

**PROGETTO**

**PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO  
EOLICO DENOMINATO "PIANI DI PEDINA" NEL COMUNE DI  
VENOSA (PZ) IN LOCALITA' "PIANI DI PEDINA" E DELLE OPERE  
CONNESSE NEI COMUNI DI VENOSA, RAPOLLA E MELFI (PZ)**

**TITOLO**

**A.16.a.26 - Report di fine campagna geognostica**

PROGETTAZIONE	PROPONENTE	VISTI
 <p><b>F4 ingegneria srl</b> Via Nazario Sauro 112, 85100 Potenza Tel: +39 0971 1944797 - Fax: +39 0971 55452 www.f4ingegneria.it - f4ingegneria@pec.it</p> <p style="text-align: center;">Il Direttore Tecnico (ing. Giovanni DI SANTO)</p> <div style="text-align: center;">    </div> <p><b>F4 ingegneria srl</b> Via Nazario Sauro 112, 85100 Potenza Tel: +39 0971 1944797 - Fax: +39 0971 55452 www.f4ingegneria.it - f4ingegneria@pec.it</p> <p style="text-align: center;">Geologo (Geol. Maurizio Giacomino)</p>	<p><b>INERGIA LUCANIA S.r.l.</b></p> <p><b>Sede legale:</b> Vicolo del Messaggero n.11 38068 ROVERETO (TN)</p> <p>PEC: direzione.inergialucania@legalmail.it</p>	

**DATI PROGETTAZIONE**


Scala -	Formato Stampa <b>A4</b>	Cod.Elaborato <b>EO-CRV-PD-GEO-9</b>	Rev. <b>a</b>	Nome File EO-CRV-PD-GEO-10.docx	Elaborato <b>1</b>	Foglio <b>1 di 1</b>
------------	-----------------------------	---	------------------	------------------------------------	-----------------------	-------------------------

Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Controllato	Approvato
a	18/10/2019	Prima Emissione	F4	A.Corradetti	R.Caioli



# COMUNE DI VENOSA

PROVINCIA DI POTENZA

## Realizzazione di un Parco Eolico Presso il Piano Regio nel Comune di Venosa (PZ)



Geologo:



Geol. F. M. COLUCCI

S.O.: Via De Giosa, 4 - 70015 NOCI

S.L.: Via F. Como 2/139 Talsano-Taranto

Tel/Fax (+39)080/2473484 - Cell 338/4274387

P. IVA 07627640720 - e-mail: massimo.colucci76@gmail.com

*Federico Massimo Colucci*

ELABORATO

DATA

REPORT FINE INDAGINI GEOGNOSTICHE

07/2019

AGGIORNAMENTO

DATA

DESCRIZIONE

AGGIORNAMENTO	DATA	DESCRIZIONE

**SOMMARIO**

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITU</b>	<b>5</b>
<b>2.1</b>	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE INDIRETTE: PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE (ONDE P)</b>	<b>5</b>
2.1.1	ACQUISIZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI DATI	7
2.1.2	STENDIMENTO SISMICO ST01	9
2.1.3	STENDIMENTO SISMICO ST02	10
2.1.4	STENDIMENTO SISMICO ST03	11
2.1.5	STENDIMENTO SISMICO ST04	12
2.1.6	STENDIMENTO SISMICO ST05	13
2.1.7	STENDIMENTO SISMICO ST06	14
2.1.8	STENDIMENTO SISMICO ST07	15
2.1.9	STENDIMENTO SISMICO ST08	16
2.1.10	STENDIMENTO SISMICO ST09	17
2.1.11	STENDIMENTO SISMICO ST10	18
<b>2.2</b>	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE INDIRETTE: PROSPEZIONI SISMICHE MASW</b>	<b>19</b>
2.2.1	ACQUISIZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI DATI	19
2.2.2	MASW01	20
2.2.3	MASW02	22
2.2.4	MASW03	24
2.2.5	MASW04	26
2.2.6	MASW05	28
2.2.7	MASW06	30
2.2.8	MASW07	32
2.2.9	MASW08	34
2.2.10	MASW09	36
2.2.11	MASW10	38
<b>2.3</b>	<b>CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE</b>	<b>40</b>
<b>2.4</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE ELASTO-MECCANICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE</b>	<b>42</b>
<b>3</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>48</b>





**ALLEGATI AL TESTO**

<b>TAVOLA A. 1</b>	UBICAZIONE AREA OGGETTO DI STUDIO	(SCALA 1: 60.000-1: 30.000)
<b>TAVOLA A. 2</b>	UBICAZIONE INDAGINI IN SITU	(SCALA 1: 12.000)
<b>TAVOLA A. 3</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 di "Realizzazione di un Parco Eolico Presso il Piano Regio". L'area interessata dall'intervento è localizzata a Nord-Ovest dell'abitato del Comune di Venosa (PZ), così come riportato in allegato alla **Tavola A. 1 "Ubicazione Area Oggetto di Studio"**. La campagna di indagini geognostiche (V. **Tavola A. 2 "Ubicazione Indagini in Sito"**), di tipo indirette, ha visto la realizzazione di:

- **N° 10 Prospezioni Sismiche a Rifrazione** in onde P per la ricostruzione del modello sismostratigrafico del sottosuolo e la determinazione delle principali grandezze elasto-meccaniche dei terreni investigati;
- **N° 10 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 del sito 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 AREA OGGETTO DI STUDIO	(SCALA 1: 60.000-1: 30.000)
<b>TAVOLA A. 2</b>	UBICAZIONE INDAGINI IN SITU	(SCALA 1: 12.000)





TAVOLA A. 3

SEZIONI STRATIGRAFICHE INTERPRETATIVE-ONDE P

(SCALA 1: 200)



## 2 INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITU

Le operazioni in campo hanno visto l'esecuzione di n. 10 prospezioni sismiche a rifrazione in onde P e n. 10 prospezioni sismiche MASW. Le prove sismiche sono state effettuate su delle aree subpianeggianti su terreni agricoli e, in accordo con la committenza, in maniera tale da investigare i siti cercando un giusto compromesso tra la profondità massima di investigazione e agli spazi fisici a disposizione. La collocazione delle indagini è riportata in allegato alla **Tavola A. 2** "Ubicazione Indagini in Situ".

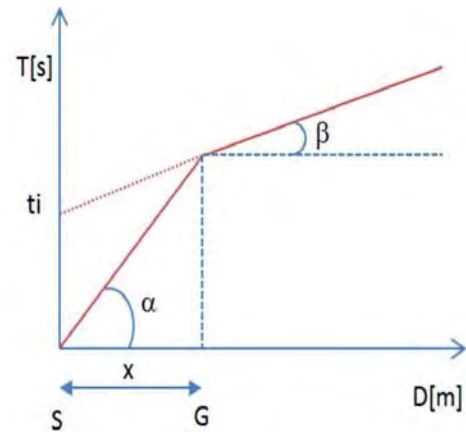
### 2.1 Indagini Geognostiche Indirette: Prospezioni Sismiche a Rifrazione (Onde P)

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 e 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.

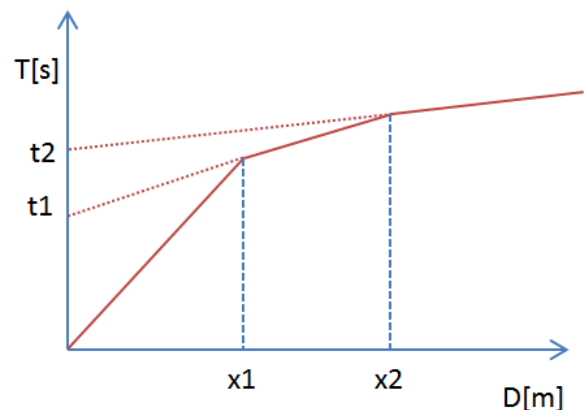
L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell. Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche 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 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.



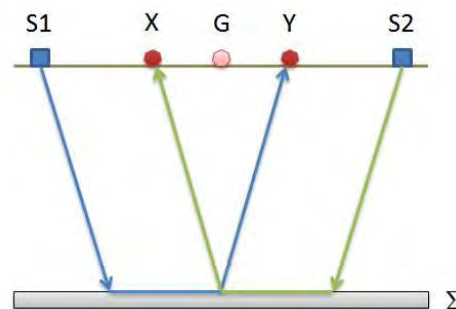
La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, 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:



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



In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980. Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore. Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche.



### 2.1.1 Acquisizione ed Interpretazione dei Dati

Le indagini sono state condotte utilizzando la seguente strumentazione:

- Sismografo con 24 canali, della ditta "PASI S.r.l." 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 una lunghezza totale degli stendimenti pari a 44 mt, con punti di scoppio A e B posti a 5,00 mt rispettivamente dal 1° e dal 12° geofono, in posizione esterna allo stendimento, lo scoppio C è stato posto al centro dello stendimento (fra il 6° e il 7° geofono), mentre gli altri due scoppi intermedi D ed E rispettivamente tra 3° e 4° geofono e tra il 9° e il 10° geofono come riportato in **Figura 1**:



**Figura 1**-Configurazione geometrica utilizzata per gli stendimenti sismici a rifrazione

In fase di acquisizione dei sismogrammi è stato applicato un filtro passa alto con frequenza di taglio pari a 10 Hz. 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, ottenuta 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:

- a) 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;
- b) 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  $h < 0,25 \cdot z$ .
- c) 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;
- d) 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 con strato superficiale terroso, senza variazioni altimetriche di rilievo così come si può osservare in **Fotografia 1**, e **2**. Per l'interpretazione lito-stratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla **Tavola A. 3 “Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P”**.



**Fotografia 1**—Sismografo PASI GEA24



**Fotografia 2**—Visione dello stendimento ST01 in direzione Nord

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 che i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

- 1) **Sismostrato A**: terreno vegetale costituito da matrice sabbioso-limoso, poco addensato, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 410 m/sec sino ad una profondità media di circa -1,70 mt da p.c.;

- 2) **Sismostrato B**: deposito di natura sabbiosa debolmente limosa mediamente compatto, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 590 m/sec sino ad una profondità media di circa -10,10 mt da p.c.;
- 3) **Sismostrato C**: deposito di natura sabbioso-limosa, compatto e consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1086 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15,00 mt da p.c.).

### 2.1.3 Stendimento Sismico ST02

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area con strato superficiale terroso, con nessuna variazione altimetrica di rilievo così come si può osservare in **Fotografia 3**, e **4**. Per l'interpretazione lito-stratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla **Tavola A. 3 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"**.



**Fotografia 3**-Sismografo PASI GEA24



**Fotografia 4**-Visione dello stendimento ST02 in direzione Sud

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 che i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

- 1) **Sismostrato A**: terreno vegetale costituito da matrice sabbioso-limosa, poco addensato, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 374 m/sec sino ad una profondità media di circa -1,60 mt da p.c.;

- 2) **Sismostrato B**: deposito di natura sabbiosa debolmente limosa mediamente compatto, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 630 m/sec sino ad una profondità media di circa -10,70 mt da p.c.;
- 3) **Sismostrato C**: deposito di natura sabbioso-limosa, compatto e consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1116 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15,00 mt da p.c.).

#### 2.1.4 Stendimento Sismico ST03

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area con strato superficiale terroso, con nessuna variazione altimetrica di rilievo così come si può osservare in **Fotografia 5**, e **6**. Per l'interpretazione lito-stratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla **Tavola A. 3 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"**.



**Fotografia 5**-Sismografo PASI GEA24



**Fotografia 6**-Visione dello stendimento ST03 in direzione Nord-Est

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 che i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

- 1) **Sismostrato A**: terreno vegetale costituito da matrice sabbioso-limosa, poco addensato, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 378 m/sec sino ad una profondità media di circa -1,30 mt da p.c.;

- 2) **Sismostrato B**: deposito di natura sabbiosa debolmente limosa mediamente compatto, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 617 m/sec sino ad una profondità media di circa -9,00 mt da p.c.;
- 3) **Sismostrato C**: deposito di natura sabbioso-limosa, compatto e consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1012 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15,00 mt da p.c.).

#### 2.1.5 Stendimento Sismico ST04

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area con strato superficiale terroso, con nessuna variazione altimetrica di rilievo così come si può osservare in **Fotografia 7**, e **8**. Per l'interpretazione lito-stratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla **Tavola A. 3 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"**.



**Fotografia 7**-Sismografo PASI GEA24



**Fotografia 8**-Visione dello stendimento ST04 in direzione Sud

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 che i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

- 1) **Sismostrato A**: terreno vegetale costituito da matrice sabbioso-limosa, poco addensato, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 402 m/sec sino ad una profondità media di circa -2,10 mt da p.c.;

- 2) **Sismostrato B**: deposito di natura sabbiosa debolmente limosa mediamente compatto, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 699 m/sec sino ad una profondità media di circa -8,20 mt da p.c.;
- 3) **Sismostrato C**: deposito di natura sabbioso-limosa, compatto e consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1090 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15,00 mt da p.c.).

### 2.1.6 Stendimento Sismico ST05

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area con strato superficiale terroso, con nessuna variazione altimetrica di rilievo così come si può osservare in **Fotografia 9**, e **10**. Per l'interpretazione lito-stratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla **Tavola A. 3 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"**.



**Fotografia 9**-Sismografo PASI GEA24



**Fotografia 10**-Visione dello stendimento ST05 in direzione Nord-Ovest

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 che i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

- 1) **Sismostrato A**: terreno vegetale costituito da matrice sabbioso-limosa, poco addensato, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 329 m/sec sino ad una profondità media di circa -1,85 mt da p.c.;

- 2) **Sismostrato B**: deposito di natura sabbiosa debolmente limosa, mediamente compatto, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 652 m/sec sino ad una profondità media di circa -8,75 mt da p.c.;
- 3) **Sismostrato C**: deposito di natura sabbioso-limosa, compatto e consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1023 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15,00 mt da p.c.).

### 2.1.7 Stendimento Sismico ST06

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area con strato superficiale terroso, con nessuna variazione altimetrica di rilievo così come si può osservare in **Fotografia 11**, e **12**. Per l'interpretazione lito-stratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla **Tavola A. 3 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"**.



**Fotografia 11**-Sismografo PASI GEA24



**Fotografia 12**-Visione dello stendimento ST06 in direzione Nord-Est

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 che i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

- 1) **Sismostrato A**: terreno vegetale costituito da matrice sabbioso-limosa, poco addensato, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 394 m/sec sino ad una profondità media di circa -2,00 mt da p.c.;



- 2) **Sismostrato B:** deposito di natura sabbiosa debolmente limosa, mediamente compatto, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 542 m/sec sino ad una profondità media di circa -9,85 mt da p.c.;
- 3) **Sismostrato C:** deposito di natura sabbioso-limosa, mediamente compatto e consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 877 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$  15,00 mt da p.c.).

### 2.1.8 Stendimento Sismico ST07

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area con strato superficiale terroso, con nessuna variazione altimetrica di rilievo così come si può osservare in **Fotografia 13**, e **14**. Per l'interpretazione lito-stratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla **Tavola A. 3 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"**.



**Fotografia 13**-Sismografo PASI GEA24



**Fotografia 14**-Visione dello stendimento ST07 in direzione Nord-Est

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 che i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

- 1) **Sismostrato A:** terreno vegetale costituito da matrice sabbioso-limosa, poco addensato, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 398 m/sec sino ad una profondità media di circa -2,20 mt da p.c.;

- 2) **Sismostrato B:** deposito di natura sabbiosa debolmente limosa, mediamente compatto, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 818 m/sec sino ad una profondità media di circa -7,15 mt da p.c.;
- 3) **Sismostrato C:** deposito di natura sabbioso-limosa, compatto e consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1176 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15,00 mt da p.c.).

#### 2.1.9 Stendimento Sismico ST08

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area con strato superficiale terroso, con nessuna variazione altimetrica di rilievo così come si può osservare in **Fotografia 15**, e **16**. Per l'interpretazione lito-stratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla **Tavola A. 3 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"**.



**Fotografia 15**-Sismografo PASI GEA24



**Fotografia 16**-Visione dello stendimento ST08 in direzione Nord-Ovest

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 che i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

- 1) **Sismostrato A:** terreno vegetale costituito da matrice sabbioso-limosa, poco addensato, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 403 m/sec sino ad una profondità media di circa -2,00 mt da p.c.;

- 2) **Sismostrato B:** deposito di natura sabbiosa debolmente limosa, mediamente compatto, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 577 m/sec sino ad una profondità media di circa -9,00 mt da p.c.;
- 3) **Sismostrato C:** deposito di natura sabbioso-limosa, compatto e consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1053 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15,00 mt da p.c.).

#### 2.1.10 Stendimento Sismico ST09

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area con strato superficiale terroso, con nessuna variazione altimetrica di rilievo così come si può osservare in **Fotografia 17**, e **18**. Per l'interpretazione lito-stratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla **Tavola A. 3 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"**.



**Fotografia 17**-Sismografo PASI GEA24



**Fotografia 18**-Visione dello stendimento ST09 in direzione Nord-Est

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 che i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

- 1) **Sismostrato A:** terreno vegetale costituito da matrice sabbioso-limosa, poco addensato, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 352 m/sec sino ad una profondità media di circa -2,10 mt da p.c.;

- 2) **Sismostrato B:** deposito di natura sabbiosa debolmente limosa, mediamente compatto, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 690 m/sec sino ad una profondità media di circa -9,10 mt da p.c.;
- 3) **Sismostrato C:** deposito di natura sabbioso-limosa, compatto e consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1209 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15,00 mt da p.c.).

#### 2.1.11 Stendimento Sismico ST10

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area con strato superficiale terroso, con nessuna variazione altimetrica di rilievo così come si può osservare in **Fotografia 19**, e **20**. Per l'interpretazione lito-stratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla **Tavola A. 3 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"**.



**Fotografia 19**-Sismografo PASI GEA24



**Fotografia 20**-Visione dello stendimento ST10 in direzione Nord

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 che i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

- 1) **Sismostrato A:** terreno vegetale costituito da matrice sabbioso-limosa, poco addensato, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 342 m/sec sino ad una profondità media di circa -1,90 mt da p.c.;

- 2) **Sismostrato B:** deposito di natura sabbiosa debolmente limosa, mediamente compatto, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 864 m/sec sino ad una profondità media di circa -7,95 mt da p.c.;
- 3) **Sismostrato C:** deposito di natura sabbioso-limosa, compatto e consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1167 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15,00 mt da p.c.).

## 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 al fatto che onde ad alta frequenza si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più alta del terreno, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più bassi 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 i casi in esame, è stato utilizzato un sismografo a 24 canali, della ditta "PASI S.r.l." 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 4,00 mt per un totale di ogni singolo stendimento pari a 44,00 mt considerando le stesse linee sismiche utilizzate per la sismica a rifrazione. Sono stati effettuati n. 4 scoppi per l'acquisizione dei sismogrammi utilizzando degli offset minimi rispettivamente a -5,00 mt e -10,00 mt dal 1° geofono e +5,00 mt e +10 mt dal 12° geofono. L'intervallo di

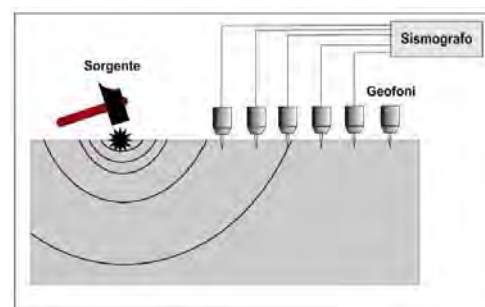


Figura 2-Schema realizzativo indagine MASW

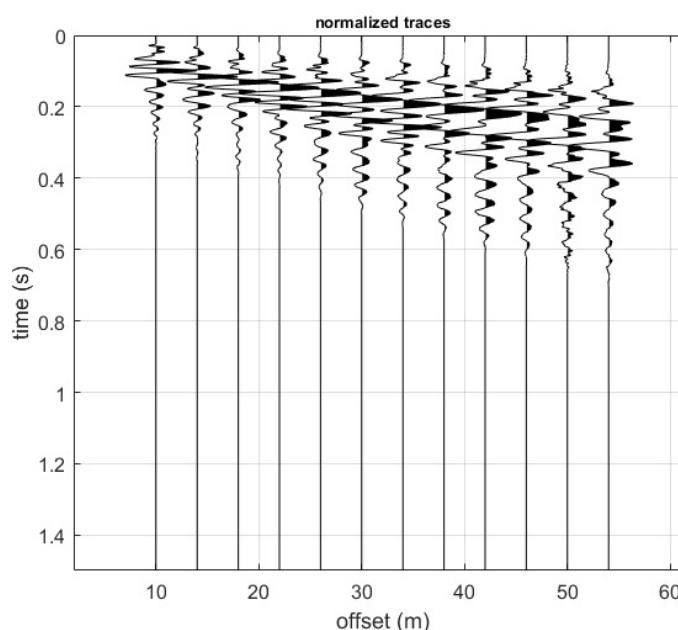
campionamento è stato pari a 1 ms (millisecondo) con un tempo di registrazione di 2 secondi. Lo schema della prova è riportata in **Figura 2**, mentre per l'ubicazione dei profili sismici si faccia riferimento in allegato alla **Tavola A. 2 "Ubicazione Indagini in Situ"**. La procedura adottata per ricostruire 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 altri parametri in funzione della profondità compatibile con il contesto geologico in esame e considerando i risultati delle indagini di sismica a rifrazione. Tale inversione è generata 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 S.r.l..

### 2.2.2 MASW01

Considerando le n. 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare quella che mostrava un rapporto segnale/rumore migliore, 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 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

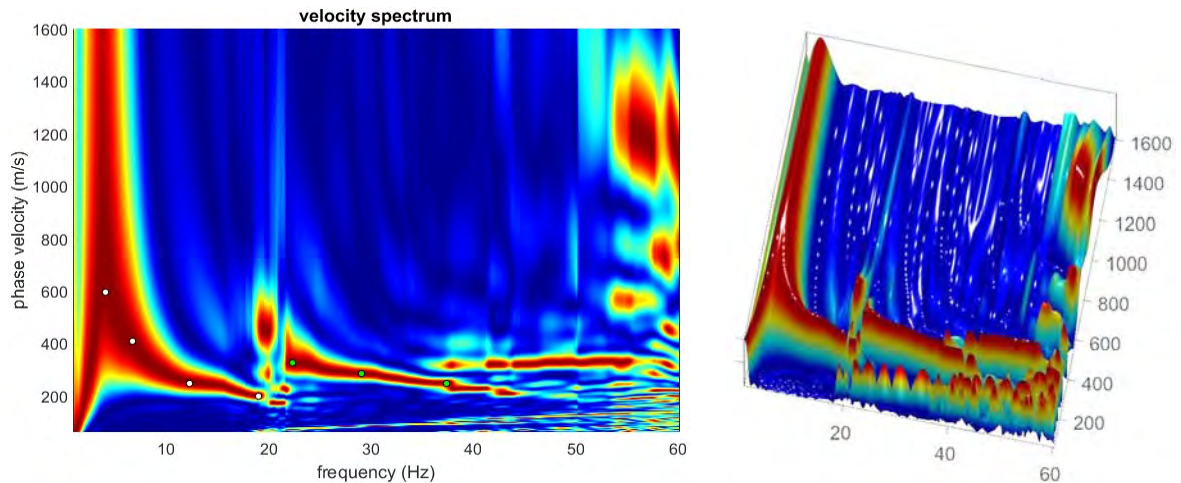


Figura 4-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

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

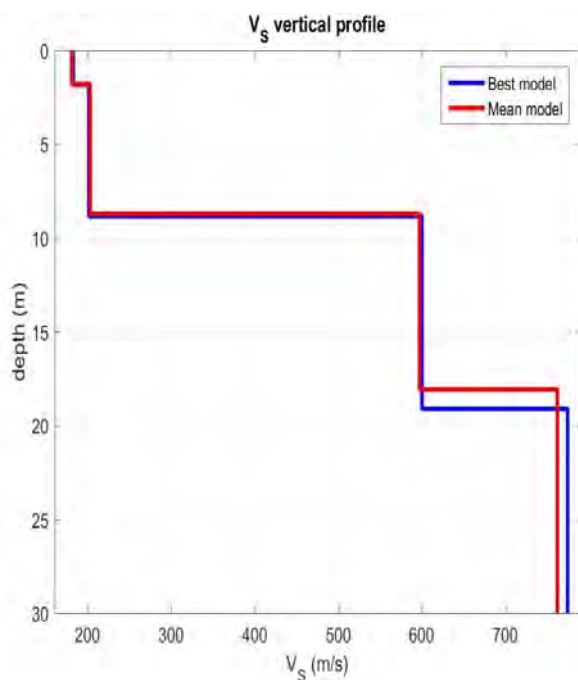


Figura 5-Profilo  $V_{s, equ} = 394$  m/sec (best model) calcolato a partire dal piano campagna

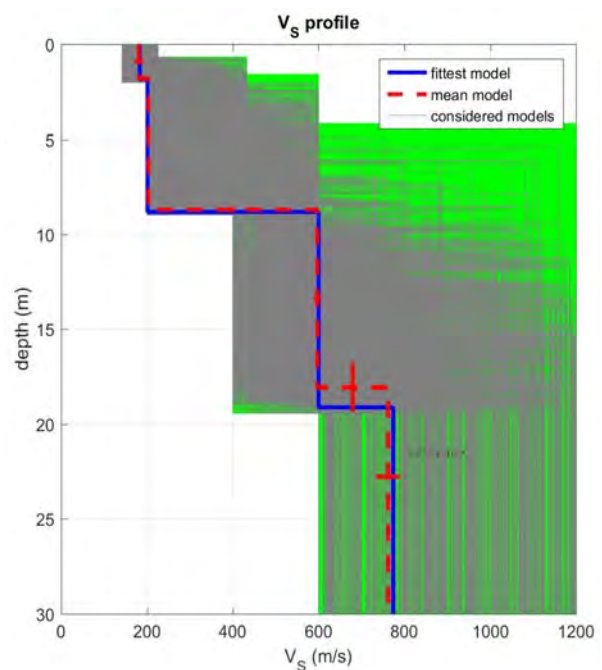


Figura 6-Modelli testati durante il processo di inversione

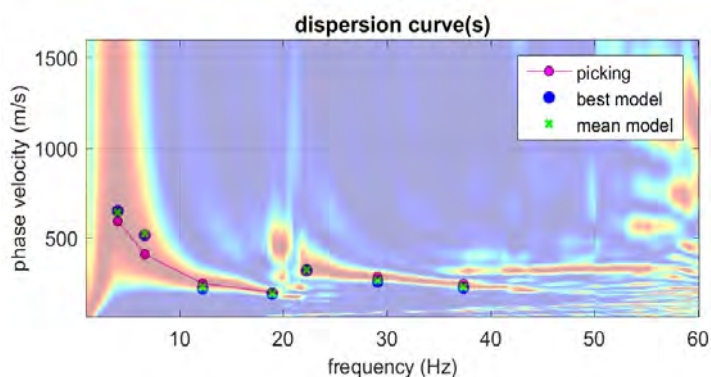


Figura 7-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)

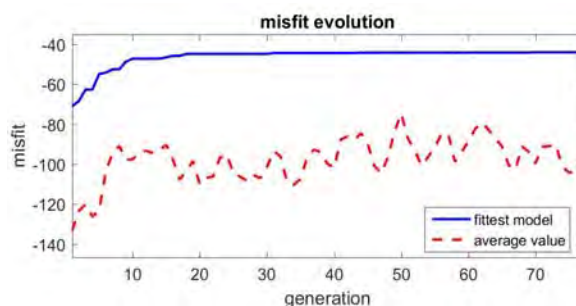


Figura 8-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 2.2.3 MASW02

Considerando le n. 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare quella che mostrava un rapporto segnale/rumore migliore, 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 9) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (Figura 10).

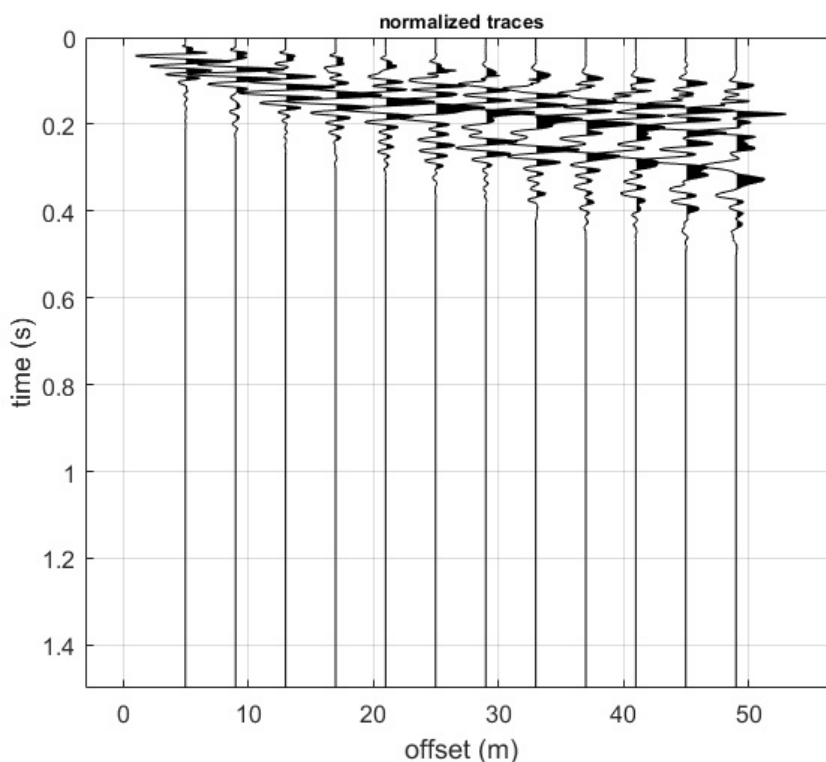
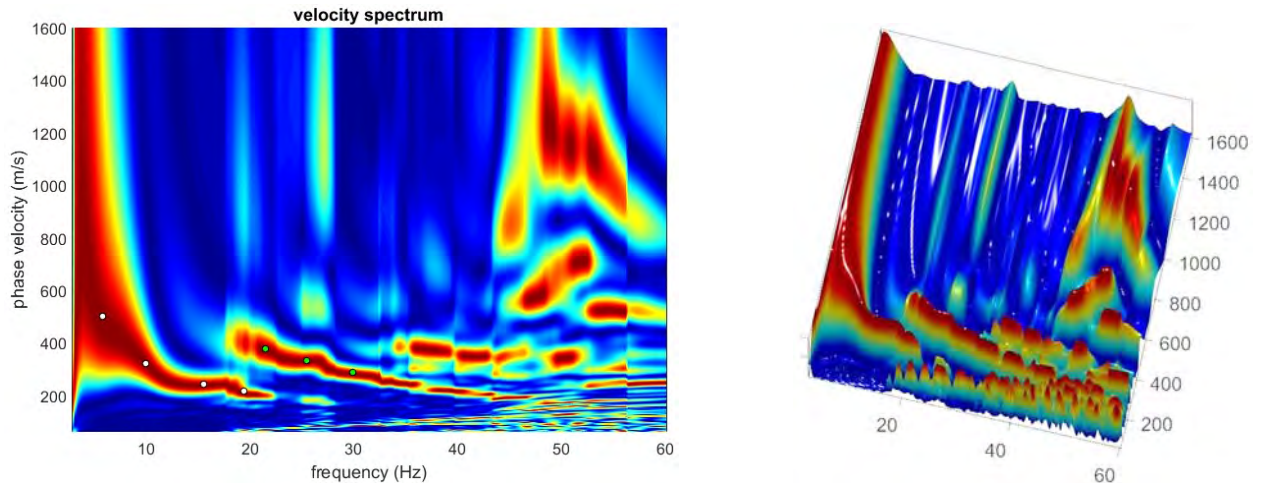


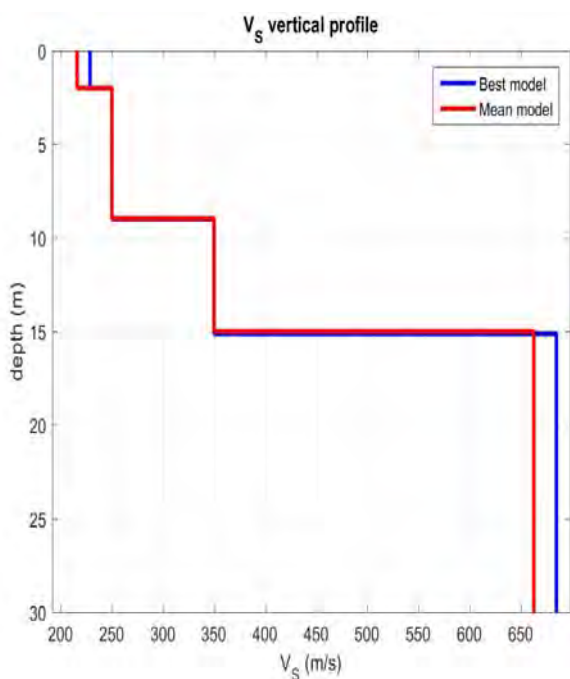
Figura 9-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità



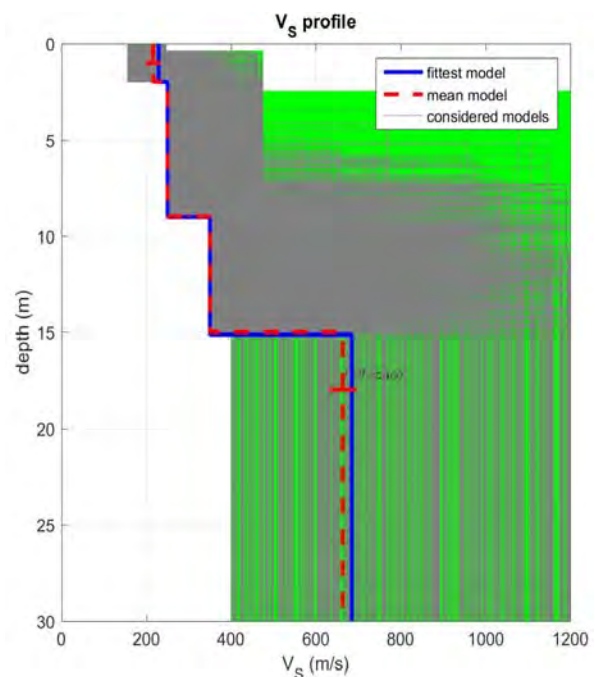


**Figura 10**-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

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 22 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  $V_{s, equ} = 395$  m/sec (best model) calcolato a partire dal piano campagna



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

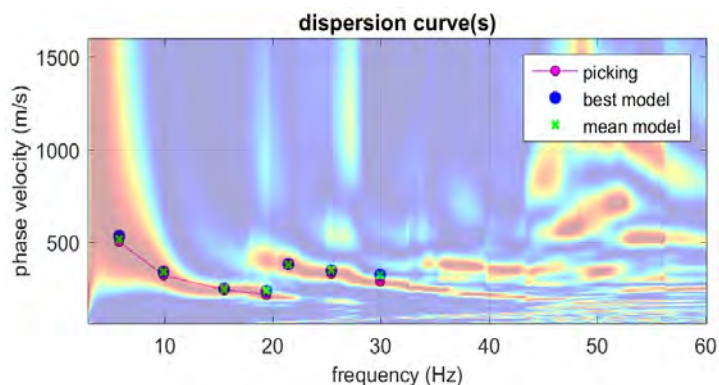


Figura 13-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)

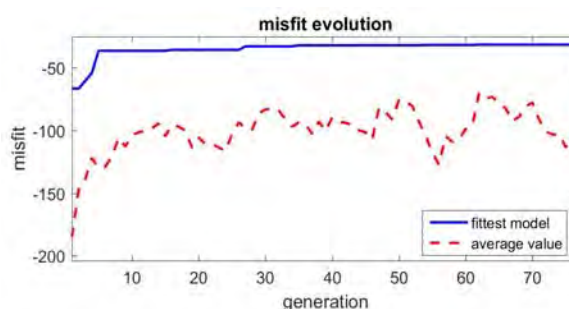


Figura 14-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 2.2.4 MASW03

Considerando le n. 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare quella che mostrava un rapporto segnale/rumore migliore, 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 15) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (Figura 16).

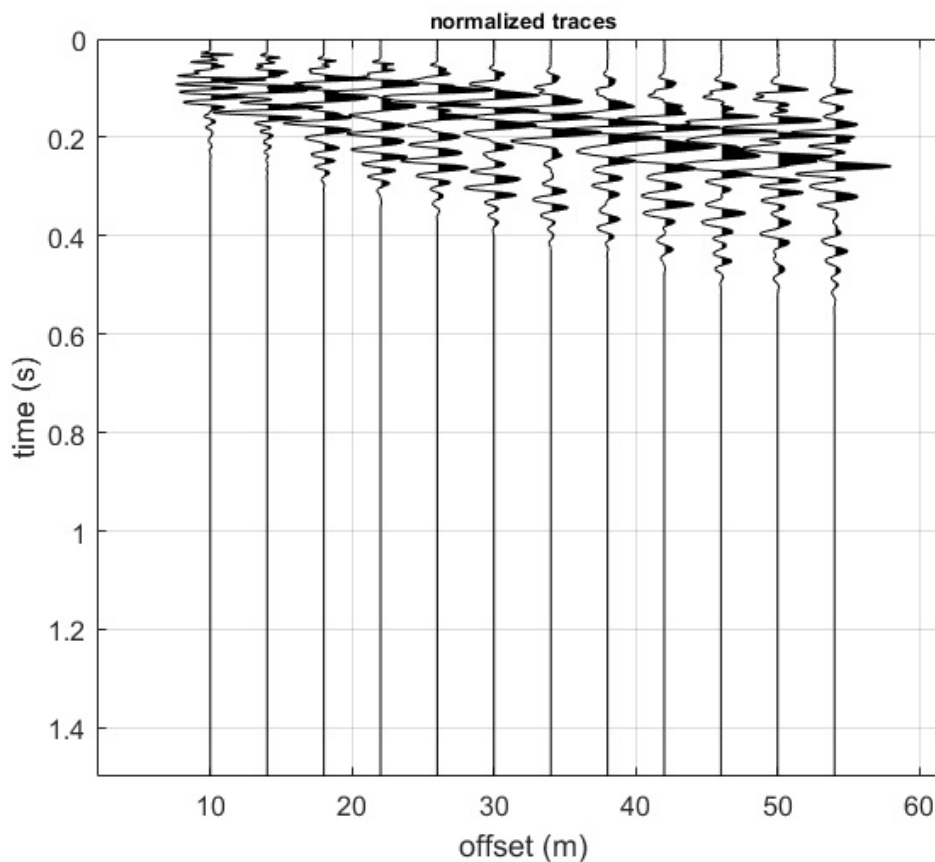


Figura 15-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

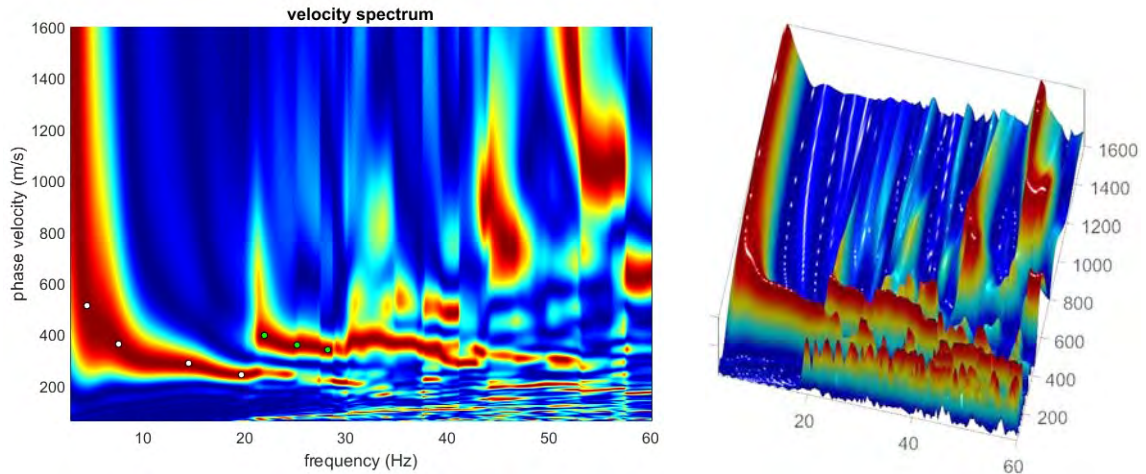


Figura 16-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

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 22 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.

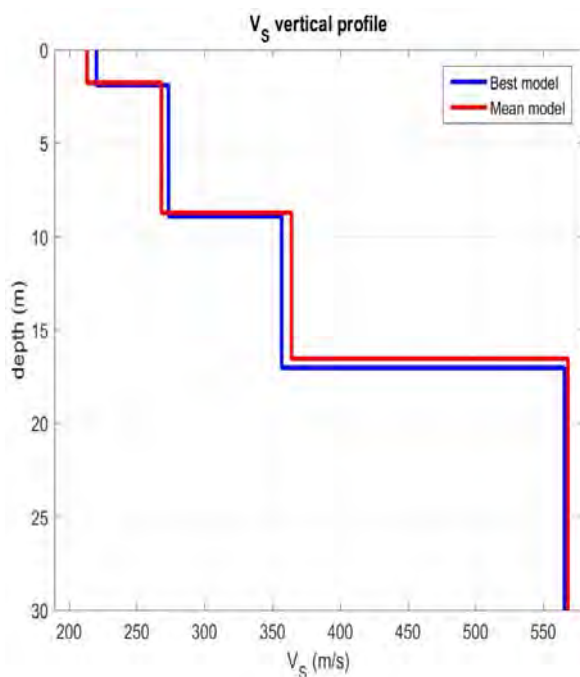


Figura 17-Profilo  $V_{s, equ} = 375$  m/sec (best model) calcolato a partire dal piano campagna

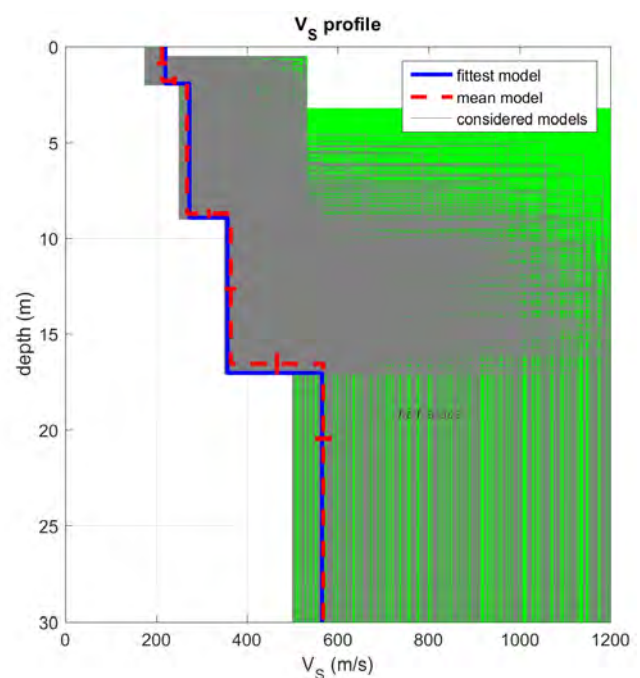


Figura 18-Modelli testati durante il processo di inversione

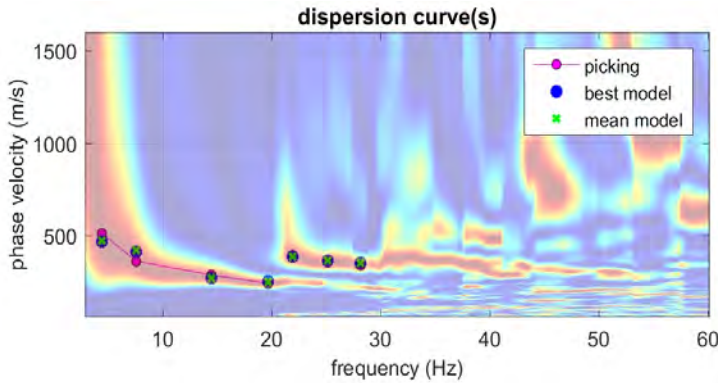


Figura 19-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)

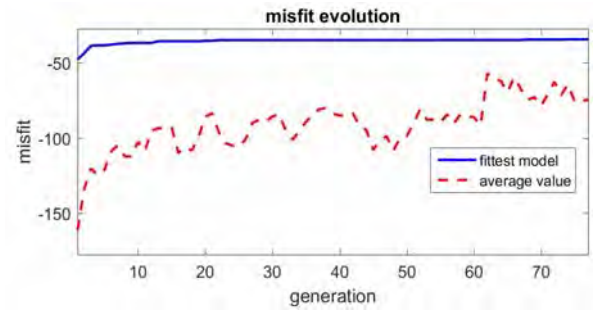


Figura 20-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 2.2.5 MASW04

Considerando le n. 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare quella che mostrava un rapporto segnale/rumore migliore, 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 21) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (Figura 22).

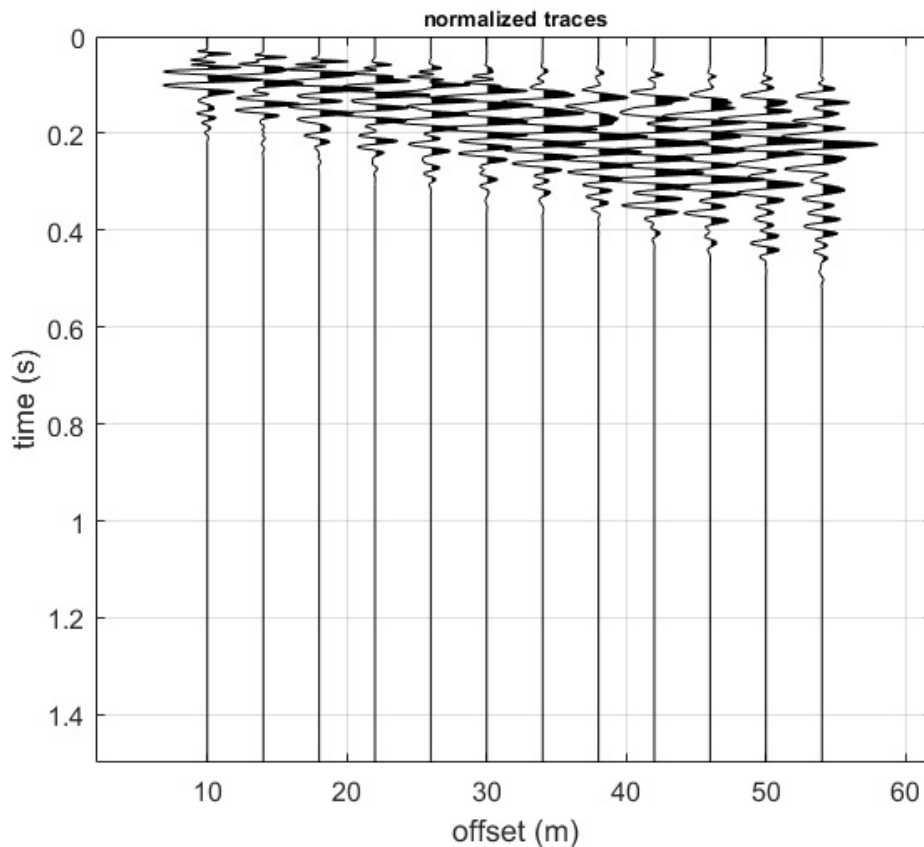


Figura 21-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

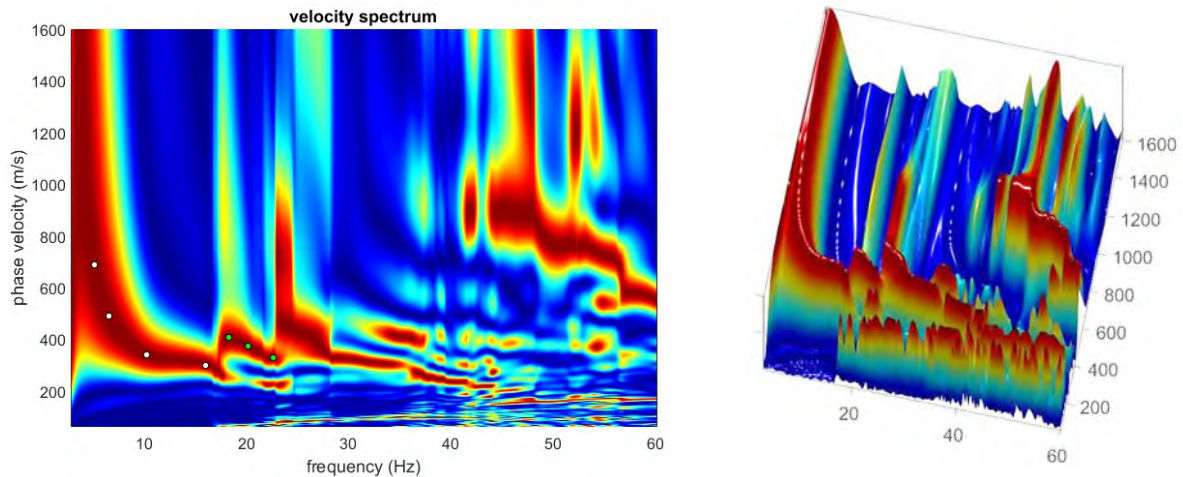


Figura 22-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

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 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.

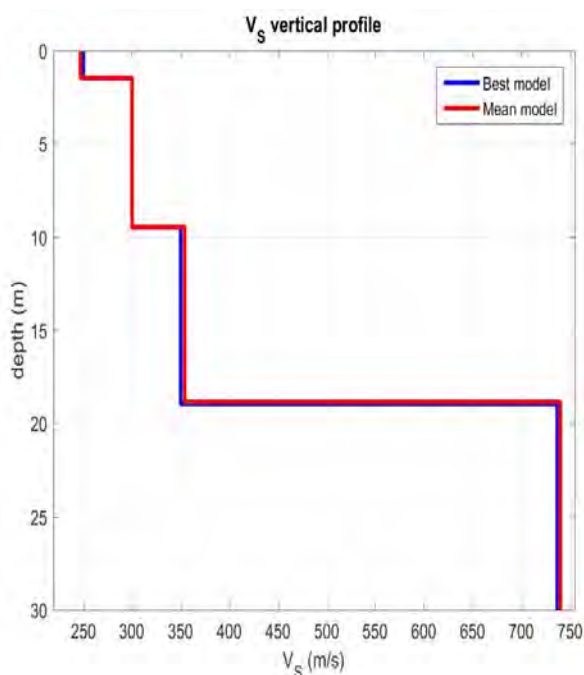


Figura 23-Profilo  $V_{s, equ} = 402$  m/sec (best model) calcolato a partire dal piano campagna

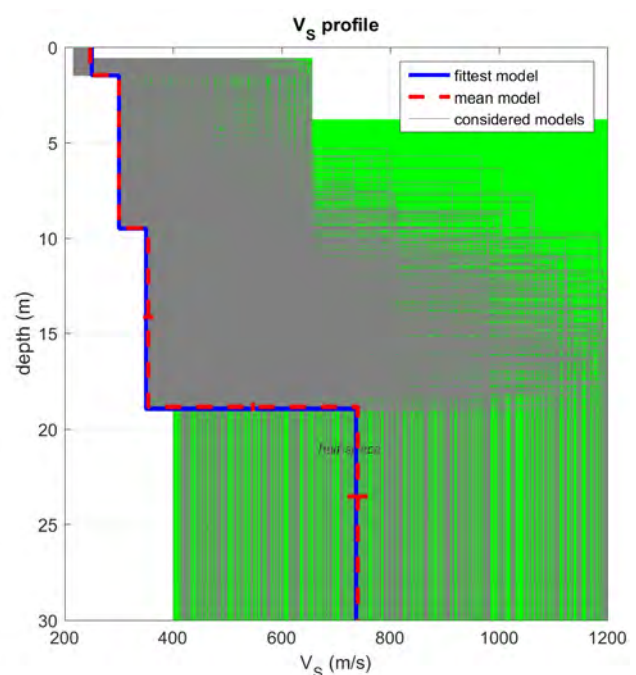


Figura 24-Modelli testati durante il processo di inversione

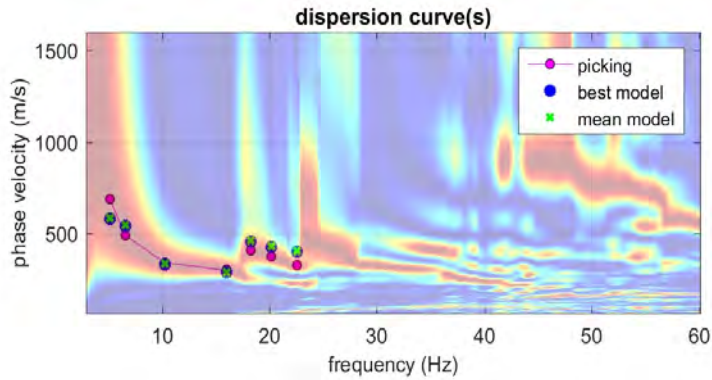


Figura 25-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)

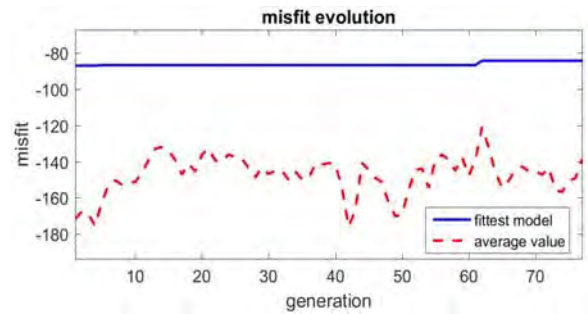


Figura 26-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 2.2.6 MASW05

Considerando le n. 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare quella che mostrava un rapporto segnale/rumore migliore, 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).

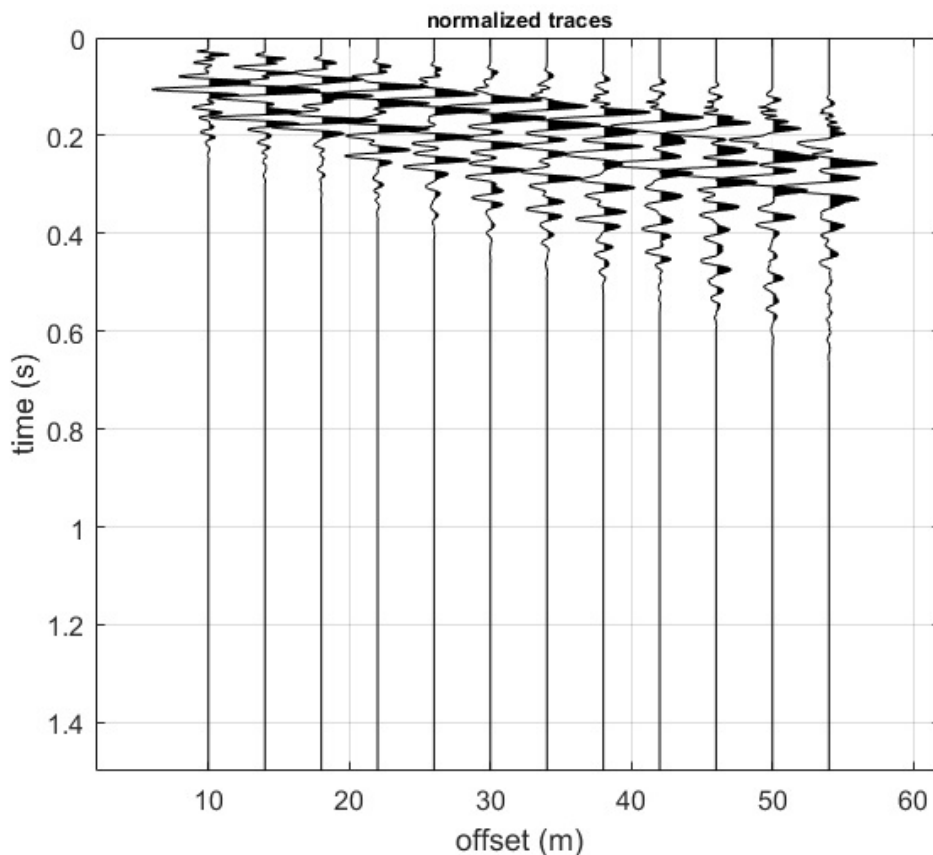
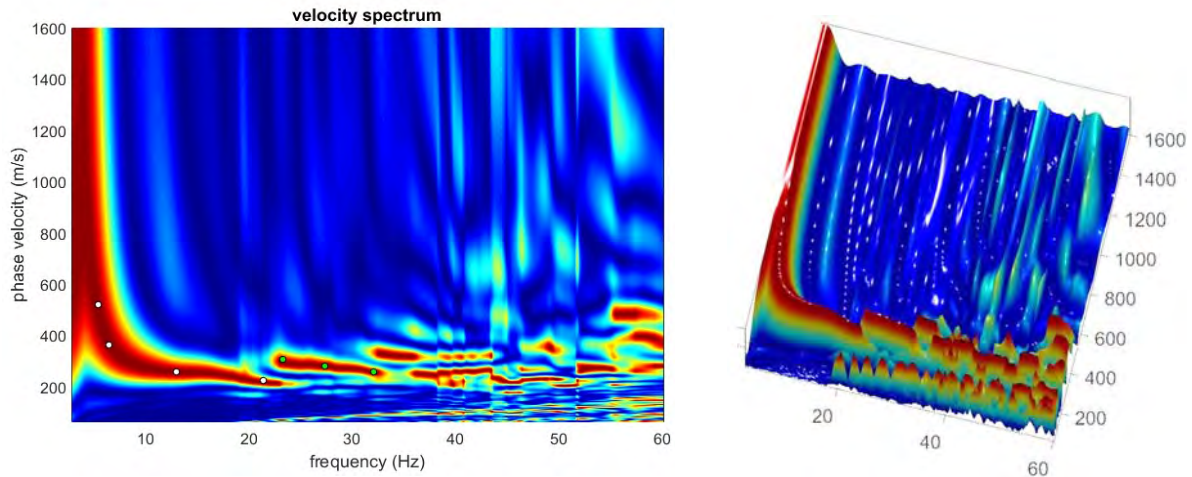
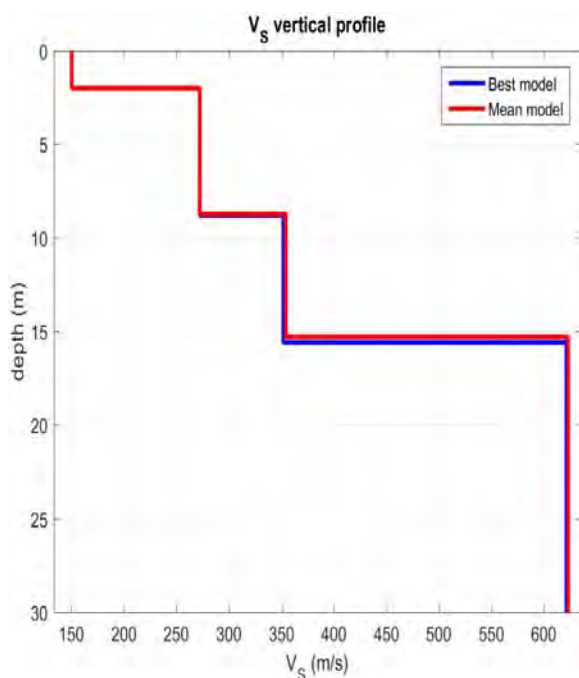


Figura 27-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

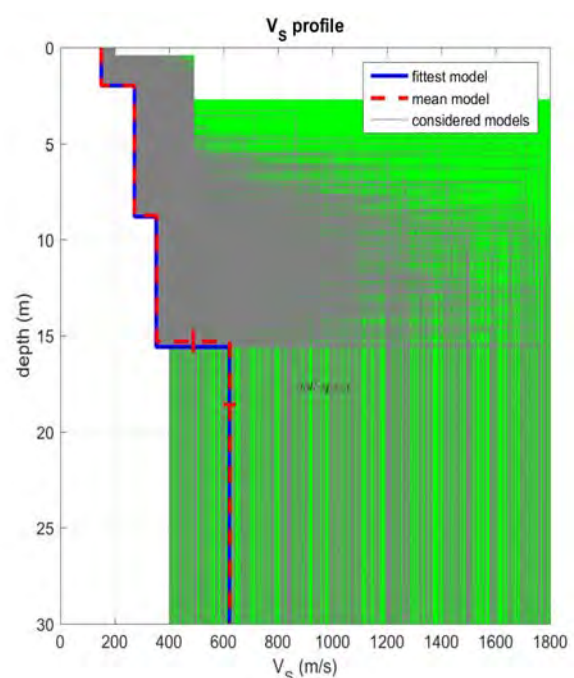


**Figura 28**-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

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 22 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  $V_{s, equ} = 371$  m/sec (best model) calcolato a partire dal piano campagna



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

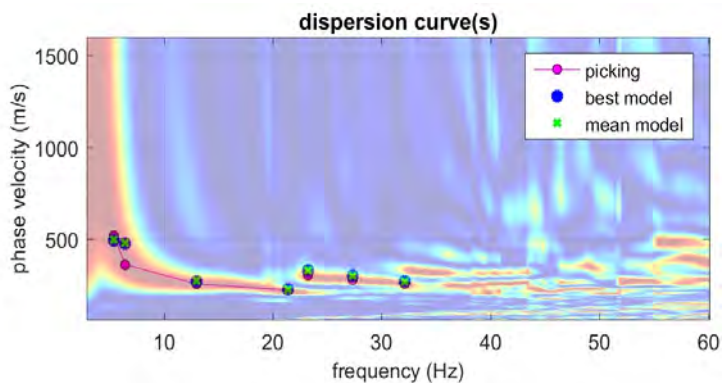


Figura 31-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)

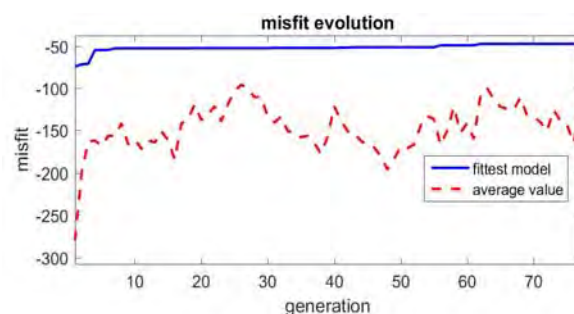


Figura 32-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 2.2.7 MASW06

Considerando le n. 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare quella che mostrava un rapporto segnale/rumore migliore, 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).

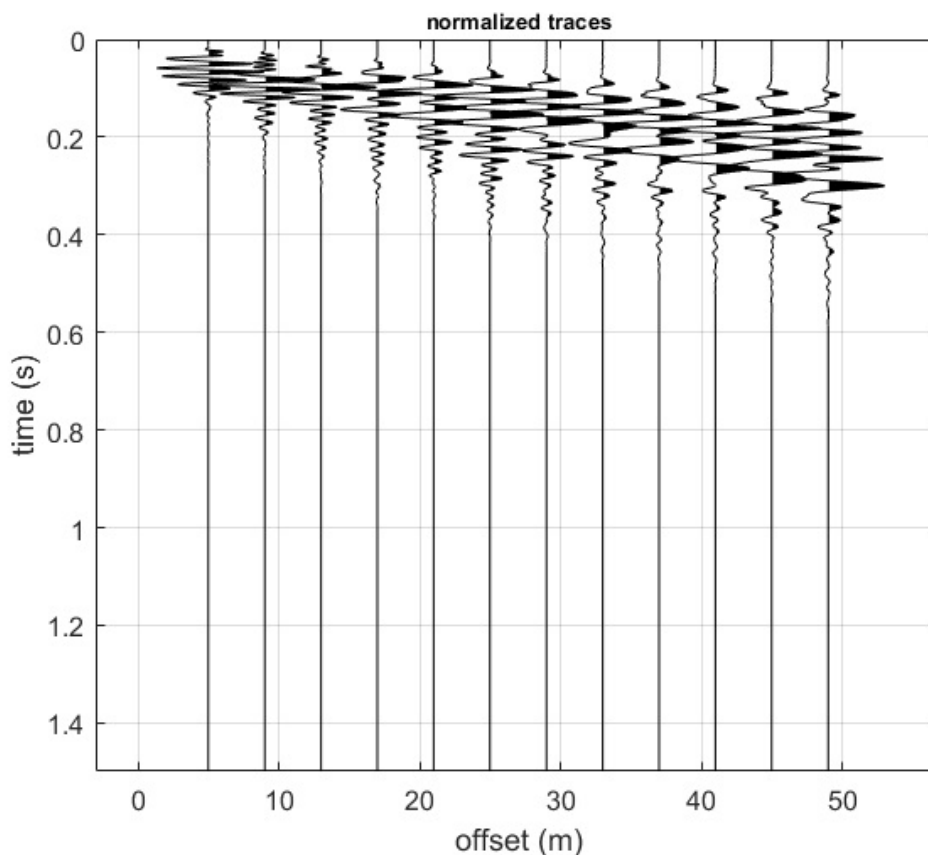
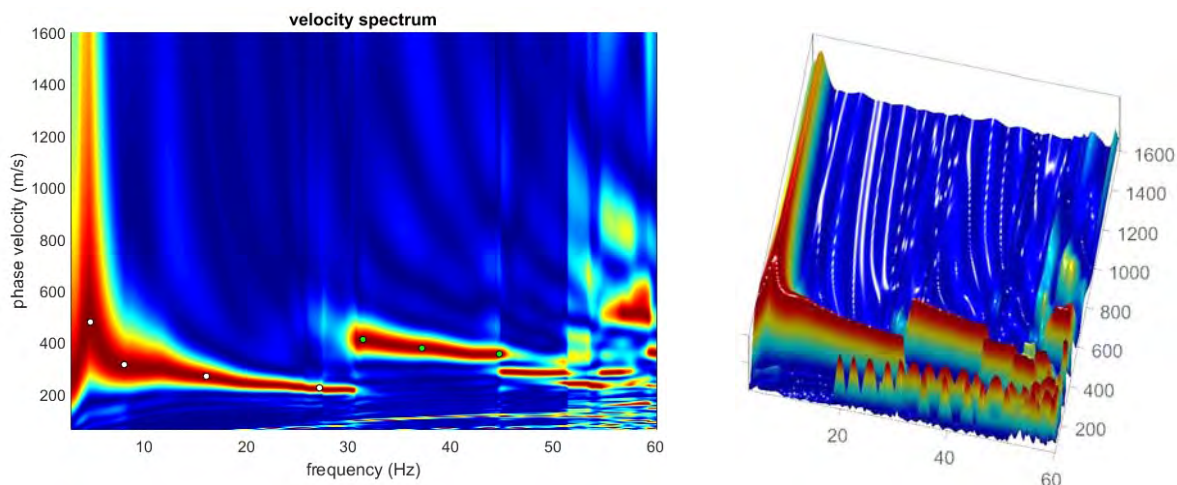


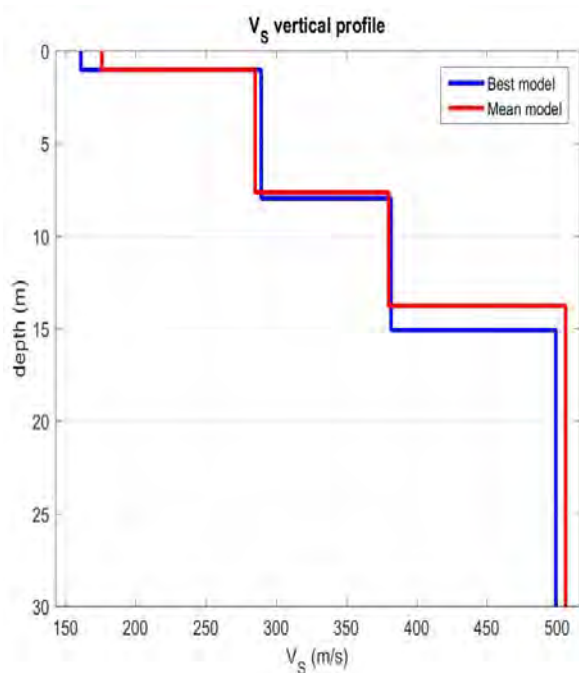
Figura 33-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità



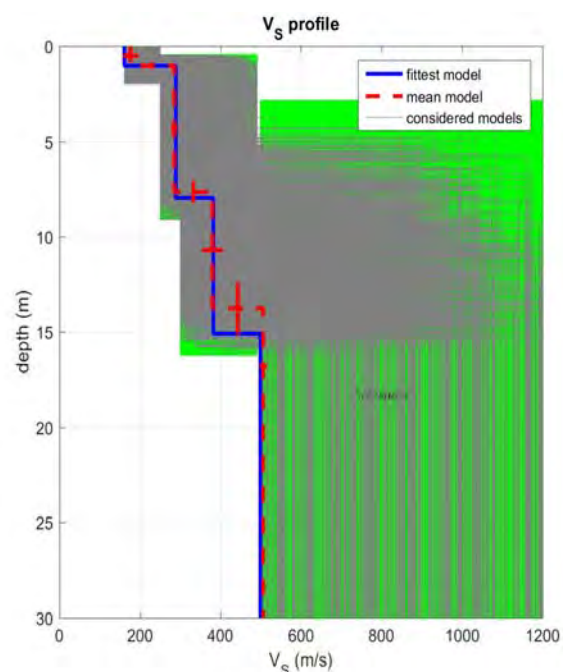


**Figura 34**-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

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 22 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  $V_{s, equ} = 380$  m/sec (best model) calcolato a partire dal piano campagna



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

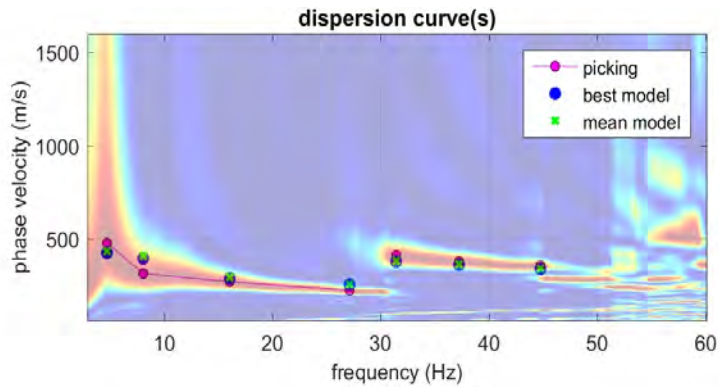


Figura 37-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)

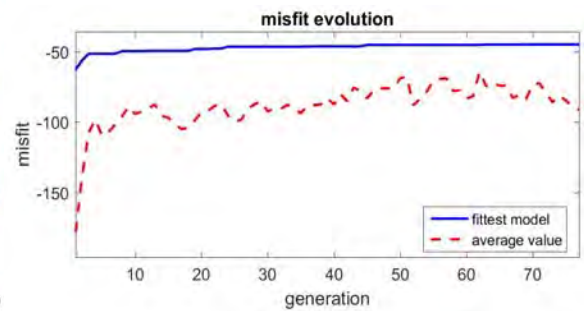


Figura 38-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 2.2.8 MASW07

Considerando le n. 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare quella che mostrava un rapporto segnale/rumore migliore, 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 39) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (Figura 40).

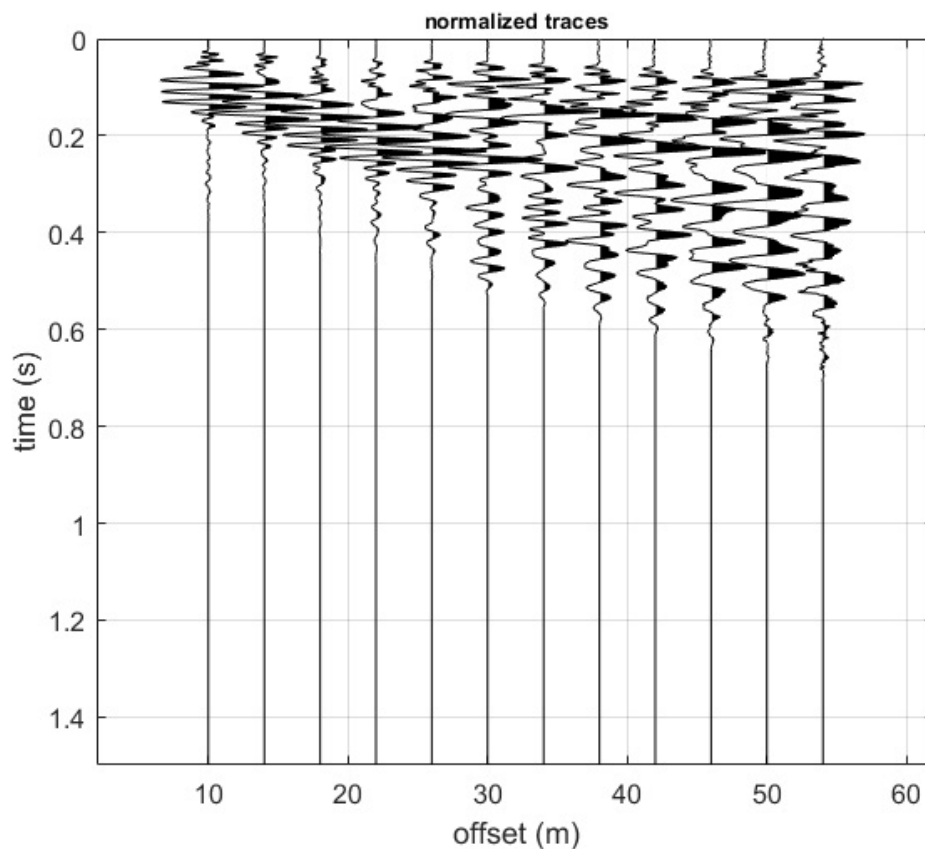
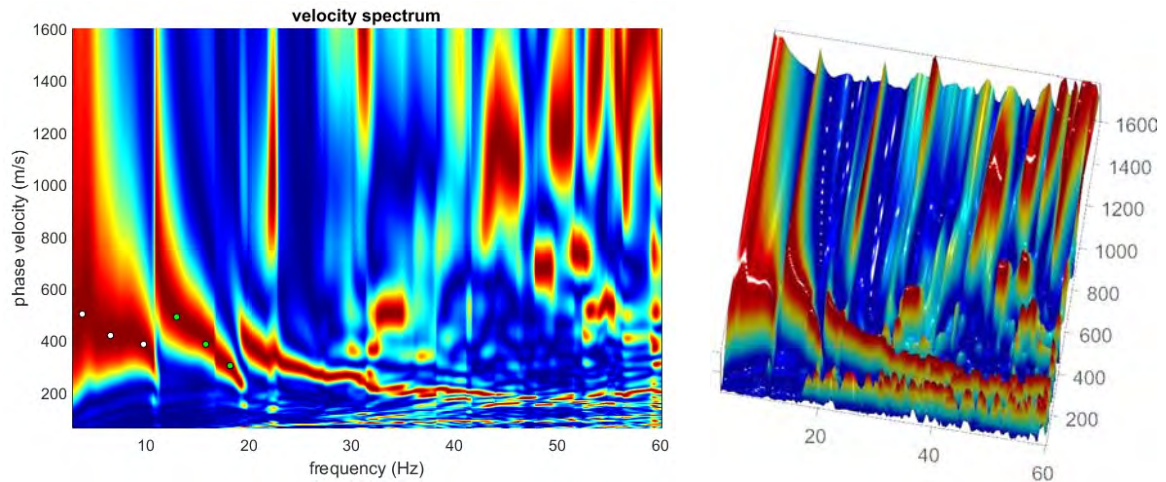
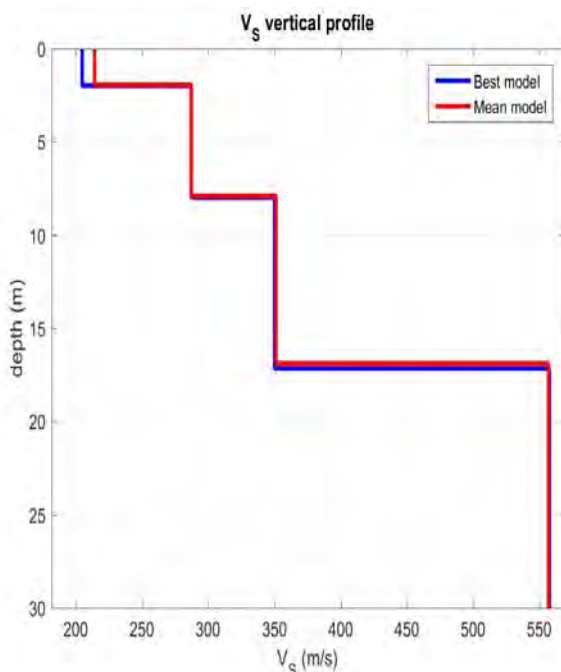


Figura 39-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

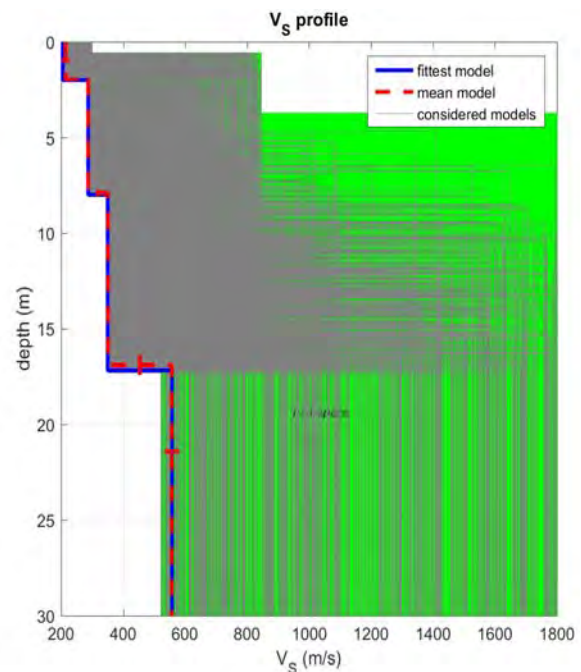


**Figura 40**-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

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 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  $V_{s, equ} = 376$  m/sec (best model) calcolato a partire dal piano campagna



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

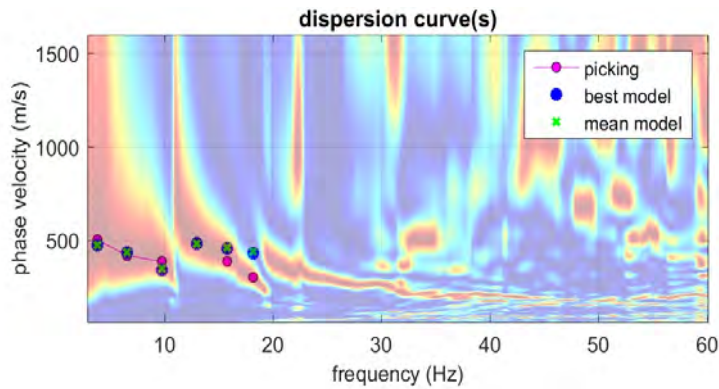


Figura 43-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)

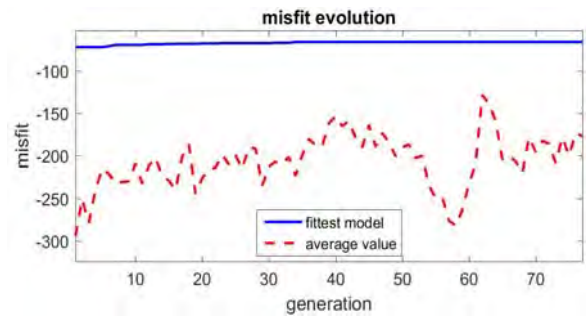


Figura 44-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 2.2.9 MASW08

Considerando le n. 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare quella che mostrava un rapporto segnale/rumore migliore, 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 45) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (Figura 46).

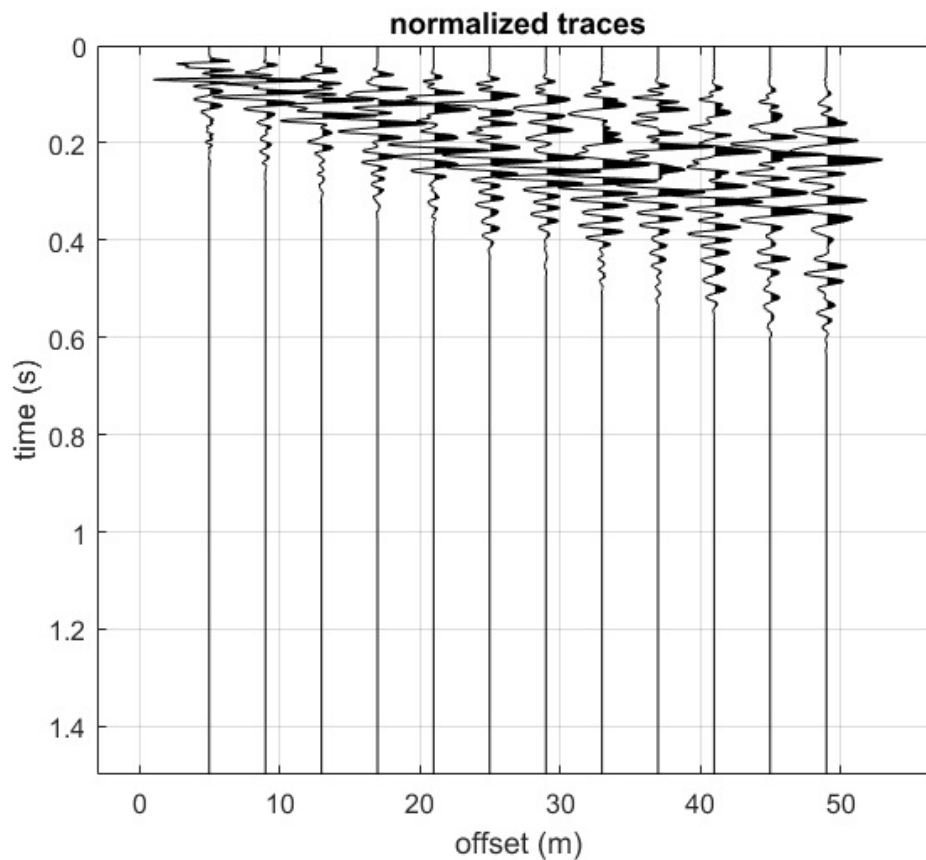
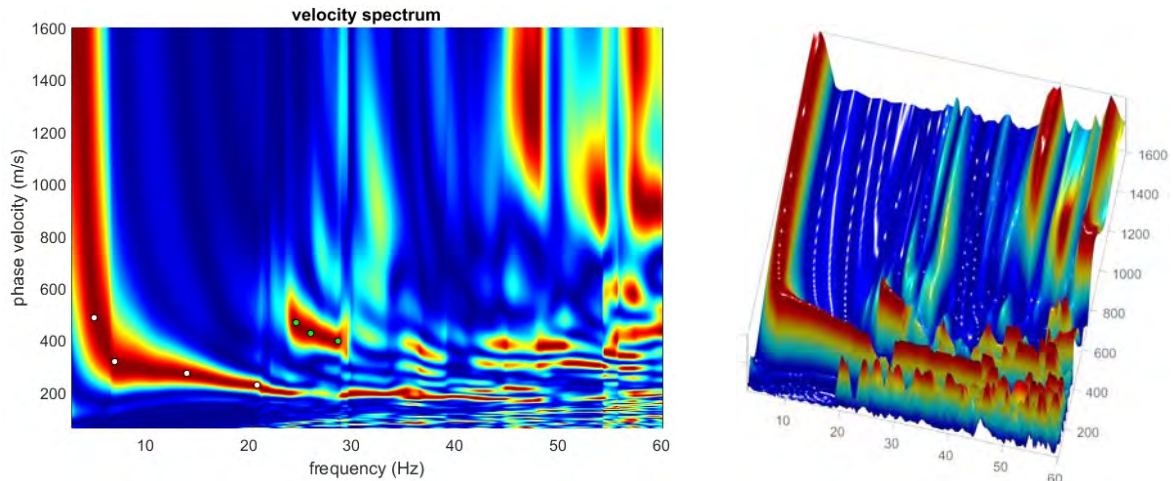
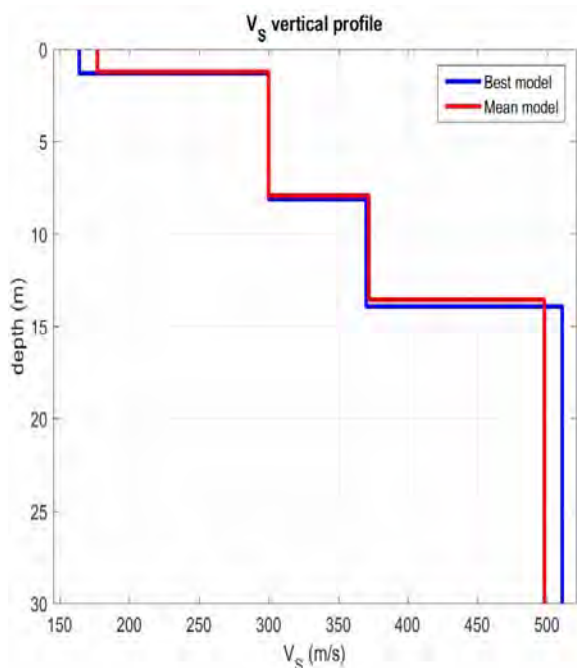


Figura 45-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

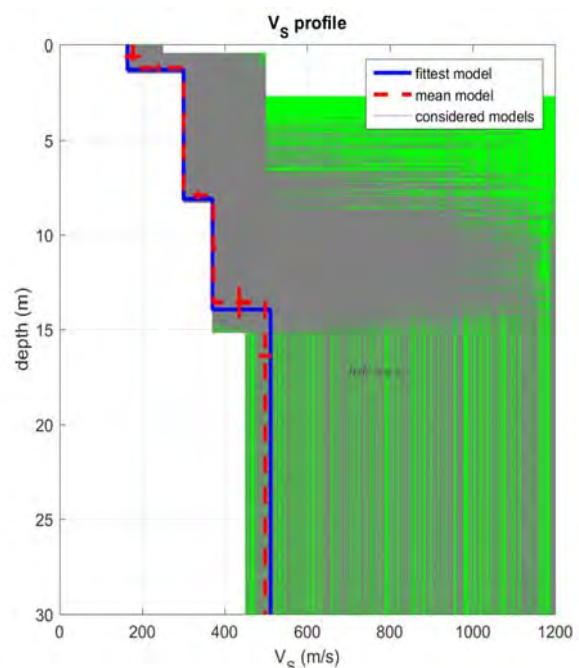


**Figura 46**-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

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 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  $V_{s, equ} = 385$  m/sec (best model) calcolato a partire dal piano campagna



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

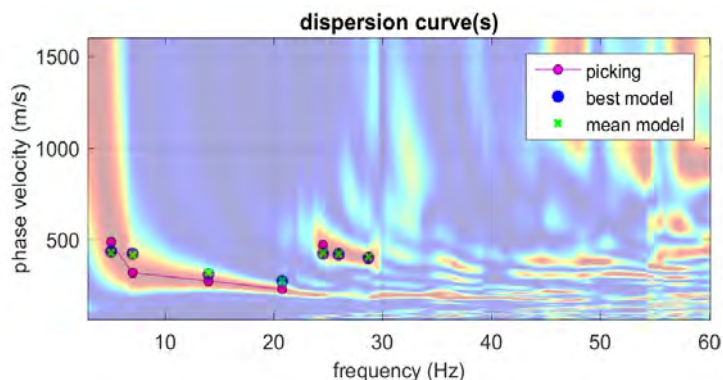


Figura 49-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)

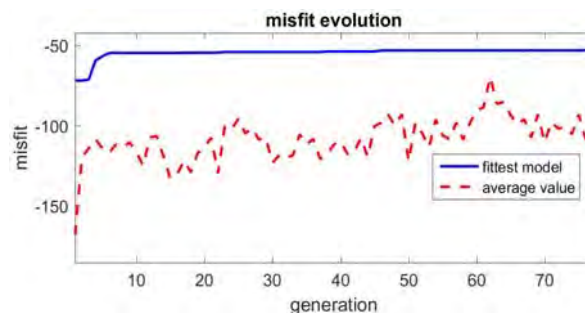


Figura 50-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 2.2.10 MASW09

Considerando le n. 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare quella che mostrava un rapporto segnale/rumore migliore, 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 51) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (Figura 52).

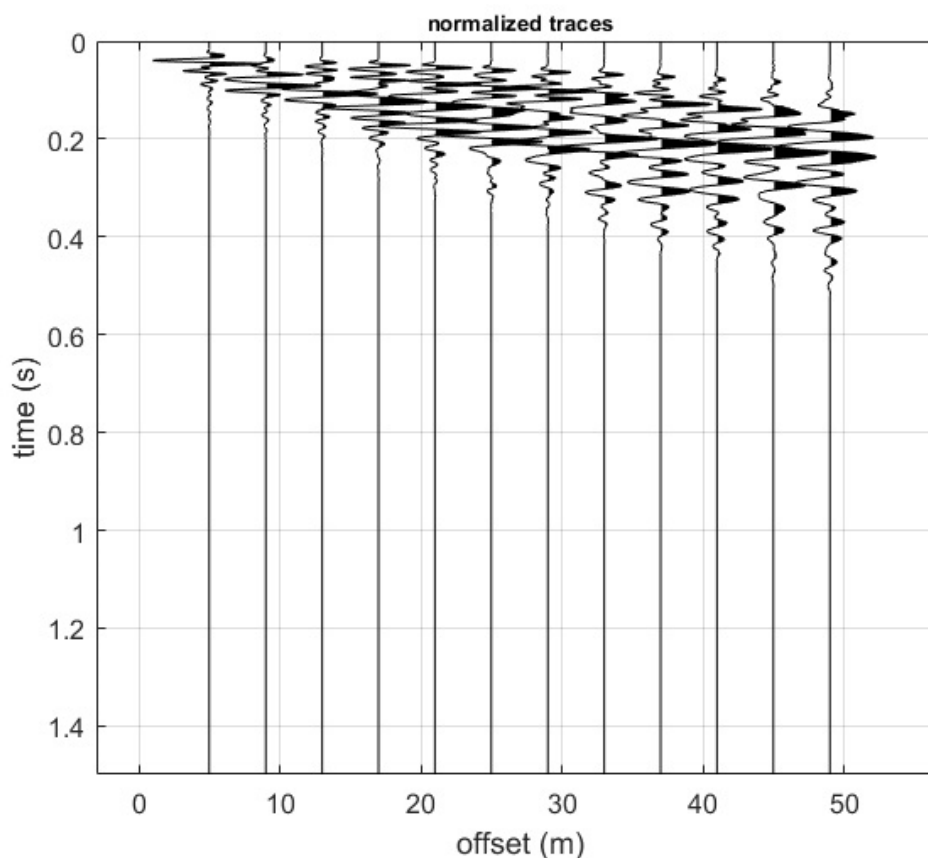
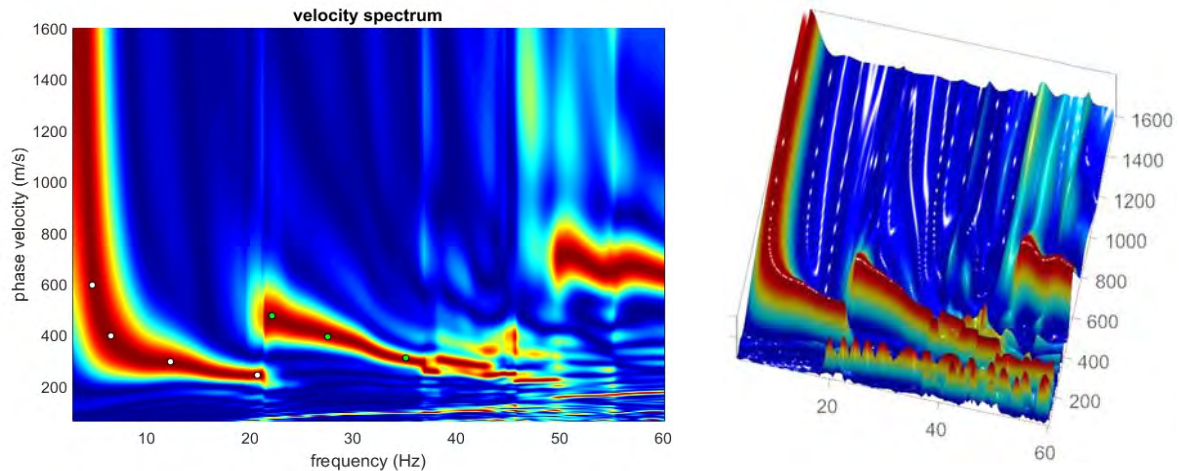
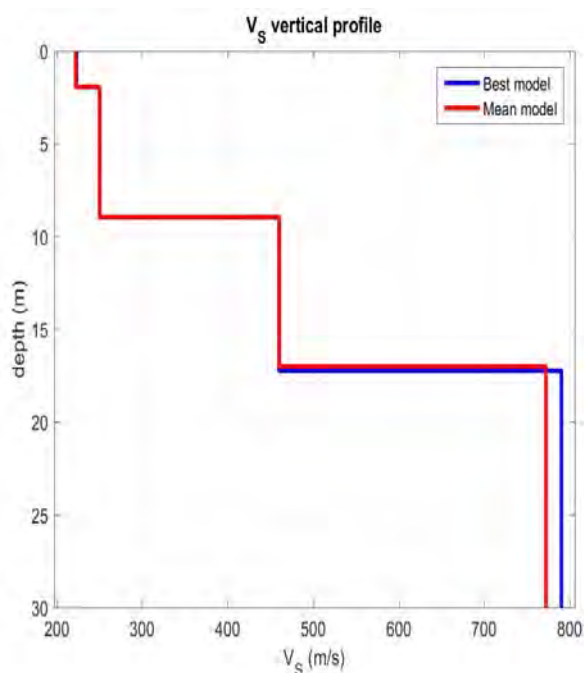


Figura 51-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

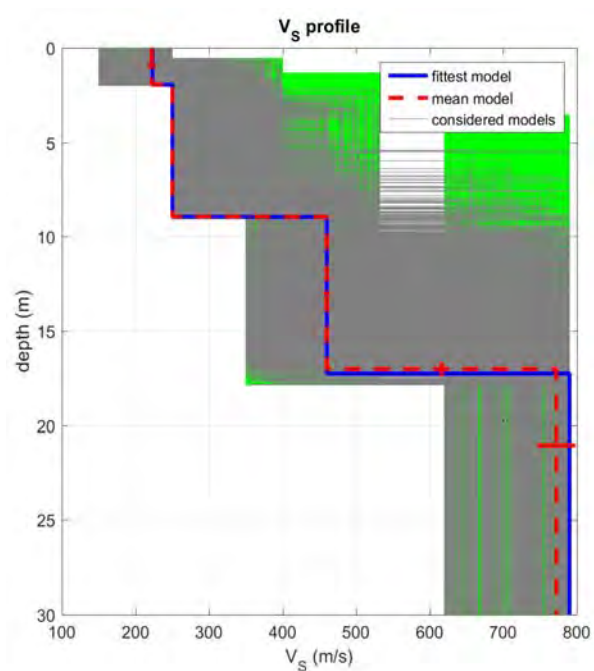


**Figura 52**-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

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 53**). 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 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 55**, rispetto a tutti i modelli testati durante il processo di inversione, **Figura 54**. 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 56**.



**Figura 53**-Profilo  $V_{s, equ} = 423$  m/sec (best model) calcolato a partire dal piano campagna



**Figura 54**-Modelli testati durante il processo di inversione

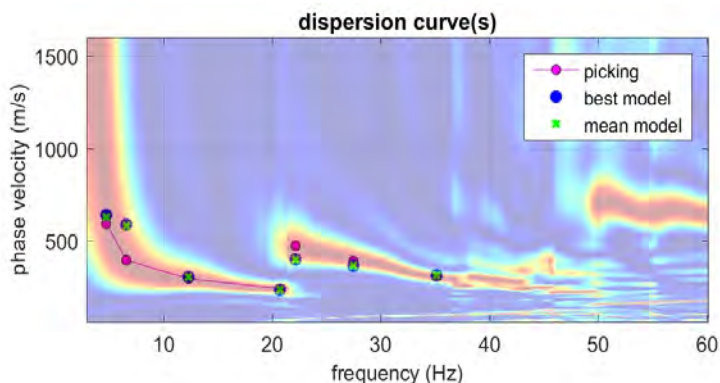


Figura 55-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)

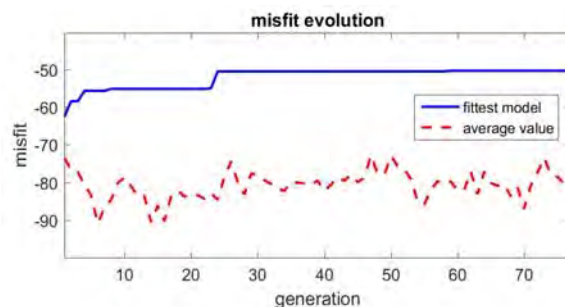


Figura 56-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 2.2.11 MASW10

Considerando le n. 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare quella che mostrava un rapporto segnale/rumore migliore, 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 57) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (Figura 58).

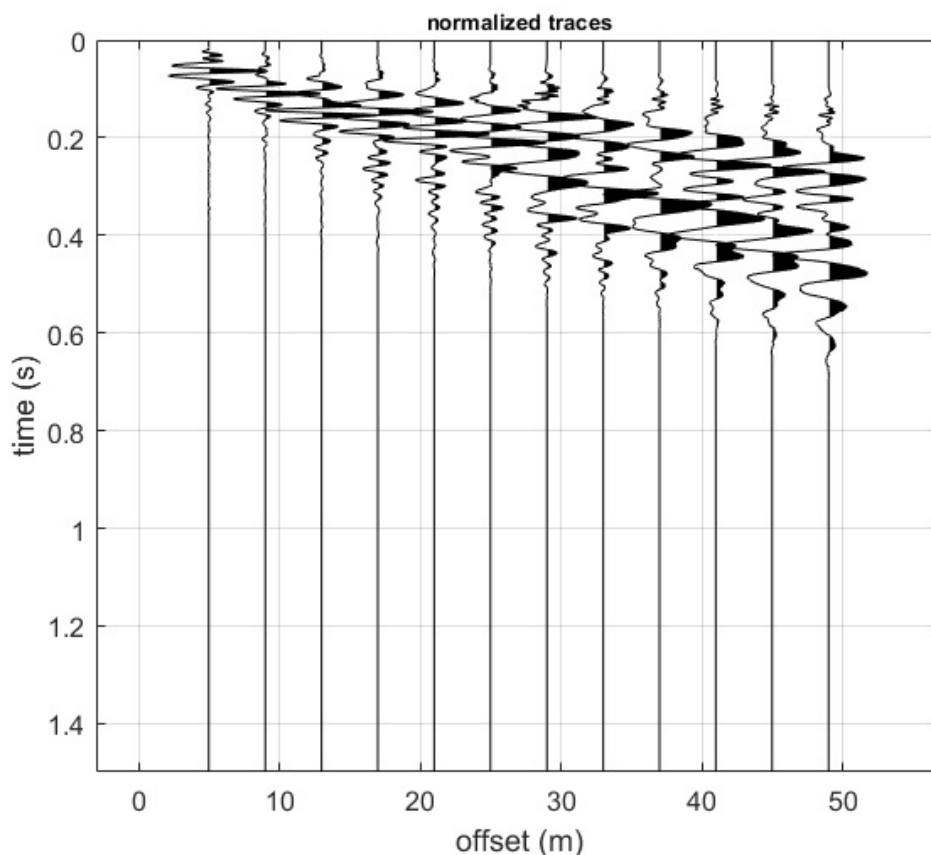
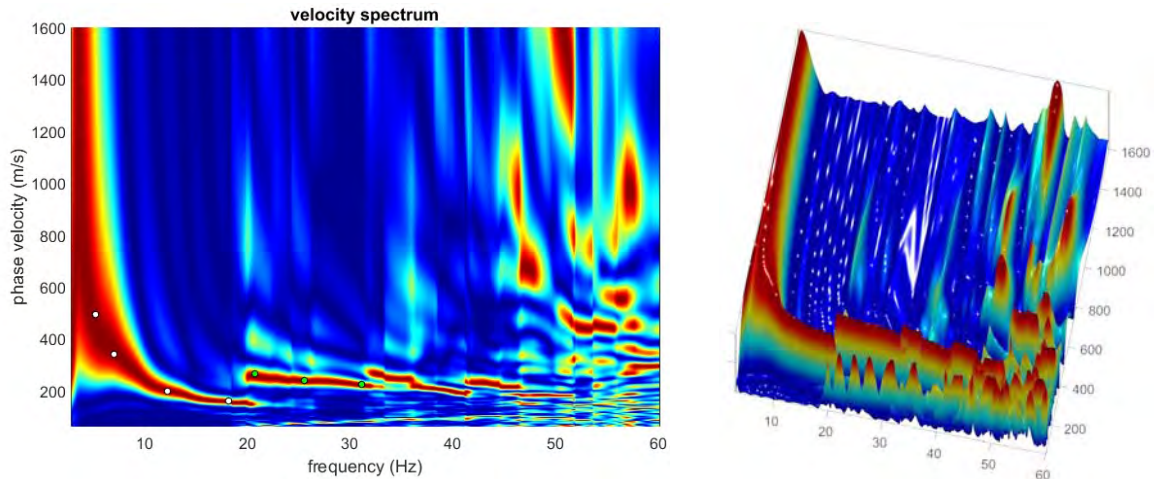


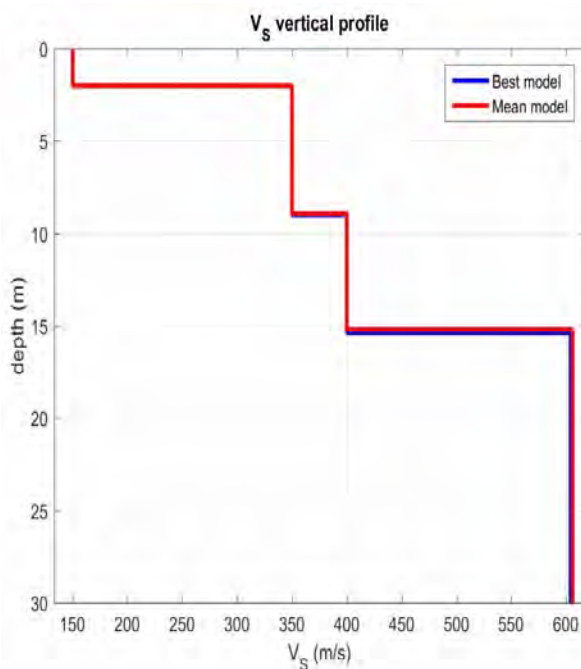
Figura 57-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità



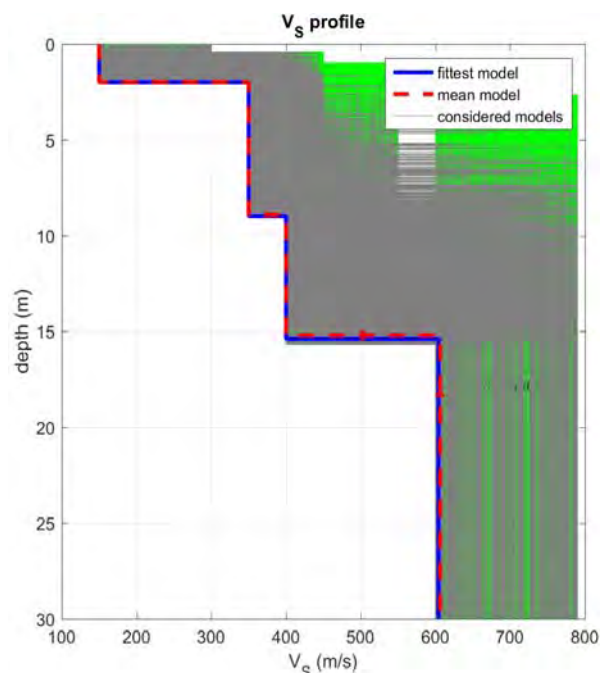


**Figura 58**-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

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 59**). 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 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 61**, rispetto a tutti i modelli testati durante il processo di inversione, **Figura 60**. 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 62**.



**Figura 59**-Profilo  $V_{s, equ} = 408$  m/sec (best model) calcolato a partire dal piano campagna



**Figura 60**-Modelli testati durante il processo di inversione

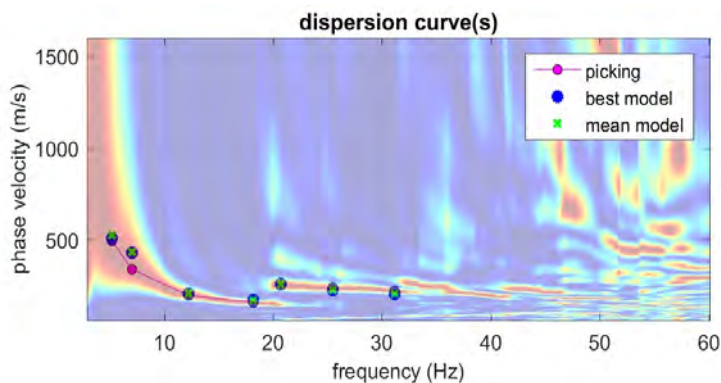


Figura 61-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative “best model” (pallini blu) e “mean model” (croci verdi)

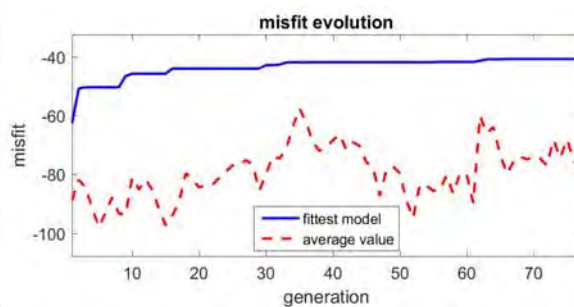


Figura 62-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 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  $V_s$  medie 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 sismico ST01, il valore medio di  $V_{s, equ}$  calcolato pari a **394** 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 fine mediamente consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec.**

Per lo stendimento sismico ST02, il valore medio di  $V_{s, equ}$  calcolato pari a **395** 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 fine mediamente consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec.**

Per lo stendimento sismico ST03, il valore medio di  $V_{s, equ}$  calcolato pari a **375** 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 fine mediamente consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec.**

Per lo stendimento sismico ST04, il valore medio di  $V_{s, equ}$  calcolato pari a **402** 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 fine mediamente consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec.**

Per lo stendimento sismico ST05, il valore medio di  $V_{s, equ}$  calcolato pari a **371** 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 fine mediamente consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec.**

Per lo stendimento sismico ST06, il valore medio di  $V_{s, equ}$  calcolato pari a **380** 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 fine mediamente consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec.

Per lo stendimento sismico ST07, il valore medio di  $V_{s, equ}$  calcolato pari a **376** 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 fine mediamente consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec.**

Per lo stendimento sismico ST08, il valore medio di  $V_{s, equ}$  calcolato pari a **385** 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 fine mediamente consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec.**

Per lo stendimento sismico ST09, il valore medio di  $V_{s, equ}$  calcolato pari a **423** 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 fine mediamente consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec.**

Per lo stendimento sismico ST10, il valore medio di  $V_{s, equ}$  calcolato pari a **408** 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 fine mediamente consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec.**

## 2.4 Caratterizzazione Elasto-Meccanica dei Terreni di Fondazione

In base alle indicazioni ricavate delle prove geofisiche nonché da ulteriori dati in possesso dello scrivente, si può affermare che il sottosuolo in esame, per gli spessori di interesse geotecnico, è verticalmente formato da un superficiale strato di terreno vegetale di natura sabbioso-limoso, variabile da 1,00 a 2,00 mt circa di spessore, al di sotto della quale vi è un deposito sabbioso debolmente limoso, mediamente addensato, sino ad una profondità variabile tra circa -8,00 mt e -10 mt da p.c., posto su una potente successione sabbioso-limosa ben addensata e mediamente cementata. Nel dettaglio, si riporta 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 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. I moduli elastici sismici ottenuti, possono essere correlati ai normali moduli statici attraverso un fattore di riduzione (*Rzhevsky et alii*, 1971)





## 2. Indagini Geognostiche in Situ

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:  $E_{din} = 8,3 * E_{stat} + 0,97$ .

- **Stendimento ST01**

Sismostrato	$\bar{V}_p$	$\bar{V}_s$	$\gamma$	$\mu$	$E_\gamma$	$G_0$	$M_0$	$\lambda$
Profondità media (mt da p.c.)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm <sup>3</sup> )		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷1,40)	410	183	1,60	0,37	147	54	198	162
B (1,40÷10,10)	590	201	1,71	0,43	198	69	503	457
C (10,10÷15,00≈)	1086	600	1,92	0,28	1770	691	1343	882

Sismostrato	R	$E_d$
Profondità media (mt da p.c.)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷1,40)	292	303
B (1,40÷10,10)	343	628
C (10,10÷15,00≈)	1152	2123

- **Stendimento ST02**

Sismostrato	$\bar{V}_p$	$\bar{V}_s$	$\gamma$	$\mu$	$E_\gamma$	$G_0$	$M_0$	$\lambda$
Profondità media (mt da p.c.)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm <sup>3</sup> )		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷1,60)	374	229	1,57	0,21	198	82	110	55
B (1,60÷10,70)	630	250	1,73	0,40	304	108	542	470
C (10,70÷15,00≈)	1116	350	1,93	0,44	683	236	2088	1931

Sismostrato	R	$E_d$
Profondità media (mt da p.c.)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷1,60)	359	252
B (1,60÷10,70)	432	715
C (10,70÷15,00≈)	675	2243

- **Stendimento ST03**

Sismostrato	$\bar{V}_p$	$\bar{V}_s$	$\gamma$	$\mu$	$E_\gamma$	$G_0$	$M_0$	$\lambda$
Profondità media (mt da p.c.)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm <sup>3</sup> )		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷1,30)	378	220	1,57	0,24	189	76	123	72
B (1,30÷9,00)	617	273	1,72	0,37	353	128	484	398



## 2. Indagini Geognostiche in Situ

C (9,00÷15,00≈)	1012	357	1,89	0,42	688	241	1614	1454
-----------------	------	-----	------	------	-----	-----	------	------

Sismostrato Profondità media (mt da p.c.)	R (tonn/m <sup>2</sup> s)	E <sub>d</sub> (MPa)
A (0,00÷1,30)	345	258
B (1,30÷9,00)	469	687
C (9,00÷15,00≈)	674	1845

• **Stendimento ST04**

Sismostrato Profondità media (mt da p.c.)	$\bar{V}_p$ (m/sec)	$\bar{V}_s$ (m/sec)	$\gamma$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\mu$	E <sub>y</sub> (MPa)	G <sub>0</sub> (MPa)	M <sub>0</sub> (MPa)	$\lambda$ (MPa)
A (0,00÷2,10)	402	250	1,59	0,18	235	99	124	58
B (2,10÷8,20)	699	300	1,77	0,38	442	159	652	546
C (8,20÷15,00≈)	1090	350	1,92	0,44	679	235	1968	1811

Sismostrato Profondità media (mt da p.c.)	R (tonn/m <sup>2</sup> s)	E <sub>d</sub> (MPa)
A (0,00÷2,10)	397	291
B (2,10÷8,20)	531	879
C (8,20÷15,00≈)	672	2140

• **Stendimento ST05**

Sismostrato Profondità media (mt da p.c.)	$\bar{V}_p$ (m/sec)	$\bar{V}_s$ (m/sec)	$\gamma$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\mu$	E <sub>y</sub> (MPa)	G <sub>0</sub> (MPa)	M <sub>0</sub> (MPa)	$\lambda$ (MPa)
A (0,00÷1,85)	329	150	1,53	0,36	94	34	120	97
B (1,85÷8,75)	652	272	1,74	0,39	359	129	568	482
C (8,75÷15,00≈)	1023	352	1,90	0,43	675	235	1675	1518

Sismostrato Profondità media (mt da p.c.)	R (tonn/m <sup>2</sup> s)	E <sub>d</sub> (MPa)
A (0,00÷1,85)	229	195
B (1,85÷8,75)	473	765
C (8,75÷15,00≈)	668	1885



- **Stendimento ST06**

Sismostrato	$\bar{V}_p$	$\bar{V}_s$	$\gamma$	$\mu$	$E_y$	$G_0$	$M_0$	$\lambda$
Profondità media (mt da p.c.)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm <sup>3</sup> )		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷2,00)	394	161	1,59	0,39	115	41	192	164
B (2,00÷9,85)	542	289	1,69	0,30	367	141	308	214
C (9,85÷15,00≈)	877	382	1,85	0,38	747	270	1063	883

Sismostrato	R	$E_d$
Profondità media (mt da p.c.)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷2,00)	255	280
B (2,00÷9,85)	488	530
C (9,85÷15,00≈)	706	1385

- **Stendimento ST07**

Sismostrato	$\bar{V}_p$	$\bar{V}_s$	$\gamma$	$\mu$	$E_y$	$G_0$	$M_0$	$\lambda$
Profondità media (mt da p.c.)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm <sup>3</sup> )		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷2,20)	398	205	1,59	0,32	176	67	163	118
B (2,20÷7,15)	818	287	1,82	0,42	429	150	1018	918
C (7,15÷15,00≈)	1176	350	1,95	0,45	693	239	2378	2219

Sismostrato	R	$E_d$
Profondità media (mt da p.c.)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷2,20)	325	285
B (2,20÷7,15)	522	1206
C (7,15÷15,00≈)	682	2491

- **Stendimento ST08**

Sismostrato	$\bar{V}_p$	$\bar{V}_s$	$\gamma$	$\mu$	$E_y$	$G_0$	$M_0$	$\lambda$
Profondità media (mt da p.c.)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm <sup>3</sup> )		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷2,00)	403	164	1,59	0,40	120	43	201	173
B (2,00÷9,00)	577	300	1,71	0,32	405	154	364	262
C (9,00÷15,00≈)	1053	370	1,91	0,42	748	261	1769	1595



Sismostrato	R	E <sub>d</sub>
Profondità media (mt da p.c.)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷2,00)	260	292
B (2,00÷9,00)	513	599
C (9,00÷15,00≈)	706	1996

- **Stendimento ST09**

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 p.c.)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm <sup>3</sup> )		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷2,10)	352	223	1,55	0,18	180	77	89	38
B (2,10÷9,10)	690	250	1,76	0,42	313	110	691	618
C (9,10÷15,00≈)	1209	460	1,96	0,41	1174	415	2312	2035

Sismostrato	R	E <sub>d</sub>
Profondità media (mt da p.c.)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷2,10)	345	223
B (2,10÷9,10)	440	858
C (9,10÷15,00≈)	901	2634

- **Stendimento ST10**

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 p.c.)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm <sup>3</sup> )		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷1,90)	342	150	1,54	0,38	96	35	134	111
B (1,90÷7,95)	864	350	1,84	0,40	632	225	1073	923
C (7,95÷15,00≈)	1167	400	1,95	0,43	894	312	2240	2032

Sismostrato	R	E <sub>d</sub>
Profondità media (mt da p.c.)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷1,90)	231	211
B (1,90÷7,95)	644	1344
C (7,95÷15,00≈)	780	2451

Dove:

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

M<sub>0</sub> = modulo di compressibilità volumetrica;





2. Indagini Geognostiche in Situ

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

$E_d$ = modulo edometrico;

$\gamma$ = Peso unità di volume naturale;

$\lambda$ = coefficiente di Lamé;

$\mu$ = coefficiente di Poisson;

R= rigidità sismica;

$E_y$ = modulo di Young;

$E_d$ = modulo edometrico;

$G_0$ = modulo di taglio.





### 3 CONCLUSIONI

La presente relazione è stata redatta a seguito del concludersi della campagna d'indagini geognostiche (V. **Tavola A. 2** "Ubicazione Indagini in Situ") realizzate nell'ambito del progetto di "Realizzazione di un Parco Eolico Presso il Piano Regio". L'area interessata dall'intervento è localizzata a Nord-Ovest dell'abitato del Comune di Venosa (PZ), così come riportato in allegato alla **Tavola A. 1** "Ubicazione Area Oggetto di Studio".

Le indagini geofisiche di sismica a rifrazione (§ 2.1 "Indagini Geognostiche Indirette: Prospezioni Sismiche a Rifrazione (Onde P)") hanno messo in evidenza una superficiale sequenza litostratigrafica caratterizzante le zone in esame. Il sottosuolo, dall'alto verso il basso, è stato così ricostituito:

- 1) Superficiale strato composto da terreno vegetale di natura sabbioso-limosa, poco addensato, con spessore variabile da 1,00 a 2,00 mt;
- 2) Deposito di natura sabbioso debolmente limoso, moderatamente compatto, sino ad una profondità variabile tra circa -8,00 mt e -10,00 mt da p.c.;
- 3) Deposito di sabbioso-limosa, compatto e consistente sino a fine indagine ( $\approx$ -15,00 mt da p.c.).

Per quanto concerne le prove sismiche MASW (§ 2.2 "Indagini Geognostiche Indirette: Prospezioni Sismiche MASW") i modelli sismostratigrafici che emergono dall'analisi dei dati presentano buone corrispondenze con quelli litostratigrafici. Per i siti investigati, i terreni di fondazione rientrano tra quelli classificabili in "Categoria B".

Noci (BA), Luglio 2019

Il Geologo

(Dr. Fedele Massimiliano COLUCCI)  
Geologo  
Fedele Massimo  
COLUCCI  
N° 661  
PUGLIA





# COMUNE DI VENOSA

PROVINCIA DI POTENZA

## Realizzazione di un Parco Eolico Presso il Piano Regio nel Comune di Venosa (PZ)



Geologo:



Geol. F. M. COLUCCI

S.O.: Via De Giosa, 4 - 70015 NOCI

S.L.: Via F. Como 2/139 Talsano-Taranto

Tel/Fax (+39)080/2473484 - Cell 338/4274387

P. IVA 07627640720 - e-mail: massimo.colucci76@gmail.com

*Federico Massimo Colucci*

ELABORATO

DATA

ALLEGATI

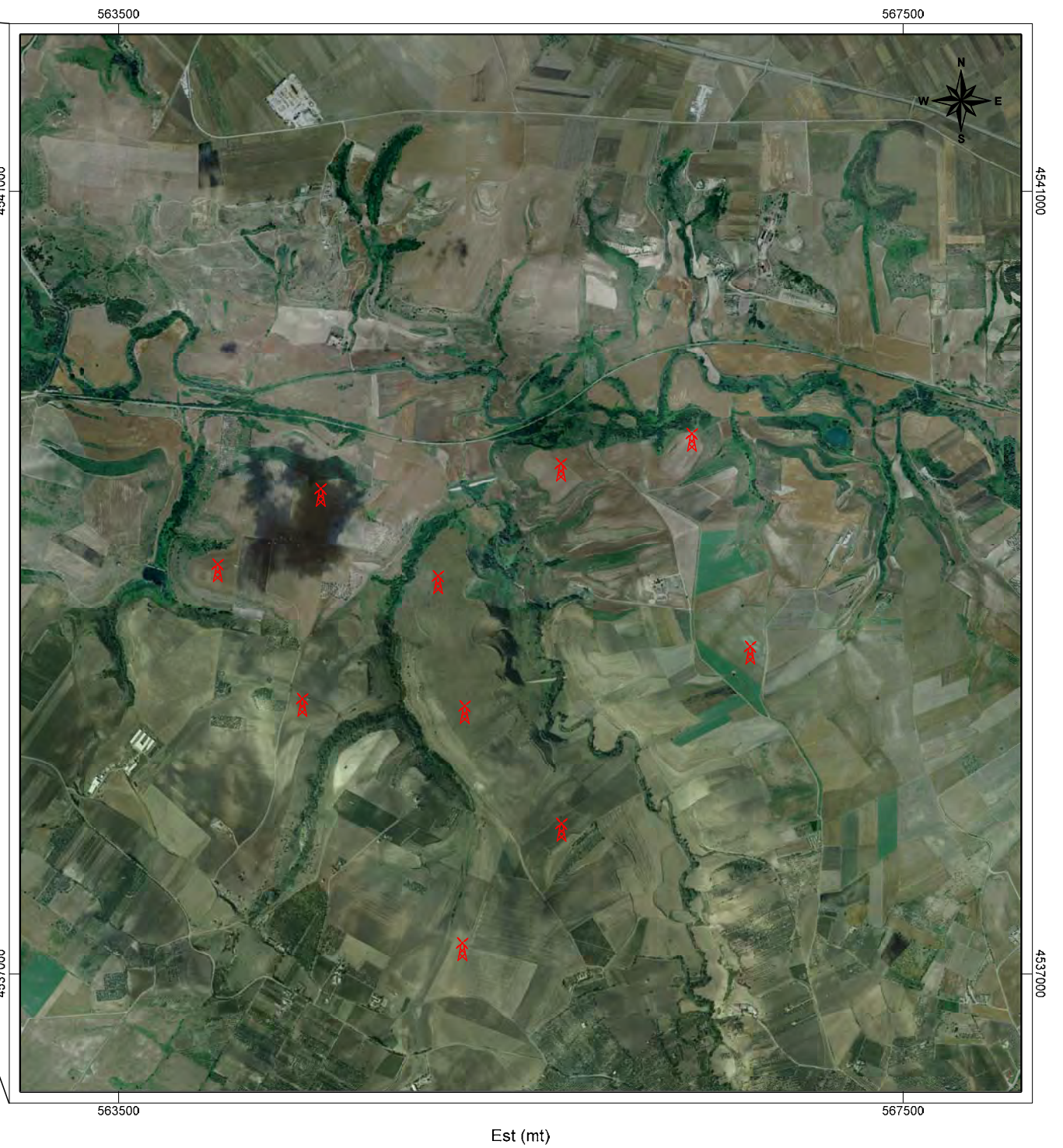
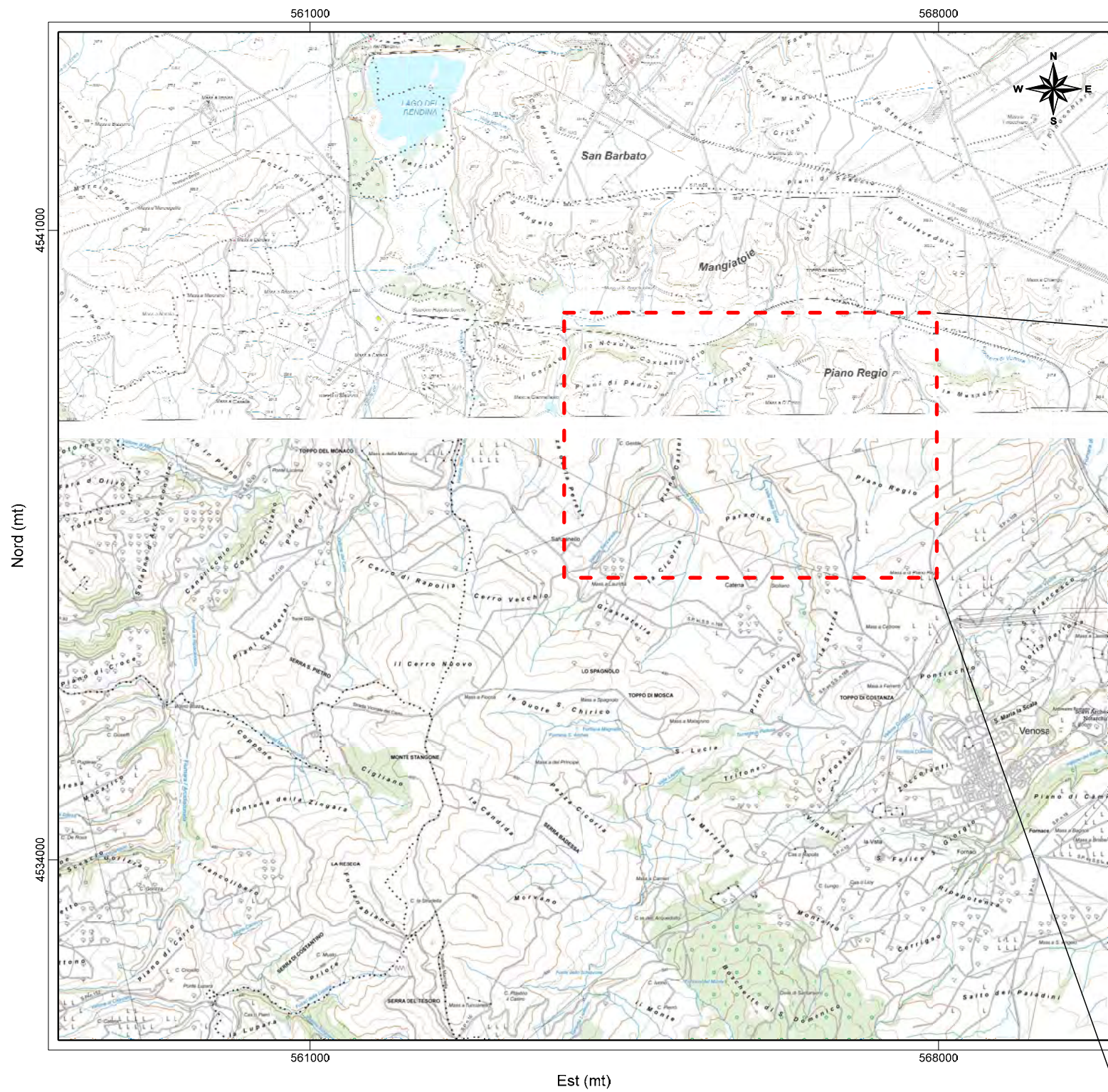
07/2019

Tavola A. 1 "Ubicazione Area Oggetto di Studio"



Tavola A. 2 "Ubicazione Indagini in Situ"

Tavola A. 3 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"

Tavola A. 1 "Ubicazione Area Oggetto di Studio"



Corografia  
Scala 1: 60.000 0 mt 1500 mt 3000 mt 4500 mt




- Legenda
-  Piana Regio (Venosa-PZ)
  -  Pala eolica in progetto

Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T  
Base cartografica: Carta Tecnica Regionale (R.S.D.I.-Regione Basilicata)

Stralcio aerofotogrammetrico  
Scala 1: 30.000 0 mt 700 mt 1400 mt 2100 mt

# Tavola A. 2 "Ubicazione Indagini in Situ"

## Legenda

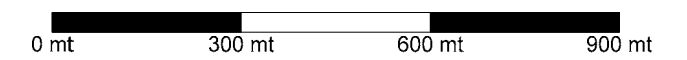
-  Pala eolica in progetto
-  Stendimento sismico ( $\Delta_{Tot}= 44,00$  ml)
-  Battuta per indagine MASW

Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T

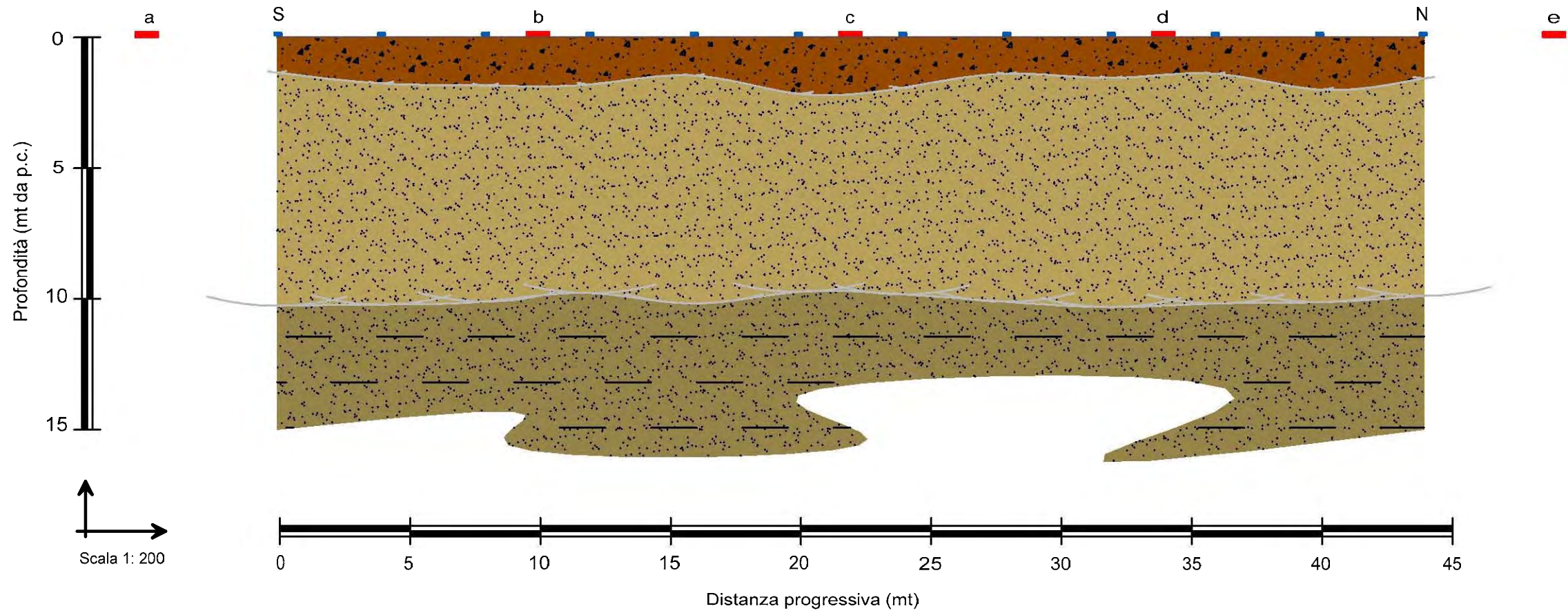
Base cartografica: Carta Tecnica Regionale (R.S.D.I.-Regione Basilicata)



Scala 1: 12.000



Sezione Stratigrafica - Stendimento ST01 - Onde P



Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi

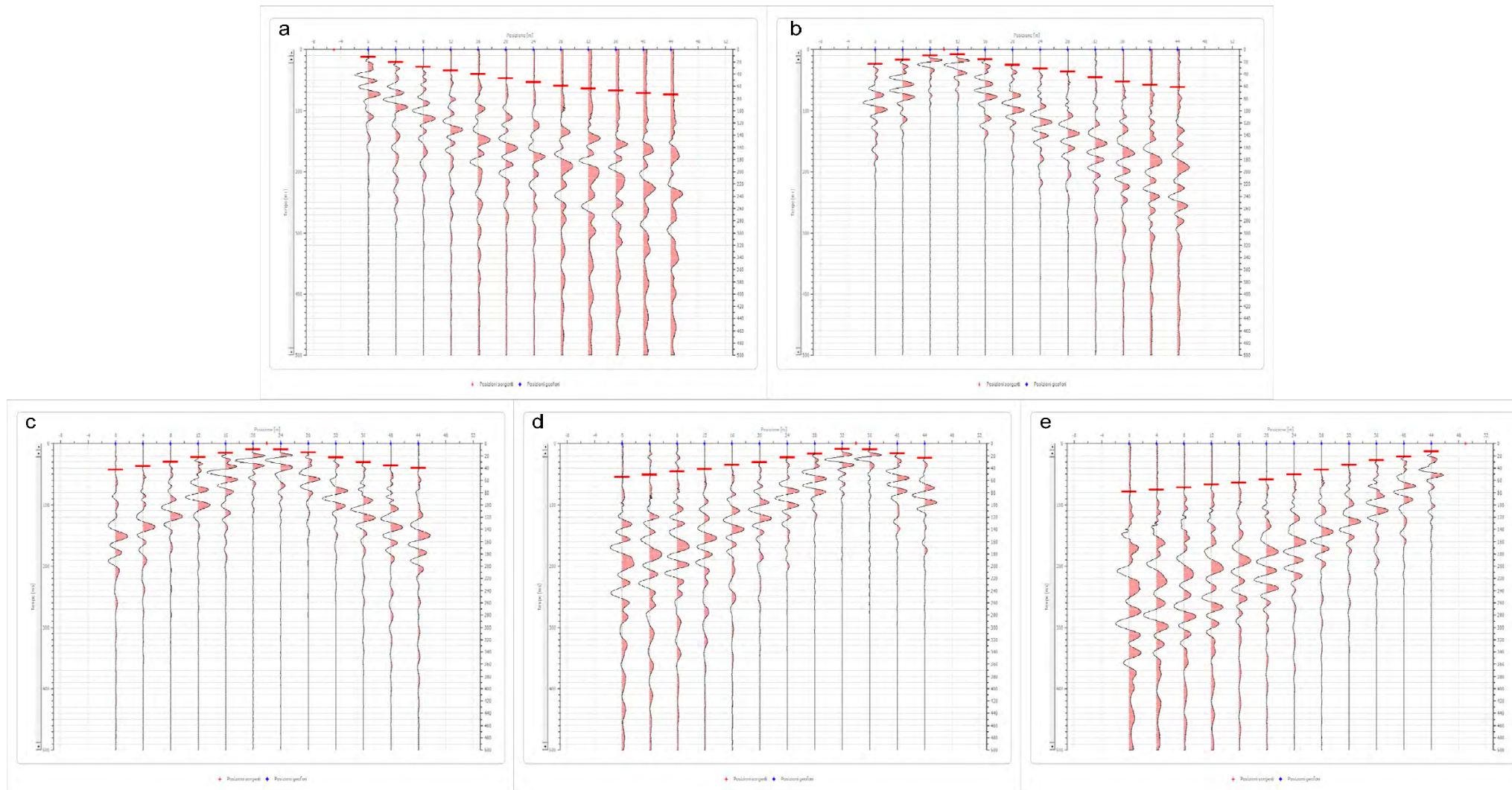







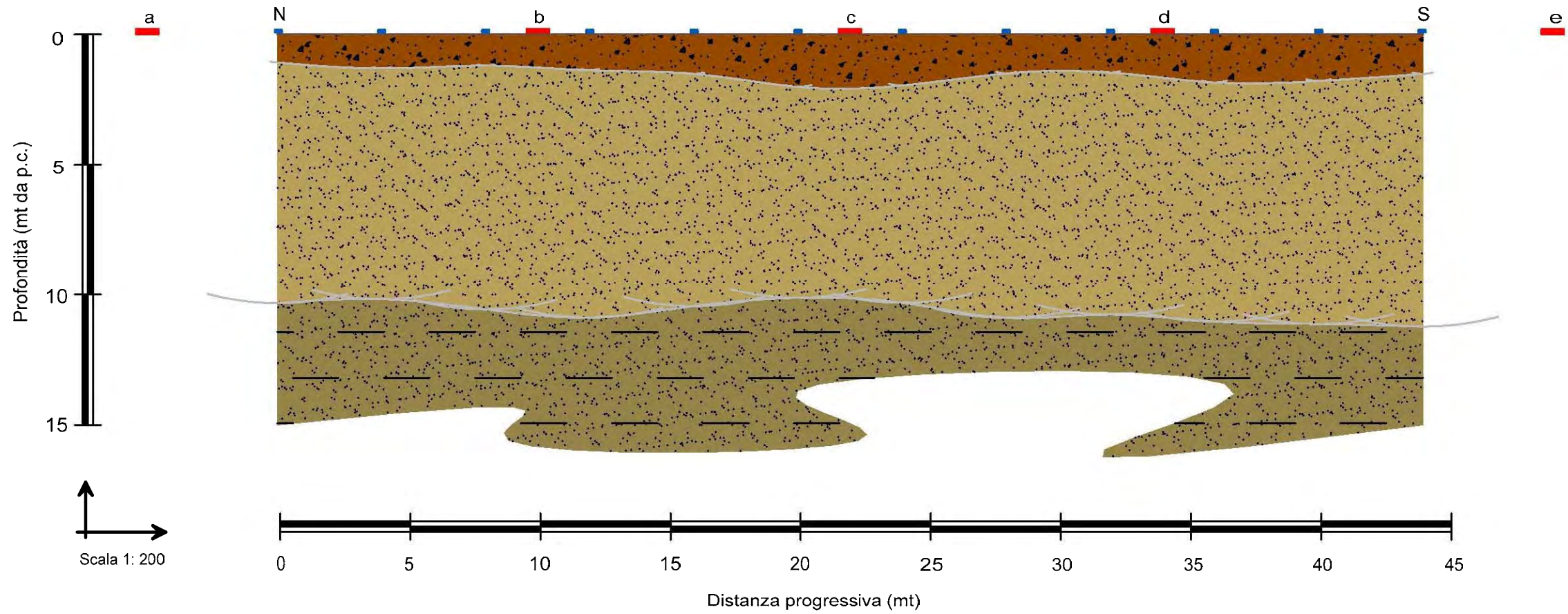
Tavola A. 3

"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"  
Stendimento ST01

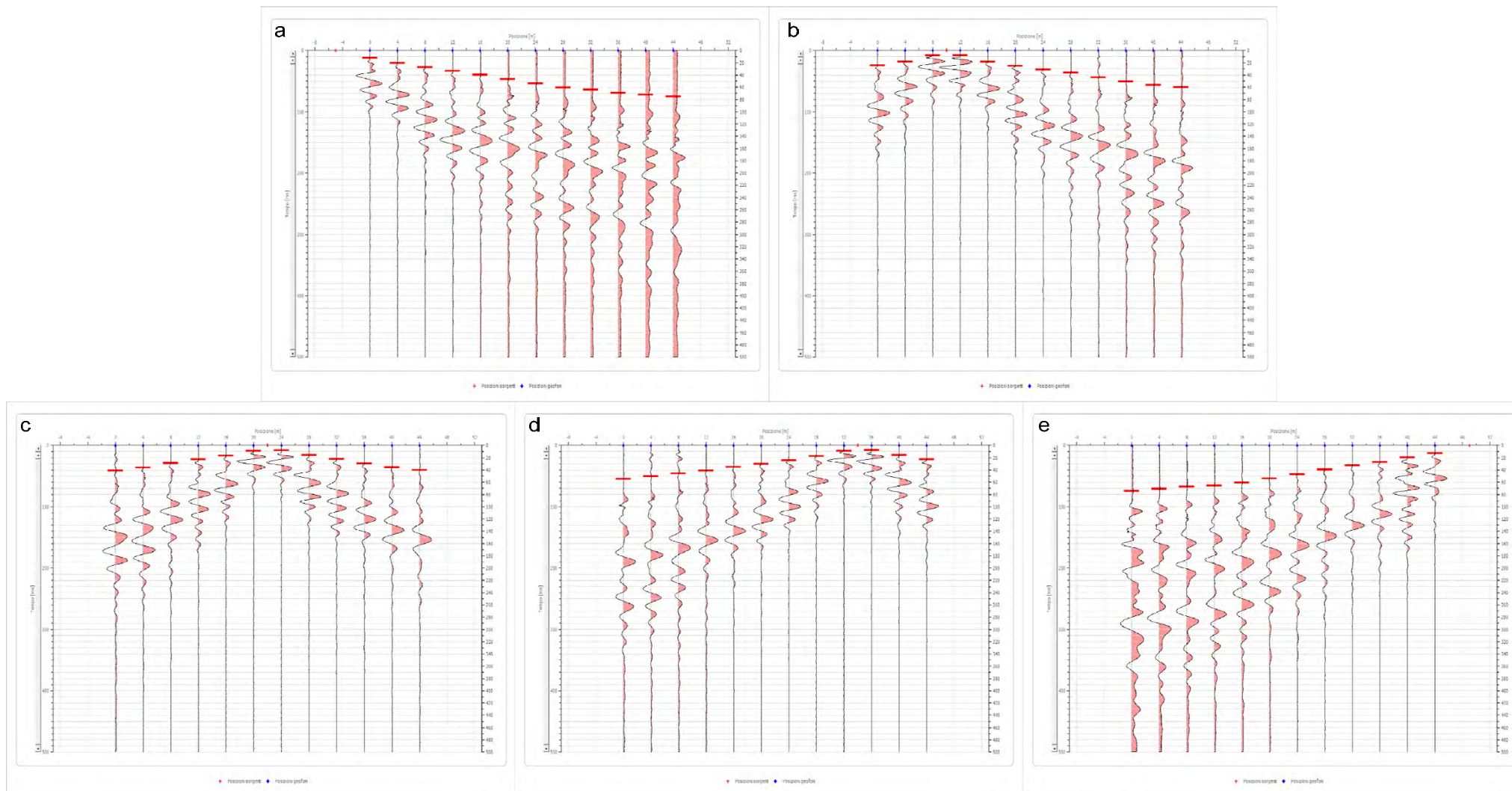
Legenda

-  Terreno vegetale di natura sabbioso-limosa, poco addensato- $V_p=410$  m/sec
-  Deposito di natura sabbiosa debolmente limosa, mediamente compatto- $V_p=590$  m/sec
-  Deposito di natura sabbioso-limosa, compatto e consistente- $V_p=1086$  m/sec
-  Geofono
-  a Punto di energizzazione

### Sezione Stratigrafica - Stendimento ST02 - Onde P








### Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi

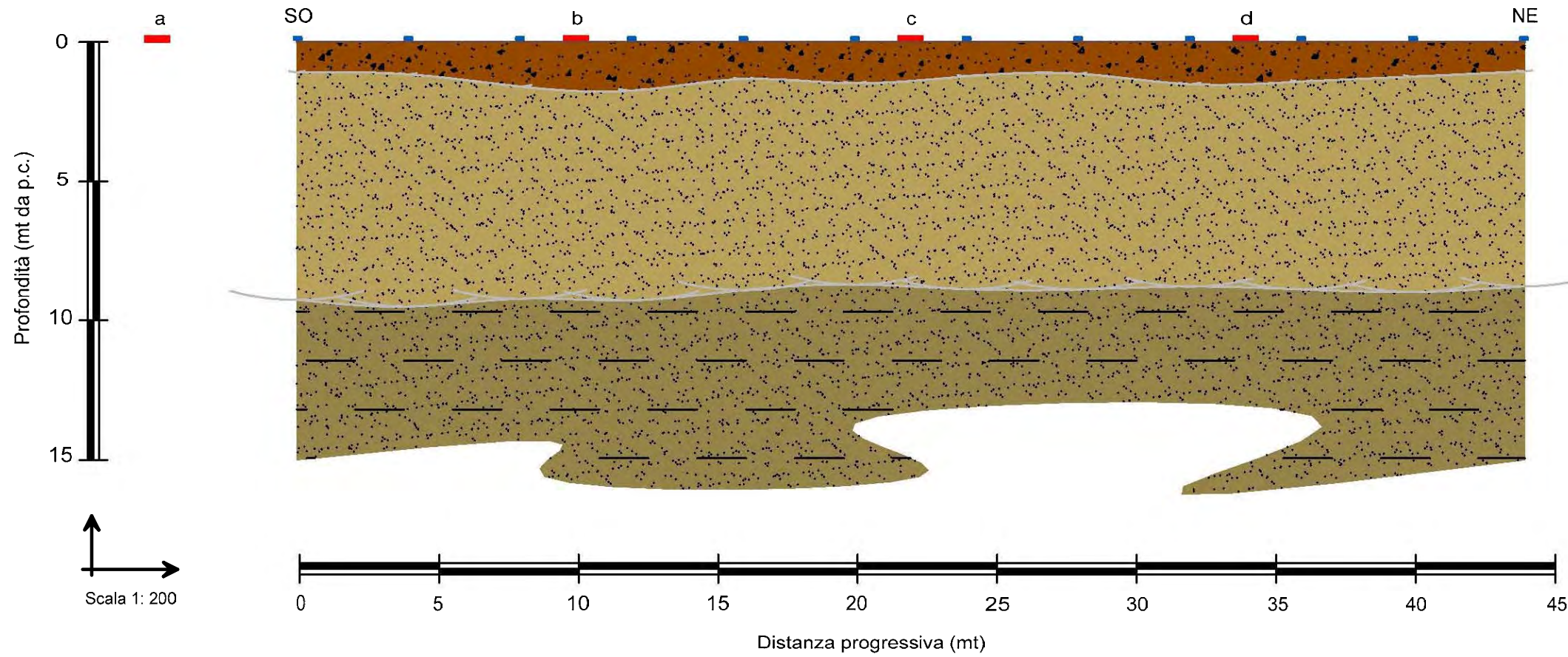


### Tavola A. 3 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P" Stendimento ST02

#### Legenda

-  Terreno vegetale di natura sabbioso-limosa, poco addensato- $V_p=374$  m/sec
-  Deposito di natura sabbiosa debolmente limosa, mediamente compatto- $V_p=630$  m/sec
-  Deposito di natura sabbioso-limosa, compatto e consistente- $V_p=1116$  m/sec
-  Geofono
-  Punto di energizzazione

Sezione Stratigrafica - Stendimento ST03 - Onde P



Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi

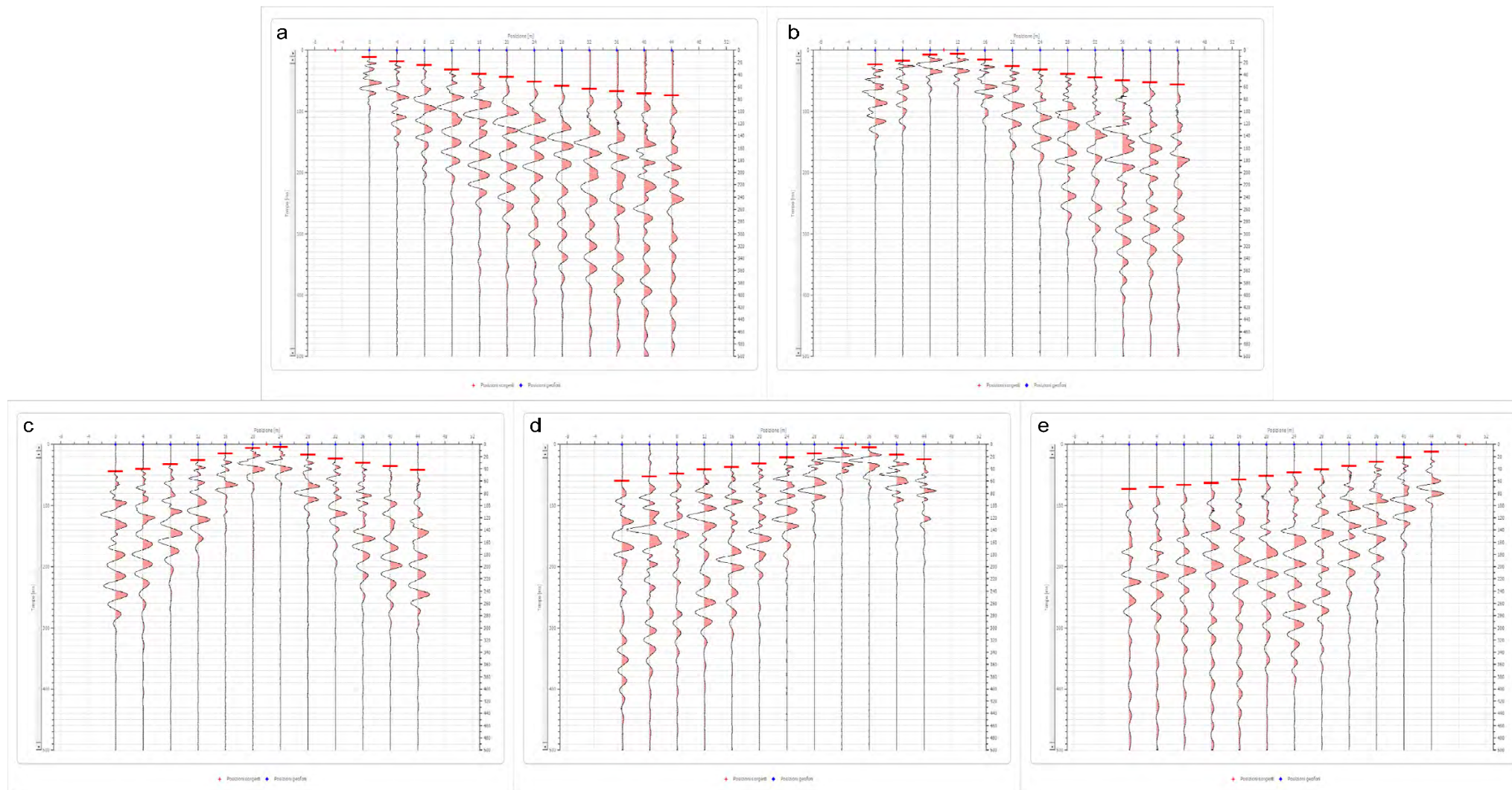


Tavola A. 3

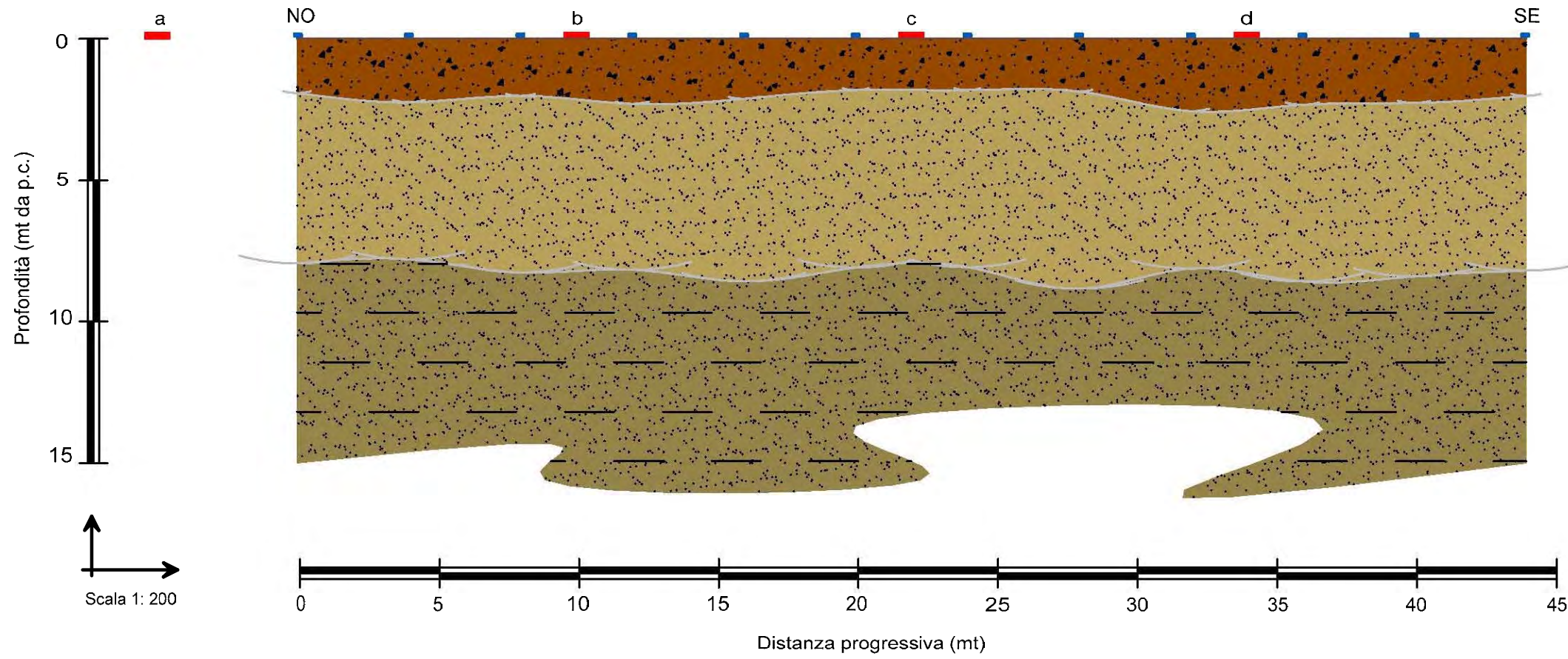
"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"  
Stendimento ST03

Legenda

- Terreno vegetale di natura sabbioso-limosa, poco addensato- $V_p=378$  m/sec
- Deposito di natura sabbiosa debolmente limosa, mediamente compatto- $V_p=617$  m/sec
- Deposito di natura sabbioso-limosa, compatto e consistente- $V_p=1012$  m/sec
- Geofono
- Punto di energizzazione








### Sezione Stratigrafica - Stendimento ST04 - Onde P

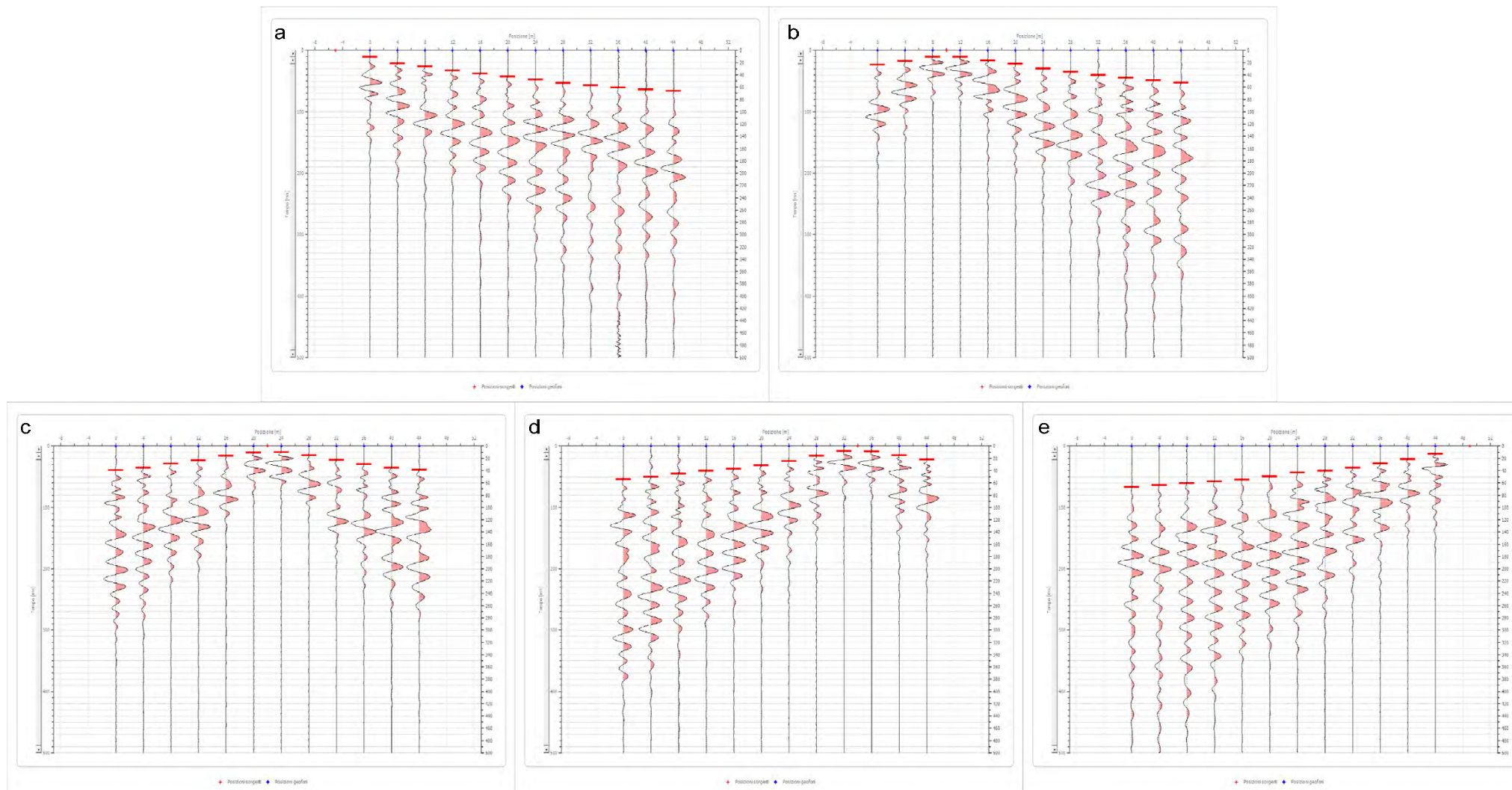


### Tavola A. 3 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P" Stendimento ST04

#### Legenda

-  Terreno vegetale di natura sabbioso-limosa, poco addensato- $V_p=402$  m/sec
-  Deposito di natura sabbiosa debolmente limosa, mediamente compatto- $V_p=699$  m/sec
-  Deposito di natura sabbioso-limosa, compatto e consistente- $V_p=1090$  m/sec
-  Geofono
-  Punto di energizzazione

### Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi



Sezione Stratigrafica - Stendimento ST05 - Onde P

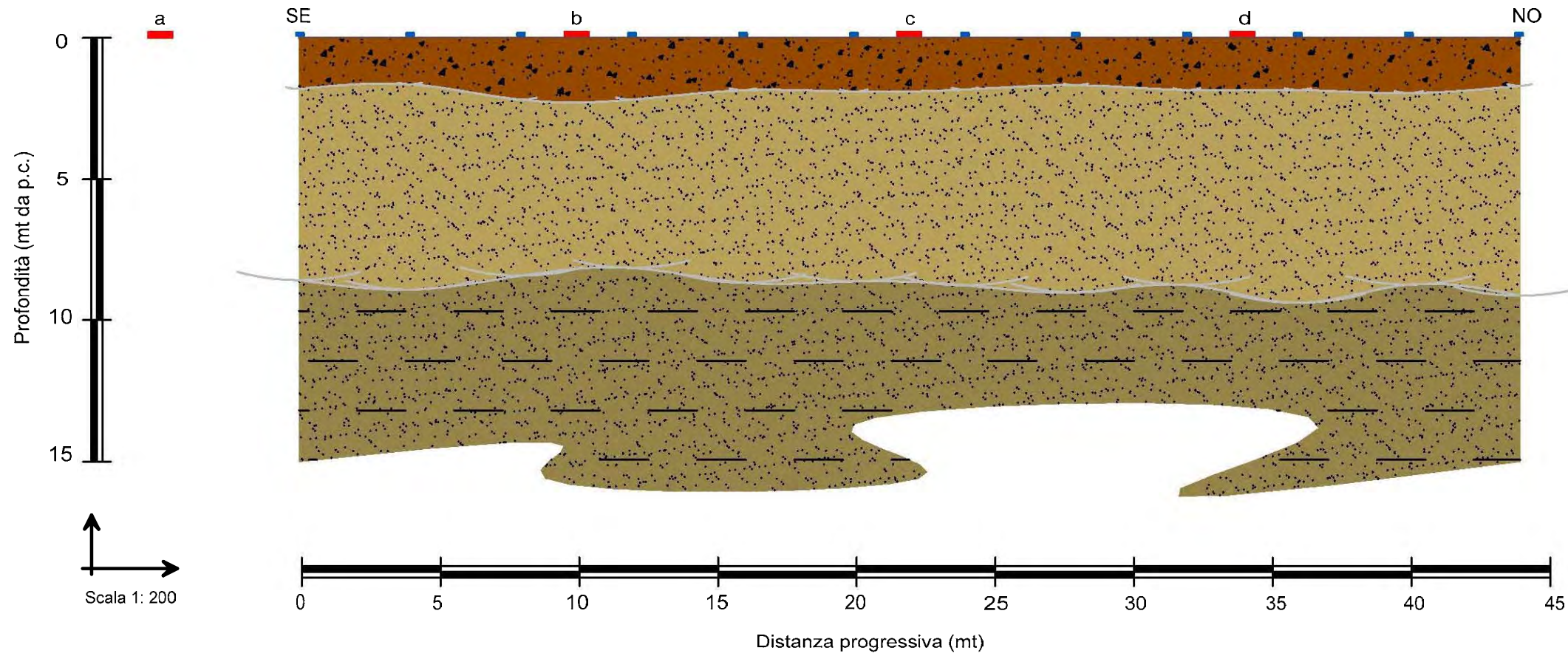





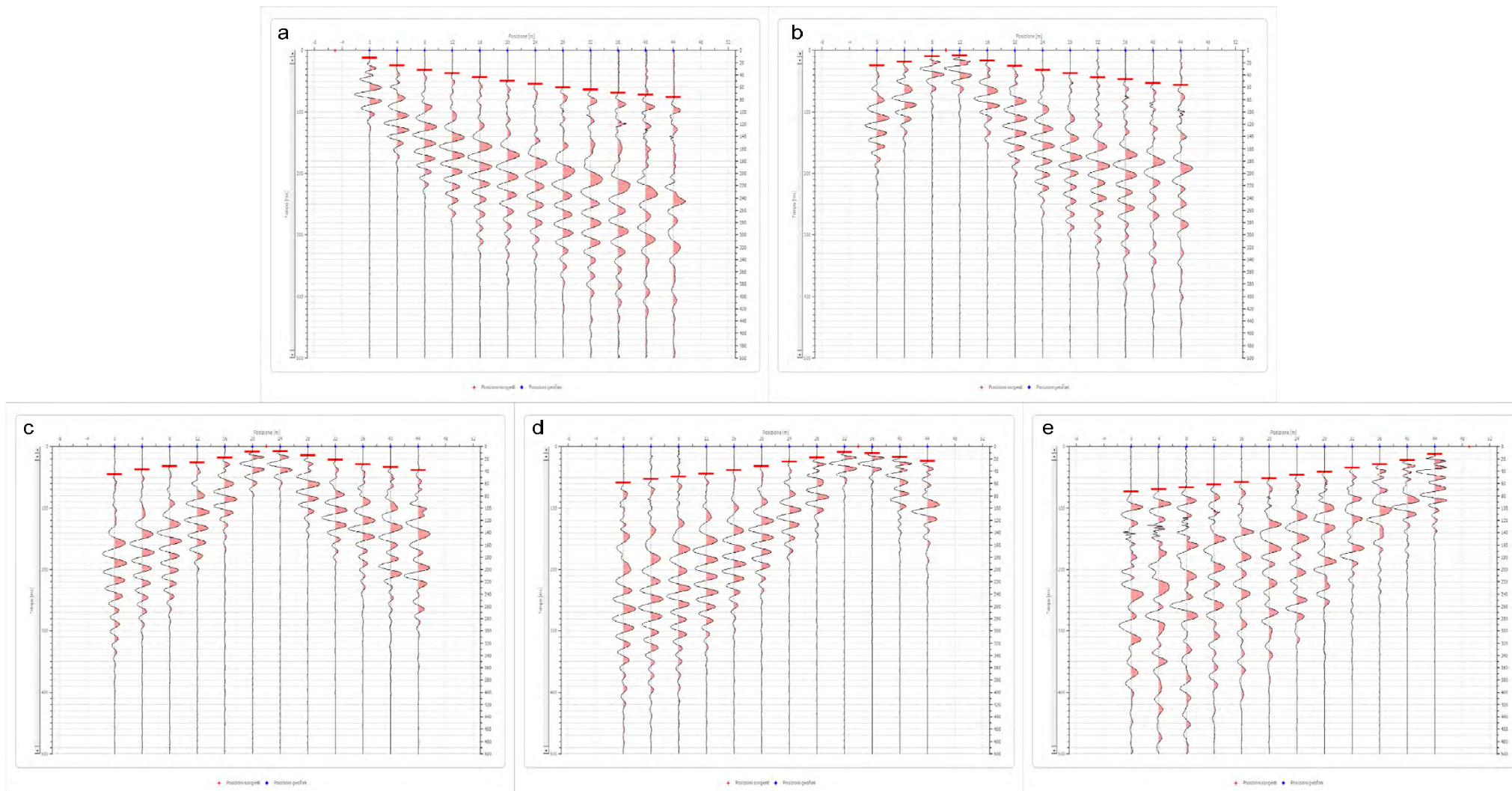


Tavola A. 3  
"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"  
Stendimento ST05

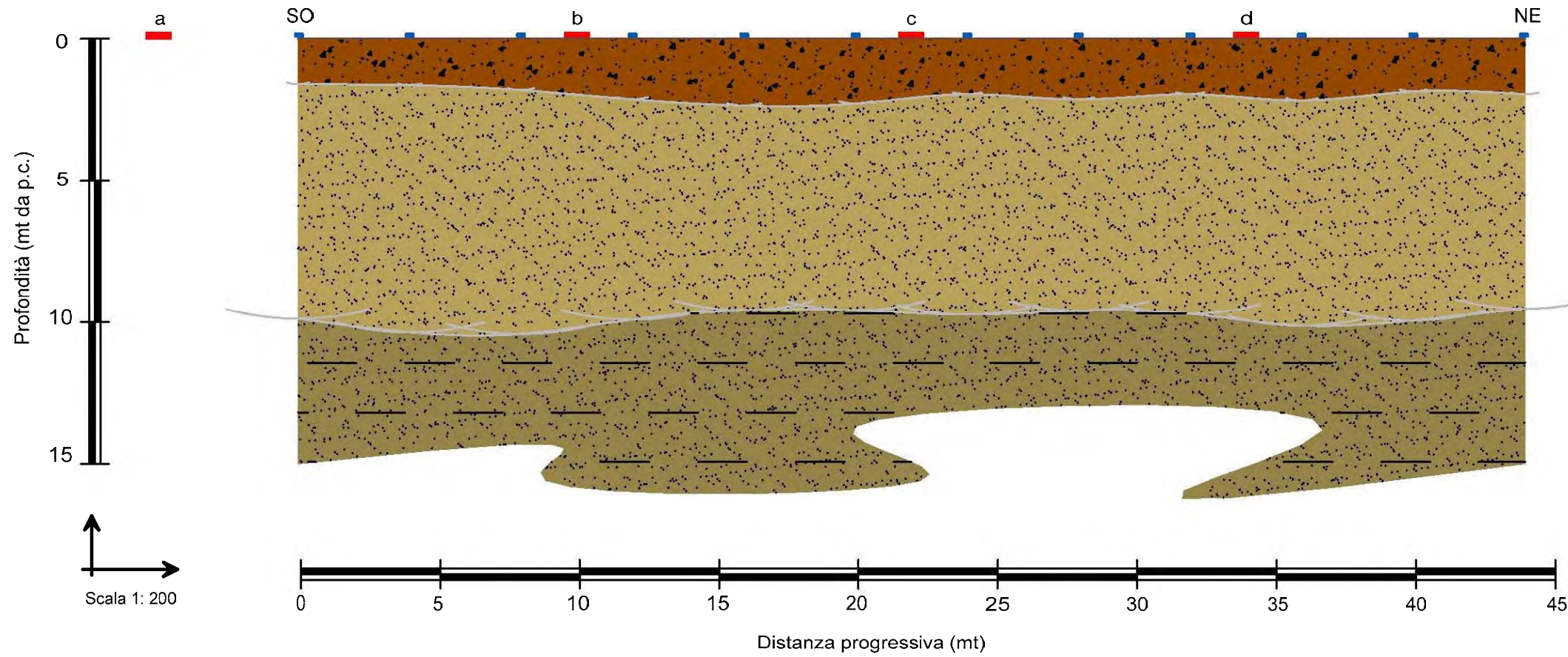
Legenda

-  Terreno vegetale di natura sabbioso-limosa, poco addensato- $V_p=329$  m/sec
-  Deposito di natura sabbiosa debolmente limosa, mediamente compatto- $V_p=652$  m/sec
-  Deposito di natura sabbioso-limosa, compatto e consistente- $V_p=1023$  m/sec
-  Geofono
-  Punto di energizzazione

Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi



Sezione Stratigrafica - Stendimento ST06 - Onde P



Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi

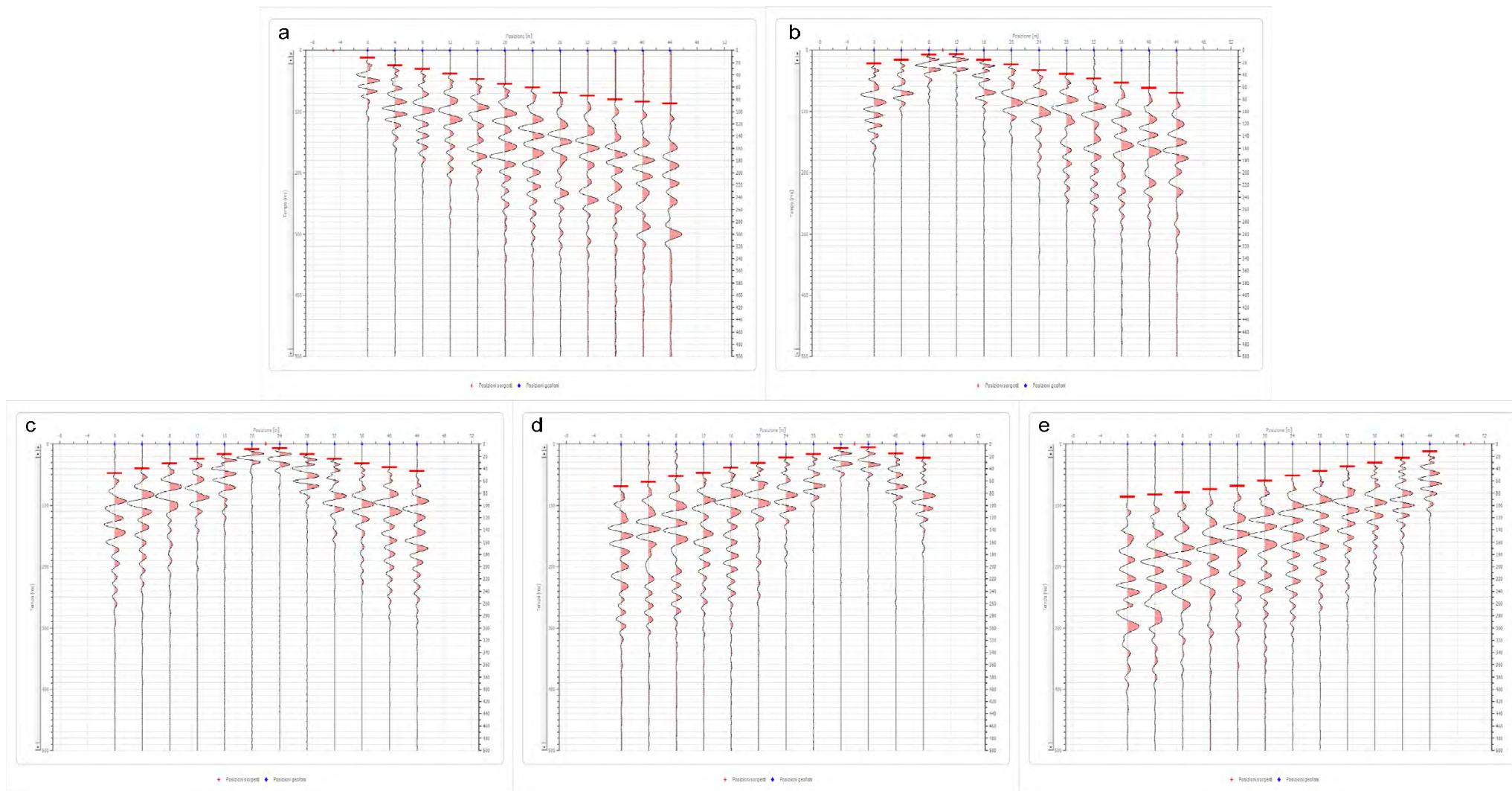


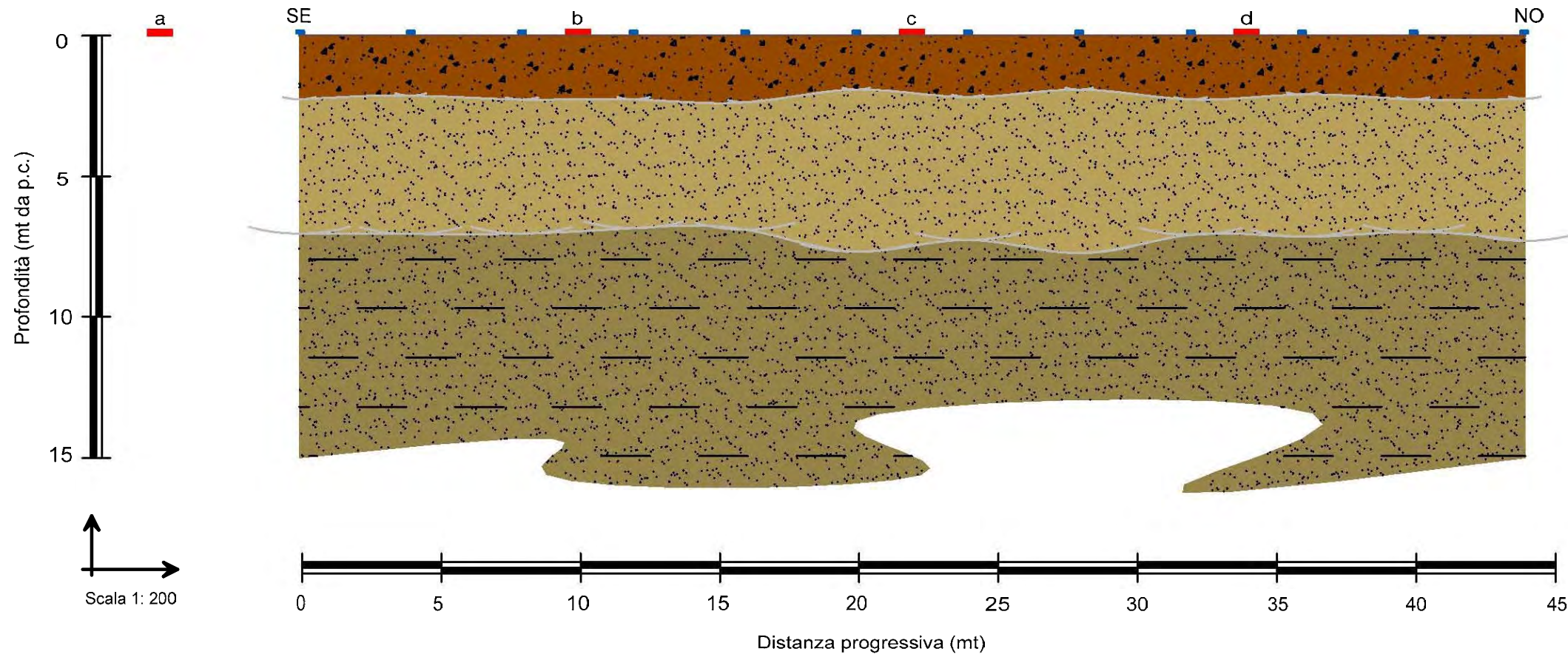
Tavola A. 3

"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"  
Stendimento ST06

Legenda






- Terreno vegetale di natura sabbioso-limosa, poco addensato- $V_p=394$  m/sec
- Deposito di natura sabbiosa debolmente limosa, mediamente compatto- $V_p=542$  m/sec
- Deposito di natura sabbioso-limosa, mediamente compatto e consistente- $V_p=877$  m/sec
- Geofono
- Punto di energizzazione

### Sezione Stratigrafica - Stendimento ST07 - Onde P

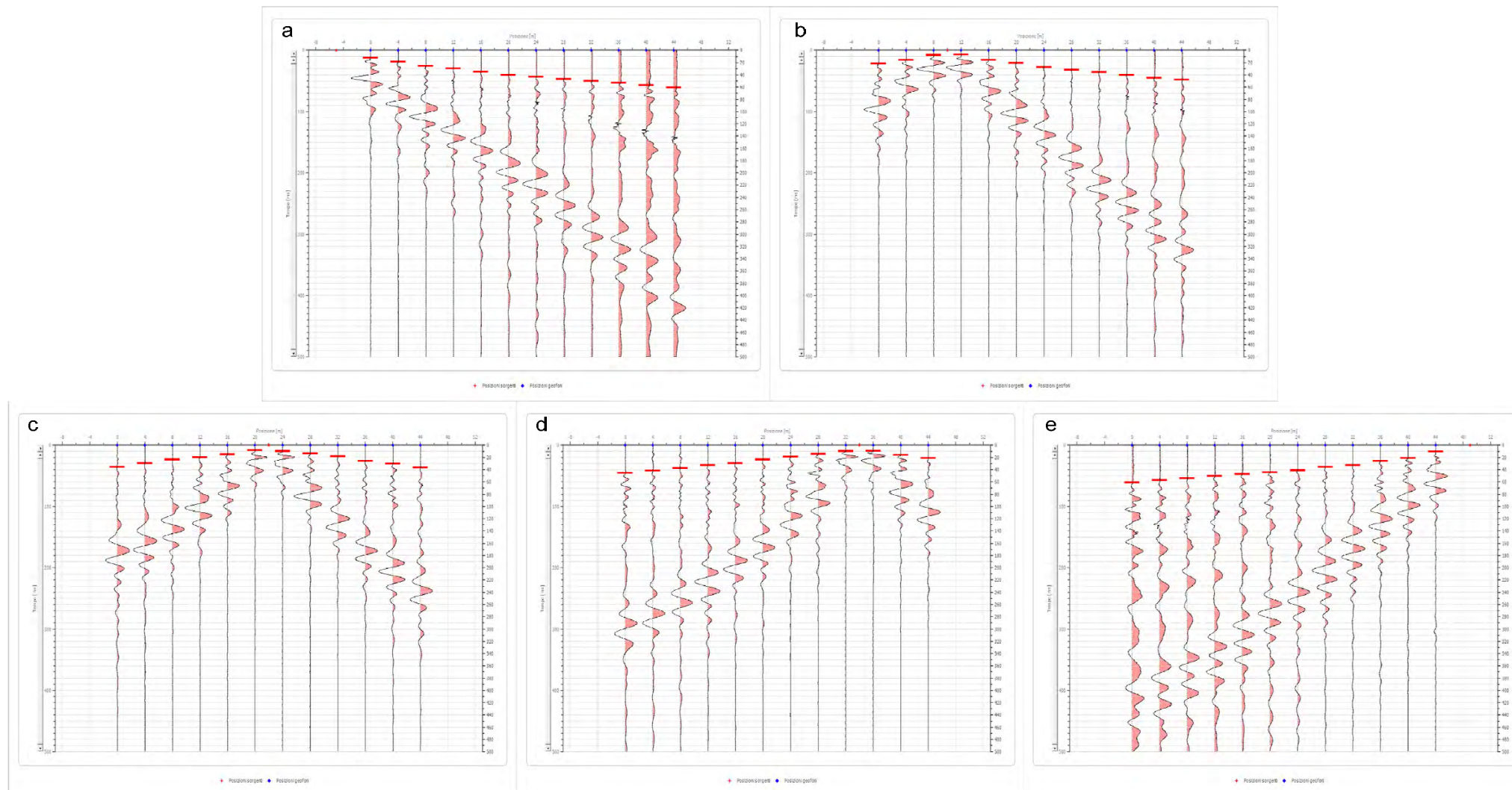


### Tavola A. 3 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P" Stendimento ST07

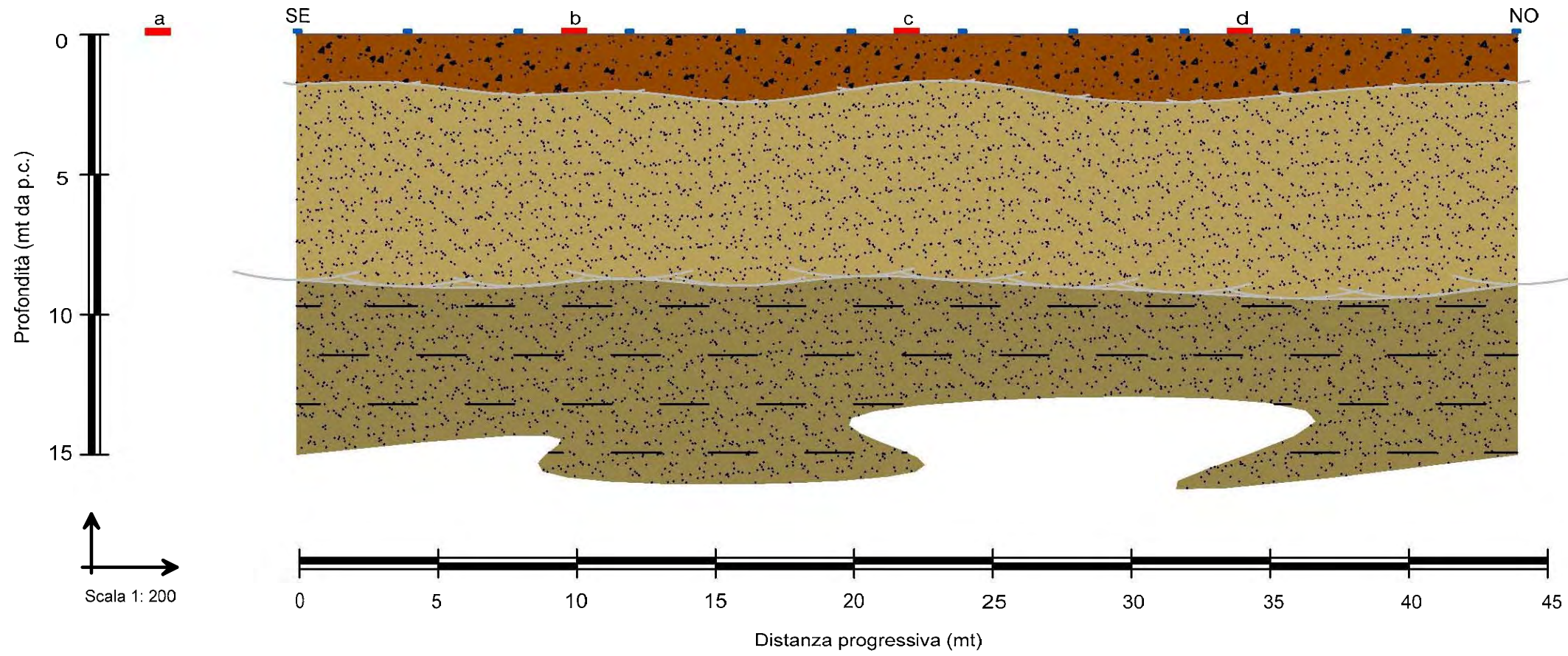
#### Legenda

-  Terreno vegetale di natura sabbioso-limosa, poco addensato- $V_p=398$  m/sec
-  Deposito di natura sabbiosa debolmente limosa, mediamente compatto- $V_p=818$  m/sec
-  Deposito di natura sabbioso-limosa, compatto e consistente- $V_p=1176$  m/sec
-  Geofono
-  Punto di energizzazione

### Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi








### Sezione Stratigrafica - Stendimento ST08 - Onde P

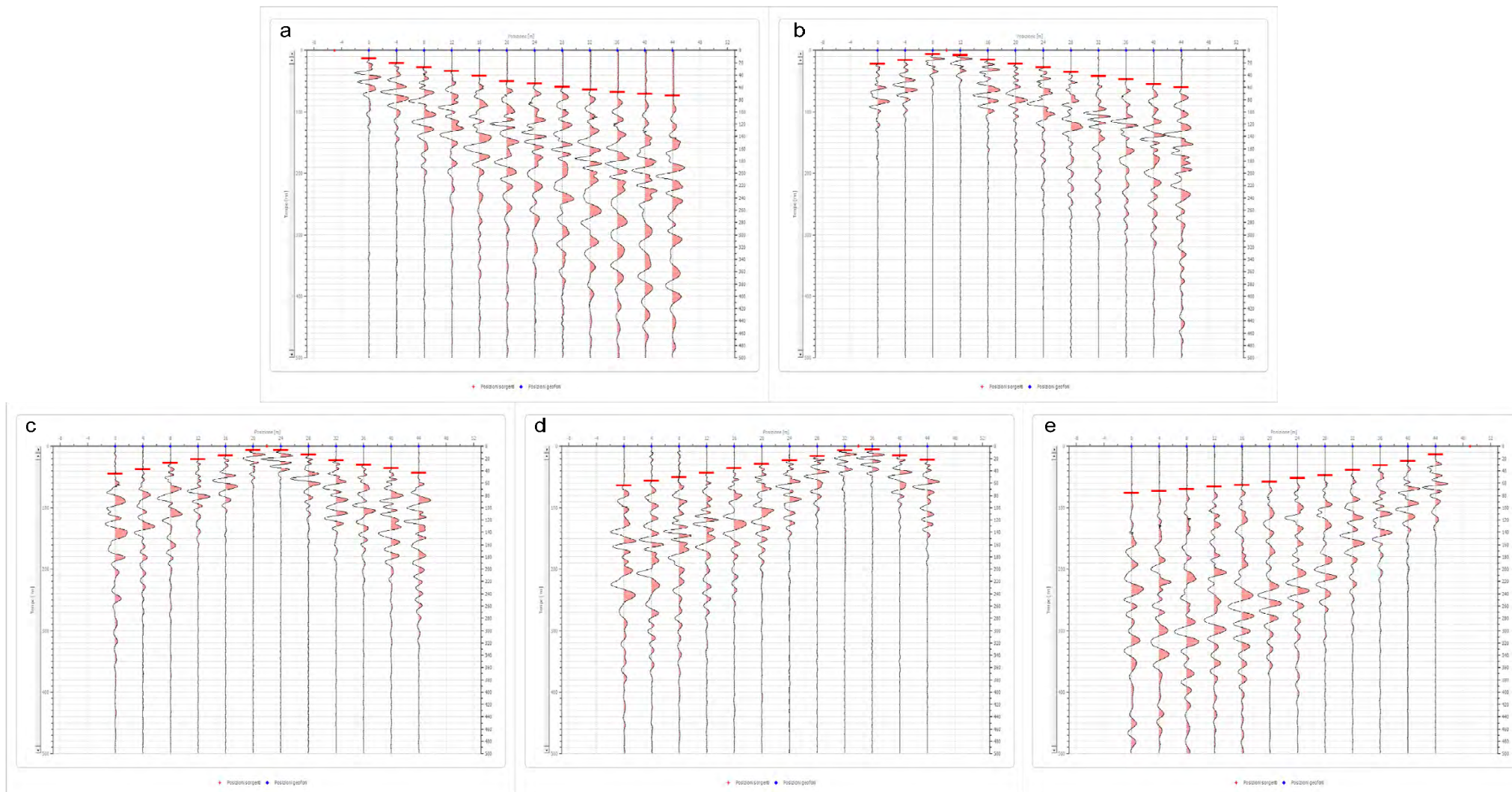


### Tavola A. 3 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P" Stendimento ST08

#### Legenda

-  Terreno vegetale di natura sabbioso-limosa, poco addensato- $V_p=403$  m/sec
-  Deposito di natura sabbiosa debolmente limosa, mediamente compatto- $V_p=577$  m/sec
-  Deposito di natura sabbioso-limosa, compatto e consistente- $V_p=1053$  m/sec
-  Geofono
-  Punto di energizzazione

### Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi



Sezione Stratigrafica - Stendimento ST09 - Onde P

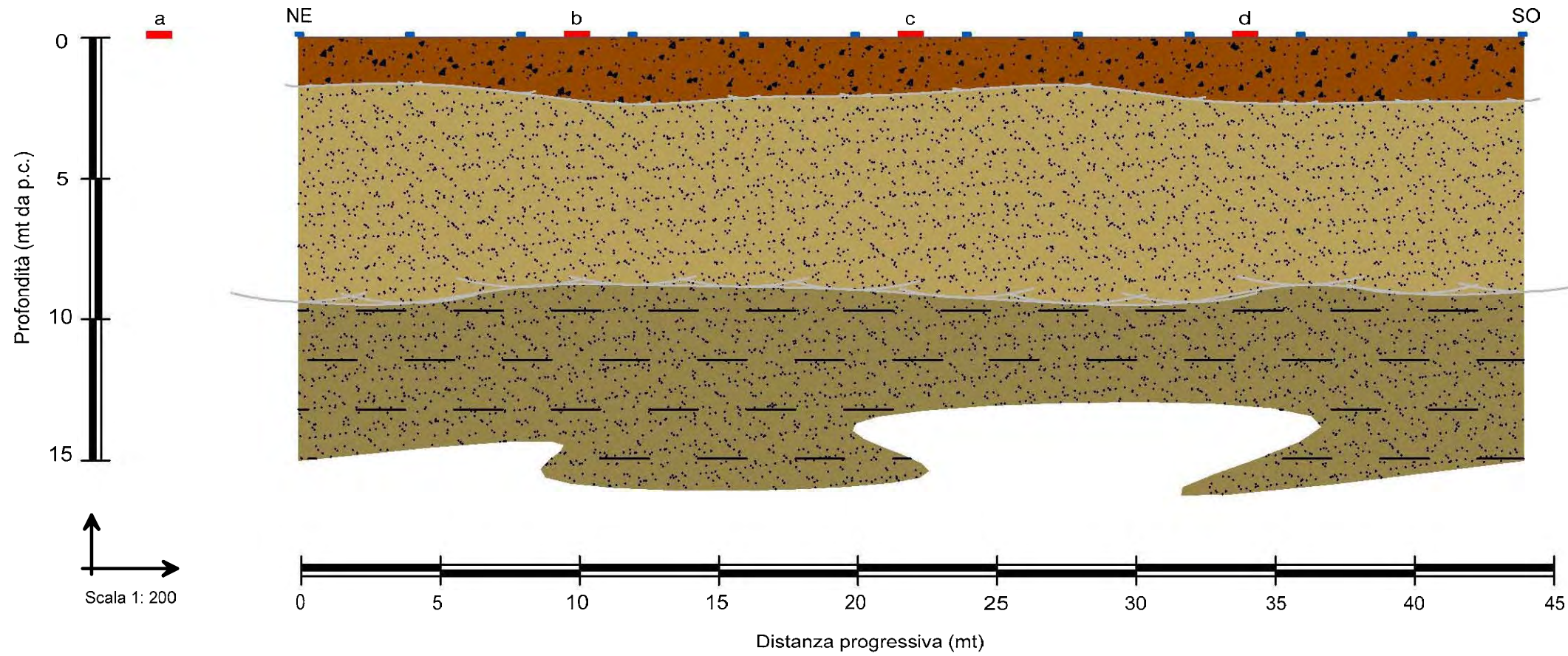





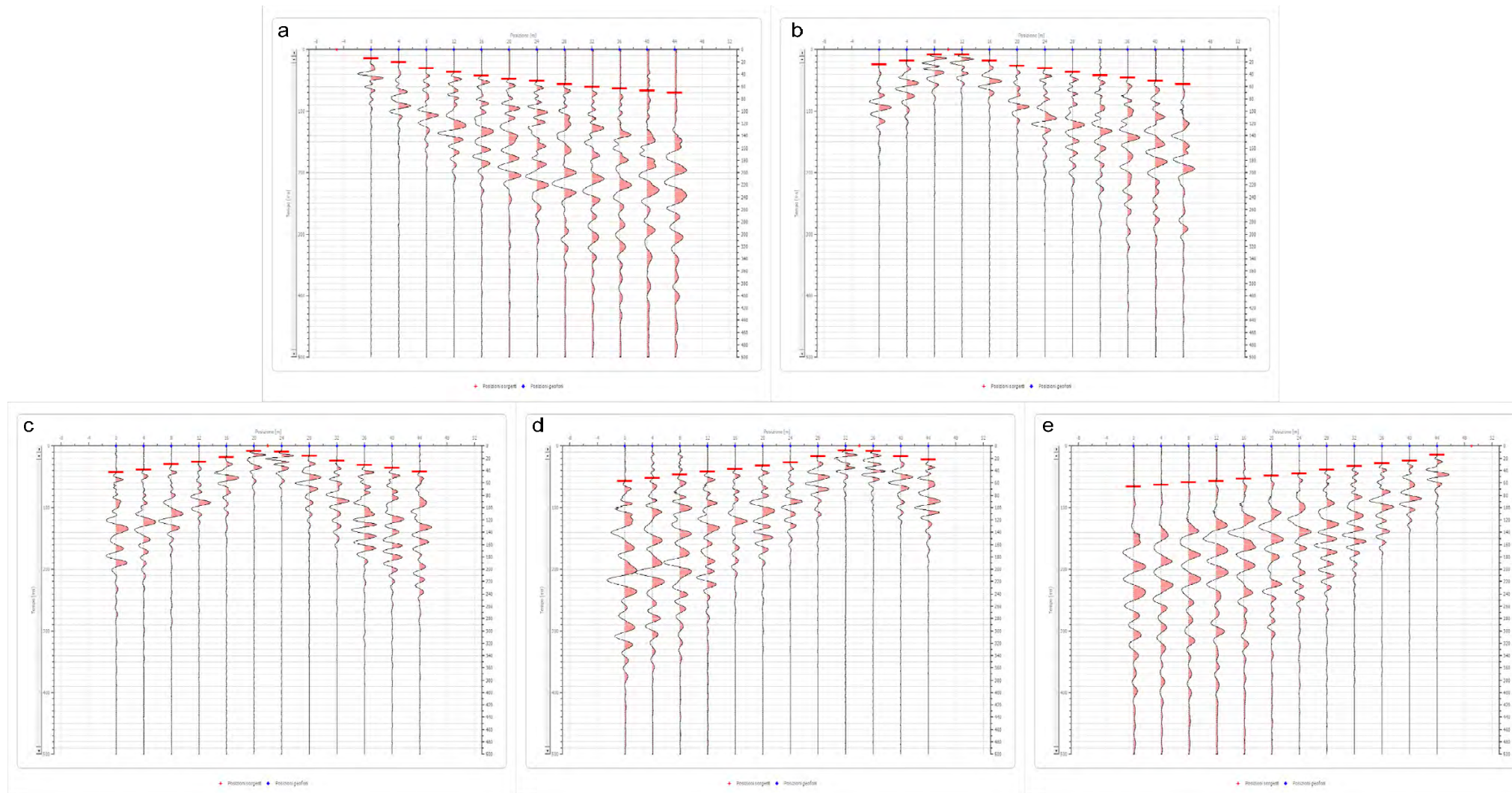


Tavola A. 3  
"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"  
Stendimento ST09

Legenda

-  Terreno vegetale di natura sabbioso-limosa, poco addensato- $V_p=352$  m/sec
-  Deposito di natura sabbiosa debolmente limosa, mediamente compatto- $V_p=690$  m/sec
-  Deposito di natura sabbioso-limosa, compatto e consistente- $V_p=1209$  m/sec
-  Geofono
-  Punto di energizzazione

Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi



Sezione Stratigrafica - Stendimento ST10 - Onde P

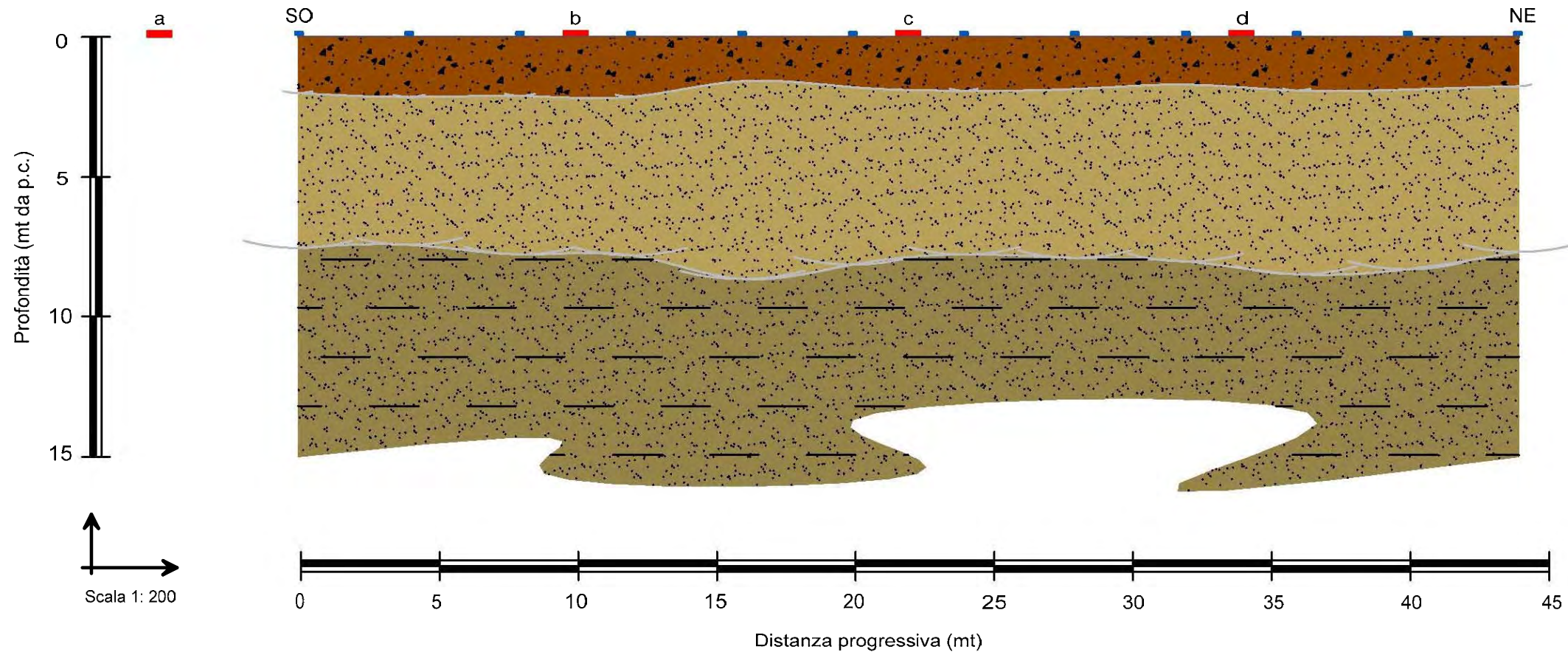


Tavola A. 3  
"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"  
Stendimento ST10

Legenda

- Terreno vegetale di natura sabbioso-limosa, poco addensato- $V_p=342$  m/sec
- Deposito di natura sabbiosa debolmente limosa, mediamente compatto- $V_p=864$  m/sec
- Deposito di natura sabbioso-limosa, compatto e consistente- $V_p=1167$  m/sec
- Geofono
- a Punto di energizzazione

Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi

