Firmato digitalmente da
Paolo COSTA MEDICH

COMMITTENTE:

RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

ALTA SORVEGLIANZA:

ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

GENERAL CONTRACTOR:

Consorzio Collegamenti Integrati Veloci

LEGGE N. 55 DEL 14/06/2019
TRATTA A.V./A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE VOLTRI - BRIGNOLE
PROGETTO DEFINITIVO
PRG DI GENOVA VOLTRI

PRG DI GENOVA VOLTRI
GEOLOGIA E GEOTECNICA MACROFASE 1

REPORT INDAGINI GEOFISICHE

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI	
Consorzio **Cociv** Ing. G. Irace		

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
NG2Y	04	D	CV	RO	GE0010	002	A

PROGETTAZIONE:

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	PRIMA EMISSIONE	SYSTRA SWS	22/05/2024	COCIV	23/05/2024	P. Costa Medich	24/05/2024	ORDINE DEI GEOLOGI DEL LAZIO Dott. Massimo Pietrantoni Geologo n. 738

	n. Elab.:	File: *NG2Y-04-D-CV-RO-GE00-10-002-A00.doc*

CUP: F81H92000000008

INDICE

INDICE 3
1 INTRODUZIONE 5
2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO 6
3 CAMPAGNA DI INDAGINE 7
3.1 Indagine sismica con metodologia MASW attiva 7
3.2 Prospezione Down-Hole 8
4 RISULTATI DELLE INDAGINI 10
4.1 MASW 1 11
4.2 MASW 2 12
4.3 DH SI_5 13

ALLEGATO 1 - Report indagini geognostiche e prove in situ – PFTE

1 INTRODUZIONE

La presente relazione riporta i risultati delle indagini geofisiche eseguite a supporto del Progetto Definitivo del PRG di Genova Voltri, rientrante nel perimetro del progetto “Potenziamento Infrastrutturale Genova Voltri-Genova Brignole”, a sua volta ricompreso nel più esteso “Progetto Unico del Terzo Valico dei Giovi e Nodo di Genova”.

2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

A supporto delle indagini geofisiche eseguite nella presente fase progettuale si allega alla presente, per la consultazione dei risultati delle indagini geofisiche pregresse, l'elaborato realizzato in fase di PFTE a supporto del progetto unico terzo valico dei Giovi e nodo ferroviario di Genova, PGR di Genova Voltri, datato settembre 2022.

Tale elaborato è riportato nell'Allegato 1 – Report indagini geofisiche.

- NG2J00F69IGGE0005001A - Report indagini geofisiche.

3 CAMPAGNA DI INDAGINE

La campagna di misure geofisiche condotta è consistita in indagini sismiche di superficie e in foro.

Sono state realizzate:

- 2 prove sismiche di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves);
- 1 prova sismica Down-Hole.

Entrambe le indagini sono previste nei pressi della fermata di Voltri.

Per quanto concerne la loro posizione effettiva si rimanda all' elaborato:

- NG2Y-04-D-CV-P7-GE00-10-001 - Planimetria ubicazione indagini - Tav. 1.

Nei capitoli seguenti si riporta una breve descrizione dei principi di base delle tecniche d'indagine utilizzate.

3.1 Indagine sismica con metodologia MASW attiva

Lo scopo della prova MASW è quello di ricostruire il profilo di rigidezza del sito tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di superficie di Rayleigh con un successivo processo d'inversione, attraverso il quale è fornita una stima indiretta della distribuzione delle Vs (velocità di propagazione delle onde di taglio). La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione dinamica verticale in un determinato campo di frequenze e nel registrare tramite uno stendimento lineare di sensori (geofoni) le vibrazioni prodotte, in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.

Il profilo che si ricava da questo tipo di indagine è un profilo monodimensionale Vs/Profondità che generalmente, in presenza di stratigrafie costituite da orizzonti piano paralleli, può essere attribuito convenzionalmente alla stratigrafia relativa al centro della stesa in quanto si assume che lungo tutto lo sviluppo dello stendimento la stratigrafia rimanga invariata.

L'apparecchiatura utilizzata per questo tipo di prova si compone delle seguenti parti:

- Sistema energizzante: deve essere in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali. Per generare le onde di compressione P è stata utilizzata una massa battente da 5kg.
- Sistema di ricezione: per l'indagine sono stati utilizzati 24 geofoni del tipo elettromagnetico a bobina mobile (oscillazione verticale), con frequenza caratteristica di 4.5 Hz.
- Trigger: la metodologia utilizzata, in quanto attiva, prevede che l'inizio della registrazione sia individuato mediante un trigger: consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la massa battente colpisce la piastra o la trave (nel nostro caso si è usato un geofono starter) e l'impulso generato, inviato al sistema di acquisizione, consente di fissare il tempo zero di riferimento per il calcolo dei tempi di percorso delle onde generate.

- sistema di acquisizione dati: sismografo costituito da un sistema multicanale a conversione digitale. Il modello è denominato GEODE (prodotto dalla GEOMETRICS) ed è caratterizzato da una risoluzione di acquisizione pari a 24 bit (Tecnologia Delta Sigma). Tale sistema è in grado di registrare, su ciascun canale in forma digitale, le forme d'onda e di conservarle su memoria di massa dinamica minima a 24 bit. Esso è collegato a ciascuno dei geofoni ed al sensore del trigger, consentendo quindi di registrare in forma numerica e visualizzare sotto forma di tracce, su un apposito monitor, le vibrazioni a partire dall'impulso inviato dal trigger.

A/D Conversion:	24 bit (Crystal Semiconductor sigma-delta converters)
DynamicRange:	144 dB (system), 110 dB (instantaneous, measured) at 2ms, 24dB.
Distortion:	0.0005% @ 2 ms, 1.75 to 208 Hz.
Bandwidth:	1.75 Hz to 20 kHz
Common Mode Rejection:	> -100 dB at <=100 Hz, 36 dB.
Crosstalk:	-125 dB at 23.5 Hz, 24 dB, 2 ms.
Noise Floor:	0.2uV, RFI at 2 ms, 36 dB, 1.75 to 208 Hz.
Stacking Trigger Accuracy:	1/32 of sample interval.
Maximum Input Signal:	2.8 VPP.
Input Impedance:	20 kOhm, 0.02 uf.
Preamplifier Gains: dB, or 0dB.	24 or 36 dB
Anti-alias Filters:	-3 dB at 83% of Nyquist frequency, down 90 dB.
Pre-trigger Data:	Up to 4,096 Samples.
Sample Interval:	0.02, 0.03125, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 ms.
Record Length:	16,000 samples standard
Delay:	0 to 9999 ms in 1 ms steps.
Data Transmission:	Ethernet connections

Figura 1: Specifiche tecniche della strumentazione utilizzata

3.2 Prospezione Down-Hole

Lo scopo della prova prova sismica in foro DH è quello di valutare la velocità delle onde sismiche primarie Vp e secondarie Vs, dal piano campagna sino ad una profondità pari a 30 m (Gasperini & Signanini, 1983). Le prove sismiche Down-Hole vengono eseguite con lo scopo di misurare la velocità delle onde dirette che si propagano dalla superficie in profondità. Il terreno viene energizzato in superficie, in prossimità di testa-foro, e la registrazione avviene in foro grazie ad un geofono triassiale ancorato a profondità crescenti. Tale geofono registra gli spostamenti, tradotti sotto forma di impulsi elettrici, lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x, y, z). Le onde sismiche vengono generate energizzando il terreno in direzione verticale e in direzione trasversale (parallelamente al suolo). Nel primo caso, verranno generate prevalentemente onde compressive (onde P) che si propagano in profondità e vengono registrate al meglio dal geofono verticale (asse z). Nel secondo caso, verranno generate prevalentemente onde di taglio (onde S) visibili principalmente sui geofoni con l'asse posto orizzontalmente (assi x e y). Le onde di taglio, avendo velocità inferiori rispetto a quelle compressive, solitamente intorno al 60 - 70%, raggiungono il geofono quando il primo fronte d'onda compressiva è già transitato. Questo passaggio, purtroppo, costituisce un disturbo per la misura delle onde trasversali, in quanto i geofoni orizzontali si trovano

ancora in movimento all'arrivo dell'onda S. Per migliorare il rapporto fra l'energia dell'onda compressiva P e l'energia dell'onda trasversale S a favore di quest'ultima, si realizza una doppia energizzazione orizzontale con verso opposto. La sottrazione delle forme d'onda relative a queste due acquisizioni riduce sensibilmente la componente compressiva presente nel segnale. Tali prove forniscono una dettagliata stratigrafia di velocità delle onde compressive (Vp) e delle onde di taglio (Vs).

La distanza tra le sorgenti di onde P e Sh ed il boccaforo è pari a 2 metri. Una volta raggiunta la profondità di prova (fondo foro), i ricevitori vengono assicurati alla parete del tubo di rivestimento mediante dei pistoni azionati da un compressore; la sorgente viene colpita in senso verticale per generare onde di compressione P e lateralmente per generare onde di taglio S facendo partire, per mezzo del trigger, la registrazione del segnale.

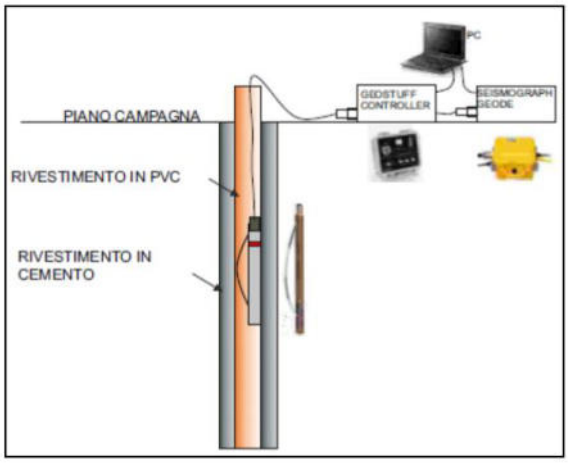


Figura 2: Schema di acquisizione prova Down – Hole

4 RISULTATI DELLE INDAGINI

Per la determinazione del parametro Vs_{30eq} e la classificazione della categoria sismica dei suoli di fondazione, ai sensi delle NTC 2018, sono state eseguite n.2 prove sismiche di tipo MASW, denominate con sigla identificativa MASW1 e MASW 2, ed n.1 prova sismica di tipo Down-Hole all'interno del foro di sondaggio SI_5.

La normativa Norme tecniche per le costruzioni afferma che ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale. In mancanza di tali studi si può utilizzare la classificazione dei terreni descritta di seguito. La classificazione deve riguardare i terreni compresi tra il piano di imposta delle fondazioni degli edifici ed un substrato rigido di riferimento, (bedrock) ovvero quelli presenti ad una profondità commisurata all'estensione ed all'importanza dell'opera.

Per tener conto delle condizioni stratigrafiche la Normativa Tecnica definisce cinque categorie di sottosuolo denominate A, B, C, D, ed E. La categoria di sottosuolo viene determinata sulla base della velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio (Vs) ottenuta da specifiche prove in sito, tra cui appunto le indagini MASW e Down-Hole.

Si identificano, quindi, le seguenti le categorie del suolo di fondazione:

Categoria	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 fina 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 fina 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 fina 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.

Figura 3: Tab.3.2. II NTC 2018 – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, Vs_{eq} (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i}^{n}\left(\frac{h_i}{V_{si}}\right)}$$

4.1 MASW 1

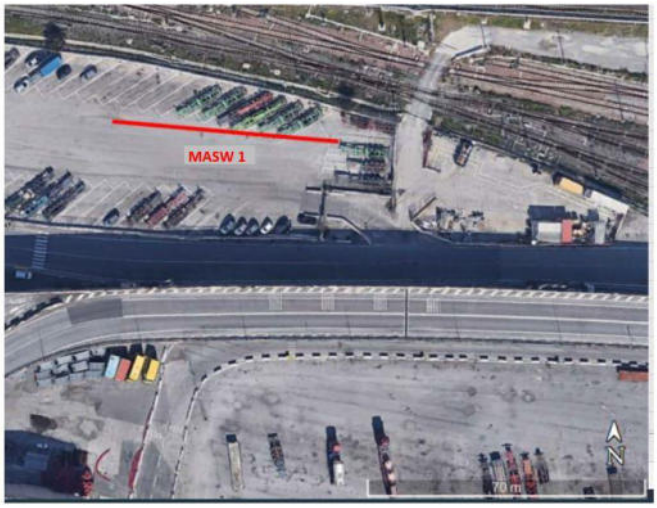
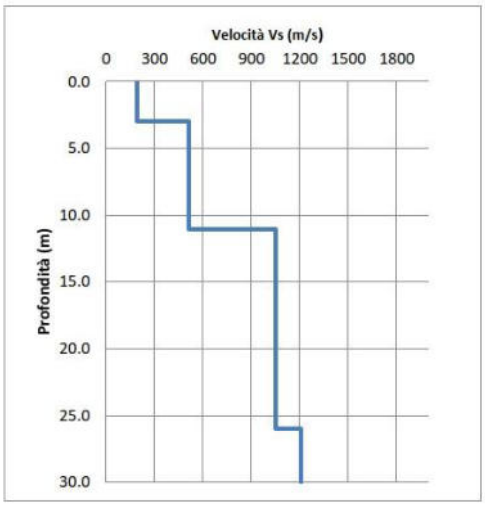


Figura 4: Ubicazione della prova MASW 1

L'indagine di sismica superficiale eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 m di profondità. L'indagine MASW 1 mostra un graduale aumento delle velocità con la profondità nei primi metri da p.c. dove le velocità passano dai 190.00 m/s a 3 m da p.c. ai 510.00 m/s a 8.1 m da p.c. Dopo gli 8.1 m si ha un brusco aumento delle velocità, che raggiungono i 1050.00 m/s intercettando il substrato sismico. A 26 m da p.c. si hanno valori di velocità di 1210.00 m/s. Nel caso specifico la Vs_{eq} è risultata essere pari a **350 m/s**, si tratta quindi di un suolo di tipo **E**.



MASW 1						
Sismostrato	**Profondità**		**Spessore**	**Vs (m/s)**		
1	0.00	3.00	3.00	190.00	$Vs_{eq(0-11.1)}$	**350 m/s**
2	3.00	11.10	8.10	510.00		
3	11.10	26.00	14.90	1050.00	**Suolo**	**E**
4	26.00	inf.	inf.	1210.00		

Figura 5: Andamento delle Vs con la profondità e tabella riassuntiva dei valori ottenuti per la prova MASW 1

4.2 MASW 2

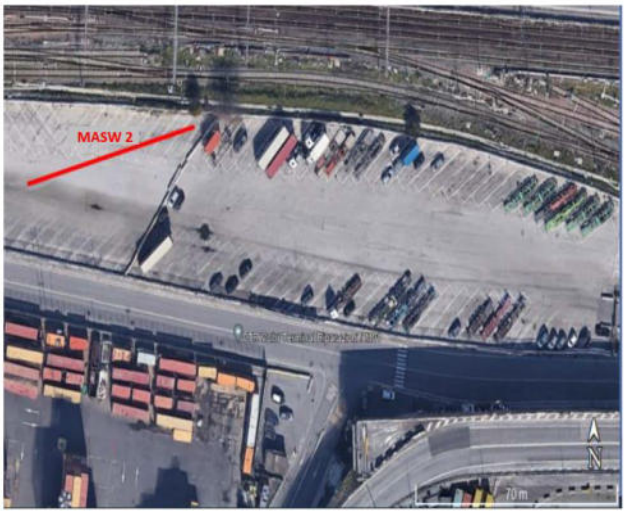
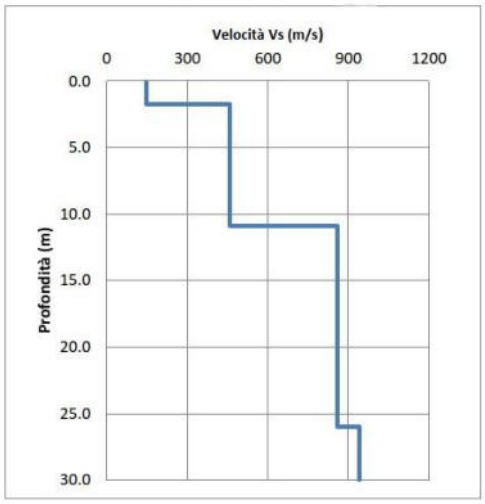


Figura 6: Figura 7: Ubicazione della prova MASW 2

L'indagine di sismica superficiale eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 m di profondità. L'indagine MASW 2 mostra un graduale aumento delle velocità con la profondità nei primi metri da p.c. dove le velocità passano dai 150.00 m/s a 1.7 m da p.c. ai 460.00 m/s a 9.2 m da p.c. Dopo i 9.2 m si ha un brusco aumento delle velocità, che raggiungono gli 860.00 m/s intercettando il substrato sismico. A 26 m da p.c. si hanno valori di velocità di 940.00 m/s. Nel caso specifico la Vs_{eq} è risultata essere pari a **348 m/s**, si tratta quindi di un suolo di tipo **E**.



MASW 2						
Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)		
1	0.00	1.70	1.70	150.00	$Vs_{eq(0-10.9)}$	348 m/s
2	1.70	10.90	9.20	460.00		
3	10.90	26.00	15.10	860.00	Suolo	E
4	26.00	inf.	inf.	940.00		

Figura 8: Andamento delle Vs con la profondità e tabella riassuntiva dei valori ottenuti per la prova MASW 2

4.3 DH SI_5

L'indagine Down Hole, profonda 25 m dal p.c., mostra un graduale aumento delle velocità in onda P e Sh nei primi dieci metri, i quali secondo l'indagine geognostica precedentemente eseguita, sono caratterizzati dalla presenza di terreni rimaneggiati, sabbie limose e limi argillosi. Alla profondità di 10 m dal p.c. si registra un brusco aumento delle velocità P e S in corrispondenza del basamento sismico caratterizzato da metacalcari scistosi. Attraverso questa indagine si è potuto calcolare la Vs_{eq} che è risultata essere pari a **333 m/s**.

Pertanto, in accordo con le indagini MASW descritte in precedenza, colloca i terreni investigati nella categoria di suolo **E.**

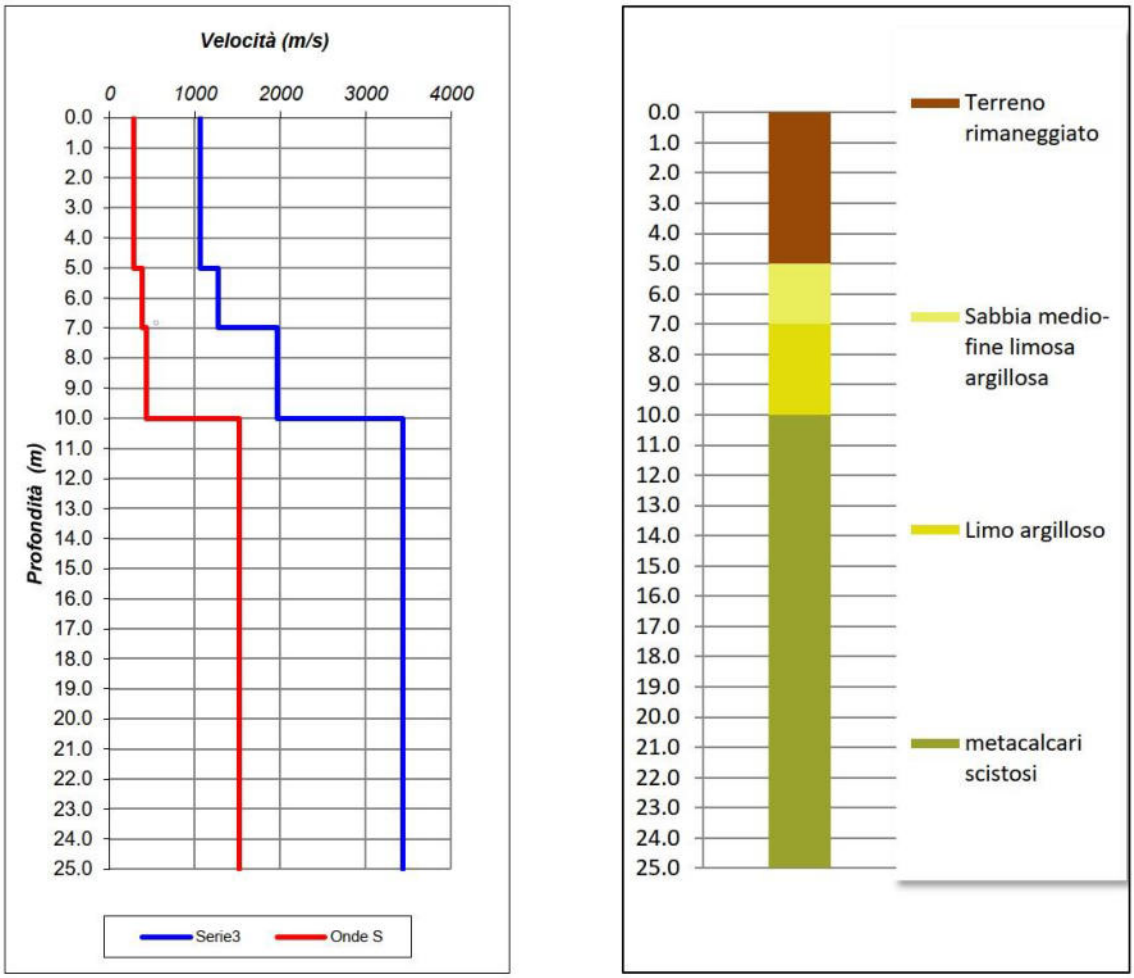


Figura 9: Profilo sismo stratigrafico individuato dalla prova DH SI_5

ALLEGATO 1 - Report indagini geognostiche e prove in situ

COMMITTENTE:

RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

PROGETTAZIONE:

ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

CUP: F81H92000000008

S.O. GEOLOGIA TECNICA

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

PROGETTO UNICO TERZO VALICO DEI GIOVI E NODO FERROVIARIO DI GENOVA
PRG DI GENOVA VOLTRI

REPORT INDAGINI GEOFISICHE

SCALA: -

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
NG2J	00	F	69	IG	GE0005	001	A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	T. Vicenzetto	Settembre 2022	G. Rossi	Settembre 2022	G. Fadda	Settembre 2022	M. Comedini Settembre 2022

ITALFERR Dott. Geol. Massimo Comedini Ordine dei Geologi del Lazio n.1012

File: NG2J00F69IGGE0005001A.doc		n. Elab.: X

INDICE

1 PREMESSA 3

2 METODOLOGIE DI INDAGINE 4

3 INDAGINE SISMICA CON METODO MASW ATTIVO 5

4 RISULTATI PROSPEZIONI MASW 6

5 INDAGINE SISMICA CON METODO HVSR 30

6 RISULTATI INDAGINE SISMICA PASSIVA (HVSR) 34

1 PREMESSA

La presente relazione illustra e riassume i risultati delle indagini geofisiche eseguite a supporto del progetto di fattibilità tecnica ed economica per il PRG di Genova Voltri, rientrante nel perimetro del progetto "Potenziamento Infrastrutturale Genova Voltri-Genova Brignole", a sua volta ricompreso nel più esteso "Progetto Unico del Terzo Valico dei Giovi e Nodo di Genova".

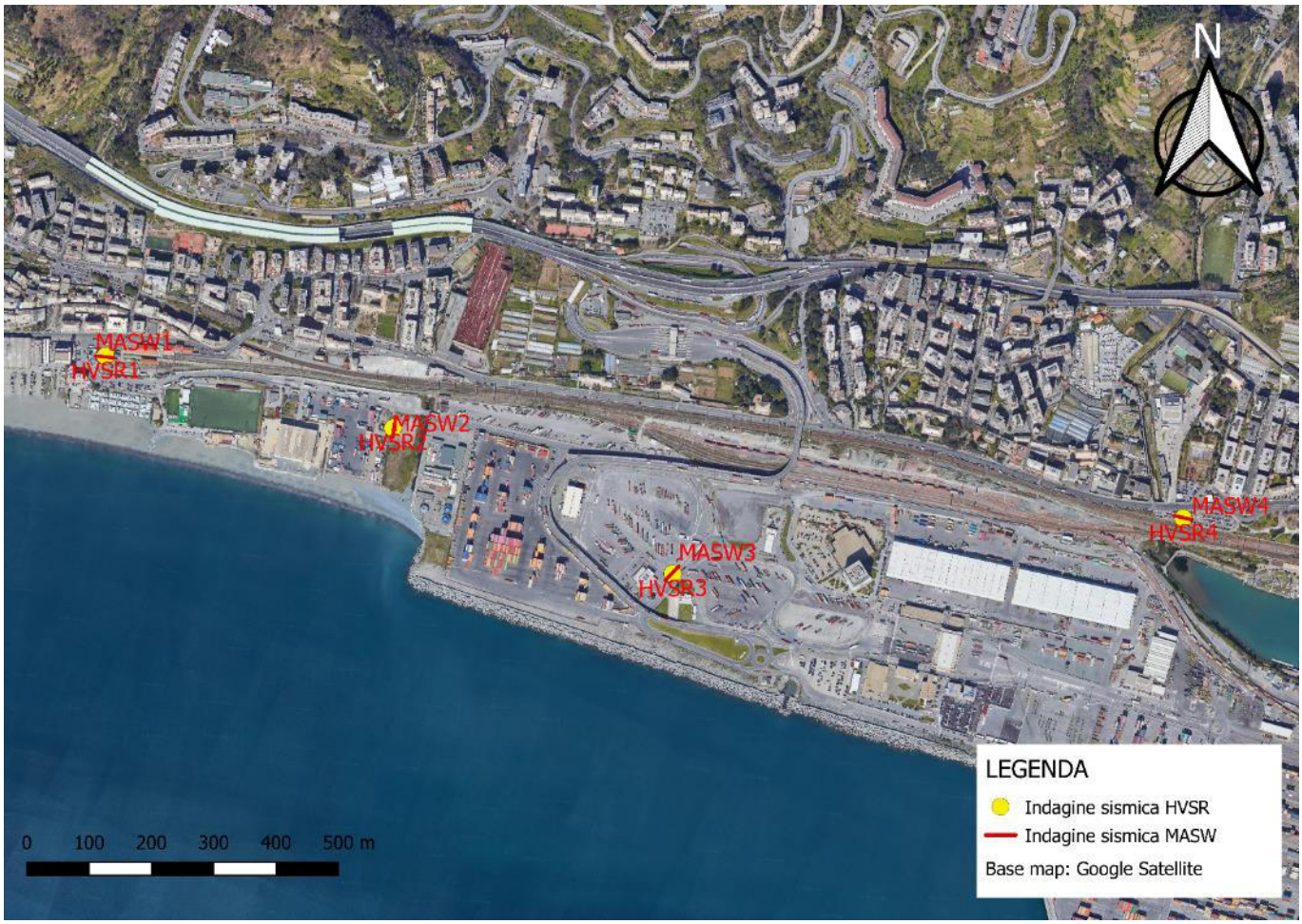


Figura 1: Ubicazione delle aree di indagine (da Google Earth): indagini masw (linee rosse), HVSR (pallini gialli)

2 METODOLOGIE DI INDAGINE

La campagna di misure geofisiche condotta è consistita in indagini sismiche di superficie con metodologia MASW e HVSR.

Di seguito si riporta una breve descrizione dei principi base, delle tecniche d'indagine e i relativi risultati.



Figura 2: Strumentazione impiegata per le prove di superficie mediante metodologia MASW (in alto a sinistra) e HVSR (in alto a destra).

3 INDAGINE SISMICA CON METODO MASW ATTIVO

Lo scopo della prova MASW è quello di ricostruire il profilo di rigidezza del sito tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di superficie di Rayleigh con un successivo processo d'inversione, attraverso il quale è fornita una stima indiretta della distribuzione delle Vs (velocità di propagazione delle onde di taglio). La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione dinamica verticale in un determinato campo di frequenze e nel registrare tramite uno stendimento lineare di sensori (geofoni) le vibrazioni prodotte, in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.

Il profilo che si ricava da questo tipo di indagine è un profilo monodimensionale Vs/Profondità che generalmente, in presenza di stratigrafie costituite da orizzonti piano paralleli, può essere attribuito convenzionalmente alla stratigrafia relativa al centro della stesa, in quanto si assume che lungo tutto lo sviluppo dello stendimento la stratigrafia rimanga invariata.

In riferimento all'acquisizione di onde S con tecnica di sismica attiva (prova MASW), sono state adottate le seguenti caratteristiche:

- 24 geofoni verticali (frequenza di 4,5 Hz);
- Spaziatura dei geofoni: variabile;
- Distanza energizzazioni:1-2-3-4-5 volte la spaziatura;
- Sorgente: massa da 8 kg;
- Lunghezza registrazione del singolo evento: 2000 millisecondi;
- Campionamento del segnale: 1 millisecondi.

STRUMENTAZIONI UTILIZZATE

N°	Strumentazione per prove sismiche attive di superficie (MASW)
1	Sismografo Echo 24-2010 prodotto dalla Ambrogeo s.r.l. di Piacenza (PC)
1	Toughbook Panasonic CF-19
24	geofoni verticali con frequenza 4,5 Hz (Geospace)
24	geofoni verticali con frequenza 40 Hz (Hueihai Sunfull)
24	geofoni orizzontali con frequenza 12 Hz (Hueihai Sunfull)
1	cavo di collegamento per geofoni 24 take-out/1.0 metri
1	massa battente del peso di 8 kg
1	linea trigger con dispositivo hammer-switch

4 RISULTATI PROSPEZIONI MASW

Masw 1

L'indagine di sismica superficiale eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 m di profondità.

Di seguito si riportano le immagini relative all'analisi ω-p (trasformata τ-p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

L'inversione della curva di dispersione è realizzata con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

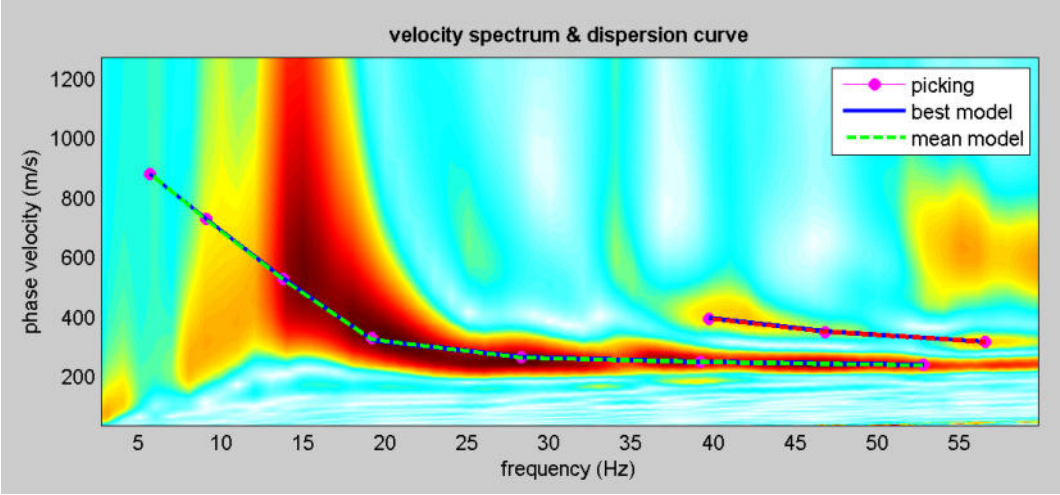


Figura 3: Modo fondamentale e altro modo relativi al segnale sismico registrato in situ.

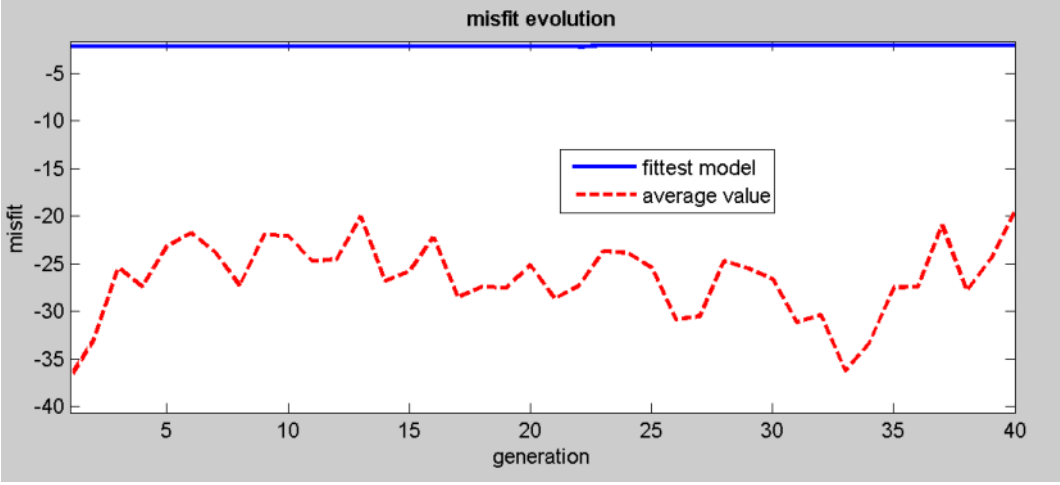


Figura 4: Confronto tra la curva di disperzione sperimentale e quella teorica.

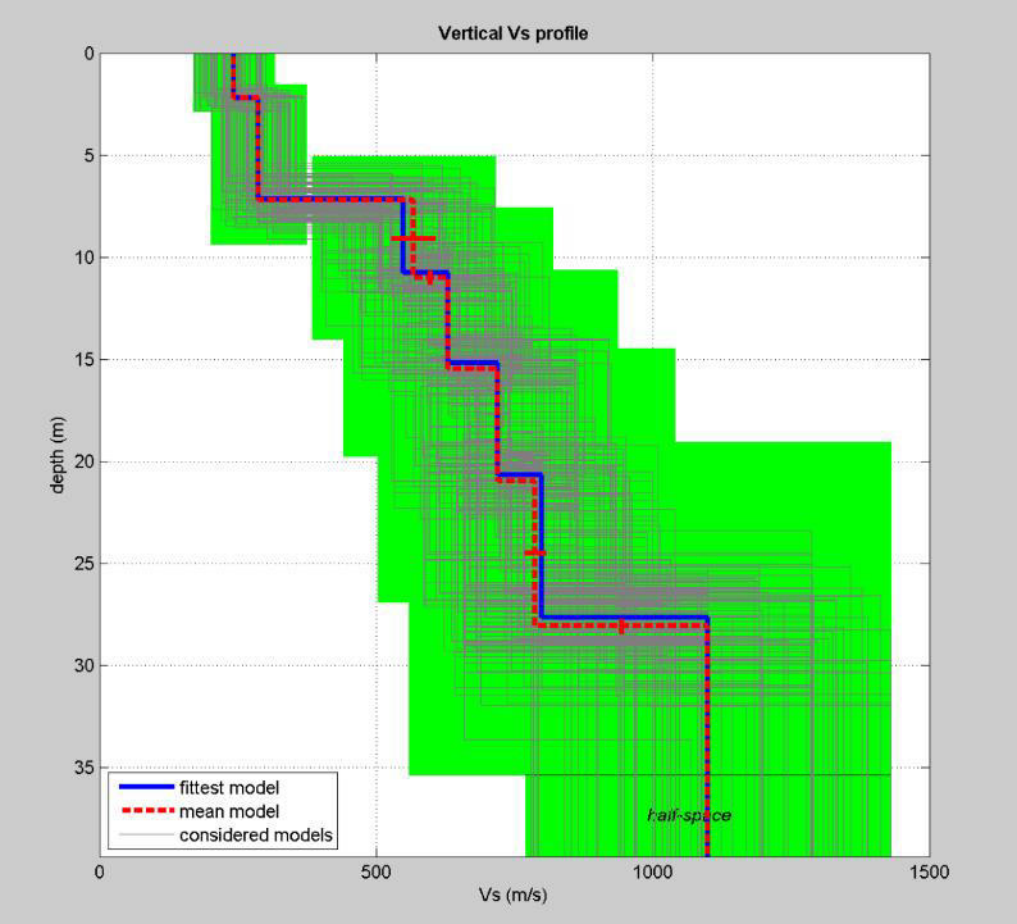


Figura 5: Modello risultante dall'inversione dei dati.

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni in linea con interdistanza di 1.0 m.

La Vs eq è stata ricavata dalla formula:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum \frac{hi}{vi}}$$

Nel caso specifico è risultato:

Vs,eq = 493 m/s

Si tratta quindi di un suolo di **tipo B** (Ss = 1.2 secondo le NTC 2018).

In allegato, vengono inoltre fornite tabelle recanti la classificazione del sito e lo spettro di risposta elastico relativo, ricavato considerando una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni). Tale condizione corrisponde allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (secondo NTC).

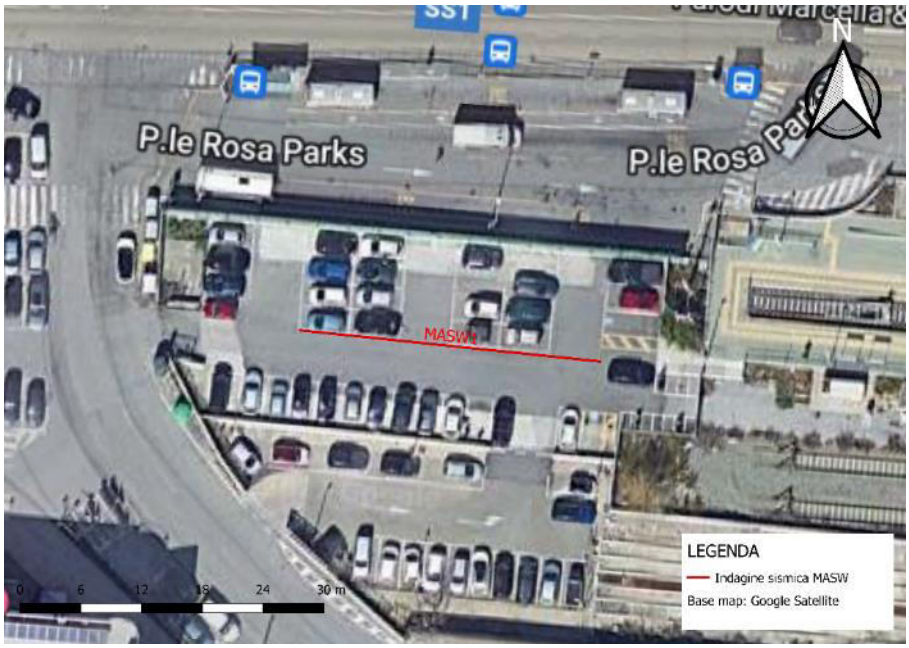


Figura 6: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova Masw 1.



Figura 7: Foto relativa all'esecuzione della prova Masw 1.

CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW1

Località Genova (GE)

Coordinate LAT 44.428162 LONG 8.755240 (WGS84 gradi decimali)

Metodo di indagine MASW

Strumentazione utilizzata Sismografo Echo 24-2010 a 24 Canali, 24 bits

Metodo di energizzazione Mazza da 8 kg

Geometria stendimento: 24 geofoni - interasse 1.0 m

RISPOSTA SISMICA LOCALE

(si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori del Coeff. Cc e del coeff di amplificazione S)

Categorie di sottosuolo di fondazione:

		Ss	Cc	$S=S_S*S_T$
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	**1.2**	**1.38**	1.2
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.			

I parametri a/g, F_0 e T^* vengono forniti dalla normativa

Categorie topografiche

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°	1	
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°	1.2	valore alla sommità del pendio
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15°≤ i ≤ 30°	1.2	valore della cresta del rilievo
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°	1.4	valore della cresta del rilievo

Le sovraesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO @ 5% SMORZAMENTO – COMP. ORIZZONTALE (NTC 2018)

Possibilità di superamento del 10% in 50 anni

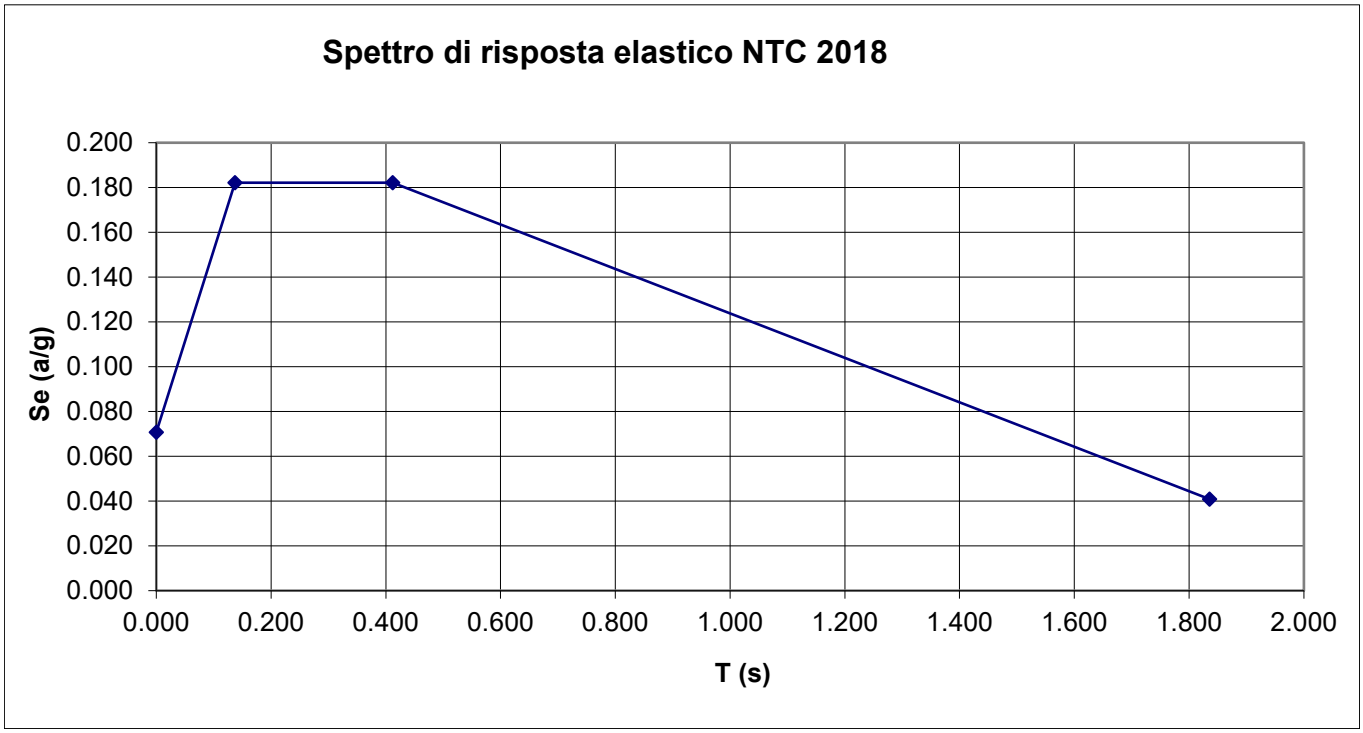
$T_0 = ag*S$

$Tb=Tc/3$

$Tc=Cc*T_{C^*}$

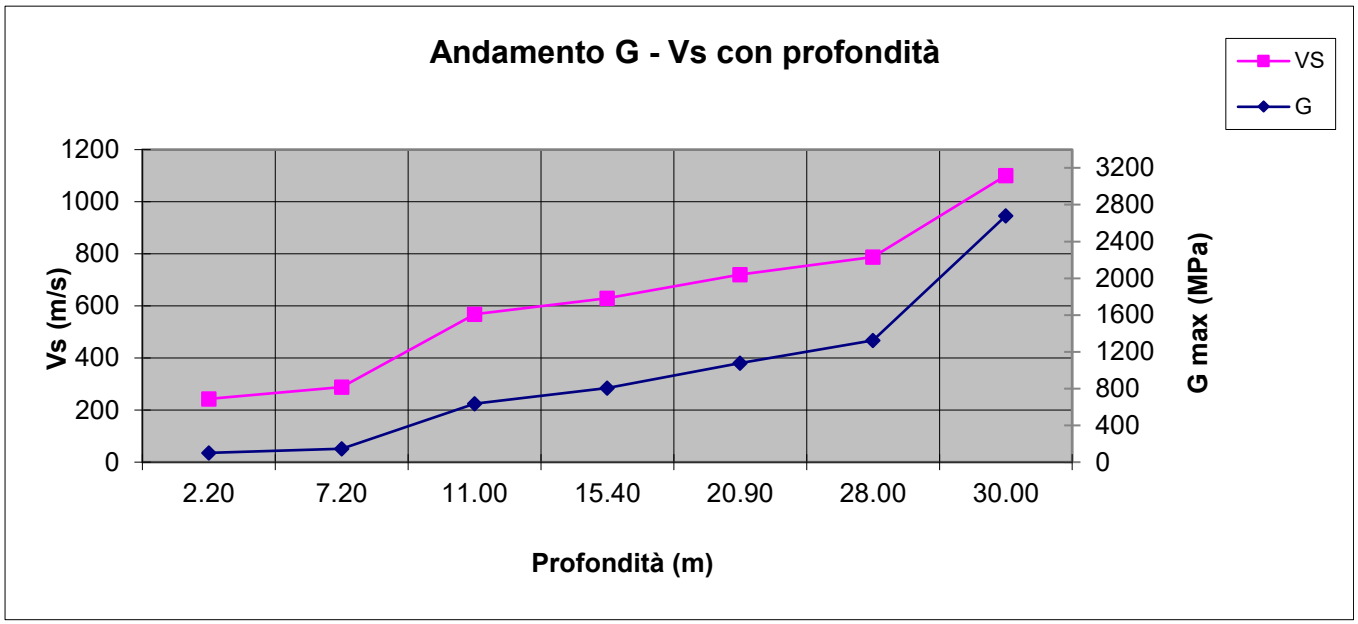
$Td=4.0*a_g/g+1.6$

Ascisse (s)	Ordinate (g)
0.000	0.071
0.137	0.182
0.412	0.182
1.836	0.041



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
2.20	1.72	243	101
7.20	1.76	288	146
11.00	1.97	568	636
15.40	2.04	630	808
20.90	2.08	720	1077
28.00	2.13	788	1325
30.00	2.22	1100	2680

$V_{s,eq}$ = 493 m/s


Andamento G - Vs con profondità
VS
G
1200
1000
800
600
400
200
0
Vs (m/s)
3200
2800
2400
2000
1600
1200
800
400
0
G max (MPa)
2.20
7.20
11.00
15.40
20.90
28.00
30.00
Profondità (m)

Masw 2

L'indagine di sismica superficiale eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 m di profondità.

Di seguito si riportano le immagini relative all'analisi ω-p (trasformata τ-p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

L'inversione della curva di dispersione è realizzata con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

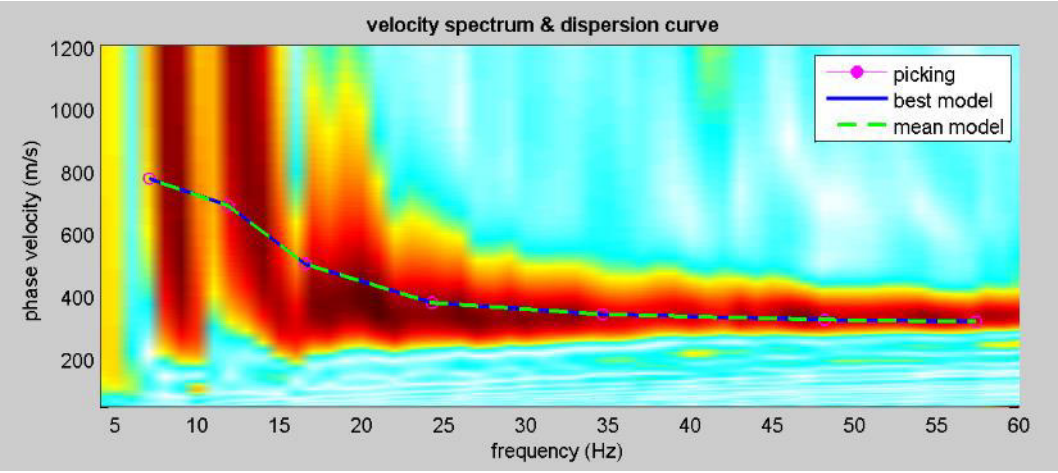


Figura 8: Modo fondamentale e altro modo relativi al segnale sismico registrato in situ.

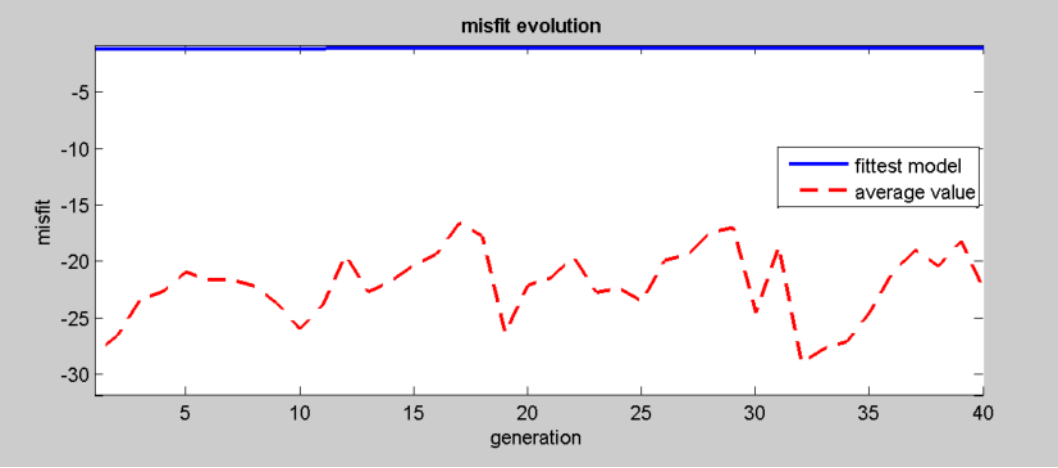


Figura 9: Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

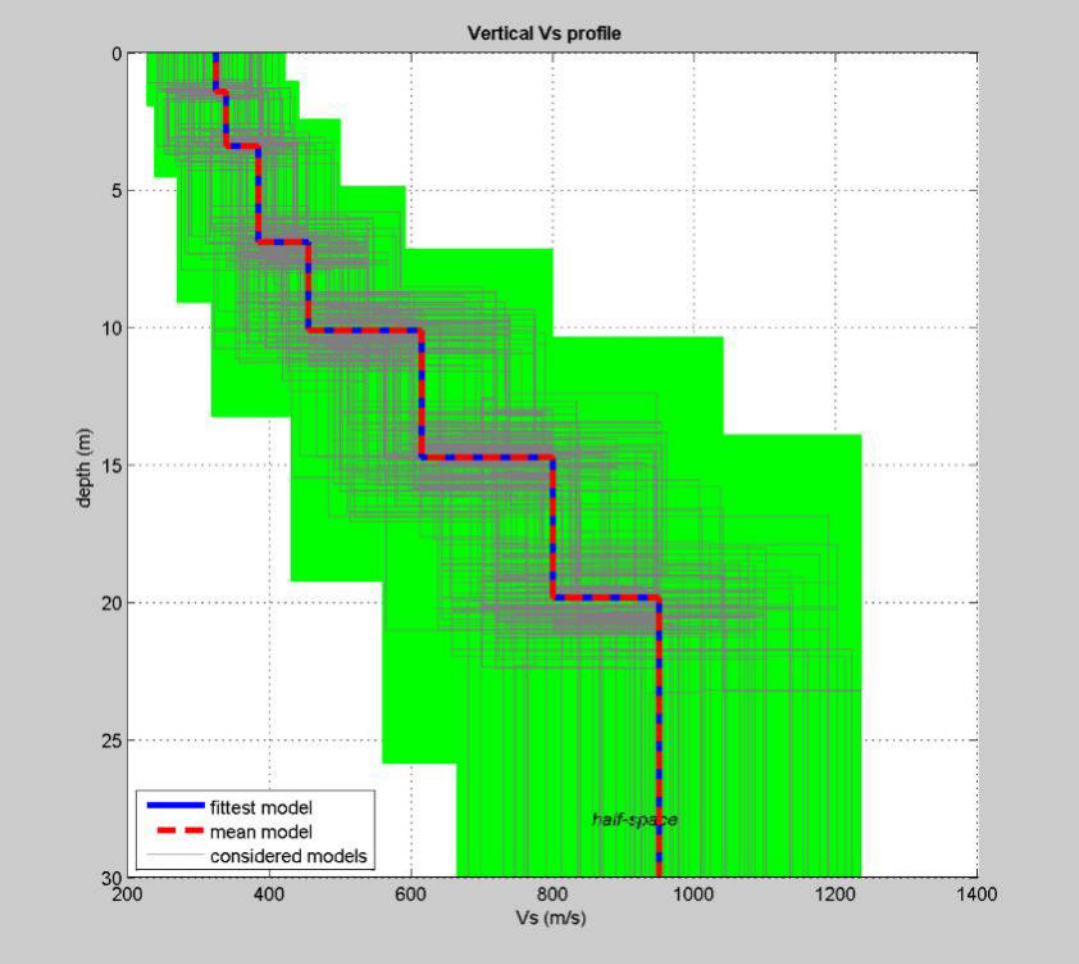


Figura 10: Modello risultante dall'inversione dei dati.

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni in linea con interdistanza interdistanza di 1.0 m.

La Vs eq è stata ricavata dalla formula:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum hi/vi}$$

Nel caso specifico è risultato:

Vs,eq = 435 m/s

Si tratta quindi di un suolo di **tipo B** (Ss = 1.2 secondo le NTC 2018).

In allegato, vengono inoltre fornite tabelle recanti la classificazione del sito e lo spettro di risposta elastico relativo, ricavato considerando una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni). Tale condizione corrisponde allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (secondo NTC).



Figura 11: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova Masw 2.

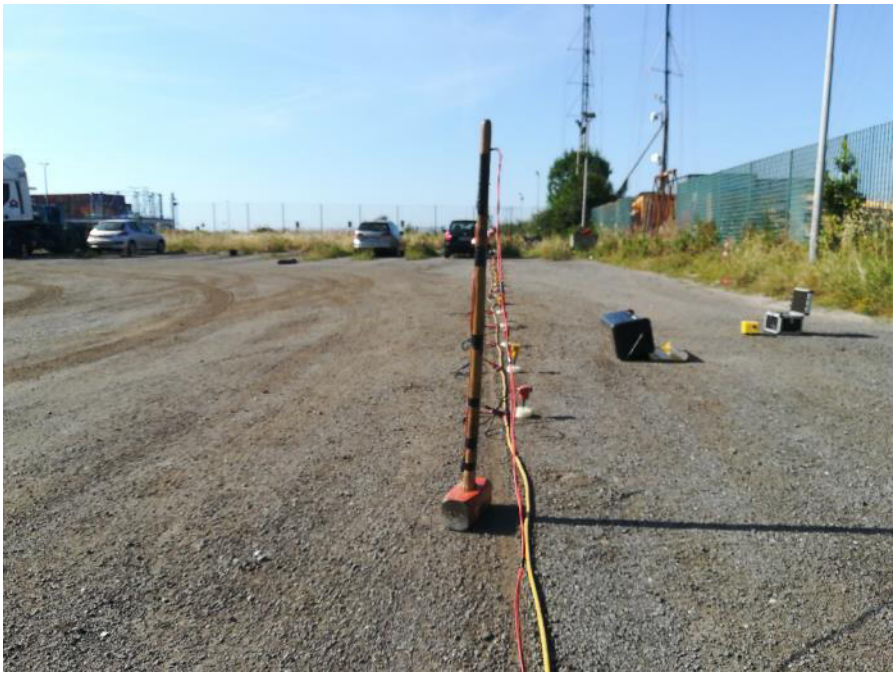


Figura 12: Foto relativa all'esecuzione della prova Masw 2.

CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW2

Località Genova (GE)

Coordinate LAT 44.427434 LONG 8.761237 (WGS84 gradi decimali)

Metodo di indagine MASW

Strumentazione utilizzata Sismografo Echo 24-2010 a 24 Canali, 24 bits

Metodo di energizzazione Mazza da 8 kg

Geometria stendimento: 24 geofoni - interasse 1.0 m

RISPOSTA SISMICA LOCALE

(si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori del Coeff. Cc e del coeff di amplificazione S)

Categorie di sottosuolo di fondazione:

		Ss	Cc	$S=S_S*S_T$
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	**1.2**	**1.39**	1.2
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.			

I parametri a/g, F_0 e T^* vengono forniti dalla normativa

Categorie topografiche

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°	1	
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°	1.2	valore alla sommità del pendio
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15°≤ i ≤ 30°	1.2	valore della cresta del rilievo
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°	1.4	valore della cresta del rilievo

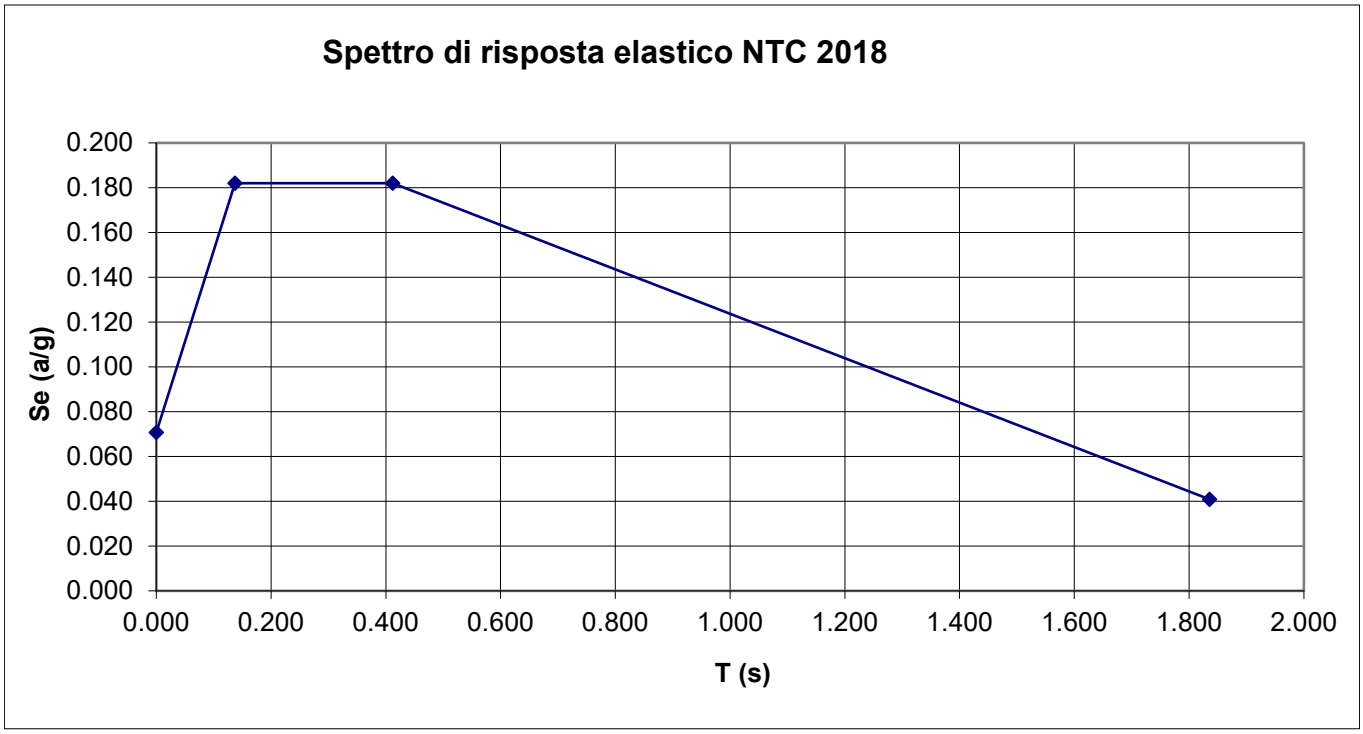
Le sovraesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO @ 5% SMORZAMENTO – COMP. ORIZZONTALE (NTC 2018)

Possibilità di superamento del 10% in 50 anni

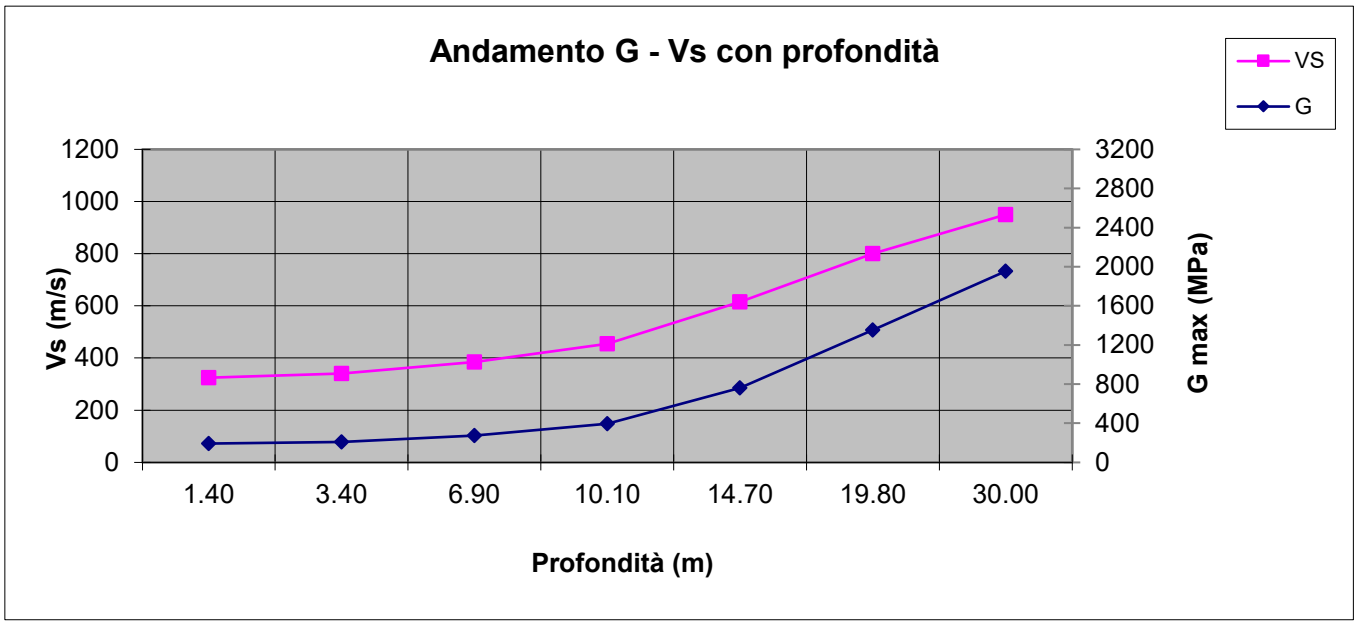
$T_0 = ag*S$
$Tb=Tc/3$
$Tc=Cc*T_{C^*}$
$Td=4.0*a_g/g+1.6$

Ascisse (s)	Ordinate (g)
0.000	0.071
0.137	0.182
0.412	0.182
1.836	0.041



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
1.40	1.80	325	191
3.40	1.81	340	209
6.90	1.85	385	274
10.10	1.91	455	395
14.70	2.01	615	761
19.80	2.11	800	1352
30.00	2.17	950	1954

$V_{s,eq}$ =435 m/s


Andamento G - Vs con profondità
VS
G
1200
1000
800
600
400
200
0
Vs (m/s)
3200
2800
2400
2000
1600
1200
800
400
0
G max (MPa)
1.40
3.40
6.90
10.10
14.70
19.80
30.00
Profondità (m)

Masw 3

L'indagine di sismica superficiale eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 m di profondità.

Di seguito si riportano le immagini relative all'analisi ω-p (trasformata τ-p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

L'inversione della curva di dispersione è realizzata con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

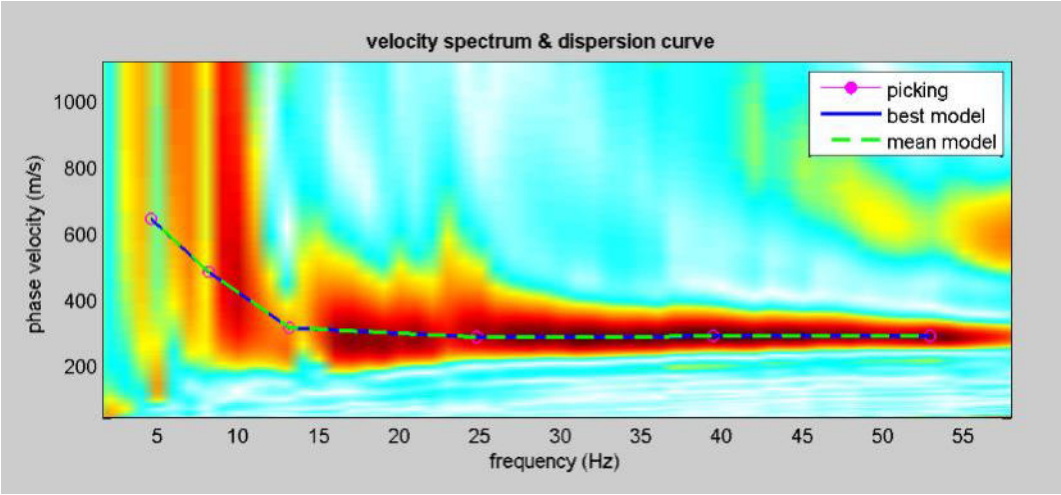


Figura 13: Modo fondamentale e altro modo relativi al segnale sismico registrato in situ.

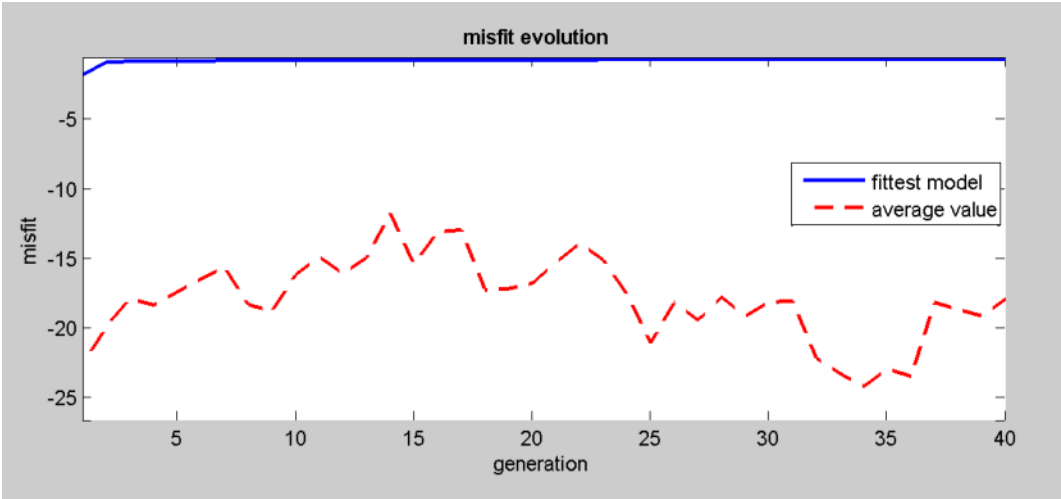


Figura 14: Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

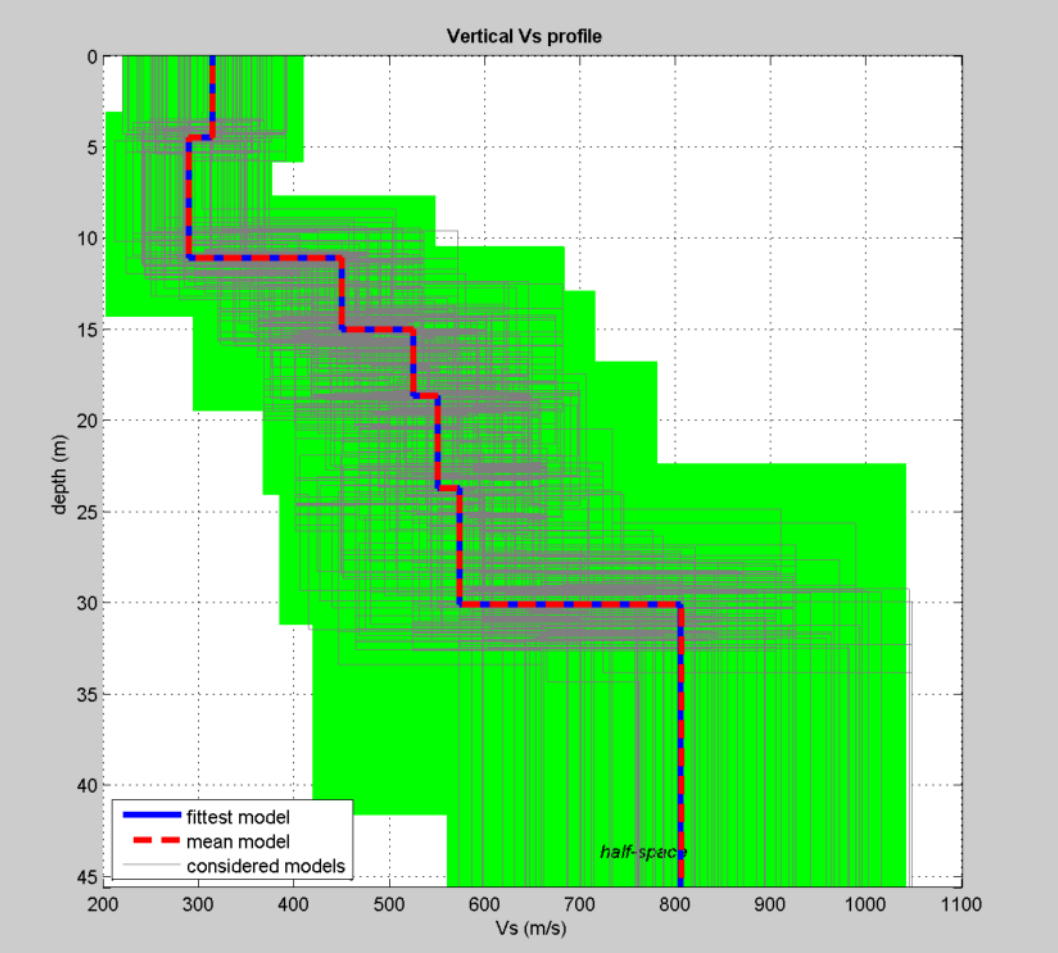


Figura 15: Modello risultante dall'inversione dei dati.

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni in linea con interdistanza di 1.0 m.

La Vs eq è stata ricavata dalla formula:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum hi/vi}$$

Nel caso specifico è risultato:

Vs,eq = 411.80 m/s

Si tratta quindi di un suolo di **tipo B** (Ss = 1.2 secondo le NTC 2018).

In allegato, vengono inoltre fornite tabelle recanti la classificazione del sito e lo spettro di risposta elastico relativo, ricavato considerando una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni). Tale condizione corrisponde allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (secondo NTC).

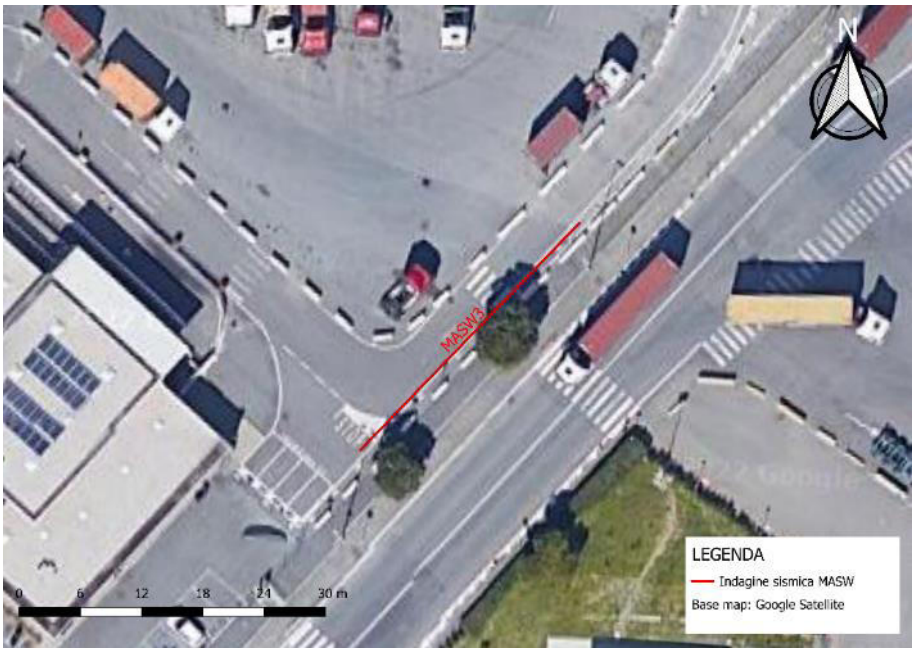


Figura 16: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova Masw 3.



Figura 17: Foto relativa all'esecuzione della prova Masw 3.

CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW3

Località Genova(GE)

Coordinate LAT 44.425556 LONG 8.766944 (WGS84 gradi decimali)

Metodo di indagine MASW

Strumentazione utilizzata Sismografo Echo 24-2010 a 24 Canali, 24 bits

Metodo di energizzazione Mazza da 8 kg

Geometria stendimento: 24 geofoni - interasse 1.0 m

RISPOSTA SISMICA LOCALE

(si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori del Coeff. Cc e del coeff di amplificazione S)

Categorie di sottosuolo di fondazione:

		Ss	Cc	$S=S_S*S_T$
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	**1.2**	**1.39**	1.2
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.			

I parametri a/g, F_0 e T^* vengono forniti dalla normativa

Categorie topografiche

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°	1	
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°	1.2	valore alla sommità del pendio
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15°≤ i ≤ 30°	1.2	valore della cresta del rilievo
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°	1.4	valore della cresta del rilievo

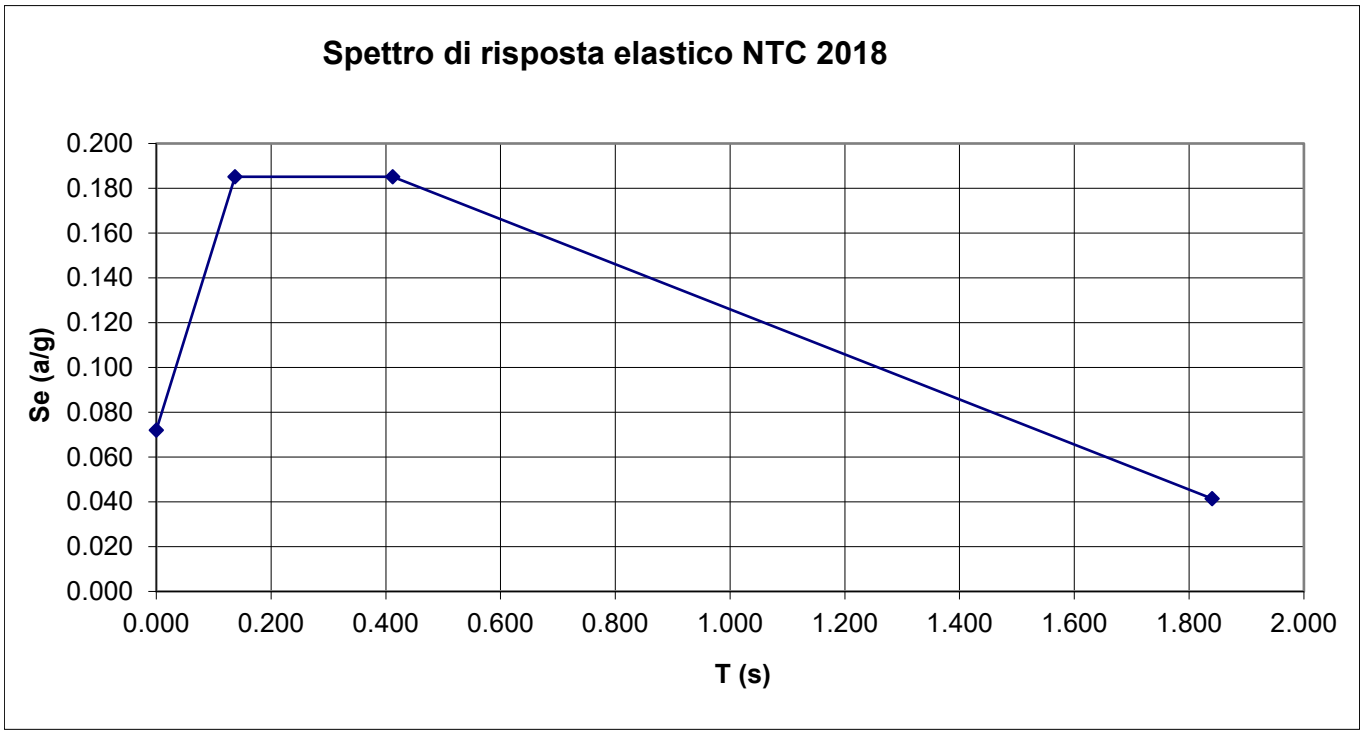
Le sovraesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO @ 5% SMORZAMENTO – COMP. ORIZZONTALE (NTC 2018)

Possibilità di superamento del 10% in 50 anni

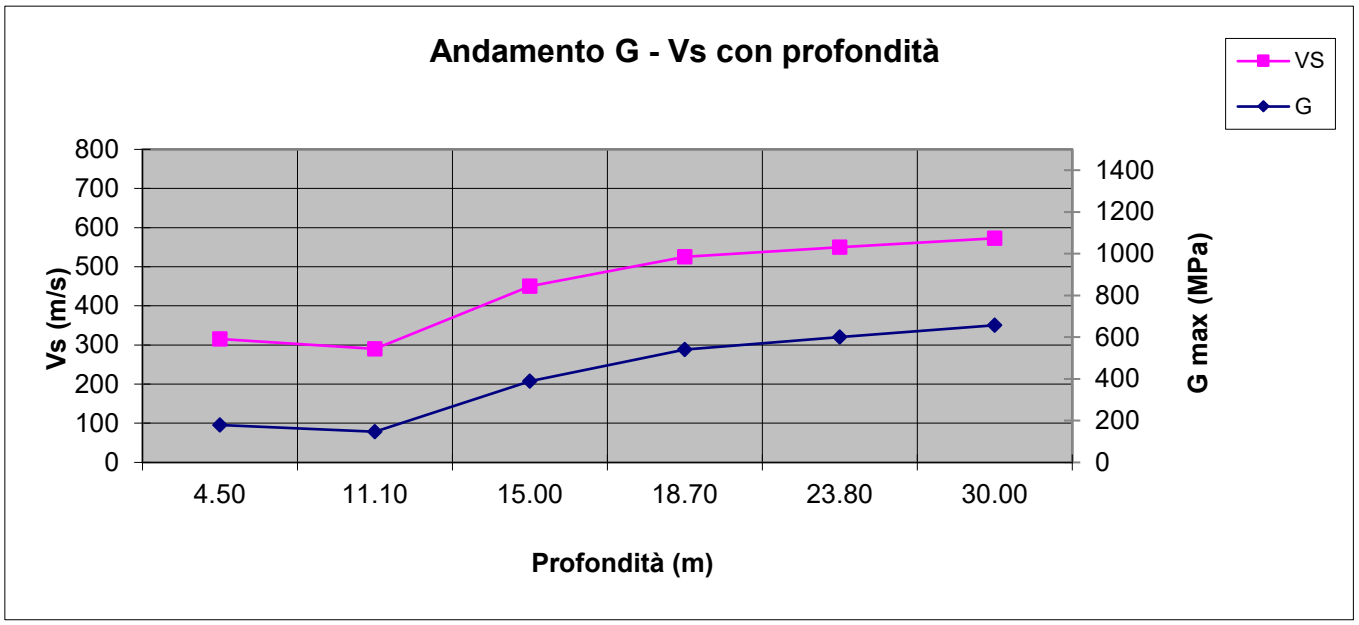
$T_0 = ag*S$
$Tb=Tc/3$
$Tc=Cc*T_{C^*}$
$Td=4.0*a_g/g+1.6$

Ascisse (s)	Ordinate (g)
0.000	0.072
0.137	0.185
0.412	0.185
1.840	0.041



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
4.50	315	1.80	179
11.10	290	1.75	147
15.00	450	1.92	388
18.70	525	1.96	541
23.80	550	1.98	600
30.00	573	2.00	657

$V_{s,eq}$ =411.8 m/s


Andamento G - Vs con profondità
VS
G
800
700
600
500
400
300
200
100
0
Vs (m/s)
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
G max (MPa)
4.50
11.10
15.00
18.70
23.80
30.00
Profondità (m)

Masw 4

L'indagine di sismica superficiale eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 m di profondità.

Di seguito si riportano le immagini relative all'analisi ω-p (trasformata τ-p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

L'inversione della curva di dispersione è realizzata con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

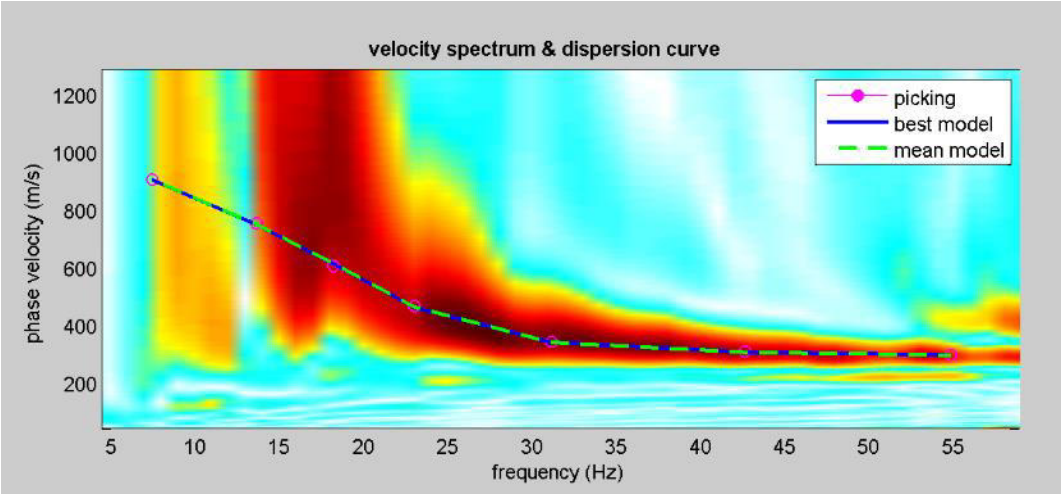


Figura 18: Modo fondamentale e altro modo relativi al segnale sismico registrato in situ.

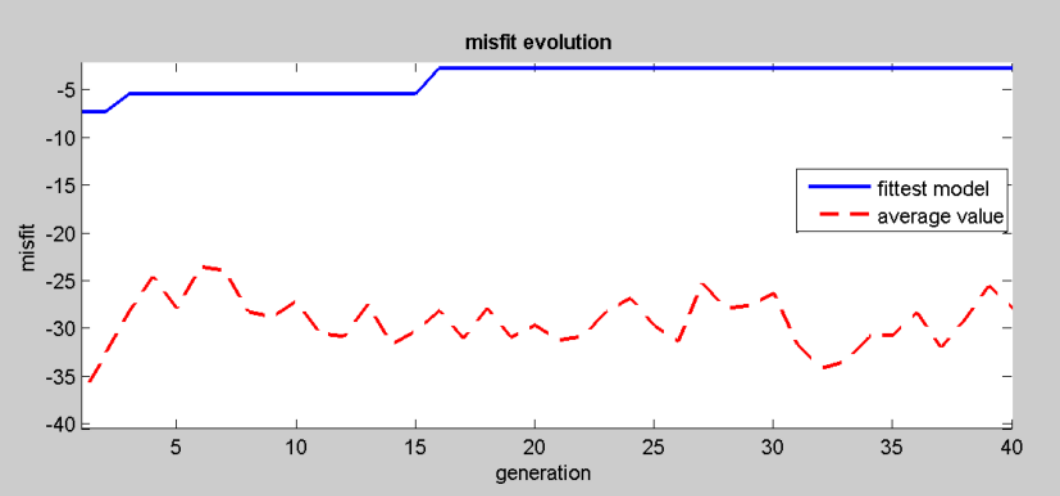


Figura 19: Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

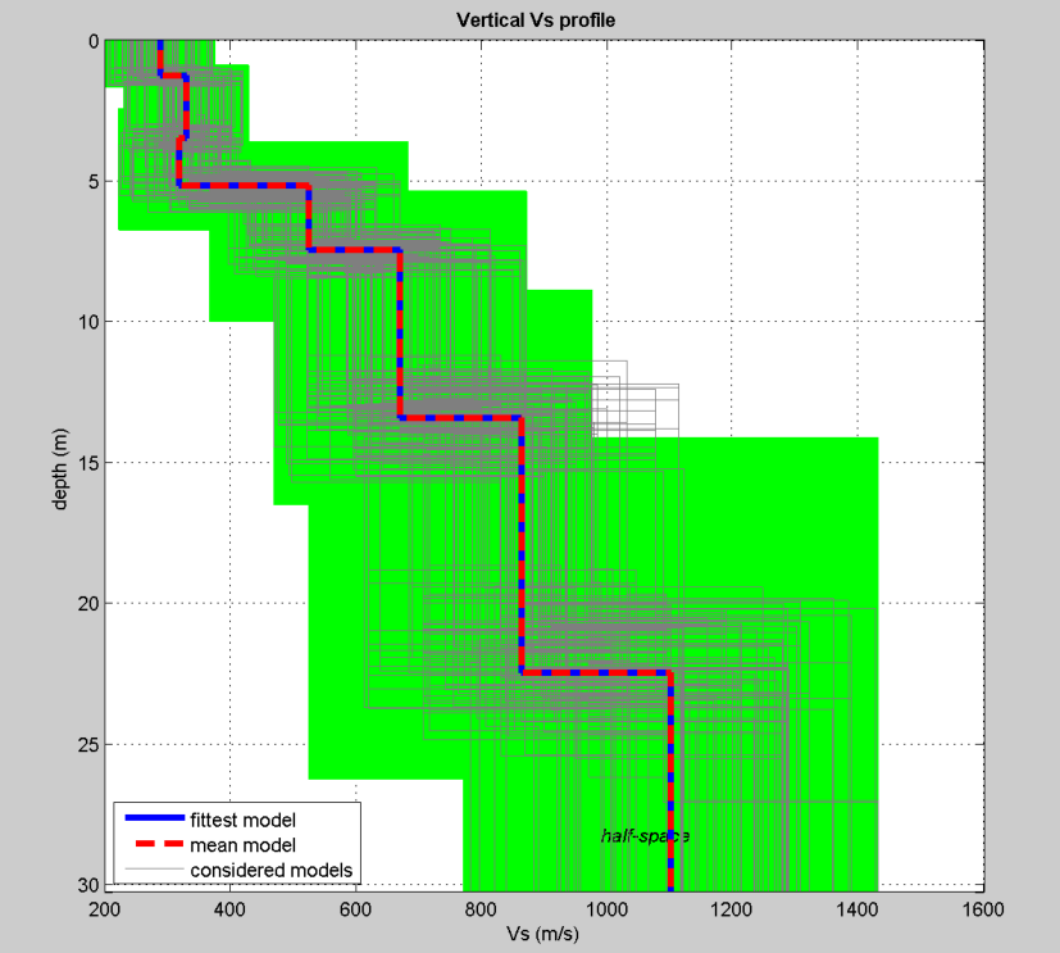


Figura 20: Modello risultante dall'inversione dei dati.

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni in linea con interdistanza di 1.0 m.

La Vs eq è stata ricavata dalla formula:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum \frac{hi}{vi}}$$

Nel caso specifico è risultato:

Vs,eq = 452 m/s

Si tratta quindi di un suolo di **tipo B** (Ss = 1.2 secondo le NTC 2018).

In allegato, vengono inoltre fornite tabelle recanti la classificazione del sito e lo spettro di risposta elastico relativo, ricavato considerando una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni). Tale condizione corrisponde allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (secondo NTC).



Figura 21: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova Masw 4.



Figura 22: Foto relativa all'esecuzione della prova Masw 4.

CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW4

Località Genova (GE)

Coordinate LAT 44.427040 LONG 8.777045 (WGS84 gradi decimali)

Metodo di indagine MASW

Strumentazione utilizzata Sismografo Echo 24-2010 a 24 Canali, 24 bits

Metodo di energizzazione Mazza da 8 kg

Geometria stendimento: 24 geofoni - interasse 1.0 m

RISPOSTA SISMICA LOCALE

(si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori del Coeff. Cc e del coeff di amplificazione S)

Categorie di sottosuolo di fondazione:

		Ss	Cc	$S=S_S*S_T$
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	**1.2**	**1.39**	1.2
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.			

I parametri a/g, F_0 e T^* vengono forniti dalla normativa

Categorie topografiche

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°	1	
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°	1.2	valore alla sommità del pendio
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15°≤ i ≤ 30°	1.2	valore della cresta del rilievo
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°	1.4	valore della cresta del rilievo

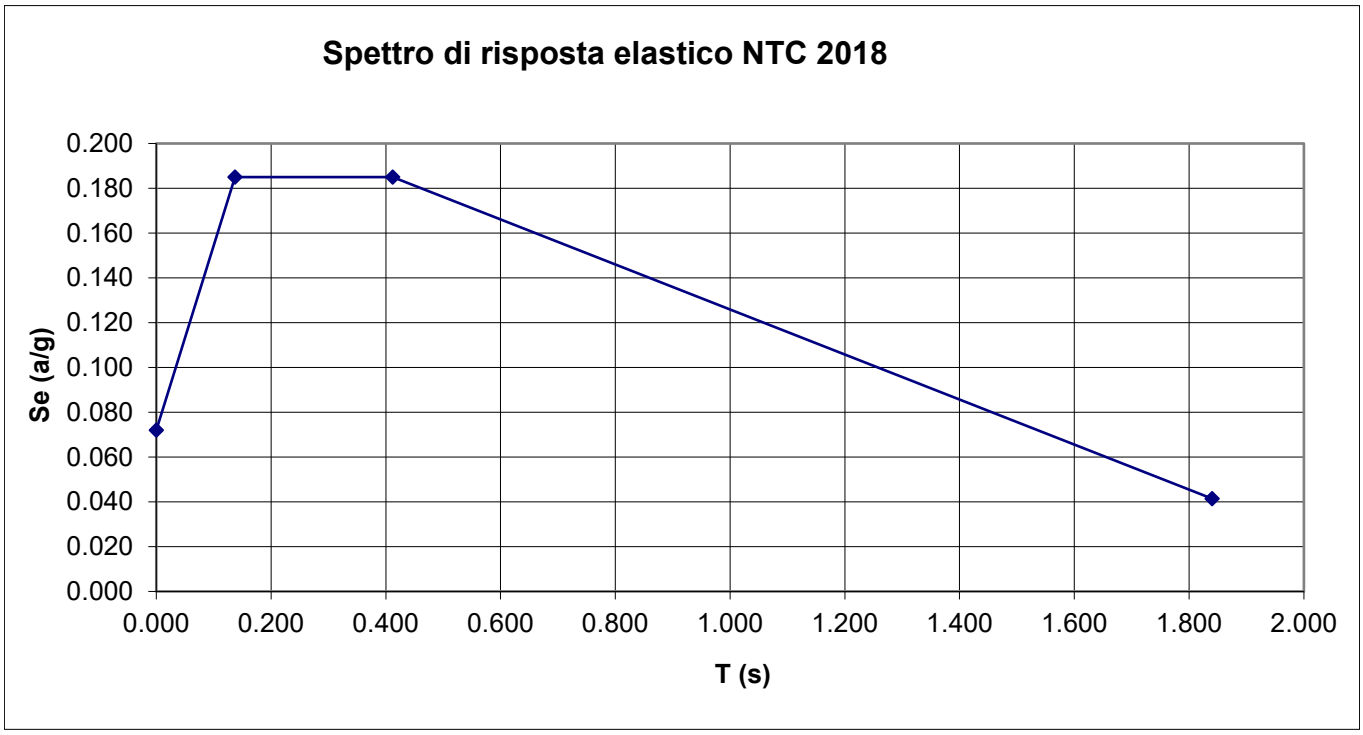
Le sovraesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO @ 5% SMORZAMENTO – COMP. ORIZZONTALE (NTC 2018)

Possibilità di superamento del 10% in 50 anni

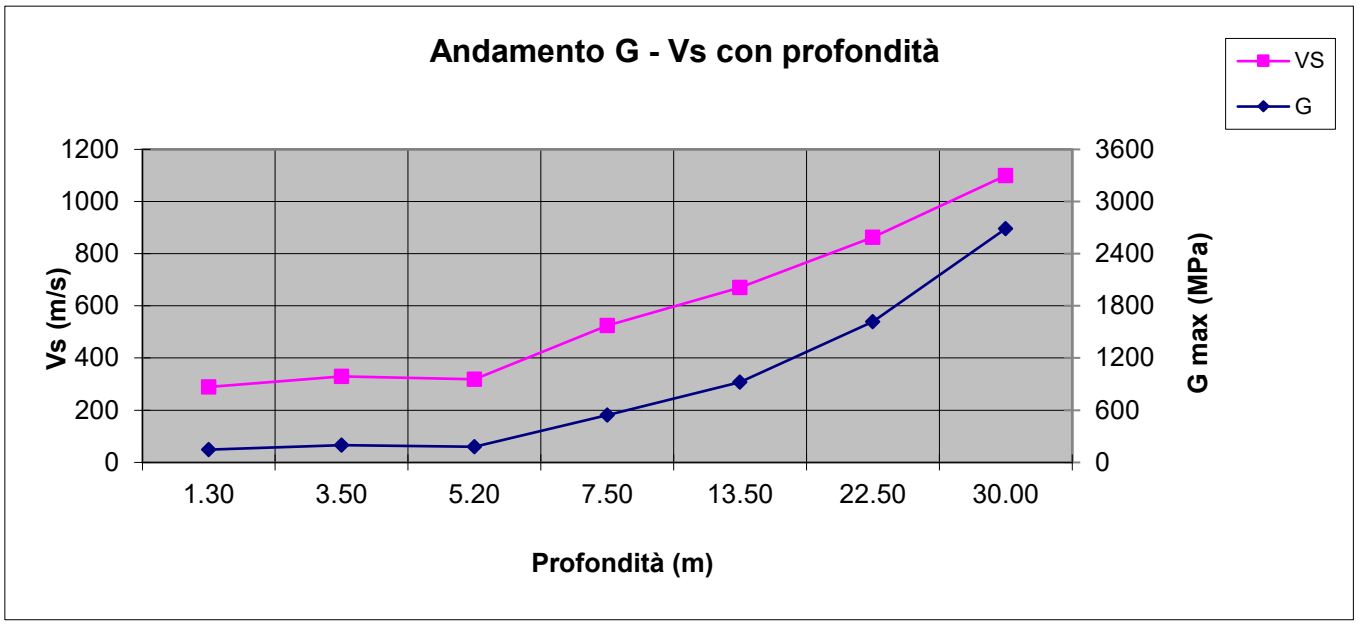
$T_0 = ag*S$
$Tb=Tc/3$
$Tc=Cc*T_{C^*}$
$Td=4.0*a_g/g+1.6$

Ascisse (s)	Ordinate (g)
0.000	0.072
0.137	0.185
0.412	0.185
1.840	0.041



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
1.30	1.77	289	148
3.50	1.80	330	196
5.20	1.79	318	181
7.50	1.96	525	541
13.50	2.06	670	923
22.50	2.17	863	1619

$V_{s,eq}$ =452 m/s


Andamento G - Vs con profondità
VS
G
1200
1000
800
600
400
200
0
Vs (m/s)
3600
3000
2400
1800
1200
600
0
G max (MPa)
1.30
3.50
5.20
7.50
13.50
22.50
30.00
Profondità (m)

5 INDAGINE SISMICA CON METODO HVSR

Come detto sopra, sono state condotte anche delle indagini geofisiche a tecnica passiva (HVSR); sono state infatti eseguite delle registrazioni al fine di evidenziare le caratteristiche di risposta sismica in termini di frequenza caratteristica del sito in base ai valori d'impedenza sismica rilevata.

I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo rivelano principalmente la frequenza caratteristica di risonanza del sito. Essa rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nel realizzare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno, al fine di evitare effetti di "doppia risonanza", estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi.

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremori. La forma di un'onda registrata in un sito x da uno strumento dipende:

1. dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s;
2. dal percorso dell'onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda);
3. dalla risposta dello strumento.

SI può esprimere questo concetto come:

*segnale registrazione al sito x =sorgente*effetti di percorso*funzione trasferimento strumento*

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Nel tragitto dalla sorgente s al sito le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che

dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale e in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartate dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune.

Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali dei sottosuoli: informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un Tromografo digitale "TROMINO", prodotto da Micromed S.p.A., dotato di n. 3 sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente.

L'accorgimento adottato è stato quello di verificare che i geofoni fossero posizionati in bolla e che la loro componente longitudinale fosse rivolta verso Nord.

Il tempo di acquisizione è stato di 30 minuti e le finestre temporali prese in considerazione per l'acquisizione sono di 20 s ciascuna.

La relazione che si applica per il calcolo della profondità delle superfici con i maggiori contrasti di impedenza è la seguente:

$$\mathbf{Ts = 2\pi / \omega = 4H / Vs \quad (1)}$$

dove:

Ts = periodo della vibrazione (s)

ω = frequenza misurata (rad)

H = profondità del sismostrato (m)

Vs = velocità delle onde di taglio (m/s)

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si è potuto ricavare il valore di frequenza caratteristica di ogni sito.

STRUMENTAZIONI UTILIZZATE

N°	**Strumentazione per prove HVSR**
1	Sismografo-Tromografo digitale "TROMINO", prodotto da Micromed S.p.A.
1	2 Batterie 1.5 V
1	Bussola per corretto orientamento della stazione sismica

CONDIZIONI DI CONGRUITÀ

La prima condizione, prima di procedere all'estrazione di qualsiasi informazione e interpretazione, riguarda la verifica di "congruità" della curva H/V; in pratica bisogna verificare l'attendibilità della curva ottenuta secondo i seguenti criteri:

f0 (freq. di picco) > 10 / lw (lunghezza finestra temporale)

Questa condizione è proposta in maniera tale che, alla frequenza di interesse, in ogni finestra ci siano almeno 10 cicli significativi (tab. 1).

Se i dati lo permettono è possibile verificare se la condizione f0 (freq. di picco) > 20 / lw, il che renderebbe il picco eventuale ancora più significativo, ma questo non è d'obbligo.

C'è bisogno di un grande numero di cicli e di finestre: quando si usa la selezione automatica delle finestre temporali con i parametri di default, il n. totale di cicli significativi: nc = lw · nw · f0 deve essere > 200 (che significa che ad esempio per un picco di 1 Hz, ci siano almeno 20 finestre da 10 secondi ciascuna, o per un picco da 0.5 Hz ci siano 10 finestre da 40 s).

È necessario che ci sia un valore di scattering basso tra tutte le finestre: deviazioni standard elevate spesso sono dovute a rumore ambientale non stazionario che può perturbare il segnale e tradursi in un risultato non significativo relativamente alla determinazione del picco di frequenza H/V.

Comunque si raccomanda che σA (f) sia minore di un fattore 2 (per f0 > 0.5 Hz), o un fattore 3 (per f0 < 0.5 Hz), in un range di frequenze di almeno [0.5f0, 2f0].

Tabella 1: Durata delle registrazioni raccomandata

f0 [Hz]	Minimum value for lw [s]	Minimum number of significant cycles (nc)	Minimum number of windows	Minimum useful signal duration [s]	Recommended minimum record duration [min]
0.2	50	200	10	1000	30'
0.5	20	200	10	400	20'
1	10	200	10	200	10'
2	5	200	10	100	5'
5	5	200	10	40	3'
10	5	200	10	20	2'

Nel nostro caso specifico è sempre stata utilizzata una durata di 30’ (1800 s) e un valore delle finestre temporali di 20 s.

Di seguito si riportano le curve H/V ottenute.

6 RISULTATI INDAGINE SISMICA PASSIVA (HVSR)

HVSR 1

Strumento: TRZ-0017/01-09 Formato dati: 16 byte Fondo scala [mV]: 51

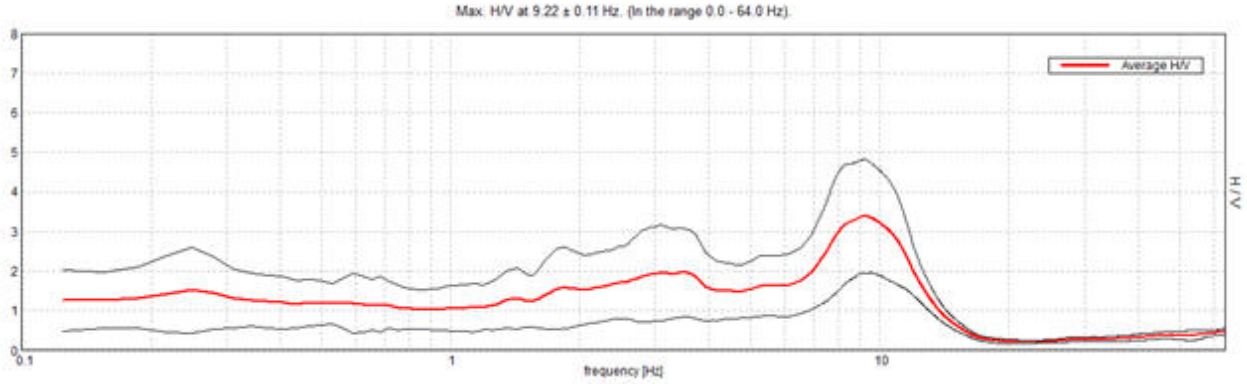
Nomi canali: NORTH-SOUTH; EAST-WEST ; UP-DOWN Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 91% tracciato (selezione manuale)

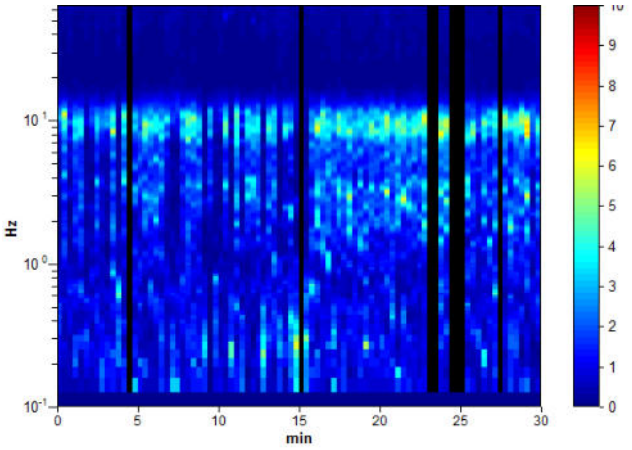
Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 10%

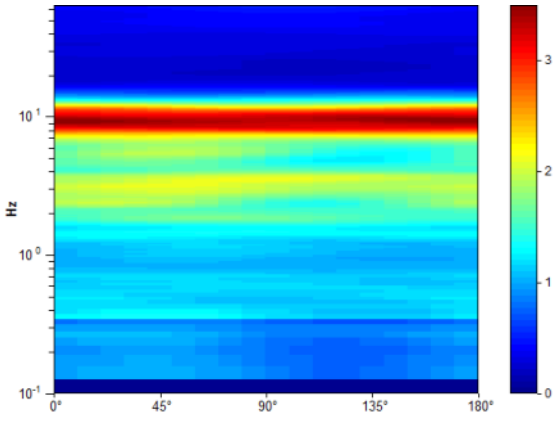
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



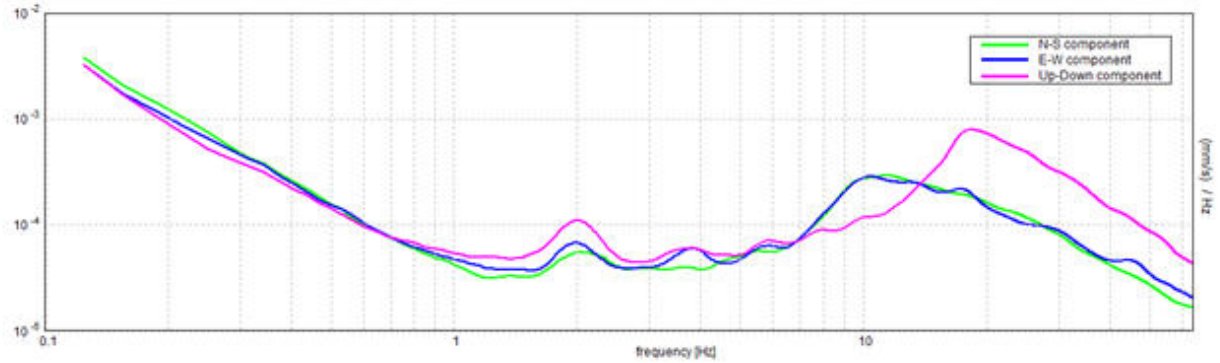
SERIE TEMPORALE H/V



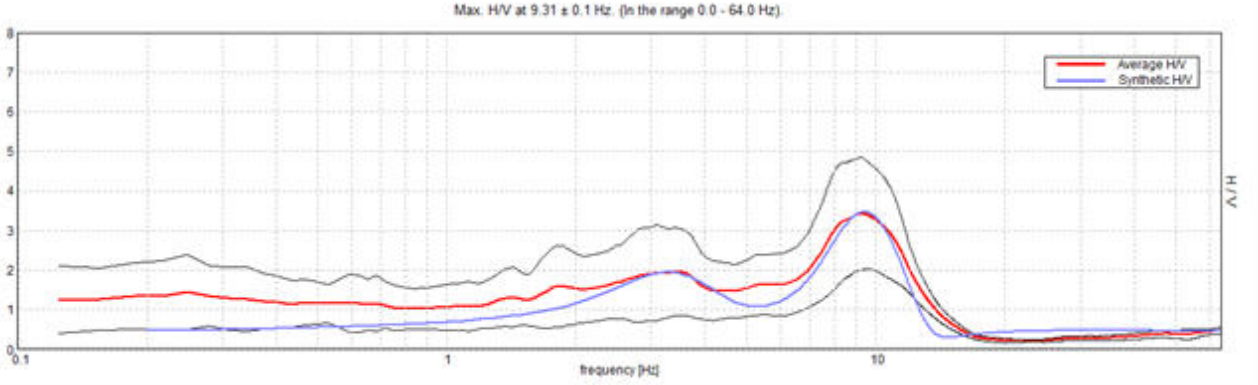
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

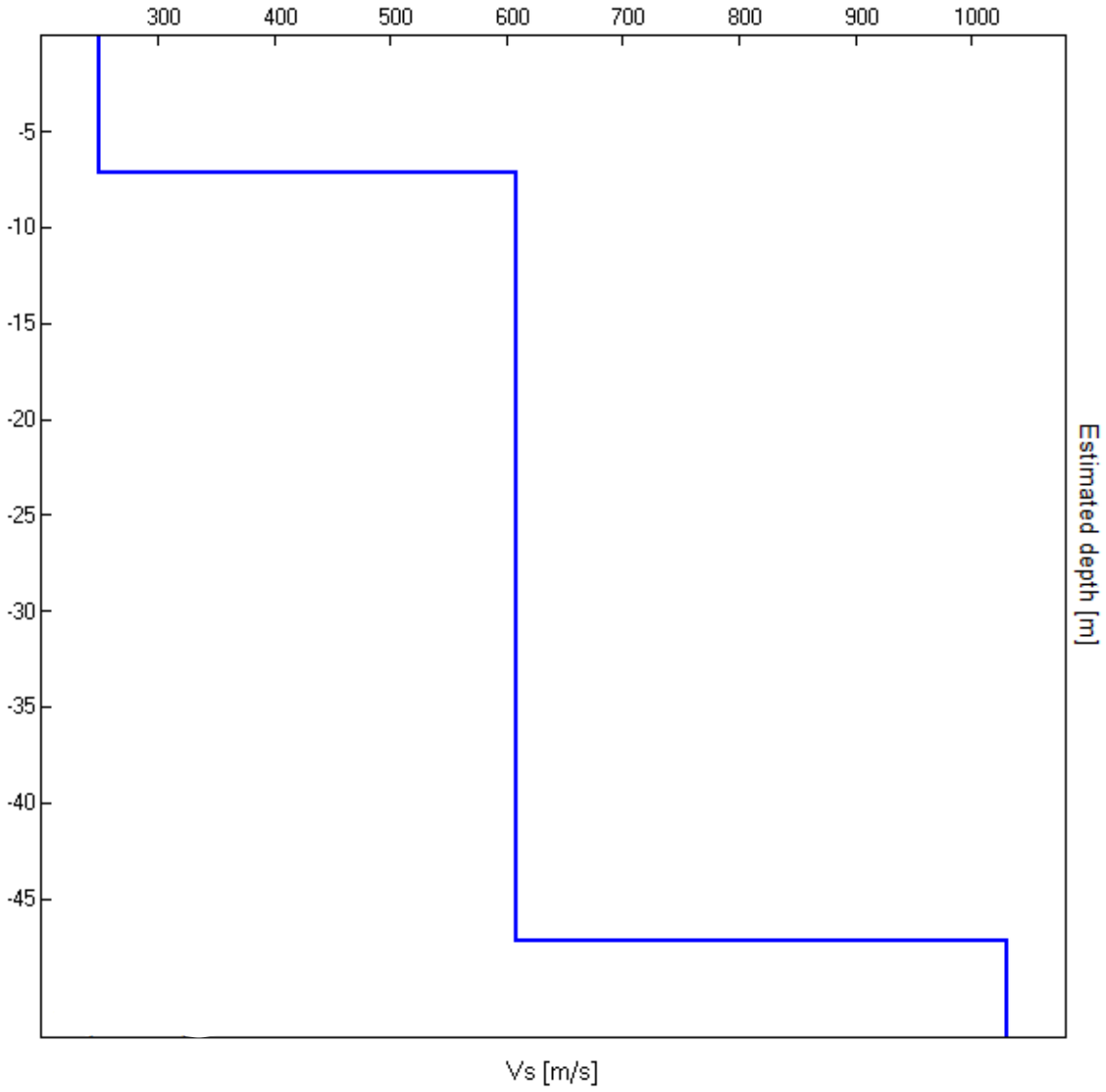


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
7.20	7.20	250	0.35
47.20	40.00	608	0.35
inf.	inf.	1030	0.35

Lo spessore della coltre detritica al di sopra del *bedrock* (Vs = 800 m/s) risulta essere superiore ai 47.20 metri.


300
400
500
600
700
800
900
1000
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
-45
Estimated depth [m]
Vs [m/s]

[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di** *Grilla* **prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 9.22 ± 0.11 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	9.22 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	15118.8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz**	Superato 0 volte su 444	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	6.313 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	12.469 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.39 > 2	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.0058| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.05349 < 0.46094	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.7149 < 1.58	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{logH/V}(f)$	deviazione standard della funzione log $A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ per $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

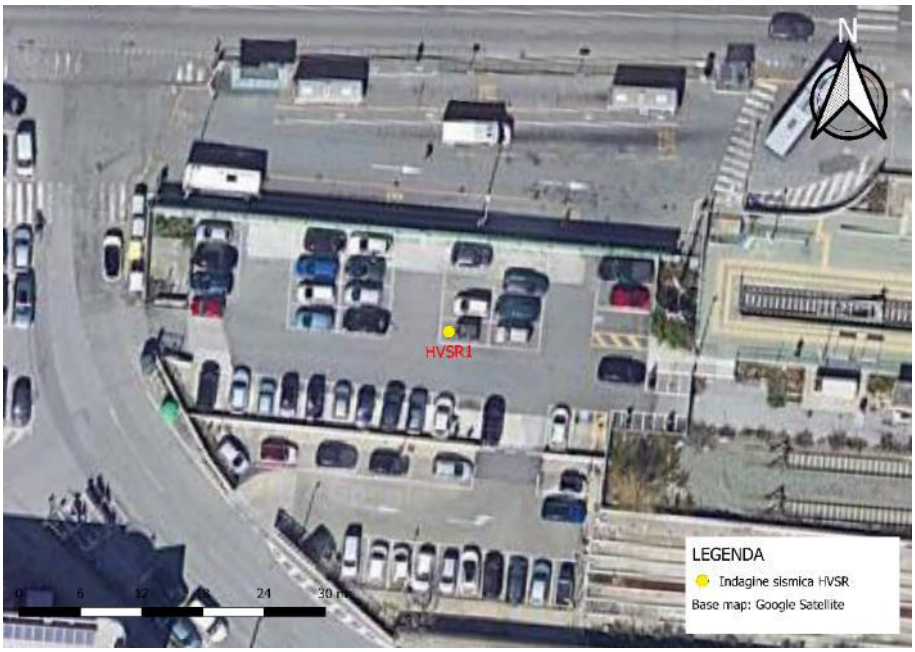


Figura 23: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSR 1.



Figura 24: Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR 1.

HVSR 2

Strumento: TRZ-0017/01-09 Formato dati: 16 byte Fondo scala [mV]: 51

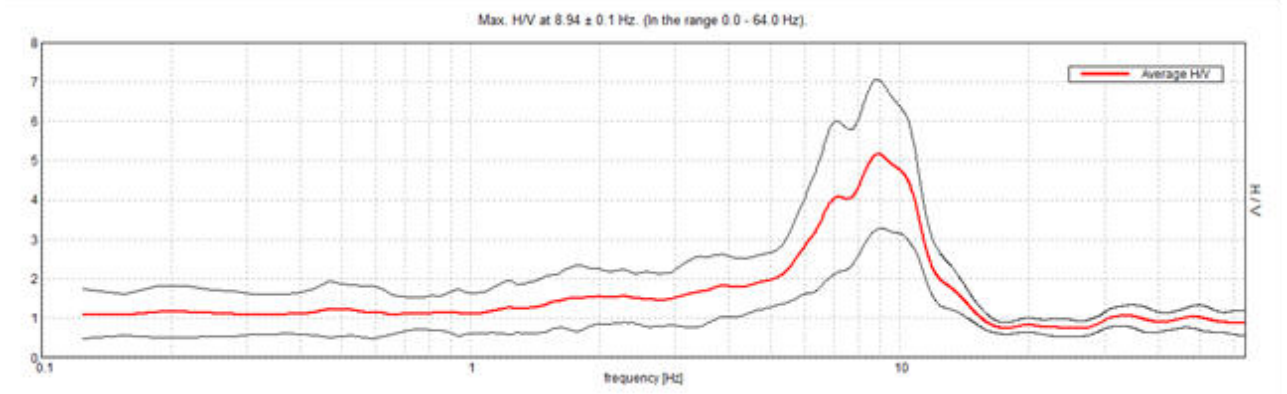
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 91% tracciato (selezione manuale)

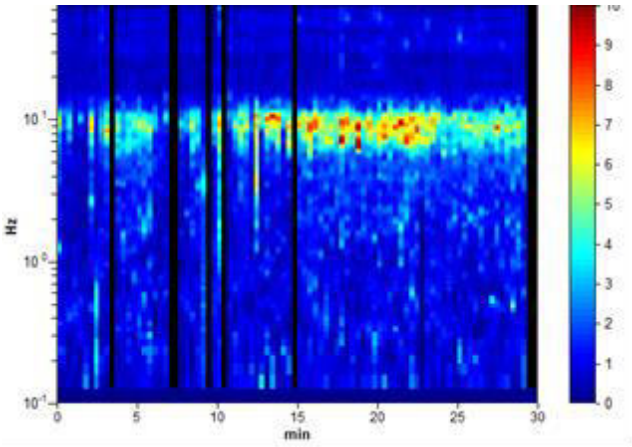
Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 10%

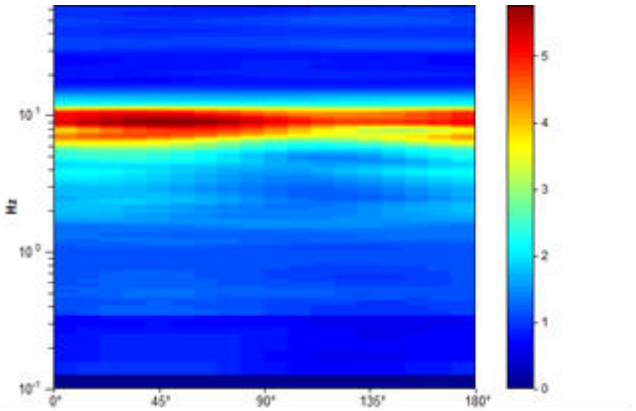
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



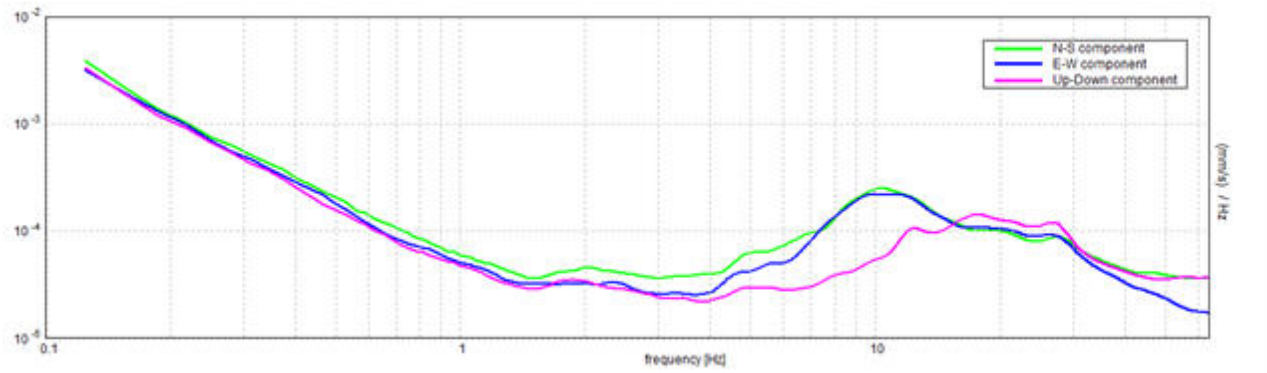
SERIE TEMPORALE H/V



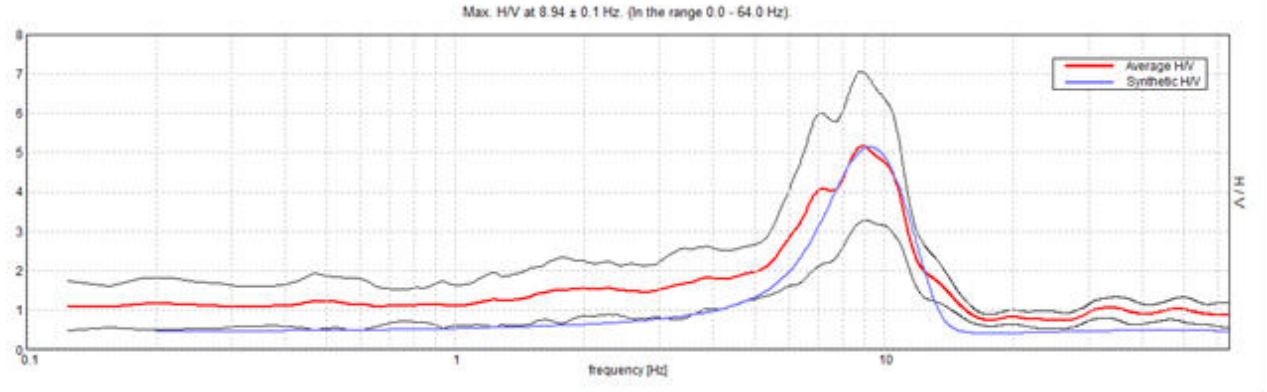
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

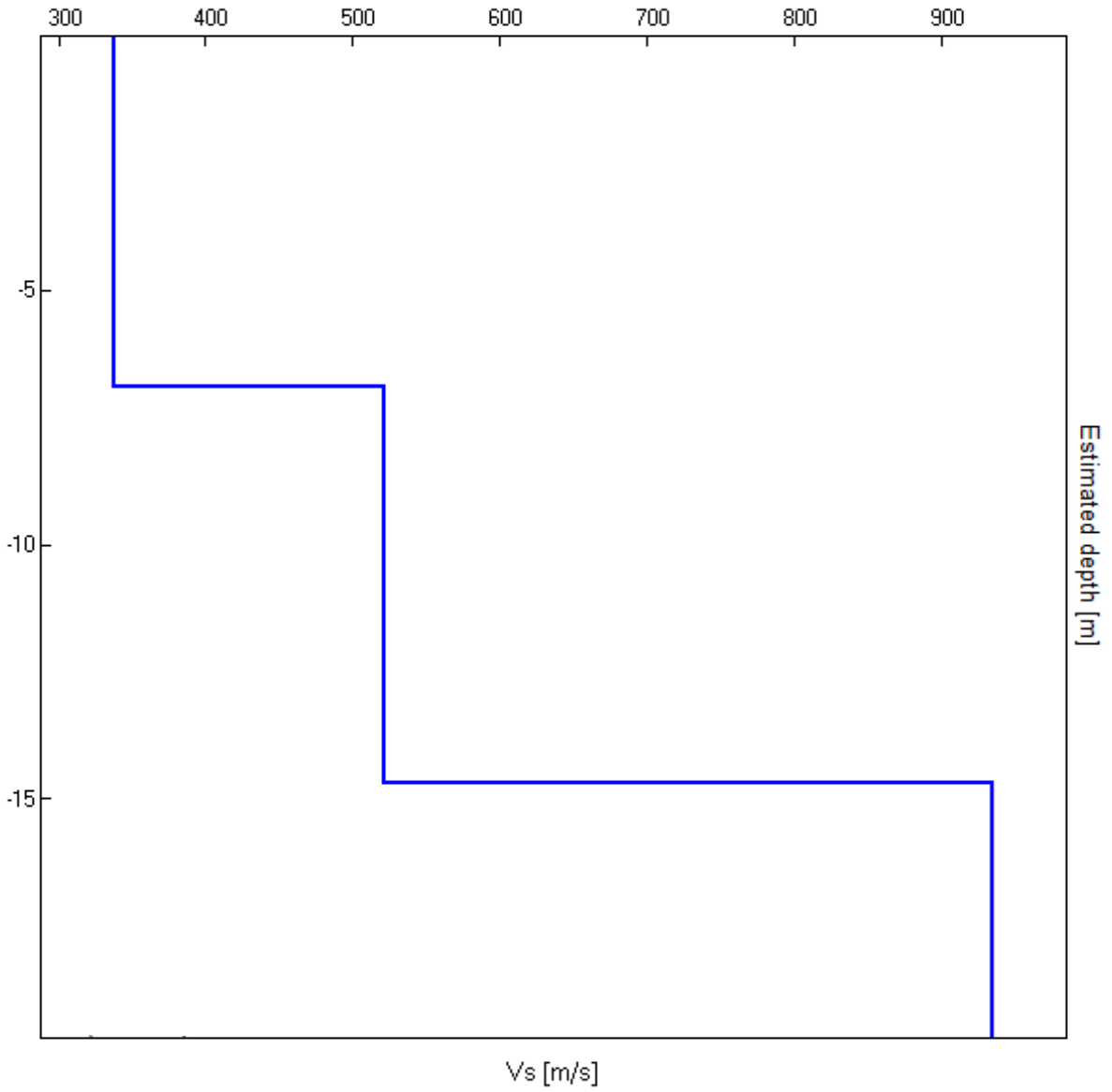


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
6.90	6.90	338	0.35
14.70	7.80	522	0.35
inf.	inf.	935	0.35

Lo spessore della coltre detritica al di sopra del *bedrock* (Vs = 800 m/s) risulta essere superiore ai 14.70 metri.


300
400
500
600
700
800
900
-5
-10
-15
Estimated depth [m]
Vs [m/s]

[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 8.94 ± 0.1 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	8.94 > 0.50	**OK**	
$n_c(f_0) > 200$	14657.5 > 200	**OK**	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz**	Superato 0 volte su 430	**OK**	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	5.75 Hz	**OK**	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	11.688 Hz	**OK**	
$A_0 > 2$	5.16 > 2	**OK**	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.00538| < 0.05	**OK**	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.04811 < 0.44688	**OK**	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.9427 < 1.58	**OK**	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{logH/V}(f)$	deviazione standard della funzione log $A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ per $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



Figura 25: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSR 2.



Figura 26: Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR 2.

HVSR 3

Strumento: TRZ-0017/01-09 Formato dati: 16 byte Fondo scala [mV]: 51

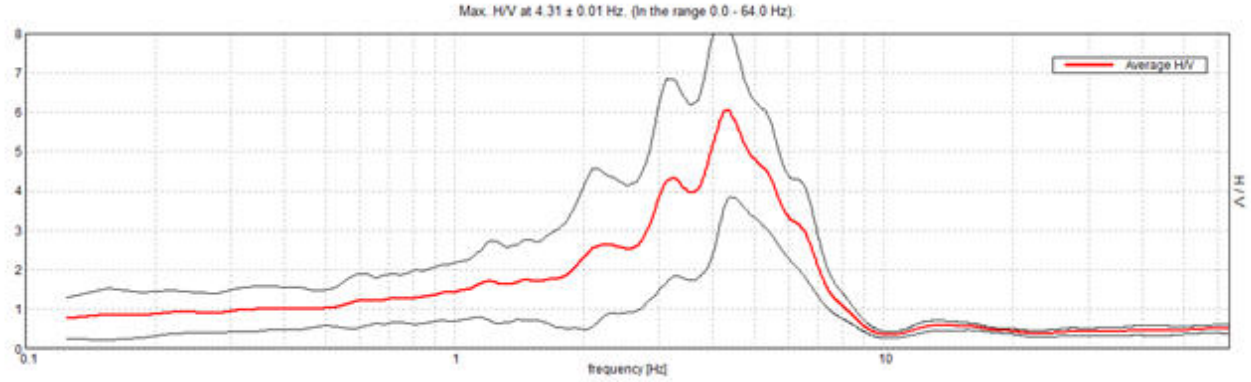
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 86% tracciato (selezione manuale)

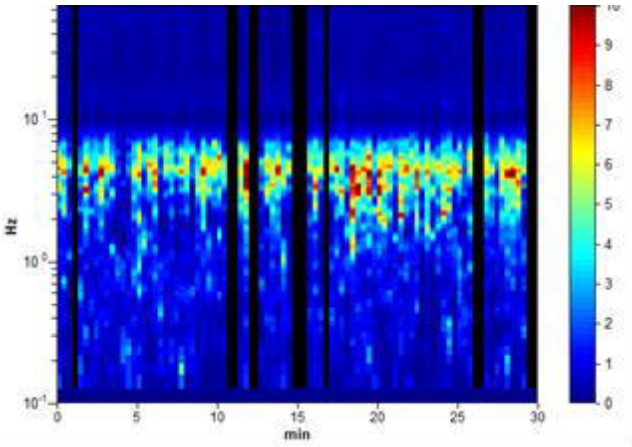
Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 10%

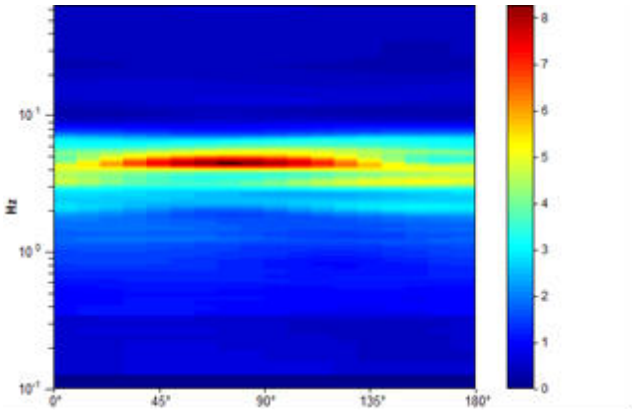
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



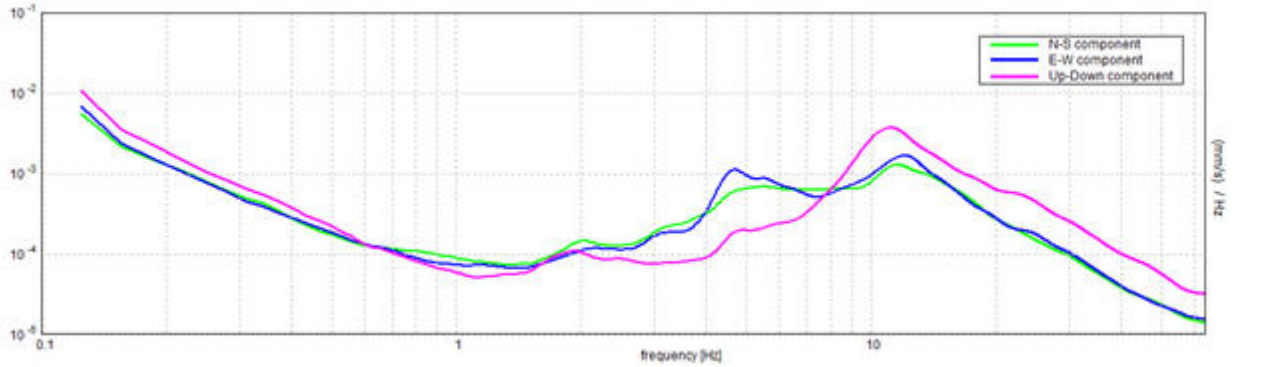
SERIE TEMPORALE H/V



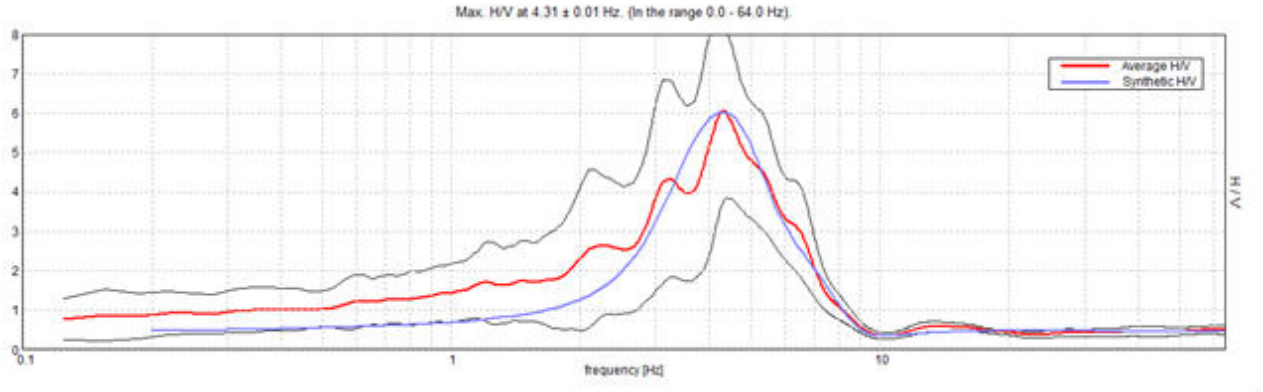
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

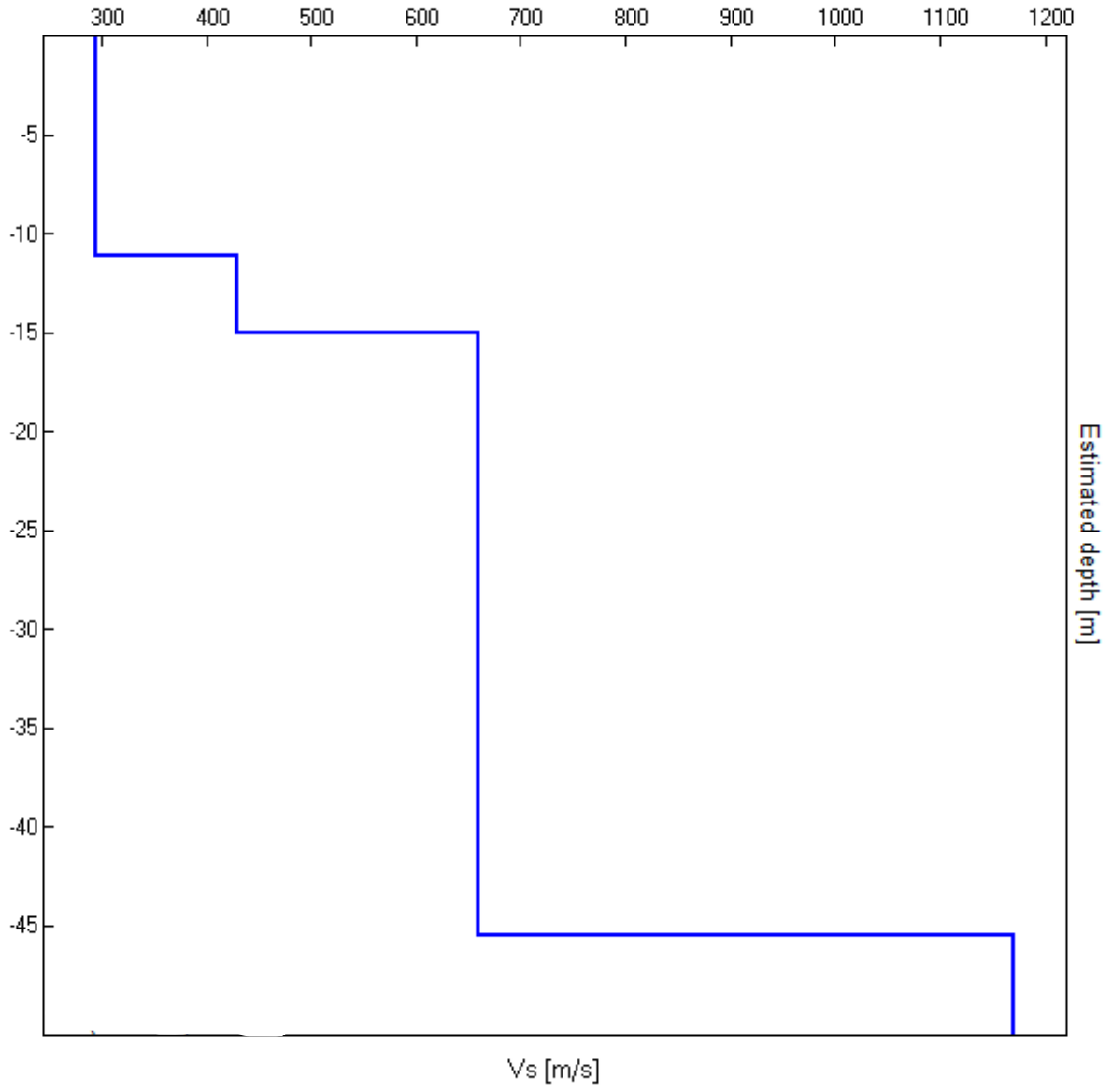


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
11.10	11.10	295	0.35
15.00	3.90	430	0.35
45.50	30.50	660	0.35
inf.	inf.	1170	0.35

Lo spessore della coltre detritica al di sopra del *bedrock* (Vs = 800 m/s) risulta essere superiore ai 45.50 metri.


300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
-45
Estimated depth [m]
Vs [m/s]

[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di** *Grilla* **prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 4.31 ± 0.01 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	4.31 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	6641.3 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz**	Superato 51 volte su 208		NO
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.813 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	6.5 Hz	OK	
$A_0 > 2$	6.06 > 2	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.00132| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.00571 < 0.21563	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.1519 < 1.58	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{logH/V}(f)$	deviazione standard della funzione log $A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ per $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



Figura 27: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSR 3.



Figura 28: Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR 3.

HVSR 4

Strumento: TRZ-0017/01-09 Formato dati: 16 byte Fondo scala [mV]: 51

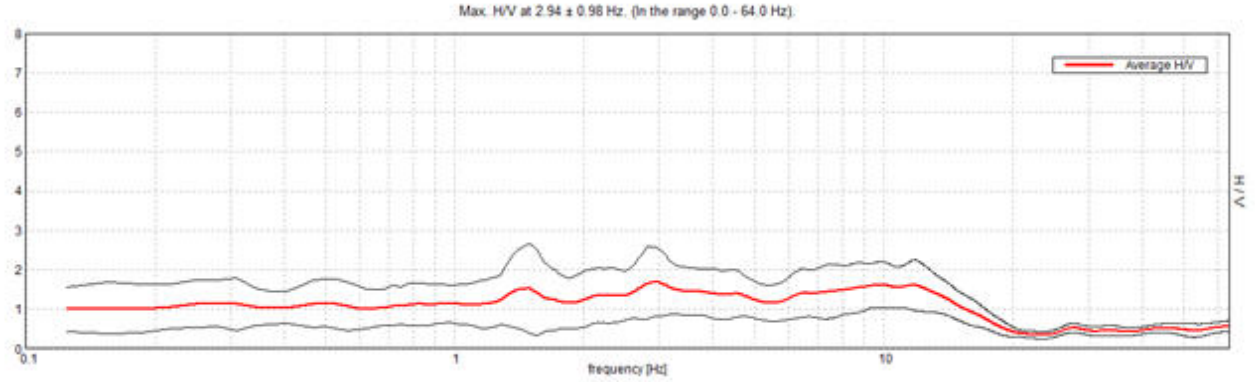
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 94% tracciato (selezione manuale)

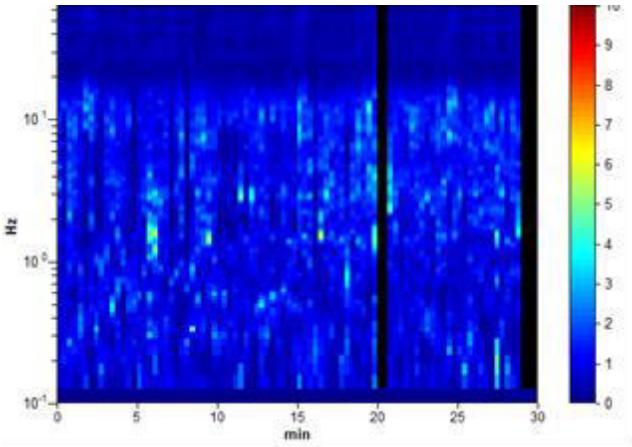
Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 10%

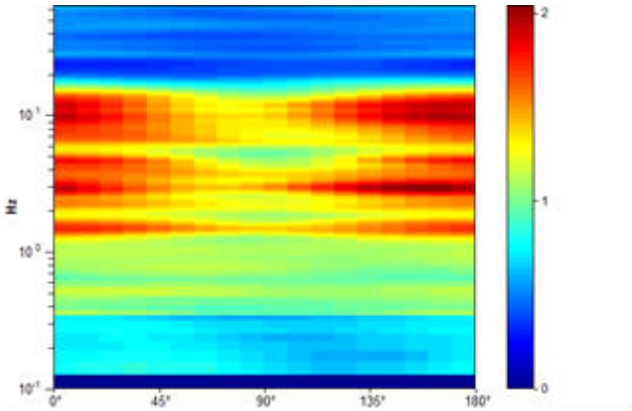
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



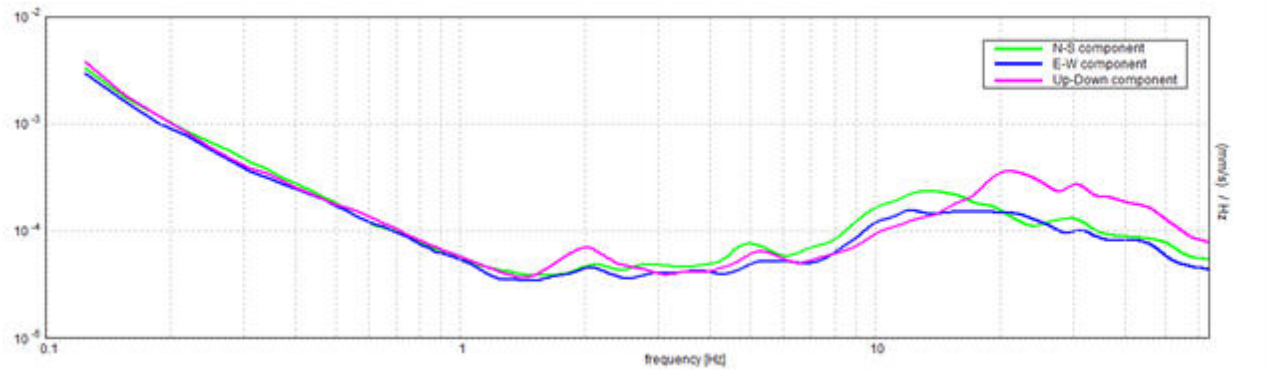
SERIE TEMPORALE H/V



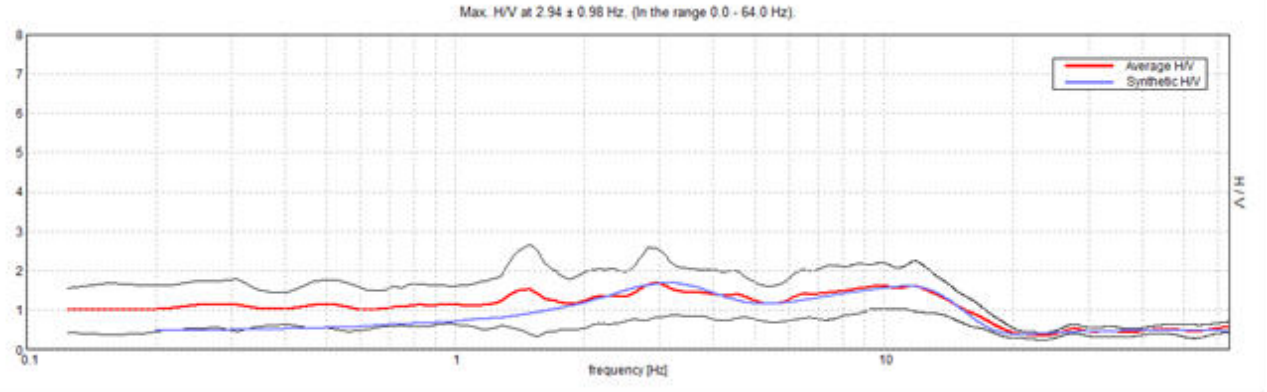
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

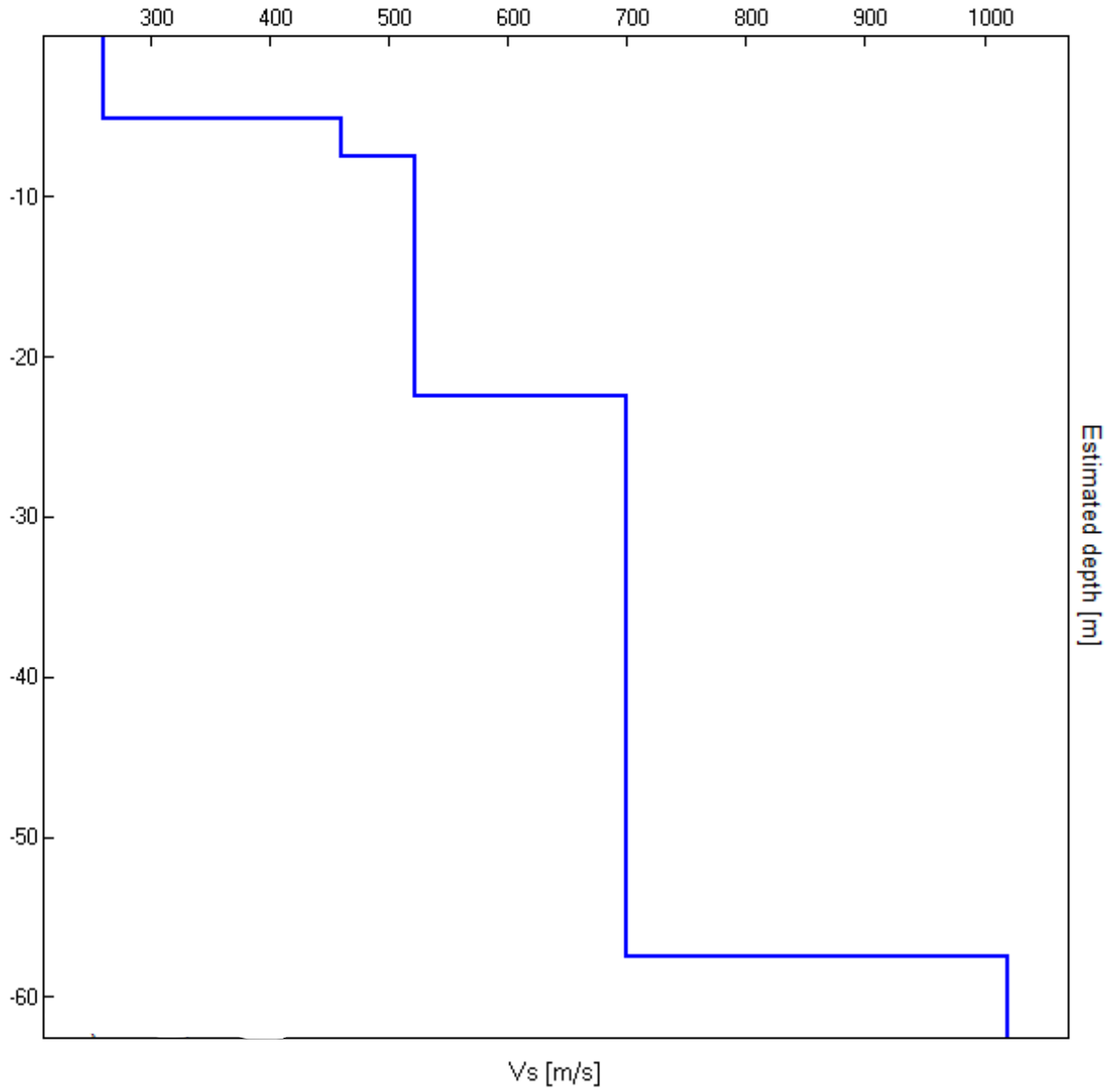


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
5.20	5.20	260	0.35
7.50	2.30	460	0.35
22.50	15.00	522	0.35
57.50	35.00	700	0.35
inf.	inf.	1020	0.35

Lo spessore della coltre detritica al di sopra del *bedrock* (Vs = 800 m/s) risulta essere superiore ai 57.50 metri.


300
400
500
600
700
800
900
1000
-10
-20
-30
-40
-50
-60
Estimated depth [m]
Vs [m/s]

[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di** *Grilla* **prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 2.94 ± 0.98 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	2.94 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	4993.8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz**	Superato 0 volte su 142	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	1.70 > 2		NO
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.16714| < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.49097 < 0.14688		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.4388 < 1.58	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{logH/V}(f)$	deviazione standard della funzione log $A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ per $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



Figura 29: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSR 4.



Figura 30: Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR 4.

COMMITTENTE:

RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

PROGETTAZIONE:

ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

CUP: F81H92000000008

S.O. GEOLOGIA TECNICA

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

PROGETTO UNICO TERZO VALICO DEI GIOVI E NODO FERROVIARIO DI GENOVA
PRG DI GENOVA VOLTRI

REPORT INDAGINI GEOFISICHE

SCALA: -

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
NG2J	00	F	69	IG	GE0005	001	A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	T. Vicenzetto	Settembre 2022	G. Rossi	Settembre 2022	G. Fadda	Settembre 2022	M. Comedini Settembre 2022

ITALFERR Dott. Geol. Massimo Comedini Ordine dei Geologi del Lazio n.1012

File: NG2J00F69IGGE0005001A.doc		n. Elab.: X

INDICE

1 PREMESSA 3

2 METODOLOGIE DI INDAGINE 4

3 INDAGINE SISMICA CON METODO MASW ATTIVO 5

4 RISULTATI PROSPEZIONI MASW 6

5 INDAGINE SISMICA CON METODO HVSR 30

6 RISULTATI INDAGINE SISMICA PASSIVA (HVSR) 34

1 PREMESSA

La presente relazione illustra e riassume i risultati delle indagini geofisiche eseguite a supporto del progetto di fattibilità tecnica ed economica per il PRG di Genova Voltri, rientrante nel perimetro del progetto "Potenziamento Infrastrutturale Genova Voltri-Genova Brignole", a sua volta ricompreso nel più esteso "Progetto Unico del Terzo Valico dei Giovi e Nodo di Genova".

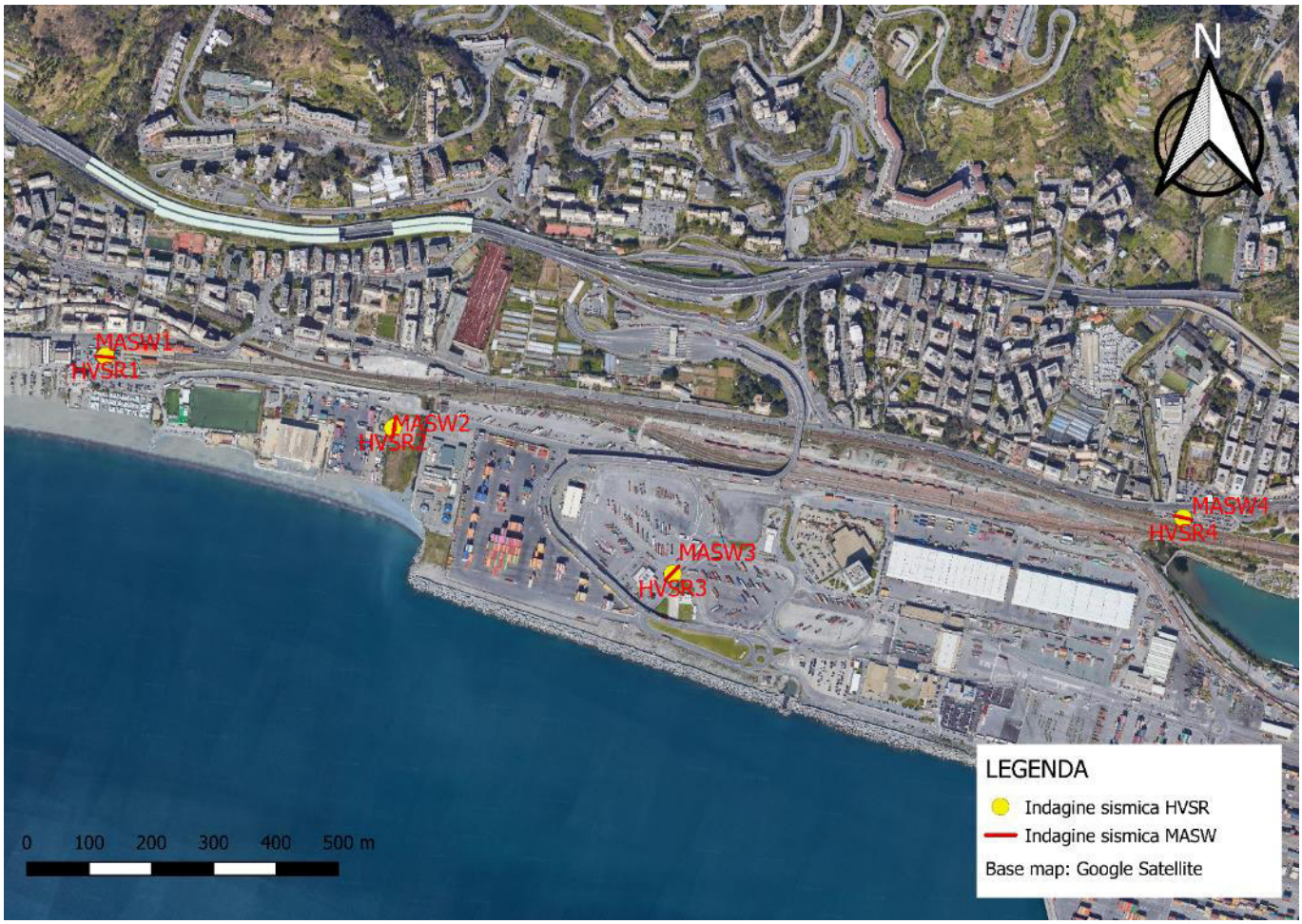


Figura 1: Ubicazione delle aree di indagine (da Google Earth): indagini masw (linee rosse), HVSR (pallini gialli)

2 METODOLOGIE DI INDAGINE

La campagna di misure geofisiche condotta è consistita in indagini sismiche di superficie con metodologia MASW e HVSR.

Di seguito si riporta una breve descrizione dei principi base, delle tecniche d'indagine e i relativi risultati.



Figura 2: Strumentazione impiegata per le prove di superficie mediante metodologia MASW (in alto a sinistra) e HVSR (in alto a destra).

3 INDAGINE SISMICA CON METODO MASW ATTIVO

Lo scopo della prova MASW è quello di ricostruire il profilo di rigidezza del sito tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di superficie di Rayleigh con un successivo processo d'inversione, attraverso il quale è fornita una stima indiretta della distribuzione delle Vs (velocità di propagazione delle onde di taglio). La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione dinamica verticale in un determinato campo di frequenze e nel registrare tramite uno stendimento lineare di sensori (geofoni) le vibrazioni prodotte, in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.

Il profilo che si ricava da questo tipo di indagine è un profilo monodimensionale Vs/Profondità che generalmente, in presenza di stratigrafie costituite da orizzonti piano paralleli, può essere attribuito convenzionalmente alla stratigrafia relativa al centro della stesa, in quanto si assume che lungo tutto lo sviluppo dello stendimento la stratigrafia rimanga invariata.

In riferimento all'acquisizione di onde S con tecnica di sismica attiva (prova MASW), sono state adottate le seguenti caratteristiche:

- 24 geofoni verticali (frequenza di 4,5 Hz);
- Spaziatura dei geofoni: variabile;
- Distanza energizzazioni:1-2-3-4-5 volte la spaziatura;
- Sorgente: massa da 8 kg;
- Lunghezza registrazione del singolo evento: 2000 millisecondi;
- Campionamento del segnale: 1 millisecondi.

STRUMENTAZIONI UTILIZZATE

N°	Strumentazione per prove sismiche attive di superficie (MASW)
1	Sismografo Echo 24-2010 prodotto dalla Ambrogeo s.r.l. di Piacenza (PC)
1	Toughbook Panasonic CF-19
24	geofoni verticali con frequenza 4,5 Hz (Geospace)
24	geofoni verticali con frequenza 40 Hz (Hueihai Sunfull)
24	geofoni orizzontali con frequenza 12 Hz (Hueihai Sunfull)
1	cavo di collegamento per geofoni 24 take-out/1.0 metri
1	massa battente del peso di 8 kg
1	linea trigger con dispositivo hammer-switch

4 RISULTATI PROSPEZIONI MASW

Masw 1

L'indagine di sismica superficiale eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 m di profondità.

Di seguito si riportano le immagini relative all'analisi ω-p (trasformata τ-p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

L'inversione della curva di dispersione è realizzata con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

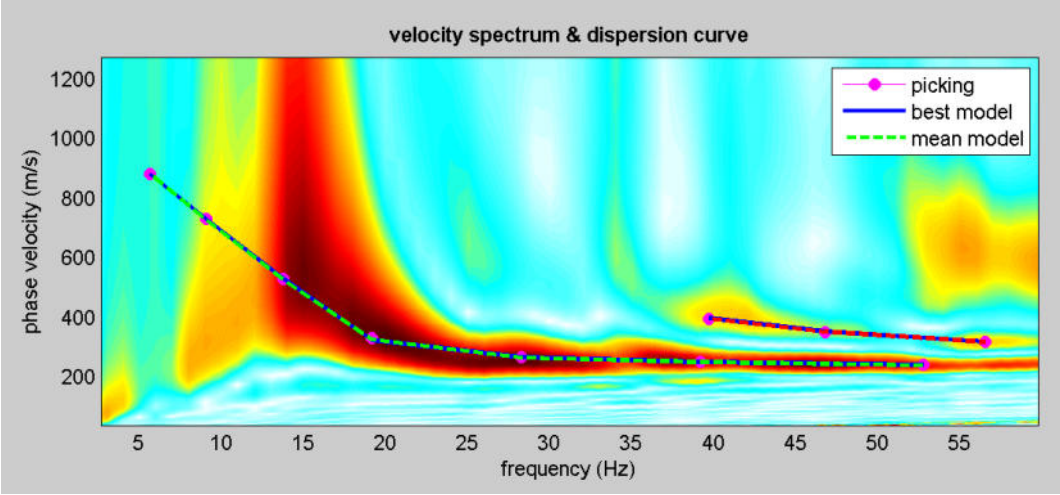


Figura 3: Modo fondamentale e altro modo relativi al segnale sismico registrato in situ.

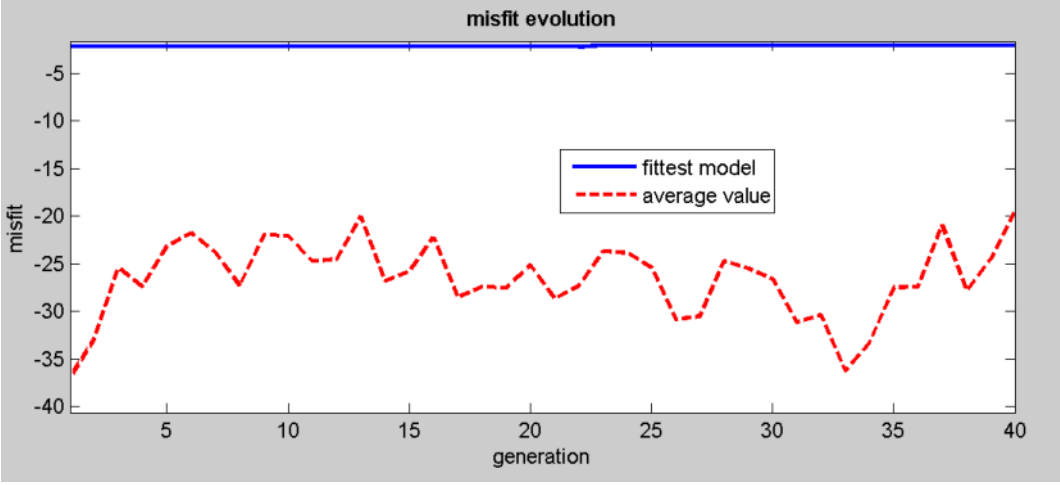


Figura 4: Confronto tra la curva di disperzione sperimentale e quella teorica.

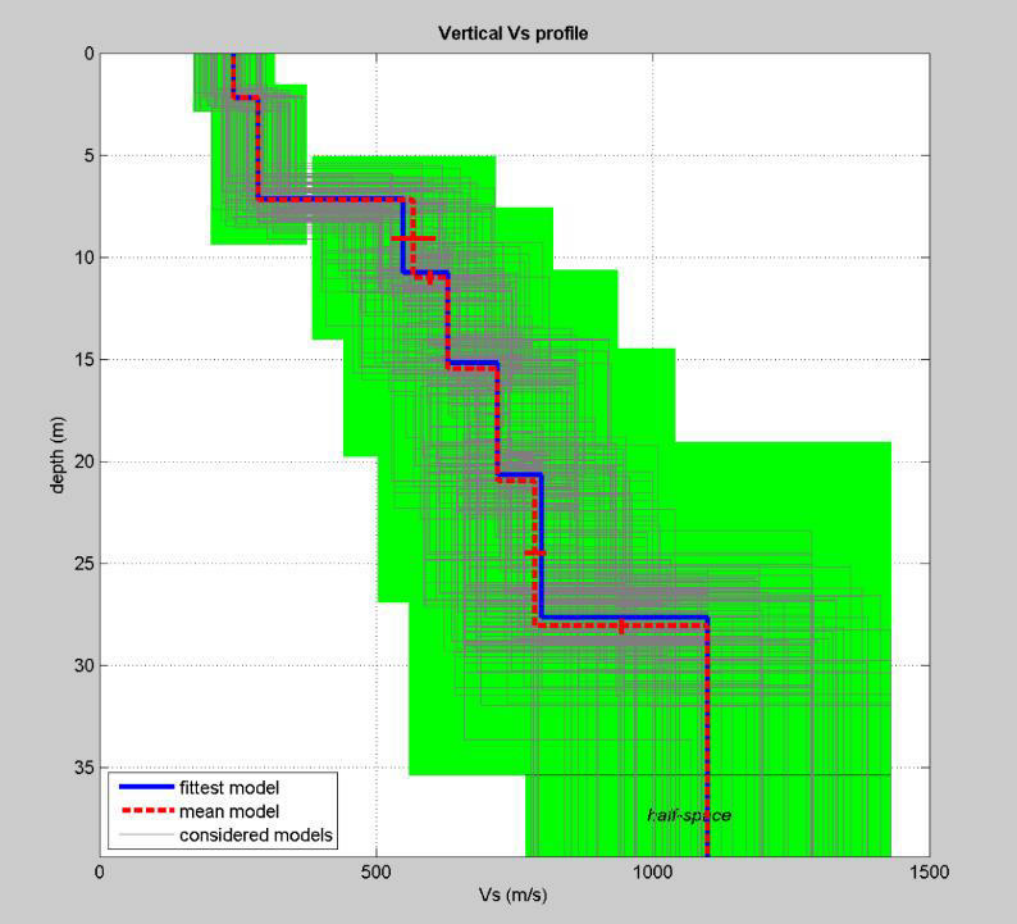


Figura 5: Modello risultante dall'inversione dei dati.

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni in linea con interdistanza di 1.0 m.

La Vs eq è stata ricavata dalla formula:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum \frac{hi}{vi}}$$

Nel caso specifico è risultato:

Vs,eq = 493 m/s

Si tratta quindi di un suolo di **tipo B** (Ss = 1.2 secondo le NTC 2018).

In allegato, vengono inoltre fornite tabelle recanti la classificazione del sito e lo spettro di risposta elastico relativo, ricavato considerando una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni). Tale condizione corrisponde allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (secondo NTC).

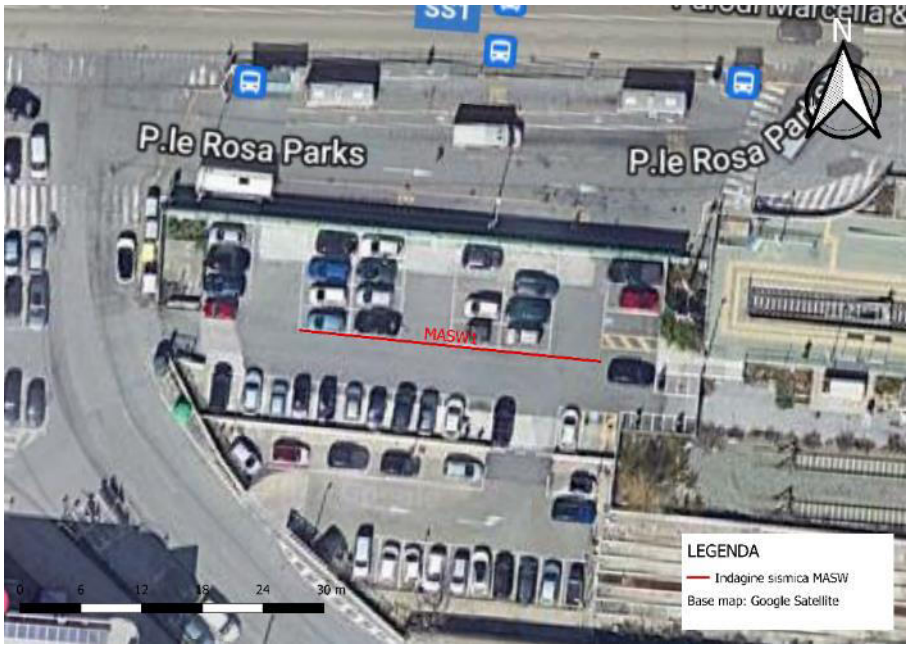


Figura 6: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova Masw 1.



Figura 7: Foto relativa all'esecuzione della prova Masw 1.

CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW1

Località Genova (GE)

Coordinate LAT 44.428162 LONG 8.755240 (WGS84 gradi decimali)

Metodo di indagine MASW

Strumentazione utilizzata Sismografo Echo 24-2010 a 24 Canali, 24 bits

Metodo di energizzazione Mazza da 8 kg

Geometria stendimento: 24 geofoni - interasse 1.0 m

RISPOSTA SISMICA LOCALE

(si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori del Coeff. Cc e del coeff di amplificazione S)

Categorie di sottosuolo di fondazione:

		Ss	Cc	$S=S_S*S_T$
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	**1.2**	**1.38**	1.2
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.			

I parametri a/g, F_0 e T^* vengono forniti dalla normativa

Categorie topografiche

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°	1	
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°	1.2	valore alla sommità del pendio
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15°≤ i ≤ 30°	1.2	valore della cresta del rilievo
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°	1.4	valore della cresta del rilievo

Le sovraesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO @ 5% SMORZAMENTO – COMP. ORIZZONTALE (NTC 2018)

Possibilità di superamento del 10% in 50 anni

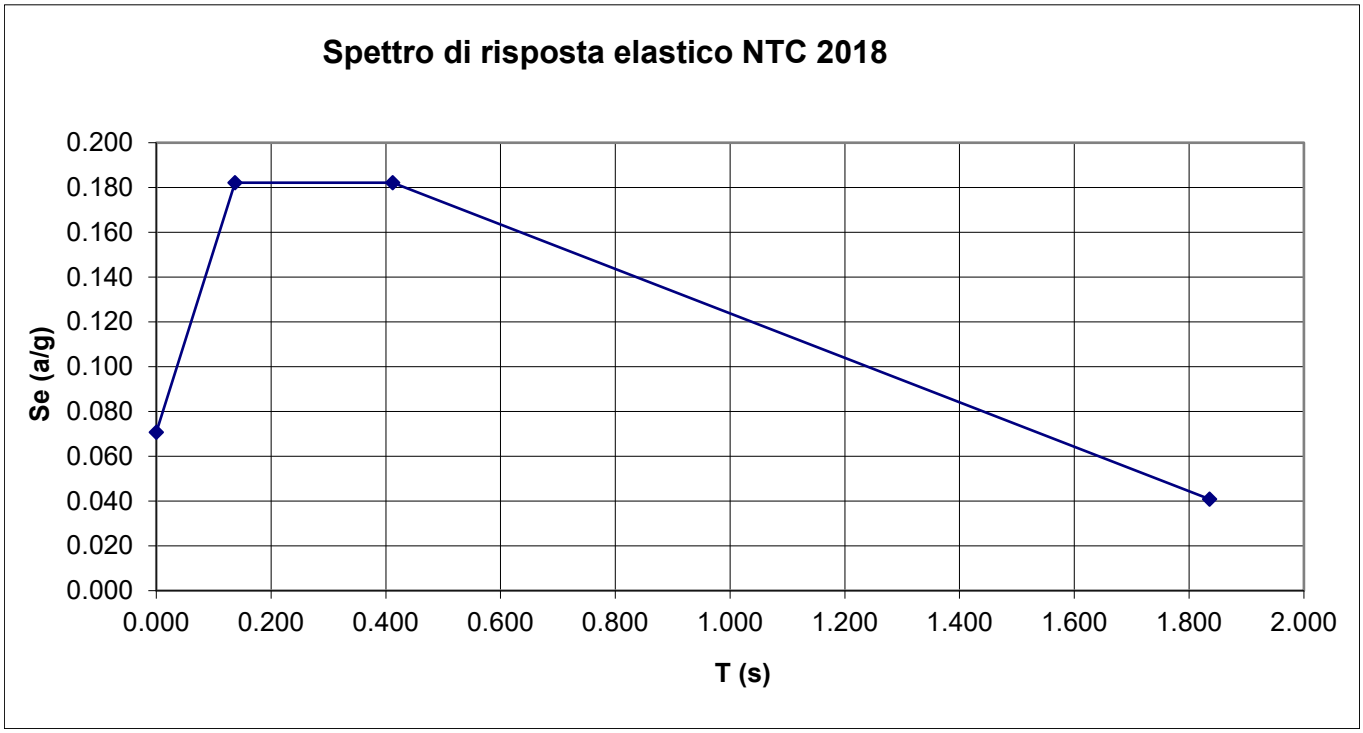
$T_0 = ag*S$

$Tb=Tc/3$

$Tc=Cc*T_{C^*}$

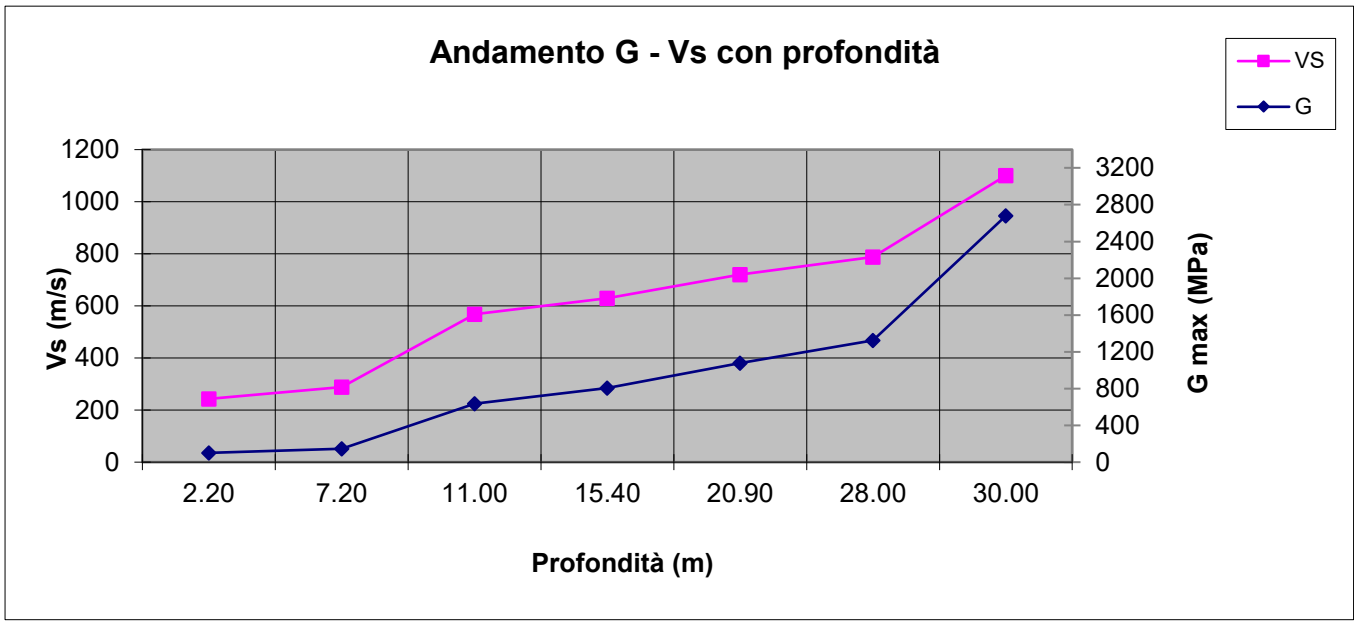
$Td=4.0*a_g/g+1.6$

Ascisse (s)	Ordinate (g)
0.000	0.071
0.137	0.182
0.412	0.182
1.836	0.041



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
2.20	1.72	243	101
7.20	1.76	288	146
11.00	1.97	568	636
15.40	2.04	630	808
20.90	2.08	720	1077
28.00	2.13	788	1325
30.00	2.22	1100	2680

$V_{s,eq}$ = 493 m/s


Andamento G - Vs con profondità
VS
G
1200
1000
800
600
400
200
0
Vs (m/s)
3200
2800
2400
2000
1600
1200
800
400
0
G max (MPa)
2.20
7.20
11.00
15.40
20.90
28.00
30.00
Profondità (m)

Masw 2

L'indagine di sismica superficiale eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 m di profondità.

Di seguito si riportano le immagini relative all'analisi ω-p (trasformata τ-p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

L'inversione della curva di dispersione è realizzata con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

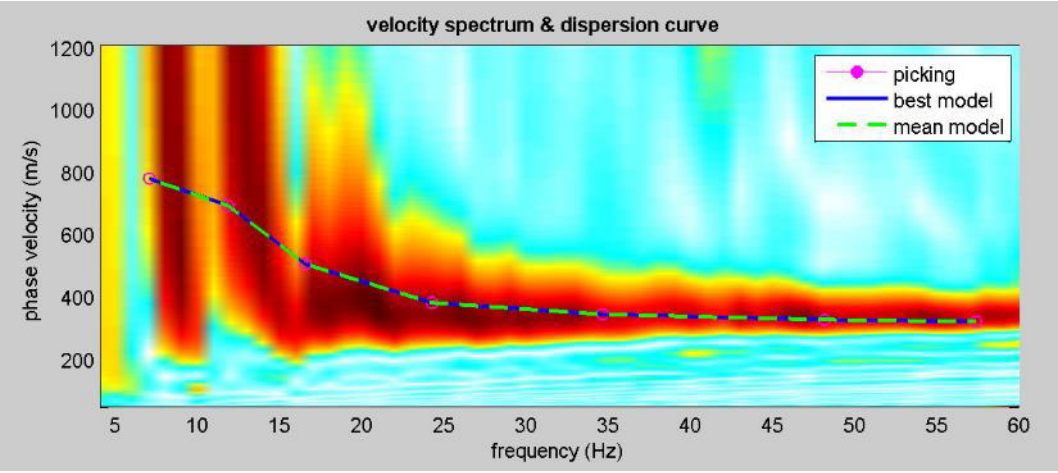


Figura 8: Modo fondamentale e altro modo relativi al segnale sismico registrato in situ.

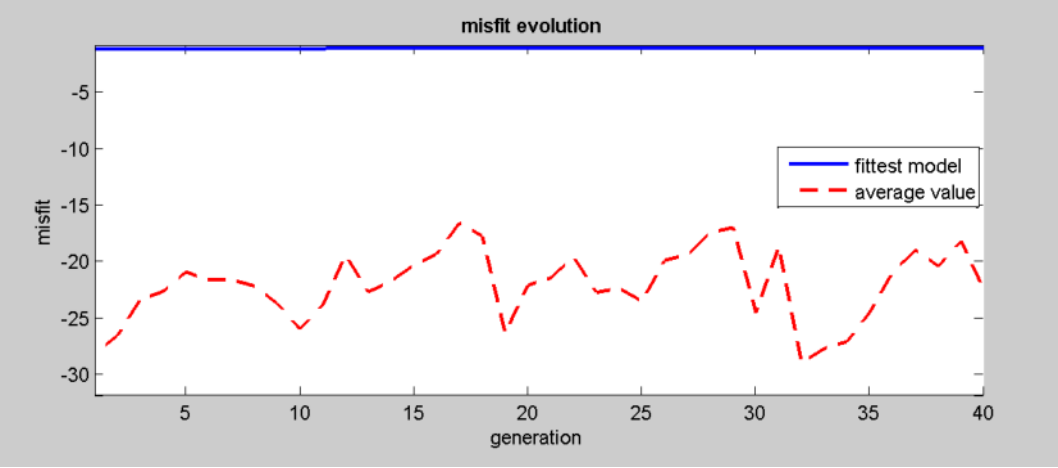


Figura 9: Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

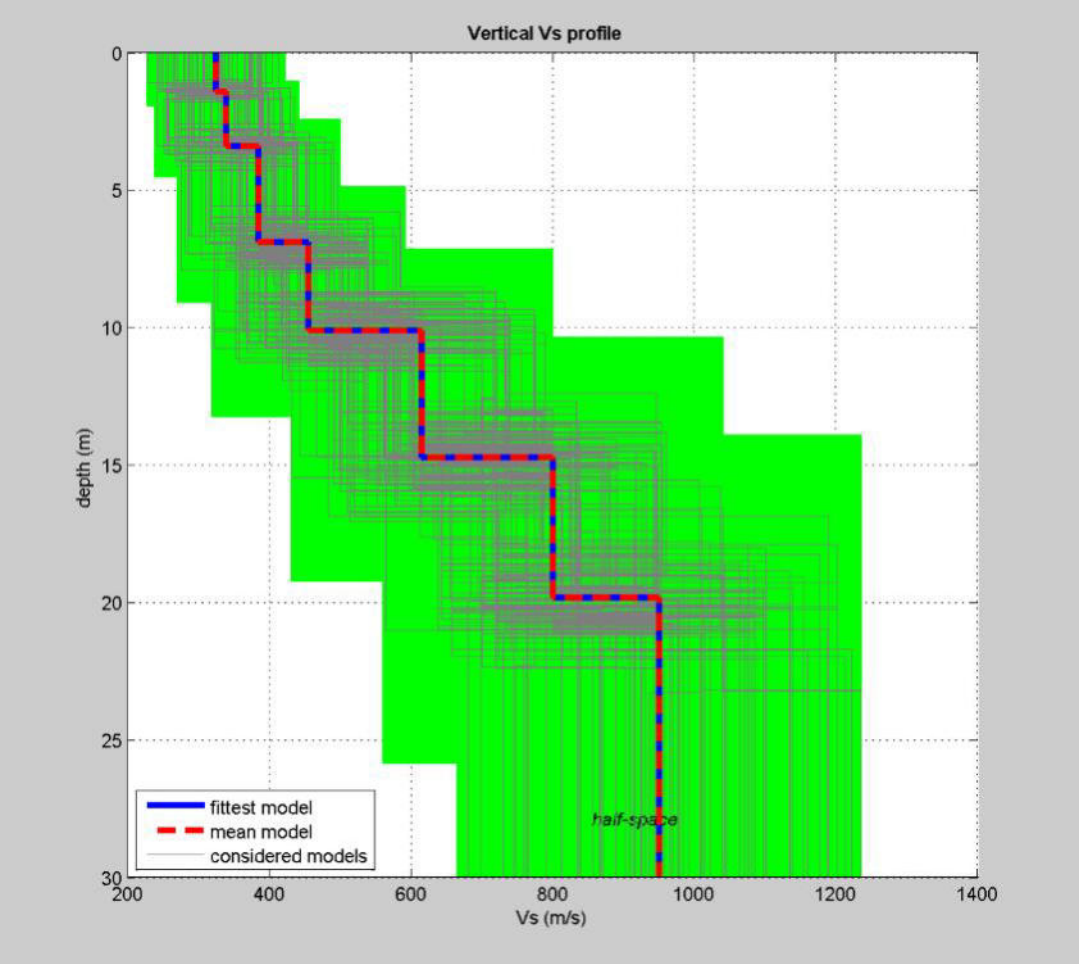


Figura 10: Modello risultante dall'inversione dei dati.

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni in linea con interdistanza interdistanza di 1.0 m.

La Vs eq è stata ricavata dalla formula:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum hi/vi}$$

Nel caso specifico è risultato:

Vs,eq = 435 m/s

Si tratta quindi di un suolo di **tipo B** (Ss = 1.2 secondo le NTC 2018).

In allegato, vengono inoltre fornite tabelle recanti la classificazione del sito e lo spettro di risposta elastico relativo, ricavato considerando una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni). Tale condizione corrisponde allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (secondo NTC).



Figura 11: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova Masw 2.

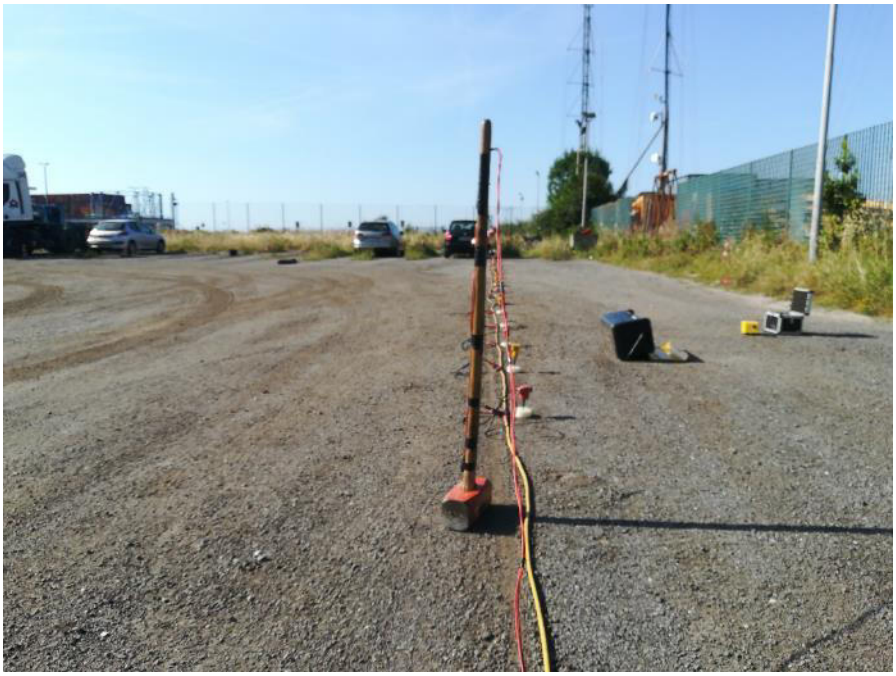


Figura 12: Foto relativa all'esecuzione della prova Masw 2.

CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW2

Località Genova (GE)

Coordinate LAT 44.427434 LONG 8.761237 (WGS84 gradi decimali)

Metodo di indagine MASW

Strumentazione utilizzata Sismografo Echo 24-2010 a 24 Canali, 24 bits

Metodo di energizzazione Mazza da 8 kg

Geometria stendimento: 24 geofoni - interasse 1.0 m

RISPOSTA SISMICA LOCALE

(si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori del Coeff. Cc e del coeff di amplificazione S)

Categorie di sottosuolo di fondazione:

		Ss	Cc	$S=S_S*S_T$
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	**1.2**	**1.39**	1.2
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.			

I parametri a/g, F_0 e T^* vengono forniti dalla normativa

Categorie topografiche

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°	1	
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°	1.2	valore alla sommità del pendio
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15°≤ i ≤ 30°	1.2	valore della cresta del rilievo
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°	1.4	valore della cresta del rilievo

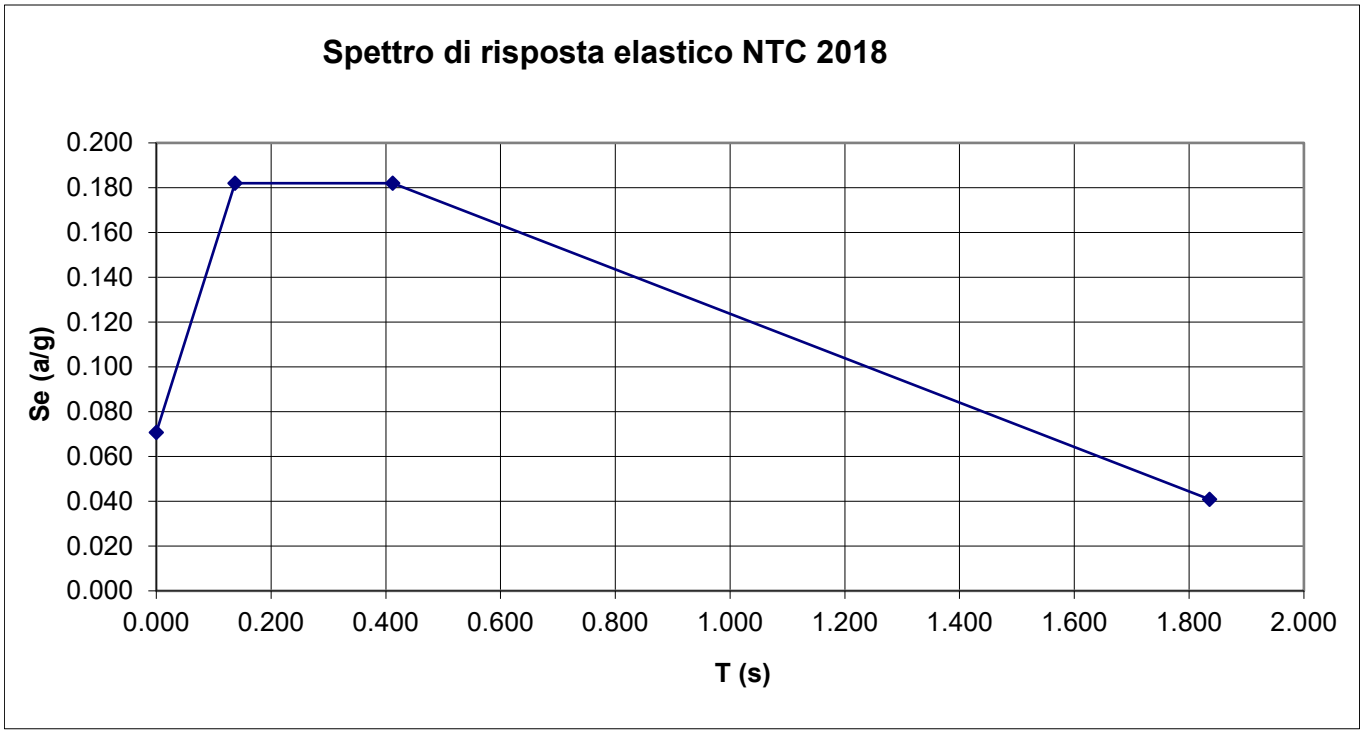
Le sovraesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO @ 5% SMORZAMENTO – COMP. ORIZZONTALE (NTC 2018)

Possibilità di superamento del 10% in 50 anni

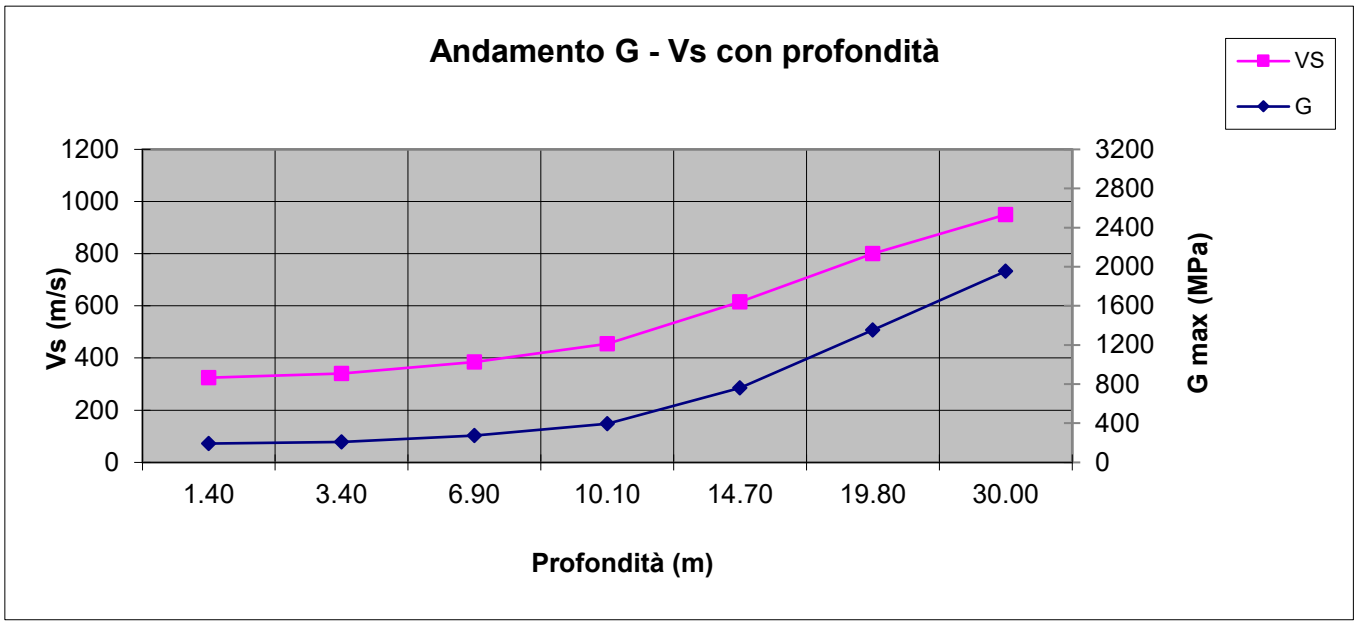
$T_0 = ag*S$
$Tb=Tc/3$
$Tc=Cc*T_{C^*}$
$Td=4.0*a_g/g+1.6$

Ascisse (s)	Ordinate (g)
0.000	0.071
0.137	0.182
0.412	0.182
1.836	0.041



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
1.40	1.80	325	191
3.40	1.81	340	209
6.90	1.85	385	274
10.10	1.91	455	395
14.70	2.01	615	761
19.80	2.11	800	1352
30.00	2.17	950	1954

$V_{s,eq}$ =435 m/s


Andamento G - Vs con profondità
VS
G
1200
1000
800
600
400
200
0
Vs (m/s)
3200
2800
2400
2000
1600
1200
800
400
0
G max (MPa)
1.40
3.40
6.90
10.10
14.70
19.80
30.00
Profondità (m)

Masw 3

L'indagine di sismica superficiale eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 m di profondità.

Di seguito si riportano le immagini relative all'analisi ω-p (trasformata τ-p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

L'inversione della curva di dispersione è realizzata con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

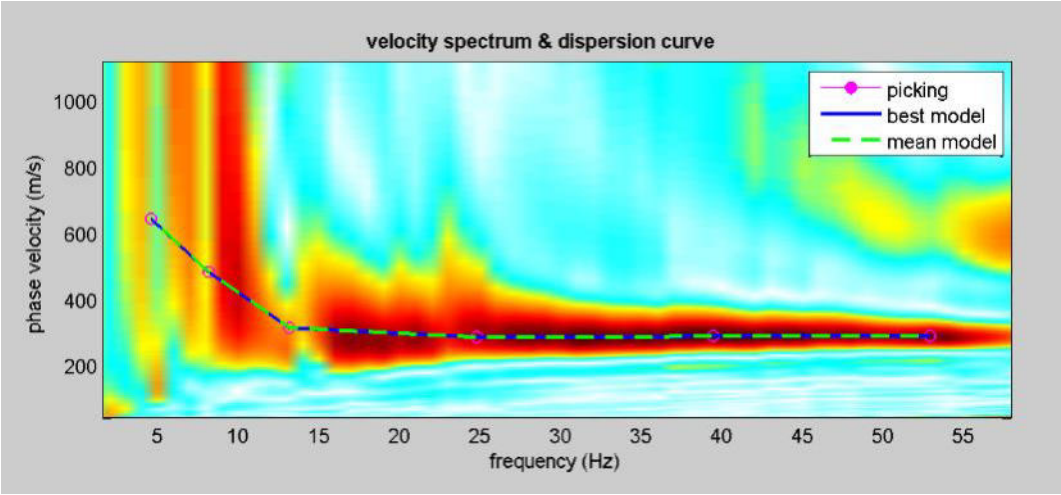


Figura 13: Modo fondamentale e altro modo relativi al segnale sismico registrato in situ.

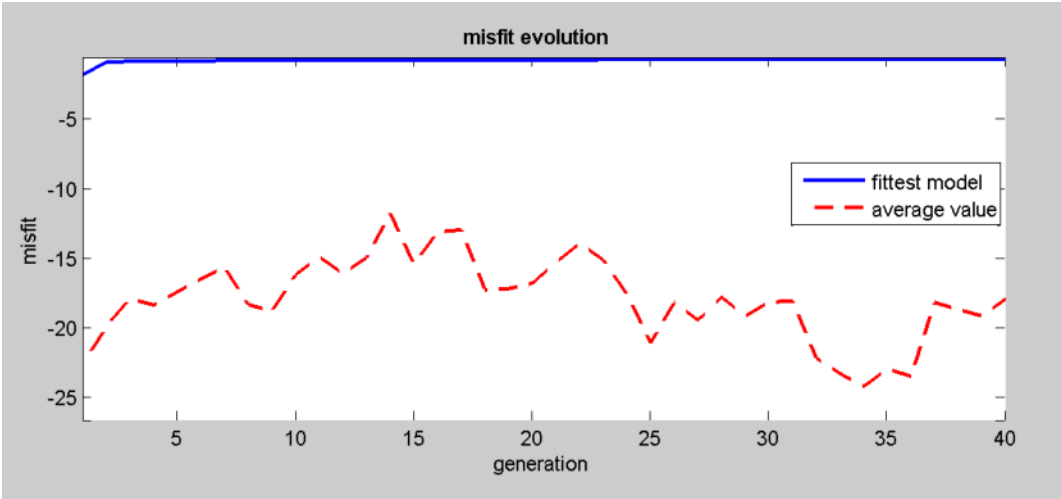


Figura 14: Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

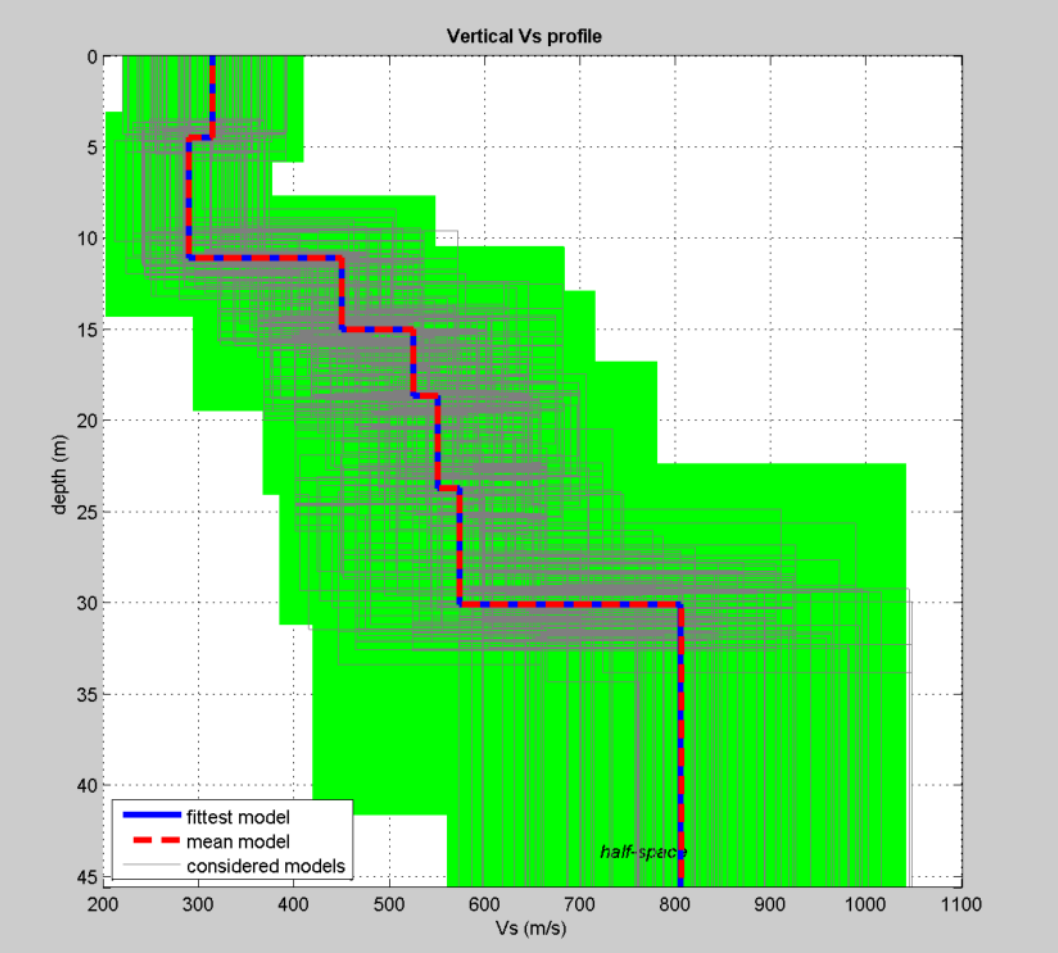


Figura 15: Modello risultante dall'inversione dei dati.

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni in linea con interdistanza di 1.0 m.

La Vs eq è stata ricavata dalla formula:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum hi/vi}$$

Nel caso specifico è risultato:

Vs,eq = 411.80 m/s

Si tratta quindi di un suolo di **tipo B** (Ss = 1.2 secondo le NTC 2018).

In allegato, vengono inoltre fornite tabelle recanti la classificazione del sito e lo spettro di risposta elastico relativo, ricavato considerando una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni). Tale condizione corrisponde allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (secondo NTC).

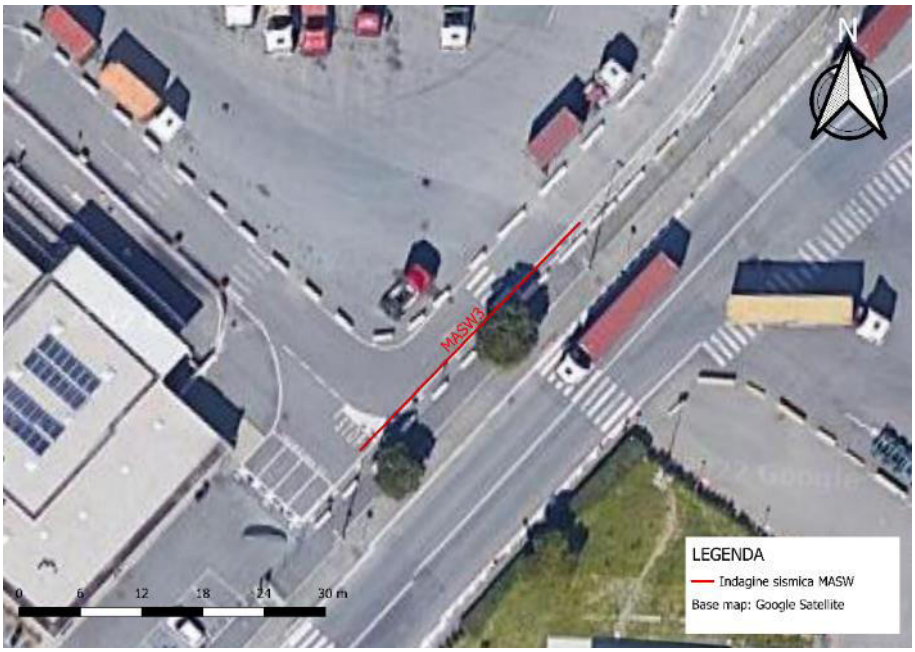


Figura 16: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova Masw 3.



Figura 17: Foto relativa all'esecuzione della prova Masw 3.

CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW3

Località Genova(GE)

Coordinate LAT 44.425556 LONG 8.766944 (WGS84 gradi decimali)

Metodo di indagine MASW

Strumentazione utilizzata Sismografo Echo 24-2010 a 24 Canali, 24 bits

Metodo di energizzazione Mazza da 8 kg

Geometria stendimento: 24 geofoni - interasse 1.0 m

RISPOSTA SISMICA LOCALE

(si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori del Coeff. Cc e del coeff di amplificazione S)

Categorie di sottosuolo di fondazione:

		Ss	Cc	$S=S_S*S_T$
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	**1.2**	**1.39**	1.2
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.			

I parametri a/g, F_0 e T^* vengono forniti dalla normativa

Categorie topografiche

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°	1	
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°	1.2	valore alla sommità del pendio
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15°≤ i ≤ 30°	1.2	valore della cresta del rilievo
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°	1.4	valore della cresta del rilievo

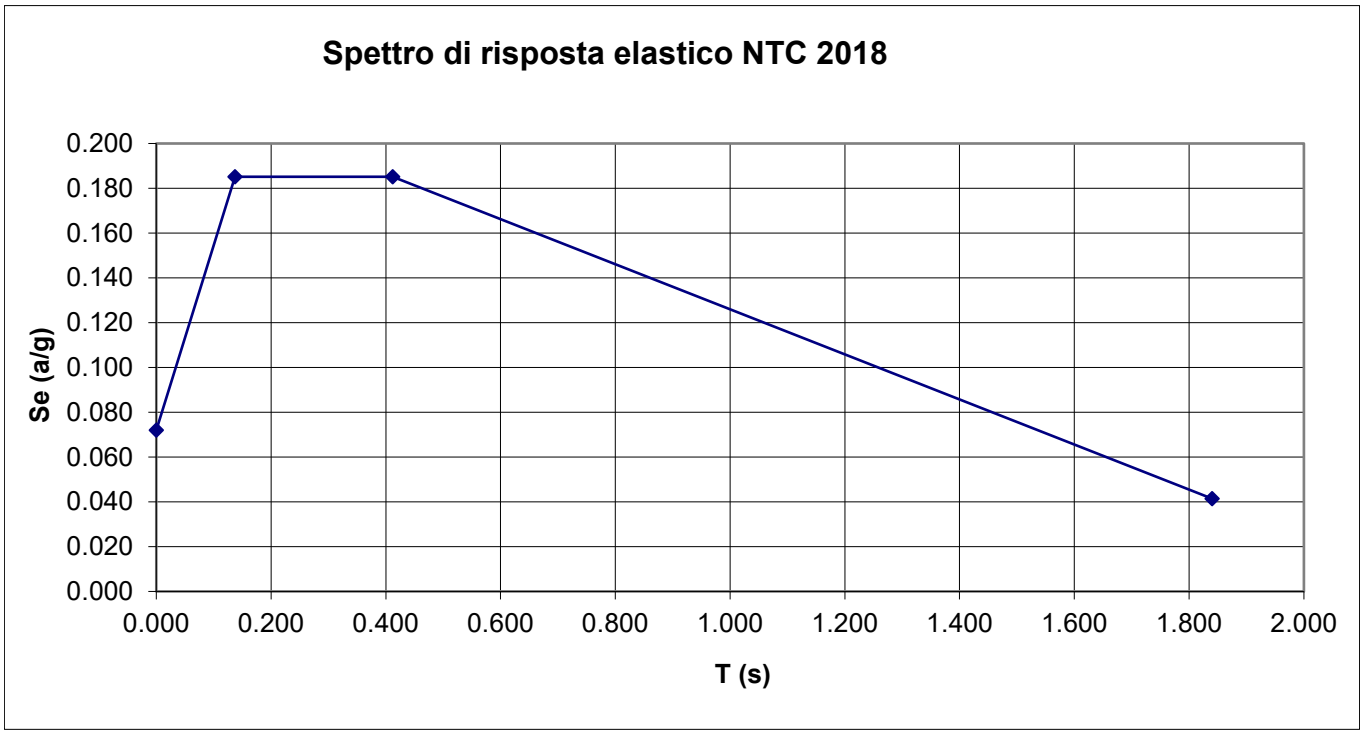
Le sovraesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO @ 5% SMORZAMENTO – COMP. ORIZZONTALE (NTC 2018)

Possibilità di superamento del 10% in 50 anni

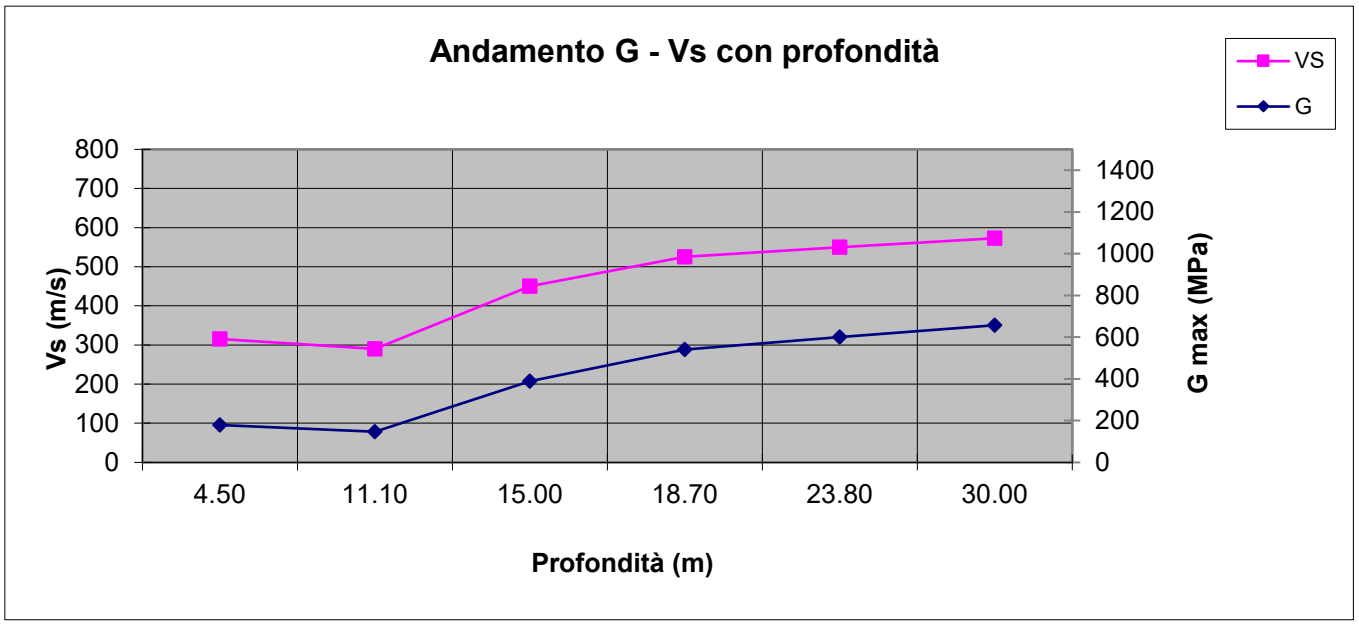
$T_0 = ag*S$
$Tb=Tc/3$
$Tc=Cc*T_{C^*}$
$Td=4.0*a_g/g+1.6$

Ascisse (s)	Ordinate (g)
0.000	0.072
0.137	0.185
0.412	0.185
1.840	0.041



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
4.50	315	1.80	179
11.10	290	1.75	147
15.00	450	1.92	388
18.70	525	1.96	541
23.80	550	1.98	600
30.00	573	2.00	657

$V_{s,eq}$ =411.8 m/s


Andamento G - Vs con profondità
VS
G
800
700
600
500
400
300
200
100
0
Vs (m/s)
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
G max (MPa)
4.50
11.10
15.00
18.70
23.80
30.00
Profondità (m)

Masw 4

L'indagine di sismica superficiale eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 m di profondità.

Di seguito si riportano le immagini relative all'analisi ω-p (trasformata τ-p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

L'inversione della curva di dispersione è realizzata con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

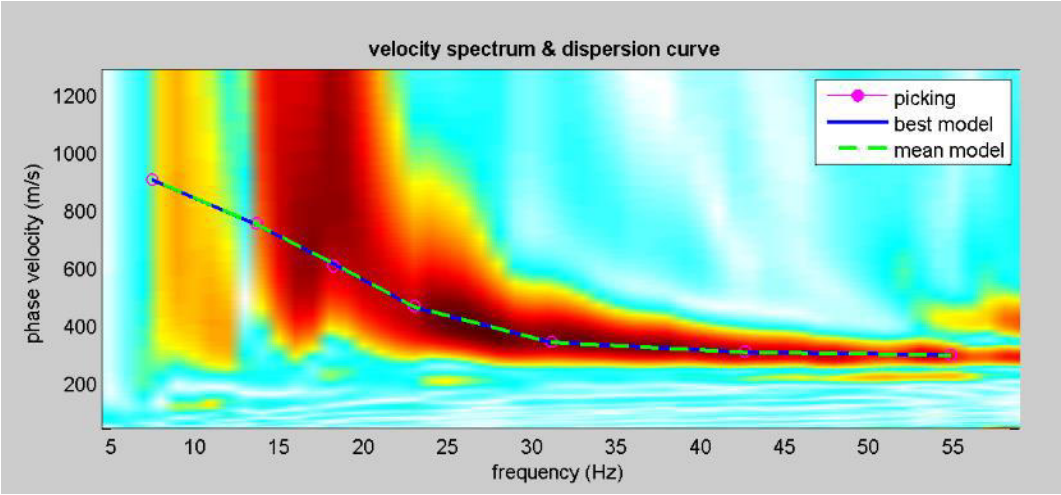


Figura 18: Modo fondamentale e altro modo relativi al segnale sismico registrato in situ.

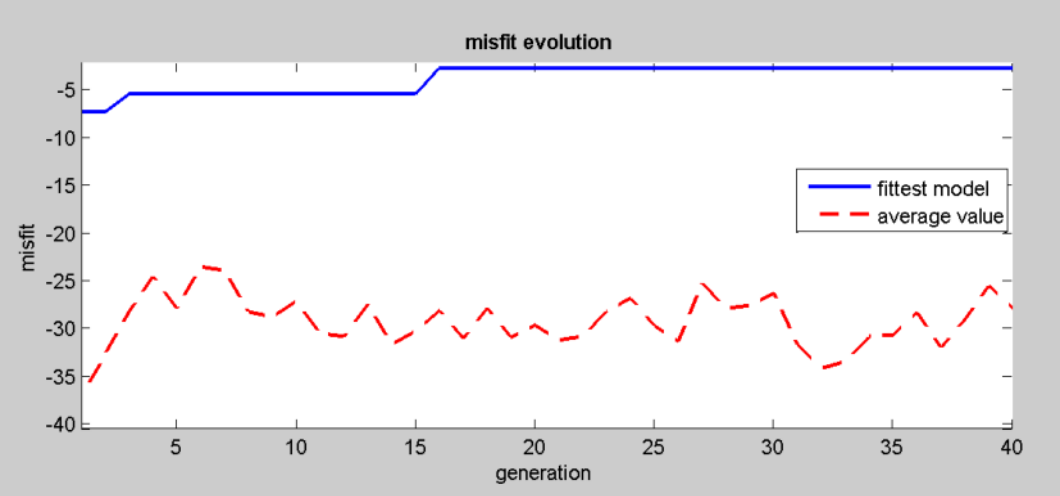


Figura 19: Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

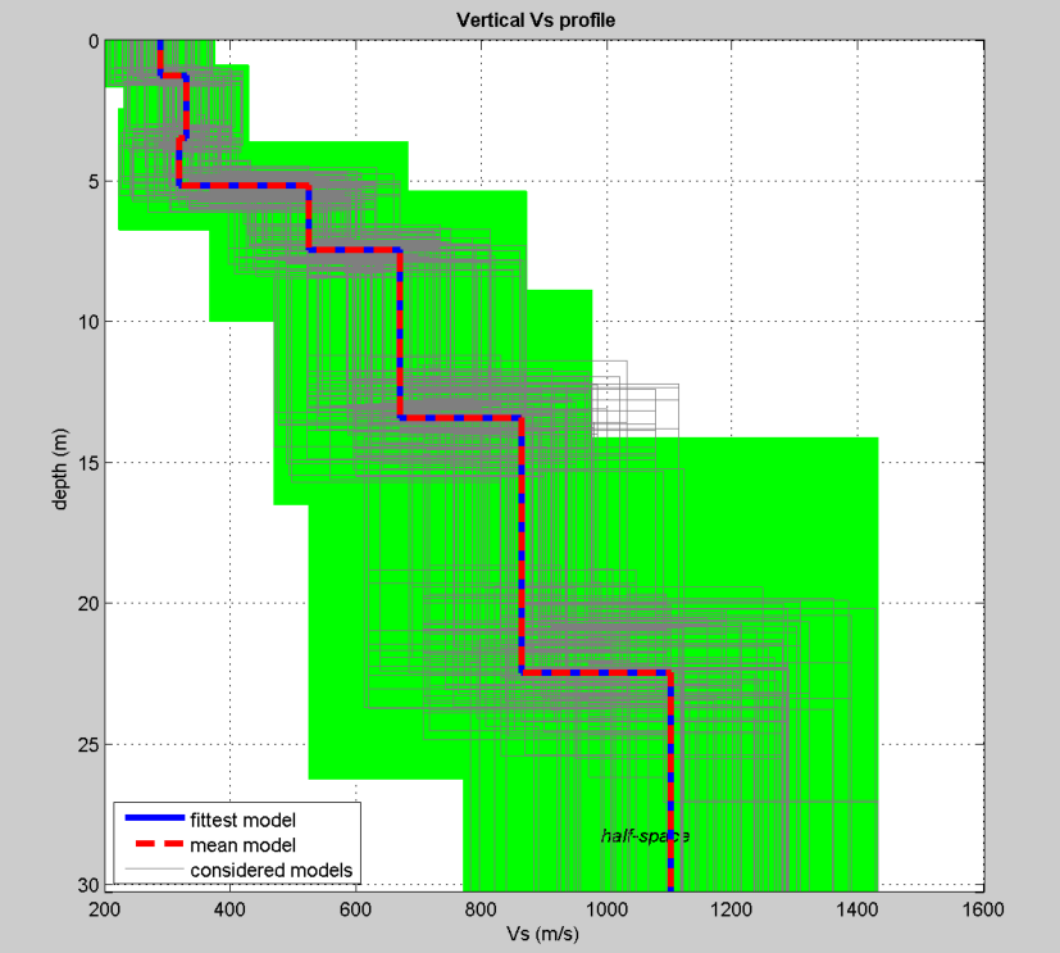


Figura 20: Modello risultante dall'inversione dei dati.

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni in linea con interdistanza di 1.0 m.

La Vs eq è stata ricavata dalla formula:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum \frac{hi}{vi}}$$

Nel caso specifico è risultato:

Vs,eq = 452 m/s

Si tratta quindi di un suolo di **tipo B** (Ss = 1.2 secondo le NTC 2018).

In allegato, vengono inoltre fornite tabelle recanti la classificazione del sito e lo spettro di risposta elastico relativo, ricavato considerando una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni). Tale condizione corrisponde allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (secondo NTC).



Figura 21: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova Masw 4.



Figura 22: Foto relativa all'esecuzione della prova Masw 4.

CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW4

Località Genova (GE)

Coordinate LAT 44.427040 LONG 8.777045 (WGS84 gradi decimali)

Metodo di indagine MASW

Strumentazione utilizzata Sismografo Echo 24-2010 a 24 Canali, 24 bits

Metodo di energizzazione Mazza da 8 kg

Geometria stendimento: 24 geofoni - interasse 1.0 m

RISPOSTA SISMICA LOCALE

(si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori del Coeff. Cc e del coeff di amplificazione S)

Categorie di sottosuolo di fondazione:

		Ss	Cc	$S=S_S*S_T$
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	**1.2**	**1.39**	1.2
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.			

I parametri a/g, F_0 e T^* vengono forniti dalla normativa

Categorie topografiche

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°	1	
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°	1.2	valore alla sommità del pendio
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15°≤ i ≤ 30°	1.2	valore della cresta del rilievo
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°	1.4	valore della cresta del rilievo

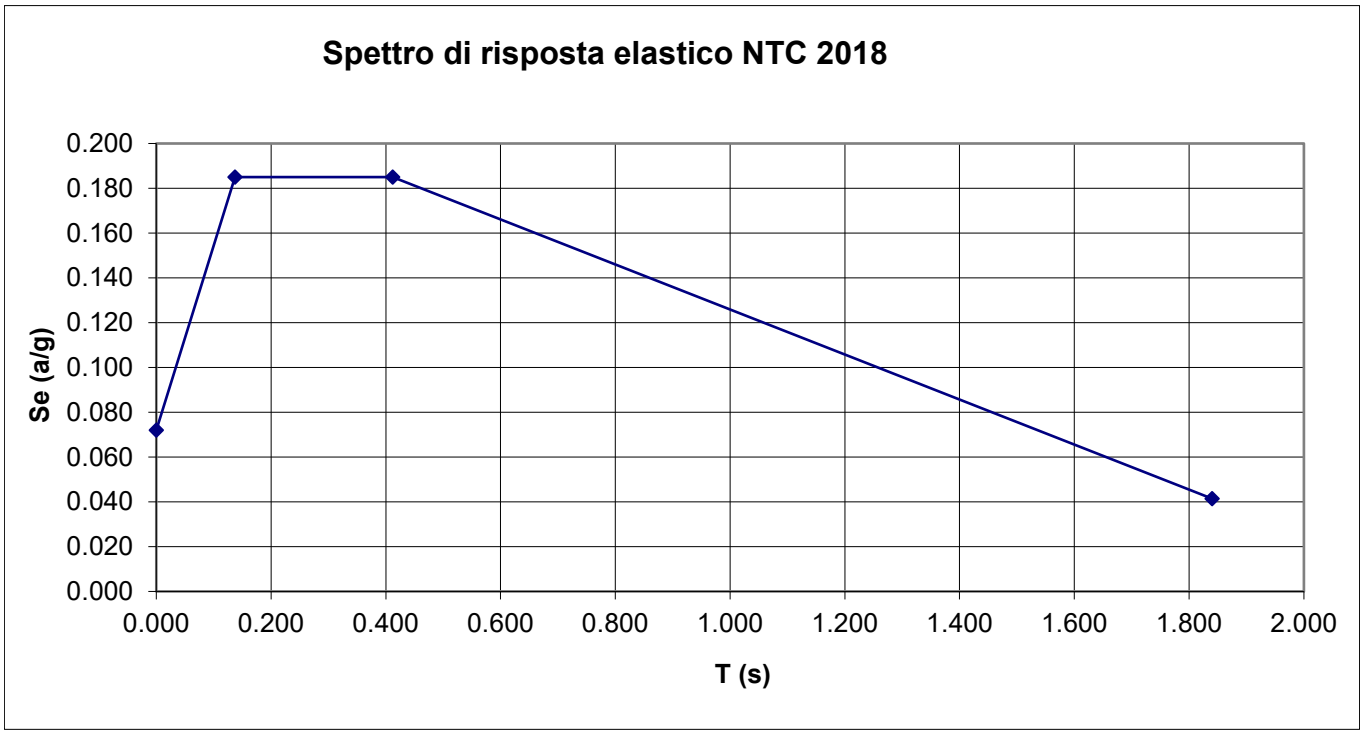
Le sovraesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO @ 5% SMORZAMENTO – COMP. ORIZZONTALE (NTC 2018)

Possibilità di superamento del 10% in 50 anni

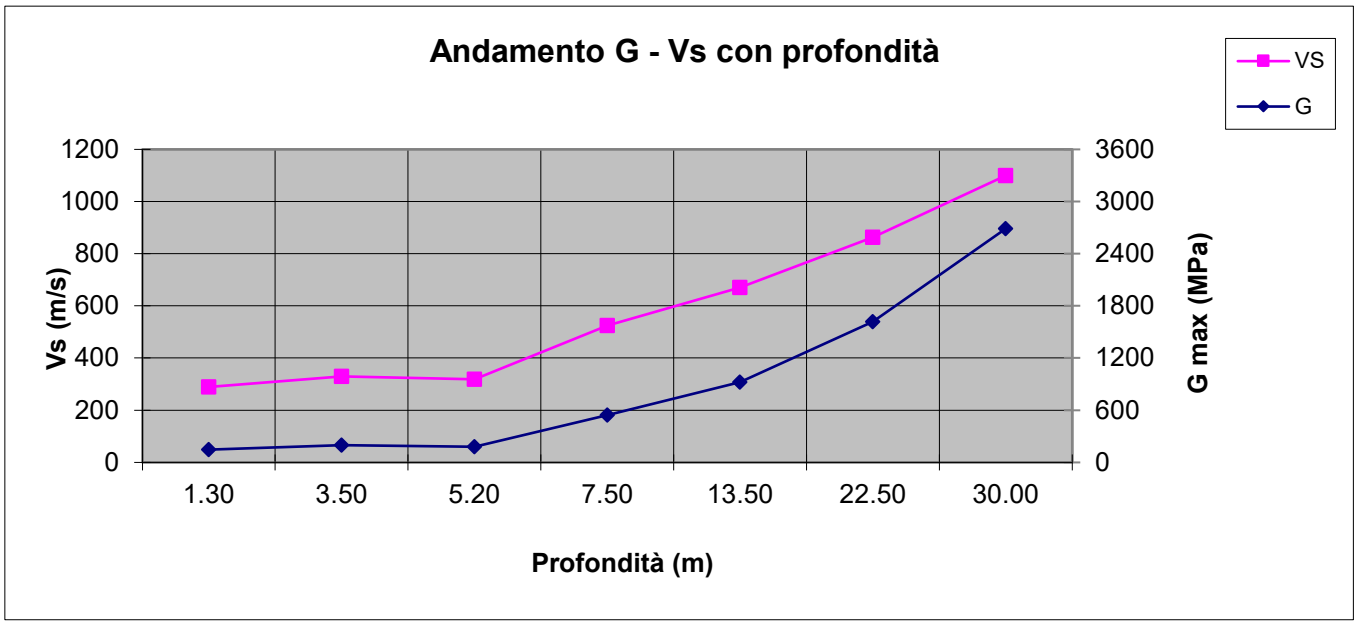
$T_0 = ag*S$
$Tb=Tc/3$
$Tc=Cc*T_{C^*}$
$Td=4.0*a_g/g+1.6$

Ascisse (s)	Ordinate (g)
0.000	0.072
0.137	0.185
0.412	0.185
1.840	0.041



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
1.30	1.77	289	148
3.50	1.80	330	196
5.20	1.79	318	181
7.50	1.96	525	541
13.50	2.06	670	923
22.50	2.17	863	1619

$V_{s,eq}$ =452 m/s


Andamento G - Vs con profondità
VS
G
1200
1000
800
600
400
200
0
Vs (m/s)
3600
3000
2400
1800
1200
600
0
G max (MPa)
1.30
3.50
5.20
7.50
13.50
22.50
30.00
Profondità (m)

5 INDAGINE SISMICA CON METODO HVSR

Come detto sopra, sono state condotte anche delle indagini geofisiche a tecnica passiva (HVSR); sono state infatti eseguite delle registrazioni al fine di evidenziare le caratteristiche di risposta sismica in termini di frequenza caratteristica del sito in base ai valori d'impedenza sismica rilevata.

I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo rivelano principalmente la frequenza caratteristica di risonanza del sito. Essa rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nel realizzare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno, al fine di evitare effetti di "doppia risonanza", estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi.

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremori. La forma di un'onda registrata in un sito x da uno strumento dipende:

1. dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s;
2. dal percorso dell'onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda);
3. dalla risposta dello strumento.

SI può esprimere questo concetto come:

*segnale registrazione al sito x =sorgente*effetti di percorso*funzione trasferimento strumento*

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Nel tragitto dalla sorgente s al sito le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che

dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale e in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartate dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune.

Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali dei sottosuoli: informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un Tromografo digitale "TROMINO", prodotto da Micromed S.p.A., dotato di n. 3 sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente.

L'accorgimento adottato è stato quello di verificare che i geofoni fossero posizionati in bolla e che la loro componente longitudinale fosse rivolta verso Nord.

Il tempo di acquisizione è stato di 30 minuti e le finestre temporali prese in considerazione per l'acquisizione sono di 20 s ciascuna.

La relazione che si applica per il calcolo della profondità delle superfici con i maggiori contrasti di impedenza è la seguente:

$$\mathbf{Ts = 2\pi / \omega = 4H / Vs \quad (1)}$$

dove:

Ts = periodo della vibrazione (s)

ω = frequenza misurata (rad)

H = profondità del sismostrato (m)

Vs = velocità delle onde di taglio (m/s)

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si è potuto ricavare il valore di frequenza caratteristica di ogni sito.

STRUMENTAZIONI UTILIZZATE

N°	**Strumentazione per prove HVSR**
1	Sismografo-Tromografo digitale "TROMINO", prodotto da Micromed S.p.A.
1	2 Batterie 1.5 V
1	Bussola per corretto orientamento della stazione sismica

CONDIZIONI DI CONGRUITÀ

La prima condizione, prima di procedere all'estrazione di qualsiasi informazione e interpretazione, riguarda la verifica di "congruità" della curva H/V; in pratica bisogna verificare l'attendibilità della curva ottenuta secondo i seguenti criteri:

f0 (freq. di picco) > 10 / lw (lunghezza finestra temporale)

Questa condizione è proposta in maniera tale che, alla frequenza di interesse, in ogni finestra ci siano almeno 10 cicli significativi (tab. 1).

Se i dati lo permettono è possibile verificare se la condizione f0 (freq. di picco) > 20 / lw, il che renderebbe il picco eventuale ancora più significativo, ma questo non è d'obbligo.

C'è bisogno di un grande numero di cicli e di finestre: quando si usa la selezione automatica delle finestre temporali con i parametri di default, il n. totale di cicli significativi: nc = lw · nw · f0 deve essere > 200 (che significa che ad esempio per un picco di 1 Hz, ci siano almeno 20 finestre da 10 secondi ciascuna, o per un picco da 0.5 Hz ci siano 10 finestre da 40 s).

È necessario che ci sia un valore di scattering basso tra tutte le finestre: deviazioni standard elevate spesso sono dovute a rumore ambientale non stazionario che può perturbare il segnale e tradursi in un risultato non significativo relativamente alla determinazione del picco di frequenza H/V.

Comunque si raccomanda che σA (f) sia minore di un fattore 2 (per f0 > 0.5 Hz), o un fattore 3 (per f0 < 0.5 Hz), in un range di frequenze di almeno [0.5f0, 2f0].

Tabella 1: Durata delle registrazioni raccomandata

f0 [Hz]	Minimum value for lw [s]	Minimum number of significant cycles (nc)	Minimum number of windows	Minimum useful signal duration [s]	Recommended minimum record duration [min]
0.2	50	200	10	1000	30'
0.5	20	200	10	400	20'
1	10	200	10	200	10'
2	5	200	10	100	5'
5	5	200	10	40	3'
10	5	200	10	20	2'

Nel nostro caso specifico è sempre stata utilizzata una durata di 30’ (1800 s) e un valore delle finestre temporali di 20 s.

Di seguito si riportano le curve H/V ottenute.

6 RISULTATI INDAGINE SISMICA PASSIVA (HVSR)

HVSR 1

Strumento: TRZ-0017/01-09 Formato dati: 16 byte Fondo scala [mV]: 51

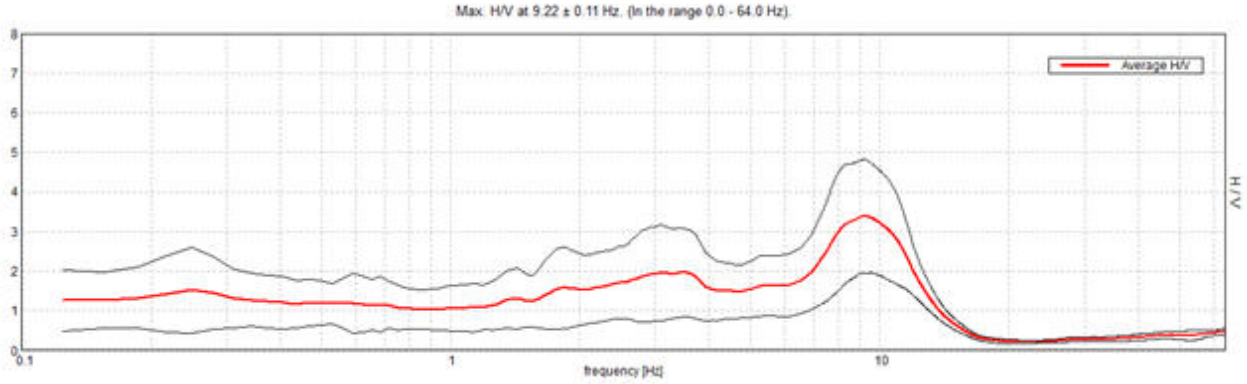
Nomi canali: NORTH-SOUTH; EAST-WEST ; UP-DOWN Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 91% tracciato (selezione manuale)

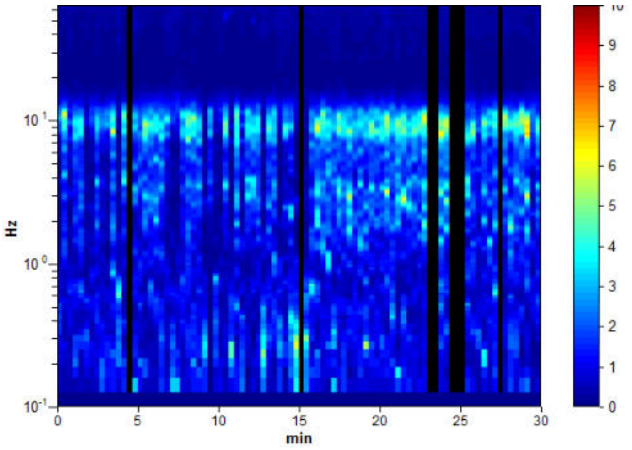
Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 10%

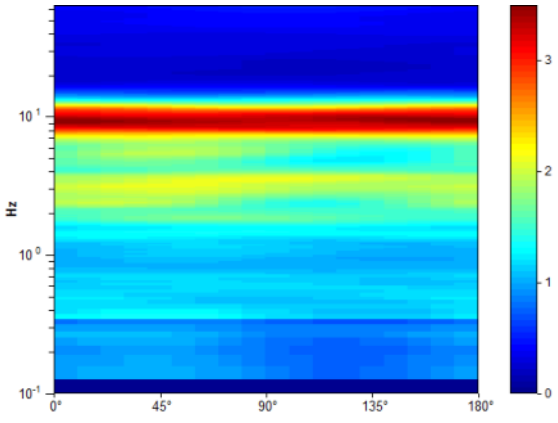
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



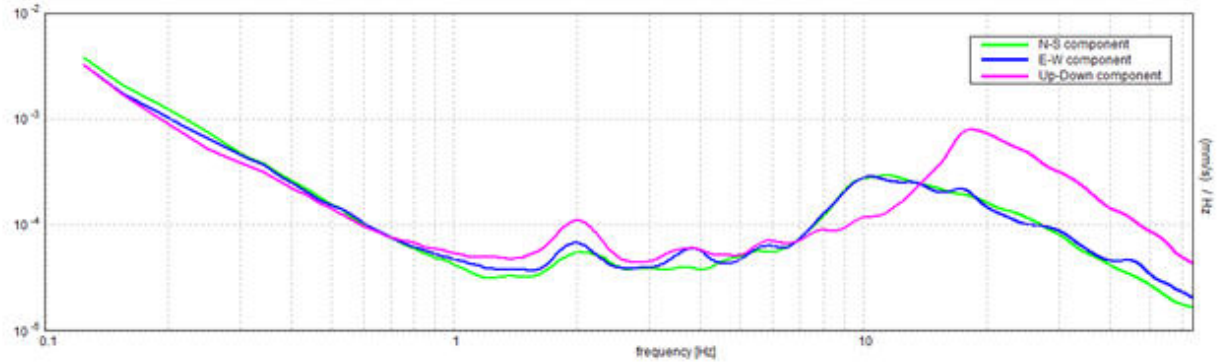
SERIE TEMPORALE H/V



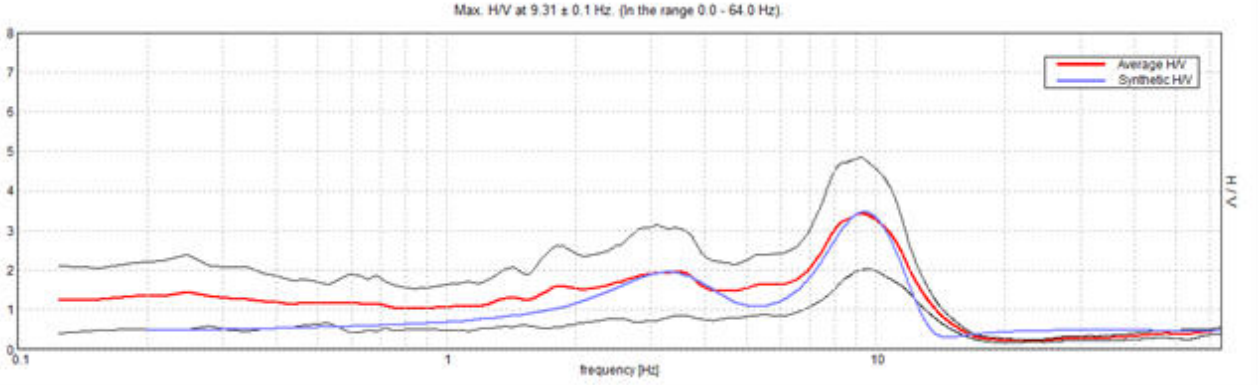
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

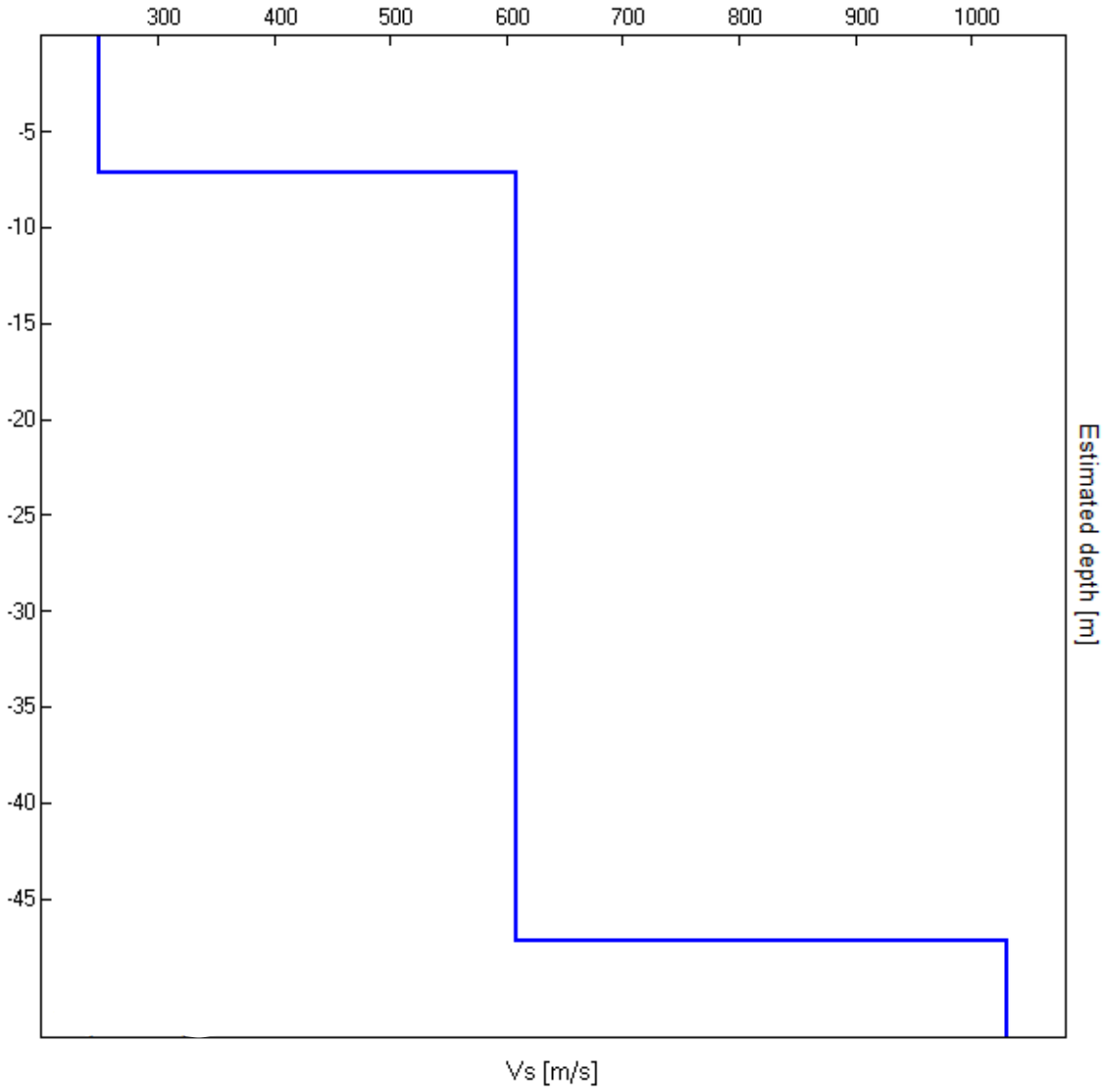


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
7.20	7.20	250	0.35
47.20	40.00	608	0.35
inf.	inf.	1030	0.35

Lo spessore della coltre detritica al di sopra del *bedrock* (Vs = 800 m/s) risulta essere superiore ai 47.20 metri.


300
400
500
600
700
800
900
1000
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
-45
Estimated depth [m]
Vs [m/s]

[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di** *Grilla* **prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 9.22 ± 0.11 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	9.22 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	15118.8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz**	Superato 0 volte su 444	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	6.313 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	12.469 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.39 > 2	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.0058| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.05349 < 0.46094	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.7149 < 1.58	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{logH/V}(f)$	deviazione standard della funzione log $A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ per $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

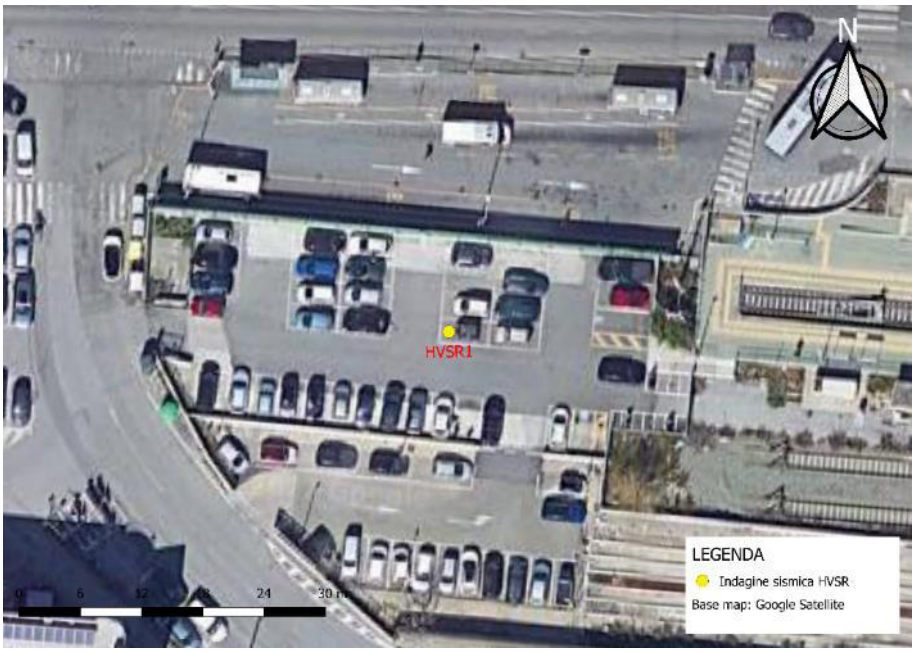


Figura 23: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSR 1.



Figura 24: Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR 1.

HVSR 2

Strumento: TRZ-0017/01-09 Formato dati: 16 byte Fondo scala [mV]: 51

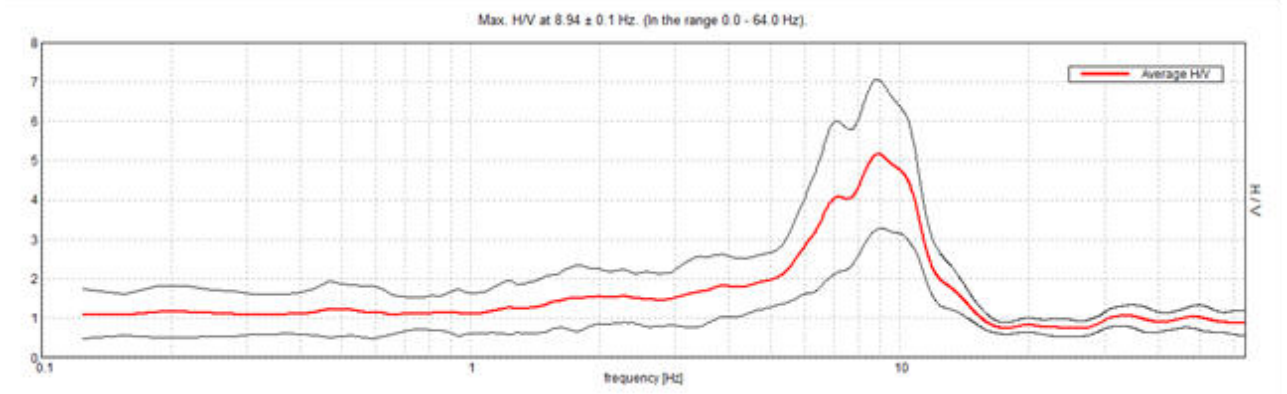
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 91% tracciato (selezione manuale)

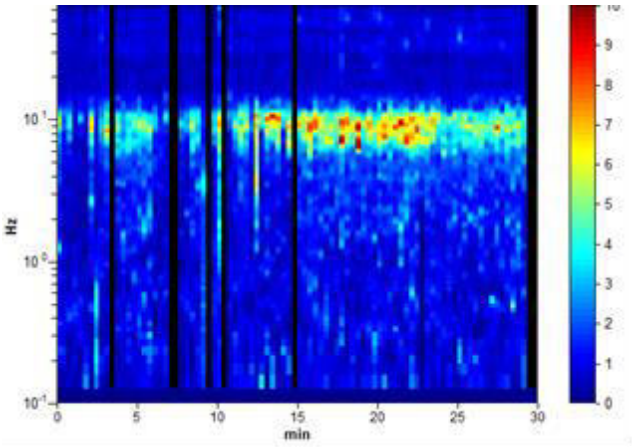
Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 10%

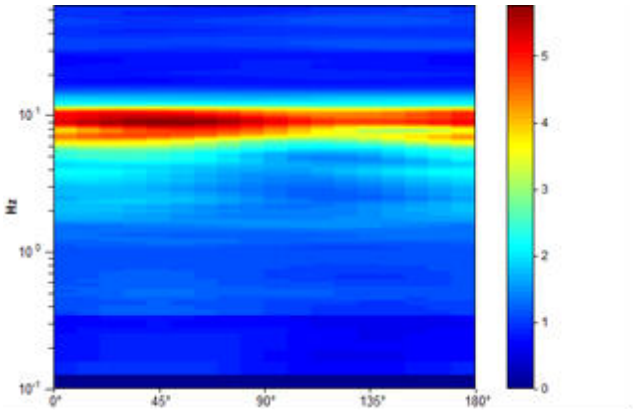
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



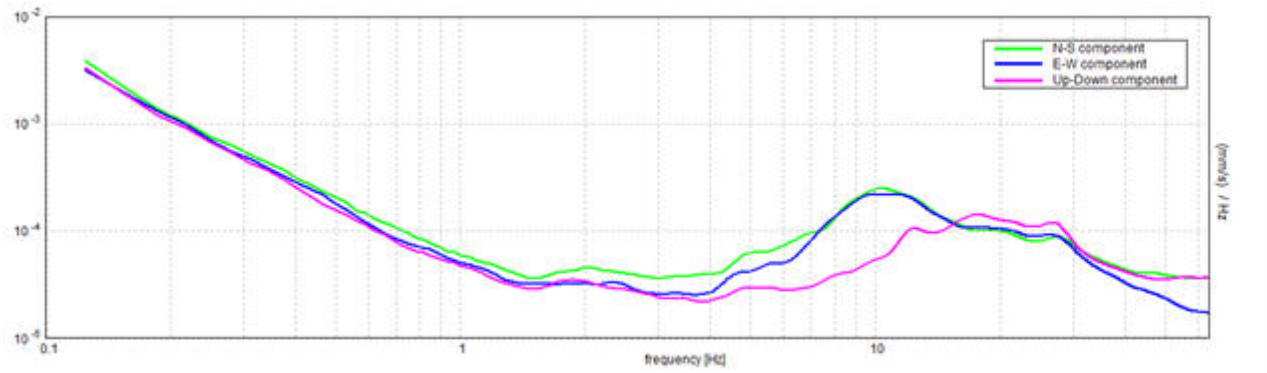
SERIE TEMPORALE H/V



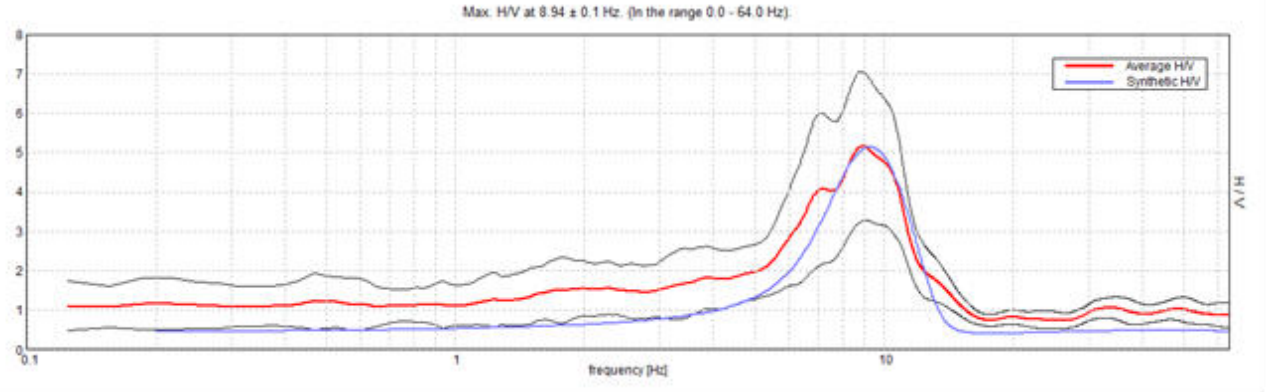
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

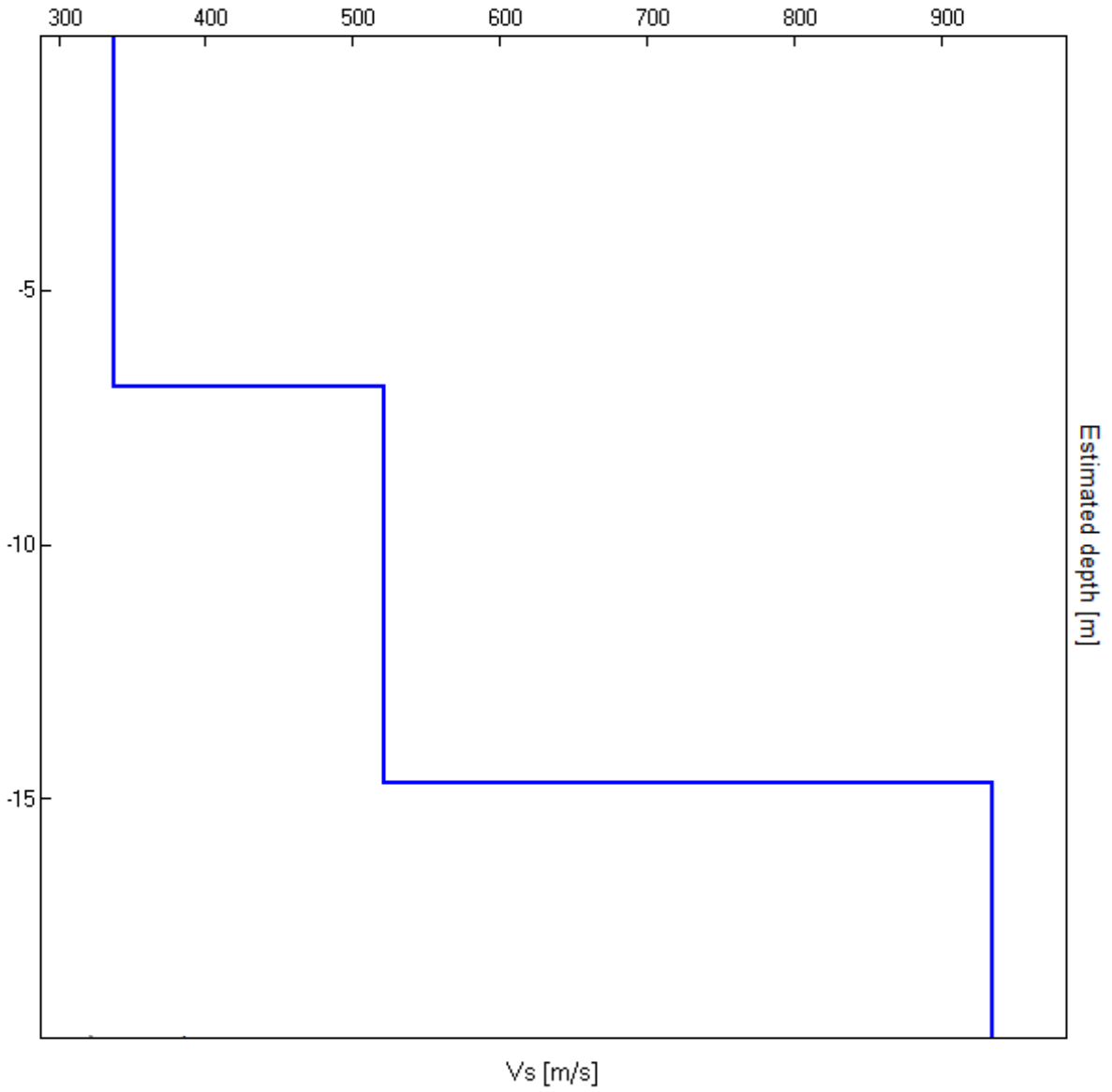


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
6.90	6.90	338	0.35
14.70	7.80	522	0.35
inf.	inf.	935	0.35

Lo spessore della coltre detritica al di sopra del *bedrock* (Vs = 800 m/s) risulta essere superiore ai 14.70 metri.


300
400
500
600
700
800
900
-5
-10
-15
Estimated depth [m]
Vs [m/s]

[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 8.94 ± 0.1 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	8.94 > 0.50	**OK**	
$n_c(f_0) > 200$	14657.5 > 200	**OK**	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz**	Superato 0 volte su 430	**OK**	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	5.75 Hz	**OK**	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	11.688 Hz	**OK**	
$A_0 > 2$	5.16 > 2	**OK**	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.00538| < 0.05	**OK**	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.04811 < 0.44688	**OK**	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.9427 < 1.58	**OK**	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{logH/V}(f)$	deviazione standard della funzione log $A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ per $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



Figura 25: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSR 2.



Figura 26: Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR 2.

HVSR 3

Strumento: TRZ-0017/01-09 Formato dati: 16 byte Fondo scala [mV]: 51

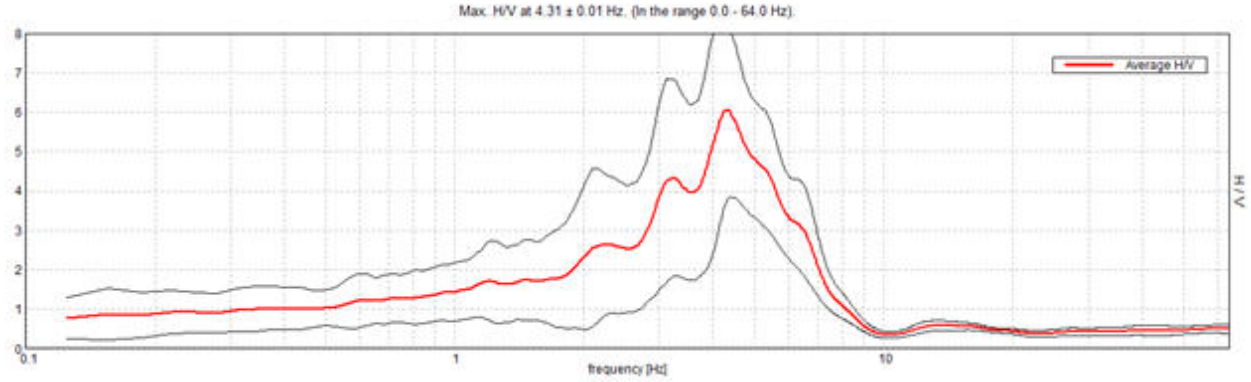
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 86% tracciato (selezione manuale)

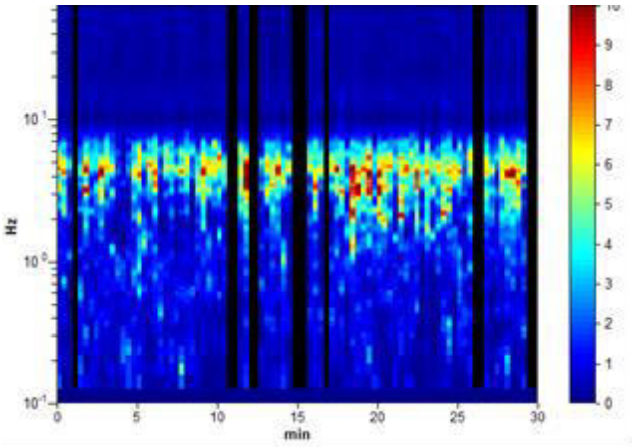
Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 10%

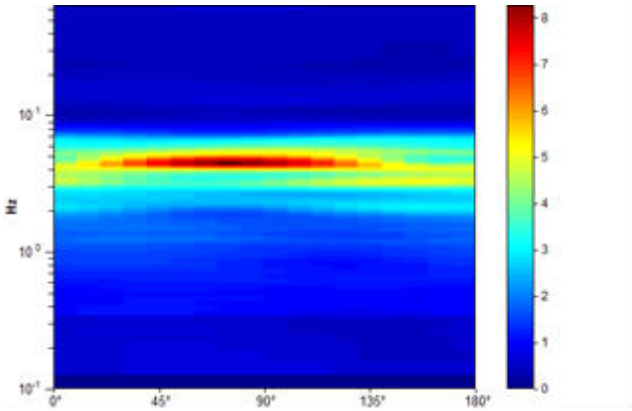
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



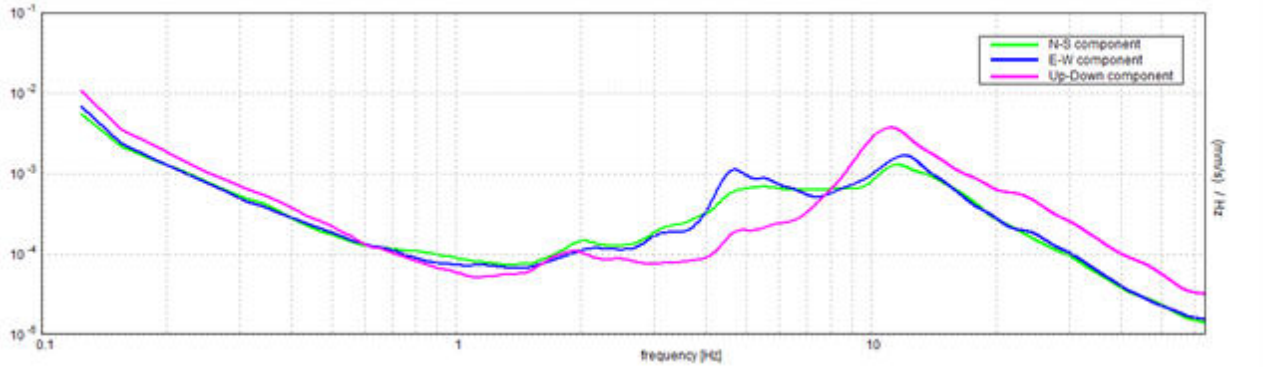
SERIE TEMPORALE H/V



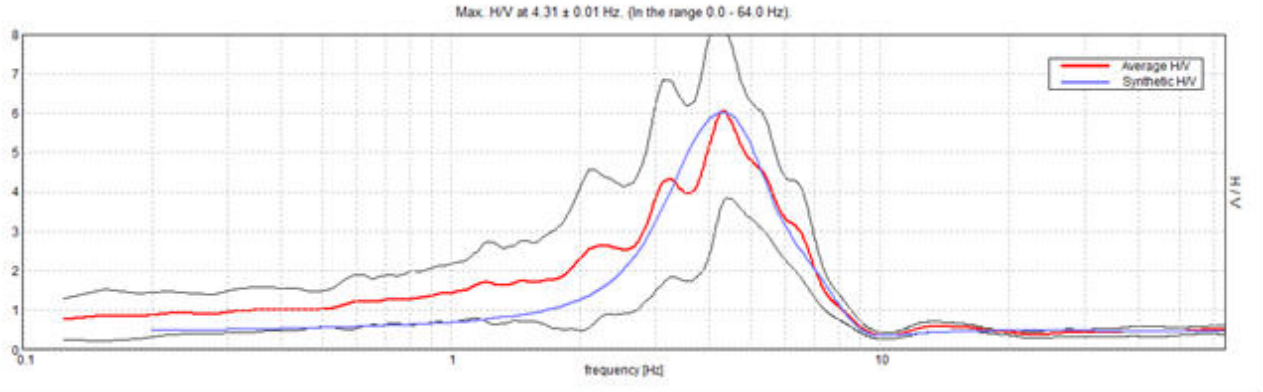
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

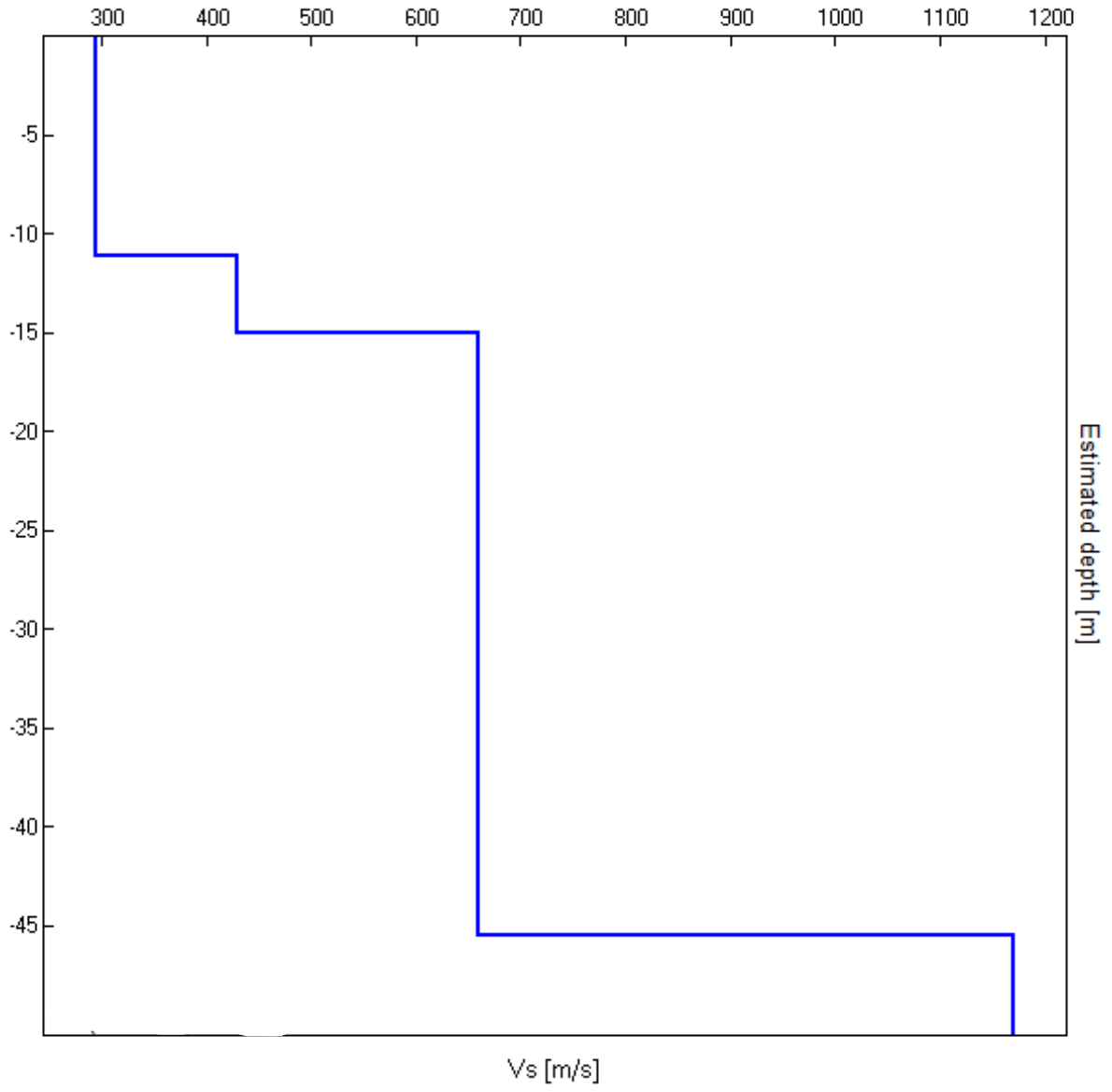


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
11.10	11.10	295	0.35
15.00	3.90	430	0.35
45.50	30.50	660	0.35
inf.	inf.	1170	0.35

Lo spessore della coltre detritica al di sopra del *bedrock* (Vs = 800 m/s) risulta essere superiore ai 45.50 metri.


300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
-45
Estimated depth [m]
Vs [m/s]

[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 4.31 ± 0.01 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	4.31 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	6641.3 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz	Superato 51 volte su 208		NO
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.813 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	6.5 Hz	OK	
$A_0 > 2$	6.06 > 2	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.00132| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.00571 < 0.21563	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.1519 < 1.58	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{logH/V}(f)$	deviazione standard della funzione log $A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ per $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



Figura 27: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSR 3.



Figura 28: Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR 3.

HVSR 4

Strumento: TRZ-0017/01-09 Formato dati: 16 byte Fondo scala [mV]: 51

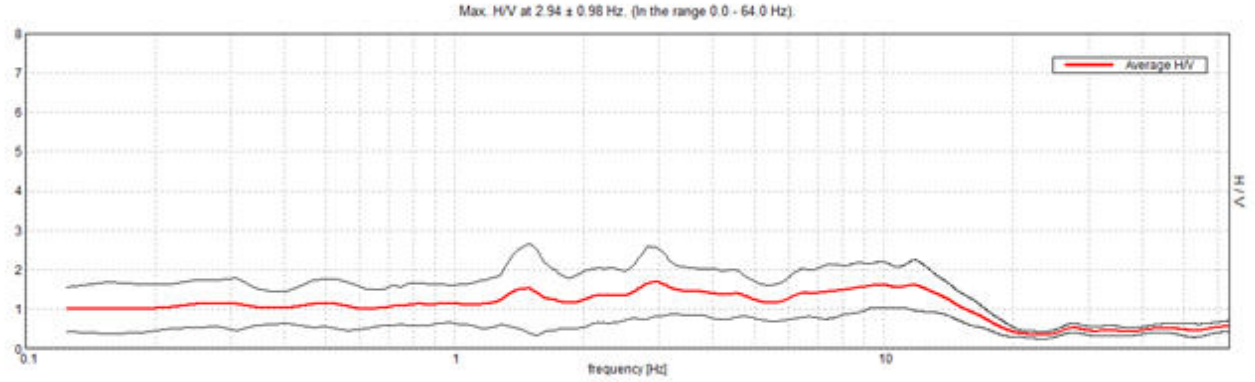
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 94% tracciato (selezione manuale)

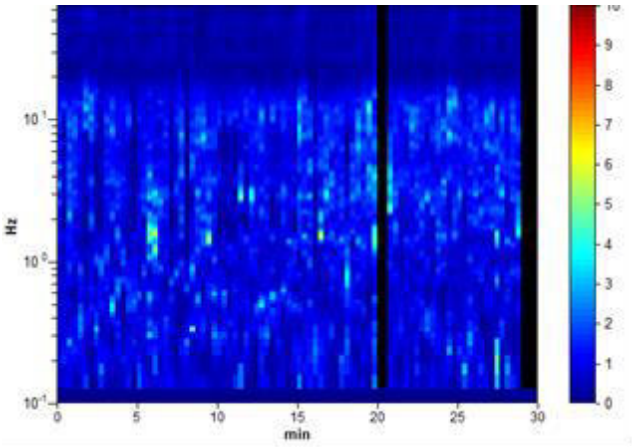
Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 10%

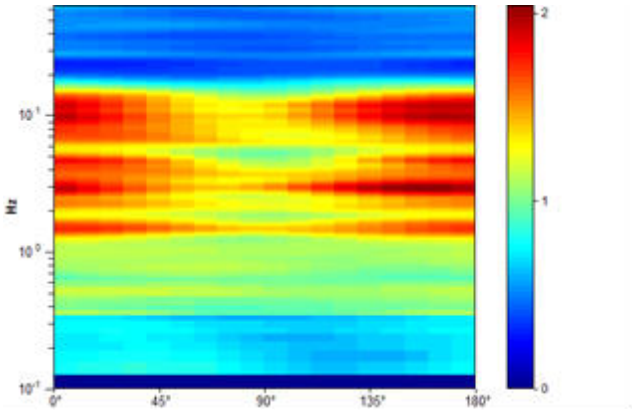
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



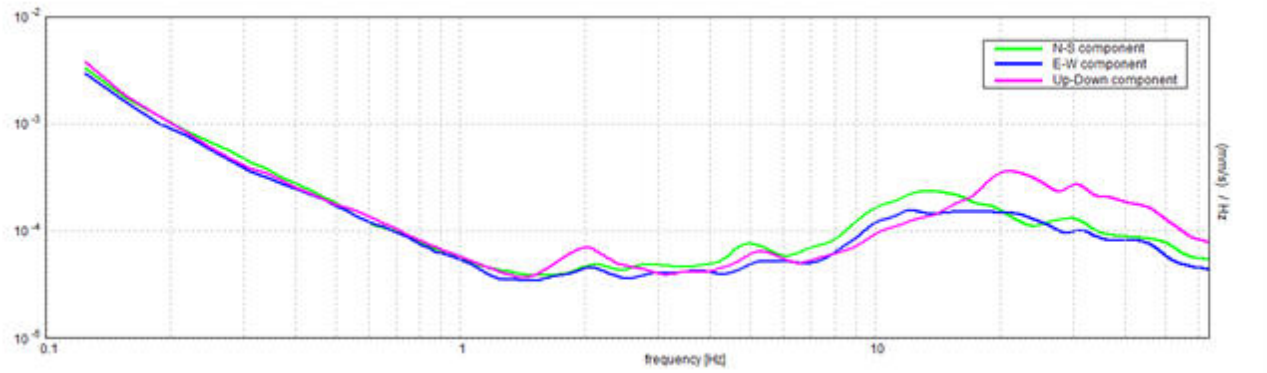
SERIE TEMPORALE H/V



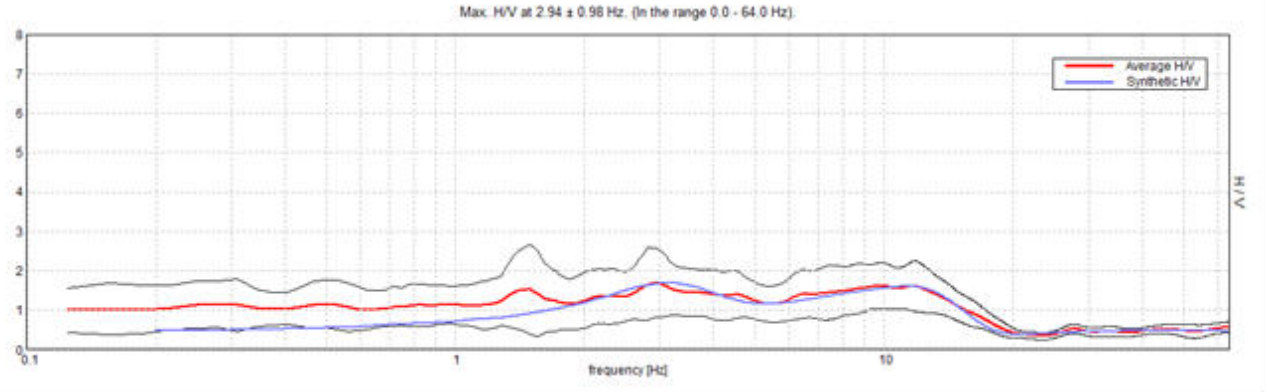
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

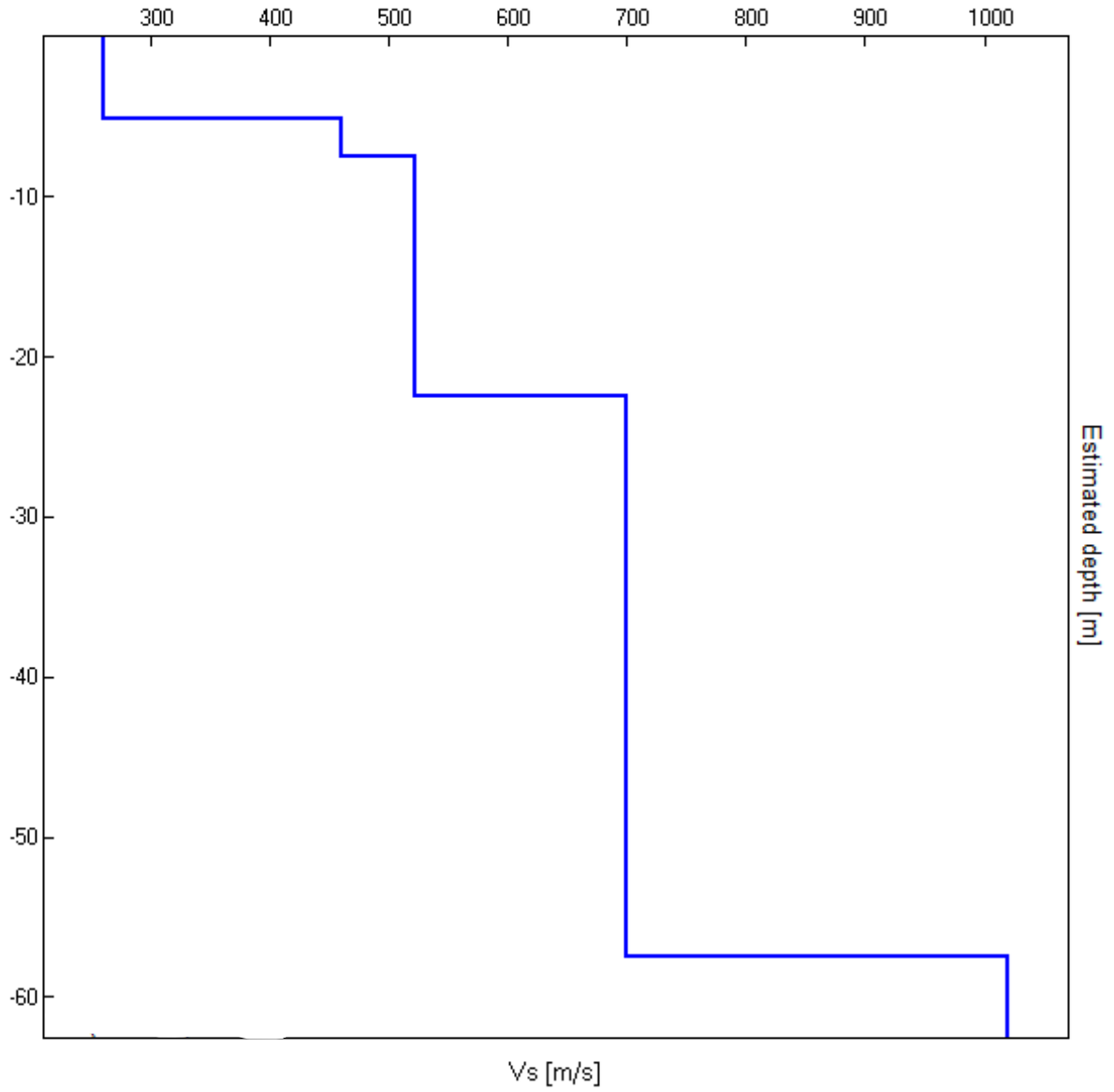


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
5.20	5.20	260	0.35
7.50	2.30	460	0.35
22.50	15.00	522	0.35
57.50	35.00	700	0.35
inf.	inf.	1020	0.35

Lo spessore della coltre detritica al di sopra del *bedrock* (Vs = 800 m/s) risulta essere superiore ai 57.50 metri.


300
400
500
600
700
800
900
1000
-10
-20
-30
-40
-50
-60
Estimated depth [m]
Vs [m/s]

[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di** *Grilla* **prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 2.94 ± 0.98 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	2.94 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	4993.8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz**	Superato 0 volte su 142	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	1.70 > 2		NO
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.16714| < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.49097 < 0.14688		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.4388 < 1.58	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{logH/V}(f)$	deviazione standard della funzione log $A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ per $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



Figura 29: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSR 4.



Figura 30: Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR 4.