

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78

S.G.C. GROSSETO - FANO

ADEGUAMENTO A 4 CORSIE

NEL TRATTO GROSSETO - SIENA (S.S. 223 "DI PAGANICO")

DAL KM 41+600 AL KM 53+400 - LOTTO 9

PROGETTO ESECUTIVO

COD. **FI15**

PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GDG - ICARIA

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Nando Granieri
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

IL PROGETTISTA:

Dott. Ing. Federico Durastanti
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Terni n° A844

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini
Ordine dei Geologi della Regione Umbria n°108

IL R.U.P.

Dott. Ing.
Raffaele Franco Carso

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Filippo Pambianco
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373

PROTOCOLLO

DATA

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:

MANDANTI:



Dott. Ing. N. Granieri	Dott. Ing. D. Carlucci	Dott. Ing. V. Rotisciani
Dott. Arch. N. Kamenicky	Dott. Ing. S. Sacconi	Dott. Ing. F. Macchioni
Dott. Ing. V. Truffini	Dott. Ing. G. Cordua	Geom. C. Vischini
Dott. Arch. A. Bracchini	Dott. Ing. V. De Gori	Dott. Ing. V. Piunno
Dott. Ing. F. Durastanti	Dott. Ing. C. Consorti	Dott. Ing. G. Pulli
Dott. Ing. E. Bartolucci	Dott. Ing. F. Dominici	Geom. C. Sugaroni
Dott. Geol. G. Cerquiglini		
Geom. S. Scopetta		
Dott. Ing. L. Sbrenna		
Dott. Ing. E. Sellari		
Dott. Ing. L. Dinelli		
Dott. Ing. L. Nani		
Dott. Ing. F. Pambianco		
Dott. Agr. F. Berti Nulli		



GEOLOGIA E GESTIONE MATERIE

Indagini geognostiche 2019 - Indagini geofisiche

CODICE PROGETTO	NOME FILE	REVISIONE	SCALA:
PROGETTO LIV. PROG. N. PROG. <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">L</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">O</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">F</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">I</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">5</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">E</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">9</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</div> </div>	T00-GE00-GEO-RE12 CODICE ELAB. T00GE00GEORE12	A	-
A	Emissione	28/02/2020	R. Salucci G. Cerquiglini N. Granieri
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO VERIFICATO APPROVATO

DOCUMENTAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

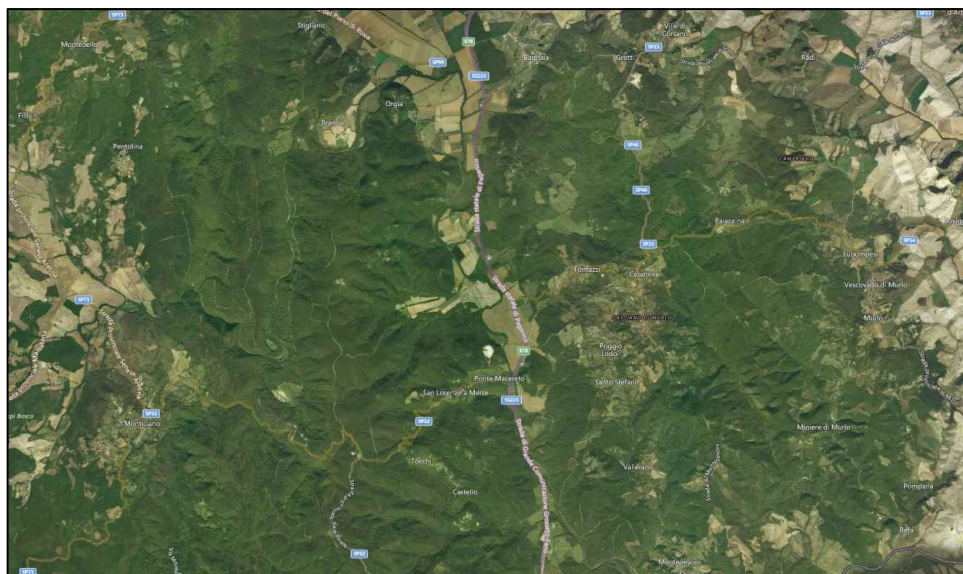


PROJECT:
S.S. 223 TRATTO 1° GROSSETO-SIENA. LOTTO 9.
ADEGUAMENTO A QUATTRO CORSIE DELLA S.S. 223 DI
PAGANICO DAL KM 41+600 AL KM 53+400

LOCATION:
COMUNI DI MONTICIANO, MURLO, SOVICILLE
(SI)

CLIENT:
ANAS S.p.A.

OBJECT:
DOCUMENTAZIONE INDAGINI GEOFISICHE



Tecno In Ref.: R.C. 068/19
Revision n.: 00
Date: luglio 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: 068-19_documentazione geofisica

INDICE

1	PREMESSA	3
2	INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE TOMOGRAFICA	4
2.1	DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA	4
2.2	DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	5
2.3	DESCRIZIONE DELLE MODALITA' ESECUTIVE	7
2.4	DESCRIZIONE DELL'ELABORAZIONE DEI DATI	8
2.5	RISULTANZE DELL'INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE TOMOGRAFICA	9
2.5.1	LS01	10
2.5.2	LS02	13
2.5.3	LS05	16
2.5.4	LS06	19
2.5.5	LS07	22
2.5.6	LS08	25
2.5.7	LS09	28
2.5.8	LS10	31
3	INDAGINI DOWN-HOLE	34
3.1	DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA ED ELABORAZIONE DATI	34
3.2	DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	37
3.3	DESCRIZIONE DELLE MODALITA' ESECUTIVE	38
3.4	RISULTANZE DELL'INDAGINE DOWN-HOLE	39
3.4.1	SG01-DH	40
3.4.2	SG05-DH	45
3.4.3	SG08-DH	50
3.4.4	SG09-DH	55
3.4.5	SG10-DH	60
3.4.6	SG11-DH	65
4	INDAGINI M.A.S.W.	70
4.1	DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA ED ELABORAZIONE DATI	70
4.2	DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	73
4.3	DESCRIZIONE DELLE MODALITA' ESECUTIVE	73
4.4	RISULTANZE DELLE INDAGINI MASW	74
	MASW01	75

MASW02	77
MASW03	79
MASW04	81
MASW05	83
MASW06	85
MASW07	87
MASW08	89
MASW09	91

1 PREMESSA

Il presente elaborato viene redatto per le indagini integrative per lo sviluppo del progetto esecutivo S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400.

Le indagini ricadono nei comuni di Monticiano, Murlo e Sovicille nella provincia di Siena.

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
- n.9 prospezioni sismiche MASW

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 giugno e luglio 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.

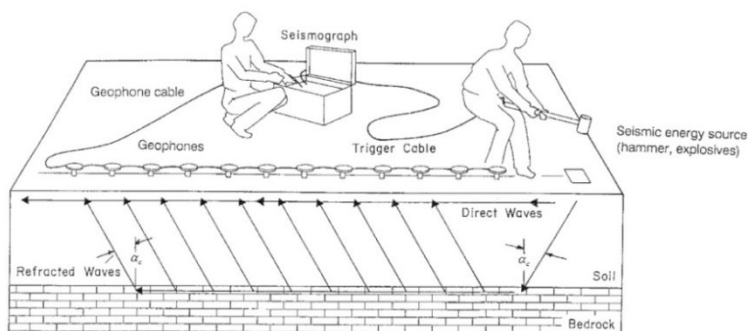


Fig. 2.1 - Schema esecutivo della sismica a rifrazione (fonte norma ASTM D 5777 - 00).

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, a titolo di esempio, si riporta lo schema adottato per una base sismica lunga 120 metri (Fig. 2.2).

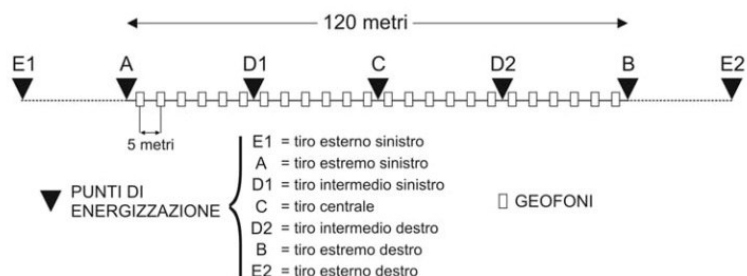


Fig. 2.2 - Tomografia sismica. Disposizione siti di energizzazione.

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
LS01	110	686789,894	4776911,779	686700,996	4776841,548
LS02	110	686717,372	4776900,317	686810,416	4776837,453
LS05	46	686279,605	4778444,261	686275,875	4778399,111
LS06	46	686232,094	4778404,443	686276,006	4778401,253
LS07	110	686114,536	4778857,876	686139,637	4778750,366
LS08	46	686100,412	4778797,671	686144,369	4778810,015
LS09	110	685083,136	4784403,846	685055,207	4784297,697
LS10	110	685168,606	4784275,720	685063,663	4784309,051

Tab. 2.1 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. 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 110 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 LS01

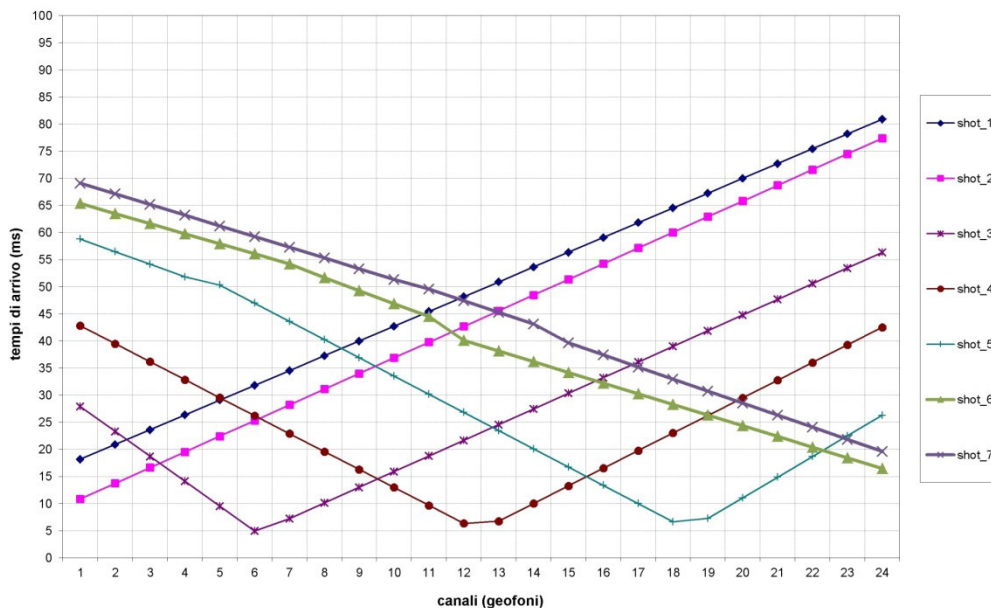


Fig. 2.3 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400.
Tomografia sismica in onde P. Profilo LS01. Dromocrone.

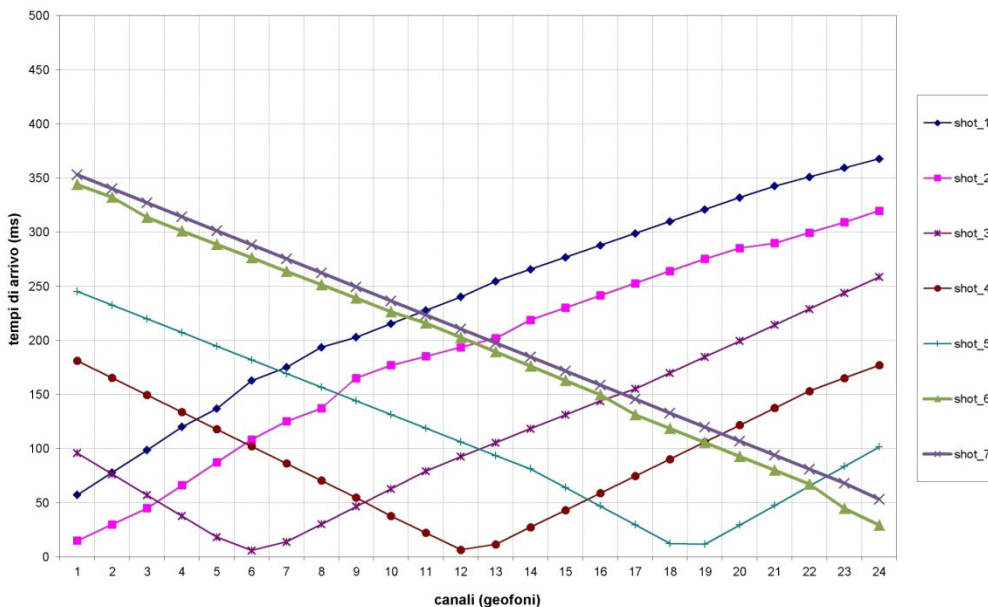


Fig. 2.4 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400.
Tomografia sismica in onde S. Profilo LS01. Dromocrone.

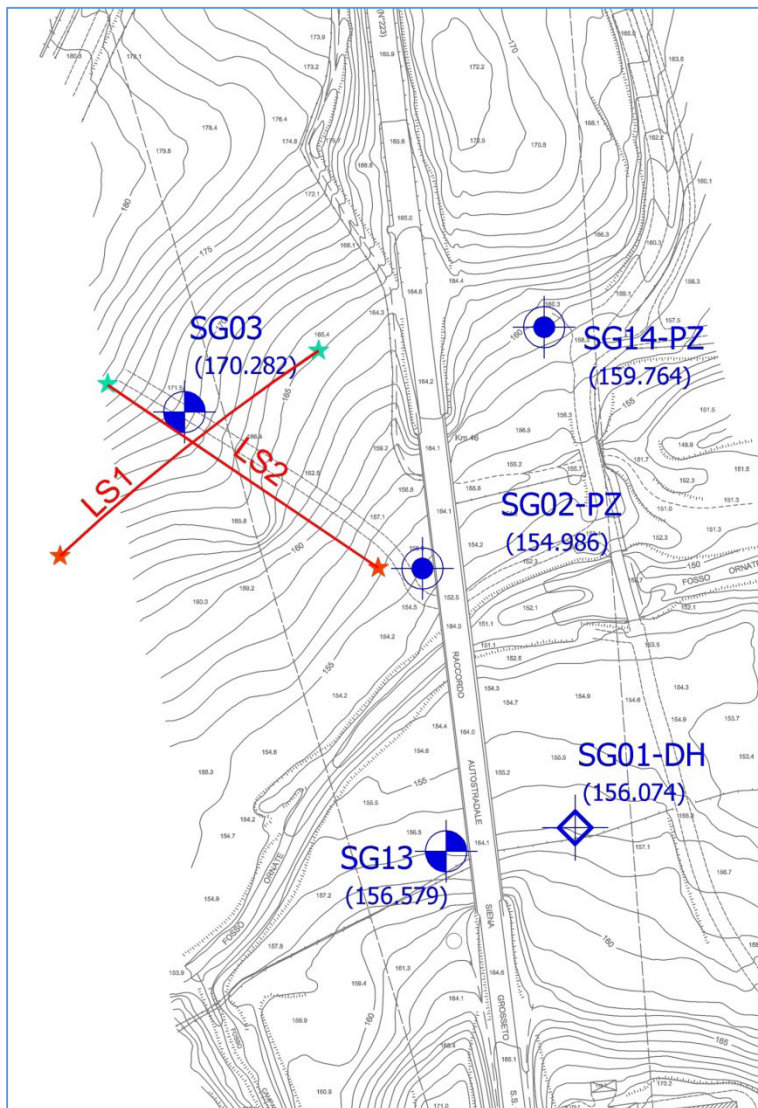


Fig. 2.5 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400.

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 **LS01** hanno permesso di evidenziare due sismostrati.

Il primo sismostrato si attesta ad una profondità media dal piano campagna di circa 6 m, ed è costituito da limo argilloso. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 320 e 440 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 900 e 1.800 m/s.

Il secondo sismostrato, che si estende sino al termine della pseudosezione, è costituito da argilla limosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 440 e 600 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 1.800 e 2.650 m/s.

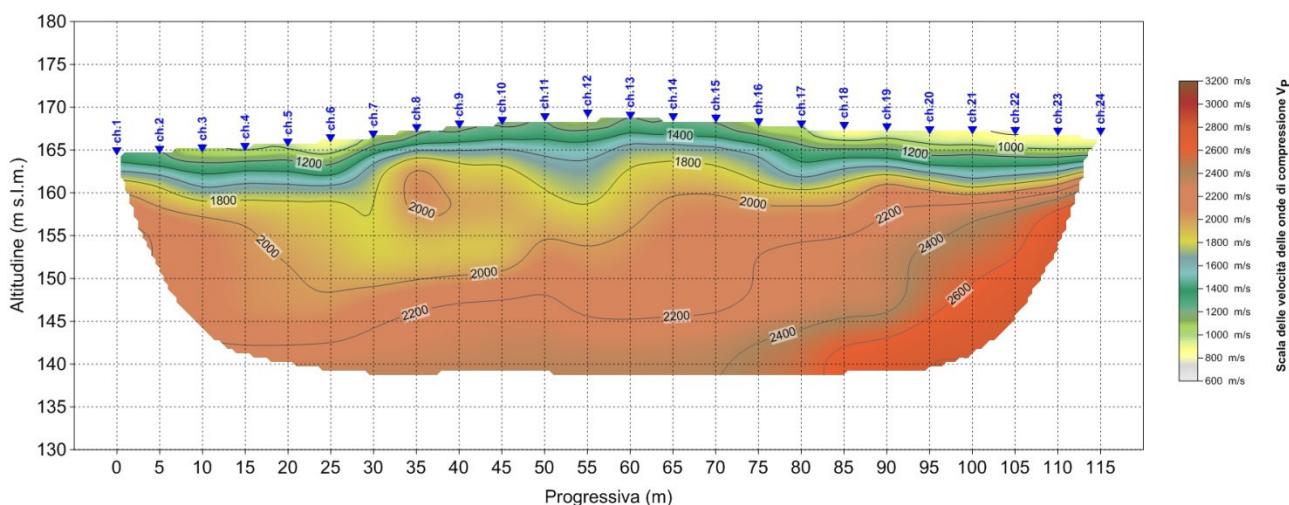


Fig. 2.6 - S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo LS01.

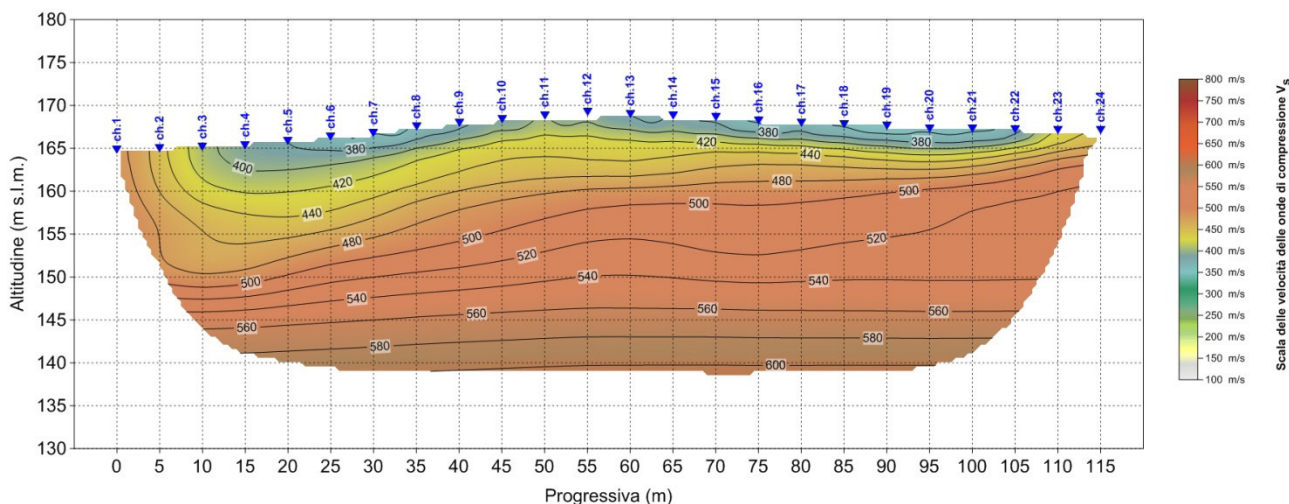


Fig. 2.7 - S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo LS01.

2.5.2 LS02

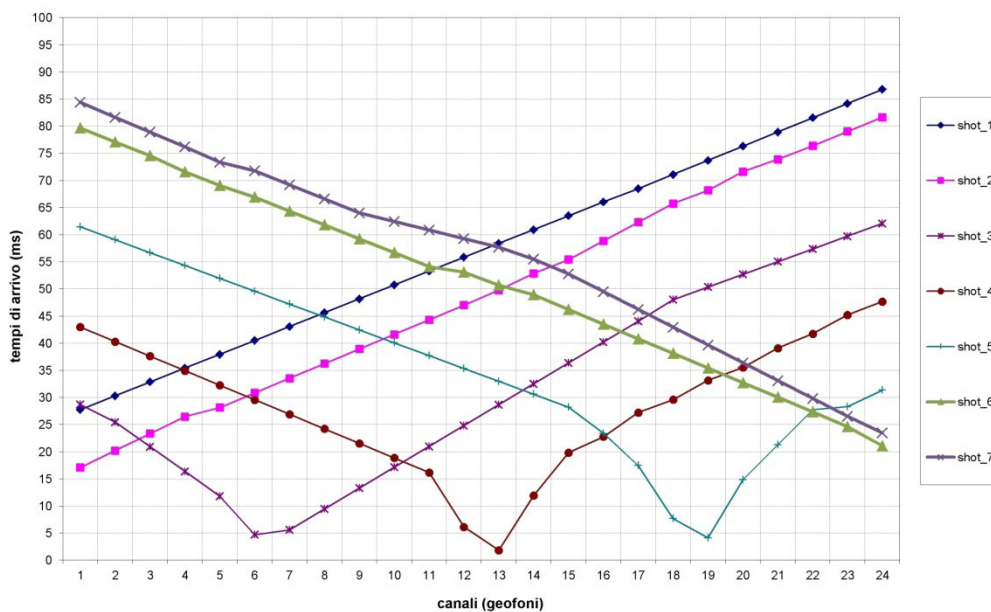


Fig. 2.8 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Tomografia sismica in onde P. Profilo LS02. Dromocrone.

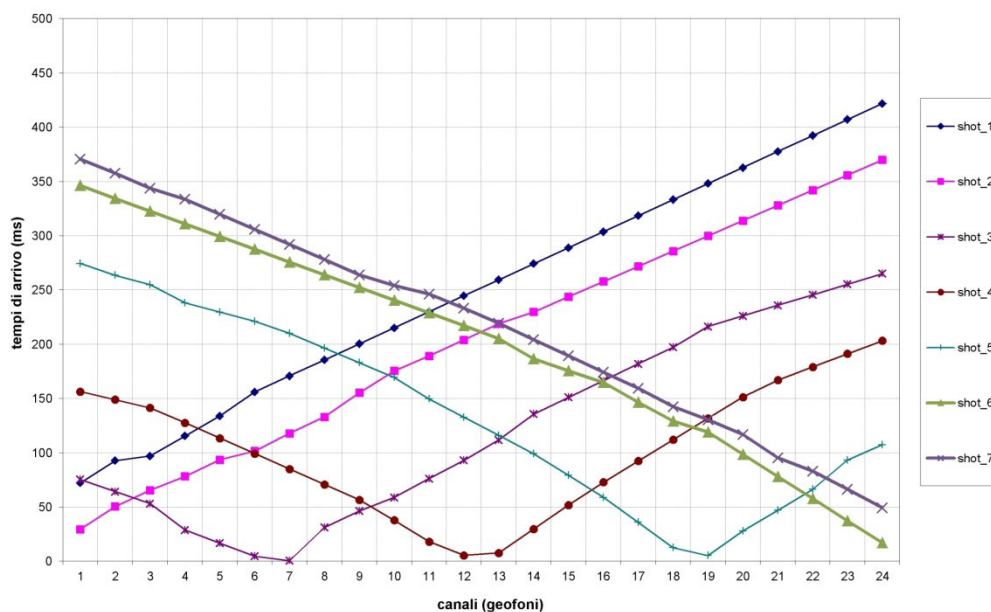


Fig. 2.9 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Tomografia sismica in onde S. Profilo LS02. Dromocrone.

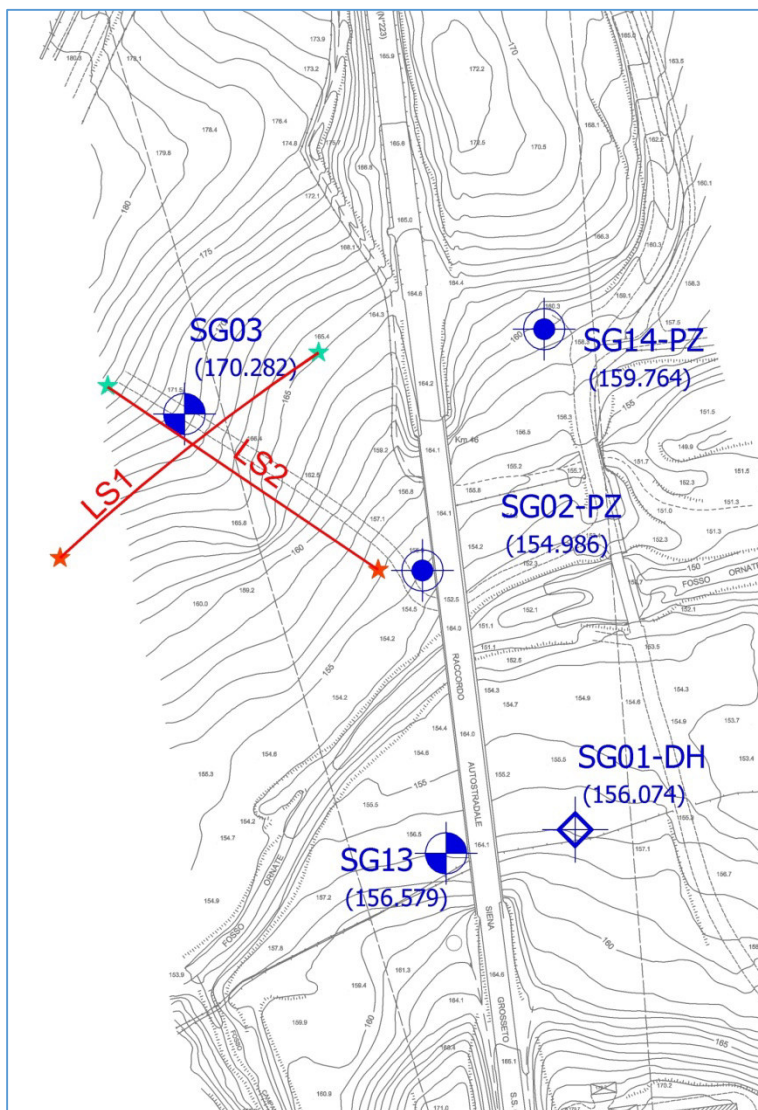


Fig. 2.10 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400.

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 **LS02** hanno permesso di evidenziare due sismostrati.

Il primo sismostrato si attesta ad una profondità media dal piano campagna di circa 6 m, ed è costituito da limo argilloso. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 310 e 440 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 780 e 1.600 m/s.

Il secondo sismostrato, che si estende sino al termine della pseudosezione, è costituito da argilla limosa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 440 e 590 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 1.600 e 2.450 m/s.

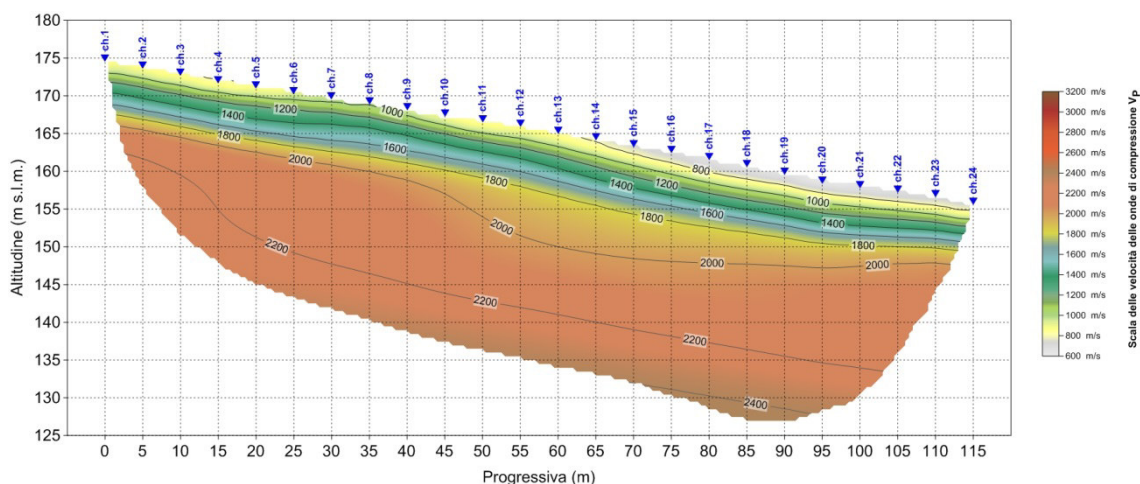


Fig. 2.11 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo LS02.

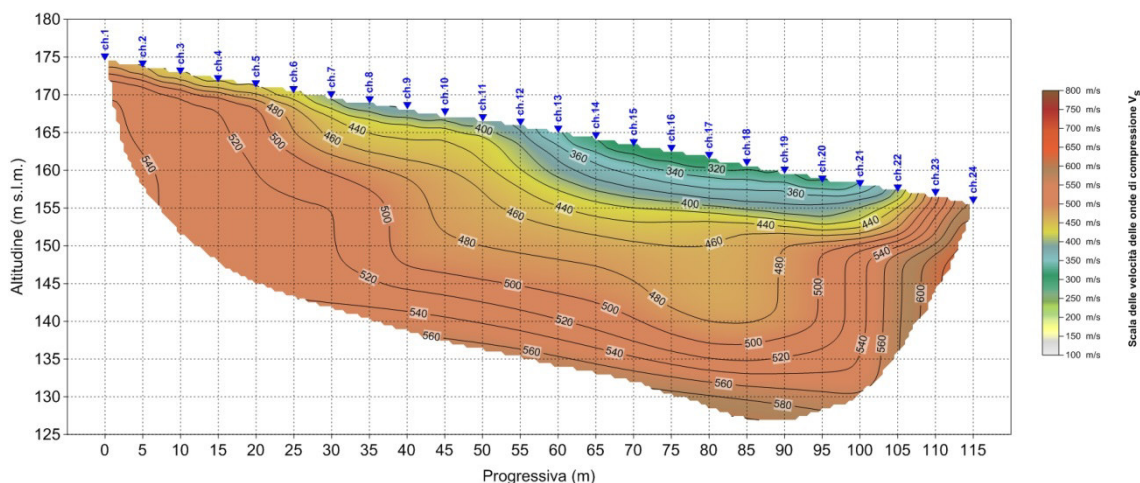


Fig. 2.12 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo LS02.

2.5.3 LS05

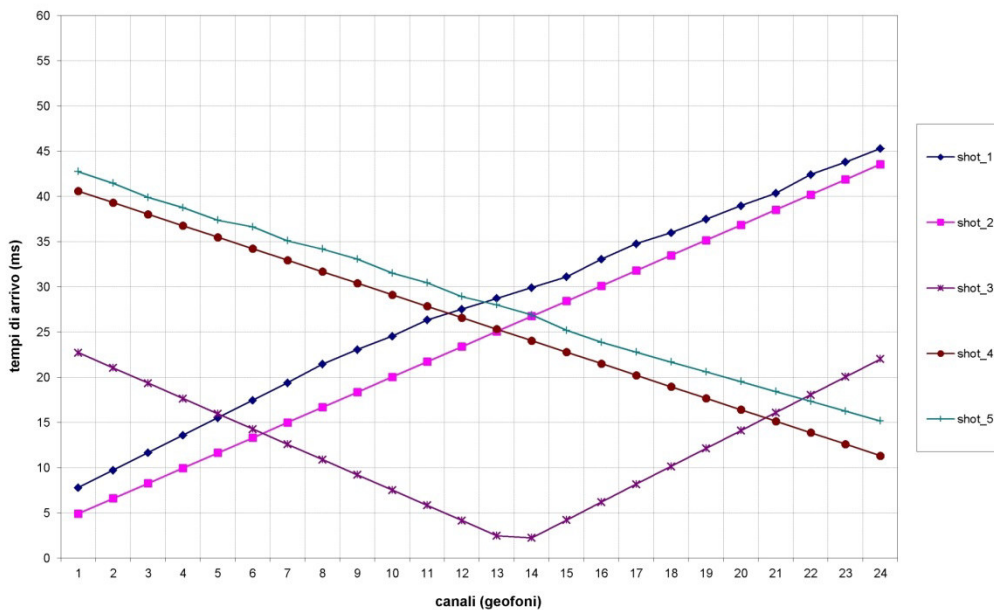


Fig. 2.13 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Tomografia sismica in onde P. Profilo LS05. Dromocrone.

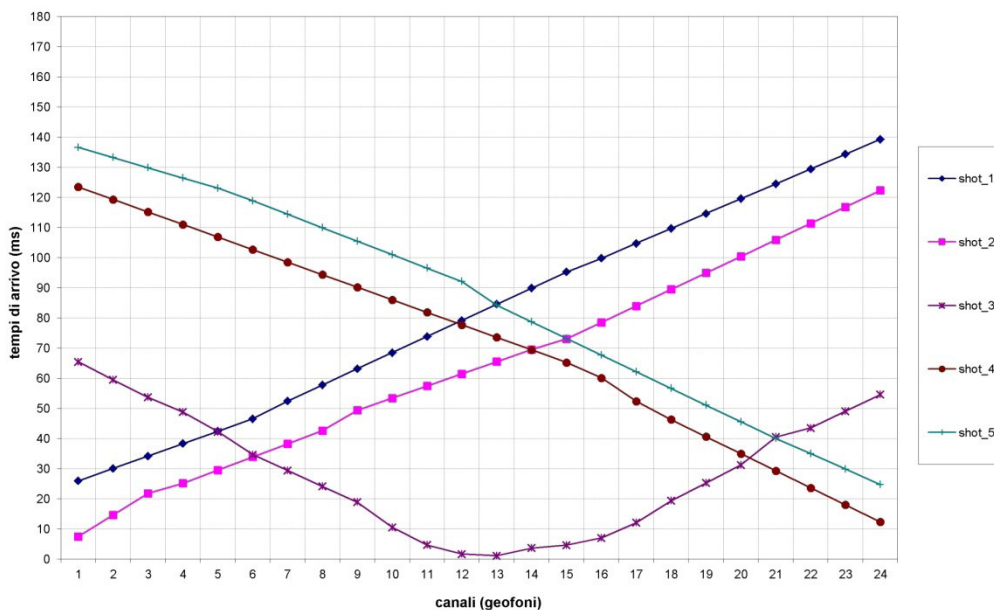


Fig. 2.14 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Tomografia sismica in onde S. Profilo LS05. Dromocrone.

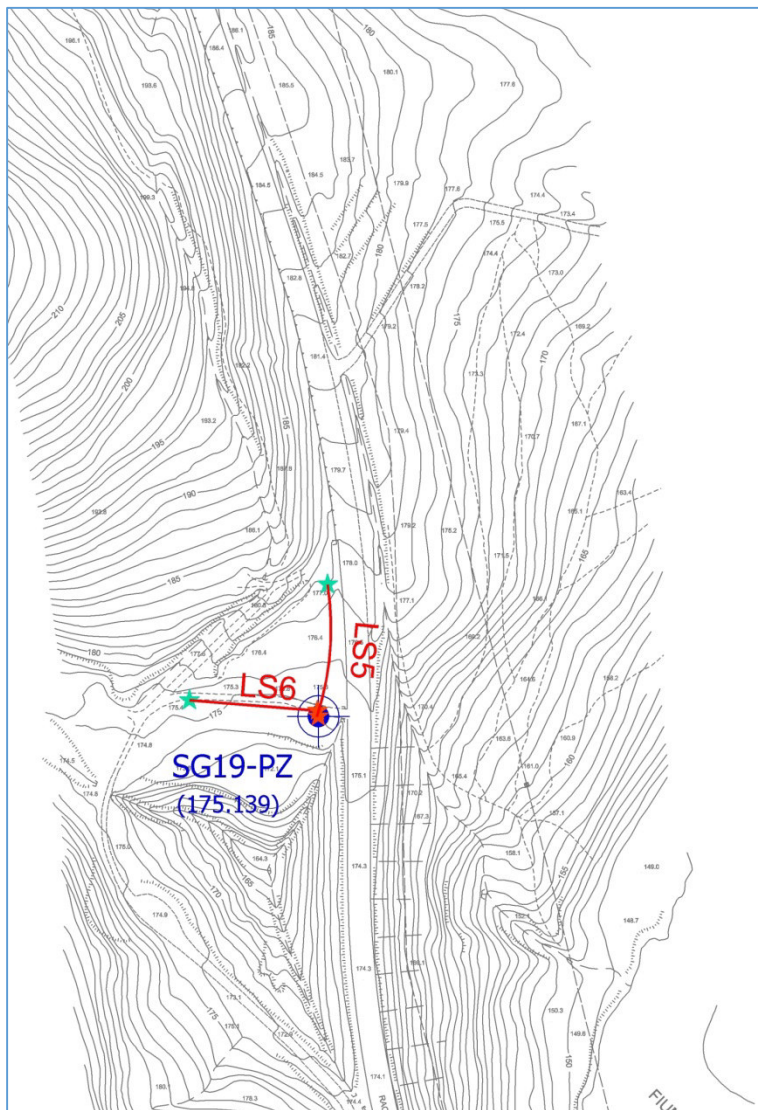


Fig. 2.15 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400.

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 **LS05** hanno permesso di evidenziare tre sismostrati.

Il primo sismostrato si attesta ad una profondità media dal piano campagna compresa tra 5 ed 8 m circa, ed è costituito da limo con ghiaia. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 160 e 360 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 700 e 1.200 m/s.

Il secondo sismostrato si attesta ad una profondità media dal piano campagna di 10 m circa, ed è costituito da argilla con limo debolmente sabbioso. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 360 e 400 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 1.200 e 1.600 m/s.

In profondità, la velocità delle onde sismiche aumenta sino a raggiungere valori di velocità delle onde di taglio compresi tra 400 e 490 m/s, mentre le velocità delle onde P risultano comprese tra 1.600 e 1.900 m/s.

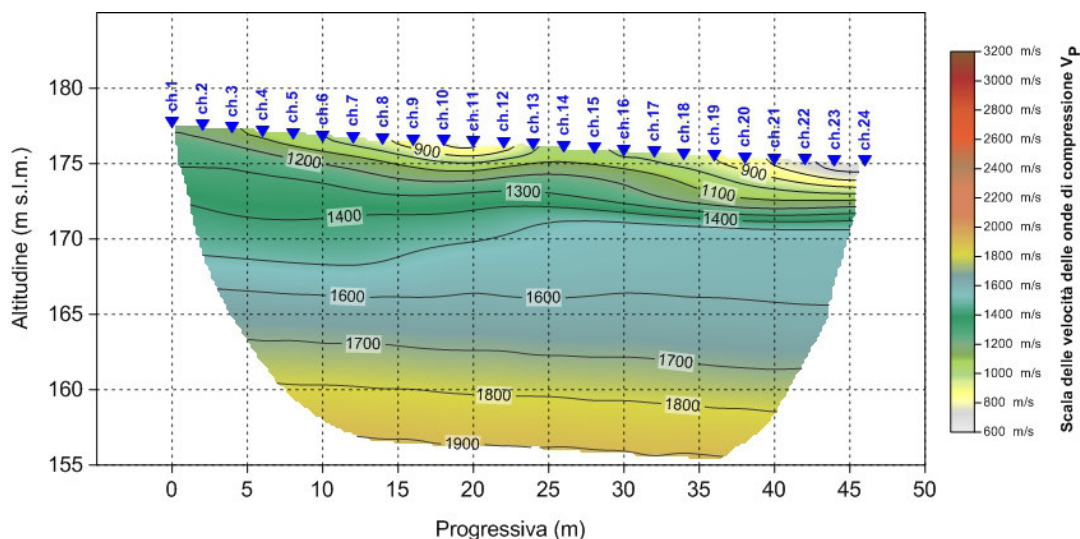


Fig. 2.16 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo LS05.

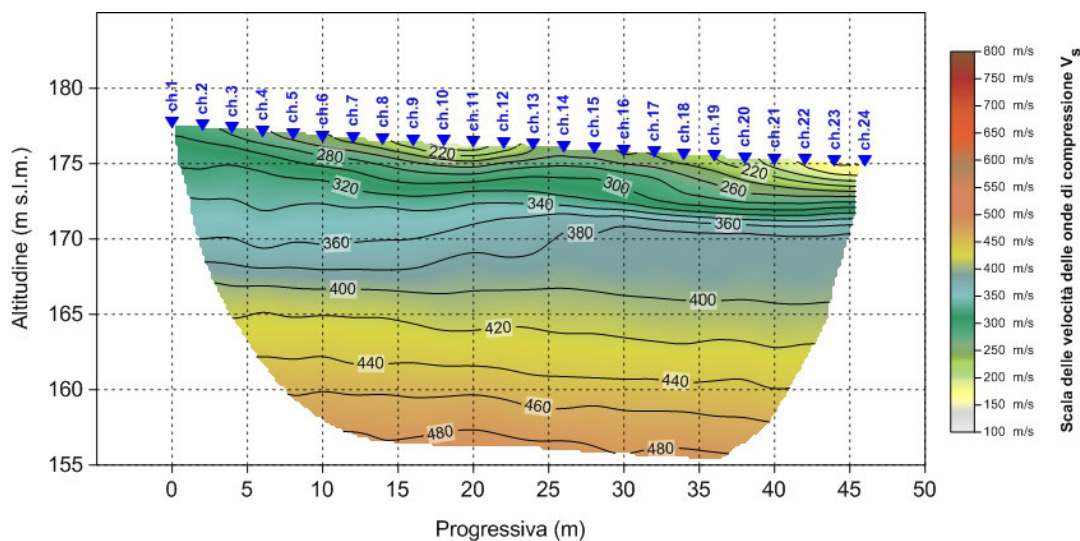


Fig. 2.17 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo LS05.

2.5.4 LS06

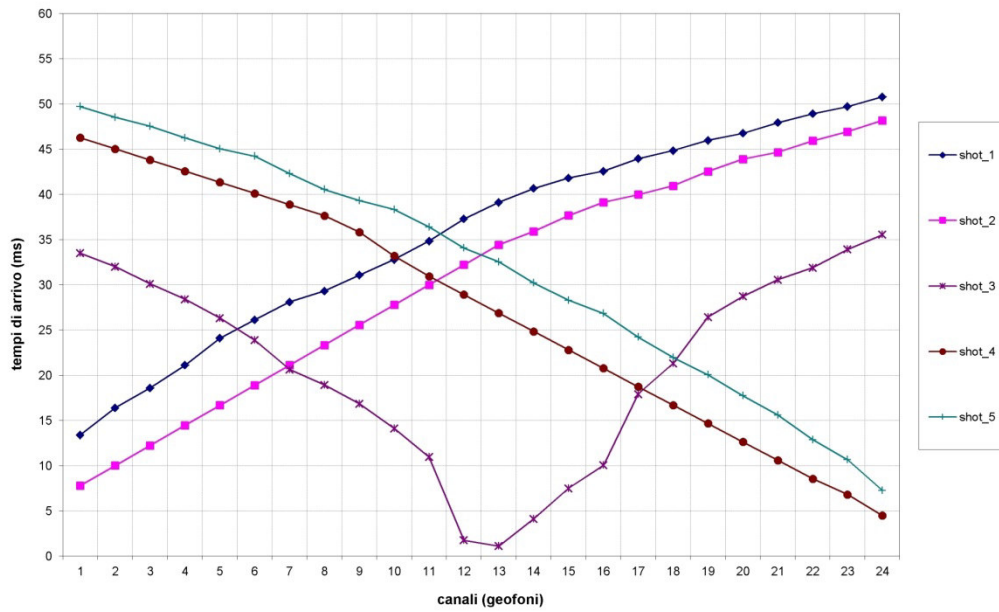


Fig. 2.18 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Tomografia sismica in onde P. Profilo LS06. Dromocrone.

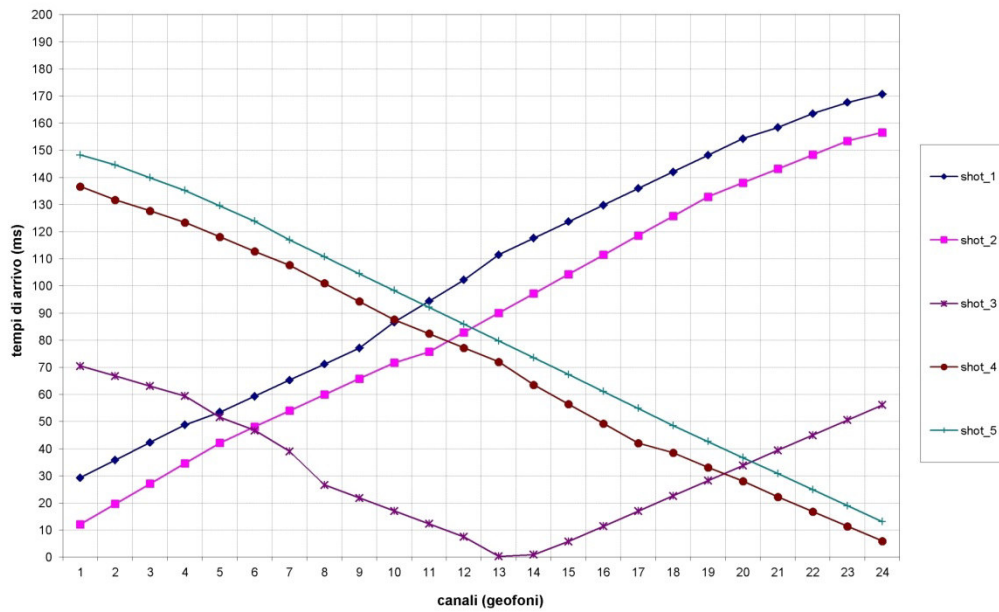


Fig. 2.19 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Tomografia sismica in onde S. Profilo LS06. Dromocrone.

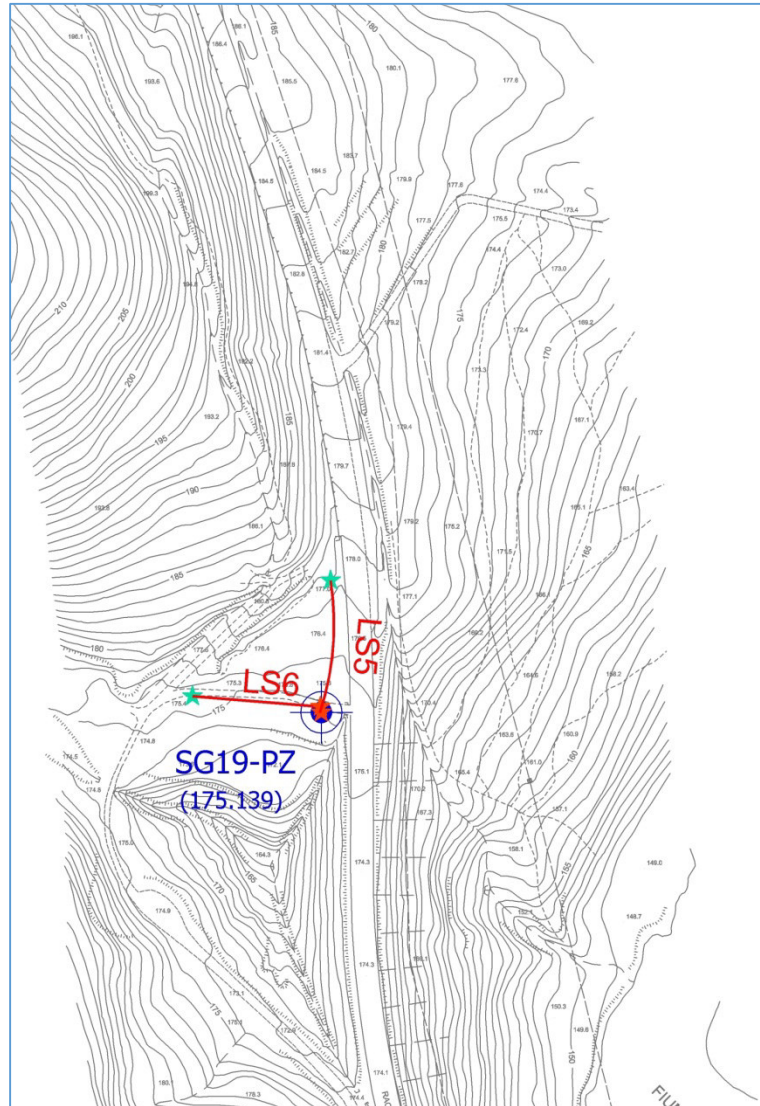


Fig. 2.20 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400.

Stralcio dell'ubicazione indagine.



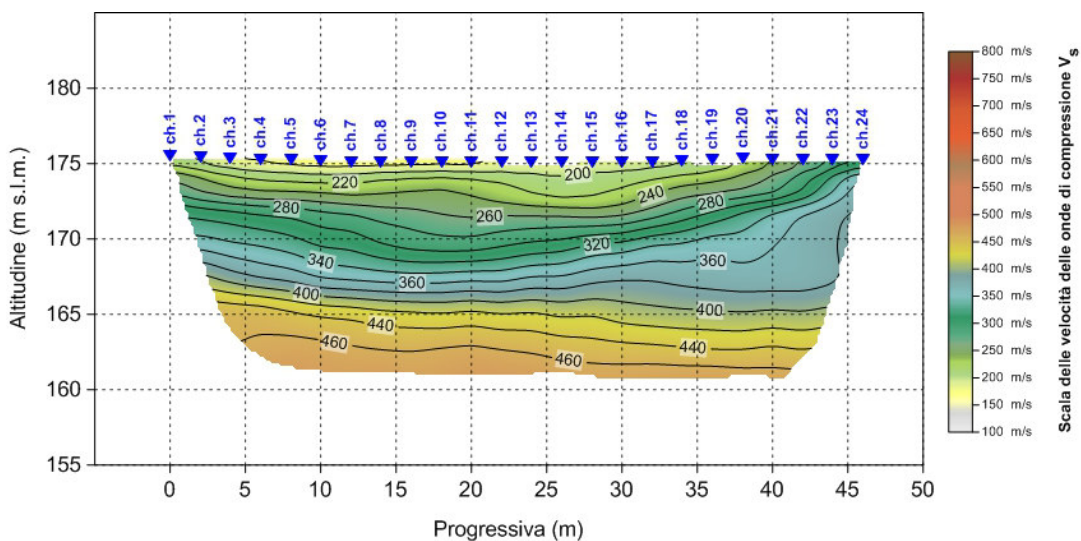
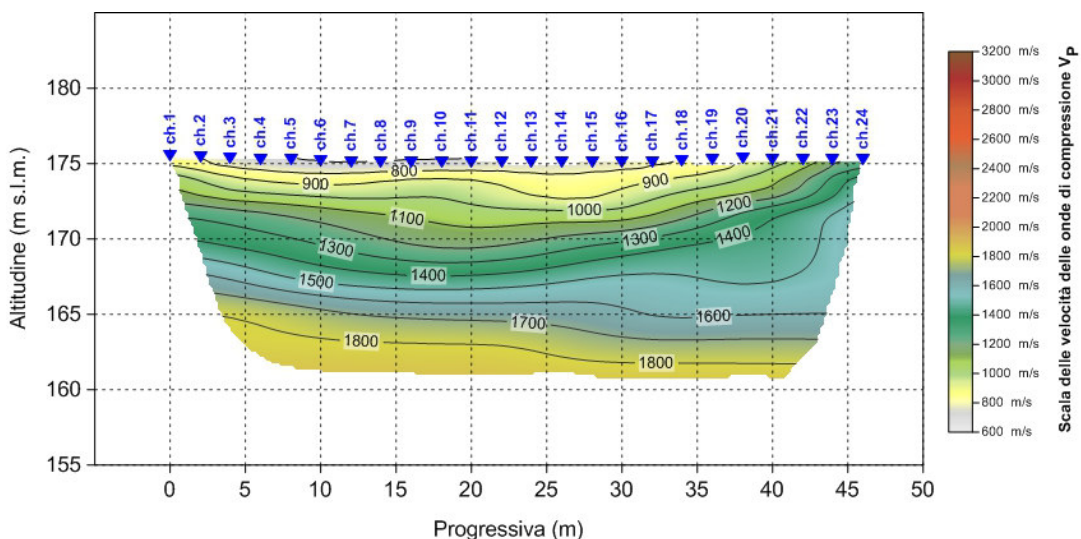
I simboli indicano l'inizio (stella colore ciano) e la fine (stella di colore arancione) del profilo.

Le pseudosezioni elaborate per il profilo sismico **LS06** hanno permesso di evidenziare tre sismostrati.

Il primo sismostrato si attesta ad una profondità media dal piano campagna compresa tra 3 e 7 m circa, ed è costituito da limo con ghiaia. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 180 e 360 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 750 e 1.400 m/s.

Il secondo sismostrato si attesta ad una profondità media dal piano campagna di 10 m circa, ed è costituito da argilla con limo debolmente sabbioso. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 360 e 400 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 1.400 e 1.600 m/s.

In profondità, la velocità delle onde sismiche aumenta sino a raggiungere valori di velocità delle onde di taglio compresi tra 400 e 480 m/s, mentre le velocità delle onde P risultano comprese tra 1.600 e 1.850 m/s.



2.5.5 LS07

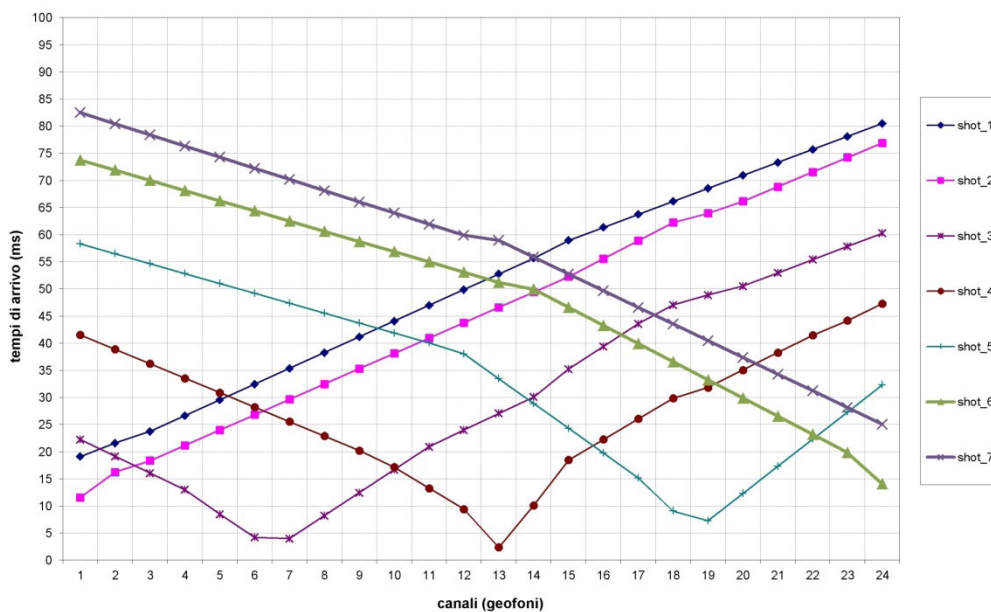


Fig. 2.23 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Tomografia sismica in onde P. Profilo LS07. Dromocrone.

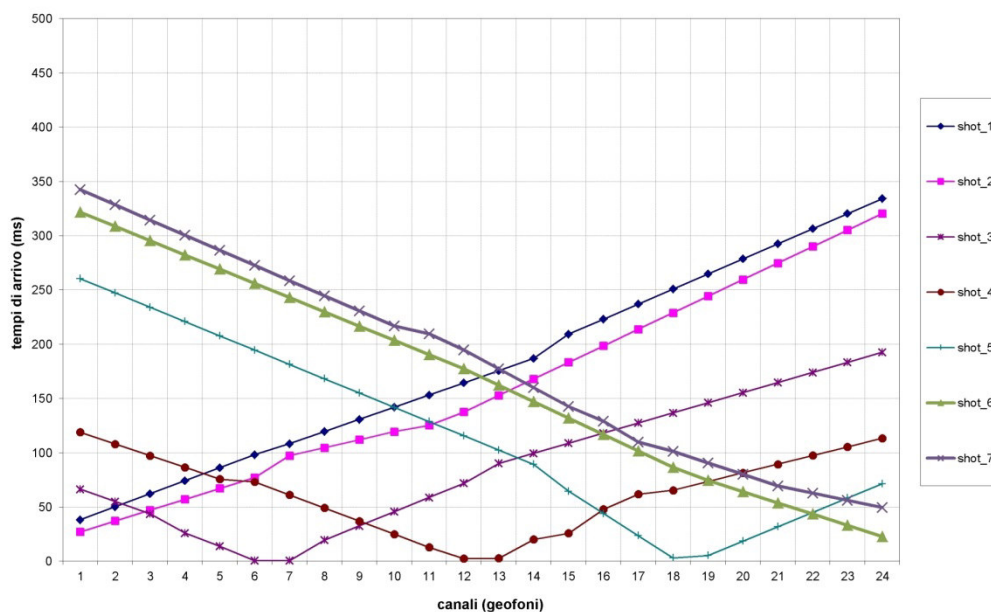


Fig. 2.24 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Tomografia sismica in onde S. Profilo LS07. Dromocrone.

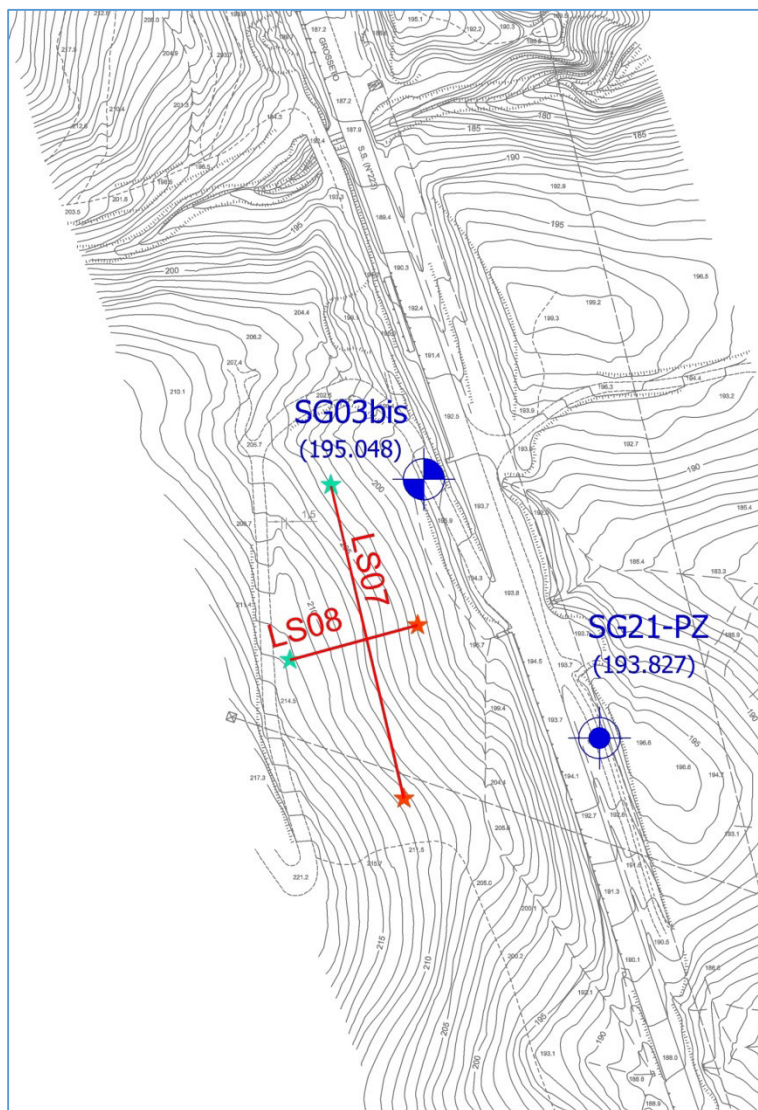


Fig. 2.25 - S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400.

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 **LS07** hanno permesso di evidenziare tre sismostrati.

Il primo sismostrato si attesta ad una profondità media dal piano campagna compresa tra 4 ed 8 m circa, ed è costituito da sabbie, ghiaie, limo argilloso. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 250 e 400 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 1.250 e 1.600 m/s.

Il secondo sismostrato si attesta ad una profondità dal piano campagna variabile e compresa tra 8 e 25 m circa. Esso è costituito da depositi prevalentemente argillosi con sabbie e ghiaie. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 400 e 460 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 1.600 e 1.800 m/s.

In profondità e verso il termine della pseudosezione, la velocità delle onde sismiche aumenta sino a raggiungere valori di velocità delle onde di taglio pari a 490 m/s, mentre le velocità delle onde P risultano comprese tra 1.800 e 2.100 m/s.

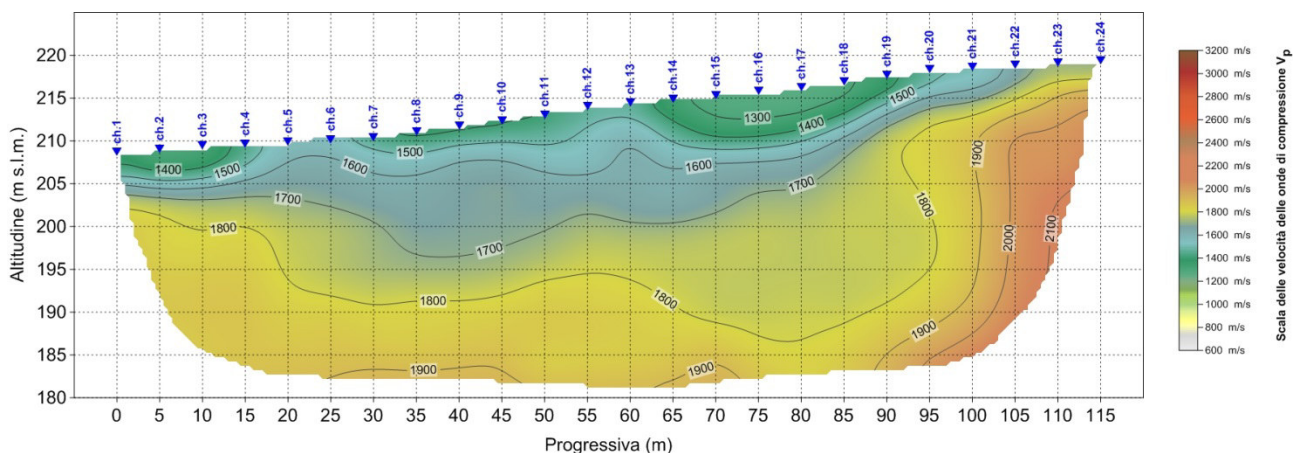


Fig. 2.26 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo LS07.

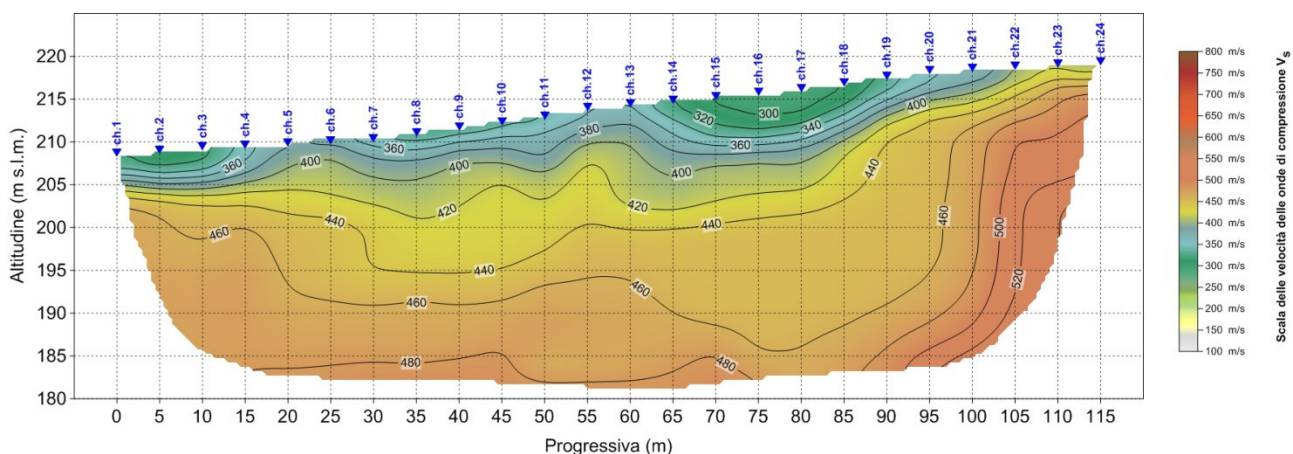


Fig. 2.27 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo LS07.

2.5.6 LS08

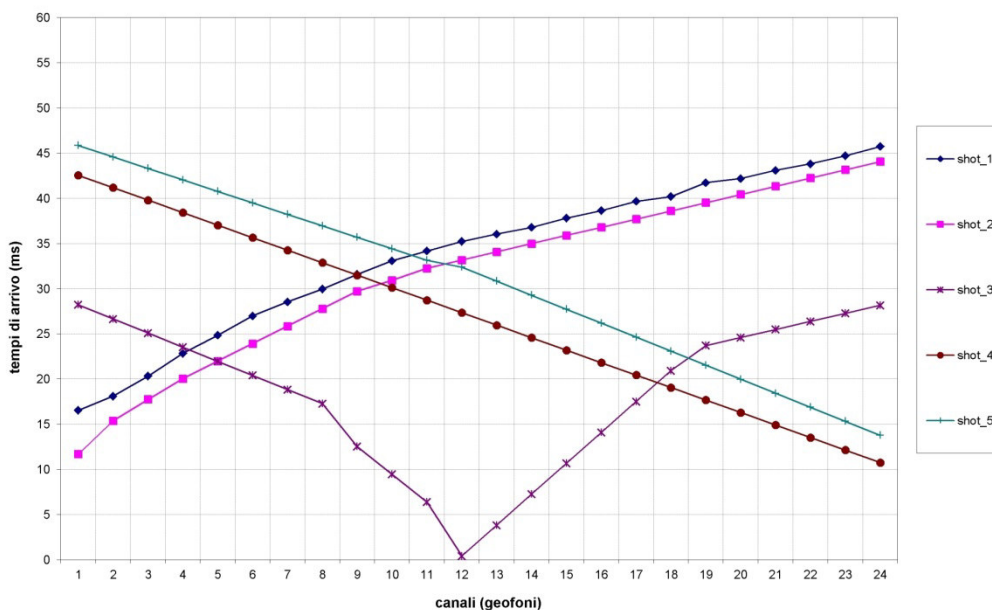


Fig. 2.28 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400.
Tomografia sismica in onde P. Profilo LS08. Dromocrone.

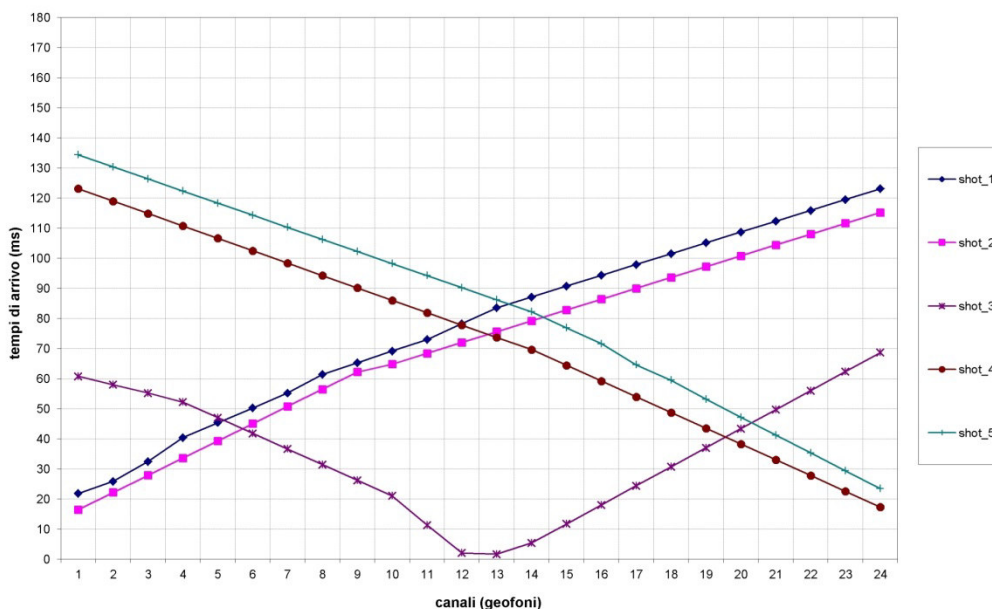


Fig. 2.29 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400.
Tomografia sismica in onde S. Profilo LS08. Dromocrone.

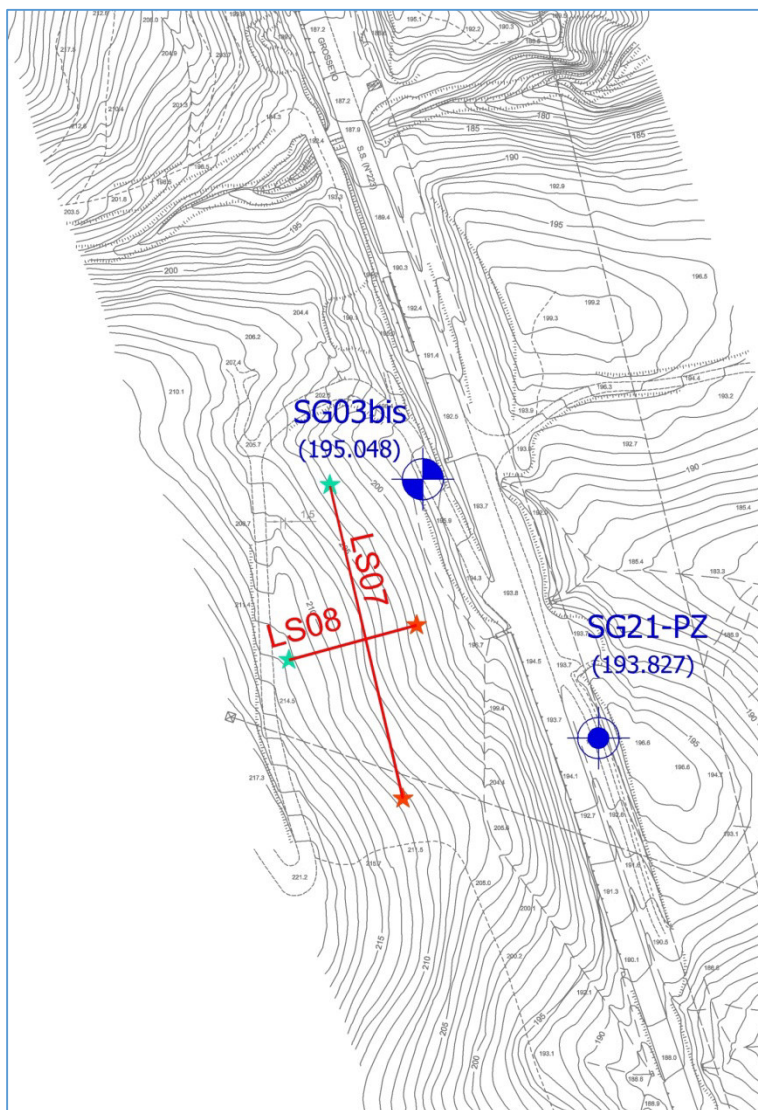


Fig. 2.30 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400.

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 **LS08** hanno permesso di evidenziare tre sismostrati.

Il primo sismostrato si attesta ad una profondità dal piano campagna variabile e compresa tra 3 e 7 m circa, ed è costituito da sabbie, ghiaie, limo argilloso. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 280 e 400 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 950 e 1.600 m/s.

Il secondo sismostrato si attesta ad una profondità dal piano campagna variabile e compresa tra 7 e 12 m circa. Esso è costituito da depositi prevalentemente argillosi con sabbie e ghiaie. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 400 e 460 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 1.600 e 1.900 m/s. In profondità, la velocità delle onde sismiche aumenta sino a raggiungere valori di velocità delle onde di taglio pari a 500 m/s, mentre le velocità delle onde P risultano comprese tra 1.900 e 2.250 m/s.

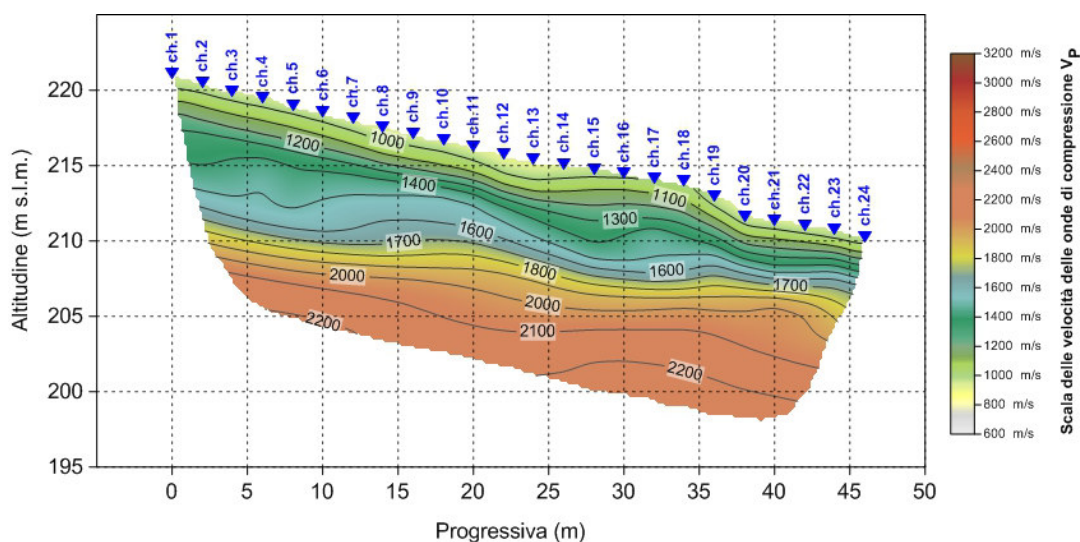


Fig. 2.31 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo LS08.

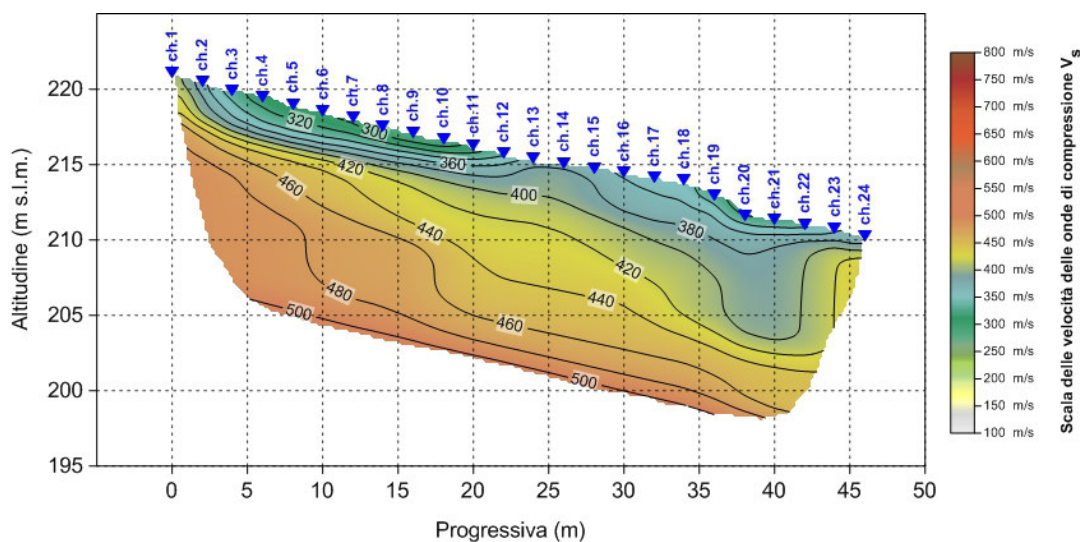


Fig. 2.32 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo LS08.

2.5.7 LS09

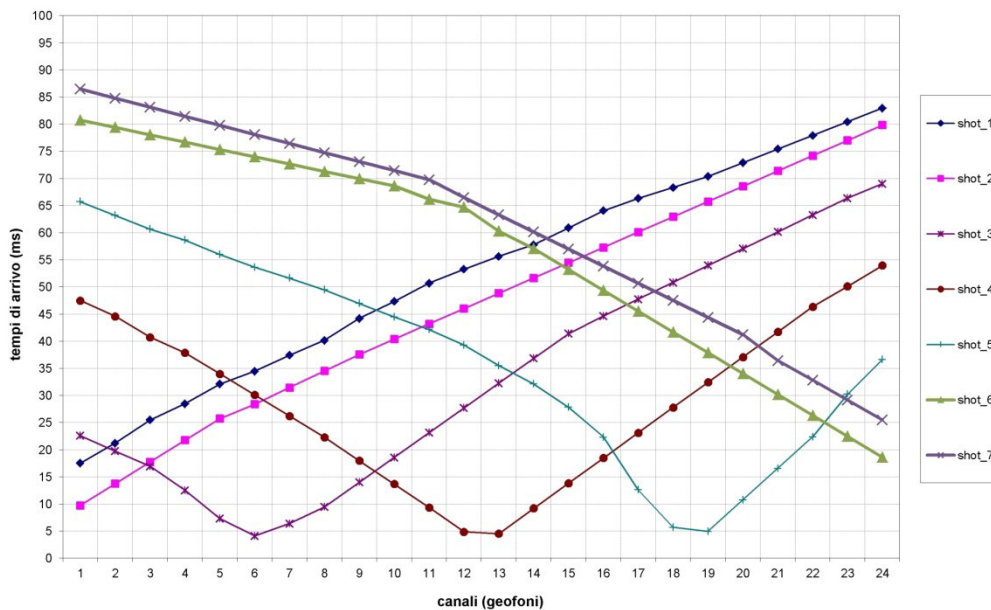


Fig. 2.33 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400.
Tomografia sismica in onde P. Profilo LS09. Dromocrone.

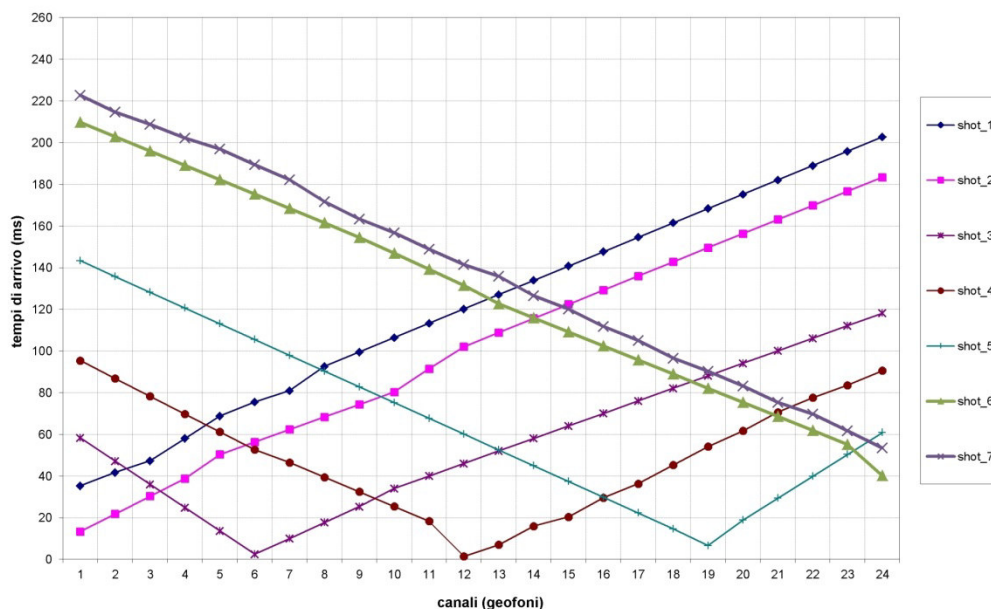


Fig. 2.34 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400.
Tomografia sismica in onde S. Profilo LS09. Dromocrone.



Fig. 2.35 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400.

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 **LS09** hanno permesso di evidenziare tre sismostrati.

Il primo sismostrato si attesta ad una profondità dal piano campagna variabile e compresa tra 2 e 7 m circa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 400 e 600 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 800 e 1.200 m/s.

Il secondo sismostrato si attesta ad una profondità dal piano campagna media pari a 25 m circa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 600 e 800 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 1.200 e 2.100 m/s.

In profondità, la velocità delle onde sismiche aumenta sino a raggiungere valori di velocità delle onde di taglio pari a 880 m/s, mentre le velocità delle onde P risultano comprese tra 2.100 e 2.200 m/s.

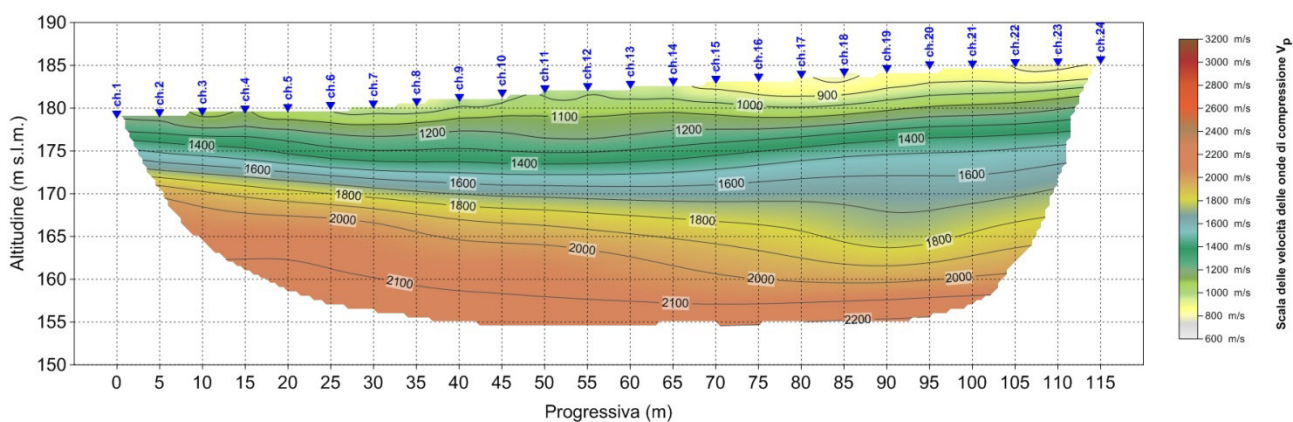


Fig. 2.36 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo LS09.

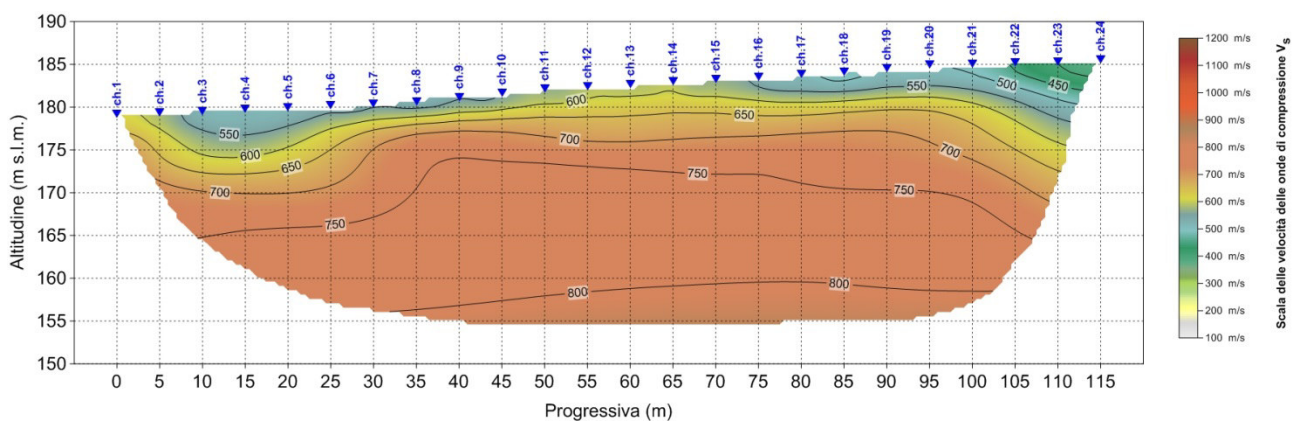


Fig. 2.37 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo LS09.

2.5.8 LS10

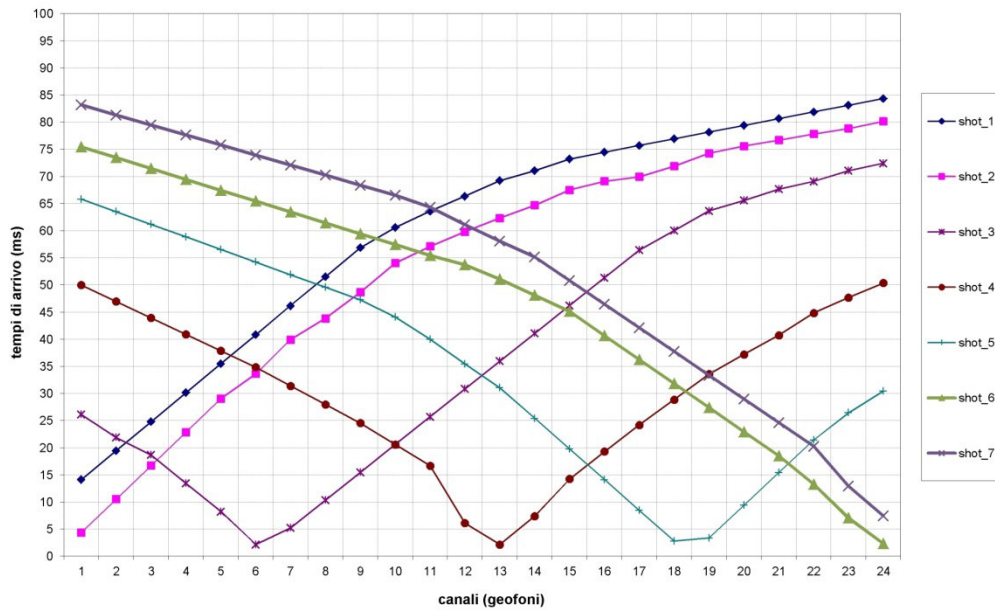


Fig. 2.38 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400.
Tomografia sismica in onde P. Profilo LS10. Dromocrone.

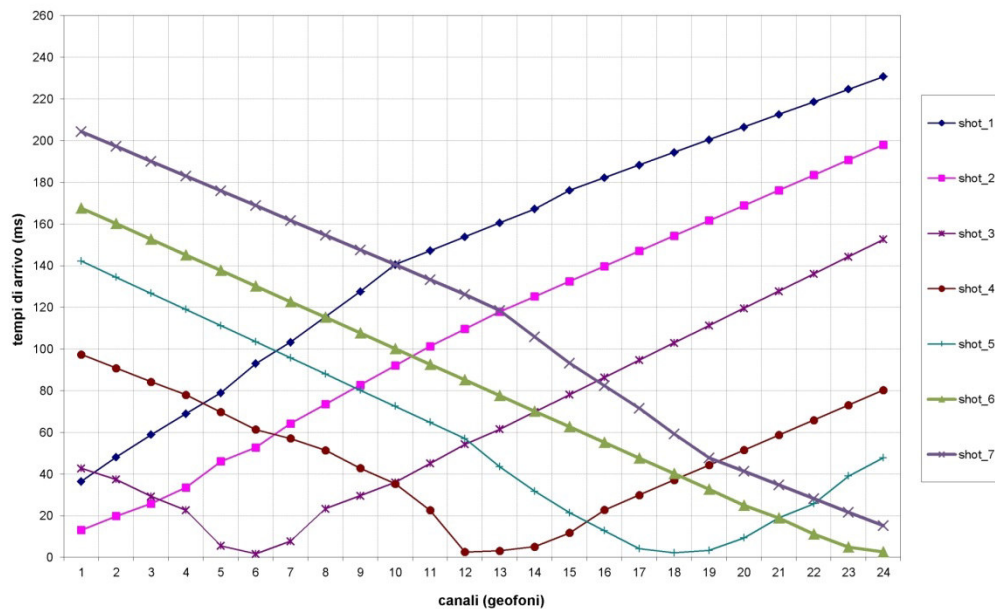


Fig. 2.39 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400.
Tomografia sismica in onde S. Profilo LS10. Dromocrone.



Fig. 2.40 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400.

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 **LS10** hanno permesso di evidenziare tre sismostrati.

Il primo sismostrato è caratterizzato da una morfologia articolata e si rinviene tra l'inizio della pseudosezione e la progressiva 70, raggiungendo una profondità massima dal piano campagna pari a 10 m circa. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 450 e 600 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 800 e 1.200 m/s.

Anche il secondo sismostrato è caratterizzato da una morfologia articolata e si rinviene ai lati della pseudosezione. La velocità delle onde di taglio è compresa tra 600 e 800 m/s, mentre la velocità delle onde P è compresa tra 1.200 e 2.000 m/s. Si sottolinea che la morfologia delle isovelocità delle onde P sono più regolari rispetto a quelle delle onde di taglio. In profondità, la velocità delle onde sismiche aumenta sino a raggiungere valori di velocità delle onde di taglio pari a 890 m/s, mentre le velocità delle onde P risultano comprese tra 2.000 e 2.300 m/s.

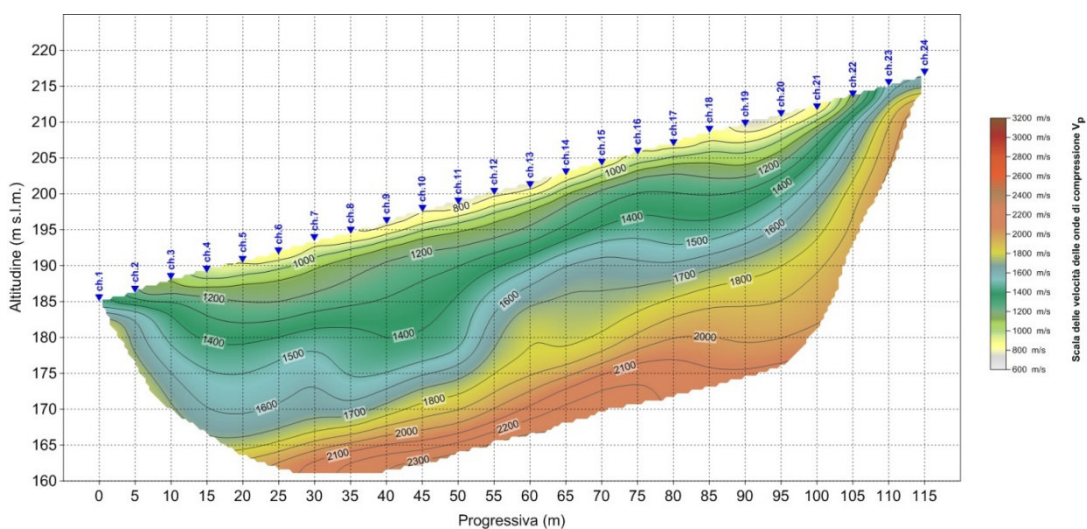


Fig. 2.41 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Pseudosezione sismica tomografica in onde P. Profilo LS10.

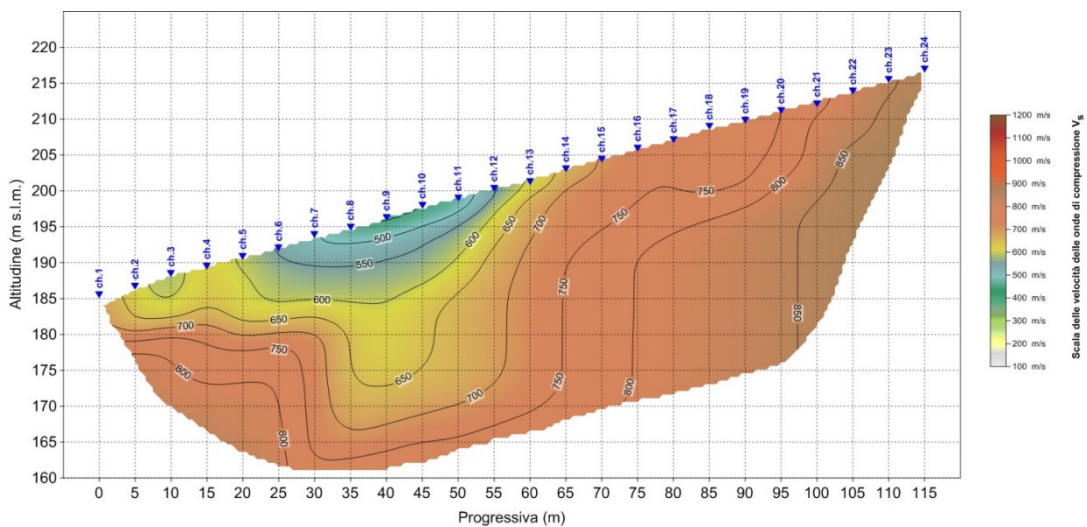


Fig. 2.42 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Pseudosezione sismica tomografica in onde S. Profilo LS10.

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).

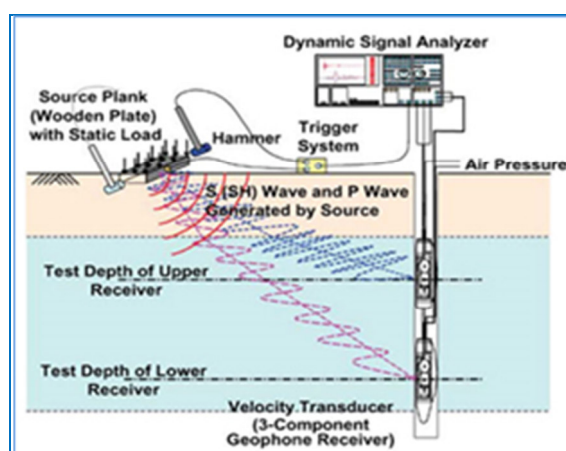


Fig. 3.1 – Schema di sistema di acquisizione per prove sismiche in foro tipo down-hole.

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.

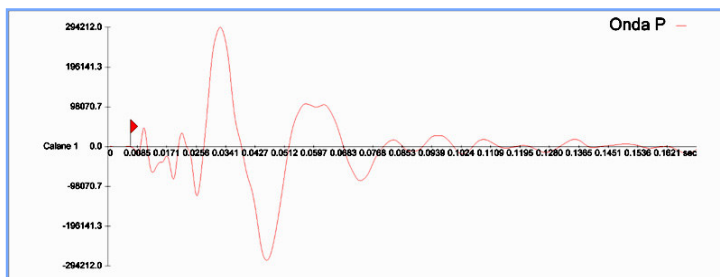


Fig. 3.2 - Esempio di onda P e di lettura del primo tempo di arrivo.

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).

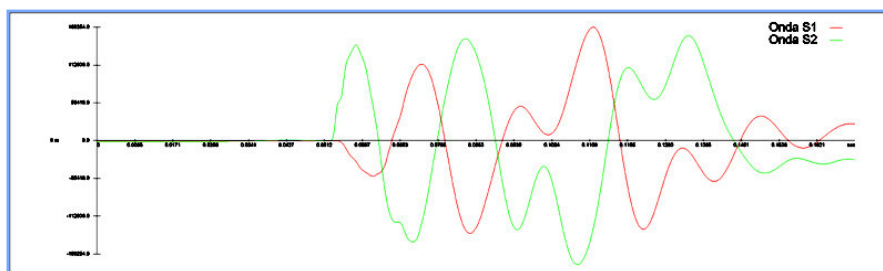


Fig. 3.3 - Esempio di onda S e dell'inversione di fase necessaria per l'individuazione del tempo di arrivo dell'onda di taglio (onda S).

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 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.)
SG01-DH	50,00	686878,150	4776748,017	156,074
SG05-DH	45,00	686023,054	4780123,904	163,711
SG08-DH	45,00	685983,362	4781857,045	179,755
SG09-DH	45,00	685146,845	4783103,671	197,933
SG10-DH	45,00	684962,644	4785405,077	178,388
SG11-DH	45,00	684820,533	4787612,122	184,308

Tab. 3.1 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. 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 elastici¹ ovvero del coefficiente di Poisson (ν) e dei parametri elastici G, E, K in forma tabellare e grafica.

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

3.4.1 SG01-DH

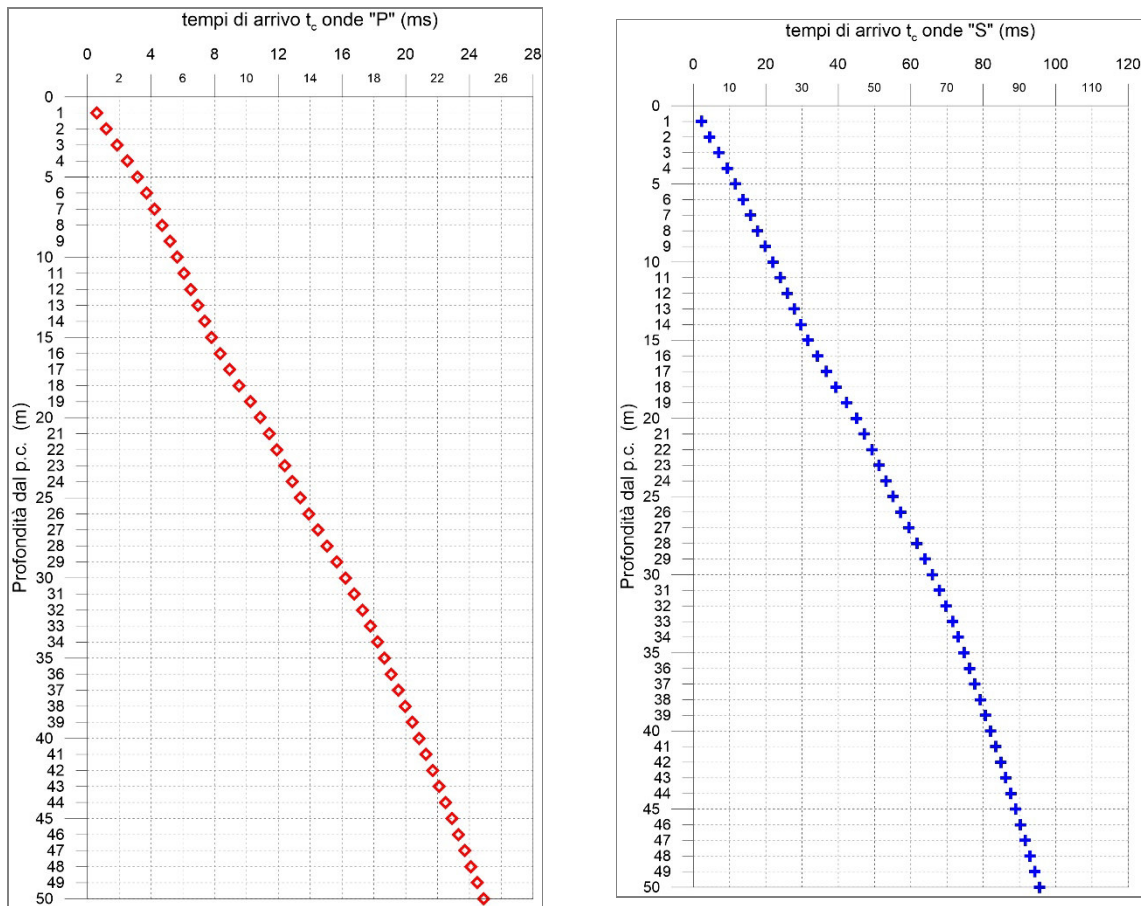


Fig. 3.4 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "S", in funzione della profondità dal p.c.

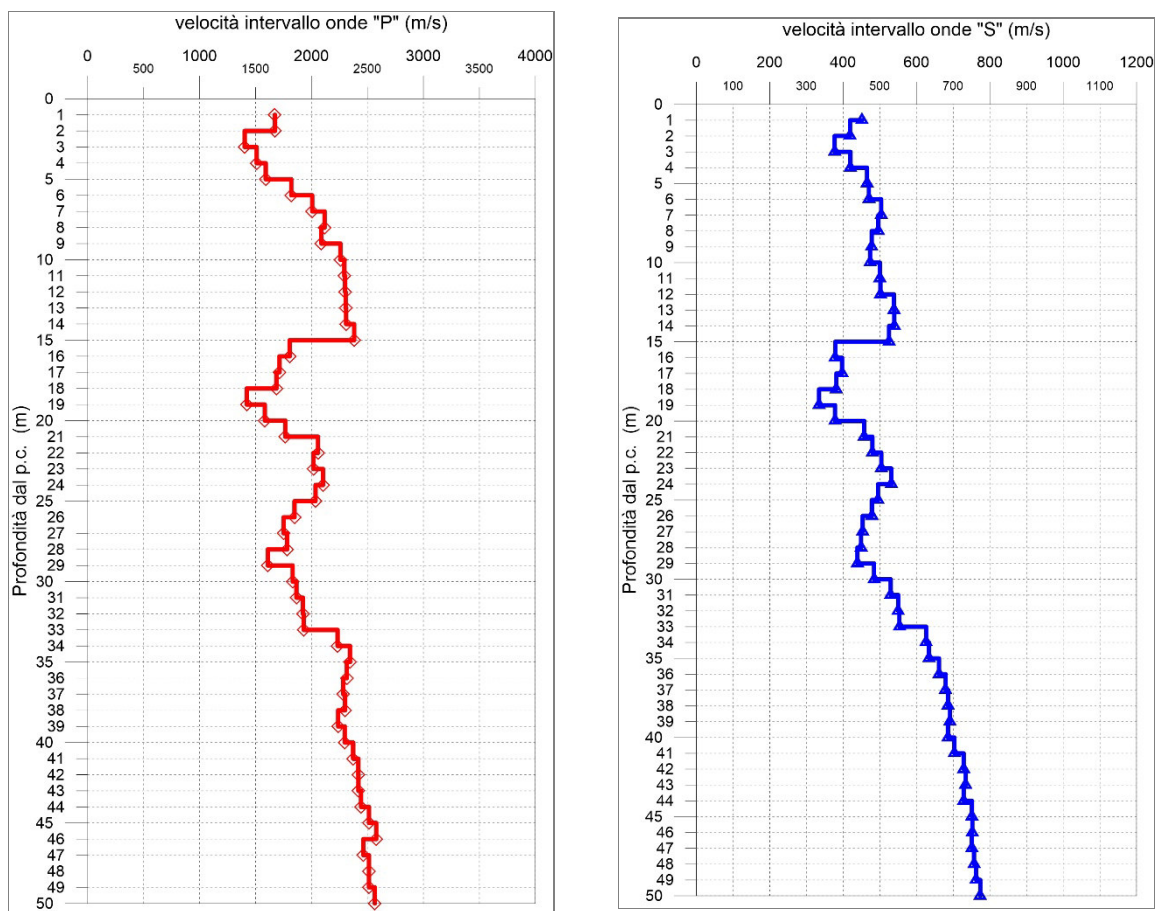


Fig. 3.5 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "S", In funzione della profondità dal p.c.

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	1,34	4,95	0,60	2,21	1671	452	3,7	0,46	1,80	367	1073	4534
2	1,69	6,36	1,20	4,50	1674	419	4,0	0,47	1,93	339	994	4957
3	2,25	8,43	1,87	7,01	1403	377	3,7	0,46	1,93	274	800	3435
4	2,82	10,49	2,52	9,38	1510	420	3,6	0,46	1,93	340	993	3948
5	3,39	12,45	3,15	11,56	1591	465	3,4	0,45	1,93	417	1213	4329
6	3,91	14,45	3,71	13,71	1820	470	3,9	0,46	1,93	427	1251	5823
7	4,39	16,35	4,22	15,72	2007	504	4,0	0,47	1,93	490	1436	7119
8	4,84	18,29	4,70	17,75	2118	496	4,3	0,47	1,93	475	1398	8023
9	5,31	20,33	5,18	19,85	2088	478	4,4	0,47	1,93	441	1298	7826
10	5,74	22,40	5,63	21,96	2259	474	4,8	0,48	1,93	433	1279	9270
11	6,17	24,36	6,07	23,97	2294	500	4,6	0,48	1,93	483	1425	9508
12	6,60	26,32	6,51	25,97	2300	502	4,6	0,48	1,93	486	1434	9564
13	7,03	28,16	6,94	27,83	2305	539	4,3	0,47	1,93	560	1647	9512
14	7,45	29,99	7,38	29,69	2310	540	4,3	0,47	1,97	574	1688	9744
15	7,87	31,88	7,80	31,60	2382	525	4,5	0,47	1,97	543	1603	10453
16	8,42	34,50	8,35	34,23	1806	379	4,8	0,48	1,97	282	834	6047
17	9,00	36,99	8,94	36,74	1714	397	4,3	0,47	1,97	311	915	5372
18	9,59	39,60	9,53	39,36	1686	382	4,4	0,47	1,97	287	845	5218
19	10,29	42,57	10,23	42,34	1422	334	4,3	0,47	1,97	220	648	3689
20	10,92	45,20	10,86	44,98	1583	378	4,2	0,47	1,97	281	827	4559
21	11,48	47,38	11,43	47,17	1766	458	3,9	0,46	1,97	412	1207	5591
22	11,96	49,46	11,91	49,25	2059	480	4,3	0,47	1,97	453	1334	7743
23	12,46	51,43	12,41	51,24	2018	504	4,0	0,47	1,97	501	1469	7351
24	12,93	53,31	12,89	53,12	2103	531	4,0	0,47	1,97	556	1630	7975
25	13,42	55,32	13,38	55,14	2037	495	4,1	0,47	1,97	483	1420	7526
26	13,96	57,40	13,92	57,23	1848	478	3,9	0,46	1,97	451	1320	6126
27	14,53	59,60	14,49	59,44	1751	453	3,9	0,46	2,09	429	1257	5835
28	15,09	61,82	15,05	61,67	1783	449	4,0	0,47	2,09	421	1235	6080
29	15,71	64,10	15,67	63,94	1610	439	3,7	0,46	2,09	403	1176	4882
30	16,25	66,16	16,22	66,01	1832	484	3,8	0,46	2,09	490	1433	6364
31	16,79	68,04	16,75	67,90	1865	530	3,5	0,46	2,09	587	1708	6489
32	17,31	69,85	17,27	69,72	1923	550	3,5	0,46	2,09	633	1842	6884
33	17,82	71,66	17,79	71,53	1931	553	3,5	0,46	2,09	640	1863	6936
34	18,27	73,25	18,24	73,12	2233	626	3,6	0,46	2,09	820	2390	9329
35	18,70	74,83	18,67	74,70	2344	634	3,7	0,46	2,09	840	2454	10363
36	19,13	76,34	19,10	76,22	2316	661	3,5	0,46	2,09	914	2662	9991
37	19,57	77,80	19,54	77,69	2284	679	3,4	0,45	2,09	965	2801	9620
38	20,00	79,26	19,97	79,15	2300	686	3,4	0,45	2,09	984	2857	9747
39	20,45	80,70	20,42	80,60	2239	692	3,2	0,45	2,09	1000	2894	9141
40	20,88	82,16	20,85	82,06	2297	686	3,3	0,45	2,09	983	2853	9721
41	21,30	83,58	21,28	83,48	2372	703	3,4	0,45	2,09	1033	3000	10385
42	21,71	84,95	21,69	84,85	2419	729	3,3	0,45	2,09	1110	3220	10744
43	22,13	86,31	22,10	86,22	2419	734	3,3	0,45	2,09	1127	3266	10724
44	22,54	87,68	22,51	87,59	2442	729	3,4	0,45	2,09	1110	3223	10987
45	22,93	89,01	22,91	88,92	2513	751	3,3	0,45	2,09	1179	3422	11628
46	23,32	90,34	23,30	90,25	2578	752	3,4	0,45	2,09	1183	3439	12315
47	23,73	91,67	23,71	91,59	2464	751	3,3	0,45	2,09	1178	3413	11117
48	24,12	92,99	24,10	92,91	2513	757	3,3	0,45	2,09	1197	3473	11607
49	24,52	94,30	24,50	94,22	2514	763	3,3	0,45	2,09	1216	3524	11584
50	24,91	95,59	24,89	95,51	2565	774	3,3	0,45	2,09	1252	3631	12084

Tab. 3.2 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Indagine down-hole SG01-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.

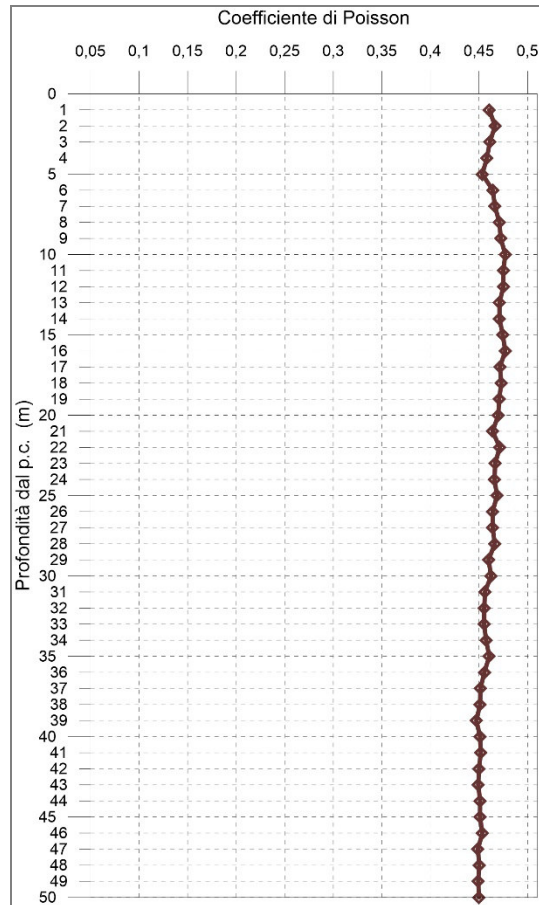


Fig. 3.6 - Diagramma relativo all'andamento del coefficiente di Poisson in funzione della profondità dal p.c..

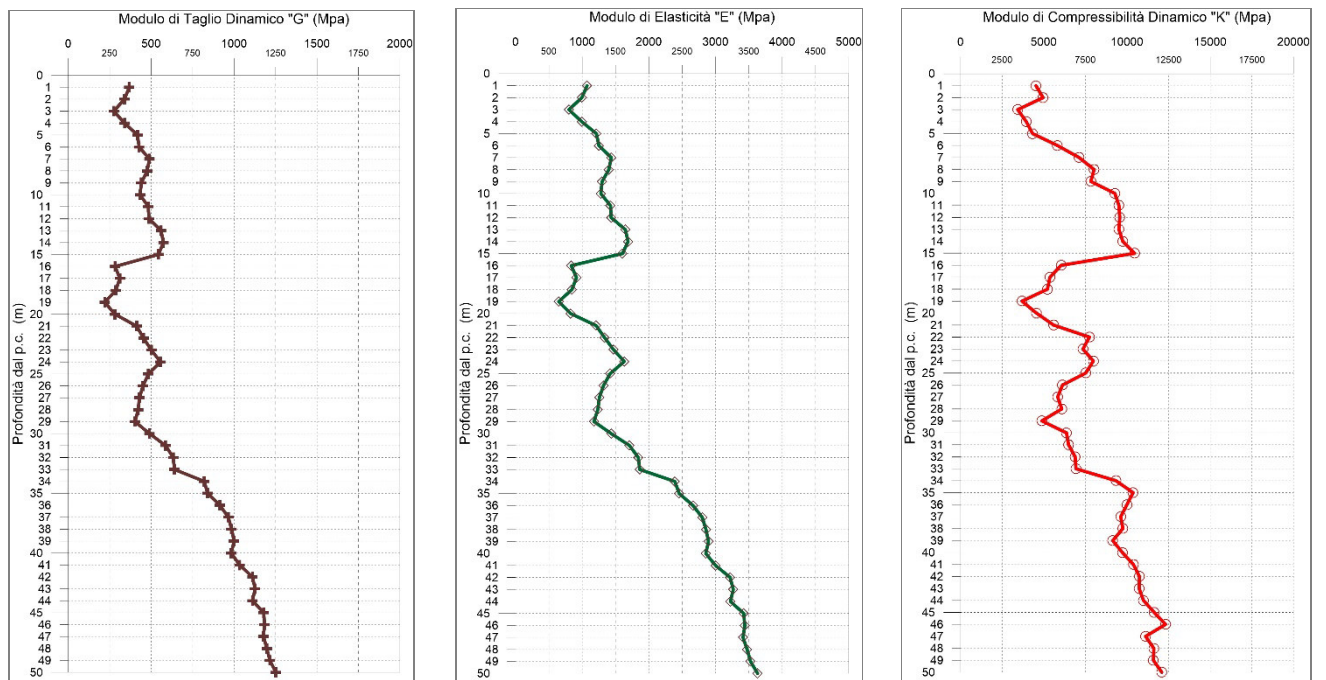


Fig. 3.7 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "G" in funzione della profondità dal p.c. Al centro, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "E" in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "K" in funzione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

3.4.2 SG05-DH

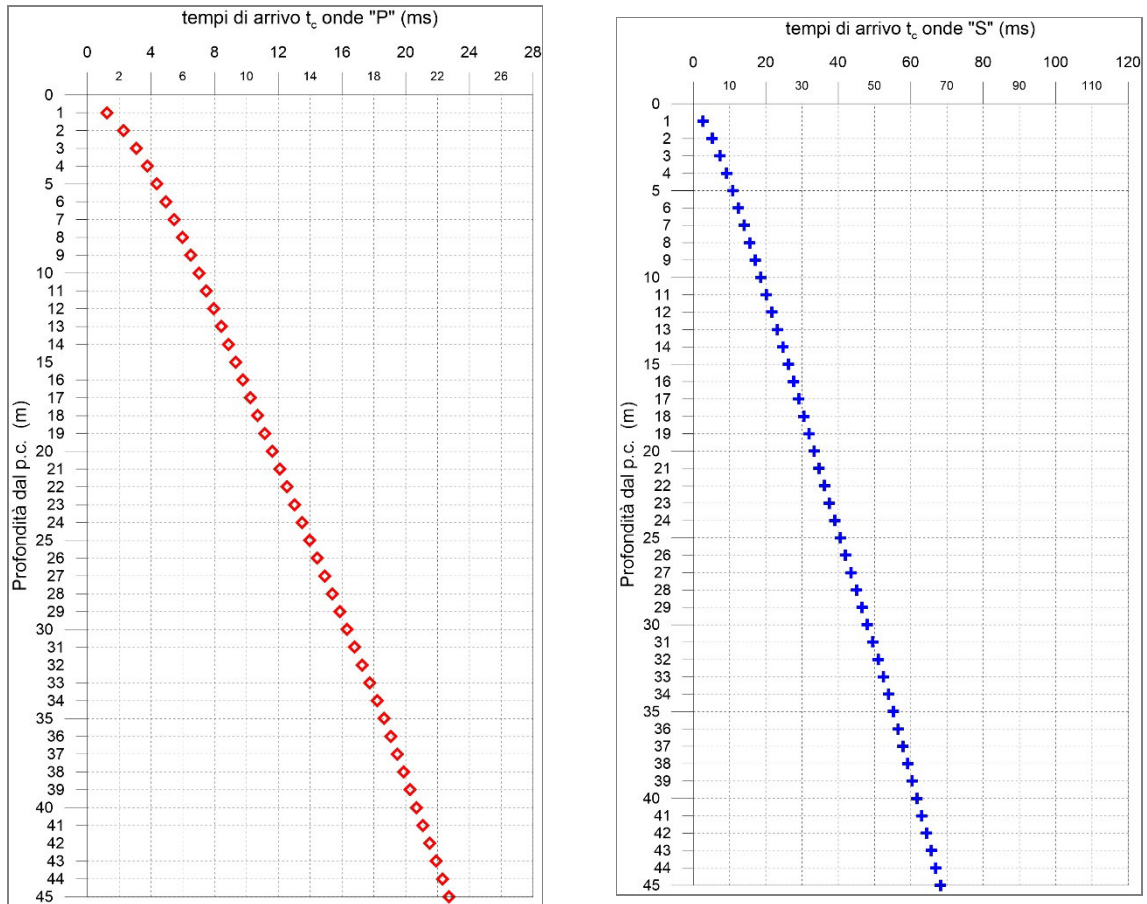


Fig. 3.8 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "S", in funzione della profondità dal p.c.

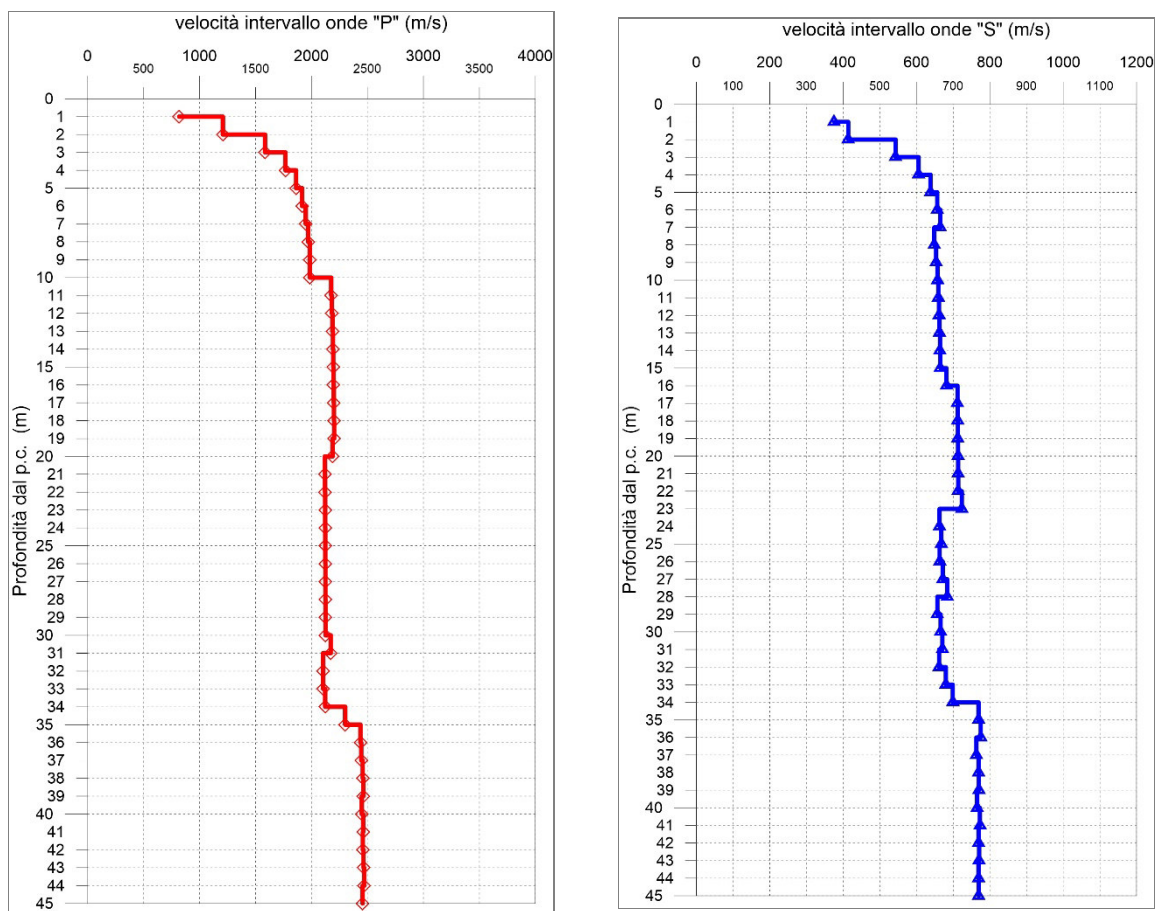


Fig. 3.9 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "S", In funzione della profondità dal p.c.

Profondità (m dal p.c.)	tempi osservati t_0 "P" (ms)	tempi osservati t_0 "S" (ms)	tempi corretti t_c "P" (ms)	tempi corretti t_c "S" (ms)	velocità intervallo V_p (m/s)	velocità intervallo V_s (m/s)	V_p/V_s	Poisson (n)	γ_n gamma NATURALE	G Mpa	E Mpa	K Mpa
1	2,73	5,96	1,22	2,66	818	375	2,2	0,37	1,80	254	693	866
2	3,22	7,39	2,28	5,22	1208	414	2,9	0,43	1,90	326	934	2338
3	3,71	8,82	3,09	7,34	1585	543	2,9	0,43	1,90	561	1607	4024
4	4,20	10,25	3,76	9,17	1767	606	2,9	0,43	1,90	697	1999	5004
5	4,69	11,68	4,36	10,84	1862	638	2,9	0,43	1,90	774	2218	5555
6	5,19	13,11	4,92	12,44	1916	657	2,9	0,43	1,90	819	2348	5881
7	5,68	14,55	5,46	13,99	1949	665	2,9	0,43	1,90	841	2411	6094
8	6,17	16,04	5,98	15,56	1970	649	3,0	0,44	1,90	800	2302	6309
9	6,66	17,53	6,50	17,11	1985	654	3,0	0,44	1,90	812	2336	6403
10	7,15	19,01	7,01	18,64	1985	657	3,0	0,44	1,90	820	2360	6392
11	7,60	20,50	7,48	20,17	2176	660	3,3	0,45	1,90	827	2397	7894
12	8,05	21,99	7,94	21,69	2182	662	3,3	0,45	1,90	832	2410	7940
13	8,50	23,48	8,40	23,21	2187	663	3,3	0,45	1,90	835	2421	7976
14	8,96	24,97	8,87	24,72	2191	664	3,3	0,45	1,90	838	2430	8005
15	9,41	26,46	9,32	26,23	2194	665	3,3	0,45	1,90	841	2437	8028
16	9,86	27,92	9,78	27,70	2197	682	3,2	0,45	1,90	883	2554	7993
17	10,31	29,31	10,24	29,11	2199	712	3,1	0,44	1,90	963	2775	7908
18	10,76	30,70	10,69	30,52	2201	712	3,1	0,44	1,90	964	2780	7915
19	11,21	32,10	11,15	31,92	2202	713	3,1	0,44	1,90	965	2783	7930
20	11,67	33,49	11,61	33,33	2189	713	3,1	0,44	2,13	1084	3122	8759
21	12,14	34,89	12,08	34,73	2121	714	3,0	0,44	2,13	1085	3116	8134
22	12,61	36,28	12,55	36,13	2121	714	3,0	0,44	2,13	1086	3118	8137
23	13,07	37,66	13,03	37,52	2122	724	2,9	0,43	2,13	1116	3200	8108
24	13,54	39,16	13,50	39,03	2123	663	3,2	0,45	2,13	936	2707	8349
25	14,01	40,66	13,97	40,53	2124	668	3,2	0,45	2,13	949	2744	8341
26	14,48	42,16	14,44	42,03	2124	663	3,2	0,45	2,13	937	2710	8358
27	14,95	43,64	14,91	43,52	2125	672	3,2	0,44	2,01	907	2619	7866
28	15,42	45,10	15,38	44,99	2125	684	3,1	0,44	2,01	940	2710	7822
29	15,89	46,62	15,85	46,51	2126	657	3,2	0,45	2,01	867	2510	7925
30	16,36	48,12	16,32	48,01	2125	666	3,2	0,45	2,01	891	2575	7893
31	16,82	49,61	16,78	49,50	2173	671	3,2	0,45	2,01	904	2616	8282
32	17,29	51,12	17,26	51,02	2104	662	3,2	0,45	2,01	880	2544	7722
33	17,77	52,58	17,74	52,49	2104	680	3,1	0,44	2,01	929	2679	7662
34	18,24	54,01	18,21	53,92	2122	699	3,0	0,44	2,01	982	2827	7742
35	18,67	55,31	18,64	55,22	2301	769	3,0	0,44	2,01	1189	3417	9060
36	19,08	56,60	19,05	56,51	2437	775	3,1	0,44	2,01	1208	3487	10326
37	19,49	57,91	19,46	57,82	2445	763	3,2	0,45	2,13	1241	3589	11078
38	19,90	59,20	19,87	59,12	2458	769	3,2	0,45	2,13	1260	3644	11186
39	20,30	60,50	20,28	60,42	2464	770	3,2	0,45	2,13	1263	3651	11248
40	20,71	61,81	20,68	61,73	2450	765	3,2	0,45	2,13	1247	3607	11119
41	21,12	63,10	21,09	63,02	2461	773	3,2	0,45	2,13	1273	3679	11206
42	21,52	64,40	21,50	64,32	2458	769	3,2	0,45	2,13	1261	3646	11191
43	21,93	65,69	21,90	65,62	2465	771	3,2	0,45	2,13	1265	3658	11251
44	22,33	66,99	22,31	66,92	2471	769	3,2	0,45	2,13	1259	3643	11324
45	22,74	68,29	22,72	68,22	2457	770	3,2	0,45	2,13	1261	3647	11176

Tab. 3.3 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Indagine down-hole SG05-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.

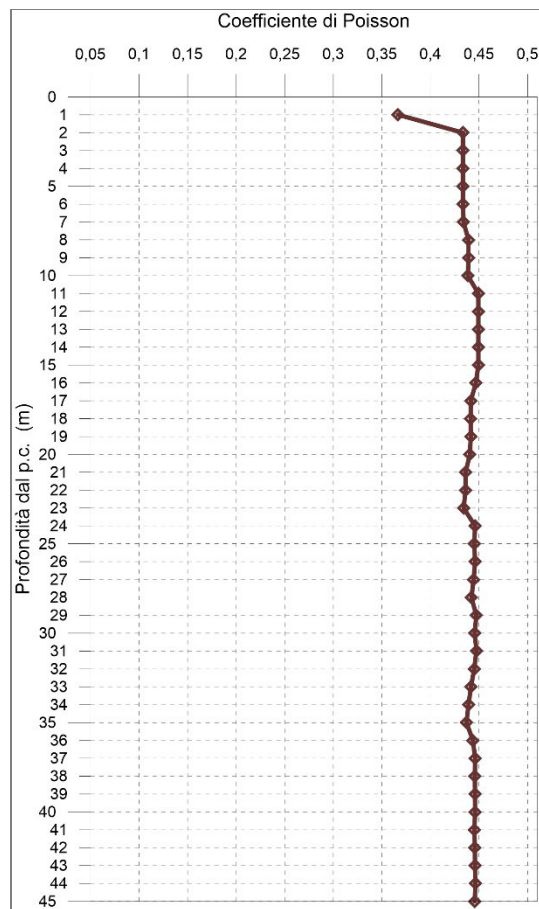


Fig. 3.10 - Diagramma relativo all'andamento del coefficiente di Poisson in funzione della profondità dal p.c..

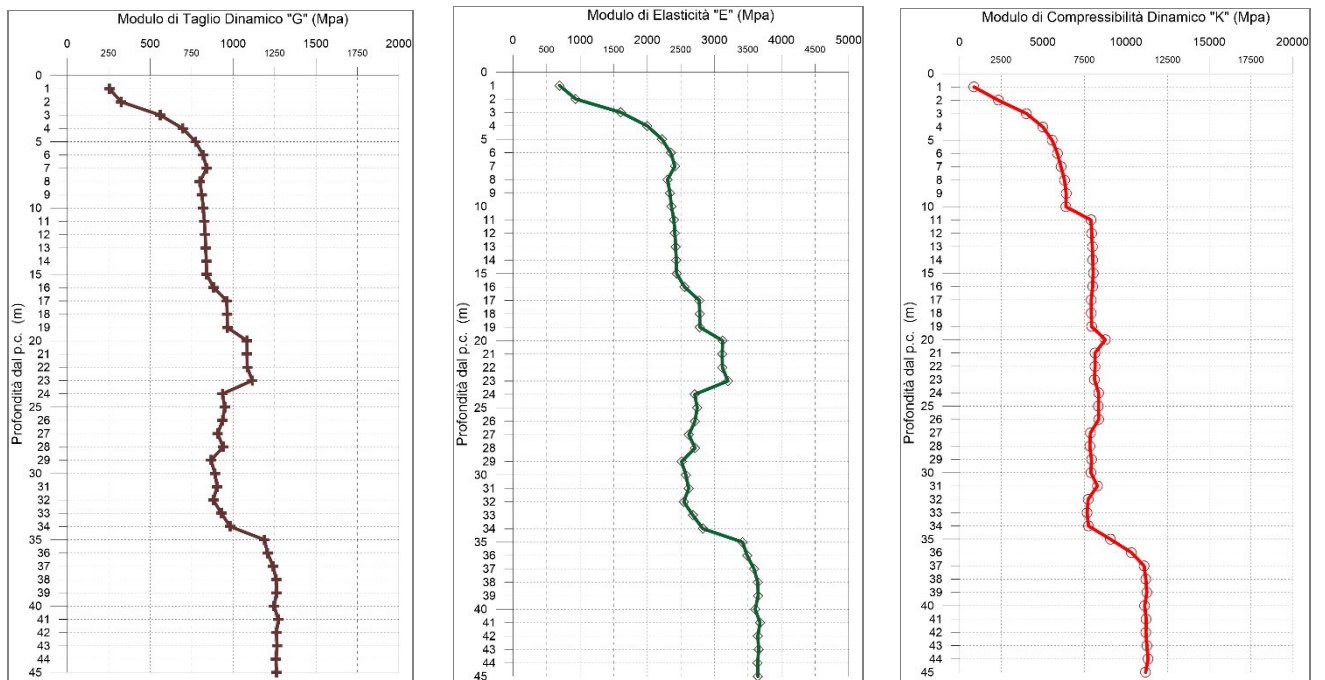


Fig. 3.11 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "G" in funzione della profondità dal p.c. Al centro, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "E" in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "K" in funzione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

3.4.3 SG08-DH

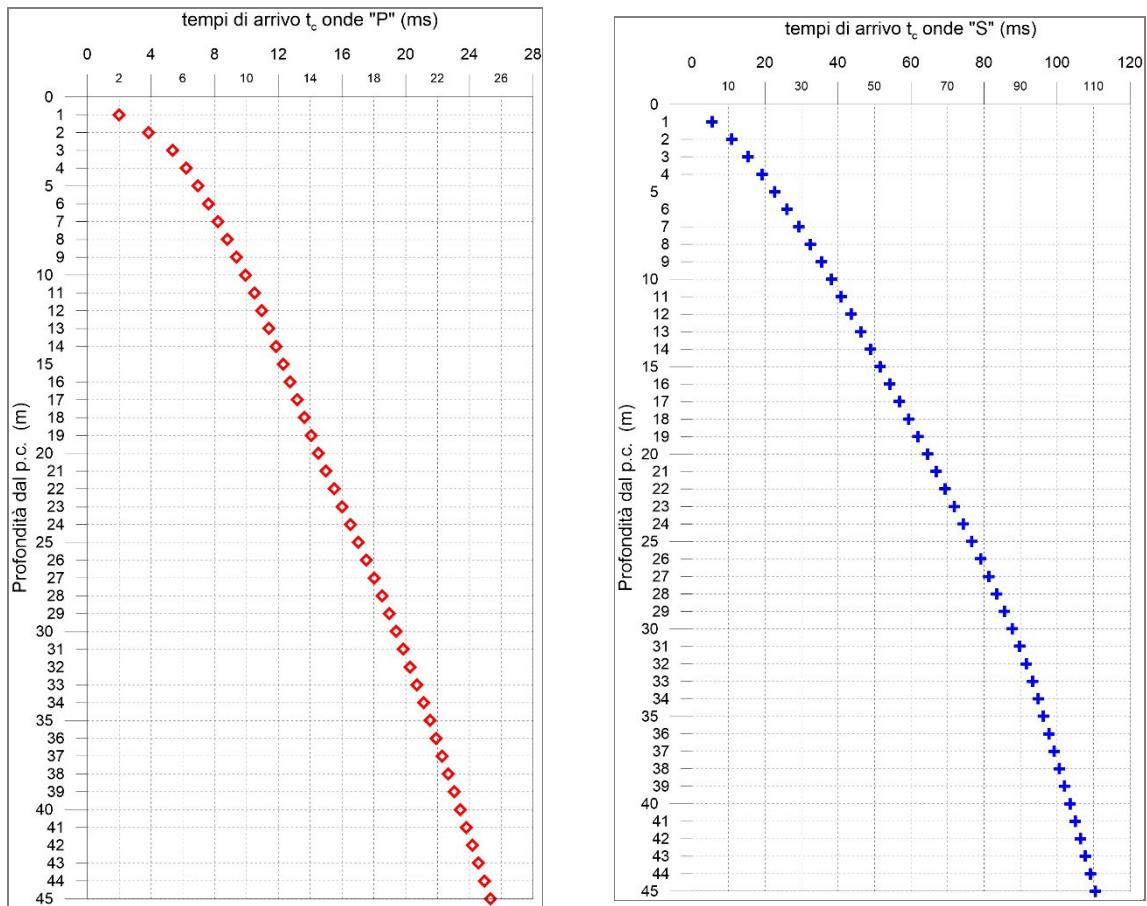


Fig. 3.12 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "S", in funzione della profondità dal p.c.

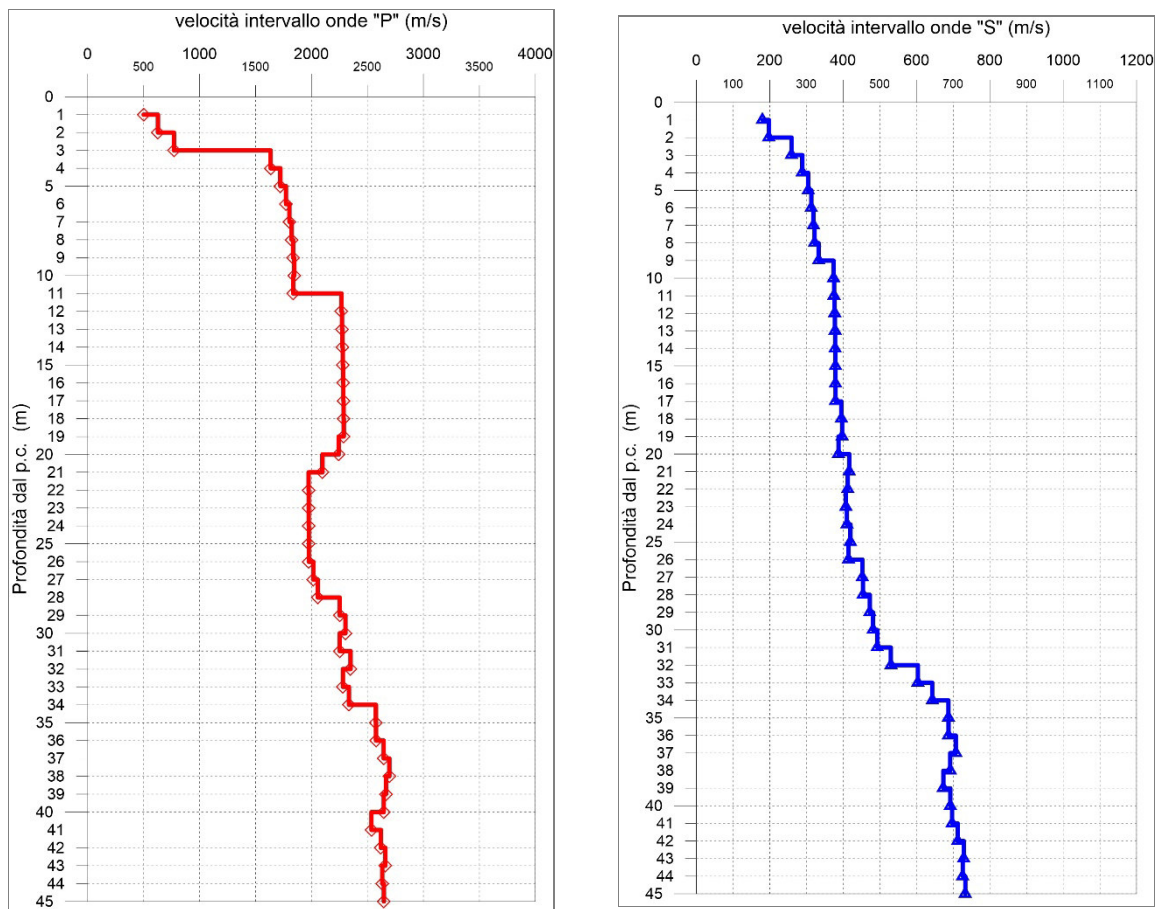


Fig. 3.13 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "S", In funzione della profondità dal p.c.

Profondità (m dal p.c.)	tempi osservati t_o "P" (ms)	tempi osservati t_o "S" (ms)	tempi corretti t_c "P" (ms)	tempi corretti t_c "S" (ms)	velocità intervallo V_p (m/s)	velocità intervallo V_s (m/s)	V_p/V_s	Poisson (n)	γ_n gamma NATURALE	G Mpa	E Mpa	K Mpa
1	4,47	12,44	2,00	5,56	500	180	2,8	0,43	1,80	58	166	372
2	5,42	15,43	3,83	10,91	628	198	3,2	0,45	1,96	77	221	671
3	6,42	18,43	5,35	15,34	771	259	3,0	0,44	1,96	132	378	991
4	6,95	21,43	6,22	19,17	1635	289	5,7	0,48	1,96	164	486	5020
5	7,48	24,43	6,95	22,68	1722	305	5,7	0,48	1,96	182	540	5573
6	8,01	27,43	7,60	26,02	1772	313	5,7	0,48	1,96	192	571	5899
7	8,54	30,42	8,22	29,25	1803	319	5,7	0,48	1,96	199	591	6104
8	9,07	33,42	8,80	32,42	1823	322	5,7	0,48	1,96	204	604	6240
9	9,60	36,34	9,38	35,48	1836	333	5,5	0,48	1,96	218	645	6319
10	10,13	38,96	9,94	38,20	1846	374	4,9	0,48	1,96	274	811	6314
11	10,67	41,57	10,50	40,90	1837	376	4,9	0,48	1,96	276	817	6243
12	11,10	44,19	10,95	43,59	2267	377	6,0	0,49	1,96	278	826	9706
13	11,54	46,80	11,40	46,26	2273	377	6,0	0,49	2,10	299	889	10451
14	11,97	49,42	11,85	48,92	2277	378	6,0	0,49	2,10	300	893	10484
15	12,41	52,04	12,30	51,58	2280	379	6,0	0,49	2,10	301	895	10514
16	12,84	54,65	12,74	54,23	2283	379	6,0	0,49	2,10	302	897	10539
17	13,28	57,27	13,19	56,87	2285	380	6,0	0,49	2,10	302	899	10564
18	13,71	59,78	13,63	59,42	2287	395	5,8	0,48	2,12	331	982	10644
19	14,15	62,29	14,07	61,94	2288	397	5,8	0,48	2,12	335	994	10653
20	14,59	64,85	14,52	64,53	2243	387	5,8	0,48	2,12	318	944	10242
21	15,06	67,24	15,00	66,94	2098	417	5,0	0,48	2,12	368	1089	8840
22	15,57	69,65	15,50	69,37	1974	413	4,8	0,48	2,12	361	1067	7780
23	16,07	72,10	16,01	71,83	1975	408	4,8	0,48	2,12	352	1041	7801
24	16,58	74,53	16,52	74,27	1975	410	4,8	0,48	2,12	357	1055	7797
25	17,08	76,90	17,03	76,65	1976	420	4,7	0,48	2,12	374	1105	7779
26	17,58	79,30	17,53	79,07	1976	415	4,8	0,48	2,12	365	1077	7795
27	18,08	81,51	18,03	81,28	2017	453	4,5	0,47	2,12	434	1279	8045
28	18,56	83,70	18,52	83,49	2056	454	4,5	0,47	2,12	437	1289	8382
29	19,01	85,81	18,96	85,61	2251	473	4,8	0,48	2,12	474	1399	10113
30	19,44	87,88	19,40	87,69	2303	482	4,8	0,48	2,12	492	1453	10589
31	19,88	89,91	19,84	89,72	2251	493	4,6	0,47	2,12	516	1522	10059
32	20,31	91,79	20,27	91,61	2349	530	4,4	0,47	2,12	596	1755	10907
33	20,75	93,44	20,71	93,27	2281	604	3,8	0,46	2,12	773	2261	10003
34	21,17	95,00	21,14	94,83	2335	643	3,6	0,46	2,12	876	2557	10391
35	21,56	96,45	21,53	96,29	2576	687	3,7	0,46	2,12	1001	2927	12729
36	21,95	97,90	21,91	97,75	2577	687	3,7	0,46	2,12	1002	2928	12739
37	22,33	99,31	22,29	99,17	2645	707	3,7	0,46	2,12	1060	3099	13418
38	22,70	100,76	22,67	100,62	2695	692	3,9	0,46	2,12	1015	2974	14047
39	23,07	102,24	23,04	102,10	2666	673	4,0	0,47	2,12	961	2819	13785
40	23,45	103,68	23,42	103,55	2646	692	3,8	0,46	2,12	1016	2972	13484
41	23,84	105,12	23,81	104,99	2536	697	3,6	0,46	2,12	1030	3005	12262
42	24,22	106,52	24,20	106,40	2620	712	3,7	0,46	2,12	1076	3142	13115
43	24,60	107,89	24,57	107,77	2660	729	3,6	0,46	2,12	1127	3290	13500
44	24,98	109,26	24,95	109,15	2632	726	3,6	0,46	2,12	1117	3260	13199
45	25,36	110,63	25,33	110,52	2646	733	3,6	0,46	2,12	1139	3322	13328

Tab. 3.4 - S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Indagine down-hole SG08-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.

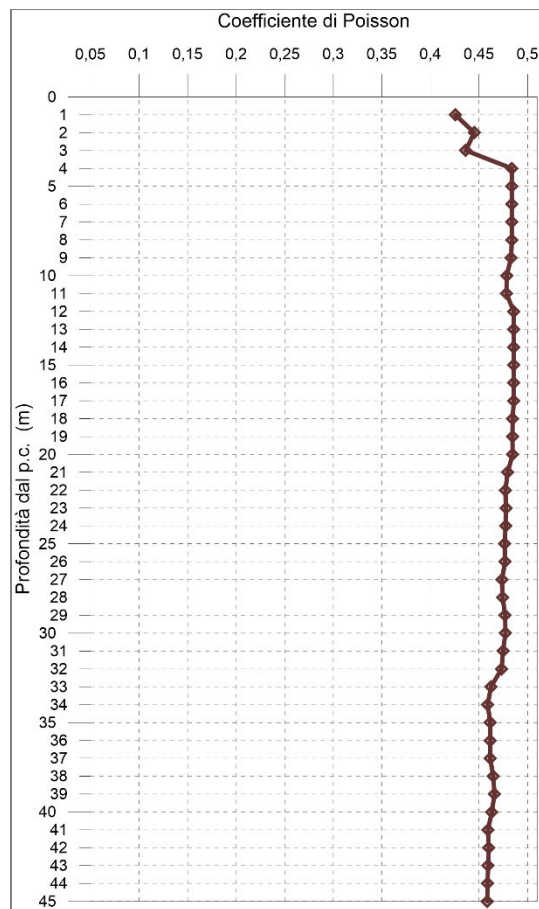


Fig. 3.14 - Diagramma relativo all'andamento del coefficiente di Poisson in funzione della profondità dal p.c..

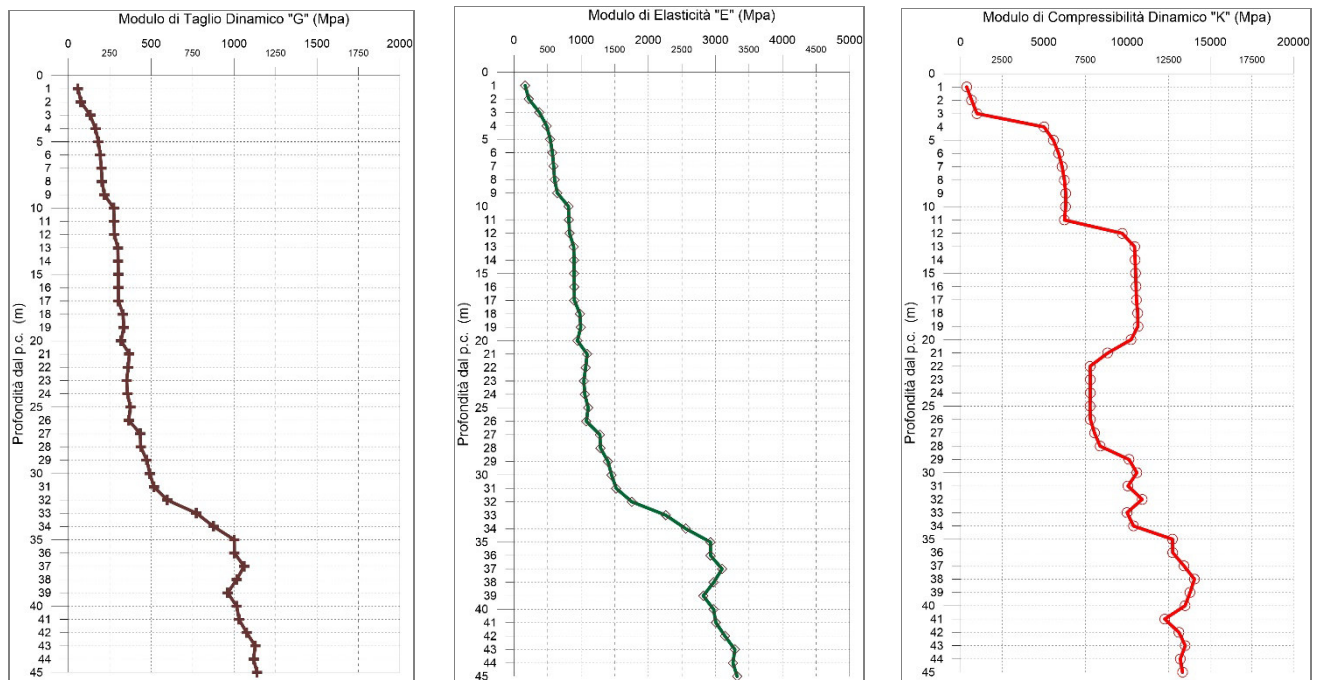


Fig. 3.15 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "G" in funzione della profondità dal p.c. Al centro, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "E" in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "K" in funzione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

3.4.4 SG09-DH

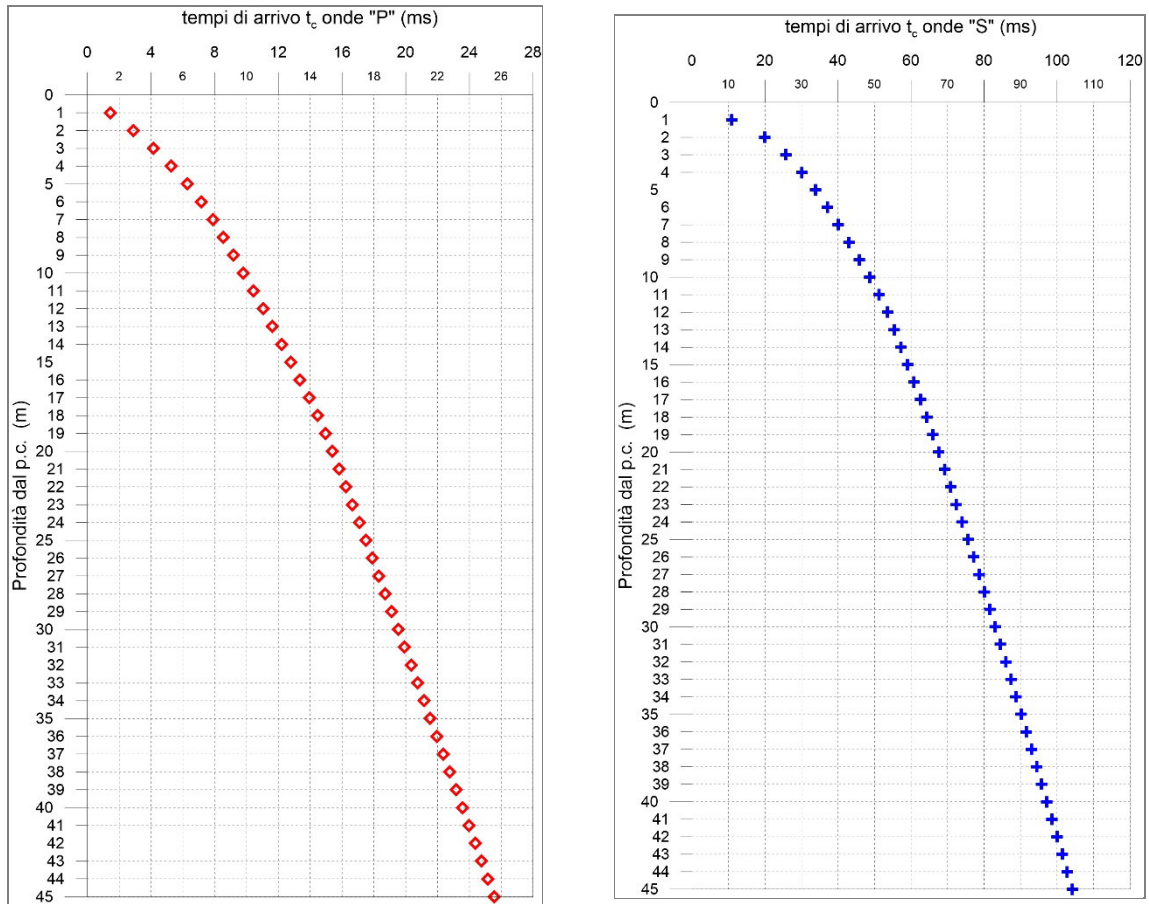


Fig. 3.16 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "S", in funzione della profondità dal p.c.

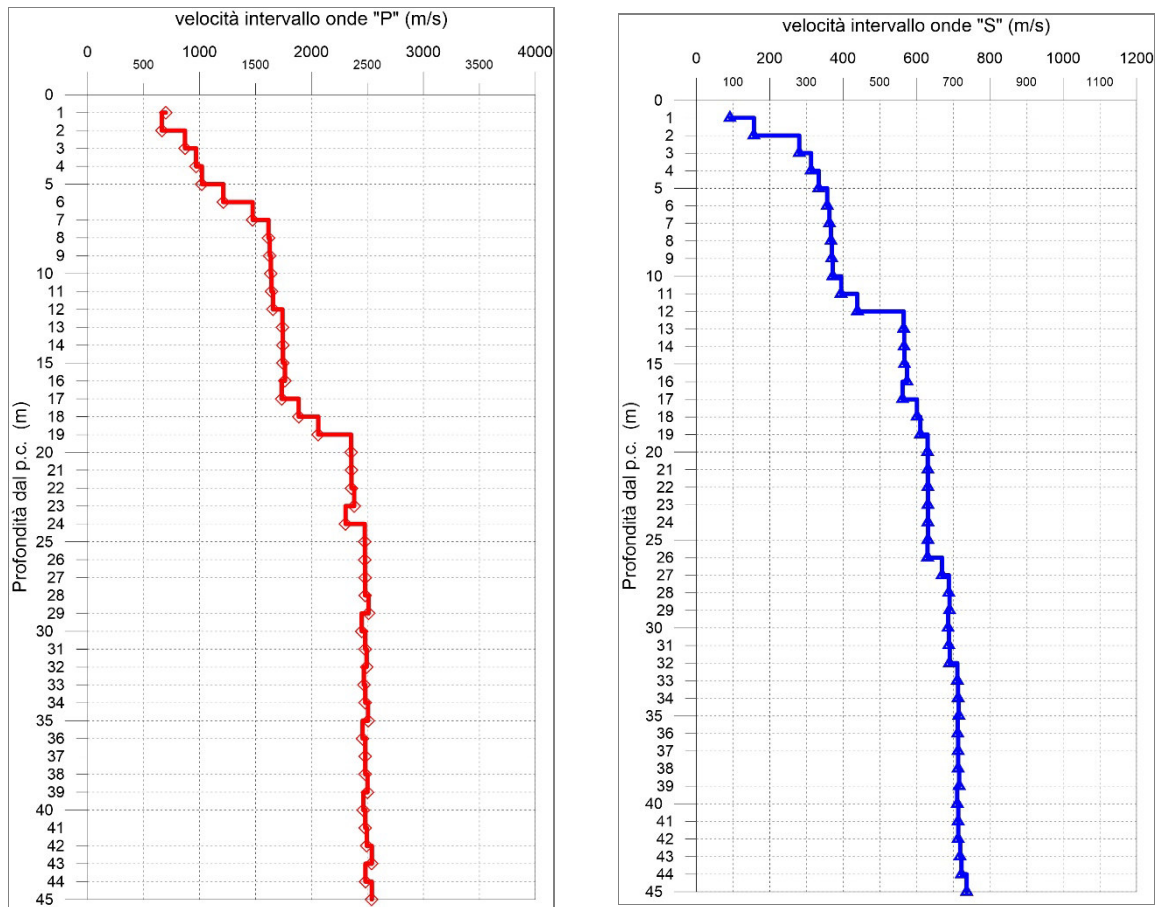


Fig. 3.17 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "S", In funzione della profondità dal p.c.

Profondità (m dal p.c.)	tempi osservati t_0 "P" (ms)	tempi osservati t_0 "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	3,21	24,38	1,43	10,90	698	92	7,6	0,49	1,80	15	45	856
2	4,10	28,15	2,90	19,91	663	157	4,2	0,47	1,84	45	134	748
3	4,99	30,92	4,15	25,73	869	280	3,1	0,44	1,84	145	417	1198
4	5,89	33,69	5,27	30,14	970	313	3,1	0,44	1,84	180	519	1490
5	6,78	36,43	6,30	33,83	1022	333	3,1	0,44	1,84	205	589	1647
6	7,56	39,07	7,17	37,06	1212	357	3,4	0,45	1,84	234	680	2393
7	8,20	41,70	7,89	40,10	1475	363	4,1	0,47	1,84	242	711	3678
8	8,80	44,33	8,54	43,01	1616	367	4,4	0,47	1,84	248	729	4472
9	9,40	46,97	9,18	45,85	1628	370	4,4	0,47	1,84	251	740	4540
10	10,00	49,60	9,80	48,64	1636	372	4,4	0,47	1,84	254	748	4588
11	10,60	52,09	10,42	51,25	1643	395	4,2	0,47	1,96	305	897	4883
12	11,19	54,34	11,04	53,60	1656	439	3,8	0,46	1,96	377	1102	4871
13	11,76	56,08	11,62	55,43	1740	565	3,1	0,44	1,96	626	1805	5099
14	12,33	57,83	12,20	57,25	1743	566	3,1	0,44	1,96	629	1812	5117
15	12,89	59,58	12,78	59,05	1745	567	3,1	0,44	1,96	630	1817	5129
16	13,46	61,30	13,35	60,83	1763	574	3,1	0,44	1,96	647	1863	5231
17	14,03	63,07	13,93	62,64	1734	562	3,1	0,44	1,96	619	1784	5066
18	14,55	64,72	14,47	64,33	1886	602	3,1	0,44	1,96	709	2047	6023
19	15,04	66,35	14,95	65,99	2061	611	3,4	0,45	1,96	731	2122	7351
20	15,46	67,93	15,38	67,59	2355	630	3,7	0,46	1,96	779	2276	9827
21	15,88	69,51	15,81	69,19	2356	631	3,7	0,46	1,96	780	2279	9837
22	16,30	71,08	16,24	70,79	2357	631	3,7	0,46	1,96	780	2280	9846
23	16,72	72,66	16,66	72,39	2382	631	3,8	0,46	1,91	761	2225	9821
24	17,16	74,24	17,10	73,98	2304	631	3,6	0,46	1,91	761	2222	9127
25	17,56	75,82	17,50	75,58	2476	632	3,9	0,47	1,91	762	2232	10696
26	17,96	77,40	17,91	77,17	2477	630	3,9	0,47	1,91	759	2223	10712
27	18,36	78,89	18,31	78,67	2478	670	3,7	0,46	1,91	856	2501	10587
28	18,76	80,34	18,72	80,14	2479	688	3,6	0,46	1,91	905	2638	10527
29	19,16	81,79	19,12	81,59	2510	690	3,6	0,46	1,91	910	2655	10816
30	19,57	83,24	19,53	83,05	2449	687	3,6	0,46	1,91	900	2624	10255
31	19,97	84,69	19,93	84,51	2480	688	3,6	0,46	1,91	905	2640	10538
32	20,37	86,13	20,33	85,97	2492	691	3,6	0,46	1,91	911	2656	10652
33	20,78	87,54	20,74	87,38	2468	711	3,5	0,45	1,91	966	2811	10341
34	21,18	88,94	21,14	88,78	2481	713	3,5	0,45	2,01	1023	2976	11005
35	21,58	90,33	21,54	90,18	2506	715	3,5	0,46	2,01	1027	2991	11251
36	21,98	91,73	21,95	91,59	2457	712	3,5	0,45	2,01	1019	2963	10773
37	22,39	93,13	22,35	93,00	2481	714	3,5	0,45	2,01	1023	2978	11005
38	22,79	94,53	22,76	94,40	2482	714	3,5	0,45	2,01	1024	2979	11013
39	23,19	95,93	23,16	95,80	2500	716	3,5	0,46	2,01	1031	3001	11192
40	23,59	97,33	23,56	97,21	2464	711	3,5	0,45	2,01	1017	2957	10843
41	24,00	98,73	23,97	98,61	2481	714	3,5	0,45	2,01	1024	2979	11012
42	24,40	100,13	24,37	100,02	2495	714	3,5	0,46	2,01	1024	2981	11143
43	24,79	101,52	24,76	101,41	2539	719	3,5	0,46	2,01	1039	3027	11573
44	25,19	102,90	25,17	102,80	2482	723	3,4	0,45	2,01	1050	3052	10987
45	25,59	104,26	25,56	104,16	2539	737	3,4	0,45	2,01	1090	3171	11507

Tab. 3.5 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Indagine down-hole SG09-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.

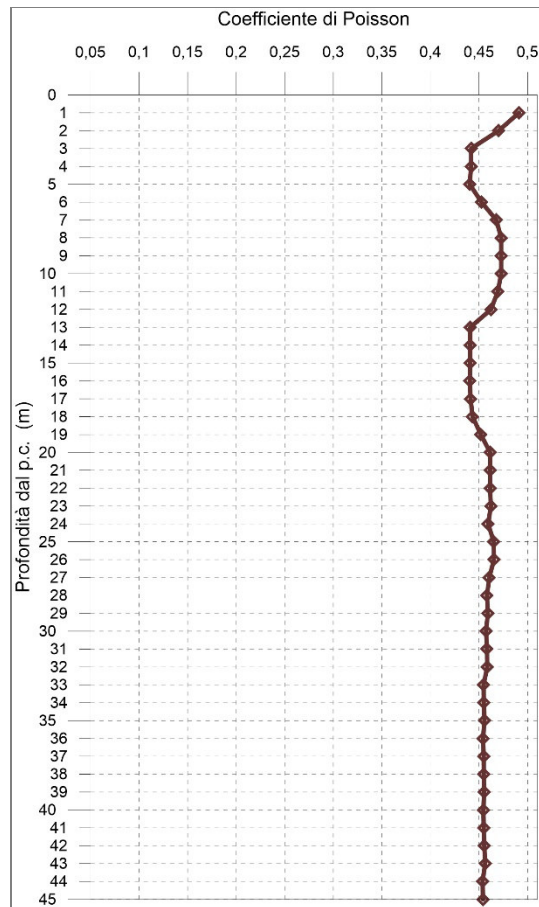


Fig. 3.18 - Diagramma relativo all'andamento del coefficiente di Poisson in funzione della profondità dal p.c..

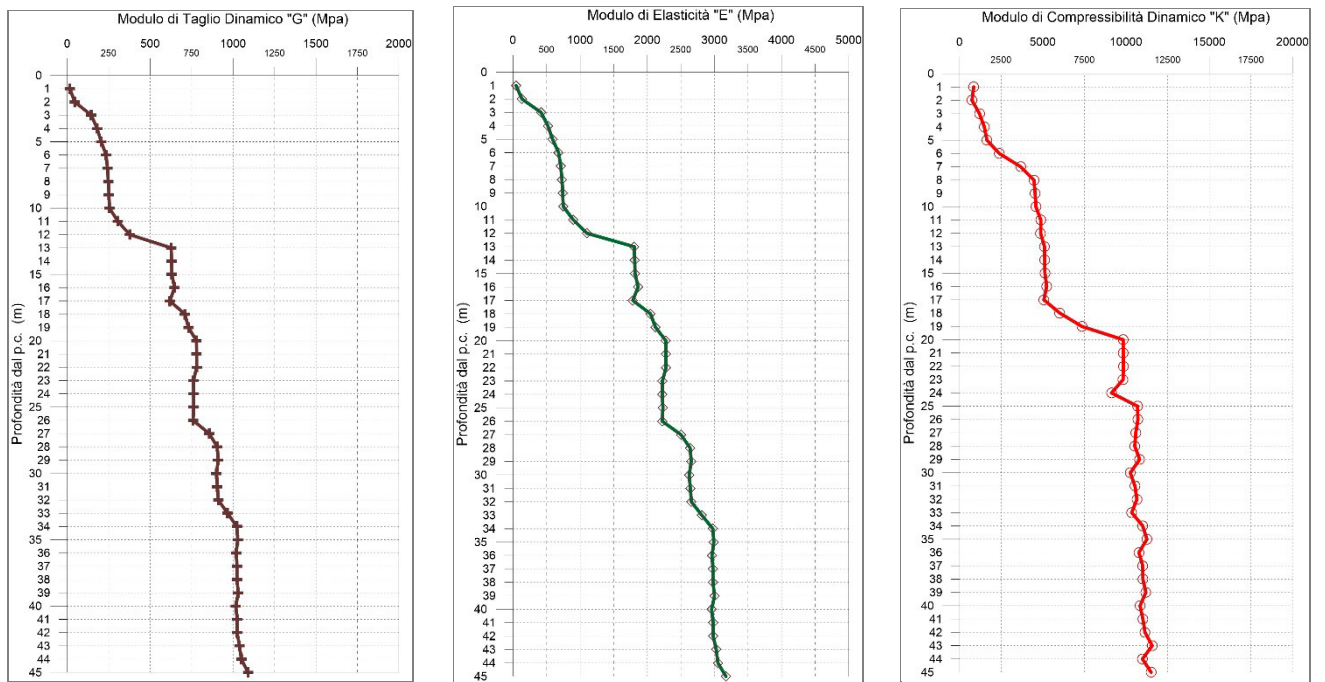


Fig. 3.19 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "G" in funzione della profondità dal p.c. Al centro, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "E" in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "K" in funzione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

3.4.5 SG10-DH

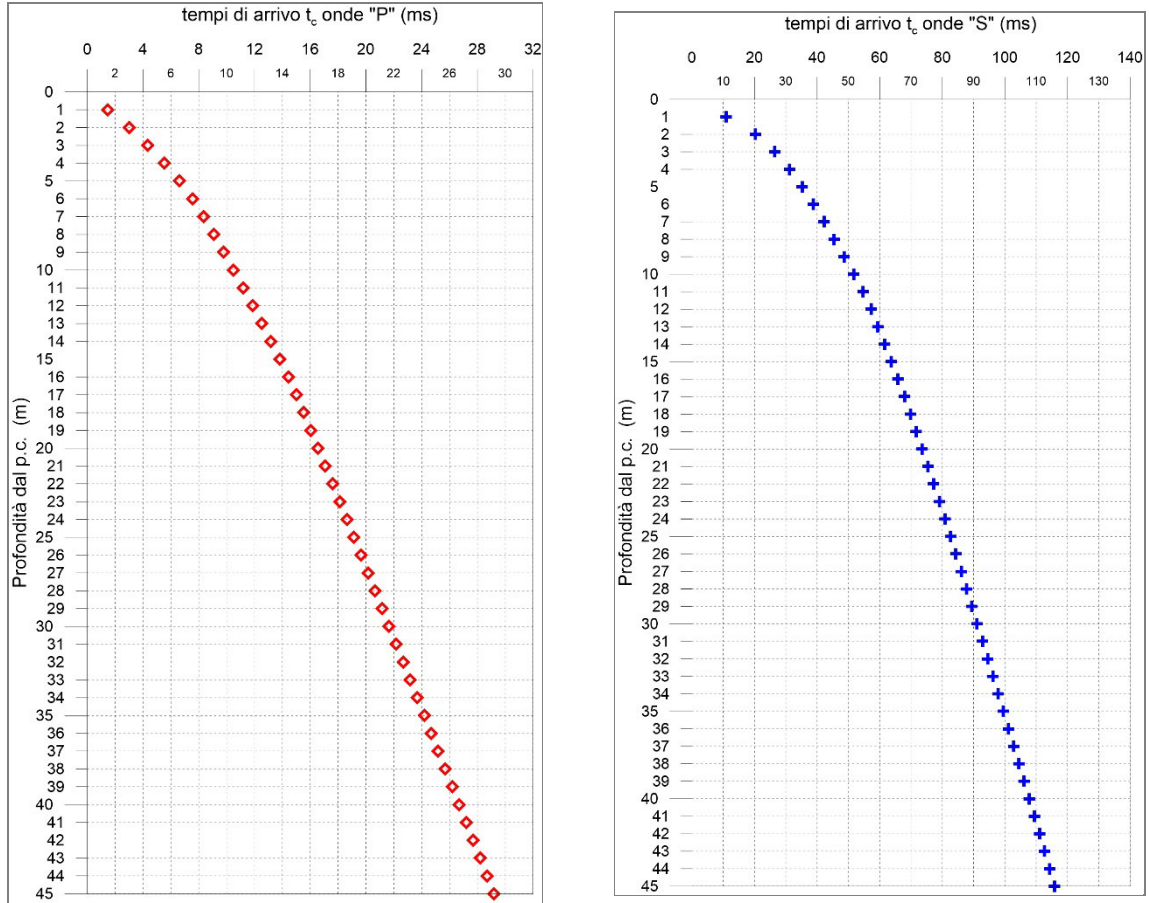


Fig. 3.20 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "S", in funzione della profondità dal p.c.

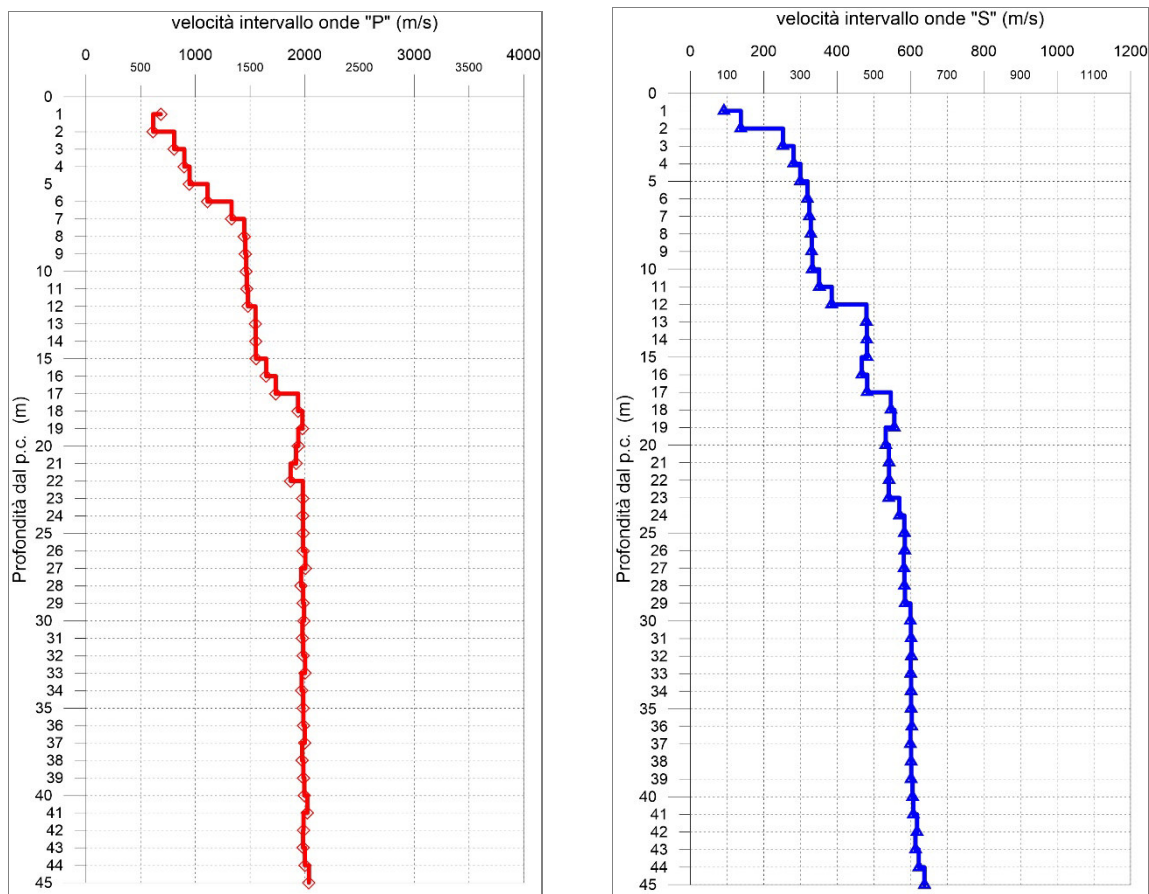


Fig. 3.21 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "S", in funzione della profondità dal p.c.

Profondità (m dal p.c.)	tempi osservati t_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	3,28	24,46	1,46	10,94	683	91	7,5	0,49	1,80	15	45	819
2	4,24	28,77	3,00	20,35	615	137	4,5	0,47	1,91	36	106	673
3	5,20	31,85	4,33	26,50	806	252	3,2	0,45	1,91	122	351	1080
4	6,17	34,93	5,52	31,25	899	281	3,2	0,45	1,91	151	437	1343
5	7,13	37,98	6,62	35,27	947	299	3,2	0,44	1,91	171	495	1486
6	7,98	40,93	7,57	38,83	1112	319	3,5	0,46	1,91	195	566	2102
7	8,69	43,87	8,36	42,18	1331	325	4,1	0,47	1,91	201	591	3115
8	9,36	46,81	9,08	45,42	1446	328	4,4	0,47	1,91	206	606	3721
9	10,03	49,76	9,79	48,57	1457	331	4,4	0,47	1,91	209	615	3777
10	10,70	52,70	10,49	51,68	1465	332	4,4	0,47	1,91	211	622	3817
11	11,37	55,50	11,18	54,61	1471	351	4,2	0,47	1,91	235	692	3817
12	12,03	58,06	11,87	57,27	1481	385	3,8	0,46	1,91	284	830	3814
13	12,67	60,11	12,52	59,41	1549	480	3,2	0,45	1,91	440	1274	3995
14	13,31	62,17	13,17	61,55	1552	481	3,2	0,45	1,91	442	1279	4010
15	13,94	64,23	13,82	63,66	1554	482	3,2	0,45	1,91	443	1282	4020
16	14,54	66,35	14,43	65,84	1647	467	3,5	0,46	1,91	417	1214	4628
17	15,12	68,41	15,01	67,94	1734	482	3,6	0,46	1,91	444	1296	5153
18	15,63	70,23	15,53	69,80	1939	546	3,5	0,46	1,91	570	1662	6418
19	16,13	72,01	16,04	71,62	1979	556	3,6	0,46	1,91	590	1721	6690
20	16,64	73,88	16,56	73,52	1941	533	3,6	0,46	1,98	561	1639	6711
21	17,16	75,72	17,09	75,38	1921	541	3,5	0,46	1,98	580	1691	6530
22	17,70	77,56	17,62	77,24	1870	542	3,5	0,45	1,98	581	1690	6151
23	18,20	79,40	18,13	79,10	1982	541	3,7	0,46	1,98	579	1690	7008
24	18,70	81,15	18,64	80,87	1983	570	3,5	0,46	1,98	642	1869	6932
25	19,20	82,86	19,14	82,60	1984	583	3,4	0,45	1,98	673	1956	6895
26	19,70	84,57	19,65	84,32	1984	585	3,4	0,45	1,98	677	1966	6894
27	20,20	86,28	20,15	86,04	2004	582	3,4	0,45	1,98	671	1950	7060
28	20,71	87,99	20,66	87,76	1966	583	3,4	0,45	1,98	674	1957	6751
29	21,21	89,69	21,16	89,48	1986	585	3,4	0,45	1,98	678	1968	6903
30	21,71	91,36	21,66	91,15	1994	600	3,3	0,45	1,98	712	2066	6921
31	22,22	93,02	22,17	92,82	1978	601	3,3	0,45	1,98	716	2075	6791
32	22,72	94,67	22,68	94,49	1986	603	3,3	0,45	1,98	719	2084	6855
33	23,22	96,33	23,18	96,16	2003	600	3,3	0,45	1,98	714	2071	6989
34	23,72	97,99	23,68	97,82	1971	602	3,3	0,45	1,98	717	2076	6738
35	24,23	99,65	24,19	99,49	1987	602	3,3	0,45	1,98	717	2078	6859
36	24,73	101,31	24,69	101,15	1987	603	3,3	0,45	1,98	721	2090	6858
37	25,23	102,97	25,19	102,82	1999	600	3,3	0,45	1,98	713	2068	6965
38	25,73	104,63	25,70	104,49	1976	602	3,3	0,45	1,98	717	2078	6774
39	26,24	106,29	26,20	106,15	1987	602	3,3	0,45	1,98	717	2079	6864
40	26,74	107,94	26,70	107,81	1996	606	3,3	0,45	1,98	726	2104	6919
41	27,23	109,58	27,20	109,45	2024	608	3,3	0,45	1,98	732	2124	7137
42	27,73	111,20	27,70	111,07	1988	618	3,2	0,45	1,98	756	2188	6818
43	28,24	112,83	28,21	112,70	1984	613	3,2	0,45	1,98	745	2157	6803
44	28,74	114,43	28,71	114,31	2000	623	3,2	0,45	1,98	768	2221	6899
45	29,23	116,00	29,20	115,88	2037	638	3,2	0,45	1,98	805	2329	7143

Tab. 3.6 - S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Indagine down-hole SG10-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.

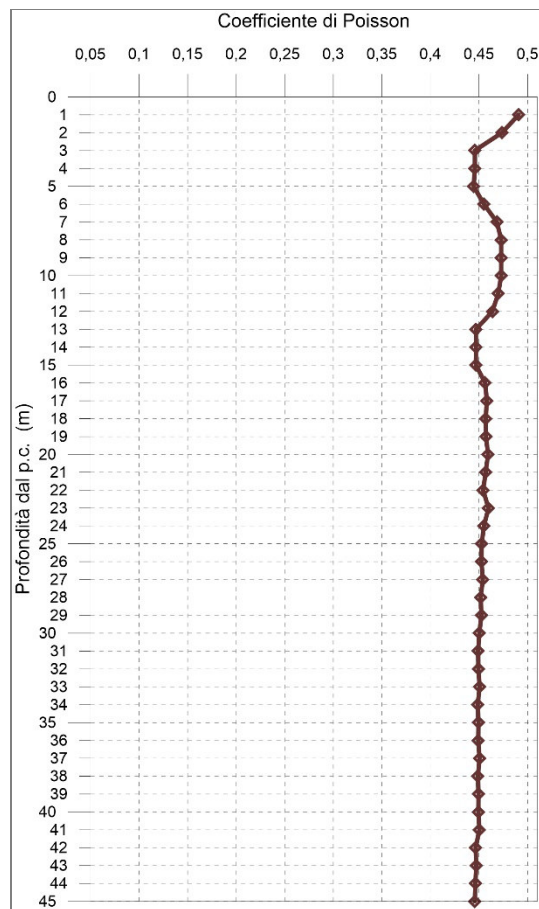


Fig. 3.22 - Diagramma relativo all'andamento del coefficiente di Poisson in funzione della profondità dal p.c..

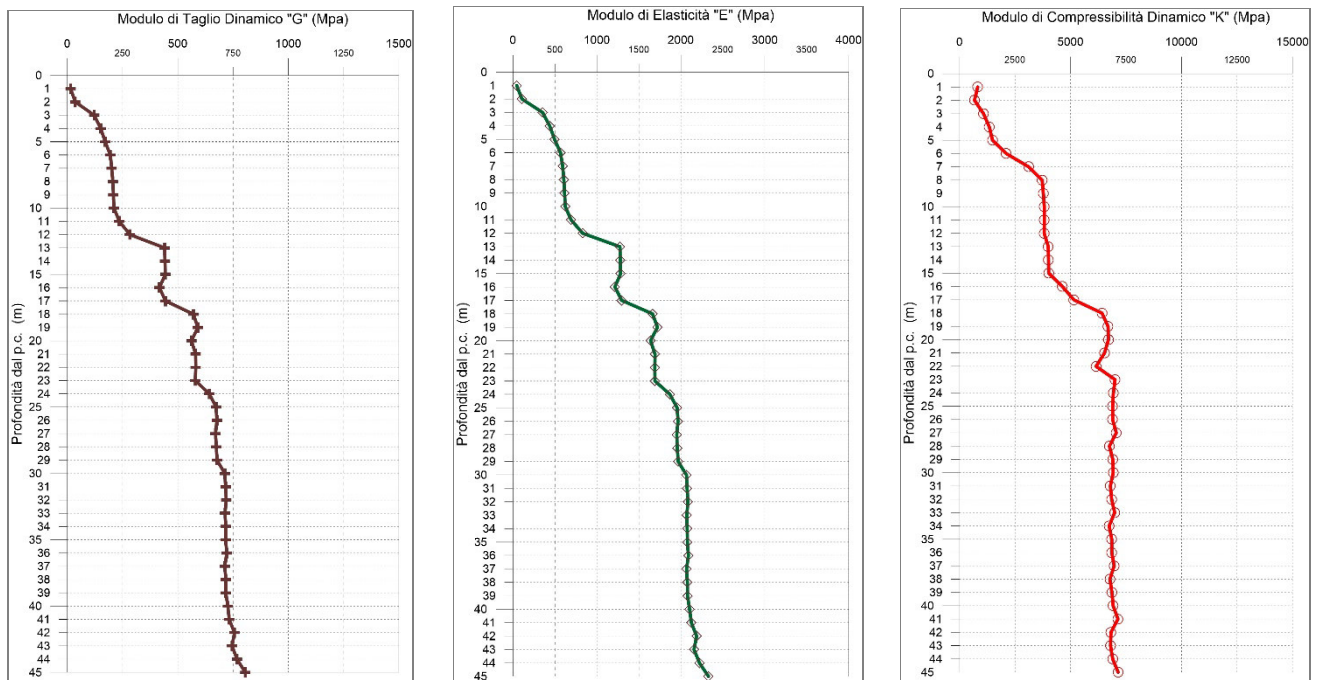


Fig. 3.23 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "G" in funzione della profondità dal p.c. Al centro, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "E" in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "K" in funzione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

3.4.6 SG11-DH

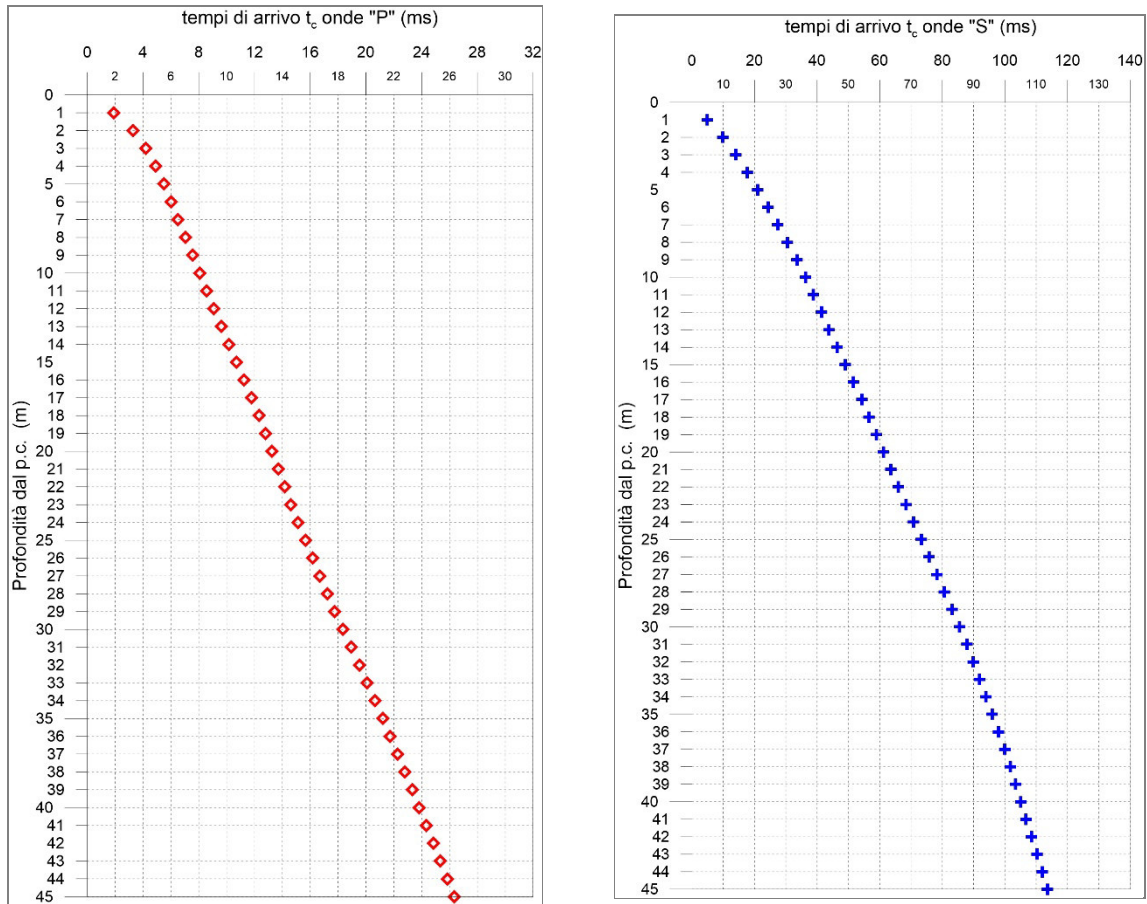


Fig. 3.24 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "S", in funzione della profondità dal p.c.

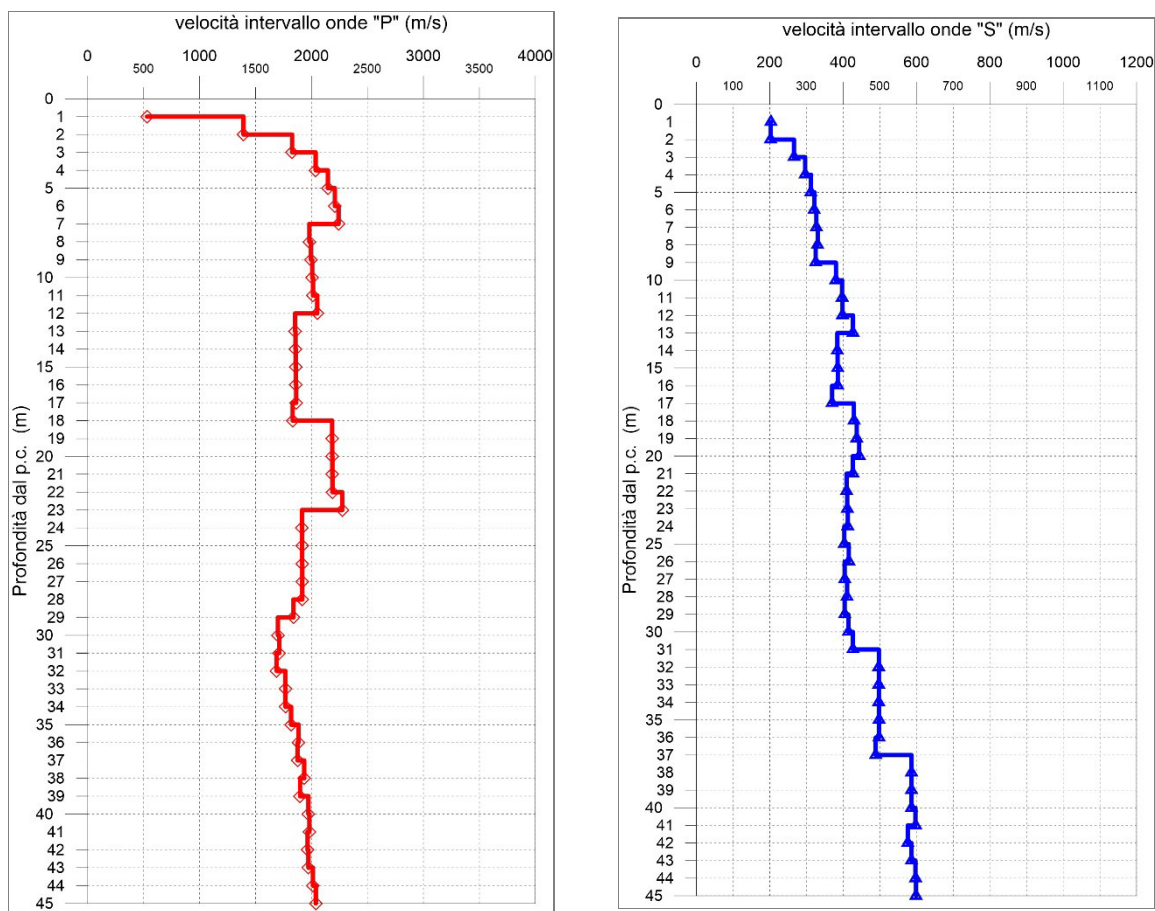


Fig. 3.25 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "S", In funzione della profondità dal p.c.

Profondità (m dal p.c.)	tempi osservati t ₀ "P" (ms)	tempi osservati t ₀ "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	4,21	10,99	1,88	4,91	531	204	2,6	0,41	1,80	75	211	408
2	4,64	13,91	3,28	9,83	1393	203	6,9	0,49	1,97	81	241	3713
3	5,06	16,83	4,21	14,00	1827	266	6,9	0,49	1,97	139	415	6390
4	5,49	19,75	4,91	17,67	2037	297	6,9	0,49	1,97	173	516	7947
5	5,91	22,67	5,49	21,05	2147	312	6,9	0,49	1,97	192	573	8821
6	6,34	25,60	6,01	24,28	2209	321	6,9	0,49	1,97	204	606	9338
7	6,77	28,52	6,51	27,42	2242	327	6,9	0,49	1,97	211	627	9620
8	7,25	31,44	7,04	30,50	1981	331	6,0	0,49	1,97	215	640	7442
9	7,74	34,43	7,56	33,61	1996	325	6,1	0,49	1,97	208	620	7568
10	8,23	37,01	8,07	36,29	2006	380	5,3	0,48	1,91	276	819	7319
11	8,72	39,48	8,58	38,84	2014	397	5,1	0,48	1,91	301	892	7346
12	9,20	41,95	9,07	41,38	2051	398	5,1	0,48	1,91	303	898	7634
13	9,73	44,26	9,62	43,75	1854	427	4,3	0,47	2,00	365	1073	6385
14	10,26	46,84	10,16	46,37	1857	384	4,8	0,48	2,00	296	874	6502
15	10,80	49,41	10,70	48,98	1860	385	4,8	0,48	2,00	297	876	6521
16	11,33	51,98	11,24	51,58	1862	385	4,8	0,48	2,00	297	878	6536
17	11,86	54,66	11,78	54,29	1864	370	5,0	0,48	2,00	274	810	6581
18	12,40	56,98	12,33	56,63	1832	430	4,3	0,47	2,00	369	1086	6218
19	12,86	59,25	12,79	58,93	2184	437	5,0	0,48	2,00	382	1130	9031
20	13,31	61,49	13,25	61,19	2185	444	4,9	0,48	2,00	394	1164	9027
21	13,77	63,83	13,71	63,54	2186	427	5,1	0,48	2,06	375	1111	9348
22	14,22	66,26	14,17	65,99	2187	409	5,3	0,48	2,06	345	1024	9396
23	14,66	68,68	14,61	68,42	2275	411	5,5	0,48	2,06	348	1034	10194
24	15,18	71,09	15,13	70,85	1915	413	4,6	0,48	2,06	352	1038	7086
25	15,70	73,56	15,65	73,33	1916	403	4,8	0,48	2,06	335	989	7116
26	16,22	75,96	16,18	75,74	1916	415	4,6	0,48	2,06	356	1049	7089
27	16,74	78,43	16,70	78,22	1917	404	4,7	0,48	2,06	336	993	7121
28	17,26	80,86	17,22	80,65	1917	411	4,7	0,48	2,06	348	1026	7109
29	17,81	83,33	17,76	83,13	1839	404	4,5	0,47	2,06	337	993	6516
30	18,39	85,73	18,35	85,54	1700	414	4,1	0,47	2,06	354	1039	5482
31	18,98	88,07	18,94	87,89	1712	427	4,0	0,47	2,06	375	1101	5537
32	19,57	90,08	19,53	89,90	1689	497	3,4	0,45	2,06	510	1481	5196
33	20,13	92,09	20,09	91,92	1767	498	3,6	0,46	2,06	510	1486	5749
34	20,70	94,09	20,66	93,93	1768	498	3,6	0,46	2,06	510	1486	5762
35	21,25	96,10	21,21	95,94	1818	498	3,7	0,46	2,06	510	1489	6129
36	21,78	98,10	21,74	97,95	1883	498	3,8	0,46	2,06	510	1492	6627
37	22,31	100,15	22,28	100,00	1876	489	3,8	0,46	2,06	493	1442	6592
38	22,82	101,85	22,79	101,71	1934	586	3,3	0,45	2,06	708	2053	6765
39	23,35	103,55	23,32	103,42	1898	586	3,2	0,45	2,06	708	2050	6475
40	23,86	105,25	23,83	105,12	1973	586	3,4	0,45	2,06	708	2057	7074
41	24,36	106,93	24,33	106,80	1981	597	3,3	0,45	2,06	734	2129	7105
42	24,87	108,66	24,84	108,54	1965	576	3,4	0,45	2,06	684	1988	7045
43	25,37	110,36	25,35	110,24	1973	587	3,4	0,45	2,06	709	2057	7077
44	25,87	112,04	25,84	111,92	2013	597	3,4	0,45	2,06	734	2132	7370
45	26,36	113,71	26,34	113,59	2038	599	3,4	0,45	2,06	739	2147	7570

Tab. 3.7 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Indagine down-hole SG11-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.

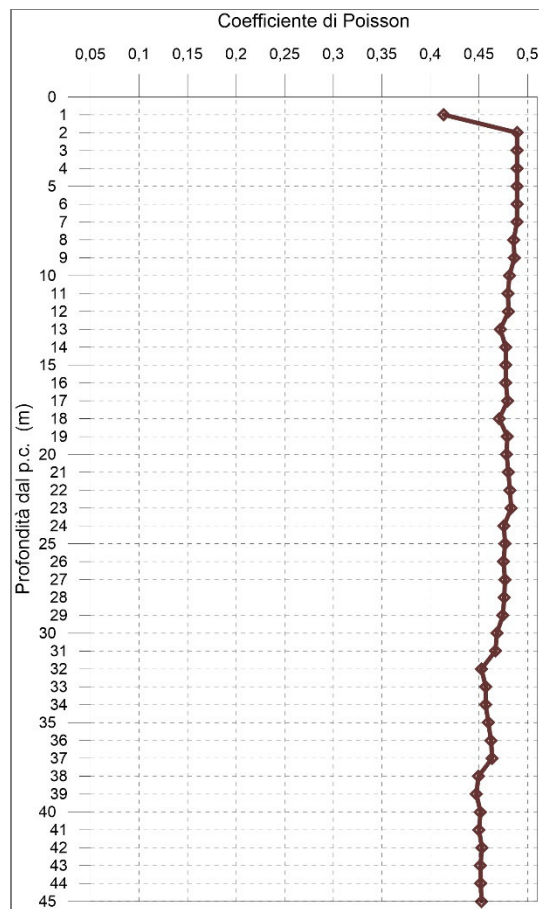


Fig. 3.26 - Diagramma relativo all'andamento del coefficiente di Poisson in funzione della profondità dal p.c..

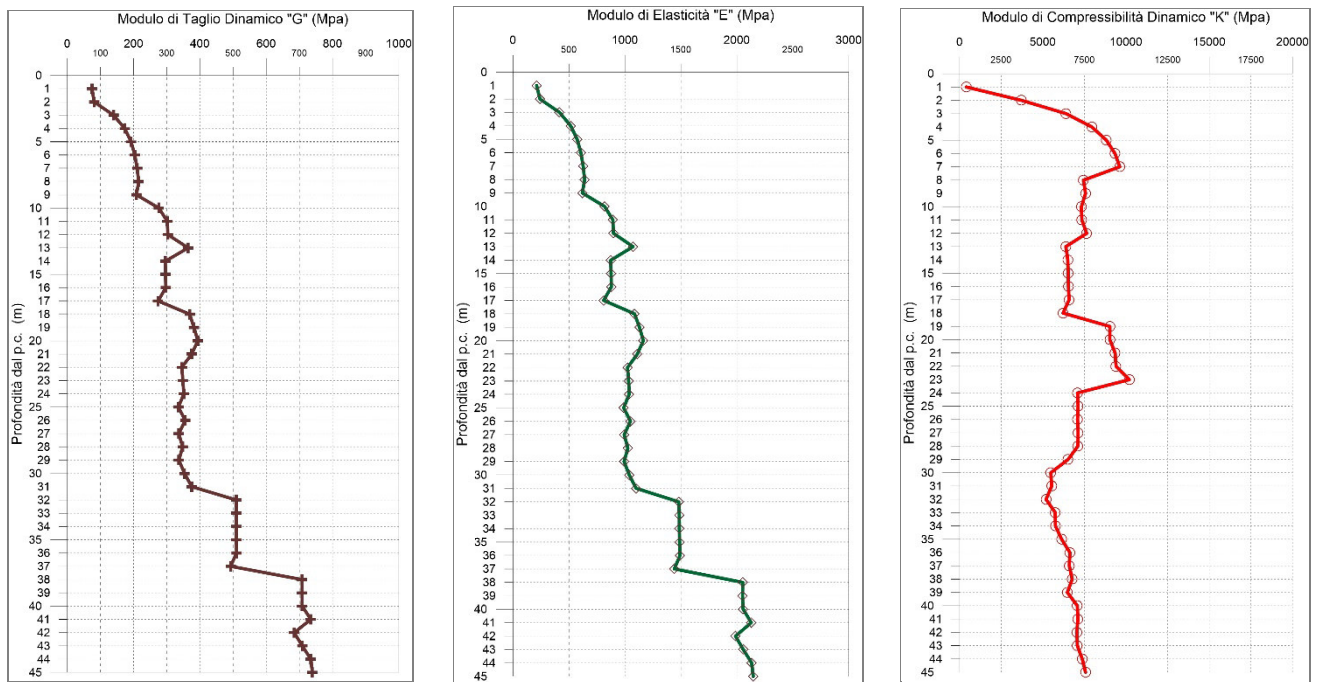


Fig. 3.27 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "G" in funzione della profondità dal p.c. Al centro, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "E" in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "K" in funzione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

4 INDAGINI 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 in Fig. 4.1.

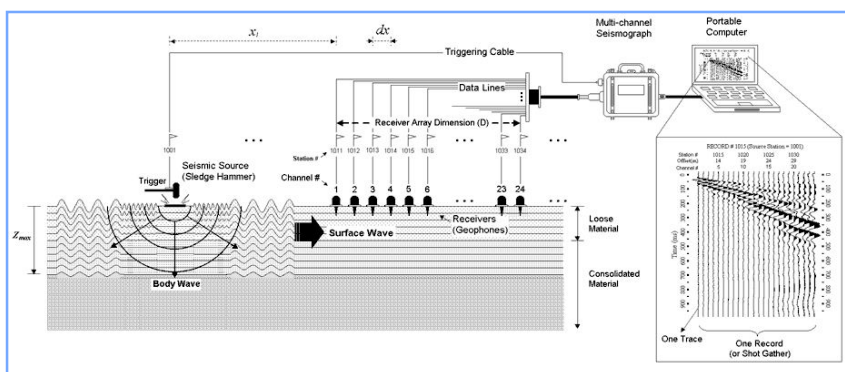


Fig. 4.1 - Esempio configurazione sorgente-ricevitori per l'esecuzione di un rilievo MASW.

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÷100 Hz; il metodo, pertanto, permette di ottenere informazioni indirette sulla parte del sottosuolo compresa (di norma) entro i primi 30÷50 metri circa dal piano campagna, in funzione della rigidità o rigidità 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 file 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, 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. La differenza tra le due tecniche, oltre al fatto che nella passiva non si prevedono energizzazioni artificiali, è essenzialmente legata alla possibilità di avere sorgenti naturali che possono fornire l'energia sufficiente per ottenere curve di dispersioni di buona qualità. Il sistema d'indagine attiva consiste nell'usare una sorgente sismica ed una serie di ricevitori posti su una linea retta.

L'algoritmo di inversione della curva di dispersione del modo fondamentale delle onde di Rayleigh, utilizzato per i dati acquisiti, è quello proposto da Xia et al., 1999, caratterizzato da un metodo iterativo basato sul gradiente. Tale metodo utilizza un modello di sottosuolo iniziale stratificato, caratterizzato dai seguenti parametri: velocità delle onde S (V_S), velocità delle onde P (V_P), densità (ρ), spessore (h) e coefficiente di Poisson (Fig. 4.2). Con questa serie di parametri, l'algoritmo di inversione cerca una soluzione in modo iterativo. Il modello iniziale di velocità delle onde S (V_S) è approssimato dalla misura della curva di dispersione mentre il modello iniziale di velocità delle onde P (V_P) è individuato utilizzando V_S e il coefficiente di Poisson.

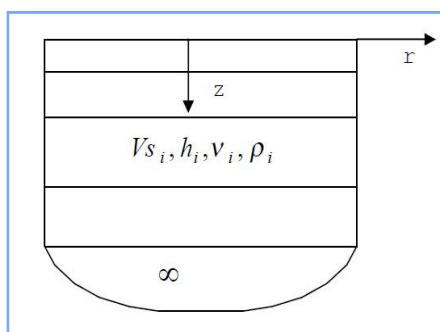


Fig. 4.2 - Modello di semispazio semplificato.

Viene poi definita una funzione obiettivo ed una matrice di pesi e, successivamente, minimizzata la funzione obiettivo con il metodo di Levenberg – Marquardt (Levenberg, 1944; Marquardt, 1963). Si individua così il nuovo valore di V_S (Xia et al., 1999). L'inversione della curva di dispersione permette di ricavare un profilo di velocità delle onde S, che è posto 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;
- winMASW: sviluppato dalla Eliosoft geophysical software and service.

4.2 DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Di seguito sono riportate le specifiche della strumentazione utilizzata per la prova 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 **MAE X610S** a 24 bit, le cui caratteristiche sono state riportate in precedenza.

4.3 DESCRIZIONE DELLE MODALITA' ESECUTIVE

Nell'ambito della commessa in oggetto, come accennato in premessa, sono state eseguite n. **9** indagini MASW la cui ubicazione è riportata nelle tavole allegate.

Codice indagine	Lunghezza (m)	UTM WGS84			
		Coordinata EST inizio	Coordinata NORTH inizio	Coordinata EST fine	Coordinata NORTH fine
MASW01	46	686784,382	4777400,435	686783,846	4777348,391
MASW02	46	686597,278	4777859,515	686461,021	4777947,946
MASW03	46	686443,205	4777991,023	686461,021	4777947,946
MASW04	46	686170,621	4778857,109	686188,893	4778814,894
MASW05	46	685939,818	4779269,735	685972,029	4779237,547
MASW06	46	685617,027	4779921,986	685617,027	4779921,986
MASW07	46	685709,100	4781975,842	685744,762	4782004,618
MASW08	46	685617,027	4779921,986	685617,027	4779921,986
MASW09	46	686170,565	4780772,513	686215,830	4780764,351

Tab. 4.1 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. Coordinate indagini MASW

Per l'esecuzione dei profili MASW sono 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 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.

4.4 RISULTANZE DELLE INDAGINI MASW

Di seguito, sono riportate le risultanze delle prospezioni sismiche MASW, riepilogate tramite i seguenti elaborati:

Finestra di Input

- Sismogramma originale, in cui sono riportate le tracce registrate sull'intero array di geofoni costituenti lo stendimento.
- Spettro originale - frequenza Vs velocità (in m/s).

Finestra di output

- Spettro elaborato - frequenza Vs velocità (in m/s).
- Diagramma dell'evoluzione del modello "migliore", espresso in termini di minor *misfit* ovvero della minore discrepanza tra curva osservata e curva calcolata e diagramma del modello medio calcolato secondo l'operazione statistica nota come *Marginale Posterior Probability Density*.
- Profilo verticale della velocità delle onde S (V_s) relativo al modello "migliore" ed al modello "medio"
- Tabella di sintesi dove sono riportati gli spessori degli strati e la relativa velocità delle onde di taglio.

MASW01

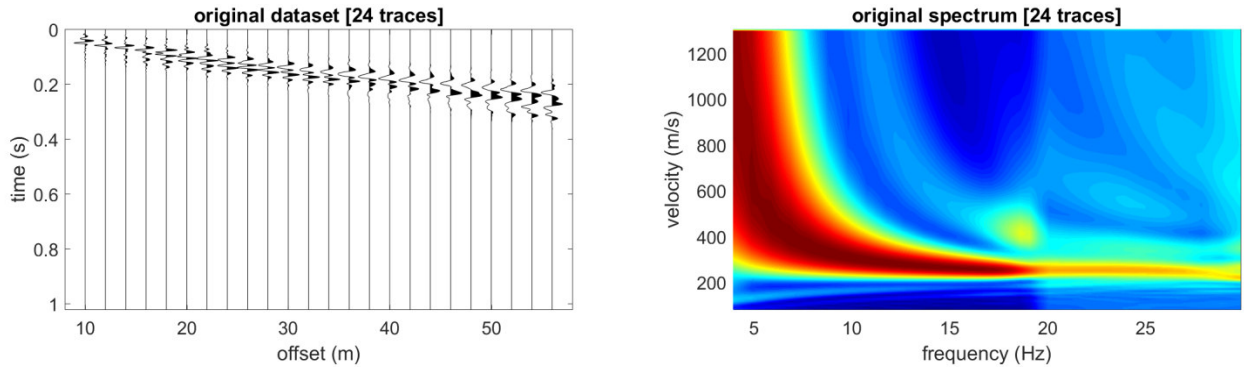
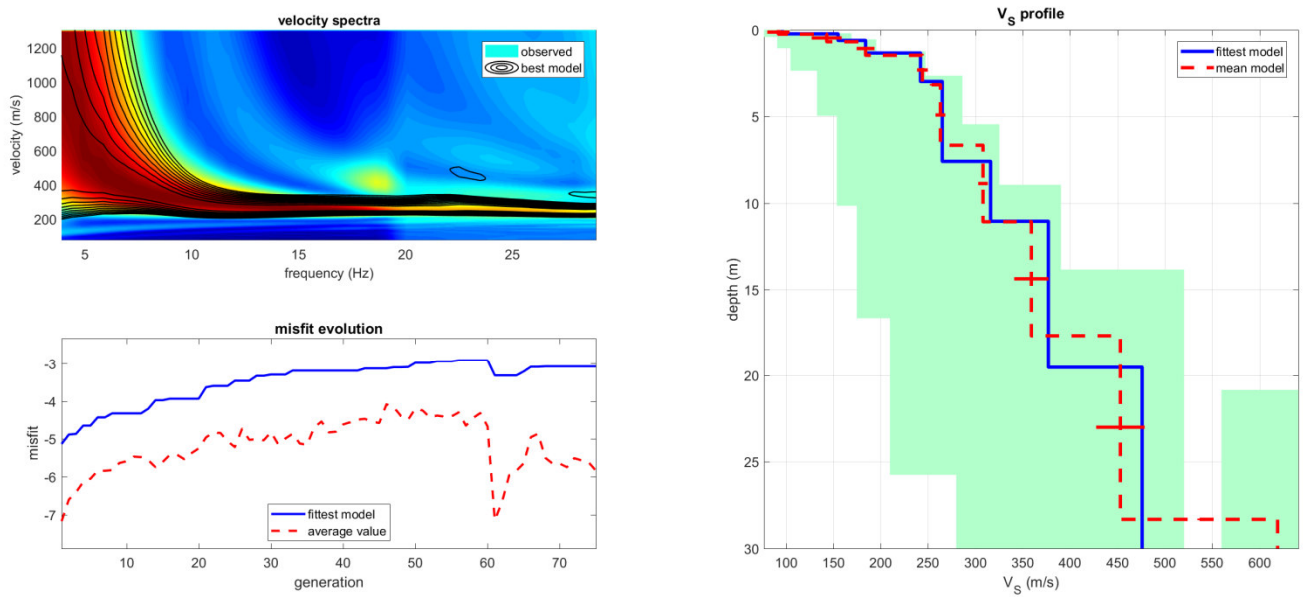


Fig. 4.3 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. MASW01. Sismogramma e curva di dispersione originale



www.winmasw.com

dataset: +10_ch24_filter.SG2
velocity spectrum: +10_ch24_filterFVS.mat
Vs30 & VsE (best model): 339 339 m/s
Vs30 & VsE (mean model): 336 336 m/s

Fig. 4.4 - S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. MASW01. Spettro di velocità e profilo verticale delle onde di taglio (VS)

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	96	0,2251994	0,23
2	155	0,3787417	0,60
3	184	0,7243764	1,33
4	242	1,646313	2,97
5	265	4,615066	7,59
6	316	3,459128	11,05
7	377	8,478525	19,53
8	476	10,47287	30,00

Fig. 4.5 - S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. MASW01.

Tabella di sintesi dove sono riportati gli spessori degli strati e la relativa velocità delle onde di taglio

MASW02

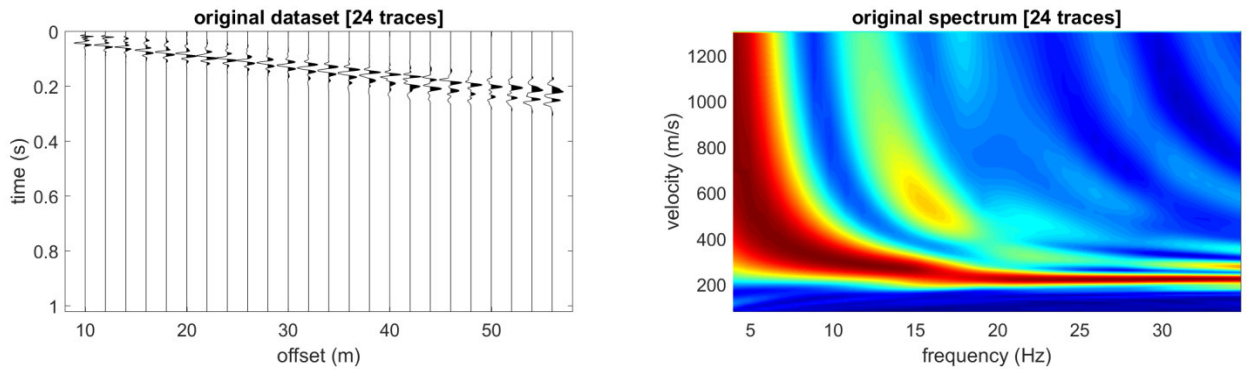
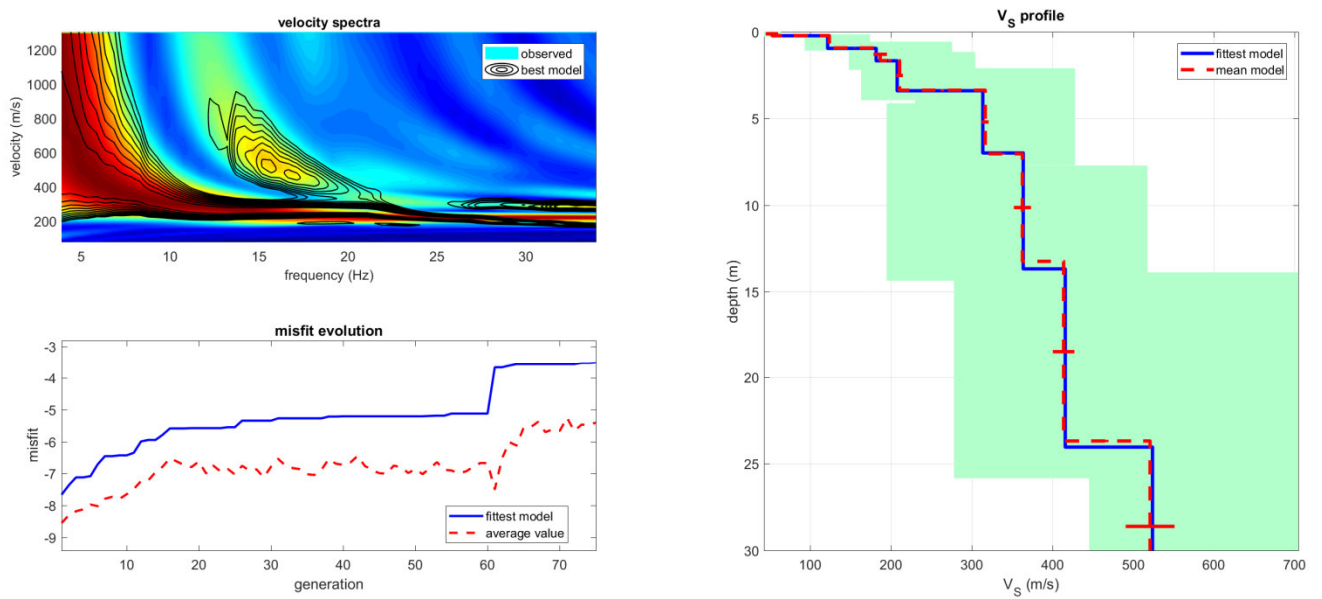


Fig. 4.6 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. MASW02. Sismogramma e curva di dispersione originale



www.winmasw.com

dataset: ZVF-PHASE-spectrum_mean.mat
velocity spectrum: ZVF-PHASE-spectrum_meanFVS.mat
Vs30 & VsE (best model): 339 339 m/s
Vs30 & VsE (mean model): 342 342 m/s

Fig. 4.7 - S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. MASW02. Spettro di velocità e profilo verticale delle onde di taglio (VS)

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	54	0,219026	0,22
2	122	0,7290328	0,95
3	182	0,7171528	1,67
4	208	1,732187	3,40
5	314	3,592131	6,99
6	364	6,694332	13,68
7	416	10,35122	24,04
8	524	5,965225	30,00

Fig. 4.8 - S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. MASW02.

Tabella di sintesi dove sono riportati gli spessori degli strati e la relativa velocità delle onde di taglio

MASW03

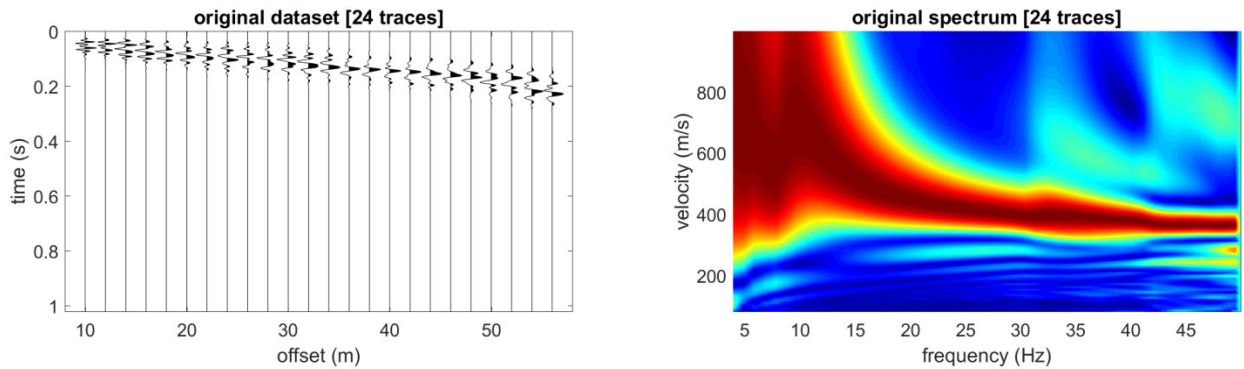
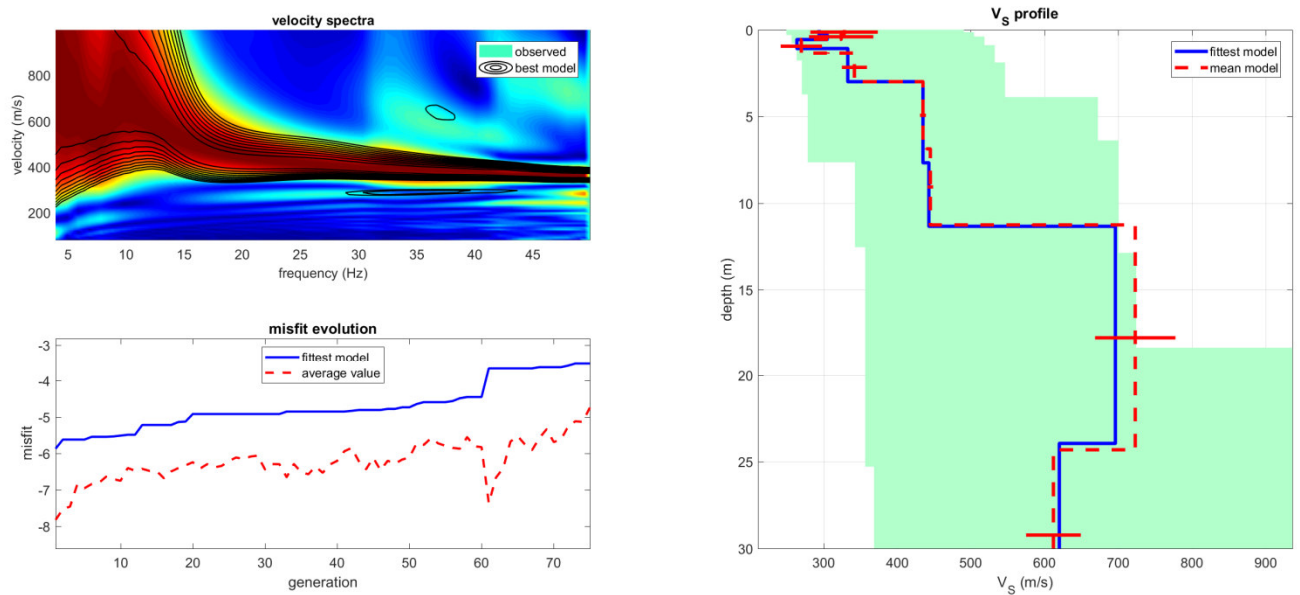


Fig. 4.9 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. MASW03. Sismogramma e curva di dispersione originale



www.winmasw.com

dataset: ZVF-PHASE-spectrum2.mat
velocity spectrum: ZVF-PHASE-spectrum2FVS.mat
Vs30 & VsE (best model): 531 531 m/s
Vs30 & VsE (mean model): 540 540 m/s

Fig. 4.10 - S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. MASW03. Spettro di velocità e profilo verticale delle onde di taglio (Vs)

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	294	0,2617576	0,26
2	305	0,2917196	0,55
3	264	0,5206551	1,07
4	333	1,914667	2,99
5	435	4,68371	7,67
6	443	3,669165	11,34
7	696	12,5959	23,94
8	620	6,062467	30,00

Fig. 4.11 - S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. MASW03.

Tabella di sintesi dove sono riportati gli spessori degli strati e la relativa velocità delle onde di taglio

MASW04

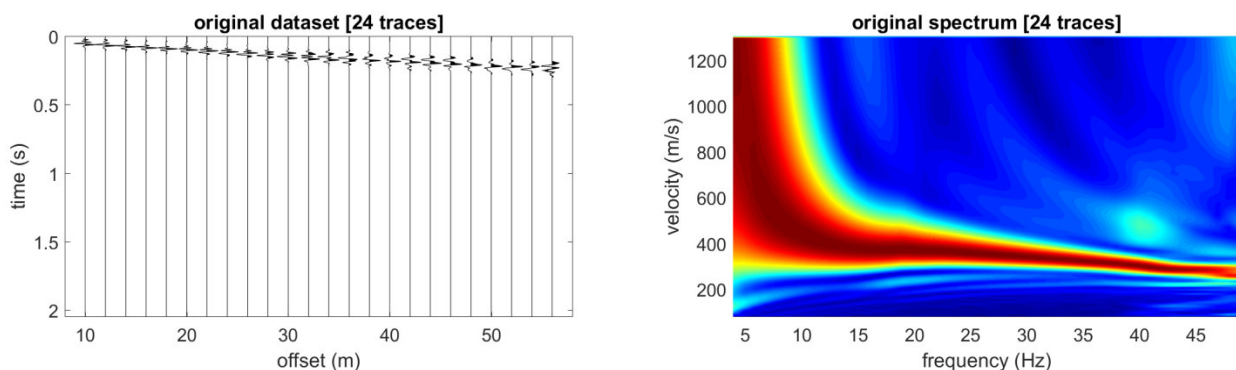
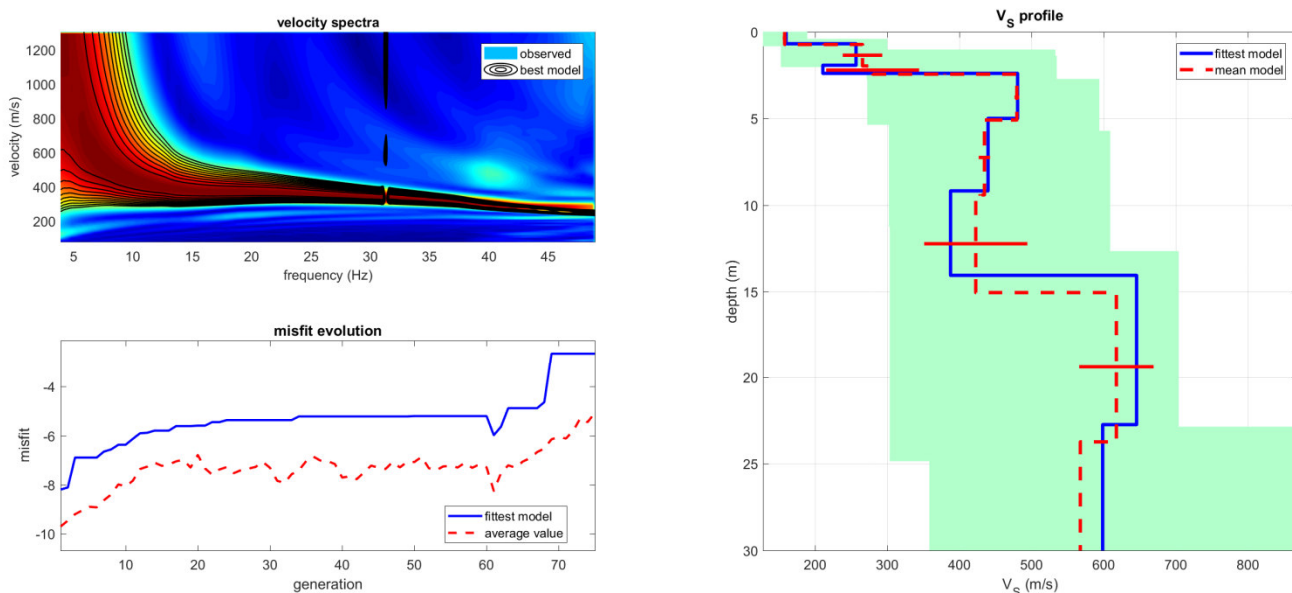


Fig. 4.12 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. MASW04. Sismogramma e curva di dispersione originale



www.winmasw.com

dataset: ZVF-PHASE-spectrum_mean.mat
velocity spectrum: ZVF-PHASE-spectrum_meanFVS.mat
Vs30 & VsE (best model): 466 466 m/s
Vs30 & VsE (mean model): 463 463 m/s

Fig. 4.13 - S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. MASW04. Spettro di velocità e profilo verticale delle onde di taglio (VS)

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	160	0,6820672	0,68
2	257	1,241344	1,92
3	211	0,4693091	2,39
4	481	2,599902	4,99
5	440	4,187065	9,18
6	388	4,879674	14,06
7	646	8,678836	22,74
8	599	7,26268	30,00

Fig. 4.14 - S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. MASW04.

Tabella di sintesi dove sono riportati gli spessori degli strati e la relativa velocità delle onde di taglio

MASW05

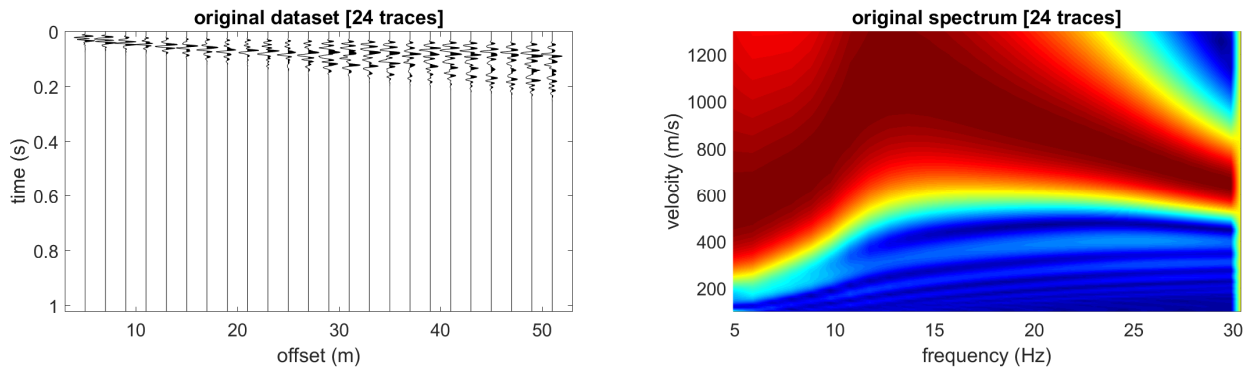
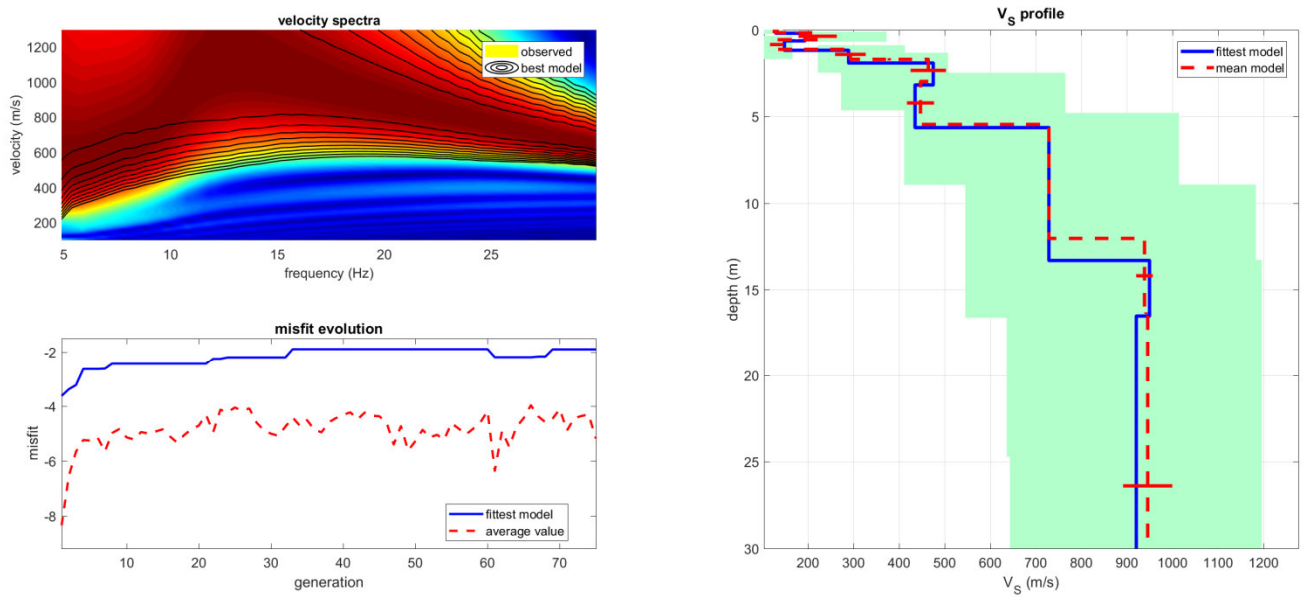


Fig. 4.15 - S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. MASW05. Sismogramma e curva di dispersione originale



www.winmasw.com

dataset: velspe.mat
velocity spectrum: velspeFVS.mat
Vs30 & VsE (best model): 640 462 m/s
Vs30 & VsE (mean model): 657 452 m/s

Fig. 4.16 - S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. MASW05. Spettro di velocità e profilo verticale delle onde di taglio (VS)

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	129	0,1915953	0,19
2	193	0,4369654	0,63
3	148	0,5453965	1,17
4	289	0,7332639	1,91
5	475	1,270968	3,18
6	435	2,462997	5,64
7	729	7,674736	13,32
8	950	3,211961	16,53
9	921	13,475419	30,00

Fig. 4.17 - S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. MASW05.

Tabella di sintesi dove sono riportati gli spessori degli strati e la relativa velocità delle onde di taglio

MASW06

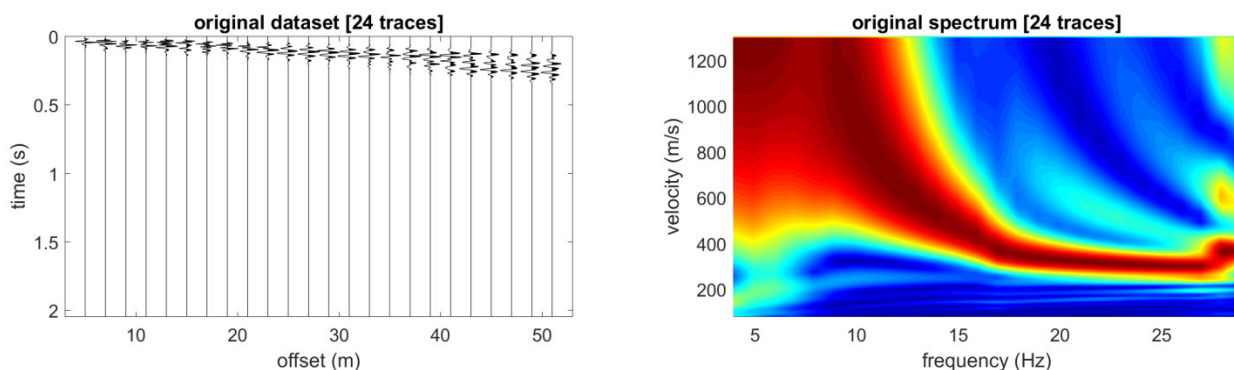
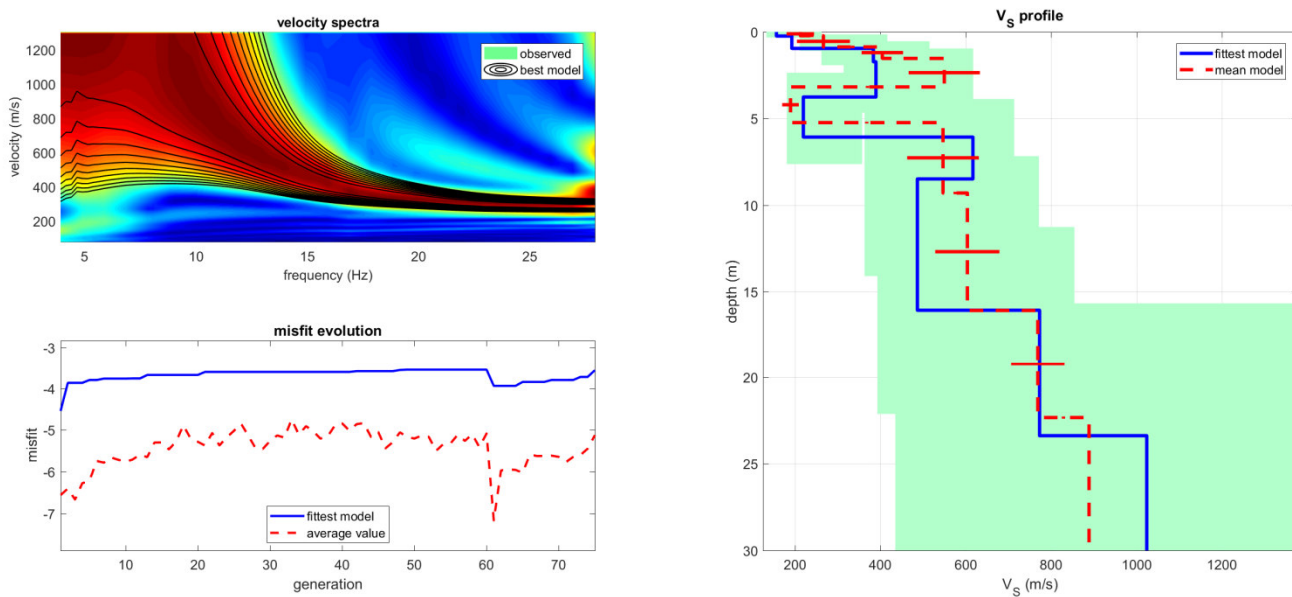


Fig. 4.18 - S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. MASW06. Sismogramma e curva di dispersione originale



www.winmasw.com

dataset: ZVF-PHASE-spectrum1.mat
velocity spectrum: ZVF-PHASE-spectrum1FVS.mat
Vs30 & VsE (best model): 514 450 m/s
Vs30 & VsE (mean model): 552 489 m/s

Fig. 4.19 - S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. MASW06. Spettro di velocità e profilo verticale delle onde di taglio (VS)

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	157	0,2363317	0,24
2	193	0,7132045	0,95
3	384	0,7722619	1,72
4	390	2,034619	3,76
5	220	2,314965	6,07
6	617	2,416884	8,49
7	487	7,585671	16,07
8	773	7,303839	23,38
9	1024	6,623273	30,00

Fig. 4.20 - S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. MASW06.

Tabella di sintesi dove sono riportati gli spessori degli strati e la relativa velocità delle onde di taglio

MASW07

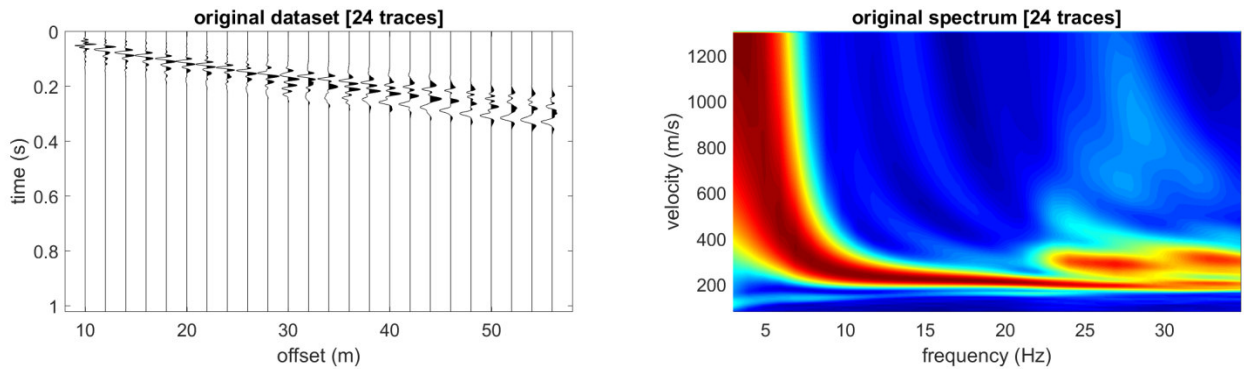
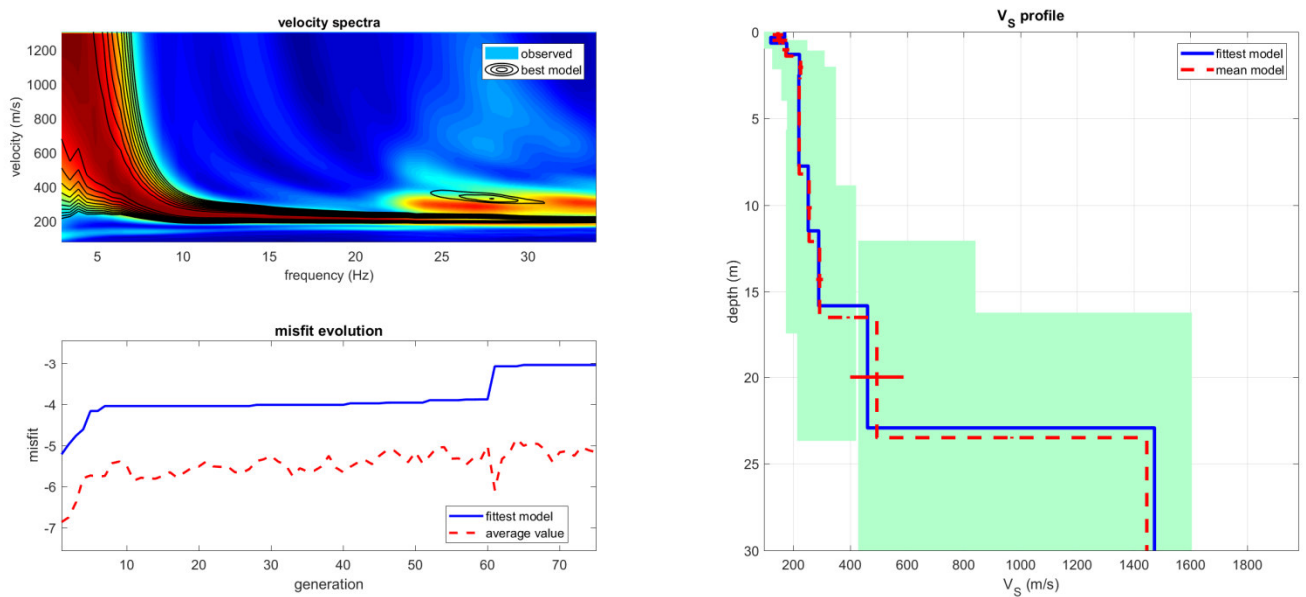


Fig. 4.21 – S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. MASW07. Sismogramma e curva di dispersione originale



www.winmasw.com

dataset: ZVF-PHASE-spectrum_mean.mat
velocity spectrum: ZVF-PHASE-spectrum_meanFVS.mat
Vs30 & VsE (best model): 342 276 m/s
Vs30 & VsE (mean model): 339 280 m/s

Fig. 4.22 - S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. MASW07. Spettro di velocità e profilo verticale delle onde di taglio (Vs)

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	169	0,3149958	0,31
2	120	0,3318474	0,65
3	176	0,6497332	1,30
4	221	1,202156	2,50
5	219	5,247936	7,75
6	252	3,742298	11,49
7	289	4,32696	15,82
8	461	7,110944	22,93
9	1473	7,074052	30,00

Fig. 4.23 - S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. MASW07.

Tabella di sintesi dove sono riportati gli spessori degli strati e la relativa velocità delle onde di taglio

MASW08

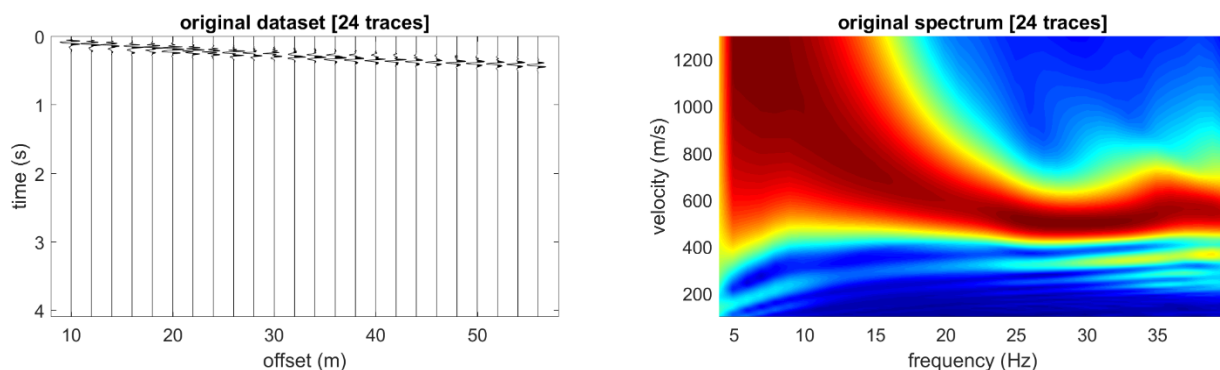


Fig. 4.24 - S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. MASW08. Sismogramma e curva di dispersione originale

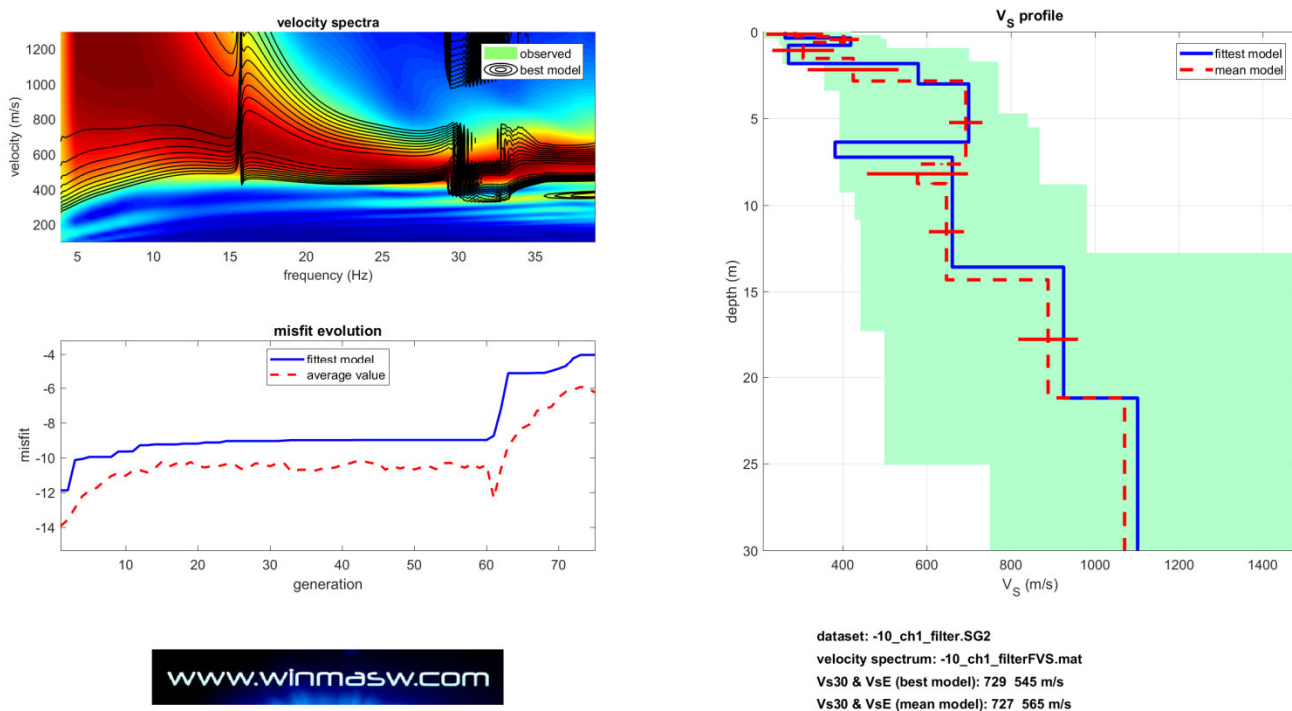


Fig. 4.25 - S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. MASW08. Spettro di velocità e profilo verticale delle onde di taglio (VS)

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	263	0,3522469	0,35
2	419	0,4197295	0,77
3	271	1,054729	1,83
4	580	1,175454	3,00
5	700	3,362289	6,36
6	382	0,8694155	7,23
7	661	6,346167	13,58
8	926	7,622394	21,20
9	1102	8,7981	30,00

Fig. 4.26 - S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. MASW08.

Tabella di sintesi dove sono riportati gli spessori degli strati e la relativa velocità delle onde di taglio

MASW09

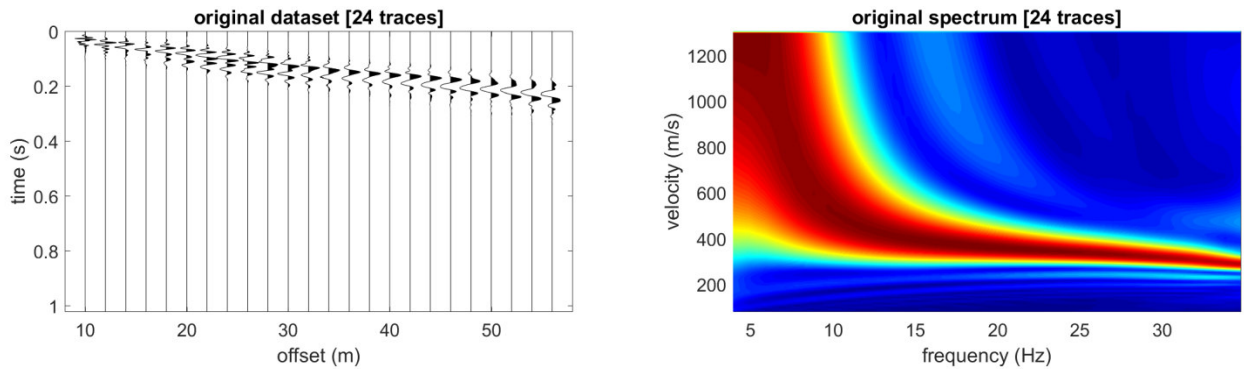
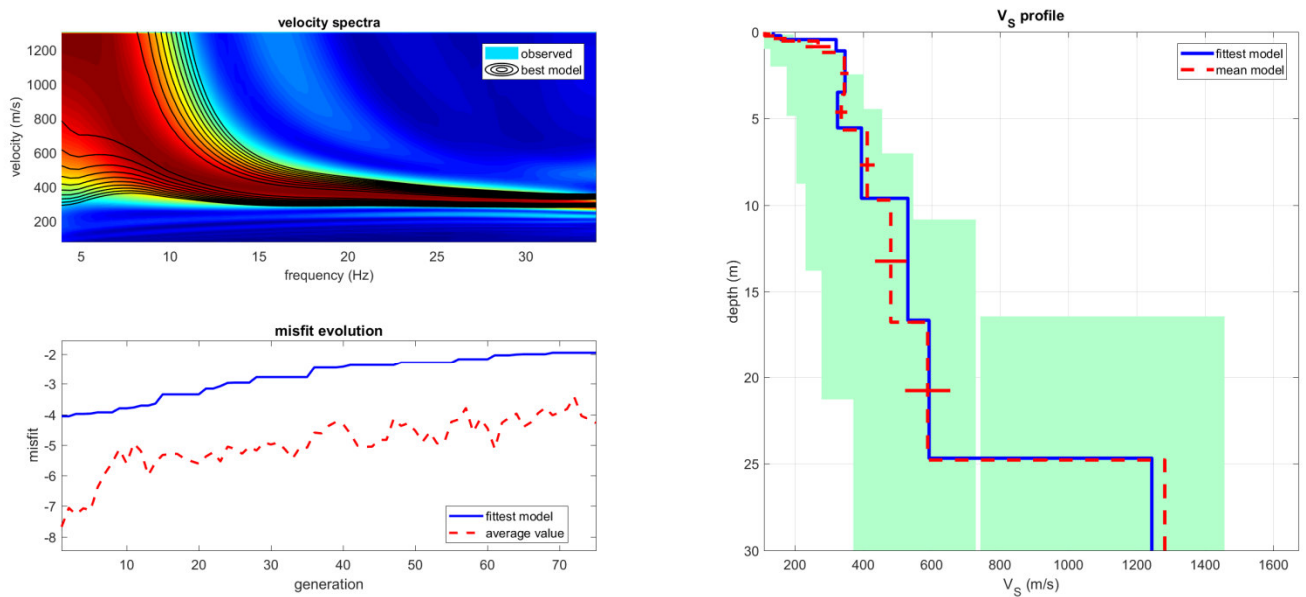


Fig. 4.27 - S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. MASW09. Sismogramma e curva di dispersione originale



www.winmasw.com

dataset: ZVF-PHASE-spectrum_mean.mat
velocity spectrum: ZVF-PHASE-spectrum_meanFVS.mat
Vs30 & VsE (best model): 502 445 m/s
Vs30 & VsE (mean model): 485 429 m/s

Fig. 4.28 - S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. MASW09. Spettro di velocità e profilo verticale delle onde di taglio (VS)

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	136	0,2116126	0,21
2	158	0,2262846	0,44
3	320	0,6529372	1,09
4	346	2,391398	3,48
5	324	2,059333	5,54
6	394	4,066283	9,61
7	530	7,045744	16,65
8	592	8,023642	24,68
9	1244	5,32299	30,00

Fig. 4.29 - S.S. 223 tratto 1° Grosseto-Siena. Lotto 9. Adeguamento a quattro corsie della S.S. 223 di Paganico dal km 41+600 al km 53+400. MASW09.

Tabella di sintesi dove sono riportati gli spessori degli strati e la relativa velocità delle onde di taglio