

# PROVINCIA DI TARANTO

# PORTO DI TARANTO

**COMMITTENTE: SJS ENGINEERING S.R.L**

**LUOGO: banchina di ormeggio del molo polisettoriale posto all'interno  
del Porto di Taranto – V SPORGENTE**

**DATA: GIUGNO LUGLIO 2012**

**RELAZIONE TECNICA MODELLAZIONE  
SISMICA REPORT INDAGINI  
GEOGNOSTICHE  
CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA**

DOTT. GEOLOGO GIANFRANCO MORO



Conforme a D.M. del 14 gennaio 2008 - N.T.C.- e al D.M. 11 maggio 1988

## PREMESSA

Il presente rapporto riferisce sui risultati di indagine geognostica non distruttiva effettuata per conto del **SJS ENGINEERING S.R.L.** per acquisire una caratterizzazione stratigrafica delle litologie costituenti il V Sporgente attualmente utilizzato dalla TCT per la movimentazione di containers. Tale indagine conoscitiva è svolta al fine di contribuire alla radazione del progetto definitivo degli interventi di adeguamento e riqualificazione della banchina di ormeggio del molo polisetoriale posto all'interno del Porto di Taranto.

Gli accertamenti eseguiti hanno lo scopo di acquisire dati utili alla caratterizzazione e modellazione sismica delle litologie in relazione alla pericolosità sismica di base del sito, come previsto dal D.M. del 14 gennaio 2008 e N. T. C. entrato in vigore il 1 luglio 2009; nonché la determinazione della Vs 30 delle litologie poste in successione stratigrafica e alla definizione della geometria e caratteristiche dei mezzi attraversati.

## NORME DI RIFERIMENTO

Il rapporto geologico – geognostico viene redatto in conformità a quanto previsto dal:

- L'O.P.C.M. del 23 Marzo 2003 " Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica (GU n. 105 del 8-5-2003- Suppl. Ordinario n.72) " hanno determinato una nuova classificazione sismica del territorio italiano. Per quanto riguarda l'area provinciale di Taranto , la nuova situazione è la seguente:

Codice Istat 2001	Denominazione	Categoria secondo la classificazione precedente (Decreti fino al 1984)	Categoria secondo la proposta del GdL del 1998	Zona ai sensi del presente documento (2003)
16073001	Avetrana	4	4	4
16073002	Carosino	4	4	4
16073003	Castellaneta	4	3	3
16073004	Crispiano	4	3	3
16073005	Faggiano	4	4	4
16073006	Fragagnano	4	4	4
16073007	Ginosa	4	3	3
16073008	Grottaglie	4	4	4
16073009	Laterza	4	3	3
16073010	Leporano	4	4	4
16073011	Lizzano	4	4	4
16073012	Manduria	4	4	4
16073013	Martina Franca	4	4	4
16073014	Maruggio	4	4	4
16073015	Massafra	4	3	3
16073016	Monteiasi	4	4	4
16073017	Montemesola	4	4	4
16073018	Monteparano	4	4	4
16073019	Mottola	4	3	3
16073020	Palagianello	4	3	3
16073021	Palagiano	4	3	3
16073022	Pulsano	4	4	4
16073023	Roccaforzata	4	4	4
16073024	San Giorgio Ionico	4	4	4

16073025	San Marzano di San G.pe	4	4	4
16073026	Sava	4	4	4
16073027	Taranto	4	3	3
16073028	Torricella	4	4	4
16073029	Statte (1)			3

Dalla quale si evince che al Comune di Taranto è stata attribuita la Categoria 3 cioè a modesto rischio sismico.

- In ottemperanza a quanto disposto dal D.M. 11 marzo 1988 *e successive modifiche ed integrazioni.*" Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"
- Secondo quanto stabilito da D.M. del 14 gennaio 2008 e N. T. C. entrate in vigore il 1 luglio 2009.

La presente relazione viene redatta in ottemperanza a quanto disposto dalla vigente legislazione per le costruzioni in zona sismica (nella fattispecie classe 3) e conformemente a quanto previsto dalla vigente dalla legge dal D.M. 11 marzo 1988 e succ. mod. "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione."

## DESCRIZIONE DELLE INDAGINI E DELLE PROVE

L'indagine si è articolata nelle seguenti fasi, compatibilmente alle caratteristiche e condizioni del sito, sono state effettuate n. 10 stesimenti sismici (SS) posti consecutivamente e distanziati di 5 m l'uno dall'altro al fine di ricoprire 1.200 metri totali per poter ricostruire la geometria delle litologie costituenti la banchina di ormeggio.

**Ogni stesa sismica (SS) è costituita da 115 m con 24 canali con distanza intergeofonica di 5 m (SSn\_24\_5);**



**UBICAZIONE STESE SISMICHE SS1 - SS10**



Tale modalità di distribuzione delle stese sismiche è stata effettuata per poter coprire una distanza complessiva di 1.200 metri in modo da poter ottenere un profilo di orizzonti sismici caratteristici delle litologie costituenti l'intero sviluppo di 1.200 metri.

Tale modalità di acquisizione ha permesso di acquisire:

- un Profilo MASW;
- un Profilo Sismico;

per ogni singola stesa effettuata.

## **METODO MASW**

L'indagine geognostica non distruttiva MASW (multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo delle velocità delle onde di taglio verticali Vs basandosi sulla misura delle onde superficiali in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo più importante 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, come possono essere i terreni oggetto di interesse, le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè caratterizzate da diverse lunghezze d'onda che si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più esterna di suolo, mentre onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi forniscono informazioni circa gli strati più profondi del suolo.

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) risulta essere una tecnica di indagine ottimale, non invasiva, utile a definire la risposta sismica di un determinato sito, classificando il sottosuolo in 5 categorie differenti. Tale analisi individua il profilo delle velocità delle onde di taglio verticali Vs misurando le stesse in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo più importante 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, come possono essere i terreni oggetto di interesse, le onde di Rayleigh sono dispersive.

Ciò risulta facilmente riscontrabile attraverso l'osservazione e lo studio delle onde stesse; infatti, onde ad alta frequenza e piccola lunghezza si propagano negli strati più superficiali del sottosuolo, mentre onde a bassa frequenza e lunghezza maggiore, si estendono a profondità più rilevanti.

In altre parole, nell'indagine MASW, le onde superficiali generate in un punto del terreno di fondazione, sono misurate da uno stendimento lineare di sensori (geofoni) che permettono di ottenere una velocità di fase o curva di dispersione. Ciò, fornisce informazioni sulla parte di terreno generalmente compresa entro i primi 30 metri di profondità.

In accordo a quanto detto quindi, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, così come anche specificato dalla nuova normativa sismica, viene valutato nei primi 30 metri lo spessore di terreno che interagisce in maniera significativa con la struttura e pertanto, la classificazione del suolo di fondazione, la si identifica sulla base dei valori di velocità delle onde sismiche di taglio, appunto entro i primi 30 metri di profondità.

Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente in frequenza di queste onde è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) e quindi da una diversa lunghezza d'onda. Questa proprietà si chiama *dispersione*. Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di volume (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (**V<sub>s</sub>**), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di **Rayleigh** è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

Per ottenere un profilo verticale di velocità **Vs** bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di *dispersione*, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a rifrazione. MASW può essere efficace con canali di registrazione collegati a geofoni verticali a bassa frequenza (4.5 Hz).

Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde **S (Vs)** è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

- acquisizione dei dati sperimentali;
- estrazione della curva di dispersione;
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs (profilo 1-D), che descrive la variazione di Vs con la profondità.



## **METODO SISMICO**

Il metodo di esplorazione sismica utilizza la propagazione delle onde meccaniche per caratterizzare le proprietà elastiche del sottosuolo e quindi la geometria dei mezzi attraversati. La tecnica di base consiste nel generare delle onde meccaniche, mediante sorgenti poste in punti opportunamente scelti sulla superficie topografica, e nel misurare i tempi impiegati dalle perturbazioni elastiche per raggiungere i geofoni, anch'essi opportunamente posizionati sulla superficie topografica. In particolare, l'esplorazione eseguita con il metodo della rifrazione si basa sull'analisi del tempo di arrivo dell'onda diretta e delle onde di testa; queste ultime sono onde rifratte che si determinano nel caso in cui la velocità di propagazione delle onde è crescente con la profondità, quando l'angolo di incidenza è critico.

L'obiettivo principale del metodo sismico tomografico a rifrazione è quello di determinare la velocità e le sue variazioni nel mezzo indagato, utilizzando i tempi di viaggio ottenuti da un rilievo di sismica a rifrazione. La relazione tra velocità dell'onda sismica e tempi di viaggio del raggio sismico è, per un set di  $M$  raggi (Nolet, 1987):

$$\delta t = A \delta v \quad (1)$$

dove  $\delta t$  è il vettore dei tempi di viaggio residui (osservati - calcolati),  $A$  è la matrice Jacobiana  $\partial t_i / \partial v_j$ , e  $\delta v$  è il vettore velocità di perturbazione.

Un approccio alternativo è quello che introduce il concetto di lentezza dell'onda.

Se si definisce la lentezza dell'onda come  $u(x) = v^{-1}(x)$ , allora la (1) diventa (Nolet, 1987):

$$t = A u \quad (2)$$

dove  $t$  è il vettore dei tempi di viaggio osservati,  $A = dl_{ij} =$  matrice delle lunghezze dei percorsi parziali e  $u =$  vettore dei valori della lentezza. Gli elementi  $A_{ij}$  rappresentano la lunghezza del percorso dell' $i$ -esimo raggio nella  $j$ -esima cella.

La individuazione dei valori della velocità di propagazione delle onde elastiche nel mezzo attraversato consentono una caratterizzazione del mezzo stesso attraverso i parametri  $\Gamma$  (densità lineare di frattura),  $C$  (densità di frattura) ed RQD (Rock Quality Designation).

Consideriamo un sistema consistente in R differenti set di fratture con orientazioni diverse; scegliendo ora il set j-esimo e il profilo perpendicolare alla direzione delle fratture di tale set, si definisce densità lineare di frattura  $\Gamma$  il numero di fratture presenti per unità di lunghezza lungo il profilo stesso.

Un altro parametro della roccia fratturata che può essere usato per caratterizzare il suo stato meccanico ed idraulico, è la *densità di frattura* C definita come (Boadu, 2000):

$$C = \frac{\Gamma}{\langle \cos \theta_j \rangle (1 - \ln r_{\min})}$$

dove  $\theta_j$  è l'orientazione del j-esimo set di fratture rispetto alla perpendicolare, verso il basso, al profilo preso in considerazione ( $\theta = 0^\circ$  per fratture verticali),  $\langle . \rangle$  denota il valore medio,  $\Gamma$  è la densità di frattura lineare,  $r_{\min}$  è la lunghezza della frattura più piccola.

Un altro parametro importante è il *fattore di qualità della roccia* RDQ (Rock Quality Designation), definito come il rapporto tra la somma delle distanze (superiori a 10 cm) fra le fratture lungo il profilo, e la lunghezza del profilo stesso; tale rapporto è espresso in termini percentuali. Questo "indice di qualità", può fornire una valutazione preliminare delle principali caratteristiche fisiche e meccaniche di una formazione rocciosa (tab.1) .

**Tab.1: Classificazione della qualità della roccia secondo l'indice RDQ**

RDQ %	QUALITA' DELLA ROCCIA
0-25	Molto scadente
25-50	Scadente
50-75	Discreta
75-90	Buona
90-100	Eccellente

Esistono delle relazioni empiriche che legano i parametri di frattura di una formazione rocciosa alle velocità di propagazione delle onde P ed S (Leucci e De Giorgi, 2006).

Pertanto note le velocità di propagazione delle onde elastiche nel sottosuolo è possibile stabilire la qualità di una formazione rocciosa (Leucci e De Giorgi, 2006).

$$V_p = 0.1143 (RDQ)^2 - 2.3359 (RDQ) + 976.85$$

Un altro parametro importante per definire la qualità di una formazione rocciosa è il Q di Barton (Barton, 2002). Tale parametro è stato adattato alle rocce sedimentarie e ridefinito come (Carrozzo et al., 2008):

$$Q_{sm} = RQD / J_n \times J_r / J_a \times J_w / SRF \times R_s / S \times T / V$$

Questo "indice di qualità", può fornire una valutazione delle principali caratteristiche fisiche e meccaniche di una formazione rocciosa (tab.2).

**Tab. 2: Classificazione della qualità della roccia secondo l'indice Q<sub>sm</sub>**

<i>Q<sub>sm</sub></i> value	> 40000	40000-1000	1000-400	400-100	100-4	4-1	1-0.01	0.01-0.0001	<0.0001
Class	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Description	Exceptionally good	Extremely good	Very good	Good	Fair	Poor	Very poor	Extremely poor	Exceptionally poor

Attraverso l'utilizzo delle velocità di propagazione delle onde P è possibile stimare tale parametro (Carrozzo et al., 2008):

$$V_p = V_0 + k \log_{10}(Q_{sm} / Q_0)$$

E' anche possibile, attraverso l'utilizzo delle velocità di propagazione delle onde P ed S, stimare i valori di **densità di massa ( $\rho$ )** delle formazioni rocciose indagate. La relazione empirica utilizzata per la stima di  $\rho$  è (Gardner et al., 1974):

$$\rho = 0.23V_p^{0.25}$$

E' possibile il calcolo del **coefficiente di Poisson ( $\sigma$ )** (Reynolds, 1998), del **modulo di Young ( $E$ )** (Reynolds, 1998), il **modulo di taglio ( $G$ )** (Reynolds, 1998), e la **permeabilità idraulica** (Baldi et al., 2010) utilizzando le seguenti formule empiriche ormai acquisite e condivise dal mondo accademico formulate da Reynolds, 1998 e Baldi et al., 2010.

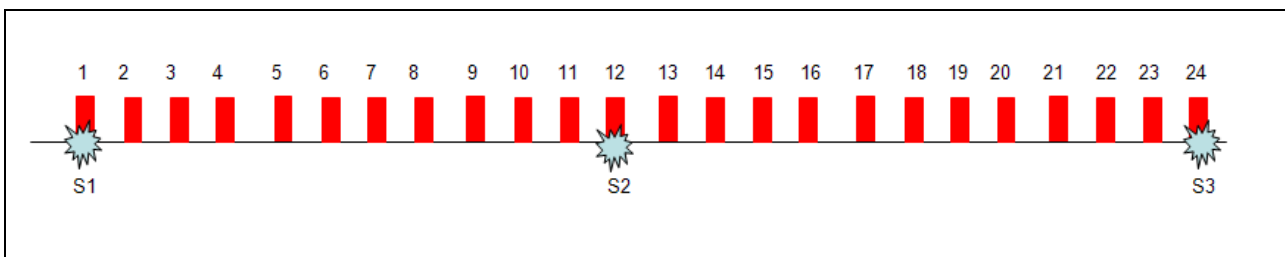
$$\sigma = \frac{0.5 \left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}{\left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}$$
$$E = 2\rho V_p^2 (1 + \sigma)$$
$$G = \rho V_s^2$$
$$\text{Permeabilità} = -\frac{1}{0.013} \cdot \ln \left( \frac{V_p}{3178.1} \right)$$

### **Profilo sismico 1 – SS1\_24\_5**

Le indagini sono state eseguite con un sismografo Doremi con 24 canali e geofoni verticali con frequenza propria di 4.5Hz ; la energizzazione è stata eseguita con un martello da 5kg.

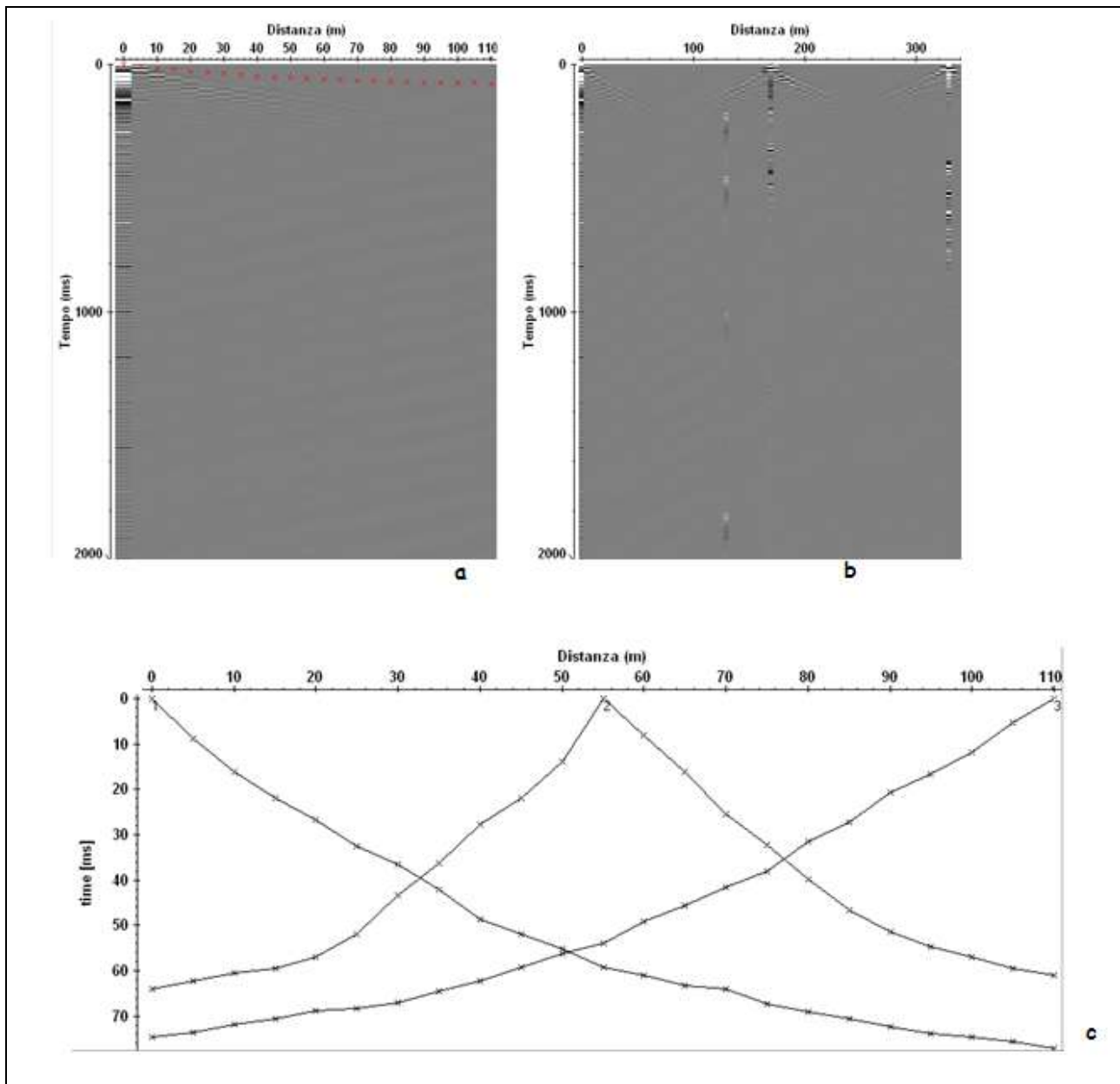
Scopo dell'indagine è mettere in evidenza possibili variazioni del campo di velocità dell'onda P eventualmente correlabili ai parametri caratterizzanti una formazione rocciosa. Per tentare di stimare la distribuzione di  $V_p$  è stata utilizzata una tecnica di acquisizione tomografica che fa uso di una opportuna disposizione in superficie di  $n$  geofoni ed  $m$  sorgenti.

La geometria scelta per l'acquisizione è costituita da un allineamento di 24 geofoni distanti tra di loro 5m: sull'allineamento sono posizionati  $n=3$  punti di energizzazione (Fig. 2). La tecnica di acquisizione consente di determinare la velocità media di propagazione in ognuna delle  $N$  ( $N \leq nxm$ ) celle elementari che ricoprono la superficie indagata.



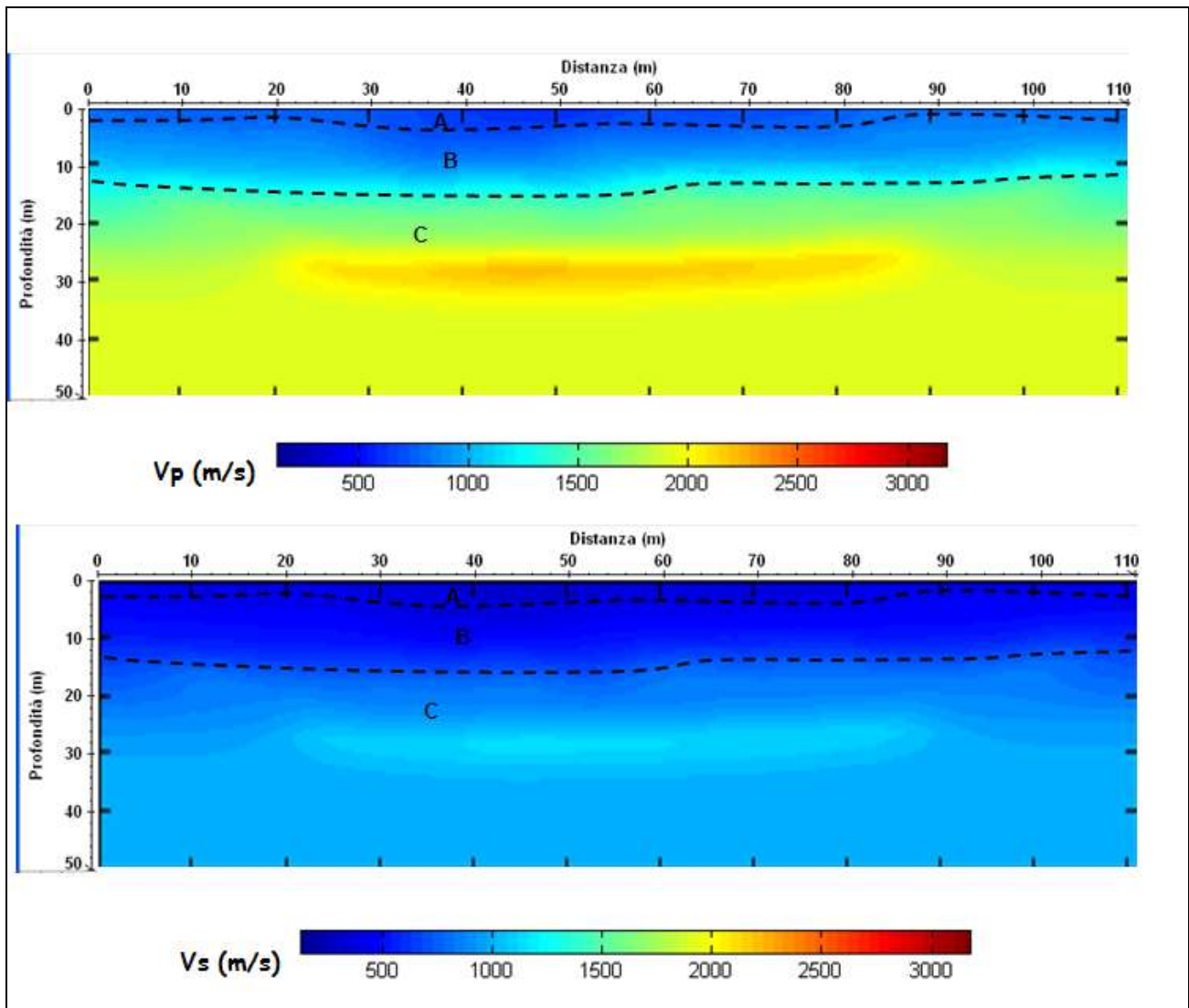
**Fig. 2: Geometria di acquisizione del rilievo sismico tomografico a rifrazione: geofoni: 1, 2,....., 24; punti di energizzazione S1, S2, S3.**

La lettura dei tempi di primo arrivo (picking) (Fig. 3b), per ogni traccia, su ciascun sismogramma (Fig.3a), consente di ottenere le dromocrone riportate in Fig.3c.



**Fig. 3: a) sismogrammi delle 3 energizzazioni; b) esempio di picking dei primi arrivi; c) Dromocrone relative al profilo sismico.**

La elaborazione delle stesse mediante algoritmi sofisticati permette di ottenere il modello di distribuzione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  (Fig. 4).



**Fig. 4: Modello di distribuzione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  a varie profondità.**

Dalla Fig. 4 si evince che i valori di  $V_p$  sono generalmente compresi tra 600m/s e 2200m/s mentre valori di  $V_s$  sono generalmente compresi tra 300m/s e 1400m/s.

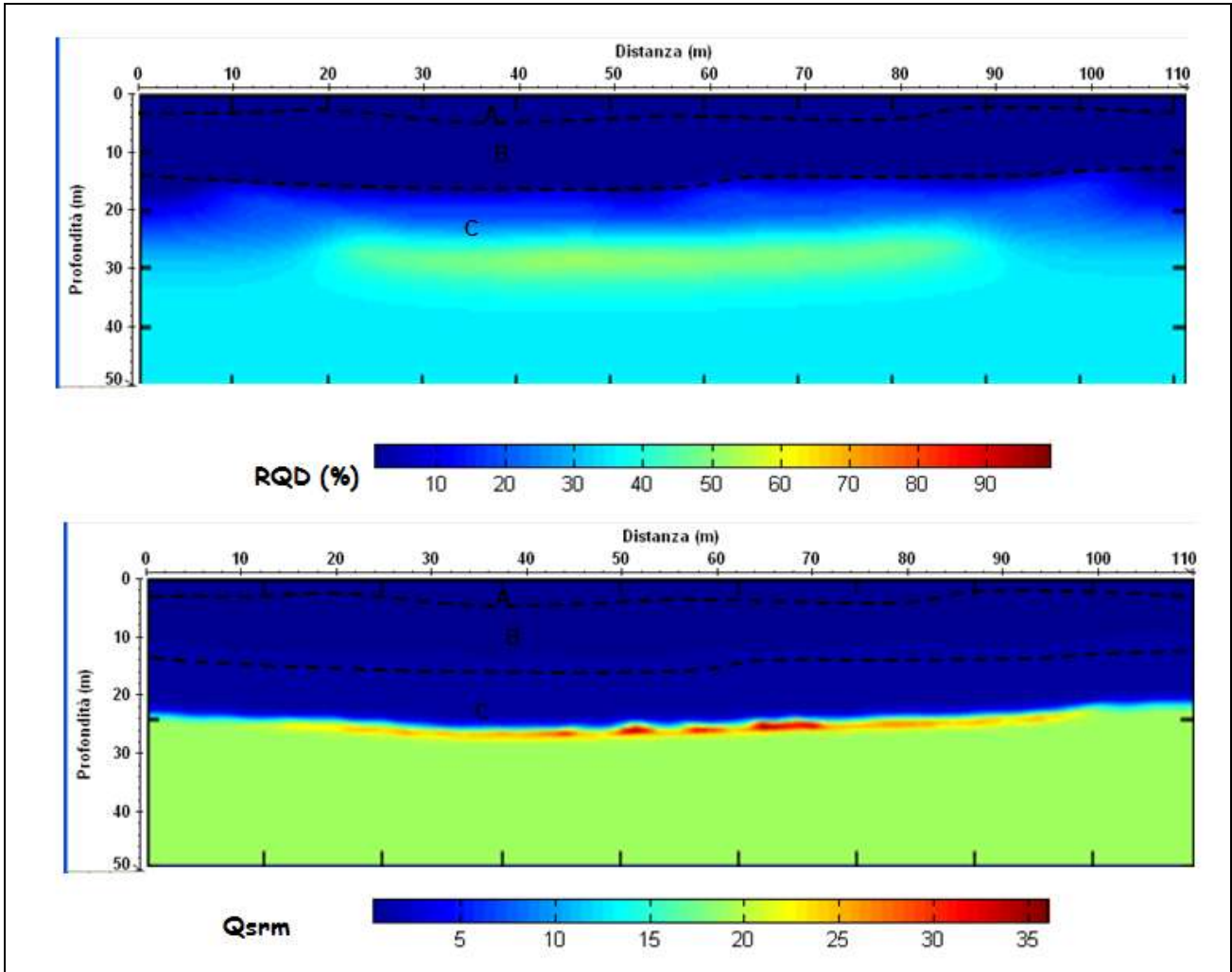
In particolare è possibile distinguere

A:  $V_p=600\text{m/s}$  ( $V_s=300\text{m/s}$ ); strato superficiale da 0.2m a 2.0m circa di profondità;

B:  $900 < V_p < 1200\text{m/s}$  ( $500 < V_s < 800\text{m/s}$ ); probabile presenza di materiale poco compatto che raggiunge una profondità compresa tra 12.5 e 13.5m circa;

C:  $1500 < V_p < 2200\text{m/s}$  ( $1000 < V_s < 1400\text{m/s}$ ); probabile presenza di materiale argilloso compatto.

Attraverso l'utilizzo delle relazioni empiriche sopra descritte è possibile ottenere i modelli di distribuzione dei parametri RQD e Q<sub>sr</sub>m (Fig. 5), densità di massa (Fig. 6), coesione (Fig.7) e permeabilità idraulica (Fig. 8).



**Fig. 5: Modelli di distribuzione di RQD e Q<sub>sr</sub>m a varie profondità.**



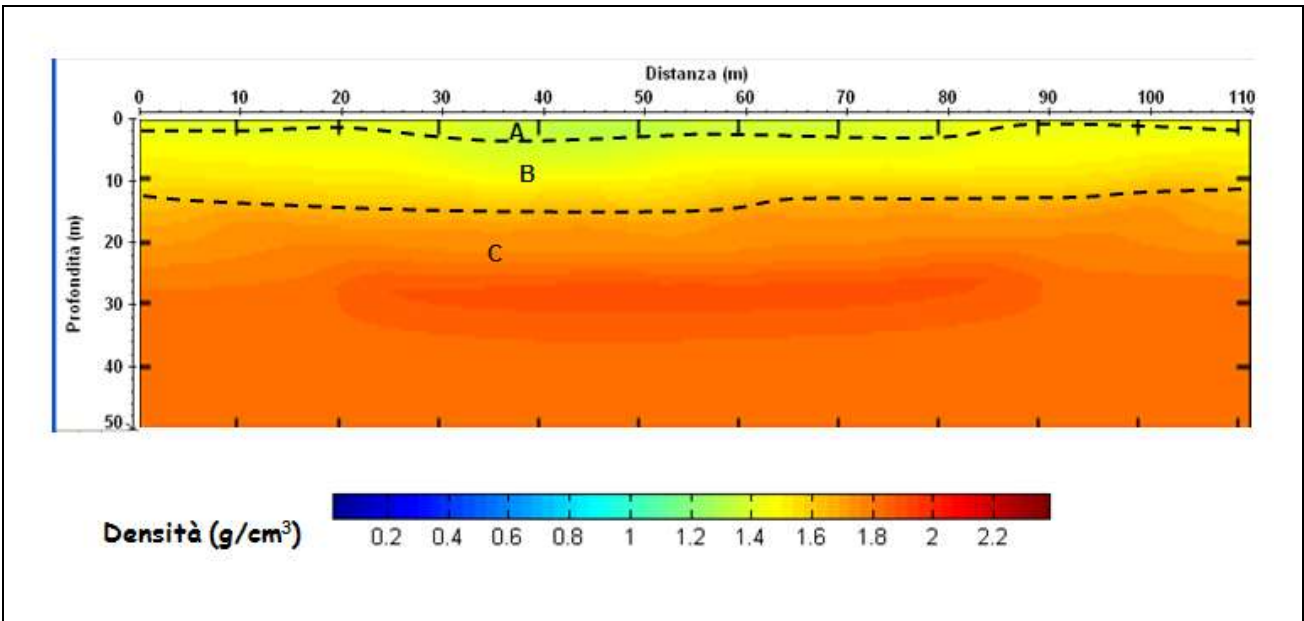


Fig. 6: Modello di distribuzione della densità di massa a varie profondità.

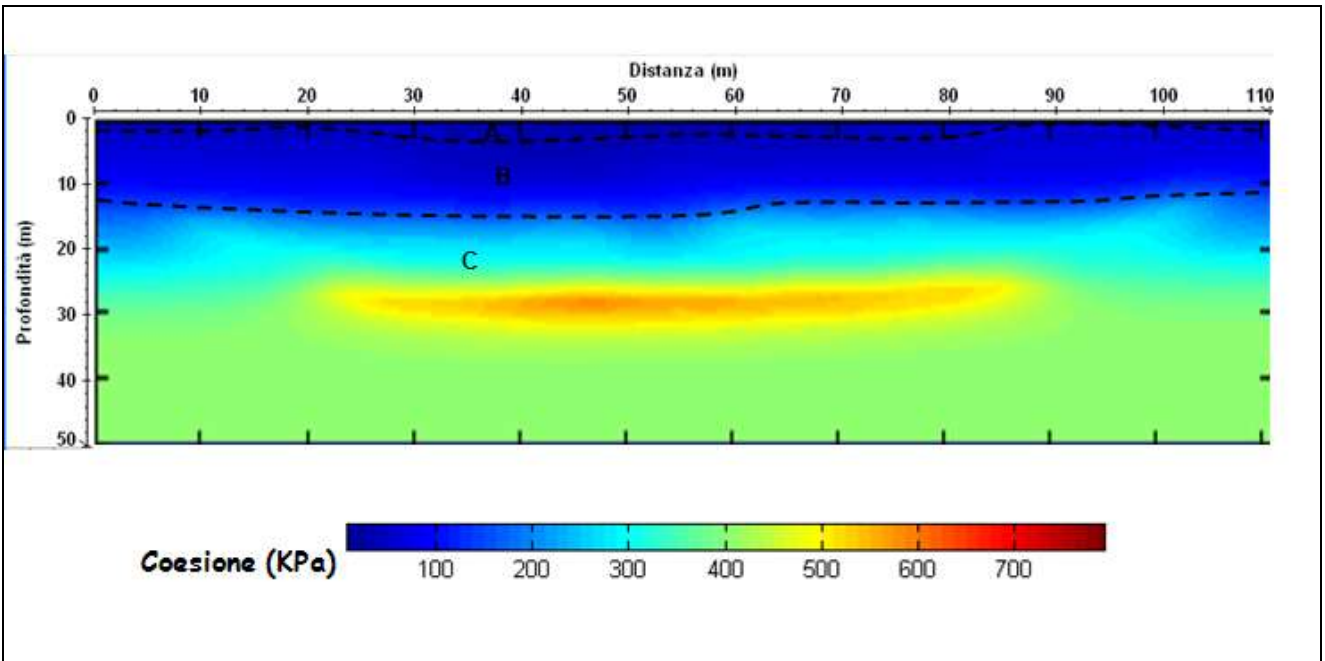
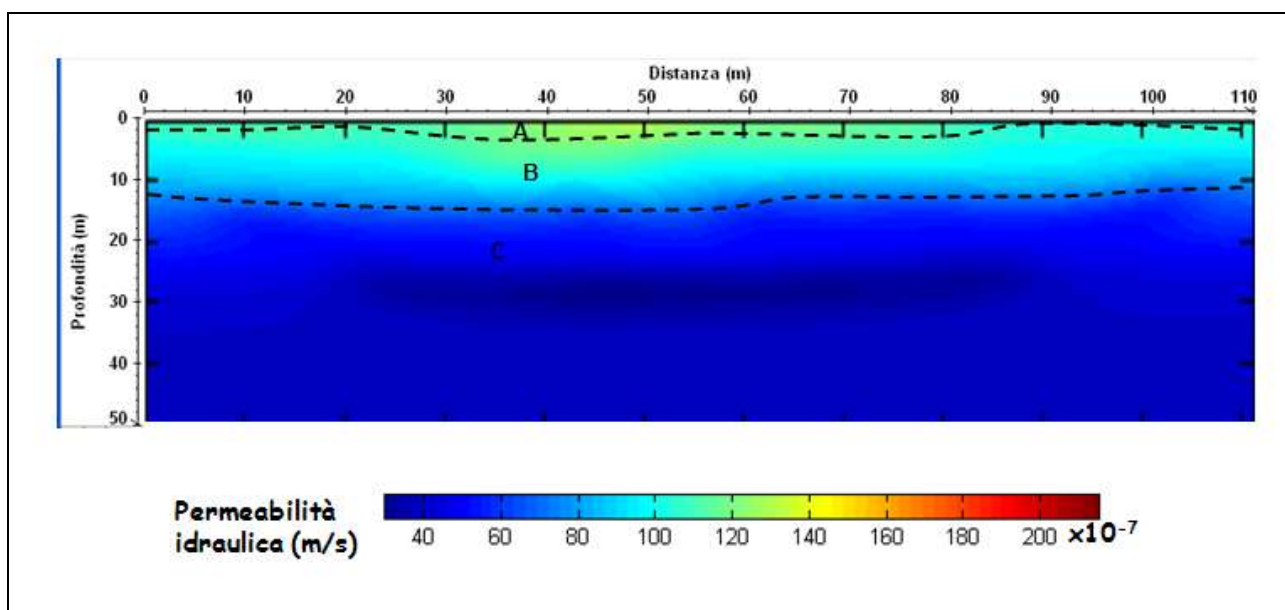


Fig. 7: Modello di distribuzione della coesione a varie profondità.



**Fig. 8: Modello di distribuzione della permeabilità idraulica a varie profondità.**

Analizzando le Figg. 5, 6 e 7 si ottiene la tabella riassuntiva successiva.

**Tab. : Riassunto dei risultati**

strato	RQD (%)	Qsrm	Densità (g/cm <sup>3</sup> )	Coesione (KPa)	Permeabilità idraulica (m/s) x10 <sup>-7</sup>
A				100	120
B	<10	<5	1.6	200	80
C	30-50	5-25	1.8-2.0	300-500	2-5

E' inoltre possibile calcolare i valori del coefficiente di Poisson, del modulo di Young e del modulo di taglio (tab. successiva).

strato	$\sigma$	E (MPa)	G (MPa)	Lamè (MPa)	Bulk (MPa)
B	0.35	1563	579	1350	1736
C	0.35	3596	1332	3108	3996

E' stata inoltre valutata la Vs30 con il metodo MASW.

Nelle prospezioni sismiche per le quali si utilizzano le onde di tipo **P**, la maggior parte dell'energia sismica totale generata si propaga come onde superficiali di tipo **Rayleigh**. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente in frequenza di queste onde è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) e quindi da una diversa lunghezza d'onda. Questa proprietà si chiama *dispersione*. Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di volume (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (**Vs**), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di **Rayleigh** è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

Per ottenere un profilo verticale di velocità **Vs** bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di *dispersione*, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a rifrazione. MASW può essere efficace anche con solo dodici canali di registrazione collegati a geofoni verticali a bassa frequenza (4.5 Hz).

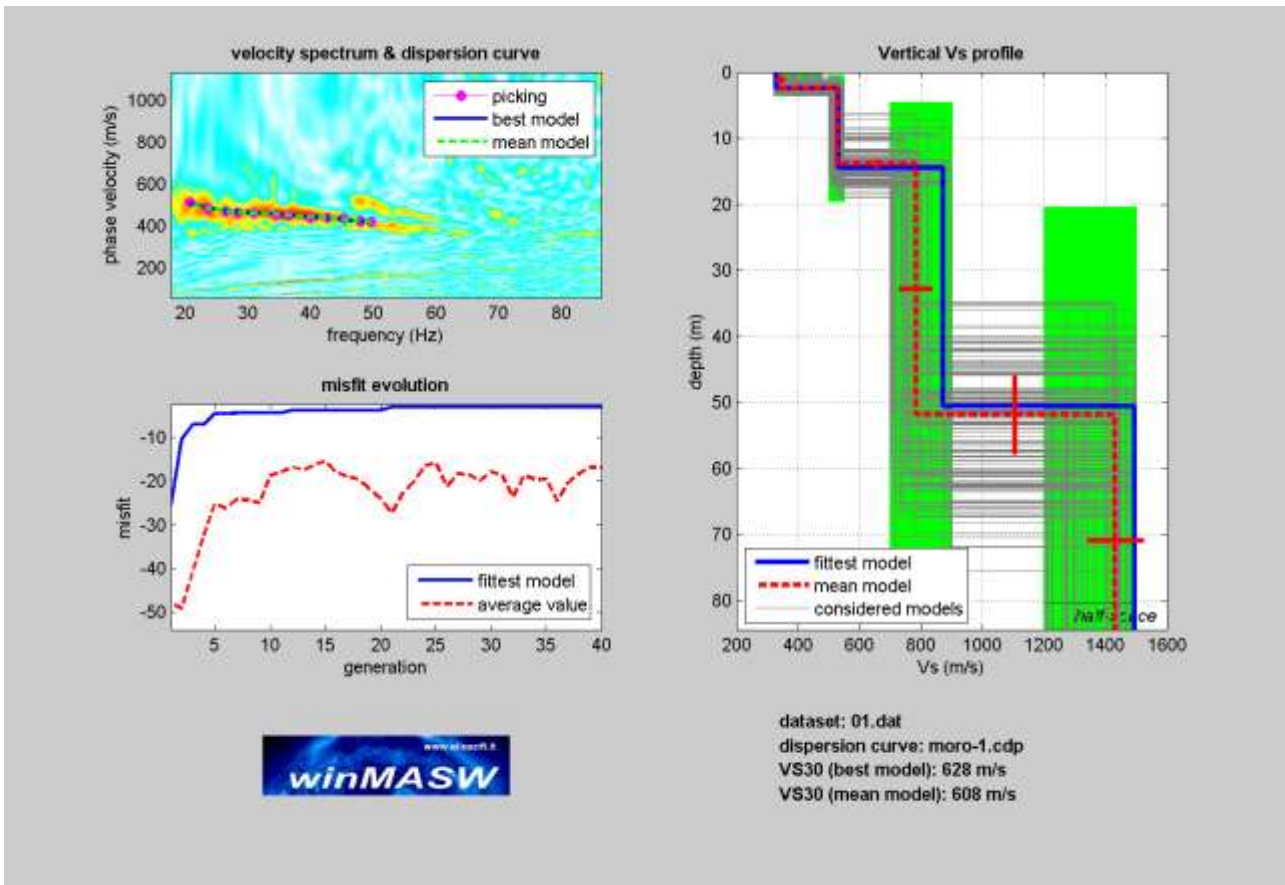
Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde **S (Vs)** è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

- § acquisizione dei dati sperimentali;
- § estrazione della curva di dispersione;

§ inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs (profilo 1-D), che descrive la variazione di Vs con la profondità.

In Fig 9 è riportata la curva di dispersione per il sito in studio assieme al modello di stratificazione utilizzato per il calcolo della Vs30.



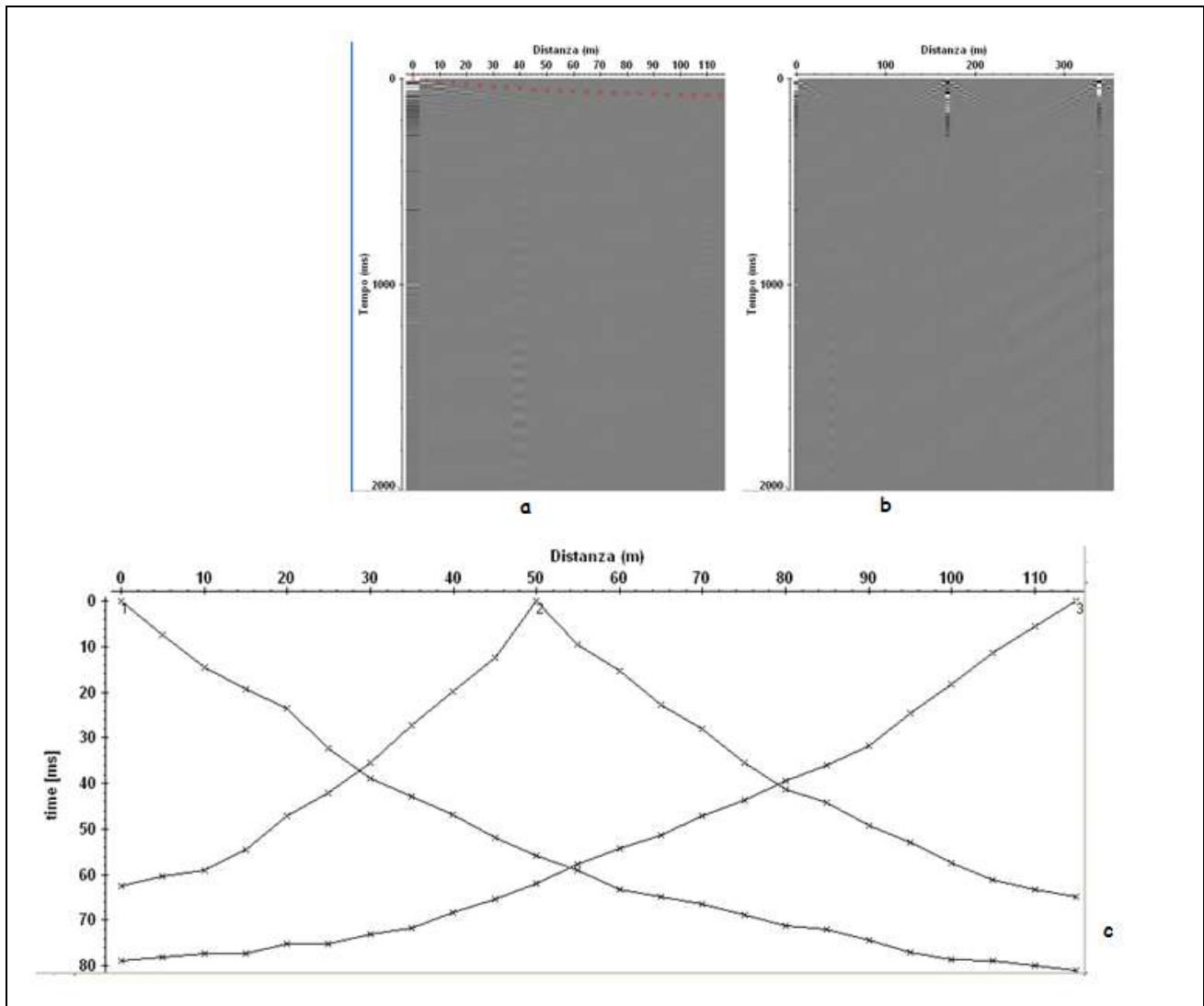
**Fig. 9: Curva di dispersione con profilo verticale della velocità Vs al variare della profondità**

In base ai valori della velocità di propagazione delle onde S si è stimata una Vs30 pari a 608m/s.

### **Profilo sismico 2 – SS2\_24\_5**

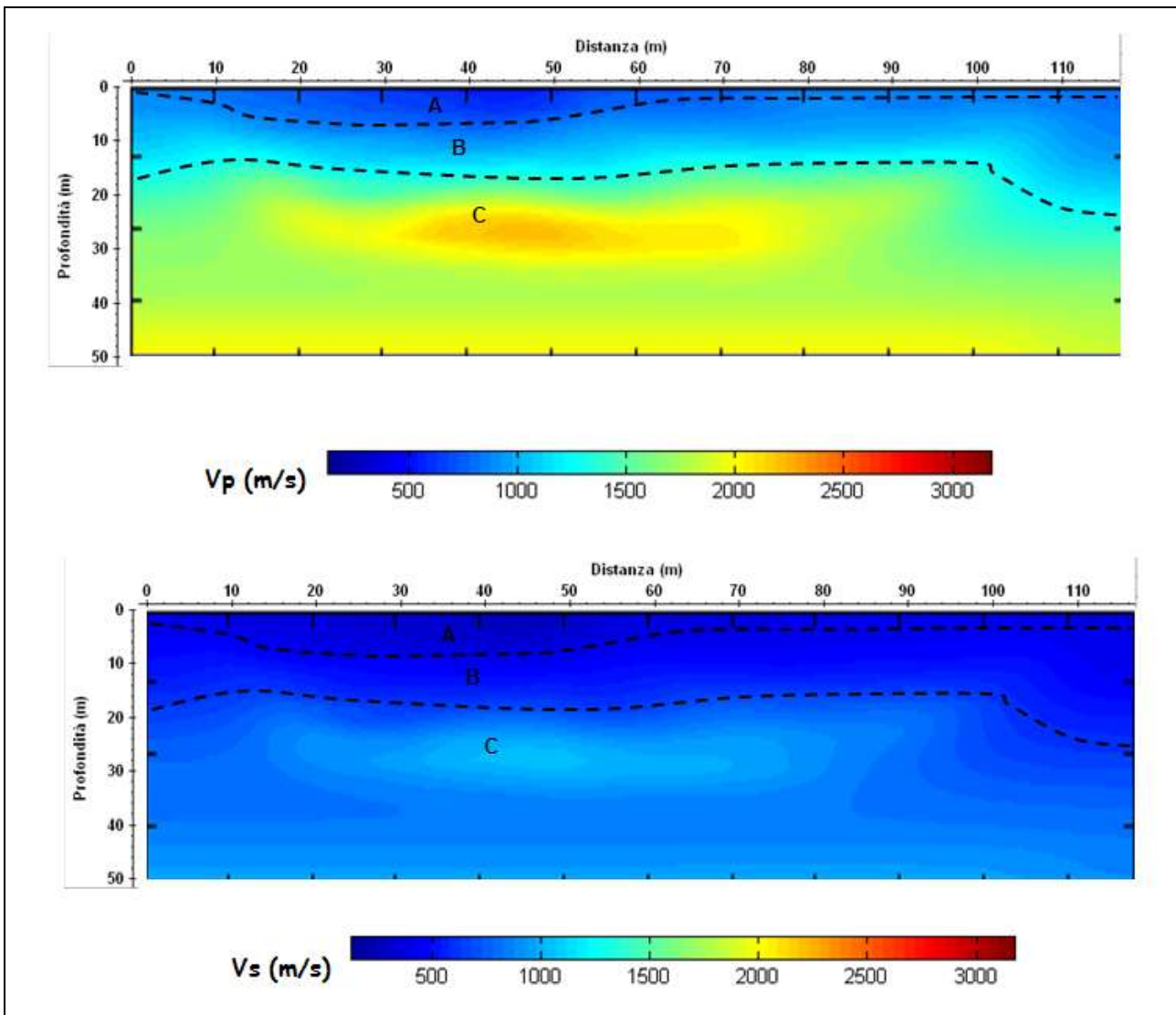
Stesso tipo di acquisizione è stata adottata per il profilo 2.

La lettura dei tempi di primo arrivo (picking) (Fig. 10b), per ogni traccia, su ciascun sismogramma (Fig.10a), consente di ottenere le dromocrone riportate in Fig.10c.



**Fig. 10: a) sismogrammi delle 3 energizzazioni; b) esempio di picking dei primi arrivi; c) Dromocrone relative al profilo sismico.**

La elaborazione delle stesse permette di ottenere il modello di distribuzione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  (Fig. 11).



**Fig. 11: Modello di distribuzione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  a varie profondità.**

Dalla Fig. 11 si evince che i valori di  $V_p$  sono generalmente compresi tra 600m/s e 2200m/s mentre valori di  $V_s$  sono generalmente compresi tra 300m/s e 1400m/s.

In particolare è possibile distinguere

A:  $V_p=600\text{m/s}$  ( $V_s=300\text{m/s}$ ); strato superficiale da 0.2m a 4.0m circa di profondità;

B:  $900 < V_p < 1200\text{m/s}$  ( $500 < V_s < 800\text{m/s}$ ); probabile presenza di materiale poco compatto che raggiunge una profondità compresa tra 14.0 e 20.0m circa;

C:  $1500 < V_p < 2200\text{m/s}$  ( $1000 < V_s < 1400\text{m/s}$ ); probabile presenza di materiale argilloso compatto.



Attraverso l'utilizzo delle relazioni empiriche sopra descritte è possibile ottenere i modelli di distribuzione dei parametri RQD e  $Q_{srm}$  (Fig. 12), densità di massa (Fig. 13), coesione (Fig.14) e permeabilità idraulica (Fig. 15).

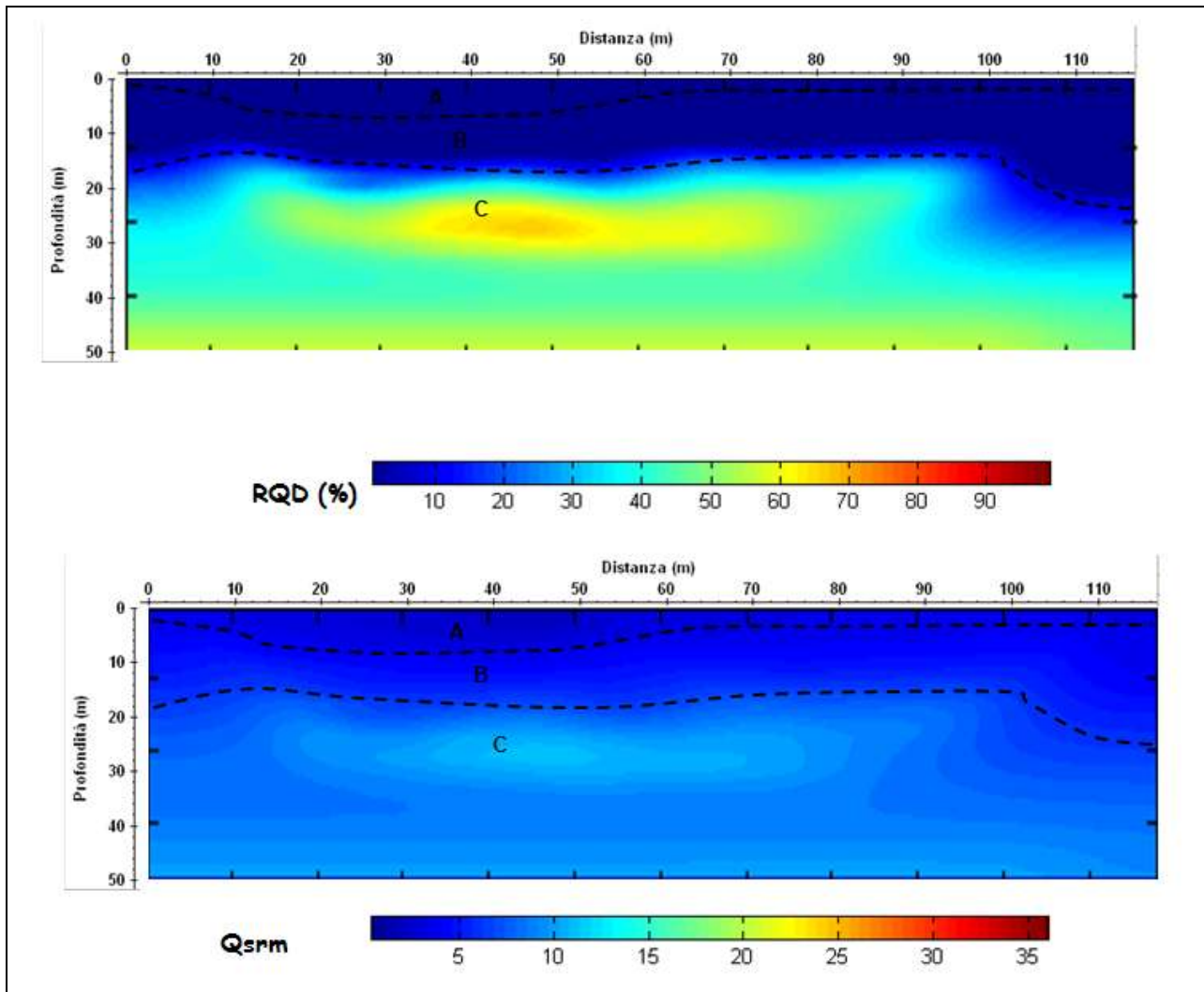


Fig. 12: Modelli di distribuzione di RQD e  $Q_{srm}$  a varie profondità.

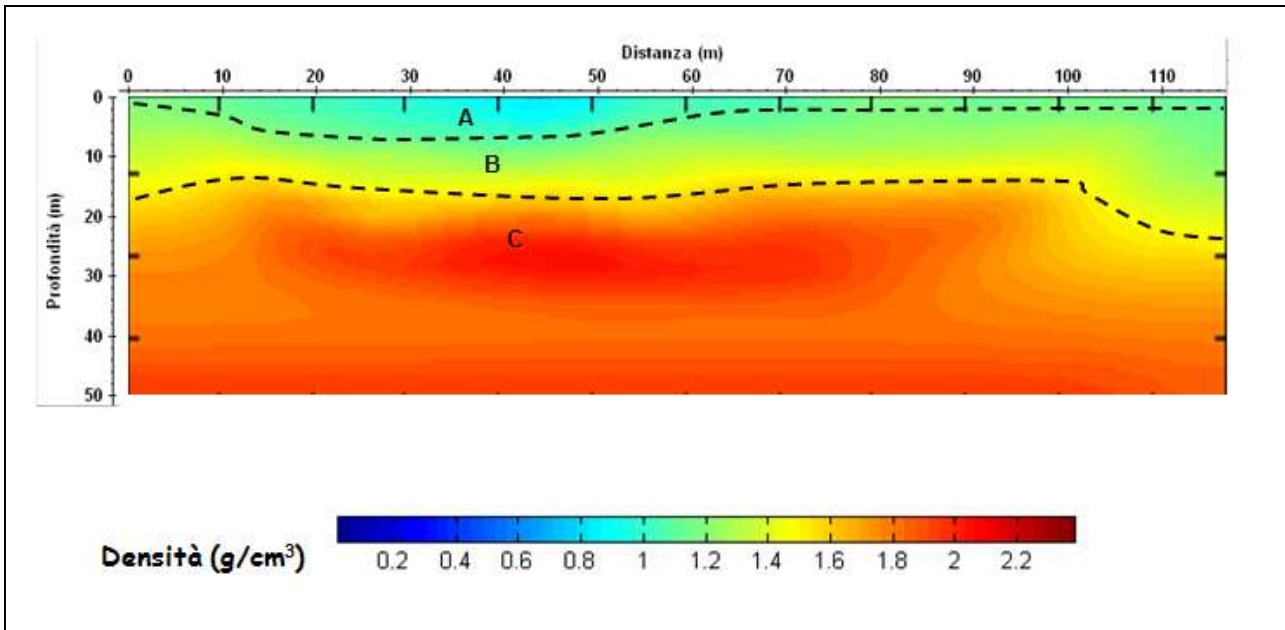


Fig. 13: Modello di distribuzione della densità di massa a varie profondità.

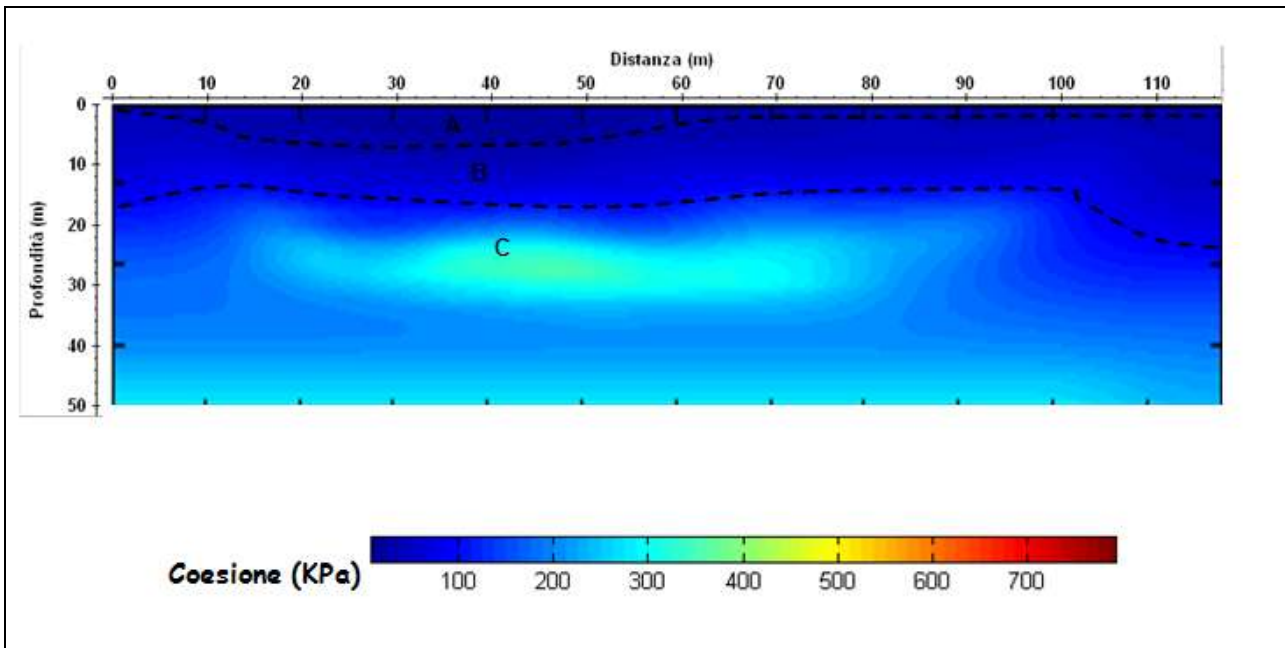
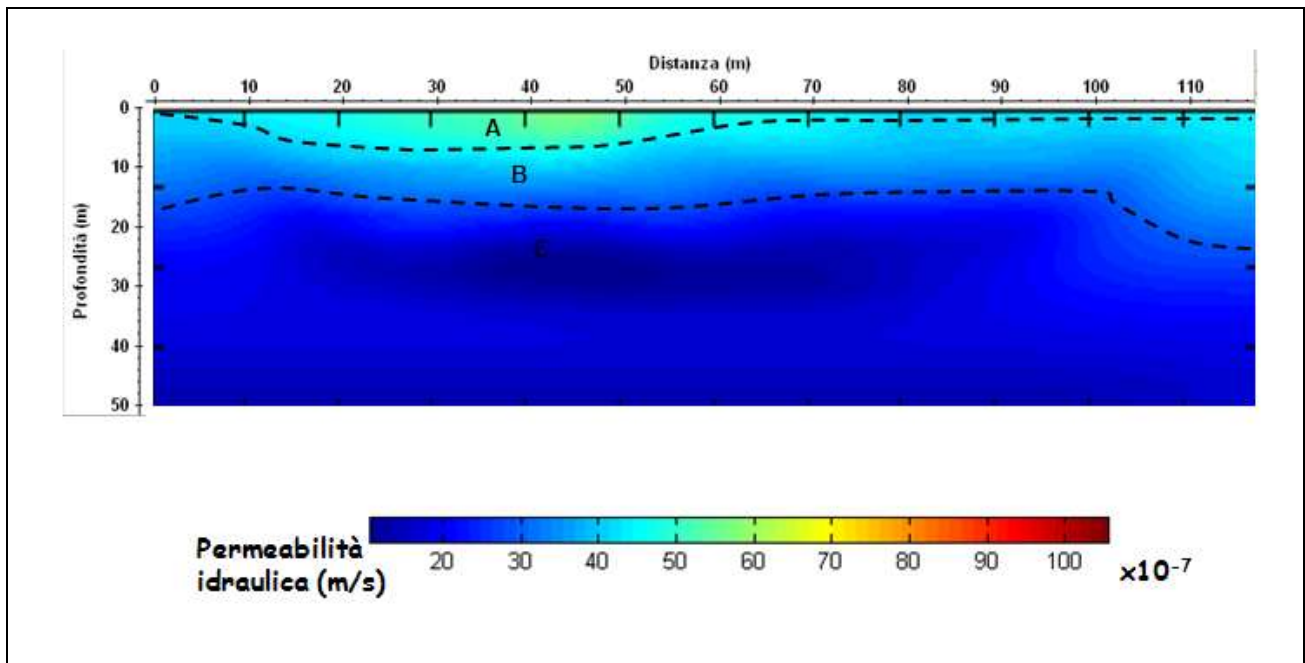


Fig. 14: Modello di distribuzione della coesione a varie profondità.





**Fig. 15: Modello di distribuzione della permeabilità idraulica a varie profondità.**

Analizzando le Figg. 12, 13,...15 si ottiene la tabella riassuntiva 3.

**Tab. 3: Riassunto dei risultati**

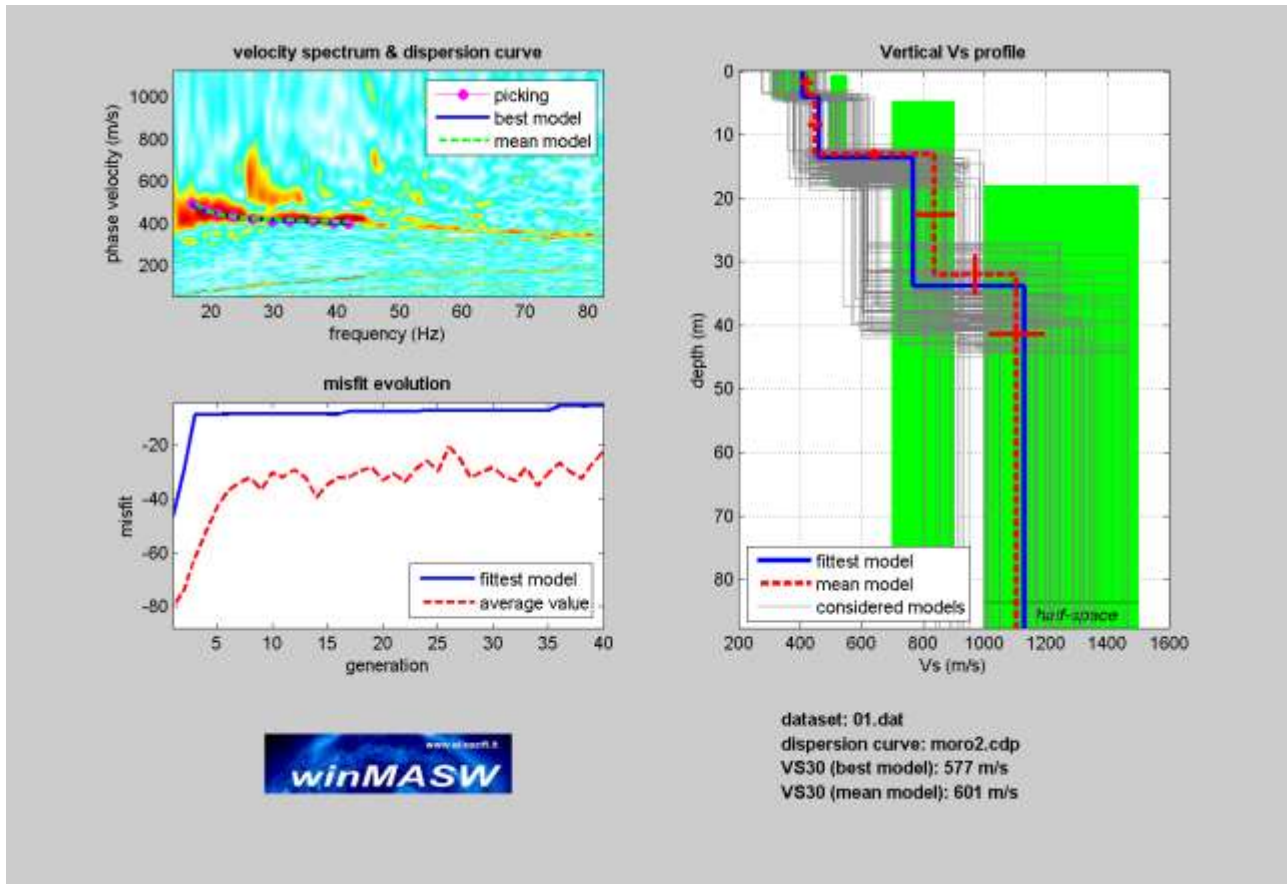
strato	RQD (%)	Q <sub>sr</sub> m	Densità (g/cm <sup>3</sup> )	Coesione (KPa)	Permeabilità idraulica (m/s) x10 <sup>-7</sup>
A				80	60
B	<10	<5	1.6	180	30
C	35-60	5-15	1.8-2.0	300	2-5

E' inoltre possibile calcolare i valori del coefficiente di Poisson, del modulo di Young e del modulo di taglio (tab. 4).

strato	$\sigma$	E (MPa)	G (MPa)	Lamè (MPa)	Bulk (MPa)
B	0.38	1151	417	1325	1604
C	0.33	4056	1525	2949	3966

E' stata inoltre valutata la Vs30 con il metodo MASW.

In Fig 16 è riportata la curva di dispersione per il sito in studio assieme al modello di stratificazione utilizzato per il calcolo della Vs30.



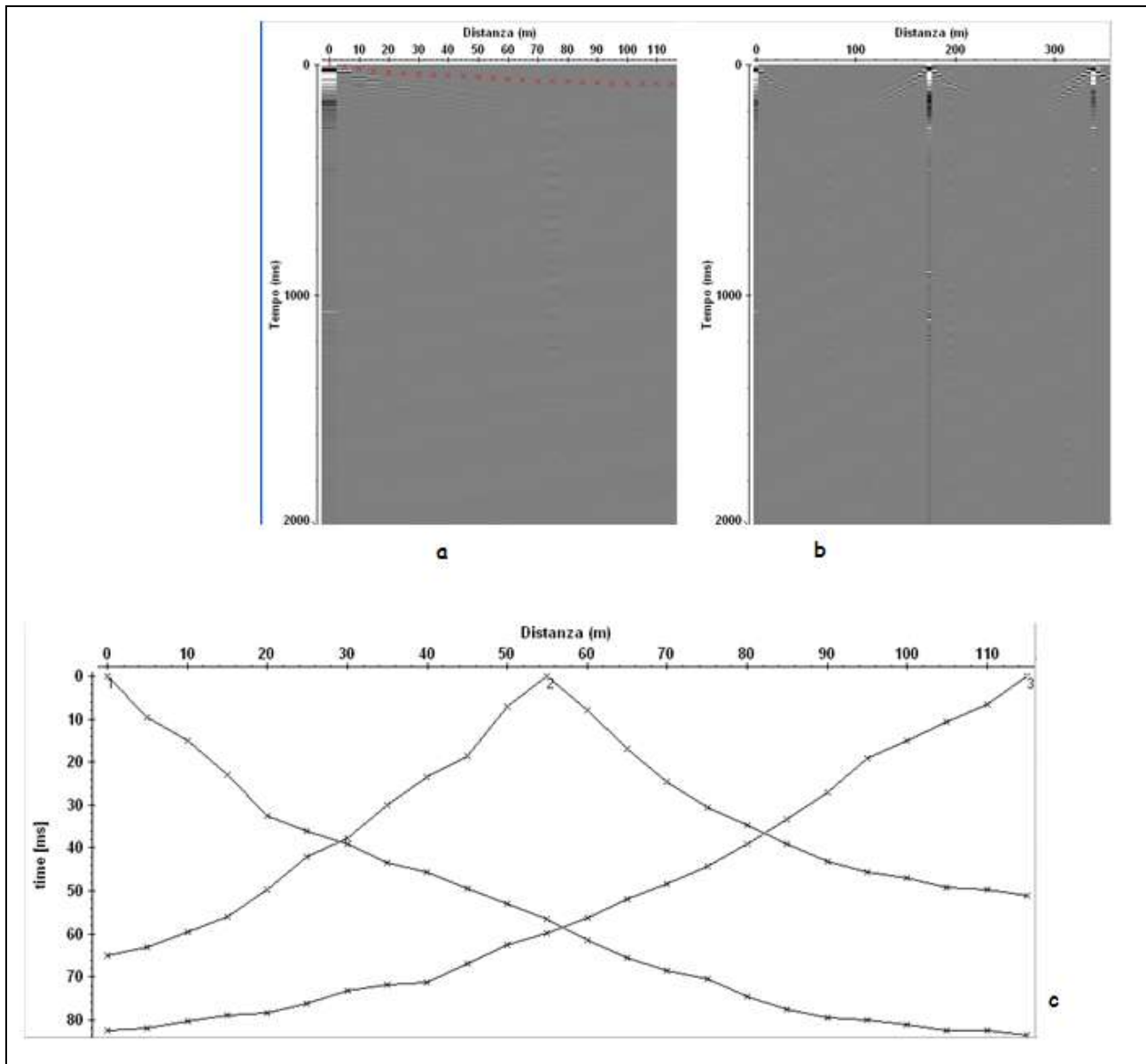
**Fig. 16: Curva di dispersione con profilo verticale della velocità Vs al variare della profondità**

In base ai valori della velocità di propagazione delle onde S si è stimata una Vs30 pari a 601m/s.

### **Profilo sismico 3 – SS3\_24\_5**

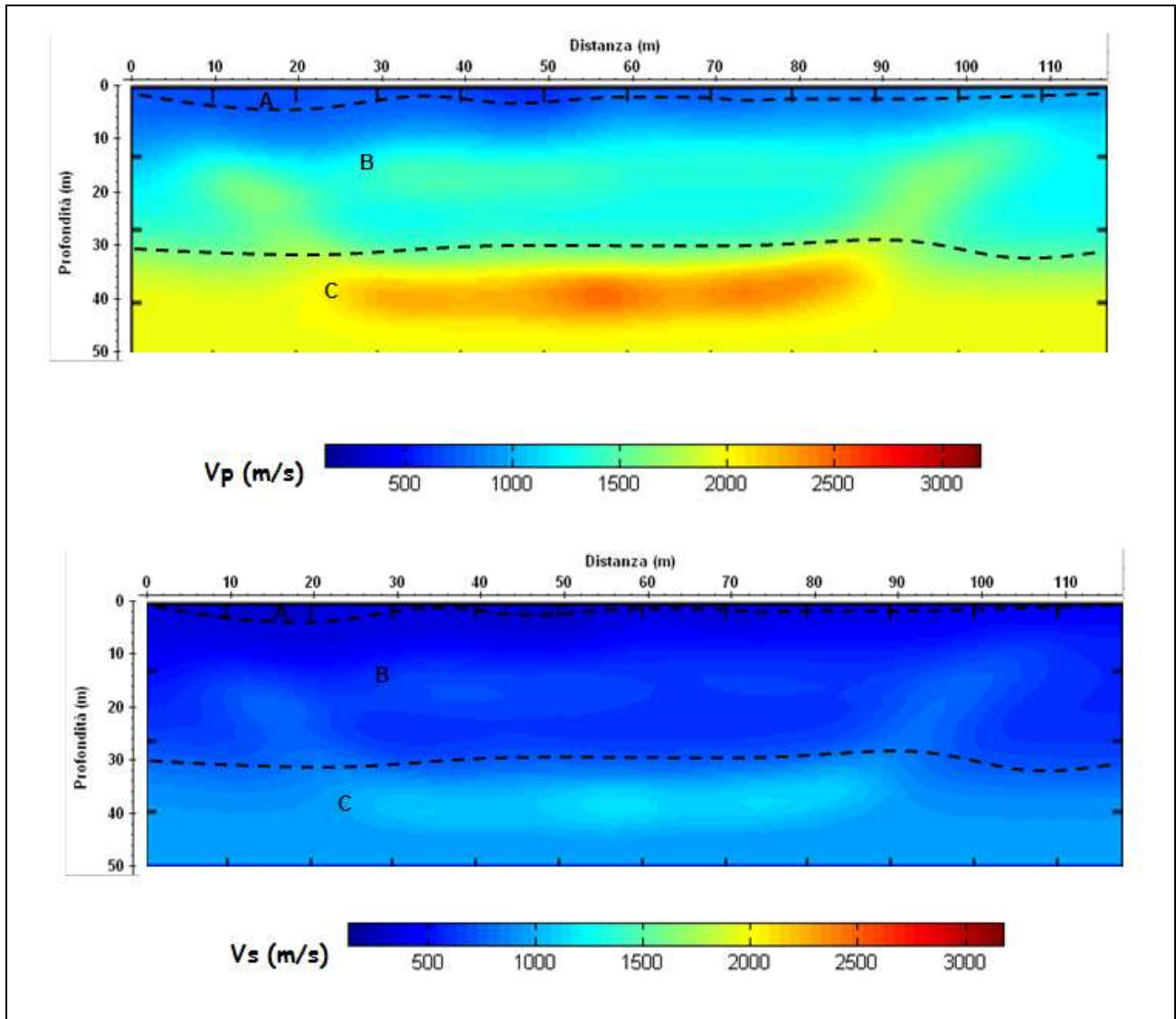
Stesso tipo di acquisizione è stata adottata per il profilo 3.

La lettura dei tempi di primo arrivo (picking) (Fig. 17b), per ogni traccia, su ciascun sismogramma (Fig.17a), consente di ottenere le dromocrone riportate in Fig.17c.



**Fig. 17: a) sismogrammi delle 3 energizzazioni; b) esempio di picking dei primi arrivi; c) Dromocrone relative al profilo sismico.**

La elaborazione delle stesse permette di ottenere il modello di distribuzione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  (Fig. 18).



**Fig. 18: Modello di distribuzione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  a varie profondità.**

Dalla Fig. 18 si evince che i valori di  $V_p$  sono generalmente compresi tra 600m/s e 2200m/s mentre valori di  $V_s$  sono generalmente compresi tra 300m/s e 1400m/s.

In particolare è possibile distinguere

A:  $V_p=600\text{m/s}$  ( $V_s=300\text{m/s}$ ); strato superficiale da 0.2m a 3.5m circa di profondità;

B:  $900 < V_p < 1200\text{m/s}$  ( $500 < V_s < 800\text{m/s}$ ); probabile presenza di materiale poco compatto che raggiunge una profondità compresa tra 28.0 e 30.0m circa;

C:  $1500 < V_p < 2200 \text{ m/s}$  ( $1000 < V_s < 1400 \text{ m/s}$ ); probabile presenza di materiale argilloso compatto.

Attraverso l'utilizzo delle relazioni empiriche sopra descritte è possibile ottenere i modelli di distribuzione dei parametri RQD e  $Q_{srm}$  (Fig. 19), densità di massa (Fig. 20), coesione (Fig. 21) e permeabilità idraulica (Fig. 22).

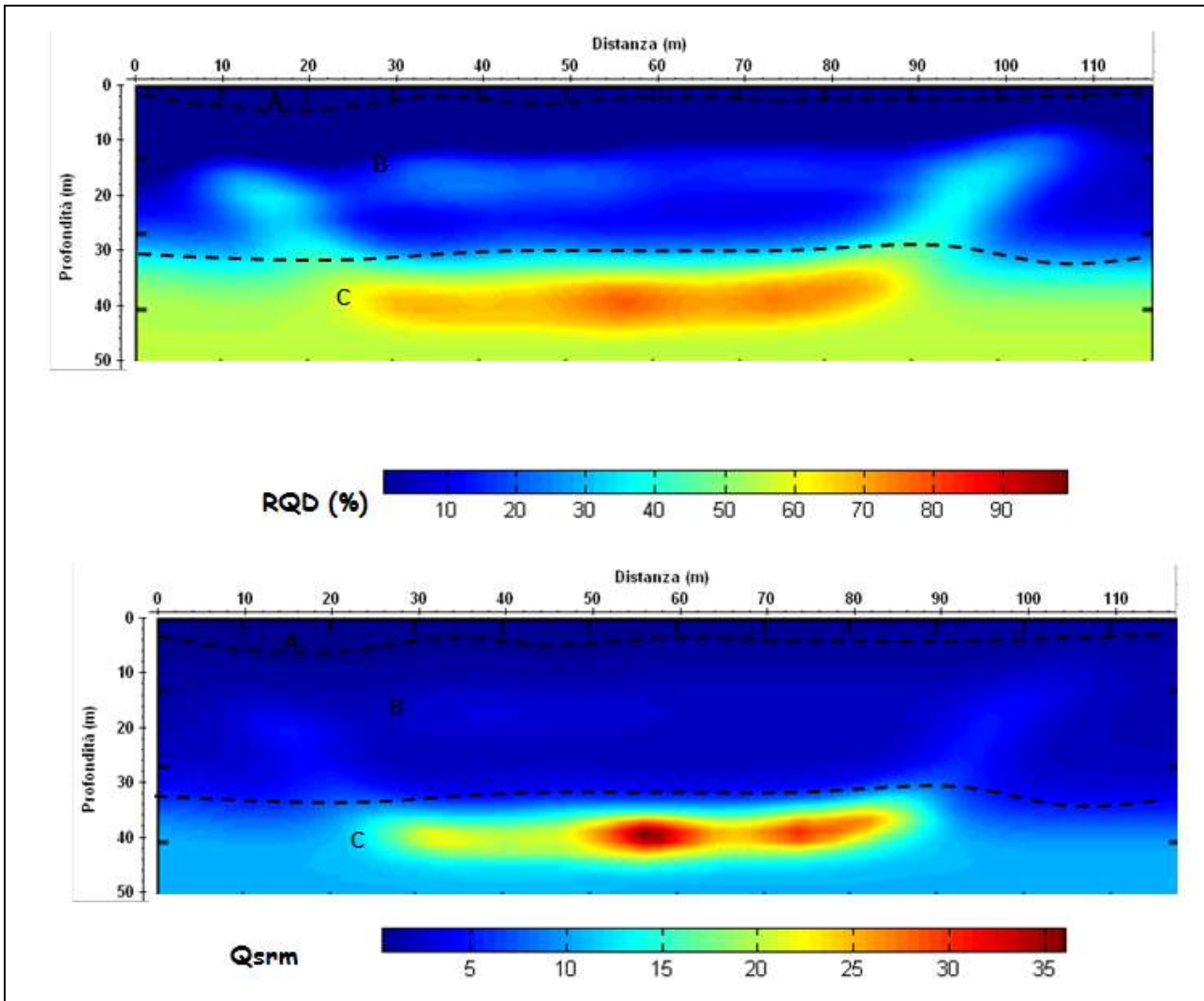
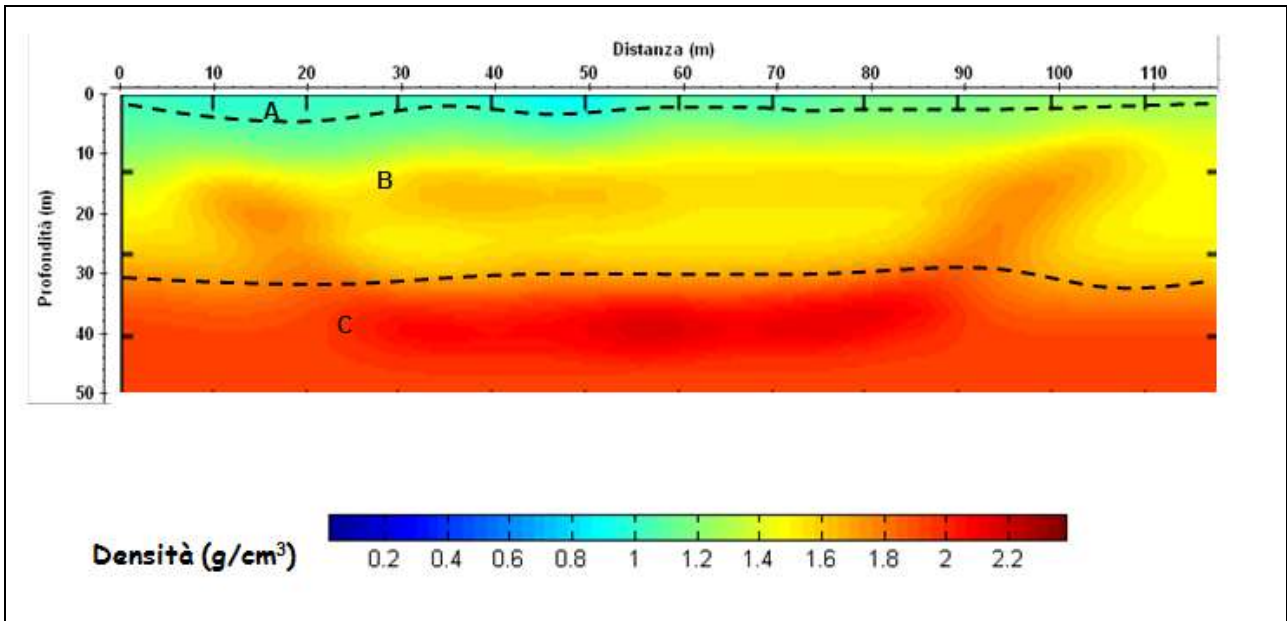
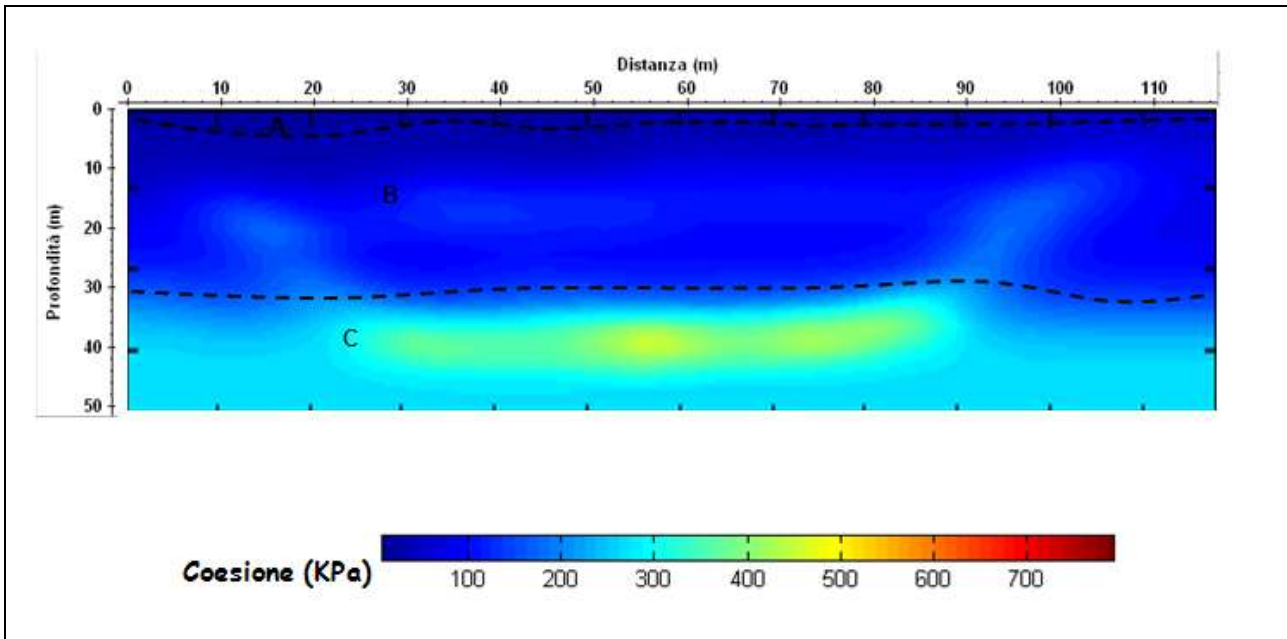


Fig. 19: Modelli di distribuzione di RQD e  $Q_{srm}$  a varie profondità.

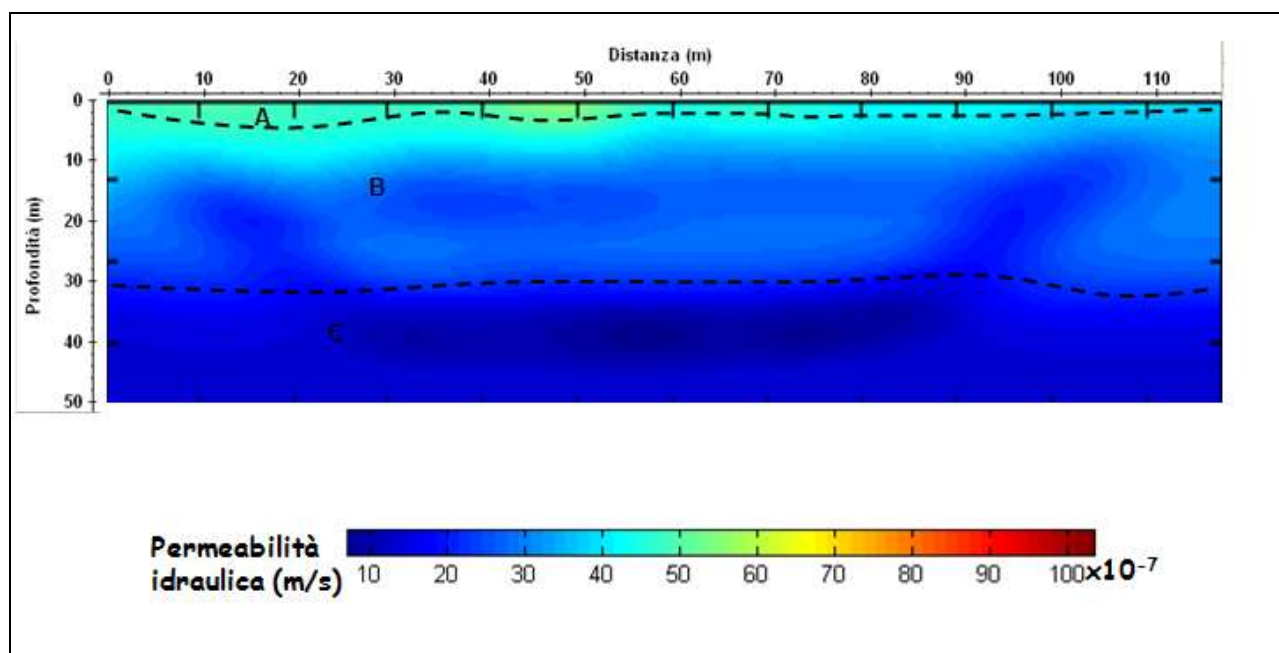




**Fig. 20: Modello di distribuzione della densità di massa a varie profondità.**



**Fig. 21: Modello di distribuzione della coesione a varie profondità.**



**Fig. 22: Modello di distribuzione della permeabilità idraulica a varie profondità.**

Analizzando le Figg. 19, 20,...22 si ottiene la tabella riassuntiva 5.

**Tab. 5: Riassunto dei risultati**

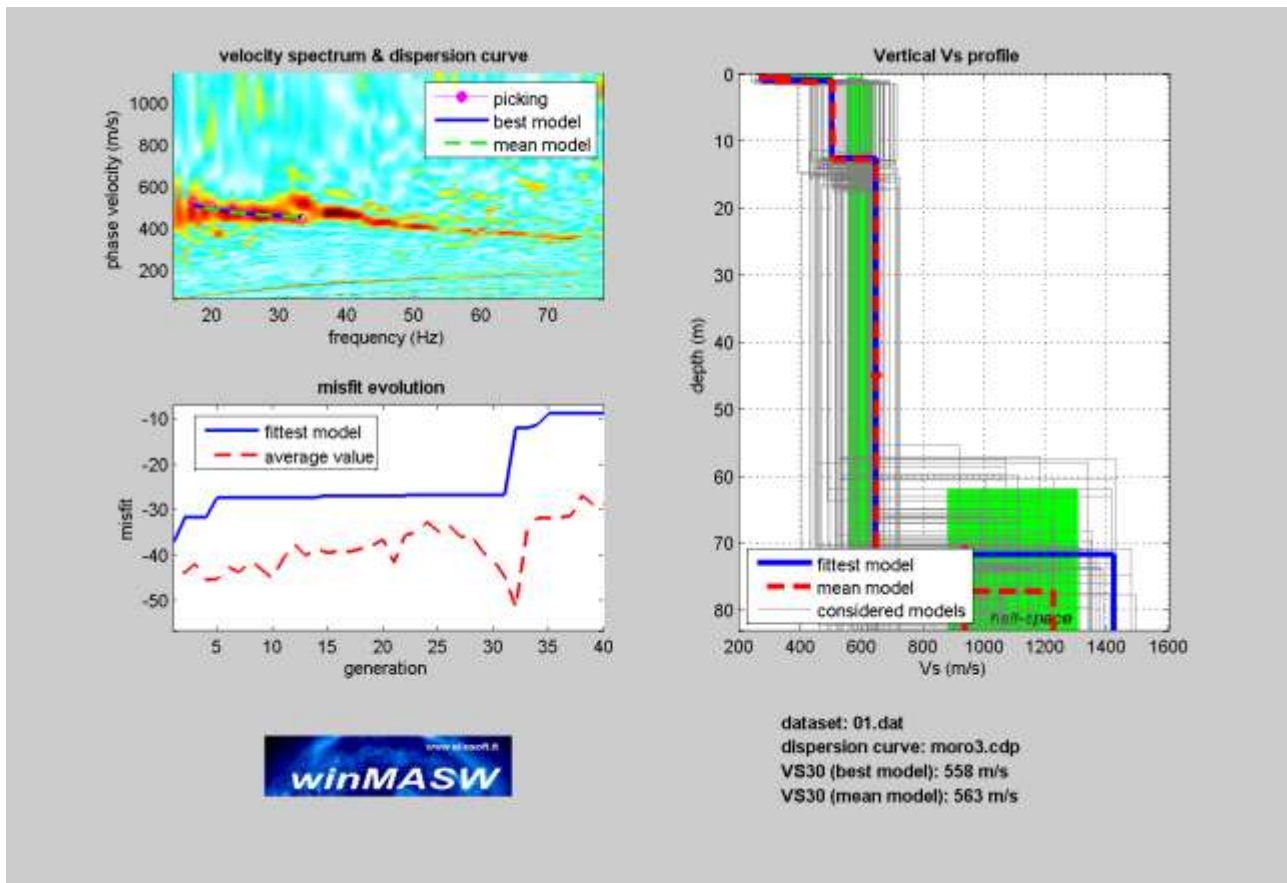
strato	RQD (%)	Qsrm	Densità (g/cm <sup>3</sup> )	Coesione (KPa)	Permeabilità idraulica (m/s) x10 <sup>-7</sup>
A				80	60
B	8-20	5-10	1.6	180	30-50
C	60-70	12-30	1.8-2.0	300-400	1-3

E' inoltre possibile calcolare i valori del coefficiente di Poisson, del modulo di Young e del modulo di taglio (tab. 6).

strato	$\sigma$	E (MPa)	G (MPa)	Lamè (MPa)	Bulk (MPa)
B	0.37	1473	536	1599	1956
C	0.36	2443	896	2362	2959

E' stata inoltre valutata la Vs30 con il metodo MASW.

In Fig 23 è riportata la curva di dispersione per il sito in studio assieme al modello di stratificazione utilizzato per il calcolo della Vs30.



**Fig. 23: Curva di dispersione con profilo verticale della velocità Vs al variare della profondità**

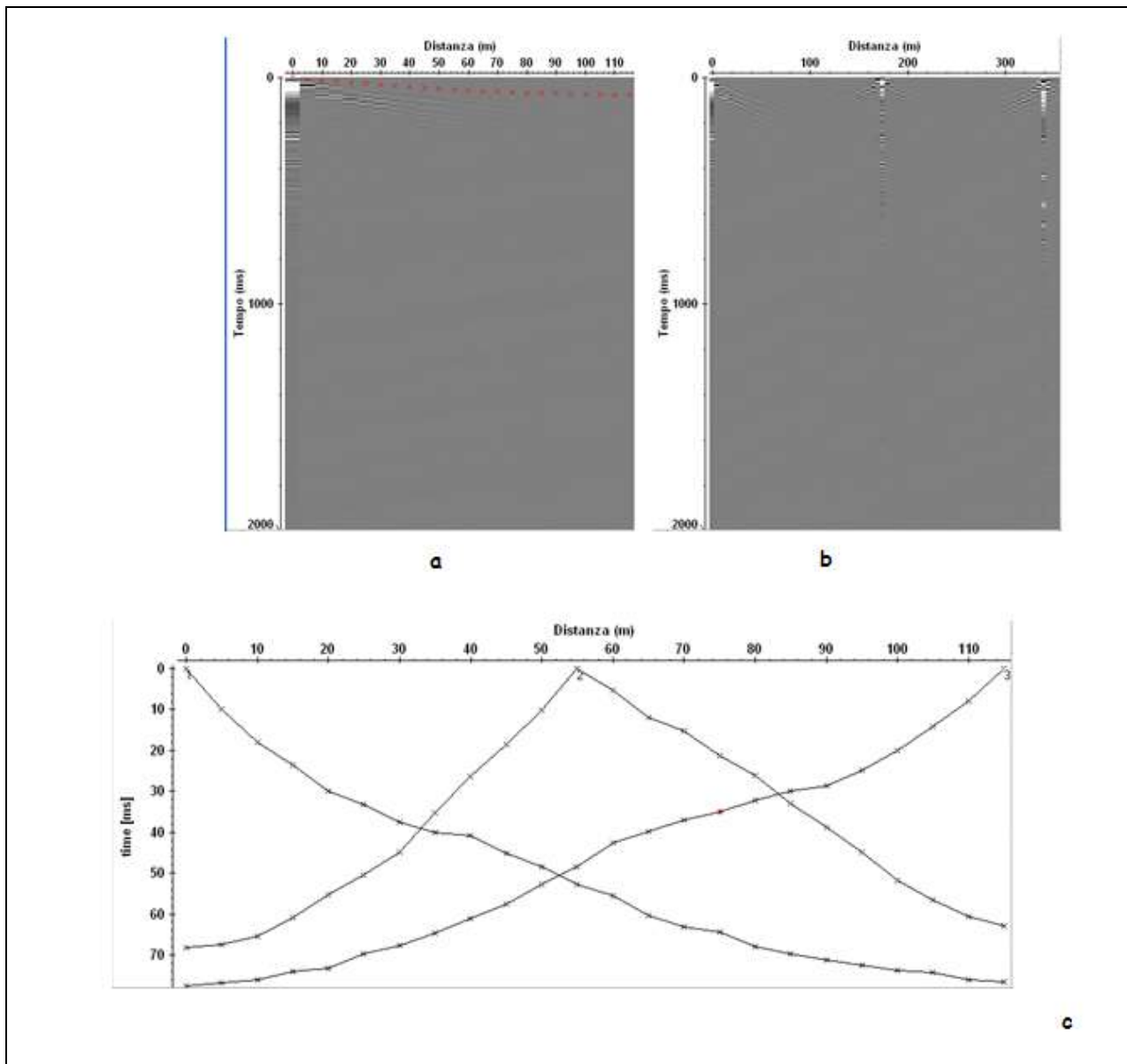
In base ai valori della velocità di propagazione delle onde S si è stimata una Vs30 pari a 563m/s.



### **Profilo sismico 4 – SS4\_24\_5**

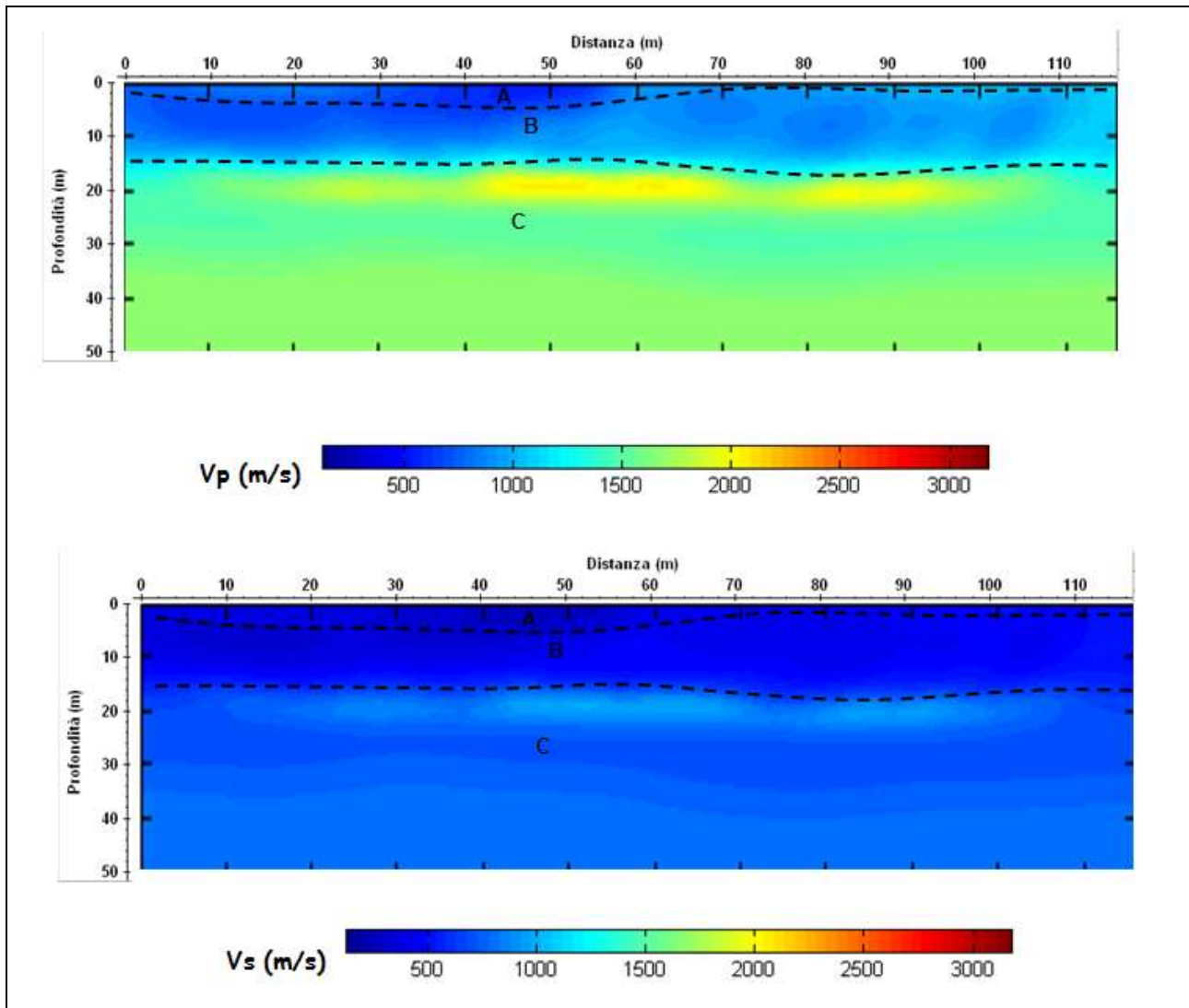
Stesso tipo di acquisizione è stata adottata per il profilo 4.

La lettura dei tempi di primo arrivo (picking) (Fig. 24b), per ogni traccia, su ciascun sismogramma (Fig.24a), consente di ottenere le dromocrone riportate in Fig.24c.



**Fig. 24: a) sismogrammi delle 3 energizzazioni; b) esempio di picking dei primi arrivi; c) Dromocrone relative al profilo sismico.**

La elaborazione delle stesse permette di ottenere il modello di distribuzione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  (Fig. 25).



**Fig. 25: Modello di distribuzione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  a varie profondità.**

Dalla Fig. 25 si evince che i valori di  $V_p$  sono generalmente compresi tra 600m/s e 2200m/s mentre valori di  $V_s$  sono generalmente compresi tra 300m/s e 1200m/s.

In particolare è possibile distinguere

A:  $V_p=600\text{m/s}$  ( $V_s=300\text{m/s}$ ); strato superficiale da 0.2m a 4.0m circa di profondità;

B:  $900 < V_p < 1000\text{m/s}$  ( $500 < V_s < 700\text{m/s}$ ); probabile presenza di materiale poco compatto che raggiunge una profondità compresa tra 14.0 e 15.0m circa;

C:  $1500 < V_p < 2200\text{m/s}$  ( $1000 < V_s < 1200\text{m/s}$ ); probabile presenza di materiale argilloso compatto.

Attraverso l'utilizzo delle relazioni empiriche sopra descritte è possibile ottenere i modelli di distribuzione dei parametri RQD e  $Q_{srm}$  (Fig. 26), densità di massa (Fig. 27), coesione (Fig.28) e permeabilità idraulica (Fig. 29).

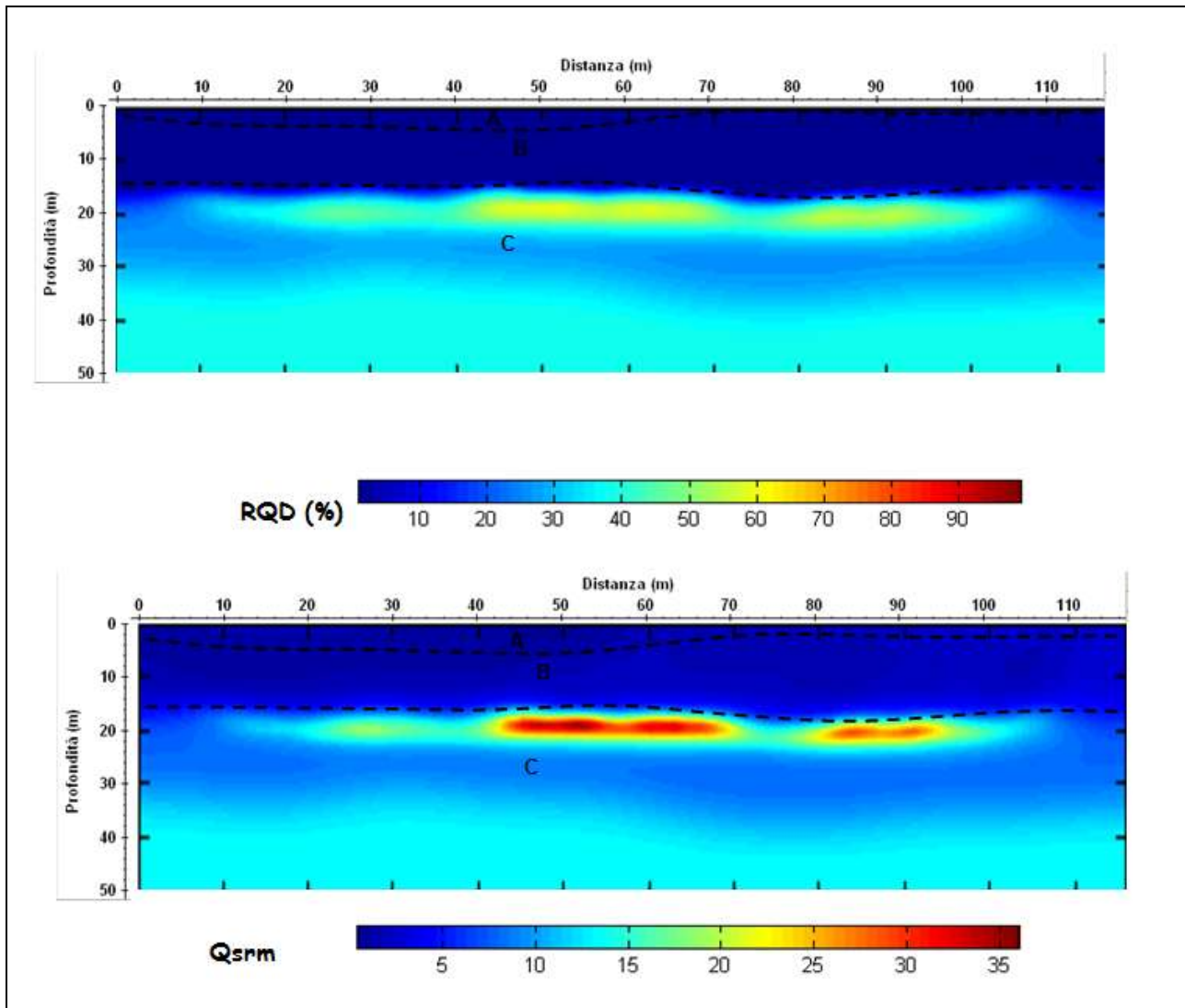


Fig. 26: Modelli di distribuzione di RQD e  $Q_{srm}$  a varie profondità.

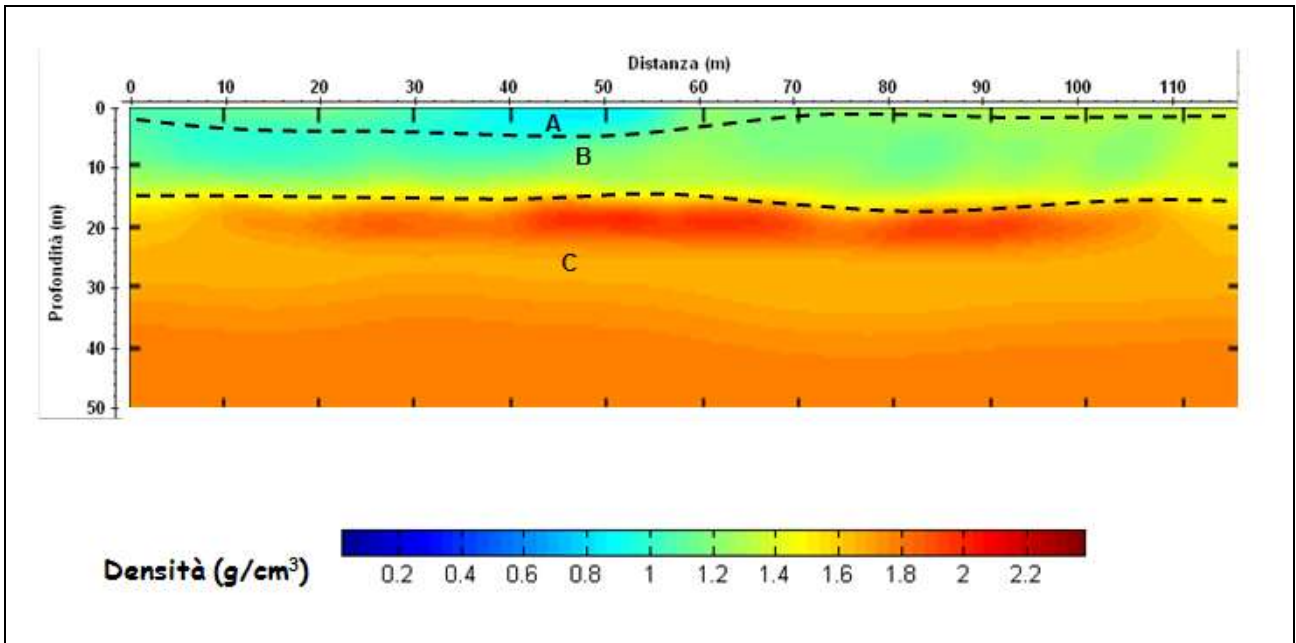


Fig. 27: Modello di distribuzione della densità di massa a varie profondità.

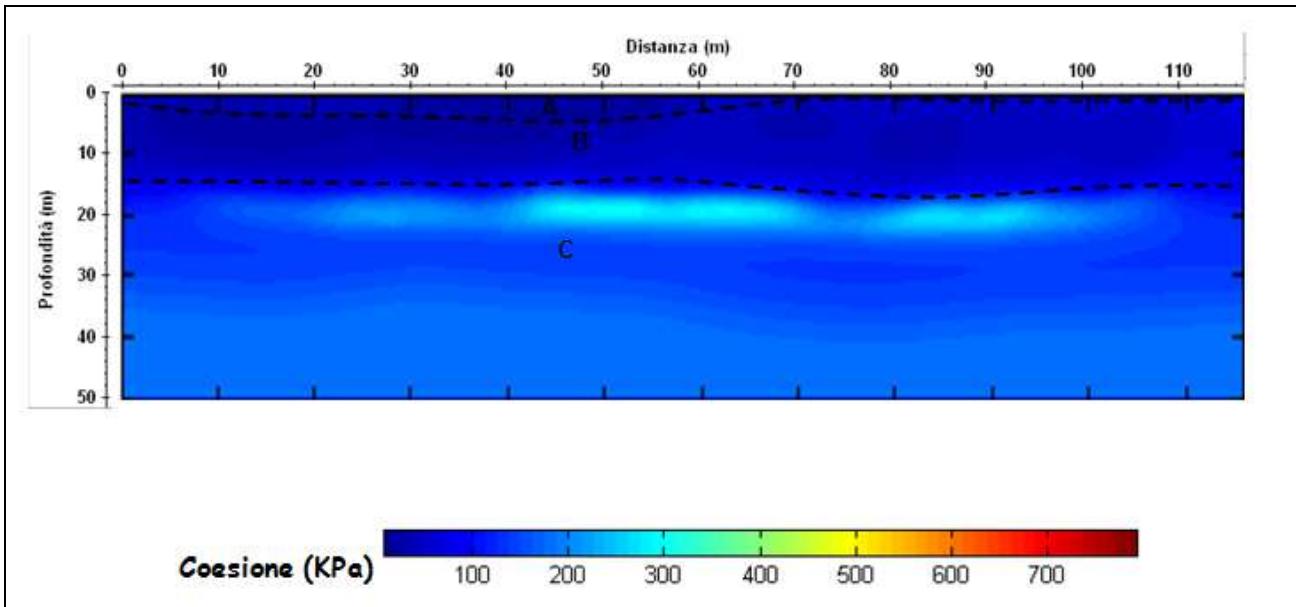
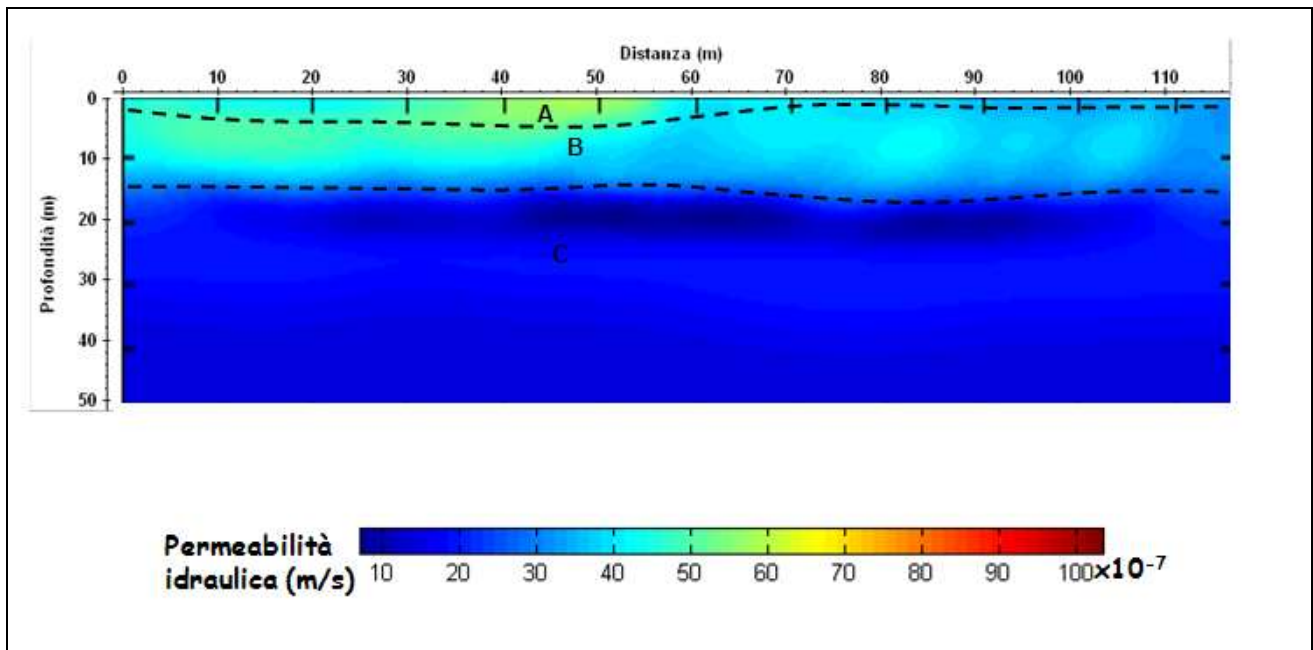


Fig. 28: Modello di distribuzione della coesione a varie profondità.



**Fig. 29: Modello di distribuzione della permeabilità idraulica a varie profondità.**

Analizzando le Figg. 26, 27,...29 si ottiene la tabella riassuntiva 7.

**Tab. 7: Riassunto dei risultati**

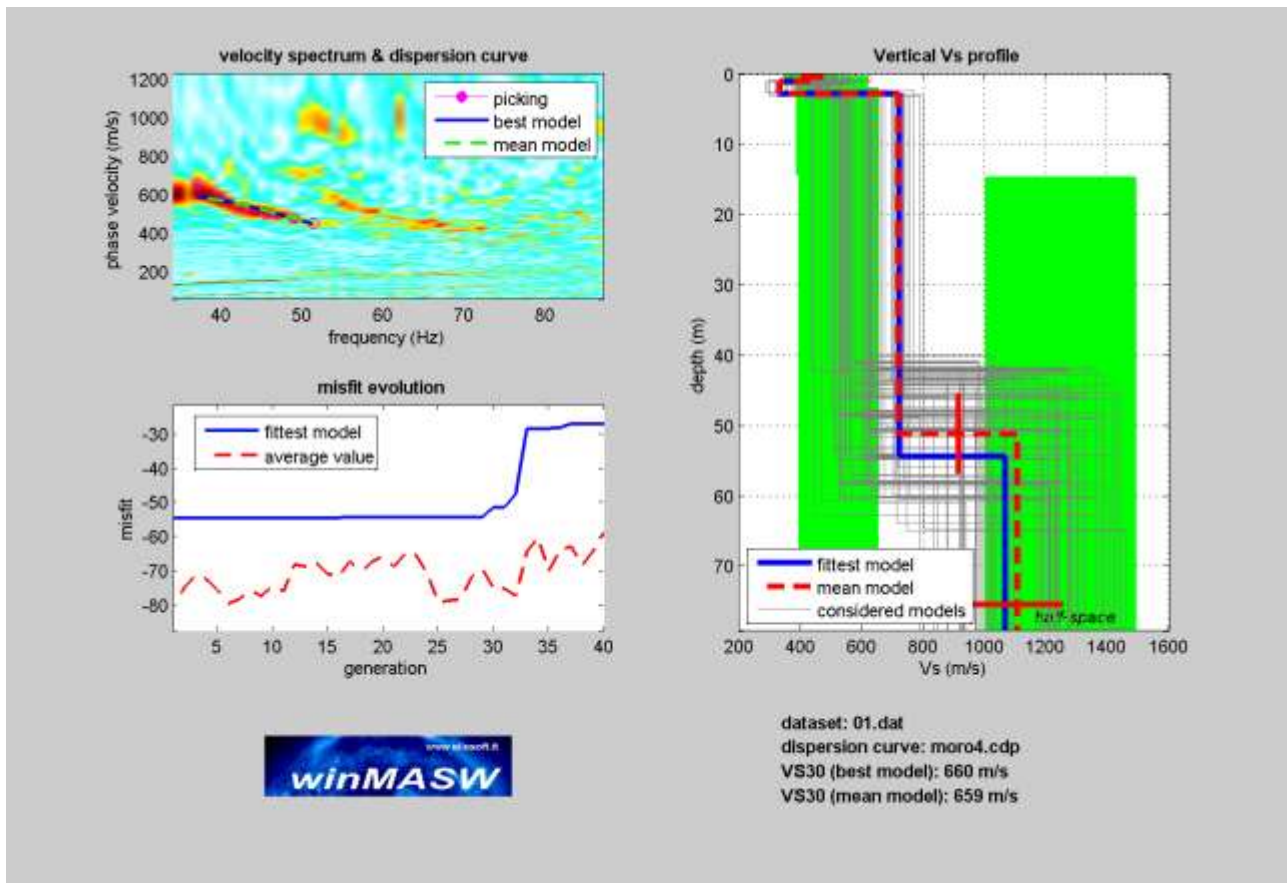
strato	RQD (%)	Qsrm	Densità (g/cm <sup>3</sup> )	Coazione (KPa)	Permeabilità idraulica (m/s) x10 <sup>-7</sup>
A				40	60
B	<10	5-7	1.4	100	40-50
C	30-60	10-30	1.8-2.0	200-300	0-3

E' inoltre possibile calcolare i valori del coefficiente di Poisson, del modulo di Young e del modulo di taglio (tab. 8).

strato	$\sigma$	E (MPa)	G (MPa)	Lamè (MPa)	Bulk (MPa)
B	0.35	591	219	505	651
C	0.37	3067	1119	3187	3934

E' stata inoltre valutata la Vs30 con il metodo MASW.

In Fig 30 è riportata la curva di dispersione per il sito in studio assieme al modello di stratificazione utilizzato per il calcolo della Vs30.



**Fig. 30: Curva di dispersione con profilo verticale della velocità Vs al variare della profondità**

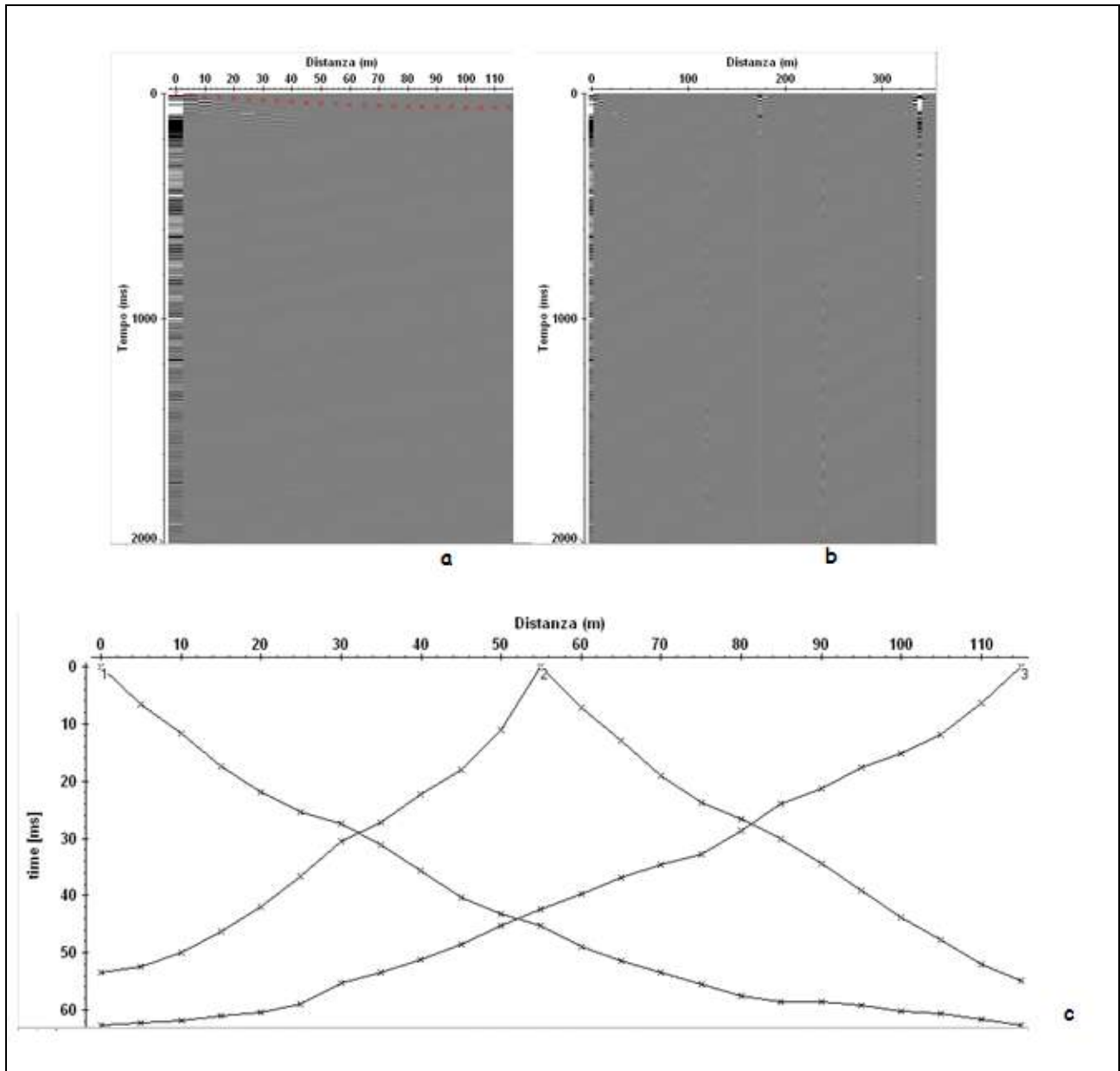
In base ai valori della velocità di propagazione delle onde S si è stimata una Vs30 pari a 659m/s.



### **Profilo sismico 5 – SS5\_24\_5**

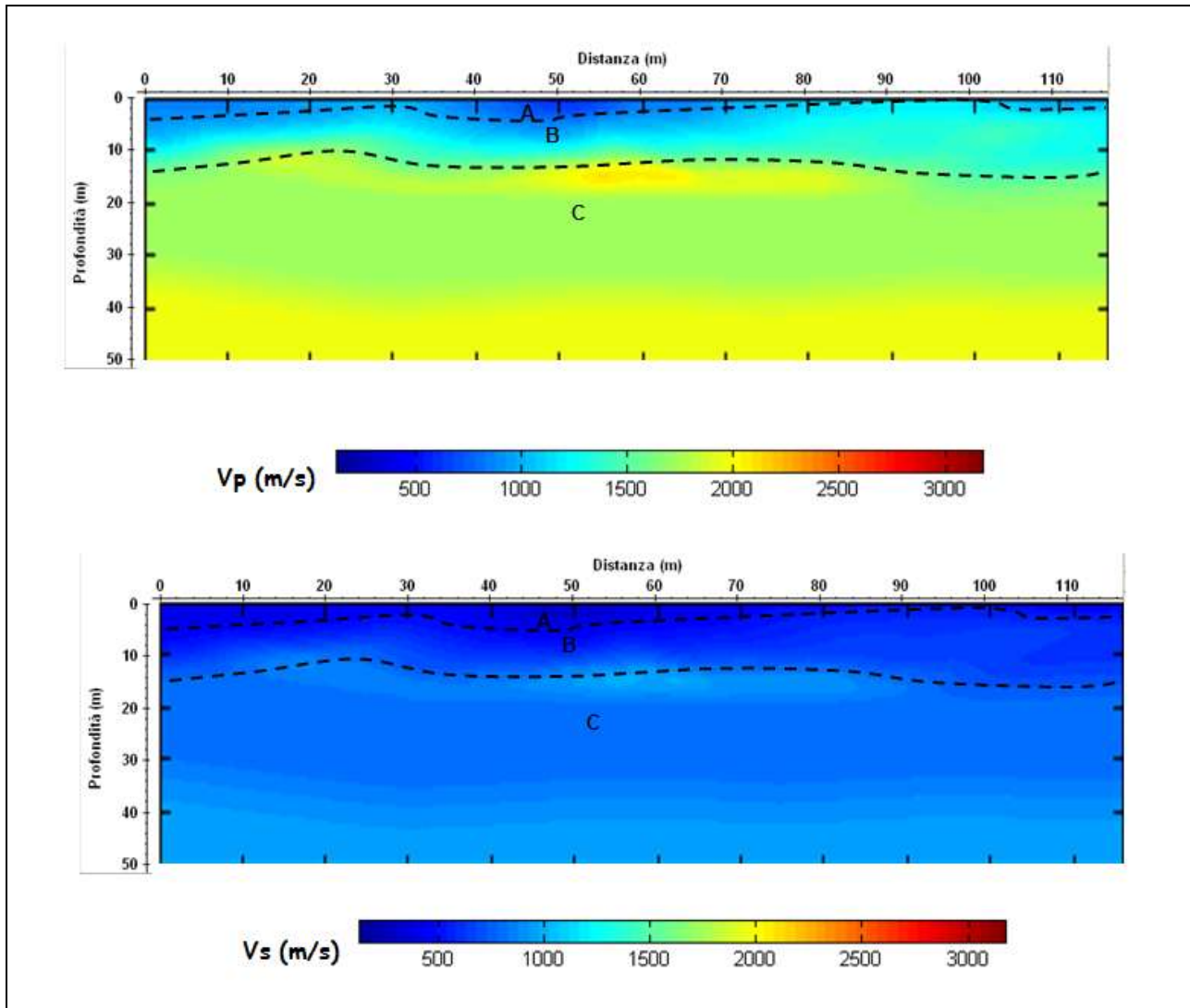
Stesso tipo di acquisizione è stata adottata per il profilo 5 (Fig. 2 a pag.12 – geometria del profilo ).

La lettura dei tempi di primo arrivo (picking) (Fig. 31b), per ogni traccia, su ciascun sismogramma (Fig.31a), consente di ottenere le dromocrone riportate in Fig.31c.



**Fig. 31: a) sismogrammi delle 3 energizzazioni; b) esempio di picking dei primi arrivi; c) Dromocrone relative al profilo sismico.**

La elaborazione delle stesse permette di ottenere il modello di distribuzione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  (Fig. 32).



**Fig. 32: Modello di distribuzione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  a varie profondità.**

Dalla Fig. 32 si evince che i valori di  $V_p$  sono generalmente compresi tra 600m/s e 2200m/s mentre valori di  $V_s$  sono generalmente compresi tra 300m/s e 1200m/s.

In particolare è possibile distinguere

A:  $V_p=600\text{m/s}$  ( $V_s=300\text{m/s}$ ); strato superficiale da 0.2m a 4.5m circa di profondità;

B:  $900 < V_p < 1000\text{m/s}$  ( $500 < V_s < 700\text{m/s}$ ); probabile presenza di materiale poco compatto che raggiunge una profondità compresa tra 12.0 e 15.0m circa;



C:  $1500 < V_p < 2200 \text{ m/s}$  ( $1000 < V_s < 1200 \text{ m/s}$ ); probabile presenza di materiale argilloso compatto.

Attraverso l'utilizzo delle relazioni empiriche sopra descritte è possibile ottenere i modelli di distribuzione dei parametri RQD e  $Q_{srm}$  (Fig. 33), densità di massa (Fig. 34), coesione (Fig.35) e permeabilità idraulica (Fig. 36).

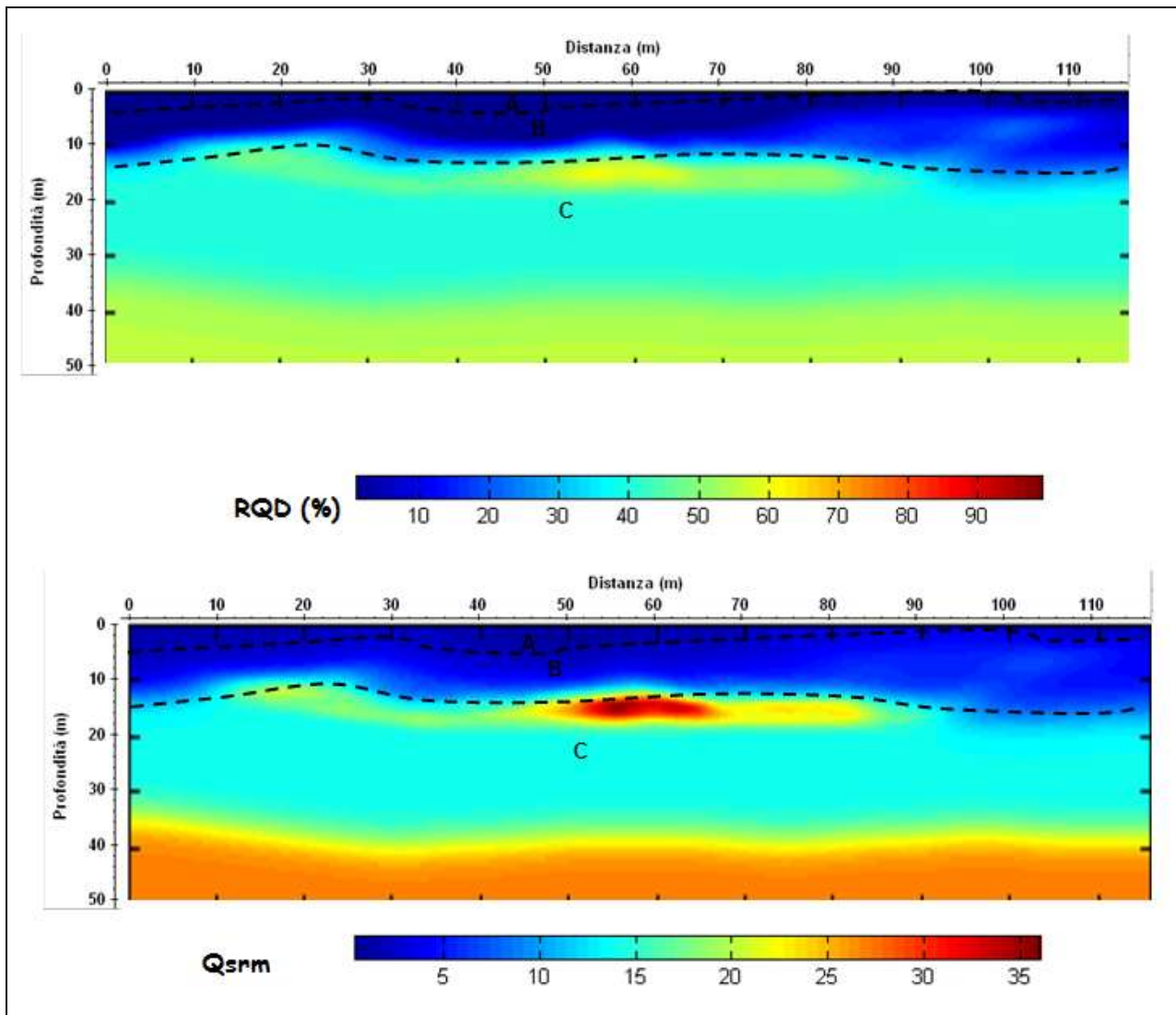


Fig. 33: Modelli di distribuzione di RQD e  $Q_{srm}$  a varie profondità.

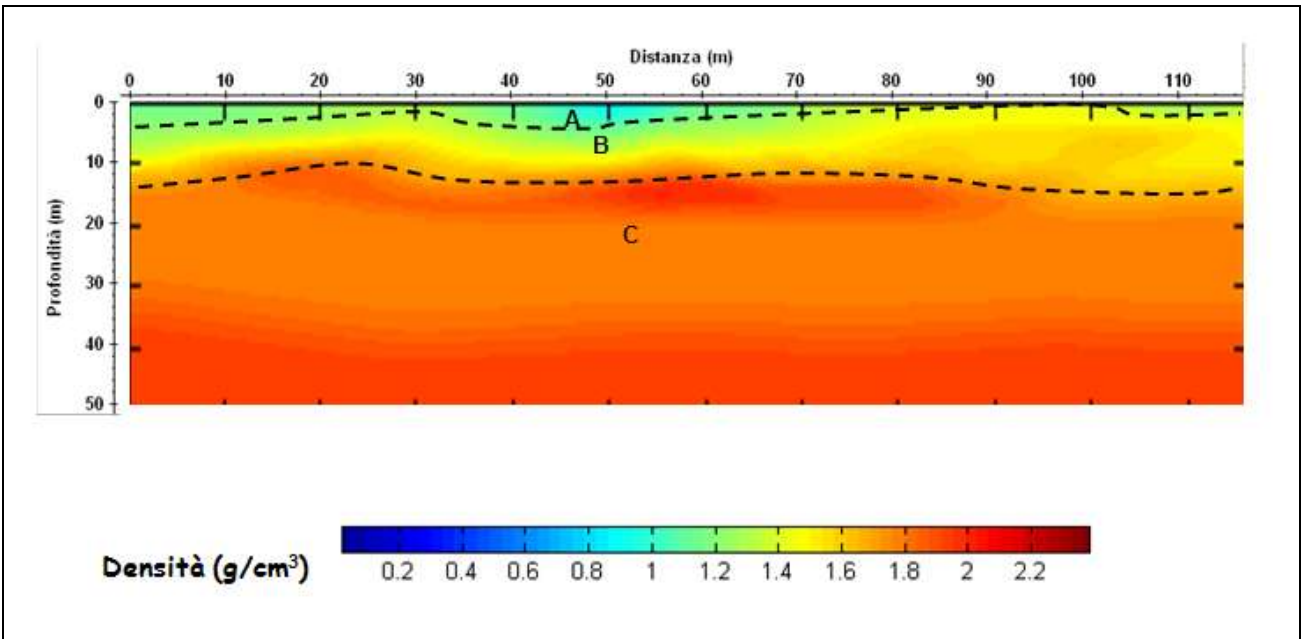


Fig. 34: Modello di distribuzione della densità di massa a varie profondità.

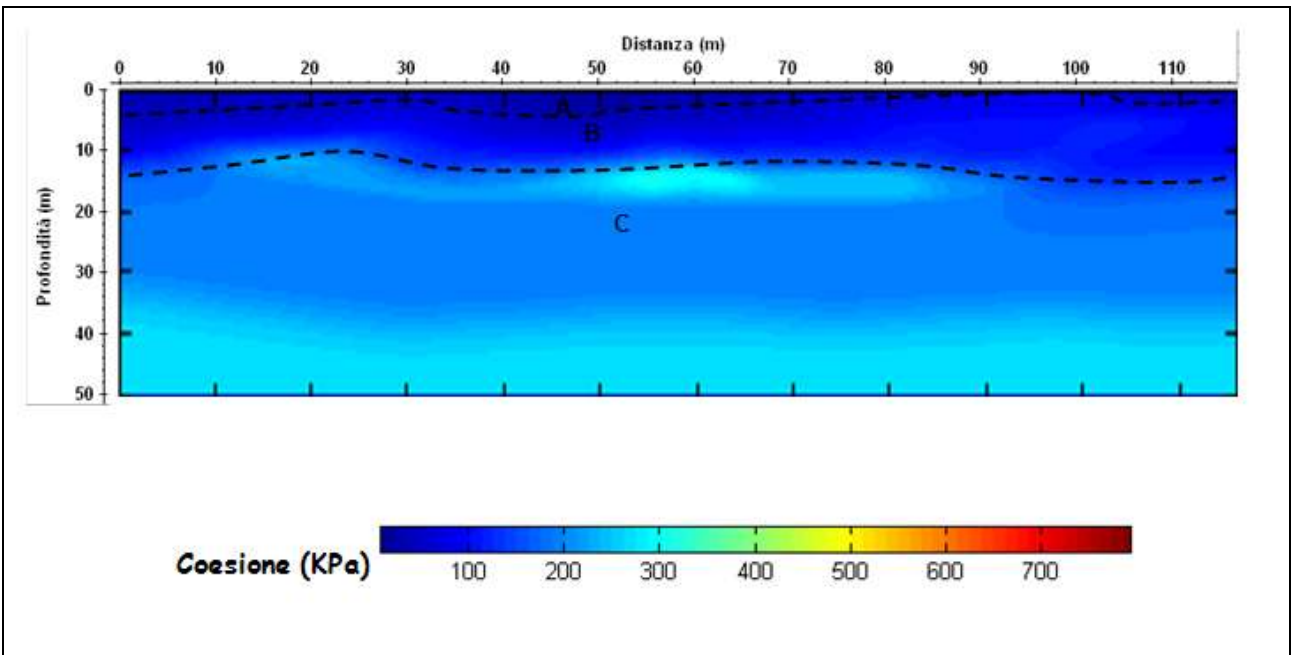
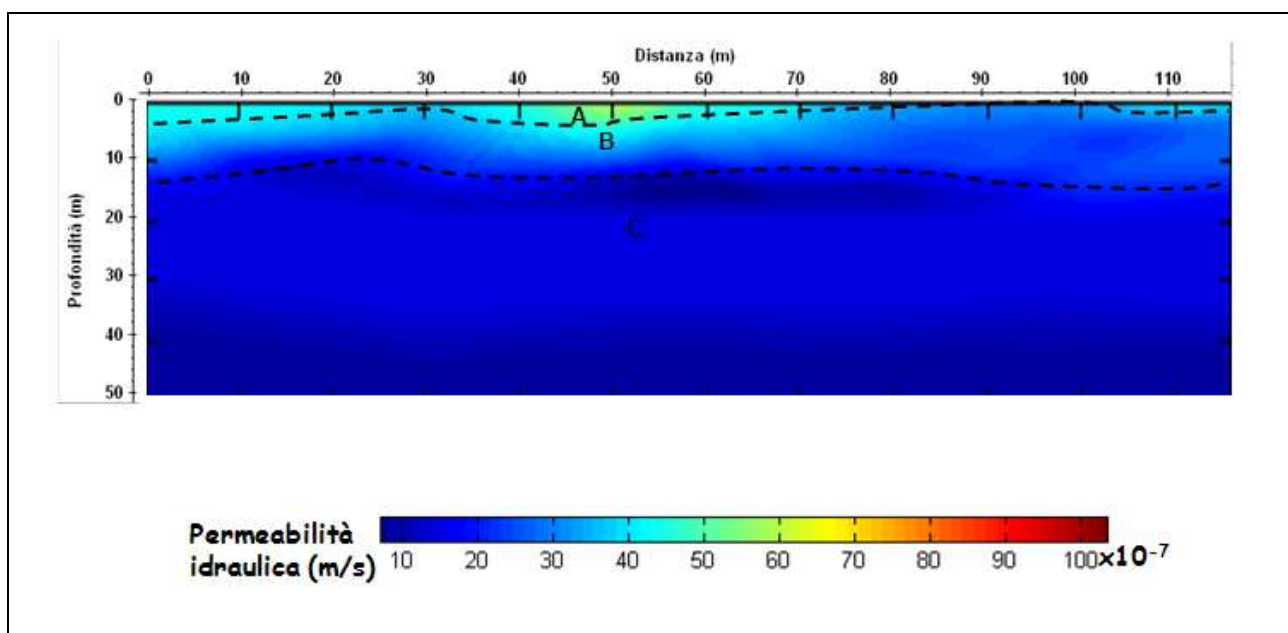


Fig. 35: Modello di distribuzione della coesione a varie profondità.



**Fig. 36: Modello di distribuzione della permeabilità idraulica a varie profondità.**

Analizzando le Figg. 33, 34,...36 si ottiene la tabella riassuntiva 9.

**Tab. 9: Riassunto dei risultati**

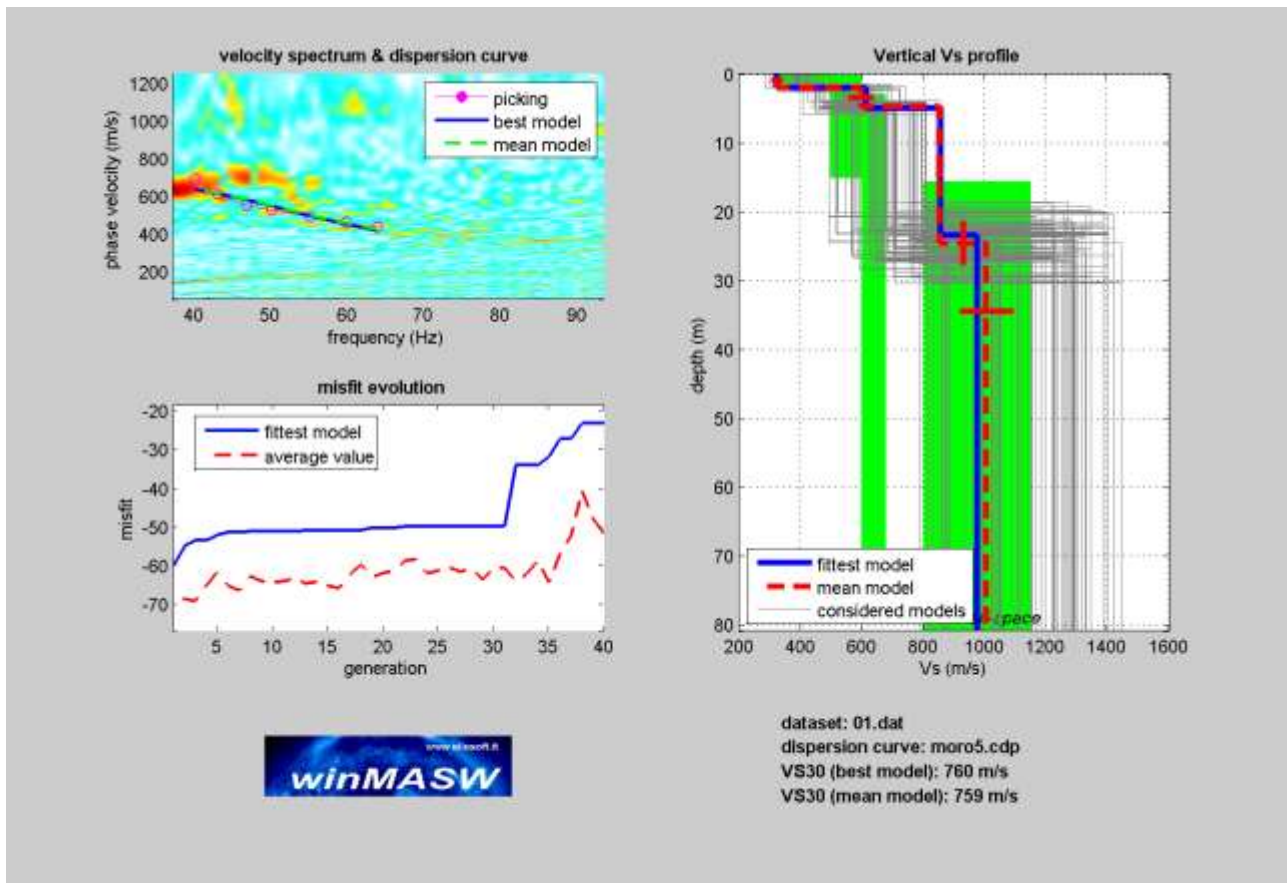
strato	RQD (%)	Q <sub>sr</sub> m	Densità (g/cm <sup>3</sup> )	Coesione (KPa)	Permeabilità idraulica (m/s) x10 <sup>-7</sup>
A				40	60
B	10	5	1.6	100	20-30
C	40-60	15-30	1.8-2.0	200-300	0-3

E' inoltre possibile calcolare i valori del coefficiente di Poisson, del modulo di Young e del modulo di taglio (tab. successiva).

strato	$\sigma$	E (MPa)	G (MPa)	Lamè (MPa)	Bulk (MPa)
B	0.37	2067	757	2047	2552
C	0.37	4370	1600	4359	5426

E' stata inoltre valutata la Vs30 con il metodo MASW.

In Fig 37 è riportata la curva di dispersione per il sito in studio assieme al modello di stratificazione utilizzato per il calcolo della Vs30.



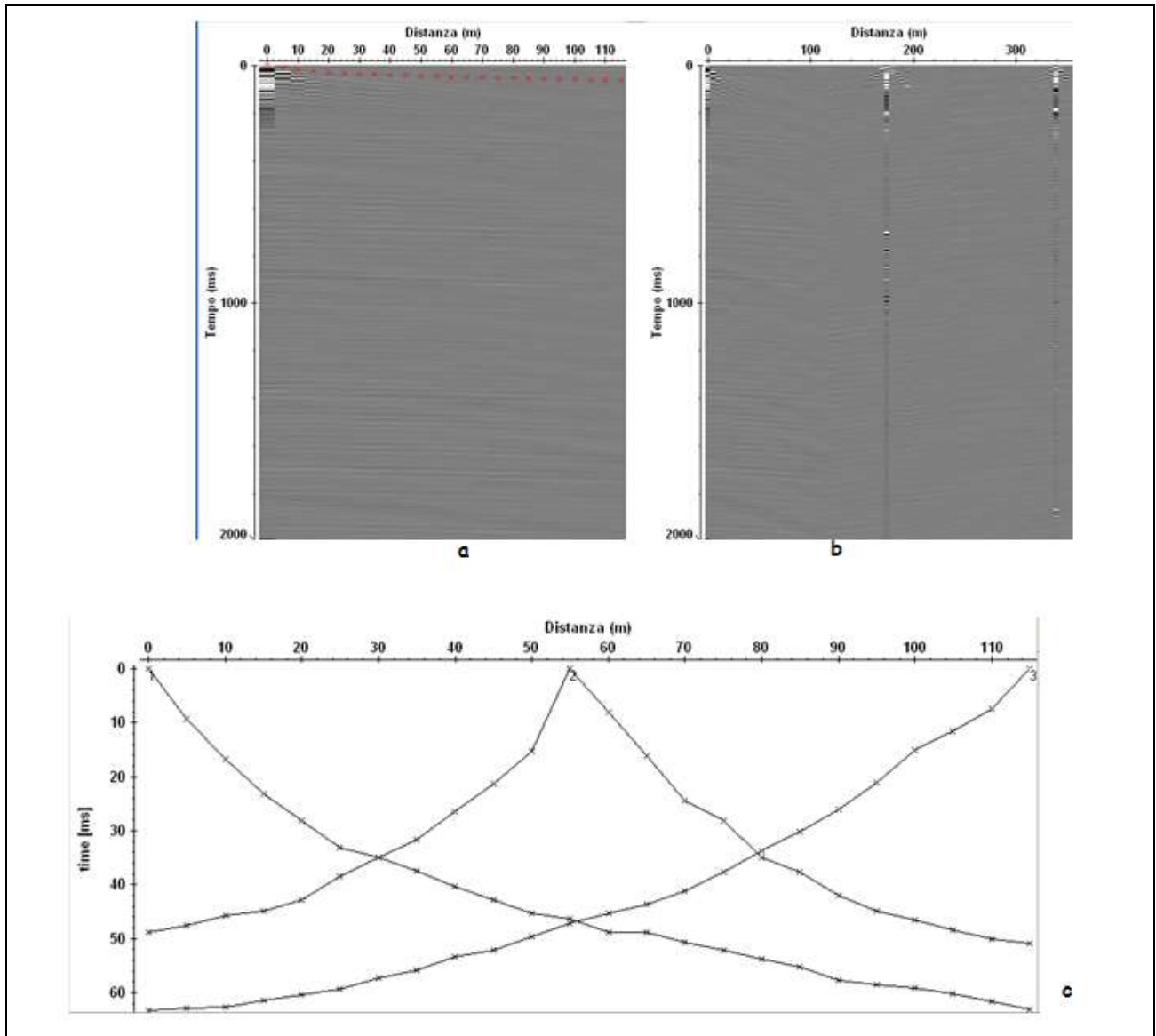
**Fig. 37: Curva di dispersione con profilo verticale della velocità Vs al variare della profondità**

In base ai valori della velocità di propagazione delle onde S si è stimata una Vs30 pari a 759m/s.

### **Profilo sismico 6 – SS6\_24\_5**

Stesso tipo di acquisizione è stata adottata per il profilo 6 (Fig. 2 a pag.12 – geometria del profilo ).

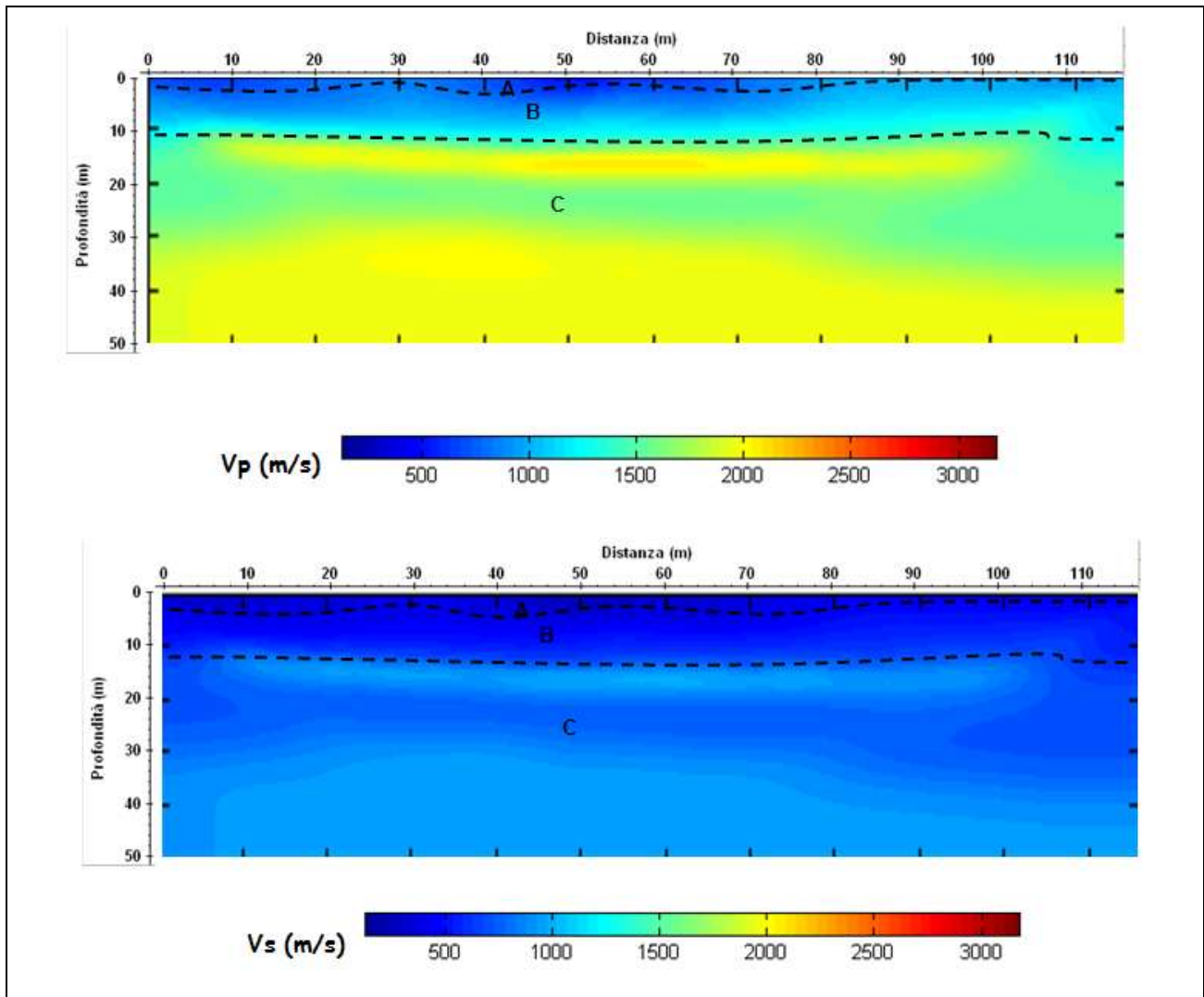
La lettura dei tempi di primo arrivo (picking) (Fig. 38b), per ogni traccia, su ciascun sismogramma (Fig.38a), consente di ottenere le dromocrone riportate in Fig.38c.



**Fig. 38: a) sismogrammi delle 3 energizzazioni; b) esempio di picking dei primi arrivi; c) Dromocrone relative al profilo sismico.**

La elaborazione delle stesse permette di ottenere il modello di distribuzione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  (Fig. 39).





**Fig. 39: Modello di distribuzione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  a varie profondità.**

Dalla Fig. 39 si evince che i valori di  $V_p$  sono generalmente compresi tra 600m/s e 2200m/s mentre valori di  $V_s$  sono generalmente compresi tra 300m/s e 1200m/s.

In particolare è possibile distinguere

A:  $V_p=600\text{m/s}$  ( $V_s=300\text{m/s}$ ); strato superficiale da 0.2m a 3.5m circa di profondità;

B:  $900 < V_p < 1000\text{m/s}$  ( $500 < V_s < 700\text{m/s}$ ); probabile presenza di materiale poco compatto che raggiunge una profondità compresa tra 10.0 e 12.0m circa;

C:  $1500 < V_p < 2200\text{m/s}$  ( $1000 < V_s < 1200\text{m/s}$ ); probabile presenza di materiale argilloso compatto.

Attraverso l'utilizzo delle relazioni empiriche sopra descritte è possibile ottenere i modelli di distribuzione dei parametri RQD e Q<sub>sr</sub>m (Fig. 40), densità di massa (Fig. 41), coesione (Fig.42) e permeabilità idraulica (Fig. 43).

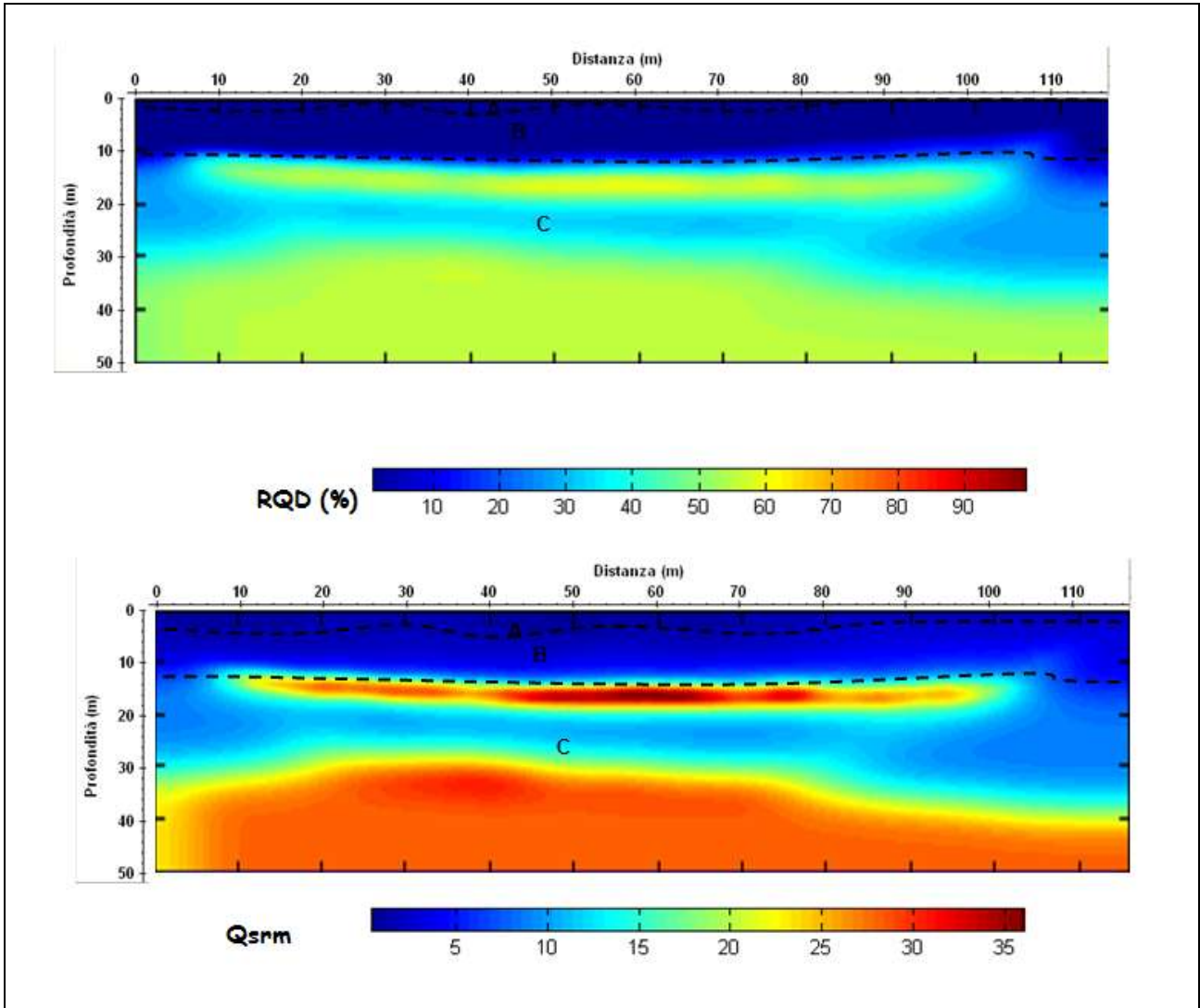


Fig. 40: Modelli di distribuzione di RQD e Q<sub>sr</sub>m a varie profondità.

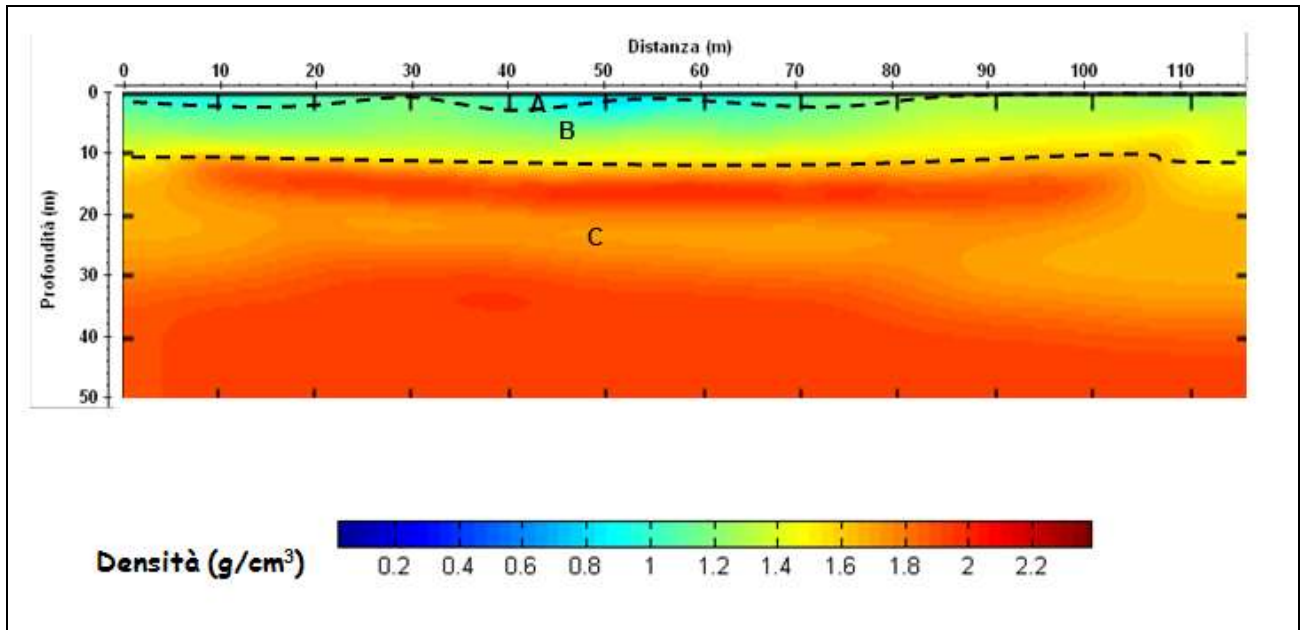


Fig. 41: Modello di distribuzione della densità di massa a varie profondità.

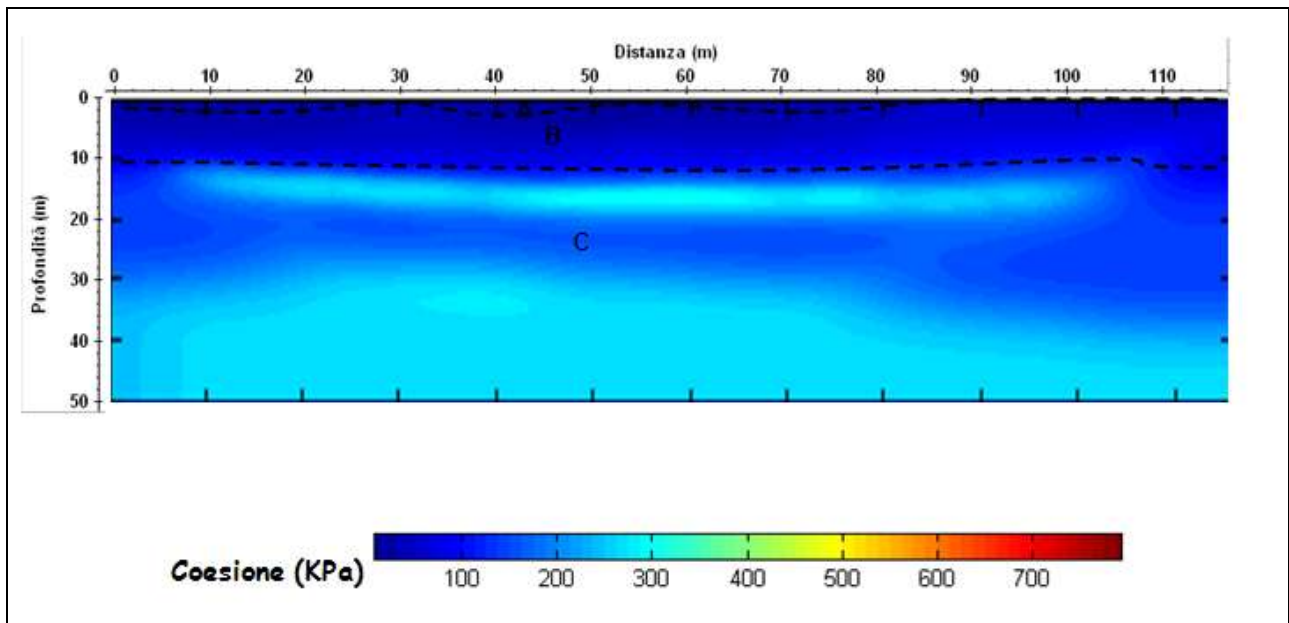
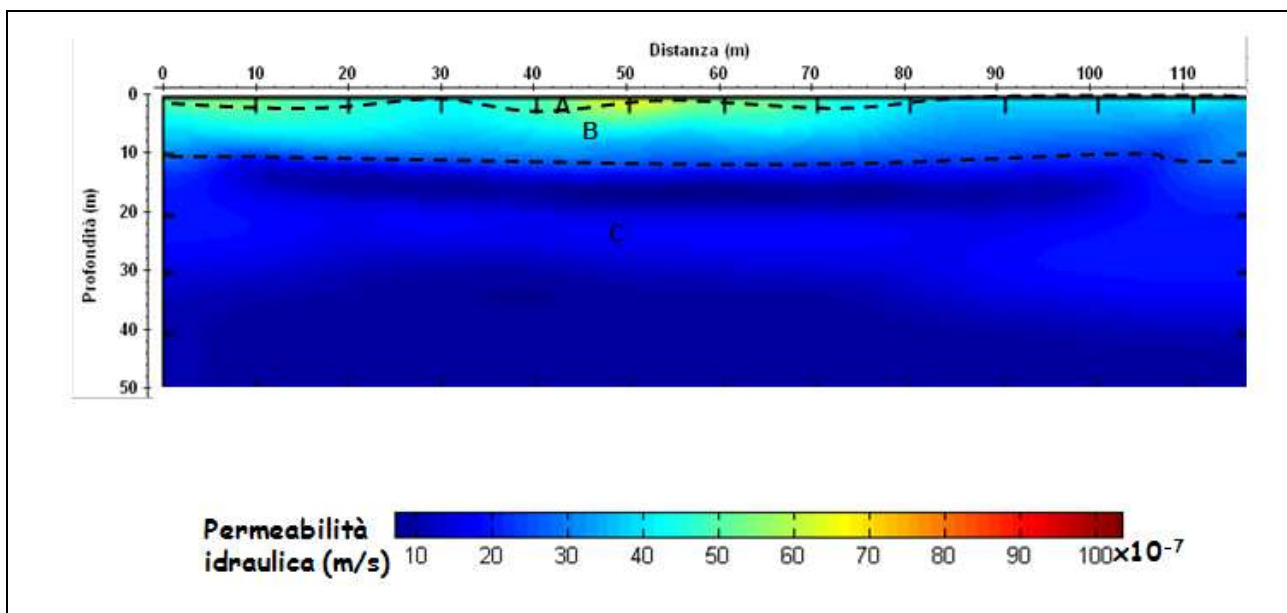


Fig. 42: Modello di distribuzione della coesione a varie profondità.





**Fig. 43: Modello di distribuzione della permeabilità idraulica a varie profondità.**

Analizzando le Figg. 40, 41,...43 si ottiene la tabella riassuntiva 11.

**Tab. 11: Riassunto dei risultati**

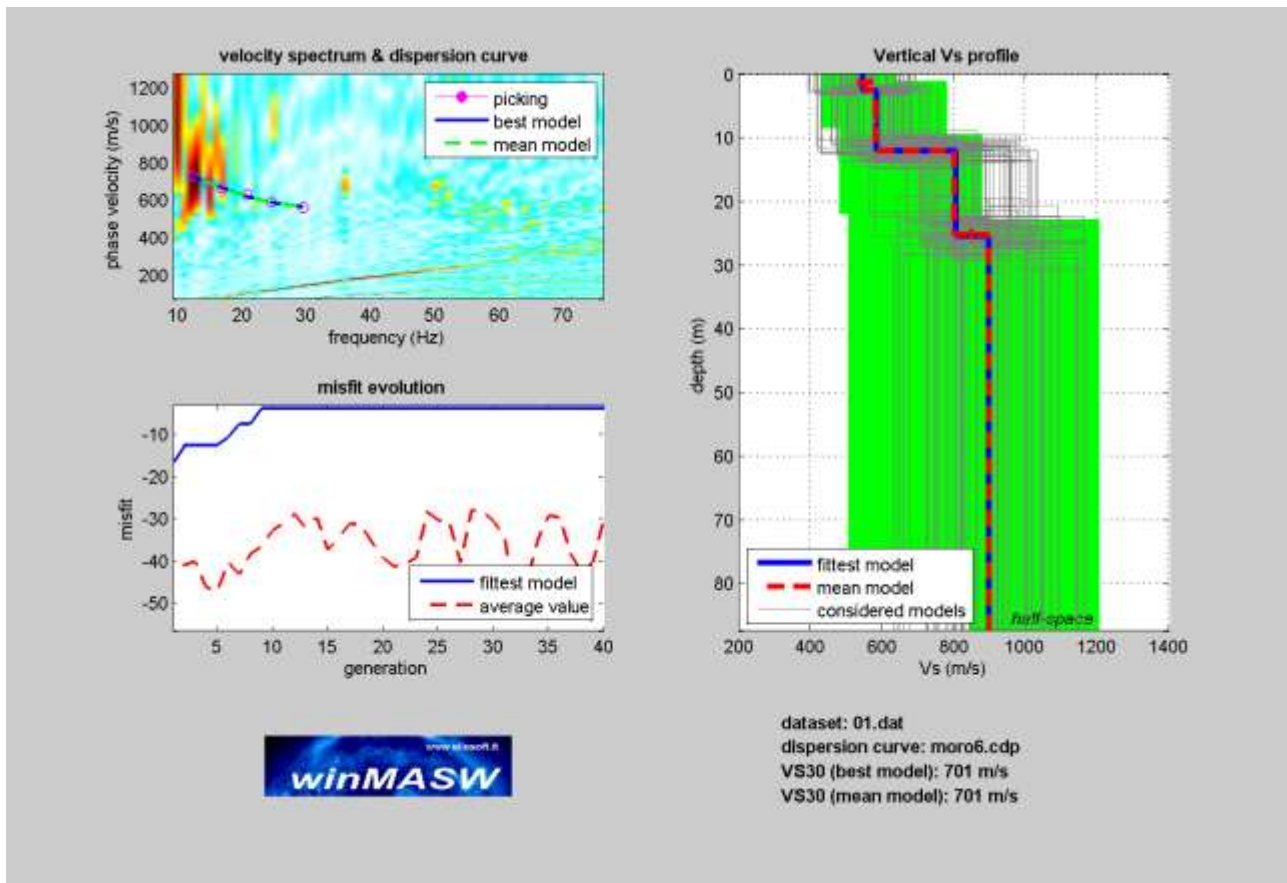
strato	RQD (%)	Q <sub>sr</sub> m	Densità (g/cm <sup>3</sup> )	Coesione (KPa)	Permeabilità idraulica (m/s) x10 <sup>-7</sup>
A				40	60
B	<10	5	1.6	100	40-50
C	40-60	12-30	1.8-2.0	200-300	0-3

E' inoltre possibile calcolare i valori del coefficiente di Poisson, del modulo di Young e del modulo di taglio (tab. 12).

strato	$\sigma$	E (MPa)	G (MPa)	Lamè (MPa)	Bulk (MPa)
B	0.35	1919	709	1694	2167
C	0.35	3766	1397	3198	4129

E' stata inoltre valutata la Vs30 con il metodo MASW.

In Fig 44 è riportata la curva di dispersione per il sito in studio assieme al modello di stratificazione utilizzato per il calcolo della Vs30.



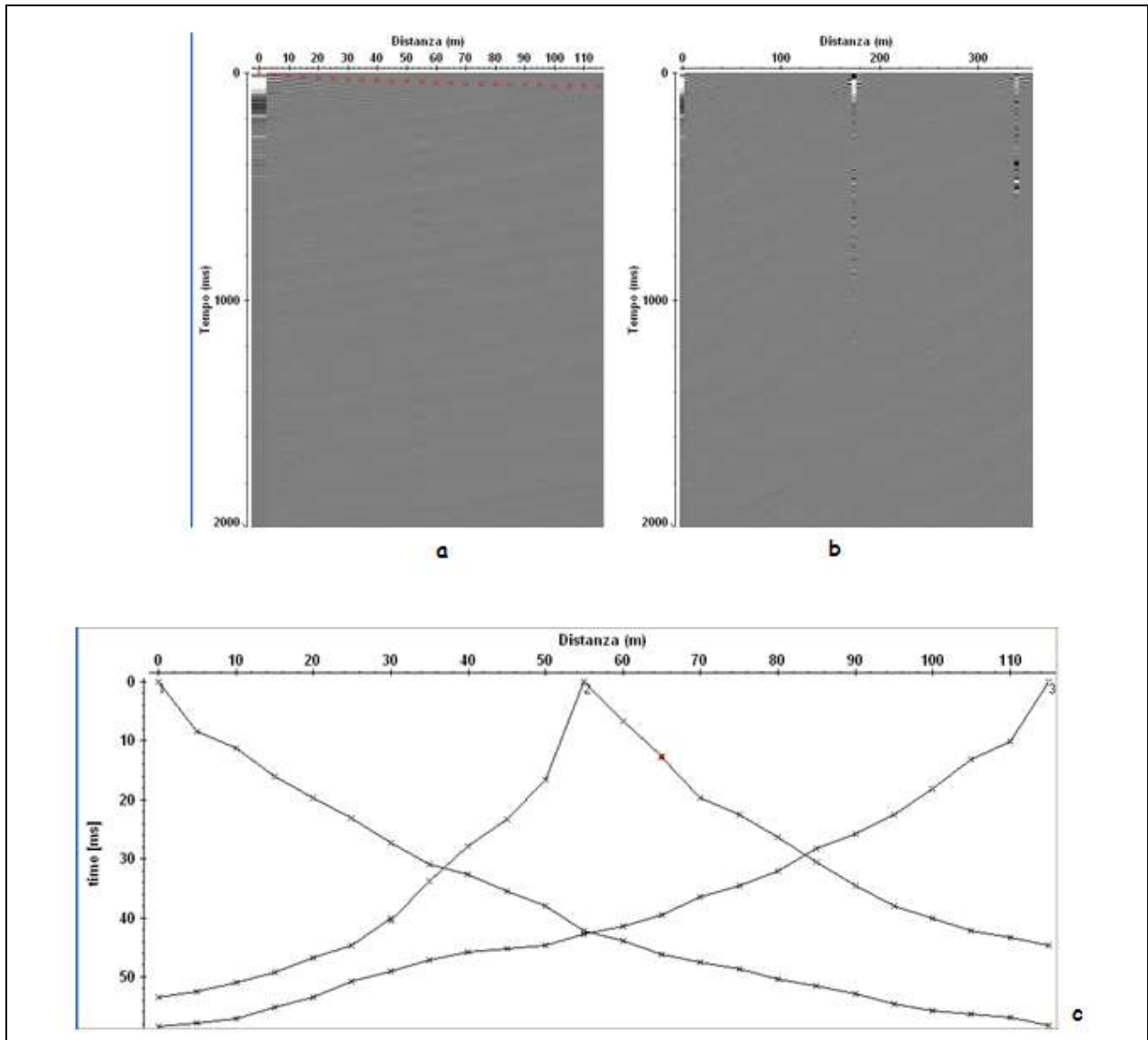
**Fig. 44: Curva di dispersione con profilo verticale della velocità Vs al variare della profondità**

In base ai valori della velocità di propagazione delle onde S si è stimata una Vs30 pari a 701m/s.

### **Profilo sismico 7 – SS7\_24\_5**

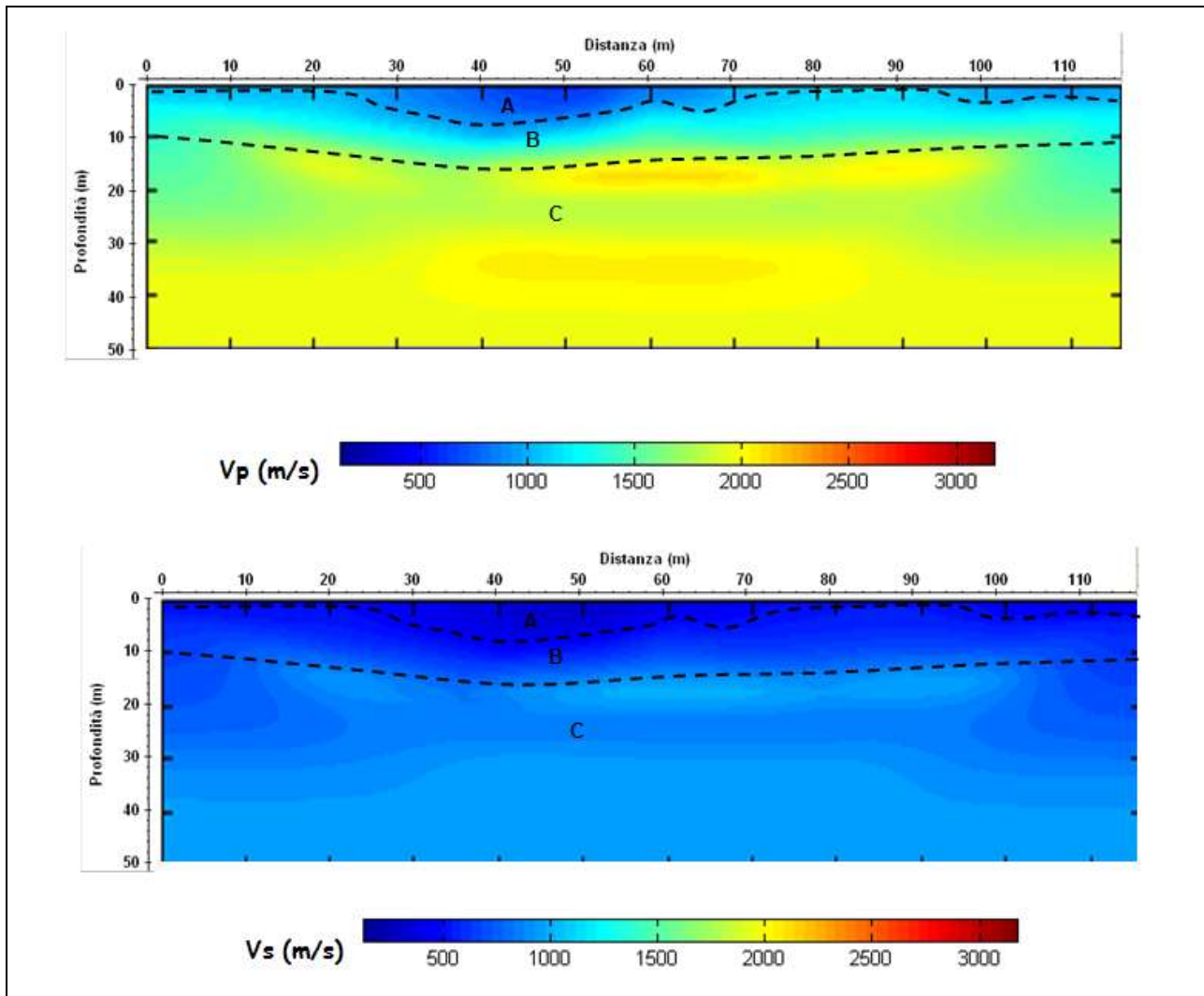
Stesso tipo di acquisizione è stata adottata per il profilo 7 (Fig. 2 a pag.12 – geometria del profilo).

La lettura dei tempi di primo arrivo (picking) (Fig. 45b), per ogni traccia, su ciascun sismogramma (Fig.45a), consente di ottenere le dromocrone riportate in Fig.45c.



**Fig. 45: a) sismogrammi delle 3 energizzazioni; b) esempio di picking dei primi arrivi; c) Dromocrone relative al profilo sismico.**

La elaborazione delle stesse permette di ottenere il modello di distribuzione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  (Fig. 46).



**Fig. 46: Modello di distribuzione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  a varie profondità.**

Dalla Fig. 46 si evince che i valori di  $V_p$  sono generalmente compresi tra 600m/s e 2200m/s mentre valori di  $V_s$  sono generalmente compresi tra 300m/s e 1200m/s.

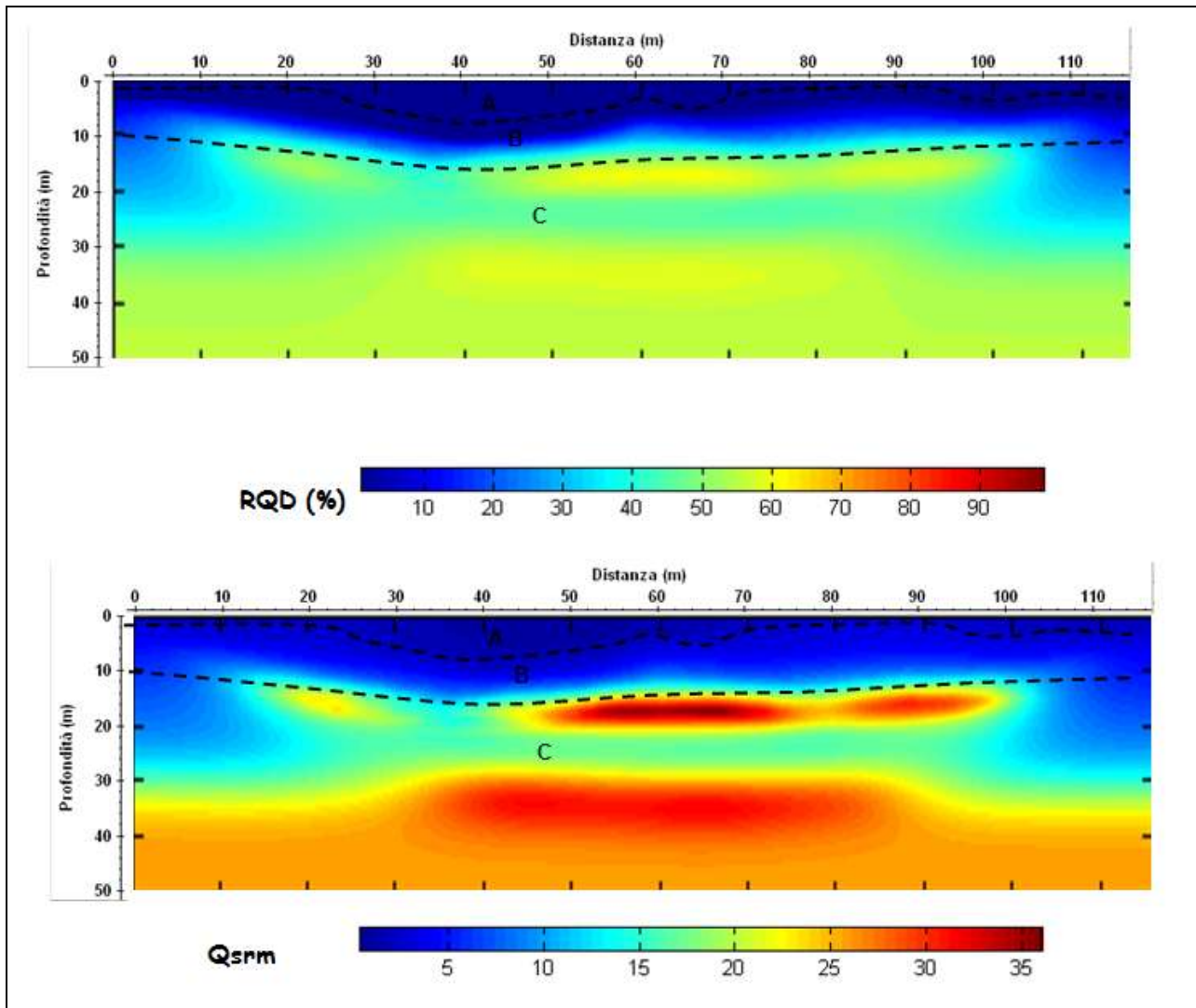
In particolare è possibile distinguere

A:  $V_p=600\text{m/s}$  ( $V_s=300\text{m/s}$ ); strato superficiale da 0.2m a 6.5m circa di profondità;

B:  $900 < V_p < 1000\text{m/s}$  ( $500 < V_s < 700\text{m/s}$ ); probabile presenza di materiale poco compatto che raggiunge una profondità compresa tra 10.0 e 14.0m circa;

C:  $1500 < V_p < 2200\text{m/s}$  ( $1000 < V_s < 1200\text{m/s}$ ); probabile presenza di materiale argilloso compatto.

Attraverso l'utilizzo delle relazioni empiriche sopra descritte è possibile ottenere i modelli di distribuzione dei parametri RQD e  $Q_{srm}$  (Fig. 47), densità di massa (Fig. 48), coesione (Fig.49) e permeabilità idraulica (Fig. 50).



**Fig. 47: Modelli di distribuzione di RQD e  $Q_{srm}$  a varie profondità.**



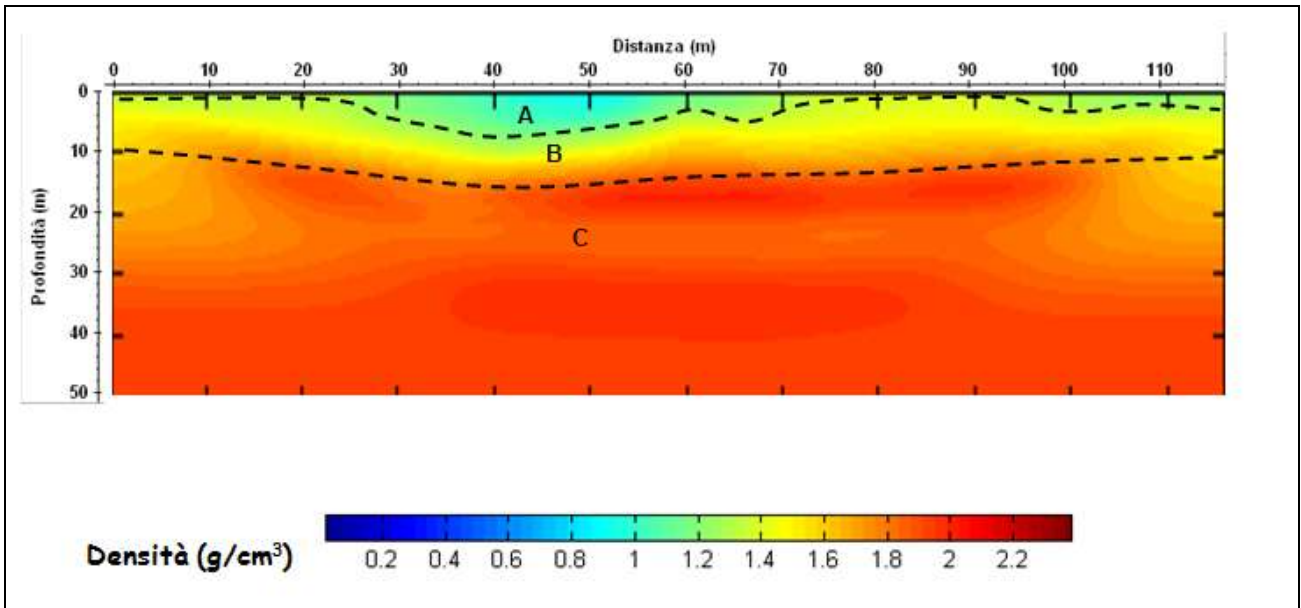


Fig. 48: Modello di distribuzione della densità di massa a varie profondità.

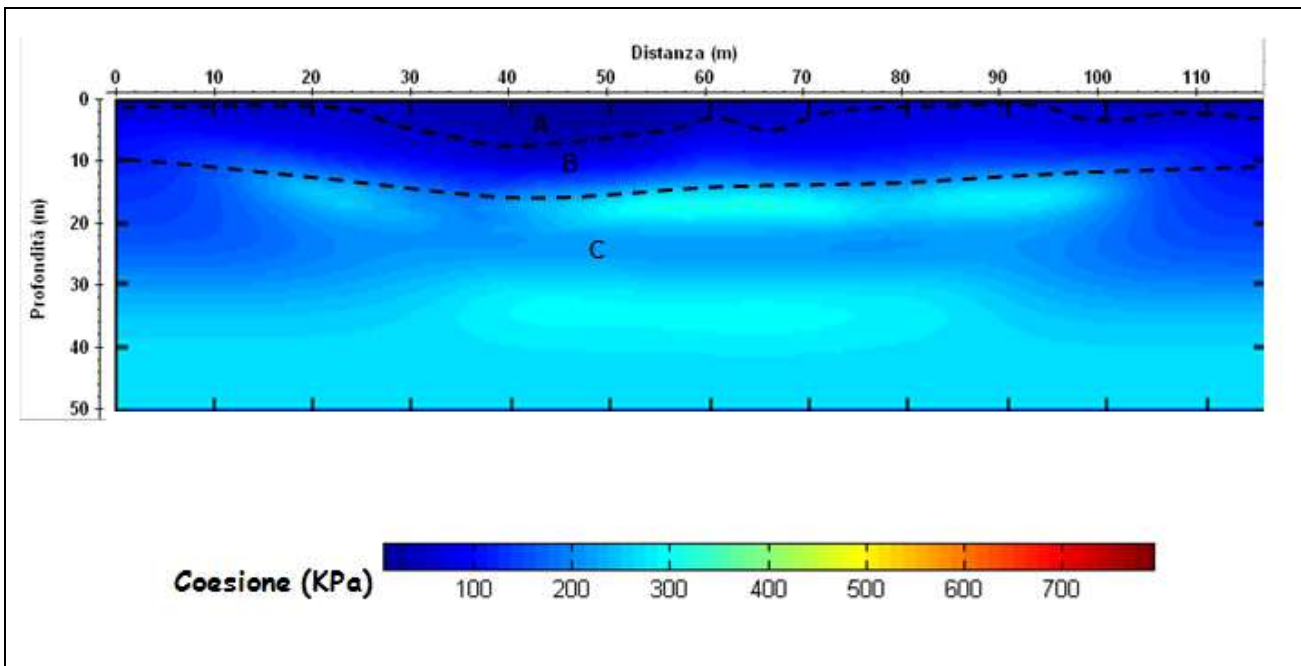
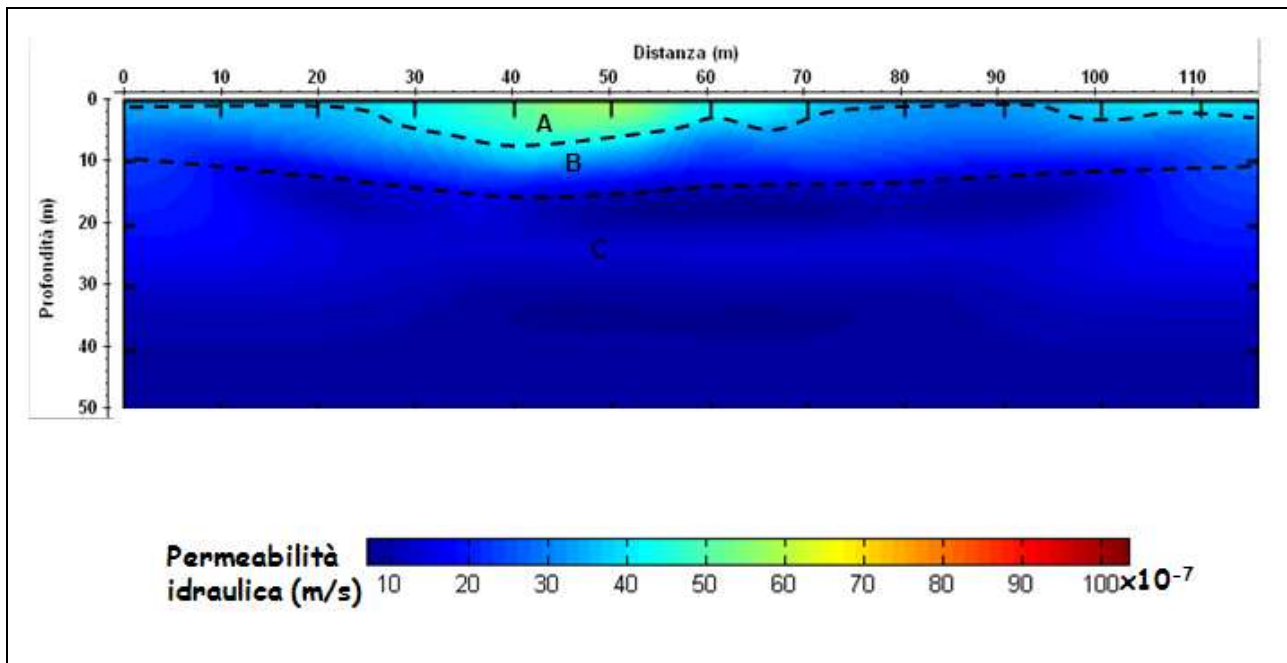


Fig. 49: Modello di distribuzione della coesione a varie profondità.



**Fig. 50: Modello di distribuzione della permeabilità idraulica a varie profondità.**

Analizzando le Figg. 47, 48,...50 si ottiene la tabella riassuntiva 13.

**Tab. 13: Riassunto dei risultati**

strato	RQD (%)	Q <sub>sr</sub> m	Densità (g/cm <sup>3</sup> )	Coesione (KPa)	Permeabilità idraulica (m/s) x10 <sup>-7</sup>
A				40	60
B	<10	5	1.6	100	20-30
C	40-60	17-30	1.8-2.0	200-300	0-3

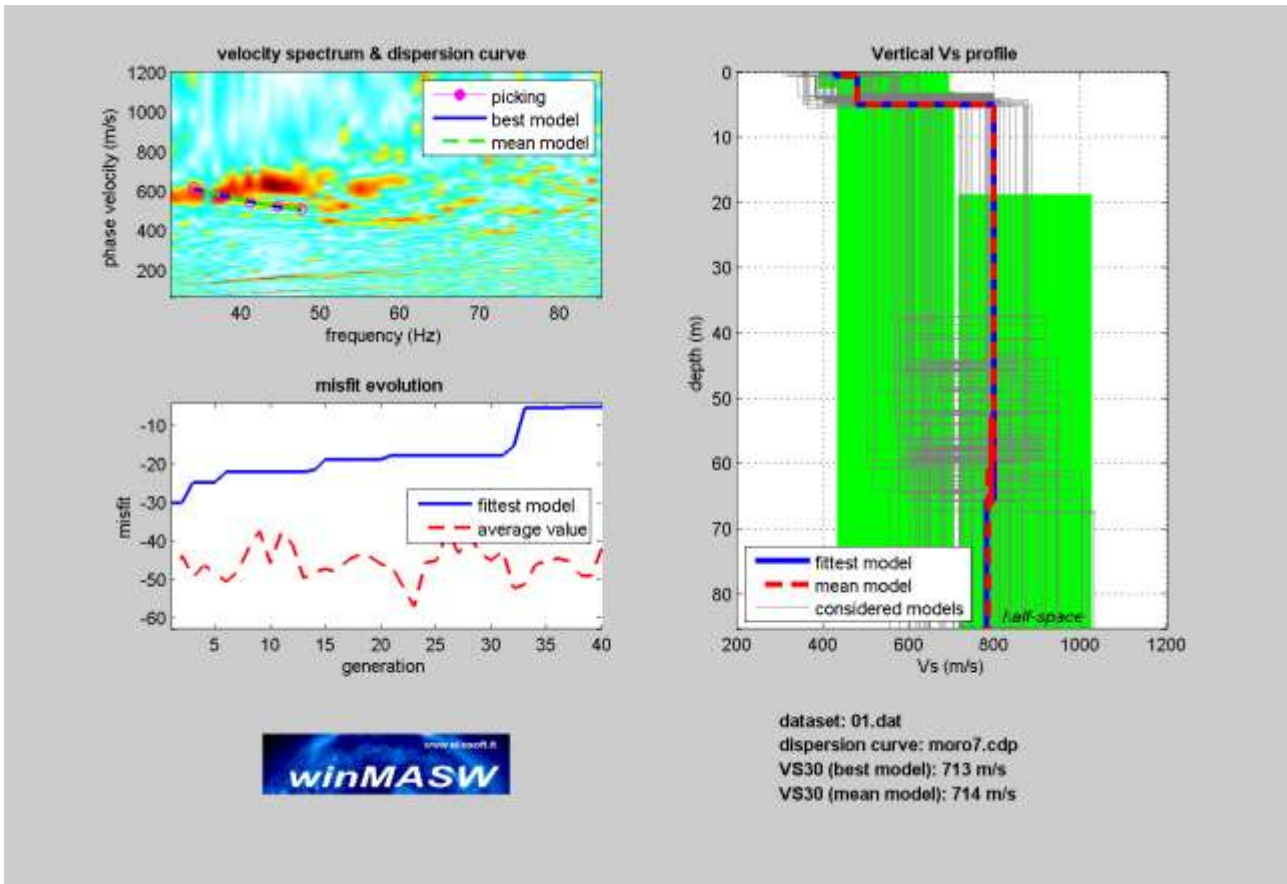
E' inoltre possibile calcolare i valori del coefficiente di Poisson, del modulo di Young e del modulo di taglio (tab. 14).

strato	$\sigma$	E (MPa)	G (MPa)	Lamè (MPa)	Bulk (MPa)
B	0.35	1276	473	1095	1410
C	0.36	3775	1387	3589	4514



E' stata inoltre valutata la Vs30 con il metodo MASW.

In Fig 51 è riportata la curva di dispersione per il sito in studio assieme al modello di stratificazione utilizzato per il calcolo della Vs30.



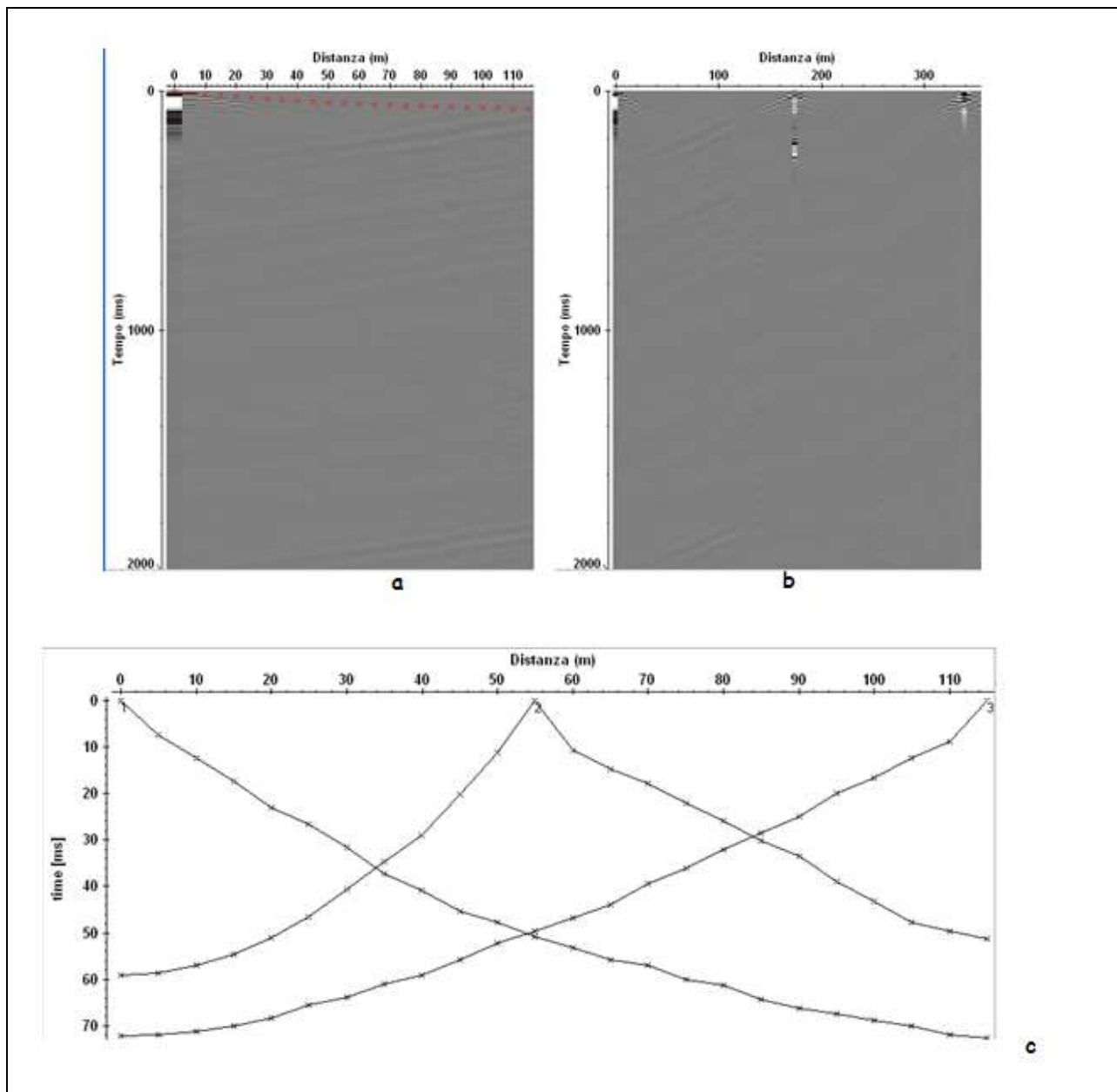
**Fig. 51: Curva di dispersione con profilo verticale della velocità Vs al variare della profondità**

In base ai valori della velocità di propagazione delle onde S si è stimata una Vs30 pari a 714m/s.

### **Profilo sismico 8 – SS8\_24\_5**

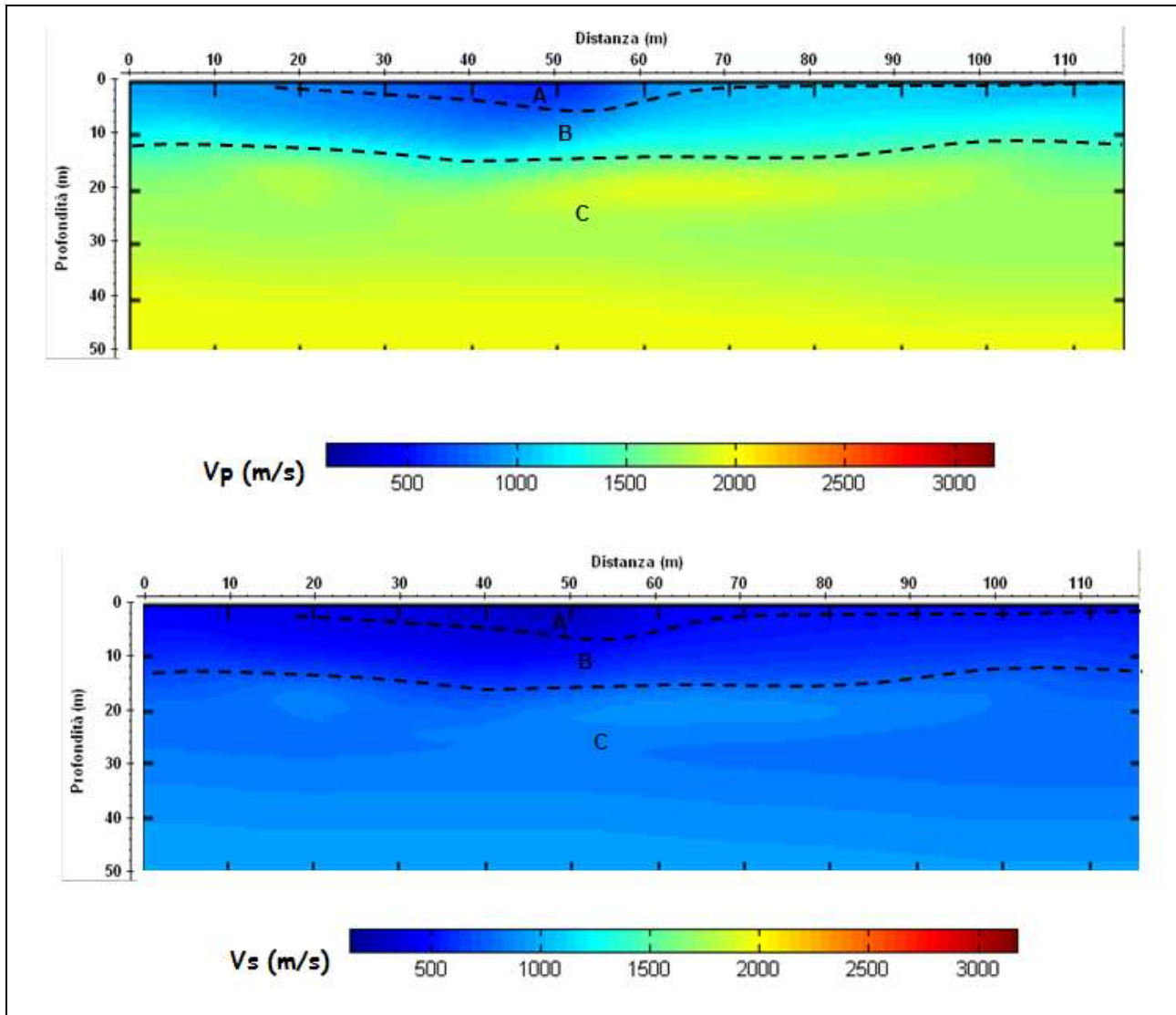
Stesso tipo di acquisizione è stata adottata per il profilo 8 (Fig. 2 a pag.12 – geometria del profilo).

La lettura dei tempi di primo arrivo (picking) (Fig. 52b), per ogni traccia, su ciascun sismogramma (Fig.52a), consente di ottenere le dromocrone riportate in Fig.52c.



**Fig. 52: a) sismogrammi delle 3 energizzazioni; b) esempio di picking dei primi arrivi; c) Dromocrone relative al profilo sismico.**

La elaborazione delle stesse permette di ottenere il modello di distribuzione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  (Fig. 53).



**Fig. 53: Modello di distribuzione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  a varie profondità.**

Dalla Fig. 53 si evince che i valori di  $V_p$  sono generalmente compresi tra 600m/s e 2200m/s mentre valori di  $V_s$  sono generalmente compresi tra 300m/s e 1200m/s.

In particolare è possibile distinguere

A:  $V_p=600\text{m/s}$  ( $V_s=300\text{m/s}$ ); strato superficiale da 0.2m a 4.5m circa di profondità;

B:  $900 < V_p < 1000\text{m/s}$  ( $500 < V_s < 700\text{m/s}$ ); probabile presenza di materiale poco compatto che raggiunge una profondità compresa tra 11.0 e 12.0m circa;

C:  $1500 < V_p < 2200 \text{ m/s}$  ( $1000 < V_s < 1200 \text{ m/s}$ ); probabile presenza di materiale argilloso compatto.

Attraverso l'utilizzo delle relazioni empiriche sopra descritte è possibile ottenere i modelli di distribuzione dei parametri RQD e  $Q_{srm}$  (Fig. 54), densità di massa (Fig. 55), coesione (Fig.56) e permeabilità idraulica (Fig. 57).

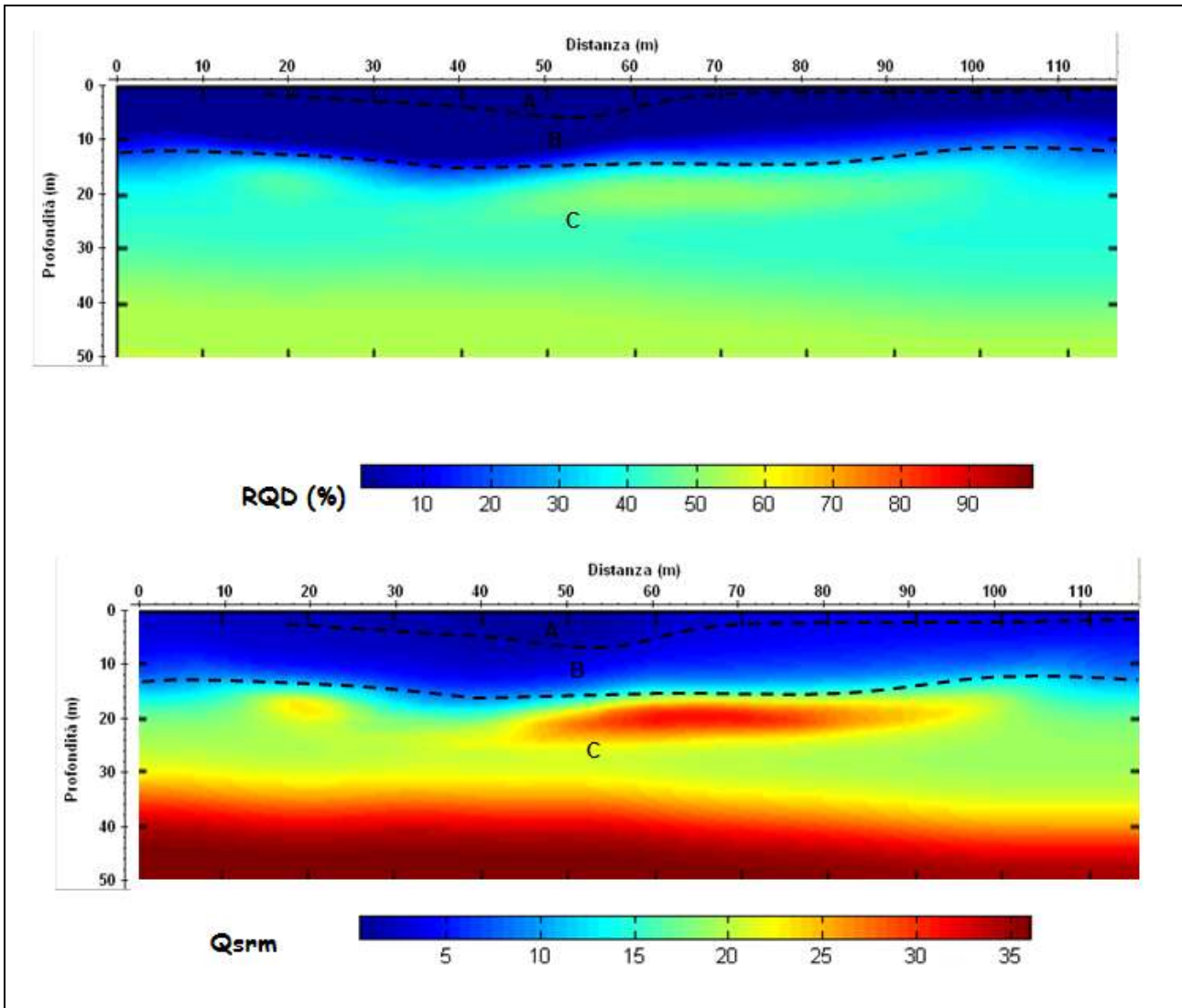


Fig. 54: Modelli di distribuzione di RQD e  $Q_{srm}$  a varie profondità.

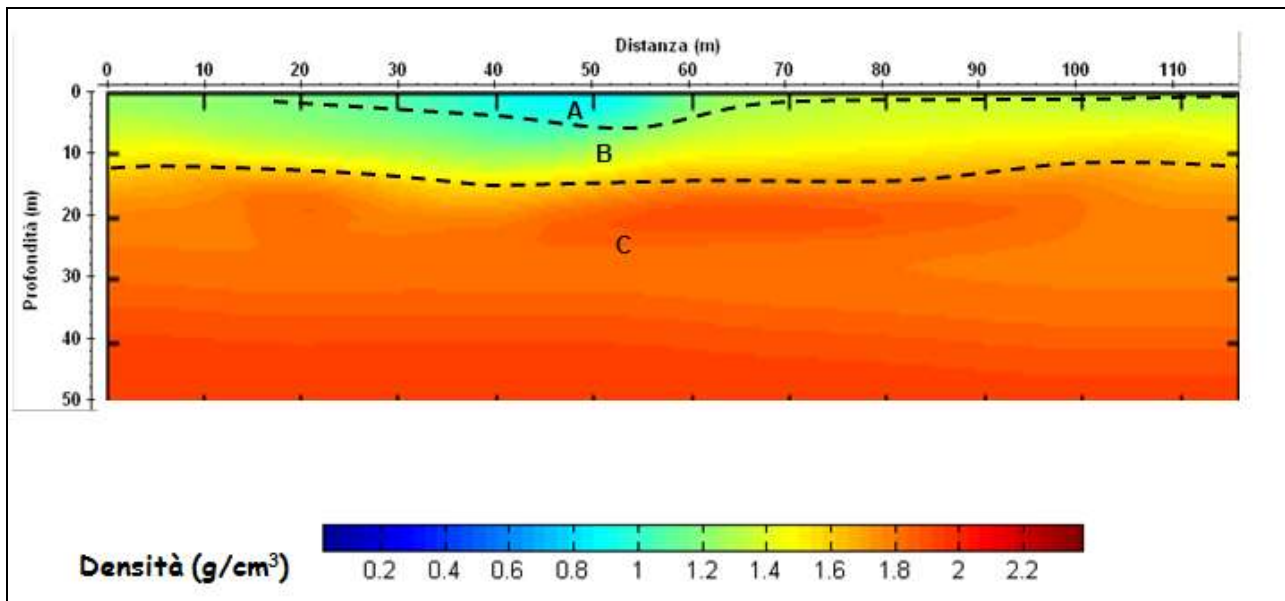


Fig. 55: Modello di distribuzione della densità di massa a varie profondità.

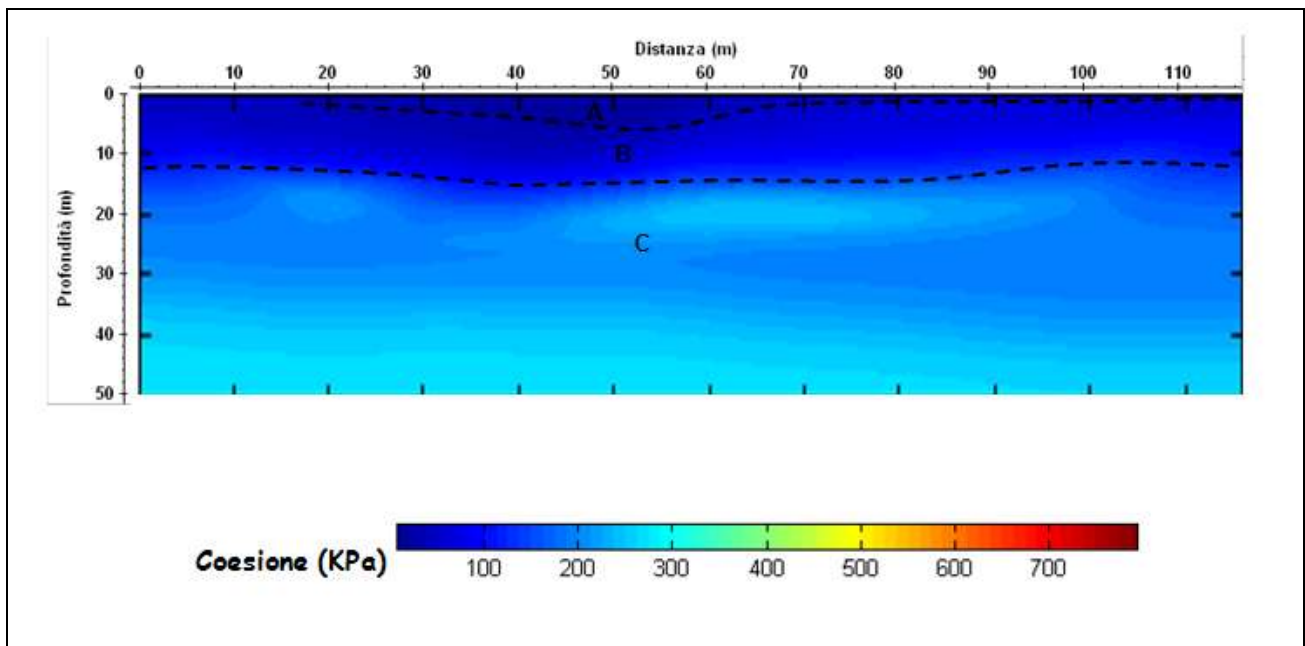
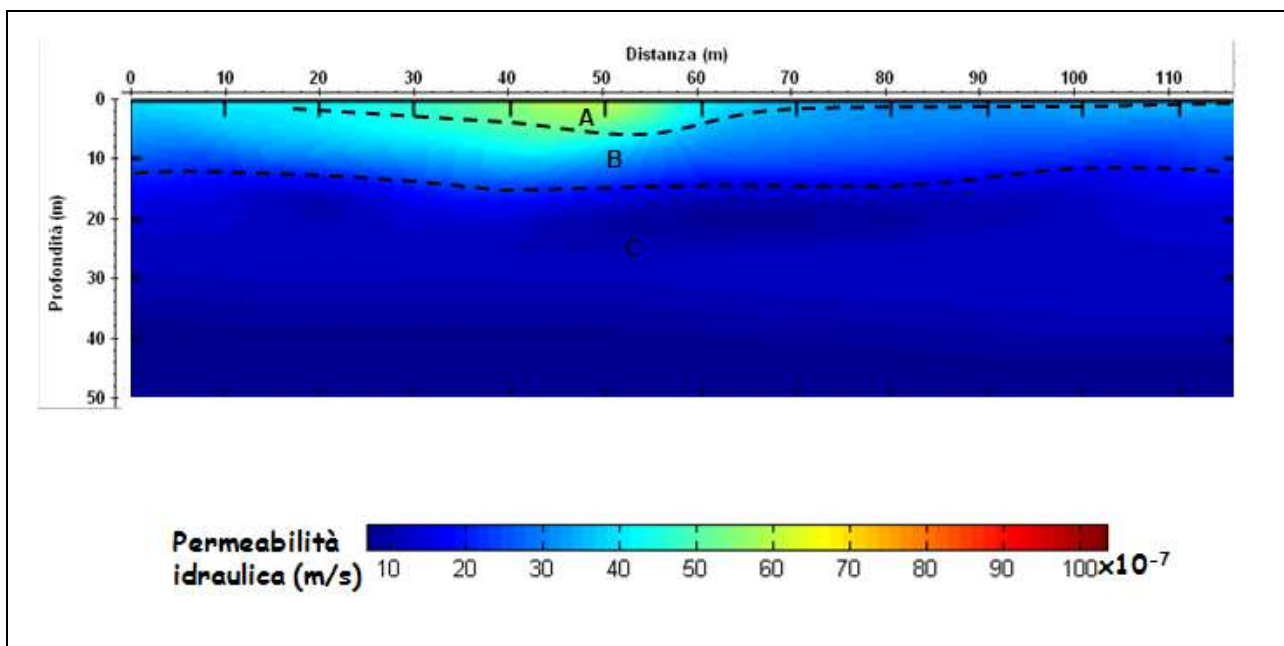


Fig. 56: Modello di distribuzione della coesione a varie profondità.



**Fig. 57: Modello di distribuzione della permeabilità idraulica a varie profondità.**

Analizzando le Figg. 54, 55,...57 si ottiene la tabella riassuntiva 15.

**Tab. 15: Riassunto dei risultati**

strato	RQD (%)	Qsrm	Densità (g/cm <sup>3</sup> )	Coesione (KPa)	Permeabilità idraulica (m/s) x10 <sup>-7</sup>
A				40	60
B	<10	5	1.6	100	20-40
C	40-60	17-30	1.8-2.0	200-300	0-3

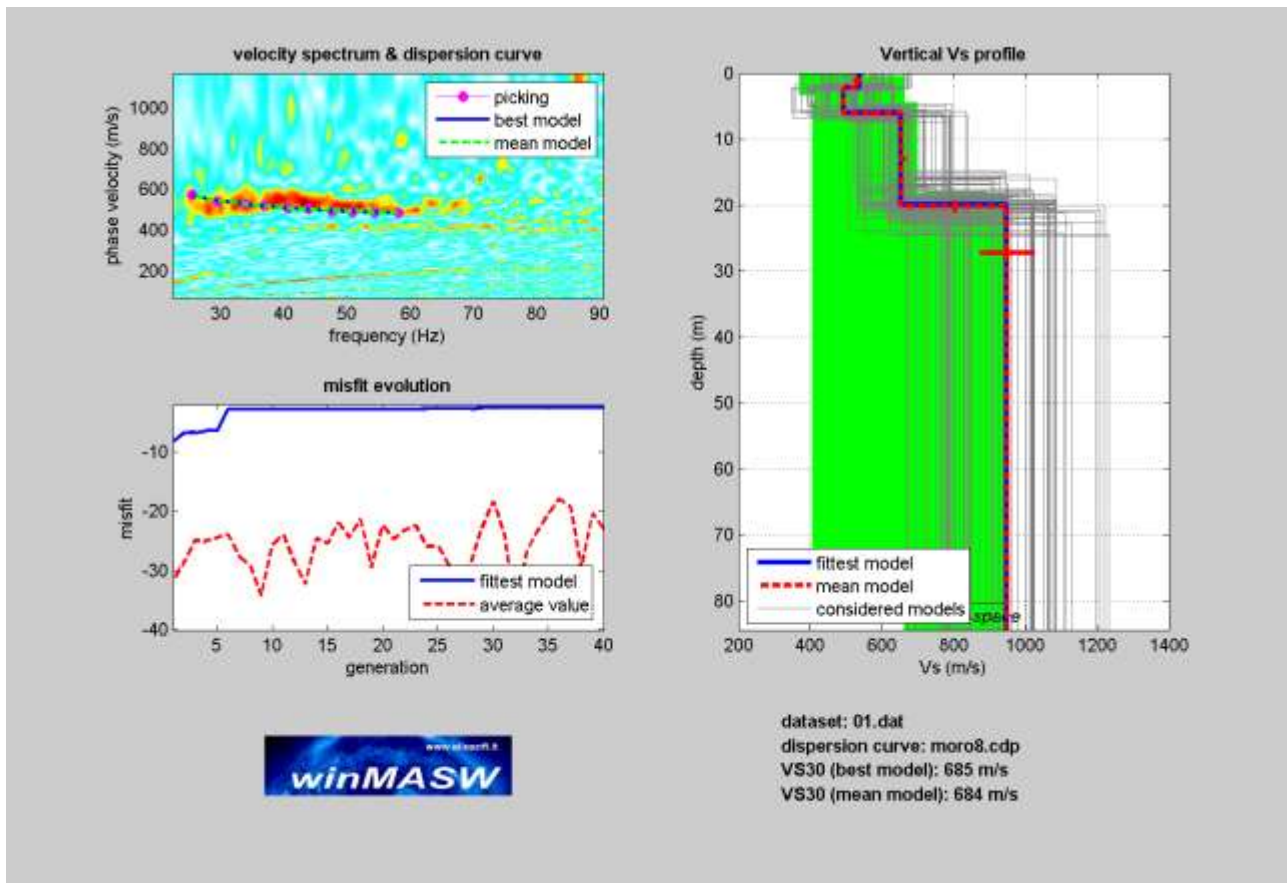
E' inoltre possibile calcolare i valori del coefficiente di Poisson, del modulo di Young e del modulo di taglio (tab. 16).

strato	$\sigma$	E (MPa)	G (MPa)	Lamè (MPa)	Bulk (MPa)
B	0.35	1361	503	1203	1538
C	0.36	2495	919	2311	2923



E' stata inoltre valutata la Vs30 con il metodo MASW.

In Fig 58 è riportata la curva di dispersione per il sito in studio assieme al modello di stratificazione utilizzato per il calcolo della Vs30.



**Fig. 58: Curva di dispersione con profilo verticale della velocità Vs al variare della profondità**

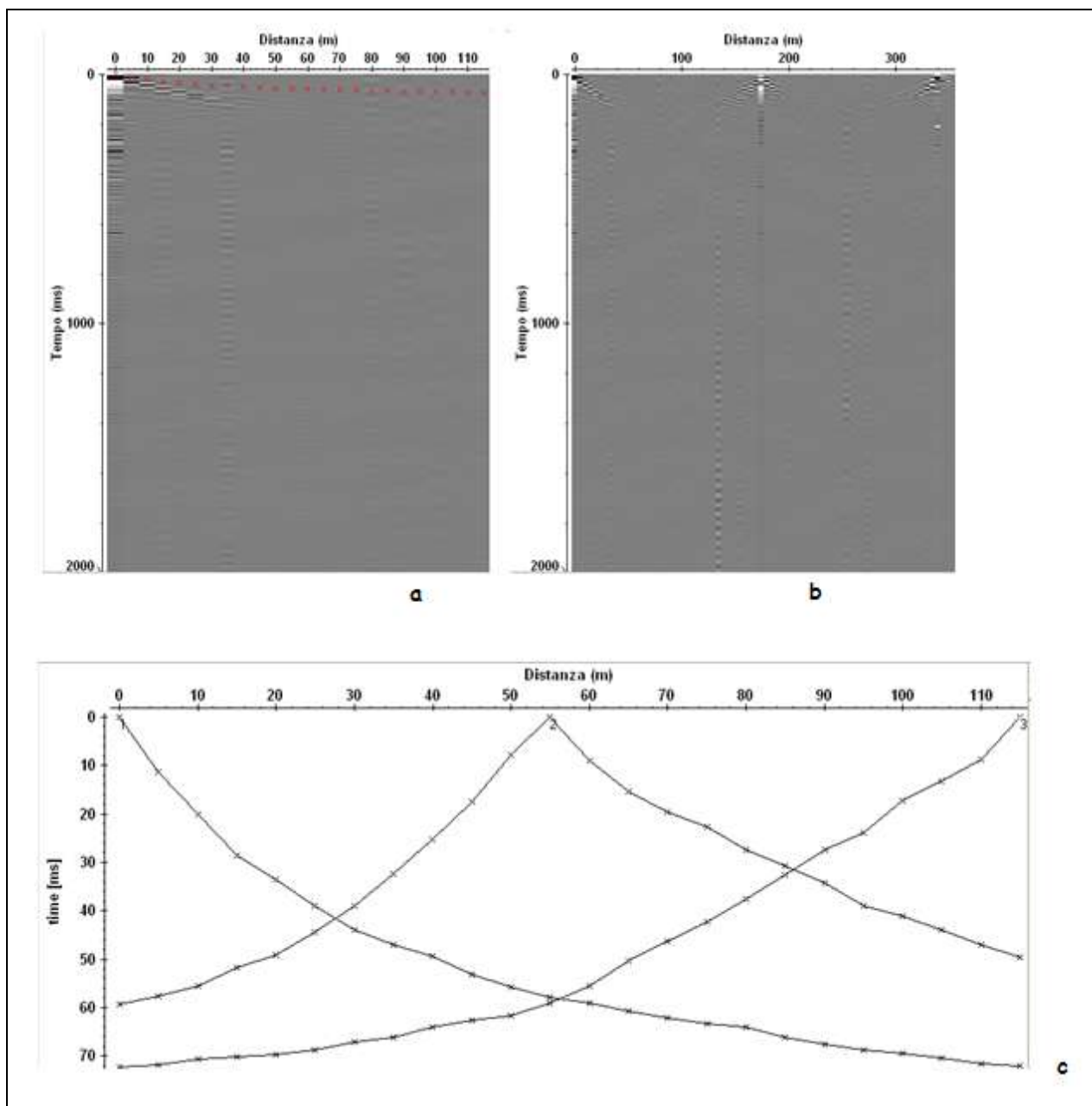
In base ai valori della velocità di propagazione delle onde S si è stimata una Vs30 pari a 684m/s.



### **Profilo sismico 9 – SS9\_24\_5**

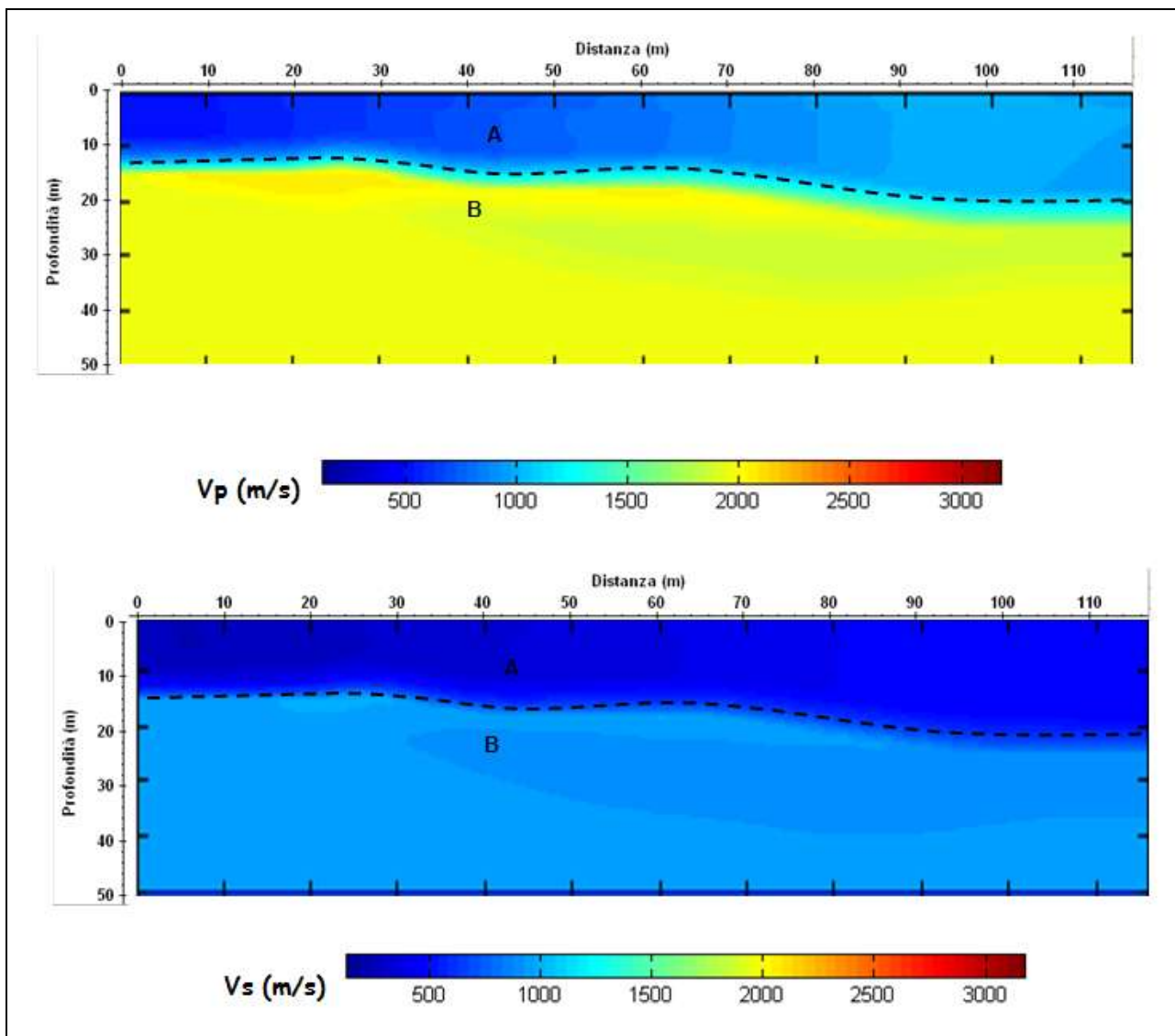
Stesso tipo di acquisizione è stata adottata per il profilo 9 (Fig. 2 a pag.12 – geometria del profilo).

La lettura dei tempi di primo arrivo (picking) (Fig. 59b), per ogni traccia, su ciascun sismogramma (Fig.59a), consente di ottenere le dromocrone riportate in Fig.59c.



**Fig. 59: a) sismogrammi delle 3 energizzazioni; b) esempio di picking dei primi arrivi; c) Dromocrone relative al profilo sismico.**

La elaborazione delle stesse permette di ottenere il modello di distribuzione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  (Fig. 60).



**Fig. 60: Modello di distribuzione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  a varie profondità.**

Dalla Fig. 60 si evince che i valori di  $V_p$  sono generalmente compresi tra 600m/s e 2200m/s mentre valori di  $V_s$  sono generalmente compresi tra 300m/s e 1200m/s.

In particolare è possibile distinguere

A:  $V_p=600-1000\text{m/s}$  ( $V_s=300-600\text{m/s}$ ); strato superficiale da 12.0m a 14.5m circa di profondità;

B:  $1500 < V_p < 2200 \text{ m/s}$  ( $1000 < V_s < 1200 \text{ m/s}$ ); probabile presenza di materiale argilloso compatto.

Attraverso l'utilizzo delle relazioni empiriche sopra descritte è possibile ottenere i modelli di distribuzione dei parametri RQD e  $Q_{srm}$  (Fig. 61), densità di massa (Fig. 62), coesione (Fig.63) e permeabilità idraulica (Fig. 64).

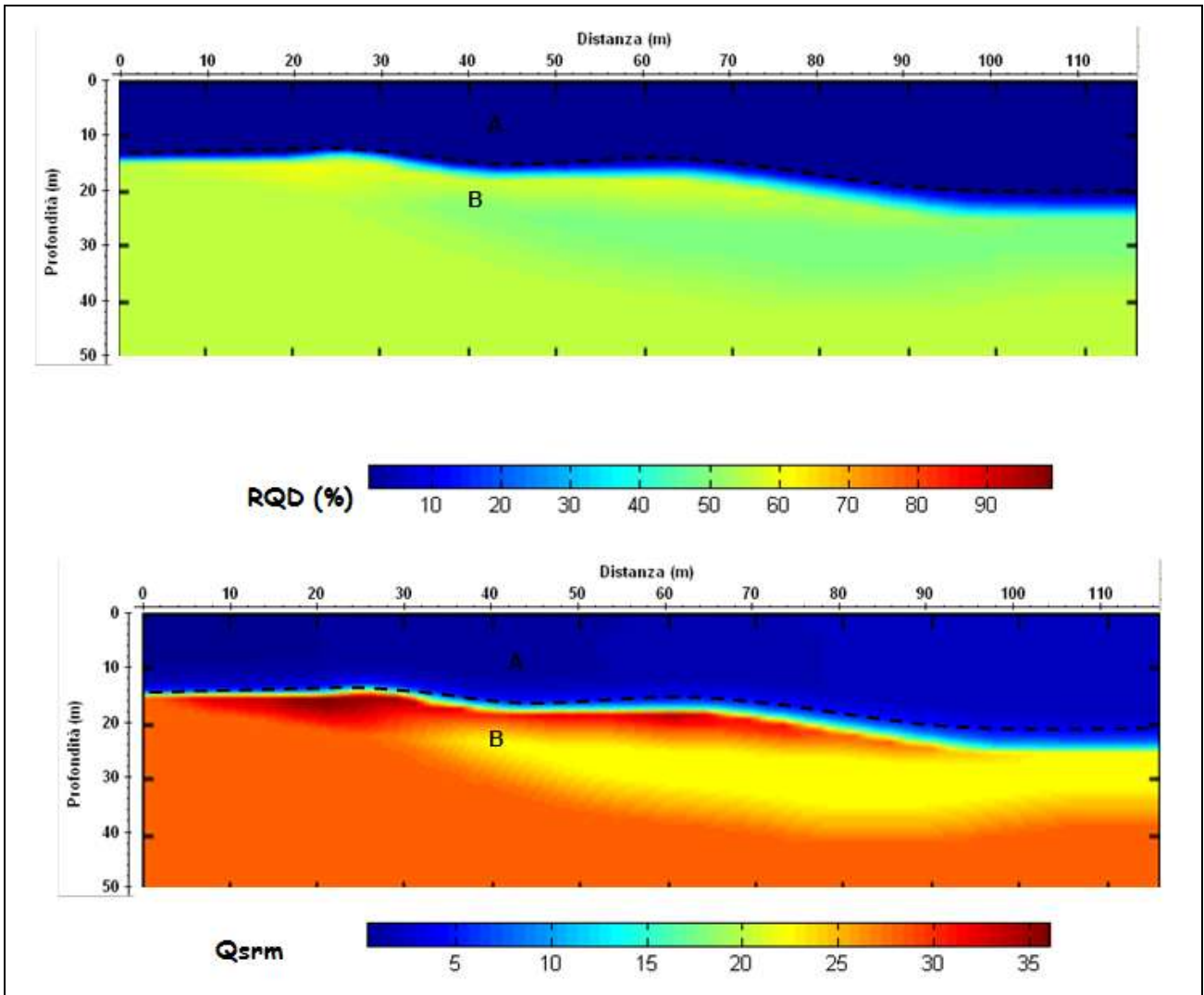


Fig. 61: Modelli di distribuzione di RQD e  $Q_{srm}$  a varie profondità.

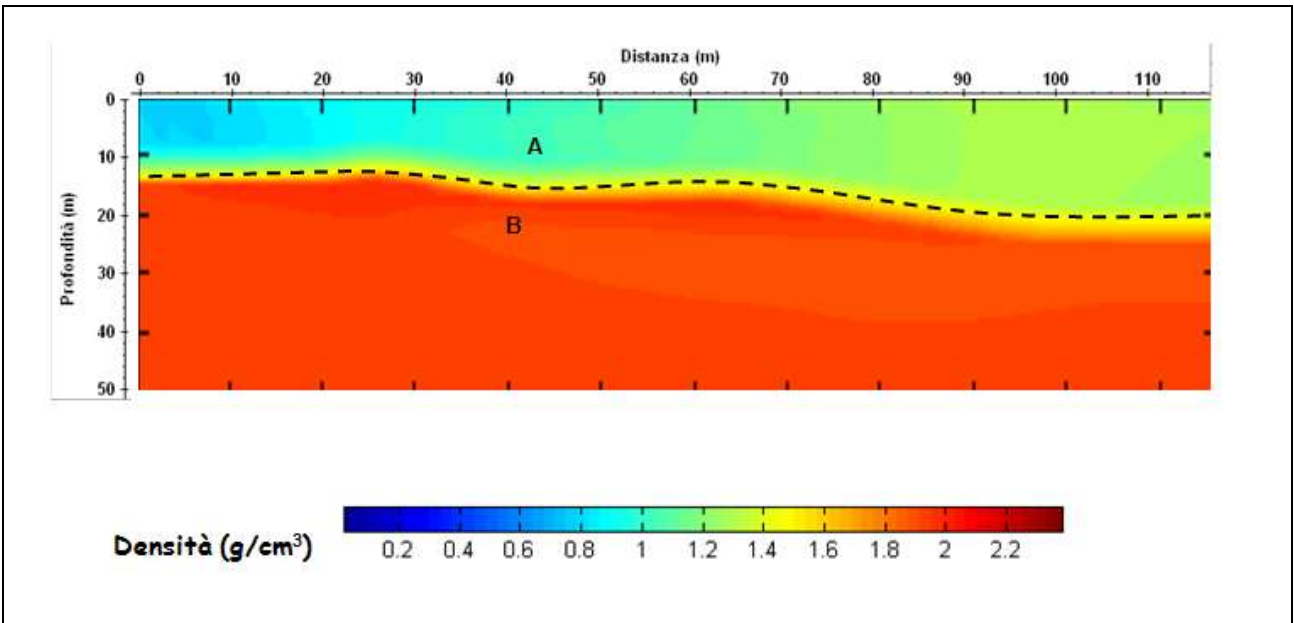


Fig. 62: Modello di distribuzione della densità di massa a varie profondità.

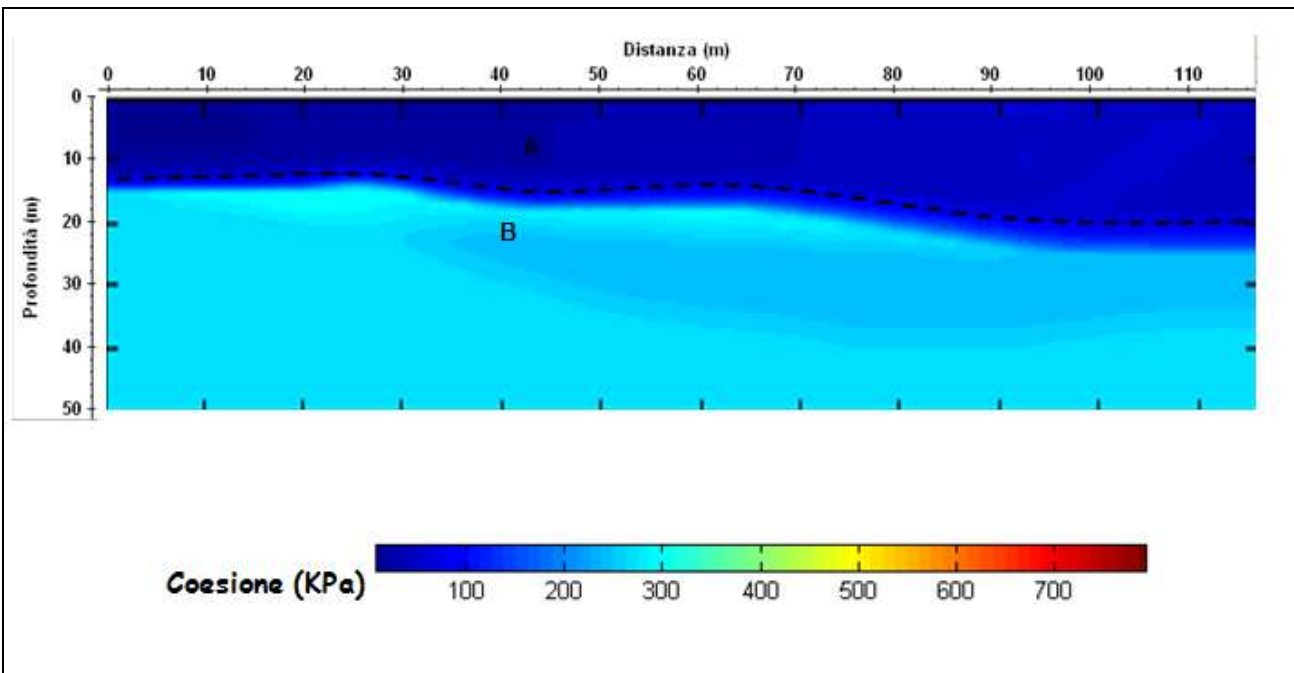
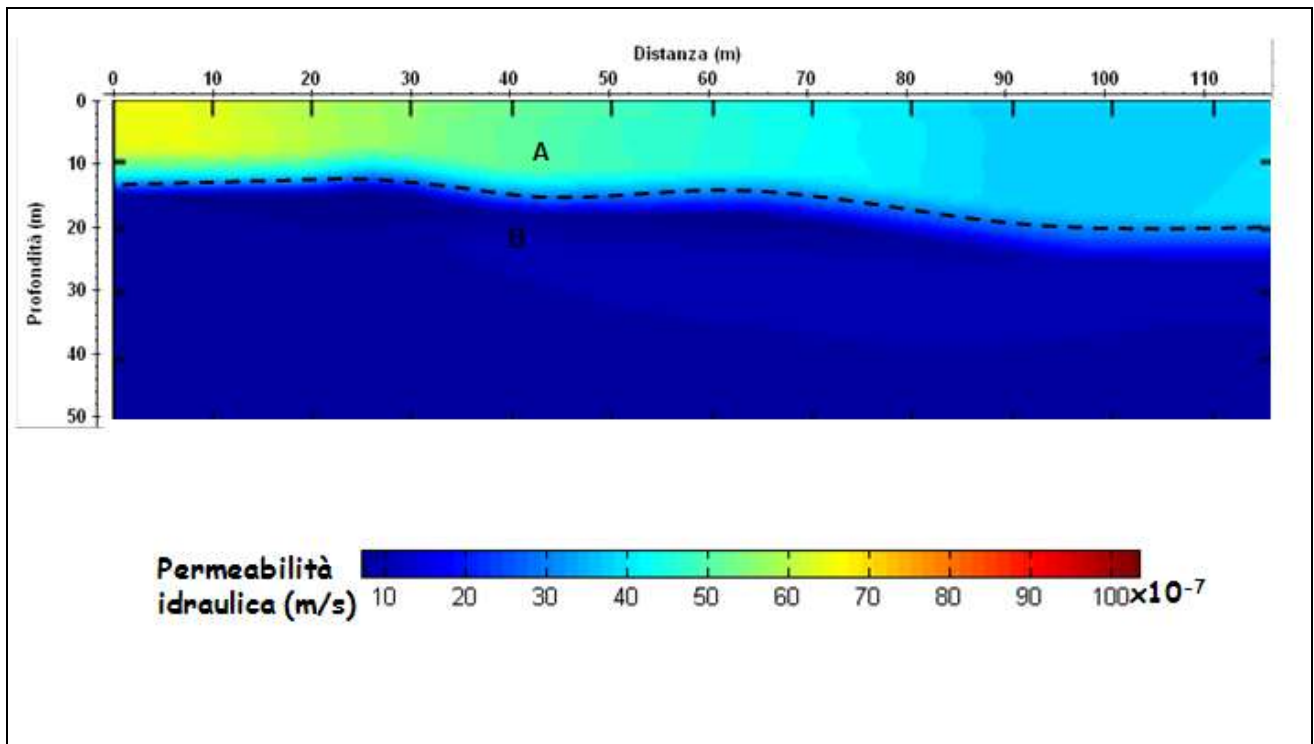


Fig. 63: Modello di distribuzione della coesione a varie profondità.



**Fig. 64: Modello di distribuzione della permeabilità idraulica a varie profondità.**

Analizzando le Figg. 61, 62,...64 si ottiene la tabella riassuntiva 17.

**Tab. 17: Riassunto dei risultati**

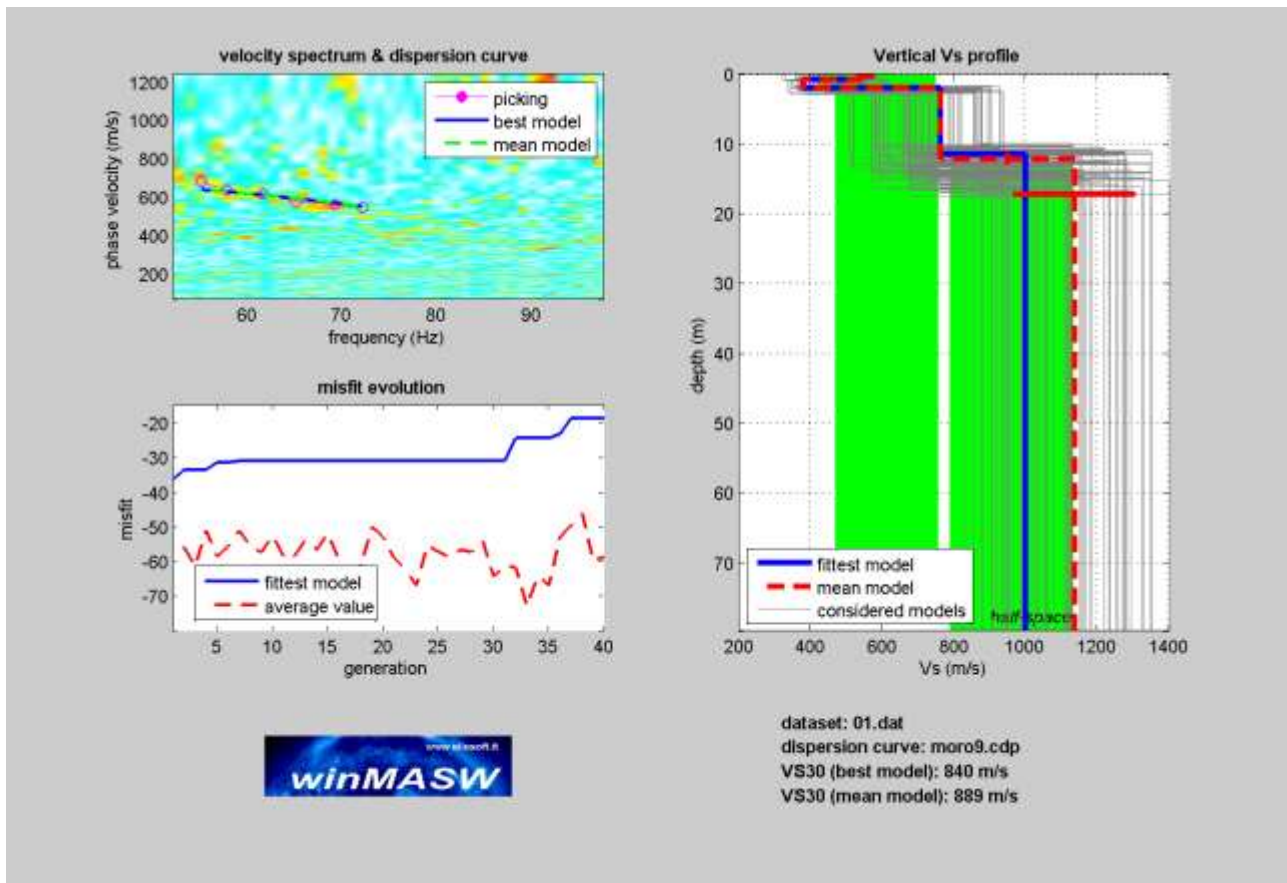
strato	RQD (%)	Qsrm	Densità (g/cm <sup>3</sup> )	Coesione (KPa)	Permeabilità idraulica (m/s) x10 <sup>-7</sup>
A	<10	5	1.6	40	40-60
B	40-60	20-35	1.8-2.0	200-300	0-2
C					

E' inoltre possibile calcolare i valori del coefficiente di Poisson, del modulo di Young e del modulo di taglio (tab. 18).

strato	$\sigma$	E (MPa)	G (MPa)	Lamè (MPa)	Bulk (MPa)
A	0.34	771	288	612	803
B	0.37	3483	1267	3766	4611

E' stata inoltre valutata la Vs30 con il metodo MASW.

In Fig 65 è riportata la curva di dispersione per il sito in studio assieme al modello di stratificazione utilizzato per il calcolo della Vs30.



**Fig. 65: Curva di dispersione con profilo verticale della velocità Vs al variare della profondità**

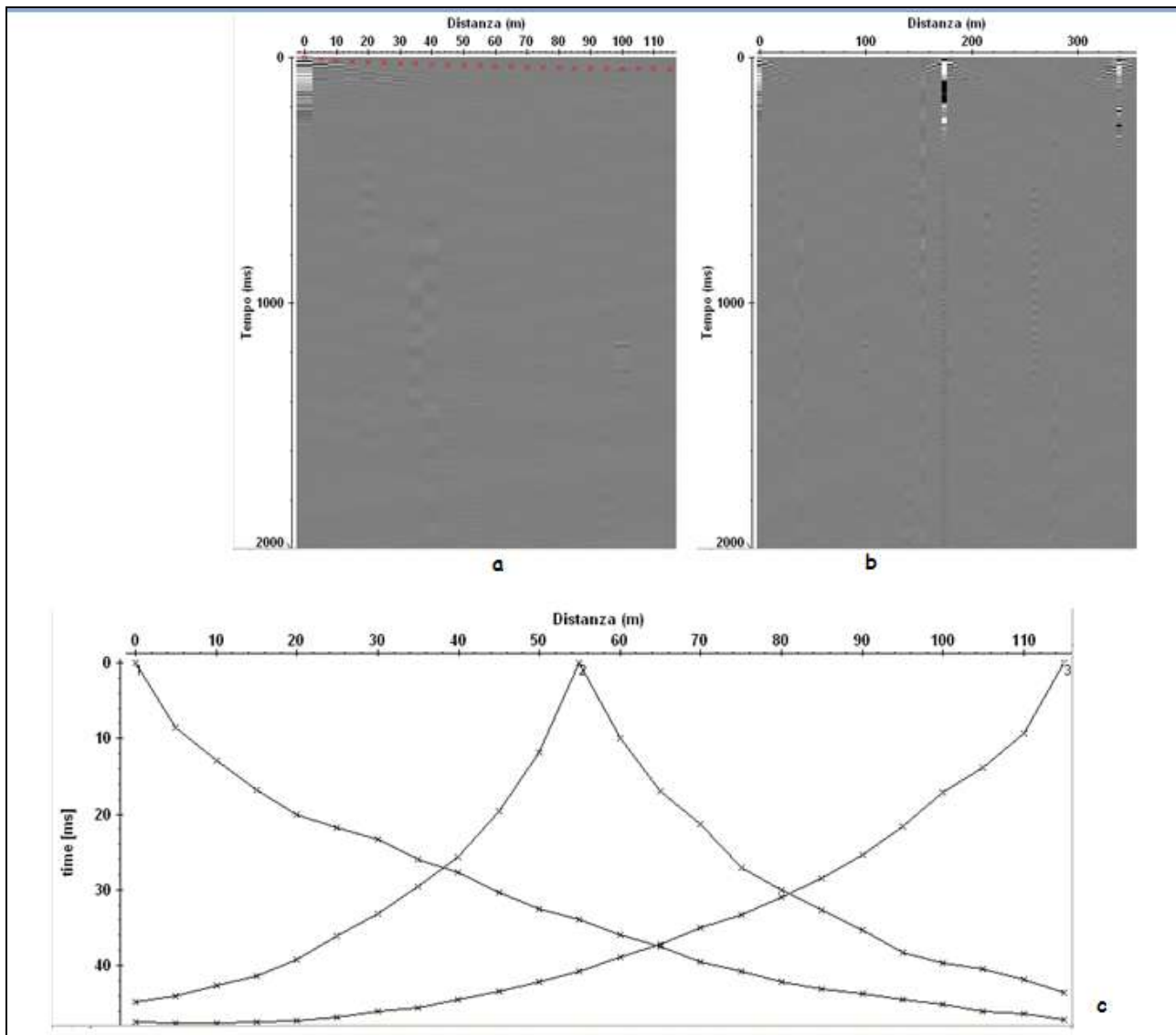
In base ai valori della velocità di propagazione delle onde S si è stimata una Vs30 pari a 889m/s.



### **Profilo sismico 10 – SS10\_24\_5**

Stesso tipo di acquisizione è stata adottata per il profilo 10 (Fig. 2 a pag.12 – geometria del profilo).

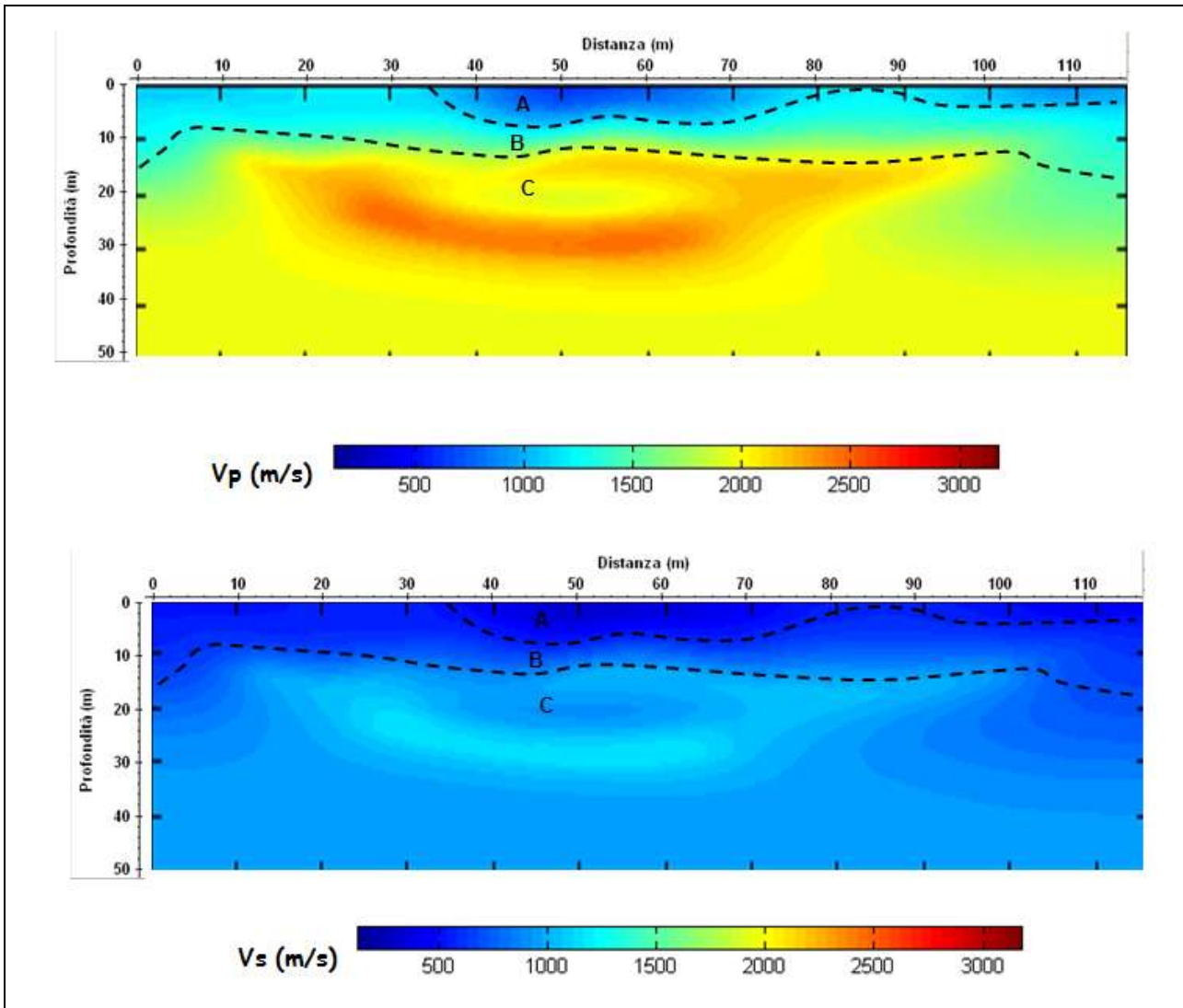
La lettura dei tempi di primo arrivo (picking) (Fig. 66b), per ogni traccia, su ciascun sismogramma (Fig.66a), consente di ottenere le dromocrone riportate in Fig.66c.



**Fig. 66: a) sismogrammi delle 3 energizzazioni; b) esempio di picking dei primi arrivi; c) Dromocrone relative al profilo sismico.**

La elaborazione delle stesse permette di ottenere il modello di distribuzione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  (Fig. 67).





**Fig. 67: Modello di distribuzione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  a varie profondità.**

Dalla Fig. 67 si evince che i valori di  $V_p$  sono generalmente compresi tra 600m/s e 2400m/s mentre valori di  $V_s$  sono generalmente compresi tra 300m/s e 1200m/s.

In particolare è possibile distinguere

A:  $V_p=600\text{m/s}$  ( $V_s=300\text{m/s}$ ); strato superficiale da 0.0m a 6.5m circa di profondità;

B:  $900 < V_p < 1000\text{m/s}$  ( $500 < V_s < 700\text{m/s}$ ); probabile presenza di materiale poco compatto che raggiunge una profondità compresa tra 8.0 e 16.0m circa;

C:  $1500 < V_p < 2400\text{m/s}$  ( $1000 < V_s < 1200\text{m/s}$ ); probabile presenza di materiale argilloso compatto.

Attraverso l'utilizzo delle relazioni empiriche sopra descritte è possibile ottenere i modelli di distribuzione dei parametri RQD e  $Q_{srm}$  (Fig. 68), densità di massa (Fig. 69), coesione (Fig.70) e permeabilità idraulica (Fig. 71).

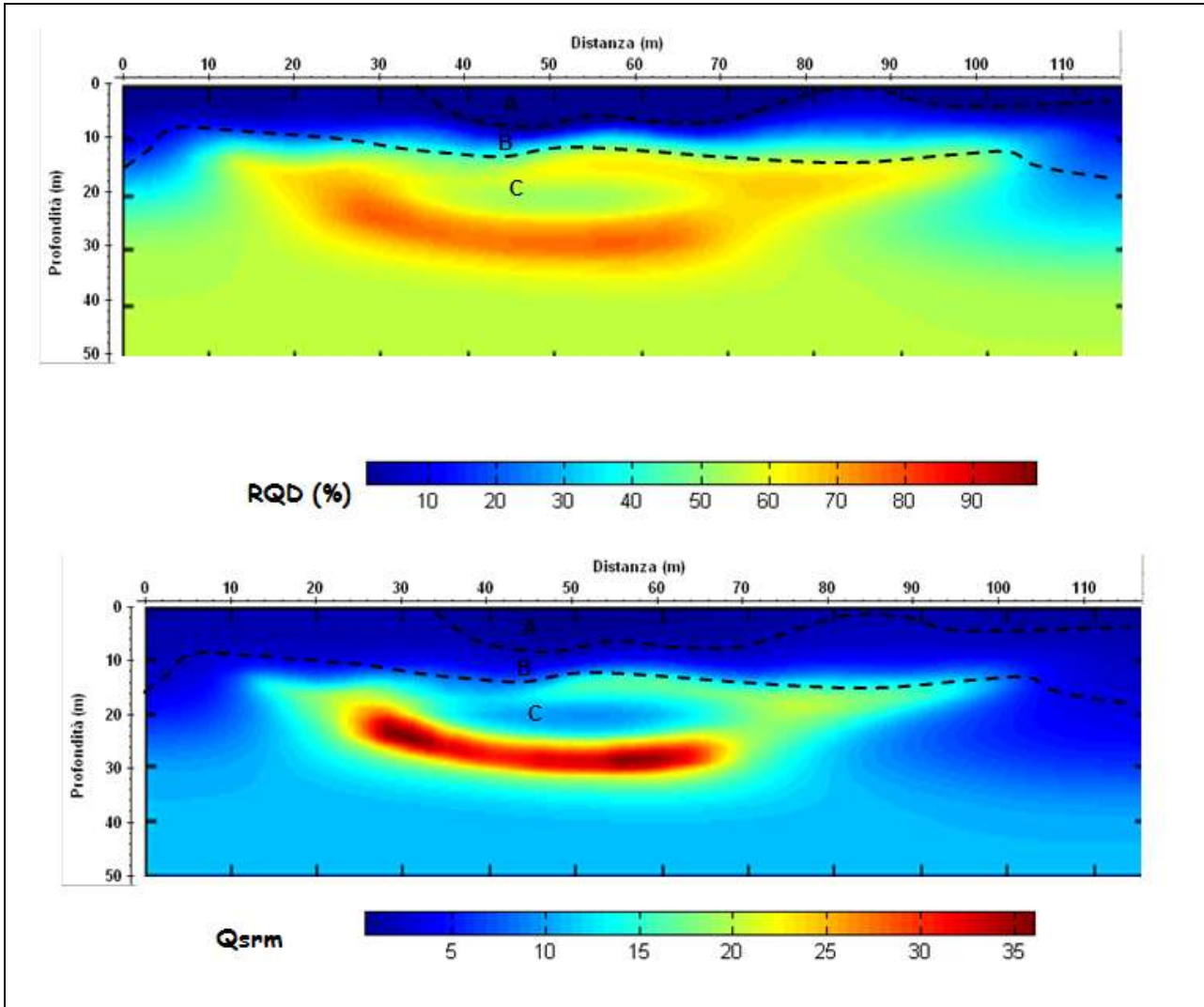


Fig. 68: Modelli di distribuzione di RQD e  $Q_{srm}$  a varie profondità.

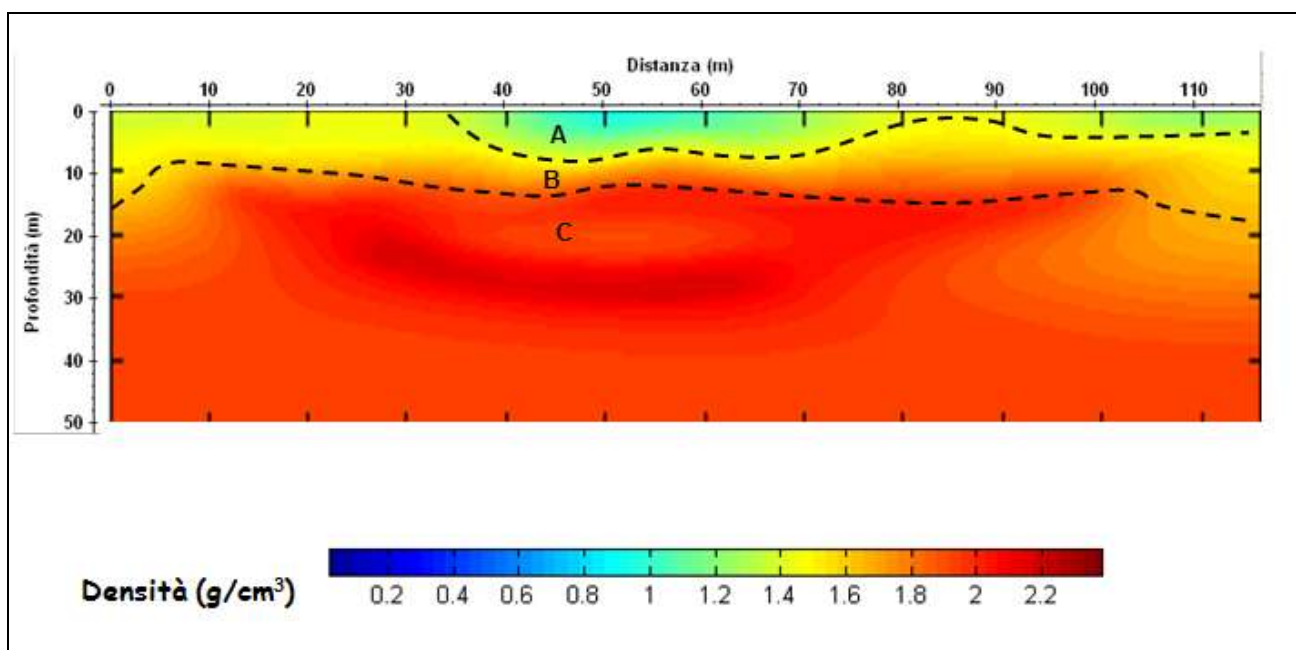


Fig. 69: Modello di distribuzione della densità di massa a varie profondità.

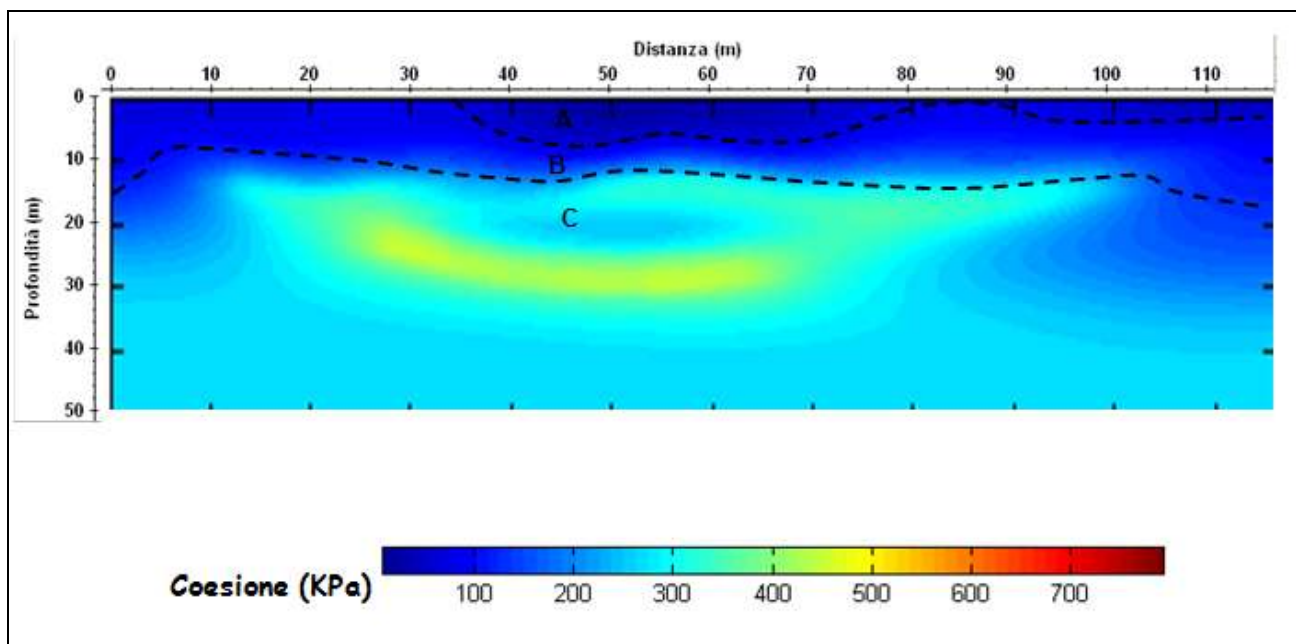
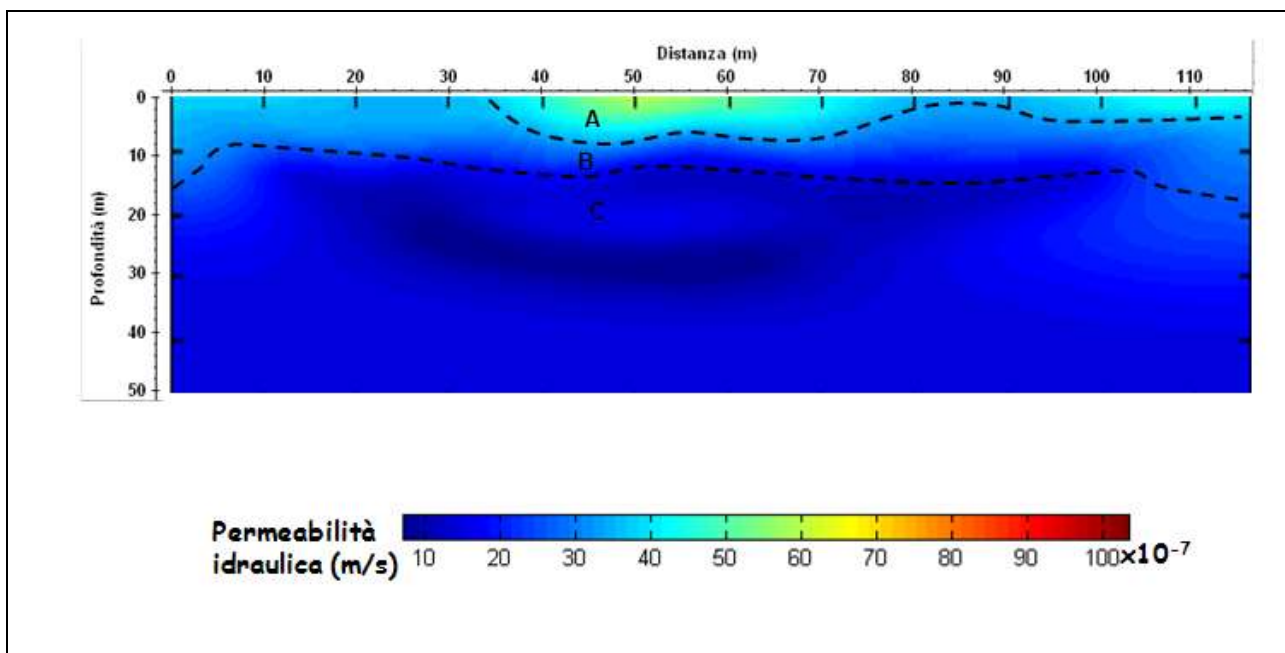


Fig. 70: Modello di distribuzione della coesione a varie profondità.



**Fig. 71: Modello di distribuzione della permeabilità idraulica a varie profondità.**

Analizzando le Figg. 68, 69,...71 si ottiene la tabella riassuntiva 19.

**Tab. 19: Riassunto dei risultati**

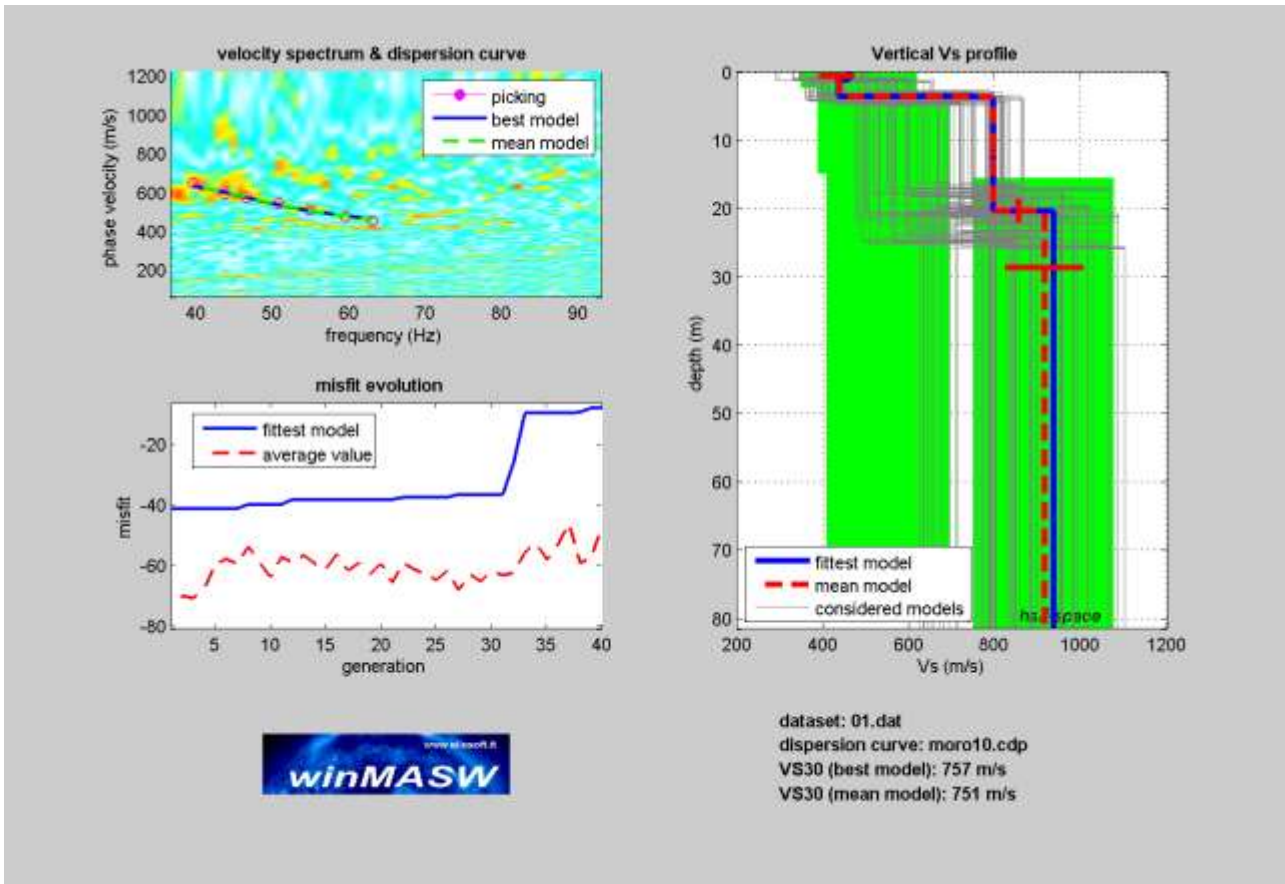
strato	RQD (%)	Qsrm	Densità (g/cm <sup>3</sup> )	Coesione (KPa)	Permeabilità idraulica (m/s) x10 <sup>-7</sup>
A				40	60
B	20	5	1.6	100	20-30
C	50-70	17-35	1.8-2.0	300-500	0-3

E' inoltre possibile calcolare i valori del coefficiente di Poisson, del modulo di Young e del modulo di taglio (tab. 20).

strato	$\sigma$	E (MPa)	G (MPa)	Lamè (MPa)	Bulk (MPa)
B	0.35	1048	389	876	1135
C	0.36	3765	1381	3665	4585

E' stata inoltre valutata la Vs30 con il metodo MASW.

In Fig 72 è riportata la curva di dispersione per il sito in studio assieme al modello di stratificazione utilizzato per il calcolo della Vs30.



**Fig. 72: Curva di dispersione con profilo verticale della velocità Vs al variare della profondità**

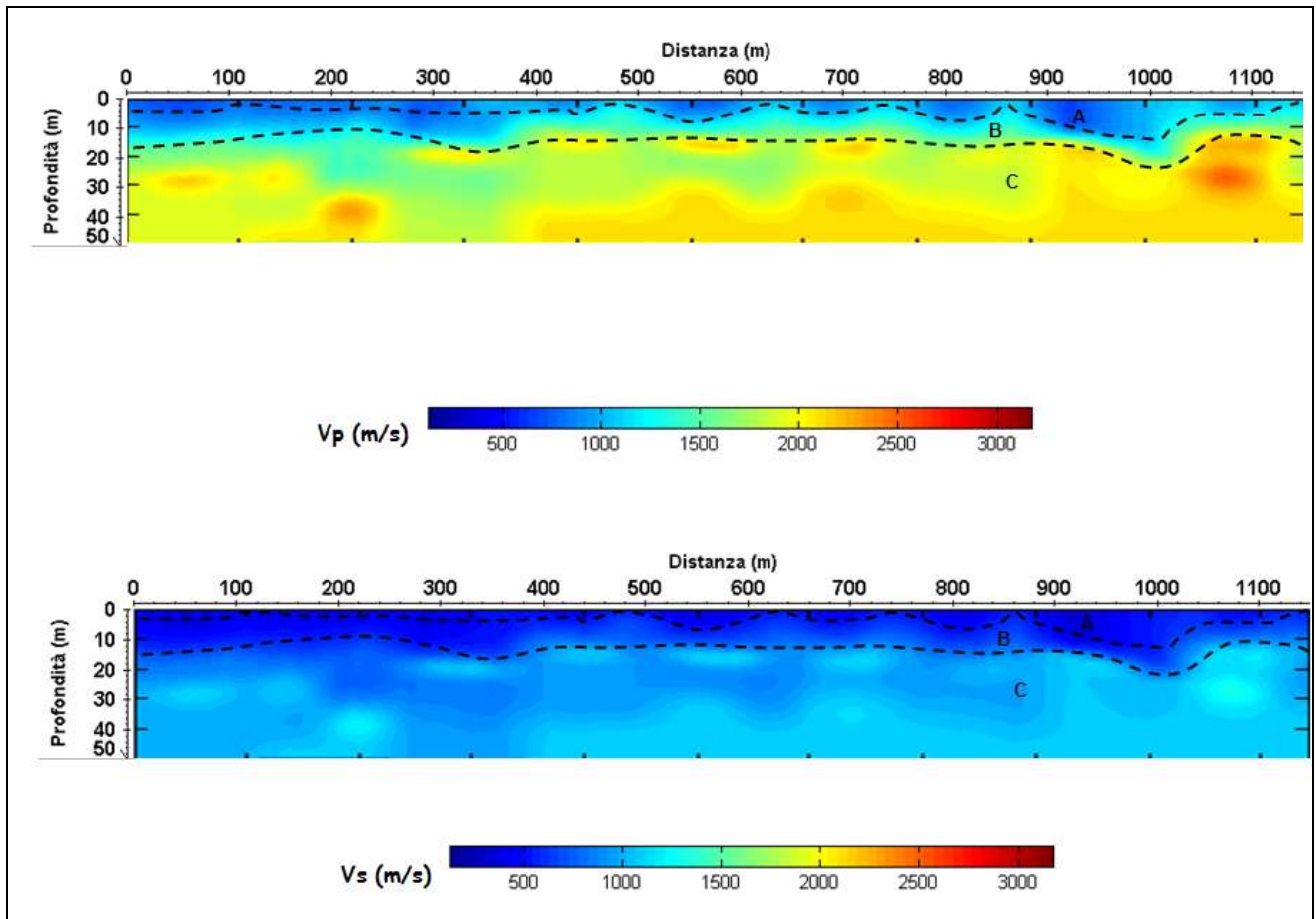
In base ai valori della velocità di propagazione delle onde S si è stimata una Vs30 pari a 751m/s.



## RISULTATI E CONCLUSIONI DELLE ANALISI STENDIMENTI MASW -SISMICI

Analizzando tutti e 10 i Profili MASW e i Profili Sismici realizzati nell'area si possono effettuare alcune considerazioni importanti.

Unendo i risultati ottenuti dalle 10 stese sismiche si ottiene il modello di distribuzione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  dell'intera area indagata (Fig. 73).



**Fig. 73: Modello di distribuzione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  a varie profondità.**

Dalla Fig. 73 si evince che i valori di  $V_p$  sono generalmente compresi tra 600m/s e 2400m/s mentre valori di  $V_s$  sono generalmente compresi tra 300m/s e 1200m/s.

In particolare è possibile distinguere

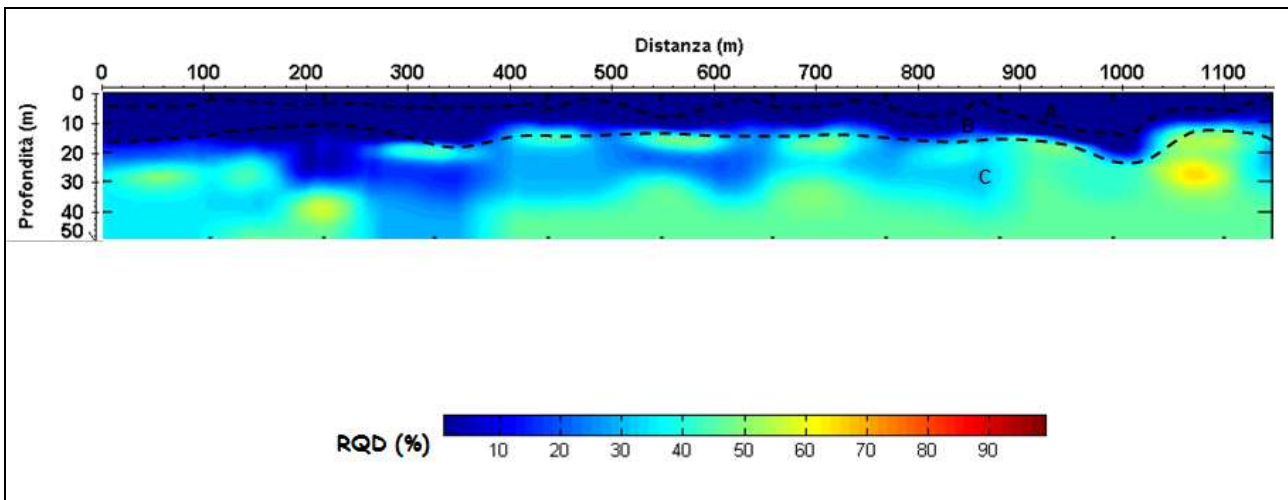
A:  $V_p=600\text{m/s}$  ( $V_s=300\text{m/s}$ ); strato superficiale da 0.0m a 10.0m circa di profondità;



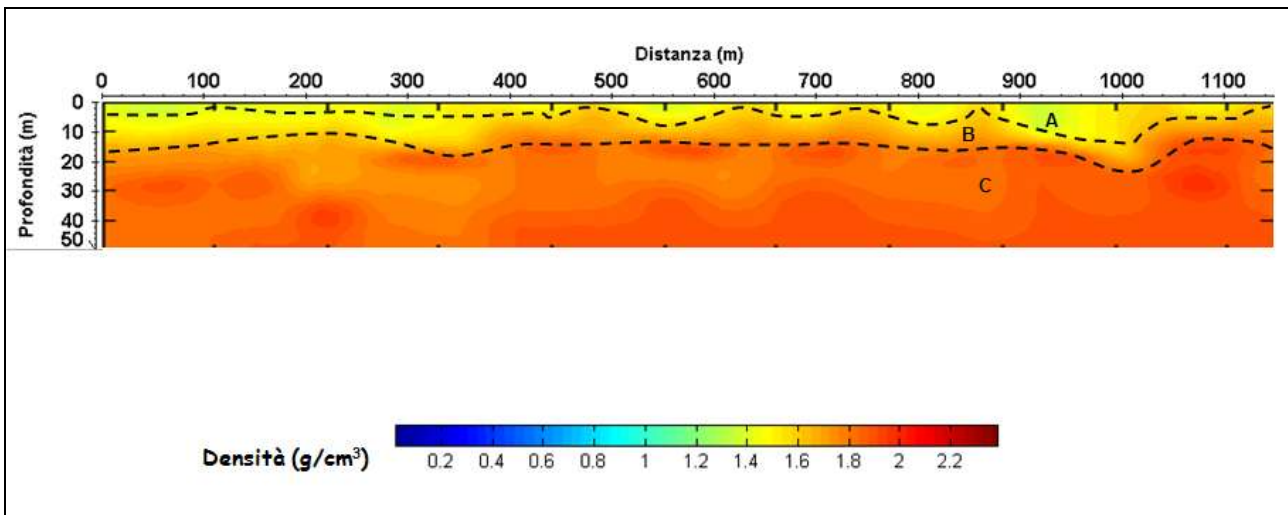
B:  $900 < V_p < 1000 \text{ m/s}$  ( $500 < V_s < 700 \text{ m/s}$ ); probabile presenza di materiale poco compatto che raggiunge una profondità compresa tra 8.0 e 16.0m circa;

C:  $1500 < V_p < 2400 \text{ m/s}$  ( $1000 < V_s < 1200 \text{ m/s}$ ); probabile presenza di materiale argilloso compatto.

Attraverso l'utilizzo delle relazioni empiriche sopra descritte è possibile ottenere i modelli di distribuzione dei parametri RQD (Fig. 74), densità di massa (Fig. 75), coesione (Fig.76) e permeabilità idraulica (Fig. 77).



**Fig. 74: Modelli di distribuzione di RQD e Q<sub>sm</sub> a varie profondità.**



**Fig. 75: Modello di distribuzione della densità di massa a varie profondità.**

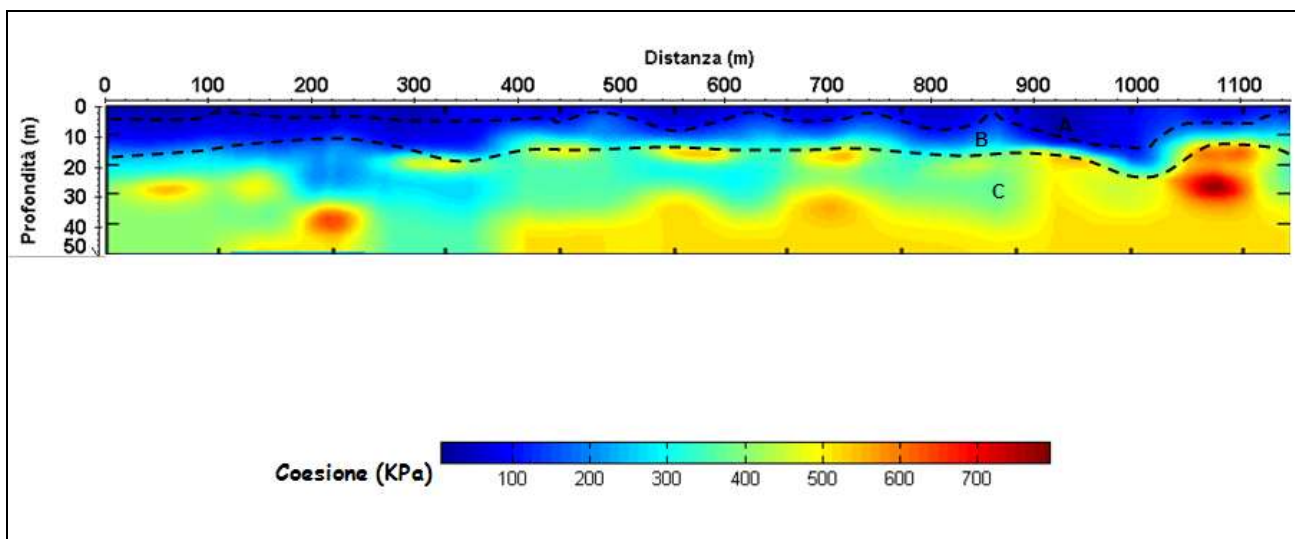


Fig. 76: Modello di distribuzione della coesione a varie profondità.

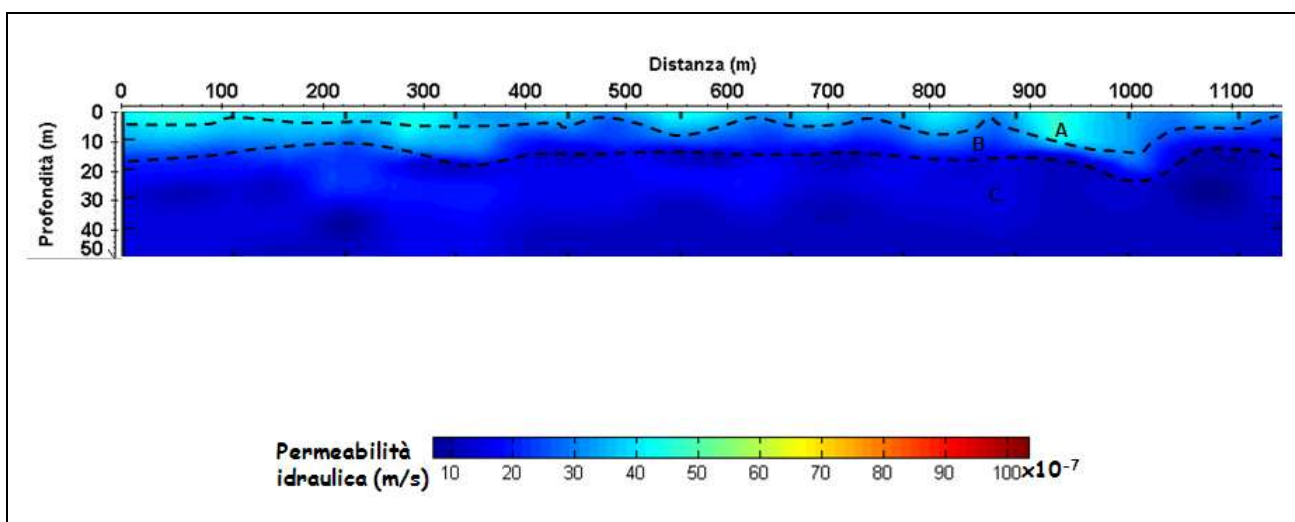


Fig. 77: Modello di distribuzione della permeabilità idraulica a varie profondità.

Tale tipologia di indagine sismica permette di interpretare la diffusione di n. 3 orizzonti sismici riferibili a n. 3 orizzonti litologici aventi caratteristiche geomeccaniche differenti.

**Sismostrato A** di spessore variabile, ma raramente con sviluppi superiori ai 5 m;

**Sismostrato B** spessore variabile ma mantiene un contatto costante con il Sismostrato C assestato a 12 – 15 m dal piano di acquisizione;

**Sismostrato C** ha le migliori caratteristiche geomeccaniche legate a condizioni di propagazione delle onde P e S migliori.

Sia i dati prodotti dai Profili Sismici che dai Profili MASW evidenziano velocità di propagazione delle onde P S e Superficiali progressivamente migliorative con la profondità. Analizzando i singoli Profili si può notare il rilievo dell'orizzonte A e B maggiore nella stesa SS3 che coincide con valori di velocità di propagazione delle onde S sensibilmente minori ( $V_{s30} = 563$  m/s; si tratta della velocità di propagazione minore rilevata nell'intera area analizzata).

In conclusione l'area indagata può essere caratterizzata utilizzando i valori riportati nelle tabelle conclusive seguenti. Va ad ogni modo ricordato che si tratta di valori empirici ottenuti applicando formulazioni derivanti da postulati di studi scientifici condivisi e condivisibili. Si tratta di una caratterizzazione preliminare che necessita del conforto di risultati e valori scaturibili dalle solo indagini dirette puntuali.

Informazioni e riferimenti bibliografici delle formule applicate per la determinazione dei parametri riportati sono riportati in pagg. 9 – 10 – 11 del presente report di indagini.

strato	RQD (%)	Q <sub>sr</sub> m	Densità (g/cm <sup>3</sup> )	Coesione (KPa)	Permeabilità idraulica (m/s) x10 <sup>-7</sup>
A	<10	2	1.4	50	40
B	5-20	5	1.6	200	20-30
C	30-70	10-35	1.8-2.0	300-600	0-3

strato	$\sigma$	E (MPa)	G (MPa)	Lamè (MPa)	Bulk (MPa)
B	0.356	1322	535	1025	1435
C	0.34	3486	1281	2675	4195

Dovendo come già precisato in precedenza classificare il sottosuolo di fondazione ai sensi delle normative che attualmente regolano il settore (D.M. del 14/01/2008, Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recepita dalla Regione Puglia nel marzo 2004; DGR Puglia 2 marzo 2004 e dalle modifiche allo stesso portate dal Consiglio dei ministri con ordinanza n.3431 del 03.05.2005), si dichiara che **il valore di Vs 30, misurato sperimentalmente, è compreso tra valori di 563 m/s (SS3\_24\_5) e di 889 m/s (SS9\_24\_5).**

**In base ai valori della velocità di propagazione delle onde S ottenuti nelle dieci stese si è stimata una Vs30 media pari a 633 m/s ottenuta dalla media dei profili effettuati.**

**Poichè tale valore risulta compreso tra 360 e 800 m/s, si imporrebbe l'attribuzione dello spessore litologico indagato, alla CATEGORIA "B" (definibile come litologie molto addensate) come desumibile da tabella allegata.**

Categoria suolo	Tipo	N <sub>SPT</sub>	c <sub>u</sub> (kPa)	Velocità di diffusione delle onde sismiche
A	Suoli omogenei molto rigidi			V <sub>s30</sub> > 800 m/s
B	Sabbie molto addensate	N <sub>SPT</sub> > 50	c <sub>u</sub> > 250	360 m/s < V <sub>s30</sub> < 800 m/s
C	Sabbie mediamente addensate	15 < N <sub>SPT</sub> < 50	70 < c <sub>u</sub> < 250	180 m/s < V <sub>s30</sub> < 360 m/s
D	Terreni granulari poco addensati	N <sub>SPT</sub> < 15	c <sub>u</sub> < 70	V <sub>s30</sub> < 180 m/s
E	Terreni a strati superficiali alluvionali			V <sub>s30</sub> come C o D nello strato superficiale (spessore tra 5 e 20 m) e come A nel substrato

**TABELLA – CATEGORIE DI SUOLO**

**Il territorio di Taranto, ai sensi dell'O. P. C. M. 3274/03, è classificato come zona sismica 3, per cui il valore di accelerazione orizzontale massima al suolo da adottare, espresso come frazione dell'accelerazione di gravità g, è il seguente:**

$$ag \geq 0.15.$$

Martina Franca 10-07-2012

**IL TECNICO**  
**Geologo Gianfranco Moro**

*Questo rapporto professionale è stato stampato su entrambi i lati. Ciò comporta una riduzione significativa del consumo di carta a fronte di una limitata scomodità nella consultazione.*

### **Bibliografia**

ANTONIO MARIA BALDI, MASSIMILIANO MONDET & STEFANO PRIANO, 2010. CORRELAZIONE TRA I VALORI DELLA VP E QUELLI DELLA PERMEABILITÀ IDRAULICA, DEFINITA IN AVANZAMENTO SU SONDAGGI GEOGNOSTICI. Atti del Workshop in geofisica, 25 giugno 2009, 99-105, Mus. civ. Rovereto

BARTON, N. (2002): Some new Q-value correlations to assist in site characterisation and tunnel design, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 39, 185-216.

Boadu, F.K., 2000. Predicting the transport properties of fractured rocks from seismic information: numerical experiments. *J. Appl. Geophys.* 44, 103–113.

Carrozzo M.T., Leucci G., Negri S., Margiotta S., Mazzone F., 2008  
INTEGRATED GEOPHYSICAL AND GEOLOGICAL INVESTIGATIONS FOR ROCK MASS CHARACTERIZATION IN KARST RISK AREAS. *Annals of Geophysics*, vol. 51, n. 1, 191-202;

Gardner, G.H.F., Gardner, L.W., and Gregory, A.R., 1974, Formation velocity and density – The diagnostic basics for stratigraphic traps: *Geophysics*, 39, 770-780.

Leucci G., De Giorgi L., 2006  
EXPERIMENTAL STUDIES ON THE EFFECTS OF FRACTURE ON THE P AND S WAVE VELOCITY PROPAGATION IN SEDIMENTARY ROCK (“CALCARENITE DEL SALENTO”). *Engineering Geology*, 84, 130–142;

Nolet, G., 1987. *Seismic Tomography: With Applications in Global Seismology and Exploration Geophysics*. D. Reidel Publishing Co., Dordrecht, Holland, p. 386.

Reynolds, J.M., 1998. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. Published by John Wiley and Sons Ltd. Baffins Lane, Chichester, West Sussex PO19 1UD, England.