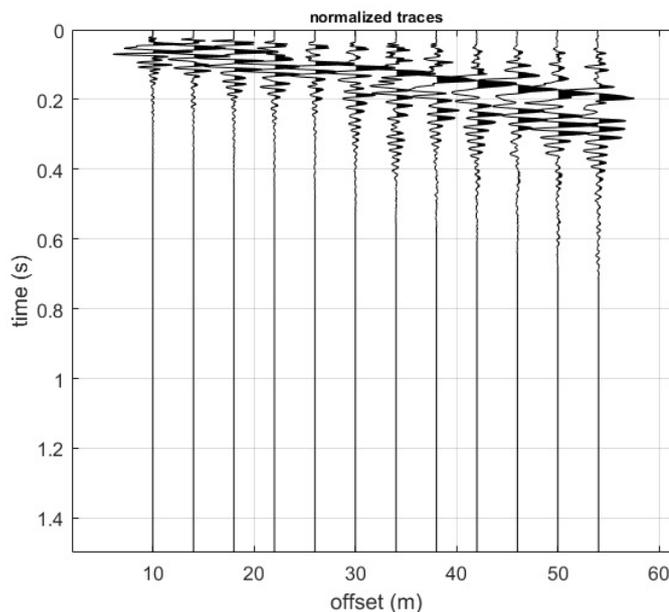
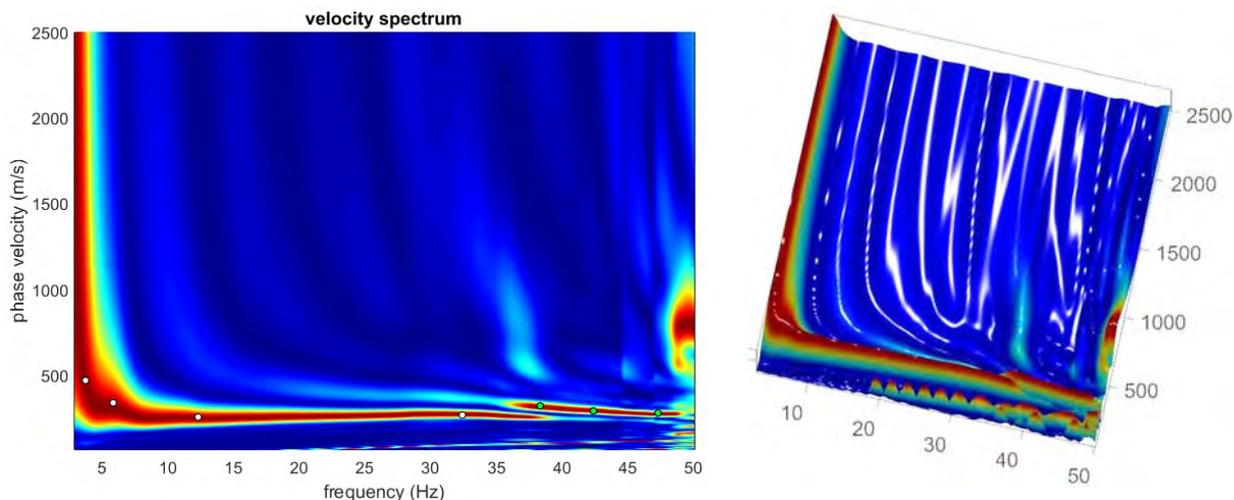
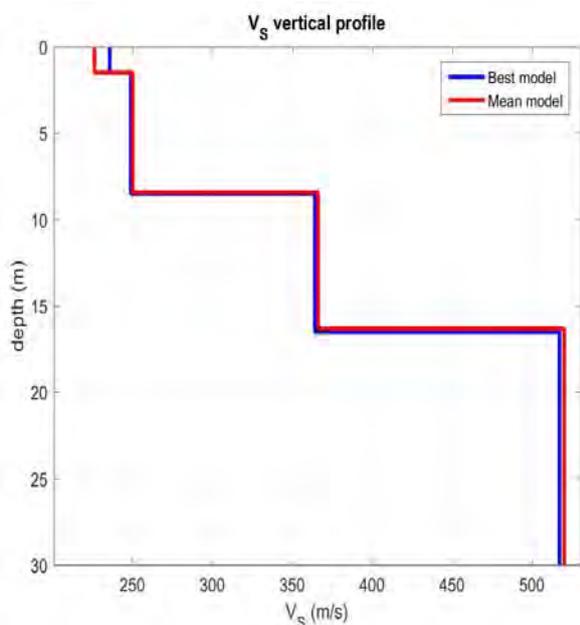


Figura 45-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità



**Figura 46**-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

L'analisi dello spettro "frequenza-velocità di fase" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio  $V_S$  in funzione della profondità (**Figura 47**). Si precisa infine che, il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità derivata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione (circa 22,00 mt da inizio stendimento sismico). Di seguito si riporta lo spettro di velocità sul quale è stata riportata la curva di dispersione "piccata" (picking pallini fucsia), la curva di dispersione del "modello migliore" (pallini blu) e del "modello medio" (croci verdi), **Figura 49**, rispetto a tutti i modelli testati durante il processo di inversione, **Figura 48**. Viene riportato, inoltre, il grafico inerente il "misfit evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, **Figura 50**.

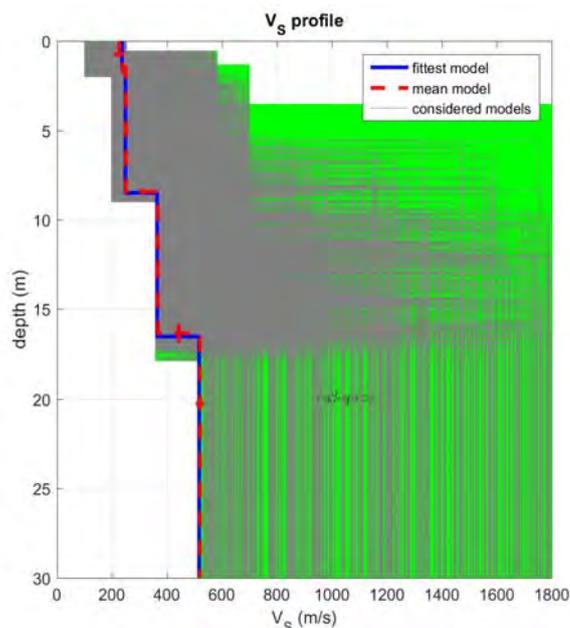


**Figura 47**-Profilo  $V_{S, equ} = 363$  m/sec calcolato a partire

dal piano campagna

Marzo 2021

Rev. 00



**Figura 48**-Modelli testati durante il processo di inversione

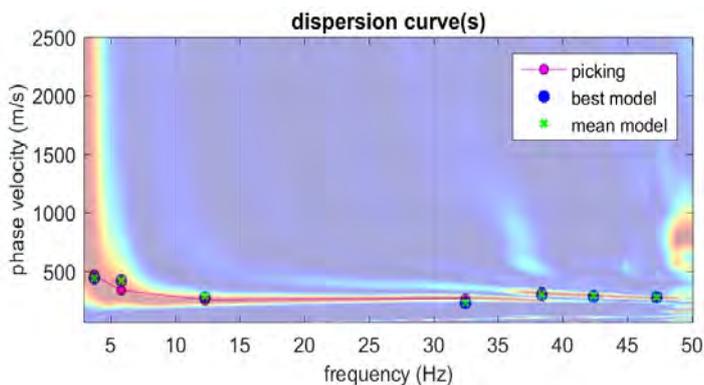


Figura 49-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative “best model” (pallini blu) e “mean model” (croci verdi)

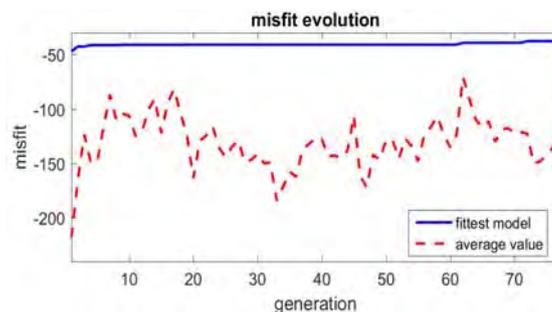


Figura 50-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 2.3 Classificazione del Sottosuolo di Fondazione

Sulla base delle risultanze delle indagini MASW condotte nelle aree oggetto di studio, il sottosuolo di fondazione è stato classificato ai sensi delle normative che attualmente regolano il settore (Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recepita dalla Regione Basilicata con DGR n° 2000/2003, e dalle modifiche allo stesso portate dal Consiglio dei ministri con Ordinanza n° 3431 del 03/05/2005, DM 17/01/2018). Si rammenta che le “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” individuano n. 5 categorie di sottosuolo e precisamente:

<b>Categoria A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m
<b>Categoria B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s
<b>Categoria C</b>	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
<b>Categoria D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente 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 100 m/s e 180 m/s
<b>Categoria E</b>	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30m

Le indagini MASW hanno consentito la stima dei valori delle velocità delle onde sismiche di taglio e, da queste, il calcolo della  $V_s$  equivalente risultante, applicando la seguente formula:



$$V_{s, eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

Con:

- $h_i$  spessore (in mt) dell'i-esimo strato;
- $V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N numero di strato;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiori a 800 m/s.

Per lo stendimento MASW01, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a **494** m/sec, colloca i litotipi presenti nella **Categoria di sottosuolo B: rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.**

Per lo stendimento MASW02, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a **346** m/sec, colloca i litotipi presenti nella **Categoria 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.**

Per lo stendimento MASW03, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a **515** m/sec, colloca i litotipi presenti nella **Categoria di sottosuolo B: rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.**

Per lo stendimento MASW04, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a **500** m/sec, colloca i litotipi presenti nella **Categoria di sottosuolo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.**

Per lo stendimento MASW05, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a **484** m/sec, colloca i litotipi presenti nella **Categoria di sottosuolo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.**

Per lo stendimento MASW06, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a **398** m/sec, colloca i litotipi presenti nella **Categoria di sottosuolo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.**

Per lo stendimento MASW07, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a **367** m/sec, colloca i litotipi presenti nella **Categoria di sottosuolo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.**

Per lo stendimento MASW08, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a **363** m/sec, colloca i litotipi presenti nella **Categoria di sottosuolo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.**

## 2.4 Caratterizzazione Elasto-Meccanica dei terreni di Fondazione

In base alle indicazioni ricavate dalle prove geofisiche, si riportano le tabelle riassuntive delle principali caratteristiche elasto-meccaniche dei sismostrati individuati per i siti d'interesse come risultato dalle indagini svolte. I valori delle  $V_s$  sono stati ricavati in modo indiretto dalle prove sismiche MASW. Le determinazioni dei moduli elastici (**dinamici**), eseguite mediante tali metodologie sismiche, sono riferibili a volumi significativi di terreno in condizioni relativamente indisturbate a differenza delle prove geotecniche di laboratorio che, pur raggiungendo un elevato grado di sofisticazione ed affidabilità, soffrono della limitazione di essere puntuali, cioè relative ad un modesto volume di roccia e/o terreno. I moduli elastici sismici ottenuti, possono essere correlati ai normali moduli statici attraverso un fattore di riduzione (ad es. *Rzhevsky et alii*, 1971,  $E_{din} = 8,3 * E_{stat} + 0,97$ ) semplicemente evidenziando che si riferiscono, in virtù delle energie movimentate dall'indagine e del conseguente basso livello di deformazione raggiunto, ad un modulo statico tangente iniziale.

- **Stendimento ST01**

Sismostrato	$\bar{V}_p$	$\bar{V}_s$	$\gamma$	$\mu$	$E_\gamma$	$G_0$	$M_0$	$\lambda$
Profondità media (mt da pc)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm <sup>3</sup> )		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
<b>A</b> (0,00÷2,30)	511	250	1,67	0,34	280	104	297	227
<b>B</b> (2,30÷8,70)	1450	526	2,03	0,42	1600	562	3519	3145
<b>C</b> (8,70÷15,00≈)	2638	656	2,27	0,46	2866	977	14495	13843



## 2. Indagini Geognostiche in Situ

Sismostrato	R	E <sub>d</sub>
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷2,30)	417	471
B (2,30÷8,70)	1067	3787
C (8,70÷15,00≈)	1489	12531

**Tabella 2**-Riepilogo delle caratteristiche elasto-meccaniche degli strati identificati dalle indagini geofisiche in situ per lo stendimento sismico ST01

- **Stendimento ST02**

Sismostrato	$\bar{V}_p$	$\bar{V}_s$	$\gamma$	$\mu$	E <sub>y</sub>	G <sub>0</sub>	M <sub>0</sub>	$\lambda$
Profondità media (mt da pc)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm <sup>3</sup> )		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷2,00)	352	154	1,56	0,38	102	37	144	119
B (2,00÷10,20)	831	305	1,83	0,42	484	170	1037	923
C (10,20÷15,00≈)	2577	796	2,26	0,44	4145	1432	13099	12145

Sismostrato	R	E <sub>d</sub>
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷2,00)	240	224
B (2,00÷10,20)	558	1244
C (10,20÷15,00≈)	1798	11959

**Tabella 3**-Riepilogo delle caratteristiche elasto-meccaniche degli strati identificati dalle indagini geofisiche in situ per lo stendimento sismico ST02

- **Stendimento ST03**

Sismostrato	$\bar{V}_p$	$\bar{V}_s$	$\gamma$	$\mu$	E <sub>y</sub>	G <sub>0</sub>	M <sub>0</sub>	$\lambda$
Profondità media (mt da pc)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm <sup>3</sup> )		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷2,40)	403	223	1,59	0,28	202	79	153	100
B (2,40÷8,10)	1468	521	2,03	0,42	1574	551	3640	3273
C (8,10÷15,00≈)	2478	743	2,25	0,45	3604	1242	12160	11332

Sismostrato	R	E <sub>d</sub>
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷2,40)	354	293
B (2,40÷8,10)	1057	3883
C (8,10÷15,00≈)	1671	11061

**Tabella 4**-Riepilogo delle caratteristiche elasto-meccaniche degli strati identificati dalle indagini geofisiche in situ per lo stendimento sismico ST03



## 2. Indagini Geognostiche in Situ

• **Stendimento ST04**

Sismostrato	$\bar{V}_P$	$\bar{V}_S$	$\gamma$	$\mu$	$E_\gamma$	$G_0$	$M_0$	$\lambda$
Profondità media (mt da pc)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm <sup>3</sup> )		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷2,00)	427	214	1,61	0,33	196	74	195	146
B (2,00÷9,70)	1113	494	1,94	0,38	1304	473	1772	1456
C (9,70÷15,00≈)	2064	504	2,17	0,46	1619	551	8509	8142

Sismostrato	R	$E_d$
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷2,00)	344	329
B (2,00÷9,70)	958	2232
C (9,70÷15,00≈)	1093	7674

Tabella 5-Riepilogo delle caratteristiche elasto-meccaniche degli strati identificati dalle indagini geofisiche in situ per

• **Stendimento Sismico ST04**

Sismostrato	$\bar{V}_P$	$\bar{V}_S$	$\gamma$	$\mu$	$E_\gamma$	$G_0$	$M_0$	$\lambda$
Profondità media (mt da pc)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm <sup>3</sup> )		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷1,90)	377	202	1,57	0,30	166	64	138	95
B (1,90÷10,20)	726	385	1,78	0,31	688	264	586	411
C (10,20÷15,00≈)	1865	452	2,13	0,46	1278	435	6828	6538

Sismostrato	R	$E_d$
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷1,90)	317	255
B (1,90÷10,20)	685	950
C (10,20÷15,00≈)	962	6261

Tabella 6-Riepilogo delle caratteristiche elasto-meccaniche degli strati identificati dalle indagini geofisiche in situ per

lo stendimento sismico ST05

• **Stendimento ST06**

Sismostrato	$\bar{V}_P$	$\bar{V}_S$	$\gamma$	$\mu$	$E_\gamma$	$G_0$	$M_0$	$\lambda$
Profondità media (mt da pc)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm <sup>3</sup> )		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷2,00)	294	110	1,51	0,41	52	18	106	94
B (2,00÷9,60)	679	374	1,76	0,28	631	246	483	319
C (9,60÷15,00≈)	1554	436	2,06	0,45	1141	392	4453	4192



## 2. Indagini Geognostiche in Situ

Sismostrato	R	E <sub>d</sub>
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷2,00)	166	156
B (2,00÷9,60)	658	830
C (9,60÷15,00≈)	898	4348

**Tabella 7**-Riepilogo delle caratteristiche elasto-meccaniche degli strati identificati dalle indagini geofisiche in situ per lo stendimento sismico ST06

- **Stendimento ST07**

Sismostrato	$\bar{V}_p$	$\bar{V}_s$	$\gamma$	$\mu$	E <sub>y</sub>	G <sub>0</sub>	M <sub>0</sub>	$\lambda$
Profondità media (mt da pc)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm <sup>3</sup> )		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷2,10)	331	137	1,54	0,39	81	29	130	111
B (2,10÷8,00)	1462	302	2,03	0,47	547	185	4092	3969
C (8,00÷15,00≈)	2099	391	2,18	0,48	988	333	9160	8938

Sismostrato	R	E <sub>d</sub>
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷2,10)	210	198
B (2,10÷8,00)	613	3848
C (8,00÷15,00≈)	852	7930

**Tabella 8**-Riepilogo delle caratteristiche elasto-meccaniche degli strati identificati dalle indagini geofisiche in situ per lo stendimento sismico ST07

- **Stendimento ST08**

Sismostrato	$\bar{V}_p$	$\bar{V}_s$	$\gamma$	$\mu$	E <sub>y</sub>	G <sub>0</sub>	M <sub>0</sub>	$\lambda$
Profondità media (mt da pc)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm <sup>3</sup> )		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷2,10)	468	236	1,64	0,33	243	91	237	177
B (2,10÷9,40)	964	249	1,88	0,46	341	117	1592	1514
C (9,40÷15,00≈)	1842	364	2,13	0,47	835	282	6851	6663

Sismostrato	R	E <sub>d</sub>
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷2,10)	387	395
B (2,10÷9,40)	468	1674
C (9,40÷15,00≈)	775	6109

**Tabella 9**-Riepilogo delle caratteristiche elasto-meccaniche degli strati identificati dalle indagini geofisiche in situ per lo stendimento sismico ST08



2. Indagini Geognostiche in Situ

Con:

$\bar{V}_p$ = velocità media onde di compressione;

$M_0$ = modulo di compressibilità volumetrica;

$\bar{V}_s$ = velocità media onde di taglio;

$\lambda$ = coefficiente di Lamé;

$\gamma$ = Peso unità di volume naturale;

R= rigidità sismica;

$\mu$ = coefficiente di Poisson;

$E_d$ = modulo edometrico.

$E_y$ = modulo di Young;

$G_0$ = modulo di taglio;

Noci (BA), Marzo 2021

Il Geologo

(Dr. Fedele Massimiliano COLUCCI)