


Provincia di Cuneo
S.S. 28 del Colle di Nava
Lavori di realizzazione della Tangenziale di Mondovì con collegamento alla S.S. 28 Dir – 564 e al casello A6 "Torino–Savona" – III Lotto (Variante di Mondovì)

PROGETTO DEFINITIVO

COD. TO08

| | | |
|--|--|--|
| PROGETTAZIONE: RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO PROGETTISTI | MANDATARIA:  | MANDANTI:  MATILDI+PARTNERS BUILDING FOR HUMANS |
| IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE: <i>Ing. Andrea Renso – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A2413</i> | IL GEOLOGO: <i>Geol. Emanuele Fresia – TECHNITAL Ordine Geologi Veneto n. A501</i> | IL PROGETTISTA: <i>Dott. Emanuele Fresia Ordine Geologi del Veneto n A 501</i> GRUPPO DI PROGETTAZIONE: COORDINAMENTO PROGETTAZIONE E PROGETTAZIONE STRADALE: <i>Ing. Carlo Vittorio Matildi – MATILDI + PARTNERS Ordine Ingegneri Provincia di Bologna n. 6457/A</i> COORDINAMENTO PROGETTAZIONE E COORDINATORE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE: <i>Ing. Edoardo Piccoli – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A3381</i> OPERE D'ARTE MAGGIORI GALLERIA: <i>Ing. Corrado Pesce – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A1984</i> OPERE D'ARTE MAGGIORI PONTI E MINORI: <i>Ing. Stefano Isani – MATILDI + PARTNERS Ordine Ingegneri Provincia di Bologna n. A4550</i> GEOTECNICA: <i>Ing. Alessandro Rizzo – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Milano n. A19598</i> IDROLOGIA ED IDRAULICA: <i>Ing. Simone Venturini – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A2515</i> |
| IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE: <i>Ing. Paolo Barrasso – MATILDI + PARTNERS Ordine Ingegneri Provincia di Bologna n. A9513</i> | VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO: <i>Ing. Giuseppe Danilo Malgeri</i> | |
| PROTOCOLLO: | DATA: | |

02 – RILIEVI E INDAGINI GEOTECNICHE
Indagini geognostiche anno 2019
Geofisica

| | | | | | | |
|--|---|-----------------------|-----------|-------------|------------|-----------|
| CODICE PROGETTO <input type="text" value="DPT000008D16"/> | NOME FILE 02.12_P00_GE00_GEN_RE05_A | PROGR. ELAB. 02.12 | REV. A | SCALA: - | | |
| | CODICE ELAB. <input type="text" value="P00GE00GENRE05"/> | | | | | |
| D | | | | | | |
| C | | | | | | |
| B | | | | | | |
| A | EMISSIONE | Mar. 2020 | Technital | Tecno-In | Fresia | Renso |
| REV. | DESCRIZIONE | DATA | SOCIETA' | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO |

Indagine 2019
di Progetto Definitivo

GEOFISICA.

Tomografia sismica a rifrazione

Masw

Down Hole

DOCUMENTAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

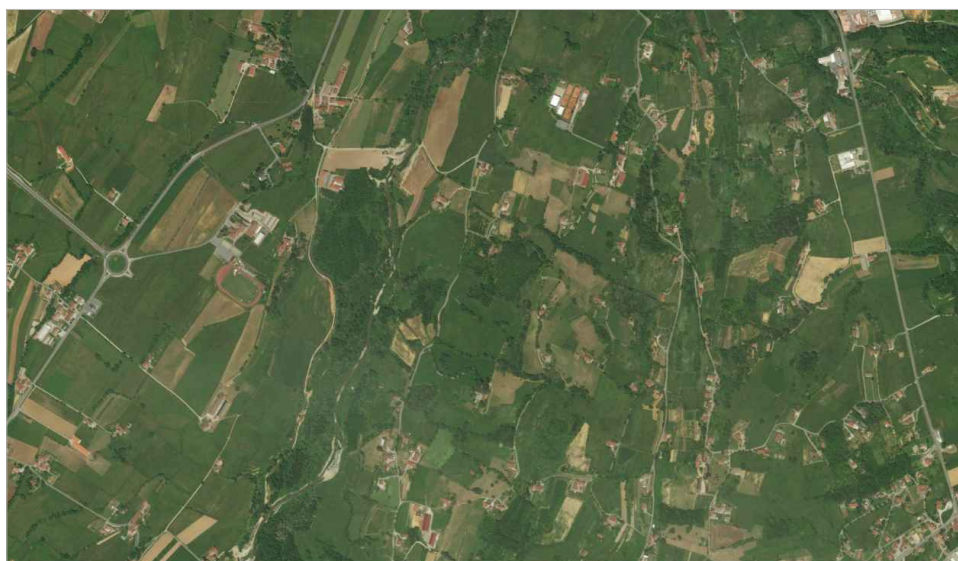


PROJECT:
PROGETTAZIONE DEFINITIVA DELL'INTERVENTO S.S. 28
LAVORI DI REALIZZAZIONE DELLA "TANGENZIALE DI
MONDOVI" CON COLLEGAMENTO ALLA SS28 DIR-564
ED AL CASELLO 6 "TORINO-SAVONA" - 3° LOTTO
(VARIANTE DI MONDOVI')

LOCATION:
COMUNE DI MONDOVI' (CN)

CLIENT:
ANAS S.p.A.

OBJECT:
DOCUMENTAZIONE INDAGINI GEOFISICHE



Tecno In Ref.: R.C. 102/19 - 206/19
Revision n.: 00
Date: ottobre-novembre 2019
Description: emissione

Redacted by: Dr. Geol. Giovanni Antonucci
Reviewed by: Dr.ssa Geol. Maria Giovanna Camuti
Approved by: Dr. Geol. Lucio Amato
Document code: 206-19_geofisica.pdf

INDICE

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | PREMESSA | 2 |
| 2 | INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE TOMOGRAFICA | 3 |
| 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 | SR1 | 9 |
| 2.5.2 | SR2 | 13 |
| 2.5.3 | SR3 | 17 |
| 2.5.4 | SR4 | 21 |
| 2.5.5 | SR5 | 25 |
| 2.5.6 | SR6 | 29 |
| 3 | INDAGINI DOWN-HOLE | 33 |
| 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 | S03-DH | 39 |
| 3.4.2 | S12-DH | 44 |
| 4 | INDAGINE M.A.S.W. | 49 |
| 4.1 | DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA ED ELABORAZIONE DATI | 49 |
| 4.2 | DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA | 50 |
| 4.3 | DESCRIZIONE DELLE MODALITA' ESECUTIVE | 51 |
| 4.4 | RISULTANZE DELL'INDAGINE MASW | 53 |
| 4.4.1 | MASW-1 | 54 |
| 4.4.2 | MASW-2 | 57 |

1 PREMESSA

Il presente elaborato viene redatto per il Progetto definitivo dell'intervento S.S. 28 – Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì con collegamento alla S.S. 28 Dir. 564 ed al casello 6 Torino – Savona (3° Lotto).

Le indagini ricadono nel comune di Mondovì, nella provincia di Cuneo (CN).

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

- n.6 prospezioni sismiche a rifrazione tomografica;
- n.2 prove sismiche in foro down-hole;
- n.2 prove sismiche di superficie MASW.

Le indagini in oggetto sono state effettuate nei mesi di giugno, ottobre e novembre 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.

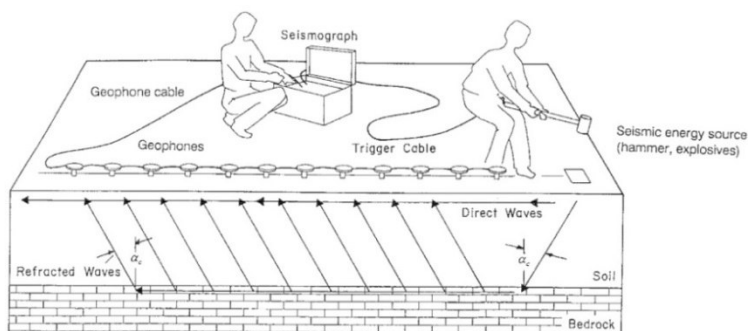


Fig. 2.1 - Schema esecutivo della sismica a rifrazione (fonte norma ASTM D 5777 - 00).

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).

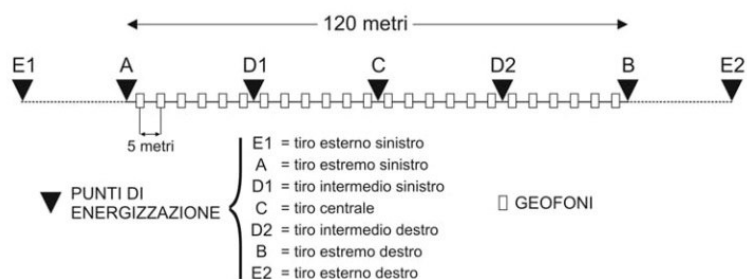


Fig. 2.2 - Tomografia sismica. Disposizione siti di energizzazione.

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.6** 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 base sismica (m) | UTM WGS84 Fuso 32 | | | |
|-----------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| | | Coordinata inizio profilo - EST | Coordinata inizio profilo - NORD | Coordinata fine profilo - EST | Coordinata fine profilo - NORD |
| SR1 | 115 | 405328,485 | 4913472,723 | 405293,901 | 4913364,549 |
| SR3 | 200 | 405366,165 | 4913323,456 | 405287,936 | 4913136,308 |
| SR3 | 200 | 405287,893 | 4913136,365 | 405225,359 | 4912953,061 |
| SR4 | 200 | 405310,838 | 4913450,355 | 405500,133 | 4913478,047 |
| SR5 | 200 | 405340,628 | 4913253,892 | 405531,791 | 4913250,376 |
| SR6 | 200 | 405261,036 | 4913030,599 | 405450,213 | 4912998,187 |

Tab. 2.1 – Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona – 3°lotto (variante di Mondovì).

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.6** basi sismiche aventi un numero di canali variabile da un minimo di 24 a un massimo di 48 e aventi lunghezza variabile tra 115 (base "corta" – per il profilo SR1) e 200 metri (base "lunga" – per i profili SR2, SR3, SR4, SR5 e SR6).

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

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 il profilo eseguito, 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 SR1

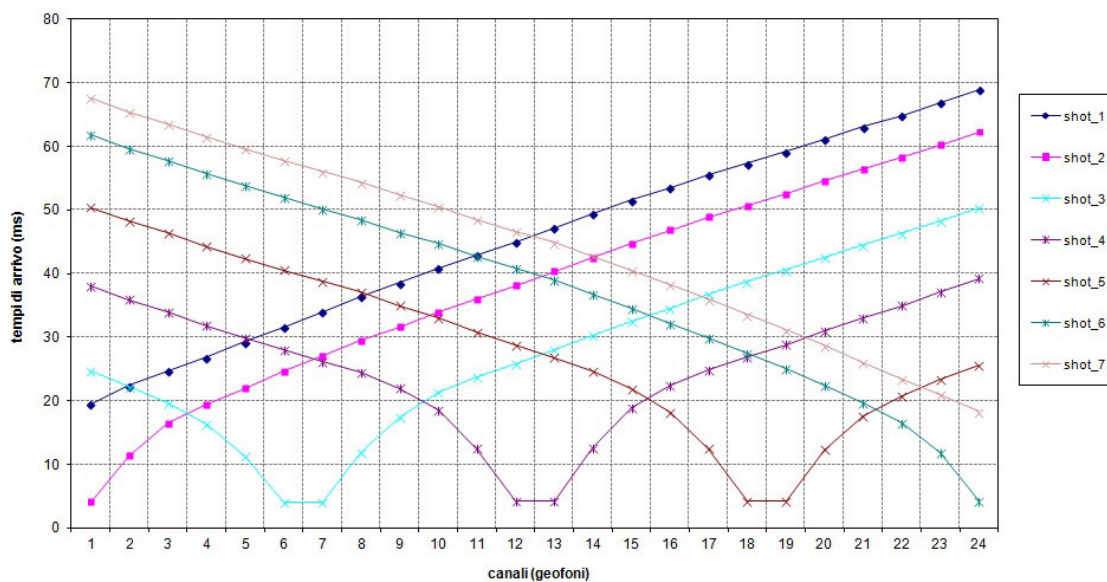


Fig. 2.3 – Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

Tomografia sismica in onde P. Profilo SR1. Dromocrono.

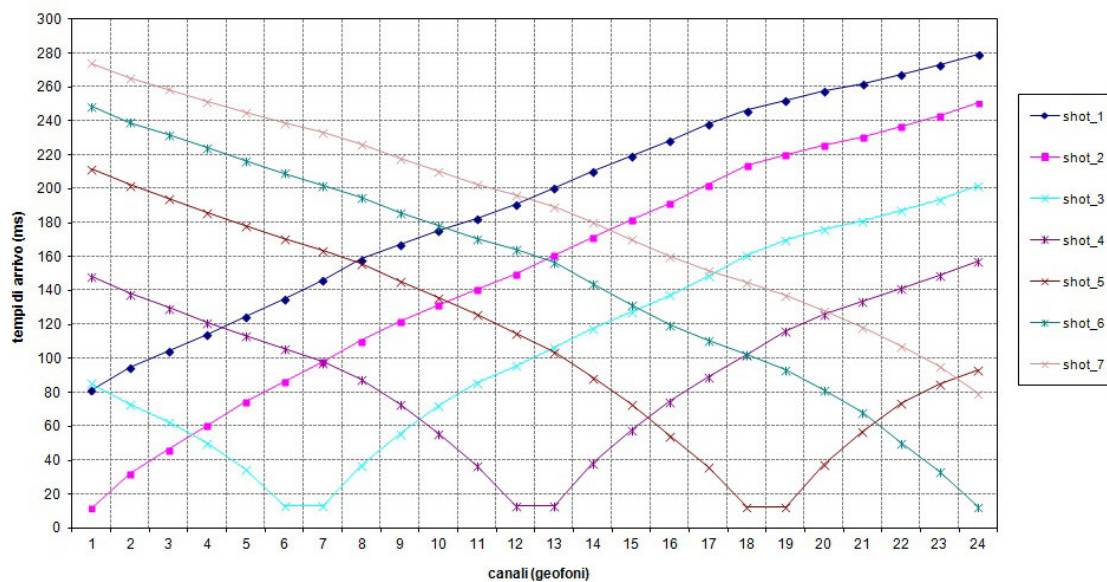


Fig. 2.4 – Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

Tomografia sismica in onde S. Profilo SR1. Dromocrono.

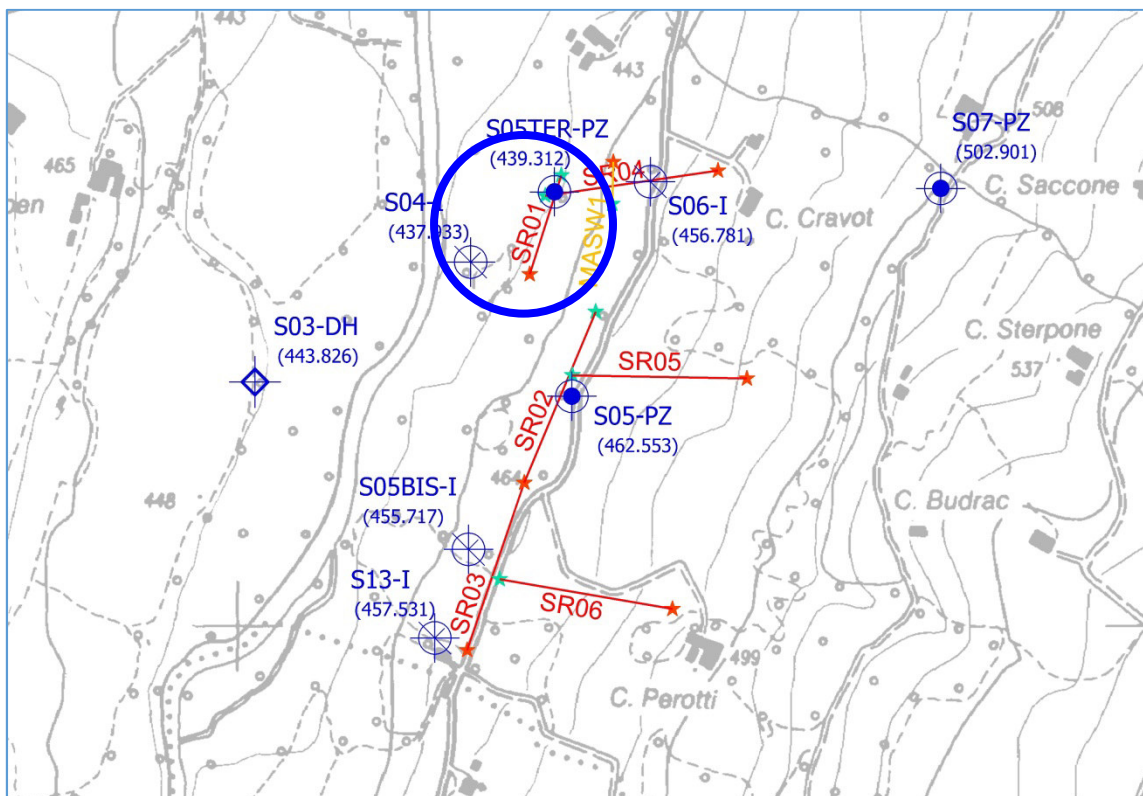


Fig. 2.5 – Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

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 **SR1** hanno permesso di evidenziare tre sismostrati.

Il primo sismostrato si attesta tra il piano campagna ed una profondità di circa 5 m. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 250 e 450 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 500 e 1.200 m/s. A tale sismostrato sono correlabili litologie sabbioso limose e limo-argillose.

Il secondo sismostrato è compreso tra la citata interfaccia e una profondità variabile tra un minimo di 8,5 m e un massimo di 20 m dal p.c.; presenta velocità delle onde sismiche comprese tra 450 e 750 m/s, per quanto riguarda le onde S, mentre per quel che concerne la velocità delle onde P, risulta compresa tra 1.200 e 2.000 m/s. A questo sismostrato sono correlabili marne argillose debolmente sabbiose, inglobanti blocchi o trovanti di quarzite.

Infine, il terzo sismostrato è compreso tra la precedente interfaccia e la massima profondità raggiunta nella sezione in oggetto; la velocità delle onde S è superiore a 750 m/s, mentre per le onde P risulta superiore a 2.000 m/s. A tale sismostrato sono correlabili litologie marnose e le arenarie poco cementate.

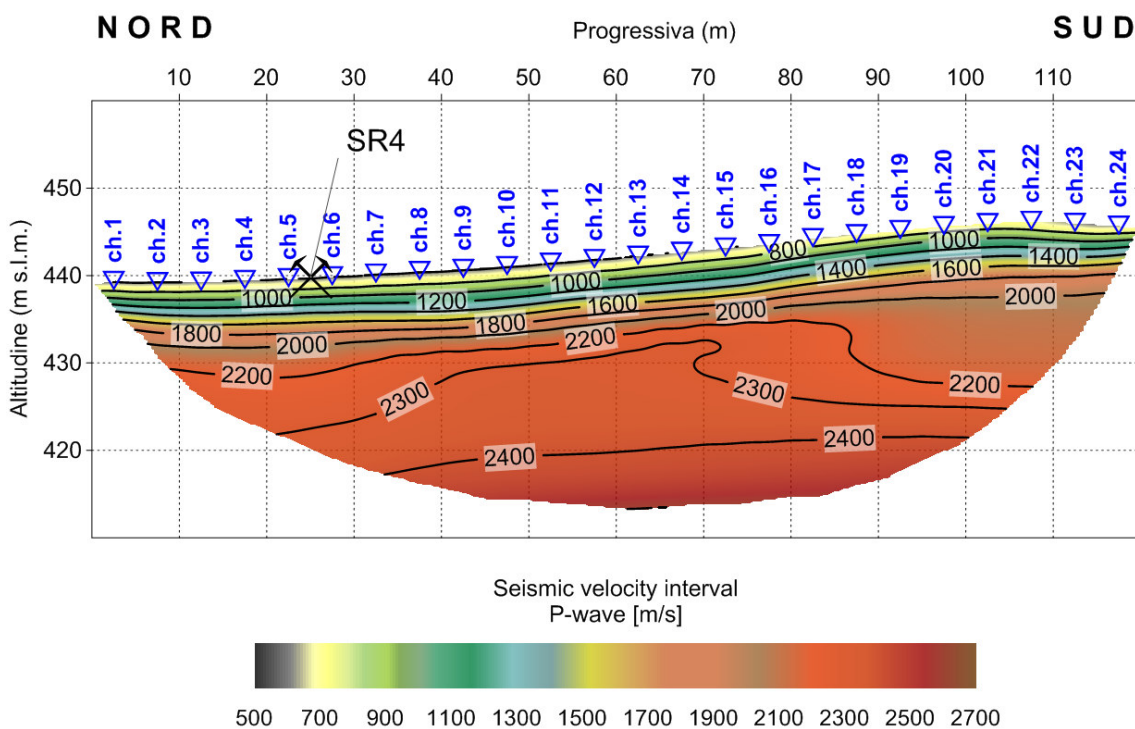


Fig. 2.6 – Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

Pseudosezione tomografica in onde P.

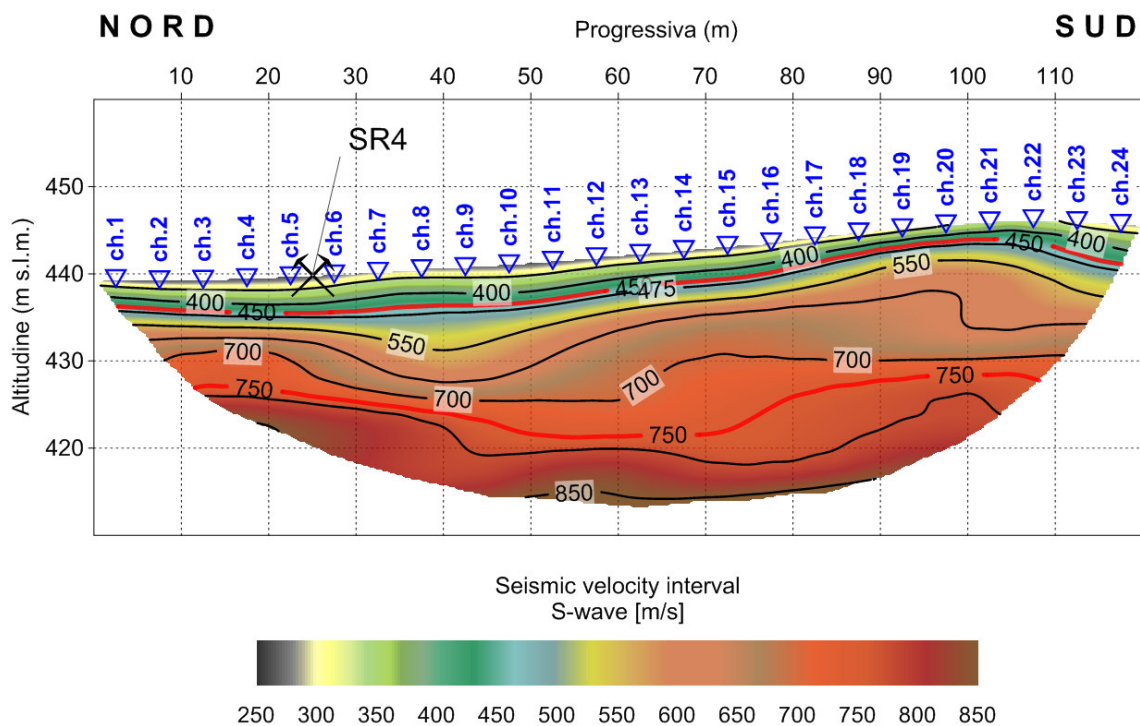


Fig. 2.7 - Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

Pseudosezione tomografica in onde S.

2.5.2 SR2

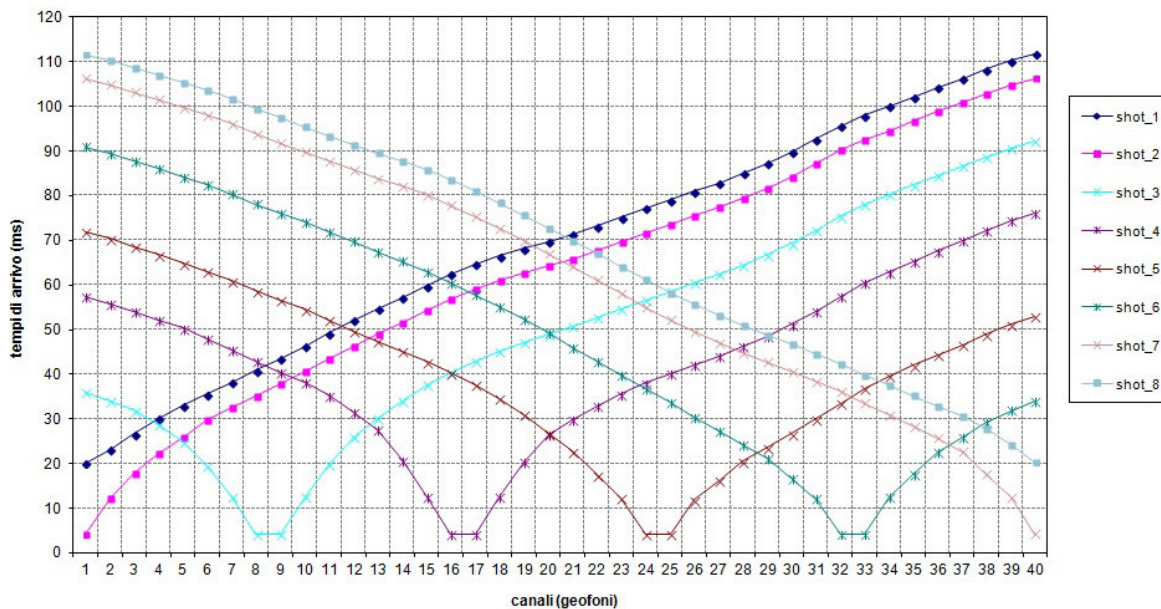


Fig. 2.8 – Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

Tomografia sismica in onde P. Profilo SR2. Dromocrono.

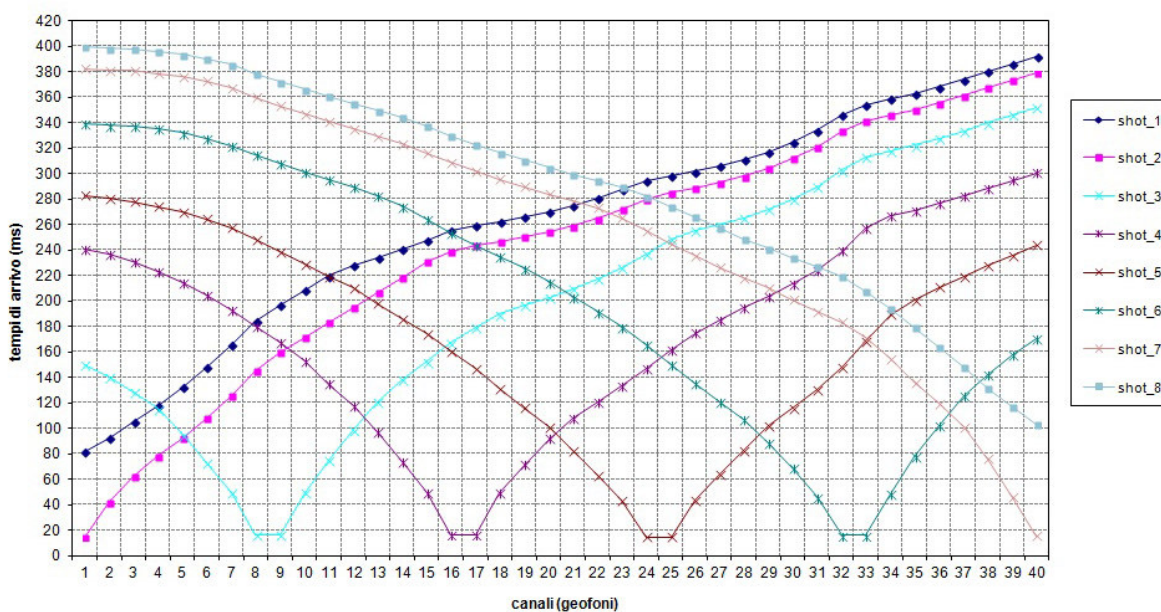


Fig. 2.9 – Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

Tomografia sismica in onde S. Profilo SR2. Dromocrono.

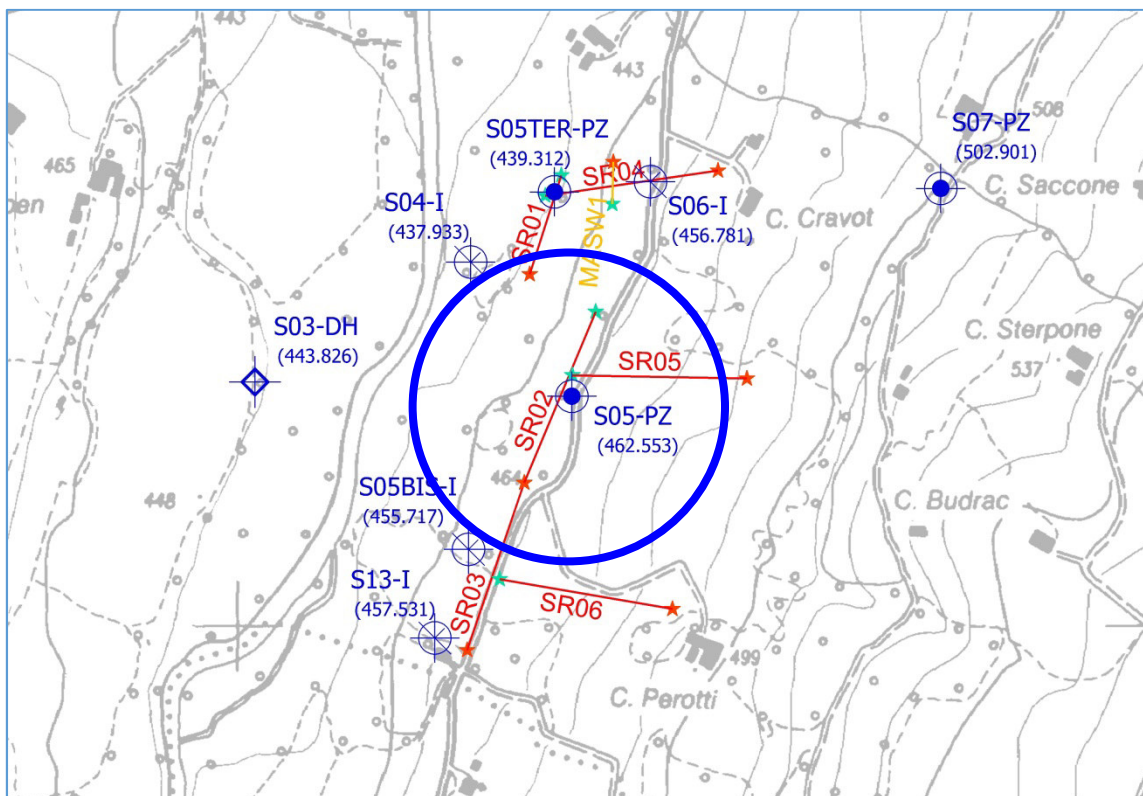


Fig. 2.10 – Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

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 **SR2** hanno permesso di evidenziare tre sismostrati.

Il primo sismostrato si attesta tra il piano campagna ed una profondità media di circa 9 m. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 200 e 475 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 500 e 1.200 m/s. A tale sismostrato sono correlabili litologie limo-sabbiose, limo-argillose e argillose.

Il secondo sismostrato è compreso tra la citata interfaccia e una profondità variabile tra un minimo di 16 m e un massimo di 25 m dal p.c.; presenta velocità delle onde sismiche comprese tra 475 e 750 m/s, per quanto riguarda le onde S, mentre per quel che concerne la velocità delle onde P, risulta compresa tra 1.200 e 2.100 m/s. A questo sismostrato sono correlabili alternanze di litotipi marnosi e arenacei poco cementati.

Infine, il terzo sismostrato è compreso tra la precedente interfaccia e la massima profondità raggiunta nella sezione in oggetto; la velocità delle onde S è superiore a 750 m/s, mentre per le onde P risulta superiore a 2.100 m/s. A tale sismostrato sono correlabili litologie marnose e arenacee cementate.

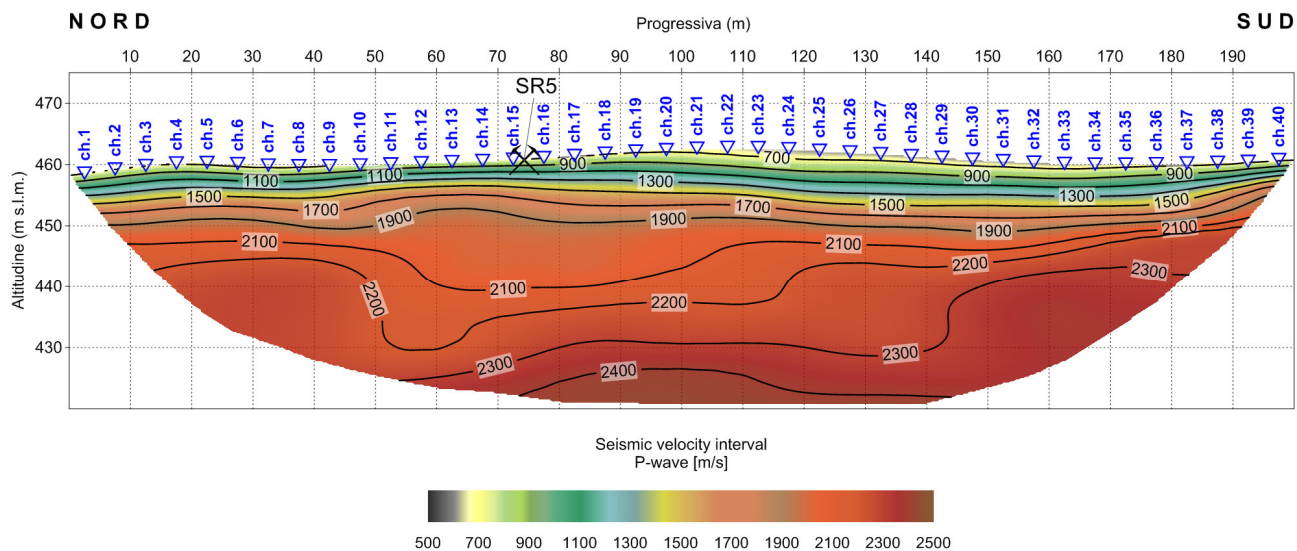


Fig. 2.11 – Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

Pseudosezione tomografica in onde P.

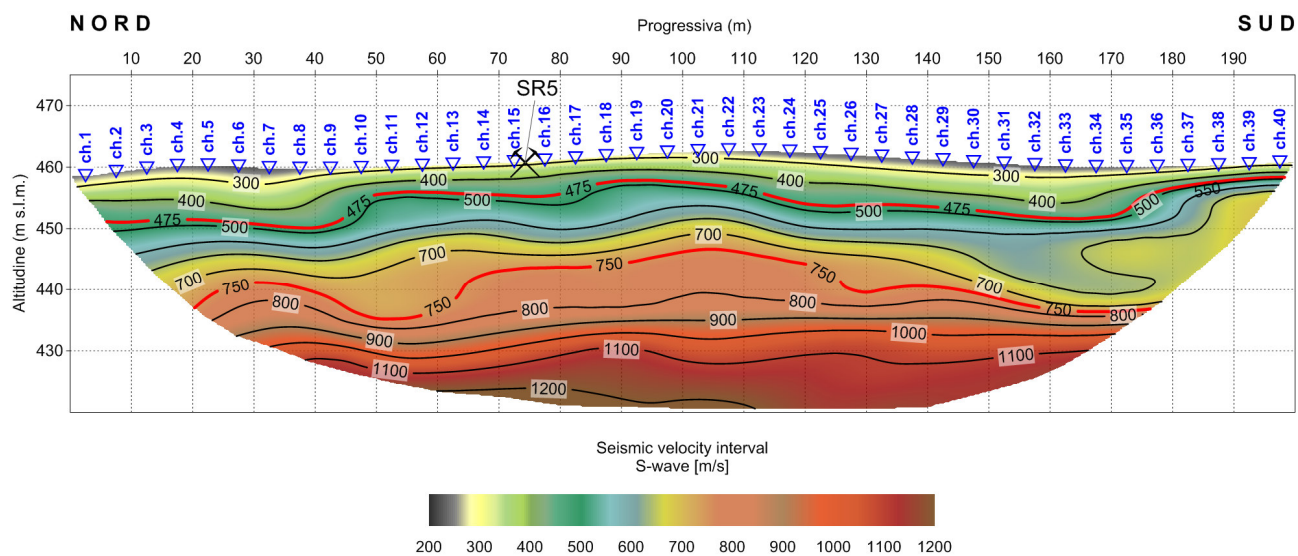


Fig. 2.12 - Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

Pseudosezione tomografica in onde S.

2.5.3 SR3

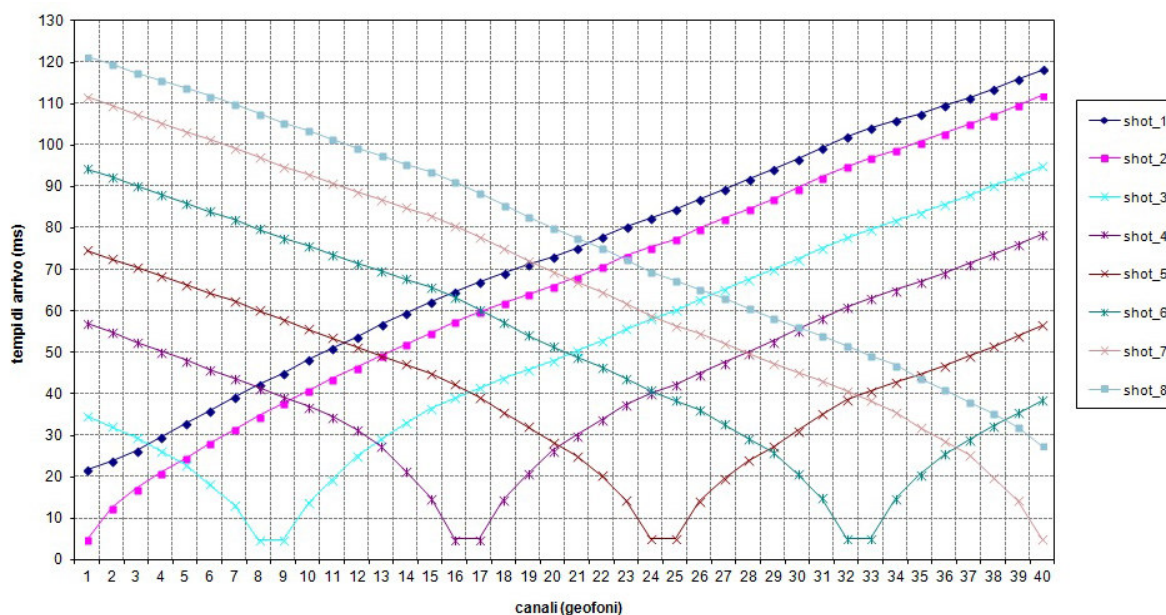


Fig. 2.13 – Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

Tomografia sismica in onde P. Profilo SR3. Dromocrone.

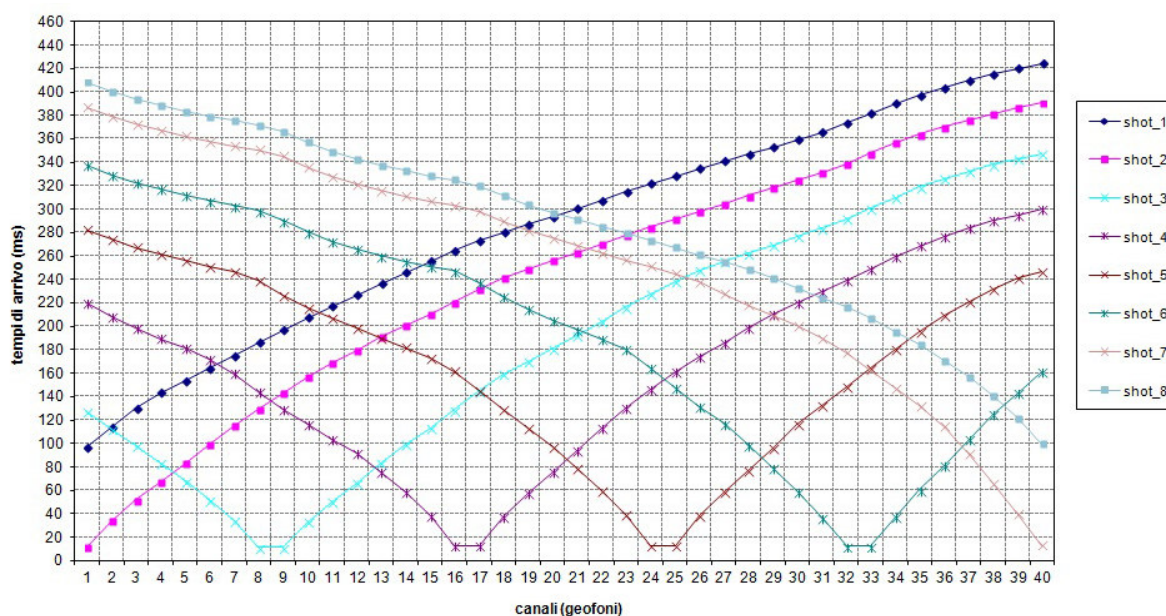


Fig. 2.14 – Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

Tomografia sismica in onde S. Profilo SR3. Dromocrone.

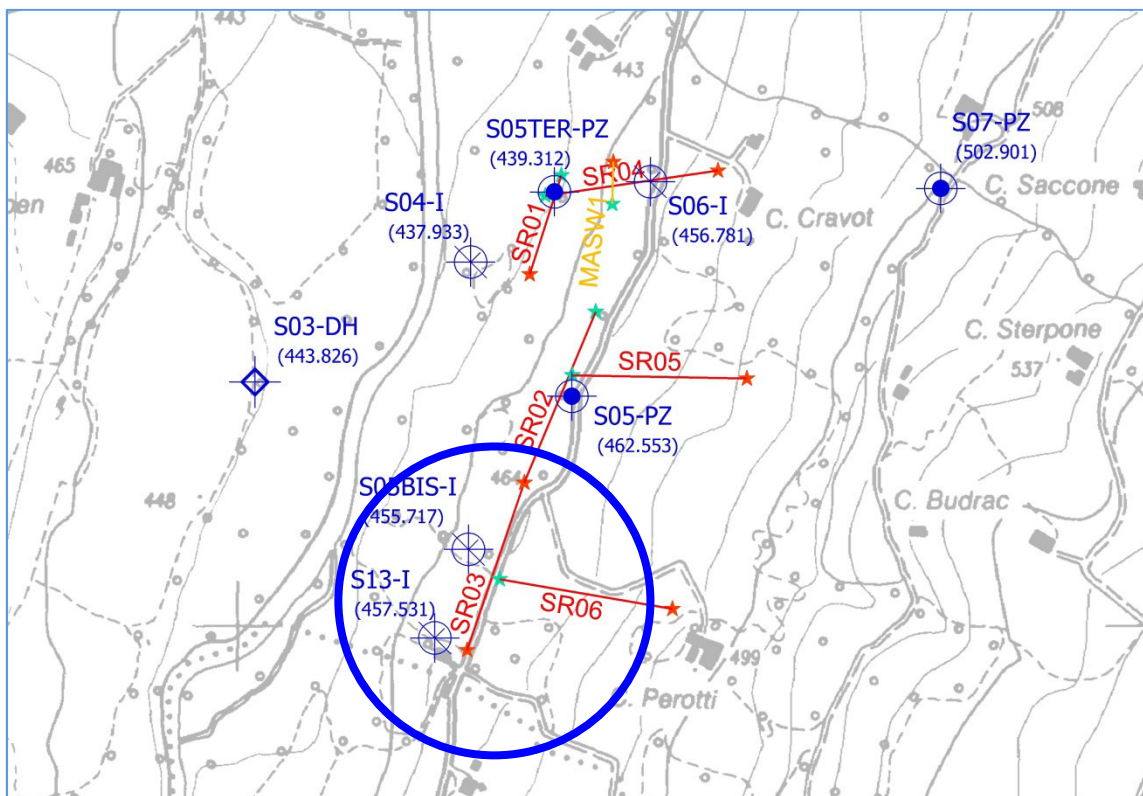


Fig. 2.15 – Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

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 **SR3** hanno permesso di evidenziare tre sismostrati.

Il primo sismostrato si attesta tra il piano campagna ed una profondità media di circa 9 m. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 200 e 475 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 500 e 1.300 m/s. A tale sismostrato sono correlabili litologie limo-sabbiose, limo-argillose e argillose.

Il secondo sismostrato è compreso tra la citata interfaccia e una profondità variabile tra un minimo di 19 m e un massimo di 25 m dal p.c.; presenta velocità delle onde sismiche comprese tra 475 e 750 m/s, per quanto riguarda le onde S, mentre per quel che concerne la velocità delle onde P, risulta compresa tra 1.300 e 2.100 m/s. A questo sismostrato sono correlabili alternanze di litotipi marnosi e arenacei poco cementati.

Infine, il terzo sismostrato è compreso tra la precedente interfaccia e la massima profondità raggiunta nella sezione in oggetto; la velocità delle onde S è superiore a 750 m/s, mentre per le onde P risulta superiore a 2.100 m/s. A tale sismostrato sono correlabili litologie marnose e arenacee cementate.

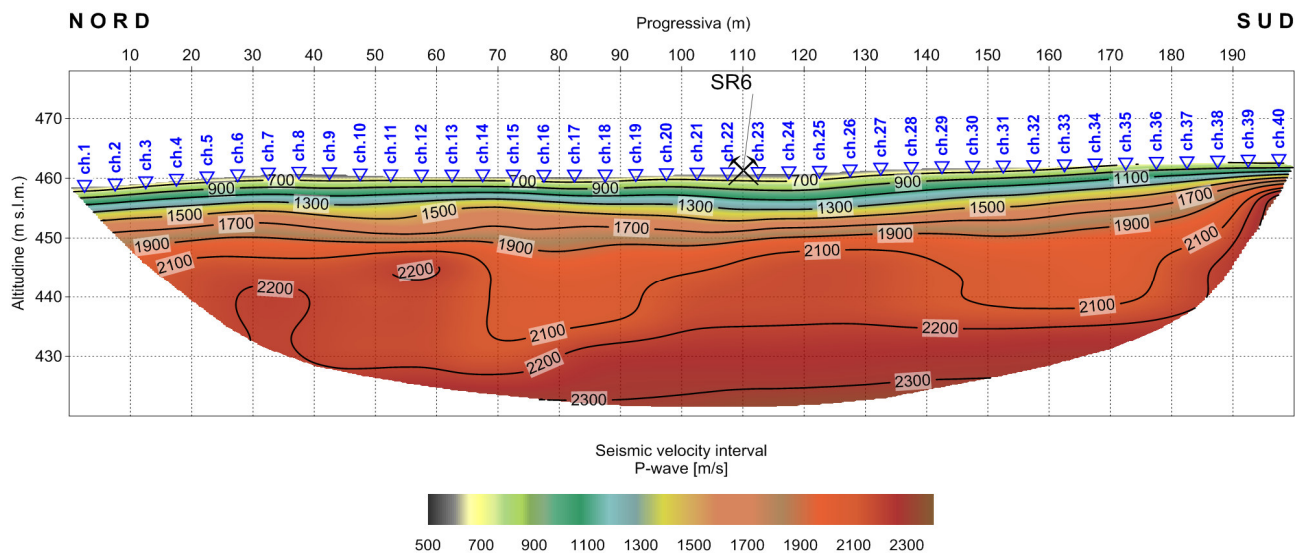


Fig. 2.16 – Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).
Pseudosezione tomografica in onde P.

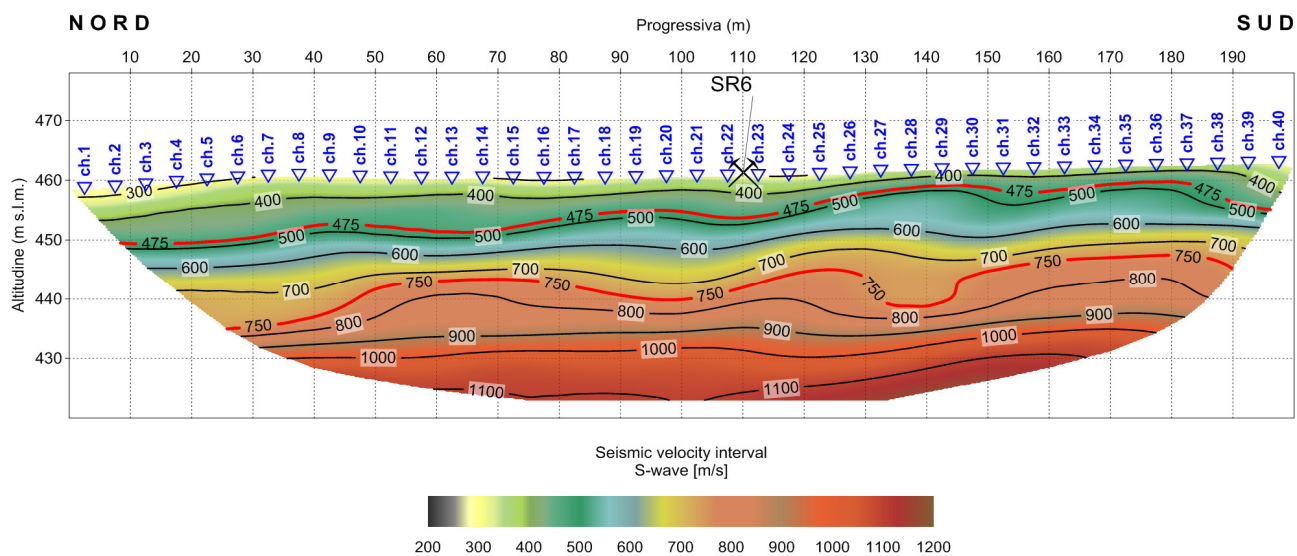


Fig. 2.17 - Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).
 Pseudosezione tomografica in onde S.

2.5.4 SR4

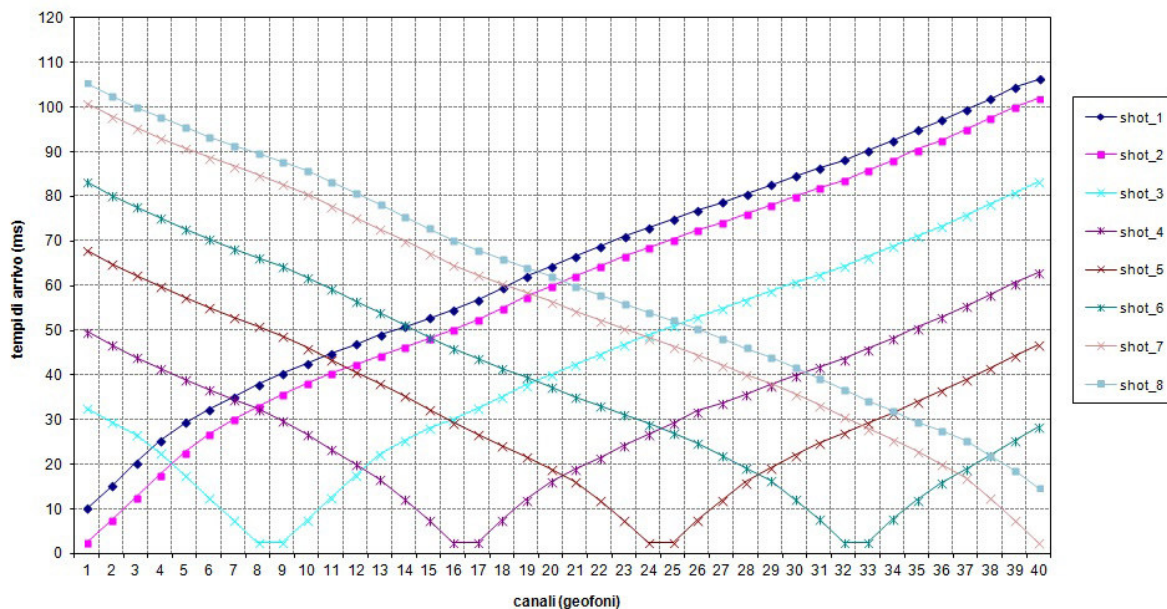


Fig. 2.18 – Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

Tomografia sismica in onde P. Profilo SR4. Dromocrone.

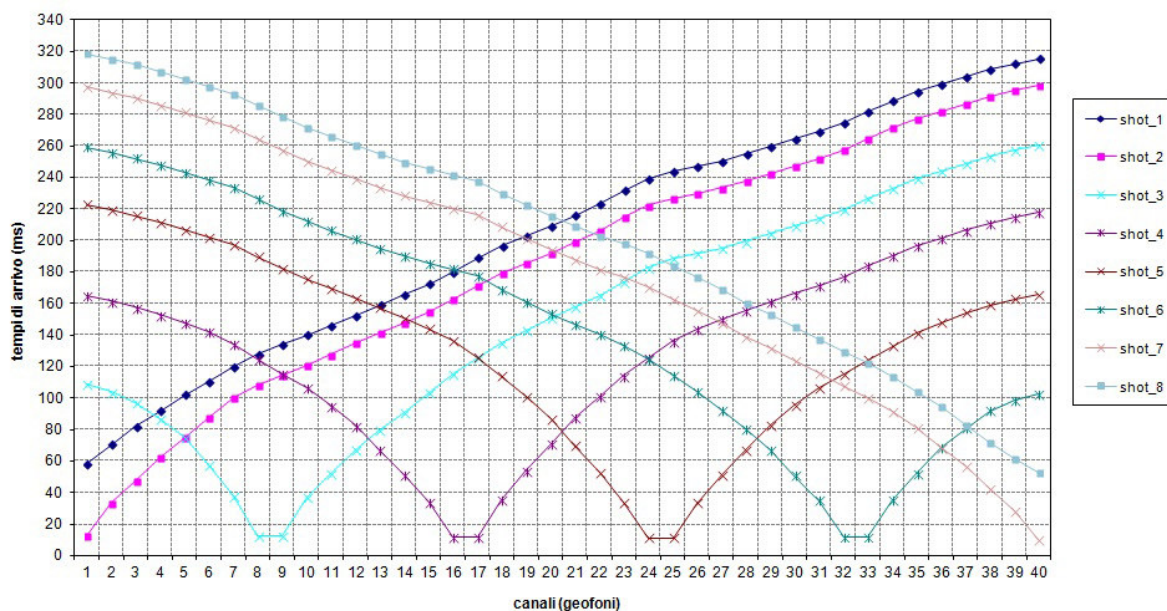


Fig. 2.19 – Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

Tomografia sismica in onde S. Profilo SR4. Dromocrone.

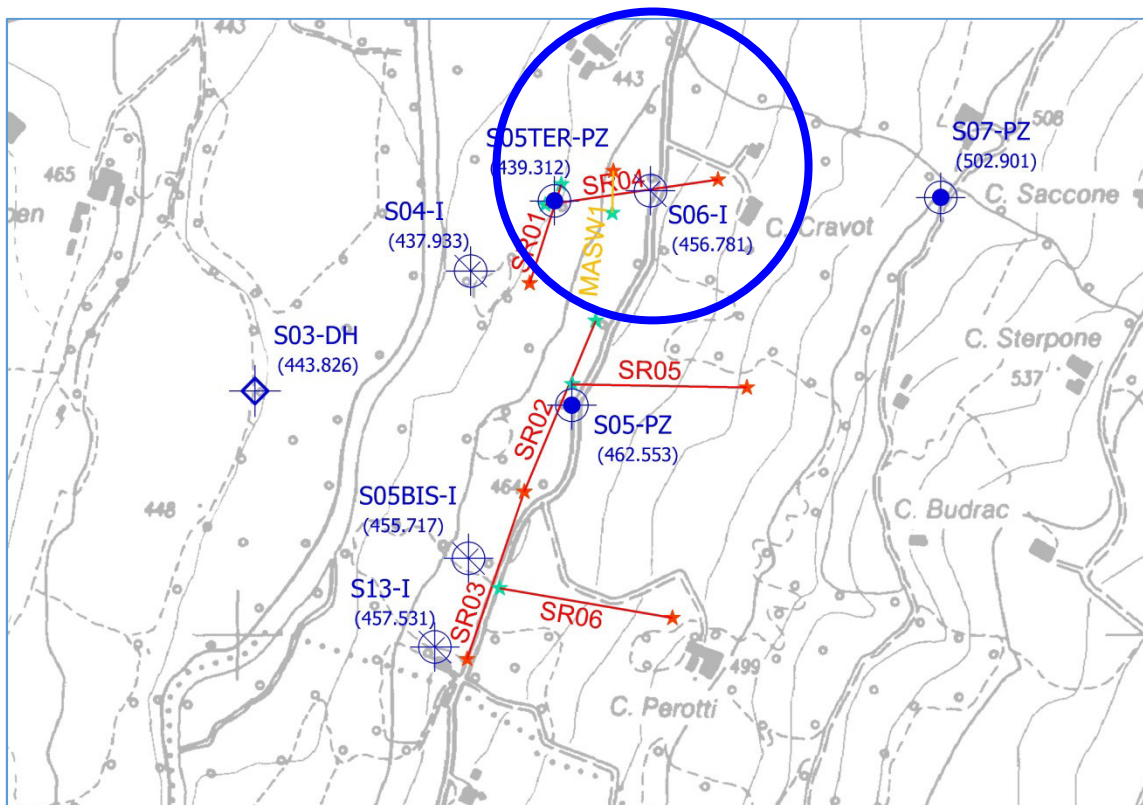


Fig. 2.20 – Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

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 **SR4** hanno permesso di evidenziare tre sismostrati.

Il primo sismostrato si attesta tra il piano campagna ed una profondità media di circa 5 m. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 200 e 475 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 600 e 1.200 m/s. A tale sismostrato sono correlabili litologie sabbioso limose e limo-argillose.

Il secondo sismostrato è compreso tra la citata interfaccia e una profondità variabile tra un minimo di 10 m e un massimo di 20 m dal p.c.; presenta velocità delle onde sismiche comprese tra 475 e 750 m/s, per quanto riguarda le onde S, mentre per quel che concerne la velocità delle onde P, risulta compresa tra 1.200 e 2.000 m/s. A questo sismostrato sono correlabili marne argillose debolmente sabbiose, inglobanti blocchi o trovanti di quarzite.

Infine, il terzo sismostrato è compreso tra la precedente interfaccia e la massima profondità raggiunta nella sezione in oggetto; la velocità delle onde S è superiore a 750 m/s, mentre per le onde P risulta superiore a 2.000 m/s. A tale sismostrato sono correlabili litologie marnose e le arenarie poco cementate.

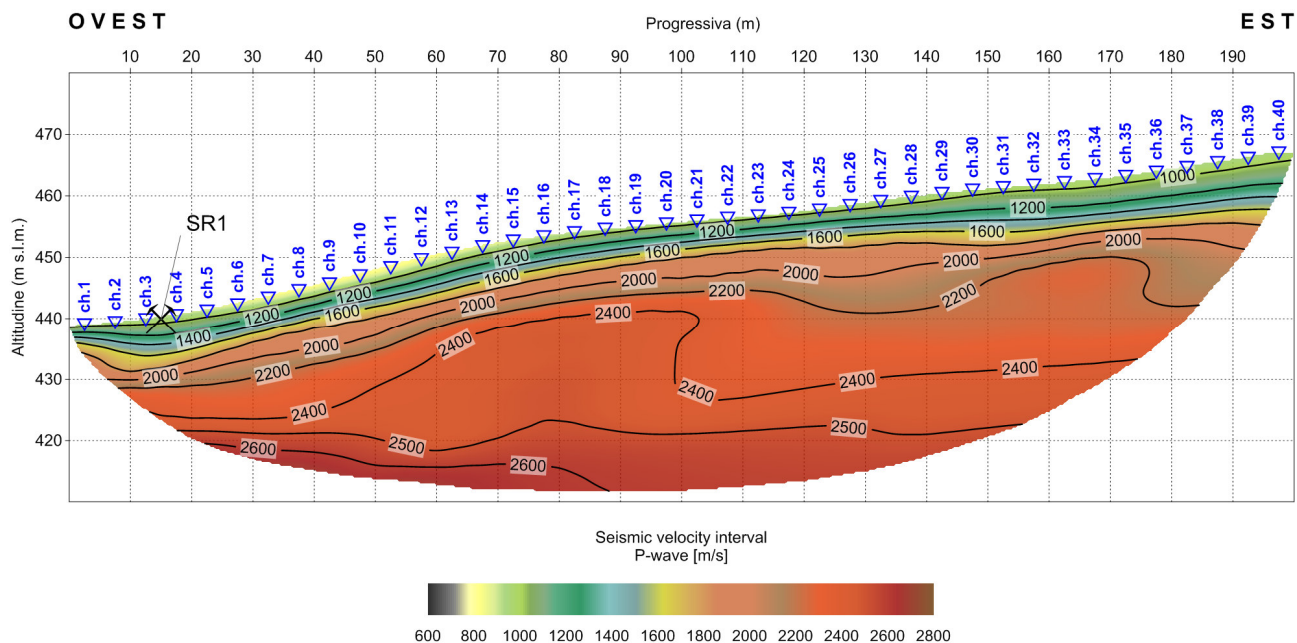


Fig. 2.21 - Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

Pseudosezione sismica tomografica in onde P.

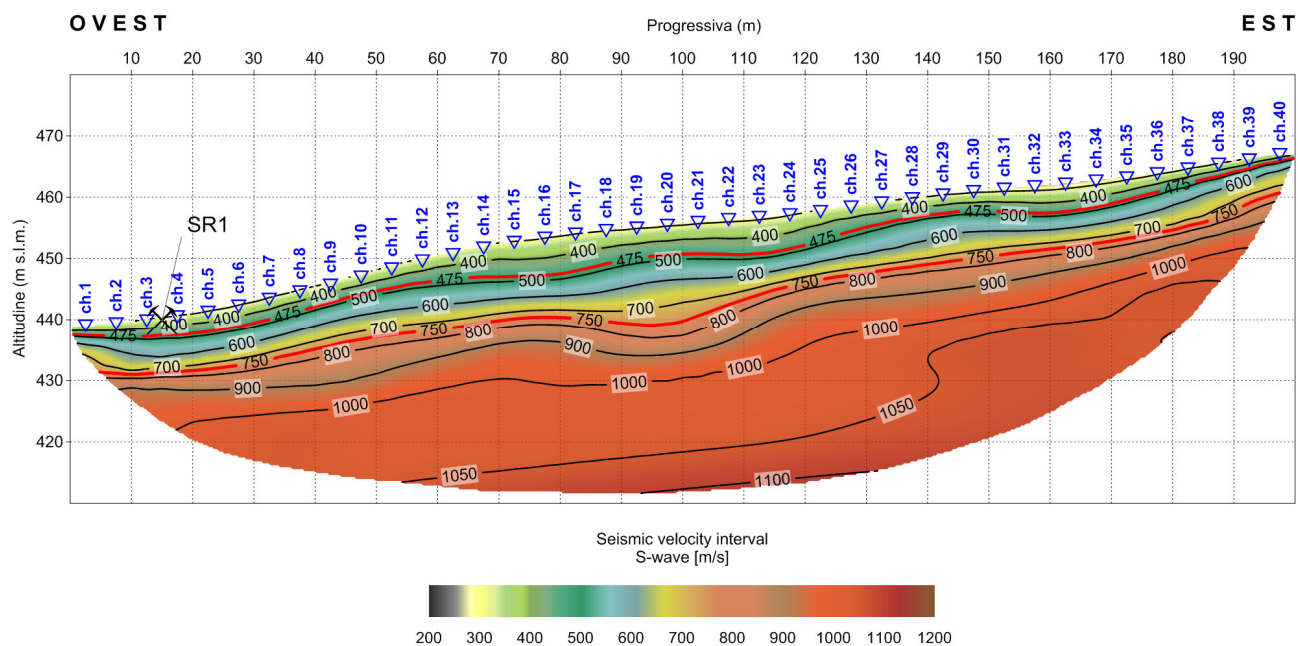


Fig. 2.22 – Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

Pseudosezione sismica tomografica in onde S.

2.5.5 SR5

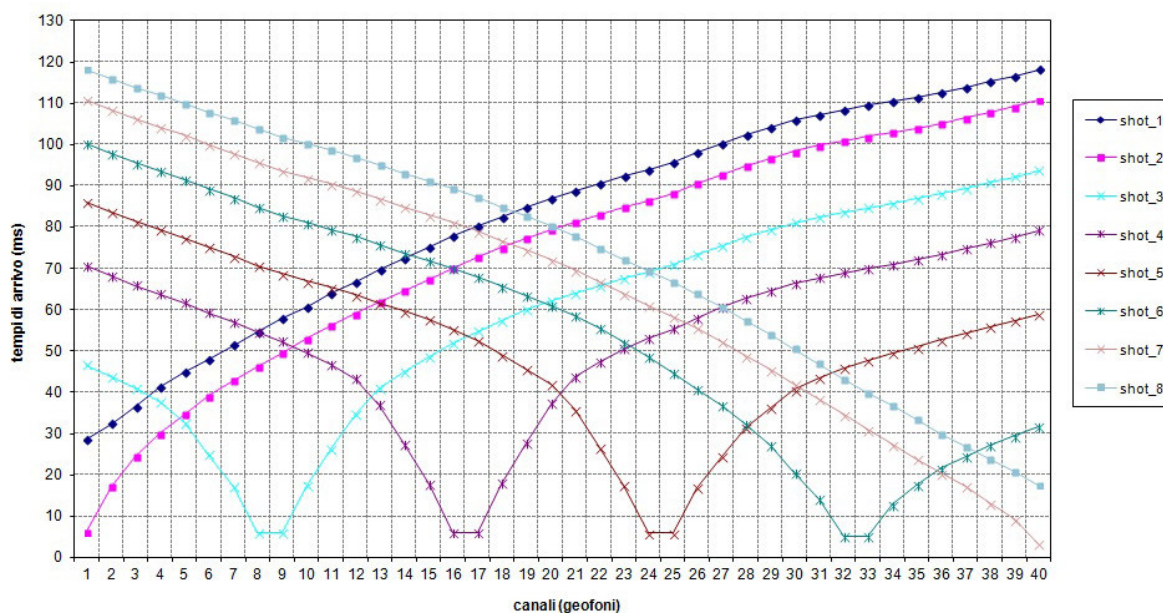


Fig. 2.23 – Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

Tomografia sismica in onde P. Profilo SR5. Dromocrone.

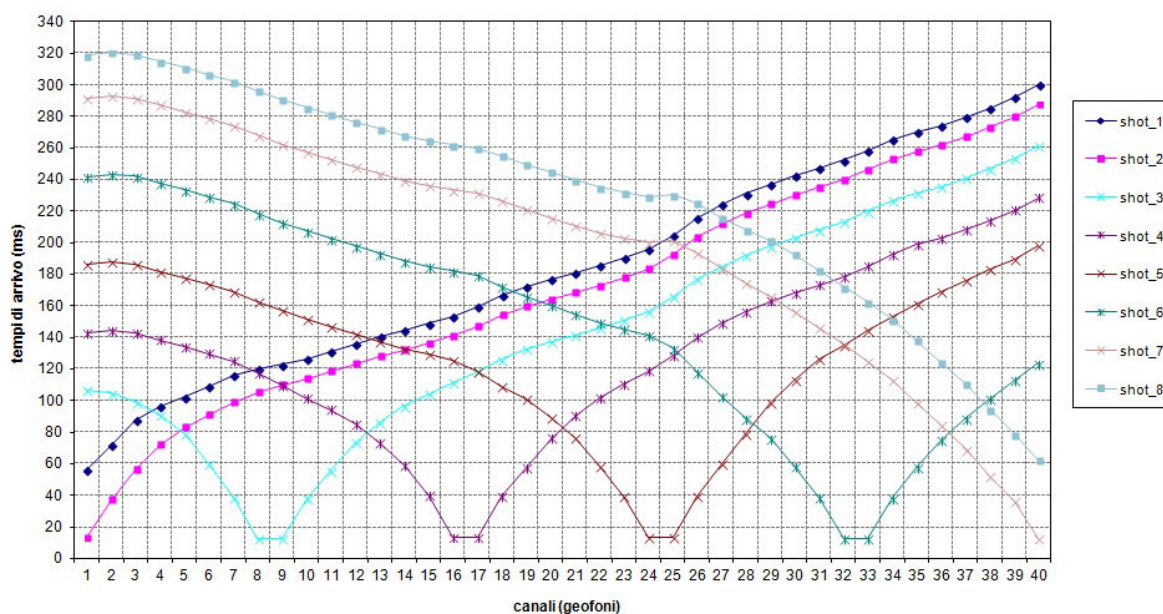


Fig. 2.24 – Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

Tomografia sismica in onde S. Profilo SR5. Dromocrone.

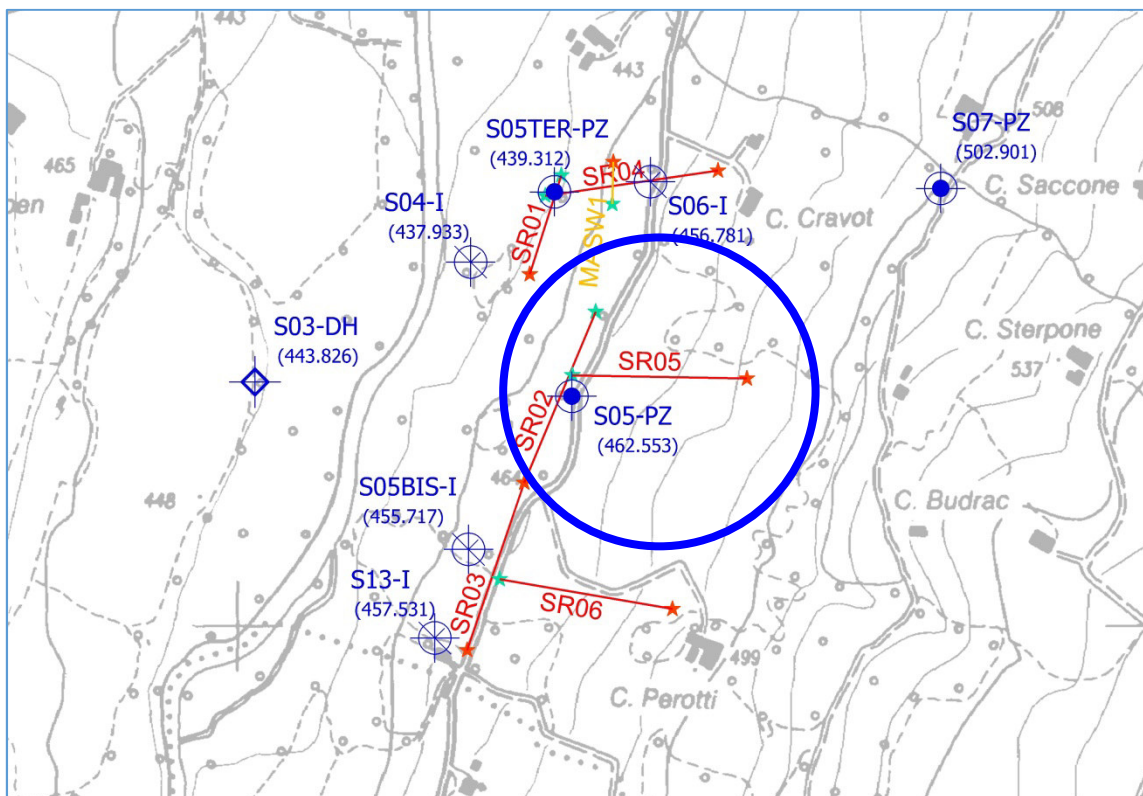


Fig. 2.25 – Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

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 **SR5** hanno permesso di evidenziare tre sismostrati.

Il primo sismostrato si attesta tra il piano campagna ed una profondità media di circa 6-7 m. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 200 e 475 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 400 e 1.200 m/s. A tale sismostrato sono correlabili litologie limo-sabbiose, limo-argillose e argillose.

Il secondo sismostrato è compreso tra la citata interfaccia e una profondità variabile tra un minimo di 10 m e un massimo di 20 m dal p.c.; presenta velocità delle onde sismiche comprese tra 475 e 750 m/s, per quanto riguarda le onde S, mentre per quel che concerne la velocità delle onde P, risulta compresa tra 1.200 e 2.100 m/s. A questo sismostrato sono correlabili alternanze di litotipi marnosi e arenacei poco cementati.

Infine, il terzo sismostrato è compreso tra la precedente interfaccia e la massima profondità raggiunta nella sezione in oggetto; la velocità delle onde S è superiore a 750 m/s, mentre per le onde P risulta superiore a 2.100 m/s. A tale sismostrato sono correlabili litologie marnose e arenacee cementate.

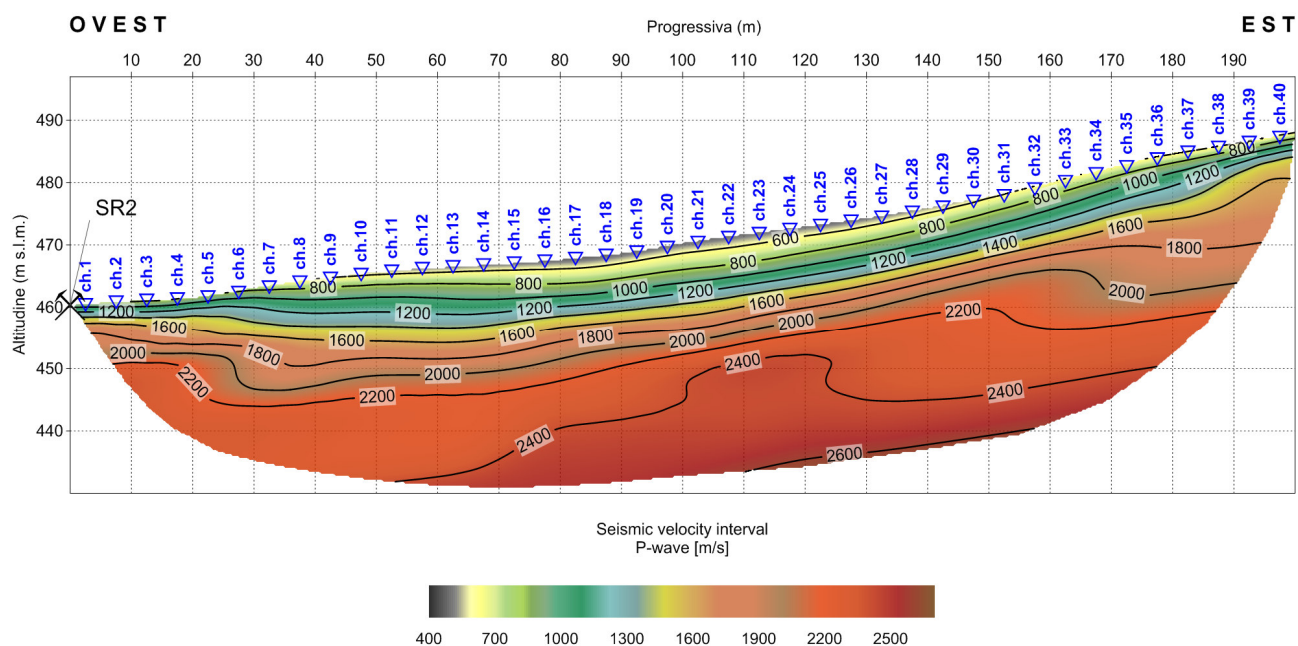


Fig. 2.26 - Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

Pseudosezione sismica tomografica in onde P.

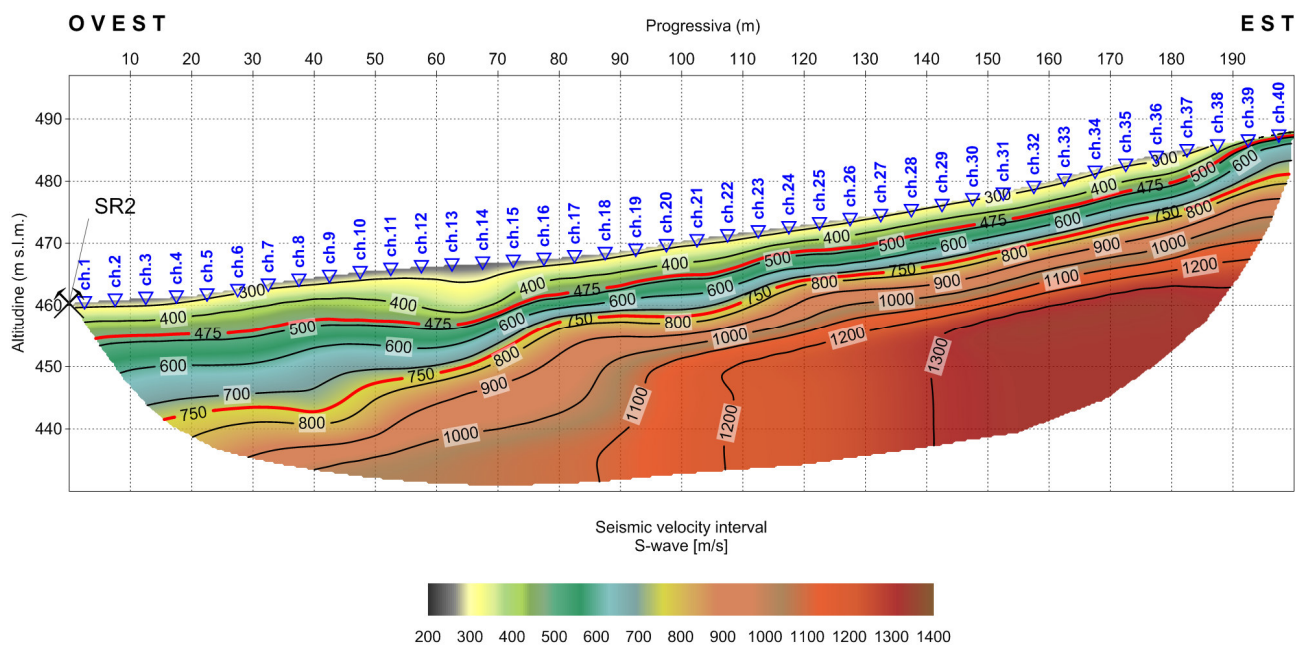


Fig. 2.27 - Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

Pseudosezione sismica tomografica in onde S.

2.5.6 SR6

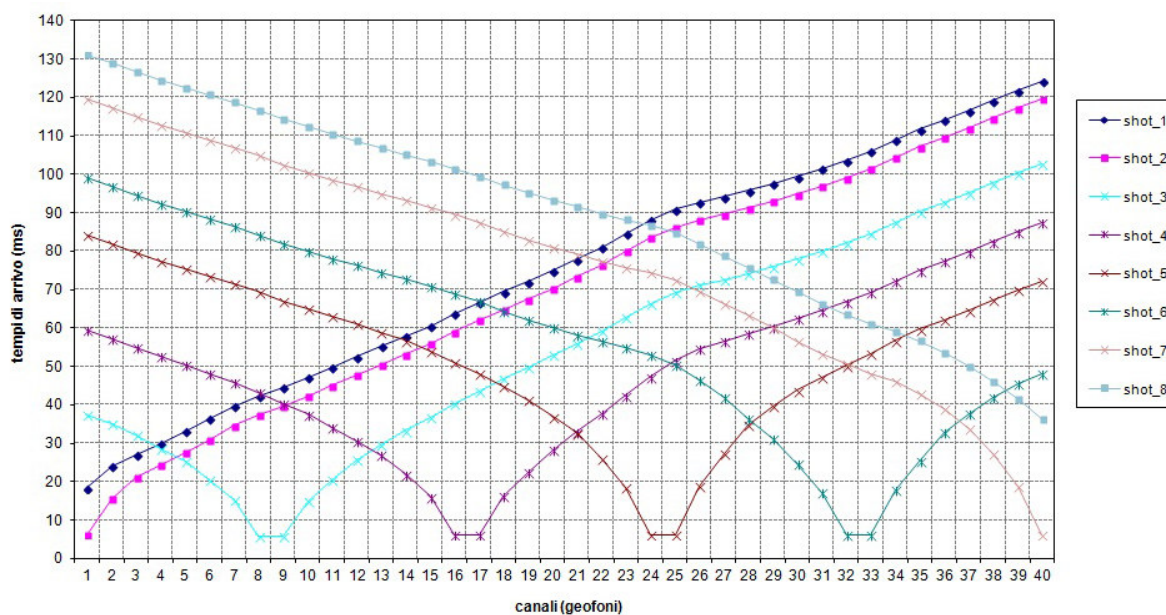


Fig. 2.28 – Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

Tomografia sismica in onde P. Profilo SR6. Dromocrone.

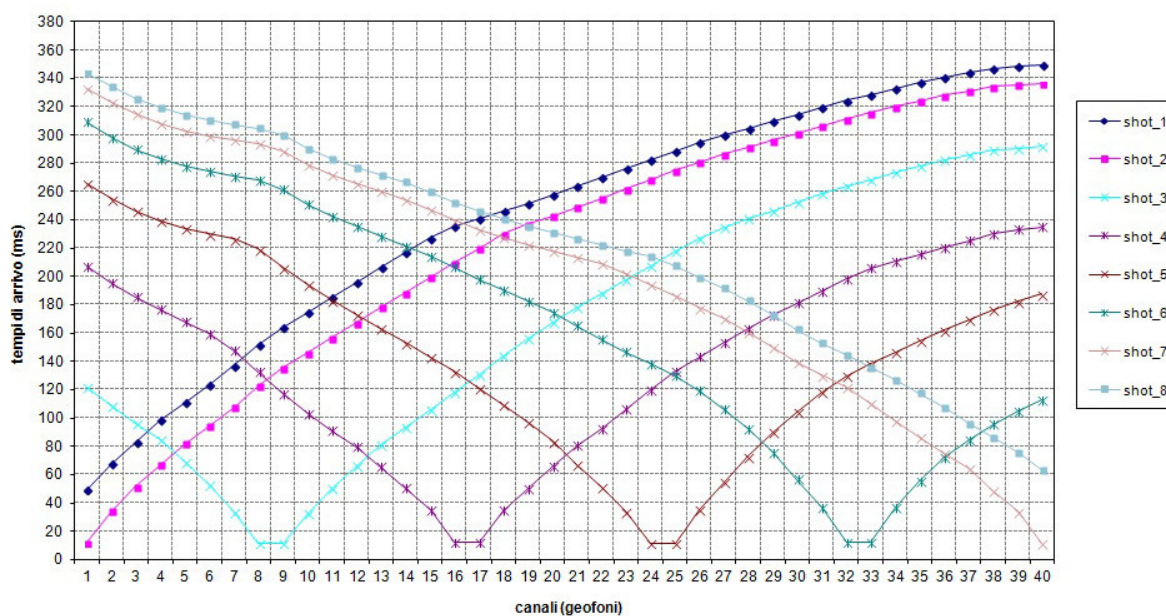


Fig. 2.29 – Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

Tomografia sismica in onde S. Profilo SR6. Dromocrone.

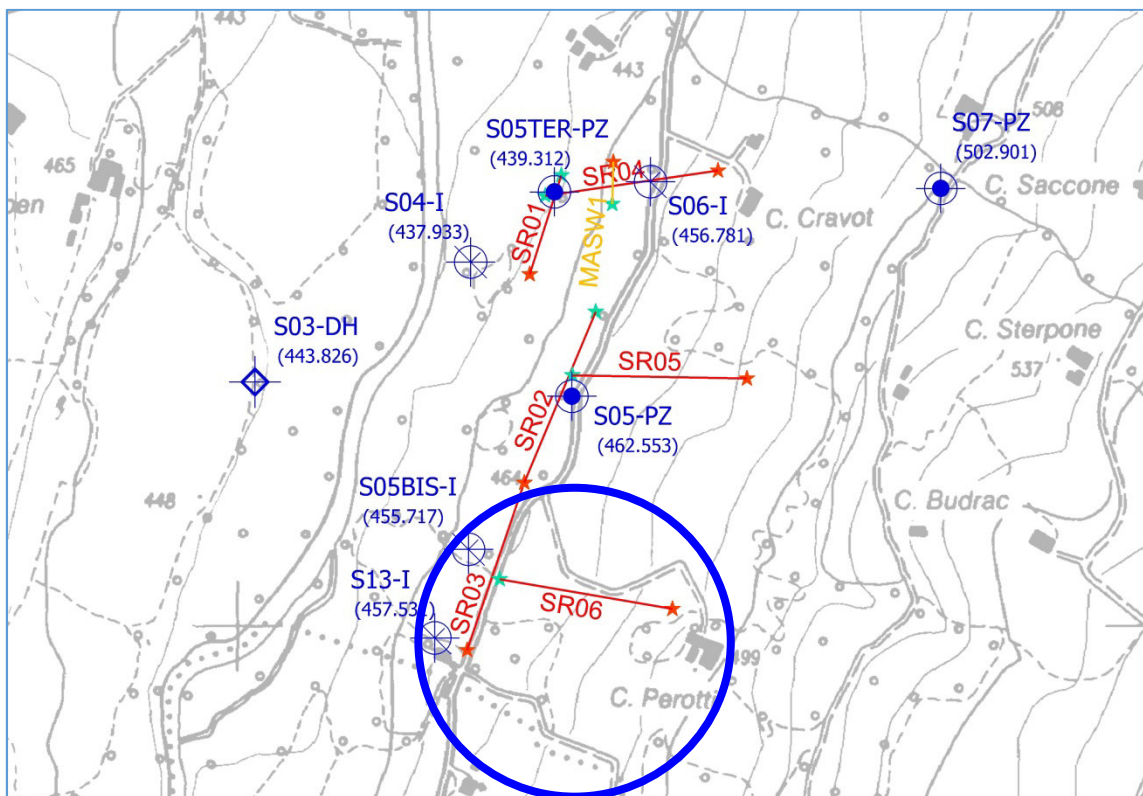


Fig. 2.30 – Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

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 **SR6** hanno permesso di evidenziare tre sismostrati.

Il primo sismostrato si attesta tra il piano campagna ed una profondità media di circa 4 m. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 200 e 475 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 400 e 1.200 m/s. A tale sismostrato sono correlabili litologie limo-sabbiose, limo-argillose e argillose.

Il secondo sismostrato è compreso tra la citata interfaccia e una profondità variabile tra un minimo di 10 m e un massimo di 22 m dal p.c.; presenta velocità delle onde sismiche comprese tra 475 e 750 m/s, per quanto riguarda le onde S, mentre per quel che concerne la velocità delle onde P, risulta compresa tra 1.300 e 2.100 m/s. A questo sismostrato sono correlabili alternanze di litotipi marnosi e arenacei poco cementati.

Infine, il terzo sismostrato è compreso tra la precedente interfaccia e la massima profondità raggiunta nella sezione in oggetto; la velocità delle onde S è superiore a 750 m/s, mentre per le onde P risulta superiore a 2.100 m/s. A tale sismostrato sono correlabili litologie marnose e arenacee cementate.

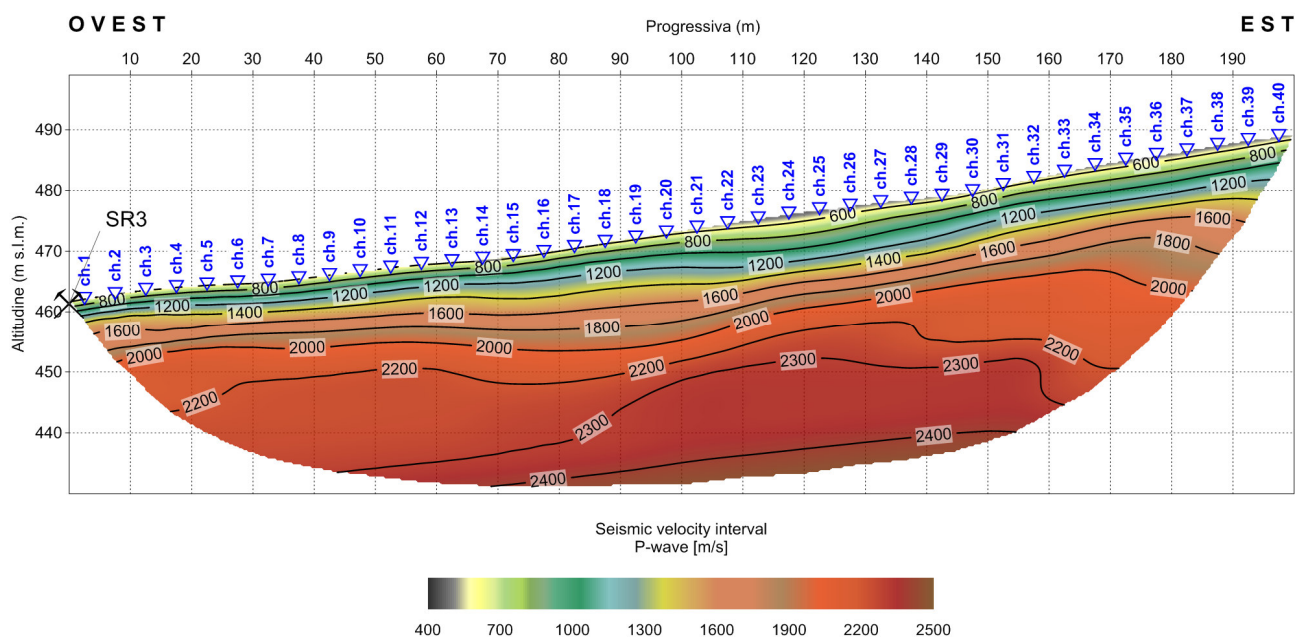


Fig. 2.31 - Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

Pseudosezione sismica tomografica in onde P.

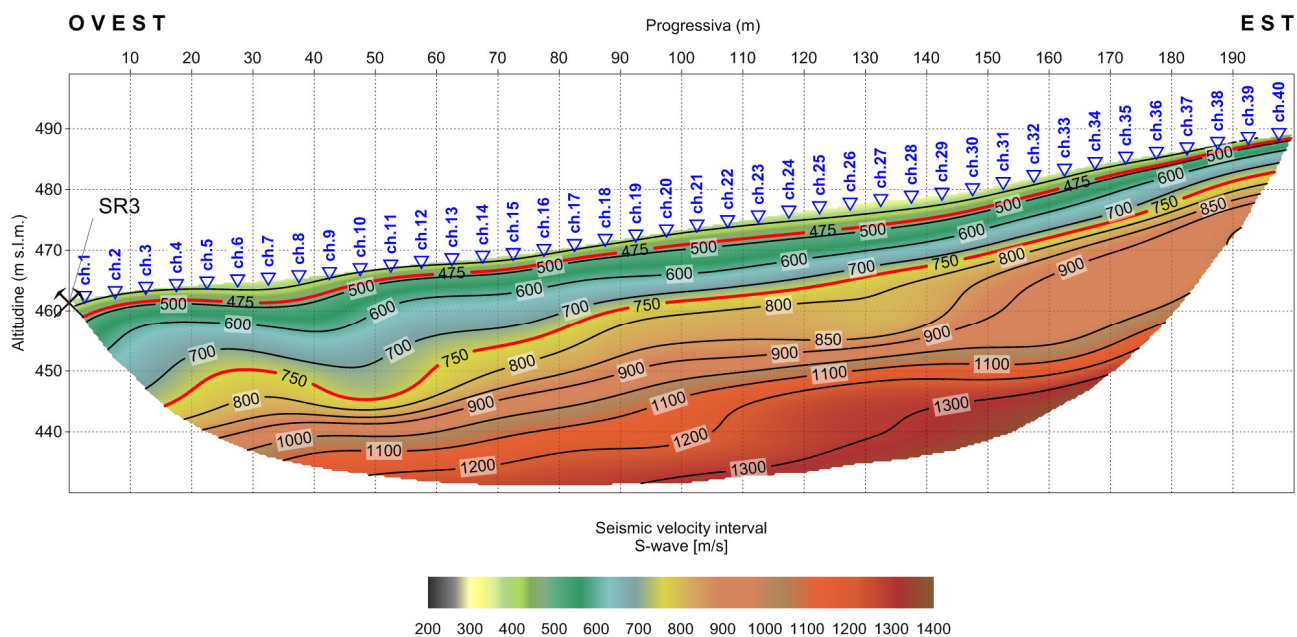


Fig. 2.32 - Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

Pseudosezione sismica tomografica in onde S.

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).

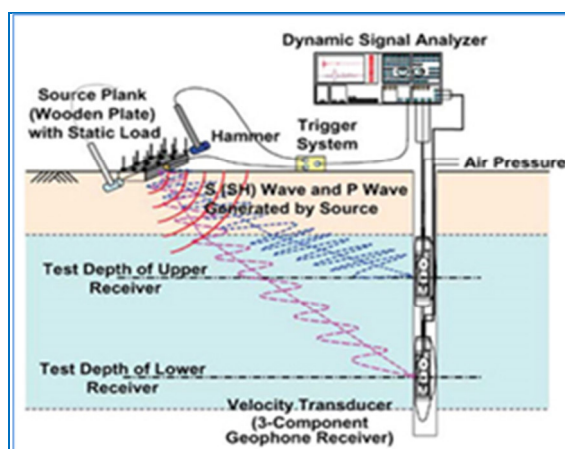


Fig. 3.1 – Schema di sistema di acquisizione per prove sismiche in foro tipo down-hole.

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* (ν), *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.

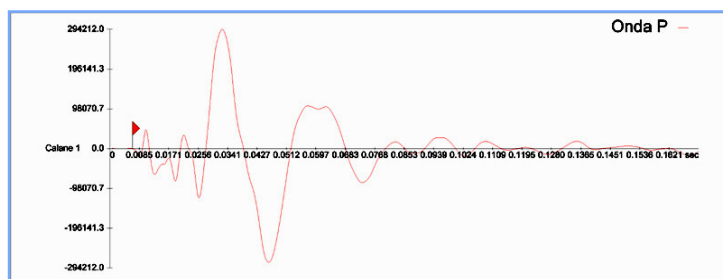


Fig. 3.2 - Esempio di onda P e di lettura del primo tempo di arrivo.

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).

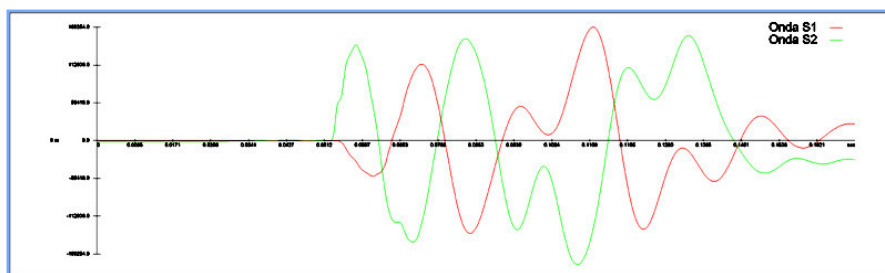


Fig. 3.3 - Esempio di onda S e dell'inversione di fase necessaria per l'individuazione del tempo di arrivo dell'onda di taglio (onda S).

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 le prove down-hole:

- Geofono da pozzo modello "S5" della **MAE**, costituito da un sensore a 5 componenti di cui un trasduttore di velocità (geofono) verticale da 4,5 Hz per la rilevazione delle onde P, e quattro trasduttori orizzontali per la rilevazione delle onde SH, da 4,5 Hz, orientati secondo una disposizione a raggiera, ovvero ad angoli di 45° 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.2** prove sismiche in foro down-hole, per la cui ubicazione si rimanda alle tavole allegate.

Di seguito, si riportano in dettaglio le coordinate e la quota ortometrica del piano campagna delle prove eseguite:

| Codice indagine | Profondità dal p.c. (m) | UTM WGS84 Fuso 32 | | |
|-----------------|----------------------------|-------------------|-----------------|------------------|
| | | Coordinata EST | Coordinata NORD | Quota (m s.l.m.) |
| S03-DH | 35,00 | 404992,938 | 4913246,603 | 443,826 |
| S12-DH | 35,00 | 405949,848 | 4914894,079 | 424,03 |

*Tab. 3.1 – Progettazione esecutiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona – 3°lotto (variante di Mondovì).
 Indagine sismica in foro down-hole.*

Le indagini sono state eseguite sino alle profondità riportate in tabella, acquisendo i segnali relativi ad onde elastiche, mediante il dispositivo di rilevamento descritto nelle pagine precedenti. I 4 geofoni a componente orizzontale (per la rilevazione delle onde *SH*), risultano disposti, all'interno del dispositivo, in maniera da formare un array a raggiera, con un angolo di sfasamento tra le componenti di 45°. 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.

Per quanto concerne la documentazione fotografica inerente le prospezioni sismiche e le attività di campo eseguite, si rimanda alle schede allegate.

3.4 RISULTANZE DELL'INDAGINE DOWN-HOLE

Per le prove 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 elastici¹ ovvero del coefficiente di Poisson (ν) e dei parametri elastici G, E, K in forma tabellare e grafica.

¹ Il valore dei pesi di volume (o gamma naturale), è stato attribuito in base a prove di laboratorio.

3.4.1 S03-DH

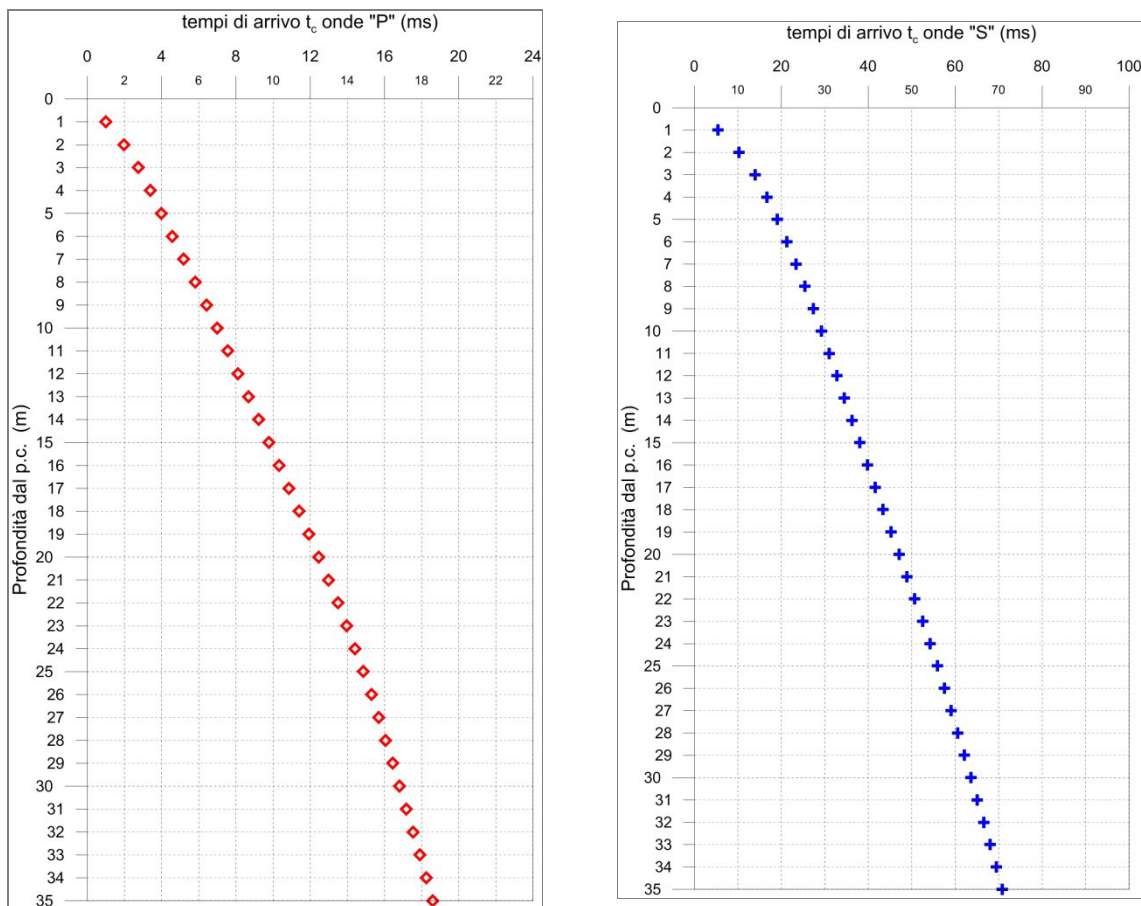


Fig. 3.4 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "S", in funzione della profondità dal p.c.

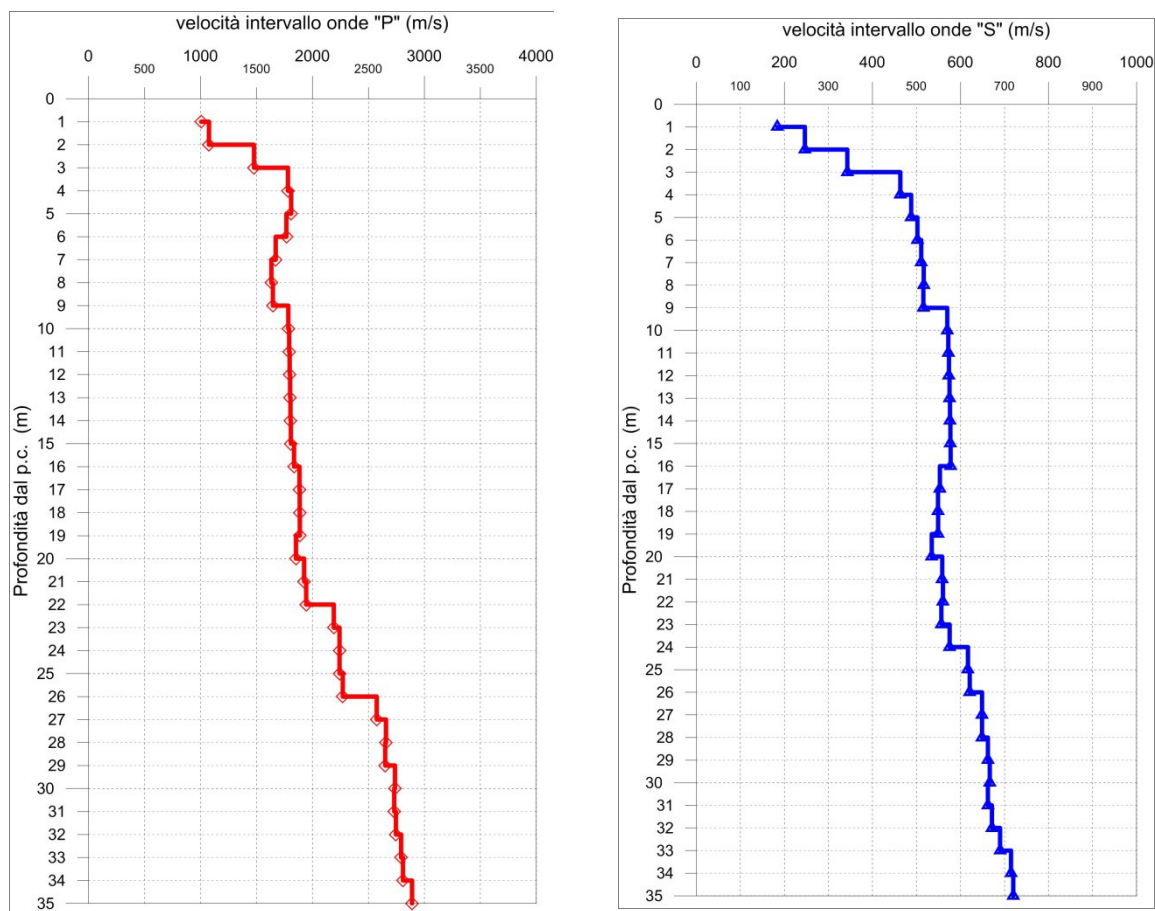


Fig. 3.5 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "S", in funzione della profondità dal p.c.

| Profondità (m dal p.c.) | tempi osservati t _o "P" (ms) | tempi osservati t _o "S" (ms) | tempi corretti t _c "P" (ms) | tempi corretti t _c "S" (ms) | velocità intervallo Vp (m/s) | velocità intervallo Vs (m/s) | Vp/Vs | Poisson (n) | γ _n gamma NATURALE | G Mpa | E Mpa | K Mpa |
|----------------------------|--|--|---|---|---------------------------------------|---------------------------------------|-------|----------------|-------------------------------------|----------|----------|----------|
| 1 | 2,22 | 12,15 | 0,99 | 5,43 | 1006 | 184 | 5,5 | 0,48 | 1,85 | 63 | 186 | 1787 |
| 2 | 2,77 | 14,55 | 1,96 | 10,29 | 1074 | 246 | 4,4 | 0,47 | 1,85 | 112 | 331 | 1986 |
| 3 | 3,30 | 16,82 | 2,75 | 13,99 | 1477 | 343 | 4,3 | 0,47 | 1,85 | 218 | 641 | 3747 |
| 4 | 3,79 | 18,69 | 3,39 | 16,72 | 1781 | 463 | 3,8 | 0,46 | 1,95 | 418 | 1225 | 5625 |
| 5 | 4,29 | 20,56 | 3,99 | 19,09 | 1810 | 488 | 3,7 | 0,46 | 1,95 | 464 | 1357 | 5768 |
| 6 | 4,82 | 22,43 | 4,58 | 21,28 | 1767 | 502 | 3,5 | 0,46 | 1,95 | 492 | 1432 | 5431 |
| 7 | 5,40 | 24,30 | 5,19 | 23,37 | 1671 | 511 | 3,3 | 0,45 | 1,95 | 509 | 1474 | 4769 |
| 8 | 5,99 | 26,17 | 5,81 | 25,39 | 1633 | 516 | 3,2 | 0,44 | 1,95 | 520 | 1502 | 4505 |
| 9 | 6,58 | 28,06 | 6,42 | 27,39 | 1646 | 516 | 3,2 | 0,45 | 1,95 | 518 | 1499 | 4592 |
| 10 | 7,13 | 29,78 | 6,99 | 29,20 | 1784 | 570 | 3,1 | 0,44 | 1,95 | 633 | 1828 | 5362 |
| 11 | 7,68 | 31,49 | 7,55 | 30,99 | 1791 | 572 | 3,1 | 0,44 | 1,95 | 638 | 1842 | 5404 |
| 12 | 8,22 | 33,21 | 8,11 | 32,76 | 1796 | 574 | 3,1 | 0,44 | 1,95 | 642 | 1853 | 5436 |
| 13 | 8,77 | 34,93 | 8,67 | 34,52 | 1800 | 575 | 3,1 | 0,44 | 1,95 | 645 | 1862 | 5460 |
| 14 | 9,32 | 36,64 | 9,23 | 36,28 | 1804 | 576 | 3,1 | 0,44 | 1,95 | 647 | 1868 | 5480 |
| 15 | 9,87 | 38,36 | 9,78 | 38,03 | 1806 | 577 | 3,1 | 0,44 | 1,95 | 649 | 1874 | 5496 |
| 16 | 10,41 | 40,08 | 10,33 | 39,77 | 1835 | 578 | 3,2 | 0,44 | 1,95 | 651 | 1880 | 5696 |
| 17 | 10,94 | 41,87 | 10,86 | 41,59 | 1883 | 553 | 3,4 | 0,45 | 1,95 | 597 | 1734 | 6121 |
| 18 | 11,46 | 43,68 | 11,39 | 43,42 | 1885 | 549 | 3,4 | 0,45 | 1,95 | 587 | 1708 | 6147 |
| 19 | 11,99 | 45,49 | 11,93 | 45,24 | 1887 | 549 | 3,4 | 0,45 | 1,95 | 588 | 1710 | 6156 |
| 20 | 12,53 | 47,35 | 12,47 | 47,12 | 1852 | 535 | 3,5 | 0,45 | 1,95 | 558 | 1622 | 5946 |
| 21 | 13,05 | 49,14 | 12,99 | 48,91 | 1925 | 558 | 3,4 | 0,45 | 1,95 | 608 | 1769 | 6416 |
| 22 | 13,56 | 50,91 | 13,50 | 50,70 | 1944 | 560 | 3,5 | 0,45 | 1,95 | 611 | 1779 | 6554 |
| 23 | 14,01 | 52,70 | 13,96 | 52,51 | 2191 | 556 | 3,9 | 0,47 | 1,95 | 604 | 1770 | 8553 |
| 24 | 14,46 | 54,44 | 14,41 | 54,25 | 2241 | 575 | 3,9 | 0,46 | 1,95 | 645 | 1890 | 8934 |
| 25 | 14,90 | 56,05 | 14,85 | 55,87 | 2242 | 617 | 3,6 | 0,46 | 1,95 | 742 | 2166 | 8810 |
| 26 | 15,34 | 57,66 | 15,30 | 57,49 | 2271 | 621 | 3,7 | 0,46 | 1,95 | 752 | 2196 | 9054 |
| 27 | 15,73 | 59,19 | 15,68 | 59,03 | 2573 | 649 | 4,0 | 0,47 | 2,05 | 863 | 2531 | 12424 |
| 28 | 16,10 | 60,73 | 16,06 | 60,58 | 2657 | 649 | 4,1 | 0,47 | 2,05 | 864 | 2536 | 13319 |
| 29 | 16,48 | 62,24 | 16,44 | 62,09 | 2650 | 662 | 4,0 | 0,47 | 2,05 | 899 | 2636 | 13193 |
| 30 | 16,84 | 63,73 | 16,81 | 63,59 | 2737 | 667 | 4,1 | 0,47 | 2,05 | 911 | 2676 | 14144 |
| 31 | 17,21 | 65,24 | 17,17 | 65,10 | 2730 | 662 | 4,1 | 0,47 | 2,05 | 899 | 2641 | 14081 |
| 32 | 17,57 | 66,73 | 17,54 | 66,60 | 2746 | 671 | 4,1 | 0,47 | 2,05 | 924 | 2713 | 14221 |
| 33 | 17,93 | 68,17 | 17,90 | 68,05 | 2792 | 690 | 4,0 | 0,47 | 2,05 | 976 | 2864 | 14678 |
| 34 | 18,29 | 69,57 | 18,25 | 69,45 | 2808 | 715 | 3,9 | 0,47 | 2,05 | 1047 | 3069 | 14767 |
| 35 | 18,63 | 70,96 | 18,60 | 70,84 | 2890 | 720 | 4,0 | 0,47 | 2,05 | 1063 | 3117 | 15699 |

Tab. 3.2 – Progettazione esecutiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

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.

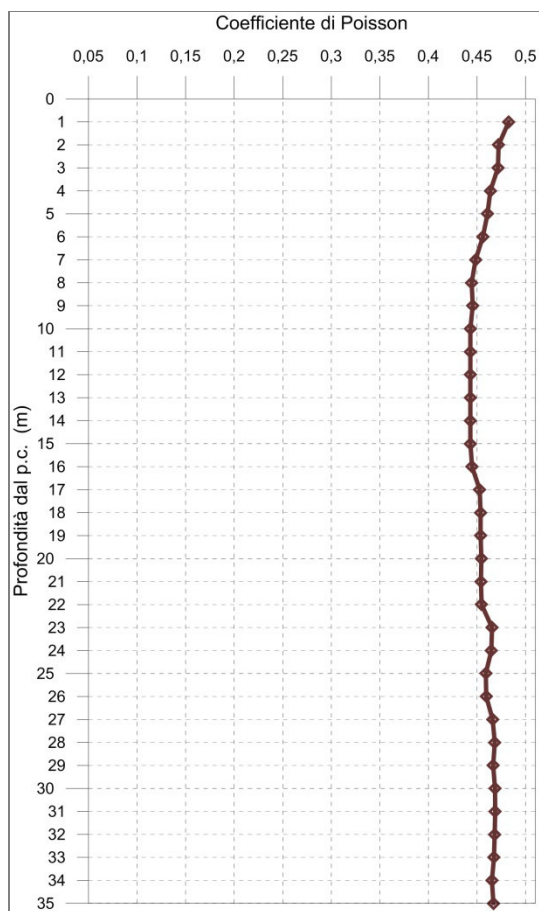


Fig. 3.6 - Diagramma relativo all'andamento del coefficiente di Poisson in funzione della profondità dal p.c..

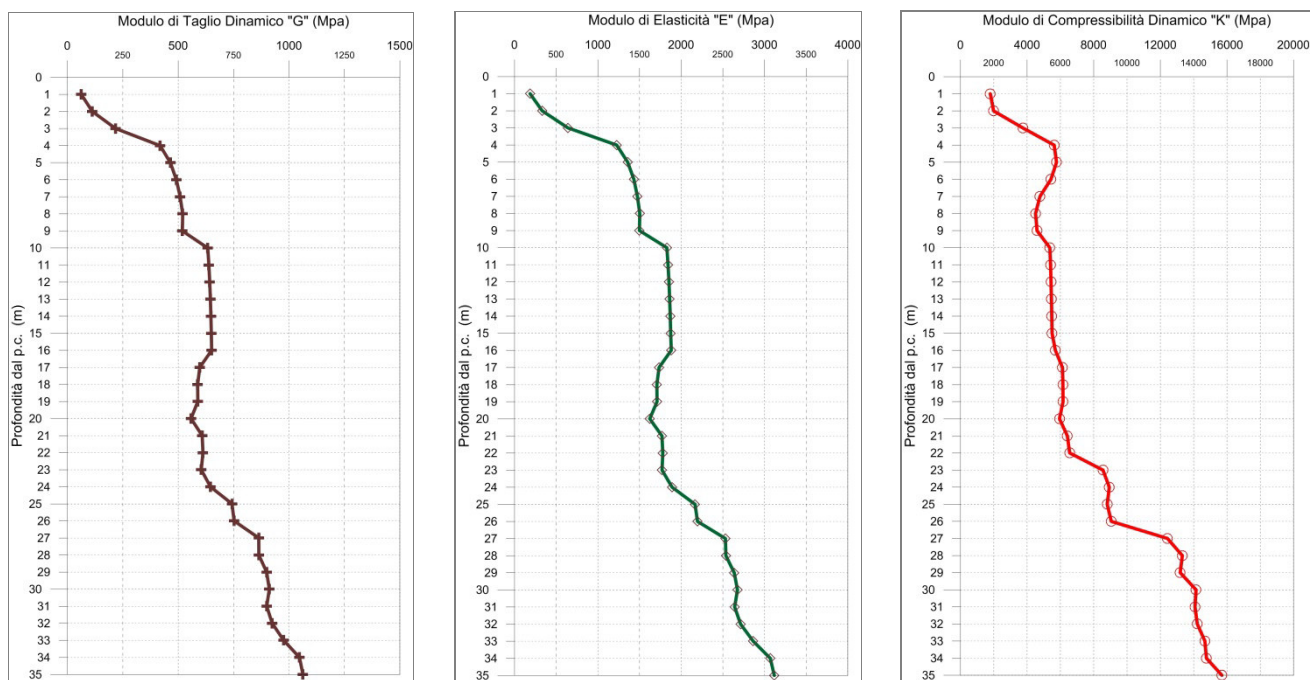


Fig. 3.7 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "G" in funzione della profondità dal p.c. Al centro, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "E" in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "K" in funzione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

3.4.2 S12-DH

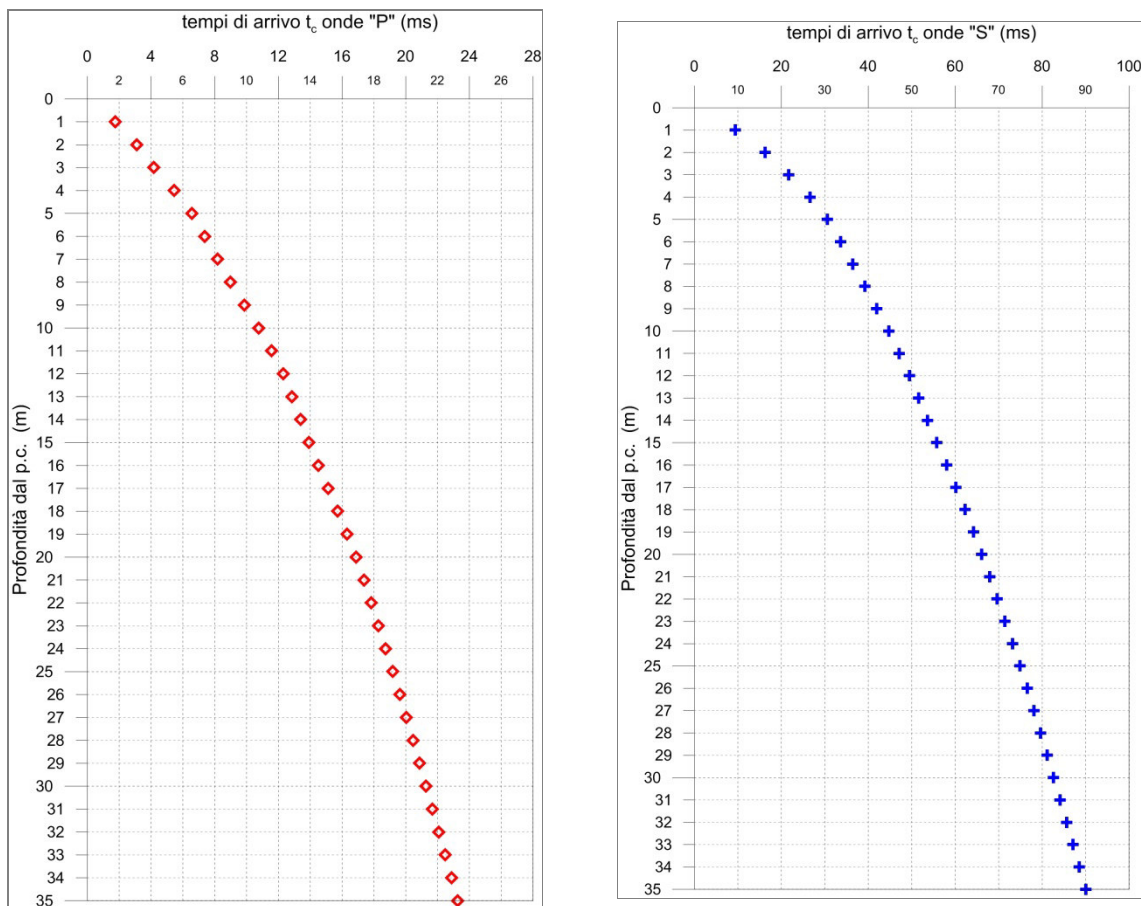


Fig. 3.8 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "S", in funzione della profondità dal p.c.

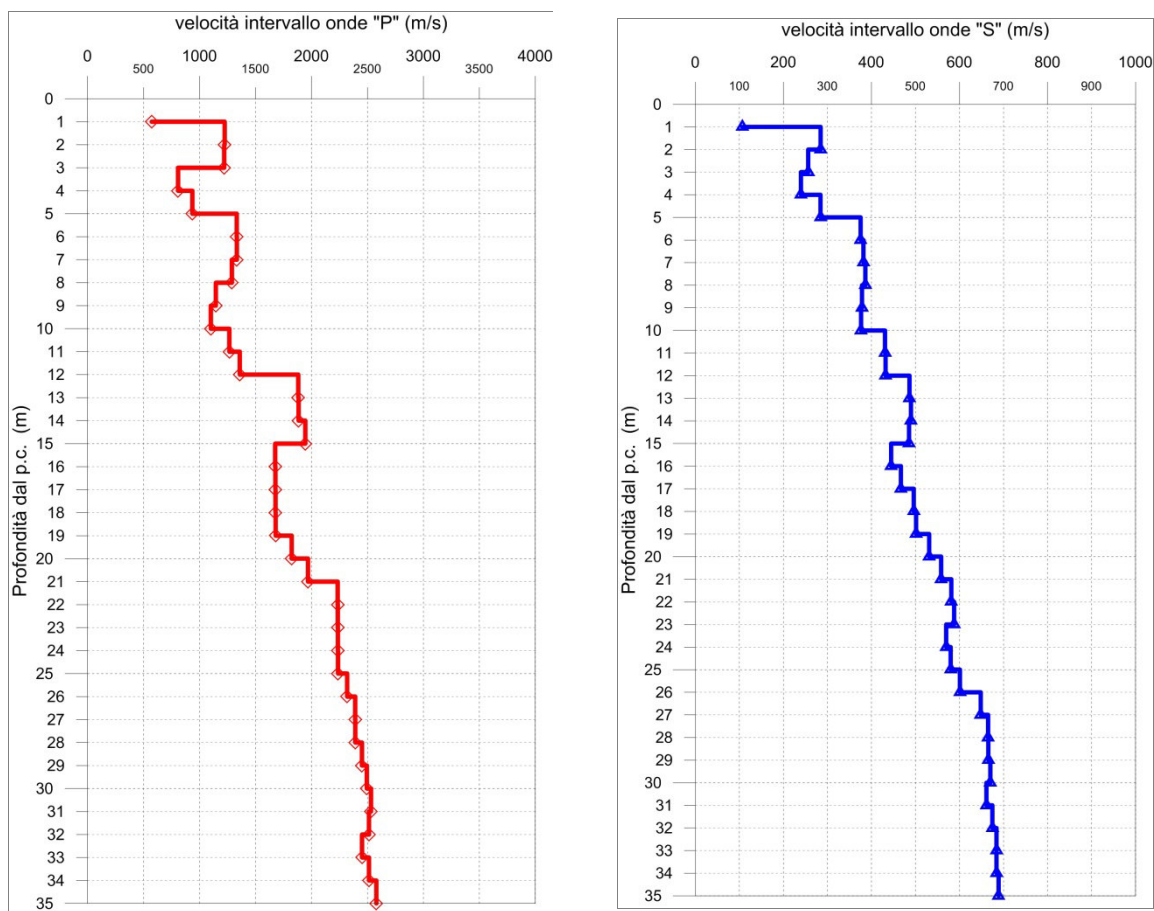


Fig. 3.9 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "S", in funzione della profondità dal p.c.

| Profondità (m dal p.c.) | tempi osservati t _o "P" (ms) | tempi osservati t _o "S" (ms) | tempi corretti t _c "P" (ms) | tempi corretti t _c "S" (ms) | velocità intervallo Vp (m/s) | velocità intervallo Vs (m/s) | Vp/Vs | Poisson (n) | γ _n gamma NATURALE | G Mpa | E Mpa | K Mpa |
|----------------------------|--|--|---|---|---------------------------------------|---------------------------------------|-------|----------------|-------------------------------------|----------|----------|----------|
| 1 | 3,91 | 20,97 | 1,75 | 9,38 | 572 | 107 | 5,4 | 0,48 | 1,70 | 19 | 57 | 531 |
| 2 | 4,39 | 23,06 | 3,11 | 16,30 | 1224 | 284 | 4,3 | 0,47 | 1,70 | 138 | 405 | 2365 |
| 3 | 5,03 | 26,09 | 4,18 | 21,71 | 1220 | 256 | 4,8 | 0,48 | 1,70 | 112 | 330 | 2383 |
| 4 | 6,10 | 29,70 | 5,46 | 26,57 | 808 | 240 | 3,4 | 0,45 | 1,70 | 98 | 284 | 978 |
| 5 | 7,08 | 32,91 | 6,57 | 30,56 | 936 | 284 | 3,3 | 0,45 | 1,70 | 137 | 398 | 1306 |
| 6 | 7,78 | 35,42 | 7,38 | 33,60 | 1332 | 375 | 3,5 | 0,46 | 1,90 | 268 | 780 | 3012 |
| 7 | 8,50 | 37,92 | 8,17 | 36,46 | 1333 | 382 | 3,5 | 0,46 | 1,90 | 277 | 806 | 3006 |
| 8 | 9,25 | 40,42 | 8,97 | 39,21 | 1288 | 386 | 3,3 | 0,45 | 1,90 | 283 | 822 | 2777 |
| 9 | 10,10 | 42,99 | 9,86 | 41,97 | 1145 | 378 | 3,0 | 0,44 | 1,90 | 272 | 783 | 2130 |
| 10 | 10,99 | 45,59 | 10,77 | 44,71 | 1101 | 377 | 2,9 | 0,43 | 1,90 | 269 | 772 | 1942 |
| 11 | 11,76 | 47,87 | 11,57 | 47,10 | 1266 | 431 | 2,9 | 0,43 | 1,90 | 353 | 1012 | 2574 |
| 12 | 12,49 | 50,15 | 12,32 | 49,47 | 1359 | 432 | 3,1 | 0,44 | 1,95 | 364 | 1051 | 3117 |
| 13 | 13,01 | 52,18 | 12,86 | 51,58 | 1881 | 486 | 3,9 | 0,46 | 1,95 | 461 | 1351 | 6287 |
| 14 | 13,54 | 54,20 | 13,40 | 53,66 | 1885 | 490 | 3,8 | 0,46 | 1,95 | 467 | 1369 | 6304 |
| 15 | 14,05 | 56,24 | 13,92 | 55,75 | 1945 | 486 | 4,0 | 0,47 | 1,95 | 460 | 1348 | 6764 |
| 16 | 14,64 | 58,47 | 14,53 | 58,02 | 1676 | 445 | 3,8 | 0,46 | 1,95 | 386 | 1128 | 4962 |
| 17 | 15,23 | 60,60 | 15,13 | 60,18 | 1677 | 467 | 3,6 | 0,46 | 1,95 | 425 | 1239 | 4920 |
| 18 | 15,82 | 62,60 | 15,73 | 62,22 | 1679 | 496 | 3,4 | 0,45 | 1,95 | 480 | 1394 | 4856 |
| 19 | 16,41 | 64,58 | 16,32 | 64,23 | 1680 | 501 | 3,4 | 0,45 | 1,95 | 490 | 1423 | 4849 |
| 20 | 16,96 | 66,46 | 16,88 | 66,13 | 1822 | 531 | 3,4 | 0,45 | 1,95 | 550 | 1600 | 5743 |
| 21 | 17,47 | 68,24 | 17,39 | 67,93 | 1969 | 558 | 3,5 | 0,46 | 2,00 | 623 | 1816 | 6920 |
| 22 | 17,91 | 69,95 | 17,84 | 69,67 | 2235 | 581 | 3,8 | 0,46 | 2,00 | 676 | 1979 | 9086 |
| 23 | 18,36 | 71,65 | 18,29 | 71,38 | 2236 | 588 | 3,8 | 0,46 | 2,00 | 691 | 2022 | 9074 |
| 24 | 18,80 | 73,40 | 18,74 | 73,14 | 2236 | 570 | 3,9 | 0,47 | 2,00 | 649 | 1902 | 9136 |
| 25 | 19,25 | 75,12 | 19,19 | 74,88 | 2237 | 580 | 3,9 | 0,46 | 2,00 | 672 | 1968 | 9111 |
| 26 | 19,68 | 76,77 | 19,62 | 76,55 | 2318 | 601 | 3,9 | 0,46 | 2,00 | 722 | 2114 | 9787 |
| 27 | 20,10 | 78,31 | 20,04 | 78,10 | 2391 | 648 | 3,7 | 0,46 | 2,05 | 862 | 2516 | 10570 |
| 28 | 20,51 | 79,81 | 20,46 | 79,61 | 2391 | 665 | 3,6 | 0,46 | 2,05 | 906 | 2643 | 10515 |
| 29 | 20,92 | 81,31 | 20,87 | 81,12 | 2451 | 665 | 3,7 | 0,46 | 2,05 | 908 | 2651 | 11100 |
| 30 | 21,32 | 82,80 | 21,27 | 82,62 | 2494 | 670 | 3,7 | 0,46 | 2,05 | 920 | 2689 | 11522 |
| 31 | 21,71 | 84,31 | 21,67 | 84,13 | 2532 | 661 | 3,8 | 0,46 | 2,05 | 896 | 2623 | 11949 |
| 32 | 22,11 | 85,79 | 22,07 | 85,62 | 2513 | 675 | 3,7 | 0,46 | 2,05 | 933 | 2727 | 11706 |
| 33 | 22,52 | 87,25 | 22,48 | 87,09 | 2452 | 684 | 3,6 | 0,46 | 2,05 | 959 | 2797 | 11045 |
| 34 | 22,92 | 88,71 | 22,88 | 88,55 | 2514 | 684 | 3,7 | 0,46 | 2,05 | 959 | 2802 | 11677 |
| 35 | 23,30 | 90,16 | 23,26 | 90,01 | 2579 | 689 | 3,7 | 0,46 | 2,05 | 973 | 2844 | 12340 |

Tab. 3.3 – Progettazione esecutiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

Indagine down-hole S12-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.

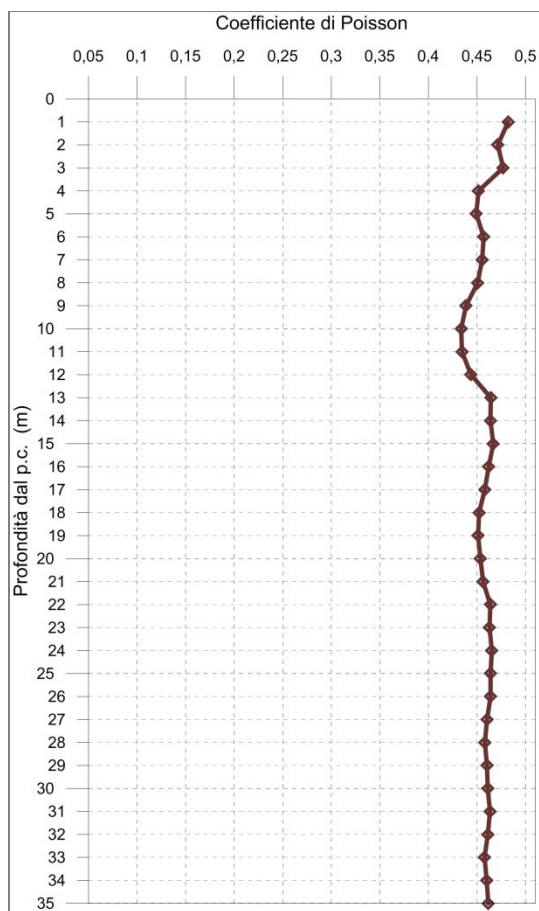


Fig. 3.10 - Diagramma relativo all'andamento del coefficiente di Poisson in funzione della profondità dal p.c..

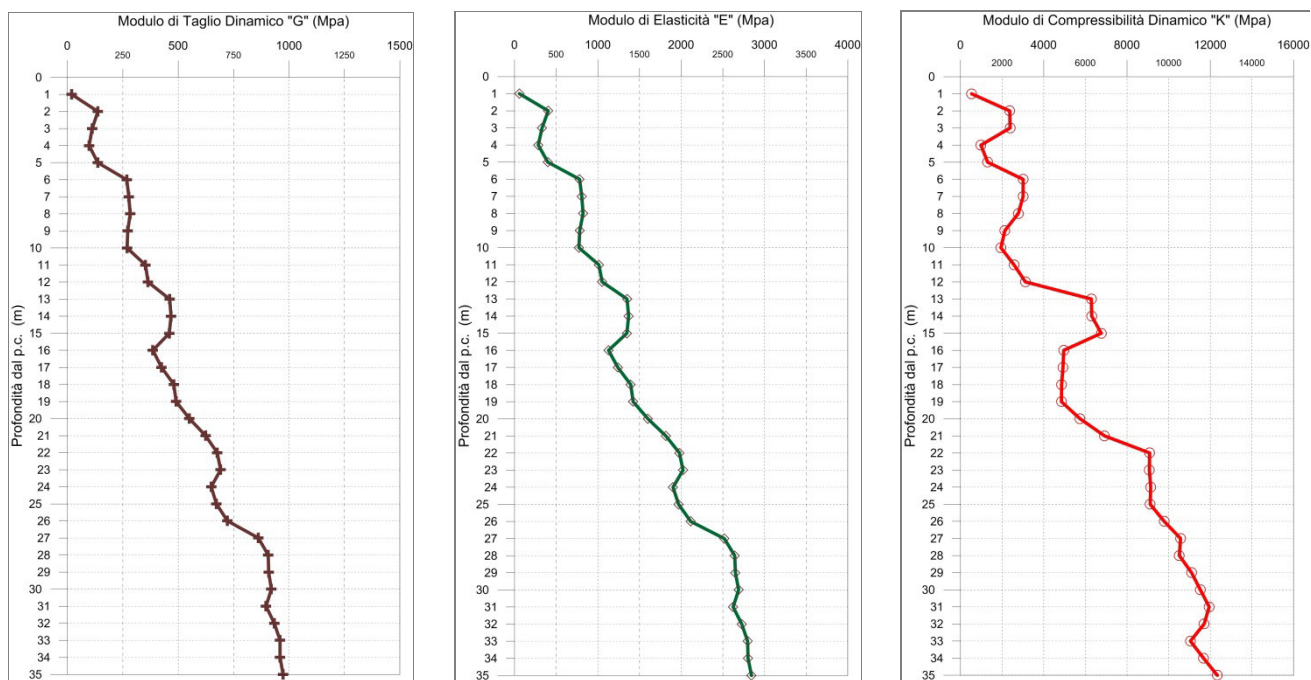


Fig. 3.11 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "G" in funzione della profondità dal p.c. Al centro, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "E" in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "K" in funzione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

4 INDAGINE M.A.S.W.

4.1 DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA ED ELABORAZIONE DATI

La tecnica MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*), rappresenta una tipologia d'indagine sismica non invasiva che consente di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali, fatta in corrispondenza di uno stendimento di sensori multipli (geofoni), disposti sulla superficie libera del terreno. Quando si energizza in un punto della sua superficie libera del terreno, si generano diversi tipi di onde. Se la sorgente è perpendicolare alla superficie, hanno origine onde appartenenti al piano verticale: onde P, onde SV, onde Rayleigh, onde rifratte. Se la sorgente è parallela alla superficie libera, si generano onde appartenenti al piano orizzontale: onde SH, onde di Love.

Nel metodo MASW di seguito descritto, si usano le onde di superficiali di Rayleigh e si trascurano gli effetti dovuti alle onde di volume, alle riflesse o alle rifratte. Sebbene una sorgente puntiforme verticale generi anche onde P ed S, oltre alle onde superficiali, intervengono due aspetti che rendono il contributo di dette onde prevalente sul contributo delle onde di volume. Il primo aspetto è che le onde Rayleigh trasportano circa i due terzi dell'energia generata dalla sorgente. Il secondo aspetto è che, allontanandosi dalla sorgente, le onde di Rayleigh subiscono un'attenuazione geometrica inferiore rispetto alle onde P e SV, perché esse si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, mentre le onde P e SV si propagano secondo fronti d'onda sferici.

In sintesi, il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato, le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo ovvero la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza, con lunghezza d'onda corta, si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, mentre onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo. Il metodo d'indagine MASW, descritto nella presente nota, è del tipo attivo ovvero le onde superficiali sono indotte o generate artificialmente mediante l'impatto di un grave sulla superficie del suolo e misurate ad uno stendimento lineare di sensori.

Un tipico schema di acquisizione di indagine MASW è mostrato di seguito.

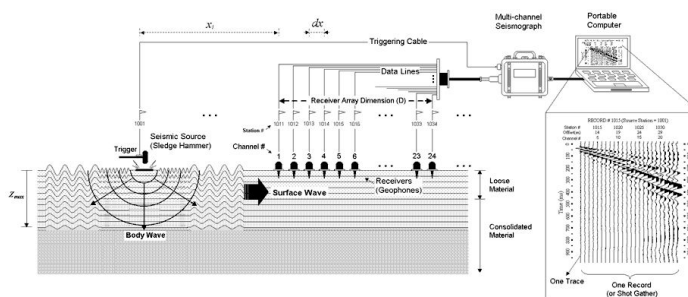


Fig. 4.1 - Esempio configurazione sorgente-ricevitori per l'esecuzione di un rilievo MASW.

Questo consente di ottenere uno spettro delle velocità di fase (ovvero una curva di dispersione) sperimentale apparente, generalmente nel range di frequenze compreso tra 4,5÷80 Hz; il metodo, pertanto, permette di ottenere informazioni indirette sulla parte del sottosuolo compresa (di norma) entro i primi 35÷40 metri circa dal piano campagna, in funzione della rigidità o rigidezza sismica dei litotipi costituenti il sottosuolo e della lunghezza dell'allineamento di sensori.

Il processo che viene usato per produrre profili di velocità delle onde S a partire dalle onde di Rayleigh, con la tecnica MASW, richiede tre passi descritti di seguito:

1) Dopo aver visionato i files d'interesse ed impostate le caratteristiche geometriche del profilo, in primo luogo viene calcolata la velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale, mediante un processo di elaborazione che consente di estrarre la suddetta curva dallo spettro nel dominio frequenza-numero d'onda applicando una doppia trasformata di Fourier al campo di moto misurato originariamente nel dominio spazio-tempo.

2) Successivamente, viene calcolata la velocità di fase (o curva di dispersione) apparente numerica mediante modellazione del sottosuolo in termini di velocità delle onde P ed S, intervallo dei valori del coefficiente di Poisson e densità dei terreni.

3) La terza fase consiste, infine, nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore degli orizzonti litologici e la densità fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase sperimentale e quella numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

L'analisi multicanale delle onde di superficie può essere applicata in due differenti modi: attiva o passiva. L'inversione della curva di dispersione permette di ricavare un profilo di velocità delle onde S, che è posizionato in corrispondenza della metà della stesa dei geofoni.

L'elaborazione dei dati è avvenuta avvalendosi dei seguenti software specialistici:

- IXSeg2Segy software per la visualizzazione dei segnali acquisiti;
- SurfSeis® 3.0 sviluppato dal Kansas Geological Survey dell'Università del Kansas.

4.2 DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Di seguito sono riportate le specifiche della strumentazione utilizzata per le prove MASW:

- Geofoni, 24 velocimetri a componente verticale, con frequenza pari a 4,5 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 "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.

I segnali sismici, sono stati acquisiti mediante un sismografo **AMBROGEO Echo 12-24/2010** a 24 bits.

4.3 DESCRIZIONE DELLE MODALITA' ESECUTIVE

Nell'ambito dell'incarico oggetto delle presenti note, come accennato in premessa, sono state eseguite n.2 prove sismiche di superficie M.A.S.W., la cui ubicazione è riportata nelle tavole allegate.

Di seguito sono elencate le coordinate di inizio e fine degli stendimenti eseguiti.

| Codice indagine | Lunghezza (m) | UTM WGS84 Fuso 32 | | | |
|-----------------|---------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|
| | | Coordinata iniziale EST | Coordinata iniziale NORD | Coordinata finale EST | Coordinata finale NORD |
| MASW-1 | 46,0 | 405384,271 | 4913441,389 | 405385,422 | 4913487,567 |
| MASW-2 | 46,0 | 406728,853 | 4913505,752 | 406734,229 | 4913458,724 |

*Tab. 4.1 – Progettazione esecutiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).
 Indagini MASW.*

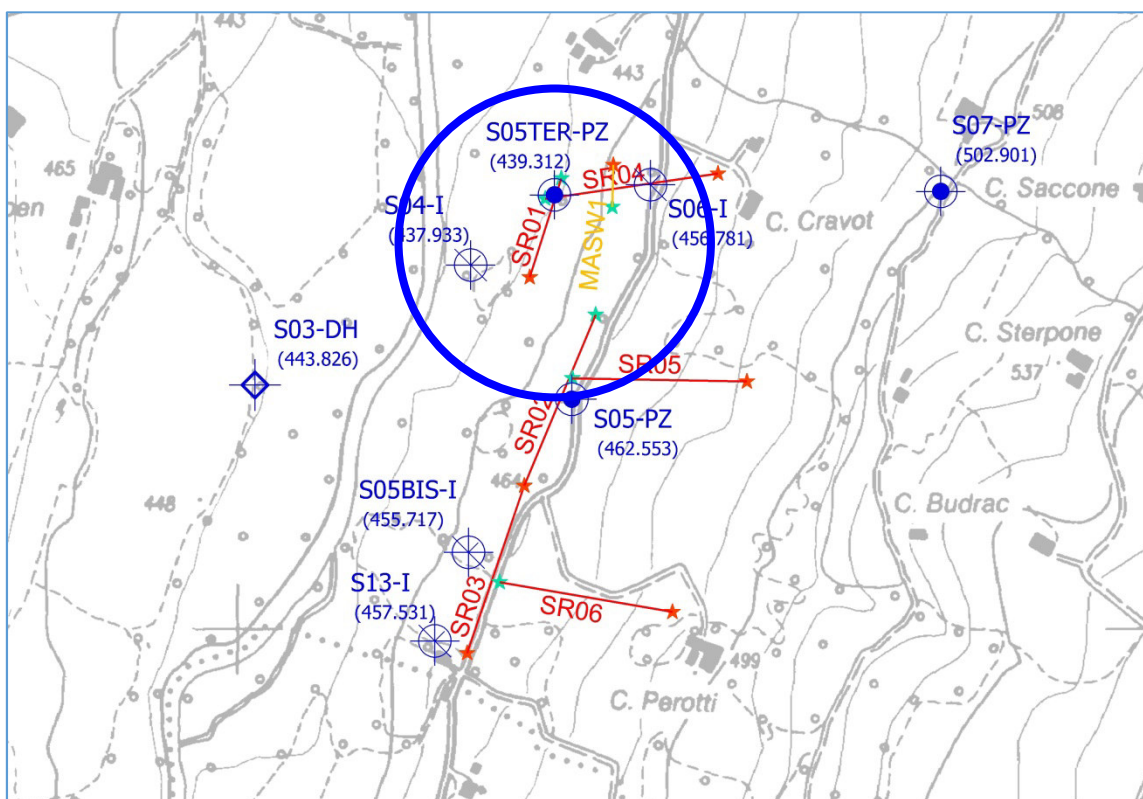


Fig. 4.2 – Progettazione definitiva dell'intervento S.S. 28 - Lavori di realizzazione della tangenziale di Mondovì, con collegamento alla S.S. 28 Dir-564 ed al casello 6 Torino - Savona - 3°lotto (variante di Mondovì).

Stralcio dell'ubicazione indagine.

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

Per l'esecuzione del profilo MASW sono stati posizionati i geofoni sul terreno. Essi sono stati collegati con appositi morsetti al cavo multipolare che viene connesso al sismografo. Ultimata l'installazione sono stati effettuati alcuni tiri di prova per tarare i parametri di acquisizione del sismografo stesso.

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

Per quanto concerne la documentazione fotografica inerente le prospezioni sismiche e le attività di campo eseguite, si rimanda alle schede allegate.

4.4 RISULTANZE DELL'INDAGINE MASW

Di seguito, sono riportate le risultanze scaturite dalle prospezioni sismiche di superficie MASW, riepilogate attraverso i grafici prodotti:

- Sismogramma originale, in cui sono riportate le tracce registrate sull'intero array di geofoni costituenti lo stendimento e sismogramma normalizzato, o sintetico (ovvero sottoposto ad un primo processo di filtraggio e selezione della finestra di segnale migliore), in cui sono riportate le tracce utilizzate per la successiva fase di inversione ed i relativi spettri di dispersione.
- Diagramma della trasformata bidimensionale del campo d'onda (nel sistema velocità di fase - frequenza F-K) in cui sono evidenziati i massimi spettrali.
- Diagramma di confronto tra la curva di dispersione stimata e quella sintetica generata a partire dal modello finale di V_s .
- Profilo verticale dell'andamento della velocità delle onde S, in funzione della profondità, e confronto tra il profilo VS di primo tentativo con quello finale, risultante del processo di inversione dei dati.
- Tabella con i parametri calcolati (V_s , profondità e spessore dei sismostrati).

4.4.1 MASW-1

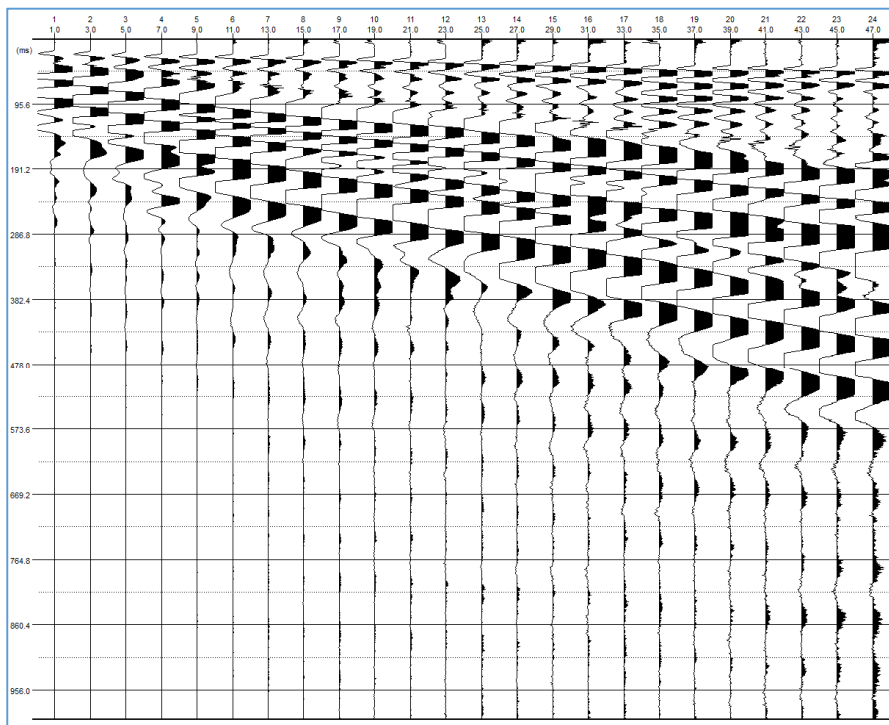


Fig. 4.3 - Sismogramma originale.

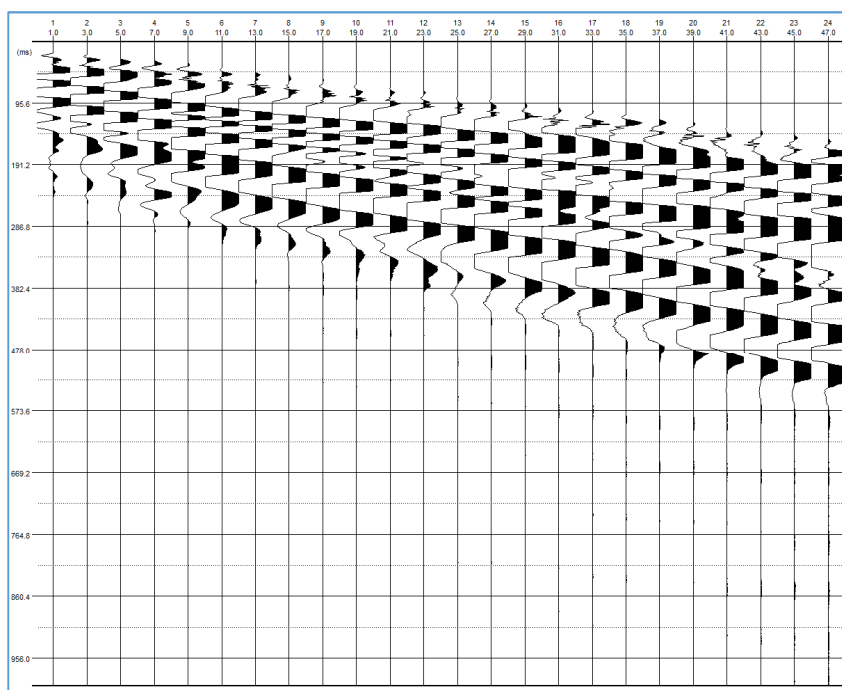


Fig. 4.4 - Sismogramma normalizzato.

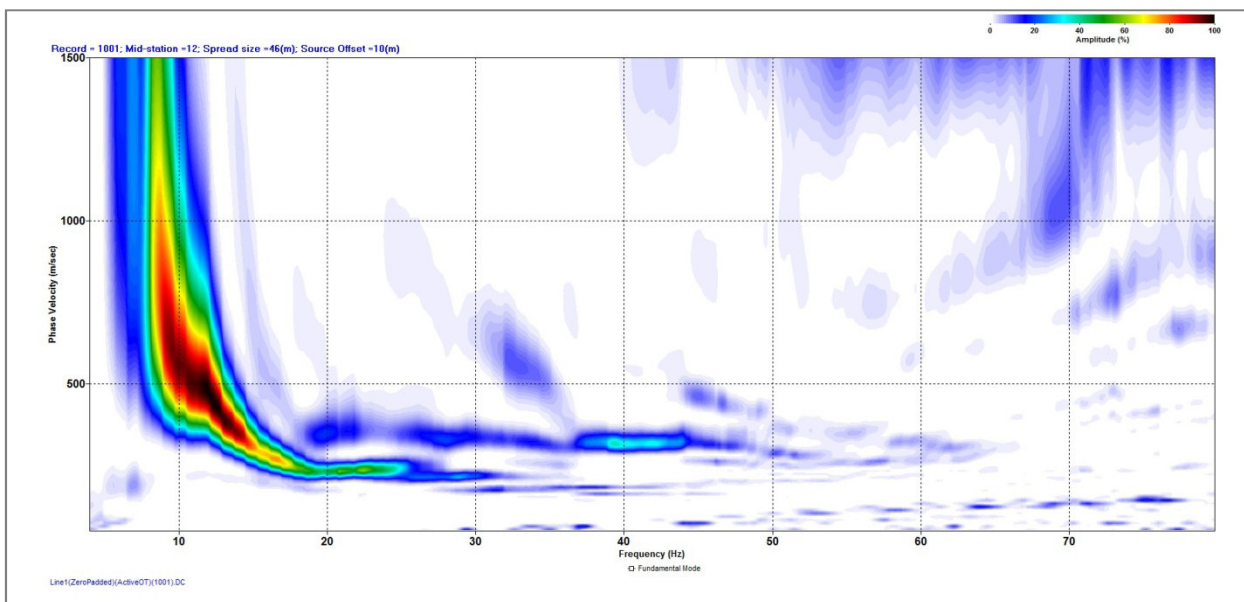


Fig. 4.5 – Indagine MASW. Profilo Masw-1. Curva frequenza – velocità di fase.

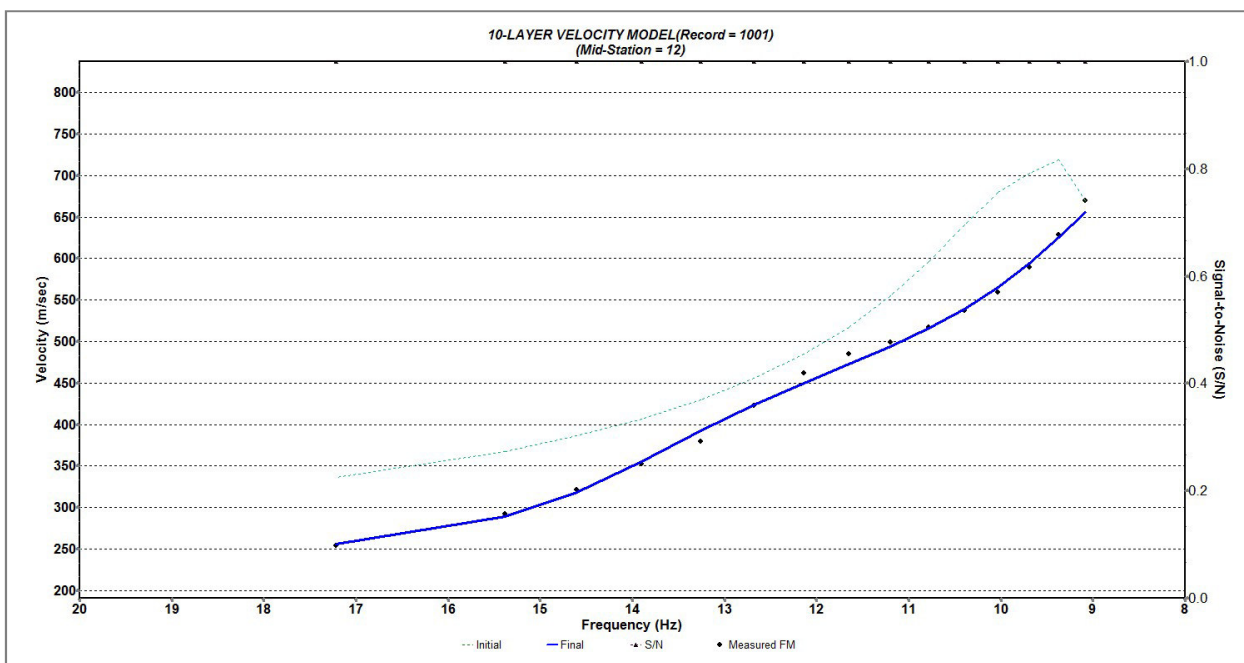


Fig. 4.6 – Indagine MASW. Profilo Masw-1. Confronto tra curva di dispersione stimata e sintetica.

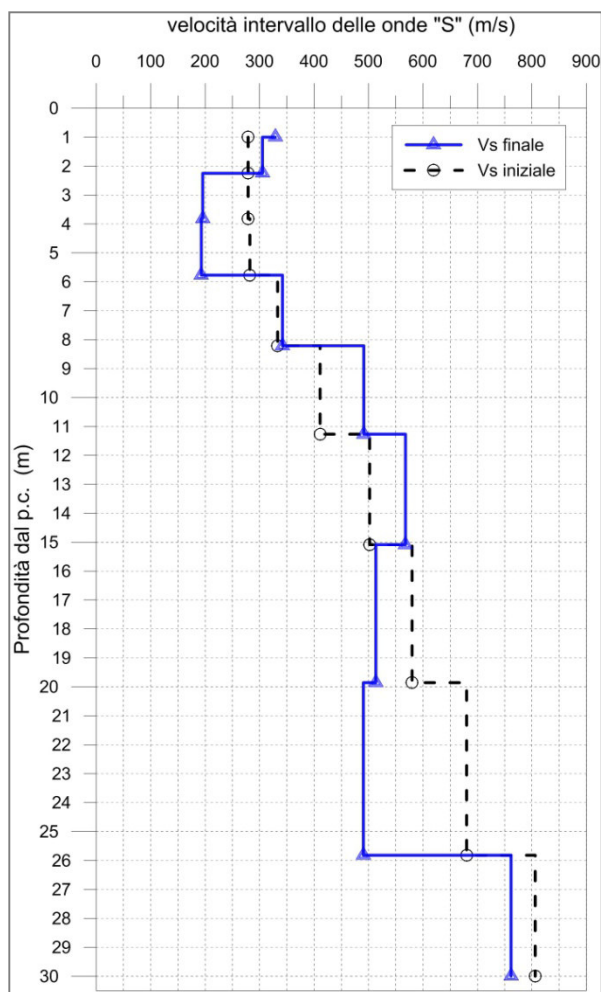


Fig. 4.7 - Indagine MASW. Profilo Masw-1. Profilo verticale della velocità delle onde S.

| Numero di Strati | Profondità (m dal p.c) | Vs finale (m/s) | Spessore (m) | h/Vs |
|------------------|------------------------|-----------------|--------------|--------|
| 1 | 1.0 | 329 | 1.0 | 0.0030 |
| 2 | 2.3 | 305 | 1.3 | 0.0041 |
| 3 | 3.8 | 195 | 1.6 | 0.0080 |
| 4 | 5.8 | 193 | 2.0 | 0.0101 |
| 5 | 8.2 | 342 | 2.4 | 0.0071 |
| 6 | 11.3 | 491 | 3.1 | 0.0062 |
| 7 | 15.1 | 568 | 3.8 | 0.0067 |
| 8 | 19.9 | 513 | 4.8 | 0.0093 |
| 9 | 25.8 | 491 | 6.0 | 0.0122 |
| 10 | 30.0 | 762 | 4.2 | 0.0055 |

Fig. 4.8 - Indagine MASW. Profilo Masw-1. Riepilogo dei parametri calcolati.

4.4.2 MASW-2

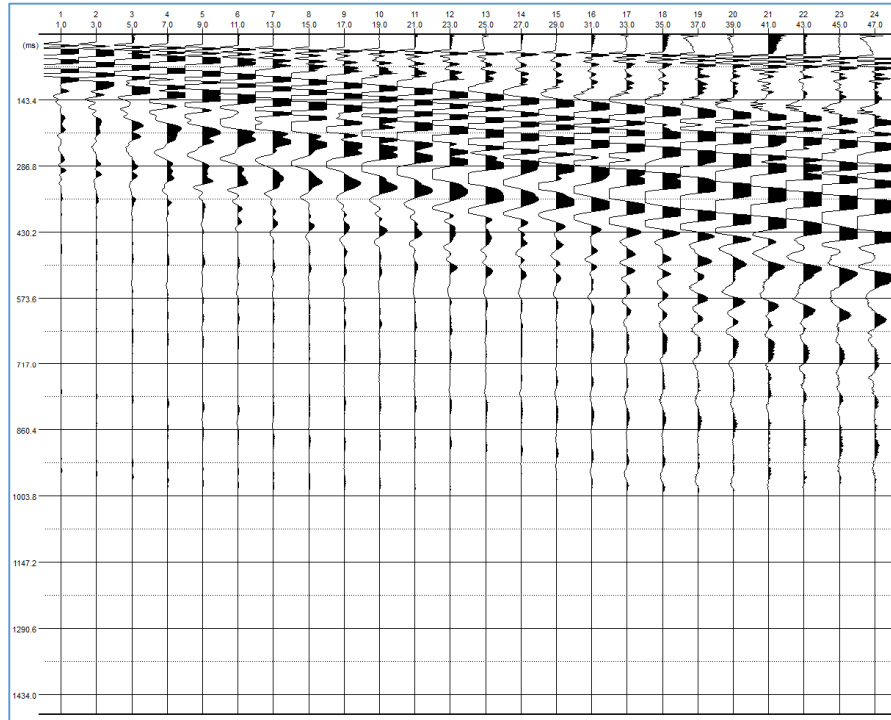


Fig. 4.9 - Sismogramma originale.

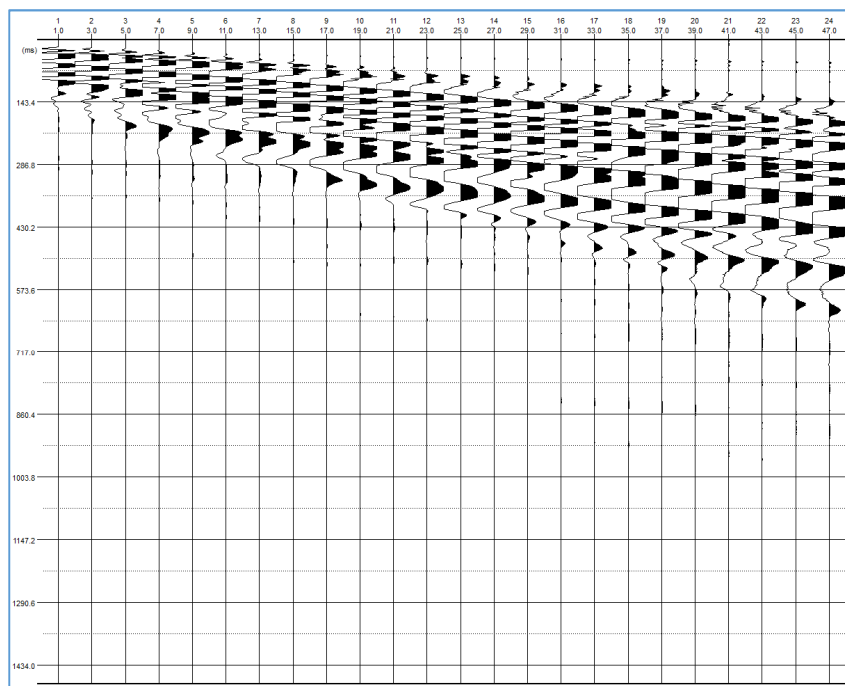


Fig. 4.10 - Sismogramma normalizzato.

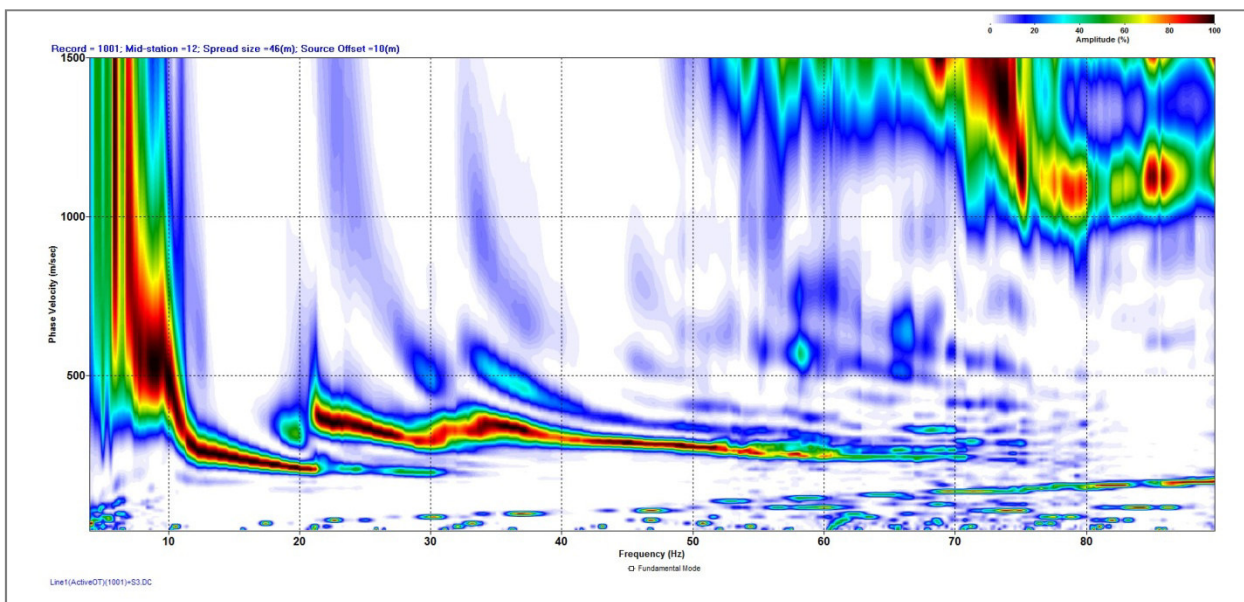


Fig. 4.11 – Indagine MASW. Profilo Masw-2. Curva frequenza – velocità di fase.

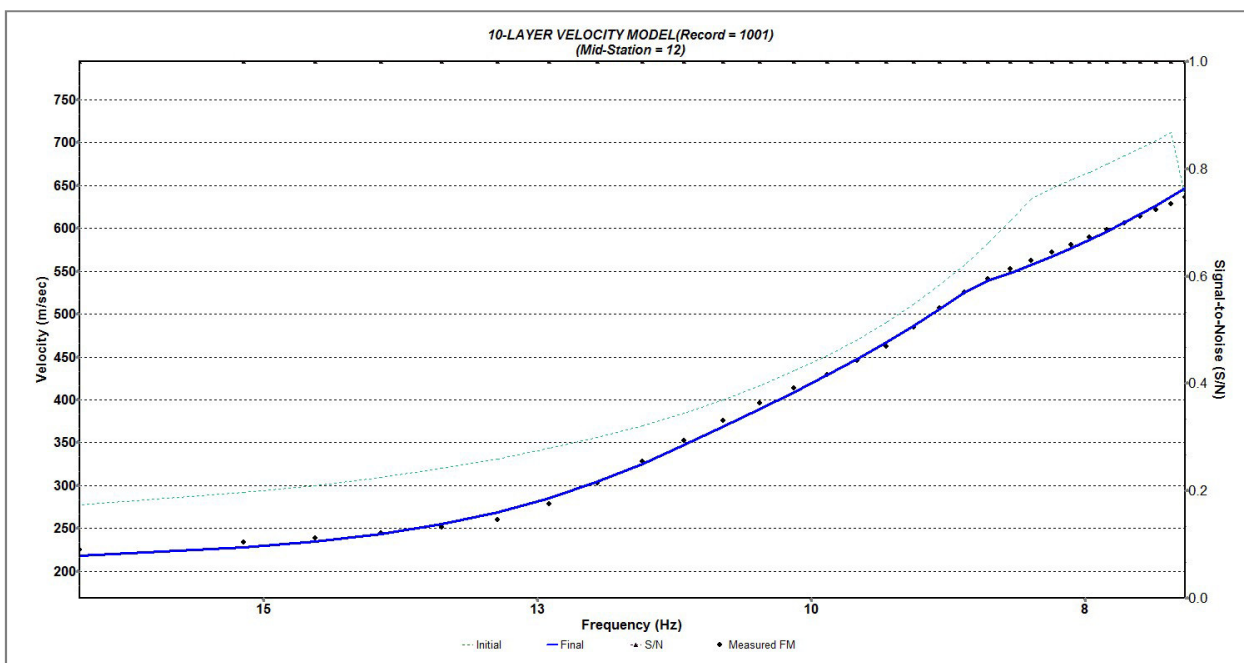


Fig. 4.12 – Indagine MASW. Profilo Masw-2. Confronto tra curva di dispersione stimata e sintetica.

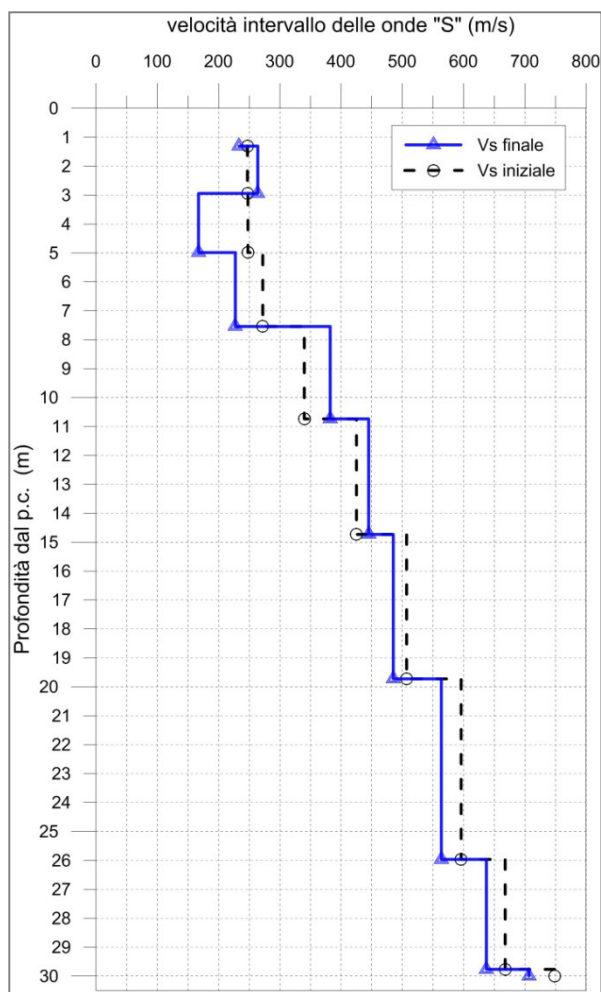


Fig. 4.13 – Indagine MASW. Profilo Masw-2. Profilo verticale della velocità delle onde S.

| Numero di Strati | Profondità (m dal p.c) | Vs finale (m/s) | Spessore (m) | h/Vs |
|------------------|------------------------|-----------------|--------------|--------|
| 1 | 1.3 | 233 | 1.3 | 0.0056 |
| 2 | 2.9 | 264 | 1.6 | 0.0062 |
| 3 | 5.0 | 167 | 2.0 | 0.0122 |
| 4 | 7.5 | 227 | 2.6 | 0.0112 |
| 5 | 10.7 | 382 | 3.2 | 0.0084 |
| 6 | 14.7 | 445 | 4.0 | 0.0090 |
| 7 | 19.7 | 485 | 5.0 | 0.0103 |
| 8 | 26.0 | 564 | 6.2 | 0.0111 |
| 9 | 29.8 | 637 | 3.8 | 0.0060 |
| 10 | 30.0 | 707 | 0.2 | 0.0003 |

Fig. 4.14 – Indagine MASW. Profilo Masw-2. Riepilogo dei parametri calcolati.