

# S.G.C. E78 GROSSETO–FANO

Tratto Siena Bettolle (A1)

Adeguamento a 4 corsie del tratto Siena–Ruffolo (Lotto 0)

## PROGETTO DEFINITIVO

COD. FI-81

R.T.I. di PROGETTAZIONE: Mandataria Mandante



**PROGETTISTI:**

Ing. Riccardo Formichi – Pro Iter srl (Integratore prestazioni specialistiche)  
Ordine Ing. di Milano n. 18045

Ing. Riccardo Formichi – Pro Iter srl  
Ordine Ing. di Milano n. 18045

**IL GEOLOGO**

Dott. Geol. Massimo Mezzanzanica – Pro Iter srl  
Albo Geol. Lombardia n. A762

**COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE**

Ing. Enrico Moretti – Erre.vi.a. srl  
Ordine Ing. di Milano n. 16237

**VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO**

Ing. Raffaele Franco Carso



PROTOCOLLO

DATA

## 02 - Geologia e geotecnica

### 02.01 - Geologia

Documentazione indagini geognostiche - Indagini geofisiche

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00GE01GEORE05A .pdf		
DPFI0081	D	20	CODICE ELAB. T00GE01GEORE05	A	-
D					
C					
B					
A	Emissione		Octobre 2020	Vitiello	Mezzanzanica Formichi
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

# DOCUMENTAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

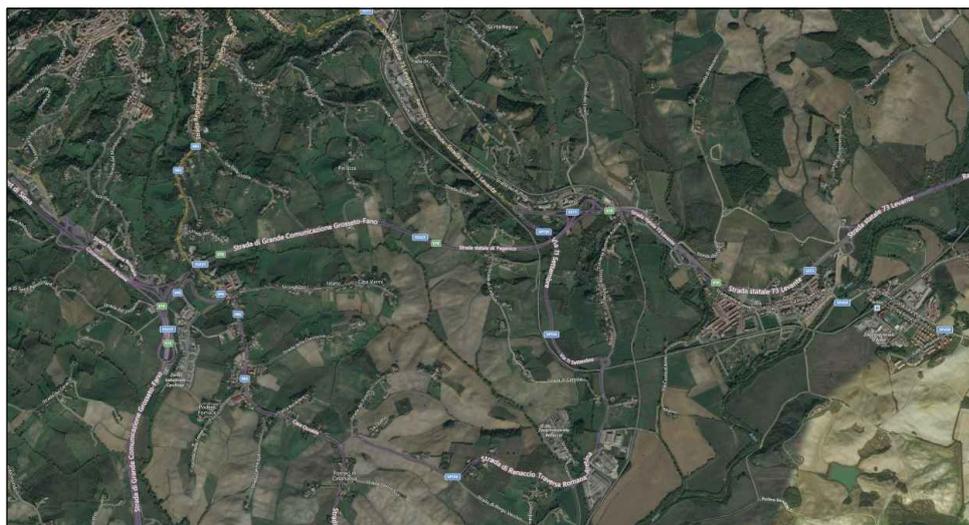


**PROJECT:**  
INTERVENTO "E78 TRATTO SIENA - RIGOMAGNO" -  
LOTTO 0 (SIENA-RUFFOLO)

**LOCATION:**  
COMUNE DI SIENA

**CLIENT:**  
ANAS S.p.A.

**OBJECT:**  
DOCUMENTAZIONE INDAGINI GEOFISICHE



Tecno In Ref.: R.C. 166/19  
Revision n.: 00  
Date: ottobre 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: 166-19\_geofisica.pdf

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>INDAGINI DOWN-HOLE</b>	<b>3</b>
2.1	DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA ED ELABORAZIONE DATI	3
2.2	DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	6
2.3	DESCRIZIONE DELLE MODALITA' ESECUTIVE	7
2.4	RISULTANZE DELL'INDAGINE DOWN-HOLE	8
2.4.1	S02D-DH	9
2.4.2	S05D-DH	14
2.4.3	S11D-DH	19
2.4.4	S14D-DH	24

## **1 PREMESSA**

Il presente elaborato viene redatto per le indagini integrative per lo sviluppo del progetto definitivo – L0.C76, della strada E78 Tratto SIENA - RIGOMAGNO "LOTTO 0" (Siena-Ruffolo), nell'ambito dell'adeguamento a 4 corsie del tratto compreso tra lo svincolo con la Siena-Firenze (km 63.561 del tratto Grosseto-Siena) e lo svincolo di Ruffolo (km 2.800 del tratto Siena-Bettolle).

Le indagini ricadono nel comune di Siena.

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

- n.4 indagini sismiche in foro down-hole

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

## 2 INDAGINI DOWN-HOLE

### 2.1 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. 2.1).

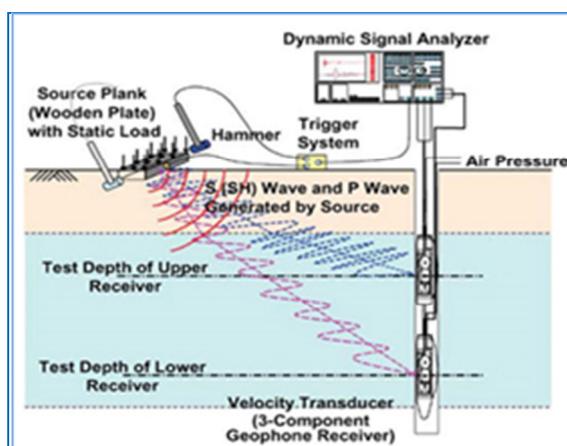


Fig. 2.1 – Schema di sistema di acquisizione per prove sismiche in foro tipo down-hole.

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

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

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

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

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

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

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

Per quanto concerne le registrazioni ottenute da energizzazione applicata in verticale, è stato determinato il primo arrivo in onde P come mostrato nella figura seguente (Fig. 2.2), in cui, si osserva distintamente il primo arrivo dell'onda di compressione.

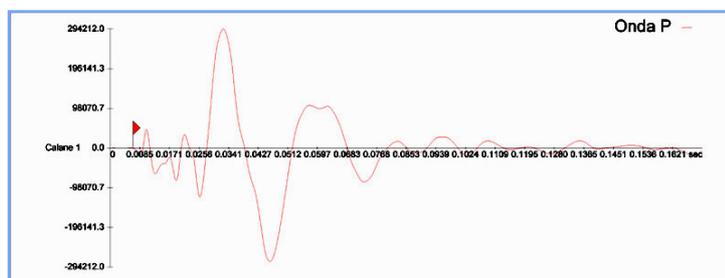


Fig. 2.2 - Esempio di onda P e di lettura del primo tempo di arrivo.

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. 2.3).

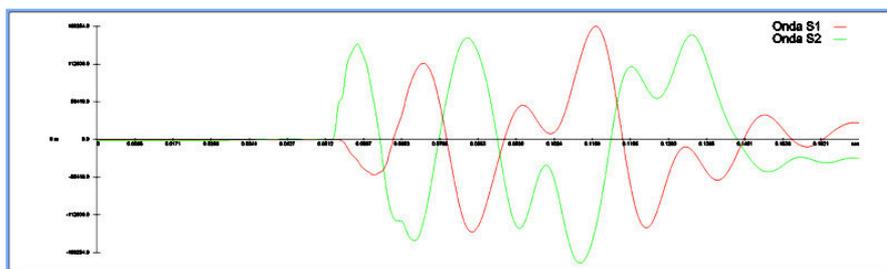


Fig. 2.3 - Esempio di onda S e dell'inversione di fase necessaria per l'individuazione del tempo di arrivo dell'onda di taglio (onda S).

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.

## 2.2 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.

### 2.3 DESCRIZIONE DELLE MODALITA' ESECUTIVE

Nell'ambito della commessa in oggetto, come accennato in premessa, sono state eseguite **n.4** 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.)
S02D-DH	35,00	689540,903	4796299,283	210,076
S05D-DH	35,00	691246,963	4796885,631	197,679
S11D-DH	35,00	692623,330	4796799,187	192,352
S14D-DH	35,00	692856,254	4796991,989	192,842

*Tab. 2.1 – E78 Tratto SIENA - RIGOMAGNO 'LOTTO 0' (Siena-Ruffolo). Adeguamento a 4 corsie del tratto compreso tra lo svincolo con la Siena-Firenze (km 63.561 del tratto Grosseto-Siena) e lo svincolo di Ruffolo (km 2.800 del tratto Siena-Bettolle). 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  $90^\circ$ . 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.

## 2.4 RISULTANZE DELL'INDAGINE DOWN-HOLE

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

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

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

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

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

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

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

---

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

2.4.1 S02D-DH

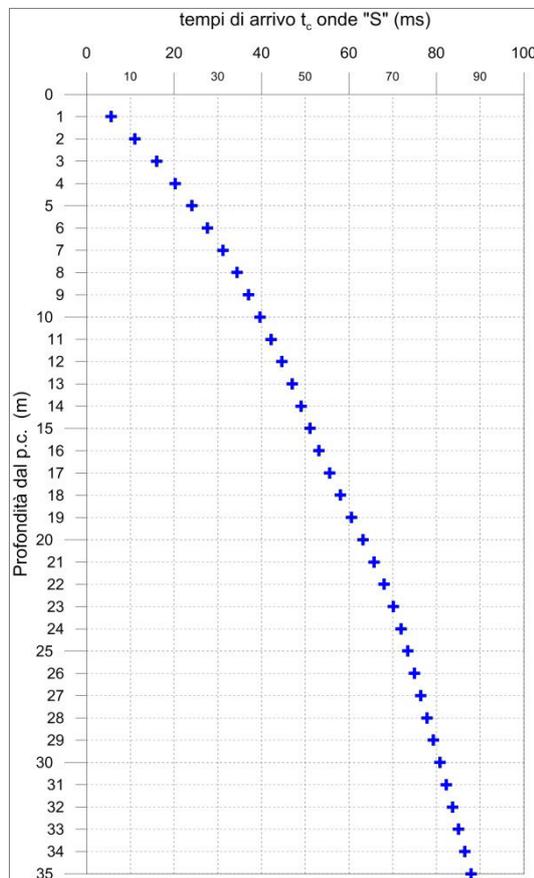
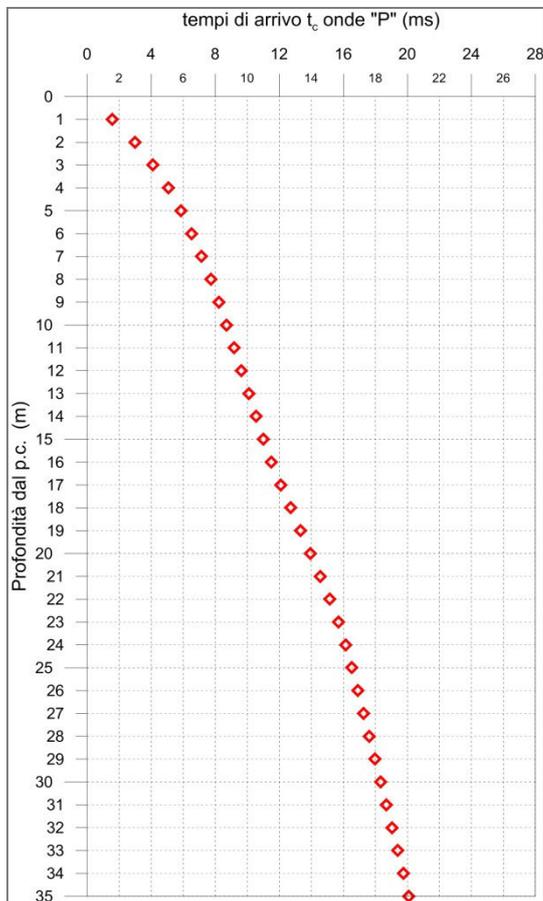


Fig. 2.4 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "S", in funzione della profondità dal p.c.

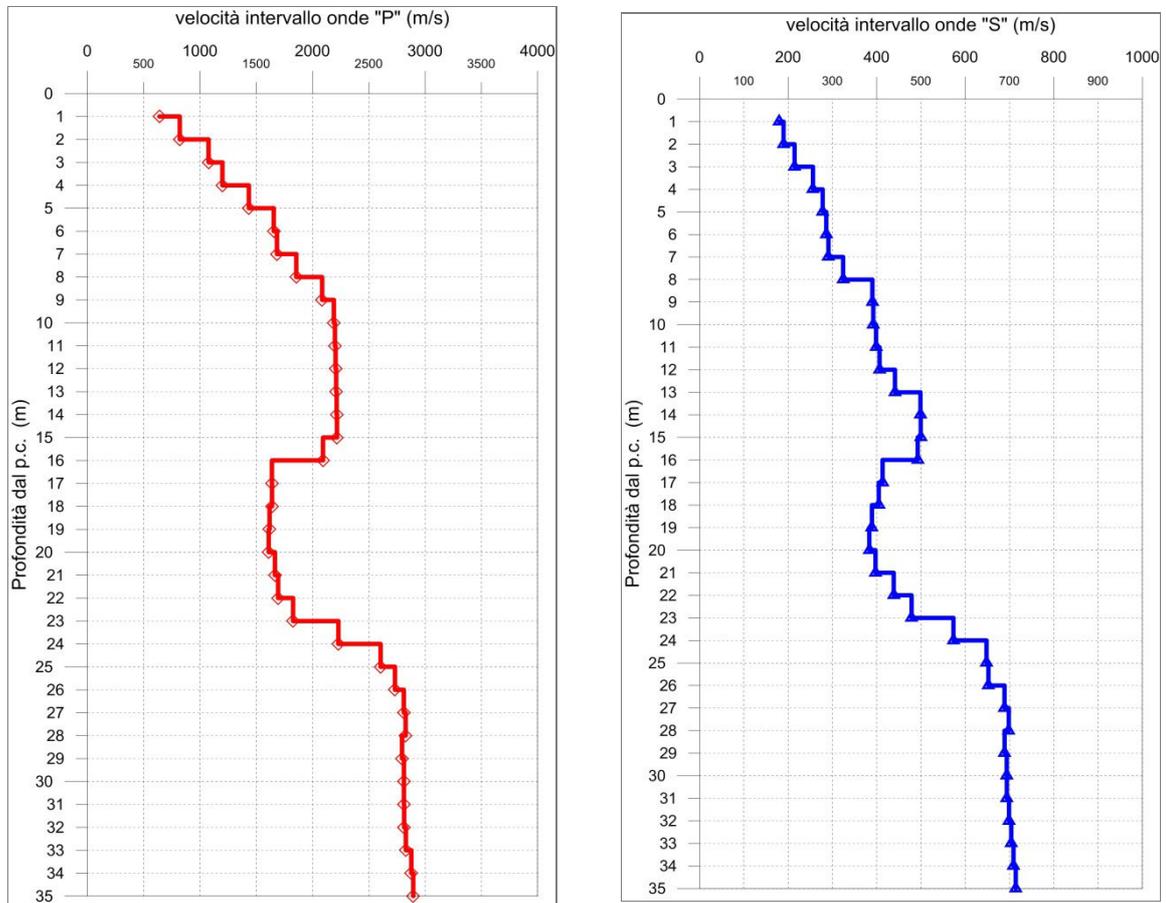


Fig. 2.5 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "S", In funzione della profondità dal p.c.

Profondità (m dal p.c.)	tempi osservati t <sub>o</sub> "P" (ms)	tempi osservati t <sub>o</sub> "S" (ms)	tempi corretti t <sub>c</sub> "P" (ms)	tempi corretti t <sub>c</sub> "S" (ms)	velocità intervallo Vp (m/s)	velocità intervallo Vs (m/s)	Vp/Vs	Poisson (n)	γ <sup>n</sup> gamma NATURALE	G Mpa	E Mpa	K Mpa
1	3,50	12,46	1,56	5,57	639	180	3,6	0,46	1,45	47	136	530
2	4,22	15,58	2,98	11,02	820	190	4,3	0,47	1,60	57	169	999
3	4,94	19,21	4,11	15,98	1076	214	5,0	0,48	1,60	74	218	1753
4	5,66	22,59	5,07	20,21	1199	256	4,7	0,48	1,60	105	310	2162
5	6,30	25,88	5,85	24,03	1434	278	5,2	0,48	1,95	151	446	3808
6	6,87	29,16	6,52	27,67	1655	286	5,8	0,48	1,95	159	473	5127
7	7,44	32,45	7,15	31,20	1683	291	5,8	0,48	1,95	165	490	5305
8	7,96	35,43	7,72	34,37	1856	324	5,7	0,48	1,95	205	608	6442
9	8,42	37,92	8,22	37,02	2085	390	5,3	0,48	1,95	297	880	8082
10	8,87	40,42	8,70	39,63	2190	392	5,6	0,48	1,95	300	890	8952
11	9,32	42,88	9,17	42,19	2198	399	5,5	0,48	2,03	323	957	9381
12	9,76	45,31	9,63	44,69	2205	406	5,4	0,48	2,03	335	994	9422
13	10,21	47,54	10,09	46,99	2210	441	5,0	0,48	2,03	395	1169	9390
14	10,66	49,53	10,55	49,03	2214	499	4,4	0,47	2,03	505	1488	9277
15	11,11	51,51	11,01	51,06	2217	499	4,4	0,47	2,03	506	1492	9303
16	11,58	53,52	11,49	53,11	2093	493	4,2	0,47	2,03	493	1449	8234
17	12,18	55,93	12,10	55,54	1639	413	4,0	0,47	2,03	347	1016	4993
18	12,79	58,38	12,71	58,02	1640	405	4,1	0,47	2,03	332	976	5019
19	13,41	60,94	13,33	60,60	1617	389	4,2	0,47	2,03	307	903	4901
20	14,02	63,53	13,95	63,22	1610	383	4,2	0,47	2,03	298	877	4864
21	14,62	66,04	14,56	65,74	1665	397	4,2	0,47	2,03	320	942	5200
22	15,21	68,31	15,15	68,03	1694	438	3,9	0,46	2,03	390	1143	5305
23	15,75	70,39	15,69	70,12	1827	479	3,8	0,46	2,01	461	1348	6093
24	16,20	72,13	16,15	71,88	2229	573	3,9	0,46	2,01	660	1934	9107
25	16,58	73,67	16,53	73,43	2604	648	4,0	0,47	2,01	844	2476	12501
26	16,95	75,19	16,90	74,97	2732	652	4,2	0,47	2,01	855	2515	13863
27	17,30	76,64	17,26	76,43	2810	689	4,1	0,47	1,95	925	2715	14170
28	17,66	78,07	17,61	77,87	2826	698	4,0	0,47	1,95	951	2791	14307
29	18,01	79,52	17,97	79,33	2795	689	4,1	0,47	1,95	925	2716	14000
30	18,37	80,96	18,33	80,78	2811	694	4,1	0,47	1,95	938	2754	14160
31	18,72	82,39	18,68	82,22	2812	694	4,1	0,47	1,95	939	2755	14164
32	19,08	83,82	19,04	83,66	2813	699	4,0	0,47	1,95	952	2794	14159
33	19,43	85,24	19,40	85,09	2828	704	4,0	0,47	1,95	966	2834	14311
34	19,78	86,65	19,74	86,50	2878	709	4,1	0,47	1,95	980	2876	14840
35	20,12	88,05	20,09	87,90	2895	714	4,1	0,47	1,95	994	2918	15012

Tab. 2.2 – E78 Tratto SIENA - RIGOMAGNO 'LOTTO 0' (Siena-Ruffolo). Adeguamento a 4 corsie del tratto compreso tra lo svincolo con la Siena-Firenze (km 63.561 del tratto Grosseto-Siena) e lo svincolo di Ruffolo (km 2.800 del tratto Siena-Bettolle). Indagine down-hole S02D-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.

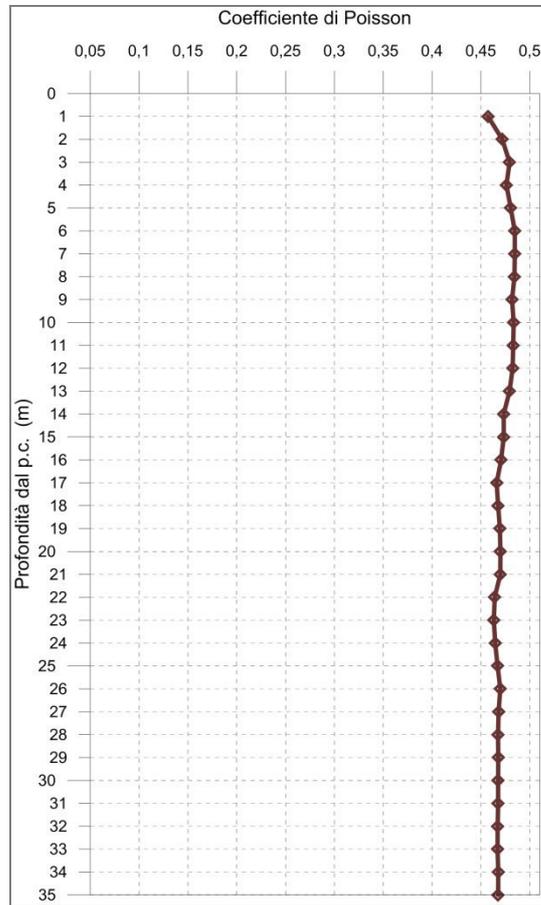


Fig. 2.6 - Diagramma relativo all'andamento del coefficiente di Poisson in funzione della profondità dal p.c..

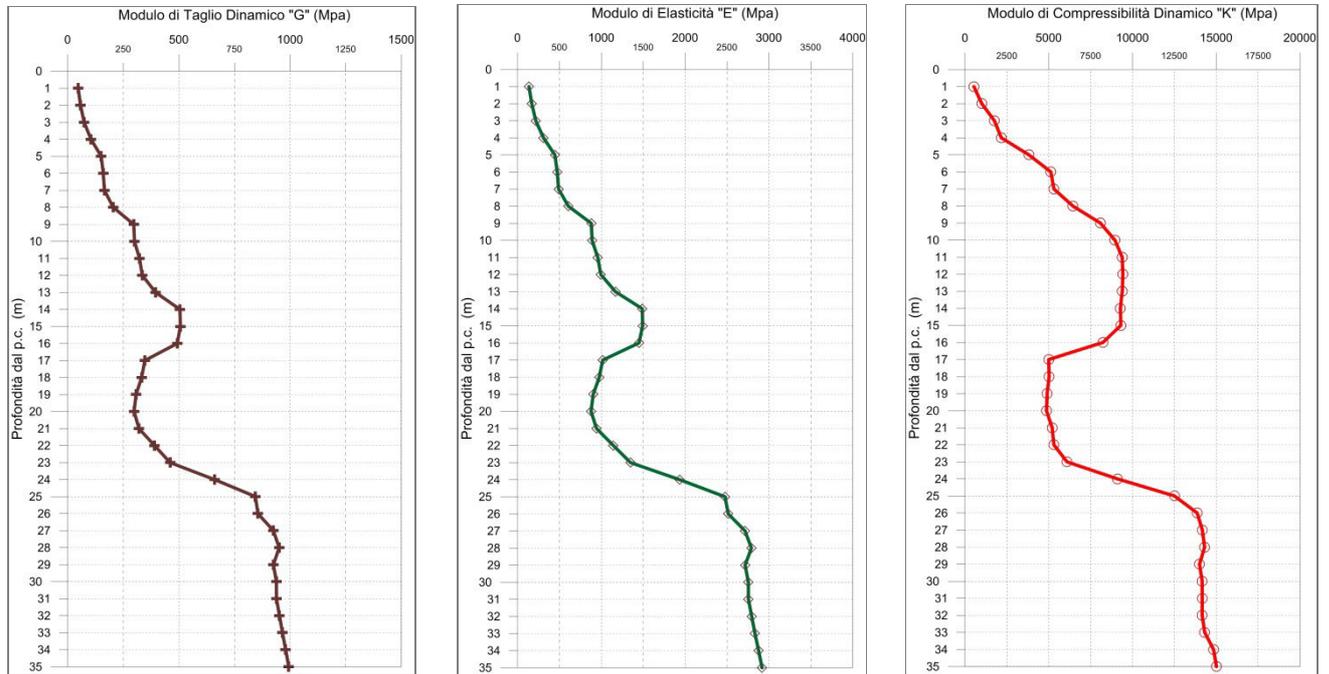


Fig. 2.7 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "G" in funzione della profondità dal p.c. Al centro, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "E" in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "K" in funzione della profondità dal p.c.

2.4.2 S05D-DH

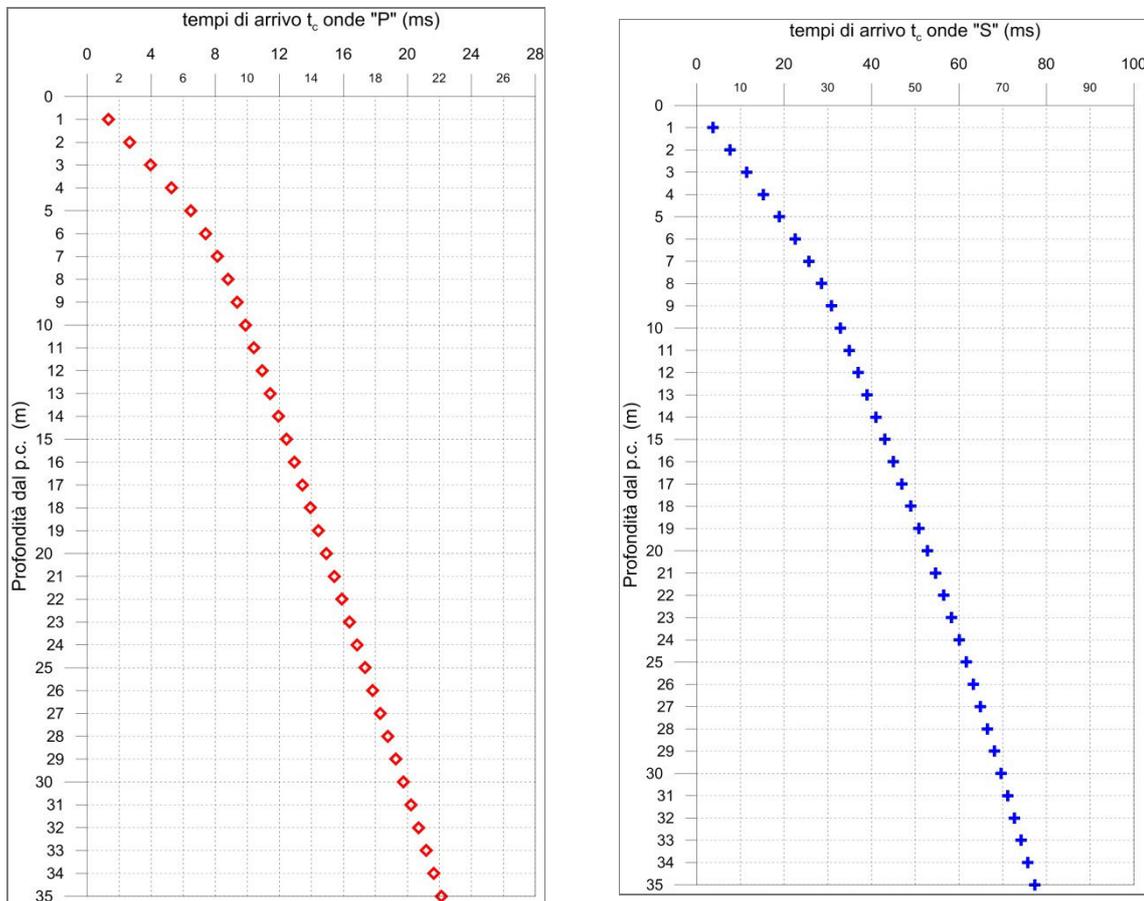


Fig. 2.8 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "S", in funzione della profondità dal p.c.

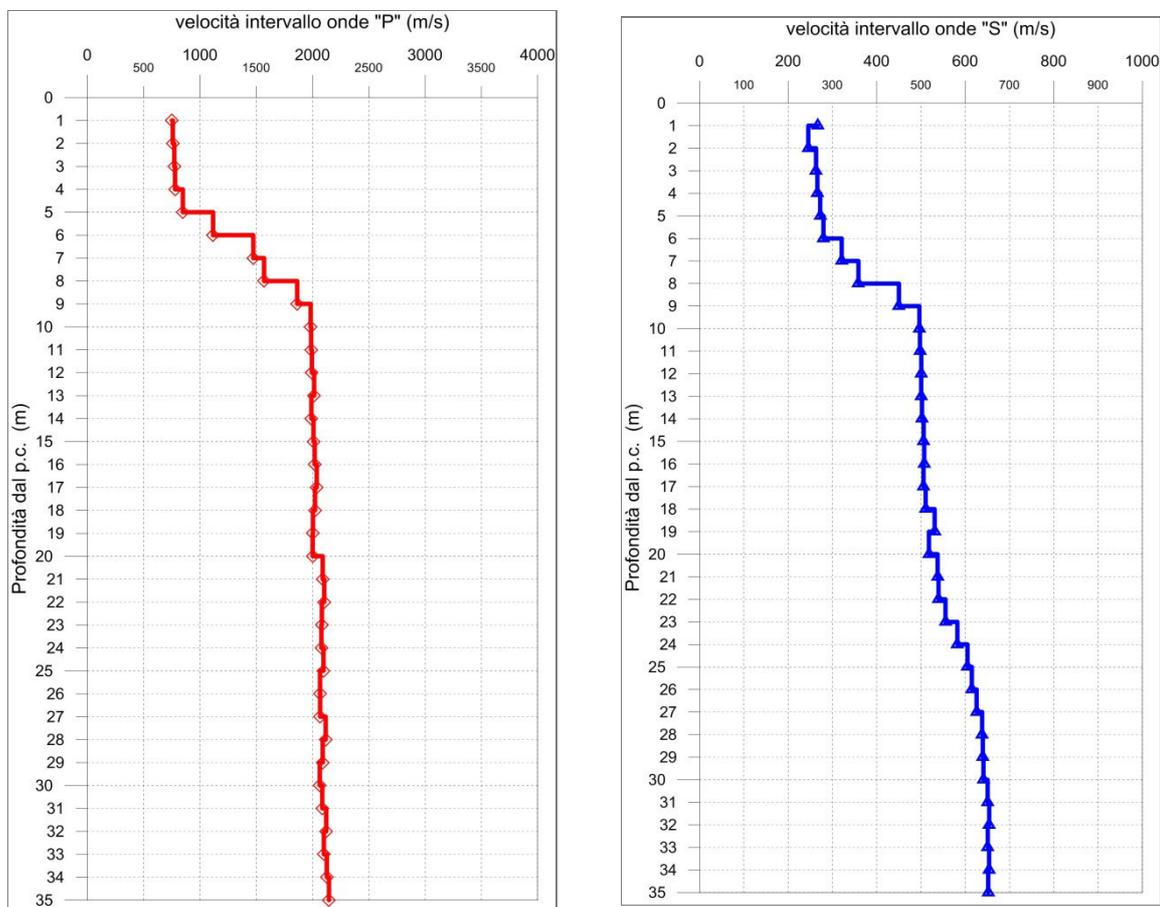


Fig. 2.9 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "S", In funzione della profondità dal p.c.

Profondità (m dal p.c.)	tempi osservati t <sub>o</sub> "P" (ms)	tempi osservati t <sub>o</sub> "S" (ms)	tempi corretti t <sub>c</sub> "P" (ms)	tempi corretti t <sub>c</sub> "S" (ms)	velocità intervallo Vp (m/s)	velocità intervallo Vs (m/s)	Vp/Vs	Poisson (n)	γ <sup>n</sup> gamma NATURALE	G Mpa	E Mpa	K Mpa
1	2,98	8,39	1,33	3,75	750	267	2,8	0,43	1,95	139	396	911
2	3,76	10,80	2,66	7,64	758	245	3,1	0,44	1,95	117	338	965
3	4,77	13,76	3,97	11,45	772	263	2,9	0,43	1,95	135	387	981
4	5,88	17,02	5,26	15,22	778	266	2,9	0,43	1,95	138	396	996
5	6,96	20,37	6,46	18,91	848	272	3,1	0,44	1,95	145	417	1208
6	7,80	23,73	7,40	22,51	1115	280	4,0	0,47	1,95	152	447	2223
7	8,45	26,71	8,13	25,68	1473	321	4,6	0,48	1,95	201	592	3963
8	9,07	29,40	8,80	28,52	1569	359	4,4	0,47	2,05	264	777	4695
9	9,59	31,56	9,36	30,81	1863	450	4,1	0,47	2,05	415	1220	6565
10	10,08	33,54	9,89	32,89	1983	496	4,0	0,47	2,05	505	1481	7391
11	10,58	35,51	10,41	34,94	1987	498	4,0	0,47	2,05	508	1489	7417
12	11,07	37,48	10,92	36,97	1993	501	4,0	0,47	2,05	514	1507	7457
13	11,56	39,45	11,43	38,99	2014	500	4,0	0,47	2,05	513	1506	7629
14	12,06	41,42	11,94	41,01	1989	502	4,0	0,47	2,01	507	1486	7276
15	12,55	43,38	12,44	43,00	2008	506	4,0	0,47	2,01	515	1509	7418
16	13,05	45,33	12,94	44,98	2018	507	4,0	0,47	2,01	517	1516	7500
17	13,53	47,30	13,44	46,97	2037	506	4,0	0,47	2,01	514	1509	7655
18	14,02	49,24	13,94	48,94	2022	511	4,0	0,47	2,01	524	1537	7520
19	14,52	51,12	14,44	50,83	2003	531	3,8	0,46	2,01	567	1657	7309
20	15,02	53,04	14,94	52,77	2000	518	3,9	0,46	2,01	539	1579	7323
21	15,49	54,89	15,42	54,64	2089	537	3,9	0,46	2,01	581	1701	8001
22	15,97	56,73	15,90	56,50	2104	539	3,9	0,46	1,94	565	1654	7832
23	16,45	58,53	16,38	58,31	2082	555	3,8	0,46	1,94	598	1748	7615
24	16,92	60,24	16,87	60,03	2079	582	3,6	0,46	1,94	658	1917	7506
25	17,40	61,89	17,34	61,69	2097	605	3,5	0,45	1,94	710	2067	7582
26	17,88	63,51	17,83	63,32	2067	615	3,4	0,45	1,94	733	2128	7310
27	18,36	65,10	18,31	64,92	2067	626	3,3	0,45	1,94	759	2201	7279
28	18,84	66,67	18,79	66,50	2116	638	3,3	0,45	1,94	790	2291	7633
29	19,31	68,23	19,27	68,06	2090	639	3,3	0,45	1,94	793	2298	7415
30	19,80	69,78	19,75	69,63	2064	641	3,2	0,45	2,02	831	2403	7500
31	20,28	71,32	20,23	71,17	2086	650	3,2	0,45	2,02	855	2472	7651
32	20,75	72,84	20,71	72,70	2122	654	3,2	0,45	2,02	864	2501	7943
33	21,22	74,38	21,18	74,24	2100	651	3,2	0,45	2,02	855	2475	7766
34	21,69	75,90	21,65	75,77	2127	654	3,3	0,45	2,02	863	2500	7987
35	22,16	77,43	22,12	77,31	2145	652	3,3	0,45	2,02	858	2486	8153

Tab. 2.3 – E78 Tratto SIENA - RIGOMAGNO 'LOTTO 0' (Siena-Ruffolo). Adeguamento a 4 corsie del tratto compreso tra lo svincolo con la Siena-Firenze (km 63.561 del tratto Grosseto-Siena) e lo svincolo di Ruffolo (km 2.800 del tratto Siena-Bettolle). Indagine down-hole S05D-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.

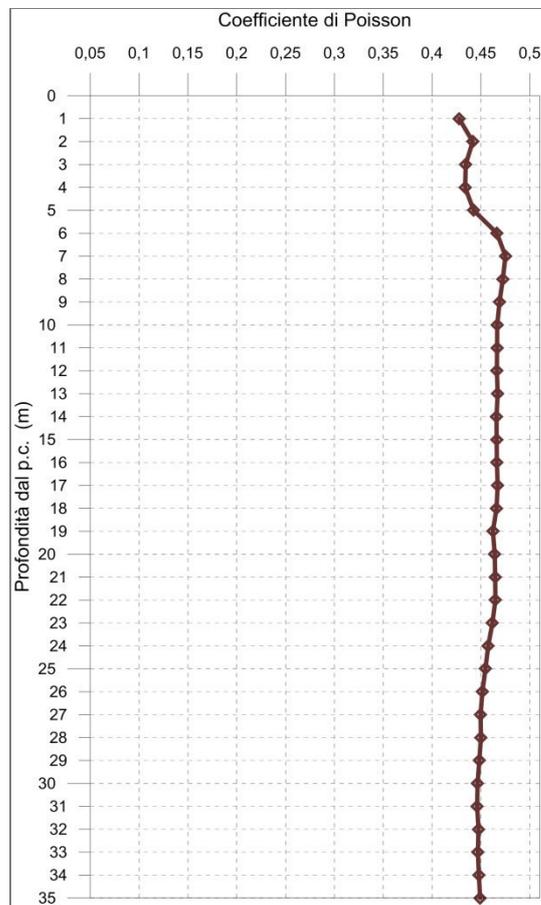


Fig. 2.10 - Diagramma relativo all'andamento del coefficiente di Poisson in funzione della profondità dal p.c..

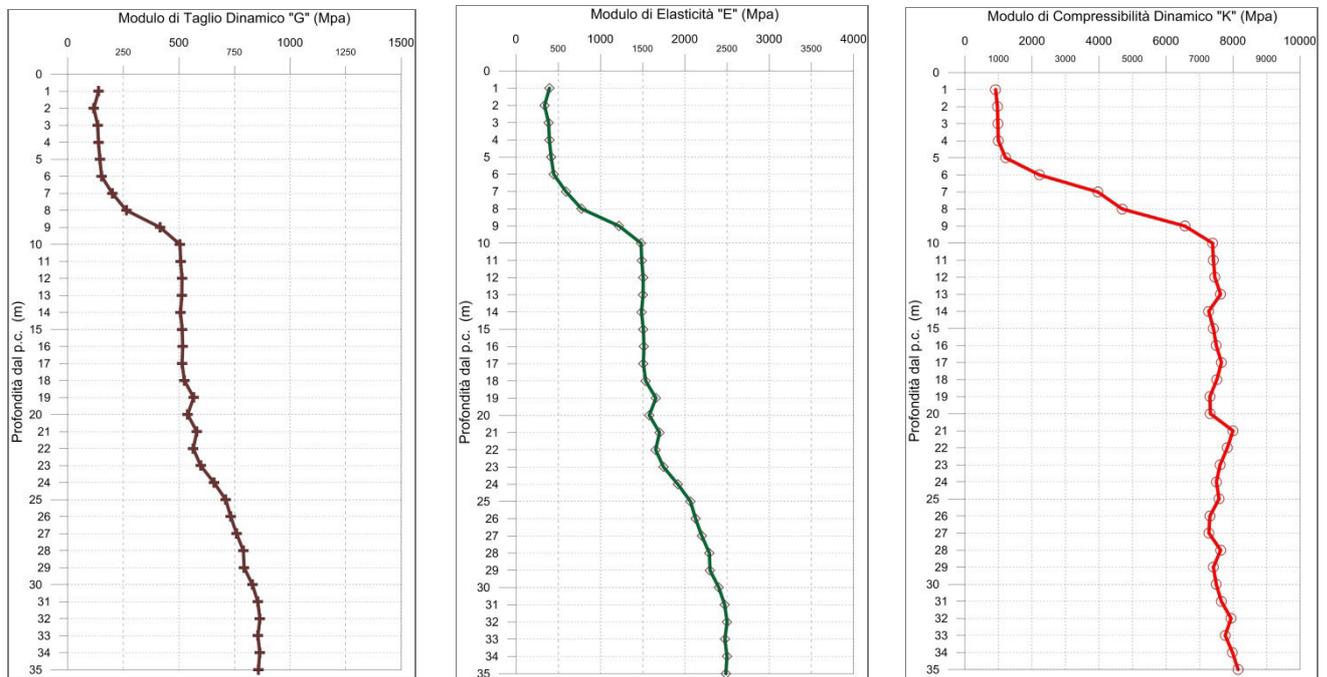


Fig. 2.11 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "G" in funzione della profondità dalla p.c. Al centro, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "E" in funzione della profondità dalla p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "K" in funzione della profondità dalla p.c.

2.4.3 S11D-DH

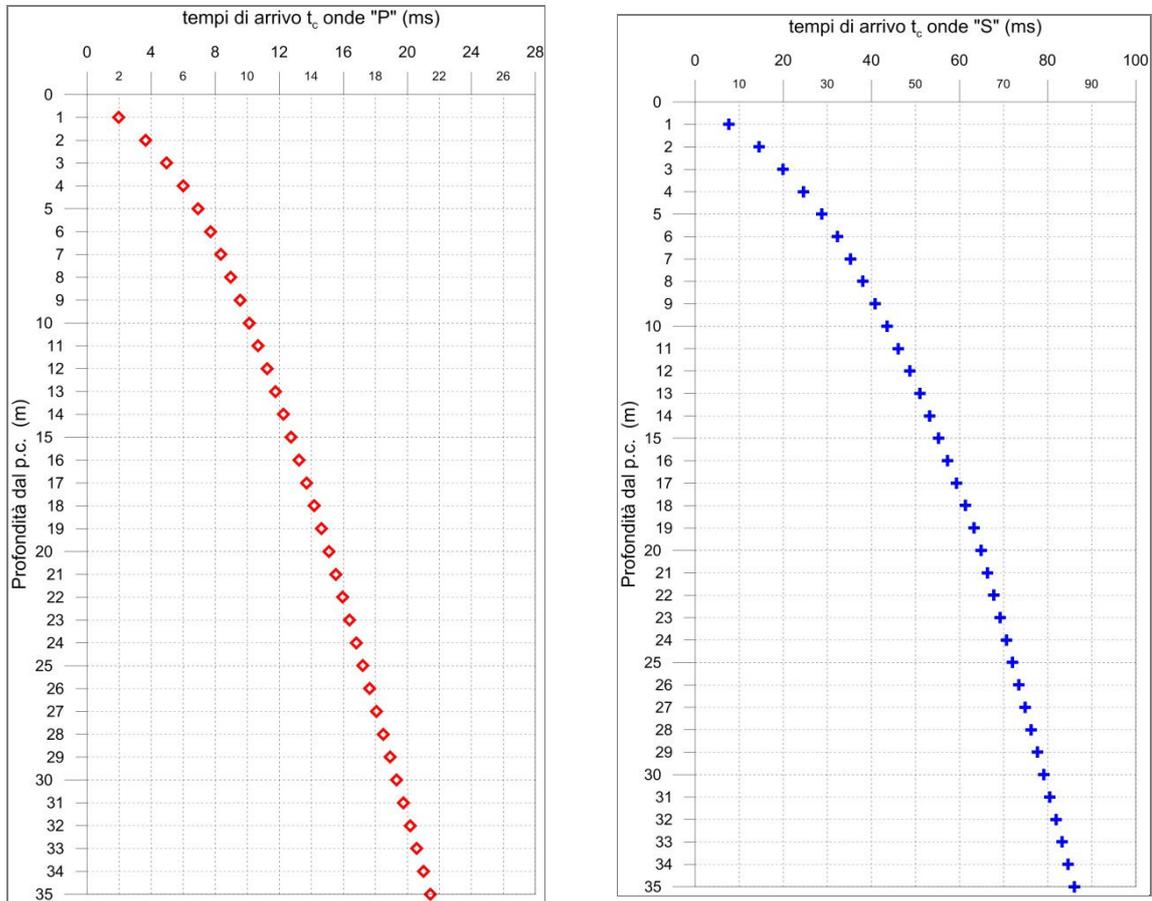


Fig. 2.12 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "S", in funzione della profondità dal p.c.

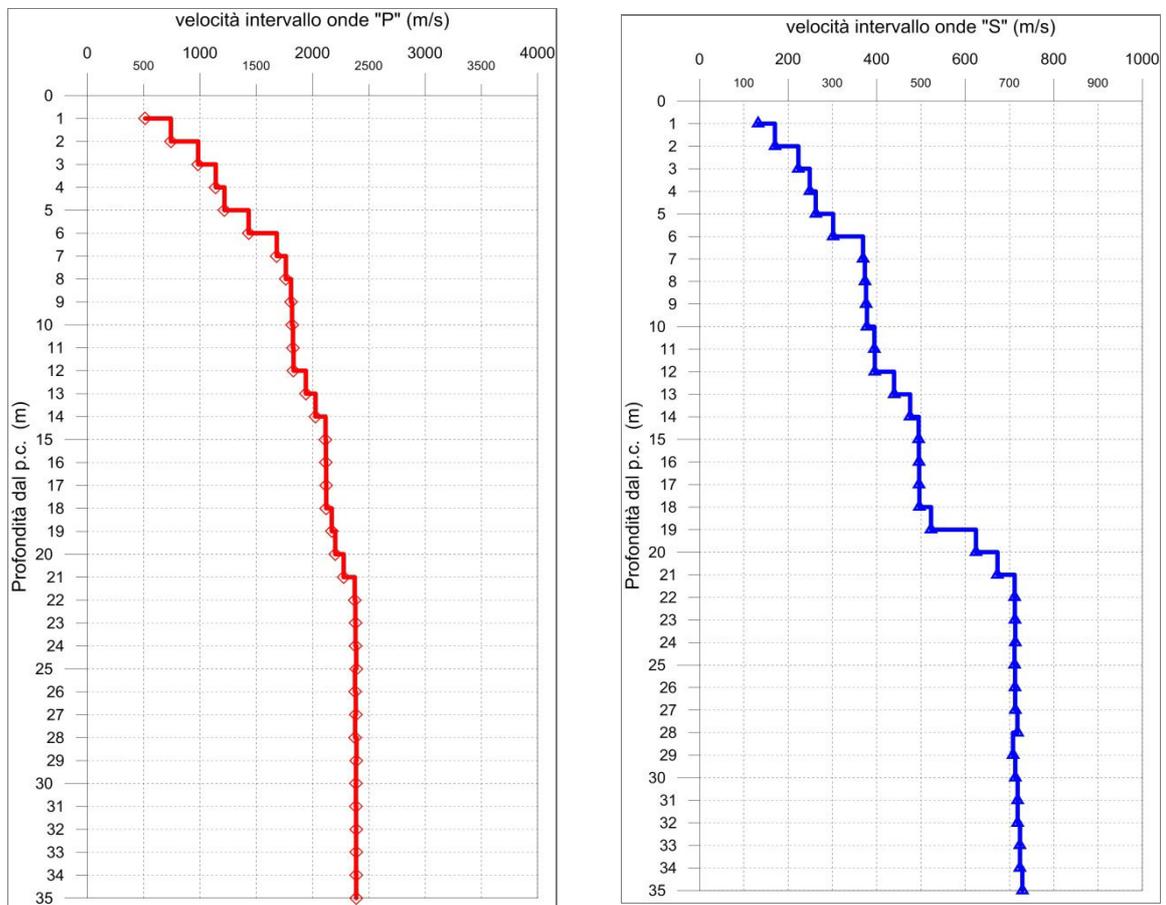


Fig. 2.13 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "S", in funzione della profondità dal p.c.

Profondità (m dal p.c.)	tempi osservati t <sub>o</sub> "P" (ms)	tempi osservati t <sub>o</sub> "S" (ms)	tempi corretti t <sub>c</sub> "P" (ms)	tempi corretti t <sub>c</sub> "S" (ms)	velocità intervallo Vp (m/s)	velocità intervallo Vs (m/s)	Vp/Vs	Poisson (n)	γ <sup>n</sup> gamma NATURALE	G Mpa	E Mpa	K Mpa
1	4,37	16,97	1,95	7,59	512	132	3,9	0,46	1,80	31	91	431
2	5,17	20,46	3,65	14,47	740	170	4,4	0,47	1,80	52	153	917
3	5,96	23,94	4,96	19,92	984	223	4,4	0,47	1,80	90	264	1622
4	6,72	27,43	6,01	24,53	1140	249	4,6	0,48	1,80	111	328	2192
5	7,47	30,91	6,93	28,70	1217	262	4,6	0,48	1,80	124	365	2503
6	8,12	34,03	7,70	32,28	1432	301	4,7	0,48	1,80	164	483	3471
7	8,69	36,62	8,36	35,21	1682	369	4,6	0,47	1,80	245	723	4764
8	9,24	39,21	8,96	38,03	1762	373	4,7	0,48	1,80	251	740	5256
9	9,78	41,79	9,54	40,80	1809	376	4,8	0,48	1,80	254	752	5548
10	10,31	44,38	10,11	43,52	1818	378	4,8	0,48	1,89	270	798	5887
11	10,85	46,87	10,68	46,12	1825	395	4,6	0,48	1,89	294	869	5904
12	11,39	49,36	11,24	48,69	1831	396	4,6	0,48	1,89	296	874	5940
13	11,90	51,61	11,76	51,01	1941	439	4,4	0,47	1,89	364	1074	6635
14	12,39	53,69	12,26	53,15	2026	475	4,3	0,47	1,89	427	1257	7190
15	12,86	55,69	12,74	55,20	2115	495	4,3	0,47	2,08	509	1498	8628
16	13,32	57,69	13,22	57,25	2118	495	4,3	0,47	2,08	510	1502	8653
17	13,79	59,70	13,70	59,29	2120	496	4,3	0,47	2,08	511	1504	8669
18	14,26	61,70	14,17	61,32	2122	496	4,3	0,47	2,08	512	1507	8679
19	14,72	63,60	14,64	63,25	2170	523	4,2	0,47	2,08	568	1670	9035
20	15,17	65,20	15,10	64,87	2202	624	3,5	0,46	2,08	810	2359	9004
21	15,61	66,67	15,54	66,37	2275	673	3,4	0,45	1,98	896	2603	9057
22	16,03	68,07	15,96	67,79	2375	712	3,3	0,45	1,98	1003	2909	9829
23	16,45	69,47	16,38	69,21	2381	712	3,3	0,45	1,98	1003	2911	9884
24	16,86	70,87	16,81	70,63	2382	713	3,3	0,45	1,98	1007	2921	9892
25	17,28	72,27	17,23	72,04	2388	711	3,4	0,45	1,98	1002	2908	9954
26	17,70	73,67	17,65	73,45	2378	712	3,3	0,45	1,98	1005	2916	9853
27	18,12	75,07	18,07	74,86	2383	713	3,3	0,45	1,98	1006	2918	9906
28	18,54	76,46	18,49	76,26	2379	718	3,3	0,45	1,98	1020	2959	9842
29	18,96	77,87	18,91	77,68	2390	708	3,4	0,45	1,98	992	2881	9986
30	19,37	79,27	19,33	79,09	2385	713	3,3	0,45	1,98	1007	2921	9922
31	19,79	80,66	19,75	80,49	2385	718	3,3	0,45	1,98	1021	2962	9900
32	20,21	82,05	20,17	81,89	2386	718	3,3	0,45	1,98	1022	2963	9914
33	20,63	83,43	20,59	83,27	2387	724	3,3	0,45	1,98	1037	3006	9896
34	21,05	84,80	21,01	84,66	2387	724	3,3	0,45	1,98	1037	3006	9898
35	21,47	86,17	21,43	86,03	2387	729	3,3	0,45	1,98	1053	3049	9880

Tab. 2.4 – E78 Tratto SIENA - RIGOMAGNO 'LOTTO 0' (Siena-Ruffolo). Adeguamento a 4 corsie del tratto compreso tra lo svincolo con la Siena-Firenze (km 63.561 del tratto Grosseto-Siena) e lo svincolo di Ruffolo (km 2.800 del tratto Siena-Bettolle). Indagine down-hole S11D-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.

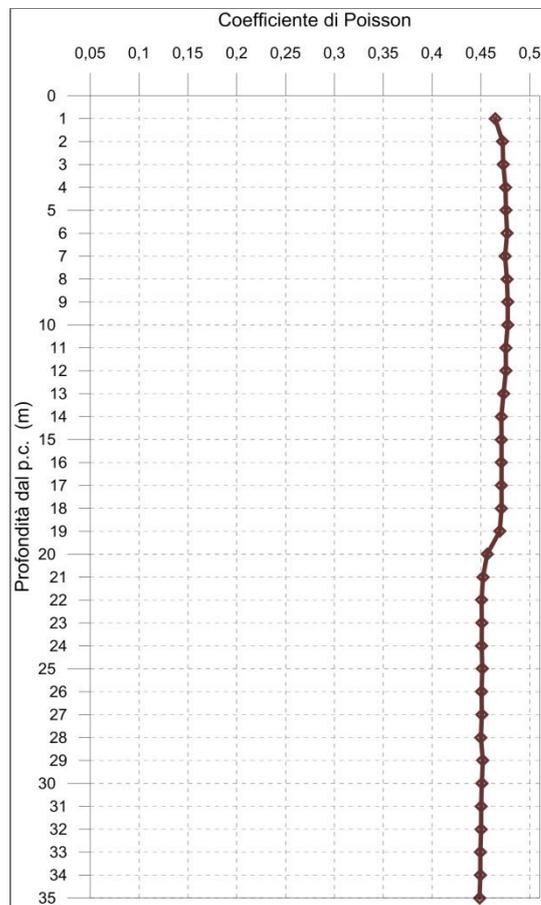


Fig. 2.14 - Diagramma relativo all'andamento del coefficiente di Poisson in funzione della profondità dal p.c..

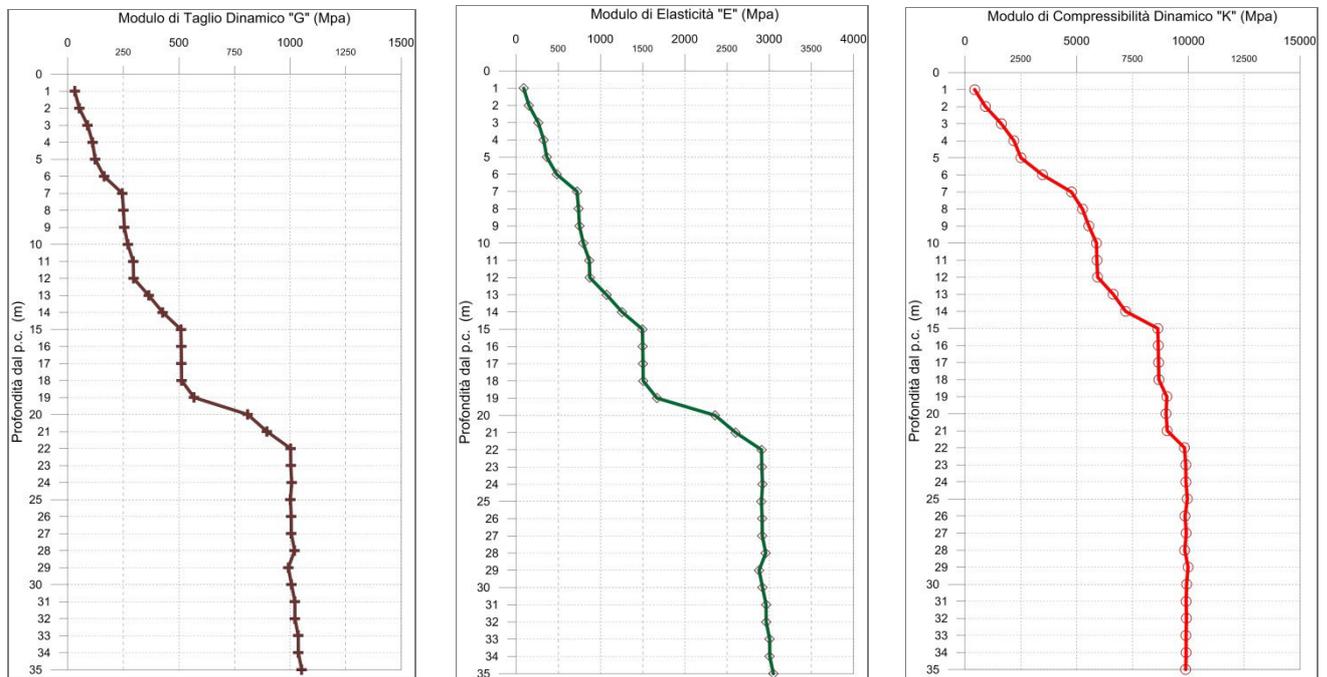


Fig. 2.15 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "G" in funzione della profondità dal p.c. Al centro, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "E" in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "K" in funzione della profondità dal p.c.

2.4.4 S14D-DH

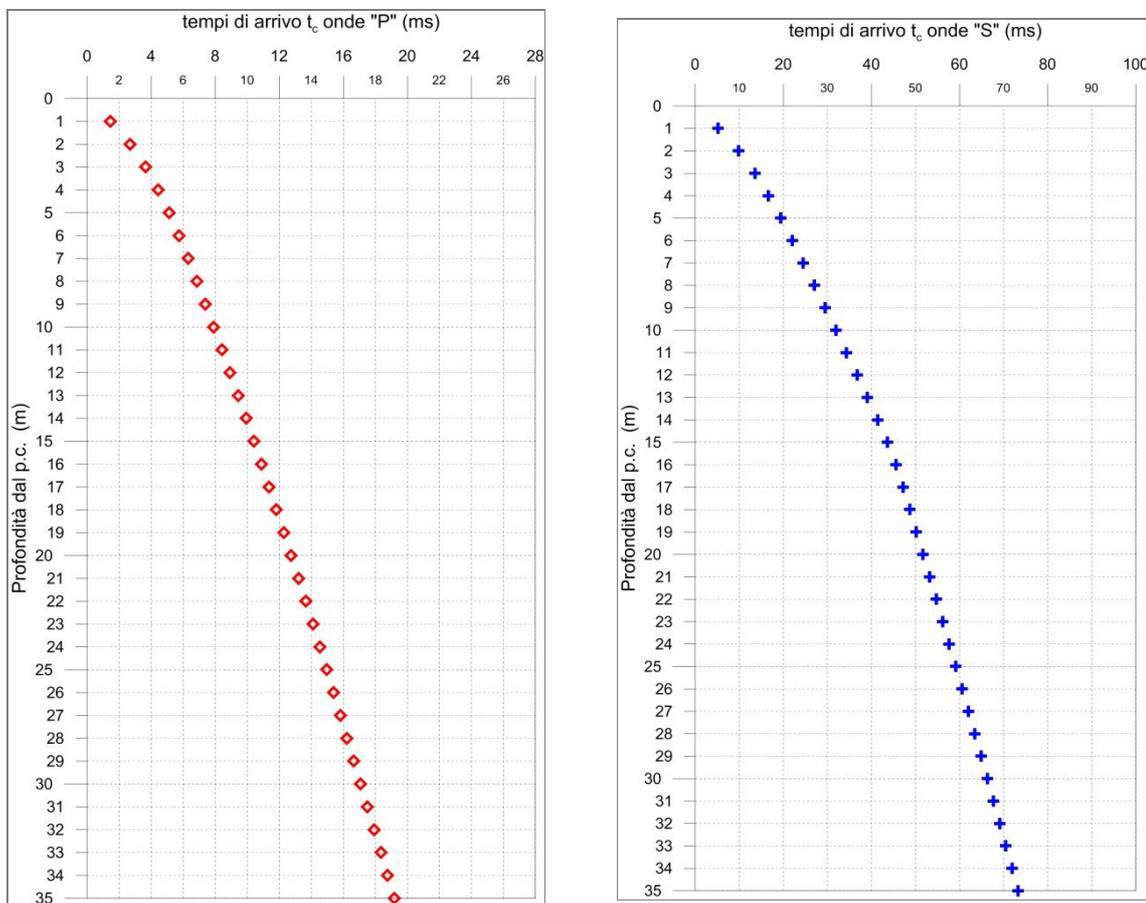


Fig. 2.16 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "S", in funzione della profondità dal p.c.

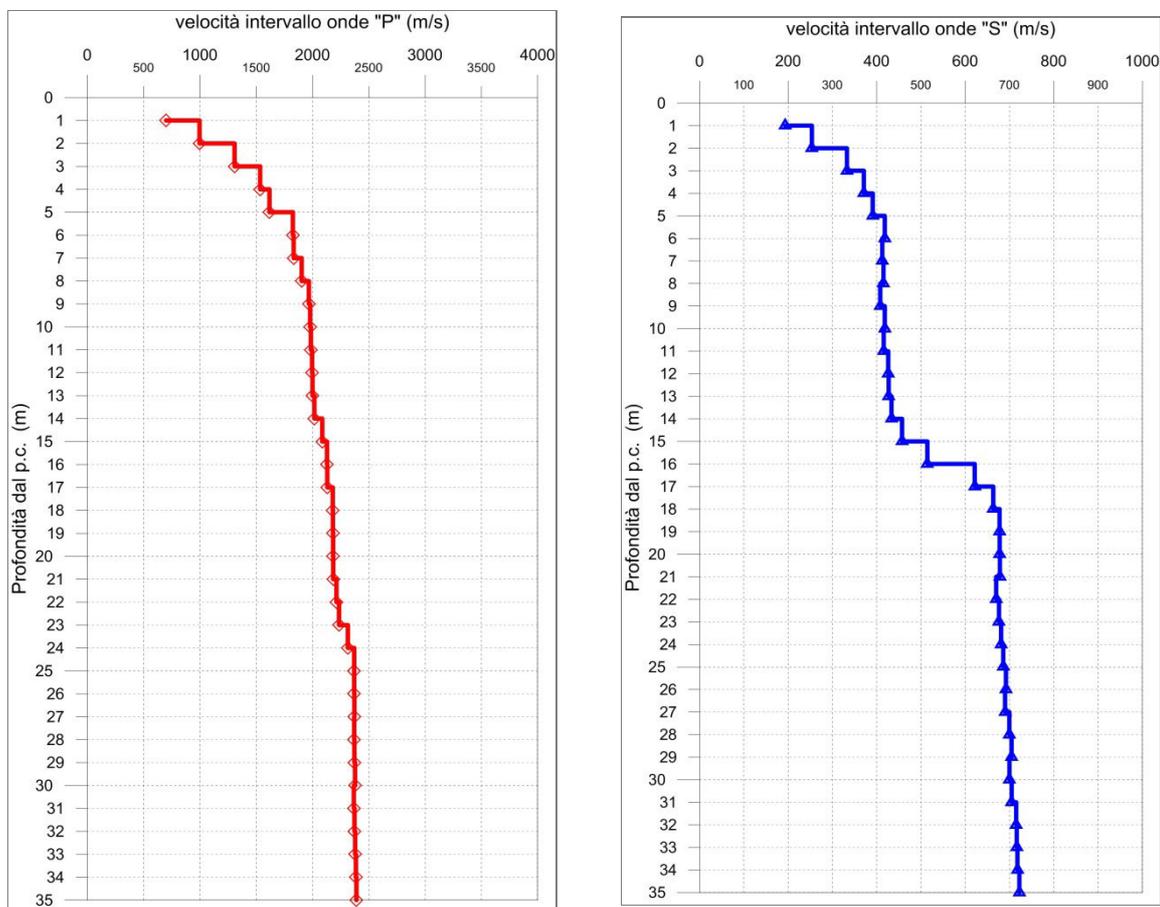


Fig. 2.17 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "S", in funzione della profondità dal p.c.

Profondità (m dal p.c.)	tempi osservati t <sub>o</sub> "P" (ms)	tempi osservati t <sub>o</sub> "S" (ms)	tempi corretti t <sub>c</sub> "P" (ms)	tempi corretti t <sub>c</sub> "S" (ms)	velocità intervallo Vp (m/s)	velocità intervallo Vs (m/s)	Vp/Vs	Poisson (n)	γ <sup>n</sup> gamma NATURALE	G Mpa	E Mpa	K Mpa
1	3,21	11,59	1,43	5,18	698	193	3,6	0,46	1,76	66	191	769
2	3,80	13,93	2,69	9,85	996	254	3,9	0,47	1,76	113	332	1595
3	4,40	16,26	3,66	13,53	1307	333	3,9	0,47	1,76	195	571	2745
4	4,96	18,60	4,44	16,64	1534	371	4,1	0,47	1,76	242	712	3821
5	5,52	20,93	5,13	19,44	1617	391	4,1	0,47	1,76	269	790	4242
6	6,04	23,18	5,73	21,99	1825	418	4,4	0,47	1,76	308	906	5451
7	6,56	25,50	6,31	24,52	1831	413	4,4	0,47	1,76	300	883	5504
8	7,07	27,82	6,86	26,99	1903	415	4,6	0,47	1,76	304	896	5967
9	7,56	30,21	7,38	29,49	1967	408	4,8	0,48	1,84	306	905	6713
10	8,06	32,55	7,90	31,92	1978	418	4,7	0,48	1,84	321	949	6769
11	8,55	34,91	8,42	34,35	1985	416	4,8	0,48	1,84	318	939	6829
12	9,05	37,23	8,92	36,72	1995	426	4,7	0,48	1,84	334	986	6880
13	9,54	39,54	9,43	39,08	2000	427	4,7	0,48	1,84	335	990	6912
14	10,03	41,82	9,93	41,40	2016	433	4,7	0,48	1,76	330	975	6713
15	10,51	43,99	10,41	43,60	2086	457	4,6	0,47	1,89	395	1165	7697
16	10,97	45,92	10,89	45,56	2129	514	4,1	0,47	1,89	500	1470	7897
17	11,44	47,51	11,36	47,19	2131	621	3,4	0,45	1,89	730	2121	7608
18	11,89	49,01	11,82	48,71	2179	663	3,3	0,45	1,89	832	2410	7867
19	12,35	50,48	12,28	50,20	2181	677	3,2	0,45	1,89	867	2509	7832
20	12,81	51,95	12,74	51,69	2182	678	3,2	0,45	1,89	868	2512	7841
21	13,26	53,42	13,20	53,18	2183	678	3,2	0,45	1,89	869	2514	7849
22	13,71	54,90	13,66	54,68	2212	670	3,3	0,45	2,03	911	2640	8716
23	14,16	56,38	14,10	56,16	2235	676	3,3	0,45	2,03	928	2690	8902
24	14,59	57,84	14,54	57,64	2313	681	3,4	0,45	2,03	941	2734	9610
25	15,01	59,29	14,96	59,10	2369	686	3,5	0,45	2,03	955	2777	10121
26	15,43	60,73	15,38	60,55	2370	692	3,4	0,45	2,03	972	2826	10103
27	15,85	62,18	15,81	62,01	2371	690	3,4	0,45	2,03	966	2808	10128
28	16,27	63,60	16,23	63,44	2370	700	3,4	0,45	2,03	994	2886	10074
29	16,69	65,02	16,65	64,87	2371	705	3,4	0,45	2,03	1008	2926	10069
30	17,11	66,45	17,07	66,30	2377	700	3,4	0,45	2,03	994	2888	10146
31	17,53	67,86	17,50	67,72	2366	705	3,4	0,45	2,03	1009	2928	10022
32	17,95	69,26	17,92	69,12	2372	715	3,3	0,45	2,03	1038	3010	10040
33	18,37	70,65	18,34	70,52	2378	716	3,3	0,45	2,03	1041	3020	10093
34	18,79	72,04	18,76	71,92	2384	718	3,3	0,45	2,03	1046	3034	10144
35	19,21	73,42	19,18	73,30	2390	722	3,3	0,45	2,03	1058	3069	10185

Tab. 2.5 – E78 Tratto SIENA - RIGOMAGNO 'LOTTO 0' (Siena-Ruffolo). Adeguamento a 4 corsie del tratto compreso tra lo svincolo con la Siena-Firenze (km 63.561 del tratto Grosseto-Siena) e lo svincolo di Ruffolo (km 2.800 del tratto Siena-Bettolle). Indagine down-hole S14D-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.

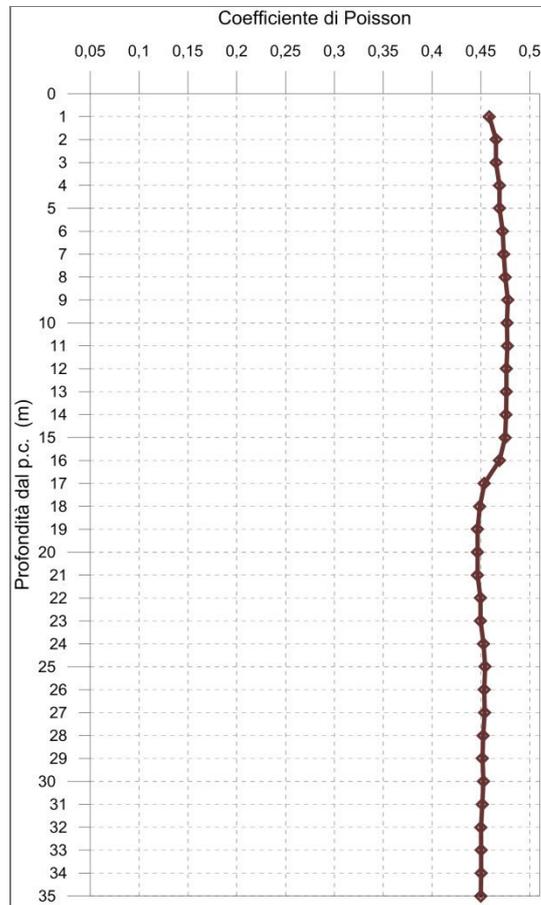


Fig. 2.18 - Diagramma relativo all'andamento del coefficiente di Poisson in funzione della profondità dal p.c..

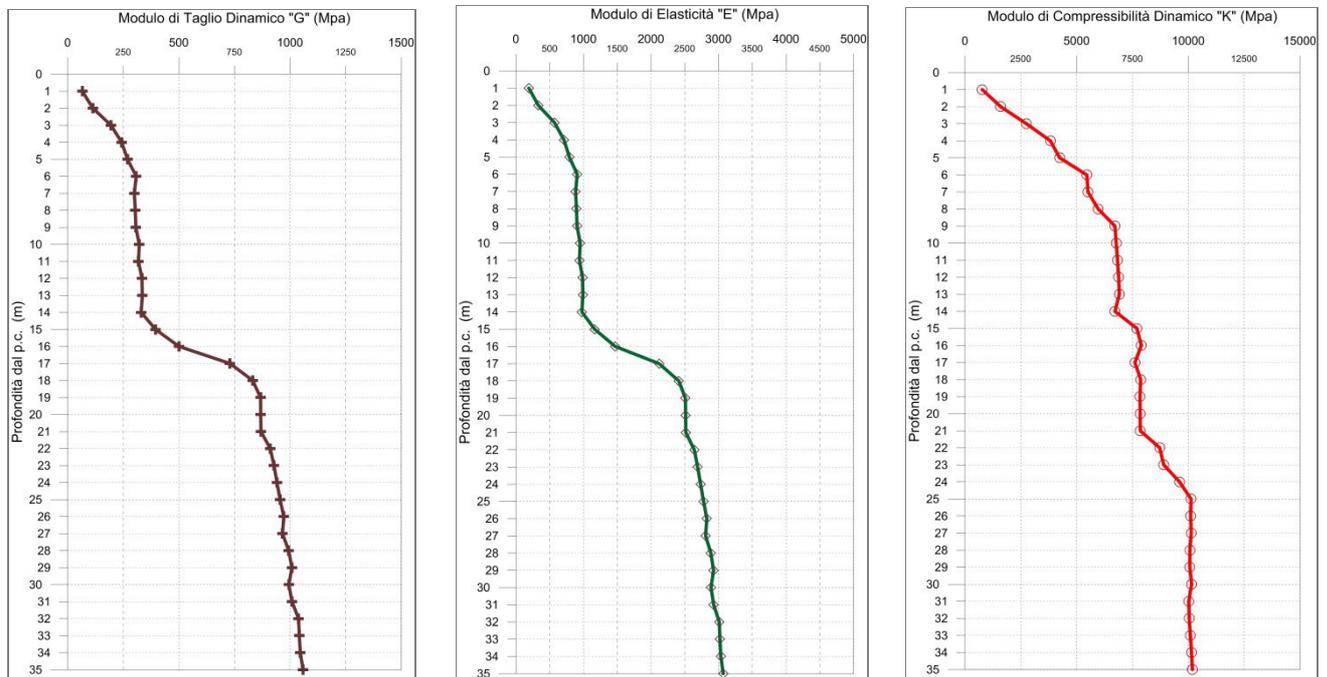


Fig. 2.19 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "G" in funzione della profondità dal p.c. Al centro, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "E" in funzione della profondità dal p.c. A destra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "K" in funzione della profondità dal p.c.