

S.S.195 "SULCITANA"

COMPLETAMENTO ITINERARIO CAGLIARI - PULA LOTTO 2
COLLEGAMENTO CON LA S.S 130 E AEROPORTO CAGLIARI ELMAS
DAL Km 21+488,70 AL Km 23+900,00
RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA

PROGETTO DEFINITIVO

COD. CA12

PROGETTAZIONE: ANAS – DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

PROGETTISTA E RESPONSABILE INTEGRATORE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. M. RASIMELLI
 Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A632

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Ing. D. BONADIES Ing. M. TANZINI
 Ing. P. LOSPENNATO Ing. A. LUCIA
 Ing. S. PELLEGRINI
 Ing. A. POLLI
 Ing. C. CASTELLANO
 Ing. G.N. GUERRINI

IL GEOLOGO

Dott. S. PIAZZOLI

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. L. IOVINE

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Ing. M. COGHE

PROTOCOLLO

DATA:

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:



MANDATARIA



PINI SWISS ENGINEERS SA
 Via Besso 7 - 6900 Lugano - Svizzera

MANDANTE



PINI SWISS ENGINEERS Srl
 Via Cavour 2 - 22074 Lomazzo (CO) - Italia

MANDANTE

GEOLOGIA

Documentazione indagini geofisiche



CODICE PROGETTO

NOME FILE
 T00GE00GEORE06A.doc

REVISIONE

PAG.

PROGETTO

LIV. PROG.

N. PROG.

D P C A 1 2 D 2 0 0 1

CODICE ELAB.

T 0 0 G E 0 0 G E O R E 0 6

A

1 di 46

D					
C					
B					
A	PRIMA EMISSIONE	GIUGNO 2020	F. GHIRLANDA	S. PIAZZOLI	RASIMELLI
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO



<p style="text-align: center;"><i>ANAS S.p.A.</i></p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p style="text-align: center;">PROGETTO DEFINITIVO</p> <p style="text-align: center;"><i>Documentazione indagini geofisiche</i></p> <p style="text-align: center;"><i>T00GE00GEORE06A</i></p>	<p>File: T00GE00GEORE06A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p>
---	--

INDICE

1	DOCUMENTAZIONE INDAGINI GEOFISICHE	3
----------	---	----------

<p style="text-align: center;"><i>ANAS S.p.A.</i></p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p style="text-align: center;"><i>PROGETTO DEFINITIVO</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Documentazione indagini geofisiche</i></p> <p style="text-align: center;"><i>T00GE00GEORE06A</i></p>	<p><i>File:</i> <i>T00GE00GEORE06A.doc</i></p> <p><i>Data: Giugno 2020</i></p>
--	---

1 DOCUMENTAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

INDAGINI GEOFISICHE

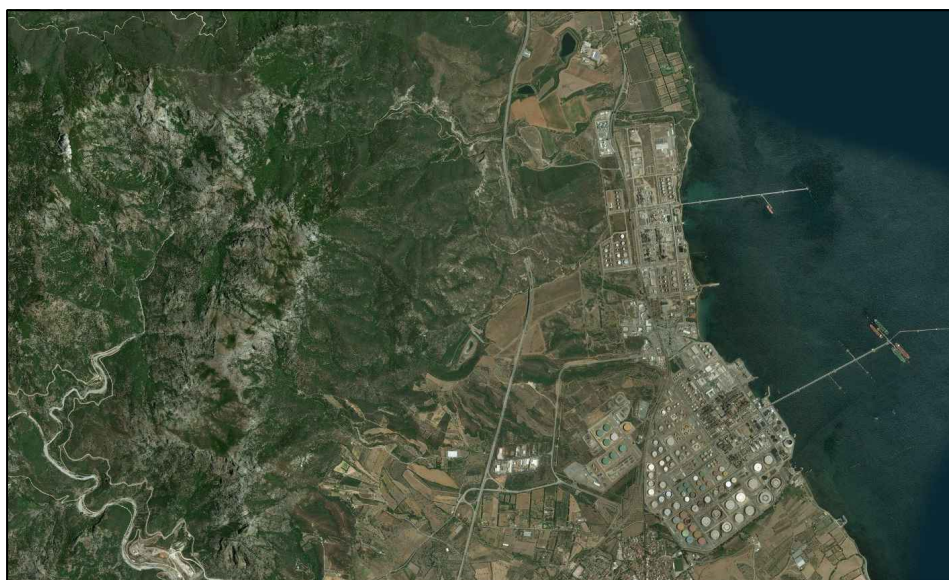


PROJECT:
Progettazione Esecutiva dell'Intervento S.S. 195
"Sulcitana". Tratto Cagliari-Pula. Lotto 2

LOCATION:
Comune di Sarroch (CA)

CLIENT:
ANAS S.P.A.

OBJECT:
INDAGINI GEOFISICHE



Tecno In Ref.: R.C. 279/18
Revision n.: 00
Date: gennaio 2019
Description: emissione

Redacted by: Dr. Geol. Luca Dubbiosi
Reviewed by: Dr. Geol. Giovanni Antonucci
Approved by: Dr. Geol. Lucio Amato
Document code: 279-18_ANAS CQ - Sulcitana - geofisica

INDICE

1	PREMESSA	2
2	INDAGINI DOWN-HOLE	3
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	S2 DH	9
2.4.2	S6 DH	14
2.4.3	S8 DH	19
2.4.4	S10 DH	24
2.5	DETERMINAZIONE DEL PARAMETRO $V_{S,EQ}$	29
3	INDAGINE M.A.S.W.	30
3.1	DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA ED ELABORAZIONE DATI	30
3.2	DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	33
3.3	DESCRIZIONE DELLE MODALITA' ESECUTIVE	33
3.4	RISULTANZE DELL'INDAGINE MASW	34
3.4.1	MASW-1	35
	ALLEGATO	39

1 PREMESSA

La presente relazione fa parte della documentazione inerente l'affidamento dei servizi di indagine geognostica e geofisica propedeutici alla progettazione esecutiva della S.S. 195 "Sulcitana", tratto di collegamento da Cagliari a Pula, Lotto 2°.

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

- n.4 indagini sismiche in foro down-hole;
- n.1 prova sismica di superficie M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Waves*).

Le prove sismiche in foro, con metodologia down-hole, e di superficie, sono state finalizzate al calcolo della velocità equivalente delle onde di taglio ($V_{s,eq}$).

La provincia in cui ricade l'opera è Cagliari (CA).

Le indagini in oggetto sono state effettuate nel mese di dicembre 2018.

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. 2.1.1).

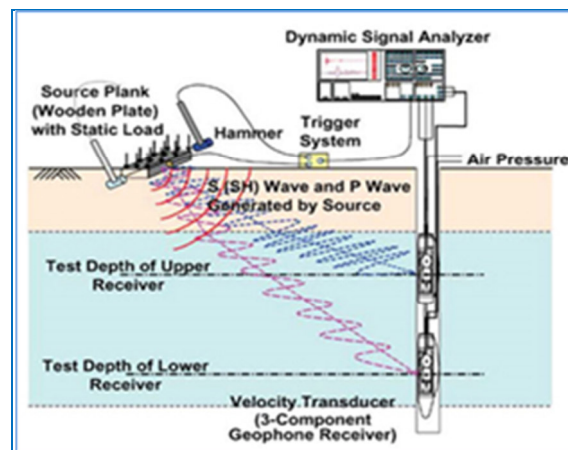


Fig. 2.1.1 - Schema di sistema di acquisizione per prove sismiche in foro tipo down-hole.

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	$\nu = \frac{0.5 * (V_p/V_s)^2 - 1}{(V_p/V_s)^2 - 1}$	(1)
Modulo di Taglio	$G = \gamma \cdot V_s^2$	(2)
Modulo di Elasticità	$E = V_s^2 \cdot \gamma \frac{(3V_p^2 - 4V_s^2)}{(V_p^2 - V_s^2)}$	(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. 2.1.2), in cui, si osserva distintamente il primo arrivo dell'onda di compressione.



Fig. 2.1.2 - 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. 2.1.3).

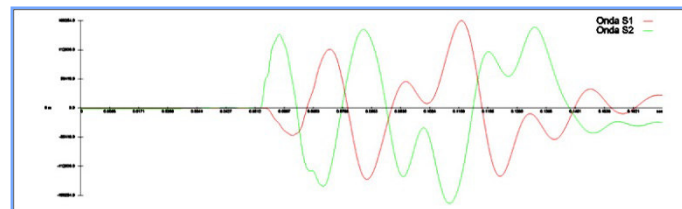


Fig. 2.1.3 - Esempio di onda S e di inversione di fase necessaria per l'individuazione del tempo di arrivo dell'onda di taglio (onda S).

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 costituito da uno strumento AMBROGEO mod 3D-TWIN, a 3 sensori di cui 2 orizzontali disposti ogni 90°. Una volta calati i sensori alla profondità prestabilita, essi sono stati ancorati avvalendosi di una coppia di pistoncini pneumatici attivati da un compressore esterno.
- 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 *DAQLink III (Seismic Source U.S.A.)* a 24 bits, di cui sono riportate le caratteristiche principali:

- A/D convertitore Delta Sigma a 24 bit
- Canali da 1 a 24
- Filtro anti-alias 85% della frequenza di Nyquist
- Filtro taglia basso selezionabile dell'utente - DC, 0.1 Hz, 2 Hz
- Frequenza di campionamento 125, 250, 500 μ s, 1, 2, 4, 8, 16 ms
- Preamplificatore x1 (0 dB), x16 (24 dB)
- Ampiezza di banda DC fino a 15 kHz
- Max input 7.16 Volts
- Range dinamico migliore di 118 dB
- Distorsione (THD) 0.0012 %
- Crosstalk migliore di -125 dB
- Rumore strumentale < 0.2 μ V RMS @ 2 ms
- Possibilità di sommatoria del segnale con e senza pre visualizzazione totale/parziale;
- Auto Gain control
- Delay time
- Pre e post trigger
- Monitoraggio del rumore ambientale

2.3 DESCRIZIONE DELLE MODALITA' ESECUTIVE

Nell'ambito delle indagini in oggetto, come accennato in premessa, sono state eseguite **n.4** prospezioni sismiche in foro "down-hole", la cui ubicazione è riportata nelle tavole allegate.

Di seguito, si riporta il dettaglio per ciascuna indagine:

Codice indagine	Profondità dal p.c. (m)	Sistema di riferimento GAUSS - BOAGA		
		Coordinata EST	Coordinata NORD	Quota ortometrica del p.c. (m s.l.m.)
S2_DH	30,0	1499890,761	4329191,722	48,454
S6_DH	30,0	1499772,631	4326139,598	86,010
S8_DH	30,0	1499642,826	4325589,466	79,088
S10_DH	15,0	1499406,902	4324706,817	75,565

Tab. 2.3.1 – SS195 "Sulcitana". Indagini sismiche in foro "down-hole". Elenco delle coordinate.

Le indagini sono state eseguite sino alle profondità riportate in tabella, acquisendo i segnali relativi ad onde elastiche, mediante il dispositivo di rilevamento descritto nelle pagine precedenti.

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

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 del 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, 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.

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

2.4.1 S2_DH

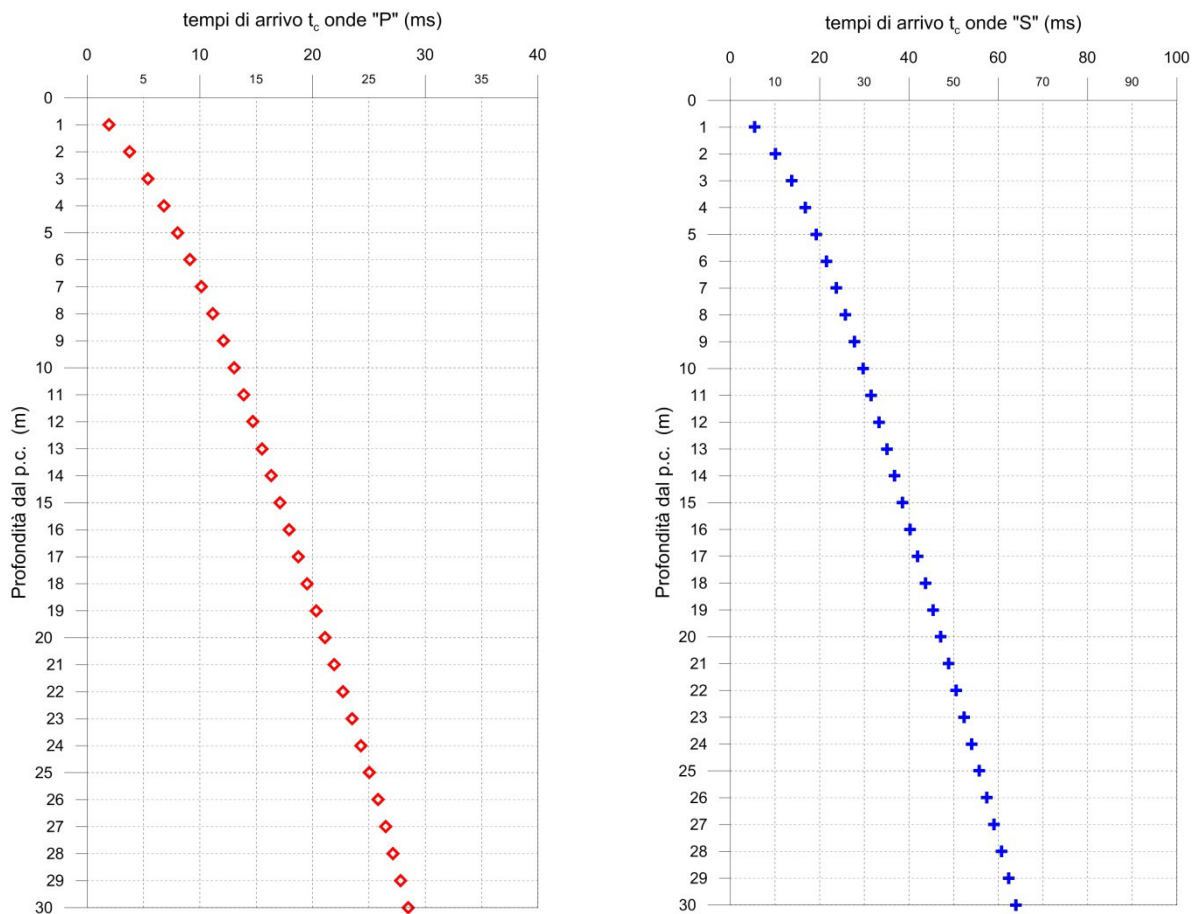


Fig. 2.4.1 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c.

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

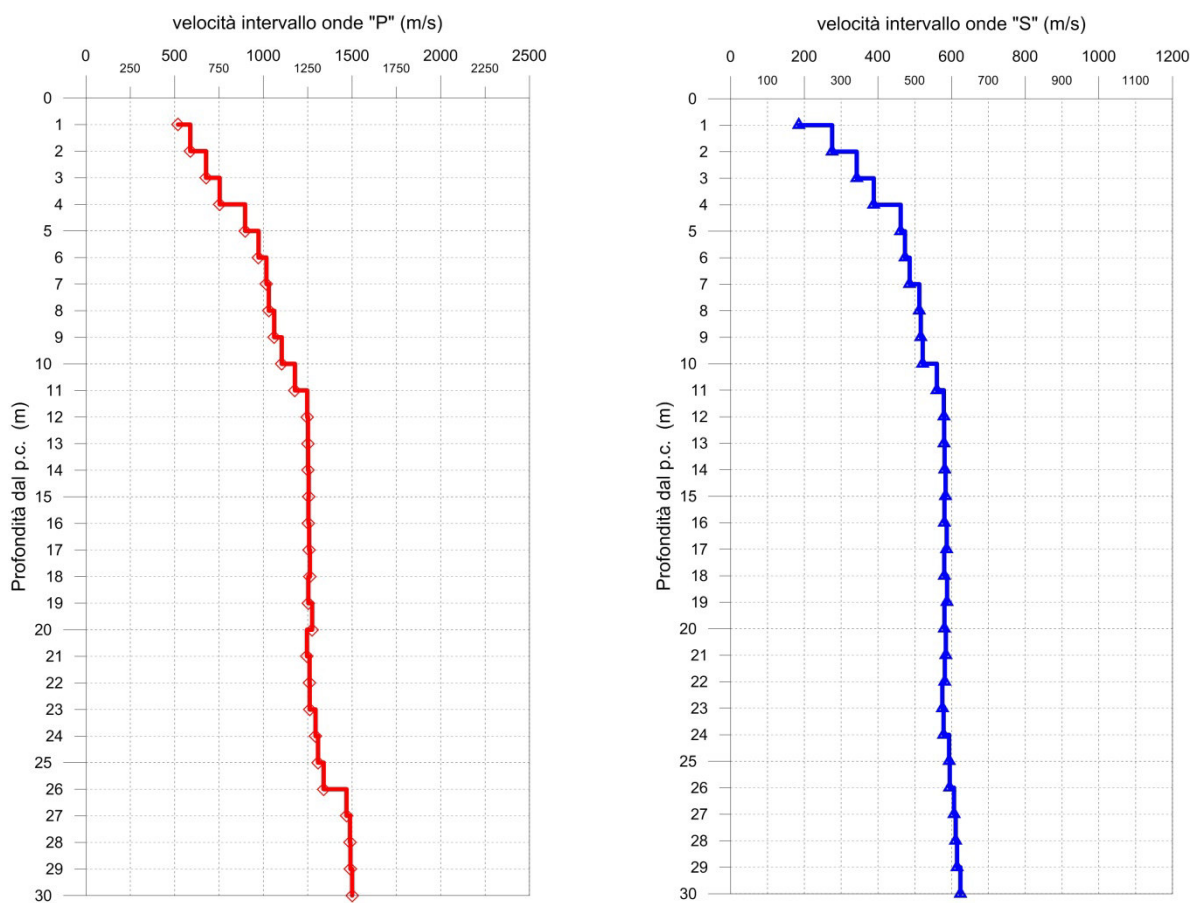


Fig. 2.4.2 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c.

A destra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "S", in funzione della profondità.

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	4,31	12,08	1,93	5,40	519	185	2,8	0,43	1,85	63	181	413
2	5,32	14,23	3,76	10,06	588	276	2,1	0,36	1,85	140	382	452
3	6,47	16,50	5,38	13,73	677	342	2,0	0,33	1,85	217	576	559
4	7,62	18,73	6,81	16,75	753	389	1,9	0,32	1,85	279	737	678
5	8,63	20,71	8,02	19,23	897	462	1,9	0,32	1,85	394	1041	964
6	9,60	22,69	9,11	21,53	973	473	2,1	0,35	1,85	414	1115	1199
7	10,54	24,66	10,13	23,71	1017	486	2,1	0,35	1,85	437	1183	1331
8	11,48	26,54	11,13	25,75	1031	513	2,0	0,34	1,85	486	1298	1317
9	12,39	28,43	12,10	27,75	1061	516	2,1	0,34	1,85	493	1327	1425
10	13,28	30,30	13,02	29,71	1103	522	2,1	0,36	1,85	503	1365	1582
11	14,12	32,06	13,89	31,54	1178	560	2,1	0,35	2,01	630	1707	1948
12	14,91	33,76	14,70	33,30	1247	579	2,2	0,36	2,01	673	1835	2228
13	15,69	35,46	15,51	35,05	1251	580	2,2	0,36	2,01	676	1842	2247
14	16,48	37,17	16,32	36,79	1252	581	2,2	0,36	2,01	678	1849	2247
15	17,27	38,86	17,12	38,52	1256	584	2,2	0,36	2,12	722	1968	2379
16	18,06	40,57	17,92	40,26	1254	581	2,2	0,36	2,12	715	1949	2380
17	18,85	42,26	18,72	41,97	1258	587	2,1	0,36	2,12	730	1987	2383
18	19,64	43,98	19,52	43,71	1262	580	2,2	0,37	2,12	713	1949	2428
19	20,43	45,67	20,32	45,42	1254	588	2,1	0,36	2,12	732	1990	2356
20	21,21	47,38	21,11	47,14	1275	581	2,2	0,37	2,12	715	1958	2495
21	22,01	49,08	21,91	48,86	1246	584	2,1	0,36	2,12	724	1968	2324
22	22,80	50,80	22,71	50,59	1260	582	2,2	0,36	2,12	717	1957	2412
23	23,59	52,53	23,50	52,33	1261	575	2,2	0,37	2,12	700	1917	2436
24	24,36	54,25	24,28	54,06	1294	578	2,2	0,38	2,12	709	1950	2605
25	25,12	55,93	25,04	55,75	1308	593	2,2	0,37	2,12	746	2045	2632
26	25,87	57,61	25,79	57,44	1340	595	2,3	0,38	2,12	750	2066	2806
27	26,55	59,25	26,47	59,09	1469	607	2,4	0,40	2,12	780	2179	3532
28	27,22	60,88	27,15	60,73	1489	611	2,4	0,40	2,12	792	2215	3642
29	27,89	62,51	27,82	62,36	1491	615	2,4	0,40	2,12	801	2239	3646
30	28,55	64,11	28,49	63,96	1500	624	2,4	0,40	2,12	825	2303	3672

Tab. 2.4.1 - SS195 "Sulcitana". Indagine down-hole S2_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.

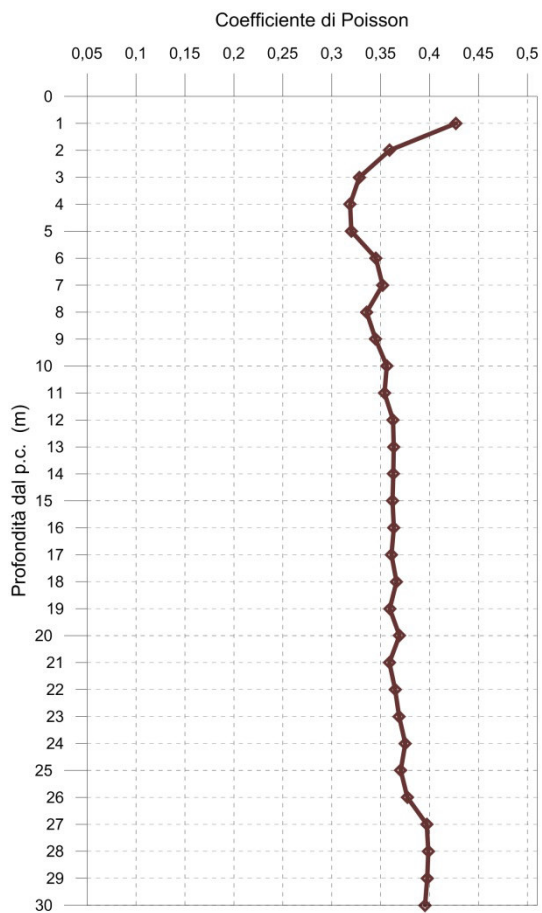


Fig. 2.4.3 - Diagramma relativo all'andamento del coefficiente di Poisson in funzione della profondità dal p.c.

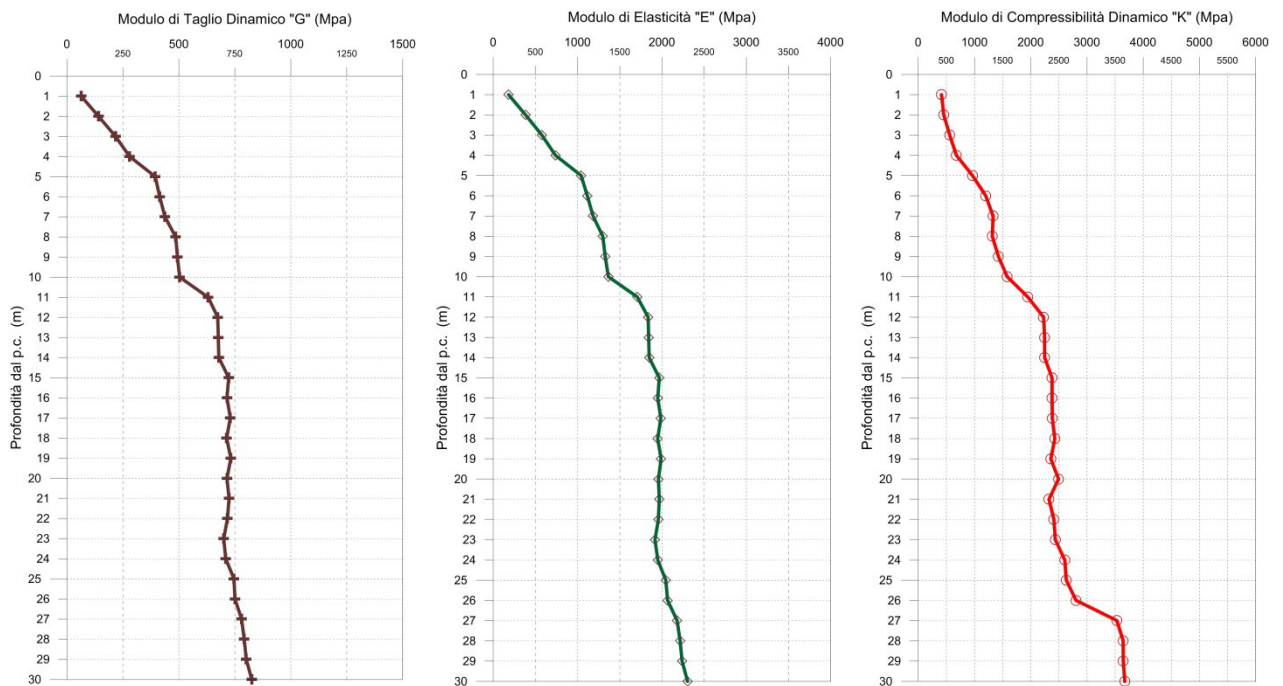


Fig. 2.4.4 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "G" in funzione della profondità dal p.c.
Al centro, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "E" in funzione della profondità dal p.c.
A destra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "K" in funzione della profondità dal p.c.

L'elaborazione della prospezione down-hole ha permesso di suddividere il sottosuolo in n.2 sismostrati aventi le seguenti caratteristiche:

Sismostrato	Profondità dal p.c. (m)		$(V_P)_{\text{medio}}$ m/s	$(V_S)_{\text{medio}}$ m/s
	da	a		
1°	1,0	10,0	1.003	494
2°	10,0	30,0	1.317	593

Tab. 2.4.2 - SS 195 "Sulcitana". Indagine down-hole S2_DH. Suddivisione del sottosuolo in sismostrati.

2.4.2 S6_DH

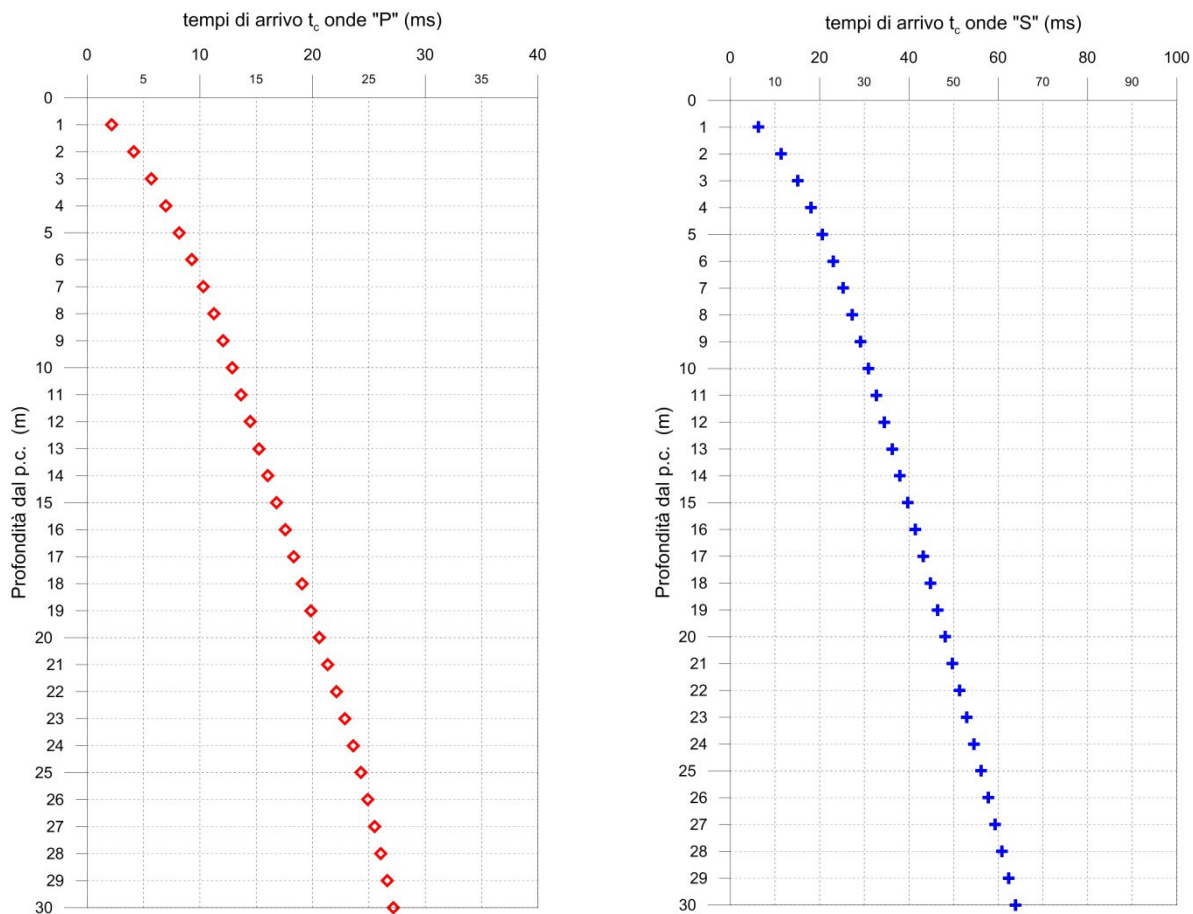


Fig. 2.4.5 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c.

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

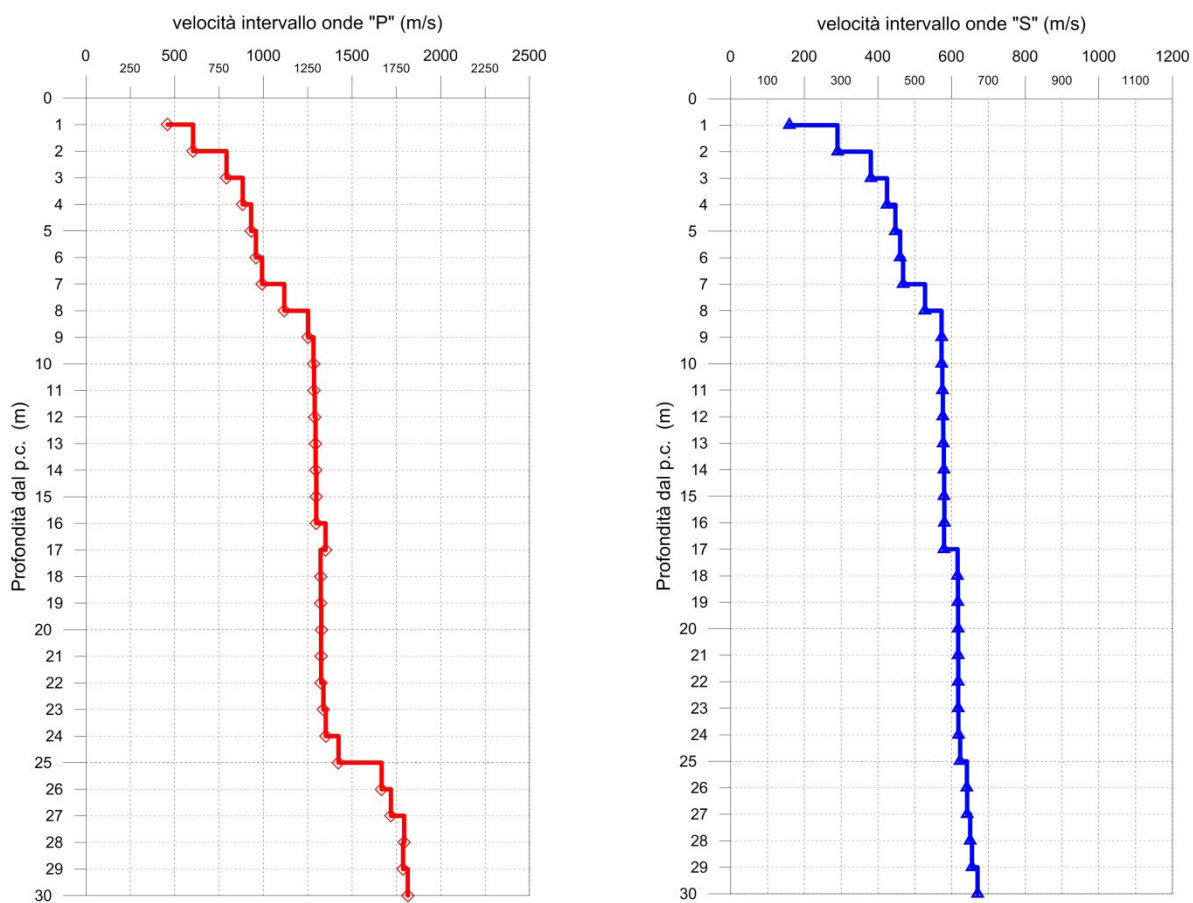


Fig. 2.4.6 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c.

A destra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "S", in funzione della profondità.

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	4,86	14,05	2,17	6,28	460	159	2,9	0,43	1,85	47	134	329
2	5,84	16,09	4,13	11,38	604	290	2,1	0,35	1,85	156	421	467
3	6,82	18,13	5,68	15,08	792	381	2,1	0,35	1,85	268	724	804
4	7,80	20,17	6,98	18,04	884	425	2,1	0,35	1,85	333	900	1000
5	8,78	22,21	8,15	20,62	931	447	2,1	0,35	1,85	370	999	1110
6	9,76	24,25	9,26	23,01	958	460	2,1	0,35	1,85	392	1058	1175
7	10,73	26,29	10,31	25,28	993	468	2,1	0,36	1,85	405	1100	1283
8	11,59	28,12	11,24	27,28	1118	528	2,1	0,36	1,85	516	1399	1625
9	12,37	29,82	12,07	29,11	1253	573	2,2	0,37	1,95	640	1750	2206
10	13,13	31,53	12,87	30,92	1283	573	2,2	0,38	1,95	639	1759	2355
11	13,89	33,24	13,67	32,70	1286	575	2,2	0,38	1,95	644	1772	2365
12	14,66	34,95	14,46	34,47	1290	576	2,2	0,38	1,95	648	1782	2379
13	15,42	36,66	15,24	36,23	1294	577	2,2	0,38	1,95	650	1789	2399
14	16,18	38,37	16,02	37,98	1295	579	2,2	0,38	1,95	653	1797	2398
15	16,95	40,08	16,80	39,73	1298	580	2,2	0,38	1,95	655	1802	2413
16	17,71	41,79	17,57	41,46	1298	580	2,2	0,38	1,95	657	1806	2410
17	18,45	43,50	18,32	43,20	1351	580	2,3	0,39	1,95	655	1817	2684
18	19,20	45,11	19,08	44,84	1323	616	2,1	0,36	1,95	741	2017	2425
19	19,95	46,72	19,84	46,47	1324	617	2,1	0,36	1,95	743	2022	2427
20	20,70	48,33	20,60	48,09	1326	617	2,1	0,36	1,95	744	2025	2439
21	21,45	49,94	21,35	49,72	1325	618	2,1	0,36	1,95	744	2026	2432
22	22,20	51,56	22,11	51,34	1326	618	2,1	0,36	1,95	745	2028	2435
23	22,94	53,17	22,86	52,97	1339	618	2,2	0,36	1,95	745	2032	2502
24	23,68	54,78	23,60	54,59	1352	618	2,2	0,37	1,95	746	2040	2570
25	24,38	56,38	24,30	56,20	1424	623	2,3	0,38	1,95	758	2093	2943
26	24,98	57,93	24,91	57,76	1667	642	2,6	0,41	2,10	864	2443	4684
27	25,56	59,48	25,49	59,32	1719	642	2,7	0,42	2,10	866	2457	5053
28	26,12	61,02	26,05	60,86	1794	651	2,8	0,42	2,10	889	2532	5572
29	26,67	62,54	26,61	62,39	1788	655	2,7	0,42	2,10	902	2566	5509
30	27,22	64,03	27,16	63,89	1814	671	2,7	0,42	2,10	944	2683	5652

Tab. 2.4.3 - SS195 "Sulcitana". Indagine down-hole S6_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.

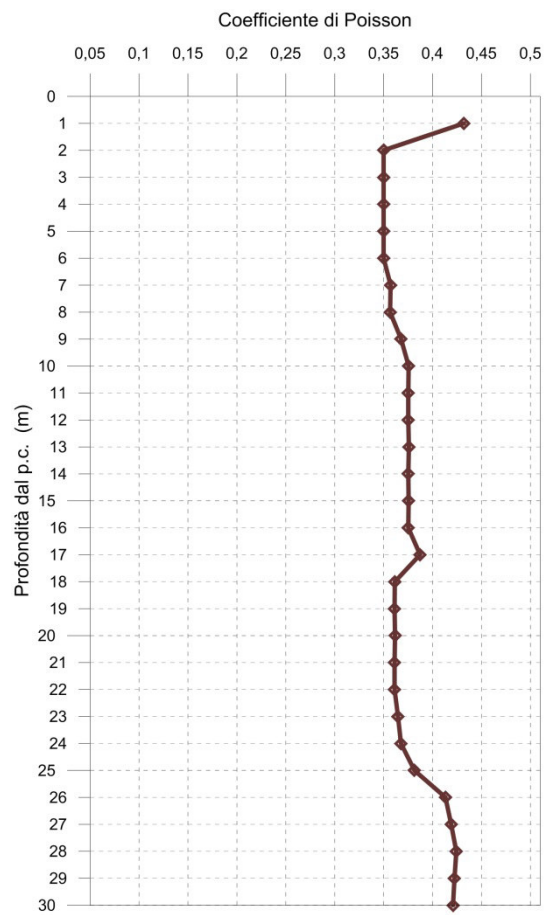


Fig. 2.4.7 - Diagramma relativo all'andamento del coefficiente di Poisson in funzione della profondità dal p.c.

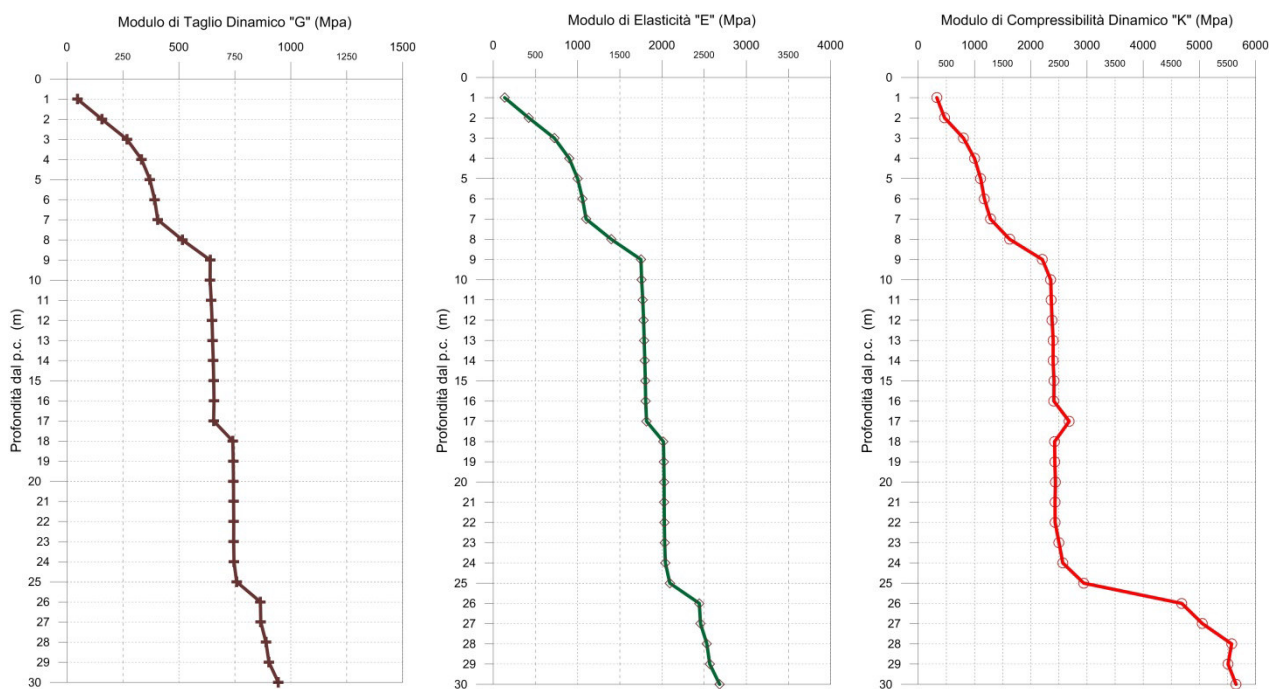


Fig. 2.4.8 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "G" in funzione della profondità dal p.c.
Al centro, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "E" in funzione della profondità dal p.c.
A destra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "K" in funzione della profondità dal p.c.

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

Sismostrato	Profondità dal p.c. (m)		$(V_P)_{\text{medio}}$ m/s	$(V_S)_{\text{medio}}$ m/s
	da	a		
1°	1,0	8,0	1.040	498
2°	8,0	25,0	1.332	602
3°	25,0	30,0	1.786	656

Tab. 2.4.4 - SS 195 "Sulcitana". Indagine down-hole S6_DH. Suddivisione del sottosuolo in sismostrati.

2.4.3 S8_DH

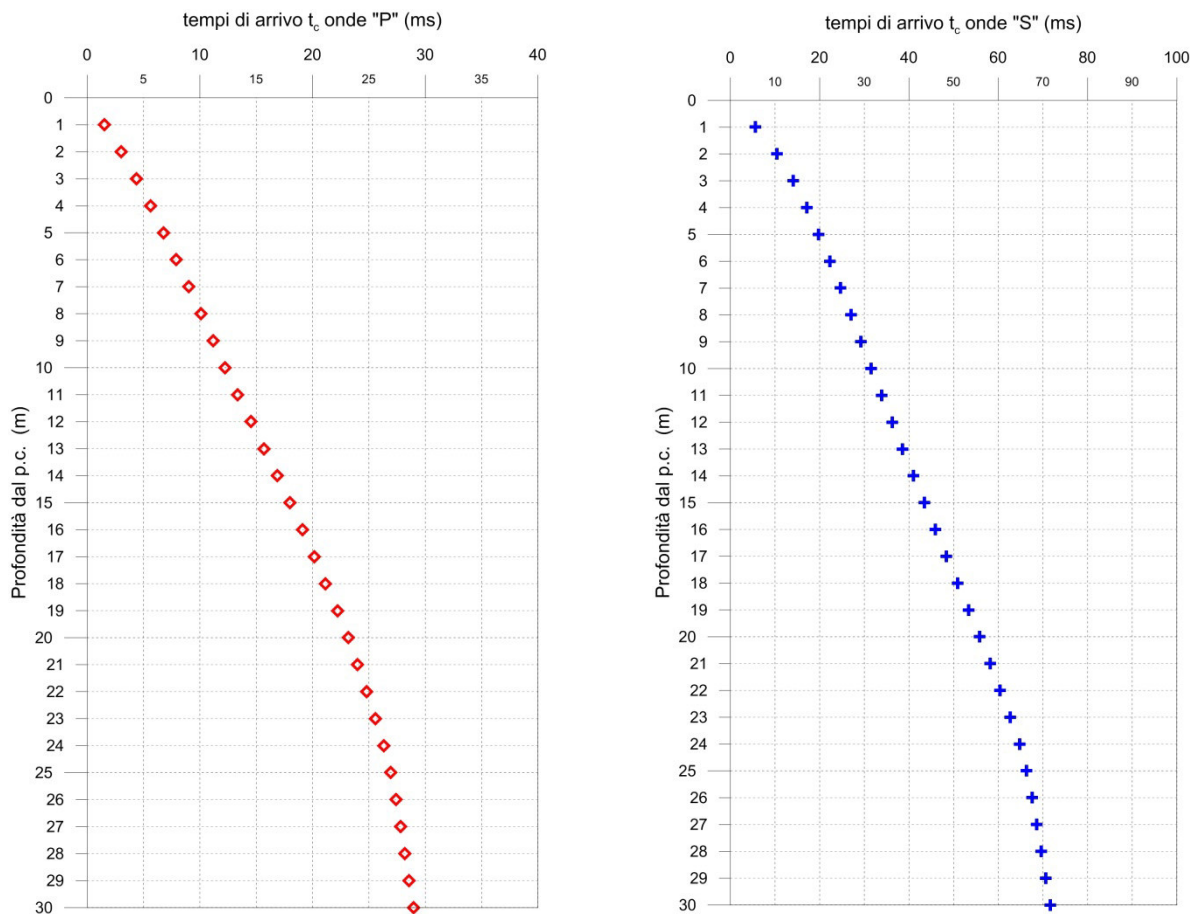


Fig. 2.4.9 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c.

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

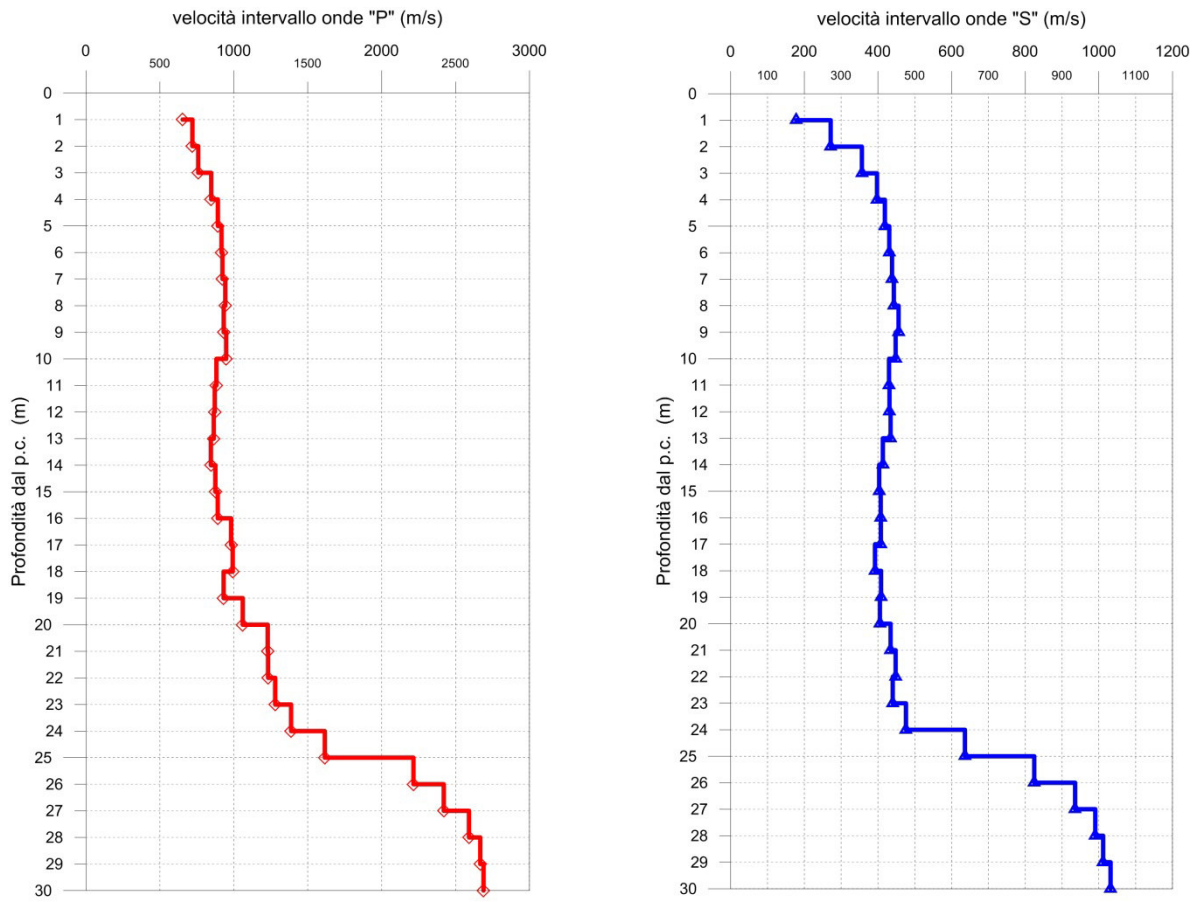


Fig. 2.4.10 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c.

A destra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "S", in funzione della profondità.

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	3,42	12,57	1,53	5,62	654	178	3,7	0,46	1,85	59	171	713
2	4,24	14,75	3,00	10,43	720	272	2,7	0,42	1,85	137	387	777
3	5,27	16,93	4,38	14,09	760	356	2,1	0,36	1,85	235	639	755
4	6,29	19,11	5,62	17,09	847	397	2,1	0,36	1,85	292	794	939
5	7,31	21,29	6,79	19,77	893	419	2,1	0,36	1,85	324	881	1041
6	8,34	23,47	7,91	22,27	917	431	2,1	0,36	1,91	354	963	1133
7	9,37	25,65	9,01	24,67	924	438	2,1	0,35	1,91	367	994	1140
8	10,40	27,83	10,08	27,00	943	443	2,1	0,36	1,91	375	1019	1198
9	11,44	29,97	11,17	29,26	932	456	2,0	0,34	1,91	397	1066	1129
10	12,47	32,15	12,23	31,53	949	448	2,1	0,36	1,91	384	1041	1208
11	13,58	34,44	13,36	33,88	883	430	2,1	0,34	1,76	326	875	937
12	14,72	36,72	14,51	36,22	871	431	2,0	0,34	1,76	327	876	899
13	15,86	39,00	15,67	38,54	865	434	2,0	0,33	1,76	332	884	873
14	17,03	41,39	16,86	40,97	845	413	2,0	0,34	1,65	282	757	801
15	18,16	43,84	18,00	43,46	876	403	2,2	0,37	1,65	268	733	908
16	19,27	46,28	19,12	45,92	892	407	2,2	0,37	1,65	274	750	947
17	20,28	48,71	20,14	48,38	982	408	2,4	0,40	1,65	274	766	1225
18	21,28	51,25	21,15	50,93	993	392	2,5	0,41	1,65	253	714	1288
19	22,35	53,68	22,23	53,39	931	408	2,3	0,38	1,65	275	760	1063
20	23,29	56,14	23,17	55,86	1061	405	2,6	0,41	1,65	271	767	1494
21	24,10	58,43	23,99	58,16	1230	434	2,8	0,43	1,65	311	890	2082
22	24,91	60,65	24,80	60,40	1232	448	2,8	0,42	1,65	331	943	2064
23	25,68	62,91	25,59	62,68	1280	440	2,9	0,43	1,65	320	916	2278
24	26,40	65,01	26,31	64,78	1388	476	2,9	0,43	1,65	374	1072	2679
25	27,02	66,57	26,93	66,36	1615	636	2,5	0,41	1,65	668	1880	3416
26	27,47	67,78	27,39	67,58	2215	825	2,7	0,42	2,50	1700	4826	10004
27	27,88	68,85	27,80	68,66	2420	935	2,6	0,41	2,50	2188	6179	11728
28	28,27	69,86	28,19	69,68	2591	990	2,6	0,41	2,50	2452	6937	13508
29	28,64	70,84	28,57	70,67	2667	1012	2,6	0,42	2,50	2559	7247	14374
30	29,01	71,81	28,95	71,65	2689	1032	2,6	0,41	2,50	2661	7525	14532

Tab. 2.4.5 - SS195 "Sulcitana". Indagine down-hole S8_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.

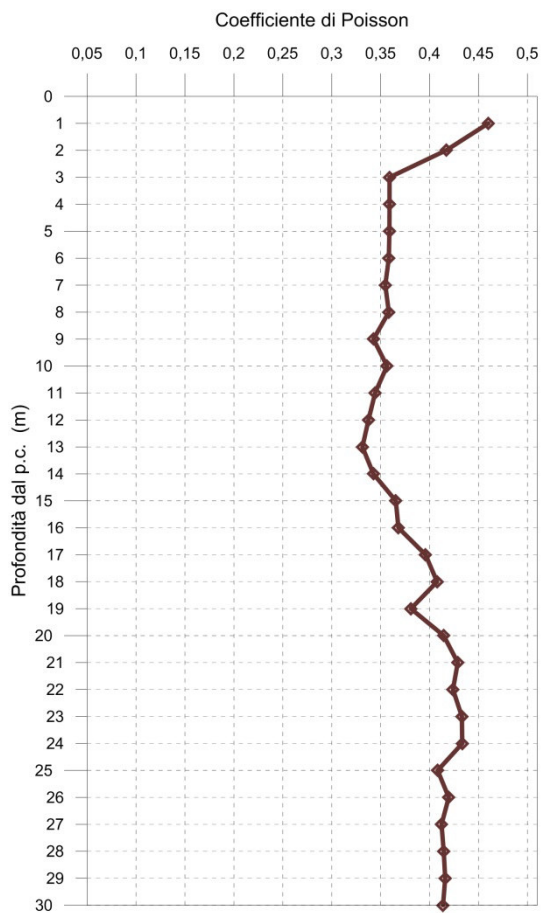


Fig. 2.4.11 - Diagramma relativo all'andamento del coefficiente di Poisson in funzione della profondità dal p.c.

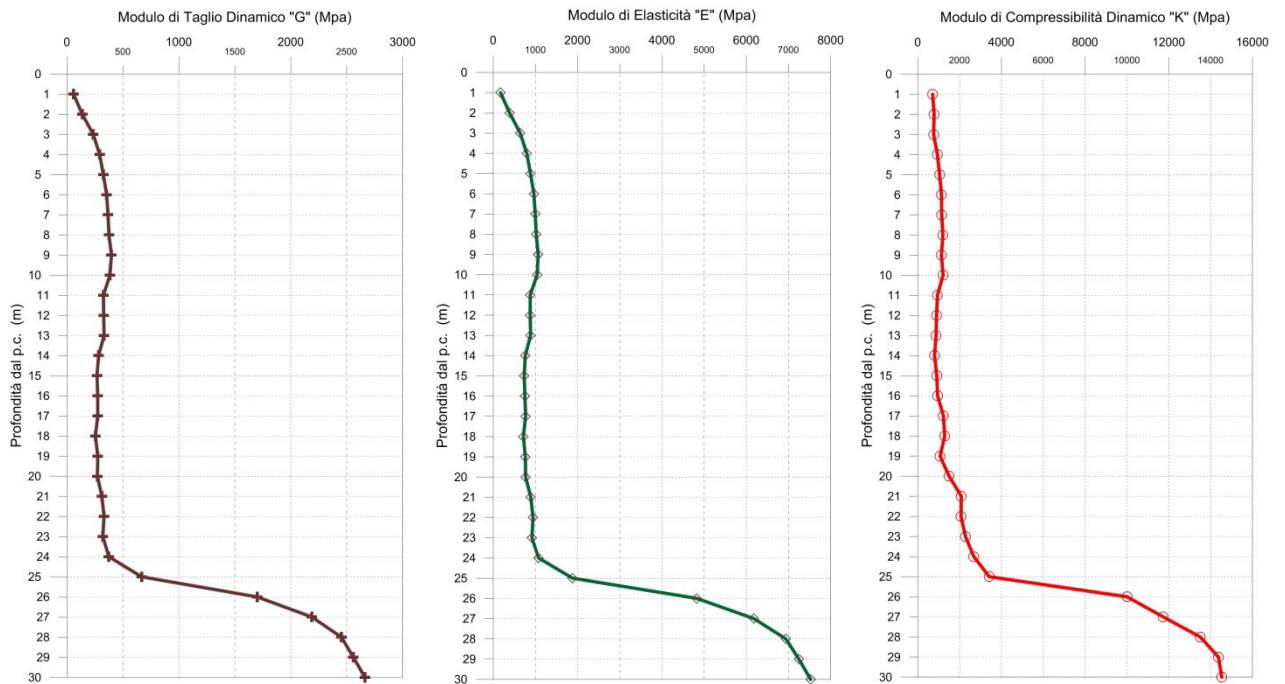


Fig. 2.4.12 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "G" in funzione della profondità dal p.c.
Al centro, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "E" in funzione della profondità dal p.c.
A destra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "K" in funzione della profondità dal p.c.

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

Sismostrato	Profondità dal p.c. (m)		$(V_P)_{\text{medio}}$ m/s	$(V_S)_{\text{medio}}$ m/s
	da	a		
1°	1,0	3,0	1.026	459
2°	3,0	6,0	969	461
3°	6,0	12,0	877	439
4°	12,0	19,0	1.101	437
5°	19,0	35,0	2.597	993

Tab. 2.4.6 - SS 195 "Sulcitana". Indagine down-hole S8_DH. Suddivisione del sottosuolo in sismostrati.

2.4.4 S10_DH

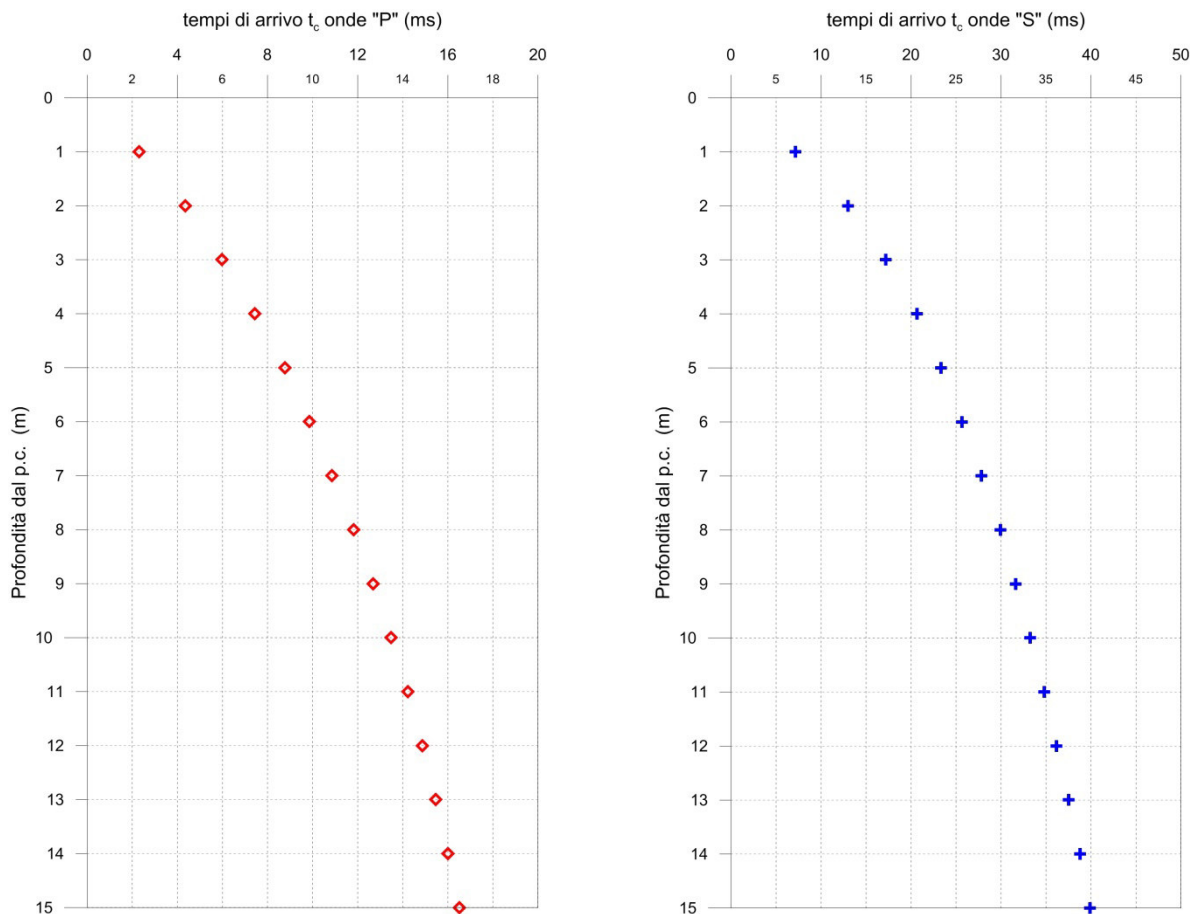


Fig. 2.4.13 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento dei tempi di arrivo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c.

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

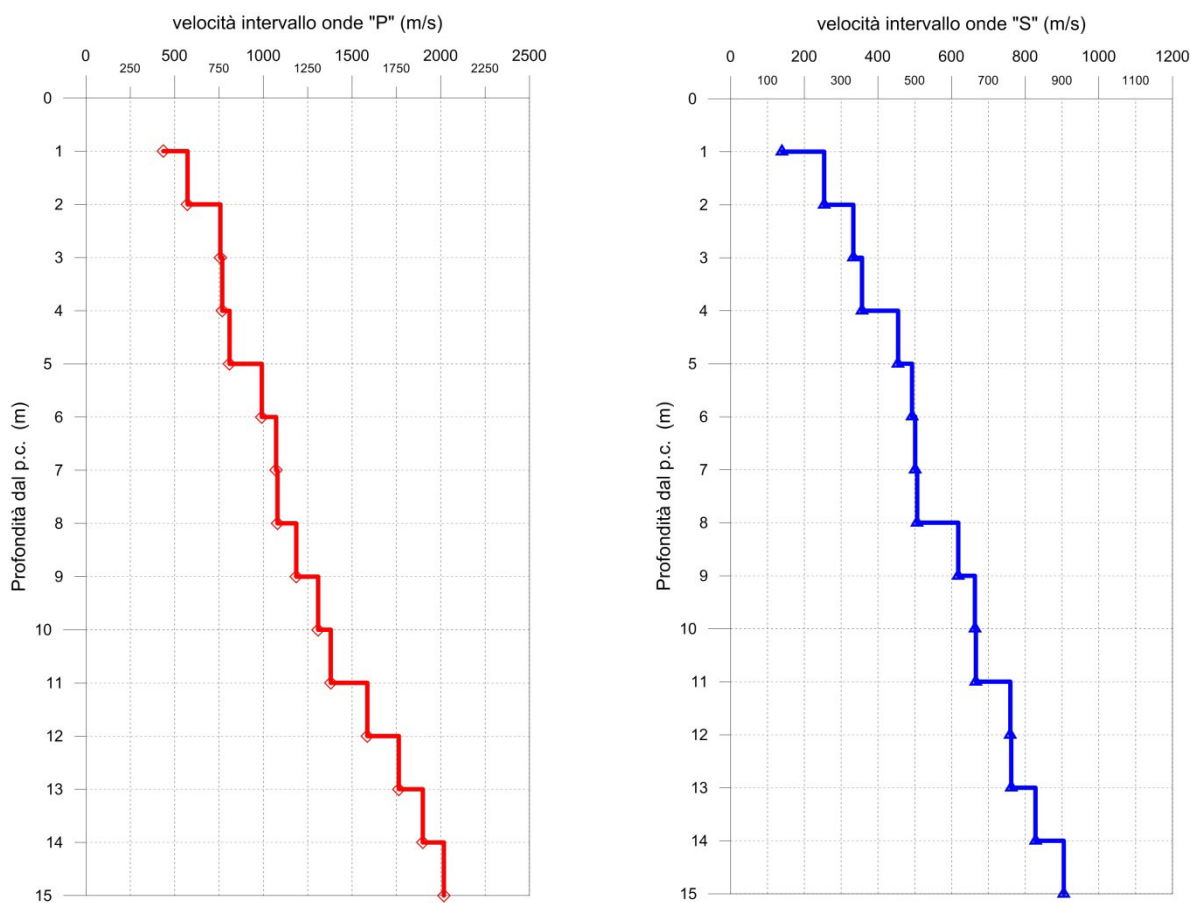


Fig. 2.4.14 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "P", in funzione della profondità dal p.c.

A destra, diagramma relativo all'andamento delle velocità intervallo delle onde "S", in funzione della profondità.

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	5,13	16,02	2,29	7,17	436	140	3,1	0,44	1,85	36	104	303
2	6,16	18,36	4,36	12,98	573	254	2,3	0,38	1,85	119	329	448
3	7,19	20,69	5,98	17,21	757	333	2,3	0,38	1,85	205	567	787
4	8,32	23,12	7,44	20,68	768	357	2,2	0,36	1,85	235	641	778
5	9,45	25,13	8,77	23,33	809	455	1,8	0,27	1,91	395	1003	724
6	10,39	27,04	9,86	25,65	991	493	2,0	0,34	2,50	606	1620	1647
7	11,29	28,94	10,85	27,83	1072	501	2,1	0,36	2,50	628	1707	2035
8	12,18	30,85	11,82	29,93	1080	507	2,1	0,36	2,50	641	1743	2059
9	13,00	32,42	12,69	31,65	1186	618	1,9	0,31	2,50	956	2510	2242
10	13,75	33,90	13,48	33,24	1309	663	2,0	0,33	2,50	1100	2919	2815
11	14,46	35,37	14,23	34,80	1380	666	2,1	0,35	2,50	1109	2989	3280
12	15,08	36,67	14,88	36,17	1586	760	2,1	0,35	2,50	1442	3898	4369
13	15,64	37,97	15,46	37,53	1763	762	2,3	0,39	2,50	1451	4021	5838
14	16,16	39,16	16,00	38,77	1899	828	2,3	0,38	2,50	1713	4737	6728
15	16,65	40,26	16,51	39,90	2018	905	2,2	0,37	2,50	2046	5623	7448

Tab. 2.4.7 - SS195 "Sulcitana". Indagine down-hole S10_DH.

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

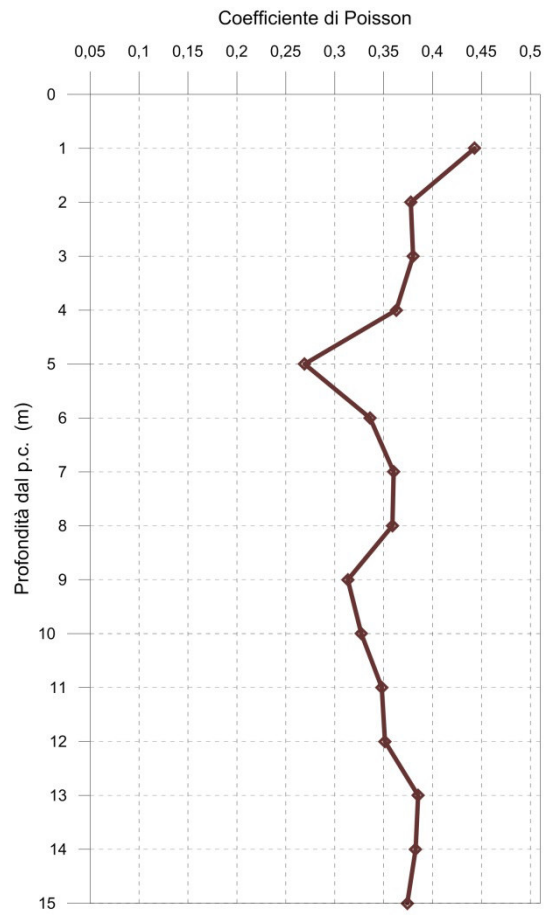


Fig. 2.4.15 - Diagramma relativo all'andamento del coefficiente di Poisson in funzione della profondità dal p.c.

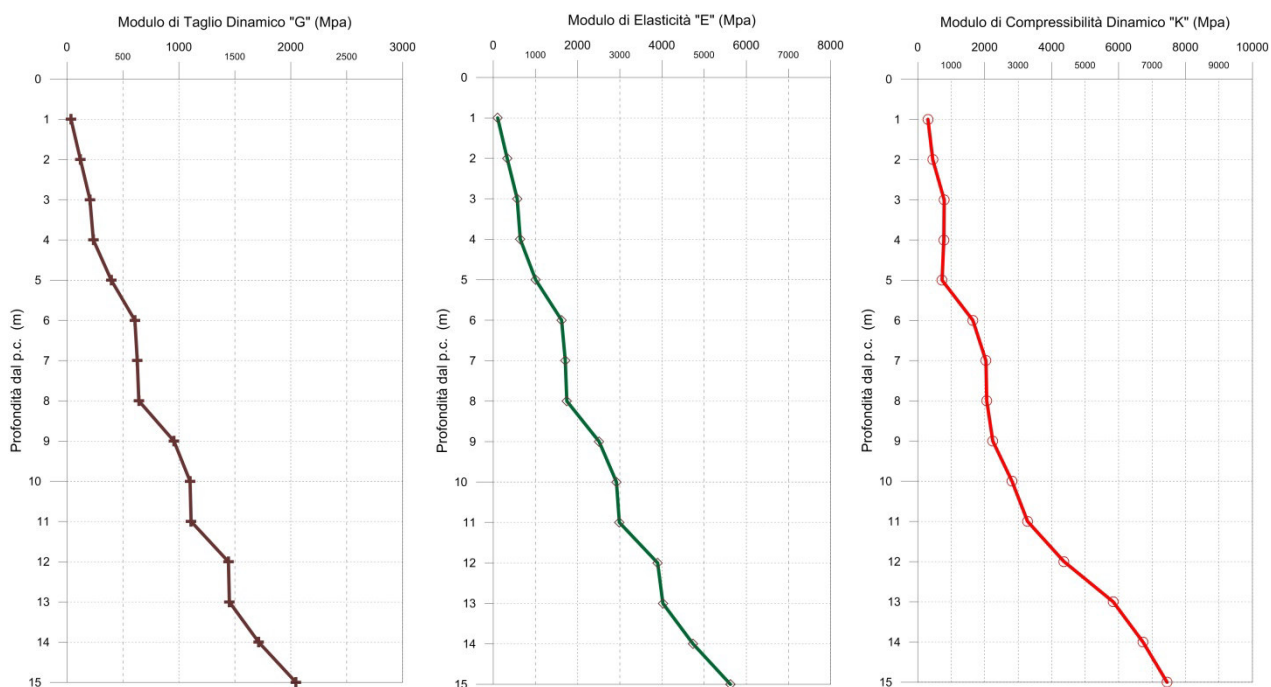


Fig. 2.4.16 - A sinistra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "G" in funzione della profondità dal p.c.
Al centro, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "E" in funzione della profondità dal p.c.
A destra, diagramma relativo all'andamento del modulo elastico "K" in funzione della profondità dal p.c.

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

Sismostrato	Profondità dal p.c. (m)		$(V_P)_{\text{medio}}$ m/s	$(V_S)_{\text{medio}}$ m/s
	da	a		
1°	1,0	5,0	926	439
2°	5,0	11,0	1.229	600
3°	11,0	15,0	1.911	836

Tab. 2.4.8 - SS 195 "Sulcitana". Indagine down-hole S10_DH. Suddivisione del sottosuolo in sismostrati.

2.5 DETERMINAZIONE DEL PARAMETRO $V_{S,eq}$

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

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

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

con:

h_i spessore dell' i -esimo strato;

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

N numero di strati;

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

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

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

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

Codice indagine	Valore $V_{S,eq}$
S2_DH	494
S6_DH	505
S8_DH	440

Tab. 2.5.1 – SS 195 "Sulcitana". Tabella riepilogativa del valore $V_{S,eq}$.

3 INDAGINE M.A.S.W.

3.1 DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA ED ELABORAZIONE DATI

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

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

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

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

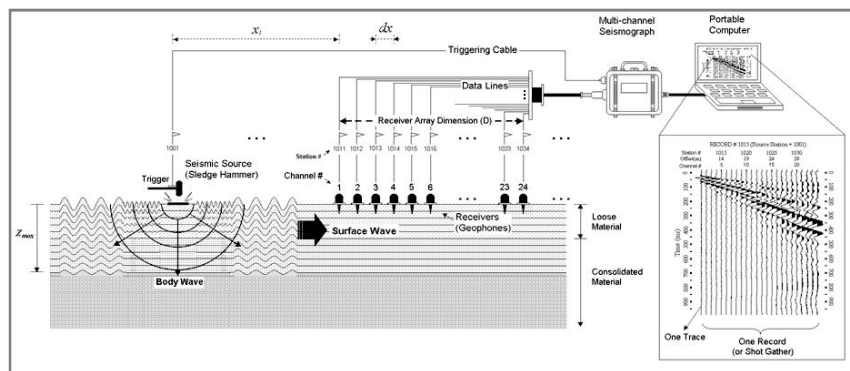


Fig. 3.1.1 – Esempio configurazione sorgente-ricevitori per l'esecuzione di un rilievo MASW.

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 files d'interesse ed impostate le caratteristiche geometriche del profilo, in primo luogo viene calcolata la velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale, mediante un processo di elaborazione che consente di estrarre la suddetta curva dallo spettro nel dominio frequenza-numero d'onda applicando una doppia trasformata di Fourier al campo di moto misurato originariamente nel dominio spazio-tempo.
2. Successivamente, viene calcolata la velocità di fase (o curva di dispersione) apparente numerica mediante modellazione del sottosuolo in termini di velocità delle onde P ed S, intervallo dei valori del coefficiente di Poisson e densità dei terreni.
3. La terza fase consiste, infine, nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore degli orizzonti litologici e la densità fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase sperimentale e quella numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

L'analisi multicanale delle onde di superficie può essere applicata in due differenti modi: attiva o passiva. 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 di indagine attiva consiste nell'usare una sorgente sismica ed una serie di ricevitori posti su una linea retta.

Dopo aver determinato il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , si procede al calcolo della velocità equivalente nei primi 30 metri di profondità ($V_{S,30}$).

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. 3.1.2).

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.

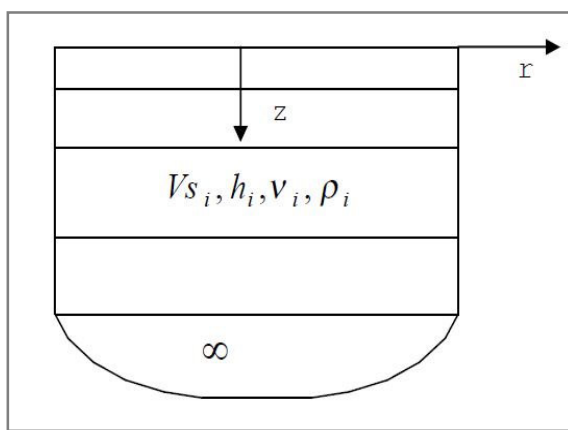


Fig. 3.1.2 - Modello di semispazio semplificato.

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 posizionato in corrispondenza della metà della stesa dei geofoni.

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

- IXSeg2Segy software per la visualizzazione dei segnali acquisiti;
- SURFSEIS 3.0 sviluppato dal Kansas Geological Survey - University of Kansas.

Mediante i programmi descritti, è stato possibile ottenere il profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo e, di conseguenza, calcolare la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,30}$.

3.2 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 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, è stata eseguita **n.1** prova sismica di superficie M.A.S.W., la cui ubicazione è riportata nelle tavole allegata.

Di seguito, si riportano le specifiche della prospezione, in cui sono riportate le coordinate di inizio e fine dello stendimento.

Codice indagine	Lunghezza (m)	Sistema di riferimento GAUSS - BOAGA			
		Coordinata iniziale EST	Coordinata iniziale NORD	Coordinata finale EST	Coordinata finale NORD
MASW-1	46	1499353,850	4324583,518	1499365,681	4324627,96

Tab. 3.3.1 - SS195 "Sulcitana". Indagine MASW. Elenco coordinate.

La quota ortometrica del piano campagna del profilo MASW-1, varia da 76,146 m s.l.m., nel punto iniziale, a 75,865 m s.l.m., nel punto finale.

Per l'esecuzione del profilo 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.

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

3.4 RISULTANZE DELL'INDAGINE MASW

Di seguito, sono riportate le risultanze della prospezione sismica MASW, riepilogate tramite i seguenti elaborati prodotti:

- sismogramma originale, in cui sono riportate le tracce registrate sull'intero array di geofoni costituenti lo stendimento;
- diagramma della trasformata bidimensionale del campo d'onda (nel sistema velocità di fase - frequenza f-k) con i massimi spettrali evidenziati;
- diagramma di confronto tra la curva di dispersione stimata e quella sintetica generata a partire dal modello finale di V_S ;
- profilo verticale dell'andamento della velocità delle onde S, in funzione della profondità, e confronto tra il profilo V_S di primo tentativo con quello finale, risultante del processo di inversione dei dati;
- tabella con i parametri calcolati (V_S , V_P , profondità e spessore dei sismostrati, modulo di Poisson e densità).

Infine, a seguito del processo di elaborazione esposto nei paragrafi precedenti, è stato ricavato il valore di velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,30}$.

3.4.1 MASW-1

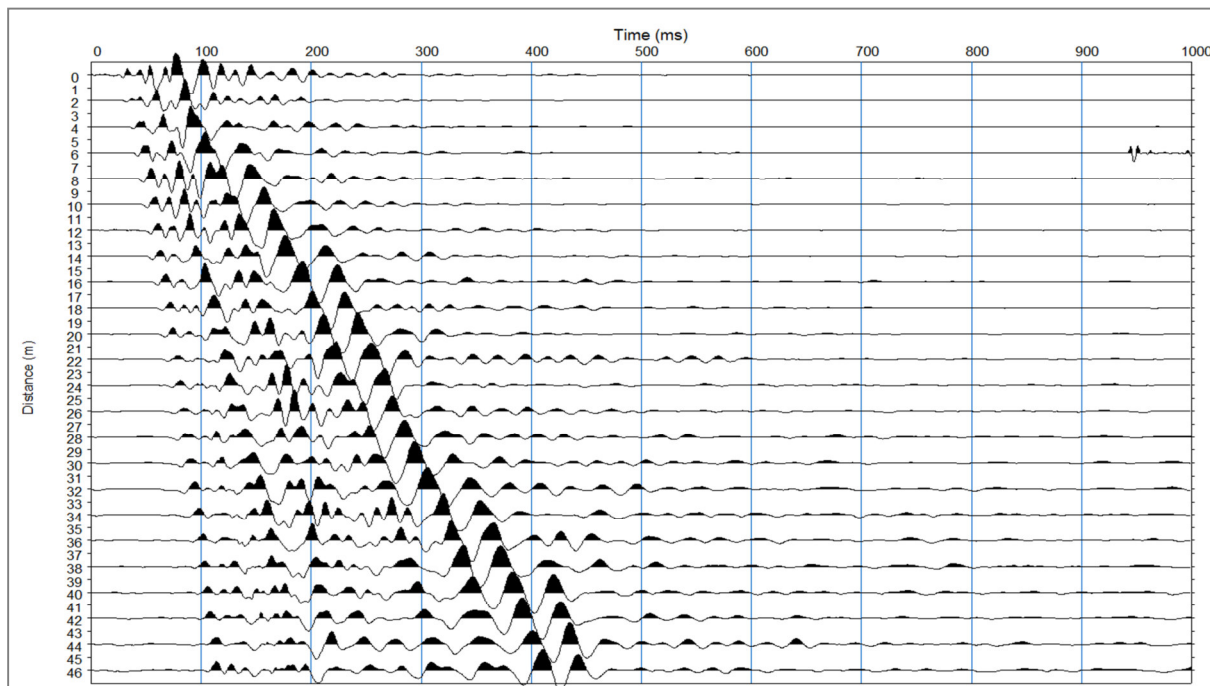


Fig. 3.4.1 - Sismogrammi.

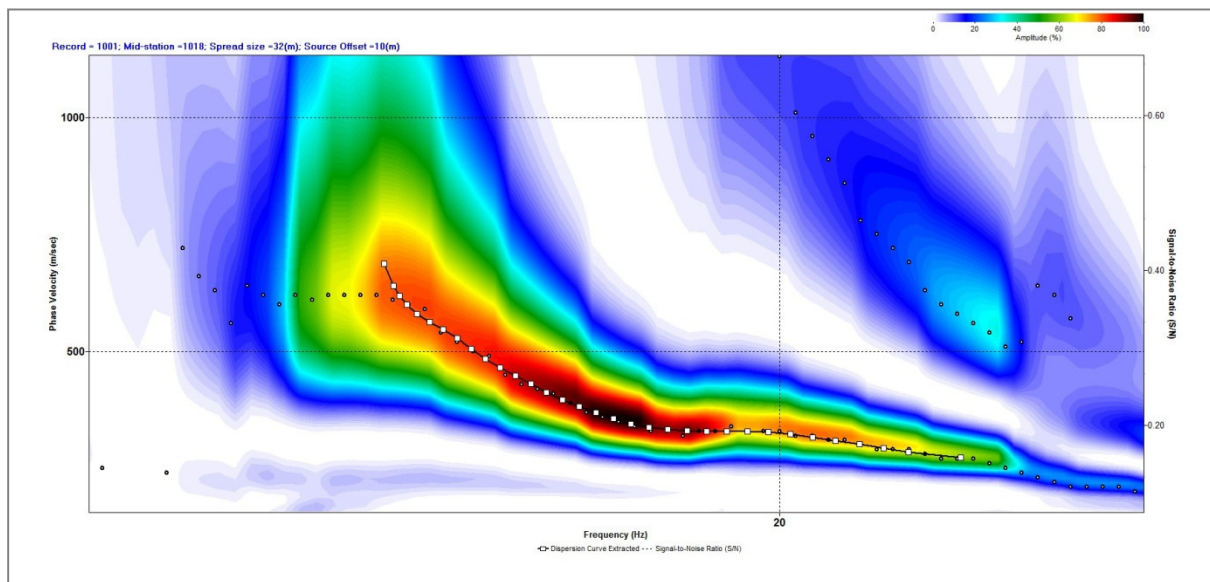


Fig. 3.4.2 - Curva F-K con evidenza del picking dei massimi spettrali.

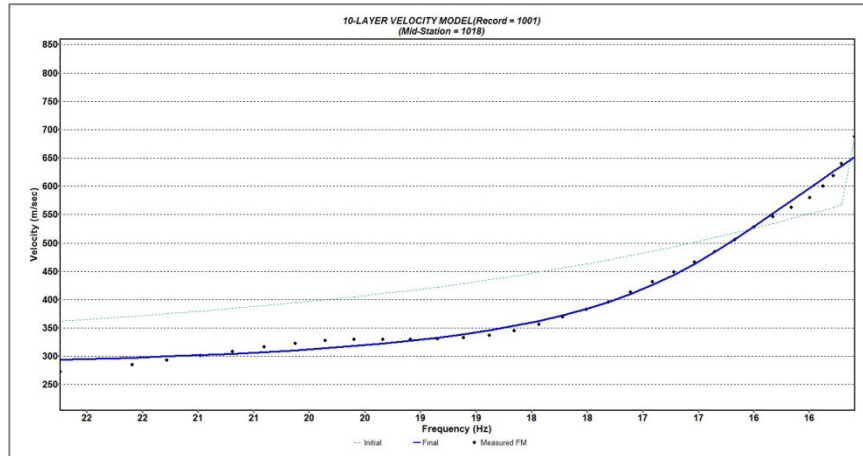


Fig. 3.4.3 - Confronto tra la curva di dispersione stimata e quella sintetica generata dal modello finale di V_S .

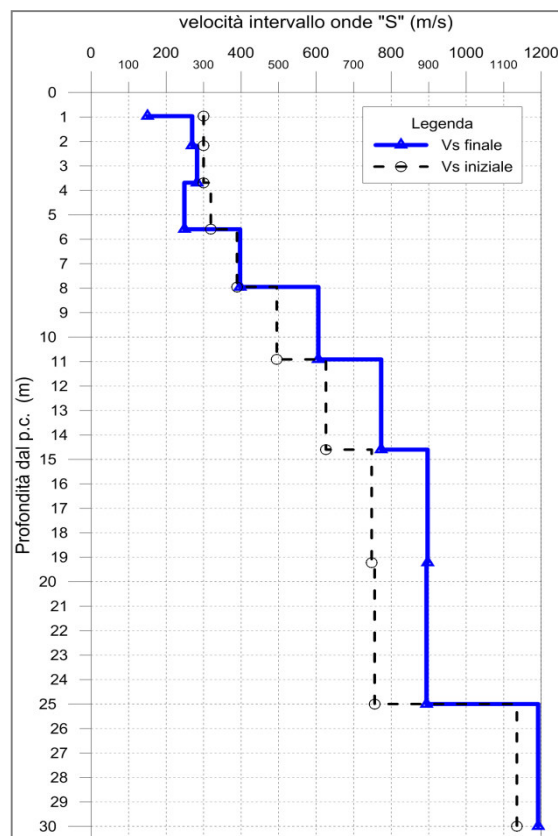


Fig. 3.4.4 - Profilo verticale della velocità delle onde S , in funzione della profondità, e confronto tra il profilo V_S iniziale e finale.

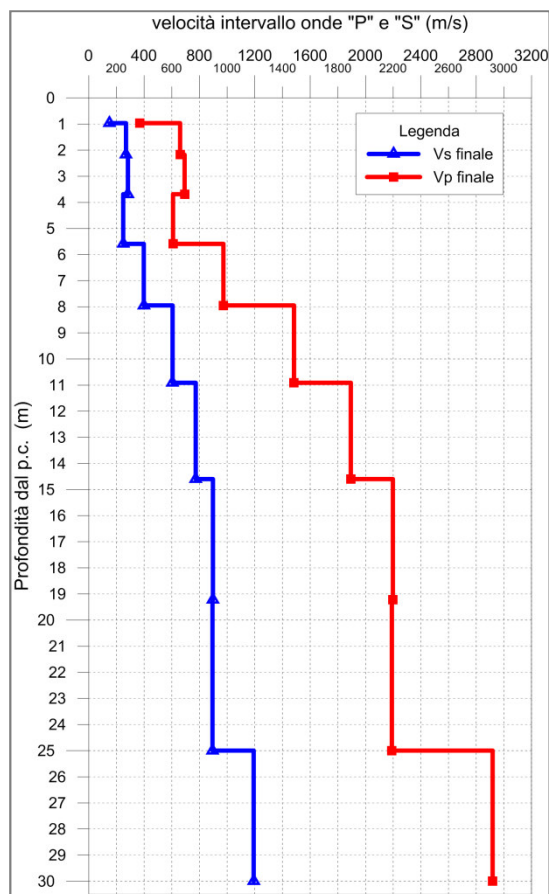


Fig. 3.4.5 - Profilo verticale della velocità delle onde S finale e profilo delle onde P finale, in funzione della profondità.

Numero di Strati	Profondità iniziale (m dal p.c)	Spessore (m)	Vs iniziale (m/s)	Vp iniziale (m/s)	Poisson (-)	Densità (gr/cm ³)
1	1.0	1.0	300	858	0.4	1.6
2	2.2	1.2	300	1395	0.4	1.6
3	3.7	1.5	300	447	0.4	1.7
4	5.6	1.9	319	609	0.4	1.7
5	8.0	2.4	389	973	0.4	1.8
6	10.9	3.0	495	1483	0.4	1.8
7	14.6	3.7	626	1894	0.4	1.9
8	19.2	4.6	748	2198	0.4	1.9
9	25.0	5.8	756	2191	0.4	2.0
10	HalfSpace	N/A	1135	2919	0.4	2.0

Tab. 3.4.1 - SS195 "Sulcitana". Indagine MASW. Riepilogo dei parametri assunti a priori.

Numero di Strati	Profondità (m dal p.c)	Vs finale (m/s)	Vp finale (m/s)	Spessore (m)	h/Vs
1	1.0	150	369	1.0	0.0064
2	2.2	269	660	1.2	0.0045
3	3.7	283	692	1.5	0.0053
4	5.6	249	609	1.9	0.0076
5	8.0	397	973	2.4	0.0059
6	10.9	606	1483	3.0	0.0049
7	14.6	773	1894	3.7	0.0048
8	19.2	897	2198	4.6	0.0051
9	25.0	894	2191	5.8	0.0065
10	30.0	1192	2919	5.0	0.0042

Tab. 3.4.2 - SS195 "Sulcitana". Indagine MASW. Riepilogo dei parametri calcolati.

Mediante le risultanze scaturite dalle prospezioni geofisiche descritte nei paragrafi precedenti, l'elaborazione dei dati MASW ha permesso di calcolare i seguenti valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,30}$:

Codice indagine	Valore V_{s30}
MASW-1	542 m/s

Tab. 3.4.3 - SS195 "Sulcitana". Indagine MASW. Tabella riepilogativa del valore V_{s30} .

ALLEGATO

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Committente: **ANAS SPA**

Commessa: **Accordo quadro Gara DG37/16**

Oggetto: *ANAS S.p.A. - Direzione Progettazione e Realizzazione Lavori
S.S. 195 "Sulcitana". Tratto Cagliari-Pula. Lotto 2°.
Documentazione indagini geofisiche*

Reg.comm.: 279/18

Località: *Sarroch (CA)*



TECNO IN S.p.A.

Via G. Marcora 52
20097 San Donato Milanese (MI)

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Prova "down-hole": S6_DH (sismica in foro)



Postazione

Committente: **ANAS SPA**

Commessa: **Accordo quadro Gara DG37/16**

Oggetto: *ANAS S.p.A. - Direzione Progettazione e Realizzazione Lavori
S.S. 195 "Sulcitana". Tratto Cagliari-Pula. Lotto 2°.
Documentazione indagini geofisiche*

Reg.comm.: 279/18

Località: *Sarroch (CA)*



TECNO IN S.p.A.

Via G. Marcora 52
20097 San Donato Milanese (MI)

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Prova "down-hole": S10_DH (sismica in foro)



Postazione

Committente: **ANAS SPA**

Commessa: **Accordo quadro Gara DG37/16**

Oggetto: *ANAS S.p.A. - Direzione Progettazione e Realizzazione Lavori
S.S. 195 "Sulcitana". Tratto Cagliari-Pula. Lotto 2°.
Documentazione indagini geofisiche*

Reg.comm.: 279/18

Località: *Sarroch (CA)*



TECNO IN S.p.A.

Via G. Marcora 52
20097 San Donato Milanese (MI)

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Prova "masw": masw_1



Postazione

Committente: ANAS S.p.A.



Progettazione Esecutiva dell'Intervento S.S. 195
"Sulcitana". Tratto Cagliari-Pula. Lotto 2

Scheda monografica

Indagine: MASW1_ini

Data
Dicembre 2018

Descrizione:

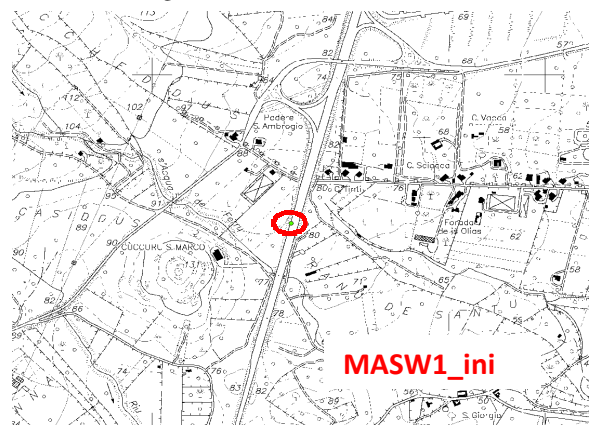
<i>COORDINATE GAUSS- BOAGA con quota ortometrica</i>			<i>Quota s.l.m.m.</i>
	<i>EST</i>	<i>NORD</i>	
MASW1_ini	1499353,850	4324583,518	76,146
<i>COORDINATE UTM-WGS 84 fuso 32 N</i>			<i>Quota ellissoidica</i>
	<i>EST</i>	<i>NORD</i>	
MASW1_ini	499322,857	4324578,409	121,663



Inquadramento



Stralcio Cartografico



Committente: ANAS S.p.A.



Progettazione Esecutiva dell'Intervento S.S. 195
"Sulcitana". Tratto Cagliari-Pula. Lotto 2

Scheda monografica

Indagine: MASW1_fin

Data

Dicembre 2018

Descrizione:

<i>COORDINATE GAUSS- BOAGA con quota ortometrica</i>			<i>Quota s.l.m.m.</i>
	<i>EST</i>	<i>NORD</i>	
MASW1_fin	1499365,681	4324627,796	75,865
<i>COORDINATE UTM-WGS 84 fuso 32 N</i>			<i>Quota ellissoidica</i>
	<i>EST</i>	<i>NORD</i>	
MASW1_fin	499334,688	4324622,686	121,382

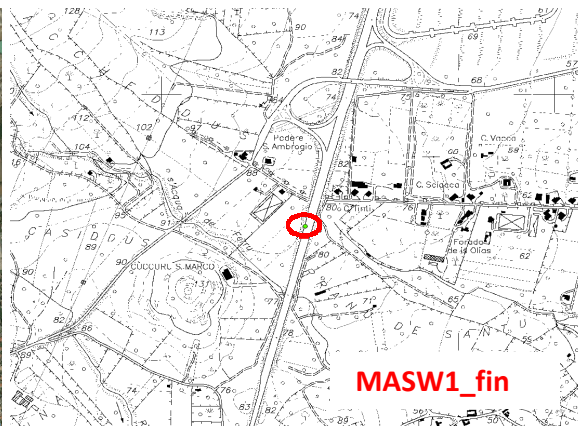


Inquadramento



MASW1_fin

Stralcio Cartografico



MASW1_fin