

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. GEOLOGIA TECNICA, DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA E CONOMICA

COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA

INDAGINI GEOFISICHE

SCALA:

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

RR00 10 R 69 IG GE0005 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	A. Paone F. Tassinari	Ottobre 2022	P. Balbi P. Balbi	Ottobre 2022	T. Paoletti T. Paoletti	Ottobre 2022	M. COMEDINI Ottobre 2022 Marina Comedini

File: RR0010R69IGGE0005001A.dwg

n. Elab.:

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	2 di 77

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	MASW	4
2.1	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....	4
2.2	METODOLOGIA DI INDAGINE	5
2.3	ELABORAZIONE DATI	11
2.4	RISULTATI PROSPEZIONI MASW E CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO	13
2.5	MASW1.....	14
2.6	MASW2.....	19
2.7	MASW3.....	23
2.8	MASW4.....	27
2.9	MASW5.....	31
3	PROSPEZIONE HVSR.....	35
3.1	RISULTATI DELLE INDAGINI HVSR.....	39
	ANALISI DEI SISMOGRAMMI	39
3.2	HVSR 1	40
3.3	HVSR 2	44
3.4	HVSR 3	47
3.5	HVSR 4	50
3.6	HVSR 5	54
4	INDAGINE SISMICA CON METODO S SISMICA RIFRAZIONE IN ONDE P E ONDE S	57
4.1	RISULTATI TOMOGRAFIA SISMICA.....	58
	SPROSPEZIONI SISMICHE IN FORO DOWN HOLE	62
5.1	ATTREZZATURA IMPIEGATA	62
5.2	MODALITÀ ESECUTIVE.....	64
5.3	METODOLOGIA DI ACQUISIZIONE	65
5.4	INTERPRETAZIONE CON IL METODO DIRETTO	67

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 3 di 77

1 PREMESSA

La presente relazione, commissionata dalla società Italferr S.p.A., illustra i risultati delle prospezioni geofisiche eseguite nell'ambito della PFTE della linea Aeroporto di Olbia.

Le indagini sismiche, di tipologia differente (MASW, HVSR, Down Hole e sismica a rifrazione), hanno avuto come finalità la determinazione della categoria sismica di suolo e delle caratteristiche stratigrafiche del sito.



Stralcio aerofotogrammetrico con localizzazione delle indagini eseguite

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	4 di 77

2 MASW

L'indagine eseguita mediante il metodo MASW (Multi Channel Analysis Surface Waves, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999) ha avuto come fine la classificazione del sito in esame ai sensi della OPCM 3274 e delle Norme Tecniche (D.M. 17.01.2018). Realizzata sullo stesso stendimento della sezione sismica a rifrazione, ha avuto come fine la caratterizzazione della risposta sismica dell'area in studio.

2.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

La **strumentazione** utilizzata è costituita da un Sismografo DAQLink III (Seismic Source U.S.A.) con convertitore A/D a 24 bit, 24 canali, range dinamico 144db e output dei dati in SEG-Y o SEG-2, l'intero sistema di acquisizione è conforme alle specifiche ASTM D5777-00 (2006) (Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation); l'energizzazione del terreno è stata effettuata mediante l'utilizzo di una massa battente (mazza di 10 kg con starter su piattello di battuta in alluminio).

Caratteristiche tecniche

1 to 24 channels per unit

Weatherproof enclosure

A/D conversion:

24 bit high-speed sigma delta converters

Dynamic Range:

144dB (system)

Greater than 118 dB (measured at 2msec)

Bandwidth:

DC to 15 KHz

Analog filter flat response to 8000Hz

Digital filter bandwidth=85% of Nyquist frequency

Common Mode Rejection:

Greater than 100 dB

Crosstalk:

Better than 125 dB

Noise Floor:



	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 5 di 77

0.2 microvolt RMS noise (2msec sample rate)

Trigger accuracy:

+/- 1microsecond at all sample rates

Maximum Input Signal:

Standard (x 2 gain) 3.58 Volts peak to peak

(optional: (x 1 gain) 7.16 Volts peak to peak

Input Impedance:

100 K Ohms

Preamplifier Gains:

X2 (6dB) and x32 (30 dB) standard; software selectable

(x1 (0 dB) and x16 (24 dB) available on special request)

Anti-alias Filters:

85% of Nyquist frequency

Digital Filters:

Low Cut – User Selectable frequency

Notch – 50 or 60 Hz standard; User Selectable

High Cut - User Selectable

Sample Interval:

0.0208, 0.0625, 0.125, 0.250, 0.500, 1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 16.00 millisecond

Sample Frequency:

48000, 16000, 8000, 4000, 2000, 1000, 500, 250, 125, 62.5 sample/second

2.2 METODOLOGIA DI INDAGINE

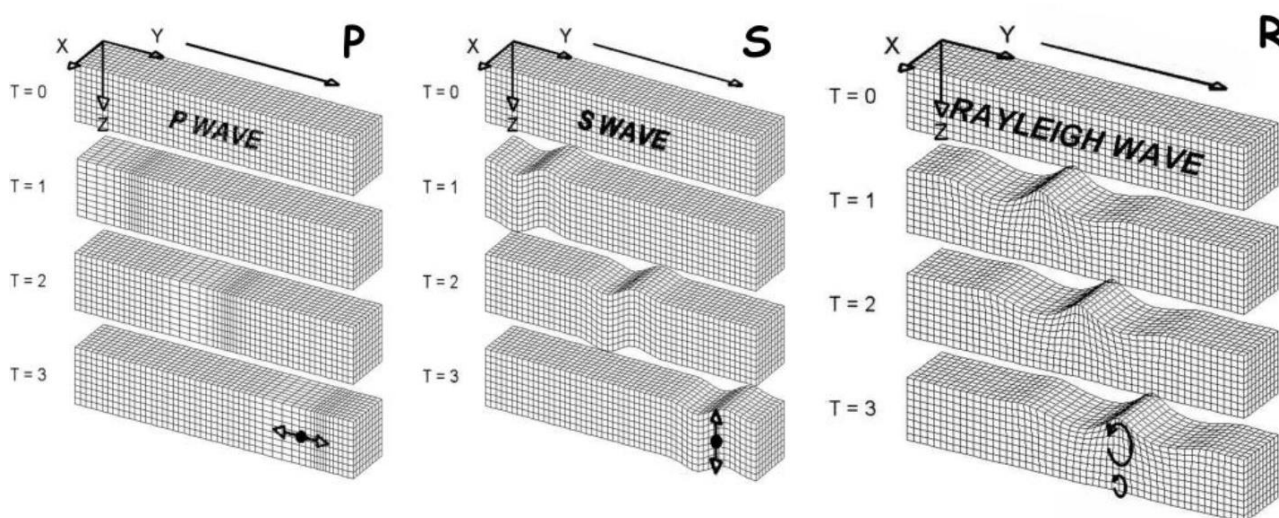
Analisi delle onde di superficie secondo il metodo MASW - Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera. L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado alla direzione di propagazione delle onde che vengono così generate. Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a $0.92V_s$. In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 6 di 77

della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e 0.92 Vs. La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).



Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto al senso di propagazione dell'onda.



Le onde di Rayleigh, sulla destra, si muovono secondo una componente orizzontale che verticale, contrariamente alle onde P ed S che presentano una sola componente, rispettivamente longitudinale e trasversale

La determinazione della velocità delle onde di taglio VS tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%). Inoltre l'ampiezza delle onde superficiali dipende da r^{-2} e non da r come per le onde di volume.

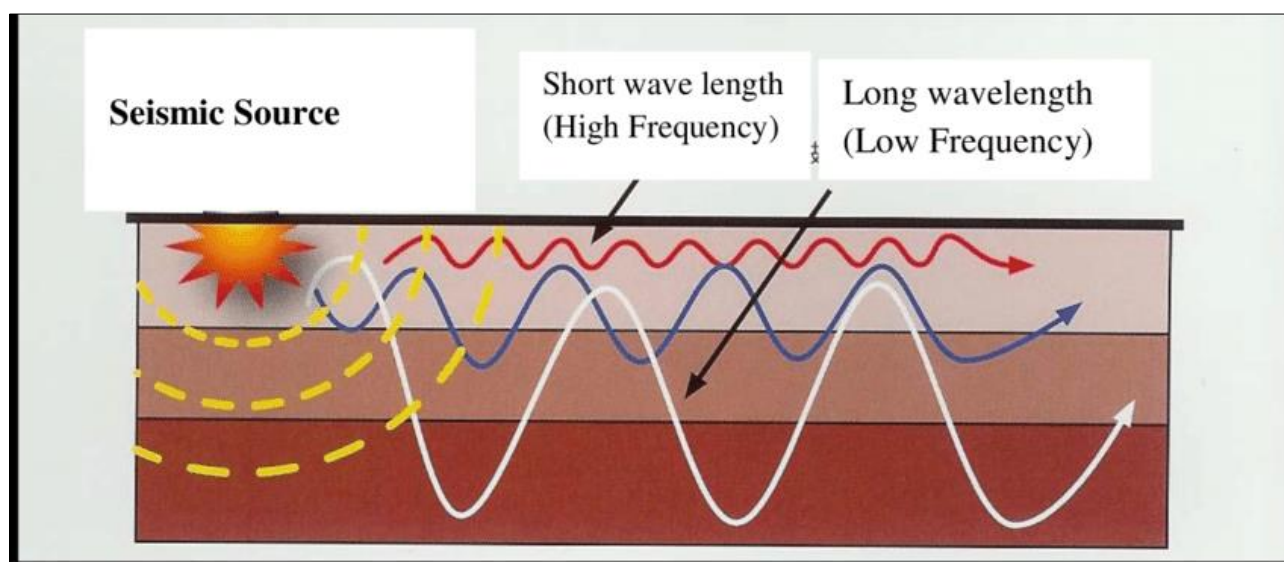
	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 7 di 77

I metodi basati sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh forniscono una buona risoluzione e non sono limitati, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità.

Inoltre la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla V_p e dalla densità, è funzione, innanzi tutto, della V_s , parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione geotecnica di un sito secondo quanto previsto dalle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" D.M. del 17/01/2008. Infatti, mentre la velocità delle onde P misurata in terreni saturi dipende in maniera sostanziale dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, la velocità delle onde S è caratteristica delle vibrazioni trasmesse dal solo scheletro solido e, pertanto, a differenza delle onde P, risulta rappresentativa delle reali proprietà meccaniche del terreno.

La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle V_s , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati.

Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione delle velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è l'inverso della lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite il processo d'inversione.



Le onde di Rayleigh si disperdono con lunghezze d'onda differenti a seconda della profondità

La tecnica MASW consente di misurare la velocità delle onde di taglio V_s sfruttando il carattere dispersivo delle onde di Rayleigh quando queste si propagano in un mezzo stratificato e di risalire all'andamento delle V_s lungo la verticale.

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 8 di 77

La dispersione consiste nella variazione della velocità di fase a diverse frequenze, con l'aumento della lunghezza d'onda (abbassamento di frequenza) la profondità coinvolta dalla propagazione dell'onda è via via maggiore.

È quindi possibile, impiegando onde di un certo intervallo di frequenza, caratterizzare le proprietà acustiche dei terreni sino ad una certa profondità. Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali.

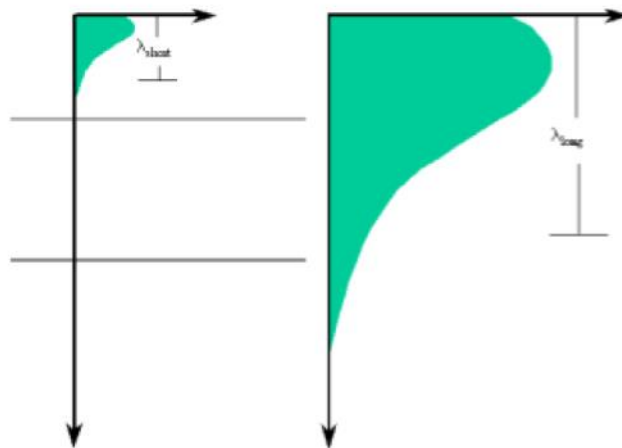
Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

L'ampiezza delle onde superficiali diminuisce esponenzialmente con la profondità. In realtà la rapidità di questa attenuazione dipende dalla lunghezza d'onda associata.

In particolare, all'aumentare della lunghezza d'onda l , aumenta la profondità della parte interessata dalla perturbazione; la lunghezza d'onda è legata al periodo T o se si preferisce alla frequenza f dell'onda mediante la relazione

$$l = V_r \times T = V_r / f$$

Quindi, a parità di velocità di fase (V_r), la profondità cresce all'aumentare del periodo e al diminuire della frequenza. In pratica, al crescere del periodo, aumenta la sensibilità dell'onda a caratteristiche del terreno sempre più profonde.



Quindi, la massima profondità di esplorazione dipende dalla massima lunghezza d'onda misurabile con lo stendimento di sensori disponibili. Si è riscontrato che le lunghezze d'onda di dimensioni fino al doppio della lunghezza massima dello stendimento sono effettivamente misurabili. Sapendo che la profondità di investigazione è pari a circa 0.5-0.8 della massima lunghezza d'onda misurabile, la profondità in genere raggiungibile è pari alla metà della lunghezza dello stendimento.

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 9 di 77

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo comprende tre passi successivi: L'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s .

Il metodo si sviluppa attraverso la determinazione delle proprietà dispersive del mezzo individuabili dall'analisi dello spettro di velocità dei dati. Il range di frequenza si sviluppa comunemente tra i 5 Hz e i 70Hz, fornendo informazioni sino a profondità di circa 30 m a seconda della rigidità del suolo: la profondità massima di penetrazione è determinata dalla relazione fra velocità di propagazione dell'onda e frequenza più bassa identificabile.

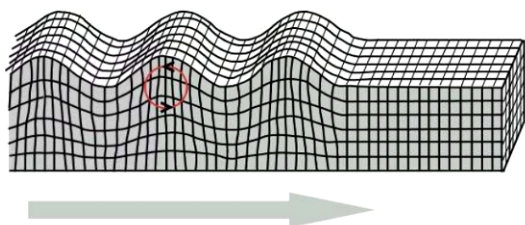
Questa tipologia di prospezione si realizza con uno stendimento sismico costituito da 12/24 o più geofoni allineati a distanza intergeofonica variabile tipicamente fra 1 e 5 m (la lunghezza dello stendimento incide sulla focalizzazione del segnale nello spettro di velocità) che registrano le onde sismiche generate in corrispondenza di alcuni punti di energizzazione effettuati tipicamente ad una distanza compresa fra 2 m e 20 m dal primo geofono.

L'obiettivo della registrazione è quindi l'individuazione del treno di onde superficiali (Rayleigh), che a causa della stratificazione del mezzo subisce una dispersione le cui modalità sono direttamente correlate alla velocità delle onde di taglio S .

L'acquisizione delle onde di Rayleigh può essere fatta mediante geofoni verticali (come nel nostro caso), oppure mediante geofoni orizzontali con asse posto parallelo (radiale) allo stendimento (in entrambi i casi si utilizza una sorgente verticale - piastra-martello).

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 10 di 77

Rayleigh Wave



Componente verticale del moto – geofono verticale

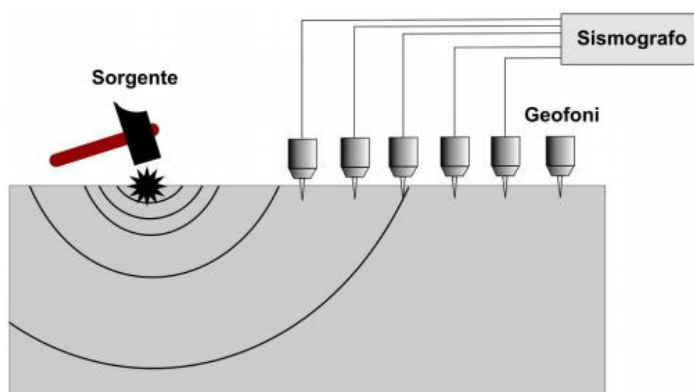


Componente orizzontale del moto – geofono orizzontale



Modalità esecutiva MASW – La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in prossimità del sito da investigare, sollecitazioni dinamiche verticali, per la generazione delle onde superficiali, e nel registrare le vibrazioni prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate, mediante sensori (geofoni) a componente verticale.

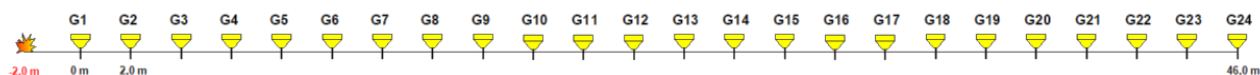
I geofoni usati sono di tipo verticale da 4.5 Hz e, grazie alla dinamica dello strumento (117 dB di range dinamico), consentono la registrazione delle onde di superficie con contenuto in frequenza fino a circa 2 Hz.



Schema operativo acquisizione MASW –

Gli stendimenti sismici sono stati posizionati secondo le indicazioni della committenza. La geometria degli stendimenti ha adottato la medesima configurazione, con differenze sul posizionamento del punto di energizzazione:

- N° geofoni: 24 con frequenza propria di risonanza 4,5 Hz;
- Distanza intergeofonica: 2,0 m, per complessivi 46 m di stendimento;
- Offset di battuta: battuta disposta dai 2,0 m ai 6 m da un geofono esterno.



Schema stendimento sismico utilizzato, in questo caso con energizzazione a 2 m dal G1

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 11 di 77

Per quanto riguarda l'acquisizione sono state utilizzate le seguenti impostazioni:

Tempo di acquisizione: da 1.0 s a 2.0 s;

Frequenza di campionamento: 1000 Hz;

Periodo di campionamento: 1.0 ms.

I dati acquisiti in campagna sono stati, quindi, elaborati ed è stato possibile ricostruire un modello attendibile V_s /profondità. Il metodo di investigazione MASW è detto "attivo" in quanto la generazione di onde sismiche si effettua artificialmente a mezzo di idonea massa battente, fucile sismico o altro. Il punto di energizzazione è posto lungo l'allineamento dei geofoni ad una certa distanza da un geofono esterno. Con questa procedura si ricostruisce l'assetto sismo-stratigrafico del sottosuolo che si basa sull'analisi delle onde di Rayleigh che si propagano entro un semispazio stratificato.

Il metodo prevede l'utilizzo di strumentazione classica per sismica a rifrazione ad elevata dinamica (24 bits di conversione A/D), con geofoni a bassa frequenza. Una volta acquisiti i dati son stati riversati direttamente su p.c. per la successiva elaborazione.

2.3 ELABORAZIONE DATI

L'elaborazione dei dati è stata fatta una volta definita la curva di dispersione. I dati sono stati processati attraverso il codice SeisImager (Pickwin v. 3.14 WaveEq v. 2.07).

La procedura di elaborazione consiste nell'intervenire e modificare il profilo delle velocità V_s fino al raggiungimento di un buon accordo fra la curva di dispersione rilevata in sito e la curva simulata numericamente.

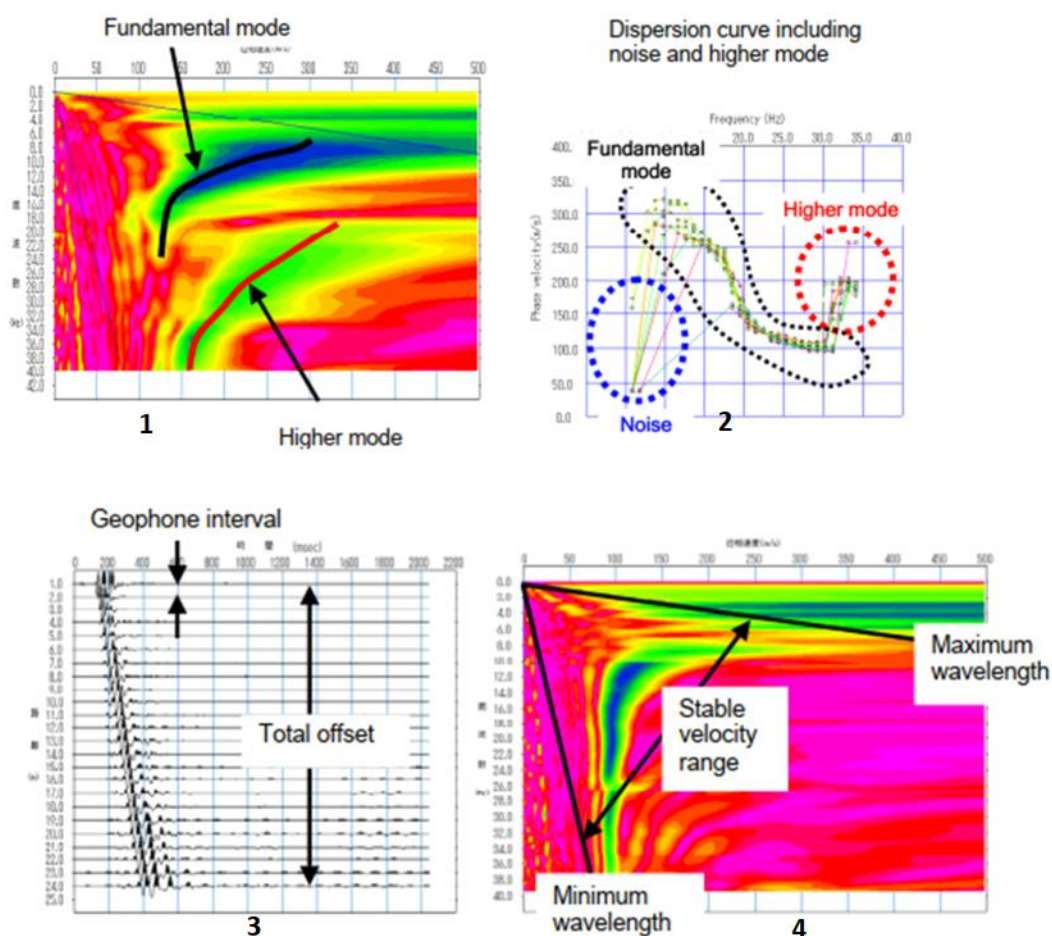
Nel processo di analisi si susseguono le seguenti fasi:

- Acquisizione dei sismogrammi;
- Esportazione del file in formato SEG-2 idoneo all'elaborazione finale;
- Elaborazione dello spettro nel dominio Velocità – N d'onda;
- Calcolo della velocità apparente sperimentale;

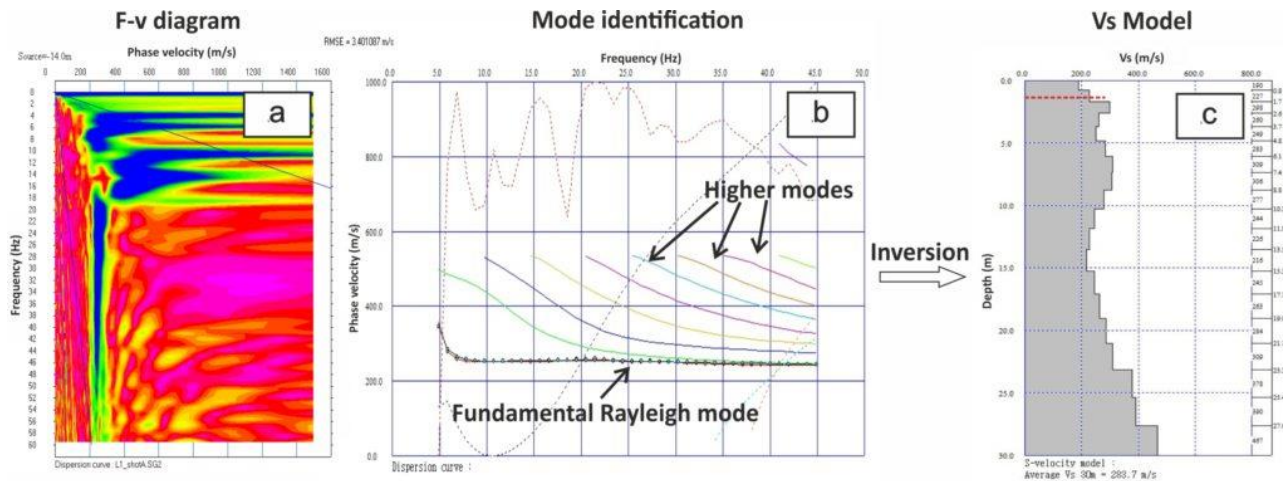
 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	12 di 77

- Calcolo della velocità apparente numerica;
- Individuazione del profilo delle velocità delle onde Vs;
- Calcolo della Vs, eq.

La gamma di frequenza entro la quale la velocità di fase è considerata stabile corrisponde all'intervallo del ricevitore o geofono e l'offset totale per i rilevamenti sorgente attivi (e array lunghezza per indagini sulla fonte passiva). L'intervallo del geofono e l'offset totale in generale si riferiscono alla lunghezza d'onda della metà, il che significa che la lunghezza d'onda minima campionata per qualsiasi dato rilevamento è circa due volte l'intervallo del geofono e il massimo della lunghezza d'onda campionata è circa due volte l'offset totale. I valori di dispersione appartenenti a disturbi a bassa frequenza e ai modi superiori sono stati esclusi dall'interpretazione del profilo di velocità.



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	13 di 77



La gamma di frequenza è rappresentata sul grafico della velocità di fase da linee nere (mostrate alla pagina precedente nel grafico 4) con pendenze che corrispondono alle lunghezze d'onda minima e massima. La curva di dispersione si presenta interpretabile sino a frequenze di circa 40-50 Hz.

2.4 RISULTATI PROSPEZIONI MASW E CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3 del DM 17 gennaio 2018. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS.

Tutte le elaborazione delle MASW hanno fornito categoria sismica di tipo B, ad eccezione della MASW3 che, viste le caratteristiche delle Vs, rientra all'interno della categoria sismica di suolo di tipo E.

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	14 di 77

2.5 MASW1

Località	Olbia via Siena – Tracciato ferroviario 
Metodo indagine	MASW ZVF forza verticale
Strumentazione	Sismografo DAQLink III (Seismic Source U.S.A.), 24 canali, 24 bits
Geometria stendimento	24 geofoni interasse 2,0 m - sorgente a -2,0 m da G1

L'elaborazione ha permesso di classificare il sottosuolo in base ai valori di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio V_s ; la presenza di suoli moderatamente rigidi con V_s attorno ai 400-500 m/s circa con al di sotto uno strato con velocità attribuibile a suolo di media consistenza (V_s attorno a 290 m/s), ha determinato una categoria sismica di tipo B.

Il bedrock sismico è stato intercettato a circa 15 m di profondità determinando una amplificazione stratigrafica tipica di un suolo di questa categoria. Di seguito si riporta la curva di dispersione delle onde di Rayleigh, ottenute con il metodo MASW, e quella del modello che ne deriva previa inversione dei dati.

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni con passo intergeofonico pari a 2,0 m. La sorgente di energizzazione è stata posizionata a 2,0 m dal geofono G1, sul lato NE dello stendimento. La $V_{s,eq}$ ricavabile dalla formula:

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	15 di 77

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

con:

h_i spessore dello strato i -esimo;

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

N numero di strati;

H profondità del substrato, dal piano di fondazione, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/s (bedrock sismico non necessariamente coincidente col substrato o basamento geologico)

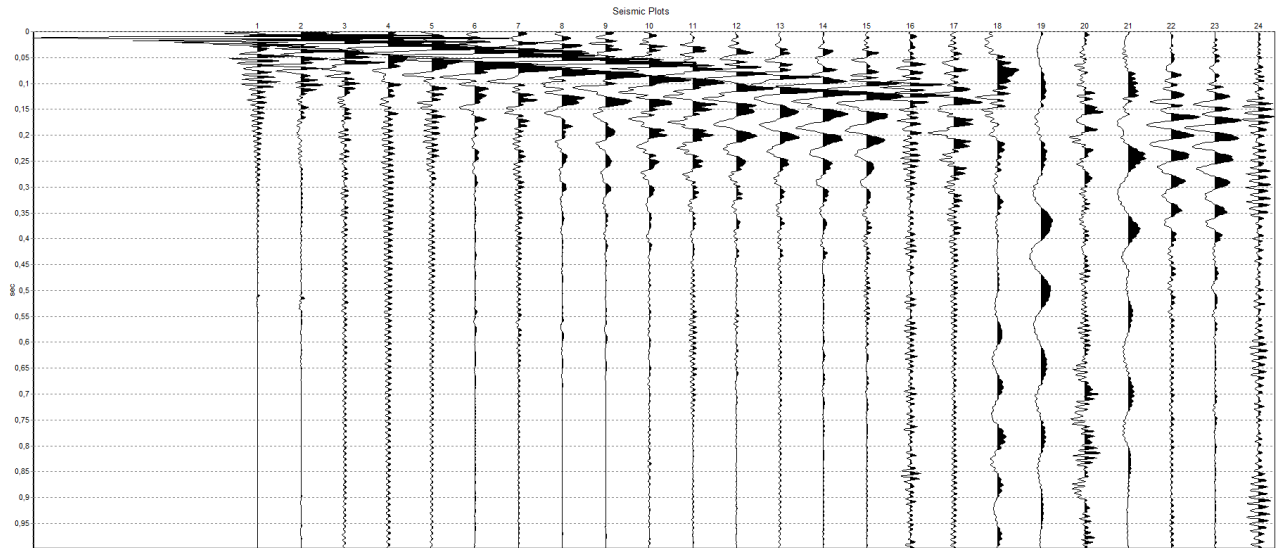
Categorie

Caratteristiche della superficie topografica

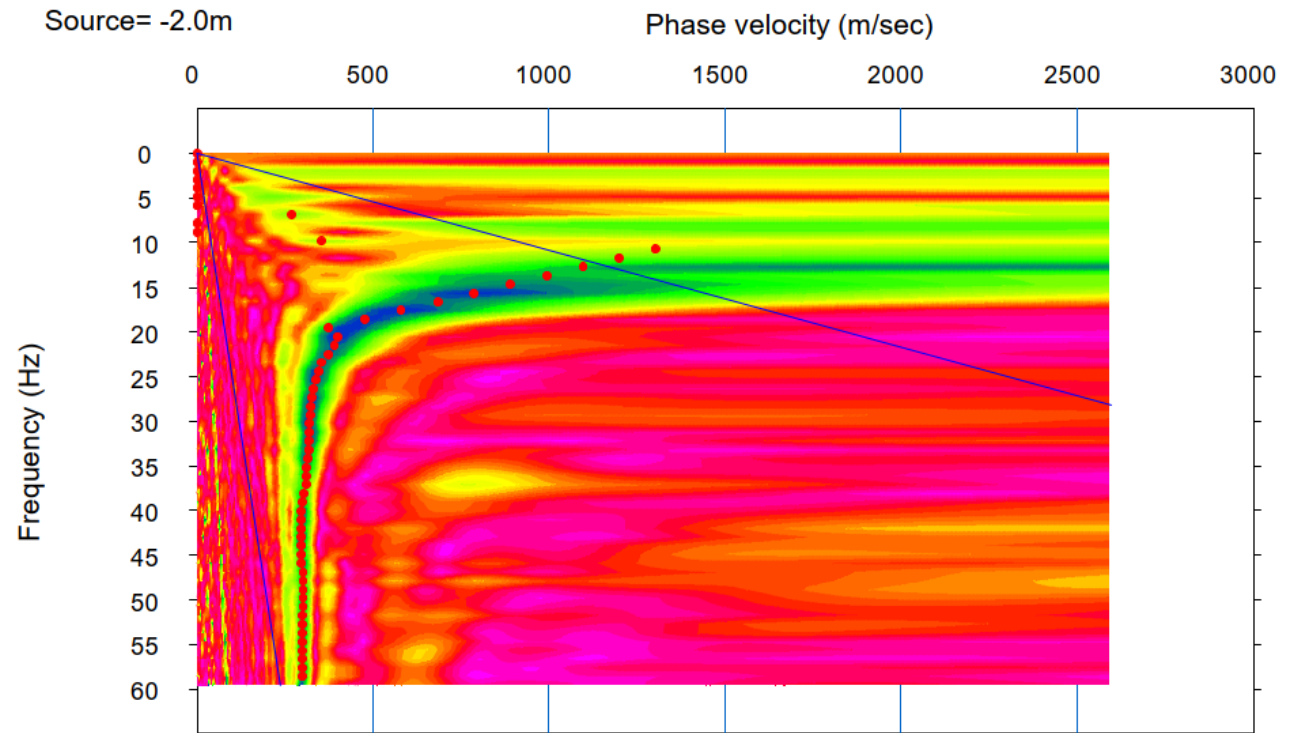
- | | |
|---|--|
| A | Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m. |
| B | Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s |
| C | Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s. |
| D | Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s. |
| E | Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m. |

Tab. 3.2.II del DM 17.01.2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni)

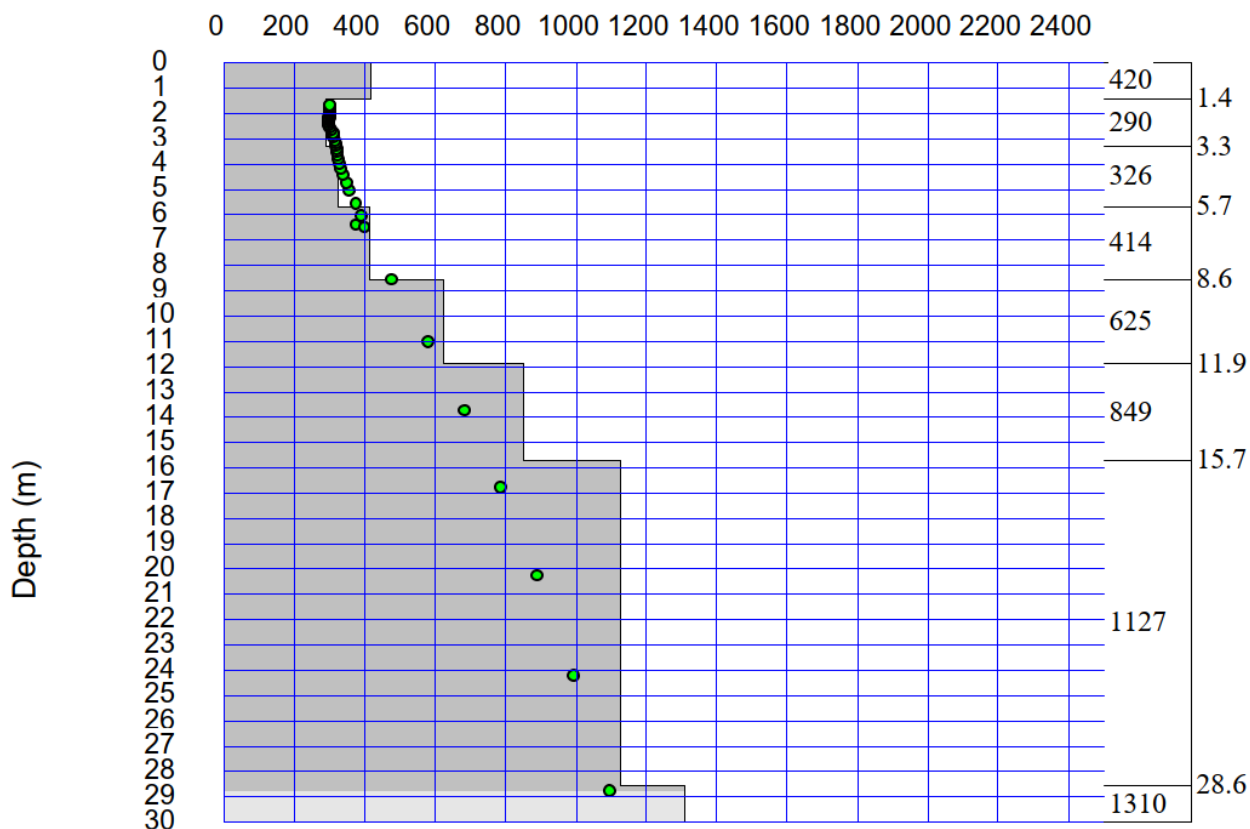
	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	16 di 77



Dataset MASW1



Curva di dispersione MASW1

S-wave velocity (m/s)

Modello sismico elaborato MASW1
Calcolo del V_s equivalente da NTC 2018
Identificazione della categoria di sottosuolo con l'approccio semplificato

 Profondità del piano d'imposta delle fondazioni rispetto al p.c.: **0,00** [m]

Strato [N.]	z [m]	h _i [m]	V _s [m/s]
1	1,40	1,40	420,00
2	3,30	1,90	290,00
3	5,70	2,40	326,00
4	8,60	2,90	414,00
5	11,90	3,30	625,00
6	15,70	3,80	849,00
7	28,60	12,90	1127,00
8	30,00	1,40	1310,00
9			
10			

z _(cal) [m]	h _{i(cal)} [m]	h _{i(cal)} /V _s [sec]
1,40	1,40	0,00333
3,30	1,90	0,00655
5,70	2,40	0,00736
8,60	2,90	0,00700
11,90	3,30	0,00528
15,70	0,00	0,00000
28,60	0,00	0,00000
30,00	0,00	0,00000

V_{s,eq} = 402,95 [m/s]
Categoria sottosuolo: B

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	18 di 77

Nel caso specifico le **V_{s,eq}** si posizionano su velocità di **402.95 m/s**. Si tratta, quindi, di un suolo appartenente alla categoria B.



Stendimento MASW1

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	19 di 77

2.6 MASW2

Località	Olbia via Caltanissetta – Tracciato ferroviario 
Metodo indagine	MASW ZVF forza verticale
Strumentazione	Sismografo DAQLink III (Seismic Source U.S.A.), 24 canali, 24 bits
Geometria stendimento	24 geofoni interasse 2,0 m - sorgente a -6,0 m da G1

L'elaborazione ha permesso di classificare il sottosuolo in base ai valori di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio V_s ; la presenza di suoli a medio addensamento sino ai 5 m con V_s attorno ai 350 m/s circa con al di sotto uno strato con velocità attribuibile terreno addensato (V_s attorno a 530 m/s), ha determinato una categoria sismica di tipo B con una amplificazione stratigrafica tipica di un suolo di questa categoria.

Il bedrock sismico è stato intercettato attorno ai 15 m di profondità. Di seguito si riporta la curva di dispersione delle onde di Rayleigh, ottenute con il metodo MASW, e quella del modello che ne deriva previa inversione dei dati.

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni con passo intergeofonico pari a 2,0 m. La sorgente di energizzazione è stata posizionata a 6,0 m dal geofono G1, sul lato NE dello stendimento. La $V_{s,eq}$ ricavabile dalla formula:

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

con:

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 20 di 77

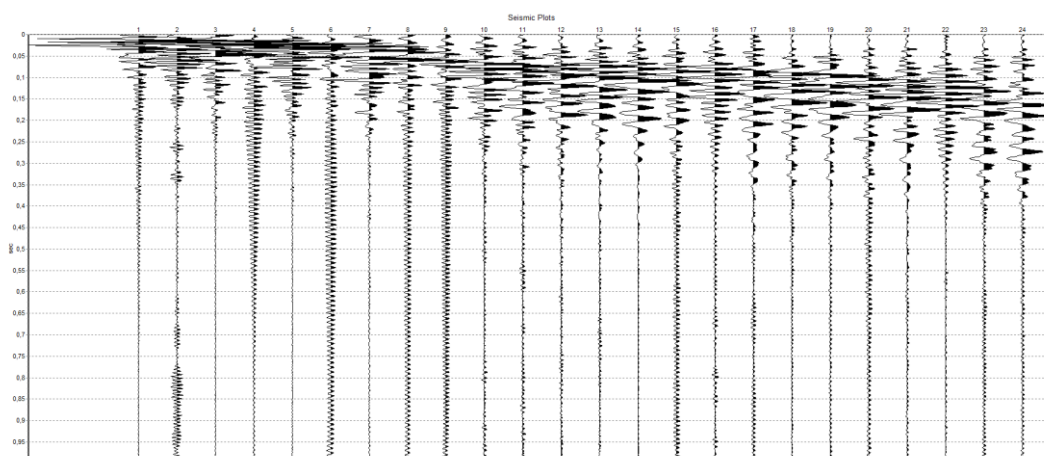
- h_i *spessore dello strato i -esimo;*
- $V_{S,i}$ *velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;*
- N *numero di strati;*
- H *profondità del substrato, dal piano di fondazione, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/s (bedrock sismico non necessariamente coincidente col substrato o basamento geologico)*

Categorie

Caratteristiche della superficie topografica

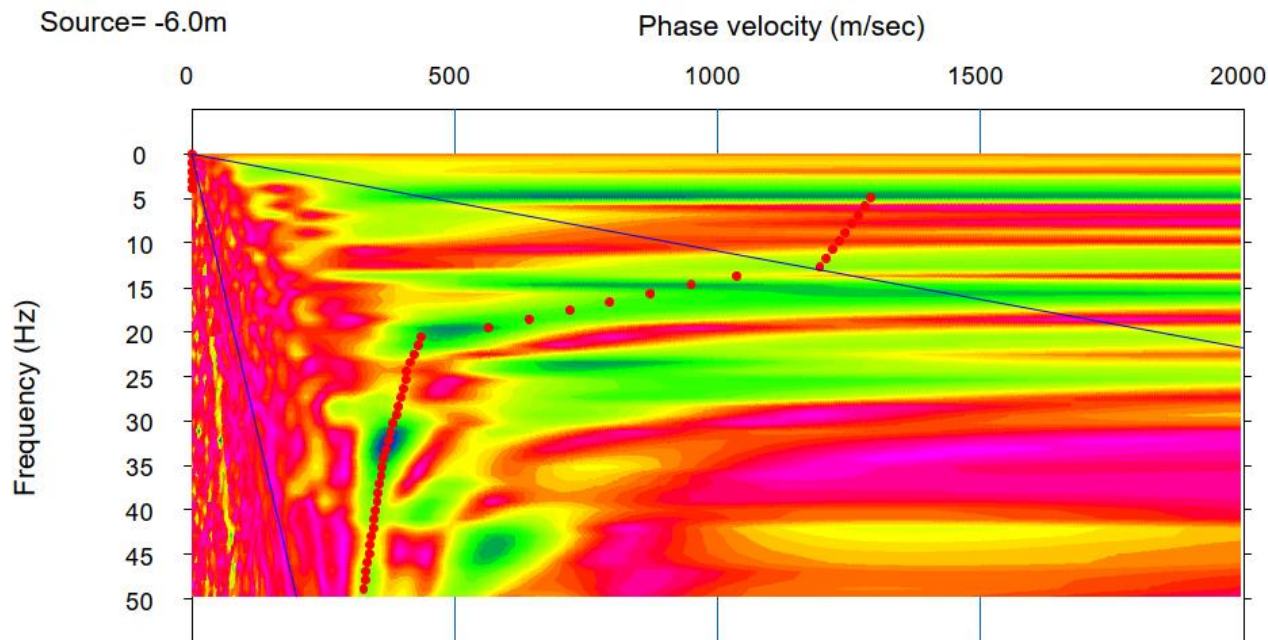
- A Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
- B Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s
- C Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
- D Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
- E Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tab. 3.2.II del DM 17.01.2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni)

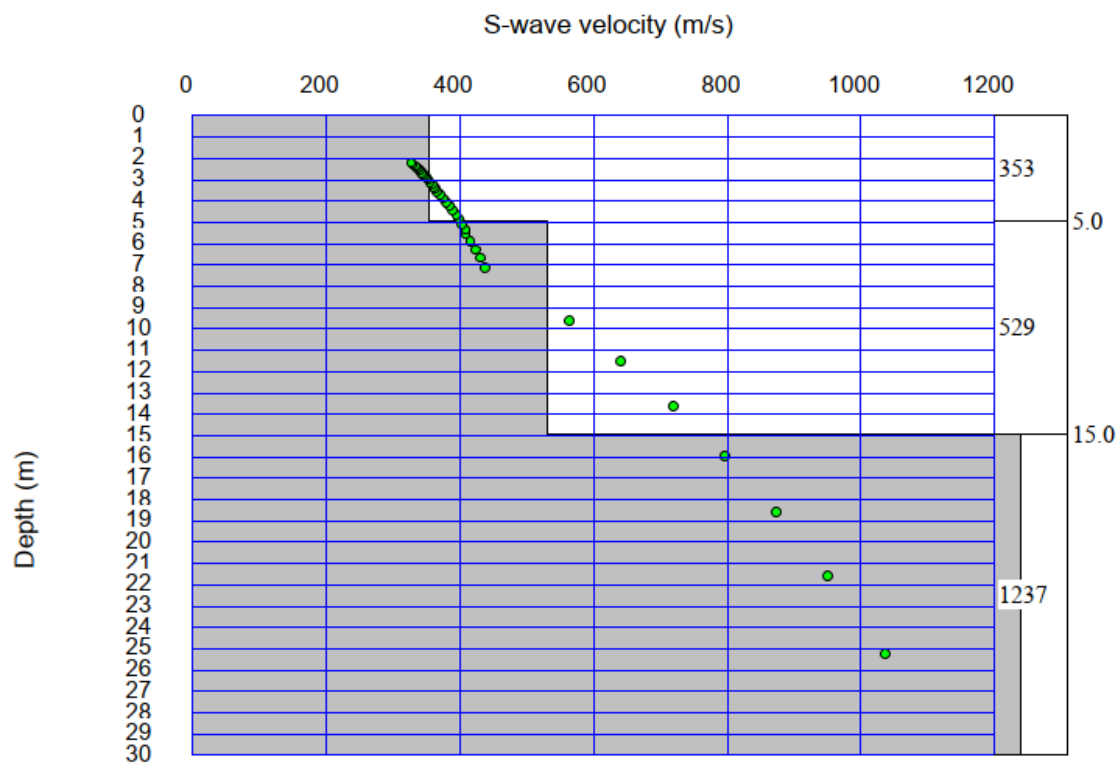


Dataset MASW2

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	21 di 77



Curva di dispersione MASW2



Modello sismico elaborato MASW2

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	22 di 77

Calcolo del V_s equivalente da NTC 2018

Identificazione della categoria di sottosuolo con l'approccio semplificato

Profondità del piano d'imposta delle fondazioni rispetto al p.c.: **0,00** [m]

Strato [N.]	z [m]	h _i [m]	V _s [m/s]
1	5,00	5,00	353,00
2	15,00	10,00	529,00
3	30,00	15,00	1237,00
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Z _(cal) [m]	h _{i(cal)} [m]	h _{i(cal)} /V _s [sec]
5,00	5,00	0,01416
15,00	10,00	0,01890
30,00	0,00	0,00000

V_{s,eq} = **453,61** [m/s]

Categoria sottosuolo: **B**

Nel caso specifico le **V_{s,eq}** si posizionano su velocità di **453 m/s**. Si tratta, quindi, di un suolo appartenente alla categoria B.



Stendimento MASW2

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	23 di 77

2.7 MASW3

Località	Olbia via dei Librai – Tracciato ferroviario 
Metodo indagine	MASW ZVF forza verticale
Strumentazione	Sismografo DAQLink III (Seismic Source U.S.A.), 24 canali, 24 bits
Geometria stendimento	24 geofoni interasse 2,0 m - sorgente a -2,0 m da G24

L'elaborazione della dispersione del segnale sismico ha permesso di classificare il sottosuolo in base ai valori di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio V_s ; la presenza di suoli a medio addensamento sino a profondità di circa 4 m, con V_s attorno ai 300 m/s, con al di sotto il bedrock sismico, ha determinato una categoria sismica di tipo E determinando una amplificazione stratigrafica tipica di un suolo di questa categoria.

Le evidenze indicano dunque un bedrock sismico attorno ai 4 m di profondità. Di seguito si riporta la curva di dispersione delle onde di Rayleigh, ottenute con il metodo MASW, e quella del modello che ne deriva previa inversione dei dati.

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni con passo intergeofonico pari a 2,0 m. La sorgente di energizzazione è stata posizionata a 2,0 m dal geofono G24, sul lato NW dello stendimento. La $V_{s,eq}$ ricavabile dalla formula:

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

con:

h_i spessore dello strato i -esimo;

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	24 di 77

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

N numero di strati;

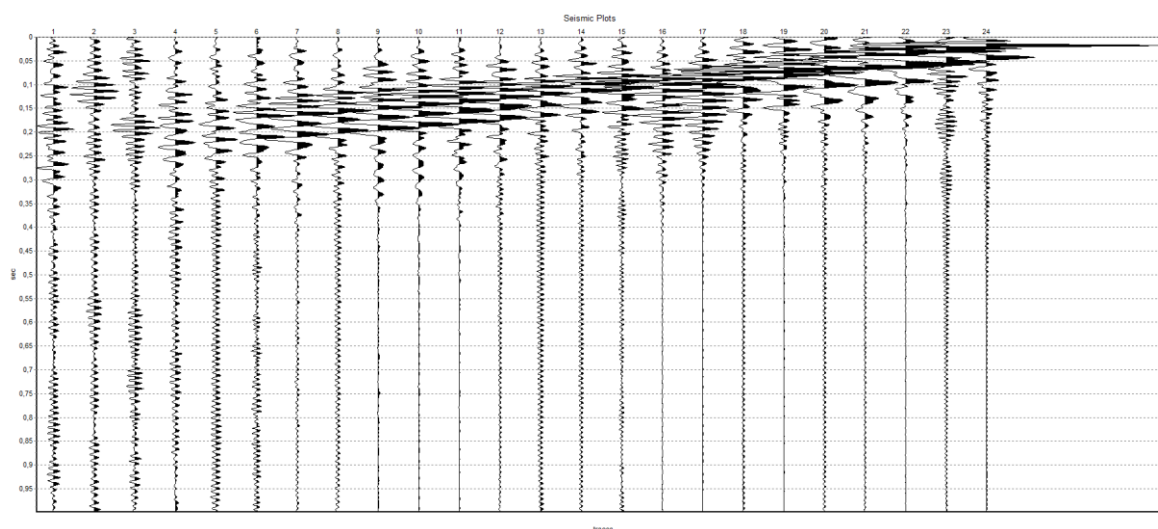
H profondità del substrato, dal piano di fondazione, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/s (bedrock sismico non necessariamente coincidente col substrato o basamento geologico)

Categorie

Caratteristiche della superficie topografica

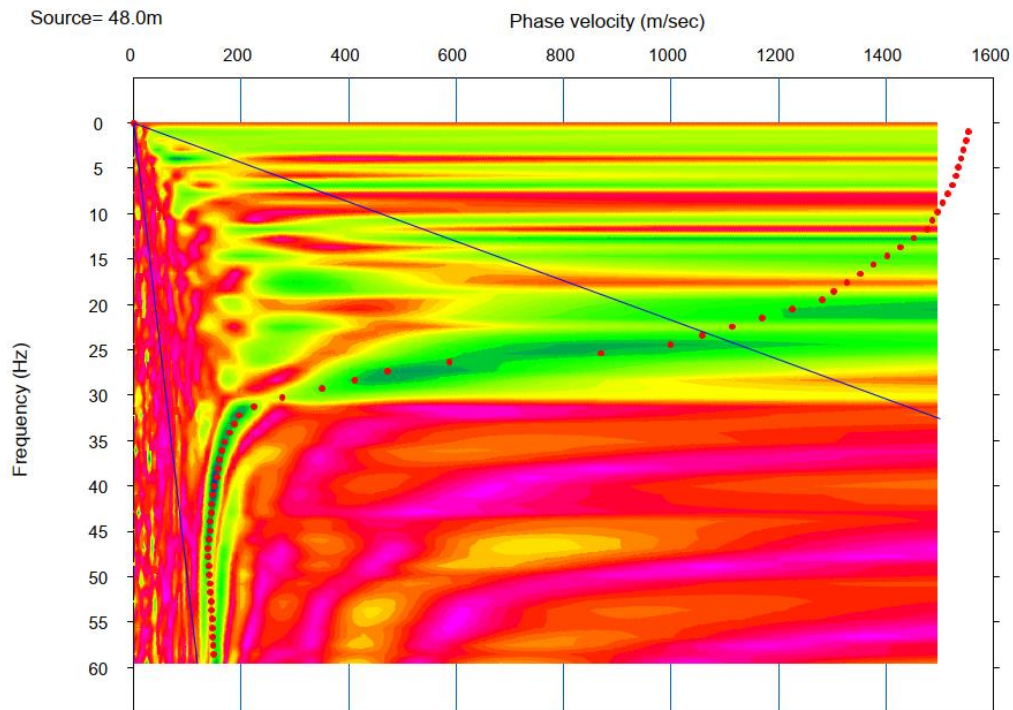
- A Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
- B Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s
- C Depositì di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
- D Depositì di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
- E Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tab. 3.2.II del DM 17.01.2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni)

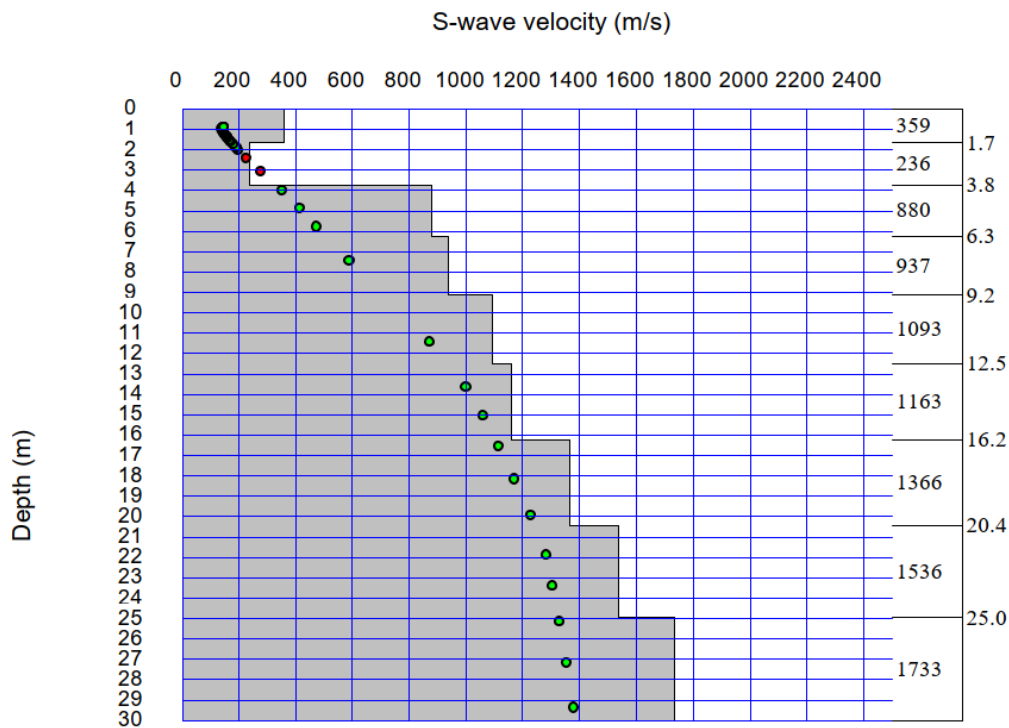


Dataset MASW3

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 25 di 77



Curva di dispersione MASW3



Modello sismico elaborato MASW3

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	26 di 77

Calcolo del V_s equivalente da NTC 2018

Identificazione della categoria di sottosuolo con l'approccio semplificato

Profondità del piano d'imposta delle fondazioni rispetto al p.c.: **0,00** [m]

Strato [N.]	z [m]	h _i [m]	V _s [m/s]
1	1,70	1,70	359,00
2	3,80	2,10	236,00
3	6,30	2,50	880,00
4	9,20	2,90	937,00
5	12,50	3,30	1093,00
6	16,20	3,70	1163,00
7	20,40	4,20	1366,00
8	25,00	4,60	1536,00
9	30,00	5,00	1733,00
10			

Z _(cal) [m]	h _{i(cal)} [m]	h _{i(cal)} /V _s [sec]
1,70	1,70	0,00474
3,80	2,10	0,00890
6,30	0,00	0,00000
9,20	0,00	0,00000
12,50	0,00	0,00000
16,20	0,00	0,00000
20,40	0,00	0,00000
25,00	0,00	0,00000
30,00	0,00	0,00000

V_{s,eq} = **278,72** [m/s]

Categoria sottosuolo: **E**

Le V_{s,eq} si posizionano su velocità di 278 m/s. Si tratta, quindi, di un suolo appartenente alla categoria E.



Stendimento MASW3

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	27 di 77

2.8 MASW4

Località	Olbia via degli Aviatori – Tracciato ferroviario 
Metodo indagine	MASW ZVF forza verticale
Strumentazione	Sismografo DAQLink III (Seismic Source U.S.A.), 24 canali, 24 bits
Geometria stendimento	24 geofoni interasse 2,0 m - sorgente a -2,0 m da G1

L'elaborazione ha permesso di classificare il sottosuolo in base ai valori di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio V_s ; la presenza di circa 15 m di suoli moderatamente rigidi, da mediamente a molto addensati, con V_s variabile da 300 m/s a 400 m/s circa, ha determinato una categoria sismica di tipo B determinando una amplificazione stratigrafica tipica di un suolo di questa categoria.

Il bedrock sismico è stato intercettato dunque a circa 15 m di profondità con $V_s > 800$ m/s. Di seguito si riporta la curva di dispersione delle onde di Rayleigh, ottenute con il metodo MASW, e quella del modello che ne deriva previa inversione dei dati.

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni con passo intergeofonico pari a 2,0 m. La sorgente di energizzazione è stata posizionata a 2,0 m dal geofono G1, sul lato SW dello stendimento. La $V_{s,eq}$ ricavabile dalla formula:

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

con:

h_i spessore dello strato i -esimo;

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	28 di 77

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

N *numero di strati;*

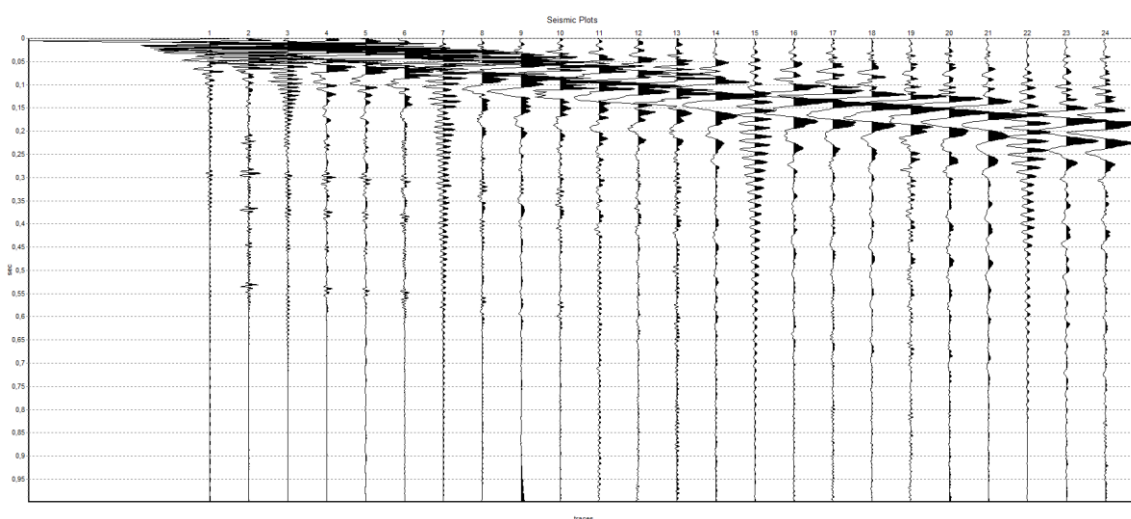
H *profondità del substrato, dal piano di fondazione, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/s (bedrock sismico non necessariamente coincidente col substrato o basamento geologico)*

Categorie

Caratteristiche della superficie topografica

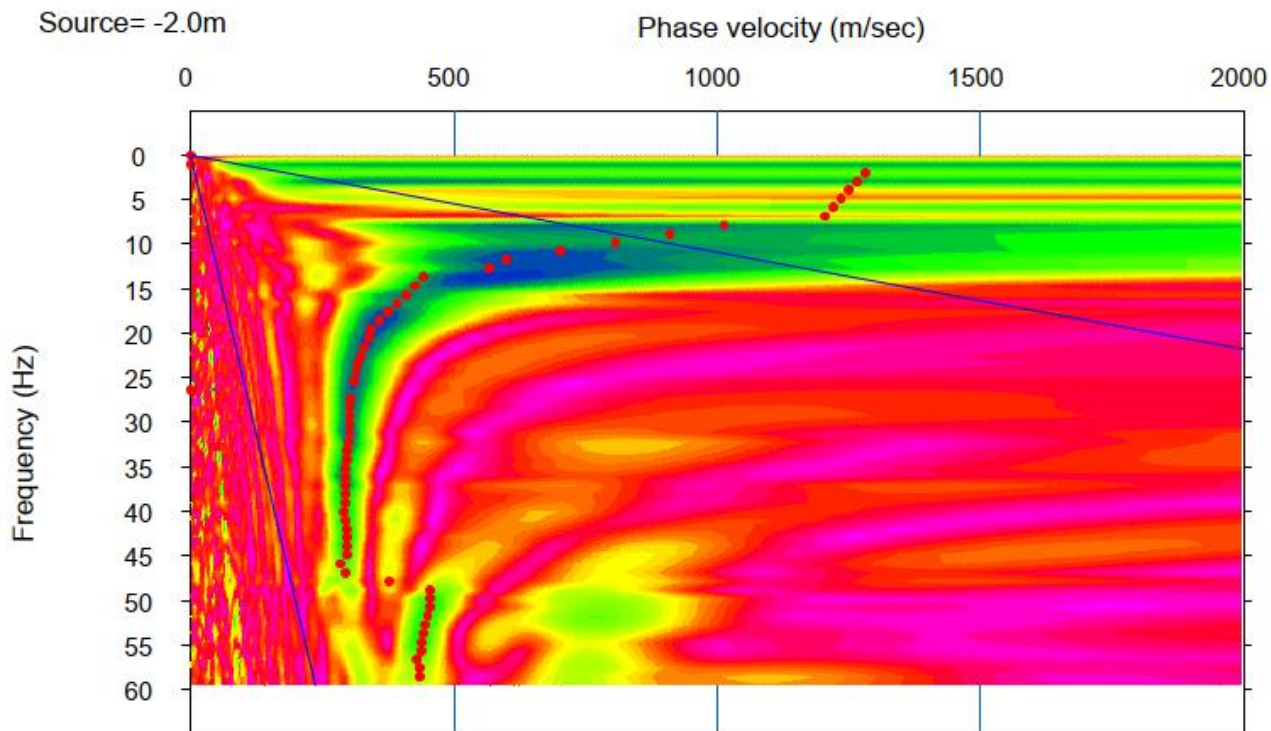
- A Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
- B Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s
- C Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
- D Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
- E Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tab. 3.2.II del DM 17.01.2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni)

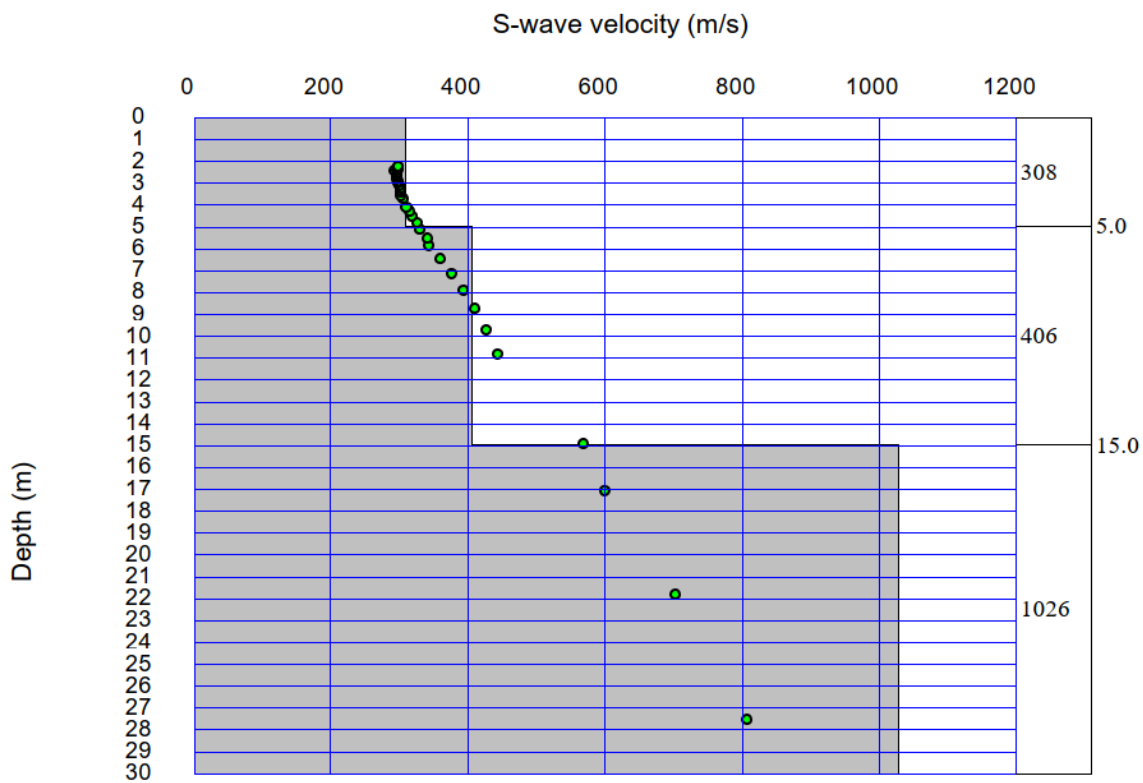


Dataset MASW4

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 29 di 77



Curva di dispersione MASW4



Modello sismico elaborato MASW4

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	30 di 77

Calcolo del V_s equivalente da NTC 2018

Identificazione della categoria di sottosuolo con l'approccio semplificato

Profondità del piano d'imposta delle fondazioni rispetto al p.c.: **0,00** [m]

Strato [N.]	z [m]	hi [m]	V_s [m/s]
1	5,00	5,00	308,00
2	15,00	10,00	406,00
3	30,00	15,00	1026,00
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

$Z_{(cal)}$ [m]	$h_{i(cal)}$ [m]	$h_{i(cal)}/V_s$ [sec]
5,00	5,00	0,01623
15,00	10,00	0,02463
30,00	0,00	0,00000

$V_{s,eq} =$ **367,07** [m/s]

Categoria sottosuolo: **B**

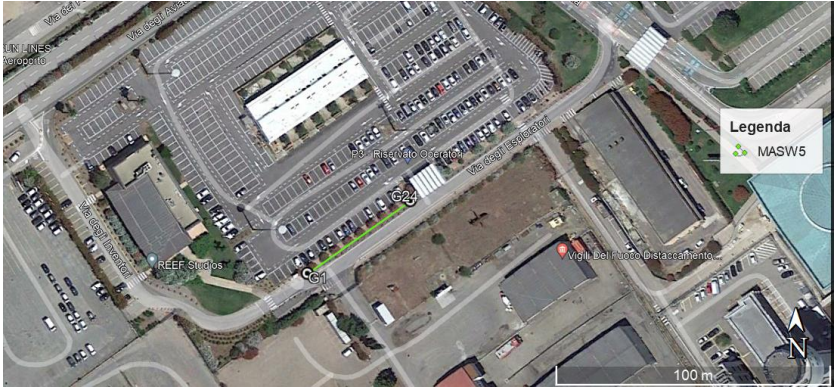
Nel caso della MASW4 le $V_{s,eq}$ si posizionano su velocità di 367 m/s. Si tratta, quindi, di un suolo appartenente alla categoria B.



Lato SW dello stendimento MASW4

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	31 di 77

2.9 MASW5

Località	Olbia aeroporto distaccamento VVFF – Tracciato ferroviario 
Metodo indagine	MASW ZVF forza verticale
Strumentazione	Sismografo DAQLink III (Seismic Source U.S.A.), 24 canali, 24 bits
Geometria stendimento	24 geofoni interasse 2,0 m - sorgente a -2,0 m da G1

La prospezione, distante poco meno di mezzo chilometro dalla MASW4, ha permesso di classificare il sottosuolo in base ai valori di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio V_s ; la presenza di suoli moderatamente rigidi (terreni molto addensati) con V_s attorno ai 400-500 m/s sino ai 10 m e $V_s > 600$ m/s dai 10 ai 18 m ha determinato una categoria sismica di tipo B con una amplificazione stratigrafica tipica di un suolo di questa categoria.

Il bedrock sismico è stato intercettato a circa 18 m di profondità. Di seguito si riporta la curva di dispersione delle onde di Rayleigh, ottenute con il metodo MASW, e quella del modello che ne deriva previa inversione dei dati.

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni con passo intergeofonico pari a 2,0 m. La sorgente di energizzazione è stata posizionata a 2,0 m dal geofono G1, sul lato orientale dello stendimento. La $V_{s,eq}$ ricavabile dalla formula:

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

con:

h_i spessore dello strato i -esimo;

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	32 di 77

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

N *numero di strati;*

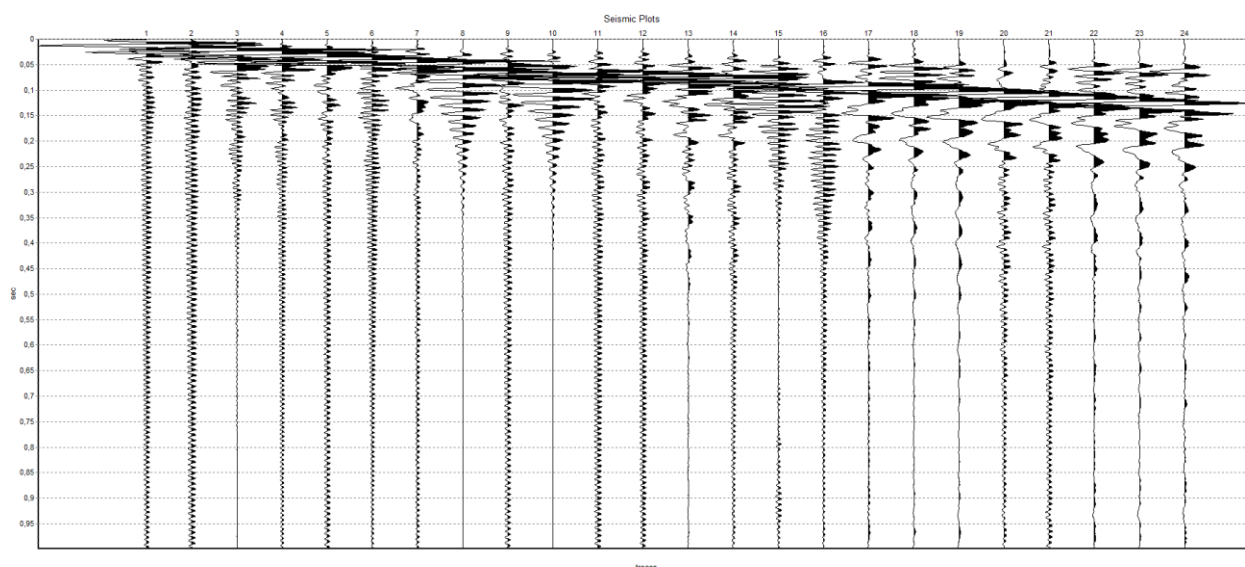
H *profondità del substrato, dal piano di fondazione, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/s (bedrock sismico non necessariamente coincidente col substrato o basamento geologico)*

Categorie

Caratteristiche della superficie topografica

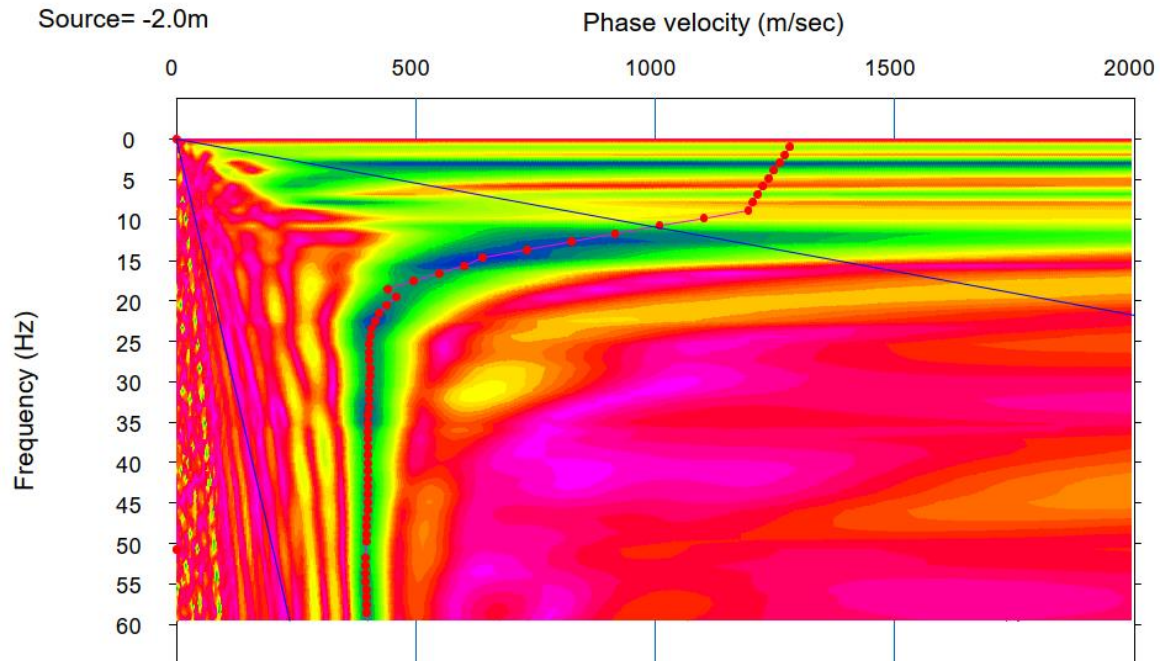
- A Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
- B Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s
- C Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
- D Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
- E Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tab. 3.2.II del DM 17.01.2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni)

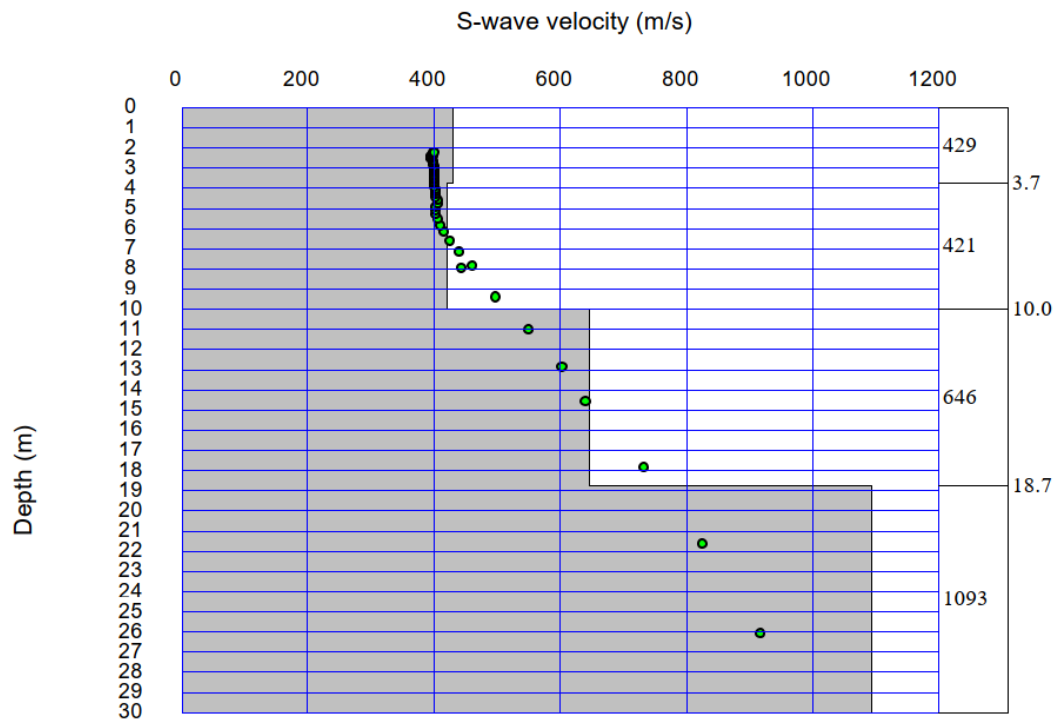


Dataset MASW5

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	33 di 77



Curva di dispersione MASW5



Modello sismico elaborato MASW5

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	34 di 77

Calcolo del V_s equivalente da NTC 2018

Identificazione della categoria di sottosuolo con l'approccio semplificato

Profondità del piano d'imposta delle fondazioni rispetto al p.c.: **0,00** [m]

Strato [N.]	z [m]	h _i [m]	V _s [m/s]
1	3,70	3,70	429,00
2	10,00	6,30	421,00
3	18,70	8,70	646,00
4	30,00	11,30	1093,00
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Z _(cal) [m]	h _{i(cal)} [m]	h _{i(cal)} /V _s [sec]
3,70	3,70	0,00862
10,00	6,30	0,01496
18,70	8,70	0,01347
30,00	0,00	0,00000

V_{s,eq} = **504,63** [m/s]

Categoria sottosuolo: **B**

Le V_{s,eq} si posizionano su velocità di 504 m/s. Si tratta, quindi, di un suolo appartenente alla categoria B.



Vista del settore centrale dello stendimento MASW5

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 35 di 77

3 PROSPEZIONE HVSR

Le misure puntuali di rumore sismico possono essere utilizzate per la stima sia degli effetti di sito (funzione di amplificazione), sia degli effetti sulle costruzioni ed ottenere una stima della velocità delle onde di taglio V_s .

Alla luce della nuova normativa sismica, la misura delle vibrazioni sismiche ambientali o rumore sismico ha acquisito una notevole importanza. L'analisi delle misure di rumore sismico può essere condotta con tre metodi: 1) Spettri di Fourier 2) Rapporti spettrali 3) Rapporti spettrali H/V. Quest'ultimo, che fornisce i risultati più attendibili è noto anche come metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) o metodo di Nakamura.

La strumentazione utilizzata è costituita da un Sismografo DAQLink III (Seismic Source U.S.A.) con convertitore A/D a 24 bit, 24 canali, range dinamico 144 db e output dei dati in SEG-Y o SEG-2.

L'acquisizione dei dati HVSR, realizzabile attraverso dei geofoni triassiali a bassa frequenza, permette di determinare con accuratezza la frequenza caratteristica di risonanza del sito, parametro indispensabile per il corretto dimensionamento degli edifici antisismici. Il geofono triassiale utilizzato ha sensori con frequenza propria di 4.5 Hz e viene reso solidale con il terreno mediante l'infissione con tre puntali in acciaio.

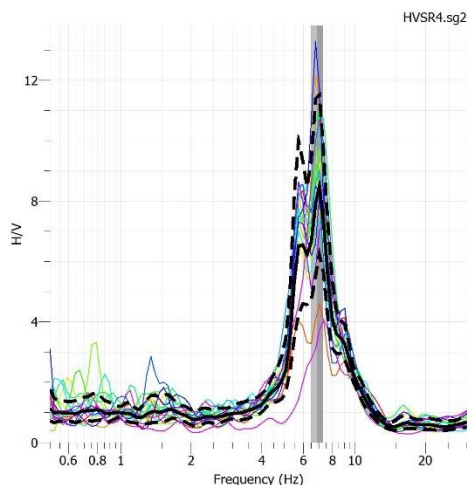
La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo V_s equivalente attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

1. Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 36 di 77

2. Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.
3. Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.
4. Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamiento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.
5. Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.
6. Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.
7. Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	37 di 77



Rapporto H/V

Le misure HVSr forniscono una stima diretta della frequenza di risonanza (o del periodo proprio) delle coperture.

La frequenza di risonanza del sedimento dipende dallo spessore H del sedimento e dalla velocità “media” (V_s) delle onde S nel sedimento.

$$v_1 = \frac{\hat{V}_s}{4H} \quad \begin{cases} \hat{V}_s = \frac{4H}{T_1} \\ H = \frac{\hat{V}_s T_1}{4} \end{cases}$$

Conoscendo lo spessore H del sedimento è possibile avere informazioni sulla velocità “media” delle Onde S . Alternativamente, conoscendo quest’ultima è possibile definire lo spessore H dello strato sedimentario.

A parità di velocità media delle onde S , a frequenze di risonanza minori corrispondono spessori maggiori, quindi è possibile (in prima approssimazione e a fini esplorativi) definire un abaco più generale per:

1. stimare la profondità del contrasto di impedenza responsabile degli effetti osservati
2. Valutare qualitativamente l’entità di questo contrasto.

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 38 di 77

Utilizzando questo strumento, le frequenze di risonanza possono tentativamente essere convertite in spessori permettendo una identificazione preliminare delle interfacce risonanti.

Questo tipo di indagine non sostituisce una analisi di dettaglio ma ha il solo scopo (sotto stretto controllo geologico) di fornire indicazioni preliminari sulla struttura del sottosuolo.

f_0 (Hz)	h (m)	
< 1	> 100	Centinaia di metri
1 – 2	50 – 100	Decine di metri
2 – 3	30 – 50	
3 – 5	20 – 30	
5 – 8	10 – 20	
8 – 20	5 – 10	Qualche metro
> 20	< 5	
H/V >3 Alto contrasto		
2<H/V<3 Basso Contrasto		

Pur con le necessarie approssimazioni vediamo come l'abaco precedente sia coerente le prove realizzate, tenuto conto che i risultati più attendibili e concordanti con le prove MASW son stati quelli dei rapporti spettrali H/V interessati da alti contrasti di impedenza acustica ($H/V > 3-4$) e ad una frequenza compatibile (7 e 9 Hz) con un substrato piuttosto rigido ad una profondità tra 10 e 15 m. La presenza di un picco poco accennato è presente nella prima prova HVS1 a frequenze attorno ai 20 Hz, ricollegabile a deboli contrasti di V_s a qualche metro di profondità.

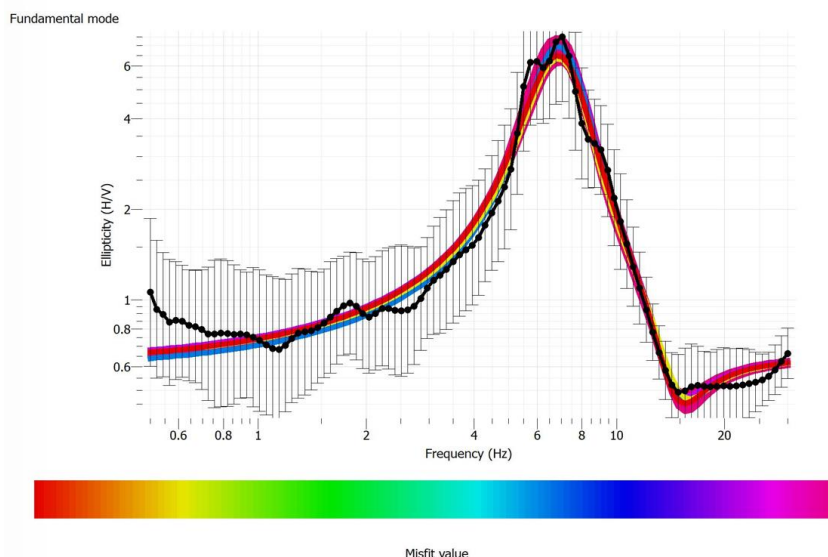
L'ulteriore ipotesi che i rapporti spettrali (particolarmente HVS1 e HVS4) possano ritenersi con una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di ottenere una stima del profilo stratigrafico verosimile. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio.

Vengono usate procedure di inversione numerica basate sull'applicazione di metodi capaci di gestire l'estrema non linearità del problema: non esiste di fatto una relazione semplice fra gli osservabili e le caratteristiche meccaniche del sottosuolo.

Bisogna tuttavia mettere in evidenza che, soprattutto nel caso di procedure di inversione avanzate, esiste sempre una molteplicità di situazioni compatibili con le osservazioni (non univocità): questa mancanza di

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 39 di 77

univocità può essere ridotta (magari a partire da considerazioni geologiche o utilizzando congiuntamente dati osservabili differenti) ma non eliminata.



Modo fondamentale calcolato su curva di ellitticità misurata

3.1 RISULTATI DELLE INDAGINI HVSR

Le indagini hanno analizzato il rapporto tra la componente orizzontale H e quella verticale V del rumore sismico ambientale (microtremori dovuti a fattori naturali e antropici) per la valutazione della cosiddetta frequenza caratteristica di sito, cioè quella frequenza che in condizioni di vibrazione sismica può dar luogo a fenomeni di risonanza e amplificazione per quelle determinate frequenze.

Come accennato in precedenza si sottolinea da subito che gli spettri che hanno fornito i risultati migliori siano quelli, come ovvio aspettarsi, in cui il picco H/V sia legato a forti contrasti di impedenza. Le prove HVSR1 e HVSR4 hanno fornito risultati concordanti con le MASW, più affidabili dal punto di vista della ricostruzione sismo-stratigrafica.

Analisi dei sismogrammi

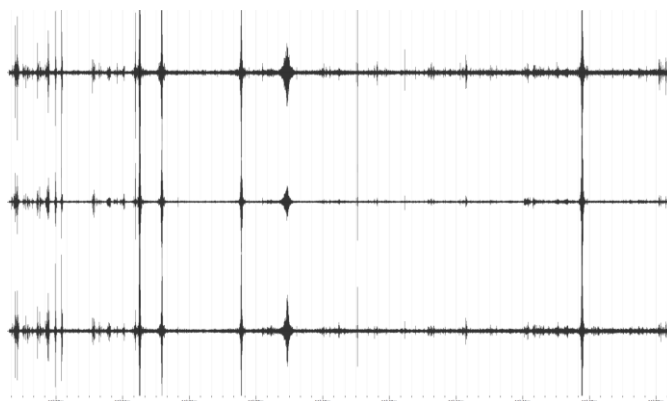
Le analisi HVSR sono durate 20 minuti e il geofono triassiale è stato posizionato direttamente al contatto con il suolo in posto. L'acquisizione è stata parzialmente disturbata dal traffico veicolare come evidenziato dalla presenza di alcuni transienti.

Le condizioni meteo erano buone, con assenza di vento e pioggia.

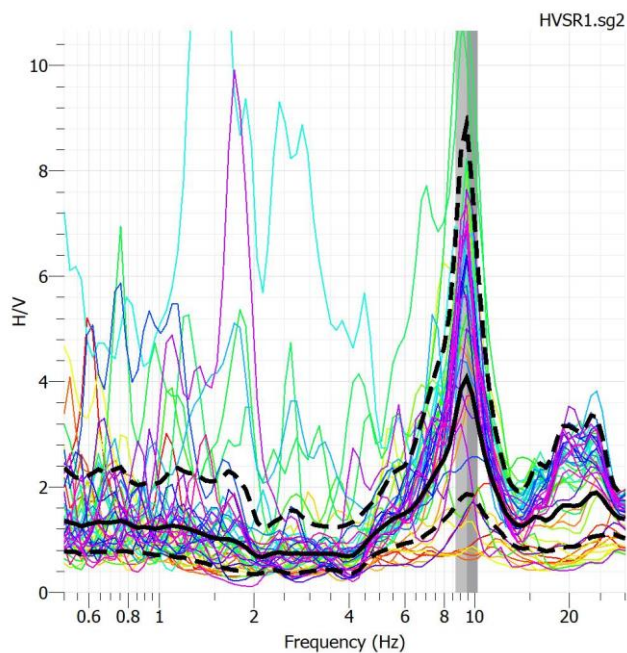
	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	40 di 77

3.2 HVSR 1

ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type
1	HVSR1.sg2	East	29/07/2022 00:00:00	11h30m35.000000s	11h50m35.000000s	250	0,004	300000	20m	0	0	0	Waveform
2	HVSR1.sg2	Vertical	29/07/2022 00:00:00	11h30m35.000000s	11h50m35.000000s	250	0,004	300000	20m	0	0	0	Waveform
3	HVSR1.sg2	North	29/07/2022 00:00:00	11h30m35.000000s	11h50m35.000000s	250	0,004	300000	20m	0	0	0	Waveform

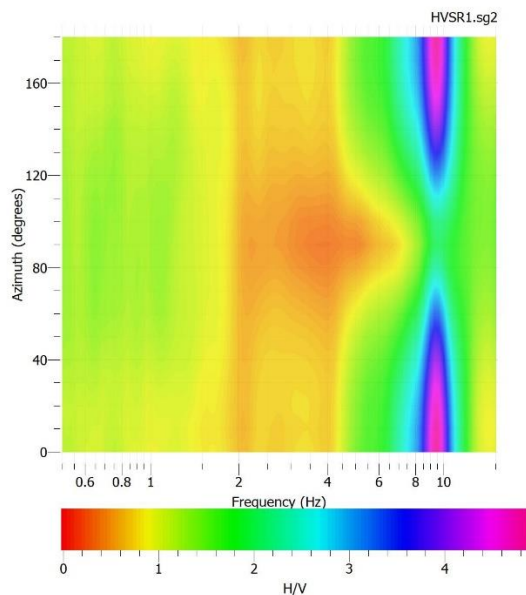


Sismogrammi

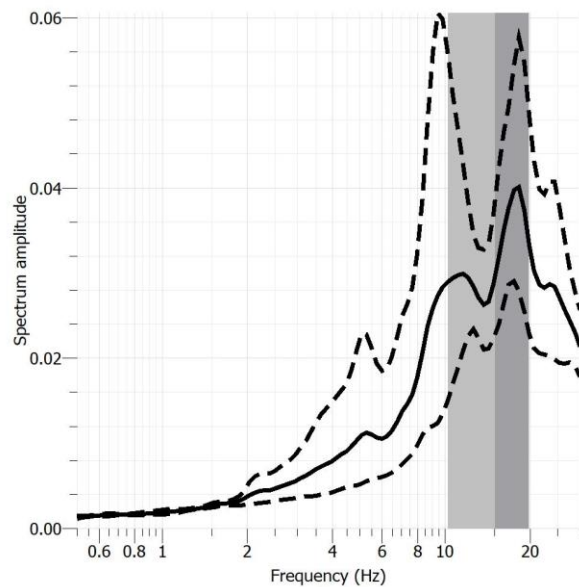
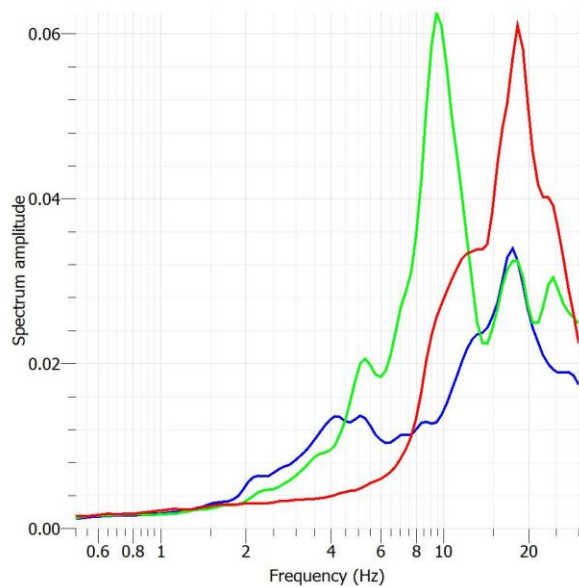


Rapporto spettrale H/V, frequenza principale 9,5 Hz

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	41 di 77



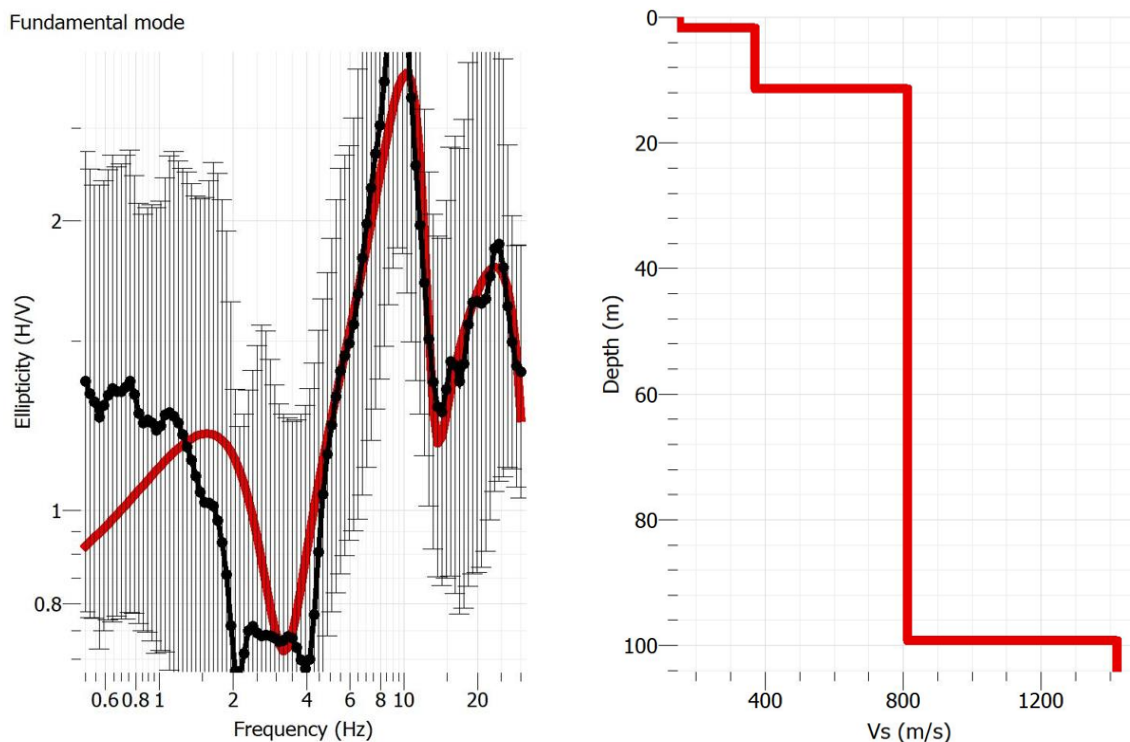
Direzionalità H/V



Spettro componenti H/V (Z blu, N verde, E rosso)

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 42 di 77

Fundamental mode



Ellitticità curva teorica su curva calcolata, sulla destra modello sismico da inversione

Il modello sismico calcolato vede la presenza di un aumento di Vs a 2 m (200 m/s – 380 m/s) e a 12 m con Vs di poco oltre 800 m/s, abbastanza concordante con i risultati della MASW.

Nell'ambito delle frequenze di interesse ingegneristico dunque il picco più importante è quello attorno a 9.5 Hz.

Le frequenze di risonanza sono legate sicuramente all'interfaccia tra la coltre detritica e di alterazione superficiale/bedrock intrusivo. La stessa formula per un approccio semi-quantitativo per il calcolo della frequenza di risonanza $f = V_s / 4h$ mostra come con una Vs media della copertura pari a 403 m/s, dedotta dalla MASW, si arrivi, sulla base del picco HVSR, ad uno spessore attorno ai dieci metri cioè $h = 403 \text{ m/s} / (4 \cdot 9.5 \text{ Hz}) = 10.6 \text{ m}$, abbastanza concordante con i dati emersi dall'elaborazione del modello del sottosuolo derivante dall'inversione dei dati ottenuti dalla MASW che vedono un bedrock sismico a 11.9 m.

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	43 di 77



Misurazione del rapporto spettrale HVSR1

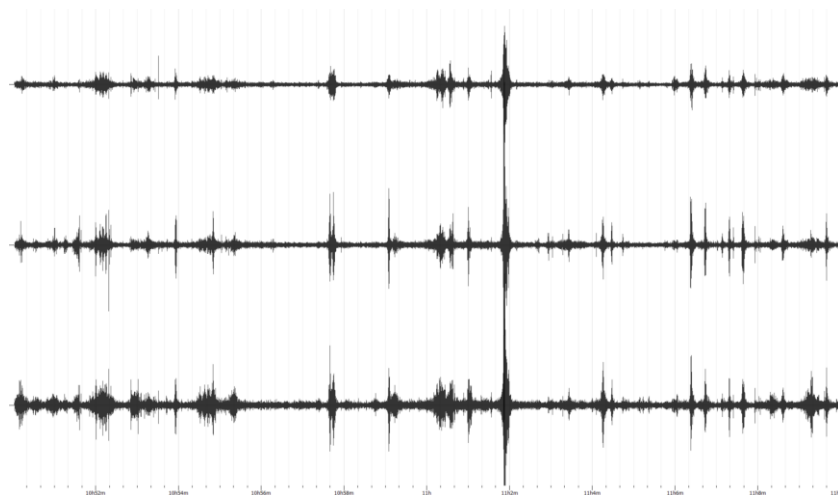


Localizzazione del rapporto spettrale HVSR1

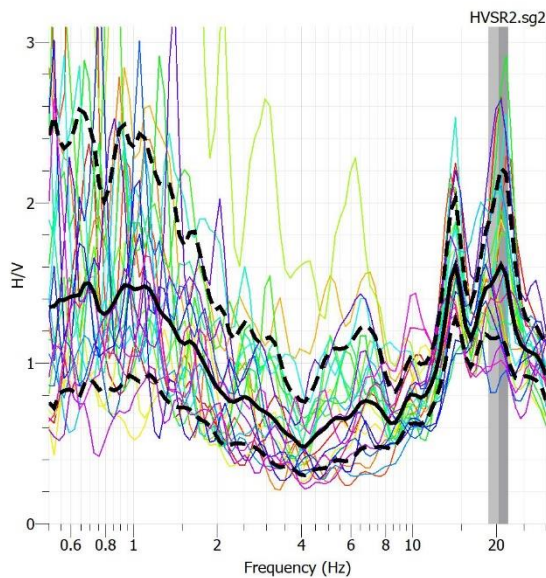
 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	44 di 77

3.3 HVSR 2

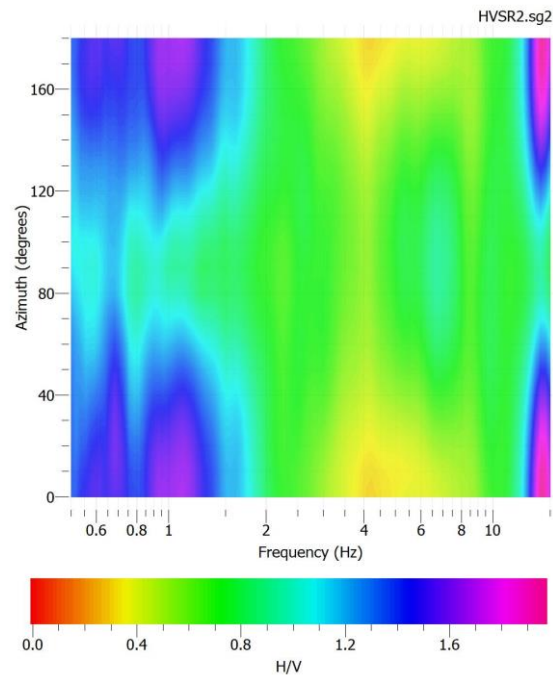
ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type
1	HVSR2.sg2	East	29/07/2022 00:00:00	10h50m2.000000s	11h10m2.000000s	250	0,004	300000	20m	0	0	0	Waveform
2	HVSR2.sg2	Vertical	29/07/2022 00:00:00	10h50m2.000000s	11h10m2.000000s	250	0,004	300000	20m	0	0	0	Waveform
3	HVSR2.sg2	North	29/07/2022 00:00:00	10h50m2.000000s	11h10m2.000000s	250	0,004	300000	20m	0	0	0	Waveform



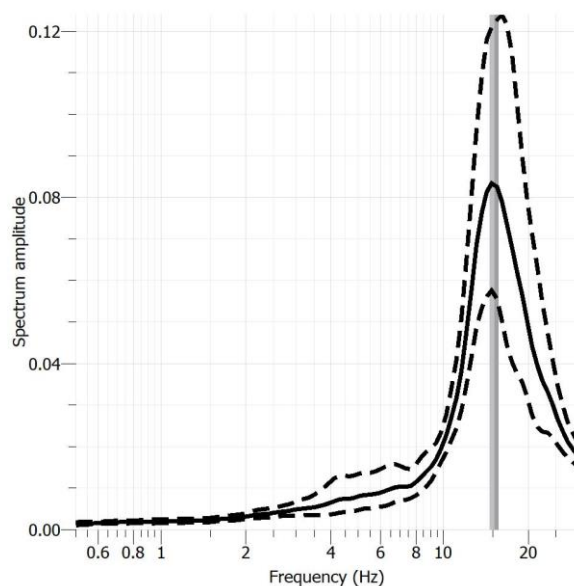
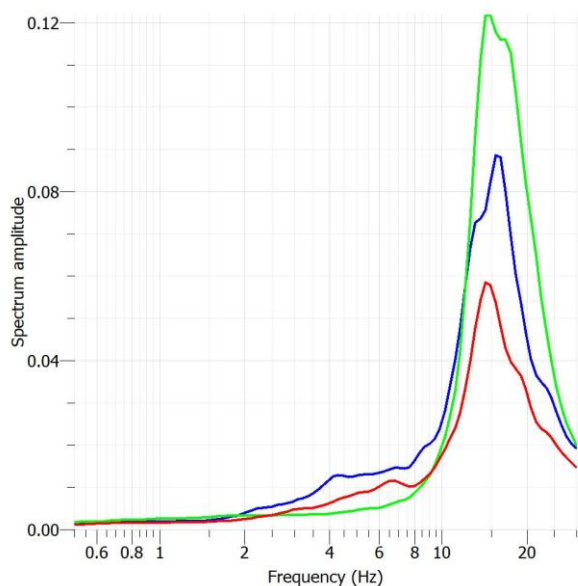
Sismogrammi



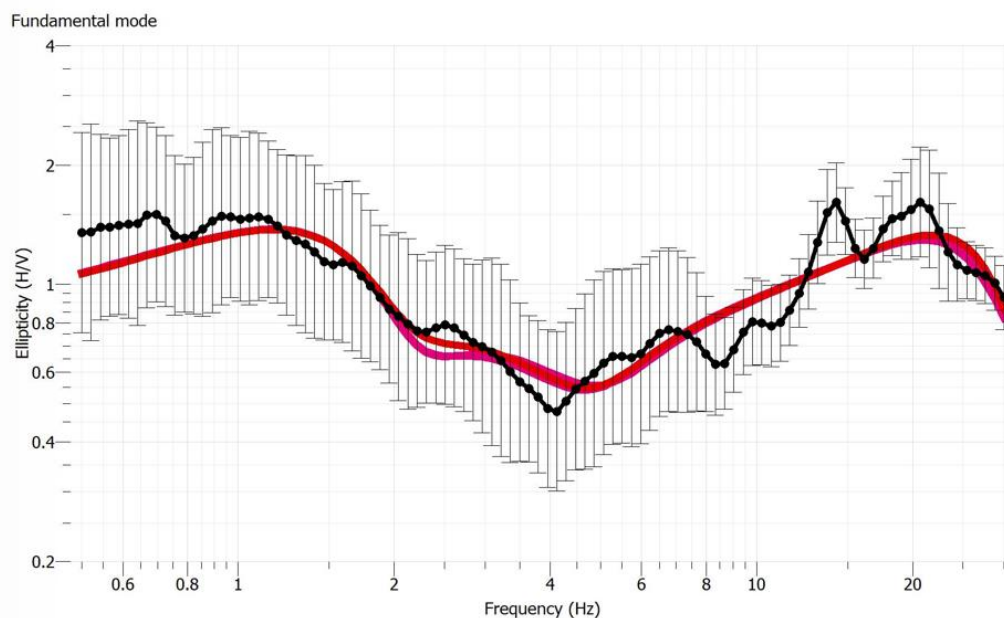
Rapporto spettrale H/V, inferiore a 2, frequenza principale 20 Hz



Direzionalità H/V



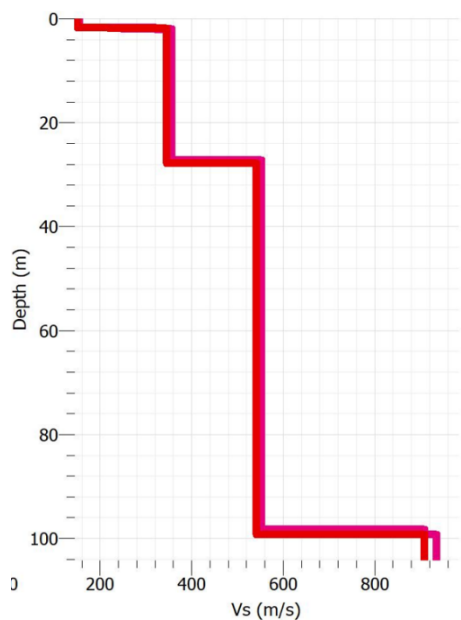
Spettro componenti H/V (Z blu, N verde, E rosso)



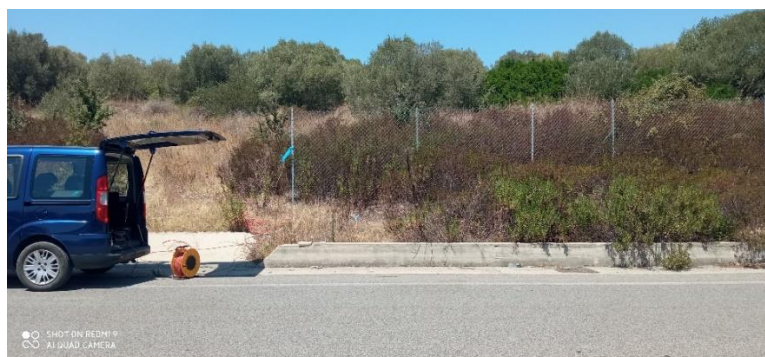
Misfit value

Ellitticità curva teorica su curva calcolata, il basso a sn modello sismico da inversione

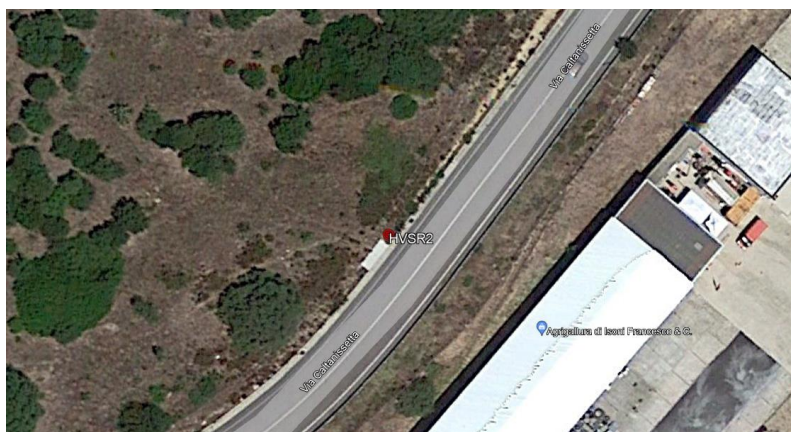
 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	46 di 77



Il modello sismico calcolato vede la presenza di un sismostrato con Vs attorno a 360 m/s sino ai 28 m circa, bedrock profondo. I risultati appaiono poco verosimili come già indicato in precedenza.



Misurazione del rapporto spettrale HVS2

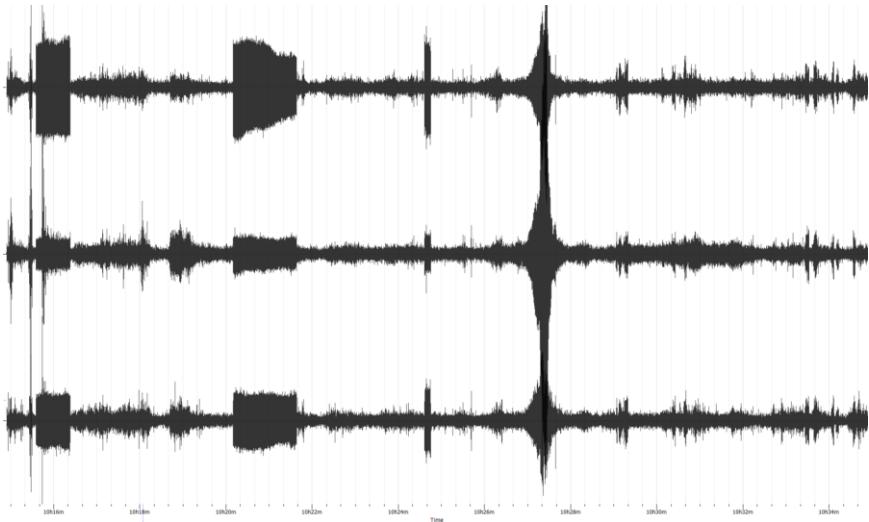


Localizzazione del rapporto spettrale HVS1

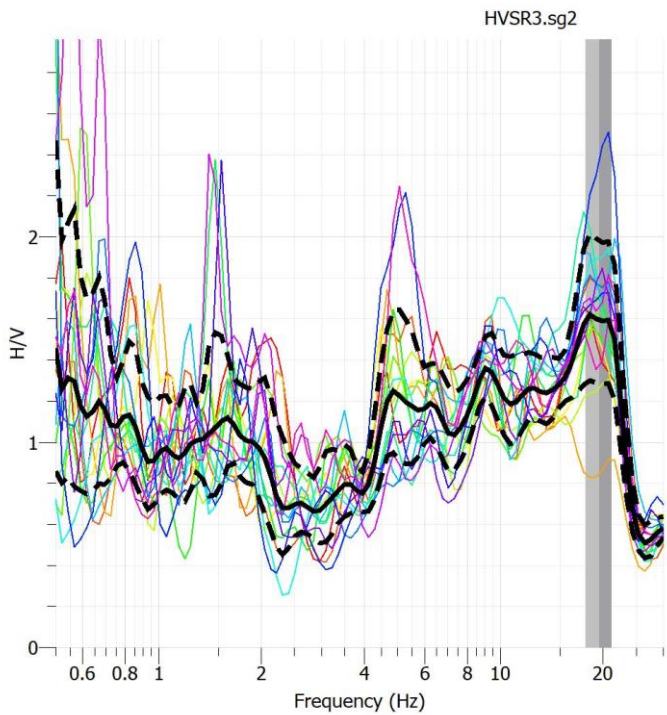
	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA				
	Indagini geofisiche				
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A
					FOGLIO
					47 di 77

3.4 HVSR 3

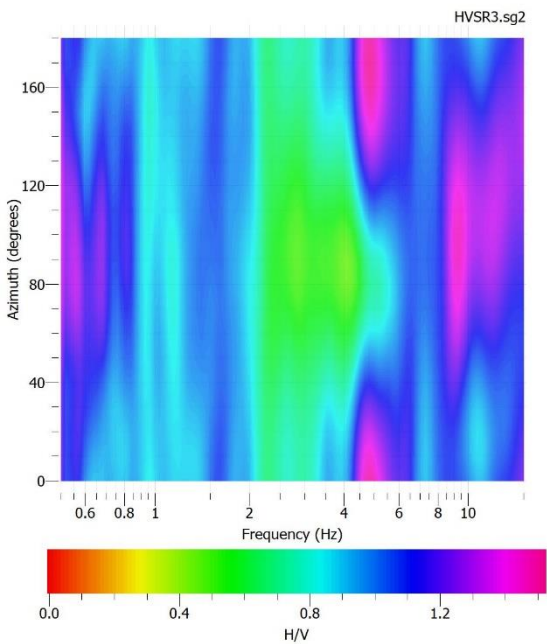
ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type
1	HVSR3.sg2	East	29/07/2022 00:00:00	10h14m54.000000s	10h34m54.000000s	250	0,004	300000	20m	0	0	0	Waveform
2	HVSR3.sg2	Vertical	29/07/2022 00:00:00	10h14m54.000000s	10h34m54.000000s	250	0,004	300000	20m	0	0	0	Waveform
3	HVSR3.sg2	North	29/07/2022 00:00:00	10h14m54.000000s	10h34m54.000000s	250	0,004	300000	20m	0	0	0	Waveform



Sismogrammi

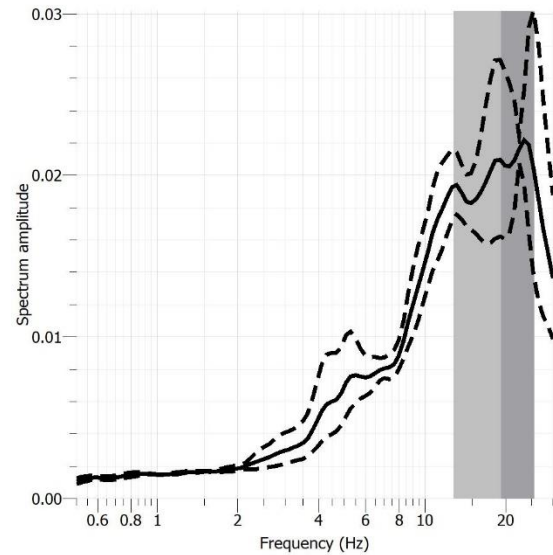
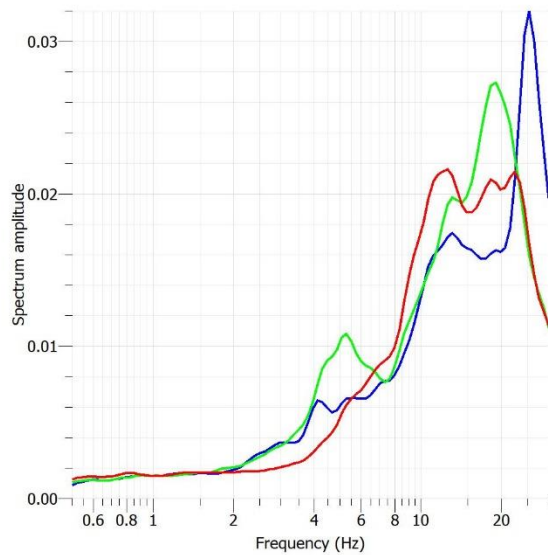


Rapporto spettrale H/V, decisamente basso

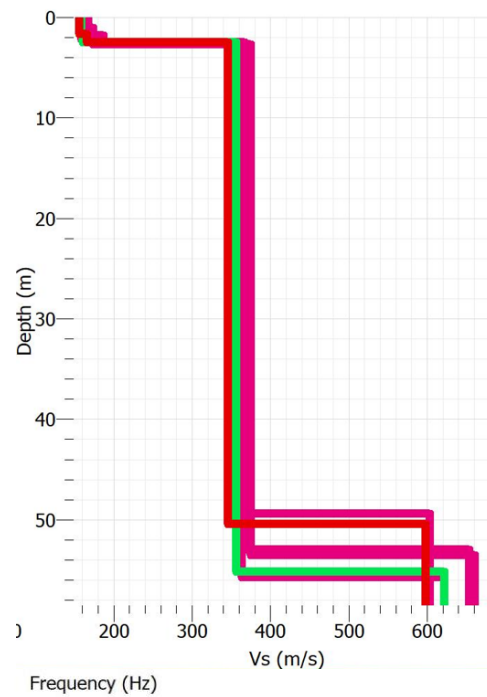
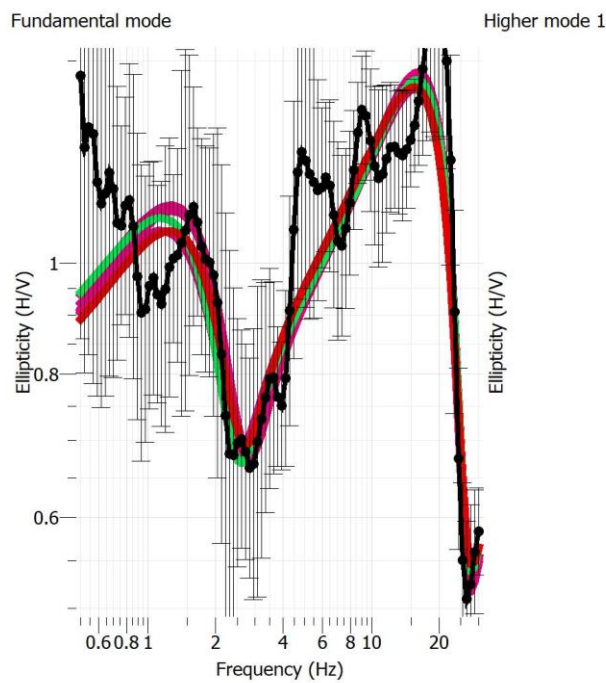


Direzionalità H/V

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	48 di 77



Spettro componenti H/V (Z blu, N verde, E rosso)



Misfit value

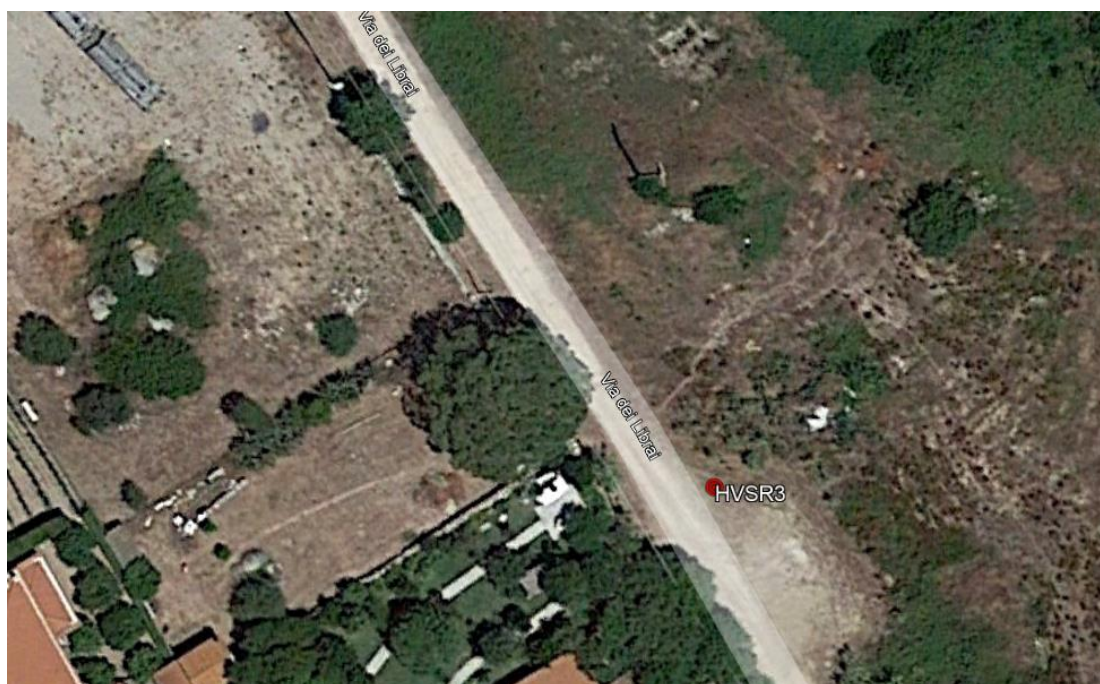
Ellitticità curva teorica su curva calcolata, sulla destra modello sismico da inversione

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	49 di 77

Il modello sismico calcolato vede Vs di 350 m/s sino a circa 55 m di profondità, poco verosimile e ricollegabile alla mancanza di un rapporto spettrale H/V elevato.



Misurazione del rapporto spettrale HVSR3

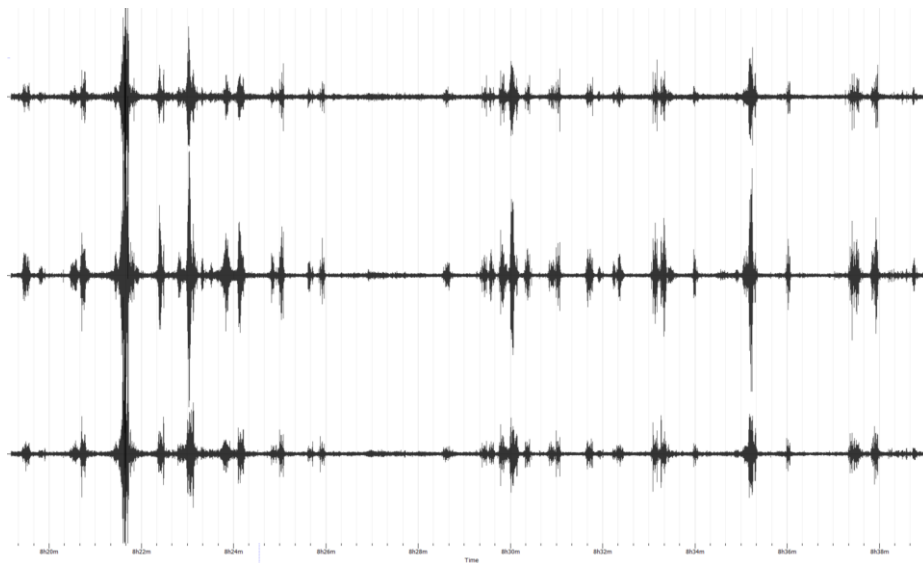


Localizzazione del rapporto spettrale HVSR3

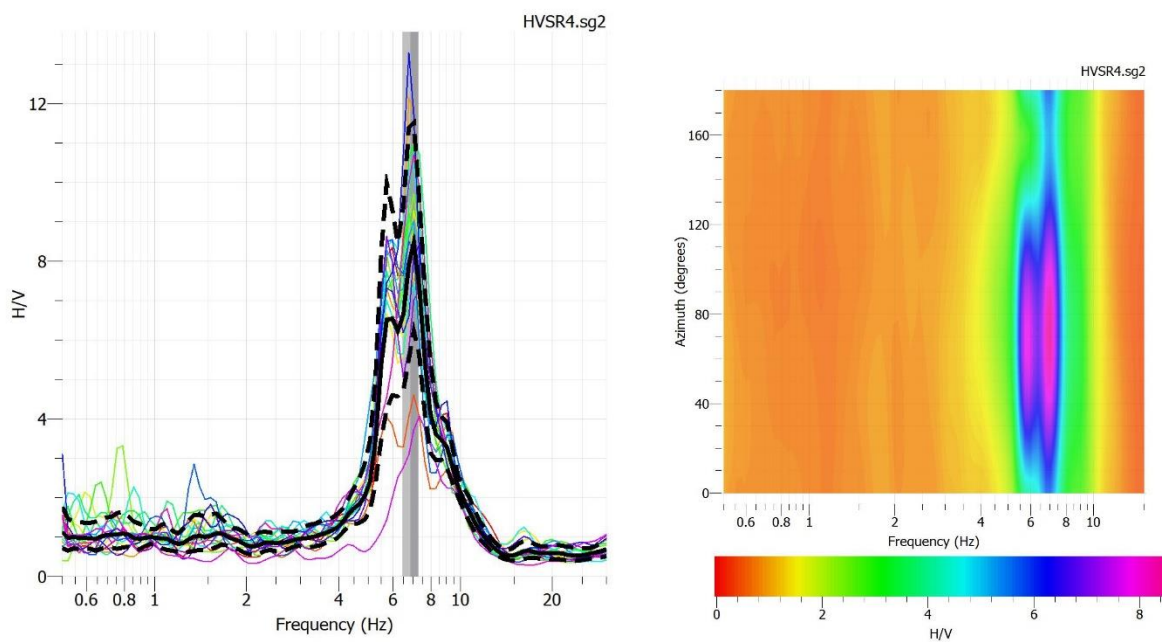
 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	50 di 77

3.5 HVSR 4

ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type
1	HVSR4.sg2	East	29/07/2022 00:00:00	8h19m10.000000s	8h39m10.000000s	250	0,004	300000	20m	0	0	0	Waveform
2	HVSR4.sg2	Vertical	29/07/2022 00:00:00	8h19m10.000000s	8h39m10.000000s	250	0,004	300000	20m	0	0	0	Waveform
3	HVSR4.sg2	North	29/07/2022 00:00:00	8h19m10.000000s	8h39m10.000000s	250	0,004	300000	20m	0	0	0	Waveform

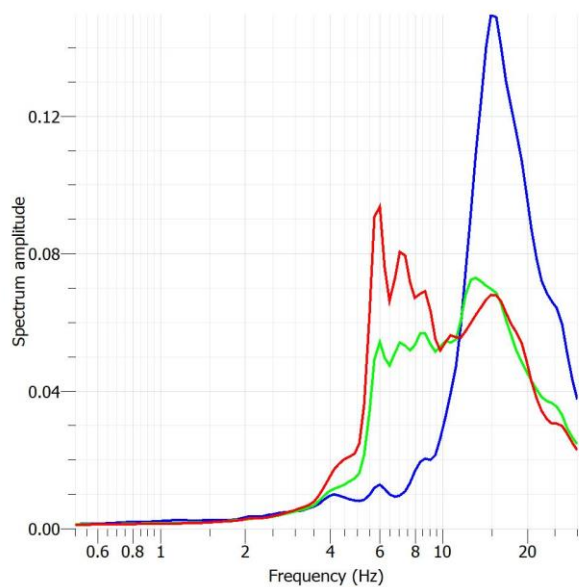


Sismogrammi

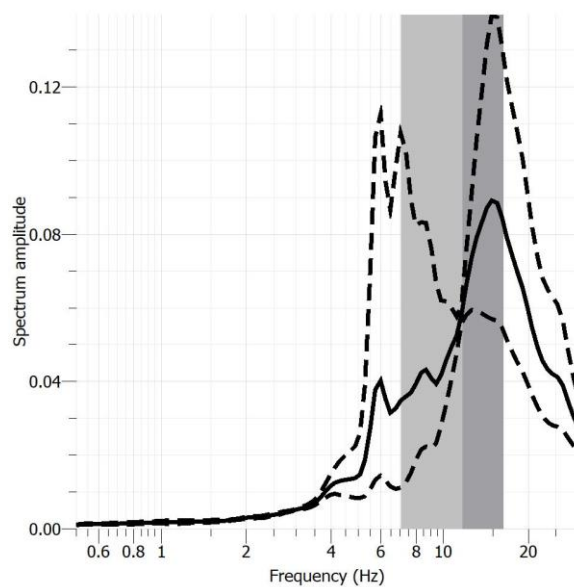


 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	51 di 77

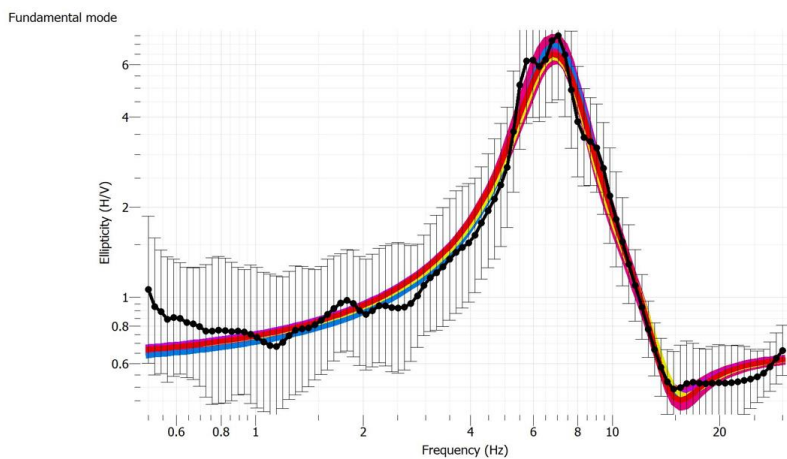
Rapporto spettrale H/V, con picco elevato di f_0 di 7 Hz



Direzionalità H/V

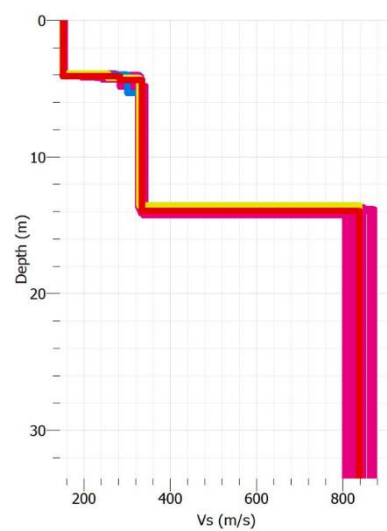


Spettro componenti H/V (Z blu, N verde, E rosso)



Misfit value

Ellitticità curva teorica su curva calcolata



Modello sismico da inversione

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	52 di 77

Il modello sismico calcolato vede $V_s < 200$ m/s entro i 4 m di profondità, V_s di 330 m/s dai 4 m ai 18 m di profondità, bedrock sismico con $V_s > 800$ m/s al di sotto dei 18 m. Tale modello è solo in parte coincidente con l'interpretazione della MASW5 sebbene con valori di V_s generalmente più bassi.

Nell'ambito delle frequenze di interesse ingegneristico dunque il picco più importante è quello attorno a 7 Hz.

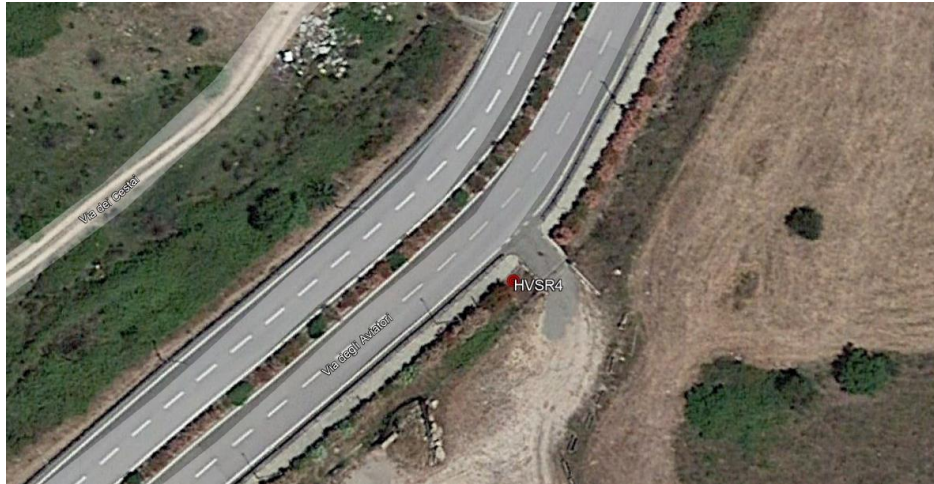
Le frequenze di risonanza son legate sicuramente all'interfaccia tra la coltre detritica e di alterazione superficiale/bedrock intrusivo. La stessa formula per un approccio semi-quantitativo per il calcolo della frequenza di risonanza $f = V_s / 4h$ mostra come con una V_s media della copertura pari a 504 m/s, dedotta dalla MASW, si arrivi, sulla base del primo picco HVSR, ad uno spessore attorno ai diciotto metri cioè $h = 504 \text{ m/s} / (4 * 7 \text{ Hz}) = 18 \text{ m}$, abbastanza concordante con i dati emersi dall'elaborazione del modello del sottosuolo derivante dall'inversione dei dati ottenuti dalla MASW che vedono un bedrock sismico a 15 m.

Normalmente i picchi alle alte frequenze (> 10 Hz) segnalano la presenza di passaggi stratigrafici molto superficiali, quelli alle basse frequenze (< 1 Hz) variazioni stratigrafiche molto profonde. Poiché le inversioni di velocità, cioè il passaggio andando in profondità da livelli veloci a livelli meno veloci, non dà origine a picchi nello spettro H/V, queste non possono essere rilevate direttamente. Un indizio della presenza di inversioni di velocità può essere fornito però, indirettamente, dall'andamento dello spettro H/V: ampi intervalli di frequenza in cui costantemente il rapporto H/V si mantiene minore di uno sono spesso associabili a variazioni negative delle velocità con la profondità, aspetto che potrebbe giustificare il basso rapporto H/V a frequenza di 15-20 Hz per cui non sembra però vi siano ulteriori indizi.



Misurazione del rapporto spettrale HVSR4

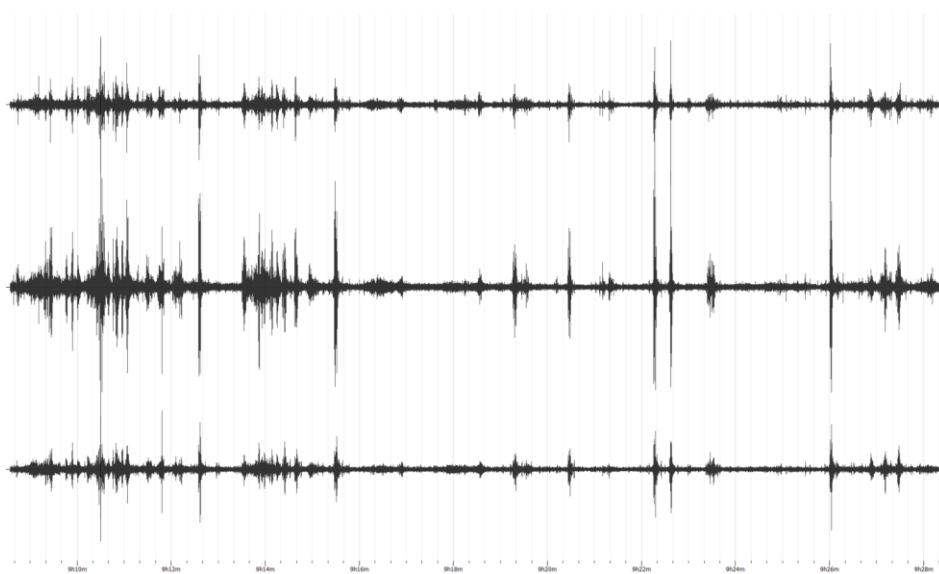
	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	53 di 77



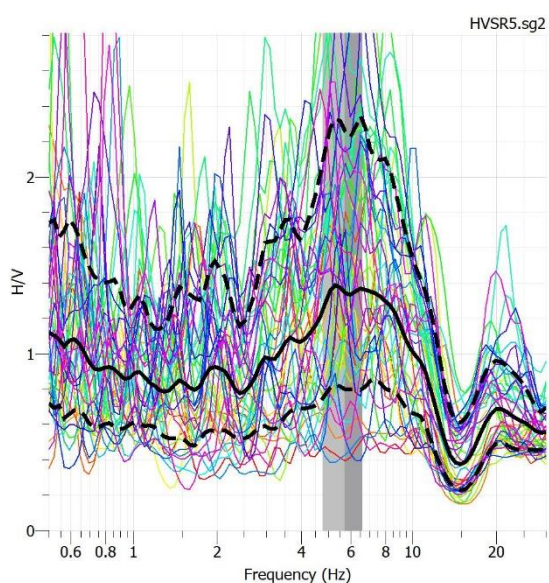
Localizzazione del rapporto spettrale HVSr4

3.6 HVSR 5

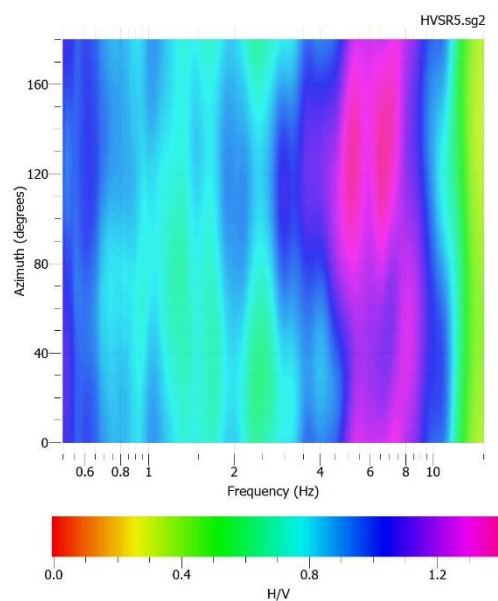
ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Type
1	HVSR5.sg2	East	29/07/2022 00:00:00	9h8m34.000000s	9h28m34.000000s	250	0,004	300000	20m	0	0	0	Waveform
2	HVSR5.sg2	Vertical	29/07/2022 00:00:00	9h8m34.000000s	9h28m34.000000s	250	0,004	300000	20m	0	0	0	Waveform
3	HVSR5.sg2	North	29/07/2022 00:00:00	9h8m34.000000s	9h28m34.000000s	250	0,004	300000	20m	0	0	0	Waveform



Sismogrammi

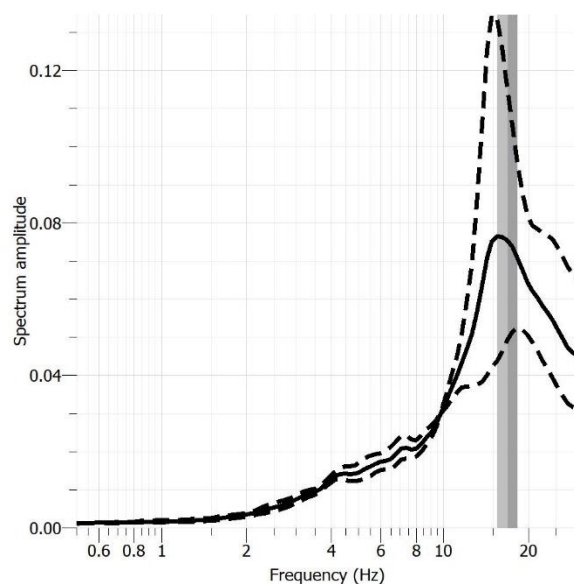
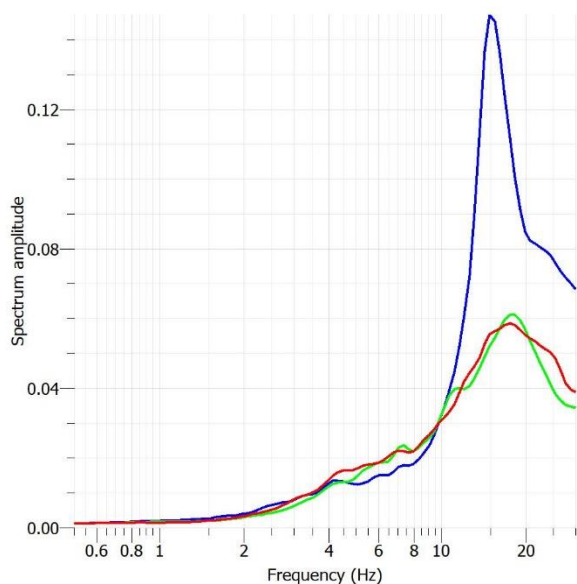


Rapporto spettrale H/V, decisamente basso, con f0 di circa 5.5 Hz

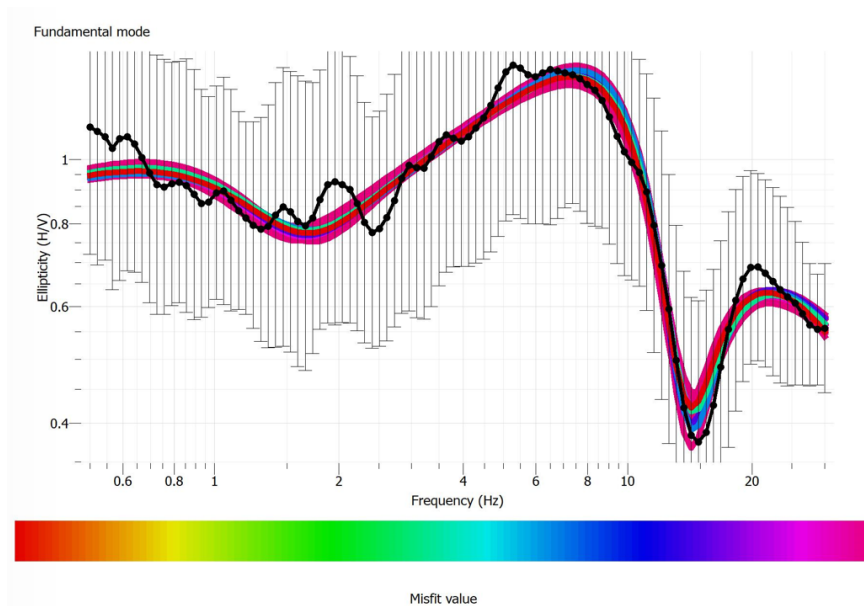


Direzionalità H/V

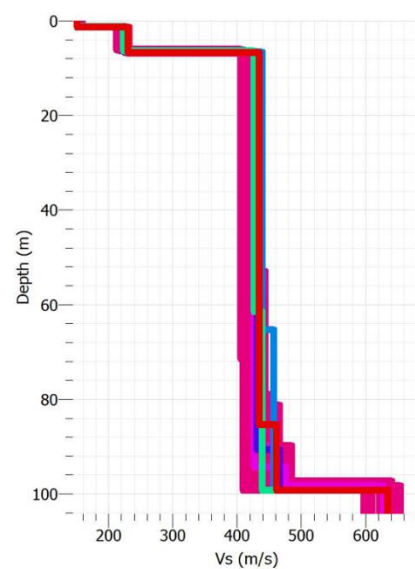
	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	55 di 77



Spettro componenti H/V (Z blu, N verde, E rosso)



Ellitticità curva teorica su curva calcolata



Modello sismico da inversione

Il modello sismico calcolato vede un cambiamento sismico attorno ai 7-8 m di profondità, con passaggio di Vs da valori superficiali di 230 m/s a valori di 450 m/s che permangono sino ai 100 m di profondità. Tale modello non concorda con i risultati della MASW5 che vede la presenza del bedrock attorno ai 18 m.

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 56 di 77



Misurazione del rapporto spettrale HVSr5



Localizzazione del rapporto spettrale HVSr5

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	57 di 77

4 INDAGINE SISMICA CON METODO S SISMICA RIFRAZIONE IN ONDE P E ONDE S

Le onde elastiche provocate da una vibrazione si trasmettono nel suolo con velocità differenti per ogni litotipo. Nella prospezione sismica a rifrazione si sfrutta la diversa velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P o “di compressione”) e longitudinali (onde SH o “di taglio”) per determinare lo spessore e l’andamento dei sismostrati.

La prospezione consiste nel generare un’onda sismica nel terreno attraverso un a determinata sorgente di energia (colpo di mazza, maglio battente, cannoncino sismico, ecc.) e nel misurare il tempo impiegato da questa per compiere il percorso nel sottosuolo dal punto di energizzazione fino ai sensori di ricezione (geofoni) seguendo le leggi della rifrazione dell’ottica (Legge di Snell), cioè rifrangendosi sulla superficie di separazione tra due strati con proprietà sismiche differenti.

L’apparecchiatura necessaria per le prospezioni consiste in una serie di ricevitori (geofoni), che vengono spazati lungo un determinato allineamento (linea sismica), e da un sismografo che registra l’istante di inizio della perturbazione elastica e i tempi di primo arrivo delle onde a ciascun geofono. In questo modo, osservando i primi arrivi in corrispondenza di punti posti a differente distanza dalla sorgente energizzante, è possibile costruire una curva tempo/distanza (dromocrona) che rappresenta la variazione del minimo percorso in funzione del tempo.

L’analisi tomografica, in sintesi, determina un modello a gradiente uniforme mediante l’analisi dei tempi di percorrenza e ottimizza i risultati attraverso le *Simultaneous Iterative Reconstruction Technique (SIRT)*. In particolare, il software dedicato fornisce una stima delle velocità delle onde P e S, nonché la forma e la profondità delle interfacce, tramite il metodo del reciproco generalizzato GRM e, poi, nell’ottimizzazione del risultato finale, ricerca i percorsi dei raggi sismici basandosi su algoritmo SIRT, che tiene conto della distribuzione delle velocità stesse nel modello.

Per gli stendimenti effettuati nella presente campagna di indagini sono state eseguite energizzazioni in onde P con un cannoncino (fucile) sismico con cartucce “a salve” e/o con massa battente (martello kg 8) e in onde SH, colpendo lateralmente su entrambi i lati una trave di legno posizionata nello stesso punto in cui è stata effettuata la precedente energizzazione in P.

I punti di energizzazione per il profilo sono stati 14, di cui 6 interni allo stendimento stesso e 8 all’esterno, a una distanza dal primo e ultimo geofono pari alla distanza intergeofonica e pari al doppio della distanza intergeofonica adottata.

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	58 di 77

STRUMENTAZIONI UTILIZZATE

N°	Strumentazione per prove sismiche a Rifrazione in onde P e onde S
1	Sismografo Echo 24-48 2010 prodotto dalla Ambrogeo s.r.l. di Piacenza (PC)
1	Toughbook Panasonic CF-19
24	geofoni verticali con frequenza 12 Hz (Hueihai Sunfull)
24	geofoni orizzontali con frequenza 12 Hz (Hueihai Sunfull)
1	cavo di collegamento per geofoni 24 take-out con passo intergeofonico 5.0-10.0 metri
1	massa battente del peso di 8 kg
1	linea trigger con dispositivo hammer-switch
2	masse battenti con pendolo del peso di 15 kg per energizzazione in onde SH
1	cannoncino (fucile) sismico della Ambrogeo s.r.l. con cartucce "a salve"

4.1 RISULTATI TOMOGRAFIA SISMICA

L'indagine, relativamente al comportamento del terreno in merito alle onde di volume (onde P) e onde di taglio (onde SH), ha permesso di evidenziare una distribuzione delle velocità delle onde sismiche piuttosto regolare su tutte le aree investigate.

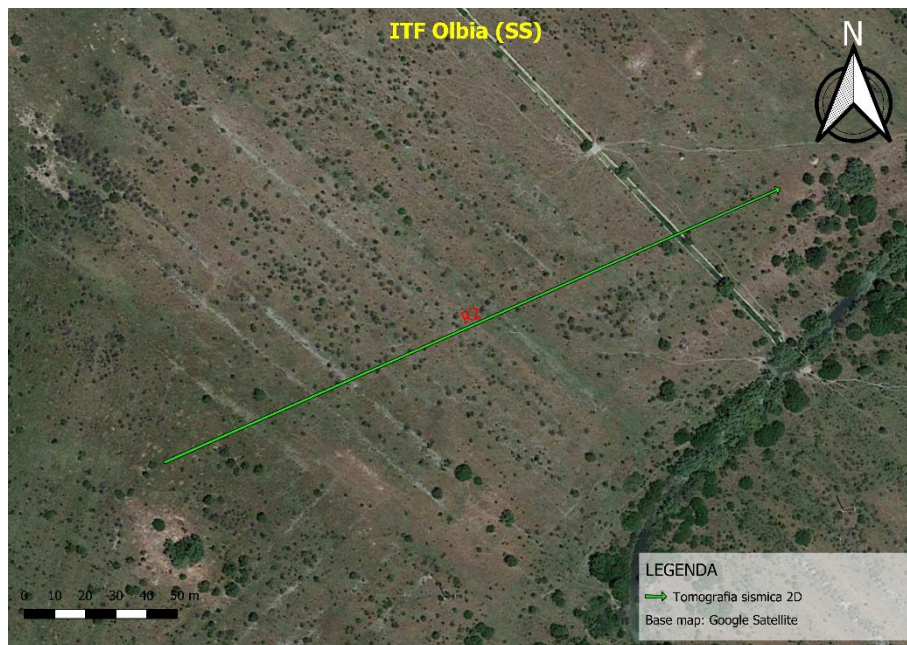
Rifrazione R2

Il profilo sismico "R2", è stato eseguito per una lunghezza complessiva pari a 225 metri (incluse le battute esterne allo stendimento); i 42 geofoni verticali e orizzontali utilizzati per eseguire le misurazioni sono stati posizionati seguendo una distanza intergeofonica, pari a 5 metri.

Il profilo è stato condotto da SW (geofono n. 1) verso NE (geofono n. 42).

L'indagine è stata eseguita all'interno del comune di Olbia (SS) in un campo accessibile da via dei Mugnai.

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 59 di 77



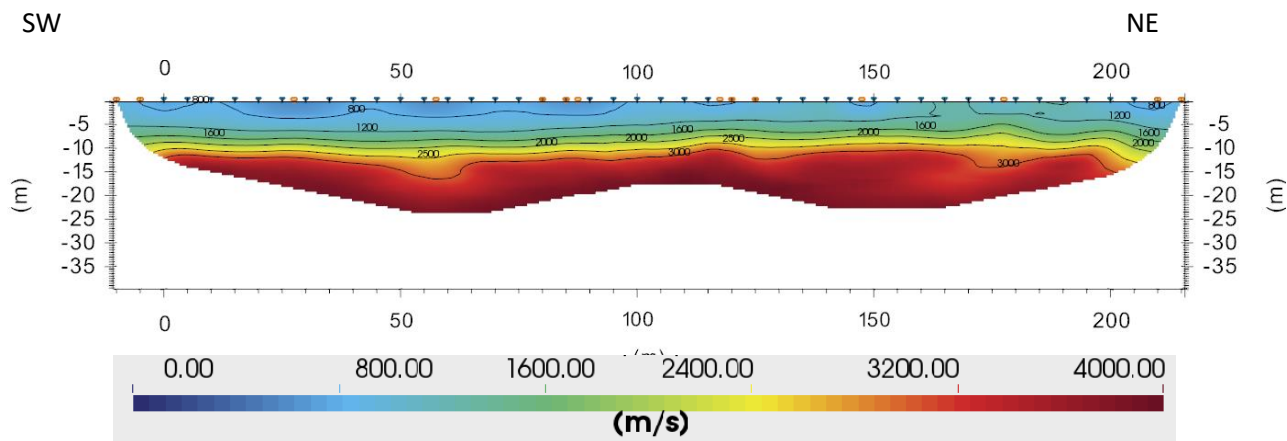
Ortofoto relativa all'ubicazione della prova Sismica a Rifrazione R2 (da Google Earth).



Foto relativa all'esecuzione della prova Sismicas a Rifrazione R2.

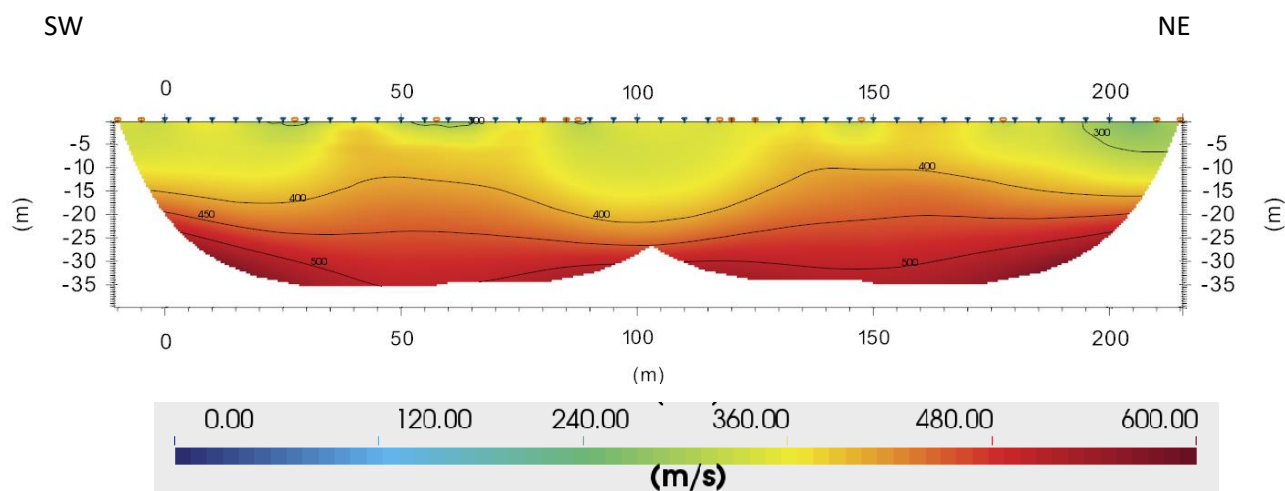
	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	60 di 77

PROFILO SISMICO TOMOGRAFICO IN VP - R2



Profilo sismico tomografico R2 in Vp.

PROFILO SISMICO TOMOGRAFICO IN VS - R2



Profilo sismico tomografico R2 in Vs.

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 61 di 77

Superficialmente il profilo sismico a rifrazione è caratterizzato da valori di velocità sismiche inferiori ai 1200 m/s di Vp e ai 350-400 m/s di Vs per uno spessore medio di circa 5 metri; tale sismostrato ha un andamento circa sub-orizzontale, e rappresenta uno strato di riporto ghiaioso-sabbioso addensato.

Al di sotto di esso si evidenzia la presenza di un secondo sismostrato con valori crescenti di velocità fino a circa 2500 m/s di Vp e 400-450 m/s di Vs fino a una profondità di circa 15-20 metri dal p.c.; questo strato è caratterizzato dalla presenza di sabbie grossolane compatte fino al cappellaccio di alterazione del substrato granitico sottostante.

Oltre la profondità di 15-20 metri dal p.c. i valori delle velocità sismiche quindi evidenziano un progressivo incremento, fino a superare la velocità di 3000 m/s di Vp e di 500-600 m/s di Vs. Tale sismostrato è caratterizzato dalla presenza del substrato granitico e, quindi, subisce un ulteriore aumento di densità e velocità con la profondità.

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 62 di 77

5PROSPEZIONI SISMICHE IN FORO DOWN HOLE

Le prospezioni in foro consistono nella misura in situ della velocità di propagazione delle onde di compressione P e di taglio S. Tali grandezze sono indici delle proprietà meccaniche di rocce e terreni e consentono di caratterizzare successioni litostratigrafiche dal punto di vista geotecnico e della risposta sismica.

5.1 ATTREZZATURA IMPIEGATA

L'indagine down hole è stata eseguita utilizzando un sismografo multicanale DAQLink III (Seismic Source U.S.A.) con convertitore A/D a 24 bit, 24 canali, range dinamico 144db e output dei dati in SEG-Y o SEG-2, l'intero sistema di acquisizione è conforme alle specifiche ASTM D5777-00 (2006) (Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation).

Apparato di acquisizione

- | | |
|------------------------------|--|
| ➤ 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 µs, 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 µV RMS @ 2 ms |

Ulteriori importanti funzioni strumentali sono:

- *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*

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 63 di 77

I sismogrammi vengono acquisiti ed elaborati mediante software proprietario Vibrascope attraverso il quale è possibile rivedere i segnali e quindi eventualmente filtrarli od amplificarli per una più corretta acquisizione dei tempi di arrivo.

Apparato di ricezione

L'apparato di ricezione è provvisto di un apposito meccanismo di ancoraggio alle pareti del foro durante la registrazione dell'impulso e di disancoraggio per essere mobilizzato lungo la verticale del sondaggio stesso.

Tale apparato (sonda 3D) è formato da tre geofoni da 10 Hz smorzati del 70%, dei quali uno con l'asse funzionale verticale (V) e due orizzontali (H1 e H2) fra loro ortogonali.

Oltre alla sonda calata entro il foro si utilizza in superficie un interruttore piezoelettrico applicato all'apparato energizzatore, il quale costituisce il dispositivo di trigger per l'inizio della registrazione.



Geofono tridimensionale con evidenza dei pistoni di ancoraggio

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 64 di 77

5.2 MODALITÀ ESECUTIVE

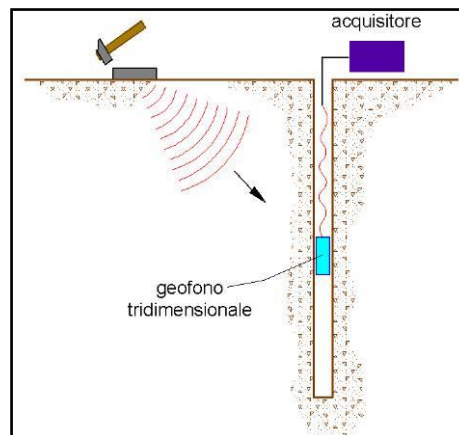
E' stata eseguita una prospezione sismica DH in foro profondo 29 m, all'interno del sondaggio denominato S04_DH (Coordinate UTM 542104.35 m E - 4527780.12 m N, Zona 32T).

La fase di calata dei geofoni da foro è stata preceduta dall'inserimento di una sonda dal diametro di 6 cm per valutare lo stato del foro; la sonda di ispezione si è sempre spinta fino a fondo foro senza incontrare nessuna resistenza.

Nel metodo sismico down hole (DH) viene misurato il tempo necessario per le onde P ed S di spostarsi tra una sorgente sismica, posta in superficie, e i ricevitori, posti all'interno di un foro di sondaggio.

Riassumendo le misure down hole sono state eseguite secondo la seguente metodologia;

- una sorgente meccanica in grado di generare onde elastiche ricche di energia e direzionali;
- un geofono tridimensionale a tre componenti con risposta in frequenza di 10 Hz, direzionali e dotati di un sistema di ancoraggio alle pareti del tubo-foro;
- un sismografo multi-canale, in grado di registrare le forme d'onda in modo digitale e di registrarle su memoria di massa;
- un trasduttore (trigger) solidale con la sorgente necessario per l'identificazione dell'istante di partenza della sollecitazione dinamica mediante massa battente.



	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	65 di 77



Sistema di energizzazione e di acquisizione onde sismiche in foro

5.3 METODOLOGIA DI ACQUISIZIONE

All'interno del sondaggio S04 sono state eseguite misurazioni su ogni metro di foro.

La sorgente delle onde S consiste in una traversina in legno fissata ad un sistema di battuta in ferro che, dopo avere opportunamente predisposto il piano di appoggio, è stata adagiata in superficie ad una distanza di 5 m e orientata in direzione ortogonale ad un raggio uscente dall'asse foro. Alla sorgente è agganciato il trasduttore di velocità utilizzato come trigger.

La sorgente delle onde P è costituita da un piattello di alluminio spesso 4 cm e dal lato di 20 cm energizzato con mazza da 4 kg.

Una volta raggiunta la profondità di prova il geofono viene assicurato alle pareti del tubo di rivestimento mediante un sistema di ancoraggio a pistoni idraulici, la sorgente viene colpita in senso verticale (per

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 66 di 77

generare onde di compressione P) e poi lateralmente (per generare onde di taglio SH) su ambo i lati della traversina in modo da generare onde Vs in opposizione di fase, contemporaneamente parte la registrazione del segnale di trigger e dei ricevitori.

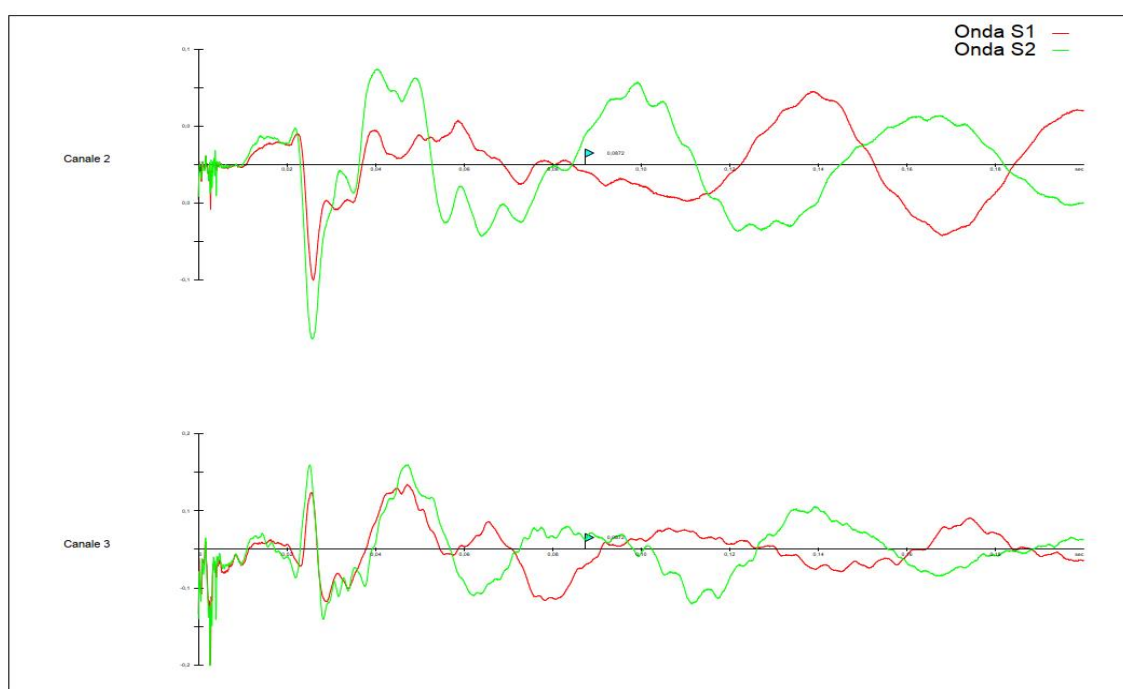
Eseguite le registrazioni la profondità dei ricevitori viene modificata e la procedura sperimentale ripetuta.

L'indagine è stata eseguita all'interno di un settore ineditato distante meno di 200 m dalla SP24; il rumore di fondo è stato per quanto possibile attenuato mediante procedimento di sommatoria del segnale (stacking) eseguendo diverse battute per ogni livello di acquisizione.

La lettura dei primi arrivi (first breaks) delle onde P non è stato particolarmente problematico, mentre le letture dei primi arrivi delle onde di taglio SH spesso erano caratterizzate da maggiori disturbi con evidenti difficoltà interpretative sui primi arrivi delle onde S.

Per meglio evidenziare le onde di taglio le registrazioni delle battute contrapposte (S1 e S2) sono state unite su un'unica traccia, sovrapponendole per ogni canale e creando il cosiddetto "diagramma a farfalla", infatti le onde S (polarizzate) si presentano in opposizione di fase, mentre le onde Vp (disturbo) creato dal rumore di fondo e dalle battute hanno la stessa fase.

Il canale 3, verosimilmente per una questione di orientamento del geofono, ha risposto di meno alle energizzazioni di taglio S1 e S2.



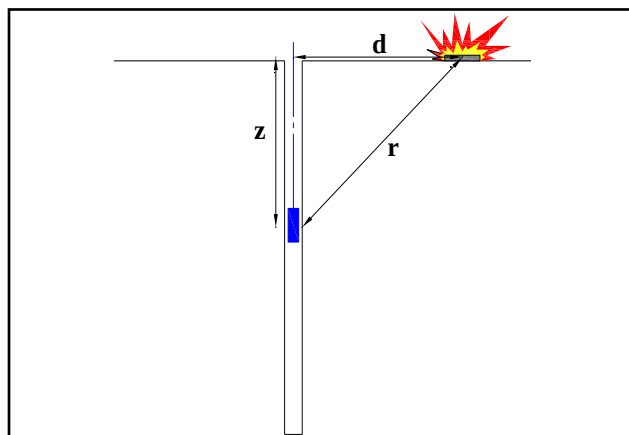
	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 67 di 77

Il diagramma sopra mostra come il ricevitore 2 abbia registrato correttamente gli impulsi delle onde SH in evidente opposizione di fase distinguendolo dal rumore di fondo, mentre il ricevitore 3 in genere, non essendo orientato parallelamente sistema di energizzazione, non è stato in grado di distinguere con altrettanta evidenza le onde SH.

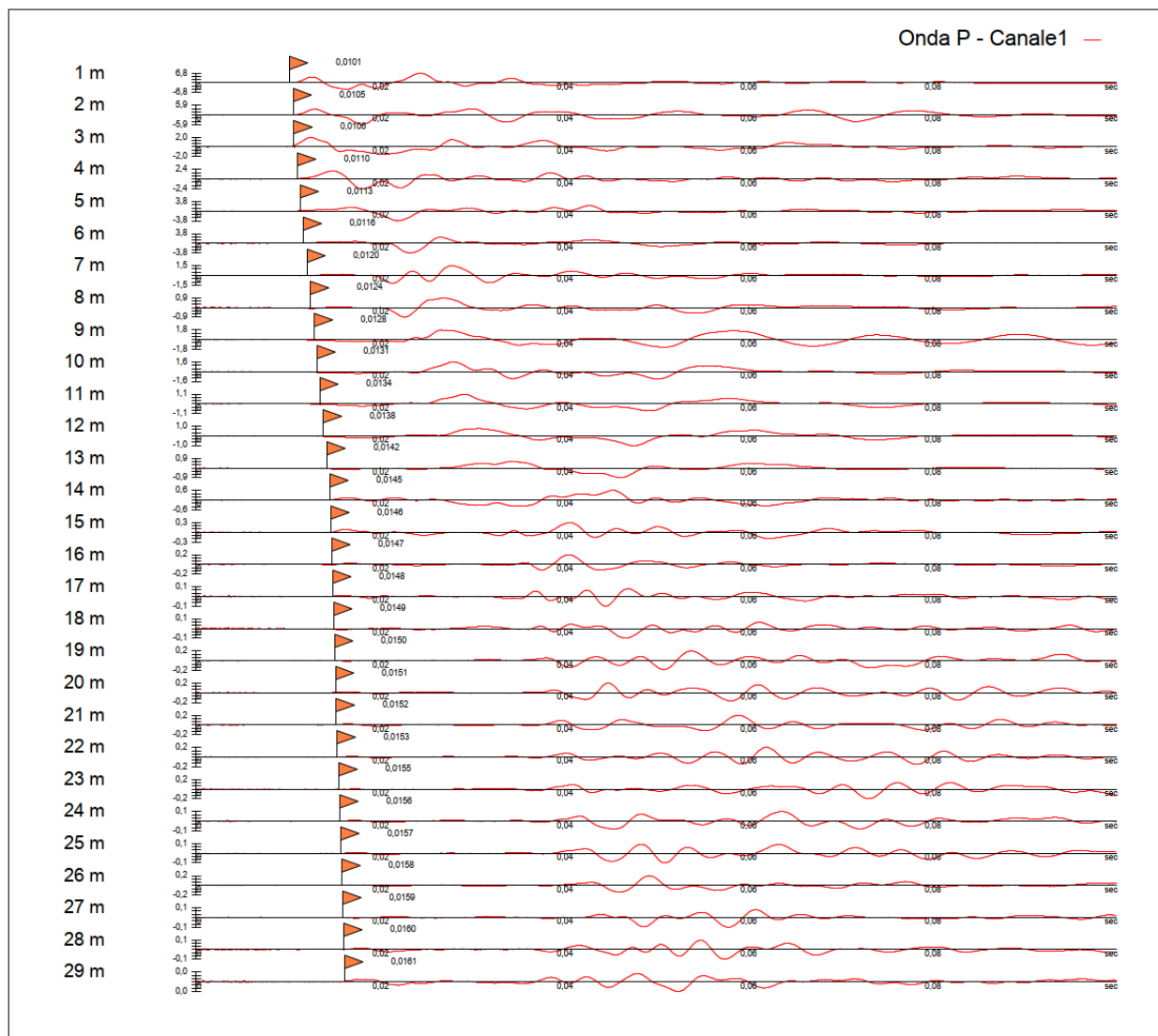
5.4 INTERPRETAZIONE CON IL METODO DIRETTO

Per poter interpretare il down hole con il metodo diretto, inizialmente, bisogna correggere i tempi di tragitto (t) misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore per tenere conto dell'inclinazione del percorso delle onde. Se d è la distanza della sorgente dall'asse del foro, r la distanza fra la sorgente e la tripletta di sensori, z la profondità di misura è possibile ottenere i tempi corretti (t_{corr}) mediante la seguente formula di conversione:

$$t_{\text{corr}} = \frac{z}{r} t$$



Calcolati i tempi corretti sia per le onde P che per le onde S si realizza il grafico t_{corr} – z in modo che la velocità media delle onde sismiche in strati omogenei di terreno è rappresentata dall'inclinazione dei segmenti di retta lungo i quali si allineano i dati sperimentali.



Tracce sismiche onde di compressione (Onde P)

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

RR00

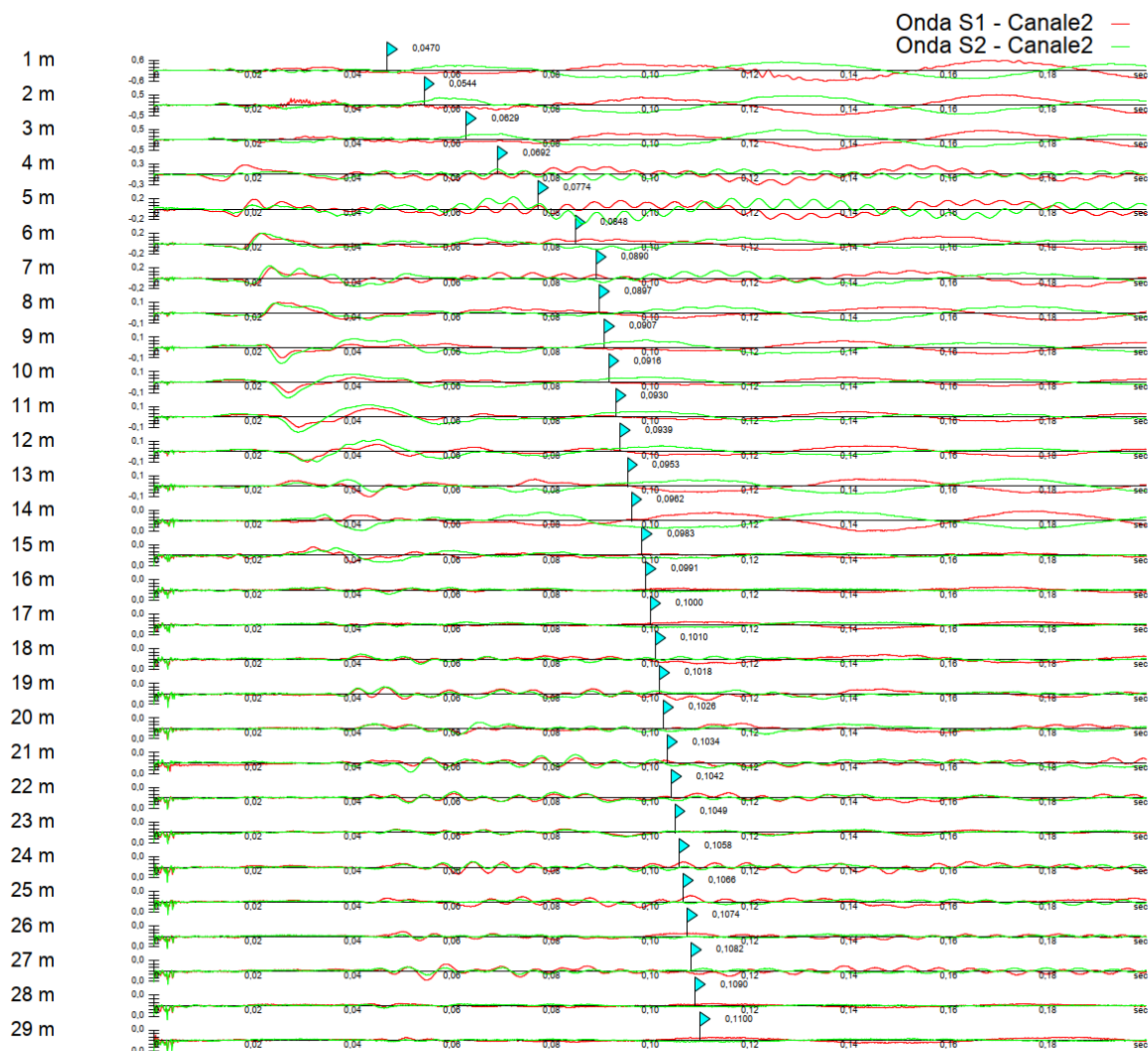
00

R69IG

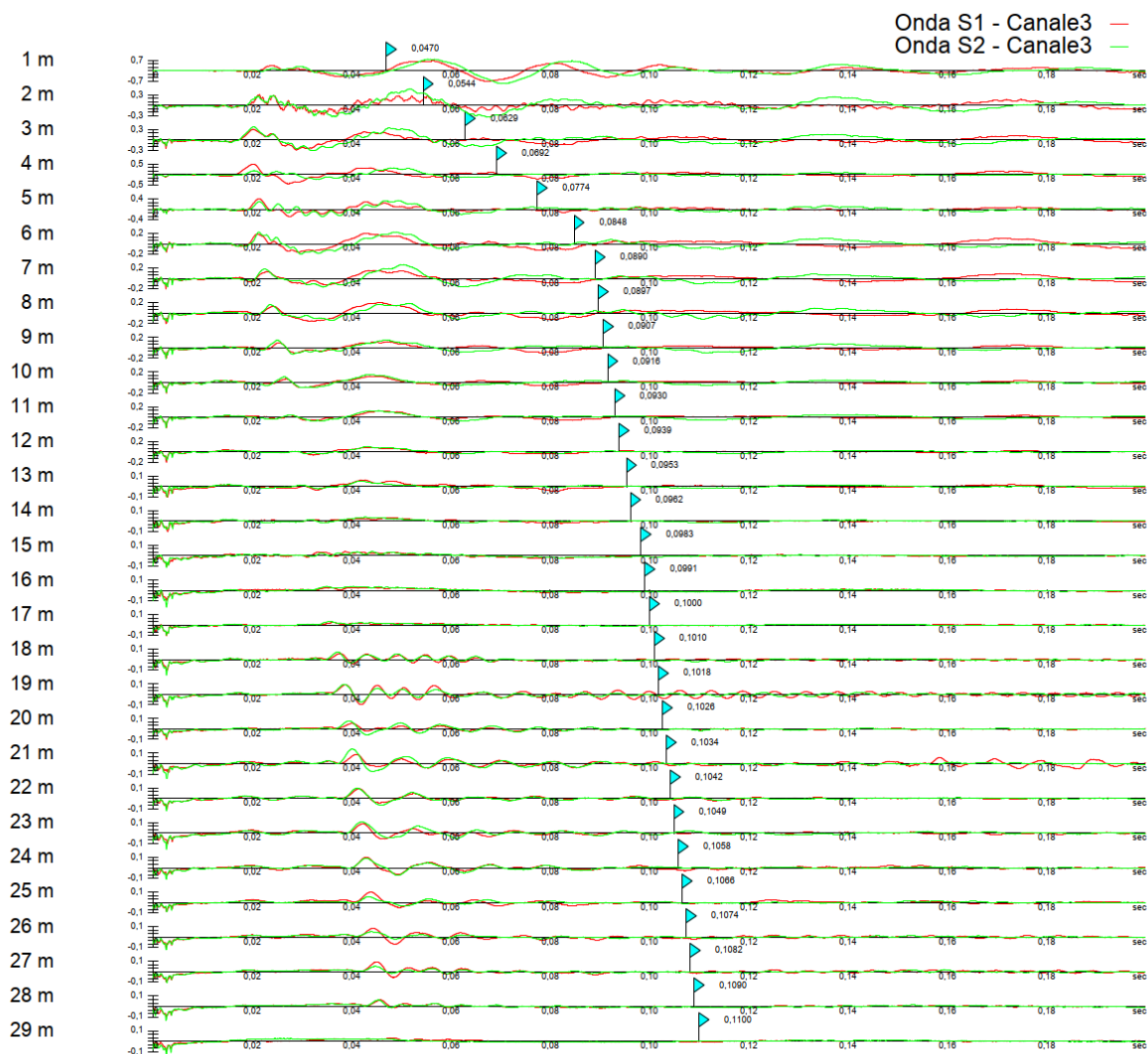
GE 0005 001

A

69 di 77



Tracce sismiche onde di taglio (Onde S) canale 2



Tracce sismiche onde di taglio (Onde S) canale 3

INTERPRETAZIONE DELLE MISURE
Dati iniziali

Offset scoppio [m]	Numero di ricezioni	Posizione primo geofono [m]	Interdistanza [m]
5	29	1	1

Dati misure down hole

Registrazioni Nr.	Z [m]	Tp [msec]	Ts [msec]
1	1,00	10,1	47
2	2,00	10,5	54,4
3	3,00	10,6	62,9
4	4,00	11	69,2
5	5,00	11,3	77,4
6	6,00	11,6	84,8
7	7,00	12	89
8	8,00	12,4	89,7
9	9,00	12,8	90,7
10	10,00	13,1	91,6
11	11,00	13,4	93
12	12,00	13,8	93,9
13	13,00	14,2	95,3
14	14,00	14,5	96,2
15	15,00	14,6	98,3
16	16,00	14,7	99,1
17	17,00	14,8	100
18	18,00	14,9	101
19	19,00	15	101,8
20	20,00	15,1	102,6
21	21,00	15,2	103,4
22	22,00	15,3	104,2
23	23,00	15,5	104,9
24	24,00	15,6	105,8
25	25,00	15,7	106,6
26	26,00	15,8	107,4
27	27,00	15,9	108,2
28	28,00	16	109
29	29,00	16,1	110

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	72 di 77

Risultati

SR [m]	Tpcorr [msec]	Tscorr [msec]
5,0990	1,9808	9,2175
5,3852	3,8996	20,2037
5,8310	5,4537	32,3618
6,4031	6,8716	43,2289
7,0711	7,9903	54,7301
7,8103	8,9114	65,1452
8,6023	9,7648	72,4223
9,4340	10,5152	76,0654
10,2956	11,1892	79,2861
11,1803	11,7170	81,9295
12,0831	12,1989	84,6641
13,0000	12,7385	86,6769
13,9284	13,2535	88,9478
14,8661	13,6553	90,5956
15,8114	13,8508	93,2556
16,7631	14,0309	94,5890
17,7201	14,1986	95,9366
18,6815	14,3564	97,3153
19,6469	14,5061	98,4482
20,6155	14,6492	99,5366
21,5870	14,7867	100,5882
22,5610	14,9195	101,6088
23,5372	15,1462	102,5058
24,5153	15,2721	103,5761
25,4951	15,3951	104,5299
26,4764	15,5157	105,4675
27,4591	15,6342	106,3911
28,4429	15,7508	107,3026
29,4279	15,8659	108,4006

Metodo diretto

Profondità di riferimento: 15.13 m
 Vs, eq: 161,94 m/s
 Categoria sottosuolo E

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	73 di 77

Calcolo del V_s equivalente da NTC 2018

Identificazione della categoria di sottosuolo con l'approccio semplificato

Profondità del piano d'imposta delle fondazioni rispetto al p.c.: **0,00** [m]

Strato [N.]	z [m]	hi [m]	V_s [m/s]
1	7,16	7,16	98,07
2	15,13	7,97	390,30
3	29,43	14,30	955,24
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

$z_{(cal)}$ [m]	$h_{i(cal)}$ [m]	$h_{i(cal)}/V_s$ [sec]
7,16	7,16	0,07301
15,13	7,97	0,02042
29,43	0,00	0,00000

$V_{s,eq} =$ **161,94** [m/s]

Categoria sottosuolo: **E**

Sismostrati con metodo diretto

Descrizione [-]	Profondità [m]
Sabbia ghiaioso limosa	7,16
Arenizzato	15,13
Falda al tetto con conseguente aumento delle V_p	
Bedrock sismico costituito da granitoide lapideo a scarsa alterazione e fessurazione	29,43

Valori medi

V_p medio [m/s]	V_s medio [m/s]	γ medio [kN/mc]	v_i medio	G medio [MPa]	Ed medio [MPa]	E medio [MPa]	Ev medio [MPa]
724,7	98,07	15,31	0,49	15,02	820,04	44,77	800,02
1997,49	390,3	20,53	0,48	318,96	8354,15	944,22	7928,87
7150	955,24	23,38	0,49	2175,46	121880,7	6486,85	118980,1

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RR00	LOTTO 00	CODIFICA R69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 74 di 77

Moduli dinamici

Ottenuti graficamente i sismostrati si ottengono la densità media, funzione della velocità e della profondità, e i moduli dinamici, così come indicati nel paragrafo relativo alle acquisizioni delle onde P ed SH di superficie:

1) coefficiente di Poisson medio:

$$\nu_{\text{medio}} = 0.5 \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1}$$

2) modulo di deformazione a taglio medio:

$$G_{\text{medio}} = \rho V_s^2$$

3) modulo di compressibilità edometrica medio:

$$E_{\text{dmedio}} = \rho V_p^2$$

4) modulo di Young medio:

$$E_{\text{medio}} = 2\rho V_s^2 (1 + \nu)$$

5) modulo di compressibilità volumetrica medio:

$$E_{\text{vmedio}} = \rho \left(V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \right)$$

Calcolo della Vs equivalente interpretata metro per metro

prof.	Vp (m/s)	Vs (m/s)	γ (kN/mc)	ni	G (MPa)	Ed (MPa)	E (MPa)	Ev (MPa)
1	504,85	108,49	19,2	0,4758	23,04	499,01	68	468,28
2	521,16	91,02	16,65	0,4843	14,07	461,14	41,77	442,39
3	643,46	82,25	15,65	0,4917	10,8	660,75	32,22	646,35
4	705,27	92,02	15,72	0,4913	13,57	797,34	40,47	779,24
5	893,89	86,95	15,27	0,4952	11,77	1244,19	35,2	1228,49
6	1085,66	96,01	15,46	0,4961	14,53	1858,13	43,48	1838,76
7	1171,78	137,42	16,67	0,493	32,1	2334,03	95,85	2291,23
8	1332,62	274,49	19,28	0,4778	148,13	3491,4	437,81	3293,89
9	1483,68	310,49	19,65	0,4771	193,17	4410,85	570,66	4153,29
10	1894,66	378,3	20,29	0,4792	296,1	7427,18	875,98	7032,38
11	2075,12	365,68	20,09	0,484	273,94	8821,57	813,05	8456,31
12	1853,23	496,82	21,1	0,4613	531,08	7389,59	1552,13	6681,49
13	1941,75	440,35	20,63	0,4729	407,92	7931,68	1201,65	7387,79
14	2488,8	606,87	21,63	0,4684	812,32	13662,05	2385,62	12578,96
15	5115,1	375,94	19,96	0,4973	287,66	53253,49	861,43	52869,95
16	5552,46	749,96	22,18	0,4907	1272,09	69728,73	3792,61	68032,62
17	5963,04	742,06	22,11	0,4921	1241,5	80168,46	3704,88	78513,13
18	6337,15	725,32	22,02	0,4934	1181,29	90174,68	3528,28	88599,63
19	6680,02	882,69	23,11	0,4911	1836,1	105156,2	5475,62	102708,1
20	6988,08	918,78	23,25	0,4912	2001,36	115775,9	5968,86	113107,4
21	7272,74	950,93	23,36	0,4913	2154,02	125993,6	6424,58	123121,5
22	7530,12	979,82	23,47	0,4914	2297,66	135705,1	6853,46	132641,6
23	4411,12	1114,83	23,91	0,4659	3030,23	47441,31	8884,03	43401
24	7942,8	934,31	23,3	0,493	2074,04	149893,4	6193,08	147128
25	8130,14	1048,44	23,7	0,4915	2656,53	159743,7	7924,43	156201,7
26	8291,83	1066,55	23,76	0,4916	2756,06	166581,4	8221,88	162906,7
27	8438,84	1082,72	23,81	0,4916	2846,24	172903,7	8490,9	169108,7
28	8576,33	1097,09	23,85	0,4917	2927,2	178883,7	8733,01	174980,7
29	8688,1	910,75	23,22	0,4944	1963,99	178727,4	5869,97	176108,7

	COLLEGAMENTO AEROPORTO OLBIA					
	Indagini geofisiche					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RR00	00	R69IG	GE 0005 001	A	76 di 77

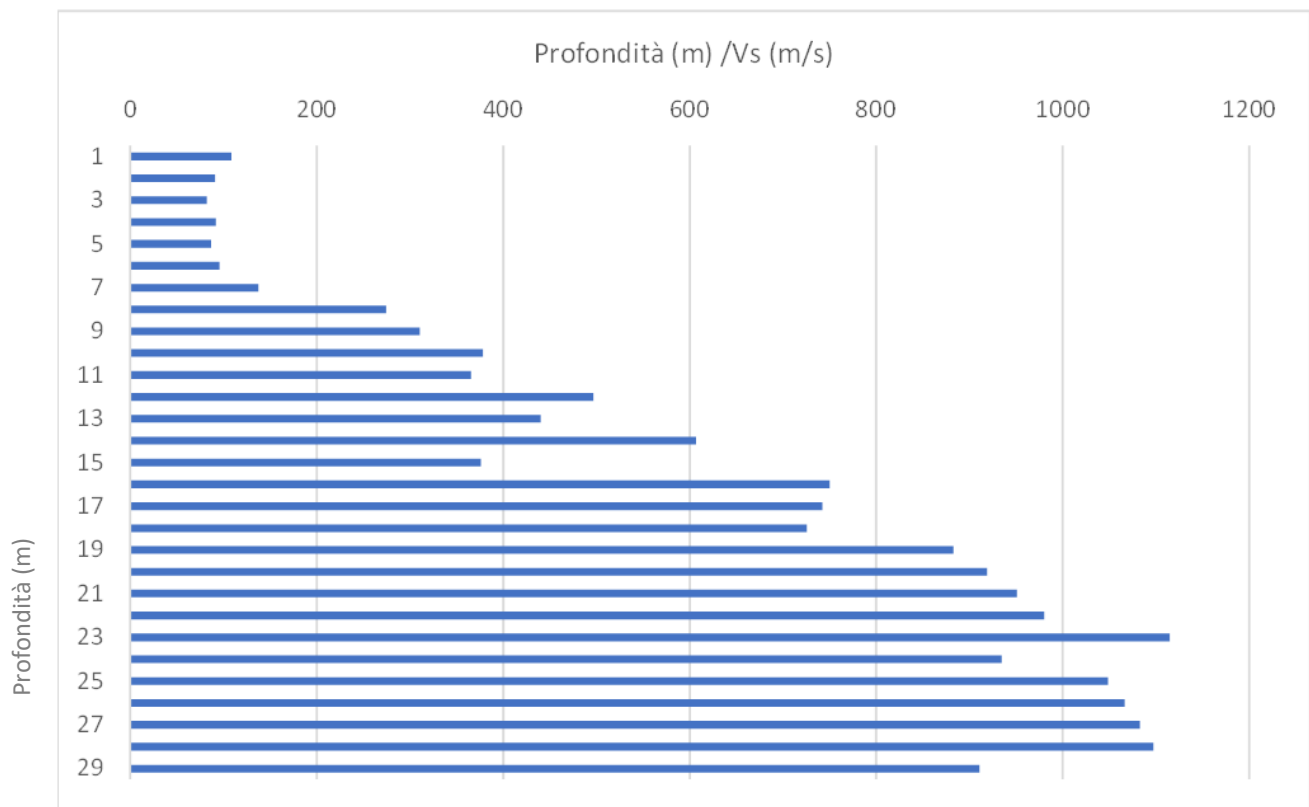
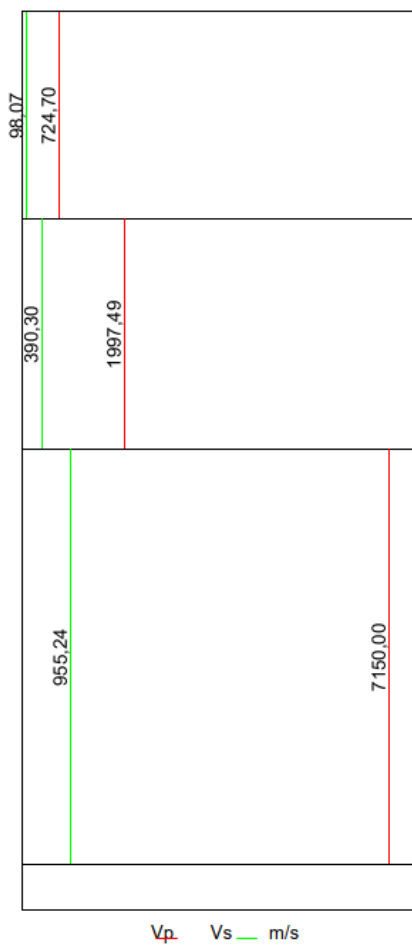
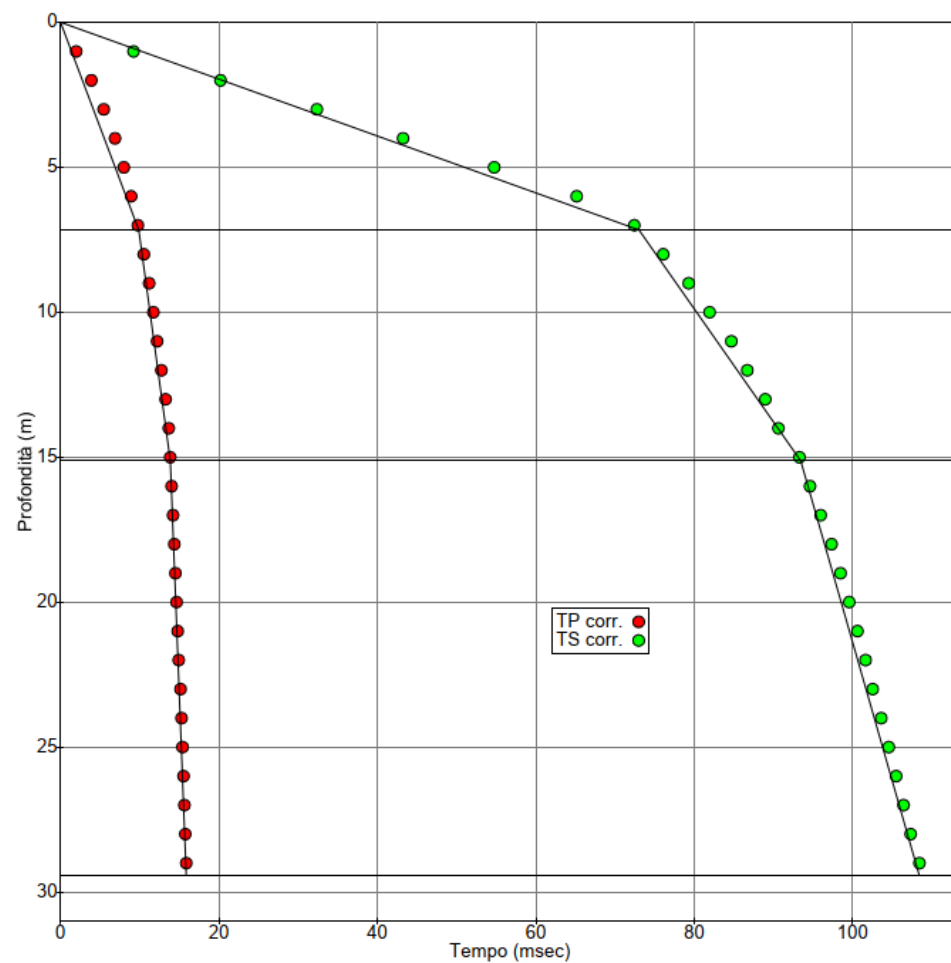


Grafico delle Velocità Vs (m/s) con la profondità (m)

DROMOCRONE – STRATIGRAFIA SISMICA



		Sabbia ghiaiosa limosa
7,16		
		Arenizzato Falda al tetto con conseguente aumento delle Vp
15,13		
		Bedrock sismico costituito da granitoide lapideo a scarsa alterazione e fessurazione
29,43		