

S.S. n.131 "Carlo Felice"  
Completamento itinerario Sassari – Olbia

Potenziamento–Messa in sicurezza dal km 192+500 al km 209+500

1° lotto (dal km 193 al km 199)

**PROGETTO DEFINITIVO**

COD. CA349

**PROGETTAZIONE: ATI VIA - SERING - VDP - BRENG**

PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Giovanni Piazza (Ord. Ing. Prov. Roma 27296)

RESPONSABILI D'AREA:

Responsabile Traccie e Infrastrutture: Dott. Ing. Massimo Capasso

(Ord. Ing. Prov. Roma 26031)

Responsabile Strutture: Dott. Ing. Giovanni Piazza

(Ord. Ing. Prov. Roma 27296)

Responsabile Idraulica, Geotecnica e Impianti: Dott. Ing. Sergio Di Maio

(Ord. Ing. Prov. Palermo 2872)

Responsabile Ambiente: Dott. Ing. Francesco Ventura

(Ord. Ing. Prov. Roma 14660)

GEOLOGO:

Dott. Geol. Enrico Curcuruto (Ord. Geo. Regione Sicilia 966)

COORDINATORE SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Matteo Di Girolamo (Ord. Ing. Prov. Roma 15138)

RESPONSABILE SIA:

Dott. Ing. Francesco Ventura (Ord. Ing. Prov. Roma 14660)

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Salvatore Frasca

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

MANDATARIA:



MANDANTI:



**GEOLOGIA, GEOTECNICA E SISMICA**

Documentazioni indagini geofisiche – Anno 2019



CODICE PROGETTO

PROGETTO

LIV. PROG. ANNO

D P C A 0 3 4 9    D    2 0

NOME FILE

CA349\_T00GE00GETSC02\_A

CODICE ELAB.

T 0 0 G E 0 0 G E T S C 0 2

REVISIONE

A

SCALA:

-

D					
C					
B					
A	EMISSIONE	NOV. 2020	VT	SDM	G. PIAZZA
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

# DOCUMENTAZIONE INDAGINI GEOFISICHE



**PROJECT:**

S.S. 131 COMPLETAMENTO ITINERARIO SASSARI -  
OLBIA POTENZIAMENTO-MESSA IN SICUREZZA SS 131,  
DAL KM 192+500 AL KM 209+500 - 1° LOTTO

**LOCATION:**

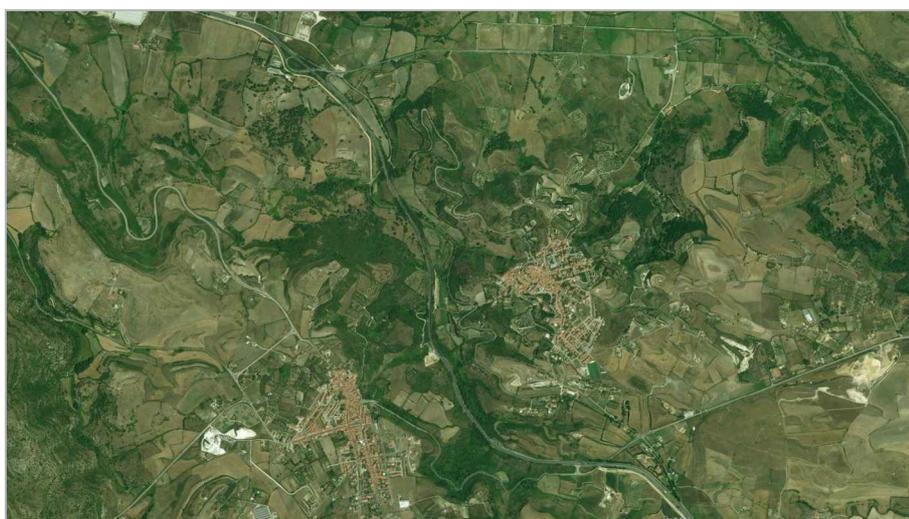
COMUNE DI CODRONGIANOS (SS)

**CLIENT:**

ANAS S.p.A.

**OBJECT:**

DOCUMENTAZIONE INDAGINI GEOFISICHE



**Tecno In Ref.:** R.C. 050/19  
**Revision n.:** 00  
**Date:** giugno 2019  
**Description:** emissione

**Redacted by:** Dr. Geol. Giovanni Antonucci  
**Reviewed by:** Dr.ssa Geol. Maria Gabriella Vadalà  
**Approved by:** Dr. Geol. Lucio Amato  
**Document code:** 050-19\_geofisica.pdf

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE TOMOGRAFICA</b>	<b>3</b>
2.1	DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA	3
2.2	DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	4
2.3	DESCRIZIONE DELLE MODALITA' ESECUTIVE	6
2.4	DESCRIZIONE DELL'ELABORAZIONE DEI DATI	7
2.5	RISULTANZE DELL'INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE TOMOGRAFICA	8
2.5.1	BS1a	9
2.5.2	BS1b	12
2.5.3	BS2a	15
2.5.4	BS2b	18
2.5.5	BS3	21
2.5.6	BS4	24
2.5.7	BS5	27
2.5.8	BS6	30
<b>3</b>	<b>INDAGINI DOWN-HOLE</b>	<b>33</b>
3.1	DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA ED ELABORAZIONE DATI	33
3.2	DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	36
3.3	DESCRIZIONE DELLE MODALITA' ESECUTIVE	37
3.4	RISULTANZE DELL'INDAGINE DOWN-HOLE	38
3.4.1	S02-DH	39
3.4.2	S03-DH	44
3.4.3	S07-DH	49
3.4.4	S10-DH	54
3.4.5	S14-DH	59
3.4.6	S18-DH	64
3.5	DETERMINAZIONE DEL PARAMETRO $V_{s,eq}$	69

## **1 PREMESSA**

Il presente elaborato viene redatto per il Completamento dell'itinerario Sassari - Olbia in relazione alle attività di potenziamento e messa in sicurezza della S.S. 131 in particolare il tratto denominato 1° Lotto tra il km 192+500 e il km 209+500. Le indagini ricadono nel comune di Codrongianos nella provincia di Sassari.

Nell'ambito dei lavori summenzionati, sono state eseguite le seguenti prove:

- n.8 prospezioni sismiche a rifrazione tomografica.
- n.6 indagini sismiche in foro down-hole.

Si precisa che il numero e la tipologia di prospezioni sismiche a rifrazione è variato rispetto a quanto previsto nella scheda sintetica per motivi logistici. Le quantità e le modalità esecutive sono state concordate con la Committenza.

Le indagini in oggetto sono state effettuate nel mese di maggio 2019.

## 2 INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE TOMOGRAFICA

### 2.1 DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA

Il metodo sismico a rifrazione è un metodo non invasivo che si basa sulla misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche (P o S) generate in superficie da una sorgente sismica e captate da ricevitori, anch'essi in superficie, disposti su un allineamento a diverse distanze dalla sorgente. Le onde elastiche sono, quindi, rilevate da un array di geofoni, infissi al suolo, con spaziatura regolare.

I tempi di primo arrivo, correlati alle diverse distanze sorgente-ricevitore, permettono la stima (calcolo) delle geometrie del sottosuolo (disposizione morfologica delle interfacce) e delle velocità di propagazione delle onde sismiche.

La generazione delle onde elastiche avviene presso una base sismica (Fig. 2.1), operando con energizzazioni ripetute in modo da ottenere un segnale caratterizzato da un rapporto segnale-rumore soddisfacente. Tale geometria è necessaria per l'utilizzo successivo dell'algoritmo tomografico.

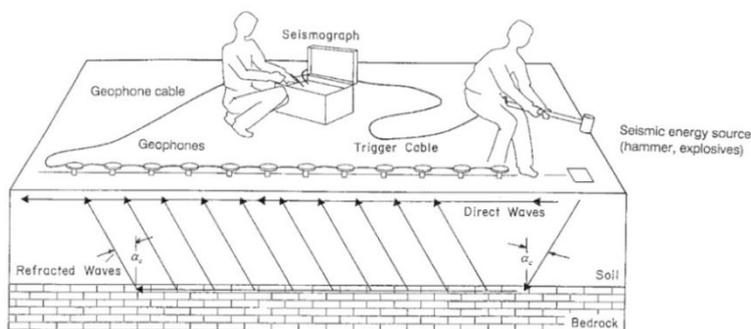


Fig. 2.1 - Schema esecutivo della sismica a rifrazione (fonte norma ASTM D 5777 - 00).

L'indagine eseguita con la metodologia della tomografia sismica a rifrazione necessita di un numero di tiri eseguiti sia internamente sia esternamente a ciascun stendimento. Nel caso in oggetto, sono stati eseguiti un numero di tiri compresi tra cinque e nove a seconda della lunghezza dello stesso stendimento. Di seguito, si riporta lo schema adottato per una base sismica lunga 120 metri (Fig. 2.2).

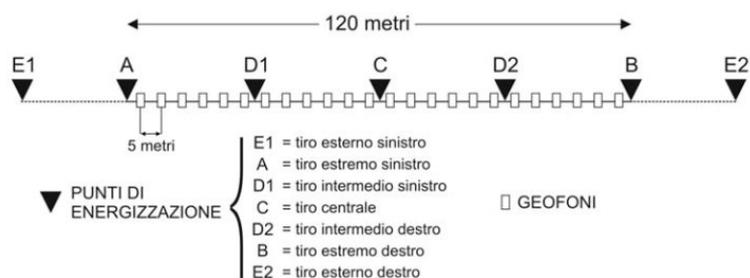


Fig. 2.2 - Tomografia sismica. Disposizione siti di energizzazione.

I sistemi energizzanti (sia per la generazione delle onde P sia delle onde SH) devono essere in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali.

Per la generazione in onde P, la sorgente è generalmente costituita da un cannoncino industriale (tipo "minibang") ed eventualmente la mazza sismica.

Il sistema sorgente per le onde SH è generalmente costituito da un parallelepipedo di forma tale da poter essere colpito lateralmente ad entrambe le estremità con una massa pesante. In fase d'installazione, il parallelepipedo è gravato di un carico statico addizionale in modo che possa rimanere aderente al terreno sia al momento in cui viene colpita sia successivamente, affinché l'energia prodotta non venga in parte dispersa. Con questo dispositivo è possibile generare essenzialmente delle onde elastiche di taglio polarizzate orizzontalmente, con uniformità sia nella direzione di propagazione che nella polarizzazione e con una generazione di onde P trascurabile.

## 2.2 DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Di seguito sono riportate le specifiche della strumentazione utilizzata per l'esecuzione delle indagini sismica a rifrazione:

Geofoni, a componente verticale, con frequenza pari a 14 Hz, ed a componente orizzontale, con frequenza pari a 10 Hz, della **OYO GEOSPACE**.

Trigger, costituito da un dispositivo, collegato al sistema di acquisizione, che permette di avviare la registrazione del segnale sismico acquisito dai geofoni nell'istante in cui la sorgente viene attivata e parte la sollecitazione dinamica. Il sistema di "innescò" è stato realizzato mediante un geofono di superficie posizionato in prossimità della sorgente e attivato dall'impatto, nell'istante in cui la massa battente colpisce la sorgente.

Sistema di energizzazione, costituito, per la generazione delle onde P da una sorgente impattiva costituita da un martello da 10 kg e un piattello metallico posto al suolo nonché da un energizzatore *minibang* equipaggiato con cartucce industriali calibro 8.

Per le onde SH, è stato adoperato un parallelepipedo in polietilene ad alta densità contrastato mediante appropriata zavorra ed utilizzata la massa battente descritta in precedenza.

I segnali sismici, sono stati acquisiti mediante un sismografo **MAE X610S** a 24 bits, di cui sono riportate le caratteristiche principali:

- Convertitori: risoluzione 24 bit, tecnologia sigma-delta
- Range dinamico: 144 dB (teorico)
- Distorsione massima: +/-0.0010%
- Banda passante: 2Hz-30KHz
- Common mode rejection: 110 dB a 60 Hz
- Diafonia: -120dB a 20 Hz
- Soglia di rumore dell'amplificatore programmabile: 27nV
- Precisione del trigger: 1/30 del tempo di campionatura
- Guadagno di preamplificazione: 24 e 36 dB
- Delay: da 0 a 100 sec ad intervalli di 1 campione a passo
- Tipo di guadagno: Automatico (AGC)
- Range massimo segnale in ingresso: +/-5V
- Impedenza di ingresso a 1000 campioni /secondo 20Mohm
- Livelli di amplificazione: 0 dB, 6 dB, 12 dB, 18 dB, 24 dB, 30 dB, 36 dB impostabili singolarmente per ogni canale o per gruppi di canali liberamente organizzabili
- Filtro anti-alias: -3dB,80% della frequenza di Nyquist,-80dB
- Intervalli di campionamento: 1/30, 1/15, 1/7.5, 1/3.75, 0.5, 1.0, 2.0, 10.0, 20.0 ms
- Numero di campioni per evento: impostabile da 1024 a 21800 con incrementi di 512
- Interfacce disponibili: LAN, USB, VGA
- Canali: configurazioni da 24, 48 o 72. Possibilità di utilizzare da 1 al numero massimo di canali installati per ogni acquisizione
- Auto-calibrazione interna dei convertitori prima di ogni acquisizione
- Filtri digitali: selezionati automaticamente in base alla frequenza di campionatura
- Test geofoni: verifica automatica per individuare interruzioni dei cavi oppure geofoni rotti o in corto.

### 2.3 DESCRIZIONE DELLE MODALITA' ESECUTIVE

Nell'ambito della commessa in oggetto, come accennato in premessa, sono state eseguite **n.8** prospezioni sismiche a rifrazione, con elaborazione tomografica, la cui ubicazione è riportata nelle tavole allegate.

Di seguito, si riportano le specifiche di ciascuna prospezione:

Codice indagine	Lunghezza (m)	UTM WGS84			
		Coordinata iniziale EST	Coordinata iniziale NORD	Coordinata finale EST	Coordinata finale NORD
BS1a	46	472689,196	4499888,389	472732,562	4499880,948
BS1b	69	472650,632	4499953,617	472677,952	4499893,582
BS2a	46	472306,091	4500579,051	472321,414	4500532,712
BS2b	69	472285,405	4500683,392	472297,710	4500615,520
BS3	115	472255,416	4500994,862	472216,787	4501100,443
BS4	115	472101,811	4501447,595	472136,548	4501342,141
BS5	115	472050,733	4501524,478	472099,050	4501422,974
BS6	115	471951,766	4501717,617	472000,542	4501620,414

*Tab. 2.1 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto. Indagini sismiche a rifrazione.*

Le modalità esecutive per effettuare l'elaborazione tomografica differiscono dalla sismica convenzionale per il maggior numero di registrazioni che sono realizzare al fine di coprire in maniera omogenea l'intera sezione sismica in tutti i settori e fino alle profondità adeguate senza lasciare tratti scoperti o disomogenei.

Posizionati i geofoni sul terreno, essi sono collegati con appositi morsetti al cavo multipolare che viene connesso al sismografo. Ultimata l'installazione sono effettuati alcuni tiri di prova per tarare i parametri di acquisizione del sismografo stesso.

Effettuate le operazioni di verifica e taratura della strumentazione, si procede all'acquisizione dei segnali su ciascun punto prestabilito ed alla memorizzazione dei dati sia sulla memoria di massa del sismografo sia sul pen drive.

## 2.4 DESCRIZIONE DELL'ELABORAZIONE DEI DATI

I dati acquisiti in campo sono stati sottoposti ad una fase di pre-processing avvalendosi del software **IXSeg2Segy** della **INTERPEX**. Tale fase è consistita nell'applicazione del DC removal, di filtraggio passa-banda e nell'ottimizzazione del guadagno.

Ultimata questa fase, si è proceduto con la determinazione dei primi tempi d'arrivo (*first break peak - F.B.P.*) sia delle onde P sia delle onde SH. Per ciascun file dati acquisito in campo, è stato creato un file txt contenente i tempi d'arrivo espressi in millisecondi (ms). Tutti i file relativi ai tempi d'arrivo sono confluiti in un foglio di calcolo al fine di poter restituire le cosiddette *dromocrone* ovvero la rappresentazione dei diagrammi *tempi-distanze* della sezione sismica.

Al fine di eseguire l'elaborazione, in termini di velocità di propagazione delle onde elastiche, sono stati ricavati tre file ascii relativi, rispettivamente, al numero e disposizione delle sorgenti (file *source*), al numero e disposizione dei geofoni (file *receiver*) ed ai tempi d'arrivo (file *observations*). Tali file costituiscono l'input per il software tomografico utilizzato **SeisOpt@2D** della **Optim™ software & data solutions**.

Il metodo tomografico utilizzato, si basa su un metodo di ottimizzazione non-lineare, noto come metodo di ottimizzazione numerica simulata (*simulated annealing*), utilizzato per ricavare un modello di velocità delle onde sismiche, ad elevata risoluzione, dalla misurazione dei tempi di arrivo delle onde P ed SH.

Il metodo citato è un processo basato sul metodo di Monte-Carlo che può combinare i tempi di arrivo delle onde in un modello di velocità. Tale modello può essere considerato superiore ai più sofisticati metodi d'inversione non-lineare. L'algoritmo compie un'elaborazione impostando un modello con una variazione casuale del parametro d'interesse, sino a che il modello sismico sintetico dei tempi di arrivo delle onde sismiche calcolate non collima con i tempi di arrivo osservati.

Processi iterativi fanno in modo di far convergere la soluzione riducendo, ad ogni iterazione, lo scarto eliminando quelle soluzioni i cui errori oltrepassano l'errore totale ammesso dall'algoritmo di calcolo.

In definitiva, il processo di ottimizzazione adottato troverà la soluzione testando diverse migliaia di soluzioni possibili prima di arrivare alla soluzione ottimale proposta che è quella, come detto in precedenza, in cui i tempi di arrivo calcolati coincidono, a meno di uno scarto ridotto, con quelli osservati.

In pratica, i software adottati, che si basano sul principio del *simulated annealing*, pervengono ad un modello ottimizzato delle velocità utilizzando, in input, i soli tempi di primo arrivo delle onde sismiche e la geometria dell'array (distanze e variazioni di quota) non richiedendo informazioni preliminari sulla geometria della struttura sotterranea. L'algoritmo, come già accennato in precedenza, esegue ripetute modellizzazioni dirette laddove un nuovo modello proposto è accettato o rigettato in base ad un criterio di probabilità tenendo in considerazione l'andamento globale dei tempi di arrivo.

## 2.5 RISULTANZE DELL'INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE TOMOGRAFICA

Le prospezioni sismiche in oggetto sono state compiute posizionando al suolo **n.8** basi sismiche aventi ognuna un numero di canali pari a 24 ed aventi lunghezza complessiva compresa tra 46 e 115 metri.

I dati sono stati acquisiti energizzando in corrispondenza dei siti esterni, in prossimità degli estremi, in funzione della logistica, ed un numero di tiri interni compreso tra uno e tre.

Come accennato in precedenza, i tempi di arrivo delle onde P ed SH sono stati adoperati quale input (assieme alla geometria dei tiri di energizzazione e dei geofoni) nel software di elaborazione tomografica per ottenere le relative pseudosezioni sismiche.

Queste sono riportate esprimendo i dati di velocità delle onde di compressione e di taglio mediante isolinee e campitura a falsi colori.

Di seguito, per i profili eseguiti, si riportano le seguenti informazioni / elaborazioni:

- dromocrone ottenute dalla lettura dei primi tempi d'arrivo delle onde P ed SH;
- stralcio della planimetria delle indagini, con l'ubicazione del profilo elaborato;
- pseudosezioni sismiche in onde P e in onde S;
- analisi dei dati in velocità di propagazione delle onde elastiche in termini di gradiente geosismico per l'individuazione dei sismostrati.

2.5.1 BS1a

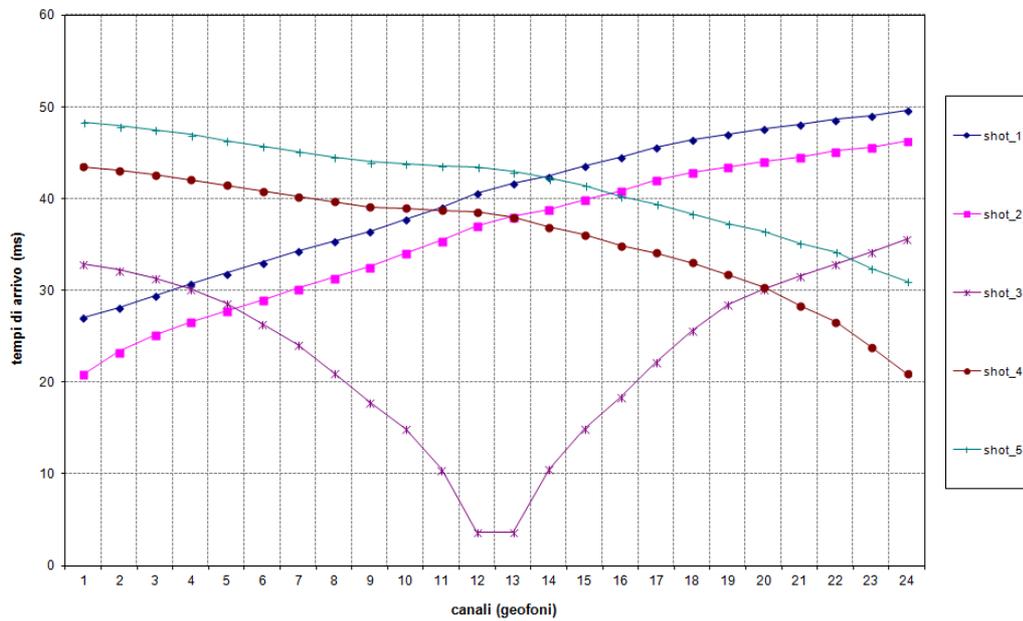


Fig. 2.3 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Tomografia sismica in onde P. Profilo BS1a. Dromocrone.

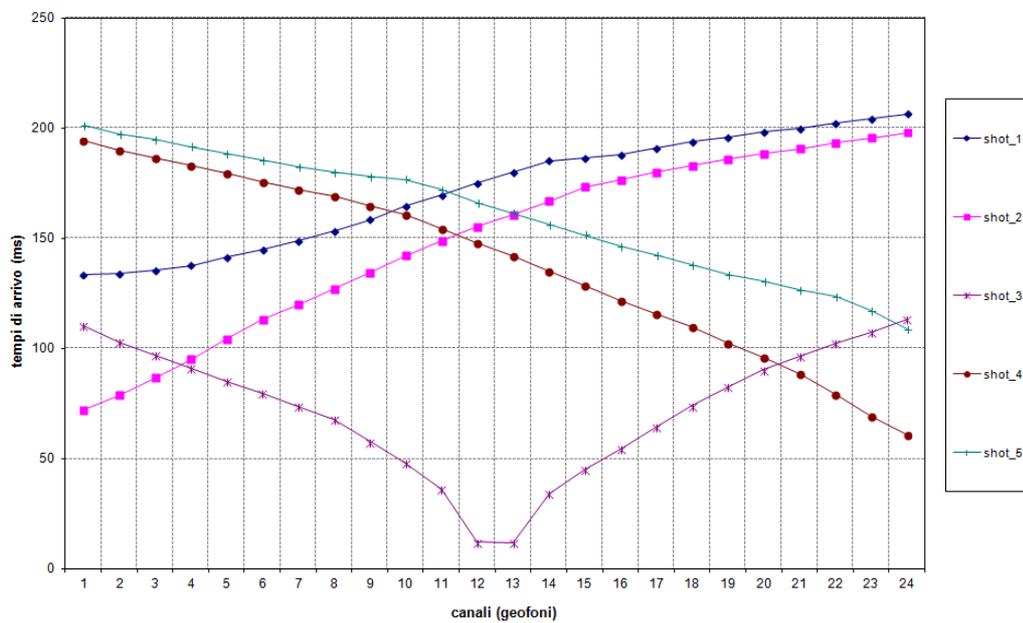


Fig. 2.4 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Tomografia sismica in onde S. Profilo BS1a. Dromocrone.

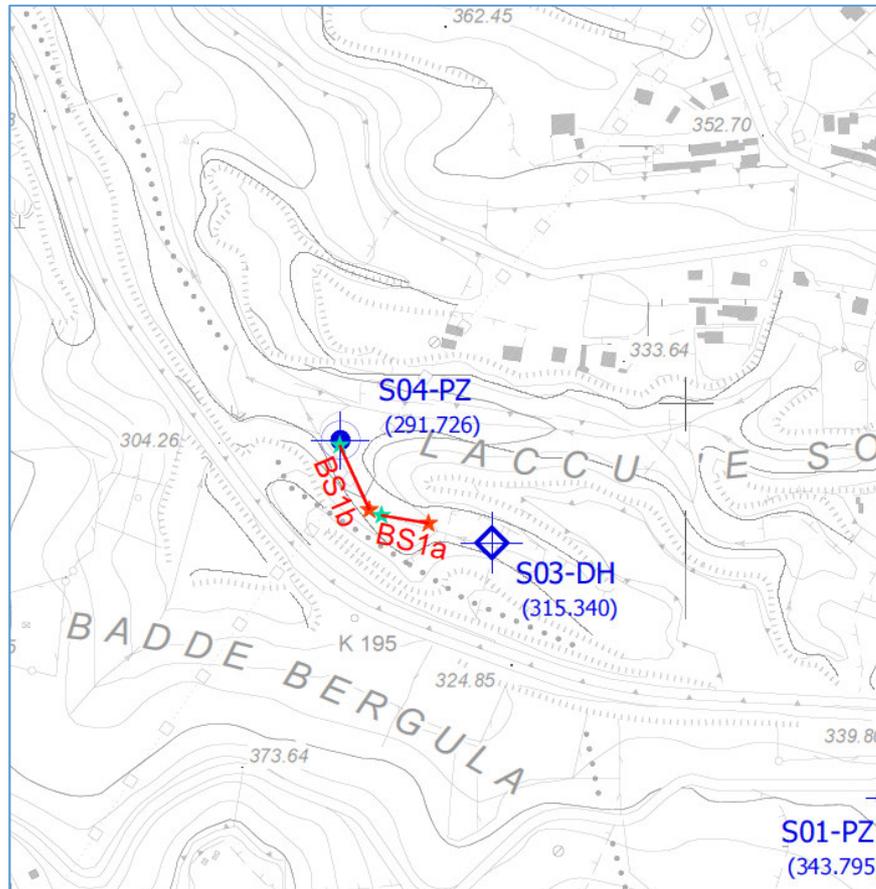


Fig. 2.5 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari - Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.

Stralcio dell'ubicazione indagine.



I simboli indicano l'inizio (stella colore ciano) e la fine (stella di colore arancione) del profilo.

Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico **BS1a** hanno permesso di evidenziare due sismostrati.

Il primo sismostrato si attesta tra il piano campagna ed una profondità media di circa 7 m, ed è costituito da riporto seguito da sabbie, argille e ghiaie. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 150 e 350 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 350 e 1.000 m/s.

In profondità, la velocità delle onde sismiche aumenta sino a raggiungere valori compresi tra 350 e 700 m/s, per quanto riguarda le onde S, mentre per quel che concerne le velocità delle onde P, risultano comprese tra 1.000 e 2.200 m/s.

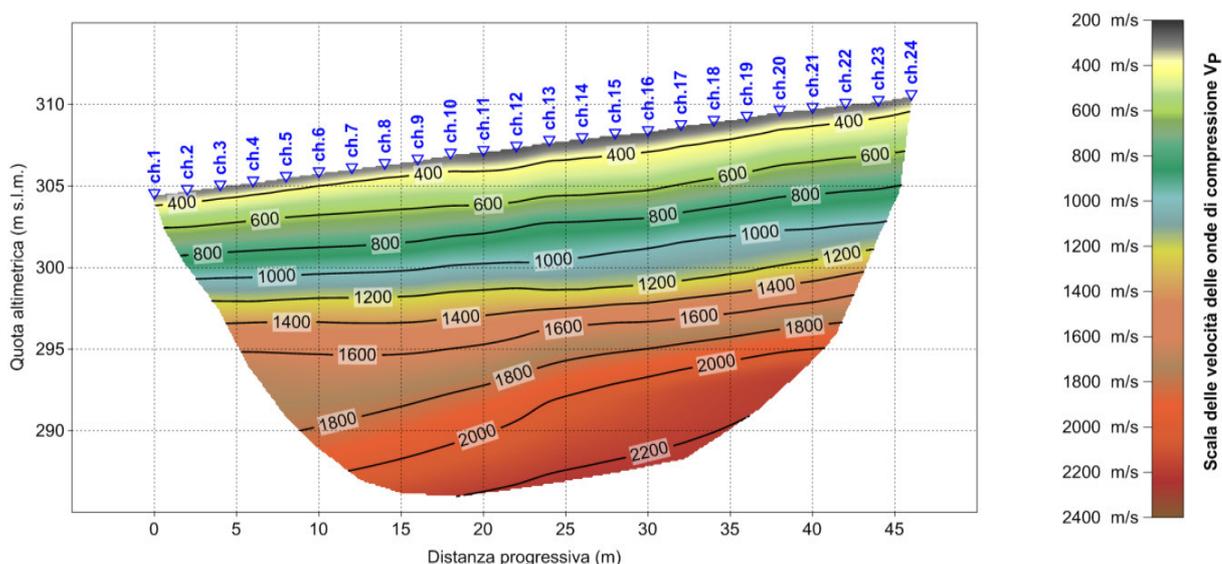


Fig. 2.6 - S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS1a.

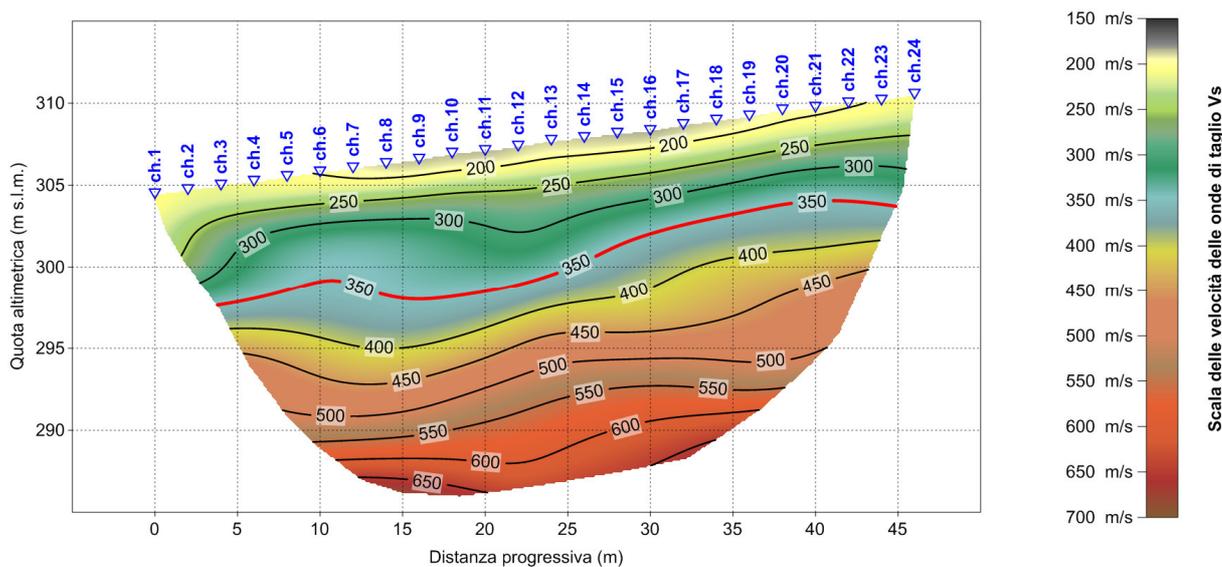


Fig. 2.7 - S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS1a.

2.5.2 BS1b

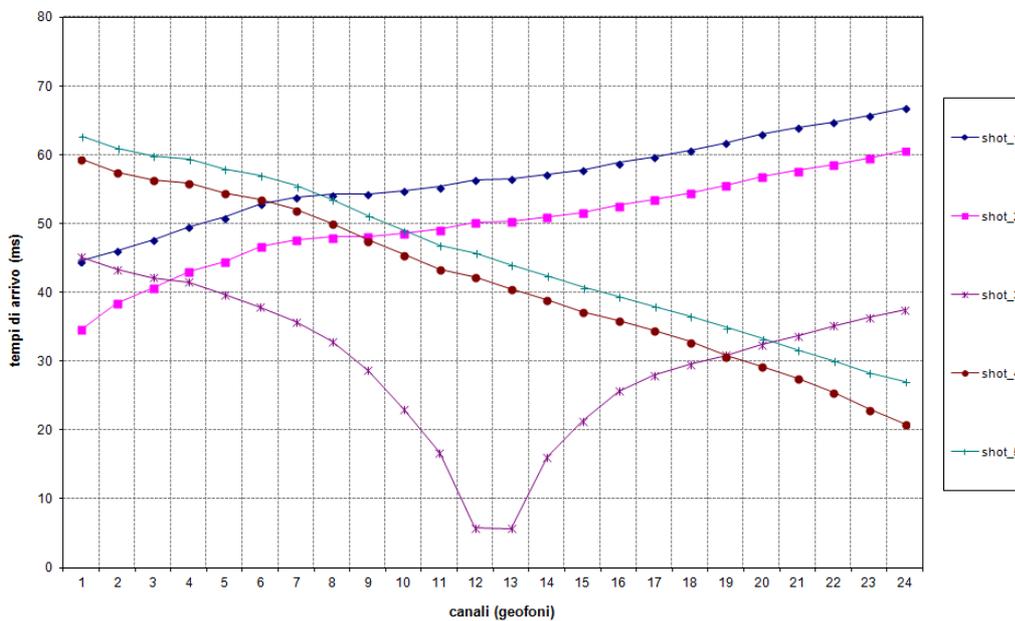


Fig. 2.8 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Tomografia sismica in onde P. Profilo BS1b. Dromocrone.

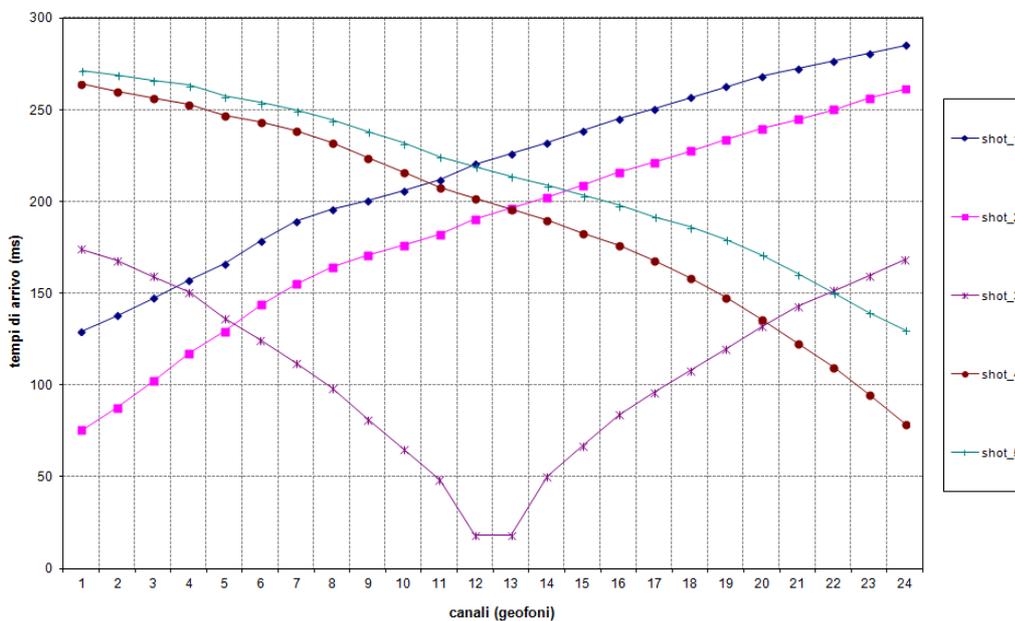


Fig. 2.9 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Tomografia sismica in onde S. Profilo BS1b. Dromocrone.

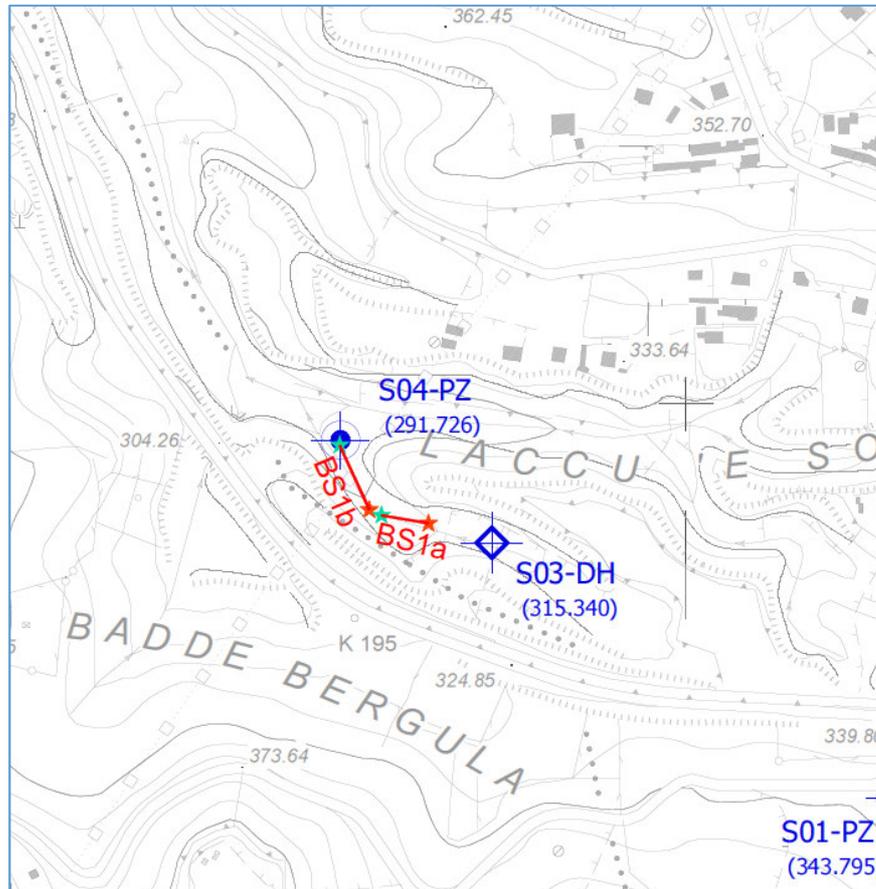


Fig. 2.10 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.

Stralcio dell'ubicazione indagine.



I simboli indicano l'inizio (stella colore ciano) e la fine (stella di colore arancione) del profilo.

Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico **BS1b** hanno permesso di evidenziare tre sismostrati.

Il primo sismostrato si attesta ad una profondità media di circa 7 m dal p.c. ed è costituito da riporto seguito da sabbie, argille e ghiaie. La velocità delle onde S è compresa tra 150 e 350 m/s, mentre la velocità delle onde P varia tra 350 e 1.000 m/s. Il secondo sismostrato, compreso tra la prima interfaccia ed una profondità di circa 20 m dal p.c., presenta velocità delle onde S compresa tra 350 e 600 m/s e velocità delle onde P compresa tra 1.000 e 2.000 m/s. In questo orizzonte si rinvencono litologie per lo più calcarenitiche alterate.

In profondità sono presenti litologie calcareo marnose. La velocità delle onde sismiche aumenta sino ad oltrepassare 700 m/s, per le onde S, e fino a 2.500 m/s, per le onde P.

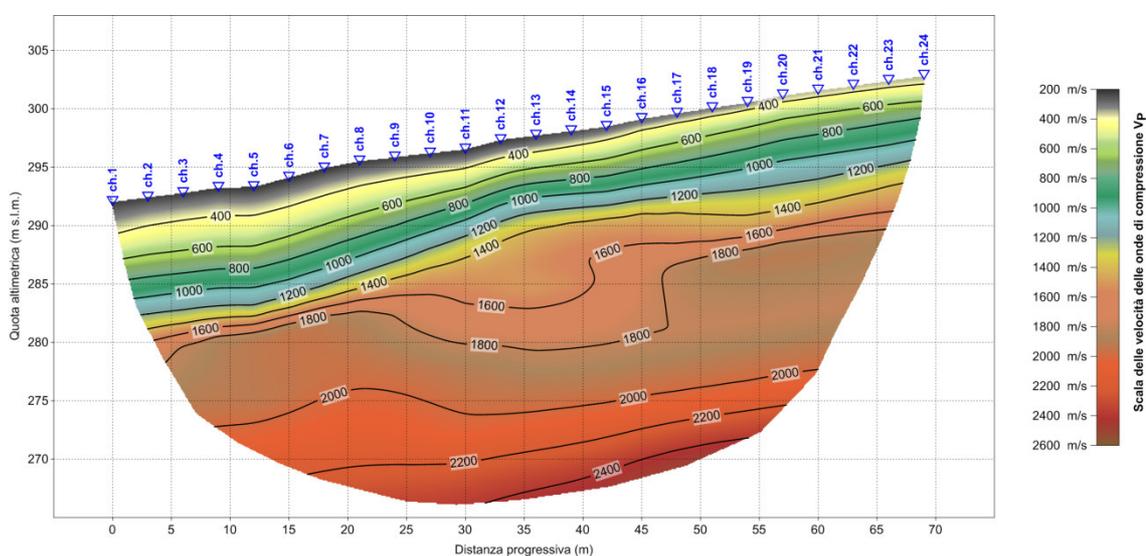


Fig. 2.11 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS1b.

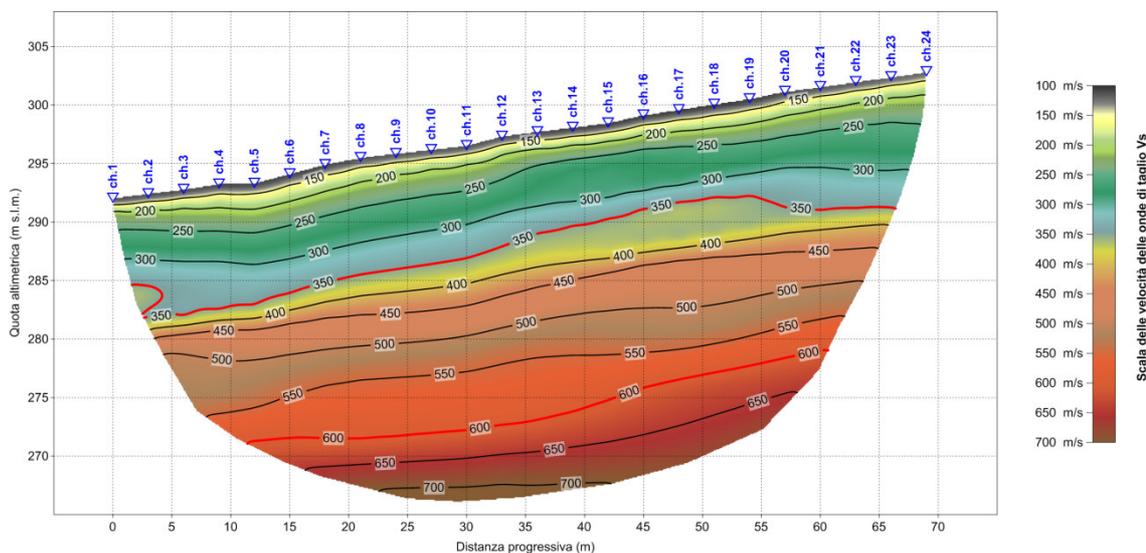


Fig. 2.12 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS1b.

2.5.3 BS2a

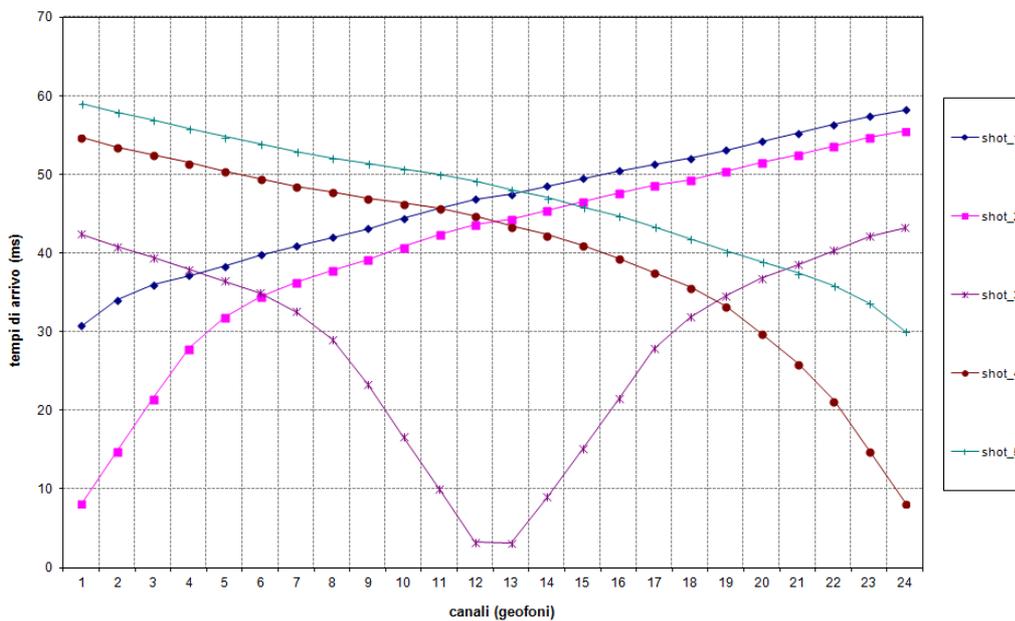


Fig. 2.13 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Tomografia sismica in onde P. Profilo BS2a. Dromocrone.

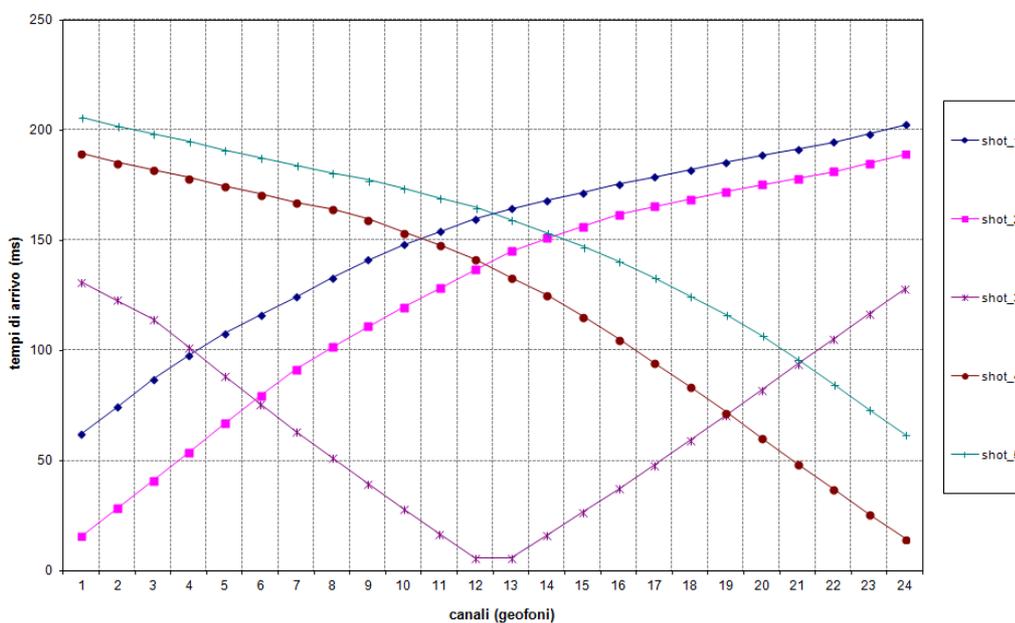


Fig. 2.14 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Tomografia sismica in onde S. Profilo BS2a. Dromocrone.

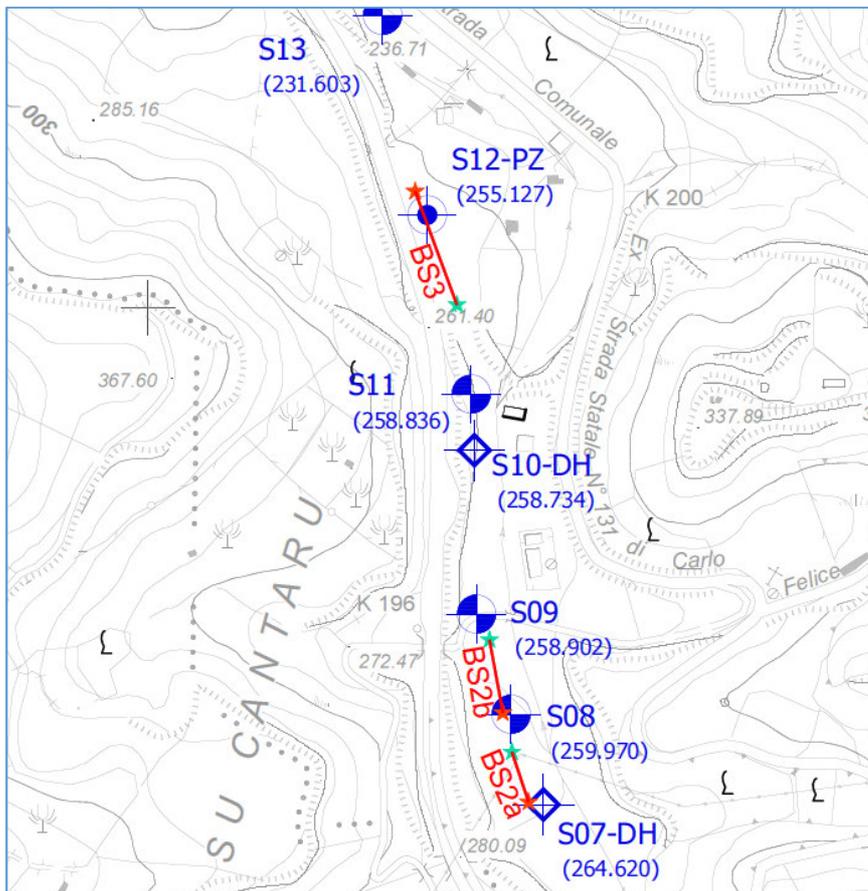


Fig. 2.15 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.

Stralcio dell'ubicazione indagine.



I simboli indicano l'inizio (stella colore ciano) e la fine (stella di colore arancione) del profilo.

Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico **BS2a** hanno permesso di evidenziare due sismostrati.

L'interfaccia che separa i due sismostrati, si attesta ad una profondità media di circa 7,5 m dal p.c.

Il primo sismostrato, costituito da riporto seguito da argille, sabbie e limi, presenta velocità delle onde di taglio compresa tra 150 e 300 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 300 e 900 m/s.

In profondità, la velocità delle onde sismiche aumenta sino a raggiungere valori di velocità delle onde di taglio compresi tra 300 e 500 m/s, mentre le velocità delle onde P risultano comprese tra 900 e 1.600 m/s.

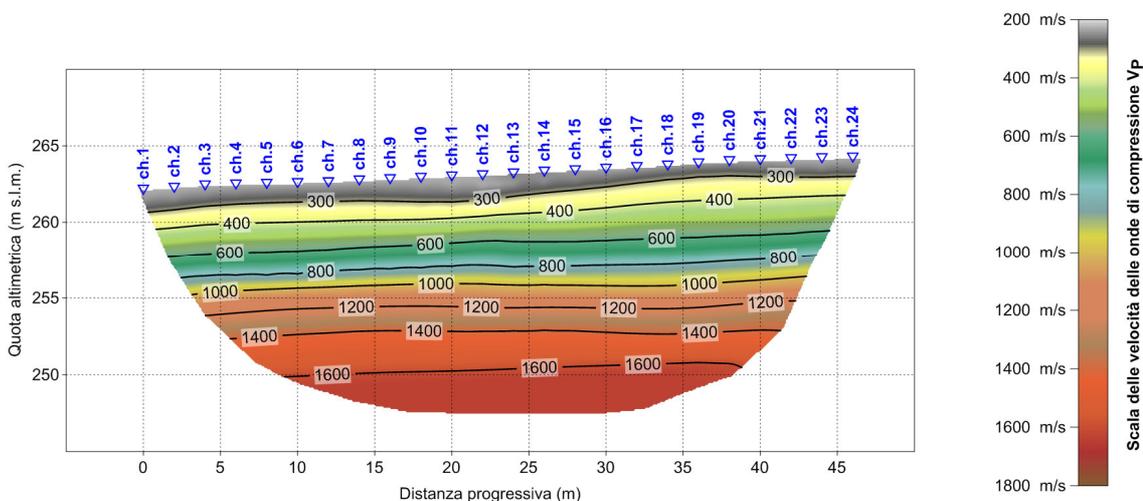


Fig. 2.16 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS2a.

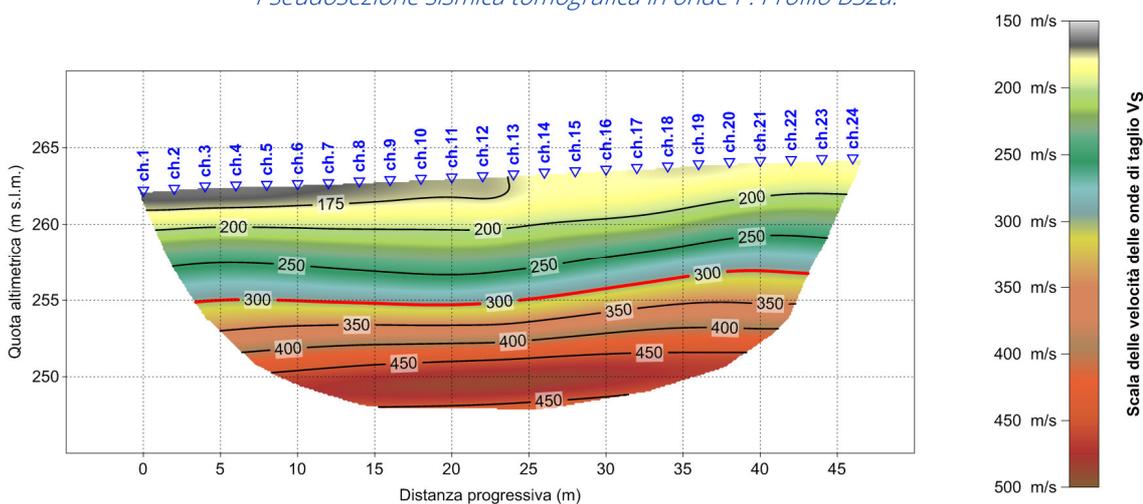


Fig. 2.17 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS2a.

2.5.4 BS2b

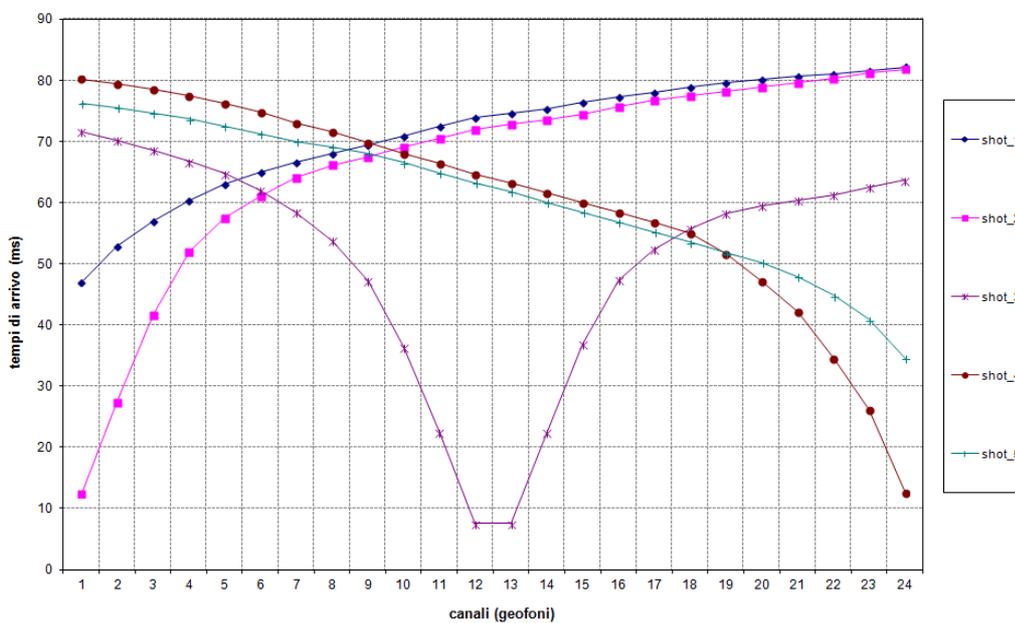


Fig. 2.18 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Tomografia sismica in onde P. Profilo BS2b. Dromocrone.

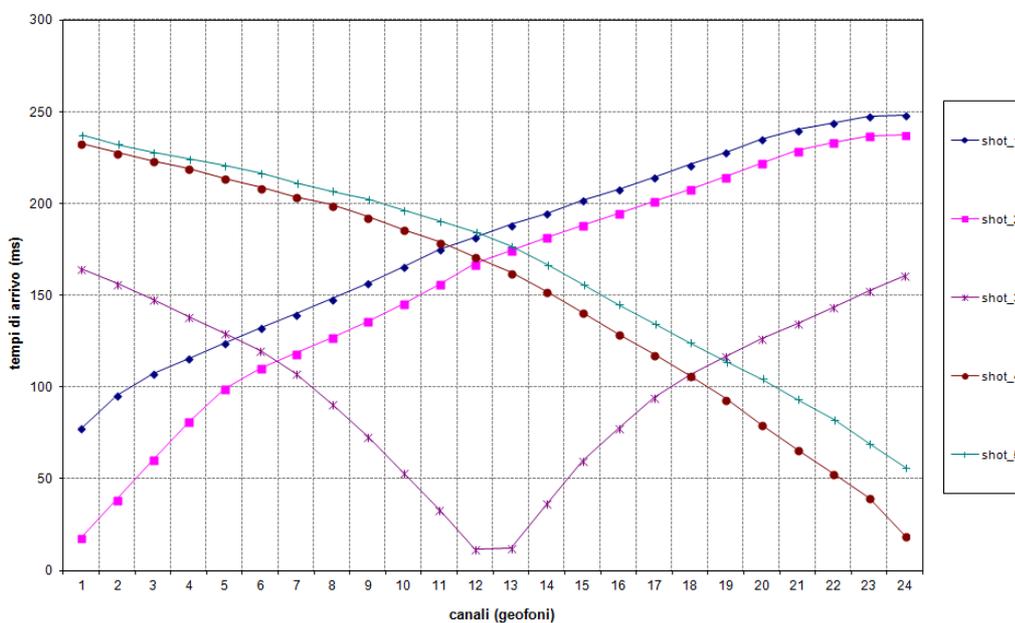


Fig. 2.19 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Tomografia sismica in onde S. Profilo BS2b. Dromocrone.

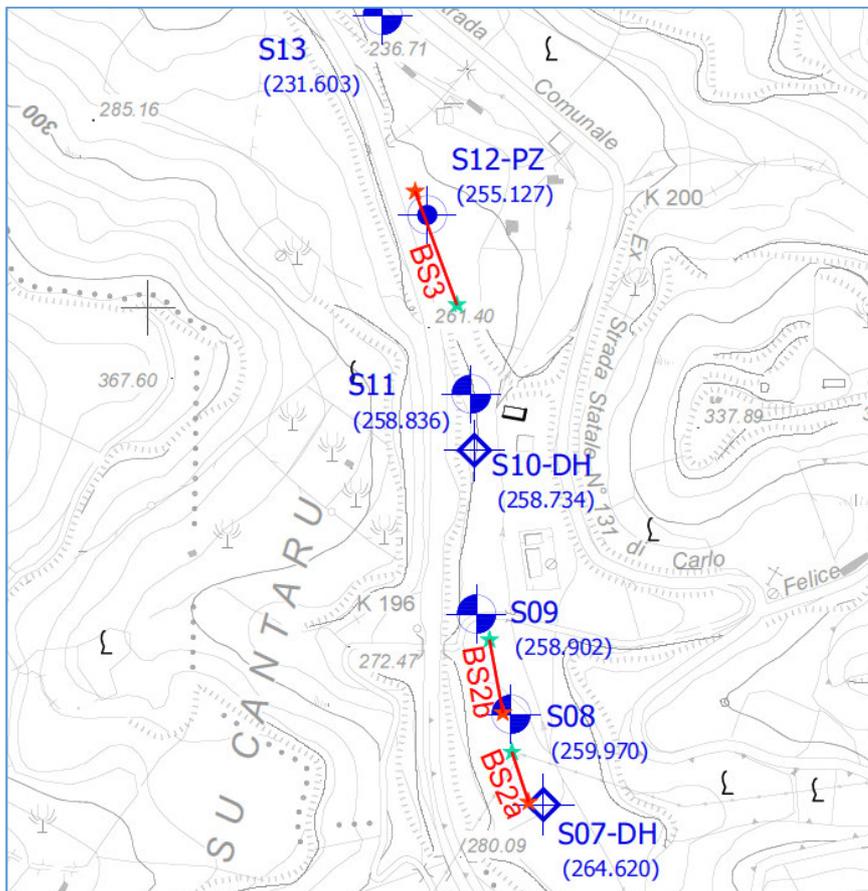


Fig. 2.20 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.

Stralcio dell'ubicazione indagine.



I simboli indicano l'inizio (stella colore ciano) e la fine (stella di colore arancione) del profilo.

Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico **BS2b** hanno permesso di evidenziare due sismostrati.

L'interfaccia che separa i due sismostrati, si attesta ad una profondità media di circa 10 m dal p.c.

Il primo sismostrato, costituito da riporto seguito da sabbie, argille e ghiaie, presenta velocità delle onde di taglio compresa tra 150 e 350 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 300 e 1.400 m/s.

In profondità, la velocità delle onde sismiche aumenta sino a raggiungere valori compresi tra 350 e 600 m/s per le onde S, mentre le onde P risultano comprese tra 1.400 e 2.400 m/s. Le litologie prevalenti a queste profondità sono costituite da marne e argille marnose molto consistenti.

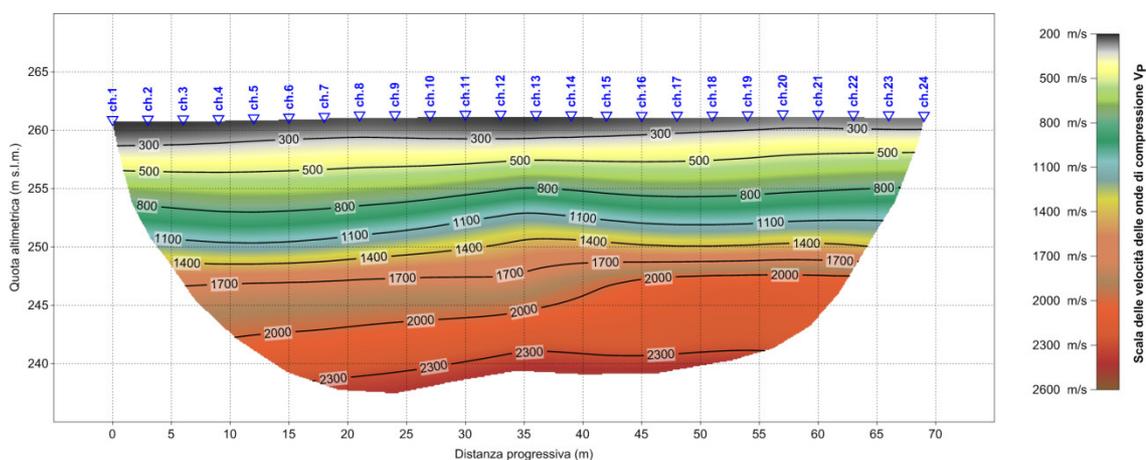


Fig. 2.21 - S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS2b.

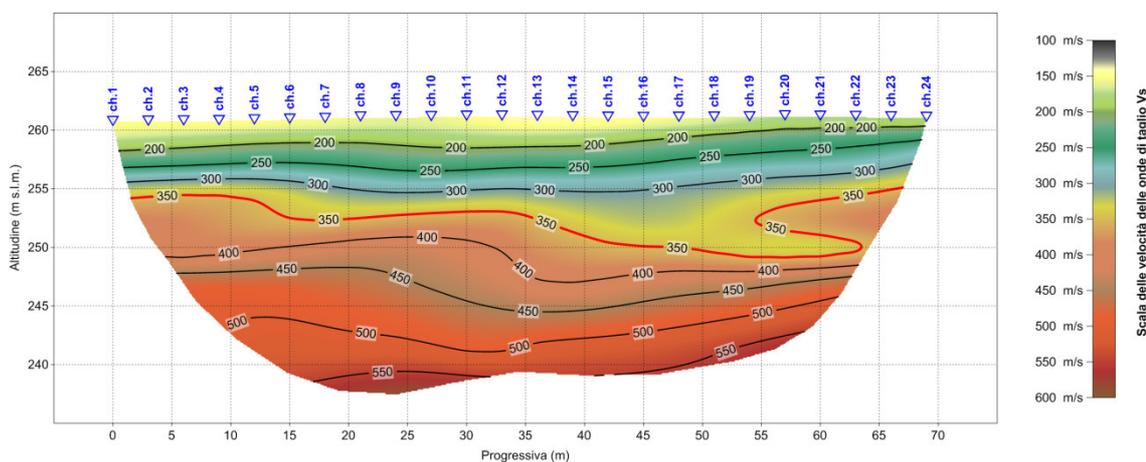


Fig. 2.22 - S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS2b.

2.5.5 BS3

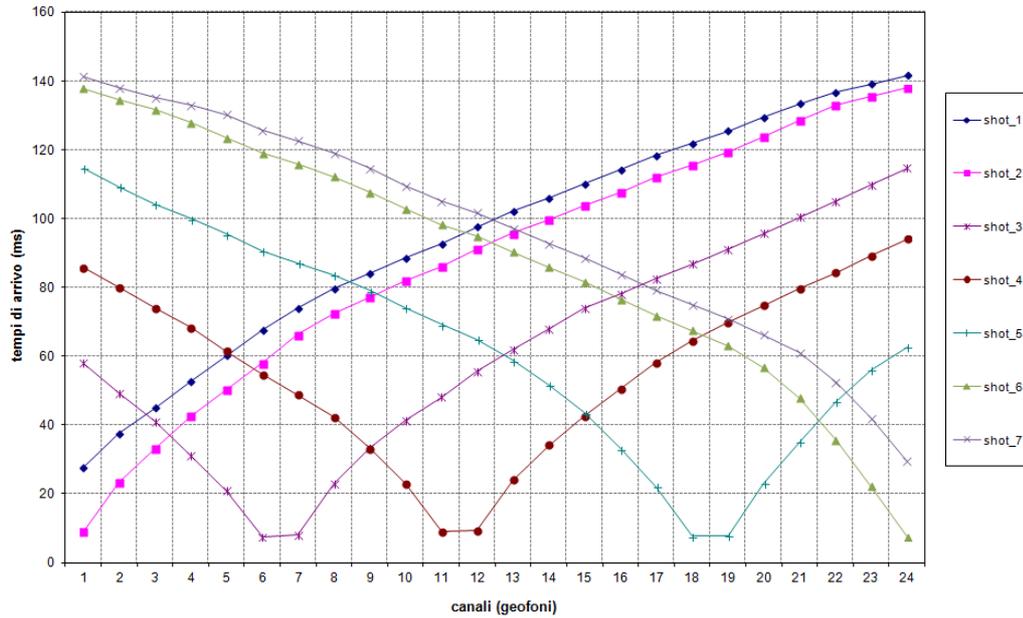


Fig. 2.23 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Tomografia sismica in onde P. Profilo BS3. Dromocrone.

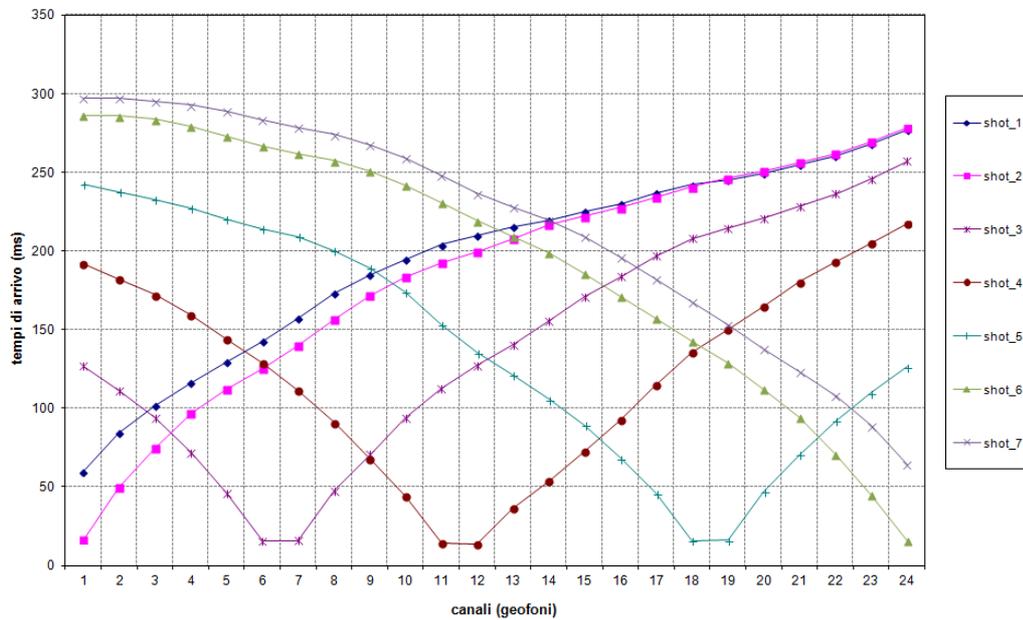


Fig. 2.24 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Tomografia sismica in onde S. Profilo BS3. Dromocrone.

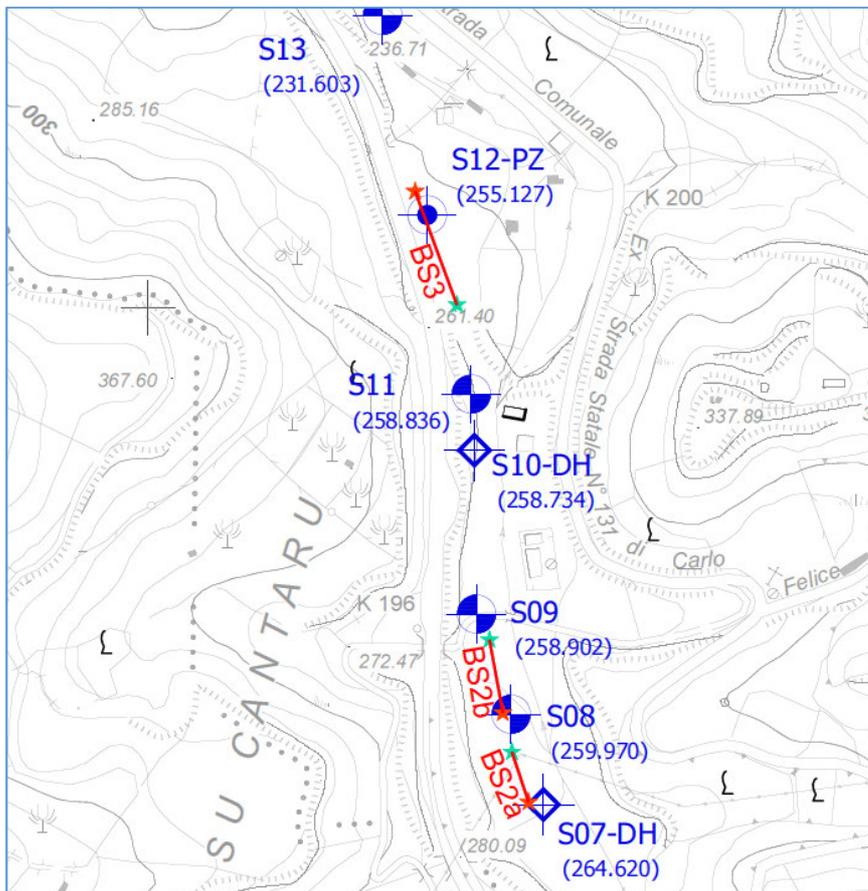


Fig. 2.25 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.

Stralcio dell'ubicazione indagine.



I simboli indicano l'inizio (stella colore ciano) e la fine (stella di colore arancione) del profilo.

Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico **BS3** hanno permesso di evidenziare due sismostrati.

Il primo sismostrato si attesta ad una profondità media di circa 10 m dal p.c., ed è costituito da materiale di riporto seguito da argilla, limo e sabbia. Presenta velocità delle onde di taglio compresa tra 100 e 200 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 300 e 900 m/s.

Il secondo sismostrato, compreso tra la prima interfaccia e la massima profondità raggiunta dalla prospezione in oggetto, presenta velocità delle onde S compresa tra 200 e 450 m/s e velocità delle onde P compresa tra 900 e 1.500 m/s.

In questo orizzonte si rinvengono litologie per lo più calcarenitiche alterate.

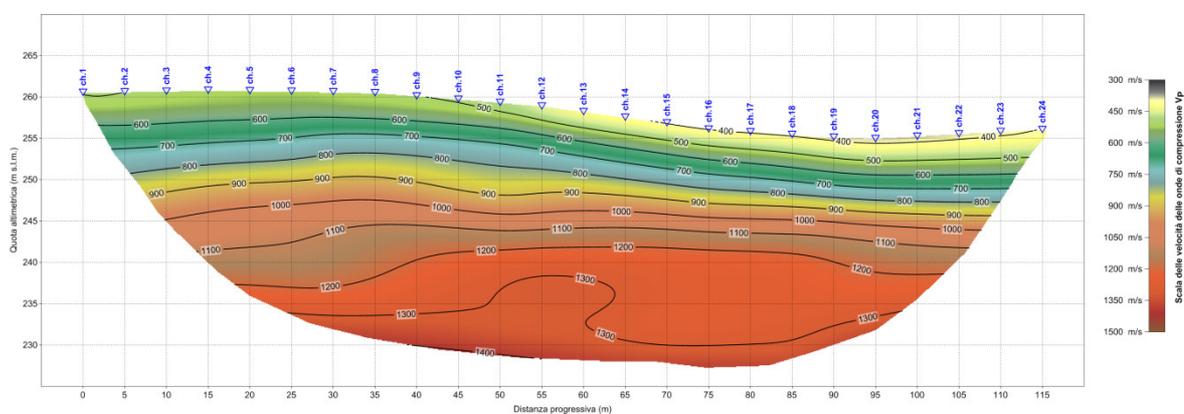


Fig. 2.26 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS3.

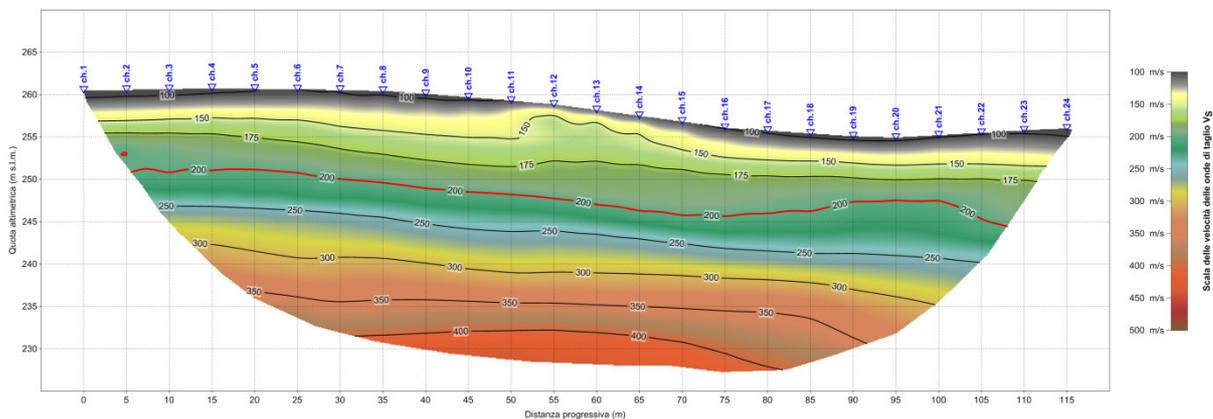


Fig. 2.27 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS3.

2.5.6 BS4

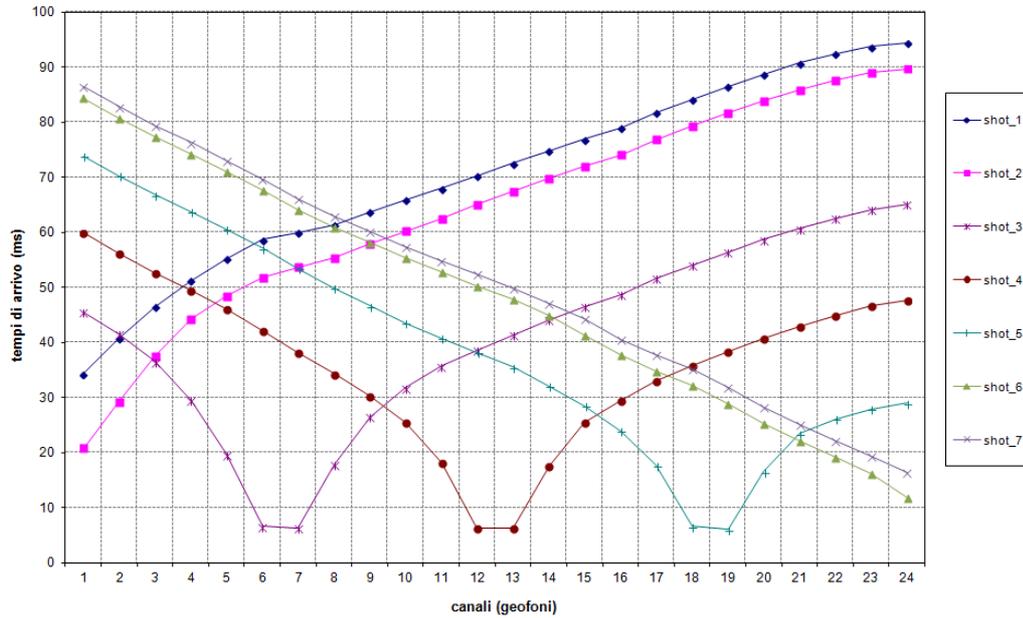


Fig. 2.28 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Tomografia sismica in onde P. Profilo BS4. Dromocrone.

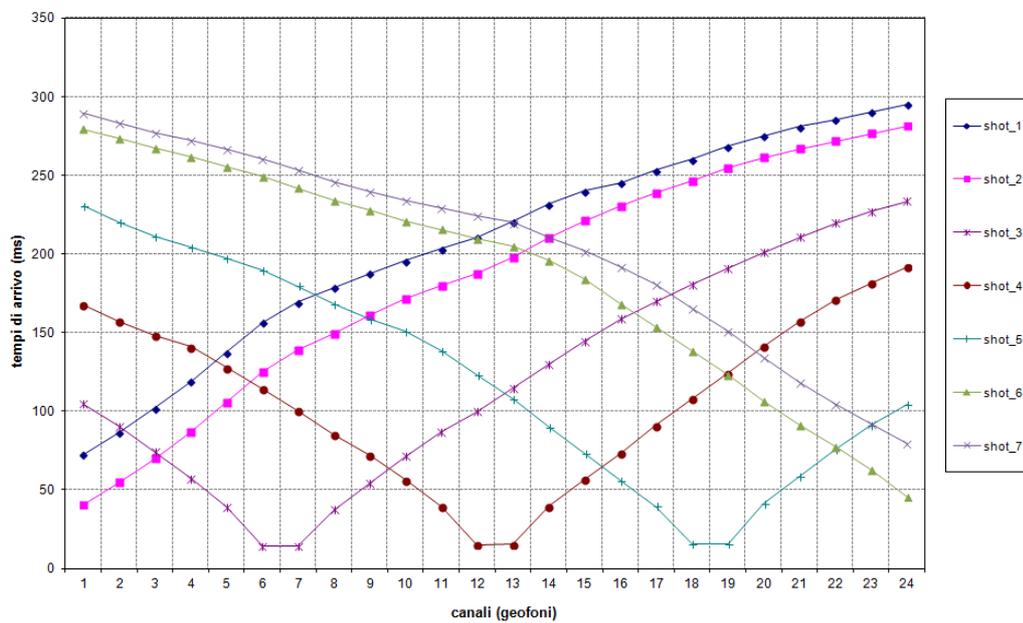


Fig. 2.29 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Tomografia sismica in onde S. Profilo BS4. Dromocrone.

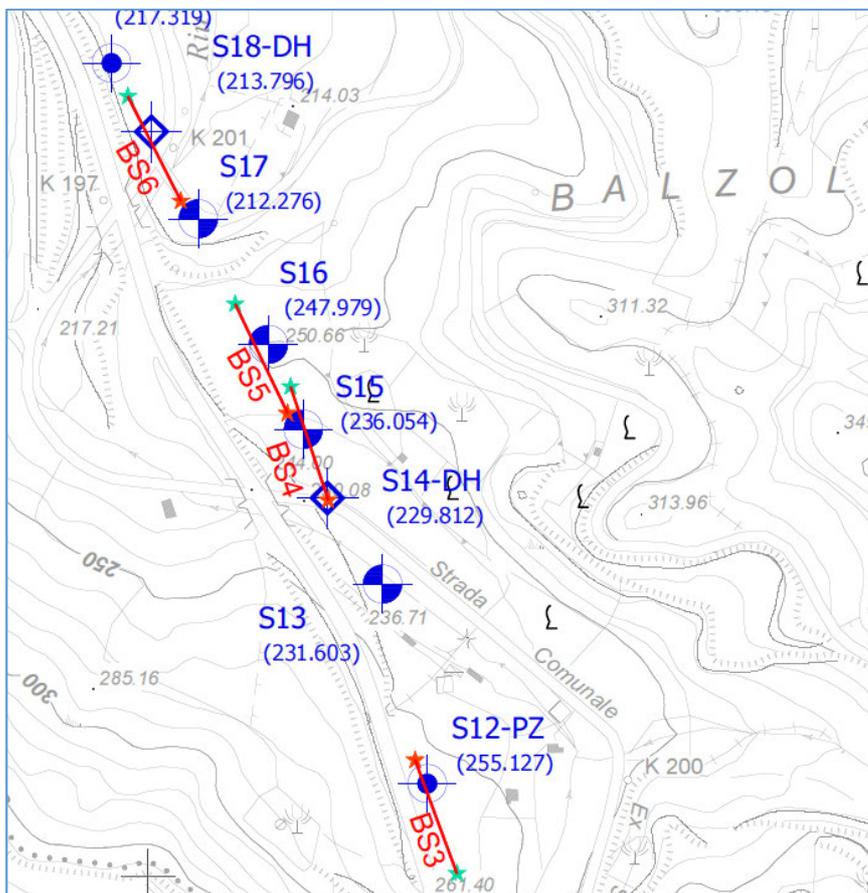


Fig. 2.30 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.

Stralcio dell'ubicazione indagine.



I simboli indicano l'inizio (stella colore ciano) e la fine (stella di colore arancione) del profilo.

Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico **BS4** hanno permesso di evidenziare due sismostrati.

Il primo sismostrato si attesta ad una profondità media di circa 10 m dal p.c., ed è costituito da materiale di riporto seguito da argilla e limo, con intercalazioni sabbiose e calcarenitiche. Presenta velocità delle onde di taglio compresa tra 100 e 350 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 400 e 1.500 m/s.

Il secondo sismostrato, compreso tra la prima interfaccia e la massima profondità raggiunta dalla prospezione in oggetto, presenta velocità delle onde S compresa tra 350 e 600 m/s e velocità delle onde P compresa tra 1.500 e 2.200 m/s. In questo orizzonte si rinvencono argille marnose e argille molto consistenti e depositi piroclastici.

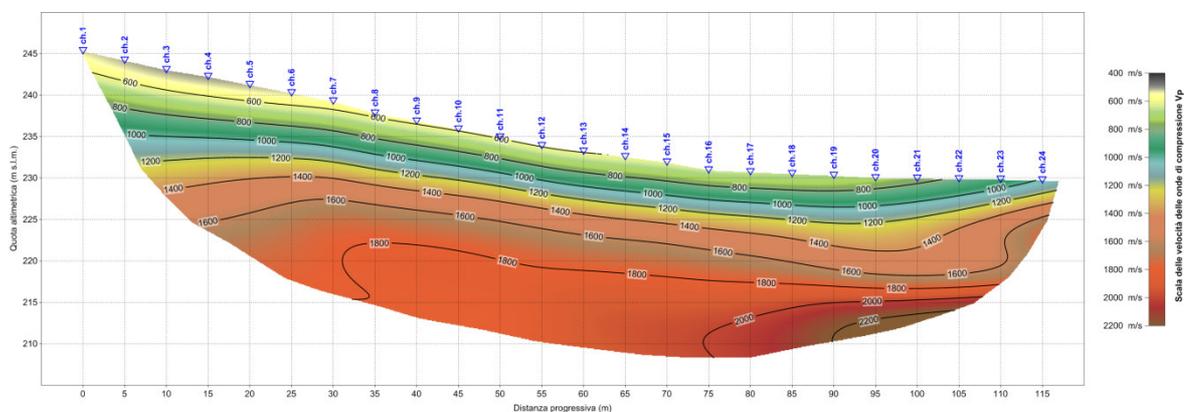


Fig. 2.31 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS4.

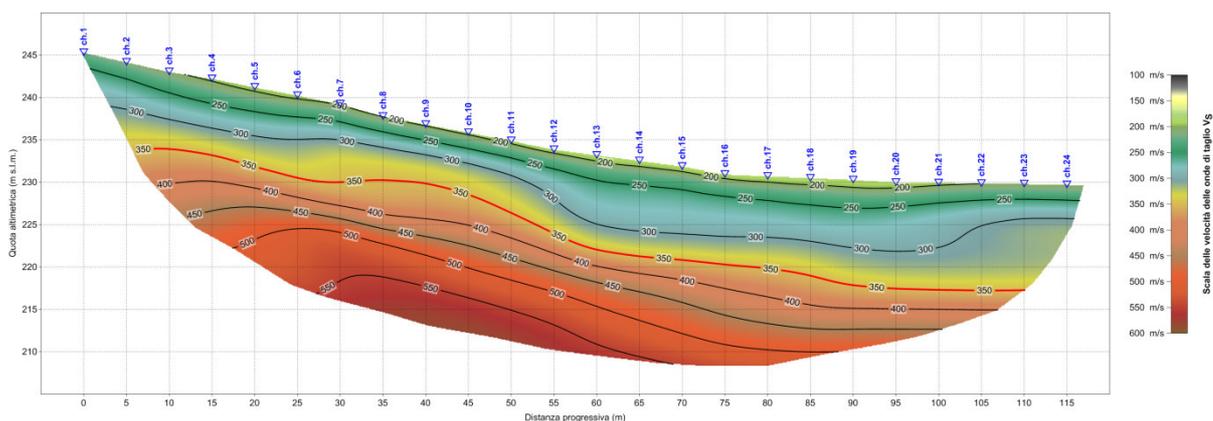


Fig. 2.32 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS4.

2.5.7 BS5

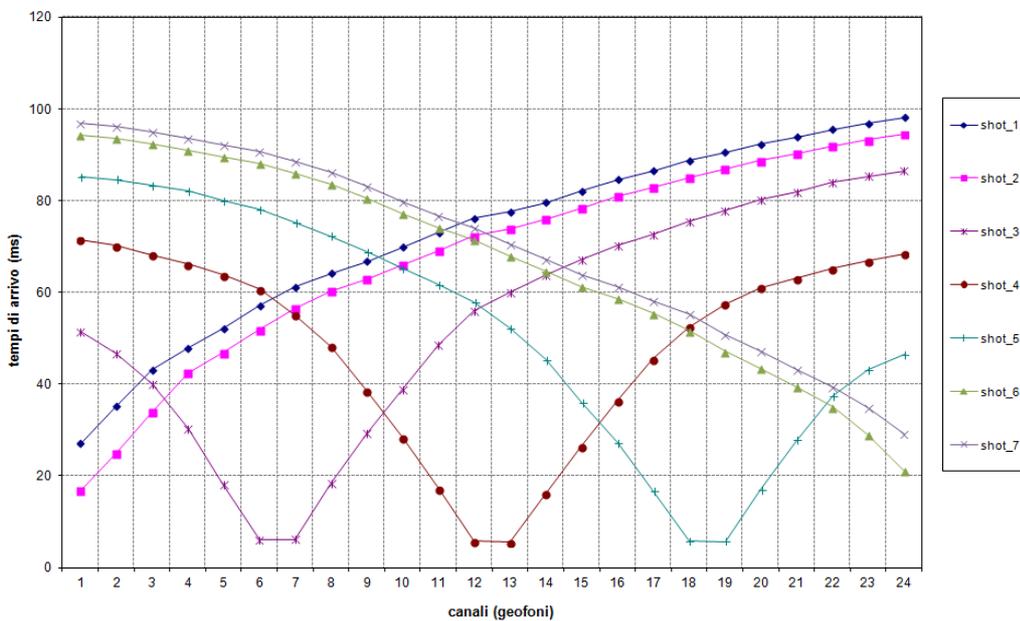


Fig. 2.33 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Tomografia sismica in onde P. Profilo BS5. Dromocrone.

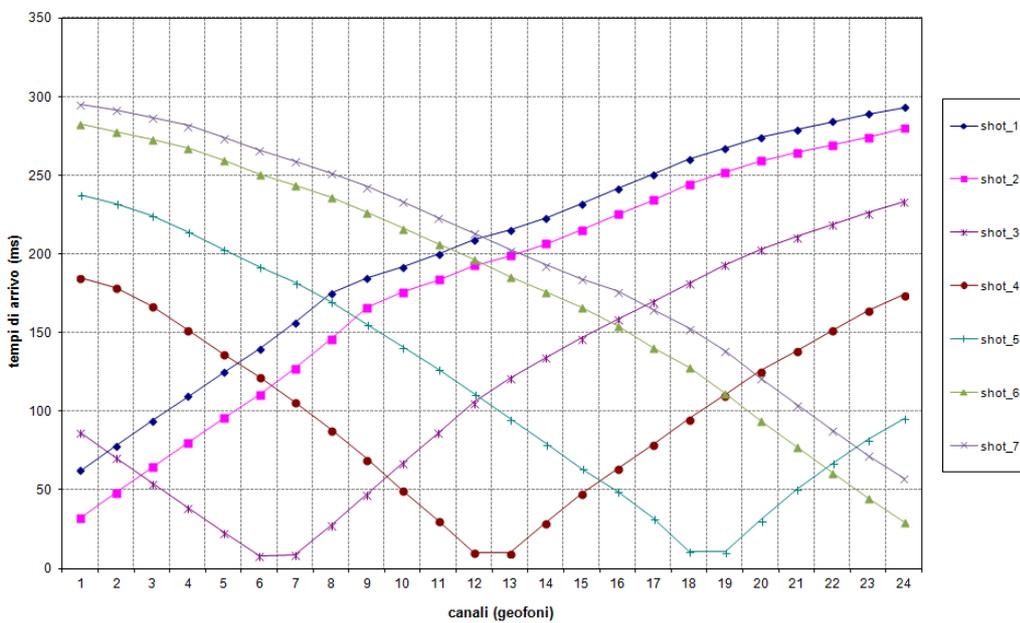


Fig. 2.34 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Tomografia sismica in onde S. Profilo BS5. Dromocrone.

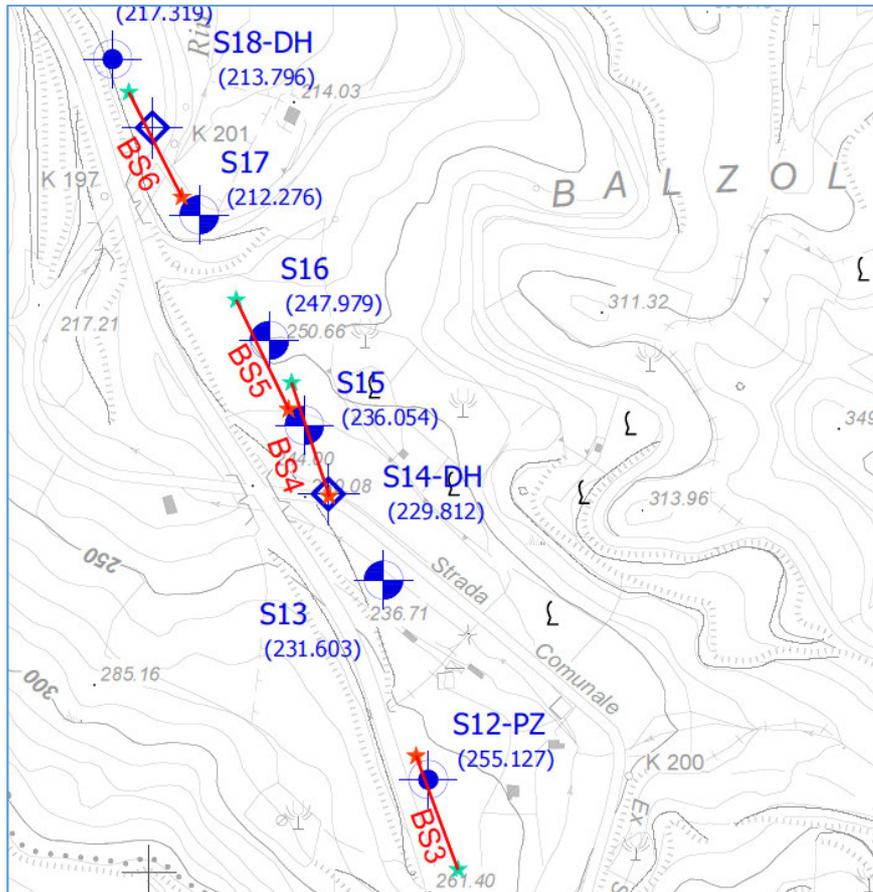


Fig. 2.35 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.

*Stralcio dell'ubicazione indagine.*



*I simboli indicano l'inizio (stella colore ciano) e la fine (stella di colore arancione) del profilo.*

Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico **BS5** hanno permesso di evidenziare due sismostrati.

Il primo orizzonte, contraddistinto da litologie per lo più limo-sabbiose e limo-argillose, si attesta dal piano campagna fino ad una profondità media di 12 m e presenta velocità delle onde di taglio compresa tra 250 e 400 m/s, mentre le onde P variano tra 400 e 1.200 m/s.

In profondità, la velocità delle onde sismiche aumenta sino a raggiungere valori compresi tra 400 e 600 m/s, per le onde di taglio, mentre per le onde P risultano compresi tra 1.200 e 2.000 m/s. Le litologie prevalenti a queste profondità sono costituite da marne e argille marnose consistenti.

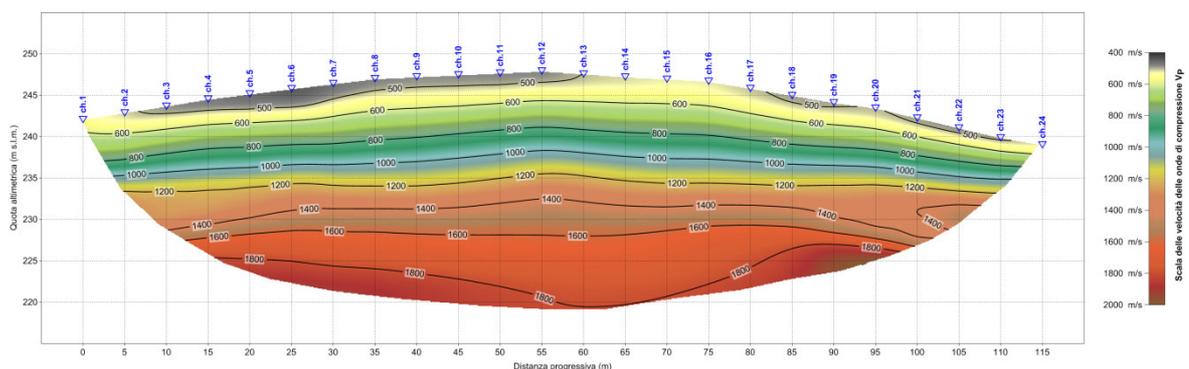


Fig. 2.36 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.

*Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS5.*

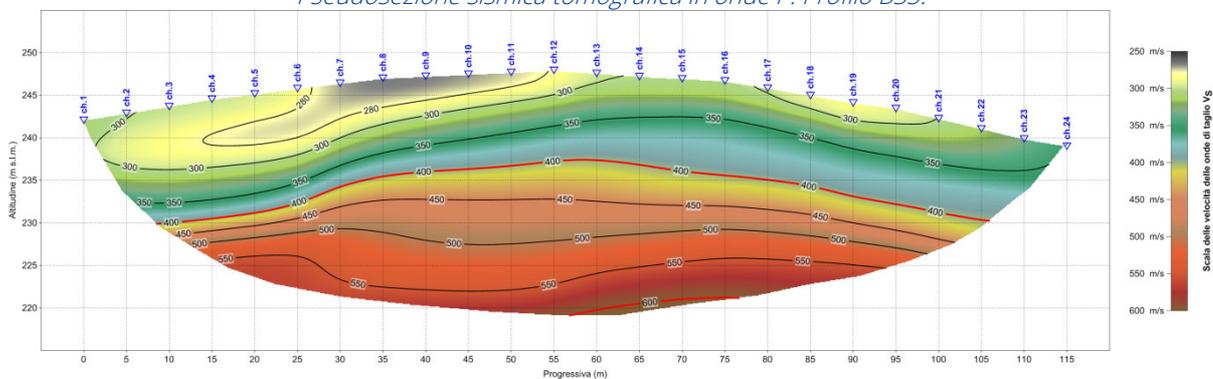


Fig. 2.37 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.

*Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS5.*

2.5.8 BS6

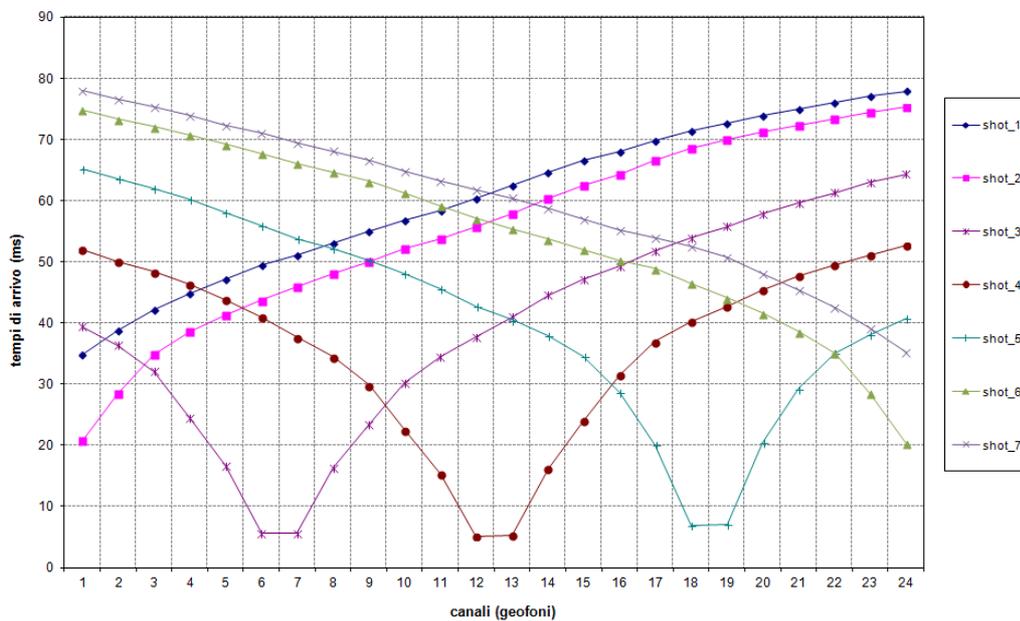


Fig. 2.38 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Tomografia sismica in onde P. Profilo BS6. Dromocrone.

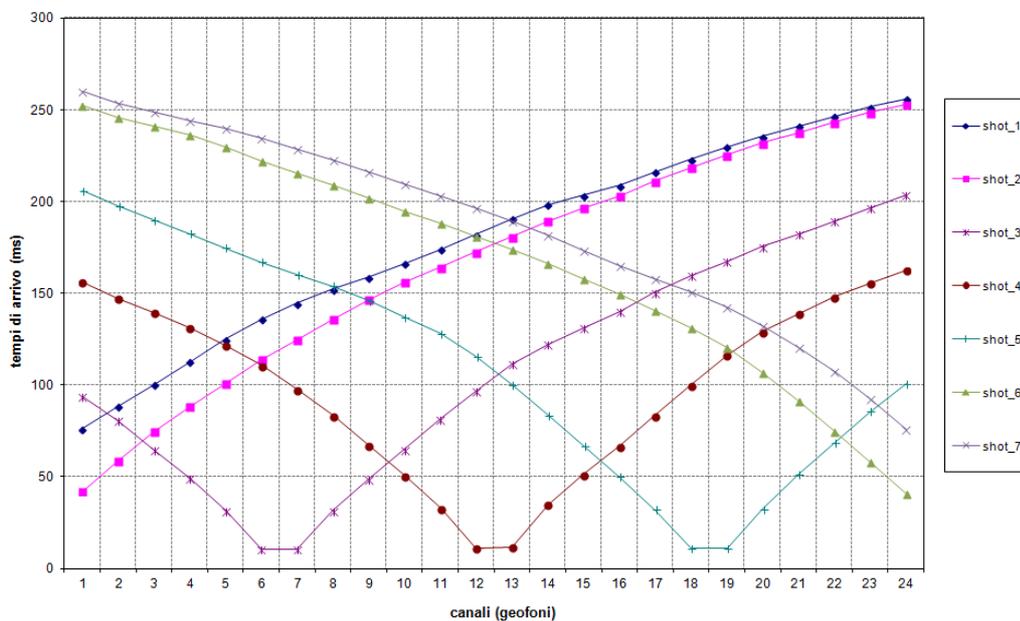


Fig. 2.39 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Tomografia sismica in onde S. Profilo BS6. Dromocrone.

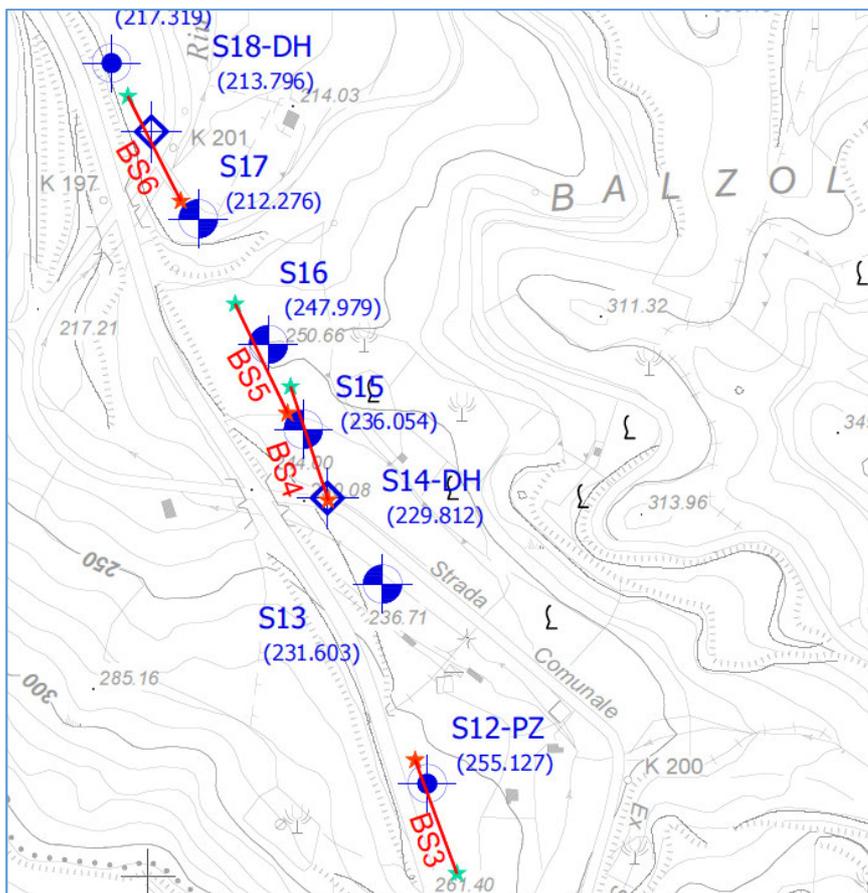


Fig. 2.40 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.

Stralcio dell'ubicazione indagine.



I simboli indicano l'inizio (stella colore ciano) e la fine (stella di colore arancione) del profilo.

Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico **BS6** hanno permesso di evidenziare due sismostrati.

La prima interfaccia è compresa tra il piano campagna e una profondità media di circa 10 m. Risulta costituito per lo più da sabbie e limi, intercalate da argille e depositi piroclastici e presenta una velocità delle onde di taglio compresa tra 150 e 350 m/s, mentre le onde P variano tra 350 e 1.200 m/s.

In profondità, la velocità delle onde sismiche aumenta sino a raggiungere valori compresi tra 350 e 600 m/s, per le onde di taglio, mentre per le onde P risultano compresi tra 1.200 e 2.000 m/s. Da un punto di vista litologico sono presenti depositi epiclastici e argillosi, molto consistenti.

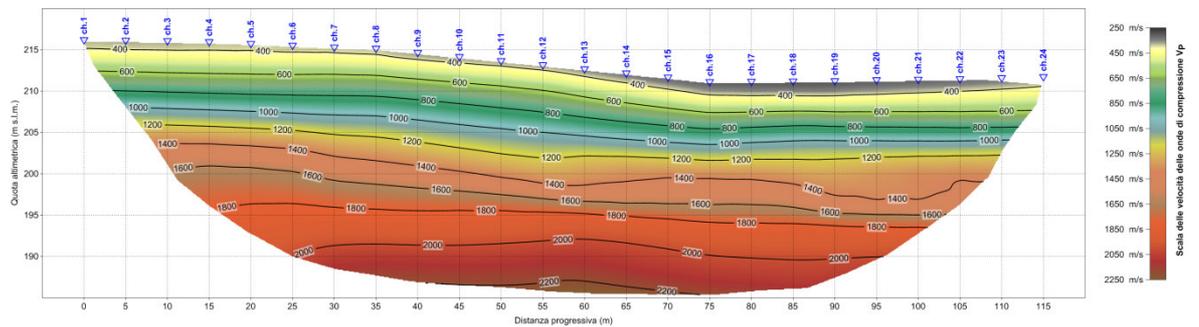


Fig. 2.41 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo BS6.

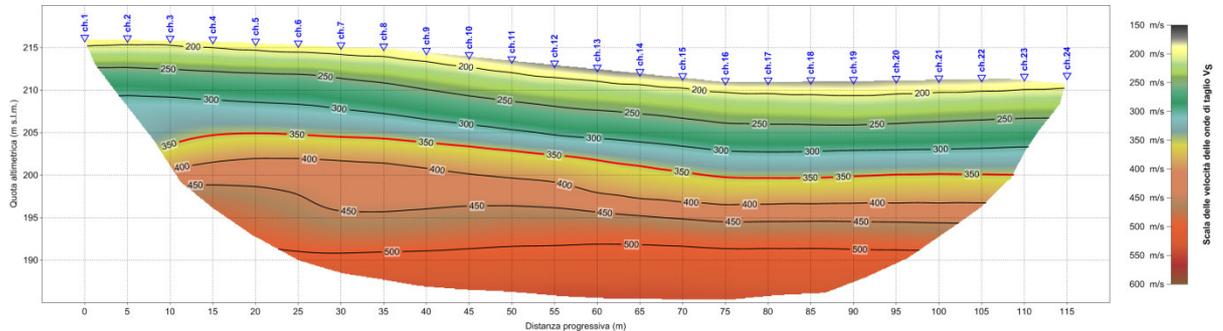


Fig. 2.42 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.  
Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo BS6.

### 3 INDAGINI DOWN-HOLE

#### 3.1 DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA ED ELABORAZIONE DATI

Il metodo sismico in foro down-hole consente di determinare il tempo di propagazione delle onde elastiche di compressione e di taglio,  $P$  ed  $S$ , generate in superficie mediante l'uso di una massa battente, all'interno delle varie unità litologiche che si incontrano lungo una perforazione. In fase esecutiva, per il rilievo delle onde elastiche, si utilizza un sistema di ricezione costituito da geofoni opportunamente assemblati (geofono da pozzo), che viene fissato a profondità man mano crescenti contro le pareti di un perforo, opportunamente condizionato, mediante un sistema pneumatico (Fig. 3.1).

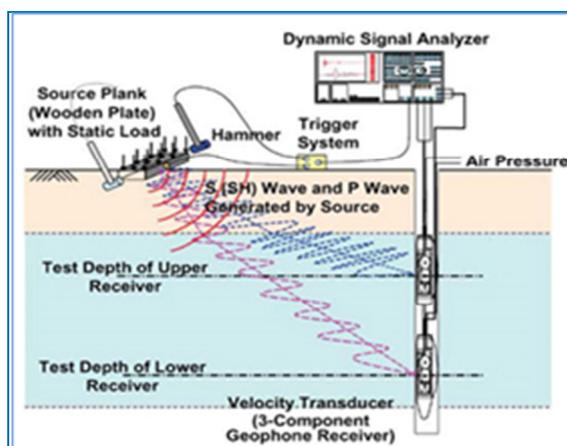


Fig. 3.1 – Schema di sistema di acquisizione per prove sismiche in foro tipo down-hole.

La rilevazione delle onde  $P$  e delle onde  $S$ , nota la profondità dell'apparato di misurazione, permette di determinare le relative velocità di propagazione e di calcolare i moduli elastici dinamici dei litotipi, assunti i valori dei pesi di volume che li caratterizzano.

A differenza della sismica a rifrazione, che misura i tempi di arrivo delle onde sismiche dopo che queste hanno subito fenomeni di rifrazione e/o di riflessione, il metodo down-hole, misurando il tempo di arrivo delle onde elastiche man mano che queste penetrano negli strati più profondi, ha il vantaggio di non avere come condizione necessaria l'aumento della velocità con la profondità; pertanto è sempre possibile valutare eventuali inversioni di velocità nel pacco di litotipi attraversati dall'indagine.

Se la sorgente energizzante è molto prossima all'asse del perforo e le superfici di discontinuità sono perpendicolari a tale asse, il raggio sismico che dalla sorgente si muove verso i geofoni, non subirà alcuna deviazione nell'attraversare le suddette discontinuità.

Se, invece, sia per motivi logistici sia per evitare che l'onda elastica si trasmetta lungo il materiale di condizionamento, la sorgente energizzante viene a trovarsi ad una certa distanza dall'asse del perforo, i tempi di arrivo delle onde devono essere corretti in modo da riportarli ai valori che si sarebbero riscontrati qualora il raggio avesse viaggiato secondo un tragitto verticale.

In fase di elaborazione, per una prima valutazione del grado di disomogeneità delle litologie lungo il profilo verticale, si usa determinare la "velocità intervallo", ovvero la velocità con cui viaggerebbe il fronte d'onda lungo l'asse verticale tra due posizioni consecutive del ricevitore, intervallate da un determinato spessore, rappresentate mediante un diagramma del tipo *step plot*. Successivamente, si determina il profilo di velocità reale lungo la verticale per il pozzo, sia per le onde *P* che per le onde *S*, nell'ipotesi che il sottosuolo sia localmente stratificato. In tal modo, sono costruiti diagrammi "tempi di arrivo corretti - profondità" per procedere all'individuazione di *dromocrone*, laddove ciascuno dei segmenti individua un intervallo di profondità entro cui la velocità dell'onda sismica è costante.

Infine, dalla conoscenza dei valori di velocità di propagazione delle onde *P* ed *S*, in ogni strato, e noti i valori del peso di volume naturale, è possibile determinare i valori dei moduli elastici dinamici tra cui i principali sono il *modulo di Poisson* ( $\nu$ ), *modulo di Taglio* *G* ed il *modulo di Elasticità* o *modulo di Young* (*E*) ed il *modulo di Compressibilità* (*K*).

Modulo di Poisson	$\nu = \frac{0.5 \cdot (V_p/V_s)^2 - 1}{(V_p/V_s)^2 - 1}$	(1)
Modulo di Taglio	$G = \gamma \cdot V_s^2$	(2)
Modulo di Elasticità	$E = V_s^2 \cdot \gamma \cdot \frac{(3V_p^2 - 4V_s^2)}{(V_p^2 - V_s^2)}$	(3)
Modulo di Compressibilità	$K = \gamma \left( V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \right)$	(4)

Al termine della prova si è proceduto all'elaborazione dei dati avvalendosi dei seguenti software specialistici:

- IXSeg2Segy per la visualizzazione dei segnali acquisiti;
- GEOSTRU – Software down-hole per la lettura dei tempi di arrivo ed il calcolo delle velocità intervallo.

L'interpretazione della prospezione down-hole è avvenuta seguendo l'iter descritto:

- analisi dei segnali nel dominio delle frequenze e filtraggio del segnale stesso (se necessario);
- lettura dei tempi di arrivo delle onde *P* ed *S* per le singole registrazioni.

Per quanto concerne le registrazioni ottenute da energizzazione applicata in verticale, è stato determinato il primo arrivo in onde P come mostrato nella figura seguente (Fig. 3.2), in cui, si osserva distintamente il primo arrivo dell'onda di compressione.

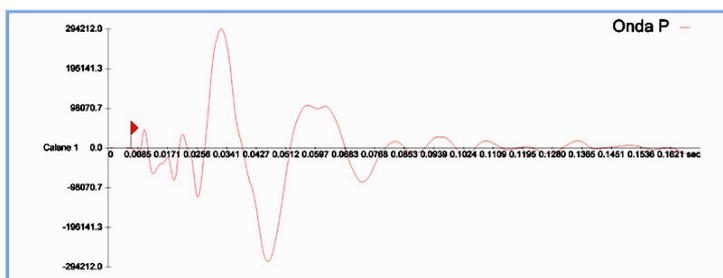


Fig. 3.2 - Esempio di onda P e di lettura del primo tempo di arrivo.

Nelle registrazioni ottenute energizzando con percussione orizzontale, per ciascuna profondità d'indagine, sono state sovrapposte le misure conseguenti alla "battuta diretta o destra" (SH-A) e alla "battuta coniugata o inversa o sinistra (SH-B).

Tale metodica ha consentito, tramite l'inversione di fase dell'onda SH, di identificare con maggiore facilità l'onda di taglio e di determinare, con maggior esattezza, il tempo di arrivo (Fig. 3.3).

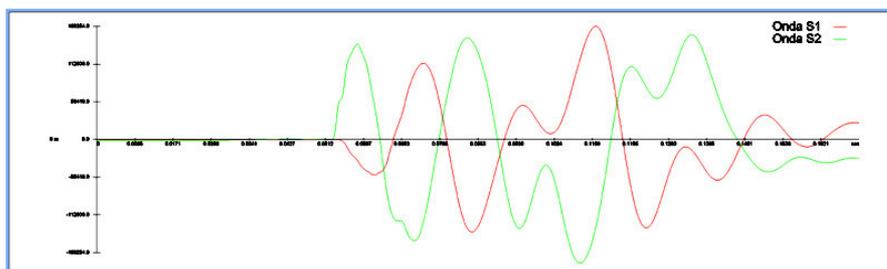


Fig. 3.3 - Esempio di onda S e dell'inversione di fase necessaria per l'individuazione del tempo di arrivo dell'onda di taglio (onda S).

Inoltre, le suddette battute sono state tra loro sottratte in modo da esaltare l'onda di taglio. Con tale metodica le onde di compressione, provocate durante l'energizzazione, con la differenza "battuta diretta-battuta coniugata", si riducono in ampiezza laddove le onde SH (che invertono in polarità a seconda della direzione di battuta) tenderanno, invece, a sommarsi aumentando così d'ampiezza. In definitiva, le metodologie descritte, hanno consentito di individuare più agevolmente il tempo di arrivo delle onde S.

### 3.2 DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Di seguito sono riportate le specifiche della strumentazione utilizzata per la prova down-hole:

- Geofono da pozzo modello "3D Twin Borehole Geophone" della **AMBROGEO**, costituito da una coppia di sensori tridimensionali, distanziati tra loro 1 metro, ciascuno dei quali è composto da una terna di trasduttori di velocità (geofoni) da 10 Hz, orientati secondo una terna cartesiana ortonormale, di cui n.1 sensore verticale (per la rilevazione delle onde P) e n.2 orizzontali (per la rilevazione delle onde SH), questi ultimi due disposti a 90° l'uno con l'altro.
- Trigger: costituito da un dispositivo, collegato al sistema di acquisizione, che permette di avviare la registrazione del segnale sismico acquisito dai geofoni nell'istante in cui la sorgente viene attivata e parte la sollecitazione dinamica. Il sistema di "innesco" è stato realizzato mediante un geofono di superficie posizionato in prossimità della sorgente e attivato dall'impatto, nell'istante in cui la massa battente colpisce la sorgente.
- Sistema di energizzazione: costituito da una sorgente impattiva. Per la generazione delle onde di compressione è stato utilizzato un martello da 10 kg e un piattello metallico posto al suolo, mentre per la generazione delle onde di taglio è stato utilizzato un parallelepipedo in polietilene ad alta densità, reso solidale con il terreno mediante un carico verticale, sollecitata alle due estremità dalla massa battente (martello). Tale sistema è in grado di produrre onde di taglio polarizzate nel piano orizzontale.

I segnali sismici, sono stati acquisiti mediante un sismografo **MAE X610S** a 24 bits, le cui caratteristiche sono state riportate in precedenza.

### 3.3 DESCRIZIONE DELLE MODALITA' ESECUTIVE

Nell'ambito della commessa in oggetto, come accennato in premessa, sono state eseguite **n.6** prove down-hole la cui ubicazione è riportata nelle tavole allegate.

Di seguito, si riportano le specifiche delle prospezioni:

Codice indagine	Profondità dal p.c. (m)	UTM WGS84		UTM WGS84
		Coordinata EST	Coordinata NORD	Quota (m s.l.m.)
S02-DH	25,00	473255,507	4499722,197	386,439
S03-DH	30,00	472791,050	4499862,888	363,012
S07-DH	30,00	472335,053	4500530,234	312,281
S10-DH	30,00	472271,402	4500859,803	306,390
S14-DH	30,00	472135,767	4501344,237	277,462
S18-DH	30,00	471973,434	4501684,702	261,439

*Tab. 3.1 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto. Indagini sismiche in foro down-hole.*

Le indagini sono state eseguite sino alle profondità riportate in tabella, acquisendo i segnali relativi ad onde elastiche, mediante un sistema di rilevamento composto da 2 triplette di geofoni, distanziate di 1 metro, ognuna equipaggiata con un geofono a componente verticale (per la rilevazione delle onde *P*) e 2 geofoni a componente orizzontale (per la rilevazione delle onde *S*). Questi ultimi risultano disposti, all'interno del dispositivo, in maniera da formare un angolo di 90°. Tale disposizione, consente l'acquisizione e, successivamente, la corretta determinazione delle onde *S*, a prescindere dall'orientamento nel foro del sistema di rilevamento rispetto al punto di battuta.

### 3.4 RISULTANZE DELL'INDAGINE DOWN-HOLE

Per la prova in oggetto, sono stati visualizzati i singoli sismogrammi per la determinazione dei tempi di arrivo delle onde "P" ed "SH" (picking) ed, al termine del processo di lettura, nota la profondità dei sensori, sono state calcolate le velocità di propagazione delle onde elastiche, per ogni intervallo di profondità.

Si è, quindi, proceduto all'elaborazione dei dati secondo il duplice criterio descritto nei paragrafi precedenti, ossia adottando il metodo diretto ed il metodo intervallo, riportando, nel primo caso, i diagrammi "tempi di arrivo verticale (o corretti) – profondità" ovvero le dromocrone, in cui i valori di velocità "media" sono stati determinati in base al coefficiente angolare dei singoli tratti "congruenti" di dromocrona.

Secondo il metodo intervallo, è stata stimata la velocità intervallo delle onde sismiche, riportando in grafico il diagramma "velocità intervallo – profondità".

Di seguito, oltre ai citati diagrammi, si riportano le tabelle numeriche riepilogative contenenti: 1) i valori dei tempi letti e corretti misurati; 2) le velocità calcolate, per ciascun intervallo di profondità, sia delle onde P che delle onde S; 3) la profondità, la distanza e le altre caratteristiche geometriche del sistema di ricezione.

I siti di energizzazione sono stati posizionati nei pressi di ciascun perforo ed i segnali sismici sono stati acquisiti posizionando il geofono da pozzo a passi di un metro e vincolando lo stesso alle pareti del perforo mediante espansione di un sistema di pistoni.

Di seguito, per ciascuna indagine, si riportano le seguenti informazioni / elaborazioni:

- determinazione dei tempi di arrivo delle onde P ed S;
- determinazione della velocità di propagazione delle onde P ed S, per ogni metro di profondità;
- determinazione dei valori dei moduli elastici<sup>1</sup> ovvero del coefficiente di Poisson ( $\nu$ ) e dei parametri elastici G, E, K in forma tabellare e grafica.

---

<sup>1</sup> I valore dei pesi di volume (o gamma naturale), è stato attribuito in base a prove di laboratorio.

3.4.1 S02-DH

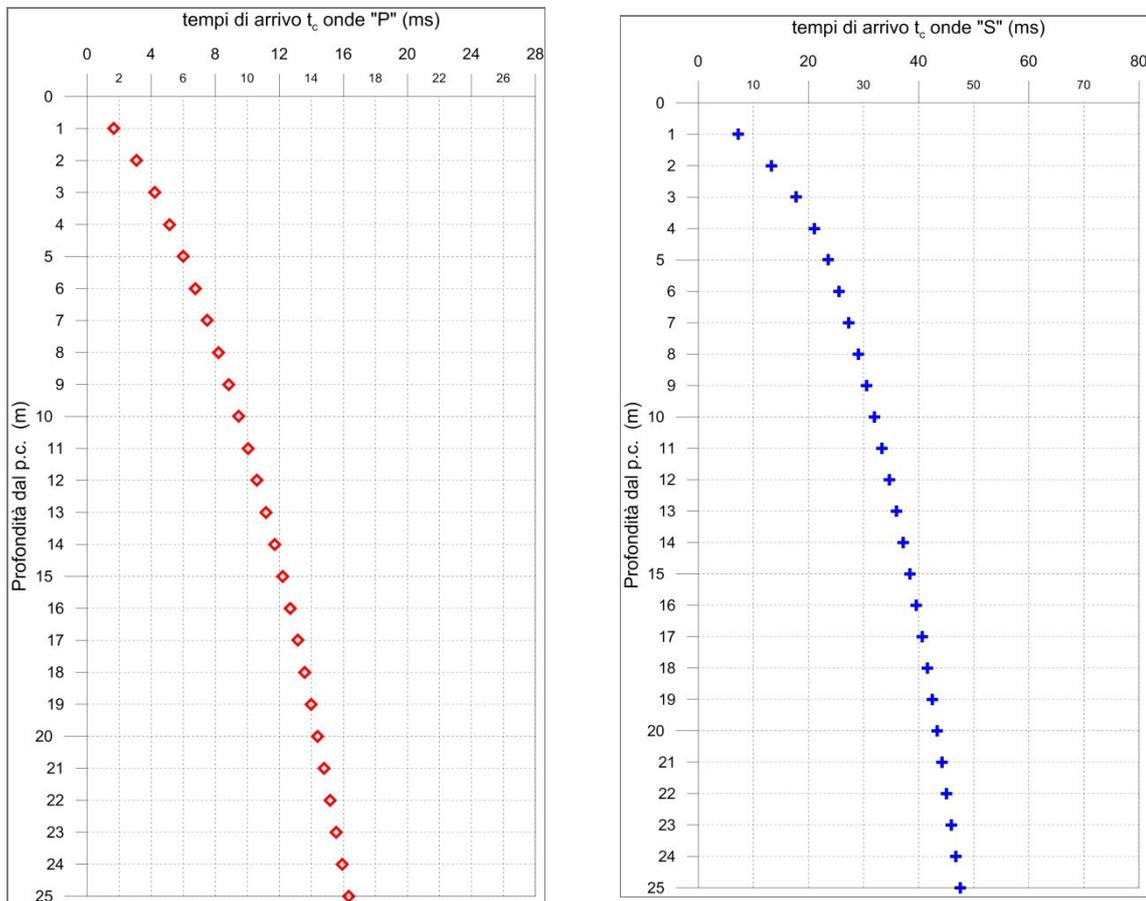


Fig. 3.4 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "S", in funzione della profondità dal p.c.

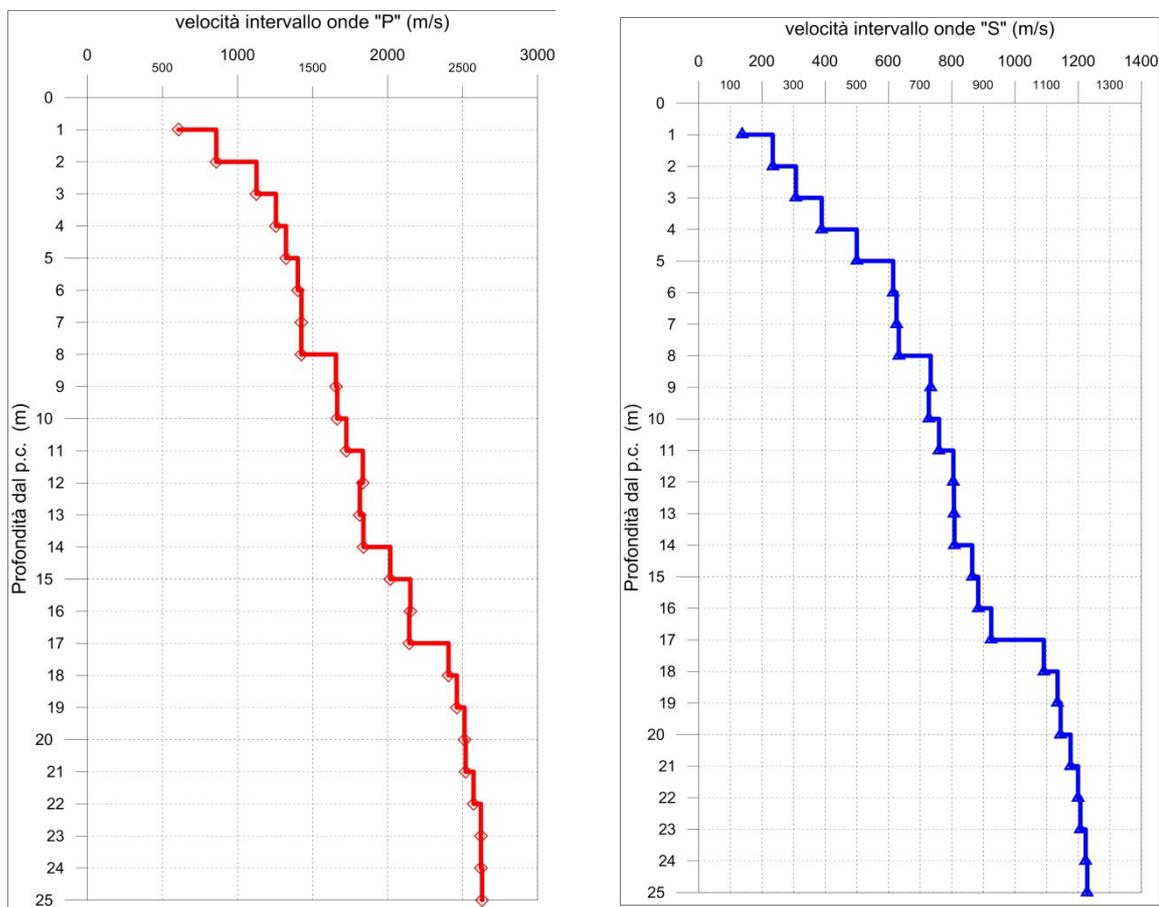


Fig. 3.5 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "S", In funzione della profondità dal p.c.

Profondità (m dal p.c.)	tempi osservati t <sub>o</sub> "P" (ms)	tempi osservati t <sub>o</sub> "S" (ms)	tempi corretti t <sub>c</sub> "P" (ms)	tempi corretti t <sub>c</sub> "S" (ms)	velocità intervallo Vp (m/s)	velocità intervallo Vs (m/s)	Vp/Vs	Poisson (n)	γ <sub>n</sub> gamma NATURALE	G Mpa	E Mpa	K Mpa
1	3,69	16,27	1,65	7,27	606	137	4,4	0,47	1,89	36	105	647
2	4,38	18,79	3,10	13,29	858	234	3,7	0,46	1,89	104	303	1254
3	5,07	21,32	4,22	17,74	1126	308	3,7	0,46	1,89	179	522	2158
4	5,76	23,55	5,15	21,06	1256	389	3,2	0,45	1,89	286	828	2598
5	6,45	25,37	5,99	23,56	1323	500	2,6	0,42	1,89	472	1338	2678
6	7,12	26,90	6,75	25,52	1402	615	2,3	0,38	1,87	708	1955	2730
7	7,79	28,43	7,49	27,33	1426	626	2,3	0,38	1,87	732	2023	2825
8	8,47	29,95	8,21	29,06	1425	633	2,3	0,38	1,87	749	2063	2799
9	9,05	31,28	8,84	30,54	1655	734	2,3	0,38	2,20	1184	3263	4451
10	9,64	32,62	9,46	31,99	1664	728	2,3	0,38	2,20	1165	3220	4540
11	10,21	33,92	10,05	33,37	1725	760	2,3	0,38	2,20	1271	3507	4850
12	10,75	35,14	10,60	34,66	1835	806	2,3	0,38	2,20	1428	3942	5501
13	11,29	36,36	11,16	35,94	1815	807	2,2	0,38	2,20	1434	3949	5336
14	11,83	37,59	11,71	37,21	1839	809	2,3	0,38	2,20	1439	3972	5518
15	12,32	38,73	12,21	38,39	2018	865	2,3	0,39	2,40	1796	4984	7374
16	12,78	39,85	12,68	39,55	2151	884	2,4	0,40	2,40	1875	5245	8608
17	13,25	40,93	13,16	40,65	2144	925	2,3	0,39	2,40	2054	5693	8294
18	13,66	41,84	13,58	41,58	2406	1092	2,2	0,37	2,40	2861	7840	10075
19	14,06	42,71	13,99	42,48	2461	1135	2,2	0,36	2,40	3091	8439	10413
20	14,46	43,58	14,39	43,36	2512	1145	2,2	0,37	2,40	3145	8611	10952
21	14,85	44,43	14,79	44,23	2520	1176	2,1	0,36	2,40	3322	9039	10808
22	15,24	45,26	15,18	45,07	2573	1200	2,1	0,36	2,40	3454	9402	11282
23	15,62	46,08	15,56	45,91	2621	1207	2,2	0,37	2,40	3499	9553	11825
24	16,00	46,90	15,95	46,73	2622	1224	2,1	0,36	2,40	3596	9786	11706
25	16,38	47,71	16,33	47,56	2630	1229	2,1	0,36	2,40	3625	9862	11765

Tab. 3.2 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto. Indagine down-hole S02-DH.

Riepilogo dei valori dei tempi di arrivo delle onde P ed S, dei valori delle velocità intervallo delle onde P ed S e dei moduli dinamici.

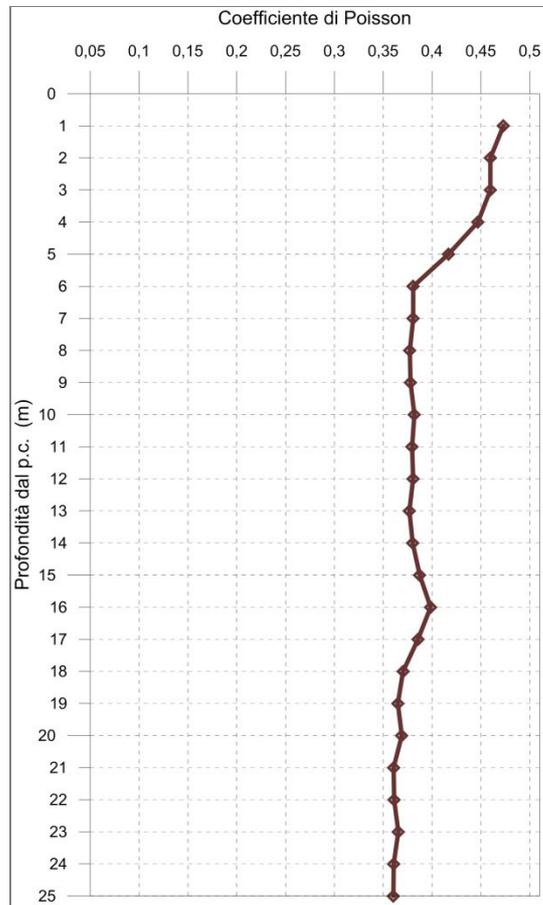


Fig. 3.6 - Diagramma relativo all'andamento del coefficiente di Poisson in funzione della profondità dal p.c..

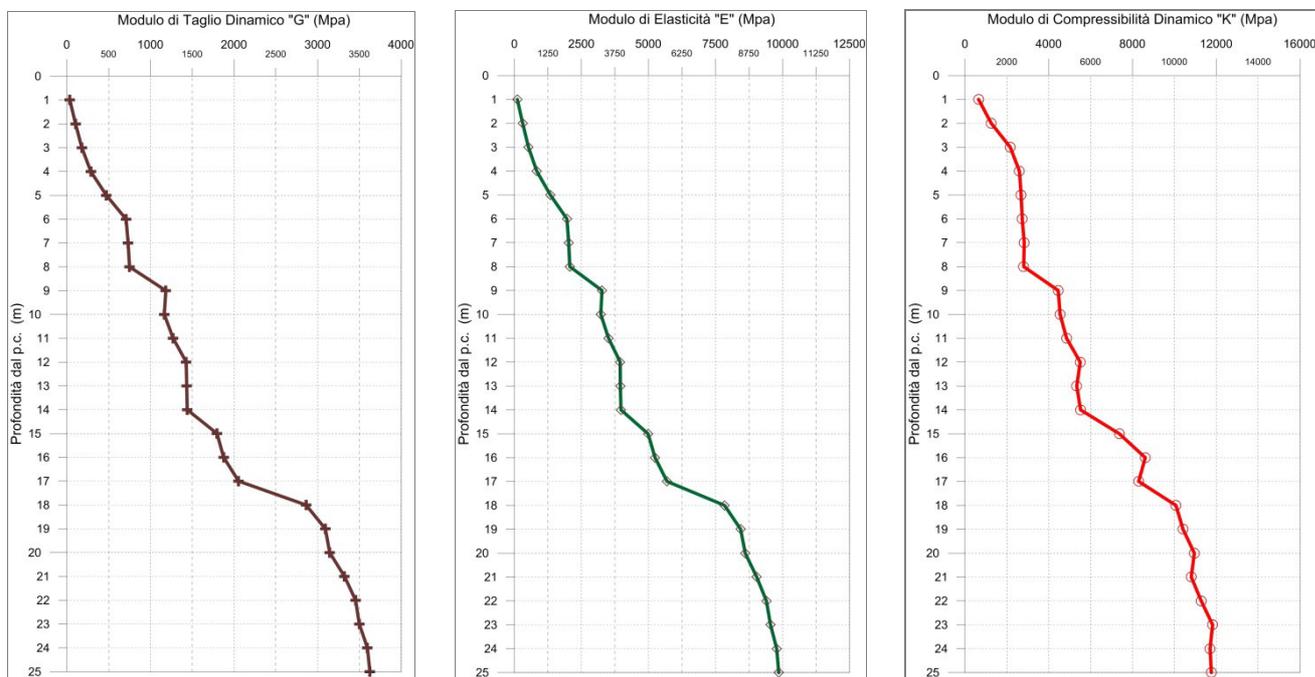


Fig. 3.7 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "G" in funzione della profondità dal p.c. Al centro, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "E" in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "K" in funzione della profondità dal p.c.

L'elaborazione della prospezione down-hole ha permesso di suddividere il sottosuolo in n.4 sismostrati aventi le seguenti caratteristiche:

Sismostrato	Profondità dal p.c. (m)		V <sub>p</sub> m/s	V <sub>s</sub> m/s
	da	a		
1°	1,0	5,0	922	246
2°	5,0	8,0	1.370	565
3°	8,0	14,0	1.742	750
4°	14,0	25,0	2.427	1.073

Tab. 3.3 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.

Indagine down-hole S02-DH. Suddivisione del sottosuolo in sismostrati.

3.4.2 S03-DH

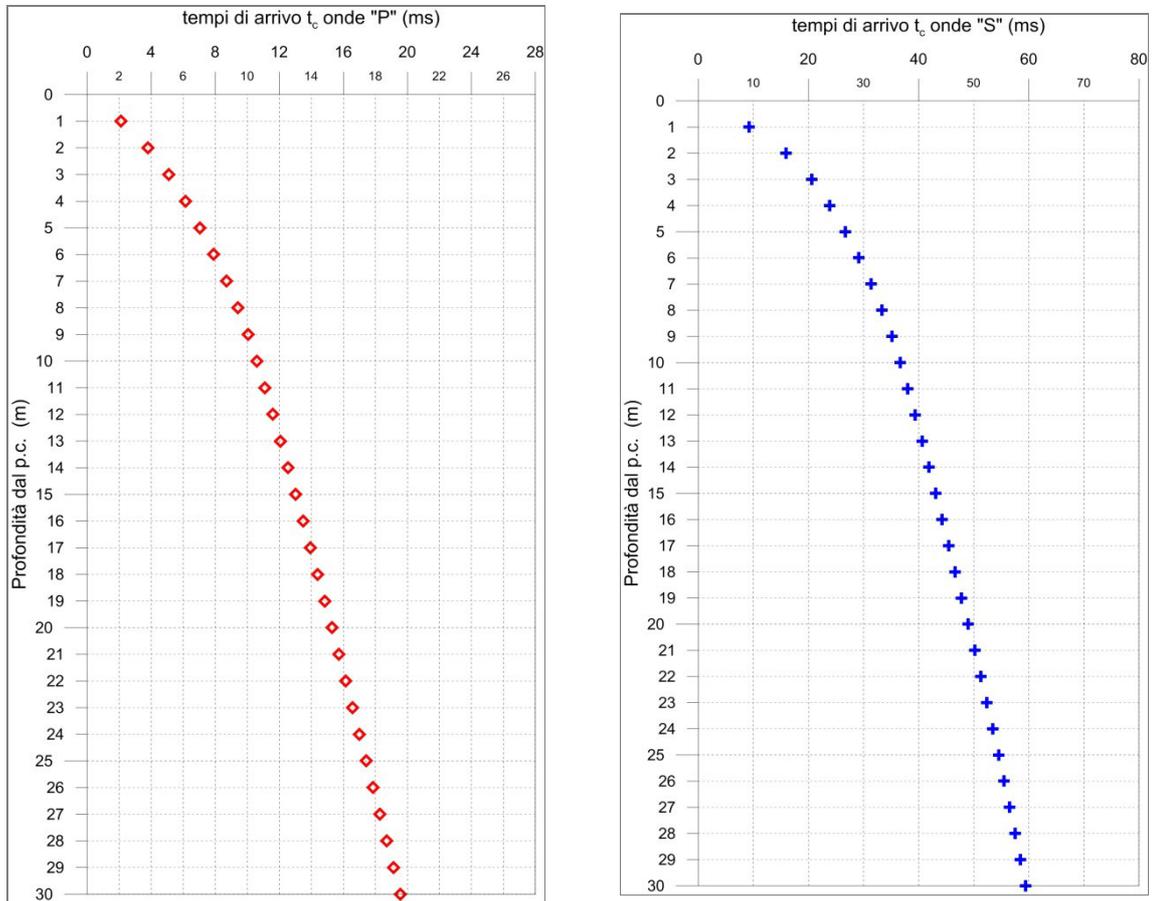


Fig. 3.8 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "S", in funzione della profondità dal p.c.

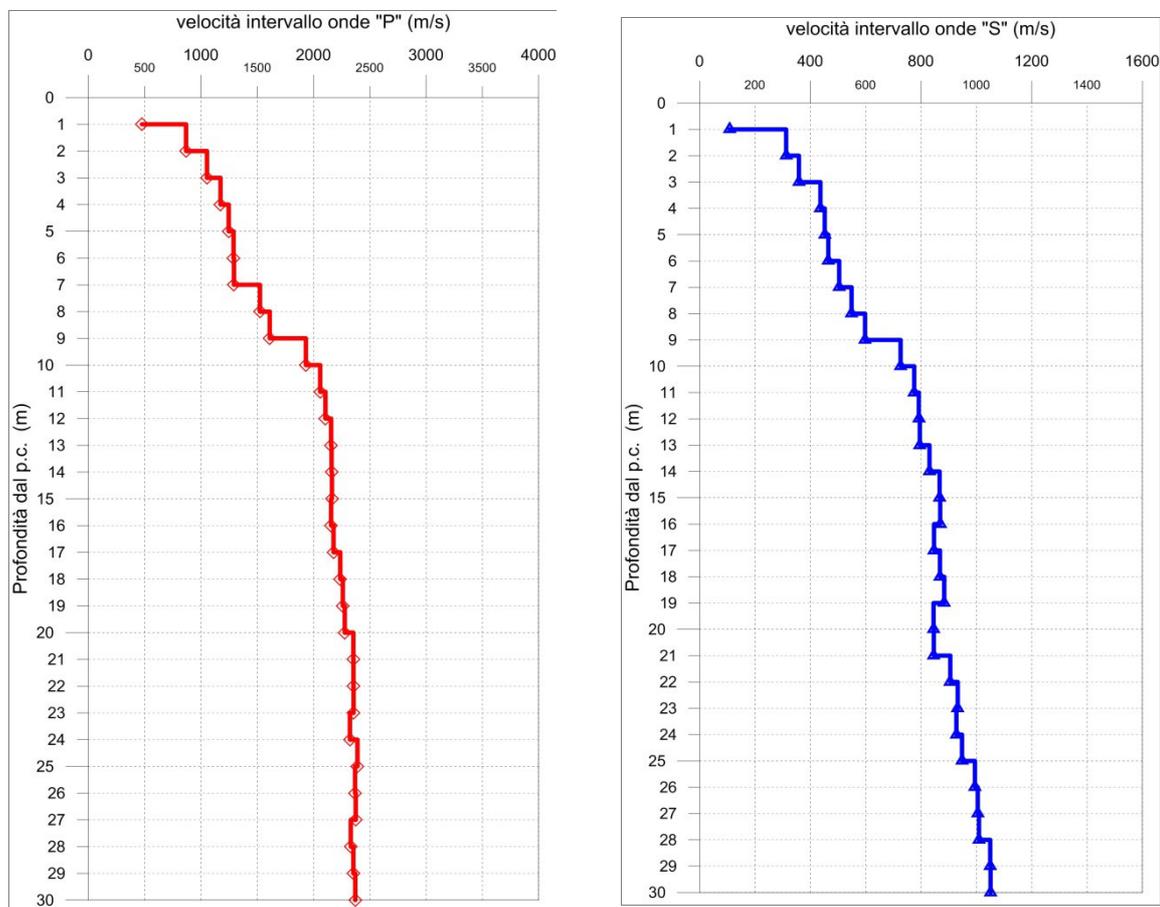


Fig. 3.9 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "S", In funzione della profondità dal p.c.

Profondità (m dal p.c.)	tempi osservati t <sub>o</sub> "P" (ms)	tempi osservati t <sub>o</sub> "S" (ms)	tempi corretti t <sub>c</sub> "P" (ms)	tempi corretti t <sub>c</sub> "S" (ms)	velocità intervallo Vp (m/s)	velocità intervallo Vs (m/s)	Vp/Vs	Poisson (n)	γ <sub>n</sub> gamma NATURALE	G Mpa	E Mpa	K Mpa
1	4,70	20,65	2,10	9,24	476	108	4,4	0,47	1,89	22	65	398
2	5,38	22,55	3,81	15,95	867	313	2,8	0,43	1,89	185	526	1174
3	6,12	24,72	5,09	20,56	1052	359	2,9	0,43	1,89	243	698	1768
4	6,86	26,70	6,14	23,88	1173	437	2,7	0,42	1,89	360	1023	2122
5	7,59	28,72	7,05	26,67	1246	452	2,8	0,42	1,89	386	1099	2418
6	8,32	30,74	7,90	29,16	1288	465	2,8	0,43	1,89	409	1165	2591
7	9,06	32,64	8,71	31,38	1292	504	2,6	0,41	1,89	480	1355	2517
8	9,70	34,40	9,41	33,37	1523	549	2,8	0,43	2,20	664	1892	4219
9	10,30	36,02	10,05	35,17	1611	598	2,7	0,42	2,20	786	2233	4660
10	10,81	37,37	10,60	36,65	1931	726	2,7	0,42	2,40	1266	3589	7262
11	11,28	38,64	11,10	38,01	2058	775	2,7	0,42	2,40	1443	4089	8246
12	11,75	39,88	11,59	39,34	2105	792	2,7	0,42	2,40	1505	4268	8628
13	12,21	41,12	12,07	40,64	2156	796	2,7	0,42	2,40	1519	4319	9130
14	12,67	42,31	12,54	41,89	2160	831	2,6	0,41	2,40	1656	4679	8988
15	13,13	43,46	13,01	43,07	2163	867	2,5	0,40	2,40	1806	5071	8820
16	13,59	44,60	13,48	44,25	2156	869	2,5	0,40	2,40	1813	5088	8739
17	14,04	45,77	13,95	45,46	2177	847	2,6	0,41	2,40	1722	4859	9079
18	14,49	46,91	14,40	46,63	2238	868	2,6	0,41	2,40	1810	5109	9604
19	14,93	48,04	14,84	47,77	2260	884	2,6	0,41	2,40	1874	5285	9754
20	15,36	49,22	15,29	48,97	2276	845	2,7	0,42	2,40	1714	4869	10151
21	15,79	50,39	15,71	50,16	2353	846	2,8	0,43	2,40	1719	4902	10995
22	16,21	51,49	16,14	51,28	2354	906	2,6	0,41	2,40	1970	5567	10671
23	16,63	52,56	16,57	52,36	2355	933	2,5	0,41	2,40	2088	5874	10524
24	17,06	53,63	17,00	53,45	2323	928	2,5	0,41	2,40	2066	5805	10192
25	17,48	54,68	17,42	54,51	2390	948	2,5	0,41	2,40	2158	6072	10833
26	17,90	55,69	17,85	55,52	2368	995	2,4	0,39	2,40	2376	6618	10290
27	18,32	56,68	18,27	56,52	2374	1005	2,4	0,39	2,40	2425	6745	10295
28	18,75	57,67	18,70	57,52	2330	1009	2,3	0,38	2,40	2446	6772	9772
29	19,17	58,62	19,13	58,48	2353	1050	2,2	0,38	2,40	2646	7280	9756
30	19,59	59,56	19,55	59,43	2370	1051	2,3	0,38	2,40	2653	7308	9942

Tab. 3.4 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto. Indagine down-hole S03-DH.

Riepilogo dei valori dei tempi di arrivo delle onde P ed S, dei valori delle velocità intervallo delle onde P ed S e dei moduli dinamici.

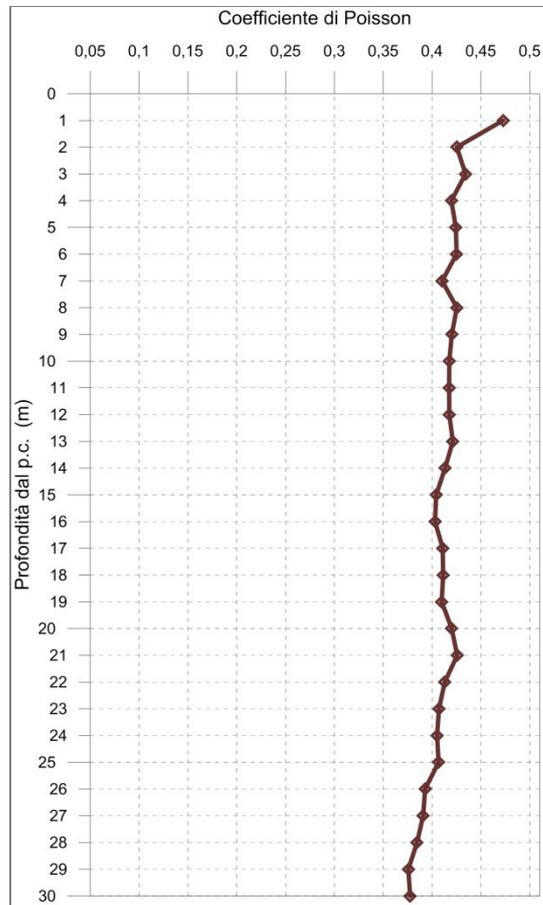


Fig. 3.10 - Diagramma relativo all'andamento del coefficiente di Poisson in funzione della profondità dal p.c..

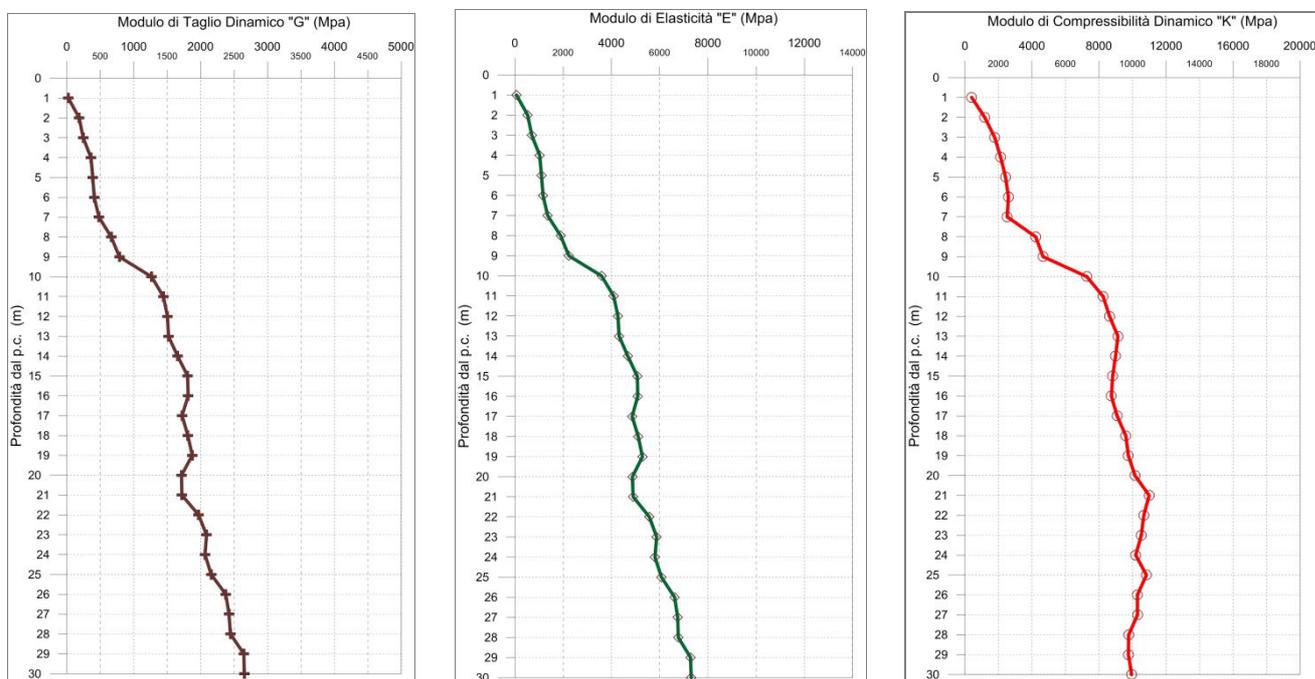


Fig. 3.11 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "G" in funzione della profondità dal p.c. Al centro, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "E" in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "K" in funzione della profondità dal p.c.

L'elaborazione della prospezione down-hole ha permesso di suddividere il sottosuolo in n.3 sismostrati aventi le seguenti caratteristiche:

Sismostrato	Profondità dal p.c. (m)		V <sub>p</sub> m/s	V <sub>s</sub> m/s
	da	a		
1°	1,0	7,0	908	271
2°	7,0	9,0	1.563	556
3°	9,0	30,0	2.235	878

Tab. 3.5 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.

Indagine down-hole S03-DH. Suddivisione del sottosuolo in sismostrati.

3.4.3 S07-DH

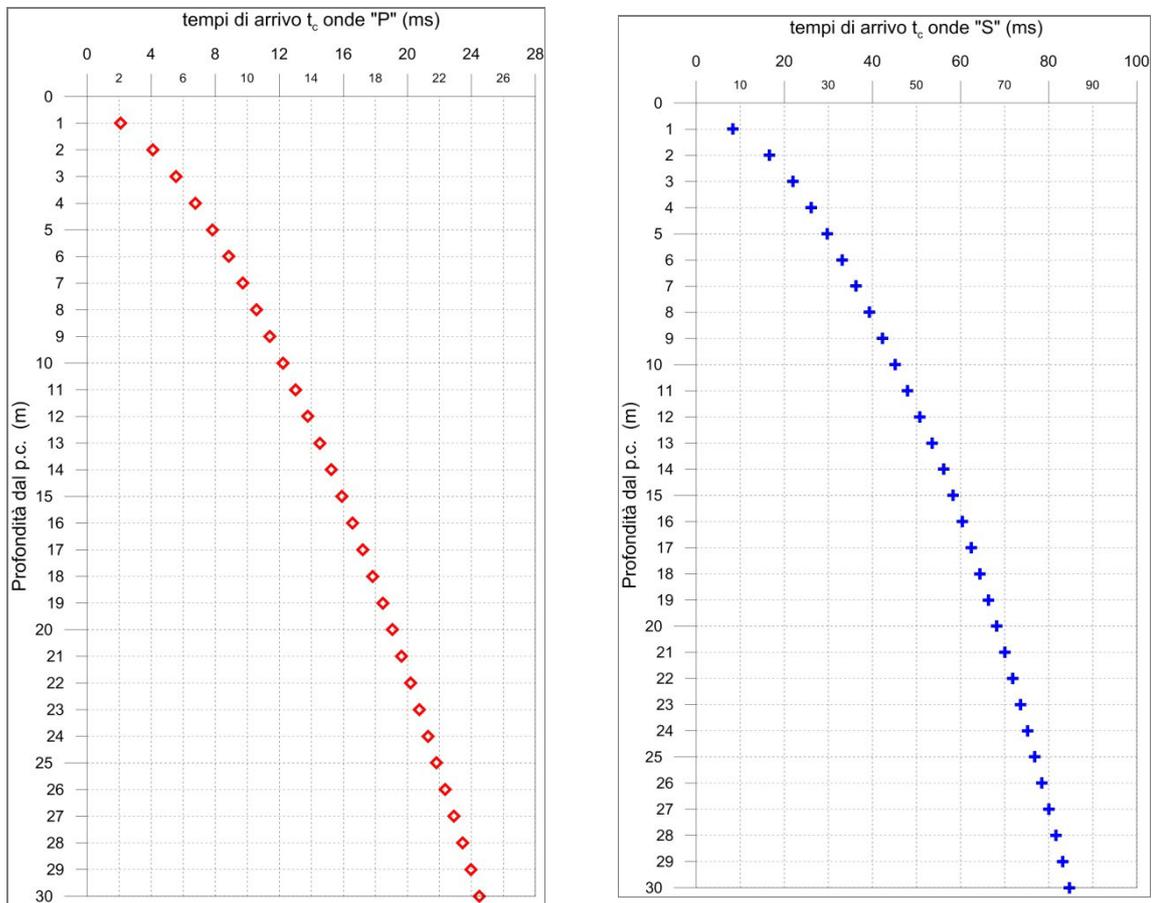


Fig. 3.12 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "S", in funzione della profondità dal p.c.

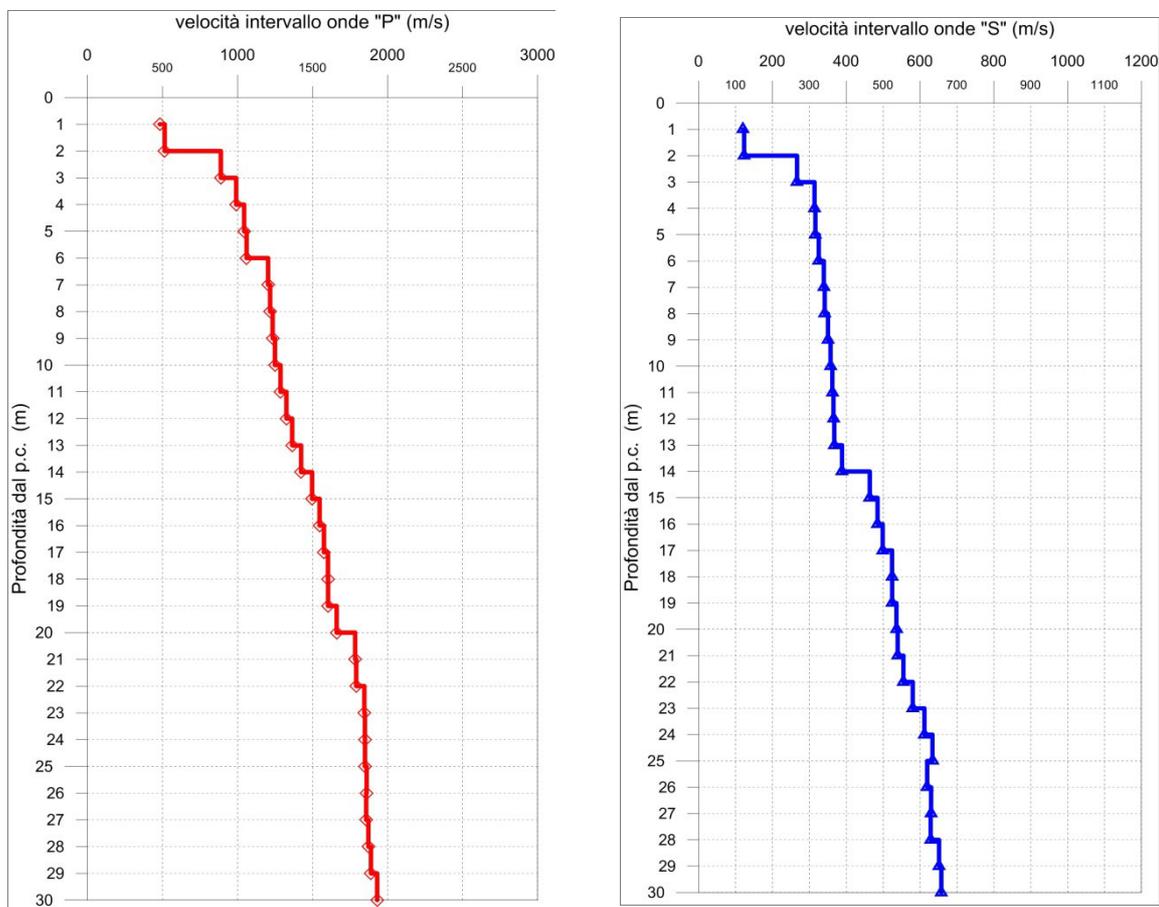


Fig. 3.13 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "S", In funzione della profondità dal p.c.

Profondità (m dal p.c.)	tempi osservati t <sub>o</sub> "P" (ms)	tempi osservati t <sub>o</sub> "S" (ms)	tempi corretti t <sub>c</sub> "P" (ms)	tempi corretti t <sub>c</sub> "S" (ms)	velocità intervallo Vp (m/s)	velocità intervallo Vs (m/s)	Vp/Vs	Poisson (n)	γ <sub>n</sub> gamma NATURALE	G Mpa	E Mpa	K Mpa
1	4,65	18,65	2,08	8,34	481	120	4,0	0,47	1,60	23	67	340
2	5,80	23,46	4,10	16,59	514	123	4,2	0,47	1,80	27	80	440
3	6,67	26,38	5,55	21,95	888	267	3,3	0,45	1,80	128	372	1250
4	7,55	29,14	6,75	26,06	991	314	3,2	0,44	1,80	177	512	1530
5	8,42	32,02	7,82	29,73	1044	316	3,3	0,45	1,80	180	522	1721
6	9,31	34,91	8,83	33,12	1060	325	3,3	0,45	1,80	191	552	1767
7	10,10	37,72	9,71	36,27	1203	339	3,5	0,46	1,80	207	604	2331
8	10,90	40,55	10,57	39,34	1217	342	3,6	0,46	1,80	210	613	2385
9	11,69	43,33	11,41	42,30	1234	350	3,5	0,46	1,80	221	644	2446
10	12,47	46,07	12,23	45,17	1249	358	3,5	0,46	1,80	230	670	2501
11	13,23	48,78	13,02	47,99	1287	362	3,5	0,46	1,80	236	689	2664
12	13,98	51,47	13,78	50,77	1326	365	3,6	0,46	1,80	240	701	2844
13	14,70	54,16	14,53	53,53	1364	368	3,7	0,46	1,80	243	711	3024
14	15,39	56,70	15,24	56,13	1423	389	3,7	0,46	1,80	272	793	3284
15	16,06	58,84	15,92	58,32	1496	464	3,2	0,45	2,00	431	1246	3904
16	16,70	60,88	16,57	60,41	1547	485	3,2	0,45	2,00	470	1360	4160
17	17,33	62,87	17,21	62,44	1576	499	3,2	0,44	2,00	498	1437	4303
18	17,95	64,77	17,84	64,37	1602	524	3,1	0,44	2,00	549	1583	4403
19	18,57	66,66	18,46	66,30	1604	525	3,1	0,44	2,00	550	1585	4409
20	19,17	68,52	19,07	68,18	1661	536	3,1	0,44	2,00	575	1658	4750
21	19,72	70,37	19,64	70,05	1784	539	3,3	0,45	2,00	582	1687	5587
22	20,28	72,16	20,20	71,86	1791	555	3,2	0,45	2,00	616	1783	5593
23	20,82	73,88	20,74	73,60	1845	580	3,2	0,45	2,00	674	1948	5906
24	21,36	75,50	21,29	75,24	1849	612	3,0	0,44	2,20	824	2371	6419
25	21,90	77,08	21,83	76,83	1849	634	2,9	0,43	2,20	883	2532	6345
26	22,43	78,69	22,37	78,45	1860	619	3,0	0,44	2,20	844	2425	6486
27	22,97	80,27	22,91	80,05	1857	630	2,9	0,43	2,20	873	2505	6422
28	23,50	81,86	23,44	81,65	1871	629	3,0	0,44	2,20	870	2499	6543
29	24,03	83,39	23,98	83,19	1889	652	2,9	0,43	2,20	934	2676	6607
30	24,55	84,90	24,49	84,71	1930	658	2,9	0,43	2,20	952	2730	6924

Tab. 3.6 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto. Indagine down-hole S07-DH.

Riepilogo dei valori dei tempi di arrivo delle onde P ed S, dei valori delle velocità intervallo delle onde P ed S e dei moduli dinamici.

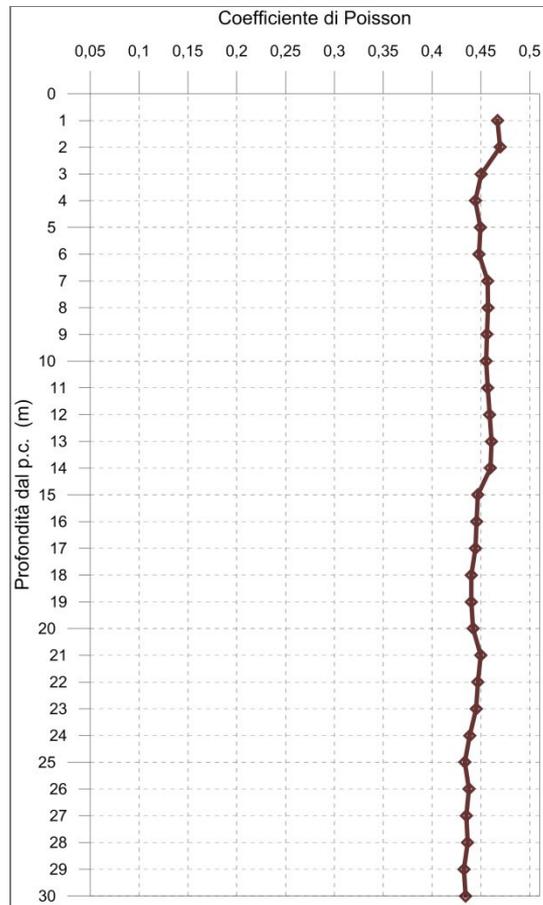


Fig. 3.14 - Diagramma relativo all'andamento del coefficiente di Poisson in funzione della profondità dal p.c..

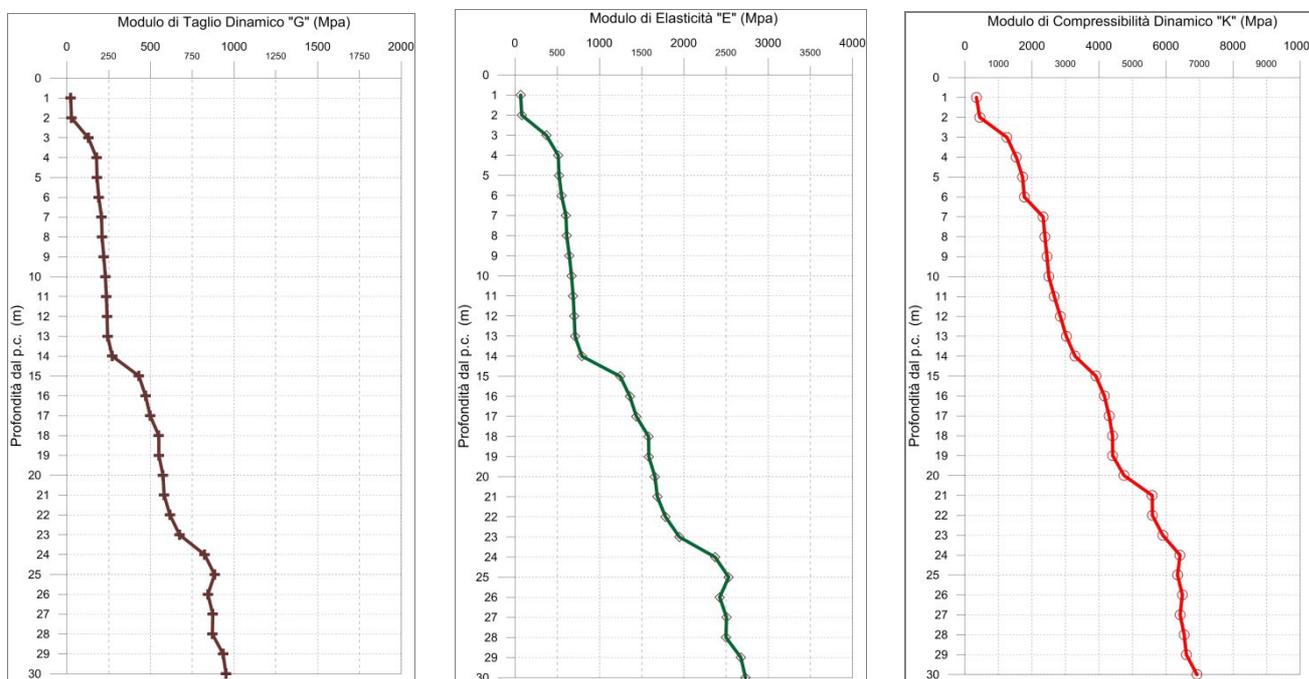


Fig. 3.15 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "G" in funzione della profondità dal p.c. Al centro, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "E" in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "K" in funzione della profondità dal p.c.

L'elaborazione della prospezione down-hole ha permesso di suddividere il sottosuolo in n.3 sismostrati aventi le seguenti caratteristiche:

Sismostrato	Profondità dal p.c. (m)		V <sub>p</sub> m/s	V <sub>s</sub> m/s
	da	a		
1°	1,0	14,0	988	342
2°	14,0	23,0	1.660	532
3°	23,0	30,0	1.875	638

Tab. 3.7 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.

Indagine down-hole S07-DH. Suddivisione del sottosuolo in sismostrati.

3.4.4 S10-DH

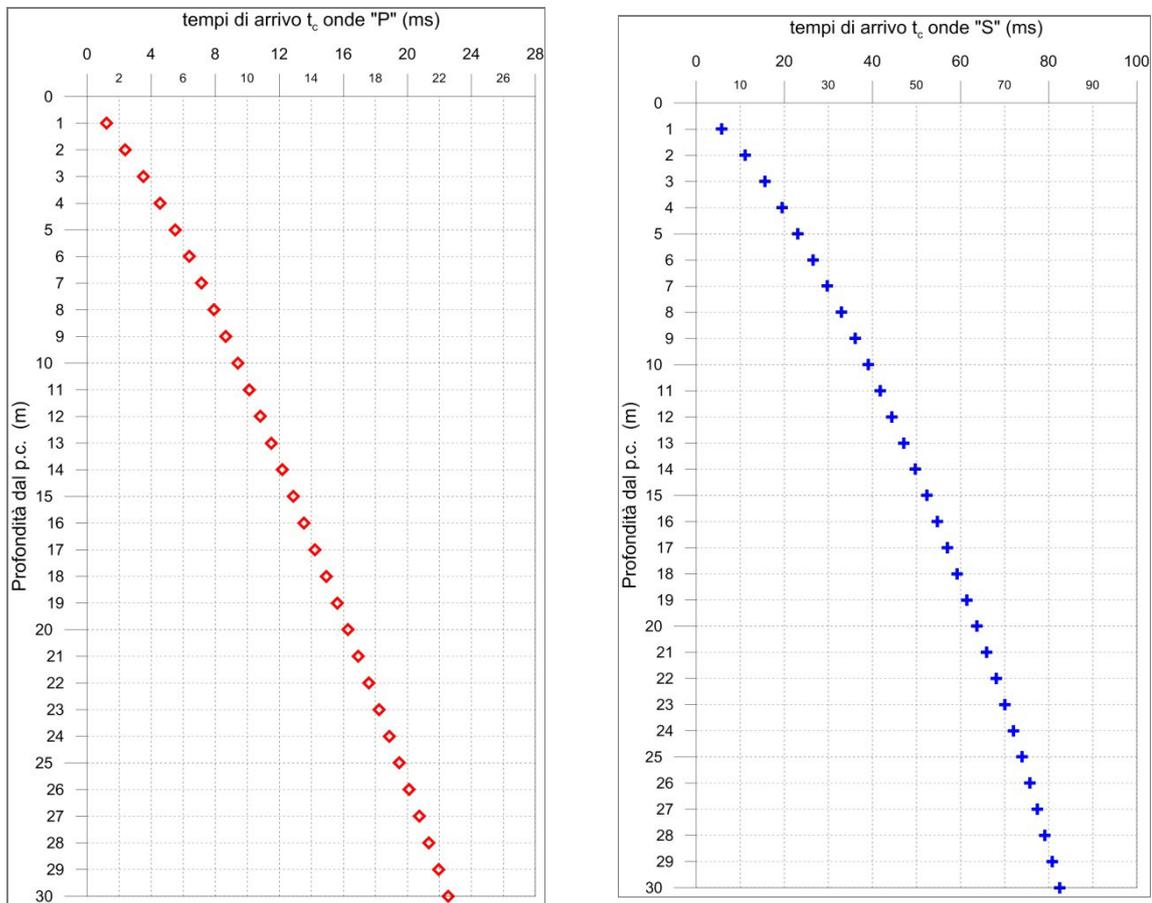


Fig. 3.16 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "S", in funzione della profondità dal p.c.

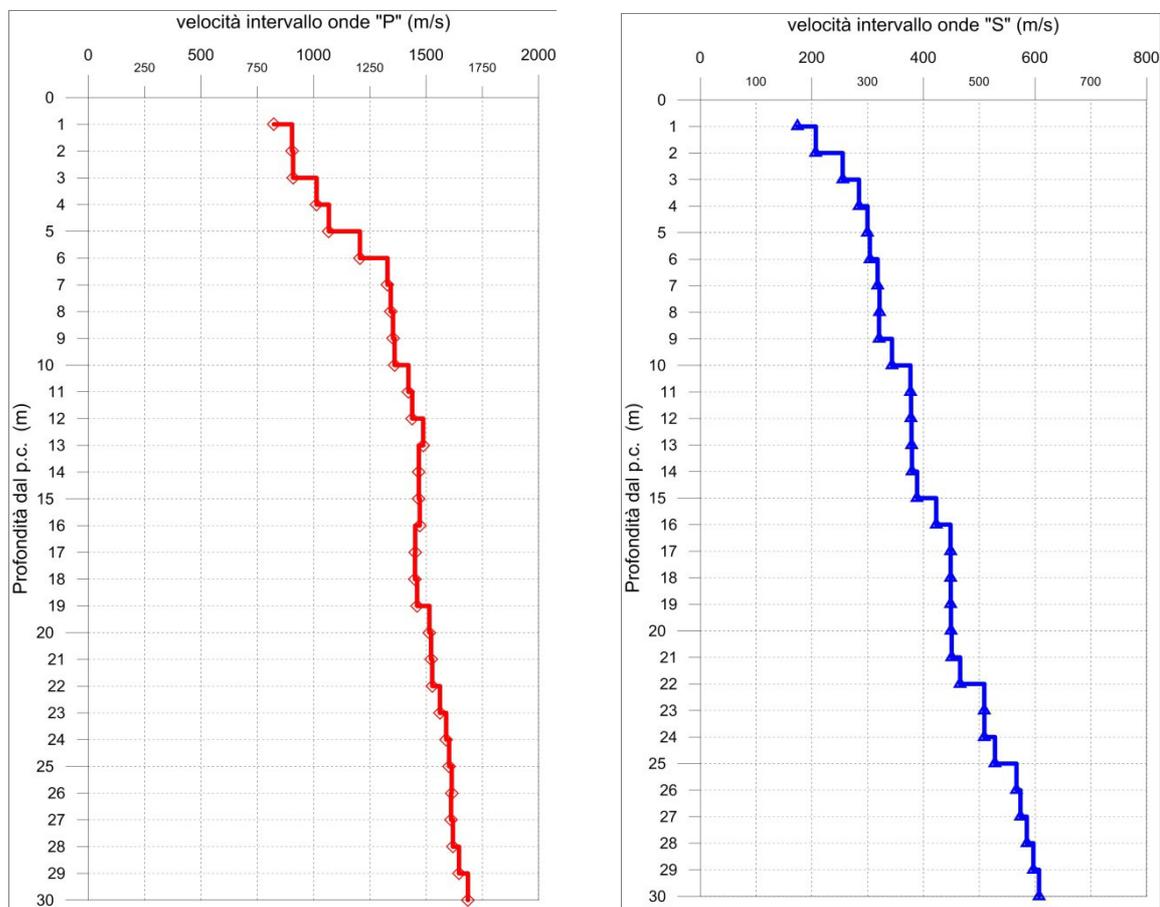


Fig. 3.17 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "S", In funzione della profondità dal p.c.

Profondità (m dal p.c.)	tempi osservati t <sub>o</sub> "P" (ms)	tempi osservati t <sub>o</sub> "S" (ms)	tempi corretti t <sub>c</sub> "P" (ms)	tempi corretti t <sub>c</sub> "S" (ms)	velocità intervallo Vp (m/s)	velocità intervallo Vs (m/s)	Vp/Vs	Poisson (n)	γ <sup>n</sup> gamma NATURALE	G Mpa	E Mpa	K Mpa
1	2,71	12,83	1,21	5,74	824	174	4,7	0,48	1,85	56	166	1180
2	3,37	15,69	2,38	11,10	904	207	4,4	0,47	1,85	79	234	1407
3	4,22	18,74	3,52	15,59	909	255	3,6	0,46	1,85	120	351	1368
4	5,08	21,79	4,54	19,49	1013	285	3,6	0,46	1,85	150	436	1700
5	5,94	24,83	5,51	23,06	1068	300	3,6	0,46	1,90	171	498	1939
6	6,71	27,92	6,37	26,49	1206	304	4,0	0,47	1,90	176	515	2528
7	7,43	30,93	7,15	29,74	1328	318	4,2	0,47	1,90	192	564	3096
8	8,15	33,94	7,91	32,92	1343	321	4,2	0,47	1,90	196	577	3165
9	8,87	36,97	8,66	36,09	1353	320	4,2	0,47	1,90	195	573	3218
10	9,59	39,82	9,41	39,05	1360	344	4,0	0,47	1,90	224	658	3216
11	10,28	42,43	10,12	41,74	1421	377	3,8	0,46	1,95	277	809	3571
12	10,97	45,04	10,82	44,42	1438	378	3,8	0,46	1,95	278	814	3663
13	11,63	47,65	11,50	47,09	1487	378	3,9	0,47	1,95	279	819	3940
14	12,31	50,25	12,18	49,75	1468	379	3,9	0,46	1,95	281	822	3826
15	12,98	52,80	12,87	52,34	1468	388	3,8	0,46	1,95	294	861	3807
16	13,66	55,15	13,55	54,72	1471	423	3,5	0,45	1,95	349	1015	3757
17	14,34	57,36	14,24	56,97	1451	448	3,2	0,45	1,95	392	1135	3585
18	15,02	59,58	14,93	59,21	1450	449	3,2	0,45	1,95	393	1136	3579
19	15,71	61,79	15,62	61,45	1460	449	3,3	0,45	1,95	393	1138	3632
20	16,36	64,01	16,28	63,69	1514	449	3,4	0,45	1,95	394	1143	3946
21	17,02	66,22	16,94	65,92	1522	451	3,4	0,45	1,95	396	1150	3988
22	17,67	68,35	17,60	68,07	1527	466	3,3	0,45	1,95	423	1225	3984
23	18,31	70,31	18,24	70,05	1561	509	3,1	0,44	2,00	518	1493	4184
24	18,93	72,27	18,87	72,02	1589	509	3,1	0,44	2,00	518	1496	4360
25	19,56	74,15	19,49	73,92	1602	528	3,0	0,44	2,00	558	1606	4391
26	20,17	75,91	20,11	75,69	1613	567	2,8	0,43	2,00	642	1837	4348
27	20,79	77,65	20,74	77,44	1611	574	2,8	0,43	2,00	658	1879	4312
28	21,41	79,36	21,35	79,15	1619	585	2,8	0,42	2,00	685	1953	4329
29	22,01	81,03	21,96	80,83	1646	597	2,8	0,42	2,00	713	2030	4469
30	22,61	82,67	22,56	82,49	1685	607	2,8	0,43	2,00	738	2102	4697

Tab. 3.8 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto. Indagine down-hole S10-DH.

Riepilogo dei valori dei tempi di arrivo delle onde P ed S, dei valori delle velocità intervallo delle onde P ed S e dei moduli dinamici.

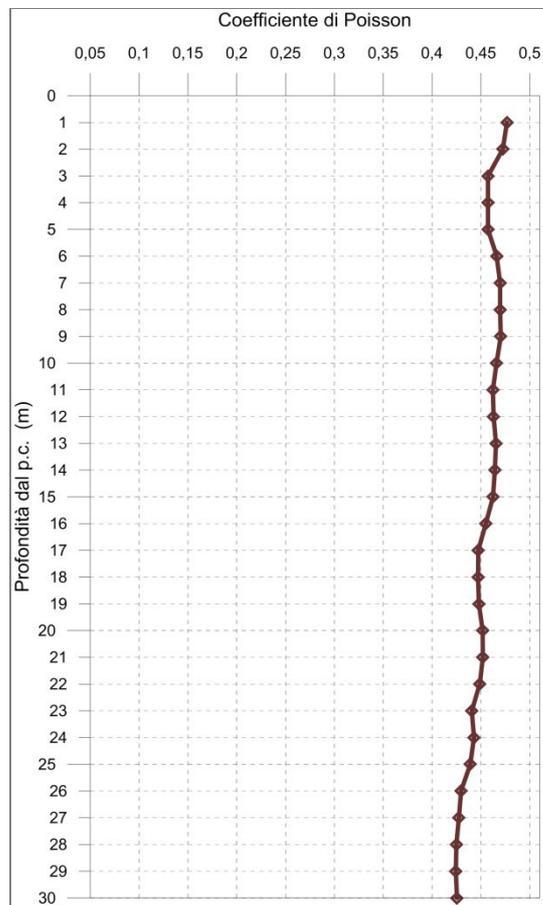


Fig. 3.18 - Diagramma relativo all'andamento del coefficiente di Poisson in funzione della profondità dal p.c..

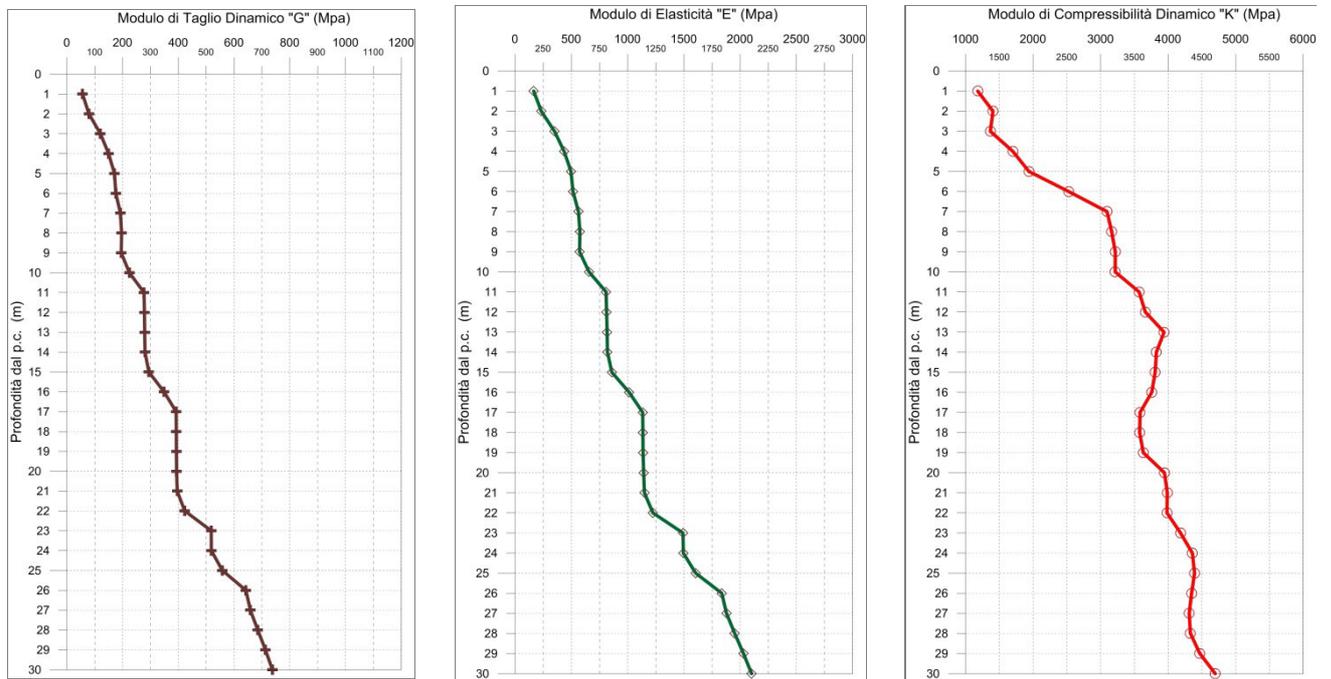


Fig. 3.19 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "G" in funzione della profondità dal p.c. Al centro, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "E" in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "K" in funzione della profondità dal p.c.

L'elaborazione della prospezione down-hole ha permesso di suddividere il sottosuolo in n.4 sismostrati aventi le seguenti caratteristiche:

Sismostrato	Profondità dal p.c. (m)		V <sub>p</sub> m/s	V <sub>s</sub> m/s
	da	a		
1°	1,0	4,0	901	218
2°	4,0	10,0	1.282	313
3°	10,0	22,0	1.471	418
4°	22,0	30,0	1.620	563

Tab. 3.9 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.

Indagine down-hole S10-DH. Suddivisione del sottosuolo in sismostrati.

3.4.5 S14-DH

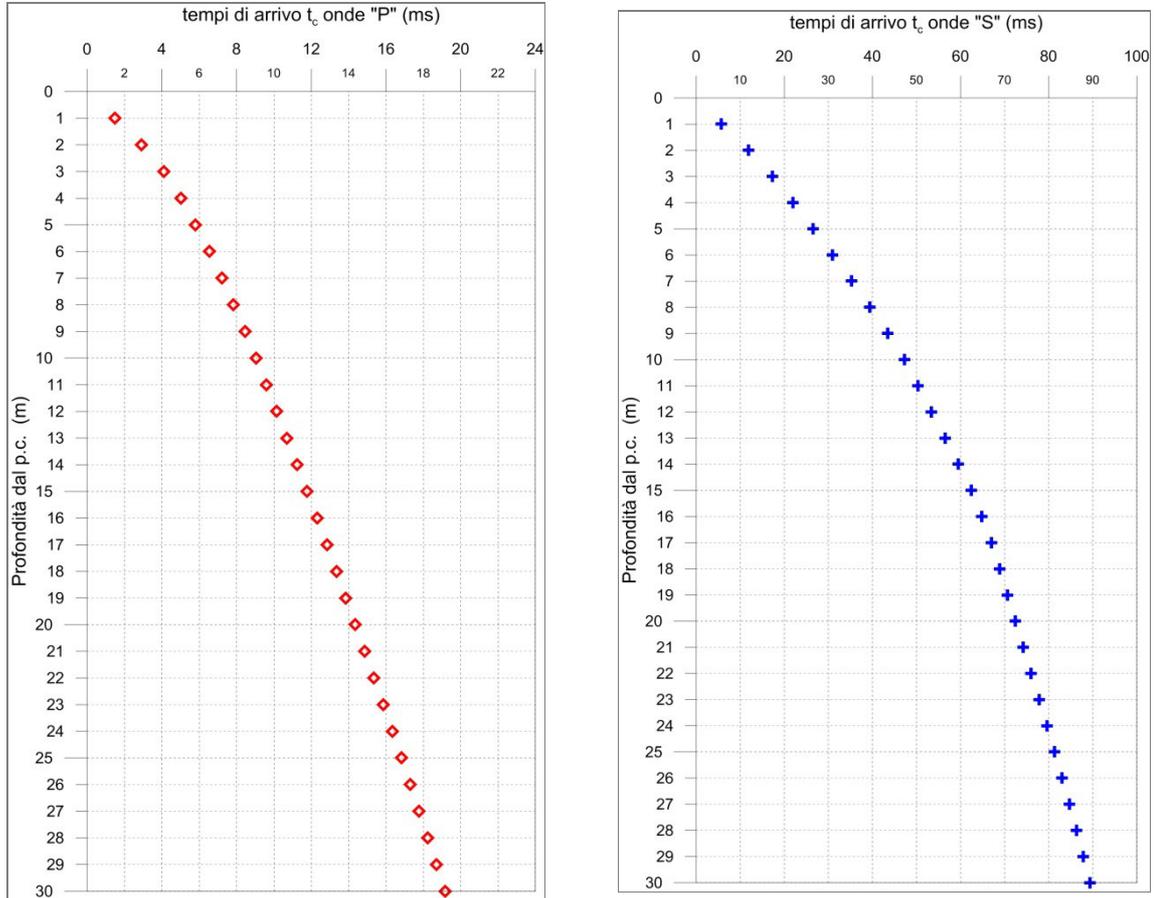


Fig. 3.20 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "S", in funzione della profondità dal p.c.

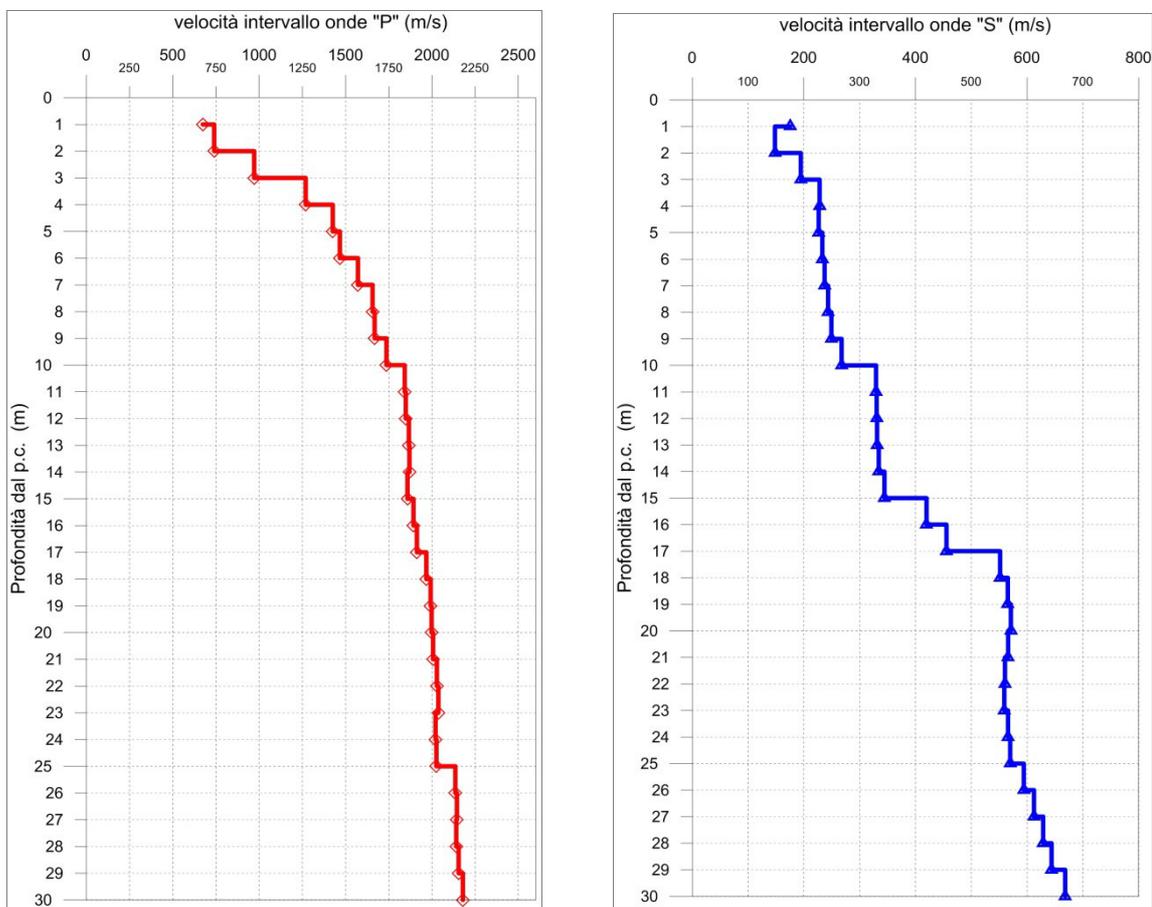


Fig. 3.21 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "S", In funzione della profondità dal p.c.

Profondità (m dal p.c.)	tempi osservati t <sub>o</sub> "P" (ms)	tempi osservati t <sub>o</sub> "S" (ms)	tempi corretti t <sub>c</sub> "P" (ms)	tempi corretti t <sub>c</sub> "S" (ms)	velocità intervallo Vp (m/s)	velocità intervallo Vs (m/s)	Vp/Vs	Poisson (n)	γ <sub>n</sub> gamma NATURALE	G Mpa	E Mpa	K Mpa
1	3,32	12,76	1,49	5,71	673	175	3,8	0,46	1,60	49	144	660
2	4,12	16,76	2,91	11,85	740	148	5,0	0,48	1,60	35	104	829
3	4,92	20,75	4,10	17,27	971	194	5,0	0,48	1,88	71	210	1677
4	5,60	24,55	5,01	21,96	1269	228	5,6	0,48	1,88	98	290	2898
5	6,24	28,58	5,80	26,54	1426	227	6,3	0,49	1,88	96	287	3692
6	6,89	32,61	6,53	30,94	1467	233	6,3	0,49	1,88	102	304	3908
7	7,49	36,64	7,21	35,23	1572	237	6,6	0,49	1,88	106	315	4502
8	8,08	40,61	7,84	39,40	1656	243	6,8	0,49	1,88	111	332	5007
9	8,66	44,52	8,45	43,46	1668	249	6,7	0,49	1,88	117	348	5077
10	9,22	48,17	9,04	47,24	1737	268	6,5	0,49	1,88	135	401	5491
11	9,76	51,16	9,60	50,33	1842	329	5,6	0,48	1,95	212	628	6331
12	10,29	54,14	10,15	53,40	1848	330	5,6	0,48	1,95	213	631	6378
13	10,82	57,12	10,69	56,46	1867	331	5,6	0,48	1,95	214	634	6509
14	11,35	60,08	11,23	59,48	1870	334	5,6	0,48	1,95	218	647	6528
15	11,88	62,96	11,78	62,40	1859	344	5,4	0,48	1,95	231	686	6427
16	12,41	65,32	12,31	64,81	1893	420	4,5	0,47	1,95	344	1014	6527
17	12,92	67,50	12,84	67,03	1913	456	4,2	0,47	1,95	405	1190	6595
18	13,43	69,30	13,35	68,87	1967	552	3,6	0,46	1,98	603	1756	6860
19	13,93	71,06	13,85	70,66	1992	566	3,5	0,46	1,98	633	1844	7016
20	14,43	72,80	14,35	72,44	1998	571	3,5	0,46	1,98	646	1880	7040
21	14,92	74,56	14,85	74,22	2007	566	3,5	0,46	1,98	635	1849	7126
22	15,41	76,33	15,35	76,02	2028	560	3,6	0,46	1,98	622	1814	7314
23	15,90	78,11	15,84	77,82	2037	559	3,6	0,46	1,98	619	1807	7390
24	16,40	79,87	16,34	79,60	2021	566	3,6	0,46	1,98	634	1848	7243
25	16,89	81,62	16,83	81,36	2026	570	3,6	0,46	1,98	643	1874	7268
26	17,35	83,30	17,30	83,06	2135	594	3,6	0,46	2,00	706	2059	8173
27	17,82	84,93	17,77	84,70	2144	613	3,5	0,46	2,00	750	2184	8197
28	18,29	86,52	18,24	86,30	2140	629	3,4	0,45	2,00	791	2298	8107
29	18,75	88,06	18,70	87,86	2155	644	3,3	0,45	2,00	829	2407	8178
30	19,21	89,56	19,16	89,36	2178	668	3,3	0,45	2,00	893	2587	8300

Tab. 3.10 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto. Indagine down-hole S14-DH.

Riepilogo dei valori dei tempi di arrivo delle onde P ed S, dei valori delle velocità intervallo delle onde P ed S e dei moduli dinamici.

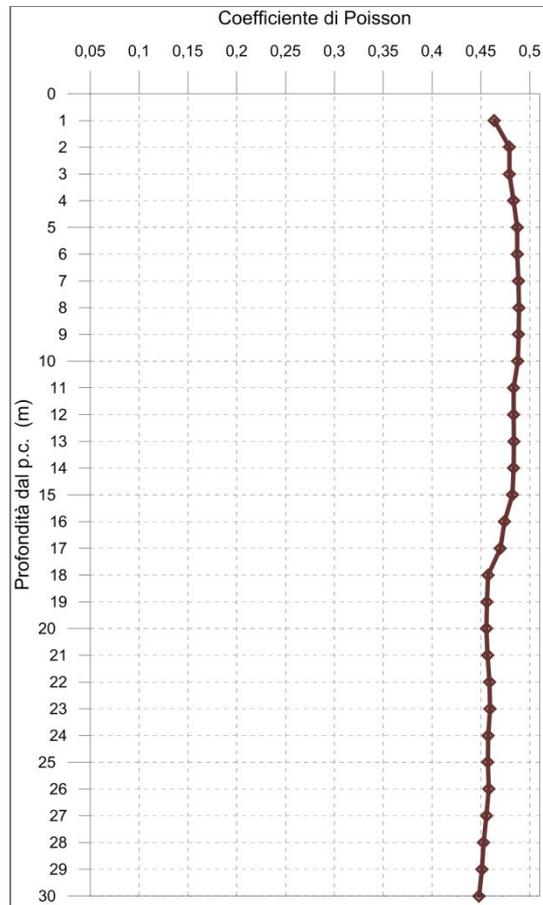


Fig. 3.22 - Diagramma relativo all'andamento del coefficiente di Poisson in funzione della profondità dal p.c..

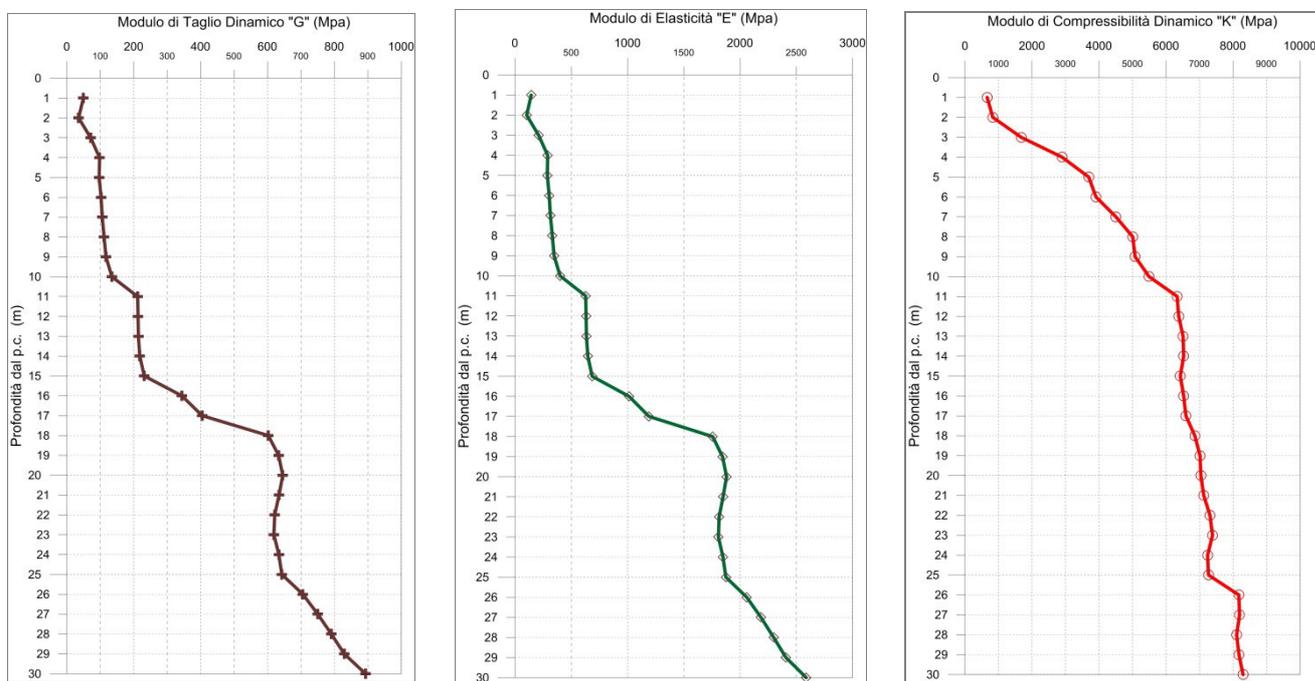


Fig. 3.23 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "G" in funzione della profondità dal p.c. Al centro, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "E" in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "K" in funzione della profondità dal p.c.

L'elaborazione della prospezione down-hole ha permesso di suddividere il sottosuolo in n.5 sismostrati aventi le seguenti caratteristiche:

Sismostrato	Profondità dal p.c. (m)		V <sub>p</sub> m/s	V <sub>s</sub> m/s
	da	a		
1°	1,0	2,0	704	163
2°	2,0	10,0	1.417	234
3°	10,0	17,0	1.852	359
4°	17,0	25,0	2.011	560
5°	25,0	30,0	2.151	635

Tab. 3.11 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.

Indagine down-hole S14-DH. Suddivisione del sottosuolo in sismostrati.

3.4.6 S18-DH

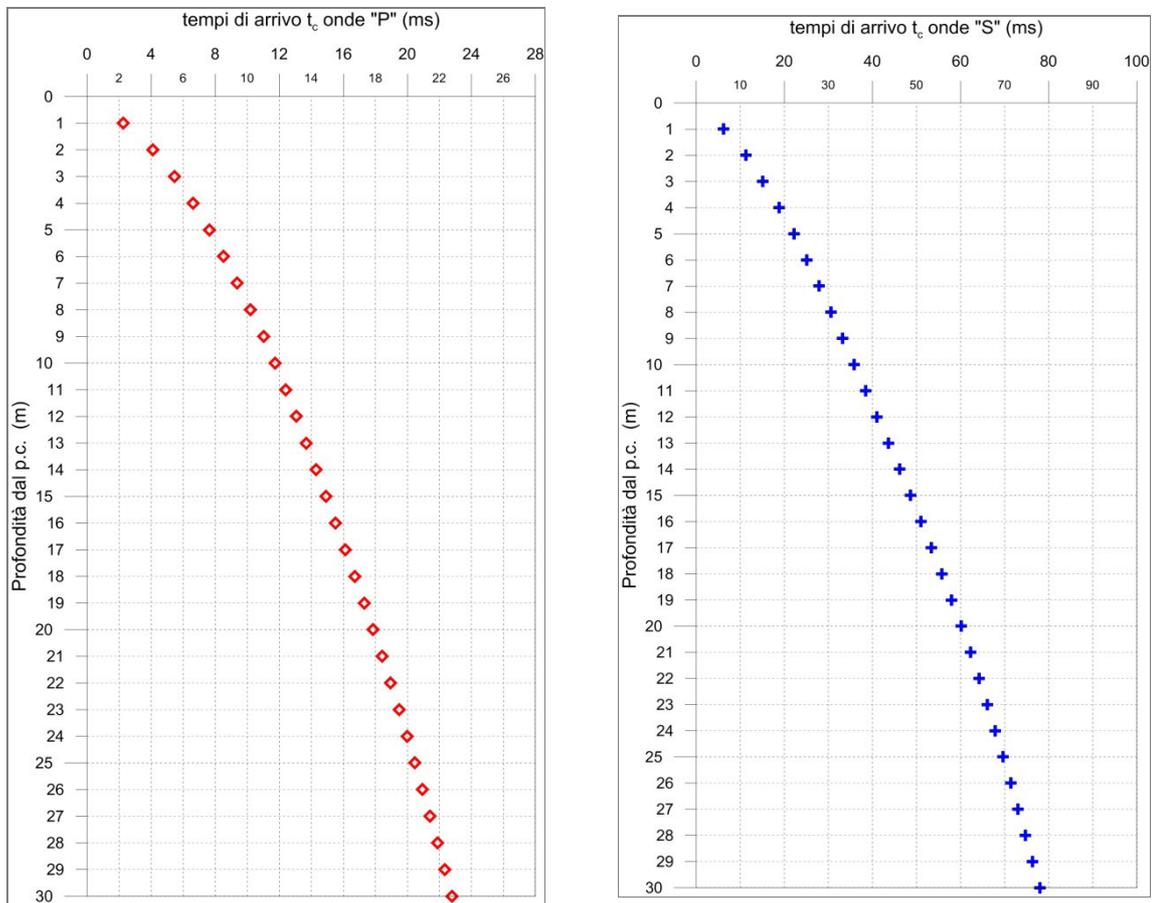


Fig. 3.24 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "S", in funzione della profondità dal p.c.

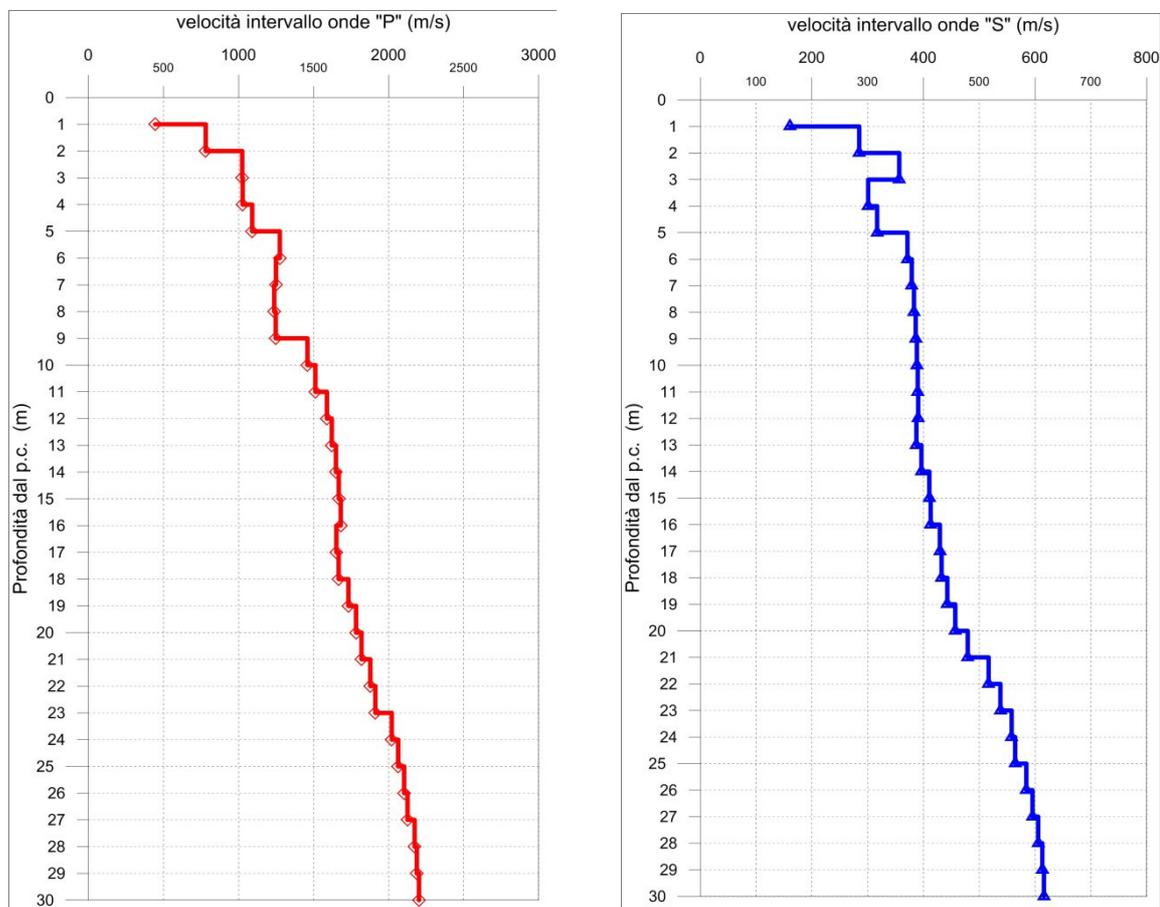


Fig. 3.25 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "S", In funzione della profondità dal p.c.

Profondità (m dal p.c.)	tempi osservati t <sub>o</sub> "P" (ms)	tempi osservati t <sub>o</sub> "S" (ms)	tempi corretti t <sub>c</sub> "P" (ms)	tempi corretti t <sub>c</sub> "S" (ms)	velocità intervallo Vp (m/s)	velocità intervallo Vs (m/s)	Vp/Vs	Poisson (n)	γ <sub>n</sub> gamma NATURALE	G Mpa	E Mpa	K Mpa
1	5,03	13,90	2,25	6,21	444	161	2,8	0,42	1,94	50	143	316
2	5,79	15,98	4,10	11,30	781	285	2,7	0,42	1,94	157	448	972
3	6,55	18,16	5,45	15,11	1024	357	2,9	0,43	1,94	247	706	1706
4	7,40	21,04	6,61	18,81	1027	301	3,4	0,45	1,94	176	511	1811
5	8,23	23,91	7,64	22,20	1091	317	3,4	0,45	1,94	195	567	2048
6	8,97	26,45	8,51	25,09	1275	371	3,4	0,45	1,94	267	777	2795
7	9,73	28,97	9,36	27,85	1249	379	3,3	0,45	1,94	279	808	2656
8	10,51	31,49	10,20	30,55	1238	383	3,2	0,45	1,94	285	824	2593
9	11,29	34,01	11,03	33,20	1247	386	3,2	0,45	1,94	289	837	2632
10	11,97	36,53	11,73	35,82	1460	388	3,8	0,46	1,95	294	858	3763
11	12,62	39,05	12,41	38,42	1512	390	3,9	0,46	1,95	296	867	4063
12	13,24	41,58	13,05	41,01	1589	391	4,1	0,47	1,95	298	874	4527
13	13,84	44,13	13,68	43,61	1621	387	4,2	0,47	1,95	292	859	4736
14	14,44	46,62	14,30	46,15	1649	396	4,2	0,47	1,95	306	899	4892
15	15,04	49,04	14,91	48,60	1668	411	4,1	0,47	1,95	329	965	4985
16	15,63	51,44	15,51	51,04	1681	413	4,1	0,47	1,95	332	976	5067
17	16,23	53,75	16,12	53,38	1652	429	3,8	0,46	1,95	360	1052	4841
18	16,83	56,05	16,72	55,70	1667	432	3,9	0,46	1,95	364	1067	4933
19	17,40	58,29	17,30	57,97	1732	443	3,9	0,47	1,95	382	1121	5340
20	17,96	60,47	17,87	60,17	1783	457	3,9	0,46	1,95	407	1193	5655
21	18,50	62,55	18,42	62,26	1820	479	3,8	0,46	1,95	448	1311	5858
22	19,03	64,47	18,96	64,21	1879	517	3,6	0,46	2,00	534	1558	6347
23	19,56	66,32	19,48	66,07	1912	538	3,6	0,46	2,00	579	1686	6539
24	20,05	68,11	19,98	67,87	2021	558	3,6	0,46	2,00	622	1816	7340
25	20,53	69,88	20,47	69,65	2064	564	3,7	0,46	2,00	637	1860	7667
26	21,01	71,58	20,94	71,37	2103	584	3,6	0,46	2,20	751	2191	8730
27	21,47	73,26	21,42	73,06	2126	595	3,6	0,46	2,20	780	2273	8906
28	21,93	74,90	21,88	74,71	2173	606	3,6	0,46	2,20	807	2352	9312
29	22,39	76,53	22,34	76,35	2188	613	3,6	0,46	2,20	827	2411	9426
30	22,84	78,15	22,79	77,98	2202	616	3,6	0,46	2,20	834	2433	9559

Tab. 3.12 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto. Indagine down-hole S18-DH.

Riepilogo dei valori dei tempi di arrivo delle onde P ed S, dei valori delle velocità intervallo delle onde P ed S e dei moduli dinamici.

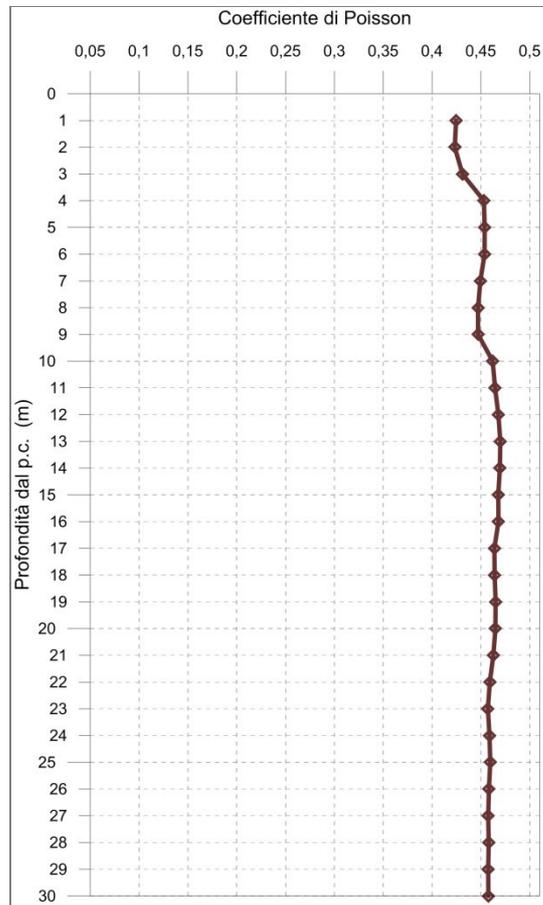


Fig. 3.26 - Diagramma relativo all'andamento del coefficiente di Poisson in funzione della profondità dal p.c..

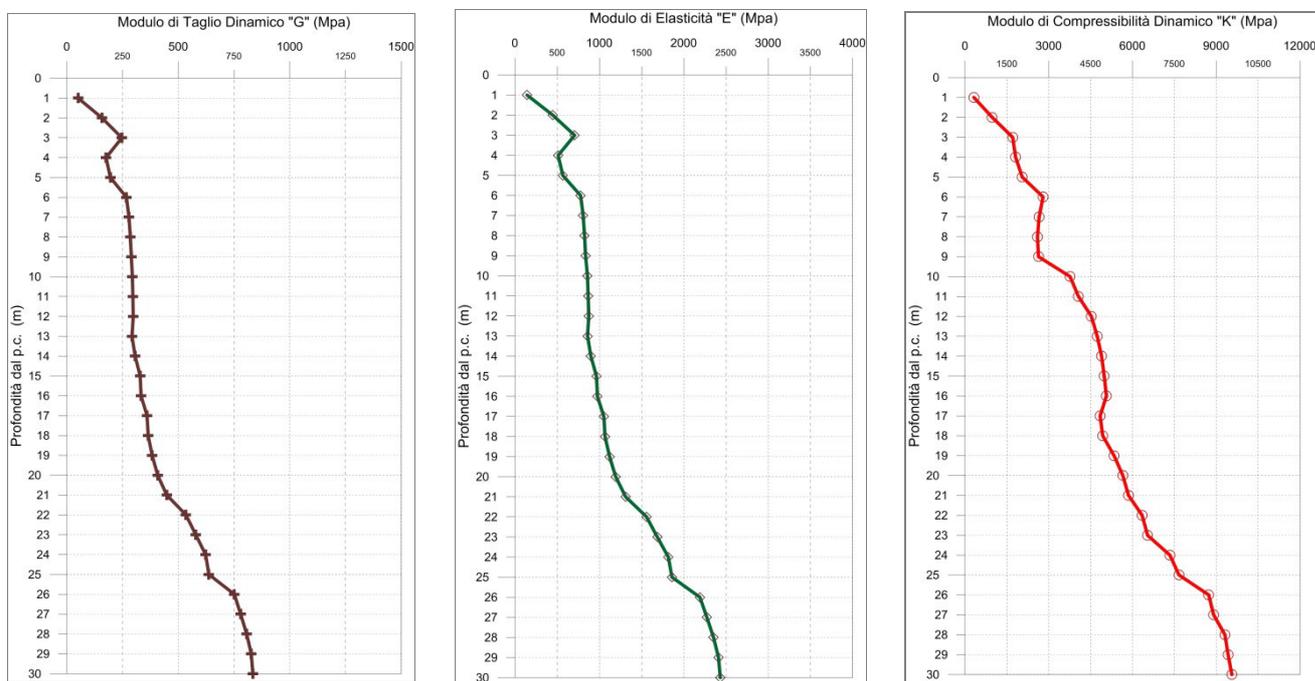


Fig. 3.27 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "G" in funzione della profondità dal p.c. Al centro, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "E" in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "K" in funzione della profondità dal p.c.

L'elaborazione della prospezione down-hole ha permesso di suddividere il sottosuolo in n.4 sismostrati aventi le seguenti caratteristiche:

Sismostrato	Profondità dal p.c. (m)		V <sub>p</sub> m/s	V <sub>s</sub> m/s
	da	a		
1°	1,0	9,0	911	296
2°	9,0	21,0	1.644	416
3°	21,0	25,0	1.987	551
4°	25,0	30,0	2.162	605

Tab. 3.13 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.

Indagine down-hole S18-DH. Suddivisione del sottosuolo in sismostrati.

### 3.5 DETERMINAZIONE DEL PARAMETRO $V_{S,eq}$

Al fine di classificare il sottosuolo da un punto di vista sismico nonché per definire l'azione sismica di progetto e l'effetto della risposta sismica locale, la normativa europea (EUROCODICE 8) e quelle italiane, dall'OPCM 3274/2003 sino alle recenti "Norme Tecniche per le Costruzioni", approvate con Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018, adottano, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili a determinate categorie, un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_S$ .

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s) è definita dall'espressione:

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

con:

$h_i$  spessore dell' $i$ -esimo strato;

$V_{S,i}$  velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;

$N$  numero di strati;

$H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_S$  non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Mediante le risultanze scaturite dalle prospezioni geofisiche descritte nel presente elaborato, l'elaborazione dei dati ha permesso di calcolare i seguenti valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$ :

Codice indagine	Valore $V_{s,eq}$
S02-DH	594 m/s
S03-DH	587 m/s
S07-DH	374 m/s
S10-DH	375 m/s
S14-DH	339 m/s
S18-DH	405 m/s

*Tab. 3.14 – S.S. 131 Completamento Itinerario Sassari-Olbia Potenziamento-Messa in sicurezza SS 131, dal km 192+500 al km 209+500 - 1° Lotto.*

*Tabella riepilogativa del valore  $V_{s,eq}$ .*