



Autorità di Sistema Portuale  
del Mar Adriatico Centro Settentrionale

**APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA,  
ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO  
TERMINAL IN PENISOLA TRATTATOLI E RIUTILIZZO DEL  
MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007  
I FASE**

**PROGETTO DEFINITIVO**

OGGETTO

**RELAZIONE GEOLOGICA  
(Allegato 6 - Geofisica)**

FILE

1114.GEO.A - Allegato6

CODICE

1114.GEO.A.All6

SCALA

Rev.	Data	Causale
0	Set. 2015	Emissione
1		
2		
3		

AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DEL  
MARE ADRIATICO CENTRO SETTENTRIONALE

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO  
IL DIRETTORE TECNICO  
(Ing. Fabio Maletti)



MINISTERO INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI  
PROVVEDITORATO INTERREGIONALE PER  
LE OPERE PUBBLICHE PER LA LOMBARDIA  
E L'EMILIA ROMAGNA

IL RESPONSABILE DELLA REVISIONE  
DELLA PROGETTAZIONE  
(Ing. Francesco Caldani)

REGIONE EMILIA ROMAGNA  
 PROVINCIA DI RAVENNA  
 COMUNE DI RAVENNA

PORTO DI RAVENNA

LAVORI E SERVIZI AFFERENTI LE INDAGINI GEOTECNICHE E GEOLOGICHE  
 DI SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELLE OPERE IN  
 ATTUAZIONE DEL PRP VIGENTE 2007

*Ravenna Port Hub: final detailed design and supporting technical analyses*

Code: 2012-IT-91002-S

RAPPORTO INTERPRETATIVO DELLE INDAGINI



ALLEGATO 6 - INDAGINI SISMICHE

**CODICE ELABORATO**

14029/GF - ALLEGATO 6

**COMMITTENTE**



AUTORITA' PORTUALE DI RAVENNA  
 Via Antico Squero n.31 - 48122 Ravenna



COMPAGNIA TORINESE MONITORAGGI Srl

2					
1					
0	FEBBRAIO 2015	Edizione	Dott. M. Lavezzo	Dott. M. Ferrari	Dott. M. Ferrari
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO

## INDICE

1 - INTRODUZIONE.....	2
2 – INDAGINI GEOFISICHE .....	3
2.1 – PREMESSA .....	3
2.2 - INDAGINI GEOFISICHE SVOLTE .....	4
2.2.1 - PROVE REFRACTION MICROTREMOR .....	4
2.2.2 - CAROTAGGI SISMICI DOWN HOLE.....	6
2.2.3 - CAROTAGGI SISMICI CROSS HOLE .....	9
2.3 – PERSONALE IMPIEGATO E QUALITÀ .....	10
3- FINALITA' DELLA PROSPEZIONE.....	10
4 – ESECUZIONE DEI RILIEVI .....	10
4.1 – PROVE REFRACTION MICROTREMOR .....	10
4.2 – CAROTAGGIO SISMICO DOWN-HOLE.....	12
4.3 – CAROTAGGIO SISMICO CROSS-HOLE.....	16
4.4 – PROVE DI VERTICALITÀ.....	21
5 – METODOLOGIE INTERPRETATIVE DELLE MISURE GEOFISICHE .....	23
5.1 – PROVE REFRACTION MICROTREMOR .....	23
5.2 – CAROTAGGIO SISMICO DOWN-HOLE.....	26
5.3 – CAROTAGGIO SISMICO CROSS-HOLE.....	27
6 – ANALISI DEI RISULTATI GEOFISICI.....	28
6.1 – PROVE REFRACTION MICROTREMOR .....	29
6.2 - CAROTAGGIO SISMICO DOWN-HOLE.....	43
6.3 – CAROTAGGIO SISMICO CROSS-HOLE.....	97
APPENDICE 1 - Prove di verticalità.....	101
APPENDICE 2 - Prove re.mi.....	104
APPENDICE 3 - Sismogrammi carotaggi sismicil .....	209

## 1 - INTRODUZIONE

Nell'ambito delle indagini geofisiche inerenti i “Lavori e i servizi afferenti le indagini geotecniche e geologiche di supporto alla progettazione definitiva delle opere in attuazione del PRP vigente 2007” sul porto di Ravenna (RA), è stata svolta un'indagine geofisica consistente nell'esecuzione di prove Re.Mi. e carotaggi sismici down hole e cross hole.

Le finalità dell'indagine sono state quelle di definire i valori di velocità sismica delle onde P e delle onde S ( $V_p$  e  $V_s$ ) e la caratterizzazione dinamica dei terreni attraverso il calcolo dei moduli elastici-dinamici.

La prospezione geofisica è stata condotta, per quanto riguarda le fasi di campagna, tra il mese di novembre 2014 ed il mese di gennaio 2015.

Scopo dell'indagine è stato quello di costruire, attraverso l'integrazione di diverse metodologie (geofisiche e geognostiche) un modello litostratigrafico di dettaglio del sottosuolo dell'area d'interesse. La profondità d'indagine raggiunta è di oltre 50m al di sotto del livello medio mare.

Complessivamente sono stati realizzati: n° 117 prove Refraction Microtremor distribuite su sei aree, n° 10 carotaggi sismici down hole ed un carotaggio sismico cross hole.

Tutti i dati acquisiti in questa fase di lavoro, integrati con i dati acquisiti nelle precedenti fasi di studio (prove geognostiche), sono stati utilizzati per la costruzione del modello geolitologico di dettaglio dell'area d'interesse

Nella presente relazione sono descritte, secondo un criterio essenzialmente geofisico, le modalità d'esecuzione della fase di acquisizione dei dati sperimentali e le metodologie interpretative dei dati sismici.

## 2 – INDAGINI GEOFISICHE

### 2.1 – Premessa

Le indagini sismiche in sito hanno permesso di determinare direttamente la velocità di propagazione, all'interno del mezzo in esame, delle onde di compressione (onde P) e delle onde di taglio (onde S) e, utilizzando i valori delle velocità acquisite, alcune proprietà meccaniche delle litologie investigate.

Nell'ambito di questi studi si è provveduto alla parametrizzazione dinamica dei terreni. Nello specifico sono state acquisite misure della velocità delle onde sismiche che hanno permesso di determinare la rigidità iniziale ( $G_0$  o  $G_{max}$ ), ossia la rigidità a livelli di deformazione molto bassi. Nell'indagine geofisica svolta, tale parametrizzazione è stata ottenuta attraverso misure delle onde di compressione (P) e di taglio (S), mediante carotaggi sismici con metodologia cross-hole e down hole all'interno di sondaggi meccanici adeguatamente attrezzati e attraverso la esecuzione di prove Re.Mi.. Per quanto riguarda le principali proprietà dinamiche dei terreni, è opportuno ricordare che per sottosuoli naturali, a causa della rapidità delle azioni e del fatto che questi si trovano per gran parte sotto falda, ci si trova in condizioni di drenaggio impedito e pertanto il fenomeno sismico produce deformazioni volumetriche trascurabili, rispetto a quelle distorsionali. Per questo motivo appare giustificato ricondurre la modellazione meccanica di un fenomeno sismico all'analisi degli effetti prodotti da un treno d'onde S, che si propagano dal substrato alla superficie, con un campo di spostamenti del terreno in pratica orizzontale. Tale assunzione è oltretutto giustificata dal fatto che, da un punto di vista ingegneristico, il moto più verosimile ai fini della verifica sismica dei manufatti è quello orizzontale. In tal senso, a livelli di deformazione bassi, è assunta l'ipotesi che il terreno in esame presenti un comportamento *tensione-deformazione* di tipo elastico lineare (deformazioni inferiori a  $10^{-3}$  %).

Attraverso i valori di velocità di propagazione delle onde P ( $V_p$ ) e delle onde S ( $V_{sH}$ ), si sono determinati, in riferimento alla teoria dell'elasticità, alcune delle proprietà meccaniche del mezzo attraversato, quali:

- il modulo di deformazione a taglio Gmax:  $(G = \rho \cdot V_s^2)$
- il modulo di Young E:  $E = 2\rho \cdot V_s^2 \cdot (1 + \nu)$
- il coefficiente di Poisson  $\nu$ :  $\nu = 0.5 \cdot \left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1 \Big/ \left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1$
- il modulo di compressibilità volumetrica  $E_v$ :  $E_v = \rho \cdot \left( V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \right)$

dove:  $\rho$  = rappresenta la densità del mezzo;  
 $\gamma$  = peso di volume (=  $\rho \cdot g$ )  
 $g$  = l'accelerazione di gravità ;  
 $\nu$  = è il coefficiente di Poisson.

Le velocità delle onde P misurate per terreni perfettamente saturi ( $S_r = 100\%$ ) dipendono talora in maniera decisiva dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale e perciò tali valori possono non essere rappresentativi delle proprietà meccaniche del materiale in questione secondo le relazioni matematiche espresse in precedenza; invece le velocità delle onde S e delle onde di superficie, sono caratteristiche delle vibrazioni trasmesse prevalentemente dal solo scheletro solido e perciò rappresentative delle proprietà meccaniche del terreno. Ne consegue che per alcuni terreni sotto falda, le uniche onde in grado di fornire informazioni precise sulla rigidità del terreno sono quelle di taglio e, subordinatamente, le onde di superficie.

## 2.2 - Indagini geofisiche svolte

### 2.2.1 - Prove Refraction Microtremor

In accordo con la Committenza, l'indagine geofisica si è svolta attraverso l'esecuzione di n° 117 prove Re.Mi. Ogni prova è stata acquisita attraverso una linea sismica composta da 24 geofoni equispaziati 5m. *Ogni prova è stata acquisita su tre linee parallele al fine di ricreare un modello geofisico finale 3D.*

Le prove Re.Mi. sono state ubicate nelle sei aree indicate in figura 2.2.1.



Figura 2.2.1: ubicazione delle prove Re.Mi.

Di seguito sono riportate le principali caratteristiche delle prove Re.Mi. effettuate:

- *Numero geofoni: 24;*
- *Spaziatura dei geofoni: 5 metri;*
- *Frequenza geofoni: 4.5 Hz;*
- *Tempo di registrazione degli eventi: 30 s;*
- *Tempo di campionamento:  $2 \times 10^{-3}$  s;*
- *n° 20 registrazioni.*

Di seguito si riporta il dettaglio delle indagini:

Area	N° prove	Lunghezza (m)	data
RE1	21	770	20-12-2014
RE2	24	895	9-12-2014 19-12-2014
RE3	24	800	12-12-2014
RE4	21	715	18-11-2014 19-11-2014
RE5	15	530	10-12-2014 11-12-2014
RE6	12	480	20-11-2012 21-11-2012

### 2.2.2 - Carotaggi sismici down hole

I sondaggi meccanici, al momento dell'esecuzione dei carotaggi sismici, risultavano completamente rivestite con tubazione in PVC cementata alle pareti dei fori stessi e presentavano le seguenti profondità investigabili:

Sondaggio n°	Data	Profondità investigazione (m da p.c.)
<b>S23</b>	19-12-2014	35,0
<b>S18</b>	19-12-2014	35,0
<b>S12</b>	21-12-2014	35,0
<b>S7</b>	19-01-2014	35,0
<b>S9</b>	19-01-2014	35,0
<b>S21</b>	19-01-2014	35,0
<b>S14</b>	20-01-2014	35,0
<b>S2</b>	20-01-2014	35,0
<b>S17</b>	20-01-2014	35,0
<b>S1</b>	20-01-2014	35,0

Tutte le registrazioni, all'interno dei sondaggi, sono state eseguite con un'interdistanza fra le misure pari a 0,5 metri, da fondo-foro fino al piano campagna, per un totale di 350,0 m di carotaggio sismico down-hole. Si fa presente che le misure geofisiche effettuate risultano di poco inferiori alla lunghezza del sondaggio, in quanto la sonda di misura a causa della propria lunghezza non permette la misura diretta nell'ultimo metro in profondità.



*Foto2.2.2.1: DH-S18*



*Foto2.2.2.2: DH-S23*



*Foto2.2.2.3: DH-S12*



*Foto 2.2.2.4: DH-S7*



Foto 2.2.2.5 DH-S9



Foto 2.2.2.6: DH-S21



Foto 2.2.2.7: DH-S14



Foto 2.2.2.8: DH-S2



Foto 2.2.2.9: DH-S17

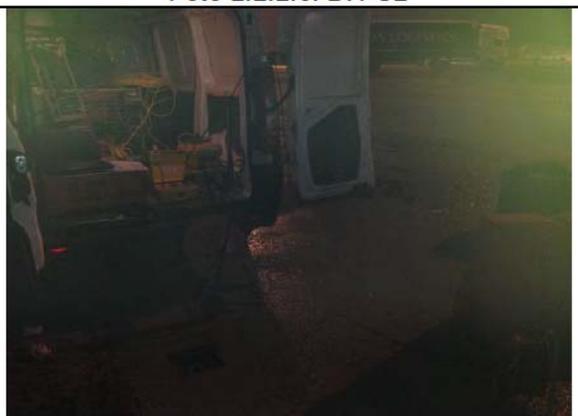


Foto 2.2.2.10: DH-S1

### 2.2.3 - Carotaggi sismici cross hole

La coppia di sondaggi meccanici, al momento dell'esecuzione del carotaggio sismico, risultava completamente rivestita con tubazione in PVC cementata alle pareti dei fori stessi e presentava le seguenti profondità investigabili:

<i>Sondaggio n°</i>	<i>Data</i>	<i>Profondità investigazione (m da p.c.)</i>
<b>CH6</b>	21-01-2015	35,0
<b>CHa</b>	21-01-2015	35,0

Preliminarmente all'esecuzione del carotaggio sismico, è stata eseguita, su tutti i fori, la prova di verticalità (riportata in appendice) con passo di acquisizione di 1 metro, ed i cui risultati sono stati opportunamente utilizzati al fine di conoscere la distanza reciproca dei sondaggi da piano campagna fino a fondo-foro.

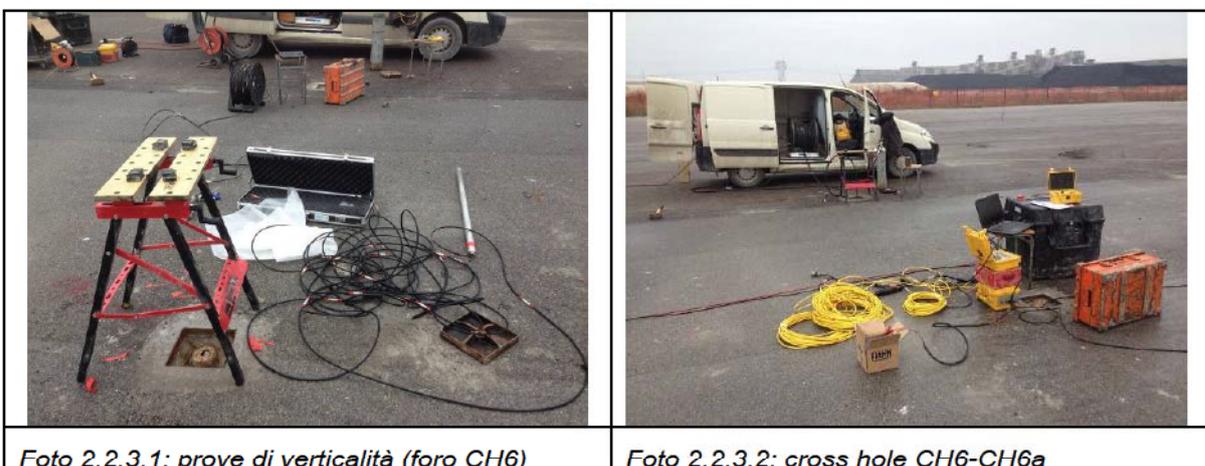


Foto 2.2.3.1: prove di verticalità (foro CH6)

Foto 2.2.3.2: cross hole CH6-CH6a

Tutte le registrazioni, all'interno dei sondaggi, sono state eseguite con un'interdistanza fra le misure pari a 1,0 metri, da fondo-foro fino al piano campagna, per un totale di **35,0 m di carotaggio sismico Cross-Hole**. Sono stati inoltre eseguiti, in totale, **70,0 m di misura della verticalità** dei fori,

effettuando misure ogni metro. Si fa presente che le misure geofisiche effettuate risultano di poco inferiori alla lunghezza del sondaggio, in quanto la sonda di misura a causa della propria lunghezza non permette la misura diretta nell'ultimo metro in profondità.

## **2.3 – Qualità**

Le indagini sono state eseguite in riferimento alle procedure e alle istruzioni di lavoro del Sistema integrato Qualità e Sicurezza aziendale, certificato conforme alle norme internazionali UNI EN ISO 9001:2008 e OHSAS 18001:2007.

## **3- FINALITA' DELLA PROSPEZIONE**

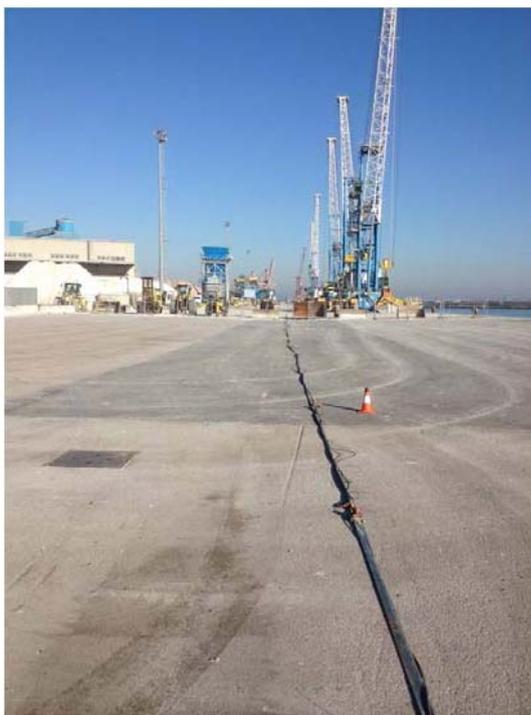
Le finalità della prospezione geofisica possono così essere sinteticamente riassunte:

- *definire i valori di  $V_p$  e  $V_s$  per i terreni indagati;*
- *computo dei moduli elasto-dinamici e del coefficiente di Poisson.*
- *Modellazione 3D*

## **4 – ESECUZIONE DEI RILIEVI**

### **4.1 – Prove Refraction Microtremor**

Le registrazioni dei microtremori sono state effettuate mediante linee sismiche costituite da 24 geofoni verticali della frequenza di 4.5 Hz aventi interdistanza pari a 5 metri. La lunghezza di ogni linea sismica è pari a 115 metri lineari. Al fine di mantenere una verta continuità del segnale sismico registrato è stata mantenuta una sovrapposizione variabile da uno a quattro ricevitori su tutte le aree investigate. Al fine di velocizzare la fase di acquisizione delle prove Re.Mi., nella aree asfaltate è stato utilizzato un land streamer (foto 4.1.1).



*Foto 4.1.1: land streamer*

Per l'esecuzione della prospezione sono state utilizzate le seguenti strumentazioni ed attrezzature:

n°	Strumentazione PER INDAGINI SISMICHE	COD. IDENT.
1	Sismografo GEOMETRICS "GEODE" 24 ch- 24 bit	SGG-SI-47
1	Computer portatile HP per registrazione dei dati di campagna;	
24	Geofoni verticali con frequenza pari a 4,5 Hz	SGG-SI-02
1	Cavo di collegamento per geofoni	SGG-SI-39H
1	Massa battente da 10 kg	

Tutti gli strumenti di misura impiegati, come definito nel "sistema di qualità" aziendale, sono periodicamente tarati presso il LABORATORIO CETACE di Prato, della CESVIT S.p.A., ed accreditato SIT (Servizio di Taratura in Italia).

## 4.2 – Carotaggio sismico down-hole

Le onde elastiche si propagano nelle rocce con vari schemi e con diverse velocità. Secondo queste modalità le onde sismiche sono pertanto distinte in longitudinali, trasversali, superficiali (Stoneley, Love, Rayleigh, etc..). Nelle varie applicazioni della sismica, quindi anche nei carotaggi sismici, si impiegano impulsi artificiali d'energizzazione che producono onde elastiche di diversi tipi; tra queste sono prese in esame solo le onde longitudinali di tipo compressionale o *prime* (P) e quelle trasversali, di taglio, o *secondo* (S).

Occorre ricordare che la componente dell'onda sismica compressionale P risulta più veloce della componente di taglio S e pertanto l'arrivo di queste onde di taglio deve essere ricercata all'interno del sismogramma registrato. Le due onde, com'è noto, si differenziano per la diversa modalità di deformazione dei terreni durante la loro diffusione: la propagazione delle onde longitudinali avviene mediante compressioni e decompressioni delle rocce, mentre quella delle onde trasversali si basa sulla trasmissione di sforzi di taglio.

Lo scopo della prova down-hole consiste nel determinare la velocità di propagazione delle onde di compressione (onde P) e di taglio (onde  $S_H$ ), calcolando il tempo ad esse necessario per raggiungere il geofono ricevitore (all'interno del foro di sondaggio) dalla zona sorgente (su piano campagna a distanza nota dal foro). Si suppone che il volume di terreno, interessato dalle indagini sia stratificato orizzontalmente e che all'interno d'ogni strato il comportamento del terreno si possa considerare elastico, omogeneo ed isotropo.

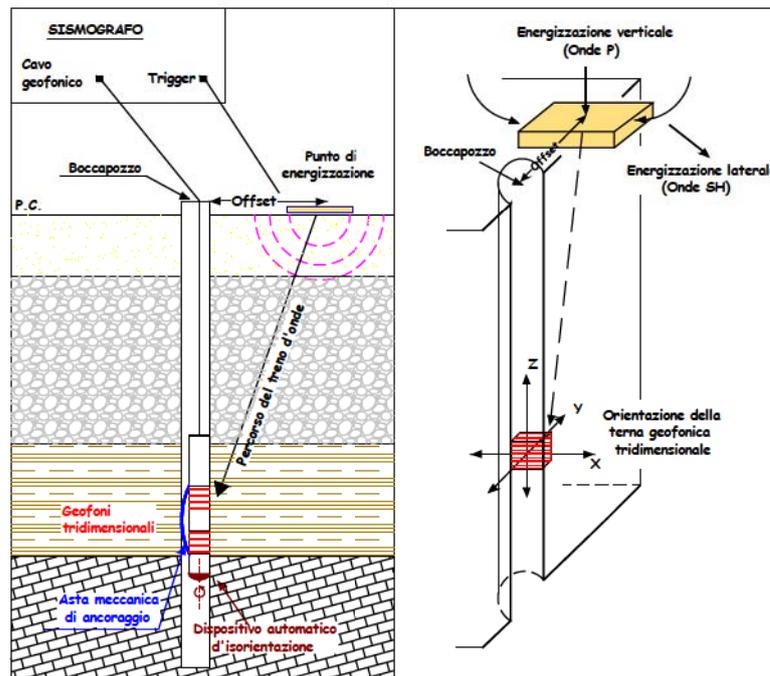


Figura 4.2.1 - Rappresentazione schematica di un carotaggio sismico down-hole.

La prova consiste nel produrre in superficie sollecitazioni verticali per la generazione di onde di compressione P, ed orizzontali per la generazione di onde di taglio polarizzate orizzontalmente  $S_H$  e nel registrare l'istante di primo arrivo del treno d'onde ad un sistema composto da una terna di geofoni, ancorati a profondità nota nel foro di sondaggio (Figura 4.2.1). Conosciuta la distanza tra la sorgente ed i ricevitori e determinato il tempo di propagazione, è possibile stimare in maniera accurata la distribuzione delle velocità sismiche (P e  $S_H$ ) in corrispondenza della verticale di misura.

Per generare le onde di compressione P è stata utilizzata una massa battente da 5 kg. Per le onde  $S_H$  è stato invece utilizzato, come sorgente, un apposito dispositivo, la cui forma permette colpi laterali su entrambi i lati. Tale dispositivo viene gravato con sacchi di sabbia, al fine di assicurare una perfetta aderenza con il terreno, così da evitare ogni tipo di dispersione dell'energia prodotta. Il sistema energizzante adottato è in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza, con forme d'onda ripetibili e direzionali, vale a dire con la

possibilità di ottenere prevalentemente onde di compressione e/o di taglio polarizzate su piani orizzontali, ed eventualmente anche verticali, (fig. 4.2.1).

Come sistema di ricezione è stata utilizzata una sonda meccanizzata al cui interno sono alloggiati tre ricevitori, ciascuno dei quali è costituito da un trasduttore di velocità. Il trasduttore verticale è orientato secondo la lunghezza della sonda, mentre i trasduttori orizzontali, orientabili automaticamente secondo il Nord geografico, sono disposti in direzioni ad essa perpendicolare (N-S ed E-W). I trasduttori hanno una frequenza propria di 15 Hz ed una sensibilità tale da poter ricevere in maniera adeguata il treno d'onde prodotto dalla sorgente. La sonda possiede un'asta meccanica motorizzata che garantisce l'aderenza tra i ricevitori e le pareti del rivestimento. Il sistema d'acquisizione dati è di tipo multicanale ed è in grado di registrare su ciascun canale in forma digitale le forme d'onda e di conservarle su memoria di massa dinamica a 24 bit. Le prove si sono sviluppate secondo le seguenti fasi:

1. Dopo ad aver predisposto un opportuno piano d'appoggio, il dispositivo sorgente è stato collocato sulla superficie in prossimità del foro ad una distanza di 3,0 m ed orientato con direzione Est-Ovest perpendicolarmente al raggio condotto dal foro.
2. Il sistema, costituito dai tre ricevitori è stato calato a fondo foro collegandolo alla superficie mediante un sistema che ne consente l'orientamento assoluto dalla superficie.
3. Dopo aver ancorato la sonda geofonica alle pareti del rivestimento, si è proceduto con le fasi di orientamento dei trasduttori.
4. Campionamento del rumore ambientale.
5. È stato quindi attivato il dispositivo sorgente, producendo una sollecitazione che, attivando il trigger (dispositivo "arm-switch"), si propaga dalla sorgente verso i ricevitori con vibrazioni di tipo compressionale; di seguito (con energizzazione separata e distinta) sono state generate vibrazioni di tipo  $S_H$ , dirette perpendicolarmente alla direzione di percussione e polarizzate sul piano orizzontale. Per l'ottenimento di una buona qualità dei dati, è necessario produrre alla

sorgente due onde di polarità opposta e sommare le registrazioni d'ogni singolo arrivo, così da individuare in modo migliore l'istante di primo arrivo (metodo cross-over).

6. La prova è stata quindi ripetuta con interdistanza fra le misure pari a 0,5 m per tutto il tratto di sondaggio.

L'apparecchiatura utilizzata per questa prova, è quella definita nella tabella seguente:

<b>Apparecchiatura</b>	<b>Strumentazione per indagini sismiche</b>	<b>Codice</b>
Sistema acquisizione dati	Sismografo GEOMETRICS "GEODE" 24 ch-24 bit Notebook HP per la registrazione delle onde P ed S <sub>H</sub> ;	SGG-SI-52
Sistema di ricezione	Geofono tridimensionale da foro GEOSTUFF, a frequenza propria di 15 Hz, munito di bussola elettronica per l'orientamento del geofono stesso e di asta flessibile motorizzata per l'ancoraggio meccanico alla parete del foro	SGG-SI-55
Sistema energizzante	Energizzatore per onde SH	SGG-SI-69

Tutti gli strumenti di misura impiegati, come definito nel "sistema di qualità" aziendale, sono periodicamente tarati presso il LABORATORIO GAMMAMISURE di Calenzano, accreditato SIT n°56 (Servizio di Taratura in Italia).

Il sistema energizzante adottato è in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza, con forme d'onda ripetibili e direzionali. Come sistema di ricezione è stata utilizzata una sonda meccanizzata (geofono tridimensionale da

foro) al cui interno è alloggiato un ricevitore costituito da un trasduttore di velocità orientato secondo le componenti di una terna cartesiana ortonormale, in modo tale che uno dei tre trasduttori è orientato secondo la lunghezza della sonda (trasduttore verticale) e gli altri ad essa perpendicolari (trasduttori orizzontali). I trasduttori hanno una frequenza propria di 15 Hz ed una sensibilità tale da potere ricevere in maniera adeguata il treno d'onde prodotto dalla sorgente. Il geofono da foro possiede un'asta meccanica che garantisce un buon accoppiamento con le pareti di rivestimento del foro.

Il sistema d'acquisizione dati (GEODE Geometrics) è di tipo multicanale ed è in grado di registrare su ciascun canale, in forma digitale, le forme d'onda e di conservarle su memoria di massa dinamica a 24 bit.

#### **4.3 – Carotaggio sismico Cross-Hole**

Le onde elastiche si propagano nelle rocce con vari schemi e con diverse velocità. Secondo queste modalità le onde sismiche sono pertanto distinte in longitudinali, trasversali, superficiali (Stoneley, Love, Rayleigh, etc..). Nelle varie applicazioni della sismica, quindi anche nei carotaggi sismici, si impiegano impulsi artificiali d'energizzazione che producono onde elastiche di diversi tipi; tra queste sono prese in esame solo le onde longitudinali di tipo compressionale o *prime* (P) e quelle trasversali, di taglio, o *seconde* (S).

Occorre ricordare che la componente dell'onda sismica compressionale P risulta più veloce della componente di taglio S e pertanto l'arrivo di queste onde di taglio deve essere ricercata all'interno del sismogramma registrato. Le due onde, com'è noto, si differenziano per la diversa modalità di deformazione dei terreni durante la loro diffusione: la propagazione delle onde longitudinali avviene mediante compressioni e decompressioni delle rocce, mentre quella delle onde trasversali si basa sulla trasmissione di sforzi di taglio.

Il carotaggio sismico Cross-Hole rappresenta una delle più accurate misure geofisiche per la determinazione delle proprietà fisico-meccaniche e dinamiche dei terreni. Lo scopo della prova consiste nel determinare la velocità

di propagazione delle onde di compressione (onde P) e di taglio (onde S), calcolando il tempo ad esse necessario per spostarsi dalla sorgente ai ricevitori nella porzione di terreno compresa tra i due sondaggi (uno in cui è alloggiato il sistema energizzante e l'altro in cui è contenuto il sistema ricevente) di cui è nota la distanza.

Si fa l'assunzione che il volume di terreno compreso tra la sorgente ed il ricevitore presenti, sul piano orizzontale, un comportamento *elastico, omogeneo ed isotropo*. Nel caso in cui queste caratteristiche non siano verificate è necessario operare con più punti d'energizzazione.

La prova (Figura 4.3.1) consiste nel produrre all'interno del terreno, ad una profondità nota, una sollecitazione orizzontale mediante una sorgente elettro-meccanica, e nell'analizzare la propagazione su di un piano orizzontale del treno d'onde di compressione e di taglio così generate ed aventi rispettivamente vibrazioni di tipo compressionale polarizzate longitudinalmente alla direzione di propagazione (onde P) e vibrazioni di tipo trasversale polarizzate (sempre sul piano orizzontale) perpendicolarmente alla direzione di propagazione (onde  $S_H$ ).

In particolare è misurato, mediante il ricevitore orizzontale alloggiato all'interno della sonda tridimensionale e posizionato parallelamente al senso di vibrazione delle onde  $S_H$ , l'istante di arrivo del treno di onde P ed  $S_H$  rispetto all'istante in cui sono indotte le sollecitazioni alla sorgente, in modo che dividendo tali valori per la distanza tra la sorgente ed il ricevitore si possa ricavare il parametro velocità.

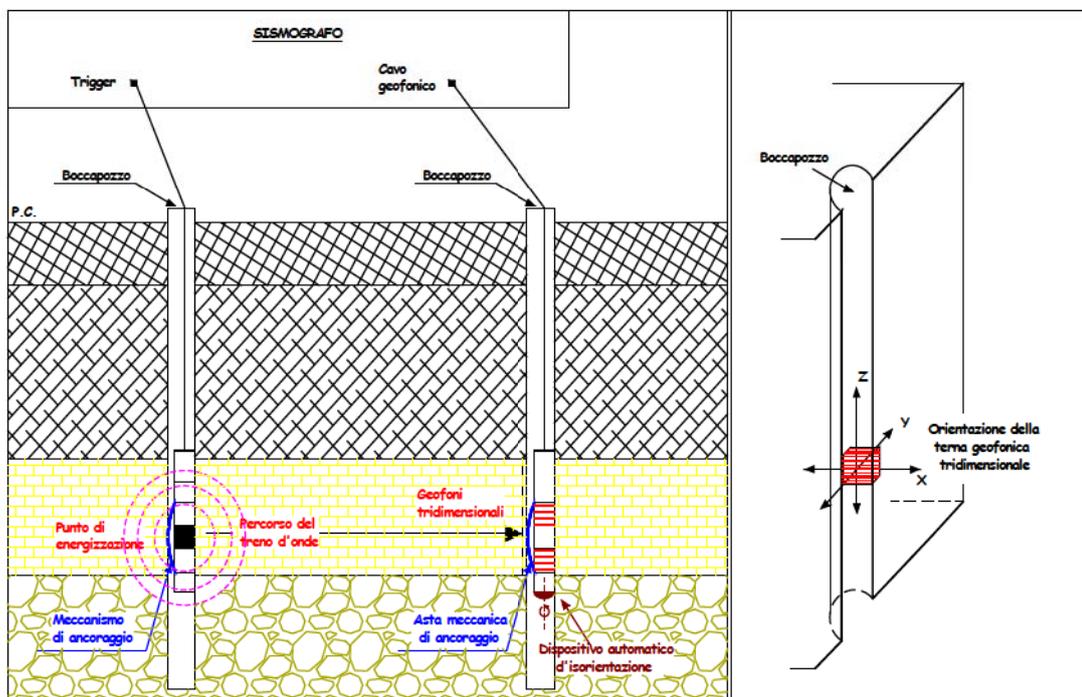


Figura 4.3.1 - Rappresentazione schematica di un carotaggio sismico cross hole

L'apparecchiatura utilizzata per questa prova, è quella definita nella tabella seguente:

Apparecchiatura	Strumentazione per indagini sismiche	Codice
Sistema acquisizione dati	Sismografo GEOMETRICS "GEODE" 24 ch-24 bit Notebook HP per la registrazione delle onde P ed S <sub>H</sub> ;	SGG-SI-52
Sistema di ricezione	Geofono tridimensionale da foro GEOSTUFF, a frequenza propria di 15 Hz, munito di bussola elettronica per l'orientamento del geofono stesso e di asta flessibile motorizzata per l'ancoraggio meccanico alla parete del foro	SGG-SI-55

Sistema energizzante	Energizzatore da foro onde P ed S <sub>H</sub> - BIS-SH – GEOTOMOGRAPHIE	SGG-SI-69
Sistema misure di verticalità	Clinometro da foro digitale con doppio sensore per il tilt e bussola elettronica - DEVPROB1 – GEOTOMOGRAPHIE	SGG-SI-70
Tromografo	Tromino Engy (Micromed, Italia)	SGG-SI-65

Tutti gli strumenti di misura impiegati, come definito nel “sistema di qualità” aziendale, sono periodicamente tarati presso il LABORATORIO GAMMAMISURE di Calenzano, accreditato SIT n°56 (Servizio di Taratura in Italia).

Il sistema energizzante adottato è in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza, con forme d’onda ripetibili e direzionali. Come sistema di ricezione è stata utilizzata una sonda meccanizzata (geofono tridimensionale da foro) al cui interno è alloggiato un ricevitore costituito da un trasduttore di velocità orientato secondo le componenti di una terna cartesiana ortonormale, in modo tale che uno dei tre trasduttori è orientato secondo la lunghezza della sonda (trasduttore verticale) e gli altri ad essa perpendicolari (trasduttori orizzontali).

I trasduttori hanno una frequenza propria di 15 Hz ed una sensibilità tale da potere ricevere in maniera adeguata il treno d’onde prodotto dalla sorgente. Il geofono da foro possiede un’asta meccanica che garantisce un buon accoppiamento con le pareti di rivestimento del foro.

Il sistema d’acquisizione dati (GEODE Geometrics) è di tipo multicanale ed è in grado di registrare su ciascun canale, in forma digitale, le forme d’onda e di conservarle su memoria di massa dinamica a 24 bit.

Il carotaggio sismico si sviluppa secondo le seguenti fasi:

1. si prepara il sistema d’acquisizione dei dati;
2. la sorgente è calata a fondo foro all’interno di uno dei due sondaggi, in corrispondenza del quale viene prima orientata manualmente al fine

di produrre una sollecitazione perpendicolare alla linea congiungente i due fori successivamente bloccata alle pareti del rivestimento con ancoraggio pneumatico;

3. il ricevitore (geofono da foro) è disposto nell'altro foro alla medesima profondità della sorgente, in modo tale che uno dei due trasduttori orizzontali sia orientato parallelamente alla direzione di vibrazione delle onde di taglio (quello che capta nella loro massima ampiezza le onde  $S_H$ ). Il sistema è ancorato alle pareti del rivestimento con ancoraggio meccanico;
4. in seguito è attivata la sorgente producendo una sollecitazione che, con attivazione istantanea del sistema trigger, genera un treno di onde che si propaga dalla sorgente verso i ricevitori, orizzontalmente con vibrazioni di tipo compressionale (P) e vibrazioni di tipo trasversale dirette perpendicolarmente alla direzione di propagazione e polarizzate sul piano orizzontale ( $S_H$ );
5. successivamente viene ruotata di  $180^\circ$  la sorgente e riprodotta una sollecitazione con polarità inversa che, con attivazione istantanea del sistema trigger, genera un treno di onde che si propaga dalla sorgente verso i ricevitori, orizzontalmente con vibrazioni di tipo compressionale (P) e vibrazioni di tipo trasversale dirette perpendicolarmente alla direzione di propagazione e polarizzate sul piano orizzontale ( $S_H$ );
6. infine sono riprodotte le sollecitazioni e quindi ripetute le prove con interdistanza fra le misure pari a 1,0 m per tutto il tratto di sondaggio;

Si ricorda che le prove sono state ripetute invertendo la posizione reciproca della sorgente e dei ricevitori.

#### **4.4 – Prove di verticalità**

All'interno dei sondaggi utilizzati per le prove cross-hole, sono state eseguite le prove di verticalità; ciò ha garantito un'assoluta precisione nell'elaborazione delle prove cross-hole, potendo disporre della reale distanza presente tra la sorgente energizzante e il geofono tridimensionale.

Il sistema di misura consente di determinare gli spostamenti (mm) e la direzione azimutale di spostamento ( $^{\circ}$ ) alle differenti profondità del sondaggio rispetto ad ogni punto. I dati forniti hanno permesso, attraverso opportuni calcoli trigonometrici, di calcolare la lunghezza e l'angolo azimutale della retta congiungente le coppie di sondaggi alle varie profondità. I risultati delle prove di verticalità sono riportati in appendice A.

Nel caso specifico:

- i sondaggi meccanici CH6 e CH6a risultano ad una distanza iniziale, misurata in superficie di 5,10 metri, con azimuth della linea condotta da CH1 a CH2 di N 293 $^{\circ}$ E;

Il calcolo della distanza assoluta per ogni coppia di sondaggi a profondità crescenti, ha mostrato una sensibile variazione della congiungente tra i due sondaggi contigui: tale parametro è stato opportunamente utilizzato nella correzione dei dati in profondità, fornendo i reali valori di velocità sismica.

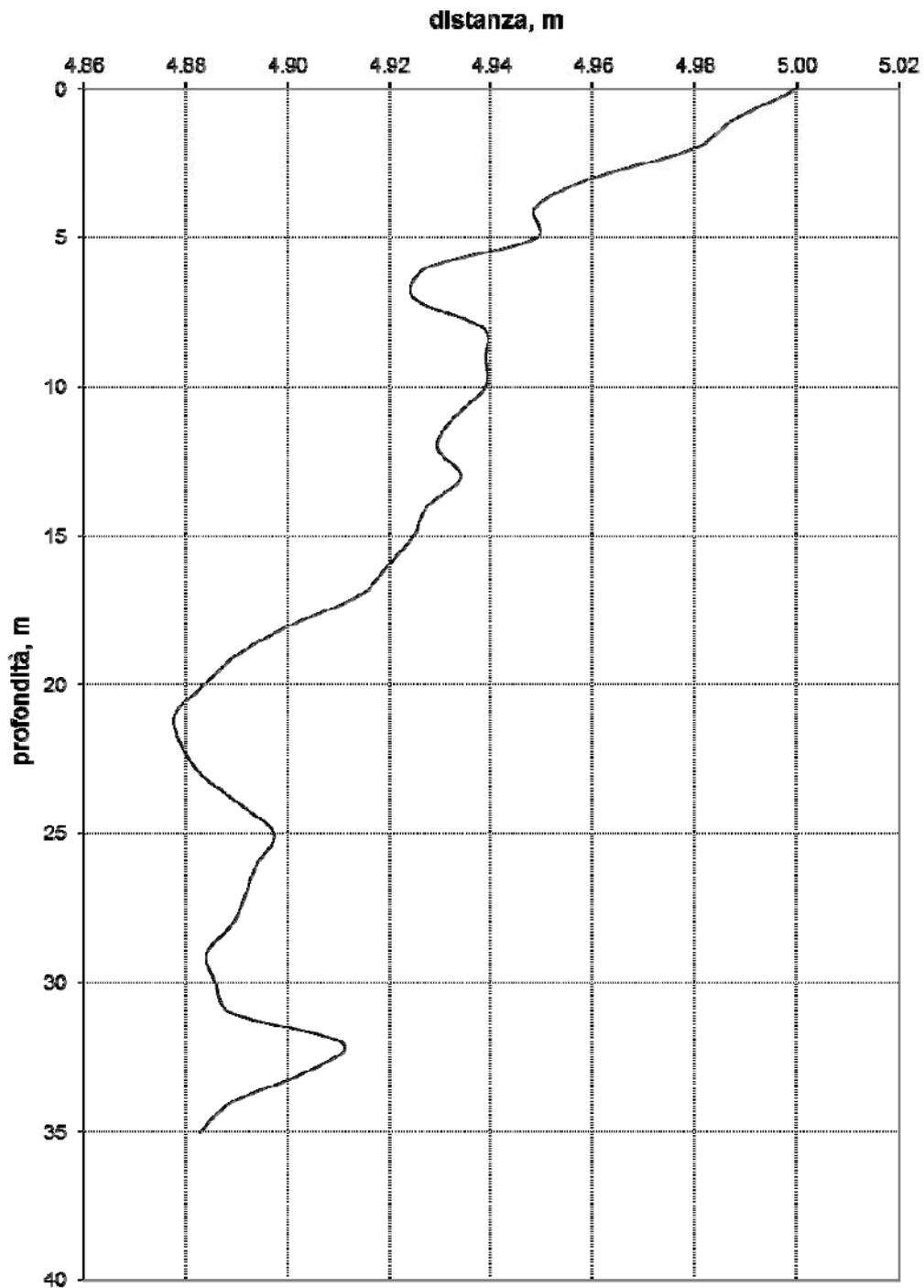


Figura 4.4.1 – Grafico della distanza (m) tra i sondaggi CH6 e CH6a in funzione della profondità (m da p.c.)

## 5 – METODOLOGIE INTERPRETATIVE DELLE MISURE GEOFISICHE

### 5.1 – Prove Refraction Microtremor

Il metodo “Re.Mi.” consente di eseguire un’analisi del sottosuolo mediante l’uso dei microtremori, naturali e/o artificiali, i quali si propagano all’interno dello stesso.

Per l’interpretazione dei dati sperimentali è stato utilizzato uno specifico programma (*SeiSopt “Re.Mi. Version 5.0”*).

L’elaborazione del segnale consiste nell’operare una trasformata bidimensionale “*slowness-frequency*” (*p-f*), che analizza l’energia di propagazione del rumore in entrambe le direzioni (orizzontale e verticale) della linea sismica, e nel rappresentarne poi lo spettro di potenza su un grafico *p-f* (fig. 5.1.1).

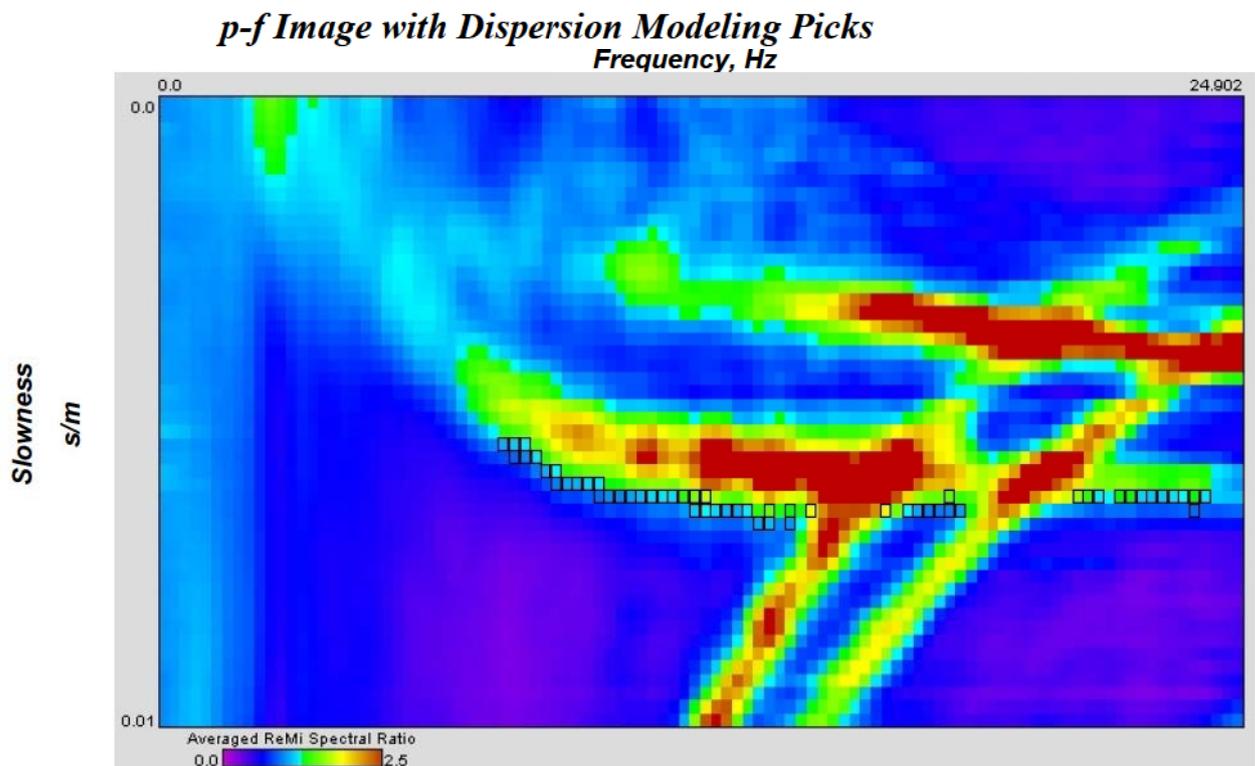


Figura 5.1.1: esempio di grafico *p-f* tratto dalla prova Re.Mi.

Nell'immagine, riportata sopra, sono evidenziati gli andamenti che possiedono sia una spiccata coerenza di fase che una potenza rilevante, e ciò consente un riconoscimento visivo delle onde di Rayleigh in quanto queste presentano un carattere dispersivo rispetto a quelle riconducibili ad altre modalità e tipi d'onda.

Sullo spettro di frequenza è eseguito un "picking" (soprassegno con quadratini neri) attribuendo ad un certo numero di punti una o più slowness (inverso della velocità di fase) per alcune frequenze (fig. 5.1.1). Tali valori poi sono riportati su di un diagramma periodo-velocità di fase (fig. 5.1.2) per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo.

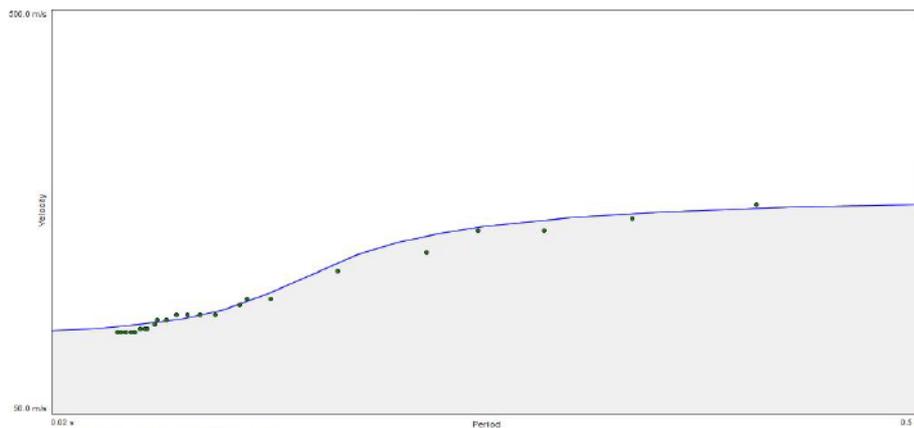


Figura 5.1.2: Esempio di diagramma periodo – velocità di fase tratto dalla prova Re.Mi.

Variando la geometria del modello interpretativo ed i valori di velocità delle onde “S” si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione, rappresentata con il colore blue nella figura 5.1.2; si consegue un buon fitting con i valori sperimentali e si assume tale modello come interpretativo.

Lo studio dello spettro di potenza permette in definitiva la ricostruzione di un modello sismico monodimensionale del sottosuolo (fig. 5.1.3), con le velocità delle onde di superficie “S” (espresse in m/s) e la profondità (espressa in metri).

Density			
2.75 m	1.832 g/cc	135.217 m/s	528.778 m/s ratio: 3.911
5.363 m	1.832 g/cc	143.043 m/s	557.444 m/s ratio: 3.907
8.938 m	1.832 g/cc	146.522 m/s	586.111 m/s ratio: 4.0
16.638 m	1.844 g/cc	164.348 m/s	1212.671 m/s ratio: 7.379
23.513 m	1.869 g/cc	222.609 m/s	1843.328 m/s ratio: 8.281
27.637 m	1.944 g/cc	238.261 m/s	1904.755 m/s ratio: 7.994
33.138 m	1.944 g/cc	250.435 m/s	1953.897 m/s ratio: 7.802
44.088 m	1.944 g/cc	275.217 m/s	2064.467 m/s ratio: 7.501
55.0 m	2.02 g/cc	279.565 m/s	2165.576 m/s ratio: 7.746

Figura 5.1.3: esempio di modello interpretativo, tratto dalla prova Re.Mi., le cui variazioni influenzano direttamente la curva di dispersione (nel modello sono riportate a partire dalla sinistra le profondità, i valori di densità derivanti dalle informazioni desunte dalle prove di laboratorio, le velocità delle onde S, le velocità delle onde P ( queste ultime derivanti dai risultati dei carotaggi sismici in foro) e il rapporto tra le Vp e le Vs (ratio).

La metodologia Refraction Microtremor permette altresì di definire il parametro  $V_{s30}$  utile per la classificazione dei terreni nelle categorie di suolo da utilizzare in seguito per la progettazione delle costruzioni secondo la normativa antisismica.

Il parametro  $V_{s30}$  determinato attraverso questo particolare tipo d'indagine di risposta sismica locale, corrisponde alla velocità equivalente di propagazione entro i primi 30 metri di profondità delle onde superficiali ed è calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano rispettivamente lo spessore (in m) e la velocità delle onde S (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei primi 30 metri di profondità. Il valore del parametro  $V_{s30}$  di ciascuna prova Re.Mi. è riportato, per convenzione, al centro del relativo stendimento geofonico.

## 5.2 – Carotaggio sismico down-hole

Nel presente rilievo sono stati impiegati rispettivamente fondo scala di 1,0 secondo e passo di campionamento di 0,125 millisecondi. I tempi relativi alle onde P ed SH sono stati letti attraverso uno specifico programma di picking (SeisOptPicker; precisione dell'ordine di 0,1 millisecondi). Per avere un buon controllo sulla procedura di lettura dei tempi e valutare al contempo la qualità dei dati sismici acquisiti per tutto il tragitto di ogni sondaggio, i valori numerici dei primi arrivi delle onde sismiche P ed SH sono stati riportati su sezioni tempo/tracce ove le varie tracce sono scelte in funzione dell'orientamento del sistema ricevitore/sorgente. Tale procedura consente di ottenere così delle forme d'onda più definite nelle ampiezze. In particolare con riferimento alle onde di taglio sono state scelte le tracce riferite alla differenza tra la battuta destra e quella sinistra. I tempi d'arrivo delle onde di compressione e di taglio sono stati corretti, rispetto alla verticale, e riportati su un diagramma profondità – tempi sui quali sono stati individuati i tratti a pendenza circa costante. Dalla pendenza dei tratti sono state determinate successivamente le velocità intervallari delle onde P ed SH nel terreno (Figura 5.2.1). Le velocità nel grafico derivano dalla pendenza della retta (regressione lineare) dei punti appartenenti a strati omogenei.

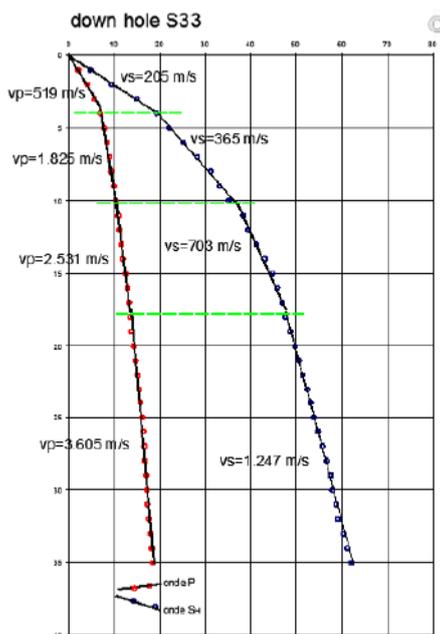


Figura 5.2.1 – esempio di andamento delle dromocrone per le prove down-hole.  $V_p$  e  $V_s$  rappresentano, rispettivamente, le velocità delle onde P e delle onde  $S_H$ , in metri al secondo, nei tratti con andamento omogeneo delle dromocrone. Le velocità nel grafico derivano dalla pendenza della retta (regressione lineare) dei punti appartenenti a strati omogenei.

Per maggiore comprensione e facilità di correlazione tra le varie analisi geofisiche, per le prove down hole, in riferimento esclusivamente alle onde S, sono state riportate anche le velocità differenziali calcolate per ogni tratto di 0.5 metri ( $V_{S_{diff}}$ ) e le velocità equivalenti di propagazione da p.c. fino alla profondità di riferimento ( $V_{S_{depth}}$ ) calcolate secondo la relazione:

$$V_{S_{depth}} = \frac{depth}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano rispettivamente lo spessore (in m) e la velocità delle onde S (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato i-esimo.

### 5.3 – Carotaggio sismico cross-hole

I tempi di primo arrivo delle onde P ed  $S_H$  (Figura 5.3.1) sono stati letti e tabellati attraverso specifici programmi di picking che permettono, per ciascun trasduttore, di rimontare insieme e sovrapporre le tracce sismiche con polarità inverse relative alle varie profondità, con precisione di lettura fino a 0,01 millisecondi.

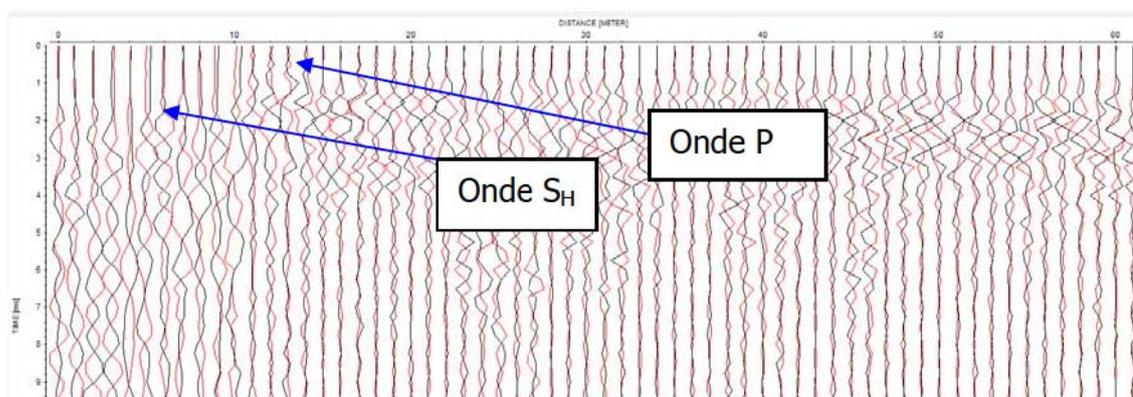
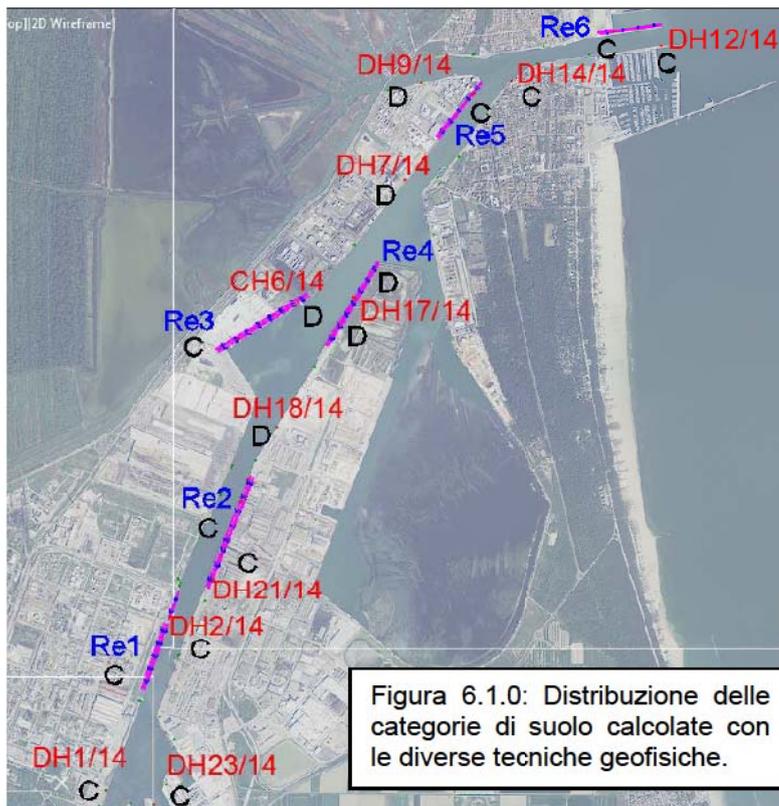


Figura 5.3.1 – Esempio di sezione sismica complessiva dei sismogrammi registrati. In ascisse: Traccia che corrisponde alla profondità da p.c. in metri; in ordinate: tempo di registrazione (ms).

I tempi di arrivo delle onde P e delle onde  $S_H$  misurate permettono in funzione della distanza di calcolare le velocità sismiche delle varie litologie incontrate alle diverse profondità.

## 6 – ANALISI DEI RISULTATI GEOFISICI

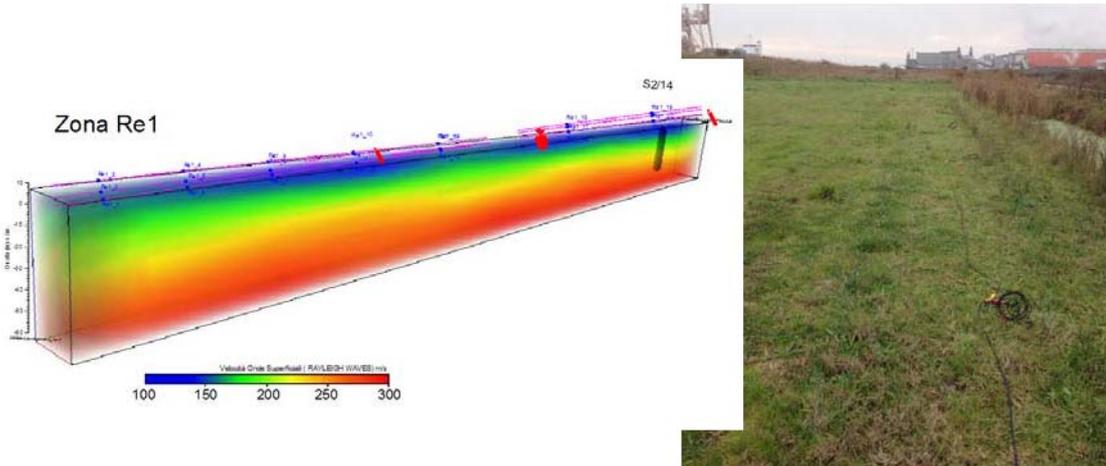
Di seguito sono riportati i risultati di tutte le indagini geofisiche eseguite nell'area del porto di Ravenna. Al fine di rendere più facilmente comprensibile la correlazione tra i risultati ottenuti tramite le varie metodologie (carotaggi sismici cross hole, carotaggi sismici down hole e prove Refraction Microtremor) è necessario tenere conto della precisione intrinseca delle varie tecniche, essendo i carotaggi sismici prove puntuali eseguite direttamente in foro e quindi più precise rispetto alle Re.Mi che invece sono prove indirette eseguite dalla superficie. Si precisa inoltre che in alcune zone del porto la presenza di superfici rigide (aree asfaltate e/o banchine in calcestruzzo) e la limitata presenza di rumore ambientale utile per una adeguata registrazione della dispersione delle onde superficiali (onde di Rayleigh) possono avere influito sul calcolo del valore di VS finale delle prove RE.MI., se rapportato con quello effettuato con le prove dirette. Queste considerazioni sono espresse in quanto il



sito è risultato essere caratterizzato da valori di Vs prossimi ai 180 m/s, che rappresenta la soglia di passaggio tra la classe D e la classe C (fig. 6.1.0).

## 6.1 – Prove Refraction Microtremor

### ZonaRE1



6.1.1: Modello 3D dell'area Re1

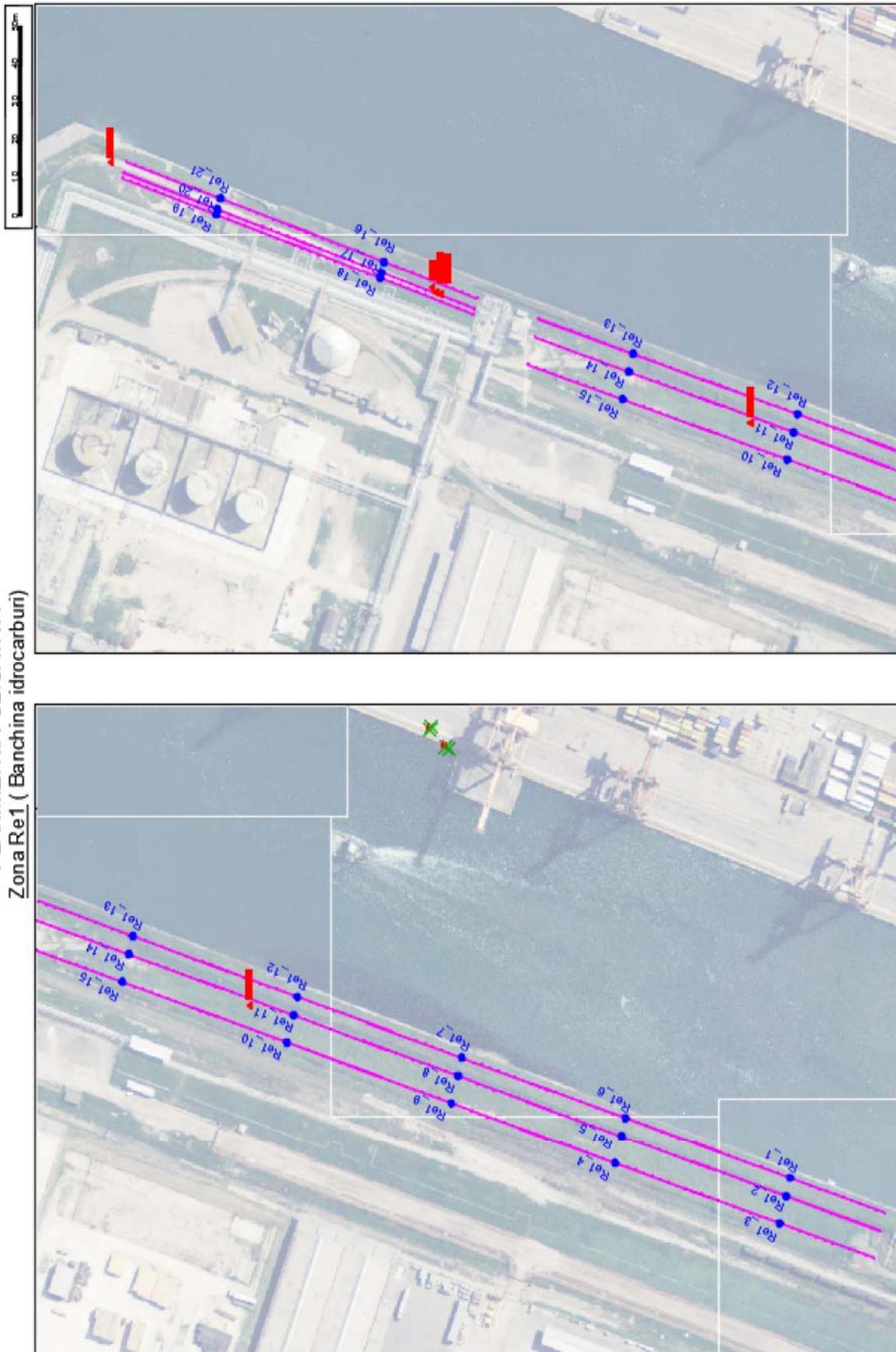
Foto 6.1.1: Prova REMI RE1\_10

Complessivamente sono stati realizzati n° 21 prove Re.Mi (Fig. 6.1.2). L'analisi congiunta dei dati geofisici e geotecnici acquisiti ha consentito di costruire il seguente modello geofisico-geologico del sottosuolo (Fig. 6.1.3):

- Unità A: materiale in prevalenza sabbioso da poco a moderatamente addensato di spessore compreso tra i 10 ed 15 metri e caratterizzato da valori di Vs inferiori ai 220-240 m/s.
- Unità B: depositi costituiti da argilla limosa e limo argilloso con spessori variabili dai 15 m ai 30 m circa e caratterizzati da valori di Vs inferiori ai 280-300 m/s.
- Unità C: materiali costituiti da sabbie. Il terreno si presenta da moderatamente addensato ad addensato.

Nel complesso l'area presenta un valore di Vs30 superiore ai 180 m/s e può essere collocato, secondo la normativa italiana, in **classe C**.

**PLANIMETRIA UBICATIVA**  
Zona Re1 ( Banchina idrocarburi)



Lavori e i servizi afferenti le indagini geotecniche e geologiche di supporto alla progettazione definitiva delle opere in attuazione del PRP vigente 2007"

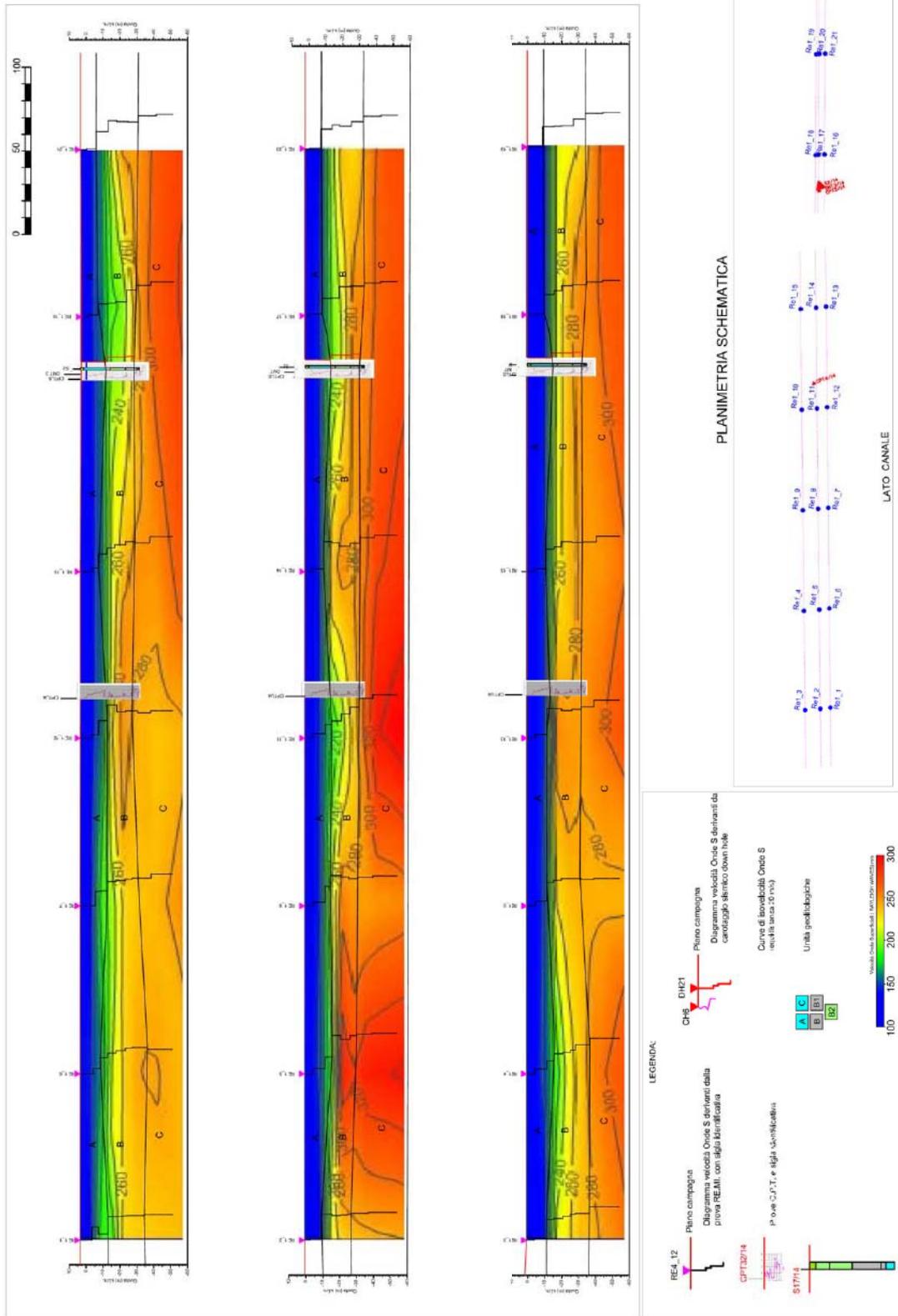


Figura 6.1.3: Sezioni interpretative derivanti dall'analisi congiunta dei dati geofisici con i dati geotecnici relativi alla zona RE1.

## ZonaRE2

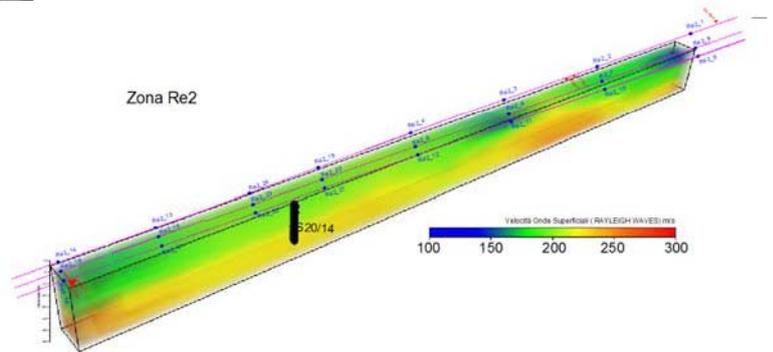


Figura 6.1.4: Modello 3D dell'area Re2

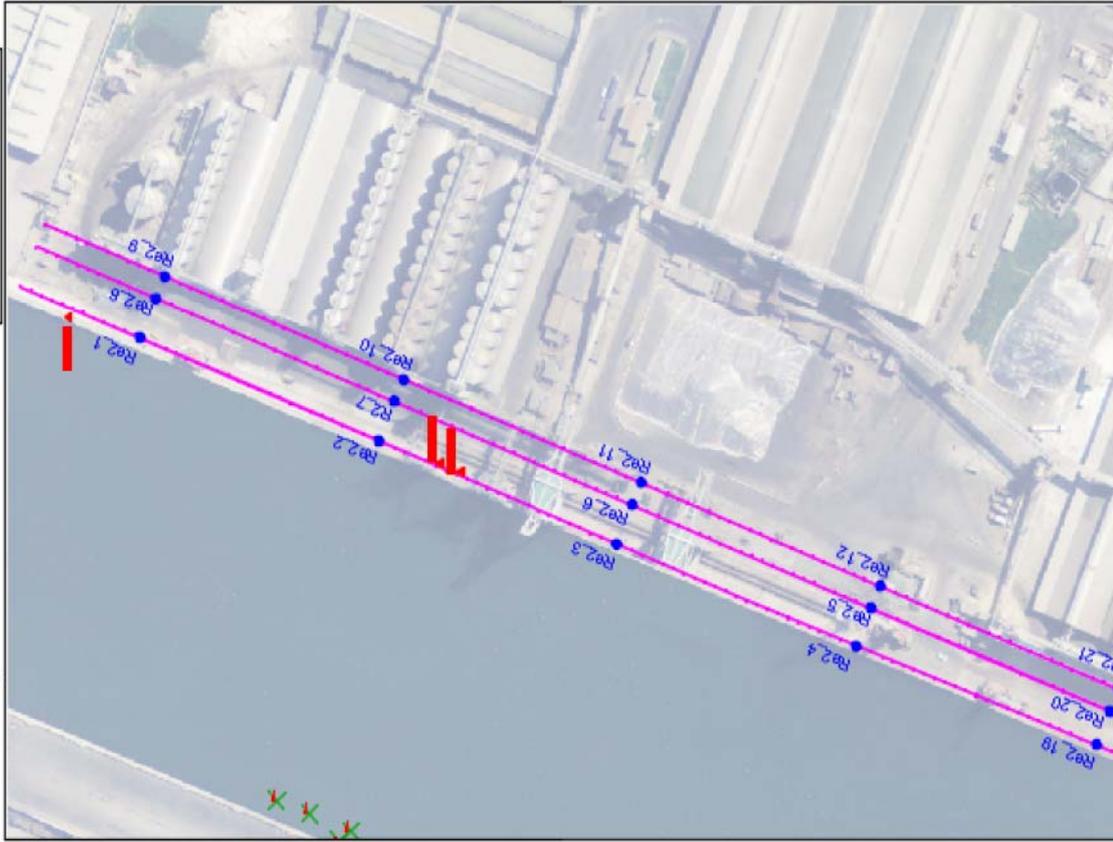
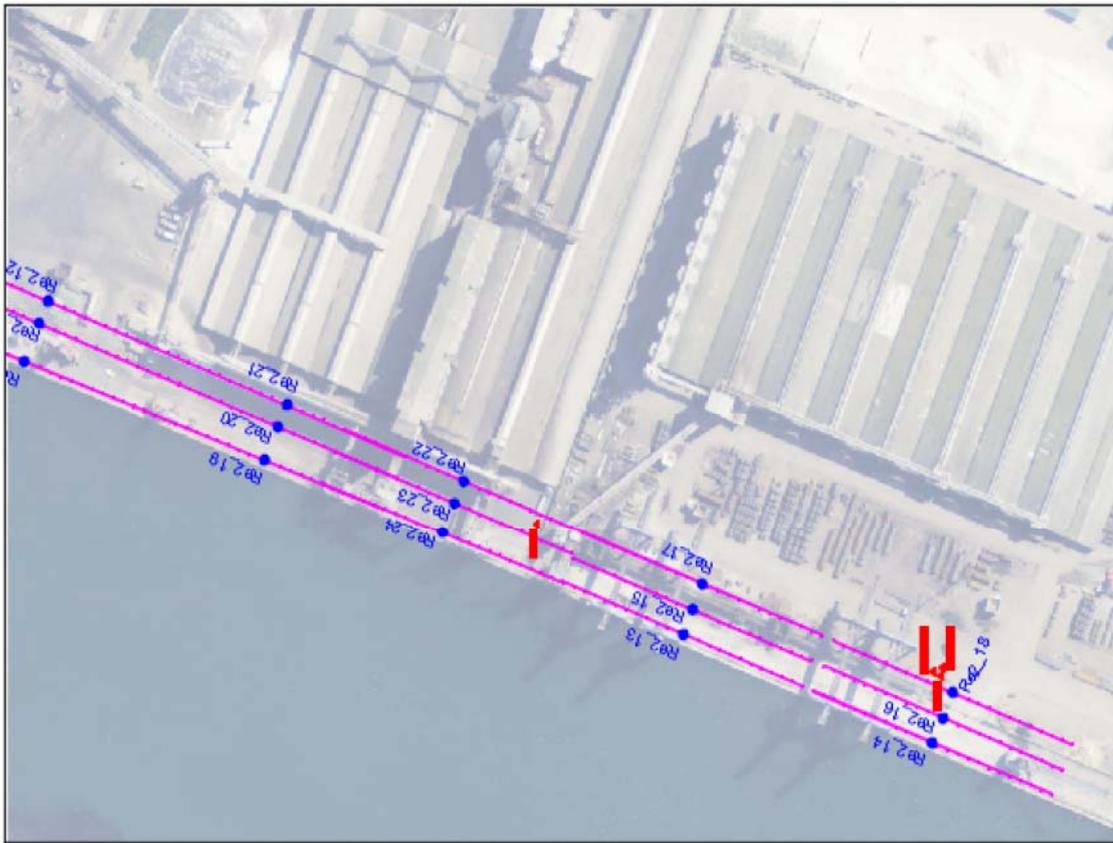
Foto 6.1.2: Prova REMI RE2\_4

Complessivamente sono stati realizzati n° 24 prove Re.Mi (Fig. 6.1.5). L'analisi congiunta dei dati geofisici e geotecnici acquisiti ha consentito di costruire il seguente modello geofisico-geologico del sottosuolo (Fig. 6.1.6):

- Unità A: materiale in prevalenza sabbioso da poco a moderatamente addensato di spessore compreso tra i 15 e 25 metri e caratterizzato da valori di Vs inferiori ai 200-220 m/s.
- Unità B: depositi costituiti da argilla limosa e limo argilloso con spessori variabili dai 15 m ai 30 m circa e caratterizzati da valori di Vs inferiori ai 280-300 m/s.
- Unità B1: materiali costituiti da argilla limosa da consistente a molto consistente.

Nel complesso l'area presenta un valore di Vs30 superiore ai 180 m/s e può essere collocato, secondo la normativa italiana, in **classe C**.

PLANIMETRIA UBICATIVA  
Zona Re2 ( Setramar Nord - Docks Cereali Sud )



Re2\_18



Stendimenti RE.MI. e sigle identificative

▲ Prove geotecniche e sigle identificative

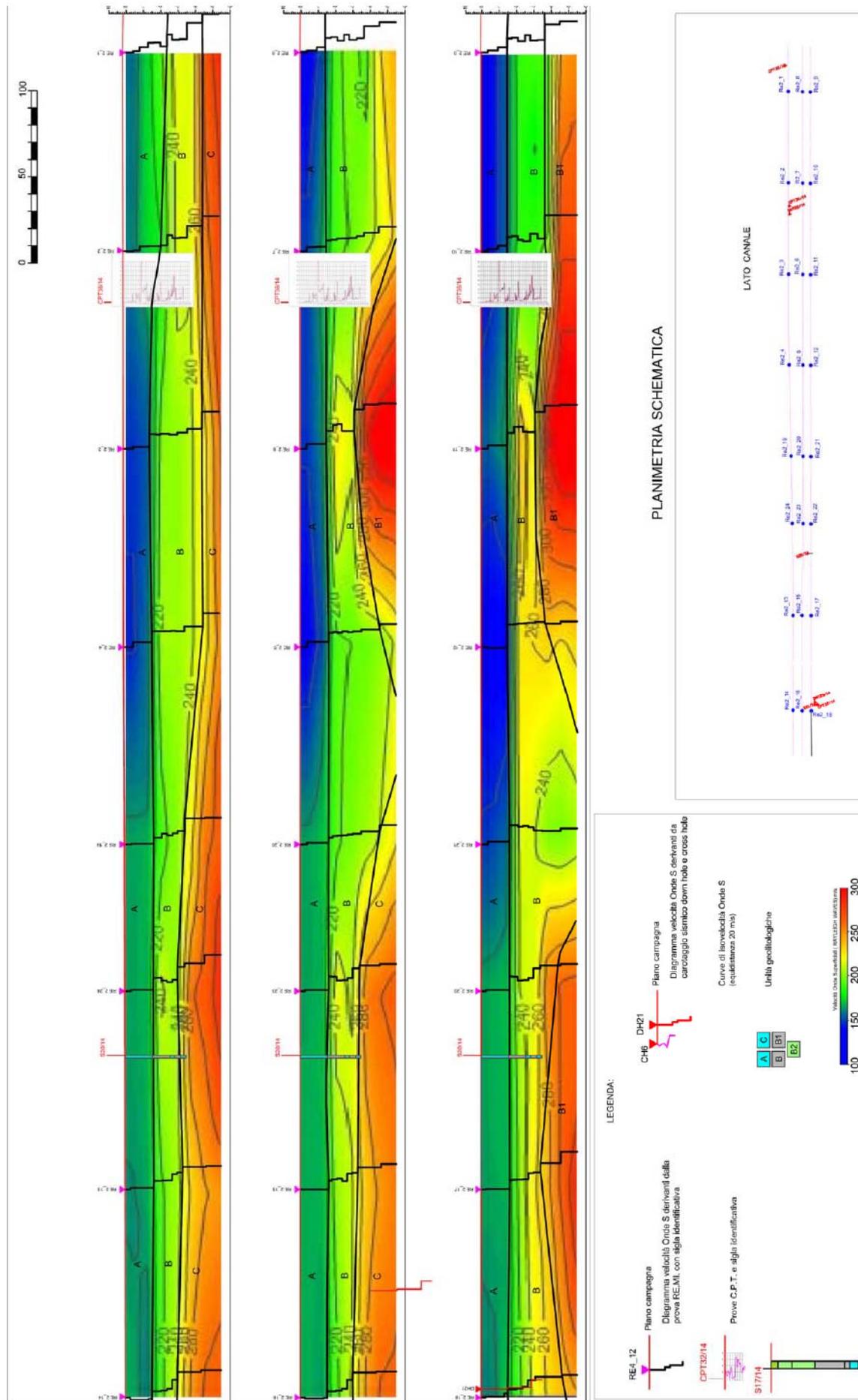


Figura 6.1.6: Sezioni interpretative derivanti dall'analisi congiunta dei dati geofisici con i dati geotecnici relativi alla zona RE2.

## ZonaRE3

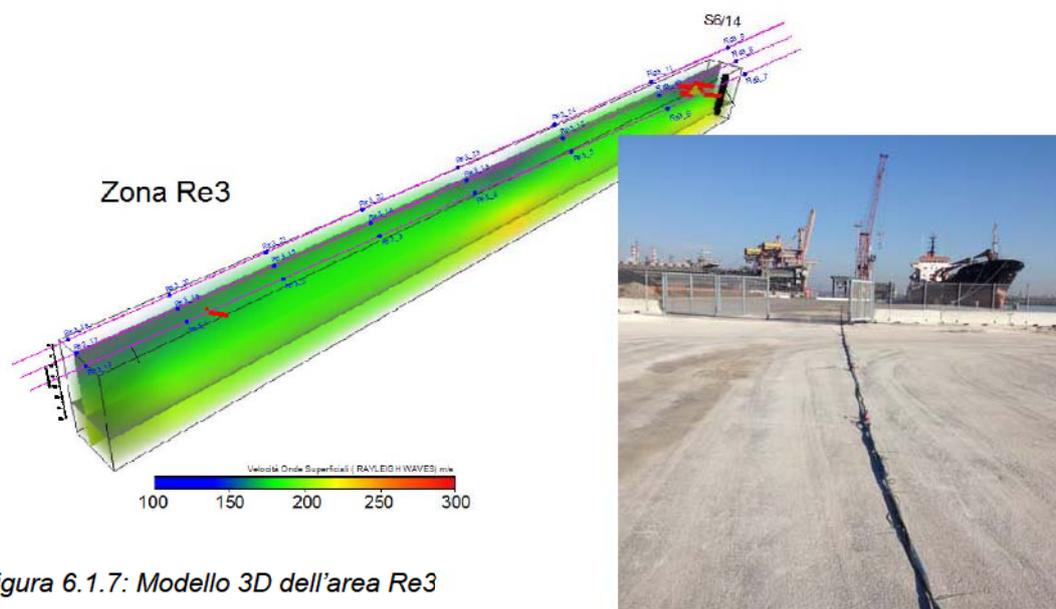


Figura 6.1.7: Modello 3D dell'area Re3

Foto 6.1.3: Prova REMI RE3\_10

Complessivamente sono stati realizzati n° 24 prove Re.Mi (Fig. 6.1.8). L'analisi congiunta dei dati geofisici e geotecnici acquisiti ha consentito di costruire il seguente modello geofisico-geologico del sottosuolo (Fig. 6.1.9):

- Unità A: materiale in prevalenza sabbioso da poco a moderatamente addensato di spessore compreso tra i 10 e 15 metri e caratterizzato da valori di Vs inferiori ai 180-190 m/s.
- Unità B: depositi costituiti da argilla limosa e limo argilloso con spessori variabili dai 10 m ai 20 m circa e caratterizzati da valori di Vs inferiori ai 220-240 m/s.
- Unità C: materiali costituiti da sabbie. Il terreno si presenta moderatamente addensato.

Nel complesso l'area presenta un valore di Vs30 superiore ai 180 m/s e può essere collocato, secondo la normativa italiana, in **classe C**.

PLANIMETRIA UBICATIVA  
Zona Re3 ( Trattaroli )

Scala 1:1.000



Re3\_15

Stendimenti RE.MI. e sigle identificative

▲ Prove geotecniche e sigle identificative

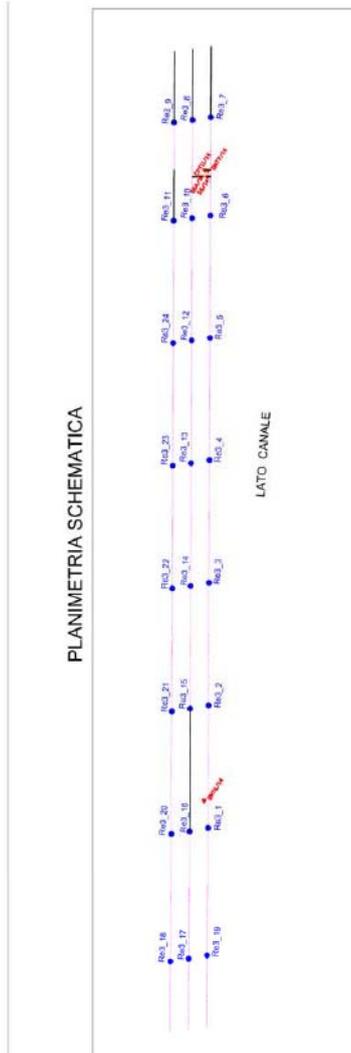
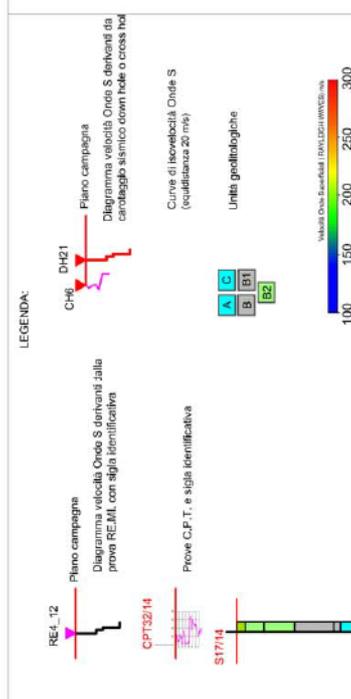
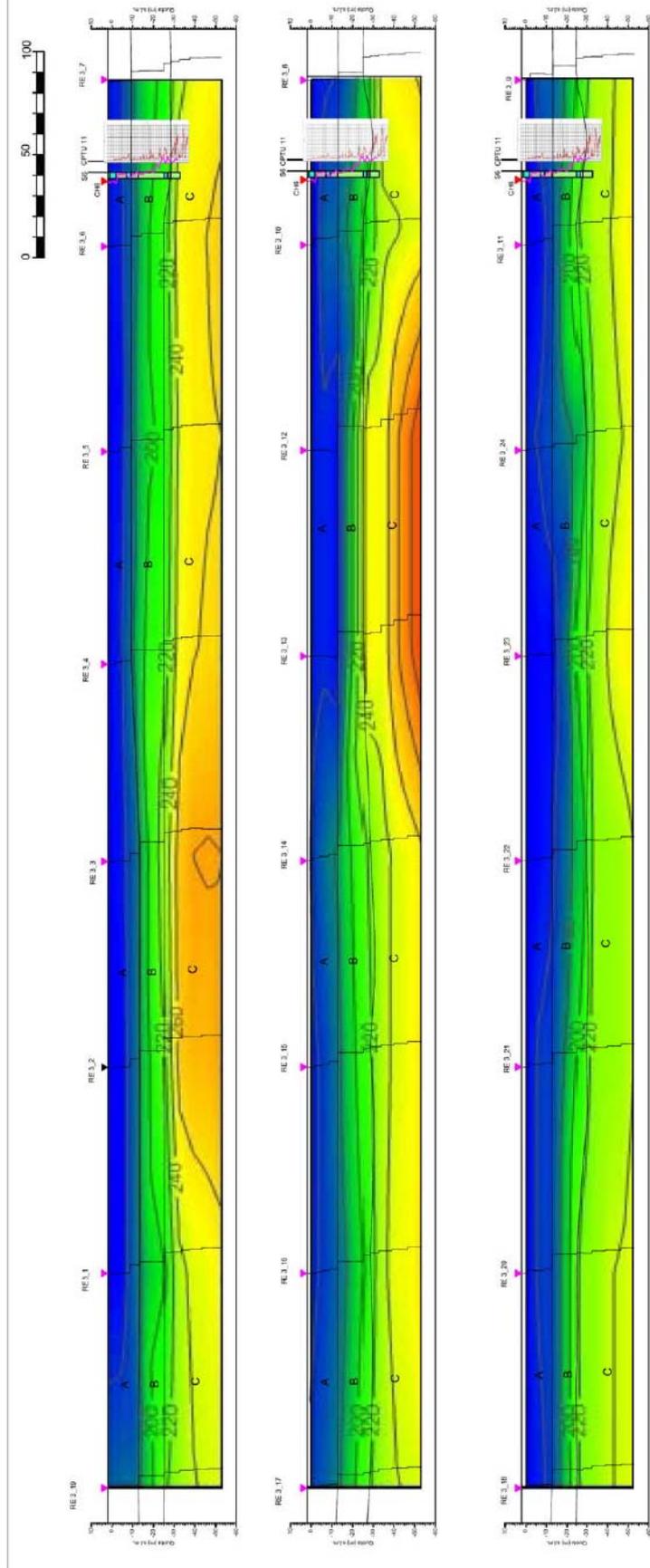


Figura 6.1.9: Sezioni interpretative derivanti dall'analisi congiunta dei dati geofisici con i dati geotecnici relativi alla zona RE3

## ZonaRE4

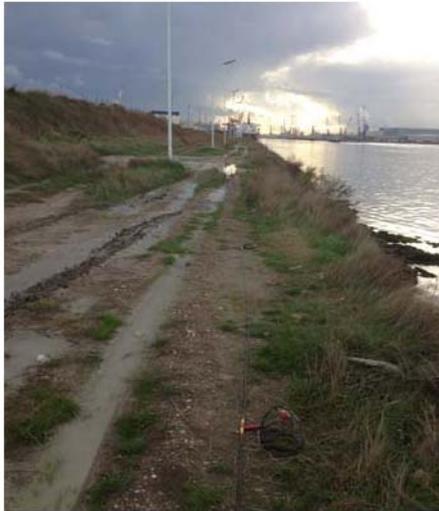


Foto 6.1.4: Prova REMI RE4\_4

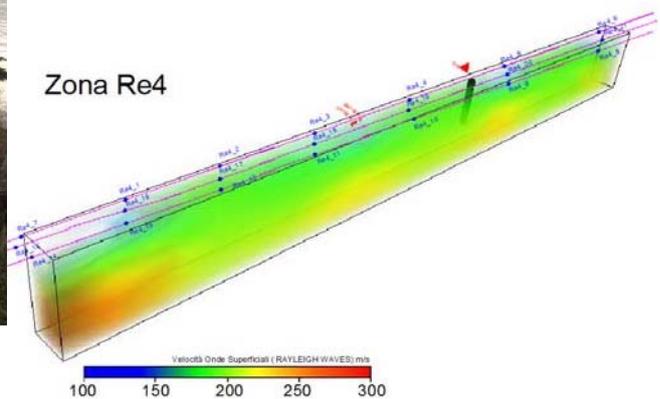


Figura 6.1.10: Modello 3D dell'area Re4

Complessivamente sono stati realizzati n° 21 prove Re.Mi (Fig. 6.1.11). L'analisi congiunta dei dati geofisici e geotecnici acquisiti ha consentito di costruire il seguente modello geofisico-geologico del sottosuolo (Fig. 6.1.12):

- Unità B2: materiale in prevalenza costituito da limo sabbioso da tenero a moderatamente consistente di spessore compreso tra i 7 ed i 10 metri circa e caratterizzato da valori di Vs compresi tra i 120 ed i 170 m/s.
- Unità B: depositi costituiti da argilla con limo e argilla limosa con spessori variabili dai 7 m ai 20 m circa e caratterizzati da valori di Vs inferiori ai 200-220 m/s.
- Unità C: materiali costituiti da sabbie. Il terreno si presenta addensato.

Nel complesso l'area presenta un valore di Vs30 inferiore ai 180 m/s e può essere collocato, secondo la normativa italiana, in **classe D**

PLANIMETRIA UBICATIVA  
 Zona Re4 ( Futuro CTS )



Stendimenti RE.MI. e sigle identificative

Prove geotecniche e sigle identificative

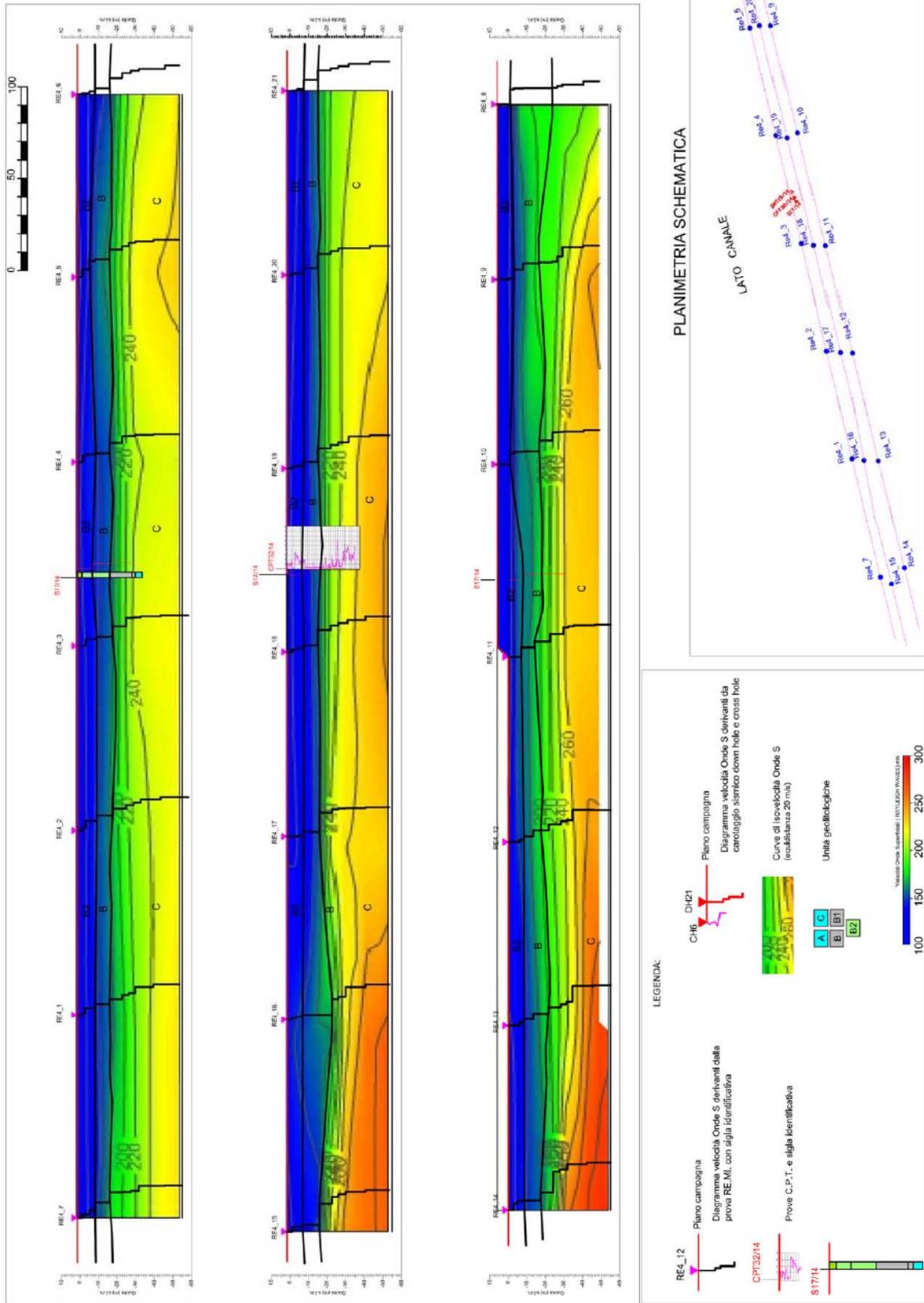


Figura 6.1.12: Sezioni interpretative derivanti dall'analisi congiunta dei dati geofisici con i dati geotecnici relativi alla zona RE4

## ZonaRE5

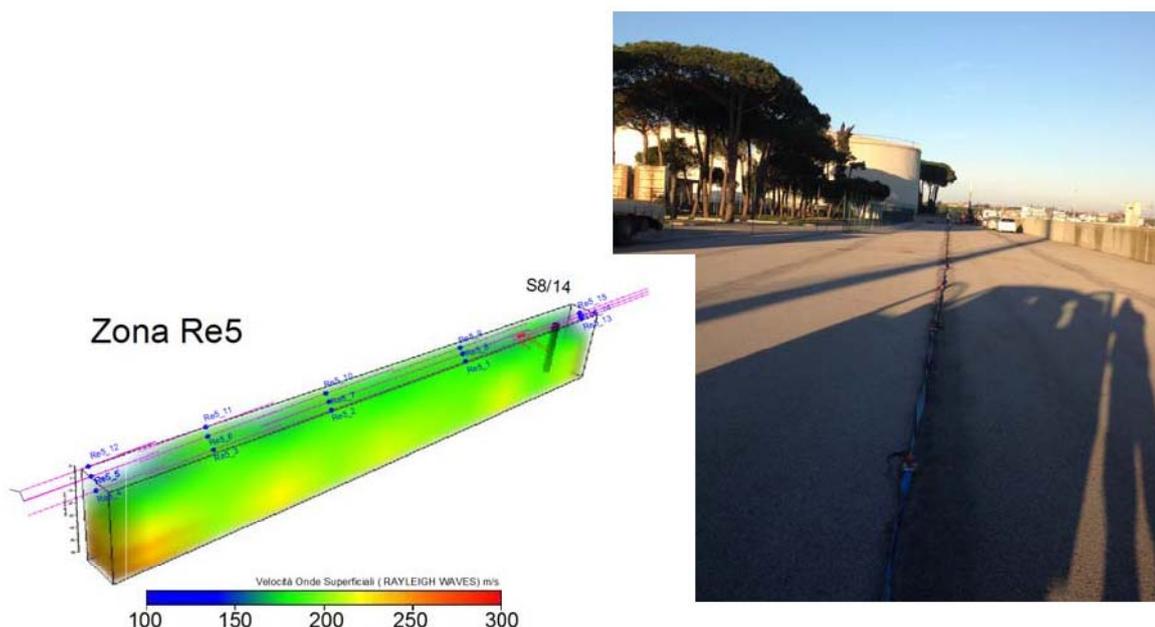


Foto 6.1.5: Prova REMI RE5\_7

Figura 6.1.13: Modello 3D dell'area Re5

Complessivamente sono stati realizzati n° 15 prove Re.Mi (Fig. 6.1.14). L'analisi congiunta dei dati geofisici e geotecnici acquisiti ha consentito di costruire il seguente modello geofisico-geologico del sottosuolo (Fig. 6.1.15):

- Unità A: materiale in prevalenza sabbioso con limo da poco a moderatamente addensato di spessore compreso tra i 10 e 12 metri circa e caratterizzato da valori di  $V_s$  inferiori ai 180-190 m/s.
- Unità B: depositi costituiti da argilla con limo e limo con argilla da teneri a consistenti.

Nel complesso l'area presenta un valore di  $V_{s30}$  superiore ai 180 m/s e può essere collocato, secondo la normativa italiana, in **classe C**.

**PLANIMETRIA UBICATIVA**  
 Zona Re5( PIR)

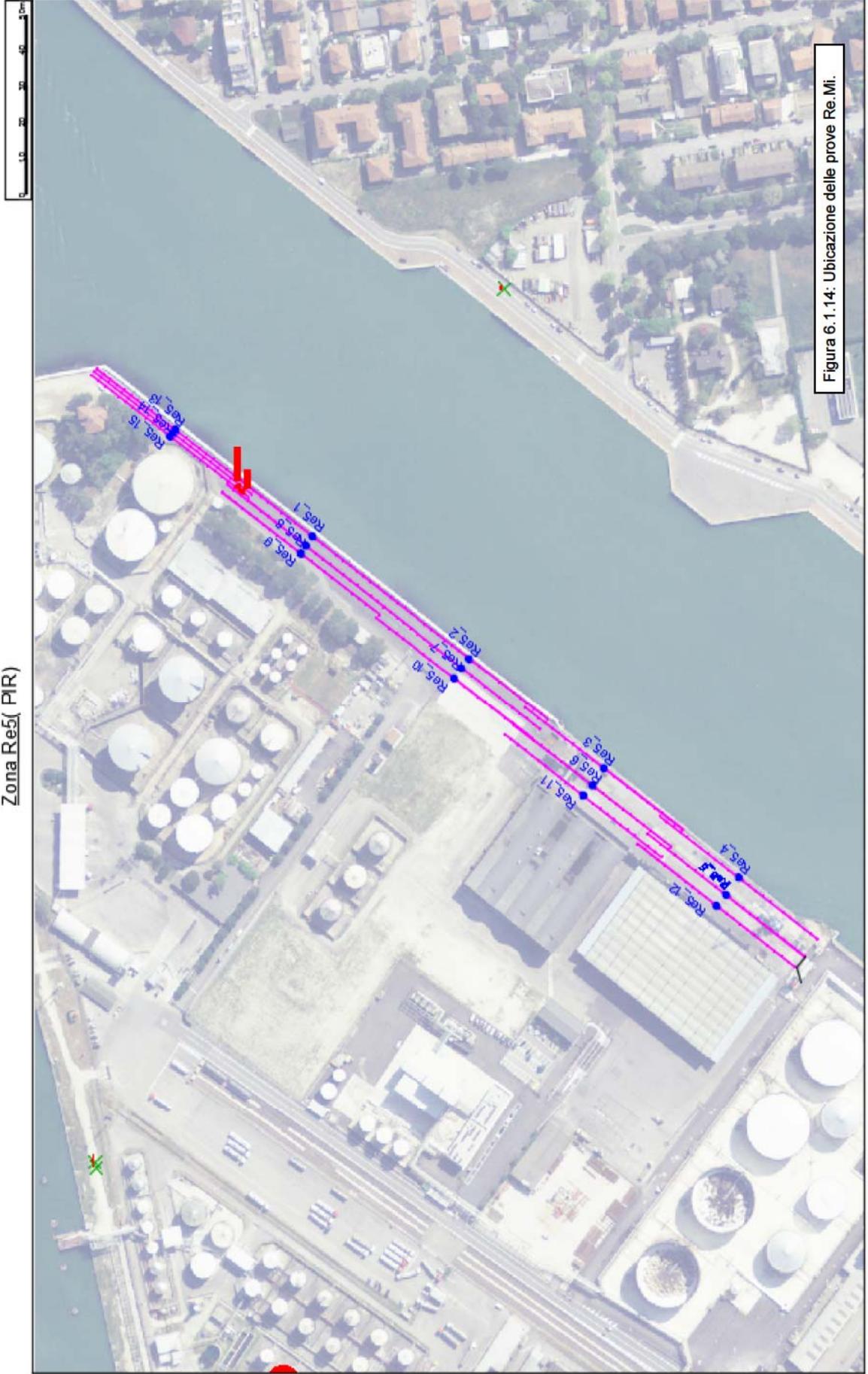


Figura 6.1.14: Ubicazione delle prove Re.Mi.

Re5\_15  Stendimenti RE.MI. e sigle identificative

 Prove geotecniche e sigle identificative



## ZonaRE6



Foto 6.1.6: Prova REMI RE6\_6

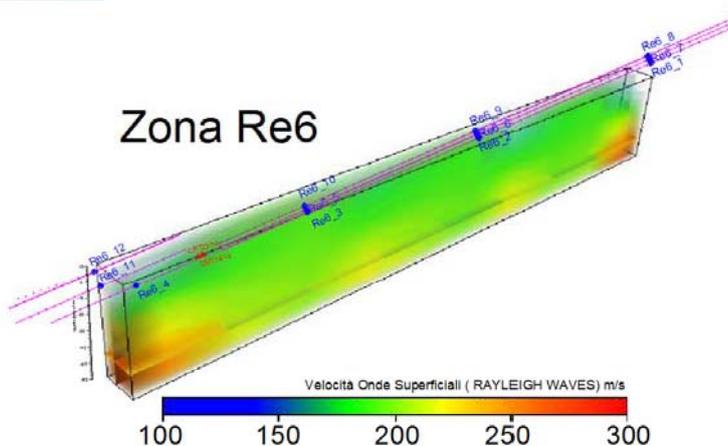


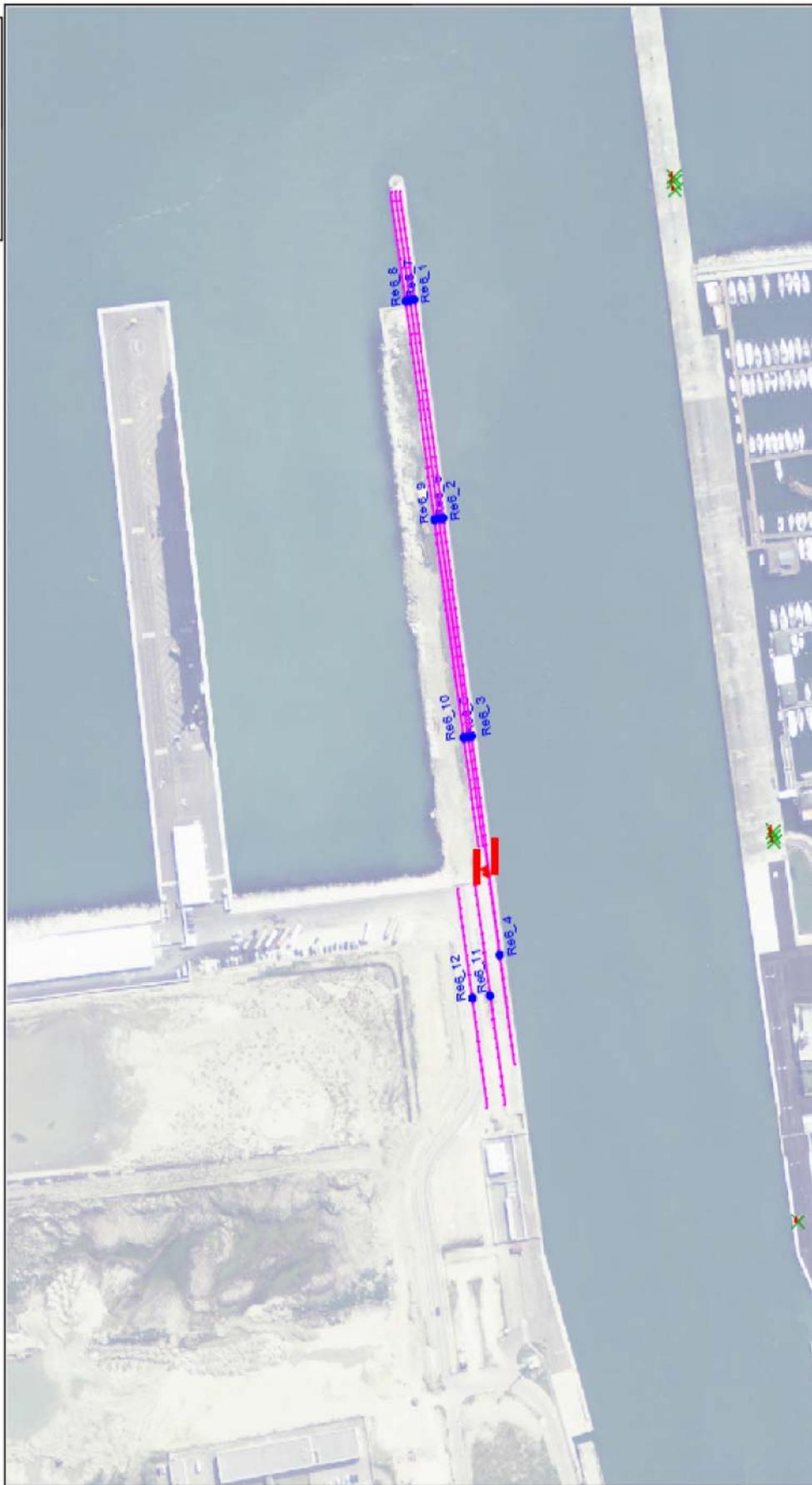
Figura 6.1.16: Modello 3D dell'area Re6

Complessivamente sono stati realizzati n° 15 prove Re.Mi (Fig. 6.1.17). L'analisi congiunta dei dati geofisici e geotecnici acquisiti ha consentito di costruire il seguente modello geofisico-geologico del sottosuolo (Fig. 6.1.18):

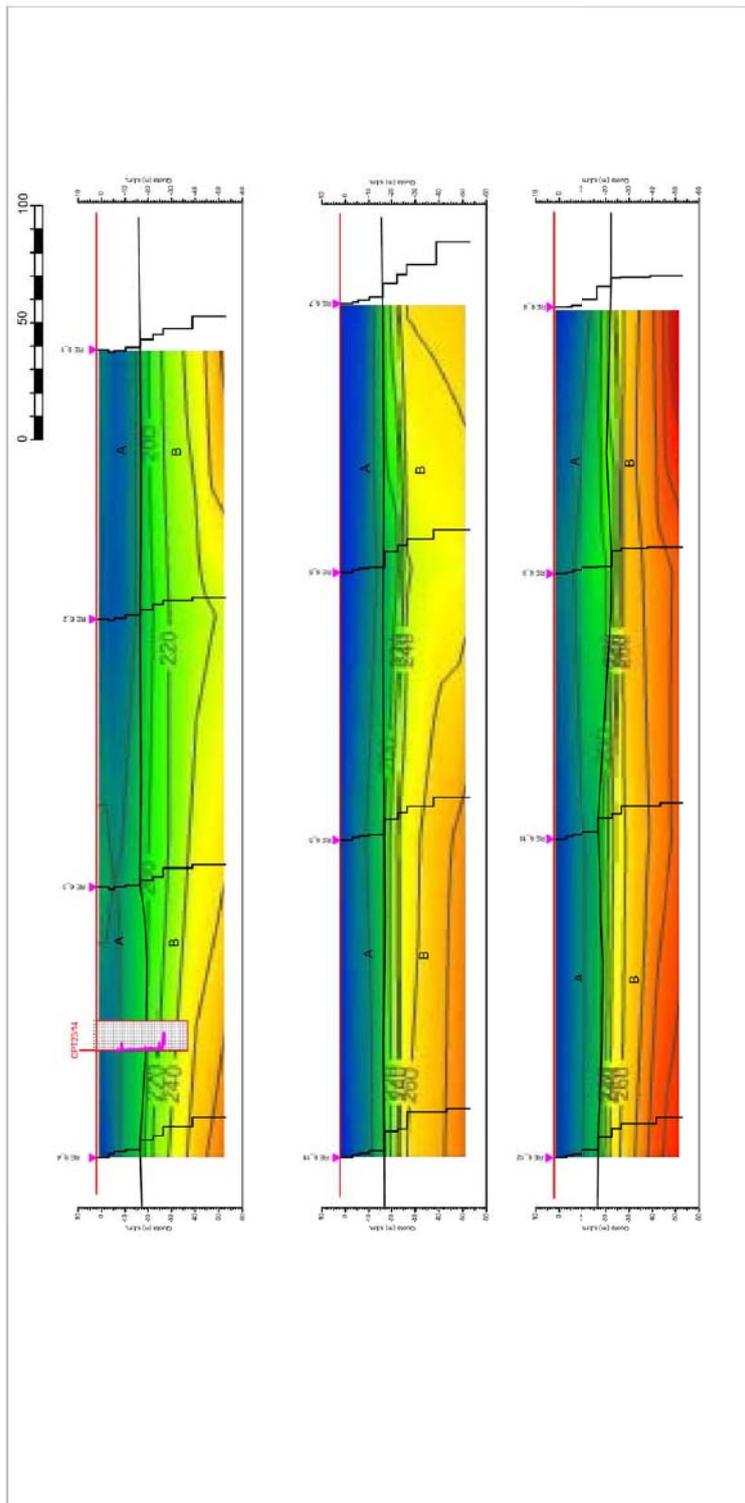
- Unità A: materiale in prevalenza sabbioso da poco a moderatamente addensato di spessore compreso tra i 18 ed i 20 metri circa e caratterizzato da valori di Vs inferiori ai 180-200 m/s.
- Unità B: depositi costituiti da argilla con limo e limo con argilla da teneri a mediamente consistenti.

Nel complesso l'area presenta un valore di Vs30 superiore ai 180 m/s e può essere collocato, secondo la normativa italiana, in **classe C**.

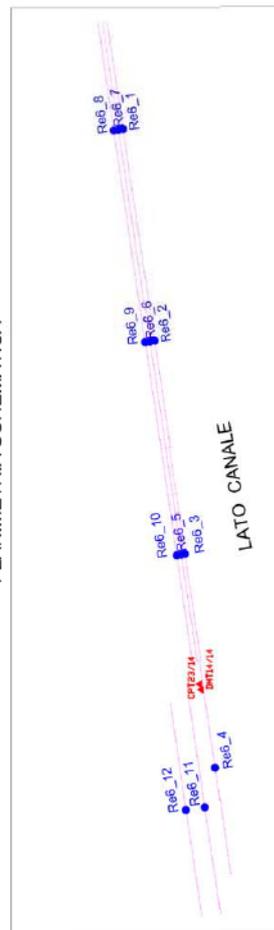
**PLANIMETRIA UBICATIVA**  
**Zona Re6\_ (Banchina Nord)**




Stendimenti RE.MI. e sigle identificative
 Prove geotecniche e sigle identificative



PLANIMETRIA SCHEMATICA



LEGENDA:

Piano campagna  
 Diagramma velocità Onde S derivanti dalle  
 prove RE.MI, con sigla identificativa



Piano campagna  
 Diagramma velocità Onde S derivanti da  
 carotaggio sismico down hole e cross hole

Curve di isovelocità Onde S  
 (inclinazione 20 m/s)

Unità geotecnologiche



Prove C.P.T. e sigla identificativa

Figura 6.1.18: Sezioni interpretative derivanti dall'analisi congiunta dei dati geofisici con i dati geotecnici relativi alla zona RE6

6.2 - Carotaggio sismico down-hole

**Planimetria ubicativa  
delle prove  
down hole e cross hole**

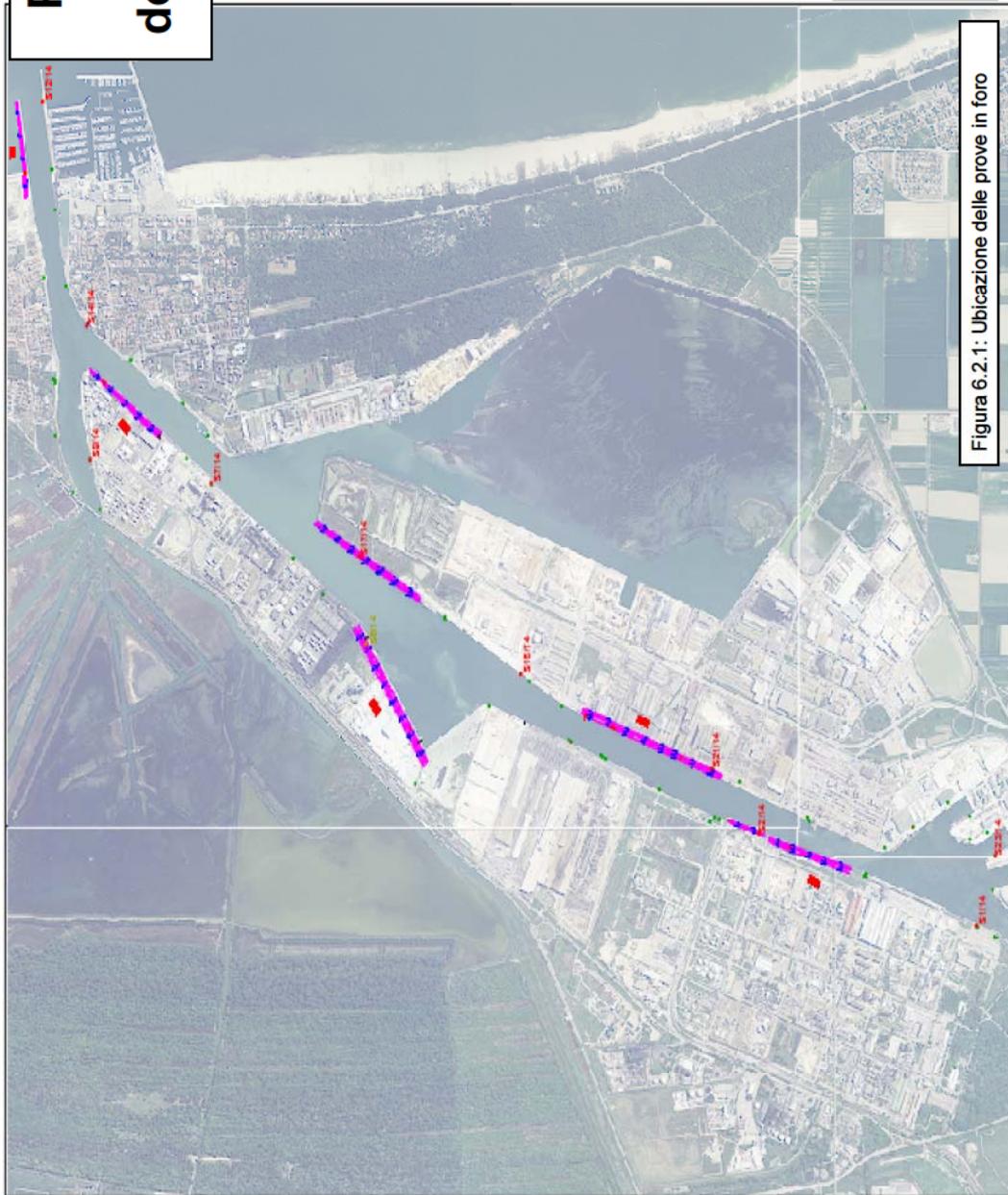


Figura 6.2.1: Ubicazione delle prove in foro

▲ Sondaggi meccanici con prove down-hole

▲ Sondaggi meccanici con prova cross-hole

## DH-S23-Valori sperimentali del carotaggio sismico down-hole

Di seguito si riporta la tabella con il valore dei tempi d'arrivo (in millisecondi) sperimentali e corretti sulla verticale, in funzione della profondità di indagine (in metri da piano campagna).

depth (meter)	correct P-time (milliseconds)	correct S <sub>H</sub> -time (milliseconds)	sperimental P-time (milliseconds)	sperimental S <sub>H</sub> -time (milliseconds)
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.0	0.4	4.9	1.3	15.5
1.5	1.4	8.5	3.1	19.0
2.0	2.1	12.8	3.7	23.0
2.5	2.8	16.6	4.3	26.0
3.0	3.3	19.4	4.7	27.5
3.5	3.8	23.9	5.0	31.5
4.0	4.2	28.8	5.2	36.0
4.5	4.6	31.6	5.5	38.0
5.0	4.7	33.3	5.7	40.0
5.5	5.1	37.0	6.0	43.2
6.0	5.4	39.2	6.2	44.6
6.5	5.9	43.8	6.6	49.0
7.0	6.3	47.2	6.9	52.0
7.5	6.4	50.6	7.0	55.0
8.0	6.7	52.9	7.2	57.0
8.5	7.0	54.8	7.5	58.5
9.0	7.4	57.5	7.8	61.0
9.5	7.7	59.8	8.1	63.0
10.0	8.0	62.9	8.4	66.0
10.5	8.4	65.1	8.8	68.0
11.0	8.6	68.3	8.9	71.0
11.5	9.2	71.0	9.5	73.6
12.0	9.7	73.1	10.0	75.5
12.5	10.2	75.7	10.5	78.0
13.0	10.5	77.8	10.8	80.0
13.5	10.9	81.8	11.2	84.0
14.0	11.2	84.0	11.5	86.0
14.5	11.7	86.0	12.0	88.0
15.0	12.1	90.1	12.4	92.0
15.5	12.6	93.2	12.8	95.0
16.0	12.8	96.2	13.0	98.0

depth (meter)	correct P-time (milliseconds)	correct S <sub>H</sub> -time (milliseconds)	sperimental P-time (milliseconds)	sperimental S <sub>H</sub> -time (milliseconds)
16.5	13.4	98.3	13.6	100.0
17.0	13.5	100.4	13.7	102.0
17.5	13.9	103.4	14.1	105.0
18.0	14.0	106.4	14.2	108.0
18.5	14.4	108.5	14.6	110.0
19.0	14.9	111.0	15.1	112.5
19.5	15.1	113.6	15.3	115.0
20.0	15.3	117.6	15.5	119.0
20.5	15.6	120.2	15.8	121.5
21.0	15.9	121.2	16.1	122.5
21.5	16.1	121.8	16.3	123.0
22.0	16.4	124.8	16.6	126.0
22.5	16.6	125.8	16.8	127.0
23.0	16.9	128.9	17.1	130.0
23.5	17.4	131.4	17.5	132.5
24.0	17.7	132.9	17.8	134.0
24.5	17.9	134.9	18.0	136.0
25.0	18.2	137.0	18.3	138.0
25.5	18.4	141.2	18.5	142.2
26.0	18.6	145.0	18.7	146.0
26.5	18.9	147.0	19.0	148.0
27.0	19.1	149.0	19.2	150.0
27.5	19.4	151.1	19.5	152.0
28.0	19.6	153.3	19.7	154.2
28.5	19.9	155.1	20.0	156.0
29.0	20.4	157.1	20.5	158.0
29.5	20.8	159.2	20.9	160.0
30.0	21.1	161.2	21.2	162.0
30.5	21.4	163.2	21.5	164.0
31.0	21.6	166.2	21.7	167.0
31.5	21.9	167.2	22.0	168.0
32.0	22.2	169.2	22.3	170.0
32.5	22.5	170.8	22.6	171.5
33.0	22.7	173.1	22.8	173.8
33.5	23.0	174.3	23.1	175.0
34.0	23.3	176.3	23.4	177.0
34.5	23.5	178.3	23.6	179.0
35.0	23.7	180.3	23.8	181.0

Di seguito si riporta la tabella con le velocità differenziali ( $VS_{diff}$ ) e le velocità delle onde S alle varie profondità ( $VS_{depth}$ )

Prof. m da p.c.	T.differenziale (milliseconds)	$VS_{diff}$ m/s	$VS_{depth}$ m/s	Prof. m da p.c.	T.differenziale (milliseconds)	$VS_{diff}$ m/s	$VS_{depth}$ m/s
0.0	0.0	0.0	0.0	18.0	2.1	243	166
1.0	4.9	204	204	18.5	2.5	196	167
1.5	3.6	139	177	19.0	2.5	197	167
2.0	4.3	117	157	19.5	4.0	124	166
2.5	3.9	129	150	20.0	2.5	197	166
3.0	2.8	179	154	20.5	1.1	475	169
3.5	4.5	112	146	21.0	0.6	901	172
4.0	4.9	102	139	21.5	3.0	165	172
4.5	2.8	177	142	22.0	1.0	479	175
5.0	1.7	300	135	22.5	3.0	165	175
5.5	3.8	133	135	23.0	2.5	198	175
6.0	2.1	237	140	23.5	1.5	326	177
6.5	4.7	107	137	24.0	2.0	246	178
7.0	3.4	148	138	24.5	2.0	247	179
7.5	3.3	150	138	25.0	4.2	119	177
8.0	2.4	211	142	25.5	3.8	131	176
8.5	1.9	270	146	26.0	2.0	247	177
9.0	2.7	182	148	26.5	2.0	247	178
9.5	2.2	223	151	27.0	2.0	247	179
10.0	3.2	158	151	27.5	2.2	225	179
10.5	2.2	228	154	28.0	1.8	274	181
11.0	3.1	159	154	28.5	2.0	248	181
11.5	2.7	183	155	29.0	2.0	248	182
12.0	2.0	244	157	29.5	2.0	248	183
12.5	2.6	191	159	30.0	2.0	248	184
13.0	2.1	236	161	30.5	3.0	166	184
13.5	4.1	123	159	31.0	1.0	490	185
14.0	2.1	238	161	31.5	2.0	248	186
14.5	2.1	239	163	32.0	1.5	330	187
15.0	4.0	124	161	32.5	2.3	216	188
15.5	3.1	163	161	33.0	1.2	411	189
16.0	3.1	163	161	33.5	2.0	248	190
16.5	2.1	241	163	34.0	2.0	248	191
17.0	2.1	242	164	34.5	2.0	248	191
17.5	3.0	164	164	35.0	2.0	249	192

Il carotaggio sismico down-hole ha permesso di definire i parametri meccanici dei litotipi in merito al comportamento registrato per le onde di volume P e per le onde polarizzate  $S_H$ .

La tabella seguente mostra i valori dei moduli elasto-dinamici calcolati per i tratti omogenei.

Profondità m (da - a)		Spessore m	Densità ( $\text{kN/m}^3$ )	$V_p$ m/s	$V_{SH}$ m/s	poisson	taglio dinamico ( $\text{kN/m}^2$ )	young ( $\text{kN/m}^2$ )	bulk ( $\text{kN/m}^2$ )
0.0	4.0	4.0	17.7	885	132	0.489	3.14E+04	9.36E+04	1.37E+06
4.0	20.0	16.0	18.8	1368	183	0.491	6.42E+04	1.91E+05	3.50E+06
20.0	30.0	10.0	19.0	1874	216	0.493	9.04E+04	2.70E+05	6.68E+06
30.0	35.0	5.0	19.6	1765	270	0.488	1.46E+05	4.33E+05	6.03E+06

Calcolo del  $V_{SH}$  riferito agli spessori dei singoli strati individuati dall'interpretazione della prova Down-Hole e valore di VS riferito alla profondità cumulata (depth).

Spessore m	$V_{SH}$ m/s	depth m	$VS_{\text{depth}}$
4.0	132	4	132
16.0	183	20	170
10.0	216	30	183
5.0	270	35	192

Calcolo del  $V_{S30}$  nei primi 30 metri di suolo (tratto 0-30m)

$$\text{valore } V_{S30} = 183 \text{ m/s}$$

il carotaggio sismico down-hole evidenzia che l'area in esame può essere collocata, secondo la normativa vigente, in **classe C**.

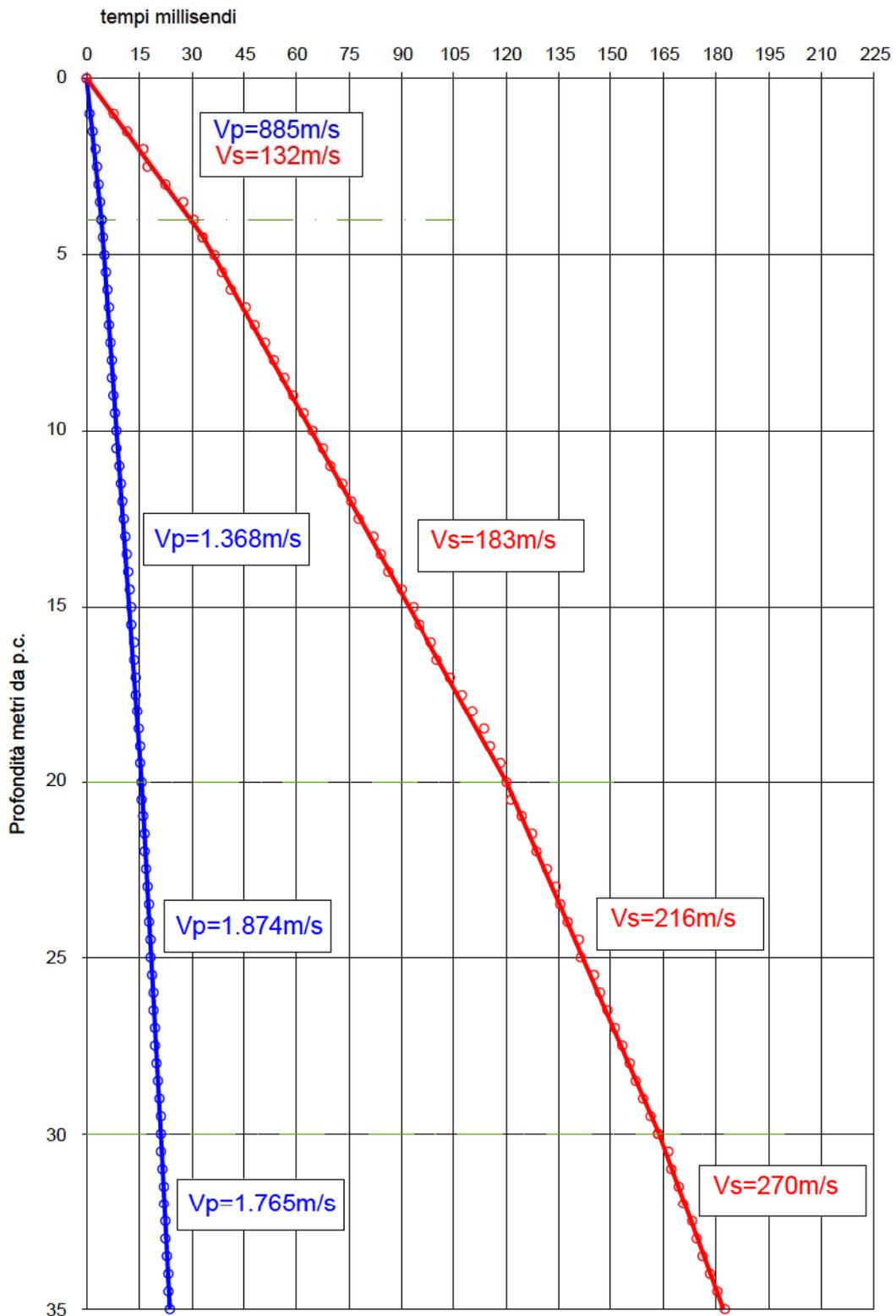


Figura 6.2.2 – Andamento delle dromocrone per la prova down-hole eseguita nel Sondaggio S23.  $V_p$  e  $V_s$  rappresentano, rispettivamente, le velocità delle onde P e delle onde  $S_H$ , in metri al secondo, nei tratti con andamento omogeneo delle dromocrone.

## DH-S18-Valori sperimentali del carotaggio sismico down-hole

Di seguito si riporta la tabella con il valore dei tempi d'arrivo (in millisecondi) sperimentali e corretti sulla verticale, in funzione della profondità di indagine (in metri da piano campagna).

depth (meter)	correct P-time (milliseconds)	correct S <sub>H</sub> -time (milliseconds)	sperimental P-time (milliseconds)	sperimental S <sub>H</sub> -time (milliseconds)
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.0	0.92	4.11	2.90	13.00
1.5	1.79	6.26	4.00	14.00
2.0	2.66	8.99	4.80	16.20
2.5	3.20	10.37	5.00	16.20
3.0	3.82	13.86	5.40	19.60
3.5	4.40	17.39	5.80	22.90
4.0	5.12	20.96	6.40	26.20
4.5	5.74	25.13	6.90	30.20
5.0	6.60	28.21	7.70	32.90
5.5	7.11	30.64	8.10	34.90
6.0	7.32	35.37	8.20	39.60
6.5	7.81	37.77	8.60	41.60
7.0	8.18	41.27	8.90	44.90
7.5	8.63	44.20	9.30	47.60
8.0	8.99	48.31	9.60	51.60
8.5	9.52	49.88	10.10	52.90
9.0	9.68	53.98	10.20	56.90
9.5	10.01	58.74	10.50	61.60
10.0	10.44	62.83	10.90	65.60
10.5	10.77	65.77	11.20	68.40
11.0	11.29	68.69	11.70	71.20
11.5	11.61	71.51	12.00	73.90
12.0	11.84	74.41	12.20	76.70
12.5	12.15	77.30	12.50	79.50
13.0	12.57	80.19	12.90	82.30
13.5	12.89	80.93	13.20	82.90
14.0	13.49	87.51	13.80	89.50
14.5	14.00	89.01	14.30	90.90
15.0	14.61	93.06	14.90	94.90
15.5	15.02	95.72	15.30	97.50
16.0	15.43	99.76	15.70	101.50

depth (meter)	correct P-time (milliseconds)	correct S <sub>H</sub> -time (milliseconds)	sperimental P-time (milliseconds)	sperimental S <sub>H</sub> -time (milliseconds)
16.5	16.04	102.52	16.30	104.20
17.0	16.35	105.27	16.60	106.90
17.5	16.66	107.93	16.90	109.50
18.0	17.06	110.67	17.30	112.20
18.5	17.47	112.73	17.70	114.20
19.0	17.88	114.78	18.10	116.20
19.5	18.28	118.11	18.50	119.50
20.0	18.49	120.85	18.70	122.20
20.5	19.00	123.58	19.20	124.90
21.0	19.30	126.91	19.50	128.20
21.5	19.51	130.24	19.70	131.50
22.0	19.82	132.28	20.00	133.50
22.5	20.02	134.31	20.20	135.50
23.0	20.33	139.02	20.50	140.20
23.5	20.63	141.06	20.80	142.20
24.0	20.84	145.67	21.00	146.80
24.5	21.44	148.39	21.60	149.50
25.0	21.64	147.84	21.80	148.90
25.5	21.95	150.66	22.10	151.70
26.0	22.45	153.48	22.60	154.50
26.5	22.56	156.20	22.70	157.20
27.0	22.96	159.02	23.10	160.00
27.5	23.26	164.52	23.40	165.50
28.0	23.57	165.85	23.70	166.80
28.5	23.77	167.87	23.90	168.80
29.0	24.17	169.30	24.30	170.20
29.5	24.47	170.62	24.60	171.50
30.0	24.58	172.64	24.70	173.50
30.5	24.88	173.96	25.00	174.80
31.0	25.18	174.68	25.30	175.50
31.5	25.39	177.99	25.50	178.80
32.0	25.59	178.72	25.70	179.50
32.5	25.79	180.03	25.90	180.80
33.0	26.09	181.45	26.20	182.20
33.5	26.39	182.77	26.50	183.50
34.0	26.60	184.78	26.70	185.50
34.5	27.00	187.49	27.10	188.20
35.0	27.10	188.81	27.20	189.50

Di seguito si riporta la tabella con le velocità differenziali ( $VS_{diff}$ ) e le velocità delle onde S alle varie profondità ( $VS_{depth}$ )

Prof. m da p.c.	T.differenziale (milliseconds)	$VS_{diff}$ m/s	$VS_{depth}$ m/s	Prof. m da p.c.	T.differenziale (milliseconds)	$VS_{diff}$ m/s	$VS_{depth}$ m/s
0.0	0.0	0.0	0.0	18.0	2.7	182	163
1.0	4.1	243	243	18.5	2.1	243	164
1.5	2.2	233	240	19.0	2.1	244	166
2.0	2.7	183	223	19.5	3.3	150	165
2.5	1.4	361	241	20.0	2.7	183	165
3.0	3.5	143	216	20.5	2.7	183	166
3.5	3.5	142	201	21.0	3.3	150	165
4.0	3.6	140	191	21.5	3.3	150	165
4.5	4.2	120	179	22.0	2.0	245	166
5.0	3.1	162	177	22.5	2.0	246	168
5.5	2.4	206	180	23.0	4.7	106	165
6.0	4.8	105	169	23.5	2.0	246	167
6.5	2.4	213	172	24.0	4.6	108	165
7.0	3.5	143	170	24.5	2.7	183	165
7.5	2.9	171	170	25.0	-0.6	-905	169
8.0	4.1	121	166	25.5	2.8	177	169
8.5	1.6	319	170	26.0	2.8	177	169
9.0	4.1	122	167	26.5	2.7	184	170
9.5	4.8	105	162	27.0	2.8	177	170
10.0	4.1	122	159	27.5	5.5	91	167
10.5	2.9	170	160	28.0	1.3	377	169
11.0	2.9	171	160	28.5	2.0	247	170
11.5	2.8	178	161	29.0	1.4	351	171
12.0	2.9	172	161	29.5	1.3	378	173
12.5	2.9	173	162	30.0	2.0	248	174
13.0	2.9	173	162	30.5	1.3	378	175
13.5	0.7	682	167	31.0	0.7	691	177
14.0	6.6	76	160	31.5	3.3	151	177
14.5	1.5	333	163	32.0	0.7	693	179
15.0	4.0	124	161	32.5	1.3	379	181
15.5	2.7	188	162	33.0	1.4	353	182
16.0	4.0	124	160	33.5	1.3	380	183
16.5	2.8	181	161	34.0	2.0	248	184
17.0	2.8	182	161	34.5	2.7	184	184
17.5	2.7	189	162	35.0	1.3	380	185

Il carotaggio sismico down-hole ha permesso di definire i parametri meccanici dei litotipi in merito al comportamento registrato per le onde di volume P e per le onde polarizzate  $S_H$ .

La tabella seguente mostra i valori dei moduli elasto-dinamici calcolati per i tratti omogenei.

Profondità m (da - a)	Spessore m	Densità ( $\text{kN/m}^3$ )	$V_p$ m/s	$V_{SH}$ m/s	poisson	taglio dinamico ( $\text{kN/m}^2$ )	young ( $\text{kN/m}^2$ )	bulk ( $\text{kN/m}^2$ )	
0.0	4.0	4.0	20.0	788	206	0.463	8.74E+04	2.56E+05	1.15E+06
4.0	10.0	6.0	18.5	1164	148	0.492	4.13E+04	1.23E+05	2.50E+06
10.0	27.0	17.0	18.6	1327	174	0.491	5.74E+04	1.71E+05	3.26E+06
27.0	30.0	3.0	18.9	1692	190	0.494	6.96E+04	2.08E+05	5.42E+06
30.0	32.0	2.0	19.5	2079	304	0.489	1.84E+05	5.47E+05	8.35E+06
32.0	35.0	3.0	20.0	1860	284	0.488	1.64E+05	4.89E+05	6.83E+06

Calcolo del  $V_{SH}$  riferito agli spessori dei singoli strati individuati dall'interpretazione della prova Down-Hole e valore di VS riferito alla profondità cumulata (depth).

Spessore m	$V_{SH}$ m/s	depth m	$VS_{depth}$
4.0	207	4	207
6.0	148	10	167
17.0	174	27	171
3.0	190	30	173
2.0	304	32	178
3.0	284	35	184

Calcolo del  $VS_{30}$  nei primi 30 metri di suolo (**tratto 0-30m**)

**valore  $VS_{30} = 173 \text{ m/s}$**

il carotaggio sismico down-hole evidenzia che l'area in esame può essere collocata, secondo la normativa vigente, in **classe D**.

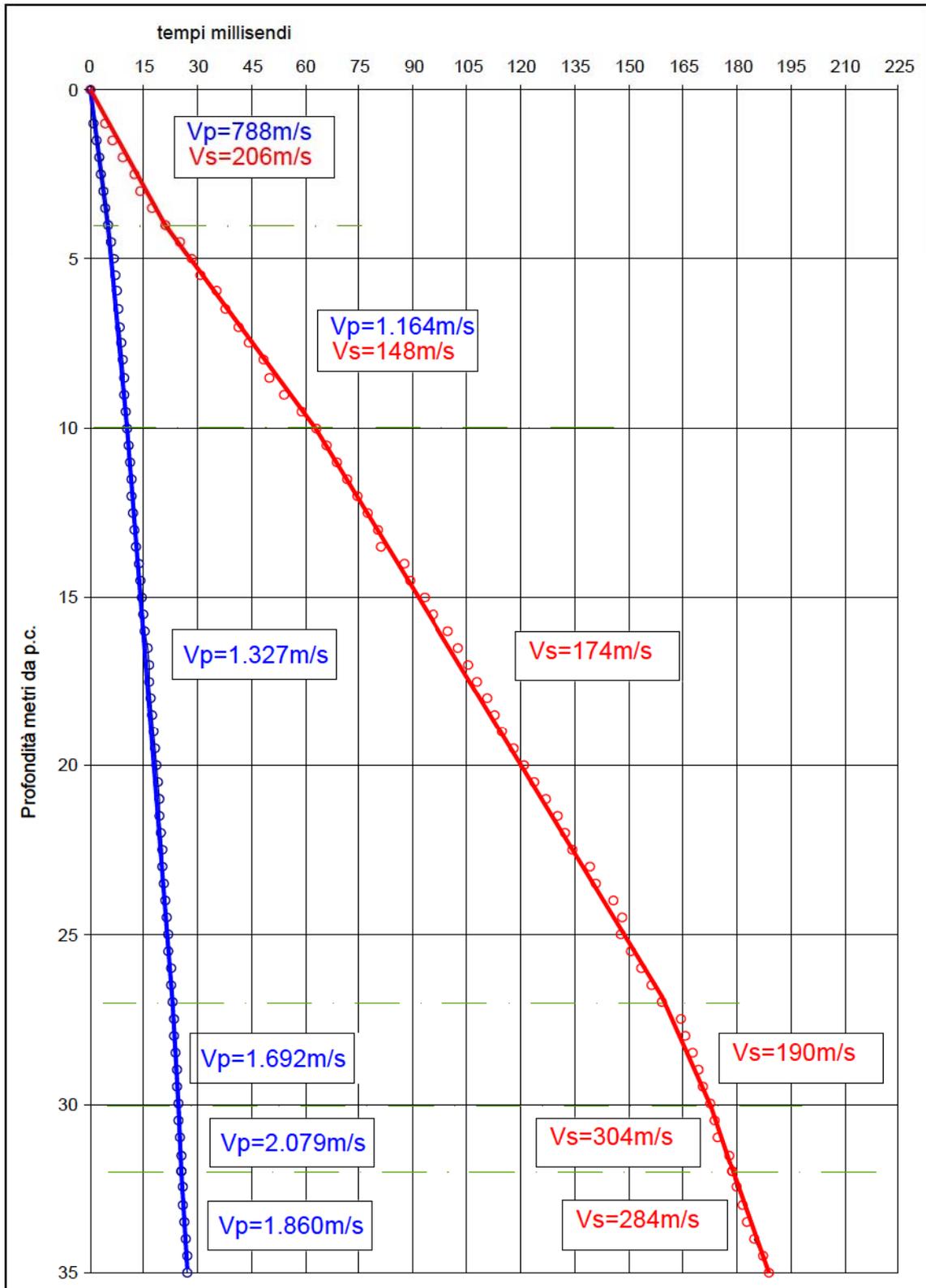


Figura 6.2.3 – Andamento delle dromocrone per la prova down-hole eseguita nel Sondaggio S18. Vp e Vs rappresentano, rispettivamente, le velocità delle onde P e delle onde SH, in metri al secondo, nei tratti con andamento omogeneo delle dromocrone.

## DH-S12-Valori sperimentali del carotaggio sismico down-hole

Di seguito si riporta la tabella con il valore dei tempi d'arrivo (in millisecondi) sperimentali e corretti sulla verticale, in funzione della profondità di indagine (in metri da piano campagna).

depth (meter)	correct P-time (milliseconds)	correct S <sub>H</sub> -time (milliseconds)	sperimental P-time (milliseconds)	sperimental S <sub>H</sub> -time (milliseconds)
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
1.0	0.41	4.43	1.30	14.00
1.5	1.16	7.16	2.60	16.00
2.0	1.66	11.09	3.00	20.00
2.5	2.43	13.44	3.80	21.00
3.0	2.97	16.97	4.20	24.00
3.5	3.49	19.74	4.60	26.00
4.0	4.00	22.40	5.00	28.00
4.5	4.66	24.96	5.60	30.00
5.0	5.14	26.58	6.00	31.00
5.5	5.62	28.09	6.40	32.00
6.0	6.07	31.26	6.80	35.00
6.5	6.54	33.59	7.20	37.00
7.0	7.17	36.77	7.80	40.00
7.5	7.61	39.00	8.20	42.00
8.0	8.05	41.20	8.60	44.00
8.5	8.68	44.32	9.20	47.00
9.0	9.30	47.43	9.80	50.00
9.5	9.92	53.40	10.40	56.00
10.0	10.15	57.47	10.60	60.00
10.5	10.58	60.48	11.00	62.90
11.0	10.81	63.87	11.20	66.20
11.5	11.22	65.99	11.60	68.20
12.0	11.45	68.78	11.80	70.90
12.5	11.86	71.47	12.20	73.50
13.0	12.28	74.93	12.60	76.90
13.5	12.69	78.97	13.00	80.90
14.0	12.91	81.16	13.20	83.00
14.5	13.32	83.73	13.60	85.50
15.0	14.02	87.27	14.30	89.00
15.5	14.14	90.32	14.40	92.00
16.0	14.55	92.39	14.80	94.00

depth (meter)	correct P-time (milliseconds)	correct S <sub>H</sub> -time (milliseconds)	sperimental P-time (milliseconds)	sperimental S <sub>H</sub> -time (milliseconds)
16.5	14.95	96.42	15.20	98.00
17.0	15.17	98.48	15.40	100.00
17.5	15.57	100.53	15.80	102.00
18.0	15.78	103.57	16.00	105.00
18.5	16.19	105.62	16.40	107.00
19.0	16.59	108.65	16.80	110.00
19.5	17.00	110.70	17.20	112.00
20.0	17.41	112.74	17.60	114.00
20.5	17.61	116.76	17.80	118.00
21.0	18.22	119.78	18.40	121.00
21.5	18.62	121.82	18.80	123.00
22.0	19.02	124.84	19.20	126.00
22.5	19.23	128.86	19.40	130.00
23.0	19.63	131.88	19.80	133.00
23.5	19.84	133.91	20.00	135.00
24.0	20.04	137.93	20.20	139.00
24.5	20.45	139.95	20.60	141.00
25.0	20.65	140.99	20.80	142.00
25.5	20.86	143.01	21.00	144.00
26.0	21.06	148.02	21.20	149.00
26.5	21.26	150.04	21.40	151.00
27.0	21.67	153.06	21.80	154.00
27.5	22.07	155.08	22.20	156.00
28.0	22.27	157.10	22.40	158.00
28.5	22.67	159.12	22.80	160.00
29.0	23.08	161.64	23.20	162.50
29.5	23.28	164.15	23.40	165.00
30.0	23.68	166.67	23.80	167.50
30.5	24.08	169.48	24.20	170.30
31.0	24.49	172.69	24.60	173.50
31.5	24.69	174.71	24.80	175.50
32.0	24.89	176.03	25.00	176.80
32.5	25.39	178.74	25.50	179.50
33.0	25.59	180.75	25.70	181.50
33.5	25.80	182.77	25.90	183.50
34.0	26.00	184.18	26.10	184.90
34.5	26.20	185.50	26.30	186.20
35.0	26.40	188.11	26.50	188.80

Di seguito si riporta la tabella con le velocità differenziali ( $VS_{diff}$ ) e le velocità delle onde S alle varie profondità ( $VS_{depth}$ )

Prof. m da p.c.	T.differenziale (milliseconds)	$VS_{diff}$ m/s	$VS_{depth}$ m/s	Prof. m da p.c.	T.differenziale (milliseconds)	$VS_{diff}$ m/s	$VS_{depth}$ m/s
0.0	0.0	0.0	0.0	18.0	3.0	165	174
1.0	4.4	226	226	18.5	2.0	244	175
1.5	2.7	183	210	19.0	3.0	165	175
2.0	3.9	127	180	19.5	2.0	245	176
2.5	2.3	213	186	20.0	2.0	245	177
3.0	3.5	142	177	20.5	4.0	124	176
3.5	2.8	180	177	21.0	3.0	165	175
4.0	2.7	188	179	21.5	2.0	246	176
4.5	2.6	195	180	22.0	3.0	165	176
5.0	1.6	308	188	22.5	4.0	125	175
5.5	1.5	331	196	23.0	3.0	165	174
6.0	3.2	158	191	23.5	2.0	246	175
6.5	2.3	214	193	24.0	4.0	125	174
7.0	3.2	158	190	24.5	2.0	247	175
7.5	2.2	224	192	25.0	1.0	484	177
8.0	2.2	227	194	25.5	2.0	247	178
8.5	3.1	160	192	26.0	5.0	100	176
9.0	3.1	161	190	26.5	2.0	247	177
9.5	6.0	84	178	27.0	3.0	166	176
10.0	4.1	123	174	27.5	2.0	247	177
10.5	3.0	166	174	28.0	2.0	247	178
11.0	3.4	148	172	28.5	2.0	248	179
11.5	2.1	235	174	29.0	2.5	199	179
12.0	2.8	179	174	29.5	2.5	199	180
12.5	2.7	186	175	30.0	2.5	199	180
13.0	3.5	144	173	30.5	2.8	178	180
13.5	4.0	124	171	31.0	3.2	156	180
14.0	2.2	229	173	31.5	2.0	248	180
14.5	2.6	195	173	32.0	1.3	379	182
15.0	3.5	141	172	32.5	2.7	184	182
15.5	3.1	164	172	33.0	2.0	248	183
16.0	2.1	242	173	33.5	2.0	248	183
16.5	4.0	124	171	34.0	1.4	353	185
17.0	2.1	243	173	34.5	1.3	380	186
17.5	2.1	243	174	35.0	2.6	192	186

Il carotaggio sismico down-hole ha permesso di definire i parametri meccanici dei litotipi in merito al comportamento registrato per le onde di volume P e per le onde polarizzate  $S_H$ .

La tabella seguente mostra i valori dei moduli elasto-dinamici calcolati per i tratti omogenei.

Profondità m (da - a)		Spessore m	Densità ( $\text{kN/m}^3$ )	$V_p$ m/s	$V_{SH}$ m/s	poisson	taglio dinamico ( $\text{kN/m}^2$ )	young ( $\text{kN/m}^2$ )	bulk ( $\text{kN/m}^2$ )
0.0	9.0	9.0	18.5	984	188	0.48	6.67E+04	1.97E+05	1.74E+06
9.0	30.0	21.0	19.2	1462	180	0.49	6.34E+04	1.89E+05	4.10E+06
30.0	35.0	5.0	20.0	1833	240	0.49	1.17E+05	3.50E+05	6.69E+06

Calcolo del  $V_{SH}$  riferito agli spessori dei singoli strati individuati dall'interpretazione della prova Down-Hole e valore di VS riferito alla profondità cumulata (depth).

Spessore m	$V_{SH}$ m/s	depth m	$VS_{depth}$
9.0	188	9	188
21.0	180	30	182
5.0	240	35	189

Calcolo del  $V_{S30}$  nei primi 30 metri di suolo (**tratto 0-30m**)

**valore  $V_{S30} = 182 \text{ m/s}$**

il carotaggio sismico down-hole evidenzia che l'area in esame può essere collocata, secondo la normativa vigente, in **classe C**.

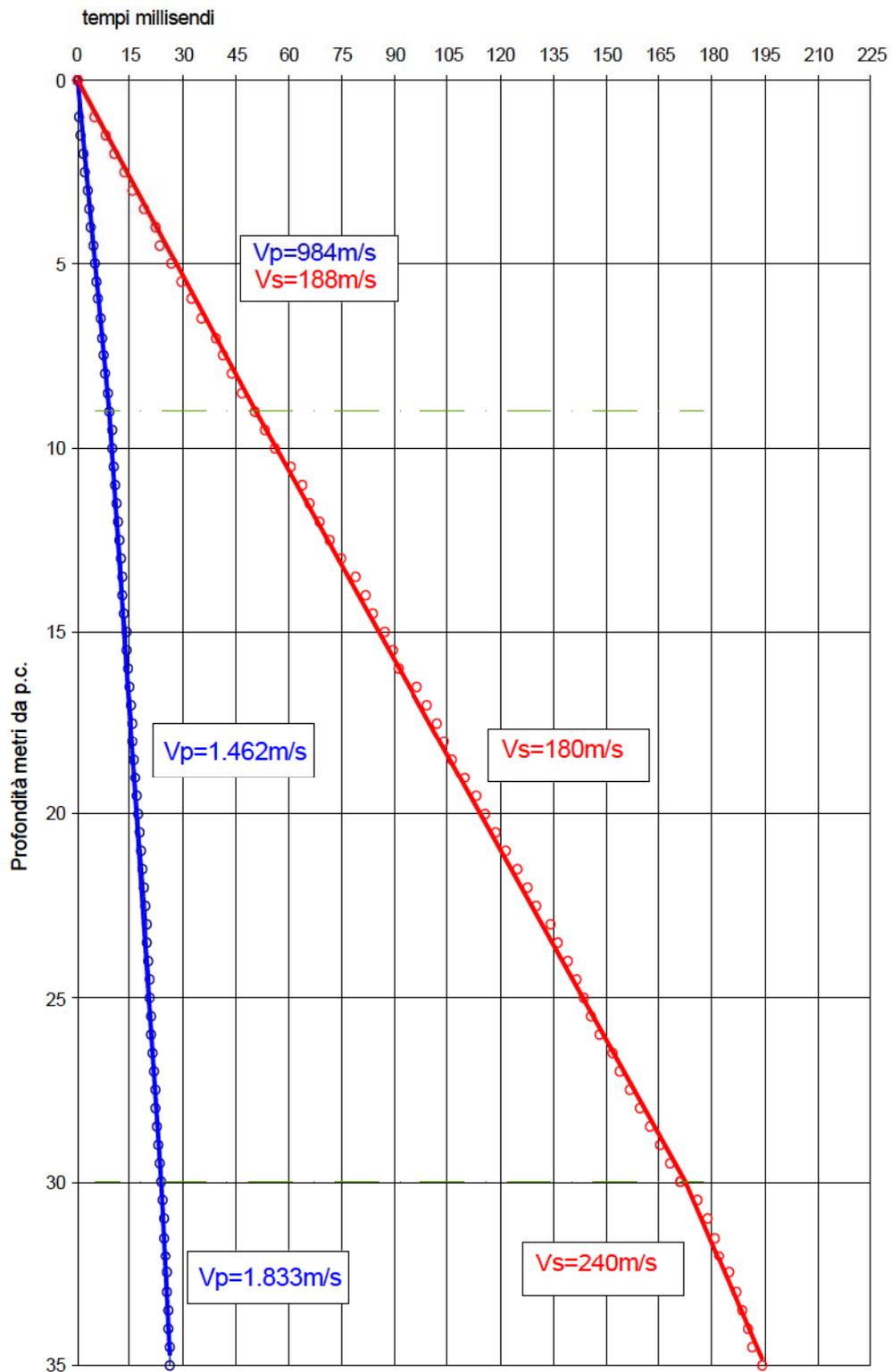


Figura 6.2.4 – Andamento delle dromocrone per la prova down-hole eseguita nel Sondaggio S12. Vp e Vs rappresentano, rispettivamente, le velocità delle onde P e delle onde SH, in metri al secondo, nei tratti con andamento omogeneo delle dromocrone.

## DH-S7-Valori sperimentali del carotaggio sismico down-hole

Di seguito si riporta la tabella con il valore dei tempi d'arrivo (in millisecondi) sperimentali e corretti sulla verticale, in funzione della profondità di indagine (in metri da piano campagna).

depth (meter)	correct P-time (milliseconds)	correct S <sub>H</sub> -time (milliseconds)	sperimental P-time (milliseconds)	sperimental S <sub>H</sub> -time (milliseconds)
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.0	0.76	8.29	2.40	26.20
1.5	1.34	14.40	3.00	32.20
2.0	1.89	19.36	3.40	34.90
2.5	2.36	26.18	3.68	40.90
3.0	2.80	31.75	3.96	44.90
3.5	3.22	35.61	4.24	46.90
4.0	3.62	40.72	4.52	50.90
4.5	3.99	45.10	4.80	54.20
5.0	4.36	50.51	5.08	58.90
5.5	4.71	54.08	5.36	61.60
6.0	5.04	57.97	5.64	64.90
6.5	5.38	61.29	5.92	67.50
7.0	5.70	63.88	6.20	69.50
7.5	6.02	68.24	6.48	73.50
8.0	6.33	72.57	6.76	77.50
8.5	6.64	76.85	7.04	81.50
9.0	6.94	81.78	7.32	86.20
9.5	7.25	85.35	7.60	89.50
10.0	7.55	88.31	7.88	92.20
10.5	7.85	93.17	8.16	96.90
11.0	8.68	96.67	9.00	100.20
11.5	10.26	101.50	10.60	104.90
12.0	10.57	106.23	10.90	109.50
12.5	10.89	109.10	11.20	112.20
13.0	11.21	112.54	11.50	115.50
13.5	11.62	116.07	11.90	118.90
14.0	11.83	118.80	12.10	121.50
14.5	12.04	122.31	12.30	124.90
15.0	12.26	125.71	12.50	128.20
15.5	12.47	127.83	12.70	130.20
16.0	12.68	129.94	12.90	132.20

depth (meter)	correct P-time (milliseconds)	correct S <sub>H</sub> -time (milliseconds)	sperimental P-time (milliseconds)	sperimental S <sub>H</sub> -time (milliseconds)
16.5	12.89	132.63	13.10	134.80
17.0	13.10	135.41	13.30	137.50
17.5	13.31	139.47	13.50	141.50
18.0	13.51	142.24	13.70	144.20
18.5	13.72	145.60	13.90	147.50
19.0	13.93	147.67	14.10	149.50
19.5	14.13	151.72	14.30	153.50
20.0	15.97	153.78	16.15	155.50
20.5	16.33	156.53	16.50	158.20
21.0	16.73	159.18	16.90	160.80
21.5	17.13	162.62	17.30	164.20
22.0	17.54	164.68	17.70	166.20
22.5	17.94	167.32	18.10	168.80
23.0	18.05	169.37	18.20	170.80
23.5	18.35	171.41	18.50	172.80
24.0	18.47	173.45	18.61	174.80
24.5	18.58	175.49	18.72	176.80
25.0	18.70	178.22	18.83	179.50
25.5	18.81	179.56	18.94	180.80
26.0	18.92	181.60	19.05	182.80
26.5	19.04	183.63	19.16	184.80
27.0	19.15	185.66	19.27	186.80
27.5	19.27	187.09	19.38	188.20
28.0	20.78	188.42	20.90	189.50
28.5	21.18	189.75	21.30	190.80
29.0	21.39	191.18	21.50	192.20
29.5	21.69	192.51	21.80	193.50
30.0	21.79	193.83	21.90	194.80
30.5	22.19	196.55	22.30	197.50
31.0	22.40	198.57	22.50	199.50
31.5	22.60	199.90	22.70	200.80
32.0	23.00	201.22	23.10	202.10
32.5	23.20	202.64	23.30	203.50
33.0	23.40	203.96	23.50	204.80
33.5	23.71	205.28	23.80	206.10
34.0	24.11	207.29	24.20	208.10
34.5	24.41	208.02	24.50	208.80
35.0	24.61	209.33	24.70	210.10

Di seguito si riporta la tabella con le velocità differenziali ( $VS_{diff}$ ) e le velocità delle onde S alle varie profondità ( $VS_{depth}$ )

Prof. m da p.c.	T.differenziale (milliseconds)	$VS_{diff}$ m/s	$VS_{depth}$ m/s	Prof. m da p.c.	T.differenziale (milliseconds)	$VS_{diff}$ m/s	$VS_{depth}$ m/s
0.0	0.0	0.0	0.0	18.0	2.8	180	127
1.0	8.3	121	121	18.5	3.4	149	127
1.5	6.1	82	104	19.0	2.1	241	129
2.0	5.0	101	103	19.5	4.0	124	129
2.5	6.8	73	95	20.0	2.1	242	130
3.0	5.6	90	94	20.5	2.8	182	131
3.5	3.9	130	98	21.0	2.7	189	132
4.0	5.1	98	98	21.5	3.4	145	132
4.5	4.4	114	100	22.0	2.1	244	134
5.0	5.4	92	99	22.5	2.6	189	134
5.5	3.6	140	102	23.0	2.0	244	136
6.0	3.9	128	103	23.5	2.0	245	137
6.5	3.3	151	106	24.0	2.0	245	138
7.0	2.6	193	110	24.5	2.0	245	140
7.5	4.4	115	110	25.0	2.7	183	140
8.0	4.3	116	110	25.5	1.3	373	142
8.5	4.3	117	111	26.0	2.0	246	143
9.0	4.9	102	110	26.5	2.0	246	144
9.5	3.6	140	111	27.0	2.0	246	145
10.0	3.0	169	113	27.5	1.4	349	147
10.5	4.9	103	113	28.0	1.3	376	149
11.0	3.5	143	114	28.5	1.3	376	150
11.5	4.8	103	113	29.0	1.4	350	152
12.0	4.7	106	113	29.5	1.3	377	153
12.5	2.9	174	115	30.0	1.3	377	155
13.0	3.4	145	116	30.5	2.7	184	155
13.5	3.5	142	116	31.0	2.0	247	156
14.0	2.7	183	118	31.5	1.3	378	158
14.5	3.5	143	119	32.0	1.3	378	159
15.0	3.4	147	119	32.5	1.4	352	160
15.5	2.1	236	121	33.0	1.3	379	162
16.0	2.1	237	123	33.5	1.3	379	163
16.5	2.7	186	124	34.0	2.0	248	164
17.0	2.8	180	126	34.5	0.7	694	166
17.5	4.1	123	125	35.0	1.3	380	167

Il carotaggio sismico down-hole ha permesso di definire i parametri meccanici dei litotipi in merito al comportamento registrato per le onde di volume P e per le onde polarizzate  $S_H$ .

La tabella seguente mostra i valori dei moduli elasto-dinamici calcolati per i tratti omogenei.

Profondità m (da - a)		Spessore m	Densità ( $\text{kN/m}^3$ )	$V_p$ m/s	$V_{SH}$ m/s	poisson	taglio dinamico ( $\text{kN/m}^2$ )	young ( $\text{kN/m}^2$ )	bulk ( $\text{kN/m}^2$ )
0.0	2.0	2.0	17.5	1103	105	0.4954	1.97E+04	5.88E+04	2.14E+06
2.0	11.0	9.0	19.0	1426	120	0.4964	2.79E+04	8.35E+04	3.90E+06
11.0	19.5	8.5	19.5	1787	162	0.4959	5.22E+04	1.56E+05	6.28E+06
19.5	28.0	8.5	19.7	1641	227	0.4902	1.03E+05	3.08E+05	5.27E+06
28.0	35.0	7.0	20.0	1853	322	0.4844	2.11E+05	6.28E+05	6.72E+06

Calcolo del  $V_{SH}$  riferito agli spessori dei singoli strati individuati dall'interpretazione della prova Down-Hole e valore di VS riferito alla profondità cumulata (depth).

Spessore m	$V_{SH}$ m/s	depth m	$VS_{\text{depth}}$
2.0	105	2	105
9.0	120	11	117
8.5	162	20	133
8.5	227	28	152
7.0	322	35	170

Calcolo del  $V_{S30}$  nei primi 30 metri di suolo (**tratto 0-30m**)

$$\text{valore } V_{S30} = 158 \text{ m/s}$$

il carotaggio sismico down-hole evidenzia che l'area in esame può essere collocata, secondo la normativa vigente, in **classe D**.

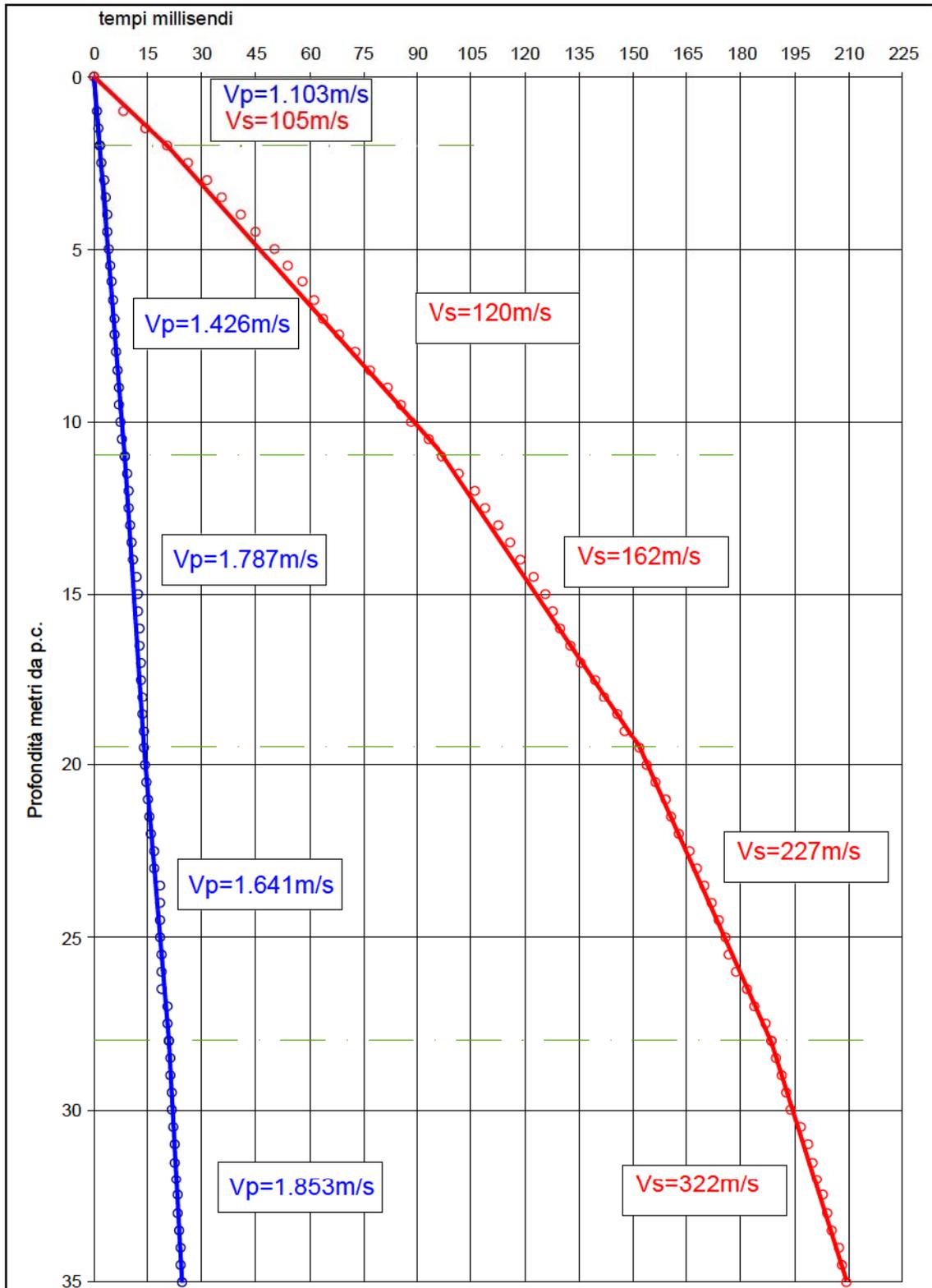


Figura 6.2.5 – Andamento delle dromocrone per la prova down-hole eseguita nel Sondaggio S7. Vp e Vs rappresentano, rispettivamente, le velocità delle onde P e delle onde SH, in metri al secondo, nei tratti con andamento omogeneo delle dromocrone.

## DH-S9-Valori sperimentali del carotaggio sismico down-hole

Di seguito si riporta la tabella con il valore dei tempi d'arrivo (in millisecondi) sperimentali e corretti sulla verticale, in funzione della profondità di indagine (in metri da piano campagna).

depth (meter)	correct P-time (milliseconds)	correct S <sub>H</sub> -time (milliseconds)	sperimental P-time (milliseconds)	sperimental S <sub>H</sub> -time (milliseconds)
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.0	2.15	4.71	6.80	14.90
1.5	3.22	9.35	7.20	20.90
2.0	4.22	13.09	7.60	23.60
2.5	5.12	18.05	8.00	28.20
3.0	5.94	22.34	8.40	31.60
3.5	6.83	28.55	9.00	37.60
4.0	7.36	32.72	9.20	40.90
4.5	8.32	35.11	10.00	42.20
5.0	8.75	40.22	10.20	46.90
5.5	9.48	44.07	10.80	50.20
6.0	10.00	47.25	11.20	52.90
6.5	10.53	51.03	11.60	56.20
7.0	11.03	56.62	12.00	61.60
7.5	11.51	60.26	12.40	64.90
8.0	11.99	63.95	12.80	68.30
8.5	12.45	66.20	13.20	70.20
9.0	12.90	70.39	13.60	74.20
9.5	13.35	72.66	14.00	76.20
10.0	15.13	74.90	15.80	78.20
10.5	16.15	78.36	16.80	81.50
11.0	16.98	83.84	17.60	86.90
11.5	18.00	87.28	18.60	90.20
12.0	19.01	90.71	19.60	93.50
12.5	19.64	94.13	20.20	96.80
13.0	20.07	97.05	20.60	99.60
13.5	20.50	100.35	21.00	102.80
14.0	21.12	104.23	21.60	106.60
14.5	21.74	107.52	22.20	109.80
15.0	22.36	109.33	22.80	111.50
15.5	22.78	112.81	23.20	114.90
16.0	23.00	114.21	23.40	116.20
16.5	23.42	117.57	23.80	119.50

depth (meter)	correct P-time (milliseconds)	correct S <sub>H</sub> -time (milliseconds)	sperimental P-time (milliseconds)	sperimental S <sub>H</sub> -time (milliseconds)
17.0	23.63	119.65	24.00	121.50
17.5	24.05	125.08	24.40	126.90
18.0	24.46	126.46	24.80	128.20
18.5	24.68	130.50	25.00	132.20
19.0	24.89	132.56	25.20	134.20
19.5	25.30	135.90	25.60	137.50
20.0	25.51	139.24	25.80	140.80
20.5	25.73	141.99	26.00	143.50
21.0	26.33	144.04	26.60	145.50
21.5	26.54	145.39	26.80	146.80
22.0	26.75	149.42	27.00	150.80
22.5	27.16	152.15	27.40	153.50
23.0	27.57	154.19	27.80	155.50
23.5	27.97	156.23	28.20	157.50
24.0	28.18	158.96	28.40	160.20
24.5	28.59	161.59	28.80	162.80
25.0	28.99	163.03	29.20	164.20
25.5	29.40	165.66	29.60	166.80
26.0	29.60	167.09	29.80	168.20
26.5	29.81	169.12	30.00	170.20
27.0	30.02	171.74	30.20	172.80
27.5	30.42	173.77	30.60	174.80
28.0	30.62	175.20	30.80	176.20
28.5	31.03	177.22	31.20	178.20
29.0	31.23	179.84	31.40	180.80
29.5	31.64	181.86	31.80	182.80
30.0	31.84	183.29	32.00	184.20
30.5	32.05	183.91	32.20	184.80
31.0	32.25	185.93	32.40	186.80
31.5	32.65	187.95	32.80	188.80
32.0	32.86	189.97	33.00	190.80
32.5	33.06	191.39	33.20	192.20
33.0	33.46	193.40	33.60	194.20
33.5	33.67	195.42	33.80	196.20
34.0	34.07	196.74	34.20	197.50
34.5	34.27	198.75	34.40	199.50
35.0	34.47	200.07	34.60	200.80

Di seguito si riporta la tabella con le velocità differenziali ( $VS_{diff}$ ) e le velocità delle onde S alle varie profondità ( $VS_{depth}$ )

Prof. m da p.c.	T.differenziale (milliseconds)	$VS_{diff}$ m/s	$VS_{depth}$ m/s	Prof. m da p.c.	T.differenziale (milliseconds)	$VS_{diff}$ m/s	$VS_{depth}$ m/s
0.0	0.0	0.0	0.0	18.0	1.4	362	142
1.0	4.7	212	212	18.5	4.0	124	142
1.5	4.6	108	160	19.0	2.1	242	143
2.0	3.7	134	153	19.5	3.3	150	143
2.5	5.0	101	138	20.0	3.3	150	144
3.0	4.3	117	134	20.5	2.7	182	144
3.5	6.2	81	123	21.0	2.0	244	146
4.0	4.2	120	122	21.5	1.4	369	148
4.5	2.4	209	128	22.0	4.0	124	147
5.0	5.1	98	124	22.5	2.7	183	148
5.5	3.9	130	125	23.0	2.0	245	149
6.0	3.2	157	126	23.5	2.0	245	150
6.5	3.8	132	127	24.0	2.7	183	151
7.0	5.6	89	124	24.5	2.6	190	152
7.5	3.6	137	124	25.0	1.4	348	153
8.0	3.7	135	125	25.5	2.6	190	154
8.5	2.2	223	128	26.0	1.4	349	156
9.0	4.2	119	128	26.5	2.0	247	157
9.5	2.3	220	131	27.0	2.6	191	157
10.0	2.2	223	134	27.5	2.0	247	158
10.5	3.5	144	134	28.0	1.4	350	160
11.0	5.5	91	131	28.5	2.0	247	161
11.5	3.4	145	132	29.0	2.6	191	161
12.0	3.4	146	132	29.5	2.0	247	162
12.5	3.4	146	133	30.0	1.4	351	164
13.0	2.9	171	134	30.5	0.6	798	166
13.5	3.3	151	135	31.0	2.0	248	167
14.0	3.9	129	134	31.5	2.0	248	168
14.5	3.3	152	135	32.0	2.0	248	168
15.0	1.8	276	137	32.5	1.4	352	170
15.5	3.5	144	137	33.0	2.0	248	171
16.0	1.4	356	140	33.5	2.0	248	171
16.5	3.4	149	140	34.0	1.3	379	173
17.0	2.1	241	142	34.5	2.0	248	174
17.5	5.4	92	140	35.0	1.3	380	175

Il carotaggio sismico down-hole ha permesso di definire i parametri meccanici dei litotipi in merito al comportamento registrato per le onde di volume P e per le onde polarizzate  $S_H$ .

La tabella seguente mostra i valori dei moduli elasto-dinamici calcolati per i tratti omogenei.

Profondità m (da - a)		Spessore m	Densità ( $\text{kN/m}^3$ )	$V_p$ m/s	$V_{SH}$ m/s	poisson	taglio dinamico ( $\text{kN/m}^2$ )	young ( $\text{kN/m}^2$ )	bulk ( $\text{kN/m}^2$ )
0.0	11.0	11.0	18.5	637	129	0.48	3.14E+04	9.28E+04	7.23E+05
11.0	20.0	9.0	19.0	1083	165	0.49	5.27E+04	1.57E+05	2.20E+06
20.0	28.0	8.0	19.2	1517	219	0.49	9.39E+04	2.80E+05	4.38E+06
28.0	35.0	7.0	20.0	1832	284	0.49	1.64E+05	4.89E+05	6.62E+06

Calcolo del  $V_{SH}$  riferito agli spessori dei singoli strati individuati dall'interpretazione della prova Down-Hole e valore di VS riferito alla profondità cumulata (depth).

Spessore m	$V_{SH}$ m/s	depth m	$VS_{depth}$
11.0	129	11	129
9.0	165	20	143
8.0	219	28	159
7.0	284	35	174

Calcolo del  $V_{s30}$  nei primi 30 metri di suolo (**tratto 0-30m**)

$$\text{valore } V_{s30} = 164 \text{ m/s}$$

il carotaggio sismico down-hole evidenzia che l'area in esame può essere collocata, secondo la normativa vigente, in **classe D**.

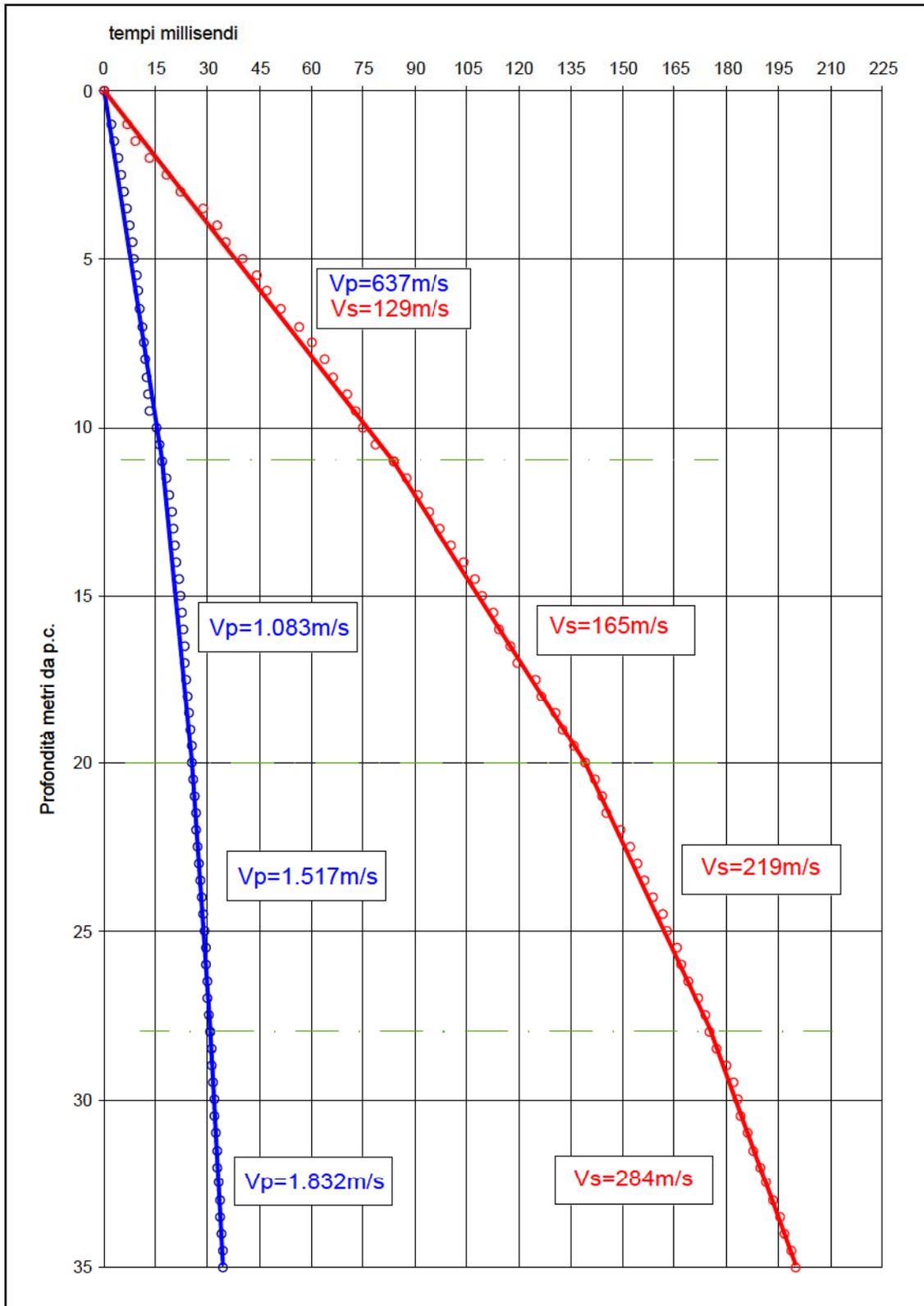


Figura 6.2.6 – Andamento delle dromocrone per la prova down-hole eseguita nel Sondaggio S9.  $V_p$  e  $V_s$  rappresentano, rispettivamente, le velocità delle onde P e delle onde  $S_H$ , in metri al secondo, nei tratti con andamento omogeneo delle dromocrone.

## DH-S21-Valori sperimentali del carotaggio sismico down-hole

Di seguito si riporta la tabella con il valore dei tempi d'arrivo (in millisecondi) sperimentali e corretti sulla verticale, in funzione della profondità di indagine (in metri da piano campagna).

depth (meter)	correct P-time (milliseconds)	correct S <sub>H</sub> -time (milliseconds)	sperimental P-time (milliseconds)	sperimental S <sub>H</sub> -time (milliseconds)
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
1.0	1.61	5.38	5.10	17.00
1.5	2.33	8.05	5.20	18.00
2.0	2.94	10.54	5.30	19.00
2.5	3.46	13.44	5.40	21.00
3.0	3.89	17.68	5.50	25.00
3.5	4.25	20.50	5.60	27.00
4.0	4.56	24.80	5.70	31.00
4.5	4.83	28.29	5.80	34.00
5.0	5.06	31.73	5.90	37.00
5.5	5.27	35.12	6.00	40.00
6.0	6.44	37.57	7.20	42.00
6.5	6.72	40.86	7.40	45.00
7.0	6.89	43.20	7.50	47.00
7.5	7.06	47.35	7.60	51.00
8.0	7.30	49.63	7.80	53.00
8.5	7.54	52.81	8.00	56.00
9.0	7.78	55.02	8.20	58.00
9.5	7.91	57.21	8.30	60.00
10.0	8.05	59.39	8.40	62.00
10.5	8.46	63.46	8.80	66.00
11.0	8.39	66.57	8.70	69.00
11.5	8.81	69.67	9.10	72.00
12.0	9.12	72.76	9.40	75.00
12.5	9.33	73.90	9.60	76.00
13.0	9.45	77.95	9.70	80.00
13.5	9.57	81.51	9.80	83.50
14.0	9.68	83.11	9.90	85.00
14.5	9.79	86.17	10.00	88.00
15.0	9.90	89.43	10.10	91.20
15.5	10.01	92.88	10.20	94.60
16.0	10.12	95.34	10.30	97.00

depth (meter)	correct P-time (milliseconds)	correct S <sub>H</sub> -time (milliseconds)	sperimental P-time (milliseconds)	sperimental S <sub>H</sub> -time (milliseconds)
16.5	10.23	98.39	10.40	100.00
17.0	10.34	101.43	10.50	103.00
17.5	10.45	103.49	10.60	105.00
18.0	10.85	106.04	11.00	107.50
18.5	11.15	108.58	11.30	110.00
19.0	11.56	112.60	11.70	114.00
19.5	11.86	115.64	12.00	117.00
20.0	12.07	118.67	12.20	120.00
20.5	12.37	121.70	12.50	123.00
21.0	12.87	123.74	13.00	125.00
21.5	13.27	126.57	13.40	127.80
22.0	13.67	127.82	13.80	129.00
22.5	13.98	129.85	14.10	131.00
23.0	14.08	131.88	14.20	133.00
23.5	14.38	135.90	14.50	137.00
24.0	14.78	137.93	14.90	139.00
24.5	15.19	139.95	15.30	141.00
25.0	15.29	141.78	15.40	142.80
25.5	15.69	143.01	15.80	144.00
26.0	16.09	146.03	16.20	147.00
26.5	16.59	148.55	16.70	149.50
27.0	16.60	151.67	16.70	152.60
27.5	16.80	156.57	16.90	157.50
28.0	17.20	159.09	17.30	160.00
28.5	17.30	160.12	17.40	161.00
29.0	17.51	161.64	17.60	162.50
29.5	17.71	165.15	17.80	166.00
30.0	17.91	167.17	18.00	168.00
30.5	18.11	169.18	18.20	170.00
31.0	18.21	170.20	18.30	171.00
31.5	18.42	171.72	18.50	172.50
32.0	18.72	173.24	18.80	174.00
32.5	18.92	174.66	19.00	175.40
33.0	19.12	176.07	19.20	176.80
33.5	19.42	177.29	19.50	178.00
34.0	19.72	178.71	19.80	179.40
34.5	19.92	180.32	20.00	181.00
35.0	20.33	182.33	20.40	183.00

Di seguito si riporta la tabella con le velocità differenziali ( $VS_{diff}$ ) e le velocità delle onde S alle varie profondità ( $VS_{depth}$ )

Prof. m da p.c.	T.differenziale (milliseconds)	$VS_{diff}$ m/s	$VS_{depth}$ m/s	Prof. m da p.c.	T.differenziale (milliseconds)	$VS_{diff}$ m/s	$VS_{depth}$ m/s
0.0	0.0	0.0	0.0	18.0	2.5	196	170
1.0	5.4	186	186	18.5	2.5	197	170
1.5	2.7	187	186	19.0	4.0	124	169
2.0	2.5	201	190	19.5	3.0	165	169
2.5	2.9	172	186	20.0	3.0	165	169
3.0	4.2	118	170	20.5	3.0	165	168
3.5	2.8	177	171	21.0	2.0	245	170
4.0	4.3	116	161	21.5	2.8	177	170
4.5	3.5	143	159	22.0	1.2	402	172
5.0	3.4	145	158	22.5	2.0	246	173
5.5	3.4	148	157	23.0	2.0	246	174
6.0	2.5	204	160	23.5	4.0	125	173
6.5	3.3	152	159	24.0	2.0	246	174
7.0	2.3	214	162	24.5	2.0	247	175
7.5	4.2	120	158	25.0	1.8	274	176
8.0	2.3	220	161	25.5	1.2	406	178
8.5	3.2	157	161	26.0	3.0	166	178
9.0	2.2	226	164	26.5	2.5	198	178
9.5	2.2	228	166	27.0	3.1	160	178
10.0	2.2	230	168	27.5	4.9	102	176
10.5	4.1	123	165	28.0	2.5	199	176
11.0	3.1	161	165	28.5	1.0	487	178
11.5	3.1	161	165	29.0	1.5	329	179
12.0	3.1	162	165	29.5	3.0	166	179
12.5	1.1	438	169	30.0	1.5	329	181
13.0	4.0	123	167	30.5	2.0	248	181
13.5	3.6	140	166	31.0	2.0	248	182
14.0	1.6	312	168	31.5	1.5	329	183
14.5	3.1	163	168	32.0	1.5	330	185
15.0	3.3	154	168	32.5	1.4	353	186
15.5	3.4	145	167	33.0	1.4	353	187
16.0	2.5	203	168	33.5	1.2	411	189
16.5	3.0	164	168	34.0	1.4	353	190
17.0	3.0	164	168	34.5	1.6	310	191
17.5	2.1	243	169	35.0	2.0	249	192

Il carotaggio sismico down-hole ha permesso di definire i parametri meccanici dei litotipi in merito al comportamento registrato per le onde di volume P e per le onde polarizzate S<sub>H</sub>.

La tabella seguente mostra i valori dei moduli elasto-dinamici calcolati per i tratti omogenei.

Profondità m (da - a)		Spessore m	Densità (kN/m <sup>3</sup> )	V <sub>p</sub> m/s	V <sub>SH</sub> m/s	poisson	taglio dinamico (kN/m <sup>2</sup> )	young (kN/m <sup>2</sup> )	bulk (kN/m <sup>2</sup> )
0.0	15.0	15.0	18.5	1239	166	0.491	5.20E+04	1.55E+05	2.83E+06
15.0	29.0	14.0	19.5	1657	195	0.493	7.56E+04	2.26E+05	5.36E+06
29.0	35.0	6.0	20.0	2169	306	0.490	1.91E+05	5.69E+05	9.34E+06

Calcolo del V<sub>SH</sub> riferito agli spessori dei singoli strati individuati dall'interpretazione della prova Down-Hole e valore di VS riferito alla profondità cumulata (depth).

Spessore m	V <sub>SH</sub> m/s	depth m	VS <sub>depth</sub>
15.0	166	15	166
14.0	195	29	179
1.0	306	30	181

Calcolo del Vs<sub>30</sub> nei primi 30 metri di suolo (**tratto 0-30m**)

*valore Vs<sub>30</sub> = 182 m/s*

il carotaggio sismico down-hole evidenzia che l'area in esame può essere collocata, secondo la normativa vigente, in **classe C**.

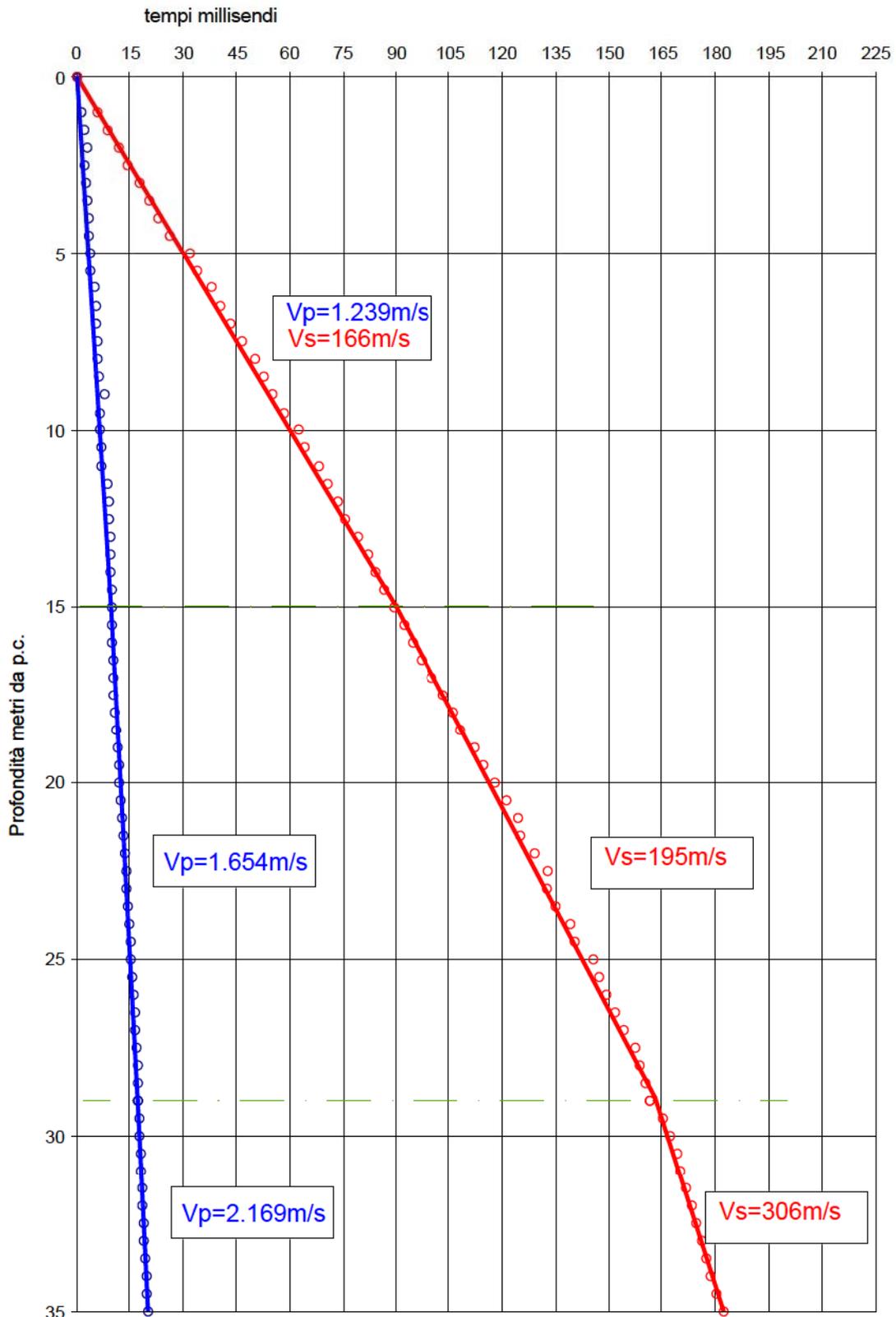


Figura 6.2.7 – Andamento delle dromocrone per la prova down-hole eseguita nel Sondaggio S21.  $V_p$  e  $V_s$  rappresentano, rispettivamente, le velocità delle onde P e delle onde SH, in metri al secondo, nei tratti con andamento omogeneo delle dromocrone.

## DH-S14-Valori sperimentali del carotaggio sismico down-hole

Di seguito si riporta la tabella con il valore dei tempi d'arrivo (in millisecondi) sperimentali e corretti sulla verticale, in funzione della profondità di indagine (in metri da piano campagna).

depth (meter)	correct P-time (milliseconds)	correct S <sub>H</sub> -time (milliseconds)	sperimental P-time (milliseconds)	sperimental S <sub>H</sub> -time (milliseconds)
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.0	0.63	4.74	2.00	15.00
1.5	1.34	7.60	3.00	17.00
2.0	2.22	11.09	4.00	20.00
2.5	3.20	14.66	5.00	22.90
3.0	3.25	19.02	4.60	26.90
3.5	3.64	22.17	4.80	29.20
4.0	4.16	25.60	5.20	32.00
4.5	4.83	28.29	5.80	34.00
5.0	5.32	31.73	6.20	37.00
5.5	5.44	35.99	6.20	41.00
6.0	5.72	40.25	6.40	45.00
6.5	6.17	42.67	6.80	47.00
7.0	6.43	45.96	7.00	50.00
7.5	6.69	48.28	7.20	52.00
8.0	7.12	50.56	7.60	54.00
8.5	7.54	53.28	8.00	56.50
9.0	7.97	58.82	8.40	62.00
9.5	8.20	61.03	8.60	64.00
10.0	8.81	63.12	9.20	65.90
10.5	9.23	67.11	9.60	69.80
11.0	9.84	69.95	10.20	72.50
11.5	10.06	72.57	10.40	75.00
12.0	10.28	74.70	10.60	77.00
12.5	10.50	77.79	10.80	80.00
13.0	10.91	81.85	11.20	84.00
13.5	11.13	85.42	11.40	87.50
14.0	11.34	87.51	11.60	89.50
14.5	11.56	89.11	11.80	91.00
15.0	11.96	92.17	12.20	94.00
15.5	12.57	96.21	12.80	98.00
16.0	12.58	99.27	12.80	101.00
16.5	12.79	101.24	13.00	102.90

depth (meter)	correct P-time (milliseconds)	correct S <sub>H</sub> -time (milliseconds)	sperimental P-time (milliseconds)	sperimental S <sub>H</sub> -time (milliseconds)
17.0	13.20	104.39	13.40	106.00
17.5	13.60	107.43	13.80	109.00
18.0	14.20	109.00	14.40	110.50
18.5	14.61	112.53	14.80	114.00
19.0	14.82	114.58	15.00	116.00
19.5	15.22	119.59	15.40	121.00
20.0	15.43	124.21	15.60	125.60
20.5	15.63	126.65	15.80	128.00
21.0	15.84	129.68	16.00	131.00
21.5	16.04	132.71	16.20	134.00
22.0	16.45	134.75	16.60	136.00
22.5	16.85	136.79	17.00	138.00
23.0	17.25	138.82	17.40	140.00
23.5	17.66	140.86	17.80	142.00
24.0	17.86	141.90	18.00	143.00
24.5	18.46	144.92	18.60	146.00
25.0	18.67	145.95	18.80	147.00
25.5	18.87	148.97	19.00	150.00
26.0	19.47	151.99	19.60	153.00
26.5	19.48	153.22	19.60	154.20
27.0	19.68	156.24	19.80	157.20
27.5	19.88	158.06	20.00	159.00
28.0	20.28	160.08	20.40	161.00
28.5	20.49	162.10	20.60	163.00
29.0	20.69	163.13	20.80	164.00
29.5	20.89	164.15	21.00	165.00
30.0	21.09	165.18	21.20	166.00
30.5	21.30	167.19	21.40	168.00
31.0	21.70	169.21	21.80	170.00
31.5	21.90	170.23	22.00	171.00
32.0	22.10	174.24	22.20	175.00
32.5	22.50	175.25	22.60	176.00
33.0	22.71	177.27	22.80	178.00
33.5	22.91	179.28	23.00	180.00
34.0	23.11	180.80	23.20	181.50
34.5	23.51	181.32	23.60	182.00
35.0	23.71	182.33	23.80	183.00

Di seguito si riporta la tabella con le velocità differenziali ( $VS_{diff}$ ) e le velocità delle onde S alle varie profondità ( $VS_{depth}$ )

Prof. m da p.c.	T.differenziale (milliseconds)	$VS_{diff}$ m/s	$VS_{depth}$ m/s	Prof. m da p.c.	T.differenziale (milliseconds)	$VS_{diff}$ m/s	$VS_{depth}$ m/s
0.0	0.0	0.0	0.0	18.0	1.6	320	165
1.0	4.7	211	211	18.5	3.5	142	164
1.5	2.9	175	197	19.0	2.1	244	166
2.0	3.5	143	180	19.5	5.0	100	163
2.5	3.6	140	171	20.0	4.6	108	161
3.0	4.4	115	158	20.5	2.4	205	162
3.5	3.1	159	158	21.0	3.0	165	162
4.0	3.4	146	156	21.5	3.0	165	162
4.5	2.7	186	159	22.0	2.0	245	163
5.0	3.4	145	158	22.5	2.0	246	164
5.5	4.3	117	153	23.0	2.0	246	166
6.0	4.3	117	149	23.5	2.0	246	167
6.5	2.4	206	152	24.0	1.0	481	169
7.0	3.3	152	152	24.5	3.0	165	169
7.5	2.3	215	155	25.0	1.0	483	171
8.0	2.3	219	158	25.5	3.0	166	171
8.5	2.7	184	160	26.0	3.0	166	171
9.0	5.5	90	153	26.5	1.2	407	173
9.5	2.2	226	156	27.0	3.0	166	173
10.0	2.1	239	158	27.5	1.8	274	174
10.5	4.0	125	156	28.0	2.0	247	175
11.0	2.8	177	157	28.5	2.0	247	176
11.5	2.6	190	158	29.0	1.0	488	178
12.0	2.1	235	161	29.5	1.0	488	180
12.5	3.1	162	161	30.0	1.0	489	182
13.0	4.1	123	159	30.5	2.0	248	182
13.5	3.6	140	158	31.0	2.0	248	183
14.0	2.1	238	160	31.5	1.0	490	185
14.5	1.6	313	163	32.0	4.0	125	184
15.0	3.1	163	163	32.5	1.0	491	185
15.5	4.0	124	161	33.0	2.0	248	186
16.0	3.1	164	161	33.5	2.0	248	187
16.5	2.0	254	163	34.0	1.5	330	188
17.0	3.1	159	163	34.5	0.5	965	190
17.5	3.0	164	163	35.0	1.0	492	192

Il carotaggio sismico down-hole ha permesso di definire i parametri meccanici dei litotipi in merito al comportamento registrato per le onde di volume P e per le onde polarizzate  $S_H$ .

La tabella seguente mostra i valori dei moduli elasto-dinamici calcolati per i tratti omogenei.

Profondità m (da - a)		Spessore m	Densità ( $\text{kN/m}^3$ )	$V_p$ m/s	$V_{SH}$ m/s	poisson	taglio dinamico ( $\text{kN/m}^2$ )	young ( $\text{kN/m}^2$ )	bulk ( $\text{kN/m}^2$ )
0.0	2.0	2.0	17.5	994	188	0.481	6.30E+04	1.87E+05	1.68E+06
2.0	11.5	9.5	18.0	1274	155	0.492	4.41E+04	1.32E+05	2.92E+06
11.5	20.0	8.5	18.5	1518	171	0.494	5.51E+04	1.65E+05	4.27E+06
20.0	29.0	9.0	19.2	1595	230	0.489	1.04E+05	3.08E+05	4.84E+06
29.0	35.0	6.0	19.5	1940	280	0.489	1.56E+05	4.64E+05	7.27E+06

Calcolo del  $V_{SH}$  riferito agli spessori dei singoli strati individuati dall'interpretazione della prova Down-Hole e valore di VS riferito alla profondità cumulata (depth).

Spessore m	$V_{SH}$ m/s	depth m	$VS_{\text{depth}}$
2.0	188	2	188
9.5	155	12	160
8.5	171	20	164
9.0	230	29	180
6.0	280	35	192

Calcolo del  $V_{S_{30}}$  nei primi 30 metri di suolo (tratto 0-30m)

$$\text{valore } V_{S_{30}} = 183 \text{ m/s}$$

il carotaggio sismico down-hole evidenzia che l'area in esame può essere collocata, secondo la normativa vigente, in **classe C**.

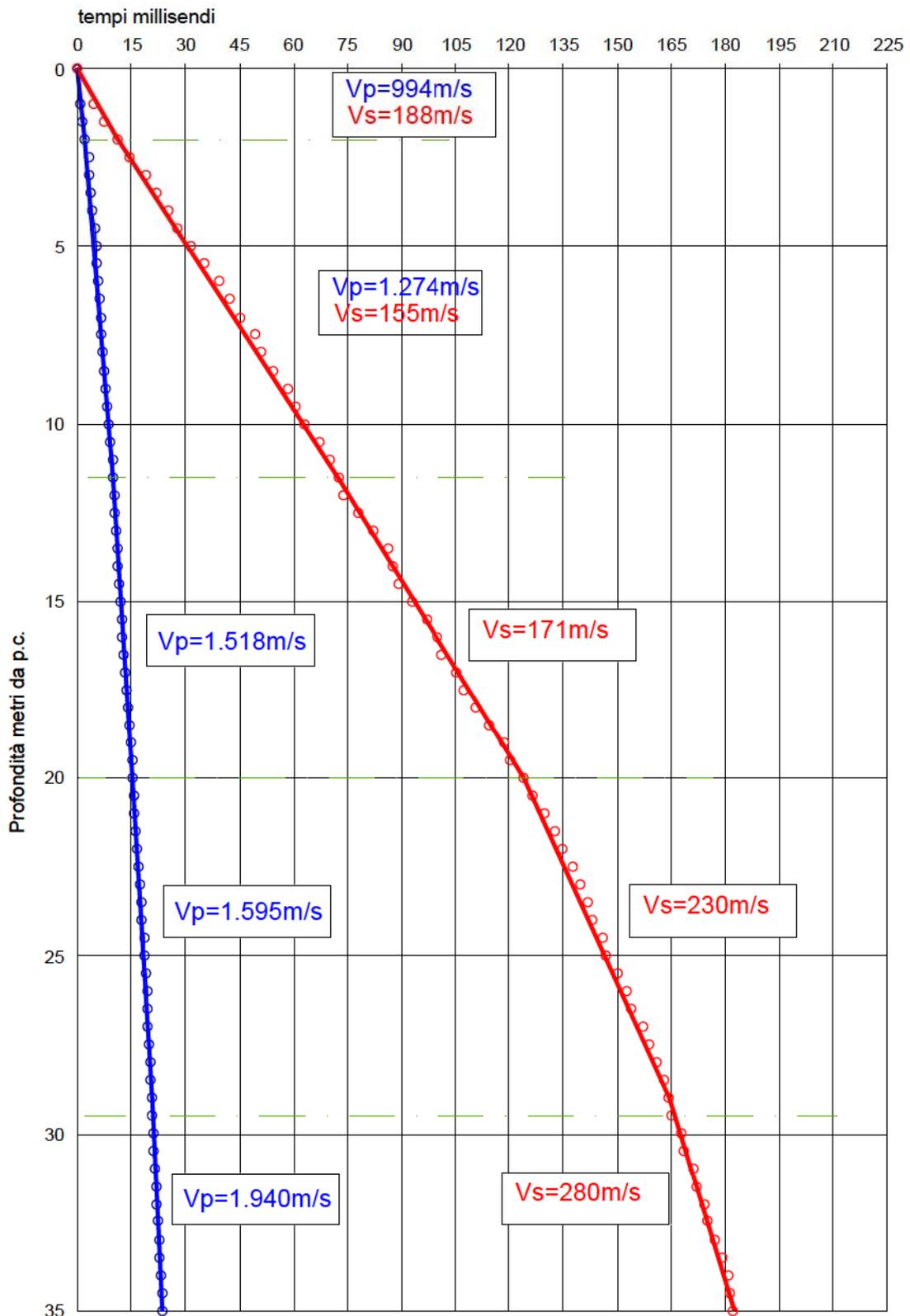


Figura 6.2.8 – Andamento delle dromocrone per la prova down-hole nel Sondaggio S14. Vp e Vs rappresentano, rispettivamente, le velocità delle onde P e delle onde SH, in metri al secondo, nei tratti con andamento omogeneo delle dromocrone.

## DH-S2-Valori sperimentali del carotaggio sismico down-hole

Di seguito si riporta la tabella con il valore dei tempi d'arrivo (in millisecondi) sperimentali e corretti sulla verticale, in funzione della profondità di indagine (in metri da piano campagna).

depth (meter)	correct P-time (milliseconds)	correct S <sub>H</sub> -time (milliseconds)	sperimental P-time (milliseconds)	sperimental S <sub>H</sub> -time (milliseconds)
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.0	1.02	2.33	6.2	14.20
1.5	2.18	6.20	6.9	19.60
2.0	3.22	10.24	7.2	22.90
2.5	4.33	15.53	7.8	28.00
3.0	5.19	19.21	8.1	30.00
3.5	6.15	24.75	8.7	35.00
4.0	6.38	28.09	8.4	37.00
4.5	6.80	31.20	8.5	39.00
5.0	7.16	34.11	8.6	41.00
5.5	7.80	36.87	9.1	43.00
6.0	8.16	40.38	9.3	46.00
6.5	8.41	42.93	9.4	48.00
7.0	8.72	46.49	9.6	51.20
7.5	8.92	48.71	9.7	53.00
8.0	9.28	51.99	10	56.00
8.5	9.55	55.24	10.2	59.00
9.0	9.62	57.71	10.2	61.20
9.5	9.96	59.77	10.5	63.00
10.0	10.30	62.94	10.8	66.00
10.5	10.54	64.65	11	67.50
11.0	10.77	66.73	11.2	69.40
11.5	11.00	68.79	11.4	71.30
12.0	11.61	72.76	12	75.20
12.5	11.93	76.06	12.3	78.40
13.0	12.15	78.47	12.5	80.70
13.5	12.37	81.26	12.7	83.40
14.0	12.59	83.95	12.9	86.00
14.5	12.91	87.02	13.2	89.00
15.0	13.32	89.60	13.6	91.50
15.5	13.53	94.14	13.8	96.00
16.0	13.65	99.06	13.9	100.90

depth (meter)	correct P-time (milliseconds)	correct S <sub>H</sub> -time (milliseconds)	sperimental P-time (milliseconds)	sperimental S <sub>H</sub> -time (milliseconds)
16.5	13.96	102.42	14.2	104.20
17.0	14.07	104.49	14.3	106.20
17.5	14.38	107.24	14.6	108.90
18.0	14.49	109.31	14.7	110.90
18.5	14.89	111.96	15.1	113.50
19.0	15.00	115.39	15.2	116.90
19.5	15.41	117.45	15.6	118.90
20.0	15.81	121.47	16	122.90
20.5	15.92	125.50	16.1	126.90
21.0	16.43	127.54	16.6	128.90
21.5	16.63	130.18	16.8	131.50
22.0	17.03	132.22	17.2	133.50
22.5	17.34	134.95	17.5	136.20
23.0	17.54	137.58	17.7	138.80
23.5	18.05	140.31	18.2	141.50
24.0	18.35	142.34	18.5	143.50
24.5	18.65	144.38	18.8	145.50
25.0	18.76	147.10	18.9	148.20
25.5	19.46	148.44	19.6	149.50
26.0	19.86	149.77	20	150.80
26.5	20.07	151.99	20.2	153.00
27.0	20.17	154.02	20.3	155.00
27.5	20.28	155.84	20.4	156.80
28.0	20.48	157.07	20.6	158.00
28.5	20.88	158.99	21	159.90
29.0	21.28	161.01	21.4	161.90
29.5	21.68	162.93	21.8	163.80
30.0	21.99	164.75	22.1	165.60
30.5	22.19	166.57	22.3	167.40
31.0	22.39	168.69	22.5	169.50
31.5	22.59	171.10	22.7	171.90
32.0	22.90	173.51	23	174.30
32.5	23.10	175.43	23.2	176.20
33.0	23.40	176.75	23.5	177.50
33.5	23.70	178.07	23.8	178.80
34.0	23.90	180.08	24	180.80
34.5	24.11	182.09	24.2	182.80
35.0	24.51	184.11	24.6	184.80

Di seguito si riporta la tabella con le velocità differenziali ( $VS_{diff}$ ) e le velocità delle onde S alle varie profondità ( $VS_{depth}$ )

Prof. m da p.c.	T.differenziale (milliseconds)	$VS_{diff}$ m/s	$VS_{depth}$ m/s	Prof. m da p.c.	T.differenziale (milliseconds)	$VS_{diff}$ m/s	$VS_{depth}$ m/s
0.0	0.0	0.0	0.0	18.0	2.7	189	161
1.0	2.3	428	214	18.5	3.4	145	160
1.5	3.9	129	161	19.0	2.1	244	162
2.0	4.0	124	146	19.5	4.0	124	161
2.5	5.3	95	129	20.0	4.0	124	159
3.0	3.7	136	130	20.5	2.0	244	161
3.5	5.5	90	121	21.0	2.6	190	161
4.0	3.3	150	125	21.5	2.0	245	163
4.5	3.1	161	128	22.0	2.7	183	163
5.0	2.9	172	132	22.5	2.6	190	164
5.5	2.8	181	136	23.0	2.7	183	164
6.0	3.5	142	136	23.5	2.0	246	165
6.5	2.5	196	140	24.0	2.0	246	166
7.0	3.6	141	140	24.5	2.7	183	167
7.5	2.2	225	144	25.0	1.3	375	168
8.0	3.3	152	144	25.5	1.3	375	170
8.5	3.2	154	145	26.0	2.2	225	171
9.0	2.5	203	147	26.5	2.0	247	172
9.5	2.1	243	151	27.0	1.8	274	173
10.0	3.2	158	151	27.5	1.2	407	175
10.5	1.7	291	155	28.0	1.9	260	176
11.0	2.1	241	157	28.5	2.0	247	177
11.5	2.1	243	160	29.0	1.9	260	178
12.0	4.0	126	158	29.5	1.8	275	179
12.5	3.3	152	158	30.0	1.8	275	180
13.0	2.4	207	159	30.5	2.1	236	181
13.5	2.8	179	160	31.0	2.4	207	181
14.0	2.7	186	161	31.5	2.4	207	182
14.5	3.1	163	161	32.0	1.9	261	182
15.0	2.6	194	162	32.5	1.3	379	184
15.5	4.5	110	159	33.0	1.3	380	185
16.0	4.9	102	156	33.5	2.0	248	186
16.5	3.4	149	156	34.0	2.0	248	187
17.0	2.1	241	158	34.5	2.0	248	187
17.5	2.8	181	159	35.0	2.0	248	188

Il carotaggio sismico down-hole ha permesso di definire i parametri meccanici dei litotipi in merito al comportamento registrato per le onde di volume P e per le onde polarizzate S<sub>H</sub>.

La tabella seguente mostra i valori dei moduli elasto-dinamici calcolati per i tratti omogenei.

Profondità m (da - a)		Spessore m	Densità (kN/m <sup>3</sup> )	V <sub>p</sub> m/s	V <sub>SH</sub> m/s	poisson	taglio dinamico (kN/m <sup>2</sup> )	young (kN/m <sup>2</sup> )	bulk (kN/m <sup>2</sup> )
0.0	2.5	2.5	17.5	473	124	0.463	2.74E+04	8.03E+04	3.63E+05
2.5	15.0	12.5	18.0	1655	177	0.494	5.75E+04	1.72E+05	4.95E+06
15.0	27.0	12.0	19.0	1635	193	0.493	7.21E+04	2.15E+05	5.08E+06
27.0	32.0	5.0	19.5	1710	250	0.489	1.24E+05	3.70E+05	5.65E+06
32.0	35.0	3.0	20.0	1867	273	0.489	1.52E+05	4.53E+05	6.90E+06

Calcolo del V<sub>SH</sub> riferito agli spessori dei singoli strati individuati dall'interpretazione della prova Down-Hole e valore di VS riferito alla profondità cumulata (depth).

Spessore m	V <sub>SH</sub> m/s	depth m	VS <sub>depth</sub>
2.5	124	2.5	124
12.5	177	15	165
12.0	193	27	177
5.0	250	32	185
3.0	273	35	190

Calcolo del Vs<sub>30</sub> nei primi 30 metri di suolo (**tratto 0-30m**)

**valore Vs<sub>30</sub> = 182 m/s**

il carotaggio sismico down-hole evidenzia che l'area in esame può essere collocata, secondo la normativa vigente, in **classe C**.

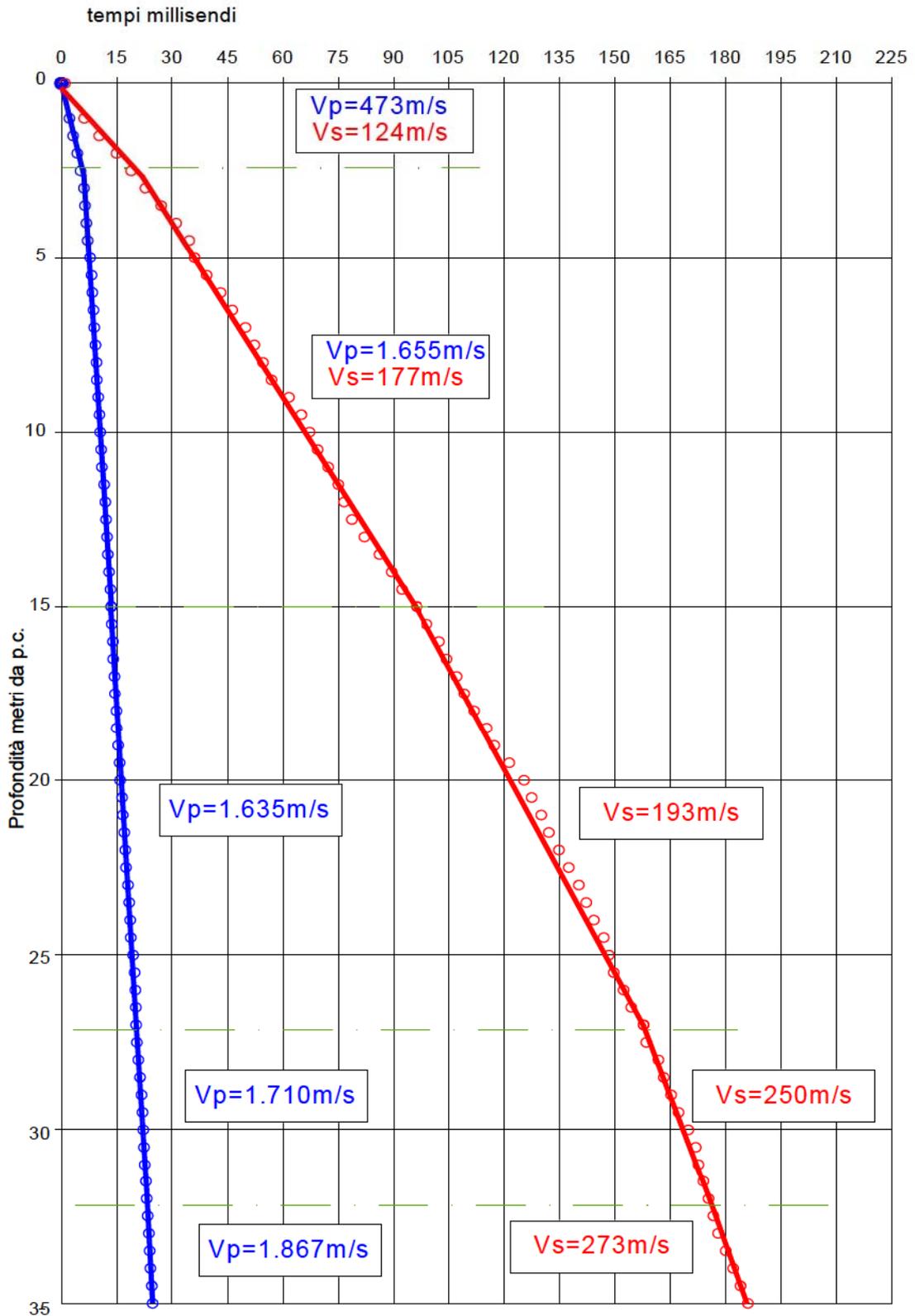


Figura 6.2.9 – Andamento delle dromocrone per la prova down-hole eseguita nel Sondaggio S2. Vp e Vs rappresentano, rispettivamente, le velocità delle onde P e delle onde SH, in metri al secondo, nei tratti con andamento omogeneo delle dromocrone.

## DH-S17-Valori sperimentali del carotaggio sismico down-hole

Di seguito si riporta la tabella con il valore dei tempi d'arrivo (in millisecondi) sperimentali e corretti sulla verticale, in funzione della profondità di indagine (in metri da piano campagna).

depth (meter)	correct P-time (milliseconds)	correct S <sub>H</sub> -time (milliseconds)	sperimental P- time (milliseconds)	sperimental S <sub>H</sub> -time (milliseconds)
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.0	1.61	7.02	5.1	24.9
1.5	2.50	11.14	5.6	27.6
2.0	3.38	15.31	6.1	30.6
2.5	4.16	19.59	6.5	32.6
3.0	5.09	23.05	7.2	35.6
3.5	6.07	27.03	8.0	38.2
4.0	6.72	30.56	8.4	42.2
4.5	7.32	35.11	8.8	46.9
5.0	7.72	40.22	9.0	49.6
5.5	7.90	43.54	9.0	51.6
6.0	8.23	46.15	9.2	54.2
6.5	8.53	49.21	9.4	57.6
7.0	8.82	52.94	9.6	61.8
7.5	9.47	57.38	10.2	65.4
8.0	9.93	61.24	10.6	67.8
8.5	10.56	63.93	11.2	69.5
9.0	11.00	65.93	11.6	71.8
9.5	11.44	68.47	12.0	74.9
10.0	11.78	71.74	12.3	77.4
10.5	12.21	74.42	12.7	80.6
11.0	12.54	77.76	13.0	83.8
11.5	12.77	81.09	13.2	87
12.0	13.10	84.40	13.5	90.2
12.5	13.42	87.71	13.8	93.4
13.0	13.64	91.01	14.0	96.6
13.5	13.96	94.30	14.3	99.5
14.0	14.18	97.29	14.5	102.9
14.5	14.40	100.77	14.7	106.2
15.0	14.61	104.14	14.9	109.5
15.5	14.92	107.50	15.2	112.2

depth (meter)	correct P-time (milliseconds)	correct S <sub>H</sub> -time (milliseconds)	sperimental P- time (milliseconds)	sperimental S <sub>H</sub> -time (milliseconds)
16.0	15.23	110.28	15.5	114.9
16.5	15.45	113.05	15.7	118.2
17.0	15.76	116.40	16.0	119.5
17.5	15.97	117.78	16.2	123.5
18.0	16.57	121.82	16.8	126.9
18.5	16.78	125.26	17.0	128.9
19.0	16.99	127.32	17.2	131.5
19.5	17.30	129.97	17.5	133.5
20.0	17.70	132.02	17.9	135.5
20.5	17.81	134.07	18.0	138.2
21.0	18.22	136.81	18.4	140.2
21.5	18.52	138.85	18.7	142.8
22.0	18.73	141.49	18.9	145.5
22.5	18.93	144.22	19.1	148.2
23.0	19.24	146.96	19.4	150.2
23.5	19.64	148.99	19.8	152.8
24.0	19.85	151.62	20.0	155.5
24.5	20.15	154.35	20.3	158.2
25.0	20.45	157.07	20.6	160.8
25.5	20.66	159.70	20.8	162.2
26.0	20.86	161.13	21.0	164.8
26.5	21.07	163.75	21.2	166.8
27.0	21.27	165.78	21.4	168.2
27.5	21.47	167.21	21.6	170.2
28.0	21.68	169.23	21.8	170.8
28.5	21.88	169.86	22.0	172.8
29.0	22.08	171.88	22.2	174.2
29.5	22.38	173.31	22.5	176.8
30.0	22.59	175.92	22.7	179.5
30.5	22.89	178.64	23.0	182.2
31.0	23.19	181.35	23.3	184.8
31.5	23.39	183.97	23.5	186.2
32.0	23.60	185.39	23.7	188.2
32.5	23.80	187.40	23.9	189.5
33.0	24.00	188.72	24.1	191.5
33.5	24.20	190.74	24.3	193.5
34.0	24.50	192.75	24.6	195.5
34.5	24.81	194.77	24.9	197.5
35.0	25.01	196.78	25.1	199.5

Di seguito si riporta la tabella con le velocità differenziali ( $VS_{diff}$ ) e le velocità delle onde S alle varie profondità ( $VS_{depth}$ )

Prof. m da p.c.	T.differenziale (milliseconds)	$VS_{diff}$ m/s	$VS_{depth}$ m/s	Prof. m da p.c.	T.differenziale (milliseconds)	$VS_{diff}$ m/s	$VS_{depth}$ m/s
0.0	0.0	0.0	0.0	18.0	3.4	145	144
1.0	7.9	127	127	18.5	2.1	242	145
1.5	4.5	112	122	19.0	2.7	188	146
2.0	4.6	108	118	19.5	2.1	243	148
2.5	3.9	128	120	20.0	2.1	244	149
3.0	4.3	116	119	20.5	2.7	182	150
3.5	3.8	131	121	21.0	2.0	244	151
4.0	4.8	105	118	21.5	2.6	189	152
4.5	5.3	95	115	22.0	2.7	183	153
5.0	3.5	143	118	22.5	2.7	183	153
5.5	2.8	181	121	23.0	2.0	245	154
6.0	3.2	157	124	23.5	2.6	190	155
6.5	3.8	131	124	24.0	2.7	183	156
7.0	4.5	111	123	24.5	2.7	183	156
7.5	3.9	128	124	25.0	2.6	190	157
8.0	2.8	181	126	25.5	1.4	349	158
8.5	2.1	243	130	26.0	2.6	190	159
9.0	2.6	194	132	26.5	2.0	247	160
9.5	3.3	151	133	27.0	1.4	350	162
10.0	2.7	184	135	27.5	2.0	247	163
10.5	3.4	149	135	28.0	0.6	791	165
11.0	3.3	149	136	28.5	2.0	247	166
11.5	3.3	150	137	29.0	1.4	351	167
12.0	3.3	150	137	29.5	2.6	191	168
12.5	3.3	151	138	30.0	2.7	184	168
13.0	3.3	151	138	30.5	2.7	184	168
13.5	3.0	166	139	31.0	2.6	191	169
14.0	3.5	143	139	31.5	1.4	352	170
14.5	3.4	148	139	32.0	2.0	248	171
15.0	3.4	148	140	32.5	1.3	379	172
15.5	2.8	180	141	33.0	2.0	248	173
16.0	2.8	180	142	33.5	2.0	248	174
16.5	3.4	149	142	34.0	2.0	248	175
17.0	1.4	360	144	34.5	2.0	248	175
17.5	4.0	124	144	35.0	2.0	248	176

Il carotaggio sismico down-hole ha permesso di definire i parametri meccanici dei litotipi in merito al comportamento registrato per le onde di volume P e per le onde polarizzate  $S_H$ .

La tabella seguente mostra i valori dei moduli elasto-dinamici calcolati per i tratti omogenei.

Profondità m (da - a)		Spessore m	Densità ( $\text{kN/m}^3$ )	$V_p$ m/s	$V_{SH}$ m/s	poisson	taglio dinamico ( $\text{kN/m}^2$ )	young ( $\text{kN/m}^2$ )	bulk ( $\text{kN/m}^2$ )
0.0	3.0	3.0	17.5	581	117	0.479	2.44E+04	7.22E+04	5.70E+05
3.0	8.0	5.0	18.0	1260	130	0.495	3.10E+04	9.27E+04	2.87E+06
8.0	18.0	10.0	18.8	1704	158	0.496	4.78E+04	1.43E+05	5.50E+06
18.0	31.0	13.0	19.0	1974	223	0.494	9.63E+04	2.88E+05	7.42E+06
31.0	35.0	4.0	19.8	2172	260	0.493	1.36E+05	4.07E+05	9.34E+06

Calcolo del  $V_{SH}$  riferito agli spessori dei singoli strati individuati dall'interpretazione della prova Down-Hole e valore di VS riferito alla profondità cumulata (depth).

Spessore m	$V_{SH}$ m/s	depth m	$VS_{depth}$
3.0	117	3	117
5.0	130	8	125
10.0	158	18	141
13.0	223	31	167
4.0	260	35	174

Calcolo del  $V_{S30}$  nei primi 30 metri di suolo (tratto 0-30m)

**valore  $V_{S30} = 166 \text{ m/s}$**

il carotaggio sismico down-hole evidenzia che l'area in esame può essere collocata, secondo la normativa vigente, in **classe D**.

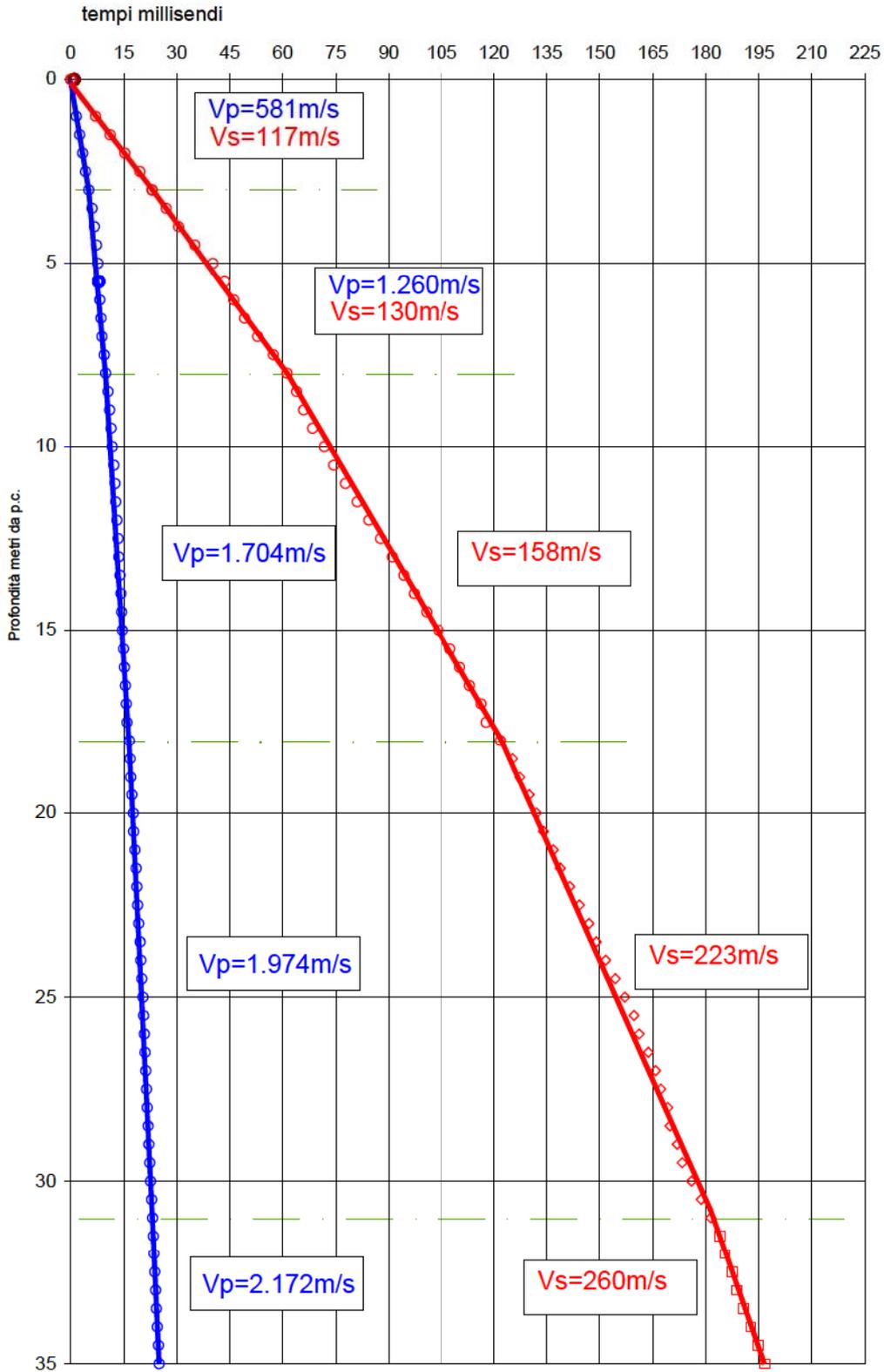


Figura 6.2.10 – Andamento delle dromocrone per la prova down-hole eseguiti nel Sondaggio S17. Vp e Vs rappresentano, rispettivamente, le velocità delle onde P e delle onde SH, in metri al secondo, nei tratti con andamento omogeneo delle dromocrone.

## DH-S1-Valori sperimentali del carotaggio sismico down-hole

Di seguito si riporta la tabella con il valore dei tempi d'arrivo (in millisecondi) sperimentali e corretti sulla verticale, in funzione della profondità di indagine (in metri da piano campagna).

depth (meter)	correct P-time (milliseconds)	correct S <sub>H</sub> -time (milliseconds)	sperimental P-time (milliseconds)	sperimental S <sub>H</sub> -time (milliseconds)
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.0	0.44	4.74	1.40	15.00
1.5	0.89	8.05	2.00	18.00
2.0	1.39	11.09	2.50	20.00
2.5	1.86	14.08	2.90	22.00
3.0	2.26	16.97	3.20	24.00
3.5	2.58	18.98	3.40	25.00
4.0	3.04	22.40	3.80	28.00
4.5	3.33	25.29	4.00	30.40
5.0	3.77	30.01	4.40	35.00
5.5	4.21	32.48	4.80	37.00
6.0	4.73	36.62	5.30	41.00
6.5	5.27	39.22	5.80	43.20
7.0	5.51	41.36	6.00	45.00
7.5	5.85	44.10	6.30	47.50
8.0	6.09	46.82	6.50	50.00
8.5	6.41	51.86	6.80	55.00
9.0	6.64	54.07	7.00	57.00
9.5	6.96	58.84	7.30	61.70
10.0	7.09	61.97	7.40	64.70
10.5	7.50	63.46	7.80	66.00
11.0	7.72	66.57	8.00	69.00
11.5	7.93	70.06	8.20	72.40
12.0	8.15	74.12	8.40	76.40
12.5	8.56	75.85	8.80	78.00
13.0	8.96	81.85	9.20	84.00
13.5	9.18	84.93	9.40	87.00
14.0	9.58	87.02	9.80	89.00
14.5	9.79	90.09	10.00	92.00
15.0	10.20	94.14	10.40	96.00
15.5	10.31	97.20	10.50	99.00
16.0	10.71	97.89	10.90	99.60

depth (meter)	correct P-time (milliseconds)	correct S <sub>H</sub> -time (milliseconds)	sperimental P-time (milliseconds)	sperimental S <sub>H</sub> -time (milliseconds)
16.5	11.12	99.17	11.30	100.80
17.0	11.42	100.45	11.60	102.00
17.5	11.83	101.03	12.00	102.50
18.0	12.03	102.58	12.20	104.00
18.5	12.34	105.13	12.50	106.50
19.0	12.84	107.67	13.00	109.00
19.5	13.05	110.70	13.20	112.00
20.0	13.45	112.74	13.60	114.00
20.5	13.95	114.78	14.10	116.00
21.0	14.06	116.81	14.20	118.00
21.5	14.56	120.83	14.70	122.00
22.0	14.86	124.35	15.00	125.50
22.5	15.36	126.38	15.50	127.50
23.0	15.67	128.41	15.80	129.50
23.5	15.77	130.44	15.90	131.50
24.0	16.07	132.97	16.20	134.00
24.5	16.38	135.49	16.50	136.50
25.0	16.58	137.02	16.70	138.00
25.5	16.88	142.02	17.00	143.00
26.0	16.99	143.05	17.10	144.00
26.5	17.39	145.07	17.50	146.00
27.0	17.59	148.09	17.70	149.00
27.5	17.79	149.12	17.90	150.00
28.0	18.39	150.14	18.50	151.00
28.5	18.60	153.15	18.70	154.00
29.0	19.00	155.17	19.10	156.00
29.5	19.20	159.18	19.30	160.00
30.0	19.40	161.20	19.50	162.00
30.5	19.61	163.21	19.70	164.00
31.0	20.01	165.23	20.10	166.00
31.5	20.21	168.24	20.30	169.00
32.0	20.51	170.25	20.60	171.00
32.5	20.81	172.27	20.90	173.00
33.0	20.91	173.78	21.00	174.50
33.5	21.22	174.80	21.30	175.50
34.0	21.42	176.31	21.50	177.00
34.5	21.62	177.33	21.70	178.00
35.0	22.02	179.34	22.10	180.00

Di seguito si riporta la tabella con le velocità differenziali ( $VS_{diff}$ ) e le velocità delle onde S alle varie profondità ( $VS_{depth}$ )

Prof. m da p.c.	T.differenziale (milliseconds)	$VS_{diff}$ m/s	$VS_{depth}$ m/s	Prof. m da p.c.	T.differenziale (milliseconds)	$VS_{diff}$ m/s	$VS_{depth}$ m/s
0.0	0.0	0.0	0.0	18.0	1.6	321	175
1.0	4.7	211	211	18.5	2.5	197	176
1.5	3.3	151	186	19.0	2.5	197	176
2.0	3.0	164	180	19.5	3.0	165	176
2.5	3.0	167	178	20.0	2.0	245	177
3.0	2.9	173	177	20.5	2.0	245	179
3.5	2.0	249	184	21.0	2.0	246	180
4.0	3.4	146	179	21.5	4.0	125	178
4.5	2.9	173	178	22.0	3.5	142	177
5.0	4.7	106	167	22.5	2.0	246	178
5.5	2.5	202	169	23.0	2.0	246	179
6.0	4.1	121	163	23.5	2.0	246	180
6.5	2.6	192	166	24.0	2.5	198	180
7.0	2.1	234	169	24.5	2.5	198	181
7.5	2.7	182	170	25.0	1.5	327	182
8.0	2.7	184	171	25.5	5.0	100	180
8.5	5.0	99	164	26.0	1.0	485	182
9.0	2.2	226	166	26.5	2.0	247	183
9.5	4.8	105	161	27.0	3.0	166	182
10.0	3.1	159	161	27.5	1.0	487	184
10.5	1.5	336	165	28.0	1.0	488	186
11.0	3.1	161	165	28.5	3.0	166	186
11.5	3.5	143	164	29.0	2.0	248	187
12.0	4.1	123	162	29.5	4.0	125	185
12.5	1.7	289	165	30.0	2.0	248	186
13.0	6.0	83	159	30.5	2.0	248	187
13.5	3.1	162	159	31.0	2.0	248	188
14.0	2.1	239	161	31.5	3.0	166	187
14.5	3.1	163	161	32.0	2.0	248	188
15.0	4.0	124	159	32.5	2.0	248	189
15.5	3.1	163	159	33.0	1.5	330	190
16.0	0.7	716	163	33.5	1.0	492	192
16.5	1.3	391	166	34.0	1.5	330	193
17.0	1.3	393	169	34.5	1.0	492	195
17.5	0.6	865	173	35.0	2.0	249	195

Il carotaggio sismico down-hole ha permesso di definire i parametri meccanici dei litotipi in merito al comportamento registrato per le onde di volume P e per le onde polarizzate S<sub>H</sub>.

La tabella seguente mostra i valori dei moduli elasto-dinamici calcolati per i tratti omogenei.

Profondità m (da - a)		Spessore m	Densità (kN/m <sup>3</sup> )	V <sub>p</sub> m/s	V <sub>SH</sub> m/s	poisson	taglio dinamico (kN/m <sup>2</sup> )	young (kN/m <sup>2</sup> )	bulk (kN/m <sup>2</sup> )
0.0	1.0	1.0	17.5	2258	210	0.496	7.87E+04	2.35E+05	8.99E+06
1.0	16.0	15.0	18.0	1495	158	0.494	4.58E+04	1.37E+05	4.04E+06
16.0	26.0	10.0	18.5	1526	208	0.491	8.16E+04	2.43E+05	4.28E+06
26.0	31.0	5.0	19.0	1658	219	0.491	9.29E+04	2.77E+05	5.20E+06
31.0	35.0	4.0	20.0	2054	298	0.489	1.81E+05	5.39E+05	8.36E+06

Calcolo del V<sub>SH</sub> riferito agli spessori dei singoli strati individuati dall'interpretazione della prova Down-Hole e valore di VS riferito alla profondità cumulata (depth).

Spessore m	V <sub>SH</sub> m/s	depth m	VS <sub>depth</sub>
1.0	210	1	210
15.0	158	16	160
10.0	208	26	176
5.0	219	31	182
4.0	298	35	190

Calcolo del Vs<sub>30</sub> nei primi 30 metri di suolo (**tratto 0-30m**)

**valore Vs<sub>30</sub> = 181 m/s**

il carotaggio sismico down-hole evidenzia che l'area in esame può essere collocata, secondo la normativa vigente, in **classe C**.

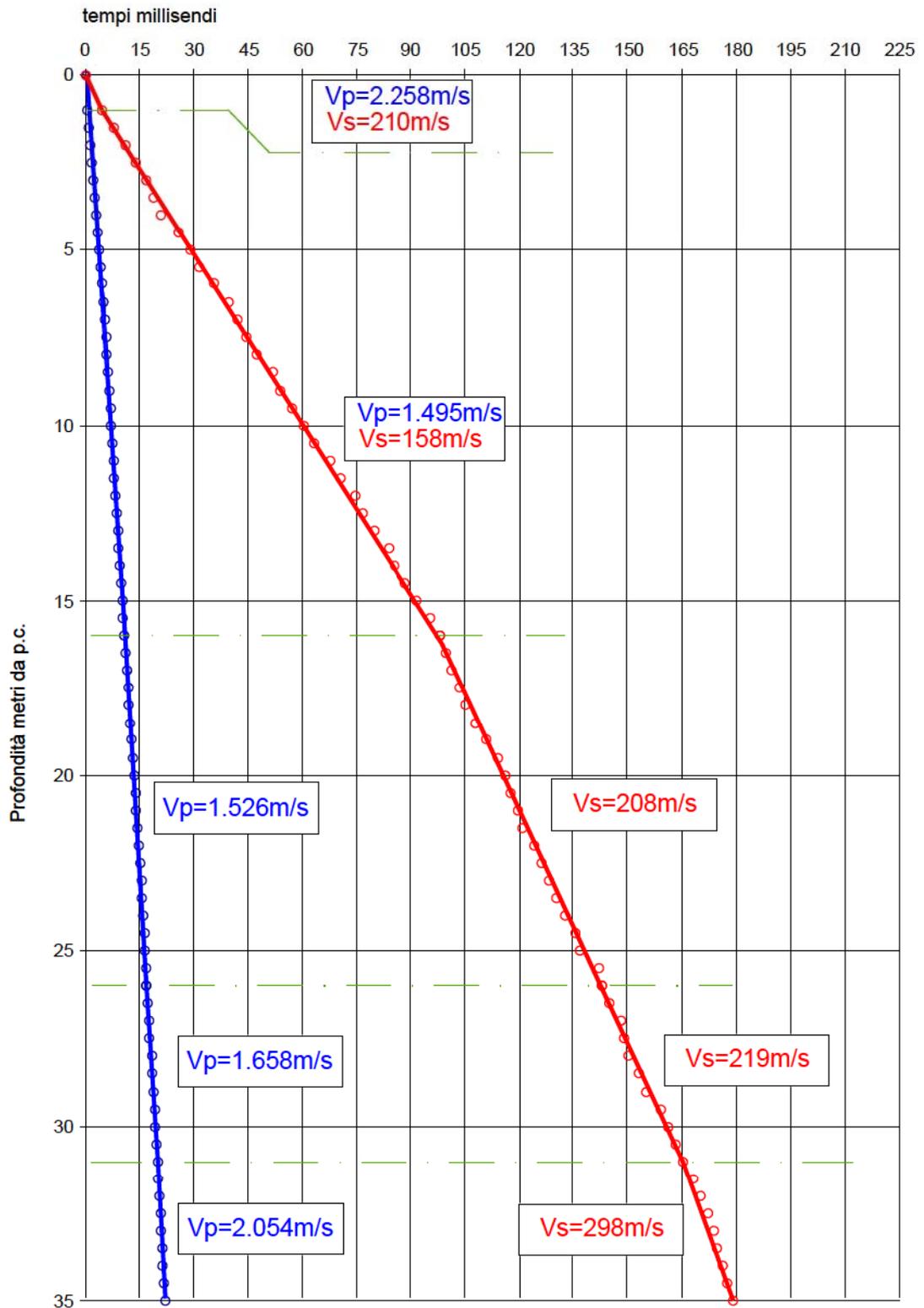


Figura 6.2.11 – Andamento delle dromocrone per la prova down-hole eseguita nel Sondaggio S1. Vp e Vs rappresentano, rispettivamente, le velocità delle onde P e delle onde S<sub>H</sub>, in metri al secondo, nei tratti con andamento omogeneo delle dromocrone.

### 6.3 – Carotaggio sismico cross-hole

I tempi di arrivo delle onde P e delle onde S<sub>H</sub> misurate permettono in funzione della distanza di calcolare le velocità sismiche delle varie litologie incontrate alle diverse profondità.

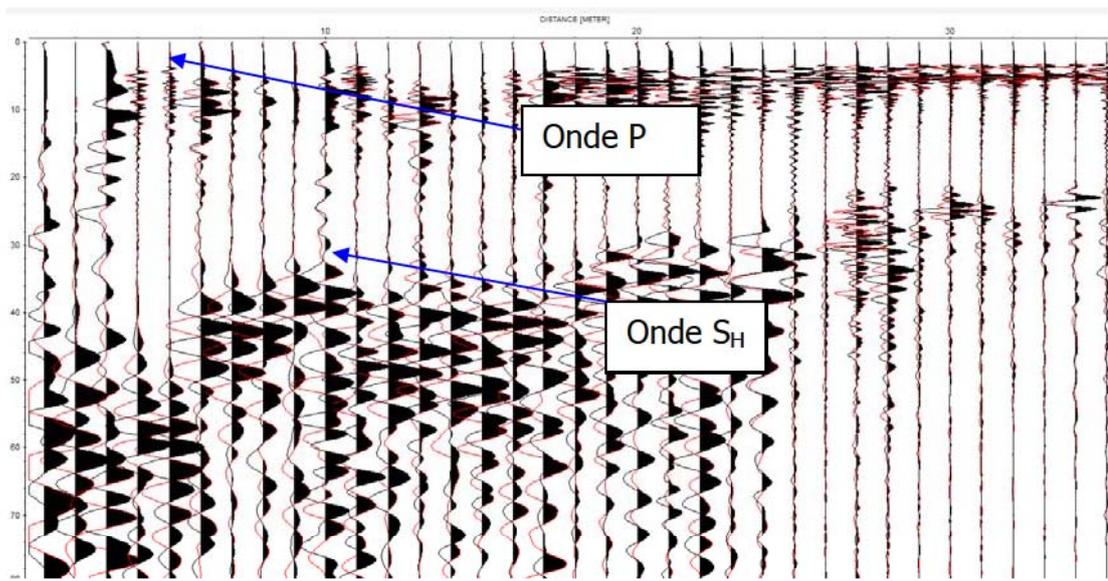


Figura 6.3.1 – Esempio di sezione sismica complessiva dei sismogrammi registrati. In ascisse: Traccia che corrisponde alla profondità da p.c. in metri; in ordinate: tempo di registrazione (ms).

Le misure di velocità sismica (velocità di propagazione delle onde sismiche) calcolate sulla base delle distanze reali tra sorgente e ricevitore, sono riportate nella tabella sottostante.

Profondità ricevitore da p.c. (m)	Distanza reale sorgente-ricevitore (m)	Tempo di transito onde P (s*10 <sup>-3</sup> )	Velocità sismica onde P (m/s)	Tempo di transito onde S <sub>H</sub> (s*10 <sup>-3</sup> )	Velocità sismica onde S <sub>H</sub> (m/s)
1.0	5.00	8.51	588	41.85	119
2.0	4.99	8.38	595	44.92	111
3.0	4.98	4.59	1085	41.72	119
4.0	4.96	3.52	1408	40.83	121
5.0	4.95	3.37	1469	46.33	107
6.0	4.95	3.79	1304	32.00	155
7.0	4.93	3.86	1278	31.87	155
8.0	4.92	4.16	1183	31.87	155
9.0	4.94	5.57	887	31.10	159
10.0	4.94	3.61	1368	32.00	154

Profondità ricevitore da p.c. (m)	Distanza reale sorgente-ricevitore (m)	Tempo di transito onde P (s*10 <sup>-3</sup> )	Velocità sismica onde P (m/s)	Tempo di transito onde S <sub>H</sub> (s*10 <sup>-3</sup> )	Velocità sismica onde S <sub>H</sub> (m/s)
11.0	4.94	3.25	1518	35.71	138
12.0	4.93	3.81	1295	36.48	135
13.0	4.93	4.53	1088	32.38	152
14.0	4.93	4.71	1047	31.87	155
15.0	4.93	3.98	1238	29.44	167
16.0	4.92	3.96	1243	31.49	156
17.0	4.92	4.44	1108	32.13	153
18.0	4.91	3.44	1426	32.00	154
19.0	4.90	3.75	1306	28.41	172
20.0	4.89	3.64	1345	29.31	167
21.0	4.88	3.83	1276	27.77	176
22.0	4.88	3.46	1408	28.93	169
23.0	4.88	3.43	1424	30.33	161
24.0	4.88	3.35	1458	25.34	193
25.0	4.89	3.29	1486	23.81	205
26.0	4.90	3.23	1514	26.75	183
27.0	4.89	3.35	1461	21.50	228
28.0	4.89	3.35	1460	20.86	234
29.0	4.89	3.08	1587	23.68	206
30.0	4.88	3.18	1537	20.73	236
31.0	4.89	3.25	1502	22.40	218
32.0	4.89	3.16	1548	22.91	213
33.0	4.91	3.14	1564	22.27	220
34.0	4.90	3.12	1572	21.12	232
35.0	4.89	3.06	1596	21.63	226

Calcolo del  $V_{s30}$  nei primi 30 metri di suolo (tratto 0-30m)

**valore  $V_{s30} = 163 \text{ m/s}$**

il carotaggio sismico down-hole evidenzia che l'area in esame può essere collocata, secondo la normativa vigente, in **classe D**.

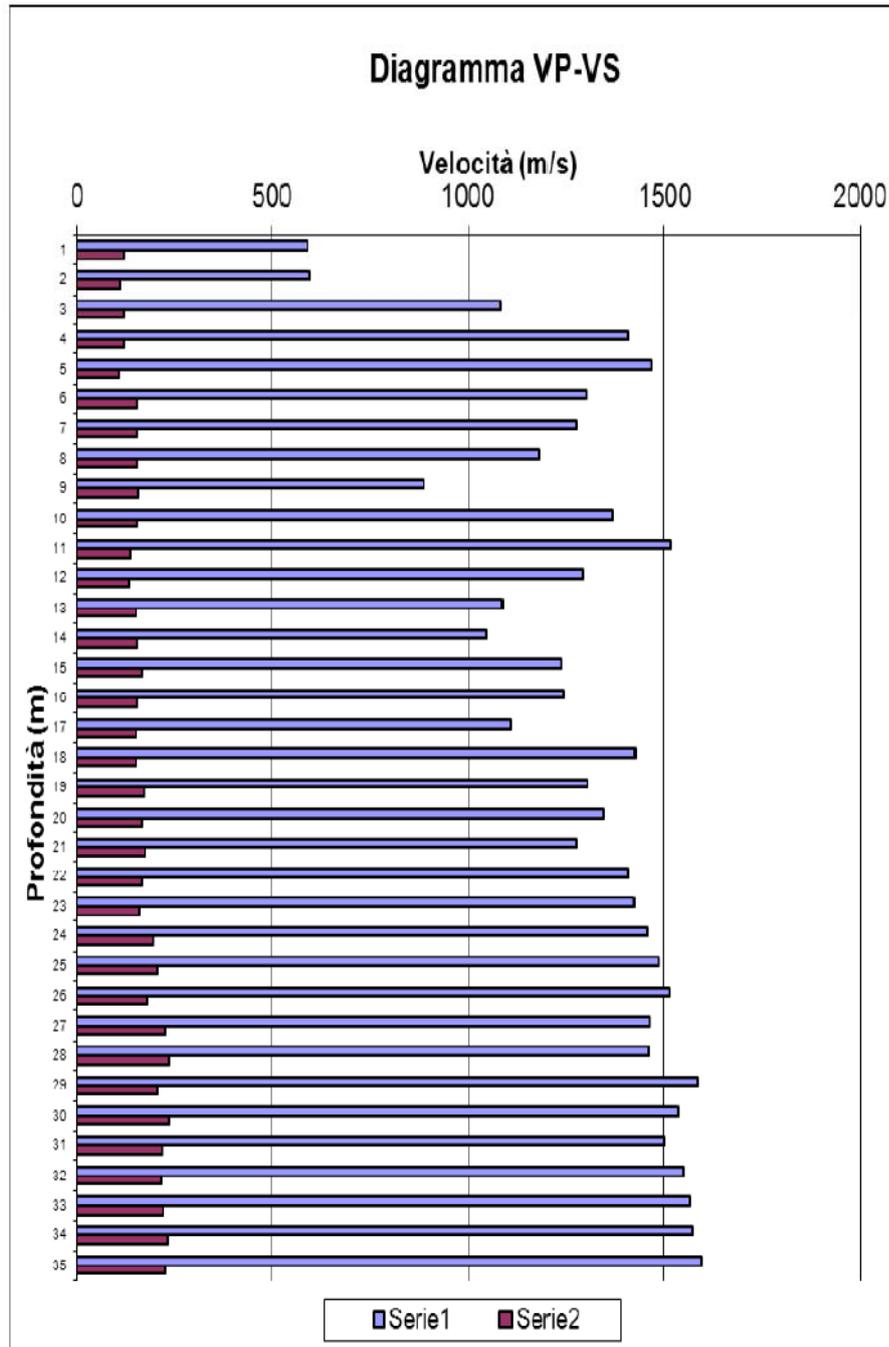


Grafico relativo ai valori di velocità sismiche delle onde P ed SH derivate dalla prova cross hole

Sulla base delle velocità sismiche, per ogni metro di profondità, è stato possibile calcolare, attribuendo ai differenti litotipi i valori di densità desunti da bibliografia, i moduli elastici dinamici dei terreni indagati, di cui si riporta la tabella seguente:

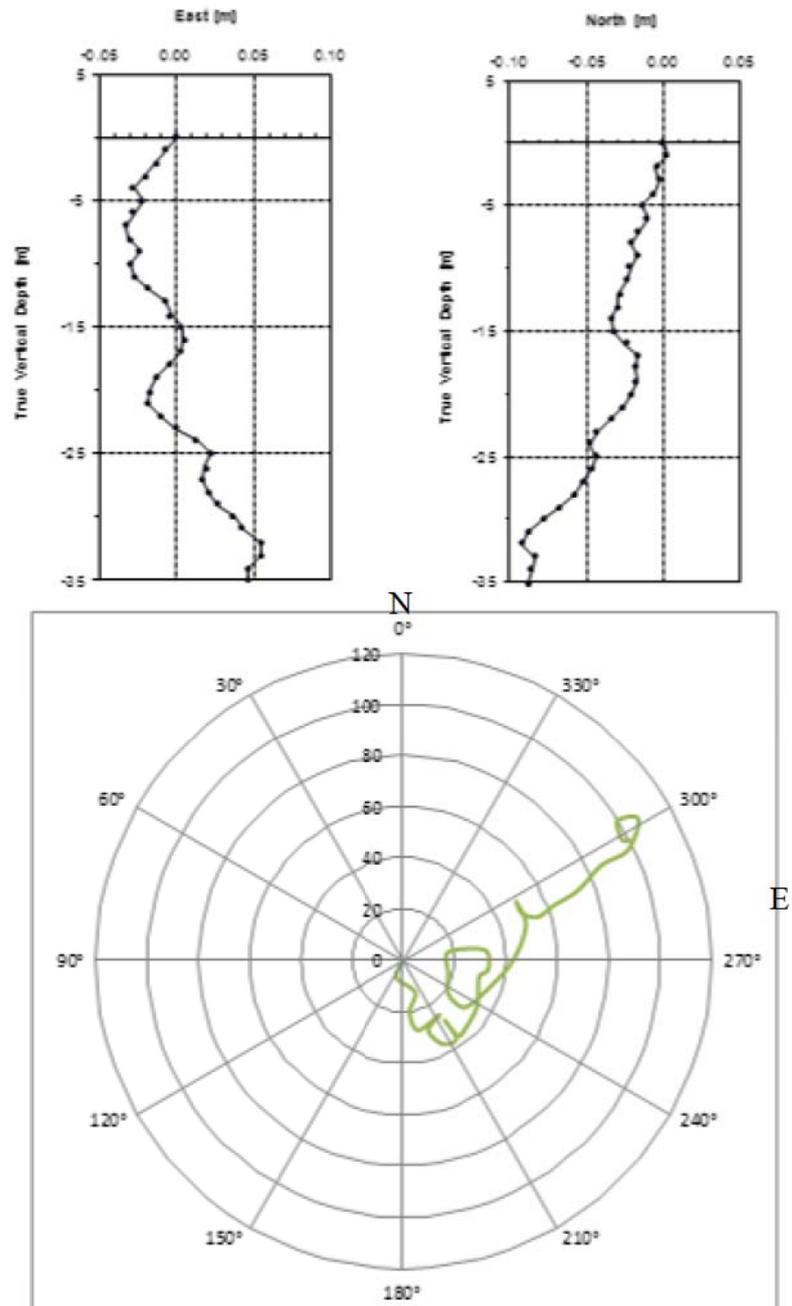
Profondità m (da)	Profondità m (a)	densità (kN/m <sup>3</sup> )	VP m/s	VSH m/s	coeff. Poisson (ν)	modulo taglio dinamico (G) (kN/m <sup>2</sup> )	modulo Young (E) (kN/m <sup>2</sup> )	modulo bulk (K) (kN/m <sup>2</sup> )
0	1	17.5	588	119	0.478	2.55E+04	7.53E+04	5.82E+05
1	2	17.5	595	111	0.482	2.20E+04	6.52E+04	6.02E+05
2	3	17.5	1085	119	0.494	2.54E+04	7.59E+04	2.07E+06
3	4	17.5	1408	121	0.496	2.63E+04	7.88E+04	3.50E+06
4	5	17.5	1469	107	0.497	2.03E+04	6.09E+04	3.82E+06
5	6	17.5	1304	155	0.493	4.27E+04	1.27E+05	2.98E+06
6	7	18.0	1278	155	0.493	4.39E+04	1.31E+05	2.94E+06
7	8	18.0	1183	155	0.491	4.38E+04	1.31E+05	2.51E+06
8	9	18.0	887	159	0.483	4.63E+04	1.37E+05	1.38E+06
9	10	18.0	1368	154	0.494	4.37E+04	1.31E+05	3.37E+06
10	11	18.0	1518	138	0.496	3.51E+04	1.05E+05	4.18E+06
11	12	18.5	1295	135	0.494	3.45E+04	1.03E+05	3.12E+06
12	13	18.5	1088	152	0.490	4.37E+04	1.30E+05	2.18E+06
13	14	18.5	1047	155	0.489	4.52E+04	1.35E+05	2.01E+06
14	15	18.5	1238	167	0.491	5.28E+04	1.58E+05	2.82E+06
15	16	18.5	1243	156	0.492	4.61E+04	1.38E+05	2.85E+06
16	17	18.5	1108	153	0.490	4.42E+04	1.32E+05	2.26E+06
17	18	18.5	1426	154	0.494	4.45E+04	1.33E+05	3.78E+06
18	19	18.5	1306	172	0.491	5.61E+04	1.67E+05	3.14E+06
19	20	18.5	1345	167	0.492	5.25E+04	1.57E+05	3.34E+06
20	21	18.5	1276	176	0.490	5.83E+04	1.74E+05	2.99E+06
21	22	19.0	1408	169	0.493	5.51E+04	1.64E+05	3.77E+06
22	23	19.0	1424	161	0.494	5.01E+04	1.50E+05	3.86E+06
23	24	19.0	1458	193	0.491	7.19E+04	2.14E+05	4.02E+06
24	25	19.0	1486	205	0.490	8.17E+04	2.44E+05	4.17E+06
25	26	19.0	1514	183	0.493	6.49E+04	1.94E+05	4.35E+06
26	27	19.5	1461	228	0.488	1.03E+05	3.06E+05	4.11E+06
27	28	19.5	1460	234	0.487	1.09E+05	3.25E+05	4.09E+06
28	29	19.5	1587	206	0.491	8.48E+04	2.53E+05	4.89E+06
29	30	19.5	1537	236	0.488	1.10E+05	3.28E+05	4.55E+06
30	31	20.0	1502	218	0.489	9.70E+04	2.89E+05	4.47E+06
31	32	20.0	1548	213	0.490	9.28E+04	2.77E+05	4.76E+06
32	33	20.0	1564	220	0.490	9.91E+04	2.95E+05	4.86E+06
33	34	20.0	1572	232	0.489	1.10E+05	3.27E+05	4.89E+06
34	35	20.0	1596	226	0.490	1.04E+05	3.10E+05	5.06E+06

## **APPENDICE 1**

### **Prove di verticalità**

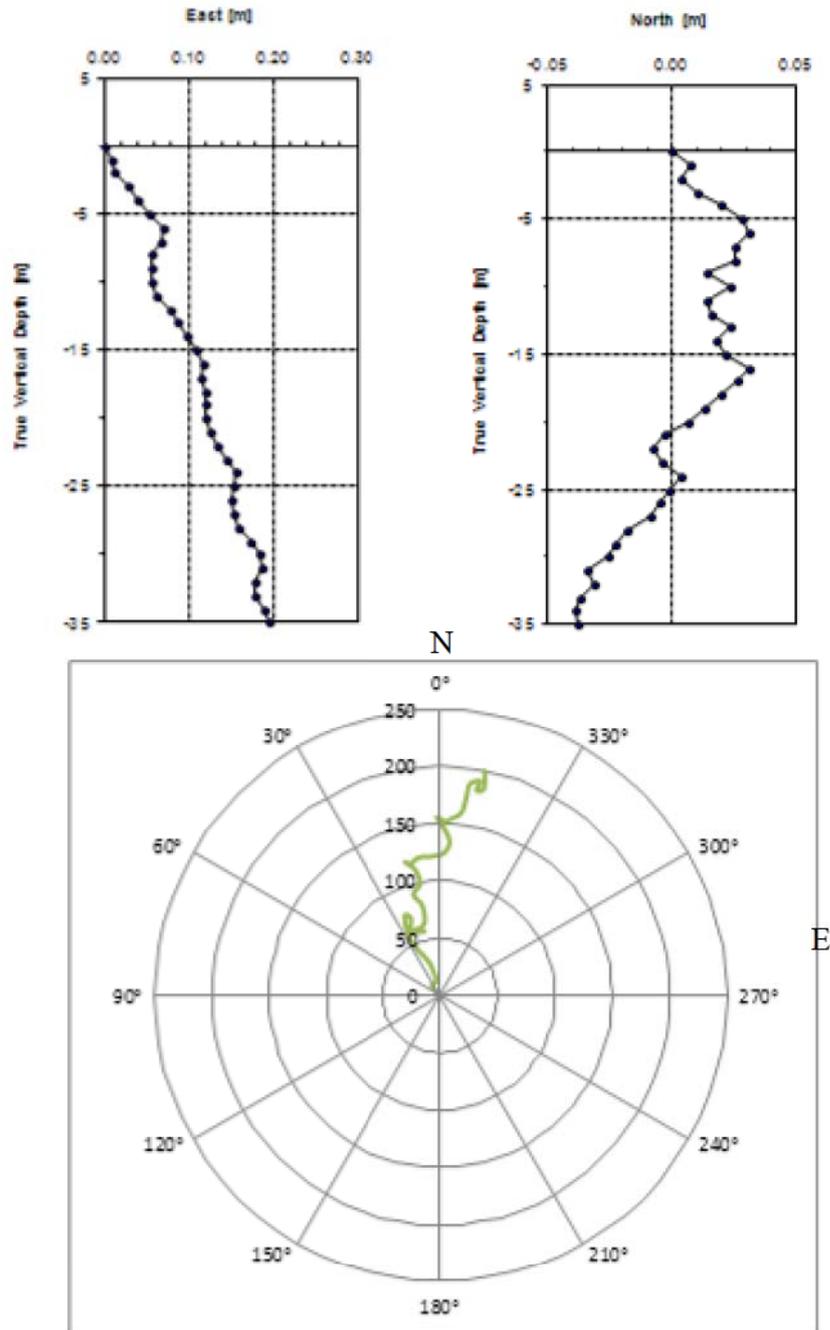
## Sondaggio CH6

Diagrammi dello spostamento assoluto lungo l'asse Est e l'asse Nord



## Sondaggio CH6a

Diagrammi dello spostamento assoluto lungo l'asse Est e l'asse Nord



## **APPENDICE 2**

### Prove RE.MI

## Area RE1\_Prova RE1\_1

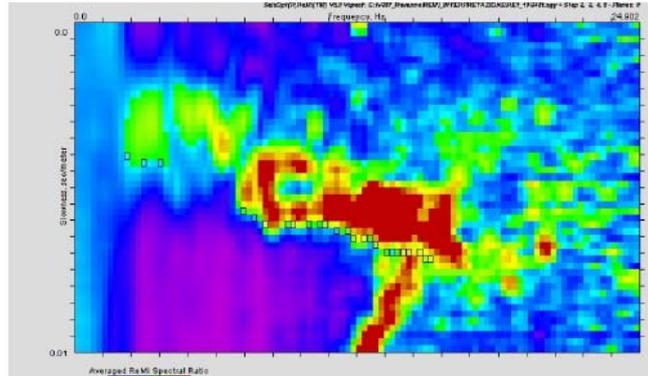
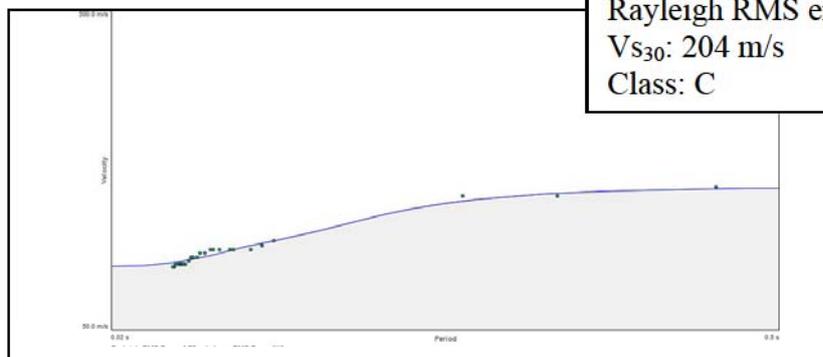


grafico p-f



Rayleigh RMS error: 4.2 m/s  
 $V_{S30}$ : 204 m/s  
 Class: C

diagramma periodo – velocità di fase

Density				
7.013 m	1.794 g/cc	149.565 m/s	670.183 m/s	ratio: 4.481
11.0 m	1.844 g/cc	214.348 m/s	1396.555 m/s	ratio: 6.515
16.575 m	1.844 g/cc	179.565 m/s	1414.727 m/s	ratio: 7.879
21.598 m	1.869 g/cc	262.609 m/s	1624.163 m/s	ratio: 6.185
25.536 m	1.944 g/cc	263.043 m/s	1670.619 m/s	ratio: 6.351
27.921 m	1.944 g/cc	265.652 m/s	1702.78 m/s	ratio: 6.41
38.023 m	1.982 g/cc	267.391 m/s	1786.758 m/s	ratio: 6.682
55.0 m	2.145 g/cc	272.609 m/s	1827.853 m/s	ratio: 6.705

modello interpretativo 1 D del profilo di velocità delle onde S (i valori di densità e di  $V_p$  sono ripresi da prove di laboratorio e prove geofisiche acquisiti nella stessa area)

## Area RE1\_Prova RE1\_2

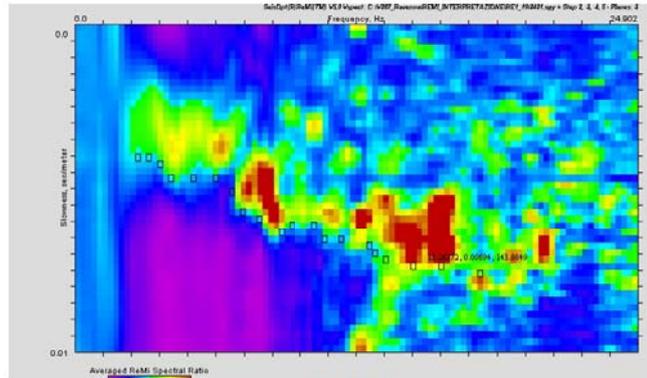
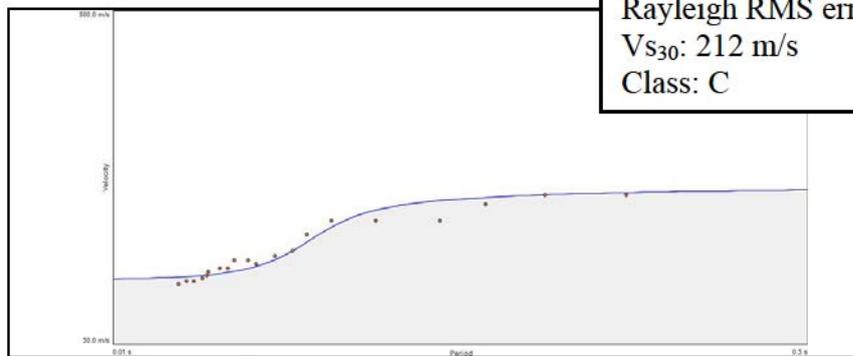


grafico p-f



Rayleigh RMS error: 9.9 m/s  
 Vs30: 212 m/s  
 Class: C

diagramma periodo – velocità di fase

Density		
3.516 m	1.794 g/cc	147.826 m/s    670.183 m/s    ratio: 4.534
	1.844 g/cc	151.304 m/s    1396.555 m/s    ratio: 9.23
10.297 m	1.844 g/cc	273.478 m/s    1414.727 m/s    ratio: 5.173
16.575 m	1.869 g/cc	265.217 m/s    1624.163 m/s    ratio: 6.124
21.598 m	1.944 g/cc	268.696 m/s    1670.619 m/s    ratio: 6.218
25.536 m	1.944 g/cc	272.174 m/s    1702.78 m/s    ratio: 6.256
27.921 m	1.982 g/cc	276.522 m/s    1786.758 m/s    ratio: 6.462
38.023 m	2.145 g/cc	280.0 m/s    1827.853 m/s    ratio: 6.528
55.0 m		

*modello interpretativo 1 D del profilo di velocità delle onde S (i valori di densità e di Vp sono ripresi da prove di laboratorio e prove geofisiche acquisiti nella stessa area)*

## Area RE1\_Prova RE1\_3

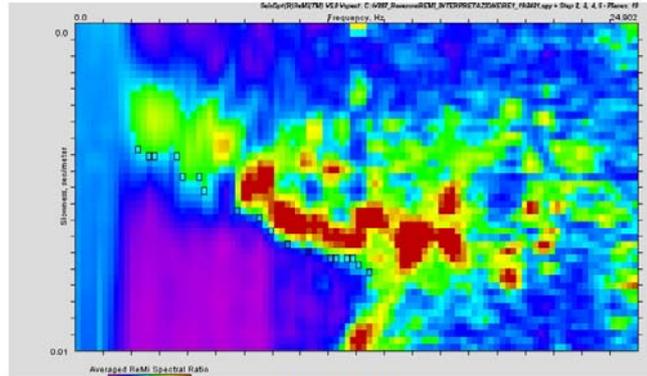


grafico p-f

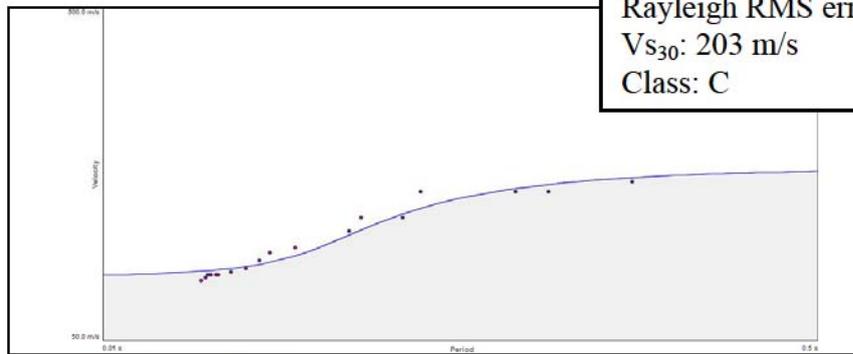


diagramma periodo – velocità di fase

Rayleigh RMS error: 9.8 m/s  
 $V_{S30}$ : 203 m/s  
 Class: C

Density					
4.849 m	1.794 g/cc			148.696 m/s	670.183 m/s ratio: 4.507
11.946 m	1.844 g/cc			156.087 m/s	1396.555 m/s ratio: 8.947
16.383 m	1.844 g/cc			247.826 m/s	1414.727 m/s ratio: 5.709
21.598 m	1.869 g/cc			253.043 m/s	1624.163 m/s ratio: 6.419
25.882 m	1.894 g/cc			262.609 m/s	1670.619 m/s ratio: 6.362
28.869 m	1.957 g/cc			272.174 m/s	1702.78 m/s ratio: 6.256
37.33 m	1.982 g/cc			276.522 m/s	1786.758 m/s ratio: 6.462
55.0 m	2.145 g/cc			310.0 m/s	1827.853 m/s ratio: 5.896

*modello interpretativo 1 D del profilo di velocità delle onde S (i valori di densità e di  $V_p$  sono ripresi da prove di laboratorio e prove geofisiche acquisiti nella stessa area)*

## Area RE1\_Prova RE1\_4

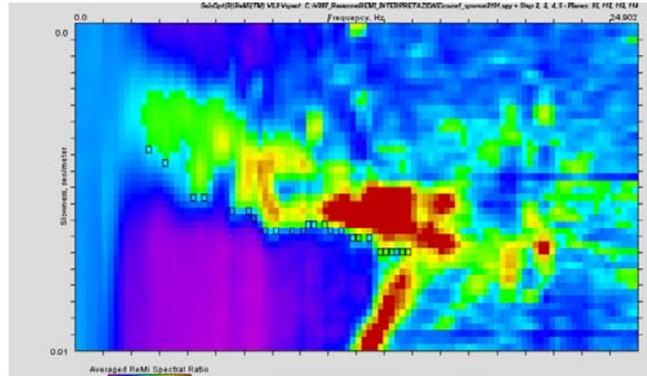
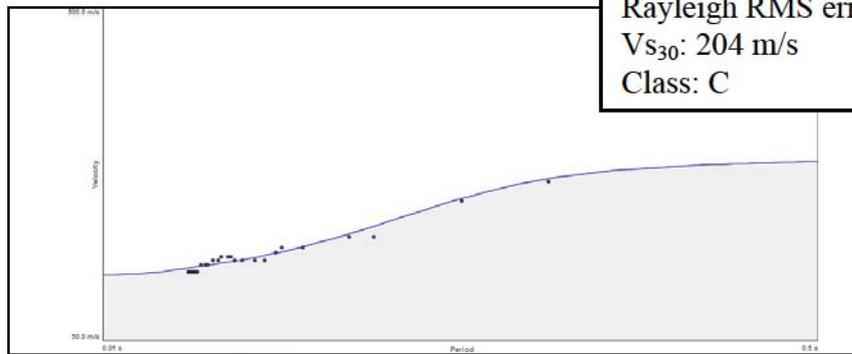


grafico p-f



Rayleigh RMS error: 5.5 m/s  
 $V_{S30}$ : 204 m/s  
 Class: C

diagramma periodo – velocità di fase

	Density		
4.849 m	1.794 g/cc		148.696 m/s    670.183 m/s    ratio: 4.507
11.946 m	1.844 g/cc		173.478 m/s    1396.555 m/s    ratio: 8.05
16.383 m	1.844 g/cc		212.174 m/s    1414.727 m/s    ratio: 6.668
21.598 m	1.869 g/cc		248.696 m/s    1624.163 m/s    ratio: 6.531
25.882 m	1.894 g/cc		253.043 m/s    1670.619 m/s    ratio: 6.602
28.869 m	1.957 g/cc		265.652 m/s    1702.78 m/s    ratio: 6.41
37.33 m	1.982 g/cc		293.043 m/s    1786.758 m/s    ratio: 6.097
55.0 m	2.145 g/cc		325.217 m/s    1827.853 m/s    ratio: 5.62

*modello interpretativo 1 D del profilo di velocità delle onde S (i valori di densità e di Vp sono ripresi da prove di laboratorio e prove geofisiche acquisiti nella stessa area)*

## Area RE1\_Prova RE1\_5

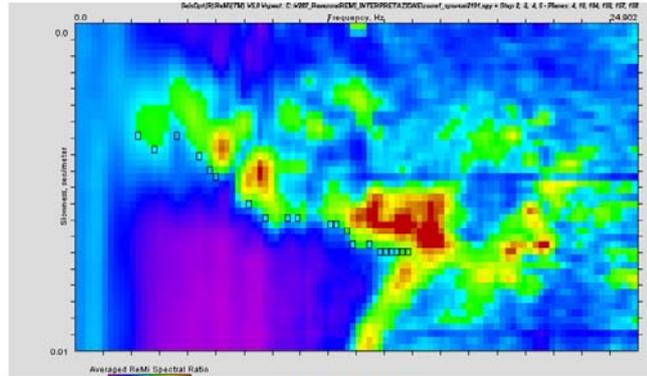


grafico p-f

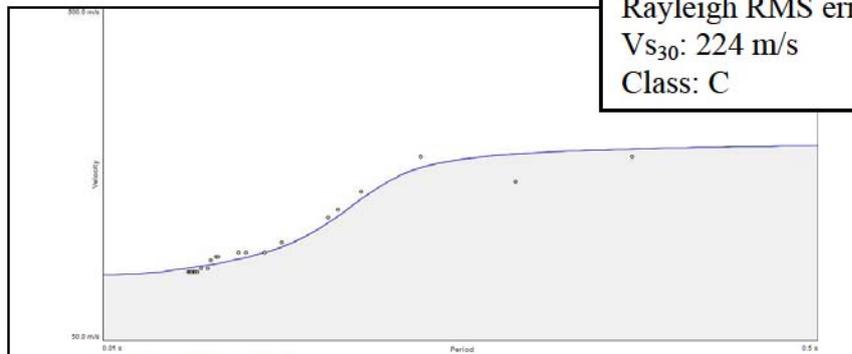


diagramma periodo – velocità di fase

Rayleigh RMS error: 11.0 m/s  
 $V_{S30}$ : 224 m/s  
 Class: C

	Density				
4.849 m	1.794 g/cc		148.696 m/s	670.183 m/s	ratio: 4.507
	1.844 g/cc		173.478 m/s	1396.555 m/s	ratio: 8.05
11.946 m	1.857 g/cc		230.0 m/s	1414.727 m/s	ratio: 6.151
16.383 m	1.894 g/cc		334.348 m/s	1624.163 m/s	ratio: 4.858
21.598 m	1.919 g/cc		315.652 m/s	1670.619 m/s	ratio: 5.293
26.877 m	1.957 g/cc		333.913 m/s	1702.78 m/s	ratio: 5.099
30.894 m	1.982 g/cc		336.957 m/s	1786.758 m/s	ratio: 5.303
40.038 m	2.145 g/cc		344.348 m/s	1827.853 m/s	ratio: 5.308
55.0 m					

*modello interpretativo 1 D del profilo di velocità delle onde S (i valori di densità e di Vp sono ripresi da prove di laboratorio e prove geofisiche acquisiti nella stessa area)*

## Area RE1\_Prova RE1\_6

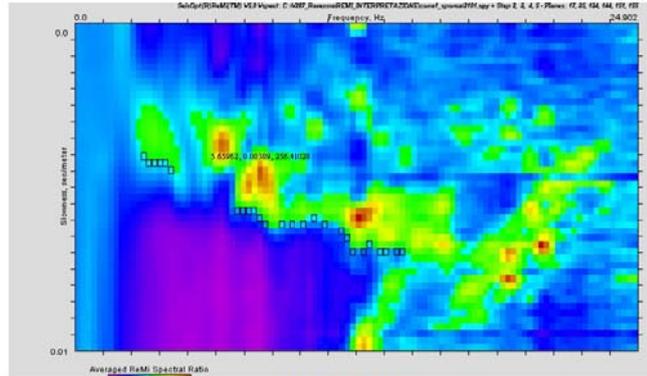
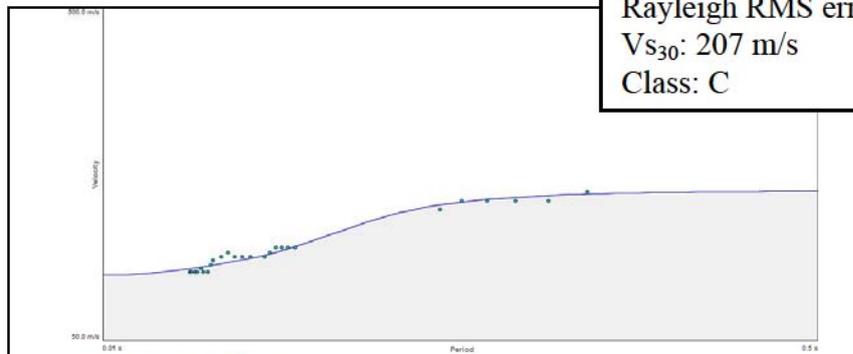


grafico p-f



Rayleigh RMS error: 5.5 m/s  
 Vs<sub>30</sub>: 207 m/s  
 Class: C

diagramma periodo – velocità di fase

Density				
7.837 m	1.794 g/cc	155.652 m/s	670.183 m/s	ratio: 4.306
11.946 m	1.844 g/cc	182.174 m/s	1396.555 m/s	ratio: 7.666
16.383 m	1.857 g/cc	233.043 m/s	1414.727 m/s	ratio: 6.071
21.598 m	1.894 g/cc	254.348 m/s	1624.163 m/s	ratio: 6.386
26.877 m	1.919 g/cc	264.348 m/s	1670.619 m/s	ratio: 6.32
30.894 m	1.957 g/cc	278.261 m/s	1702.78 m/s	ratio: 6.119
40.038 m	1.982 g/cc	282.174 m/s	1786.758 m/s	ratio: 6.332
55.0 m	2.145 g/cc	273.478 m/s	1827.853 m/s	ratio: 6.684

*modello interpretativo 1 D del profilo di velocità delle onde S (i valori di densità e di Vp sono ripresi da prove di laboratorio e prove geofisiche acquisiti nella stessa area)*

## Area RE1\_Prova RE1\_7

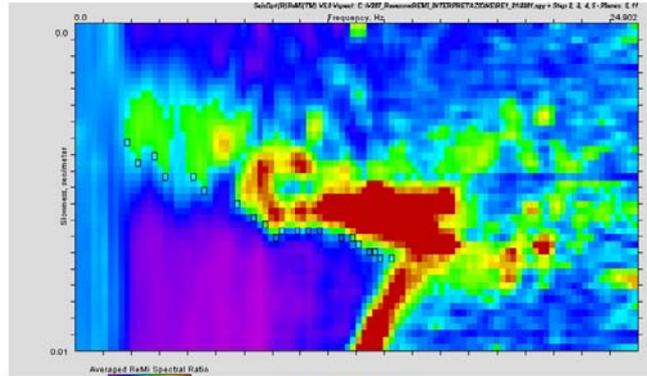
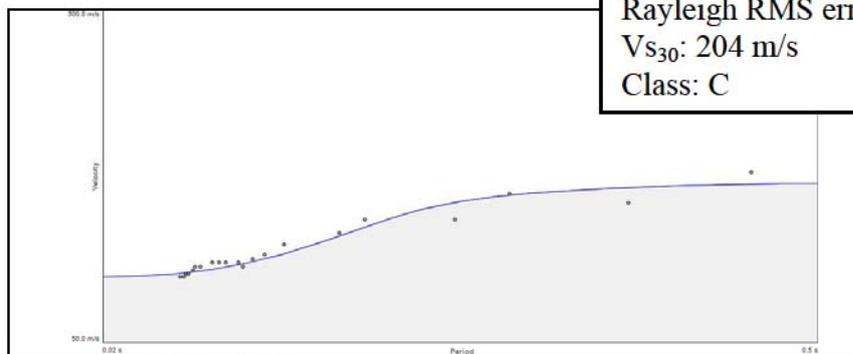


grafico p-f



Rayleigh RMS error: 9.6 m/s  
 $V_{S30}$ : 204 m/s  
 Class: C

diagramma periodo – velocità di fase

Density					
9.075 m	1.794 g/cc			147.826 m/s	670.183 m/s    ratio: 4.534
11.946 m	1.844 g/cc			213.043 m/s	1396.555 m/s    ratio: 6.555
16.383 m	1.857 g/cc			215.652 m/s	1414.727 m/s    ratio: 6.56
21.598 m	1.894 g/cc			260.0 m/s	1624.163 m/s    ratio: 6.247
26.877 m	1.919 g/cc			261.739 m/s	1670.619 m/s    ratio: 6.383
30.894 m	1.957 g/cc			268.696 m/s	1702.78 m/s    ratio: 6.337
42.112 m	1.982 g/cc			273.478 m/s	1786.758 m/s    ratio: 6.533
55.0 m	2.145 g/cc			291.304 m/s	1827.853 m/s    ratio: 6.275

*200 modello interpretativo 1 D del profilo di velocità delle onde S (i valori di densità e di Vp sono ripresi da prove di laboratorio e prove geofisiche acquisite nella stessa area)*

## Area RE1\_Prova RE1\_8

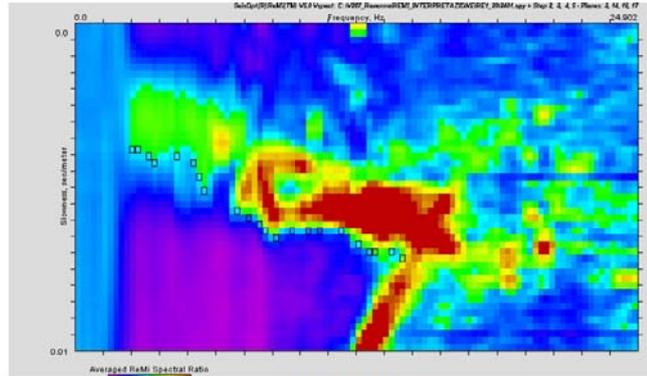
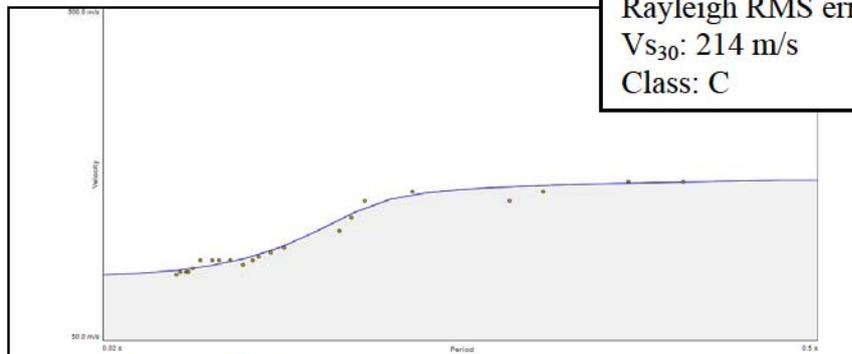


grafico p-f



Rayleigh RMS error: 7.3 m/s  
 $V_{S30}$ : 214 m/s  
 Class: C

diagramma periodo – velocità di fase

Density				
5.088 m	1.794 g/cc	148.696 m/s	670.183 m/s	ratio: 4.507
	1.844 g/cc	166.087 m/s	1396.555 m/s	ratio: 8.409
11.946 m	1.857 g/cc	242.609 m/s	1414.727 m/s	ratio: 5.831
	1.894 g/cc	293.478 m/s	1624.163 m/s	ratio: 5.534
21.598 m	1.919 g/cc	286.957 m/s	1670.619 m/s	ratio: 5.822
	1.957 g/cc	279.565 m/s	1702.78 m/s	ratio: 6.091
31.35 m	1.982 g/cc	284.783 m/s	1786.758 m/s	ratio: 6.274
	2.145 g/cc	291.304 m/s	1827.853 m/s	ratio: 6.275
55.0 m				

*modello interpretativo 1 D del profilo di velocità delle onde S (i valori di densità e di Vp sono ripresi da prove di laboratorio e prove geofisiche acquisite nella stessa area)*

## Area RE1\_Prova RE1\_9

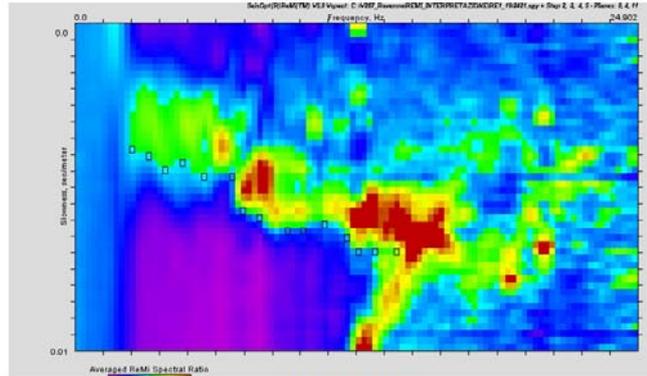
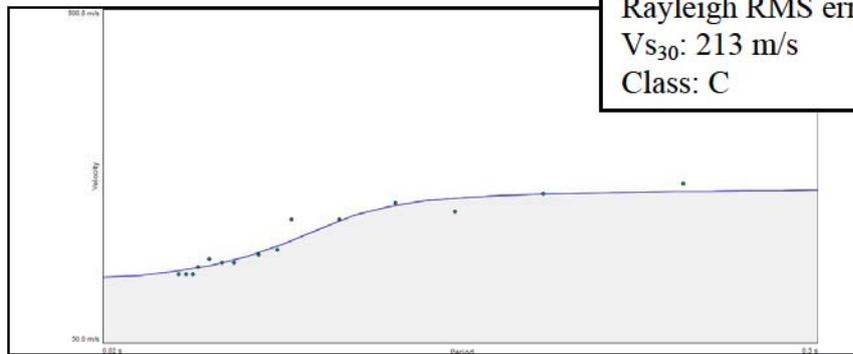


grafico p-f



Rayleigh RMS error: 9.9 m/s  
 $V_{S30}$ : 213 m/s  
 Class: C

diagramma periodo – velocità di fase

	Density	
5.088 m	1.794 g/cc	148.696 m/s    670.183 m/s    ratio: 4.507
11.946 m	1.844 g/cc	170.87 m/s    1396.555 m/s    ratio: 8.173
15.95 m	1.857 g/cc	261.304 m/s    1414.727 m/s    ratio: 5.414
20.488 m	1.894 g/cc	269.13 m/s    1624.163 m/s    ratio: 6.035
26.813 m	1.919 g/cc	277.391 m/s    1670.619 m/s    ratio: 6.023
32.038 m	1.957 g/cc	277.826 m/s    1702.78 m/s    ratio: 6.129
39.6 m	2.007 g/cc	274.783 m/s    1786.758 m/s    ratio: 6.502
55.0 m	2.145 g/cc	277.391 m/s    1827.853 m/s    ratio: 6.589

*modello interpretativo 1 D del profilo di velocità delle onde S (i valori di densità e di  $V_p$  sono ripresi da prove di laboratorio e prove geofisiche acquisiti nella stessa area)*

## Area RE1\_Prova RE1\_10

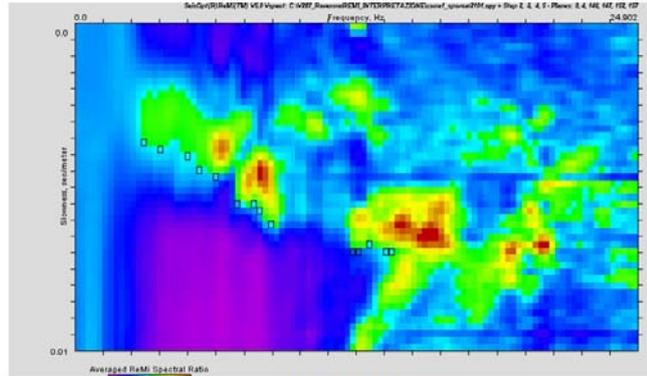
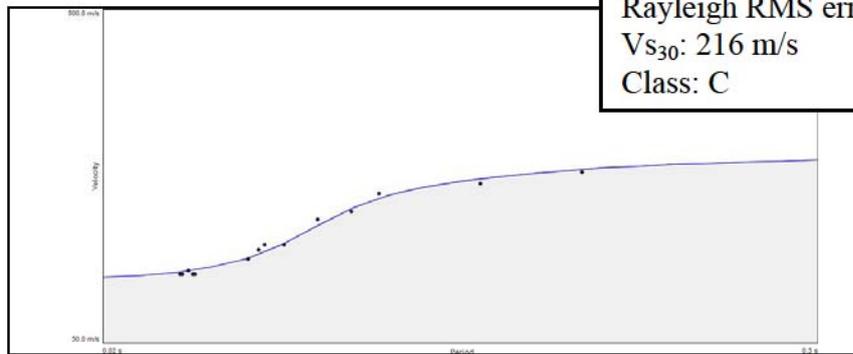


grafico p-f



Rayleigh RMS error: 5.4 m/s  
 $V_{S30}$ : 216 m/s  
 Class: C

diagramma periodo – velocità di fase

	Density					
5.088 m	1.794 g/cc			148.696 m/s	670.183 m/s	ratio: 4.507
	1.844 g/cc			166.087 m/s	1396.555 m/s	ratio: 8.409
11.946 m	1.857 g/cc			289.565 m/s	1414.727 m/s	ratio: 4.886
15.95 m	1.894 g/cc			288.261 m/s	1624.163 m/s	ratio: 5.634
20.488 m	1.919 g/cc			280.0 m/s	1670.619 m/s	ratio: 5.966
26.813 m	1.957 g/cc			284.783 m/s	1702.78 m/s	ratio: 5.979
32.038 m	2.007 g/cc			296.522 m/s	1786.758 m/s	ratio: 6.026
39.6 m	2.145 g/cc			328.696 m/s	1827.853 m/s	ratio: 5.561
55.0 m						

*modello interpretativo 1 D del profilo di velocità delle onde S (i valori di densità e di  $V_p$  sono ripresi da prove di laboratorio e prove geofisiche acquisiti nella stessa area)*

## Area RE1\_Prova RE1\_11

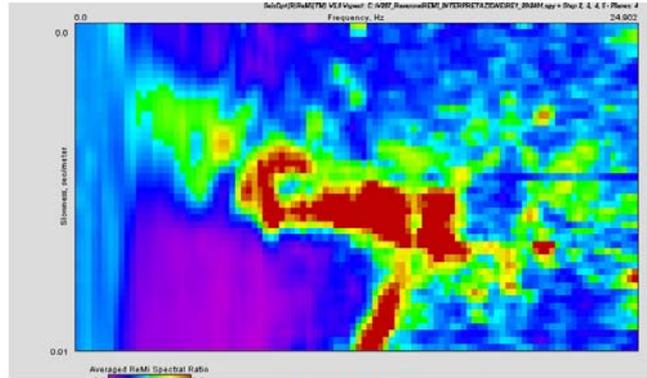
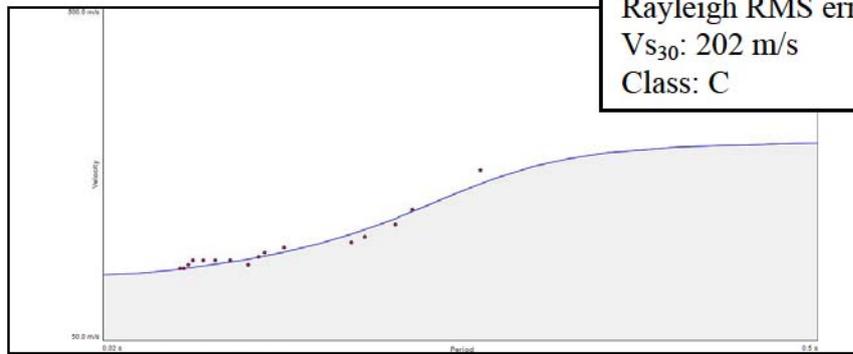


grafico p-f



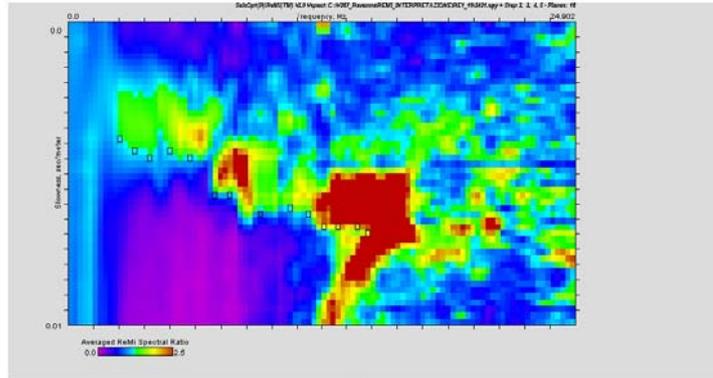
Rayleigh RMS error: 7.6 m/s  
 $V_{S30}$ : 202 m/s  
 Class: C

diagramma periodo – velocità di fase

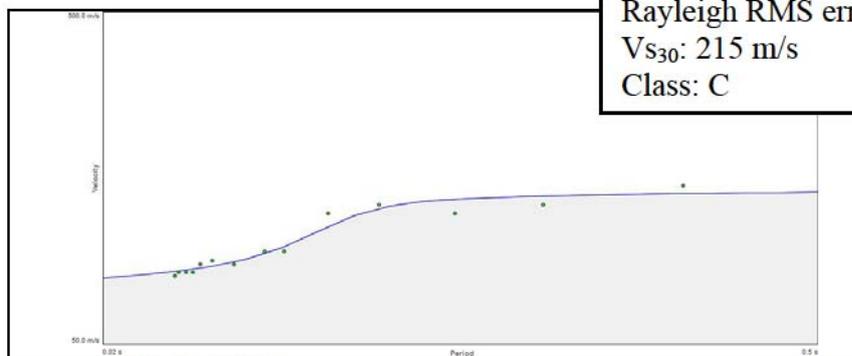
Density					
5.088 m	1.794 g/cc		148.696 m/s	670.183 m/s	ratio: 4.507
	1.844 g/cc		169.13 m/s	1396.555 m/s	ratio: 8.257
11.946 m	1.857 g/cc		211.739 m/s	1414.727 m/s	ratio: 6.681
	1.894 g/cc		229.13 m/s	1624.163 m/s	ratio: 7.088
21.725 m	1.919 g/cc		263.478 m/s	1670.619 m/s	ratio: 6.341
	1.957 g/cc		296.522 m/s	1702.78 m/s	ratio: 5.743
32.313 m	2.007 g/cc		338.261 m/s	1786.758 m/s	ratio: 5.282
	2.145 g/cc		354.348 m/s	1827.853 m/s	ratio: 5.158
55.0 m					

*modello interpretativo 1 D del profilo di velocità delle onde S (i valori di densità e di Vp sono ripresi da prove di laboratorio e prove geofisiche acquisiti nella stessa area)*

## Area RE1\_Prova RE1\_12



*grafico p-f*



*diagramma periodo – velocità di fase*

Density					
6.462 m	1.794 g/cc	148.696 m/s	670.183 m/s	ratio: 4.507	
11.0 m	1.844 g/cc	163.913 m/s	1410.916 m/s	ratio: 8.608	
15.95 m	1.857 g/cc	231.739 m/s	1414.727 m/s	ratio: 6.105	
21.725 m	1.894 g/cc	306.087 m/s	1624.163 m/s	ratio: 5.306	
26.675 m	1.919 g/cc	271.739 m/s	1670.619 m/s	ratio: 6.148	
33.825 m	1.957 g/cc	278.261 m/s	1702.78 m/s	ratio: 6.119	
41.662 m	2.007 g/cc	268.261 m/s	1786.758 m/s	ratio: 6.661	
55.0 m	2.145 g/cc	277.826 m/s	1827.853 m/s	ratio: 6.579	

*modello interpretativo 1 D del profilo di velocità delle onde S (i valori di densità e di Vp sono ripresi da prove di laboratorio e prove geofisiche acquisiti nella stessa area)*

## Area RE1\_Prova RE1\_13

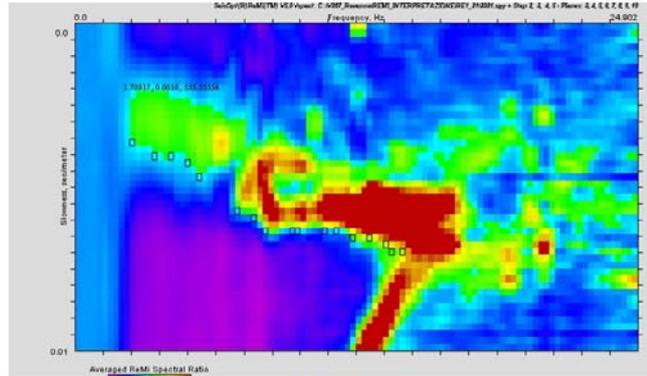
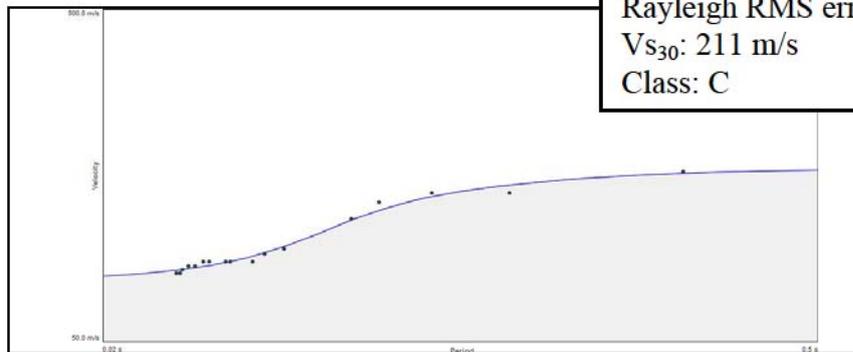


grafico p-f



Rayleigh RMS error: 5.1 m/s  
 $V_{S30}$ : 211 m/s  
 Class: C

diagramma periodo – velocità di fase

Density					
6.738 m	1.794 g/cc			148.696 m/s	670.183 m/s ratio: 4.507
11.0 m	1.844 g/cc			163.913 m/s	1410.916 m/s ratio: 8.608
15.95 m	1.857 g/cc			231.739 m/s	1414.727 m/s ratio: 6.105
20.35 m	1.894 g/cc			261.304 m/s	1624.163 m/s ratio: 6.216
26.675 m	1.919 g/cc			275.217 m/s	1670.619 m/s ratio: 6.07
32.45 m	1.97 g/cc			290.435 m/s	1702.78 m/s ratio: 5.863
41.113 m	2.007 g/cc			283.913 m/s	1786.758 m/s ratio: 6.293
55.0 m	2.145 g/cc			313.913 m/s	1887.923 m/s ratio: 6.014

*modello interpretativo 1 D del profilo di velocità delle onde S (i valori di densità e di Vp sono ripresi da prove di laboratorio e prove geofisiche acquisiti nella stessa area)*

## Area RE1\_Prova RE1\_14

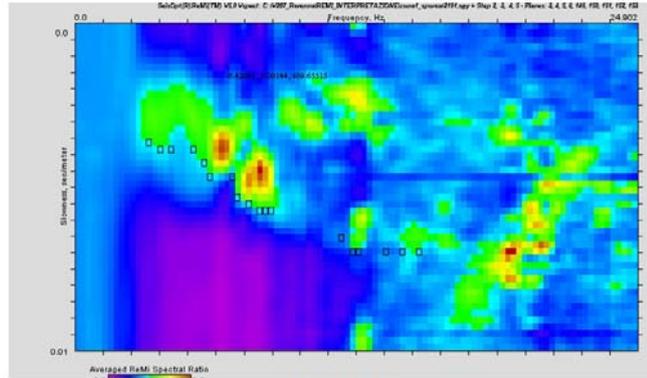


grafico p-f

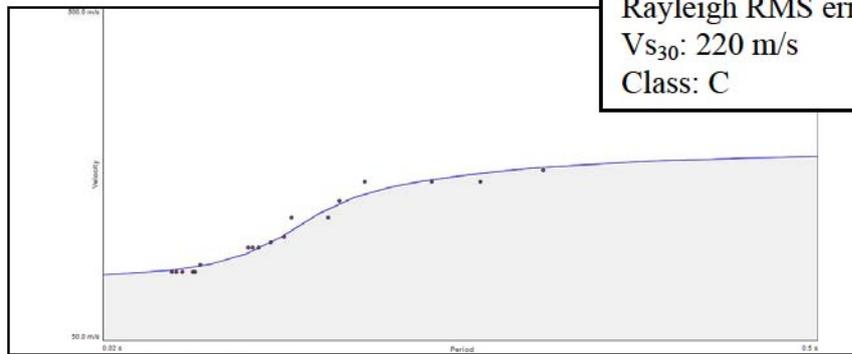


diagramma periodo – velocità di fase

Density				
4.125 m	1.794 g/cc	148.696 m/s	670.183 m/s	ratio: 4.507
	1.844 g/cc	160.87 m/s	1410.916 m/s	ratio: 8.771
11.0 m	1.857 g/cc	296.522 m/s	1414.727 m/s	ratio: 4.771
15.95 m	1.894 g/cc	291.739 m/s	1624.163 m/s	ratio: 5.567
20.35 m	1.919 g/cc	275.217 m/s	1670.619 m/s	ratio: 6.07
26.675 m	1.97 g/cc	290.435 m/s	1702.78 m/s	ratio: 5.863
32.45 m	2.007 g/cc	317.391 m/s	1786.758 m/s	ratio: 5.63
41.113 m	2.145 g/cc	329.13 m/s	1887.923 m/s	ratio: 5.736
55.0 m				

modello interpretativo 1 D del profilo di velocità delle onde S (i valori di densità e di Vp sono ripresi da prove di laboratorio e prove geofisiche acquisiti nella stessa area)

## Area RE1\_Prova RE1\_15

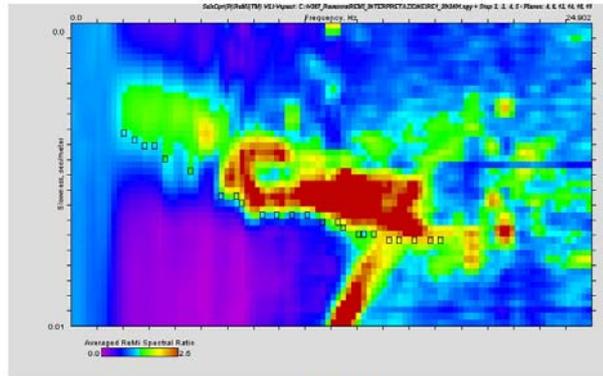
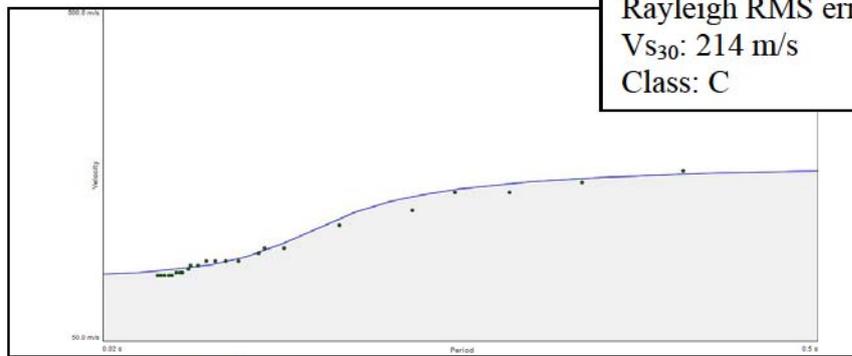


grafico p-f



Rayleigh RMS error: 6.8 m/s  
 $V_{S30}$ : 214 m/s  
 Class: C

diagramma periodo – velocità di fase

	Density	
4.125 m	1.794 g/cc	150.435 m/s    670.183 m/s    ratio: 4.455
	1.844 g/cc	162.174 m/s    1410.916 m/s    ratio: 8.7
11.0 m	1.857 g/cc	251.304 m/s    1414.727 m/s    ratio: 5.63
15.95 m	1.894 g/cc	262.609 m/s    1624.163 m/s    ratio: 6.185
20.35 m	1.919 g/cc	285.652 m/s    1670.619 m/s    ratio: 5.848
26.675 m	1.97 g/cc	281.304 m/s    1702.78 m/s    ratio: 6.053
32.45 m	2.007 g/cc	284.348 m/s    1786.758 m/s    ratio: 6.284
41.113 m	2.145 g/cc	310.87 m/s    1887.923 m/s    ratio: 6.073
55.0 m		

*modello interpretativo 1 D del profilo di velocità delle onde S (i valori di densità e di Vp sono ripresi da prove di laboratorio e prove geofisiche acquisiti nella stessa area)*

## Area RE1\_Prova RE1\_16

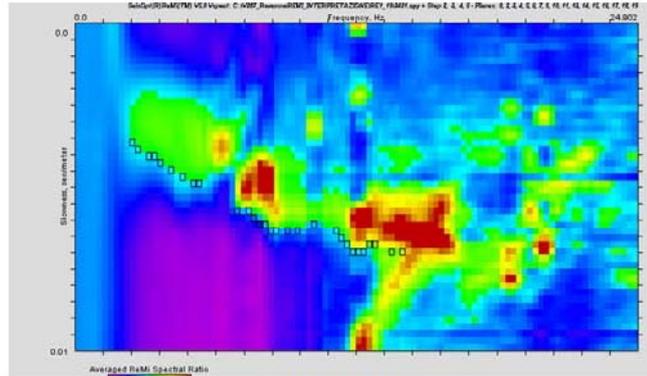
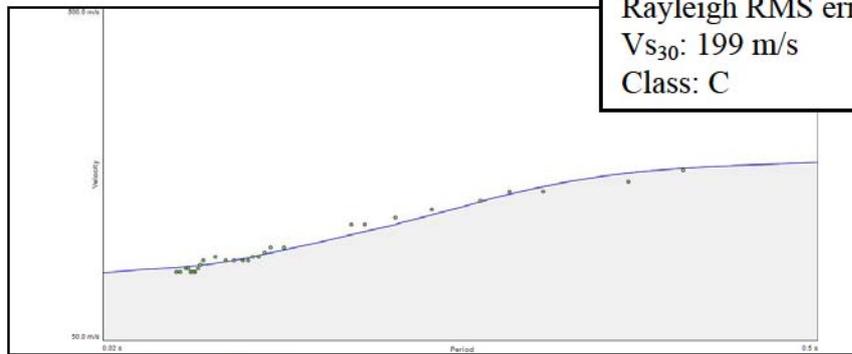


grafico p-f



Rayleigh RMS error: 6.2 m/s  
 $V_{S30}$ : 199 m/s  
 Class: C

diagramma periodo – velocità di fase

Density			
3.988 m	1.794 g/cc	150.435 m/s	670.183 m/s ratio: 4.455
	1.844 g/cc	158.696 m/s	1410.916 m/s ratio: 8.891
9.9 m	1.857 g/cc	214.348 m/s	1414.727 m/s ratio: 6.6
15.95 m	1.894 g/cc	218.261 m/s	1624.163 m/s ratio: 7.441
20.35 m	1.919 g/cc	226.087 m/s	1670.619 m/s ratio: 7.389
26.675 m	1.97 g/cc	284.348 m/s	1529.081 m/s ratio: 5.378
32.45 m	2.007 g/cc	307.391 m/s	1786.758 m/s ratio: 5.813
41.113 m	2.145 g/cc	325.217 m/s	1864.159 m/s ratio: 5.732
55.0 m			

*modello interpretativo 1 D del profilo di velocità delle onde S (i valori di densità e di Vp sono ripresi da prove di laboratorio e prove geofisiche acquisiti nella stessa area)*