



# REGIONE CAMPANIA PROVINCIA DI AVELLINO

COMUNE DI FRIGENTO  
COMUNE DI GUARDIA LOMBARDI  
COMUNE DI ROCCA SAN FELICE  
COMUNE DI STURNO  
COMUNE DI BISACCIA



## AUTORIZZAZIONE UNICA ex d.lgs. 387/2003

Costruzione ed esercizio di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica denominato "Taverna del Principe" da realizzarsi nei comune di FRIGENTO (AV), GUARDIA LOMBARDI (AV), ROCCA SAN FELICE (AV), STURNO (AV) e BISACCIA (AV), avente potenza nominale pari a 39,6 MW

Titolo elaborato

Report di fine Campagna Geognostica

Codice elaborato

COMMESSA	FASE	ELABORATO	REV.
F0474	A	R02	A

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

Scala

----

**Dott. Geol. Maurizio Giacomino**

Via del Ginepro, 23-75100 Matera  
Tel. 3409134882 - mauriziogiacomino@pec.it



Proponente

**Camelia 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).





## 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 dei Comuni di Sturino (AV) e Frigento (AV)". Le aree interessate dall'intervento sono localizzate nella zona Sud-Est degli ambiti amministrativi dei suddetti Comuni, 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° 6 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° 6 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:

**TAVOLA A. 1** UBICAZIONE INDAGINI IN SITU (SCALA 1: 2.000)

**TAVOLA A. 2** SEZIONI STRATIGRAFICHE INTERPRETATIVE-ONDE P (SCALA 1: 200)



## 2 INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITU

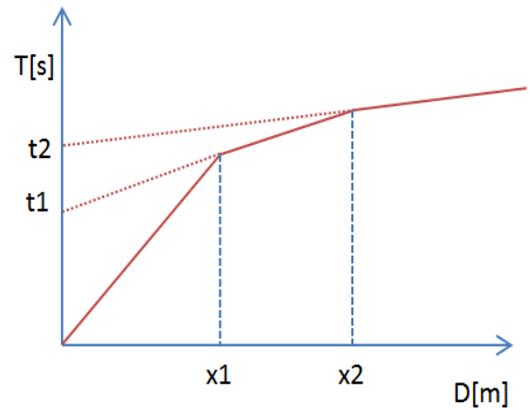
Per la ricostruzione del modello geologico-stratigrafico del sito e la parametrizzazione geomeccanica del volume significativo di terreno relativo all'intervento si è fatto riferimento alle informazioni fornite dall'esecuzione n° 6 prospezioni sismiche a rifrazione in onde P e n° 6 prospezioni sismiche 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)

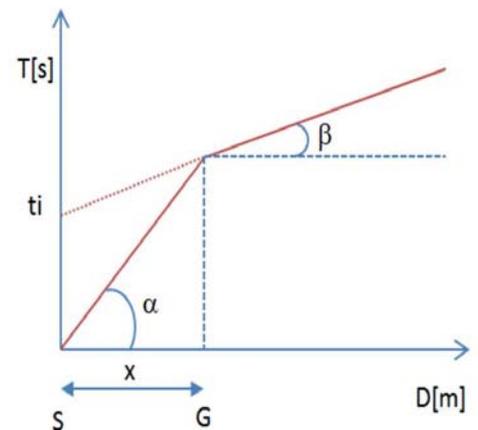
Le indagini di sismica a rifrazione (P e/o S), consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). 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 o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell. Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore. La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde o, equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza  $\vartheta_i$  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 posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo  $T$  dato dalla relazione:  $T = x_i / V_1$ , dove  $x_i$  è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione. L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità  $V_1$  del primo mezzo come:  $V_1 = 1/\tan\alpha$ . I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette. La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo  $t_i$  che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione. Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi. Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:



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

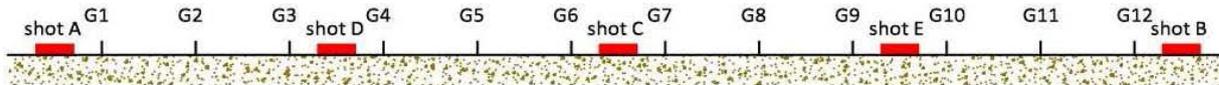


### 2.1.1 Acquisizione ed Interpretazione dei Dati

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 3 mt per tutti gli stendimenti realizzati, denominati di seguito rispettivamente ST01, ST02, ST03, ST04, ST05 e ST06, con punti di battuta A e B posti 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, con variazione altimetrica massima tra i geofoni di circa 1,20 mt, per una estensione totale della linea sismica pari a 33 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"**.



**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 limo-sabbiosa, 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 limosa argillo-sabbiosa, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1025 m/sec per una profondità media di circa -7,30 mt da pc;
3. **Sismostrato C:** deposito di natura argilloso-limosa, molto consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1885 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -13 mt da pc).

Sezione Stratigrafica - Stendimento ST01 - Onde P

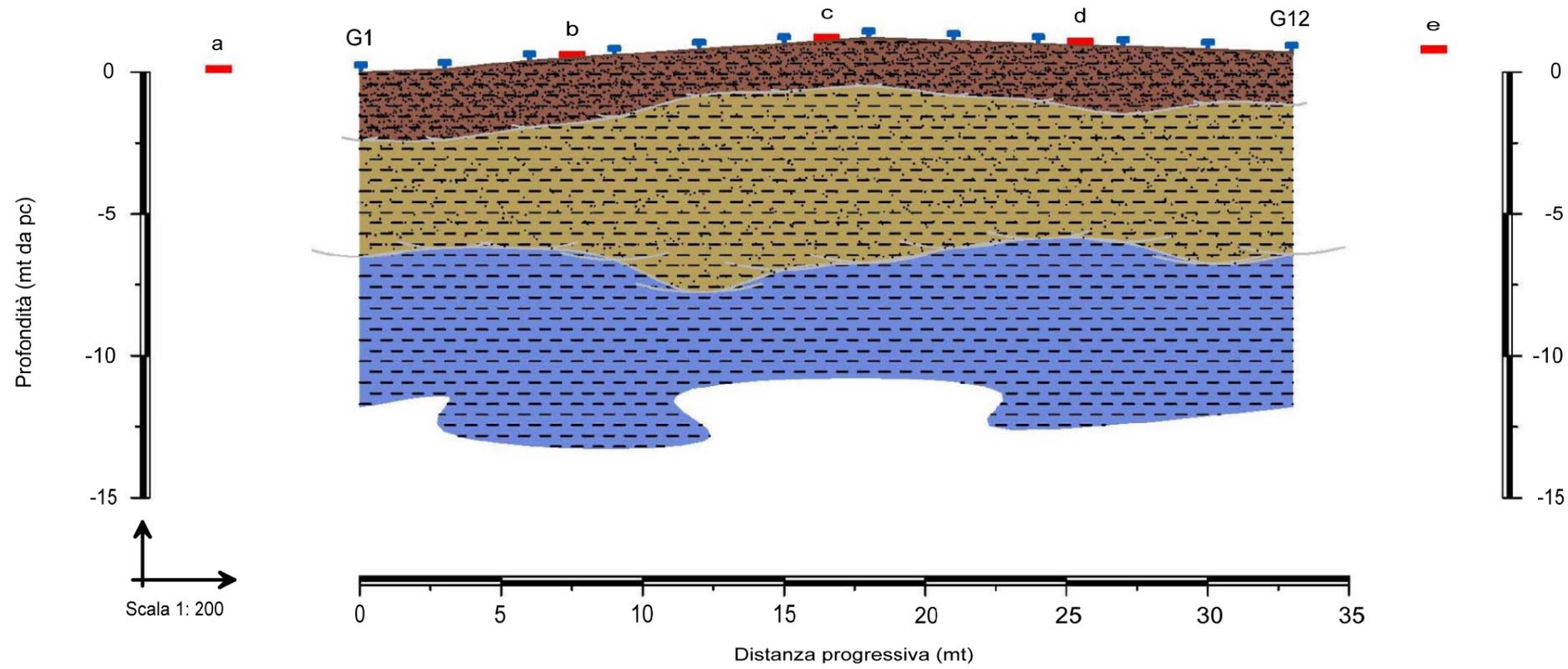
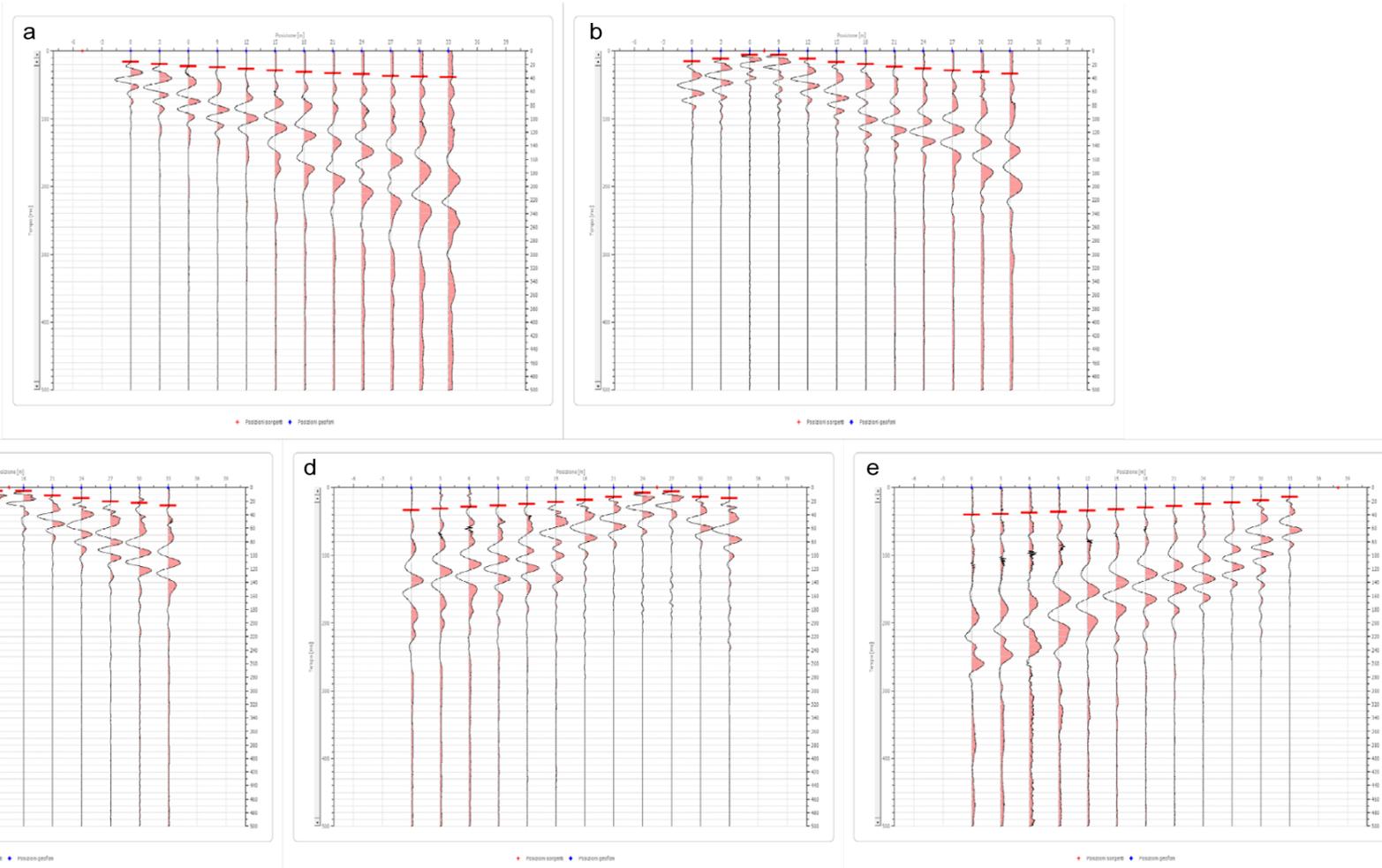


Tavola A. 2  
"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"  
Stendimento ST01

Legenda

-  Terreno vegetale e deposito di natura limo-sabbiosa, poco consistente  
 $V_p = 352$  m/sec
-  Deposito di natura limosa argillo-sabbiosa, ben consistente  
 $V_p = 1025$  m/sec
-  Deposito di natura argillo-limosa, molto consistente  
 $V_p = 1885$  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, con variazione altimetrica tra il primo e l'ultimo geofono di circa 1,30 mt, per una estensione totale della linea sismica pari a 33 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 dello stendimento sismico ST02



**Fotografia 6**-Visione verso Nord 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:



1. **Sismostrato A:** terreno vegetale e deposito di natura limo-sabbiosa, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 295 m/sec per una profondità media di circa -2,10 mt da pc;
2. **Sismostrato B:** deposito di natura argilloso-limosa, molto consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 113 m/sec per una profondità media di circa -6,90 mt da pc;
3. **Sismostrato C:** deposito di natura limosa sabbioso-argillosa, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1832 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -13 mt da pc).

Sezione Stratigrafica - Stendimento ST02 - Onde P

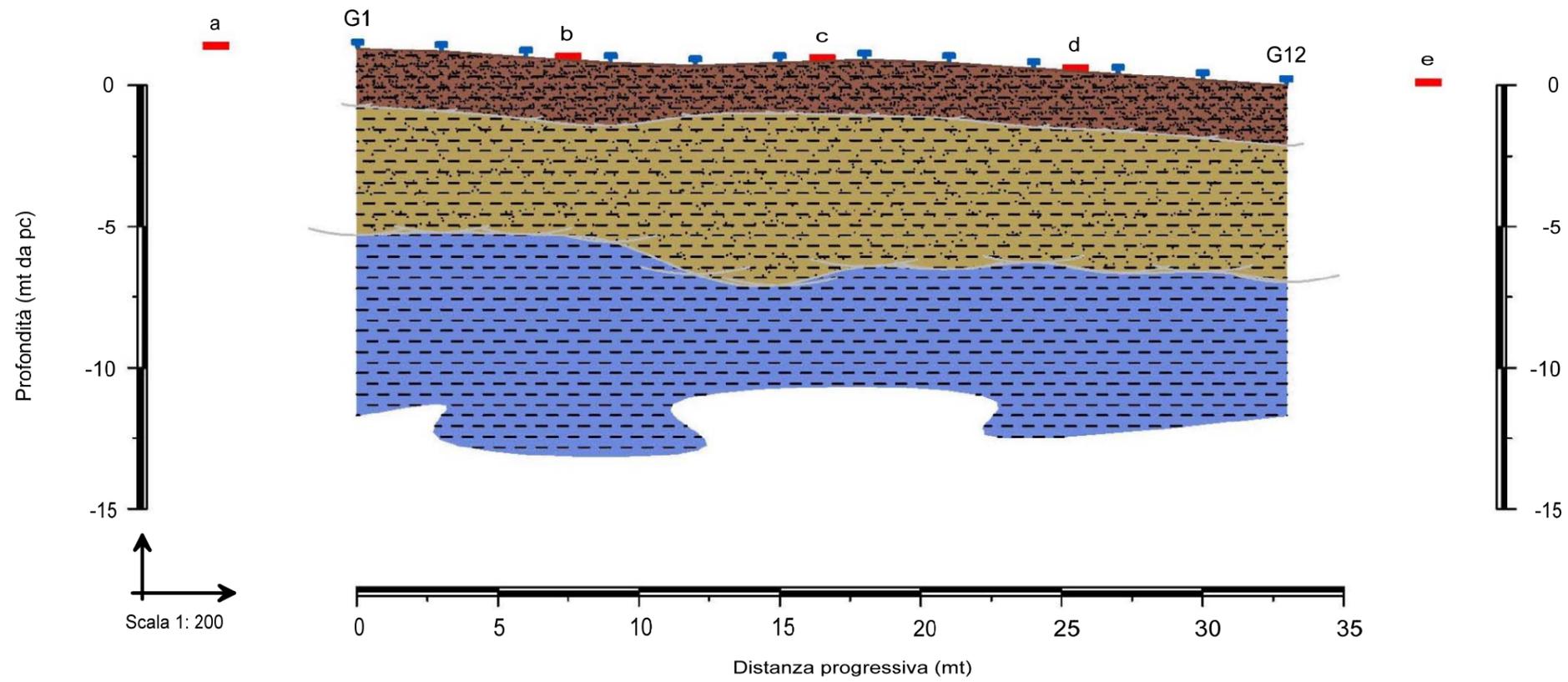
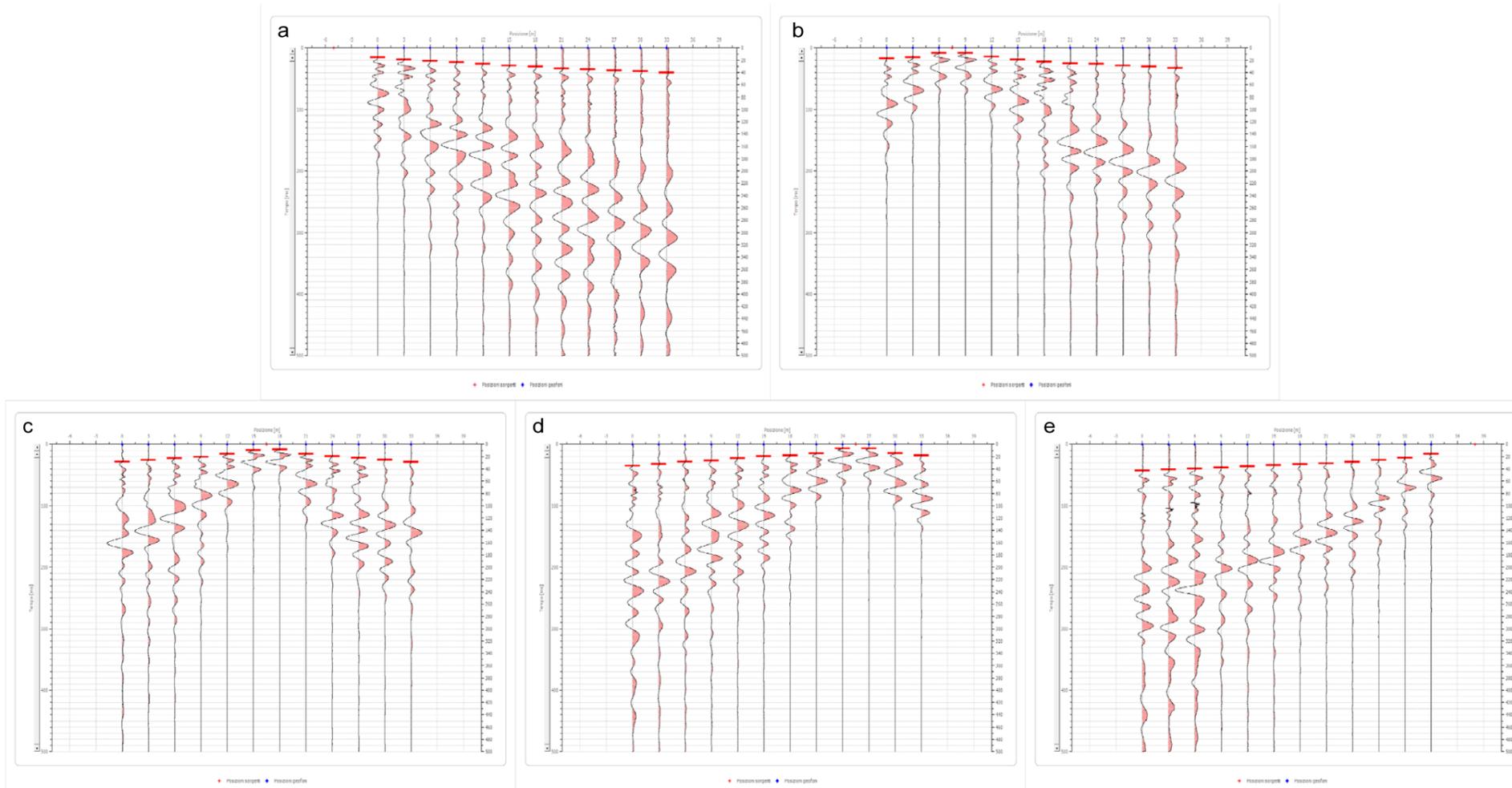


Tavola A. 2  
"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"  
Stendimento ST02

Legenda

-  Terreno vegetale e deposito di natura limo-sabbiosa, poco consistente  
 $V_p = 295$  m/sec
-  Deposito di natura limosa argillo-sabbiosa, ben consistente  
 $V_p = 1113$  m/sec
-  Deposito di natura argillo-limosa, molto consistente  
 $V_p = 1832$  m/sec
-  Geofono
-  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 33 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 subiscano delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

1. **Sismostrato A:** terreno vegetale e deposito di natura limo-sabbiosa, poco consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 316 m/sec per una profondità media di circa -2,30 mt da pc;
2. **Sismostrato B:** deposito di natura limosa argillo-sabbiosa, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1042 m/sec per una profondità media di circa -6,70 mt da pc;
3. **Sismostrato C:** deposito di natura argilloso-limosa, molto consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1777 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -13 mt da pc).

Sezione Stratigrafica - Stendimento ST03 - Onde P

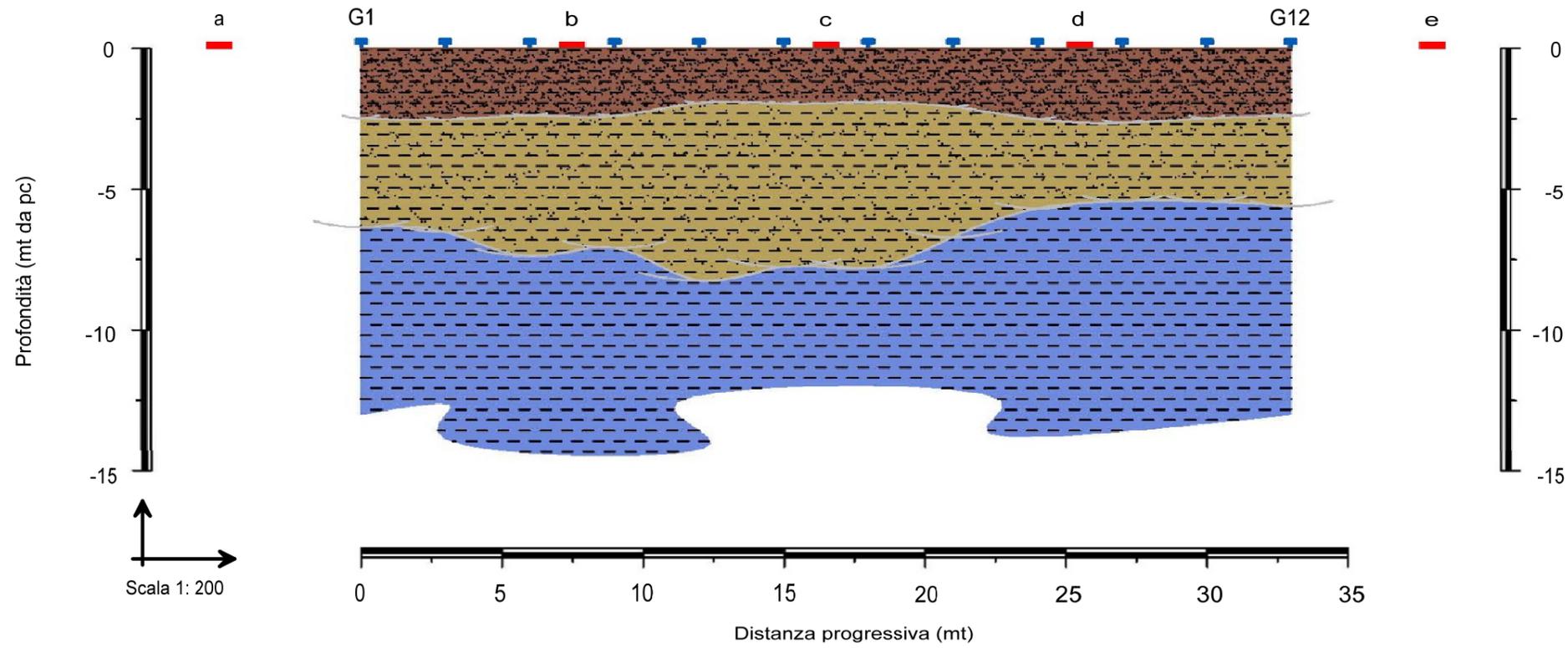
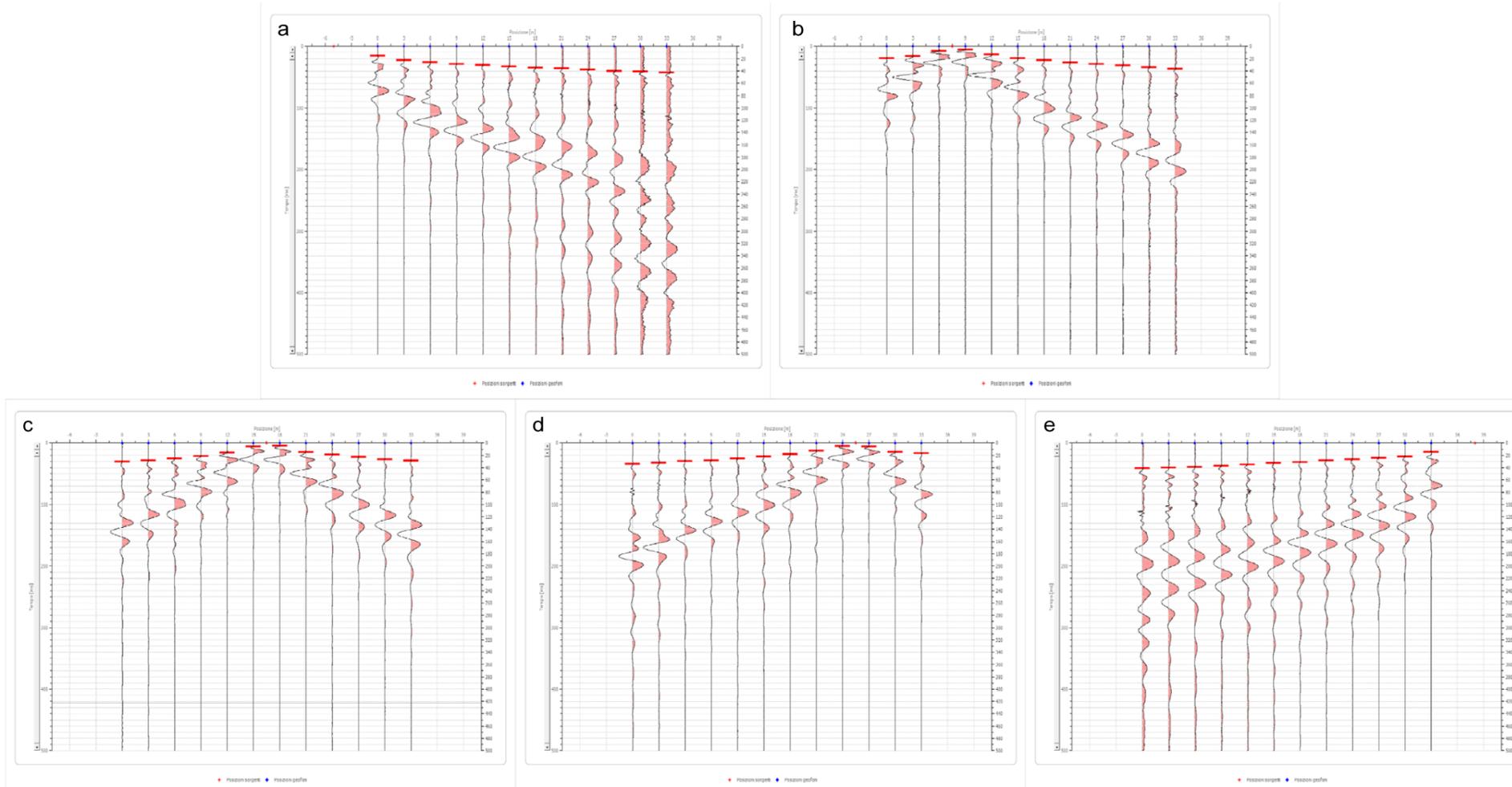


Tavola A. 2  
"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"  
Stendimento ST03

Legenda

-  Terreno vegetale e deposito di natura limo-sabbiosa, poco consistente  
 $V_p = 316$  m/sec
-  Deposito di natura limosa argillo-sabbiosa, ben consistente  
 $V_p = 1042$  m/sec
-  Deposito di natura argillo-limosa, molto consistente  
 $V_p = 1777$  m/sec
-  Geofono
-  Punto di energizzazione

Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi





### 2.1.5 Stendimento Sismico ST04

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area destinata a seminativo agricolo, con variazione altimetrica tra il primo e l'ultimo geofono di circa 1,40 mt, per una estensione totale della linea sismica pari a 33 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 Nord-Est dello stendimento sismico ST04



**Fotografia 14**-Visione verso Sud-Ovest 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 limo-sabbiosa, poco consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 339 m/sec per una profondità media di circa -1,90 mt da pc;
2. **Sismostrato B:** deposito di natura limosa argillo-sabbiosa, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1164 m/sec per una profondità media di circa -6,70 mt da pc;
3. **Sismostrato C:** deposito di natura argilloso-limosa, molto consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1650 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -13 mt da pc).

Sezione Stratigrafica - Stendimento ST04 - Onde P

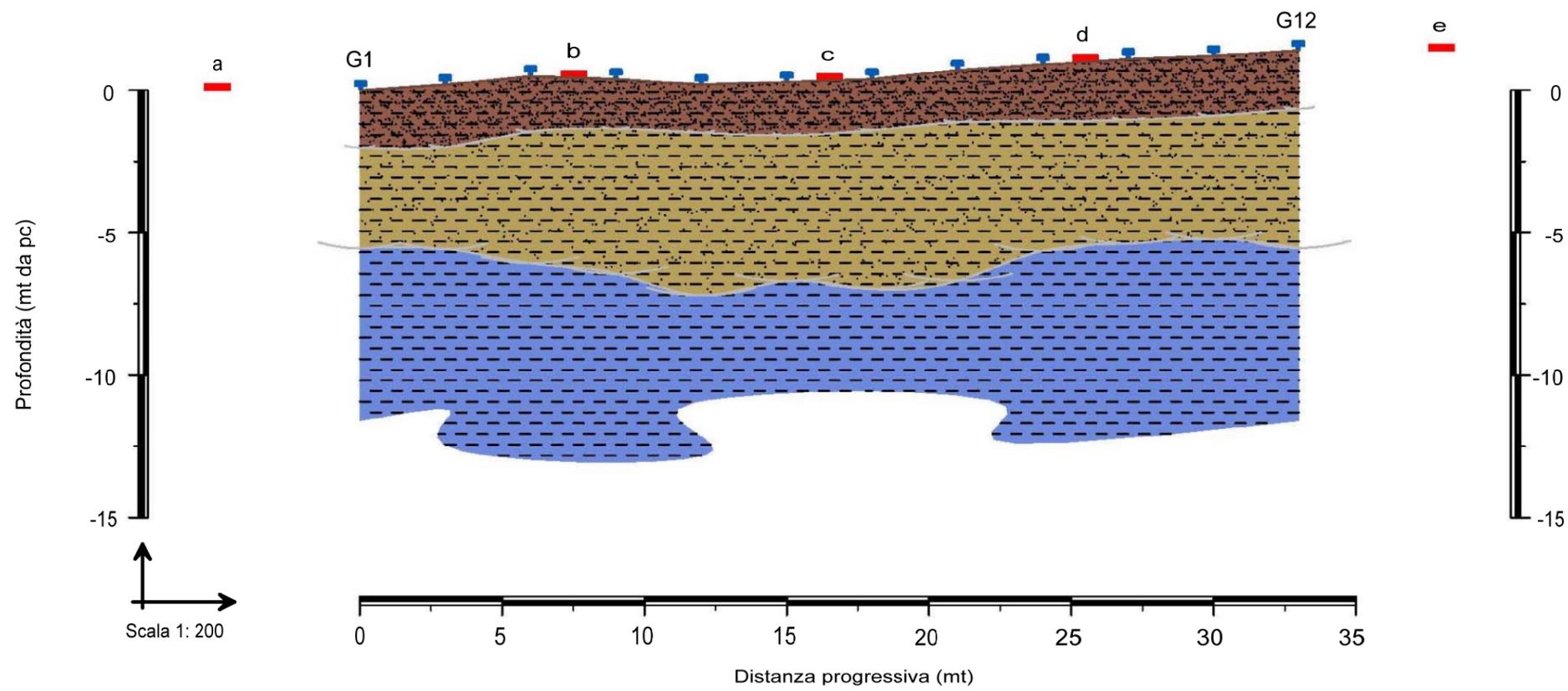
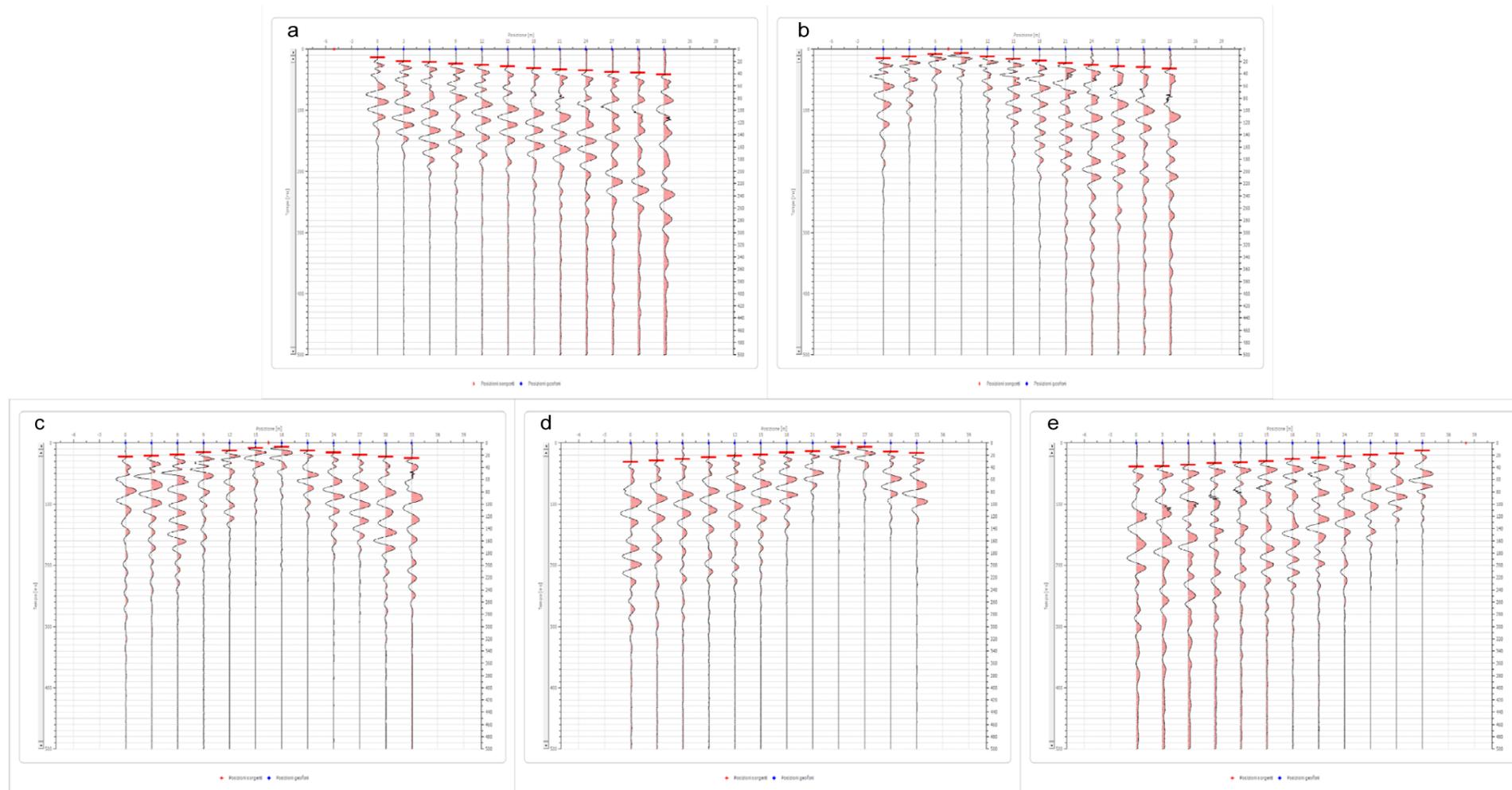


Tavola A. 2  
"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"  
Stendimento ST04

Legenda

-  Terreno vegetale e deposito di natura limo-sabbiosa, poco consistente  
 $V_p = 339$  m/sec
-  Deposito di natura limosa argillo-sabbiosa, ben consistente  
 $V_p = 1164$  m/sec
-  Deposito di natura argillo-limosa, molto consistente  
 $V_p = 1650$  m/sec
-  Geofono
-  Punto di energizzazione

Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi





### 2.1.6 Stendimento Sismico ST05

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area destinata a seminativo agricolo, con variazione altimetrica tra il primo e l'ultimo geofono di circa 1,60 mt, per una estensione totale della linea sismica pari a 33 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 Nord-Est dello stendimento sismico ST05



**Fotografia 18**-Visione verso Sud-Ovest 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 subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:



1. **Sismostrato A:** terreno vegetale e deposito di natura limo-sabbiosa, poco consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 376 m/sec per una profondità media di circa -1,80 mt da pc;
2. **Sismostrato B:** deposito di natura limosa argillo-sabbiosa, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1191 m/sec per una profondità media di circa -6,00 mt da pc;
3. **Sismostrato C:** deposito di natura argilloso-limosa, molto consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1882 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -13 mt da pc).

Sezione Stratigrafica - Stendimento ST05 - Onde P

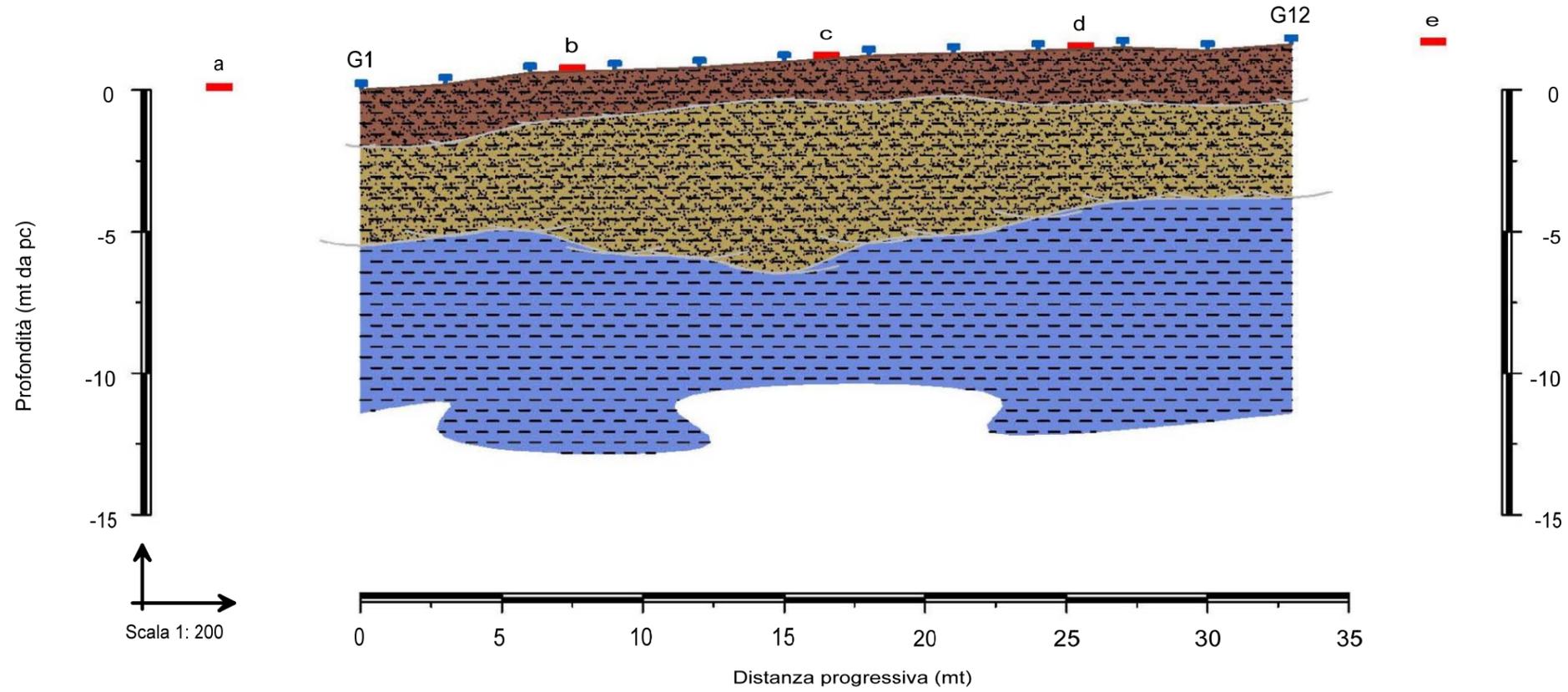
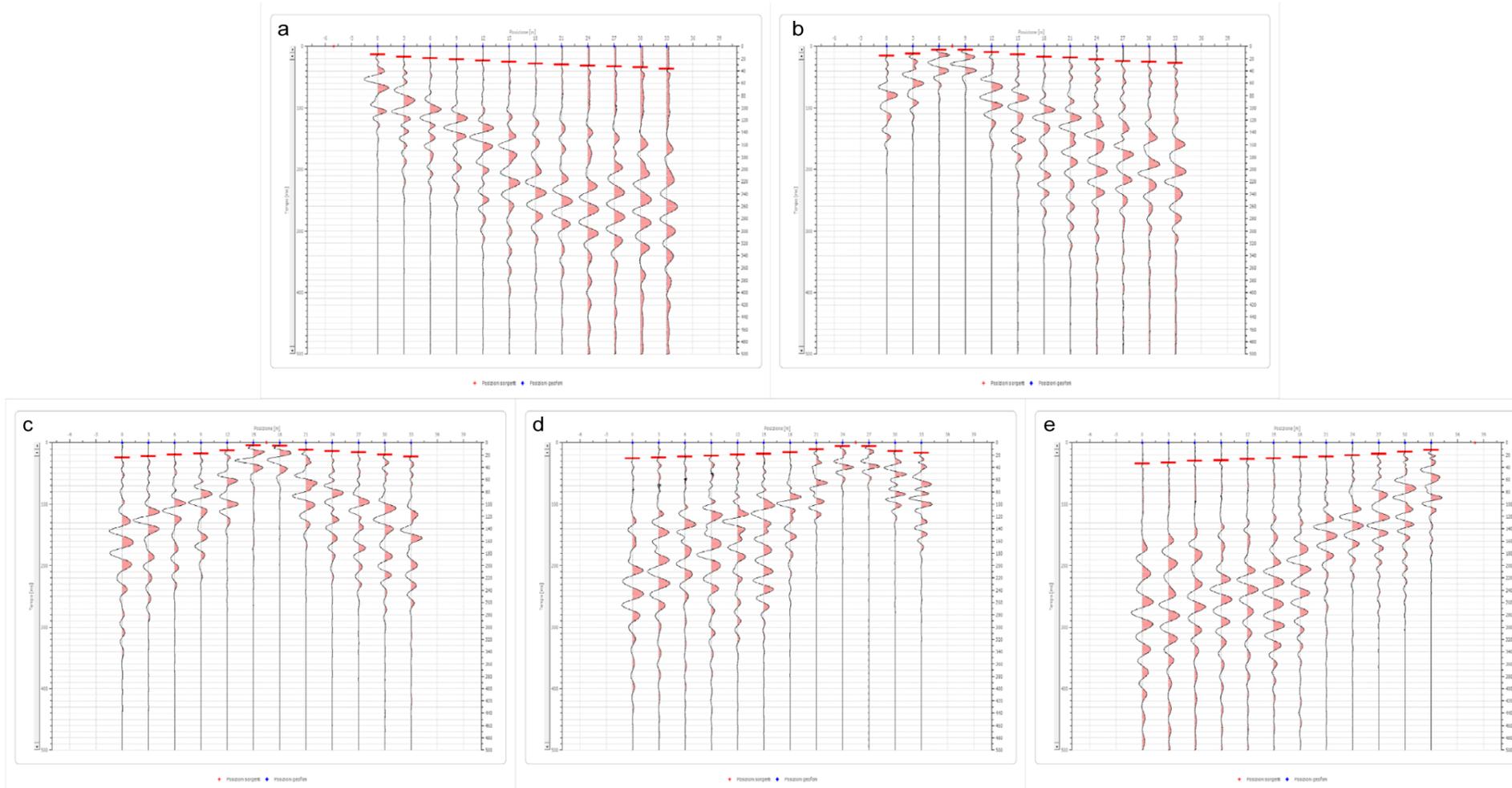


Tavola A. 2  
"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"  
Stendimento ST05

Legenda

-  Terreno vegetale e deposito di natura limo-sabbiosa, poco consistente  
 $V_p = 376$  m/sec
-  Deposito di natura limosa argillo-sabbiosa, ben consistente  
 $V_p = 1191$  m/sec
-  Deposito di natura argillo-limosa, molto consistente  
 $V_p = 1882$  m/sec
-  Geofono
-  Punto di energizzazione

Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi





### 2.1.7 Stendimento Sismico ST06

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area destinata a seminativo agricolo, senza variazione altimetriche significative, per una estensione totale della linea sismica pari a 33 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 Nord-Est dello stendimento sismico ST06



**Fotografia 22**-Visione verso Sud-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 subiscano delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

1. **Sismostrato A:** terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-sabbiosa, moderatamente consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 428 m/sec per una profondità media di circa -1,30 mt da pc;
2. **Sismostrato B:** deposito di natura limosa argillo-sabbiosa, consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 856 m/sec per una profondità media di circa -7,90 mt da pc;
3. **Sismostrato C:** deposito di natura argilloso-limosa, molto consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1813 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -13 mt da pc).

Sezione Stratigrafica - Stendimento ST06 - Onde P

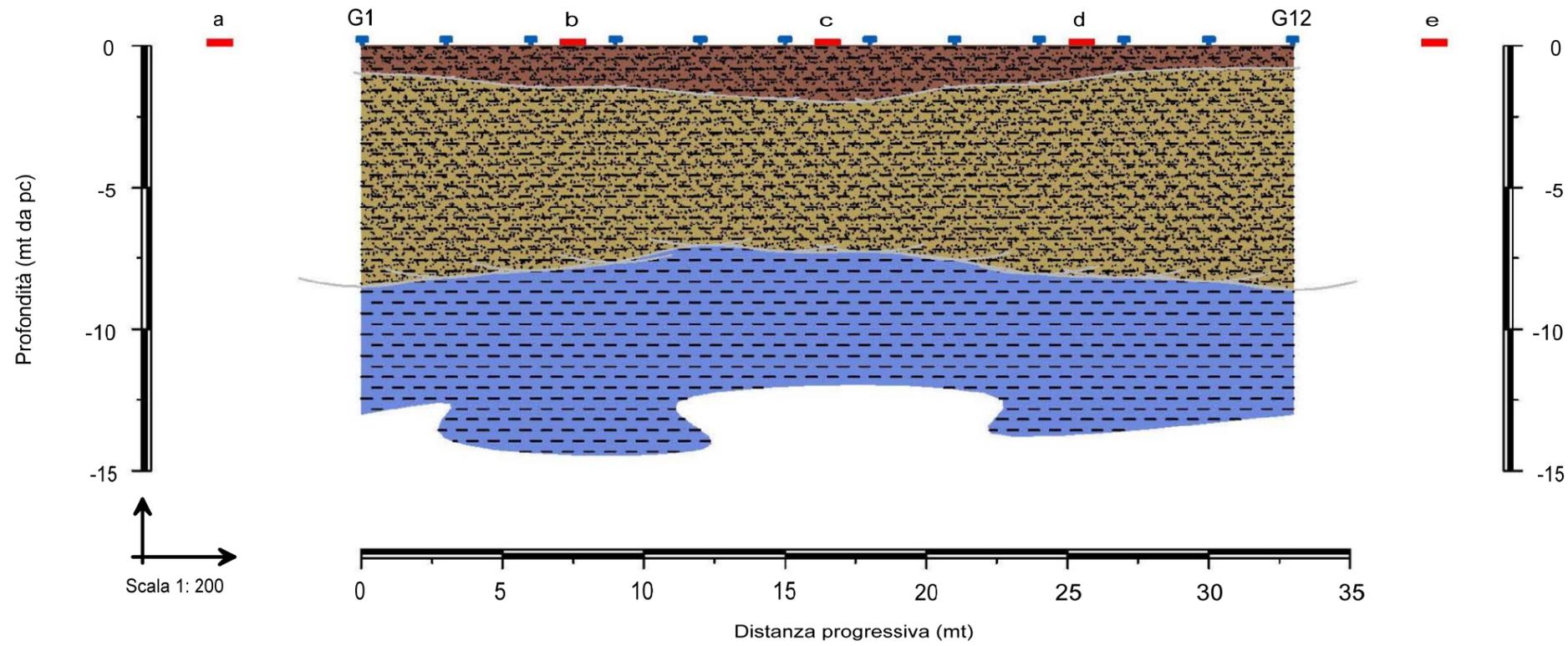
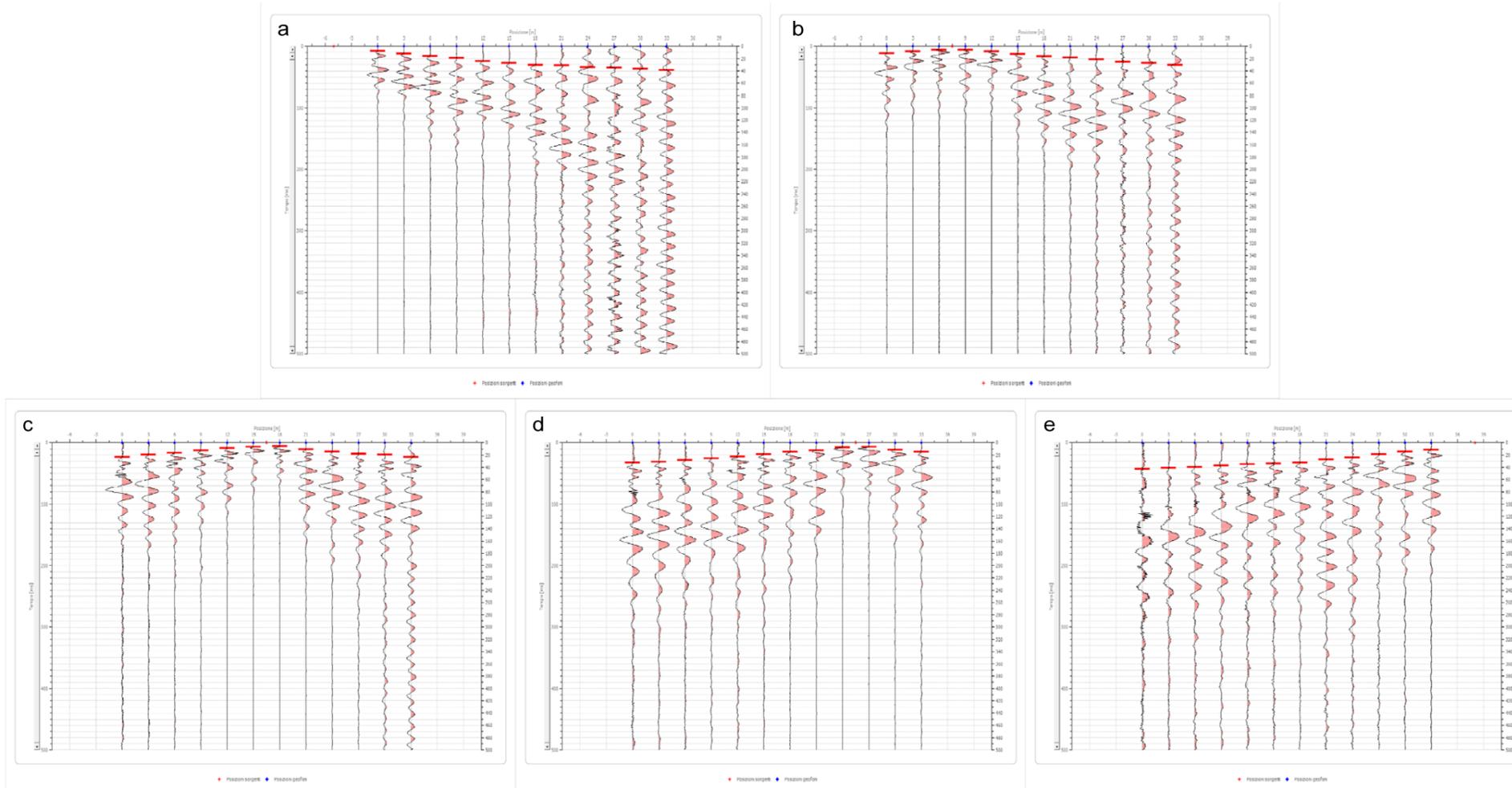


Tavola A. 2  
"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"  
Stendimento ST06

Legenda

-  Terreno vegetale e deposito di natura limo-sabbiosa, moderatamente consistente  
 $V_p = 428$  m/sec
-  Deposito di natura limosa argillo-sabbiosa, consistente  
 $V_p = 856$  m/sec
-  Deposito di natura argillo-limosa, molto consistente  
 $V_p = 1813$  m/sec
-  Geofono
-  Punto di energizzazione

Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi



## 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 3 mt per tutti gli stendimenti, denominati di seguito rispettivamente MASW01, MASW02, MASW03, MASW04, MASW05 e MASW06, considerando le stesse linee utilizzate per le

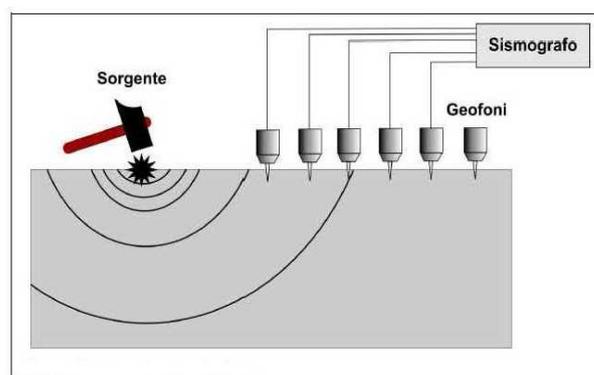


Figura 2-Schema realizzativo indagine MASW (Onde di Rayleigh)

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 riportato in **Figura 2**,

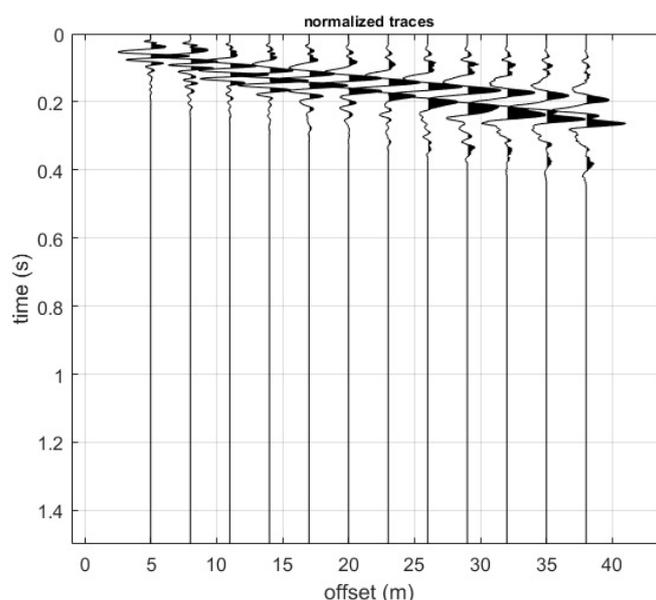
mentre per l'ubicazione dei profili sismici si faccia riferimento in allegato alla **Tavola A. 1** "*Ubicazione Indagini in Situ*". La procedura adottata per ricostruire la distribuzione delle onde di taglio nel terreno ( $V_s$ ) può essere così descritta:

- 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

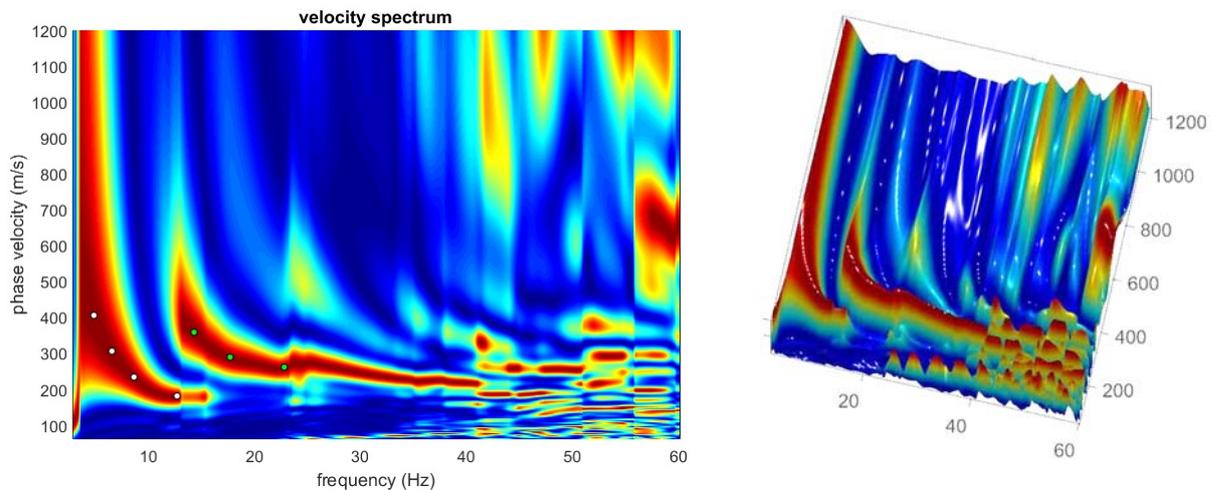


Figura 4-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e

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 16,50 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 al "misft evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, Figura 8.

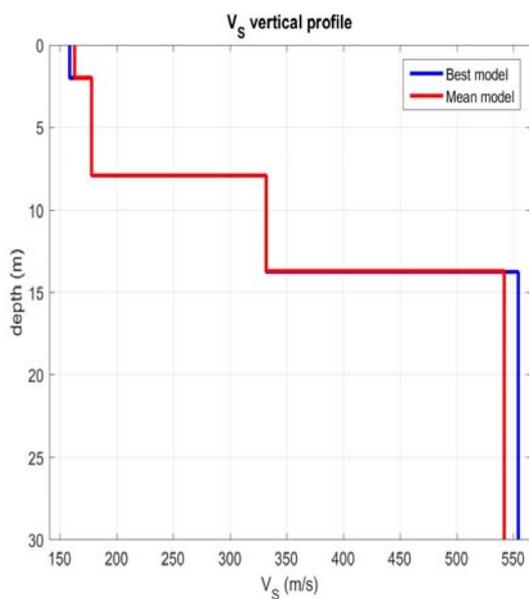


Figura 5-Profilo  $V_{s, equ} = 323$  m/sec calcolato a partire dal piano campagna

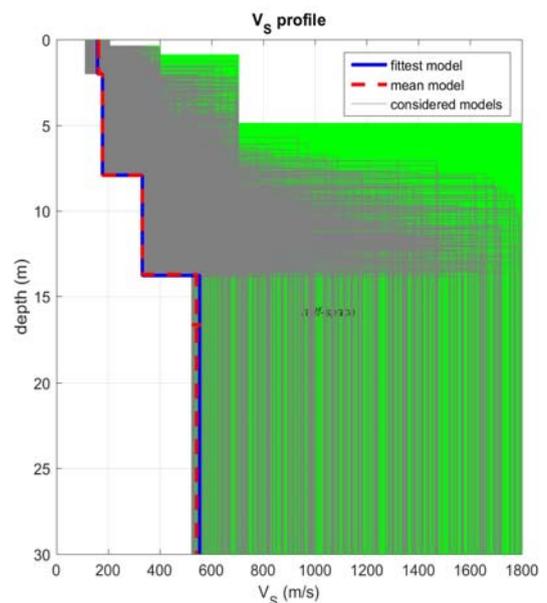


Figura 6-Modelli testati durante il processo di inversione

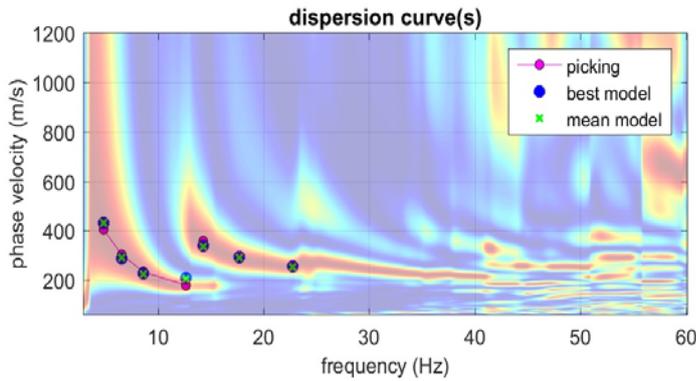


Figura 7-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative “best model” (pallini blu) e “mean model” (croci verdi)

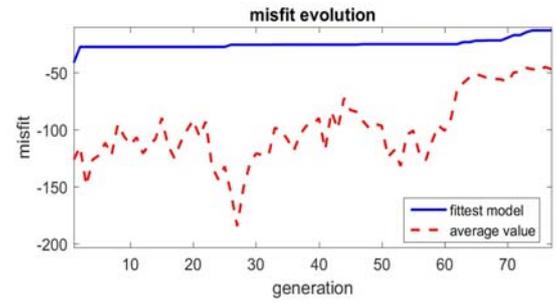


Figura 8-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 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 12° geofono (Figura 9) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (Figura 10).

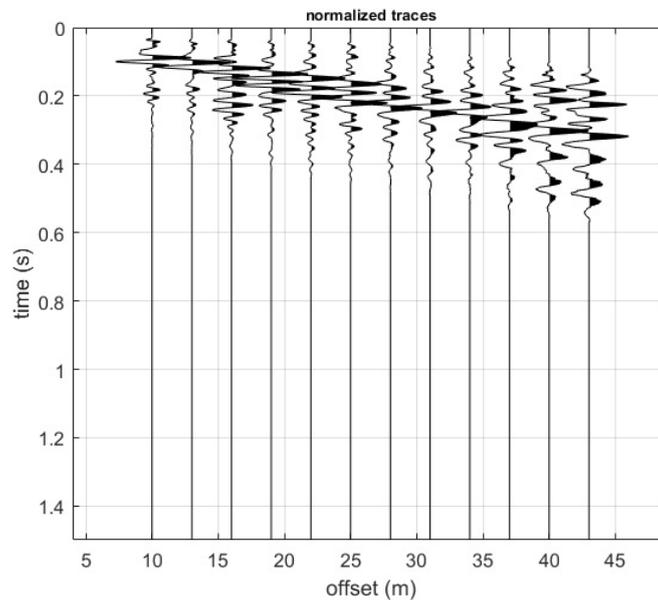
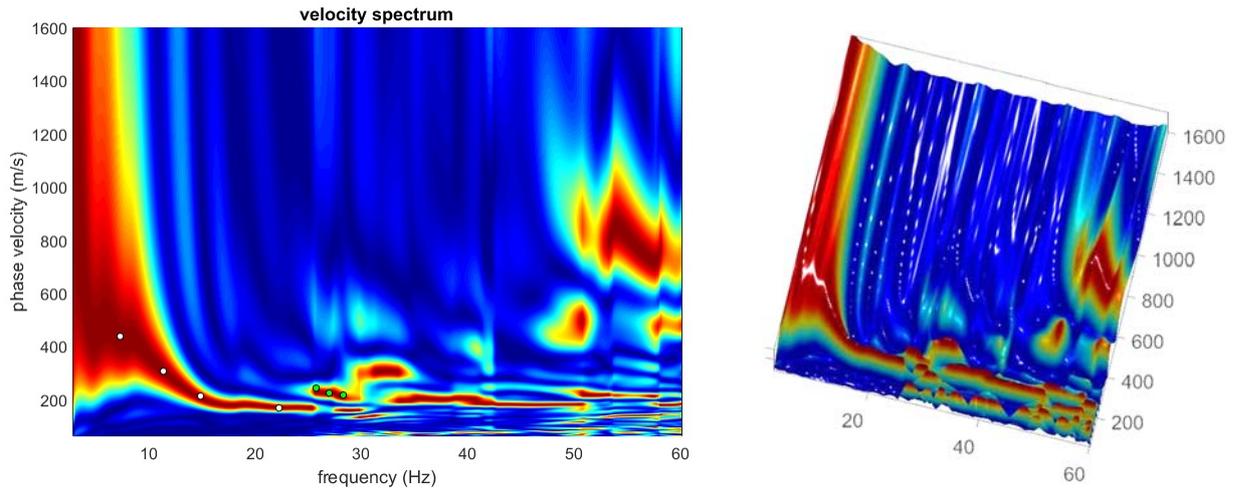
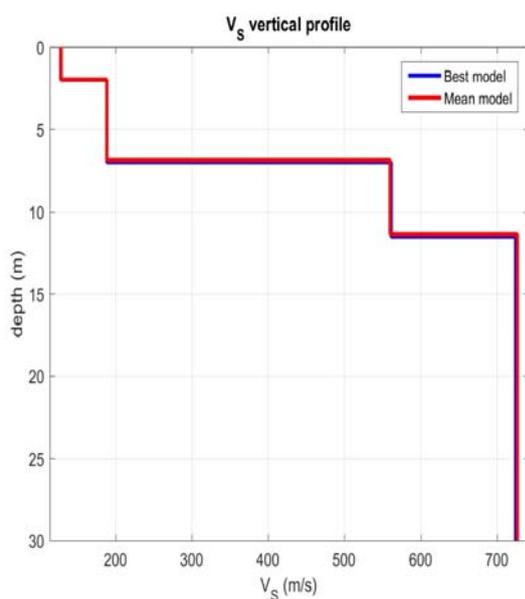


Figura 9-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

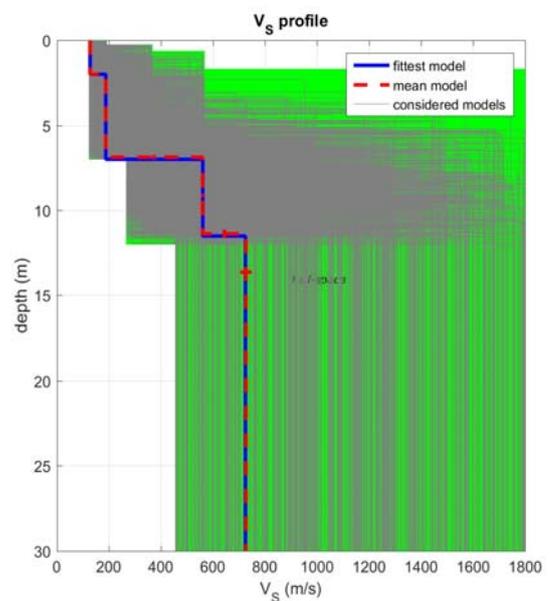


**Figura 10**-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

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 16,50 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 al "misft evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, **Figura 14**.



**Figura 11**-Profilo  $V_{s, equ} = 396$  m/sec calcolato a partire dal piano campagna



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

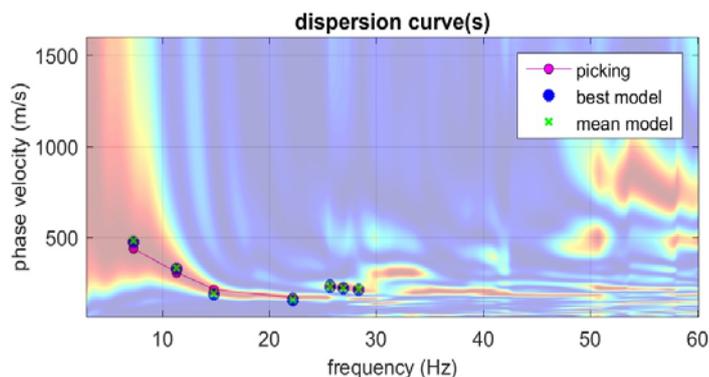


Figura 13-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)

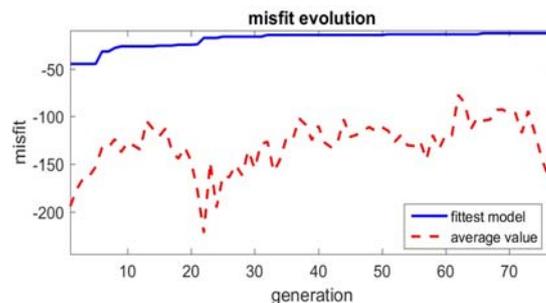


Figura 14-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

#### 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).

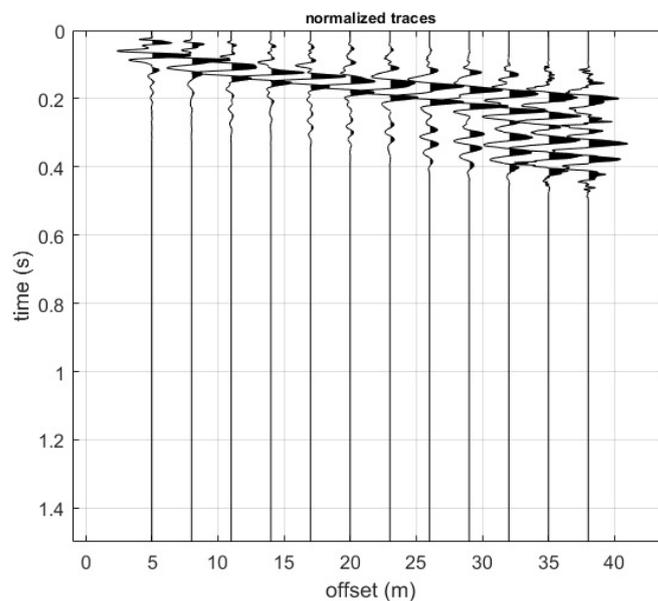


Figura 15-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità<

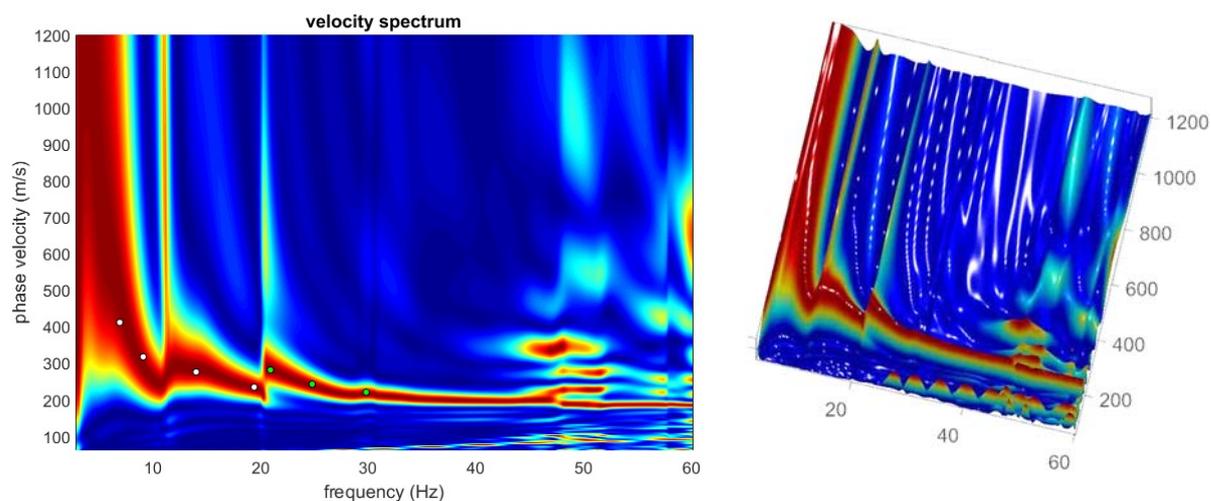


Figura 16-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

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 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 16,50 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 al "misft evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, Figura 20.

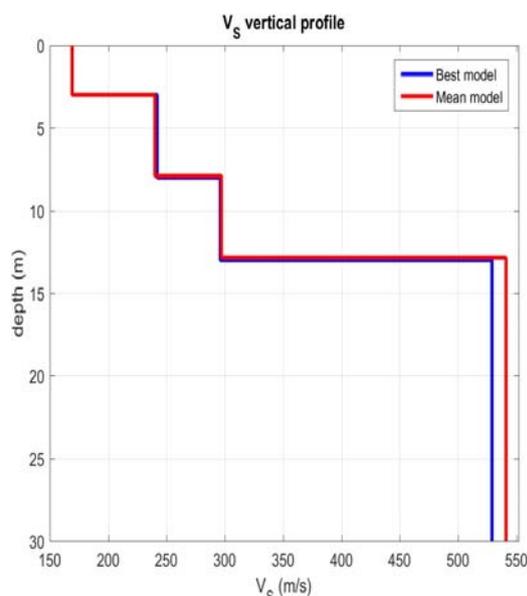


Figura 17-Profilo  $V_{s, equ} = 343$  m/sec calcolato a partire

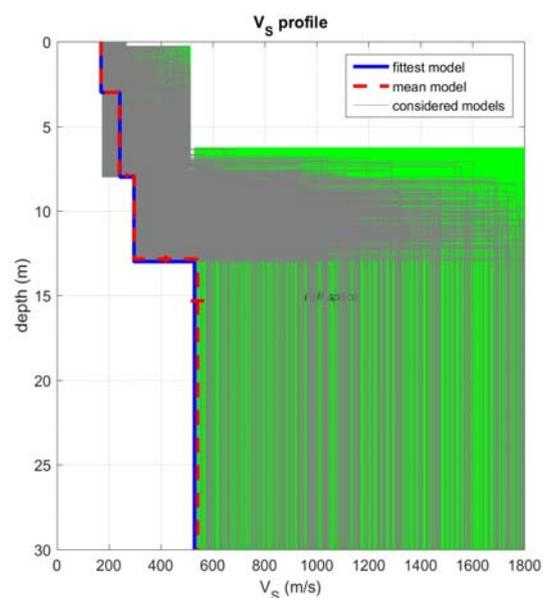


Figura 18-Modelli testati durante il processo di inversione

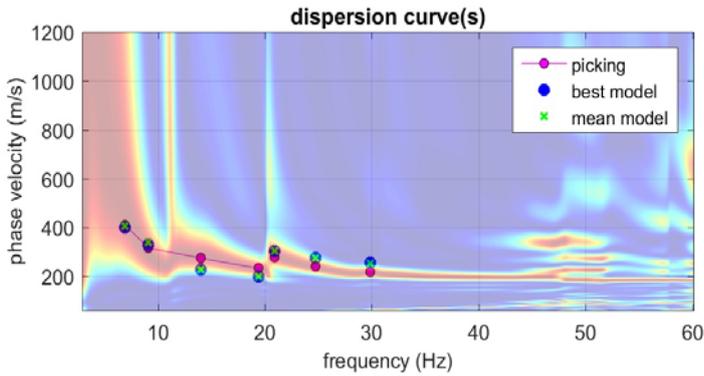


Figura 19-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative “best model” (pallini blu) e “mean model” (croci verdi)

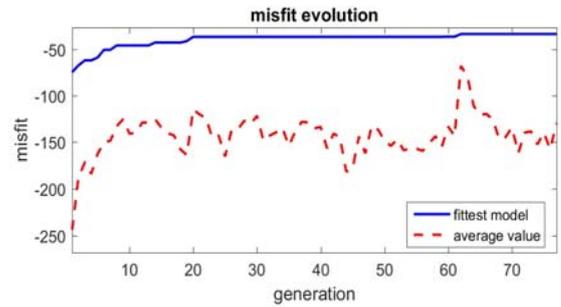


Figura 20-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 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).

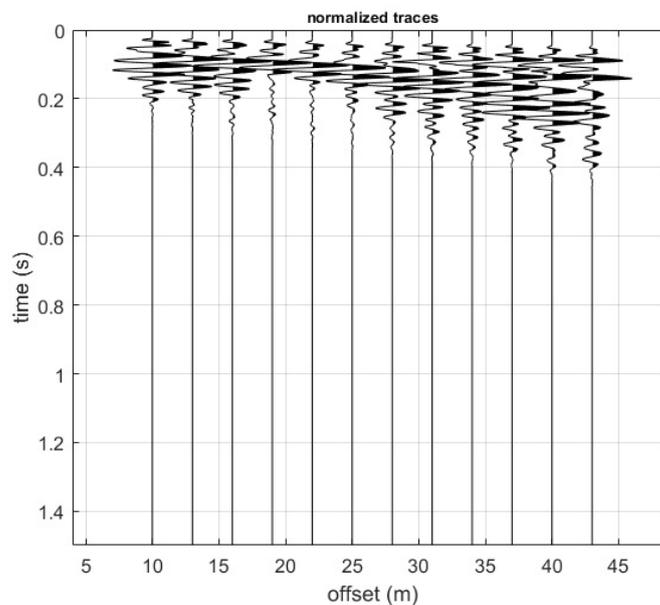
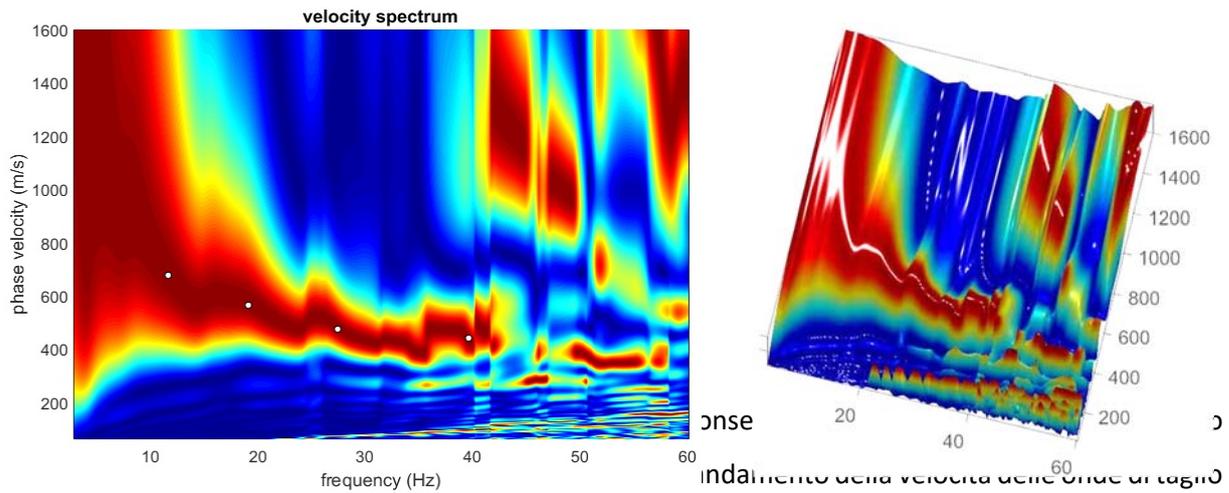


Figura 21-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità





monc

onse

ndamento 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 16,50 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 al "misft evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, Figura 26.

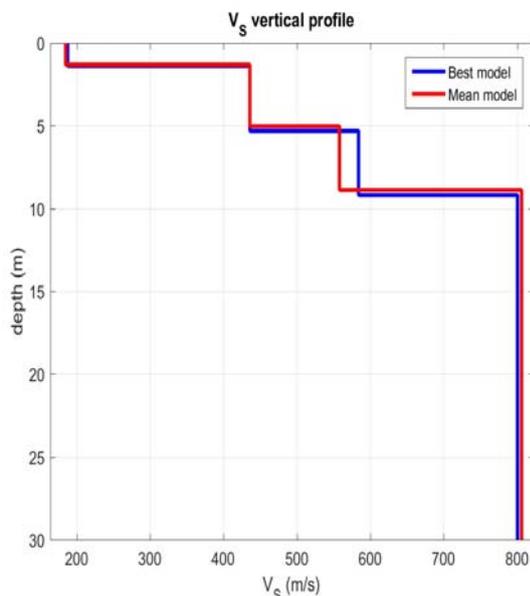


Figura 23-Profilo  $V_{s, equ} = 611$  m/sec calcolato a partire dal piano campagna

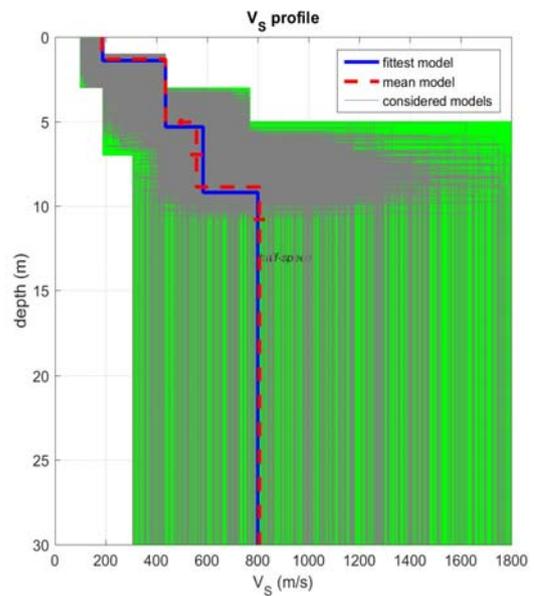


Figura 24-Modelli testati durante il processo di inversione

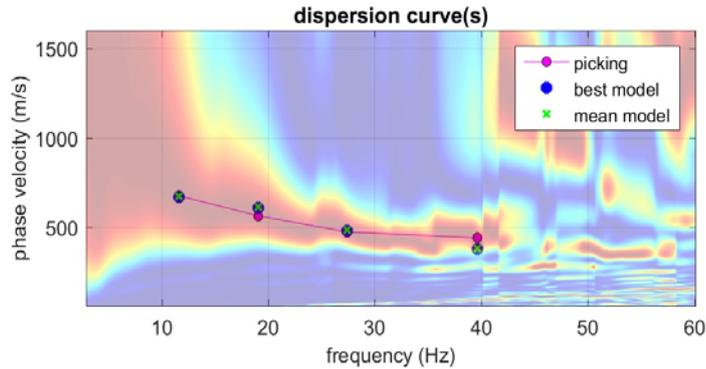


Figura 25-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)

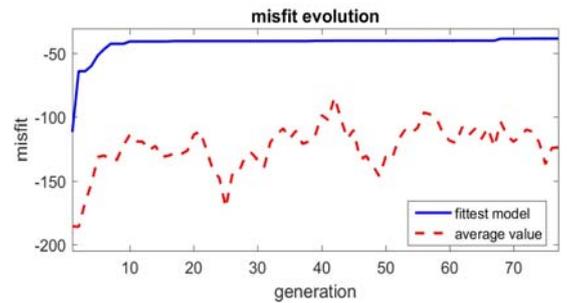


Figura 26-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 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 12° geofono (Figura 27) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (Figura 28).

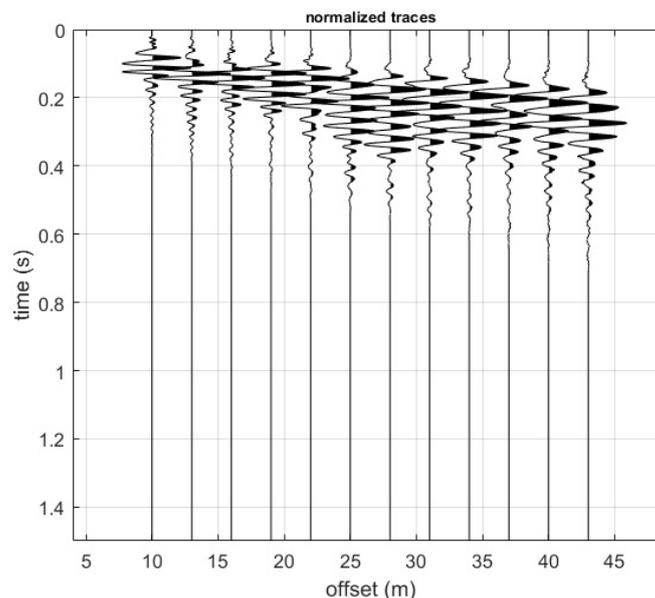
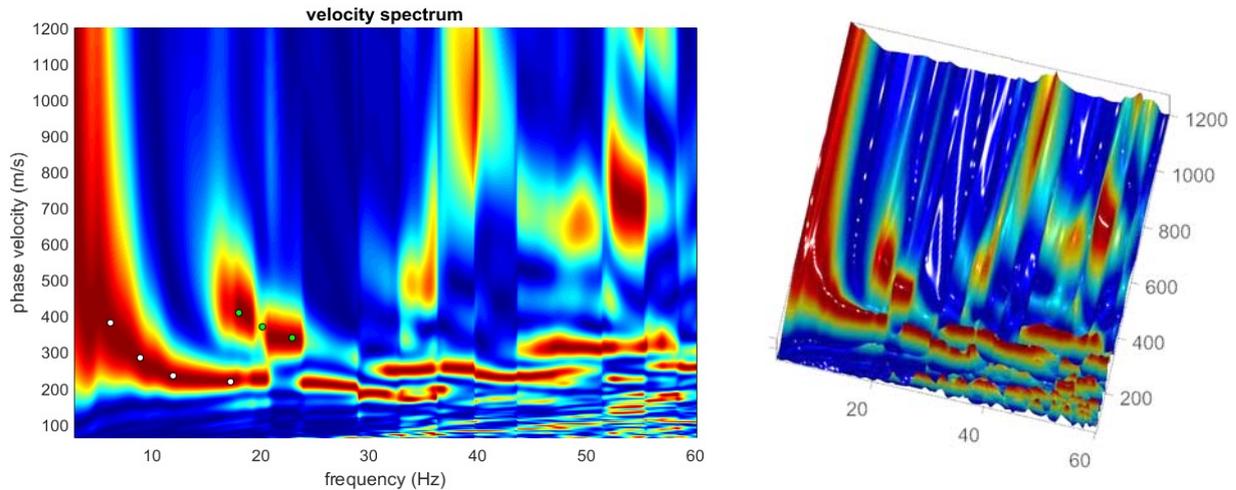


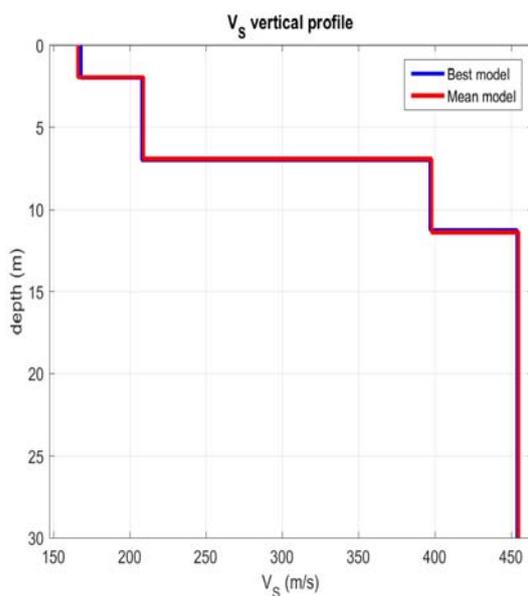
Figura 27-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità



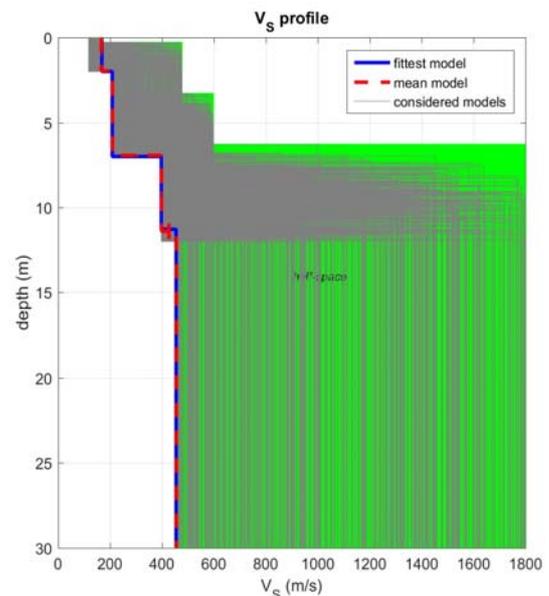


**Figura 28**-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

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 16,50 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 al "misft evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, **Figura 32**.



**Figura 29**-Profilo  $V_s$ ,  $v_{s, equ} = 341$  m/sec calcolato a partire dal piano campagna



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

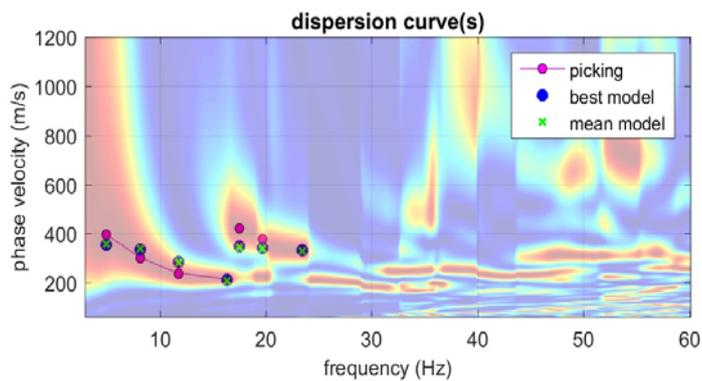


Figura 31-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative “best model” (pallini blu) e “mean model” (croci verdi)

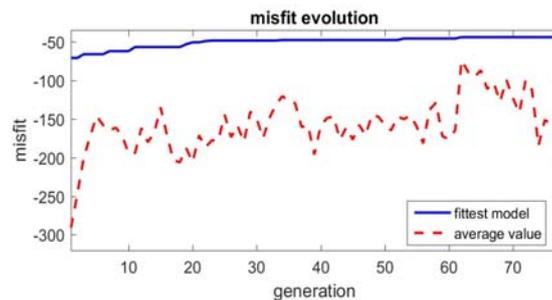


Figura 32-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 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 +5 mt dal 12° geofono (Figura 33) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (Figura 34).

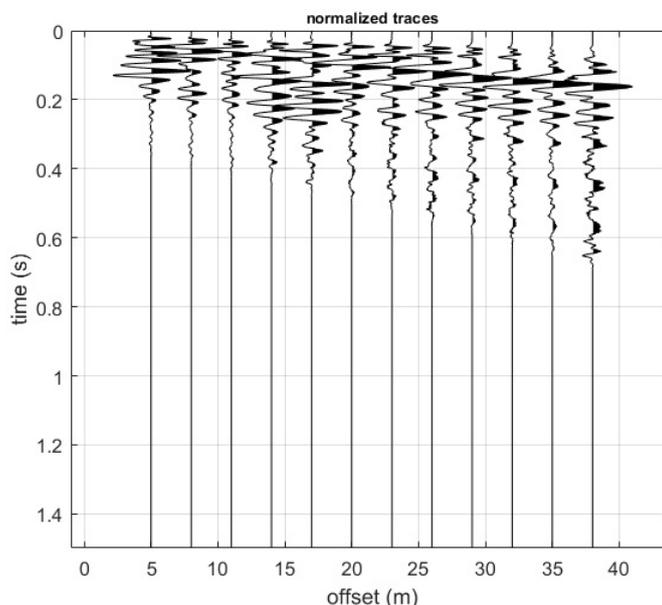
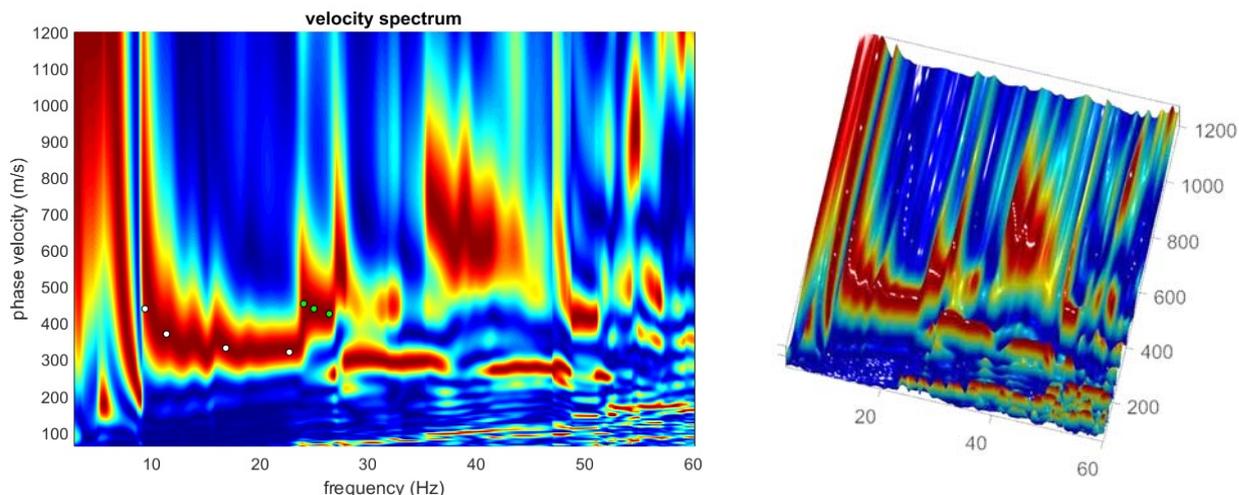


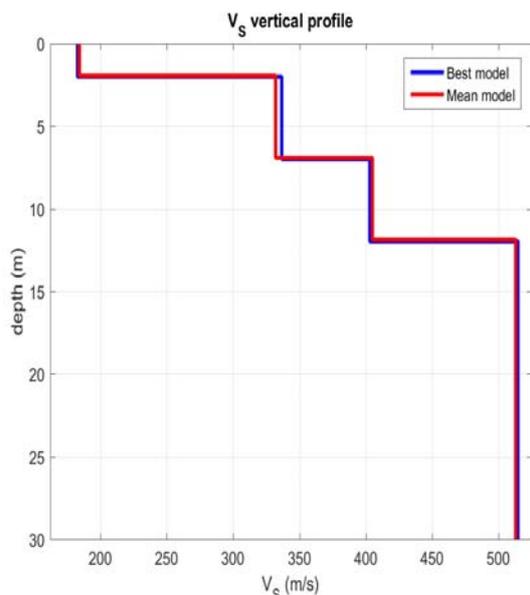
Figura 33-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità



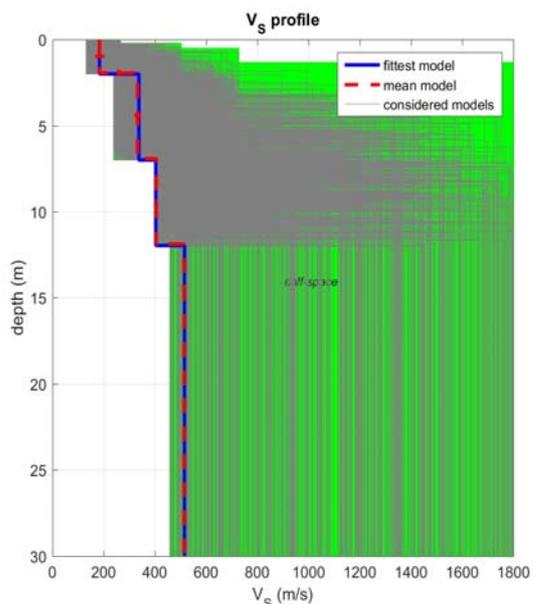
**Figura 34**-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

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 16,50 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 al "misft evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato,

**Figura 38.**



**Figura 35**-Profilo  $V_{s, equ} = 410$  m/sec calcolato a partire dal piano campagna



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

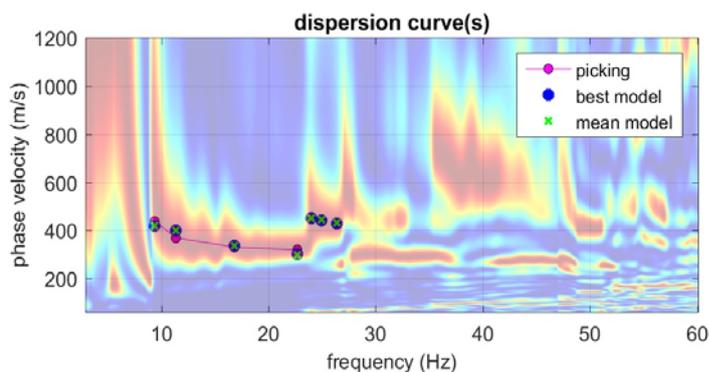


Figura 37-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative “best model” (pallini blu) e “mean model” (croci verdi)

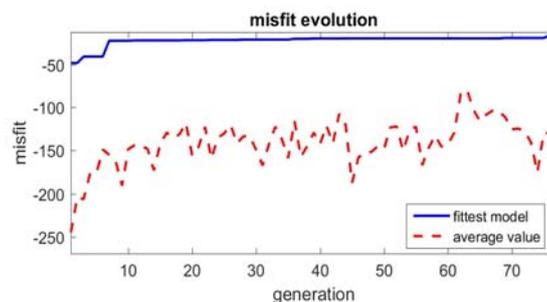


Figura 38-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 2.3 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, integralmente recepita dalla Regione Campania, 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 **323** 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 MASW02, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a **396** 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 MASW03, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a **343** 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 MASW04, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a **611** 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 **341** 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 MASW06, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a **410** 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 e specificando che tali valori devono essere intesi come valori medi. 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 Profondità media (mt da pc)	$\bar{V}_p$ (m/sec)	$\bar{V}_s$ (m/sec)	$\gamma$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\mu$	$E_y$ (MPa)	$G_0$ (MPa)	$M_0$ (MPa)	$\lambda$ (MPa)
<b>A</b> (0,00÷2,00)	352	159	1,55	0,37	108	39	140	114
<b>B</b> (2,00÷7,30)	1025	178	1,90	0,48	179	60	1916	1876
<b>C</b> (7,30÷13,00≈)	1885	332	2,13	0,48	697	235	7255	7099

Sismostrato Profondità media (mt da pc)	<b>R</b> (tonn/m <sup>2</sup> s)	$E_d$ (MPa)
<b>A</b> (0,00÷2,00)	246	223
<b>B</b> (2,00÷7,30)	338	1892
<b>C</b> (7,30÷13,00≈)	707	6399

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

- **Stendimento ST02**



Sismostrato	$\bar{V}_p$	$\bar{V}_s$	$\gamma$	$\mu$	$E_\gamma$	$G_0$	$M_0$	$\lambda$
Profondità media (mt da pc)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm <sup>3</sup> )		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷2,10)	295	128	1,50	0,38	68	25	98	81
B (2,10÷6,90)	1113	188	1,93	0,48	203	68	2300	2254
C (6,90÷13,00≈)	1832	561	2,12	0,45	1933	667	6226	5781

Sismostrato	R	$E_d$
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷2,10)	192	157
B (2,10÷6,90)	362	2230
C (6,90÷13,00≈)	1189	6041

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

- **Stendimento ST03**

Sismostrato	$\bar{V}_p$	$\bar{V}_s$	$\gamma$	$\mu$	$E_\gamma$	$G_0$	$M_0$	$\lambda$
Profondità media (mt da pc)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm <sup>3</sup> )		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷2,30)	316	169	1,52	0,30	113	43	94	65
B (2,30÷6,70)	1042	242	1,91	0,47	329	112	1925	1850
C (6,70÷13,00≈)	1777	296	2,11	0,48	549	185	6416	6293

Sismostrato	R	$E_d$
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷2,30)	256	180
B (2,30÷6,70)	462	1958
C (6,70÷13,00≈)	624	5686

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

- **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÷1,90)	339	188	1,54	0,28	139	54	104	68
B (1,90÷6,70)	1164	436	1,95	0,42	1052	371	2148	1901
C (6,70÷13,00≈)	1650	584	2,08	0,43	2027	709	4717	4244



Sismostrato	R	E <sub>d</sub>
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷1,90)	289	207
B (1,90÷6,70)	850	2441
C (6,70÷13,00≈)	1214	4093

**Tabella 5**-Riepilogo delle caratteristiche elasto-meccaniche degli strati identificati dalle indagini geofisiche in situ per lo stendimento sismico ST04

- **Stendimento ST05**

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÷1,80)	376	168	1,57	0,37	122	44	163	133
B (1,80÷6,00)	1191	208	1,95	0,48	250	84	2654	2597
C (6,00÷13,00≈)	1882	397	2,13	0,47	991	336	7097	6873

Sismostrato	R	E <sub>d</sub>
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷1,80)	263	255
B (1,80÷6,00)	405	2554
C (6,00÷13,00≈)	845	6380

**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 <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÷1,30)	428	183	1,61	0,38	150	54	223	187
B (1,30÷7,90)	856	337	1,84	0,41	589	209	1070	930
C (7,90÷13,00≈)	1813	403	2,12	0,47	1015	344	6059	6280

Sismostrato	R	E <sub>d</sub>
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷1,30)	294	330
B (1,30÷7,90)	620	1320
C (7,90÷13,00≈)	854	5918



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

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), Dicembre 2021

Il Geologo

(Dr. Fedele Massimiliano COLUCCI)