MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DELLA MOBILITÀ SOSTENIBILI

E.N.A.C.
ENTE NAZIONALE per L'AVIAZIONE CIVILE

Committente Principale

Toscana Aeroporti

AEROPORTO INTERNAZIONALE DI FIRENZE - "AMERIGO VESPUCCI"

Opera

MASTERPLAN AEROPORTUALE 2035

Titolo Documento

Opere di viabilità
Relazione geologica viabilità principale - Allegato C

Livello di Progetto

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA

LIV	REV	DATA EMISSIONE		CODICE FILE
PFTE	00	Settembre 2022		FLR-MPL-PFTE-VBT3-004-GL-RT_Rel Geol Vbt Princ All C
				TITOLO RIDOTTO: Rel Geol Vbt Princ All C

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	09/2022	Prima Emissione	TERRA E OPERE	D. VESTRINI	L. TENERANI

COMMITTENTE PRINCIPALE	PROGETTAZIONE	SUPPORTI SPECIALISTICI
Toscana Aeroporti **ACCOUNTABLE MANAGER** Dott. Vittorio Fanti	Toscana Aeroporti engineering **DIRETTORE TECNICO** Ing. Lorenzo Tenerani Ordine degli Ingegneri di Massa Carrara n°631	TERRA & OPERE S.R.L. SOCIETÀ D'INGEGNERIA CONSULENZE GEOLOGICHE **PROGETTAZIONE SPECIALISTICA** Dott. Geol. Michele Sani Ordine dei Geologi della Toscana n°383
POST HOLDER PROGETTAZIONE AD INTERIM Dott. Vittorio Fanti **POST HOLDER MANUTENZIONE** Ing. Nicola D'Ippolito **POST HOLDER AREA DI MOVIMENTO** Geom. Luca Ermini	**RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE** Donata Vestrini Ordine degli Ingegneri di Firenze n°6703	

È SEVERAMENTE VIETATA LA RIPRODUZIONE E/O LA CESSIONE A TERZI SENZA AUTORIZZAZIONE DELLA COMMITTENTE

C) Indagini sismiche

GENERALITA'

La prova Downhole consiste nel produrre, sulla superficie del terreno, una sollecitazione orizzontale mediante una sorgente meccanica, e nello studiare il treno d'onde, P e S, che si propagano all'interno del terreno alle varie profondità in direzione verticale, con vibrazioni polarizzate nella direzione di propagazione (onde P), e dirette perpendicolarmente alla direzione di propagazione, polarizzate su un piano orizzontale (onde SH). Mediante due ricevitori (geofoni) disposti nel terreno, a profondità note, viene valutato l'istante di arrivo del treno di onde P e S, rispetto all'istante in cui vengono indotte le sollecitazioni alla sorgente; dividendo quindi per tali valori la distanza (nota) tra sorgente e ricevitori, si può ricavare la velocità delle onde P e S.

STRUMENTAZIONE

Come sorgenti energizzanti sono stati utilizzati: per le onde P una mazza da 10 kg con piattello di battuta; per le onde SH un parallelepipedo (traversina) di legno percosso sulle estremità opposte da una mazza da 10 kg, in grado di generare onde SH di notevole contenuto energetico, uniformi sia nella direzione di propagazione sia nella polarizzazione (+ e -) e, di contro, con una generazione di onde P trascurabile.

È stato curato in modo particolare l'accoppiamento della traversina con il terreno, in accordo con le disposizioni del Prof. P. Signanini e delle Istruzioni Tecniche aggiornate: in particolare è stato riportato sopra la massicciata costituita da ghiaietto uno strato di terreno limoso-sabbioso di circa 20 cm, dove è stata posta la trave.

Le sorgenti (onde P ed onde SH) sono state disposte perpendicolarmente ad un raggio uscente dai fori di sondaggio, ad una distanza di circa 3 m (per la misura precisa veder lo schema di acquisizione di ciascun sondaggio).

Il sistema di ricezione è costituito da un geofono tridimensionale. L'accoppiamento del sistema con le pareti del foro è garantito da 2 stantuffi pneumatici comandati dall'esterno, con pressione regolabile fino a 10 atm..

Il sistema di acquisizione è costituito da un sismografo digitale a 24 canali mod. Ambrogeo Seismic Unit 2010/24, acquisizione dati a 24 bit.

Tutte le registrazioni (vedi allegati) sono state effettuate con metodo cross-over, ovverosia facendo la differenza tra un ugual numero di battute a destra ed a sinistra (bilanciamento energetico): in tal modo viene esaltato l'istante di primo arrivo delle onde SH, mentre vengono abbattute le eventuali onde P spurie.

Number of channels	24+1 with differential input
AD convertion	24 bits
Dynamic range	130dB@1ms PG=0dB 120dB@1ms PG=18dB
Cross talk	>90dB
Preamplify gain	0,6,12,18,24,30,36,42,48,54,60,66,72dB
Frequency response	0 to 6kHz (30KSPS) 0 to 4,8kHz (15KSPS) 0 to 3kHz (7,5KSPS) 0 to 1,5kHz (3,5KSPS) 0 to 800Hz (2KSPS) 0 to 400Hz (1KSPS)
Acquisition and display filter	Low Cut Out 10-15-25-35-50-70-100-140-200-280-400 Hz High Cut Out 32-64-125-250 Hz Notch 50-60-150-180 Hz
Sampling Interval	32,64,128,256,478,956us
Record Lenght	16000 samples
Stacking trigger accuracy	1/32 of sample interval
Distorsion (THD)	0,0004%
Max Input signal	5Vpp, 0dB
CMR	110dB (fCM = 60Hz fDATA = 30kSPS)
Noise	0,25uV, 2ms 36dB
Pre-trigger data	524ms@32us sample interval
Delay	0 to 15 sec @1kSPS (max 16000 samples)
Temperature range	-30°C +70°C
Power	12 Volt
Continuous recording	
Output format:	SEGY / SAF (SESAME ASCII FORMAT)

INTERPRETAZIONE SISMOGRAMMI ED ESTRAPOLAZIONE DELLA DROMOCRONA

I sismogrammi di campagna sono stati visualizzati direttamente in campagna tramite software Ambrogeo 7.0 della Ambrogeo. I files così ottenuti sono stati trattati tramite Visual Sunt della Wgeosoft, dove direttamente si è svolta la sommatoria delle tracce per avere un miglior controllo energetico

Le tracce sono state riallineate metro per metro, così, per ogni profondità si è potuto visualizzare direttamente le 4 tracce registrate (S) in due battute o le due tracce in p.

Quindi, tramite un analisi visuale delle tracce si è proceduto a scegliere quella con le migliori doti di leggibilità e le altre sono state eliminate.

Si è ricavato quindi un sismogramma con una traccia per metro, e partendo da questo si è effettuato il picking scegliendo la finestra temporale più adeguata per ciascuna registrazione (100ms per le p, 400 ms per le S).

S91

profondità	tempo orizzontale s	tempo orizzontale p	tempo verticale s	tempo verticale p
-1	8	5	3.6	1.6
-2	12	7.1	8.5	3.9
-3	18	8.4	15.0	5.9
-4	21	9.3	18.8	7.4
-5	25.2	10.2	23.4	8.7
-6	30	11.9	28.5	10.6
-7	33.2	12.7	31.9	11.7
-8	38	12.9	36.9	12.1
-9	42.1	13.5	41.1	12.8
-10	42.1	13.8	41.3	13.2
-11	47.2	14.7	46.4	14.2
-12	48.1	14.9	47.4	14.5
-13	52.5	15.3	51.9	14.9
-14	56.4	15.4	55.8	15.1
-15	57.7	16.2	57.2	15.9
-16	63.5	16.9	63.0	16.6
-17	65.5	17	65.1	16.7
-18	68.2	17.2	67.8	17.0
-19	71.5	16.5	71.1	16.3
-20	73.7	17.4	73.3	17.2
-21	77	18.5	76.7	18.3
-22	80.4	19.3	80.1	19.1
-23	84.5	19.5	84.2	19.3
-24	90.2	20.1	89.9	19.9
-25	95	20.7	94.7	20.6
-26	97.1	22.5	96.8	22.4
-27	98.3	22.5	98.0	22.4
-28	97.9	23.2	97.7	23.1
-29	98.2	22.9	98.0	22.8
-30	98.2	22.7	98.0	22.6
-31	100.5	24.5	100.3	24.4
-32	102.2	23	102.0	22.9

S96

profondità	tempo orizzontale s	tempo orizzontale p	tempo verticale s	tempo verticale p
-1	9	5.45	4.0	1.7
-2	10.4	5.75	7.4	3.2
-3	18.4	4.86	15.3	3.4
-4	23.7	8.55	21.2	6.8
-5	28.8	7.52	26.7	6.4
-6	31.5	8.84	29.9	7.9
-7	34.2	9.14	32.9	8.4
-8	37.01	10.02	35.9	9.4
-9	42.01	10.9	41.0	10.3
-10	44.5	11.79	43.6	11.3
-11	47	11.49	46.2	11.1
-12	49.02	12.97	48.4	12.6
-13	48.01	12.08	47.5	11.8
-14	54.3	12.38	53.8	12.1
-15	58.6	12.82	58.1	12.6
-16	63.1	14	62.6	13.8
-17	61.5	14.88	61.1	14.7
-18	66.5	14.44	66.1	14.2
-19	68.2	15.62	67.8	15.4
-20	70.2	15.33	69.9	15.2
-21	71.3	16.77	71.0	16.6
-22	74.4	16.8	74.1	16.6
-23	77	17.09	76.7	16.9
-24	79.13	17.68	78.9	17.5
-25	80.53	17.98	80.3	17.9
-26	78.8	17.09	78.6	17.0
-27	83.2	19.3	83.0	19.2
-28	88.4	19.89	88.2	19.8
-29	90.2	20.63	90.0	20.5
-30	91.05	21.66	90.8	21.6
-31	93.7	21.37	93.5	21.3
-32	97.16	21.96	97.0	21.9

S117

profondità	tempo orizzontale s	tempo orizzontale p	tempo verticale s	tempo verticale p
-1	7.9	6.2	3.5	2.0
-2	12.1	6.8	8.6	3.8
-3	19.5	7	16.2	4.9
-4	23.9	7.9	21.4	6.3
-5	28.2	8.8	26.2	7.5
-6	31.4	9.6	29.8	8.6
-7	35.3	10.5	33.9	9.7
-8	37.2	10.6	36.1	9.9
-9	41.7	11.7	40.7	11.1
-10	45.4	12.8	44.5	12.3
-11	48.5	13.2	47.7	12.7
-12	53.1	13.4	52.4	13.0
-13	55.4	13.9	54.8	13.5
-14	57.6	14.1	57.0	13.8
-15	60.1	16.1	59.6	15.8
-16	63.5	14.5	63.0	14.3
-17	65.8	14.2	65.3	14.0
-18	69.2	15.7	68.8	15.5
-19	73.1	15.3	72.7	15.1
-20	75.4	17.2	75.0	17.0
-21	76.7	19.5	76.4	19.3
-22	75.3	19.3	75.0	19.1
-23	79.6	15.5	79.3	15.4
-24	81.5	21.4	81.2	21.2
-25	85.2	22.3	84.9	22.1
-26	84.1	20.5	83.9	20.4
-27	87.4	18.4	87.2	18.3
-28	87.2	22.2	87.0	22.1
-29	95.3	22.5	95.1	22.4
-30	98	23.7	97.8	23.6
-31	101	25.1	100.8	25.0
-32	100.66	24.2	100.5	24.1

S118

profondità	tempo orizzontale s	tempo orizzontale p	tempo verticale s	tempo verticale p
-1	7.8	6.2	3.5	2.0
-2	11.3	6.8	8.0	3.8
-3	17.8	7.7	14.8	5.4
-4	23.7	8.5	21.2	6.8
-5	29.4	9.5	27.3	8.1
-6	33.7	10.3	32.0	9.2
-7	35	10.4	33.7	9.6
-8	38.5	11.7	37.4	11.0
-9	42	12.9	41.0	12.2
-10	45.1	13.6	44.2	13.0
-11	48.3	13.7	47.5	13.2
-12	52	15.2	51.3	14.7
-13	56.4	14.3	55.7	13.9
-14	58.2	14.7	57.6	14.4
-15	64.3	15.4	63.7	15.1
-16	66.2	15.8	65.7	15.5
-17	69.4	16.5	68.9	16.2
-18	71.5	16.9	71.1	16.7
-19	73.8	16.8	73.4	16.6
-20	75.7	17.3	75.3	17.1
-21	78.3	18.1	77.9	17.9
-22	79.4	17.4	79.1	17.2
-23	81.2	18.5	80.9	18.3
-24	85.3	16.7	85.0	16.6
-25	87.4	19.8	87.1	19.7
-26	91.5	21.4	91.2	21.3
-27	93.7	22	93.4	21.9
-28	95.3	22.5	95.1	22.4
-29	94.9	23	94.7	22.9
-30	97.1	23.1	96.9	23.0
-31	99.5	23.3	99.3	23.2
-32	102	23.5	101.8	23.4

S119

profondità	tempo orizzontale s	tempo orizzontale p	tempo verticale s	tempo verticale p
-1	8.3	6.1	3.7	1.9
-2	15.4	5.5	10.9	3.1
-3	20.3	6.3	16.9	4.5
-4	24.5	6.5	21.9	5.2
-5	26.3	8.8	24.4	7.5
-6	31.5	8.7	29.9	7.8
-7	35.1	9.4	33.7	8.6
-8	39.1	10.5	37.9	9.8
-9	40.3	12.8	39.3	12.1
-10	42	12.6	41.2	12.1
-11	44.6	13.5	43.9	13.0
-12	42.2	13.9	41.6	13.5
-13	49.9	14.2	49.3	13.8
-14	51.37	14.9	50.9	14.6
-15	55.4	15.2	54.9	14.9
-16	59.7	15.9	59.2	15.6
-17	65.2	16.6	64.8	16.3
-18	70.5	17.2	70.1	17.0
-19	74.1	17.5	73.7	17.3
-20	78.02	18.3	77.6	18.1
-21	80.4	18.7	80.0	18.5
-22	82.6	19.1	82.3	18.9
-23	85.3	19.2	85.0	19.0
-24	87.3	19.5	87.0	19.3
-25	90.5	19.7	90.2	19.6
-26	92.1	20.3	91.8	20.2
-27	95.4	20.5	95.1	20.4
-28	97.16	20.5	96.9	20.4
-29	98.5	21.7	98.3	21.6
-30	99.7	22.1	99.5	22.0
-31	101.7	22.5	101.5	22.4
-32	105.3	22.5	105.1	22.4

RISULTATI OTTENUTI

Le velocità dei vari strati sono state determinate con la funzione di regressione lineare relativa a ciascuno degli intervalli rettilinei del diagramma tempi di arrivo-profondità. In particolare per ogni tratto individuato è stata tracciata una retta di correlazione tramite foglio di lavoro excel.

Le profondità dei punti interpolati (compresi gli estremi) sono indicati nella sottostante tabella. Si sono riconosciuti i seguenti sismostrati:

S91

profondità	vsh	profondità	Vp
0-8	217	0-8	661
8-16	307	8-16	2051
18-32	410	16-32	2319

S96

profondità	vsh	profondità	Vp
0-5	187	0-5	781
5-16	306	5-16	1486
16-32	465	16-32	1975

S117

profondità	vsh	profondità	Vp
0-4	187	0-4	661
4-12	258	4-12	2051
12-32	416	12-32	2319

S118

profondità	vsh	profondità	Vp
0-6	188	0-8	635
8-16	297	8-16	1194
18-32	416	16-32	1802

S119

profondità	vsh	profondità	Vp
0-8	211	0-8	816
8-18	311	8-18	1389
18-32	400	18-32	2593

per i vari rilievi possiamo sintetizzare i seguenti valori del V.S.30 a profondità da 0 a -2 mt dal p.c.

vs30	s91	S96	s117	s118	s119
0	306	330	307	310	302
-1	310	335	308	313	307
-2	321	335	326	320	318

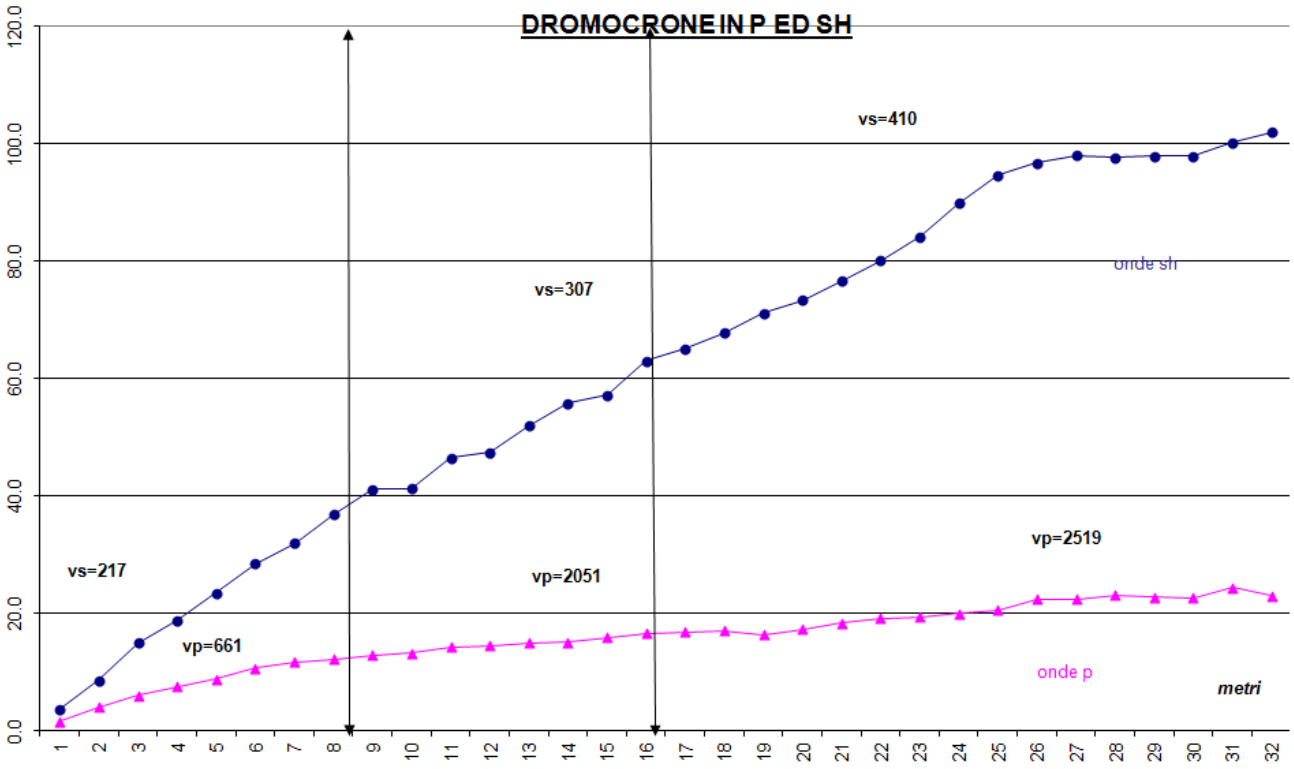
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.

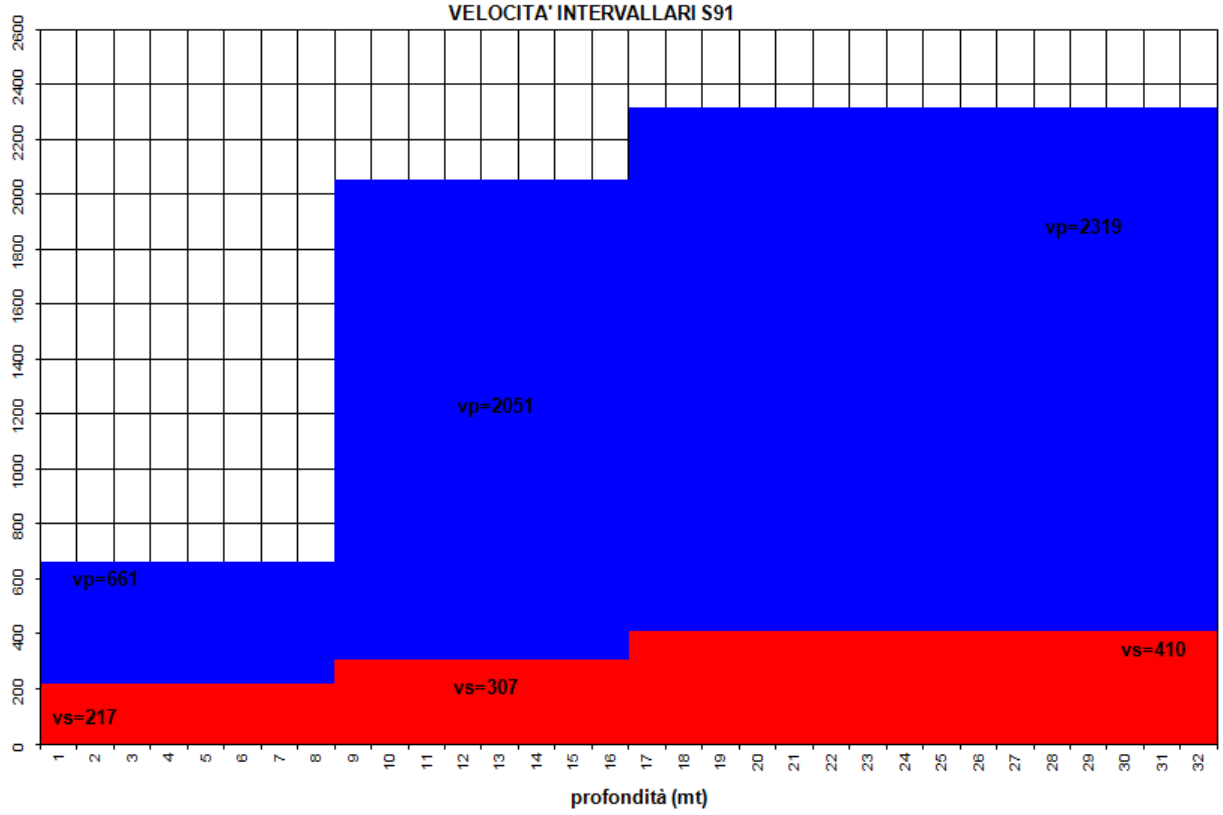
Il sito in esame nel suo complesso è risultato avere caratteristiche abbastanza omogenee, tanto che tutti i vs 30 determinati ricadono in classe C.

Da un punto di vista operativo la qualità del segnale è stata generalmente medio-bassa, con la presenza di forti disturbi ambientali.

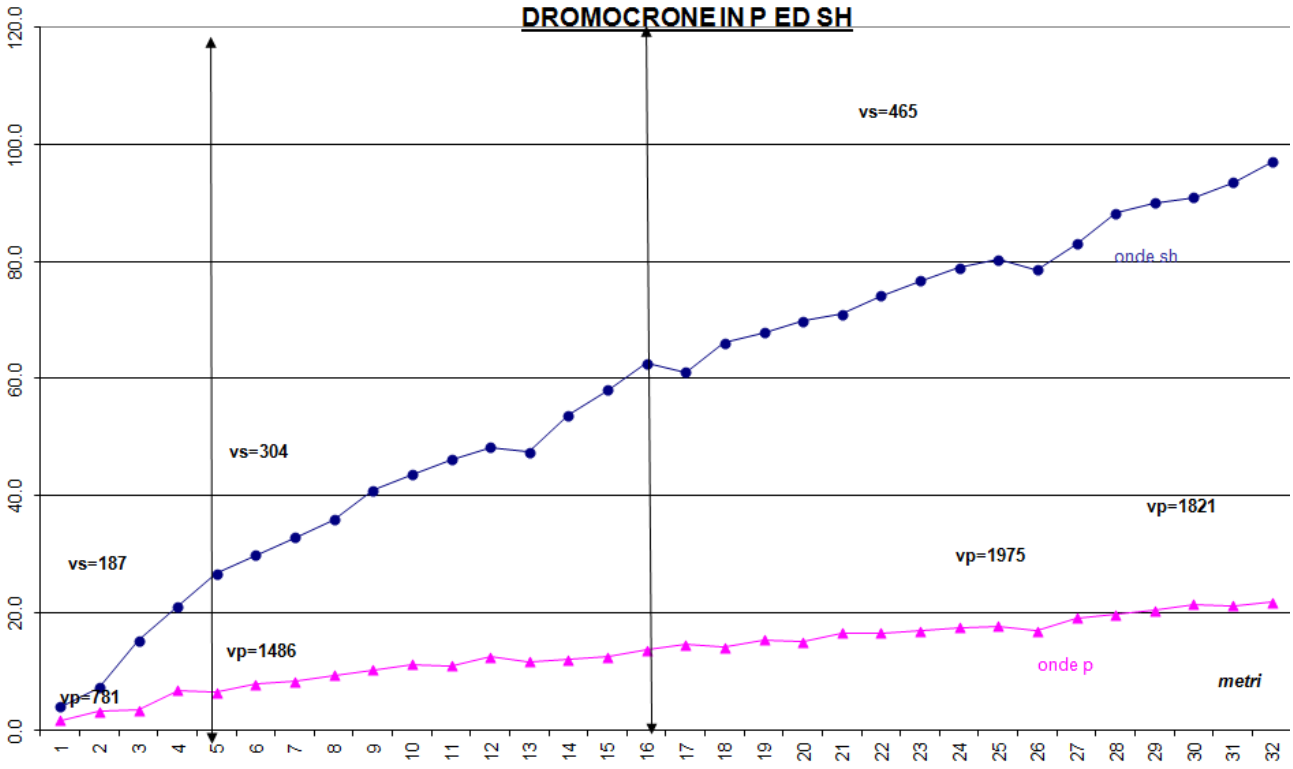
E' stato possibile definire in maniera certa il parametro Vs30, mentre per un andamento sismo stratigrafico si è scelto di semplificare al massimo i risultati, introducendo la presenza di tre sismostrati.

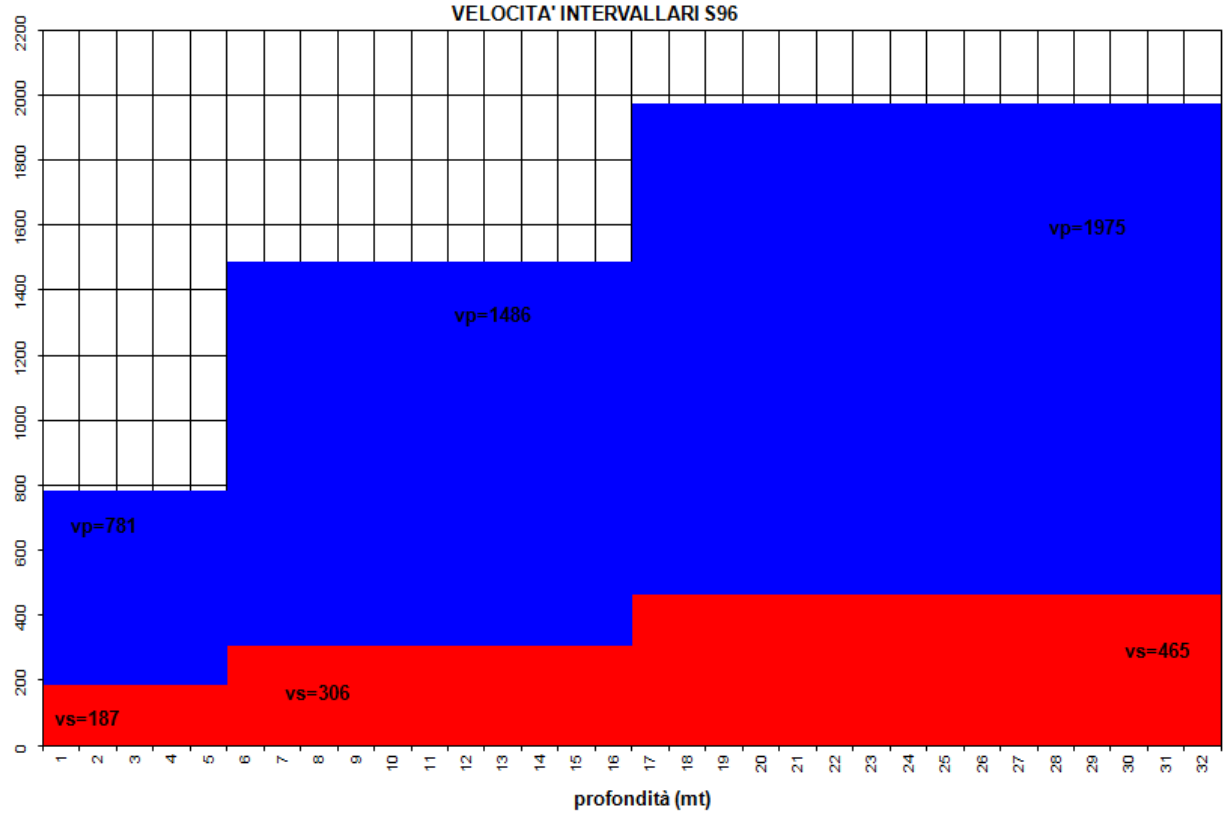
S91


DROMOCRONE IN P ED SH
vs=410
vs=307
vs=217
vp=2519
vp=2051
vp=661
onde sh
onde p
metri

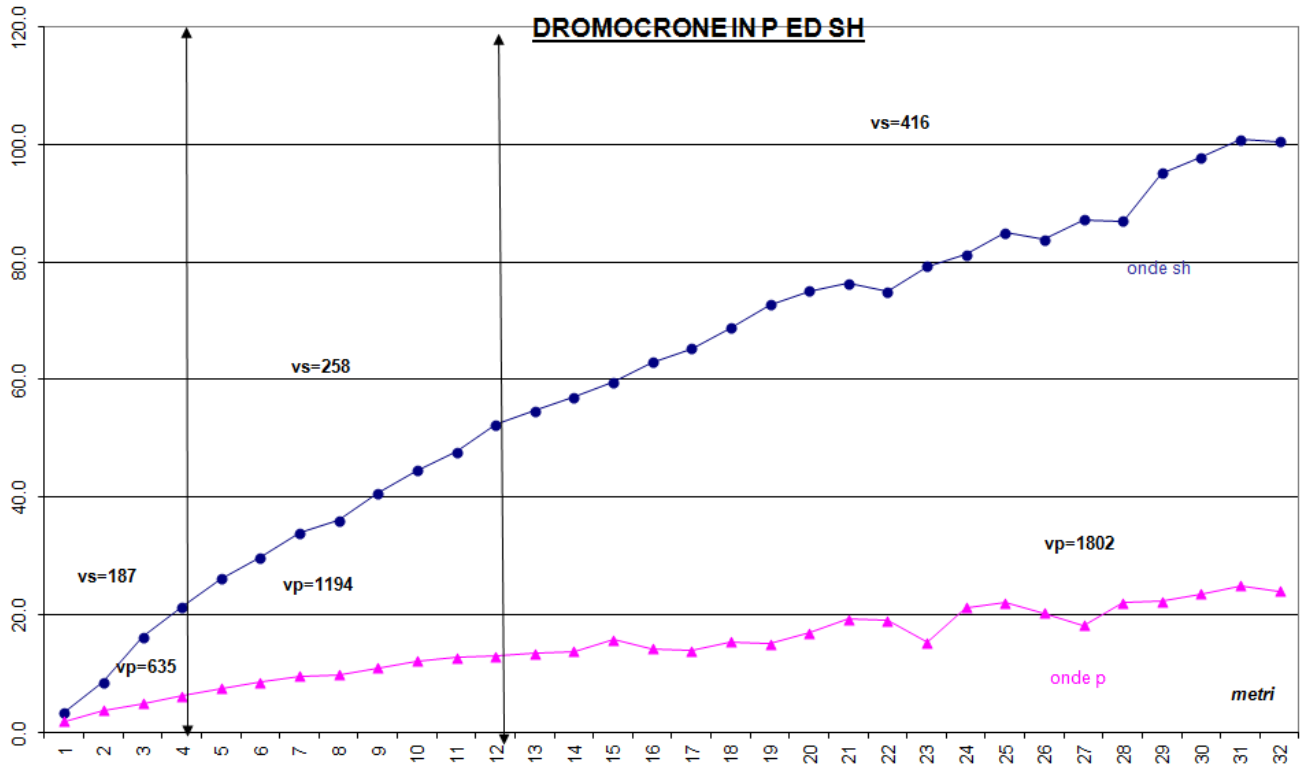

VELOCITA' INTERVALLARI S91
vp=2319
vp=2051
vp=661
vs=410
vs=307
vs=217
profondità (mt)

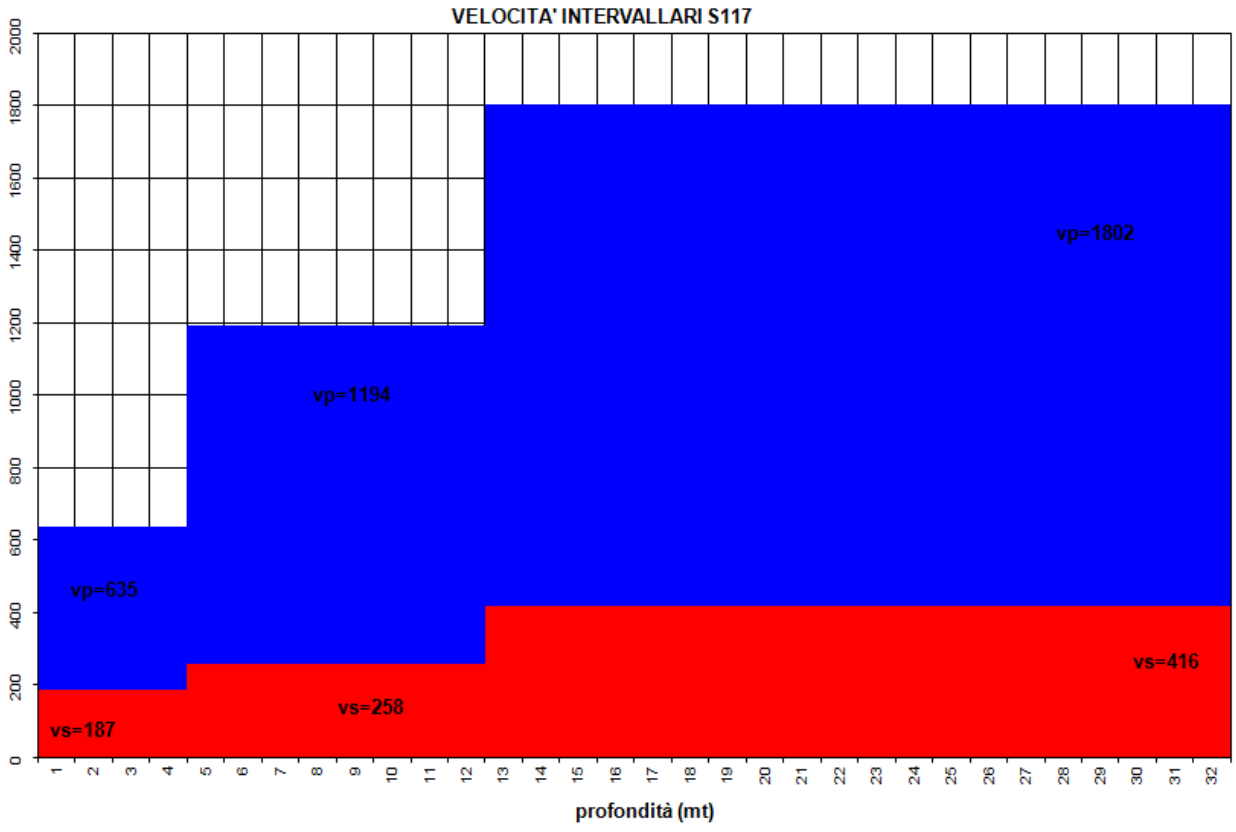
S96


DROMOCRONE IN P ED SH
vs=465
onde sh
vs=304
vp=1821
vs=187
vp=1975
vp=1486
onde p
vp=781
metri

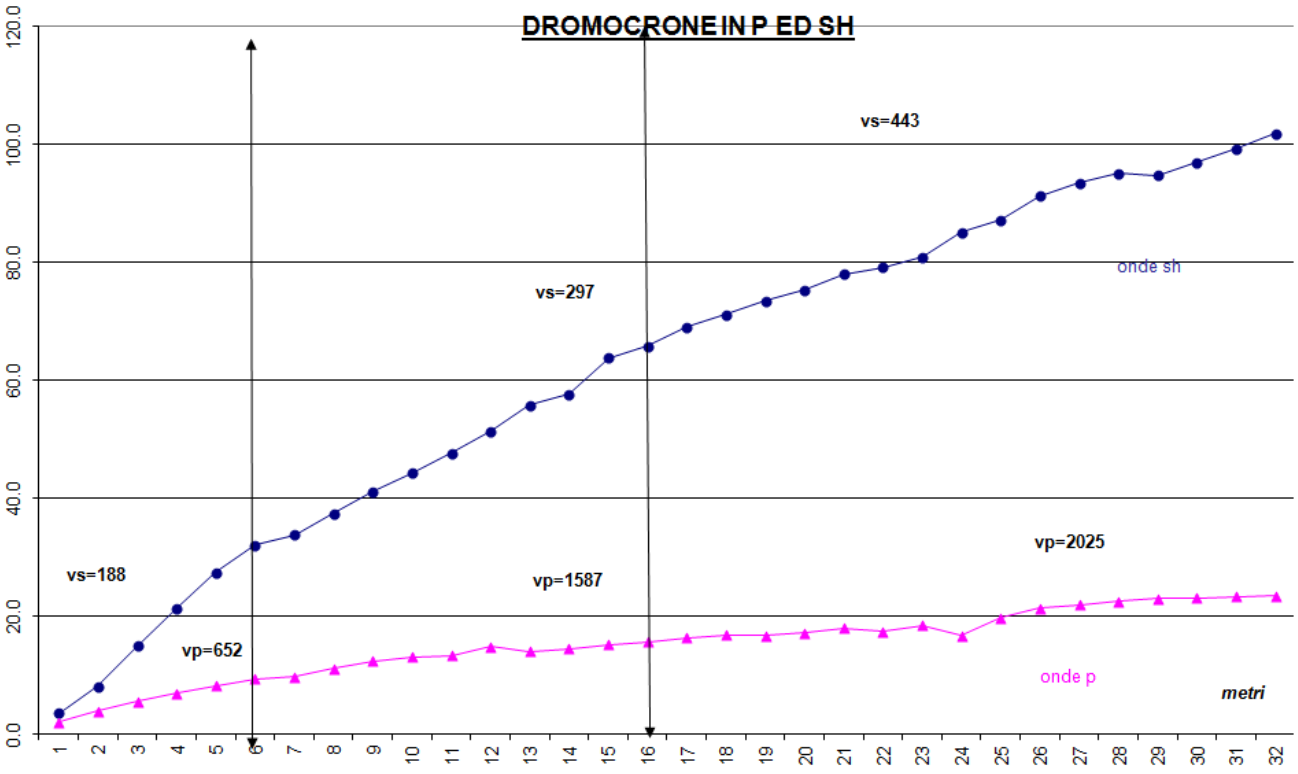

VELOCITA' INTERVALLARI S96
vp=1975
vp=1486
vp=781
vs=465
vs=306
vs=187
profondità (mt)

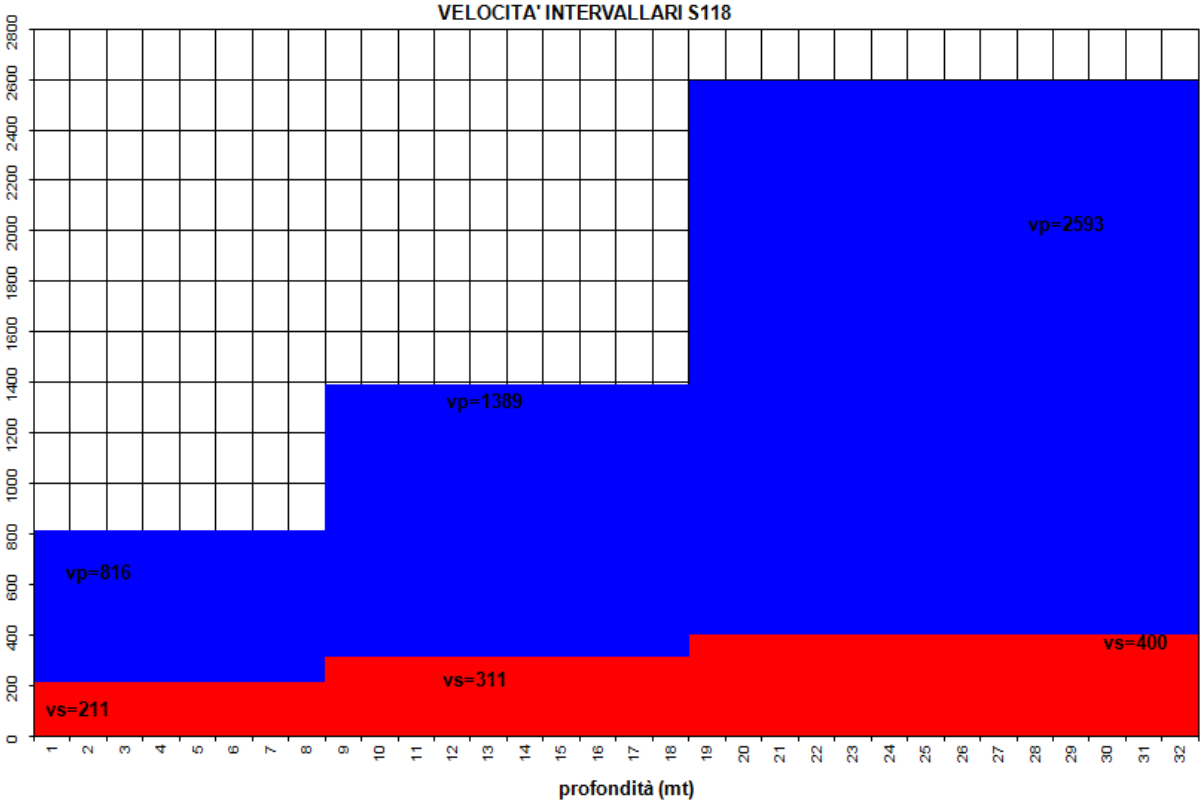
S117


DROMOCRONE IN P ED SH
vs=416
onde sh
vs=258
vp=1802
vs=187
vp=1194
vp=635
onde p
metri
0.0
20.0
40.0
60.0
80.0
100.0
120.0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32

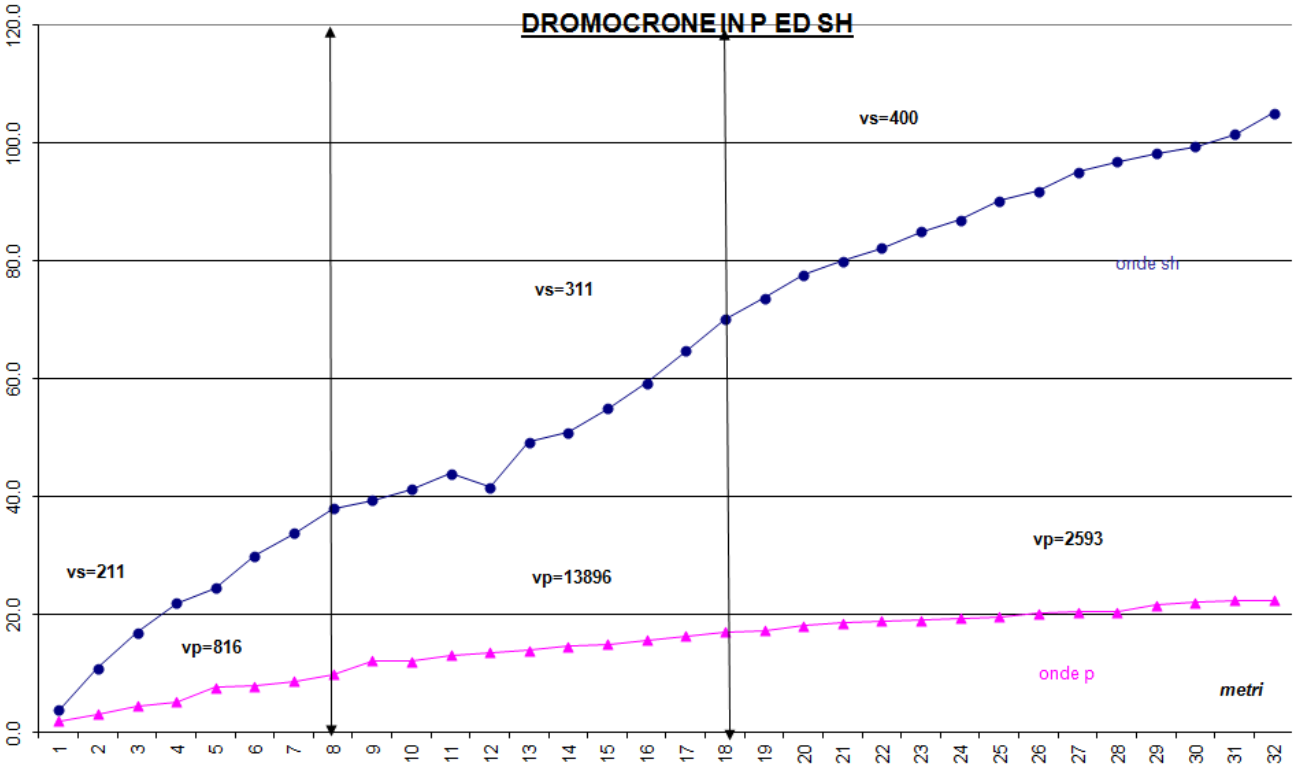

VELOCITA' INTERVALLARI S117
vp=1802
vp=1194
vp=635
vs=416
vs=258
vs=187
0 200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800 2000
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32
profondità (mt)

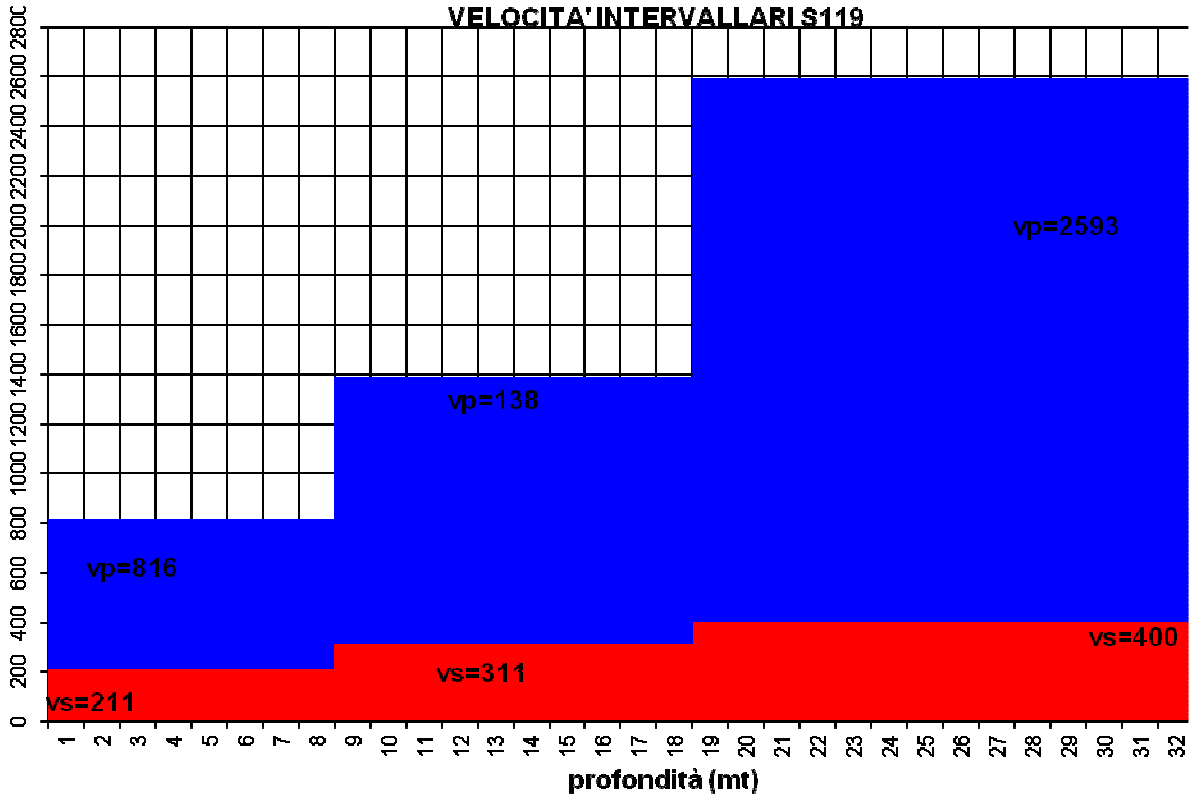
S118


DROMOCRONE IN P ED SH
vs=443
vs=297
vs=188
vp=1587
vp=2025
vp=652
onde sh
onde p
metri
0.0
20.0
40.0
60.0
80.0
100.0
120.0


VELOCITA' INTERVALLARI S118
vp=2593
vp=1389
vp=816
vs=400
vs=311
vs=211
profondità (mt)

S119


DROMOCRONE IN P ED SH
vs=400
vs=311
onde sh
vs=211
vp=13896
vp=2593
vp=816
onde p
metri


VELOCITA' INTERVALLARI S119
vp=2593
vp=138
vp=816
vs=400
vs=311
vs=211
profondità (mt)

SONDAGGIO S84

La prova down hole nel sondaggio S84 è stata eseguita in data 30 Ottobre 2017, utilizzando un sismografo a 48 canali ECHO 24-48/2012 dell'AMBROGEO di Piacenza, collegato ad un pc portatile su cui è installato programma di acquisizione Echo2012, aventi le seguenti caratteristiche principali:

- Numero di canali: 48+1;
- A/D conversion: 24 bit;
- Gain: 0 dB – 72 dB (step 6 dB);
- Sampling interval: 32, 64, 128, 256, 480, 960 μs;

I dati acquisiti in campagna e registrati sul p.c. sono stati poi processati in studio tramite foglio di calcolo Excel, correggendo i tempi di primo arrivo mediante la seguente formula:

$$t^* = \frac{z}{d} \cdot t = \frac{z}{\sqrt{z^2 + R^2}} \cdot t$$

z = profondità del ricevitore
d = distanza sorgente e ricevitore
R = distanza superficiale tra sorgente e centro del foro
t = il tempo determinato dalle tracce di registrazione
t* = il tempo corretto

Durante l'elaborazione viene eseguito il "picking" dei primi arrivi in modalità manuale. In particolare come allegati vengono forniti:

- Sismogrammi delle onde P e onde SH
- Dati analitici (tempi di primo arrivo)
- Dromocrona onde P/SH e profili di velocità

Risultati ottenuti

Profondità strato (m)	Vp	Vs	Vp/Vs	Rapporto Poisson	Peso di Volume	Modulo di Taglio G	Modulo di Young E	Modulo di Compressibilità K
(m)	(m/s)	(m/s)	(-)	(-)	(t/m^3)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)
0÷1	361	162	2.23	0.37	1.56	418	1148	1518
1÷5	547	252	2.17	0.37	1.69	1094	2988	3696
5÷24	1596	220	7.25	0.49	2.07	1022	3046	52425
24÷32	1669	342	4.88	0.48	2.09	2491	7364	56002

Nota: I valori del peso di volume sono stati ricavati per via empirica sulla base della relazione $\gamma=0.51*Vp^{0.19}$

Nota: *Valore della $V_{S,30}$ a partire dal piano campagna ≈ 243 m/s (Categoria di suolo C)*

Nota: *Si rimanda al progettista la valutazione dell'inversione di velocità a 5,00 metri di profondità*

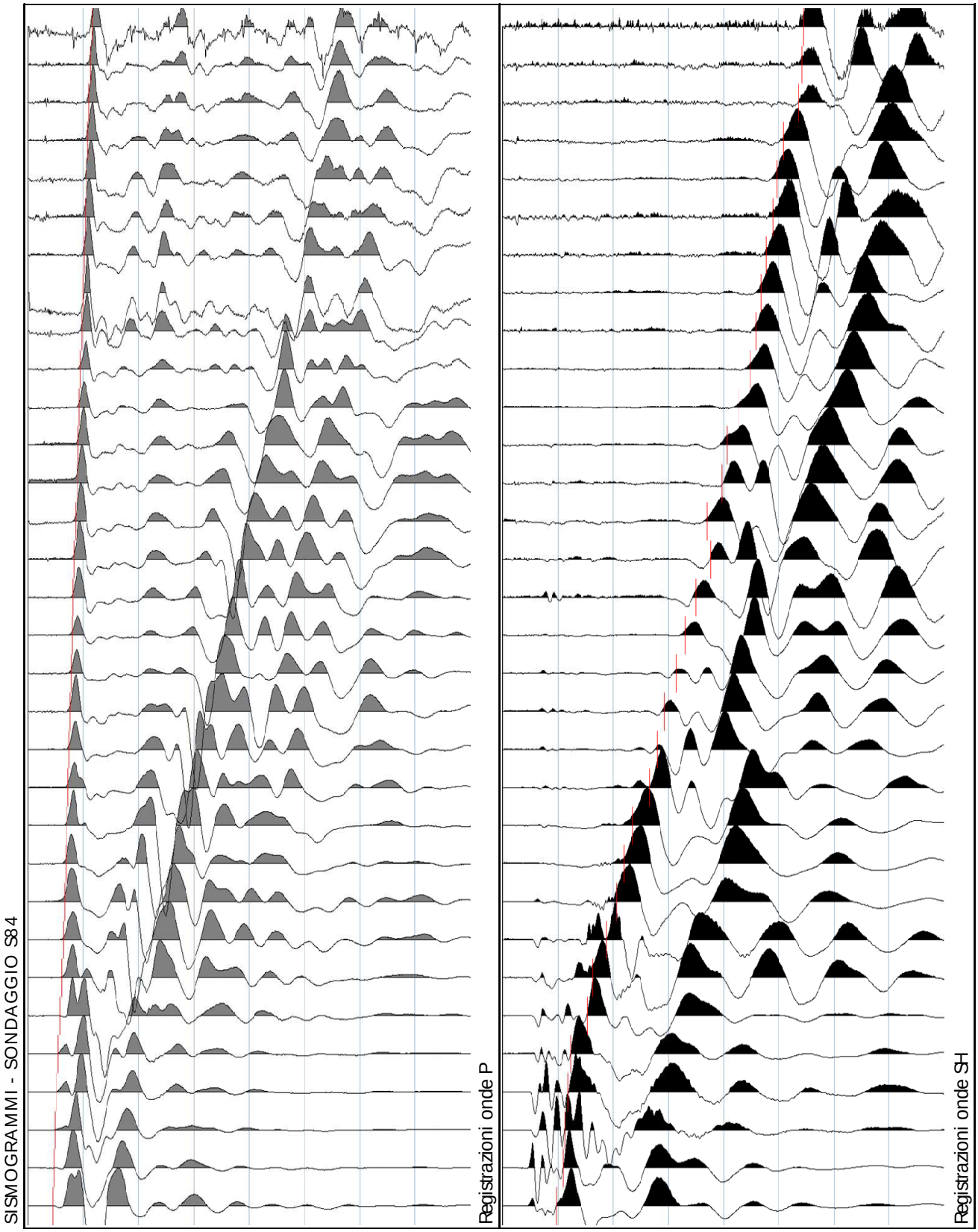

SISMOGRAMMI - SONDAGGIO S84
Registrazioni onde P
Registrazioni onde SH

TABELLA DEI VALORI CARATTERISTICI PER OGNI METRO DI PROFONDITA' - SONDAGGIO S84

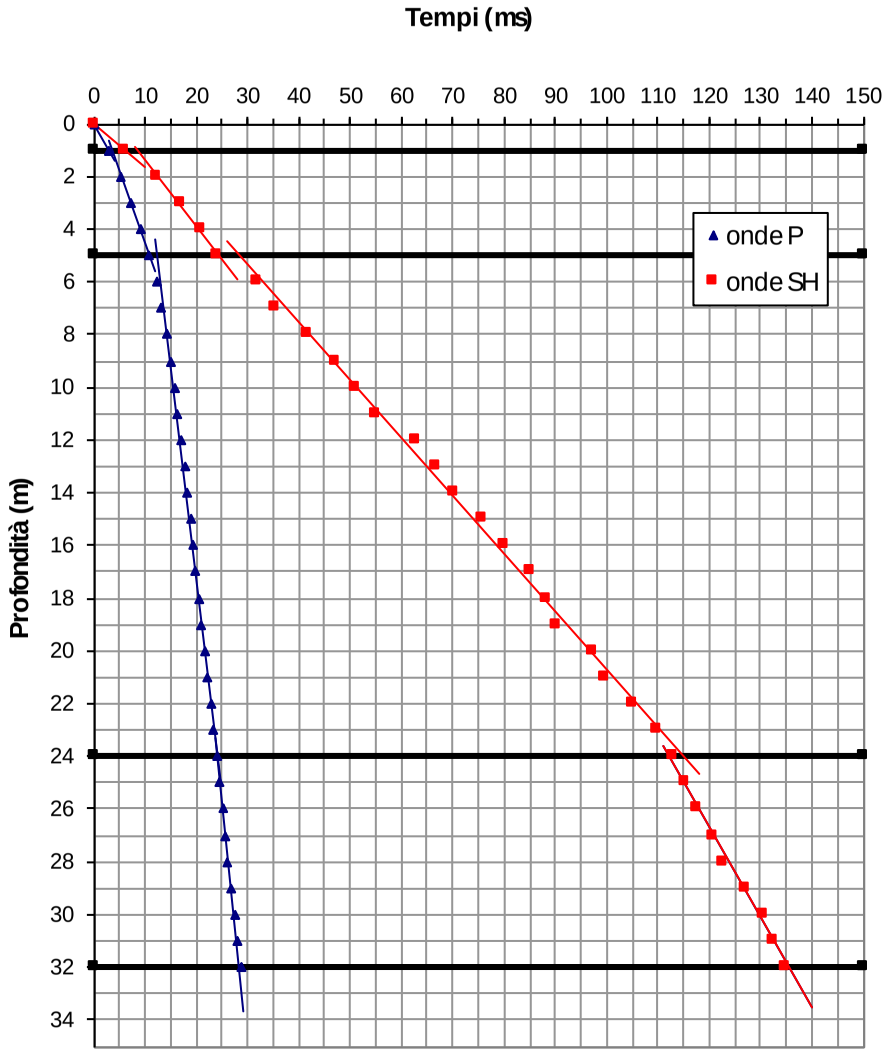
	Onde Longitudinali - Vp			Onde Trasversali - Vs			Velocità delle Onde		Peso di volume	Moduli Elastici Dinamici			
Depth	File	First Break Times (ms)		File	First Break Times (ms)		Vp	Vs	γ	ν	G	E	K
(m)	(.sgy)	Sulla Traccia	Corretto	(.sgy)	Sulla Traccia	Corretto	(m/s)	(m/s)	(t/m^3)	(-)	(kPa)	(kPa)	(kPa)
0.0		0.00	0.00		0.00	0.00	0	0	*0*	0.00	0	0	0
1.0	00'01	11.40	2.76	0002	25.40	6.16	361	162	*1.56*	0.37	41066	112839	149109
2.0	00'03	11.90	5.32	0004	27.40	12.25	391	164	*1.59*	0.39	42698	118968	185543
3.0	00'05	12.40	7.44	0006	28.10	16.86	472	217	*1.64*	0.37	77433	211535	262959
4.0	00'07	13.10	9.26	0008	29.60	20.93	549	246	*1.69*	0.37	102035	280500	372576
5.0	00'09	13.80	10.78	0010	30.80	24.05	661	320	*1.75*	0.35	179882	484366	525387
6.0	00'11	14.60	12.15	0012	38.20	31.78	729	129	*1.78*	0.48	29834	88534	908209
7.0	00'13	15.30	13.28	0014	40.70	35.34	880	281	*1.85*	0.44	146488	422779	1237320
8.0	00'15	16.10	14.40	0016	46.80	41.86	896	153	*1.86*	0.48	43630	129572	1431364
9.0	00'17	16.50	15.08	0018	51.50	47.06	1476	192	*2.04*	0.49	75392	224875	4342929
10.0	00'19	17.00	15.78	0020	54.90	50.97	1416	256	*2.02*	0.48	132269	392351	3882470
11.0	00'21	17.50	16.45	0022	58.60	55.07	1510	244	*2.05*	0.49	121988	362693	4509182
12.0	00'23	18.00	17.08	0024	66.20	62.80	1588	129	*2.07*	0.50	34613	103608	5167519
13.0	00'25	18.50	17.68	0026	69.90	66.81	1651	250	*2.08*	0.49	129869	386570	5509660
14.0	00'27	19.00	18.27	0028	73.10	70.29	1703	287	*2.10*	0.49	173281	514764	5852864
15.0	00'29	19.50	18.84	0030	78.30	75.66	1746	186	*2.11*	0.49	73084	218410	6326947
16.0	00'31	20.00	19.40	0032	82.40	79.94	1782	233	*2.11*	0.49	115245	343721	6558868
17.0	00'33	20.30	19.76	0034	87.40	85.08	2797	195	*2.30*	0.50	87305	261489	17907394
18.0	0035	20.90	20.40	0036	90.60	88.44	1558	297	*2.06*	0.48	181948	538976	4759543
19.0	0037	21.50	21.04	0038	92.30	90.32	1571	533	*2.06*	0.44	585655	1680921	4315198
20.0	0039	22.10	21.67	0040	99.20	97.27	1582	144	*2.07*	0.50	42759	127922	5118828
21.0	0041	22.70	22.30	0042	101.40	99.61	1592	428	*2.07*	0.46	379450	1108751	4737988
22.0	0043	23.30	22.92	0044	107.00	105.27	1600	177	*2.07*	0.49	64558	192878	5216243
23.0	0045	23.80	23.45	0046	111.70	110.05	1909	209	*2.14*	0.49	94003	280862	7681392
24.0	0047	24.40	24.07	0048	114.40	112.84	1613	358	*2.08*	0.47	265558	782934	5044451
25.0	0049	24.90	24.59	0050	116.90	115.43	1926	386	*2.15*	0.48	320334	947568	7532233
26.0	0051	25.50	25.20	0052	119.10	117.72	1623	438	*2.08*	0.46	398485	1164150	4939723
27.0	0053	26.00	25.72	0054	122.30	120.98	1939	306	*2.15*	0.49	201632	599734	7807494
28.0	0055	26.50	26.23	0056	124.00	122.75	1944	564	*2.15*	0.45	683038	1986432	7215223
29.0	0057	27.10	26.85	0058	128.20	127.00	1634	236	*2.08*	0.49	115488	344009	5396347
30.0	0059	27.70	27.46	0060	131.60	130.45	1636	290	*2.08*	0.48	175014	519365	5336702
31.0	0061	28.30	28.07	0064	133.80	132.70	1639	444	*2.08*	0.46	409542	1196235	5041591
32.0	0063	29.10	28.88	0062	136.00	134.95	1238	444	*1.97*	0.43	389793	1111667	2502813
33.0	0065			0066									
34.0	0067			0068									
35.0	0070			0070									

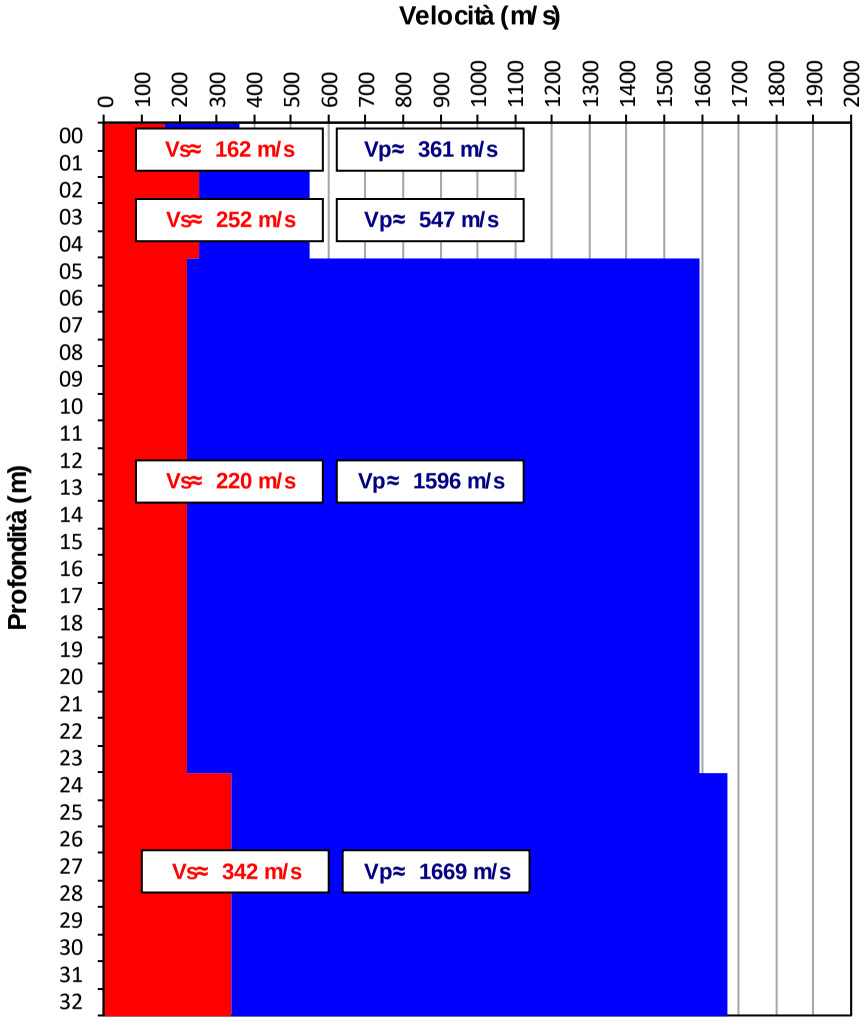
Nota 1: ν - Modulo di Poisson; G - Modulo di deformazione a taglio; E - Modulo di Young; k - Modulo di Bulk (compressibilità)

Nota 2: I valori del peso di volume sono stati ricavati per via empirica sulla base della relazione $\gamma = 0.51 * Vp^{0.19}$

Nota 3: Distanza punto di energizzazione - bocca pozzo - 4,00 metri.

DROMOCRONE E PROFILI DI VELOCITA' - SONDAGGIO S84





Nota: *Valore della V_{S30} a partire dal piano campagna ≈ 243 m/s (Categoria di suolo C)*

CENNI TEORICI - SISMICA A RIFRAZIONE

La metodologia della sismica a rifrazione consiste nel produrre delle onde sismiche nel terreno tramite un'energizzazione (scoppio); tale energia può essere generata tramite un grave che percuote il terreno (martello o peso), oppure tramite lo scoppio di una carica esplosiva. In particolare la sismica a rifrazione studia il comportamento dell'onda rifratta. Tale onda, viaggiando all'interfaccia fra due mezzi a differente velocità, manda in superficie una serie di segnali (vibrazioni) che vengono registrati da dei velocimetri (geofoni). Tali geofoni, posti ad una equidistanza nota l'uno dall'altro vanno a formare la stesa sismica. L'indagine procede energizzando in posizioni note. Il segnale così registrato è convogliato ad una scheda di conversione A/D, e quindi registrato e conservato in memoria.

L'acquisizione dei dati da parte del sismografo parte quando un particolare circuito "trigger" è attivato dall'energizzazione nel terreno. Per ogni registrazione viene registrato un segnale, costituito da una traccia per ciascun geofono, riconoscendo su ciascuna traccia il primo arrivo dell'onda rifratta si genera una retta, detta dromocrona, dalla inclinazione della quale si puo risalire alla velocità ed alla geometria (interpolando più dromocrone) dei rifrattori.

Le metodologie di interpretazioni dei dati vanno dalle più semplici (metodo delle intercette) che richiedono solo 2 scoppi per profilo, al metodo del reciproco (Hokins 1957) e del reciproco generalizzato (G.R.M. Palmer 1980) che richiedono 5-7 scoppi per profilo,fino alle tecniche tomografiche, che richiedono almeno 7 scoppi per stendimento. Le basi su cui si fonda ogni tecnica sono differenti, così come è crescente la complessità dell'elaborazione, tant'è che i G.R.M e soprattutto le tecniche tomografiche sarebbero improponibili senza l'ausilio di computer. L'elaborazione che restituisce ogni tecnica risulta via via più completa e dettagliata, fino ad arrivare ad una mappatura di discontinuità molto articolate ottenibile con le più moderne tecniche tomografiche.

Il limite principale della sismica a rifrazione sta nel fatto che tale tecnica presuppone un incremento costante della velocità andando in profondità. Se, ad esempio, abbiamo un modello in cui al disotto di uno strato continuo di argilla dura abbiamo della sabbia molle, e al disotto di questa roccia, il passaggio fra argilla e sabbia non produce rifrazione, ed il modello che andrò a ricostruirmi sarà un modello di terreno errato. Per questo le indagini sismiche andranno sempre accoppiate, soprattutto in situazioni dove inversioni di velocità sono frequenti (ad esempio i depositi quaternari) ad indagini geotecniche dirette.

Tali inconvenienti sono stati parzialmente risolti dalle tecniche tomografiche, dove tramite il ray tracing è possibile stabilire il percorso del raggio sismico ed individuare zone (sempre che siano limitate ad una parte interna allo stendimento) dove è avvenuta un inversione di velocità, caratterizzate da un assenza di copertura dei medesimi.

CENNI TEORICI - HVSR

La caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica di indagine sismica passiva HVSR (Horizzontal to Vertical Spectral Rario – Metodo di Nakamura) è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito. Esse sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'ammasso roccioso.

Le basi teoriche dell'HVSR sono relativamente semplici in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D). Consideriamo un sistema dove gli strati si distinguono per diverse densità e velocità delle onde sismiche (V1 e V2). Un'onda che viaggia nel primo mezzo viene (parzialmente) riflessa dall'orizzonte che separa i due strati. L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore h del primo strato.

In altre parole la frequenza fondamentale di risonanza (fr) dello strato 1 relativa alle onde P è pari a $fr = VP1/(4\,h)$ mentre quella relativa alle onde S è $fr = VS1/(4\,h)$.

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati. Questo, insieme ad una stima delle velocità, è in grado di fornire previsioni sullo spessore h degli strati.

Questa informazione è per lo più contenuta nella componente verticale del moto ma la prassi di usare il rapporto tra gli spettri orizzontali e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

- Sismografo AMBROGEO ECHO 24-2010 a 24 canali
- Geofoni da 14 hz

SOFTWARE UTILIZZATO PER LA VISUALIZZAZIONE, L'ACQUISIZIONE, IL FILTRAGGIO E L'ELABORAZIONE DATI

Acquisizione dei dati

SISMOPC 1.0 - PASI AMBROGEO

Elaborazione e filtraggio

Visual Sunt 20	*Wgeosoft-filtraggio dati (sismica a riflessione)*
Seismic Unix	*Software libero-filtraggio dati (sismica a riflessione)*
WinMasw Pro	*Eliosoft-elaborazione Masw-Remi-H/V-Attenuazione*
Grilla	*Tromino-H/V*
Geopsy	*Software Libero-H/V*
Winsism 11.2	*Wgeosoft-sismica a rifrazione*
Rayfract	*Inteligent resource-sismica a rifrazione*

Modelli 1 D e rischio sismico

Deep Soil	*software libero-Risposta di sito modellazione 1D*
Rexel	*software libero-risposta di sito-terremoto di progetto*
Shake 2000	*Geo Motions-risposta di sito-modellazione 1D-liquefazione*
Ciclic 1D	*software libero-liquefazione*

Sistemi di energizzazione

Generazione di onde P ed energizzazione per rilievo MASW: massa battente (mazza da 8 kg)

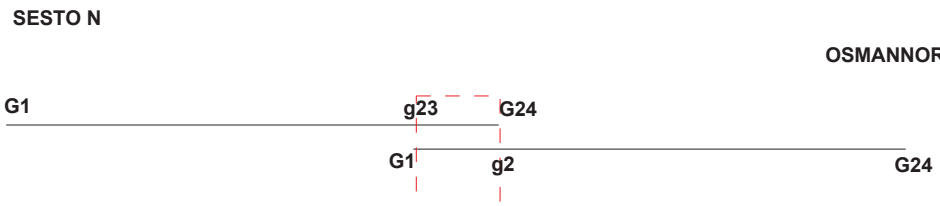
GEOMETRIA DEI RILIEVI

Sono stati eseguiti 10 rilievi di 230 metri in onde P ed Sh.

I rilievi sono stati eseguiti sovrapponendo 2 rilievi consecutivi di 2 geofoni (g23 stendimento xx'A sovrapposto a G1 stendimento xx'B, g24 stendimento xx'A sovrapposto a G2 stendimento xx'B).

Ogni singola linea (ad esempio 22') sarà formata da 4 rilievi, 2 in onde P e 2 in onde Sh, sovrapposte di 2 geofoni.

La linea è composta da 2 linee consecutive 22'A e 22'B; il primo geofono della prima linea è in direzione Sesto (circa N) e si concludono (G24 della seconda linea) in direzione Osmannoro (circa S), seguendo lo schema:



Per ogni linea sono state eseguite un minimo di 5 energizzazioni.

Per i rilievi in Sh il bilancio energetico è avvenuto in campagna eseguendo più stack ed inversione di polarità. Per quello che riguarda le onde P per ogni stazione si sono eseguiti più stack.

La qualità del segnale variava da buona a sufficientemente chiara da definire una dromocrona certa su tutte le linee, con la sola eccezione della rifrazione 6 dove la prossimità

della viabilità ha molto influenzato la qualità del segnale, riuscendo comunque a determinare il punto di flesso delle dromocrone.

RISULTATI OTTENUTI – CONSIDERAZIONI GENERALI

Gli stendimenti eseguiti nell'area in studio hanno delle caratteristiche stratigrafiche che permettono di delineare le seguenti caratteristiche comuni:

- Energizzando in onde Sh i terreni mostrano nei primi 5/10 metri velocità generalmente comprese fra i 150 ed i 250 m/s; tali velocità tendono ad aumentare con la profondità.
- Generalmente, a profondità comprese fra 7 e 10 metri, si rileva un aumento della velocità in onde Sh, con velocità superiori a 300 m/s che possono arrivare fino a 500/600 m/s.
- Energizzando in onde P assistiamo ad forte incremento delle velocità che, partendo dalla superficie, tendono a stabilizzarsi su valori compresi fra 1200 e 1440 m/s, circa in corrispondenza del salto della velocità in onde Sh. Questo può essere spiegato con la presenza di una falda estesa al contatto.

Generalizzando, gli stendimenti eseguiti hanno evidenziato la presenza di 2 sismostrati (A e B) che possono essere così sommariamente descritti:

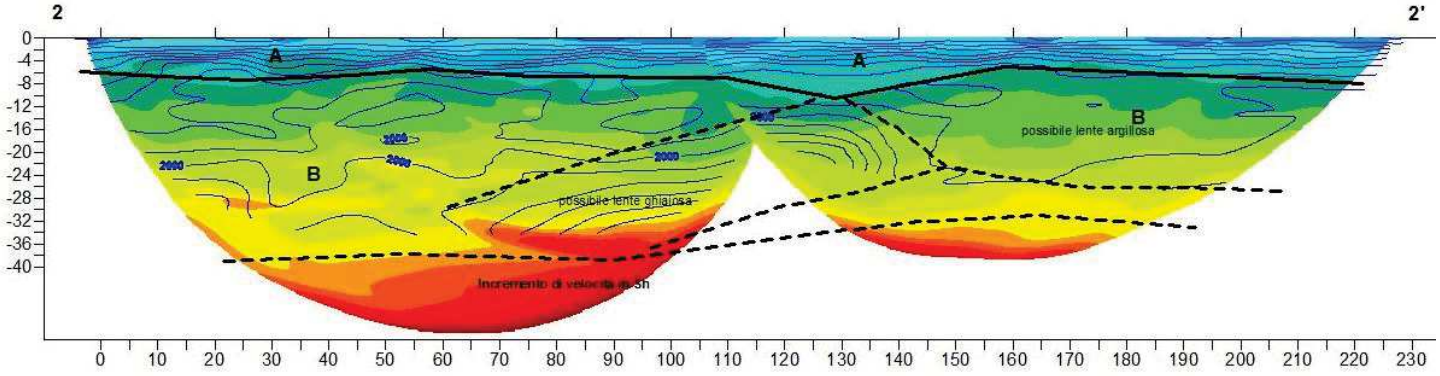
a) Sismostrato A. E' caratterizzato da velocità delle onde Sh comprese fra 150 e 250 m/s e delle onde P inferiori a 1400 m/s. Si evidenzia un incremento costante della velocità sia onde P che Sh (maggiormente marcato in P) fino al contatto con il sismostrato sottostante, che avviene generalmente fra 5 m e 10 m rispetto al piano campagna.

b) Sismostrato B. Le velocità, rispetto al sismostrato A, tendono ad aumentare sia in P (dove possono raggiungere valori superiori a 2500 m/s) che in Sh (dove possono raggiungere valori sopra i 500 m/s). L'andamento generale del sismostrato B evidenzia un gradiente continuo di velocità all'aumentare della profondità, mentre l'andamento del raggio sismico risulta a volte discontinuo, con la presenza quasi costante di zone d'ombra e corsie preferenziali di percorrenza del raggio sismico. Tale fatto ci indica la presenza di inversioni di velocità con possibile presenza di una alternanza di strati con differenti livelli di compattazione.

I dati vengono ritenuti affidabili nei primi 10 metri, con una buona evidenza del passaggio fra l'orizzonte A e B; l'andamento di B al di sotto del contatto, soprattutto in profondità, andrà considerato come puramente indicativo.

SEZIONE 2-2'

Si riscontrano 2 livelli sismostratigrafici principali, A e B. Il contatto fra le 2 unità avviene circa a 8 metri di profondità, tranne che a circa 130 metri dal punto 0 dove sembra scendere sui 12 metri. All'interno del sismostrato B si rinvengono una serie di anomalie con una zona a maggior velocità al centro, una possibile zona argillosa nella parte finale ed un livello con incremento delle velocità in sh nella parte bassa della sezione.



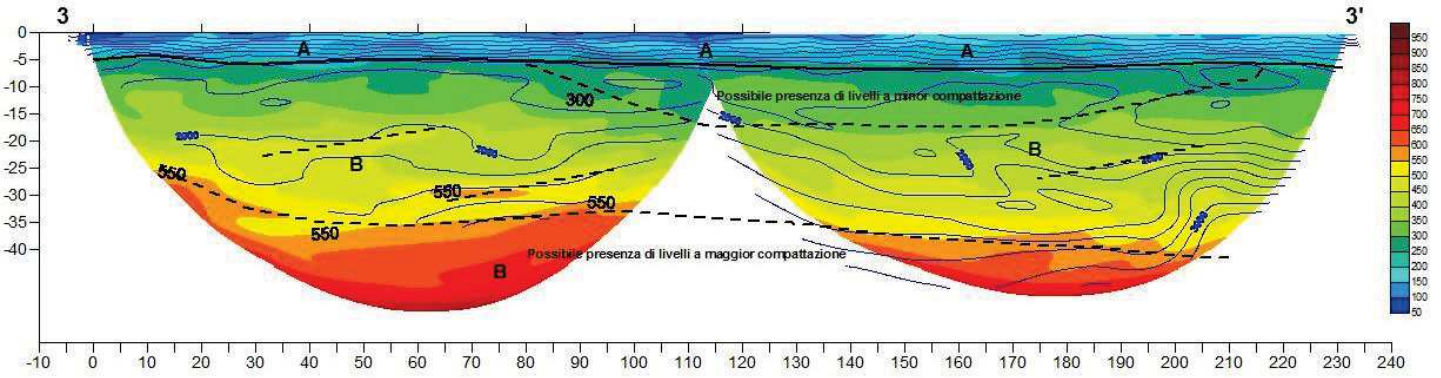
Sezione sismostratigrafica 2-2' - Non in scala

SEZIONE 3-3'

Si riscontrano 2 livelli sismostratigrafici principali, A e B. Nel livello A troviamo un incremento continuo della velocità delle onde P, fino al contatto con B, che ci fa presuppore la presenza di una falda all'interfaccia. Per quello che riguarda l'andamento delle onde Sh si segnalano zone a bassa velocità concentrate all'inizio della sezione.

Nel livello B si rilevano diverse anomalie. In particolare, nella parte bassa della sezione, compaiono livelli caratterizzati da un forte incremento delle velocità. Tale fatto potrebbe essere correlato alla presenza di un differente sismostrato profondo, anche se in realtà, alla luce anche degli altri stendimenti eseguiti, si tratta con tutta probabilità di un livello spesso e a velocità maggiore molto esteso potenzialmente associabile ad una lente di ghiaia di notevole estensione.

Al contrario, nella porzione superficiale del sismostrato B ad una distanza compresa fra 80 m e 215 m rispetto allo 0, si rileva una area estesa caratterizzata da una velocità relativamente minore, imputabile ad un probabile incremento in percentuale della componente fine.



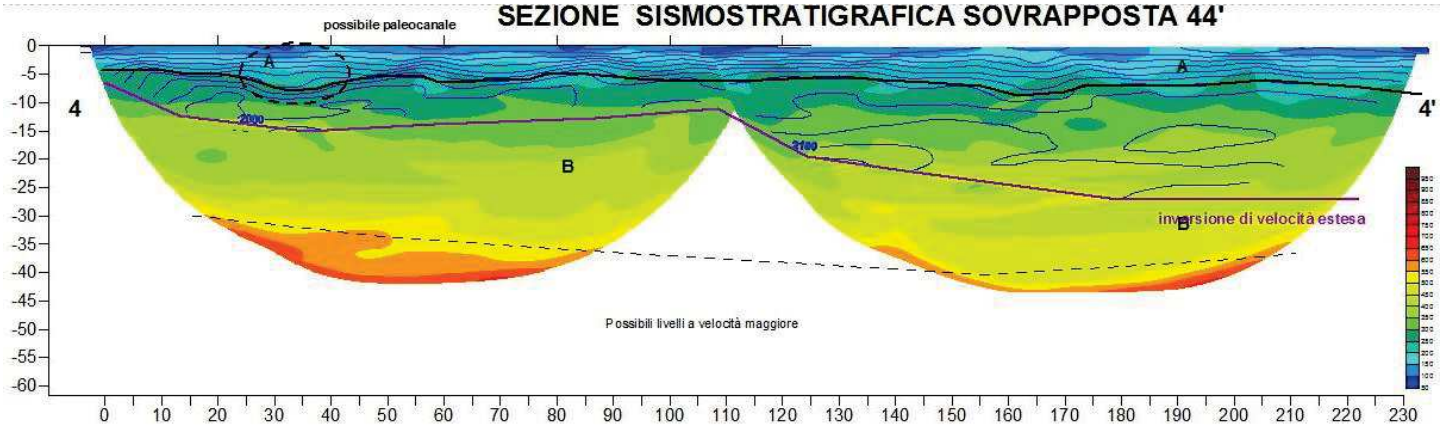
Sezione sismostratigrafica 3-3' - Non in scala

SEZIONE 4-4'

La sezione risulta dominata dalla forte differenza di velocità fra il sismostrato A ed il sismostrato B.

Nel sismostrato A si notano livelli superficiali con velocità molto basse dislocate grossomodo lungo tutta l'estensione della sezione. Si nota anche una anomalia la cui forma particolare, rilevata sia nelle acquisizioni in onde P che in Sh, potrebbe essere associata alla presenza di un paleocanale.

All'interno del livello B è presente una forte inversione di velocità, che limita la penetrazione delle onde a profondità superiori a 30 m, soprattutto dei rilievi in onde P. Anche in onde Sh il raggio sismico penetra con molta difficoltà, rendendo massima l'incertezza della natura dei sedimenti presenti sotto i 30 m e del possibile contatto posto a circa 40 metri di profondità dal piano campagna, dove si dovrebbero incontrare livelli caratterizzati da elevata compattezza.

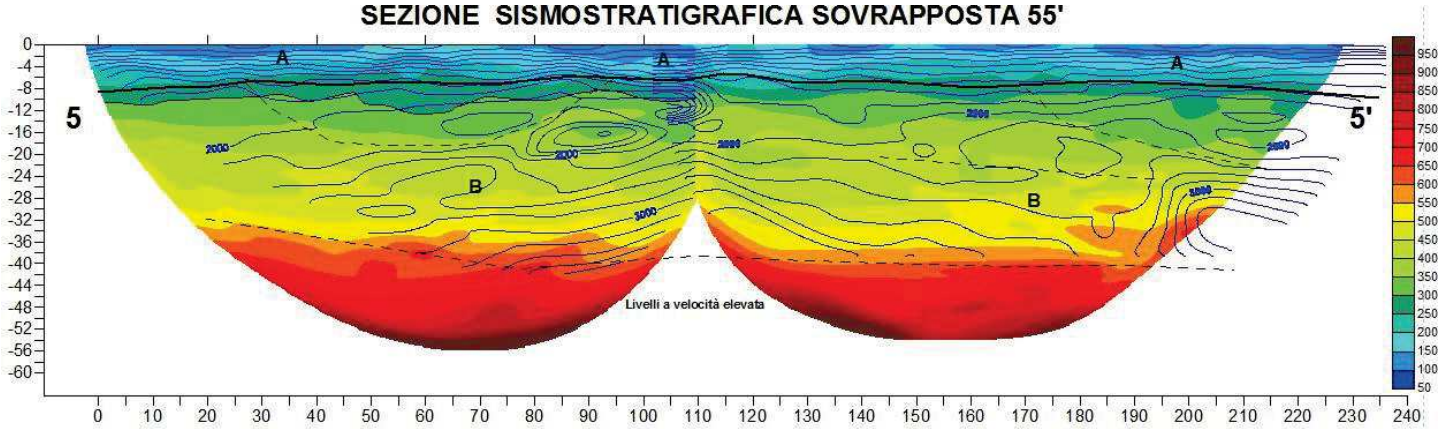


Sezione sismostratigrafica 4-4' - Non in scala

SEZIONE 5-5'

In questa sezione il contatto fra il sismostrato A ed il sismostrato B sembra essere meno marcato rispetto alle altre sezioni analizzate; il contatto si assesta per tutta la lunghezza dell'acquisizione ad una profondità di circa 9 metri rispetto al piano campagna.

Si nota all'interno del sismostrato A un aumento sia delle velocità onde P che in Sh fino al contatto con l'orizzonte B. Il contatto, come detto in precedenza, appare più sfumato con possibili lenti a velocità minore al tetto dello strato B e discontinuità lineari a velocità maggiore all'interno dello strato. Anche in questo caso, analizzando la risposta delle onde Sh, si rinviene un livello basale con velocità prossime ai 600 m/s.



Sezione sismostratigrafica 5-5' - Non in scala

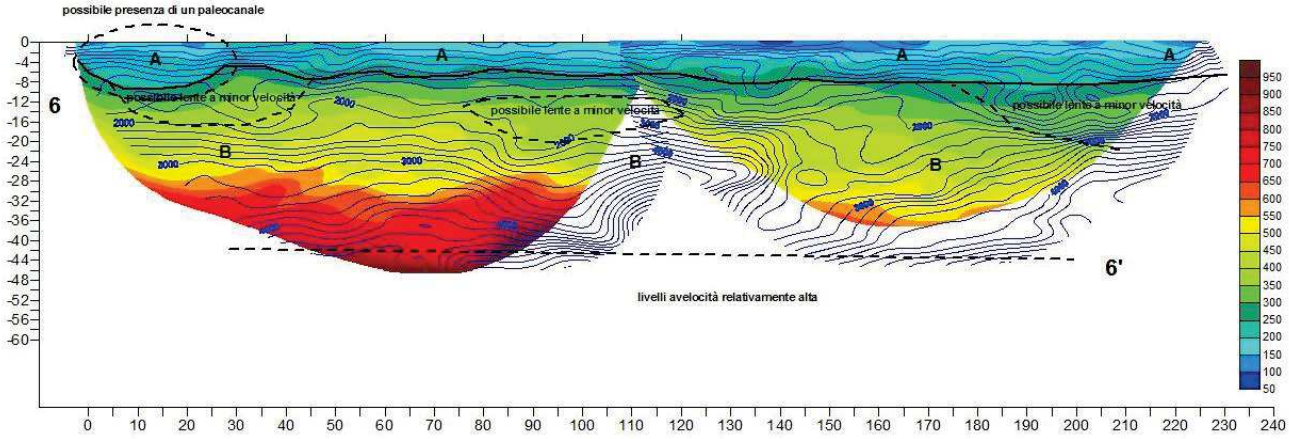
SEZIONE 6-6'

La sezione 6-6' è la più incerta da un punto di vista della qualità della misura, vista la prossimità della viabilità che genera un rumore di fondo di entità non trascurabile; comunque, anche con tali difficoltà operative, si riesce a determinare il punto di flesso delle dromocrone.

Si nota che l'interfaccia fra il sismostrato A e B si mantiene su quote prossime agli 8 metri rispetto al piano campagna, con terreni che mostrano velocità in Sh, soprattutto nel primo tratto di acquisizione 66'A, superiori a quelle riscontrate nelle sezioni precedenti. Le medesime sembrano scendere nella parte centrale della sezione sovrapposta. A inizio sezione si trova una tipica forma a concava correlabile con un possibile paleoalveo.

All'interno del sismostrato B si rilevano alcune zone caratterizzate da velocità relativamente minori rispetto alle aree circostanti, a testimonianza dell'elevata eterogeneità granulometrica e di costipazione del livello B.

A profondità maggiori di 40 m la sismostratigrafia evidenzia una fascia contraddistinta da un incremento netto delle velocità delle onde P ed Sh.



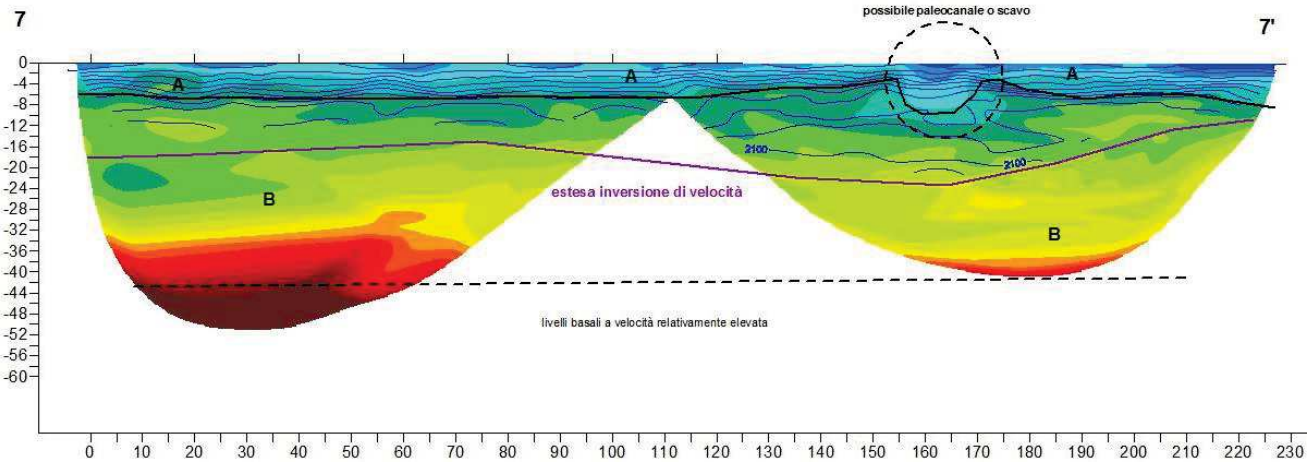
Sezione sismostratigrafica 6-6' - Non in scala

SEZIONE 7-7'

Il contatto fra il sismostrato A e B si attesta attorno a quote prossime agli 8 metri rispetto al piano campagna. A 160 metri dal punto 0 dello stendimento è centrata un'anomalia netta a forma concava assimilabile ad un possibile scavo reinterrato o ad un paleocanale.

Segue quindi il livello B, che risulta dominato da una forte inversione di velocità attorno a 20 metri rispetto al piano campagna; tale inversione, che interessa soprattutto le acquisizioni in onde P, determinando elevate difficoltà interpretative. Nelle acquisizioni in onde Sh il raggio sismico riesce ad oltrepassare tale inversione di velocità, e si può definire, seppure in maniera molto approssimativa, la presenza di livelli profondi a velocità relativamente elevata.

Nel complesso l'affidabilità della sezione al disotto della linea di inversione risulta molto bassa.



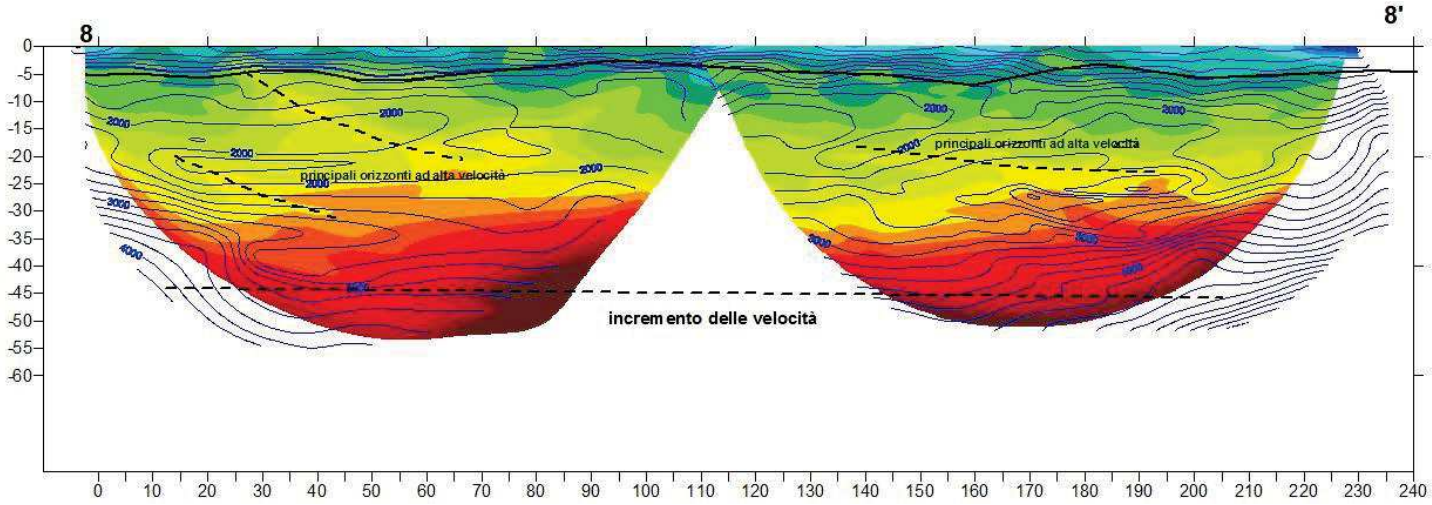
Sezione sismostratigrafica 7-7' - Non in scala

SEZIONE 8-8'

I terreni superficiali sembrano avere una compattezza superiore rispetto alle altre sezioni eseguite nell'area in analisi; l'orizzonte di contatto fra i sismostrati A e B è posto ad una profondità di circa 5 m rispetto al piano campagna, contro gli usuali 8/10 m degli altri stendimenti geofisici.

Il sismostrato B mostra una serie di inversioni di velocità e zone a velocità minore, caratteristiche tipiche delle successioni stratigrafiche di sedimenti a granulometria eterogenea. Localmente si rileva che tali aree contraddistinte da alta velocità relativa sono subsuperficiali, con quote prossime al piano campagna.

A circa 45 metri rispettiamo al piano campagna si rileva un netto incremento delle velocità.

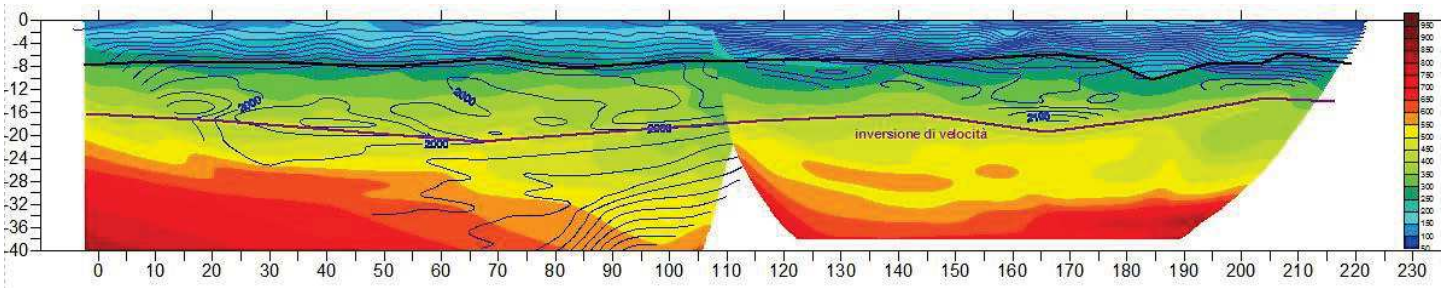


Sezione sismostratigrafica 8-8' - Non in scala

SEZIONE 9-9'

Il contatto fra i due sismostrati è posto a profondità comprese fra 7 e 8 metri rispetto al piano campagna. Le velocità delle onde Sh nell'orizzonte superficiale compreso entro 5 metri rispetto al piano campagna sono inferiori a 200 m/s. Si assiste inoltre ad un leggero ispessimento delle coltri di copertura man mano che ci avviciniamo alla parte terminale della sezione; si rileva inoltre una diminuzione delle velocità in onde Sh.

Il sismostrato B è caratterizzato da una serie di inversioni di velocità fino alla profondità di 20 m rispetto al piano campagna.



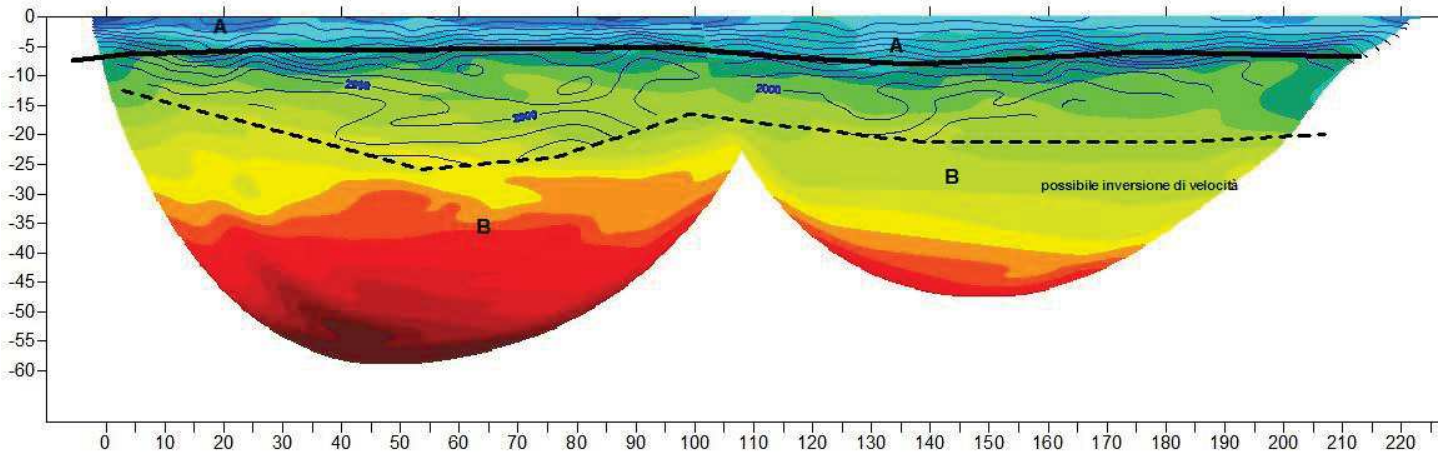
Sezione sismostratigrafica 9-9' - Non in scala

SEZIONE 10-10'

Il contatto fra i due principali sismostrati A e B varia da profondità comprese fra 6 m e 10 m. da piano campagna.

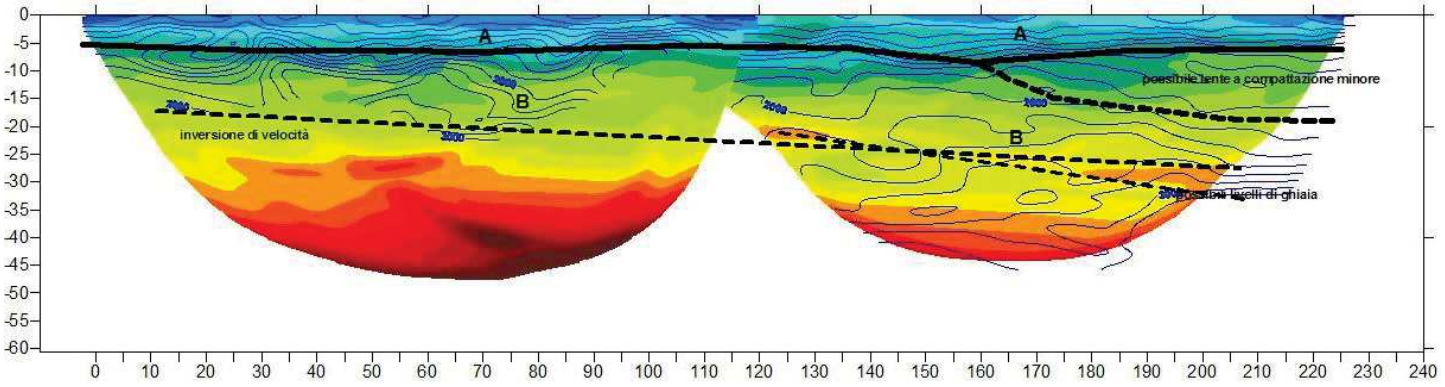
Nella parte iniziale della sezione si riscontrano livelli a bassa compattazione fino a circa 3 metri di profondità; tale fatto è ben visibile soprattutto nell'indagine in onde Sh, mentre l'indagine in onde P evidenzia velocità in aumento costante fino al contatto con il sismostrato B. Fino a profondità comprese fra 20 e 25 metri le velocità hanno un comportamento caotico, con un susseguirsi di variazioni laterali sia in onde Sh che onde in P; al di sotto di tali profondità, una potente inversione oscura le onde di compressione.

Le onde Sh risentono in modo minore di tale fenomeno; l'indagine con tale metodologia pertanto rileva la presenza di un orizzonte a maggiore compattazione ubicato a profondità comprese fra 40 e 50 m.



Sezione sismostratigrafica 10-10' - Non in scala

SEZIONE 11-11'

Il contatto fra i due principali sismostrati A e B varia da profondità comprese fra 5 m e 10 m da piano campagna. Le onde P fra i due sismostrati incrementano in modo assai repentino, con possibile presenza di falda al contatto.

Si rilevano livelli a compattazione minore nella parte iniziale della sezione. Anche in questo caso assistiamo ad una inversione delle velocità, riscontrata in maniera più importante nella prima parte della sezione.